

Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 43(1) 号

2011.12

東京工業高等専門学校研究報告書 第43 (1) 号 目次

時間的余裕のない学習者のための外国語習得法に関する一考察…………… —Part 2 : 初期 6 ヶ月の観察—	ゲイツ	ジョン	……	1
技術者倫理教育の立場から東日本大震災を考える……………	河川 浅木 庄	村北 野村 司	豊司 晃一 南良	5
国語プレースメントテストの実施報告……………	船川 津	戸北 田	美智子 晃司 潔	23
円柱棒による風車用厚翼における失速現象の制御と翼周りの流れの挙動……………	斉山 高岩	藤科 橋村	純貴 正拓 夫裕 旭哉	29
ボルテックスジェネレータを付加した翼型の…… 流体力学的特性と翼周りの流動状態	斉高 山岩 竹高	藤橋 口村 下橋	純賢 強太 拓惠 正一 羽郎 哉朗 旭	37
高分子ピエゾフィルムを用いた面外曲げ静ひずみ測定法……………	黒有 西	崎田 村	茂也 克大 希	45
走行時自転車フレームの 3 軸加速度測定……………	木	村	南	51
電気自動車の普及に因る電力需給への影響……………	中土	島井	竜海 淳	57
軟体動物二枚貝類閉殻筋における…… 構造タンパク質トロポミオシンの比較生化学的解析	伊宮 野	藤下 口	篤利 恵生 子	63
平成22年度教員教育研究業績……………				71
『論語』子罕篇「歳寒の松」の解釈とその受容について……………	津	田	潔	(1)

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 43 (1)

CONTENTS

John GATES	Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective	
	—Part 2 : Observations from the First Six Months—	1
Yutaka KAWAMURA	Engineering Ethics Education and the Great East-Japan Earthquake	5
Koji KAWAKITA		
Keiichi ASANO		
Minami KIMURA		
Ryo SHOJI		
Michiko FUNATO	A Report on the Placement Test of Japanese Ability of Students at	
Koji KAWAKITA	Tokyo National College of Technology	23
Kiyoshi TSUDA		
Sumio SAITO	Control of Stall Phenomena in a Thick Wind Turbine Blade by a	
Takahiro YAMASHINA	Cylindrical Rod and the Behavior of Flow around the Blade	29
Masaaki TAKAHASHI		
Takuya IWAMURA		
Sumio SAITO	Aerodynamic Characteristics of an Airfoil with Vortex Generators	
Ken-u TAKAHASHI	and Flow Conditions around the Blade	37
Kyotaro YAMAGUCHI		
Takuya IWAMURA		
Keiichiro TAKESHITA		
Masaaki TAKAHASHI		
Shigeru KUROSAKI	Out-of-Plane Bending Static Strain Measurements Using Piezoelectric	
Katsuya ARITA	Polymer Film	45
Daiki NISHIMURA		
Minami KIMURA	Acceleration measurement of three axes of bicycle frame	
	when running	51
Tatsumi NAKAJIMA	A Study of the Influence on Electricity Supply and Demand by	
Atsushi DOI	the Spread of Electric Vehicle	57
Atsuko ITOH	Comparative Biochemical Analysis of Tropomyosin Isoforms	
Marie MIYASHITA	From Various Bivalves Adductor Muscle	63
Takao NOGUCHI		
Kiyoshi TSUDA	An Interpretation and Recognition of Saikan-no-Matsu	
	—the Pine in the Cold Year—in Book Nine of Rongo,	
	the Analects—the Art of Confucius	(1)

Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective

—Part 2: Observations from the First Six Months—

John GATES*

This paper summarizes the main observations from the first six months of learning a foreign language (Finnish) for the purpose of experiencing the difficulties that Kosen students have in learning English. It was found that the major difficulties are a lack of time and keeping motivated to study, especially when there is a break from studying. It was observed that first learning the correct pronunciation of the new or difficult sounds in the language is very important and that Lorayne's memory method is effective in remembering new vocabulary.

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

1. Introduction

In a previous paper [1] it was proposed that a Kosen English teacher studying Finnish would experience many of the same difficulties, such as a lack of time and motivation, which are common for a Kosen student learning English. Through these experiences the teacher could find a more effective method for teaching English. The language learning method proposed by Farber [2] was chosen for learning Finnish. This method suggests that the learner should study the first five chapters of grammar in a textbook and then start reading newspaper articles while continuing to study the textbook. New vocabulary is to be studied by using flashcards. In order to learn the vocabulary effectively, Farber suggests using the memory method proposed by Lorayne [3]. In order to evaluate the level of fluency attained, the previous paper [1] proposed various target levels for the four skills of reading, listening, speaking and writing.

Table 1: Proficiency targets and level achieved

Skill	Target	Achieved	Percent
Grammar	First 5 chapters	Introduction only	0%
Reading	200 words in 5 minutes with 70% comprehension	0 words (Did not read any news articles)	0%
Listening	50% comprehension of a newscast	20% comprehension of the CD for the textbook	5%
Speaking	30 minutes of general conversation	Approximately 30 seconds of conversation	2%
Writing	200 words in 20 minutes	0 words (Not attempted)	0%

2. Progress Towards the Goals

The introduction shows that the two major goals of this research are acquiring a level of proficiency in the four major skills of Finnish and improving the teaching of English by experiencing the difficulties of learning a foreign language. From the data shown in Table 1 it is obvious that proficiency in Finnish is progressing very slowly.

* Department of Liberal Arts (English)

However, from the point of view of the goal of experiencing the difficulties of learning a foreign language this data shows that the project is succeeding well. This is because one of the major reasons for giving up learning a new language is the slow progress experienced in the beginning.

3. Time and Motivation are the Problem

It can be seen from Table 1 that little progress has been made in learning the four basic skills of Finnish. The most obvious reason is a lack of time and motivation. Fig. 1 shows a graph of the number of minutes used for study, and the type of study for each week. It can be seen that the amount of study time in the first week was almost twice as high as the second week and that the third week had almost no study time. This was caused by being very busy with other work and not having sufficient time to study. Weeks 12 and 13 had no study time because this was the winter break and there was little motivation to study.

The most interesting data is that from Week 18 to Week 26 there was no study time. The reason is that Week 18 was the start of the final exams which generated a lot of extra work. However after the exams were finished there was no motivation to study and this resulted in six weeks without studying any Finnish. This suggests that to keep motivated some study should be performed every week.

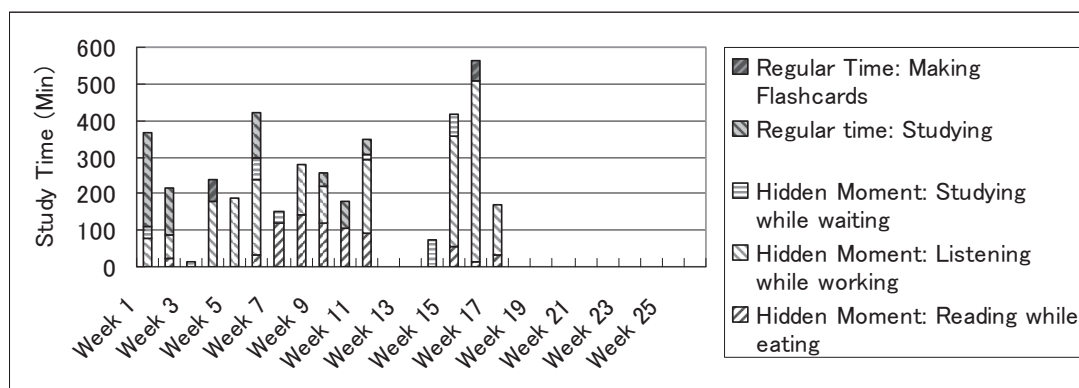


Figure 1: Studying time and type of study per week

Fig. 1 shows that there are two basic categories of study time, “hidden moments” and regular study time. “Hidden moments” means using every possible opportunity for study, such as studying while doing something else, and they are a major component of Farber’s method. Regular study time is a block of time dedicated for study only. Table 2 shows the classification of the study time for the first six months. It can be seen that the total study time was 3881 minutes or 64.68 hours. However, 80.1% of the time consists of “hidden moments” and only 19.9%, or 12.9 hours, were spent in regular study. This shows that “hidden moments” are very useful to increase the amount of time for study and also help increase the motivation.

Table 2: Classification of study time

	Total Minutes	Total Hours	% of Total Time
Hidden Moment: Reading while eating	730	12.17	18.81
Hidden Moment: Listening while working	2100	35.00	54.11
Hidden Moment: Studying while waiting	280	4.67	7.21
Regular Time: Studying	656	10.93	16.91
Regular Time: Making FC	115	1.92	2.96
Total Time	3881	64.68	

4. Observation 1: Master Pronunciation First

A closer look at Table 2 shows that more than half of the total studying time was spent listening to the audio CD for the textbook. The same CD was listened to many times as it was the only CD available. This was very useful time as it allowed the correct pronunciation of the different Finnish sounds to be thoroughly practiced. Correct pronunciation or sufficiently correct pronunciation is the key to learning most of the basic skills. If the correct pronunciation is learned early, then learning vocabulary becomes easier. Also, if the correct pronunciation is not learned then each time new words are studied the incorrect pronunciation will be reinforced and then will become even harder to fix later. Learning the correct pronunciation also improves the learner's confidence to speak using the foreign language and also improves listening skills.

After studying for about one month, there was an opportunity to speak with a Finnish foreign student. At that time only "hello" could be said in Finnish. Also, the student said the pronunciation of some of the sounds were wrong, especially the sounds that are different from English. However, after about two months of listening to the CD while working the correct pronunciation of these sounds was accomplished.

5. Observation 2: Lorayne's Memory Method is Effective

All foreign languages have a lot of new vocabulary to learn and Finnish is no exception. In order to learn any language a lot of words have to be memorized. The method of learning vocabulary proposed by Farber is to make flashcards of all unknown words and phrases. On one side of the card write the unknown word and on the other side write the meaning in the learner's native language. Several words can be written on a single flashcard. Then the words are memorized using silly mental pictures which is the memory method proposed by Lorayne [3].

Once the flashcards have been made the learner is supposed to carry them everywhere and study them whenever there is free time even if only for a few seconds. However, in practice it is difficult to get in the habit of doing this. Instead it seems more practical to study the flashcards while riding the train or the bus, waiting for an appointment, etc. Also, Farber recommends the learner to look at the meaning in the

learner's native language and try to recall the unknown foreign word. This is the reverse of the normal way of learning vocabulary. It is much more difficult however it is also much more effective.

In order to demonstrate the effectiveness of the proposed vocabulary learning method, two experiments were performed. For the introductory chapter there were 131 words and phrases that had to be remembered. However during the winter break there was insufficient time and little motivation to study, so after 19 days without studying any Finnish all the vocabulary words were tested by looking at the English meaning and recalling the Finnish word. This test was then repeated a second time immediately after testing all of the 131 words. Then immediately after the second test was completed the words were tested by looking at the Finnish word and recalling the English meaning. The results are shown in Table 3. Also, from the beginning of February to the middle of April for 78 consecutive days no study was performed due to a lack of time and motivation. Then the same three tests were repeated and the results are also shown in Table 3. It can be seen from the table that even after 78 days almost 80% of the vocabulary was remembered correctly, thus demonstrating the effectiveness of the method for learning vocabulary.

Table 3: Classification of study time

	After 19 days without study		After 78 days without study	
	Correct words	Correct (%)	Correct words	Correct (%)
First test: English to Finnish	114 words	87%	103 words	79%
Second test: English to Finnish	131 words	100%	128 words	98%
Third test: Finnish to English	121 words	92%	125 words	95%

6. Conclusion and Future Work

This paper has summarized the difficulties encountered and the major observations from six months of learning Finnish. The major difficulties are the lack of time and motivation. The major observations were the importance of mastering the pronunciation and the effectiveness of the proposed method for learning vocabulary.

For future work, the study of Finnish will be continued and further observations will recorded. By analyzing this data, new ideas should be generated that can be used to improve Kosen English education.

References

- [1] J. Gates, "Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective—Part 1: The Method Chosen for Learning Finnish—," *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 1 – 8, 2011.
- [2] B. Farber, *How to Learn any Language. Quickly, Easily, Inexpensively, Enjoyably and on your Own*. Citadel Press, New York, NY, 1991.
- [3] H. Lorayne, *Super Memory, Super Student*. Little, Brown and Company, New York, NY, 1990.

(Received Sep. 21, 2011)

技術者倫理教育の立場から東日本大震災を考える

河村 豊*, 川北晃司*, 浅野敬一*, 木村 南**, 庄司 良****

Engineering Ethics Education and the Great East-Japan Earthquake

Yutaka KAWAMURA, Koji KAWAKITA, Keiichi ASANO, Minami KIMURA and Ryo SHOJI

This paper discusses the practices of engineering ethics education at the advanced course in TNCT during the first semester in 2011. In this semester, we picked up the problems of great disaster affected by the Great East Japan Earthquake on 2011 March 11, and we considered their backgrounds from the viewpoint of engineering ethics education. We specially discussed the nuclear reactor accident, the risk of atomic-power, and the future Japanese energy policy. We also pointed out that there were many difficulties on the technology choices.

はじめに

河村 豊

2011年3月11日午後2時46分頃、宮城県牡鹿半島東方130キロメートルほどの三陸沖海底24キロメートルにおいて、マグニチュード9.0の大地震が発生した。宮城県栗原市の築館地区では最大震度7(激震)が起り、約30分後には波高10メートル以上の大津波が宮古、釜石、大船渡(岩手県)、気仙沼、南三陸町、石巻、塩釜、仙台(宮城県)、南相馬(福島県)などに到達し、死者・行方不明者の合計が約2万人という大きな被害をもたらした。さらに、福島県双葉郡にある東京電力の福島第一原子力発電所では、地震と津波による施設被害で所内の6基の原子炉が全電源喪失状態となり、稼働中であつた3基の原子炉では緊急自動停止には成功したが、炉心冷却に失敗し、同日夕方に原子力緊急事態宣言を発令、その後、2基の原子炉建屋で水素爆発が発生、核燃料の一部が漏れ出すなど、周辺地域への放射性物質の飛散が起きた。3月20日には原発から20キロメートル圏内への立入が禁止、4月12日には原子力安全・保安院によってこの事故が国際評価尺度の暫定評価で最も深刻な「レベル7」とするほどの深刻な事態となった。

東日本大震災と名づけられた災害は、このような

大規模な地震による地震災害、津波災害、原発災害であり、人的・物的な直接的被害に加え、放射能汚染による広範囲で長期的な被害も含んでいる。原因を考えるならば、大規模地震という自然災害であるが、地震についての過去の教訓を知っていたことや、災害のほとんどが建物施設などの人工物を仲介としていることから、「人災」(人間の活動が原因の災害)という側面を持っていたと考えるべきだろう。

さて、本校の本科4年「工学倫理」では、技術者が持つべき特有な倫理的問題には、人間が作りあげた人工物などに対する、結果責任問題、リスク評価問題、過失責任問題があることを伝え、これを回避するための対策の1つとして、人工物が引き起こすであろう幅広い影響まで考慮できるようになるために、倫理的想像力(様々な利害関係者の立場から考えることができる力など)の拡張のためのトレーニングを行っている。²⁾

こうした経緯から、本校の専攻科講義科目である「技術者倫理」においては、今年度の共通テーマとして、上記の東日本大震災を取り上げることとした。確かに今回の大震災が大規模で複雑な問題であること、講義期間が半期であること、しかも大震災に関わる被害実態や原因の解明が講義時点においてはまだ充分ではないこと、などから時期尚早という思い

*一般教育科(人文社会), **機械工学科, ***物質工学科

1) 本科4年「工学倫理」講義の教科書として利用している、黒田光太郎ほか『誇り高い技術者になろう』(名古屋大学出版, 2004年)の、はじめに、およびp.58前後に書かれている。

もあった。しかし、複雑な問題だからこそ、発生直後の問題だからこそ、学生の倫理的想像力を高めるトレーニングとなるのではないか。これだけの被害をもたらした問題から少しでも多くの教訓を学生が学び取るべきではないか。こうしたやや感情的な動機も加わり、本講義の担当教員に相談の上、実施することとした。

本論考は、この講義（2011年前期）の結果およびその後の検討結果についての報告である。講義を行う教員の倫理的想像力のレベルが問われるテーマでもあり、それゆえ学生の導き方も多様である。「多様さ」は本講義の特徴でもあるが、こうした取り組みから、技術者倫理教育に関わる新たな切り口を発見するための努力の途中報告でもある。

第 1 節

学生による東日本大震災の調査・発表

河村 豊

1-1. 調査・分析のねらい

まず、第一回目の授業（4/8）で、東日本大震災をこの講義（技術者倫理）の共通テーマとするねらいについて説明した。この時点では、津波による行方不明者が 1 万 5 千人であるなど、震災被害についての実態が刻々と報道されており、また近辺でも、スーパーでの一部商品の品切れ、ガソリンスタンド前の長蛇列などがようやく解消された始めた頃である。一方、福島第1原発による放射能物質の拡散に周辺国から批判が出され、実施された計画停電の不自由さに代わり、今後は政府による電力制限が実施されることも報じられていた頃である。

幸いにも受講生は、この大震災により直接の被害を受けなかったようであるが、震災に関わって発生する問題の渦中にあるという意識が強かったようである。それゆえ、この大震災についての個人的関心をさらに、「技術と社会」、「技術と安全」などのテーマに関わらせようという呼びかけには、受講生は違和感を持たなかったと思われる。本講義は、私を含め6人の教員で実施することになるが、初回から5回

分（内1回は研究者倫理問題を扱った）は、河村がまず東日本大震災の全体像を技術者倫理の視点から説明し、受講生による調査の前提とした。

まず、「技術者倫理の視点」でみると、東日本大震災は、どのような問題として見えるかを問題提起した。

第一に、震災直後には、災害に関わる専門家から、今回の大災害について「想定外」である旨の解説が行われたことである¹⁾。専門家による「弁解」とも受け取られかねない発言がなぜ登場するかにも「視点」が隠されているだろう。たとえば、今回の震災は、発生頻度は少ないが発生した場合には壊滅的な被害をもたらすような「少頻度大震災」であり、また地震被害、津波被害、放射能汚染という「複合災害」をもたらすような特徴を持っていたと捉えてみた。安全対策を各領域で充実させようとした努力していた場合でも、発生頻度を高く見積もれない場合や、発生する被害の最大値に具えた対策法や対策費用が高額となる場合、安全対策の方法やそのための予算は、ある想定の下に決定されることが多い。「想定外」とは、こうしたある集団によって判断された現実的な予想を越えた出来事を表現しているにすぎない。それゆえ、この予想がどのように立てられたのか、今後の再発防止策にはどのような予想を立てることが望まれるのか、などを調査する必要がある（ディレンマ問題）。

第二に、今回の原発事故では、「直ちに健康に影響しない」という説明も使われた。この問題は緊急時における情報伝達のあり方、報道のあり方などの問題を含むため、今回の調査対象とは捉えなかったが、安全情報の伝達には、専門家による一方的な安全宣言が、かえってパニックを引き起こす場合が指摘されていることも考慮すべきだろう（アカウンタビリティ問題）。

第三に、我々の社会が「危険性との共存」により成り立っていることを前提にした対策が必要である、という視点である。避けられない自然現象への対策というこれまでの防災案、減災案に弱点があった点

1) 視点・論点、小出五郎「原発震災：「想定外」は予想外」NHK，2011年3月21日放映、でも紹介された。また、2011年3月23日に発表された土木学会等の共同緊急声明では、土木学会阪田憲次会長が、「我々が想定外という言葉を使うとき、専門家としての言い訳や弁解であってはならない」と指摘をした。日本経済新聞社 Web 版記事（2011年3月24日付）、「想定外は言い訳、東日本大震災で土木学会などが緊急声明」。

に注目するならば, 将来に向けて, これまでとは異なる新たな工夫や, 新たな研究テーマについても検討することが必要である(技術選択問題など)。

これらを含め, 学生の「倫理的想像力」のトレーニングの場とさせてもらった。

1-2. グループ別調査の項目と注目点

受講生31名をランダムに10グループに分け, テーマとしては, 東日本大震災に現れた地震, 津波, 原発の3分野を取り上げ, さらにそれぞれ, 過去の事例, 今回の出来事, 将来に向けた再発防止策, に区分けし, 合計で10項目(A1からC3まで)の調査項目を設定した。

調査項目の詳細は以下の通り。

(1) 大地震とその直接災害: A1(大規模地震の歴史事例と地震学の予測), A2(今回の地震のメカニズム, 地震研究), A3(地震による直接被害)。

(2) 大規模津波とその直接被害: B1(大規模津波の歴史事例と津波対策研究, B2(今回の津波のメカニズム, 津波研究), B3(津波による災害①: 岩手県, 宮城県), B4(津波による災害②: 福島県, 茨城県, 千葉県)。

(3) 福島原発事故とその直接被害: C1(過去の原発事故と原発災害予測), C2(今回の原発事故の経過と原発構造, C3(放射能被害など)。

また, 受講生による調査は, 災害状況についての資料収集, 専門家による論点の整理, 学生グループごとの主張点の整理などを組み込むことが求められる。以下では専門家による論点の例を紹介する。

第一の事例は, 大震災前の地震対策である。震災前に政府中央防災会議が行った, 東海・東南海・南海地震が連動した場合の被害想定は, 最悪で, 死者2万5千人, 被害額は81兆円という試算である。こうした想定被害にもとづく減災対策として, 建物の耐震化と家具の固定などの行動の推奨, その一方で緊急地震速報の有効利用を提案している¹⁾。

ここからは推測できる点は, 大規模震災に関する政府や研究者の関心は, 東海から南海領域に置かれ, 三陸沖における大規模な地震・津波は主要な

関心ではなかったと思われることである。この点は, 調査の課題としても良い点であろう。

第二の事例は, 2004年12月に発生したインド洋大津波の教訓である²⁾。マグニチュード9.1と推定される地震による大規模な津波が, インドネシア, スリランカ, インドに大きな被害をもたらした。インドネシアでの死者行方不明者が約23万人, 総計で30万人以上という大被害である。こうした津波の破壊力の大きさを日本の多くの一般人が映像等によって知ることができた。しかし, 日本の防災に充分には生かされたようには思えないという問題がある。どのような「油断」があったのだろうか。

第三の事例は, 大規模地震にともなう原子力発電所の被害を「原発震災」として警告した石橋克彦の主張である³⁾。1997年に発表された石橋の論文では, 東海地震と浜岡原発(中部電力)の震災が論じられている。大規模地震により, 各種の機器が故障する可能性を指摘し, その中に, 今回の福島第1原発で発生したような, 外部電源の喪失問題も議論されていた。ただし, 原発震災が現実となった時点から振り返り, こうした警告を軽視したことを批判すれば良いというのではない。問題は, どのような「ものの考え方」が, 原発震災という警告を軽視させたかである。これも調査の論点の1つとなるだろう。

1-3. 調査結果と到達点

受講生による10グループの調査は, 東日本大震災の全体像を俯瞰するには, 満足の行く内容であった⁴⁾。ただし, 将来の「少頻度大震災」と表現できるような災害に対して, 耐震建築や防波堤などのハードウェアの整備, 緊急地震速報システム等による情報伝達や連係した避難訓練などのソフトウェアの整備を, どのように実施することが現実的なのか, またどのような新しい研究課題が見いだされたのかなどについては, 抽象的な議論に止まってしまった。

大災害の背後には解決すべき多様で複雑な課題が存在しており, 技術者倫理としても検討すべき問題群があるということで, ある程度の共有理解ができたことを, 成果の1つとして報告しておきたい。

1) 山岡耕春(名古屋大学教授)「視点・論点 地震研究の進展と巨大地震対策」, NHK, 2008年9月1日放送。

2) 「インド洋大津波—映像で迫るその全貌」, NHKスペシャル, 2005年2月放送

3) 石橋克彦「原発震災—破壊をさけるために」『科学』, 岩波書店, 67(10), pp720-724, 1997年10月。

4) 発表に利用したパワーポイント資料は, 最終的に1つのPDFファイルとして, 学生にWeb閲覧できるようにした。

第 2 節

エネルギー収支比（EPR）のメディア相対性 －電気学会編『技術者倫理事例集』Ⅷ章の問い に関する考察－

川北晃司

東京高専専攻科での技術者倫理教科書として、電気学会倫理委員会編『技術者倫理事例集』¹⁾をわれわれが新たに選んだのは、2010 年秋のことであつた。電気学会は、倫理綱領に加えて、より詳細な「電気学会行動規範」を制定し周知に努めてきた。とりわけ、そこにおける 3-4（批判的精神の発揮）、4-1（技術の持つ矛盾への認識）、4-2（技術の不完全性への認識）、10-2（否定的な意見の受入）などの規範項目の明文化は、電気学会に対する敬意をわれわれに励起してきた。

筆者の担当回の授業では、本書についてはⅥ章（電力設備の建設）および最終章であるⅧ章（企業研究者のエネルギー事業分野選択）を学生に読ませた。Ⅵ章は、電気学会倫理綱領 10（後述）に対応する、この事例集では唯一の事例とされており、またⅧ章は、Ⅵ章と同じく本書ならではのユニークな仮想事例ゆえである。本書でⅧ章は、電気学会倫理綱領の 1, 2, 7, 9 に対応すると記されている。電気学会倫理綱領の 1, 2, 7, 9, 10 は、各下記の通りである。倫理綱領 1：人類と社会の安全、健康、福祉をすべてに優先するとともに、持続可能な社会の構築に貢献する。倫理綱領 2：自然環境、他者および他世代との調和を図る。倫理綱領 7：プロフェッショナル意識の高揚につとめ、業務に誇りと責任を持って最善を尽くす。倫理綱領 9：技術上の主張や判断に際しては、自己および組織の利益を優先することなく、学術的な誠実さと公正さを期する。倫理綱領 10：技術的討論の場においては、率直に他者の意見や批判を求め、それに対して誠実に対応する。

筆者は授業初日（5/20）、本書に記された電気学会倫理綱領および電気学会行動規範を学生に紹

介した。そして、そこで説かれた「批判的精神」でもって、原子力関係者はもっと一同に会して誠実な対話・討議を国民に公開し、自分の陣営に否定的な意見も受け入れるべきだったのだが、そのような機会は少なかったようだと話した。授業第二日目（5/21）には筆者は、前号の研究報告書に発表した拙稿「哲学入門－社会的教養としての批判的思考」²⁾を配布し、学生通読後、時間の都合で受講生の約半数、計 14 名を指名し、批判的思考について意見表明させて議論した。次いで、原発反対派と賛成派の原子力専門家同士による貴重な対談³⁾の模様を学生に紹介し、レポートを提出させた。授業三日目（5/27）には、そのレポートをもとに議論し、教科書Ⅵ、Ⅷ章についても言及した。

以下の本稿では紙幅の都合でテーマを一点に絞り、Ⅷ章で登場の EPR なる指標について考察を行いたい。

2-1. 『技術者倫理事例集』Ⅷ章の部分要約（原子力関連）

そのためにまず、教科書Ⅷ章の仮想事例から、原子力発電に直接関係する部分のみを抽出しておこう。電気学会倫理委員会に依頼して入手した『技術者倫理事例集ティーチングノート』によると、「理想をもって研究者として就職し、会社の中でもその能力を認められつつある若者が、自分の理想は正しかったのだろうかとの見直しを迫られる課題で、環境倫理の一課題として議論してほしい」⁴⁾とのことである。

さて、田中一郎はある企業の電気エネルギー技術の研究者である。田中の所属する会社は電気エネルギーを主要な事業分野としている。田中は大学の電気電子工学科を卒業して入社して以来、会社の研究所の水力発電分野で研究を続けており、自分の考え方にも会社の事業方針にもあった研究ができることに充実感を持っていた。田中は原子力発電には学生時代から心情的に強い違和感を持っており、反対のデモ行進に参加したこともあるくらいだったので、会社が原子力に取り組んでいないことに

1) 電気学会倫理委員会『技術者倫理事例集』オーム社、2010 年

2) 拙稿「哲学入門－市民的教養としての批判的思考」（『東京工業高等専門学校研究報告書』42(2),2011,pp.29-32. 浅野・津田・船戸・相澤・竹田・古屋・河村・川北「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－」所収）

3) AERA 臨時増刊「原発と日本人」2011.5.15 号 pp.64-67（AERA4 月 25 日号から再掲）

4) 電気学会倫理委員会教育ワーキンググループ『技術者倫理事例集ティーチングノート』平成 22 年 9 月版 pp.60-61

も満足していた。

そのような中で、田中は研究所長である鈴木から、会社の中長期的ビジョンを策定するためのチームに、研究所を代表して参加するようにとの指示を受けた。会社トップがビジョン策定チームに与えた課題の一つが原子力エネルギーの技術的、事業的将来性で、田中は数名のチームメンバーとその課題を検討する責任者に指名されていた。トップからはエネルギーの質を客観的に評価するようにとの指示を受けていた。

チームは調査の過程で、二つのデータを入手した。ひとつは EPR(エネルギー収支比)という指標を使ったデータで、電気を得る手段(発電)を EPR で評価したものである。EPR は Energy Profit Ratio の省略形で、エネルギーの単位量を取り出すために使うエネルギー量に着目し、前者を後者で除したものである。例えば石油に着目すると、新しく開発された油田では地下の高い圧力で原油が勢いよく自噴してくるが、どんどん採掘すると圧力が弱くなって生産量が低下し、水を高圧で注入して原油を取り出すなどの方法をとらねばならなくなる。すなわち EPR は低下する。

(テキストに引用された)電中研ニュース No.439 (2007 年 3 月 20 日)のデータによると、電気を得る各手段の EPR は下記の通りである(図1参照)。石炭火力 6.55, 石油火力 7.90, LNG 火力 2.14, 原子力(ガス拡散) 6.60, 原子力(遠心濃縮) 28.20, 原子力(改善) 40.60, 中小水力

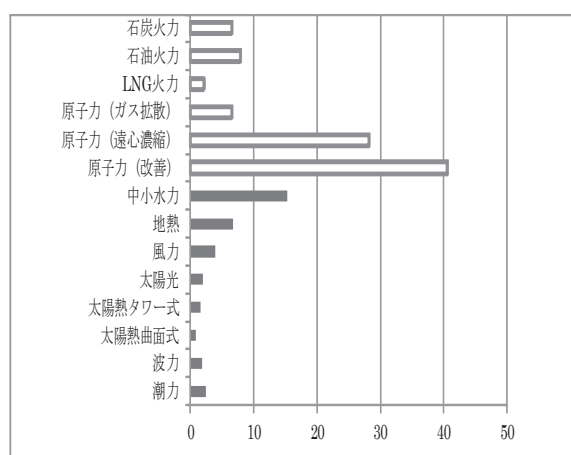


図1 電気学会編『技術者倫理事例集』(2010)pp.63に掲載のEPR

15.30, 地熱 6.80, 風力 3.90, 太陽光 2.00, 太陽熱タワー式 1.60, 太陽熱局面式 0.90, 波力 1.90, 潮力 2.50, 海洋温度差 1.90。

もう一つのデータは、1970年から1992年のエネルギー生産における死亡者数の状況(出所:ジェームズ・ラブロック『ガイアの復讐』翻訳書 p.175)である。それにもとづき燃料別に記述(燃料, 死亡者数, 死者の種類, テラワット年あたりの死者)すると、(石炭, 6,400, 労働者, 342), (天然ガス, 1,200, 労働者と一般市民, 85), (水力, 4,000, 一般市民, 883), (原子力, 31, 労働者, 8)になる。

このデータに関し、田中はラブロックが地球環境問題で原子力発電推進の立場から積極的に発言していることは知っていたし、この本の記述で上の表に石油がないこと、チェルノブイリ事故の取り扱いなどに違和感を覚えるところもあった。しかし研究者としてよい研究成果を出して環境貢献, 社会貢献をしたいとの願いから、改めてエネルギー問題を考えさせられる本と田中は思った。

ある研究機関のシミュレーション結果では、北極地方の氷は30～40年で消滅するという。アイスランドの巨大な氷床が全て解けたらどうなるか。太陽熱を反射してきた広大な白い氷がなくなったらどうなるか。地球温暖化には人間の力の及ばない問題もあるかもしれないが、人間が引き起こす温暖化すなわちエネルギー問題は、衆知を集めてそれも早急に施策を展開するべきだと、田中は感じざるを得なかった。

以上のような記述ののち、本教科書は演習問題として、原子力エネルギーの技術的、事業的将来性を検討する責任者として、集めた2種類のデータをどのように評価するか、肯定的に評価する点、疑問あるいは否定的に評価する点を挙げてみよう、と読者に問うているのである(p.65)。そこで筆者は以下において、EPRデータに関する疑問点について言及しよう。

2-2. EPRデータの検討

本書のEPR(エネルギー収支比)データについて、出所(電中研ニュース No.439, 2007年3月20日)¹⁾に当たり検討の結果、少なくとも下記の諸点

1) <http://www.denken.or.jp/research/news/pdf/den439.pdf>

が明らかになった。そこでは原子力は EPR でみた場合、相対的に有利なエネルギー源であることが結論的に説かれている。しかし、EPR を算出するには、燃料採掘・輸送、発電施設の建設・運転・補修、廃施設・廃棄物の処理・処分など、エネルギーを取り出すために必要な全ての項目を可能な限り取り込んで計算する必要があると明記されており、これは容易なわざではない。したがって、これを計算しえたということは非常に大きな業績だが、EPR データの出所について、なぜか記述がなかった。これが最初の疑問となったが、最後の「ひとこと」欄で原子力技術研究所次世代サイクル領域上級特別契約研究員として登場する天野治氏がヒントになり、ここに、氏の論文を読む動機が発生した。

そこで天野氏の先行論文を探索の結果、2006 年の日本原子力学会誌掲載論文¹⁾に EPR 図を見出した。ただし、そこでは原子力の EPR は 17.40 であった。この数値は、「ガス拡散法」と「遠心濃縮法」を半々ずつとしての計算結果とのことであり、『技術者倫理事例集』でのような、原子力(改善) 40.60 という数値はグラフ内では採用されていないのが興味深い(図2参照)。その 40.60 という EPR 値は「米国、スペインなどの原子力先進国が実施している定格出力増強で 120 % 出力の場合」との記述も目を

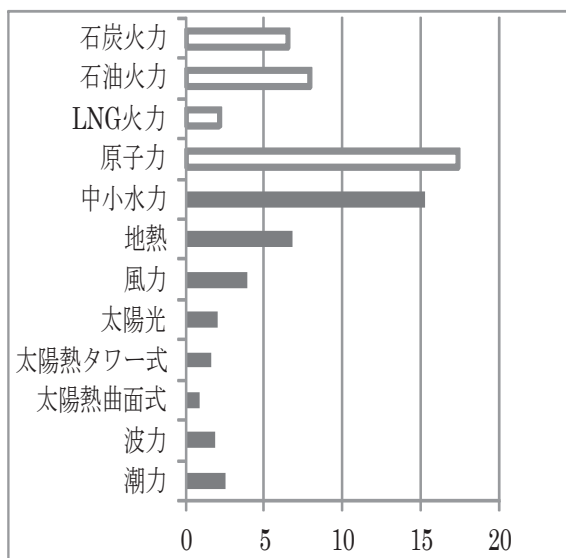


図2 日本原子力学会誌 48(10)(2006)pp.763 に掲載の EPR (天野氏のデータによる)

ひいた。この 120 % 出力状態とは、「定格」そのものの見直しが適切な状態なのか、またその出力状態の持続性、安全性、経済性(減価償却への影響)等はどうなのか、筆者には疑問に思われた。

ついで 2009 年の天野氏論文²⁾を見ると、原子力の EPR は 17.32 で以前に比べて改善は見られないが、太陽光は 5.24 になり、これは 3 年前の 2.00 から大きく躍進していることがわかった。しかもそこでの EPR 図は、(図3に見るように)以前とは違い非枯渇性エネルギーの EPR がそれ以外のエネルギーと比べて遜色ないかのように見える配列になっており、ここには、非枯渇性エネルギーを貶めたくないという天野氏による配慮すら推察可能と思われた。電気学会は今後の改訂版では、こうした最新のグラフを『技術者倫理事例集』等で採用する強い理由が存在することになるだろう。同一人物による新しいデータよりも古いデータを尊重すべき理由は、今の場合見あたらないだろうからである。だが、今後絶えず更新されていくデータが、原子力に有利に働くかどうかは筆者には疑問に思われた。これまでは原子力が日本の国策であり、電力各社はそれに協力せざるをえなかった面もあったと思われるが、今後は多額の補助金が原子力ではなく再生エネルギー技術開発に流れるかもしれない、その場合の技術革新を想定しないのは非現実的だからである。

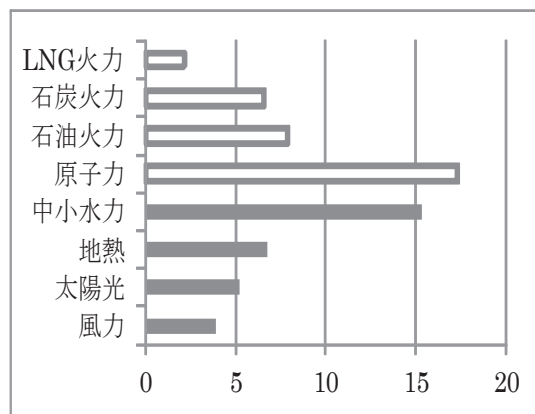


図3 JETI57(2)(2009)pp.43 に掲載の EPR (天野治氏のデータによる)

筆者が残念に思うのは、EPR 計算はその煩瑣さゆえに、個人技の部分が少なくないのではないかと

1) 天野治「石油の代替エネルギーを EPR から考える」日本原子力学会誌 48(10),2006,pp.759-765

2) 天野治「脱石油の道標－EPR (エネルギー収支比)」JETI57(2),2009,pp.40-46

いう疑問が生じる点である。もちろん個々には厳密な計算方法、計算式が存在し、第三者による検証可能な指標ではあるのだろうが、それら計算方法自体が計算者の自由裁量に任されている部分が少なくないのではないか。そしてそれら計算方法や元データの出所について確認したくても、詳細な記述は入手に大きな困難が伴う。したがってわれわれは事実上、EPR 計算者の誠実さを信じる他ないのが実状であろう。

計算者によって EPR が大きく変わる現状は、EPR のミステリアスさを浮き彫りにする。たとえば 2006 年まで京都大学大学院エネルギー科学研究科教授を務めた吉川榮和氏は、天野治氏の場合と同様、原子力のメリットを肯定する文脈のもとで「エネルギー収支比」を公表しているのだが、それによれば、「原子力 24、石油火力 21、石炭火力 17、LNG 火力 6、水力 50、地熱 31、太陽光・風力など自然エネルギーは 6 以下」とのことである¹⁾。図4にグラフ化してそれを示した。

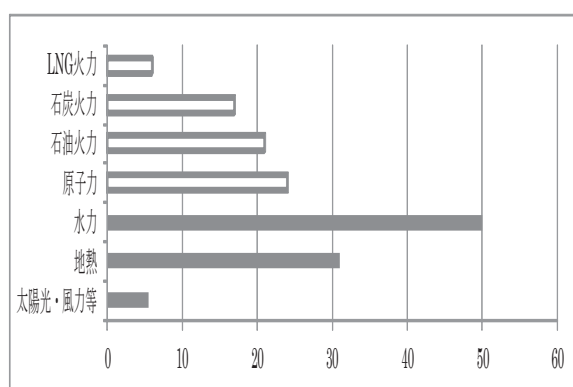


図4 吉川榮和氏の計算にもとづく EPR

一方、産業技術総合研究所・太陽光発電工学研究センターは、太陽光発電について全く異なる数値をホームページで公表している。現在広く普及している技術で寿命 30 年とおいた場合、日本における EPR は 12 ~ 21 (寿命 20 年でも 8 ~ 14)、また最近実用化された技術では EPR は 10 数 ~ 30 程度に達すると見積もられ、これはすでに一般的な火力発電の性能(EPR で 6 ~ 21 程度)を超えており、

今後も伸びる見込みとのことである²⁾。

2-3. むすび

EPR は有用な一指標であろうが、その数値はメディアに相対的であり、単一の発表値に現状で過大な意味を期待しない方が賢明であろう。また、原子力発電のEPRについては、その定義上は今回の福島第一原発事故が低下要因にはならないとしても、除染のための福島県内外の広範な客土を含め、事故に伴う人々の移動や移住、厚生確保や、物資の輸送、生産、廃棄処理には莫大なエネルギーが必要になる。

石油はジリ貧ゆえに「エネルギーの安全保障」は必要だが、それを得ようとして「公衆(日本および世界)の安全」や「普通の生活」が大きく害されては本末転倒である。電気学会倫理綱領が冒頭に「人類と社会の安全、健康、福祉をすべてに優先するとともに、持続可能な社会の構築に貢献する」と宣言しているのは、そうした本末転倒への戒めにも読める。

「狭隘」な国土と「乏しい」資源と「過剰」な人口という、固定観念に強く囚われた戦前日本が「ジリ貧を避けんとしてドカ貧にならぬよう十分のご注意を願いたい」と語った、米内光政(海軍大臣時代)の御前会議(昭和 16 年)での言葉を筆者は思い出す。凝集性の高い人間集団では、批判的思考を欠いた「集団思考」とよばれる現象が生じやすい。これをいかに避けるかというテーマが他の技術者倫理教科書ですでに取り上げられている。『技術者倫理事例集』でも取り上げてはどうか。

予見可能かつ回避可能な事故を予見せず、回避しないとすれば、法的もしくは倫理的な責任が問われる。未来のエンジニアを法的倫理的に無責任にしないために技術者倫理教育がある。ちょうど再生エネルギーのように、個々には微力かもしれないが、その必要性ははっきりしている。その教育の一環として、「集団思考」の予防法等について考えてほしいと学生に話をして、筆者は浅野に次回からの授業を託したのであった。

1) <http://hydro.energy.kyoyo-u.ac.jp/Lab/staff/yosikawa/lecture/Hatsyden-Kougaku-Shiryoku.pdf> なお、データの出所や計算方法や計算時期について筆者は確認できなかった

2) http://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/e_source/PV-energypayback.html (産総研ホーム>組織>研究センター>太陽光発電工学研究センター>太陽光発電とは>エネルギー源としての太陽電池>太陽光発電のエネルギー収支)

第 3 節

「迷惑施設」の行方を考える

—アメリカにおける核廃棄物問題を題材に—

浅野敬一

3-1. はじめに —福島第一原発の事故から考えることと授業の目的—

本節の目的は、放射性廃棄物処分問題をテーマとした技術者倫理の授業について報告することである。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災とその後の福島第一原子力発電所の事故は、やはり注目すべき大きな問題であった。たしかに、事故後次々と明らかになる情報の隠ぺいやこれまでの杜撰な安全対策は、技術者倫理以前の問題といえるかもしれない。しかし、原発事故がわれわれに突きつけたより深刻な問題は、技術の「危険な連鎖」に依存した現代社会の脆さではないだろうか。

もちろん、現代において、技術の進歩に人為的な制約をかけることは不可能である。しかし、原子炉の冷却をぜい弱な外部電源に依存し、冷却機能を失えば 2800℃にも達する核燃料を金属で封じ込めようとする原発の仕組みは、技術が生んだ危険性を技術で抑制しようとする「危険な連鎖」そのものである。福島第一原発の事故を検証するには、今しばらくの時間が必要ともいえるが、原子力の利用に伴うより根本的な問題については、この機会に議論を深めるべきであろう。

そこで、本年度は、これまでの授業目的、すなわち単純な答えが見つからない複雑な問題について多様なステークホルダーに配慮した解決策を探ることを引き継ぎながら、アメリカにおける放射性廃棄物処分場問題をテーマに議論を行った。具体的には、アメリカ先住民であるユタ州のスカルバレー・ゴシュート族による高レベル放射性廃棄物中間貯蔵施設の誘致問題を取り上げた¹⁾。アメリカの例を取り上げたのは、福島第一原発や東京電力に固有の問題か

らあえて多少の距離を置くことで、冷静な議論ができると考えたためである。また、「原発反対」と「原発推進」の間でのかみ合わない議論に陥ることを避けるため、今後の原発の存否に関わらずに直面する放射性廃棄物の問題に焦点を当てた²⁾。さらに、先住民の例を扱うことで、こうした「迷惑施設」と社会的に不利な立場の者の関係を考える機会とした。

3-2. 問題の背景

授業の目的は、解決策を探る過程を実践することで、スカルバレー・ゴシュート族や暫定貯蔵施設建設計画の詳細を知ることではない。その点では、学生には、ケースワークの材料となるある種の仮想事例として、問題を紹介している。

ただし、アメリカにおける放射性廃棄物の問題や先住民の状況に関する最低限の知識は必要となる。そこで、議論に先立ち、次の点を学生に説明した。

(1) 最終処分場の問題

アメリカの放射性廃棄物処理政策は、使用済燃料等の高レベル廃棄物も再処理せずに処分する、いわゆる「ワンス・スルー」を採用していた。広大な土地を利用すれば再処理コストを省けること、核不拡散の観点から再処理に伴うプルトニウムの生成を回避したいこと等が理由である。

こうした高レベル廃棄物最終処分場の建設計画は、1982 年に放射性廃棄物政策法 (Nuclear Waste Policy Act) が成立すると候補地の調査が本格化した。当然ながら候補地の選定は難航した。エネルギー省 (DOE) は 2002 年になりネバダ州のユッカマウンテンを唯一の候補地としたが、これに対してネバダ州等は強く反発した。DOE は、ようやく 2008 年 7 月に、ユッカマウンテンに地層処分地を建設するための許可申請を原子力規制委員会 (NRC) に対して提出、同年 9 月、NRC は審査活動を開始したのである³⁾。

しかし、2009 年に就任したバラク・オバマ大統領

1) 代表的な研究として、石山徳子『米国先住民と核廃棄物—環境正義をめぐる闘争—』明石書店、2004 年、鎌田遼『「辺境」の抵抗—核廃棄物とアメリカ先住民の社会運動』御茶ノ水書房、2006 年等がある。

2) もちろん原発の是非を検討することは重要だが、限られた時間内では、授業の目的である具体的な解決策を探ることが困難と判断した。

3) Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, *Disposal Subcommittee Report to the Full Commission*, June 1, 2011, pp.10-17.

は、廃棄物処理を含む原子力政策全体の見直しを表明、DOEも許可申請の取り下げを表明した¹⁾。そのため、ユッカマウンテンへの廃棄物搬入の目途は立っていない。

(2) 中間貯蔵施設の必要性

上記のとおり最終処分場の建設計画は難航しており、発生した高レベル廃棄物は発電所等の敷地内でそのまま保管されている。こうした保管場所は全米では70か所以上に上り、管理上の問題が懸念されている。

そこで、最終処分場が建設されるまでの暫定的な中間貯蔵施設の建設が必要となり、DOEは1990年代初頭から候補地の調査を行った。この調査には、18の自治体が参加を表明したが、うち16が先住民政府であった。

(3) アメリカ先住民の法的地位

アメリカ先住民の歴史は、迫害と差別の歴史である。居留地の土地と部族政府としての自治権は、連邦政府を相手に勝ち取った重要な権利である。現在承認されている500以上の部族政府は、連邦直轄地に近い地位を獲得し、州政府の権限の対象外となっている。

各部族の状況は厳しい。一部にカジノや観光が一定の成功を収めているが、多くの部族は雇用や税収を担う産業をもたず、雇用面でも差別は解消されていない。また、教育も不十分な状況であり、貧困が再生産される悪循環にある。そのため、居留地では、アルコール中毒や自殺が深刻な社会問題になっているが、州や連邦政府は、自治を理由にこうした問題には介入しない。

しかし、連邦政府は、いわゆる「迷惑施設」の建設においては先住民の居留地に注目している。州政府の権限が及ばず、部族政府と直接交渉できるためである。また、部族政府側も、「迷惑施設」建設に伴う補償金に依存せざるを得ない状況にある。

3-3. 議論のテーマ

授業では、中間貯蔵施設の誘致に乗り出した先住民の一つ、スカルバレー・ゴシュート族の例を取り上げた。スカルバレー・ゴシュート族は、ユタ州トゥエラ郡に居留地をもつ小さな部族である。部族政府として自治権を有しているが、経済的にはきわめて厳しい状況にある。スカルバレー・ゴシュートは、前述のDOEによる中間貯蔵施設の調査に名乗りを上げ、その後電気事業者のコンソーシアムであるPFS (Private Fuel Storage) と計画を推進している。

トゥエラ郡はユタ州の中でも辺境といえる場所である。そのため、ユタ州は、スカルバレー・ゴシュート族居留地の周辺にさまざまな「迷惑施設」の建設を認めてきた。1940年代初めから陸軍基地と兵器実験場が建設され、冷戦終結後の化学兵器の焼却処分では住民への健康被害も発生している。また、1980年代には、低レベル放射性廃棄物の処分場も建設された。ただし、これらはあくまでもユタ州により建設が認められたものであり、ユタ州からは独立しているスカルバレー・ゴシュート族に補償金等が入ったわけではない。

そこで、今度は、スカルバレー・ゴシュート族自ら、高レベル放射性廃棄物の中間貯蔵施設を誘致することになる。他に産業をもたない彼らにとっては、補償金を期待できる中間貯蔵施設は、まさに部族の再生をかけたプロジェクトである。「迷惑施設」については、NIMBY(Not in My Back Yard)の姿勢がたびたび指摘される。必要なことは理解しているが、自分たちの近くにはあってほしくないということである。しかし、あえて「迷惑施設」を誘致する者がいることも現実である。一方、それまで「迷惑施設」の建設を認めてきたユタ州は、スカルバレー・ゴシュート族の計画には反対する²⁾。

授業では、これらの説明を行った後、次の2点について班で議論したうえで各自レポートをまとめることとした。

1) 2011年9月9日、NRCはDOEの取り下げを実質的に認める決定をした。最終的な結論はまだ見えないが、最終処分場問題が頓挫していることには変わりない。’ Split vote by NRC allow Obama administration to close Yucca Mountain nuclear dump,’ *Washington Post*, Spt. 10, 2011; NRC, ‘Memorandum and Order,’ Spt. 9, 2011.

2) ユタ州の反対については、ユタ州環境省のホームページが詳しい。’Opposition to High-Level Nuclear Waste,’ Utah, Department of Environmental Quality.

- ① あなたは、高レベル放射性廃棄物の処分場建設を目指す連邦政府（主にエネルギー省）に対して、どのようにアドバイスするか。
- ② あなたは、処分場誘致を進めるスカルバレー・ゴシュート族に対して、どのようにアドバイスするか。

3-4. 議論の結果

議論に先立ち指示したこともあり、「多様なステークホルダーに配慮した解決策」を探る議論は展開されたといえる。一部の班、学生は、想定されるステークホルダーを列挙したチェックリストを作成し、議論の偏りを防ぐ工夫を実践していた。この点では、授業の目的はある程度達成できたと考えている。

しかし、これは授業担当者自身も同じであるが、「アドバイス」の内容には苦心したようである。とくに、スカルバレー・ゴシュート族に対しては、誘致の是非についてかなり判断が分かれていた。誘致を疑問視するものとしては、「本当に危険性を理解しているのか疑問である」「苦しい状況のため破れかぶれの判断になっていないだろうか」等の意見があった。一方、誘致をやむなしする者は、「どこかには建設する必要があるの、この機会をうまく使ってはどうか」「他に部族を維持する手段がない」等の見解であった。また、一部「補償金を手に入れたら別の土地で部族の再生を果たしてほしい。命を失っては何にもならない」とのアドバイスがあった。先住民が守りぬいた土地を手放すとは考えにくい、学生としては精一杯のアドバイスといえるだろう。

第 4 節

学生レポートから見た福島第一原発事故における技術者倫理の問題とは

木村 南

著者は 2011 年 6 月 24 日に「機械工学・材料工学の立場から福島第一原発事故問題を考える」という講義を行い、学生に福島第一原発事故に対して下記の項目をたたき台としてグループ討議をさせた。

- ・原発関連企業に勤めるか
- ・もし原発事故現場にいたら
- ・原発問題を考えたくないか
- ・原発問題に関する技術者倫理の問題は何か
- ・そもそも原発問題は技術者倫理の問題か
- ・論理の問題ではないか

この討議後 7 月 22 日までにレポートを提出させた。講義の概要を述べてから 28 通の学生レポートから福島第一原発事故の技術者倫理問題について考えることにする。

4-1. 福島第一原発事故の情報について

何が福島第一原発事故の技術者倫理問題なのかということがわからなかったの、従来から構築しつつある MS 社 OneNote2007 に web 記事を分類した技術データベースに主要 web サイトを巡回閲覧するという方法で福島原発事故関連記事を収拾してきた。ところが 2011 年 5 月 16 日 8 時 58 分の読売新聞の「メルトダウンは 3 月 11 日…初動の遅れ裏付け」(累積 2885 件目:累積作業時間 586 時間)という記事の出現でそれまで「メルトダウンは震災当日に起きていたのではないのか」という海外報道を否定的に報じてきていた日本のマスコミに対して著者の信頼性が低下した。それ以降は記者会見報道記事をいくら集めても事故の内容がはっきりしないので原発事故記事の収拾を手控えるようにした。

学生レポートの中にも「国民に対して、安心感を与える、信頼できる情報を流すということが今一番、政府に対して求められていることではないかと私は思う。」「今までに原子力発電所に関する報道の全てが正しく報道されているとは思わない。」「東京電力の対応・対策があまりにもずさんではないかという印象を感じ、気がつけば東京電力を批判的に見てしまっている」「報道機関は誤った情報を伝えないようにすることや、本当に伝えなければならないことは何なのか正確に判断することなど、反省すべきことは大いにあると思う」そして東電の対応については「最後に東電の隠ぺい体質に関しては、今回の事故では人命に直接関係するためあつてはならないことだと思った。今回の事故に関する情報は国を挙げて透明化していかなければならないと思うし、東電自身改善していかなければならないことであると思う」というように情報の不正確さや東電・政府の対応に批判的な意見が多く見られた。

4-2. 機械工学・材料工学からみた原発事故

原発は巨大な蒸気発電装置であり材料の耐熱性、強力な放射能による材料の劣化という問題が挙げられる。そこで金属の耐熱性・寿命に関して金属組織の基礎と高温クリープ試験、疲労試験の概要について講義をした。そして福島原発が工事中の

1970 年には原発等のボイラー配管に使われる耐熱鋼の長期高温強度試験データ存在しておらず、2011 年 2 月 20 日の毎日新聞「世界最長実験: 40 年間、鋼材引っ張り 27 日に達成へ」という記事にあるように物・材機構が 1969 年 6 月から「炭素と鉄を含んだ鋼材の丸棒(直径 1 センチ、長さ 1 センチ)を電気炉で 400 度に熱し、約 2.4 トンの力で引っ張る。これまでのデータから、政府の火力発電所の設計基準が改定され、微量金属の混合で寿命が約 1000 倍に延びることが判明した。」「政府の事業仕分けで目黒の施設は廃止が決まったが、より長寿命の原発の材料開発などのため、規模を縮小し本部のある茨城県つくば市で続ける。」と記事にあるように 2011 年 2 月になって原発配管材料の 40 年間の高温長時間強度試験が終了したことになる。このことに対して学生は「耐用年数においては今まで前例がないにも関わらず 10 数年としていた。そこでさらに 30 年も稼働し、まだ稼働することを決めた矢先の事故のようだったことから安全性が示せないのに何とかなるだろうという気持ちで稼働してはいけないと考えさせられた。」としている。また燃料棒の崩壊熱で発生する 2800℃に耐えられる実用金属材料が存在しないことも示した。このように基本的に原発技術が完成していないところでの設計・開発に関して技術者倫理の問題ではないかという学生からの指摘も少なからずあった。

4-3. 原発関連企業に就職するか

このことに関して著者が 10 数年前に原発関係者の知人に「原発の廃炉はどうするのですか」と尋ねたところ「僕は(そのころには)定年ですから」と答えたエピソードを紹介したところ「先生の友人が言った「僕は定年だから」という言葉を聞いた時、とても無責任で、自己中心的で技術者倫理のかけらもない発言のように思えた。このような話を聞いてしまうといくら専門家が原発の安全性と主張したところでとても安全には思えない。・・・たった一人の発言だか一人としても影響力が大きく、ましてや多くの人の命と安全に関わる技術者である人間としてこういった発言は控えるべきだし、考えを見直すべきだと思う。」という意見があった。「今も昔も原発関連の企業では勤めたくない。理由は原発自体がもともと恐ろしいものだというイメージを持っていたからである。」「原発関連の企業に勤める気はあるかという議題があがったとき、ほとんどの学生は勤めたくない返

答していた。私も今回の件で原発関連の事業に関わることは避けたいと感じている。」「東京電力(ほかの電力会社も含め)に勤めたいかについてですが、正直、現段階では勤めたくありません。」という意見もあった。しかし「技術者として自分の仕事に責任を持っている社員がいるような企業ならば、たとえ原発を製造しようともその会社に就くことをこともあるかもしれないと考えている。」という学生もいた。そして自分の進路として「最後に、議論や原発問題を見ていて自分が思ったことをまとめとして、自分が就職したいと思う企業についてはよく考えて見極めることや、10 年後も見据えることが大切だと思った。」同感である。

4-4. 何が福島第一原発事故で技術者倫理の問題か

「事故をまったく想定していなかったこと」「福島第一原発の事故は倫理的問題ではなく論理的問題によって引き起こされたとみるべきであろう。主要役員のほとんどが原子力の危険性に関する理解が足りていないばかりか、警告をすべき技術者ですら持つべき倫理感以前に論理的思考が停止している状況にある。」「原発の方針を決定する責任者・管理者論理的に破たんしていることである。こういった人為的な問題の早期解決を望み、せめて倫理的な議論ができるような状況になってほしいと願うばかりである。」「自分の周辺にあるものが常に安全である・・・そのための技術者倫理であり、設計思想なのだと思う」というように福島第一原発事故に関する技術者倫理の問題についてあまり具体的な指摘は少ない。

しかし「技術者がつくるものは人々の安全を脅かすものではあってはならないはずである。開発過程の科学技術水準ではわからず、世に出してからはじめて問題が発生するようなケースでは想定外の事故ということができるが、今回の場合、事故の可能性があることを知りながらその製品を世に出してしまっている。害があると知りながら害をなすことは最悪である。技術者にとっての倫理観のポイントはそこにあるのではないかと私は考える。」

4-5. まとめ

著者としては福島第一原発事故に関する技術者倫理の問題は何かということはこの数か月間考えてきたが、明確なこたえはでていなかった。原発 OB 技術者からは過去の反省や設計上の問題点などの指摘があるが、現役の原発技術者からは技術者倫理に関する報告がなくその実態はわからない。もとも

と極めて危険性の高い技術であるから自分としては関わりたくなかったというのが本音である。安全を確率論で計算した「原発の絶対安全神話」であったから、私は福島第一原発問題が論理的な間違いの問題であると考えていた。しかし学生レポートにあるように「事故を起こしたら危ないとわかっている製品を世に出してはいけないそれが技術者倫理というものだ」という主張はもっともである。その上で就職を考えるという学生がほとんどである。福島第一原発事故を考えること、そして考え続けることが技術者倫理のテーマとして成果があったと考えられる。

第 5 節

放射性元素と土壤汚染と人体影響について

庄司 良

5-1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所からの放射性物質の飛散事故の生命倫理、環境倫理的側面として、放射性元素と土壤汚染と人体影響についての技術者の卵たる高等専門学校の学生に対する教育を考えたい。福島第一から放出された放射性元素による放射能の生物に対する影響が懸念されている。生物や人体に対する影響はあるのか？ないのか？不明な点が多いと感じる方がほとんどである。政府は基準を超えるが安全だとしきりに発表しているが、果たして本当なのか判断する材料に乏しいのも事実である。自然放射能もあるのは確かだが、それ以上の汚染が起きたことは事実であり、一時、市民はパニック状態に陥り、水の買いだめに走り、不必要に周囲の水や土壤に沈着した放射性元素に対して、疑心暗鬼になっていた。これは第一に放射線に対する正しい知識がないためだろうと考えられる。少なくとも技術者は率先して振り惑わされないようにしなければならない。

放射性元素、放射能の影響については、目に見えない恐怖であると報じられる。放射線は本当は意外と身近な存在であり、ラドン温泉などに代表される自然放射線の利用や X 線検査などの医療利用・産業利用など幅広く我々の生活で利用されている。放射線に対する極度の不安は、マスコミがあおっている側面もあると考えられる。とにかくマスコミはセンセーショナルな事柄に食いつく、視聴率至上主義的な側面があり、かつてのダイオキシン騒動を髣髴とさせる。事実を真正面に捕らえる正しい報道はあまり期

待できない。ある意味、これはマスコミがクローズアップして大きくしていった問題かもしれない。そうした性質の問題を技術者倫理の問題として扱えるのか？については大変疑問があり、ましてやそうした問題を論文にできるのか？については現時点でも考察が不足している。従って今回の報告では、実際に授業として取り上げたことの紹介にとどまらざるを得ない。しかし、できるだけ早い段階で記録として残しておくことの意義はあると考える。

こうした問題に対して、我々教育者または研究者は、何はともあれできる範囲で行動をすることが大事である。市民はまず落ち着いて行動をすることが大事であり、その中で技術者は彼の専門の内外を問わず、その知識を期待される立場でもある。従って、教育機関としては、正しい知識の普及のため、講義することがまず重要である。本講義の目的は正しく理解し、対策を学ぶことであり、主として環境と生命を担当する庄司は、特に放射線が与える生物や環境に対する影響について講義することになったので、記録を紹介する。

5-2. 講義内容

まず、土壤汚染の現状の確認として、地表面のセシウムの蓄積量と分布に関する最新の知見を紹介し、ついで筆者が実際に行った現地調査について、写真を交えて紹介した。筆者らは最近、カリウム、カルシウムを農地に散布することで農作物へのセシウムの吸収を抑制することを研究しており、詳細は別報に譲るが、研究者としても、全力でこの問題に取り組んでいることを紹介した。

次に、放射能に関する一般論として、放射線の種類がアルファ線、ベータ線、ガンマ線、エックス線、中性子線とあり、それらのうちどれが危険なのか？という過程で発生するのか？について、量子化学的知識の確認と復習をかねて講義した。単純 X 線、X 線 CT、PET など種々の放射線は医療利用・工業利用されており、人類は放射線を上手に利用することで、様々な便益を手にしており、いまだ脱放射線は無理であることを説明した。ここでは脱原発の議論はしていないことを付記しておく。さらに自然放射線として、宇宙からまたは地表から一定程度放射線を受けていることや、カリウム 40 などかなり多量の放射性同位元素を体内に取り込むことで、すでにヒトに対する内部被爆が太古の昔から起きていることなどをクイズ形式で紹介した。

更に, それによる発ガン性と化学物質などによる一般毒性との違いに焦点を当てて説明した. 放射線による発ガンリスクは線量と正比例することから, 閾値がないという重大な性質を説明し, 損失余命という形でリスクの定量化することで, タバコ, 飲酒など生活に身近なリスクと比較した. また, 放射線による細胞損傷のメカニズムを説明するため, 放射線の影響に関する分子生物学的な知見も紹介し, 細胞とDNA, DNAの機能, 放射線のDNAに対する作用機序, DNA損傷について説明した. 特にDNA損傷の自然発生と放射線誘発については, 塩基損傷, 1本鎖切断, 2本鎖切断の3種類に大別し, そのうち修復困難な2本鎖切断に関しては, 圧倒的に放射線による誘発が自然発生を上回っていることを理解させた. これによる影響と最終的に人体に及ぼす発ガンなどの疾患について説明した. 最後に, 放射能差別について, すなわち放射線の影響は遺伝するかどうかについて, 生命倫理的な側面から説明し, 例えば被爆二世群の健康リスクは被爆していない群と変わらないことを紹介した. 原爆のときも遺伝するといった風評があったが, そうしたことは一切ないことを紹介した.

講義の達成度の評価はレポートにて行い, 放射線の知識について問い, 放射線を正しく怖がることを最終的な目標として評価した.

5-3. 評価とまとめ

31名の学生が提出したレポートのうち26通では, 技術者が持っているべき放射線に対する最低限度の知識は得られていると考えられた. 放射線とどう付き合っていくべきかという根源的な問題に対しても, 彼らなりの答えをレポートで示しているものが30通であり, 真剣に考えてもらうきっかけをこの講義で与えることができたと考えている.

そもそも繰り返しになるが, この放射線による人体影響の問題は技術者倫理的な問題なのか? はなはだ疑問があったが, できる範囲で授業に取り組むことにした. 授業の達成度の評価は困難を極め, 準備不足など反省は多々あるが, 高等教育機関の最低

限の責任として, 正しい科学的知見に基づく, 放射線の人体影響について紹介はできたと自負をしている.

第6節

技術者倫理から原発問題を考える

河村 豊

6-1. 考察のための出発点

授業予定では, 最終回を震災問題の専門家を招き, 総括的な議論を実施するはずであった. 河村の不手際も重なり, 実施がかなわなくなり, 準備中のテーマを河村が取り上げることとなった. テーマは「原発問題」とした¹⁾.

「倫理的想像力」を身につけることを講義の目標に設定していることもあるので, 「原発問題」についても, (1)「(技術者倫理教育が) 目指すことは, 技術者兼社会学者であること」, (2)「倫理的想像力を身につけること」, (4)「倫理的配慮力を身につけること」, (3)「期待と不安」という「矛盾する問題」について検討することができる能力をもつこと, という切り口で迫ることを説明し, 次の課題を最初に受講生に提示した.

「課題: 「脱原発」は, 今後の日本のエネルギー問題に, どのような可能性, あるいは困難さを与えるか. 原子力発電の長所・短所について具体的に説明しながら, 将来の日本のエネルギー政策について, あなたの提案を, 1,000程度で書きなさい. なお, 脱原発について, 賛成・反対の立場を示す必要はない。」

こうした課題を設定したゆえに, 「原発問題」に関わる以下の論考でも, 学生が提案を作るための「情報提供」という位置づけで行った講義内容を部分的に再現することとする.

第一に, 「原発問題」は, 政治, 経済, 軍事, 外交などの複雑な社会問題であり, かつ高度な安全対策が必要な技術問題でもあることを, 具体的に説明した. 第一の確認事項は, 「原発推進派」と「原発反対派」のように対立的にとらえることの問題点であ

1) テーマとしては, 地震学研究や津波災害の研究なども検討した. 地震防災については, たとえば, 山岡耕春(名古屋大学)「地震研究の進展と巨大地震対策」NHK, 視点・論点 2008年9月1日放送, また津波防災については, たとえば河田恵昭『津波災害—減災者会を築く』(岩波新書, 2010年12月17日)などのように, 今回の大震災以前に警告していた. こうした被害予測と防災対策との関わりについても, 倫理的想像力を高めるための素材となるが, 別の機会に検討したい.

る。近年の原発に関する見解の多くをみると、無条件で原発推進を主張する論者や、原発の即時撤去を主張する論者らの議論よりも、「両者をミックスした「第三の道」」からの議論が存在するように判断できる¹⁾。したがって、検討すべき問題は、「両者をミックス」するための具体的方法であり、さらに「第三の道」の具体的な姿である。

第二に、仮に「第三の道」が存在するとしても、少なくとも大震災以前までの国内世論としては、8割が「原子力は危険」と考える一方で、5割は「原子力が必要」と考えていたという問題である。つまり、原発問題には排除したいが利用もしたいという「ディレンマ問題」が存在し、その解決にはこれまでの対立的な議論を越えるための、新しい方向性が要求されているという観点である²⁾。

第三に、倫理的想像力を高めるために、原発についての世論を形成している人々の立場からリアリティを持って推測することである（ステークホルダーの検討問題）。この作業については、授業中に、以下のようなチェック表を学生に記入させた。このような作業をひとつのきっかけとして、受講生の考察に幅を持たせるきっかけとした。

「倫理的想像力」を鍛えるためのトレーニング
「原発問題」チェックリスト

＜利害関係者の抽出＞

1. 原発推進に肯定的であるという思うステークホルダー（組織など）を4つ程度書き出さない。
2. 原発推進に批判的であると思うステークホルダー（組織など）を4つ程度書き出さない。

＜利害関係者の主な要求項目＞

3. 原発推進派が、原発は有効であると主張している点は何だと思われますか、4つ程度書き出さない。
4. 原発批判派が、原発は問題を持っていると主張

している点は何だと思われますか、4つ程度書き出さない。

＜最も影響を受ける関係者の抽出＞

5. 脱原発がすばやく進むことで最も利益を得るのはどのような人々・組織か。1つ書きなさい。
6. 脱原発がすばやく進むことで最も不利益を受けるのはどのような人々・組織か。1つ書きなさい。
7. 原発が維持・拡大されることによって最も利益をうるのはどのような人々・組織か。1つ書きなさい。
8. 原発が維持・拡大されることによって最も不利益を受けるのはどのような人々・組織か。1つ書きなさい。

＜あなたが提示できる提案＞

9. 今後 20 年以内までの、現実的な電力構成比はどのような比率か。エネルギー源別に比率を示さない。
10. 40 年後の将来までに到達可能であると思う電力構成比はどのような比率ですか。同様に示さない。

＜解決困難であるとあなたが感じている部分＞

11. 原発問題を考える上で、あなたが一番、困難であると感じている問題はなんですか。

6-2. 原発推進派による冷静な分析の存在

わが国における原発は、実用化原発研究が旧科学技術庁グループ、電力供給用原発の導入・普及が旧通産省および電力会社のグループより推進されてきた。1970 年以降、発電用原子炉が建設・稼働し、2011 年時点では稼働原子炉がアメリカ、フランスに次ぐ第 3 位（50 基）にまで到達している³⁾。

一方、原発製造メーカーとしては、日本の日立、東芝、三菱重工が、それぞれ GE 社（米）、WH 社（米）、アレヴァ社（仏）とグループを作り、世界の 3 大原子力発電製造メーカーを形成している。つまり原発の製造技術でも、日本は原発大国となっている。

一方、ここまで原発を推進させてきた理由を取り

1) 吉岡斉『原発と日本の未来 原子力は温暖化対策の切り札か』岩波ブックレット、2011 年 2 月。本書の中で、「両者（推進派と反対派）は水と油の関係にな」い、という表現もしている（p.11）。

2) NHK 世論調査（1970 年から 2000 年まで）の傾向。朝日新聞の世論調査では、チェルノブイリ原発事故以降の 1991 年では、推進反対が 53%、推進賛成が 26%となるが、1996 年には推進賛成が 38%に増加している。

3) AERA臨時増刊「原発と日本人 100 人の証言」2011 年 5 月 15 日号、および週刊ダイヤモンド「原発」2011 年 5 月 21 日号などを利用した。

上げてみると、エネルギー確保、国際技術競争力維持、国家安全保障、温暖化防止などが主要な項目としてでてくる¹⁾。

ただし、資源エネルギー庁が 2007 年3月作成した「原子力立国計画」においては、原発推進を基調としながらも、その一方で、冷静で、現実的な分析も行っており、興味深い。例えば、「エネルギー供給安定性」の項目では、「現在、核兵器の解体に伴うウラン供給等により、ウランの需給バランスが取られているが、今後10年程度で、供給不足に陥る可能性がある」として、解体核高濃縮ウランによる供給が今後10年で途絶える可能性や、中国等における需要急増によるウラン資源の供給難の可能性についても検討している。その対策と思われる「ウラン資源確保戦略」に関わる分析でも、軽水炉型原発を利用する場合にはウラン価格が高騰へ進むことを懸念しており、「世界的な原子力回帰により、ウランも激しい資源獲得競争へ」向かい、すでに 2007 年のウラン価格は、2000 年に比べ12倍となっていると報告している。したがって、こうした資源不足問題の解消のためには「高速増殖炉サイクルの早期実用化」が必要であると話を進め、原型炉「もんじゅ」の早期再開を目標としている点を紹介する。しかし一方で、「(高速増殖炉の)実証施設は 2025 年頃に実現、2050 年前に商業ベースの導入」という現実的な将来予想を示している。つまり、高速増殖炉の実用化(商業ベース化)には、さらに「40 年」が必要であるとの見積もりを、隠すことなく紹介している²⁾。

さらに研究者からの議論もある。本人の個人的立場は不明であるが、内閣府原子力委員会事務局所属の担当者ということなので、原発推進派に近いと推測しておく。2001 年に「原子力学会誌」に発表したこの研究者の論文では、(1)自由化の中では、企

業としての電気事業者にとっては、投資を抑制しようとするのが経済合理的な行動であること。(2)「既存原発」の経済性の試算(モデルプラント試算 1999 年)では、原子力 5.9 円、石炭火力 6.5 円、LNG 火力 6.4 円(1kW 時)とされるが、これには、新規投資、廃棄物処理などにかかる費用は含んでいない。試算のためには、停止中の原発設備などを含むストランデッド・コスト(回収不可能の投資)の部分も計算に加える必要があること。(3)電源の多様化は重要で、これ以上(30%台以上)の原子力傾斜、特別扱い、エネルギー安全保障上はマイナスであること。(4)原子力発電に対して、これまでのような「特別扱い」は理解を得られない政策であること。このような分析を行っている³⁾。これらは冷静な分析と評価できるのではないだろうか。

ただし、関係者によるこうした客観的な分析や冷静な分析が行われながらも、これらの成果が原子力政策に十分に生かされて来なかったように思える。もしそうならば、生かせなかったのはどのような理由であり、今後の改善にはどのような要素が必要なのだろうか。この点こそ、検討すべき課題と思われる。

6-3. 福島第一原発事故以降の議論

アメリカのスリーマイル島原発事故、旧ソビエトのチェルノブイリ原発事故により、原発への批判は強まったが、日本でも、「もんじゅ」ナトリウム漏れ事故、JCO臨界事故、東京電力原発ねつ造報告事件、柏崎刈羽原発事故などの問題が発生し、社会的な大問題となった。しかし、ヨーロッパの一部の国で生まれたような世論の劇的な変化などは起きなかった。このような中で、今回の福島第一原発における炉心溶融を含む放射能放出事故は、不幸な出来事であるが、日本の原子力政策を変化させるきっかけとな

1) 学生に提示した項目は以下のもの。・電力エネルギーの確保に貢献できる。・地球温暖化防止に貢献できる。・石油資源(火力発電に使う代わりに)、素材などに有効に利用することに貢献する。・開発を継続すれば安全は確保できる。・関連技術、周辺技術の発展に刺激となる。・原発設置地域の経済振興に貢献できる。・関連技術を輸出することで、海外進出できる。・新興国の電力需要に応えるには原発が良い。・再生可能エネルギーによる電力の安定供給は困難である。・「原子力カルネッサン論」が広まっている。・脱原発にしても廃炉に莫大な費用がかかる。維持継続した方が安全。・機微核技術を保有することで、その権益を継続的に保持できる(国家安全保障のための原子力)。

2) 「原子力政策の課題と対応—原子力立国計画」<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/nuclear/>。もちろん、40 年後に高速増殖炉が実用運転するという見込みがどれほどの根拠で紹介されているのかは、別の立場から検証することは必要である。

3) 白石重明「電力自由化と原子力」日本原子力学会誌, 43(9), pp.862-865, 2001 年 9 月

るかもしれない。

以下では、原発については中間派と思われる論者として、原発推進に近い論者（柏木孝夫：東京工業大学）、と原発廃止に近い論者（吉岡斉：九州大学）らが、福島原発事故後にどのような議論を行っているかを紹介し、原発問題の重要な論点に一步でも近づくことにする。

まず、東工大の柏木孝夫は、(1)エネルギー基本計画（2010 年 6 月）は見直しが必要であること、(2)原発の「積極推進」か「全廃」かの二者択一の議論には解はないこと、(3)基本的視点は原発の利用を含めたベストミックスであること、(4)再生可能エネルギーは 20 から 25 % 程度が限度であるので、全電力における電源構成比は、原子力：約 30 %，化石燃料：約 30 %，再生（水力含む）：15 ～ 20 %，コジェネ：15 ～ 20 % であること、を提唱した。最後の(4)については、政府による「エネルギー基本計画」（2010 年 6 月閣議決定）では、2030 年までに原子力発電の割合を 50% とすると主張していたことに反対し、新たな形で柏木の「ベストミックス論」を主張したものと判断できる¹⁾。

一方の吉岡斉は、震災前（2011 年 2 月）に刊行した『原発と日本の未来』において、以下のような議論を行っていた。(1) 日本政府が原子力発電を重視するのは、エネルギー政策の前に、「国家安全保障のための原子力」という目的がある、(2) それゆえ、政府の「機微核技術」保持政策の中で、各種の原発支援政策（電源三法など）を推進し、国策民営として運営してきた、(3) 国策民営の中で、批判を許さない、強固な利益グループが形成され、「安全神話」のもと、災害対策が軽視されてきた、(4) 原発は、建設コスト、維持管理コスト、核燃料廃棄コストを含めると他のエネルギーに比べ高コストである。政府による支援（立地、維持、廃棄、リスクなど）が不可欠となっている（原発介護政策）、(5) 原発による二酸化炭素削減を主張したため、国内にある旧型火

力発電所のリプレイスが他国に比べて遅れている。環境対策には、原発増設ではなく、旧式火力のリプレイスに資金を使っておこなうべきである、(6) エネルギー安定供給のためにも、政府による過剰な原発優遇策は廃止すべきである。その代わり、新エネルギー開発に資金を振り向けることができる、などである²⁾。

震災後に刊行した同書第 4 刷版には、新たに次のような意見を加えている。「筆者は、「人類は核とは共存できない」という立場はとってこなかったが、今回の震災をふまえて原発の総合評価バランスシートをみれば、日本の脱原発に向けて舵を切るのが賢明だと思われる」³⁾。

このように、柏木、吉岡の議論を眺めてみると、原発への期待度合いや、最終地点での意見の差は大きいようにみえるものの、両者の見解は、単純な原発推進派、原発反対派の議論であるとは括れないことを確認したい。論点の幅は広いが、原発についての中間派とも言える議論ではないだろうか。

しかし、彼らの議論をさらに進めるには、震災後に活発になってきた再生可能エネルギーの可能性を検討する議論や、「脱原発」に代わる「縮原発」というような日本における原発との現実的な「つきあい方」、将来を展望した「つきあい方」も議論する必要がある⁴⁾。それに加え、技術開発に新しい可能性を切り開く展望も必要ではないだろうか。たとえば、経済産業省エネルギー庁編の『エネルギー白書』（2008 年度）に掲載されている、「日本のエネルギーバランスフロー」で示された次のようなデータは新しい切り口の 1 つとして興味深い。一次エネルギー国内供給が $21,565 \times 10^{15} \text{ J}$ であるとする一方、エネルギー転換／転換損失等が $6,839 \times 10^{15} \text{ J}$ であるとしている点である。つまり、生産しているエネルギーの 30% は、送電ロスなどで浪費されているというのである。すでに節電技術の問題は繰り返し検討されているが、送電ロスを減

1) 柏木孝夫「緊急提言：震災復興をけん引する新エネルギー政策 原発も含めたグランドデザインの見直しを」2011 年 4 月 15 日。 <http://eco.nikkeibp.co.jp/article/report/20110414/106363/>

2) 吉岡斉、前掲。

3) 吉岡斉、同上、p. 29。

4) 例えば、石橋克彦編『原発を終わらせる』（岩波書店、2011 年 7 月 20 日）、で紹介されている、「エネルギーシフトの戦略」、「原発立地自治体の自立と再生」などの議論は新しい視点であると評価できる。

少させるには、超伝導送電などの新しい技術開発が不可欠であり、エネルギーの生産、輸送、消費に関わる総合的な技術開発が、エネルギー政策のテーマになることを示唆している点で、新しい技術開発課題であると感じる¹⁾。

6-4. まとめにかえて

原発問題は、一国のエネルギー政策、経済政策、国防政策などが絡む複雑な問題であることは改めて説明するまでもない。だからと言って、技術者倫理では扱えないと逃げる必要はないだろう。冷静な科学的、工学的検討結果だけでは問題が解決しないということは、原発問題に限らず、多くの問題に共通する。例えば、「電気学会倫理綱領」(平成 19 年 4 月 25 日改訂)の第2項には、「自然環境、他者および他世代との調和を図る」と書かれている。「他世代との調和を図る」という文言を、脱原発と考えるのか、縮原発と考えるのか、新エネルギー開発促進と考えるのか、それとも省エネルギー技術開発の促進と捉えるのか。少なくとも技術者には、原発に関わる技術問題については、将来展望を示す努力をして欲しいと希望したい。

おわりに

ー今回の試みで見えてきたことー

河村 豊

東日本大震災から半年後、震災による被害が数字上で詳しく明らかにされる一方で、親を亡くし、子供を亡くした一人ひとりの悲劇についてもその多くが伝えられるようになった。こうした被害者の悲しみ、無念さ、辛さを、自分たちの近くに感じることができるかどうかということも、倫理的想像力を高めたためには大切なことであると判断している。このことは被害者の心の問題への共感だけを意味するものではなく、同様の被害を繰り返さないという具体的な手立てを真摯にかつ情熱を持って取り組めるかにも関わっていると考えるからである。

さて、事故から半年が経過した段階になって、地震学者や原発研究者などからも、研究者の立場からの「反省」が出はじめた。

たとえば、東京大学地震研究所からは、地震学の成果として地震予知を強調するあまり、地震予知が防災対策と誤解され、結果として人々の防災意識を低めたのではないかと、これまでの地震研究者が自らの研究分野の存在意義を強調するあまり、そのように仕向けたのではないかと、という反省が示されている。それゆえ今後は、地震学によって提示できる科学的知識はあくまでも解明途上のものであること伝え、医療に例えるならば、不治の病(=地震災害)ではあるが、延命のための対処療法(=耐震建築、防災対策、防災訓練など)を具体的に提示すべきであるとも展望している²⁾。

また、原子力学会からは、事故が起きても大丈夫だという過信があったことや、国内での原発のトラブル発生頻度が低いことが安全神話につながったのではないかと、などの指摘が行われている³⁾。原子力学会に所属する技術研究者たちが、具体的な問題にまで遡って反省をし、将来への対策を示すことができるのかが問われているように思う。

技術者倫理教育における今回の試みが、受講生にどのように理解されたかは簡単にはつかめきれないように感ずる。本来ならば、アンケートで受講生の満足度を数字で掲載すべきかもしれないが、感想文のみでのフィードバックに止まっている。

「原発を考える上で、政治的、歴史的問題も含んでおり、技術者として考えるとただの理想を語っているだけなのではないかと思った」、「問題は複雑で深く考える事と技術者倫理の重要性を再確認した」、「原発について扱う事が技術者倫理にどうつながるのか見えなかった」などの感想があった。

感想文から見えることは、勉強にはなったが、技術者倫理教育の意味については「消化不良」に終わっている、と受講生が言っている点である。それで

1) この部分の議論は、吉田文和『グリーン・エコノミー 脱原発と温暖化対策の経済学』(中公新書, 2011 年 6 月刊行)を参照した。特に、第4章「制約なくして革新なし」(Limitation creates innovation.)という標語が、新たな意味をもって再生したように感じた。

2) 視点・論点「地震の科学と情報発信」:大木聖子(東京大学地震研究所広報アウトリーチ室助教) NHK, 2011 年 9 月 5 日放送。以下のホームページも参照した。 <http://daichi.eri.u-tokyo.ac.jp/>

3) 「原子力学会、反省の声 事故後初の大会始まる」朝日新聞, 2011 年 9 月 20 日付け

も、「日本のエネルギーに対する考えが大きく変わるときだと思った」という感想もあった。自分たちが変化の時代にあることを感じ取ったのかもしれない。

一方、大震災や原発問題を事例に取り上げたことの戸惑いを、担当教員自身が感じていたことも、率直に認めるべきだろう。特に原発問題を議論するには、どうしても担当者のこの問題に対する個人的なスタンス（賛成か反対かを含む）を出さざるを得ない。このことは担当者に精神的な負担を強いたように思う。それゆえ、受講生には原発に対する態度をはっきりとさせなくても良いと説明する一方で、教える立場からは、なるべく中立的に議論をしていくことに心がけた。これまでの原発問題では、賛成・反対の対立が鮮明にされており、冷静な分析がしづらく、あるいは思考停止を強いられた状況があり、細かな事実関係を検討してこなかったという問題も

あるかもしれない。

今回の大震災は、間違いなく多くの自然科学上の問題、工学上の問題をわれわれに課したといえるだろう。とくに原発問題に関しては、新たな視点で検討する機会をわれわれに与えたと言えるのではないだろうか。一方、技術者倫理教育においては、現実で発生している問題の中から、技術研究者たちの切迫感をどれだけうまく汲み取り、授業の教材として紹介できるかが大切だと、改めて考えさせられた。

最後となるが、東日本大震災を技術者倫理教育の側面から取り上げた意味は、学生への効果よりもむしろ教員側への効果の方が大きかったのかもしれない、という感想を付け加えておきたい。

今回の取組に御協力いただいた皆様に、この場を借りて謝意を表したい。

（平成 23 年 9 月 22 日 受理）

国語プレースメントテストの実施報告

船戸美智子*, 川北晃司*, 津田 潔*

A Report on the Placement Test of Japanese Ability of Students at
Tokyo National College of Technology

Michiko FUNATO, Koji KAWAKITA and Kiyoshi TSUDA

A placement test which focuses on Japanese vocabulary has been given annually since 2004, in order to measure the Japanese ability of the 3rd-year students at Tokyo National College of Technology. The results have proved to be satisfactory. The author and her colleague teachers intend to continue researching on the Japanese ability of the students from various points of view.

(Keywords: Placement Test, Japanese ability)

1. はじめに

毎年1月半ばに国立高専機構では、全国高専を対象に学習到達度を計るために数学と物理について「学習到達度試験」を実施している。これは高専学生の学力の現状を把握すると共に、学習到達度を計ることで、高専としてのいわば品質保証を図る一つの手立てともなっている。

しかしながら、機構では国語について到達度試験を行うといった計画は、今のところ持ち上がっていない。それには国語という教科としての特性もあるのだろう。

漢字の読み書きについては、ある程度の学習を経れば学習到達度を計ることができる。例えばその一つに漢字検定がある。現に、中学校卒業程度のレベルの漢字検定三級は、その取得の有無が高校入試で考慮されることがあると聞く。それは、漢検で取得した級によって示された漢字能力が受験生の国語力を示す一つの指標となっているからだろう。その意味では、漢字の読み書きを使って到達度を計ることは比較的容易だとは言える。

しかし読解力・作文力についてはどうだろうか。近年関係各社が様々な形で検定方式の試験に参入しているが、漢字検定のように全国的に国語力の指標として認知されるものは未だできあがっていないのが実状のようである。読解力は文章の難易度によってその到達度を計ることはある程度は可能ではあるだろうが、作文力については、採点基準を単純化できない側面があるため、一律的に国語力の一つとして到達レベルを計ることは難しい。

それゆえ機構でも、教室での国語の授業の学習効果を一元的に計る到達度試験を行うことは困難とみなしているのであろう。

そのような現状ではあるが、本校国語科においてもなんとか国語について学習到達度を計ることができないかと数年前から模索してきた。

そこでまずは2004年度に文部科学省独立行政法人メディア教育センター^{*1}の主催で始められた「プレースメントテスト」を3年生に実施した。対象として3年生を選んだのは、数学・物理が到達度試験を行なっているのが3年生であり、高専教育カリキュラムの中においても、専門教育へ本格的に踏み出す前の節目の年に当たり、基礎学力としての一般科目の多くが3年生で修了することから、ここで到達度を計っておく意義は大きいと考えたからである。

その結果の詳細については後述するが、概ね良好であり、ほとんどの学生が高校3年生レベルの学力であった。

それ以降は、ほぼ毎年3年生を対象に「文章表現法」の授業内で同じようなテストを実施している。

本稿では、2004年度から2011年度まで実施したこれらのテストの結果を比較しながら、本校の学生の国語力の変化について分析を加え、今後の国語教育の展望を探っていくものである。

2. プレースメントテストの概要

まず、2004年度に行なった「プレースメントテスト」を簡単に紹介しておきたい。本校国語科で試行したきっかけは、平成16(2004)年3月に文部科学省

*一般教育科

*1 文部科学省管轄下にあった独立行政法人メディア教育センターは2009年度末で廃止されている。

メディア教育開発センターから案内が届いたことによる。当時から少子化に伴う大学生の学力格差が問題視されており、このテストはそのような背景を受けて開発され、大学生の基礎学力の判定を行い、学力の現状を把握することで「リメディアル教育や基礎学力別クラス編成の際の指標を得る」ことが可能になるという。

試験科目は国語と英語であったが、国語科では単独で行なうことになった。2004 年 3 月に郵送されてきたその案内によれば、当テストの目的・概要は以下のとおりである。

日本語・英語の基礎学力を中 1 以下～高 3 以上までの学年表示で学生の学力を判定し、報告します。

実施時間 日本語 30 分 一人 200 円
(中略)

本テストは現代的なテスト理論である IRT（項目反応理論）に基づいて作成された問題項目を利用しています。平成 14(2002)年度に全国の中・高生、約 20 万人を対象に基礎学力（日本語・英語・数学）調査を実施した結果から、統計的な分析によって各問題の難易度や識別率の算出し、問題の選別等を実施した上で開発されたものです。

そのため、通常のテストと比べ、他の様々な測定結果との比較が可能になります。テストの結果、個々の学生の日本語と英語の学力は、0～1000 の間の能力スコアで判定されます。

このテストはマークシート方式で全 95 問からなる。主に語彙の意味や語句の使い方、類語の区別などが問われている。配点の詳細は公表されていないが、95 問で 1000 点満点となっているので、設問の難易度によって配点の差異があるものと思われる。

本校でこのテストを利用する目的は、本校の学生が全国の高校生または大学 1 年生と比べた場合、どの程度の国語力を持っているのかを計ることにあつた。本校は高専独自の教育カリキュラム編成となっており、受験を前提とした普通高校の教育内容と比べてその差が大きいと、国語分野全般に渡って出題されると不利になる可能性が大きいのだが、当テストは一般的な常識に基づく語彙力に重きを置いているため、本校のような特殊なカリキュラムで受講している学生にも一つの指標が

得られるのではないかと判断したものである。なお、費用については試行ということもあり、学生からは徴収せずに行った。

3. プレースメントテストの結果・分析

3-1 2004 年度の結果

プレースメントテストは、3 年「文章表現法」の授業内で各クラス 30 分の試験時間を取って行われた。2004 年度に実施した際の結果は、個々の学生についてスコアとレベルが表示されたデータが送られてきた。ここではスコアをレベル別に当てはめ、その人数の分布を以下に示した(表 1)。図 1 は表 1 をグラフで表したものである。

なお、レベル毎のスコアの基準については公表されていないため、送られてきたデータの結果を基にこちらで判断したものである。

図 1 からは、3 年生 189 名の内、7 割強の学生が学年どおりの高 3 レベルにあり、中学生レベルの学生はわずか 2%程度に留まっていたことが伺

レベル	スコア	人数
高 3 レベル	700 以上	2
	600-699	97
	582-599	37
高 2 レベル	558-581	27
高 1 レベル	515-557	22
中 3 レベル	408-507	3
中 2 レベル	407 以下	1
計		189

表 1 2004 年度 スコア・レベル別分布

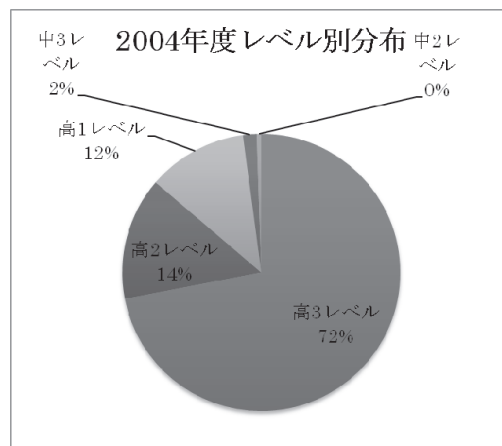


図 1 2004 年度 レベル別分布

える。これは全国の大学に比較しても少ないほうであった。同テストを受検した大学の内,中学生レベルだった学生の割合は,国立大で 6%,私立大 19%,短大 35%という結果であった*2。

本校では高2・高3レベルを併せても 86%に上るので,本校の学生が国語は苦手だと言われがちだが,この結果を見る限り学力的には危惧するほどではないことがわかる。

3-2 2006 年度から 2011 年度までの結果比較

次に2006年度から2011年度までのテストの結果を見てみたい。

2004 年度にプレースメントを行なった結果は前述のとおり,大きな問題は見られなかったため,2005 年度は実施を見送った。しかし,学生の学力推移を見るためには継続してテストを行う必要がある。また学生自身が自分の国語力がどの程度あるのかを客観的につかむこともある程度可能であるという点も鑑みて,3年生を対象に先のプレースメントテストを基にした語彙力テストを学内で試行することにした。

実施については30分で行い,解答用紙回収後に学生には問題用紙を見ながら,自己採点をさせている。その利点は学生自身がすぐに正答を確認でき,自分で計算すれば,どのくらい点数がとれたのかを即時知ることができるという点である。学生には予めこの評価はふだんの授業の評価とは関係ないと明言しているので,自己採点を行なっても不正による採点の信頼性を損なう心配はないものと考えている。

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
90 点以上	1	2	0	0	2	1
80 点代	29	35	27	32	33	39
70 点代	71	75	67	85	84	70
60 点代	46	41	65	54	58	59
50 点代	36	24	19	24	19	23
40 点代	9	4	4	2	9	6
30 点代	0	5	3	1	3	6
29 点以下	2	2	2	1	2	0
計	194	188	187	199	210	204

表2 プレースメントテスト 年度別得点分布

その結果を表2にまとめた。得点分布をわかりやすく示すため,得点は10点刻みで表した。その得点分布を年度別に比較したものが図2である。

図2から言えることは,全体的に見ても50点代までにはほとんどの学生が収まっているということである。年度によりその割合に多少の差はみえるものの,年度ごとの比率からすればさほどの差にはならないと見てよいだろう。

しいて年度ごとの差に注目するならば,2006年度にやや50点代の学生が多くみられる。また2010年度は70点代の学生が増えている反面,40点代の学生から20点代の学生までの裾野も広がっていることが気になるところである。裾野が広がる現象は2011年度にも見られる。

また2009年度はここ数年の間では一番良い結果が出ている。

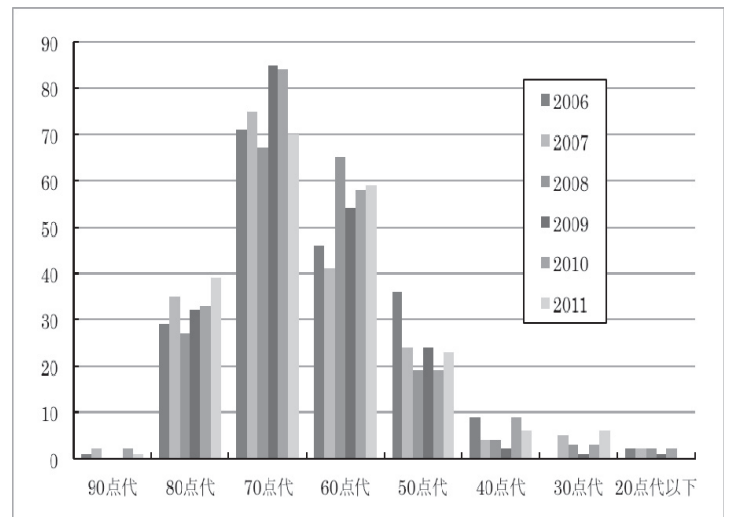


図2 年度別得点分布

次にこれらをレベルに当てはめてみるとどうだろうか。満点換算や配点の違いがあるため,2004年度の結果と単純に比較することはできないが,ここでは2004年度の得点とレベルとの関係を鑑み,表1の得点分布を以下のように換算して比較することにした。

95～60点 高3レベル
 59～40点 高2・高1レベル
 39点以下 中学生レベル

したがって,次頁に示す円グラフはあくまで推測であり,厳密な判定ではないことをお断りしておく。ここでは図2で特徴が表れている年度につ

*2 毎日新聞 2005年6月8日東京朝刊記事による

いて、主に中学生レベルの割合がどのように変化しているかを見てみたい。

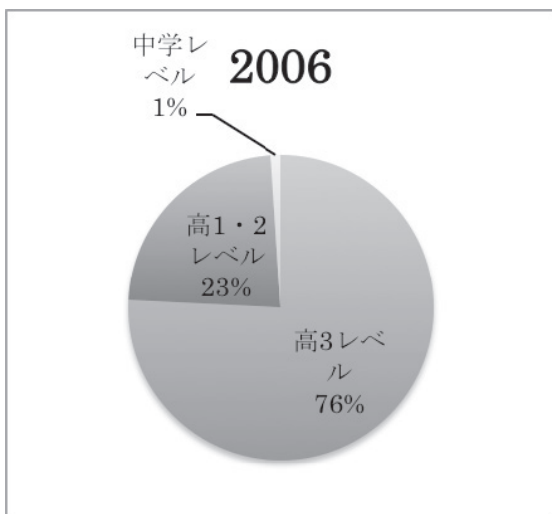


図3 2006年度のレベルの割合

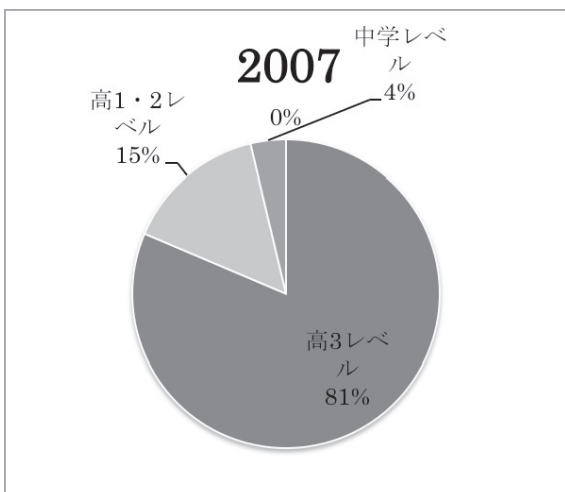


図4 2007年度のレベルの割合

2010年度 2011年度もこの図に酷似

さて図3から図5にかけての変化は何を意味しているのか。

2005年度から本校ではくくり入試が始まった。くくり入試とは、学科を確定せずに入學し、二次に進級する際に学科に分かれるという制度である。その初年度の学生がこのテストを受けたのは、2007年度である。図2から2008年度から2009年度にかけて成績は良好であったことを考えれば、くくり入試以後の学生のほうが全体的に国語力があるということも言えるかもしれない。

これらをさらに別の角度(図3・4)から比較してみると、受検者全体の人数に対する割合でレベルを分ければ、高3レベルの学生の人数が2007年度では確かに増加しているものの、中学レベル

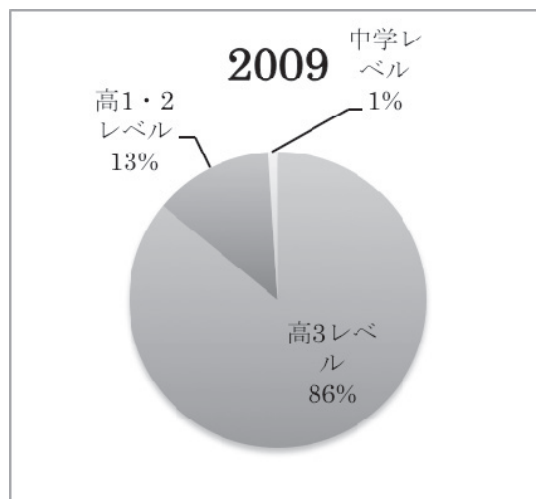


図5 2009年度のレベルの割合

の学生も若干増えており、その点では一概にくくり入試以降の学生の学力が底上げされて上がっているのではなく、学力格差が広がっているとも見ることができるだろう。

しかしその現象もまた2009年度(図5)では好転し、中学生レベルの学生の割合も減って全体的に成績は底上げされたようにみえる。

ただし、先にも触れたように図2では、2010年度からは逆に得点分布の裾野が広がる傾向がみられた。ここでは特に円グラフで示さなかったが、2010・2011年度ともに図4の2007年度に割合の様子が酷似しており、2009年度で成績が上昇したものの、2010年度では中学生レベルの学生がまた増加する傾向にあるのである。これは、学年末の修了認定時に4単位のバッファができた2008年度から、低学年の内にその単位を持った学生が2010年にこのテストを受検したと考えれば、低レベルの学生の増加はそのバッファの影響の表れとみることもできるのである。学力格差は明らかである。

以上のようにこれらのデータ分析をまとめると、次のようなことが言える。

- ・ 東京高専の3年生の国語の学力は、ほぼ学年どおりの高3レベルにある。
- ・ 2004年度から今日までの年度ごとの大きな差も特に見られなかったので、ここ数年間で国語の学力が落ちているということも言えない。

問題が認められるとすれば、4単位のバッフ

アのほうにありそうである。学力に余裕のない学生は総じて国語力が不足している者も多い。そのような学生が学力に不安を抱えたまま3年生に進級すれば、他の学生とは学力差をつけたまま過ごすことになる。国語力は特に一朝一夕で力をつけることは難しいので、到達度の目安となる今回のような客観的なテストでは、実力不足が露呈しやすい。

国語科としては、そのような学生をどう底上げしていくかという点も重要な課題である。

4. 本校学生の国語力の向上をめざして

これまで国語力の到達度を計るための一つの試みとして、プレースメントテストを利用し、その成績の実態と経年変化などを追ひ、分析してきた。

ここで対象となった学生たちは、まさにゆとり教育を受けてきた世代でもあった。その弊害について学力低下が取り沙汰されることもあったが、国語に関してこの結果を見るかぎりでは、本校の学生はゆとり教育による学力不足を抱えて入学してきているわけではないということがわかった。

本校の国語では2004年度から新カリキュラムを導入し、1・2年次での「現代国語」「古典」科目に加え、3年次では、従来の普通高校と同じ検定教科書を用いた「国語」という授業を「文章表現法」という科目に衣替えし、文章力を初めとするコミュニケーション力の強化に特化した授業を行なっている^{*3}。

今回取り上げたプレースメントテストは、3年次の前後期の間の時期で実施しているため、その結果がこの「文章表現法」授業の成果に結びついているとはいいがたいが、少なくとも2年次までの国語の授業が国語力の涵養に一役買っていると評価を加えることも可能だろう。

しかしながらそれに満足しているわけにはいかない。先にも述べたように中学生レベルの学生が少なからず数名はいる以上、その学生に対しての指導はどうすべきかを議論しなければならない。

3年次の「文章表現法」の授業では、最終的に卒業論文が書けることを目標に掲げているため、新聞から多くの教材を取り上げ利用している。必然的に時事問題にも目を向けさせ、その記事の活

字を読ませることで一般常識的な語句の習得をも目指している。

読書習慣が身につけていない場合は、新聞の活字を読み取ること自体に苦痛を伴うが、読みやすい話題から導入し、集中して読み取る作業を一年間自学自習で積み上げていけば、かなりの読解力が身につく、同時に作文の際の語彙力・構成力にも結びつくと考えている。

具体的な方法については、まだ議論の余地があるので、今後の課題でもある。

また国語力の計り方についても、これからさらに検討する余地があるだろう。2004年度に行なったプレースメントテストの主催団体は、すでに解散しており、同じテストを継続して受検することはもはやできない。さらに現在までに行なっているプレースメントテストでは語彙力中心の簡易な検査に留まっているため、真の国語力をどこまで計ることができるのかは疑問も残る。現にこのプレースメントテストも主催が文科省の下部団体から民間団体に引き継がれ、内容も改善されて大学などで利用されているようである。また近年では国語に関する新しい検定も立ち上がった。国語力を多角的にどう計るかは、国レベルでの課題でもあり、高専機構の課題でもある。国語力は社会でも大いに期待される力の一つでもあるので、慎重に模索が続いているようだ。

さらにその経年変化を調査するには、継続した受検料も必要となる。受検者負担として徴収する学校も多いかもしれないが、できれば学生に負担をかけずに行うことが望ましい。

客観的な指標を求めることは、実力を知る上で大切なことである。今回の分析では経年変化に大きな違いが表れなかったが、別のテストを行えば別の結果が得られた可能性もある。今回の結果に安住することなく、精度の高い他の検査も検討する必要があるだろう。そして少しでも正確な実力を計り、学生の弱い部分を強化すべく我々の授業改善にも役立てていきたいと考えている。

参考文献 大学教育の改善-プレースメントテストとリメ
ディアル教育教材の開発、小野博、大学入試センター共同研
究報告書、2004.3

(平成23年9月22日 受理)

*3 詳細は以下の論文を参照。

2006.1, 高専における実践的国語表現授業の試み-2004年度3年「文章表現法」授業報告、船戸美智子・川北晃司・津田潔、共著、東京工業高等専門学校研究報告書、第37(2)号、東京工業高等専門学校、pp.29-41

円柱棒による風車用厚翼における失速現象の制御と翼周りの流れの挙動

斉藤純夫*, 山科貴裕**, 高橋正旭***, 岩村拓哉***

Control of Stall Phenomena in a Thick Wind Turbine Blade by a Cylindrical Rod and the Behavior of Flow around the Blade

Sumio SAITO, Takahiro YAMASHINA, Masaaki TAKAHASHI and Takuya IWAMURA

Currently, widely used large wind turbines with propeller-type rotors on a horizontal axis employ wind turbine blades, the thickness ratio δ (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). Regarding the entire structure of wind turbine blades, it has been recognized that the improvement of the aerodynamic characteristics of the airfoil at each blade portion is important. The effect of blade surface roughness on the characteristics was also studied in connection with the flow conditions around the blades by employing two types of thick blades with airfoil shapes that likely affected aerodynamic characteristics and by dividing the process of changes in the slope of each aerodynamic characteristic curve into three regions, as reported in the previous paper. It was also proposed that placing a cylindrical rod in front of a blade as a simplified stall control method for controlling the flow around the blade and avoiding stall phenomena improved the flow on the upper surface of the blade and extended the operable range significantly until the angle of attack reached the high attack angle region where a stall occurred. In this paper, a cylindrical rod in front of the thick blade was placed to examine the behavior of flow around the blade by using experimental and flow analysis methods and studied the effect of the cylindrical rod on the control of stall phenomena and its optimal position.

(Keywords: Wind Turbine Blade, Thick Blade, Aerodynamic Characteristics, Lift Coefficient, Drag Coefficient, Angle of Attack, Stall, Pressure Distribution, Flow Visualization, Stall Control, Cylindrical Rod)

1. 緒言

現在, 一般的に採用されている大型プロペラ形水平軸風車においては, 翼先端部では厚み比 δ (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. このため, 風車翼全体の翼構成において, 翼の各部位における翼型の流体力学的特性の向上を図ることが重要な課題である.

前報⁽¹⁾では, 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, 薄翼と厚翼の代表的な翼型を選択し, 失速前後を含む迎え角における基本的な流体力学的特性と翼周りの流動状態について検討を加えた.

また, 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性能曲線の変化の過程に及ぼす影響を, 各迎え角の領域ごとに分類して考察した⁽²⁾.

さらに, 流体力学的特性に翼型形状の影響が現れやすい 2 種類の厚翼を対象に, 前報⁽²⁾で提示した流体力学的特性曲線の傾きの変化の過程から三つの領域に分類し, 翼面粗さの違いが特性に及ぼす影響について, 翼周りの流動状態と関連させて検討を加えた⁽³⁾⁽⁴⁾.

その結果, 翼表面が滑らかな状態では, 小さい迎え角と大きい迎え角の領域において, 二度の失速が発生するのに対し, 翼面粗さが粗い状態の翼の場合, 迎え角の小さい領域での失速は消え, 迎え角の大きい領域においてのみ失速が生じることを明らかにした.

このほか, 厚翼を対象に, 失速制御の簡易的手法の一つとして, 翼前方に円柱棒を設置することにより翼スパン方向に渦芯を持つ横渦を発生させ, その作用により翼周りの流れを制御する手法を提案し, 失速現象の回避を試みた結果, 翼上面の流れの改善が図られ, 大きい迎え角で発生する失速までの作動領域を大幅に拡大できることを示した⁽³⁾.

そこで, 本報では円柱棒を翼前方に設置することにより発生する横渦の影響が翼面上の流れに及ぼす影響を実験のおよび流れ解析手法を用いてより詳細に検討し, あわせて, 円柱棒設置の最適位置についても提示した.

2. おもな記号

A : 翼の代表面積 = 3.58×10^{-2} [m²]
 C : 翼弦長 [mm]

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

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

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

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_∞ : 流速 [m/s]

x : 翼前縁からの距離 [mm]

α : 迎え角 [°]

δ : 厚み比 $= T/C$

ρ : 空気の密度 [kg/m³]

a : 翼の前方水平方向距離 [mm]

b : 翼の垂直方向距離 [mm]

3. 実験装置と供試翼型

3・1 実験装置 図1は前報^{(1)~(4)}での実験時に使用したものと同一風洞装置である。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小型風洞である。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_∞ の測定には、JIS ピトー管(6mmφ)⑥と傾斜マノメータ⑦を用いた。翼が受ける揚力 L お

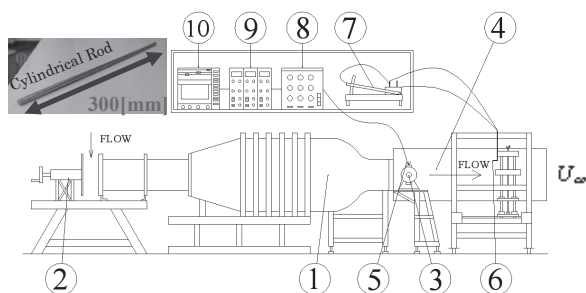


Fig.1 Experimental apparatus

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。

3・2 供試翼型 図2は前報⁽¹⁾⁽²⁾で厚翼として選定したオランダのデルフト工科大学で開発された「DU97-W-300⁽⁵⁾⁽⁶⁾」で、厚翼の場合には翼表面粗さに応じ、迎え角に対する揚力係数および抗力係数の変化の過程に特徴的な挙動が現れることを示した⁽²⁾。

そこで、本報においても、この翼型を供試翼型として、円柱棒の有無による失速発生と翼周りの流れの挙動を把握するとともに、失速制御に及ぼす円柱棒の役割について実験的に検討を加えた。

翼型は光造形樹脂により製作したが、この製作後の翼型表面には積層幅に応じた積層痕が残っているため、これを紙やすりを用いてペーパー掛けし、翼の表面粗さを流れ方向およびスパン方向ともに0.7[μm]の状態に仕上げた。また、厚み比 δ は30%で、かつ、翼弦長 C は120[mm]、スパン方向長さは298[mm]である。



Fig.2 Shape of airfoil (DU97-W-300)

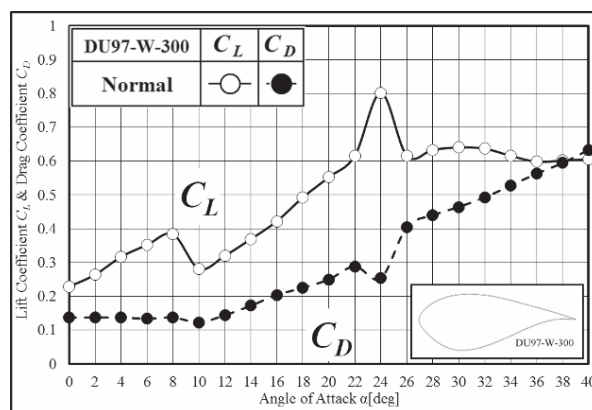


Fig.3 Aerodynamic characteristics (without cylindrical rod)

4. 実験結果と考察

4・1 円柱棒を設置しない場合の「DU97-W-300」の特性

4・1・1 「DU97-W-300」の基本的な流体力学的特性

図3の太線および破線は

「DU97-W-300」の円柱棒を設置しない状態（図中には Normal と表記）において、レイノルズ数 $Re=1.4 \times 10^5$ の条件下で、迎え角 α を 0° から 40° まで 2° ごとに变化させた時の揚力係数 C_L および抗力係数 C_D の変化を示したものである。

揚力係数 C_L の変化については、迎え角 α が 0° の時は約 0.23 で、迎え角が増えるにつれて徐々に増加するが、 $\alpha=8^\circ$ から 10° にかけて揚力係数 C_L が減少し、迎え角の増加に伴い、 $\alpha=24^\circ$ の時に最大値を示した後、 26° において再度 C_L の低下が見られる。この時、 C_L の変化に着目し、 $\alpha=10^\circ$ における C_L の低下を「一次失速」と、また、 $\alpha=26^\circ$ における C_L の低下を「二次失速」と定義した⁽²⁾。

二次失速以降の領域においては、揚力係数 C_L は徐々に減少するのに対し、抗力係数 C_D は大きく増加している。

4・1・2 一次失速および二次失速前後の流れの挙動

(a) 一次失速前後の流れの構造 図4は一次失速前後の迎え角である $\alpha=8^\circ$ および 10° における翼後方流れ（図中上部左半分の写真）および翼面上での流れ（図中上部右半分の上下の写真）の様子と翼面上の圧力分布を示したものである。

失速前の迎え角 $\alpha=8^\circ$ においては、翼上面のタフトは前縁部（Leading Edge :以後、図中に L.E と記載）から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（Trailing Edge :以後、図中に T.E と記載）付近ではタフトが翼下面側に廻り込む現象が確認できる。その影響により、翼下面では一対の小さな渦の発生が見られる。

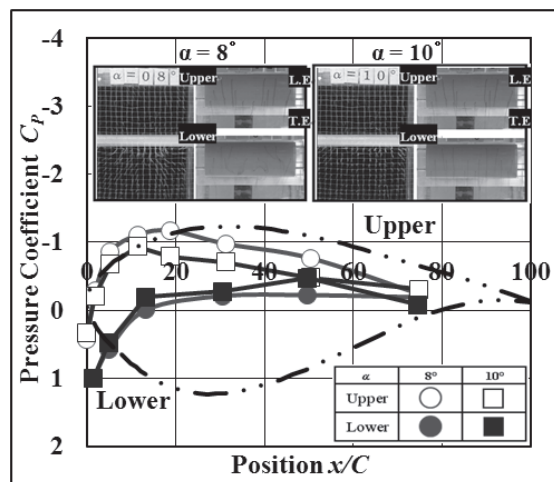


Fig. 4 Flow visualization and pressure distribution (in the vicinity of the first stall)

失速後の迎え角 $\alpha=10^\circ$ の場合、翼下面側の流れは翼に沿ったものとなっていることが翼後方の流れの観察からも判断できる。

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% 以降、失速前の状態より小さい値を示している。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、その後すぐに減少し、翼後縁にかけてほぼ様な分布となっている。

(b) 二次失速前後の流れの構造 図5に二次失速前後の迎え角である $\alpha=24^\circ$ および 26° における翼上面および下面の圧力分布と翼面上の流れの様子を示す。

二次失速前の状態の $\alpha=24^\circ$ における翼上面のタフトを観察すると、翼後縁部において翼の中心部に流れが寄っている。このとき翼後方においては、規模は小さいものの一対の渦が発生しており、かつ、翼後縁においては翼下面からのタフトの巻き返しも確認できる。一方、翼下面側の流れの挙動については、翼上面の流れ状態とは大きく異なり、流れ方向に整った流れであることがわかる。

二次失速前の迎え角 $\alpha=24^\circ$ における翼上面の圧力分布は、翼前縁部から負の高い値を示し、その後、翼弦長の 30% 付近まではほぼ直線的に減少する。

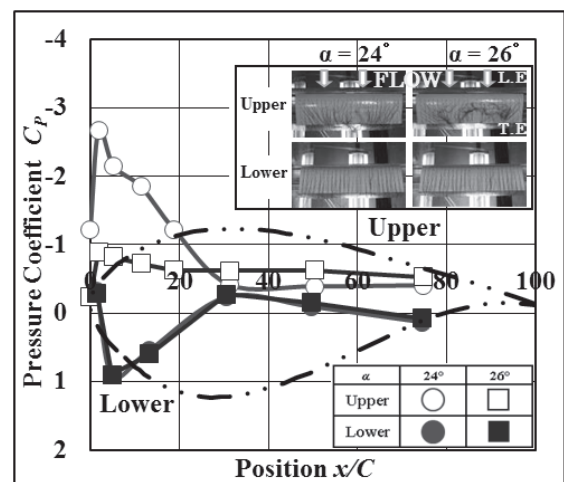


Fig.5 Flow visualization and pressure distribution (in the vicinity of the second stall)

さらに翼弦長の30%付近から翼後縁部にかけては、低い圧力でかつ一定の値を示している。

翼下面の圧力係数 C_p については、翼前縁から翼弦長の5%付近までは増加するものの、5%付近から30%付近までは正圧が減少し、その後、翼後縁部にかけて逆に徐々に増加している。この翼下面の圧力係数 C_p は、二次失速後においても失速前と比べ大きな変化はなく、両者とも極めて似た分布となっている。

次に、二次失速後の迎え角である $\alpha=26^\circ$ の状態では、翼の前縁部から流れがはく離し、翼上面の前縁部に近い位置で渦を形成し、その規模が拡大している。さらに翼上面全体にわたりタフトが激しく変動していることが確認できる。この状態では翼全体にわたり失速を起こしているため、翼上面の圧力係数 C_p は翼全長においてほぼ一定の値を示している。

以上のように、二次失速前後の圧力分布は、一次失速前後のそれらと比べ大きな違いが見られ、特に、翼上面での圧力分布が大きく変化していることから、翼の前縁部から翼弦長の約30%付近までの翼形状が、流体力学的特性へ大きく影響するということが厚翼特有の性状であると言える。

4・2 円柱棒を翼前方に設置した場合の

「DU97-W-300」の特性

4・2・1 円柱棒の設置位置 翼前方に設置した円柱棒の後方に発生する翼スパン方向に渦芯を持つ横渦の作用により翼周りの流れを改善し、翼の失速制御を簡易的に実現させるため、図6に示すCase 1からCase 4までの4箇所の位置に、直径5[mm ϕ]、長さ300[mm]のアルミ製の円柱棒を設置して実験を行った。また、表1はその設置位置の詳細を示す。

具体的には、以下の2通りの円柱棒設置位置の影響について検討した。

(1) 円柱棒の水平方向設置位置の影響

Case 1とCase 2は、垂直方向に $b=20$ [mm]（翼の上方方向をプラスで表示）の地点を保ち、翼の前方水平方向に -10 [mm]と -70 [mm]（翼の前方方向をマイナスで表示）の位置に円柱棒を設置して、円柱棒の水平方向設置位置の影響を評価した場合である。

この時、円柱棒の垂直方向高さ20[mm]は、図6に示したように円柱棒を設置しない状態における二次失速時（ $\alpha=26^\circ$ ）の翼型の先端部が原点（迎え角 $\alpha=0^\circ$ における翼先端部の位置）から垂直方向に20[mm]のところに相当する。

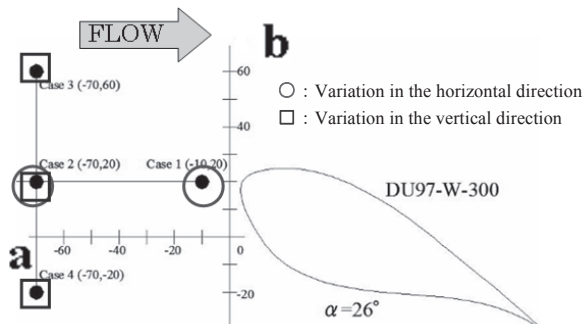


Fig.6 Positions of cylindrical rod

Table 1 Positions of cylindrical rod

DU97-W-300		Cylindrical rod	
○ : Variation in the horizontal direction □ : Variation in the vertical direction		a [mm]	b [mm]
○	Case 1	-10	20
○	Case 2 □	-70	60
	Case 3 □		-20
	Case 4 □		

(2) 円柱棒の垂直方向設置位置の影響

Case 3とCase 4は、Case 2を含めて翼に対する垂直方向の円柱棒設置位置の影響を評価するため、前方水平方向の地点を $a=-70$ [mm]に固定し、垂直方向に20[mm]（Case 2）、60[mm]（Case 3）および -20 [mm]（Case 4）の位置にそれぞれ円柱棒を設置した場合を示す。

4・2・2 円柱棒の設置位置を水平方向に変化させた場合

(a) Case 1 および Case 2 の場合の翼の流体力学的特性

図7はCase 1とCase 2の場合の翼の揚力係数 C_L および抗力係数 C_D の変化を示す。また、円柱棒を設置しない状態における図3の特性曲線を実験プロットを除いた実線および破線で併記した。

迎え角が $\alpha=0^\circ$ から 8° までの領域においては、Case 1およびCase 2の揚力係数と抗力係数は円柱棒を設置しない状態（図7中の太線と破線）とほぼ同じ値を示した。

円柱棒を設置しない状態の場合、迎え角 $\alpha=8^\circ$ から 10° にかけて揚力係数が減少する一次失速

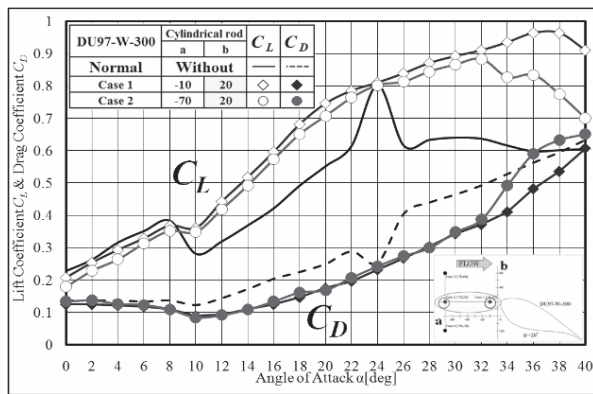


Fig. 7 Aerodynamic characteristics
(Changed to horizontal direction, (Case 1, Case 2))

が発生したが, Case 1 と Case 2 の場合にはその減少割合が極めて小さいものとなっていることがわかる。

その後, 円柱棒を設置しないときに二次失速を起こす迎え角 $\alpha=26^\circ$ までの領域については, Case 1 および Case 2 の場合とも, 円柱棒のない状態での特性と比較して, 揚力係数は高く, かつ, 抗力係数は低い値を示した。

また, Case 1 および Case 2 の場合には迎え角 $\alpha=26^\circ$ においては揚力の低下はなく, それ以降も揚力係数と抗力係数ともに緩やかな上昇を続け, Case 2 では迎え角 $\alpha=34^\circ$ において, Case 1 については, $\alpha=40^\circ$ で二次失速が発生することが確認できる。

以上のように, 垂直方向高さ $b=20[\text{mm}]$ の地点を保ち, 水平方向に円柱棒の設置位置を変えた時の翼の特性に及ぼす影響を検討した結果, 一次失速および二次失速両方の改善に大きく影響し, 特に, 翼先端部に近い位置に円柱棒を設置するほど, その効果が大きいことが明らかになった。

また, 図示は省略したが, 円柱棒の設置位置を Case 2 (-70,20) よりさらに遠くに置くと, 翼の失速の改善にはほとんど効果がないことを確認している。

(b) 失速制御時の翼周りの流動状態

図 8 は Case 1 の場合の $\alpha=26^\circ$ における失速制御時の翼後方の流動状態をタフトグリッド法により可視化したもので (図 8(a)), 比較のため円柱棒を設置しない場合 (図 8(b)) に, 同じ迎え角において失速を起こした状態での写真も併記した。

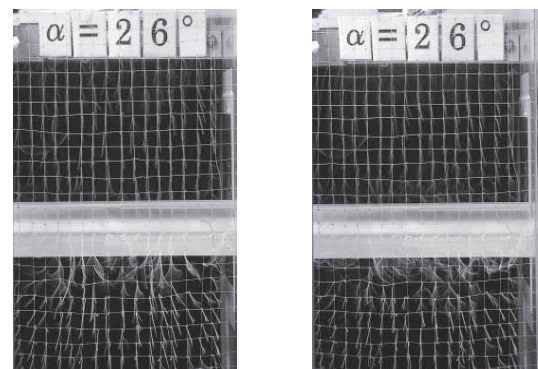
図 8(a)の Case 1 の翼後方の流動状態に関しては, 上下のタフト (上面側: 赤色のタフト, 下面側: 白色のタフト) の変動は多少あるものの, 円柱棒を設置しない状態と比較すると, 全体的にタフトの乱れが少ないことがわかる。

以上のことから, 円柱棒を翼前方に設置することにより, 翼周りの流れが改善され, その結果, 翼後方流れの乱れが減少したことが明らかになった。

次に, 上記実験結果と比較するため, 汎用流体解析プログラム「SCRYU」(株式会社ソフトウェアクレイドル社)⁽⁷⁾を用いて解析を行った。計算領域は縦 600[mm], 横 750[mm], 奥行き 298[mm] の直方体とし, 非構造格子のテトラメッシュを用い, 計算領域を約 80 万メッシュに区切って計算を行った。

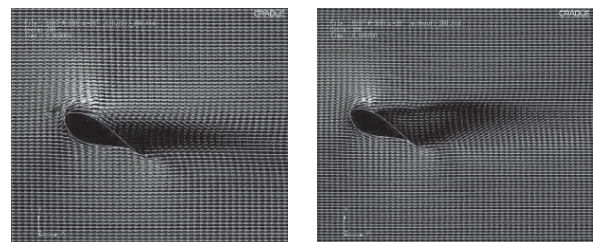
図 9 は $\alpha=26^\circ$ における Case 1 の場合と円柱棒を設置しない場合の両者について, 翼周りの流れの状態を解析した結果である。

図 9(a)の $\alpha=26^\circ$ における Case 1 の場合の解析結果を円柱棒を設置しない場合の結果 (図 9(b)) と比較すると, 翼弦長の約 30%以降の流れのはく離領域が縮小したため, 翼後方にかけての渦の規模



(a) Case 1 (-10, 20) (b) Without cylindrical rod

Fig.8 Flow visualization ($\alpha=26^\circ$)



(a) Case 1 (-10, 20) (b) Without cylindrical rod

Fig.9 Calculated flow pattern ($\alpha=26^\circ$)

が小さくなり、翼後方におけるタフトの変動が減少したことがわかる。これらの解析結果は図 8 のタフト法による可視化結果を裏付けるものとなっていることがわかる。

また、図 10 に一例として、Case 1 の場合の $\alpha=26^\circ$ における翼面上の流動状態を表面タフト法により可視化した写真を示す。

図 5 の図中の右上に併記した円柱棒のない場合の二次失速時 ($\alpha=26^\circ$) の翼上面側の流動状態をみると、翼の前縁部から流れがはく離し、翼上面前縁部に近い位置でタフトが渦を形成し激しく変動していることがわかる。

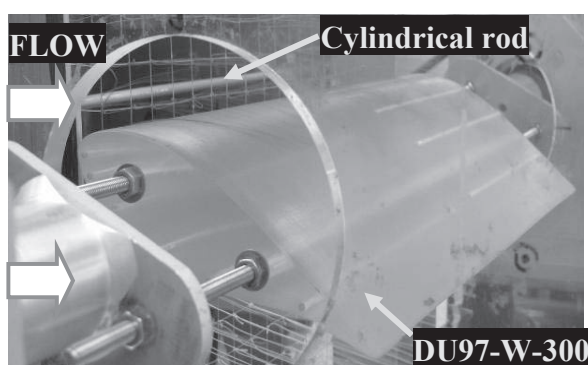


Fig.10 Flow visualization
(Case 1, $\alpha=26^\circ$, Upper surface)

これに対し、図 9 の Case 1 の場合の翼面上の流動状態を観察すると、翼面上の渦は発生せず、タフトがはく離することなく翼面上に沿って付着しており、翼上面側の流れの状態が大幅に改善されていることがわかる。このことは、Case 1 の $\alpha=26^\circ$ においては、未だ二次失速を起こさず、失速までの迎え角の領域の拡大が図れたことを裏付けており、翼前方に設置した円柱棒により発生する翼スパン方向に渦芯を持つ横渦が、翼の失速制御に対して大きな効果を示したものである。

4・2・3 円柱棒の設置位置を垂直方向に変化させた場合

(a) Case 2, Case 3 および Case 4 の翼の流体力学的特性

本項では円柱棒の垂直方向の設置位置の影響を評価するため、Case 2 と同じ水平方向の地点 $a=-70[\text{mm}]$ を固定し、Case 3 (垂直方向に $60[\text{mm}]$) と Case 4 (垂直方向に $-20 [\text{mm}]$) の場合について、

Case 2 (垂直方向に $20[\text{mm}]$) と比較することにより検討した。

図 11 に Case 2, Case 3 および Case 4 の揚力係数 C_L および抗力係数 C_D の変化を示す。また、あわせて円柱棒を設置しない状態での特性曲線も実線および破線で併記した。

円柱棒を翼上面の上方側に設置した Case 3 の場合、迎え角が $\alpha=0^\circ$ から 8° までの領域においては、円柱棒を設置しない状態の特性曲線とほぼ同じ値を示し、 $\alpha=10^\circ$ おいて同様に一次失速も発生している。これより円柱棒の設置位置が翼位置よりも上方に大きく離れた時は失速制御にはほとんど効果がないものと言える。

一方、円柱棒を翼下面側に設置した Case 4 に関しては、迎え角 $\alpha=0^\circ \sim 10^\circ$ において揚力係数および抗力係数の値がともに減少している。また、迎え角 $\alpha=14^\circ \sim 22^\circ$ の領域においては、Case 3 と Case 4 は円柱棒を設置しない場合の状態とほぼ同じ揚力および抗力係数の値を示している。

しかし、円柱棒を設置しない場合に、迎え角 $\alpha=24^\circ$ の時に揚力係数が増加し、かつ抗力係数が減少したのに対し、Case 3 および Case 4 ではそれと同様な変化は見られないものの、迎え角 $\alpha=26^\circ$ では同じように二次失速を起こしていることがわかる。

さらに二次失速後の領域については、Case 3 および Case 4 は円柱棒を設置しない場合とほぼ同じ特性曲線を示している。

以上のように、円柱棒の設置位置を垂直方向上方に設定すると、その後方に位置する翼の特性にはほとんど影響を及ぼさないものと言える。

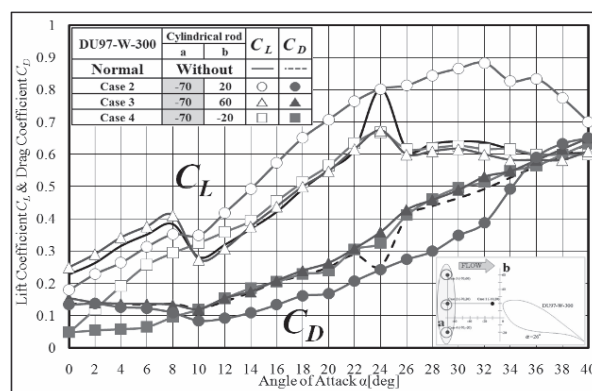


Fig.11 Aerodynamic characteristics
(Changed to vertical direction, (Case 2, Case 3, Case 4))

これに対し, 円柱棒を翼下面側に設置した Case 4 の場合には, その位置が $b=-20[\text{mm}]$ であり, これは翼下面の最大厚みの位置とほぼ同じところに位置しているため, 迎え角の小さい領域において, 翼下面の最大厚みの個所からの流れのはく離が抑制され, 抗力係数が小さく現れ, また, 円柱棒を設置しない場合に発生した一次失速も消滅している。

一方, 前述したように, Case 2 の場合には迎え角 $\alpha=8^\circ$ から 10° にかけての揚力係数の減少は極めて少なく, さらに迎え角 $\alpha=26^\circ$ における揚力の低下はなく, 二次失速の領域が迎え角 $\alpha=34^\circ$ まで拡大している。

これらのことから円柱棒の垂直方向の設置位置に関しても, 翼の特性を改善するのに最適な箇所があることが明らかになった。

(b) 翼後方における流速分布 図 12 は一次失速前後の迎え角において, Case 2, Case 3 および Case 4 の場合の翼後方 $24[\text{mm}]$ の位置における流速分布を上下方向 $\pm 60[\text{mm}]$ 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結果である。また, 図中には円柱棒を設置しない場合の流速分布も併記した。

一次失速前の迎え角 $\alpha=8^\circ$ においては, Case 2, Case 3 および円柱棒を設置しない場合とも, 翼下面側に速度欠損のある後流領域が現れているが, この位置は Case 2 の場合には翼下面下方に存在している。また, 円柱棒を垂直方向の上方に設置した Case 3 の後流位置は, 円柱棒のない場合と比べ, さらに翼上面方向に移動していることがわかる。

しかし, 一次失速の発生しなかった Case 4 については, 前述のように翼下面側の流動状態が改善されたことにより, 翼下面側の速度欠損量が他の場合と比べて大きく減少し, 逆に翼上面側に速度欠損の大きい領域が現れている。

一方, 一次失速後の $\alpha=10^\circ$ では, 円柱棒を設置しない場合と Case 3 の場合の翼後方の速度欠損領域は翼上面側に移動しており, かつその分布もほぼ同じ形となっている。また, Case 4 については, 翼上面側における速度欠損領域の規模が拡大している。

これに対し, Case 2 の場合には, 翼上面側にも速度欠損領域が現れてはいるが, より速度欠損量

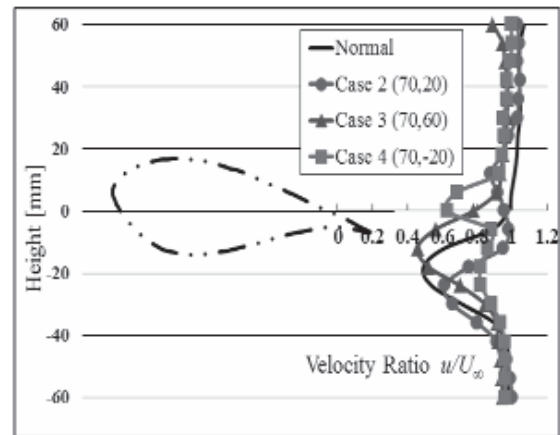
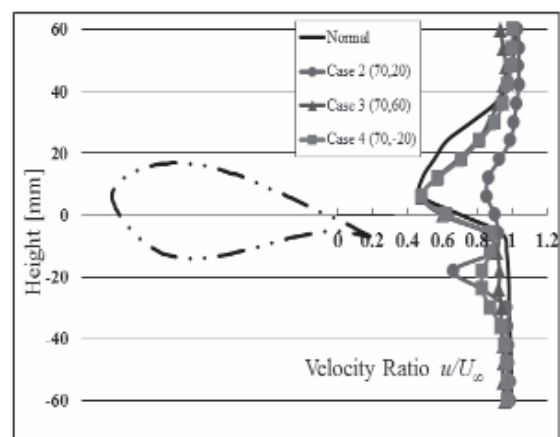

 (a) $\alpha=8^\circ$

 (b) $\alpha=10^\circ$

Fig.12 Wake distribution

の大きい後流領域が翼下面側に残り, かつその規模がわずかながら縮小したことから, 全体としては揚力係数の低下は小さく現れたものと言える。

以上のように, 翼後方の流速分布からも円柱棒設置の効果を把握することができ, その結果, 円柱棒を設置しない状態の二次失速時 ($\alpha=26^\circ$) の翼の先端部が原点 (迎え角 $\alpha=0^\circ$ における翼先端部の位置) から垂直方向上方に $20[\text{mm}]$ のところに相当する Case 2 および Case 1 の位置に円柱棒を設置することが最適であることが明らかとなった。

しかし, 失速改善を目的にその効果を評価した円柱棒は, 翼には固定されていないため, 今後, 実際に円柱棒付翼型として実用化するためには, 円柱棒を翼型に取り付けた状態での製作方法の検討とあわせ, その状態での翼の流体力学的特性を評価することが重要な課題であると考えられる。

5. 結 言

本報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、翼型形状の影響が流体力学的特性に現れやすい厚翼を対象に、円柱棒を翼前方に設置することにより発生する翼スパン方向に渦芯を持つ横渦が、翼周りの流れの挙動に及ぼす影響を実験的および流れ解析手法を用いて検討し、失速現象の制御に及ぼす円柱棒の効果とその最適位置について評価した。その結果、明らかになった点は、以下のとおりである。

- (1) 翼前方に円柱棒を設置することにより、その後方に位置する翼型の流体力学的特性に影響を及ぼすことを明らかにし、かつ二次失速を起こす迎え角までの作動範囲を大きく拡大させることが可能となった。
- (2) 円柱棒を設置しない状態における二次失速時（ $\alpha=26^\circ$ ）の翼先端部が原点（迎え角 $\alpha=0^\circ$ における翼先端部の位置）から垂直方向上方に 20[mm] のところに相当する Case 1 あるいは Case 2 の位置に円柱棒を設置することが最適であり、翼スパン方向に渦芯を持つ横渦の効果が、最も強いことを明らかにした。
- (3) 円柱棒を設置する垂直方向位置については、翼に対して中心線よりも上方および下方に遠く離れるほど、失速制御の効果が見られないことを示した。

文 献

- (1) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro and ICHIKAWA Tatsuya, Research of Aerodynamic Characterstics 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.
- (2) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Research on Aerodynamic Characterstics 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, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp. 77-85.
- (3) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Aerodynamic Characterstics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils and One Trial of Stall Contorol, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (1), 2010, pp.35 -43
- (4) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Inherent Aerodynamic Characterstics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp.63 -76.
- (5) 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.
- (6) K.J.Standish, C.P.van Dan, Aerodynamic Analysis of Blunt Trailing Edge Airfoils, *Transaction of the ASME*, Vol.125, November 2003, pp.479-487.
- (7) SCRYU/Tetra for Windows Version 8, Software Cradle Co, [http://www.cradle.co.jp/\(2011\)](http://www.cradle.co.jp/(2011)).

（平成 23 年 8 月 30 日 受理）

ボルテックスジェネレータを付加した翼型の 流体力学的特性と翼周りの流動状態

斉藤純夫*, 高橋賢羽**, 山口強太郎**, 岩村拓哉***, 竹下恵一朗****, 高橋正旭***

Aerodynamic Characteristics of an Airfoil with Vortex Generators and
Flow Conditions around the Blade

Sumio SAITO, Ken-u TAKAHASHI, Kyotaro YAMAGUCHI,
Takuya IWAMURA, Keiichiro TAKESHITA, Masaaki TAKAHASHI

The previous study focused on small wind turbines, the Reynolds number of which is an order of magnitude smaller than of actual middle or large wind turbines. For the thin and thick blades, the previous paper examined the effect on aerodynamic performance of streaky features on the blade surface, which formed during airfoil fabrication using stereolithography, by dividing the performance curve into three different regions in terms of the angle of attack. The study has revealed that the streaky features produced through stereolithography greatly affect the behavior of flow around the thick blade and that flow changes along the blade surface are significantly associated with the stall characteristics observed in the performance curve. These findings suggest that a device capable of controlling the flow along the blade surface can change the performance curve of the blade freely. A simple approach has been proposed in which a cylindrical rod is placed in front of the blade to generate transverse vortices with their axis in the spanwise direction of the blade. Such transverse vortices improve the flow along the blade surface, allowing a significant expansion of the operable range to a higher angle of attack that causes a stall. By using the same thick blade as an airfoil under test and adding vortex generators (hereinafter referred to as "VGs") directly onto the blade surface in place of the cylindrical rod that generates transverse vortices, this paper focuses on three different VG arrangements and examines, through experiments and flow analysis, how longitudinal vortices with their axis in the flow direction affect the performance curve of the blade. Thus, it studies the effect of VGs on stall control.

(Keywords: Wind Turbine Blade, Aerodynamic Characteristics, Angle of Attack, Pressure Distribution, Velocity Distribution, Wake Distribution, Stall Control, Vortex Generator)

1. 緒 言

現在, 様々な自然エネルギーの有効利用が行われており, その中でも風力エネルギーを利用した発電システムに関しては, 風況に応じた発電量の最適化と運転領域の拡大が重要な課題である. このためには, 風車翼全体を構成する翼の各部位における翼まわりの流動状態の改善が必要である.

前報⁽¹⁾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, 薄翼と厚翼の代表的な翼型について, 失速前後を含む迎え角における基本的な流体力学的特性と翼周りの流動状態について検討を加えた.

さらに, 薄翼と厚翼ともに, 光造形手法により製作した際に生ずる翼表面上の積層痕の有無による流体力学的性能曲線の変化を三つの迎え角の領域に分類して考察した⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾.

その結果, 翼の表面が滑らかな場合, 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, 翼厚を含む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関連していることを明らかにした. また, 厚翼については, 翼面粗さが粗い状態の場合, 迎え角の小

さい領域での失速は消え, 迎え角の大きい領域においてのみ失速が生じることを明らかにした.

以上のように, 厚翼に関しては光造形による積層痕の有無が翼周りの流れの挙動に大きな影響を与え, 翼表面上の流れの変化と性能曲線上に現れる失速特性とが大きく関連していることを解明した.

この知見を踏まえ, 翼面上の流れを何らかのデバイスにより制御できれば, 翼の性能曲線を任意に変化させることが可能であろうと推測でき, その一つの簡易的試みとして, 翼前方に円柱棒を設置し, これより生ずる翼スパン方向に渦芯を持つ横渦の作用により翼面上の流れを改善し, 失速までの迎え角の作動領域を大幅に拡大できることを提示した⁽⁵⁾.

そこで, 本報では同じ厚翼を供試翼型とし, 横渦を発生する円柱棒に対し, 翼表面上に直接, ボルテックスジェネレータ (以下, 「VG」と呼ぶ) を付加し, 流れ方向に渦芯を持つ縦渦の効果が翼の性能曲線の変化に及ぼす影響を3種類のVGの配置について, 実験的および流れ解析手法を用いて検討し, 失速現象の制御に及ぼすボルテックスジェネレータの効果について考察した.

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 [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 : 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_∞ : 流速 [m/s]

x : 翼前縁からの距離 [mm]

α : 迎え角 $[\circ]$

δ : 厚み比 $= T/C$

ρ : 空気の密度 $\text{[kg/m}^3\text{]}$

3. 実験装置と供試翼型

3・1 実験装置 図 1 は前報^{(1)～(4)}での実験時に使用したのと同じ風洞装置である。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な小型風洞である。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。翼が受ける揚力 L および抗力 D は、多分力検出器⑤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。

基準となる流速 U_∞ の測定には、JIS ピトー管 (6mm ϕ) ⑥と傾斜マノメータ⑦を用いた。

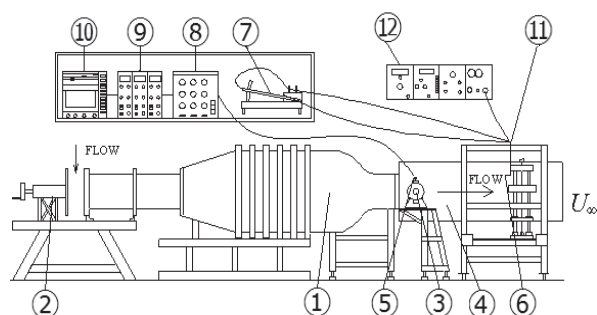


Fig.1 Experimental apparatus

翼面上の流速分布は、翼スパン方向の中心位置において、上下面ともそれぞれ翼弦長を等分する 5 箇所の位置で、熱線プローブ（標準直線プローブ、型式 0251R-T5, KANOMAX 製）⑪を上下方向に 5[mm]間隔で移動させ、熱線流速計⑫により測定した。また、翼後方の後流分布は、翼スパンの中心位置において、熱線プローブを翼後縁より後方 24[mm]の位置に設置し、上下方向 ± 60 [mm]の範囲で移動させ、計 21 点測定した。

3・2 供試翼型とボルテックスジェネレータ（「VG」）

図 2 は前報^{(1)～(4)}で厚翼として選定したオランダのデルフト工科大学で開発された「DU97-W-300⁽⁶⁾」で、厚翼の場合には光造形手法を適用して翼型を製作した際に生じる翼表面上の積層痕による表面粗さに応じ、迎え角に対する揚力係数および抗力係数の変化の過程に特徴的な挙動が現れることを示した⁽²⁾。

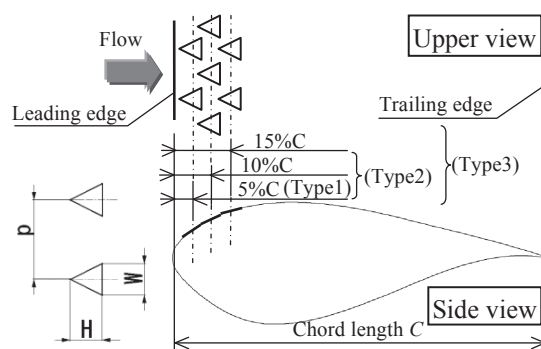
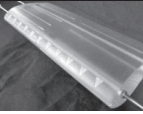
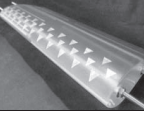


Fig.2 Shape of airfoil (DU97-W-300) and VG position

そこで、本実験においては、翼弦長 C が 120[mm]、スパン方向長さが 298[mm]の翼を光造形樹脂により製作し、翼表面上の積層痕を紙やすりを用いてペーパー掛けして除去し、流れ方向およびスパン方向の翼表面粗さをともに 0.7[μm]の状態に仕上げた。この翼を供試翼型（「DU97-W-300」）とし、かつ、VG を付加していない基本の翼として、以下の図中では、「without」翼と表示した。

そして、この VG を付加していない供試翼の翼面上に表 1 に示す 3 種類のボルテックスジェネレータ（「VG」）をそれぞれ付加し、前報⁽⁵⁾で示した円柱棒により発生する横渦の効果に対し、縦渦の作用による失速特性に及ぼす影響を検討した。

Table 1 Classification of vortex generators

Airfoil	DU97-W-300		
	Type 1	Type 2	Type 3
Vortex Generator	VG[5%]C-0.3	VG[5%+10%]C-0.3	VG[5%+10%+15%]C-0.3
			
Number of VG	11	23	34
High H [mm]	10		
Width W [mm]	10		
Thick t [mm]	0.3		
Pitch p [mm]	25		

VG はポリプロピレンシートより作成し, VG の配列による翼特性の変化を評価するため, Type 1, Type 2 および Type 3 の配列を設定し, それぞれ「VG[5%]C-0.3」, 「VG[5%+10%]C-0.3」, 「VG[5%+10%+15%]C-0.3」と表示した.

ここで, 「VG[a%+b%+c%]C- t 」の表示は, VG を翼前縁から翼弦長 C の $a\%$, $b\%$ および $c\%$ の位置 (VG の重心位置で定義) に付加したことを示し, t はその厚みを表す.

4. 実験結果と考察

4. 1 ボルテックスジェネレータ (「VG」) の有無による翼型の流体力学的特性の変化

図 3 は供試翼型「DU97-W-300」を用い, VG の有無による流体力学的特性について, レイノルズ数 $Re=1.4 \times 10^5$ の条件下で, 迎え角 α を 0° から 30° まで 2° ごとに变化させた時の揚力係数 C_L および抗力係数 C_D の変化を示したものである.

VG を付加していない「without」の翼の基本の特性は, 迎え角 α が 0° の時は C_L の値は約 0.23 で, 迎え角が増えるにつれて, その値は徐々に増加するが, $\alpha=8^\circ$ から 10° にかけて揚力係数 C_L が減少する. さらに, 迎え角の増加に伴い, $\alpha=24^\circ$ の時に最

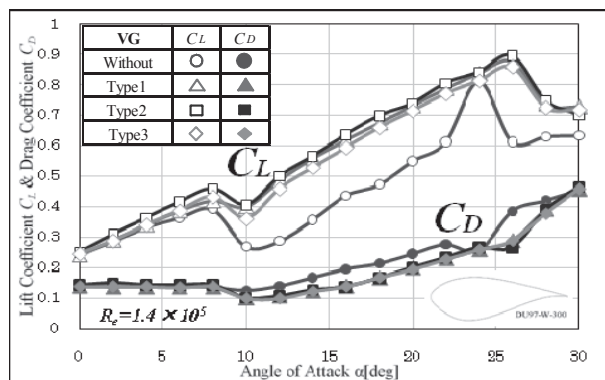


Fig.3 Aerodynamic characteristics

(Effect of VG position (Type 1, Type 2 & Type 3))

大値を示した後, 26° において再度 C_L の低下が見られる. この時, C_L の変化に着目し, $\alpha=10^\circ$ における C_L の低下を「一次失速」と, また, $\alpha=26^\circ$ における C_L の低下を「二次失速」と定義した⁽²⁾.

二次失速以降の領域においては, 揚力係数 C_L は徐々に減少するのに対し, 抗力係数 C_D は大きく増加している.

これに対し, 3 種類の VG をそれぞれ付加した Type1, Type 2 および Type 3 については, どの場合とも, 迎え角が $\alpha=8^\circ$ から 10° にかけての揚力係数 C_L の減少幅は「without」の翼と比べ小さい. その中でも VG を一列配置した Type 1 の減少幅が最も小さく, VG を二列配置した Type 2 および三列配置した Type 3 の順にその低下幅は大きくなっている.

また, VG を付加したどの場合とも, 一次失速から二次失速までの揚力係数 C_L の値は, 「without」翼と比べ大きく, かつ, 抗力係数 C_D は小さくなっており, この領域においても VG を付加した効果が現れていることがわかる. より詳細に見ると, 揚力係数 C_L の増大に対する効果は Type 2 が最も顕著であると言える.

さらに, 「二次失速」時の迎え角については, VG を付加したどのタイプの場合とも, 「without」翼の $\alpha=26^\circ$ に対し, $\alpha=28^\circ$ にその作動範囲を拡大しており, 二次失速時の翼上面における流れのはく離を制御することに効果があるものと考えられる.

4. 2 小迎え角における「一次失速」領域の流体力学的挙動

4.2.1 VG の有無による翼周りの流れ構造の変化 図 4(a) (b) は, 一例として Type 2 の場合について, 「一次失速」前後の迎え角である $\alpha=8^\circ$ と 10° における翼周りの流れと翼後流分布の挙動を熱線プローブにより測定した結果を示す.

また, 図中には比較のため, VG を付加しない「without」翼の場合の流速分布も併記した.

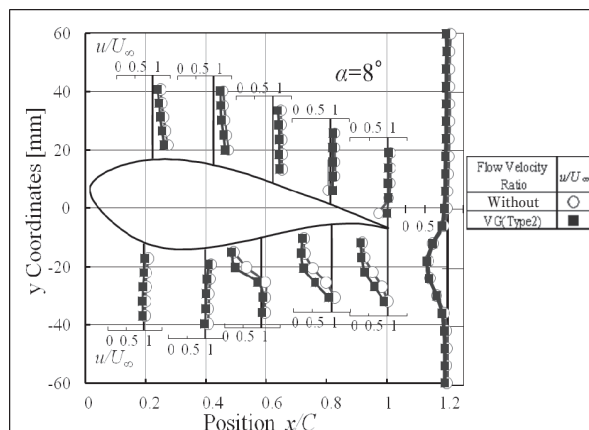
図 4(a) の「一次失速」前の迎え角 $\alpha=8^\circ$ における流速分布を見ると, 翼上面側の流れは VG の有無によらずほぼ一樣な流れとなっており, VG を付加しない「without」翼の場合, 翼後縁付近において, 翼面のごく近くでの流速値が多少小さくなっている点異なる程度である.

一方、翼下面では、VG の有無によらず、翼弦長の後半部において、翼面の近くの流れが大きく減速しており、前報⁽¹⁾⁽³⁾において、翼後縁付近でタフトが翼下面側に廻り込む現象が確認でき、その影響により翼下面では一対の小さな渦の発生が見られることを裏付けている。

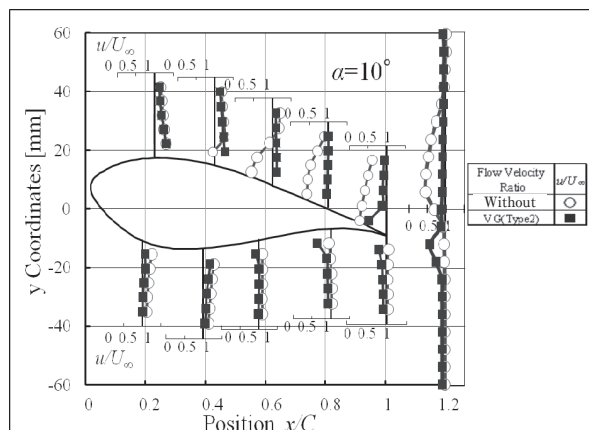
さらに、翼後方の流れについては、VG の有無によらず、流速の遅い後流領域が翼の下面側に存在していることがわかる。

図 4 (b)の「一次失速」後の迎え角 $\alpha=10^\circ$ の場合、VG の有無によらず、翼下面側の流れは翼全長にわたり、翼に沿ったものとなっている。

これに対し、翼上面側では、VG を付加しない「without」翼では、翼の最大厚み近傍から翼面近くの流れが減速し、かつ後縁にかけてその減速域が翼面から離れた上方の領域にまで拡大している。



(a) $\alpha=8^\circ$



(b) $\alpha=10^\circ$

Fig.4 Velocity distribution around blade and wake distribution (in the vicinity of the first stall)

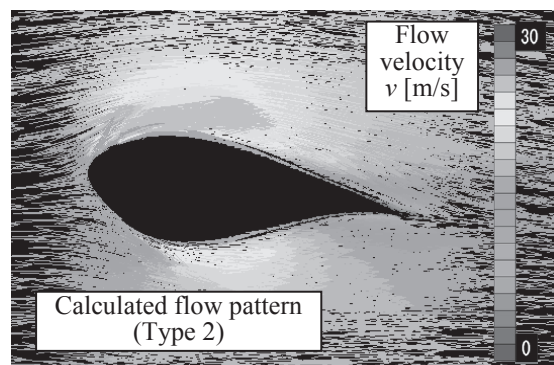
このため、翼の後流分布においては、速度の遅い領域が翼上面側に移動し、かつ、その規模も大きくなっている。

一方、VG を付加した Type 2 の後流領域は翼下面側に位置し、かつその規模も極めて小さい。これは $\alpha=10^\circ$ における揚力係数の減少幅が小さいことと対応し、上述のように、一次失速前後の迎え角においては、翼上面と下面側の流れの微妙な挙動の変化とも関連している⁽¹⁾⁽³⁾。

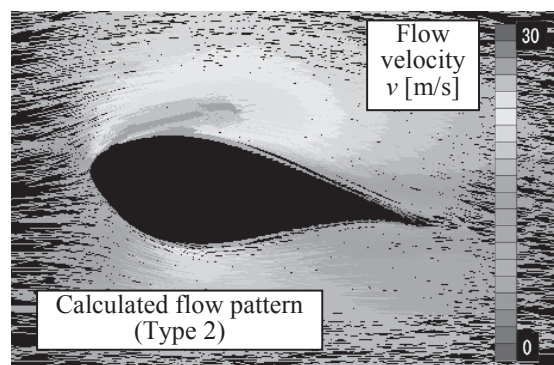
なお、Type 1 および Type 3 の場合の図示は省略したが、一次失速前後の迎え角 $\alpha=8^\circ$ と 10° における翼周りの流れ状態は、Type 2 の場合と極めて似た分布を示したことを確認している。

図 5(a) (b)は、「Type 2」翼の場合について、迎え角 $\alpha=8^\circ$ と $\alpha=10^\circ$ における翼周りの流れの挙動を汎用流体解析プログラム「SCRYU」(株式会社ソフトウェアクレイドル社)⁽⁷⁾を用いて解析した結果である。計算領域は縦 600[mm]、横 750[mm]、奥行き 298[mm]の直方体とし、非構造格子のテトラメッシュを用い、計算領域を約 40 万メッシュに区切って解析を行った。

迎え角が $\alpha=8^\circ$ の場合、翼下面側の後方部における流れの減速領域が現れている。また、迎え角が



(a) $\alpha=8^\circ$



(b) $\alpha=10^\circ$

Fig.5 Calculated flow pattern (Type 2)

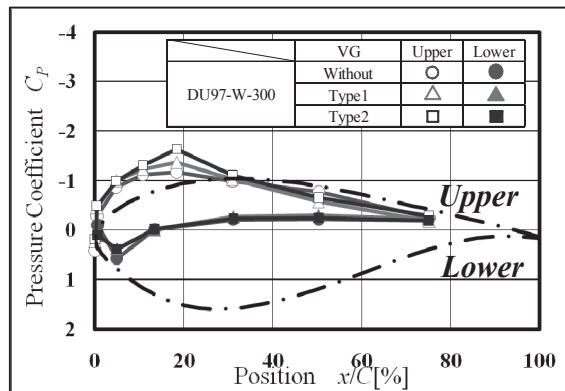
$\alpha=10^\circ$ になると、翼上面側での流れのはく離と翼下面での流れが翼全長にわたり、翼に沿ったものとなっていることが解析結果からも判断できる。

4・2・2 VGの有無による翼周りの圧力分布

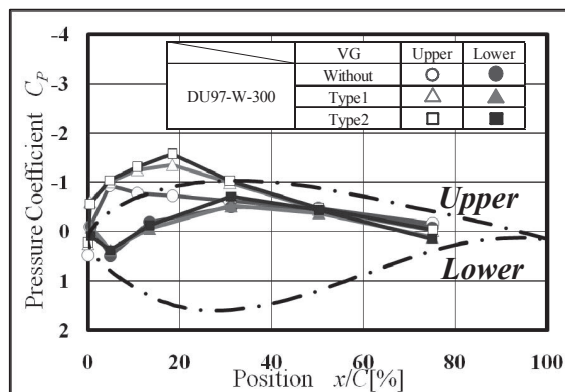
図 6(a) (b)は、「一次失速」前後の迎え角である $\alpha=8^\circ$ と 10° における翼上面および下面の圧力分布を、「without」翼と VG を付加した Type1 および Type 2 の場合について示した。

図 6(a)の $\alpha=8^\circ$ の場合、翼下面側の圧力分布にはほとんど違いがないのに対し、翼上面側では、Type 2, Type 1 および「without」翼の順に負圧の値が大きくなっており、図 3 の揚力係数値の大小関係とも対応している。

また、図 6 (b)の一次失速後 $\alpha=10^\circ$ での翼上面側の圧力分布は、「without」翼の場合、翼弦長の約 10%以降、一次失速前の状態より極めて小さい値を示している。しかし、Type1 および Type 2 の場合の圧力値は、 $\alpha=8^\circ$ の場合よりはわずかながら負圧値が小さいものの、大きな減少はなく、一次失



(a) $\alpha=8^\circ$



(b) $\alpha=10^\circ$

Fig.6 Pressure distribution
(in the vicinity of the first stall)

速前の場合と同様、図 3 の揚力係数の減少幅の大小とも対応している。

4. 3 大迎え角における「二次失速」領域の流体力学的挙動

4・3・1 VGの有無による翼周りの流れ構造の変化

図 7(a) (b) (c)は、一例として Type 2 の場合の流体力学的特性曲線の変化に着目し、二次失速前後の領域の三つの迎え角 ($\alpha=24^\circ$, 26° & 28°) における翼周りの流れと翼後流分布の挙動を熱線プローブにより測定した結果を示す。図中にはそれぞれ比較のため、VG を付加しない「without」翼の場合の流速分布も併記した。

ここで、迎え角 $\alpha=24^\circ$ は、「without」翼の揚力係数が最大となる点で、かつ、Type 2 の場合には、二次失速以前の領域で、揚力係数がほぼ同じ値を示す状態である。また、迎え角 $\alpha=26^\circ$ では、「without」翼の揚力係数が急減するのに対し、Type 2 の場合には揚力係数が最大値を示し、失速直前の状態にあたる。さらに、 $\alpha=28^\circ$ は、Type 2 の場合に二次失速を起こす迎え角に相当する。

図 7(a)の迎え角 $\alpha=24^\circ$ においては、翼上面の流速分布は VG の有無によらず、「without」翼および Type 2 の場合とも同じ分布を示しており、翼の最大厚み付近における翼面近傍の流れが大きく減速している。

一方、翼下面では、Type 2 の場合の流れは、翼全長にわたり一様な分布となっているのに対し、VG を付加しない「without」翼の場合、翼の後方の約 1/3 の領域において、翼面付近の流速が減少している。

また、翼後方の後流領域は、VG の有無によらず翼上面側に位置し、翼上面のはく離域の大きさとも良く対応していることがわかる。

次に、図 7 (b)の迎え角 $\alpha=26^\circ$ では、Type 2 の場合の翼上面および下面の流速分布と翼後方の後流分布は、ともに図 7(a)の場合とほとんど違いは見られず、VG を付加したことにより翼弦長の約 40%までの翼上面側の流速が大きく現れている。

「without」翼については、翼上面の前縁部からはく離が発生するため、翼面付近の流速値が極めて小さくなっており、これが翼の失速の発生に影響し、揚力係数の急減につながっている。

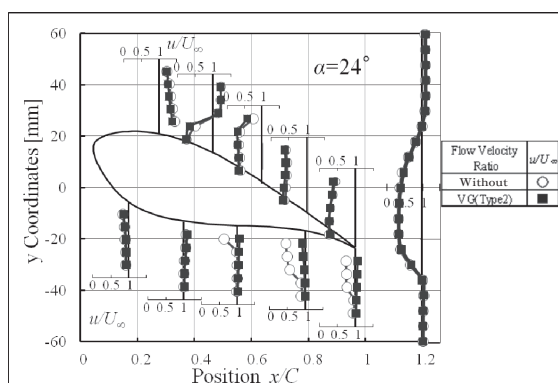
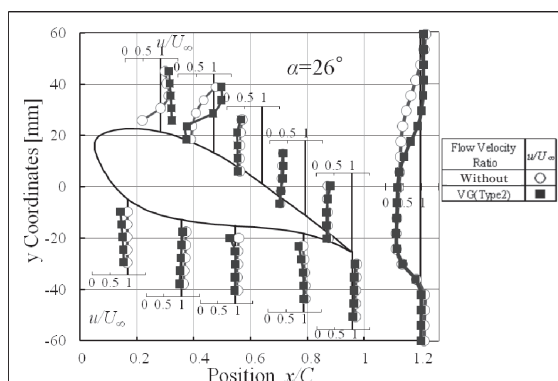
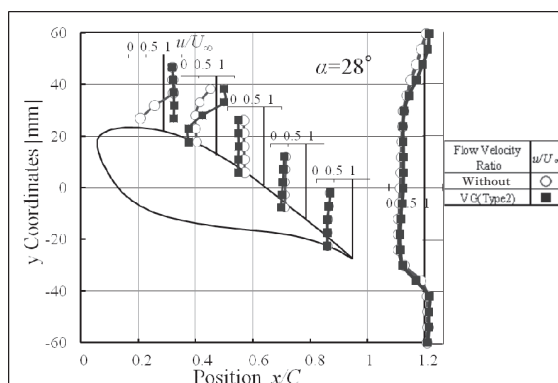
(a) $\alpha=24^\circ$ (b) $\alpha=26^\circ$ (c) $\alpha=28^\circ$

Fig.7 Velocity distribution around blade and wake distribution (in the vicinity of the second stall)

また、翼下面側での流速分布は、Type 2 の場合のそれとほぼ同じ変化を示している。

さらに、翼後方の後流分布については、Type 2 の後流領域と比べ、「without」翼の場合には大きくなっており、翼上面側での最大厚み付近の流速の減少割合の大小が、後述する流れ解析結果のコンタ図と対応している。

最後に、図 7 (c) に Type 2 の場合に二次失速を起こす迎え角 $\alpha=28^\circ$ における流速分布の測定結果を翼上面側についてのみ示した。

Type 2 の場合については、図 7 (b) の迎え角 $\alpha=26^\circ$ の場合と比較すると、VG を付けた位置より後方において、翼面付近の流速の減少範囲がわずかながら拡大している。また、翼後方の後流領域は「without」翼の場合とほぼ同じ分布を示しており、翼が失速していることを表している。

図 8(a) (b) (c) は Type 2 の場合について、上述の三つの迎え角 ($\alpha=24^\circ$, 26° & 28°) における翼周りの流れの挙動を汎用流体解析プログラム「SCRYU」を用いて解析した結果である。図 8 (b) には、「without」翼の場合の解析結果も併記した。

Type 2 および「without」翼の両方とも、図 7 に示した三つの迎え角の場合の翼周りの流速分布の実験結果と比較すると、それぞれ翼後方の後流領域の挙動も含めた翼上面側のはく離領域と極めてよく対応していることがわかる。

4・3・2 VG の有無による翼周りの圧力分布

図 9(a) (b) (c) は、二次失速前後の三つの迎え角 ($\alpha=24^\circ$, 26° & 28°) における翼面上の圧力分布を、「without」翼と VG を付加した Type 1, Type 2 および Type 3 の場合について示す。

どの迎え角の場合も、翼下面側の圧力分布は VG の有無によらずそれぞれ同じであることがわかる。

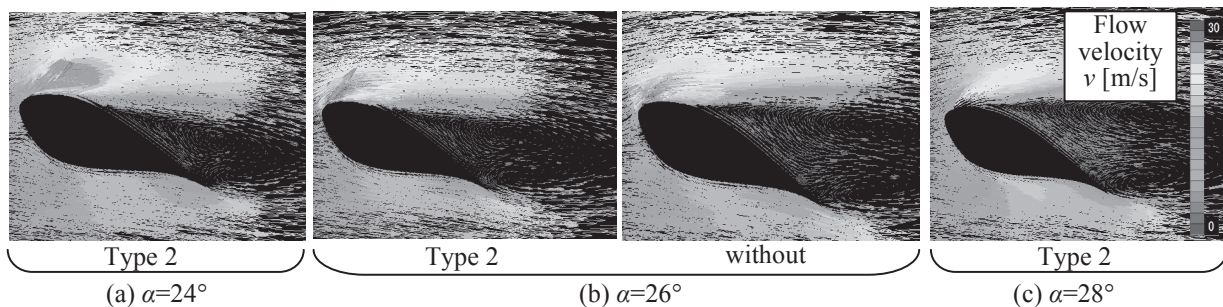


Fig.8 Calculated flow pattern (Type 2)

これに対し, 翼上面側の圧力分布は, 「without」翼と比較して, VG を付加することにより負圧の値が大きくなり, $\alpha=24^\circ$ および $\alpha=26^\circ$ では, 翼前縁より約 30% の範囲で, Type 2 の場合が最も大きな値を示している. これは図 3 の揚力係数値の大小関係とも対応している.

さらに, $\alpha=28^\circ$ では, 「without」翼と VG を付加した Type 1, Type 2 および Type 3 のすべての場合とも, 翼前縁よりはく離が発生しているため,

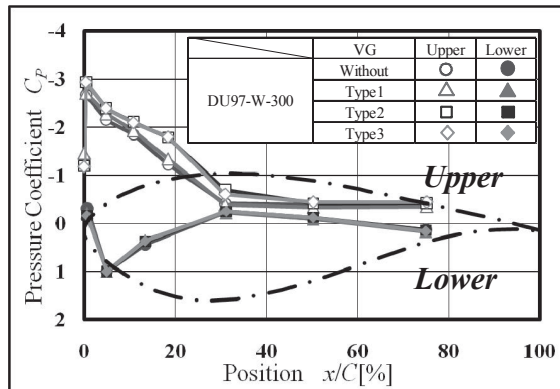
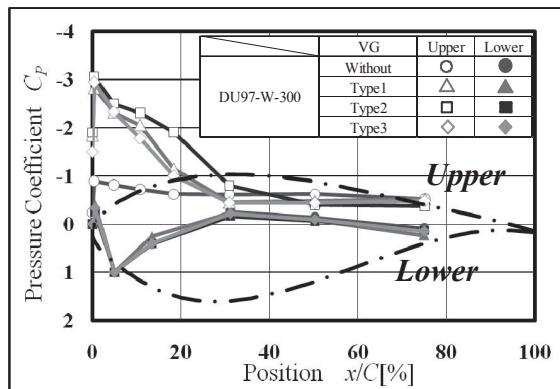
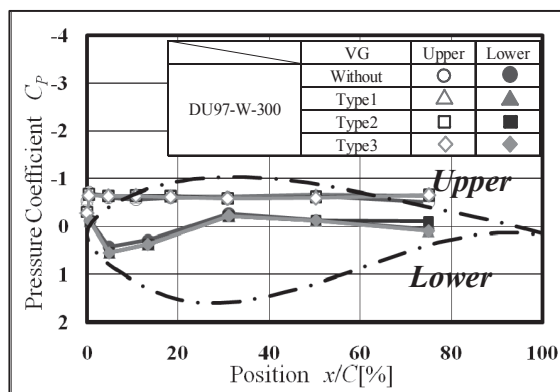

 (a) $\alpha=24^\circ$

 (b) $\alpha=26^\circ$

 (c) $\alpha=28^\circ$

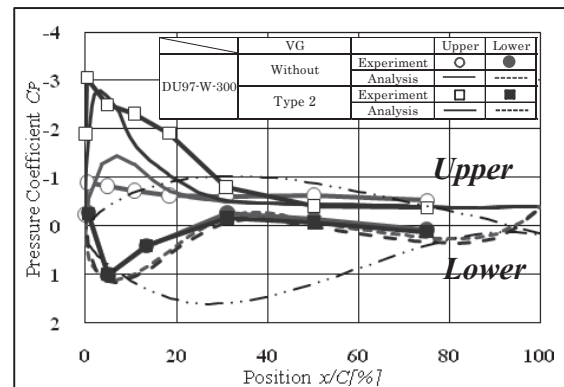
 Fig.9 Pressure distribution
(in the vicinity of the second stall)

翼上面側の圧力は翼前縁から後縁にわたり一定の値となっている.

ここで, 図 10 に一例として, 迎え角 $\alpha=26^\circ$ の場合について, VG を付加した Type 2 と「without」翼の 2 種類を対象に, 上述の汎用流体解析プログラム「SCRYU」を用いて解析した圧力分布と, 図 9 (b) の実験結果を併記したものを示す.

Type 2 の場合は二次失速発生直前の状態にあたるため, 翼上面側において翼前縁より約 30% の範囲での圧力解析結果は, 実験結果と同様, 負圧値が大きく表れている.

「without」翼では, この迎え角 $\alpha=26^\circ$ においてはすでに翼の失速が発生しているため, 翼上面側の圧力の解析値は, 翼前縁付近での負圧値は小さく, また, 翼後縁にかけてはほぼ一定の値となっており, 実験結果とほぼ同じ変化を示している.


 Fig.10 Pressure distribution at $\alpha=26^\circ$
(Experimented and analyzed)

5. 結 言

本報では供試翼型として翼厚みの大きい厚翼を対象に, 翼表面上に直接付加した 3 種類のボルテックスジェネレータ (「VG」) により発生する流れ方向に渦芯を持つ縦渦の効果が, 翼の流体力学的特性における失速現象および翼周りの流れの挙動に及ぼす影響を, 3 種類の VG の配置について実験的および解析的に検討した.

その結果, 明らかになった点は, 以下のとおりである.

- (1) 3 種類の VG を付加した Type 1, Type 2 および Type 3 のどの場合とも, 「一次失速」時の迎え角 $\alpha=8^\circ$ から 10° にかけての揚力係数 C_L の減少幅は, 「without」翼のそれと比べ小さい.

また、「二次失速」時の迎え角については、
「without」翼の場合 $\alpha=26^\circ$ であるのに対し、VG
を付加したどのタイプとも $\alpha=28^\circ$ にその作動範囲
を拡大した。

総合的な VG の効果は、Type 2 が最も顕著である。

(2) 「一次失速」時の流れの挙動は、翼上面側の
翼の最大厚み近傍から翼面近くの流れが減速し、
後縁にかけてその減速域が翼面から離れた上方の
領域にまで拡大する。その結果、翼の後流分布の
低流速領域が、翼上面側に大きく存在する。

(3) 「二次失速」時の迎え角においては、VG を
付けたことによる縦渦の影響が、それより後方
における翼面付近の流速の減少範囲を抑える効果
をもたらしている。

また、翼周りの圧力分布や流れの挙動の実験結
果は、流れ解析結果と良く対応している。

文 献

- (1) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro and ICHIKAWA Tatsuya, Research of Aerodynamic Characterstics 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.
- (2) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Research on Aerodynamic Characterstics 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, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp. 77-85.
- (3) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Aerodynamic Characterstics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils and One Trial of Stall Contorol, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (1), 2010, pp.35 -43
- (4) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Inherent Aerodynamic Characterstics of Two Different Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp.63 -76.
- (5) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, TAKAHASHI Masaaki and IWAMURA Takuya, Control of Stall Phenomena in a Thick Wind Turbine Blade by a Cylindrical Rod and the Behavior of Flow around the Blade, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.43 (1), 2011, pp.29-36.
- (6) 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.
- (7) SCRYU/Tetra for Windows Version 8, Software Cradle Co, [http://www.cradle.co.jp/\(2011\)](http://www.cradle.co.jp/(2011)).

（平成 23 年 9 月 5 日 受理）

高分子 piezo フィルムを用いた面外曲げ静ひずみ測定法

黒崎 茂*, 有田克也**, 西村大希**

Out-of-Plane Bending Static Strain Measurements Using Piezoelectric Polymer Film

Shigeru KUROSAKI, Katsuya ARITA and Daiki NISHIMURA

Piezoelectric polymer film has the piezoelectricity, therefore it produces output voltage by applying cyclic load to test pieces which stuck a film. However, electric charge produced measuring instrument run flow under the static load. As the reason, it is not used as the sensor which measures the static strain. This study measured surface potential of piezo film using surface potential measuring instrument newly developed. The ultra-high input impedance contact type surface potential measuring instrument was developed in the electronic equipment manufacturer in order to measure the surface potential of electron element. In this study, following three kinds of static bending load tests were carried out. ① three-point bending test of the beam, ② four point bending test of the beam, ③ out-of-plane bending test of circular hole flat plate. The resistance wire strain gauges were used jointly in order to verify the result. Strain value using the piezo film is approximate with the value of the resistance wire strain gauge for the three kinds of bending test. Thus, it was shown that the static strain measurement by this method is effective using the developed piezo film and the ultra-high input impedance contact type surface potential instrument.

(Keywords: Stress-strain Measurement, Experimental Stress Analysis, Piezo Film, Experimental Mechanics, Stress Concentration, Nondestructive Inspection)

1. 緒 言

高分子 piezo フィルムであるポリフッ化ビニリデン (Polyvinylidene Fluoride, 略称 PVDF フィルム) は, 図 1 に示すように厚さが, μm オーダで圧電性を有する貼付けやすいフィルムシートである. PVDF フィルムは, 圧電性を有することから, フィルムを貼付けた試験片を加振することにより出力電圧が生ずる. この性質を利用して, いろいろなセンサーが作られている.⁽¹⁾ しかし, 静的負荷では, 生じた電荷量が計測器を通して流れてしまい, 静負荷センサーとしては利用されていないのが現状であった. このために PVDF フィルムを利用した静ひずみ測定法が, 琵琶⁽²⁾⁽³⁾, 等により先駆的に行われた. 同時に黒崎⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 等も独自の方法により静ひずみ測定法を開発してきた. さらに応用研究もされている.⁽⁶⁾

ひずみゲージモデルとして, ひずみ測定に使用できるよう黒崎等は, 定式化した.⁽⁴⁾ しかしこの研究⁽⁴⁾ では, 弾性範囲内において, 一定繰返し負荷時の振幅荷重の出力電圧を計測し, 静ひずみ解析を行

う方法を採用している. この状態での計測は, 厳密の意味で静荷重下のひずみ測定でない.

近年, 電子素子の表面電位を測定するために, 入力インピーダンスの非常に高い超高入力インピーダンス接触型表面電位計 (図 2) が開発された.⁽⁷⁾ この新たに開発された表面電位計を使用して, piezo フィルムゲージの表面電位の測定を行い, 静ひずみ解析に筆者等は成功した.⁽⁸⁾ この場合の筆者等が行った実験は, 以下の引張試験である. 図 1 に示す piezo フィルムシートを矩形に切断し引張試験片に貼付けた. 引張負荷時にフィルムシート上の電極から表面電位を計測し, ひずみ解析を行った. 実

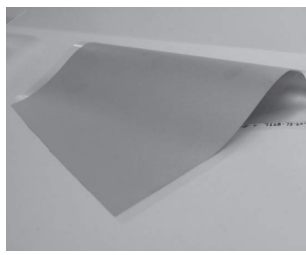


Fig.1 Piezo film sheet. Fig.2 Ultrahigh-impedance voltmeter.

験結果は、併用したひずみゲージ値とよく一致した。

本研究は、上記の表面電位計を使用して静的荷重下の曲げ問題に応用したものである。実験では、図 1 に示す piezofilm シートからひずみゲージを試作し、①はりの 3 点曲げ試験、②はりの 4 点曲げ試験、③円孔平板の面外曲げ試験を行った。本研究で試作した piezofilm ゲージは、フィルムの異方性を考え、フィルムの縦横比形状を工夫した。⁽⁹⁾ すなわち、1 枚のフィルムゲージの出力電圧から一方向のひずみ値が、取り出せる形状にした。以上の曲げ試験をとおして本研究では、筆者等が提案した高分子 piezofilm を使った静ひずみ解析手法⁽⁸⁾の有効性を調べた。そして上記に示した曲げ試験の実験結果を示すことにより、本提案方法の有効性を示す。

2. 高分子圧電フィルムによるひずみ解析式

2.1 ひずみ解析式

高分子圧電フィルムのひずみ解析式は、琵琶⁽³⁾らが解析式を導いた。黒崎等⁽⁴⁾は、琵琶等が導いた式をひずみゲージモデルとして変形し、その式を以下に示す。

フィルムの座標系を図 3 に示す。そのフィルムを貼付けた平面応力状態にある被測定部材の座標系を、図 4 に示すように設定する。高分子圧電フィルムのひずみが、被測定物のひずみ $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ と一致すると、次式で表される。

$$V_{(\theta)} = \frac{A}{C(1+k_t^2)} \{f_{1(\theta)} \cdot \varepsilon_x + f_{2(\theta)} \cdot \varepsilon_y + f_{6(\theta)} \cdot \gamma_{xy}\} \quad (1)$$

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$: X, Y ひずみ成分

γ_{xy} : せん断ひずみ成分

k_t : 電気機械結合定数

A : 電極面積

C : 電気容量

ただし $f_{i(\theta)}$ は、フィルムの貼付角度 θ に依存する。琵琶等も行った座標変換式を使用すると $f_{i(\theta)}$ は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} f_{1(\theta)} &= \alpha_{31} \cos^2 \theta + \alpha_{32} \sin^2 \theta \\ f_{2(\theta)} &= \alpha_{31} \sin^2 \theta + \alpha_{32} \cos^2 \theta \\ f_{6(\theta)} &= 2(\alpha_{31} - \alpha_{32}) \cos \theta \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

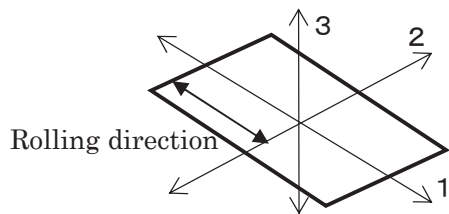


Fig.3 Coordinate axes of PVDF film.

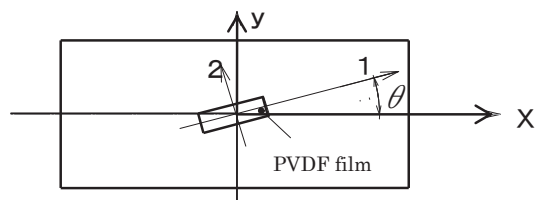


Fig.4 Rolling direction X and inclined angle θ of PVDF film.

式(2)中の α_{31}, α_{32} は、フィルムの圧電定数 e と弾性係数 E とのマトリクス成分を使用した式⁽³⁾⁽⁴⁾である。

ここで、 $\theta = 0, \theta = \pi/2$ を(2)式に代入すると次式になる。

$$V_{(0)} = \frac{A}{C(1+k_t^2)} \{ \alpha_{31} \cdot \varepsilon_x + \alpha_{32} \cdot \varepsilon_y \} = F_1 \cdot \varepsilon_x + F_2 \cdot \varepsilon_y \quad (3)$$

$$V_{(\pi/2)} = \frac{A}{C(1+k_t^2)} \{ \alpha_{32} \cdot \varepsilon_x + \alpha_{31} \cdot \varepsilon_y \} = F_2 \cdot \varepsilon_x + F_1 \cdot \varepsilon_y \quad (4)$$

(3), (4) 式を簡略化するために、 $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ を除いた係数を F_1, F_2 として表した。(3), (4) 式を $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ について解くと次式となる。ただし $V(0) = V_1, V_{(\pi/2)} = V_2$ として、書き換えた。

$$\varepsilon_x = \frac{F_1 V_1 - F_2 V_2}{F_1^2 - F_2^2} \quad (5)$$

$$\varepsilon_y = \frac{F_1 V_2 - F_2 V_1}{F_1^2 - F_2^2} \quad (6)$$

2.2 ひずみ成分式中の F_1, F_2 値

実験的に F_1, F_2 値を求める方法を以下に示す。材料のポアソン比を ν とすると、縦ひずみと横ひずみには、次の関係がある。

$$\varepsilon_y = -\nu \varepsilon_x \quad (7)$$

上記(7)式の関係をも、式(3), (4)に代入する。

$$V_1 = (F_1 - \nu \cdot F_2) \cdot \varepsilon_x = k_x \varepsilon_x \quad (8)$$

$$V_2 = (F_2 - \nu \cdot F_1) \cdot \varepsilon_x = k_y \varepsilon_x \quad (9)$$

上式(8), (9)式は、 $V_1 - \varepsilon_x, V_2 - \varepsilon_x$ の関係で、

傾きをそれぞれ k_x , k_y とおくと次式となる.

$$F_1 - \nu \cdot F_2 = k_x \quad (10)$$

$$F_2 - \nu \cdot F_1 = k_y \quad (11)$$

k_x , k_y を予備実験で求めておき, (10), (11) 式から F_1 , F_2 値を求めると次式が導ける

$$F_1 = \frac{k_x + \nu \cdot k_y}{1 - \nu^2} \quad (12)$$

$$F_2 = \frac{k_y + \nu \cdot k_x}{1 - \nu^2} \quad (13)$$

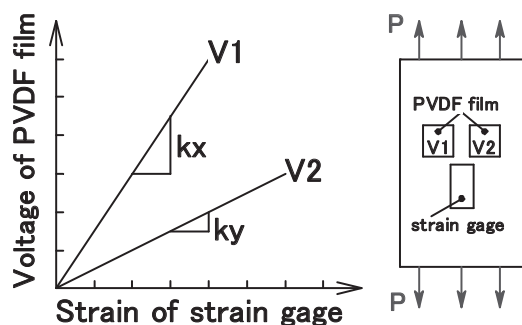


Fig.5 Relations between output voltages of PVDF films and strain of strain gauge.

図5に示すようにピエゾフィルムの圧延方向を, 試験片軸方向と同方向に貼り, V_1 を求める. 同じフィルムを試験片軸方向に対して 90° 方向に貼り V_2 を求める. 同時にひずみゲージを試験片裏側に貼り ε_x を測定する. 図5に示す V_1 と V_2 と ε_x との関係グラフを作製する. その際の傾き k_x , k_y を求める. k_x , k_y が求まれば, (12), (13) 式より F_1 , F_2 を求める事ができる.

2.3 一軸型ひずみゲージモデルのひずみ式

PVDF フィルムは, 圧延加工方向により出力電圧が異なる異方性がある. この異方性の処理のため, 一方向のみの出力電圧で一方向ひずみが採取できるよう考えた.⁽⁸⁾ そのために, フィルムの形状の縦横比を $V_2=0$ となる形状にした.

よって予備実験のグラフより電圧とひずみの関係は次式のみとなる.

$$V_1 = k_x \times \varepsilon_x \quad (14)$$

上記で求めた k_x を使い, 被測定物に貼付けたピエゾフィルムの出力電圧 V からひずみ ε は, 次式より求まる.

$$\varepsilon = \frac{1}{k_x} \times V \quad (15)$$

3. ピエゾフィルムゲージの試作

PVDF フィルムは, 銀電極が両面に蒸着されているタイプを使用した. 本研究で使用した PVDF フィルムの特性を表1に示す. ピエゾフィルムゲージの製作方法は, ピエゾフィルムシートから 12×4 [mm] の大きさに切り出す. その後, 上面と下面の電極の導通を防ぐため縁側の電極を幅 1 [mm] 分だけアセトンによって除去し, 電極部を 10×2 [mm] とした. 円孔平板の面外曲げ試験に用いるピエゾフィルムゲージは, 上記電極を有するゲージ5連結のものを製作した.

図6に示すフィルム寸法は, 西村等⁽⁴⁾が行ったフィルムの異方性特性実験によって得られた寸法である. 図6は, 試作したピエゾフィルムゲージを試験片に貼付けた状態を示す. 試験片にフィルムを貼り付ける接着剤は, 2液混合エポキシ系樹脂接着剤セメダイン EP001N を使用した.

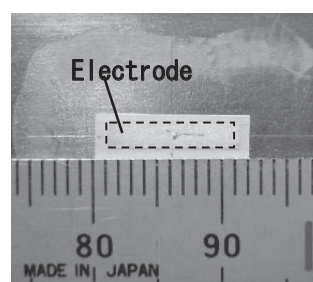


Fig.6 Piezo film gauge on a test piece.

Table 1 Properties of PVDF film⁽¹⁾

Property	PVDF film	Units
Capacitance(C)	380	pF/cm ² @1kHz
Electromechanical Coupling Factor(kt)	14	% at 1 kHz
Young's Modulus	2.4	10 ⁹ N/m ²
Density	1.78	10 ³ kg/m ³
Thickness	28	μm
Permittivity	106-113	10 ⁻¹² F/m
Tensile strength	140-210	MPa

4. 実験方法

4.1 表面電位測定方法

表面電位の測定は、図 7 に示すようにピエゾフィルム（PVDF）の電極部分に、表面電位計のプローブを押し当てて測定し、デジタルオシロスコープで出力電圧をモニターする。表面電位計は、トレックジャパン社の Model 800 を使用した。使用した表面電位計の概略仕様を Table 1 に示す。

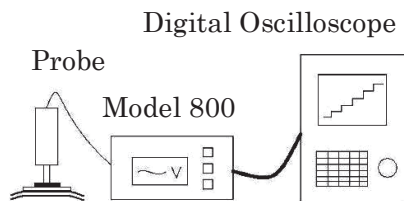


Fig.7 System of measurement output voltage

Table 2 Properties of ultrahigh-impedance voltmeter (Model 800).⁽⁷⁾

Input impedance	$10^{16} \Omega$
Measurement range	$\pm 100 \text{ V}$
Accuracy	$\pm 0.1\% \text{ FS}$
Speed of response	3.5 msec

4.2 はりの曲げ試験装置と実験方法

図 8 と図 9 に両端支持はりの 3 点曲げと 4 点曲げの模式図を示す。はりの曲げ試験装置を図 10 に示す。荷重に相当する錘は、 $4.9 \text{ [N]} (=0.5 \text{ [kgf]})$ を 1 個ずつのせながら出力電圧測定を行う。試験片の形状は、図 11 に示す。

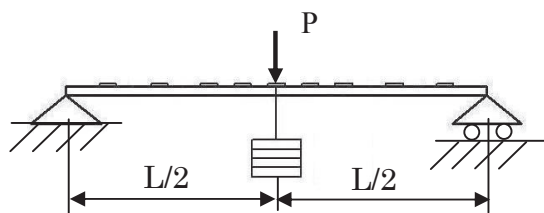


Fig.8 Three-point bending test

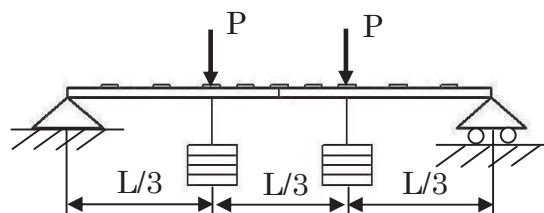


Fig.9 Four-point bending test

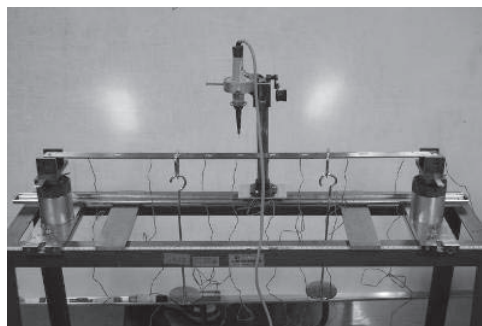


Fig.10 Bending test equipment.

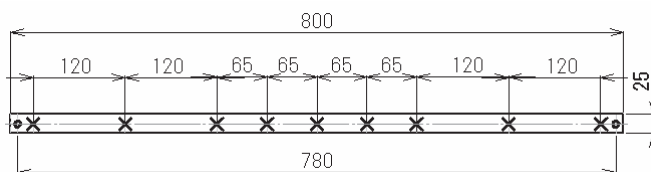


Fig.11 Beam-type specimen used in bending test and position where PVDF film gauges were placed.

4.3 円孔平板の面外曲げひずみ測定実験法

円孔平板の面外曲げ試験の模式図を図 12 に示す。平板の中央に円孔の開いた試験片を、4 点曲げに相当するよう錘を使い作用させる。曲げ試験状態の写真を図 13 に示す。

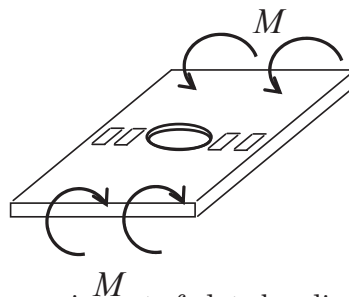


Fig.12 Four point out of plate bending test with center hole.

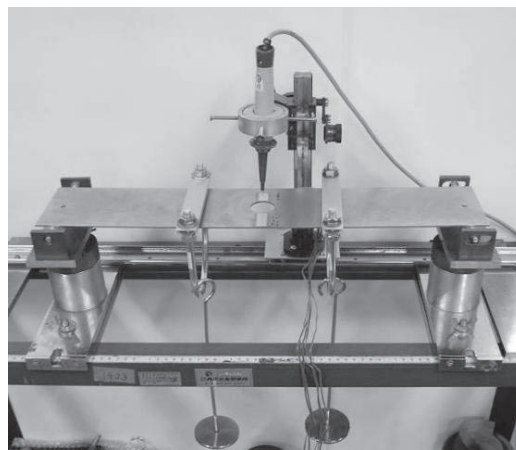


Fig.13 Photograph out of plate bending test with center hole..

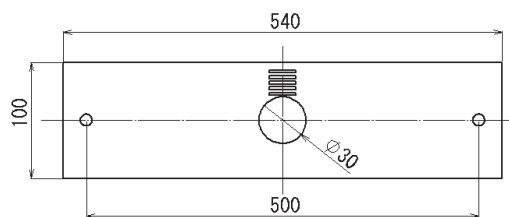


Fig.14 Bending test specimen with center hole.

円孔平板試験片の形状を図 14 に示す. 円孔近傍の上面に piezo フィルムゲージ (図 15) を, 下面にひずみゲージ (図 16) を 5 枚ずつ貼り付けて図 9 と同じように 4 点曲げ試験を行った.

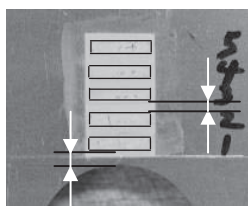


Fig.15 Piezo film gauges

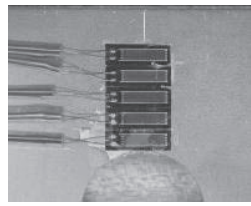


Fig.16 Strain gauges

円孔回りの応力集中部のひずみ測定としては, 応力集中用のゲージ長の短い多連式のひずみゲージを本来使用すべきである. しかし, piezo フィルムゲージのゲージ長が 10mm の 5 連式であることから, ゲージ長 10mm と同一ゲージ長のひずみゲージ (共和電業製 KFG-10-120-C1-11) を選択した. ここでは, 試作したゲージ長 10mm の piezo フィルムゲージの値と, 抵抗線箔ひずみゲージとの値を比較するためにゲージ長の長いものを用いた.

5. 実験結果および考察

5.1 面外曲げ実験による k_x , k_y 値

前述の 10×2 mm の形状フィルムを用いて, はりの面外曲げ実験を行った. 前処理として, フィルムとひずみとの特性値である k_x , k_y 値を, 4 点曲げ実験により求めた. 実験結果を図 17, 18 に示す. 図 17 は, 表面電位計のプローブが, フィルムとの接触時間と計測した出力電圧値 V である. プローブが接触している間グラフ上の出力電圧値は, 水平状態で一定に保たれており, 一定の電圧が得られていることがわかる. 図 18 は, 図 17 から得られた電圧値とその時のひずみゲージ値をグラフ化したものである. 求めた傾き値は, $k_x = 0.0207$, $k_y = 0.0054$ [V/ μ strain] となった. 以後, はりの曲げ実験でのひずみ解析計算では, この値を使用した.

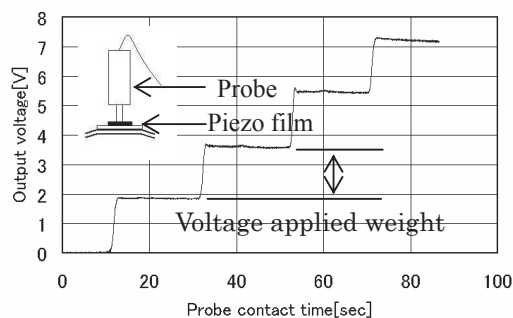


Fig.17 Output voltage vs contact time

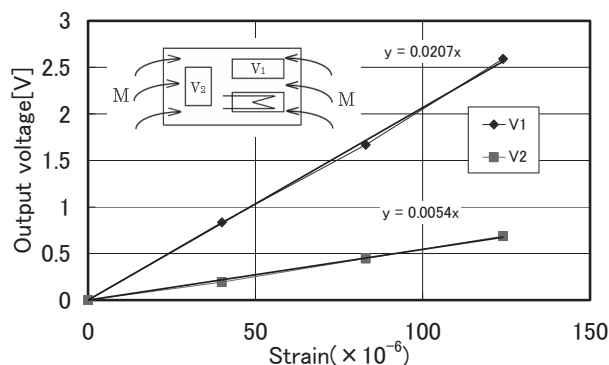


Fig.18 Output voltage vs strain of strain

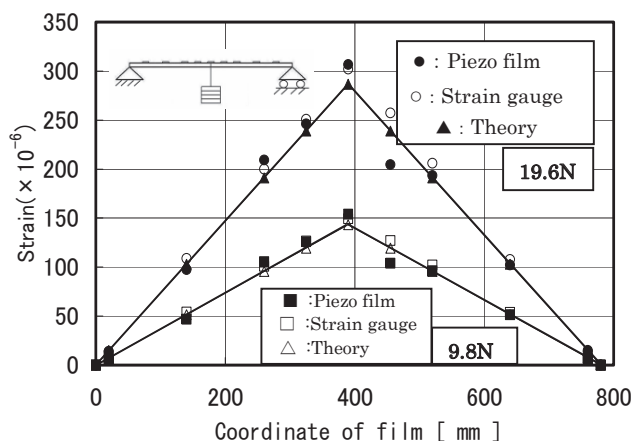


Fig.19 Comparison of strain in three-point bending test.

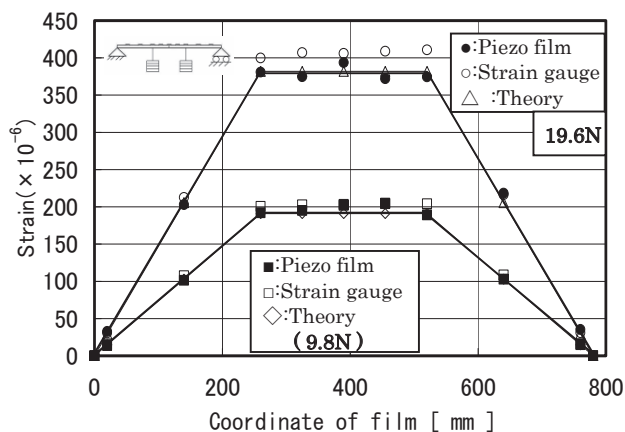


Fig.20 Comparison of strain in four-point bending test.

5.2 両端支持はりの面外曲げ実験

図 19 に 3 点曲げ実験の結果を、図 20 に 4 点曲げ実験の結果を示す。図中、実線は、材料力学のはり理論による値を直線で結んだものである。3 点曲げ、4 点曲げの両実験とも、ピエゾフィルムゲージで得たひずみ値とひずみゲージで得たひずみ値との両者が、理論値に近い値となっているのがわかる。

5.3 円孔平板の面外曲げひずみ測定

図 18 に円孔平板のひずみ分布測定の結果を示す。応力集中部近傍でも両端支持はりの曲げ試験の場合と同様、ピエゾフィルムゲージで得たひずみ値とひずみゲージで得たひずみ値は、ほぼ同等の値を得ることができた。

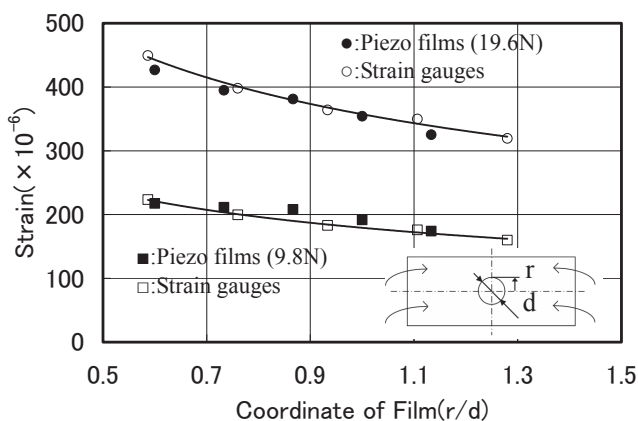


Fig.18 Strain distribution of center hole plate applied to out of plate bending

6. 結 言

高分子ピエゾフィルムを、ひずみゲージモデルとして静ひずみ解析式を示した。同時に一軸のピエゾフィルムゲージを試作した。試作ピエゾフィルムゲージを両端単純支持はりと円孔平板に貼付け、面外曲げ荷重を作用させた。その時の表面電位は、超高入力インピーダンス接触型表面電位計を使用して測定した。測定値からひずみ解析を行い以下の結論が得られた。

(1) 両端支持はりの 3 点および 4 点曲げ実験で測定した出力電圧値をひずみの解析式によって変換したひずみ値は、はりの理論値とひずみゲージ値と近い結果が得られた。

(2) 円孔平板の曲げ試験における 1 軸方向のひず

み測定でも、ピエゾフィルムゲージで得たひずみ値とひずみゲージで得たひずみ値は近い値を得ることができた。

以上の結果から、面外曲げ静ひずみ測定にも、高分子ピエゾフィルムをひずみゲージとして使った本提案方法の有効性が示された。

謝辞：本研究の一部は、平成 22 年度科学研究費・基盤研究 C(課題番号 20510165)の補助を受けた。関係各位に記して謝意を表する。

参考文献

- (1) (株)東京センサー, Piezo Film Product Information, (2008), pp.5-6
- (2) Biwa, S., Katsumi, K., Omoto, Y., Matsumoto, E., and Shibata, T., “Sensing Technique for Surface Strain Distribution with Piezoelectric Film”, *Journal of Electrical Engineering*, Vol.48, No.8/S (1997), pp.50-53
- (3) 勝見圭介・琵琶史朗・松本栄治・柴田俊忍, “高分子圧電フィルムを用いた静ひずみ分布の測定”, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.64, No.617 (1998), pp.215-220
- (4) 黒崎茂, 山口賢一, “圧電高分子フィルムを用いた一定繰返し負荷によるひずみ分布測定法(ひずみゲージモデルの解析式と測定例)”, 日本機械学会論文集 A 編, Vol.71, No.702 (2005), pp.86-91
- (5) 黒崎茂, 高分子圧電フィルムを用いたひずみ測定法, 非破壊検査, Vol.59・No7(2010), pp318-323
- (6) Fujimoto, Y., Shintaku, E., Gernot, P., and Tanaka, Y., “Stress Intensity Factor Measurement of Two-Dimensional Cracks by the Use of Piezoelectric Sensor”, *JSME International Journal Series A*, Vol.46, No.4 (2003), pp.567-574
- (7) トレック・ジャパン (株), “取扱説明書 Model 800 Ver.1.0” (2010), pp.20-21
- (8) 黒崎茂, 西村大希, 有田克也, “高分子圧電(ピエゾ)フィルムを用いた試作ひずみゲージの試作と静ひずみ測定法”, 日本機械学会 2011M&M 材料力学カンファレンス(2011), OS0104,
- (9) 西村大希, 黒崎茂, 上原利夫, “高分子圧電フィルムを用いた静ひずみ測定法”, 日本非破壊検査協会第 42 回応力ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集, (2011), pp.51-56

走行時自転車フレームの 3 軸加速度測定

木 村 南*

Acceleration measurement of three axes of bicycle frame when running

Minami KIMURA

The acceleration of installing the acceleration sensor of three axes in CFR P frame of the monocoque construction, and the bicycle movement was measured. When passing over a difference part the manhole etc. , 120m/s² was recorded in the top of the seat tube. 40m/s² was recorded in the getting on posture in which weight was put on the saddle with the back stretched in the acceleration measurement to the waist, and 20m/s² in the getting on posture in which it made to the stoop and weight was not put on the saddle so much. The same degree of the acceleration as the observed maximum level acceleration understands the drop test from 100mm in height when usually running and it has been understood to obtain it. The method of synchronizing the shape of waves in the direction of Z of the dropping impact to synchronize it in an independent sensor was effective. As for CFRP frame, the possibility of reducing the vibration of about 40Hz was shown.

(keywords: CFRP, bicycle frame, acceleration measurement)

1. 緒言

モノコック構造の炭素繊維強化樹脂製(以下 CFRP と略す)自転車フレームがヨーロッパのレース界のみならず,日本でも最近^{1,2)}シェアを拡大し,入門者用にも CFRP フレームが採用されるようになってきた.月刊.自転車専門誌³⁾では90年代後半にブームとなった薄肉大径の Al 合金パイプのように高剛性で疲れやすいフレームとは違い,CFRP フレームは振動吸収性が高く疲れにくいというベテランユーザーによる官能評価がなされている.また固定した自転車やフレームへの荷重負荷による疲労試験については報告事例がある.しかし自転車運動時のフレームの加速度測定については公表された事例がすくない⁴⁾.そこで小型 3 軸加速度センサ を利用して,路面状態と走行速度の CFRP フレームへの加速度計測を行った⁵⁾.

2. 実験方法

2-1 自転車

実験に使用したフレームは FELT 社の F1 という 2006 年当時の市販フレームでは最軽量の 860g の CFRP 製を用いた.ハンドル,シートピラーなどにも CFRP 部品を使用し,泥除け,ライト,ベル,バックミラーなどの保安部品や加速度測定装置を取り付けた状態での車重は 8.7kg であった.また実験開始以前に 12100km 走行していた.この間にペダル,チェーン,ギアは各々 3~6 回交換し,タイヤは 7 回交換した.また試験期間は 2 ヶ月で走行距離は 480km であった.使用したタイヤは HUTCHINSON FUSION COMP という 700C×20C で 185g(カタログ値)という軽量タイヤを用いた.空気圧は前輪が 700kPa,後輪が 750kPa とし実験前後での空気圧測定により実験中での空気圧の減少がないことを確認した.

2-2 3 軸加速度センサ

3 軸加速度センサ(スリック社 DR10)はピークモードとトレースモードの二種類の測定が可能で,実験走路全体での加速度測定にはサンプリングタイム 0.01s,記録間隔が 1s でその間のピーク加

速度を記録するピークモードを用いた.トレースモードではサンプリングタイム 0.01s の場合 163s のデータがセンサに記録することができた.3 軸加速度センサは当初はシートピラー部に取り付けた荷台に取り付け,その後は後述するようにフレームに取り付けた.



Fig.1 CFRP frame bicycle FELT F1

2-3 被験者

年齢 55 歳,男性,身長 168cm,体重 73.5kg 体脂肪率 16.7%,サイクリング暦 42 年の著者が被験者としてデータを集積した.前輪:後輪の荷重比率は空車時には 49.5%:50.5%であったが,乗車時には猫背姿勢でも 39.4%:60.6%と後輪荷重比率が高かった.またタイヤの摩耗については前輪よりも後輪の摩耗が 2~3 倍大きかった.

3. 実験結果

3-1 ピークモードでの加速度測定

多摩川サイクリングロードを使って聖跡桜ヶ丘から中野島までの 13km を 25km/h~30km/h で走行し荷台に取り付けた 3-D 加速度センサのピークモードで計測した結果を Fig.2 に示した.走行試験の開始 300s と終了 300s は一般道路の走行で 22km/h の走行であった.このとき道路の 20mm 程度の段差部を通過する際に Z 方向で 120m/s² の加速度を記録した.

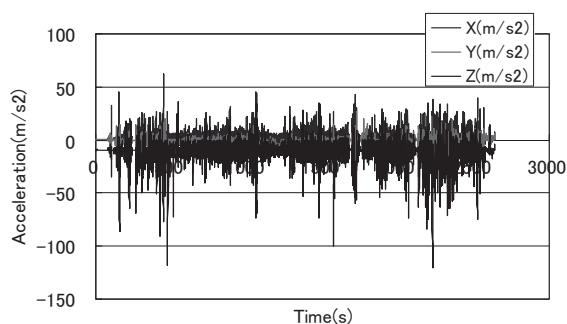


Fig.2 Acceleration measurement peak mode

3-2 乗車姿勢の及ぼす影響

通常の乗車姿勢は猫背またはらくだのこぶと呼ばれる曲がった背中中で骨盤がサドルに垂直になるようにしていたが、Fig.2 の 1600s 以降では背中をまっすぐにした乗車姿勢を試みた。この姿勢の場合には腰部に対する路面の衝撃も大きく感じられた。このとき Z 方向の加速度についてヒストグラムを調べたところ $-9.8\text{m/s}^2 \sim 0\text{m/s}^2$ 付近の加速度の出現頻度がなく、上向きもしくは下向きの加速度の出現頻度が増加していた。スポーツ走行では猫背姿勢が推奨されているが、フレームの Z 方向の加速度も低減させる乗車姿勢であることがわかった。猫背姿勢をとることで上体のクッション性がフレームに対する路面からの衝撃による加速度を減衰させることが示唆された。

3-3 加速度センサの取り付け位置

フレームの加速度と身体に対する加速度を調べるために、時速 20km/h で走行しトレースモードで、荷台に取り付けた 3-D 加速度センサでの測定結果を Fig.3 に示した。また腰部に加わる加速度を測定するためにメッセンジャーバッグの中に 3-D 加速度センサを入れた測定結果を Fig.4 に示した。荷台では -120m/s^2 の Z 方向の加速度を記録したが、バッグの中では -20m/s^2 の Z 方向加速度であった。

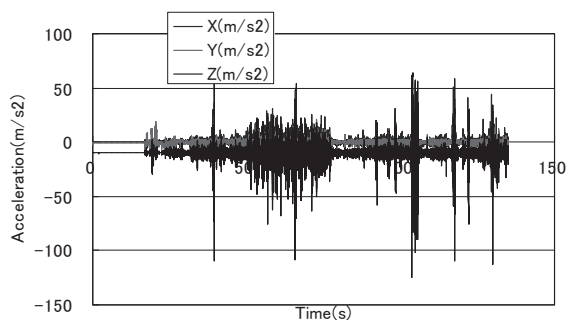


Fig.3 Acceleration measurement trace mode on rear carrier at 20km/h

またクランクの回転数は $70 \pm 2\text{rpm}$ であり、ビンディングペダルを使用しているのでクランクの回転時にトルクの発生は、右ペダル踏み力 $\rightarrow$ 右ペダル引き力 $\rightarrow$ 左ペダル踏み力 $\rightarrow$ 左ペダル引き力という 4 サイクルである。従ってクランクの回転周波数 ($1.1 \sim 1.2\text{Hz}$) に 4 サイクルの振動が生じることからペダリングにより腰部には $4 \sim 5\text{Hz}$ の振動が発生すると考えられる。Fig.4 のバッグの Z 方向の振動の周波数が $4 \sim 5\text{Hz}$ であったことから、サドルに荷重

負担の少ない猫背姿勢で大腿部の筋力によるサスペンション効果が発生する場合には路面からの 30Hz 程度の振動は吸収され则认为られる。以降の実験では、特に断りのない限りケイデンス $70\text{rpm} \pm 2\text{rpm}$ となるように走行した。

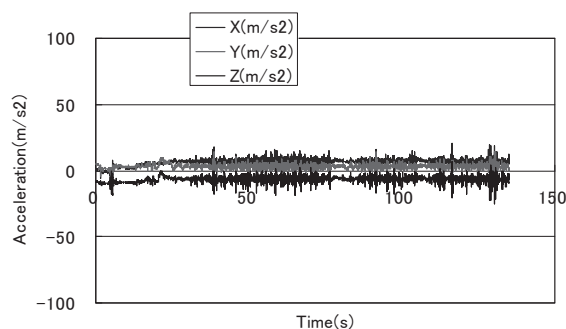


Fig.4 Acceleration measurement trace mode on bag at 20km/h

さらに同一時刻での荷台とバッグの中での加速度のちがいを比較するために、各センサの内部クロックを基準に比較し Fig.5 に示した。荷台は 24Hz 程度の振動でバッグは 4Hz の振動であったサドルおよび臀部筋肉および腰を浮かせた状態での脚部により振動が減衰したと考えられる。

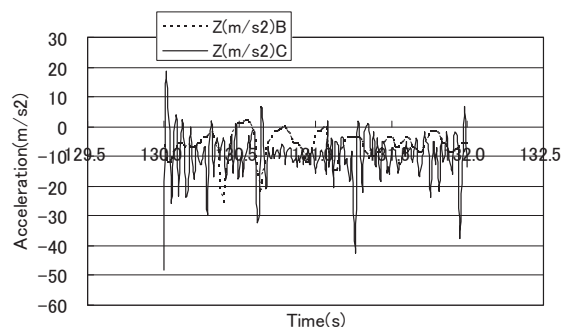
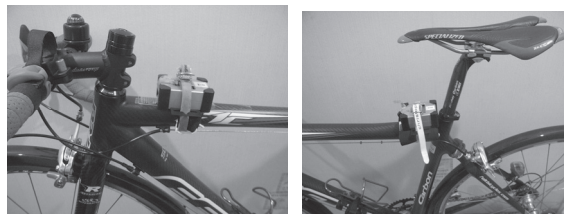


Fig.5 Comparison of Z acceleration on carrier position and bag position at 20km/h

これらの結果から Fig.6 に示すように 2 個の 3-D 加速度センサをトップチューブのヘッド部付近(以下 T 位置)とシートチューブ付近(以下 S 位置)に取り付けた



(a)Top tube position (T)

(b)Sheet tube position (S)

Fig.6 Fixed 3-D acceleration sensor

多摩川サイクリングロードを時速 25km でケイデンス $70 \pm 2\text{rpm}$ で猫背姿勢を維持して走行し、ピークモードでの S 位置での測定結果を Fig.7 に示し T 位置での測定を Fig.8 に示した。ピークモードでの加速度測定では S 位置と T 位置での測定結果について Fig.9 に平均値、最大値、最小値、標準偏差および中央値を示した。S 位置と T 位置での測定値に大きな違いは観察されなかった。

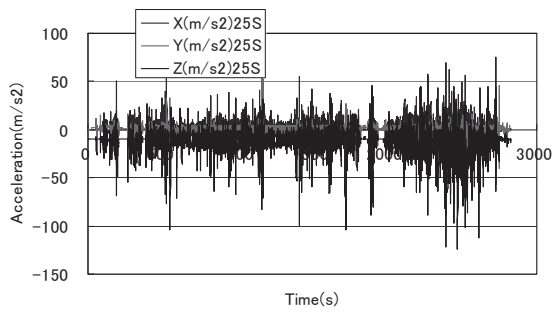


Fig.7 Acceleration measurement on S position at speed of 25km/h~20km/h (peak mode)

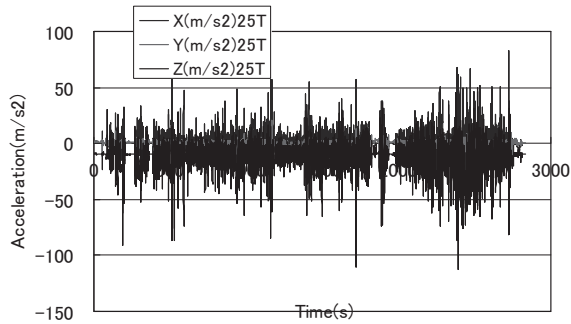


Fig.8 Acceleration measurement on T position at speed of 25km/h~20km/h (peak mode)

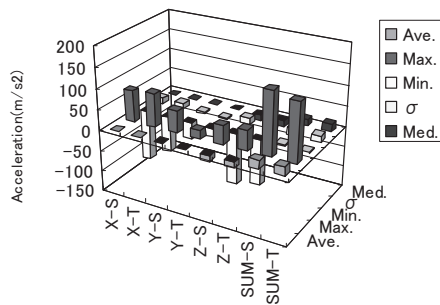


Fig.9 Result of acceleration measurement

4. 考察

4-1 速度の影響

ケイデンスが70rpm程度で時速15km/h, 20km/h, 25km/hで走行できるようにフロントギアとリアギアの組み合わせをそれぞれ34×18, 50×21, 50×18として同一路面を走行した際のS位置での3軸加速度の測定結果をそれぞれFig.12, Fig.13, Fig.14に示した。走行速度が増加するにつれて加速度も増加し、Z方向の増加が著しかった。

同時にT位置での加速度も記録したがS位置と比べて有意な差は観察されなかった。道路は南北を結ぶほぼ直線で一部にΩ状のクランクが存在したが測定の開始と終了後では南北の同一直線状に位置した。交通量がそれほど多くない片側一車線の歩道付き道路であった。時速15km/hの走行ではスポーツ自転車としての走行ではやや遅いために直進安定性がやや不足した操縦感覚であった。

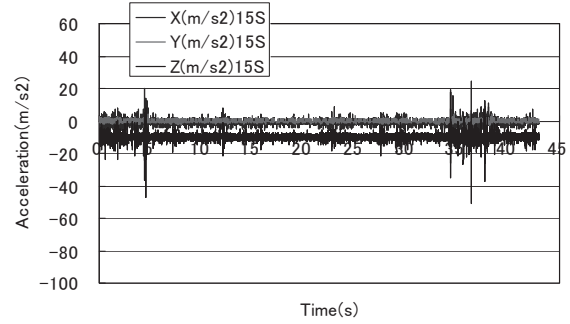


Fig.10 Acceleration measurement trace mode on S position at speed of 15km/h (trace mode)

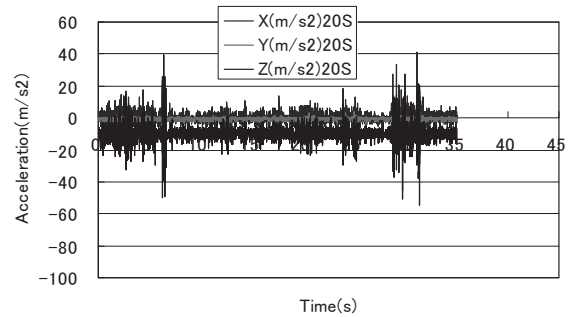


Fig.11 Acceleration measurement trace mode on S position at speed of 20km/h (trace mode)

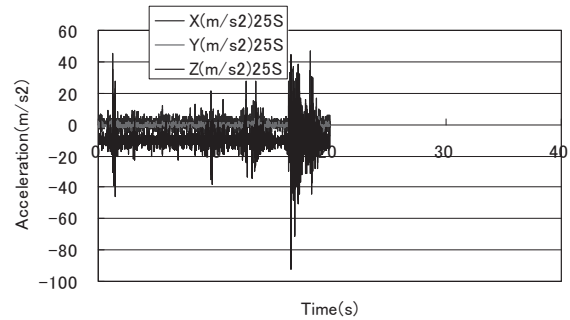


Fig.12 Acceleration measurement trace mode on S position at speed of 25km/h (trace mode)

そこでFig.15に走行速度とZ方向の加速度の最高値と最低値およびX方向加速度、Y方向加速度、Z方向加速度の合力加速度3-DSUMを求め表示した。合力加速度3-DSUMとZ方向の最低値(落下方向)ZMin.の絶対値はほぼ同程度であり、段差部の走行の落下時に記録されていた。

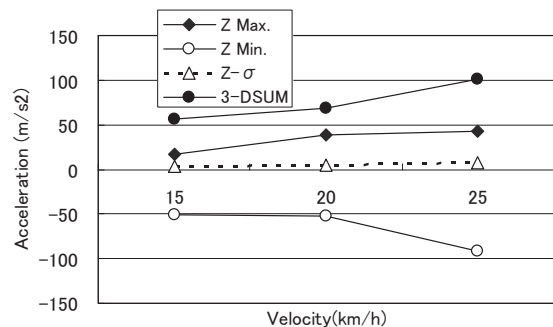


Fig.13 Relationship between Z-acceleration on S position

and velocity of bicycle

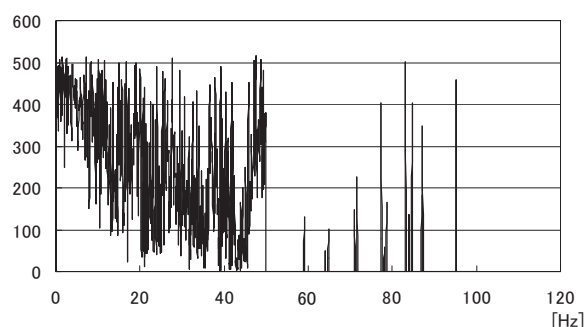


Fig. 14 FFT analysis of 25km/h running on S position

実験に使用したホイールはスポーク数が前輪24本後輪24本で15° 毎にスポークのテンションが変化することになる。このスポークのテンションによる変化が引き起こす振動は時速 25km/h で走行時では 83Hz となることが予測される。Fig. 14 で観察された 83Hz 付近の 78Hz, 79Hz, 83Hz, 85Hz, 88Hz は車輪回転時のテンション変化による振動の影響と思われる。また 41Hz 付近の周波数が少なくフレームで振動吸収された可能性が高い。

4-2 落下実験

走行中の加速度が 20mm 程度の段差部を 22km/h で走行した際に -120m/s^2 を記録した。今回の実験では経験的に走行できると判断される上限の速度で走行したので、段差部でジャンプや前輪を少し引き上げることで衝撃回避走行を行わなかった。しかし通常ではパンクの危険があるほどの衝撃が感じられた。そこでこのような衝撃が簡単に試せる方法として、自転車整備のマニュアル等に記載されている高さ 100mm からの自転車落下試験を行いフレームの T 位置, S 位置における加速度をトレースモードで測定した。

自転車を高さ 20mm, 50mm, 100mm から落下させその時の Z 加速度を 3 回測定し中位のデータを Fig. 15 に表示した。S 位置と T 位置での測定された加速度には有意な差は観察されなかった。高さ 100mm から落下させた場合には $-115\text{m/s}^2 \sim -118\text{m/s}^2$ の Z 方向の加速度が観察され Fig. 7, Fig. 8 のピークモードで観察された最大の加速度と同程度であった。高さ 100mm からの落下試験で自転車の各部件のゆるみや問題点をチェックする方法は Z 方向の加速度から見れば、妥当性のある試験方法であると考えられる。

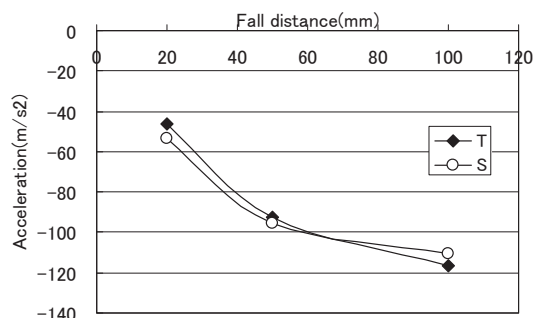


Fig. 15 Relationship between acceleration on S position and fall distance

4-3 固有振動数

前節で示したように道路段差部走行時に Z 方向に -120m/s^2 の加速度が記録され、高さ 100mm からの落下試験で同程度の Z 方向 -120m/s^2 の加速度が記録された。そこで橋脚などの構造物の固有振動数を測定する方法として使われている重錘の打撃による振動により発生する応答波形をフーリエ解析したスペクトルの最大振幅の周波数から固有振動数を求める衝撃振動試験法を利用することにした。

タイヤの空気圧を 400kPa から 750kPa に変化させて 100mm 落下試験を行いトレースモードで 3-D 加速度センサ記録させた。前輪 700kPa, 後輪 750kPa S 位置センサでの測定波形を Fig. 16 に示した。

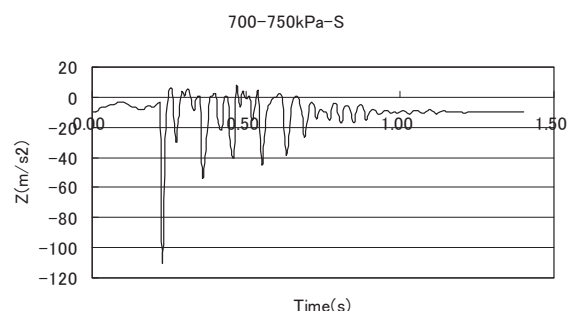


Fig. 16 Acceleration measurement 100mm fall test of CFRP bicycle

タイヤの空気圧が 400kPa, 550kPa, 700kPa のいずれの場合もほぼ同様な波形が得られたことから高速フーリエ解析(FFT)フリーソフトの FFT101 を用いて、Fig. 16 の前輪 700kPa, 後輪 750kPa という実走行試験と同一のタイヤ空気圧での 100mm 高さからの落下試験についての FFT スペクトルを Fig. 17 に示した。

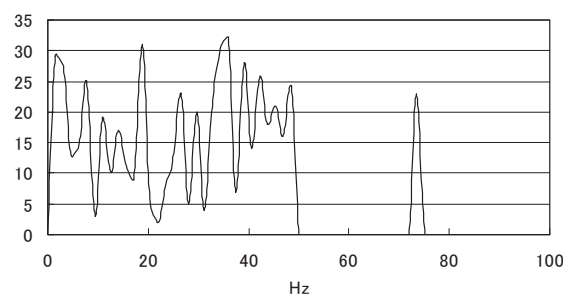


Fig. 17 FFT analysis of Fig. 16 100mm fall test

自転車車輪はスポークの張力で構成されたサスペンション構造であることから車輪単独の固有振動数を前述の衝撃振動法である落下試験により求めた。700kPa の空気圧の前輪をフロントフォークから取り外しタイヤに直接 3-D 加速度センサを取り付けて高さ 100mm から落下試験を行い Fig. 18 に Z 方向の加速度を示した。 -127m/s^2 が得られ、自転車の 100mm 落下試験とほぼ同程度であった。さらに Fig. 18 で得られた加速度波形の FFT 解析スペクトルを Fig. 19 に示した。がホイールはタイヤ、チューブ、リム、スポーク、ハブで構成されかなり複雑な振動要素を有しているので、9Hz, 16Hz, 20Hz, 26Hz, 36Hz, 46Hz, 60Hz にもピークが観察された。

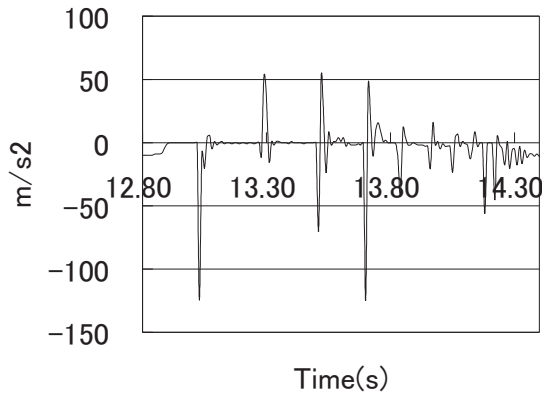


Fig.18 Acceleration measurement of 100mm fall test on 700C wheel with 700kPa tire

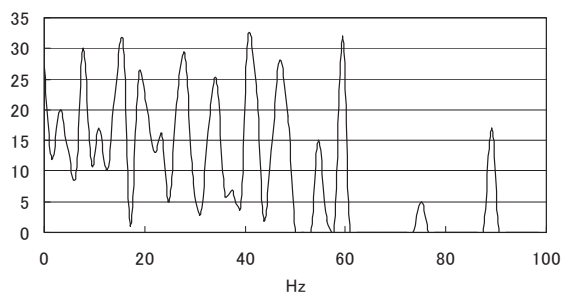


Fig.19 FFT analysis of Fig.18

4-4 平坦路面でのシートチューブ位置の加速度測定

平坦路を 25km/h で走行している場合の S 位置での 3 軸加速度結果を Fig.20 に示した。

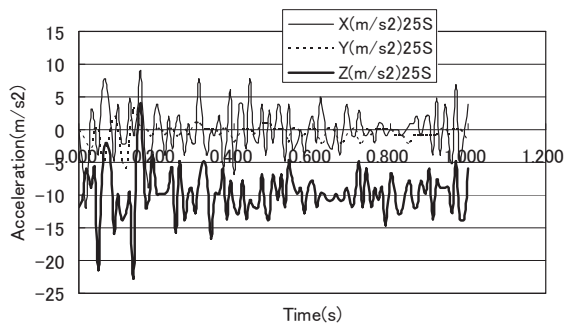


Fig.20 Acceleration measurement on S position at speed of 25km/h at flat road

4-5 加速度センサの内部クロックを同期させる方法

2台以上の加速度センサを同時に使う場合に実験に使用した加速度センサ DB-10 では内部クロックの同期をとる方法がないので、後述するように加速度計測後に Z 方向(重力方向)の加速度波形から同期させる方法にした。

T 位置と S 位置における Z 方向の加速度を積分してそれぞれ Fig.21 と Fig.22 に示した。T 位置と S 位置での速度についてのピーク位置からみた時間差は 0.02s で S 位置が先行していた。センサに使われている通常の内部クロックでは最大 $\pm 1.73 \times 10^{-5}$ /s の誤差が生じることが推定される。また、計測設定時から終了までの所要時間は 2000s 程度であり、2 台のセンサでの時刻表示誤差の最大誤差は 0.070s と見積もられることから上記の 0.02s の速度

差を同期させた。

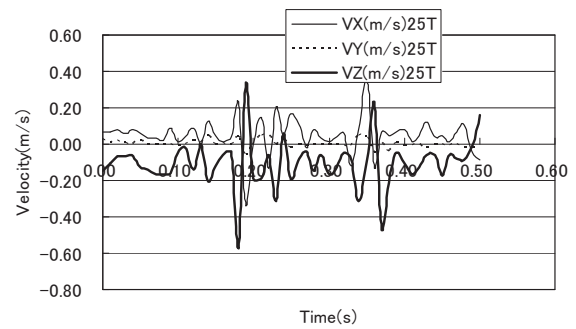


Fig.21 Acceleration measurement on T position At difference running of 25km/h(trace mode)

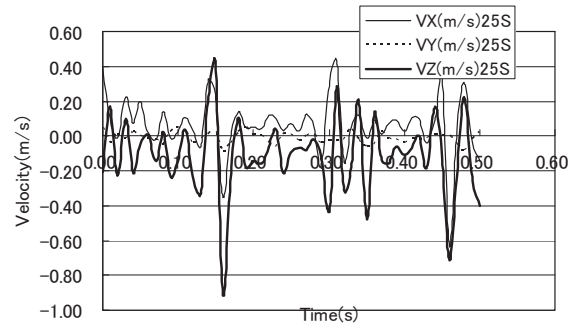


Fig.22 Acceleration measurement on S position At difference running of 25km/h(trace mode)

4-6 シートチューブ 25km/h 段差走行の速度

センサを同期させ S 位置と T 位置の Z 方向の速度について Fig.23 に表示した。マンホールの段差を乗り越える際に S 位置の方が T 位置よりも速度が大きく後輪からの衝撃でサドルが上下しながら走行している。

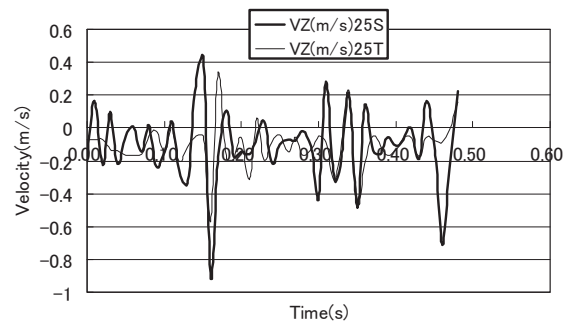


Fig.23 Comparison of Z velocity on S position and T position at 25km/h

2箇所のセンサの Y 方向加速度から進行方向の推定が可能かどうか確認するために、時間差 0.02s で同期させた。Y 方向については Fig.22 に示すように S 位置 Y 方向移動速度が T 位置の移動速度よりも各ピークとも 0.01s 程度早くなっていた。Y 方向の加速度の周波数は 16Hz であり X 方向、Z 方向の加速度が 30Hz の半分程度であるが、走行時のハンドル操作や重心の移動による方向転換に比べると 10 倍程度周波数が高く、ペダルの回転による太腿の運動は回転数が 70rpm 程度(1.2Hz)であることが

ら、ペダリングによる影響は少ないと考えられる。Fig.24 に示した Z 方向の移動速度は S 位置、T 位置ともに遅れはなくほぼ同時に同程度の移動速度に達している。したがって Y 方向のフレームの移動は重量配分が後輪 61% の S 位置が最初に移動を開始しその後 0.01s 後に T 位置の移動移動開始されたと考えられる。オートバイの操輪ではハンドルを切るのではなく腰部を中心とする体重の移動であるとされている。自転車でもロードバイク解説書⁴⁾では自転車と一体となった体重の移動の重要性が示されている。加速度の測定結果からも S 位置から先に移動が開始されたことが示唆される。

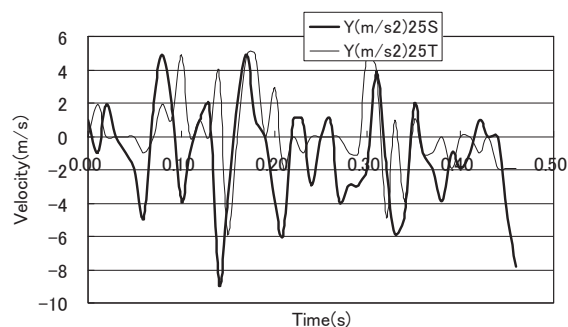


Fig.24 Comparison of Y velocity on S position and T position at 25km/h

T 位置センサと S 位置センサの同期を取るためには落下試験によるインパルスで同期をとる方法が望ましい。

Z 方向の加速度が T 位置 S 位置ともに同期するのであれば、Y 方向での加速度波形の差は実際の Y 方向の動きに相当すると考えられる。

4-7 フレーム材質の影響

同一寸法で材質の異なるフレームで実験を行い比較したかった。しかし CFRP モノコックフレームは従来のスチールフレームとは異なる寸法で製作されているので、手持ちの東洋フレーム製のシクロ 4 というクロモリパイプの TIG 溶接フレームを用いて実験を行った。700×25C のタイヤで 700kPa の空気圧で 20km/h で走行し、荷台に 3-D 加速度センサを取り付けた際の FFT 解析結果を Fig.25 に示した。18Hz 付近の周波数が少なくこの周波数の振動が吸収された可能性が高い。

比較のために CFRP フレームの S 位置に 3-D センサを取り付け 20km/h で走行し FFT 解析結果を Fig.26 に示した。

40Hz 付近の振動が少なく Fig.14 の 25km/h 走行での 41Hz 振動が少ないことと同様な結果が得られた。また 15km/h 走行の FFT 解析でも 40Hz 付近の振動が少なく、CFRP フレームによる振動吸収が行われたと考えられる。一方シクロ 4 (フレームサイズ 520mm) は車重が 13kg と重く、ホイールも異なることから簡単には結論付けられないが、スチールフレームよりも CFRP フレームの方が高い周波数の振動を抑制する可能性が示めされた。

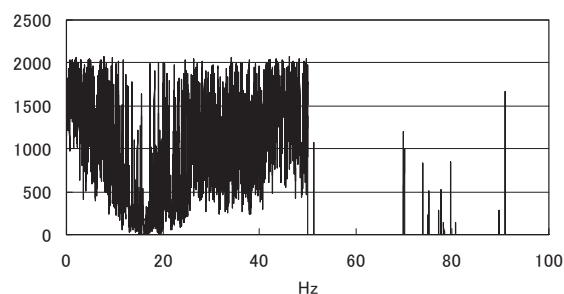


Fig.25 Steel frame FFT analysis measured on carrier position at 20km/h

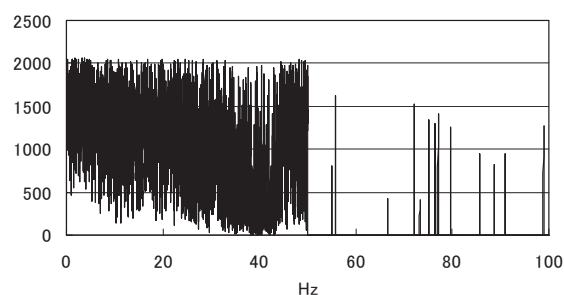


Fig.26 CFRP frame FFT analysis measured on S position at 20km/h

5. 結言

モノコック構造の CFRP フレームに小型 3 軸加速度センサを搭載して、自転車運動時の加速度測定を行った。シートチューブ上端ではマンホール等の段差部通過時に最大 120m/s^2 が記録された。腰部への加速度測定では背中が突っ張った状態でサドルに体重をかけた乗車姿勢では 40m/s^2 が記録され、猫背にしてサドルにあまり体重をかけない乗車姿勢では 20m/s^2 であった。高さ 100mm からの落下試験は通常走行時に観察される最大級の加速度と同程度の加速度が得られることがわかった。

自立型センサでの同期させるためには落下衝撃の Z 方向の波形を同期させる方法が有効であった。

CFRP フレームは 40Hz 付近の振動を軽減させる可能性が示された。

参考文献

- 1) 木村南: 2006 年度マイクロメカトロ講論(2006), p.9-10
- 2) 木村南: 東京高専研究報告書 39-1(2008), p.51-56
- 3) 例えば, CYCLE SPORTS, 八重洲出版, BiCYCLE CLUB, 柘出版など
- 4) 斎藤健治, 清田勝: 土木計画学論, 22-No.1, (2005), p.177-182
- 5) 木村南: スポーツ・ヒューマンダイナミクスシンポ 2008, (2008), p.285-290

電気自動車の普及に因る電力需給への影響

中島竜海*, 土井 淳**

A Study of the Influence on Electricity Supply and Demand by the Spread of Electric Vehicle

Tatsumi NAKAJIMA and Atsushi DOI

In the electric power sector, load factor is measure of the average power divided by the peak power over a period of time. It has a bad influence on the electric power system that load factor is lower.

In the transportation sector, electric vehicles have been focused on as a countermeasure for global warming. Electric vehicles are highly efficient and environmentally friendly vehicles. However, increasing demand for electricity due to electric vehicles, may affect the electric power system. On the other hand, electric vehicles might be able to be used for electric load leveling.

This paper formulates a procedure for calculating the load curve to investigate the effectiveness of using electric vehicles for electric load leveling. Moreover this paper makes a study of the possibility of electric load leveling effect of using electric vehicles.

(Keywords: electric vehicle, electric load leveling, load curve)

1. はじめに

現在, 地球温暖化対策として様々な対策が考えられている。我が国においては二酸化炭素排出量が発電部門, 産業部門, 運輸部門の順に多く⁽¹⁾, これらの分野での二酸化炭素排出削減が求められている。特に, 運輸部門は二酸化炭素排出量全体に占める割合が約 2 割と大きく, 発電部門や産業部門よりも削減余地があることから運輸部門の二酸化炭素排出削減が求められている。そこで, 走行時に二酸化炭素を排出せず, ガソリン自動車よりも総合効率の良い電気自動車への関心が高まっている。

電気自動車は総合効率の高さから二酸化炭素排出削減効果が大きい。しかし, 電気自動車の普及は電力需要の増加を招き, 電力の安定供給に悪影響を及ぼしかねない。特に, 1 日の中での電力需要のピークとボトムの違いが大きいという問題がある日本においては, ピーク時に電気自動車の充電が集中するこ

とは電力の安定供給に直接悪影響を及ぼす。一方で, 電気自動車の充電に電力が余りがちな夜間電力を積極的に利用すれば, 昼間に電力が足りなくなるリスクを低減させることができ, 加えて電力負荷平準化に大いに役立つ可能性を秘めている。そこで, 2030 年時点での電気自動車の負荷平準化ポテンシャルと条件の変化が平準化率に与える影響より, 電気自動車を負荷平準化対策に利用する有効性を検討する。

2. 電気自動車の車両モデル

作成した各種電気自動車の車両モデルを表 1 に示す。なお, 自動車には大まかに分けて旅客自動車と貨物自動車が存在するが, 電気自動車の特性や電気自動車を含めた次世代自動車の開発動向等から貨物輸送にはクリーンディーゼル車などが主に普及すると判断し, 本研究では旅客輸送に関わる営業用車両と自家用乗用車のみを扱うこととする。表 1 にお

表 1 各種電気自動車の車両モデル

	営業用				自家用
種類	バス(乗合)			乗用車	乗用車 (軽乗用車含む)
	大型	中型	小型		
電費〔kWh/km〕	1.000	0.800	0.440	0.140	0.140
実働1日1車あたりの走行キロ〔km〕	171.19	171.19	171.19	180.08	33.17
実働率	0.8261	0.8261	0.8261	0.7958	0.6817
車両重量〔kg〕	10,000	8,000	4,400	1,400	1,400
見込まれる普及台数〔台〕	37,000	11,000	2,700	270,000	9,800,000
1時間あたりの充電電力〔kWh〕	50	50	30	3.0	3.0

* 電気工学科 (平成 21 年度卒業生) ** 電気工学科

いて、実働 1 日 1 車あたりの走行キロ、実働率の項目は自動車輸送統計年報⁽²⁾の数値を参考に設定しており、他の項目の設定方法は 2.1 節より述べる。

2.1 車両重量

電気自動車の電費は車両重量に大きく依存するため、車両重量は電費を設定する際に欠かせない要素となる。電気自動車の車両重量は現状では同一クラスのガソリン自動車と比較して 100kg 程度重くなっている。電気自動車の車両重量がガソリン自動車に比べて重いのは主に電池重量が原因で、電池の小型化などにより軽量化が予想される。そこで、2030 年時点での電気自動車の車両重量は現在のガソリン車の車両重量と等しいと仮定し、ガソリン自動車の車両重量をもとに電気自動車の車両重量を設定する。

バスの車両重量は「路線バス・乗合タクシーの車両保有台数規模（推計）」⁽³⁾の大型（10.5m クラス）・中型・小型バスに代表される車種の車両重量を元に作成した表 2 より、大型バスは 10,000kg、中型バスは 8,000kg、小型バスは 4,400kg と設定する。また、乗用車の車両重量は、電気自動車が SUV やワゴン車にも普及し、その中でも軽乗用車や小型乗用車の販売台数が多くなると仮定して 1,400kg とする。

表 2 バス車種別車両重量

	大型バス	中型バス	小型バス
車両重量 [kg]	9730～10210	7920～7970	3040～5800

※「路線バス・乗合タクシーの車両保有台数規模（推計）」⁽³⁾を元に作成

2.2 電費

現在実用化されている電気自動車のほとんどは小型乗用車であるため、普通乗用車やバスなどの電費については不明である。そこで本研究では、まず電気自動車の車両重量 1kg あたりの電費を求め、電気自動車の各種車両の車両重量との積をとり電費を設定する。

現在詳細な車両情報が公開されている小型電気自動車のスペックと、「リチウムイオン電池を搭載した小型電気バスの実走行試験」⁽⁴⁾の通勤バス走行実験結果の車両重量・電費・車両重量 1kg あたりの電費を表 3 に示す。なお、小型電気バスについては大人 5 人が乗車した際の電費を測定しているので、大人 1 人あたり 55kg をバスの車両重量に上乗せする。

表 3 電気自動車の車両重量あたりの電費

車種	i-MiEV	プラグインステラ	小型電気バス
電費 [Wh/km]	125	105	410
車両重量 [kg]	1,100	1,010	4,395 (4,120)
車重 1kg 当たりの電費 [Wh/(km・kg)]	0.1136	0.1039	0.0932

(注)カッコ内の数値は乗員を除いた車両重量を示す

出典：三菱自動車工業株式会社 i-miev 主要諸元⁽⁵⁾、富士重工業株式会社 プラグインステラ 主要諸元⁽⁶⁾

さて、表 3 より車両重量 1kg あたりの電費を概ね 0.100 [Wh/(km・kg)] と設定し、式(1)を用いて各種電気自動車の電費を算出する。

$$\eta = \eta_{\text{weight}} \times \text{Weight} \quad (1)$$

$$\eta_{\text{weight}} = 0.100 \quad (2)$$

η : 電費 [Wh/km]

η_{weight} : 車両重量 1kg あたりの電費
[Wh/(km・kg)]

Weight : 車両重量 [kg]

2.3 普及台数

営業用バスや営業用乗用車の普及台数については自家用車よりも速いペースで電気自動車への置き換えが進むと仮定し、2030 年時点ではその全てが電気自動車に置き換わったものとする。

自家用車の普及台数は次の条件の下で設定する。

- ・ 新車販売台数は 500 万台／年で推移する。
- ・ 2009 年の新車販売台数に占める電気自動車の割合を 0%とする。
- ・ 2009 年から 2020 年までの間は新車販売台数に占める電気自動車の割合は式(3)の 2 次曲線に従い増加する。
- ・ 2021 年から 2030 年までの間は新車販売台数に占める電気自動車の割合は年数に比例し、式(4)に従い増加する。

$$R(y) = \frac{\gamma_{2020}}{(2020 - 2009)^2} (y - 2009)^2 \quad (3)$$

$$R(y) = \frac{\gamma_{2030} - \gamma_{2020}}{2030 - 2020} (y - 2020) + \gamma_{2020} \quad (4)$$

$R(y)$: 新車販売台数に占める電気自動車の割合
 γ_{2020} : 2020 年における新車販売台数に占める電気自動車の割合

γ_{2030} : 2030 年における新車販売台数に占める電気自動車の割合

y : 年

経済産業省が発行する「次世代自動車戦略 2010」⁽⁷⁾によれば、新車販売台数に占める電気自動車の割合は表 4 のように予想されている。

表 4 新車販売台数に占める電気自動車の割合予想

	2020年	2030年
民間努力最低ケース	5%	10%
民間努力最大ケース	10%	20%
政府目標最大ケース	20%	30%

2010 年現在での自動車メーカーの生産計画などを考慮すると、最も適当なモデルは民間努力最大ケースであると判断し、式(3)、(4)より自家用乗用車類の台数を 980 万台と設定する。なお、普及台数の推移は図 1 に示すとおりである。

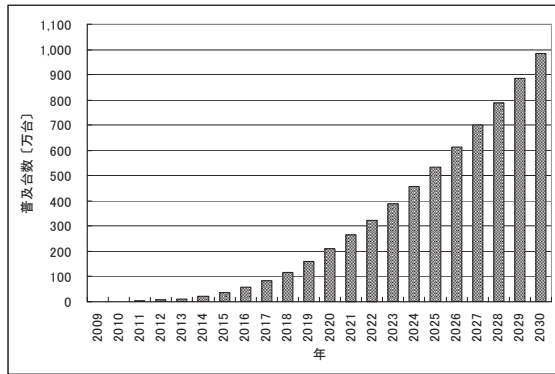


図 1 電気自動車(自家用乗用車類)の普及台数

2.4 1 時間あたりの充電電力

電気自動車の充電には急速充電器と家庭用充電器が利用され、それぞれ表 5 に示す出力のものが実用化されている。限られた時間内に充電を完了する必要がある大型バス・中型バスは出力 50kW、小型バスは出力 30kW の急速充電器により充電され、営業用乗用車・自家用乗用車類に関しては一般に利用しやすい 200V-15A、出力 3kW の家庭用充電器により充電されると仮定する。

表 5 電気自動車用充電器出力

	急速充電器		家庭用充電器
出力 [kW]	50	30	20
			3.0

3. 負荷曲線導出式および導出方法

3.1 負荷曲線導出式

2 章にて設定した電費などの各項目に加え、本章

にて導出する充電開始台数の時刻別分布と負荷曲線のサンプリング周期 T を与えて、各時刻の需要電力量を算出し負荷曲線を導出する。

まず、電気自動車の 1 日あたりの充電時間を式(5)に定める。

$$H_d = (\eta \cdot D_{AVG} \cdot Day) / P_{ch} \quad (5)$$

H_d : 電気自動車の 1 日あたりの充電時間 [h]

P_{ch} : 充電器出力 [W]

Day : 電気自動車の充電間隔 [Day]

D_{AVG} : 実働 1 日 1 車あたりの平均走行キロ [km]

電気自動車の充電パターンに相当する、充電開始台数の時刻別分布を $g_h (h=0, T, 2T, \dots, 24-T)$ のように表記し、条件を式(6)、(7)により与える。

$$\sum_{0 \leq j \leq 24/T} g_{jT} = 1 \quad (6)$$

$$0 \leq g_h \leq 1 \quad (7)$$

すると、ある時刻 h の時点で充電状態にある電気自動車の台数の割合 $f(h)$ は式(8)より与えられる。ただし、式(8)において n は H_d/T を整数に近似したものとする。

$$f(h) = \begin{cases} \sum_{i=0}^{n-1} g_{h-iT} & (h \geq H_d - T) \\ \left(\sum_{0 \leq i \leq h/T} g_{h-iT} + \sum_{h/T < i \leq n-1} g_{h-iT+24} \right) & (h < H_d - T) \end{cases} \quad (8)$$

$f(h)$: ある時刻 h の時点で充電状態にある電気自動車の台数の割合

ここで、ある時刻 h の時点で充電状態にある電気自動車の台数 $f(h)$ より、ある時刻 h の時点での電気自動車の充電による電力需要 $P_{hd}(h)$ が式(9)より求まる。そこで、サンプリング周期 $T=1$ とした時刻を表す変数 $t (t=0, 1, 2, \dots, 23)$ を導入すると、ある時刻 t での平準化前の需要電力量 $P_{demand}(t)$ に、時刻 t から $t+1-T$ の間の電気自動車による消費電力量を加えることで式(10)から負荷曲線を導出する。

$$P_{hd}(h) = \{T P_{ch} \cdot \alpha N_{ev} f(h)\} / \text{Day} \quad (9)$$

$$L_t = P_{demand}(t) + \sum_{0 \leq m < 1/T} P_{hd}(t+mT) \quad (10)$$

$P_{hd}(h)$: ある時刻 h の時点での電気自動車の充電による需要電力量 [Wh]

α : 実働率

N_{ev} : 電気自動車の台数 [台]

L_t : ある時刻 t における総需要電力量 [Wh]

$P_{demand}(t)$: ある時刻 t での平準化前の需要電力量 [Wh]

3.2 充電パターンの導出

電気自動車を最大限負荷平準化に利用するための最適充電パターンを数理計画法によって求める。この場合、負荷平準化前の需要電力量の最大値 $P_{demand \max}$ と、ある時刻 t における総需要電力量 L_t の差の 2 乗の 1 日の総和をとったものが最小となる充電開始台数の時刻別分布 g_h を求める問題と置くことができるので、目的関数は式(11)で与えられる。

$$\sum_{t=0}^{23} (P_{demand \max} - L_t)^2 \rightarrow \min. \quad (11)$$

$P_{demand \max}$: 負荷平準化前の電力需要の最大値 [Wh]

式(11)により設定された目的関数は、展開して整理することでより単純化することができる。具体的には、式(11)の最小化を議論する際には定数項は無視できることや、電気自動車の総需要電力量が計算により求まることなどを利用して式(11)を整理することで、最終的に目的関数は式(12)となる。

$$2 \sum_{t=0}^{23} \left\{ P_{demand}(t) \sum_{0 \leq m < 1/T} f(t+mT) \right\} + \frac{T P_{ch} \cdot \alpha N_{ev}}{\text{Day}} \sum_{t=0}^{23} \left\{ \sum_{0 \leq m < 1/T} f(t+mT) \right\}^2 \rightarrow \min. \quad (12)$$

式(12)の目的関数は充電開始台数の時刻別分布 $g_0, g_T, g_{2T}, \dots, g_{24-T}$ の関数となっており、充電開始台数の時刻別分布 g_h の条件である式(6), (7)を制約条件に与えて二次計画問題として解くことで負荷平準化に最適な充電開始台数の時刻別分布 g_h を求めることができる。

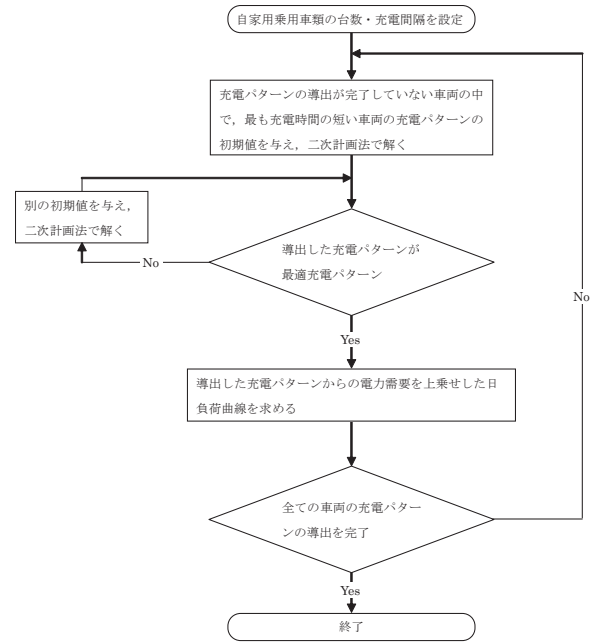


図 2 負荷曲線導出フローチャート

実際の負荷曲線の導出は図 2 に示す流れで行う。つまり、はじめに自家用乗用車種の台数や充電間隔を設定する。そして、式(12)の目的関数と式(6), (7)の制約条件からある車種の充電開始台数の時刻別分布 g_h を求め、その車種の電力需要を上乗せした電力需要 $P'_{demand}(t)$ から、次の車種の充電開始台数の時刻別分布 g_h を求める、という手順を繰り返して最終的な負荷曲線を求める。

4. 結果・考察

4.1 最適充電パターンにおける日負荷曲線導出結果

本研究では、最適充電パターンにおける電力日負荷曲線を導出するために、負荷平準化前の電力日負荷曲線は「電気自動車の交換用蓄電池を用いた太陽光余剰電力対策」⁽⁸⁾ の各季節の電力日負荷曲線を用いて平準化後の電力日負荷曲線を導出する。なお、営業用車両はその走行距離の長さから毎日充電をすることを前提とし、自家用乗用車種のみ充電間隔を 1～5 日の範囲で変化させる。

最適充電パターンにおける夏季ピーク日の日負荷曲線導出結果を図 3 に示す。図 3 より、充電間隔が 1 日、5 日のそれぞれの場合でも電気自動車を負荷平準化に寄与させることが可能で、充電間隔が短いほど負荷平準化効果が高いことがわかる。

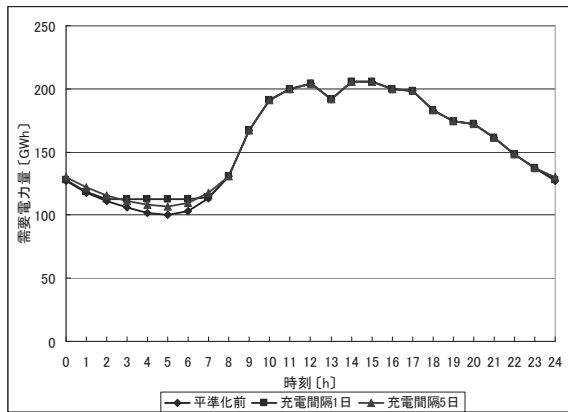


図 3 夏季ピーク日における電力日負荷曲線

4.2 電気自動車の負荷平準化ポテンシャル

電気自動車をもつ負荷平準化のポテンシャルを把握するため、表 1 で設定した普及台数が達成された場合の電気自動車による需要電力量と、2009 年度における揚水式発電所の揚水用電力量を比較したものを図 4 に示す。図 4 より、表 1 の見込まれる普及台数が達成された場合、電気自動車は揚水発電所の 2 倍以上の負荷平準化ポテンシャルを持つことがわかる。用途別車両ごとにみると、営業用車両による総需要電力量は揚水用電力量の約 65% に匹敵し、夜間に運行する台数が限定されるという性質上、そのほとんどを負荷平準化に利用できる可能性が高い。自家用乗用車類については利用形態が個人により異なるためにその電力需要の全てを負荷平準化に利用することは困難であるが、自家用乗用車類の総需要電力量は揚水用電力量の 1.5 倍以上であり、これを利用できれば負荷平準化に大きな効果をあげることができる。仮に、自家用乗用車類のみで揚水発電と同等の効果を得ようとすれば、負荷平準化に必要な電力量を満たすためには自家用乗用車類の普及

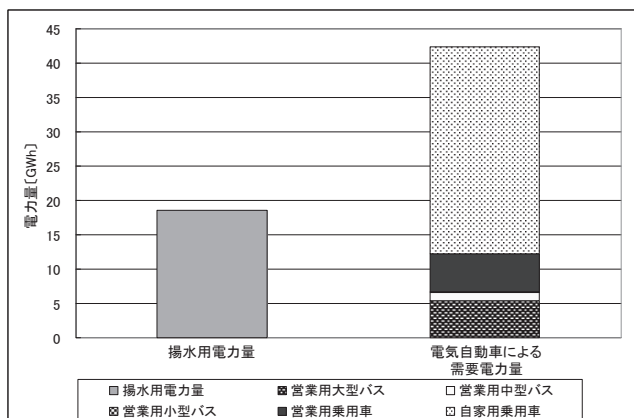


図 4 揚水用電力量と電気自動車の需要電力量比較

台数の 60% にあたる 600 万台分となるが、営業用車両の全てを負荷平準化に利用すると自家用乗用車類は普及台数の 20% にあたる 200 万台分を負荷平準化に利用すればよく、営業用車両と自家用乗用車類を組み合わせることで揚水発電に匹敵、もしくはそれ以上の負荷平準化効果を期待できる。

4.3 平準化率からみた考察

式(13)より平準化率を求め、充電間隔や自家用乗用車類の台数の変化が平準化率に及ぼす影響を考察する。なお、営業用車両はその走行距離の長さから毎日充電するものと仮定し、自家用乗用車類の充電間隔を 1～5 日の間で変化させる。

$$\text{平準化率} = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\Delta_1} \times 100 \quad (13)$$

Δ_1 : 負荷平準化前の負荷の最大値と最小値の差

Δ_2 : 負荷平準化後の負荷の最大値と最小値の差

図 5 は自家用乗用車類の台数を変化させたときの夏季ピーク日の平準化率を示したものである。図 5 より、自家用乗用車の台数の増加に比例して、高い平準化率を達成できるといえる。また、充電間隔が短いほうが高い平準化率を達成でき、充電間隔の変化に比例して平準化率が低くなっていく様子もわかる。

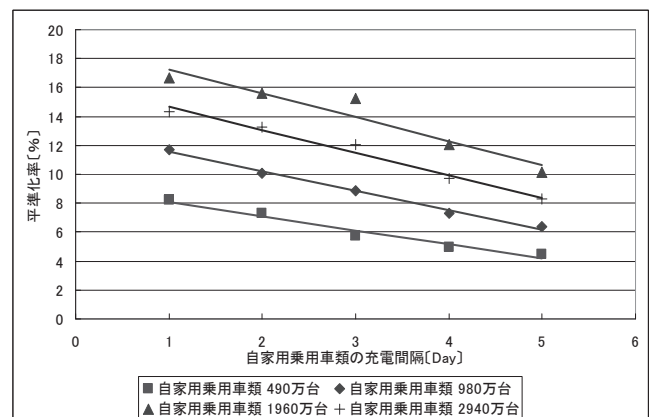


図 5 自家用乗用車類の台数を変化させたときの夏季ピーク日の平準化率

図 6 は自家用乗用車類の台数を 980 万台としたときの季節ごとの平準化率の比較を表したものである。図 6 より、季節や平休日の違いにより平準化率が異なることがわかる。これは、平準化前の負荷曲線の

負荷変動の大きさが影響している．そして，季節が異なる場合においても，図 5 と同様に充電間隔が短いほうが高い平準化率を達成でき，充電間隔が長くなるのに比例して平準化率が低くなるのがわかる．

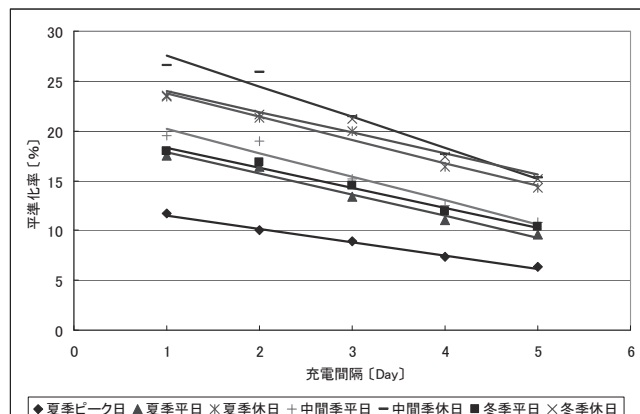


図 6 季節ごとの平準化率比較

さらに，自家用乗用車類の台数を変化させた際の図 6 の直線の傾きの変化を，充電間隔の変化に対する平準化率の増加率の推移として図 7 に示す．図 7 より，自家用乗用車類の台数が少ないときには台数の増加に伴って充電間隔の変化が平準化率に及ぼす影響が大きくなるが，台数が増加すればするほど充電間隔の変化が平準化率に与える影響は一定となっていくことがわかる．

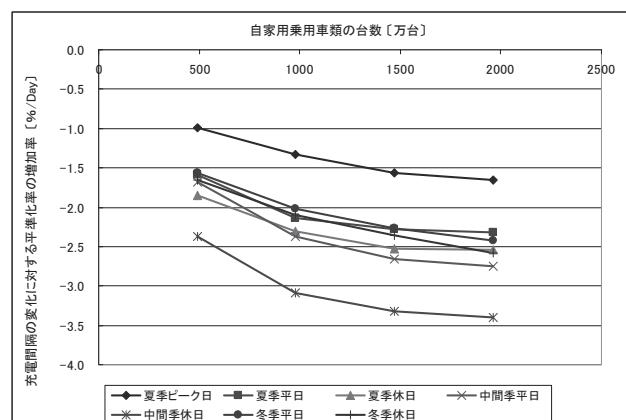


図 7 自家用乗用車類の台数の増加に伴った充電間隔の変化に対する平準化率の増加率の推移

5. まとめ

本研究では，電気自動車の普及による電力需要の増加を考慮した電力日負荷曲線導出手順の定式化を行い，電気自動車を負荷平準化に最大限利用した場合の電力日負荷曲線を導出した．さらに，揚水式発

電所の揚水用電力と比較した電気自動車の負荷平準化ポテンシャルと，条件の変化が平準化率に及ぼす影響について考察した．考察結果を以下に示す．

- (1) 負荷曲線導出結果より，電気自動車を負荷平準化に利用できることが確認された．そして，表 1 の見込まれる普及台数が達成された場合には営業用車両と自家用乗用車類を組み合わせることで揚水式発電所と同等もしくはそれ以上の負荷平準化効果を期待できる．
- (2) 達成可能な平準化率は自家用乗用車類の充電間隔に比例し，自家用乗用車類の台数にも比例する．そのため，高い平準化率を達成するには自家用乗用車類の充電間隔を短くする，もしくは台数を増加させる必要がある．また，自家用乗用車類の台数が少ないときには台数の増加に伴って充電間隔の変化が平準化率に及ぼす影響が大きくなるが，台数が増加してゆくのにしたがって充電間隔の変化が平準化率に及ぼす影響は一定となっていく．

参考文献

- (1) 環境省 2008 年度(平成 20 年度)温室効果ガス排出量(確定値)について:<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2008ghg.pdf>
- (2) 国土交通省 平成 20 年度自動車輸送統計年報:<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/search/pdf/06/06200800a00000.pdf>
- (3) 国土交通省 路線バス・乗合タクシーの車両保有台数規模(推計):<http://www.mlit.go.jp/common/00017063.pdf>
- (4) 元平 茂 森野 弘樹 松本 安弘:“リチウムイオン電池を搭載した小型電気バスの実走行試験”:<http://www.rikuden.co.jp/kenkyu/attach/nenpou042-12.pdf>
- (5) 三菱自動車工業株式会社 i-miev 主要諸元:http://www.ev-life.com/spec/pdf/i-miev_spec.pdf
- (6) 富士重工業株式会社 プラグインステラ 主要諸元:<http://www.fhi.co.jp/envi/plugin/market.html>
- (7) 経済産業省 次世代自動車戦略 2010:<http://www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-3.pdf>
- (8) 高木雅昭, 岩船由美子, 山本博巳, 山地憲治, 岡野邦彦, 日渡良爾, 池谷知彦:“電気自動車の交換用蓄電池を用いた太陽光余剰電力対策”, 電気学会論文誌 B, Vol.130, No.7, p.653, 2010

(平成 23 年 7 月 26 日 受理)

軟体動物二枚貝類閉殻筋における 構造タンパク質トロポミオシンの比較生化学的解析

伊藤篤子*, 宮下麻利恵**, 野口尊生**

Comparative Biochemical Analysis of Tropomyosin Isoforms From Various Bivalves Adductor Muscle.

Atsuko ITOH, Marie MIYASHITA and Takao NOGUCHI

The distribution of tropomyosin isoforms obtained from adductor muscle of six bivalves was investigated by electrophoresis. There were two isoforms in the adductor muscle. In *Barbatia (Savignyarca) virescens* and *Septifer virgatus*, molecular weights of these two tropomyosin isoforms were approximately 42kDa and 39kDa, respectively. In *Septifer bilocularis*, *Pictata martensii*, *Saccostrea kegaki* and *Sondylus cruentus*, two isoforms were same molecular weight, but their electrophoretic mobilities under the SDS-PAGE with urea were different.

(Keywords: bivalves, isoforms, tropomyosin)

1. 緒言

トロポミオシン (Tropomyosin, TM) は、酵母から脊椎動物まで広く真核生物において保存されている構造タンパク質の一つである。その機能は脊椎動物骨格筋において最もよく調べられており、トロポニン複合体 (TN-C, T, I) と共働して、アクチンミオシンの相互作用を Ca^{2+} 依存的に調節する^[3]。

TM には、たとえばヒトでは 20 種類以上^[18]といたった多くのアイソフォームが存在する。これは、もとは一つであった TM 遺伝子が進化の過程で遺伝子重複などを起こして複数となり、さらにこれら遺伝子のスプライシング過程および遺伝子プロモーターの選択過程の多様さに起因する^[22]。近年、様々な疾患において、発症に付随して TM アイソフォームの発現様式が変化するという報告が多くなされるようになってきた。しかし、TM の機能解明は前述の脊椎動物骨格筋以外はほとんど進んでおらず、TM 自体もしくはアイソフォーム毎の機能解析は全くと言って良いほど解明されていないのが現状である。そこで機能の共通性を持つ複数の組織を用い、そこに含まれる TM アイソフォームそれぞれの構造や機能を詳細に比較しながら調べることで、新たな TM の役割や、それらがも

たらす現象について明らかにすることが期待できる。

TM アイソフォームの詳細な分子構造解析は、酵母からヒトにいたるまで主にモデル生物とよばれる生物を中心に多く行われている。旧口動物で最も進化した形態である節足動物門では、ショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* を用いて詳細なトロポミオシンの分子構造解析が行われている^{[1], [2], [7-9], [15]}。一方、進化系統上、前段階に位置する軟体動物門における TM アイソフォーム形成に関する研究は多くはない。軟体動物における分子生物学的解析は、アレルゲンとしての TM 遺伝子のクローニング等が散見されるのみである^{[10], [17]}。

軟体動物においては、二枚貝類を用いて閉殻筋および心筋を中心とした筋肉組織の TM アイソフォームの知見が比較的多く示されている。異歯亜綱のハマグリ、アサリ、ミルガイ^[11]、翼形亜綱のホタテ^[12]、アカガイ、カキ、タイラギ^[5]において複数のアイソフォームが存在することが分かっている。しかし、イガイ閉殻筋においてはアイソフォームは一つしか存在していない^{[5], [14]}。閉殻筋および心筋における知見より、二枚貝類における TM アイソフォームの存在様式は、“目(モク)”依

存的である可能性が示唆されているが^[5]、TM アイソフォームを解析した種数が少なく、結論を導くには至っていない。

軟体動物全般における TM の分子生物学的知見を得ることを最終目標として、今回、我々は、二枚貝類に特徴的な形態である閉殻筋を用いて、翼形亜綱に属する二枚貝の TM アイソフォーム発現様式の種間比較を試みた。

2. 材料

カリガネエガイ

Barbatia (Savignyarca) virescens

クジャクガイ *Septifer bilocularis*

ムラサキインコ *Septifer virgatus*

アコヤガイ *Pictata martensii*

ケガキ *Saccostrea kegaki*

チリボタン *Spondylus cruentus*

ムラサキインコは静岡県下田市鍋田湾に生息するものを筑波大学下田臨海実験センター協力のもと採集した。その他の二枚貝は神奈川県三浦市三崎町油壺湾に生息するものを東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所採集室協力のもと採集し

た。

3. 実験

3.1 閉殻筋組織からの TM 抽出

二枚貝を解剖し、閉殻筋を取りだした。閉殻筋は透明部と白色部に分離し、それぞれ組織重量の 50 倍量のアセトン中で解剖ばさみを用いて細かく刻みながら脱水した。その後、同量のアセトンで 7 回以上洗浄し、風乾したものを組織アセトンパウダーとして用いた。次に内在性タンパク質分解酵素によるタンパク質分解を防止するため^[13]、重量に対して 100 倍量の 5% (w/v) トリクルオロ酢酸(TCA)に組織アセトンパウダーを浸潤させ、室温で 1 時間静置した(TCA 処理)。TCA 処理後、組織アセトンパウダーを中和するためにバルビタールバッファー (0.1M NaCl, 0.035M sodium barbital-HCl (pH8.0))で 3 回洗浄し、次いでアセトンで 5 回以上洗浄して十分脱水し、風乾した。TCA 処理後のアセトン粉末重量に対して、50 倍量の KCl 抽出バッファー (1M KCl, 0.1M KH₂PO₄-KOH (pH7.0), 1% (v/v) メルカプトエタノール)を加え、4℃で 14 時間程度静置し、トロ

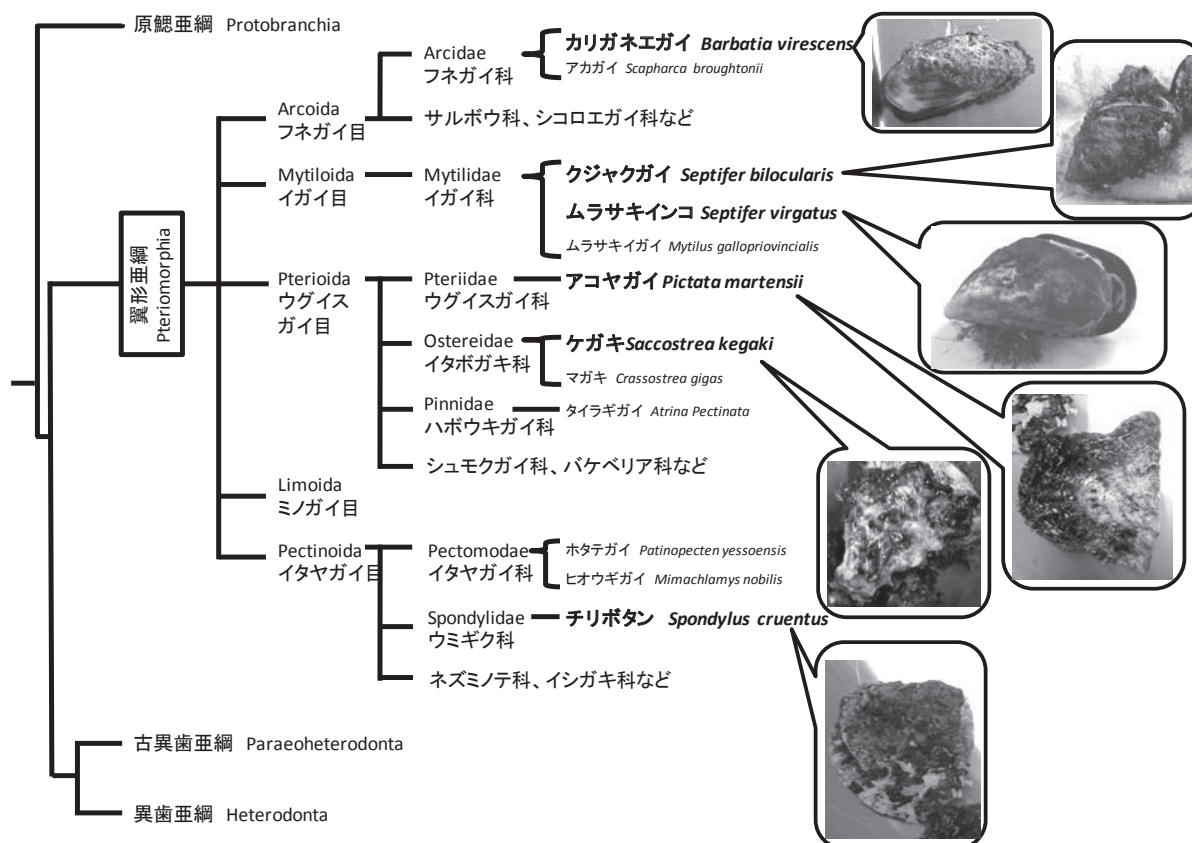


Fig. 1 二枚貝綱翼形亜綱の系統関係 太字が今回用いた二枚貝。その他は既報種。

ポミオシンを抽出した。これを $20,000 \times g$ 4°C で 1 時間遠心し、組織アセトンパウダーを除き上清を得た。上清に含まれるトロポミオシンを等電点沈殿させるために、酢酸で $\text{pH}4.5$ に調整した KCl 抽出バッファーに、この上清を 4°C で透析し、沈殿産物を $20,000 \times g$ 4°C で 1 時間遠心して回収した。回収した等電点沈殿産物を TCA 処理済アセトンパウダー重量の 2 倍(v/w)量の尿素溶液(7M 尿素, 1% (v/v) メルカプトエタノール)に溶かし、この可溶化液を組織からの TM 抽出物として用いた。抽出方法の原法は Fujinoki ら^{[4][5]}の方法を参考に行った。

3.2 Sodium dodecyl sulfate gel electrophoresis (SDS-PAGE)

SDS-PAGE は Laemmli^[16]の方法に従って行った。分離ゲルには 10%(w/v) ポリアクリルアミドと 0.1% (w/v) SDS を含み、尿素変性泳動では、5M 尿素をこれに加えた^[20]。5 倍濃い SDS-PAGE 用サンプルバッファー(0.0625M Tris-HCl ($\text{pH}6.8$), 2% (w/v) SDS, 5% (w/v) 2-メルカプトエタノール, 10% (w/v) グリセリン, 0.01% (w/v) ブロムフェノールブルーと TM 抽出物を体積比 1 : 2 で混合し、 95°C で 5 分間処理をしたものを泳動用サンプルとして用いた。泳動後、クーマシーブリリアン

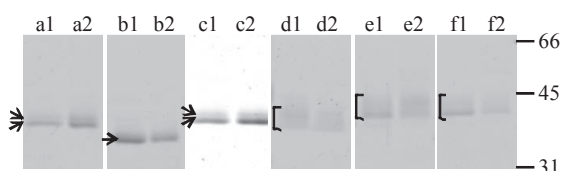


Fig. 2 二枚貝閉殻筋から得られた TM 抽出物の電気泳動による分離

TM 抽出物を分離ゲルに 10%ポリアクリルアミドを含む SDS-PAGE で分離した。カリガネエガイ白色部、クジャクガイ透明部、チリボタン透明部、ケガキは 100 倍に、ムラサキインコは 70 倍に、クジャクガイ白色部、アコヤガイ、チリボタン白色部は 50 倍に、そしてカリガネガイ透明部は 10 倍に泳動用サンプルを SDS-PAGE 用サンプルバッファーで希釈し、それぞれ 10 μl をウェルに添加した。泳動後、CBB 染色を行った。レーン a: カリガネエガイ, b: クジャクガイ, c: ムラサキインコ, d: アコヤガイ, e: ケガキ, f: チリボタン。各レーン 1: 閉殻筋透明部, 2: 白色部。右端の数字は分子量マーカー (kDa)。矢印は明瞭なバンドとして得られた TM、"["はバンドとしては不明瞭な TM。

トブルー(CBB)染色液 (0.1% CBB, 50% エタノール, 10% 酢酸) で染色、または抗トロポミオシン抗血清を用いたウェスタンブロッティングを行って、タンパク質を検出した。

3.3 ウェスタンブロッティング

ウェスタンブロッティングは Towbin^[21]らの方法に従った。SDS-PAGE 後、polyvinylidene fluoride (PVDF) 膜 (Immobilon-P, Millipore 社) にタンパク質を転写した。膜は Tween-phosphate buffered saline (TPBS) (0.2M NaCl, 7.2mM Na_2HPO_4 , 2.8mM NaH_2PO_4 , 0.1% (w/v) Tween-20) で 5% (w/v) にスキムミルクを懸濁したブロッキングバッファーで、室温 1 時間の振とう処理をおこなった。抗ヒオウギガイ *Minachlamys nobilis* トロポミオシン抗血清^[12]をブロッキングバッファーで 10000 倍に希釈し、室温 1 時間の振とう処理でブロッキング処理後の膜を反応させた。TPBS で洗浄後、さらに horseradish-peroxidase が付加されている抗ウサギ IgG 抗体 (和光純薬) をブロッキングバッファーで 10000 倍に希釈し、室温 1 時間の振とう処理で膜を反応させた。抗血清の反応の検出は ECL-Plus ウェスタンブロッティング検出溶液 (GE ヘルスケア) または Luminata Forte (Millipore 社) を用いて行った。

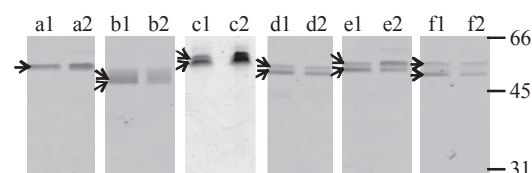


Fig. 3 二枚貝閉殻筋から得られた TM 抽出物の尿素変性電気泳動による分離

TM 抽出物を分離ゲルに 10%ポリアクリルアミドと 5M 尿素を含む SDS-PAGE で分離した。カリガネエガイ白色部、クジャクガイ透明部、チリボタン透明部、ケガキは 100 倍に、ムラサキインコは 70 倍に、クジャクガイ白色部、アコヤガイ、チリボタン白色部は 50 倍に、そしてカリガネガイ透明部は 10 倍に泳動用サンプルを SDS-PAGE 用サンプルバッファーで希釈し、それぞれ 10 μl をウェルに添加した。泳動後、CBB 染色を行った。レーン a: カリガネエガイ, b: クジャクガイ, c: ムラサキインコ, d: アコヤガイ, e: ケガキ, f: チリボタン。各レーン 1: 閉殻筋透明部, 2: 白色部。右端の数字は分子量マーカー (kDa)。矢印は明瞭なバンドとして得られた TM。

4. 結果と考察

4.1 実験材料の系統関係

二枚貝類の分類体系はいまだ定まっていない。Giribet^[6]らの分類体系をもとに佐々木^[19]が作成した系統関係図を引用して、今回用いた実験材料の系統関係を Fig. 1 に示した。この系統関係に基づいて、翼形亜綱の各目に属する種を比較解析した。

4.2 トロポミオシンアイソフォームの検出

閉殻筋は、殻を開閉するために使用する有紋の透明部と、殻を長く閉じたままに維持するキャッチ筋と呼ばれる白色部に分けられる。今回、各二枚貝から閉殻筋の透明部と白色部と透明部を区別し、得た TM 抽出物を SDS-PAGE によって分離した (Fig. 2)。組織からのアセトンパウダーを TCA 処理し、KCl 抽出すると、TM を効率よく選択的に抽出することが可能である^[13]。結果、透明部と白色部ともにカリガネエガイからは分子量約 42kDa の 2 本 (Fig. 2 lanes a)、クジャクガイからは 36kDa の 1 本 (Fig. 2 lanes b)、ムラサキインコガイからは約 39kDa (Fig. 2 lanes c) の 2 本の TM とみられるタンパク質のバンドを検出した。ところが、アコヤガイ、ケガキ、チリボタンは分子量がそれぞれ約 37 kDa (Fig. 2 lanes d)、42 kDa (Fig. 2 lanes e)、43kDa (Fig. 2 lanes f) のスミアなタンパク質のバンドを検出した。

TM には、SDS-PAGE の際に 5M 尿素を加えた

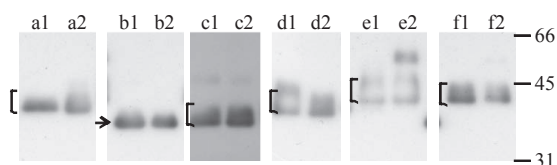


Fig. 4 二枚貝閉殻筋から得られた TM 抽出物を SDS-PAGE 分離したもののウェスタンブロット

TM 抽出物を分離ゲルに 10%ポリアクリルアミドを含む SDS-PAGE で分離した。抗ヒオウギガイ TM 抗血清を用いてウェスタンブロットを行い、交叉反応を検出した。レーン a: カリガネエガイ, b: クジャクガイ, c: ムラサキインコ, d: アコヤガイ, e: ケガキ, f: チリボタン。各レーン 1: 閉殻筋透明部, 2: 白色部。右端の数字は分子量マーカー (kDa)。矢印および「|」は抗血清と交叉反応を示して得られたシグナル。矢印は明瞭なバンドとして得られたシグナル、「|」はバンドとしては不明瞭なシグナルを示す。

尿素変性泳動を行うと、電気的移動度が遅れるという性質がある^[20]。Fig. 2 において検出された TM と思われるタンパク質が TM であることを確認するため、尿素変性 SDS-PAGE を行った (Fig. 3)。その結果、Fig. 2 において検出された TM と思われるタンパク質はすべて電気的移動度が遅れ、これらのタンパク質が TM である可能性が強く示唆された (Fig. 3)。尿素を加えていない SDS-PAGE で 2 本のバンドが検出されていたカリガネエガイでは、尿素を加えることで検出されるタンパク質が 1 本のバンドになった (Fig. 3 lanes a)。これは、尿素を加えたことによる移動度の遅れの大きさの違いにより、2 本のバンドが重なってしまい、1 本に見えていると考えられる。クジャクガイでは尿素を加えていない SDS-PAGE では 1 本であったバンドが、尿素を加えた事により 2 本のバンドに分離し、スミアが見られた (Fig. 3 lanes b)。ムラサキインコでは、尿素を加えていない SDS-PAGE と同様、2 本のバンドが検出された (Fig. 3 lanes c)。一方、尿素を加えていない泳動ではスミアなバンドが検出されたアコヤガイ、ケガキ、チリボタンは、いずれも明瞭な 2 本のバンドとして TM アイソフォームを分離・検出することができた (Fig. 3 lanes d~f)。

次に、SDS-PAGE によって得られた TM アイソフォームと考えられるタンパク質と、抗ヒオウギガイトロポミオシン抗血清との交叉反応を確認した。カリガネエガイでは、SDS-PAGE において 2 本のバンドとして検出された TM は、ウェスタ

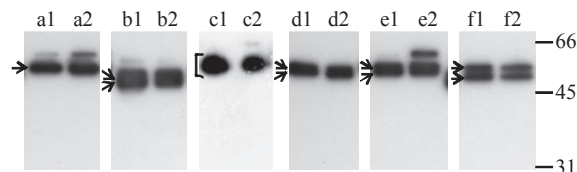


Fig. 5 二枚貝閉殻筋から得られた TM 抽出物を尿素変性 SDS-PAGE 分離したもののウェスタンブロット

TM 抽出物を分離ゲルに 10%ポリアクリルアミドと 5M 尿素を含む SDS-PAGE で分離した。抗ヒオウギガイ TM 抗血清を用いてウェスタンブロットを行い、交叉反応を検出した。レーン a: カリガネエガイ, b: クジャクガイ, c: ムラサキインコ, d: アコヤガイ, e: ケガキ, f: チリボタン。各レーン 1: 閉殻筋透明部, 2: 白色部。右端の数字は分子量マーカー (kDa)。矢印および「|」は抗血清と交叉反応を示して得られたシグナル。矢印は明瞭なバンドとして得られたシグナル、「|」はバンドとしては不明瞭なシグナルを示す。

ンブロットでは区別の難しいスメア状に検出されたが(Fig. 4 lanes a)、尿素変性泳動では1本のバンドとして交差反応が検出された(Fig. 5 lanes a)。クジャクガイでは SDS-PAGE で1本、尿素変性泳動で2本として検出された TM アイソフォームに対して、いずれも対応した交差反応が得られた(Fig. 4, 5 lanes b)。ムラサキインコでは SDS-PAGE、尿素変性泳動とともに2本の TM アイソフォームが得られているが、いずれのウェスタンブロッティングに対しても区別の難しいスメア状の交差反応が得られた(Fig. 4, 5 lanes c)。アコヤガイ、ケガキ、チリボタンでは、SDS-PAGE ではスメア状、尿素変性泳動では2本の TM アイソフォームとみられるバンドが検出されているが、いずれも対応する抗ヒオウギガイ TM 抗血清のシグナルを得ることができた(Fig. 4, 5 lanes d-f)。カリガネエガイの SDS-PAGE と、ムラサキインコの SDS-PAGE と尿素変性泳動では、明確なバンドとして抗ヒオウギガイ抗血清に対する交差反応バンドが得られなかったが、これは互いの分子量が近く、感度に優れたウェスタンブロットでは互いのバンドが重なり合ってしまったためと考えられる。

4.3 二枚貝類翼形亜綱閉殻筋におけるトロポミオシンアイソフォーム存在様式と系統関係に関する考察

Fujinoki ら¹⁵によると、二枚貝において閉殻筋と心筋における TM アイソフォームはイガイを除いて2種類検出され、その存在様式は「目」依存的な傾向を示している。本研究で得られた各目に属する複数の種の比較を行った。

フネガイ目では、カリガネエガイにおいてアイソフォームの区別が不十分であった。既報のアカガイは透明部と白色部に異なる TM アイソフォームがそれぞれ一つずつ存在しているが、カリガネエガイにはいずれの組織にも複数のアイソフォームが存在している可能性が高い。

イガイ目では既報のムラサキイガイの検出 TM アイソフォームが単一であるのに対して、クジャクガイ、ムラサキインコはいずれも複数のアイソフォームが存在する可能性を示した。

ウグイスガイ目では、既報のマガキ、タイラギガイのいずれにおいても分子量の小さい、あるいは

は尿素による電氣的移動度の遅れが小さいアイソフォームの存在が優勢である。今回調べたアコヤガイおよびケガキの透明部は同様の傾向を示したが、ケガキ白色部に関しては電氣的移動度の遅れがより大きいアイソフォームの含量が優勢となり、ケガキ白色部はウグイスガイ目において例外的な傾向を示した。

イタヤガイ目では、既報のホタテガイ、ヒオウギガイはいずれも透明部で分子量の小さい、あるいは尿素による電氣的移動度の遅れが小さいアイソフォームが多く含まれ、白色部では分子量が大きい、あるいは電氣的移動度の遅れがより大きいアイソフォームのみが検出される。しかし、今回調べたチリボタンでは、いずれの組織においても2種類の TM アイソフォームが検出され、電氣的移動度の遅れが小さいアイソフォームが優勢を示した。

以上の結果より、閉殻筋 TM アイソフォームの存在様式は「目」または「科」依存的な存在様式を示す傾向があるが、現地点でウグイスガイ目におけるケガキやイガイ目におけるムラサキイガイといった例外的な傾向を示す種もあり、断定することは困難である。

今回用いた TM アイソフォームの検出方法はいずれも1次元での分離であるため、十分にアイソフォームの分類が検討できたとは言い難い。Fujinoki らは Urea-gel shift 2次元電気泳動や等電点2次元電気泳動を基本手技としてトロポミオシンを解析し、存在様式の分析を行っているので、今後 Urea-gel shift2 次元電気泳動や等電点電気泳動等を行い、既報の結果と比較検討しながら TM アイソフォームの分離・解析を試みる必要がある。さらに、TM 遺伝子配列を明らかにし、遺伝子レベルの比較も行っていくべきである。

謝辞

本研究は、平成 22 年度東京工業高等専門学校重点配分経費の助成を受けたものである。

東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所および筑波大学下田臨海センターの職員の皆様には、材料採集時にたいへんお世話になりました。また、獨協医科大学医学部生理学(生体制御)教室の藤ノ木 政勝 博士には様々なご助言をいただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Basi GS, Boardman M, Storti RV (1984) Alternative splicing of a *Drosophila* tropomyosin gene generates muscle tropomyosin isoforms with different carboxy-terminal ends. *Mol Cell Biol.* 4: 2828-2836
- [2] Basi GS, Stort, RV (1986) Structure and DNA sequence of the tropomyosin I gene from *Drosophila melanogaster*. *J. Biol. Chem.* 261: 817-827
- [3] Ebashi S, Kodama A (1966) Native tropomyosin-like action of troponin on trypsin-treated myosin B. *J. Biochem.* 60: 733-734
- [4] Fujinoki M, Tomiyama T, Ishimoda-Takagi T (2002) Tropomyosin isoforms present in the sea anemone *Anthopleura japonica* (Anthozoa, Cnidaria). *J. Exp. Zool.* 293: 649-663
- [5] Fujinoki M, Ueda M, Inoue T, Yasukawa N, Inoue R, Ishimoda-Takagi T (2006) Heterogeneity and tissue specificity of tropomyosin isoforms from four species of bivalves. *Comp. Biochem. Physiol. B* 143: 500-506
- [6] Giribet G (2008) 6. Bivalvia. In "Phylogeny and Evolution of the Mollusca" Ed by Ponder WF, Lindberg DR, , University of California Press, pp 105-142
- [7] Hanke PD, Lepinske HM, Storti RV (1987) Characterization of a *Drosophila* cDNA clone that encodes a 252-amino acid non-muscle tropomyosin isoform. *J Biol. Chem.* 262: 17370-17373
- [8] Hanke PD, Storti RV (1986) Nucleotide sequence of a cDNA clone encoding a *Drosophila* muscle tropomyosin II isoform. *Gene* 45: 211-214
- [9] Hanke PD, Storti RV (1988) The *Drosophila melanogaster* tropomyosin II gene produces multiple proteins by use of alternative tissue-specific promoters and alternative splicing. *Mol Cell Biol.* 8: 3591-3602
- [10] Inoue A, Ojima T, Nishita K (1999) Cloning and sequencing of cDNA for akazara scallop tropomyosin. *Fish. Sci.* 65: 772-776
- [11] Ishimoda-Takagi T, Kobayashi M (1987) Molecular heterogeneity and tissue specificity of tropomyosin obtain from various bivalves. *Comp. Biochem. Physiol. B* 88: 443-452
- [12] Ishimoda-Takagi T, Kobayashi M, Yaguchi M, (1986) Polymorphism and tissue specificity of scallop tropomyosin. *Comp. Biochem. Physiol. B* 83: 515-521
- [13] Ishimoda-Takagi T, Ozaki S (1983) Effect of trichloroacetic acid on the isolation of tropomyosin from sea urchin lantern muscle. *J. Biochem.* 93: 801-805
- [14] Itoh A, Fujinoki M (2008) Tissue specificity of tropomyosin isoform in the mussel, *Mytilus galloprovincialis*. *J. Electrophor.* 52: 47-52
- [15] Karlik CC, Fyrberg EA (1986) Two *Drosophila melanogaster* tropomyosin genes: structural and functional aspects. *Mol Cell Biol.* 6: 1965-1973
- [16] Laemmli UK (1970) Cleavage of structural proteins during assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227: 680-685
- [17] Leung PSC, Chu KH (2001) cDNA cloning and molecular identification of the major oyster allergen from Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Clin. Exp. Allergy* 31: 1287-1294
- [18] Lin JJ, Eppinga RD Warren KS, McCrae KR. (2008) Human tropomyosin isoforms in the regulation of cytoskeleton functions. *Adv Exp Med Biol.* 644: 201-222
- [19] 佐々木 猛智 (2010) 第1章 軟体動物の系統と分類 In 貝類学, 東京大学出版会, pp1-110
- [20] Sender PM. (1971) Muscle fibrils: solubilization and gel electrophoresis. *FEBS Lett.* 17: 106-110
- [21] Towbin H, Staehelin T, Gordon J (1979) Electrophoretic transfer of protein from polyacrylamide gels to nitrocellulose sheets: Procedure and some applications. *Proc. Natl*

Acad. Sci. USA 76: 4350-4354

[22] Vrhovski B, Thézé N, Thiébaud P (2008)

Structure and evolution of tropomyosin genes.

Adv Exp Med Biol. 644:6-26

(平成 23 年 9 月 20 日 受理)

平成22年度教員教育研究業績

1. 研究論文・著作物(著書・翻訳書等)

一般教育科

技術者倫理授業(専攻科)報告および技術者倫理教育に関する改善意見

(『東京工業高等専門学校研究報告書』42(1)号, 2010.12, pp.1-13)

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・川北晃司, 河村 豊, 浅野敬一, 木村 南, 庄司 良, 黒田一寿

教育専門職の倫理綱領

(『東京工業高等専門学校研究報告書』42(2)号, 2011.3, pp.53-62)・・・・・・・・・・川北晃司

日系三世オニヅカ宇宙飛行士のエピソードに学ぶ工学倫理授業における新企画

(『高専教育』34号, 2011.3, pp.365-370)・・・・・・・・・・・・・・・・・・川北晃司

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

論文集『高専教育』第34号, 2011年3月, pp.853-858)・・・・・・・・・・代表: 竹田恒美, 他16名

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

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011年3月, pp.41-47)・・・・・・・・吉田さち, 竹田恒美

『新撰万葉集』注釈稿(上巻 冬部 九三~九四)

(『東京工業高等専門学校研究報告書』42(1)号 2010.12 pp.1-12)・・・・・・・・津田 潔, 半澤幹一

『新撰万葉集』注釈稿(上巻 冬部 九五~九七)

(『共立女子大学文学部紀要』57集 2011.1 pp.1-26)・・・・・・・・半澤幹一, 津田 潔

『新撰万葉集』注釈稿(上巻 冬部 九八~九九)

(『東京工業高等専門学校研究報告書』42(2)号 2011.3 pp.1-9)・・・・・・・・津田 潔, 半澤幹一

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

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011.3, pp.9-13)・・・・・・・・Hajime NAKAZATO

東京高専の低学年の部活動と成績に関する一考察

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(1)号, 2010, pp.23-28)・・・・・・・・古屋正俊, 和多野大, 半田常之

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—

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011.3, pp.19-40)

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

戦後中小企業政策における組織化政策の始まり—商工協同組合制度の意義と限界

—(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(1)号, 2010.11, pp.13-22)・・・・・・・・浅野敬一

サイズ・面方位の異なるGaN結晶における表面再結合過程

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011.3, pp.15-18)・・・・・・・・尾沼猛儀

Surface recombination of hexagonal GaN crystals

(『Physica Status Solidi (c)』8 (7-8), 2011, pp.2321-2323)

・・・・・・・・Takeyoshi ONUMA, Naoyuki SAKAI, Takashi OKUHATA, Atsushi A. YAMAGUCHI, Tohru HONDA

工業高等専門学校におけるウェブサイトを使った発音学習と学生の感じたその効果

(『工学教育』第58巻(3)号, 2010.5, pp.51-58)・・・・・・・・榎村真由, 青木理沙

機械工学科

ピエゾケーブルを用いた一定繰返し荷重による動ひずみ検出法(第1報 ケーブルからの直接電圧測定法)

(『非破壊検査』, Vol.59・No6, 2010.6, pp.272-276)・・・・・・・・黒崎 茂, 齋藤久嘉, 志村 穂

高分子圧電フィルムを用いたひずみ測定法

(『非破壊検査』, Vol.59・No7, 2010.7, pp.318-323)・・・・・・・・黒崎 茂

応力聴診器によるひずみ分布データからニューラルネットワークを利用した欠陥検出の試み

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(1)号, 2010.11, pp.57-60)・・・・・・・・中川裕斗, 北山光也, 黒崎 茂

ひずみ応答を用いた衝撃荷重同定に関する研究

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011.3, pp.91-94)

・・・・・・・・北山光也, 白倉潤, Tengku Muhammad Idris Al Ariff, 黒崎 茂

水撃ポンプの基本的な幾何学的形状と流体力学的特性との関係(論文No.09-1092)

(『日本機械学会論文集(B編)』76巻767号, 2010-7, pp.1028-1034)

・・・・・・・・斉藤純夫, 永田佳未, 高橋正旭, 井上大士郎, 星野雄基

Relationship between the Basic Geometric Form and Hydrodynamic Characteristics of Water Hammer Pump

(『Journal of Fluid Science and Technology』Vol.5, No.3, 2010, pp.491-502)

・・・・・・・・Sumio Saito, Yoshimi Nagata, Masaaki Takahashi, Diijiro Inoue, Yuki Hoshino

風車用翼型として用いられる2種類の厚翼の流体力学的特性評価と失速制御の一方法

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(1)号, 2010, pp.35-43)・・・・・・・・斉藤純夫, 山科貴裕

水撃ポンプシステムの特性に及ぼす圧力タンク内空気量の影響

(『ターボ機械』第39巻第2号, 2011-2, pp.87-94)・・・・・・・・斉藤純夫, 高橋正旭, 永田佳未

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

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011, pp. 63-76) Sumio Saito, Takahiro Yamashina

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特性の変化と翼周りの流動状態

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011, pp. 77-85) 齊藤純夫, 山科貴裕

紫外線照射環境下における固体潤滑剤のトライボロジー特性評価

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(1)号, 2010.12, pp. 61-66) 福田勝己, 小林光男, 原田 徹

国立東京工業高等専門学校・齊藤先生のe-nuvo IMU-Zで学ぶ9軸モーションセンサ

(ZMPパブリッシング, 東京, 2010, 10) 齊藤浩一

2D spatiotemporal visualization system of expired gaseous ethanol after oral administration for real-time illustrated analysis of alcohol metabolism

(『Talanta』82(3), 2010.8, pp. 892-898)

. Xin Wang, Eri Ando, Daishi Takahashi, Takahiro Arakawa, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Kohji Mitsubayashi

Fluorescence biosensing system with a UV-LED excitation for L-leucine Detection

(『Sensors and Actuators B:Chemical』146(1), 2010.4, pp. 177-182)

. Tomoyuki Koshida, Takahiro Arakawa, Tomoko Gessei, Daishi Takahashi, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Kazuyoshi Yano, Kohji Mitsubayashi

Real-time chemiluminescence visualization system of spacially-distributed exhausted ethanol breath on enzyme immobilized mesh substrate

(『Luminescence』25, 2010.4, pp. 185-187)

. Takahiro Arakawa, Xin Wang, Eri Ando, Hiroyuki Endo, Daishi Takahashi, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Kohji Mitsubayashi

蚊の吸血機構と熟練者技術を取り入れた自動採血法の開発

(『東京工業高等専門学校研究報告書』42(1), 2010.12, pp. 51-55) 齊藤浩一, 安田利貴, 多羅尾進

Prototyping of an Obstacle Detection System for a Mobile Robot

(『東京工業高等専門学校研究報告書』42(1), 2010.12, pp. 45-49)

. Tuukka KORKEA-AHO, John GATES, Michio MURAI, Hirokazu SAITO, Susumu TARAO

内面形状の異なる管内における振動流によるガス輸送

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(1)号, 2010.12, pp. 67-70) 清水昭博, 外崎麗子, 清水優史

頬の動きを用いた操作インターフェイスの試作

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2)号, 2011.3, pp. 87-90) 清水昭博, 鈴木啓佑

Force Display Consisting of a Wheeled Motion Base —Expanding mobility from 3-DOF to 6-DOF—

(『Proceedings of the 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2010)』, December, 2010, pp. 390-395) Susumu Tarao, Hirosugu Kobayashi, Masaya Satoh, Hirokazu Saito

面内荷重下での複数の空孔または剛体介在物を有する等方性弾性問題の解析

(『日本機械学会論文集(A編)』, Vol. 77, No. 774, 2011(2), pp. 251-260)

. 宮川睦巳, 志村 穰, 鈴木拓雄, 田宮高信

波型接合部形状を有する突き合わせ接着継手の引張強度特性 —第2報, 被着体が異種材料の場合—

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 第42(1), 2011(1), pp. 71-76) 上野恭弘, 志村 穰, 黒崎 茂

波型突き合わせ接着継手の力学特性に関する解析的検討

(『東京工業高等専門学校研究報告書』, 第42(1)号, 2011(1), pp. 77-82,) 米満駿介, 志村 穰, 黒崎 茂

異種材料の被着体を有する波型突き合わせ接着継手の引張強度特性

(『材料試験技術』, Vol. 55, No. 3, 2011(7), pp. 115-121) 志村 穰, 上野恭弘, 黒崎 茂, 宮川睦巳

電気工学科

地熱資源利用による潜在発電量の推定

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42（1）号, 2010.12, pp. 83-89) 土井 淳, 菊池 慶

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

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42（2）号, 2011.3, pp. 109-114) 橋本拓郎, 土井 淳

電験3種 計算問題 重点マスター

(リックテレコム, 2011.3) 佐藤勝雄, 土井 淳, 伊庭健二

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

(東京工業高等専門学校研究報告書, 第42(2)号, 2011年3月, pp. 105-108) 新國広幸, 大河正志

電子工学科

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

(『論文集「高専教育」』第34号, 2011.03, pp. 853-858)

. . . 竹田恒美, 浅野敬一, 河村 豊, 鈴木智之, 関根紳太郎, 船戸美智子, 木村 南, 志村 穰, 玉田耕治, 木村知彦,

青木宏之, 大塚友彦, 小嶋徹也, 西村 亮, 城石英伸, 佐々木桂一, 吉田さち

Singular Candidate Method: Improvement of Extended Relational Graph Method for Reliable Detection of Fingerprint Singularity

(『IEICE Transactions on Information and Systems』 vol. E93-D, no.7, 2010.07, pp. 1788-1797)

.....Tomohiko Ohtsuka, D. Watanabe

New Reliable Iris Segmentation by Reduction of Non-Iris Region

(『Proceedings of the Fourth International Workshop on Image Media Quality and its Applications(IMQA2010)』, 2010.05, pp. 121-124)Jun Kumai, Saki Takagi, Tomohiko Ohtsuka

情報工学科

プログラミング演習課題の収集検査およびコメント発信システム

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(1)号, 2010.12, pp.97-102)小坂敏文, 吉本定伸, 松林勝志

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

(『東京工業高等専門学校研究報告書』第42(2), 3・2011, pp.131-135)土居信数, 滝澤尚也

民間企業と連携したIT共同教育プロジェクト

(平成22年度全国高専教育フォーラム・教育教員研究集会, pp495-499, 2010.8)

.....松林勝志, 小嶋徹也, 長尾和彦, 金寺登, 山崎誠, 桑原裕史, 市坪誠

On Some Properties of a Digital Watermarking Based on Complete Complementary Codes

(『Proceedings of 2010 Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHSP2010)』, October, 2010, pp.498-501)

.....Tetsuya Kojima, Yoshiya Horii, Naoki Ohtani, Thierno Sene

A Blind Digital Fingerprinting Scheme Based on Complete Complementary Codes

(『Proceedings of 2011 Australian Communications Theory Workshop (AusCTW2011)』, January, 2011, pp.1-6)

.....Tetsuya Kojima, Naoki Ohtani, Takahiro Matsumoto, Udaya Paramalli

A Generation Method of an Orthogonal Set of Real-Valued Periodic Orthogonal Sequences from Huffman Sequences

(『Proceedings of 2011 Australian Communications Theory Workshop (AusCTW2011)』, January, 2011, pp.66-70)

.....Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Tetsuya Kojima, Udaya Paramalli

A Generation Method of a ZCZ Set of Real-Valued Periodic Orthogonal Sequences from Huffman Sequences

(『Proceedings of the 2011 2nd International Conference on Innovative Computing and Communication and 2011Asia-Pacific Conference on Information Technology and Ocean Engineering (CICC-ITOE2011)』, vol.2, March, 2011, pp.66-70)Takahiro Matsumoto, Shinya Matsufuji, Tetsuya Kojima, Udaya Paramalli

物質工学科

Observation of optical phonon in palladium hydride using Raman spectroscopy

(Proceedings of the 14th International Conference on Cold Fusion, 2010年12月, PP338-342)

.....Ken-ichi Tsuchiya, Aya Watanabe, Masao Ozaki, Shigeru Sasabe

Development of Thermally-resistant Gold Nanoparticles

(『Transactions of the Materials Research Society of Japan』 35・2, June, 2010, pp.271-274)

.....Yoshitaka TSUCHIDO, Kou YAMADA, Kenji TODORI, Shigeru MACHIDA

Characterization of Polynuclear Complexes Synthesized by Reaction of Lanthanide Oxides with Diethylenetriaminepentaacetic Acid

(『Transactions of the Materials Research Society of Japan』 35・2, June, 2010, pp.351-354)

.....Shoji KUDO, Satoshi SASAKI, Setsuko KUDO, Shigeru MACHIDA

重金属の野菜中への蓄積量の予測手法 -安心・安全な野菜とは-

(『New Food Industry』52・7, 2010年7月, pp.54-60)庄司 良, 長田拓哉, 田中優也

Application and Comparison of two biotic ligand models predicting copper toxicity and accumulation in heavy metal tolerant moss

(『Journal of Water Environment and Technology』8・4, 2010年11月)

.....Hiroki Nakanishi, Ryo Shoji, Misao Itouga, Hitoshi Sakakibara

柿渋めっき皮膜の安定性と金属溶出による毒性

(『Journal of Technology and Education』18, 2011年3月, pp.21-27)庄司 良, 佐藤貴信

ダイコン、キャベツを用いた迅速・簡便な銅蓄積能力の評価法

(『東京工業高等専門学校研究報告書』41・2, 2010年4月, pp.85-88)庄司 良, 田中優也

2. 学会における口頭発表

一般教育科

An observation of the orbit of the origin by the rotation transformation

（東京力学系セミナー-夏期集中セミナー，2010.9）・・・市川裕子

日本人英語学習者の言語産出における統計的プライミング効果—絵描写課題による検討—

（外国語教育メディア学会50周年記念全国研究大会，2010.8，pp.272-277）

・・・蕨内 智， 中西 弘， 泉恵美子， 堀 智子， 杉浦香織， 里井久輝

日本人英語学習者の単語における聴覚性プライミング効果の検討

（第24回日本音学会全国大会，2010.10，pp.109-112）

・・・杉浦香織， 堀 智子， 里井久輝， 蕨内 智

Surface recombination of hexagonal GaN crystals

（International Workshop on Nitride Semiconductors 2010 (IWN2010)，2010.9）

・・・Naoyuki SAKAI, Takashi OKUHATA, Takeyoshi ONUMA, Atsushi A. YAMAGUCHI, Tohru HONDA

Surface recombination mechanism in hexagonal GaN crystals

（The 9th International Symposium on Advanced Technology (ISAT9)，2010.11）

・・・Naoyuki SAKAI, Takeyoshi ONUMA, Takashi OKUHATA, Atsushi A. YAMAGUCHI, Tohru HONDA

極性・非極性(Al, In, Ga)N混晶薄膜における振動子強度の歪依存性

（春季応用物理学会，2011.3）・・・尾沼猛儀， 羽豆耕治， 秩父重英

Upper bounds on Large deviations for some partially hyperbolic diffeomorphisms

（Dynamics of complex systems，2011 - 時間発展の非可逆性と予測可能性の限界に関する諸分野からの提言 -，北海道大学(3月9日・2011年)・・・波止元 仁

機械工学科

アラミド繊維で縫製強化したCFRP板材の試作

（第54回日本学術会議材料工学連合講演論文集，2010.10，pp195-196）・・・木村 南， 堀之内翔馬

ハイブリッドCFRPパイプの試作

（第54回日本学術会議材料工学連合講演論文集，2010.10，pp197-198）・・・木村 南， 佐藤正樹

深絞りを利用したシームレス炭素繊維強化プラスチック管材の試作

（第54回日本学術会議材料工学連合講演論文集，2010.10，pp199-200）・・・木村 南， 大竹 剛

3Dサンドイッチ構造の試作

（第54回日本学術会議材料工学連合講演論文集，2010.10，pp201-202）・・・木村 南， 高野 駿

CFRPのワイヤカット放電加工条件

（第54回日本学術会議材料工学連合講演論文集，2010.10，pp201-202）・・・木村 南， 鹿窪勇太

CFRPハニカムサンドイッチパネルの曲げ試験

（第54回日本学術会議材料工学連合講演論文集，2010.10，pp327-328）・・・木村 南， 熊澤禎乃

炭素繊維強化プラスチックの穴の補強

（第54回日本学術会議材料工学連合講演論文集，2010.10，pp329-330）・・・木村 南， 三藤智郎

小型卓上スクリープレス機の性能評価

（平成22年度塑性加工春季講演会講演論文集，2010.5，p153-154）・・・木村 南， 鹿窪勇太， 熊澤禎乃， 伊藤國吉

CFRP成形用簡易型技術

（平成22年度塑性加工春季講演会講演論文集，2010.5，p287-288）・・・木村 南

自転車走行時のウェアラブル機器の加速度測定

（2010年度マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集，2010.9）・・・木村 南

分離・解体技術の動向 -web技術データベースの構築その4-

（第61回塑性加工連合講演会講演論文集，2010.10，pp107-108）・・・木村 南

電子機器の分解による機能材料教育の試み

（第61回塑性加工連合講演会講演論文集，2010.10，pp109-110）・・・木村 南

web情報による自動車用途コンポジットの開発動向調査

（第二回自動車用途コンポジットシンポジウム，2010.12，pp3-4）・・・木村 南

3-DCFRPサンドイッチパネル成形品のワイヤカット放電加工

（第二回自動車用途コンポジットシンポジウム，2010.12，pp12-13）・・・木村 南， 鹿窪勇太， 高野 駿

ピエゾケーブルを用いた変位検出センサの試作と性能評価

（日本非破壊検査協会・平成22年度春季大会講演概要集，2010.5，pp.93-96）・・・藤本裕史， 黒崎 茂， 志村 穂

応力聴診器を使用したひずみ分布からニューラルネットワークを利用した欠陥検出の試み

（日本非破壊検査協会・平成22年度春季大会講演概要集，2010.5，pp.85-88）・・・中川裕斗， 黒崎 茂， 北山光也

超高入カインピーダンス接触型表面電位計を利用した高分子圧電フィルムによる静ひずみ測定法

（日本非破壊検査協会・平成22年度春季大会講演概要集，2010.5，pp.85-88）・・・台場美穂， 黒崎 茂

応力聴診器を使用したひずみ分布からニューラルネットワークを利用した欠陥検出の試み

- (日本非破壊検査協会 応力ひずみ測定分科会研究発表会講演概要集, 2010. 5, pp. 89-92)
 中川裕斗, **黒崎 茂**, 北山光也
- ピエゾケーブルを用いた変位検出センサの試作と性能評価**
 (日本機械学会M&M2011材料力学コンファレンス, ポスターセッション, 2010. 9) 藤本裕史, **黒崎 茂**, **志村 穂**
- 圧電材料を用いたひずみ検出用センサーの試作**
 (日本機械学会M&M2011材料力学コンファレンス, ポスターセッション, 2010. 9) 熊谷拓補, **黒崎 茂**
- ピエゾケーブルを用いた変位検出センサーの試作と性能評価 第2報 橋梁簡易モデルへの適用**
 (日本非破壊検査協会・第42回応力ひずみ測定と強度評価シンポジウム, 2011. 1, pp. 113-118)
 藤本裕史, **黒崎 茂**, **志村 穂**
- 圧電材料を用いたひずみ検出用センサーの試作**
 (日本非破壊検査協会・第42回応力ひずみ測定と強度評価シンポジウム, 2011. 1, pp. 109-112) 熊谷拓補, **黒崎 茂**
- 高分子圧電フィルムを用いた曲げひずみ測定法**
 (日本非破壊検査協会・第42回応力ひずみ測定と強度評価シンポジウム, 2011. 1, pp. 131-134)
 **黒崎 茂**, 有田克也, 西村大希, ズルファズリ・イクバル, 上原利夫
- ピエゾフィルムを用いたひずみゲージの試作と静ひずみ測定法**
 (日本非破壊検査協会・第42回応力ひずみ測定と強度評価シンポジウム, 2011. 1, pp. 51-56)
 西村大希 **黒崎 茂**, 上原利夫
- ピエゾ(高分子系)フィルムを用いたひずみゲージの試作と静ひずみ測定法**
 (日本機械学会・関東支部第17期総会講演論文集, 2011. 3, pp. 107-108) **黒崎 茂**, 西村大希, 上原利夫
- ピエゾフィルムを用いたひずみの可視化フィルムの試作**
 (日本機械学会・関東支部第17期総会講演論文集, 2011. 3, pp. 109-110) 原亜三都, **黒崎 茂**
- ピエゾフィルムを用いたひずみゲージの試作と静ひずみ測定法**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 166-167) 西村大希, **黒崎 茂**
- ピエゾフィルムを用いた面外曲げ静ひずみ測定法**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 182-183) 有田克也, **黒崎 茂**
- ピエゾフィルムを用いたせん断ひずみ測定法**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 192-193) ズルファズリ イクバル, **黒崎 茂**
- ピエゾケーブルを用いた変位検出センサの試作と性能評価**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 168-169) 藤本裕史, **黒崎 茂**
- ピエゾフィルムを用いたひずみゲージの試作と静ひずみ測定法**
 (日本機械学会・関東学生会第50回学生会卒業研究発表講演会講演前刷集, 2011. 3, pp. 91-92) 西村大希, **黒崎 茂**
- ピエゾフィルムを用いた面外曲げ静ひずみ測定法**
 (日本機械学会・関東学生会第50回学生会卒業研究発表講演会講演前刷集, 2011. 3, pp. 107-108)
 有田克也, **黒崎 茂**
- ピエゾフィルムを用いたせん断ひずみ測定法**
 (日本機械学会・関東学生会第50回学生会卒業研究発表講演会講演前刷集, 2011. 3, pp. 21-22)
 ズルファズリ イクバル, **黒崎 茂**
- ピエゾフィルムを用いたひずみの可視化**
 (日本機械学会・関東学生会第50回学生会卒業研究発表講演会講演前刷集, 2011. 3, pp. 93-94)
 吉田顕大, **黒崎 茂**
- 水撃ポンプシステムの圧力タンク内空気量による特性の変化**
 (第63回ターボ機械協会 総会講演会, 2010. 5, pp. 37-42) **斉藤純夫**, 高橋正旭, 永田佳未
- 風車用翼型における簡易手法によるはく離の制御と流れの挙動**
 (日本機械学会 2010年度年次大会講演論文集(2), 2010. 9, pp. 111-112)
 高橋正旭, 山科貴裕, 山口強太郎, **斉藤純夫**
- 軸流ポンプにおけるキャビテーションの発生状況と壁面圧力変動のウェーブレット解析**
 (日本機械学会 2010年度年次大会講演論文集(2), 2010. 9, pp. 293-294) 土方我久, **斉藤純夫**
- 水撃ポンプの弁室まわりの幾何学的形状因子と性能との関係**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 162-163)
 出島京太, 高橋正旭, 土方我久, **斉藤純夫**
- 風車翼特性と境界層剥離の制御**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 172-173)
 高橋賢羽, 岩村拓哉, 竹下恵一郎, 高橋正旭, **斉藤純夫**
- 簡易的デバイスを用いた風車翼の失速制御**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 174-175)
 竹下恵一郎, 岩村拓哉, 高橋賢羽, 高橋正旭, **斉藤純夫**
- 風車用薄翼および厚翼の翼面粗さが性能に及ぼす影響**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 178-179)
 岩村拓哉, 高橋賢羽, 竹下恵一郎, 高橋正旭, **斉藤純夫**
- 軸流ポンプの最高効率点近傍の流量域でのキャビテーション発生状況と壁面圧力変動のウェーブレット解析**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 180-181) 土方我久, **斉藤純夫**

風車用厚翼における低迎え角領域での翼まわりの流速分布

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 186-187)

..... 高橋正旭, 岩村拓哉, 高橋賢羽, 竹下恵一郎, 齊藤純夫

翼の失速特性に及ぼす翼面状態と簡易デバイスの影響

(第18回関東高専卒業研究発表交流会講演論文集, 2011. 3, No. 102)

..... 竹下恵一郎, 岩村拓哉, 高橋賢羽, 高橋正旭, 齊藤純夫

風車用厚翼における失速前後の翼まわりの流れの挙動

(日本機械学会 関東支部 第17期総会講演会, 講演論文集 No. 119101, 2011. 3, pp. 75-76) 高橋正旭, 齊藤純夫

軸流ポンプにおけるキャビテーションの発生状況とウェーブレット解析

(日本機械学会 関東支部 第17期総会講演会, 講演論文集 No. 119104, 2011. 3, pp. 81-82) 土方我久, 齊藤純夫

風車用翼型の翼面状態が後流分布に及ぼす影響

(日本機械学会 関東学生会第50回学生会卒業研究発表講演会, 講演前刷集 No. 908, 2011. 3, pp. 331-332)

..... 岩村拓哉, 高橋正旭, 高橋賢羽, 竹下恵一郎, 齊藤純夫

簡易的デバイスによる風車翼まわりの流れの制御

(日本機械学会 関東学生会第50回学生会卒業研究発表講演会, 講演前刷集 No. 910, 2011. 3, pp. 335-336)

..... 高橋賢羽, 高橋正旭, 岩村拓哉, 竹下恵一郎, 齊藤純夫

水撃ポンプの弁室構成因子の幾何学的形状と流れの挙動との関係

(日本機械学会関東学生会第50回学生会卒業研究発表講演会, 講演前刷集 No. 912, 2011. 3, pp. 339-340)

..... 出島京太, 高橋正旭, 土方我久, 齊藤純夫

ナノインデンテーション法による多層薄膜のナノ硬さ特性

(日本機械学会 第10回機素潤滑設計部門 部門講演会, 2010, pp. 145-146) 福田勝己, 小林光男, 伊藤拓嗣, 神津友貴

機械を構成する締結要素の強度的使用効率（第2報）

(日本機械学会 第10回機素潤滑設計部門 部門講演会, 2010. 4, pp. 199-200)

..... 小林光男, 八戸英夫, 福田勝己, 後藤芳樹, 丹羽直毅

機械を構成する締結要素の強度的使用効率（第3報）チタン及びアルミ製小ねじの締め付けにおける軸力管理

(日本材料学会第59期学術講演会, 2010. 5, pp. 203-204) 小林光男, 羽部恭介, 福田勝己, 後藤芳樹, 丹羽直毅

圧力円筒ねじ端の荷重分布に及ぼすかみ合いねじ部長さの影響

(日本機械学会 材料力学部門M&M2010 (長岡)) 小林光男, 田中道彦, 福田勝己, 辻 裕一

ナノインデンテーション法による単結晶シリコンのマルテンス硬さに及ぼす結晶方位の影響（第2報）

(第54回 日本学術会議材料工学連合講演会, 2010. 10, pp. 123-124)

..... 福田勝己, 小林光男, 角田 陽, 高畦千翔, 園田雅志

微小領域における摩擦特性（第2報）

(第54回 日本学術会議材料工学連合講演会, 2010. 10, pp. 125-126)

..... 福田勝己, 小林光男, 鈴木健司, 堤 博貴, 石塚康規

波動逆解析による内部欠陥の可視化装置の開発

(第54回 日本学術会議材料工学連合講演会, 2010. 10, pp. 193-194) 福田勝己, 西村良弘, 齋藤直也

ナノインデンテーション法による単結晶シリコンのマルテンス硬さに及ぼす結晶方位の影響

(日本機械学会 北陸信越支部第48期総会・講演会, 2011. 3, pp. 281-282)

..... 福田勝己, 小林光男, 角田 陽, 高畦千翔, 園田雅志

開口合成法による内部欠陥の可視化シミュレーション

(日本機械学会 北陸信越支部第48期総会・講演会, 2011. 3, pp. 285-286)

..... 福田勝己, 西村良弘, 齋藤直也, 岡部卓也

ナノインデンテーション法による単結晶シリコンのマルテンス硬さに及ぼす結晶方位の影響（第2報）

(日本機械学会 関東支部第17期総会講演会, 2011. 3) 福田勝己, 小林光男, 角田 陽, 高畦千翔, 園田雅志

波動逆解析による内部欠陥の可視化システムの構築

(日本機械学会 関東支部第17期総会講演会, 2011. 3) 福田勝己, 西村良弘, 齋藤直也, 岡部卓也

衝撃トルクによるねじの締結挙動特性

(日本機械学会 関東支部第17期総会講演会, 2011. 3) 津川竜一, 小林光男, 鈴木健司, 福田勝己

A computer controlled venepuncture system for blood test

(2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2010.12. pp.16-18, Honolulu, Abst CD-ROM 01-ANYL 636) Hirokazu Saito, Koki Nobetsu, Kohei Nakamizo, Susumu Tarao

Real-time chemiluminescence visualization system of spatially-distributed exhausted ethanol breath on enzyme immobilized mesh substrate Luminescence

(ISBC 2010 16th International Symposium on Bioluminescence and Chemiluminescence, April 19-23, 2010, Lyon) The Journal of Biological and Chemical Luminescence, 25(6), 2010, pp. 185-187

..... Takahiro Arakawa, Xin Wang, Eri Ando, Hiroyuki Endo, Daishi Takahashi, Hiroyuki Kudo, Hirokazu Saito, Kohji Mitsubayashi

後付け可能な福祉車両用電動シートの試作

(ライフサポート学会 第20回フロンティア講演会, 2011年3月5日, 東京, 講演会予稿集, 27)

..... 小島栄美, 多羅尾進, 齊藤浩一

採血訓練用ハプティックデバイスに関する研究

- (ライフサポート学会 第20回フロンティア講演会, 2011年3月5日, 東京, 講演会予稿集, 104)
 佐藤政哉, 香川亮太, 高木寛之, **多羅尾進, 齊藤浩一**
- 近赤外線を用いた自動採血のための静脈探索に関する研究**
 (ライフサポート学会 第20回フロンティア講演会, 2011年3月5日, 東京, 講演会予稿集, 87)
 高木寛之, 香川亮太, 佐藤政哉, 野川雅道, 田中志信, 山越憲一, **齊藤浩一**
- 蚊の口針を模擬した無痛採血針に関する研究**
 (ライフサポート学会 第20回フロンティア講演会, 2011年3月5日, 東京, 講演会予稿集, 93)
 香川亮太, 高木寛之, 佐藤政哉, **角田陽, 齊藤浩一**
- 自動採血のための静脈穿刺システムの研究**
 (ライフサポート学会 第20回フロンティア講演会, 2011年3月5日, 東京, 講演会予稿集, 92) 中溝康平, **齊藤浩一**
- 福祉車両用車載電動シートの制御システム開発**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 212-213)
 小島栄美, **多羅尾進, 齊藤浩一**
- ハプティック技術を応用した穿刺シミュレータの試作**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 200-201)
 佐藤政哉, **多羅尾進, 齊藤浩一**
- 自動採血のための静脈探索の方法に関する研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 196-197) 高木寛之, **齊藤浩一**
- 蚊の口針を模擬した無痛採血針に関する研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 206-207) 香川亮太, **齊藤浩一**
- 自動採血のための静脈穿刺システムの研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 202-203) 中溝康平, **齊藤浩一**
- 焦電センサを用いた静止熱源の位置検出に関する研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 208-209) 大西健吾, **齊藤浩一**
- 汎用性を考慮した福祉車両用電動シートの試作**
 (日本生体医工学会関東支部 若手研究者発表会2010, 2010年11月27日, 東京, 要旨集 p9)
 小島栄美, **多羅尾進, 齊藤浩一**
- 後付け可能な車載電動シートの制御システムの開発**
 (生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2010, 2010年9月18日, 大阪, 講演論文集 p140)
 小島栄美, **多羅尾進, 齊藤浩一**
- 有限長管路内の振動流による換気**
 (日本機械学会 第23回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2011. 1, pp. 555-556)
 秋田谷修, **清水昭博, 清水 優, 菅原路子**
- 三角カムによる間欠振動流中のガス拡散**
 (日本機械学会 第23回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 2011. 1, pp. 553-554)
 松田憲明, **清水昭博, 清水優史, 菅原路子**
- 波型突き合わせ接着継手の接合部最適形状に関する解析的検討**
 (日本機械学会関東支部第17期総会講演会, 2011(3), pp. 5-6) **志村 穰, 加賀見拓磨, 黒崎 茂, 宮川睦巳**
- 面外曲げモーメントを受ける金属—CFRP単純重ね合せ接着継手の強度とFEM応力解析**
 (日本機械学会関東支部第17期総会講演会, 2011(3), pp. 17-18) 小坂典嵩, **志村 穰, 黒崎 茂, 鈴木拓雄**
- 歯付軸締結要素のFEM応力解析に関する研究**
 (日本機械学会関東学生会第50回学生員卒業研究発表講演会, 2011(3), pp. 19-20)
 大塚 仁, **志村 穰, 黒崎 茂, 峯尾一幸**
- FEM応力解析による耐震補強金物部材の力学特性の検討**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010(12), pp. 194-195) 小菅義隆, 峯尾一幸, 宮川睦巳, **志村 穰**
- 金属—CFRP単純重ね合せ接着継手のFEM応力解析**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010(12), pp. 176-177) 小坂典嵩, **黒崎 茂, 鈴木拓雄, 志村 穰**
- 有限要素応力解析による耐震補強金物部材の力学特性評価**
 (日本機械学会関東支部・精密工学会共催山梨講演会, 2010(10), pp. 220-221)
 小菅義隆, **志村 穰, 峯尾一幸, 宮川睦巳**
- 引張荷重を受けるCFRP接着接合体の力学特性**
 (日本機械学会関東支部・精密工学会共催山梨講演会, 2010(10), pp. 150-151)
 小坂典嵩, **志村 穰, 黒崎 茂, 田宮高信**
- 異種材料の被着体を有する波型突き合わせ接着継手の引張強度特性**
 (日本機械学会2010年度年次大会, 2010(9), pp. 253-254) **志村 穰, 上野恭弘, 黒崎 茂, 宮川睦巳**
- コースティックス法を用いた疲労き裂進展の観察**
 (第29回数理科学講演会, 2010(8), pp. 65-66) 高杉 誠, 立川景太, 田宮高信, 鈴木拓雄, 宮川睦巳, **志村 穰**
- 3次元応力場におけるコースティック像のFEMシミュレーション**
 (第29回数理科学講演会, 2010(8), pp. 63-64) 立川景太, 高杉 誠, 田宮高信, 鈴木拓雄, 宮川睦巳, **志村 穰**
- 異種材料の被着体を有する波型突き合わせ接着継手の引張強度特性**
 (第244回材料試験技術シンポジウム, 2010(7)) **志村 穰, 上野恭弘, 黒崎 茂, 宮川睦巳**

UD-CFRP—アルミニウム合金単純重ね合せ接着継手の有限要素応力解析

（日本設計工学会平成22年度春季研究発表講演会，2010（5），pp. 25-26）・・・小坂典嵩，志村 稔，黒崎 茂，鈴木拓雄
引張荷重下における波型突き合わせ接着継手の力学特性

（日本設計工学会平成22年度春季研究発表講演会，2010（5），pp. 23-24）・・・志村 稔，米満駿介，黒崎 茂，宮川睦巳

電気工学科

FILT法による平面回折格子からの電磁波散乱過渡解析

（電子情報通信学会2011年総合大会エレクトロニクス講演論文集1，2011. 3，p. 25）・・・・・・伊藤 彰

閉ループステップ応答データを用いた周波数領域におけるプラントモデル解析

（計測自動制御学会第1回プラントモデリングシンポジウム資料，2010年4月，pp. 25-30）

・・・・・・松井義弘，木村知彦，中野和司

閉ループステップ応答データを用いた機械系の周波数応答推定

（2010年電気学会C部門大会，2010年9月，TC11-2）・・・・・・松井義弘，木村知彦，中野和司

ステップ応答データに基づく周波数領域におけるPID調整

（電気学会研究会資料CT-10，2010年12月，pp. 11-14）・・・・・・合田雄樹，松井義弘

電子ビーム蒸着による層状半導体GaS結晶成長のダイナミックス

（第58回応用物理学会関係連合講演会，2011. 3，pp. 244）・・・・・・伊藤 浩，川又由雄，大山昌憲

炭素電極開離アーク継続時間 — 開離速度約 0.9 m/s の場合の計算値と測定値の比較 —

（電子情報通信学会機構デバイス研究会，2010年12月，pp. 1-4）・・・・・・須原啓一

炭素アーク電圧電流特性に関する一考察

（電子情報通信学会機構デバイス研究会，2011年1月，pp. 1-4）・・・・・・須原啓一

Frequency Domain Analysis of Plant Model Using Closed-Loop Step Response

（SICE Annual Conference 2010 (SICE 2010 in Taiwan) 2010. 8，pp. 2466-2471）

・・・・・・Yoshihiro Matsui, Tomohiko Kimura, Kazushi Nakano

低学年用電気工学実験へのエネルギー・環境テーマの導入～エネルギー・環境に関する体験型一貫教育に向けて～

（2010年 独立行政法人国立高等専門学校機構主催 平成22年度教育教員研究集会 2010. 8. 27，pp. 381-384）

・・・・・・木村知彦，玉田耕治，土井 淳，新國広幸，大貫繁雄

Plant Model Analysis Based on Closed-Loop Step Response Data

（2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control (2010MSC) 2010. 9，pp. 677-682）

・・・・・・Yoshihiro Matsui, Tomohiko Kimura, Kazushi Nakano

ガラス基板光導波型圧力センサにおける共振周波数のダイヤフラム辺比依存性

（電子情報通信学会ソサイエティ大会，2010年9月，C-3-24）・・・・・・新國広幸，大河正志，佐藤 孝

電子工学科

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

（東京工業高等専門学校研究報告書第42（2）号，pp. 115-118，March，2011，pp. 115-118）

・・・・・・大塚友彦，館泉雄治，木村知彦，新國広幸，松岡 敏，新田武父，三谷知世，佐々木桂一

「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

（東京工業高等専門学校研究報告書第42（2）号，2011. 03，pp. 137-140）

・・・・・・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，
 経賀章浩

指紋修復手法の定量的性能評価手法

（第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会，2010. 12，pp. 294-295）・・・・・・吉田一彦，大塚友彦

色相に基づく背景差分法による侵入物体検出手法

（第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会，2010. 12，pp. 296-297）・・・・・・岡田達弘，大塚友彦

テクスチャの位相情報に着目した侵入物体検出手法

（第13回画像の認識・理解シンポジウム（MIRU2010）論文集，2010. 07，pp. 1115-1120）・・・・・・岡田達弘，大塚友彦

COガスセンサ用MoO₃系薄膜の形成

（『10 SASインテリジェントシンポジウム予稿集』2010年11月，p. 70）

・・・・・・山本恭平，千島和憲，一戸隆久，小栗和也，岩瀬満雄

光合成微生物太陽電池の研究

（第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2010. 12，pp. 344-345）・・・・・・堀 駿，林 鮎子，永吉 浩

コンポジット型活性層を有する有機薄膜太陽電池に関する研究

（第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2010. 12，pp. 346-347）・・・・・・新崎晃大，小坂智久，永吉 浩

タングステン触媒による水素ラジカル発生とWSi₂ウィスカー成長

（第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2010. 12，pp. 350-351）・・・・榎原裕章，蝶名林幹也，福田純子，永吉 浩

シリコンのドライ放電加工に関する基礎的研究

（第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2010. 12，pp. 352-353）・・・・・・加嶋重久，園田裕次郎，永吉 浩

W触媒を用いたHラジカルの生成とSiウィスカー成長

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2010.12, pp.354-355) 小島 実, 福田純子, 永吉 浩

表面プラズモン効果による色素増感太陽電池の高効率化に関する研究

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 2010.12, pp356-357) 遠藤綾香, 田中章斗, 深野健斗, 永吉 浩

大規模熱発電システムによるパワーコンディショナの特長

(第7回熱電学会学術講演会 2010.8) 中林竜也, 永吉 浩, 梶川武信

W触媒を用いたHラジカルの生成とSiウィスカー成長

(第71回応用物理学学術講演会 2010.9) 小島 実, 福田純子, Heidi Nordmark, Alexander Ulyashin, 永吉 浩

水素を用いたシリコンのドライ放電加工

(第71回応用物理学学術講演会 2010.9) 加島重久, 園田裕次郎, 永吉 浩

根の表面近傍電位計測に関する基礎研究

(第33回根の研究會 2010.11) 高橋三男, 永吉 浩, 仁木輝緒

Development of 100W High Efficiency MPPT Power Conditioner and Evaluation of TEG System with Battery Load

(29th International conference on Thermoelectronics. 2010.6)

. Hiroshi Nagayoshi, Tatsuya Nakabayashi, Hiroshi Maiwa, Takenobu Kajikawa

DEVELOPMENT OF MPPT POWER CONDITIONER FOR THERMOELECTRIC GENERATOR SYSTEMS

(Renewable Energy Conference 2010 2010.7) Hiroshi Nagayoshi, Takenobu Kajikawa

LOW TEMPERATURE SURFACE PASSIVATION OF SILICON BY USING PERHYDROPOLYSILAZANE AS A SiO₂ SOURCE MATERIAL

(4th international solar energy society Conference. 2010.7) Miho Higano, Hiroshi Nagayoshi

Nano-Silicon Whisker Growth Using HWCVD with Pure Hydrogen as Source Gas

(The 16th International Conference on Crystal Growth. 2010.8)

. Hiroshi Nagayoshi, Heidi Nordmark, Suzuka Nishimura, Kazutaka Terashima, Clain Daniel Marioara,

John Charles Walmsley, Randi Holmestad, Alexander Ulyashin

Dislocation behavior in BP(100) layer on Si(100) grown by MOCVD

(16th International Conference on Crystal Growth. 2010.8)

. Muneyuki Hirai, Suzuka Nishimura, Hiroshi Nagayoshi, Kazutaka Terashima

Growth of shape-controlled CaF₂ crystal with newly assembled crucible

(16th International Conference on Crystal Growth. 2010.8)

. Suzuka Nishimura, Muneyuki Hirai, Hiroshi Nagayoshi, Kazutaka Terashima

Vapor-Solid-Solid Si Nano-Whiskers Growth Using Pure Hydrogen as Source Gas

(HWCVD6 2010.9)

. Hiroshi Nagayoshi, Heidi Nordmark, Suzuka Nishimura, Kazutaka Terashima, Clain Daniel Marioara,

John Charles Walmsley, Randi Holmestad, Alexander Ulyashin

MODIFICATION OF ITO SURFACES BY HYDROGEN RADICALS

(3rd International Symposium on Transparent Conductive Materials. 2010.10)

. Alexander Ulyashin, Hiroshi Nagayoshi, Deanko M Kepaptsoglou, Joachim Moe Graff, Spiros Diplas

情報工学科

自律二輪車の開発にむけた網渡り師型倒立振り子の制御

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp.44-45)

. 山谷幸恵, 小坂敏文, 松林勝志, 吉本定伸

就寝時の頭周辺領域における低周波音に対する能動消音

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp.32-33)

. 木村将義, 小坂敏文, 松林勝志, 吉本定伸

プログラミング実行状態が視覚的にわかるアプリの開発

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp.66-67)

. 眞鍋大樹, 小坂敏文, 松林勝志, 吉本定伸

相互作用型階層強化学習システムのマルチエージェント環境における特性評価

(第20回インテリジェントシステムシンポジウム(FAN2010), Sep. 2010.) 山崎大地, 北越大輔, 鈴木雅人

ネットワーク構造簡略化を用いた確率推論における推論誤差検出

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp.20-21)

. 和歌崎修平, 北越大輔, 鈴木雅人

入試自動採点支援システムにおける採点ミス検出アルゴリズムに関する研究

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp.22-23)

. 大澤翔吾, 鈴木雅人, 北越大輔

手書き数式認識を用いた基礎数学学習支援システムの開発

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp.24-25)

. 山崎泰幸, 鈴木雅人, 北越大輔

授業評価・習熟度関連性モデルを用いた教員の知識発見に基づく指導法改善支援

(第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp.26-27)

- 鏡沼悠太, 北越大輔, 鈴木雅人
- 入試採点支援システムの開発**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 34-35)
 萩原奈央, 鈴木雅人, 北越大輔
- ロボットの行動獲得過程を効果的に提示するデモシステムの開発とその評価に関する研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 36-37)
 丸田拓和, 北越大輔, 鈴木雅人
- 複数ロボットナビゲーション問題の効率化を目的とした強化学習法**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 50-51)
 大坂直人, 北越大輔, 鈴木雅人
- ベイジアンネットの段階的構造学習法における知識利用と計算量に関する研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 54-55)
 西山遥, 北越大輔, 鈴木雅人
- ベイジアンネット混合モデルを用いた方策改善法のマルチエージェント問題への適用**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月4日, pp. 72-73)
- 低速通信回線利用を前提とした文字認識における文字画像処理方式の一検討**
 (東京工業高等専門学校研究報告, 第42(1)号, pp. 103-106, Jan. 2011) 鈴木雅人, 北越大輔
- ConditioningとLoopy-BPを用いた確率的意思決定手法**
 (信学技報NLP2010-148, pp. 135-140, Jan. 2011. 2011年1月25日, 北大) 北越大輔, 和歌崎修平, 鈴木雅人
- 授業評価・習熟度関連性モデルを用いた教員の知識発見に基づく対話型指導法改善支援システム**
 (第61回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST), Mar. 2011. 2011年3月13日, 山口県長門)
 鏡沼悠太, 北越大輔, 鈴木雅人
- エージェントの行動獲得過程を効果的に提示するデモシステムの開発とその評価**
 (第61回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST), Mar. 2011. 2011年3月13日, 山口県長門)
 丸田拓和, 西村亮, 北越大輔, 鈴木雅人
- 仮想ロボットによる掃引作業計画の効率化を目的とした強化学習法**
 (第38回知能システムシンポジウム, Mar. 2011. 2011年3月16日, 神戸大学) 大坂直人, 北越大輔, 鈴木雅人
- 入試採点支援システムにおける手書き文字の特徴量の類似性を用いた採点ミス検出アルゴリズム**
 (第38回知能システムシンポジウム, Mar. 2011. 2011年3月16日, 神戸大学)
 大澤翔吾, 萩原奈央, 鈴木雅人, 北越大輔
- ベイジアンネットの段階的構造学習法における適切なパラメータ設定に関する研究**
 (第38回知能システムシンポジウム, Mar. 2011. 2011年3月16日, 神戸大学) 西山遥, 北越大輔, 鈴木雅人
- ネットワーク構造簡略化を用いた確率推論手法による意思決定支援**
 (第38回知能システムシンポジウム, Mar. 2011. 2011年3月16日, 神戸大学) 和歌崎修平, 北越大輔, 鈴木雅人
- 永字八法に基づく手書き文字認識用辞書の動的構成法**
 (2011年信学総大 D-12-58, Mar, 2011. 2011年3月14日, 東京都市大学) 鈴木雅人, 大久保貴博, 北越大輔
- マルチホップ無線通信におけるメモリを用いたノード識別方式の一検討**
 (電子情報通信学会2011年総合大会講演論文集, 2011. 3, B-5-47, p433) 田中 晶
- 誤り訂正符号を用いた赤外線通信機の研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 28-29) 山田拓馬, 田中 晶, 土居信教
- 携帯電話のBluetoothを用いたマルチホップ無線通信の研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 38-39) 柳原誠広, 田中 晶, 土居信教
- 赤外線中継器の研究**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 40-41) 吉田圭佑, 田中 晶, 土居信教
- 超音波長距離伝送システムの開発**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 86-87) 篠原智哉, 土居信教, 田中 晶
- 超音波を利用した大気の動き観測システムの開発(ソフトウェア)**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 100-101) 大川水緒, 土居信教, 田中 晶
- ZigBeeを利用したセンサネットの構築**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 114-115) 原みさと, 土居信教, 田中 晶
- 小型衛星の地上局の開発**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 142-143) 川名悠太, 土居信教, 田中 晶
- 超音波を利用した大気の動き観測システムの開発(ハードウェア)**
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp. 144-145) 神田雅泰, 土居信教, 田中 晶
- スペクトル拡散通信を用いた長距離無線通信方法の研究**
 (『電子情報通信学会総合大会』, 3・2011, pp. 262-262) 滝澤尚也, 土居信教
- 東京高専における組み込み教育について ―マイスター認定制度による人材育成―**
 (日本電気学会, 研究会資料IIS, 次世代産業システム研究会, 2010(56), pp41-46, 2010. 9) 松林勝志
- 組み込みシステム開発マイスターの育成教育 ―マイスター認定制度による人材育成―**
 (T-Engineフォーラム, 第1回トロン/コピキタス技術研究会, pp1-8, 2010. 6) 松林勝志, 小坂敏文
- 組み込みマイスターの育成教育 ―マイスター・学生教育士の認定制度による学科構成の額を超えた人材育成―**

- (平成22年度大学教育改革プログラム合同フォーラム, ポスター展示会, 2011. 1) **松林勝志**
音声信号とロボット操作信号の記録・再生装置の開発
 (第2会大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp42-43) 田畑愛実, **松林勝志**
アクアポニックスシステムの開発
 (第2会大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp262-263) 松尾 栞, **松林勝志**
Android 携帯端末による電子母子健康手帳の開発
 (第2会大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010. 12, pp30-31) 野部 宏如, **松林勝志**
On Properties of a Digital Watermarking Based on Complete Complementary Codes
 (2010 IEEE International Symposium on Information Theory, Recent Result Poster Session, June, 2010)
 **Tetsuya Kojima**, Yoshiya Horii, Naoki Ohtani, Thierno Sene

物質工学科

- 電解オゾン水生成における界面活性剤の添加効果**
 (日本防菌防黴学会代37回年次大会要旨集, 2010. 9, pp. 155 (2KP-05))
 松石早矢, **北折典之**, 平尾和宏, 宇野雅晴, 錦 善則
導電性ダイヤモンド電極を用いた小型オゾン生成装置の開発 (5)
 (第34回電解技術討論会 講演要旨集, 2010. 11, pp. 81-84)
 松石早矢, **北折典之**, 平尾和宏, 宇野雅晴, 錦 善則
日焼け止めクリームの評価と改良
 (2010年度材料技術研究協会討論会 講演要旨集, 2010. 12, pp. 1-2) 鄭 優莉, **北折典之**, **高橋三男**
ステンレススチール溶接部位のスケール除去剤の開発
 (2010年度材料技術研究協会討論会 講演要旨集, 2010. 12, pp. 1-2) 勝村元美, **北折典之**, **高橋三男**, 佐々木桂一
食塩水の電気分解を利用した効果的な紅茶汚染布の漂白
 (2010年度材料技術研究協会討論会 講演要旨集, 2010. 12, pp. 9-10) 吉岡真由子, **北折典之**, **高橋三男**
導電性ダイヤモンド電極を用いたオゾン水の生成
 (2010年度材料技術研究協会討論会 講演要旨集, 2010. 12, pp. 11-12)
 松石早矢, **北折典之**, 平尾和宏, 錦 善則, 宇野雅晴
Heat generation from the palladium deuteride
 (JCF11, 2010年12, pp. 1-4) **Ken-ichi Tsuchiya**, Hiroshi Arikawa, Masao Ozaki, Shigeru Sasabe
パッシブサンプラーを用いたバイパス全線開通後のNO₂濃度変動の測定
 (第51回大気環境学会, 2010年9, P5) 山田親義, **三谷知世**
高活性ヒ素吸着剤の性能評価
 (第24回日本吸着学会, 2010年11月, p66) 江山誉昭, **三谷知世**, 柳田友隆, 江耀宗
細胞性粘菌を用いたバイオアッセイ法
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月, p222) 田村啓介, **三谷知世**
アワビの陸上人工養殖におけるリン酸除去に関する研究
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月, p272) 畠 源英, **三谷知世**
キャンパスにおける緬羊の飼育及びフンの堆肥化、利用法の検討
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月, p306) 若田部緑, **三谷知世**
産業用加湿器における課題解決への提案
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月, p326) 西本将哉, **三谷知世**
高活性ヒ素吸着剤の亜ヒ酸及びヒ酸の吸着機構の解析
 (第13回化学工学会学生発表会, 2011年3月, p57) 真上隆之, 江山誉昭, **三谷知世**, 柳田友隆, 江耀宗
アワビの陸上人工養殖における吸着剤を用いたリン酸除去
 (第13回化学工学会学生発表会, 2011年3月, p67) 畠 源英, 江山誉昭, **三谷知世**, 平間隆之, 峯尾一幸
木炭を用いたアワビの人工養殖における溶出有機物の除去
 (第13回化学工学会学生発表会, 2011年3月, p68)
 黒川 光, 畠 源英, 江山誉昭, **三谷知世**, 平間隆之, 峯尾一幸
水道水中のスケール成分除去に用いられる電極板の腐食
 (第13回化学工学会学生発表会, 2011年3月, p74) 西本将哉, 江山誉昭, **三谷知世**, 牧野誠二, 安藤 磐
産業用加湿器に付加した有害物質除去機能の評価
 (第13回化学工学会学生発表会, 2011年3月, p75)
 磯沼文武, 西本将哉, 江山誉昭, **三谷知世**, 牧野誠二, 安藤 磐
細胞性粘菌の形態変化を用いた毒性評価の検討
 (第13回化学工学会学生発表会, 2011年3月, p83) 田村啓介, 江山誉昭, **三谷知世**
キャンパスにおける緬羊の飼育及びフンの利用法の確立
 (第13回化学工学会学生発表会, 2011年3月, p84) 若田部緑, 江山誉昭, **三谷知世**
Development of the Biotic Ligand Models (BLMs) Predicting Copper Toxicity and Accumulation in Heavy Metal Tolerant Moss (*Funaria hygrometrica* Hedow.)
 (WET 2010 Water and Environment Technology Conference, 2010年6月、25-2B-04, pp. 26)

- Hiroki Nakanishi, Ryo Shoji, Misao Itouga, Hitoshi Sakakibara
Analysis of Ammonia Toxicity in Landfill Leachates
 (WET 2010 Water and Environment Technology Conference, 2010年6月, 26-1B-04, pp. 40)
 Takuya Osada, Keisuke Nemoto, Hitoki Nakanishi, Ayumi Hatano, Ryo Shoji, Tomohiro Naruoka, Masato Yamada
Assessment of Toxicity of Pesticides to *Artemia salina* Changing in Ionic Strength of Estuarine Water
 (WET 2010 Water and Environment Technology Conference, 2010年6月, 26-1B-02, pp. 39)
 Yordmany Somphou, Takashi Sekine, Ryo Shoji
Improvement of the Biotic ligand model by prediction of stability constant
 (17th Asian Symposium on Ecotechnology, 2010年11月, 0-18) HOSODA Satomi, SHOJI Ryo
Metal leaching and the acute toxicity of persimmon tannin and chromate plates
 (17th Asian Symposium on Ecotechnology, 2010年11月, 0-20) SATO Takanobu, SHOJI Ryo
Accumulation and adsorption of copper in the callus
 (17th Asian Symposium on Ecotechnology, 2010年11月, 0-21) TANAKA Yuya, SHOJI Ryo
廃燃料電池の環境リスク評価を目的とした触媒重金属の毒性および溶出性の評価
 (平成22年度廃棄物資源循環学会研究討論会, 2010年5月, D01, p. 109) 太田直人, 城石英伸, 庄司 良
廃燃料電池中の触媒重金属の環境毒性評価
 (第21回廃棄物資源循環学会研究発表会, 2010年11月, E2-6) 太田直人, 城石英伸, 庄司 良
キャベツの銅蓄積を定める細胞レベルの銅吸着
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月, pp. 260-261) 田中優也, 庄司 良
6価クロメート代替技術である柿渋めっき表面からの金属溶出による生態毒性の評価
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月, pp. 268-269) 佐藤貴信, 庄司 良
重金属の生物影響を決定する結合定数をニューラルネットワークで予測する試み
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010年12月, pp. 270-271) 細田理美, 太田直人, 庄司 良
カメムシを用いた有機リン系農薬の有害性評価手法の開発
 (第16回高専シンポジウム, 2010年12月, D-13, pp. 123) 小松昇平, 志知涼子, 庄司 良
二枚貝類ムササギガイにおけるトロポミオシンアイソフォームの解析
 (第81回日本動物学会大会, 東京, 2010.09) 伊藤篤子, 藤ノ木政勝

3. その他

(1) 学位取得・学会賞・論文賞

- 日本非破壊検査協会・新進賞 ピエゾケーブルを用いた変位検出センサの試作と性能評価 第2報 橋梁簡易モデルへの適用**
 (第42回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム2011.1) 藤本裕史, 黒崎 茂, 志村 穂
日本非破壊検査協会・新進賞 ピエゾフィルムを用いたひずみゲージの試作と静ひずみ測定法
 (第42回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム2011.1) 西村大希, 黒崎 茂, 上原利夫
第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 優秀賞 風車翼特性と境界層剥離の制御
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010.12)
 高橋賢羽, 岩村拓哉, 竹下恵一郎, 高橋正旭, 齊藤純夫 (指導教官)
平成22年度ライフサポート学会奨励賞 小島栄美, 齊藤浩一 (指導教員)
第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会 優秀賞 福祉車両用車載電動シートの制御システム開発
 (第2回大学コンソーシアム八王子学生発表会, 2010.12)
 小島栄美, 多羅尾進, 齊藤浩一 (指導教員)
日本生活支援工学会「生活支援を目的とした工学技術」高校生/高専生アイデアコンテスト 優秀賞 「犬型散歩ロボット～高齢者の癒しと安全確保～」 佐藤正樹, 齊藤浩一 (指導教員)
電気学会平成22年電子・情報・システム部門技術委員会奨励賞 「ステップ応答データに基づく周波数領域におけるPID調整」
 (電気学会制御研究会資料CT-10, 2010年12月, pp. 11-14) 合田雄樹, 松井義弘
硫酸第一鉄混合・加熱処理火山灰土壌を用いたリン酸除去技術
 (日本水環境学会技術賞, 2010年6月) 江耀宗, 柳田友隆, 三谷知世

(2) 科学研究費補助金（研究実績報告書, 研究成果報告書）等

- 偏光制御による紫外線発光素子応用に向けた非極性面AlInN混晶の基礎研究**
 若手研究(B) 課題番号21760227 (2009年度～2010年度) 尾沼猛儀
試作ピエゾセンサーを用いた道路橋の落橋防止のための構造健全性モニタリング
 基盤研究(C), 課題番号20510165, (2008年～2010年) 黒崎 茂
ピエゾフィルムを用いた接着構造物の破壊予測モニタリングに関する基礎的研究
 科学研究費補助金研究成果報告書, 2010(6), 若手研究(B), 課題番号20710131 (2008年度～2009年度) 志村 穂
データマイニングを用いた日本語構文自己再編モデルによる手書き文章自動認識の研究
 基盤(C)課題番号 22500170 (2010年度～2012年度) 鈴木雅人, 北越大輔, 松本章代

山羊を導入する雑草バイオマス有効利用プロジェクト

科学研究費補助金研究 成果報告書 基盤研究 (C) 課題番号20500794 (2008年～2010年) 三谷知世

(3) 特許等

スペクトル拡散通信システムの受信方法および受信装置 No. 2011-048247 (2011年3月) 土居信数, 滝澤尚也
 ステンレス鋼溶接部のスケール除去剤とスケールの除去方法 出願番号 特願2010-268420 (2010. 12. 1) 北折典之
 水処理装置及び水処理方法 特許公開2010-179283 (2010. 8. 19) 北折典之
 過酸化水素分解触媒及びその保存方法、並びに、過酸化水素の分解方法 特許公開2010-185136 (2010. 8. 26)
 北折典之, 関戸広太, 猿渡 篤, 滝上仁司
 クーラント液、クーラント液の製造方法及び加工方法 特許公開2010-221349 (2010. 10. 7) 北折典之
 加工用潤滑剤、加工用潤滑剤の製造方法及び加工方法 特許公開2010-222479 (2010. 10. 7) 北折典之
 加工用潤滑剤、加工用潤滑剤の製造方法及び加工方法 特許公開2010-222481 (2010. 10. 7) 北折典之

(4) 解説・研究ノート・エッセイ等

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年度高専教育講演論文集』2010年8月, pp. 269-272) 代表: 竹田恒美・他16名

ピエゾケーブルを用いた一定繰返し荷重による動ひずみ検出法について

(『検査技術』, Vol. 16・No. 4, 2011, 4, pp. 20-26) 黒崎 茂, 齋藤久嘉, 志村 穰

The高専@セミコンに初出展して「屋外清掃ロボット」と「振動流による換気」東京工業高等専門学校

(『SEAJ Journal』No. 130, 2011. 1, pp. 18-19) 清水昭博

インターンシップ複線化によるキャリア教育の試み

(『平成22年度関東信越地区国立高等専門学校教員研究集会報告書』9月・2010, pp. 21-22)

. 一戸隆久, 中川 修, 町田 茂

熱電発電パワーマネジメント技術(『熱電学会誌』 2010 NO. 3, 12) 永吉 浩, 眞岩宏司, 梶川武信

東京高専イマジンカップへの挑戦 ―組み込み開発部門参加の記録―

(日本高専学会, 学生の声―学生のページ, Vol115, No. 2, 2010. 7, pp51-52)

. 有賀 雄基, 長田 学, 佐藤 晶則, 宮内 龍之介, (松林勝志)

組み込みマイスター育成教育と国際プロコン「Imagine Cup」

(SEAJ Journal, 日本半導体製造装置協会, 高専研究室紹介, 2010. 11, pp22-25) 松林勝志

組み込み開発人材育成と国際プログラミングコンテスト「イマジンカップ」への挑戦

(文部科学時報, 進化する高専 創造そして実践, 2011. 1, pp70-71) 松林勝志

連載: 高専紀行(第3回)東京工業高等専門学校 (『アロマティックス』第62巻・秋季号, 11・2010, pp. 21-26) 町田 茂

『論語』 子罕篇「歳寒の松」の解釈とその受容について

一般科目 津 田 潔

An Interpretation and Recognition of Saikan-no-Matsu

— the Pine in the Cold Year — in Book Nine of Rongo, the Analects — the Art of Confucius

Kiyoshi TSUDA

The expression of the pine as an evergreen in the ancient Japanese literature has been considered to have derived from the chapter “the Pine in the Cold Year”, which is in Book Nine of the Art of Confucius. However, the author has proved that this expression also has a lot to do with various literature with different content from the chapter.

第一節 はじめに（問題の所在）

『古今和歌集』冬歌の後半部に、

寛平御時后の宮の歌合わせの歌 読人知らず

340 雪降りて年の暮れぬる時にこそつる（ひ）にもみぢぬ松も見えけれ

という歌が収載され、その歌が『新撰万葉集』冬部には、

94 雪降手 年之暮往 時丹許曾 遂緑之 松裳見江芸礼

雪降りて 年の暮れ行く 時にこそ 遂に緑の 松も見えけれ

94 松樹従来蔑雪霜。 松樹もとより従来雪霜を蔑ないがしろにす。寒風扇処独蒼蒼。 寒風扇あふぐ処独り蒼蒼。奈何桑葉先零落。 桑葉の先だちて零落するを奈何いかにせむ。不屑槿花暫有昌。 槿花の暫く昌さかゆること有るを屑もののがすとせず。

という形で収載されている。『新撰万葉集』には、このほかにも『論語』子罕篇の「子曰、歳寒然後知松柏之後彫也。（子曰はく、歳寒にして然る後に松柏の彫（凋）むに後るを知るなり。）」という一節を典拠とするらしい和歌と漢詩の組合せが幾つか存在するので、ここにそれを抜き出してみよう。

80 小竹之葉丹 置自霜裳 独寝留 吾衣許曾 冷増芸礼

80 ささの葉に 置く霜よりも 独り寝る 吾が衣こそ さえ増さりけれ
 玄冬季月景猶寒。 玄冬の季月景猶ほ寒し。

露往霜来被似单。 露往き霜来りて被^{ふすまひとへ}単なるに似たり。
 松柏凋残枝惨冽、 松柏凋残して枝惨冽、
 竹叢変色欲枯殫。 竹叢色を変じて枯れて殫^つきなんとす。

99 歴年砥 色裳不変沼 松之葉丹 宿留雪緒 花砥許曾見咩

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

99 冬来松葉雪斑斑。 冬来りて松葉雪斑斑たり。

素藥非時枝上寛。 素藥時に非ずして枝上に寛^{ゆたけ}し。

山客廻眸猶誤道。 山客眸を廻らして猶ほ誤りて道^いふ、

応斯白鶴未翩翻。 斯れ白鶴の翩翻せざるなるべしと。

110 恋敷丹 侘手魂 迷那者 空敷幹之 名丹哉立南

恋しきに 侘びて魂 迷ひなば 空しきからの 名にや立ちなむ

110 恋情無限匪須勝、 恋情限り無くして勝^{もち}ふるを須^{もち}るにあらず。

生死慇懃尚在胸。 生死慇懃にして尚ほ胸に在り。

君我昔時長契約、 君と我と昔時長く契約せり。

嗤来寒歳柏将松。 嗤^{あざ}けり来たる寒歳の柏と松と。

さて、このように並べてみると明らかに二つの表現が存在していることが分かる。則ち、松柏は冬にも青々として凋むことなどないというもの（九四番、九九番）と、松柏でも、寒い冬には凋むことがあるというものの（八〇番、一一〇番）とである。

九四番歌は、『古今和歌集』三四〇番の形の方が、『論語』子罕篇を意識する事がより明瞭になると思われるが、一一〇番詩の結句は、松柏が寒い冬には凋んでしまうことがあることを念頭に置いたものと見ないと、「嗤」（あざける、嘲笑する）の解釈ができない。

柳瀬喜代志「「つゐにもみぢぬ」・「つゐに緑の」松の歌（『古来風体抄』考―論語受容史の一端―）」（柳瀬喜代志『日中古典文学論考』平成十一年所収）は、『古今集』340番和歌と『新撰万葉集』94番歌の本文の相違に関して、「もみぢぬ松」は論語の古注の解釈から生まれ、「緑の松」の異文は、李嶠『百詠注』の「歳寒終不改」の本文と注に拠るとし、近時の新撰万葉集研究会編『新撰万葉集注釈 卷上（二）』（和泉書院、二〇〇六年）もそれを襲う。

しかし卑見に拠れば、この『論語』子罕篇の著名な一章は、その簡潔な表現と寓意内容との間に懸隔があるために、早くからその解釈には異説があったらしいこと、従って和歌の異文の発生については、簡単にどれに拠るとは言いがたいことを述べようとする。

第二節 古代日本漢詩の用例

それでは、日本の古代詩においてはどうかであったかを見てみる。まず、『懷風藻』(小島注古典大系本)では、

12 中臣大島「詠孤松」詩に「余根堅厚地、貞質指高天」

89 藤原宇合「七言在常陸贈倭判官留在京」序に「然而、歲寒後驗松竹之貞、風生迺解芝蘭之馥」、同詩に「為期不怕風霜蝕、猶似巖心松柏堅」

105 麻田陽春「五言和藤江守詠裨叡山先考之旧禪処柳樹之作」詩に「烟雲万古色、松柏九冬堅」

の四例ほどを指摘できようが、みな寒い冬にあっても凋むことはないと言う解釈で統一されている。『凌雲集』(小島憲之『国風暗黒時代の文学 中(中)』)でも、

32 藤原冬嗣「奉和聖製宿旧宮、応製」詩に「宿殖高松全古節、前栽細菊吐新心」

69 菅原清公「九月九日侍宴神泉苑各賦一物得秋山」詩に「防露古松千載翠、待風危葉九秋紅」

と、同様の解釈であるが、『文華秀麗集』(小島注古典大系本)に至って少し変化が出る。

48 仲科善雄「奉和秋夜書懷之作」詩に「当慶貞松不彫葉、誰論蒲柳望秋遷」(卷中)

121 仲雄王「奉和代神泉古松傷衰歌」詩に「孤松盤屈薛蘿枝、貞節苦寒霜雪知」(卷下)

123 嵯峨天皇「冷然院各賦一物得凋底松」詩に「鬱茂青松生幽澗、經年老大未知霜」(卷下)

善雄と仲雄王の作も明らかに『論語』子罕篇の「後彫」を意識していることが分かるが、嵯峨天皇の作は、「年月を経過した老年の松はまだ霜を知らない」というのは、その松が「鬱茂たる青松」であるからであり、「大寒」の後には「松柏小彫傷」という何晏注(後述)が前提となった表現であるからである。更に『経国集』(小島憲之『国風暗黒時代の文学 下Ⅰ・Ⅱ』)では、

99 小野岑守「五言和藤朝臣春日過前尚書秋公帰病之作」詩に「貞松百尺節、寒竹四時筠」(『経国集』卷一一)

155 滋野貞主「七言秋月夜」詩に「貞筠不變緑窓色、暮柳先疎官路風」(『経国集』卷一三)

158 紀長江「七言奉試賦得秋」詩に「宦渡柳營計応碎、扶風松蓋想無衰」(『経国集』卷一三)

と、元に戻り、『性霊集』や『田氏家集』でも変化がないが、『菅家文章』(川口注古典大系本)では

105 「重依行字和裴大使被訓之什」詩に「寒松不變冒繁霜、面礼何須仮粉光」(『菅家文章』卷二)

143 「近日野州安別駕……予不勝助憂聊依本韻訓」詩に「請抱貞心能報国、寒松不道遂無花」(『菅家文章』卷二)

154 「晚秋二十詠 小松」詩に「小松経幾日、不變旧青々」(『菅家文章』卷二)

373 「賦葉落庭柯空」詩に「囂塵先落柳、絶澗後凋松」(『菅家文章』卷五)

404 「松」詩に「孤松呈勁節、幸許在中庭。久苦寒霜素、猶全細葉青。……」(『菅家文章』卷五)

443 「九日後朝侍朱雀院同賦閑居樂秋水応太上天皇製」序に「嗟乎、節過重陽、殘菊猶含旧氣。心期百歲、老松弥染新青」(『菅家文章』卷六)

449 「九日後朝侍宴朱雀院同賦秋思入寒松応太上天皇製」詩に「霜墮終無黃落地、雲遙早出碧尖峰」(『菅家文章』卷六)

と、全体的には冬にあっても変わらぬ松の姿が描かれるが、373番詩の「後凋松」という語が注目される(これを川口注は「凋みに後るる松」と訓むが、

不適)。というのは、この作はその題下注に「于時諸文人相招、飲于紀学士文亭」とあって、紀長谷雄との関係の中で制作されているからである。その長谷雄の作の中で『論語』子罕篇に関係するのは次の二首であるが、

21 「七言秋日陪左丞相城南水石之亭祝蔵外史大夫七旬之秋応教」詩に「松寒未有霜枝変、鶴老終無雪鬢愁」（『雜言奉和』）

78 「翫禁庭殘菊」詩序に「嵐陰欲暮、契松柏之後凋、秋景早移、嘲芝蘭之先敗」（『和漢朗詠集』九月九日付菊）

と、明らかに二首共に『論語』子罕篇の「後彫」の意味を踏まえた表現となっているのである。ちなみに、78の「後凋」を、『和漢朗詠集』の川口注・大曾根注とも「後に凋まんことを」と訓ずる。

以上のように、『論語』子罕篇の一章を巡っては、松は冬にも青々として常に変わらぬ状態を保持するという解釈と、厳しい寒さの年には松柏も枝葉を傷めるという二つの解釈が存在していることが確認できる。

第三節 六朝詩における受容

以上の様相は、中国の作品においても実証することができる。

試みに、六朝の詩文を瞥見すると、

① 寒歳識凋松、真物知終始。顔衰改革容、仁賢別行士。反讀窈窕成文。士行別賢仁、容華改衰顔。終始知物真、松凋識歳寒。（晋・蘇若蘭「四旁相向横讀而成五言」詩）

② 孟冬十月交、殺盛陰欲終。風烈無勁草、寒甚有凋松。（宋・鮑照「從拜陵登京岷詩」）

③ 但使萬物之後凋、夫何獨知於松柏。（梁・蕭子暉「冬草賦」）

④ 非有松柏後彫之心、蓋闕葵藿傾陽之識。（梁・沈約「脩竹彈甘蕉文」）

という、嚴冬には松も凋むという解釈に基づくものと、

⑤ 不見山上松、隆冬不易故。不見陵澗柏、歳寒守一度。（晋・潘岳「内顧詩二首其二」詩）

⑥ 松柏生玄嶺、鬱為寒林桀。繁葩盛嚴冰、未肯懼白雪。亂世幽重岫、巡生道常潔。（晋・楊羲「右英作」詩）

⑦ 固此苦節、易彼歳寒。霜雪雖厚、松柏丸丸。（宋・王韶之「贈潘綜吳達舉孝廉詩六章其三」詩）

⑧ 衰廢歸丘樊、歳寒見松柏。（宋・湛茂之「歷山草堂應教」詩）

⑨ 果欲結金蘭、但看松柏林。經霜不墮地、歳寒無異心。（梁武帝「子夜四時歌・冬歌四首其三」詩）

⑩ 桃李爾繁華、松柏余本性。（梁・范縝「暮秋答朱記室詩」）

⑪ 寧知霜雪後、獨見松竹心。（梁・江淹「效阮公詩十五首其一」詩）

⑫ 孤生小庭裏、尚表歳寒心。（隋煬帝・楊廣「北鄉古松樹詩」）

などの、いわば常識的な理解に基づく用例が混在する。ちなみに、⑦の表現は、当該文のほか「陟彼景山、松柏丸丸」（毛伝「丸丸、易直也」という、『毛詩』商頌・殷武篇にも基づいていること、説明を要しない。また、④と⑨以下の表現には「心」「本性」という語が付随し始めることも注目される。そして、こうした六朝の詩文を集成して粹をとったものが、言うまでもなく『文選』である。その中から、李善注を中心にした諸注に、『論語』子罕

篇の一章とその関連文の指摘のあるものを列挙してみると以下のとおりである。本文、注共に足利本六臣注により、他は、清胡克家本李善注、『文選集注』を参観した。なお、巻数は六〇巻本のそれ。

① 第四卷・左太冲「蜀都賦」 迎隆冬而不彫

（李善注）孫卿子曰、松柏經隆冬而不彫、蒙霜雪而不變。

② 第八卷・司馬長卿「上林賦」 其南則隆冬生長

（李善注）善曰、孫卿子曰、松柏經隆冬而不彫。

③ 第十卷・潘安仁「西征賦」 勁松彰於歲寒、貞臣見於國危。

（向曰）歲寒而知松柏之堅勁、國乱而見臣之忠貞。（善曰）論語、子曰、歲寒然後知松柏之後凋。

④ 第二十卷・潘安仁「金谷集作詩」 春榮誰不慕、歲寒良獨希。

（李善注）論語曰、歲寒然後知松柏之後凋。

⑤ 第二十一卷・何敬祖「遊仙詩」 青青陵上松、亭亭高山柏。光色冬夏茂、根柢無彫落。

（李善注）莊子曰、受命於地、唯松柏獨在、冬夏青青。焦貢易林曰、溫山松柏、常茂不凋落。

⑥ 第二十二卷・左太冲「招隱詩二首其二」 悄悄青葱間、竹柏得其真。

（李善注）孫卿子曰、桃李椿榮於一時、時至而後殺。至於松柏、經隆冬而不彫、蒙霜雪而不變、可謂得其真矣。

⑦ 第二十二卷・殷仲文「南州桓公九井作」 歲寒無早秀、浮榮甘夙殞。何以標貞脆、薄言寄松菌。

（李善注）論語、子曰、歲寒然後知松柏之後凋。

⑧ 第二十三卷・歐陽堅石「臨終詩」 松柏隆冬悴、然後知歲寒。

（銑曰）言歲寒能瘁松柏、時乱則害忠良。（善曰）孫卿子曰、松柏經冬而不彫。論語、子曰、歲寒然後知松柏之後彫也。

⑨ 第二十三卷・劉公幹「贈從弟三首其二」 亭亭山上松、瑟瑟谷中風。風聲一何盛、松枝一何勁。冰霜正慘愴、終歲常端正。豈不羅凝寒、松柏有本性。

（翰曰）人心堅貞亦當如此、終世不改易。（善曰）莊子曰、天寒既至、雪霜將降、吾是以知松柏之茂也。

⑩ 第二十六卷・顏延年「直東宮答鄭尚書」 惜無丘園秀、景行彼高松。

（李善注）高松、喻守節而不移也。論語、子曰、歲寒然後知松柏之後彫也。

⑪ 第二十九卷・「古詩十九首其三」 青青陵上柏、磊磊澗中石。

（李善注）言長存也。莊子、仲尼曰、受命於地、唯松柏獨也。在冬夏常青青。

⑫ 第五十五卷・劉孝標「廣絕交論」 風雨急而不輟其音、霜雪零而不渝其色。斯賢達之素交、歷萬古而一遇。

（李善注）莊子曰、天寒既至、霜雪既降、吾是以知松柏之茂也。

⑬ 第五十五卷・陸士衡「演連珠五十首其五十」 臣聞足於性者、天損不能入。…勁陰殺節、不凋寒木之心。

（濟曰）此章明貞操之士、時乱不能易其節也。足於性、謂松柏也。天損、謂霜雪也。…喻君子邪乱不能侵其明節。…霜雪不能凋松柏也。（劉

曰）夫冒霜雪而松柏不彫、此由是堅實之性也。

このうち、①②については、松や柏の表現と無関係であるけれども、念のため挙げておく。

さて、これらは基本的に松は冬でも凋むことなく、心も変化しないという表現になっているが、⑧だけが例外になっている。その違いはどこにあるか。それは、松や柏が例外なく賢者・君子の変わらぬ節操の比喩になっているのに対して、⑧のみが、時世の乱れが忠良を害するということを言うために、松柏が凋むことで歳寒を知るという表現をとっていることである。いわば、論語の当該文の裏を言おうとするために、表現も歳寒によって松柏を知るのではなく、その逆の表現をしたものと言えよう。

ともかく、こうしてみると古代日本漢詩の二通りの解釈は、やはり中国六朝詩の傾向を襲ったものであったこと、松柏は常に色を変えないという表現は、六朝時代からあり、それが主流であったことが確認できたわけであった。更に、その典拠となるものも、どうやら『論語』子罕篇の一章だけではないことも判明した。

第四節 論語の注釈について

ところで、当該の『論語』子罕篇の本文と、現存する代表的な注釈を時代を追って書きだそう。テキストは特に断らない限り、邢昺『論語注疏』（北京大学整理本。句読もそれによる）である。

【論語本文】子曰、歳寒然後知松栢之後彫也。

【後漢・鄭玄注】彫、傷也、病也。論（論）賢者雖遭困厄、不改其操行也。（『唐写本論語鄭氏注及其研究』一九九一年、文物出版社）

【魏・何晏注】大寒之歳、衆木皆死、然後知松栢小彫傷。平歳則衆木亦有不死者、故須歳寒而後別之。喻凡人處治世亦能自脩整、與君子同。在濁世然後知君子之正不苟容。

【梁・皇侃注】此欲明君子德性与小人異也。故以松柏匹於君子、衆木偶乎小人矣。言君子小人若同居聖世、君子性本自善、小人服從教化。是君子小人並不為惡。故堯舜之民、比屋可封、如松柏與衆木同處春夏。松柏有心、故本鬱鬱。衆木從時、亦尽其茂美者也。若至無道之主、君子秉性無過、故不為惡、而小人無復忌憚、即隨世變改。故桀紂之民、比屋可誅、譬如松柏衆木同在秋冬。松柏不改柯易葉、衆木枯零先尽。而此云歳寒然後知松柏後彫者。就如平叔之注意、若如平歳之寒、衆木猶有不死、不足致別、如平世之小人、亦有修飾而不變者。唯大寒歳則衆木皆死、大乱則小人悉惡、故云歳寒也。又云然後知松柏後彫者、後非俱時之目、彫非枯死之名。言大寒之後、松柏形小彫衰、而心性猶存、如君子之人。遭值積惡、外逼闇世、不得不遜迹隨時、是小彫矣。而性猶不變、如松柏也。而琳公曰、夫歳寒別木、遭困別士。寒麗霜降、知松柏之後彫、謂異凡木也。遭乱世、小人自變、君子不改其操也。（武内義雄「論語義疏校本」、徐望駕校注『皇侃「論語集解義疏」』も参照）

【北宋・邢昺注】正義曰、此章喻君子也。大寒之歳、衆木皆死、然後知松栢小彫傷。若平歳、則衆木亦有不死者、故須歳寒而後別之。喻凡人處治世亦能自脩整、與君子同。在濁世、然後知君子之正不苟容也。

【南宋・朱熹注】范氏曰、小人之在治世、或与君子無異。惟臨利害、遇事變、然後君子之所守可見也。○謝氏曰、士窮見節義、世乱識忠臣。欲学者必周於德。（新編諸子集成『四書章句集注』中華書局）

さて、こうして見ると、孔子の言葉の真意がどのようなことかということについては、変化がないことが分かる。要するに、小人と違って、賢者・

君子は困難に遭おうとも、その操行を改めることはないということであり、それは鄭玄から朱熹まで一貫している。

この比喩関係を明示しようとしたのが何晏であり、衆木＝小人、松柏＝君子、気温＝時勢という関係を想定し、平年の寒さでは衆木と松柏の区別はハッキリしないこともあるが、大寒の年には、衆木は全て枯れるのに対して、松柏は、少し痛む程度だからその違いが明白になるということと同じ事で、平時であればどんな人でも取り繕って君子と変わらぬように出来るが、乱世の時にこそ、君子の、おべっかを使わない、毅然とした正しさが現れるのだと説明する。

しかし、この説明は少し苦しい。「松柏」が「小彫傷」するのに、同じ比喩関係にあるとする「君子」は、「正不苟容」と言うからである。問題の根源は、孔子の、「松柏」が「後彫(凋)」するという言葉にあることは言うまでもないが、これでは比喩関係の平衡性が保てない。

この何晏注の問題点を解決しようとしたのが、皇侃注である。何晏の解釈に「形」と「心」「性」という概念を挿入した。「松柏」は枝葉が変色したり落ちたりすることはないが、「衆木」は、枯れ死んで先になくなってしまふ(「松柏不改柯易葉、衆木枯零先尽」と述べた後、

平叔(何晏の字)が意を注いだことに着目すれば、普通の歳の寒さであれば、「衆木」でも枯れないものもあり、(松柏と)分かつことができないが、それは、平和な世の中の小人もまた、繕い飾って節操を変えない者がいるのと同じようなものだ。ただ、大寒の歳の方に「衆木」が皆枯れるのであり、大乱の時に小人が悪く悪事を働くのであり、だから、「歳寒」というのだ。更に「歳寒然後知松柏後彫」ということを言えば、「後」というのは、時を同じくすることではなく、「彫」とは、枯れ死ぬと言うことではない。その意味することは、大寒の後、松柏の姿は少し凋み衰えるが、しかし心性はしっかりと存在して、君子の人のようだ。長年の悪事(恨み)に出会い、外部からは暗黒時代が逼って、その場を逃れ、時勢に随わざるを得ない場合が、「小凋」なのだ。しかし心性は不変であること、松柏と同じだ。

と説明する。則ち、歳寒(愚者の治世)の時には、衆木は先に枯れ死んでしまふ(小人は皆悪事を働く)が、松柏だけは少し葉を傷める(君子も時勢に妥協せざるを得ないことがある)だけで、松柏も君子もその心性・本質には全く変化がないと言うのである。恐らくこの皇侃のように解釈して初めて、読者はようやく納得することができる。従って、刑昺注は、何晏注と字面上は全く同じように見えるけれども、その内容上の懸隔は非常に大きいと言うべきである。

柳瀬氏はこの論語の本文の訓に、「松柏の後に凋むことを知る」と「松柏の凋むに後るを知る」という二種があることを指摘して、後者は新注に拠ると言われる。後者の読みを、現代の通行本の解釈のように、「松や柏がまだしばらくまゐっていることが分かる。」と言い、更に「後彫」は、後になって凋むというのではなく、衆木の凋む時にはなお凋まないでいることをいう。(平岡武夫注、全釈漢文大系本、集英社、一九八〇年刊)とわざわざ補説する根拠は、少なくとも新注にはないように思われる。なぜなら、鄭注に既に「賢者雖遭困厄、不改其操行也」とあって朱子の集注の新見ではないからである。

しかし確かに今手元にある二三の活字本を見ると、集注に拠るといふ中村惕斎『論語示蒙句解』(漢籍国字解全書 明治四二年、早稲田大学出版部)の読みは、「子の曰たまはく、歳寒くして然して後に松柏の彫に後ることを知る也」(原漢文)であり、古注を尊重したといわれる安井息軒『論語集説』(漢文大系 明治四二年、富山房)の読みは、「子曰く、歳寒くして、然後に松柏の後に凋むを知る也」(原漢文)となっており、前者は加えて「此章も比の體なり、春夏の間は、諸木みなみどりにして其性のことなる所、みへわかず、歳さむくなりて後、松柏の性、かたきによりて、諸木のしばらくをくれてときはの色あることを知るとぞ、これ小人も治世に居る時は、君子とことならず、見ゆることあれども、只利害にのぞみ、事変にあふに至

りて後、君子の守る所のみさほ、貞固^{ていこ}にして、かはらざること、明に見つべきとの、たとへなり」(傍点筆者)と講述しており、柳瀬氏の言われることももつともと思われるが、ここでは立ち入らない。

第五節 先秦諸子の受容

一方、『論語』および当該の子罕篇の言葉に関しては、早く注目するところとなり、先秦諸子をはじめ諸書に引用されることが少なくないこと、周知の如くである。いま、先に見た『文選』注と清・劉宝楠『論語正義』などを参考に、それを書き出してみる。順序はその作者の通説の生存時期にほぼ従っている。

① 『莊子』徳充符篇

仲尼曰、…受命於地、唯松柏獨也在。在冬夏青青。受命於天、唯舜獨也正。幸能正生以正衆生。

② 『莊子』雜篇讓王

孔子曰、…故内省而不窮於道、臨難而不失其徳。天寒既至、霜雪既降、吾是以知松柏之茂也。

② 『荀子』大略篇

歳不寒、無以知松柏、事不難、無以知君子、無日不在是。

③ 『荀子』逸文

孫卿子曰、桃李萋粲於一時、時至而後殺。至於松柏、經隆冬而不彫、蒙霜雪而不變、可謂得其真。〔『文選』第二十二卷左太冲招隱詩二首其二・李善注所引文〕

④ 『呂氏春秋』孝行覽

大寒既至、霜雪既降、吾是以知松柏之茂也。

⑥ 『淮南子』俶真訓

夫大寒至、霜雪降、然後知松柏之茂也。據難履危、利害陳于前、然後知聖人之不失道也。

⑦ 『史記』伯夷列傳第一

子曰「道不同不相為謀」、亦各從其志也。故曰「富貴如可求、雖執鞭之士、吾亦為之。如不可求、從吾所好」。「歳寒、然後知松柏之後凋」。「四」舉世混濁、清士乃見。〔五〕

〔四〕集解 何晏曰、「大寒之歳、衆木皆死、然後松柏少凋傷。平歳衆木亦有不死者、故須歳寒然後別之。喻凡人處治世、亦能自脩整、與君子同、在濁世然後知君子之正不苟容也。」

〔五〕索隱 老子曰、「國家昏亂、始有忠臣」、是舉代混濁、則士之清絜者乃彰見、故上文「歳寒然後知松柏之後彫」、先為此言張本也。正義 言天下混亂、清絜之士不撓、不苟合於盜跖也。

⑧ 『風俗通』窮通篇

大寒既至、霜雪既降、吾是以知松柏之茂也。

⑨『世説新語』上卷上・言語第二

57 顧悦與簡文同年、而髮蚤白。簡文曰、「卿何以先白。」對曰、「蒲柳之姿、望秋而落。松柏之質、經霜彌茂。」

⑩『世説新語』中卷上・方正第五

2 南陽宗世林、魏武同時、而甚薄其為人、不與之交。及魏武作司空、總朝政、從容問宗曰、「可以交未。」答曰、「松柏之志猶存。」世林既以忤旨見疏、位不配德。文帝兄弟每造其門、皆獨拜牀下、其見禮如此。

以上を見れば、これらが『論語』子罕篇の一章に影響を受けて成っていること、多言を要しないが、注意すべきは、⑦『史記』伯夷列傳を除く全てが、ほぼ例外なく「歳寒」の後であつても、「松柏」が「青々」と「茂」つていっていると云つていことである。あるいは、②や⑤などの表現には、『毛詩』小雅・天保篇の「如月之恆、如日之升。如南山之壽、不騫不崩。如松柏之茂、無不爾或承」という一節の記憶が揺曳しているのかもしれない。

ともかく、時期が早く、思想的には対立的とされる『莊子』と『荀子』双方に於いて、松柏と君子が対応して扱われていることも、『論語』当該文の受容のされ方を、鄭玄注に先んじて示していると言つて良いだろう。

すなわち、後に『論語』本文が定まり、それに対して六朝時代にどのような合理的解釈が付されようととも、一方に於いては『莊子』的な理解が極めて分かりやすいということもあつてか、一般化されていたということを考慮しておく必要があるということである。就中『莊子』の一節は両方とも、孔子自身の言葉として出てくる。「賢者雖遭困厄、不改其操行也」ということを喩えたという鄭玄注の簡潔な一文は、彼独自の解釈というより、当時までのごく一般的な解釈を文字化したものと言つて良いのでは無からうか。

第六節 結語

以上を要するに、『論語』の純粹な解釈の問題ではいざ知らず、作詩の場面においては、『文選』注の仕方にあるように、論語の一章と莊子や荀子の一節が渾然一体となつており、それは当時の詩家達の囊中（脳中）を具現化したものでもあろう。実際の作詩の場に於いては、記憶に頼ることが多く、あるいは『文選』を多く利用することがあつたのではなからうか。

なお、第五節に上げた文章のうち、『藝文類聚』松には、『論語』子罕篇の一章、②『莊子』雜篇讓王の一節、及び『礼記』礼器の「其在人也。如竹箭之有筠也。如松柏之有心也。二者居天下之大端矣。故貫四時而不改柯易葉」の節略文が収載されるが、『初学記』松には、『論語』子罕篇の一章を含めて、松の常緑性を言う文は一切収載されず、永遠性のみが強調される。収載される実作の詩賦にも、冬に松が凋むことを言うものはない。

（平成二十三年九月二十二日受理）

東京工業高等専門学校研究報告書

第 43 (1) 号

平成 23 年度

平成23年12月 5 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.

