

# Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 42(2) 号

2011.3

# 東京工業高等専門学校研究報告書 第42 (2) 号 目次

|                                                                                                                   |                                                                                                        |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective<br>—Part 1: The Method Chosen for Learning Finnish—  | John GATES                                                                                             | 1   |
| Torsion points on elliptic curves with values in p-adic Lie extensions                                            | Hajime NAKAZATO                                                                                        | 9   |
| サイズ・面方位の異なる GaN 結晶における表面再結合過程                                                                                     | 尾 沼 猛 儀                                                                                                | 15  |
| 実践的能力としての教養<br>—東京高専高学年用「教養ゼミ」の導入に向けて—                                                                            | 浅津 野 敬 一<br>船 田 戸 美 智<br>相 澤 俊 子<br>竹 恒 恒 行<br>古 屋 正 美<br>河 村 正 俊<br>川 北 晃 豊<br>司                      | 19  |
| 異文化理解授業における留学生と日本人学生の協働学習                                                                                         | 吉 田 さ ち<br>竹 田 恒 美                                                                                     | 41  |
| 好奇心をはぐくむ物理実験教室                                                                                                    | 潮 野 秀 樹<br>大 野 秀 樹                                                                                     | 49  |
| 教育専門職の倫理綱領                                                                                                        | 川 北 晃 司                                                                                                | 53  |
| Evaluation of Inherent Aerodynamic Characteristics of<br>Two Different Thick Blades Used as Wind Turbine Airfoils | Sumio SAITO<br>Takahiro YAMASHINA                                                                      | 63  |
| 風車用翼型生成に光造形手法を適用した際に生じる翼表面上の積層痕の<br>有無による薄翼および厚翼の流体力学的特性の変化と翼周りの流動状態                                              | 齊 藤 純 夫<br>山 科 貴 裕                                                                                     | 77  |
| 頬の動きを用いた操作インターフェイスの試作                                                                                             | 清 水 昭 博<br>鈴 木 啓 佑                                                                                     | 87  |
| ひずみ応答を用いた衝撃荷重同定に関する研究                                                                                             | 北 山 光 也<br>白 倉 潤<br>黒 崎 茂<br>Tengku Muhammad Idris Al Ariff                                            | 91  |
| 東京高専におけるマイクロメカトロニクスの新展開<br>—第2報, マイクロ構造体の製作と機械的特性—                                                                | 角 田 田 陽<br>多 尾 進<br>齋 藤 浩 一<br>堤 村 光 貴<br>志 山 稜 也<br>北 村 光 稜                                           | 95  |
| 引張荷重下における CFRP/Aluminum alloy<br>単純重ね合わせ接着継手の有限要素応力解析                                                             | 小 坂 典 嵩<br>志 村 稜 茂<br>黒 崎 茂                                                                            | 99  |
| 光導波型マイクロホンにおける共振周波数のダイヤフラム厚依存性                                                                                    | 新 國 広 幸<br>大 河 正 志                                                                                     | 105 |
| 電力流通における無効電力の価値評価手法に関する検討                                                                                         | 橋 本 拓 郎<br>土 井 淳                                                                                       | 109 |
| 地域企業技術者向けテクノクロス講座（電気系）講座の実施分析                                                                                     | 大 塚 友 彦<br>館 泉 治<br>本 村 知 彦<br>新 國 幸 敏<br>松 岡 敏 父<br>新 岡 世 一<br>佐 谷 桂 一                                | 115 |
| 位相限定相関法を用いた画像中のマーク位置検出                                                                                            | 青 木 宏 之<br>吉 澤 昌 也                                                                                     | 119 |
| 実用装置製作を課した学生実験                                                                                                    | 永 吉 浩<br>小 池 清 之                                                                                       | 123 |
| ユビキタス情報化社会の実現に向けた通信技術の一検討<br>—スペクトル拡散を応用した長距離無線通信の研究—                                                             | 土 居 信 数<br>滝 澤 尚 也                                                                                     | 131 |
| 「ものづくり基礎工学」における安全教育の推進と<br>ビジュアル教材の開発に向けた取り組み                                                                     | 城 石 英 伸<br>清 水 博<br>大 貫 繁 彦<br>大 塚 友 亮<br>西 村 二 宏<br>鈴 木 野 司<br>藤 降 矢 郎<br>中 村 田 父<br>新 賀 賀 浩<br>雅 章 一 | 137 |
| 全アルカリ度滴定装置の物質工学科および物質工学専攻学生実験への応用                                                                                 | 工 藤 節 子<br>城 石 英 章<br>雅 三 宏<br>高 井 知 世<br>石 谷 幸 世<br>三 谷 幸 世                                           | 141 |
| 『新撰万葉集』注釈稿（上巻 冬部 九八～九九）                                                                                           | 津 田 潔<br>半 澤 幹 一                                                                                       | (1) |

# Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 42 (2)

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| John GATES                                                                                                                                                                                                  | Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective<br>—Part I: The Method Chosen for Learning Finnish—                                                                                                               | 1   |
| Hajime NAKAZATO                                                                                                                                                                                             | Torsion points on elliptic curves with values in p-adic Lie extensions                                                                                                                                                         | 9   |
| Takeyoshi ONUMA                                                                                                                                                                                             | Size and orientation dependence on surface recombination<br>process in GaN crystals                                                                                                                                            | 15  |
| Keiichi ASANO<br>Kiyoshi TSUDA<br>Michiko FUNATO<br>Toshiyuki AIZAWA<br>Tsunemi TAKEDA<br>Masatoshi FURUYA<br>Yutaka KAWAMURA<br>Koji KAWAKITA                                                              | Fostering practical competence through liberal arts: implementing<br>'Liberal Arts Seminars' for the senior students of TNCT                                                                                                   | 19  |
| Sachi YOSHIDA<br>Tsunemi TAKEDA                                                                                                                                                                             | Collaborative Learning among Foreign and Japanese Students<br>in the 'Cross-cultural Understanding' Class                                                                                                                      | 41  |
| Hideki USHIO<br>Hideki OHNO                                                                                                                                                                                 | Physical class to improve the interest of students in physics                                                                                                                                                                  | 49  |
| Koji KAWAKITA                                                                                                                                                                                               | Codes of Ethics for the Teaching Profession                                                                                                                                                                                    | 53  |
| Sumio SAITO<br>Takahiro YAMASHINA                                                                                                                                                                           | Evaluation of Inherent Aerodynamic Characteristics of<br>Two Different Thick Blades Used as Wind Turbine Airfoils                                                                                                              | 63  |
| Sumio SAITO<br>Takahiro YAMASHINA                                                                                                                                                                           | Research on Aerodynamic Characteristics of Thin and Thick Blades<br>depending on the Presence or Absence of Streaky Features formed<br>on the Blade Surface during Creation of Wind Turbine Airfoils<br>with Stereolithography | 77  |
| Akihiro SHIMIZU<br>Hirosuke SUZUKI                                                                                                                                                                          | Development of Man-Machine Interface Driven<br>by Deformation of Cheek                                                                                                                                                         | 87  |
| Mitsunari KITAYAMA<br>Jun SHIRAKURA<br>Tengku Muhammad Idris Al Ariff<br>Shigeru KUROSAKI                                                                                                                   | Research on Identification of Impact Force Using Strain Response                                                                                                                                                               | 91  |
| Akira KAKUTA<br>Susumu TARAO<br>Hirokazu SAITO<br>Hirotaka TSUTSUMI<br>Jyo SHIMURA<br>Mitsunari KITAYAMA                                                                                                    | New Twist for Micromechatronics in Tokyo KOSEN<br>—2nd Report, Fabrication and Mechanical Property<br>of a Micro structure—                                                                                                    | 95  |
| Noritaka KOSAKA<br>Jyo SHIMURA<br>Shigeru KUROSAKI                                                                                                                                                          | Finite Element Stress Analysis for Single-lap Joints<br>Bonded CFRP and Aluminum Alloy under Tensile Loads                                                                                                                     | 99  |
| Hiroyuki NIKKUNI<br>Masashi OHKAWA                                                                                                                                                                          | Dependence of Resonance Frequency on Diaphragm Thickness<br>in a Guided-Wave Optical Microphone                                                                                                                                | 105 |
| Takuro HASHIMOTO<br>Atsushi DOI                                                                                                                                                                             | A Study of Evaluation Method for Reactive Power Pricing<br>in Power System                                                                                                                                                     | 109 |
| Tomohiko OHTSUKA<br>Yuji TATEIZUMI<br>Tomohiko KIMURA<br>Hiroyuki NIKKUNI<br>Satoshi MATSUOKA<br>Takenori NITTA<br>Tomoyo MITANI<br>Keiichi SASAKI                                                          | Carrier up Seminar on Electrical Engineering for Regional Engineers<br>and its Case Report                                                                                                                                     | 115 |
| Hiroyuki AOKI<br>Masaya YOSHIZAWA                                                                                                                                                                           | Locating a Target in an Image Based on Phase Only Correlation                                                                                                                                                                  | 119 |
| Hiroshi NAGAYOSHI<br>Kiyoyuki KOIKE                                                                                                                                                                         | Electronic Engineering Laboratory for Practical Electronic<br>Device Design                                                                                                                                                    | 123 |
| Nobukazu DOI<br>Naoya TAKIZAWA                                                                                                                                                                              | A study of communication technology for realizing a ubiquitous<br>information society<br>(Study of long-distance radio communication method applying<br>spread spectrum)                                                       | 131 |
| Hidehiko SHIROISHI<br>Akihiro SHIMIZU<br>Shigeo OHNOKI<br>Tomohiko OHTSUKA<br>Makoto NISHIMURA<br>Tohji SUZUKI<br>Hiroshi FUJINO<br>Tsukasa FURUYA<br>Genichiro NAKAMURA<br>Takenori NITTA<br>Akihiro SAIGA | Implementation of safety education into Fundamental Engineering<br>Laboratory and effort for development of visual educational material                                                                                        | 137 |
| Setsuko KUDO<br>Hidehiko SHIROISHI<br>Akihiro SAIGA<br>Mitsuo TAKAHASHI<br>Hiroyuki ISHII<br>Tomoyo MITANI                                                                                                  | Application of a Total Alkalinity Titrator to Laboratory Work by<br>Students of Chemical Science and Engineering,<br>and Advanced Engineering                                                                                  | 141 |
| Kiyoshi TSUDA<br>Kan'ichi HANZAWA                                                                                                                                                                           | The Annotation of the Shinsen-man'yōshū (18)                                                                                                                                                                                   | (1) |

# Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective

## —Part 1: The Method Chosen for Learning Finnish—

John GATES\*

This paper shows that Kosen students learning English and Kosen teachers learning a foreign language share the same problems of lack of time and motivation. Therefore, this paper outlines how the method for learning a foreign language proposed by Farber can be applied to the study of Finnish. By using this method to study Finnish, the author proposes to gain useful knowledge that can be used to improve the teaching of English to Kosen students.

(Keywords: English education, Finnish, Farber's method, foreign language learning, Kosen, Lorayne's memory method)

### 1. Introduction

There is a common saying in English, "You can't understand someone until you've walked a mile in their shoes." This idea is especially true for English teachers at a national college of technology (Kosen). Most of the Kosen students are very busy with their classes and extra-curricular activities and also they are not highly motivated to learn English because they can see no immediate need to use English. However, most English teachers have a strong interest in learning English and use it on a daily basis and therefore cannot fully appreciate the situation of most of the Kosen students. This must naturally result in less than optimal teaching methods. Therefore, English teachers should try to learn a foreign language in an environment similar to that of the Kosen students in order to understand the situation of the students better and there by find an optimal teaching method. To create this research environment, the author has decided to study Finnish while teaching English at a Kosen. This paper will explain the method chosen for learning Finnish while subsequent papers will document the progress, observations and experiences of the author.

The paper is organized as follows; the next section will compare the similarities between the author learning Finnish and the Kosen student learning English. The third section will explain the method chosen for learning Finnish, which is based on the method proposed by Farber [1]. The fourth section will present the evaluation criteria used to measure the author's progress in learning Finnish. The final section will summarize the conclusions and present the future work.

---

\* Department of Liberal Arts (English)



## **2. Comparison of a Student Learning English and a Teacher Learning Finnish**

The two main conditions that create a successful environment for learning a language are motivation and time. If a person is not motivated to learn a language they will not succeed no matter how much time they have. Also, if a person does not have sufficient time to learn a language they will not succeed regardless of how strong their motivation is. However, usually motivation is the largest condition as small amounts of time may be created in a busy schedule for language learning if the motivation to learn is great enough.

### **2.1. The Motivation of Kosen Students to Learn English**

A small percentage of Kosen students really want to learn English for its value in communicating with people outside of Japan. These students may want to learn English communication skills in order to talk with non-Japanese people. Or they may want to be able to read research papers written in English in order to understand the latest technology in their field. Also these students may want to be able to give a presentation in English or write a research paper in English. In any case, these students will try hard to learn English and will most likely succeed. On the other hand, a similar percentage of students strongly dislike studying English and have no motivation to learn. These students will most likely fail to learn anything in class and will probably fail the class or just do enough work to pass the course.

In general the majority of the students fall in between these two extremes and they realize that learning English could have some advantages for their future but do not believe it will impact their lives on a daily basis. Also, the advancement in translation software, such as Google Language Tools [2], further reduces the motivation for students to learn English. Therefore the greatest motivation for the majority of the students is that English is a compulsory subject and if they do not pass their English classes, they cannot advance to the next grade. In this case, the students will only really study English when it is time for a test. The rest of their time they use only Japanese. These students also will not progress very far in learning English unless the method used to teach them is interesting or they can learn a lot with little effort on their part.

### **2.2. The Motivation of a Kosen English Teacher to Learn Finnish**

There is no great motivation for the author to learn Finnish. Finnish is spoken by approximately six million people in the world [1] and therefore learning Finnish will not greatly increase the communication opportunities of the author. Also, the author

does not intend to live in Finland and so would not need to use the language for daily life. The author's Kosen does have an exchange program with Helsinki Metropolia University of Applied Sciences and there is the possibility of visiting Finland or talking with visiting students from Finland on campus. However, even in these situations, English could be used as most Finnish people speak English fluently.

As the author is a native speaker of English and is living in Japan, the environments in which English and Japanese were studied are completely different from the environment of a Kosen student trying to learn English. Therefore, the greatest motivation to learn Finnish is to understand how the majority of the Kosen students feel when learning English and to use this understanding to find an optimal teaching method. In this case, the level of motivation of an English teacher learning Finnish is a close approximation to the level of motivation of a Kosen student learning English.

### **2.3. The Busy Lifestyle of the Kosen Student**

Kosen students are busy. They have at least fifteen classes and one experiment each week. The classes, such as engineering and mathematics, are also high level classes that are taught at a very rapid rate. For example, calculus and linear algebra are taught in the second year at a Kosen, while engineering students who attend a regular high school and then go to university may not study these subjects until they have entered university. In order for the students to advance in this environment they need to study very hard. Also it takes a lot of time to write the lengthy reports for the experiments.

Most students are also busy with extracurricular activities, such as sports or other clubs. Many students require an hour or more to commute to school each day. Therefore most Kosen students do not have a lot of free time to devote to studying a foreign language.

### **2.4. The Busy Lifestyle of a Kosen English Teacher**

Kosen teachers are also very busy. They must teach seven or eight classes each week. The classes are usually ninety minutes long but most teachers spend a considerable amount of time preparing for the classes. Also, many teachers have to check homework or short tests or both each week.

In addition to the classes, Kosen teachers are required to supervise at least one club, which requires the teacher to attend sporting events or other activities away from the Kosen. Kosen teachers also have an official duty to perform at the school, such as being a homeroom teacher or a vice president, etc.

Also, there are many meetings that the teachers have to attend each week. In addition, Kosen teachers are encouraged to perform research and publish papers. In fact the amount of time the teachers spend in actual teaching is only a small fraction of the total work required.

It can be seen that most Kosen teachers have little time to study a foreign language, such as Finnish, just as most Kosen students have little time to seriously study English. Also the motivation for studying Finnish is similar to the motivation of the students for learning English. Thus, studying Finnish should create an environment similar to that of the Kosen student learning English. This also suggests that the method chosen for studying Finnish should reflect the needs of increasing motivation and maximizing time.

### **3. The Method**

The method chosen for learning Finnish is the one proposed by Farber in the book *How to Learn any Language. Quickly, Easily, Inexpensively, Enjoyably and on your Own* [1]. The title indicates this method is quick and enjoyable and therefore meets the two requirements of time and motivation. Before describing Farber's method in detail, the required materials must be described.

#### **3.1. The Materials for Learning Finnish**

Farber emphasizes that grammar is very important for learning a language and a good grammar textbook is required. Therefore two Finnish grammar textbooks were purchased [3][4]. Second, a dictionary is required, therefore a Finnish to English and English to Finnish dictionary [5] was purchased and another free dictionary was downloaded from the internet [6]. Third, a newspaper or magazine in the target language is required. This was satisfied by choosing an online Finnish newspaper [7]. Fourth, a phrase book [8] was purchased as well as some blank flashcards.

#### **3.2. The Method for Learning Finnish**

##### **3.2.1. Begin with Grammar**

The first step proposed by Farber is to learn the first five chapters of the grammar textbook. This is the most difficult part of learning the language as it is the least interesting while at the same time it is the most important. The student should spend some time and effort trying to understand everything in these grammar lessons. However, if there are ideas that are difficult to understand they may be skipped and returned to at a later time.

Therefore, the first five chapters in both Finnish grammar textbooks will be studied thoroughly. While studying these chapters, detailed notes will be taken of the Finnish grammar, the time required and the difficulties encountered in learning the grammar. Also, any insights for applying similar methods to the teaching of English will also be recorded.

### **3.2.2. Read the Newspaper**

Once the first five chapters of the grammar textbook have been studied thoroughly the student should start reading an article from a newspaper or magazine written in the target language. Start with the first paragraph in the article and highlight every unknown word. It is possible that every word in the paragraph may be unknown. Next, look up the meaning of each unknown word and write it on a flashcard. Several flashcards of unknown words will be made from the first paragraph. These words should be completely memorized. Then repeat the process of reading the next paragraph, highlighting the unknown words, looking up the meaning, and making and studying flashcards. Continue this process until the entire article has been read. After reading the first article from the newspaper, the sixth chapter in the grammar textbook should be studied. This process of reading an article from the newspaper and then reading the next chapter in the grammar textbook should be repeated until the entire grammar textbook has been read.

### **3.2.3. Studying Flashcards**

Making and studying flashcards is the most important part of Farber's method. Reading real articles in the target language at this point will result in the student encountering a lot of unknown vocabulary and grammar structures. So it is necessary to organize and learn these new words effectively. Farber suggests that the flashcards should be studied everyday and any time the student is free, even if it is only for a few seconds.

In order to remember the words quickly and retain the meaning he recommends the memory technique proposed by Lorayne [9]. Lorayne's memory technique is to make a ridiculous mental picture linking the unknown word to its meaning. For example, the Finnish word for 'cute' is 'söpö' which is pronounced like 'soupou' and this can be approximated as 'soup.' So, to remember the meaning of 'cute', make a mental picture of a big bowl of 'soup' being poured on a 'cute' girl. It is important that the mental picture actually be seen for a fraction of a second in the mind. This mental picture should be enough to recall the meaning of the word.

Also, Farber recommends learning vocabulary by starting with the English word and learning the equivalent word in the target language. This is opposite to the usual way students learn a foreign language. Usually students try to remember the meaning of the target word in the student's native language. The reason for reversing the order is that the purpose of learning a language is not to understand what the other person is saying but to communicate with them by speaking. This is a more active way to learn a language.

#### **3.2.4. Read the Phrasebook**

Once several articles from the newspaper have been read and several chapters of the grammar textbook have been studied, the next step is to start learning the phrasebook. This again is reversed from the normal way of learning a language where the student begins by learning some simple phrases in the language and after several months or years of study may begin to read real articles written in the target language. The reason Farber reverses the process is that learning basic and important phrases can be done much easier and the phrases become more useful after gaining a solid foundation of grammar and a large vocabulary.

### **3.3. The Study Schedule**

Learning a foreign language takes a lot of time so it is necessary to dedicate some time each day for studying the language. However, determining the time required to learn a language and how to find this time in a busy person's daily schedule is the most critical point of this research. Therefore a diary will be kept each day consisting of the total amount of study time, the quality of the study and the level of busyness for that day.

Arbitrary target times for daily study were chosen as a first step to find the most appropriate study times. On days when a teacher has classes the amount of study time is reduced and therefore the target study time was set at 30 minutes per day. On weekdays when a teacher has no classes there should be more time for study so the target study time was set at 60 minutes per day. On the weekends and holidays when a teacher is at home the target study time was set at 15 minutes per day. Therefore a Kosen teacher should be able to study about 210 minutes per week. A Kosen student takes three 90 minute classes per week, which is equivalent to 270 minutes per week. Therefore the proposed amount of study time is of the same order as that of Kosen students.

One of the major principles of Farber's method is to use "hidden moments."

“Hidden moments” means using all free moments to study the language. The size of a “hidden moment” may be as small as five or ten seconds, such as when waiting for an elevator. Farber suggests that the learner should study flashcards during these short intervals. Longer “hidden moments” may be obtained by listening to recordings of the target language while doing other work. “Hidden moments” help the learner to find extra study time outside of the proposed target study times. Also, they help to keep the learner interested in learning the language.

#### **4. Evaluation Criteria**

In order to evaluate the progress of learning the language and to decide at what point it can be said that the language has been “learnt,” it is necessary to define some quantitative levels of fluency. These levels are based on the four principle language skills of reading, listening, speaking and writing. The levels were arbitrarily chosen and are much lower than those of a native speaker. However, if these levels are obtained then the learner will be at a sufficiently advanced level that it would be easy to increase the level of fluency, if necessary.

Since reading is the fastest way to gain fluency in a foreign language most of the learning activities proposed by Farber are based on reading. Therefore the reading level must be very advanced. The arbitrary level for reading ability is to be able to read a 200 word article from a Finnish online newspaper in 5 minutes with at least 70% comprehension. The target of 200 words refers to the number of words in the article after it has been translated into English using Google translation software [2]. It is necessary to use the number of words after the article has been translated into English to provide a constant basis of comparison, because there is not a one-to-one correspondence of words in different languages. In order to measure the comprehension level, the ratio of known words to unknown words will be calculated. Also a qualitative estimate of the overall comprehension will be used. At first, it is doubtful that 200 words can be read in 5 minutes. Therefore until the reading speed has advanced to a sufficient level, the time taken to read the article will be used as a measure of reading comprehension.

For listening, the fluency level will be a qualitative estimate of more than 50% comprehension when listening to a Finnish newscast on the internet. For speaking, the fluency level will be speaking about general topics with a native speaker for 30 minutes in Finnish with about 70% comprehension. For writing, the fluency level will be writing a letter or email in Finnish containing relatively few grammatical and spelling errors. The length of the letter should be equivalent to 200 English words and it

should be completed within 20 minutes.

## 5. Conclusion and Future Work

This paper has compared the similar problems of lack of time and motivation that are faced by a Kosen student learning English and a Kosen teacher learning a foreign language. Then the language learning method proposed by Farber was presented and adapted to the study of Finnish. This method can be summarized as learning the basic grammatical points of the language and then reading articles written in the language to learn new vocabulary. This vocabulary is then memorized using the memorization techniques proposed by Lorayne. This paper also proposes minimum levels of fluency for the four basic skills of reading, listening, speaking and writing.

For future work, a Kosen teacher will study Finnish using the proposed method until the proposed fluency levels have been acquired. While studying, a detailed record will be kept of the total amount of time used, the quality of that study time, any problems encountered and how they were overcome and also any insights into how a busy person can learn a new language effectively. By analyzing this data, new ideas should be generated that can be used to improve Kosen English education.

## References

- [1] B. Farber, *How to Learn any Language. Quickly, Easily, Inexpensively, Enjoyably and on your Own*. Citadel Press, New York, NY, 1991.
- [2] [http://www.google.com/language\\_tools?hl=en](http://www.google.com/language_tools?hl=en)
- [3] T. Leney, *Teach Yourself Finnish Complete Course Package (Book + 2CDs)*. McGraw-Hill, Blacklick, OH, 2004.
- [4] F. Karlsson, *Finnish: An Essential Grammar (Essential Grammars). Second Edition*. Routledge, New York, NY, 2009.
- [5] V. Kataja, *Finnish Dictionary & Phrasebook*. Hippocrene Books, Inc., New York, NY, 2010.
- [6] <http://www.freelang.net>
- [7] <http://www.hs.fi/>
- [8] A. Flint, *Say It in Finnish (Dover Say It Series)*. Dover Publications Inc, Mineola, NY, 1983.
- [9] H. Lorayne, *How to Develop a Super-Power Memory*. Signet Non-fiction, New York, NY, 1985.

(Received Dec. 15, 2010)



# Torsion points on elliptic curves with values in $p$ -adic Lie extensions

Hajime NAKAZATO\*

We consider the torsion part  $E(L)_{tors}$  of the Mordell-Weil group  $E(L)$  of an elliptic curve  $E/F$  defined over  $F$  with values in a compact  $p$ -adic Lie extension  $L/F$ . If  $E$  has no complex multiplication, then there exists a finite set  $S$  of primes such that the  $\ell$ -primary part  $E(L)\{\ell\} = 0$  for  $\ell \notin S$ .

(Keywords: elliptic curve,  $p$ -adic Lie extension, torsion point)

## 1. Introduction

Let  $E/F$  be an elliptic curve over a number field  $F$ . We assume that  $E$  has no complex multiplication over any finite extension of  $F$ .

Let  $p$  be a prime. We say that  $L/F$  is a  $p$ -adic Lie extension if  $L/F$  is Galois and it is such that  $\text{Gal}(L/F)$  is topologically isomorphic to a compact  $p$ -adic Lie group  $\mathcal{G}$ . From now on, we assume that  $L/F$  is a  $p$ -adic Lie extension and  $\mathcal{G} = \text{Gal}(L/F)$ .

Let  $E(L)$  be the Mordell-Weil group of  $E$  with values in  $L$ . Using the notations of [7], for a positive integer  $m$  and a point  $P$  on  $E(L)$ , we let

$$[m]P = P + \cdots + P \text{ (} m \text{ terms)}.$$

Let  $E(L)_{tors}$  be the subgroup of torsion points on  $E(L)$ :

$$E(L)_{tors} = \{P | P \in E(L), \exists m \in \mathbb{Z} \text{ such that } m > 0 \text{ and } [m]P = 0\}.$$

For a prime  $\ell$ ,  $E(L)\{\ell\}$  denotes the  $\ell$ -primary part of the torsion subgroup  $E(L)_{tors}$ :

$$E(L)\{\ell\} = \{P | P \in E(L), \exists n \in \mathbb{Z} \text{ such that } n > 0 \text{ and } [\ell^n]P = 0\}.$$

We define the non- $p$ -primary part  $E(L)\{\text{non-}p\}$  of  $E(L)_{tors}$  by

$$E(L)\{\text{non-}p\} = \bigoplus_{\ell \neq p} E(L)\{\ell\}.$$

Therefore we have  $E(L)_{tors} = E(L)\{p\} \oplus E(L)\{\text{non-}p\}$ .

As for the  $\ell$ -primary part  $E(L)\{\ell\}$ , Mazur[1] obtained the following:

\* Department of Liberal Arts (Mathematics)



**Theorem** (Mazur). *If  $\ell \neq p$ , then  $E(L)\{\ell\}$  is a finite group.*

In this paper, we will obtain the following:

**Theorem 1.** *There exists a finite set  $S$  of primes such that  $E(L)\{\ell\} = 0$  for each  $\ell \notin S$ .*

Therefore  $E(L)\{\ell\} = 0$  for almost all  $\ell$ . We will describe the finite exceptional set  $S$  of primes, by the data of  $E, F, L$  and  $p$ . Using Mazur's Theorem and Theorem 1, we obtain the following:

**Corollary 2.** *The non- $p$ -part  $E(L)\{\text{non-}p\}$  is a finite group.*

On the other hand, Zerbes[8] obtained the following:

**Theorem** (Zerbes). *If  $E(L)\{p\} \neq E_{p^\infty}$ , then  $E(L)\{p\}$  is a finite group.*

Hence, by Corollary 2, we get the following corollary about the structure of  $E(L)_{\text{tors}}$ .

**Corollary 3.** *(i)  $E(L)\{p\}$  is finite  $\iff E(L)_{\text{tors}}$  is finite,  
(ii)  $E(L)\{p\}$  is infinite  $\iff E(L)_{\text{tors}}$  is infinite  $\iff F(E_{p^\infty}) \subset L$ .*

In our previous paper [3], we obtained a similar theorem for the case of  $\mathcal{G} = \text{GL}_2(\mathbb{Z}_p)$ . Hence Theorem 1 in this paper is a generalization of the old theorem by another method.

*Notation.* Let  $\mathbb{Z}$  be the integer ring. For a prime  $p$ ,  $\mathbb{Z}_p$  denotes the  $p$ -adic integer ring,  $\mathbb{Q}_p$  denotes the field of fractions of  $\mathbb{Z}_p$  and  $\mathbb{F}_p$  denotes the field  $\mathbb{Z}/p\mathbb{Z}$ . For a number field  $F$ ,  $\bar{F}$  denotes an algebraic closure of  $F$ . For a positive integer  $m$ ,  $E_m$  denotes the kernel of multiplication by  $[m]$  on  $E(\bar{F})$ .

## 2. Preliminary

We use the following definitions of Serre[5], IV-25. For a profinite group  $G$  and a simple group  $H$ , we say that  $H$  *occurs* in  $G$  if there exists closed subgroups  $G_1, G_2$  of  $G$  such that  $G_1$  is normal in  $G_2$  and  $G_2/G_1$  is isomorphic to  $H$ . We denote by  $\text{Occ}(G)$  the set of classes of finite non abelian groups occurring in  $G$ .

Our definition of standard subgroups follows Serre[4], part II, ch. IV, 8. Let  $U$  be a  $p$ -adic Lie group of dimension  $d$ , and let  $X, Y$  denote sets of  $d$  variables  $(X_1, \dots, X_d)$  and  $(Y_1, \dots, Y_d)$ , respectively. We say that  $U$  is a

*standard* group if it is topologically isomorphic to the set  $\{(g_1, \dots, g_d) : g_i \in p\mathbb{Z}_p\}$  with group operation given by a formal group law  $F(X, Y) \in \mathbb{Z}_p[[X, Y]]$ .

We recall the following facts about standard groups from [4].

**Lemma 4** ([4], part II, ch. IV, 8). *Every  $p$ -adic Lie group  $G$  has an open subgroup  $U$  which is a standard group.*

**Lemma 5** ([4], part II, ch. IV, 9, Cor. 2 of Thm. 2). *If  $p$ -adic Lie group  $U$  is standard,  $U$  is a projective limit of finite  $p$ -groups  $\{U_\alpha\}$  and each morphism  $U \rightarrow U_\alpha$  is surjective.*

Recall the following two facts from [5], IV-25.

*Fact A.* If a profinite group  $G$  is an extension of profinite groups  $G'$  and  $G''$  i.e.  $1 \rightarrow G' \rightarrow G \rightarrow G'' \rightarrow 1$  is exact, then

$$\text{Occ}(G) = \text{Occ}(G') \cup \text{Occ}(G'').$$

*Fact B.* If a profinite group  $G$  is a projective limit of  $\{G_\alpha\}$  :

$$G = \varprojlim G_\alpha$$

and each morphism  $G \rightarrow G_\alpha$  is surjective, then

$$\text{Occ}(G) = \bigcup_{\alpha} \text{Occ}(G_\alpha).$$

Using the above facts we get the following:

**Lemma 6.** *If  $U$  is a standard group, then  $\text{Occ}(U) = \emptyset$ .*

*Proof.* As a finite  $p$ -group  $G$  is solvable. Using Fact A repeatedly, we have  $\text{Occ}(G) = \emptyset$  for every finite  $p$ -group  $G$ .

By Lemma 5,  $U$  is a projective limit of finite  $p$ -groups  $\{U_\alpha\}$  and each morphism  $U \rightarrow U_\alpha$  is surjective. Using Fact B and the fact that  $U_\alpha$  is a finite  $p$ -group, we have

$$\text{Occ}(U) = \bigcup_{\alpha} \text{Occ}(U_\alpha) = \bigcup_{\alpha} \emptyset = \emptyset. \quad \square$$

**Lemma 7.** *If  $\mathcal{G}$  is a compact  $p$ -adic Lie group, then  $\text{Occ}(\mathcal{G})$  is a finite set.*

*Proof.* Since  $\mathcal{G}$  is a compact  $p$ -adic Lie group. By Lemma 4, there exists an open normal standard subgroup  $U$  of  $\mathcal{G}$ . Using Fact A and Lemma 6, we have

$$\text{Occ}(\mathcal{G}) = \text{Occ}(\mathcal{G}/U) \cup \text{Occ}(U) = \text{Occ}(\mathcal{G}/U).$$

As  $\mathcal{G}/U$  is a finite group. The set  $\text{Occ}(\mathcal{G})$  is finite.  $\square$

### 3. Proof of Theorem 1

We define the Serre set of  $E/F$  to be

$$S(E/F) = \{\ell \mid \ell \text{ is a prime such that } \text{Gal}(F(E_\ell)/F) \not\cong \text{GL}_2(\mathbb{F}_\ell)\}.$$

For we assume that  $E$  has no complex multiplication. By the celebrated theorem due to Serre[6], the Serre set  $S(E/F)$  is finite.

The following lemma is well-known:

**Lemma 8.** *If  $\ell$  is a prime such that  $\ell \geq 5$ , then  $\text{PSL}_2(\mathbb{F}_\ell)$  is a non abelian simple group.*

Using this lemma, we define a set  $S$  of primes by

$$S = S(E/F) \cup \{p, 2, 3\} \cup \{\ell \mid \ell \text{ is a prime such that } \text{PSL}_2(\mathbb{F}_\ell) \in \text{Occ}(\mathcal{G})\}.$$

By Lemma 7,  $S$  is a finite set. By the definition of  $S$ , if a prime  $\ell$  is not contained in  $S$ , then (i)  $\text{Gal}(F(E_\ell)/F) \cong \text{GL}_2(\mathbb{F}_\ell)$  and (ii)  $\text{PSL}_2(\mathbb{F}_\ell) \notin \text{Occ}(\mathcal{G})$ .

**Lemma 9.** *For a prime  $\ell$ , if  $\ell \notin S$ , then  $E(L)_\ell = 0$ .*

*Proof.* We assume that  $\ell \notin S$ . If  $E(L)_\ell \neq 0$ , then there exists a non-zero point  $z \in E(L)_\ell$ . We define an  $\mathbb{F}_\ell$  vector subspace of  $E(L)_\ell$  by

$$V = \mathbb{F}_\ell[\text{Gal}(\bar{F}/F)]z \subset E(L)_\ell.$$

As  $z \neq 0$ ,  $\dim_{\mathbb{F}_\ell}(V) = 1$  or  $2$ .

Case 1:  $\dim_{\mathbb{F}_\ell}(V) = 1$ .

The  $\mathbb{F}_\ell$  vector subspace  $V \subset E_\ell$  is  $\text{Gal}(\bar{F}/F)$ -stable. Considering the representation  $\bar{\rho}_\ell$  defined by the action  $\text{Gal}(\bar{F}/F)$  on  $E_\ell$ ;

$$\bar{\rho}_\ell : \text{Gal}(\bar{F}/F) \longrightarrow \text{Aut}(E_\ell) \cong \text{GL}_2(\mathbb{F}_\ell),$$

we see that the image of  $\text{Gal}(F(E_\ell)/F)$  is contained in a certain Borel subgroup of  $\text{GL}_2(\mathbb{F}_\ell)$ . This fact contradicts (i)  $\text{Gal}(F(E_\ell)/F) \cong \text{GL}_2(\mathbb{F}_\ell)$ .

Case 2:  $\dim_{\mathbb{F}_\ell}(V) = 2$ .

Since  $\dim_{\mathbb{F}_\ell}(E_\ell) = 2$ . We have  $E_\ell = V$ . As  $E_\ell = V \subset E(L)_\ell$ , we have  $F(E_\ell) \subset L$ . Thus there exists a surjective homomorphism

$$\varphi : \mathcal{G} = \text{Gal}(L/F) \twoheadrightarrow \text{Gal}(F(E_\ell)/F) \cong \text{GL}_2(\mathbb{F}_\ell).$$

Hence, by Fact A, we have

$$\text{Occ}(\mathcal{G}) \supset \text{Occ}(\text{GL}_2(\mathbb{F}_\ell)) \ni \text{PSL}_2(\mathbb{F}_\ell).$$

This contradicts (ii)  $\text{PSL}_2(\mathbb{F}_\ell) \notin \text{Occ}(\mathcal{G})$ .

Therefore we have  $E(L)_\ell = 0$ . □

As  $E(L)_\ell = 0 \iff E(L)\{\ell\} = 0$ , Lemma 9 implies Theorem 1.

## References

- [1] B. Mazur: Rational Points of Abelian Varieties with Values in Towers of Number Fields. *Invent. Math.*, **18**, 183–266 (1972).
- [2] H. Nakazato: Torsion Points on Elliptic Curves without Complex Multiplication. Research Reports of Tokyo National College of Technology, No.33(1), 23–27 (2001).
- [3] H. Nakazato: Torsion Points on Elliptic Curves without Complex Multiplication II. Research Reports of Tokyo National College of Technology, No.38(1), 1–5 (2006).
- [4] J. P. Serre: *Lie Algebras and Lie Groups*. Benjamin, 1965.
- [5] J. P. Serre: *Abelian  $\ell$ -Adic Representations and Elliptic Curves*. Benjamin, 1968.
- [6] J. P. Serre: Propriétés galoisiennes des points d'ordre fini des courbes elliptiques. *Invent. Math.*, **15**, 259–331 (1972).
- [7] J. H. Silberman: *The Arithmetic of Elliptic Curves*. Graduate Texts in Math., Vol. 106, Springer-Verlag, Berlin and New York, 1986.
- [8] S. L. Zerbes: Selmer groups over  $p$ -adic Lie Extensions I. preprints April 27, 2004.

(Received Dec. 17, 2010)

# サイズ・面方位の異なる GaN 結晶における表面再結合過程

尾 沼 猛 儀\*

Size and orientation dependence on surface recombination process in GaN crystals

Takeyoshi ONUMA

Influences of the surface recombination on the emission properties of the freestanding GaN with different polarity (+c and -c orientations) and forms were investigated. The time-resolved photoluminescence measurements for the GaN pieces fabricated by cleaving the substrate indicated that the increase in surface/volume ratio led to the increase in the surface recombination rate even at low temperature. The excitation power density dependent photoluminescence measurements on as-received and buffered hydrofluoric acid treated c-plane GaN surfaces indicated that the surface band bending was closely related to the surface recombination processes.

(Keywords: GaN, surface recombination, photoluminescence, time-resolved photoluminescence)

## 1. はじめに

(Al,In,Ga)N 窒化物半導体は、バンドギャップエネルギーを 6.01 eV (AlN) から 0.65 eV (InN) まで変化させることができるため、遠紫外線から通信波長領域までの波長の発光・受光素子へ応用が期待出来る[1,2]。しかし、発光効率が極めて高い波長は 400~520 nm 程度に限られており、それよりも短波長域では AlGaIn 材料の低転位化が困難なこと、それよりも長波長（可視）域では、低温成長に伴う InGaIn 材料の結晶性の劣化に加えてウルツ鉱構造の c 軸方向に発生する分極の増大によって歪量子井戸に分極電場 ( $F_{pol}$ ) [3-5]が発生し、電子と正孔の波動関数が分離されて発光遷移確率が低下してしまう（量子閉じ込めシュタルク効果）点が問題とされてきた。

一般に発光素子の外部量子効率 ( $\eta_{external}$ ) は、内部量子効率 ( $\eta_{int}$ )、注入効率 ( $\eta_{inj}$ )、光取り出し効率 ( $\eta_{extract}$ ) の積により表される。結晶そのものの品質改善は必須であるが、図 1 に示すように効率改善に向けた様々なアプローチが試みられている。例えば、(1)a, m 面などの非極性面や半極性面へ素子を作成し、 $F_{pol}$  を抑制して  $\eta_{int}$  向上を試みる手法[6]。(2)ナノコラム、ナノピラーなどナノ構造を利用する手法[7]。ナノコラムには転位が含まれないため  $\eta_{int}$  向上が期待できる他、幾何学配置から  $\eta_{extract}$  向上も期待できる。(3)ナノホールなどのフォトニック構造による  $\eta_{extract}$  の向上[8]、(4) 表面プラズモンによる  $\eta_{int}$  の向上[9]等が挙げられる。

近年、自立 GaN 基板の高品位化により、非・半極性面素子の  $\eta_{external}$  は c 面素子のそれに迫る勢いである[6]が、さらに凌駕するためには、面方位依存性を考慮した表面再結合過程の影響等を詳細に検討し素子設計を

行う必要がある。また、(2)、(3)では、表面/体積 (S/V) 比増加により表面再結合過程の影響が無視できない。しかし、表面状態に関しては、理論的研究の報告[10]はあるものの、実験的研究の報告は少なく、表面準位のエネルギー位置や密度など基本的なパラメーターすら明らかになっていない。

以上のような背景から、本研究では、フォトルミネセンス (PL) 法と時間分解フォトルミネセンス (TRPL) 法を用い分極の有無、S/V 比の変化が表面再結合過程に与える影響を調査した。

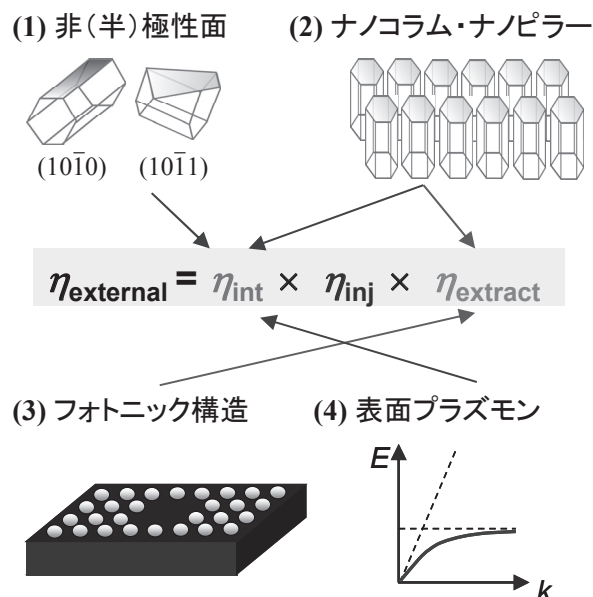


図 1 窒化物半導体発光素子の発光効率改善に向けた様々なアプローチ

## 2. 実験

測定に用いた試料は、ハライド気相成長法で作製した厚さ約 450  $\mu\text{m}$  の  $c$  面自立 GaN 基板である。同基板は、FIELO (facet-initiated epitaxial lateral overgrowth) 法 [11] と呼ばれる横方向成長法を用い作製されており、転位密度が  $10^7 \text{ cm}^{-2}$  以下、残留電子密度が  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  まで低減されており光学的に優れた特性を示す [12,13]。また、同基板を劈開し結晶粒 (pieces) を作製した。結晶粒の大きさは直径 0.1~1  $\mu\text{m}$  程度で、沈降法 [14] を用いて Si 基板上に堆積させた。

PL 測定では、励起光源に He-Cd レーザー (波長 325 nm、励起パワー密度  $P=3.2\sim 32 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ )、またはチタンサファイアレーザーの第 2 高調波 (波長 355 nm、平均励起パワー密度  $P=70 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) を用いた。PL は、分光器で分光し、光電子増倍管を用いて位相検波した。TRPL 測定では、励起光源に繰り返し周波数 80 MHz、パルス幅約 10 ピコ秒のチタンサファイアレーザーの第 2 高調波 (波長 355 nm、1 パルスあたりの励起エネルギー密度  $P=0.88 \mu\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) を用いた。測定は 4 K と 300 K で行った。TRPL 信号は時間分解能 0.12 ns の時間相関単一光子計数システム [13] を用い観測した。

## 3. 結果と考察

窒化物半導体は  $c$  軸方向に反転対称性がなく同軸が分極軸となる [5]。分極方向により  $c$  面には、+ $c$  (Ga) 極性、- $c$  (N) 極性と呼ばれる 2 つの表面が表れる。図 2 に示すように、+ $c$  (- $c$ ) 表面で測定した 300 K における PL スペクトルには、3.406 eV (3.401 eV) に半値全幅 65 meV (67 meV) のバンド端発光が観測された。ま

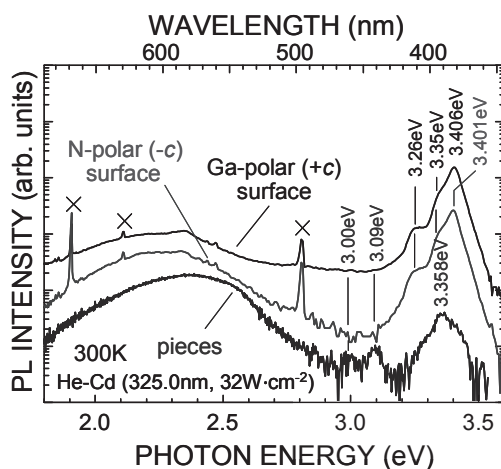


図 2  $c$  面自立 GaN 基板の Ga (+ $c$ ) と N 極性 (- $c$ ) 表面及び同基板を劈開した結晶粒 (pieces) の 300 K の PL スペクトル。×印はレーザープラズマの散乱光を示す。

た、3.35 と 3.26 eV 付近にはこれらのピークの光学フォノン (LO) レプリカが観測された。ただし、観測したエネルギー間隔 (56~90 meV) は GaN の LO フォノンエネルギー ( $A_1$  (LO) モードは 92 meV、 $E_1$  (LO) モードは 93 meV [15]) と一致していないため、他の発光起源の奇与も考えられる。これらに対し、結晶粒では 3.358 eV にバンド端発光ピークが観測され、3.4 eV 付近の発光は高エネルギー側の肩として現れた。また、3.09 と 3.00 eV には起源の不明な発光ピークが観測されており、基板の劈開時に不純物や欠陥が形成されたことを示唆している。

再結合過程を比較するため、各試料の 4 K と 300 K における TRPL 信号を図 3 にまとめる。+ $c$  (- $c$ ) 表面の TRPL 信号は二成分指数関数型の減衰特性を示し、4 K と 300 K での PL 寿命 ( $\tau_{\text{PL}}$ ) はそれぞれ 1.5 (0.98) と 0.55 (0.91) ns であった。これに対し、結晶粒の TRPL 信号はストレッチ指数関数型の減衰特性を示し、4 K と 300 K での  $\tau_{\text{PL}}$  はそれぞれ 0.20 と 0.12 ns であった。ただし、300 K での  $\tau_{\text{PL}}=0.12 \text{ ns}$  はシステムの時間分解能と同じであったため、実際はこれよりも短いと考えられる。以上のように、 $c$  面基板には極性方向による差は見られなかったが、結晶粒になると低温、室温共に  $\tau_{\text{PL}}$  の減少が観られた。一般に、非輻射再結合過程は低温で凍結されるため、4 K では輻射再結合寿命 ( $\tau_r$ ) が、300 K では非輻射再結合寿命 ( $\tau_{\text{nr}}$ ) が支配的となる。従って 300 K での  $\tau_{\text{nr}}$  の減少は、劈開による非輻射性欠陥の形成を示していた。一方、4 K での  $\tau_{\text{PL}}$  の減少は、単純に  $\tau_r$  の減少では説明できず、S/V 比増加による表面再結

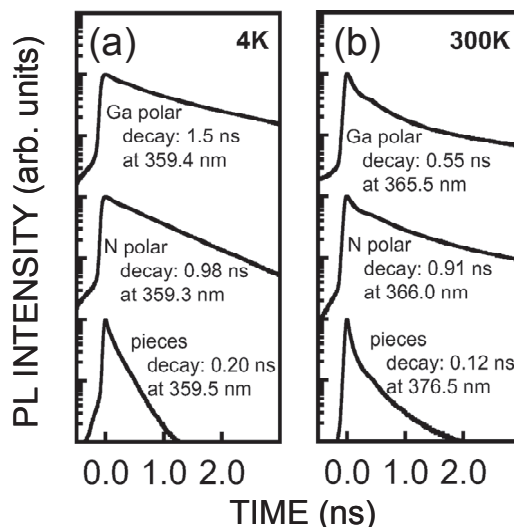


図 3  $c$  面自立 GaN 基板の Ga (+ $c$ ) と N 極性 (- $c$ ) 表面及び結晶粒 (pieces) の TRPL 信号



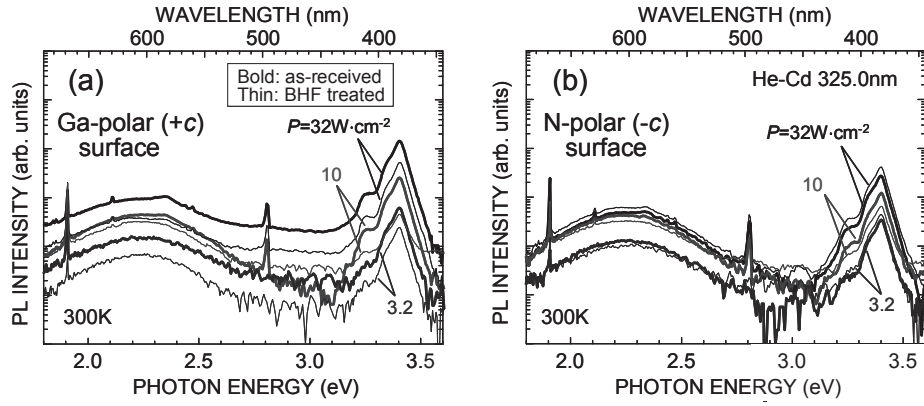


図4  $c$  面自立 GaN 基板の (a) Ga (+ $c$ ) と (b) N 極性 ( $-c$ ) 表面における BHF 処理前後の 300 K の PL スペクトルの比較。励起パワー密度  $P$  は  $3.2 \sim 32 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$  で変化させた。太い線は BHF 処理前、細い線は処理後のスペクトルを示す。

合割合の増加が低温でも無視できないことを示している。今回、劈開のみで、特別な表面プロセスを施さなく表面再結合過程の存在を示唆する結果が得られたことは大きな収穫であった。今後は、沈降法[14]によるサイズ選択を行い表面再結合速度を定量化する予定である。

次に、 $c$  面基板に BHF (buffered hydrofluoric acid) 処理を施し、処理前後の 300 K での PL 強度を比較した。図4に示すように①処理無しでは  $+c$  表面の方が  $-c$  表面よりも 2~5 倍強度が大きかった。②BHF 処理後には  $+c$  表面では PL 強度の減少、 $-c$  表面では PL 強度の増加が観測された。結果①、②を図5に示す再結合モデルと以下に示すレート方程式を用い考察する。表面再結合過程を加味すると光励起された電子のレート方程式は下式で表される[8]。

$$\frac{dn}{dt} = G - \frac{n}{\tau_{nr}} - \frac{n}{\tau_r} - \frac{n}{\tau_{nr,surf}} \quad (1)$$

ここで、 $n$ 、 $G$ 、 $\tau_{nr,surf}$  はそれぞれ電子密度、生成レート、表面再結合寿命を表す。尚、同方程式は  $n$  を  $p$  とすることにより正孔にも適用できる。(1)式の右辺第2、第3

項は、それぞれバルク領域での非輻射、輻射再結合レートを表す。このレート方程式から  $\tau_{PL}$  は

$$\frac{1}{\tau_{PL}} = \frac{1}{\tau_{nr}} + \frac{1}{\tau_r} + \frac{1}{\tau_{nr,surf}} \quad (2)$$

発光効率  $\eta$  は

$$\eta = \frac{1/\tau_r}{1/\tau_{nr} + 1/\tau_r + 1/\tau_{nr,surf}} \quad (3)$$

で表される。

一般に、 $n$  型半導体表面では、深いアクセプタ型の欠陥や酸素の吸着などにより表面でバンドが上に曲がる。このため、光励起されたキャリアのうち電子は表面から結晶内部（バルク）へと拡散し、少数キャリアである正孔は表面へと拡散し表面状態に捕獲される。表面状態には障壁を越えて捕獲されていたバルク電子が存在するため、これと拡散した正孔が表面再結合すると考えられている[16]。従って、輻射再結合はバルク領域でしか起きない。これに対し、窒化物半導体では  $c$  軸方向に発生する自発分極により、 $+c$  表面ではバンドが上に曲がり、 $-c$  表面では  $n$  型であっても下に曲がる

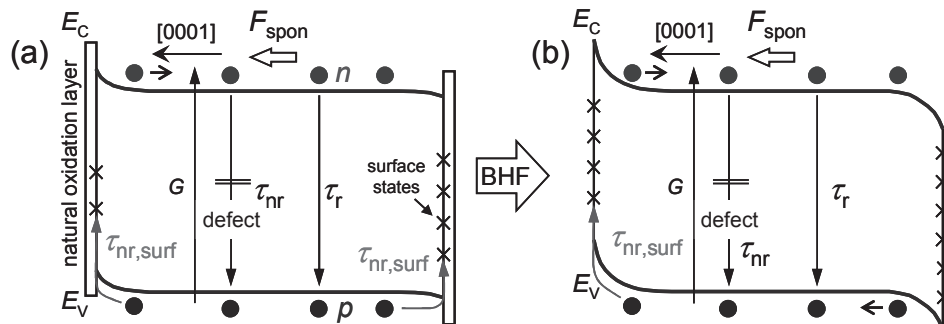


図5 BHF 処理 (a) 前 (b) 後の  $c$  面自立 GaN 基板の  $+c$  ( $-c$ ) 表面における再結合モデル



[17]ために、より多くのバルク電子が $-c$  表面に捕獲される。また、 $-c$  表面では Ga の末結合手が $+c$  表面のよりも 3 倍多いため、結晶成長時に不純物の取り込みが多く[18]、表面状態を形成しやすい。これらの結果、BHF 処理前の PL 強度の差 (結果①) が現れたと考えられる。BHF 処理後は、表面状態が活性化されると同時に  $F_{\text{pol}}$  が増強される。その結果、 $+c$  表面では正孔は表面側に拡散するが、 $-c$  表面ではポテンシャル障壁により表面への正孔の拡散が妨げられ、BHF 処理前後の PL 強度の変化の差 (結果②) が現れたと考えられる。すなわち、 $-c$  表面への正孔の拡散の抑制が、BHF 処理後の PL 強度の増加に奇与していると考えられる。以前の実験報告[16]によると、光励起により生成されたキャリアによるバンドベンディングの減少量は高々 0.1 eV 程度であったため、上記の考察は妥当と考えられる。今後は、このモデルをさらに定量化するため、BHF 処理前後の試料の TRPL 測定を行い比較する予定である。

#### 4. まとめ

分極の有無、S/V 比の変化が表面再結合過程に与える影響を調査するため、 $c$  面自立 GaN 基板と、同基板を劈開し作製した結晶粒に対し PL と TRPL 測定を行った。その結果、今回は、劈開のみで、特別な表面プロセスを施すことなく GaN 表面における表面再結合過程の存在を示唆する結果が得られた。BHF 処理前後の  $c$  面基板の PL 強度の比較から再結合モデルを構築した。今後は、同モデルの定量化を進める予定である。

#### 謝辞

本研究に際し、試料やフォトルミネセンス装置を提供頂いた工学院大学 本田徹教授、ならびに実験に協力いただいた工学院大学 坂井直之君、奥島隆嗣君に感謝申し上げます。時間分解フォトルミネセンス装置を提供頂いた金沢工業大学 山口敦史教授に感謝申し上げます。本研究の一部は、科研費若手研究 (B) (#21760227) 及び平成 22 年度東京高専・重点配分経費の援助を受けた。

#### 参考文献

[1] For example, see S. Nakamura and G. Fasol: The Blue Laser Diode (Springer, Berlin, 1997).  
 [2] I. Akasaki and H. Amano, Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 **36**, 5393 (1997).  
 [3] S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. **69**, 4188 (1996); S. Chichibu, A. Abare, M. Mack, M. Minsky, T. Deguchi, D. Cohen, P. Kozodoy,

S. Fleischer, S. Keller, J. Speck, J. Bowers, E. Hu, U. Mishra, L. Coldren, S. DenBaars, K. Wada, T. Sota, and S. Nakamura, Mater. Sci. Eng. B **59**, 298 (1999); S. F. Chichibu, A. Uedono, T. Onuma, B. A. Haskell, A. Chakraborty, T. Koyama, P. T. Fini, S. Keller, S. P. DenBaars, J. S. Speck, U. K. Mishra, S. Nakamura, S. Yamaguchi, S. Kamiyama, H. Amano, I. Akasaki, J. Han, and T. Sota, Nat. Mater. **5**, 810 (2006); Philos. Mag. **87**, 2019 (2007).  
 [4] T. Takeuchi, S. Sota, M. Katsuragawa, M. Komori, H. Takeuchi, H. Amano, and I. Akasaki, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 **36**, L382 (1997).  
 [5] F. Bernardini and V. Fiorentini, Phys. Rev. B **57**, R9427 (1998).  
 [6] J. S. Speck and S. F. Chichibu, MRS Bull. **34**, 304 (2009), and references therein.  
 [7] H. Sekiguchi, K. Kishino, and A. Kikuchi, Appl. Phys. Express **1**, 124002 (2008).  
 [8] H. Kitagawa, T. Suto, M. Fujita, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda, Appl. Phys. Express **1**, 032004 (2008).  
 [9] K. Okamoto, I. Niki, A. Shvarts, Y. Narukawa, T. Mukai, and A. Scherer, Nature Materials **3**, 601 (2004).  
 [10] For example, see J. E. Northrup and J. Neugebauer, Phys. Rev. B **53**, R10477 (1996).  
 [11] A. Usui, H. Sunakawa, A. Sakai, and A. A. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 **36**, L899 (1997).  
 [12] A. A. Yamaguchi, Y. Mochizuki, H. Sunakawa, and A. Usui, J. Appl. Phys. **83**, 4542 (1998).  
 [13] A. A. Yamaguchi, M. Mochizuki, and M. Mizuta, Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 **39**, 2402 (2000).  
 [14] M. Akiyama, S. Egawa, K. Matsukawa, T. Honda, and H. Kawanishi, J. Vac. Sci. Technol. B **22**, 2201 (2004).  
 [15] T. Azuhata, T. Sota, K. Suzuki, and S. Nakamura, J. Phys.: Condens. Matter **7**, L129 (1995).  
 [16] S. A. Chevtchenko, M. A. Reshchikov, Q. Fan, X. Ni, Y. T. Moon, A. A. Baski, and H. Morkoç, J. Appl. Phys. **101**, 113709 (2007).  
 [17] R. Katayama, K. Onabe, H. Yaguchi, T. Matsushita, and T. Kondo, Appl. Phys. Lett. **91**, 061917 (2007).  
 [18] M. Sumiya, K. Yoshimura, K. Ohtsuka, and S. Fuke, Appl. Phys. Lett. **76**, 2098 (2000).

(平成 23 年 1 月 6 日 受理)

# 実践的能力としての教養

## —東京高専高学年用「教養ゼミ」の導入に向けて—

浅野敬一\*, 津田 潔\*, 船戸美智子\*, 相澤俊行\*,  
竹田恒美\*, 古屋正俊\*, 河村 豊\*, 川北晃司\*

Fostering practical competence through liberal arts: implementing  
'Liberal Arts Seminars' for the senior students of TNCT

Keiichi ASANO, Kiyoshi TSUDA, Michiko FUNATO, Toshiyuki AIZAWA,  
Tsunemi TAKEDA, Masatoshi FURUYA, Yutaka KAWAMURA, Koji KAWAKITA

This paper aims to report on the project designed for improving the quality of the Liberal Arts Seminars by the teachers of the Department of Liberal Arts at Tokyo National College of Technology (TNCT). In 2008 "the project team for reinforcing liberal arts education" was formed. In 2009, intensive discussion was held in order to examine what kind of liberal arts education was required to nurture 'top engineers' at TNCT and the teachers of English were invited to join the project. Each member of the project team worked on their own classes to improve the quality of teaching liberal arts. In this paper, we propose the goal of liberal arts education that we came up with through the discussion and report on the practice of teaching liberal arts that we conducted in the previous year. Lastly, we present the revised outline of 'Liberal Arts Seminars' for the year of 2011.

はじめに

本稿の目的は、東京高専一般教育科教員による「教養力強化プロジェクトチーム」の研究及び授業改善への取り組みを報告することである。

高専教育における一般科目の位置づけとしては、一つには高等学校と同程度の内容を修め、かつ専門科目履修のための基礎学力を養成することにある。一方で、高専は早くから、一般科目から専門科目への移行を段階的に進めるいわゆる「くさび型教育」を採用し、数こそ少ないが、高学年でも一般科目が配置されている。

ところが、専門科目にとっての「くさび型教育」が専門教育の早期開始という明確な利点を認識できる一方で、学年とともに配当科目・単位が減少する一般科目については、高学年科目の位置づけは必ずしも明確ではなかった。たしかに、高専本科4・5年生に大学学部1・2年相当の教養を備えるべきとの説明も可能ではある。しかし、高専5年生は最高学年として卒業研究等に取り組む学生

たちである。大学1・2年と高専4・5年を単純に同一視すべきではない。また、これから社会に羽ばたく学生にとっての教養や教養教育とは何か、この点も明確に定義すべきであろう。

そこで、東京高専では、2008年に当時の一般教科人文社会系の教員を中心とする「教養力強化プロジェクト」を発足、2009年には英語系の教員を加えながら、第一に本校の教育が目標とする「トップ・エンジニア」に必要な教養と教養教育についての研究、第二にその実践としての授業改善に取り組んできた。本稿では、このプロジェクトが考える教養教育の目標を提示した後、これを達成する授業改善等の実践を報告する。

### I. 高専の教養教育

本プロジェクトは、2008年の発足以来、狭義の授業改善にとどまらず、教養の概念そのものについても議論を深めてきた。結果、教養の内容を多義的に理解すべきこと、時代による内容の変化を

伴いながらも常に教養が必要とされることを確認してきた<sup>1</sup>。

同時に、われわれは、教養教育の内容は、「教養」のすそ野の広さに比して、かなり限定的にならざるを得ないことも確認した。教養教育は、とくに実践的な技術者教育を使命とする高専においては、必然的に授業時間等の教育資源の制約に直面する。もちろん、教育資源の確保は重要である。しかし、高専の過密な教育課程を勘案すれば、とりわけ授業時間の捻出はきわめて困難である。よって、高専における教養教育の目標は、職業人や技術者が必要とする能力という観点から、教養をある種の「実学」としても考える必要があるだろう。また、教育の手段としては、「くさび型教育」の利点である教養教育と専門教育の連携に活路を見出すことができる。教養教育と専門教育との間での問いかけは、専門教育を受ける学生の視野を広げるだけでなく、専門教育（工学教育）を受けたゆえの知的好奇心を刺激できるためである。

さて、教養が職業生活に有用であるという主張は、最近の教養論においては一定の支持を得ている<sup>2</sup>。また、高等教育機関の教育においても、教養の実践性に着目した目標設定やカリキュラム設計が進んできた。たとえば、ヨーロッパ諸国共通の高等教育改革であるボローニャ・プロセスは、大学間のカリキュラムを調整する「チューニング」と呼ばれるガイドラインを提示している<sup>3</sup>。「チューニング」は、種々の学問領域に関して、学習成果目標、教授法及びカリキュラム等を提案しているが、専門能力だけでなく実社会で通用する「汎用能力」の育成を重視していることが特徴の一つである。ここでの「汎用能力」は、具体的には、知的活動全般に適用される、情報収集・選択、分析、総合、表現等の能力を指すが、教員の専門分野を基礎に、この「汎用能力」向上を意識した授業を実践することが有効とされる。歴史学に例にとれば、オーソドックスで解説の分量の多いテキストを用い、かつ小論文執筆等を課すことで、重要な事実、史料、解釈を理解しながら、「汎用能力」としての読解力と文章力の強化を図っている。つまり、ここでの歴史教育は、学術研究のみならず教養教育としての性格も兼ね備え、知識社会に不可欠な分析・批判・コミュニケーション能力を身につけた人間育成を目指しているのである<sup>4</sup>。

ボローニャ・プロセスは一例に過ぎないが、教育資源といえる各教員の専門性を最大限活用しながら、「汎用能力」としての教養を強化するアプローチは、高専の教養教育にも有効と考えられる。学生が自身の専門分野とは異なるたとえば人文科学や社会科学の知識を獲得しながら、同時に専門分野を含む知識を用いるための能力を涵養し得るからである。

本プロジェクトでは、こうした議論の積み重ねにより、各教員の専門分野を活かしながら、「学生のコミュニケーション力や批判的思考力をはじめとする幅広い実践的能力の強化」を共通目標とする授業改善に取り組んできたのである。

## II. 「日本文化論」を繞って（担当教員：津田潔）

### 1. 開設の背景

本校教養ゼミの一科目としての「日本文化論」の歴史をふり返ってみると、当初は専攻科科目の一つとして設定されたものであった。恐らく、技術者の海外出張を見据えて、あるいは外国人技術者との交流を念頭に、日本文化に対する一応の知識や自覚が、国際人として求められると判断されたのだろう。それはそれで、間違った判断ではない。日本文化に対する一応の知識や自覚は、誰にでも無いよりは有った方がいいに決まっているからである。ただ、問題はその中身であることは言うまでもない。

### 2. 授業内容と自己評価

今回の教養プロジェクトの一環として書かれた川北論文を改めて読み直してみたが、「教養はエリートに特に必要で…歴史の転換点に遭遇したとき、正しい方向に導くことがエリートの責任である」（小松秀樹）から必要であるとされる判断力を養成するところの教養、「現代社会は手段と目的の各領域での判断力を必要としており、これらの両方の判断力を結びつけ、教えるところの、一つの教養を必要としている」（Killius 他）とされる教養に対して、自分の科目の「日本文化論」がどれだけ有効かということを省みた場合には、まったく否定的な見解しか出てこない<sup>5</sup>。しかしそうした見解に対しても先の川北論文は、「教員は、自分の施す教育で子どもの教養をこれ以上傷つけない、傷つけたままにしないという原則を採用」すればよく、「その上で、必要に応じて付加的な、あるいは



代替的な教養なり知識なりを提供すべきだ」という逃げ道を用意してくれているので、とりあえずは、そこに逃げ込んでおくことにしよう<sup>6</sup>。

さて、多くの方もご存じのことと思うが、成田空港の出発ロビーには、『Hello JAPAN』というメイク・フレンズ・フォー・ジャパン・キャンペーン事務局発行の、19×10 cmで72ページほどの薄い無料の日本紹介パンフレットが置かれていた（今手にしているものは、'08/09 NO.21）。奥付には、編集が『Hello JAPAN』編集委員会、主催は日本政府観光局・産経新聞社、後援が国土交通省・外務省となっている。この主催や後援が何を意味するのか筆者にはよく分からないが、表紙にも日本政府観光局（JNTO）・産経新聞社とあるから、日本政府がその発行に関与していると考えることだけは許されるのだろう。その扉には、最上段に英文で、2段目には中国文（簡体字）で、3段目にハングル（2007年までは繁体字の中国文）で、そして最下段には「さあ、これから海外旅行へ出かけるあなたは、日本と世界の国々との架け橋となる「民間外交官」です。外国の人々と知り合い、日本のことが話題にのぼったら、この『Hello JAPAN』を開いて下さい。」と始まる日本語が書かれている。それを読んで初めて、このパンフが日本にやってきた外国人向けに作られたものではないと知った次第だが、その内容を簡単に紹介しておく。

まず、「ごあいさつ」として、日本政府観光局理事長の言葉、次に「世界の中の日本」と題して、面積や人口、主要都市、月ごとの平均気温、日本人の海外交流などの紹介がある。また「日本の「今」」では、百元ショップやリニアモーターカー、サブカルチャーの発信地としての秋葉原などの記事が簡単にまとめられている。

次に、PART1 日本の四季として、全部で25ページほどが割かれ、春には花見、入学式、ゴールデンウィーク、雛祭り端午の節句が取り上げられている。夏は、梅雨、お盆、高校野球が取り上げられ、更に夏の風物として、かき氷、うちわ、浴衣、風鈴、すだれが挙げられている。秋は、運動会、七五三、もみじ狩りが、冬には歳暮、正月、バレンタインデーが挙げられ、日本の伝統料理としておせち料理の紹介がある。PART2 日本を楽し

むでは、法隆寺に始まる11の世界文化遺産と、3つの世界自然遺産、および札幌雪祭りから博多どんたくまでの日本の各地の祭りが取り上げられている。最後のPART3 日本の文化を体験しようでは、和食の代表としてのおにぎりとその握り方、書道、折り紙と鶴の折り方、温泉の正しい入り方、歌舞伎が紹介されて、全体が終わっている。

以上長々と紹介したのは、私の授業項目の設定の仕方と、その項目自体とが重なる部分が少なくないからであるが、しかし換言すれば、私の授業などはこの薄っぺらなパンフ一つで事足りるということでもある。それを先の教養を養成するための授業に変えていくためにはどうするべきかが、今回のプロジェクト（少なくとも私の授業科目）に与えられた課題であったはずだが、未だに杳としてその見通しは立っていない。

### 3. 今後の課題

ところで、いま「文化」とは何かと問うたとき、小型辞書としては稀に見る定義を下す辞書があるが、それに依れば、

その人間集団の構成員に共通の価値観を反映した、物心両面にわたる活動の様式（の総体）。また、それによって創り出されたもの。〔ただし、生物的本能に基づくものは除外する。狭義では、生産活動と必ずしも直結しない形で真善美を追求したり獲得した知恵・知識を伝達したり人の心に感動を与えたりする高度の精神活動、すなわち学問・芸術・宗教・教育・出版などの領域について言う。この場合は、政治・経済・軍事・技術などの領域と対比され、そのこと強調するために「精神文化」と言うことが有る。また、最も広い用法では、芋を洗って食べたり、温泉に入ることを覚えたサル群れなど、高等動物の集団が後天的に特定の生活様式を身につけるに至った場合をも含める〕（山田忠雄（主幹）『新明解国語辞典 第6版』）

とあるから、文化を狭義に限らずに、今年で言えばリニア新幹線や「はやぶさ」等の衛星技術なども含めて、日本文化の一面として他の諸々の狭義の文化現象と共に受講生達がコンパクトに語ることが出来るようになれば、本校の学習・教育目標

(B) 日本語及び英語によるコミュニケーション力を身につけ、国際的に活躍しうる能力を持った

技術者の一部を達成することができたとしても、非難されないだろう。先のパンフの内容も、PART3 だけが文化なのではなく、それはむしろ伝統文化とでも言うべきものであり、その他の部分も広義の日本文化に属すると言えよう。

ただ、少し真面目に「日本文化論」の話をすれば、近時はこうした通俗学問は批判の対象にこそなれ、けっして推奨されるものではなくなったということだ。時流に阿るだけのこの種の学問のいい加減さがようやく一般的にも分かってきて、以前は専門家は黙殺するだけであったものが、批判の対象とされるようになったのは（たとえば、小谷野敦『日本文化論のインチキ』幻冬舎文庫、2010年5月）、個人的には好ましいことと考えている。

兎も角、今までも学生たちに課題を与える場合には、実証せよということを何度も言い続けてきたが、それに何を加えるかということが冒頭の課題に答えることに繋がるだろうと考えている。

### III. 「文章表現論」（担当教員：船戸美智子）

#### 1. 授業の目的

「文章表現論」は専攻科の科目であるが、人文ゼミⅢとして本科5年生でも履修できるようになり、来年度はそれが教養ゼミとして再出発することになる。本校では、本科3年で全員が実用的な文章作法を学ぶ「文章表現法」を習得しているので、この授業ではそれを踏まえて、さらにその一歩先をめざす。

学生は3年の時点で小論文はおおよそ書けるようになっているが、その小論文が読者を説得できているかどうかというと、残念ながら、そこまで辿りつかないというのが現状である。ならば、できあがった自分の表現にもう少し向き合い、どうすればよりわかりやすく、相手を説得できるのかということを考えていく必要がある。

そこでこの授業では、文章・口頭両面から、伝えたいことをどう効果的に表現するかという実用的なテクニックだけではなく、日本語表現の分析により、背後にある日本人の考え方に触れつつ、日本語表現の特質に迫りたいと考えている。さらにこの過程で、ゼミという方式を活かし、学生たちに口頭で発表させることによって、プレゼンテーション技術としての表現力や批評し合う中で培われるコミュニケーション力を養うことができ

ばと考えている。

#### 2. 授業の概要

ここでは、教養をより意識した内容にブラッシュアップした平成22年度の「文章表現論」の概要を紹介したい。

この授業には二つの柱がある。一つはこれまで習得してきた文章表現力を見直し、さらにわかりやすく伝えるにはどこをどのように直すべきか、理論から実作へと演習してもらうものである。わかりやすい文章の書き方の講義の後、演習として「高尾から東京高専への道案内」という宿題を課し、誰のどこがうまい表現なのか、実例を示しながら解説を加え、その上でさらに自分たちの解答に手直ししてもらった。

ものごとを説明するということは、わかっている本人にとってはけして難しいことではない。しかし、わからない相手に対して説明するにはそれなりの配慮が必要となる。ここでは土地勘のない中学生に説明するということを意識し、人の理解のしくみに沿った日本語の語順や語彙の選択などを考慮して表現力の強化を図った。

二つめの柱は、日本語を知ることである。ここではあえて、本校の学生たちがこれまでの工学教育の中で排除されてきた比喩表現に触れることにした。日本語を母国語としながら、日本人として日本語の豊かさをどこまで知っているかということになると、甚だ心許ない。特に本校では、日本文学や詩となると、目に触れずに過ごしてきた者が多いのではないか。そこで取り上げたのが、日比野克彦の「絨毯の上のカブトムシ」と題した前衛的な詩の一群である。これらの詩は一つとして文字が整然と並べられていない。文字の大きさ・文字の配置・文字の種類などすべてが、紙面をキャンバスとした一つの作品として描かれている。それをどう読むか、学生たちに挑戦してもらった。なぜこんなことをさせられるのか、最初は戸惑っていたに違いない。しかし、明確な答えが見つからないまま、学生たちと読み合い、知恵を出し合うことは、難解な謎を一つずつ紐解いていく楽しさがある。それは、言葉の字面を追って意味をとる「読み」とは違った、長年磨かれ続けてきた日本語という原石を「読み取る」ことの醍醐味でもあるのだ。

そして最後の締めは、広告表現という材料であ

る。テレビで流されるコマーシャルは、15秒から30秒といった短さで表現されている。その中のある広告は、その短い時間の中で言葉を投げかけ、人の意識に侵入する。それはいわば短い表現で人の頭に残るように計算されているという点で、日本語を熟知した職人による凝縮された究極の表現であるということも言えよう。

これを教材にしたのは、身近な素材の中で、日本語の知らなかった本質を学んでほしいという願いがあったからである。日本語の特質についてはある程度の予備知識はこちらから与えるが、自分たちが拾ってきた広告表現では、日本語のどんな特質がどう引き出されて使われているのか、それに各自が向き合い、分析し、発表して仲間と練り合ってもらう。それは容易いことではないが、この作業を経て、学生たちの中に日頃意識せずに使っていた日本語を、立ち止まって読み取ろうとする気持ちが生まれてくれば、この授業は一つの役割を終えたことになるのである。

### 3. 教養教育としての今後の課題

工学をめざす本校の学生たちにとっては、言葉は単なる道具だという意識が強い。そのため、自己表現するためには、表現方法を知りたいと望んでいる。では逆に、小手先の表現テクニックさえあれば、自分を相手に伝えることができるのだろうか。

実は、言葉をうまく操ることができれば、相手をマインドコントロールし、自分の思うように歪んだ方向へ人々を導いてしまうことができちゃうのも確かである。ヒトラーやオウム真理教の麻原彰晃の口頭表現の巧みさ、近年ではオレオレ詐欺の手法なども、人の心の隙をうまく突いて人心を動かすことに成功した表現例として捉えることもできる。

一方、言葉というのは不思議なもので、言わなくてもいい心の本音も言い表してくれることがある。現代の政治家を例にとっても、口が災いして更迭された例は枚挙に暇がない。

言葉とは何か。それを学生と共に考えていくことが私に課せられた教養教育だと考えている。言葉はコミュニケーションの基本である。まずは、日本語を誤解なく伝えていくにはどうすればいいのか、さらに自分の気持ちを豊かに表現し、先人の智慧を真摯に受け止め、周囲の相手の気持ちの

裏まで読み取る、そんな知恵や感性を磨くことも一つの教養なのではないか。

しかし、言葉は人の気持ちがあふれた形でもある。伝えたい気持ちがあれば、自然と形にもなるものだ。逆に中身がないのに、りっぱな言葉を引き出すのは無理なのである。

言葉を使うなら、それ以前に自分自身の中身を磨き、豊かにする必要がある。言葉はその未熟な中身ですら表してしまうからだ。その意味では、真の教養は言葉にあるのではなく、その人間性にあるとも言えるだろう。人間性を磨けば、言葉はついてくる。そのためには、この授業に限らず、人とのコミュニケーションの中で自分を見つめる機会を学生たちに与えることも必要だろう。その体験がひいてはグローバルな人間関係のあり方につながると信じたい。

## IV. 「スポーツにおけるエスニック・マイノリティ」(担当教員: 竹田恒美)

### 1. 「教養」の中身とゼミの方法論に関する考察

選択科目受講手引きの講義要目には、本ゼミについて次のような説明文を掲載した。「近代のプロスポーツにおけるエスニック・マイノリティ(社会的・政治的少数集団の意味)出身のアスリートの活躍に着目し、そのアスリートの生きた時代の社会的・文化的背景、アスリートとしてその種目において成し遂げた成果、さらにアスリートの心の内面の軌跡などを関連づけながら、彼らと彼らを取り巻く時代の光と影を浮き彫りにする。青年期における自我の確立とスポーツが果たす役割、人種差別とスポーツヒーローの緊張関係、スポーツビジネスにおけるマイノリティ・アスリートの果たした社会的役割等のテーマを受講者の問題関心に応じて取り扱う。」

このゼミを本年度新たに開設するに当たっては、授業の組み立て方(方法論)と、教養ゼミ全体に通底している共通目標との整合性に腐心した。教養ゼミⅠ~Ⅲの科目群はその設置の趣旨として「学生のコミュニケーション能力や批判的思考をはじめとする幅広い実践的能力の強化」を掲げている。そのことを敷衍して筆者なりに次のように本ゼミの授業内容を構成した。すなわち、「スポーツ」、「エスニック・マイノリティ」などをキーワードにして、学生自身が興味に応じてテーマ(本ゼミ



の場合、エスニック・マイノリティとして活躍するアスリートを選ぶことを指す）を設定させ、選んだアスリートについて「調べて、書く、発信する」という一連の課題を体験させる。そのことを最終的なゼミの目標に置くが、学期の前半では教員自身が一人のアスリートを選び、関連資料を提示しながらそのアスリートについて共に学ぶ。学生はそれをモデルとしながら各自が選んだアスリートについて「調べて書き」、学期の最後にはその成果を「発信する」というのが本ゼミのために計画した授業構成である。

この「調べて、書く、発信する」というフレーズは立花隆が東大教養学部で行った一連のゼミから借用したものである。立花は1995年から2009年にかけて東大教養学部でゼミを開講したが、それらは全部で3期に分かれている。そのうちの第1期では二十歳の東大生達が各界の著名人等にアポ取りから始めて、インタビューに出かけていき、その人の運命を変えた若き日の出来事について聞き出した。インタビューは後に『二十歳の頃』として本にもまとめられた。その中で立花はコンテンツとしての教養教育の中身の他に、実践的な知的能力としての「調べて書く能力」、「人を説得する能力」の重要性を説いている。本教養ゼミも立花ゼミに倣い、学生が自ら選んだテーマを「調べて、書き、」最後は「発信する」という枠組みに沿って授業を展開することとした。教養教育を行なう場合、学生はどういう学問領域を学ばなければならないかというコンテンツの議論とは別に、それを授業の中でどう取り扱うかという方法論そのものも教養教育の一部を構成していると筆者は考える。本稿のタイトルが「実践的な能力としての教養」と書かれていることもとも符合する。取り上げるテーマは当然のことながら個別的・限定的となるが、それを授業の中で扱う方法論は学生のモデルとなることを考慮して、出来る限り客観的に記述し、再現可能なものとするを旨とした。

## 2. 授業の構成

毎回の授業では、実例としてアメリカ野球界（大リーグ）の黒人アスリートを取り上げ、1次資料として New York Times 紙など当時の報道記事、自叙伝、小説、伝記、映像資料等を使い、多面的に対象とするアスリートに迫る。またその際に、英字新聞の紙面構成や語法上の特徴などを併

せて学ぶほか、聴き取り練習も取り入れる。受講者は自らの興味に応じてアスリートを選び、テーマを設定してリサーチし、学期の最後にプレゼンを行なう。

### (1) 毎回の授業内容（2010年度後期）

- 1回目 概要説明、アンケート  
[2～6回目は教員によるプレゼンテーション]
  - 2回目 アメリカ建国～奴隷制度廃止概観
  - 3回目 アメリカにおける野球の歴史概観  
白人と黒人のプロ野球の歴史
  - 4回目 ジャッキー・ロビンソン(J.R.)年表
  - 5回目 英字新聞の報道記事に見る J.R.
  - 6回目 小説に描かれる J.R.
  - 7回目 プレゼンテーションのテーマ中間報告
  - 8回目 映画『ジャッキー・ロビンソン物語』鑑賞
  - 9回目 映画『民族の祭典』鑑賞
  - 10回目 J.R. まとめ、プレゼン予告  
[以下は学生によるプレゼンテーション]
  - 11回目 小グループに分かれてプレゼンテーション練習
  - 12回目～15回目 プレゼンテーション
- (2) 成績評価方法（%は素点中の割合を示す）
- i) プレゼンテーション関連：
 

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| ①テーマ中間報告書提出                 | 5%  |
| ②テーマ決定・報告書提出                | 5%  |
| ③パワポ原稿提出                    | 15% |
| ④プレゼンテーション実施                | 25% |
| ⑤他学生のプレゼンを聴き、適切な質問・コメントをする。 | 20% |
  - ii) 毎回の授業で：
 

|              |     |
|--------------|-----|
| ⑥英語資料を使った課題。 | 20% |
|--------------|-----|
  - iii) その他：
 

|                   |     |
|-------------------|-----|
| ⑦映像資料を観てミニ・レポート提出 | 10% |
|-------------------|-----|

### (3) プレゼンに含める内容

- ・何故そのアスリートを選んだか。（個人的な思い入れがあれば、説明する。）
- ・そのアスリートが出現した当時の社会的状況・時代背景・歴史的情况
- ・そのアスリートのスポーツ上の業績（達成した記録・成績等）
- ・そのアスリートが社会・スポーツ界に与えた影響・インパクト



## (4) プレゼン実施要領

- ・各自には①プレゼン、②座長、③口頭質問、④評価表記入の4つの役割あることを説明する。
- ・発表時間10分とし、その後質疑に5分取る。
- ・Youtubeなどの動画をプレゼンに組み込んでもよいが、最大3分以内とする。
- ・座長、質問等の運営は交代で行なう。
- ・評価は①内容(興味深さ、面白さ)、②パワポ原稿の出来栄(分かりやすい仕上がりか)、③プレゼン・スキル(声の大きさ、明瞭さ、落ち着き、アイコンタクト等々)、④総合(総評)の4項目とする。

## (5) 中間報告時点で学生が選んだアスリート

- ・中田英寿(サッカー) 2名
- ・アーサー・アッシュ(テニス)
- ・マヌート・ボル(バスケット・ボール)
- ・ベン・ジョンソン(陸上競技)
- ・朝青龍(相撲)
- ・力道山(プロレス)
- ・砂子義一(カーレース)
- ・ジネディーヌ・ジダン(サッカー)
- ・川島永嗣(サッカー)
- ・ダドリー・ストークス(ボブスレー)
- ・キャシー・フリーマン(陸上競技)
- ・石井慧(柔道・Judo)
- ・ターザン(バスケットボール)
- ・モハメッド・アリ(ボクシング)

## (6) プレゼンテーションの練習

11回目の授業では、16名いる受講者を4人ずつの小グループに分けて自分のテーマについて簡潔に紹介する練習をした。それをグループのメンバーを入れ替えて3クール繰り返した。つまり、自分のテーマについて3回話す機会を持ったことになる。自分の調べているアスリートについて手短かに説明することによって、プレゼンに馴れさせることを目的としておこなったが、授業終了時に書かせたアンケートでは、その時の感想として「人の話を聞くことで調べ方や構成についてアイデアを得た」や「人に話をすることによって、頭の中が整理できた」などの積極的評価が見受けられた。



小グループでのプレゼンテーション練習

## 3. 反省と今後の検討課題

- ・授業の開始時にはアメリカ大陸入植、独立戦争、南北戦争、黒人奴隷制度と奴隷解放、野球の発祥、ニグロリーグの興隆、などを駆け足で辿ったが、背景知識としてどれくらい歴史を遡ったらいいか見当がつかなかった。もとより世界史は門外漢のため、資料収集も含めて手探り状態だった。背景的なことは授業外課題として参考文献を読ませる機会をもっと設けるべきだった。
- ・テーマ選定時にはデータの探し方などについてより詳しいアドバイスをすべきだった。筆者自身も初回の授業ということもあり、十分な準備を行なうことができなかった。
- ・本ゼミは初年度のため、本稿をまとめる時点ではまだプレゼンはおこなわれておらず、その部分については次回の報告に委ねたい。
- ・人数的には16名の受講者数は多すぎず、少なすぎず丁度よかった。

## V. 「ウォーキングゼミ」(担当教員: 古屋正俊)

## 1. ゼミの背景と目的

ウォーキングゼミでは、本稿の共通テーマである「これからのグローバル社会に対応できるトップ・エンジニアの養成に必要な実践的能力(教養)」の一つとしてウォーキングをとらえ、東京高専高学年用の「教養ゼミ」の導入に向けて、教材としてのその可能性・有効性について試行・検討した。

ゼミの教材としてウォーキングを取り上げた背景は以下の理由による。個人レベルでは、生活習慣病や老化を予防し、スタミナをアップし、ストレスを解消し、経費のかからない、いつでもどこでも誰にでも出来る、最も身近で人気の高い生涯スポーツとして実施されていること。また企業や自治体のレベルでは、従業員や地域住民の健康管理やメンタルヘルス、職場や地域への帰属意識や

一体感の向上、地域貢献やまちづくりイベントとして、ウォーキングへの期待が高まってきている点。さらには国のレベルにおいても、急速な少子高齢化社会を迎え国民医療費が増大する中で、国家的政策として「健康づくり」の必要性が叫ばれるようになり、健康増進政策として「健康日本21」や「健康フロンティア戦略」等が具体化され、いかに Quality of life（生活の質や人生の質）を向上させ、健康長寿国を目指すかが大きな課題となり、その解決策の一つとしてウォーキングが注目されている点である。

このようなウォーキングへの社会的関心や期待感、必要性の高まりの中で、理系エンジニアにとっても、高専卒業後の長い生涯の中で、仕事や地域との関連で、余暇や趣味として、あるいは健康維持のためにウォーキングを様々な場面で実践し、その必要性を実感する機会が多いであろう。前述したように、健康的なライフスタイルの実践は、今日的な喫緊の課題であり、社会的な要請ともいえる。ウォーキングは健康面への効用に加え、街や歴史や文化を再発見し、人生を楽しみ、人生を豊かにするツールでもある<sup>7</sup>。身近な散歩から、日本列島を歩いて一周するようなチャレンジまで<sup>8</sup>、その楽しみ方は幅広く奥深い。社会に巣立つ前の東京高専高学年用の実学的な「教養ゼミ」として、ウォーキングの実践体験を提供することの意義は大きいといえる。

本ゼミの目的は、ウォーキングの魅力を体験し、ウォーキングに対する理解とその実践的能力をスキルアップすることである。具体的には、東京高専周辺や東京都心部のコースを歩き、本校が立地する周辺地域や首都東京の魅力を再発見し、ウォーキングへの理解と健康づくりの意識の向上を目指し、さらには母校や郷土へのこだわりや愛着を醸成する機会になればと考えている。本ゼミのサブテーマは「そうだったのか東京高専！一歩いて気づく東京（高専）の魅力 ―」である。

## 2. ゼミの概要と今後の課題

東京高専の高学年用の「教養ゼミ」（選択必修科目）の導入として、平成21年度に実施した本ゼミの概要を資料2に示す。受講者は11名であった。初回のガイダンスと終回のまとめの授業を除いて、全て校外での集中授業方式で実施した。限られた授業回数の中で、本ゼミでは理論より実践を重視

し、実際に現地を歩くことによって、自らの五感での「気づきや発見」を引き出すことを意図した。本ゼミで歩く総歩行距離は75 kmとなった。

学生に万歩計を配布し、コースごとに歩数や距離、消費カロリー等のデータを記録し、体調管理と健康ウォーキングへの理解を促した。各コースはそれぞれにテーマを持って設定しており、学生にはコース概要の資料と地図を事前配布し、集合場所への交通経路等も含め、コース概要の事前理解を促した。また各コース沿いの主要な立寄りスポット（名所、旧跡、歴史文化財、主要施設、特徴のある町並みや地形等）では現場での解説（辻立ちの路上プレゼン）を担当させ、そのスポットの歴史的背景や特徴等を担当者が受講者に説明し、コースへの関心を深め知見を共有した。街頭で辻立ちする路上プレゼン方式は、人気スポットでは通行人も多く、物珍しそうに立ち止まって聞き入る人もいて、事前の調査力やプレゼン力、コミュニケーション力が、周囲の反応の中で実践的に試される貴重な機会となった。

路上プレゼンの担当箇所は、ガイダンス時に受講学生に選択させ、毎回3分程度のプレゼン内容を事前準備させ、各担当のスポットに歩いて到着するごとに実施した。プレゼン方法は口頭での解説が多いが、学生によっては図表や写真を準備したり、中には丁寧に挿絵を描いて紙芝居風に解説し周囲の関心を引く学生や、スポットに関連する唱歌等を皆で口ずさんだり、吟遊詩人風に一句詠ませてみたりと、工夫を凝らすプレゼンもある。本ゼミでは、単なる物見遊山的なウォーキングではなく、いくつもの街を通過しながら、各参加者が路上プレゼンすることにより、その現場ならではの「こだわり・気づき・発見」を促し、その街の雰囲気や個性を、自らの五感でそれぞれに実感できるようなウォーキングを目指した。街角での路上プレゼンは、辻芸人の話芸を楽しむような雰囲気もあり、和やかな休憩タイムとなった。

道中での「こだわり・気づき・発見」は、道中記として提出する事後レポートから読み取ることが出来る。学生たちの感性は鋭く豊かで、見知らぬ街の新鮮な驚きや感動が素直に記されている。中には数行で簡潔にレポートをまとめる学生もいるが、詳細な歩行データと共に写真入の数ページに及ぶ紀行文のような力作もある。道中記を読

むと、同じコースを歩いても、学生たちの「気づき」の対象は様々で、それぞれに異なる視点や感性の違いが想起されていて興味深い。街の匂いや息づかいのようなものまで感じ取っている。車ではもちろん、自転車やランニングでも味わえない、歩くペースが生む「気づき」であり、非日常性の中で、五感を研ぎ澄ませて歩いているからこそこの「気づき」である。道中記の抜粋は資料3に掲載している。

本ゼミはPDCAサイクルを意識して実施した。最初のガイダンスでゼミの目的とコースの概要を説明し、路上プレゼン箇所を分担した。事前準備(学修時間)としてコースやプレゼン箇所の事前調査をさせ、ウォーキングに向けての体調作りや天候判断、服装や持ち物等の準備をさせた。当日は、実際に歩行データを取りながらゴールを目指して踏破し、途中の立ち寄りスポットでは路上プレゼンを行った。実施後は事後レポートとして道中記を提出させた。道中記の作成を通して、反省点や課題を整理し「気づき」を再確認させ、次回への動機付けの機会とした。授業の最終回には全員が3分間スピーチを実施し、歩いてきたコースを振り返り、実施報告書を受講者に配布してゼミを終了した。

今回は「教養ゼミ」の導入として、教員がテーマ設定したコースを歩かせた。しかし、今後の課題として、本来のウォーキングの実践的能力を身につけさせるには、学生自らがテーマを設定しコース作りを行い、ガイドする機会を作ることも大切である。校外を歩く集中授業方式をとる本ゼミにとって、天候の影響は大きく、湿度や気温が高く天候が不安定な前期よりも、後期の方がウォーキングに適した気候といえる。平成22年度からはゼミを後期に変更している。また狭い路地裏や人混みの多いルートでの路上観察もあり、安全上の観点からも受講者数は多くても15名程度が限度であり、他の選択科目の受講者数とのバランスが懸念される。ウォーキングブームのためか、学生以外の参加希望もある。可能な範囲で受け入れているが、学生以外の参加者の場合は、旅行傷害保険等の加入も必要である。社会人は、学生よりもウォーキングへのニーズは高いと考えられ、将来的にはウォーキングゼミを社会人向けに開講することも検討の余地はある。

### 3. ウォーキングコースの概要

本ゼミでは下記の8コースを設定した。15km前後の都心部を中心とした終日のロングコースと、7km程度の学校周辺を歩く半日のショートコースである。平成21年度はその内の6つのコースで実施した。ロングコースは日本橋を起点にコース設定したが、コース作りには、生涯にわたって「ひとり歩き」を実践し、多くの都内散策の文学作品を著した永井荷風の「日下駄」を始め、東京の町歩き関連の著作からヒントを得た<sup>9)</sup>。特に今回の都心部コースは、東京らしさの再発見と文学作品の追体験を意図して、下町の路地を巡るコースを多く取り入れた。(コース地図は資料4を参照)  
◇ロングコース(終日コース:各コースは授業4回分として実施)

①大江戸・都心縦断ウォーキング(15kmコース)  
首都東京を代表し、日本の歴史、伝統、芸術、文化、商業、政治、経済の中心地を歩く。コースは五街道の起点で魚河岸発祥の地の日本橋から三越本店、三井本店、日本銀行本店、東京駅、江戸城、皇居、桜田門、警視庁、国会議事堂、最高裁判所、国立劇場、迎賓館、神宮外苑、国立競技場、東京体育館、明治神宮、原宿駅に至る。

②両国・浅草・柴又ウォーキング(18kmコース)  
日本を代表する観光地の浅草を巡り、荷風の愛した路地裏を徘徊し、「男はつらいよ」のゆかりの地の柴又を目指し、江戸東京の下町情緒を満喫する。コースは相撲の両国国技館から、隅田川沿いに浅草寺を目指し、桜橋、墨堤桜、鳩の街通り、向島百花園、白髭神社、荒川を渡り、堀切菖蒲園、柴又帝釈天、江戸川の矢切の渡しに至る。

③隅田川リバーサイドウォーキング(13kmコース)

大江戸を支えた水運河川の隅田川を南下し、重要文化財の橋や江戸の運河を渡り、水の都・東京を実感しながら築地・銀座を目指す。コースは両国周辺の相撲部屋巡りから、隅田川テラス沿いに芭蕉庵、重要文化財の万年橋、清澄橋、永代橋と通過し、佃島や月島の路地を訪ね、勝鬃橋、築地や銀座の路地を経由して東京駅に至る。

④旧甲州街道ウォーキング(15kmコース)

日本橋を起点とする甲州街道の最大の難所であった小仏峠と小仏関所を越え、江戸時代の旅人に想いをよせる甲州道中の旅。高尾駅から中央線沿い



に西進し、旧甲州街道に入り、小仏関所跡、高尾梅郷、圏央道高架橋工事現場を通過し、するさしの豆腐を食し、小仏峠、東海道自然歩道の弁天島、相模湖を經由して相模湖駅に至る。

◇ショートコース（半日コース：各コースは授業 2 回分として実施）

⑤高尾山・トワイライトウォーキング（7 km コース）

高尾山口駅からびわ滝コースで山頂を目指し、表参道コースを下山する。日中の三ツ星観光地の喧騒を避け、夕暮れ時の静かな高尾の自然を満喫するコース。

⑥多摩丘陵カントリーウォーキング（7km コース）  
ウォーキング用のストックを使い、高専前から湯殿川を渡り、緑豊かな丘を越え、鎌倉古道を横断し、法政大学周辺の多摩丘陵の自然を満喫するカントリーウォーク。

⑦浅川地下壕ウォーキング（地下壕ウォークは約 1km コース）

高尾駅南側の初沢山山中の戦時中の地下秘密工場（総延長 10km に及ぶ地下壕）を歩く。浅川地下壕の保存をすすめる会のガイドによる定例見学会に参加<sup>10</sup>。

⑧古城めぐりウォーキング（7 km コース）

高専から初沢山の櫛田城に登り、湯殿川沿いに浄泉寺城、近藤城、片倉城址に至るコース。高専から廿里古戦場経由で日本百名城の八王子城を目指すコースもある。

## VI. 「科学技術論」（担当教員：河村豊）

### 1. 本講義の位置づけ

本講義「科学技術論」（後期）は、専攻科 2 年生対象科目であるが、2008 年度からは本科 5 年生「人文ゼミⅢ」と同時開講という形式をとって現在に至っている。本講義の担当者（河村）は、科学技術史系科目として 3 年次「科学技術史」以降、4・5 年次の人文ゼミ、専攻科講義を担当しているので、「科学技術論」は同上系科目の最終段階として位置づけられている。今回の「教養力強化プロジェクト」活動を 1 つのきっかけとして、教養教育に含まれる「汎用能力」を意識しながら 2010 年度のゼミ科目を実施してきた。従って、人文ゼミⅠ（技術史研究（入門）：4 年後期）、人文ゼミⅡ（研究開発史：5 年前期）の講義目標と比

較しながら、本講義の位置づけを説明する<sup>11</sup>。

科学技術史系科目を方法論から区分すると、「歴史系アプローチ」、「科学技術論系アプローチ」の 2 つのアプローチを講義内容に組み入れてきた。前者は過去から現代にいたるまでの科学技術の発展を分析すること、後者は現代社会における科学技術の諸問題を分析することである。3 年次の「科学技術史」（通年）はこの 2 つのアプローチを加えた基礎・総論コースという位置づけである（詳細は省略）。それゆえ、人文ゼミは各アプローチに沿った各論という位置づけとなる。

まず、4 年次半期の人文ゼミⅠ（後期：今年度は技術史研究（入門））では、歴史系アプローチの各論として、19 世紀から 20 世紀の電気技術史・電子技術史を取り上げた。このゼミでの狙いは、(1)基本文献の分担講読を通して、個別分野の技術史について学習すること、および(2)電気電子技術史の個別項目（例えば電池、発電機、白熱灯など）について、学生が資料を調査・分析を行い、発表（プレゼンテーションおよび原稿執筆）を行うことである。

5 年次半期の人文ゼミⅡ（前期：今年度は研究開発の歴史）では、20 世紀後半の宇宙技術開発の歴史を事例にして、科学技術論系アプローチの 1 つとして、「軍産学複合体」問題を取り扱った。このゼミの狙いは、(1)基本文献および論文の講読を通して、冷戦期（1950 年代～90 年代）における民生用・軍事用の宇宙技術の開発過程を学習すること、および(2)開発競争を過熱させた軍産学複合体に注目することで、科学技術を政治的要因、経済的要因と結びつけて分析できる基礎力を身につけることである。

こうした科目配置を経て、専攻科 2 年次半期の「科学技術論」（後期：5 年次半期の人文ゼミⅢと同時開講）では、学生自身の特別研究（専攻科 2 年生）あるいは卒業研究（本科 5 年生）を題材にして、それについての「歴史系アプローチ」あるいは「科学技術論系アプローチ」を試みることを目標とする。これが本講義の位置づけである<sup>12</sup>。

### 2. 分析のための基礎的能力（汎用能力）

ここ 3 年間の「科学技術論」では、「歴史系アプローチ」に注目し、資料収集および資料分析を主たる指導目標してきた。特に資料収集では Web を積極的に利用しかつ図書館の機能も利用する方

法を身につけることである。このためには受講生が調査テーマに「こだわり」を持つことが大切である。

### (1) 関心のあるテーマを選ぶこと

関連する論文を網羅的に収集し、時間のある限り資料を読み込んでいくという「大変な作業」が存在しているからである。その大変さを乗り越える第1の工夫として、学生の特別研究テーマ、卒業研究テーマに関連づけるように指導している。指導の内容は次のようなことである。受講生自身が執筆するであろう「研究論文」の冒頭部分に、研究テーマに関わる歴史的変遷を書くことをイメージしよう。そして自分が研究するテーマがいつ、どのような理由で探求されて来たのか、分析対象がどう拡張したか、分析手法がどう発展してきたか、自分が扱っている素材、手法はこうした歴史的変遷の中でどのような位置にあるのか。こうしたことを意識することで、取り扱う研究テーマについて理解を深めてみよう、と。

### (2) CiNii 利用の試み

Web 利用というと、ウィキペディアの利用をイメージしてしまうが、卒業研究、特別研究をテーマに選べば、ウィキペディアが無力であることがすぐ分かる。

したがって、学術論文を Web から利用することを推薦している<sup>13</sup>。例えば、国立情報学研究所がサービス提供をしている CiNii (NII 論文情報ナビゲータ[サイニ]) は、学協会刊行物などを中心に過去にさかのぼって多数の学術論文を検索できる。また「機関定額制」契約をしている本校ならば、PDF 版で多くの論文本文の閲覧ができる<sup>14</sup>。Web 閲覧ができなければ図書館経由で論文複写を依頼すればよい。これまでに採り出した興味深い論文には以下のようなタイトルがある。「2 足歩行ロボットその歴史と現状」、「スパッタリングの歴史と応用」、「プラズマディスプレイパネルの歴史と発展」などの学協会刊行の学術論文がある。こうした論文に紹介されている資料からさらなる情報を入手できる。

### 3. 今後の課題

この間の人文ゼミの内容を工夫することで、科学技術史系科目について、本科 3 年から専攻科 2 年までを見据えた段階的講義配置ができ、また教養教育に含まれる汎用能力の具体化に一つの方向

性を見つけ出すこともできた。一方、不十分な部分もまだ多く残っていることが見えてきた。

大きな課題が、科学技術が現代社会とどのように関わっているかを扱う「科学技術論系アプローチ」をどのように深めていくかである。科学技術は、経済・経営のみならず、政治・軍事や哲学・思想などの広い領域と関わり、また地球環境問題や安全安心問題など多くの社会問題とも関連する。ただし、こうした広い領域を克服するには、一人の教員では対応できず、専門を異にする複数の教員との連携が大切である。すでに「技術者倫理」(専攻科 1 年)等で実施している教員間連携をさらに進展させることが必要だと考えている。

## VII. 「哲学入門—市民的教養としての批判的思考」(担当教員：川北晃司)

序論で浅野による案内の通り、教養教育において学生に授けたい教養のひとつに「批判的思考力」があるが、その内容、意義等につき日本での理解定着は、今後の一課題に見える。そこで本節では、先行研究の調査を通じて批判的思考について論じるとともに、得られた理解をまず今後の教養ゼミ授業等に生かすことにしたい。

### 1. 市民的教養としての CT

批判的思考 (critical thinking, CT と略) とは、端的には「議論のよしあしを判断するための思考」<sup>15</sup> 法である。敷衍すれば「適切な基準や根拠に基づく、論理的で、偏りのない思考」ないし「先入観に囚われず、論理的に考え、合理的な決定を導き出す能力と意思」<sup>16</sup> である。したがって、たとえ自分の意見と一致しない場合であっても、その気持ちを介入させることなく推論する思考でもある。

だが心理学的知見によると、われわれは、しばしば、バイアスをもった推論、判断を行う。論理の妥当性ではなく、結論が自分の信念と一致しているかどうかによって、結論の妥当性を判断する「信念バイアス」や、自分の意見や信念を支持する証拠ばかりを集め、反する証拠に対しては、その価値を軽減して評価する「確証バイアス」などである<sup>17</sup>。これらにより、適切な判断に失敗するケースが日常生活でも多くみられ、そこで「批判的思考の支援や教育が重要であると考えられている」<sup>18</sup>。

「批判」という用語にはネガティブな響きがあ



るが、「批判」と単なる「非難」や「反対」はちがう。岩崎豪人が言うように「批判的思考」でいう「批判」とは、否定のための否定ではなく、むしろ創造や肯定のための否定であり、疑いつつも、すべての意見から学ぼうとする謙虚な態度である。つまり、絶えずあらゆる意見に疑いをもちながら、冷静にそれを検討し、多くの意見の中から取るべきは取り、否定すべきは否定して、正しい考え方をしていこうとする態度である。そして、権威に対する盲信、常識に対する盲信とともに、自己に対する盲信にも気をつけ、他人に対して批判的である以上に、自分の意見に対して、絶えずどこか間違っていないかどうかを反省するだけの批判的精神が大切である、と念を押されたりする。

したがって、CTが現実の社会問題を考える際に有効であることは、容易に想像がつく。民主主義という現代の多くの国家が採用している政治システムにおいて、どのように意思決定をしていくべきかを考えるとき、CTは、その基礎でもある。岩崎も言うように、自己利益や好みや感情に流されずに、「多数者の暴虐」が起こらないように社会的な合意を形成するにも、理を尽くして議論し合うことが必要である。このような技術を身につけることは、現代の教養として、市民として必要である<sup>19</sup>。

そこで「市民的教養としての批判的思考」と本節を題したわけであるが、じつは「市民」とは、ヨーロッパの歴史に裏打ちされた重い用語である。商業の発達を背景に、封建的＝軍事的ではない文民主体の、宗教権力からも自由な世俗的な政治権力としての「市民政府」(civil government)の確立を説いたことで有名なのは、J. Locke (1632-1704)であった。Lockeによれば、人が市民であるためには理性の状態（成人）に達していなければならない<sup>20</sup>。

現代ドイツの社会学者 J. Habermas(1929-)によれば、「市民的公共圏」がヨーロッパに見出されるようになったのは18世紀のことであった。それは私人が形成する自発的な空間であり、そこで理性的かつ自由に意見が交換され公論が形成される。それは国家など公権力から独立し、それに「批判的であることが可能であった。「市民的公共圏」の理想からは、この空間はいかなる勢力や階層の道具でもなく、古典古代とは異なり万人が等しく公

論の形成に寄与すべきものである。教養を入場の資格とすれば、そこには階級に関係なく教養のある者は制限なく参加可能だったのである。フランスのサロンやイギリスのコーヒーハウスに、Habermasはその理想の姿を見出している<sup>21</sup>。

ヨーロッパの「市民」には、共同体の公的関心や共同利益の次元から出発する「公民」としての面もある。佐伯啓思によれば、「シヴィル」が、多くの場合、国家や軍事などと対比させられた「市民」、「文民」を指すのに対して、「シヴィック」は、これも「市民」なのだが、日本語でいう「公民」に近い。「市民意識（シヴィル・マインド）」が、近代の私的な権利を唱え、しばしば国家と対立し、また「シヴィル」の言葉にあるように、礼儀正しく、洗練されたことをよしとするのに対して、「市民精神（シヴィック・スピリット）」は、あくまで公共的事項、国家的な事項に対する義務の観念が強く、勇気や名誉という古代的な美德を重んじている<sup>22</sup>。

いずれにせよ、社会状態において何が権利で何が義務かは公衆による議論、すなわち公論があるべきで、それには自他双方に対する批判的思考能力としての教養が必要になるだろう。さもないと独善と隷従が帰結しかねず、それは市民にふさわしくないからである。

## 2. 学問の基礎としての CT

むろん市民(公民)たる教養としてだけでなく、学問の基礎としての重要性も CTにはある。どのような専門的学問に進んで行くにせよ、論理的、批判的に考え、論理的な文章を書き、議論することは、学問をするうえで共通の教養と考えられている<sup>23</sup>。

学問をする上で共通の教養として、CTは次のようなことを要求するだろう。すなわち、「問題は何か明確にしてから考える」「事実と価値を区別する」「根拠のある主張と、正当でない主張を区別する」「少数の事例が過度に一般化されていないか気をつける」「ある主張にバイアスが含まれていないか気をつける」「感情的な推論を避ける」「他の解釈はないか考える」「論理的に考える」の8つである<sup>24</sup>。

別の有力な一説では、CT能力とは、次の5つの下位能力(five sub-abilities)から成る混成体である<sup>25</sup>。

- (i) 問題を定義する能力
- (ii) 問題解決のために適切な情報(pertinent information)を選択する能力
- (iii) 露わな前提と隠れた諸前提(unstated assumptions)を認識する能力
- (iv) 有意有望な諸仮説(relevant and promising hypotheses)を立てる能力
- (v) 妥当な諸結論を導き、推論の妥当性(validity of inferences)につき審判を下す能力

### 3. CTの諸限界

CTの内容に関する両説いずれにせよ、しかしながら、明解性ないし一義性に関する限界は明らかであろう。すなわち、「事実と価値の区分」、「根拠のある主張」、「正当でない主張」、「適切な情報」、「有意有望な仮説」、これらはどれも、学問分野に相対的で曖昧な基準である。再現可能性や数量化可能性を欠く情報や仮説は価値が基本的に低いとみなされる分野もあれば、一回限りの歴史事象を扱う分野や、審美的、哲学的、個性記述的な分野など、多様な「根拠」や「情報」を有意として認める分野も存在するのである。

伊勢田哲治によれば、教えている方が「論理的思考」だと思っている推論が、きちんと分析するとさまざまな暗黙の前提に依存しているということがあり、どういう枠組みでものを見るべきかについては簡単に結論がでない。たとえば、医療というものを治療の有効性という観点ではなく医師と患者の関係という観点から捉える人にとっては、ある薬が「効く」かどうかは必ずしも重要ではないということがありうる<sup>26</sup>。そうした形で問題を提起したときに、学生からどういう反応が返ってくるかを見ることで、教師の側も自分が当然視していた前提を見直すきっかけが得られるかもしれない、と伊勢田は言うのである<sup>27</sup>。

以上から予想可能なこととして、CTには、明解性だけでなく有効性ないし必要性に関して大きな限界がある。従来の研究においてCTは、能力(技能・知識)と志向性(態度・意思)の2つを構成要素として検討されてきた<sup>28</sup>。そしてCTの教育においては能力や技術を高めることよりも先に、CTに対する志向性(つまりCTを行おうと思うこと)を向上させることが重要であるとされてきた。したがって、「論理的、批判的に考えることが面白い、楽しいと感ずることができ、かつ理

解することに喜びを覚えるようになれば、CTに対する志向性は向上する」<sup>29</sup>と考えられるのだが、自分が信じたり、することの良い理由をいちいち考えたりせずに、感じるままに好きなように行動して人生を送る方が楽しいと考える学生も、筆者のこれまでの教育経験上、実際少なからず存在した。

そのような、「考えない楽しさ」を凌駕するに足るだけの、CTの大きな「考える楽しさ」を伝授できるだろうか。それには教師の側の多大な努力と工夫を要するだろう。ただしそれはCTの限界というより、教師の限界に、より属する話と思われる。

CTの本質的限界は、「今は批判的に考えるべきときではない」、「CTを発揮しなくてもよい」、したがって「持っているCT能力をあえて使わない」<sup>30</sup>という判断が(CT自体によって)正当化可能な個別状況が、決して例外的にではなく多数存在しそうなことであろう。つまり冷静な論理的判断が重視される場面とそうでない場面がある。CTの望ましさがどのように認知されているかについて、心理学的研究がすでに存在する。

その一研究では、CTが「効果的な文脈」と「非効果的な文脈」のそれぞれについて大学生にアンケート調査を行った結果が報告されている。具体的には、「効果的な文脈」の自由記述用紙では、日常生活の中で、CTを使用すると「効果的であり、うまくいくと思う状況」を、「非効果的な文脈」の自由記述用紙では、その反対の状況を「・・・とき」という語尾に合うような形式でそれぞれ10項目、自由記述させている。

その結果、CTが効果的と判断される文脈は、回答数の多い順に類別すると10カテゴリーが存在したという。すなわち、①学問的な勉強を行うとき、②メディアに接するとき、③選択するとき、④人の話を聞くととき、⑤議論と交渉のとき、⑥心理的に不安定なとき、⑦問題を解決するとき、⑧計画や予定をたてるとき、⑨広告や勧誘に接するとき、⑩余裕があるとき、以上である。

それに対して、非効果的な文脈は下記の8カテゴリーであった。①娯楽のとき、②人とつきあうとき(友達を作るとき、どうしてもいいおしゃべりをしているとき、幼い子どもと遊ぶとき、落ち込んだ友人を精一杯励ますとき、友人の相談に乗る

＜相手がただ聞いてほしがっている＞とき）、③余裕がないとき（時間がないときなど）、④深い思考が不要なとき（ルーティンワークをこなすとき、スポーツをしているとき、丸暗記をしないといけないときなど）、⑤感情が重要なとき（気持ちよく生きたいとき、恋愛をしているとき、自分を励ますとき、恋人や結婚相手を選ぶとき）、⑥趣味のとき、⑦飲酒や食事のとき、⑧信じることが重要なとき（占いを信じたいとき、宗教を信じるとき）、以上である<sup>31</sup>。

#### 4. CT の批判的使い分けの必要

もちろん、この調査結果から何を実践的に導くかは批判的に考えねばならないが、CT の明解性・有効性・必要性に関する経験的な諸限界が予想可能なゆえに、田中優子・楠見孝が言うように、批判的思考を行為の目標と文脈に応じて「使い分ける」<sup>32</sup>必要が生じるだろう。A. Fisher による標準的教科書にその種の記述は見あたらない。

Fisher は、CT は有用なスキルであり、「適切なときにはいつでもそのスキルを用いる習慣を着けることが、あなたを多くの点で助けるだろう」と述べているが、「適切でないとき」についてはあえて論及を避けている<sup>33</sup>。したがって、田中・楠見による調査報告はじつに興味深いのである。それらはいわば CT 自身に関する CT の成果だからである。

元吉忠寛が「CT のあたたかい側面に重点を置き、あたたかい CT を育てる教育を行っていくことが必要」であると述べているのも説得的だろう<sup>34</sup>。廣岡・小川・元吉が 2000 年の論文の中で述べていることだが、論理性や客観性を強調する CT に対する「マイナスイメージ」が CT 志向性の発達を阻害している可能性がある。したがって CT 教育では「誠実さと他者を尊重する態度」の側面をもっと重視すべきである、との観測が生じるのも自然だからである<sup>35</sup>。また、廣岡・元吉・小川・斉藤は 2001 年の論文の中で、論理的で確かな証拠から決断し他者に対してもそう接しようとする「クールでハード」な CT 志向性と、人間の多様性を認めながらそのいずれにも偏ることなく柔らかに人を理解しようとする「ウォームでソフト」な CT 志向性とに大別することが可能であることを指摘しているからである<sup>36</sup>。

結局、学問においては「クールでハード」な CT

志向性が、そして市民としては「ウォームでソフト」なそれが、それぞれ基本にされてよいだろう。学問は真理を追究し、真理は妥協の産物とは理念上、異質なのに対して、市民生活は真理ではなく便利ないし幸福を追求し、基本的に妥協の産物と考えられるからである。社会問題などについてのディベートにおいては、相手を説得する、とりわけ相手を論駁する技術が重視されがちであるが、市民的教養は、むしろ軽々しく相手の主張を退けないことにあるだろう。実際 Browne と Keeley が言うように、クリティカルな質問の意義は、「相手の議論をより深く理解し、評価するために相手の助けが必要なのだ」(I am curious; I want to know more; help me.)ということを表明することにある。このリクエストが示しているのは、他者に対するリスペクトである(This request shows respect for the other person.)<sup>37</sup>。

他の研究者仲間に対するリスペクトが学問においても重要視されるのはもちろんである。そしてこのリスペクトは、すべての学生に対しても拡張可能であろう。教養教育が育成を願っているのは、少なくとも未来の市民だからである。後生可畏。したがって、たとえば次のような CT 演習授業方法に学べるだろう。若山昇は CT の授業では否定的なコメントを避け、「なぜそうなるの」「なにがうれしいの」「他にはないの」「本当なの」等、学生に再考を促す方法を駆使するという。そして、学生が「無知の知」に気がつく機会を、あえて多く設定してきたという<sup>38</sup>。

結論として、筆者は来年度担当する教養ゼミ授業（「西洋哲学」および「世界の宗教文化」）にあたり、「誠実さと他者を尊重する態度」すなわち「相手の議論をより深く理解し、評価するために相手の助けが必要なのだ」との市民的態度・教養を身につけるよう、学生を促す。そのうえで、「論理的、批判的に考えることが面白い、楽しいと感じることができ、かつ理解することに喜びを感じる」CT 志向性をどうすれば高められるか、工夫を凝らすべきであること等が判明したように思われる。

## VIII. 「経営史概論」の取り組み（担当教員：浅野敬一）

### 1. 授業の目標

本授業では、高度成長期の日本を対象とする経



営史を考察することで、本論全体の目標とする「教養」教育に取り組んだ。具体的には、文献資料を消化したうえで、各自が設定した課題調査と複数回の発表を行うことで、読解、情報の収集・整理・分析・総合、ディスカッション等の能力向上を目指したものである。

## 2. 授業の概要

### (1) 講義

高度成長期の企業経営やその環境については、工学系の学生の関心も比較的高く、かつ職業人としても一定の理解が要求されるといえる。また、本校のカリキュラムでは、授業内容の前提となる日本経済史についての学習が必ずしも十分ではない。そこで、本授業では、全 15 回のうち 9 回は講義を中心とし、明治維新から第二次大戦後の復興期までを 3 回、高度成長期を 5 回、高度成長後を 1 回で行った。本授業の前史に相当する最初の 3 回はかなり圧縮した内容で一方通行的にならざるを得なかったが、後半は学生の発表と連携させながら、双方向的な講義となるよう配慮した。

### (2) 選択課題

本授業は、文献を消化し、これをもとに考察することを目標としている。そこで、選択課題として、学生を 3 名ずつのグループにわけ、50 ほどの文献リストから各グループで一つを選択、文献を消化しポイントや論点を発表してもらった。各グループが選択した文献は資料 5 のとおりで、それぞれ教員の指定した 1~2 章について発表した。発表担当でない文献についても、それに基づく課題の提出を義務付け、全学生がすべての文献を消化し、かつ質疑に積極的に参加するようインセンティブを与えた。

このうち、英語文献は留学生のグループが選択したものだが、日本人学生の英語力では想像以上に厳しい結果となった。そのため、当該文献の理解に不可欠な部分については授業内で和訳を解説し、かつ課題として訳文を提出してもらった。一方で、受講した留学生は日本語よりも英語が堪能であった。よって、自身で発表するわけではないが、工学系ではない日本語の文献を毎回消化するには相当の努力が必要であったといえる。

### (3) 自由課題

選択課題や講義を参考に、テーマの設定から、文献等の収集、発表までを各受講生単独で行った。

本来は受講生一人ずつが全員の前で発表して欲しかったが、受講生数が 18 名と多かった。もちろん、一人当たりの時間を短縮する選択肢もあるが、質疑が形式的なものに終わる恐れもある。そこで、6 名程度で発表用のグループを編成、グループ内で発表を行い、教員はグループを見回ることとした。ただし、後掲のアンケート結果では、「自由発表もできれば全員で」「この人数よりももう少し人数が少ない方がよい」というコメントがあった。

「自由発表の準備が大変だった」と回答した学生も多いため、苦勞して調べた内容を全員に聞いてほしいという気持ちは十分に理解できる。

発表内容は、レポートではなく、期末試験時(90分)に条件付きの小論文にまとめることとした。

「条件」は、①700~900 字で作成すること、②問題設定と結論が明確であること、③自身のテーマが現代の経営(または経営史)の理解に貢献する理由が説明されていることとしたが、これは当日まで伏せておいた。試験ではこの他に選択式問題が 3 問と 400 字前後の論述問題が 2 問出題されている。よって、時間内で小論文までを作成するには、場合によってはレポート作成以上に、内容を十分に理解し準備する必要がある。アンケートには、「テストをもう少し緩くしてください」と「考えて書くテストだったので良かったです」との両方の声があり、90 分間必死に考えて書いてもらうという教員の意図は達成できたと考えている。

## 3. 今後の課題等

評価は、期末試験 40%、発表 40%、課題 20%とした。受講生は 18 名でスタートしたが、3 名は課題や発表が未了のため単位修得は適わなかった。一方、期末試験を受験した 15 名は全員が 80%以上の得点(A 評価)、うち 3 名は 95%以上の得点(S 評価)で教員が読んでも勉強になる小論文であった。試験時における留学生(2 名)への配慮としては、英文での答案作成を認めた。

今後の改善に向けては、答案返却時にアンケート調査を実施した。結果は資料 6 のとおりで、回収数は 13 名、全員が単位を修得している。Q1.~Q.11 は本校全体で実施する授業評価アンケートと共通だが、Q12.以降は本授業の意図を確認するため独自に設定した。Q.15 までは 5 段階評価(強くそう思う(5)、そう思う(4)、どちらともいえない(3)、そう思わない(2)、まったく思わない(1))

の平均で、Q.16～17は自由記述の抜粋である。

アンケート結果からは、学生に苦勞しながら考えてもらうという意図は達成されたといえるが、同時に、次の3点が改善点として示唆される。第一に、受講生数の問題である。半期のうちに発表を必須とすれば、やはり10名程度が理想である。一方で、「定員割れの未辿りつきました。」という学生は、A評価で単位を取得しているが、かなり厳しい授業であったかもしれない。第二に、学生への負荷の問題である。学生の授業外学修時間の平均はQ.16のとおりだが、このほかに発表前には相当の時間をかけたとの回答があった。学修単位を導入しカリキュラム全体を整理しない限りにおいては、卒業研究や他の科目の準備も勘案すれば、この程度が上限であろう。第三に、本プロジェクト全体の目標である「コミュニケーション力や批判的思考力」の検証方法についてである。読解、情報の収集・整理・分析・総合、ディスカッション等が重要であることは、学生に繰り返し説明した。また、発表の質疑や試験の答えは、学生の能力の一端を示している。しかし、学生の向上

心をさらに喚起するには、「ここまではできた（できなかった）」と学生自身が明確に振り返ることができるチェック方法が必要といえる。

おわりに

東京高専では、2011年度から、本プロジェクトの取り組みをもとに、「学生のコミュニケーション力や批判的思考力をはじめとする幅広い実践的能力の強化」を共通目標に計17講座からなる「教養ゼミ」を4・5年生対象に開講する。開講に際しては、教員の担当科目の変更等が生じたほか、単位計算上の都合から学修単位導入を見送る等のカリキュラム編成上の問題も一部積み残してしまった。

しかし、より重要な点は、Ⅶで川北が述べたように、学生自身が考えていく環境を如何に創出していくかであろう。もちろん、それは教室内にとどまるものではない。2008年度から約2年半に及んだ「教養力強化プロジェクト」であるが、真の実践はこれからと考えている。

## 【資料】

### 資料1 「スポーツにおけるエスニック・マイノリティ」参考文献等

#### 参考文献

亀井俊介他『史料で読むアメリカ文化史4 アメリカの世紀 1920年代—1950年代』東京大学出版会、2005年。

佐藤次高他『詳説世界史』山川出版社、2006年。

佐山和夫『黒人野球のヒーローたち—「ニグロ・リーグ」の興亡』中央公論社、1994年。

鈴木透『実験国家 アメリカの履歴書』慶応義塾大学出版会、2003年。

立花隆『東大生はバカになったか』文藝春秋、2004年。

立花隆『二十歳のころ〈1〉』新潮社、2001年。

波部優子『背番号42 メジャーリーグの遺産』文芸社、2009年。

Parker, Robert B., *Double Play*, 2005. (邦訳『ダブルプレー』菊池光沢、早川書房)

Robinson, Jackie., *I Never Had It Made*. New York: Putnam 1972.

Scott, Richard., *Jackie Robinson*, 1987. (邦訳『ジャッキー・ロビンソン物語』国代忠男訳、筑摩書房、1997年)

#### Website

The Jackie Robinson Foundation, <http://www.jackierobinson.org/>

National Baseball Hall of Fame and Museum, Inc. Baseball Hall of Fame and Museum. <http://baseball hall of fame.org>.

NYTimes.com's Today's Headlines newsletter, <http://www.nytimes.com/indexes/>



**資料2 「ウォーキングゼミ」平成21年度実施要項（ガイダンス時の配布資料）**

## ◇ウォーキングゼミのねらい：

健康ウォーキングについての理解を深め、生涯スポーツとしてウォーキングに親しむ機会の提供  
高専周辺や都心部を歩くことによって、母校としての高専や首都東京の魅力を再発見する

## ◇今年度の授業内容：(授業時間数)

第1回：ガイダンス

第2回：多摩丘陵のカントリーウォーキング（7kmコース）

- ・コース：高専から近藤城、鎌倉古道、多摩丘陵の魅力を満喫するコース
- ・実施日：4月16日（木） 14時～16時

第3回：大江戸・都心縦断ウォーキング（15kmコース）

- ・コース：日本橋から江戸城、皇居、国会議事堂、外苑、明治神宮、原宿までの都心を縦断する
- ・実施日：5月1日（金） 小雨決行
- ・集合場所：JR東京駅丸の内北口・改札を出た付近
- ・集合時間：10時（時間厳守）
- ・解散場所：JR原宿駅16時頃

第4回：両国・浅草・柴又ウォーキング（18kmコース）

- ・コース：隅田川沿いに国技館、浅草寺、向島百花園、荒川、柴又を目指し、下町情緒を満喫する
- ・実施日：年5月4日（月） 小雨決行
- ・集合場所：両国駅西口
- ・集合時間：10時（時間厳守）
- ・解散場所：柴又駅16時頃

第5回：高尾山・トワイライトウォーキング（7kmコース）

- ・コース：びわ滝コースを登り表参道コースを下山し、三ツ星高尾山の夕暮れの自然を堪能する
- ・実施日：5月14日（木） 16時～19時

第6回：旧甲州街道ウォーキング（15kmコース）

- ・コース：関所跡や宿場をたずね、街道一の難所の小仏峠を越えるハードな甲州道中の旅
- ・実施日：5月23日（土） 小雨決行
- ・集合場所：高尾駅南口
- ・集合時間：10時（時間厳守）
- ・解散場所：相模湖駅16時頃

第7回：隅田川リバーサイドウォーキング（13kmコース）

- ・コース：隅田川テラスを南下し、橋や運河を渡り、築地・銀座を目指し、水の都を実感する
- ・実施日：7月18日（土） 小雨決行
- ・集合場所：両国駅
- ・集合時間：10時（時間厳守）
- ・解散場所：東京駅16時頃

第8回：まとめ、報告書作成作業

## ◇評価について：①出席状況、②立ち寄りスポットの解説、③歩行レポートで評価

## ◇持ち物（高尾山トワイライトウォークは懐中電灯必携）

- ① 必要経費（給水費用等）
- ② 歩きやすい服装、シューズ、帽子は必ず準備、リュックサックタイプのバッグ
- ③ 雨具（天候悪化の場合：かぶるタイプのカッパがベスト）
- ④ 飲み物（ペットボトルが良い）
- ⑤ コースガイドの資料（事前配布済み）、地図、メモ用紙・筆記具、万歩計

## ◇事前準備

- ① 配布済みのコースガイドとコースの事前理解
- ② 路上プレゼンの資料収集、準備

## ③ 体調の維持管理

◇参加者： 学生 11 名

◇指導教員：古屋正俊

◇レポート提出：ワープロ作成のレポートを実施 1 週間以内に (furuya@tokyo-ct.ac.jp) に提出

## 資料3 「ウォーキングゼミ」 学生道中記

## ①隅田川リバーサイドウォーキング M・H

今回のウォーキングは、何と言ってもコースが私の趣味にジャストマッチで全編通して楽しく満足できるものでした。趣味というか好みなのですが、私は“雰囲気”のある場所が好きなのです。タイムスリップしたかのような下町の路地裏、そこから急にひらけた近代的な建物や道路、無機質でありながら温かみのある橋など、このコースでみた多くの物がとてもいい“雰囲気”を纏っていました。歴史あるものならば、その時代の人や暮らしに想いをはせ、近代的なものならば今後の展望、未来を想像し、それら一つ一つに沢山のドラマがあると感じるのです。このウォーキングではそんな思いを抱きながら挑むことが出来ました。

思い返すとこのコースは時代を追って進んでいたように感じました。古来より国技として親しまれてきた相撲の聖地、両国から始まり、古き良き時代の香りを残す下町、佃島や月島を超え、人々の食文化を支えてきた築地をしり目に、現代日本の中心、銀座に至る。さらには技術の進歩とも言えるような橋の数々、人の手によって作りかえられ、人々の生活文化になくてはならないものとなった隅田川。まるで数百年の歴史を一挙に旅したみたいな気持ちになりました。

そして前回のコースと合わせて両国から原宿まで繋がるというにくい演出もうれしかったです。都心を横断するようなこのコースを歩き切ったことで東京を征服したかのような達成感と、都心の位置関係を実感的に知ることができた安心感を得ることが出来ました。

歴史ある“古い”ものに“新鮮さ”を感じ、華やかで近代的なものに親近感を感じる、今回のウォーキングはそんな発見と感動に満ち溢れたものでした。機会があれば個人的にでもこんなコースを歩いてみたいと思います。

## ②隅田川リバーサイドウォーキング N・O

今回は常に五感が働くこととなったウォーキングコースであった。景色が変わってゆくことによって視覚が稼働するのはもちろん、嗅覚、味覚、触覚、聴覚も全て盛り込まれ、ボリューム満点であった。まず嗅覚として、隅田川のじめっとした臭いから始まり、隅田川沿いの佃煮のお店前を通れば香ばしくも甘い臭いに変わった。隅田川から少し離れれば、月島もんじゃの食欲をそそる臭いが漂っていた。そこで食べたもんじゃ焼きは格別においしかった。特に明太子モチもんじゃはおすすめである。昼食をとった場所も路地裏にちょっと進んだところにあり、知る人ぞ知る下町の老舗のようで、個人的にかなり好きな雰囲気のお店であった。ごちそうさまでした。^^

月島の次に向かった銀座裏通りウォークも魅力的だった。こんなところ通ってよいのかと思うほど細く、暗い道であり、それが上を見上げれば空が一直線にしか見えないほどであった。その怪しげで一人で通る勇気もないような未知のところを歩いて、まるで冒険しているかのように心躍らせられた。中でも、裏通りの途中に自動ドアがあることにおどろきを感じた。そこで鳴っていたモスキート音もまた、今までにない要素で魅力的であった。また、舗装された銀座の道とは違い裏通りの凸凹な道のりというのも足裏から感じとれた。前回同様 2 万歩を超えるウォークの疲れから来ていたかもしれないが、五感を活用して銀座裏通りの魅力を十分に堪能できたと思う。

メンバーと話しながら歩いたり、干し芋をいただきながら街を巡ったりしているうちに、あっという間に今回のコースが終わってしまった。意外と 13 km は楽しく歩けるものだなと実感し、次回のウォークが待ち遠しく思うのであった。

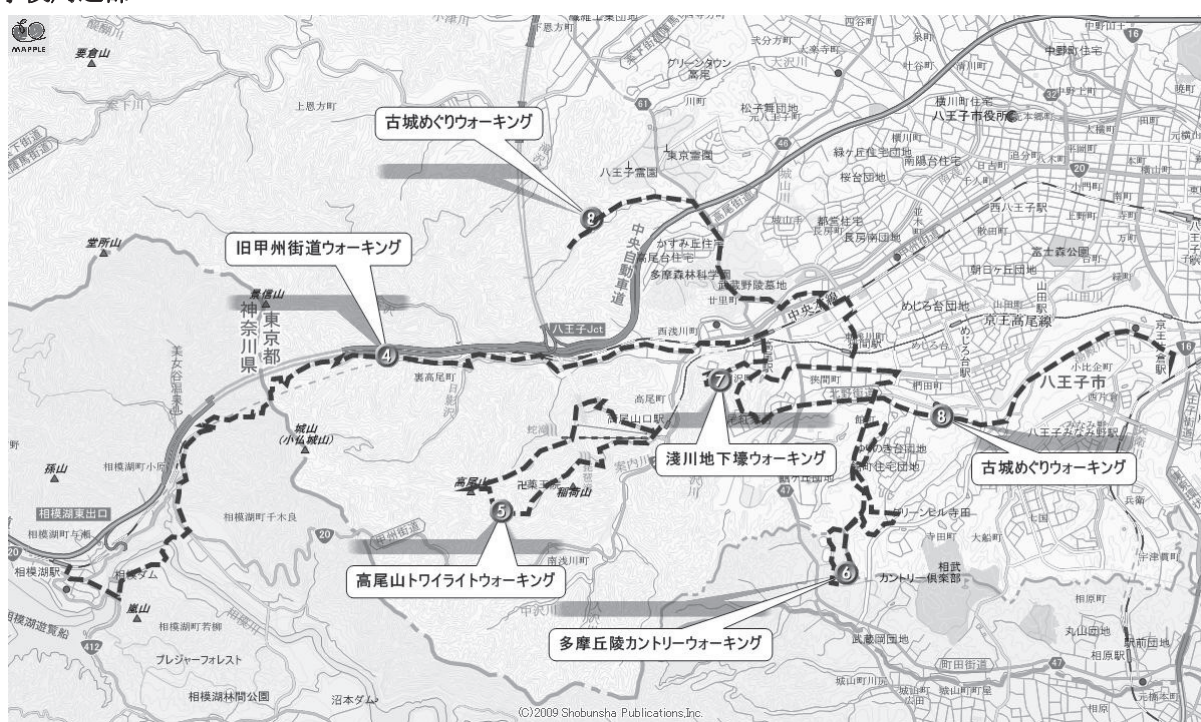


## 資料4 「ウォーキングゼミ」コース地図と授業風景

### ①都心部コース



## ②学校周辺部コース



皇居を歩く



国会議事堂前でプレゼン



隅田川からリバーシティへ



## 資料5 「経営史概論」学生を選択課題一覧

猪木武徳『学校と工場—日本の人的資源』読売新聞社、1996 年。

沼上幹『液晶ディスプレイの技術革新史—行為連鎖システムとしての技術—』白桃書房、1999 年。

湯沢威他編『国際競争力の経営史』有斐閣、2009 年。

野村正實『トヨタイズム—日本型生産システムの成熟と変容』ミネルヴァ書房、1993 年。

伊丹敬之他著『競争と革新—自動車産業の企業成長』東洋経済新報社、1988 年。

Alfred D. Chandler, Jr. eds., *Big Business and the Wealth of Nations*, Cambridge Univ. Press, 1997.

## 資料6 「経営史概論」受講生アンケートの結果

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Q1. 板書は見やすい。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 4.3   |
| Q2. 授業のペースは適切だ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4.5   |
| Q3. 説明は聞きやすい。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4.7   |
| Q4. 学生が理解しているか確認しながら進めている。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 4.2   |
| Q5. 学生の質問に対する受け答えは満足できる。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 4.7   |
| Q6. 内容について身につけることができたと思う。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 3.8   |
| Q7. 将来役立つ知識等を身につけることができたと思う。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 4.2   |
| Q8. 成績評価の基準は適切と思う。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4.5   |
| Q9. この授業科目はシラバス通りであったと思う。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 4.5   |
| Q10. この授業科目は履修希望時の講義要目通りであったと思う。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4.2   |
| Q11. この授業科目の必要性（重要性）は授業を通じて伝わったと思う。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4.2   |
| Q12. テキストや課題の内容が難しかった。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3.8   |
| Q13. テキストや課題の量が多かった。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4.1   |
| Q14. 選択発表の準備が大変だった。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4.2   |
| Q15. 自由発表の準備が大変だった。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4.4   |
| Q16. 課題や発表の準備にどのくらいの時間をかけましたか？                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1.8/週 |
| Q17. この授業を選択した理由を簡単に書いてください。<br>・経済・経営についての知識を身につけたかったから（ほか類似 5 件）<br>・他の授業と比べた時に一番将来役に立ちそうな授業だったから（ほか類似 1 件）。<br>・4 年の選択科目の米国社会経済史が面白かったのだ。<br>・定員割れの末辿りつきました。<br>・社会系の科目で理論的に理解しやすそうだったので。<br>・自分に最も不足しているものだったから。<br>・発表があると知ったため。                                                                                                                                    |       |
| Q18. その他この授業を受けての感想や改善点があれば書いてください。<br>・提出課題や発表課題が多く大変でしたが、とても役に立つ授業でした（ほか類似 1 件）。<br>・発表回数はちょっと多かったと思った。1 回だけに減らしてもいいと思うが。<br>・自由発表もできれば全員で。<br>・1 人 1 人発表すると各々の意見がきけておもしろかった。<br>・この人数よりももう少し人数が少ない方がよい。もう少し他の人の感想を聞きたかった。<br>・人数が多くなると授業中の対話をしながらの進行はとても身に着く授業スタイルだと思う。<br>・はじめの方は、昔のことを多く述べていたので、もう少し最近のことに重点を置いてほしい。<br>・テストをもう少し緩くしてください。<br>・考えて書くテストだったので良かったです。 |       |



本論は、平成 20・21 年度東京工業高等専門学校重点配分経費による研究成果の一部である。

<sup>1</sup> これについては、プロジェクトメンバーである川北晃司の論考を参照のこと。川北晃司「教養の概念と教養教育の目的」『東京工業高等専門学校研究報告書』41(1)号、2010 年 1 月、1-20 頁。

<sup>2</sup> 代表的な主張は、川北「教養の概念と教養教育の目的」10-15 頁が紹介している。

<sup>3</sup> チューニング(Tuning Educational Structures in Europe)については、次の URL を参照。  
<http://www.tuning.unideusto.org/>

<sup>4</sup> 竹中亨他「教育改革のなかでのヨーロッパの歴史教育実践—学生本位主義への転換」『西洋史学』229 号、2008 年。

<sup>5</sup> 川北「教養の概念と教養教育の目的」10-12 頁。

<sup>6</sup> 川北「教養の概念と教養教育の目的」17 頁。

<sup>7</sup> 東京建築探偵団『建築探偵術入門』文春文庫、1986 年、赤瀬川原平『路上観察学』ちくま文庫、1993 年、毛利好彰『散歩学』実務教育出版、1997 年、中江克己『江戸遊歩術』知恵の森文庫、2001 年。

<sup>8</sup> 吉村靖夫『日本列島一周徒歩の旅—270 日 8296 km の記録—』山文社、2006 年。

<sup>9</sup> 永井荷風『日和下駄 一名東京散策記』講談社文芸文庫、1999 年、近藤富枝監修『文学歴史 8 荷風流東京ひとり歩き』JTB パブリッシング、2008 年、辻真先『ひとり歩きの楽しみ』1997 年、川本三郎『私の東京町歩き』1998 年、山下柚実『五感で楽しむ東京散歩』2003 年、岡本哲志『江戸東京の路地』2006 年。

<sup>10</sup> 浅川地下壕の保存をすすめる会『フィールドワーク浅川地下壕』2005 年。

<sup>11</sup> 2008 年度に実施した人文ゼミ (河村担当) については、以下の 2 つの論考で紹介した。本稿にもその一部を利用する。河村豊「学生による科学技術史研究の試み—ゼミ活動の記録と今後の展望」『東京工業高等専門学校研究報告書』第 40(2) 号、2009 年、27-36 頁、河村豊「学生による科学技術史研究の試み—経過と論文紹介」『IL SAGGIATORE』No.38、2009 年、50 頁。後者の論考では、同誌に学生の 2 論文を投稿した際の紹介文である。

<sup>12</sup> なお、これまでの受講生数は 2008 年度 (専攻科 3 人、本科 5 年生 4 人)、2009 年度 (0 人、2 人)、2010 年度 (0 人、4 人) と少数である。

<sup>13</sup> 言語を英語に拡張できれば各種のデータベー

スが利用できる。英語の論文を利用した本講義での事例は、以下の報告書でも 2 件、確認できる。

「科学技術論 (人文ゼミⅢ) 調査研究報告書 2008 年度後期」。この年度の報告書を以下で閲覧できる。チケットリンクは [http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/xythoswfs/webui/\\_xy-2069109\\_1-t\\_7DAIqqIQ](http://xythos.tokyo-ct.ac.jp/xythoswfs/webui/_xy-2069109_1-t_7DAIqqIQ) パスワードは「history」。

<sup>14</sup> <http://ci.nii.ac.jp> なお、国立情報学研究所は、国内外の有用な学術情報資源との連携を可能とすることを目標とした“GeNii” (ジーニイ) の構築を進めており、この GeNii の機能の一つとして CiNii が位置づけられている。

<sup>15</sup> 伊勢田哲治「科学コミュニケーションとしてのクリティカルシンキング教育」物性研究 93 (4) 物性研究刊行会、2010 年、451 頁。

<sup>16</sup> 若山昇「大学におけるクリティカルシンキング演習授業の効果」『大学教育学会誌』(31) 1、大学教育学会、2009 年、146 頁。CT は米国では第二次世界大戦以前から存在する概念で、1980 年代から論理学初歩として大学教養教育の中で広まってきた。

<sup>17</sup> T. Schick, Jr. & Lewis Vaughn が著した CT の教科書では、他に「社会的望ましさのバイアス」について医療患者を例に、下記のように紹介している。「ケースレポートはまた、統制された研究ではうまく処理できるいくつかの深刻なデータの偏りにも影響を受けやすい。その一つは、社会的望ましさのバイアスと呼ばれる。これは、患者がその治療に対する『正しい反応』とみなされる反応をしたがる傾向を表している。その傾向のため、とにかく治療を受けた後には状態がよくなったと報告したがる人がいるのである。というのも、そう答えることが社会的に望まれている態度だと考えたり、そうすることで医者を喜ばせたいと願ったりするからである。」T・シック・ジュニア&L・ヴォーン『クリティカルシンキング 不思議現象編』菊地聡・新田玲子訳、北大路書房、2008 年、207 頁。なお、当書には頁毎に科学者・作家・哲学者などによる「名言」が紹介されており、そのなかには「単純さを求め、それを疑え」(数学者ホワイトヘッド)、「専門家とは、彼の専門領域においてなされうる最悪の誤りのいくつかと、それを避ける方法を知っている者である」(物理学者ハイゼンベルグ) など、教育的価値の高いと思われる箴言がいくつかあった。

<sup>18</sup> 平山るみ、楠見孝「批判的思考態度が結論導出プロセスに及ぼす影響」『教育心理学研究』52 (2)、

日本教育心理学会、2004年、186頁。

<sup>19</sup> 岩崎豪人「クリティカル・シンキングのめざすもの」『京都大学文学部哲学研究室紀要』Prospectus5、2002年、18頁。

<sup>20</sup> 日本イギリス哲学会編『イギリス哲学・思想事典』研究社、2007年、230、236頁。

<sup>21</sup> 日本イギリス哲学会編、前掲書、166頁。とはいえ、18世紀の市民は財産の所有者であり、教育・教養すら財産によって獲得されるものであった。Habermasは書いている。18世紀の末に教養階層の公衆が手工業的小市民層にまで広がったが、「教養ある人とは、百科全書を所有している人である---こういう基準を次第に小売商や手工業者も受け入れていく。「民衆」は文化へ教育されていくのであって、文化そのものが大衆文化へ格下げられるのではなかった。」ハーバーマス『公共性の構造転換』細谷貞雄訳、未来社、1982年、221-222頁。

<sup>22</sup> 佐伯啓思『「市民」とは誰か』PHP新書、1997年、155-156頁。

<sup>23</sup> 岩崎豪人、前掲論文、25-26頁。

<sup>24</sup> 田中優子・楠見孝「批判的思考の使用判断に及ぼす目標と文脈の効果」『教育心理学研究』55、日本教育心理学会、2007年、514頁。

<sup>25</sup> John E. McPeck “Critical Thinking and the ‘Trivial Pursuit’ Theory of Knowledge,” *Teaching Philosophy*, 8, 1985, p.298. ちなみにMcPeckは、CTを「反省的懐疑」(reflective skepticism)すなわち自覚的方法的な脱軽信として表現したことで知られている。彼によれば、「聞いたり読んだりすることを鵜呑みにしない」のが「批判的思考者」(critical thinker)の一特徴的意味であり、良き教養教育(a good liberal education)のイメージにそれは近いのだという(pp.296-297)。しかし筆者(川北)の考えでは、そのような包括的「懐疑」の教育は、一種のダブルバインド的状况(今の場合『「私の言うことを信じるな」と私が言う』ことで子供を混乱させること)を生み出しかねず、子供の精神発達段階をよく考慮して慎重に行うべきであり、少なくとも初等教育向けではなく、14、15歳以降に導入されるべきものである。ただしネット情報やうわさ話を鵜呑みにしない教育はもっと早期から必要であろう。

<sup>26</sup> 以下の証言は、民間療法の問題に詳しい内科医の話として最近の新聞に紹介されたものである。「多忙な医師が患者の不安や悩みを受け止めきれない一方、民間療法の療法家はよく話を聞くようだ。患者の心の支えになることもある。ただ、現代医療を否定したり、高い対価を払わせたりす

るようなものは許されない。』『朝日新聞』2010年12月28日、東京本社(朝刊14版)。

<sup>27</sup> 伊勢田、前掲書、456-457頁。

<sup>28</sup> 田中優子・楠見孝、前掲論文、515頁。

<sup>29</sup> 若山昇、前掲論文、146頁。

<sup>30</sup> 田中・楠見、前掲論文、515頁。

<sup>31</sup> 田中・楠見、前掲論文、516-517頁。

<sup>32</sup> 田中・楠見、前掲論文、515頁。

<sup>33</sup> Alec Fisher, *Critical Thinking*, Cambridge, 11<sup>th</sup> printing, 2009, p.12.

<sup>34</sup> 元吉忠寛「クリティカルシンキング志向性の概念とその測定」『日本教育心理学会総会発表論文集』51(2009)S45。

<sup>35</sup> 廣岡秀一・小川一美・元吉忠寛「クリティカルシンキングに対する志向性の測定に関する探究的研究」『三重大大学教育学部研究紀要』51(教育科学)、2000年、169頁。

<sup>36</sup> 廣岡秀一・元吉忠寛・小川一美・斎藤和志「クリティカルシンキングに対する志向性の測定に関する探究的研究(2)」『三重大大学教育実践総合センター紀要』21、2001年、97頁。

<sup>37</sup> M. Neil Browne & Stuart M. Keeley, *Asking the Right Questions, A Guide to Critical Thinking*, 8<sup>th</sup> ed., Pearson Education Hall, 2001, p.2.

<sup>38</sup> 若山昇、前掲論文、152頁。

# 異文化理解授業における留学生と日本人学生の協働学習

吉田さち\*, 竹田恒美\*\*

## Collaborative Learning among Foreign and Japanese Students in the 'Cross-cultural Understanding' Class

Sachi YOSHIDA and Tsunemi TAKEDA

In this paper, we report on the collaborative learning among foreign and Japanese students in the 'Cross-cultural Understanding' class of Tokyo National College of Technology. The class was previously called 'Japanese Studies', exclusively offered to foreign students. In 2010 it was reorganized in such a way that both foreign and Japanese students can take and the course title was changed to 'Cross-cultural Understanding'.

In the new class, where the collaborative learning among the students was possible, the chance of the exchange between foreign and Japanese students increased, and further understanding among them was fostered. Attitudes of both foreign and Japanese students seemed to affect each other positively and meaningful interactions among them were observed.

(Keywords: collaborative learning, cross-cultural understanding)

### 1. はじめに

「異文化理解」は、「都市型高専の特徴を活かした留学生施策と日本人チューター教育を含めた統合プログラム (TOKYO Links)」(2009-2010 年度の高専機構特別教育研究費採択事業)(以降 TOKYO Links)の一環として、2010 年度に新たに開設された科目である。

本科目は、これまで行われてきた3年留学生対象の「日本事情」を改編したものである。これまでの「日本事情」との最も大きな違いは、日本人学生も受講できるようにした点である。

日本人学生も受講できるようにしたのは、次のような問題解決の一助になるという意義が期待されたためである。第一に、東京高専には、留学生と日本人学生が、同じキャンパスで学び同じ寮で生活するという異文化交流によって恵まれた環境

がある。それにも関わらずそのような恵まれた環境を十分に活かしていなかったといった問題がある。第二に、企業活動がグローバル化された現代において、異文化接触で生じる様々な課題について体系的に学び、シミュレーションを体験しておく意義は大きいと考えられる。これらの問題解決の一助とするために、留学生と日本人学生が混在した「異文化理解」クラスが開設されることとなった。

本稿では、このような経緯で開設された「異文化理解」クラスの前期授業の取り組みについて報告する。

### 2. 「異文化理解」クラスの前期授業の概要と 取り組み内容

#### 2. 1 TOKYO Links の概要



先に述べたように、「異文化理解」は TOKYO Links の一環として、2010 年度に新たに開設された科目である。「異文化理解」の授業の概要について述べる前に、TOKYO Links の概要について竹田他（2010）に基づいて紹介する。

竹田他（2010）によると、この事業の背景には、「留学生 30 万人計画」を実現するために、高専でも質の高い留学生受け入れ拡充政策が望まれるという状況がある。

この事業では、こうした状況を踏まえて、次の二つの目的を掲げている（図 1 参照）。第一の目的は、日本人学生と留学生が共に参加し、双方にとって魅力的な学びの仕組みを作ることである。具体的には、①留学生と日本人の共通教育プログラム、②留学生と日本人学生が参加する合宿形式の異文化理解プログラムの 2 つが実施されている。第二の目的は、首都圏で学ぶ高専編入学予定留学生のための新しい準備教育を実施することである。具体的には、3 年時に編入することになる留学生のため、高専生の指導によるスキルアップ講座が開催されている。

「異文化理解」クラスは、上記の第一の目的（日本人学生と留学生が共に参加し、双方にとって魅力的な学びの仕組みを作ること）を果たすために

計画された、留学生と日本人の共通教育プログラムとして、2010 年度から新たに開設されることになった。

## 2. 2 「異文化理解」クラスの概要

次に、「異文化理解」クラスの概要について見ていく。「異文化理解」クラスの前身は、高専の本科 3 年に編入学してきた留学生が受講する「日本事情」である。先に述べたように、留学生と日本人学生の意識の乖離を少しでも補うことやグローバルな舞台で活躍する際に求められる異文化コミュニケーション能力を養うことを見据えて、日本人混在クラスに改められた。

「異文化理解」クラスの目的は次の 3 点とした。

（1）留学生と日本出身の学生が混在したクラスで、異なる文化的背景を持つ者同士が会合う際に、どうすれば円滑なコミュニケーションができるかについてともに考えることで、相互理解を深め、グローバルなコミュニケーション能力を身につける。

（2）文化の多様性についての理解を深め、多角的な観点から物事を考える視野や態度を養う。

（3）グローバル化された企業で活躍するために、異文化接触で生じる様々な課題について体系的に学び、グローバルなコミュニケーション能力を高めることを目指す。

対象学年については、留学生は 3 年生（編入学初年度）の必修科目とし、日本人学生は、4、5 年生の選択科目とした。

単位数は、留学生は通年 2 単位、日本人学生は前期 1 単位とした。日本人学生の単位を 1 単位としたのは、単位不足を補うために選択する学生が出ることを出来るだけ避けるためである。

開講時間は、火曜 9、10 限目とした。

受講者数については、初年度は、日本人学生は留学生とほぼ同じくらいの人数を想定していた。実際に 3 名の 3 年次編入の留学生と 5 名の日本人学生が登録したため、ほぼ想定通りの人数となった。年度の授業終了後に日本人学生が最大何名くらいまでが適切かを判断し、次年度以降の受講者数に反映させる予定である。



図 1 取り組みの概要（竹田他 2010）

## 2. 3 「異文化理解」と「協働学習」

「異文化理解」クラスの取り組みの内容について



て報告する前に、本科目の名称である「異文化理解」と、本科目で取り入れることとした「協働学習」の概念について確認する。

本科目の名称である「異文化理解」とはそもそも何を意味する用語なのだろうか。「異文化理解」という用語は新書の題目（青木 2001）にもなっており近年定着した感のあることばであるが、一般の辞書や事典などには載っていない。「異文化理解」をかみくだいて表すと、「異なる文化を理解すること」となるが、その意味を正確につかむためには、「文化」についての定義を踏まえておく必要があるだろう。

「文化」とは何だろうか。岡部（1987）は次のように定義している。

ある集団のメンバーによって幾世代にもわたって獲得され蓄積された知識、経験、信念、価値観、態度、社会階層、宗教、役割、時間空間関係、宇宙観、物質所有観といった諸相の集大成であるといえよう。

八代他（1998）は、「文化」ということばについて考える際に注意すべき点を三点あげている。

第一に、文化というと、音楽、絵画、哲学など、とにかく高尚なものを想像しがちであるが、挨拶や食事の仕方などの日常的な文化こそ、異文化コミュニケーションにとっては重要なものだという点である。

第二に、私たちは性別、年代、会社、家などの複数の集団に同時に属している。そのため、ほとんどの人とのコミュニケーションが異文化コミュニケーションの部分を含むと指摘している。

第三に、異文化コミュニケーションでいう「違い」は絶対的な違いでなく相対的な違いであり、相手文化をステレオタイプ化するような見方は偏見につながるので避けなければならないと述べている。

八代他（1998）の主張を踏まえて、「異文化理解」を広い意味で捉えるならば、「自分とは異なる他者の習慣や価値観などを理解すること」などのように言い替えられるだろう。「異文化理解」と言うと、日本人にとっては日本以外の国や地域の文化を理解することが想起されやすいが、「異文化」ということばはもっと広い意味で捉える必要があ

るということを、ここで強調しておきたい。

なお、「国際理解」という用語も「異文化理解」と似たような文脈でしばしば使われる用語である。古田他（2001）は、「国際理解」という用語には文化を扱う上で2つの問題があるため、教育界では「異文化理解」を使うのが適当であると述べている。第一の問題として、「国際」は「国家と国家の間」を意味するため、国内の異文化の存在を忘れてしまうこと、第二の問題として、「国際理解」は政府間の外交による理解を意味するため、市民レベルの日常生活の文化は理解の対象にならないということとしている。

次に、本稿のキーワードにも挙げられている「協働学習（Collaborative Learning）」について見ておきたい。

金田（2007）は、「協働」のポイントは「相互作用」であると述べ、「協働」について「参加者どうしが互いに影響し合い、そして学び合いながら共通の目的のために協力する」とことと定義している。

金田（2007）によると、このような意味での「協働」は、近年、社会のさまざまな場面で使われるようになっていくという。たとえば、地域における街づくりや福祉事業、企業による新製品の開発などでは、「協働」は欠かすことのできないキーワードであり、物事を考える重要な枠組みとなっている（金田 2007）。

池田（2007）は、「協働学習」には二重の構造があるとし、「協働学習」の二重性を次のように述べている。

これまでの教室の学習は、教師主導、すなわち、教師が学習者に対して知識を提供し、学習者がそれをただ受容すればいいという一方的なものでした。しかし、人間の学びというのは、本来主体的、社会的、創造的なものです。そのことに目を向けるならば、教室の学習は、学習者の社会性や主体性を最大限に発揮させることを目指してデザインされるべきです。また、教師も、ただ単に知識を伝達するだけの役割を担うのではなく、人が社会で生きていくための学びを基盤とした学習をデザインし、学習者とともに主体的・社会的に学びつつ、学習者の学びを支援するという

役割を担うべきです。ここにも、「学習者どうしの学び合い」と「学習者と教師という異なる立場の間の学び」という二重の協働が見てとれます。

「異文化理解」クラスを開始するにあたり、上記のような「協働学習」の考え方を取り入れることとした。したがって、授業では、受講生同士が協力して学び、互いに刺激を与えあうことを重視する。また、教師の役割としては、受講生とともに学び、受講生の学びを支援するという役割を担うものと捉える。

## 2. 4 前期授業の取り組み内容

前節では「異文化理解」クラスの実践に関わる概念について確認した。先述のように、2010 年度の「異文化理解」クラスの前期は留学生と日本人の合同クラス、後期は留学生のみのクラスとした。本稿では、留学生と日本人の双方が参加した前期の授業の取り組みについて報告する。

前期授業の目的としては以下の二点とした。

（１）異文化理解に関する基本的な知識を理解する。

（２）留学生と日本人学生の合同クラスという特徴を活かして、協働学習を多く取り入れる。それにより、基本的な知識についての理解を深めると同時に、自らのものの見方を広げる。

このような目的を達成するために、毎回の授業では、受講生の主体性を重視し、ペアやグループでの作業やクラス全体での話し合いの機会をできるだけ多く取り入れながら進めることとした。

前期の授業で扱ったテーマは次の通りである。

表 1 前期授業のテーマ

|       |                                                                    |
|-------|--------------------------------------------------------------------|
| 第 1 回 | ジョハリの窓【自己開示の仕方の違い】、初対面での話題【コミュニケーション・スタイルの違い】                      |
| 第 2 回 | 生活作文の評価【コミュニケーション・スタイルに対する評価意識の違い】、文化と言って思いつくもの【見える文化・見えない文化】      |
| 第 3 回 | 自分に影響を与えてきた文化【社会集団と文化】、生活作文の評価(2)【コミュニケーション・スタイルに対する評価意識の違い】、コミュニケ |

|        |                                                                                |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|
|        | ーションとは何か【コミュニケーションの定義】                                                         |
| 第 4 回  | マレービアンの実験【非言語コミュニケーションの重要性】、【非言語コミュニケーションの種類】、ジェスチャーの紹介【ジェスチャーの普遍性と多様性】        |
| 第 5 回  | 日韓ドラマの音声比較【パラ言語による印象の違い】、【ステレオタイプ】、会話のスタイルと文化に対する態度【自文化中心主義と文化相対主義】            |
| 第 6 回  | カルチャー・ショックのモデル【カルチャー・ショック】、異文化への移行体験のモデル【異文化適応】                                |
| 第 7 回  | 異文化に対する態度【同情（シンパシー）と共感（エンパシー）】、価値志向の違い【5つの基本的な価値志向】、                           |
| 第 8 回  | 自分に影響を与えたことわざ【自分・クラスメートの価値観を知る】、プロジェクトチームのリーダー決めゲーム【価値観の違い】                    |
| 第 9 回  | 法務省の統計を読み解く【在日外国人】、多言語社会における言語使用【ダイグロシア、言語シフト、コード切り替え】                         |
| 第 10 回 | 駅や街での多言語表示【多言語景観】                                                              |
| 第 11 回 | 【国語と公用語の違い】、多様な英語話者【{母語・第二言語・国際語}としての英語】、英語使用に対するディスカッション【第二言語習得、英語帝国主義・世界諸英語】 |
| 第 12 回 | 【異文化交渉】、政治家のスピーチ分析【{言語・非言語} コミュニケーション・スタイルの特徴】                                 |
| 第 13 回 | 前期のまとめ                                                                         |

以下では、第 1 回の授業の具体的な内容について報告する。

### （１）第 1 回の授業

#### 《授業の目標》

第 1 回目の授業では、二つの目標を設定した。第一の目標は、初対面の受講生同士が多い初回授業の特質を生かして、自己開示の仕方、初対面の会話で選ぶ話題、コミュニケーションの仕方には文化による違いがあることを改めて確認することである。第二に、受講生同士がペアになって話し合ったり、全体でディスカッションをしたりすることの多い授業の進め方に慣れてもらうことを目標とした。

### 《授業の内容》

次に第1回目の授業の内容について述べる。初めに、異文化理解クラスの目的・内容・授業の進め方・評価方法についてのガイダンスを行った。

ガイダンスの後に、「自己紹介ゲーム」と称し、これまで話したことのない学生同士がペアになり、適宜メモを取りながら相手を知るための会話（話す内容は指定していない）を行ってもらった。5分経過したら、別の相手とペアを組み、再度メモを取りながら会話してもらおうということを数回繰り返した。

このゲームを行った目的は、クラスメートと会話をしお互いについて知りあうと同時に、初対面での会話において、他者はどのような話題を選ぶのか、どの程度自己開示をするか、どんなコミュニケーション・スタイルをとるかなどについて、振り返るための材料とすることである。

自己紹介ゲームが終わったところで、どんな話題が出たか、相手のコミュニケーションの仕方と自分と違うと感じたところはなかったかについて内省し、気付いた点を挙げてもらった。それぞれの受講生が、コミュニケーションの仕方や選ぶ話題などについて、自分と他者の間には何らかの違いがあったことについて気が付いていた。その際、



図2 授業風景（1）

留学生と日本人の間での違いだけでなく、日本人学生同士や留学生同士でも個々人により違いがあることを留意させた。

その後、ジョハリの窓（Luft, J & Ingham, H 1955）という自己開示のモデル（図3参照）について解説した。ジョハリの窓とは、自分自身について、本人が知っているかという基準と他人が知っているかという基準により、窓のような4つ



図3 授業風景（2）

のスペースのように分類したものである。①の、自分も知っていて、他人にも知られている「オープンな部分」が広いほど、自己開示の度合いが大きいということになる。また、「オープンな部分」の広さが違う場合、すなわち自己開示の度合いにずれがある場合には、コミュニケーション上誤解などが生じる可能性がある。「オープンな部分」の広さは会話の相手や状況により個人の中でも変化することと、「オープンな部分」の大きさは人それぞれだということを留意する必要があることを説明した。

|               |              |             |
|---------------|--------------|-------------|
|               | 自分は<br>知っている | 自分は<br>知らない |
| 人に<br>知られている  | ①<br>オープンな部分 | ②<br>盲目的部分  |
| 人に知ら<br>れていない | ③<br>隠れた部分   | ④<br>未知の部分  |

図4 ジョハリの窓（八代他 1998 より作成）

次に、「初対面での話題」についての質問紙を配布した。質問紙には、17の話題（テレビ番組について、政党について、など）が書かれてある。それぞれの話題について、初対面の人と話すとき、話題にしようと思うものには○、話題にしないと思うものには×をつけてもらった。質問紙で取り上げた話題は、徳井（2002）が留学生30名、日本



人学生 30 名に質問したものをベースに加筆したものである。受講生に○・×をつけてもらった後に、徳井（2002）の結果を提示し、それらと自らの回答を見比べながら、初対面の話題についての文化差について全員で話し合った。

最後に、次回の授業への橋渡しとして、「文化」ということばから連想されるものを書き、提出してもらい、授業を終了した。

#### 《授業のまとめ》

第1回の授業では、初対面のコミュニケーションにおける話題の選択やコミュニケーションの仕方などさまざまな側面で文化による多様性が見られるということを、改めて確認してもらうことを目的に、「自己紹介ゲーム」や初対面の話題についてのディスカッションを行った。

授業中、受講生に受講の動機を話してもらったところ、「日本人同士のコミュニケーションでも分かりあえないことがあると日々感じている。どうしてそのような誤解やすれちがいが起こるのかが知りたい。」と述べた受講生がいた。この発言から、受講生自身が、他者とのコミュニケーションは広い意味で異文化コミュニケーションであると認識し、日頃からその難しさを感じてきたことが伺える。

文化の違いには、出身国・出身地域による違いも大きく関わっているが、言うまでもなく、それ以外の要素も複雑に絡み合っている。そのため「留学生」「日本人」というカテゴリーのみでは説明できない場合も多いことを、第1回目の授業を通じて教師を含めて改めて実感できたのではないかなと思う。

### 3. まとめと今後の課題

本稿では、今年度から開講された「異文化理解」クラスの前期授業の取り組みについて報告した。

前期授業では、留学生と日本人学生の合同クラスという特徴を生かして、留学生と日本人学生と一緒に作業をしたり話し合いをしたりする、協働学習の機会をできるだけ多く取り入れることを試みてきた。

留学生と日本人学生が協働学習を行うことによって、次のような効果が得られたのではないかなと思われる。

（1）留学生と日本人学生の交流のきっかけとなり、互いについての理解が促された。

（2）日本人学生と留学生を交互に座らせるようにしてから、日本人学生が留学生の日本語の理解を自然に助けるような態勢ができた。

（3）留学生が日本語で積極的に自分の意見を発言する姿勢に促されて、日本人学生も能動的に発言をするようになった。

一方で今後改善していかなければならない問題点もある。教師側の問題として、受講生たちに自分たちの主体性を十分発揮してもらうことと、基本的な知識への理解を深めるために説明することの両方のバランスをとることが難しく、説明をしすぎてしまうきらいがあった。協働学習が、「異文化理解」の理論に対する体系的な理解に有機的につながるようにするための一層の工夫が必要だと実感している。

また、授業を単なる異文化接触体験の場にとどめるのではなく、自らの視野の広がりや思考の深まりを意識化できるように、毎回、授業の最後にはリアクション・ペーパーを提出させたり、振り返りの時間を十分に持ったりするなどしていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 青木保（2001）『異文化理解』、岩波書店  
池田玲子（2007）「協働学習としてのピア・レスポンス」、『教室活動における「協働」を考える（日本語教育ブックレット9）』（井上優編）、独立行政法人国立国語研究所  
岡部朗一（1987）「文化とコミュニケーション」、『異文化コミュニケーション』、有斐閣  
金田智子（2007）「はじめに」、『教室活動における「協働」を考える（日本語教育ブックレット9）』（井上優編）、独立行政法人国立国語研究所  
竹田恒美・青木宏之・浅野敬一他（2010）「都市型高専の特徴を活かした留学生施策と日本人チューター教育を含めた統合プログラム（TOKYO Links）の開発」、『平成22年度全国高専教育フォーラム教員研究集会研究論文集』  
竹田恒美・青木宏之・浅野敬一他（2010）「編入学前教育を視野に入れた留学生施策と、留学



生・日本人チューター合同の教育プログラムの開発」独立行政法人国立高等専門学校機構  
論文集『高専教育』第34号(2011年3月発行予定)

- 徳井厚子(2002)『多文化共生のコミュニケーション - 日本語教育の現場から - 』, アルク
- 古田暁・石井敏・岡部朗一・平井一弘・久米昭元  
(2001)『異文化コミュニケーションキーワード [新版]』, 有斐閣
- 八代京子・町恵理子・小池浩子・磯貝智子(1998)  
『異文化トレーニング - ボーダーレス社会を生きる - 』, 三修社
- Luft, J. & Ingham, H. The Johari Window: A Graphic Model of Interpersonal Awareness. Los Angeles: U. of California Extension Office, 1955

(平成23年1月7日 受理)

# 好奇心をはぐくむ物理実験教室

潮 秀樹\*, 大野秀樹\*

Physical class to improve the interest of students in physics

Hideki USHIO and Hideki OHNO

The physics classes with scientific experiments have been implemented since 2009 to improve the interest of student in physics. In 2010, three kinds of experiments were done as follows; “rainbow experiment”, “mirage experiment” and “polarization experiment”. The participants were impressed by these experiments and gained a curiosity and an interest in physics. It has been concluded that the scientific experiments class would be one of effective study method.

(Keywords: physics classes, scientific experiments)

## 1. 企画の目的

物理学教室では、学生に物理をより理解して貰うために実験を主体とした授業を取り入れているが、昨今のゆとり教育を受けてきた新入生に対しては、中学校・理科とのギャップを埋め、高専・物理を学ぶための体験的導入教育が必要であると強く感じている。そして、昨年度は「低学年の学生に物理への興味を引き起こす試み」として、1～2年生を対象に物理実験教室を開催（試行）した<sup>(1)</sup>。学生が物理の楽しさに触れる機会を設け、興味を持ち物理を学ぶ動機付けになるような実験教室である。参加した学生数は少人数であったが、とても活発な活動が出来た。昨年度を踏まえて本年度も引き続き3つのテーマ「虹の実験」、「ミラージュの実験」、「偏光を使ったマジック」を実施した。

## 2. 実施概要

実施した3つのテーマについて、その概要を紹介する。虹の実験については、昨年度の報告を参照して頂きたい<sup>(1)</sup>。

### (1) ミラージュの実験

浮かぶ人形の玩具を使って興味を引き、凹面鏡の原理を理解させるためにパワーポイントを使って説明した。その玩具は外から見ると、Fig.1のように人形が浮かんで見える。しかし、その人

形をつかもうとすると、そこにそれは存在しない。おもちゃの構造（断面）は Fig.2 のようになっている。上のふたの内側は中央に小さな穴が開いている凹面鏡になっており、その焦点のところに底がある。底の内側も凹面鏡になっている。底とふたの凹面鏡の焦点距離は同じであり、両者は互いの焦点の位置にある。底の中央に置いてある人形から出た光は、Fig.3 の鏡1で反射し、平行光線となって鏡2に戻ってくる。平行光線は鏡2で反射して、鏡2の焦点に集まる。そして上部の穴を通して外へ出る。その光を見ると、上部の穴のところに像が見え、これが最初に見た浮かぶ人形となる。実際には、等倍率で正立の像が見えるが、簡単な説明だけにし、詳しくは近似の公式を学んだ後とし、像のできる原理などを Fig.4 の図などで説明するにとどめた。

ここには何も存在しない！

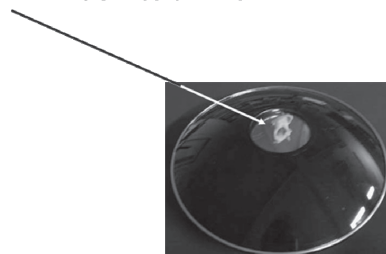


Fig.1 浮かぶ人形の玩具の外観

\*一般教育科（物理学教室）

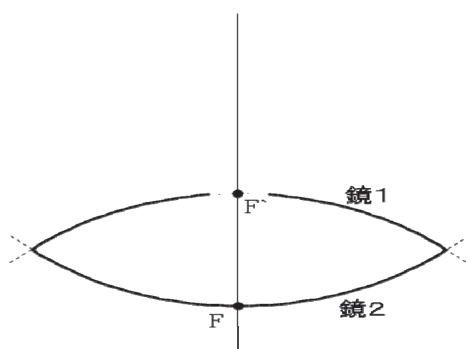


Fig.2 断面図

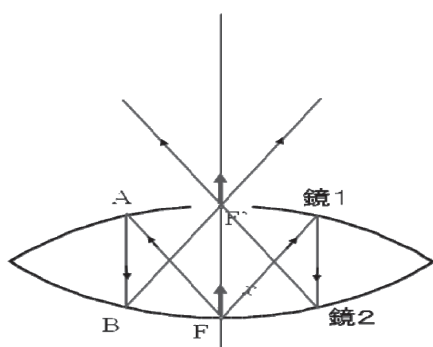


Fig.3 玩具の原理

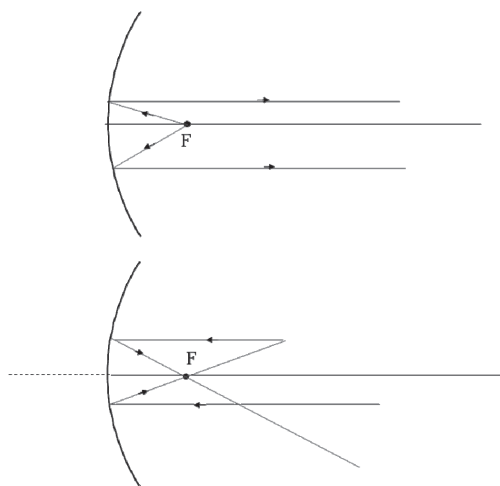


Fig.4 凹面鏡の仕組み

## （2）偏光を使ったマジック

異なる偏光方向にカットされた偏光シート 2 枚を用いて Fig.5 のような筒を作成するとふたつのシートの境目に壁が出来たように見える。（Fig.6 のようにその筒を覗いてみるとその壁は存在しない。）そのような科学マジックの工作をしてもらった後、偏光の説明と、実際はない壁が

見える理由をパワーポイントを用いて説明した。



Fig.5 完成した偏光シート筒の外観

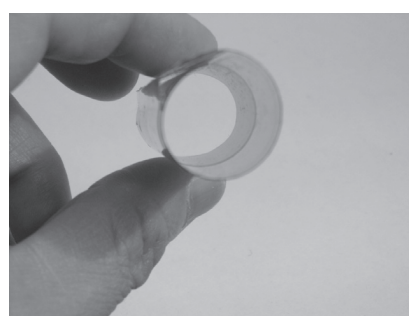


Fig.6 偏光シート筒を覗いた様子

## 3. 終わりに

実験教室に参加した学生は、これらの実験テーマに不思議さや面白さを感じているようであった。この学生達の気持ちを大切にし、その気持ちを持続させることが重要である。しかし、中間試験を境に学生は来なくなってしまった。試験勉強で忙しくなったためか、普段の勉強が次第に忙しくなったのか理由は分からないが、次年度は定期試験後も学生の参加が続くように工夫する必要がある。その一つは、「好奇心をはぐくむ実験」と物理の授業を結び付ける方法である。例えば、定期試験に近くになると「物理の補習」に変わるといった方法である。もうひとつの方法は、「好奇心をはぐくむ実験」と「先端物理のやさしい話」を結びつける方法である。多くの学生は、相対性理論等に憧れをもっている。その興味を利用しながら、相対論や量子力学の話題を織り交ぜて正課の物理授業への関心を惹く方法である。次年度はこれらを組み合わせて「好奇心をはぐくむ実験」を拡張した形式で試行してみたと思う。

実験の写真撮影は本校技術職員の黒澤氏にお世話になった。また、今回の実験教室の企画と試みは重点配分経費によって実施することができた。ここに、感謝の意を表する。

#### 参考文献

- (1) 潮秀樹、大野秀樹、東京高専研究報告書、41(1),pp21-22 (2010).

(平成 23 年 1 月 7 日 受理)



# 教育専門職の倫理綱領

川 北 晃 司\*

## Codes of Ethics for the Teaching Profession

Koji KAWAKITA

The teaching profession can learn from codes of educational ethics such as the Code of Educational Ethics made by the Hokkaido University in 2009 and the Code of Ethics for Registered Teachers established by the New Zealand Teachers Council in the year 2003. Meanwhile the Code of Ethics of the Japan Society for Engineering Education (JSEE) can and should be a model case of the multi-professional code of ethics which includes at once the engineering, the research and the educational ethics. So some revisions of this JSEE Code of Ethics (declared in 2010) seem to be advisable.

(Keywords: Code of Ethics, Educational Ethics, Engineering Ethics)

### はじめに

学協会における倫理綱領とは、専門家としての倫理的責任を明確にし、一般社会に表明、約束するものである。そうすることで、専門家としての社会的な地位も確立していくと信じられている<sup>(1)</sup>。会員が判断や行動を誤ると、すぐ一般社会に、したがって当然、研究にも大きな悪影響<sup>(2)</sup>が広がる恐れのあるような学協会では、しばしば細かい規定がある。人の生命や福祉に関わる医療・福祉系、人の実験を行う心理学系、人の調査を行う社会学系、人の教育に関わる教育系、人の情報を扱う情報通信系、ものの製造・廃棄を通じて人の生命・健康と自然環境に影響を与える工業系など。これら学協会の多くでは、それぞれの業務の特徴に応じた倫理綱領が定められるようになってきた<sup>(3)</sup>。

そこで本稿では、まず、教育者倫理綱領のモデルを日本の内外に求め、その意義を把握する。ついで、筆者の所属する日本工学教育協会(日工教, JSEE)が2010年5月に制定した倫理綱領について論ずる。この綱領は、会員に「技術者」倫理および「研究者」倫理に加えて「教育者」倫理を求める、いわば「多重専門職倫理綱領」(a multi-professional code of ethics)として興味深い。これ

ら教育者倫理を学ぶことで授業改善も期待できると思われる。

### 1. 教育者倫理綱領の二例

教育者倫理綱領例としては、「北海道大学教育倫理綱領」<sup>(4)</sup>が比較的新しく(2009年6月23日制定)かつ啓発的と思われる。それによれば、北海道大学教員は、自らを律する規範を次のように定める(下線は引用者による)。

第1 教員は、すべての学生が「高邁なる大志」を育み、新しい道を切り拓くことができるよう、模範と指針を示し、自由な学風の醸成に努める。

第2 教員は、すべての学生に自律的個の確立を促し、その人格を尊重し、敬意をもって接する。

第3 教員は、学習目標を明確に示し、つねに授業改善に努め、学生の自主的な学習を支援する。

第4 教員は、学生に明確な成績評価基準を示し、学習目標に即した公正な評価を行う。

第5 教員は、きめ細かな学生指導に努め、個人情報の保護に最大限の注意を払う。

「大志」という言葉にこの大学の独自性<sup>(5)</sup>がうかがえる他、現代社会における高等教育機関教

\*一般教科(人文社会)

員のあるべき姿がここには簡潔明瞭に記述されているだろう。当たり前のことを述べたに過ぎない、との見方も可能であるが、実際の十分な実行は難しい。第3で言われた「学習目標を明確に示す」についても、授業時間数、学生の学習能力や知識水準なども考慮しなければならないので、容易ではない。それでも、そうした困難を乗り越えるためのステップとして、こうした綱領を知り、意識しつづけるのは大きな意義があるだろう。

この北海道大学教育倫理綱領は、全国における高等専門学校教員の参考になるが、高専は、大学と同じく高等教育機関でありながら後期中等教育課程（つまり高校生レベル）も担う点に大きな特徴がある。そこで、それにふさわしい教育者（教員）倫理綱領を国内外に範を求めて探索の結果、筆者は、ニュージーランド（NZ）にその好例を発見しえたとの結論に達した<sup>(6)</sup>。

NZにおける教員免許発行業務を担う New Zealand Teachers Council による、2003年制定の教員倫理綱領（Code of Ethics for Registered Teachers）<sup>(7)</sup>における、「前文」に相当する部分を以下に訳出してみよう（下線は引用者による）。

NZにおける活動が公認された教員は、学び手（learners）の学びの促進における、最高水準の専門職的サービスの達成に向けた責務を負い、学び手の能力、文化的背景、ジェンダー、年齢、発達段階に十分な考慮を払う。この複雑な専門的職務は、他の教員、学び手、その親・後見人、家族、そして広く一般社会の人々との協働作業のなかで遂行される。教員は職務上の人間関係において四つの基本原則、すなわち自律、正義、責任あるケア、そして誠実さに従う。自律（Autonomy）とは、尊重され擁護されるべき諸権利を有するものとして人々を扱うこと

（to treat people with rights that are to be honoured and defended）である。正義（Justice）とは、力を分かち合い力の濫用を妨げること（to share power and prevent the abuse of power）である。責任あるケア（Responsible Care）とは、他者に善をなし他者への害を最小化すること（to do good and minimize harm to others）である。誠実さ（Truth）とは、他者および自己に対して正直なこと（to be honest with others and self）である。

NZのこの教員倫理綱領は、以上の「前文」の後、1）学び手への責務、2）親・後見人、家族への責務、3）社会への責務、4）専門職（profession）への責務、という4つの責務（Commitment）を述べた部分が続く。

#### 1） 学び手への責務

教員がその専門職業的義務を最も負う相手は、学び手に対してである。教員は、学び手がますます自力で（with developing independence）考え、行動できるような力量を学び手に養い、民主的な社会の根本的諸価値について、よく情報を与えられた上で支持するよう学び手を勇気づける。教員は努めて（Teachers will strive to:）

- a) 学び手の最善の利益にもとづいて、学び手とのプロフェッショナルな関係を築き、維持する
- b) 専門的学習を続ける姿勢、カリキュラムと教育方法に関する入手可能な最善の知識、加えて学び手に関する知識にもとづいて教育活動をおこなう
- c) 教育材料を情報豊かでバランスの取れた視点から提供する
- d) 社会的に大きな論争がある問題については批判的に考えるよう学び手を勇気づける
- e) 多様な学び手の多様な学習ニーズに配慮する
- f) 学び手の身体的、情緒的、社会的、知的そして精神的な厚生を促進する
- g) 法律による要請との整合性のもと、学び手に関して職務上知りえた秘密を守る

#### 2） 親・後見人、家族への責務（本稿では省略）

#### 3） 社会への責務

教員は学び手たちが最も広い意味で社会人として生きていける準備の手助けをするものとして、公衆から期待と信用と責任を託されている。社会に対する諸義務を果たすために教員は努めて、

- a) すべての人々の機会均等を促進する政策およびプログラムを積極的に支持する
- b) 民主主義的諸理想にかなう学校とコンテンツを開発するために協調して働く
- c) 社会に広く受け入れられているような諸価値を教え、実践し、それらを学び手たちも自分に当てはめ、その意義を批判的に吟味鑑賞（critically appreciate）するよう勇気づける。

#### 4） 専門職への責務

教育専門職によるサービスの質は国家と市民に影響を及ぼすとの信念のもと、教員は力を尽くして専門的技量を磨き、専門的判断のための訓練を奨励する環境づくりを促し、信頼に値する人物を教育職に惹きつける諸条件を整備させなければならない。教育専門職に対する諸義務を満たすために、教員は努めて、

- a) 責任ある倫理的なふるまいを通じて、教育専門職の利益を増進する
- b) 自分自身を学び手と見なし、専門能力を継続的に伸ばす
- c) 自らの資格と力量について申告を偽らない
- d) 健全な教育政策の開発促進に貢献する
- e) オープンで反省的な専門職文化の構築に貢献する
- f) 職場の仲間に敬意をもって振舞い、協力して仲間意識を有して働くことで、学生の学びを促進する
- g) 新任教員をアシストする
- h) 法令や重大な教育的目的に反しない限り、教員仲間に関して知り得た秘密情報を守る
- i) もし教員仲間の行為がこの綱領に深刻に違反する場合は率直に意見(speak out)する

NZ のこの教育者倫理綱領からわれわれは何を学べるであろうか。教師は今や、医師に準じるかのような重い専門職倫理を負わねばならないように見える、ということがまず一つ挙げられるだろう。「前文」において教員は職務上、四つの基本原則を大切にするとされたわけであるが、これらは生命医学倫理で説かれるそれらと半ば以上重なり合うのである。生命医学倫理上の基本原則を参考にして、NZ 教育者倫理綱領は作成されたようにすら見える。

生命倫理学は、人体実験、脳死と臓器移植、安楽死、生殖補助などの是非を決するための原理原則群を追求してきた。患者の意思の尊重（自律）、患者を害さない（無危害）、患者のためをはかる（仁恵）、医療資源の公平な利用（正義）がその代表である。医療における倫理原則は、仁恵（beneficence）・無危害（non-maleficence）・自律（autonomy）・正義（justice）のこの四つであることを早くから提唱してきたのは、生命倫理学の代表的な教科書であるビーチャムとチルドレスの *Princi*

*ples of Biomedical Ethics* (1979年初版～2008年第6版)であった<sup>(8)</sup>。

それによれば仁恵の原則は、その行為をなすことによって引き起こされる利益を最大にするとともに、予想される不利益を最小限度にとどめることを求めている。これは標語「最大多数の最大幸福」(J. ベンサム)で有名な功利主義原則に準じる発想に見える。

しかしたとえ仁恵のためでも他者（ときには自分自身）に対して意図的に危害を加えることを禁じるのが、無危害の原則である。

そして自律の原則は、生命倫理学の登場以来最も強調されている原則である。患者を独立した人格として尊重し、従来医師の裁量範囲とされてきた治療法の選択についても、患者の意向を取り入れて、インフォームド・コンセントを得ていこうとするものである。それは患者を自律的に意思決定する権利主体とみなし、「自律的な患者の意思決定を尊重せよ」と命じる。このことは一方で、判断能力のある成人であれば、その決定が標準的な医療から逸脱したものであっても、他者に危害や迷惑が及ばない限り尊重されることを意味する。

また正義の原則は、適正な医療資源の配分や、研究成果の医療応用がもたらす利益が特定の個人に偏らないようにするための配慮などである。とくに、自ら権利主張をすることが困難な、いわゆる社会的弱者の保護が課題となる。

しかし、1980年代以降、原理原則だけでは個々の事例の独自性が汲み取れないという批判が浮上してきた。「ケアの倫理」(ethics of care)による批判もそのひとつである。

ケア(世話)ということが再評価される大きなきっかけは、心理学者キャロル・ギリガンの研究であった。倫理的な「善とは何か」との問いに(米国人)男性たちの間では、他人に干渉されずに自分で決める権利、そうした基本的な権利を誰にも認める正義、普遍的原则を貫くこと、といった答えが多かった。しかし女性たちは、そのつど他人の必要としていることを気づかい、おたがいに満足できる関係を築くことだと考える傾向にあることがギリガンの調査でわかった。従来、欧米では倫理観というと前者の捉え方が支配的で、そこでは身近な人間関係を気にする女性は未熟な人間のように評価されてしまう。しかし、ギリガンは、



後者は前者の「権利の倫理」に劣らぬ別の倫理だと主張して、男性の発言とは異なる、女性が発する「もうひとつの声」を「ケアの倫理」と呼んだのである<sup>(9)</sup>。

NZ の教育者倫理綱領では、ビーチャムとチルドレスの「自律」と「正義」原則を、学び手の人権を守り差別しないという理念においてそのまま受け継ぎ、そのかわり「仁恵」と「無危害」の原則に代えて、「責任あるケア」と「誠実さ」を採用したように見える。NZ 教育者倫理綱領での「責任あるケア」の定義は、ビーチャムらの「仁恵」のそれとほぼ同一だが、「仁恵」が不特定多数を対象になしうののに対して、「責任あるケア」はむしろ個別対応、目の前の学び手が配慮の中心にあるだろう。「ケアの倫理」から直接・間接に学んだからこそ「ケア」という用語を NZ 教育者倫理綱領は採用した可能性が高いと思われるからである。また、医師とちがいが教員は手術や投薬を行わないので「無危害」原則は不要となるだろうが、学び手の心および学び手からの信用を傷つけないよう、言葉の「誠実さ」という原則がかわりに入ったのであろう。

また NZ の教育者倫理綱領からは、次の諸点がよくとくに学べると思われる。民主的な社会の根本的諸価値について、よく情報を与えられた上で支持するよう、学び手を勇気づけること。社会的に大きな論争がある問題については批判的に考えるよう、学び手を勇気づけること。学び手が最も広い意味で社会人として生きていける準備の手助けをすること。すべての人々の機会均等を促進する政策およびプログラムを積極的に支持すること。民主主義的諸理想にかなう学校とコンテンツを開発するために協調して働くこと。社会に広く受け入れられているような諸価値を教え、実践し、それらを学び手たちも自分に当てはめ、その意義を批判的に、したがってドグマティックではなく吟味鑑賞するよう勇気づけること、等である<sup>(10)</sup>。というも、これらの多くは日本の学校教育では、NZ においてほどには強調されていないように見えるからである。

## 2. 日工教倫理綱領（原案）に対する意見公募

つぎに、会員に「技術者」倫理と「研究者」倫

理に加え、「教育者」倫理を求めるユニークな「多重専門職倫理綱領」としての、日本工学教育協会（JSEE）倫理綱領を見てみよう。まず、JSEE による倫理綱領制定の挙それ自体が高く評価されてよい。欧米の同種機関に先んずる画期的試みである可能性が高いからである。比較検討のため調査を試みたが、米国工学教育協会（ASEE）およびヨーロッパ工学教育協会（SEFI）の会員倫理綱領については、その参照が困難な事実が判明した<sup>(11)</sup>。ASEE や SEFI が今後、もし倫理綱領を制定するとした場合、JSEE のそれが参照され、モデル綱領視される可能性もある。

日工教（JSEE）が倫理綱領策定に当たり、原案に対する意見公募を実施したのも賢明であった。2010 年 4 月 2 日、日工教は意見公募を開始した。常務理事名での通知文を要約すると、次のようになる。すなわち、日工教では会員が果たすべき社会的責任を明確にするために倫理綱領を策定すべく、技術者倫理調査研究委員会において 1 年余の検討審議を続けてきた。今回、内外からパブリックコメントを得てそれを適切な内容に修正したい。倫理綱領は法令や規則ではなく罰則もないが、会員の行動規範を昇華して纏めたもっとも重要な約束ごとである。なお日工教という法人そのものの社会的責任やガバナンス、コンプライアンス、説明責任などについては、理事会の決議による倫理規程がすでにある。

以上の文面から、パブリックコメント公募の背景として、少なくとも 3 つのメッセージを筆者は汲み取りたい。すなわち、日工教では

- 1) 倫理綱領案を調査研究すべく委員会での検討審議を重ねた
- 2) 倫理綱領は社会に対する最重要な約束であると認知する
- 3) 個人にモラルを要求する以前に法人としての倫理的責任を全うする意思がある

これら 3 点は、倫理綱領策定に先立つかたちで学協会に求められてよいことであろう。なぜなら、1) 拙速は綱領の信頼性を損なう。また、2) 綱領が「最重要な約束」と認知されない場合、綱領はその存在意義を失う。綱領は法律ではないが、いわば憲法的存在と見なされるからである。そして、3) 個人（会員）の倫理は経営（組織）の倫理と



セットで高められるべきものだからである。

このパブリックコメント依頼をうけて筆者は4月30日、原案に対する代案を日工教事務局に電子メールで提出した。同日、事務局からは、わずかなが他にも意見が寄せられているので、技術者倫理調査研究委員会委員長に伝えて改善されたものを日工教総会に諮りたい、との返信があった。その後、倫理綱領は2010年5月31日、総会決議において正式決定されたとのことで、日工教ホームページ上で閲覧可能である<sup>(12)</sup>。

結果的に、この倫理綱領はまだ多くの点で改善可能性を有しているように見える。じつのところ、筆者が提出した倫理綱領代替案に対する筆者の考え自体に、当初から半年以上経過した現在、いくつか変化が生じている。そこで今回、日工教倫理綱領に対する再修正案を考案してみよう。

### 3. 日工教倫理綱領の前文とその検討

今回正式に制定された倫理綱領の「前文」(preamble)に相当する箇所は、計7文からなる。説明の便宜のため数字を冒頭に付して、一文ずつ改行して以下に示すところなる。

- ① 科学技術の進展は人類および地球環境の未来にきわめて重要な役割をはたす。
- ② 日本においても、科学技術の振興は国を挙げたの基本方針である。
- ③ 日本工学教育協会は、「科学技術創造立国日本」を実現するために、産学官の密接な協力のもと、人類の未来を担う工学・技術の実践者、研究者、および教育者を育成する。
- ④ すなわち、本協会は、工学教育のあり方を多面的に検討し、その改善向上を図り、また、時代を俯瞰し未来を見すえた工学教育施策を提案し、これを実行することにより、人類の幸福と我が国の発展に貢献することを使命とする。
- ⑤ よって、本協会は、会員が、工学教育の専門家としての自覚と品位の保持に常に努め、工学教育の責任ある実践、研究、開発、運営などを通じて社会の発展に寄与することを目的として本綱領を定める。
- ⑥ 本協会を構成する個人会員は、この倫理綱領

に示された価値観と規範を理解・共有した上で、自律的に行動する。

- ⑦ また、団体会員は、この倫理綱領の趣旨を尊重し、各組織内で構成員の誠実な行動を促すための体制整備に努力する。

以上の各文についてこれから順次考察を加えてみよう。

①および②について、この二文は、③の導入部分として解釈される。すなわち①は地球規模、②は日本について語っており、科学技術の有用性および日工教の必要性を論証するための論拠部分を構成しているものと見なせる。ただし、②については、期待されるほど明らかではないだろう。

③についてであるが、「科学技術創造立国日本」を実現するために、との部分は、力強い宣言ではあるが、現代民主主義社会で求められる倫理とは身内に対して以上に、「他者」に対して開かれたダイアログであるべきだとすれば、一般社会に約束する性質の倫理綱領にしては、やや特定の価値観の押しつけが懸念されるところである。すなわち、日本は将来、何をもとに「立国」していくべきか、もし日本が成熟した民主主義国でありたいならば、日本国民自身が今後、十分な情報開示と説明を受けて熟議、討議し判断していくべき事柄であろう。また、「産学官の密接な協力のもと」という姿勢は、協会および日本にとって重要なことではあるとしても、それは倫理的に、というよりは戦略的に、であるから、倫理綱領から外してよいだろう。

通商、投資、観光、農業、文化芸術など、他にもさまざまな「立国」方法が存在してよい<sup>(13)</sup>。しかも、これら他の方法・手段も併用せずには、たぶん「科学技術創造」自体が捗らないだろう。

科学技術者は実際、公衆には不可能な高い能力と特権を有している。だからこそ、その高い能力と特権に見合う注意配慮義務など、特別な義務の甘受が期待される。しかし、「国家のあるべき未来は科学技術者の特権で決める」かのように誤解されてはならないのは、「科学のあるべき真理は公衆や党派や宗派が決める」と考えられてはならないのと、同様であった。

「科学技術創造立国日本」を実現するために」の部分は、④との整合性も危うくする。④では、

日工教は「人類の幸福と我が国の発展に貢献することを使命とする」とあった。そこでは「科学技術創造立国日本」と同等か、もしくはそれ以上に、「人類の幸福」への貢献が日工教の使命であると解釈可能であった。

⑤において「工学教育の専門家として」とあるのは、「工学関連分野における教育者として」等の方がよいだろう。一般教養教育担当の筆者を含め、本会会員は「工学教育の専門家」に限定できないはずだからである。「工学」および「専門家」という概念の外延は、広げすぎない方がよい。ただし、それらに近づく努力はすべての会員に期待されてもよいわけである。

⑥では「本協会を構成する個人会員は、この倫理綱領に示された価値観と規範を理解・共有した上で、自律的に行動する」とあるように、倫理綱領はあくまで抽象的なガイドラインにすぎない。複雑な個々のケースでは、各人がみずからの倫理的責任で誠実な判断力を発揮せざるをえない。ならば「自律的に行動する」という表現よりも、「各自誠実な責任ある判断と行動に努める」等の文言の方がやや親切であろう。その方が、次の文章⑦における「各組織内で構成員の誠実な行動を促す」という部分とも符合する。

以上の諸事由により、この「前文」相当部分は、下記のように書き換えてもよいだろう。

（前文）

工学および技術の進展は、人類および地球環境の未来にきわめて重要な役割をはたすことが期待される。日本工学教育協会は、そのような人類と地球環境の未来を担う工学・技術の実践者、研究者、および教育者を育成する。すなわち、本協会は、工学教育のあり方を多面的に検討し、その改善向上を図り、また、時代を俯瞰し未来を見すえた工学教育施策を提案し、これを実行することにより、人類の幸福と我が国の発展に貢献することを使命とする。

よって、本協会は、会員が工学関連分野における教育者としての自覚と品位の保持に常に努め、工学教育の責任ある実践、研究、開発、運営などを通じて人類・日本社会の発展に寄与することを目的として本綱領を定める。

本協会を構成する個人会員は、この倫理綱領に示された価値観と規範を理解・共有した上で、各

自誠実な責任ある判断と行動に努める。また、団体会員は、この倫理綱領の趣旨を尊重し、各組織内で構成員の誠実な行動を促すための体制整備に努める。

#### 4. 条文とその検討

日工教倫理綱領では、さきの「前文」につづき、下記のような条文が1から13まである。括弧の部分は、いわば「見出し」としてもとの条文上段にそれぞれ記されているものである。

（社会に対する責務）

1. 会員は、自らの専門知識、技術、経験を活かして、工学・技術の実践者、研究者および教育者の育成と工学教育の実践、研究、開発、運営に貢献することにより、人類の安全・健康・福利と人びとの安心の維持・向上に努める。

（教育の重要性の認識と伝達）

2. 会員は、これからの社会を切り拓いていく次世代の工学・技術の実践者、研究者および教育者を育成することの重要性を認識し、自ら真摯に熱意を持って教育・研究に当たるとともに、その重要性を他者に伝達する。

（自己研鑽）

3. 会員は、工学教育ならびに自らの専門分野において、常に、自らの知識・能力・技能・技術力の維持・向上に努める。

（他者の権利と価値観の尊重と協働）

4. 会員は、工学教育の発展を目的とする活動においては、他者の権利と価値観を尊重し、本協会の使命を理解・共有して協働する。

（研究倫理の尊重）

5. 会員は、工学教育に関わる研究を行う場合、新しい知識を生み出す専門職業者として研究上の倫理を尊重し、とくに、人を対象とする研究を行う場合は、協力者などの人格や人権などに充分配慮する。また、データの捏造・改ざん・剽窃などの不正行為を行わず、これらに荷担しない。

（情報・成果の開示）

6. 会員は、自ら入手した情報ならびに生み出した成果を、公益に照らして積極的に開示し、工学教育の発展に寄与する。

（差別の排除と公平性の確保）

7. 会員は、国際社会における文化の多様性に配慮し、人種、宗教、性別、年齢、社会的身分などによる差別を排除し、公平性を確保する。

（公正な評価と判断）

8. 会員は、事実を重んじ、工学教育に関連する評価・判断に際し、公正を旨とする。

（工学・技術関係者の地位向上）

9. 会員は、工学教育関連活動に携わることに對して誇りを持ち、工学・技術の実践者、研究者ならびに教育者、また、その育成に関係する人びとの社会的評価と地位の向上に努める。

（所属する他機関などの倫理規範との関係）

10. 会員は、自らが所属する他の機関や学協会の倫理規範などを尊重するとともに、本綱領との矛盾が生じた場合は、その解消に努める。

（利益相反への対応）

11. 会員は、工学教育関連活動において、個人と組織、あるいは組織間の利害の衝突ならびに責務の相反に十分に注意を払い、必要な場合はこれを回避あるいは開示するなど適切に対応する。

（法令遵守）

12. 会員は、各種の法令や規則を遵守し、自らの職務と行動に対して責任を持つ。

（本協会への貢献）

13. 会員は、本会の倫理綱領の精神に則って積極的に行動し、本協会の発展と社会的地位の向上に貢献する。

それでは以下に、各条文について論じていこう。

第1条についてであるが、「自らの専門知識、技術、経験を活かして」のかわりに、「自らの専門知識、技術、経験はその源が人類社会から与えられたものであることを認識し、それらを活かして」等と補足してはどうだろう。見出しにある「社会に対する責務」とは、大きくはその認識から自覚され、その認識が社会に対する利益還元をわれわれに促すはずだからである。

第2条において、「これからの社会を切り拓いていく次世代の工学・技術の実践者、研究者および教育者を育成する」とあるが、あたかも未開の原野に対するかように、これからの「社会」を切り拓いていくというイメージが次世代の工学・技術に、今の社会全体によってどこまで求められているかは疑問である。過去と現在の社会の遺産と

して、未来の社会がある。人類がこれまで築き上げてきた既存の社会システムをどこまで、なにゆえ、どのような犠牲の上で変革するか。どのような未来社会を築き上げるか。それは工学・技術関係者を含めた国民・人類レベルで英知を集めて判断すべきことである。また、職場をリタイアした会員の場合など、自ら教育に当たることは難しい場合もある。したがって、これらの部分が修正可能だろう。

第3条において、「技能・技術力」の部分は外してよいだろう。「技能・技術力の維持・向上」は、さまざまな経歴のもとにある本会会員にとって必要条件とまでは言えないからであり、「能力」の一語で包括可能だからである。

第4条において「他者の権利と価値観を尊重し」とあるが、「価値観」の中には、それを尊重することが別の他者の権利を侵害せずにはおかないものもある。社会的に認められた（法的）権利と、その必要のない価値観とが両者相反する場合、あくまで優先すべきなのは前者である。したがって「他者の権利と価値観を尊重し」の部分は、「他者の価値観に配慮の上、他者の権利を尊重し」等へと、表現を換えてよいだろう。

第5条において、「工学教育に関わる研究を行う場合、新しい知識を生み出す専門職業者として」の部分は、「研究を行う場合」だけでよいだろう。

「工学教育に関わる研究を行う場合」と限定的に記した場合、「それ以外の研究を行う場合」はなんとも言えないという、裏返しの解釈が論理的に成立してしまう余地が生じる。また、「新しい知識を生み出す」ことだけが「研究」の名に値するわけではない。新しい解釈や分類や評価や表現の探究などは、「新しい知識を生み出す」こととは土俵が異なる研究考察である。そしてまた、研究は、その「専門職業者」のみに許されたギルド的特権ではないので誤解なきを期したい。

しかし第6条においては、「自ら入手した情報ならびに生み出した成果」の前に「工学教育に関連して」を挿入した方がよい。「工学教育の発展に寄与する」という後段にも、より整合する。

第7条においては、「国際社会における文化の多様性に配慮し、人種、宗教、性別、年齢、社会的身分などによる差別を排除し」とあるが、世界の諸文化は、それ自体さまざまな「差別」的慣行



を抱え込んでいる。自文化中心主義に陥ることなく多様な文化を尊重しはするが、しかし後段での、世界各地の文化現象でもある各種差別には同調しない姿勢こそが、この条文では強く意図されてよいだろう。したがって、そのように解釈可能な表現が望ましい。

第8条についてであるが、「事実を重んじ」と言われるときの「事実」とは、「私」が「思う」とか「望む」とか「信じる」とか、その他、感情や主観に基づくような「事実」とは範疇が異なるであろう。したがって、「会員は、工学教育に関連する評価・判断に際し、客観的事実を重んじて公正を旨とする」などとしたほうがよい。ただし、リスクに対する主観的评价などは、軽んじてよい事実ではない<sup>(14)</sup>。それどころか、「安全」に加えて「安心」な社会が望まれているはずである。ここで「安心」や「不安」は、主観が最終判定するほかない。

第9条についてであるが、工学を学ぶ若者に対し、もっと誇りを持つよう呼びかけるのは有意義かもしれないが、本協会会員に対して「工学教育関連活動に携わることに誇りを持つ」というのは、的外れな要求に思える。すでに所有済みに見えるからである。なるほど他の倫理綱領にあってもそうした表現例はある。たとえば「会員は、原子力に従事することに誇りを持ち、その職の社会的評価を高めるよう努力する」（日本原子力学会倫理規程）。しかしこの要求の背景には、日本における原子力の不幸な歴史が想定されるだろう。しかるに、われわれが従事している工学関連教育において、そのような不幸な歴史はあったのだろうか。とくにない、とすれば、「誇り」という個人の内面について、強いて条件づける必要性は薄いと考える。

第10条内であえて言えば、「矛盾が発生した場合は」を「矛盾が万一発生するような場合は」とした方が、会員は安心できるだろう。矛盾の発生頻度は高くないと思われるからである。

第11条は利益相反に関する規定であるが、なぜ利益相反には「十分に注意」を払う必要があるのか、それは弊害があるからである、という示唆があった方がよいだろう。他のいくつかの倫理綱領では、利益相反の可能性のある兼業や、企業からの援助や、身内への利益誘導や、学生の非教育

的使役などに伴い得る諸弊害が憂慮されている。したがって「相反に十分に注意を払い、必要な場合は」のかわりに、「相反による諸弊害が生じないように十分に注意し、工学関連教育を遂行するにあたり必要に応じて」などと記すことができる。

第12条では、「会員は、各種の法令や規則を遵守し、自らの職務と行動に対して責任を持つ」とされているが、「法令や規則の遵守」と、自らの職務と行動に対して「責任を持つ」ことの間の論理的関係が問われうるところである。たぶん前者は後者を論理的に帰結しない。つまり法令順守は会員を倫理的責任から免責しない。ところが人類は、自分は法令（にもとづく命令）に忠実に従っただけで、自分に責任はなく「指導者たちのみが罰に値する」<sup>(15)</sup>との弁明を編み出してきた。しかし、法令遵守にもかかわらず、さらに法律を超えた倫理的、道義的責任が発生しうるのである。したがって法令に欠陥が疑われる場合には、この倫理綱領の理念は、可能な限り遵法精神を発揮しつつ、法令を補って行為する倫理的責任、法令改正を積極的に訴える倫理的責任をわれわれにたぶん課すことになるだろう。

最後に第13条では「会員は、本会の倫理綱領の精神に則って積極的に行動し、本協会の発展と社会的地位の向上に貢献する」とあるが、協会への貢献を倫理綱領に含めるのは、倫理綱領を内輪向けにする。むしろ協会への貢献は会員にとって倫理的行為であるが、前文で「社会の発展に寄与することを目的として本綱領を定める」と宣言したのであるから、「協会への貢献」にしてもそれは「社会の発展」のための一手段として理解されねばならない。

以上の考察にもとづき、日工教倫理綱領の1から13までの項目は、下記の1から10に集約可能であることを筆者は主張したい。

#### （社会に対する責務）

1. 会員は、自らの専門知識、技術、経験の源は人類社会から与えられたものであることを認識し、工学・技術の実践者、研究者および教育者の育成と工学教育の実践、研究、開発、運営に貢献することにより、人類の安全・健康・福利と人びとの安心の維持・向上に努める。

#### （教育の重要性）



2. 会員は、これからの社会を担う次世代の工学・技術の実践者、研究者および教育者を育成することの重要性を認識し、可能な教育を実践し、その重要性を他者に伝達する。

（自己研鑽）

3. 会員は、工学教育ならびに自らの専門分野において、常に、自らの知識・能力の維持・向上に努める。

（他者の権利と価値観の尊重と協働）

4. 会員は、他者の価値観に配慮しつつ他者の権利を尊重し、本協会の使命を理解・共有して協働する。

（研究倫理）

5. 会員は、研究を行う場合、研究上の倫理を尊重し、とくに、人を対象とする研究を行う場合は、協力者などの人格や人権などに充分配慮する。また、データの捏造・改ざん・剽窃などの不正行為を行わず、これらに荷担しない。

（情報・成果の開示）

6. 会員は、工学教育に関連して自ら入手した情報ならびに生み出した成果を、公益に照らして積極的に開示し、工学教育の発展に寄与する。

（差別の排除）

7. 会員は、国際社会における文化の多様性に配慮しながら、人種、宗教、性別、年齢、社会的身分などによる差別を排除し、公平性を確保する。

（公正な評価と利益相反対処）

8. 会員は、工学教育に関連する評価・判断に際し、客観的事実を重んじて公正を旨とする。利益相反による諸弊害が生じないように十分に注意し、工学関連教育を遂行するにあたり必要に応じて、利益相反を回避もしくは開示するなど適切に対処する。

（工学・技術関係者の地位向上）

9. 会員は、工学教育関連活動に積極的に携わることで、工学・技術者やその教育者の社会的評価と地位の向上に努める。

（法令および他の倫理規範の遵守）

10. 会員は、各種の法令および自らが所属する機関や学協会の倫理規範を尊重するとともに、自らの職務と行動に対して倫理的責任を持ち、本綱領との矛盾が万一生じた場合はその解消に努める。

## むすび

以上、本稿では国内外の教育者倫理綱領を関しなが、そこから教育者として何が学べるか再確認するとともに、日本工学教育協会倫理綱領をもとに、研究者倫理および技術者倫理にも関連した考察を加えた。だが一般論として、本当に倫理綱領は必要なのか、マイナス面もあるのではないか、こうした根強い批判についても、すでに国内外で議論の蓄積が見られる。したがって、倫理綱領一般について、また研究者倫理について、別の機会に検討を加えることにしたい。

## 註

- (1) たとえば日本考古学協会は、委員会提案として2003年5月24日に「倫理綱領制定に関する基本的な考え方」として次のような意見表明を行っている。「一般に、倫理綱領とは、専門家としての倫理的責任を明確にし、社会に表明するものである。つまり、専門家の行動規範であるとともに、これを社会に表明することによって専門家の独善を防ぐ役割も果たすものになる、また、専門家としての地位を確立していく上で、専門家独自の行動規範をもつことは必要条件の一つであろう。」(<http://www.soc.nii.ac.jp/jaa2/proceedings/rinrikihonkangae030524.htm>)
- (2) 研究所・大学での例として、アメリカ・ベル研究所で2002年に発覚した史上空前規模の論文捏造事件では、一試算によると世界中の100機関が10億円をかけて無駄な追試に取り組まされた。また、2010年に発覚した東京大学大学院工学系研究科助教による業績捏造、剽窃事件では、19の委員会の150名がのべ10,000時間を費やして事実関係調査と事後対策に当たらねばならなかったとのことである（2010年11月27日、日本工学会技術倫理協議会第6回シンポジウムにおける村松秀氏と北森武彦氏の講演から）。
- (3) 最近の電気学会倫理綱領改訂を例に、学協会における倫理綱領・行動規範の検討動向について論じたものとしては、川北・河村・浅野・木村・庄司「技術者倫理の諸動向および関連諸問題に関する考察」『研究報告書』41（2）東京工業高等専門学校, 2010, pp.1-18における第2節（河村担当）参照。
- (4) <http://socyo.high.hokudai.ac.jp/ethics.html>

- (5) 北大の前身である札幌農学校に貢献した二人のアメリカ人教師（クラークとホーラー），そしてその薫陶を受けた学生（とくに広井勇）のその後については，下記の拙稿で取り上げている．「技術者倫理解説書『技術は人なり』（日本土木学会）に関する考察」『研究報告書』40（2）東京工業高等専門学校，2009, pp.1-15
- (6) 日本教育学会（JSSE）の倫理綱領も個人的に日本教育学会事務局に依頼して見せてもらった（2010年11月12日）結果，それについては教育者倫理というより研究者倫理に特化した倫理綱領であることが判明した．
- (7) <http://www.teacherscouncil.govt.nz/required/ethics/codeofethics.stm>
- (8) ビーチャム&チルドレス『生命医学倫理』成文堂 1997 年
- (9) C. ギリガン『もうひとつの声 男女の道德観のちがいと女性のアイデンティティ』川島書店 1986 年
- (10) 民主主義および批判的思考に関し，詳しくは本研究報告書中の別稿で記述した．浅野他「実践的能力としての教養—東京高専高学年用「教養ゼミ」の導入に向けて—」Ⅶ節．
- (11) 筆者の問い合わせに対して SEFI の Dr.Zandvoort（デルフト大学）からは「個人会員用にせよ大会員用にせよ，SEFI は倫理綱領を有していないし，その策定計画があるとも承知していない」との返答が 2010 年 6 月 28 日に寄せられた．ASEE には 2010 年 6 月 16 日および同年 11 月 15 日に，それぞれ異なる部局に電子メールで，倫理綱領および今後の制定予定の有無につき筆者は問い合わせを行ったが回答は得られなかった．ASEE ホームページでもその種の記述は発見できなかった．したがって，ASEE でも倫理綱領は未整備であると推測しても，たぶん許されるだろう．
- (12) [http://www.nii.ac.jp/jsee/jseeinfo/pdf/jsee\\_rinri\\_kouryou.pdf](http://www.nii.ac.jp/jsee/jseeinfo/pdf/jsee_rinri_kouryou.pdf)
- (13) 2006年3月に閣議決定された「科学技術基本計画」が，「はじめに」の部分でこう記しているのは事実である．「資源に乏しい日本が人類社会の中で名誉ある地位を占めていくことは決して容易なことではない．日本の未来を切り拓く途は，独自の優れた科学技術を築くことにかかっている．—こうした考えの下，我が国は『科学技術創造立国』を国家戦略として打ち立てた」（<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/honbun.pdf>）．しかし日本政府はこの後すぐに「立国」戦略を多重化しはじめる．経済産業省は2006年6月22日，アジア諸国で企業買収を行うなど海外への直接投資を拡大し，その利益を成長の原動力とする「投資立国」を目指すべきだとする『通商白書』をまとめ発表した．また，「観光立国推進基本法」が2006年12月，議員立法により成立し，2007年1月より施行された．さらに2007年6月1日には，「21世紀環境立国政策」なるものが閣議決定されている．
- (14) リスクに関する管理とコミュニケーションに関しては下記拙稿二本で論じている．「環境リスク管理論とその価値前提—技術者倫理教育を展望して」『研究報告書』37（1）東京工業高等専門学校，2005，pp.21-30，「徳育としてのリスクコミュニケーション—技術者倫理教育のために」『研究報告書』39（1）東京工業高等専門学校，2008，pp.15-27
- (15) 第二次大戦後逃亡先のアルゼンチンからイスラエルに 1960 年に拉致されたオットー・アイヒマン(1906- 1962)がイエルサレムの法廷で述べたとされる言葉．彼はナチ政権によるユダヤ人組織的虐殺の歯車として働き，ユダヤ人を強制収容所へ移送するにあたり指揮的役割を執った（Hannah Arendt, *Eichmann in Jerusalem, Ein Bericht von der Banalität des Bösen*, 2006 Piper München Zürich, p.365, [ハンナ・アーレント『イエルサレムのアイヒマン 悪の陳腐さについての報告』大久保和郎訳，2007 年，みすず書房，191 頁]）．なお，邦訳書は基本的に英語版からの翻訳なので「指導者たちのみが…」となっているが，ドイツ語版では「フューラーが」なので，アイヒマン本人は「総統のみが…」を意味していた可能性がある．

本論文は科学研究費基盤研究(c)課題番号 22520037 による研究成果の一部である．また，草稿段階で浅野敬一・庄司良の両氏から貴重なコメントを得た．記して感謝申し上げる．

（平成 23 年 1 月 7 日 受理）

# Evaluation of Inherent Aerodynamic Characteristics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbine Airfoils

Sumio SAITO\* and Takahiro YAMASHINA\*\*

Wind turbines with propeller-type rotors on a horizontal axis employ turbine blades, the thickness ratio of which is small at the blade tip (thin blade) and is large at the blade root (thick blade), to effectively catch aerodynamic forces commonly represented by lift and drag determined by blade rotational direction and wind flow on the area across the blade from the tip to the root. The previous paper focused on small wind turbines, the Reynolds number of which is an order of magnitude smaller than that of actual middle or large wind turbines. This paper employs two different thick blades having airfoil shapes that likely affect aerodynamic characteristics and divides the aerodynamic characteristic curve of each blade into three regions, and it examines the effect of blade surface roughness on the characteristics in connection with the flow conditions around the blades.

(Keywords: Wind Turbine Blade, Thick Blade, Aerodynamic Characteristics, Pressure Distribution, Flow Visualization)

## 1. Introduction

Actual large wind turbines with propeller-type rotors on a horizontal axis employ wind turbine blades, the thickness ratio  $\delta$  (ratio of the maximum blade thickness  $T$  to the chord length  $C$ ) of which is small at the blade tip (thin blade) and large at the blade root (thick blade). For wind turbine systems, the wind turbine power and the generator rotation speed are controlled for overall system optimization [1], [2], [3], [4]. Regarding the entire structure of wind turbine blades, it has also been recognized that the improvement of the aerodynamic characteristics of the airfoil at each blade portion is important.

The previous paper [5] focused on small wind turbines, the Reynolds number of which is an order of magnitude smaller than that of actual middle or large wind turbines. As a first step in optimizing the airfoil shape along the entire section of wind turbine blades, the paper employed the typical airfoil shapes of actual thin and thick wind turbine blades to study their basic aerodynamic characteristics and flow conditions around the blades at different angles of attack, including those before and after stalls.

---

\* Department of Mechanical Engineering

\*\* Tokyo Institute of Technology, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,  
Department of Environmental Science and Technology

The previous study observed that, depending on the angle of attack, the thin blade stalled once, while the thick blade stalled twice. It revealed that the stall was related to the flow conditions around the blades, which were significantly affected by the geometric shape of each airfoil from the leading edge to the thickest portion.

However, blades with the same thickness ratio may have different airfoil shapes according to the manufacturer and produce different flow conditions at the same angle of attack, indicating different blade characteristics.

Many studies have reported how various airfoil shapes affect aerodynamic characteristics [6], [7], [8], [9], but most of them have mainly presented the results obtained with large Reynolds numbers, and few data obtained with small Reynolds numbers are available [10]. Furthermore, while the variation of aerodynamic characteristics due to blade surface roughness has been reported [11], its relationship to the flow conditions around blades has not been fully explained.

This paper employs two different thick blades having airfoil shapes that likely affect aerodynamic characteristics and divides the aerodynamic characteristic curve of each blade into three regions at the low Reynolds number condition, and it examines the effect of blade surface roughness on the characteristics in connection with the flow conditions around the blades.

## **2. Airfoils under Test and Experimental Apparatus**

### **2.1 Airfoils under Test**

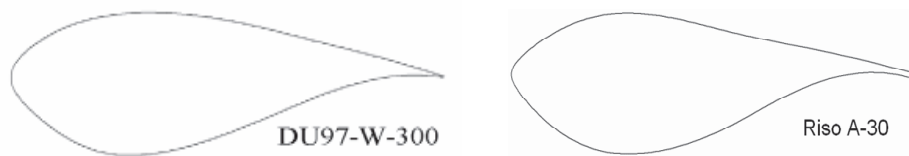
The previous paper [5] employed “DU97-W-300 [6]” developed by Delft University of Technology in the Netherlands as a thick blade. Compared with a thin blade, the paper determined that the thick blade exhibited characteristic variations in the characteristic curves of lift and drag coefficients in relation to the angle of attack. To clarify whether this feature is inherent in thick blades, this paper employs “Riso A-30 [7]” with the same thickness ratio and a different airfoil shape, developed by Riso National Laboratory in Denmark, as an additional airfoil under test.

Figure 1 shows the shape of each airfoil. For the shape from the leading edge to the thickest portion, “DU97-W-300” has a smaller curvature than that of “Riso A-30.”

Both airfoils have a thickness ratio  $\delta$  of 30 %, a chord length  $C$  of 120 [mm], a spanwise length of 298 [mm], and an aspect ratio of 2.48.

Since both airfoils were made from stereolithography resin, their blade surfaces have streaky features, each with a thickness corresponding to the layer width. In this paper, blades with such features left on the blade surface are called “rough blades,” while those having a sandpapered blade surface are called “smooth blades.” This paper evaluates rough blades by





**Fig. 1** Airfoil shapes

using the surface roughness value.

Table 1 shows two surface roughness levels for each airfoil. These measurements show the average value of arithmetic average roughness  $R_a$  on the upper and lower surfaces of each blade in the flow and span directions, determining that both airfoils have similar values.

**Table 1** Blade surface roughness (“DU97-W-300” and “Riso A-30”)

| Roughness $R_a$ | Flow direction        | Span direction       |
|-----------------|-----------------------|----------------------|
| rough           | 22.3[ $\mu\text{m}$ ] | 1.3[ $\mu\text{m}$ ] |
| smooth          | 0.7[ $\mu\text{m}$ ]  | 0.7[ $\mu\text{m}$ ] |

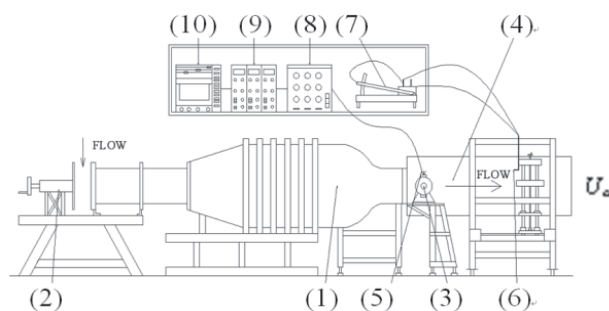
## 2.2 Experimental Apparatus

Figure 2 shows the same wind tunnel model as used for the experiments in the previous paper [5]. The small wind tunnel (1) has a cross section of 400 [mm] high and 300 [mm] wide at the outlet and is capable of performing experiments at a wind velocity of up to 20 [m/s]. The wind velocity can be adjusted by opening and closing the damper (2) at the wind tunnel inlet.

An airfoil under test (3) has a spanwise length of 298 [mm] as described above. The airfoil mounting shaft penetrates clear acrylic plates that surround both sides of the airfoil with the top and bottom sides left open; the shaft is connected to a strain gauge type multi-component load cell (5) for the measurement of lift and drag forces.

To measure the wind velocity  $U_\infty$ , a JIS-compatible pitot tube [6 mm in diameter] (6) and a tilting manometer (7) are used. The lift force  $L$  and the drag force  $D$  on the blade are recorded on a multiple pen recorder (10) and a PC from the multi-component load cell via a calibrator (8) and an amplifier (9).

In the experiments, the airfoil was set at each angle of attack with the wind tunnel fan stopped, and then the fan was started to obtain experimental data.



**Fig. 2** Experimental apparatus

### 3. Experimental Results and Discussion

#### 3.1 Aerodynamic Characteristics of Two Different Thick Blades (Effect of Blade Surface Roughness)

For the two surface roughness levels of “DU97-W-300” and “Riso A-30,” Figures 3 and 4 show variations in the lift coefficient  $C_L$  and the drag coefficient  $C_D$  with the angle of attack  $\alpha$  ranging from  $0^\circ$  to  $30^\circ$  and the Reynolds number  $Re = 1.4 \times 10^5$ .

In Figure 3, the characteristic curves of “DU97-W-300” show that the smooth blade stalls twice at  $\alpha = 10^\circ$  and  $26^\circ$  (“first stall” and “second stall”), while the rough blade stalls only once at a high value of  $\alpha = 26^\circ$ .

The lift coefficient of the rough blade is smaller than that of the smooth blade at  $\alpha = 0^\circ$  to  $8^\circ$ , but the former is larger than the latter at higher angles of attack. The drag coefficient of the rough blade is smaller than that of the smooth blade up to  $\alpha = 22^\circ$ , but the former is larger than

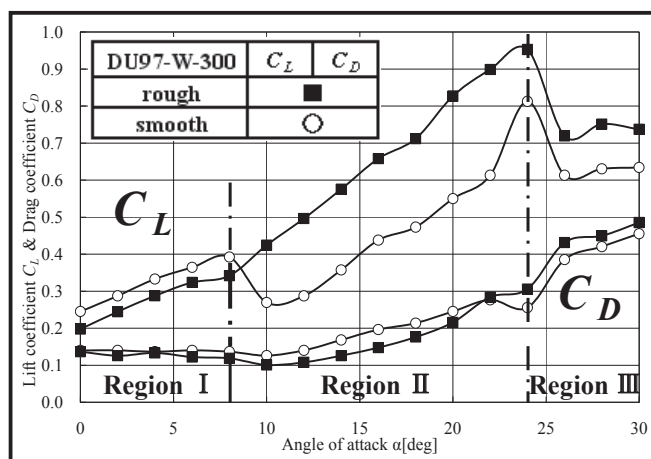


Fig. 3 Aerodynamic characteristics (“DU97-W-300”)

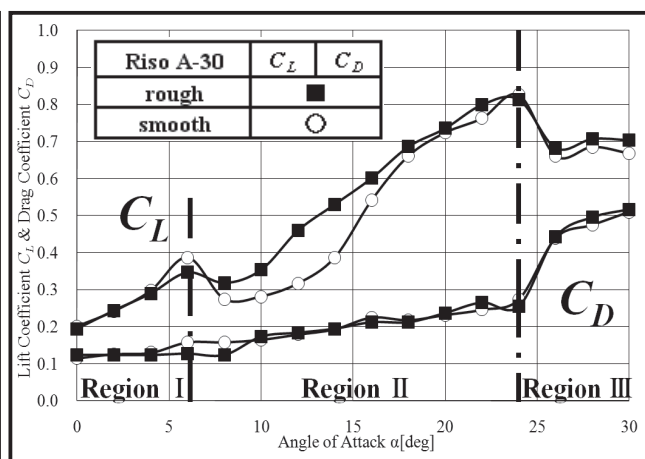


Fig. 4 Aerodynamic characteristics (“Riso A-30”)

the latter at or above the angle of attack at which the second stall occurred.

As is the case with “DU97-W-300,” Figure 4 shows that the smooth blade of “Riso A-30” stalls twice at  $\alpha = 8^\circ$  and  $26^\circ$ , while the rough blade stalls only once at a high value of  $\alpha = 26^\circ$ .

The lift coefficient of the rough blade is smaller than that of the smooth blade at  $\alpha = 0^\circ$  to  $8^\circ$ , but the former is larger than the latter at higher angles of attack. The drag coefficient of the rough blade is smaller than that of the smooth blade up to  $\alpha = 18^\circ$ , but the former is larger than the latter at higher angles of attack.

In Figures 3 and 4, the aerodynamic characteristic curves of the blades represented by the curves of lift and drag coefficients in relation to the angle of attack determine that the blades of both types with a higher surface roughness value provide a larger lift coefficient. The variation of the characteristic curves also shows that their gradient differs according to the blade’s surface roughness level and the region of angles of attack, indicating that this variation

process is characteristic of the thick blades.

Based on these observations, the aerodynamic characteristics of “Riso A-30” can be divided into three regions, as is the case with “DU97-W-300.” This paper classifies the characteristics of both airfoils as follows:

Region I: Region ranging from  $\alpha = 0^\circ$  to the angle of attack before the “first stall,”

Region II: Region ranging from the angle of attack after the “first stall” to that before the “second stall,” and

Region III: Region of angles of attack after the “second stall.”

### **3.2 Basic Patterns of Flow behind Blades and Pressure Distribution on the Blade Surface in Each Region**

For each region classified above, the flow behind the blades and the behavior of flow on the blade surface were observed by the tuft method in addition to the measurement of pressure distribution on the blade surface.

Specifically, as in the previous paper [5], the pressure distribution was measured by providing eight and six pressure holes of 0.5 [mm] in diameter on the upper and lower surfaces of each blade at the spanwise cross section of the blade center. The flow behind each blade and the behavior of flow on the blade surface were observed by the tuft grid method and the surface tuft method, respectively [5].

Figure 5 illustrates the pressure distribution on the blade surface and the flow behind the blade at  $\alpha = 4^\circ$ ,  $20^\circ$ , and  $30^\circ$  in the regions classified above for the smooth blades of “DU97-W-300” and “Riso A-30.”

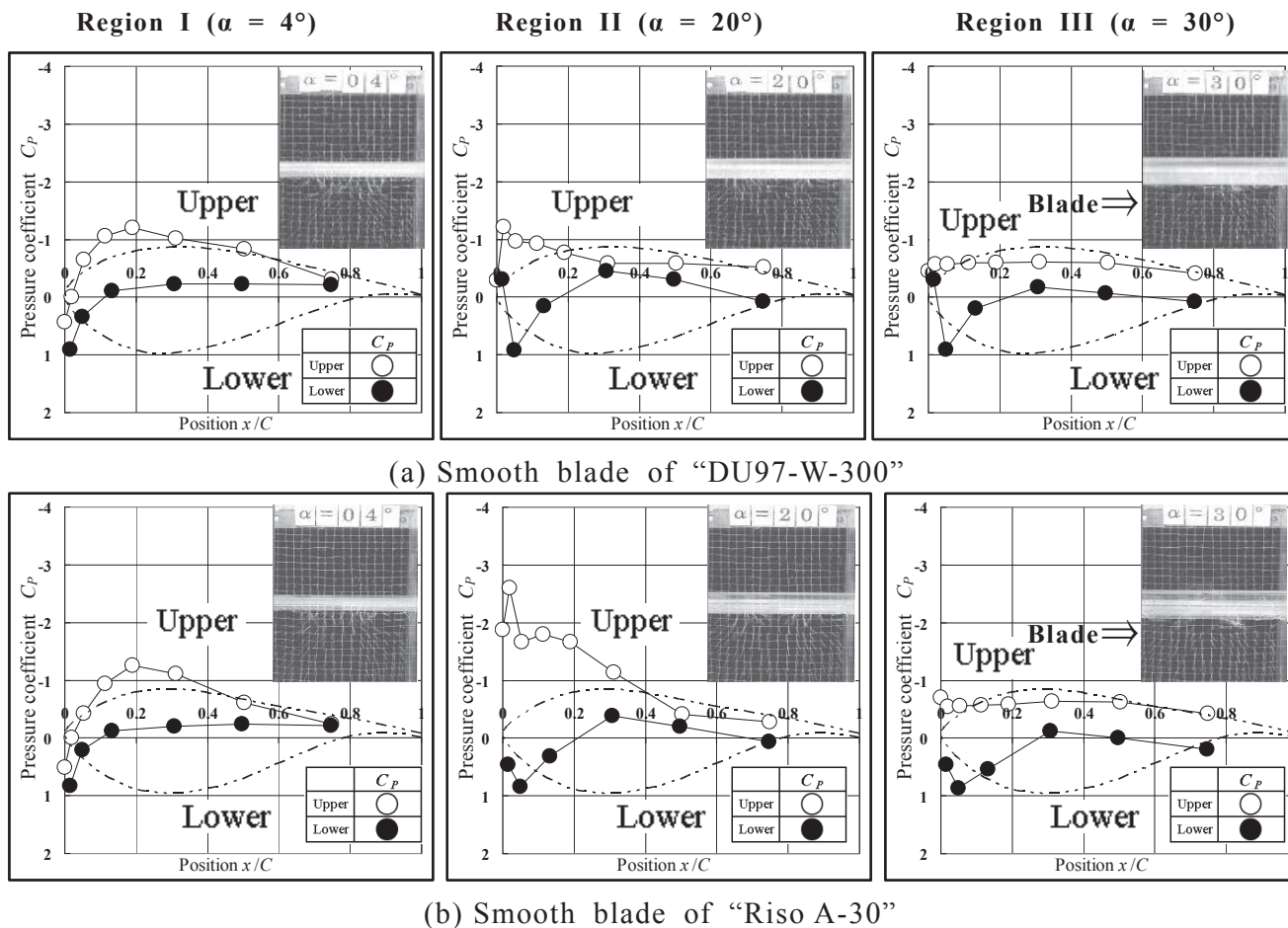
In each pressure distribution graph, the corresponding airfoil shape is shown in relation to  $x/C$  by using long dashed double-short dashed lines.

At  $\alpha = 4^\circ$  in Region I, the flow from the upper surface to the lower surface of the blade can be observed at the trailing edge for both “DU97-W-300” and “Riso A-30.”

Regarding the pressure distribution, the value of the pressure on the upper surface of both blades is maximally negative at a position about 20 % of the chord length and shifts in the positive direction almost linearly toward the trailing edge. For both blades, the pressure on the lower surface is nearly uniform in the section beyond about 13 % of the chord length and distributed similarly.

At  $\alpha = 20^\circ$  in Region II, both blades produce turbulent flow behind them; it has been determined that the flow behind the blade becomes more turbulent as the angle of attack increases.

The pressure distribution on the lower surface of both blades is almost the same. However, the absolute value of the pressure on the upper surface of “Riso A-30” is higher than that on the upper surface of “DU97-W-300.” In particular, the pressure difference between the



**Fig. 5** Pressure distribution and flow visualization  
(smooth blades of “DU97-W-300” and “Riso A-30”)

upper and lower surfaces of “Riso A-30” is large in the section from the leading edge to about 40 % of the chord length. This result agrees with the fact that the lift coefficient of “Riso A-30” is larger than that of “DU97-W-300.”

In Region III after the stall, the flow is separated at the leading edge of both blades to cause the formation and growth of a pair of vortices near the leading edge on the upper surface (see photos in Figures 10 and 11). In addition, the tufts across the upper surface indicate a highly turbulent flow. In Region III after the stall, the flow on the lower surface remains almost unchanged from that in Region II. The tufts are in the flow direction, but it can be observed that the flow rolls up toward the upper surface at the trailing edge.

For the pressure distribution of both blades in Region III, the absolute value of the pressure coefficient  $C_p$  on the upper surface is significantly lower than that in Region II in the section up to about 40 % of the chord length and is nearly uniform across the entire chord length. The pressure distribution on the lower surface of both blades is similar.



### 3.3 Aerodynamic Behavior at Low Angles of Attack

As shown in Figures 3 and 4, both thick blades “DU97-W-300” and “Riso A-30” exhibit characteristic variations in the lift coefficient at low angles of attack depending on the surface roughness level.

In other words, the rough blades exhibit no decrease in the lift coefficient around  $\alpha = 8^\circ$ , while the smooth blades of “DU97-W-300” and “Riso A-30” cause a decrease in the lift coefficient, or a stall, at  $\alpha = 10^\circ$  and  $8^\circ$ , respectively. As described above, the stall at these angles of attack is called “first stall,” as distinguished from the “second stall” at  $\alpha = 26^\circ$ .

The following sections examine the flow behavior of each rough blade with  $\alpha = 6^\circ$  and  $8^\circ$  at which the lift coefficient is almost the same, as well as the flow conditions of the smooth blades at the angles of attack before and after the “first stall.”

#### 3.3.1 Flow Mechanism on the “Rough” Blades at Low Angles of Attack

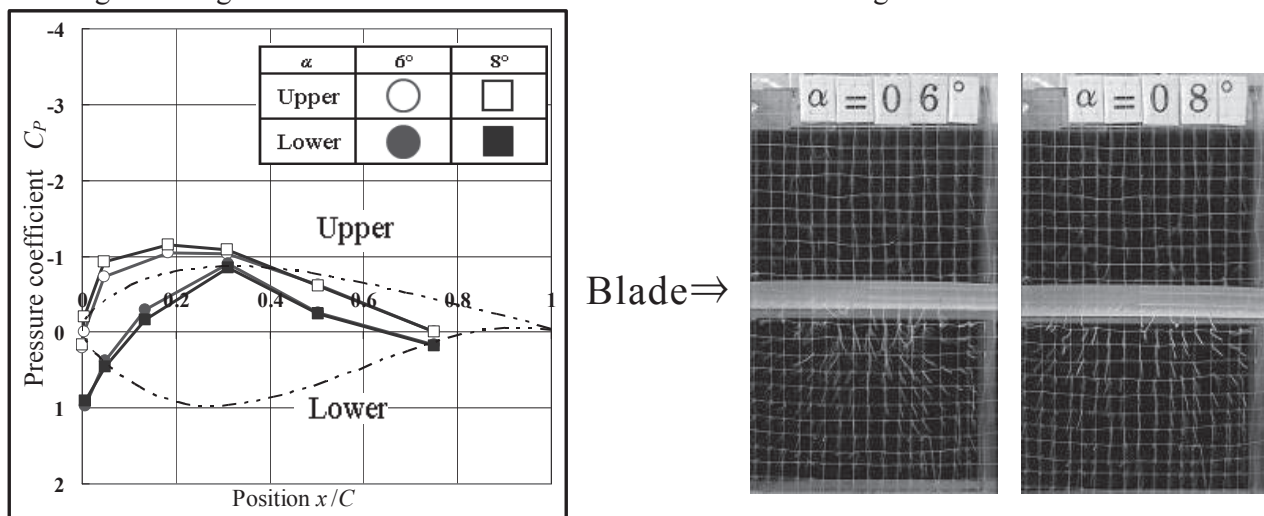
##### (a) Flow mechanism on “DU97-W-300”

For the rough blade of “DU97-W-300,” Figure 6 shows the pressure distribution on the blade surface and the behavior of the flow behind the blade with  $\alpha = 6^\circ$  and  $8^\circ$  at which the lift coefficient is almost the same. In the pressure distribution graph, the corresponding airfoil shape is shown in relation to  $x/C$  by using long dashed double-short dashed lines.

At  $\alpha = 6^\circ$ , the behavior of the tufts indicates that the flow behind the blade is directed from the upper surface to the lower surface.

At  $\alpha = 8^\circ$ , both flows on the upper and lower surfaces travel along the blade, and the tufts are in the flow direction behind the blade. This slight difference in flow pattern is reflected in the pressure distribution on the blade surface.

In the section from the leading edge to about 30 % of the chord length, the pressure difference between the upper and lower surfaces at  $\alpha = 8^\circ$  is larger than that at  $\alpha = 6^\circ$ , resulting in a slight increase in the lift coefficient. This result agrees with the fact that the



**Fig. 6** Pressure distribution and flow visualization (rough blade of “DU97-W-300”)

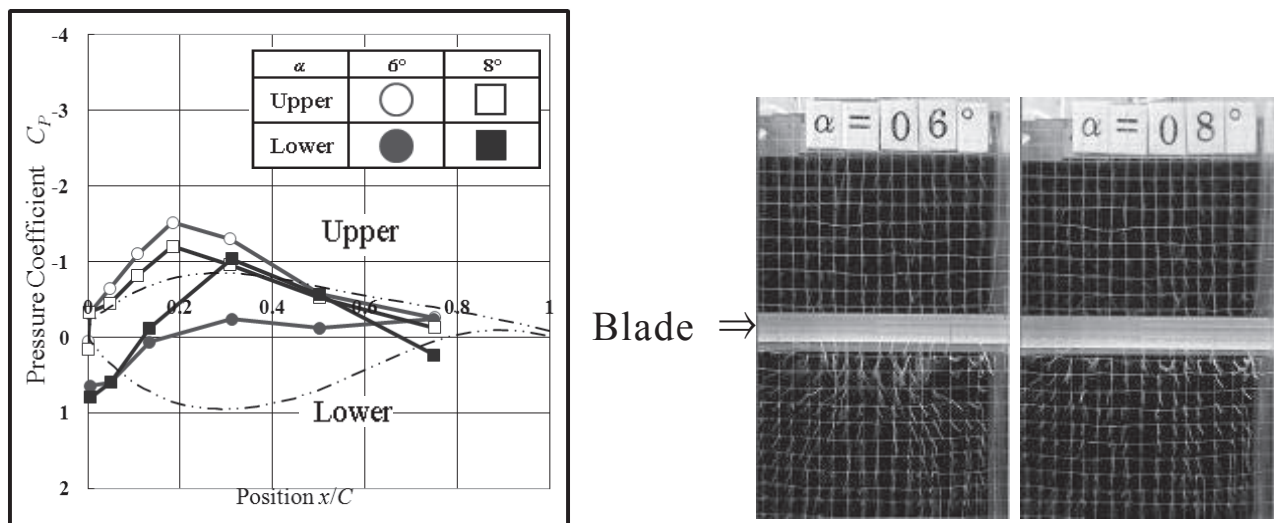
flow condition around the blade at  $\alpha = 8^\circ$  is better than that at  $\alpha = 6^\circ$  as described above.

(b) Flow mechanism on “Riso A-30”

For the rough blade of “Riso A-30,” Figure 7 shows the pressure distribution on the blade surface and the behavior of the flow behind the blade at low angles of attack  $\alpha = 6^\circ$  and  $8^\circ$ .

At  $\alpha = 6^\circ$ , the pressure difference between the upper and lower surfaces is present, and the flow behind the blade is apparently turbulent.

At  $\alpha = 8^\circ$ , unlike the case of “DU97-W-300,” the pressure distribution curves for the upper and lower surfaces intersect at a position about 20 % of the chord length from the leading edge.



**Fig. 7** Pressure distribution and flow visualization (rough blade of “Riso A-30”)

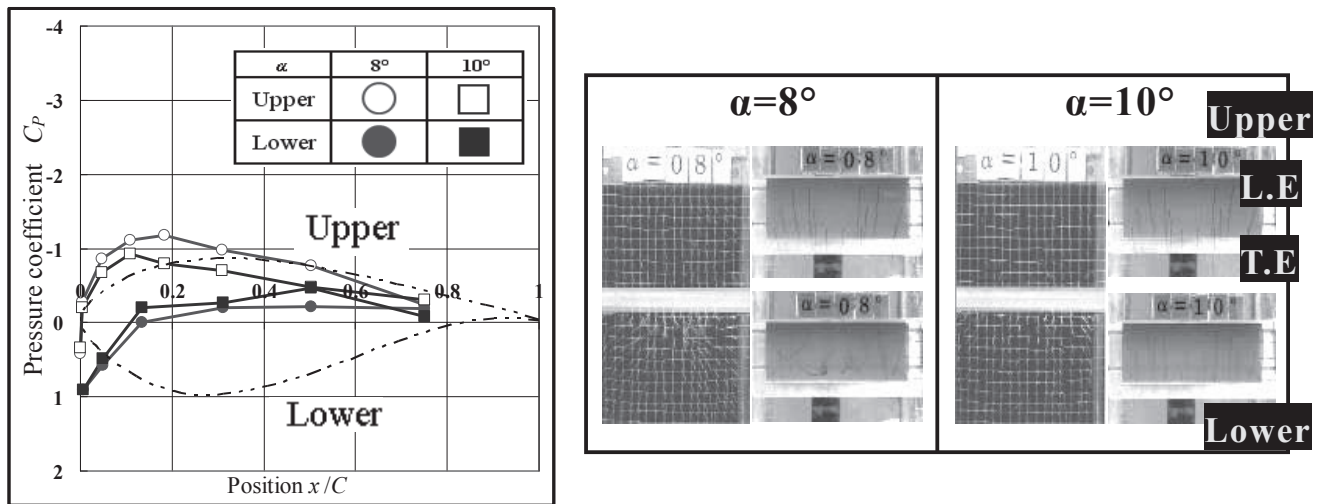
However, the lift coefficient decreases, and the flow behind the blade is less turbulent.

This result may be attributed to the fact that streaky features generated in the fabrication of the “DU97-W-300” and “Riso A-30” airfoils from stereolithography resin act to suppress the small separation of flow from the blade surface. The airfoil curvature from the leading edge to the thickest portion is different between “DU97-W-300” and “Riso A-30”, and this difference may cause the variation in pressure distribution tendency between them.

### 3.3.2 Aerodynamic Behavior of the “Smooth” Blades Before and After the “First stall”

(a) Flow mechanism on “DU97-W-300” before and after the “first stall”

For the smooth blade of “DU97-W-300,” Figure 8 shows the pressure distribution on the blade surface, the behavior of the flow behind the blade (photos in the left column for each angle of attack) and the flow on the blade surface (photos in the right column for each angle of attack) at  $\alpha = 8^\circ$  and  $10^\circ$  before and after the first stall.



**Fig. 8** Pressure distribution and flow visualization (smooth blade of “DU97-W-300”)

At  $\alpha = 8^\circ$  before the first stall, the tufts on the upper surface are in the flow direction at the leading edge (abbreviated as L.E in the figures), indicating that the flow is almost laminar.

However, it can be seen that the tufts are directed toward the lower surface near the trailing edge (abbreviated as T.E in the figures); the generation of a pair of small vortices is found on the lower surface.

At  $\alpha = 10^\circ$  after the first stall, the flow on the lower surface travels along the blade, as determined by the observation of the flow behind the blade.

For the pressure distribution on the upper surface at  $\alpha = 8^\circ$  before the first stall, the pressure increases in the negative direction in the section from the leading edge to about 20 % of the chord length and gradually shifts in the positive direction toward the trailing edge.

At  $\alpha = 10^\circ$  after the first stall, the absolute value of the pressure is smaller than that before the stall in the section beyond about 10 % of the chord length. This result suggests that, at  $\alpha = 10^\circ$ , the small separation of flow occurs close to the leading edge, but the flow is soon attached to the blade surface and travels along the blade at the rear of the blade.

Both at  $\alpha = 8^\circ$  and  $10^\circ$  before and after the first stall, the pressure on the lower surface decreases in the section up to about 13% of the chord length. Then, the pressure shows a nearly uniform distribution toward the trailing edge.

#### (b) Flow mechanism on “Riso A-30” before and after the “first stall”

For the smooth blade of “Riso A-30,” Figure 9 shows the pressure distribution on the blade surface, the behavior of the flow behind the blade, and the flow on the blade surface at  $\alpha = 6^\circ$  and  $8^\circ$  before and after the first stall.

The pressure distribution on “Riso A-30” at  $\alpha = 6^\circ$  before the first stall is similar to that on “DU97-W-300” at  $\alpha = 8^\circ$ . In the vicinity of the rear of the blade, it can be observed that the tufts are directed toward the lower surface.

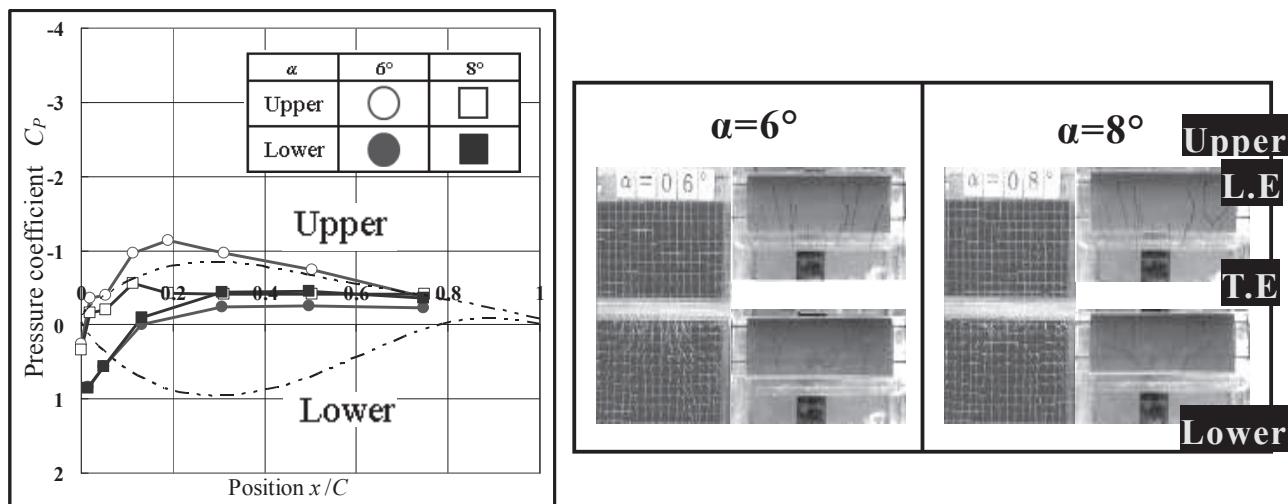


Fig. 9 Pressure distribution and flow visualization (smooth blade of “Riso A-30”)

At  $\alpha = 8^\circ$  after the first stall, the pressures on the upper and lower surfaces are almost the same as those before the stall in the section up to about 5 % of the chord length. Then, the absolute value of the pressure on the upper surface after the stall is lower than that before the stall toward the trailing edge.

For both “DU97-W-300” and “Riso A-30,” these pressure distributions indicate that the pressure difference between the upper and lower surfaces after the first stall is smaller than that before the stall, agreeing with the decrease in the lift coefficient  $C_L$ .

The small separation of flow from the upper surface occurs close to the leading edge, but the flow is soon attached to the blade surface and travels along the blade at the rear of the blade, as is the case with “DU97-W-300.”

### 3.4 Aerodynamic Behavior at Angles of Attack Before and After the “Second stall”

For both “DU97-W-300” and “Riso A-30,” the lift coefficient  $C_L$  increases at angles of attack after the first stall, and the “second stall” occurs at higher angles of attack, that is, ranging from  $\alpha = 24^\circ$  to  $26^\circ$ .

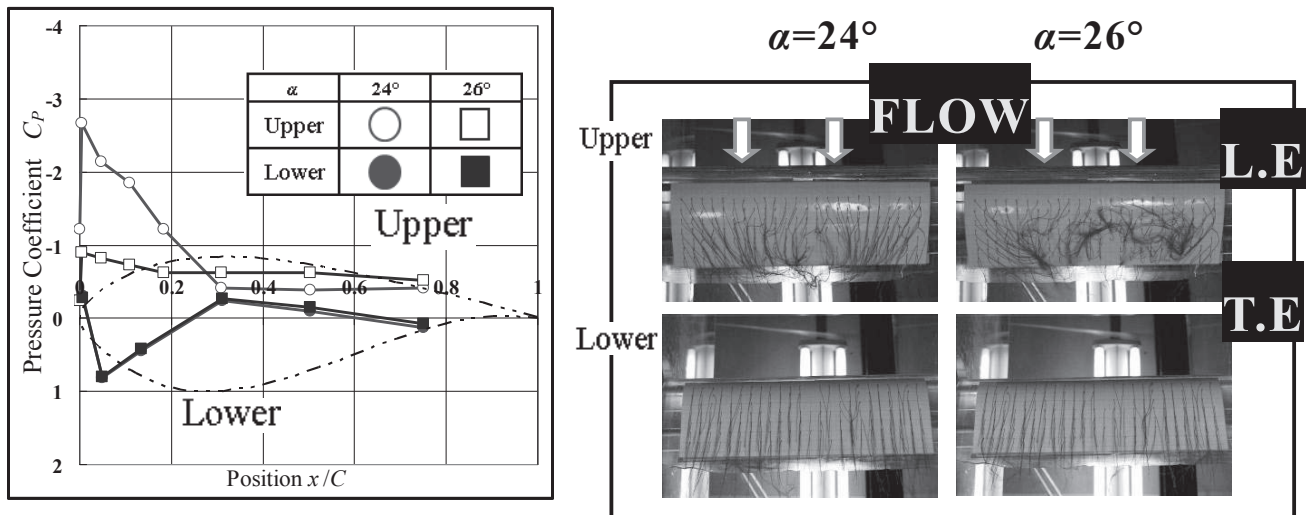
Figures 10 and 11 illustrate the pressure distributions on the upper and lower surfaces, as well as the flow on the blade surface, at  $\alpha = 24^\circ$  and  $26^\circ$  before and after the second stall for the smooth blades of both types.

For both blades, the tufts on the upper surface at  $\alpha = 24^\circ$  before the second stall are converging toward the center of the trailing edge. In this condition, a pair of small vortices is present at the rear of the blade, and it can also be observed that the tufts on the lower surface roll up toward the upper surface at the trailing edge.

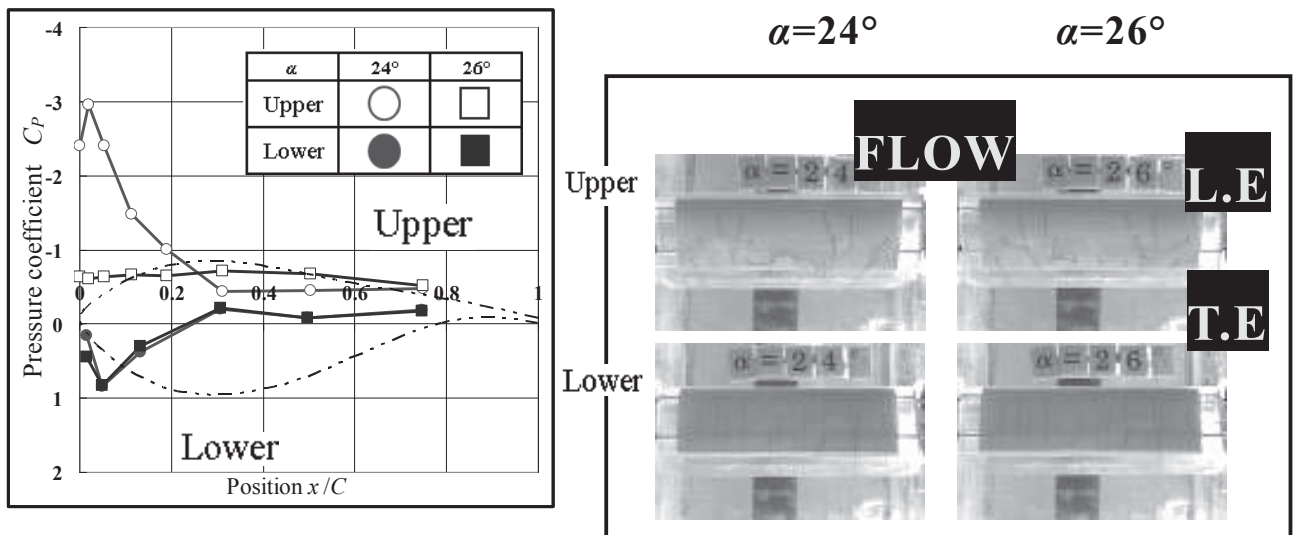
The flow on the lower surface is laminar in the flow direction, significantly differing from that on the upper surface.

For both blades, the pressure on the upper surface at  $\alpha = 24^\circ$  before the second stall shows a





**Fig. 10** Pressure distribution and flow visualization  
(smooth blade of “DU97-W-300,”  $\alpha = 24^\circ$  &  $26^\circ$  around the 2nd stall)



**Fig. 11** Pressure distribution and flow visualization  
(smooth blade of “Riso A-30,”  $\alpha = 24^\circ$  &  $26^\circ$  around the 2nd stall)

high negative value at the leading edge and shifts in the positive direction almost linearly in the section up to about 30 % of the chord length. The pressure is almost uniform in the section from about 30 % of the chord length to the trailing edge.

On the lower surface, the pressure coefficient  $C_p$  increases in the positive direction in the section from the leading edge to about 5 % of the chord length, while the positive pressure decreases in the section from about 5 % to about 30 % of the chord length and then gradually increases toward the trailing edge. The pressure coefficient  $C_p$  on the lower surface after the second stall remains almost unchanged from that before the stall, and the pressure distributions on both blades are extremely similar.

For both blades at  $\alpha = 26^\circ$  after the second stall, the flow is separated at the leading edge,

causing the formation and growth of vortices near the leading edge on the upper surface. In addition, the tufts across the upper surface indicate a highly turbulent flow.

In this condition, the stall occurs over the entire blade, and the pressure coefficient  $C_p$  on the upper surface is nearly uniform across the entire chord length.

Thus, the pressure distributions on both blades before and after the second stall are significantly different from those before and after the first stall. In particular, as suggested by the fact that the pressure distribution on the upper surface is drastically different, an inherent property of the thick blades is that the shape of the airfoil from the leading edge to about 30 % of the chord length significantly affects aerodynamic characteristics.

#### 4. Conclusions

This paper focused on small wind turbines, the Reynolds number of which is an order of magnitude smaller than that of actual middle or large wind turbines. For two types of thick blades having airfoils that are used in wind turbine blades and likely affect aerodynamic characteristics, this paper divided the aerodynamic characteristic curve of each blade into three regions. Thus, it examined the relationship between the level of blade surface roughness and the flow condition around the blade at different angles of attack, including those before and after stalls, to clarify the inherent properties of the thick blades.

This study has yielded the following findings.

(1) Depending on the surface roughness level, both thick blades “DU97-W-300” and “Riso A-30” exhibited characteristic variations in the characteristic curves. According to the gradient of the characteristic curves in relation to the angle of attack, the characteristic curve of each blade can be divided into three regions. This fact is closely related to the difference of flow conditions around the blade between the regions, which is an inherent property of the thick blades.

(2) The smooth blades of both types stall twice at low and high angles of attack, while the rough blades stall only once at a high angle of attack, which is also an inherent property of the thick blades.

(3) Regarding the inherent characteristics of the thick blades at low angles of attack, the results of experiments with the two different thick blades show that the rough blades exhibit no decrease in the lift coefficient around an angle of attack of  $8^\circ$ , while the smooth blades cause a decrease in the lift coefficient, or the first stall, around the same angle of attack. This difference between the rough and smooth blades was clarified based on the flow conditions around both blades and the pressure distributions on them.

### Nomenclature

|       |                                                              |            |                                     |
|-------|--------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| $A$   | Blade surface area = $3.58 \times 10^{-2}$ [m <sup>2</sup> ] | $D$        | Drag force [N]                      |
| $C$   | Chord length [mm]                                            | $L$        | Lift force [N]                      |
| $C_D$ | Drag coefficient = $D / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A)$     | $P_s$      | Static pressure [Pa]                |
|       |                                                              | $Re$       | Reynolds number                     |
|       |                                                              | $T$        | Maximum blade thickness [mm]        |
| $C_L$ | Lift coefficient = $L / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2 A)$     | $U_\infty$ | Flow velocity [m/s]                 |
|       |                                                              | $x$        | Distance from the leading edge [mm] |
|       |                                                              | $\alpha$   | Angle of attack [°]                 |
| $C_P$ | Pressure coefficient = $P_s / (\frac{1}{2} \rho U_\infty^2)$ | $\delta$   | Thickness ratio = $T/C$             |
|       |                                                              | $\rho$     | Air density [kg/m <sup>3</sup> ]    |

### References

- [1] SAITO, Sumio, SEKIZUKA, Satoshi, SATO Kenichi and SATO, Arinobu, Performance Comparison of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol. 70, No. 700 (2004), pp. 3174 - 3181.
- [2] SAITO, Sumio, SEKIZUKA, Satoshi, SATO Kenichi and SATO, Arinobu, Transient Characteristics of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol. 71, No. 702 (2005), pp. 539 - 545.
- [3] SAITO, Sumio, SEKIZUKA, Satoshi and SATO, Kenichi, Transient Characteristics of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, Journal of Environment and Engineering, Vol. 2, No. 1 (2007), pp. 13 - 24.
- [4] SAITO, Sumio and SEKIZUKA, Satoshi, Performance Comparison of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, International Journal of Fluid Machinery and Systems, Vol. 2, No. 1, January - March 2009, pp. 92 - 101.
- [5] SAITO, Sumio, YAMASHINA, Takahiro and ICHIKAWA, Tatsuya, Evaluation of Characteristics and Flow Patterns on Wind Turbine Blades, Proceedings of The Seventh JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, October 2008, Sapporo, Japan, I114.
- [6] W. A. Timmer and R. P. J. O. M. van Rooij, Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Blades, Transaction of the ASME, Vol. 125, November 2003, pp. 488 - 496.
- [7] Kristian S. Dahl and Peter Fuglsang, Design of the Wind Turbine Blade Family RISO-A-XX, Riso-R-1024 (EN) (1998-12), pp. 1 - 28.
- [8] Peter Fuglsang, Christian Bak, Mac Gaunaa and Ioannis Antoniou, Design and Verification of the Riso-B1 Blade Family for Wind Turbines, Transaction of the ASME, Vol. 126, November

2004, pp. 1002 - 1010.

[9] K. J. Standish and C. P. van Dan, Aerodynamic Analysis of Blunt Trailing Edge Blades, Transaction of the ASME, Vol. 125, November 2003, pp. 479 - 487.

[10] Michael S. Selig and Bryan D. McGranahan, Wind Tunnel Aerodynamic Tests of Six Blades for Use on Small Wind Turbines, Transaction of the ASME, Vol. 126, November 2004, pp. 986 - 1001.

[11] R. P. J. O. M. van Rooij and W. A. Timmer, Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Blades, Transaction of the ASME, Vol. 125, November 2003, pp. 468 - 478.

(Received Oct. 28, 2010)



# 風車用翼型生成に光造形手法を適用した際に生じる翼表面上の積層痕の有無による薄翼および厚翼の流体力学的特性の変化と翼周りの流動状態

齊藤純夫\*, 山科貴裕\*\*

Research on Aerodynamic Characteristics of Thin and Thick Blades depending on the Presence or Absence of Streaky Features formed on the Blade Surface during Creation of Wind Turbine Airfoils with Stereolithography

Sumio SAITO and Takahiro YAMASHINA

Wind turbines with a propeller-type rotor on a horizontal axis employ turbine blades, have a thickness ratio (the ratio of maximum thickness  $T$  against chord length  $C$ ), which is small at the blade tip (thin blade), and is large at the blade root (thick blade). The previous report selected typical airfoils that were a thin blade and a thick blade used for actual wind turbine for the first step to get the optimization of the blade constitution, and the paper presented the basic characteristic evaluation as seen from aerodynamic aspects and checked the flow conditions on the airfoils at the same angle of attack including in the vicinity of a stall. However, the aerodynamic characteristic represented by the curve for the lift and drag coefficient against the angle of attack, indicated a different process of change of the angle of attack. This research uses the typical thin and thick blades selected by the previous paper, and classifies the process of change for aerodynamic characteristic curves, and then relates flow condition around the airfoil to influence of the presence or absence of streaky features formed on the blade surface during the creation of airfoils with stereolithography.

(Key Words : Wind Turbine Blade, Thin Blade, Thick Blade, Surface Roughness, Lift Coefficient, Drag Coefficient, Angle of Attack, Stall, Pressure Distribution, Flow Visualization)

## 1. 緒言

近年, 自然エネルギーの有効利用が地球規模で叫ばれており, そのうち風力発電システムに関しては, その制御方式の最適化とあわせ<sup>(1)~(4)</sup>, 風車翼全体の翼構成において, 流体力学的視点から翼の各部位における翼型の最適化を図ることが重要な課題である。

実際のプロペラ形水平軸風車においては, 翼先端部では厚み比  $\delta$  (翼弦長  $C$  に対する翼最大厚み  $T$  の比) の小さい薄翼が, また, 翼根元部では厚み比の大きい厚翼が用いられているが, 風車翼全体の翼型構成については, 風車メーカーごとに異なるのが現状である。

前報<sup>(5)</sup>では, 実際の中大型風車より1桁レイノルズ数の小さい小型風車に焦点をあて, 風車翼全体についての翼型構成の最適化を図るための第一段階として, 実際の風車翼に適用されている薄翼と厚翼の代表的な翼型を選定し, 流体力学的観点からそれらの基本的な特性評価を行うとともに, 失速前後を含むいくつかの迎え角における翼周りの流動状態についても検討を加えた。

その結果, 薄翼は迎え角の変化に伴い, 一度の失速を起こすのに対し, 厚翼は二度失速を起こし, その失速現象は, 翼前縁部から翼の最大厚みとなる付近までの両翼型の幾何学的形状の違いが, 翼

周りの流れ状態に大きく影響しているためであることを明らかにした。また, 迎え角に対する揚力係数および抗力係数の曲線で代表される翼の流体力学的特性は, 迎え角の範囲によってそれぞれ異なる変化の過程を示しており, 迎え角の大小の領域ごとに翼周りの流動状態に特徴的な挙動の違いが現れるものと推測される。さらに, 翼面の粗さによる流体力学的特性の変化も示されてはいるものの<sup>(6)</sup>, 翼周りの流れとの関連については十分に明らかにされていない。

そこで, 前報<sup>(5)</sup>で選定した薄翼と厚翼の代表的な翼型について, 光造形手法により翼型製作した際に翼表面上に生じる積層痕の有無が, 流体力学的特性曲線の変化の過程に及ぼす影響を迎え角の領域ごとに分類し, あわせて翼周りの流動状態と関連させて検討を加えた。

## 2. おもな記号

$A$  : 翼の代表面積  $= 3.58 \times 10^{-2} \text{ [m}^2\text{]}$

$C$  : 翼弦長  $\text{[mm]}$

$C_L$  : 揚力係数  $= L / \left( \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A \right)$

$C_D$  : 抗力係数  $= D / \left( \frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A \right)$

$$C_p : \text{圧力係数} = P_s / \left( \frac{1}{2} \rho U_\infty^2 \right)$$

$D$  : 抗力 [N]

$L$  : 揚力 [N]

$P_s$  : 静圧 [Pa]

$Re$  : レイノルズ数

$T$  : 翼最大厚み [mm]

$U_\infty$  : 流速 [m/s]

$x$  : 翼前縁からの距離 [mm]

$\alpha$  : 迎え角 [°]

$\delta$  : 厚み比  $= T/C$

$\rho$  : 空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]

### 3. 供試翼型と実験装置

**3・1 供試翼型** 前報<sup>(5)</sup>と同様、風車翼全体の構成として薄翼および厚翼の翼型が採用されている現状を踏まえ、薄翼としては「NACA63217」を、厚翼としてはオランダのデルフト工科大学で開発された「DU97-W-300<sup>(7)</sup>」を供試翼型として選定し、光造形樹脂により製作した。

図1はそれぞれの翼型の形状を示す。厚み比 $\delta$ については、薄翼の「NACA63217」は17%、厚翼の「DU97-W-300」は30%で、ともに翼弦長 $C$ は120[mm]、スパン方向長さは298[mm]である。

薄翼および厚翼の両者とも、光造形樹脂により翼型を製作したため、積層幅に応じた筋状の積層痕が翼表面に現れる。本報では、製作後の積層痕が残っている表面の状態の翼を「粗い (rough) 翼」と称し、また、この翼を紙やすりを用いてペーパー掛けしたものを「滑らかな (smooth) 翼」と呼ぶことにする。ここでは積層痕のある状態の翼についても、表面粗さの値によって評価することとし、表1および表2に、薄翼「NACA63217」と厚翼「DU97-W-300」についての翼の上面および下面で測定した算術平均粗さ  $Ra$  の平均値を、流れ方向およびスパン方向について示す。



Fig.1 Shape of airfoils

Table 1 Blade roughness (「NACA63217」)

| Roughness | $Ra$ | Flow Direction       | Span Direction       |
|-----------|------|----------------------|----------------------|
| rough     |      | 9.6[ $\mu\text{m}$ ] | 1.9[ $\mu\text{m}$ ] |
| smooth    |      | 0.7[ $\mu\text{m}$ ] | 0.7[ $\mu\text{m}$ ] |

Table 2 Blade roughness (「DU97-W-300」)

| Roughness | $Ra$ | Flow Direction        | Span Direction       |
|-----------|------|-----------------------|----------------------|
| rough     |      | 22.3[ $\mu\text{m}$ ] | 1.3[ $\mu\text{m}$ ] |
| smooth    |      | 0.7[ $\mu\text{m}$ ]  | 0.7[ $\mu\text{m}$ ] |

**3・2 実験装置** 図2は前報<sup>(5)</sup>の実験時に使用したのと同じ小型風洞装置である。風洞①は、縦400[mm]、横300[mm]の吹き出し断面を有し、最大風速20[m/s]の風速範囲での実験が可能である。風洞吸い込み口に取り付けられた②のダンパを開閉することにより風速を調節することが可能である。

供試翼型③の取り付け用軸は、翼両側の透明アクリル側板④を貫き、揚力および抗力測定用のひずみゲージ式多分力検出器⑤に接続されている。

流速  $U_\infty$  の測定には、JIS ピトー管(6mm  $\phi$ )⑥と傾斜マノメータ⑦を用いた。翼が受ける揚力  $L$  および抗力  $D$  は、多分力検出器から較正器⑧、増幅器⑨を介して多ペンレコーダ⑩およびパソコンで記録した。

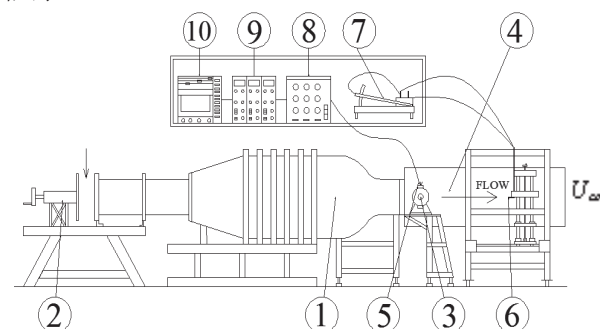


Fig.2 Experimental apparatus

### 4. 実験結果と考察

**4・1 薄翼および厚翼の流体力学的特性（光造形手法による積層痕の有無の影響）** 図3と図4は、薄翼「NACA63217」および厚翼「DU97-W-300」について、光造形手法により製作した際に翼表面上に生じる積層痕の有無による2種類の表面粗さの状態において、レイノルズ数  $Re=1.4 \times 10^5$  の条件下で、迎え角  $\alpha$  を

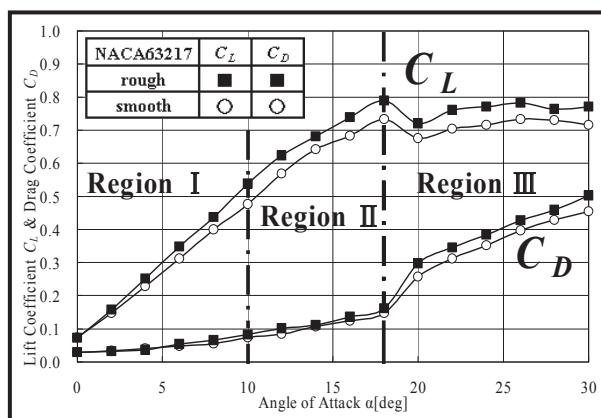


Fig.3 Aerodynamic characteristics (「NACA63217」)

図 3 より, 薄翼の「NACA63217」の場合, 実験を行った迎え角の範囲において, 積層痕を有する粗い翼の方が滑らかな翼と比べ, 揚力係数は大きく現れている。

また, 翼表面粗さによらず一度のみ失速を起こしており, その時の迎え角は  $\alpha=20^\circ$  である。抗力係数については, 失速前までの迎え角の領域においては, 粗さによらずほぼ同じ値を示し, 失速後には, 両者の場合とも急増するものの, 粗い翼の方がその値は大きく現れている。

一方, 図 4 より, 厚翼の「DU97-W-300」については, 表面粗さにより特性曲線に特徴的な変化が見られる。

すなわち, 滑らかな翼の場合には, 迎え角  $\alpha=10^\circ$  と  $26^\circ$  において, 二度の失速が発生しているのに対し, 表面粗さ値が大きくなると, 迎え角の小さい領域での失速は消え, 迎え角の大きい  $\alpha=26^\circ$  においてのみ失速が発生している。

粗い翼の場合, 滑らかな翼と比べ, 迎え角が  $\alpha=0^\circ \sim 8^\circ$  までの範囲では揚力係数は小さいが, それ以降の迎え角の領域においては, 大きな値となっている。また, 抗力係数については,  $\alpha=22^\circ$  までは滑らかな翼と比べ小さいものの, 失速発生以降の迎え角の範囲では, 大きい値を示している。

以上のように, 図 3 および図 4 の迎え角に対する揚力係数および抗力係数の曲線で代表される翼の流体力学的特性曲線より, 薄翼の「NACA63217」および厚翼の「DU97-W-300」とも, 積層痕を有する状態, すなわち表面粗さ値が大きい翼の場合ほど揚力係数が大きく, さらに, 特性曲線の変化の過程をみると, 薄翼と厚翼の両者とも, 翼の表面粗さとそれぞれの迎え角の大きさの範囲に応じ, 特性曲線上で異なる傾き

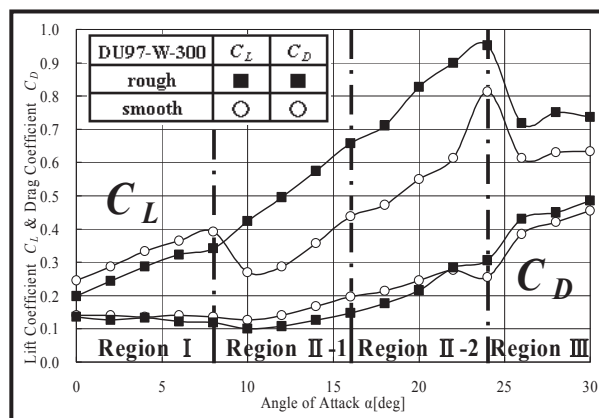


Fig.4 Aerodynamic characteristics (「DU97-W-300」)

を示していることが確認できる。

以上の観点から, 薄翼および厚翼について, 以下のように流体力学的特性の領域を分類する。

すなわち, 薄翼の「NACA63217」の場合には, 迎え角  $\alpha=10^\circ$  と  $18^\circ$  を境に三つの領域に分類できる。

領域 I : 迎え角  $\alpha=0^\circ \sim 10^\circ$  で, 揚力曲線の傾きの大きい領域

領域 II : 迎え角  $\alpha=10^\circ \sim 18^\circ$  で, 揚力曲線の傾きが多少小さくなる領域

領域 III : 迎え角  $\alpha=20^\circ$  以降, 失速後の領域

また, 厚翼の「DU97-W-300」については,  $\alpha=8^\circ$  と  $24^\circ$  を境に三つの領域に分類でき, さらに領域 II は揚力曲線の傾きにより二つの領域に分けることができる。

領域 I : 迎え角  $\alpha=0^\circ \sim 8^\circ$  で, 揚力曲線の傾きの小さい領域

領域 II-1 : 迎え角  $\alpha=8^\circ \sim 16^\circ$  で, 揚力曲線の傾きが多少大きくなる領域

領域 II-2 : 迎え角  $\alpha=16^\circ \sim 24^\circ$  で, 揚力曲線の傾きが大きくなる領域

領域 III : 迎え角  $\alpha=24^\circ$  以降, 失速後の領域

以上のように, 迎え角の変化に対する揚力係数および抗力係数の変化の過程は, 各領域ごとに翼周りの流動状態の特徴的な変化と密接な関連があることを確認している。

そこで, 以下の節においては, 薄翼と厚翼の両者の翼型における各領域ごとの流体力学的特性の変化と翼周りの流れの挙動との関連について, 翼面上の圧力分布の結果も含め考察する。

#### 4・2 薄翼「NACA63217」における翼周りの流れの挙動

前節で分類した各領域において, 翼面上の圧力分布とあわせ, 翼後方の流れと翼面上の流れ



の挙動をタフト法により観察した。

圧力分布は前報<sup>(5)</sup>と同様、翼スパン方向の中心断面において、翼上面の 8 箇所、下面の 6 箇所の位置に、直径 0.5[mm]の圧力孔を設けて測定した。

翼後方の流れの観察には、タフトグリッド法を適用し、縦 600[mm]、横 300[mm]のアルミ製の型枠に 15[mm]間隔でテグス（ナイロン製）を張り、その交点にタフト（綿製）を取り付けたものを翼の後方 20[mm]の位置に設置し、翼の下流方向から流れの状態を撮影した。この時、翼上面と下面の流れの様子が判別しやすいように、翼上面側にあたるタフトは赤色を、翼下面側のタフトは白色のものを使用した。

また、翼面上の流れの観察には、滑らかな翼について表面タフト法を適用し、具体的には、縦 100[mm]、横 250[mm]の方眼紙上にタフト（綿製）を取り付けたものを翼上面および下面に貼り付け、それぞれの方向から流れの挙動を撮影した<sup>(5)</sup>。

さらに、翼後方の流速分布の測定に際しては、滑らかな翼を対象として、翼スパン中心の翼後方 24[mm]の位置（翼弦長の 20%）において、上下方向 60[mm]の範囲で熱線プローブ（標準直線プローブ、型式 0251R-T5、KANOMAX 製）を移動させて測定した。

#### 4・2・1 各領域における翼周りの流れの基本構造

図 5 は 2 種類の翼表面粗さの場合について、前節で分類した各領域における翼後方および翼面上の流れの挙動をそれぞれ同じ迎え角において示したものである。

滑らかな翼の場合、図中の左側の写真は、タフトグリッド法により観察した翼後方流れの様子を、また、

右側半分の図の上部は表面タフト法により観察した翼上面側の流れの様子を、下部は翼下面側の流れの可視化結果を示す。また、粗い翼については、翼後方の流れ状態のみを示した。

薄翼の「NACA63217」の場合、翼表面粗さの違いによる流れの挙動は、同じ領域であればほとんど変化が見られない。

すなわち、領域 I については、一例として迎え角  $\alpha=6^\circ$  の場合の翼周りの流れの挙動を示したが、2 種類の翼表面粗さの場合とも、翼上面側の流れは、翼前縁部（Leading Edge :以後、図中に L.E と記載）から後縁部（Trailing Edge : 以後、図中に T.E と記載）まで、翼面に沿っていることを確認している。

また、翼下面のタフトの挙動についても、翼スパン全面にわたり、翼に沿った一様な流れ状態を示している。

さらに、一例として滑らかな翼の場合について、翼後方での後流分布を図 6(a)に示したが、翼上面側においてわずかながら速度の欠損部が見られる。

次に、領域 II においては、迎え角  $\alpha=14^\circ$  について 2 種類の翼表面粗さの影響の有無を見ると、両者とも、翼面上の流れは翼に沿っているものの、翼後方の流れにわずかながらではあるが上下の変動が生じ始めていることがわかる。

また、図 6(b)の翼後方での後流分布から、領域 II においては、領域 I のそれと比べ、後流の幅はほぼ同程度であるが、速度の欠損量が増加していることがわかる。この領域 II においては、図示は省略したが、さらに迎え角が大きくなると、翼上面側の流れは、翼表

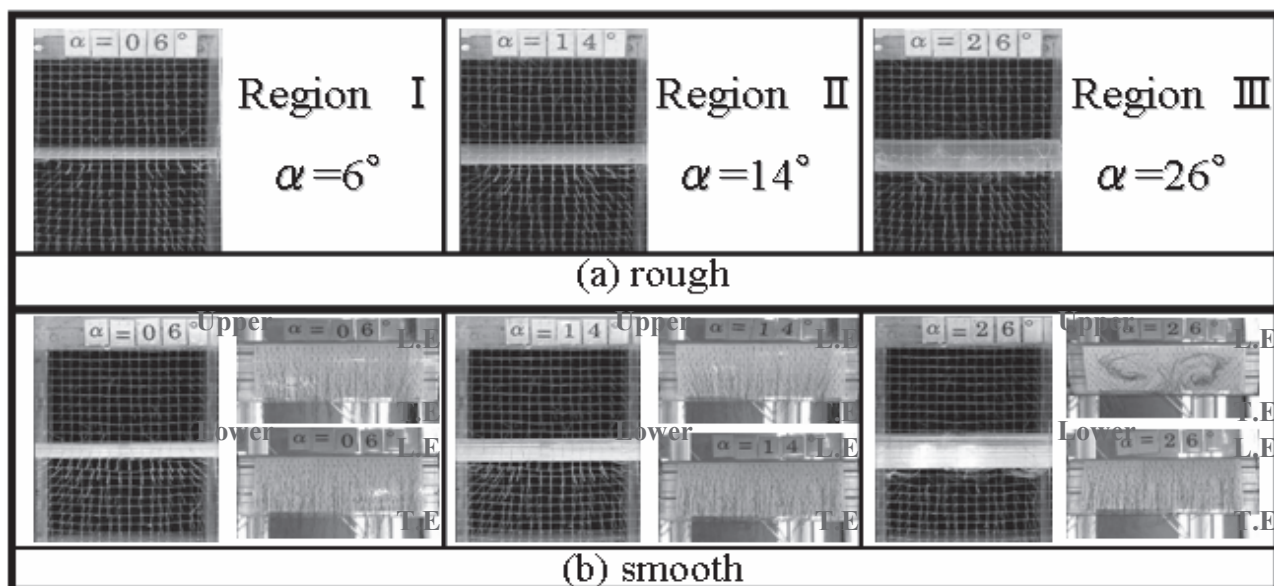


Fig.5 Flow visualization (「NACA63217」)



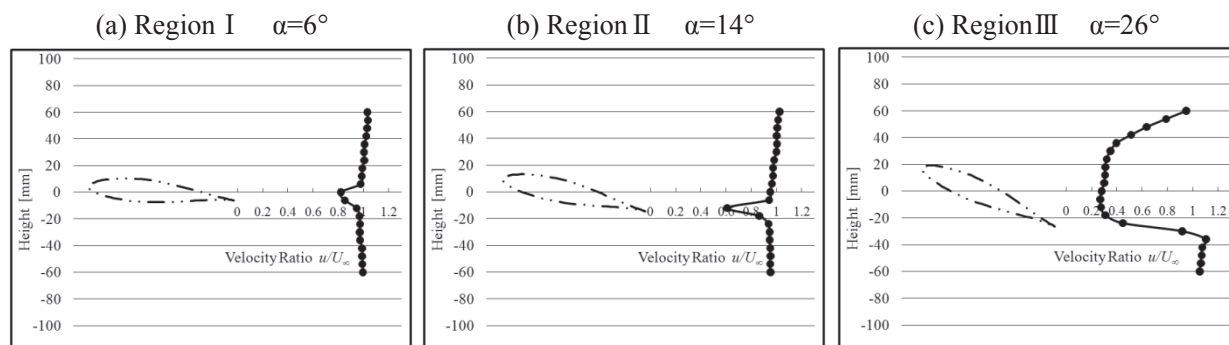


Fig.6 Wake distribution (「NACA63217」, smooth)

面粗さにかかわらず，後縁両端付近のタフトが全体的に翼スパン中央による傾向を示し，翼後方部においては徐々に小さな一対の渦を形成し始め，翼下面のタフトの挙動からは，翼後方部におけるタフトが翼上面側に廻り込む現象が確認できた。

さらに，領域Ⅲにおける失速後の迎え角  $\alpha=26^\circ$  の状態での流れの様子を観察すると，表面粗さによらず，翼後方においてタフトが上下に激しく変動し，大きな乱れが生じている．また，翼上面の流れの様子については，翼弦長の約 50% 付近から，翼スパン方向の中心を境に明確な一対の渦が形成され，翼下面からの流れの巻き返しの領域も拡大している。

図 6(c) は領域Ⅲにおける滑らかな翼の場合の翼後方での後流分布を示したもので，翼の失速後の状態を示しており，翼上面側での速度欠損の領域が大きく拡大し，その絶対値も極めて小さな値となっている。

以上のように，薄翼の「NACA63217」については，各領域においては翼表面粗さの影響による顕著な流れの変化は見られないものの，各領域ごとに特徴的な流れの挙動を示すことが明らかになった。

#### 4・2・2 各領域における翼面上の圧力分布 図 7

は一例として滑らかな翼の場合について，分類した三つの領域における代表的な迎え角での翼上面および下面の圧力分布を示す．図中には  $x/C$  に対する翼型形状を二点鎖線で記載した。

領域Ⅰの迎え角  $\alpha=6^\circ$  の場合，翼上面および下面の圧力の差は，他の領域の迎え角の場合と比べ小さく，揚力係数が小さいことと対応する．また，翼後方部においては，翼厚さが薄くなるため， $x/C$  の 75% までの範囲の圧力分布しか測定できなかったが，この点における翼上面および下面の圧力がほとんど同じ値を示していることは，前述のように翼面上の流れが翼に沿っていることを裏付けている。

次に，領域Ⅱにおいては，迎え角が大きくなるため，揚力係数の増加と対応して，翼上面の圧力係数  $C_p$  は，翼の前縁部の近傍において負の大きい値を示し，それ以降，翼の後縁部にかけて次第に減少している．また，翼下面の圧力係数は，翼前縁部から 30% 付近にかけて正圧が低下しているものの，領域Ⅰの圧力よりは大きく，それ以降後縁部にかけて，ほぼ一定の値を示している。

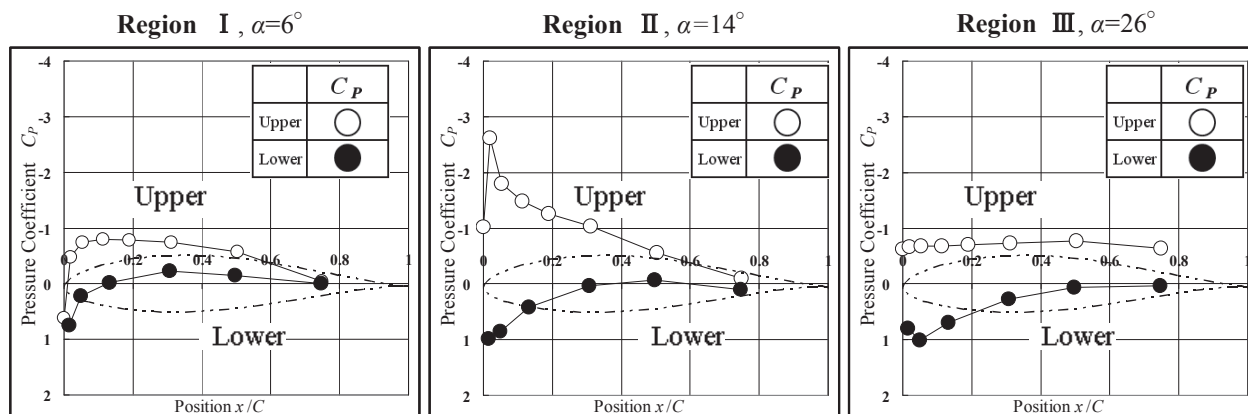


Fig.7 Pressure distribution (「NACA63217」, smooth)

さらに、領域Ⅲにおいては、失速後の迎え角  $\alpha=26^\circ$  の状態のため、翼上面の圧力分布は、領域ⅠおよびⅡのそれらと比べ、極めて大きく異なっている。すなわち、翼上面の圧力係数  $C_p$  は、翼前縁部より後縁部にかけて一定の値を示している。これに対し、翼下面の圧力分布は、領域Ⅱの迎え角の  $\alpha=14^\circ$  の時よりは多少大きな値となつてはいるが、ほぼ似た分布の傾向を示し、領域ⅡおよびⅢにおいては、それほど大きな変化がないことがわかる。

以上のことから、薄翼「NACA63217」については、迎え角の大小の領域ごとの流れの変化は、光造形手法により製作した翼表面上に生じる積層痕の有無による表面粗さにかかわらず翼上面側の流れの挙動に大きく依存しているものといえる。

#### 4・3 厚翼「DU97-W-300」における翼周りの流れの挙動

図 4 の厚翼の「DU97-W-300」の特性曲線より、滑らかな翼の場合には、迎え角  $\alpha=10^\circ$  と  $26^\circ$  において、二度の失速が発生しているのに対し、表面粗さ値が大きくなると、迎え角の小さい領域での失速は消え、迎え角の大きい  $\alpha=26^\circ$  においての失速が発生していることを確認した。また、 $\alpha=8^\circ$  と  $24^\circ$  を境に三つの領域に分類でき、さらに領域Ⅱは揚力曲線の傾きにより、二つの領域に分けられることを示した。

そこで、本節においては、厚翼の「DU97-W-300」について、各領域ごとの流れの構造を薄翼の「NACA63217」の場合と同様、翼面上の圧力分布と翼後方の流れの測定とあわせ、翼後方の流れを可視化することにより検討した。

**4・3・1 各領域における翼周りの流れの基本構造と翼面上の圧力分布** 図 8 は、2 種類の翼表面粗さの場合について、前項で分類した各領域の代表的な迎え角の状態における翼後方流れの挙動と翼面上の圧力分布をまとめて示したものである。圧力分布の図中には  $x/C$  に対する翼型形状を二点鎖線で記載した。

領域Ⅰの迎え角  $\alpha=4^\circ$  では、粗い翼および滑らかな翼とも、翼後縁部において翼上面から下面に向かう流れが観察できる。圧力分布については、光造形手法により製作した翼表面上に生じる積層痕の有無による表面粗さによらず、ほぼ同じ変化をしているが、揚力係数が多少大きい滑らかな翼の方が粗い翼と比べ、翼上面と下面の圧力差が大きく現れている。

領域Ⅱ-1 の迎え角  $\alpha=12^\circ$  では、粗い翼の場合には、翼面上の流れは翼に沿ったものとなっているのに対

し、滑らかな翼については翼後方の流れに変動が生じ始めている。図 4 に示したように、領域Ⅱより迎え角が大きい範囲において、粗い翼の方が滑らかな翼と比べ、揚力係数が大きく現れているが、それは両者の圧力分布の違いからも判断できる。すなわち、粗い翼の場合、光造形樹脂により翼型を製作した際の積層痕による翼面上の流れに及ぼす効果は横渦によるものではあるが、たて渦に関するボルテックスジェネレータ<sup>6)</sup>による効果と同様、翼前縁部付近での流れのはく離を抑制する作用をしているものと考えられる。

さらに、領域Ⅱ-2 の迎え角  $\alpha=20^\circ$  においては、粗い翼の場合、翼後方流れに変動が見られるようになり、迎え角の増加に伴い、その規模は大きくなっている。

滑らかな翼についても、領域Ⅱ-1 に引き続き、迎え角が大きくなるにつれて、翼後方流れの変動が増大している。圧力分布については、領域Ⅱ-1 およびⅡ-2 において、表面粗さによらず、それぞれ翼下面の圧力はほぼ同じ値を示しているが、粗い翼の場合の方が、翼上面側の圧力の絶対値が大きく、そのため特に、翼前縁部より翼弦の約 50% までの範囲での翼上面と下面との圧力差が大きく現れている。これに対し、滑らかな翼の場合、翼弦長のこの範囲では、翼上面と下面との圧力差はかなり小さく、揚力係数が粗い翼より小さいことと対応している。

失速後の領域Ⅲにおいては、翼面上の流れの挙動を表す図示は省略したが、翼表面粗さにかかわらず翼の前縁部から流れのはく離を起こすため、図 5 に示した薄翼の場合と同様、翼上面の前縁部に近い位置で一对の渦を形成し、その規模は拡大している。さらにタフトが激しく変動していることも確認している。翼下面側の流れについては、失速後においても領域Ⅱ-2 と比べほとんど変化はないが、翼後縁部において翼上面側へ向かう流れの巻き上がりの領域が拡大している。

領域Ⅲにおける圧力分布に関しては、翼表面粗さによる大きな違いは見られず、両者とも翼上面の圧力係数  $C_p$  は、翼弦長の約 30% までは、領域Ⅱ-2 のそれと比べ大きく低下し、翼全長にわたりほぼ一定の値を示している。これは迎え角が大きい状態のため、翼の前縁部から流れのはく離し、翼全体にわたり失速を起こしているためである。

一方、翼下面の圧力分布は、翼表面粗さによらず、ほぼ同じ変化をしていることがわかる。

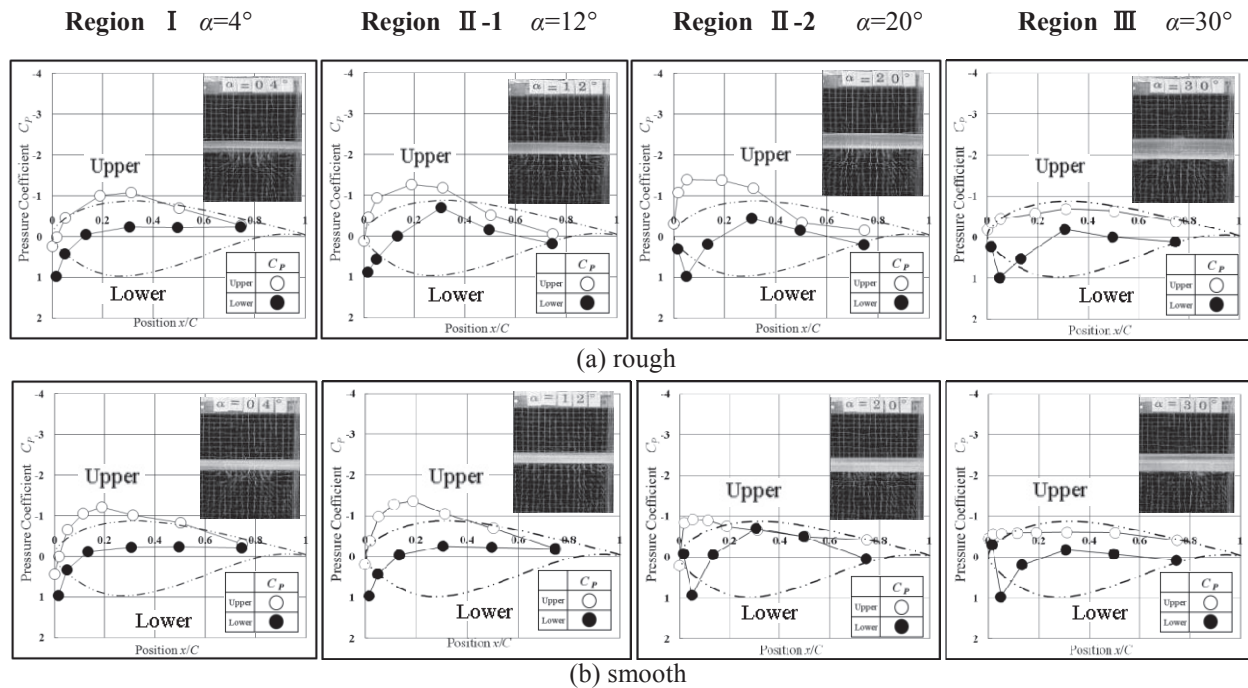


Fig.8 Flow visualization and pressure distribution (「DU97-W-300」)

#### 4・3・2 表面上の積層痕の有無による厚翼に関する小迎え角領域における特徴的な流れの挙動

厚翼の場合, 図4に示したように, 迎え角の小さい領域において, 光造形手法により製作した翼表面上に生じる積層痕の有無による翼表面粗さの違いにより, それぞれ特徴的な揚力係数の変化が見られる。

すなわち, 粗い翼では, 迎え角  $\alpha=6^\circ$  および  $\alpha=8^\circ$  の領域で揚力係数の低下は見られないのに対し, 滑らかな翼では, 迎え角  $\alpha=10^\circ$  で揚力係数の低下, すなわち失速を起こしていることがわかる. この迎え角での失速は,  $\alpha=26^\circ$  での「二次失速」に対し, 「一次失速」と呼ぶことにする<sup>(5)</sup>.

そこで, 翼表面が粗い翼の場合には, 迎え角  $\alpha=6^\circ$  および  $\alpha=8^\circ$  の状態での流れの挙動を, また, 滑らかな翼の場合には, 迎え角  $\alpha=8^\circ$  および  $\alpha=10^\circ$  の一次失速前後の流れの状態を以下検討する。

(a) 翼表面が粗い (光造形手法により製作した際に翼表面上に生じる積層痕を有する) 場合の迎え角  $\alpha=6^\circ$  および  $\alpha=8^\circ$  の状態での流れ構造 図9は厚翼の粗い翼の場合, 迎え角が小さい  $\alpha=6^\circ$  および  $\alpha=8^\circ$  の状態での流れの挙動と翼面上の圧力分布を示す. 迎え角が  $\alpha=6^\circ$  の場合, 翼後方の流れにおけるタフトの挙動から, 翼上面から下面に向かう流れが確認できる. これに対し  $\alpha=8^\circ$  では, 翼上面および下面の流れはともに翼に沿っており, 翼後方でのタフトの動きも流れ方向に向いている。

この流れの微妙な違いは, 翼面上の圧力分布にも現れている. すなわち, 翼前縁から約30%までの範囲において,  $\alpha=8^\circ$  の場合の翼上面と下面との圧力の差が,  $\alpha=6^\circ$  のそれと比べ大きくなっており, その結果, 揚力係数の低下はなく, 逆にわずかな増加を示している. これは上述のように翼周りの流れが良好な状態となっていることとも対応している。

(b) 翼表面が滑らかな場合の迎え角  $\alpha=8^\circ$  および  $\alpha=10^\circ$  の一次失速前後の状態での流れ構造 図10は厚翼の滑らかな翼の場合について, 一次失速前後の迎え角における翼後方での流れの様子を観察したものである。

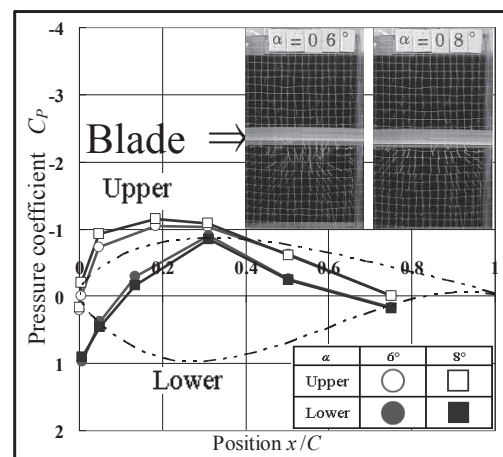


Fig.9 Flow visualization and pressure distribution (「DU97-W-300」, rough)



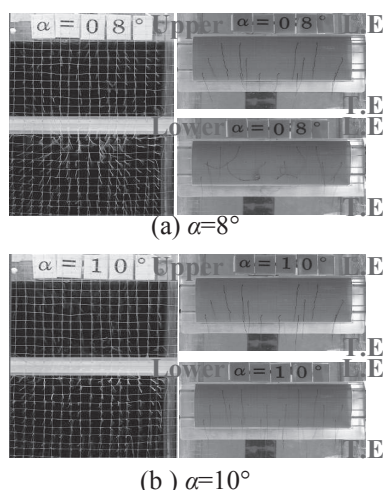


Fig. 10 Flow visualization (「DU97-W-300」, smooth)

一次失速前の迎え角  $\alpha=8^\circ$  においては、翼上面のタフトはほとんど乱れることなく整って流れ方向に向いているものの、翼後縁付近ではタフトが翼下面側に廻り込んでいる現象が確認できる。その影響により、翼下面側では一対の小さな渦の発生が見られる。

図 11 はこの時の翼後方での後流分布を示したもので、翼下面側において速度の欠損領域が確認できる。一次失速後の迎え角  $\alpha=10^\circ$  では、翼下面側の流れも翼に沿ったものとなっていることが翼後方流れの観察からも判断できる。

また、図 12 に示す翼後方での後流分布から、 $\alpha=8^\circ$  の流れと比較し、 $\alpha=10^\circ$  の時の翼下面側の流れは改善されているのに対し、翼上面側に速度の欠損領域が移動していることがわかる。

このように、失速後には失速前に見られた翼下面側の後流領域が翼上面側に移動しており、この迎え角付近では、迎え角のわずかな変化が、翼周りの流れの挙動に微妙な変化をもたらしているものと言える。

次に、一次失速前後の迎え角である  $\alpha=8^\circ$  および  $10^\circ$  における翼上面および下面の翼中心断面での圧力分布を図 13 に示す。図中には  $x/C$  に対する翼型形状を二点鎖線で記載した。

翼上面の圧力分布については、一次失速前の迎え角  $\alpha=8^\circ$  において、翼前縁部から翼弦長の約 20% 付近にかけて負の圧力値が大きくなり、その後、後縁部にかけて徐々に減少する分布となっている。

これに対し、失速後の  $\alpha=10^\circ$  の圧力分布は、翼弦長の約 10% までは失速前の場合とほぼ同じである

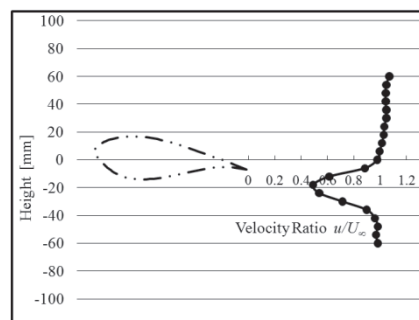


Fig.11 Wake distribution, Region I (「DU97-W-300」(smooth),  $\alpha=8^\circ$ )

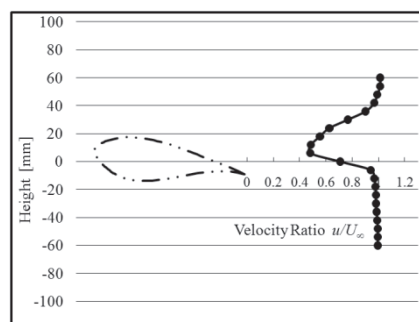


Fig.12 Wake distribution, Region II-1 (「DU97-W-300」(smooth),  $\alpha=10^\circ$ )

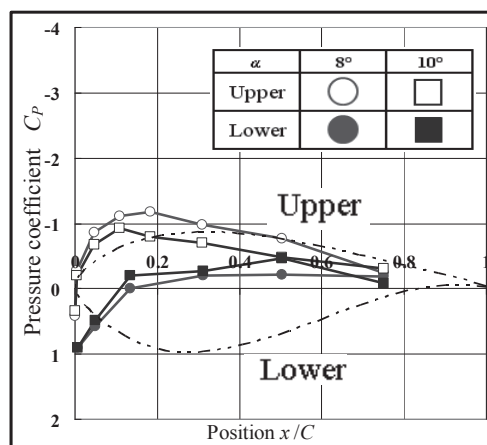


Fig. 13 Pressure distribution (「DU97-W-300」, smooth)

が、それ以降、翼後縁付近まで失速前の状態より小さい値を示している。

図 12 に示した後流分布からもわかるように、翼上面側に速度欠損領域が存在し、上面側の流れのはく離が、圧力の減少に影響を及ぼしているものと考えられる。

一方、翼下面の圧力分布については、翼前縁から翼弦長の約 5% までは、失速前後の状態とも圧力が増加



するものの, その後すぐに減少する. 翼弦長の約 13% 以降は, 失速前の状態ではほぼ一定の値を示しているのに対し, 失速後の状態では, 翼弦長の 50% を境に多少, 圧力分布の変化の傾向が異なっている.

以上の圧力分布より, 一次失速後の  $\alpha=10^\circ$  においては, 翼上面と下面の圧力の差が, 失速前の  $\alpha=8^\circ$  の場合と比べ小さくなっており, これは揚力係数  $C_L$  の減少とも対応していることがわかる.

## 5. 結 言

本報では風車用翼型として用いられている薄翼と厚翼の代表的な翼型について, 光造形手法により翼型を製作した際に翼表面上に生じる積層痕の有無が, 流体力学的特性曲線の変化の過程に及ぼす影響を迎え角の大小の領域ごとに分類し, あわせて翼周りの流動状態と関連させて検討を加えた.

その結果, 明らかになった点は, 以下のとおりである.

(1) 薄翼の「NACA63217」と厚翼の「DU97-W-300」の両者とも, 光造形手法により製作した際に生じる積層痕の有無による翼表面粗さと迎え角の大きさの範囲における特性曲線の異なる傾きに応じ, 三つの領域に大別できることを示した. これはそれぞれの領域に応じ, 翼周りの流動状態の違いと密接に関連することを明らかにした.

(2) 薄翼の「NACA63217」の場合, 積層痕を有する場合, すなわち表面粗さが粗い翼の方が滑らかな翼と比べ, 揚力係数は大きく現れている. また, 失速に関しては, 粗さによらず迎え角の大きい  $\alpha=20^\circ$  でのみ失速が発生している.

(3) 厚翼の「DU97-W-300」については, 積層痕の有無による表面粗さの違いにより特性曲線に特徴的な変化が見られる.

すなわち, 滑らかな翼の場合には, 迎え角  $\alpha=10^\circ$  と  $26^\circ$  において, 二度の失速が発生しているのに対し, 積層痕を有する翼の場合, 迎え角の小さい領域での失速は消え, 迎え角の大きい  $\alpha=26^\circ$  においてのみ失速が発生する.

さらに, 粗い翼の場合, 領域Ⅱ以降, 滑らかな翼と比べ揚力係数が大きく現れており, これは光造形による積層痕が, 翼前縁付近での流れのはく離を抑制する効果をもたらしているものと言える.

(4) 厚翼の場合, 迎え角の小さい領域において, 積層痕の有無による翼表面粗さの違いにより, それぞれ特徴的な揚力係数の変化を示すことを提示した.

すなわち, 粗い翼では, 迎え角  $\alpha=6^\circ$  および  $\alpha=8^\circ$  の領域で揚力係数の低下は見られないのに対し, 滑らかな翼では, 迎え角  $\alpha=10^\circ$  で揚力係数の低下, すなわち失速を起こしていることを示し, 両者の翼周りの流れと圧力分布の結果から, その相違を明らかにした.

## 文 献

- (1) SAITO, Sumio, SEKIZUKA, Satoshi, SATO Kenichi and SATO, Arinobu, Performance Comparison of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.70, No.700 (2004), pp.3174-3181.
- (2) SAITO, Sumio, SEKIZUKA, Satoshi, SATO Kenichi and SATO, Arinobu, Transient Characteristics of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B, Vol.71, No.702 (2005), pp.539-545.
- (3) SAITO Sumio, SEKIZUKA, Satoshi and SATO, Kenichi, Transient Characteristics of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, Journal of Environment and Engineering, Vol.2, No.1(2007), pp.13-24.
- (4) SAITO, Sumio, SEKIZUKA, Satoshi, Performance Comparison of Two Wind Turbine Generator Systems Having Two Types of Control Methods, International Journal of Fluid Machinery and Systems, Vol.2, No.1, January-March 2009, pp.92-101.
- (5) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro and ICHIKAWA Tatsuya, Research of Aerodynamic Characteristics and Flow Patterns on Thin and Thick Blades of Wind Turbines, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.41(2), 2010, pp.19-27.
- (6) R.P.J.O.M. van Rooij, W.A.Timmer, Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Airfoils, Transaction of the ASME, Vol.125, November 2003, pp.468-478.
- (7) W.A.Timmer, R.P.J.O.M. van Rooij, Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils, Transaction of the ASME, Vol.125, November 2003, pp.488-496.

(平成 22 年 12 月 28 日 受理)

# 頬の動きを用いた操作インターフェイスの試作

清水昭博\*, 鈴木啓佑\*\*

Development of Man-Machine Interface Driven by Deformation of Cheek

Akihiro SHIMIZU and Hirosuke SUZUKI

Two kinds of man-machine interface using a deformation of cheek which is able to input plural channels have been developed and tested. One is an interface getting On-Off signals with normally open switches, and the other is an interface getting increasing or decreasing of voltage corresponding to the deformation of cheek utilizing a strain gauge. "Pointing operation" on a desktop in the display of a personal computer has been evaluated by a developed exclusive evaluating program. With comparison of "operation by mouse", operating speed was established to 16% of the operation by mouse. On the other hand, interface for analogue signal with strain gauge has been found to need reduction of thermal characteristics change of the working strain gauge.

(Keywords: Cheek, Tongue, Man-Machine Interface, Deformation, Normally Open Switch, Personal Computer, Strain Gauge)

## 1. はじめに

人の器官の中で最も細かい動きが可能な器官は手であり,多くの機器は手によって操作されるように設計されている.しかし,手が使用できない状況に置かれた場合や手に障がいのある人の場合,手以外の入力手段が必要となる.

手や足に替わる入力手段の一つとして舌を利用した操作インターフェイスが存在するが,既存の研究に見られる舌を用いたインターフェイスでは口内に物を含んだり,舌にピアスをする必要があるため,導入への抵抗感が考えられる.一方,口内に物を含まずに,舌で頬の内側を押して,頬の外面の動きを用いたインターフェイスは障がい者向けのナースコールなどで実用化されているが,2つ以上のスイッチを持つものはまだない.

そこで本研究では複数スイッチを持つ頬の動きを用いたインターフェイスを試作してパソコン操作での操作性を評価することを目的とする.

## 2. プロトタイプの試作と評価

### 2-1 概要

複数のスイッチを持つ頬の動きを用いたインターフェイスで問題となるのが誤入力である.スイッチを頬の表面に隣接して配置すると,Fig. 1に示すように意図しない入力が生じてしまうことが考えられる.そこでこの問題を取り除くことのできる機構を考案し,プロトタイプを試作した.

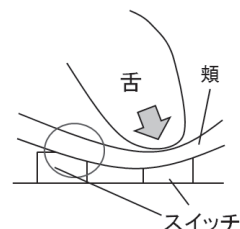


Fig.1 An input not to be intended

また,このプロトタイプを用いてパソコン操作を行えるようにして,その評価を行った.

### 2-2 機構

人が普段生み出す舌の力は  $0.4 \sim 1.8 \text{ N}^{(1)}$  と小さいため,入力の検出にはマイクロスイッチ(以下,「スイッチ」と呼ぶ)を用いた.また,隣接したスイッチを押し分けるために Fig. 2 に示すシーソー機構を設けた.これにより片方のスイッチに入力があつた場合,他方は軸を支点に板が持ち上がることで隣接するスイッチが同時に入力されることを防いだ.本機構を,アルミ合金製平板を加工して

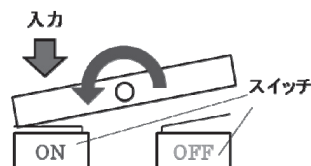


Fig.2 The contrived mechanism to prevent an unnecessary simultaneous input

作成したフレームにより頬の脇に 2 つ (上下方向及び左右方向用) 固定した。試作したプロトタイプ



Fig.3 Wearing the prototype interface

の外観を Fig. 3 に示す。

## 2-3 パソコン操作への利用

プロトタイプをパソコン操作に利用するために、Fig. 4 に示すようにマイコンを介してパソコンと接続し、プロトタイプに取り付けられた全てのスイッチの入力状況を 50 ms ごとにパソコンへ送信した。また、パソコン上では受信した信号に応じてデスクトップ上でポインタを移動するプログラムを C#.NET で作成し、これを用いてパソコン操作(ポインティング操作)を可能にした。なおクリック操作に関しては 1 秒以上ポインタを停止させると自動で行われるものとした。

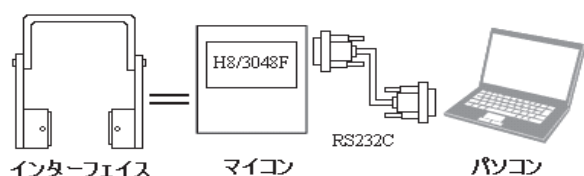


Fig.4 Composition of Hardware

## 2-4 ポインティング操作性評価ツール

プロトタイプのポインティング操作性を評価するため、佐藤ら<sup>(2)</sup>のポインティング操作能力評価ツールを模したプログラムを C#.NET で作成した。本プログラムによるパソコン画面の変化の概要を Fig.5 に示す。

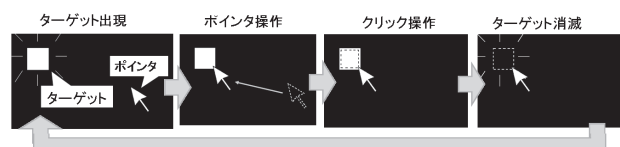


Fig.5 Outline of the experimental procedure by the developed evaluation program

実行するとパソコンのディスプレイ上に正方形のターゲットを表示し、クリックするたびにランダムな座標へ移動する。移動の度に一边の長さが 20,30,40 pixel のいずれかに変化する。

## 2-5 評価方法

ポインティング操作性評価ツールを用いて、ターゲットをクリックするまでに移動した距離(移動距離)、理想的な移動をしたと仮定したときの距離(最短距離)および実際に移動に要した時間を測定し、プロトタイプの操作性を評価した。測定は 1024×600 pixel の範囲で行い、ターゲットのクリックを 1 回としてこれを一人 50 回、4 名の被験者で行った。

## 2-6 評価結果および考察

最短距離に対する平均速度のグラフを Fig.6 に示す。曲線は非線形回帰分析によって各被験者の実測値から求めた回帰曲線であり、凡例項目内の

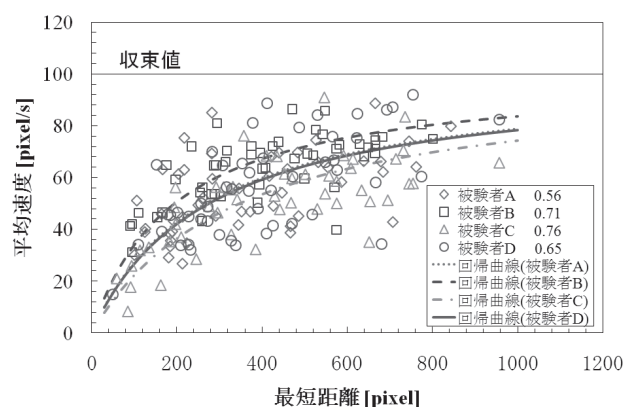


Fig.6 Relationship between the beeline and the average speed of operation by the prototype interface

数字は実測値と回帰曲線の相関係数を表す。このグラフから平均速度は最短距離の増加とともに非線形に増加し、最大速度に向けて収束することが分かる。しかしプログラム上で設定した速度が 100 pixel/s であるのに対して、回帰曲線は最短距離が大の範囲で 80 pixel/s 前後の値となっている。これは斜め移動ができないために余分な時間を要することが原因と考えられる。

実測値と近似曲線との相関が弱いのは、最短距離以外にターゲットの大きさや熟練など、他の因子の影響があるためと考えられる。またターゲット

トが斜めの位置に出現した際に,迂回した経路をとる必要があるため結果にばらつきが生じることも原因のひとつと考えられる.対策としてプログラムにより最高速度を大きく設定することがあげられるが,加減速ができないため細かい操作が困難になることが考えられる.

### 3. アナログ入力タイプの試作

前章より,ポインティング操作における操作速度の向上には加減速が必要であることがわかった.そこで入力の強さを速度に変換することを考え,シリコン樹脂にひずみゲージを埋め込んだロードセルを作成してポインティング操作への利用を試みた.作成したロードセルを Fig.7 に示す.これに Fig.8 に示す様に垂直方向から荷重を加え,負荷前後のひずみ変化量を測定した.結果を Fig.9 に示す.このグラフから入力荷重とひずみ変化量は比例していることがわかる.これよりシリコン樹脂を用いたロードセルをインターフェイスの検



Fig.7 A load cell using silicone rubber and a strain gauge

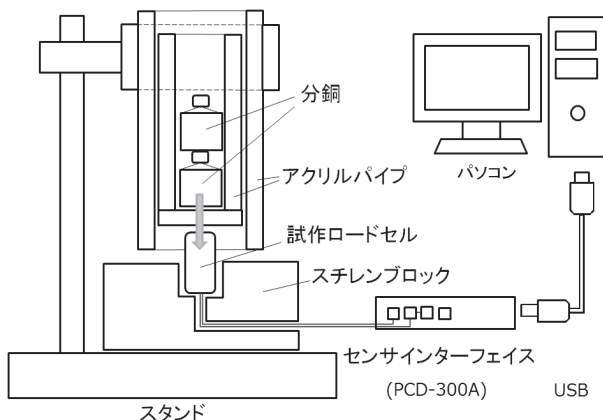


Fig.8 Experimental set-up for the analogue type interface

出部として用いた場合,入力の強さに応じた出力が得られると考えられる.この結果を受けて,試作したロードセルによる検出を試みた.マイコンのA/D変換器を介して出力をパソコンに取り込んだ結果,時間経過によって出力が変化してしまい,利用は困難であると判断した.原因として,熱による特性変化などが考えられ,熱補償や出力感度の増加などが対策としてあげられる.

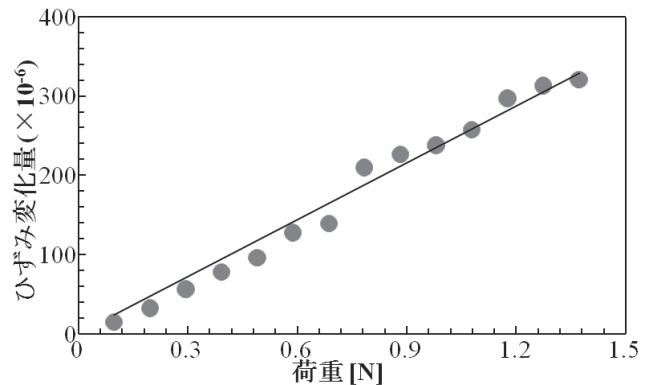


Fig.9 Relation between the applied load and the strain change

### 4. 改良タイプの試作および評価

#### 4-1 概要

ロードセルの利用が困難であることから,プロトタイプに斜め移動およびポインタの加速の機能を付加し,改良を図った.これを改良タイプとし,前述のポインティング操作性評価ツールで評価し,結果を比較した.

#### 4-2 改良点

まずシーソー機構を直行させ,4方向への入力可能なジンバル機構を作成した.機構のイメージを Fig. 10 に示す.本機構は,片方の軸を中心に板

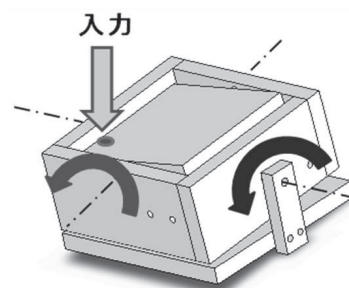


Fig.10 The contrived mechanism for the inputs corresponding to four directions for the pointer moving on the desktop of a personal computer



を傾けた状態で、もう一方の軸を中心に機構全体を傾けることができる。これにスイッチを4つ内蔵させ、ポインタの移動方向の入力に用いた。プログラムにより、2方向へ同時に入力された際にポインタを斜め方向へ移動する機能と、移動方向のスイッチを押し続けると  $400 \text{ pixel/s}^2$  で加速する機能を付加した。改良タイプのインターフェイスを装着した様子を Fig.11 に示す。



Fig.11 The improved interface which is able to operate the pointer on the desktop to diagonal directions

#### 4-3 評価結果および考察

Fig.12 に被験者7名による評価結果を示した。グラフ中の曲線は回帰曲線を、凡例項目内の数字は回帰曲線と実測値の相関係数を表す。相関が全

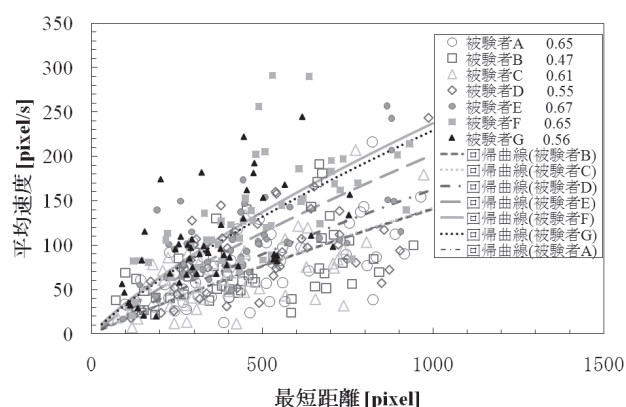


Fig.12 Relationship between the beeline and the average speed of operation by the improved type

体的に弱くプロトタイプと比べ他の要因に影響されやすいことがうかがえる。しかし全体的にプロトタイプ以上の速度で操作することができた。

マウスとの比較を Fig.13 に示す。1000 pixel ま

での範囲でマウスの操作速度に対して改良タイプは 8~16%程度であった。これは加速度一定で意図した速度に達するまでに時間がかかることが原因だと考えられる。

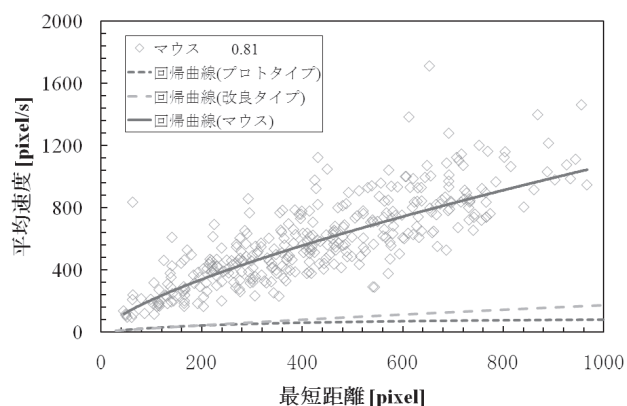


Fig.13 Relationship between the beeline and the average speed of operation by a mouse

#### 5. まとめ

舌で押された頬の動きを用いた、複数のチャンネルの入力が可能な操作インターフェイスを、マイクロスイッチを用いたオンオフ式とひずみゲージによるアナログ式の2種類を試作し、パソコンにおけるポインティング操作に関して評価実験を実施した結果、以下の結論を得た。

- (1) マイクロスイッチを用いた斜め移動ができないタイプの操作速度は、マウスの1割程度である。
- (2) マイクロスイッチを用いた斜め方向ができるようにしたタイプの操作速度は最大でマウスの16%程度である。
- (3) ひずみゲージによるアナログ式では、試作したシリコン樹脂を用いたロードセルが検出部として利用できることがわかった。

今後の課題として、ロードセルや圧電フィルムなどを用いたポインタ移動速度調節の検討、インターフェイスの評価基準をより明確にすることがあげられる。

#### 参考文献

- (1) 久保, 畠田, 藤野, 大塚, 信学技報(2000), pp.29-36.
- (2) 佐藤, 福田, 縄手, 信学技報(2005), pp.23-28.

(平成23年1月6日 受理)

# ひずみ応答を用いた衝撃荷重同定に関する研究

北山光也\*, 白倉 潤\*\*, Tengku Muhammad Idris Al Ariff\*\*\*, 黒崎 茂\*\*\*\*

## Research on Identification of Impact Force Using Strain Response

Mitsunari KITAYAMA, Jun SHIRAKURA,  
Tengku Muhammad Idris Al Ariff, Shigeru KUROSAKI

Recently, many serious accidents to the aircraft by the bird strike have happened. Therefore, it is important to measure the impact force that acts on the structure. In this study, whether identification of the impact force to the elastic plates was experimentally possible was examined by using the strain response. It experimented one dimension model to request the condition of the best identification. The two dimension models' identification experiments were conducted by applying the result. The position of the impact force was able to be identified because of the error of 20%.

(Keywords: Strain Response, Impact Force, Inverse Analysis, Neural Network)

### 1. 緒 言

バードストライクといわれる構造物に鳥が衝突する現象があり、航空機へのバードストライクによる重大事故が何件も起こっている。そこで、構造物に作用する衝撃荷重を測定することが、損傷等を推定する上で重要となる。しかしながら、衝撃荷重の直接の計測は困難であり、様々な推定方法が研究されており、衝撃荷重により発生したひずみ応答を逆解析して衝撃を推測する研究が行われている<sup>1)</sup>。従来の衝撃荷重の推定に関する研究は構造物全体にセンサを配置して行われているため、計測器等のコストがかさむ。そこで、本研究では、少数のひずみゲージにより実験的に測定したひずみ応答を用いて実際の衝撃荷重に対する同定精度について検討することを目的とした。衝撃荷重によって生じるひずみ応答から、衝撃荷重の作用位置と、大きさを求める逆解析の手法として、ニューラルネットワークを用いた。本研究では、まず、一次元弾性はりモデルを使用して衝撃実験を行い、得られたひずみ応答をもとにして、衝撃荷重の位置と大きさの同定を行った。そこで得られた結果を応用し、二次元弾性平板モデルにおいて衝撃荷重の位置と大きさの同定を行なった結果について報告する。

### 2. ニューラルネットワーク

ニューラルネットワーク<sup>2)</sup>は、人間の脳の仕組みをまねた情報処理機構である。人間の脳はコンピュータでは実現が困難な処理でさえ容易に達成する優れた能力を持っている。現在、一般的に使われているコンピュータはノイマン型と呼ばれ、演算速度が非常に速く、定式化された問題などを解く場合には抜群の威力を発揮するが、人間が普段行っているパターン認識などの問題を解く場合、問題の定式化が難しく、実装するのが非常に困難となる。そこで、人間の脳内の情報処理機構をヒントにして、神経細胞ニューロンを数理モデル化し、人間の基本機能である認識や記憶、判断といった処理をコンピュータ上で実現させるために誕生したのがニューラルネットワークである。ニューラルネットワークは相互結合型と階層型の2種類があるが、本研究で採用するのは階層型ニューラルネットワークである。

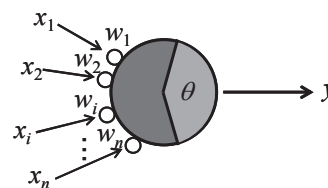


図1 ニューロン

\*長野高専 \*\*機械工学科卒業生(現日本造船技術センター)

\*\*\*機械工学科卒業生(現茨城大学) \*\*\*\*機械工学科

ニューラルネットワークは、図 1 に示すような、多入力、単一出力のニューロン（ユニット）と呼ばれる機能素子から構成されている。階層型ニューラルネットワークは、多数のユニットが入力層、中間層、出力層という複数の階層で構成されているネットワークである。このネットワーク構造では、各ユニットを層状に配置し、同じ階層同士のユニットは互いに結合せず、異なる階層同士のユニットが相互に結合している。そのため、信号の伝播は前の層から次の層への一方向のみに行われる。図 2 に階層型ニューラルネットワークのモデルを示す。階層型ニューラルネットワークの特徴は、信号の伝播処理を繰り返し行うことにより、与えられた問題に対する望ましい入出力パターンを得ることができるということである。

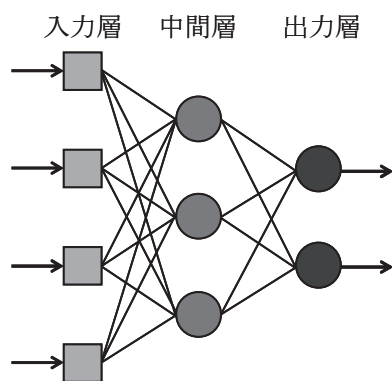


図 2 階層型ニューラルネットワーク

### 3. 衝撃荷重の同定手順

衝撃荷重の同定は、次の 3 段階の手順に沿って行う。①衝撃実験を行い、衝撃ひずみ応答を記録する。次に周波数解析を行い、適切なサンプリング周波数を調査する。②ひずみ応答を入力値、衝撃荷重の位置及び大きさを出力値とする教師データを、ニューラルネットワークに学習させる。③任意の衝撃荷重によるひずみ応答を、ニューラルネットワークに入力し、衝撃荷重の位置及び大きさを同定する。

### 4. 一次元はりモデルの衝撃荷重同定

二次元弾性平板モデルにおいて、衝撃荷重の位置及び大きさの同定を行うために、まず、一次元はりモデルを用いて同定を行い、各種条件の検討を行う。

一次元はりモデル試験片として、幅 30mm×長さ 620mm×板厚 2mm のアルミ合金板を使用し、はり構造力学試験装置を用いて、片端 120mm を固定し、

片持ちはりとした。固定端から 40mm, 120mm, 250mm の位置にひずみゲージを貼り付け、センサーインターフェイス（KYOWA 製 PCD-3000）を介して、衝撃荷重に対するひずみ応答を記録した。衝撃荷重は直径 34mm, 質量 21.9g のゴムボールを自由落下させることにより作用させた。図 3 に一次元はりモデル試験片を示す。

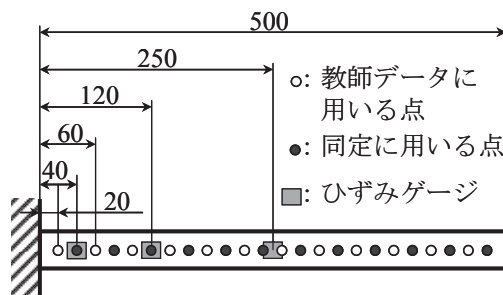


図 3 1次元はりモデル試験片

### 4. 1 実験方法

試験片の各点に衝撃荷重を加え、それぞれのひずみを測定した。ひずみ測定の適切なサンプリング周波数を調べるために、SolidWorks Simulation を用いて、固有値解析を行った。衝撃荷重同定には、統計解析ソフト R<sup>3)</sup> のニューラルネットワークパッケージ nnet を使用し、衝撃荷重位置の同定、落下高さの同定、衝撃荷重位置と落下高さの同時同定を行なった。

### 4. 2 同定結果および考察

#### (1) 固有値解析

SolidWorks Simulation による固有振動数解析の結果を表 1 に示す。また、フーリエ変換により、ひずみの周波数解析を行い、実験的に試験片の固有振動数を求めた。その結果、15Hz, 90Hz, 190Hz, 360Hz となり、解析結果とほぼ一致した。

表 1 一次元はりモデルの固有振動数解析

| Mode       | 1  | 2  | 3  | 4   | 5   |
|------------|----|----|----|-----|-----|
| 固有振動数 [Hz] | 11 | 71 | 97 | 200 | 355 |
| 固有周期 [ms]  | 88 | 14 | 10 | 5   | 3   |

#### (2) サンプリング周波数

適切なサンプリング周波数を調べるためにサンプリング周波数を 166Hz, 250Hz, 333Hz, 500Hz, 1000Hz の 5 条件で同定を行った。サンプリング周波数と同定の平均誤差率の関係を図 4 に示す。

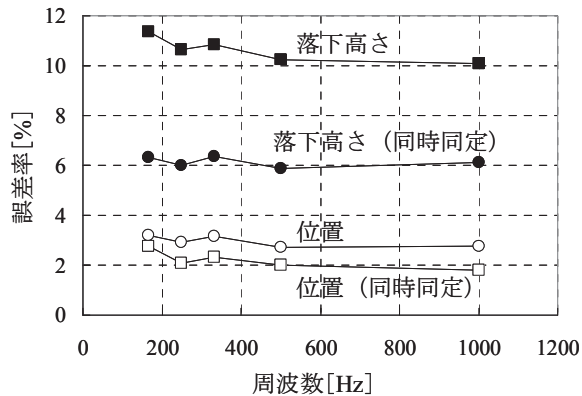


図4 サンプル周波数と誤差率

サンプリング周波数 500Hz と 1000Hz とではほぼ変化がなく, 他のサンプリング周波数に比べ, 誤差が少なくなることが分かった. これは, 500Hz と 1000Hz は高次のモードの固有振動数が含まれているからであると考えられる. ただし 500Hz と 1000Hz では, 誤差の変化がほとんどないためサンプリング周波数は 500Hz で十分だと考える

### (3) ひずみ測定時間

ひずみの測定時間の影響を調べるために, 測定時間を 0.03 秒, 0.07 秒, 0.13 秒の 3 条件で同定を行った. 図 5 に測定時間と誤差率の関係を示す. 測定時間が 0.03 秒と 0.07 秒において, 若干誤差が少なくなったが, 誤差率にほぼ変化がない. これは 0.03 秒と 0.07 秒でも一次モード以外のモードの固有振動数の一周分程度の振動が含まれているからである. 測定時間は一次モードの 1/4 周期程度で十分だと考える.

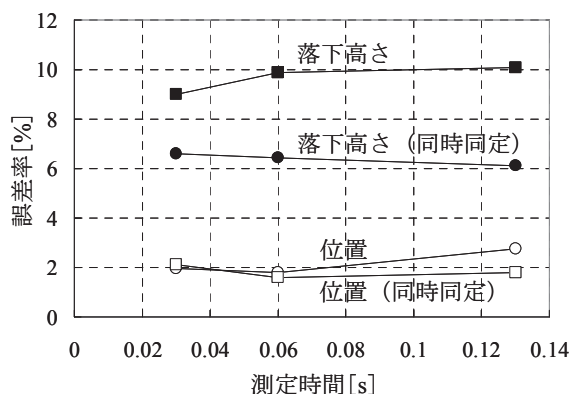


図5 測定時間と誤差率

### (4) ひずみ測定間隔:

学習させる教師データの間隔の影響も調べた. 教師データのひずみ測定の間隔を 40mm, 80mm, 120mm とし同定を行った. その結果を図 6 に示す.

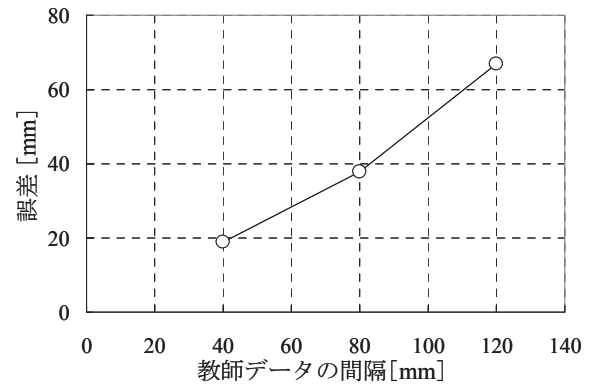


図6 教師データの間隔と誤差

学習させる教師データの間隔を小さくすると誤差が少なくなることが確認できた. 学習させるパターンを多くすれば, 誤差を減らすことが可能であると考ええる.

## 5. 二次元弾性平板モデルの衝撃位置の同定

### 5. 1 実験装置および実験方法

試験平板として, 800mm×800mm×板厚 2mm の冷間圧延鋼板を使用し, 水平に固定した.

実験方法は一次元はりモデルと同様に行い, 衝撃荷重は直径 68mm, 質量 130 g の軟式野球ボールを使用し自由落下させて加えた.

### 5. 2 同定結果および考察

一次元はりモデルと同様にサンプリング周波数及び測定時間の影響について調べた.

#### (1) サンプル周波数

サンプリング周波数を 166Hz, 250Hz, 333Hz, 500Hz, 1000Hz とし同定を行った結果を図 7 に示す. 一次元はりモデルと同様にサンプリング周波数 500Hz で誤差が少なくなることが分かる.

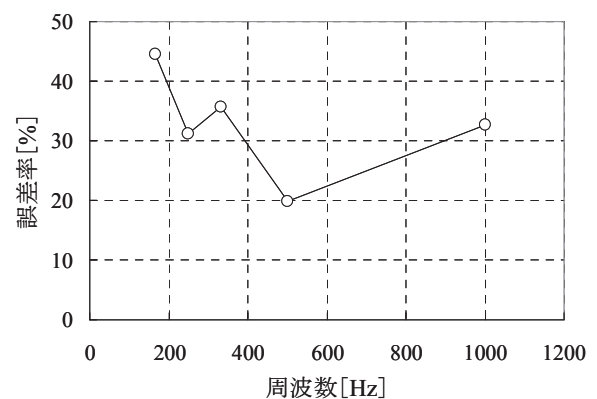


図7 サンプル周波数と誤差率 (二次元)



## （２）測定時間

測定時間は、0.003 秒、0.006 秒、0.012 秒の 3 条件で同定を行った。結果を図 8 に示す。測定時間 0.012 秒で誤差が少なくなった。一次元はりモデルにおいて測定時間 0.03 秒では、ほとんどの固有振動数に対する一周分分の振動が含まれた。しかし二次元弾性平板モデルの測定時間 0.003 秒では、高次の固有振動数に対する一周分分の振動が含まれないため、一次モードの一周程度程度の測定時間が必要だと考える。

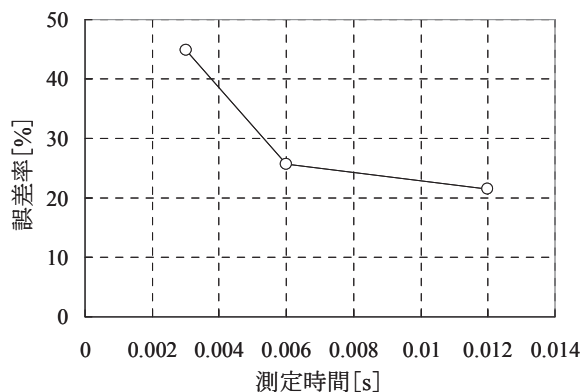


図 8 測定時間と誤差率（二次元）

## 6. 衝撃荷重位置と落下高さ同時同定

### 6. 1 実験装置および実験方法

5.1 節で示した実験装置及び実験方法を用いて、二次元弾性平板モデルの衝撃荷重位置及び落下高さの同時同定を行なった。

### 6. 2 同定結果および考察

5.2 節の結果からサンプリング周波数を 500Hz、測定時間を 0.012 秒、中間ユニット数を 28 として同定を行った。結果を表 2 に示す。衝撃荷重位置の同定については平均誤差率 20%，落下高さの同定については平均誤差率 30%以内で同定を行うことができた。

表 2 衝撃荷重位置と落下高さの誤差率

|          | 衝撃荷重位置 | 落下高さ |
|----------|--------|------|
| 平均誤差 [%] | 20.1   | 29.6 |

## 7. 結 論

実験的に測定したひずみ応答を用いて、一次元はりモデル及び二次元弾性平板モデルに対する、衝撃荷重の同定を行い、精度向上のために最適な条件を検討し、次のような結論を得た。

- ① サンプリング周波数は、高次のモードの固有振動数を含む周波数を用いるべきである。
- ② ひずみの測定時間は、固有振動数の一周分分の振動が含まれた測定時間を用いるべきである。

これらの条件を用いて、二次元弾性平板モデルの衝撃荷重の位置と落下高さの同時同定が可能であることが確認できた。また、教師データとして学習させるパターンを多くすることで、さらに誤差率を向上させることができると考える。

## 謝辞

本研究は、筆者の一人が平成 21 年度高専間教員交流で東京高専在任中、共同研究で行った一部であります。関係各位に記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 小野将, 中村正行: 機講論, 067-1 (2006), 313-314
- 2) 熊沢逸夫: 学習とニューラルネットワーク, 森北出版, (1998)
- 3) 熊谷悦男ら: R で学ぶデータマイニングⅡ, オーム社, (2008)

(平成 23 年 1 月 7 日 受理)

# 東京高専におけるマイクロメカトロニクスの新展開

## —第2報, マイクロ構造体の製作と機械的特性—

角田 陽\*, 多羅尾 進\*, 齋藤浩一\*, 堤 博貴\*, 志村 穰\*, 北山光也\*\*

### New Twist for Micromechatronics in Tokyo KOSEN — 2nd Report, Fabrication and Mechanical Property of a Micro structure —

Akira KAKUTA, Susumu TARAO, Hirokazu SAITO,  
Hirotaka TSUTSUMI, Jyo SHIMURA, Mitsunari KITAYAMA

MEMS is one of the important technologies in the mechanical engineering field of 21st. This study tried to found the MEMS technology in Tokyo KOSEN. In this study, micro-mechanical structure made by SiC film were applied to MEMS for hard environment because single-crystal SiC thin films have excellent mechanical properties such as high young modulus, durability, etc. Micro cantilever beams were fabricated with single-crystal SiC thin film on a single-crystal Si substrate. And mechanical property, such as Young's modulus was investigated real bending test and FEM analysis. (Keywords, MEMS, Micro structure, SiC thin film)

#### 1. はじめに

機械構造体の軽薄短小化の追求は従来より盛んであり、その成果のもたらす効果は大きい。とりわけ環境負荷の低減が最重要課題のひとつである現在、機械の超精密化、高精度化や微細化は、例えば摩擦の低減、省スペース化、軽量化などによって省エネルギー化がはかれる結果として環境負荷の低減も期待できるため、従来にもまして重要となっている。

しかし、機械構造体の微小化に際して、これまでの大きさの時には無視できた摩擦などの影響が相対的に大きくなるなど、それらを考慮した設計、解析、製作が必要となる。これは、これまでの部品を単純に縮小化するだけでは微小化は達成できないことを意味し、設計や解析において新たな知見を構築・体系化することが必要となる。さらに、切削加工などの力学的除去加工をはじめとする従来の加工技術で微小かつ微細な機械部品の製作す

るには限界があるので、新たな加工技術の適用や開発も必要となる。そして、それらが横断的連携されることも必要となる。

つまり、機械要素部品の製作関連技術である設計・材料・加工・計測・制御にいたる一連の機械工学関連分野を総合化し、マイクロレベル対応した新たな工学として再構築・統合化する必要がある。

さらに、この微小化・微細化は、研究レベルにとどまらず、実用レベルで利用することも同時に進められており、実際の機械製作に不可欠な地域企業レベルを含む、機械要素部品の製造関連企業全体で対応がせまられつつある。

そこで、本研究では、地域連携を視野にいれ、東京高専におけるマイクロメカトロニクスの新展開をはかるために、機械工学分野技術(駆動系・制御系・筐体作製系)をマイクロ化対応統合システムとして構築する基礎研究の第1段階として、第1

報ではマイクロ駆動体の試作を通じて、マイクロ化技術の顕在化をはかった。本報では、それをさらに進めて、構造体としての製作ならびに機械的特性の検証を行った。

## 2. マイクロ構造体材料

これまでのところ、MEMS 等の微小機械の材料として Si(ケイ素)が多用されている<sup>1)</sup>。これは、微小機械の製造技術が、半導体集積回路の加工技術であるエッチングなどの転用・応用で行われてきており、集積回路材料として多用されている Si もそのまま転用することにより、加工条件なども転用が容易になるからである。本研究では、MBE (Molecular Beam Epitaxy; 分子線エピタキシ)法によって、単結晶 Si(111)基板上に単結晶炭化ケイ素(SiC)薄膜を成長させたものを構造体材料として用いた。SiC は Si に比べて格子定数が 20% ほど小さいが、MBE 法で適切な加工方法や加工条件を設定することにより、界面において結晶格子が歪みながら Si 基板上に SiC を成長させることが可能である<sup>2)</sup>。SiC は Si よりも機械的特性や耐熱性に優れ(表 1), Si で作製されている MEMS を SiC で置き換えられれば、長寿命化や高強度化、高温環境での MEMS の利用が可能になると考えられる。

ところで、一般に機械構造体の設計には、使用する材料の特性をあらかじめ把握する必要があるが、SiC 薄膜の機械的特性に関する報告例は少ない。また、薄膜の評価法には基板を含めた評価方法が多く、薄膜単独での応用を考える MEMS には向いていない。そこで本研究ではエッチング技術を用いて SiC 薄膜ではりを作製し、それをマイクロ構造体として曲げ試験を行うことで SiC 薄膜の機械的特性を評価した。

Table1 Characteristics of SiC, Si and Diamond

|                                           | SiC(3C-SiC)            | Si                     | Diamond                |
|-------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Crystal structure <sup>3)</sup>           | Zinc blende            | Diamond                | Diamond                |
| Melting point[°C] <sup>4)</sup>           | Sublimes at 1825       | 1415                   | Phase change           |
| Max. Operating Temp.[°C] <sup>4)</sup>    | 873                    | 300                    | 1100                   |
| Density[kg/m <sup>3</sup> ] <sup>3)</sup> | $3.211 \times 10^{-3}$ | $2.329 \times 10^{-3}$ | $3.515 \times 10^{-3}$ |
| Young's modulus[GPa] <sup>4)</sup>        | 448                    | 190                    | 1035                   |
| Mohs hardness <sup>3)</sup>               | 9.2 - 9.3              | 7                      | 10                     |

## 3. マイクロ構造体の製作

### 3. 1 マイクロ構造体はりの設計

本研究におけるマイクロ構造体の代表寸法は、SiC 薄膜の膜厚などを考慮して、数 10 $\mu$ m オーダとした。また形状は、三角形のはり型構造とした。マイクロ構造体の製作(3.2 節で述べる)において、等方性エッチングなどのウェットプロセスを使用するが、その際の問題点として、溶液の乾燥時に構造物が液体の表面張力によって基板に張り付く現象(スティクション)がある。三角形のはりの場合、同じ長さの長方形のはりに比べて面積が 1/2 であるため、スティクションを回避する上で有利であると考えられる。

### 3. 2 製作方法

マイクロ構造体の作製方法は以下のとおり(図 1)。

- (1) 単結晶 Si 基板上に成膜された SiC 薄膜の上にネガ型フォトリソグ resist (SU-8 50; MicroChem)を塗布後、ガラスマスク上のマイクロ構造体はりのパターンを露光により転写する。
- (2) そのレジストをマスクとし、反応性イオンエッチングによる方向性エッチングを表 2 の条件で行い、マイクロ構造体はりのパターンを SiC に転写する。
- (3) 液相等方性エッチングを表 3 の条件で行い、SiC の下の Si を除去する。
- (4) 最後にレジストマスクをピラニア溶液(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=3:1 の溶液)に溶かして除去する。

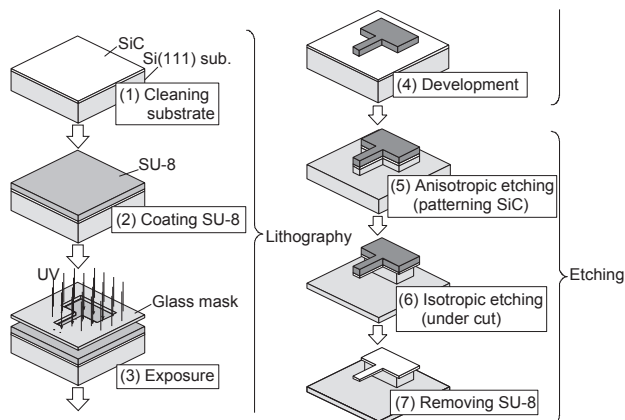


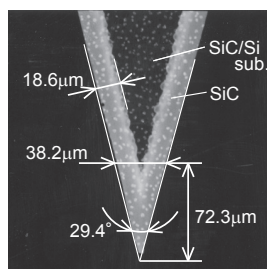
Fig.1 Fabrication process of SiC micro cantilever beam

Table2 Conditions of SiC etching

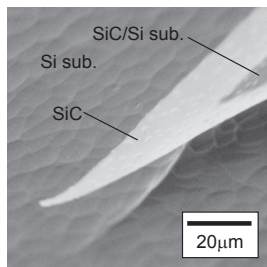
|             |                                             |
|-------------|---------------------------------------------|
| Etchant gas | CF <sub>4</sub> (80%), O <sub>2</sub> (20%) |
| Flow rate   | 25 sccm(total)                              |
| RF Power    | 50 W                                        |
| Pressure    | 0.048 Torr                                  |
| Time        | 15 min                                      |

Table3 Conditions of Si etching

|           |                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| Etchant   | HF(9%), HNO <sub>3</sub> (68%),<br>CH <sub>3</sub> COOH(23%) |
| Etch rate | 2-6 $\mu\text{m}/\text{min}$                                 |



(a) Top view



(b) Bird's eye view

Fig.2 Fabricated SiC cantilever beam

### 3. 3 加工形状評価

上述の手法で加工したマイクロ構造体をSEM(走査型電子顕微鏡)で観察した結果を図2に示す. 三角形はりは等方性エッチングを行う時間によって長さが変わり, 同図のはりは7分間エッチングしたものである. SiC 薄膜の厚さは推定値で511nmである. 先端角は設計上は30°である. 同図(b)は鳥瞰図であり, はりが上向きに反っている様子がわかる. エッチングでSi基板が取り去られたことによって残留応力が解放され, その影響ではりが反り上がってしまったと考えられる.

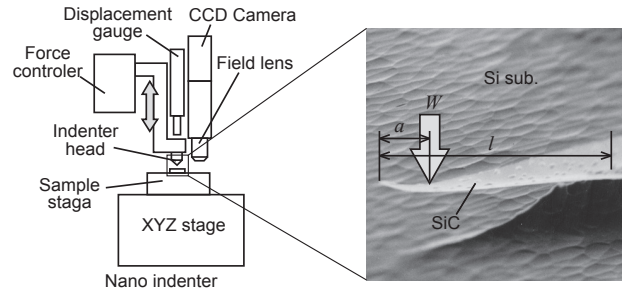


Fig.3 Schema of evaluation setup

Table4 Specification of SiC micro cantilever

|              | $\alpha$ [°] | $l$ [μm] | $b_0$ [μm] | $h$ [nm] | $a (=x)$ [μm] |
|--------------|--------------|----------|------------|----------|---------------|
| Cantilever A | 30.5         | 66       | 36         | 511      | 30            |
| Cantilever B | 45.0         | 41       | 34         | 511      | 10            |
| Cantilever C | 54.4         | 35       | 36         | 511      | 10            |

## 4. 機械的特性試験

### 4. 1 試験方法

機械的特性試験として, マイクロ構造体はりの曲げ試験を行った. 試験装置には, ナノインデント(エリオニクス社 ENT-1100a)を用いた. ナノインデントとは, 試料表面に微小な圧子を押し込み, その押し込み荷重-押し込み深さ特性から微小領域でのヤング率や硬さを測定する装置である. 圧子の負荷する荷重と押し込み深さを制御・測定する装置であるので, 圧子ではりに集中荷重を加え, そのときのはりのたわみを測定することができ, 薄膜で作製された微小なはりの曲げ試験が行えると考えられる. はりの自由端から  $a$  だけ離れた場所をナノインデントの圧子で押して荷重  $W=175\text{mN}$  を加えた(図3). 曲げ試験には先端角  $\alpha$  が異なる3種類のはりを使用した(表4).

### 4. 2 試験結果とヤング率の計算

ヤング率を計算するために作製したマイクロ構造体はりをモデル化し, 曲げ試験を材料力学の問題に置き換えた(図4). 自由端から  $a[\text{m}]$  だけ離れた点に荷重  $W[\text{N}]$  を加えたとき, 自由端から  $x[\text{m}] (a \leq x \leq l)$  だけ離れた点のたわみを  $v[\text{m}]$  とするとヤング率  $E[\text{Pa}]$  は次式で表される. ただし  $b_0[\text{m}]$  は固定端でのはりの幅,  $h[\text{m}]$  ははりの厚さとする.

図5に曲げ試験で得られた荷重-たわみ曲線, 計算されたヤング率を示す. 計算には荷重-たわみ曲線を一次近似した近似式から得られた  $v$  を使用し



ており、図 5 にはその値が示してある．典型的なバルクの SiC のヤング率は  $400\sim 450\text{GPa}$  程度であり、それに近いヤング率が得られた．

## 5. 考察

バルク SiC のヤング率に近い値が得られたが、本研究の測定には次の誤差が含まれると考えられる．表 5 は誤差の内容と仮にそれを補正できたときのヤング率  $E$  の増減(+:増加, -:減少)を表している．寸法の誤差のうち最も影響が大きいのは厚さである．ヤング率の計算式には 3 乗で効き、直接測定する方法がなく、長さ幅に比べて桁が 2 桁小さい．等方性エッチングで SiC は多少エッチングされるので膜厚は減少し、断面形状も変化する．

固定端の形状の違いについては有限要素法を用いて解析を行った(図 6)．その結果、マイクロ構造体はりの形状のほうがわたみが大きいという結果が得られた．解析によると固定端の後ろの SiC 薄膜も曲がるため、実際には見かけの長さより長いはりを曲げていることになってたわみやすくなったと考えられる．

## 6. まとめ

本研究ではマイクロ構造体として、MBE で Si(111)基板に成膜された SiC 薄膜を材料としたはり構造の製作と機械的特性を評価を行った．単結晶 SiC 薄膜はバルク SiC に近いヤング率を持ち、MEMS 部材として有用であることを示した．含まれる誤差の低減が今後の課題である．

具体的にはエッチングによる膜厚の減少と断面形状の変化の見積もり、固定端形状のモデル化である．また、曲げ試験の途中でごく弱い荷重で折れてしまったはりもあったが、プロセスのどの段階で折れる原因が生じたのかを突き止めることはできなかった．それを突き止め、改善することによって SiC 薄膜をさらに機械的特性に優れた MEMS 部材にすることができると考えられる．

なお、本研究の一部は、東京高専における重点配分経費(学科等研究活動経費)によって行われた．

## 参考文献

- 1) 佐藤一雄:シリコンウエハ上の微小な機械要素の加工, 精密工学会誌, 54, 9, 1988
- 2) 松波弘之:半導体 SiC 技術と応用, 日刊工業新聞社, 2003

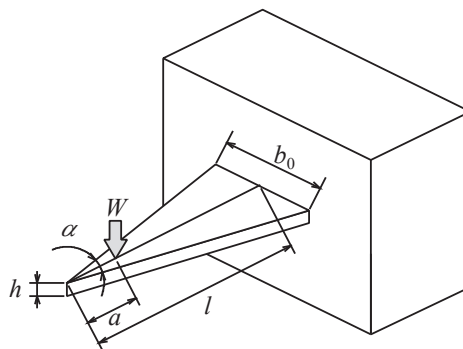


Fig.4 Model to calculate Young's modulus

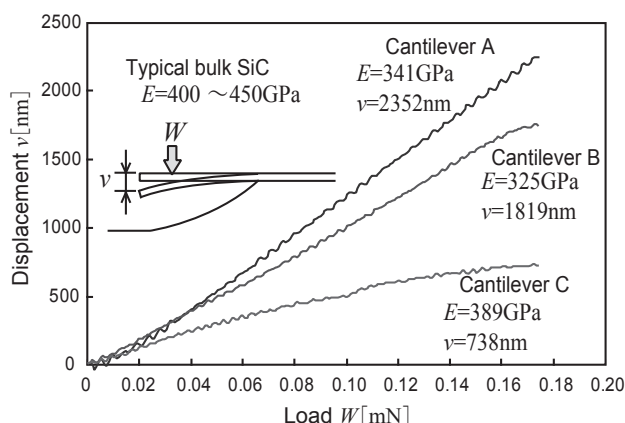
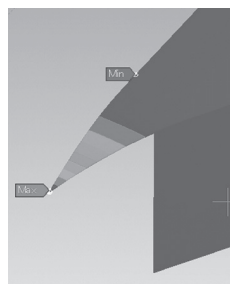


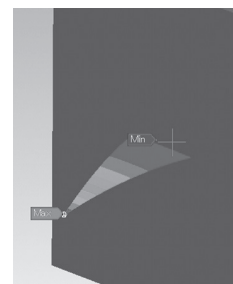
Fig.5 Results of bending test

Table5 Affect of measurements error

| Error details                                                  | Compensation of $E$ |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|
| Measurement error of length and width of cantilever            | $\pm$               |
| Measurement error of thickness of cantilever                   | $\pm$               |
| Error of indent position                                       | $\pm$               |
| Assumption that SiC thin film is not etched                    | +                   |
| Difference of fixed end of cantilever between sample and model | +                   |
| Decrease of apparent length because of cantilever's warping    | -                   |
| Strain of crystal lattice because of residual stress           | -                   |



(a) Sample shape



(b) Model shape

Fig.6 Example of Finite Element Method analysis

(平成 23 年 1 月 7 日 受理)

# 引張荷重下における CFRP/Aluminum alloy 単純重ね合わせ接着継手の有限要素応力解析

小坂典嵩\*, 志村 穰\*\*, 黒崎 茂\*\*

Finite Element Stress Analysis for Single-lap Joints  
Bonded CFRP and Aluminum Alloy under Tensile Loads

Noritaka KOSAKA, Jyo SHIMURA, Shigeru KUROSAKI

In this study, mechanical properties in single-lap joint bonded UD-CFRP and Aluminum alloy A6063 subjected to static tensile load were analyzed, using finite element method. FEM analyses to clarify stress field at adhesive interface and deformation state of joint in whole carried out. To confirm the reliability of the analytical results, experiments about strain distribution by using strain gauges were performed. In addition, effects of adhesive thickness, lap length, Young's modulus of metal side adherend and intensity of anisotropic adherend were examined. As a result, by applying UD-CFRP on one side adherend, it was found that peel stress decreases at interface edge in adhesive layer. Furthermore, singular characteristic of stress distribution became reduced with increasing adhesive thickness and decreasing lap length. Besides, singular stress distribution at adhesive interface relaxed as Young's modulus of metal material adherends and intensity of anisotropic adherend increased. It was proved that the strain distribution by analytical result is consistent with that measured with strain gauges.

(Keywords: Adhesion, Finite Element Method, Single-lap Joint, CFRP)

## 1. 緒言

接着剤の性能向上により、接着接合はその利点を生かし輸送機械などの機械構造への適用が進んでいる。昨今、これらの構造部材は鋼、アルミニウム合金などの金属材料から炭素繊維強化プラスチック (CFRP) をはじめとする複合材料への置き換えが進められており、CFRP と金属をはじめとする異種材料間の接着接合も試みられている。また、CFRP はその構造から異方性を有する材料であるが、繊維方向の組み合わせにより材料特性は変化し、接着部の応力状態に影響を及ぼすことが想定される。本研究では引張せん断荷重を受ける単純重ね合わせ接着継手を対象とし、金属材料と CFRP をエポキシ系構造用接着剤で接合した接着継手モデルについて、被着材の材料特性および形状特性が接着部の応力状態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。有限要素応力解析により接着部の応力状態を示すとともに接着部周辺のひずみ分布を実験的に求め、解析結果と比較、検証する。

## 2. 解析方法

継手形状および各部の寸法を Fig. 1 に示す。また、基本寸法はそれぞれ被着材長さ  $L = 100\text{mm}$ 、被着材厚さ  $h = 3\text{mm}$ 、幅  $b = 25\text{mm}$ 、継手両端つかみ部  $c = 37.5\text{mm}$ 、接着層厚さ  $t = 0.1\text{mm}$  および重ね合わせ長さ  $l = 12.5\text{mm}$  としている。CFRP は一方向性 CFRP (UD-CFRP) を基本形とした異方性材料として

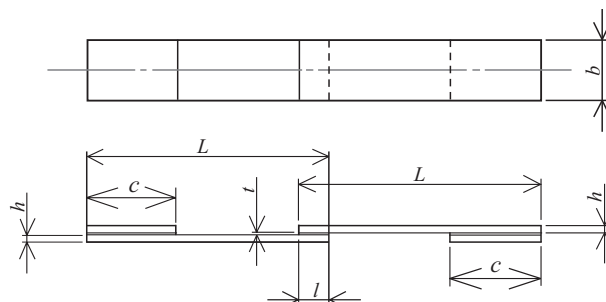


Fig.1 Dimensions and geometry of adhesive bonded single-lap joint.

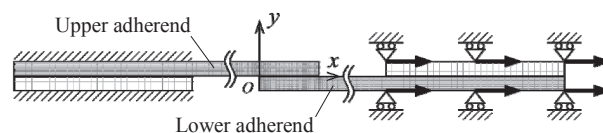


Fig.2 Model for analysis.

定義し、引張方向の縦弾性係数についてはアングルプライによる変化を想定した。金属材料は等方性として扱い、接着剤は二液混合型のエポキシ系構造用接着剤である住友スリーエム製 SW1838B/A を使用するものとした。

有限要素応力解析における境界条件および座標系を Fig. 2 に示す。本解析は、平面ひずみ状態を仮定した 2 次元モデルによる弾性解析である。境界条件として、一方のつかみ部上下端の節点を完全拘束し、他方のつかみ部上下端の節点を引張方向の並進運動以外の自由度を拘束した上で、上下に各 500N ずつ、合計 1000N の引張荷重を与えるものとした。要素分割は接着層および応力集中が考えられる接着部近傍

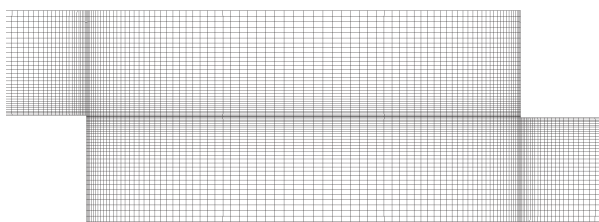


Fig.3 An example of mesh division in FEM analysis.

Table 1 Material properties of adherend and adhesive.

|          |           | Young's modulus<br>$E$ (GPa) |       | Poisson's<br>ratio |
|----------|-----------|------------------------------|-------|--------------------|
|          |           | $E_x$                        | $E_y$ | $\nu$              |
| Adherend | UD-CFRP   | 115                          | 7.6   | 0.35               |
|          | A6063-T5  | 68.94                        |       | 0.33               |
| Adhesive | SW1838B/A | 3.4                          |       | 0.39               |

における要素が最小となるように設定した。厚さ 0.1mm の接着層厚さに対して厚さ方向に 4 要素が並ぶように設定し、最小要素サイズは 0.025mm である。Fig.3 に接着層周辺における要素分割の一例を示す。本解析モデルにおける要素は平面プレート要素として設定し、四節点四辺形の 1 次要素を用いている。また、要素数は 12560 個、節点数は 12953 個である。

継手を構成する材料は、上側被着材を CFRP、接着剤を挟んだ下側のそれを金属材料とし、各領域の要素は境界面において固着とした。材料特性値<sup>1-3)</sup>は、それぞれ UD-CFRP:  $E_x = 115\text{GPa}$ ,  $E_y = 7.6\text{GPa}$ ,  $G_{xy} = 4.84\text{GPa}$ ,  $\nu = 0.35$ ; 金属材料 (アルミニウム合金 A6063):  $E = 68.94\text{GPa}$ ,  $\nu = 0.35$ ; 接着剤 1838B/A:  $E = 3.4\text{GPa}$ ,  $\nu = 0.39$  を基本としている。解析に用いた材料定数を Table 1 に示す。

### 3. 実験方法

#### 3.1 試験片製作

解析結果の妥当性の検証を目的として、接着継手の接着部近傍におけるひずみ分布測定実験および解析結果との比較を行うこととした。

UD-CFRP 材、アルミニウム合金 A6063-T5 材およびエポキシ系構造用接着剤を用いて、単純重ね合わせ接着継手試験片を製作した。UD-CFRP は、強化繊維に東レ製炭素繊維トレカ T700SC、母材にエポキシ樹脂(#2592)を用いたプリプレグを 12 プライし成形したものである。エポキシ系構造用接着剤には住友スリーエム製構造用接着剤 SW1838B/A を用いた。本接着剤は二液室温硬化型接着剤であり、主剤および硬化剤を重量比 1:1 で混合することにより、接着剤としての機能を発揮するものである。

接着面の表面調整として、サンドペーパー(#240)



Fig.4 Single-lap joint bonded by structural adhesive.

を用いた研磨を行った。調整箇所算術平均粗さ  $R_a$  は  $2\mu\text{m}$  程度である。粗さの測定にはミットヨ製小形表面粗さ測定器 サーフトテスト SJ-201 を用いた。表面調整後、アセトンにより表面の洗浄および脱脂を行い、十分に乾燥させている。その後、被着材の接着部に接着剤を塗布し、ジグを用いて接着層厚さおよび接着面積を定め、万力および弾性ゴム製保護パッドを用いて固定しつつ、そのまま室温にて 24 時間放置し硬化させた。継手部の接着後、つかみ部として接着継手両端に被着材と同一材料の部材を接着する。また、接着部よりはみ出した接着剤は、硬化後にデザインナイフおよび電動リユータを用いて除去した。Fig.4 に製作した接着継手の外観を示す。

#### 3.2 ひずみ分布測定

解析結果の妥当性を確認するためのひずみ分布測定箇所は、着目する応力分布箇所と一致させることが望ましい。しかしながら、接着厚さ 0.1mm という微小領域では、ひずみゲージを用いたひずみ測定に多くの制約が生じることから、本実験では接着層両側の被着材におけるひずみ分布を測定し、有限要素応力解析結果と比較することにより解析結果の妥当性を判断するものとした。ひずみ測定には微小なひずみゲージを用い、また  $x$  方向垂直ひずみおよび  $y$  方向垂直ひずみの 2 種類について測定を行うものとした。これらの条件から、ひずみゲージの形状・寸法を考慮してひずみ測定点を決定した。Fig.5 は  $y$  方向垂直ひずみ用のひずみゲージ貼り付け位置を、Fig.6 に同様のひずみゲージの貼り付け状態を示す。ひずみゲージは東京測器研究所製複合材料用ひずみゲージ UBFLA-03 および共和電業製箔ひずみゲージ KFRP-5-120-C1-1 を 1 つの試験片あたり各 4 枚ずつ計 8 枚用いた。

ひずみゲージの貼付された試験片を鷺宮製作所製電気サーボ式疲労試験機に取り付け、変位制御によ

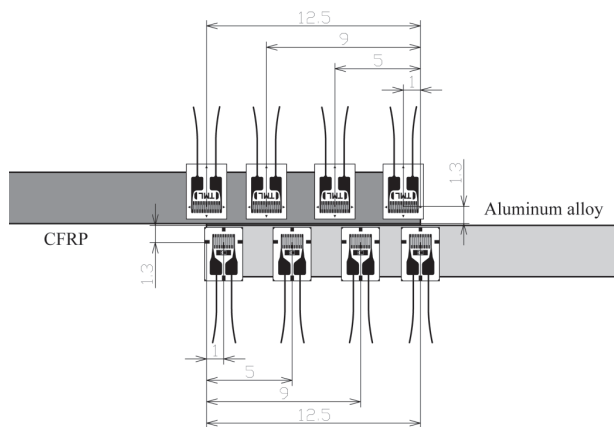


Fig.5 Strain gauges of glued positions for normal strain in the y-direction.

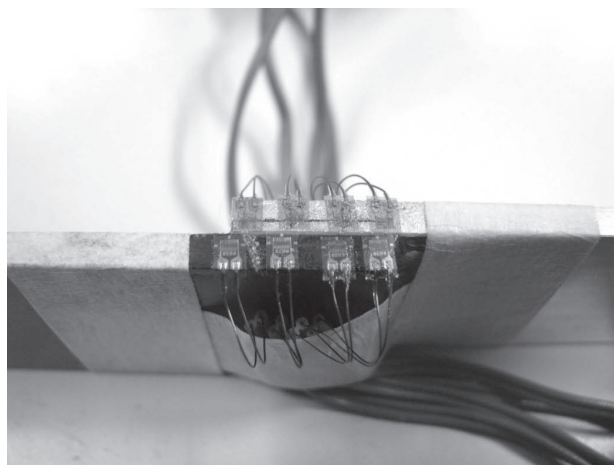


Fig.6 Photograph of glued strain gauges.

り引張速度 3mm/min となるように操作し、試験片が破断するまで引張荷重を作用させた。この際の変位、荷重およびひずみ(8ch)を共和電業製センサインタフェース PCD-300A を介し、PC へ入力、記録した。

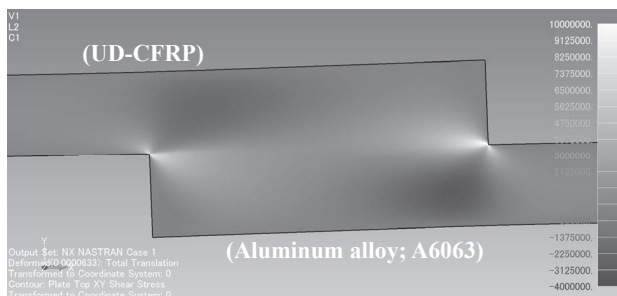
## 4. 解析結果

### 4.1 接着接合部周辺の変形および応力状態

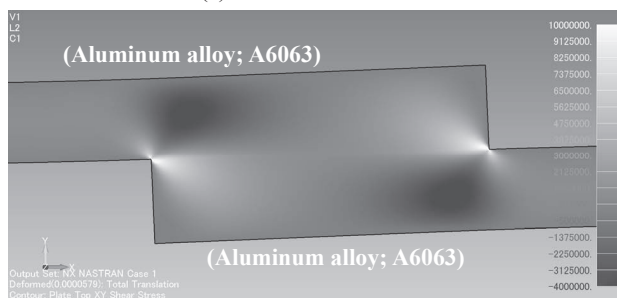
被着材の組み合わせとして、UD-CFRP—A6063 および A6063 同士について解析を行った。接着界面に生じる応力は、せん断応力と垂直応力が支配的である<sup>4)</sup>ことから、これらに着目して接着継手の力学特性を評価する。せん断応力  $\tau_{xy}$  および変形状態のコンター表示を Fig.7 に示す。コンター表示のスケールは、白色の部分で 10MPa 以上、黒色の部分で -4MPa 以下を指している。変形量は 10 倍の拡大表示とした。Fig.8 は接着界面におけるせん断応力  $\tau_{xy}$  の分布である。縦軸はせん断応力  $\tau_{xy}$  [MPa]、横軸は位置  $x$  を重ね合わせ長さ  $l$  で無次元化した値を示す。また、Fig.9 に垂直応力  $\sigma_y$  および変形状態のコンター表示を示す。白色の部分で 15MPa 以上、黒色の部分で -4MPa 以下を示している。変位量は 10 倍の拡大表示である。

Fig.10 は接着界面における垂直応力  $\sigma_y$  の分布であり、縦軸は垂直応力  $\sigma_y$  [MPa]、横軸は Fig.8 と同様である。

単純重ね合わせ接着継手において、接着界面の垂直応力  $\sigma_y$  は剥離応力として作用し、継手強度に及ぼす影響が大きいとされている。また、被着材と接着剤の弾性係数比がこの剥離応力に影響を及ぼすことが知られており、被着材の剛性が高くなると接着面端部の応力勾配が緩やかになる、すなわち、応力特

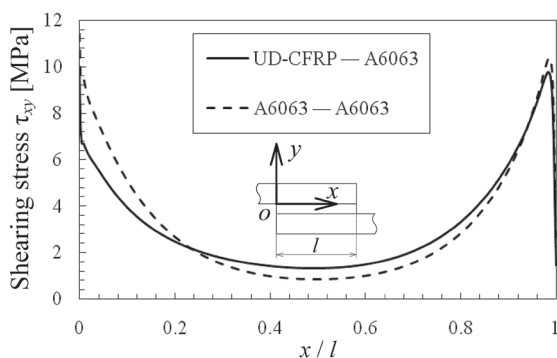


(a) UD-CFRP — A6063

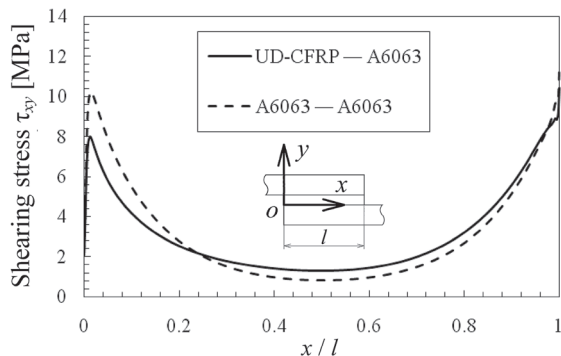


(b) A6063 — A6063

Fig.7 Contour of shearing stress  $\tau_{xy}$  and deformation.



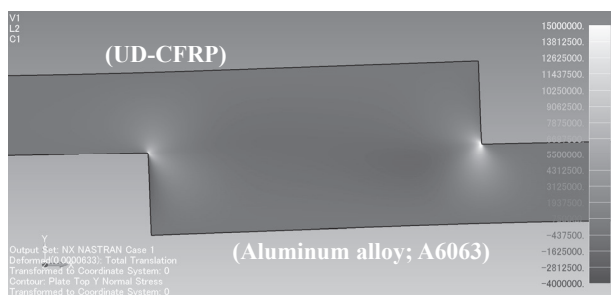
(a) Upper boundary



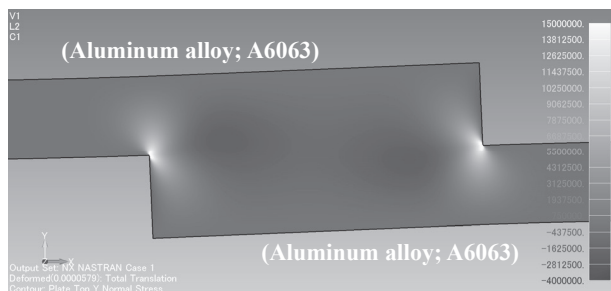
(b) Lower boundary

Fig.8 Shearing stress  $\tau_{xy}$  distribution at both boundary.

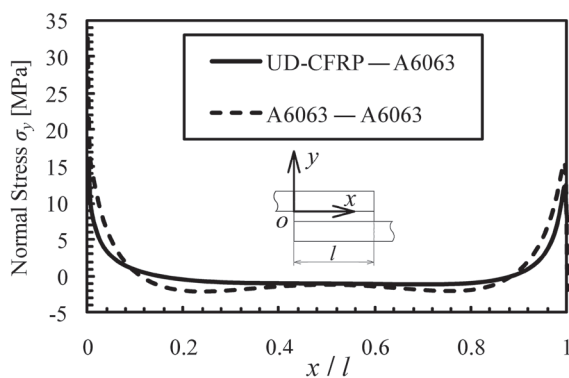




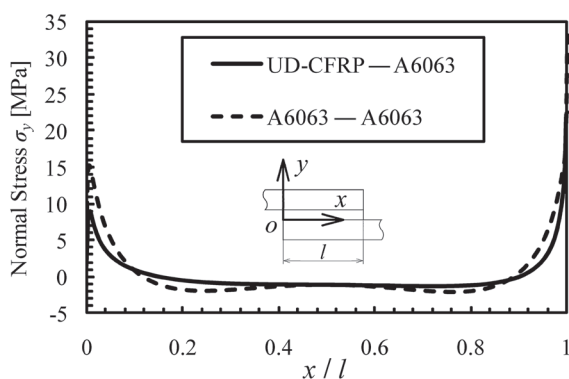
(a) UD-CFRP — A6063



(b) A6063 — A6063

Fig.9 Contour of normal stress  $\sigma_y$  and deformation.

(a) Upper boundary



(b) Lower boundary

Fig.10 Normal stress  $\sigma_y$  distribution at both boundary.

異性が小さくなるとされている<sup>5)</sup>。これは被着材の剛性向上により、接着部周辺の曲げ変形が抑制され応力集中を緩和するものと考えられる。

UD-CFRP は繊維方向に高い縦弾性係数を有しているが、繊維方向以外では母材樹脂の特性が影響し著しく剛性の低い状態となる。本解析結果では、片方の被着材に UD-CFRP を適用した場合、応力集中

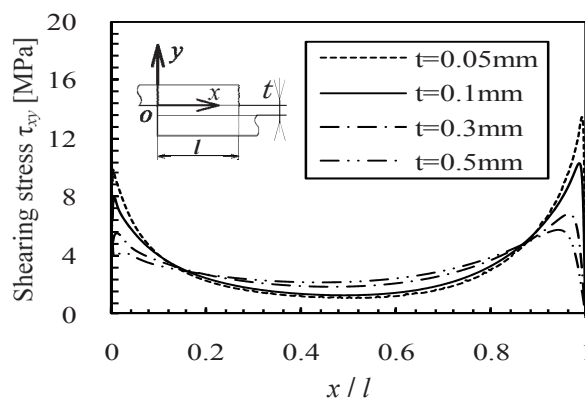
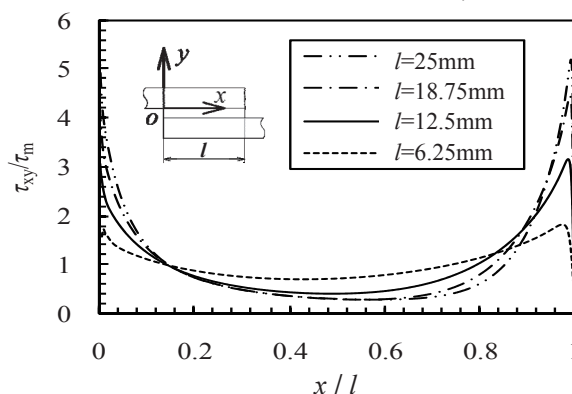
が緩和されることを確認した。したがって、単純重ね合わせ接着継手において UD-CFRP の異方性は曲げ剛性に対して有利に働き、剥離応力を緩和するものと考えられる。

#### 4.2 接着層厚さが応力分布に及ぼす影響

上側被着材 UD-CFRP と下側被着材 A6063 により構成される継手を基本モデルとし、接着層厚さ 0.05, 0.1, 0.3 および 0.5mm の 4 種類について解析を行い、接着部の応力状態を比較した。Fig.11 に接着層厚さを変化させた場合における接着層上側界面のせん断応力  $\tau_{xy}$  分布を示す。縦軸、横軸は Fig.8 と同じである。いずれの接着層厚さの場合でも、接着界面端部 ( $x/l=0, 1$ ) 付近でせん断応力の増大が見られ、接着層厚さが小さくなるにつれ、その挙動が顕著になることがわかる。この応力分布の傾向は接着層下側界面においても同様である。

#### 4.3 重ね合わせ長さが応力分布に及ぼす影響

UD-CFRP と A6063 による基本モデルについて、重ね合わせ長さ  $l$  を 6.25mm から 25mm まで変化させて解析を行った。接着層上側界面におけるせん断応力  $\tau_{xy}$  分布を Fig.12 に示す。重ね合わせ長さが変化すると接着面積が変動するため、せん断応力  $\tau_{xy}$

Fig.11 Effect of adhesive thickness  $t$  on shearing stress  $\tau_{xy}$  distribution.Fig.12 Effect of lap length  $l$  on shearing stress  $\tau_{xy}$  distribution.

を平均せん断応力  $\tau_m$  で除して無次元化した値を縦軸としている。重ね合わせ長さ  $l$  が短くなるほど接着界面にわたる応力分布が均一化し、応力の特異的な分布が緩和されることがわかる。重ね合わせ長さを長く、すなわち、接着面積を大きくすることは平均せん断応力の低減に寄与するが、接着界面端部における応力値は相反して増大することから、重ね合わせ長さの増大が単純に継手強度向上に有効であるとは言及できないと考えられる。

#### 4.4 金属被着材の縦弾性係数が応力分布に及ぼす影響

被着材が UD-CFRP と A6063 による基本モデルに対し、上側被着材を UD-CFRP で固定し、下側被着材 A6063 の縦弾性係数  $E$  の値を 50GPa から 200GPa まで変化させ、それぞれ解析を行った。UD-CFRP との界面に接する接着層上端のせん断応力  $\tau_{xy}$  の分布を Fig.13 に示す。接着層には引張荷重によるせん断応力  $\tau_{xy}$  および被着材の変形によって剥離方向に作用する垂直応力  $\sigma_y$  が生じる。接着層端部では応力が増大する特異な分布となるが、一般に被着材剛性の増加に伴いこの特異な分布は緩和されることが知られている。本解析結果から、強い異方性を有する被着材で構成される接着継手においても同様の傾向となることが示された。

#### 4.5 CFRP の異方性が応力分布に及ぼす影響

CFRP の荷重方向の縦弾性係数が他方の金属材料と同一であるアングラプライ材を想定し、双方の縦弾性係数を変化させた場合における応力状態について考察する。CFRP の積層方向の縦弾性係数は UD-CFRP の場合と同一である。接着層上側界面におけるせん断応力  $\tau_{xy}$  の分布を Fig.14 に示す。両被着材の縦弾性係数が増加するにつれ接着層における応力分布の特異性が緩和されており、等方性同種材料の組み合わせで知られている傾向と同様の結果が得られた。この結果は垂直応力  $\sigma_y$  の分布についても同様である。せん断応力  $\tau_{xy}$  の最大値が生じる箇所は接着界面両端部であり、上側界面では  $x/l=0$ 、下側界面では  $x/l=1$  付近となっている。

#### 5. 解析結果と実験結果の比較

解析結果の妥当性の検証として、接着継手の接着部近傍におけるひずみ分布の測定実験および解析結果との比較を行った。UD-CFRP—アルミニウム合金 A6063 単純重ね合わせ接着継手を製作し、静的引張荷重下における被着材の長手方向ひずみ  $\varepsilon_x$  および板厚方向ひずみ  $\varepsilon_y$  の分布を小型ひずみゲージにより測定するものである。ひずみの測定点は Fig.5 に示されるように、上下被着材のそれぞれ 4 点ずつ、合計 8 点となっている。

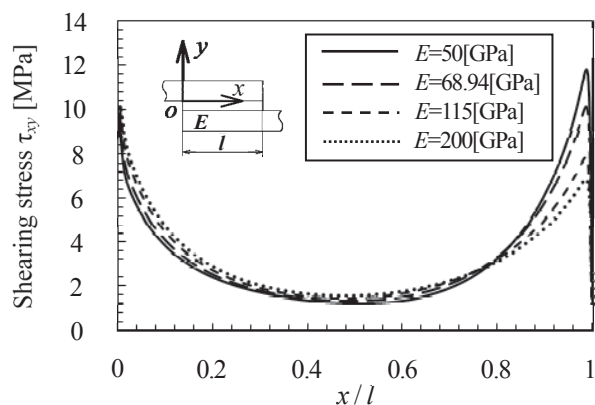


Fig.13 Effect of Young's modulus  $E$  of metal adherend on shearing stress  $\tau_{xy}$  distribution.

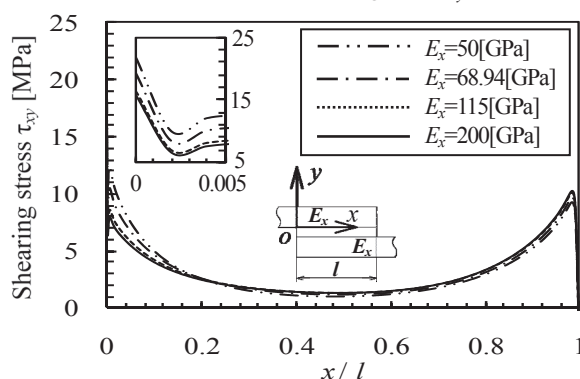
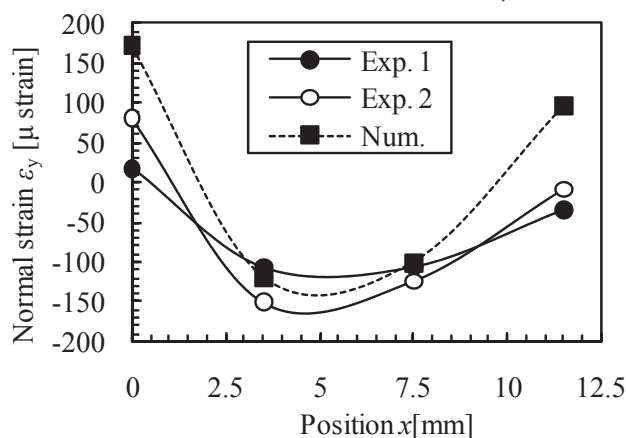
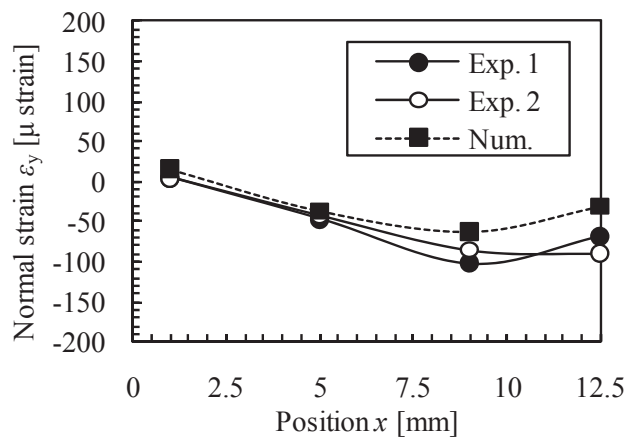


Fig.14 Effect of Young's modulus  $E_x$  in load direction on shearing stress  $\tau_{xy}$  distribution.



(a) Upper adherend



(b) Lower adherend

Fig.15 Comparisons of strain distribution between analytical and experimental results.

Fig.15(a)は上側被着材 UD-CFRP における板厚方向ひずみ  $\varepsilon_y$  の分布を, (b)は下側被着材 A6063 のそれを示す。縦軸は被着材の板厚方向ひずみ  $\varepsilon_y$  [ $\mu$  strain], 横軸は位置  $x$  [mm]である。ひずみ分布測定実験は長手方向ひずみ  $\varepsilon_x$  の測定を 2 回, 板厚方向ひずみ  $\varepsilon_y$  の測定を 2 回, 合計 4 回実施しており, 実験結果は図中に実線で示している。解析結果と実験結果は若干, 数値的に差異が見られるが, ひずみ分布の傾向は概ね一致しており, 本解析結果は妥当であると考えられる。

## 6. 結言

本研究では, 被着材が一方炭素繊維強化プラスチック(UD-CFRP)とアルミニウム合金 A6063 で構成される単純重ね合わせ接着継手の引張荷重下における力学特性を有限要素法により明らかにし, 接着層厚さ等の諸因子が接着部の応力場および変形状態に及ぼす影響について検討を行った。くわえて, 継手接合部付近における被着材のひずみ分布測定実験を行い, 解析結果の妥当性を確認した。以下に得られた知見を記す。

- (1) 被着材が共にアルミニウム合金 A6063 の場合に対し, 片方の被着材に UD-CFRP を用いると, 接着界面端部のせん断応力および剥離応力の集中が抑制される。

- (2) 接着層厚さを小さくするほど, 接着界面端部の最大応力が上昇し, 特異的な挙動が顕著になる。
- (3) 重ね合わせ長さが短くなるほど, 接着界面にわたる応力分布が均一化し, 特異的な分布が緩和される。
- (4) 金属材料の被着材における縦弾性係数を大きくするほど, また, 異方性材料の被着材が強い異方性を有するほど, 接着界面の特異な応力分布が緩和される傾向にある。
- (5) 接着部近傍における被着材のひずみ分布測定実験を行い, 解析結果と比較することで, その妥当性を確認した。

## 参考文献

- 1) 小坂・他 3 名: 山梨講演会講演論文集, pp.150 -151(2010).
- 2) 日本アルミニウム協会: アルミニウムハンドブック(第 6 版), pp.27 (2001).
- 3) 松井真一・志村 穰: 東京工業高等専門学校研究報告書, 41, 1, pp.29-33 (2010).
- 4) 宮入裕夫: 構造接着の基礎と応用, pp.143 (2006).
- 5) 日本接着学会: 接着ハンドブック(第 4 版), pp.162-163 (2007).

(平成 23 年 1 月 7 日 受理)

# 光導波型マイクロホンにおける 共振周波数のダイヤフラム厚依存性

新國広幸\*, 大河正志\*\*

Dependence of Resonance Frequency on Diaphragm Thickness  
in a Guided-Wave Optical Microphone

Hiroyuki NIKKUNI and Masashi OHKAWA

We experimentally investigated the relationship between resonance frequency and diaphragm thickness in a glass-based guided-wave optical microphone. The optical microphone consists of a diaphragm and a single-mode optical waveguide. The resonance frequency is theoretically known to be proportional to the diaphragm thickness. In this study, to examine this relationship, three microphones with diaphragm thicknesses of 0.15mm, 0.21mm and 0.30mm were fabricated. The area of the diaphragm was 20mm × 20mm. In the experiment, sound pressure was applied to the fabricated microphones to evaluate frequency characteristic as well as resonance frequency. The measured results supported the theoretical predictions.

(Keywords: guided-wave optical microphone, diaphragm, resonance frequency)

## 1. はじめに

MRIにおいて医者と患者がコミュニケーションをとる場合、マイクロホンが必要であるが、MRI装置は強磁界を発生するため、MRI内では電磁誘導を利用したマイクロホンや金属部品を含んでいるマイクロホンを使用できない。一方、光波を利用した光マイクロホンは電磁誘導の影響を受けることがないため、MRIのような強磁界環境下でも使用可能である。光マイクロホンには、個別光学部品を組み合わせたバルク型、光ファイバをベースとした光ファイバ型、光集積回路構成を利用した光導波型がある。光導波型マイクロホンは、光学素子や音波センシング部を同一基板上に集積化させた光集積回路構成を用いているため、堅ろう、小型・軽量、光軸調整不要などの利点を有する。

我々の研究グループでは、音圧感知部にダイヤフラムを利用した光導波型マイクロホンの研究を行っている<sup>(1)</sup>。光導波型マイクロホンの評価指標に感度、周波数特性、共振周波数があるが、これらはダイヤフラムサイズに依存する。これらの依存性を明らかにすることは、マイクロホンの設計指針を確立する上で必要不可欠であり、これまでの研究で、感度とダイヤフラムサイズの関係性については理論・実験の両面から考察されてきた<sup>(2)(3)</sup>。一方、

周波数特性、共振周波数のダイヤフラムサイズ依存性は理論的には知られているが、実験的には明らかになっていない。そこで、本研究では、光導波型マイクロホンにおける共振周波数とダイヤフラム厚の関係について実験的に考察した。

## 2. 理論

### 2. 1 マイクロホンの構成および動作原理

図1は光導波型マイクロホンの概形である。光導波型マイクロホンは音圧感知部としての正方形ダイヤフラムと、単一モード直線光導波路で構成される。導波路はダイヤフラム上に設けられ、最低次のTM-like, TE-likeモード光のみを伝搬させ

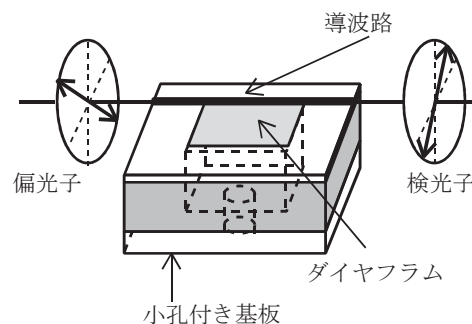


図1 光導波型マイクロホンの概形



る。また、音の回折の影響を減らすために、音圧がダイヤフラムの片側にのみ当たるように、マイクロホンの下面は小孔付基板で覆われている。なお、小孔は、ダイヤフラム下部の密閉空間と周囲雰囲気をつなぐことによって大気圧の変動による影響をなくす役割を果たしている。

光導波型マイクロホンは、2 つの直交した偏光子と検光子の間に置かれる。TM-like, TE-like モード光を同強度で励起させるために、図 1 のように偏光子の偏光方向をマイクロホン基板面に対して 45°に傾け、導波路端面に直線偏光波を入射する。ダイヤフラムに音圧が作用すると、ダイヤフラムにたわみが起こり、歪みが生じる。この歪みは光弾性効果により、ダイヤフラム上の導波路に屈折率変化を引き起こす。屈折率変化により、導波路を伝搬する光波の位相が変化する。このとき、TM-like, TE-like モード光は、それぞれ異なる位相変化量を得るため、音圧印加時には両モード間に位相差が生じる。出力端では、この位相差に応じて、直線、楕円、円偏光のいずれかの偏光状態となる。最後に、マイクロホンの出力側に置かれた検光子により、印加音圧に対応した出力光強度が得られる。

## 2. 2 共振周波数

ダイヤフラムの共振周波数付近では光導波型マイクロホンの感度が著しく高くなり、また、共振周波数以上の周波数では、感度が低下する。そのため、マイクロホンは通常、共振周波数より十分低い周波数帯域で動作させる。光導波型マイクロホンを設計する際には、ダイヤフラムの共振周波数をマイクロホンの動作周波数の上限よりも高くしなければならない。共振周波数はダイヤフラムの自由振動についての微分方程式

$$\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \frac{Y h^3}{12(1-\mu^2)} \left( \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^2 \partial z^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial z^4} \right) = 0 \quad (1)$$

から求められる。ここで、 $w$  は音波印加によるダイヤフラムのたわみ、 $\rho$  はダイヤフラムの密度、 $h$  はダイヤフラムの厚さ、 $t$  は時間、 $Y$  はヤング率、

$\mu$  はポアソン比を表す。ダイヤフラムの周辺状態を 4 辺固定として、この式を解くと、ダイヤフラムサイズとダイヤフラムの共振周波数  $f$  の関係式は以下ようになる<sup>(4)</sup>。

$$f = \frac{3.646\pi}{2} \sqrt{\frac{Y}{12\rho(1-\mu^2)}} \frac{h}{a^2} \quad (2)$$

ここで、 $a$  はダイヤフラム辺長を示す。式(2)から、共振周波数はダイヤフラムの厚さに比例し、ダイヤフラム辺長の 2 乗に反比例することが分かる。

## 3. 実験

本研究で試作する光導波型マイクロホンは、ダイヤフラム材料としての Corning #0211 ガラスと、ダイヤフラム支持基板としての穴あきソーダライムガラスから構成される。

まず、Corning ガラス上にアルミニウム薄膜を蒸着させた。次に、アルミニウム薄膜上に導波路パターンをフォトリソグラフィ技術を利用して転写した。その後、Corning ガラスを 400°C の硝酸カリウムに浸し、イオン交換法を用いて単一モード導波路を基板上に作りつけた。導波路を作製した後、導波路がダイヤフラム支持基板の端に平行になるように位置合わせを行い、Corning ガラスとダイヤフラム支持基板を貼り合せた。なお、貼り合せには紫外線硬化樹脂を使用した。最後に、音の回折からダイヤフラムの片面をシールドするために、小孔付き基板を光導波型マイクロホンの底部に取り付けた。

共振周波数のダイヤフラム厚依存性を実験的に明らかにするために、ダイヤフラム厚の異なる 3 種類の光導波型マイクロホンを試作した。作製したマイクロホンのダイヤフラムの大きさは全て 20 mm×20 mm として、それぞれのマイクロホンのダイヤフラム厚を 0.15 mm (マイクロホン#1)、0.21 mm (マイクロホン#2)、0.30 mm (マイクロホン#3) とした。

それぞれの光導波型マイクロホンの共振周波数は周波数特性を測定することで評価した。図 2 に測定系を示す。それぞれの光導波型マイクロホンを試作した後、直径 80 mm のスピーカを利用してマイクロホンに音波を印加し、周波数特性を評価

した．音圧レベルは 100 dB-SPL (音圧 2Pa), 周波数範囲は 1 kHz ～ 20 kHz とした．なお, 感度があらかじめ分かっているエレクトレットコンデンサマイクロホンを使用して, 印加音圧の調整を行った．光源には波長 633 nm の He-Ne レーザを使用した．マイクロホン出力光は光検出器で電圧に変換し, その電圧を帯域幅 1 Hz のデジタルロックインアンプ を使用して測定し, 印加音波の周波数で同期検波した．

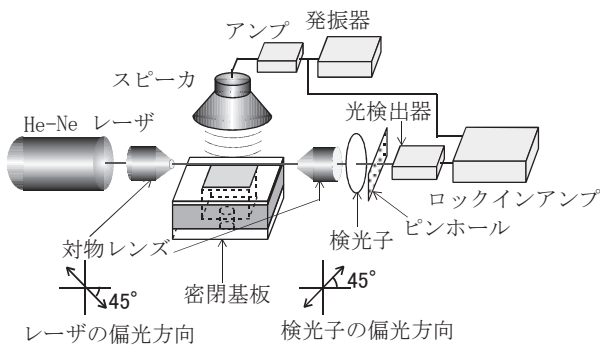
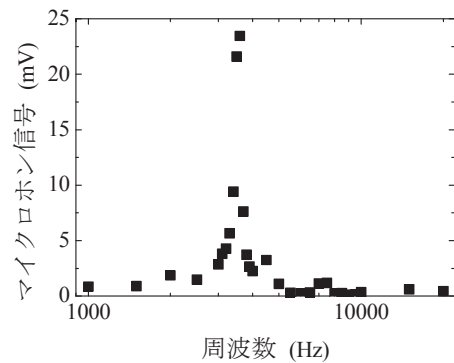


図2 周波数特性測定のための測定光学系

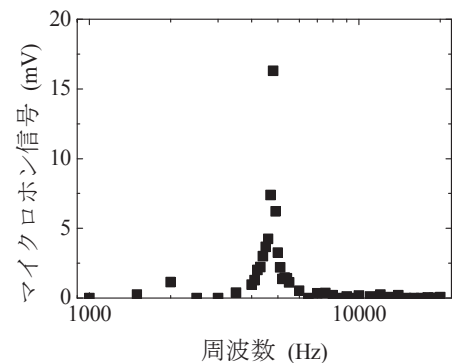
図3 (a) ～ (c) は, それぞれマイクロホン #1 ～ #3 の周波数特性を示す．出力信号に変動が見られたが, その最大値と最小値の差が無視し得る程度だったため, 図では, マイクロホン信号の平均値をプロットしている．図において, マイクロホン信号が高くなっている周波数が共振周波数である．図3 から, マイクロホン #1 ～ #3 の1次共振周波数は, それぞれ, 3.6 kHz, 4.8 kHz, 5.7 kHz であることが分かる．

表1と図4は, 1次共振周波数に関するダイヤフラム厚依存性の理論値と測定値をまとめたものである．理論値は, 式(2)により算出し, Corning #0211 ガラスのヤング率  $7.44 \times 10^{10}$  Pa, ポアソン比 0.22, 密度  $2.53 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  を使用した<sup>(5)</sup>．図4の■, ●, ▲はそれぞれ, マイクロホン #1 ～ #3 の測定値で, 実線は理論値である．図と表から, センサ #1 と#2 の測定値は理論値とほぼ同じ値になっていることが分かる．しかし, ダイヤフラム厚 0.30 mm のマイクロホン #3 に関しては, 測定値が理論値よりも 1.2 kHz 低い値となっている．この原因として, 紫外線硬化樹脂による Corning #0211 ガラスとダイヤフラム支持基板との接着が

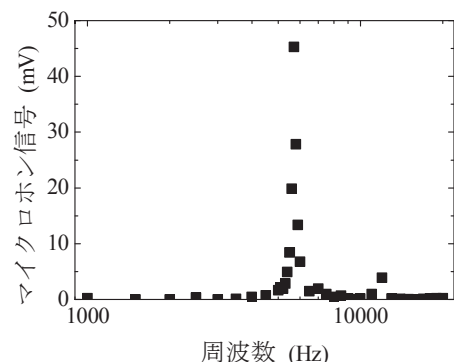
不十分だったために, ダイヤフラム端が完全な固定端となっていなかったことが考えられる．マイクロホン #3 に関しては, 測定値と理論値の差が見られたが, ガラス基板どうしの接着の不十分さで説明できる程度の差であり, 理論を支持する結果を得ることができたと言え, 共振周波数がダイヤフラム厚に比例することが確かめられた．



(a) マイクロホン #1 (20 mm×20 mm×0.15 mm)



(b) マイクロホン #2 (20 mm×20 mm×0.21 mm)



(c) マイクロホン #3 (20 mm×20 mm×0.30 mm)

図3 試作マイクロホンの周波数特性

表 1 各マイクロホンにおける共振周波数の  
計算値と測定値

| マイクロホン<br># | ダイヤフラム<br>サイズ<br>(mm×mm×mm) | 計算値<br>(kHz) | 測定値<br>(kHz) |
|-------------|-----------------------------|--------------|--------------|
| 1           | 20×20×0.15                  | 3.4          | 3.6          |
| 2           | 20×20×0.21                  | 4.8          | 4.8          |
| 3           | 20×20×0.30                  | 6.9          | 5.7          |

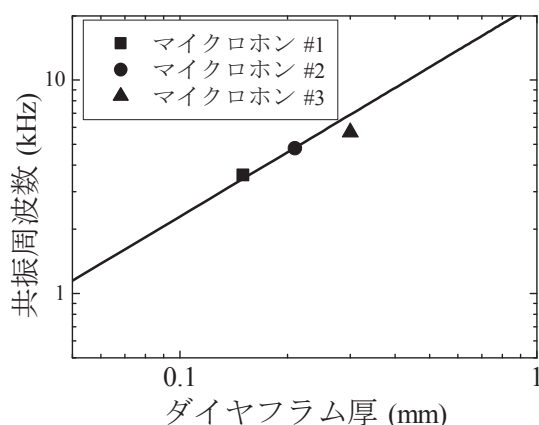


図 4 共振周波数のダイヤフラム厚依存性

#### 4. 結論

本研究では、光導波型マイクロホンにおける共振周波数のダイヤフラム厚依存性について実験的に考察を行った。実験で得られた共振周波数のダイヤフラム厚依存性は計算結果とほぼ一致し、共振周波数がダイヤフラム厚に比例することが分かった。

#### 謝辞

本研究の一部は、東京工業高等専門学校の平成 21 年度重点配分経費により行われた。

#### 参考文献

- (1) H. Nikkuni, Y. Mogi, M. Hayashi, M. Ohkawa, S. Sekine, and T. Sato, "Improvement of the signal-to-noise ratio in a glass-based guided-wave optical microphone," Proc. SPIE 6475, pp. 647519-1 ~ 647519-8 (2007).
- (2) H. Nikkuni, Y. Watanabe, M. Ohkawa, and T.

Sato, "Sensitivity dependence with respect to diaphragm thickness in guided-wave optical pressure sensor based on elasto-optic effect," Opt. Eng. 47, pp. 044402-1 ~ 044402-5 (2008).

- (3) H. Nikkuni, Y. Watanabe, M. Ohkawa, and T. Sato, "Sensitivity dependences on side length and aspect ratio of a diaphragm in a glass-based guided-wave optical pressure sensor," Opt. Express 16, pp. 15024-15032 (2008).
- (4) 松平 精, "基礎振動学," 共立出版(株), pp. 266 ~ 270 (1951).
- (5) M. Ohkawa, K. Hasebe, S. Sekine, and T. Sato, "Relationship between sensitivity and waveguide position on the diaphragm in integrated optic pressure sensors based on the elasto-optic effect," Appl. Opt. 41, pp. 5016-5021 (2002).

(平成 23 年 1 月 6 日 受理)

# 電力流通における無効電力の価値評価手法に関する検討

橋本拓郎\*, 土井 淳\*\*

A Study of Evaluation Method for Reactive Power Pricing in Power System

Takurou HASHIMOTO and Atsushi DOI

In a deregulated power system, the main responsibility of an independent system operator (ISO) is to maintain system reliability and security by using ancillary services. To maintain the power flow limits on transmission lines as well as voltage limits at bus bars, sufficient reactive power is vital for the power system. Therefore reactive power is one of the most important ancillary services. However, reactive power has a special feature, and cannot be travel very far in the network because of its losses. So in a deregulated power system, reactive power pricing that all participants can agree is very difficult. This paper considers various evaluation methods for reactive power pricing, and this paper presents evaluation method based on reduction of active power loss.

(Keywords: reactive power, deregulation, ancillary service, reduction of active power loss)

## 1. はじめに

電力系統(power system)とは、電気エネルギーを発生してから消費するまでの一連のプロセス、すなわち燃料などのエネルギー資源から電気エネルギーを発生し、輸送し、分配し、かつそれを需要家で消費するまでの流れをつかさどるシステムである。よって、電力系統は電力の流通をつかさどる役目を持っているが、この電力には、有効電力(active power)と無効電力(reactive power)の二つがある。有効電力を送るためには、無効電力が電力系統の各部に必ず一定量ずつ存在しなければならない。

電力系統を運用する上で系統運用者は、電力自由化前においても、自由化後においても系統周波数や電圧の一定維持、電力供給の継続性などいわゆる電力品質を保証することになる。しかし、電力自由化の進展に伴って様々な問題が発生する。かつて電力自由化前には、電気事業者が電力品質維持のための費用を総括的に把握し、電気料金により回収していた。しかし自由化後は、各事業者が応分のサービスの提供や、費用負担を行うことになる<sup>[1]</sup>。この電力系統の安定な運用制御に関わるサービスとして、アンシラリーサービス(Ancillary Service)を考えることが重要となる。アンシラリーサービスには、周波数制御、予備力の確保、無効電力供給及び電圧制御、ブラックスタートが挙げられる。周波数制御は系統全体の問題であり、電力市場に深く関わるためアン

シラリーサービスとしての価格決めは容易である<sup>[2]</sup>。しかし、周波数制御などとは違い無効電力供給及び電圧制御に関しては、無効電力の発生及び消費が局所的であるため全系統参加者が納得する価格決めが非常に難しい問題となる。

本稿では、無効電力供給及び電圧制御に関わるアンシラリーサービスにおいて価格決めの様々な手法を紹介し、それら手法の利点や問題点などを考察する。また、本研究で検討している有効電力損失低減に基づく無効電力評価手法について述べる。

## 2. 総燃料費削減効果による地点別価値評価<sup>[3]</sup>

この手法は、各母線に設置された無効電力供給源の無効電力出力が、電源の総燃料費の削減にどれだけ貢献しているかに基づき評価を行う手法である。電源の総燃料費の削減に対する母線  $i$  の貢献度は、無効電力限界費用  $MC_{qi}$  によって表され、 $MC_{qi}$  は総燃料費最小化を目的関数とした最適潮流計算(Optimal Power Flow)により導出されるラグランジュ乗数を用いて表される。

まず、式(1)~(7)より、OPF問題を定式化する。

$$\text{Minimize } F(P_g, Q_g, V, \delta) \quad (1)$$

Subject to

$$P_{gi} - P_{di} = g_{Pi}(V, \delta) \quad (2)$$



$$Q_{gi} - Q_{di} = g_{Qi}(\mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}) \quad (3)$$

$$P_{Li} \leq P_{gi} \leq P_{Hi} \quad (4)$$

$$Q_{Li} \leq Q_{gi} \leq Q_{Hi} \quad (5)$$

$$V_{Li} \leq V_{gi} \leq V_{Hi} \quad (6)$$

$$|f_{ij}(\mathbf{V}, \boldsymbol{\delta})| \leq f_{\max ij} \quad (7)$$

ここで式(1)の目的関数は電源の燃料費の総和であり、式(8),(9)のように表される。

$$F(\mathbf{P}_g, \mathbf{Q}_g, \mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}) \equiv \sum_{i=1}^{ng} f_i(P_{gi}) \quad (8)$$

$$f_i(P_{gi}) = a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i \quad (9)$$

但し、発電機の燃料費特性は有効電力に対する二次関数として近似し、 $a_i, b_i, c_i$ は定数である。式(2),(3)は母線  $i$  に対する潮流方程式を表し、 $\mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}$ は母線電圧の大きさと位相角を表す  $n$  次元ベクトル、 $P_{gi}, P_{di}$ はそれぞれ母線  $i$  に接続している電源の有効電力出力と負荷の有効分である。また、 $Q_{gi}, Q_{di}$ は母線  $i$  に接続している無効電力供給源の無効電力出力と負荷の無効分である。式(4)と(5)は、それぞれ  $P_{gi}$  と  $Q_{gi}$  の上下限、式(6)は母線  $i$  の電圧  $V_i$  の上下限、式(7)は母線  $i$  と母線  $j$  を結ぶ送電線の潮流制約を表す。

式(1)~(7)の OPF 問題は、次のラグランジュ関数を最小化する問題に置き換えることができる。

$$L(\mathbf{P}_g, \mathbf{Q}_g, \mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}, \boldsymbol{\lambda}_P, \boldsymbol{\lambda}_Q, \boldsymbol{\mu}_P, \boldsymbol{\mu}_Q, \boldsymbol{\mu}_V, \boldsymbol{\mu}_f)$$

$$\begin{aligned} = & F - \sum_{i=1}^n \lambda_{Pi} \{P_{gi} - P_{di} - g_{Pi}\} \\ & - \sum_{i=1}^n \lambda_{Qi} \{Q_{gi} - Q_{di} - g_{Qi}\} - \sum_{i=1}^n \mu_{PLi} (P_{gi} - P_{Li}) \\ & - \sum_{i=1}^n \mu_{PHi} (P_{Hi} - P_{gi}) - \sum_{i=1}^n \mu_{QLi} (Q_{gi} - Q_{Li}) \\ & - \sum_{i=1}^n \mu_{QHi} (Q_{Hi} - Q_{gi}) - \sum_{i=1}^n \mu_{VLi} (V_i - V_{Li}) \end{aligned}$$

$$- \sum_{i=1}^n \mu_{VHi} (V_{Hi} - V_i) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \mu_{fij} (f_{\max ij} - |f_{ij}|) \quad (10)$$

式(10)のラグランジュ関数が最小となる条件から、母線  $i$  の無効電力出力  $Q_{gi}$  に関する限界費用  $MCq_i$  は式(11),(12)のように表される。

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{gi}} = -\lambda_{Qi} - \mu_{QLi} + \mu_{QHi} = 0 \quad (11)$$

$$MCq_i \equiv \lambda_{Qi} = -\mu_{QLi} + \mu_{QHi} \quad (12)$$

無効電力出力  $Q_{gi}$  に関する  $MCq_i$  は、ラグランジュ関数  $L$  が最小のときに、 $Q_{gi}$  が追加的に単位量増加したときの電源燃料費の変化  $\Delta F$  を表している。従って、 $MCq_i$  は母線  $i$  に無効電力を単位量追加的に注入したときの、その単位無効電力の価値を表すことになる。よって、母線  $i$  に接続される無効電力の価値  $VEq_i$  は母線  $i$  において得られる  $MCq_i$  を積分することによって得られることがわかる。 $VEq_i$  の導出式を式(13)に示す。

$$VEq_i \equiv \int_{Q_{g0i}}^{Q_{gi}} MCq_i(Q_{gi}) dQ_{gi} \quad (13)$$

但し、 $Q_{g0i}$  は無効電力供給源導入前の無効電力出力である。また、系統に設置された全無効電力供給源の価値を以下の式(14)で定義することができる。

$$TVEq \equiv \sum_{i=1}^n VEq_i \quad (14)$$

### 3. 送電能力向上効果による地点別価値評価<sup>[4]</sup>

この手法は、各母線に設置された無効電力供給源の無効電力出力が、最大輸送電力の増大にどれだけ貢献しているかに基づき評価を行う手法である。無効電力供給源の効果により母線  $i$  の最大輸送電力  $P_{di}$  を延ばすことが出来、その評価は負荷増加係数  $\varepsilon$  の最大化を目的関数とした OPF により導出される無効電力需給バランス式に関わるラグランジュ乗数を用いて行っている。

まず、式(15)~(21)より、OPF 問題を定式化する。

$$\text{Minimize } F(\varepsilon) = \varepsilon \left( \sum_{i=1}^n P_{di} \right) \quad (15)$$

Subject to

$$P_{gi} - \varepsilon P_{di} = g_{Pi}(\mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}) \quad (16)$$

$$Q_{gi} - \varepsilon Q_{di} = g_{Qi}(\mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}) \quad (17)$$

$$P_{Li} \leq P_{gi} \leq P_{Hi} \quad (18)$$

$$Q_{Li} \leq Q_{gi} \leq Q_{Hi} \quad (19)$$

$$V_{Li} \leq V_{gi} \leq V_{Hi} \quad (20)$$

$$|f_{ij}(\mathbf{V}, \boldsymbol{\delta})| \leq f_{\max ij} \quad (21)$$

式(15)~(21)で表される問題は、ある負荷増加シナリオを設定し、そのシナリオの下で各種制約を満足する範囲で各負荷を最大限増加させて各母線における最大輸送電力量を求めるものである。この手法では各負荷の力率は一定であり、総需要に対する各負荷の分配率は一定であるという負荷増加シナリオを設定している。

式(16),(17)は母線  $i$  に対する潮流方程式を表し、 $\mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}$  は母線電圧の大きさと位相角を表す  $n$  次元ベクトル、 $P_{gi}$ ,  $P_{di}$  はそれぞれ母線  $i$  に接続している電源の有効電力出力と負荷の有効分である。また、 $Q_{gi}$ ,  $Q_{di}$  は母線  $i$  に接続している無効電力供給源の無効電力出力と負荷の無効分である。式(18)と(19)は、それぞれ  $P_{gi}$  と  $Q_{gi}$  の上下限、式(20)は発電機母線  $i$  の電圧  $V_{gi}$  の上下限、式(21)は母線  $i$  と母線  $j$  を結ぶ送電線の潮流制約を表す。式(15)~(21)の OPF 問題は、次のラグランジュ関数を最小化する問題に置き換えることができる。

$$L(\mathbf{P}_g, \mathbf{Q}_g, \mathbf{V}, \boldsymbol{\delta}, \boldsymbol{\lambda}_P, \boldsymbol{\lambda}_Q, \boldsymbol{\mu}_P, \boldsymbol{\mu}_Q, \boldsymbol{\mu}_V, \boldsymbol{\mu}_f, \varepsilon)$$

$$\begin{aligned} &= -F - \sum_{i=1}^n \lambda_{Pi} \{P_{gi} - \varepsilon P_{di} - g_{Pi}\} \\ &\quad - \sum_{i=1}^n \lambda_{Qi} \{Q_{gi} - \varepsilon Q_{di} - g_{Qi}\} - \sum_{i=1}^n \mu_{PLi} (P_{gi} - P_{Li}) \\ &\quad - \sum_{i=1}^n \mu_{PHi} (P_{Hi} - P_{gi}) - \sum_{i=1}^n \mu_{QLi} (Q_{gi} - Q_{Li}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &- \sum_{i=1}^n \mu_{QHi} (Q_{Hi} - Q_{gi}) - \sum_{i=1}^{ng} \mu_{VLi} (V_i - V_{Li}) \\ &- \sum_{i=1}^{ng} \mu_{VHi} (V_{Hi} - V_i) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \mu_{fij} (f_{\max ij} - |f_{ij}|) \end{aligned} \quad (22)$$

式(22)のラグランジュ関数が最小となる条件から、母線  $i$  の無効電力出力  $Q_{gi}$  に関する増分輸送電力  $-\lambda_{Qi}$  は式(23),(24)のように表される。

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{gi}} = -\lambda_{Qi} - \mu_{QLi} + \mu_{QHi} = 0 \quad (23)$$

$$-\lambda_{Qi} = \mu_{QLi} - \mu_{QHi} \quad (24)$$

無効電力出力  $Q_{gi}$  に関する  $-\lambda_{Qi}$  は、ラグランジュ関数  $L$  が最小のときに、 $Q_{gi}$  が追加的に単位量増加したときの最大総負荷需要(最大輸送電力と等価)の変化  $\Delta F$  を表している。従って、 $-\lambda_{Qi}$  は母線  $i$  に無効電力を単位量追加的に注入したときの、その最大輸送電力の増分を表すことになる。よって、母線  $i$  に接続される無効電力供給源の地点別価値  $VTq_i$  は母線  $i$  において得られる  $-\lambda_{Qi}$  を積分することによって得られることがわかる。 $VTq_i$  の導出式を式(25)に示す。

$$VTq_i = \int_{Q_{g0i}}^{Q_{g\max i}} -\lambda_{Qi}(Q_{gi}) dQ_{gi} \quad (25)$$

但し、 $Q_{g0i}$  は無効電力供給源導入前の無効電力出力で  $Q_{g\max i}$  は母線  $i$  の無効電力最大出力である。また、系統に設置された全無効電力供給源の価値を以下の式(26)で定義することができる。

$$TVTq = \sum_{i=1}^n VTq_i \quad (26)$$

#### 4. 無効電力調達コストによるアンシラリーサービスの価値評価<sup>[5]</sup>

この手法は、独立系統運用者(ISO)が発電事業者から無効電力を調達する際にかかるコストを算出し、適切な配分ルールに基づいて価格を決定する手法である。ここで、無効電力価格を算出するための有効電力調達コスト最小化問題は以下のように式(28)~(34)の制約条件のもと、(27)式を最小化する問題として定式化される。

$$\text{Minimize } C = \sum_{g \in G} C_g(P_g) \quad (27)$$

Subject to

$$P_i = \sum_{g \in G_i} P_g - \sum_{d \in D_i} P_d \quad (28)$$

$$Q_i = \sum_{g \in G_i} Q_g - \sum_{d \in D_i} Q_d \quad (29)$$

$$P_{g,\min} \leq P_g \leq P_{g,\max} \quad (30)$$

$$P_g^2 + Q_g^2 \leq S_{g,\max}^2 \quad (31)$$

$$\delta_{i,\min} \leq \delta_i \leq \delta_{i,\max} \quad (32)$$

$$V_{i,\min} \leq V_i \leq V_{i,\max} \quad (33)$$

$$P_{ij,\min} \leq P_{ij} \leq P_{ij,\max} \quad (34)$$

ただし

$$C_g(P_g) = a_g P_g^2 + b_g P_g + c_g \quad (35)$$

で式(35)の  $a_g, b_g, c_g$  は定数である。

式(28),(29)は母線  $i$  に対する潮流方程式を表し、 $P_g, Q_g$  は発電機  $g$  の有効無効電力出力、 $P_d, Q_d$  は負荷  $d$  が必要とする有効無効電力である。また、 $i, j$  は母線番号を示し、 $G_i, D_i$  は母線  $i$  に接続する発電機、負荷の集合である。式(30)は  $P_g$  の上下限、式(31)の  $S_{g,\max}$  は発電機  $g$  の最大皮相電力、式(32)は母線  $i$  における電圧位相角  $\delta_i$  の上下限、式(33)は母線  $i$  の電圧  $V_i$  の上下限、式(34)は母線  $i$  と母線  $j$  間の送電線潮流  $P_{ij}$  の上下限を表す。

式(27)~(35)において系統内における電圧、無効電力に関する制約を考慮する場合のコストを  $C1$  とし、考慮しない場合のコストを  $C2$  とし、それぞれ 2 つの場合に対して有効電力調達コスト最小化を目的関数とした OPF 問題を解き  $C1, C2$  を算出する。ここで  $C1$  は無効電力調達コストの配分を行う際に各事業者の貢献度を評価する基準値として用い、 $C1$  から  $C2$  を引いたものを無効電力調達コスト  $C_r$  と定義する。

そして貢献度については、算出の対象が発電機  $g$  の場合  $Q_g=0$  として計算を行い、無効電力が供給されないことによる影響により、基準とする  $C1$  よりコストは増加する。基準値からの差を発電機  $g$  の貢献度とする。

次に負荷  $d$  の負担度を考えると、負荷  $d$  の負担が

大きいほど  $C1$  よりコストは減る。これらのコストと基準値である  $C1$  との差が負担度として評価できる。

以上より、貢献度の算出を全ての事業者に行って、負担度の比率で調達コストを回収し、貢献度の比率で調達コストを按分することになる。

## 5. 電圧制御地域による局地的な無効電力市場形成<sup>[6]</sup>

この手法は、電氣的距離という概念を用いて電力システムをいくつかの重複しない電圧制御地域に分けることで、局所的な無効電力市場を形成するものである。

電氣的距離が意味するのはヤコビ副行列の  $\partial Q / \partial V$  の逆数である  $\partial V / \partial Q$  であり、無効電力の母線注入による電圧変動の伝達を反映するものである。二つの母線間の電圧変動の大きさは母線間電圧の最大減少量で表せることができ、これらの減少は  $\partial V / \partial Q$  によって簡単に決められる。

システムの母線全体の間での減少行列を式(36)に示す。

$$\alpha_{ij} = \frac{\left( \frac{\partial V_i}{\partial Q_j} \right)}{\left( \frac{\partial V_j}{\partial Q_j} \right)} \quad (36)$$

一般に  $\alpha_{ij} \neq \alpha_{ji}$  であるため、電氣的距離において対称特性を持たせるため二つの母線  $ij$  間で電氣的距離を定義する。

$$D_{ij} = D_{ji} = -\log(\alpha_{ij} \cdot \alpha_{ji}) \quad (37)$$

式(37)で求めた電氣的距離を系統の中で最大のものので割ることで標準化を行い、電氣的距離に従った区域の決定を行うことが出来る。

発電機母線を  $i$ 、それ以外の母線を  $j$  とした電氣的距離  $D_{ij}$  をいくつかの範囲にわけると。これらの関係を具体的に示すと

$$0 \leq Range1 < R_1$$

$$R_1 \leq Range2 < R_2$$

$$R_2 \leq Range3 < R_3 \dots$$

$$R_1 < R_2 < R_3 < \dots$$

となる。まず、 $Range1$  から区域の決定を行い、母線  $j$  と母線  $i$  が  $R_1$  よりも短いなら、言い換えれば、 $D_{ij}$  が  $Range1$  に含まれるならその母線は発電機  $i$  のグル

ープとなる。このグルーピングを *Range1* の全ての発電機母線について繰り返す。もし、まだいくつかの母線がどのグループにも入らなければ、*Range2*、*Range3* とグルーピングを繰り返す。そして全ての母線が最低限一つのグループに入るようにすることで、電圧制御地域を分けることができる。

## 6. 紹介した手法の考察

2章で紹介した総燃料費削減効果による無効電力源の地点別価値評価法の利点は、電源の総燃料費を低減するという考えに基づいているため、系統参加者にとって無効電力供給源の設置による効果が明確であり、価値が非常に明確であると考えられる。しかし、文献[7]によると発電機母線において初期状態ですでに無効電力出力が最大となっている場合評価できないという欠点が示されている。

3章で紹介した送電能力向上効果による評価した無効電力供給源の地点別価値評価手は、増分輸送電力の増大に焦点を当て無効電力の価値評価を行っている。そのため、系統運用者から見れば無効電力による送電能力の向上という明確な価値を見出すことが出来ると考えられるが、系統参加者にとっては増分輸送電力の増大効果は不明瞭であり、納得するのは難しいと思われる。また、限界費用に基づく地点別価値評価と同様に、文献[7]によると発電機母線において初期状態ですでに無効電力出力が最大となっている場合評価できないという欠点が示されている。

4章で紹介した無効電力調達コストによるアンシラリーサービスの価値評価法は、ISOが発電事業者から無効電力を調達する際にかかるコストを算出し配分する手法であるため、発電側は利益を得て、負荷側はコストを負担する形になっている。そのため、コストの決め方に関しては透明度が高いという利点が存在するが、負荷側がコストを全て負担している状況であるため、負荷側から見れば納得の行かない配分になっていると考えられる。また、コストに関心が余りに行き過ぎることで、系統の状態が見えにくくなってしまいうという欠点もあると考えられる。

5章で紹介した電圧制御地域による局地的な無効電力市場形成法では、電氣的距離を用いることで市場を分割しているため、発生と消費が局所的な無効電力と非常に相性の良い市場を形成できると考えられる。しかし、分割の方法によっては、発電機が少なすぎるような地域が出てしまう問題が発生してし

まうことが考えられる。また、市場を分割するため分割された市場と市場を結ぶ送電線の潮流が不明瞭になり、系統全体の状態が見えにくくなってしまいうという欠点もあると考えられる。

## 7. 本研究で提案する価値評価手法

本研究では、有効電力損失の低減効果による無効電力供給源の地点別価値評価法を提案する。無効電力の地点別価値を、電力ネットワーク全体の有効電力損失を力率改善によってどれだけ低減出来たかといった観点から評価を行うため、市場全体で無効電力の価値評価を行える。また、無効電力供給源の設置による効果が非常に明確となり、系統参加者にとっては納得しやすく、より公平な価値決めが出来るのではないかと考えられる。

スラックノードを除く各発電機母線に供給される有効・無効電力を  $P_G, Q_G$  とし、各負荷母線で消費する有効・無効電力を  $P_L, Q_L$  とし、ネットワーク全体の有効電力損失を  $P_{loss}$ 、調相設備などの無効電力源から供給される無効電力を  $Q_C$  とすると

$$P_G - P_L = f_P(V, \delta) \quad (38)$$

$$Q_G - Q_L + Q_C = f_Q(V, \delta) \quad (39)$$

$$P_{loss} = g(V, \delta) \quad (40)$$

を得る。式(38),(39),(40)において、 $V, \delta$  の変化に対して、各発電機母線に供給される有効・無効電力  $P_G, Q_G$  及び各負荷母線で消費する有効・無効電力  $P_L, Q_L$  が変化しないとすれば

$$0 = \frac{\partial f_P}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial f_P}{\partial \delta} \Delta \delta \quad (41)$$

$$\Delta Q_C = \frac{\partial f_Q}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial f_Q}{\partial \delta} \Delta \delta \quad (42)$$

$$\Delta P_{loss} = \frac{\partial g}{\partial V} \Delta V + \frac{\partial g}{\partial \delta} \Delta \delta \quad (43)$$

を得る。ところで、式(41),(42),(43)において変数は  $\Delta V, \Delta \delta$  であるため、これらを消去することができる。

$$\Delta P_{loss} = \left( \frac{\partial g}{\partial V} - \frac{\partial g}{\partial \delta} \left( \frac{\partial f_P}{\partial \delta} \right)^{-1} \frac{\partial f_P}{\partial V} \right) \left( \frac{\partial f_Q}{\partial V} - \frac{\partial f_Q}{\partial \delta} \left( \frac{\partial f_P}{\partial \delta} \right)^{-1} \frac{\partial f_P}{\partial V} \right)^{-1} \Delta Q_C \quad (44)$$

ここで、式(44)を簡単にするために  $\Delta Q_C$  の係数を  $\alpha$  と置くと

$$\Delta P_{loss} = \alpha \Delta Q_C \quad (45)$$



と表すことが出来る。

式(45)より、電力系統の各地点における無効電力供給源の設置による有効電力損失の低減効果が算出でき、初期値によって決まる係数ベクトル $\alpha$ の要素の大小により、無効電力の地点別価値評価を行うことができる。

## 8. 今後の展望

今後は、本研究で提案する有効電力損失の低減効果による無効電力供給源の地点別価値評価法の実用化に向けて以下の検討を行う予定である。

- (1) 式(45)の係数ベクトル $\alpha$ が、様々な運用状態においてどのように変化するかを解析し、価値評価の評価指標としての汎用性について検討する。
- (2) 全系統参加者の合意形成が可能な損失を含めた有効電力の需給分担を考慮できる電力潮流計算モデルについて検討する。
- (3) 価値評価のための詳細アルゴリズムを決定する。
- (4) 大規模実系統に適用し、本手法の有効性を検証し、大規模系統における計算効率向上のための数値計算法を検討する。

## 参考文献

- [1] 系統運用・制御の動向：林 秀樹、電学誌 127 巻 2 号、pp.85-88(2007)
- [2] 電力系統の新しい計画・運用の動向：宮内 肇、平成 19 年電気学会全国大会、pp.19-22(2007)
- [3] 限界費用に基づいた無効電力供給源の価値評価手法：山下 透、斎藤 浩海、平成 18 年電気学会全国大会、pp.205-206(2006)
- [4] 電圧アンシラリーサービスの地点別価値評価に関する理論的検討：山下 透、斎藤 浩海、電気学会研究会資料、PSE-06-121、pp.31-36(2006)
- [5] 無効電力アンシラリーサービスのコストベースプライシング手法に関する検討：植木 悠次、原亮一、北 裕幸、田中 英一、長谷川 淳、平成 19 年電気学会全国大会、pp.311-312(2007)
- [6] Localized Reactive Power Markets Using the Concept of Voltage Control Areas : Jin Zhong, Emilia Nobile, Anjan Bose, Kankar Bhattacharya、IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS,VOL.19,NO.3,AUGUST 2004、pp.1555-1561
- [7] ラグランジュ乗数の積分値に基づく無効電力供給源の地点別価値評価：山下 透、飛田 雄一、斎藤 浩海、平成 19 年電気学会全国大会、pp.313-314(2007)

## 付録. 潮流方程式

電力系統のアドミタンス行列を次のように表す。

$$\dot{Y}_{km} = G_{km} + jB_{km} \quad (A1)$$

また、各母線電圧を次のように極座標表示で表す。

$$\dot{V}_k = V_k \angle \theta_k \quad (A2)$$

すると、各母線に流れ込む有効・無効電力及び母線電圧は式(A1),(A2)を用いて

$$P_k = V_k \sum_{m=1}^N V_m \{G_{km} \cos(\theta_k - \theta_m) + B_{km} \sin(\theta_k - \theta_m)\} \quad (A3)$$

$$Q_k = V_k \sum_{m=1}^N V_m \{G_{km} \sin(\theta_k - \theta_m) - B_{km} \cos(\theta_k - \theta_m)\} \quad (A4)$$

$$V_k = |\dot{V}_k| \quad (A5)$$

と表すことが出来る。また、各母線電圧を式(A6)のように直角座標表示で表した場合を考える。

$$\dot{V}_k = e_k + jf_k \quad (A6)$$

この場合、各母線に流れ込む有効・無効電力及び母線電圧は式(A1),(A6)を用いて

$$P_k = \sum_{m=1}^n (G_{km} e_m e_k - B_{km} e_k f_m + B_{km} e_m f_k + G_{km} f_m f_k) \quad (A7)$$

$$Q_k = \sum_{m=1}^n (-B_{km} e_m e_k - G_{km} e_k f_m + G_{km} e_m f_k - B_{km} f_m f_k) \quad (A8)$$

$$V_k^2 = e_k^2 + f_k^2 \quad (A9)$$

と表すことが出来る。

(平成 23 年 1 月 7 日 受理)

# 地域企業技術者向けテクノクロス講座(電気系)講座の実施分析

大塚友彦\*, 舘泉雄治\*\*, 木村知彦\*\*, 新國広幸\*\*, 松岡 敏\*\*\*,  
新田武父\*\*\*, 三谷知世\*\*\*\*, 佐々木桂一\*\*\*\*\*

## Carrier up Seminar on Electrical Engineering for Regional Engineers and its Case Report

Tomohiko OHTSUKA, Yuji TATEIZUMI, Tomohiko KIMURA, Hiroyuki NIKKUNI,  
Satoshi MATSUOKA, Takenori NITTA, Tomoyo MITANI, Keiichi SASAKI

In this paper, a summary of a trial of the recurrent education for electronic and electronics engineering for regional enterprises around Tokyo National College of Technology is reported. In the reeducation, there are 2 courses, i.e. the fundamental design of embedded systems and fundamentals of infrastructures for servers and network systems. Every engineer from regional enterprises studies all courses to study fundamental of these topics. It was found from the analysis of the questionnaire that a lot of them understand it is important to understand the fundamentals in a variety of areas of engineering to become good engineers.

(Keywords: reeducation, experience type practice, fundamental engineering)

### 1. はじめに

平成20年度に地域企業の本校に対する期待や要望を調査するため、八王子市内の企業を中心にアンケート調査を行った。その結果、市内企業の半数以上が通常勤務を継続しつつ、社内の専門的・技術的な実務担当者に短期で基礎修得できる講座を本校に要望していることが明らかになった。

一方、リーマンショック以降、現在もなお経済激変は八王子市内の製造業にも深刻な影響を及ぼし続けている。現状を打破するため、多くの製造業は下請けからの脱却を試み、製品開発型企業を目指し始めている。しかし、多くの中小規模の製造業では、適切な基礎知識を有する後継技術者育成に苦勞しているのも実情である[1][2]。

こうした地域の実情を踏まえ、本校では、昨年度より、夏季休業期間中(8～9月)を利用してものづくりを担う地域の社会人技術者向けにテクノクロス講座を開講した[3]。本講座は、主に講師は本校教職員、本校施設を活用した実験実習を中心とする講座で、機械系、電気系、化学系の3分野から構成される。各分野共に基礎知識修得を主眼とした講座内容としている。また、本講座では、参加企業間の情報交換、参加受講者と高専教職員とのネットワーク作りも試みている。

本報告では、昨年度に引き続き開講した今年度の電気電子系分野のテクノクロス講座について、実施状況と効果測定の結果について分析・考察を行ったので、これについて報告する。

### 2. 電気電子工学系テクノクロス講座の概要

テクノクロス講座(電気系)の日程概要を表1に示す。今年度は、「PICマイコンを用いた入出力制御実験」(1日間)、「社内向けサーバの構築」(1日間)、並びに「PICマイコンを用いたシリアル通信実験」(1日間)を実施した。

「PICマイコンを用いた入出力制御実験」は昨年度に引き続き開講した講座で、今年度もマイコン初心者を対象に、マイコンの仕組みからLED点灯制御やモータ制御の基礎までを実習した。受講者には、昨年度と同様にマイコンを初めて使用する多数含まれていた。今年度は昨年度の経験を活かし、初心者にも理解を深めやすくするため実験実習時間を多く組み込んでいる。その結果、後述の受講者アンケートからも分かるように概ね高い満足度を得ることが出来た。

「社内向けサーバ構築」は、今年度新規に開講した講座で、サーバの基礎知識からサーバの構築や運用に至る基本的な実務能力向上を目的とした講座である。初心者の受講者も少なくないと想定し、講座の大半を実習時間に割り当て、実習を通じて理解を深められるようにした。実習項目は、Linux系サーバOSの構築、グループウェアAipsoの構築、仮想環境構築で、これら実習を通じて社内向けサーバの構築から運用に至る基本的業務を体験学習できるようにした。後述の受講者アンケートからも分かるように概ね高い満足度

を得ることが出来た。

「PIC マイコンを用いたシリアル通信実験」では、昨年度も開講した講座で、シリアル通信の仕組みからC言語によるシリアル通信の基礎知識を修得することを目的としている。昨年度の経験から、初心者の受講者にも理解を深めやすくするため、専門用語の説明や実験実習時間を十分確保する等の工夫を施している。その結果、後述の受講者アンケートからも分かるように概ね高い満足度を得ることが出来た。

本講座の出席者は計12名で、講座の内容により出席者が多少変動している。図1～3に各テーマの実習風景を示す。

表1. テクノクロス講座(電気電子工学系)の日程

|      |                                                                                                                                                                   |                                                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 講座名  | PICマイコンを用いた入出力制御実験                                                                                                                                                |                                                                                                         |
| 概要   | PICマイコンを用いて簡単な回路を作製し、入出力（スイッチ入力による、LEDの点灯点滅・モータの制御）制御実験を通して、基礎的なマイコンの扱い方を学習する。                                                                                    |                                                                                                         |
| 担当   | 電気工学科：木村(知)、新國、電子工学科：大塚、技術職員：松岡、新田                                                                                                                                |                                                                                                         |
| 講座時間 | 7時間/日×1日＝7 時間                                                                                                                                                     |                                                                                                         |
| 会場   | 第3棟3階システム・デザイン実験室(3301号室)                                                                                                                                         |                                                                                                         |
|      | 研修内容                                                                                                                                                              | 到達目標                                                                                                    |
| 9月6日 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●マイコンを用いた回路製作の基礎</li> <li>・アセンブリ言語による組込みソフトウェアの作り方</li> <li>・PICマイコンによるLEDの点灯・点滅実験</li> <li>・PICマイコンによるモータの制御実験</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発ツールの使用法を修得する。</li> <li>・マイコンを用いた基本的な入出力制御の基礎を修得する。</li> </ul> |

|      |                                                                                                                                                   |                                                                                                                             |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 講座名  | 社内向けサーバ構築                                                                                                                                         |                                                                                                                             |
| 概要   | サーバに関する基礎知識を修得すると共に、実際にOSのインストール実習、グループウェアサーバ構築実習、仮想環境構築実習を通じ、実務的な能力を向上させる。                                                                       |                                                                                                                             |
| 担当   | 電気工学科：館泉、木村(知)、新國、電子工学科：大塚、技術職員：松岡、新田                                                                                                             |                                                                                                                             |
| 講座時間 | 7時間/日×1日＝7 時間                                                                                                                                     |                                                                                                                             |
| 会場   | 第3棟3階システム・デザイン実験室(3301号室)                                                                                                                         |                                                                                                                             |
|      | 研修内容                                                                                                                                              | 到達目標                                                                                                                        |
| 9月7日 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●社内向けサーバ構築</li> <li>・サーバに関する基礎知識</li> <li>・OSのインストール実習</li> <li>・グループウェア構築実習</li> <li>・仮想環境構築実習</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・社内サーバ向けサーバOS運用のための基礎的な能力を修得する。</li> <li>・社内向けグループウェアサーバ構築の基礎的な実務能力を修得する。</li> </ul> |

|       |                                                                                                                                                     |                                                                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 講座名   | PICマイコンを用いたシリアル通信実験                                                                                                                                 |                                                                                                     |
| 概要    | C言語を用いたPICマイコン設計実験を通じ、シリアル通信の基礎を学習する。                                                                                                               |                                                                                                     |
| 担当    | 電子工学科：大塚、電気工学科：木村(知)、新國、技術職員：松岡、新田                                                                                                                  |                                                                                                     |
| 講座時間  | 7時間/日×1日＝7 時間                                                                                                                                       |                                                                                                     |
| 会場    | 第3棟4階情報系実験室(3402号室)                                                                                                                                 |                                                                                                     |
|       | 研修内容                                                                                                                                                | 到達目標                                                                                                |
| 9月13日 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●マイコン・シリアル通信の基礎</li> <li>・C言語による組込みソフトウェアの作り方</li> <li>・シリアル通信回路の使い方</li> <li>・PICマイコンによるシリアル通信実験</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・C言語による組込みソフトウェア技法の基礎を学ぶ。</li> <li>・シリアル通信の基礎を学ぶ。</li> </ul> |

### 3. 受講者アンケート調査とその分析

#### 3. 1. 受講者の専門・業務経験について

受講者の専門分野・業務経験に関するアンケート結果を表2に示す。専門分野は昨年同様、電気・電子系の方が最も多い結果となっているが、機械系技術者の割合が昨年以上に増えていることも特徴的である。また、参加者全般的にマイコンやサーバに関する業務経験はあまりないことが分かっ



図1. PIC マイコンを用いた入出力制御実験



図2. 社内向けサーバ構築



図3. PIC マイコンを用いたシリアル通信実験

た。また、本講座に期待することとして、全員が基礎の学び直しを挙げていた。これは昨年度と同様の結果である。このことから、受講者は、本講座を通じ、これまで業務経験したことがない新たな分野の基礎知識修得を目指していることが伺え



る。業務経験のない受講者が主となるため、講座では出来るだけ具体的な題材を取り上げ、基本的な考え方をイメージしやすく工夫し、受講者のモチベーション維持を図った。

一方、申込みの契機は、今年度も全て会社・知人の勧めであった。本講座の募集は、ポスター等様々な方法で広報したが、広報戦略の改善はなおも課題として残っていることが浮き彫りとなった。

表 2. 受講者の専門分野・業務経験の集計(人)

| 設 問                                                                                            | 選択肢欄 |   |    |   |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---|----|---|---|
|                                                                                                | ①    | ② | ③  | ④ | ⑤ |
| ご専門をお聞かせ下さい（最も近いものを1つ選択して下さい）。<br>①電気・電子系<br>②機械系<br>③情報系<br>④化学系<br>⑤その他                      | 4    | 3 | 1  | 0 | 3 |
| 講座にお申し込みをされたきっかけは何ですか。<br>①ホームページ<br>②ポスター<br>③会社・知人の勧め<br>④商工会議所の紹介<br>⑤その他                   | 0    | 0 | 10 | 0 | 1 |
| 本講座に期待することは何ですか（最も近いものを1つ選択）。<br>①基礎を学び直したい<br>②応用を学びたい<br>③新分野進出のため<br>④高専の教職員と知り合いたい<br>⑤その他 | 11   | 0 | 0  | 0 | 0 |
| 業務でマイコンを使われたご経験はありますか。<br>①全くない<br>②あまりない<br>③少しある<br>④頻繁に行っている                                | 8    | 2 | 1  | 0 | 0 |
| 業務で各種サーバ構築またはその管理を使われたご経験はありますか。<br>①全くない<br>②あまりない<br>③少しある<br>④頻繁に行っている                      | 8    | 1 | 2  | 0 | 0 |

※表の数値は回答人数を表す。

### 3. 2. 本講座の効果測定について

本講座の効果測定を行うため、受講前と受講後において、本講座に関連の深い専門知識について受講者の理解度アンケートを調査した（表 3）。

表 3 の受講前アンケートによると、受講生はマイコン、サーバ構築のいずれに関しても殆ど予備知識を持っていなかったことが確認できる。

しかし、受講後のアンケート調査では、表 3 に示す 12 項目全てについて理解が深まったとの印象を得ていたことが確認された。昨年度以上に全般的に予備知識のない参加者が増えていることが確認される。本講座の講師陣は、初日の受講前アンケートの段階で明らかになった受講者の予備知識を前提に、当初の予定よりもテキストや講義の説明を初心者向けに組み直した。受講者の予備知識に応じた対応が迅速だったため、結果として受講者の理解を助けるに至ったものと考えられる。ま

た、本講座の最中も担当講師は注意深く受講者の反応を確認しながら説明方法を工夫していた。こうした努力や配慮も受講者の理解深化に影響しているものと考えられる。

表 2 のように受講者の専門分野や業務経験は幅広かっただけに、全ての項目に受講者が理解を示してくれたことは予想以上の成果と言える。

表 3. 受講者の理解度・満足度に関する集計

| 設 問                                                                                    | 受講前アンケート |   |   |   | 受講後アンケート |   |   |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|---|---|----------|---|---|---|
|                                                                                        | ①        | ② | ③ | ④ | ①        | ② | ③ | ④ |
| (1) マイコンの使い方をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている                | 3        | 3 | 1 | 0 | 0        | 0 | 5 | 3 |
| (2) アセンブラによるマイコンのプログラミング技法をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている  | 3        | 2 | 2 | 0 | 0        | 0 | 2 | 6 |
| (3) マイコンを使って LED を制御する方法をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている    | 1        | 4 | 3 | 0 | 0        | 0 | 2 | 6 |
| (4) マイコンを使ってモータを制御する方法をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている      | 3        | 3 | 2 | 0 | 0        | 0 | 2 | 6 |
| (5) マイコンを使って PC とシリアル通信する方法をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている | 4        | 2 | 1 | 0 | 0        | 0 | 4 | 4 |
| (6) C 言語によるマイコンのプログラミング技法をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている   | 6        | 1 | 0 | 0 | 0        | 0 | 4 | 4 |
| (7) UNIX をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている                   | 5        | 3 | 0 | 0 | 0        | 0 | 5 | 3 |
| (8) Web サーバをご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている                 | 6        | 1 | 1 | 0 | 0        | 0 | 4 | 2 |
| (9) グループウェアをご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている                 | 5        | 1 | 2 | 0 | 0        | 0 | 4 | 2 |
| (10) グループウェアの設定方法をご存知ですか。<br>① 全く知らない<br>② あまり知らない<br>③ 少し知っている<br>④ 良く知っている           | 6        | 1 | 1 | 0 | 0        | 0 | 3 | 3 |

※表の数値は回答人数を表す。

### 3. 3. 本講座の日程等について

本講座の日程、講座のレベル、講師の教え方、テキスト等に関するアンケート結果を表 4 に示す。



いずれの項目についても、受講者は概ね満足を示していた。一方、日数に関してはもう少し講座時間の余裕を望む受講者もいた様子であった。傾向としては昨年度と同様であった。

表 4. 本講座の日程等に関する集計

| 設 問                                                                     | 選択肢欄 |   |   |    |
|-------------------------------------------------------------------------|------|---|---|----|
|                                                                         | ①    | ② | ③ | ④  |
| 1 日 7 時間という講義時間(実験実習含む)は適切でしたか。<br>① 不適切<br>② 少し不適切<br>③ やや適切<br>④ 適切   | 1    | 1 | 1 | 9  |
| 開催日数(3 日間)という日数は適切でしたか。<br>① 不適切<br>② 少し不適切<br>③ やや適切<br>④ 適切           | 0    | 3 | 4 | 4  |
| 午前 10 時開始、午後 5 時終了という講義時間は適切でしたか。<br>① 不適切<br>② 少し不適切<br>③ やや適切<br>④ 適切 | 0    | 1 | 2 | 9  |
| 講義の内容(レベル)は適切でしたか。<br>① 不適切<br>② 少し不適切<br>③ やや適切<br>④ 適切                | 0    | 1 | 4 | 6  |
| 講師の教え方は適切でしたか。<br>① 不適切<br>② 少し不適切<br>③ やや適切<br>④ 適切                    | 0    | 0 | 0 | 12 |
| 講義はあなたの仕事に役立ちそうですか。<br>① 全く役立たない<br>② あまり役立たない<br>③ 少し役立つ<br>④ 大いに役立つ   | 0    | 0 | 8 | 4  |
| テキストや教材は適切でしたか。<br>① 不適切<br>② 少し不適切<br>③ やや適切<br>④ 適切                   | 0    | 0 | 3 | 9  |

※表の数値は回答人数を表す。

### 3. 4. 参加企業間ネットワーク構築について

本講座では、講座毎に開講式を行い、その際に講師や受講生の所属や自己紹介を行っている。このため、お互い初対面であるが、講義内や休憩時間に情報交換を行える切欠を設けることができた。また、講師とも名刺交換等を通じ、講座終了後の質問窓口等についても連絡している。今年度の場合、講座終了後に受講生からの質問(「社内向けサーバ構築」の講座)に講師が回答する場面もあった。

### 3. 5. 更なる技術向上のための試み

本講座では、各講座共に基礎的な内容について、実験実習を交えながら体系的に学習してもらった。テキストには、講座に関する内容の他に発展的内容や参考文献等も掲載し、受講者が講座修了後に自学自習しやすくするための配慮も設けた。更なる技術向上を支援するには、参加者のその後の学習状況なども追跡調査する、インターネットを活用した発展的な教材提供等も検討する必要がある。

## 4. まとめ

本報告では、地元企業技術者向けに開講したテクノクロス講座のうち、電気系分野の講座の実施概要について報告した。講師は本校教職員が担当し、本校施設を活用して今年度 9 月に計 3 日間開講した。日常の業務から離れ、自身の専門外の基礎実習やものづくり講習が受講できるとあって、受講生は開始時刻前から予習・復習に余念がない様子で、講義終了後も講師に熱心に質問をしている真剣な姿が見られた。また、受講前のアンケート調査から、受講者の多くは自身の専門分野の裾野をさらに広げるため、業務体験のない分野の基礎知識修得に強い意欲を持っていることも確認された。本講座の効果測定結果から受講者の理解度向上も計測されたことからその有効性が確認されている。この点は昨年度の調査とほぼ一致する結果となった。以上のことから、本講座は、地域企業に人材養成の絶好の機会を提供できたと判断できる。今回の経験を今後の社会人向け講座に活かしていきたい。

今後の課題として、主催者側の準備期間の調整、申込段階で受講者の予備知識や業務経験調査、受講者のその後の自学自習状況の追跡調査等が挙げられる。

## 謝辞

本講座は、八王子市委託事業として助成を受けたものである。講座の開講・実施に当たり、電子工学科や電気工学科の先生方、技術職員の皆様、並びに総務課企画係の皆様には大変お世話になりました。この場をおかりして御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 馬越幹男, 中郷裕之, 平川靖之, 笈木宏和, 鳥井昭美, “高専と地域産業・市民との連携”, 平成 21 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 88-89
- [2] 大曾根正紀, “ものづくり企業技術者を創る”, 平成 21 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 108-109
- [3] 大塚永吉, 木村, 小池, 新國, 松岡, 新田, 三谷, 佐々木, “地元企業技術者向け電気電子工学系公開講座の実施とその分析”, 東京高専研究報告書第 41(2)号, 2010, pp. 47-50

(平成 22 年 11 月 11 日 受理)

# 位相限定相関法を用いた画像中のマーク位置検出

青木宏之\*, 吉澤昌也\*

Locating a Target in an Image Based on Phase Only Correlation

Hiroyuki AOKI and Masaya YOSHIKAWA

Locating a target in an image is usually done by both getting the edge information of the entire image and identifying it with the shape of the target. Therefore, the locating algorithm needs to be modified when the shape of the target changes. This paper deals with a target locating algorithm using Phase-Only Correlation (POC). This approach has the merit that the locating algorithm is the same even if the shape of the target varies. Furthermore, POC has excellent performance in estimating the displacement between an input and a registration image. Therefore, given that a registration image is prepared by placing only the target in a blank image, target locating is expected to be done successfully from the displacement of the input and the registration image. This paper shows the basic performance and effectiveness of this approach through some simulations.

(Keywords: target locating, phase only correlation, registration image, blank image)

## 1. はじめに

近年の携帯電話やデジタルカメラ, マイコン・パソコン等の高性能化・低価格化により画像データの取り扱いが容易になり, さまざまな目的や用途に画像処理を行う機会が爆発的に増えてきた. 例えば, 顔や指紋, 静脈等の画像認識はもとより, ロボットや自動車における画像認識, 莫大な画像データベースの中から目的の画像を探し出す画像検索, 工業用途の分野では画像による製品欠陥検査・品質チェック, あるいは部品実装のための位置合わせ制御等, 様々な応用がなされている.

そうした目的や用途に応じてこれまで様々な画像処理技術が開発されてきているが, その中で近年, 位相限定相関 (Phase-Only Correlation; POC) を用いた画像照合技術がその性能の高さと応用範囲の広さから注目を集めている[1],[2],[3]. POC は 2 枚の画像の一致判別を行うと同時に, 一致と判別した場合には両画像の位置ずれ量を精度よく検出できる優れた性能を有している.

そこで本報告では, POC のこの優れた性質を活かして, ある背景画像の中に埋もれている特定なマークの存在ならびにその位置を検出する課題を検討する. これは様々な工業製品等の製造過程において画像の中から特定なマークを検出し, 位置合わせの制御を行おうとするような場面を想定している. 従来, マークの位置検出として画像のエ

ッジ情報からマークの形状を認識し, その位置を割り出すというような手法は頻繁に用いられてきた. しかしながら, この手法では検出すべきマークの形状が代わる毎に検出アルゴリズムに手を加える必要が生じる. また, 近年の撮像装置の高性能化に伴い, 大規模・高精細な画像を扱うことが容易になってきているが, 画像サイズが大きくなれば処理時間も増大するという問題も含んでいる. こうした問題を解決するために, 本報告では POC の手法を適用したマーク位置の検出について検討する.

## 2. 位相限定相関 (POC)

図 1 に POC 処理の流れを示す. 登録画像  $g$  と入力画像  $f$  をそれぞれ 2 次元離散フーリエ変換 (2-Dimensional Discrete Fourier Transform ; 2-D DFT) して得られる振幅成分と位相成分のうち位相成分のみを用いて相関演算を行う.

以下に, POC の具体的な計算式を示す. 画像サイズ  $N_1 \times N_2$  の画像  $f(n_1, n_2), g(n_1, n_2)$  に対して, その 2D-DFT を  $F(k_1, k_2), G(k_1, k_2)$  とすると,

$$\begin{aligned} F(k_1, k_2) &= \sum_{l_1, l_2} f(n_1, n_2) e^{-i \frac{2\pi}{N_1} k_1 n_1} e^{-i \frac{2\pi}{N_2} k_2 n_2} \\ &= A_F(k_1, k_2) e^{i \theta_F(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (1)$$

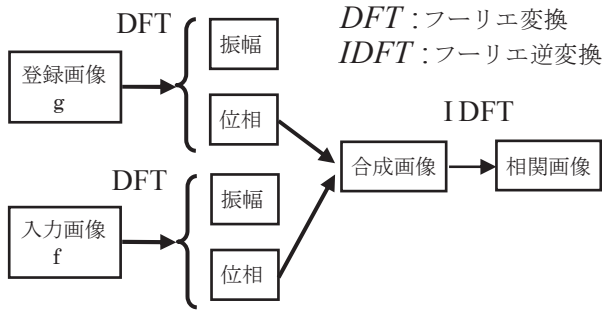
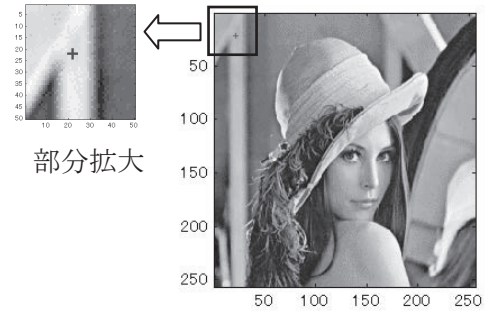


図 1 POC 処理の流れ

図 2 '+マーク'を埋め込んだ入力画像  $f$ 

$$\begin{aligned}
 G(k_1, k_2) &= \sum_{l_1, l_2} g(n_1, n_2) e^{-i \frac{2\pi}{N_1} k_1 n_1} e^{-i \frac{2\pi}{N_2} k_2 n_2} \\
 &= A_G(k_1, k_2) e^{i \theta_G(k_1, k_2)} \\
 k_1 &= 0, \dots, N_1 - 1, k_2 = 0, \dots, N_2 - 1
 \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\sum_{l_1, l_2}$  は、 $\sum_{l_2=0}^{N_2-1} \sum_{l_1=0}^{N_1-1}$  の意味であ

り、また  $A_F(k_1, k_2)$ ,  $A_G(k_1, k_2)$  が各振幅成分、

$e^{i \theta_F(k_1, k_2)}$ ,  $e^{i \theta_G(k_1, k_2)}$  が各位相成分である。

相互パワースペクトルは次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 R(k_1, k_2) &= F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)} \\
 &= A_F(k_1, k_2) A_G(k_1, k_2) e^{i \{\theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)\}}
 \end{aligned} \quad (3)$$

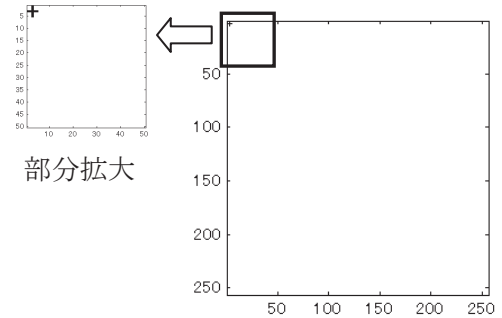
ここで、 $\overline{G(k_1, k_2)}$  は  $G(k_1, k_2)$  の複素共役を表す。また、位相成分のみの相互パワースペクトル  $\hat{R}(k_1, k_2)$  は次のように表される。

$$\begin{aligned}
 \hat{R}(k_1, k_2) &= \frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}|} \\
 &= e^{i \{\theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)\}}
 \end{aligned} \quad (4)$$

位相限定相関関数  $\hat{r}(n_1, n_2)$  は、この  $\hat{R}(k_1, k_2)$  を 2 次元離散逆フーリエ変換 (2-D IDFT) を行うことにより次式で与えられる。

$$\hat{r}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1, k_2} \hat{R}(k_1, k_2) e^{i \frac{2\pi}{N_1} k_1 n_1} e^{i \frac{2\pi}{N_2} k_2 n_2} \quad (5)$$

図 1 に示す POC 処理の流れで、最終的に得られる相関画像とは、この  $\hat{r}(n_1, n_2)$  の絶対値をとったものとして与えられる。

図 3 '+マーク'のみを描いた登録画像  $g$   
(背景画像を真っ白とした場合)

### 3. POC を用いたマーク位置の検出

今、入力画像  $f$  として図 2 に示すように縦 256 × 横 256 pixel で、画像左上部分に'+マーク'が埋め込まれている画像を考える。ここで、'+マーク'は線幅を 1pixel、縦線と横線の長さを 5pixel として描いている。そして登録画像  $g$  として真っ黒 (画素値=0) を背景として、0 でない任意の画素値で'+マーク'を左上端部に描いた画像 (または、真っ白を背景として'+マーク'を描いた画像 (図 3)) を用意して、画像  $f$  との間で POC 処理を行い、得られた相関画像のピーク位置より画像  $f$  の中の'+マーク'の位置を検出することを試みる。

### 4. シミュレーション結果

[シミュレーション 1]

図 2 の入力画像  $f$  と図 3 の登録画像  $g$  で POC 処理を行った。得られた相関画像を図 4 に示す。きれいなピークが表れており、このピークの位置より'+マーク'の位置を正しく検出することができた。ここで、画像  $f$  の最大輝度値は 163 で、最小輝度値は 16、全画素の平均輝度値は 87 である。また、'+マーク'の縦線と横線は輝度値を 60 として描いている。図 2 の画像  $f$  の場合、'+マーク

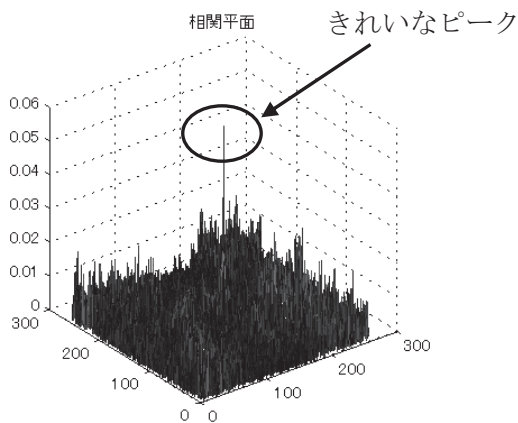


図4 入力画像 $f$  (図2) と登録画像 $g$  (図3) を POC 処理して得られた相関画像

はたまたま背景画像の白い部分の上に来ているため、背景とのコントラストが強く表れていて検出は比較的容易な場合と考えられる。

#### [シミュレーション2]

‘+’マークの位置検出の難易度は、‘+’が置かれる背景画像部分とのコントラストに関係すると予想される。そこで、‘+’マークを画像 $f$ に書き込むときの画素値を変えながら、‘+’マークが正しく検出できるかを調べてみる。‘+’マークを書き込むときのひとつの画素値に対して、‘+’マークの書き込み位置をランダムに100回変えて、その位置が正しく検出できるか試行し、‘+’マークの画素値に対する検出成功率を求めてみた。その結果を図5に示す。

全体的な傾向として、画像 $f$ の平均値に近い画素値で‘+’マークが書き込まれるとき、検出成功率が一番低くなっている。また、‘+’マークが平均値

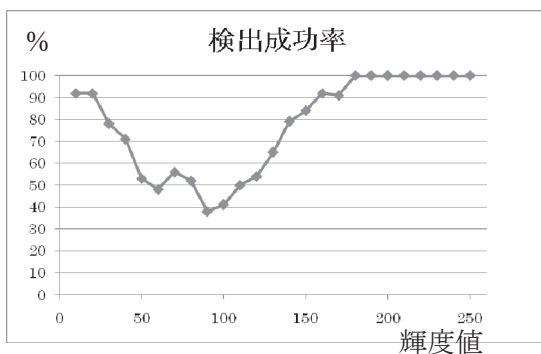
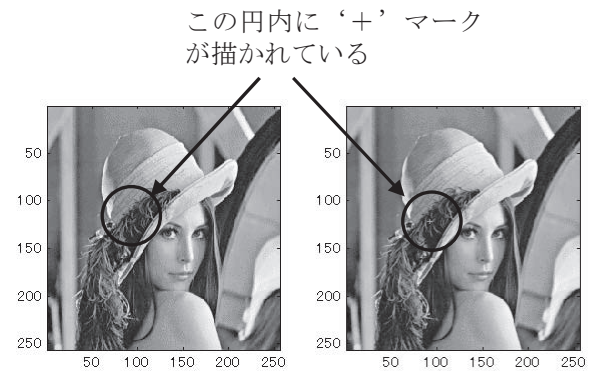
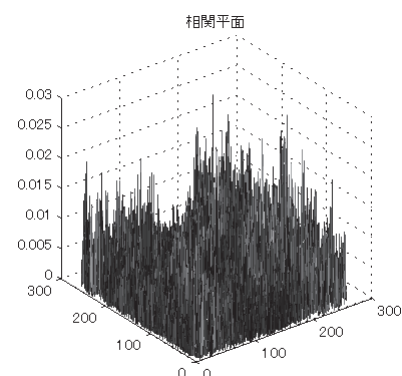


図5 ‘+’マークの輝度値変化に対する検出成功率の変化のようす

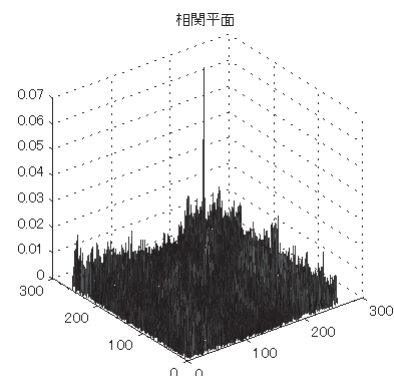


(a) 検出不可の場合 (b) 検出可能の場合

図6 ‘+’の位置検出が不可の場合と可能な場合の画像例



(a) 図6 (a) の画像に対する相関画像



(b) 図6 (b) の画像に対する相関画像

図7 図6の画像に対する相関画像のようす

の倍程度の画素値で書き込まれた場合は、ほぼ100%で位置検出が可能となっている。図6に‘+’マークの位置検出が不可の場合と可能な場合の画像例を示す。図6 (a) (b) とも‘+’マークは同じ位置に置かれているが、(a) の場合は輝度値60で書かれていて検出不可、(b) の場合は輝度値100で書かれていて検出可能となった例である。図7にそれぞれの画像に対応する相関画像のようすを示す。図7 (a) ではクリアなピークは現れ



ていないが、図 7（b）ではクリアなピークが表れている。

#### [シミュレーション 3]

POC を用いたマークの位置検出手法において、マークの形状に対する依存性がないかを確認する。[シミュレーション 2]と同じことをマークの形状を変えて‘◇’マークについて行う。‘◇’の大きさは対角線の長さが‘+’の縦線、横線と同じ長さとなるよう設定した。その結果を図 8 に示す。図 5 とほぼ同様のグラフが得られ、マークの形状に依存せずに位置検出が可能なが確認できる。

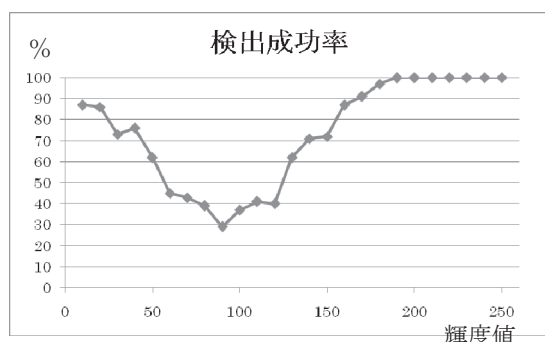


図 8 ‘◇’マークの輝度値変化に対する検出成功率の変化のようす

#### [シミュレーション 4]

背景の画像を一樣乱数とした場合についても[シミュレーション 2]と同じ内容をみておく。背景画像の輝度値の範囲は図 2 の画像  $f$  の輝度値の範囲とほぼ合わせて、0 から 160 の範囲とした。その結果を図 9 に示す。この場合の画像例を図 10 に示す。

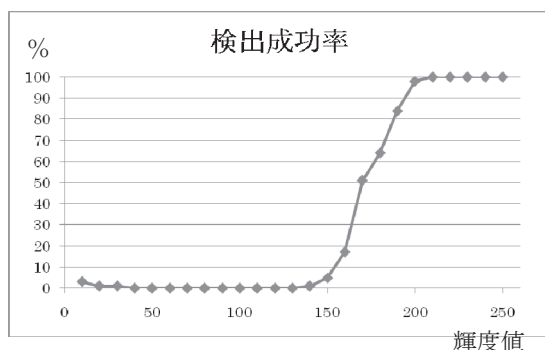


図 9 背景が一樣乱数とした場合の‘+’マークの輝度値変化に対する検出成功率のようす

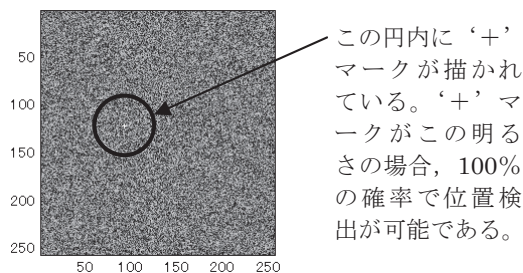


図 10 背景を一樣乱数とした場合の‘+’マーク検出の画像例

#### 5. まとめ

POC を用いたマーク位置の検出手法についてその基本的な性能・性質について検証した。本手法は画像全体のサイズに対してかなり小さなサイズのマークでも位置検出が可能であり、また、マークの形状に依存せず同一処理で様々なマークの検出が可能である。また、図 5, 8, 9 の結果において、検出成功率が低下している部分は、本報告では関連画像の最大ピークのみから位置を判定するという最も単純な見方をした結果であり、ピーク値の見方を工夫することにより、今後、更に検出成功率が高められる可能性がある。また、位置検出の精度の点でもサブピクセル単位での精度向上が十分期待される。今後、更に詳細な検討が必要である。

#### 参考文献

- [1] K. Takita, T. Aoki, Y. Sasaki, T. Higuchi, K. Kobayashi, "High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation", IEICE Trans, Fundamentals, Vol.E86-A, No.8, pp.1925-1934, Aug. 2003.
- [2] K. Takita, MA. Muquit, T. Aoki and T. Higuchi, "A Sub-Pixel Correspondence Search Technique for Computer Vision Applications", IEICE Trans, Fundamentals, Vol.E87-A, No.8, pp.1913-1923, Aug. 2004.
- [3] K.Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki, T. Higuchi, "A Finger Matching Algorithm Using Phase-Only Correlation," IEICE Trans, Fundamentals, Vol.E87-A, No.3, pp.682-691, March 2004.

(平成 23 年 1 月 7 日 受理)

# 実用装置製作を課した学生実験

永吉 浩\*, 小池清之\*

Electronic Engineering Laboratory for Practical Electronic Device Design

Hiroshi NAGAYOSHI and Kiyoyuki KOIKE

An electric engineering laboratory program for practical electronic device design have developed and introduced to the 5<sup>th</sup> year student class in the Department of Electronic Engineering. In the program, each student must design and build an original electronic device under limited conditions to encourage their creativity and practical manufacturing technique. To achieve this program successfully, teachers must support each design process in detail. Various kind of electronic devices have created through this program, suggesting that they have affluent potential in electronic circuit design and creativity.

(Keywords: electronic engineering laboratory, electronic circuit, creativity, design)

## 1. はじめに

電子工学科では創造性と実務能力を育むものづくり教育を強く推し進めるために、これまで整備してきた学生実験設備を最大限に生かしつつ学生実験、講義に様々な方法を試みている。現在の実験設備は各自が基本的な回路系実験をこなせる様に以下の様な実験セットをクラス人数分用意している。

- 1) オシロスコープ
- 2) トラッキング正負直流電源
- 3) 直流電源
- 4) オシレータ
- 5) 交流電圧計
- 6) デジタルマルチメータ

以上の様な設備を利用して各学年にもものづくり関連実験/講義を整備してきた。(1,2,3)

2年 電子工学実験ⅠⅠ

3年 デジタル回路・コンピュータ工学  
電子回路Ⅰ

4年 プロジェクト演習・コンピュータ応用、  
電子回路ⅠⅠ、電子材料

5年 電子工学実験ⅠⅤ

従来からあるようなマニュアル的な実験は、初期においてはではレポート作成の訓練として必要と考えるが、高学年になるにつれて能動的に自由な発想を巡らせ、かつそれを実現する実務訓練にシフトす

る方が望ましいと考えている。

従来、学生実験は実験テキスト通りに進めてレポートにまとめる形式が多かったが、実態は作業的な要素が多く、レポートの課題にしてもインターネットを利用するようになり従来とは環境が変わってきた。このため従来の学生実験方式では近年の学生に対する教育的効果に疑問がある。創造性を伸ばすには、能動的に自分で考えてアイディアを出し、試行錯誤しながら実現していく過程の経験が必要だと考えられる。従来は卒業研究が各自の創造性を発揮する場であったのであるが、卒研やマニュアル的なものづくり教育はどこかの大学でもやっている。高専ではものづくりに関して、大学ではできない様な中身の濃い指導をすることが可能であり独自のやり方で効果的に学生の潜在能力を引き出したいと考えている。

とはいえ、学生実験の全テーマを一度白紙に戻して最初から構築することは難しいところがあるので、電子工学科では3, 4年の講義の中にもものづくり的な内容を含めることから始まった。材料系は回路系に比べてやりにくいところがあるが、4年電子材料の講義において感覚的に物性の特性を理解できるような実験内容を導入し、2010年度からは液晶デバイスの作製実験を組み込んでいる。(3) さらにものづくりに早い段階から慣れて興味を持てるように2年の学生実験の内容を一新し、早い段階から回路工作的な要素を取り込めるようにした。以上の様にして5年まで系統的に物づくり的なセンスを身に付けられるようにカリキュラムの整備を

進めつつある。

ものづくり教育の総仕上げとして5年学生実験（電子工学実験ⅠⅤ）ではデジタル回路、アナログ回路の基本回路を含むオリジナル装置の設計・製作を課している。このような内容の学生実験を始めてから5年が経過したので、これまで得られた知見について報告をする。

### アナデジ混在オリジナル製作課題導入の背景

ラジオ少年という言葉が使われなくなって久しい。現在は機能が充実して高性能な製品が安価で手に入り、かつ中身はブラックボックス化しているせいか自分で装置を作るモチベーションがわからないのかもしれない。筆者が十代の頃は、ほしくなるような電子装置は概して値段が高く容易に手に入るものではなかった。そのようなものに対するあこがれ、渴望感は大変強く、常に何かの装置を自らの手で実現するために努力していた。買うことはできないが、自分で努力して作れば手に入れることができたのである。マランツ#7のコピー、2トラ38、3ヘッドカセット、高性能レコードプレーヤー、大容量スピーカー、DCアンプ、高性能FMチューナ、ラジオコントロール装置、高性能トランシーバ、カラーパターンジェネレータ、ホッケーTVゲーム等々、今思うと実に様々なものを製作したものである。秋葉原のジャンク屋をあさり、粗大ごみで使えそうなものを見つけ持ち帰っては分解・修理、あるいはそれらを利用して何かを製作するのが日常であった。高度成長時代を支えた電子技術者の多くは似たような経験を持っているはずである。当時はエレクトロニクス工作系の雑誌や解説書がいくつも刊行され、電子装置の多くがディスクリート部品で作られており、系統的に中身を理解しやすかった。テレビは個人や電気屋が修理するのが当たり前、テレビやオーディオ装置などの回路図やサービスマニュアルはオープンで入手が容易であった。現在の学生はそういう意味でのモチベーションがなく、物質的には満たされている。エレクトロニクス製品が安くなりすぎたために、自分で部品を集めて何か作るとかえってお金がかかる時代である。学生の質は年々変化しており、以前はクラスに数人電子回路に強い“回路おたく”がいたものであるが、最近は個人でもものを作る学生は希少になってしまった。とはいえ、現在は高度な機能を持った様々な部品が比較的安価に入手可能で、かつインターネットで容易に情報を得ることができる。秋葉原のジャンク屋は今

2

では数えるほどしか残っていないが、その代わりにインターネットオークションで様々なもの入手することができる。エレクトロニクス工作系の雑誌も復活してきた。自在にエレクトロニクス装置が作れるようになれば、TVゲームなどをやるよりずっと面白いはずである。しかし今の学生を見ると講義や実験などで興味を持つきっかけ作りをしてやらないと、ほとんどは永久に何かを作ろうという気にならないように思える。そういう意味で早い時期にオリジナル製作に興味を持たせるような環境を作りたいと考えている。

5年の電子工学実験は当初、全員でステレオパワーアンプの製作をするものであった。回路的な改良を加えて回路設計の基礎を理解しながら製作し、最後は各自が持ち帰って使用できるようにしたが、結果的に作品を持ち帰らないものが多く出てしまった。RCA端子の入力を備えた従来のステレオアンプの形をとっていたために使いにくかったことが一因であると考えられるが、誰もがステレオアンプを必要としているわけではない。これをきっかけに内容の大幅な見直しを行い現在のような形になった。

### 実験の内容

従来のマニュアル的な内容から抜け出して自由課題的なものづくりをテーマにしたが、教育的効果を考慮して以下の様な条件を設けている。

- 1) 予算は原則4000円以下
- 2) 3種以上のアナログ基本回路を含むこと。
- 3) デジタル回路を含むこと。ただしデジタルロジックがIC4つ以上となる場合はPICなどのマイコンを用いてよい。単純なロジック回路の実現に安易にPICマイコンを用いることは認めない。
- 4) アナログ回路、デジタル回路は機能的にリンクしていること。異なる回路を単純に合わせただけの構成は認めない。
- 5) 機能的に完成した装置であり、きちんと実装され、外観もきちんとしていること。
- 6) オリジナルな設計であること。回路中に使われる部品を選択した理由、抵抗やコンデンサなどの値をどのように決めたか説明すること。引用した回路を使う場合でもきちんと動作説明ができて抵抗、コンデンサなどの値がどのようにして決められたか説明すること。

- 7) スペシャルファンクションICの使用は認めるが、アナログ、デジタルの条件にはカウントしない。
- 8) ジャンク部品は活用してよく、かつ費用に含めない。
- 9) 持ち帰って自分で使いたいものであること。
- 10) 自分の能力を認識して手の届くレベルの範囲内で計画すること。

アナログ/デジタル基本回路のカウントについては、回路によってカウント数がいまいにならないように基準を作成して、あらかじめ学生に配布している。実験テキストはないので、自分の考えたアイデアを実現するためには、4年までに習った回路技術の範疇を越えて様々な回路技術を調べて理解しなければならない。独自に考えているか、どこからか引用した回路であるかは、回路図を見れば大体わかる。最近は Web を参考にすることが多いが、アマチュアによる中途半端な設計であったり、回路が間違っているのに指摘されるまで本人が気付かないことがある。いずれにしても、他人の設計した回路をまねて作るだけの内容は認めていないので、各自の理解できる範囲で設計を進めることになる。このため設計レポートの内容は各学生の実力が強く反映され、基礎のできている学生は理論計算などが理路整然とまとめられている。ジャンク部品は大いに活用してもらいたい。ジャンク部品を活用するにはそれなりの知識や評価技術が必要であり回路技術に関する能力向上に有効である。

## スケジュール

表1に全体のスケジュール例を示す。5年前期で設計から製作・評価まで行い、梶田際で作品の発表をする。

**1. 保護者向けプレゼン資料提出** 製作費用は原則4000円以内としているが、費用を出すのは保護者である。そこで出資者である保護者から実験内容の理解を得るために、学生が保護者向けに内容の説明を行い出資の承諾を得るところから始める。製作するものの概要をまとめた資料を作成し、実験の案内資料と併せて保護者宛に郵送する。

**2. 設計レポート提出** プレゼン資料では製作する物の概要だけであったが、設計レポートでは製作

する装置について具体的な設計内容を要求している。

- 1) 装置の概要、機能、外観についての説明
- 2) ブロック図
- 3) 信号のレベルダイアグラム
- 4) 各ブロックの回路設計
- 5) フローチャート（マイコンを使用する場合）

以上の様な設計レポートの内容を確認して設計の中で不備な点、間違っている点などの指摘を行う。使用するパーツが入手しやすいものかどうかにも配慮する必要がある。さらに学生は製作する回路についてどのように測定データをまとめればよいかわからないことが多いので、最終レポートにまとめるにあたって必要な測定項目を指示するようにしている。以上の指摘事項を表にまとめて配布する。コメントの例を表2に示す。

表1 2010年度スケジュール

|    |               | 内容                |                                       |
|----|---------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1  | 4月6日          | オリエンテーション         | アイデアのまとめ<br>プレゼン資料作成<br>(費用の概算見積もり含む) |
| 2  | 4月13日         | プレゼン資料提出          | 設計開始<br>プレゼン資料保護者へ送付                  |
| 3  | 4月20日         | 基本設計<br>パーツリスト作成  | 内容確認                                  |
| 4  | 4月27日         | 第1回買出し            | 製作開始                                  |
| 5  | 5月11日         |                   |                                       |
| 6  | 5月18日         | 第2回買出し            |                                       |
| 7  | 5月25日         |                   |                                       |
|    | 6月1日～7日       | 中間試験              |                                       |
| 8  | 6月8日          | 動作理論、設計に関するレポート提出 |                                       |
| 9  | 6月15日         |                   |                                       |
| 10 | 6月22日         |                   | 修正項目指摘・評価項目指示                         |
| 11 | 6月29日         |                   |                                       |
| 12 | 7月6日          |                   |                                       |
| 13 | 7月13日         | 特性測定              |                                       |
| 14 | 7月27日         |                   |                                       |
|    | 8月2日<br>～8月9日 | 前期末試験             |                                       |
|    | 8月10日         | レポート・作品提出         |                                       |



### 3. 秋葉原への買い出し

最近では電子の学生でも秋葉原に電子部品を購入しに行った経験のないものが多いことから、クラス全員で秋葉原に部品の買い出しに行くようにした。秋葉原のパーツショップは減ってきているが、駅周辺ではまだ健在である。図1の様なマップを配布して当日各自に買いに行かせる。中途半端な準備で買い物に行くと、時々パーツショップのベテラン店員から質問や説教を受け、時には部品についてうんちくを長く語られることがあるが、学生にとっては貴重な経験である。最初の買い出しですべての部

品が揃うことはほとんどなく、買い残しや設計変更などにより2回以上行く必要が出てくる。このためゴールデンウィークの前後に2回買い出しに出かけることにした。買い物は各自がばらばらになって行動するが、どの店に行けばよいか、部品が見つからなかった場合どのような対策をすればよいかなど、現地で相談に乗れるように1時間ごとに待ち合わせ場所で質問を受け付けるようにしている。点呼は朝と夕方を取っている。

### 4. 製作

設計・製作を行う場所は特に指定していないが、基本的に各研究室あるいは電子工学実験室で進める。

### 5. 作品のデモ・プレゼンテーション

作品とレポート提出に加えて最後にプレゼンテーションを行うことにしている。当初は各自スライドを使ったプレゼンテーション及び作品のデモンストレーションを行っていたが、スケジュール的に難しくなってきたことから、現在は櫛田際で展示とデモンストレーションを行うようにしている。A3サイズ2枚程度のポスター制作を行い装置とともに展示する。櫛田祭中はシフト表を作って入場者に説明をするようにしている。

表2 設計レポートに対するコメント例

|             | レベル<br>ダイヤ<br>グラム | ブロック<br>図 | コメント                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 測定項目                                                                                                                                                                          |
|-------------|-------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| カラオケ効果音アダプタ | ○                 | ○         | <ul style="list-style-type: none"> <li>*抵抗だけで仮想アースにしている、LEDの電流まで流すわけですが、R27.28が10kΩだと無理がある。抵抗をもう少し小さくすれば可能だが無駄なエネルギーを消費する。OPAMPのバッファを入れた方がよい。</li> <li>*電源スイッチなし</li> <li>*電源側にはコンデンサ必要。パスコンも記入する。</li> <li>*電源電圧不明</li> <li>*LFOの動作原理説明する</li> <li>*デジタル部未実装。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>*R17をより直流電圧をかけ、入力電圧vsフォトカプラ受動側抵抗値</li> <li>*発信回路出力波形</li> <li>*正弦波入力時 入力波形 vs 移相器各OPAMP出力波形</li> <li>*実使用テスト</li> <li>*消費電力</li> </ul> |
| 照度計         | ○                 | ○         | <ul style="list-style-type: none"> <li>*動機は面白いけれども、オーロラの観測なら照度ではなく光度測定？照度としてはあまりにも小さいので秋葉原の小さな店で買った程度のセンサで測定するのは難しい。蛍光灯の影響を考慮しているの、どれくらい室内用照度計？</li> <li>*照度の定義について説明。</li> <li>*センサを2個用いて変動増幅する理由を説明</li> <li>400nmの補償をするだけなら2回路必要ない。温度補償も考えてのことですか？もっと詳しく説明する</li> <li>*最近の蛍光灯はほとんどがインバータ方式なので発光の周波数は数千Hz。フィルタ設計の再検討が必要。</li> <li>蛍光灯下でのセンサ出力をスペアナで計測しておくこと</li> <li>*I-V変換の感度切り替えは配線の引き回しに注意。長くなると不安定になる。</li> <li>*電源回路、デジタル部未記入。電源電圧不明、装置の外観、使用部品不明。追加して再提出</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>*光強度 vs I-V変換出力</li> <li>*フィルタ周波数特性</li> <li>*消費電力</li> </ul>                                                                          |
| イコライザアンプ    | ○                 | ○         | <ul style="list-style-type: none"> <li>*入力IC3(1/2)はチャージによりVDDバイアスがかかるので、10-100kΩ程度の抵抗で接地する</li> <li>*出力にローパスフィルタを入れてSPのインピーダンス変化に対応する</li> <li>*デジタル部で何をやらうとしているか説明なし</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>*各共振エレメントの周波数特性</li> <li>*イコライザ部 いくつかの設定における周波数特性</li> <li>*消費電力</li> </ul>                                                            |

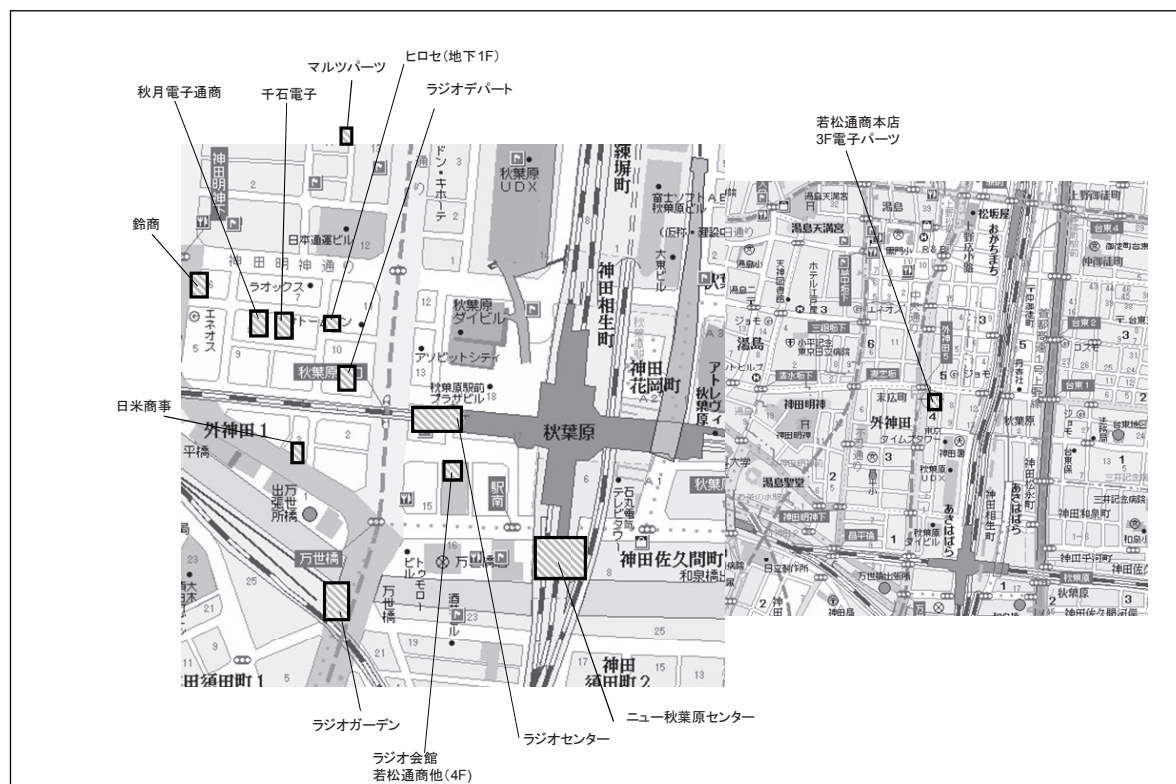


図1 買い物マップ

## 6. 評価

実用装置の製作ということなので、製作した装置とレポートの内容で評価している。内部の実装技術、パネルの仕上げ、デザイン、機能性などを評価し、各部がきちんと固定されているかなど、中をあけて確認する。さらにレポート通りの動きをするか等、必要に応じて本人立ち会いのもとで動作試験を行う。レポートについては理論計算、オリジナリティ、チャレンジ性、測定結果と考察などについて評価を行う。図2～図21にこれまで提出された作品例を示す。作品の内容はバラエティに富んでおり、クラブ活動や音楽などの趣味に関連したもの、日常生活に関連したもの、オーディオ、ゲームなどさまざまである。個人での製作経験が無い学生でも電子ボリュームやPICを使用するなどしてそれなりに動くものを実現しており、3年、4年の物づくり系授業でやった経験が多くの作品に反映されているのを感じる。

### 実装技術について

3,4年で回路工作的な内容を学んでいるが、現状では実装技術に関して指導する機会がほとんどない。製作の経験がないものに実装技術について講義で説明しても身につくものではなく、シャーシの加工法などの基本的工作技術などは5年で実用装置を作る際に個別に対応することになっている。アースについても同様である。通常の学生実験の電子回路では回路図通りに配線すれば動くものを扱う。しかし高周波やパワーエレクトロニクス回路、アナログ/デジタル混在回路などでは回路図に表れていないノウハウを知らなければ動かないことが多いのである。実務に強い学生として、そのようなことに気づいて卒業していてももらいたいものである。アースの取り方は実用回路を構築するにあたって極めて重要であり、アースが悪いとともに動かないことが多い。旧海軍戦闘機の無線機は飛行中に使い物にならなかったが、単にアースの取り方が悪かっただけなのである。アース設計のコツは回路によって様々であり、このようなノウハウ的なものは実際に製作している者には重要性が認識されるので個別に対応するようにしている。実装技術はプロの設計を見て学ぶ方がよいと考えている。筆者は様々な装置の分解・修理を通して実装技術について経験的に身につけてきたところがある。そこで今後の学生実験として実用装置の分解をおこない、実装技術や

そこに使われている部品に関する調査をするテーマを4学年に導入したいと考えている。分解する装置はアンプでも洗濯機でもよく、ジャンク装置は容易に手に入る。

### 効果と今後の方針

大半の学生は自分なりに考え、調査しそれなりの物を製作する。一方、少数ではあるがどうしてもモチベーションが上がらない者や工作に向いていない者が存在する。今後はそのような学生が増える可能性を考慮する必要があると考えており、一つの案として2～4年の学生実験等でアンプなどの機能ユニットを製作させ、5年ではそれまでに製作したユニットを組み合わせても条件をクリアできるようにすることを検討している。

本学生実験は5年前期であるために受験や就職を控えた学生からはこの時期にやるのはきついという意見が時折聞こえる。新しい物を創造し実現させる作業は学生にとって大変であることは分かっている。一方、指導する側も各学生の設計を個別に理解していかなければならない。提出される設計レポートは回路技術の広い範囲にわたっており全てに対応する必要がある。しかし学生の創造性を養うために効果があると信じて続けてきた。学生が製作するものなので、実用機を目指しているといっても限度はある。製作し終わってからやけにノイズが多いなどの相談を時々受ける。アースの取り方や部品の配置が悪いことに気付かずに進めてしまったためである。ケース加工や配線を終えた後なので手遅れになっていることがあるが、しかしそれでいいのである。そのようなことに気づいてくれればこの学生実験は成功である。学生は異口同音に、今度作る時はもっといいやり方でもっと良いものを作りたいと言う。実際に作るかどうかはともかく、レポートには多くのことが身に着いたと、前向きな感想が多く述べられており、苦労しただけの効果は上がっていると考えている。

### 参考文献

- [1] 小池 “小さな失敗の積み重ねを経験させるものづくり教育の試み” 工学教育、52-5、(2004)37.
- [2] 青木、小池 “ものづくりに根ざした創造性を引き出すマイコン技術教育の試み” 平成15年度工学・工業教育研究講演会、(2003)271.
- [3] 永吉、小池 “半導体物性に親しむための実験授業” 東京工業高等専門学校研究報告書、41、(2010)65.



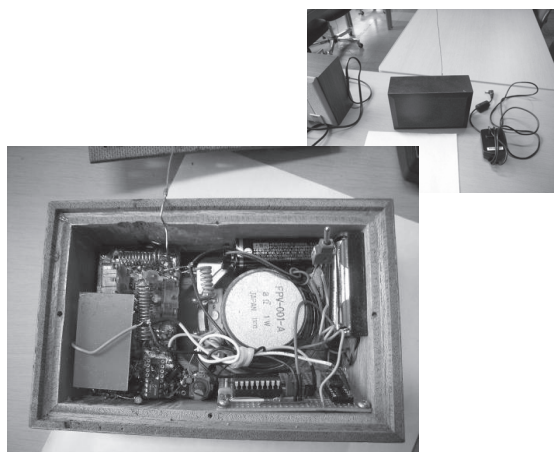


図2 VHF帯レシーバ ボーイスカウトのキャンプで各テントに連絡をするための装置。受信していないときは自動的にスタンバイモードになり電力消費を抑える。最初は整然と部品を基板上に並べて作ったが動作せず、3回目に作り直したときは空中配線だらけになったがなんとか動作した。

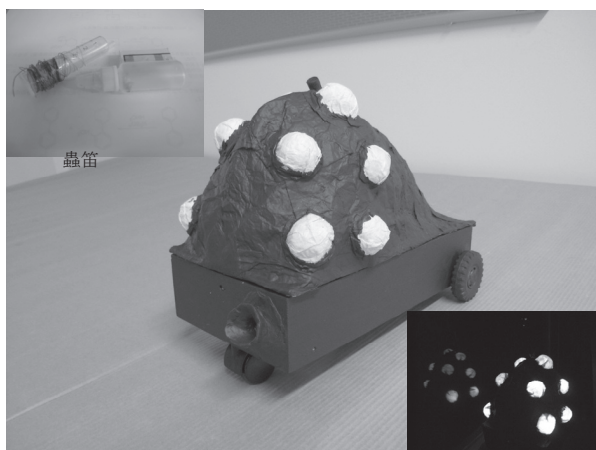


図3 風の谷のナウシカに出てくるウォームをイメージした。虫笛に反応してLEDの発光色を変化させながら動き回る。虫笛だけに反応するように音響スペクトル測定を行い、適切なフィルタ設計を行っている。モーターの発する音声ノイズに悩まされたが何とかクリアした。



図4 LEDの上下方向の位置に合わせてマイクに入力する声の大きさを調節するとLEDの点灯が前に進みゴールできる。ゴールするまでの時間を競うゲーム。シンプルだがアイデアが良い。

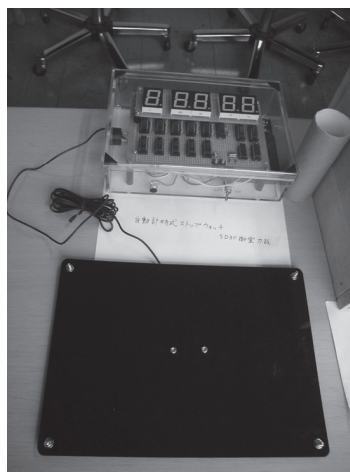


図5 水泳競技のタイム測定器。スタートのピストル音を検知してカウントを開始し、タッチボードに触れたら時間を表示する。タッチボードのセンサーは圧電スピーカーを利用。マイコンを使わずハードロジックで組み上げた。

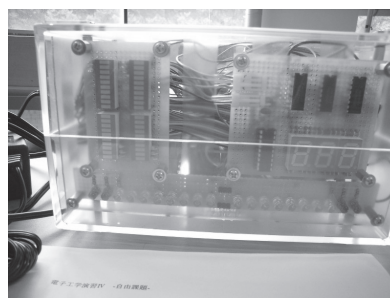


図6 乗車中に感じるGをバールグラフで表示する車の乗り心地表示装置。ドライバーの運転技術が判断できる。3軸方向の表示が可能。半導体加速度センサーを用いた。



図7 勉強していて眠くなると警告音を出す装置。ペンを握る力が緩むとIR通信で筆箱にあるアラームに信号が送られる。ペンの中に回路を組み込む工作に大変苦労した。

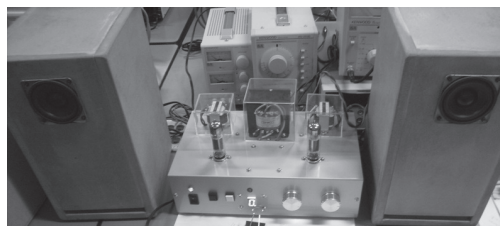


図8 毎年数名は真空管アンプの設計に挑戦する。レベルメーター、ボリュームの表示、タイマー電源などにデジタルの機能を適用することが多い。コストを抑えるのに苦労する

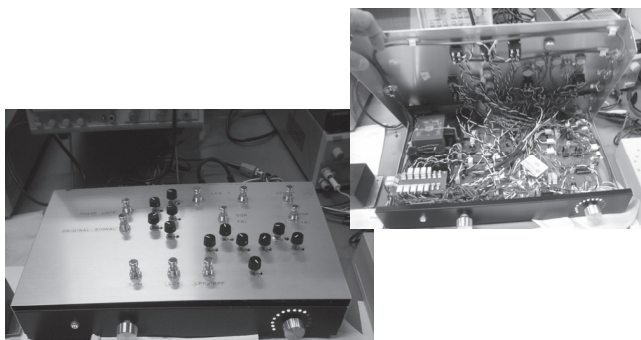


図9 楽器用サウンドエフェクタ。ボリュームの大きさをLED表示するなど、製作者のこだわりが出ている作品。



図10 BBD IC を用いたサラウンドアンプ。アナログ遅延 IC の使い方にとまどったが、最後はきれいにまとめた。写真はスピーカーを鳴らしてデモンストレーションしている様子。



図11 マジックアイとステップモータを用いたオーディオレベルメーター。ステップモータをレベルメーター表示に使うところが面白い。コミカルな動きをする。

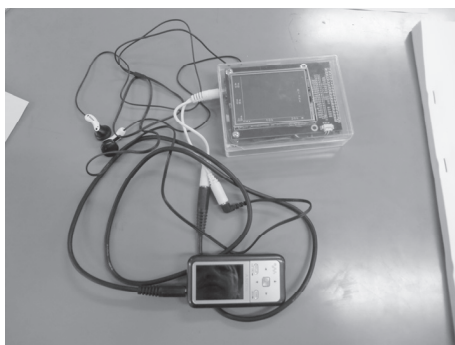


図12 オーディオスペクトラムアナライザ dsPIC 使用。表面実装部品を用いてコンパクトにまとめた。ドットマトリクスカラー液晶を使用し操作はタッチパネル式。

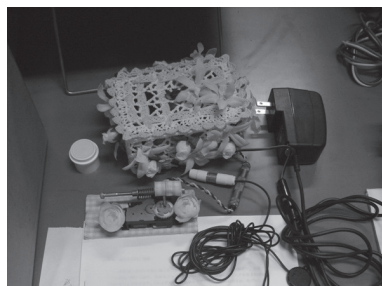


図13 トイレでノックされたときに自動的にロックをかけノックを返してくれる装置。女子学生作品。時に想像を絶するアイディアに出くわすことがある。

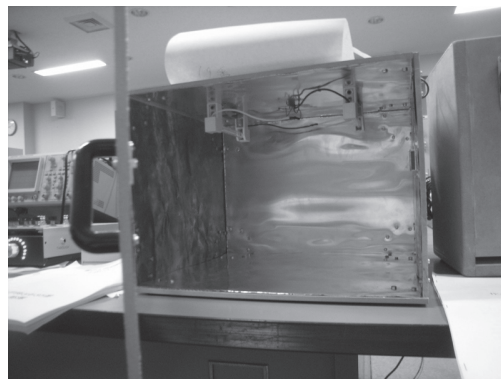


図14 食品保温装置。ハロゲンランプで加熱、温度はマイコン制御。

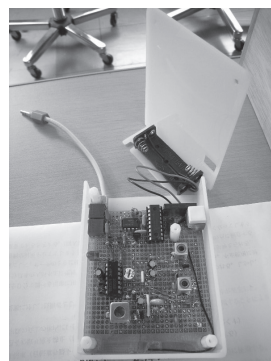


図15 FM ステレオトランスミッタ アクリルをていねいに加工しコンパクトなケースにまとめた。フォトMOSFET を使用して一定時間入力がない場合オートパワーOFF する機能を備える。参考にした回路図が間違っていて最初は苦労した。

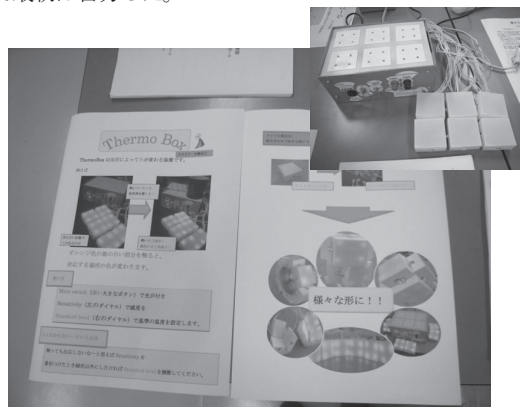


図16 温度分布をカラーLEDで表示する装置。各ユニットのLED に温度センサが取り付けられている。





図 17 2010年梶田際における展示の様子。

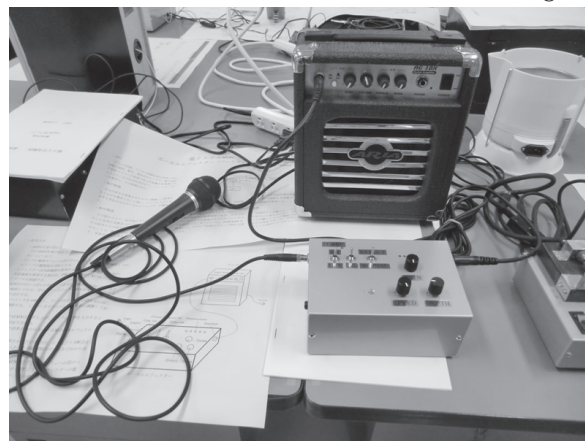


図 19 フェイズシフターによるカラオケ用ボーカルエフェクター。

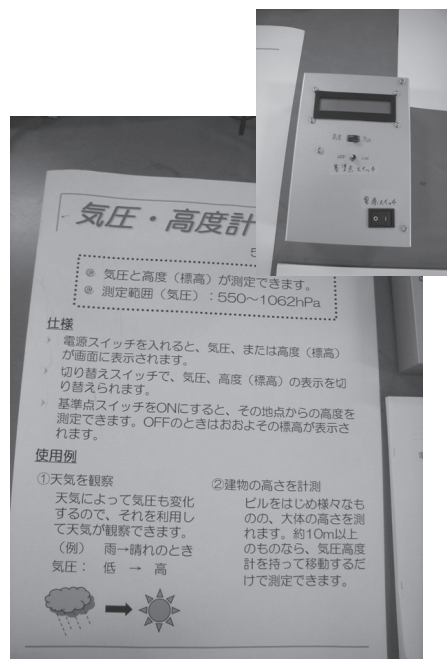
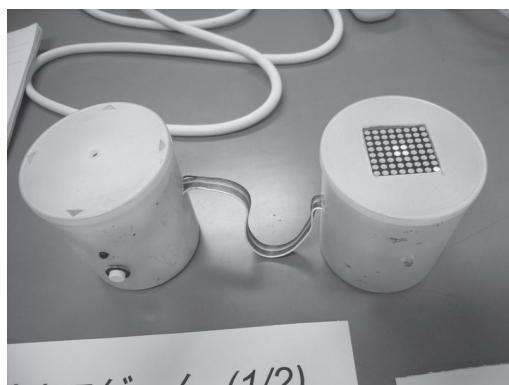


図 20 気圧・高度計 圧力センサの取り扱いと校正に苦労した。校正のための真空容器を作製して実験データ取得。

## IR通信オセロゲーム (2/2)

**〇遊び方**

- ①電源スイッチを入れます。電源用LEDが光り始めます。
- ②ドットマトリクスLEDがオセロの駒の位置に点灯します。
- ③操作部を傾けると、その方向に駒が動きます。動かしている駒と逆の色を挟める位置に置き、選択用スイッチを押すと、挟まれた駒の色が反転します。
- ④2人で交互に③を繰り返します。オセロのルールと同じように、全て打ち終わるとゲーム終了です。

※隠し機能について

動かせる駒が盤上にある駒と重ならないところで、選択スイッチを押しながら、左、右と傾けます(傾ける順番はどちらが先でも可です)。

この状態でスイッチを離しても、本来は何も起こらずゲームが続きますが、表示部の赤外線LEDとフォトランジスタを向かい合わせた状態でスイッチを離すと、隠しコマンドを使用したプレイヤーが2回続けて打つことができます。

なお、オセロ本来の機能ではない上、初手で行うと相手の駒がなくなるので、本当にピンチの時のみ使用できる隠し機能として加えました。

今回は隠しコマンドとして赤外線LEDの送受信機能を使用しています。なお、前述の通り自然光などは遮断される設計なので、通常の遊び方で誤ってこの機能が働くことはありません。

図 18 IR 通信オセロゲーム。IR 通信にこだわった。

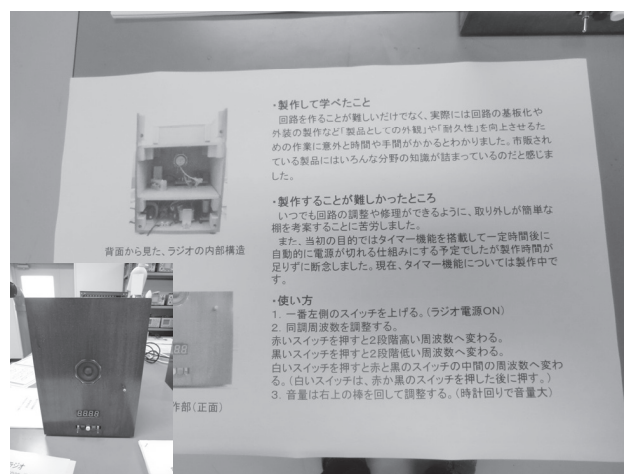


図 21 デジタルチューニングAMラジオ。電子同調回路を実現するためにバリキャップダイオードのCV特性を実測して設計をしている。

(平成 23 年 1 月 7 日 受理)

# ユビキタス情報化社会の実現に向けた通信技術の一検討 —スペクトル拡散を応用した長距離無線通信の研究—

土居信数\*, 滝澤尚也\*\*

A study of communication technology for realizing a ubiquitous information society  
(Long-distance radio communication method applying spread spectrum)

Nobukazu DOI and Naoya TAKIZAWA

Long-distance radio communication technology is required to achieve ubiquitous information society with sensors embedded in any place or thing. In this paper, the relationship between transmission distance and data rate from the Shannon's theorem is derived, and applying this modified theorem, we propose a new method of long-distance radio communication on spread spectrum technologies. It can be realized by changing the radio signal processing in the control center without changing that in the radio sensors which lower-cost and smaller-size features are strictly required. Therefore, this research is considered useful in realizing a ubiquitous information society, especially where that long-distance communication is needed.

(Keywords: Ubiquitous, Shannon's theorem, spread spectrum, long-distance communication)

## 1. はじめに

情報通信技術の発達は社会の情報化を加速し、あらゆるモノや場所に埋め込まれた通信機能の付いたセンサーから得られる情報を活用するユビキタス情報化社会が実現されようとしている。

センサーに搭載する通信装置はその用途により異なるが、小型化、低コスト化、低消費電力化等の条件の厳しい普及タイプとしては、現在のところRFID(Radio Frequency IDentification)が有望視されている。

RFIDには、電池を内蔵しないパッシブタグと、電池を内蔵するアクティブタグの2種類がある<sup>1)</sup>。それぞれの通信距離は、パッシブタグが約1m、アクティブタグが数十mである。

しかし、例えば農業への応用等<sup>3)</sup>のように、現実にはさらに長距離の通信を必要とするケースが多数存在する。したがって、RFIDのメリットを生かしたまま通信距離を拡大させることができれば、ユビキタス情報化社会の実現は一層促進されると思われる。

本報告では、条件の厳しいセンサーに搭載する無線機は変更することなく、比較的自由度のある管理センターにある無線機の信号処理を変更するだけで、長距離通信を可能とする無線通信方法に

ついて検討する。

## 2. シャノンの定理のからの考察

シャノンの定理では、通信容量  $C$  の理論限界は次式で規定される。

$$C \leq W \times \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

ここで、 $W$  は通信路の帯域幅、 $S$  は信号電力、 $N$  は雑音電力である。いま、受信電力が通信距離  $D$  の  $\alpha$  乗に比例して減衰すると仮定するとき、式(1)から次の関係が導出できる。

$$D \leq \left\{ \frac{a}{N} \times \frac{1}{\left( \frac{C}{2W} - 1 \right)} \right\}^{\frac{1}{\alpha}} \quad (2)$$

ここで、 $a$  は定数である。したがって、通信距離  $D$  は、 $C$  を小さく（通信速度を低く）することで拡大できることが分かる。

## 3. スペクトル拡散通信の応用

### 3. 1. 周波数ずれによる性能劣化

式(2)に示すシャノンの変形定理を帯域幅  $W$  のスペクトル拡散通信に当てはめると、拡散系列長を長く（通信速度を小さく）することで、通信距

離  $D$  を拡大できることが分かる．

しかし，実際の通信機では，送受信機間には僅かなキャリア周波数のずれがあり，これが原因で逆拡散期間に受信信号の位相が回転する．その結果，正しい処理利得が得られなくなり，通信距離  $D$  が制限される<sup>4)</sup>．

スペクトル拡散の正規化処理利得  $G_p$  は，逆拡散期間に発生する位相回転を  $\theta$  とするとき次式で与えられる．

$$\begin{aligned} G_p &= \sqrt{\left(\frac{\int_0^\theta \cos x dx}{\theta}\right)^2 + \left(\frac{\int_0^\theta \sin x dx}{\theta}\right)^2} \\ &= \frac{1}{\theta} \sqrt{\sin^2 \theta + (1 - \cos \theta)^2} \\ &= \left| \frac{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\frac{\theta}{2}} \right| \end{aligned} \quad (3)$$

図 1 にキャリア周波数を 40KHz, チップ速度を 1kc/s, 周波数安定度を 10ppm とした場合の，拡散系列長  $L$  と正規化処理利得  $G_p$  の関係を示す．

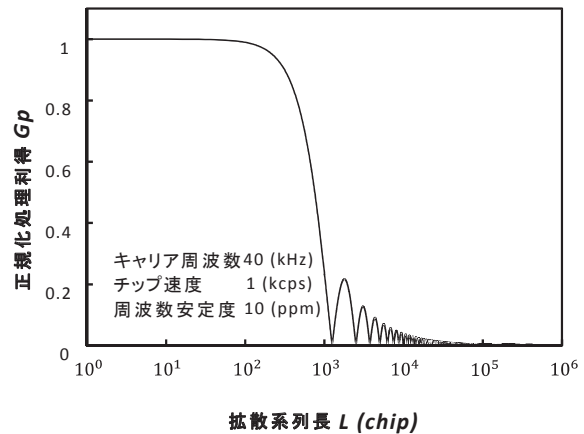


図 1. 周波数ずれによる性能劣化

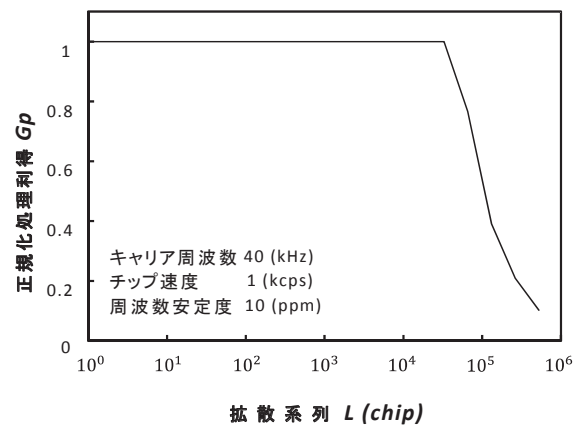


図 2. 時間ずれによる性能劣化

### 3. 2. 時間ずれによる性能劣化

キャリア周波数以外にも，送受信機間には僅かなデータクロック周波数のずれが生じる．その結果，逆拡散期間に拡散系列のチップずれが起こり，同様に正しい処理利得が得られなくなり，通信距離  $D$  が制限される．

図 2 に送受信機間に逆拡散期間に生ずるチップずれと処理利得の関係を示す．実際の通信では，周波数ずれと時間ずれの両方の影響を同時に受ける．

## 4. スペクトル拡散を応用した長距離無線通信

### 4. 1. 周波数ずれ補償

#### (1) 周波数軸アプローチ

キャリア周波数ずれを周波数軸から見てずれ補償する周波数軸アプローチについて検討する．送受信機間の周波数は，発振器の製造バラツキや温度等の使用環境が原因で変動する．しかし，逆拡散期間は十分短く，ここでは逆拡散期間内の周波数変動はないと仮定する．

周波数アプローチでは，キャリア周波数ずれを周波数軸から補償する．いま，送受信機のキャリア周波数を  $F[\text{Hz}]$ ，発振器の周波数安定度を

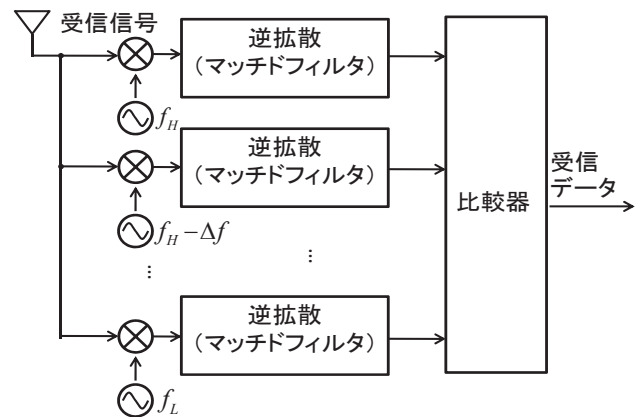


図 3. 周波数軸アプローチのフロー

$A[\text{ppm}]$ ，チップ速度を  $R_c[\text{cps}]$ ，拡散系列長を  $L[\text{chip}]$ ，逆拡散過程で許容される位相回転を  $\alpha[\text{rad}]$  とする．

このとき，キャリア周波数  $F$  の上限  $f_H$  および下限  $f_L$  は次式で表わされる．

$$f_H = (1 + 2A)F \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

$$f_L = (1 - 2A)F \quad [\text{Hz}] \quad (5)$$

周波数軸アプローチは， $f_H$  から  $f_L$  までのずれ

周波数を，周波数ピッチ  $\Delta f$  間隔に分割し，各周波数で受信信号のキャリア復調及び逆拡散を行い，最大値を受信データとして検出する．図 3 に周波数軸アプローチのフローを示す．

周波数軸アプローチの正規化処理利得  $G_{ps}$  は，逆拡散過程で位相が  $\alpha$  回転する場合，式(3)の  $\theta$  に  $\alpha$  を代入することで与えられる．

つぎに，周波数軸アプローチの演算量を求める．拡散系列長  $L$  は， $\Delta f$  を用いると，

$$L = \frac{1}{\Delta f} \times \frac{\alpha}{2\pi} \times R_c \times 2 \quad [\text{chip}] \quad (6)$$

で与えられる．これから  $\Delta f$  は，

$$\Delta f = \frac{\alpha R_c}{\pi L} \quad [\text{chip}] \quad (7)$$

となる．帯域  $4AF$  のずれ周波数は  $\Delta f$  により  $n$  分割される．

$$n = \frac{4AF}{\Delta f} \quad (8)$$

$$= \frac{4\pi AFL}{\alpha R_c}$$

したがって，逆拡散にマッチドフィルタを使用するとき，周波数軸アプローチの演算量  $N_s$  は次式で与えられる．

$$N_s = n \times L(L-1) \approx \left( \frac{4\pi AF}{\alpha R_c} \right) \times L^3 \quad [\text{回}] \quad (9)$$

周波数軸アプローチの演算量は， $L$  の 3 乗に比例して増加する．

## (2) 時間軸アプローチ

つぎに，キャリア周波数ずれを時間軸から見てずれ補償する時間軸アプローチについて検討する．

式(3)で与えられる正規化処理利得  $G_p$  は，逆拡散過程に発生する位相回転  $\theta$  が小さいとき，ほとんど劣化しない．例えば， $\theta$  が  $\pi/4$  のときの  $G_p$  は約 0.974 である．時間軸アプローチはこの特徴を利用する．

時間軸アプローチの動作手順を説明する．図 6 にその動作を示す．

### (i) 拡散系列を部分系列に分割

長さ  $L$  の拡散系列を，位相回転が  $\alpha$  [rad] となる長さ  $\Delta L$  の部分系列に分割する．ここで， $\alpha$  は処

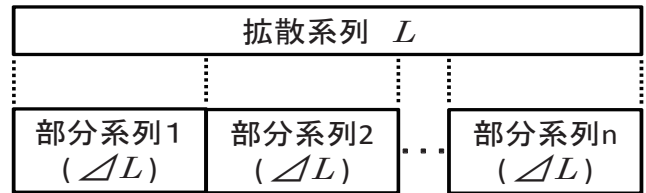


図 4. 拡散系列の分割

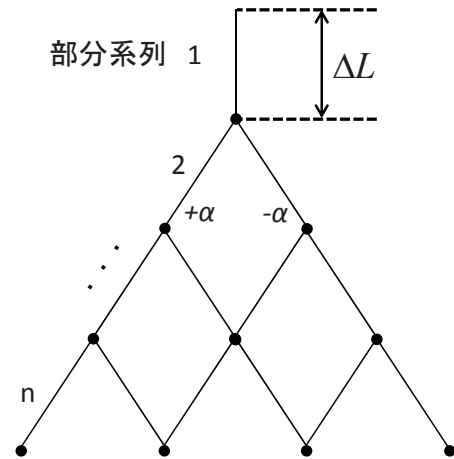


図 5. 二分木の構成

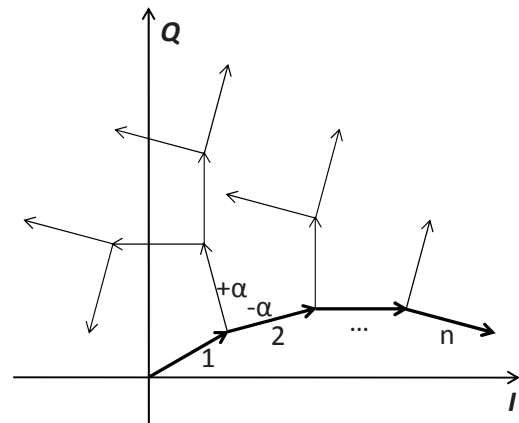


図 6. 時間軸アプローチの動作

理利得  $G_p$  の劣化が許容できる位相回転である．

図 4 に拡散系列の分割を示す．

### (ii) 部分系列の逆拡散

受信信号に対して，各部分系列ごとに  $I, Q$  直交軸で逆拡散を行う．逆拡散結果は  $I, Q$  軸上のベクトルとして扱う．

### (iii) 二分木の構成

部分系列の逆拡散ベクトルは，位相を  $\pm \alpha$  回転した 2 本の枝に分岐される．この操作を拡散系列の最後まで続け二分木を完成させる．図 5 に二分木の構成を示す．

### (iv) ベクトル和の最大値の検出

二分木の初期状態から最終枝までの  $n$  個のパス



の逆拡散ベクトルのノルムを求める．最後に，ノルムが最大となるパスを逆拡散データとして検出する．

時間軸アプローチの正規化処理利得  $G_{pt}$  は，部分系列ごとに位相を  $+\alpha$ ， $-\alpha$  交互に回転する場合に対応し，式(3)で求めたのと同様に次式で与えられる．

$$\begin{aligned}
 G_{pt} &= \sqrt{\left(\frac{\int_0^\alpha \cos x dx}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{\int_0^\alpha \sin x dx}{\alpha}\right)^2} \\
 &\times \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sqrt{\left(\sum_{i=0}^{n-1} \cos(\alpha - i(\alpha - \theta))\right)^2 + \left(\sum_{i=0}^{n-1} \sin(\alpha - i(\alpha - \theta))\right)^2} \\
 &= \left| \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\frac{\alpha}{2}} \right| \times \left| \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right| \\
 &= \left| \frac{\alpha}{2} \times \frac{1}{2} (\sin \alpha + \sin 0) \right| \\
 &= |\sin \alpha|
 \end{aligned} \tag{10}$$

つぎに，時間軸アプローチの演算量を求める．

$\Delta L$  は，拡散系列長  $L$  を式(8)で規定する  $n$  個に分割する．すなわち，

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= \frac{L}{n} \\
 &= \frac{\alpha R_c}{4\pi AF} \quad [\text{chip}]
 \end{aligned} \tag{11}$$

となる．時間軸アプローチの演算量  $N_T$  は，各部分相関のマッチドフィルタ演算，二分木の構成，ベクトルノルムの最大値の検出から求まる．ここで，各部分相関のマッチドフィルタの演算量の総和は，拡散系列長  $L$  のマッチドフィルタの演算量に等しく，残りの演算はこれに比べると十分小さい．したがって，時間軸アプローチの演算量  $N_T$  は，次式で近似できる．

$$\begin{aligned}
 N_T &= L(L-1) \\
 &\approx L^2 \quad [\text{回}]
 \end{aligned} \tag{12}$$

時間軸アプローチの演算量は， $L$  の 2 乗で与えられ， $L$  の 3 乗に比例する周波数軸アプローチに比べ，管理センター側の信号処理負荷は小さい．

#### 4. 2. 時間ずれ補償

つぎに，この時間ずれ補償について検討する．キャリア周波数とデータクロック周波数は，それ

ぞれ別個の発振器で生成する場合もあるが，ここでは同じ発振器で生成する場合を考える．

このとき，周波数が  $\Delta f$  ずれるとき，送受信機間の拡散系列の時間軸は，送信キャリア周波数を  $f_s$ ，受信キャリア周波数  $f_R$  とするとき， $(f_R - \Delta f)/f_R$  倍に伸縮する．したがって，周波数軸アプローチでは，周波数のずれに応じて時間軸を伸縮させたのち逆拡散することで，周波数ずれ及び時間ずれの補償が可能となる．

一方，部分系列ごととする位相回転  $\alpha$  に伴う時間ずれ  $\Delta t$  は，

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= \frac{\alpha}{2\pi} \times \frac{1}{R_c} \times \frac{\alpha R_c}{4\pi AF} \\
 &= \frac{\alpha^2}{8\pi^2 AF}
 \end{aligned} \tag{13}$$

となる．したがって，時間軸アプローチでは，位相回転の累積による時間軸変化がマッチドフィルタの最小スライド間隔に達したとき，部分系列のマッチドフィルタへの入力をずらせばよいことが分かる．

#### 4. 3. 性能比較

##### (1) 周波数軸及び時間軸アプローチ特性

キャリア周波数を 40KHz，チップ速度を 1kc/s，周波数安定度を 10ppm とした場合の，周波数軸アプローチ及び時間軸アプローチの各特性の計算結果を，それぞれ図 7，8 に示す．

周波数軸アプローチ及び時間軸アプローチともに，拡散系列長を大きくしたときの性能劣化はなく，キャリア周波数ずれ及び時間ずれを補償出来ていることが分かる．また，性能の劣化量は許容位相回転  $\alpha$  により調整できる．

##### (2) 演算量の比較

図 9 に，それぞれ式(9)と式(12)に示す周波数軸アプローチと時間軸アプローチの演算量を示す．

拡散系列長  $L$  を大きくするとき，周波数軸アプローチ式は  $L$  の 3 乗に比例するのに対し，時間軸アプローチは  $L$  の 2 乗で与えられる．また，時間軸アプローチの演算量は，許容位相回転  $\alpha$  に依存しない．

したがって，拡散系列長を大きくした長距離通信では，時間軸アプローチに必要な演算量は周波数軸アプローチの数桁分の 1 になり，管理センタ

一侧の信号処理負荷は小さく済むことが分かる。

## 5. まとめ

シャノンの定理から通信距離と通信速度の関係を導出し、通信速度を低くすることで通信距離が拡大できることを示した。しかし、この変形シャノンの定理をスペクトル拡散通信に应用すると、送受信機間に生ずる周波数ずれと時間ずれが問題となることが分かった。

そこで、スペクトル拡散を応用した長距離無線通信として、周波数軸アプローチと時間軸アプローチによる周波数ずれと時間ずれの補償方法について検討した。これら補償方法は、拡散系列を長くしても性能劣化はほとんどなく、劣化量は調整できることが分かった。

また、ずれ補償に必要な演算量は、周波数軸アプローチは拡散系列長の3乗に比例するのに対し、時間軸アプローチは拡散系列長の2乗で済むことが分かった。技術革新の著しいCPU性能の向上を考慮すると、特に時間軸アプローチは十分に実用可能と思われる。また、本提案方法は、センサーに搭載する無線機はそのまま使用できるため有利である。

以上の検討から、本研究成果は、特に長距離通信を必要とするユビキタス情報化社会を実現する上で有用であると考えられる。

今後は、シミュレーション及び無線機の試作実験により、本報告で検討した内容を検証する予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、平成21年度の東京工業高等専門学校重点配分経費による。

## 参考文献

- 1) 三次仁, “総論とパッシブRFID技術の動向”, 電気学会誌, Vol.126, No.8, pp.521-524 (2006).
- 2) 清水雅史, “アクティブタグ技術の動向”, 電気学会誌, Vol.126, No.8, pp.534-537 (2006).
- 3) M. Hirafuji, S. Ninomiya, T. Kiura, T. Fukatsu, H. Hu, H. Yoichi, K. Tanaka, K. Sugahara, T. Watanabe, T. Kameoka, A.

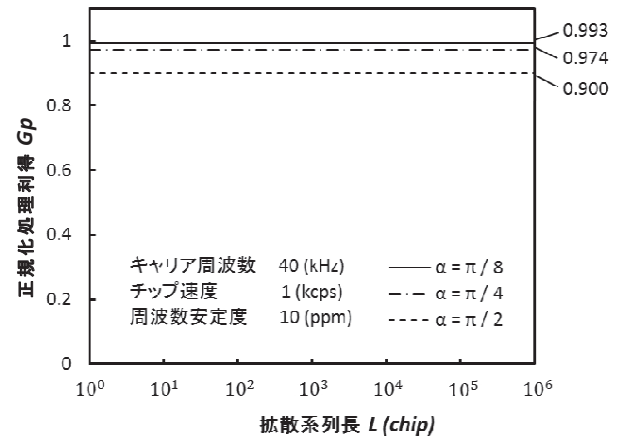


図7. 周波数軸アプローチ特性 (計算)

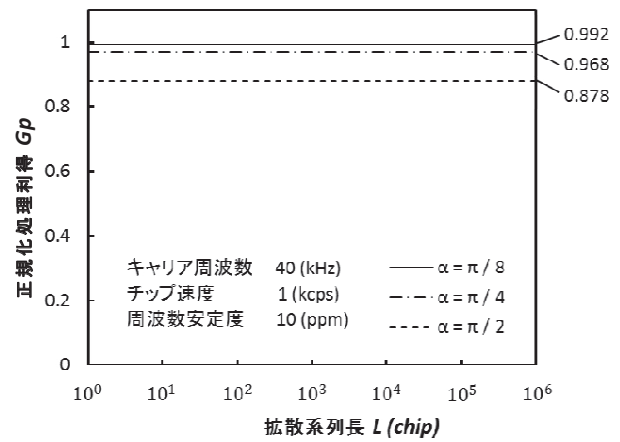


図8. 時間軸アプローチ特性 (計算)

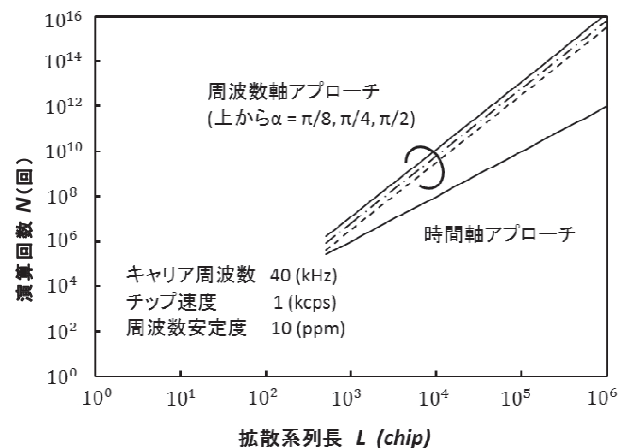


図9. 演算量の比較

- Hashimoto, R. Ito, R. Ehsani, H. Shimamura, “Field Server Projects”, Proc. of Practical Applications of Sensor Networking, SAINT2007 (2007).
- 4) 石井裕丈, 土居信数, 矢野隆, “スペクトル拡散通信方法及び通信装置”, 日本国特許, 特開平9-93217 (1997).

(平成23年1月7日 受理)

# 「ものづくり基礎工学」における安全教育の推進と ビジュアル教材の開発に向けた取り組み

城石英伸\*, 清水昭博\*\*, 大貫繁雄\*\*\*, 大塚友彦\*\*\*\*, 西村 亮\*\*\*\*, 鈴木塔二\*\*\*\*\*,  
藤野 宏\*\*\*\*\*, 降矢 司\*\*\*\*\*, 中村源一郎\*\*\*\*\*, 新田武父\*\*\*\*\*, 雑賀章浩\*\*\*\*\*

## Implementation of safety education into Fundamental Engineering Laboratory and effort for development of visual educational material

Hidenobu SHIROISHI, Akihiro SHIMIZU, Shigeo OHNUKI, Tomohiko OHTSUKA,  
Makoto NISHIMURA, Tohji SUZUKI, Hiroshi FUJINO, Tsukasa FURUYA,  
Genichiro NAKAMURA, Takenori NITTA, Akihiro SAIGA

The safety education was introduced in Fundamental Engineering Laboratory. The devices such as liquid crystal displays were set up into the experimental classroom in the Department of Electronic Engineering and the Practical Training Factory of Tokyo National College of Technology.

(Keywords: safety education, visual educational material, Fundamental Engineering Laboratory)

### 1. はじめに

各地の高専・大学ひいては工場などの生産現場においても、事故がたびたび繰り返されている。重大事故に至らないまでもいわゆる「ヒヤリハット」事象は数限りなく日常的に起こっている[1~4]。これらの事故は、作業者の操作に対する無知や、疲労や体調不良などに起因する注意力の欠如、安全管理者の作業者に対する過信などによって引き起こされる。

本校は将来の日本を支えるトップエンジニアの養成を目標としており、そのために最も重要視しなければならない事の一つは、「事故を起こさない」というスキルを持った技術者を育成することである。しかしながら、安全に対する高い見識を醸成するためには、数多くの経験を積ませる必要がある事から、膨大な時間が必要である。また、これらの事柄は、強調しすぎてしまうと学生が工学に対して近寄りたがたいという認識を持ってしまいう可能性もある。よって、工学基礎教育段階からゆっくりと時間をかけて安全教育を推進する必要がある。

本校では6年前にくくり相当入試を実施するとともに、これからの日本を支える技術者は、分野

横断的に見通せる知識を有することが必須であると考え、5学科の基礎的内容を1年間で実習する「ものづくり基礎工学」という実験科目を導入した。各学科の創意工夫によって、年々内容や実施方法がブラッシュアップされてきており、我々は工学基礎実験の模範というべきレベルに到達しつつあると自負している。しかしながら、自分の希望する学科ではない学科の実習に対しては、実習意欲が低い学生がいることも否めない。このような学生が少しでも減ることを祈念しつつ、「ものづくり基礎工学」の趣旨をガイダンスで説明してい

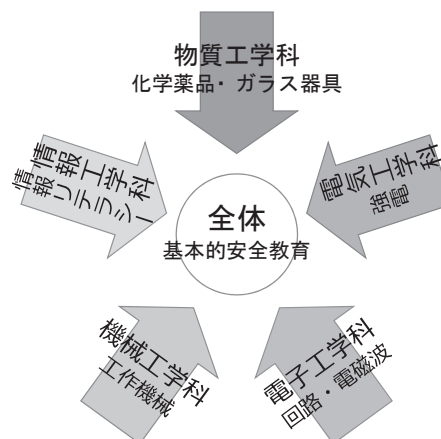


図1 安全教育における各学科の分担

\*物質工学科    \*\*機械工学科    \*\*\*電気工学科    \*\*\*\*電子工学科  
\*\*\*\*\*情報工学科    \*\*\*\*\*産業技術センター

## 児童はよく怪我をする&破壊する

### ■なぜか？

- 活発に動く
- 危険が予測できず、やってから気づく
  - いろいろなものを口に入れる
  - ものを投げる
  - はさみやカッターで手を切って血だらけになる
  - 火遊びをして家を火事にする
  - 遊具で指を挟んで指がなくなる
  - ドアに手を挟んで爪がなくなる
  - 友達に蹴りやつつこみを入れ、友達が倒れて大けがする
  - 転けた先がとがった支柱で、目を突き刺す。

## なぜ事故が起こったのか

- 危険が予測できていなかった
- 危険を予測するためには知識とそれを活かす心のゆとりが必要

紫外線発生装置

知識やゆとりがない状態

## なぜ事故が起こったのか

- 危険が予測できていなかった
- 危険を予測するためには知識とそれを活かす心のゆとりが必要

紫外線発生装置

+

紫外線に関する知識

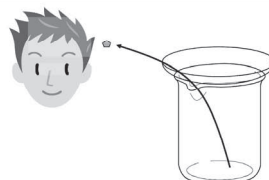
- ・400nm以下の光
- ・太陽の紫外線はオゾン層がカット
- ・紫外線は目や皮膚を痛める

↑  
知っていても、それを結びつける  
心のゆとりが必要

保護めがね  
が必要

## アルカリでハゲ

- Naの粒に水をかけて楽しむ実験でビーカーと時計皿の隙間から発火直後のNaの粒が飛び出した!!(しかも2度)  
→1年生の頭に衝突→小さいハゲに  
目に入らなかったのが不幸中の幸いでした^^;



## 重大事故ヲ防グ掟

- 危険ヲ予測スルベシ
  - 十分実験や装置に関する予備知識を得てから実験するべし
- 万が一事故ガ起コットキノ対策ヲ講ズルベシ
  - 必ず一人は監視する
    - 事故が起こったかどうか分からない
  - 大事故につながらないよう装置上や装備上の対策を施す
    - 安全ゴーグル、非常停止装置や温度が上昇しすぎたとき停止する装置など
- 「ユトリ」ヲモチテ計画的ニ実験スベシ
  - 知識があっても心のゆとりがなければその知識は生かせない
- 人間ハ漫画ノヨウニ丈夫デハナイコトヲ認識スベシ

## 試薬の毒性や応急処置を調べる

- MSDS(Material Safety Data Sheet)
  - 試薬の毒性、取扱方法、火災時や事故が起こったときの応急処置が掲載
  - 試薬会社のHPIに行けば調べられる
    - Aldrich
    - 関東化学
    - 和光純薬
    - 東京化成
    - 純正化学
    - キシダ化学
- 新しく使用する薬品はMSDSを軽く調べてから実験しよう!
- ※ものづくり基礎工学C3で実習します

## 応急処置(1)

- 強塩基・強酸などヤバイ薬品がついたとき
  - 皮膚についたとき
    - 直ちに多量の水(水道)で洗い流す
  - 衣類についたとき
    - すぐに脱ぎ、十分に洗浄する
  - 目に入ったとき
    - 多量の水で洗う。まぶたを返して裏側も洗う。
    - 先生に伝え、病院に行く。
    - 特にNaOH等の強塩基がキケンです。
- 擦り傷、切り傷を負ってしまったら
  - ガラス片などの異物を流水で取り除く。
  - 先生に伝え、保健室へいく。

## 応急処置(3)

- 火災が発生したとき
  1. 大声で他の人の協力を求める。先生に知らせる。
  2. 火元を止める。(電源コンセントやガスの元栓を抜く等)
    - 小さい火の場合
      - ぬれ雑巾などをかぶせて消化する
    - ヤバイ場合
      - 備え付けの消火器を使う
    - 衣類に引火した場合
      1. ぬれ雑巾などでたたき消す
      2. 急いで脱ぎ捨てて消す
      3. 床に転がってもみ消す

図2 安全教育で使ったスライドの例(物質工学分野).



# 1 インターネットを使って物質の情報を集めよう

薬品は取り扱いを間違えると重大な事故につながる。薬品メーカーには MSDS という試験に関するデータを公表することが義務付けられている。薬品を使う前には、薬品メーカーのホームページを訪れ、薬品の特性や、間違えて吸入した場合などの応急処置などを知ることができる。

## a) 試験メーカーのホームページ

主な薬品を製造しているメーカーを表に示す。

### 【試験メーカー】

|               |                                                                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 関東化学          | <a href="http://www.kanto.co.jp/">http://www.kanto.co.jp/</a>                                   |
| 和光純薬          | <a href="http://www.wako-chem.co.jp/">http://www.wako-chem.co.jp/</a>                           |
| 純正化学          | <a href="http://www.junsei.co.jp/">http://www.junsei.co.jp/</a>                                 |
| キシダ化学         | <a href="http://www.kishida.co.jp/">http://www.kishida.co.jp/</a>                               |
| 東京化成          | <a href="http://www.tokyokasei.co.jp/index_j.html">http://www.tokyokasei.co.jp/index_j.html</a> |
| Sigma-Aldrich | <a href="http://www.sigmaaldrich.com/">http://www.sigmaaldrich.com/</a>                         |

関東化学のホームページで水酸化ナトリウム、硫酸、メタノールのいずれかについて MSDS を調べてみよう。  
( ) いう試験の MSDS を調べた。

有害性について

応急処置について

火災時について

図3 「ものづくり基礎工学」実習項目 C3 において実施している安全教育テキスト。

るが、それだけでは限界があることもまた事実である。

このような現状を鑑み、「ものづくり基礎工学」において、安全教育を推進すべく、ガイダンスや実験実習時において、安全教育を導入すると共に、卒業研究開始時における安全教育教材への応用を計った。また、学生が実験実習の内容に対して興味を増大させ、理解を助けることを目的として、教材のビジュアル化を推進するための設備導入と、教材開発にむけた取り組みを行った。

## 2. 「ものづくり基礎工学」への安全教育の推進

これまでは、各学科が実験直前に個別に安全教育を行っていたが、本年度より、ガイダンスの時に、各学科毎に分担して安全に関するガイダンスを実施した(図1)。ただし情報工学科に関しては、1年生の科目「工学基礎演習」において、メールやインターネットなどに関する情報リテラシー教育を既に実施していることから「ものづくり基礎工学」ガイダンス時の実施は見送った。本報告に



(a) 実習工場での活用



(b) 電子工学科の実験室での活用

写真1 ビジュアル教材推進のために導入した液晶ディスプレイ活用

において全部を掲載するのは困難であるため、一例として物質工学分野のスライドの一部を図2に示す。また、これらの教材をベースに物質工学科の2階の研究室に配属されている学生を対象とした卒業研究時における安全教育教材も作成し、昨年度の3月に実施した「匠の技」の予算を活用した日産自動車(株)の竹川氏による講演会の前座として安全教育を実施した。

また、物質工学分野の3回目のテーマにおいては「インターネットを使って物質の情報を集めよう」と題し、薬品の有害性や応急処置、火災時の対応について薬品会社が提供する MSDS (Material Safety Data Sheet)を検索する実習を導入している(図3)。

## 3. ビジュアル教材の開発に向けた取り組み

実習工場では、旋盤、フライス盤、ボール盤などの工作機械や鋳造などで高温の熔融金属などを使用する。これらの説明は従来工場内のホワイトボードを用いて行われていたが、46型の液晶ディ



**写真 2** ビジュアル教材推進のために導入した顕微鏡とデジタルカメラ

スプレーと PC を用いる事により、説明が円滑にかつインタラクティブに行うことができるようになった(写真 1(a)).

電子工学科の実験室にも 24 型の液晶ディスプレイ 4 台を導入することにより、従来プロジェクタースクリーンの死角となっていた場所においても説明が見やすくなり、ビジュアル教材の導入を推進しやすくなった(写真 1(b)).

また、物質工学分野においては光学顕微鏡、デジタルカメラ、液晶ディスプレイを各 1 台導入し、ものづくり基礎工学における応用だけでなく、本校の学外向けの行事であるサイエンスフェスタ等への適用も計画している(写真 2).

また、新たな試みとして、ビジュアル教材の作成を推進するために、昨年度の物質工学科 2 年生の情報処理 I の冬休みの宿題として「フリーウェアを使って、科学的に興味深い動画を作る。」というテーマを設けた。その結果、「ミョウバンの結晶のできていく様子」、「さよなら、ゆっきー(雪だるまの溶けていく様子)」、「氷が溶ける様子」、「お湯を入れたペットボトルがへこむ様子」、「氷が解ける動画と雲の動く様子の動画」などの作品が寄せられた。本年度も同様の課題を実施し、ビジュアル教材の作成を推進していきたいと考えている。

#### 4. まとめ

事故を起こさない技術者を養成するには、低学年から長期的な視点に立ち、安全教育をすることが重要である。本研究においては「ものづくり基礎工学」のガイダンスに安全教育を導入することにより、トップエンジニアリング養成の礎とした。

また、ビジュアル教材推進のために液晶ディスプレイ等を導入し、学生の実験内容への理解と興味を増進させることに成功した。

#### 謝辞

本研究は平成 21 年度校長裁量経費の支援を受けて実施した。関係各位に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 化学同人編集部編，実験を安全に行うために，化学同人(2006)。
- [2] 続-化学同人編集部編，実験を安全に行うために，化学同人(2007)。
- [3] 西脇 永敏著，教科書にない実験マニュアルよくある失敗・役だつ NG 集，講談社(2006)
- [4] 田中 陵二，松本 英之著，実験室の笑える？笑えない！事故実例集，講談社(2001)。

(平成 23 年 1 月 6 日 受理)

# 全アルカリ度滴定装置の物質工学科および 物質工学専攻学生実験への応用

工藤節子\*, 城石英伸\*, 雑賀章浩\*\*, 高橋三男\*, 石井宏幸\*, 三谷知世\*

Application of a Total Alkalinity Titrator to Laboratory Work by  
Students of Chemical Science and Engineering, and Advanced Engineering

Setsuko KUDO, Hidenobu SHIROISHI, Akihiro SAIGA,  
Mitsuo TAKAHASHI, Hiroyuki ISHII, Tomoyo MITANI

At the Tokyo National College of Technology, a total alkalinity titrator was used in laboratory work by second-year students in the Chemical Science and Engineering Department and by first-year students in the Advanced Engineering Course. The experiment consisted essentially of calibration of the automated burette and measurements of the pH, total alkalinity ( $A_T$ ), and total dissolved inorganic carbon ( $C_T$ ) of seawater. Advanced Course students analyzed the titration data, and then calculated pH and  $f(\text{CO}_2)$  by using the  $A_T$  and  $C_T$  values obtained experimentally.

(Keywords: chemistry education, total alkalinity titrator, sea water)

## 1. はじめに

炭酸系は工業化学や環境分野で昔から分析されてきたが、一般の人々の関心や注意をよぶものではなかったように思われる。最近、地球温暖化、二酸化炭素の吸収源である海洋の酸性化、二酸化炭素のリサイクル、健康面から炭酸鉱泉や人工炭酸水に対する関心が高まっている。海洋の炭酸系測定では、実験室での僅かな誤差が地球規模では大きな誤差となるため、極めて高い精密さが要求される。平成9～11年頃にメーカーが二研究グループと協同で全自動精密炭酸計[1]を世界で初めて開発したが、特定の専門家のみが操作・保守・データ解析可能であり、高価であった。その後のメーカーの努力で小型化・簡易化が実現し、高専・大学など教育現場への普及が期待されている。本装置にはまだ改良要素があり、より高い完成度を目指してメーカーとユーザーによる研究が進められている。

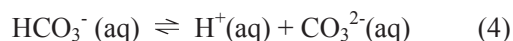
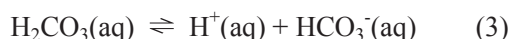
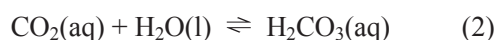
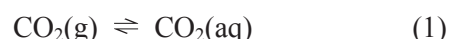
上記の小型化・簡易化された全アルカリ度滴定装置[2]を用いて、ビュレット係数の決定、pH電極の応答性試験、分析精度・正確さなど基礎的実験を行った上で、高専物質工学科および物質工学専攻学生実験での活用について検討したので報告

する。

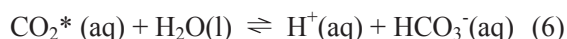
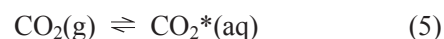
## 2. 理論[3]

### 2.1 炭酸系の化学平衡

二酸化炭素は水に溶解し、次のような化学平衡を生じる。



$\text{CO}_2(\text{aq})$ と $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ の化学種を分析的に区別することは困難であるため、通常は $\text{CO}_2(\text{aq})$ と $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ の濃度の和を仮想的化学種 $\text{CO}_2^*(\text{aq})$ の濃度とし、(1)～(3)式を次のように表わす。



これらの化学種の濃度間の平衡定数は次のように与えられる。

$$K_0 = [\text{CO}_2^*]/f(\text{CO}_2) \quad (7)$$

$$K_1 = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_2^*] \quad (8)$$

$$K_2 = [\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]/[\text{HCO}_3^-] \quad (9)$$

ここで,  $f(\text{CO}_2)$  は気相中の二酸化炭素のフガシティーである. これらの平衡定数は温度, 圧力, 溶液 (例えば, 海水) の塩分の関数であり, これまでに種々の研究で測定されてきた.

## 2.2 炭酸系の実験的パラメータ

溶液中における炭酸系の個々の化学種濃度を直接測定することはできないが, 測定し得る四つのパラメータがある. すなわち, 全溶存無機炭素  $C_T$ , 全アルカリ度  $A_T$ , 海水と平衡状態にある  $f(\text{CO}_2)$ , 全水素イオン濃度  $[\text{H}^+]$  である.

$C_T$  は次式で与えられ, 試料を酸性にすることによって直接測定できる.

$$C_T = [\text{CO}_2^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (10)$$

$A_T$  は, 海水試料 1kg 中におけるプロトン受容体の過剰分と当量の水素イオンのモル数として定義される. したがって,  $A_T$  は(11)式のように表わされる.

$$\begin{aligned} A_T = & [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{B}(\text{OH})_4^-] + [\text{OH}^-] \\ & + [\text{HPO}_4^{2-}] + 2[\text{PO}_4^{3-}] + [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] \\ & + [\text{NH}_3] + [\text{HS}^-] + \dots - [\text{H}^+]_F - [\text{HSO}_4^-] \\ & - [\text{HF}] - [\text{H}_3\text{PO}_4] \dots \end{aligned} \quad (11)$$

ここで, 25°C でイオン強度 0 のとき, 酸解離定数  $K \leq 10^{-4.5}$  の弱酸から生成する塩基をプロトン受容体,  $K > 10^{-4.5}$  の酸をプロトン供与体としている.  $[\text{H}^+]_F$  は遊離の水素イオンを示す.

海水の水素イオン濃度は通常, pH として表わされる.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad (12)$$

全水素イオン濃度の概念には幾分混乱があるが, 海水中では酸解離定数を正確に定義する必要がある[4]. 全水素イオン濃度は次のように定義される.

$$[\text{H}^+] = [\text{H}^+]_F (1 + S_T/K_S) \quad (13)$$

ここで,  $S_T = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{HSO}_4^-]$ ,  $K_S$  は  $\text{HSO}_4^-$  に対する酸解離定数であり,  $\text{pH} > 4$  で(13)式は次のように近似できる.

$$[\text{H}^+] = [\text{H}^+]_F + [\text{HSO}_4^-] \quad (14)$$

## 2.3 滴定データの解析

本法では, 試料水を 0.1mol/L HCl で自動的に滴定し, 滴定量と起電力( $E$ )の変化から  $A_T$ ,  $C_T$  の算

出を行う. 滴定の各点において, 水素イオンの全濃度  $C_H$  は次式によって与えられる.

$$\begin{aligned} C_H = & [\text{H}^+]_F + [\text{HSO}_4^-] + [\text{HF}] + [\text{H}_3\text{PO}_4] - [\text{HCO}_3^-] \\ & - 2[\text{CO}_3^{2-}] - [\text{B}(\text{OH})_4^-] - [\text{OH}^-] - [\text{HPO}_4^{2-}] \\ & - 2[\text{PO}_4^{3-}] - [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] - [\text{NH}_3] - [\text{HS}^-] \end{aligned} \quad (15)$$

濃度  $C$  [mol/kg-soln], 質量  $m$  の塩酸を質量  $m_0$  の試料水に滴加したとき次式が成り立つ.

$$C_H = \frac{mC - m_0 A_T}{m_0 + m} \quad (16)$$

(15)式と(16)式から, 次式が導かれる.

$$\begin{aligned} \frac{mC - m_0 A_T}{m_0 + m} = & [\text{H}^+]_F + [\text{HSO}_4^-] + [\text{HF}] + [\text{H}_3\text{PO}_4] \\ & - [\text{HCO}_3^-] - 2[\text{CO}_3^{2-}] - [\text{B}(\text{OH})_4^-] - [\text{OH}^-] \\ & - [\text{HPO}_4^{2-}] - 2[\text{PO}_4^{3-}] - [\text{SiO}(\text{OH})_3^-] - [\text{NH}_3] \\ & - [\text{HS}^-] \end{aligned} \quad (17)$$

(17)式は本法における演算の基礎となり, ネルンスト式と共に用いられるが, 最小二乗法を用いて  $E^0$  を直接調整するよりも, 次のような  $f$  を定義すると便利である.  $[\text{H}']$  は  $E^0$  の初期値( $E^0$ )から計算され, プログラムでは平方和を最小にするように  $f$  を調整する.

$$f = [\text{H}^+]/[\text{H}'] \quad (18)$$

$$[\text{H}'] = \exp\left(\frac{E^0 - E}{RT/F}\right) \quad (19)$$

(17) 式は次のように書き換えることができる.

$$\begin{aligned} A_T - C_T \left( \frac{K_1 f[\text{H}'] + 2K_1 K_2}{(f[\text{H}'])^2 + K_1 f[\text{H}'] + K_1 K_2} \right) - B_T \left( \frac{1}{1 + (f[\text{H}'])/K_B} \right) \\ - P_T \left( \frac{K_{1P} K_{2P} (f[\text{H}']) + 2K_{1P} K_{2P} K_{3P} - (f[\text{H}'])^3}{(f[\text{H}'])^3 + K_{1P} (f[\text{H}'])^2 + K_{1P} K_{2P} (f[\text{H}']) + K_{1P} K_{2P} K_{3P}} \right) \\ - S_T \left( \frac{1}{1 + (f[\text{H}'])/K_{Si}} \right) - NH_{3T} \left( \frac{1}{1 + (f[\text{H}'])/K_{NH3}} \right) \\ - H_2 S_T \left( \frac{1}{1 + (f[\text{H}'])/K_{H2S}} \right) + S_T \left( \frac{1}{1 + K_S Z / (f[\text{H}'])} \right) \\ + F_T \left( \frac{1}{1 + K_F / (f[\text{H}'])} \right) + \left( \frac{m_0 + m}{m_0} \right) \left( \frac{f[\text{H}']}{Z} - \frac{K_w}{f[\text{H}']} \right) - \frac{m}{m_0} C = 0 \end{aligned} \quad (20)$$



ここで,  $Z = 1 + S_T/K_s$ ,  $H_2S_T = [H_2S] + [HS^-]$ である. (20)式は, 密閉セル法で非線形最小二乗法により  $A_T$  と  $C_T$  を求めるのに用いられる. すなわち, 有効な滴定点をプロットし, 決定係数  $r^2$  が最大になるように最適化し, その近似式の傾きから  $C_T$ , 切片から  $A_T$  を求める. 一方, 開放セル法では pH 3.0 ~ 3.5 の滴定データのみ使用し, 予め試料水を酸性にして  $CO_2$  を除くので, (17)式は単純化される. さらに, 試料水によっては濃度が無視し得る化学種の項を省略することができる. 遊離の水素イオン濃度は全水素イオン濃度から直接計算できる.

$$[H^+]_F = [H^+]/Z \quad (21)$$

## 2.4 平衡計算

一定の温度と圧力条件下で, ① (7)式の  $K_0$ , ② 溶液中に存在する酸塩基対の平衡定数, ③  $CO_2$  以外の全ての酸塩基対の総濃度, ④ 2.2 で述べた炭酸系の四パラメータのうち少なくとも二つがわかれば, 海水試料中の炭酸系は理論的に完全に記述することができる.

$A_T$  に対する炭酸系化学種の寄与を示す炭酸アルカリ度  $A_C$  は(22)式で定義され, (23)式が成り立つ.

$$A_C = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] \quad (22)$$

$$\begin{aligned} A_C = A_T - ([B(OH)_4^-] + [OH^-] + [HPO_4^{2-}] + 2[PO_4^{3-}] \\ + [SiO(OH)_3^-] + [NH_3] + [HS^-] + \dots \\ - [H^+]_F - [HSO_4^-] - [HF] - [H_3PO_4] - \dots) \end{aligned} \quad (23)$$

種々のパラメータの組み合わせから, 平衡計算によって, 残りのパラメータおよび炭酸系化学種の濃度を求めることができる. これまでに異なる研究者によって, いくつかの平衡計算プログラムが発表されている. ここでは, Lewis と Wallace [5] によるプログラムを使用した.

## 3. 実験

### 3.1 装置

全アルカリ度滴定装置 ATT-05 (紀本電子工業) および密度比重計 DA-500 (京都電子工業) を使用した.

全アルカリ度滴定装置の構成概略を図 1 に示す. 本装置は, 分析瓶(擬密閉セル)またはトルビーカー (開放セル), スターラ, ビュレット (マイクロシリンジポンプ), 温度センサー, 滴定ノズル, pH 電極で構成される. 分析瓶は形状やサンプリン

グ法において酸素瓶と類似しているが, 約 100g の試料水 (天秤で秤量) を 0.1mol/L HCl (2.3 に示された濃度に換算) で滴定した場合, あふれずに試料水と滴定液の含量がちょうど収まるように設計されている. また, 液面から蓋までのヘッドスペースは分析開始前において全体積の約 7 % である. 蓋は測定直前に専用のものと交換される. 測定用試料水を攪拌しながら, 滴定条件にしたがって滴定ノズルから滴定液が滴下され, 温度と pH をモニタリングする. 装置を使用しない期間はビュレットのシリンジ (5mL) 中に純水を満たしておいた.

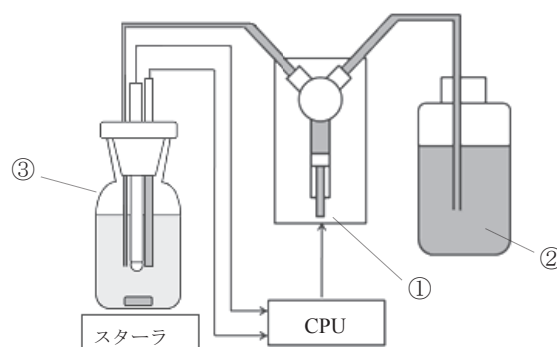


図 1 全アルカリ度滴定装置の構成概略図

- ① ビュレット, ② 滴定液 (0.1mol/L HCl),  
③ 分析瓶 (滴定ノズル, pH 電極, 温度センサー, 試料水, 攪拌子)

密度比重計は, ビュレット係数の測定に必要な純水, 滴定液である 0.1 mol/L HCl の密度測定に用いた.

### 3.2 pH 電極

用いた pH 電極はいずれも複合電極であり, ラジオメータ社の pH C2401-8 (液絡部: アニュータイプ) 3 本, 2 種類の国内社 (液絡部: ポーラスピンタイプ) 各 1 本である. 海水の測定では pH 電極を購入時に比較電極用内部液と KCl 結晶を入れ換えた後, 液絡部も浸るように純水中に約 10 h, 0.1 mol/L HCl に約 20 min, 次いで pH 1~3 に調整した海水に 24 h 以上浸漬した. 最後に超純水で洗浄した後, pH 4 に調整した海水および pH 8 の海水中において, 1 s 間隔で測定した起電力の経時変化から, pH 電極の応答性を調べた. 塩水以外の測定では, 電極感応部と液絡部を 0.1 mol/L HCl 中に 20~60 min 浸漬した後, 超純水で洗浄した.

### 3.3 試薬および分析用海水など

0.1 mol/L 塩酸（容量分析用）、炭酸水素ナトリウム（特級）、塩化ナトリウム（特級）、塩化カリウム（電気伝導度測定用）の和光純薬工業の各試薬を用いた。試料水と標準海水については以下に述べる。

#### 1) 濾過海水

平成 20 年 6 月および 21 年 8 月に、沖縄県本部町瀬底島桟橋近くの水中二酸化炭素観測システム CO<sub>2</sub>-2000T（紀本電子工業）に汲み上げられた海水の一部を採取した。海水の塩分として、そのシステムに備え付けの塩分計によって指示された値 (33.77, 34.05) を記録した。その海水を実験室で吸引しながらメンブレンフィルター (Millipore, Durapore® 0.45μm HV) で濾過した。それをポリエチレン製容器にできるだけヘッドスペースを大きくし（例えば、全体積の約 70%）、2 週間以上保存した後に用いた。

#### 2) 擬似海水 (NaHCO<sub>3</sub>-NaCl 水溶液)

C<sub>T</sub> の繰り返し精度検討のために、炭酸水素ナトリウムと塩化ナトリウムを超純水に溶解し、塩分 35, A<sub>T</sub> が 2000 μmol/kg の擬似海水を調製した。

#### 3) CRM (Certified Reference Material)

分析値が保証された海水 CRM をスクリップス海洋研究所から購入した。これはスクリップス海洋研究所にて調製、精密に値づけされたもので、微量の塩化水銀(II)を含む。本研究で使用した CRM は同一バッチ (Batch 99) [6]であり、保証値は塩分 35.185, A<sub>T</sub> が 2356.78±0.66 μmol/kg, C<sub>T</sub> が 2115.04±0.56 μmol/kg であった。栄養塩類の分析値も記載されている。

#### 4) 天然水

市販の天然水（湧水、硬度 38 mg/L）を海水との比較に用いた。

### 3.4 分析方法

実験室内の温調をはじめ、ガラス容器の恒量化条件、浮力補正などは、精密分析法 に準じて行った。

ビュレットからの正確な送液量を得るため、ビュレット係数を求めた。純水をビュレットに導入し、ガラス瓶に 5 mL 吐出させ、その質量を体積に換算した。この操作を 5 回行い、(平均値/5 mL) をビュレット係数とした。

pH 電極の応答性試験では本装置の機能を利

用した。分析値の誤差評価には、予めラジオメータ社の pH 電極と CRM を用いて滴定条件（スタート待ち時間、初期待ち時間、初期滴定量、滴定間隔、滴定量、初期 pH など）の最適化を行った。

### 4. 学生実験への応用

平成 20 年度と 21 年度において、全アルカリ度滴定装置を主として物質工学科 2 年 (2C) の「分析化学実験」、専攻科物質工学専攻 1 年 (1AC) の「物質工学特別実験」の授業に応用した。

#### 4.1 2C「分析化学実験」

本学生実験では、従来の定性分析および定量分析後に機器を用いる定性・定量分析を実施するように組まれている。

本装置を用いるテーマは容量分析の発展学習として位置づけ、機器分析の一つに加えた。配布プリントでは従来の容量分析法を概説し、目的によっては機器を用いて滴定を自動的に行うこと、A<sub>T</sub> と C<sub>T</sub> の定義、ビュレット係数の求め方、機器の各名称と構成を記した。本装置は地球温暖化の研究のために海水中の炭酸に関わる分析用に開発されたことを簡単に説明した。2C 学生では化学の基礎を重視し、炭酸系の分析値については関心をもってもらえればよしとした。この学年でも C<sub>T</sub> の定義である(10)式を理解する能力はあると考えた。

具体的な実験の目的と要旨をまとめて以下に示す。

- (a) 試料水に含まれる気体を分析する際のサンプリング法を学ぶ。
- (b) 海水の pH を測定し、その液性を知る。
- (c) 滴定中に装置の動作を観察し、自動滴定の仕組みを理解する。
- (d) ビュレット係数を求め、体積計の校正法を知る。

学生には次の課題に取り組むように指示し、通常の実験レポートを書かせなかった。(1)以外は検定教科書「化学 II」に記載されている基礎知識である。

- (1) 今回の実験で得られた結果をまとめよ。(ビュレット係数に関する実験では生データおよび計算過程を示すこと。)
- (2) 一般に水に対する気体の溶解度は、水温および水と接する気体の圧力とどのような関係

があるか述べよ。また, これらを示す身近な例を一つずつあげよ。

- (3) 気体の溶解度に関するヘンリーの法則とは何か。
- (4) 水中で酸素は  $O_2$  として溶存するが, 二酸化炭素について考えられる化学平衡を三段階で示せ。

課題用紙の最後に, 学生が自由に感想を記述できる欄を設けた。

## 4.2 1AC「物質工学特別実験」

本学生実験では, 実験に先立って約 90 分間の講義を行った。内容は地球温暖化現象と海の  $CO_2$  吸収源としての役割, 海の酸性化とその生態系への影響, 本装置の開発の経緯などを導入とし, 前述した理論の概要, データ解析の原理, 実験内容の説明である。水溶液中の化学種の分布に及ぼす pH の影響, イオン強度の定義, 気体の分圧とフガシティーの関係など復習を含む。一般に自動滴定装置はカールフィッシャー水分滴定をはじめとする多くの精密分析に利用され, オートサンプラーと接続することによってシステムの自動化・省力化にも役立つことを説明した。

平成 21 年度の実施例について具体的な実験の目的と要旨をまとめて以下に示す。

- (a) 複合 pH 電極の構造を理解し, 液性の異なる海水中で pH 電極の応答性を調べる。
- (b) 自動滴定の原理を理解し, ビュレット係数を求める。
- (c) 本装置によって海水および市販の天然水（軟水）の滴定データを得て, 滴定曲線の違いをみる。
- (d) 滴定データの解析によって得られた海水の  $A_T$  と  $C_T$  を用いて平衡計算を行う。

平衡計算については, レポート作成前に文献 [7] [8] にしたがって演習を行えるようにした。

実験レポートは下記内容を含むものとし, 様式や考察を各自に任せた。

- (1) 海水中の炭酸系平衡,  $A_T$  および  $C_T$  の定義, 炭酸系分析法に関する理論の概要
- (2) 水中における炭酸系化学種の分布を pH の関数として表わした理論曲線
- (3) ビュレット係数
- (4) pH 電極の応答性
- (5) 海水および天然水の滴定曲線

- (6) 平衡計算の際に入力したパラメータと平衡計算結果（プログラムの適用範囲を確認）
- (7)  $f(CO_2)$ , pH, 化学種の分布などに関する可能な考察

## 5. 結果と考察

### 5.1 ビュレット係数

ビュレット係数は 4 日間にわたって相対標準偏差 (RSD) が 0.03% 以下であり, 1 日以内の繰り返し標準偏差はさらに良好であった。1AC 学生実験でも同様の結果を得た。

### 5.2 pH 電極の応答性

pH 電極の応答性は滴定条件の最適化に必要な要素の一つである。pH 4 においてはどのメーカーの pH 電極も 10~12s 後には起電力が 200 mV 前後で一定値 ( $RSD \leq 1\%$ ,  $n=5$ ) に達した。図 2 に弱塩基性 (pH 8) における各 pH 電極の応答性を示す。国内二社の pH 電極が約 35s で起電力が一定値に達したのに対し, ラジオメータ社の電極では約 23s で一定値を示した。ラジオメータ社の pH 電極は弱塩基性においても応答性に優れることが確認できた。

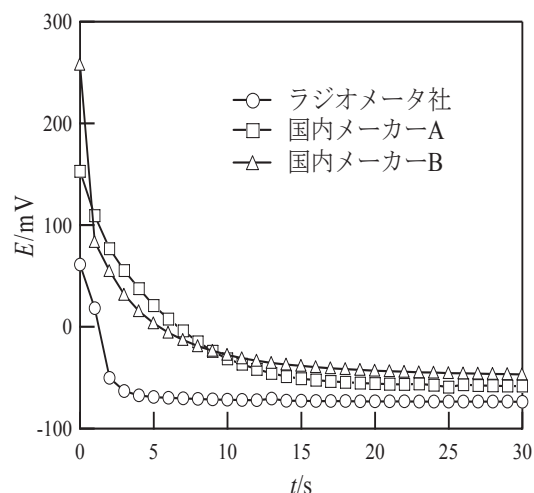


図 2 pH 8 の海水中における各 pH 電極の応答性

### 5.3 $A_T$ , $C_T$ の分析精度と正確さ

ラジオメータ社の同一 pH 電極を用いて濾過海水, 擬似海水, CRM を分析した結果を表 1 に示す。国際標準レベルにおける  $A_T$  と  $C_T$  の精度は, 標準偏差にして, それぞれ約  $2 \mu\text{mol/kg}$ , 約  $1.5 \mu\text{mol/kg}$  [9] である。表 1 の結果は繰り返し精度であるか



ら、単純に国際標準レベルと比較するのは問題と思われるが、擬似海水と CRM では  $A_T$ 、 $C_T$  ともにより結果といえる。一方、濾過海水の  $C_T$  の繰り返し精度がよくなかった一つの原因として、操作中に外気の影響を受けたことが考えられる。

表 1 各試料水と CRM の  $A_T$ 、 $C_T$  分析値の繰り返し精度\*

|      | $A_T/\mu\text{mol kg}^{-1}$ | $C_T/\mu\text{mol kg}^{-1}$ |
|------|-----------------------------|-----------------------------|
| ろ過海水 | $2222.2 \pm 1.3$            | $1982.4 \pm 2.7$            |
| 擬似海水 | $1917.8 \pm 0.4$            | $1836.1 \pm 1.0$            |
| CRM  | $2347.3 \pm 1.2$            | $2119.3 \pm 1.0$            |

\*平均値 $\pm$ SD,  $n=5$

試料の均一性や安定性の点でも信頼できる CRM の分析において、良好な繰り返し精度が得られたので、CRM を用いて正確さの検討が可能と判断した。

表 2 に、ラジオメータ社の pH 電極 3 本を用いて得られた CRM 分析結果と分析値の正確さを示す。

表 2 異なる pH 電極による CRM の  $A_T$ 、 $C_T$  分析値と正確さ\*

| pH 電極 | $A_T$  | $\Delta A_T$ | $C_T$  | $\Delta C_T$ |
|-------|--------|--------------|--------|--------------|
| A     | 2347.2 | -9.6         | 2119.0 | +4.0         |
| B     | 2348.2 | -8.6         | 2116.5 | +1.5         |
| C     | 2348.3 | -8.5         | 2120.7 | +5.7         |

\*単位： $\mu\text{mol/kg}$ 。  $\Delta$ : CRM の保証値との差

国際標準レベルにおける  $A_T$  と  $C_T$  の正確さは、それぞれ約  $4 \mu\text{mol/kg}$  以内、約  $2 \mu\text{mol/kg}$  である[9]。各 pH 電極における  $A_T$  は、正確さの点で -8~-10  $\mu\text{mol/kg}$  の偏り（電極の個体差では説明困難）がみられた。 $C_T$  の正確さは pH 電極 B のみ、国際標準レベルをほぼ満たしたが、この電極が他の 2 本より優れているとは限らない。 $C_T$  の場合には擬密閉セルやサンプリングが分析値にどのように影響するか見積れないためである。先に述べた全自動精密炭酸計[10]では、適切な pH 電極が選択されれば、密閉セル法で  $A_T$ 、 $C_T$  ともに国際標準レベルに達していたので、簡易型装置については

更に検討が必要である。本件については、本プロジェクト実施期間中に Dickson 教授の研究室でも検討段階にあった。

## 5.4 学生実験への応用

### 5.4.1 2C「分析化学実験」

4.1 の課題に対する正答率を表 3 にまとめた。正答率は 1 回目に提出されたレポートでは極めて低かったが、再レポートではほぼ 100%であった。

表 3 課題レポートにおける正答率\*

| 要 点                       | 正答率(%) |     |
|---------------------------|--------|-----|
|                           | 初回     | 再提出 |
| ビュレット係数の決定                | 6      | 96  |
| 海水の液性（弱塩基性）               | 0      | 96  |
| 気体の溶解度と身近な例               | 30     | 100 |
| CO <sub>2</sub> の水中での溶存状態 | 4      | 98  |

\*  $n=47$  (学生数)

1 回目のレポート内容を分析すると、ビュレット係数を求めるのに、水の密度を用いて質量から体積への換算が必要であるが、ほとんどできなかった。学生は海水の pH を測定したが、その液性が弱塩基性であることに気づかなかった。（沿岸で河川水が流入するなどの影響がある場合には、pH が低下する。）また、気体の溶解度に関わる身近な現象についてもヒントが必要であった。学生が様々な現象に興味と関心をもって自ら考えるようになるには、現代の便利な生活の中で如何にして経験値を上げてゆくかが課題と思われる。

自由記述欄の感想は以下のようなものであった。

- (ア) 仕組みを理解するのは難しいが、自動化した機器に感動した。
- (イ) 将来、自分もこのような機器を開発できるような技術者になりたい。
- (ウ) 地球温暖化の研究に役立ちそうな機器であることがわかって、嬉しかった。
- (エ) 自動化してもよいが、手で滴定する方がやりがいがある。
- (オ) 自動化しているので楽でよい。

本機器の製作を担当した技術者が高専出身の女性（20 代）であり、学生に希望を与えたことは二次的効果といえよう。いずれも低学年らしい感想で



ある。

#### 5.4.2 1AC「物質工学特別実験」

平成 21 年度に本実験を行った中西弘貴君(現在, 2AC) の許可を得て, レポートの中から結果と考察の一部分を紹介する. [ ] は本実験を担当した教員によるコメントである。

濾過海水を滴定したときの起電力変化を時間の関数として図 3 に示す. 起電力の増加は pH 低下に対応しており, 滴定液が導入されたところでは起電力が大きく変化している. 測定開始直後の弱塩基性海水では, 起電力の安定に時間を要していることがわかる. 滴定が進行するにつれて, pH 電極の応答性はよくなるので, 滴定時間の短縮も考慮して滴定条件が設定されている. [異常値が出た場合には, メーカーにより準備された再計算プログラムを利用することもできる.]

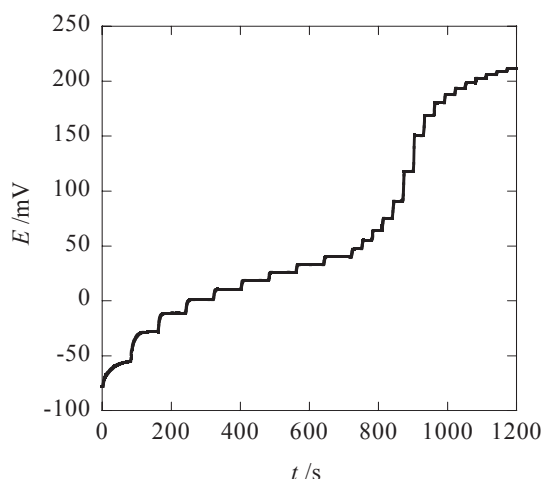


図 3 0.1 mol/L HCl による濾過海水の滴定時間に対する起電力変化

図 4 に濾過海水 (同一ロットを 2 回測定) と天然水の滴定曲線を示す. 海水は天然水よりも (起電力が低く) pH が高く, 起電力がジャンプするのに要する滴定量が多いことを示している. このことから, 海水は天然水よりも全アルカリ度が高いことがわかる。

表 4 に, 濾過海水の 2 回の分析値 ( $C_T$ ,  $A_T$ ), 平衡計算によって得られた NBS スケールの pH と  $f(\text{CO}_2)$  の計算値を分析時の液温とともに示す. [平衡計算の入力に必要な諸条件が正しく記されていた. また, pH,  $f(\text{CO}_2)$  の差についても考察されていたが, 学生には  $A_T$  と  $C_T$  の正確さについて

説明しておらず, 詳細過ぎるので, ここでは省略する.]

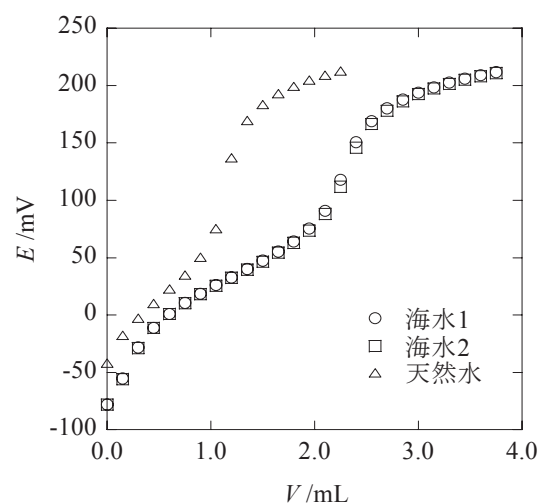


図 4 0.1 mol/L HCl による濾過海水と天然水の滴定曲線

表 4 炭酸系パラメータの分析値と計算値\*

| パラメータ                          | 分析値    |        | 計算値   |       |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|
|                                | 海水 1   | 海水 2   | 海水 1  | 海水 2  |
| 温度/°C                          | 19.7   | 19.3   | —     | —     |
| $A_T/\mu\text{mol kg}^{-1}$    | 2235.3 | 2233.7 | —     | —     |
| $C_T/\mu\text{mol kg}^{-1}$    | 2073.7 | 2071.4 | —     | —     |
| pH <sub>NBS</sub> /-           | 7.968  | 7.968  | 7.976 | 7.984 |
| $f(\text{CO}_2)/\mu\text{atm}$ | —      | —      | 670.6 | 655.9 |

\* 海水 1, 海水 2 の数字は 1 回目, 2 回目を意味する。

学生には塩分の関数として与えられている炭酸系の平衡定数 [3] を紹介していなかった. しかし, 5 名中 4 名の学生は, 平衡計算プログラムを用いて濾過海水の炭酸系化学種の濃度を計算し, 別に天然水についても計算して比較した. その結果, 海水の方がより解離平衡が右に移動することを見出した. それは海水の pH とイオン強度の影響であり, 海水が二酸化炭素の吸収源といわれることが理解できたと結論づけている。

実験後にアンケートを実施しなかったが, 他のテーマと比べて難し過ぎるという意見となかなか体験できない実験ができてよかったという意見が出された. 難し過ぎるという学生もレポート作成にはよく取り組み, 総じて目的は達成された。

### 5.4.3 今後の展望と課題

炭酸系分析の正確さが国際レベルに達しなくても、実験目的を適切なものにすることにより、本装置は高専の低学年から高学年の教育に活用できると考えられる。また、座学の中で話題として取り上げることも可能である。以下に活用のためのキーワードを示す。

キーワード：容量分析と自動滴定装置，自動滴定装置の仕組み，ビュレット係数，密度による体積・質量の換算，気体の溶解度，水中での炭酸系平衡，全溶存無機炭素，電荷均衡とアルカリ度，炭酸系化学種の生成分率（pH とイオン強度の影響），pH とネルンスト式，分圧，フガシティー，平衡計算，非線形最小二乗法の応用，海水の特徴，二酸化炭素の吸収源，炭素循環，海洋の酸性化，生物代謝と炭酸系，海水と生命の起源

琉球大学の水中二酸化炭素観測システムによる連続データの使用許可を得ていたもので、それを環境科学の演習に利用する計画であったが、本プロジェクト期間内には実施できなかった。今後は淡水用にデータ解析プログラムを作成することが望まれる。これまでのデータ蓄積によって密度は測定しなくてもよくなったが、塩分測定は必要である。しかし、同一ロットの海水を 20～40 L 確保したときに、塩分測定を他機関に 1 回（70～100 mL）協力依頼すれば、今回のような学生実験はスタッフによる予備実験を含めて 2～4 年間実施可能である。あるいは導電率計を利用する方法もある。

## 6. 結論

簡易型全アルカリ度滴定装置は、現段階では分析の正確さの点で国際レベルには達しなかったが、繰り返し精度の点で優れていることがわかった。学生実験への応用実施例から、本装置は高専の低学年から高学年まで、内容に応じて活用できると考えられる。

本研究は、平成 20 年度重点配分経費（東京高専学内予算，学科研究活動名称「実験と計算によって地球温暖化を学ぶー海洋の炭酸系平衡ー」代表者：工藤節子）および平成 21 年度重点配分経費（東京高専学内予算，研究課題「全アルカリ度滴定装置の高専教育への応用」申請者：工藤節子）によって実施されました。さらに本装置の開発者による講演会ならびに製作技術者による講習会は、平成 21 年度「企業技術者等活用プログラム」によって御支援いた

しました。平成 21 年度，物質工学科 5 年の山下 淳君は，炭酸系の精密測定ならびにデータ処理に精力的に取り組み，学生実験指導にも協力してくれました。ここに深く感謝致します。

水中二酸化炭素観測システムに連続的に導入される海水の採取を快諾された琉球大学理学部海洋自然科学科 大森 保教授（現在，名誉教授），密度の精密測定に便宜を図っていただいた東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 茅根 創教授に謝意を表します。

### 参考文献および注釈

- [1] 当時のプロジェクトによって機器名称が異なり，クーロメトリー用機器との接続も可能であった。
- [2] 分析の原理においては，簡易型であっても全自動型と同様である。
- [3] A. G. Dickson, C. L. Sabine, J. R. Christian (Eds.), Guide to Best Practices for Ocean CO<sub>2</sub> Measurements, PICES Special Publication 3, IOCCP Report No.8, October 12, 2007.
- [4] A. G. Dickson, *J. Chem. Thermodyn.* **22**, 113-127, 1990.
- [5] E. Lewis and D. Wallace, Program Developed for CO<sub>2</sub> System Calculations. <http://cdiac.ornl.gov/oceans/co2rprt.html> (2010 年 2 月 3 日現在).
- [6] A. G. Dickson, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego. <http://andrew.ucsd.edu/co2qc/> (2010 年 2 月 3 日現在).
- [7] H. Hata, S. Kudo, A. Muramoto, K. Nozaki, K. Kato, A. Negishi, H. Saito, H. Yamano, A. Watanabe, and H. Kayanne, *Galaxea, Japanese Coral Reef Society*, **6**, 21-42, 2004.
- [8] A. Watanabe, H. Kayanne, H. Hata, S. Kudo, K. Nozaki, K. Kato, and A. Negishi, Y. Ikeda, and H. Yamano, *Limnol. Oceanogr.*, **51**(4), 1614-1628, 2006.
- [9] R. Wanninkhof, E. Lewis, R. A. Feely, and F. J. Millero, *Mar. Chem.*, **65**, 291-301, 1999.
- [10] 渡邊 敦, 平成 12 年度東京大学大学院修士論文, 2001.

（平成 23 年 1 月 7 日 受理）

## 『新撰万葉集』注釈稿(上巻 冬部 九八〜九九)

一般科目 津田 潔・共立女子大学 半澤 幹一

## The Annotation of the Shinsen-man'yōshū (18)

Kiyoshi TSUDA and Kanichi HANZAWA

This paper is the annotation of the Shinsen-man'yōshū edited in 893?

(Key-word: the Shinsen-man'yōshū)

98 霜枯丹 成沼雖思 梅花 拆留砥曾見 雪之照礼留者  
 霜枯れに 成りぬと思へど 梅の花 さけるとぞ見る 雪の照れるは

## 【校異】

本文では、第二句の「沼」の後に、永青文庫本・久曾神本が「砥」字を補い、元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・下沢文庫本が該当箇所の上に「砥力」と注する。第三句の「梅花」の間に、類従本・永青文庫本・久曾神本は「之」を挟む。第四句の「拆」を、類従本・藤波家本・和学講談所本・道明寺本・無窮会本は「折」とする。また、永青文庫本・久曾神本は、第二句の「思」の後に「者」を補ういっぽう、第四句では「拆留」および「見」を欠き、「曾」の後に「湯留」を加える。

訓では、第二句の「おもへど」を、底本および藤波家本・林羅山本・道明寺本・無窮会本は「おもへば」とするが、元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・下沢文庫本から「おもへど」と改める。また、結句の「てれる」にたいして、林羅山本・無窮会本は「ふれる」とする。

同歌は、歌合や他の歌集に見当たらない。

98 寒風肅肅雪封枝。 寒風肅肅として雪枝に封ず。

更訝梅花満苑時。 更に訝かる梅花苑に満つる時。

山野偷看堪奪眼。 山野偷かに看れば眼を奪ふに堪へたり。

深春風景豈無知。 深春の風景は豈に知ること無からんや。

## 【校異】

「肅肅」を、底本・文化写本・藤波家本・永青文庫本「肅肅」に作るも、他本に従う。「更訝」を、林羅山本・無窮会本「更訶」に作り、またそれを異本注記する本がある。

## 【通釈】

北からの冷たい風がビュービュー吹いて、雪が木々の枝に積もっている。どうしてそれを今は梅の花が御苑一杯に咲き乱れている時節であつたつと怪しんだりすることがあろうか、そんなことはない。しかし、遙か彼方の山野のそれをちらっと見ただけであれば、(梅花と見紛うから)人の目を引きつけるのに十分だろう。(初春の風景ならまだしも)それが春爛漫の風景であるならば、どうして見分けられないことがあるだろうか。



## 【通釈】

霜枯れになったと思うのに、梅の花がまさに咲いているようである、（枝に降り積もった）雪が光り輝いているのは。

## 【語釈】

**霜枯れ**に「霜枯（しもが）れ」については、八二番歌【語釈】「霜枯れの」の項を参照。「霜枯れ」という名詞形は万葉集から見られるが、動詞としては「はぎはらしもがれにけりみかりのはあさるきぎすのかくれなきまで」（後拾遺集六・三九五）「しもがるははじめとみずはしらぎくのうつろふいろをなげかざらまし」（詞花集三・一二七）あたりから見られる。「霜枯れに」あるいは「霜枯れの」という形で、本歌同様、初句に来ることが多く、四季歌としては冬歌のみに現れる。何が霜枯れになるか、万葉集では「冬の柳」（一〇一・一八四六）の一例、八代集ではほとんどが草葉であるが、「霜がれの枝となわびそ白雪のきえぬ限は花とこそみれ」（後撰集八・四七六）「霜がれに見えこし梅はさきにけり春にはわが身あはむとはすや」（拾遺集一七・一一五五）のように、本歌と同じくウメの木と思しき例も認められる。**成りぬと思へど** この句を確定するうえで、本文との関わりから二つ、問題がある。一つは「と」に対応する漢字を欠いていること、もう一つは「思へど」か「思へば」かである。前者については、単なる欠字と見るのが普通であろう。ただ、本歌においては「雪の」の「の」には「之」字があるものの、「梅の花」の「の」も補読である。同様に「さけると」の「と」にも「砥」字が当てられている。これらからはあるいは適宜、訓みやすいほうを省略したのかもしれない。なお別解として、「雖」は万葉集では接続助詞の「とも」とも訓まれるので、「ともへど」というつながりを想定したとも考えられる。後者については、「雖」の字義に対応するのは逆接の「ど」であり、後続文脈との関係からも、順接としての「ば」はとりがたい。ただし、「ば」にも逆接確定条件を表す場合もあり、日本国語大辞典（第二版）にはその例として「秋萩の恋も尽きねばさ雄鹿の声い継ぎい継ぎ恋こそぞ増され」（万葉集一〇・一二四四）「巻向の檜原もいまだ雲居ねば小松が

## 【語釈】

**寒風** 冬に北方から吹く冷たい風。九一・九四番詩【語釈】該項参照。謝惠連「雪賦」に「歳将暮、時既昏。寒風積、愁雲繁」（『文選』卷一三）とあり、菅原道真「文章院漢書竟宴各詠史得公孫弘」詩に「何忌牧童疲望海、不愁布被耐寒風」（『菅家文章』卷五）とある。**肅肅** 風の音、あるいは羽音などを表す重言の擬音語。魏・王仲宣「贈蔡子篤詩」に「烈烈冬日、肅肅淒風」（『文選』卷二三）、晋・陶淵明「答龐參軍詩第六章」に「慘慘寒日、肅肅其風」、盧綸「冬日登城樓有懷因贈程騰」詩に「風声肅肅雁飛絕、雲色茫茫欲成雪」とある。異文「肅肅」は、恐らくは「肅肅」の誤写だろう。その用例を知らない。**雪封枝** 雪が枝を掩うように積もること。梁簡文帝蕭綱「詠梔子花詩」に「疑為霜裹葉、復類雪封枝」（『藝文類聚』梔子）、梁・虞羲「見江辺竹詩」に「秋波漱下趾。冬雪封上枝」とあり、多治比真人「和菅祭酒賦朱雀衰柳作」詩に「寒霜着樹非真葉、霏雪封枝是偽花」（『凌雲集』）、菅原道真「寄白菊四十韻」詩に「地疑星隕宋、庭似雪封袁」（『菅家文章』卷四）とある。**更訝**「更」は、「豈」と同義の俗語。「訝」は、怪しみ疑うこと。五一番詩【語釈】該項参照。「蘆花日々得風鳴、更訝金商入律声」（五一番詩）。「松風緒張韻類曲、更訝邕良琴瑟響」（一七四番詩）と、本詩も含めて前句には必ず風に関わる描写がある。異文「更訝」は、その用例を確認できない。「訝」は、叱る、怒鳴りつける意。文意不通であり、「訝」の誤写だろう。**梅花** 二・八一番詩【語釈】該項参照。**満苑時**「苑」は、天子や高級官僚の営む広大な遊楽のための場所をいい、中には林や湖があり、鳥獸を養って狩りをしたり、美しい草花を見に遠足に出かけたりするところであった。それに対して同じ発音でも「園」は、基本的には果樹を植えて周囲に牆をめぐるせた、いわば労働する場所であった。この広さと用途の基本認識は、「満苑」の用例が六朝詩・唐詩を含めて確認できないのに対して、「満園」は、唐詩に多数確認できるというように、中国ではよく守られており、その実際のスケールはもちろん違うけれども、日本漢詩でも同様である。本集においても「苑」は二・八番詩と本



末ゆ沫雪流る」(万葉集一〇一・二三・一四)などを挙げる。本歌も同様の用法と見れば、その可能性も否定できない。「成りぬ」は初句の「霜枯れに」と結び付き、「事のはもみな霜がれに成りゆくはつゆのやどりもあらじとぞ思ふ」(後撰集一三・九二三)という類例も見られる。 **梅の花**

「梅の花」は本集二番歌にも出ている。八代集には、この形のみであるのたいていして、万葉集には「梅が花」というのも二例(五・八三七、五・八四五)見られる。本歌は、雪を花に見立てたものであり、その例は万葉集・八代集を通して数多くあるが、ウメの花であると明示するのは少ない。万葉集では「我がやどの冬木の上に降る雪を梅の花かとうち見つるかも」(万葉集八・一六四五)「梅の花枝にか散ると見るまでに風に乱れて雪ぞ降り来る」(万葉集八・一六四七)「山高み降り来る雪を梅の花散りかも来ると思ひつるかも」(万葉集一〇一・一八四一)とあり、本歌と同じく枝に積もっている雪を見立てるのは最初の一例しかない。八代集では「雪ふれば木ごとに花ぞさきにけるいづれを梅とわきてをらまし」(古今集六・三三七)「春立ちて猶ふる雪は梅の花さくほどもなくちるか」とぞ見る」(拾遺集一・一八)「梅がえにふりつむ雪はひととせにふたたびさける花かとぞ見る」(拾遺集四・二五六)「むめがえにふりつむ雪は驚のはかぜにちるも花かとぞ見る」(千載集一・一七)などあり、「梅の花」は一例のみで、ウメの枝に降り積もった雪を見立てる例が主となっている。 **さけるとぞ見る** 「梅の花」が「さく」に「る」という完了の助動詞が加わった表現を連体修飾にとる例は、万葉集には「雪の色を奪ひて咲ける梅の花今盛りなり見む人もがも」(万葉集五・八五〇)「我が岡に盛りに咲ける梅の花残れる雪をまがへつるかも」(万葉集八・一六四〇)など四例が見られるが、八代集には一例もなく、「春くればやどにまづさく梅花君がちとせのかざしとぞ見る」(古今集七・三五二)「おそくとくつひにささぬる梅の花誰がうゑおきたねにか有るらん」(新古今集一六・一四四三)の二例が見られる。「とぞ見る」という見立て表現は、万葉集には「藤波の影成す海の底清み沈く石をも玉とそ我が見る」(万葉集一九・四一九九)しか見られないのたいていして、古今集

詩に用例があるが、いずれも梅花の咲く場所として登場する。梅はいまでもなく、奈良時代に舶来した植物であり、宮廷に移植されて大いに流行した観賞用樹木であった。一方「園」は、九・九六・九七番詩に登場するが、九六番が孝子・孟宗の私邸の筍を栽培する場所として描かれる以外は植物を特定できない。 **山野** 六六・八七・九三番詩【語釈】該項参照。また、「野山」(五六番詩)もあった。ここは、「苑」すなわち近景の宮中に対比される遠景としての「山野」である。 **偷看** 男が、気になる女性の表情をちらっと盗み見るように、素早く見る。六七番詩【語釈】該項およびその【比較・対照】を参照のこと。なお、一九番詩の【語釈】「偷見」の項と【補注】も参照のこと。 **堪奪眼** 「奪眼」とは、注意がそこに引きつけられること。眼が自分の自由意志で動かないで、対象に奪われるようになること。類語に「奪目」があり、梁・聞人倩「春日詩」に「林有驚心鳥、園多奪目花」(『玉臺新詠』卷八)とあり、李徳裕「南梁行」詩に「潤底紅光奪目燃、揺風有毒愁行客」とある。日中の諸辞書は、この「奪目」を、光で目をくらませることと解釈するが、少なくとも、前者には当てはまらないだろう。一方「奪眼」は、諸辞書に項目が無く、六朝詩にも用例がないが、唐詩には四例見える。浩虚舟「賦得琢玉成器」詩に「玷滅随心正、瑕消奪眼明」(キズが消えたのでその宝石は心に従って正しくなり、キズが消えたので目を奪われるばかりに明るくなった)、皮日休「以紫石硯寄魯望兼酬見贈」詩に「騷人白芷傷心暗、狎客紅筵奪眼明」(文人達はハナウドに心を傷つけられて暗く、親しい人は赤いむしろに目を引きつけられて明るい)、王穀「紅薔薇歌」に「晚日春風奪眼明、蜀機錦彩淨疑颯」(赤い薔薇は夕陽と春風に揺れて目を奪われんばかりに明るく、蜀の錦江の水で洗った錦の彩りと一体になって、黄黒かと疑われる)、李九齡「山舍南溪小桃花」詩に「一樹繁英奪眼紅、開時先合占東風」(一本の木の花のたぐさんの花房は目を奪われんばかりに赤く、咲くときは先を合わせて東風が吹くかどうかを窺う)とあるのがそれであるが、玉石や花に対して言うのであるから、少なくとも目がくらんで見えないというのではあるまい。 **深春** 春たけなわ。唐

以降は前項にも例を挙げたごとく、「くかとぞ見る」の形で多く見られる。

**雪の照れるは**「照る」については、六八番歌【語釈】「袖さへぞ照る」の項を参照。その主体は月あるいは日がほとんどで、雪にたいして用いる例は見当たらない。ただ、万葉集には「咲き出照る梅の下枝に置く露の消ぬべく妹に恋ふるこのころ」（万葉集一〇一・二三三五）「磯影の見ゆる池水照るまでに咲けるあしびの散らまく惜しも」（万葉集二〇一・四五一三）などのように、「花」にたいする例が認められる。本歌は雪を花に見立てる歌であるから、この「照る」は「花」を通じて「雪」に結び付いているといえる。この点については、八一番歌【語釈】「光まつ」の項も参照。動詞句＋助詞「は」で歌末となる表現は、「彦星し妻迎へ舟漕ぎ出らし天の川原に霧の立てるは」（万葉集八一・一五二七）「新しき年の初めに豊の稔しるすとならし雪の降れるは」（万葉集一七一・三九二五）、「いさりせしあまのをしへしいづくぞやしめめぐるとでありといひしは」（拾遺集七一・四〇〇）など見られるが、けっして多くはない。ちなみに、万葉集では「うち渡す竹田の原に鳴く鶴の間なく時なし我が恋ふらくは」（万葉集四一・七六〇）「茅花抜く浅茅が原のつほすみれ今盛りなり我が恋ふらくは」（万葉集八一・一四四九）などのような語法＋「は」の形式が定型的に用いられ、八代集では「ちはやぶる神世もきかず竜田河唐紅に水くくるとは」（古今集五・二九四）「しられじなわがひとしれぬ心もて君を思ひのなかにもゆとは」（後撰集一四・一〇一七）「思ひきやわがまつ人はよそながらたなばたつめのあふを見むとは」（拾遺集一二・七七二）などのように、助詞「と」＋「は」で結ぶ形式が目立つ。

### 【補注】

雪を花に見立てる歌は、本集上巻に「春来れば花とや見らむ白雪の懸かれるえだに鶯の鳴く」（二二番）「光まつえだに懸かれる雪をこそ冬の花とはいふべかりけれ」（八一番）「霜枯れの枝とな侘びそ白雪を花と雇ひて見れど飽かれぬ」（八二番）など見られるが、措辞のうえで本歌と近いのは八二番歌となろう。

※／

代からの詩語。二一・八七番詩【語釈】該項参照。風景 風と光。光に満ちた春の景色。一八・六八・八九番詩【語釈】該項参照。豈無知 どうして分からないことがあるうか、いや無い。四八番詩【語釈】該項参照。

### 【補注】

韻字は、「枝」（上平声五支韻）、「時」（上平声七之韻）、「知」（上平声五支韻）で、支韻は之韻と同用。平仄にも基本的な誤りはない。

第一句のみ宮中の冬景色という眼前の実景を詠んだもの。第二句は、季節的に近い初春の光景である梅花と見紛うはずはないと言い、第三句で、でも遠い山野の光景で、しかもちらつとしか見ないのであれば、間違う可能性は十分にあると述べる。しかしそれも、時期的に近い初春ならあり得るけれども、深春であれば、間違うことはない第四句でダメを押すという構成になっている。

結局、この漢詩は見立ての合理性をあれこれ述べたものということになる。

※ 本歌の特色は結句の「雪の照れるは」という表現にある。他の冬の見立て歌においては、雪を花と見立てることにより、その鑑賞の価値が生まれることを詠むものであったが、本歌は雪そのものを「照る」という表現により、鑑賞の対象としている。「霜枯れに成りぬ」という状態は、雪さえもない殺風景をいうとすれば、その中であって、日の光を浴びた「雪の照れる」さまが目についたのである。その意味では「梅の花」への見立ても、そのさまを形容するために用いられたにすぎないという感もある。

本歌が他集に見られないのも、花の見立てよりも、雪そのものを鑑賞の対象とするような歌いぶりが一般になじまなかったからではないかと考えられる。

## 【比較・対照】

本詩【補注】に述べるように、「この漢詩は見立ての合理性をあれこれ述べたもの」にすぎないとするならば、詩は、見立てそのものがねらいではない歌の趣意をとりそなっているかのように見える。

しかし、実景を詠むのが起句だけならば、その美しさを、承句以降で表現しようとしたと見ることもできなくはない。そこでのあれこれの検討の結果として見立てを否定し、やはり「雪封枝」という苑の風景がそれ自体として美しいのだということを言おうとしたのならば。

そもそも厳密に言えば、本詩は意図的な見立ての表現としては成立していない。現実にはたいする錯覚を自覚し、疑い、打ち消しているからである。そのことに詩全体の四分の三を費やしてまでこだわるのは、それでもそのように錯覚してしまうほどに、実景が美しいということを強調しようとしたためと考えざるをえない。つまり、梅花に見立てられるから美しいのではなく、そのものが美しいということである。

この解釈が妥当だとすれば、本詩はまさに歌の趣意どおりを見事に写し替えているといえる。それに、時期や場所などの具体的な条件を重ねるといふ、漢詩らしさも添えて。この点は、本歌の「霜枯れに成りぬと思へど」という表現と、間接的に呼応しているといえることができる。

99 歴年砥 色裳不変沼 松之葉丹 宿留雪緒 花砥許曾見畔

年ふれど 色も変はらぬ 松の葉に 宿れる雪を 花とこそ見め

## 【校異】

本文では、初句の「歴年」を、京大本・大阪市大本・天理本が「年歴」とする。第三句の「葉」を、林羅山本・無窮会本・下沢文庫本が「枝」とし、底本および元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・類従本・文化写本・藤波家本・和学講談所本・道明寺本が「枝イ」と傍注する。永青文庫本・久曾神本は、第四句の「宿」の後に、「礼」を補い、「留」の後の「雪」を欠く。

訓では、第三句の「の」を、林羅山本・無窮会本が「が」とし、同句の「葉」を「枝」とする下沢文庫本が「えだ」、林羅山本・無窮会本が「え」とする。第四句の「やどれる」にたいして、底本および藤波家本・和学講談所本が左傍に「か、れる」と訓ずる。結句の「みめ」を、元禄九年版本・類従本・道明寺本が「みれ」と、京大本・大阪市大本・天理本・無窮会本が「みず」とする。

同歌は歌合には見られないが、後撰集（巻八、冬、第しらず、よみ人も、四七五番）にあり（ただし、第三句「松がえに」、第四句「かかれ

99 冬来松葉雪斑斑。 冬来りて松葉雪斑斑たり。

素薬非時枝上寛。 素薬時に非ずして枝上に寛<sup>ゆたけ</sup>し。

山客廻眸猶誤道。 山客眸を廻らして猶ほ誤りて道<sup>みち</sup>ふ、

応斯白鶴未翩翻。 斯れ白鶴の翩翻せざるなるべしと。

## 【校異】

「斑斑」を、底本等「班班」に作るも、元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・日本詩紀本・下沢文庫本・藤波家本・天理本・無窮会本・永青文庫本に従う。「素薬」を、久曾神本「素薬」に作る。「廻眸」を、元禄九年版本・元禄十二年版本・文化版本・日本詩紀本・下沢文庫本「回眸」に作る。「猶誤道」を、元禄九年版本・類従本・藤波家本・和学講談所本・道明寺本・京大本・大阪市大本・天理本・林羅山本・無窮会本・永青文庫本・久曾神本「猶誤道」に作る。

## 【通釈】

冬になって松葉に雪が積もって白と青のまだら模様に見える。それは白い花が咲く時季でないのに枝の上にたくさん咲いたかのよう。その光景は、山に住む仙人ならばあたりを見回してやはり間違えて言うだろう、きつと白鶴がまだ舞わずに枝に止まっている姿だと。



る雪を」、結句「花とこそ見れ」、また古今和歌六帖（巻一、天、雪、七四〇番）にも見られる（ただし、第三句「松がえに」、第四句「かかれる雪を」、結句「花かとぞ見る」）。

### 【通釈】

何年も経つけれど色のちつとも変らない松の葉に留まっている雪を花と見ることにしよう。

### 【語釈】

年ふれど 漢語「歴年」を返読して「としふ」と訓む例は、本集にも万葉集にも見られない。また本集上巻には、付属語との関係以外で返読する例も他に見当たらない。「年ふれど」という表現は万葉集にはなく、八代集にも同歌所載の後撰集以降に見られ、すべて初句に位置する。どの歌でも、一年ではなく何年も経つの意。そのうち、松とともに詠まれるのは「としふれどかはらぬ松をたのみてやかかりそめけんいけの藤なみ」（千載集二・一二〇）のみ。逆接仮定条件の「年ふとも」でも、「住吉のわが身なりせば年ふとも松より外の色を見ましや」（後撰集九・五九七）という、松の色に関わる歌がある。本集七九番歌【語釈】「年ぞへにける」の項も参照。色も変はらぬ 本集上巻の、助動詞「ず」の各活用形で訓む例における本文表記は、「ず」の場合、一〇例中九例が「不」、一例が「栖」、「ね」の場合、五例中四例が「不」、一例が「不」；称、そして「ぬ」の場合、一六例中六例が「不」および「不」；沼、三例が「沼」、残り一例が無表記となっていて、連体形「ぬ」における「不」；沼」という併用表記が目立つ。色が「かはる」という表現については、七八番歌【語釈】「変はらざりける」の項を参照。また、マツの「色」についても、同歌【補注】を参照。「色も変はらぬ」という表現自体は万葉集にはなく、八代集には同歌も含め九例、見られる。その対象となるのは、同歌以外にマツはなく、「さか木ば」と「くれたけ」が二例ずつ、他に「もみぢ」「事のは」「月のかつら」「やまぶき」が各一例である。「も」以外の助詞あるいは「ぬ」以外の活用形にまで広げると、万葉集にも「咲く花の色は変はらずもしきの大宮人ぞ立ち変はりける」（万葉集六一

### 【語釈】

冬来 冬になる。八四番詩【語釈】該項参照。松葉 松の、細くて

鋭い棘を持つ青葉。松に懸かる雪を花と見立てることは、本集八七番詩に「青松残雪似花鮮：咲殺寒梅万朶連」とすでに見えており、梅花よりも美しいものと詠まれていた。ただし、「松葉」と更に観察が細くなる、と、例えば、陳・曇瑗「遊故苑詩」に「丹陽松葉少、白水黍苗多」とあるのを初出として、唐詩から用例は増えて、王建「和少府崔卿微雪早朝」詩に「無多白玉階前湿、積漸青松葉上乾」とあるのは、本詩と類似する光景。具平親王「唯以酒為家」詩に「戸牖梨花松葉裏、鄉園藍水玉山程」（『本朝麗藻』巻下）、源英明「秋氣颯然新」詩に「露滴蘭叢寒玉白、風銜松葉雅琴清」（『和漢朗詠集』露、「類題古詩」氣）とあり、前者は「松葉酒」の意も含ませる。雪斑斑 雪がまだらに残っている様。本集九〇番詩にも「雪後朝朝興萬端、山家野室物斑斑」とあった。鄭愔「折楊柳」詩に「風花滾成雪、羅綺亂斑斑」、白居易「以鏡贈別」詩に「我慚貌醜老、繞鬢斑斑雪」とあるが、用例は極めて少ない。ちなみに、中国詩には雪の形容としての異文「班班」の用例なく、日本漢詩にも他の用例を知らない。素藥 白い花。「藥」は、花のこと。六三番詩【語釈】「夢初開」の項を参照のこと。ただし、この語の用例は極めて稀で、梁・劉孝綽「於座応令詠梨花詩」に「詎匹龍樓下、素蕊映朱扉」以外に知らない。非時 しかるべき、正しい時節でないこと。八一番詩【語釈】該項参照のこと。枝上寛 「寛」は、九〇番詩「月色寛」の【語釈】を参照のこと。ただし、ここはそれと語義が異なり、「枝上」という局所におけるものであることに注意。あるいは、「ユタカ」という訓に引かれた、和習に近い用例かもしれない。僅かに類似する訓詁を探し得たとするならば、杜甫「遣悶戲呈路十九曹長」詩に「晚節漸於詩律細、誰家數去酒杯寛」とある「寛」で、仇兆鰲注に「多也」とするものである（『漢語大詞典』該項の指摘）。そもそも「寛」のいう「ユタカ」は、心の豊かさ（＝心の広さ・寛大さ）をいうのであって、物の豊富さ、数の多さを意味することはないはずであり、その意味でも、嵯峨天皇「贈綿



一〇六一)や「我が背子がやどのなでしこ日並べて雨は降れども色も変はらず」(万葉集二〇一四四二)のように、花に関する例はあり、八代集には「ちはやぶるかもやしろのひめこまつよろづ世ふともいろはかはらじ」(古今集二〇一一〇〇)「ちはやぶるひらのの松の枝しげみ千世もやちよも色はかはらじ」(拾遺集五二二六四)「神山の松ふくかぜもけふよりは色はかはらでとおとぞ身にしむ」(千載集四一三三二)「千とせふる尾上の松は秋風のこゑこそかはれ色はかはらず」(新古今集七一七六)など、マツに関する例が多く見られる。松の葉に「松の葉」については、八七番歌【語釈】「松の葉に」の項を参照。【校異】に示したように「葉」を「枝」とする諸本があり、後撰集や古今和歌六帖も「松がえ」としている。雪との関係でいえば、葉については「松の葉にかかれる雪のそれをこそ冬の花とはいふべかりけれ」(後撰集八一九九二)「山がくれきえせぬ雪のわびしきは君まつのはにかかりてぞふる」(後撰集一四一〇七三)「見わたせば松のはしろきよしの山いくよつもれる雪にかあるらん」(拾遺集四一二五〇)などの類例が挙げられるのになんとして、枝のほうは「こぬ人を松のえにふる白雪のきえこそかへれくゆる思ひに」(後撰集二二八五二)のみである。宿れる雪を「宿れる雪」という表現についても、八七番歌【語釈】「宿れる雪は」の項を参照。異訓「かかれる」との違いにも言及してある。花とこそ見め この句についても、八七番歌【語釈】「花とこそ見れ」の項を参照。また、雪を花に見立てる歌については、二二番歌【語釈】「花とや見らむ」の項および【補注】を参照。「見め」は動詞「見る」の未然形に助動詞「む」の已然形が付いた表現であるが、これについて『新撰万葉集注釈 卷上』(二)は「見るだろうよの意であつて、(略)「こそ見れ」ほどの直截な表現でない」と説く。「だろう」という訳からは「む」を推量の意ととつてのことであろうが、一人称主語で推量はありえない。見ることにしようという意志が示されているのであつて、「直截」かどうかはともかく、「見れ」と同等もしくは、より強い歌末表現である。なお、【校異】には「みず」という異訓があるが、片仮名の「メ」を「ス」と誤写したものと

寄空法師」詩の「禪関近日消息断、京邑如今花柳寛」(『凌雲集』)の例にも違和感がある。山客 基本義は、山中に住む人だが、それは時に隠者となり、仙人・道士となる。ここは、恐らく仙人の意。本集一〇番詩には、「山人」とあつたが、それとほぼ同じ。本集九二番詩の「遊人」は、「跡を絶ちて幽山に入った」のだから、「山客」「山人」となったのだろう。六朝詩には、漢・古辞「豫章行」に「涼秋八九月、山客持斧斤」、梁・江淹「感春水遥和謝中書詩二首其二」詩に「若作商山客、寄謝丹水浜」の二例を見るのみで、前者は基本義、後者は隠者の意。王維「田園樂七首其六」詩に「花落家童未掃、鶯啼山客猶眠」、李白「日夕山中忽然有懷」詩に「久臥青山雲、遂為青山客」とあるのは、山中に住む人の意、司空曙「葉園」詩に「独有深山客、時來辨葉名」、王建「尋李山人不遇」詩に「山客長須少在時、溪中放鶴洞中棋。生金有氣尋還遠、仙藥成窠見即移」、王建「送山人二首其二」詩に「山客狂來跨白驢、袖中遺卻潁陽書。人間亦有妻兒在、拋向嵩陽古觀居」等とあるのは、仙人・道士の意だが、白居易は、「春遊二林寺」詩に「朝為公府吏、暮作靈山客」、「和裴令公一日一年雜言見贈」詩に「山客硯前吟待月、野人尊前醉送春」と、自身を「山客」と呼ぶので、山野に遊ぶ人という意味にとつていい。ここは、王建「尋李山人不遇」詩との類似から、仙人と解釈する。良岑安世「山亭聽琴」詩に「山客琴聲何處奏、松蘿院裏月明時」(『文華秀麗集』卷下)、源常「七言奉和太上天皇問淨上人病」詩に「山客尋來若相問、自言身世浮雲虛」(『經國集』卷一〇)とあり、前者は隠者の意。廻眸 本集一三・五六・六八・七六番詩に既出。あたりを見回すこと。語義に關しては、六八番詩の【補注】を参照されたい。猶誤道 やはり間違つて言う。本集一三番詩【語釈】該項参照のこと。応斯 きつとそれはゝに違いない。本集一三・九七番詩に既出。白鶴 魏・曹植「白鶴賦」に「嗟皓麗之素鳥兮、含奇氣之淑祥」(『初學記』鶴)、劉禹錫「和浙西李大夫伊川卜居」詩に「徒令双白鶴、五里自翩翻」とあり、雪を鶴に見立てることは、例えば『初學記』雪には、謝惠連「雪賦」に「皎鶴奪鮮、白鵬失素」、陳・張正見「潔圃觀春雪詩」に「弘鶴伊川上、飄花桂々々、

であろう。

# 【補注】

【語釈】で明らかのように、本歌の措辞は「松の葉に宿れる雪はよそにして時まどはせる花とこそ見れ」（八七番）にきわめて類似している。にもかかわらず眼目はまったく異なる。同じ見立てであつても、八七番歌は「よそにして時まどはせる」点においてであるのにたいして、本歌は「年ふれど色も変はらぬ松の葉」との対比においてという、見立てのポイントが違うのである。

マツの葉の色が永久不変であるのに比べれば、花の色はほんの一時にすぎない。本歌において雪を花に見立てるのも、そのような花のはかなさゆえである。しかし、『新撰万葉集注釈 卷上(二)』の「松の葉の緑が永久不変であることと、〔宿れる〕つまり冬のわずかな間とどまつて花が咲いているような雪のはかなさとの対比も、詠み込んでいると言えよう」（四一〇頁）のように、雪にも「はかなさ」をそのままあてはめるのは妥当とは言えない。実際に降り積もった雪は、花とは異なり、冬の間、長く留まつているからである。それでも、この見立てが成り立つのは、結句の「とこそ見れ」という表現による。すなわち、単にマツの葉の雪が花に似ているということではなく、この意志表現によつて、留まる雪が花のように早くなくなつてほしいという、春の到来を待ち望む気持ちが表されているのである。その意味では、冬部の掉尾を飾るのにふさわしい歌といえよう。

※苑中」とある二例が収載されるが、『藝文類聚』雪には無い。源弘「七言和良將軍題瀑布下蘭若簡清大夫之作」詩に「四時每聽奔雷響、遠近同看白鶴懸」（『経国集』卷一〇）、菅原道真「賦木形白鶴」詩に「清唳無期何歲月、金吾願得一声聞」（『菅家文章』卷二）とある。ちなみに、前者の「白鶴」は、「瀑布」の比喻。雪を鶴に見立てることに關しては、楊泰師「五言奉和紀朝臣公詠雪詩」詩に「昨夜龍雲上、今朝鶴雪新」（『経国集』卷一三）とあり、大江匡衡「暮秋左相府東三条第守庚申同賦池水浮※、

※明月詩」詩に「洲晴舞鶴疑廻雪、底徹遊魚似上氷」、源為憲「奉和藤賢才子登天台山之什」詩に「鶴閑翅刷千年雪、僧老眉垂八字霜」（『本朝麗藻』卷下）とあるのは鶴の白さを雪に喩えたもの。翻翻 ひるがえりながら飛ぶ様を表す双声の語。張衡「西京賦」に「衆鳥翻翻、群獸駭駭」（『文選』卷二）、王昌齡「灞上聞居」詩に「庭前有孤鶴、欲啄常翻翻」、章孝標「聞雲中唳鶴」詩に「翻翻繁碧落、嘹唳入重雲」とあり、滋野貞主「雜言臨春風效沈約体应制」詩に「黃鶯雜踏誰求媒、素蝶翻翻不倦廻」（『経国集』卷一一）とある。

# 【補注】

韻字は、「斑」（上平声二七刪韻）、「寛」（上平声二六桓韻）、「翻」（上平声二二元韻）で、それぞれ隣接する韻ではあるが、同用ではないので押韻に傷がある。平仄に基本的な誤りはない。

「山客」を仙人とするのは、白鶴との関連による。鶴が仙境に棲み、仙人の乗り物とされた鳥であるばかりでなく、仙人だからこそ、「猶ほ誤りて道ふ」と考えるのである。葛野王「五言遊龍門山」詩に「安得王喬道、控鶴入蓬瀛」（『懷風藻』）、藤原史「遊吉野二首其二」詩に「靈仙駕鶴去、星客乘查遼」（『懷風藻』）、島田忠臣「鶴棲松」詩に「千年松与千年鶴、時留羽駕仙人過、日長精神道士瞻。何必乘軒終表質、願從君子得無厭」（『田氏家集』卷下）、菅原道真「感金吾相公冬日嵯峨院即事之什聊押本韻」詩に「老鶴從來仙洞駕、寒雲在昔妓樓衣」（『菅家文章』卷五）等とあり、菅原道真「賦木形白鶴」詩の題下注には、源能有の四十歳の祝賀の法会にそれが飾られていたことが記されている。

本詩の構成に就いてみるならば、まず【語釈】でも多く挙げたように本集一三番詩との類似を取り上げねばならないだろう。

霞光片片錦千端。 霞光片片として錦千端。  
未辨名花五彩斑。 名花の五彩に斑なるとを辨ぜず。  
遊客廻眸猶誤道、 遊客眸を廻らして猶ほ誤りて道ふ、  
応斯丹穴聚鸕鷀。 斯れ丹穴に鸕鷀の聚まるなるべしと。

第二句は、「未辨」と言うが、本詩では「非時」と言つて、比喻である※、

※ことを匂わせるだけで暗喩としている。後半の類似は述べるまでもない。おまけに押韻まで上平声二七刪韻と上平声二六桓韻を用いている。現代であれば、両者の作者が同一人でないならば、恐らく剽窃問題になるだろう。

なお、雪と花の比喩については、八七番詩を参照されたい。また、この作の比喩については、小島憲之『古今集以前』二六一頁以下にも言及がある。

### 【比較・対照】

和歌と漢詩との対応で言えば、漢詩は和歌の「年ふれど色も変わらぬ」の部分はまったく無視して、前半の二句を制作したということになるだろう。和歌の【補注】に言うように、雪を花とする見立てにおける本歌の眼目が、「年ふれど色も変わらぬ松の葉」にあるにもかかわらずである。しかも面白いことに、和歌が類似する八七番詩では、その【比較・対照】に言及があるように、和歌の「よそにして」と「時まどはせる」という、見立てであることを際立たせる趣向、その和歌の生命線であるはずのものが反映されなかったという指摘である。本詩にはその「時まどはせる」を映したとおぼしき、「非時」が挿入されているという皮肉もある。恐らく、漢詩部分の前半だけなら、八七番と九九番は入れ替えた方がよりうまく和歌に対応するのではないか。「青松」という語も、「年ふれど色も変わらぬ」というニュアンスを、少なくとも「松葉」よりは伝えているように思われる。

さて、後半は和歌の内容にない、漢詩独自の付加部分であるが、これは単に余計な比喩を付け足したということではないように思われる。和歌の【補注】に、「とこそ見め」という意志表現が「春の到来を待ち望む気持ち」を表しており、「冬部の掉尾を飾るのにふさわしい歌」だというのが、その新年の到来を予祝する意味で、わざわざ鶴の比喩が選ばれたのではないかとということである。「山客」を仙人とするのも、漢詩の【補注】の用例にもあるように、松も鶴もそして仙人も、永遠の命を持つものであり、春という歳月の再生を意味する季節の到来を強く待ちわびる和歌の含意を、具現化していると言えるのではなからうか。

〔注〕本稿は、『共立女子大学文芸学部紀要』第四〇集／第五六集（平成六年二月／平成二二年一月）および『東京工業高等専門学校研究報告書』第二六号／第四二（一）号（平成六年十二月／平成二二年十二月）の続稿である。なお「凡例」については『共立女子大学文芸学部紀要』第四〇集を参照されたい。

（平成二十三年一月七日受理）

東京工業高等専門学校研究報告書

第 42 (2) 号

平成 22 年度

平成23年3月31日発行

編 集 者 東京工業高等専門学校図書委員会  
発 行 者 東京工業高等専門学校  
東京都八王子市櫛田町 1220 の 2  
TEL 八王子 (042) 668-5111  
〒193-0997

印 刷 所 電算印刷株式会社  
長野県松本市筑摩 1-11-30  
TEL 松本 (0263) 25-4329  
〒390-0821

The name of the journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National Technical College*” into “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” since the 1984 issue.



