Research Reports of Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校



第 44(2) 号

2013.03

東京工業高等専門学校研究報告書 第44(2)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 5:初めてフィンランド語の新聞記事を読むことに関して—	ゲイ	ツ	ジョ	ン	1
弱双曲積構造をもつ可逆写像に対する到達時間分布	波止	元		仁	5
東京高専と呉高専の数学カリキュラム比較	赤	池	祐	次	11
言語文化論 — 「道」に関する考察	関	根	紳太	、郎	17
Q-Uを用いた学級集団の分析(その2)	黒	田	_	寿	27
Microsoft Share Pointを用いた研究室における	Rauno 堤	o RU(OHON 博	IEN 貴	37
写像関数を利用した系統的翼型生成と流体力学的特性の評価	斉山市高岩三児	藤科川橋村原玉	純貴達正拓純和	夫裕也旭哉一也 …	41
各種荷重下における歯付締結要素の力学特性評価	大志峯平黒	塚村尾間崎	一隆	仁 (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)	53
マイクロ領域における摩擦特性(第3報:摩擦形態の遷移過程)	福小鈴 藺繁	田林木田山	勝光健	己 男司 桂 航	59
屋外自律走行ロボットの開発と実証実験	多羅 青	尾木	宏	進 之	65

自転車通行路におけるバリア調査 一多摩川サイクリングロードの場合—	木	村	南	· 71
パワーエレクトロニクス実験の教材開発	綾	野	秀 樹	· 79
フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発	新伊	國藤	広 幸 浩	· 85
反応性スパッタリング法を用いた酸化シリコン膜の基板バイアスの影響	伊川	藤又	浩 由 雄	· 91
ヒューマンインターフェイスとしての視線検出と	舘岡	泉田	雄 治 竜太郎	• 95
ヘテロジニアスマルチホップ移動体無線通信の一検討	田	中	日 田	· 105

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 44 (2) CONTENTS

John Gates	·Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective -Part 5 : Reading a Finnish Newspaper Article for the First Time	1
Jin Натомото	·Hitting time distributions for invertible maps with weak hyperbolic product structure	5
Yuji Akaike	•Curriculums of mathematics in Tokyo and Kure National Colleges of Technology	11
Shintaro Sekine	•The Japanese Way of Thinking toward "Michi"	17
Kazutoshi Kuroda	•An analysis of class communities by using Questionaire-Utilities, Part 2	27
Rauno Ruohonen Hirotaka Tsutsumi	•Creating a social networking and project collaborating site with Microsoft Share Point 2010	37
Sumio Saito Takahiro Yamashina Tatsuya Ichikawa Masaaki Takahashi Takuya Iwamura Junichi Mihara Kazuya Kodama	•Systematic Creation of Wind Turbine Airfoils with Mapping Function and Evaluation of Aerodynamic Characteristics of the Created Airfoils	41
Hitoshi Otsuka Jyo Shimura Kazuyuki Mineo Takayuki Hirama Shigeru Kurosaki	·Evaluations of Mechanical Properties for Connecting Shafts with Teeth under Various Loads ······	53
Katsumi Fukuda Mitsuo Kobayashi Kenji Suzuki Kei Imuta Wataru Shigeyama	•Friction Characteristics of Micro Area (3rd Report : Transition process of Friction Mode)	59
Susumu Tarao Hiroyuki Aoki	·Development of an Outdoor Autonomous Mobile Robot and Demonstration Experiments ······	65

Mianami Kimura	·Barrier survey of bicycle traffic road -Case of the Tamagawa Cycletrack-	71
Hideki Ayano	Development of Teaching Materials for a Power Electronics Experiment	79
Hiroyuki Nikkuni ····· Hiroshi Ito	·Development of Teaching Materials for MOEMS Technology Using Photolithography –2nd Report, Evaluation of Basic Characteristics for Realization of Micro-Opto-Electro Device –	85
Hiroshi Ito Yoshio Kawamata	Influence of substrate bias on film characteristics of silicon oxide film fabricated by reactive sputtering method	91
Yuji Tateizumi ····· Ryutaro Okada	•A Study of Gaze Direction and Tooth-Click sound as a Human Interfaces	95
Akira Tanaka ·····	·A Study on Heterogeneous Mobile Multihop Communications ······	105

Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective — Part 5 : Reading a Finnish Newspaper Article for the First Time — John GATES*

This paper continues to document the progress of an English teacher learning Finnish, using Farber's method for learning a foreign language, while working at a College of Technology. The first key step of Farber's method is to thoroughly study the first five chapters of the grammar textbook, and was completed after eighteen months of study. The second step is to read articles from newspapers and study the unknown grammar and vocabulary found in the articles and is the main focus of this paper. However, an interesting phenomenon was also encountered during this research that has a direct impact on Kosen students learning English. This phenomenon is the large decrease in motivation that occurs after completing a major learning goal.

Keywords : English education, Finnish, Farber's method, foreign language learning, Kosen, grammar, vocabulary, reading foreign newspapers, motivation decrease

1. Introduction

Previous papers¹⁾⁻⁴⁾ have proposed that by learning a foreign language, College of Technology (Kosen) English teachers could improve their teaching methods as they experience the difficulties that their students have in learning English. As an experiment, the language learning method proposed by Farber⁵⁾ was chosen for learning Finnish. After studying Finnish for 18 months it was observed that it is important to master the pronunciation, that Lorayne's memory method⁶⁾ is effective for remembering vocabulary, and using various types of study material concurrently is useful. A further observation is that approximately 200 hours of study are required to thoroughly study the first five chapters of the grammar textbook. This is important as it is the first key step in Farber's method for learning a foreign language. Some of the major difficulties observed are a lack of time and motivation and that the vocabulary learned using Farber's method is not related to the frequency of word usage in the foreign language. This paper documents the progress for an additional six months during which the first article from a Finnish newspaper was read. Also, observed during these six months of study was the decrease in motivation after completing the first step of Farber's method.

2. Progress Towards the Fluency Levels

In a previous paper¹⁾ the fluency levels were set for the four basic language skills. The reading level is 200 words in 5 minutes with 70% comprehension. The listening level is 50% comprehension of a newscast. The speaking level is 30 minutes of general conversation and the writing level is 200 words in 20 minutes. Also the first five

chapters of the grammar textbook must be studied.

Table 1:	Fluency	levels	achieved

Skill	% (previously)	Achieved (last 6 months)	Total
Grammar	100%	0	100%
Reading	0%	68 words in 15 minutes with 26% comprehension	4%
Listening	7%	Still 30% comprehension of the textbook's CD	7%
Speaking	10%	Approximately 1.5 minutes of conversation	5%
Writing	0%	0 words (Not attempted)	0%

From Table 1 it can be seen that the reading fluency level has increased from 0% to 4%, and these results will be explained further in Section 3. However, with the exception of reading, all other fluency levels have remained the same or decreased. This lack of progress in the last six months will be the focus of Section 4.

Although the table shows no improvement in Grammar, actually part of Chapter 6 was studied. This chapter introduced the past tense and ordinal numbers and contained 360 words and phrases to be memorized thus requiring significant study time. However, due to the time used for reading the newspaper article, and the lack of motivation described in Section 4, Chapter 6 was not completed.

3. Reading Finnish Newspaper Articles for the First Time

The first step of Farber's method is to read the first five chapters of the grammar textbook and was completed after 200 hours of study. The next step is to begin reading articles taken from newspapers written in the foreign language being studied. The first Finnish article chosen was titled "Mihin ja milloin iskee seuraava katastrofi?" or "Where and when will the next catastrophe strike?" and was downloaded from the Finnish homepage for National Geographic⁷⁾.

Farber's method suggests that the learner should read one paragraph and highlight all the unknown words in the paragraph. Then these words should be memorized. Once the words have been memorized the learner should repeat the procedure on the next paragraph. Obviously, there will be many unknown words in each paragraph. As this was the first time to read an article from a newspaper only two paragraphs could be read and the corresponding vocabulary memorized during the past six months. The data is summarized in Table 2.

The reading fluency level stated in the Section 2 is to read 200 words in 5 minutes with 70% comprehension and the equation to calculate the fluency level is:

Fluency Level =
$$\left(\frac{\text{known words}}{\text{total words}}\right)\left(\frac{\text{total words}}{200 \times 0.7}\right)\left(\frac{5}{\text{reading time}}\right) \times 100\%$$

= $\frac{\text{known words} \times 3.57}{\text{reading time}}$

The first ratio in the equation is the ratio of known words in the article to unknown words. The second ratio adjusts for the number of words read compared to the target of 200 words. However, the 200 word target assumes only 70% comprehension so the 200 words must be multiplied by 0.7. The final ratio adjusts the total reading time to the 5 minute time duration for the fluency level.

	Paragraph 1	Paragraph 2	Total
Completely unknown words	14 words	22 words	36 words
Words with unknown endings	4 words	1 words	5 words
Partially known words	3 words	3 words	6 words
Forgotten words	0 words	3 words	3 words
Known words	10 words	8 words	18 words
Total words	31 words	37 words	68 words
Reading time	10 minutes	5 minutes	15 minutes
Time searching word meaning	84 minutes	131 minutes	215 minutes
Translation time	26 minutes	16 minutes	42 minutes
Time making flash cards	30 minutes	60 minutes	90 minutes
Time memorizing words	209 minutes	125 minutes	334 minutes
Total time	359 minutes	337 minutes	696 minutes

Table 2: Data from reading the first newspaper article

It can be seen from Table 2 that there were 68 words in total and of these words 50 were not known correctly and had to be studied. However, since words in Finnish change based on their usage, it is not sufficient to just remember the unknown words. For each unknown noun or adjective it is necessary to remember three different forms of the word and for verbs it is necessary to remember four different forms. Therefore the 50 unknown words from the article resulted in 134 vocabulary words. Since these words were taken from a real newspaper article there were many complicated words to remember such as "varoitusjärjestelmien" which means "of the warning systems". To remember all these words required 334 minutes of hidden study time. That is studying while doing something else, such as riding the train or waiting for appointments. The test results for these vocabulary words are summarized in Table 3 and compared with those from studying the grammar textbook.

Chapter	Words &	1 st test: Eng.	2 nd test: Eng.	3 rd test: Finn.	Chapter
(half year)	Phrases	to Finn. (%)	to Finn. (%)	to Eng. (%)	Test
Intro. (1 st half)	131	79%	98%	95%	
Ch. 1 $(2^{nd} half)$	111	89%	99%	99%	94%
Ch. 2 $(2^{nd} half)$	95	90%	99%	99%	95%
Ch. 3 (3 rd half)	156	89%	98%	99%	85%
Ch. 4 (3 rd half)	206	90%	94%	97%	93%
Ch. 5 (3 rd half)	303	93%	98%	96%	85%
Reading 1 (4 th half)	134	95%	99%	99%	

Table 3: Vocabulary and grammar test scores

4. The Decrease in Motivation after Completing a Major Learning Goal

After studying the grammar textbook for 200 hours, over a period of 18 months, the first five chapters were sufficiently studied so that the reading of newspaper articles could begin, thus completing a major learning goal of Farber's method. However, as Table 4 shows, the total amount of study time was only 3690 minutes and was the least of all the four time periods. Also, Table 3 shows that only 134 words and phrases were completely remembered which is the second lowest total. Finally, Table 1 shows, that with the exception of reading, all other fluency levels remained the same or decreased.

Table 4: Total study time				
	0 to 6 months	6 to 12 months	12 to 18 months	18 to 24 months
Study time	3881 minutes	3904 minutes	4210 minutes	3690 minutes

This is a very important phenomenon and it also affects the students at a Kosen. That is the students will experience a large decrease in motivation immediately following a midterm or final exam and at the end of a course. Therefore, the teacher must restore the students' motivation by introducing some new variety into the learning structure or by reminding the students of the overall goals of the course, thus focusing on the uncompleted goals that remain. Also, the teachers should not be disappointed with the lack of motivation as it is a natural phenomenon and should be expected.

5. Conclusion and Future Work

This paper has summarized the progress of the first two years of studying Finnish. During the last six months the first article taken from a Finnish newspaper was read and the unknown vocabulary was studied. This is the second step of Farber's method for learning a foreign language. Reading newspaper articles is an interesting way of learning a language and increasing vocabulary. However it is also very time consuming. As an observation it was discovered that there was a large decrease in motivation after completing the first step of Farber's method and the paper proposes that this also happens to Kosen students after they take their exams. For future work, the study of Finnish will be continued and further observations will be recorded.

References

- 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.
- J. Gates, "Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective—Part 2: Observations from the First Six Months—," *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, vol. 43, no. 1, pp. 1 – 4, 2011.
- J. Gates, "Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective—Part 3: Observations from the First Year—," *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, vol. 43, no. 2, pp. 1 – 4, 2012.
- J. Gates, "Learning a Foreign Language from a Busy Person's Perspective—Part 4: Grammar Foundation Completed after 18 Months—," *Research Reports of Tokyo National College of Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 1 – 6, 2012.
- 5) B. Farber, *How to Learn any Language. Quickly, Easily, Inexpensively, Enjoyably and on your Own.* Citadel Press, New York, NY, 1991.
- 6) H. Lorayne, *Super Memory, Super Student*. Little, Brown and Company, New York, NY, 1985.
- 7) http://natgeo.fi/luonnonilmiot/tsunami-mihin-ja-milloin-iskee-seuraava-katastrofi

弱双曲積構造をもつ可逆写像に対する到達時間分布

波止元仁*

Hitting time distributions for invertible maps with weak hyperbolic product structure Jin HATOMOTO

[9] では, [6] で導入した弱双曲積構造をもつ力学系に対する到達時間分布は指数分布で漸近近似されることを示した. この結果の適用例はマヌビレ・ポモ写像型の挙動をする1次元中心不安定方向をもつ部分双曲的微分同相写像である.本稿では[9] で得られた結果のいくつかを紹介する.

In [9], we have established hitting time statistics for diffeomorphisms with weak hyperbolic product structure studied in [6]. Applications for our results are some partially hyperbolic diffeomorphisms of which restriction on one dimensional center unstable direction behaves as a Manneville-Pomeau map. In this paper, we introduce several results of [9].

1 導入

保測変換に対して正測度をもつ観測事象が生起するまでの時間発展の統計的性質を調べることは古典的 な主題である.この研究の出発点はあの有名なポアンカレの回帰定理(エルゴード的な系に対する任意の 正測度の集合上の点は,系の合成反復を施すとき反復回数が無限大に向かう過程の中で何度でも元の集合 に回帰するというもの)である.

ここでは、エルゴード的な系に対して正測度をもつ集合 A を考える。集合 A の外側の点に系の反復合成 を施すとき、それらの軌道の中で集合 A へ初期回帰したときの反復時間は A への到達時間として言及され る。A の内側の点に系の反復合成を施すとき、それらの軌道の中で A へ初期回帰したときの反復時間は A の回帰時間として言及される。

回帰時間は力学系の複雑性に強く関係する.一般的に測度的エントロピーは分割から定義される減少集 合列への回帰時間の指数的な成長率に一致する ([13]).特に回帰時間の統計的性質は,到達時間のそれと力 学系の混合率に関係する ([3]). ここでいくつかの疑問が自然に湧き起こる:

1 任意に小さな正測度集合を考えるとき力学系の到達時間が表す分布は何か?

2回帰時間は軌道時間の中でどの程度の頻度で現れるのか?

これらの疑問に対して,到達時間と回帰時間,双曲性,混合率,次元理論との関連が調べられ,それらは 力学系の複雑性を表す統計的性質を特徴づけるための重要な要因となった ([1], [17], [18] etc).

一様双曲的力学系の枠組みの中では、公理A微分同相写像に対する平田([10])による結果が有名である. 一様双曲性の枠組みを超えた平田の結果の拡張は、最近の非一様双曲的力学系に対する熱統計力学形式の 発展に従って特に注目されている興味深い問題である.にもかかわらず、多くの著者の結果をよそに一般的 な熱統計力学形式の描写はいまだ完全なものから程遠い.最近の結果で代表的な仕事に、区間上の或る非 一様双曲的な写像に対する多重回帰時間の統計的性質に対するポアソン法則に対しては平田・ソソル・ヴァ イエンティ([11])、α-混合的な定常過程に対してはアバディ、双曲積構造をもつ非可逆な非一様双曲的な写 像に対するポアソン法則に対してはコレ([1])によるものがある.

[9]では, [20]で導入された双曲積構造を拡張した或る種の弱い双曲積構造をもつ可逆な非一様双曲的力学系([4]-[8])に対して, 混合性と到達時間分布の関連を調べた(Theorem A). この結果の適用例は, 間欠的な中心不安定方向をもつ部分双曲的微分同相写象である(Theorem B). 本稿ではこれらの結果を紹介する.

2 主結果

M は n-次元リーマン多様体とする $(n \ge 2)$. $f: M \otimes$ は可逆で両側可測な写像とする. 埋め込み円盤 $\gamma \subset M$ が弱不安定円盤であるとは, $x, y \in \gamma$ に対して $d(f^{-n}(x), f^{-n}(y)) \rightarrow 0$ $(n \rightarrow \infty)$ が成立することで ある. 埋め込み円盤 $\gamma \subset M$ が弱安定円盤であるとは, $x, y \in \gamma$ に対して $d(f^n(x), f^n(y)) \rightarrow 0$ $(n \rightarrow \infty)$ が 成立することである.

 $\Gamma^{u} = \{\gamma^{u}(x)\}_{x}$ が連続 C^{1} 弱不安定円盤族であるとは、コンパクト集合 $K^{s} \subset M, k \in \mathbb{N}$ と $\Phi^{u}: K^{s} \times D^{u} \to M$ ($D^{u} \subset \mathbb{R}^{k}$:単位円盤) が存在して次の性質を満たすことである:

- (i) $\Phi^u: K^s \times D^u \to \Phi^u(K^s \times D^u)$ は同相写像である,
- (ii) $x \mapsto \Phi^u|_{\{x\} \times D^u}$ は K^s から Emb¹ (D^u, M) への連続写像である,
- (iii) $\gamma^{u}(x) = \Phi^{u}(\{x\} \times D^{u})$ は弱不安定円盤である. ここに Emb^r(D^{u}, M) ($r \ge 1$) は D^{u} から $M \land O C^{r}$ -埋め込みの全体とし, C^{r} -位相をもつものとする.

同様にして連続 C¹ 弱安定円盤族も定義される.

集合 Λ' が積構造をもつとは,連続 C^1 弱不安定円盤族 $\Gamma^u = \{\gamma^u(x)\}_x$ と連続 C^1 弱安定円盤族 $\Gamma^s = \{\gamma^s(x)\}_x$ が存在して次を満たすことである:

- (i) $\dim \gamma^u + \dim \gamma^s = \dim M;$
- (ii) γ^{u} -disk は γ^{s} -disk に横断的に交わりそれらの間の角度は 0 でない有界な数である;
- (iii) 各 γ^u は各 γ^s に唯一点で交わり;
- (iv) $\Lambda' = (\cup \gamma^u) \cap (\cup \gamma^s).$

f が弱双曲積構造をもつとは、f は積構造をもつ集合 Λ をもち、 Λ が以下の条件 (C1)–(C5) を満たすことである。任意の部分多様体 $\gamma \subset M$ に対して m_{γ} は γ の上のルベーグ測度を表す。

(C1) Λ は積構造をもち, 任意の $\gamma \in \Gamma^u$ に対して $m_{\gamma}(\gamma \cap \Lambda) > 0$ を満たす.

 $\Gamma^{u} \geq \Gamma^{s}$ は (C1)の中の Λ の定義の集合族とする. 集合 $\Lambda_{0} \subset \Lambda$ が *s*-部分集合であるとは,部分族 $\Gamma_{0}^{s} \subset \Gamma^{s}$ が存在して Λ_{0} は $\Gamma_{0}^{s} \geq \Gamma^{u}$ に対して上で定義した積構造をもつ. *u*-部分集合も同様にして定義される. $x \in \Lambda$ に対して $\gamma^{u}(x)$, $\gamma^{s}(x)$ はそれぞれ Γ^{u} , Γ^{s} の x を含む元とする.

(C2) 非交和な s-部分集合列 $\Lambda_1, \Lambda_2, \ldots \subset \Lambda$ が存在して

- (a) 任意の $\gamma \in \Gamma^u$ に対して $m_\gamma(\gamma \cap (\Lambda \setminus \bigcup_{i \ge 1} \Lambda_i)) = 0$,
- (b) 任意の $i \in \mathbb{N}$ に対して $R_i \in \mathbb{N}$ が存在して $f^{R_i}(\Lambda_i)$ は Λ のu-部分集合であり
- (c) 任意の $x \in \Lambda_i$ に対して, $f^{R_i}(\gamma^s(x)) \subset \gamma^s(f^{R_i}(x))$ と $f^{R_i}(\gamma^u(x)) \supset \gamma^u(f^{R_i}(x))$ を満たす.

回帰時間関数 $R: \Lambda \to \mathbb{N}$ を

$$R(x) = R_i \quad x \in \Lambda_i.$$

により定義する. このとき回帰写像 $f^R: \Lambda \odot$ は

$$f^R(x) = f^{R(x)}(x) \quad (x \in \Lambda)$$

により定義される. $x, y \in \Lambda$ に対して, 分離時間 を

$$s(x,y) = \inf\{n \ge 0 \mid (f^R)^n(x) \ge (f^R)^n(y) \text{ は異なる } \Lambda_i \text{ に属する } \}$$

により定義する. f^u は f の $\gamma \in \Gamma^u$ への制限とし, det $(D_x f^u)$ は $x \in M$ における f^u の微分 $D_x f^u$ のヤコ ビアンを表す. $C > 0 \ge 0 < \beta < 1$ は $f \ge \Lambda$ にのみ依存する定数とする. (C3) 任意の $\gamma \in \Gamma^u$ に対して

$$\log \frac{|\det(D_x(f^{R_i})^u)|}{|\det(D_y(f^{R_i})^u)|} \le C\beta^{s(f^{R_i}(x), f^{R_i}(y))} \quad (x, y \in \gamma \cap \Lambda_i).$$

 (X_1, m_1) と (X_2, m_2) は有限測度空間とする.可測な全単射写像 $T: (X_1, m_1) \rightarrow (X_2, m_2)$ が絶対連続であるとは Tは m_1 -測度 0 集合を m_2 -測度 0 集合に移すことである. Tが絶対連続であるとき Tの m_1 と m_2 に対するヤコビアンを $J(T) = d(T_*^{-1}m_2)/dm_1$ と表す.

(C4) 任意の
$$\gamma, \gamma' \in \Gamma^u$$
 に対して $\Theta: \gamma \cap \Lambda \to \gamma' \cap \Lambda$ は $\Theta(x) = \gamma^s(x) \cap \gamma'$ により定義されるとき,

(a)
$$\left|\sum_{k=R_i}^{\infty} \log \frac{\left|\det(D_{f^k(x)}f^u)\right|}{\left|\det(D_{f^k(\Theta(x))}f^u)\right|} - \sum_{k=R_i}^{\infty} \log \frac{\left|\det(D_{f^k(y)}f^u)\right|}{\left|\det(D_{f^k(\Theta(y))}f^u)\right|}\right| \le C\beta^{s(f^{R_i}(x), f^{R_i}(y))}$$
$$(x, y \in \gamma \cap \Lambda_i),$$

(b) Θ は絶対連続で

$$\frac{d(\Theta_*^{-1}m_{\gamma'})}{dm_{\gamma}}(x) = \prod_{i=0}^{\infty} \frac{|\text{det}(D_{f^i(x)}f^u)|}{|\text{det}(D_{f^i(\Theta(x))}f^u)|}$$

(C5) 任意の $i, i' \in \mathbb{N}, \ell \in \{0, 1, \dots, R_i - 1\}, \ell \ell' \in \{0, 1, \dots, R_{i'} - 1\}$ に対して $N = N(i, i', \ell, \ell') \ge 0$ が存在して $f^{-n}(f^{\ell}(\Lambda_i)) \cap f^{\ell'}(\Lambda_{i'}) \neq \emptyset$ ($n \ge N$).

 $\eta := \{f^j(\Lambda_i)\}_{i,j}$ とする. $\eta_n := \bigvee_{i=0}^{n-1} f^{-i} \eta$ とおく. \mathcal{F}^n は η_n により生成された σ 集合体を表す. \mathcal{B}^s は弱 安定円盤の和集合から生成される σ 集合体とする.

不変確率測度 μ が α -混合的であるとは、 $\lim_{k\to\infty} \alpha(k) = 0$ を満たす列 $\{\alpha(k)\}_k$ が存在して任意の $k \in \mathbb{N}$ に対して

$$\sup_{A \in \mathcal{F}^n, B \in \mathcal{B}^s} |\mu(A \cap f^{-n-k}(B)) - \mu(A)\mu(B)| \le \alpha(k)$$

が成立することである.

任意の *n* ∈ ℕ に対して,

$$\lambda(n) := \sup_{i \in \mathbb{N}} \left\{ \sup_{\ell \in \{0, 1, \cdots, R_i - 1\}, \ \gamma^s \in \Gamma^s} \left\{ \operatorname{diam}(f^n \circ f^{\ell}(\Lambda_i \cap \gamma^s)) \right\} \right\},$$

$$\tau(n) := \sup_{i \in \mathbb{N}} \left\{ \sup_{\ell \in \{0, 1, \cdots, R_i - 1\}, \ \gamma^u \in \Gamma^u} \left\{ \operatorname{diam}(f^{-n} \circ f^{\ell}(\Lambda_i \cap \gamma^u)) \right\} \right\}$$

とおく.

Fact 2.1 ([6]). $f : M \oplus$ は可逆な写像とし、弱双曲積構造をもつとする. 或る $\gamma \in \Gamma^{u}$ が存在して $\int_{\gamma \cap \Lambda} Rdm_{\gamma} < \infty$ が成り立てば、f は弱不安定円盤 $\cup_{j=0}^{\infty} f^{j}(\Gamma^{u})$ の上の条件付確率測度がそれらの上のルベーグ測度に関して絶対連続な不変確率測度 ν をもち、任意の増加関数 $v : \mathbb{R}^{+} \to \mathbb{R}$ で (i) $\sum_{\ell=1}^{\infty} v(\ell) \cdot m_{\gamma}(\{R > \ell\}) < \infty$ を満たし、(ii) $\{\frac{v(\ell)}{v(\ell+1)}\}_{\ell=1}^{\infty}$ は増加列であるものに対して ν は数列

$$\alpha(n) := \max\left\{O\left(v(n)^{-1}\right), O(\lambda(n)^{\eta}), O(\tau(n)^{\eta})\right\}$$

に対して α-混合的である.

[9]の主結果は次の通りである.

Theorem A ([9]). Fact 2.1 と同じ仮定の下で, $\lim_{n\to\infty} \nu(\{\tau_A \leq n\}) = 0$ を満たす任意の $A \in \mathcal{F}^n$ に対 して $\lambda(A) \in (0, 2]$ が存在して

$$\sup_{t>0} |\nu\left(\{\lambda(A)\nu(A)\tau_A > t\}\right) - e^{-t}| \le 12\sqrt{2\nu(\{\tau_A \le n\}) + \alpha(n)} + 3\nu(A)$$

が成立する. ここに ν , $\alpha(n)$ は Fact 2.1 のものである.

2.1 適用例

2次元トーラス T²上の $C^{1+\alpha}$ -微分同相写像 $g: \mathbb{T}^2 \bigcirc (0 < \alpha < 1)$ は非双曲的不動点 pをもち、下の仮定 A 1-4 を満たすとする:

A 1. \mathbb{T}^2 上のノルム ||·|| と 0 < λ < 1 と $D_x g$ -不変分解 $T_x \mathbb{T}^2 = E^s(x) \oplus E^u(x)$ が存在して次を満たす:

$$\|D_x g|_{E^s(x)}\| \le \lambda, \quad \|D_x g^{-1}|_{E^u(x)}\| \begin{cases} = 1 & (x=p), \\ < 1 & (x \ne p), \end{cases}$$

 $0 < \varepsilon \leq 1$ に対して, D_{ε} は \mathbb{R} の中の原点を中心とする半径 ε の閉球とする. 仮定 A 1 により, [16] Theorem IV.1 から $\phi^{\sigma}(x)(0) = x$ ($\sigma = s, u$)を満たす 2 つの連続写像 $\phi^{s} : \mathbb{T}^{2} \to \text{Emb}^{1}(D_{1}, \mathbb{T}^{2}), \phi^{u} : \mathbb{T}^{2} \to \text{Emb}^{1}(D_{1}, \mathbb{T}^{2})$ が存在して弱安定円盤 $W_{\varepsilon}^{s}(x) := \phi^{s}(x)(D_{\varepsilon}^{s})$ と弱不安定円盤 $W_{\varepsilon}^{u}(x) := \phi^{u}(x)(D_{\varepsilon}^{u})$ は次を満たす: (i) $T_{x}W_{\varepsilon}^{\sigma}(x) = E^{\sigma}(x)$ ($\sigma = s, u$), (ii) $g(W_{\varepsilon}^{s}(x)) \subset W_{\varepsilon}^{s}(g(x))$, (iii) 或る $\varepsilon' > 0$ が存在して $g^{-1}(W_{\varepsilon'}^{u}(x)) \subset W_{\varepsilon}^{u}(g^{-1}(x))$.

A 2. ϕ^u は M から Emb²(D_1 , \mathbb{T}^2) への C^2 -位相に関して連続である.

A 3. $W^{u}_{\varepsilon}(p)$ を $[-\varepsilon, \varepsilon]$ と同一視するとき, $g|_{W^{u}(p)}$ のグラフは次を満たす:

$$g|_{W^u_{c}(p)}(x) = x + x|x|^{\alpha} + o(x^2).$$

A 4. g は位相混合的である.

[6] より, gは弱双曲積構造をもち, 或る $\gamma \in \Gamma^u$ が存在して $m_{\gamma}(\{R > n\}) = O(n^{-\frac{1}{\alpha}})$ である. このとき, 任意の $\alpha' \in (\alpha, 1)$ に対して $\alpha(n) = O(n^{-\frac{1}{\alpha'}+1})$ となる. 従って, Theorem A を g に適用すると次が成立 する:

Theorem B ([9]). *g* は上のものとする. 任意の $\alpha \in (0,1)$ に対して *g* は SRB 測度 ν をもち, 非双曲的 不動点 *p* の任意の近傍 \mathcal{P} に対して $A \cap \mathcal{P} = \emptyset$ を満たす *n* シリンダー *A* に対して $\lambda(A) \in (0,2]$ が存在して 任意の $\alpha' \in (\alpha, 1)$ に対して

$$\sup_{t>0} |\nu(\{\lambda(A)\nu(A)\tau_A > t\}) - e^{-t}| = O(n^{-\frac{1}{2}(\frac{1}{\alpha'} - 1)}).$$

謝辞 本研究は科研費(課題番号:23740136)の助成を受けたものである.ここに謝意を表す.

参考文献

- [1] P. Collet. Statistics of closest return times for some non uniformly hyperbolic systems. Ergod.Th. and Dynam. Sys.(2001) 21, 401-420.
- [2] P.Collet and A. Galves, Statistics of close visits to the indifferent fixed point of an interval maps, J. Stat. Phys., 72:459-78, 1993.
- [3] N.Haydn, Y. Lacroix and S. Vaienti, *Hitting and return times in ergodic dynamical systems*, Ann. Probab. 33 (2005), no. 5, 2043–2050.
- [4] J.Hatomoto, Diffeomorphisms admitting SRB measures and their regularity, Kodai. Math. J. (2006), 29, 211–226.
- [5] J.Hatomoto, Ergodic measures of SRB attractors, Tokyo J.Math (2007), **30**, 257–282.

- [6] J.Hatomoto, Mixing properties for invertible maps with weak hyperbolic product structure, Far East J. Math. Sci. 29(2) (2008), 257-310,
- J.Hatomoto, Central limit theorem for invertible maps with weak hyperbolic product structure, Far East J. Math. Sci. (2008), 29(3), 729-752,
- [8] J.Hatomoto, Decay of correlations for some partially hyperbolic diffeomorphisms, Hokkaido Math.J.(2009) 38, 39-65.
- [9] J.Hatomoto, *Hitting and returning to rare events for invertible maps with weak hyperbolic product structure*, preprints.
- [10] M.Hirata, Poisson limit law for axiom-a diffeomorphisms, Ergod. Th. and Dynam. Sys. (1993), 13, 533-556,
- [11] M.Hirata, B. Saussol and S. Vaienti, Statistics of return times: a general framework and new applications. Commun. Math. Phys. 206 (1999), 33-55.
- [12] F.Ledrappier and J.Strelcyn, A proof of the estimation from below in Pesin's entropy formula, Ergod.Th.and Dynam.Sys. 2 (1982) 203-219.
- [13] D. Ornstein and B. Weiss. Entropy and data compression schemes. IEEE Trans. Inform. Theory, 39(1):78-83, 1993.
- [14] V.A.Rohlin, On the fundamental ideas of measure theory, Mat.Sbornik, 25 1949.
- [15] D.Ruelle, A measure associated with Axiom A attractors, Amer. J. Math, 98 (1976), 619-654.
- [16] M.Shub, Global Stability of Dynamical Systems, Springer-Verlag, 1987.
- [17] B.Saussol, Recurrence rate in rapidly mixing dynamical systems, Discrete Contin.Dyn.Syst., 15 (2006) 259-267.
- [18] H.Bruin, B.Saussol and S.Troubetzkoy and S.Vaienti Return time statistics via inducing, Ergod.Th. and Dynam. Sys.(2003) 23, 991-1013.
- [19] L-S.Young, Recurrence Times and Rates of Mixing, Israel. J. Math. 110 (1999), 153-188.
- [20] L-S.Young, Statistical properties of dynamical systems with some hyperbolicity, Ann. Math. 147 (1998), 585-650.

(平成24年12月26日 受理)

東京高専と呉高専の数学カリキュラム比較

赤池祐次*

Curriculums of Mathematics in Tokyo and Kure National Colleges of Technology

Yuji AKAIKE

In this paper, by using exchange teacher system among National Colleges of Technology, I compare curriculums of Mathematics in Tokyo and Kure National Colleges of Technology.

1. はじめに

平成24年度,筆者が呉高専から東京高専へ1年間の人事交流を行った。数学教員として実際に授業 やその他の業務を行う中で気がついた東京高専と呉高専の1~3年生の数学カリキュラム,数学指導方 法,補習等についての比較を報告する。

2. 授業時間数と授業カリキュラムについて

高専の数学は、学校ごとに差異はあるものの、おおむね3年生までに高校数学から大学理工系学部の 初年度で必要とされる内容(2変数の微積分、微分方程式、固有値と固有ベクトル等)の修得を目指す ようにカリキュラムが作られている。東京高専と呉高専では、現時点ではこの内容の修得を目指してい るが、最近では学生の学力低下などの問題から、3年生までの内容のいくつかを4年生に繰り上げるよ うに変更している高専や、文科省認定高校教科書を使用している高専もある。東京高専は森北出版の「高 専の数学」、裳華房の「微分積分」、呉高専は大日本図書の高専数学の教科書を使用している。4年生以 上でフーリエ解析、確率統計、複素関数論等を応用数学として学習するが、ここでは応用数学の内容に ついては触れず、3年生までのカリキュラムについて比較する。

教務規定に細かい相違点があり、単位について見てみると、東京高専では45分×30回が1単位、 呉高専では50分×30回が1単位に相当する。授業1コマについては、東京高専は90分(45分を 2回連続)、呉高専は50分である。そのため東京高専では3単位授業は作りにくいが、呉高専では3単 位授業は週3コマとして作れる。週当たりの数学授業時間数は次のようになる。

	1年生	2年生	3年生	トータル
東京高専	360分	270分	270分	900分
呉高専	300分	300分	250分	850分

表1:週当たりの数学授業時間数

この時間数を見ると、1年生については60分、トータルで50分の差がある。実際、三角関数につい ては東京高専のほうがよく学習している印象を受ける。加法定理から発展させた内容である2倍角・半 角の公式などは、呉高専では繰り返し学習するだけの時間が足りないし、正弦・余弦定理や積を和に直 す公式は時間不足で流し気味に説明することもある。次の表2は、東京高専と呉高専の数学の1年生か ら3年生までの学習内容である。

東京コ	京工業高等専門学校(90分×15回=1単位)				
	代数 I (2 単位:前期)	数と式,2次関数・2次方程式・2次不等式			
1 年	代数Ⅱ(2 単位:後期)	命題と証明,高次方程式・不等式,関数とグラフ, 累乗と累乗根,指数の拡張,指数・対数関数,逆関数			
	幾何 I (2 単位:前期)	三角比の基本的な性質,正弦定理,余弦定理 三角関数の定義と性質,加法定理とその応用			
	幾何Ⅱ(2単位:後期)	平面図形,2次曲線,不等式と領域,場合の数,順列・組合せ,二項定理,数列, 数学的帰納法			
2 年	微分積分学 I (2 単位 : 前期)	関数の極限,連続関数の性質,微分の概念と基本公式,合成関数の微分法,三角関数の 微分,逆三角関数の微分,指数・対数関数の微分,対数微分法,接線・法線, 媒介変数表示の微分法,陰関数の微分法			
	微分積分学Ⅱ (2単位:後期)	平均値の定理,1次の近似式,関数の増減・極値とグラフ,曲線の凹凸,方程式・不等 式への応用,基本的な関数の不定積分・定積分,有理関数・無理関数の不定積分			
	線形代数学 I (2 単位:通年)	平面ベクトル,空間ベクトル,空間図形,行列,平面の1次変換と行列・逆行列・逆変換,掃き出し法(階数),2元連立1次方程式,複素数平面,ド・モアブルの定理			
3 年	解析学A(2単位:通年)	数列の極限と無限級数,べき級数と収束半径,関数の近似式,高次導関数, マクローリン展開・テイラー展開,ロピタルの定理,2変数関数の連続性,偏導関数, 全微分,合成関数の偏微分,陰関数の微分,2変数関数のテイラー展開,極値の判定, 陰関数の極値,条件付き極値,2重積分,積分順序の交換,極座標による2重積分			
	解析学 B (1 単位 : 前期)	定積分の続き,広義積分,曲線の長さ,重心と平均値,面積,体積,区分求積法, 台形公式・シンプソンの公式			
	微分方程式 (1単位:後期)	微分方程式の基礎、変数分離形、線形微分方程式など			
	線形代数学 Ⅱ (2 単位:通年)	行列式の定義と性質,逆行列,連立1次方程式,1次独立・1次従属,外積と行列式の 図形的意味,行列の固有値と固有ベクトル,対角化,対称行列と直交行列			

呉工美	呉工業高等専門学校(50分×30回=1単位)			
	基礎数学 A I (2 単位:前期)	数と式,複素数平面,2次方程式・2次不等式,高次方程式・不等式,命題と証明, 関数とグラフ,2次関数,2次関数と2次不等式		
1 年	基礎数学 AⅡ (2 単位:後期)	累乗と累乗根,指数の拡張,指数・対数関数,逆関数,三角比,正弦定理,余弦定理, 三角関数の性質,加法定理とその応用		
	基礎数学 B (2 単位:通年)	平面図形,2次曲線,不等式と領域,場合の数,順列・組合せ,二項定理,数列, 数学的帰納法		
	数学A(3単位:通年)	平面ベクトル,空間ベクトル,空間図形,1次独立・1次従属,行列・逆行列,掃き出 し法,行列式,行列式の展開,余因子行列,クラメルの公式,行列式の図形的意味		
2 年	数学 B(3 単位:通年)	関数の極限,連続関数の性質,微分の概念と基本公式,合成関数の微分法,三角関数の 微分,逆三角関数の微分,指数・対数関数の微分,対数微分法, 関数の増減・極値とグラフ,接線・法線,ロピタルの定理,高次導関数,曲線の凹凸, 媒介変数表示の微分法,速度と加速度,不定積分・定積分,置換積分,部分積分, 面積・長さ・体積		
3 年	数学A (3 単位 : 通年)	媒介変数表示・極座標による図形の面積・曲線の長さ,広義積分, 数列の極限と無限級数,関数の近似式,べき級数とマクローリン展開,オイラーの公式, 2 変数関数の連続性,偏導関数,接平面,合成関数の偏微分,極値の判定, 陰関数の微分,条件付き極値,包絡線,2重積分,積分順序の交換, 回転座標による2重積分,極座標による2重積分,ヤコビアン,2重積分の広義積分		
-	数学 B(2 単位:通年)	線形変換,合成変換,逆変換,固有値と固有ベクトル,行列の対角化, 2次形式の標準形,行列のべき乗,1階微分方程式,ロンスキアン, 2階線形定数係数微分方程式,いろいろな線形微分方程式		

表2:東京高専と呉高専の数学の1年生から3年生までの学習内容

おおむね教科書の順番に従って授業を展開しており,履修内容に大きな違いはない。2年生の微積分に 関して,東京高専は180分,呉高専は150分の授業時間である。東京高専のほうが時間数は多いが, 使用している教科書は裳華房の「微分積分」なので,同じ内容であっても少し深いところまで学習して いて(例えば tan (x/2)=t とする置換積分など),授業時間数は適切だと感じる。ただ,現在の学生にと っては難しいと感じるかもしれない。使用教科書が違うため,呉高専では2年生でロピタルの定理を学 習し,直後に $x \rightarrow \infty$ を考察する必要のあるグラフを描いている。また,3年生でオイラーの公式や包 絡線について学んでいる。2年生の線形代数については,東京高専は90分,呉高専は150分の授業 時間数であるため,呉高専では3年前期で固有値と固有ベクトルまで進むことができる。

授業担当について述べる。東京高専は、基本的に同学年1科目をクラスごとに教員で分担している。 1年の代数、幾何、2年の微積分はそれぞれ同一時間の授業を設置し、統一の定期試験問題を作成して いる。1人の教員が4教科程度受け持つことになるので、授業準備は大変かもしれないが、小テストは 同一時間に実施できるので、学生の学力を正確に測ることができる。呉高専では、同学年1科目を1人 の教員が受け持つことが多い。年度によって受け持たない学年や科目がある。複数クラスで同じ授業を するので、同じ内容の授業でも後に行うほど説明の仕方が要領を得て上手になったと感じることがある。

3. 成績不振者に対する対策

どの学校でも入学者の学力低下について苦慮していると思われる。少子化の影響や,勉強しなくても 何とかなるだろうという根拠のない社会的雰囲気,中学校までの学習内容削減などにより,普段から学 習意欲に乏しく,学習面よりも生活面からの指導の方が必要な学生が増えているように思う。原因を一 朝一夕で解決することは難しいが,思いつく対策方法の一つは成績不振者を補習することだろう。

東京高専では、1年の代数、幾何について、学生ティーチングアシスタント(TA)による自学自習室 を設置し、授業でわからないところがある場合は質問に行くように促している([1]参照)。平成24 年度は、各クラス15名程度まで成績不振者をリストアップし、TAの週1回の指導を受けるようにし た。TAは各クラス1名(5学科あるので計5名)が対応し、1組は月曜日、2組は火曜日、のように曜 日を変え放課後3時間ほど指定された部屋に駐在している。使用教材はプリントを担当教員が作成し、 定期試験後は試験の復習を行う。2年微積分について、平成24年度は前期中間試験D取得者を対象に、 前期末試験まで週1回(水曜日)放課後のプリント学習を計5回させた。1回でおよそ80~90人が 参加する。講師は退職された教員1名がボランティアで行っているが、受講人数が多いため常勤講師も 2名手伝う。プリント学習のため、解答するスピードの個人差が大きく、16時10分から始めて19 時ごろまでかかる者もいるため、持ち帰らせて後日提出させることもある。後期は夏休み明け小テスト、 後期中間試験の結果で対象者20~30人を選ぶ。平成24年度は、夏休み中にある3日間の前期試験 返却日を利用して代数、幾何、微積分について補習を行った。前期末でD評価の者に対して補習者用の レポート課題を郵送、別途プリント学習を実施。退職された教員と常勤教員が分担して対応した。

呉高専では、教務主事・教務委員からの要望があり、1年生に対して平成18年度から学生 TA による 補習を行っていた。その後、平成22年度と平成23年度の前期までは地元の塾講師を招聘して「数学 寺子屋」を実施した。現在は非常勤講師、元高校教員、大学院生に講師をお願いしている。1年生前期 中間試験の成績不振者を各クラスから8名程度選抜し、週1回(水曜日)放課後に授業と同じ教科書を 使った復習を50分2回行う。前期末試験までに5,6回程度実施される。後期対象者は前期末試験結 果から選抜し直している。後期は英語寺子屋と隔週で実施しているため、回数は後期で5,6回程度に なる。2年生については前期だけ寺子屋を実施していた。実施方法については今後改善していく余地は あると思われる。数学,英語,物理の3科目は,教務の「基礎学力向上プロジェクト」主導で対策を行 っている([2]参照)。

東京高専と呉高専の補習受講者に対し以下の質問アンケートを実施した。平成22年度呉高専の2年 生22名(A),および平成24年度東京高専1年生36名(B)と2年生16名(C)に回答してもらっ た。「そう思う」「少し思う」「あまり思わない」「思わない」の4択を設定し、「そう思う」「少し思う」 の合計をパーセント表示した(表3)。

	А	В	С
1.補習に来て力がついた	100	91.7	87.5
2.補習のレベルはちょうど良かった	95.5	94.4	93.8
3.毎回補習に出席した	50	83.3	62.5
4.授業を理解できるようになった	77.3	75	68.8
5.授業の内容を自分で復習している	54.5	47.2	37.5
6.数学にまったく興味がない	31.8	36.1	43.8
7.補習は出たい人だけが出る方がよい	50	55.6	56.3
8.自分の現状に危機感を感じている	100	86.1	87.5
9.補習はあるほうがよい	90.9	94.4	100

表3:アンケート結果

この結果から言えることは、どちらの学校でも補習に参加した満足度は高い(項目 1, 2)が、自分で授 業を復習することにあまりつながっていない(同 5)。また、補習には積極的に参加する気持ちはそれほ ど大きくはない(同 7)が、このままではいけないという危機感は強く(同 8)、補習はあるほうが良い と感じている(同 9)。補習に対する満足度は高いので、学力向上につながっていると思われるが、学生 が補習に頼りすぎないように、補習はあくまで補習に過ぎないということを自覚させ、自ら学習してい くように指導する必要はあると考える。

4. 長期休暇中の課題,休暇明け試験,到達度試験対策

東京高専では、代数、幾何、微積分について長期休暇中の課題レポートを課している。A4用紙2,3 枚程度の問題量で、それに基づき休み明け試験を行い、結果を成績に組み込み、補習対象者の選抜に利 用している。

呉高専でも、1、2年生数学の各科目に対し、夏休み・春休み課題を配布している。配布するのは長期休暇に入るかなり前で(例えば夏休み課題は6月ごろ)、普段の学習に利用してもらいたいという意図がある。この課題で休み明け試験を実施し、成績に組み込んでいる。また、新入生に対しては入学説明 会の時に課題を渡し、入学時に数学と英語の業者テストを受けさせている。春休み中に勉強せず入学してくる者を減らすために、平成18年度から実施されている。

3年生で到達度試験が実施されるようになり、その対応が要求されるようになった。東京高専では特に対策等はしていなかったが、平成24年度は12月下旬に3年生に対して過去問の解説を行った。呉高専では、平成21年度から、3年生数学Aの授業で、次のような到達度試験対策を実施している:

(1)夏休み休暇中に過去問及び解答を配布し、休み明けにテストを行う。(2)冬休み前に50分授業 を1,2回使って、問題演習とその解説をする。(3)冬休み課題として問題を配布し、休み明けの到達 度試験に備えるように指示する。(4)到達度試験の点数を圧縮して数学Aの成績に加点する。年度ごと 受験者の学習意欲・雰囲気が試験結果に影響する(試験開始から寝る者が多い、等)が、平成23年度 には、受験した8分野の平均和が全国点数の103%になった。単純に平均点と比較すべき試験ではな いが、到達度試験対策の実施成果は出ていると考える。長期的な経緯を見なければならないので、今後 もさまざまな対応・工夫をしていくことになると思われる。

5. 編入試験対策について

東京高専では、5年生前期科目の数学総合演習で編入試験対策を行っている。前期の後半に、放課後 90分の授業を15回実施した後に試験をして、合格すれば1単位として認められる。数学教員が分野 ごとに2、3回程度授業を分担し、担当教員が試験を実施する。

呉高専では,教務による編入試験対策講座が開催されていて,英語や物理と共に数学の試験対策方法 や受験勉強の仕方を話している。数学科として編入試験対策は特に実施していない。質問に来る学生に 対して各教員で対応している。

6. 終りに

授業カリキュラムおよび授業時間数については,高専ごとに設定されたものであり,歴史的経緯,教 務規定の違いにより,それぞれ細かい点で異なっているが,両高専とも大学理工系学部の初年度で必要 とされる内容の修得を目指すようになっている。また,学力の底上げについては膨大な労力を割いて対 応しているが,画期的な学力向上を起こさせることは難しい。学習に対する意欲はもちろん,年度によ る学生の気質,学科によるカラーの違い,その他さまざまな要素による難しさがあると思われる。両校 を経験してみて,土地柄の差のようなものもある気がしている。補習については,学生はそれなりに満 足度をもっていることがわかったので,今後も工夫しながらやっていくことになるであろう。

高専では、単に工学を理解するためだけに数学を習得しようとすることが多いが、数学教員としては、 学生には工学を学ぶためだけの数学ではなく、自ら判断し思考できるための数学的能力(基礎知識,方 法論、数学的素養、粘り強く考えること、数学的発想など)を身につけてもらいたいと思っている。到 達度試験などでは点数の上下だけに目が奪われがちになるが、あまり過敏になりすぎずに教育が行われ ることが大切であると感じる。

7. 謝辞

この報告書をまとめるにあたり、ご協力をいただいた呉高専および東京高専の数学教員の諸先生方お よび東京高専のアンケート採取を手伝っていただいた東京高専のTAに感謝致します。

〈参考文献〉

[1] 低学年数学学習法指導プログラム

東京工業高等専門学校研究報告書 第43(2)号(2012)pp.45-49.

[2] 基礎学力向上プロジェクトが学生に与える影響 — 学生の学習状況の変化に着目して —

呉工業高等専門学校研究報告 第73号(2011) pp.49-56.

(平成25年1月7日 受理)

言語文化論 ―「道」に関する考察

関根紳太郎*

The Japanese Way of Thinking toward "Michi"

Shintaro SEKINE

In general, it is argued that language is strongly influenced by culture, and people's life is based on the cultural context ordered by a variety of words. From this standpoint, "michi" in Japanese, literally translated as "way" in English, can be examined for traces of Japanese culture.

This paper investigates how closely the words formed by adding "michi" (or "dou") to certain elements are tied with Japanese culture. In addition, it is claimed that the words ending with "michi" reflect thoughts, beliefs, attitudes, and social values in Japan, and an aspect of Japanese society has been shaped through employing a word like "michi."

Keywords : language, culture, and communication

1. はじめに

人は,ある事象の実態を言語によって切り出す, すなわち分節化することで,森羅万象の<世界> の一端を認識していると言える。そして, 個人の 主観、経験等に基づいて分節化されたく世界>の 一端を,時に想像も駆使しながら,再構築し,他 者と共有していくことになる。¹⁾ここで問題とな るのが,事象の実態を分節化する過程において--通例言語化することになるわけだが一しばしば個 人の(主観的な)思想,信念,価値観,時に政治 的・宗教的圧力, 偏見等が加味されることがある ということである。そして、そのように分節化さ れた言語を入手した個人が対象となる <世界>を 再構築する過程も,個人の思想,信念,価値観, 経験等に依存することになる。さらに、辞書の定 義においては, 普遍性が求められるという編集事 情や紙面の制約等があるため, 平易明解且つ必要 最小限の定義に留める傾向にある。つまり,対象 となる <世界> の切り出しが"甘くなる"というこ とだ。

確かに,連続する森羅万象の<世界>を完全に 再現することは不可能ではあるが,ある事象の実 態が織り成す<世界>は,言語を介していかよう にも分節化し、その事象の実態に近似した<世界> を再現することはできるであろう。

本稿では、「道」を分析対象語として、「道」と 連結する語の前置要素の分析から、「道」として分 節化された<世界>の一端を考察するとともに、 その背景にある日本語文化を観察してみたい。ま ず、分析対象語「道」と連結する語の前置要素を 調査し、分析対象として選出する。次に、日英語 比較や、辞書等の定義を参照しながら、分析対象 用例の文脈の中に映し出される意味的特性を考察 する。最後に、分析対象語「道」に投影される日 本語文化について総括する。なお、本稿では、「道」 を「みち」および「どう」として扱う。

2. 分析対象語の選出

分析対象語「道」は、多様な前置要素と連結し、 造語力は高いと言える。例えば、「武士道」、「茶道」、 「学問道」、「野球道」などのほか、物理的な交通 網としての道(路)を除いたものとして、「生きる 道」、「復興(へ)の道」、「再生(へ)の道」などもあ る。

そうした「道」と連結する語を日本語オンラインコーパスKOTONOHA少納言を活用して抽出し、前置要素に応じて分類したものが下表のコーパス

検索結果である。なお,連体修飾語としての助詞 「の」を含む語も1語として取り上げた。

一般的に「みち」としての「道」には、交通網 としての物理的な通行路の意味のほか、「人が考え たり行ったりする事柄の条理・道理」、「道理をわ きまえること」、「てだて・手法・手段」、「方面・ 分野」といった意味がある。²⁾また、「どう」と しての「道」は、「人として守るべき条理・宇宙の 原理」、「神仏の教え」、「やりかた、専門の学問・ 技芸」とある。³⁾

本稿では、日本(人)の文化性の一端を表す語として「人が考えたり行ったりする事柄の条理・道理」を中心に、大別した3分野から選出した4語について意味的特性を考えてみたい。

表:KOTONOHA 少納言コーパス検索結果

人道667(好)色道(5)4衆道7若道5女の道2茨の道15法の道0心の道1王道221騎士道84剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516報道20花道148言の葉の道0八雲の道0八葉の道5低道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	武士道	218		
(好)色道(5)4衆道7若道5女の道2女の道15法の道0心の道1王道221騎士道84剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84宮の葉の道0八雲の道0八雪の道5仏道148言の葉の道0小噴道773禅道773禅道5(随)神の道(0)27	人道	667		
衆道7若道5女の道2茨の道15法の道0心の道1王道221騎士道84剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84高の葉の道0八雲の道0八雪の道5仏道141神道773禅道5竹道0	(好)色道	(5)4		
若道5女の道2茨の道15法の道0心の道1王道221騎士道84剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0八雪の道5千道148常道5竹雪0汽雪の葉の道0八雪の道0小雪の道0小雪の道5神道5「随)神の道(0)27	衆道	7		
女の道2集団・社会茨の道15法の道0心の道1王道221騎士道84剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84高防葉の道0花道148育の葉の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	若道	5		
茨の道15法の道0心の道1王道221騎士道84剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84前近20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5領道5	女の道	2	集団·社会	
法の道0心の道1王道221騎士道84剣道559席合道7弓道89合気道72学問道0書道472禁道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	茨の道	15		
心の道1王道221騎士道84剣道559席合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	法の道	0		
王道221騎士道84剣道559房合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	心の道	1		
騎士道84剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84高の葉の道0バ雲の道0仏道148千道5小雲の道5小雪5神道5(随)神の道(0)27	王道	221		
剣道559居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	騎士道	84		
居合道7弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148官の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	剣道	559		
弓道89合気道72学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	居合道	7		
合気道72学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	弓道	89		
学問道0書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	合気道	72		
書道472茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	学問道	0		
茶道516華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	書道	472	+ 22 - 23 - 25 - 25 - 25 - 25 - 25 - 25 -	
華道84歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	茶道	516	山何 [•] 子云	
歌道20花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	華道	84		
花道148言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	歌道	20		
言の葉の道0八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	花道	148		
八雲の道0仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	言の葉の道	0		
仏道141神道773禅道5(随)神の道(0)27	八雲の道	0		
神道773禅道5(随)神の道(0)27	仏道	141	宗教	
禅道5(随)神の道(0)27	神道	773		
(随)神の道 (0)27	禅道	5		
	(随)神の道	(0)27		

※数字は出現頻度数。

2.1.武士道

集団・社会における代表的な「道」として、「武 士道」が挙げられる。

「武士道」は,

「・・わが国の武士階層に発達した道徳。鎌倉時 代から発達し,江戸時代に儒教思想に裏づけられ て大成,封建支配体制の観念的支柱をなした。忠 誠・犠牲・信義・廉恥・礼儀・潔白・質素・倹約・ 尚武・名誉・情愛などを重んずる。・・」⁴⁾ とある。

その対比としての西洋における「騎士道」では, 「・・中世ヨーロッパで,騎士身分の台頭によって 起こった騎士特有の気風。キリスト教の影響をも受 けながら発達,忠誠・勇気・敬神・礼節・名誉・寛 容・女性への奉仕などの徳を理想とした。・・」⁵⁾ とある。

辞書的な解釈から見る「武士道」と「騎士道」 は、忠誠、犠牲、礼儀、質素、名誉、寛容など、 その意味成分が必ずしも同一というわけではない ものの、社会階層[身分]の構成員に共有される基 本的価値観やそれに基づく気質ということになろ う。

2.2.人道

次に,「人道」とは,

「人のふみ行うべき道。人の人たる道。人倫[人と 人との秩序関係,人として守るべき道]。」⁶⁾ とある。

特に争いや災害時に「人道主義」や「人道的介入」などと用いられることが多い。実際,今回活用した日本語コーパスにおいて,「人道主義」は72件,「人道支援」は54件,「人道的介入」は13件という出現頻度であり,不利益を被っている人に対して「人として守るべき[守られるべき] 道」を保障しようとする(社会的な)活動やその根拠に関して用いられているようだ。これは,人が本質的に備えている人たるべき営みや環境は何人も侵されてはならないという普遍的な価値観を反映する表現の1つと言えよう。 2.3.茶道

武術・学芸における「茶道」とは,

「・・茶の湯によって精神を修養し, 交際礼法を 究める道。・・」⁷⁾

とある。

また, 裏千家茶道では,

「・・茶道とは「もてなし」と「しつらい」の美 学だといってもよいでしょう。亭主となった人は, まず露地(庭園)をととのえ,茶室の中に,掛物 や水指・茶碗・釜などを用意して,演出の準備を しなければなりません。これらはすべて日本の風 土が育んできた文化的な結晶といえるものばかり です。だから茶道とは「日本的な美の世界」だと いうことができます。そして亭主と客の間に通う 人間的なぬくもりが重要な要素となります。それ を「和敬清寂」の精神といいます。・・」⁸⁾ のように,茶の心を紹介している。

茶道は他にも「一期一会」など、多くの意味成 分を内包しており、礼儀作法以外においても、茶 道が日本文化の総合芸術と言われる所以であろう。 こうした点から、「茶道」には、他者を思いやる心 遣いやそれに基づく「もてなし」の気持ちを、(一 連の所作により抹茶をふるまうという)茶の湯を 通じて表現することで、円滑な人間関係の構築を 試みるという一面が窺える。

2.4.神道

「神道」の辞書的な定義とは,

「わが国に発生した民族信仰。祖先神や自然神へ の尊崇を中心とする古来の民間信仰が,外来思想 である仏教・儒教などの影響を受けつつ理論化さ れたもの。」⁹⁾

とある。

紙面の制約がある中で「神道」を一括りにまと めることは適切ではないが、一般的に、「神道」は 日本古来の土着信仰であり、自然崇拝、森羅万象 に宿る八百万の神々、先祖崇拝、教義・教典・偶 像を備えない、などに特徴付けられると言える。 この点は、唯一絶対神と明確な教義をもつキリス ト教やイスラム教とは異なるものである。また、 信仰が「契約」に基づく絶対的なキリスト教や、 「帰依」という概念による仏教とも異質なものと 考えられよう。さらに、明確な教義[理論]と可視 的な偶像を備えた仏教が大陸から流入し、(自然や 先祖を敬い,多神教であるがゆえに寛容な)神道 は仏教のそうした一面を受け入れる「神仏習合」 を経ることで,その教えを発展させてきたと言え る。そして,時代の潮流とともに、「禊祓」、「言霊」、 「鎮魂」、「子孫繁栄」などを特徴として,地域の 祭りや祭祀として日常生活に入り込んできたので ある。この点から、「神道」とは、大陸文化(思想) の影響を受けながら発展してきた、日本古来から の生活規範であり、日本人の心の拠り所の1つで あると言えよう。

3. 日英語比較

3. 1. 武士道とSamurai Spirit

第3項では、英語相当語との比較から、分析対 象語を考察してみたい。まず、武士道であるが、 しばしば"samurai spirit"と表現されることがあ る。この場合、「道」に相当するのが spirit になる が、spirit には、mind、feeling、character、 courage、determination、attitude、soul などが 意味成分として含意され、主要英和辞典において 対訳とされる「精神(性)」や「気質」がそれらに あたると考えられる。また、Oxford Advanced Learner's Dictionary(以下、OALD とする)に おいては、"bushido"として立項されており、

"the system of honour and morals of the Japanese SAMURAI" ¹⁰⁾

とある。この他,武士道と対比されることの多い 騎士道を表す"chivalry"は,

"polite and kind behavior that shows a sense of honour, especially by men towards women; the religious and moral system of behavior which the perfect KNIGHT was expected to follow" ¹¹

と定義される。

こうした"spirit", "bushido", "chivalry"との 関連性から,一部の社会階層と連結した「道」は, そこに属する集団がとるべき行動規範や道徳観を 指しているということが窺えるであろう。

3.2.人道(人道主義)と humanity (humanitarianism) 上述したように,「人道」とは,「人の(ための) 道」である。

OALD によると, humanity とは,

"the state of being a person rather than a god, an animal or a machine"

とあり、また humanitarian(ism)とは、

"concerned with reducing suffering and improving the conditions that people live in" とある。 12

「人道」は、単に人が守る[守られる]べき道で あり、すなわち道徳や倫理を指している一方、 humanity/humanitarian(ism)では、宗教との 対比から、人としての尊厳が(信仰を超えて)最 大限尊重されるべきであるということが言えるで あろう。

3. 3. 茶道と Way of Tea[Tea Ceremony]

茶道を指す英語表現として、"tea ceremony" とする辞書・文献等が見られるが、裏千家茶道十 五代家元・千玄室は、不完全であるがゆえの自然 さに満ちた「無」や「空」の中に、茶道の本質の 一端である「侘び」があり、単なる儀礼的行為を 意味する ceremony ではなく、"Way of Tea"を あてることで、「無」や「空」となる心への"path" としての茶道を英語的に映し出すことができると 指摘している。

"...That is why it is called a 'path' (michi, or do)...Not the kind of path you walk on, but a path of the heart and mind. And this is why we translate 'chado' as 'Way of Tea.' It is not a "tea ceremony." ¹³⁾

この点から,茶道における「道」を考える場合, 点前作法に着眼するだけではなく,不完全なある がままの姿,すなわち自然であること,そしてそ れは単にしつらえのみならず,亭主と客の心の中 が自然(禅宗的には「無」や「空」)になるための 辿るべき方向,換言すれば,心の在り方や持ち様 を示しているということに注視する必要があろう。

3.4.神道とShinto(ism)

神道は, "Shinto(ism)"として英語化されている。 OALD による Shinto とは, "a Japanese religion whose practices include the worship of ANCESTORS and a belief in nature spirits" $^{14)}$

とある。

これは、「先祖[祖先]崇拝」と「自然信仰」を神 道の特徴としている点において、比較的明解な定 義と言える。また、Shintoismのように、接尾辞 -ismと結合して表す場合、意味成分にBuddhism (仏教)やHinduism (ヒンズー教)にある「(宗 教的)主義主張」が「道」の中にも醸成されるこ とになる。

4. 用例分析

分析対象語を含む用例において,分析対象語の 前後に共起する語(句)や文脈を観察し,分析対象 語の意味的特性の一端を考察してみたい。

4.1.武士道

(1)

「保守主義とは,自由と法秩序に忠誠を誓い,「剣 を抜く」ことをいとわぬ騎士道/武士道を由緒正 しく継承する精神であるから,湾岸戦争はそれを 顕現した戦争であった。」

(「正統の憲法バークの哲学」中川八洋著,中央公論新社,2001年)

日本の武士道と西洋の騎士道を(ほぼ)同格に 捉え,いずれも伝統的な正義の象徴であり,(対峙 する悪への)武力的制裁の根拠とした一例である。

(2)

「彼がそれに対置するのは武士道の精神である。 武士道の真髄は正義,義俠,礼譲等の美風を加味 したもので…」

(「ロシアと日本の世紀末から」 袴田茂樹著,新潮 社,1996年)

武士道の意味成分に正義や他者のために尽くす 義侠といったものが含まれる一例である。こうし た武士道における「道」の解釈は武士階級から発 達してきた日本人,とりわけ日本男子の根底にあ る生き様や気質と言えよう。 (3)

「自分を大事にすべきではなかろうか?日本人の 意識の中には,こうした誤った宿命感と武士道的 な生命に対する淡白さがありすぎるのである。」

(「昭和暗殺史」森川哲郎著,毎日新聞社,1994 年)

一方で、切腹に代表される武士の自決行為を、 美学としてではなく、命の尊さという観点から否 定的に見る一面もあるようだ。

- 4.2.人道
- (4)

「…authorization にもとづく干渉を行っている。 これらはすべて、もっぱら人道上の理由により、 必要な武力行使が許可されたものとして注目され る。」

(「国際法」吉田修著,不磨書房,2002年)

これは、人らしく生きること、それを守ること は最大限に尊重されるべきものであり、それを侵 す者に対しては、武力によって制圧されるという ことであろう。

(5)

「紛争や災害は,それ自体が人道上の被害をもたらすだけでなく,これまでの経済・社会開発の努力の成果を台無しにして…」

(「政府開発援助(ODA)白書」外務省編纂,財務 省印刷局,2002年)

これは、単に生きるということだけではなく、

(時代の趨勢にあった)人らしい生き方が享受されるべきであるという考えが根底にあり,それが満たされていないような場合を指して人道(上の被害)としているのであろう。例えば,近年メディア報道で目の当りする中東紛争や東日本大震災における東北地方の住宅環境などは人道的支援が必要であるという状況と言える。

(6)

「不法滞在で医療保険に加入していない外国人で も、地震によるケガについては、行政が人道的見 地から医療費を補助すべきだろう。」

(「自治体の危機管理」高秀秀信著,朝日新聞社, 1995年)

これは、日本国憲法 25 条の定める「健康で文 化的な最低限の生活を営む権利」というものは, 同14条にある「すべての国民は,法の下に平等 であって,人種,信条,性別,社会的身分又は門 地により,政治的,経済的又は社会的関係におい て, 差別されない」という点から, たとえ, 不法 滞在者が憲法にある「国民」の要件を満たしては いなくとも、同13条にある「(すべての国民は) 個人として尊重される。生命,自由及び幸福追求 に対する国民の権利については, 公共の福祉に反 しない限り, 立法その他の国政の上で, 最大の尊 重を必要とする。」という解釈を(不法滞在の)外 国人にも(特殊事情下においては)優先的に適用 しようとしているのであろう。この意味において, 人道における「道」とは、自由と生命を確保する 中で,尊厳性が維持できるよう"人"らしい社会的 営みを守ることと考えられよう。

4.3.茶道

(7)

「それに際して発達した精神的な作法がいろいろ ありました。その最高のものが茶道だったわけで す。茶道は時宗や律宗と深いつながりを持ってい ました。」

(「武士道入門」中沢新一著,河出書房新社,2004 年)

これは、茶道が単なる一連の所作に基づく喫茶 行為ではなく、その「道」が仏教の影響を受けた 「精神的な作法」の形として捉えられているとい うことであろう。

(8)

「モノを大切に扱うことや,大事にしまうことを, 文化にまで高めたのが礼儀作法や茶道, 華道であ り,裕福な階層の人が身につけるべき教養の1つ でもありました。」

(「挫折しない整理の極意」松岡英輔著,新潮社, 2004年)

日々の営みの1つであるモノの取り扱いについ ても、(礼儀)作法という形として押し上げたもの が茶道や華道であるということである。この点に おいて、「道」には、茶の湯を通じた作法やその上 位概念としての教養が内包されることになろう。 (9)

「きれいさびという様式美を求めた時代があった。 きれいさびとは,武士の生き方を静謐な茶道とい う作法の中で語り尽くし,実行させる行動美学で あった。」

(「感性の言葉としての形容詞」 川﨑和男著, アスキー社, 2004年)

武士道で触れたように,武士の生き方を茶道を 介して伝え教授するということである。また,一 般に「きれいさび[綺麗寂]」とは,茶人・小堀遠 州が確立した寂の中にも華やかさや優美さを取り 入れた美意識であり,茶風であると言える。用例 中では,行動美学と捉えられており,この意味に おいて茶道の「道」とは,(武士に)望ましい,ふ さわしいとされる在り方や生き方を茶の湯を介し て培うということになろう。

4.4.神道

(10)

「はるか昔の日本人が肌で感じたままの自然のあ りかたが,神道の説く世界の構成になった。かれ らは,世の中に数知れない霊魂があると考えた。」

(「知っておきたい日本の神様」 武光誠著,角川学 芸出版,2005年)

神道の世界観は日本古来の自然観でもあるとい うことである。明確な教義・教典をもたない(宗 教としての)神道において、「道」とは、日本人の 八百万の神々への畏敬の念や森羅万象との関わり 方であり、心の外化と考えられよう。例えば、御 神体とする木や岩に注連縄をするという行為も、 自然への敬意の形であり、神が宿る世界と俗世界 との境界線を示しているということである。

(11)

「仏と私たちの間を繋ぐのは,言葉であり,「想い」 である。神仏に願いを届けるために,神道におい ては祝詞が,仏教においてはお経が存在する。」

(「欲望を叶える神仏・ご利益案内」小松和彦監修, 光文社, 2003年)

この用例における神道とは、「想い」を言葉という祝詞にのせることで神と結びつくことができる

ということであり,神との結びつきに関する言葉 [祝詞]を介した心の持ち様ということであろう。

(12)

「根幹にあるのが,神道である。とっぴに聞こえ るかもしれないが,神道の根本にあるのは,自然 との融合である。大自然との一致である。」

(「紺碧要塞の戦略論」 荒巻義雄著, 徳間書店, 1992年)

ここでも、神道における自然との一体が強調されている。この場合の「道」とは、自然崇拝に見られるように、神々が宿ると信じられている自然界との関わり方と考えられる。

5. 意味的特性の再考

第2項で抽出された「道」と連結する語の前置 要素の分類から、「集団・社会」、「武術・学芸」、 「宗教」の3つに大別したが、第3項の日英語比 較、第4項の用例分析をふまえ、分析対象語「道」 の意味的特性を再考してみたい。

5.1.武士道における「道」

「武士道」とは、戦乱の世から生まれた「武士」 という特権的な社会階級に,「道」が結合すること で, そこに属する集団の気質や生き様を指し示す 表現へと発展している。つまり、「道」と連結する ことで,正義,忠誠,礼節,潔白,名誉等の意味 成分が内包化されてきたと言える。しかも、「武士 道」に代表される「道」は、(当時の)日常の営み における行動規範となり、人々、とりわけ、男性 の道徳観を養っていったと思われる。切腹など, 自決をもいとわないという姿勢が,命を軽視して いるという批判もある一方で,武士の「道」に含 意される意味成分が死(への恐怖)をも凌駕する ほどの深遠なものとなったのも, こうした行動規 範や道徳観が言語化され, 意識化されたというこ とと関係があるものと考えられる。また、「死」に 対する「武士道」の在り方は, 男性の女性に対す る礼節や宗教的且つ道徳的な立ち振る舞い方を重 視する西洋の「騎士道(chivalry)」との差異でも ある。「武士道」に見る「道」とは、特定の集団や 社会階層と結びつくことで,その構成員の考え方 や行動を(時に厳密に)規定するという特性があ ると言えよう。

5.2.人道における「道」

「人道」とは、文字通り人としての「道」とい うことになるが、この場合の「道」とは、人とし て守られるべき自由や幸福の追求、(人災や天災に あっても)最低限の社会的営みとその確保[保障] ということになろう。したがって、(人災や天災時 の)食糧支援、物資の供給、ライフラインの確保、 居住施設の提供等は、人としての尊厳の維持に不 可欠であり、その実現のための行動やその根拠こ そが「道」であると考えられる。

5.3.茶道における「道」

「茶道」には、茶の湯を介した亭主と客との心 の通い合いがその根底にあり,戦乱の世に千利休 によって大成されたという歴史的背景からも,特 に戦国武将からは「無」や「空」な時間と空間が 「茶道」に求められていたと考えられよう。そう した中で,自然との調和を重視し,余計なものを 排除した質素である[無駄がない]様に、美しさが あるという「侘び(茶)」に対する審美眼が発達し てきたと言える。実際, 定められた所作に従って 点前を進めることで, 無駄がないように茶を点て ることができるよう工夫されている。また、しつ らえの中に季節感を取り入れたり, 茶道具を丁寧 に取り扱う姿勢を示したりすることで, 客人への 心遣いを表現することができる。さらに、客人の 様子を察して,茶と別に白湯を用意するという"気 働き"も示すことがある。こうした点から,「茶道」 の「道」とは、単なる ceremony と英訳されるよ うな儀礼的行為ではなく, 侘びの中に育まれる他 者配慮型対人コミュニケーションの在り方の集約 や集積であり、日本古来の和の精神を顕在化させ るものと言えよう。

5. 4. 神道における「道」

これまで見てきたように「神道」は,自然崇拝, 先祖崇拝,言霊信仰,寛容さゆえの神仏習合など に特徴づけられる日本古来の(日本人の)心の持 ち様[精神性]であり,世界観の1つであると考え られる。この「神道」における「道」とは,単に 宗教的な対象への信仰や心の拠り所というだけで はなく,神々が宿る(と信じる)自然界や人が用 いる言葉との(畏敬の念を込めた)さまざまな関わり方を体系化したものと言えよう。

6. 言語文化的考察とまとめ

これまでの分析考察から、「道」についてまとめ てみたい。「道」には、物理的な通行路のほか、「人 が考えたり行ったりする事柄の条理・道理」、「て だて・手法・手段」、「方面・分野」といった辞書 的意味があることに触れたが、「道」と連結する語 の前置要素を3つに大別し、分析対象語として選 出した代表語を精査することで,以下のような言 語文化的特性が得られた。まず,第1に,「道」 の前置要素が社会集団である場合, 行動規範や道 徳観・倫理観として,その社会集団の在り方や, そうあるべき態度や姿勢を(時に厳格に)表すと いうことだ。仮に「そうあるべきこと」の体現を 「美」とするならば、「道」には、「行動美学」と いう一面も含まれるであろう。次に、「道」は、学 問や芸術と結びつく傾向も強く,自然界との調和 などを意識化しながら,茶道に代表される「侘び

(寂び)」のように、より高い次元へと精神性を引 き上げようとする姿勢が含まれるということであ る。礼儀作法はそうした精神性の再現と言える。 そして,最後に,森羅万象の<ソトの世界>を"言 葉"によって切り出し、その切り出された"言葉" を辿ることで、 くソトの世界> を再構築し、 人々 の<ウチなる心>と結びつけるのが「道」という ことである。つまり、「武士道」における「切腹」 という死生観,「人道」における「食糧支援」,「茶 道」における「もてなし」や「気働き」,「神道」 における御神体への「注連縄」などは、「行動規範」 であり、「道徳意識」であり、「精神性」であり、 それらの総体としての日本の「文化性」であり, <ウチなる心>と<ソトの世界>とを結びつける 立体化された「道」の一端なのである。この意味 において,「道」とは,我々を取り巻く森羅万象の <世界>の断片をそれとして知覚し、認識する対 象であり,その対象世界を体系的に捉えようとす る世界観の外化でもあると考えられる。人々は, そうした「道」を感じとりながら、言語によって 秩序付けられた文化的な日々の営みをおくってい るのである。



『道』関根サツ子書

追悼に代えて ― 母・関根サツ子に捧げる

平成23年6月,母・関根サツ子は旅立っていった。母は,存命中,私のすべてを支えてくれた。とりわけ教育面に関してはとても理解が深かった。私が今の世界に入ってからは,研究にも大きな関心をよせてくれた。今どのような研究テーマに取り組んでいるのか,今度の研究発表はいつどこで行うのか,論文は書いているのか,等々である。だからこそ,ほんの小さなものでさ

え、私の名前と原稿が活字になった書物・論文類は母に必ず見せた。そのたびに、母は目を細め て喜んでくれた。・・・そして、いつも私の体調を気にかけてくれた。母としての優しい心遣い の一端である。

母を視覚的に捉えたり、物理的に触れたりすることはもうできない(と思う)。もっとも、本 稿で取り上げたように、私にも根付いている神道的霊性からすれば、精神的に感じとることは可 能であろう。それでも、存命中の私への思いや期待にこれからも応えていくことが母への何より の供養であると強く思う。その意味でも、今まで以上に教育研究に精進していきたい。必ずやそ の姿を見守っていてくれるに違いない。

平成25年6月,母の三回忌を迎えることになるが,ふと嵐のように悲しみが襲ってくること がまだまだある。こうした悲しみは、3年、5年、10年、いや、何年続くかわからない。自分 が現世を離れるその時までかもしれない。それでも、母は残された子が自分のことを思い、いつ までも悲しんでいる姿を見ることを望まないであろう。私も母への思いを <ウチなる心> にしっ かりと抱き続けながら、"いま"と"これから"の時間と空間が織り成す <ソトの世界> を感じとる ために、本稿で言うところの「道」をしっかりと歩んでいきたいと思う。母もそれを願い、そし て、私が見失わないよう、言霊としての『道』という標(しるべ)を遺してくれたのであろう。 母のすべてに感謝するとともに、本稿を関根サツ子追悼論文に代えさせていただく。

合掌

注

1) 池上(2006, pp.69-73.) は,人はあら ゆる(文化的)事象・現象を「ことば(らし いもの)」を用いて(記号として)意味付けし, 人はそれを解読したり,創造的に解釈したり しながら,日々の営みをおくっている,と指 摘している。

2) 『広辞苑』 第五版, 岩波書店, p.1868.

3)同書. p.2560.

- 4)同書. p.2328.
- 5)同書. p.642.
- 6)同書. p.1391.
- 7)同書. p.1722.

8) 「茶の心」. 裏千家茶道公式サイト.

[http://www.urasenke.or.jp/textb/spirit/ spirit1.html] 9)前掲書. p.1391.

1 0) Oxford Advanced Learner's Dictionary. Oxford University Press, p.202.

- 1 1) Ibid., p.258.
- 1 2) Ibid., p.760.
- 1 3) The Enjoyment of Tea. p.73.
- 1 4) Op.cit., p.1401.

参考文献

浅野博・阿部一・牧野勤編.2002.『アドバ ンスド・フェイバリッド英和辞典』初版.東 京書籍.

池上嘉彦・山中桂一・唐須教光. 1994. 『文 化記号論―ことばのコードと文化のコード』 講談社学術文庫. 池上嘉彦. 2006. 『英語の感覚・日本語の感 覚』NHK ブックス. 井上永幸・赤野一郎編. 2003. 『ウィズダム 英和辞典』初版. 三省堂. 石川慎一郎. 2005. 「コーパスに基づく批判 的談話分析の試み」『言語文化学会論集』 pp.3-15. Wehmeier, Sally. (Ed.). 2005 Oxford Advanced Learner's Dictionary. (7th ed.). Oxford University Press. 芳賀綏, 2004, 『日本人らしさの構造』大修 館書店. Rundell, Michael. (Ed.). 2002. Macmillan *English Dictionary*. Macmillan Publishers Ltd. Sapir, Edward. 1921. Language - An Introduction to the Study of Speech: Harcourt Brace. 新村出編, 1998, 『広辞苑』 第五版, 岩波書 店. 関根紳太郎. 1998. 「-esque 語に投影され る米大統領像」『時事英語学研究』pp.37-51. 関根紳太郎. 2010. 「日本語文化の協調性と 英語文化の競争性—"差異"と"difference"の 場合」『日英言語文化研究』pp.1-11.

Sen, Genshitsu. 2006. *The Enjoyment of Tea*: Tankosha.

ダイグナン, A. 渡辺秀樹・大森文子・加野ま きみ・小塚良孝訳. 2010年. 『コーパスを活 用した認知言語学』大修館書店. Tomasello, Michael. 1999. *The Cultural Origins of Human Cognition*: Harvard University Press. 山岸勝榮. 1995. 『日英言語文化論考』こび あん書房. 山岸勝榮. 2004. 『100 語で学ぶ英語のここ ろ一日本人の気づかない意味の世界』研究社. 山岸勝榮編. 2007. 『アンカーコズミカ英和 辞典』初版. 学習研究社.

参考資料

関根サツ子[理光院聰道良恩大姉]書.『道』.

参照検索サイト

KOTONOHA「現代日本語書き言葉均衡コーパ ス」 少納言.

[http://www.kotonoha.gr.jp/shonagon/s earch_form]

(平成25年1月8日 受理)

Q-Uを用いた学級集団の分析(その2)

黒田一寿*

An analysis of class communities by using Questionnaire-Utilities (Part 2) Kazutoshi KURODA

We have conducted QU that targets TNCT freshman in April, June and December in 2012. We have also conducted QU in 2011. In this study, We have analyzed the results of the QU in order to clarify the characteristics of TNCT freshman class communities, and also compared the years 2011 and 2012. Analysis of the QU in 2012 shows that TNCT students are very high motivation for learning in April. However, this high motivation for learning was significantly reduced in about 8 months. On the other hand, the score of "feeling of infringement" became high, the rete of the satisfied group was less in December. These were the same trend in 2011. Overall, willingness school life didn't decrease compared with 2011. We have also investigated about what students are feeling difficulty. The satisfied group, didn't feel the difficulty of communication than the other groups. On the other hand, the group in need of support was not good at act a planned manner, emotional control and language ability. We need to support for basic skills on learning for these students while increasing their self-esteem.

Keywords : QU, class communities, satisfaction with school life, willingness school life, social skill

1. はじめに

東京高専において、QU(Questionnaire-Utilities) は 2009 年から試験的に実施され、2010 年からは1年 生全員を対象に実施し、集計結果をクラス担任にフィー ドバックしている。

筆者は、東京工業高等専門学校研究報告書(第44(1) 号)「Q-Uを用いた学級集団の分析」において(以下 前回の報告と略す)、QU尺度の基本的な理解を紹介し ながら、2011年に3回実施したQUの結果を統計分析 し、客観的データから見えてくる集団の特性を考察した。 これを簡単に振り返っておく。

東京高専の2011年度新入生は、4月時点で満足群の 比率が高く、学習意欲もかなり高いレベルにあった。し かし、8ヶ月後の12月時点をみると、全国平均並みで はあるものの、4月時点に比べて学習意欲が大きく低下 することがわかった。この学習意欲は、学業成績と一定 の相関関係があることもわかった。学級満足度尺度では、 12月に向かって承認得点が上昇する一方で、被侵害感 も高まった。ソーシャルスキルの1つである人への「配 慮」の低下とも相まって、からかい等の起こりやすい集 団特性に傾くことが心配された。クラス間の差異に目を 向けると、「教師との関係」において差が大きく開いた。 クラスによっては、12月に向けて学校生活意欲尺度が 大きく低下するクラスもあった。非常に学級満足度の高 いクラスと、クラスに不満足感を抱えたままの学生が多 数存在するクラスとがあり、クラス間の差は小さくない と考えられた。

さて、こうした特性は 2011 年度入学の1年生に限っ てみられる一過性の特徴だろうか。それとも東京高専に 入学してくる学生に共通する特性だろうか。さらに、こ れからの学級経営、集団育成、学生支援に向けた課題は どこにあるだろうか。

本研究は、東京高専1年生を対象にしたQUデータを 継続して蓄積することを念頭に、前回の報告を引き継ぐ 形にて実施した。本研究では、まず2012年度入学生の QU結果を分析し、前回の報告同様、統計データから見 えてくる集団の特性を考察する。そして、2011年度入 学生との比較から、年度ごとに相違があるのか、また比 較的安定して見られる特徴は何かを検討する。

さらに、学生が学校生活の中で「具体的に何に困難を 感じているのか」について、QU尺度や学業成績と関連 付けて調査するために、「困り具合に関するセルフチェ ックリスト」¹⁾を追加で実施した。前回の報告を含め、 少しでも東京高専1年生の集団特性とその変動を明ら かにし、学生の充実した高専生活を支えるクラス集団の 育成のために何ができるか、現状を踏まえてどのような 指導方針が立てられるか、についても考えて行きたいと 思う。

2. 調査方法

調査対象:2012年度1年生全員(*N*=214) 調査時期:4月末,6月下旬,12月中旬の計3回 心理テスト:Hyper-QU²⁾(高校生用,図書文化社) アンケート:困り具合に関するセルフチェックリスト 集計作業:QUは図書文化社情報センターに委託

(12 月実施分は自前集計) 費用:1名につき¥500(集計処理費用含む) 実施時間:健康科学の授業,ロングホームルーム 所要時間:QU:1回およそ15分〜20分(73問)

2012 年度も 2011 年度同様 3 回にわたって実施した。 実施にあたっては、学生に対して「このアンケート結果 はクラス経営の研究資料として活用させてもらう」「担 任にも結果をフィードバックし学生指導に役立てても らう」「個人名が出るような形で個別のデータを第三者 に公開しない」、といったことを事前説明した。

回収した回答用紙は,集計処理の依頼先である図書文 化社情報センターに郵送し,2週間後には結果がまとめ られた「コンピュータ診断資料」が返送された。raw デ ータは CD-ROM にて受け取り,これを用いて統計分析 を行った。統計処理には SPSS (ver.21)を用いた。

以下に Hyper-QUの尺度構成をまとめる。本研究は、 参考資料を除く3尺度9因子について分析を行った。 ◇ 学級満足度尺度

▶ 承認 (友だちや教師から認められているか?)

└ 非侵害 (不適応感, いじめ・冷やかしを受けていないか?)
◇ 学校生活意欲尺度

▶ 友人との関係 (気軽に話せる友人がいるか?など)

├ 学習意欲 (勉強に自分から進んで取り組んでいる?など)

├ 教師との関係(担任の先生とうまくいっている?など)

├ 学級との関係 (仲のよいクラスだと思う?など)

└ 進路意識 (興味をもっている職業がある?など)

◇ ソーシャルスキル尺度

├ 配慮 (対人関係の基本的なマナーやルール)

└ かかわり (人とかかわるきっかけや関係の維持)

◇ 参考資料(悩みに関する質問項目)

「困り具合に関するセルフチェックリスト」は38項 目からなる質問文に4件法で回答する形式である。日本 学生支援機構から出ている「発達障害のある学生支援ケ ースブック」より抜粋して用いた。本来は発達障害学生 のスクリーニングに用いられるが、ここでは障害の有無 に関係なく、困り感を調査する目的で用いた。

- 3. 結果と考察
- 3.1 2012 年度新入生の4月におけるQU尺度の特徴 (2011 年度との比較を含めて)

入学後3週間が経過した4月末時点におけるQU尺 度得点について2012年度新入生の特徴を見ていく。

図1は、学級満足度尺度をもとに4区分した「学級生 活満足群」「非承認群」「学級生活不満足群(要支援群を 含む)」「侵害行為認知群」の割合を示している。前回の 報告で、2011年度新入生は全国平均よりも満足群の割 合が高いことが示されたが、2012年度新入生において も同様の傾向が見られた。4群の比率は2011年と2012 年でほぼ等しく、有意な人数比率の偏りは見られなかっ た(カイ2乗検定)。要支援群もほぼ変わらず、2011年 が6名であったのに対して2012年は5名であった。お そらく例年にわたって、この程度の早期個別対応が必要 な学生が入学してくると推測され、学校としても予め支 援体制を構築しておくことが望まれる。



(2011年・全国平均・2012年の比較,学年全体)

次に、学校生活意欲尺度の学年平均値を図2に示す。 2011年・2012年ともに5項目の平均値はいずれも全国 平均並みかやや高めで、全体に入学直後の学校生活意欲 は高い傾向にある。特に「学習意欲」が全国平均を大き く上回る。これも2011年と同様である。この5項目か らなる学校生活意欲プロフィールは、4月時点において 2011年と2012年がほぼ重なる結果となった(「進路意 識」の項目においてわずかに2012年が高いが、有意差 はない)。 2011 年度と 2012 年度の担任指導について,1年生 の担任会である基礎教育連絡会の内容を振り返ると,指 導方針に大きな変更は見られない。学校行事では,2011 年度は新入生合宿が中止になり,2012 年度は予定通り 行われたという点で異なるが,2011 年度も中止となっ た合宿の代わりにキャンパスオリエンテーリングが実 施され,クラス内の交友が図られた。したがって,東京 高専の新入生が全体に高い学校生活意欲を持って4月 を過ごし,この時点で顕著な学習意欲を示すという前回

の報告は一過性のものではなく,例 年見られる傾向ではないかと推測 される。



表1 ソーシャルスキル尺度の全国値との比較

全国平均との比較(1サンプルの+検定)

		n	М	SD	t 値
人国亚均	配慮	約2万人	33.1	4.4	
王国平均	かかわり	約2万人	29.4	5.7	
2011年	配慮	210	33.86	4.03	2.74 **
2011年	かかわり	210	29.48	5.97	.92 n.s.
2012年	配慮	205	33.40	4.66	.20 n.s.
2012年	かかわり	205	29.71	6.02	.73 n.s.

n.s. not significant, ** p < .01



図3 ソーシャルスキル尺度の分布 (2012年4月,学年全体)

3.2 4月と12月におけるQU尺度の変化

1回目から8ヶ月後に実施した3回目(12月中旬) のQU結果を,変動を見ながら追っていく。前回の報告 を振り返っておくと,2011年は学級満足度尺度におい て「満足群」が減少し「侵害行為認知群」が増えること が示された。被侵害得点の学年平均値も12月の方が高 かった。一方でソーシャルスキル尺度の「配慮」は,12 月に向けて低下していた。また、学校生活意欲尺度にお いては「友人との関係」が12月で高くなったものの、 「学習意欲」は12月に向かって大きく値を下げた。

図4は、2012年における4月と12月時点の学級満足 度区分の人数比率を示したものである。比較のために 2011年の比率変動も線分で示した。やはり2012年に おいても、「満足群」「非承認群」が減少し「侵害行為認 知群」が増加した。また、わずかに「不満足群」が増加 する傾向にある。比率変動の方向は2011年とほぼ同じ と言えるだろう。なお、図中には示されていないが、不 満足群の中の「要支援群」は、2012年4月において5 名であったものが12月では9名に増えた。

図2 学校生活意欲尺度

(2011年4月と2012年4月の比較,学年平均)

それではソーシャルスキル尺度についてはどうだろ うか。表1に「配慮」と「かかわり」の学年平均値と全 国平均値を示す。2011年は「配慮」において全国平均 を有意に上回っていたが,2012年は全国平均との差は 見られなかった。ただし2011年と2012年の差はそれ ほど大きくはない。個別のプロット(図3,文化社情報 センターコンピュータ診断資料より)に目を移すと,「配 慮」と「かかわり」がともに高い社交的・外交的な学生 が数多くいる一方で,逆にともに低い学生も少なくなく, 両極端なタイプの学生が混在していることがわかる。こ うした傾向も2011年・2012年と同様であった。

以上より、QU尺度から見ると、入学したての段階で は両年の集団特性はほぼ等しく、この段階で現れる特性 は年度による変動が少ないのではないかと推測される。



図4 2012年の学級満足度尺度に基づく4群の割合の変動

(4月・全国平均・12月の比較,学年全体,点線は2011年)

次に,各尺度の学年平均値の変化についてみていく。 表2に,2012年における4月と12月のQU尺度の平均 値とその差を示した。有意な差がみられる尺度項目(対 応のある t検定)をあげると、学校生活意欲尺度におい て「学習意欲」が12月に向かって大きく値を下げてお り、2011年同様の傾向が見られた。学級満足度尺度で は、被侵害得点で12月の方が有意に高くなった。前回 の報告では、「配慮」も12月で有意に低下したが、2012 年は若干低下しているものの有意な差ではなかった。

(対応のある t 検定)								
QU尺度		記述統計量			4月と12月の差			
		実施時期	п	М	SD	м	SD	<i>t</i> 値
学校生活意欲	友人との関係	4月	200	17.04	2.58	. 085	0.00	40
		12月		17.13	2.70		2.83	. 42
	学習意欲	4月	198	15.31	2.98	-1.197****	3. 43	4.01
		12月		14.12	3.46			-4.91
	掛けしの明点	4月	0.01	13.29	3.61	. 448	3. 78	1 60
	教師との関係	12月	201	13.74	3.63			1.08
	学級との関係	4月	201	14.87	3.31	065	3. 41	07
		12月		14.80	3.48			27
	進路意識	4月	901	14.90	3.63	035	3. 15	- 16
		12月	201	14.86	3. 53			10
学級生活満足度	承認得点	4月	202	31.74	7.35	. 832	7.42	1 50
		12月		32.57	7.45			1.55
	妆 启宝得占	4月	000	17.19	7.38	2. 168***	8.06	2 00
	拟反日付员	12月	202	19.36	8.31			3. 62
ソーシャ ルスキル	配慮	4月	201	33.44	4.69	279	4 02	- 20
		12月		32.91	5.15		4.55	80
	かかわり	4月	201	29.70	6.06	. 498	E 49	1 20
		12月	201	30.19	5.80		5.40	1.29
							**	* p < .001

表2 2012 年度4月と12月のQU尺度変動

3.3 QU尺度と成績との関係

QU尺度と成績との関係をみていく。成績指標の算出 は、前回の報告と同じ方法を用いた。すなわち前期後期 ともに開設される科目の中から国語科1科目,社会科1 科目,英語科2科目,数学科2科目,理科1科目の合計 7科目を選び,このGPA値を合計したものである。な お、通常はA評価もS評価も4点としてGPAが計算さ れるが、この調査ではデータの解像度を上げる目的でS 評価を4.5点,A評価を4点として計算した。それ以外 はB評価が3点,C評価が2点,D評価が0点とした (31.5点満点)。また、前回の報告では学年末成績を用 いたが、本報告では執筆時点においてまだ学年末成績が 得られていないことから、後期中間時点における成績を 用いた。この点、後期中間時点と学年末時点では成績評 価の性質が若干異なるので、2011年と2012年の成績 比較は参考資料として報告する。

図5に2012年12月時点の学級満足度のカテゴリー 別にみた後期中間成績の分布を示す。ここでは不満足群 中の要支援群を別途取り出し、5群間で比較した。この 箱ひげ図の箱内横線は中央値、箱の上下端は四分位であ る。要支援群に入ってくる学生(9名)はやはり成績も 低調で、この特徴は2011年と同様であった。





(学年全体)

次に、QU尺度と成績との間における相関関係につい て調べた(Spearmanの順位相関係数)。2012年6月の QU尺度と前期期末成績指標との間で有意な相関が見 られたのは「学習意欲」のみで、正の相関(r=.315) が見られた。また、12月のQU尺度と後期中間成績指 標との間でも「学習意欲」のみで正の相関(r=.344) が見られた。 図6は学習意欲(12月)と後期中間成績指標との関係を見た散布図である。前回の報告で用いた学年末成績 指標と比較して、今回の後期中間成績指標では10点以 下に分布する学生は少い。



図6 学習意欲(12月)と後期中間成績指標の分布 (学年全体)

前回の報告にならい,成績階層間の相違を見ていく。 2012年の後期中間成績指標を基準として,ほぼ3分の 1ずつになるよう3つの成績階層グループを構成し,成 績上位群(n=64),成績中位群(n=76),成績低位群 (n=73)とした。分散分析の結果,この3群間におい て主効果が見られたのは,12月における学習意欲[F (2,203)=11.689, p<.01]のみであった(図7)。Tukey 法による多重比較の結果から,この12月における学習 意欲には低位群と中・上位群の間に有意差がみられ,成 績階層低位群の学習意欲が低いことが示された。

2011 年と比較すると、2011 年は上位群と中位群の間 でも 12 月の学習意欲に有意差がみられている。2012 年は、中位群の学習意欲も4月から比較的高く維持され、 上位群と変わらないレベルに保たれている点が異なっ ている。中位群の学習意欲平均点を比較すると、2011 年が *M* = 13.53, *SD* = 3.40 に対して 2012 年が *M* = 14.84, *SD* = 3.12 で有意な差 [*t*(146) = 2.43, *p*<.05] がみられた。

また,2011年は上位群と低位群で「進路意識」や「承 認得点」にも有意差がみられたが,2012年では有意差 が見られなかった。2012年は低位群が、学習意欲以外 の面では、比較的意欲を落とさずに踏ん張っているので はないかと推測される。



図7 成績階層別にみた12月の学習意欲 (上位群・中位群・低位群の比較,学年全体)

3.4 クラス間におけるQU尺度の比較

2012 年度のクラス間の比較を行っていこう。前回の 報告同様、クラスを匿名で示すために、便宜上「赤・黄・ 緑・青・紫」の5色をクラス名として設定し、1組から 5組までに任意の色をランダムにラベルした。その上で、 学級満足度を示す承認得点と被侵害得点の分布につい て、クラスごとの散布図を4月時点と12月時点を左右 に並べ、図8に示す。

4月時点で右よりの分布が,12月では左方向へ拡散 する全体的傾向は2012年と同様である。クラスごとの 分布特色としては,赤組は4月からすでに拡散気味であ るように思われる。黄組は右上の満足群に比較的多く集 まっている。緑組は黄組同様に右上の高い満足群グルー プがいる一方で,中央から左下にかけて不満足群にも分 布がバラついている。紫組は4月時点では承認得点が低 く抑えられているような印象である。青組は12月にか けて左方向へ流れる傾向が少ないようにみえる。

図9に、4月時点と12月時点におけるクラスごとの 学校生活意欲尺度5項目の平均値を示す。全国平均値を 下回る項目はほとんどなかった。クラス別に見ると、赤 組は「学級との関係」「進路意識」が4月時点で他のク ラスより低いようである。黄組は全体に全国平均より大 きく高いレベルにあるが、4月時点と12月の差でみる と「学級との関係」が下がっている。緑組は「学級との 関係」が高いのが特徴で、5項目とも4月と12月で変 動が少ない。青組も4月と12月の変動が少ないが、「友 人との関係」で上昇がみられる。紫組は「学習意欲」の 落差が大きく、一方で「教師との関係」は大きく上昇し ている。


図 10 に、4月時点と 12 月時点におけるクラスごとの 学級満足度尺度(承認・被侵害)とソーシャルスキル尺 度(配慮・かかわり)の平均値を示す。図中の横点線は 全国平均値を表し、上下の矢印は全国平均値との比較で 有意差(1サンプルの *t*検定)がみられた項目を示して いる。



承認得点はほとんどのクラスで全国平均以上であり, 12月に向けてさらに上昇している。被侵害得点は4月 時点ではどのクラスも全国平均未満であるが,赤・緑・ 紫の3クラスは12月で全国平均を上回る値に上昇して しまった(被侵害得点は低い方が望ましい)。黄組は4 月時点で全国平均より有意に低く,12月時点でも「か らかい」「ふざけ」を抑制できていると推測されよう。

「配慮」は,赤組で12月に向けて大きく低下しており, 被侵害得点の上昇の一因にもなっていると考えられる。 「かかわり」は黄組で高く,交流が活発なクラスであろ うことが推測される。

2012 年のQU尺度について、クラスの平均値を分散 分析により調べたところ、クラス間の主効果がみられた のは4月時点では「学級との関係」[*F*(4,199) = 4.305, *p* <.01]のみであった(図11)。12月時点では、「学級と の関係」[*F*(4,203) = 3.314, *p*<.05] と「配慮」[*F*(4,202) = 2.589, *p*<.05] の2項目について主効果が見られた (図 11)。Tukey 法による多重比較の結果から、4月の 「学級との関係」において、赤組は黄組・緑組よりも低 く、12 月の「学級との関係」では、緑組が赤・黄・紫 組よりも高いことがわかった。

参考までに、本報告で用いた後期中間成績指標のクラ スごとの分布を、図12に示しておく。成績指標平均値 についての分散分析の結果、クラス間の有意差はみられ なかった。



図11 4月12月におけるクラス間の学校生活意欲尺度の比較 (4月と12月の学級との関係,12月の配慮)



3.5 2011 年と 2012 年の比較

ここまで2012年度入学生のQU尺度の特徴を中心に 見てきたが、次に2011年との比較を中心に考察する。

学校生活意欲尺度について、4月時点では2011年と 2012年はほぼ重なることを前述した。それでは、12月 にかけての変動はどうだろうか。図13に、2011年・2012 年両年の4月から12月にかけての変動を示した。「学習 意欲」が低下するのは共通の特徴である。一方で、「教 師との関係」「学級との関係」「進路意識」の3項目につ いては、やや動きが異なるようにも見える。学校生活意 欲尺度5項目について、12月の2011年と2012年を比 較しやすいよう、両年の平均値を図14に示す。



図13 4月と12月の学校生活意欲の変動

(左: 2011 年度, 右: 2012 年度, 学年全体)

5項目について、年度ごとの平均値の差(*t*検定)を 検討したところ、「教師との関係」「t(412)=2.142、p <.05] と「進路意識」[t(411) =2.003, p<.05] で 2012 年の方が有意に高かった。学年全体の傾向として、2012 年は学校生活意欲の経時低下が2012年より抑えられて いると言えるだろう。学級生活満足度尺度およびソーシ ャルスキル尺度については、2011年と2012の間で有 意差は見られなかった。

3.6 困り具合に関するセルフチェックリストの分析

このアンケートは、学生が具体的に困っていることを 把握するために行った。このアンケート結果を用いて分 析を進めるあたって,まず因子分析によってデータを要 約できないか検討することとした。

38 項目について得点分布を確認したところ、いくつ かの質問項目で偏りが見られたが,いずれの項目につい ても不可欠なものであると考えられ、これらを除外せず に以降の分析を行った。

次に38項目に対して主因子法による因子分析を行っ た。固有値の変化から5因子構造が妥当と考え、再度、 5因子を仮定して主因子法・Promax 回転による因子分 析を行った。その結果十分な因子負荷量を示さなかった 8項目を分析から除外し,再度,主因子法・Promax回 転による因子分析を行った。Promax 回転後の因子パタ ーンと因子間の相関を表3に示す。なお回転前の5因子 で30項目の全分散を説明する割合は51.35%であった。 第1因子は11項目で構成され、コミュニケーション



(2011年12月と2012年12月の比較,学年全体)



	I	I	Π	N	v
25. クラスメート等とトラブルになることが多い	.59	02	07	07	.06
37. 周りから孤立していると感じる	.57	06	.17	.05	09
28. 思い込みが激しいとよく人から言われる	.53	01	.11	03	.15
30. 周囲の人が言っていることをうまく理解していないように感じる	.49	13	.22	.36	01
27. 人と会話することが苦手だ	.49	.01	.01	.23	07
14. ザワザワした教室にいるのは耐えられない	.48	03	19	.10	.00
26. 約束を守れなかったり, 忘れたりすることが多い	.47	.36	03	05	.10
31. 納得するまで質問する等, 人から「しつこい」とよく言われる	.45	.13	.15	08	.03
24. 授業と授業の間で時間ができると時間をつぶすのに困る	.45	.04	.06	17	.16
32. クラスメートの顔と名前を一致させることがなかなかできない	.44	.04	21	.39	14
13. 実験や実習に参加することに苦痛を感じる	.42	.25	.09	19	.06
17. 提出物の期日を忘れてしまうことが多い	.03	.90	.01	08	05
8. レポートや宿題を期日までに仕上げられないことが多い	.20	.77	.01	21	06
 物忘れ,紛失物が多い 	11	.76	09	.34	18
20. 掲示物や配布物に気がつかない、もしくは忘れてしまうことが多い	08	.72	.06	.14	.05
19. 約束した時間に遅れることが多い	.12	.49	16	.11	.29
 整理整頓が苦手だ 	10	.44	.16	.32	12
35. 自分はダメな人間だと思いがちである	.08	14	.90	03	20
11. 勉強方法が分からない	18	.26	.63	.01	.07
36. 気分が沈みがちである	.18	.01	.63	.00	16
38. 将来のことを考えると不安だ	04	.03	.63	06	.11
34. 衝動的に物を壊すことがある	.12	.01	.51	02	03
21. 衝動買いの傾向がある	11	08	.49	.11	.08
12. 自分の意見を交えてレポートを書くことが苦手だ	13	.15	.49	.09	.20
2. 手書きで文字を書くのがとても遅い,または文字を上手に書くことができない	02	04	.06	.59	.08
 調字,脱字が多い 	08	.11	03	.58	.08
29. 他の人が考えていることを理解するのが苦手だ	.38	01	.06	.43	.02
10. 聞く人・読む人に分かりやすく考えを整理したり, 文章にすることが苦手だ	04	03	.24	.43	.29
3. 文字を読むことが苦手だ	.02	04	.00	.08	.85
4. 本を読むのに時間がかかる	.11	09	05	.05	.80

や友人関係の問題に起因する困り感であることから「人 付き合い|因子と命名した。第2因子は6項目で構成さ れ、「期日を忘れる、守れない」「掲示に気づかない・物 忘れ・紛失が多い|「整理整頓が苦手」といった内容で あった。そこで「計画実行性」因子と命名した。第3因 子は7項目から構成されており、自分を否定的に見たり、 気分が沈み、将来が不安、また衝動的な行動がみられる といった内容であったことから「情緒不安定」因子と名 付けた。第4因子は4項目から構成され, 誤字脱字が多 く書くのが遅い,他人の考えを理解する,自分の考えを 文章にして伝えることが苦手といった内容であること から、「言語能力」因子と命名した。第5因子は2項目 から成り, 読むのが苦手で, 読書に時間がかかるという 内容であることから,言語能力の一種ではあるが「読字」 因子と名付けた。また、このアンケート結果を用いた尺 度を「困り感尺度」と呼ぶことにする。

この困り感尺度の5つの下位尺度に相当する項目の 平均値を算出し、「人付き合い」下位尺度得点(*M*=1.77, *SD*=0.49)、「計画実行性」下位尺度得点(*M*=2.18, *SD* =0.74)、「情緒不安定」下位尺度得点(*M*=2.24, *SD*= 0.67)、「言語能力」下位尺度得点(*M*=2.41, *SD*=0.66)、

「読字」下位尺度得点 (M= 1.94, SD= 0.91) とした。 内的整合性を検討するために, 各下位尺度の α 係数を算 出したところ,「人付き合い」で α = .83,「計画実行性」 で α = .86,「情緒不安定」で α = .82,「言語能力」で α = .73,「読字」で α = .85 と十分な値が得られた。表4 にこの下位尺度間相関を示す。5 つの下位尺度は互いに 有意な正の相関を示した。

	人付き合い	計画実行性	情緒不安定	言語能力	読字	М	SD	α
人付き合い	-	. 552**	. 572**	. 557**	. 328**	1.77	0.49	.83
計画実行性		-	. 504**	. 505**	. 330**	2.18	0.74	.86
情緒不安定			-	. 553**	. 333**	2.24	0.67	.82
言語能力				-	. 401**	2.41	0.66	.73
読字					-	1.94	0.91	.85
** p < .0	1							

表4 困り感尺度の下位尺度間相関

この困り感尺度を用いて、学級満足度尺度に基づく5 群(「満足群」「非承認群」「不満足群」「要支援群」「侵 害行為認知群」)が、それぞれどのようなつまずきを抱 えているのか、その特徴をみていく。この5 群間で主効 果がみられたのは、「読字」下位尺度を除く4つの下位 尺度であった(人付き合い: [F(4,194) = 11.416, p<.001]、計画実行性: [F(4,195) = 4.816, p<.001]、 情緒不安定: [F(4,197) = 4.719, p<.001]、言語能力: [F(4,197) = 3.529, p<.01])。Tukey 法による多重比 較の結果から(図 15),「人付き合い」では,満足群と 不満足群・侵害行為認知群・要支援群の間,非承認群と 要支援群の間で有意差がみられた。「計画実行性」では, 要支援群と満足群・非承認群・侵害行為認知群の間で有 意差がみられた。「情緒不安定」では,要支援群と他の 4群との間でそれぞれ有意差がみられた。「言語能力」 でも,要支援群と他の4群との間で有意差がみられた。



(人付き合い,計画実行性,情緒不安定,言語能力) 比較

以上の結果から、満足群の学生は他の群に比べ「人付 き合い」の困り感をあまり持たずに過ごせていること、 裏返せば、不満足群や侵害行為認知群の学生は、人付き 合いにやや困難を感じていることが推測される。また、 要支援群の学生は、他の4群の学生に比べ、広範な困り 感を抱えており、これら全てを自分だけの力で克服・制 御するのは至難ではないかと推測される。

加えて、成績との関連をみるために、3.3節で用いた 成績階層を再び用いて、成績上位群・中位群・低位群の 3群間における困り感尺度を比較した。分散分析の結果、 3群間において主効果が見られたのは、「計画性」[F(2,200) = 6.014, p < .01],「情緒不安定」[F(2,202) = 3.795, p < .05]の2尺度であった。Tukey 法による多 重比較の結果(図 16)、いずれも成績上位層と成績低位 層との間で有意差がみられた。

この結果から,成績低位層の学生は,期日を守るため

の計画性や、ToDo を忘れない工夫,整理整頓といった 修学あるいは日常の一般的なスキルの面でつまずいて いることが予測できる。またこのこととの因果関係はわ からないにせよ,自分に自信がなく,衝動的になったり もする情緒面の不安定さもまた抱えており,支援や指導 の方法について考慮されるべきだろう。例えば、学生は 自己否定感を強く抱いていることが予測されることか ら,教員が学生の自己肯定感を育む支持的な態度で接し, スモールステップで出来ることを増やして自信をつけ させていく,といった方針が有効ではないだろうか。



図 16 後期中間成績による成績階層別の困り感尺度の比較 (計画実行性、情緒不安定)

(計画夫们性,) | 稍稍小女

4. まとめ

本報告では、QU尺度からみえてくる東京高専 2012 年度1年生の集団特性を考察した。

4月時点の学級生活満足度尺度は、5群の比率が 2011 年と 2012 年でほぼ変わらなかった。また、学校 生活意欲尺度もほぼ重なり、入学後1ヶ月の様子は年度 によって大きく変動しないことが推測された。

4月と12月の比較では、4月時点では「学習意欲」 が非常に高いのに、8ヶ月後には大きく落ちてしまう特 徴があり、これは2011年とも共通した特徴であった。 学級満足度からみたクラス集団特性としては、4月時点 では被侵害得点が低く抑えられているが、8ヶ月後には 高くなってしまう側面があり、これも2011年と共通し た特徴であったが、「配慮」のソーシャルスキルについ ては、2012年は大きな低下は見られなかった。成績と の関係をみると、「学習意欲」と成績の間には相関関係 がみられ、これは2011年と同じであった。ただし、成 績階層別にみると、2011年は上位群・中位群・低位群 の3群間にそれぞれ差が見られたが、2012年は中位群 の学習意欲は上位群とほぼ同じレベルにあり、上位群と 低位群との間にのみ差がみられた。このことから、2012 年は成績中位の学生が4月のモチベーションを比較的 よく保持していたことがわかった。学級生活満足度尺度 に基づく5群間で見ると、要支援群の学業成績が目立っ て落ち込んでおり、これは2011年と同様であった。

クラス間の比較では、8ヶ月で被侵害得点が高くなっ てしまうクラスと、抑えられるクラスとがあった。2011 年と比べると、「配慮」が大きく低下するクラスが少な く、秩序・マナーが維持できていたと考えられる。2011 年は「教師との関係」でクラス間の差が大きかったが、 2012年はそうした特徴は見られなかった。一方で「学 級との関係」において、低いクラスと高いクラスの差が 大きかった。全般には、2011年に比べて2012年は学 校生活意欲尺度の低下が抑えられていたと言える。

今後の集団育成に活かす目的で、「困り具合に関する セルフチェック」を実施し、結果を困り感尺度として要 約してQU尺度との関連をみた。その結果、満足群とそ れ以外の群をわける要因として「人付き合い」のスキル があるのではないかと考えられた。また、要支援群は「人 付き合い」「計画実行性」「情緒不安定」「言語能力」と いった、修学・学校生活に必要な能力全般で高めの困り 感を抱いており、独りでこれらを解決することは困難で あろうことが予測された。繰り返し述べているが、やは り組織的支援が必要であろう。

成績低位群への支援として、この群の学生は自己肯定 感が低く、情緒や衝動性の問題も抱えていることが推測 され、支持的な態度で接する必要があると考えられる。 出来ることに焦点をあて、出来て当たり前と思われてい るような日常生活の基本スキルについても、学び直しの 支援を行っていくとよいのではないだろうか。

最後に、学級運営にQUを活用し、アンケートの実施 にも協力頂いた1年生担任の皆様にお礼を申し上げる。

謝辞

本研究の一部は科研費(若手B:22730723)により 行われた。

参考文献

- 日本学生支援機構,発達障害のある学生支援 ケースブック(2007)
- 2)河村茂雄(著)・日本図書文化協会(制作), よりよい学校生活と友達づくりのためのア ンケート Hyper-QU 高校生用,図書文化社

(平成25年1月8日 受理)

Creating a social networking and project collaborating site with Microsoft SharePoint 2010

Rauno RUOHONEN*, Hirotaka TSUTSUMI**

This report describes the progress of setting up a virtual environment for SharePoint 2010 and creating a social networking and project collaborating site with it. Because the working environment is a school, the SharePoint site was aimed to provide students and teachers with an intranet portal that can be used to track departmental and laboratory specific events in addition to the personal project workspaces.

Keywords : Microsoft SharePoint 2010, Windows Server 2008R2, Intranet, Virtualization

1. Introduction

SharePoint is an information management system developed by Microsoft that allows its users to work in a web-based environment. It allows sharing and managing information of the enterprise with browser software, functioning as an intranet service. SharePoint comes with built-in functionalities and third party developers can provide extended functionalities according to the enterprise's needs.

The subject was chosen with the criteria of personal interest and the purpose of finding a way to have a relation between the field of mechanics and computer networks. A lack of intranet services for students and the use of dedicated workstations in specific laboratories inspired the use of SharePoint to create project workspaces and a common portal to communicate within the school network.

2. Physical setup

The physical equipment used included a desktop computer functioning as a server with Intel i5-2300 processor, 8 GB RAM and a 500 GB hard disk. The operating system of the desktop computer, from now on referred as the RAUNOLAB, was Windows Server 2008R2. The components were chosen to meet the minimum requirements of SharePoint 2010 Server [1,2].

In addition a personal laptop PC was used to connect to the laboratory system after the initial configuration process.



Fig. 1. Physical equipment

* Helsinki Metropolia University of Applied Sciences

^{**} Tokyo National College of Technology. Department of Mechanical Engineering



Fig. 2. Topology including the virtual computers

During the installation of RAUNOLAB, the 500 GB hard disk was partitioned into four parts: three 80 GB partitions and one 160 GB partition; one for each virtual machine plus the host system. Hyper-V was used to create three virtual machines with the following purposes:

- AD-SERVER to control the virtual network and provide Active Directory service
- SP-SERVER to provide SharePoint service and host data uploaded to the SharePoint site
- CLIENT-PC to simulate a basic computer in the network, meant to be used by the normal users

AD-SERVER and CLIENT-PC were provided 80 GB of hard disk space and were configured to use RAM dynamically. SP-SERVER was allocated with 160 GB of hard disk space and was configured to use a fixed amount of 4 GB RAM.

3. The virtual network

The AD-SERVER (Windows Server 2008R2) is the domain controller of the virtual network. It is responsible for three important tasks:

- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) [3]
- Provides IP addresses for devices
- DNS (Domain Name System) [4]
 - o Translates web addresses into IP addresses, in particular for the SharePoint site
- Active Directory
 - For authenticating and authorizing users in the domain network (User accounts and security)

The accounts configured in Active Directory can be used to log into the servers and the CLIENT-PC. Additional security policies control who has the permission to do specific things. For example, a normal student does not have to permission to log into the server machines, or change important settings on the CLIENT-PC. These settings can be propagated to every machine in the network via Active Directory.

Figure 3. shows the first two events that happen when a new computer is joined to the domain. The



Fig. 3. Phases (1) and (2)

Active Directory adds the new computer to the domain network, and after that the DHCP service gives the new computer an IP address.

After joining the domain, only accounts configured at the Active Directory can be used to log into the new computer.

The SP-SERVER (Windows Server 2008R2) is used to create and host a SharePoint web site, and all the information that is uploaded into it during its use. The web address of the SharePoint site in this case was "http://sp-server", and the IP address of the server was 199.99.99.X (the DHCP service at AD-SERVER gives the SP-SERVER its IP address, which can be something between 199.99.99.2 – 199.99.99.254).

When an user on the new computer (or any other computer) in the domain network tries to access the address "http://sp-server", the computer asks the DNS service at AD-SERVER to translate the web address into the IP address of the SP-SERVER, which is required to connect to the website.

4. Creating the content

The SharePoint site consists of a front page, departmental sites and laboratory sites. The front page; http://sp-server, is the default homepage for the domain computers. It has links to three different department sites and can be used to publish information related to all the users of the system. The departmental sites have their own calendars, which can be used to track events related to that department as a whole, and also the possibility of using a discussion board.

Most focus was put into creating the laboratory sites (only one laboratory site was created as an example), meant for individual laboratories to use as project workspaces, enabling collaborating between the students and teachers and hosting research/project related data. The laboratory site also has its own calendar and discussion board. Each member of the laboratory has his/her own subsite at the laboratory site, which by default has a text content editor and two file libraries for important files and images.

Every part of the SharePoint site is highly customizable, requiring no technical knowledge besides learning to use the SharePoint web interface, which is very much alike the Office 2010 controls. Controlling who has access to which parts of the site can be managed by the respective site owners and the administrators.

					Editing	ools	Page Tools	Web Part Tools			1 1	Nucleo Babatana	1414
Site Act	ions - 💓	R.	Browse	Page	Format Text	Insert	Insert	Options				месна короста	
2	R	PN.	∦ Cut	Ve	rdana •	8pt •			A		0	<u>n</u>	•
Edit	Check Out	Paste	Undo	. в	I U abe x	, x' 🌮	• <u>A</u> • A		Styles	Text Layout -	Markup Styles +	l≩ Select • ≤≩ HTML •	
	Edit	c	lipboard			ont		Paragraph	Styles	Layout		Markup	

Fig. 4. SharePoint 'Ribbon'



Fig. 5. Front page, mechanics department and precision engineering sites

5. Conclusion

During initial planning for the project, several unachieved goals were set, including: Microsoft Exchange, Profile Synchronization between SharePoint and Active Directory, making the site visible for computers outside the virtual network and several others. The final SharePoint environment was accessible only by taking control of one of the virtual computers with Remote Desktop Connection, which could be done from anywhere in the school campus.

The most challenging part of the project was troubleshooting initial configurations and adding new services, requiring a lot of study at Microsoft TechNet [5] and various other websites found via internet searches. The system works as a whole, but is light in content due to fact that the target audience was mostly finished with their respective research subjects by the time the SharePoint environment was ready for actual use. With more exact planning and possibly more hardware resources, a more extensive intranet service could be created quite easily.

Most importantly, the project was a good introduction into the installation, configuration and administration of a SharePoint 2010 environment. The experience gained throughout the project is valuable in my future studies of computer networks and Microsoft's networking related products.

References:

- [1] Microsoft TechNet, http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc262485.aspx
- [2] Intel i5-2300 processor, http://ark.intel.com/products/52206
- [3] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Dhcp
- [4] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Domain_Name_System
- [5] Microsoft TechNet SharePoint 2010, http://technet.microsoft.com/en-us/sharepoint/ee263917

写像関数を利用した系統的翼型生成と流体力学的特性の評価

斉藤純夫*, 山科貴裕**, 市川達也***, 高橋正旭****

岩村拓哉*****,三原純一*,児玉和也*

Systematic Creation of Wind Turbine Airfoils with Mapping Function and Evaluation of Aerodynamic Characteristics of the Created Airfoils

Sumio SAITO, Takahiro YAMASHINA, Tatsuya ICHIKAWA, Masaaki TAKAHASHI, Takuya IWAMURA, Junichi MIHARA and Kazuya KODAMA

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). To improve overall wind turbine performance, various blade tip-root geometric components have been proposed and adopted to wind turbines in service. 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 necessary. And it is also important to consider the whole airfoil of wind turbine blades systematically in order to improve the power efficiency of wind turbine system. To clarify the effects of the surface roughness of typical thin and thick blades on aerodynamic characteristics, the previous paper examined the basic characteristics and flow conditions around the blades at different angles of attack, including those before and after stalls. It also suggested that the aerodynamic characteristic curve of each blade could be divided into three regions according to the angle of attack. However, each wind turbine blade has different airfoil profiles along the blade span, meaning that the airfoil of the entire blade is not considered for airfoil construction. To consider the airfoil of wind turbine blades as a whole, this paper examines their aerodynamic characteristics and the flow behavior around the blades by applying a conformal mapping technique to systematically create airfoil profiles in the section from the blade tip to the blade root. We call these airfoil profiles "TNCT (Tokyo National College of Technology) airfoils" and exemplify their application to the entire section of wind turbine blades.

Keywords : Wind Turbine Blade, Aerodynamic Characteristics , Angle of Attack, Pressure Distribution, Velocity Distribution , Wake Distribution, Conformal Mapping

1. 緒 言

現在,一般的に採用されている中大型のプロペ ラ形水平軸風車においては,翼先端部では厚み比 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.風車システム全体の発電効 率を向上させるためには,翼の各部位におけるこ れら翼型の流体力学的特性の向上を図るとともに, それらの翼型を有機的に構成させてブレード翼全 体を構築することが重要である.

前報^{(1)~(4)} では,既存の代表的な薄翼と厚翼の 翼表面の粗さの違いによる流体力学的特性を明ら かにするため,失速前後を含む迎え角における基 本的な特性と翼周りの流動状態について検討を加 え,あわせて流体力学的性能曲線を迎え角の変化 に応じ,三つの領域に分類できることを提示した.

しかしながら,風車ブレード全体を構成する各 部位における翼型は,それぞれ個別に採用されて いるため,翼先端から根元部までの翼形状を統一 した考え方で構築されているとはいえないのが現 状である. そこで、本報では、風車ブレード全体を構成す る各部位における翼型を一環した考え方で構築す るため、等角写像の手法を適用して、翼先端から 翼根元部までの翼型を系統的に生成し、それらの 流体力学的特性および翼周りの流れの挙動につい て検討した.また、これらの翼型を「東京高専翼 型」と称し、風車ブレード全体に展開する例も提 示した.

2. おもな記号

A	: 翼の代表面積 $= 3.58 \times 10^{-2}$ $[m^2]$
С	:翼弦長 [mm]
C_L	: 揚力係数 $= L / (\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A)$
C_D	:抗力係数 = $D / (\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A)$
C_P	: 圧力係数 = $P_s / (\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2)$
D	:抗力 [N]
L	: 揚力 [N]
P_S	:静圧 [Pa]
Re	: レイノルズ数

*東京工業高等専門学校 機械工学科 **三菱重工業(株) ***(株)IHI ****横浜国立大学 ****東京工業高等専門学校 専攻科

: 翼前縁からの距離 [mm] х

:迎え角 [°] α

- :厚み比 =T/Cδ
- : 空気の密度 [kg/m³] ρ

3. 等角写像による系統的翼型生成

3・1 等角写像による関数表示

図1に示すように、z平面の円とw平面の翼型 との関係は、等角写像法を適用することにより表 すことができる.



Relation between *z* plane and *w* plane Fig. 1

この時, Joukowski 翼型は, 一般的に以下の式 の変換により得ることができる⁽⁵⁾.

$$w = z + \frac{k^2}{z} \tag{3.1}$$

ここで, w:写像関数

k:任意の係数

z によって写像関数中に表されている円の関数 は,

$$z = (a+bi)+|k-a-bi|e^{i\theta}$$

= $(a+bi)+\sqrt{(k-a)^2+b^2}(\cos\theta+i\sin\theta)$
= $\left(a+\sqrt{(k-a)^2+b^2}\cos\theta\right)+i\left(b+\sqrt{(k-a)^2+b^2}\sin\theta\right)$ (3.2)

となる.

である.

式(3.2)を用いて z 平面から w 平面へと写像し, 式を整理すると次式のようになる.

$$w(z) = \left((a+bi) + |k-a-bi|e^{i\theta} + \frac{k^2}{(a+bi) + |k-a-bi|e^{i\theta}} \right)$$
$$= \left((a+bi) + \sqrt{(k-a)^2 + b^2} (\cos \theta + i \sin \theta) + \frac{k^2}{(a+bi) + \sqrt{(k-a)^2 + b^2} (\cos \theta + i \sin \theta)} \right)$$
(3.3)

上式における虚数iを含まない部分をx座標, 含む部分を y 座標とし, それぞれを w_x, w_yとする とそれらは以下の式で与えられる.

$$w_{x} = \left((a + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \cos \theta}) + \frac{k^{2} \times (a + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \cos \theta})}{(a + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \cos \theta})^{2} + (b + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \sin \theta})^{2}} \right)$$

$$w_{y} = \left((b + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \sin \theta}) - \frac{k^{2} \times (b + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \sin \theta})}{(a + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \cos \theta})^{2} + (b + \sqrt{(k-a)^{2} + b^{2} \sin \theta})^{2}} \right) (3.4)$$

この w_x, w_yによって翼型が形成され, 図2は一 例として, a と b の値を変化させた場合の翼型の 形状を示したものである.



-0.5 (b) Created airfoils at different b values

-----b=0.3

 $- \cdot - b = 0.4$

b=0.2

-0.4

Fig. 2 Created airfoils due to a & b values

T

3・2 系統的翼型生成と供試翼型

図3は上述の写像関数を適用して系統的に生成 した翼型の一覧を示したもので、係数*a*と*b*を変 化させることにより、翼の厚みやそりを変化させ た様々な翼型を生成することができる.

そこで本研究では図3に示した翼について,汎 用の流れ解析ソフト(SCRYU Tetra/V9)⁽⁶⁾を用い て,迎え角の変化による揚力係数 C_L および抗力係 数 C_D の変化を解析的に求めた.

図4はその解析結果の一例を示したもので,該 当する翼形状の箇所に,揚力係数 *C*_Lおよび抗力係 数 *C*_Dの解析結果を図示した.流体力学的特性を 評価するためには,揚力,抗力,あるいは揚力と 抗力の比である揚抗比など,いくつかの評価関数 が考えられるが,本報では,そのうち揚抗比が最 大となる翼型に着目して選定し,系統的に変化す る薄翼から厚翼までの翼群を太線のワクで囲んだ.

実験においては、図4で選定した翼群の中から 表1に示す翼厚さの異なる4種類の翼(厚み比 δ =11,17,23および30%)を、TNCT (Tokyo National College of Technology)翼(以下、「東京高専翼型」 と呼称)と名付けた.厳密には表1に示すように、 厚み比は小数点以下の数値で表されるので、ここ では四捨五入した厚み比の値で定義し、TNCT-11 翼等と呼称した.翼は、翼弦長 Cを120[mm]、ス パン方向長さSが298[mm]になるよう光造形樹脂 により製作し、光造形の積層時に生じる積層痕を 除去して、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.

4. 実験装置と方法

図 5 は前報^{(1)~(4)}での実験に使用したものと同 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である.風洞吸込み口 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.



 Table 1
 TNCT(Tokyo National College of Technology)



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.

図6は翼上面,下面および翼後方の流速分布を 測定する際の熱線プローブのトラバース範囲を TNCT-11 翼を例に示したものである.

翼上面および下面側の流速分布は,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 24[mm](20%C)後方の位置に設置し,上下方向± 60[mm]の範囲で移動させることにより,合計 21 点測定した.

測定した流速値 u は、風洞出口部における基準 流速 U_{∞} に対する比 u/U_{∞} で表し、また、流れの乱 れ強さ T_u は、次式により評価した.

$$T_{u} = \frac{\delta_{u}}{U_{\infty}} = \frac{1}{U_{\infty}} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (u_{i} - u)^{2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$
(4.1)

ここで, δ_u : 測定流速の標準偏差 u_i : 時系列の流速測定値 n :流速測定回数

である.

さらに,翼上面側の流れの状況を可視化するため,図7に示すようなタフトを取り付けられる冶具を用い,翼表面より鉛直方向に5[mm]離れた位置での流れの挙動を観察できるようにした.



Fig. 6 Measurement range of velocity distribution



Fig. 7 Flow visualization used by tuft method

5. 実験結果と考察

5・1 厚み比の違いによる翼型の流体力学的特性 の変化

図 8 は供試翼型として選定した 4 種類の厚み比 の異なる「東京高専翼型」について、レイノルズ 数 $Re=1.4 \times 10^5$ の条件下で、迎え角 $\alpha \ge 0^\circ$ から 40° まで変化させた時の揚力係数 C_L および抗力係数 C_D の変化を示す.

迎え角の大きいところで発生する失速までの 範囲における揚力係数 C_L の変化についてみると, 厚み比 $\delta=17\%$ の翼が,迎え角 $a=6^\circ$ 以下を除き, その値が最も大きく現れている.また,この範囲 における C_D の値は,厚み比の小さい翼ほど小さ くなっている.

さらに厚み比の小さい δ =11%と17%の翼については、迎え角の大きい失速後の領域での揚力係数 C_L の低下が大きく現れている.



Fig. 8 Aerodynamic characteristics (Effect of thickness ratio of TNCT airfoils)

これに対し、厚み比が大きくなるほど、その低 下割合は小さく、 $\delta=30\%$ の翼では、揚力係数 C_L の低下は見られないものの,迎え角が約30°以下 の領域での C_L の値は小さい. 一方, 抗力係数 C_D の値は、厚み比の小さい他の翼と比べると、迎え 角が 40°の範囲まで大きいことがわかる.

前報(4)において、実験に用いた薄翼および厚翼 の両者とも、それぞれの迎え角の大きさの範囲に 応じ、揚力係数 C_L および抗力係数 C_D で表される 特性曲線の傾きの変化が異なり、三つの領域に大 別できることを示したが、本報においても、同様 に分類し、それぞれの領域における流れの挙動を 評価することにした.

翼の厚み比の大小により, 流体力学的特性の変 化に多少の違いはあるものの、以下の三つの領域 に大別できる.

(1) 領域 I: 迎え角 a=0°~10°で, 揚力係数の 曲線の傾きの大きい領域

(2) 領域 II: 迎え角 α=10°から揚力係数の値が

80

60 Vertical Coordinates y [mm] u/U_{∞} 0 0.5 1 0 0.5 1 0 0.5 40 20 -20 0 0.5 0 0.5 0 0.5 -40 TNCT-11 -60 u/U-80 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.2 Horizontal Coordinates x/C (a) $\alpha = 6^{\circ}$ (Region I) 80 $\alpha = 24^{\circ}$ 60 0 0 5 1 u/U_{∞} Vertical Coordinates v [mm] 0 0.5 1 40 0 0.5 20 0 -20 0 0.5 1 -40 8 TNCT-11 0 0.5 1 -60 u/U 0 0.5 1 -80 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.2 Horizontal Coordinates x/C (c) $\alpha = 24^{\circ}$ (Just before stall)

最大になるまでの領域(ただし, TNCT-30 翼の場合には、揚力係数の 値の低下は見られないので、領域 I と比べ, 揚力係数の曲線の傾きが小 さくなるまでの領域とする)

(3) 領域Ⅲ:領域Ⅱ以降で,翼によっては揚力係 数の値が減少した失速後の領域

以下の節では、上記厚み比の異なる「東京高専 翼型」のうち,厚み比の最も小さい TNCT-11 と最 も大きい TNCT-30 の二つの翼を対象に,厚み比の 大小による翼特性の違いについて検討する.

5・2 TNCT-11 翼の各領域における特性評価

5・2・1 翼周りの流れの基本構造

図9は、領域Iおよび領域Ⅱの迎え角として a =6°と14°を,また,失速直前の迎え角としてα =24°を,さらに領域Ⅲの迎え角として失速直後の α=26°の場合について, 翼周りの流速分布と後流 分布を白丸で,また,乱れ強さを黒丸で示したも



Fig. 9 Velocity distribution around blade and wake distribution (TNCT-11)

のである.

測定箇所は, 翼上下面とも翼スパン方向の中心 部においてそれぞれ翼弦長を等分する5箇所の位 置で、それは図9内の流速分布を示した座標の1.0 のところにあたる.

領域 I の迎え角 α=6°の場合, 翼上面および下 面側の流れは、それぞれの測定箇所においてほぼ 一様な流速分布を示しており、流れの乱れ強さも 零に近い値となっている.しかしながら,翼出口 端の翼上面近傍においては、わずかに流速の低下 が見られ、かつ、乱れ強さも多少増加している. そのため、この流れの変動が、翼の後流分布にも 影響していることがわかる.

領域 II の迎え角である α=14°の流動状態も基 本的には領域Iの場合とほぼ同じであるが、迎え 角の増加に伴い、翼入口付近の上面側の流速がわ ずかながら増加している.しかし,翼下面側の流 速は、ほぼ一様な分布を示している.後流分布も 領域Iの場合とほとんど変わらず、この領域まで は、翼周りの流速分布の挙動には大きな変化がみ られないことがわかる.

さらに迎え角が増加し, 揚力係数 CL が最大とな る失速直前の迎え角である α=24°では, 翼入口 付近の上面側の流速が増大し、かつ、翼後縁より

20%上流の箇所から、翼上面近傍における流速の 低下が大きく現れている.この流速低下の領域は、 翼後縁になるとさらに翼上方まで拡大しており, 翼後方の流速低下部を示す後流部分も大きくなり, かつ,乱れ強さも増加している.

失速後の領域Ⅲにおける迎え角 a=26°では, 翼上面側の流速の低下の範囲が,翼弦長の60%付 近まで広がり,後流領域も翼上面側に大きく拡大 している.この状態であっても、翼下面側の流速 分布は, それぞれの測定箇所において, ほぼ一様 な分布を示している.

以上の流れの挙動をさらに詳細に検討するた め、汎用流れ解析ソフト(SCRYU Tetra/V9)⁶⁰を 用いて解析した翼スパン中央部における流れの状 態をコンタ図として図10に示す.図には、上記迎 え角の場合の解析結果の他に、参考までに迎え角 の最も小さい例として $\alpha=0^{\circ}$ を,また,迎え角の 大きい例として α=30°の場合についても併記し た.

迎え角 $\alpha = 6^{\circ}$ の場合,流れは翼上面および下面 側とも翼に沿った流れとなっているが、α=14° では,翼上面のほぼ中央付近から流れがはく離し, 実験結果と比較すると、その領域は大きく見積ら れている.



(a) $\alpha = 0^{\circ}$ (Region I)

(b) $\alpha = 6^{\circ}$ (Region I)

(c) $\alpha = 14^{\circ}$ (Region II)



(d) $\alpha = 24^{\circ}$ (Just before stall)

Fig. 10 Calculated flow pattern (TNCT-11)

(f) $\alpha = 30^{\circ}$ (Region III)

失速前後の迎え角である α=24°と α=26°に ついても同様に,解析結果の方が,はく離領域が 大きく現れているが,全体的に見れば,翼周りの 流れの挙動は,実験結果とよく対応しているもの と言える.

さらに,迎え角の大きい α=30°の場合には, 翼上面側のはく離領域の拡大が見られる.

一方,迎え角の最も小さい例としてあげた α= 0°の場合の解析結果をみると,翼下面側の翼中央 より下流側にかけて流速の小さい領域が見られる. これは TNCT-11 翼がそりのついた翼であるため, その翼形状の影響により,迎え角 0°の場合,翼 下面側でわずかながら流れのはく離が発生してい ることによるものと考えられる.

5・2・2 翼面上の圧力分布のスパン方向分布

図 11 は上述の各領域における圧力分布を,翼 スパン中央より翼端までの片側の範囲の各位置に おいて示したもので,図中には翼型形状も破線で 併記した.測定したスパン位置は図の斜めの軸上 の数値で記載し,0[mm]が翼端に,また,149[mm] が翼の中央部に相当する. 領域 I の迎え角 $\alpha = 6^{\circ}$ と領域 II の迎え角であ る $\alpha = 14^{\circ}$ および揚力係数 C_L が最大となる失速直 前の迎え角である $\alpha = 24^{\circ}$ における翼スパン方向 圧力分布をみると,翼上面と下面側の圧力差が, 迎え角が大きくなるほど増大しており,揚力係数 C_L の値と対応している.

しかしながら、どの迎え角の場合とも、翼上面 と下面側の圧力差は、翼端側より中央部で大きく 現れており、アスペクト比(S/C)が 2.48 と小さ いため、翼端に近づくほど、翼面上の流れの二次 元性の確保が難しいことを示している.

これを確認するため,図 12 にタフト法による 翼上面側の流れの可視化写真を示す.

迎え角 $a=6^\circ$ から 24° までの結果を見ると, 翼中央部のタフトは流れ方向に向いているのに対 し, 翼端に近い位置でのタフトは, 翼後縁部に近 くなるほど翼中央方向に向いており, 三次元性の 強い流れとなっている. この傾向は, 迎え角が大 きくなるほど顕著であることがわかる.

これに対し、失速後の領域Ⅲの迎え角 α=26°の場合,迎え角 α=6°から 24°までの結果とは異なり,図 11(d)に示すように、翼上面側の圧力が翼





Fig. 12 Flow visualization on upper side used by tuft method (TNCT-11)

中央部付近では翼全長にわたり一定の値となり, この付近の箇所での翼が失速状態を呈しているこ とが分かる.

一方,翼端側になるほど,翼上面側の圧力が, 翼前縁近くで大きくなっており,翼端付近の翼は 失速していない翼と同じような作用をしているこ とがわかる.

これは,図 12 に示したタフトの挙動から,ス パン方向の翼中央部付近でタフトが旋回している のに対し,翼端付近のタフトがほぼ流れ方向に向 いていることからも判断できる.

5・3 TNCT-30 翼の各領域における特性評価

5・3・1 翼周りの流れの基本構造

図 13 は、領域 I、領域 IIおよび領域Ⅲにおけ る各迎え角における翼周りの流速分布と翼の後流 分布を白四角で、また、乱れ強さを黒四角で示し たものである.それぞれの測定箇所は、TNCT-11 翼の場合と同様、翼上下面とも翼スパン方向の中 心部において、それぞれ翼弦長を等分する5箇所 の位置である.

領域 I の迎え角 $\alpha = 6^{\circ}$ の場合, 翼上面および下 面側の流れは, 翼の入口付近では, ほぼ一様な流 速分布を示しており, 流れの乱れ強さもほぼ零に 近い値となっている.

しかし,翼上面および下面側とも、翼の最大厚 みを越えた箇所から下流方向にかけて,翼面近傍 で流速の低下する領域が見られる.これは迎え角 が α=6°と小さいため,流れに対する翼前部の翼 形状の曲率の影響が,翼の最大厚みの位置より下 流側に現れたものといえる.

次に、領域 II の迎え角 α=14°の場合には、翼 上面側の流れの低速領域が翼前方側にまで拡大し、 そのため翼の後流領域も翼上面側において大きく 広がり、かつ乱れ強さも増加している.

これに対し,翼下面側では,迎え角の増加に伴い,迎え角 $\alpha=6^{\circ}$ の場合と比べると,翼に沿った流れ状態を示している.

領域Ⅲの迎え角 α=28°の場合, 翼上面前方部 の翼面付近で流速低下がみられ, さらに翼の頂部



Fig. 13 Velocity distribution around blade and wake distribution (TNCT-30)

より下流側全体にわたり,流速の小さい領域がみ られる.このため翼後方における後流領域がさら に拡大している.一方,翼下面側の流れは,領域 Πの迎え角 α=14°の場合とほとんど変わらない 流動状態を示している.

図 14 は, 翼スパン中央部において汎用流れ解析 ソフト(SCRYU Tetra/V9)⁽⁶⁾を用いて解析した流 れの挙動を, 領域 I, 領域 IIおよび領域Ⅲの各迎 え角において示したものである.

迎え角 α=6°の場合,翼上面側の流れは,翼後 縁部付近ではく離し,また,翼下面側の中央部付 近で流速の遅い領域が見られることから,実験結 果とよく対応している.

さらに、領域Ⅱおよび領域Ⅲの各迎え角における解析結果では、はく離領域が大きく拡大しており、全体的に見れば、TNCT-11 翼の場合と同様、 翼周りの流れの挙動は、実験結果を裏づけるものとなっている.

参考までに,図 15 に各領域の迎え角における 翼上面側の流れの挙動をタフト法により可視化し た写真を示す. 各領域の迎え角における流れの様子を示した可 視化写真からも、上述の流速分布の実験および解 析結果とよく対応したものとなっていることが確 認できる.

5・3・2 翼面上の圧力分布のスパン方向分布

図 16 は上述の各領域における圧力分布を,翼のスパン中央より片側の範囲の各位置において示したもので,図には翼型形状も破線で併記した. 測定したスパン位置は図の斜めの軸上の数値で記載し,TNCT-11 翼の場合と同様,0[mm]が翼端に,また, 149[mm]が翼の中央部に相当する.

領域 I の迎え角 $\alpha = 6^{\circ}$ と領域 II の $\alpha = 14^{\circ}$ の場 合, 翼上面と下面側の翼スパン方向の圧力分布は, 全体的に見ればほぼ平坦なものとなっている.

翼上面と下面側の圧力差が最も大きい箇所は, スパン *S*=99 [mm] のところであるが,その圧力 差は,迎え角の増加に伴い大きくなっている.

領域Ⅲの α=28°の場合には,圧力差が最も大きい領域は,S=99 [mm]を含め翼端に近いS=49 [mm]付近まで広がっている.その圧力差はα=6°



(a) $\alpha = 6^{\circ}$ (Region I)

(b) $\alpha = 14^{\circ}$ (Region II) Fig. 14 Calculated flow pattern (TNCT-30)

(c) $\alpha = 28^{\circ}$ (Region III)





と $\alpha = 14^{\circ}$ の場合と比べ大きく, 揚力係数 C_L が, 他の迎え角の場合より大きいこととも対応している.













5・4「東京高専翼型」と風車ブレードへの展開

前節までに検討した厚み比の異なる4種類の翼型を,翼先端から翼根元部までにわたり適用し, 一本のブレードとして構成したものを図17(a)に, また,このブレードを風車全体として構築した場合の構成概念図を図17(b)に示す.

実際の風車システムとして検討するためには, 風車翼全体の流体力学的特性の評価のみならず, 発電機の制御方式も考慮した最適な運転方法の検 討や,さらにはナセルやタワー形状も含めた流体 力の把握など様々な具体的技術課題を検討評価す ることが必要となる.



Fig. 17 Developed TNCT (Tokyo National College of Technology) airfoil

6. 結 言

本報では, 翼先端から翼根元部までブレード翼 全体を構成する各部位における翼型を等角写像の 手法を適用して系統的に生成し, それらの流体力 学的特性および翼周りの流れの挙動について検討 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) 写像関数を適用することにより、様々な翼型 を系統的に生成することができ、流れ解析手法も 併用することにより、揚力、抗力や揚抗比などの 流体力学的評価関数により、任意に最適と考えら れる薄翼から厚翼までの翼型を選定できることを 示した.

(2) 揚抗比が最大となる翼型を「東京高専翼型」 と称し、薄翼と厚翼の代表的な翼型を例に、その 流体力学的特性を評価した.また、翼周りの流れ の挙動が翼形状の曲率に密接に関係することを流 れ解析結果とも比較することにより明らかにした. (3) 生成した「東京高専翼型」を風車ブレード全 体に構成する例を提示し,あわせて全体の風車シ ステムへ展開する概念図と今後の技術的検討課題 について提案した.

文 献

- 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.
 SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro,
- (2) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Aerodynamic Characterstics of Two Differenct 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.
- (3) SAITO Sumio, YAMASHINA Takahiro, Evaluation of Inherent Aerodynamic Characterstics of Two Differenct Thick Blades Used as Wind Turbines Airfoils, Research Reports of Tokyo National College of Technology No.42 (2), 2011, pp.63 -76.
- (4) 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.
- (5) 例えば,鬼頭史城,等角写像とその応用,オーム社 (1959-9).
- (6) SCRYU/Tetra for Windows Verson 9, Software Cradle Co., http://www.cradle.co.jp,(2012)

(平成24年12月19日 受理)

各種荷重下における歯付軸締結要素の力学特性評価

大塚 仁*, 志村 穣**, 峯尾一幸***, 平間隆之***, 黒崎 茂****

Evaluations of Mechanical Properties for Connecting Shafts with Teeth under Various Loads

Hitoshi OTSUKA, Jyo SHIMURA, Kazuyuki MINEO,

Takayuki HIRAMA, Shigeru KUROSAKI

In order to evaluate the mechanical properties for connecting shafts with teeth subjected to various loads, stress distributions and deformation states were analyzed by using three-dimensional finite element method. The effects of difference among the four load conditions "tension, compression, bending and torsion" on stress distributions at joining parts were investigated. In addition, experiments concerning strain distributions were conducted for verification of analytical results. As a result, it has proved that stress concentrations occur at the base of joining parts in the case where tensile load, bending and torsional moments are applied. The experimental results concerning strain distributions under various loads have turned out to consist with the analytical results.

Keywords : Connecting shafts with teeth, Stress analysis, Stress concentration, Loading configuration, FEM

1. 緒言

建築物の構造材として扱われる鉄筋コンクリート は, 圧縮強度の高いコンクリートと引張強度の高い 鉄筋を組み合わせた構造となっている.鉄筋を長い 尺度で使用する際は、鉄筋同士を締結させる継手が 必要となる.現在の鉄筋の締結法は、重ね継手、ガ ス圧接継手、機械式継手および溶接式継手などが主 流となっている.一般的に多用される重ね継手は, 鉄筋同士を一定の長さに重ね合わせ、重ね合わせた 部分の両端に線材を巻きつけ鉄筋同士を固定し、コ ンクリートに埋め込んで使用するが、コンクリート が破壊すると鉄筋は締結力を失うことから、大径の 鉄筋締結には原則として、重ね継手を用いないこと としている 1). 大径の鉄筋接合には, ガス圧接継手 や機械式継手の適用が一般的であるが、特に圧接継 手の施工方法は特殊技能性が高く、施工者による接 合強度のばらつき抑制および施工時間の短縮が改善 点として挙げられる.この様な背景の下,著者らは 重ね継手と機械式継手の特徴を組み合わせた歯付軸 締結要素を考案した²⁾. Fig.1 に示すように部材端に スプライン加工を施した軸とソケットで構成され,2 本の軸要素の接合部(かみ合い部)を重ね合わせ、ソ ケットをスライドさせることで軸同士が締結される. その後、コンクリートへ埋め込むことにより完全に 固着される.素人でも容易に着脱可能な構造となっ ている. Fig.2 に構成要素の寸法および形状を示す.

歯付軸締結要素の既往の研究^{2,3)}では,引張破断強 度に着目し,接合部の形状と強度特性との関係につ いて言及しているが,実際の使用条件を鑑みると 様々な荷重形態における力学特性を明らかに必要が ある.そこで本研究では,歯付軸締結要素に引張, 圧縮,曲げ⁴⁾,ねじり⁵⁾が作用する際の接合部周辺 の応力分布および変形状態を三次元有限要素応力解 析により調査するとともに、荷重形態の差異が歯付 軸締結要素の力学特性に及ぼす影響について明らか にすることを目的とする.くわえて、ひずみゲージ を用いた接合部周辺のひずみ分布測定実験を行い、 解析結果の妥当性を検証する.

2. 解析方法

2 つの軸要素とソケットがアセンブリされた状態 を想定し, SolidWorks 2009 を用いて 3D-CAD データ を作成した. その 3D-CAD データを Femap 10.1.1 に



*機械情報システム工学専攻学生 **機械工学科 ***株式会社エクセル ****東京高専名誉教授

取り込み有限要素モデルを作成し,解析ソルバ NX Nastran 7 により応力解析を実施した.

Fig.3 に引張荷重および曲げモーメントを受ける 場合の解析モデルを示す. Fig.3(a)の引張荷重下の解 析モデルでは、軸要素 A 端面の変位を完全拘束し、 軸要素B端面の軸方向並進変位を除く全ての並進お よび回転自由度を拘束し,軸方向に引張荷重 F=300[N]を作用させた. 圧縮荷重およびねじりモー メントを作用させる場合の解析条件は,引張荷重下 のそれとほぼ同じであり,異なるのは荷重条件のみ である. すなわち, 圧縮荷重下では, 軸要素 B 端面 に軸方向圧縮荷重 F=300[N]を,ねじりモーメント下 では、軸要素 B 端面に、軸要素 B の中心線を軸とし たねじりモーメント T=10[N.m]を作用させた. Fig.3(b)の曲げモーメントを受ける場合は, 軸要素 A, Bに支持点がそれぞれ1つずつ, 接合部上部に圧子 を押し付けることで、3 点曲げモーメントが作用す る状況を想定している.支点間距離を180[mm]とし, 支持点底面の変位を完全拘束し、圧子には鉛直方向







Fig.5 An example of mesh divisions in FEM analysis

の並進運動を除く全ての自由度を拘束したうえで, 鉛直方向荷重 F=300[N](M=13.5[N.m])を作用させた. なお、実際に3点曲げ試験を行う際は、歯付軸締結 要素の円周方向回転を防ぎ位置決めを正確に行うた め, 軸要素 A, B 大径部の下部を平面加工している. また,3点曲げ試験の都合上, 軸要素Bの大径部長 さを従来の寸法より長いものに変更した.曲げモー メントが作用する際の軸要素の形状および寸法を Fig.4 に示す. 材料特性値は, 軸要素およびソケット には軟鋼を用いるものとし,縦弾性係数を206[GPa], ポアソン比を 0.33 とした. 接合部には接触条件を設 定し, 軸要素同士のかみ合い部および軸要素とソケ ットの間の摩擦係数をいずれも 0.52 としている^の. 要素の種類は2次4面体要素であり、かみ合い部周 辺にはより細かな要素分割を施した. 軸要素歯付部 周辺の要素分割一例を Fig.5 に示す.

3. 実験方法

3.1 試験片

FEM 応力解析結果の妥当性検証を目的とし,ひず み分布測定実験を行った.試験片材料には機械構造 用炭素鋼 S35C を用い,軸要素は引張および圧縮荷 重,ならびにねじりモーメントを負荷する場合には Fig.2,曲げモーメント作用時にはFig.4 に示す寸法, 形状に加工した試験片をそれぞれ用いた.また,ソ ケットにはひずみゲージのリード線を通すために幅 6[mm],高さ4[mm]の溝加工を施した.そのため,主 要部外径を既存型のφ18.5からφ22 に変更している.

3.2 ひずみ分布測定実験

ひずみ測定用のひずみゲージ(共和電業製, KFG-02-120-C1-11 L1M2R, グリッド長さ 0.2mm)を Fig.6に示すように軸要素 A のかみ合い谷部直下に 6 枚貼り付け,この貼り付け箇所とソケット溝部が一 致するように調整し組み合わせる.組み合わさった 状態の歯付軸締結要素を各種試験機に取り付け,荷 重を作用させつつ軸方向等のひずみを測定する.

引張および圧縮荷重の負荷は荷重制御による荷重 速度 80[N/sec],曲げモーメントの負荷は変位制御に よる変位速度 0.1[mm/sec]である.試験片が破断する まで荷重を与え,作用荷重値は試験機のロードセル, ひずみ値はひずみゲージから共和電業製センサイン タフェース PCD-320A, 300A を介しパーソナルコン ピュータに記録した.Fig.7 に3点曲げ負荷試験の様 子を示す.ねじりモーメント負荷の場合のみ,試験 片が破断するまでトルク値を手動で徐々に増加させ



Fig.6 Glued positions and numbering of strain gauges



Fig.7 Experimental setup for 3-points bending

任意トルク値のせん断ひずみをひずみゲージ(共和 電業製 KFG-2-120-C15-11 L3M2R, グリッド長さ 2mm)により検出した.

4. 結果および考察

4.1 引張荷重下の応力および変形状態

FEM 応力解析によって得られた引張荷重下にお ける応力および変形状態を調査し、接合部周辺の力 学特性を評価する. 接合部周辺のミーゼス応力 σ_m のコンター表示を Fig.8(a)に示す. なお, FEM 応力 解析は軸要素 A, B とソケットが組み合わさった状 態で行っているが、本節では接合部周辺の力学状態 を評価するためソケットを非表示にし、軸要素 A, B を離して表示している. また, 変形状態を観察しや すくするために実寸変形をおよそ 500 倍拡大してい る. 図中の応力値レベルは、白色に近づくほど応力 が高く、黒色に近づくほど応力が低くなることを示 し, 白色の部分が 20[MPa]以上, 黒色の部分で 0[MPa] を意味する.引張荷重下では,図中左側の軸要素 A, 図中右側の軸要素 B の応力状態の傾向はほぼ一致し ており, 軸端部から数えて1つ目の谷の部分, すな わち、歯付部根元において顕著な応力集中が生じて いることがわかる.

また, Fig.8(b)は軸方向垂直応力成分 σ_x のコンター 表示である. 図中の応力値レベルは, 白色の部分が 10[MPa]以上, 黒色の部分で-10[MPa]以下を意味する. 軸方向垂直応力成分 σ_x のコンター表示は Fig.8(a)と 類似した応力状態を示しており, 垂直応力 σ_x が支配 的であると考えられる. それにくわえ, 谷の直下に は他の部分より非常に大きな引張応力が生じ, 谷か ら深くなるにつれ, 圧縮応力が支配的となることを 確認できる. この応力状態から, 歯のかみ合いによ り谷近傍には軸方向引張力が加わる一方で,谷から 深くなるほど,その引張力が減少し,歯付部分の根 元にあたる1つ目の谷の部分を起点に曲げモーメン トが生じるような状況になっていると推察され,変 形状態からも同様に歯付部根元を起点に外側へ反る 傾向が確認できる.しかし実際の変形は,接合部外 周にかぶせたソケットにより軸要素が反る変形は抑 えられ,かみ合いが外れることなくかみ合い状態が 保たれるものと考えられる.

4.2 圧縮荷重下の応力および変形状態

前述の引張荷重下における評価時と同様に,FEM 応力解析によって得られた圧縮荷重下における応力 および変形状態を確認し,かみ合い部周辺の力学特



(b) Normal stress σ_x Fig.9 Contour of stress at joining parts under compressive load

性を評価する. 圧縮荷重負荷時の接合部周辺のミー ゼス応力 σ_m のコンター表示を Fig.9(a)に示す. 図中 の応力値レベルは, 白色の部分が 4[MPa]以上, 黒色 の部分で 0[MPa]を示す. 軸要素 A, 軸要素 B ともに 応力状態の傾向はほぼ一致しているが, 引張荷重下 のような応力集中は見られず, 谷の部分では, ほぼ 一様な応力状態となっている. Fig.9(b)は軸方向垂直 応力成分 σ_x のコンター表示である. この場合の応力 値レベルは白色の部分が 4[MPa]以上, 黒色部分で -4[MPa]以下を意味する. 谷部分にはほぼ均等に圧縮 応力が生じているが, 応力集中は見られない. 圧縮 荷重を受ける場合は, 軸要素が互いに先端部分で押 し合い, 歯付部分の根元で荷重を負担する状態とな っており, その結果, 歯のかみ合い部分では応力の 発生が減少するものと考えられる.

4.3 曲げモーメント下の応力および変形状態

引張および圧縮荷重を受ける場合と同様に,FEM 応力解析結果による曲げモーメント下の応力および 変形状態を観察し,かみ合い部周辺における力学特 性を評価する.曲げモーメント負荷時の接合部周辺 のミーゼス応力 σ_m のコンター表示をFig.10(a)に示す. 図中の応力値レベルは,白色の部分が100[MPa]以上, 黒色の部分で0[MPa]を指す.変形状態は実寸変形の およそ40倍表示である.また,本節においても,ソ ケットを非表示にし,軸要素同士を離して表示して いる.軸要素Aでは応力集中は見られないが,軸要 素Bにおいては,1つ目の谷の部分において著しい 応力集中を確認できる.さらにFig.10(b)より,軸方 向垂直応力成分 σ_x のコンター表示を確認する.応力 値レベルは白色部分が50[MPa]以上,黒色部分 が-50[MPa]以下となっている. 軸要素 B では谷直上 で引張応力,そこから上部表面に近くなるにつれ, 圧縮応力が支配的な状態を示している. また,歯付 部根元を起点に反り返るような変形しており,この ことからも谷直上で引張応力,そこから上部表面に 近くなるにつれ,圧縮応力が支配的になることが推 察される.

4.4 ねじりモーメント下の応力および変形状態

これまでと同様に, FEM 応力解析結果によるねじ りモーメント下の応力および変形状態から、かみ合 い部周辺における力学特性を評価する. Fig.11(a)の ねじりモーメント下における応力 σ_m コンター表示 のスケールは、白色部分が 100[MPa]以上、黒色部分 で 0[MPa]を示している. 変形状態は実寸変形のおよ そ40倍の表示である. 軸要素 A, B ともに応力状態 の傾向はほぼ一致しており、歯付部根元および先端 において顕著な応力集中が確認できる.また, Fig.11(b)はねじりモーメント下のせん断応力成分 τ_w のコンター表示であり、白色部分が 40[MPa]以上、 黒色部分で-40[MPa]以下を示す. 歯付部根元におい て, 軸要素 A の手前側では下方向を意味する負の成 分,奥側では上方向を示す正の成分がそれぞれ支配 的になっている. すなわち, 軸要素の奥側から手前 側にねじられ、特に歯付部根元付近では、主な変形 状態がせん断であることを示唆している. ねじりモ ーメント受ける場合では、かみ合い部根元付近を起 点にねじり破壊するものと推察される.

以上より, 圧縮を除く全ての荷重形態で歯付部根 元付近の応力集中が予想され, この部分の力学状態 の改善が今後の課題となるであろう.



Fig.10 Contour of stress at joining parts under bending moment



Fig.11 Contour of stress at joining parts under torsional moment

4.5 実験結果と解析結果との比較

解析結果の妥当性検証のため,前述した実験方法 で測定したひずみと解析結果のひずみによる両者の 分布を比較する.本解析は線形静解析であるため, 弾性範囲内の荷重値におけるひずみ分布を対象とし, 引張荷重および圧縮荷重下では 6[kN],曲げモーメ ントを受ける場合では圧子による押し下げ荷重 300[N](曲げモーメント 13.5[N.m]相当),ねじりモー メント下では 20[N.m]のトルク値におけるひずみ値 を用いた.紙面の都合上,ここでは引張荷重および ねじりモーメントが作用する場合のひずみ分布の比 較を示す.

Fig.12(a)は引張荷重下のひずみ分布である.縦軸 は軸方向垂直ひずみ ɛ_x[µstrain],横軸はひずみゲージ の貼り付け位置を意味する.図中の実験結果のひず みは4回の実験結果の平均値を,解析結果のそれは ひずみゲージの貼り付け位置に相当する要素ひずみ 値を用いた.この図から全ての測定箇所のひずみ値 は,実験結果の方が低い値を示す傾向にある.特に 貼り付け位置1,5,6では他の測定箇所に比べ,実 験結果と解析結果との間に若干の数値的差異が見ら れるが,全体のひずみ分布の傾向は類似している.

Fig.12(b)はねじりモーメントを受ける際のひずみ 分布を示す.縦軸はせん断ひずみ γ_{xy}[μstrain],横軸 はひずみゲージの貼り付け位置である.実験結果の ひずみ値は6回の実験結果の平均値を用いた.実験 結果と解析結果との両者には,ひずみゲージ貼り付



Fig.12 Comparison between experimental result and analytical one concerning strain distribution



(a) Shaft A side (b) Shaft B side Fig.13 Fracture state in the case of tensile experiment





(a) Shaft A side (b) Shaft B side

Fig.14 Fracture state in the case of 3-points bending test

け位置によっては数値的に差異が見られるが,傾向 としては一致していることがわかる.割愛した圧縮 荷重および曲げモーメント負荷の場合のひずみ分布 においても,実験結果と解析結果との両者に定性的 一致が見られることを確認している.

また, 引張荷重下のひずみ分布測定実験において, 継手が破壊するまで負荷を与えた5回の実験のうち, 4回は軸要素 Bの歯付部根元で,1回は軸要素Aの 歯付部根元で破壊する結果となった.両軸要素の破 壊状態を Fig.13 に示す.破壊箇所と FEM 応力解析 結果における応力集中箇所に一致が見られる.くえ えて,3点曲げ試験の破壊箇所と FEM 応力解析結果 による応力集中箇所も軸要素 Bの歯付部根元であり, 両者は一致している.3点曲げ試験における試験片 の破壊状態を Fig.14 に示す.

以上より,ひずみ分布測定実験と FEM 応力解析 によるひずみ分布の定性的一致に加え,試験片の破 壊状態と FEM 応力解析による応力状態には関連性 が示唆され,本解析方法およびその結果が妥当であ ると考えられる.

5. 結言

本研究では、歯付軸締結要素の力学特性を明らか にするために、引張、圧縮、曲げ、ねじりが作用す る場合を想定した FEM 応力解析を行い、荷重形態 の差異が接合部周辺の力学特性に及ぼす影響を調査、 考察した.くわえて、各種荷重下におけるひずみゲ ージを用いたひずみ分布測定実験ならびに破壊実験 を実施し、解析方法の妥当性を確認した.得られた 知見を以下に記す.

- (1) 引張荷重下では, 軸要素 A および軸要素 B の応 力状態はほぼ一致しており, 軸要素同士がかみ合 い部で互いに引っ張り合うことで, 歯付部根元に おいて顕著な応力集中を生じ, 谷近傍では引張応 力, 谷から離れるにつれて圧縮応力が支配的な応 力状態になるものと推察される.
- (2) 圧縮荷重を受ける場合は、互いの軸要素の応力 状態はほぼ同様、かつ、一様であり、軸要素同士 が歯付部先端で互いに押し合い、この部分で荷重 負担することから、かみ合い部には応力集中は生 じないものと考えられる。
- (3) 曲げモーメントを負荷した際は、二つの軸要素 の応力状態は大きく異なり、特に軸要素 B の歯 付部根元において著しい応力集中が見られ、谷直 上で引張応力、そこから上部表面に近くなるにつ れ、圧縮応力が支配的な応力状態になると予想さ れる.
- (4) ねじりモーメント下では、互いの軸要素の応力 状態はほぼ一致しており、歯付部根元において顕 著な応力集中を生じるとともに、せん断応力が支 配的な状態と推察される.
- (5) 対象とした全ての荷重形態において,実験により測定したひずみ分布と解析結果によるひずみ分布の傾向が概ね一致することを確認した.くわえて,引張荷重および曲げモーメントを受ける場合の破壊箇所と解析結果上の応力集中箇所が一致することを示した.これらの実験結果と解析結果との関連性より,本解析方法が十分に妥当性を有するものと考えられる.

謝辞

本研究は株式会社エクセル会長の峯尾一幸氏,同 社の平間隆之氏の多大なる御支援のもとに行われた. ねじり試験の実施に際しては,東京都立産業技術高 等専門学校荒川キャンパスの田宮高信先生,鈴木拓 雄先生,宮川睦巳先生に御協力いただいた.また, 本研究の一部は平成 22 年度大学コンソーシアム八 王子産学共同研究助成事業による補助を受けた.こ こに記して関係者各位に謝意を表する.

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート工学,オーム社,(2000)
- 黒崎 茂,深澤正寿,峯尾一幸:東京工業高等 専門学校研究報告書, Vol.41(1), (2010), 35-39.
- 3) 大田友気, 黒崎 茂, 峯尾一幸:第41回応力・ ひずみ測定シンポジウム講演論文集, (2010), 123-128.
- 4) 大塚 仁,志村 穣,黒崎 茂,峯尾一幸,平間
 隆之:日本設計工学会 2012 年度春季大会研究発
 表講演会講演論文集, (2012), 25-26.
- 5) 大塚 仁, 志村 穣, 黒崎 茂, 峯尾一幸, 平間 隆之:日本機械学会関東支部・精密工学会共催 山梨講演会講演論文集, (2012), 208-209.
- 6) 機械工学便覧 基礎 α2 機械工学, 日本機械学会編, (2004), 27.

(平成25年1月7日 受理)

マイクロ領域における摩擦特性(第3報:摩擦形態の遷移過程)

福田勝己*, 小林光男**, 鈴木健司**, 藺牟田桂***, 繁山 航*4

Friction Characteristics of Micro Area (3rd Report: Transition Process of Friction Mode) Katsumi FUKUDA, Mitsuo KOBAYASHI, Kenji SUZUKI,

Kei IMUTA and Wataru SHIGEYAMA

Recently, many kinds of micro machine technologies have been improved day by day. Then tribological properties have become important problems. The purpose of this work was to reproduce a friction phenomena in micro scale order using diamond; the curvature radius of tip is 0.5 [μ m] and 5 [μ m], and synthetic silica wafer. The result shows, the friction coefficient depends on normal loads. Moreover, transition of friction mode ascribable to normal load.

Keywords : Micro Tribology, Friction, Curvature Radius of Tip, Micro Machine

1. 緒言

摩擦現象は我々の日常生活において重要な役割 を担っているとともに、エネルギー効率の低下や 機械構造物のしゅう動における動作の不安定さを 生む原因ともなっている.現代社会で使用されて いる多くの機械構造物にはしゅう動面が存在して おり、それらの機械構造物における性能や信頼性 などは、しゅう動面の摩擦摩耗特性によって大き な影響を受けることが知られている¹⁾.特に近年 の機械要素の小型化・微小化の進展に伴って MEMS 技術が広範囲にわたって使用されている が、このようなマイクロ領域における摩擦特性に ついては未だ解明されていない点が多い²⁾.マイ クロ領域における摩擦のメカニズムを解明するこ とは、機械構造物の小型化や高性能化を推進する 上で避けられない重要な問題である.

既報³⁾において,垂直荷重や摩擦速度の変化が マイクロ摩擦特性に及ぼす影響について明らかに した.特に前報⁴⁾ではダイヤモンド触針の先端曲 率半径の影響について報告した.そこで本報では, 摩擦形態の遷移過程に注目し,石英ガラスウエハ と先端曲率半径 0.5[µm]および 5.0[µm]のダイヤモ ンド触針とを使用して摩擦試験を実施し,摩擦痕 の SEM 観察および摩擦痕深さの測定を行った. それらの結果を総合的に考察した結果,摩擦の形 態は垂直荷重の増減に伴って遷移することが明ら かとなった. 2. トライボロジー

2.1 摩擦の起因¹⁾

摩擦が発生する起因には諸説あり,多くの議論 がなされている.本項ではとりわけ重要である凹 凸説,凝着説および掘り起こし摩擦について述べ る.実際の摩擦現象ではこれらの起因のそれぞれ が複雑に影響し合っているものと考えられるため, どの起因による摩擦がより支配的なのかという観 点から考察を行う.

2.1.1 凹凸説

あらゆる固体の表面には表面粗さと呼ばれる微 細な凹凸が存在している.二つの固体が接触する 場合には,表面の凹凸部先端によるかみ合いが発 生しており,この状態で2つの固体をしゅう動さ せた場合には,一方の突起が他方の突起を乗り越 える必要がある.凹凸説とは,突起を乗り越える ために必要な仕事を摩擦力とする説である.しか し,突起が斜面を登るためには力が必要であるが, 逆に突起を降りる場合には斜面から力を受けるた め,平均すると突起を超えるために必要な仕事は 0となってしまう.このために凹凸説は,現在で は正しくないとされている.

2.1.2 凝着説

接触する固体の真実接触部では、表面の分子や 原子が互いに力を及ぼし合い、密着しようとする 力が働く.この現象を凝着と呼び、この凝着部分 をせん断方向に引き離すために必要な力が摩擦力 として働く. この凝着力の起因としては,物体同 士の化学的な結合力や静電気力,ファン・デル・ワ ールス力,真実接触部に凝縮した水分子の表面張 力等が考えられ,摩擦材料や雰囲気の環境に依存 する.現在,凝着説は摩擦現象を説明する最も有 力な説とされている.

2.1.3 掘り起こし摩擦

実際の摩擦では、凝着による摩擦の他にも様々 な要因が摩擦力となって現れるが、掘り起こし摩 擦はその代表的なものである.硬い材料と比較的 軟らかい材料とを摩擦する場合、硬い材料は軟ら かい材料に食い込み、進行方向上の軟らかい材料 を変形させながらしゅう動する.このとき、軟ら かい材料を変形させるために必要な力が摩擦力と して働くことになる.

2.2 マイクロトライボロジー²⁾

MEMS等が動作するマイクロ領域における摩擦 は、私たちの生活するマクロ領域における摩擦と は異なる挙動を示すことが知られている. この原 因は、物体の微小化に伴って物体の体積と面積の 比率が大きく変化するためであると考えられてい る. 例えば一辺の長さを1とする立方体を1/100 まで微小化する場合を考える. 立方体の寸法を 1/100 倍にした場合,表面積は寸法の2 乗に比例 するため1/104倍となり、体積は寸法の3乗に比例 するため 1/10⁶倍となる. このように, 寸法を 1/100 倍したときの面積と体積が変化する割合には,100 倍もの違いが生じることが分かる.また、物体に 働く重力はその物体の体積に比例し、物体表面に おける凝着力は物体の接触面積に比例する. つま り、立方体の寸法が1/100倍になると凝着力は重 力に比べて100倍の強さで影響を及ぼし、寸法が 1/1000 倍になると 1000 倍の強さで影響を及ぼす. このように、マクロ領域では無視されていた凝着 力がマイクロ領域では顕在化するため、摩擦現象 において異なる挙動を示すものと考える.

3. 試験

3.1 試験装置

Fig.1 に試験装置の概観を示す. 試験装置全体は, 外部からの振動を除去するために除振台の上に設 置し. 試験はクリーンブース内で行った. 試験装 置は、ウエハを固定して一定速度で駆動するステ ージ部と、平行平板板ばねに触針を取り付け、そ の変位量から押付け荷重、摩擦力を測定する測定 部から構成されている.

3.2 平行平板板ばね

Fig.2 に平行平板板ばねの外観を示す.本試験で 使用した平行平板板ばねは、ジュラルミンのブロ ックより一体製作したもので、摩擦力と押付け力 とを同時に測定するためのばね部を持つ.このば ね部の板厚を変更することで、ばね定数が変更さ れるため、測定範囲を拡大することが可能である.



Fig. 1 Experimental Setup



Fig.2 Parallel Leaf Spring

3.3 試験方法

本試験は、平行平板板ばねの先端に取り付けた ダイヤモンド触針を駆動ステージ上に固定したガ ラスウエハ表面に押付けることで垂直荷重を負荷 し、駆動ステージをY軸方向に移動させることに よってしゅう動させた.

3.4 試料および試験条件

本試験で使用した試料は、結晶面、結晶方向な どを考慮する必要のない石英ガラスウエハと、石 英ガラスウエハより十分に硬く、摩耗や変形を無 視することができるダイヤモンド触針である. Table 1 に試料の詳細を、Table 2 に試験条件を示す. なお、本試験の雰囲気は大気中とした.

Synthetic Silica Wafer	Diameter	50 [mm]		
	Ra	0.005 [µm]		
	Composition	SiO ₂		
Diamond Tin	Curvature Radius of Tip	0.5, 5.0 [µm]		
Diamond Tip	Angle of Tip	57 [deg]		

Table 1 Details of Sample

Table 2 Experimental Condition

Temperature	25±1 [°C]
Relative Humidity	50±10 [%]
Friction Velocity	118 [µm/s]
Friction Time	20 [s]
Sampling Period	0.005 [s]

4. 試験結果および考察

4.1 摩擦係数と垂直荷重との関係 (R=0.5[μm])
 Fig.3 に摩擦係数と垂直荷重との関係を, Fig.4
 に摩擦痕深さと垂直荷重との関係を示す.

Fig.3, Fig.4 より, 垂直荷重の増加に伴って摩擦 係数が線形的に上昇しており, 摩擦痕深さととも に増大していることが分かる. Fig.3 の垂直荷重の 増加に伴って摩擦係数が上昇した原因としては, ダイヤモンド触針(以下触針)が石英ガラスウエハ (以下ウエハ)に深く食い込むことで掘り起こし抵 抗が増大したため,あるいは触針との接触面積が 増加することで凝着力が増大したためと考える. また,垂直荷重が約180[mN]以上の領域では,同 一試験中に2種類の摩擦係数が出現したが,これ は摩擦形態の遷移が影響しているものと推察する.

4.2 SEM による観察(R=0.5[µm])

触針の先端曲率半径が 0.5[µm]の場合の摩擦形 態を明らかにするために, SEM を用いて摩擦痕の 観察を行った. Fig.5 に垂直荷重 150[mN]で試験を 行った場合の摩擦痕の写真 2 種類を, Fig.6 に同荷 重における摩擦係数と摩擦時間との関係を示す.



Fig.3 Relationship between Friction Coefficient and Normal Load ($R = 0.5[\mu m]$)



Fig.4 Relationship between Groove Depth and Normal Load ($R = 0.5[\mu m]$)

Fig.5 の写真(A)(B)はそれぞれ Fig.6 における領域 (A)(B)に対応している.また,Fig.7 に垂直荷重 240[mN]で試験を行った場合の摩擦痕の写真 2 種 類を,Fig.8 に同荷重における摩擦係数と摩擦時間 との関係を示す.Fig.7 の写真(C)(D)はそれぞれ Fig.8 の領域(C)(D)に対応している.

垂直荷重が0[mN]~150[mN]の領域ではFig.5(A) のような摩擦痕が観察された. この摩擦痕では触 針との接触による塑性変形が観察でき,触針とウ エハとが密着して摩擦していることから,この場 合は凝着が支配的な摩擦形態であると考える.

垂直荷重が 130[mN]~180[mN]の領域では Fig.5(B)のような摩擦痕が観察された. この摩擦痕 ではクラック状の破壊が大きく生じていることか ら,この場合は掘り起こしが支配的な摩擦形態で あると考える.



Fig.5 Friction Groove (150[mN], R = 0.5[µm])



Fig.6 Relationship between Friction Coefficient and Friction Time (150[mN], $R = 0.5[\mu m]$)



Fig.7 Friction Groove (240[mN], $R = 0.5[\mu m]$)



Fig.8 Relationship between Friction Coefficient and Friction Time (240[mN], $R = 0.5[\mu m]$)

垂直荷重が 130[mN]~150[mN]の荷重領域では Fig.5(A)(B)両方の摩擦痕が観察された. Fig.6 より, この荷重領域では1回の摩擦試験中に(A)(B)両方 の摩擦形態が交互に出現していることが分かる. このことから, 130[mN]~150[mN]の荷重領域は凝 着摩擦が支配的な摩擦形態から掘り起こし摩擦が 支配的な摩擦形態への遷移領域であると推察する.

以上の結果から,垂直荷重が 0[mN]~180[mN] の荷重領域では,低荷重域において凝着摩擦が支 配的であり,荷重の増加に伴って掘り起こし摩擦 の影響が強くなり,高荷重域では掘り起こし摩擦 が支配的になるものと考える.

垂直荷重が180[mN]以上の領域では,高低2種 類の摩擦係数が出現している.このうち低い摩擦 係数を示した領域ではFig.7(C)のような摩擦痕が 観察された.この摩擦痕はクラック状の破壊が大 きく発生していることから,掘り起こし摩擦が支 配的な摩擦形態であり,Fig5(B)と同様であると考 える.

高い摩擦係数を示した領域では Fig.7(D)のよう な摩擦痕が観察された.この摩擦痕には触針との 接触による塑性変形が確認でき,スティック・スリ ップ現象であると考えられる摩擦痕が観察された. また,摩擦痕の縁にはクラック状の破壊も観察さ れることから,この場合は凝着摩擦と掘り起こし 摩擦の両方が強く影響した摩擦形態であると考え る.また,Fig.8より1回の摩擦試験中に(C)(D)の 両方の摩擦形態が交互に出現していることも分か る.このことから,垂直荷重が180[mN]以上の領 域は,掘り起こし摩擦が支配的な摩擦形態から凝 着摩擦と掘り起こし摩擦の両方が強く影響する摩 擦形態への遷移領域であると推察する.

触針との接触による塑性変形は,垂直荷重が 150[mN]以下の領域と180[mN]以上の領域におい て発生している.180[mN]以上の領域で再び塑性 変形が発生した原因として,しゅう動による摩擦 熱の発生や真実接触部において凝縮した水分子の 影響等が考えられる⁵⁾.これにより,触針はウエ ハに深く食い込みながらも塑性変形によって密着 した状態で摩擦するために,強い掘り起こし抵抗 と強い凝着力の両方が働き,摩擦係数が急上昇し たものと考える. 以上の結果をまとめると、マイクロ領域におけ る摩擦の形態は、垂直荷重の増加に伴って遷移す るものと考える.先端曲率半径 0.5[µm]の触針とウ エハとの摩擦の場合では、0[mN]~130[mN]の荷重 領域では凝着摩擦が支配的である.130[mN]~150[mN] の荷重領域が凝着摩擦から掘り起こし摩擦への遷 移領域であり、150[mN]~180[mN]の荷重領域では 掘り起こし摩擦が支配的となる.また、180[mN] 以上の荷重領域では凝着摩擦と掘り起こし摩擦の 両方が強く影響する摩擦形態への遷移領域となり、 同時に摩擦係数が大きく上昇する.

4.3 摩擦係数と垂直荷重との関係 (R=5[µm])

Fig.9 に摩擦係数と垂直荷重との関係を, Fig.10 に摩擦痕深さと垂直荷重との関係を示す.

Fig.9 より, 垂直荷重の増加に伴って摩擦係数が わずかではあるが線形的に上昇することが分かる. また, Fig.10 より垂直荷重の増加に伴って摩擦痕 深さも線形的に増大することが分かる. Fig.9 の垂 直荷重が約 180[mN]以上の領域では高低 2 種類の 摩擦係数が出現した. 触針の先端曲率半径が 0.5[µm]の場合(Fig.3)と比較すると傾向としてはほ とんど同様であるが, 摩擦係数の上昇の度合いは 5[µm]の場合の方が緩やかであることが分かる.

マクロ領域の摩擦におけるアモントンの摩擦法 則では、摩擦係数は垂直荷重によらず一定の値を 示すことが知られている¹⁾.このことから、先端 曲率半径が5[µm]の触針での摩擦は0.5[µm]の触針 での摩擦と比較して接触面積が大きく、よりマク ロ領域の摩擦に近いために摩擦係数の上昇が少な いものと考える.また、垂直荷重の増加に伴って 摩擦係数が上昇する現象はマイクロ領域特有のも のであり、触針の先端曲率半径をより大きくする ことによって、摩擦係数は垂直荷重によらず一定 の値を示すようになるものと推察する.



Fig.10 Relationship between Groove Depth and Normal Load ($R = 5[\mu m]$)



Fig.11 Friction Groove (116, 152[mN], R = 5[μ m])



Fig.12 Friction Groove (213[mN], $R = 5[\mu m]$)

4.4 SEM による観察(R=5[μm])

触針の先端曲率半径が 5[μm]の場合における摩 擦形態を明らかにするために, SEM を用いて摩擦 痕の観察を行った. Fig.11 に垂直荷重 116[mN]お よび 152[mN]で試験を行った場合の摩擦痕写真を, Fig.12 に垂直荷重 213[mN]で試験を行った場合の 摩擦痕写真 2 種類を示す.

Fig.11, Fig.12 より, 5[µm]の触針で試験した場 合において 0.5[µm]の触針で試験した場合と同様 の特徴を持つ摩擦痕が観察された. 摩擦形態の遷 移過程については,低荷重域では凝着摩擦が支配 的であり,垂直荷重の増加に伴って掘り起こし摩 擦へと遷移する.更に垂直荷重を増加させると, 凝着摩擦と掘り起こし摩擦の両方が強く影響する 摩擦形態へと遷移するものと考える.

先端曲率半径が 0.5[µm]の触針での試験と 5[µm] の触針での試験とでは、摩擦痕の特徴や摩擦形態 の遷移について全く同様の結果を示した.このこ とから、少なくとも触針の先端曲率半径が 0.5[µm] ~5[µm]の範囲では、摩擦形態は垂直荷重の増加に 伴って遷移するものと推察する.

5. 結言

マイクロ領域における摩擦形態の遷移過程を明 らかにすることを目的として,先端曲率半径が 0.5[µm],5[µm]のダイヤモンド触針と石英ガラス ウエハとの摩擦試験を実施し,その摩擦痕のSEM による観察から摩擦形態の遷移過程を総合的に考 察した.その結果,以下のことが明らかになった.

(1) 摩擦係数は垂直荷重に伴って増加する.

- (2) 特定の垂直荷重領域において,高低2種類の 摩擦係数が同時に出現する.
- (3) 摩擦形態は垂直荷重の増加に伴って遷移する. その遷移過程としては、まず凝着が支配的な 摩擦形態から掘り起こしが支配的な摩擦形態 に遷移する.その後、摩擦係数が大きく上昇 するとともに、凝着摩擦と掘り起こし摩擦の 両方が強く影響する摩擦形態へと遷移する.
- (4) 本遷移過程は、本試験条件下においてダイヤ モンド触針の先端曲率半径が 0.5[µm]から 5[µm]の範囲において成立することが確認で きた。

参考文献

- 田中久一郎:摩擦のおはなし、日本規格協会 (1985)
- 2) 安藤泰久:マイクロトライボロジー入門, 産業 図書, (2009)
- 福田勝己,小林光男,鈴木健司,堤 博貴,飯 田貴大,小澤直樹:マイクロ領域における摩 擦特性(第1報),東京工業高等専門学校研究報 告書 第40(1)号 (2008)
- 4) 福田勝己,小林光男,鈴木健司,堤 博貴,石 塚康規,斉藤直也:マイクロ領域における摩 擦特性(第2報),東京工業高等専門学校研究報 告書 第41(2)号 (2010)
- 5) 土橋正二:ガラス表面の物理化学,大進堂, (1982)

(平成25年1月7日 受理)

屋外自律走行ロボットの開発と実証実験

多羅尾進*, 青木宏之**

Development of an Outdoor Autonomous Mobile Robot and Demonstration Experiments

Susumu TARAO and Hiroyuki AOKI

The autonomous mobile robots Takao 1 and Takao 2 aimed at coexisting with human beings are developed from a collaboration of two departments in Tokyo National College of Technology. To shorten development time, the robot is designed to be assembled mainly using several effective commercially available modules. In addition, the robot's main control unit is implemented on the Linux-based system with enhanced scalability. This paper presents the outline of those autonomous robots Takao1 and Takao 2, the architecture of the control system hardware and software including image processing application. The results of demonstration experiments are also reported and are considered in terms of gyrodometry and obstacle avoidance.

Keyword : Autonomous Mobile Robot, Localization, Obstacle Avoidance

1. はじめに

近年,急速に少子高齢化が進んでいる日本においては労働力不足の問題が潜在しているが,この対策の一手法としてロボットが人間の代わりに働くことでその不足を補うことが期待されている.また,高齢者の単身世帯が増える傾向が見られ,今後介護ロボットの必要性が増すことが考えられる.

このようなロボット分野の動向において、ブレイ クスルーが必要な技術的課題のひとつとして、柔 軟に周囲環境に適応できる移動機能を備えた自立・ 自律ロボットを構築することが挙げられる.これ を念頭に、我々は2009年から教育研究プロジェク ト「八王子未来学」の支援を受け、人間と共存で きる自律走行ロボット試作機「高尾1号」の開発 を開始した¹⁾.その実証評価の一環として、同年 11月に開催されたつくばチャレンジ 2009に参加 して実証試験を行った.以降、継続して開発を進 め、その実証評価のためつくばチャレンジ 2010、 2011に参加することを経て、今年度、つくばチャ レンジ 2012に参加するに至った.

高尾1号で培ってきた自立・自律走行の基本機 能を継承しながらこれに加えて,福祉介護機器へ の応用に向け,人が搭乗できるコンセプトを付加 した自律走行ロボット「高尾2号」の開発を2011 年から開始した²⁾.本稿では,これまでに開発し た高尾1号・2号を概観し,さらに安定した自律 走行の実現に向け開発を進めているナビゲーショ ンシステム,その実証実験などについて報告する.



☑ 1 Simply-constructed early model of Takao 1



図 2 Autonomous mobile robot Takao 1

2. 自律走行ロボット高尾1号および高尾2号

高尾1号は、図1に示す基本構成から開発が始 まった.ノート型パーソナルコンピュータ(以下 PC), 一つのレーザーレンジファインダ(以下LRF), および移動ロボットのベース部分からなる単純な 構成となっている.

2·1 高尾1号の開発

これを経て、開発されたロボットの外観を図 2 に示す. この時点で、LRF(UTM-30LX)を 2 式、GPS(Crescent A100)および電子コンパス (Azimuth1000)をそれぞれ1式、WEBカメラを1 式、ロボットに搭載した.各センサが互いに干渉し ないよう、センサ間距離を確保し、かつ歩行者から の視認性を確保するため高さ1400[mm]のセンサ 取り付け架台を設置した.これらについて図 2(b) を参照されたい.コントローラとして LinuxOS が 搭載された汎用 PC を用いる.





二つの LRF は図 3(a) のように配置され,この 内,水平面に取り付けられた LRF は図 3(b)のよ うに車体幅より少し大きい矩形探査領域を車体前 方左右に 2[deg] 刻みで扇状に展開し,LRF から取 得した障害物情報を基に各矩形領域の進行可否を 判断する.もう一方の LRF は段差検出用である.

2011 年度は、高尾1号について、主にLRFに 関して改造が加えられ、かつ慣性センサ(ジャイ ロおよび加速度センサが内蔵されたもの)が追加 された.図4に外観を示す.LRFに関しては、図 4(b)に示すような首振り機構を用いてLRFを揺動 させることで3次元測域を可能にした.3次元測 域によりプロットされた地図の例を図5に示す.

2.2 高尾2号の開発

高尾1号で得た自律走行の技術を継承しながら, 2011年度から人搭乗型の高尾2号の開発にも取り 組んだ.ロボット機体については,搭乗者の乗り 心地を考慮しながら,バリアフリー化が進む屋内 外での走行を想定し,その主寸法は,電動車椅子



(a) 2011 model (b) Oscillating mechanism

☑ 4 3D range scanning system of TAKAO 1



 \boxtimes 5 3D-range plots(bird's eye view)

の JIS 規格 (JIS T9203) に沿うように設計を行う.

ロボットは一般的な電動車椅子にも使用されて おり、小回りの効く左右独立駆動型移動機構で構 成している.ロボット本体の質量は全体で 60[kg], 搭乗者の体重は上述の通り 80[kg] を想定している.

人の生活環境での使用を考慮して走行速度は最 大 0.8[m/s] とし,電動車椅子の規格から登坂力 10[deg] 以上としてこれらを満たすように設計計 算を行なった.同設計計算を経て実際に人搭乗型 自律移動ロボットを製作した.設計段階の三次元 ソリッドモデルと開発された人搭乗型自律走行ロ ボットの外観を図6に示す.

主寸法は縦 980[mm] × 横 600[mm] × 高さ 840[mm], 質量 50[kg](センサ系を含まず)となっ ている.また,このロボットの駆動モジュールと これを含んだ移動機構を図7に示す.

駆動輪を路面に対し抑えつけて路面追従性を十 分確保することに加え,乗り心地向上,および振 動による制御系への負担軽減を図るため,移動機 構には,フルトレーリングアーム式サスペンショ ンが備えられている.このサスペンション方式は, 単純な構造によって左右の駆動輪を独立して懸架 することが特徴である.駆動モジュールと本体フ レームとを接続する軸受には,繰り返しの回転運 動に耐え得る金属ブシュを使用している.また,サ スペンション本体の取付部が移動できるよう設計 されており,搭乗者に合わせた車高およびサスペ ンション強さに調節可能である.





(b) Actual robot

⊠ 6 Rideable autonomous mobile robot Takao 2



図 7 Drive module and assembled mechanism

高尾2号の基本的な制御システムの構成を図8 に示す.効率化のため、ソフトウェアはROS^{3),4)} 上で開発する方針とした.周囲の人や、物体、障 害物などの幾何学的情報を取得するために障害物 回避用の測域センサLRFを用いる.自律してエレ ベータ内を含む狭い経路を走行しなければならな い等、つくばチャレンジ2012の課題を参考にし ながら、ロボットの周囲360°の障害物を認識する ために図9に示すよう二つのLRFをロボット左前 方、右後方に配置している.

また, 駆動輪に取り付けられているロータリエン コーダからオドメトリ計算により自己位置の推定 を行う.なお,この推定の精度を向上させるため, 姿勢については後述するように慣性センサ (3DM-GX2) 内のジャイロから得られる角速度を時間積 分して算出したものを用いるシステムを構築して いるがまだ開発途中でありつくばチャレンジ 2012 での使用は見合せた.屋外においては,絶対位置・ 姿勢を取得する GPS・電子コンパスなどを併用し, 自己位置推定に伴う累積誤差の除去を行う.加え て,Webカメラも取り付けており,これにより白 線認識を行う.

モータコントローラとして Okatech 製 Tiny-Power を使用しており、これを介して左右独立駆 動型移動機構に対応したモータの回転数制御を行 う.モータコントローラには車体の並進速度およ び回頭速度の指令値が入力され、同コントローラ は、これに従って左右の各モータそれぞれに個々 の回転数制御を行い、並進および旋回を実行する.



🗵 8 Main elements of Takao 2 control system



☑ 9 Sensors layout and 360 degree scan system

3. 全周囲障害物認識とその回避

高尾2号はロボット前方と後方に搭載された二 つのLRFにより、ロボット全周囲にある障害物を 認識することができる.この情報を用いて昨年度 までの高尾1号の障害物回避手法を基にその機能 の向上を図った.

二つの LRF より得られる測域データは、レー ザー光源を原点とした偏角 ϕ と動径 r で表される 二次元曲座標系上の点群である。これを図 10 に
示す機体座標系,すなわち高尾2号の回転中心を 原点とした xy 直行座標系に変換する.



☑ 10 Decision pathway and Approach to next waypoint

探索枠は図 10 中に示したような二直線に挟ま れた領域となる. この二直線は探索枠の幅 w とロ ボットの進行角度 θ から次式で表される.

$$y = x tan\theta \pm w/2cos\theta \tag{1}$$

式(1)より, 観測された点が探索枠の内側に含ま れるかどうかの条件式は式(2)となる.

$$|y\cos\theta - x\sin\theta| \le w/2 \tag{2}$$

式(2)を用いて,各探索枠内にある点の数をカウン トし障害物の有無を判断する.また,探索枠の展開 数は最も近い障害物との距離によって決定し,障 害物が近ければ近いほど探索枠の数を増やし,進 行できる方向を増やす.これにより進行方向を限 定し,元の進行方向に最も近い進行可能な枠へ進 行する.

さらに障害物との距離に対する探索枠の数や探 索枠の幅等は、モードとして複数のパターンが用 意してあり、周囲の環境(屋内外等)によって切 り替えることにより最適化する.

4. 自律走行実験

実証実験の場として、2009年度から「つくばチャ レンジ」に参加している.ここでは2012年度に参 加した「つくばチャレンジ2012」について報告す る.同チャレンジでの走行時のGPS計測値および ジャイロオドメトリの軌跡を図11に示す.図11 のAでは、周囲環境の磁気等の影響によって電子 コンパスの方位が安定せず、それによって進行方 向が常に変動している状態として検出されたため 蛇行走行となった.図11のBは,ジャイロオド メトリの軌跡のずれを示しており,これは蛇行走 行による累積誤差が原因と考えられる.



☑ 11 Trajectory of the autonomous mobile robot in Tsukuba challenge 2012



☑ 12 Enlarged view of the marked rectangular area shown in Fig. 11

図 12 は図 11 の四角で囲まれた箇所を拡大した ものである。図12のCは、WP 到達時の補正後直 ぐにジャイロオドメトリの軌跡が GPS の軌跡から 大きくずれているところである. そして, Cのよ うな突発的なずれは、図12の他に数ヶ所存在して いた。これらの原因として、電子コンパスによる 姿勢の補正が不適切となっていることが考えられ る. そこで予備実験として、ロボットに回頭速度 0.4[rad/s]を4秒間与えたときのジャイロセンサと 電子コンパスの比較を行った. 各センサのサンプ リング時間は、ジャイロセンサが100Hz、電子コ ンパスが 10Hz である。その結果、電子コンパス はジャイロセンサに比べて安定するのに約2秒程 遅れることが分かった。この電子コンパスの応答 の遅れにより、ロボットが比較的大きな回頭速度 を持った状態で WP に到達した場合,電子コンパ スが真値に至る前の誤った数値で姿勢を補正する

ことが懸念され、ジャイロオドメトリの補正には 使えない.図12のDは、目標WPに到達したと き、前WPで大幅にずれたジャイロオドメトリの 軌跡がGPS計測値によって補正され、GPSの軌 跡上に戻る現象を示している.ジャイロオドメト リを参照しながら自律走行を行う場合、この現象 は期待できない.特に姿勢の補正については今後 の課題のひとつである.

4.1 実験走行を通じた考察

高尾2号は一般的な電動車椅子と比較すると,重 量があるが,駆動輪径が小さく低重心であり,前 の自由輪が大径であることが特徴である.主に電 子コンパスが不安定な箇所にて,コースから外れ てしまい,芝生や土の傾斜など不整地を走行する 場面が見受けられたが,低重心化された車体の効 果等により高い走破性を発揮した.オリジナルの 懸架装置に加え,前の自由輪の大径化と低重心化 といった今まで電動車椅子にあまり見られない組 み合わせが功を奏したと考えられる.

また,コース内の白線認識は主に 1) 水平方向 Sobel フィルタ, 2) 輝度基準の閾値による抽出, 3) 確率的ハフ変換の三つの画像処理を組み合わせて 行った.曇りの天気も幸いし,同処理によりコー ス内の白線を認識できることを確認した.

5. 画像処理による自己位置推定の試行

前述の現ナビゲーションシステムでは、GPS お よび電子コンパスによって取得された位置姿勢が 絶対的なものとして取り扱われ、これらに基づい て次の目標位置を適切に設定できることが前提と なっている.しかしながら、走行する周囲環境等に 関わらず, GPS および電子コンパスから常に十分 正確な位置姿勢が取得できると考えることはあま り現実的ではない. そこで、GPS や電子コンパス に頼らない自律航法について、この実現に向けた システムをロボットに実装することも試みている. 一例としてカメラの画像を活用する手法につい て述べる.概要は以下となる.(1)事前に一連の 走行経路をロボットに搭載されたカメラによって 撮影し、比較用の画像として PC に保存しておく、 (2) 自律走行時には、カメラ画像と比較用画像につ いて、それぞれの特徴点を抽出し、次いで互いの 共通する特徴点を結び付けてこれに基づいて推定 されるロボット自己位置から次の行動を決定する.

(3) これを逐次繰り返してロボットを進めていく.

画像処理に基づく上記ナビゲーションシステム をロボットに実装した。同システムは、大きく次 の三つのモード:(1)登録画像取得モード,(2)登 録画像整理モード,(3)自律走行モードにより構成 される.まずモード(1)により,自律走行させた いコースに沿って、一通り手動操作でロボットを 走行させ、同時にコースの画像をカメラから取得 する. フレームレート 4[fps] の処理により, 取得 された画像は BMP 形式として PC に保存・登録 される.次にモード(2)では、モード(1)の画像保 存・登録処理時に取り込まれた冗長な画像群(例え ば、ロボット停止時に同位置で複数枚保存・登録 されてしまったもの) について, 重複していると 判断されるものを一つの画像に整理集約するため の処理を行う.次いで、最終的な処理となるモー ド(3)が実際にロボットを自律走行させるための モードである。登録画像とロボット走行時のカメ ラ画像とのマッチング処理を行い両画像のずれ量 を計算し、これを反映させて次のロボットの進行 方向を決定する。カメラ画像と登録画像とのずれ 量が十分小くなったとき、ロボットはその登録画 像が撮られた位置に到達したと判断し、登録画像 を次の地点のものに更新して次の地点に向けた移 動動作に移る.

画像のマッチング処理には SURF(Speeded Up Robust Features) と呼ばれる画像の特徴点抽出手 法を用いる.図13に SURF を用いた画像マッチ ング処理の例を示す.これは、それぞれ関係する 二つの画像データについて、SURF 処理を施すこ とにより、抽出された特徴点が対応するもの同士 で関連付けられ、それらが直線で結ばれるデモン ストレーションの一例である.



☑ 13 A result of SURF image matching

本ナビゲーションシステムによる予備実験を東 京高専構内の次の四つのコース1~4で行った.図 14にそれらコースの内,コース2およびコース3 について例として示す.

・コース1:図書館棟前からくぬぎだ会館前までのほぼ直線コース(50m)

・コース2:生協食堂前から東京高専第1寮前ま でのゆるやかな左カーブを含むコース(80m)

・コース3:くぬぎだ会館前から1棟南側駐車場 までの左90度ターンを含むコース(100m)

・コース4:専攻科棟前から第1体育館前までの 右90度ターンを含むコース (30m)

結果は、コース1、2、4についてはスタート地 点からゴール地点まで SURF 処理を介した自律走 行に成功した.また、コース3については70m付 近でコースアウトしてしまったが、その原因は画 像処理そのものの問題ではなく、ロボット走行時 の振動から HDD を保護するために PC が自動停止 したためであった.HDD を振動の影響が受けにく い SSD に置き換えることにより、コース3の自律 走行も成功に導くことが十分可能と考えられる.







(b) Course 3

☑ 14 Typical courses in Tokyo National College of Technology used for running tests

なお, 同システムは単眼のカメラ構成で処理が

行われるため、その画像からは3次元の情報が十 分に得られない.本実験において、コース進行方 向前後に対して誤差が生じやすい傾向が見られた. これを踏まえ、ステレオ視するカメラ構成で処理 を行うよう、対策に取り組んでいる段階である.

おわりに

自律走行ロボット高尾1号・2号の開発を行い, 高尾2号については、そのナビゲーション用制御 システムを新規にROS上に構築してロボットに実 装した.同システムのWP巡回,ジャイロオドメト リベースの自己位置推定について改善を図り、そ の実証実験を行った.走行距離の記録更新(685m) は達成できたものの特にジャイロオドメトリの補 正手法について信頼できるものにする必要がある. 加えてGPS,電子コンパスに頼る手法以外のナビ ゲーションシステムの用意等,今後の課題である.

本研究は、2009 年度から本校機械工学科および 電子工学科の卒業研究および専攻科特別研究の一 環として取り組まれた.システムを着実に進化さ せ、特につくばチャレンジにおいて順調に記録を 更新できているのは、担当学生諸氏の優れたアイ デア、センスおよび努力によるものが大きい.こ こに記して歴代の担当メンバー皆に謝意を表す.

参考文献

- 多羅尾進,江口洋丞,山内元貴,山本啓史, 青木宏之:"つくばチャレンジに向けた屋外自 立走行ロボット高尾1号の開発-Linux ベース の制御システム構築-",SI2009 講演論文集, pp. 992-993, 2009.
- 青木彬,大森実,佐々木理,多羅尾進:"人搭 乗型自律移動ロボットにおける基本制御シス テムの試作",ROBOMEC2012 講演論文集, 2A2-U10, 2012.
- 3) ROS.org, http://www.ros.org/wiki/ (Accessed 2012-12-18).
- (4) 原祥尭, 坪内孝司, 油田信一: "ROS プラットフォームを用いた屋外自律移動ロボットの開発", SI2011 講演論文集, pp. 1153-1154, 2011.

(平成25年1月8日 受理)

自転車通行路におけるバリア調査 一多摩川サイクリングロードの場合 —

木村 南*

Barrier survey of bicycle traffic road – Case of the Tamagawa Cycletrack –

Minami KIMURA

(Tokyo National College of technology 1220-2 Kunugidamachi, Hachioji-city, Tokyo, Japan)

Because the amount of traffic increased in the Tamagawa cycletrack for the runner boom and the bicycle boom, and the bicycle accident happened frequently with the pedestrian and the runner, the barrier in the cycletrack was investigated. It ran 23 km/h \pm 2km/h in average and 1200km in total in the Tamagawa cycletrack by bicycle, the acceleration was measured with three axis accelerometer installed in the right wrist, and it took a picture of the video image at the same time. The results of measuring the acceleration of the Tamagawa cycletrack when running were 20 m/s² on the average and maximum value 205m/s² by the crack part of the road. Steps that had been set up for the speed control of the bicycle were observed to cause the speed decrease on 3.5 km/h average with the road bicycle.

keywords : cycletrafic, bicycle, acceleration measurement

1. 緒言

前報^Dでは自転車で携帯情報電子機器を運ぶ場合の加速度 について小型 3 軸加速度センサ を利用して、路面状態やや走 行速度が影響を調査し、最大の加速度は道路の 30mm 程度の 段差部を通過する際に腕時計を装着する手首部で 120m/s² で あった。自転車ブームとランナーブームの影響で多摩川サイク リングロードでの交通トラブルが多発し、自転車の速度抑制の ために段差が設けられ、乗車したままでは通行が困難な車止め も設置されている.その結果として多摩川サイクリングロード に並行する車道を走るロード自転車も増加している,そこで多 摩川サイクリングロードにおけるバリアを加速度測定,ビデオ 撮影により 2010年に調査をした².

2.実験方法

2-1 自転車

実験に使用した自転車を Fig.1 に示す.フレームは梶原利夫氏 が 1975 年に製作したマンガンモリブデン鋼管(Reinols531)を用 いバズーカ社のストレートクロモリフォークや GPS 機能付きサイ クルコンピュータ(Garmin 社 Edge705),前後のライト、ベル,などの 保安部品を取り付けた状態での車重は10.2kgであった.また試験 期間は2ヶ月で走行距離は1200km であった.使用したタイヤは Deda Olimpico Italiaというチューブラータイヤで空気圧は前輪・ 後輪とも950kPa 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.



Fig.1 Road bike



Fig.2 Three axis acceleration sensor worn to right wrist

2-2 3軸加速度センサ

斎藤 3 らは3輪自転車で加速度センサを利用して自転車道の バリア調査を行った.本実験では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. 前報では段差部を 通過するとき荷台では-120m/s²のZ方向の加速度を記録したが、 メッセンジャーバッグの中では-20m/s²の Z 方向加速度であった. 今回は人体への加速度を測定する為に手首部に装着した様子 をFig.2に示した.比較のためにハンドル部,二の腕,サドル部に加 速度センサを取付けて、京王線聖跡桜ケ丘駅からJR 南武線中野 島駅までの多摩川サイクリングロードを含む同一コースを(往復 27.0km)を走行してピークモードで加速度を測定した.最大の加 速度が測定されたのは是政橋付近であり、それぞれ 118m/s2,118m/s2,46m/s2,149m/s2 であった. これらの結果から特 別の断りがない限り右手首の測定結果を以下に示すことにした. 2-3ビデオ撮影

ビデオ撮影にはサングラス型ビデオレコーダー(千代田常磐商 行CAM-039)および Fig.3 に示すようにデジタルカメラ(オリンパ ス µ-6010)をハンドル部に取り付けて動画撮影モードの QVGA サイズで 30fps 記録した



Fig.3 Digital camera installed in hadle (video shooting)

2-4 被験者

年齢57歳,男性,身長168cm,体重78.5kg体脂肪率18.0%,サイ クリング暦44年の著者がノートPCなどを入れたメッセンジャーバ ッグ(6.7kg)を背負っ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39.0%:61.0%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2.8倍大きかった.

2-5 乗車姿勢の及ぼす影響

前報で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 たので乗車姿勢は猫背またはらくだのこぶ⁴と呼ばれる曲がった 背中で骨盤がサドルに垂直になるようにした.

3. 実験結果

3-1 加速度測定結果

羽村の取水場から多摩川大橋までの44.5km まで走行したときの右手首の加速度をFig.4 に示した最大の加速度は是政橋付記の亀裂の入った舗装路で205m/s²であった.



Fig.4 Three axis acceleration measurement result (Tamagawa Ohashi from Hamura)

3-2 路面状況

Fig.5 から Fig.14 に羽村から川崎の多摩川大橋までのサイクリ ングロードの路面状況を示した.福生市内では道幅が1800mmで 対面通行が難しいことが Fig.6 に示された.



Fig.5 Hamura getting water place



Fig.6 1800mm in width of Fussa city cycltrack

一方改修工事が進んだ立川市内のサインロードでは Fig.7 に示すように道路の片側に自転車・歩行者道として併設さ れた.交通量が少ないが自転車と歩行者の通行ルールは明示さ れていない.



Fig.7 Cycletrack on repaired bank in Tachikawa city 府中市内のサイクリングロードには「府中多摩川かぜのみち」と いう名称が路面に示され「歩行者優先」の路面も多数存在した.



Fig.8 Cycletrack with center line in Fuchu city 府中の郷土の森近くの土手の上のサイクリングロードには Fig.9 に示すようにカードレールもなく,街灯のない急カーブがあるの で夜間通行には注意を要する.



Fig.9 Curve without guardrail on bank Fig.10 には Fig.4 で最大加速度 205m/s²を記録した亀裂が生じ コンクリートが剥膺した舗装路を示した.



Fig.10 Cycletrack that gets rough where acceleration 205m/was recorded (Koremasa bridge the under)

さらに Fig.11 にはヘアピンカーブの中央が高くなっていて旋回しにくいサイクリングロードを登る自転車を示した.



Fig.11 Bicycle that runs in convex hairpin bend that doesn't turn easily

登戸より下流では川崎側のサイクリングロードを走行したが、 川崎市では青少年サイクリングロードと明示してあるもののセン ターラインもなく、道幅も実寸では 1920mm と狭く、Fig.12 に示した 東横線鉄橋付近では路面が荒れており 149m/s²を記録した.



Fig.12 The youth cycletrack on road that gets rough (Kawasaki City Nakahara Ward) さらに下流に進むと Fig.13 に示すようにすすき等の雑草が道

をふさぎ道幅は 400mm に減少し,大変走行しにくかった.



Fig.13 The youth cycletrack that became 400mm in width of road because of weed (Kawasaki City Nakahara Ward)



Fig.14Cycletrack where weed grows in crack of asphalt

Fig.14 にサイクリングロードの亀裂に生じた雑草が路面中央 に生えている様子を示した.

4. 考察

4-1 対面通行

サイクリングロードが一般道と異なる点は、自転車と歩行者・走者 の通行ルールが明確でないこと、管理する自治体がサイクリング ロード部分を国土交通省から借り受けていることから道路の整備 状況・補修がまちまちであるように見えることが挙げられる. Fig.15 に川崎市内の道幅の狭いサイクリングロードでの対面通 行の難しさを示している.



Fig.15 Passing each other with the bicycle that the cycletrack narrowly opposes is difficult.

また Fig.16 には多摩川サイクリングロードの大半で歩行者・走 者も自転車と同じように左側通行する様子を示した.



Fig.16 Worker, runner, and bicycle pass the left side そして並走する自転車や並んで歩く歩行者も自転車走行にと ってバリアとなる場合があった.さらに走行中に怖いのは Fig.17 に示すような無理な追い越しをする対向自転車であった.



Fig.17 Outstripped bicycle

4-2 夜間通行

サイクリングロードには街灯がなくかなり明るいライトが必要に なるが、それ以上に走行が難しくなるのは、サイクリングロードに並 行する一般道路の自動車のハイビームライトがまぶしく路面、対 向自転車やジョギング走者が全く見えなくなることである.Fig.18 に夜間走行での周辺道路からの光源を示した.



Fig.18 Dazzling car light beam from road in surrounding Fig.19 に示すように府中市内のサイクリングロードの6か所 に LED の安全標識が路面に内蔵された.



Fig.19 Cycletrack with built-in LED sign in Fuchu city

無灯火の自転車は多摩川サイクリングロードでは警察のパトロールもありかなり低下したが無灯火自転車にはママチャリと呼ばれる一般自転車が多かった.

4-3 車止め

多摩川サイクリングロードには周辺道路からの車やバイク通行を 防止するために24箇所あるが,自転車を止めるようなFig.20のような車止めやFig.21に示す車止めの周囲に鉄板が敷かれて滑り やすくなっていた.



Fig.20 Car stop in Fussa city



Fig.21 Car stop in Kunitachi city

4-3 安全対策

Fig.22 に示したように「注意 接触事故多発」という看板が府中市内に設置されている.



Fig. 22 Attention signboard "Frequent occurrence of contact accident of worker and bicycle"

4-4 死亡事故発生場所

2009 年に多摩川サイクリングロードで 2 件の自転車と歩行者・ 走者との接触で死亡事故が発生した,Fig.23 には府中市の郷土 の森付近を示す.木が生い茂っており河原へ遊びに行く歩行者 がサイクリングロードを横切る場所でありバーベキューが盛んな ときは人が溢れていた.そして「死亡事故発生」の看板が設置さ れた.一方 Fig.24 には川崎市高津区の歩道橋を降りてきた人が 出会い頭に自転車と衝突した場所を示す.事故後に「歩行者注 意」の道路標識が設置された.





Fig.23 Fuchu City Kyoudonomori Fig.24 Pedestrian bridge

Fig.24 Pedestrian bridge (Kawasaki City Nakahara Ward)

4-5 自転車の速度抑制のための舗装

Fig.25 に府中市内に設置された速度抑制舗装を示した、この舗装部分では 70m/s2~80m/s²の加速度が記録された.Fig.25 のセンターライン上はそれぞれの段が重なりほとんどたいらになっておりこの部分を走りたがる自転車もおり、対向車はかなり怖い思いをさせられる、



Fig.25 Deceleration pavement 4-4 自転車の速度抑制のための段差

調布市内の河川敷の野球グランド付近には Fig.26 の看板に段 差の設置が表示され、Fig.27 にサイクリングロードに設置されてい る.自転車の速度抑制のための高さ 12~18mm,幅 100mm のかま ぼこ状の段差を示した.



Fig.27 Signboard of steps installation Fig.28 Steps(Chofu city)

4-5 自転車の速度抑制段差の効果

かまぼこ状の段差は自転車の速度を低減する効果があるの かどうか平たん部と段差部での速度をビデオ画像から算出する ことを試みた.Fig.29 に平日の午前中に平たん部を通過した自転 車と歩行者・走者の速度をヒストグラムにしてまとめた歩行者の 3.5km/hからロードバイクの 20.5km/hまでほぼ均等に分散してい る.(n=133)



Fig.29 Velocity distribution in flat part(n=133)

一方かまぼこ状の段差を通過する自転車と歩行者・走者の場合には休日の午後に測定した場合には(n=337),時速14.5km/hにピークがある正規分布に近い速度分布であった.



Fig.30 Velocity distribution in step part(n=337)

スピードの出やすいロードバイクの場合について平たん部 での速度分布を調べて Fig.31 に示しこの場合の平均速度 22..1km/h(n=28)に比べて Fig.32 に示した段差部での速度分 布では平均速度 18.6km/h(n=54)に低下しており,速度低下率 は15.9%であった.



Fig.31 Velocity distribution of road bicycle in flat part (n=28)



Fig.32 Velocity distribution of road bicycle in step part(n=54)

しかしミニサイクル,ママチャリやサスペンションが付い ているマウンテンバイクの場合の段差部の通過速度がそれぞ れ 16.8km/h(n=18),13.2km/h(n=98),19.4km/h(n=14)であっ たがこれはそれぞれの平たん部に比べて2.4km/h,1.5km/h, 3.0km/hほど増加していた.段差部を乗り越すために速度を増 加させた可能性がある.

また歩行者の速度は平たん部4.8km/h(n=28)に対して段差 部では4.9km/h(n=39)と変化がなかったが,ジョギング者は平 たん部では 11.7km/h(n=13)から段差部では 9.5km/h(n=24) となり 2.2km/hの速度低下を生じていた.(速度低下率 18.8%)

平たん部では速度分布が平準化しているのに対して,段差 部で14.5km/hにピークが存在している.すなわち段差部では 自転車と歩行者・走者の速度が均衡してそれぞれが交差する 可能性があった.そこでビデオ画像を精査して画面上で歩行 者・走者と自転車が同一画像フレーム上に存在する場合を調 べたところ,歩行者・走者の48%が段差部付近で自転車と交差 することがわかった.

紙数の関係で図は省略するが,自転車通行の場合段差部走 行を衝撃が少なくうまく走行している人の服装はヘルメッ ト・手袋装着>手袋のみ装着>ヘルメットのみ装着>ヘルメッ ト・手袋両方とも無装着であった.段差部での衝撃回避や長時 間のハンドル把持に対する手袋の有効性がその理由と考えら れる.

4-6 ロードバイクの段差走行について

ビデオ画像から段差部を20km/h以上で走行した road バ イクには腰を上げて乗車する場合が多かったので,腰の位置 について速度との関係で調べて Fig.33 に結果を示した.腰を 上げた場合には平均速度が20.4km/h であり,腰を下ろした場 合には16.5km/h であった.



Fig.33 Difference of getting on potsition on velocity distribution of road bicycle in steps part

4-7 乗車姿勢の違いによる段差部走行の加速度測定

Fig.34 に段差部を走行する場合に手首部に負担が少な くなるように肘を曲げて緩くハンドルを握り,腰をサドルの上 に軽く乗せて低いギア比を使用して高回転で23.1km/h にて段 差部を通過した様子を示した,その時のトレースモードでの加 速度を Fig.35 に示した.最大でも48m/s²の加速度であった.



Fig.34 Handle bar is lightly gripped and it runs in steps. by the half-sitting.



Fig.35 Three axis acceleration measurement result in trace mode (For Fig.34).

一方しっかりとハンドルを握り腰を上げた乗り方をした Fig.36 の場合のトレースモードでの3 軸加速度を Fig.37 に示 した.100m/s²の加速度が記録され腰部への負担が少なくなる ものの手首部の負担が2.8 倍に増加した.



Fig.36 It runs in steps standing up with a stretch of the arm.



Fig.37 Three axis acceleration measurement result in trace mode (For Fig.36).

5.結言

多摩川サイクリングロードをロード自転車で実走し手首部 に加わる加速度計を測定したところ最大の加速度は是政橋下 の亀裂の入った舗装路で 205m/s² であった.また自転車の速度 抑制のために導入された段差部においてロードバイクの場合 に 3.5km/h の速度低下が見られた.また対向自動車のライト,夜 の走者,無灯火自転車,追い越し中の対向自転車,並走者,並走 自転車,車止めなどもバリアであった.

調布市のかまぼこ状の段差については速度抑制効果がある ものの舗装路をはみ出して段差を避けようとする自転車も多 くみられるので,府中市のサイクリングロードにある横断歩 道のような厚さ 5mm の速度抑制舗装の方が自転車の速度抑 制には有効と思われる.それ以上に自転車・歩行者が利用者と してのマナー向上と多摩川サイクリングロードを管理する自 治体間での連携が望まれる.

参考文献

1)木村 南:2010年度マイクロメカトロ講論(2010).p15-16

 本村 南: ジョイント・シンポジウム講演論文集:スポー ツ工学シンポジウム:シンポジウム:ヒューマン・ダイナミッ クス 2010,(2010),p392-397

3)斎藤健治,清田勝:土木計画学論,22-No.1,(2005).p177-182

(平成25年1月8日 受理)

パワーエレクトロニクス実験の教材開発

綾野秀樹*

79

Development of Teaching Materials for a Power Electronics Experiment

Hideki AYANO*

This paper shows about development of teaching materials for a power electronics experiment. This experiment is conducted in ELECTRICAL ENGINEERING LABORATORY IV which is a course for grade 5 students. The purpose of the experiment is to understand the pulse-width-modulation (PWM) method applied with an inverter that transforms DC power into AC power and to understand the configuration and operation of the inverter. The specifications of the experimental system are shown in detail.

Keywords : power electronics, inverter, PWM, experiment, simulation

1.諸言

世界的な省エネルギー化の流れの中で,電力変 換装置の利用範囲が広がっている。その代表的な 例として,インバータ(逆変換器)があり,商用交 流電力を整流した直流電力に対して,半導体素子 のスイッチング動作によって任意の周波数,任意 の振幅の交流電力に変換する。このインバータは, エアコン,冷蔵庫などの家電製品や,電車,電気 自動車に至る産業製品など幅広い分野で導入され ている⁽¹⁾⁽²⁾。また,昨今では,風力発電装置や太 陽光発電装置などの新エネルギー源が着目されて いるが,その出力電力を電力系統へ供給する際に もインバータは使用される⁽³⁾。

東京高専電気工学科では、5年生を対象とした 創造電気実験IVの授業において平成24年度より

「PWM インバータの基本動作」と題した実験を 開始した。この実験の目的は,直流電力を交流電 力に変換するインバータ(逆変換器)において,最 も多く適用される PWM (Pulse Width Modulation; パルス幅変調)方式に関しての理解を深めると共 に,インバータの基本構成・動作を理解すること にある。

実験内容は、ハーフブリッジ構成のインバータ にリアクトルと抵抗を直列接続した負荷(*LR* 負荷) を接続した評価システムを使用し、出力電圧の特 性を評価する。*LR* 負荷において抵抗に印加される 電圧は、インバータの出力電圧に対してローパス フィルタで濾過した波形となる。実験では、三角 波搬送波の周波数、出力電圧の振幅・周波数をパ ラメータとして特性を測定することにより, PWM 方式のインバータの基本動作を習得する。このよ うな評価を実施する実験教材⁽⁴⁾は市販されている が,比較的高価であるため,汎用部材を活用して 新たに開発をすることとした。

上記の実験を実施するための手順として, イン バータを制御するマイコンの設定を実施する。マ イコンの設定はハードウェアマニュアル⁽⁵⁾を参照 して実施し、PWM タイマの使用方法についても 同時に学習する。また, Excel を使用してインバ ータの出力電圧波形とローパスフィルタを濾過し た波形を解析的に導出し、実験結果との比較およ び考察を実施する。さらに、Excel により得られ る理想波形に対して マクロ処理にてフーリエ解 析を実施することにより、三角波搬送波の周波数 および出力電圧の周波数に対する影響を考察する。 またさらに、汎用インバータを用いて誘導電動機 を駆動させ、出力電圧の波形を観測し、学習した PWM 制御によって負荷モータを VVVF 制御で きることを確認する。この内容を1班3~4人構成 で6時限内で実施する。

本報告では、このパワーエレクトロニクス実験 に際して開発した実験教材について概要を説明す る。さらに、教材を使用した実験結果の例を報告 する。

2. 実験システムの概要

2.1 インバータシステムの原理

図1にインバータの原理図を示す。図1は振幅



図1 インバータの原理図.

が Eの直流電源をスイッチ SI, S2を介して負荷に 接続した形態の回路である。スイッチ SI, S2のい ずれか一方のみがオンするように高速に切り替え ることにより,矩形波状のパルス電圧が出力され る。このパルスの幅を制御することによって負荷 に印加される平均電圧を変化させることができる。

図1において,スイッチ *S1*, *S2*が理想的である と仮定する。スイッチ *S1*がオンしている場合には, スイッチに印加される電圧 v_{s1} は零であり,電流 i_{s1} が流れる。一方,オフしている場合には,印加 電圧 v_{s1} は *E* であるが電流は流れない。この場合 にスイッチで発生する損失は,

であるため,スイッチの損失は零となり,極めて 効率よく平均電圧を変化させることができる。

例えば電車においては,昔は抵抗制御で抵抗を 切り替えることによってモータに供給する電力を 調整していたため,損失が大きい点が課題であっ た。これに対して,近年のインバータを使用した 電車では,効率が格段に向上し,省エネルギー化 に貢献している⁽⁶⁾。さらに,電圧や周波数を自由 に調整できるということから滑らかな運転制御が 可能になった。

2.2 実験システムの構成

図 2 に実験システムの構成図を示す。±15V の 直流電源を使用したハーフブリッジインバータで あり,スイッチング素子には逆並列のダイオード を内蔵した MOSFET を使用する。負荷には LR 回路 (LR フィルタ)を接続し,インバータの出力電圧 v_o とフィルタ濾過後の電圧 v_rを測定する。

制御用マイコンにはルネサスエレクトロニクス 社製 SH7125 を使用しており,変調波(正弦波)の振



図2 実験システムの構成



写真1 実験システムの外観

幅指令と周波数指令を入力し、PWM 信号を出力す る。出力された PWM 信号は絶縁機能と駆動機能を 兼ねたフォトカプラを介して MOSFET のゲートに 与えられる。

振幅指令は,変調率(変調波(正弦波)の振幅/三 角波搬送波の振幅)を0.1刻みで0~1.5の範囲で 出力する仕様とした。また,周波数指令を5Hz刻 みで0~100Hzの範囲で出力する仕様とした。さら に、7セグメントLEDには、変調率を10倍した値 (0~F),および,周波数指令値を表示させる。 (100Hzの場合は、"A0"が表示される。)

写真1に実験システムの外観を示す。図2で示 した主回路,負荷,制御回路のシステムを使用し, パソコンオシロスコープにより測定した電圧を観 測用のノートパソコンにて表示処理をさせる。ま た,ノートパソコンは制御用マイコンを駆動させ るためのプログラムのコンパイルおよび書き込み にも使用する。

写真2に主回路と負荷の実装基板の外観を示す。



写真2 主回路と負荷部分の実装基板



写真3 制御回路の実装基板

負荷のリアクトルはトロイダル状のフェライトコ アに巻線を施したものである。写真3に制御回路 の実装基板の外観を示す。秋月電子製のSH7125 マイコンボードを使用し、その上部に振幅指令お よび周波数指令を入力するための可変抵抗と指令 値を表示する7セグメントLEDを搭載した構成に している。

3. 実験手順

実験は、以下の手順により実施する。

- (1) インバータシステムの予習
- (2) PWM 指令生成のためのマイコン設定
- (3) インバータの出力波形の測定
- (4) シミュレーションによる検証と考察
- (5) 汎用インバータを用いた観測評価
- (6) レポート作成(演習課題込み)

このうち,(2)~(5)の項目は,実験班のメンバー全員で互いに意見等を出し合わせながら検討させる。本章では,上記項目のうち(2)(3)(4)について概要を述べる。

ファイル(E) 編集(E) 書式(Q) 表示(V) ヘルブ(H)	
/* 初期化処理 */ void user_init(void)[~
// MTU3,4 相補PWMモード設定 //マニュアル9-107 //[1] MTU2.TSTR.BIT.CST3 = X; MTU2.TSTR.BIT.CST4 = X;	
//[2] MTU23.TCR.BYTE = 0xXX;//Pすカウント,方エッジカウント,同期クリアなし MTU24.TCR.BYTE = 0xXX;//Pすカウント,方エッジカウント,同期クリアなし	- million - B
//[3] MTU2.TGCR.BYTE = 0xXX;//TGCR未使用設定,同期クリアヤなし	_
//[4] MTU23.TCNT = 75; //3us/(1/25MHz) MTU24.TCNT = 0xXXXX; //沟期值0設定	
//[5] 無し	
//[6]	~
8	>:

図3 PWM 生成部分のマイコンプログラム

3.1 PWM 指令の生成のためのマイコン設定

マイコンにより PWM 信号を出力させるために は、プログラミングによるマイコン設定を実施す る必要がある。実際の処理においては、インター フェイス部分の設定を始め、所望の波形を出力す るための演算処理が必要である。しかし、実験時 間の制約を考慮して、本実験では PWM モードの 設定に絞って設定をさせる。

図3に、学生に検討させるPWM 生成部分のマ イコンプログラムのファイル例を示す。このファ イルは、学生が実験時に設定する部分のみを切り 出して一つのファイルとしている。その他のプロ グラムは別ファイルで管理しているため、学生は 確認することはできるが、誤って書き換えること がないように工夫している。また、図3のファイ ルは、マイコンのハードウェアマニュアル⁽⁶⁾に記 載された設定手順に基づいて、"X"部分に数値を 記入させる。教員は設定内容に対し、その意味を 教えることでマイコン駆動、PWM 方式に加え、 インバータ駆動で必要となるデッドタイムなどの 基本項目の理解を深めさせる。

3.2 インバータの出力波形の測定

インバータ出力の実測評価は、写真1で示した 実験システムを用いて実施し、出力周波数および 出力電圧の変調率を変化させて、インバータの出 力電圧 v_oおよび、フィルタ濾過後の電圧 v_rを測定 する。測定のパラメータとしては、(I)インバータのス イッチング周波数,(II)インバータの出力周波数, (III)出力電圧の変調率がある。スイッチング周波数 に関しては,(i)1kHz~2kHz の低周波数域,(ii) 8kHz~10kHz の高周波数域,余力があれば 4kHz ~6kHz の帯域を設定させる。さらに、それぞれの スイッチング周波数において、上記(II)(III)のパラメ ータを、少なくともそれぞれ 3 点測定することを実 験課題としている。((III)変調率については、1.0 を 超える過変調領域についても測定させることにして いる。)

3.3 シミュレーションによる検証と考察

図4にExcelを用いたシミュレーションツール の外観図を示す。このツールでは、スイッチング 周波数、変調率、信号波振幅、信号波周波数、フ ィルタL,Rの定数を代入することにより、三角 波キャリアと指令信号波を比較してPWM信号が 得られる様子を解析できる。また、フィルタ定数 に基づいて、デジタルフィルタ演算を実施するこ とでフィルタ濾過後を模擬した出力波形を出力で きる。さらに、Excel における標準のフーリエ解 析ツールでは測定点が4096 点以下という制約が あるため、マクロ処理にてフーリエ解析を実施し、 表示できる機能を加えた。

学生には、実測結果とシミュレーション結果を 比較させることで処理内容の理解を深めると共に、 フーリエ解析を通じて現象を考察させる。考察は、 実験班の全員で実施させているが、Excel のシミ ュレーションツールは各自に配布し、レポート作 成時などにより深い考察ができるようにしている。

4. 実験結果の例

4.1 実測結果

図 5 に、スイッチング周波数が 1kHz の場合の 実測結果を示す。出力周波数は50Hz としている。 図 5(a) は変調率 0.4 の場合の実測結果であり、フ イルタ濾過後の電圧 v_rにはスイッチング毎にリプ ルが生じていることが確認できる。これは、スイ ッチング周波数に依存したリプルであり、ローパ スフィルタでは濾過しきれないことにより発生し ている。また、インバータの出力電圧 v_oあるいは フィルタ濾過後の電圧 v_rにインパルス状の電圧成 分が重畳しているが、これは、高周波ノイズがオ



図4 Excel によるシミュレーションツール

シロスコープのプローブに影響を与えたことが原 因と考える。さらに、出力波形には正弦波に僅か にひずみが重畳している。これは、実験装置のコ イル特性による非線形性の影響と考える。

図 5(b) は変調率 0.8 の場合の実測結果であり, 図 5(a) と同様に v,にはスイッチング毎にリプル が生じていることが確認できる。図 5(b) は,図 5(a)に対して, voのパルス幅の粗密度の差が大き いことが確認できる。このためフィルタ濾過後の 電圧である v,の振幅を大きくできている。

図 5(c) は変調率 1.2 の場合の実測結果である。 図 5(c) は、三角波搬送波の振幅よりも変調波の振幅の方が大きくなる過変調の状態であり、過変調 領域では v_o は常時 ON 或いは常時 OFF となる。さ らに、この場合の v_r は正弦波ではなくひずみが生 じていることが確認できる。

図6に、スイッチング周波数が10kHzの場合の 実測結果を示す。図6の結果は、図5の結果に対 してリプルの幅は小さくなり、波形は滑らかにな ることが確認できる。これは、スイッチング周波 数の増加により出力電圧の一周期内に含まれるパ ルス数が多くなるため、高精度に出力できる点が 要因である。さらに、波形に含まれる高調波の周 波数成分が高周波化するため、ローパスフィルタ による濾過効果が大きくなることも要因である。 変調率を変化させた場合の波形の状態は図5の場 合と同様な傾向になる。

4.2 シミュレーション結果

図 7, 図 8 に Excel を使用して v_r のシミュレー ションを実施した結果を示す。シミュレーション 結果は、全ての条件において、振幅、リプル幅の



図.6 実測結果(スイッチング周波数 10kHz)





図.5 実測結果(スイッチング周波数 1kHz)



図.7 シミュレーション結果 (スイッチング周波数 1kHz)



図 9 図 7(b)の波形のフーリエ解析結果

特性は,図5,図6の実測結果をよく模擬できていることが確認できる。v,の波形は実測波形よりもより正弦波に近いことが確認できる。この要因は、実測波形で使用したリアクトルの特性が高周波数に対して線形ではない点が要因であり、シミュレーションではこの点の詳細模擬ができていないためと考える。

図 9, 図 10 にフーリエ解析結果を示す。フーリ エ解析結果から, v, の波形には基本波成分に加え て, スイッチング周波数の成分とその高調波の成 分が含まれていることが確認できる。つまり,実 測結果およびシミュレーション結果において, ス イッチング周波数を高くするのに伴って波形が滑 らかになる理由は, 波形に含まれる高調波成分が 高周波数化することによってフィルタの濾過効果 が増大する点が一要因であることを確認できる。

5. まとめ

本報告では、パワーエレクトロニクス実験に際 して開発した実験教材の内容を示した。,特に、 PWM 指令生成のためのマイコン設定部、インバ ータの出力波形の測定部、シミュレーションによ る検証部においてそれぞれ開発した教材について 概要を示した。さらに、教材を使用した実測結果、 シミュレーション結果の例を示し、実験学習によ



図 10 図 8(b)の波形のフーリエ解析結果

り習得する内容を報告した。今後はより学習密度 の高い教材になるように改良を加えていく予定で ある。

謝辞

パワーエレクトロニクス実験の内容設定に当た り,東京工業大学 赤木泰文先生,新居浜工業高等 専門学校 大村泰先生,苫小牧工業高等専門学校 上田茂太先生,鹿児島工業高等専門学校 本部光幸 先生には,貴重なご意見や情報を賜りました。厚 く御礼を申し上げます。

参考文献

- (1) 佐藤之彦:「基本を学ぶパワーエレクトロニ クス」,オーム社 (2012)
- (2) 正田英介他:「パワーエレクトロニクスのすべて」,オーム社(1995)
- (3)「太陽光発電のしくみと実例」、グリーン・ エレクトロニクス No.5、CQ出版社(2011)
- (4)「実習用DC-ACインバータMODEL5400」、株式 会社アドウィン、http://www.adwin.com/pr oduct/IV-100T.html
- (5) 「SH7125グループ, SH7124グループ ハード ウェアマニュアル」, ルネサステクノロジ
- (6) 古澤他:「車両システムの高性能化技術」, 平成21年度電気学会産業応用部門大会, 3-S 10-5, pp. III87-III90 (2010) (平成24年12月4日 受理)

フォトリソグラフィを用いたMOEMS技術の教材開発 一第2報,マイクロ光電子デバイスの実現に向けた基礎特性の評価― _{新國広幸*,伊藤 浩*}

Development of Teaching Materials for MOEMS Technology by Using Photolithography – 2nd Report, Evaluation of Basic Characteristics for Realization of Micro-Opto-Electro Device –

Hiroyuki NIKKUNI*, Hiroshi ITO*

We investigated optical waveguides and evaluation system for condensed matter for realization of educational materials of MOEMS technology using photolithography. Single mode optical waveguides on silicon were successfully fabricated and its intensity was evaluated to be $12.8 \,\mu$ W. The test elemental group (TEG) devices for the evaluation of condensed matter were also fabricated and electrical conductivity of the silicon wafer and titanium dioxide films were measured by using these TEG devices. It was found that base of device fabrication using the photolithography was established for teaching materials of the MOEMS technologies.

Keywords : MOEMS, photolithography, condensed matter

1. はじめに

MOEMS (光・電気・機械マイクロシステム) は, 電子回路,光学部品,機械構造などの異なる要素 を組み合わせた高機能でかつ信頼性の高い微細シ ステムである.応用例としてはプロジェクタや映 写機に利用されている DMD (Digital Micromirror Device) や MEMS 圧力センサ,加速度センサが挙 げられ,いまや MOEMS デバイスは我々の生活に なくてはならないものとなっている.

MOEMS は、基板に所望のパターンを転写させるフォトリソグラフィ技術を利用して作製され、これにより、一括生産やデバイスの小型化が実現できる.また、転写パターンの工夫により、ナノ・マイクロ領域での新物性の発現や新たな MOEMS デバイスの実現が期待できる.

MOEMS デバイスは、電子工学、光工学、機械 工学といった多様な技術を融合して作製する必要 があり、従来の各分野を横断した新規の基礎的研 究が必要となる.また、MOEMS 技術は、実社会 で活発に利用されており、社会からの MOEMS 作 製技術者の育成需要も高まっている.

そこで、本取り組みでは、本校の教育・研究シ ステムに、フォトリソグラフィを利用した MOEMS 技術を導入することで、MOEMS 技術者 の育成ならびに新規の MOEMS デバイス開発を目 的とする.第1報では、フォトリソグラフィに関 する基礎的データの収集を主とし、その応用とし て、光導波路の作製及び物性評価デバイスシステ ムの構築を行った.⁽¹⁾本報告では、それをさらに 進めて光導波路、物性評価デバイスシステムの作 製ならびに特性評価を行った.

2. 光導波路の作製と評価

2.1 設計

本研究では、0.63 µm の可視光を導波するチャ ネル導波路 (3 次元導波路) を作製する.また、光 導波路をセンサや変調器として応用することを念 頭におき、導波路の単一モード化を図る.

設計した光導波路の概略図を図 2-1 に示す.基板には, MOEMS の材料として最もよく利用され

ている Si を使用する. Si の屈折率は 3.85 と高い ので, Si 上に直接導波層を堆積させて導波路を作 りつけることはできない. そのため, Si 基板上に バッファ層として SiO₂を堆積させ, その上に導波 層薄膜を作製する. 導波層材料としては, 光学ガ ラスによく利用されている BK7 ガラスを選択し た. BK7 ガラスの導波層をバッファ層, 装荷層の SiO₂膜で挟むことで装荷層下部の等価屈折率が周 囲より高くなり, チャネル型の光導波路を構成で きる.

単一モード条件と Si 基板への放射損失を考慮 して、バッファ層厚(SiO₂)、導波層厚(BK7)、装 荷層厚(SiO₂)をそれぞれ、1.5 µm、1.2 µm、0.4 µm とした. 導波路幅については、単一モード条件を 満たす導波路幅は 3 µm 以下であるが、導波路幅 が細いと導波路の伝搬損失で導波光を確認できな い事が予想されるため、一つの基板上に導波路幅 2.0 µm、3.0 µm、8.0 µm、10.0 µm の導波路をそれ ぞれ作製することにした. 導波路表面や側壁の荒 れにより多モード光は散乱を受けやすいため、導 波路幅を単一モード条件より少し大きくしても単 ーモード光のみが伝搬されることが予想される.

2.2 作製

Si 基板上に 1.5 µm 厚の SiO₂薄膜をスパッタ法 により成膜し, さらにその上に 1.2 µm 厚 BK7 ガ ラスをスパッタ法により堆積させた. 次に BK7 ガラス薄膜上にフォトリソグラフィにより導波路 パターンを露光・現像した. フォトリソグラフィ の種々の条件は,表 2-1 に示すように第 1 報で求 めた最適条件とした. リソグラフィ後, 0.4 µm 厚



図 2-1 設計した導波路の概形

の SiO₂ 膜を堆積させ、レジスト剥離液(東京応化 工業製 104) によりレジストを除去し、SiO₂ 装荷 層を作製した.最後に,導波路端面をへき開して, 良好な光導波路端面を得た.

2.3 評価

試作した光導波路の断面を SEM により撮影した. 図 2-2 にマスク幅 3.0 µm の光導波路断面を示す. 導波路の装荷層幅は 3.7 µm で,マスク幅より大きくなってしまった. その他の幅の導波路についても,マスク幅より 1 µm 程度太くなった. これは,露光時のマスクと基板の密着不十分により光がマスクの下部に回折したためだと考えられる. 波長 0.63 µm のレーザ光を利用して,光導波路

表 2-1 リソグラフィ条件

\bigcirc	表面活性剤塗布
	スピナーにより表面活性剤を塗布し,90℃の
	電気炉で 5 min 乾燥.
2	レジスト塗布
	スピナーにより, ポジ型レジスト OFPR-800
	44 cP(東京応化工業製)を塗布.
	1 次回転: 800 rpm で 3 s
	2 次回転:3000 rpm で 20 s
3	プリベーク
	90 ℃の電気炉で 30 min 乾燥.
4	露光
	M-1S(ミカサ社製)により, コンタクト式露
	光法で 10 s 露光.
5	現像
	NMD-W(東京応化工業製)により 60 s 現像.



図 2-2 SEM による試作導波路の断面像

に導波光を励起した. 図 2-3 に使用した光学系を 示す. レーザ光をレンズにより集光し、 導波路を 伝搬後の出力導波光をレンズで拡大して、導波光 の横方向分布である近視野像を撮影した. 図 2-4 に 9 µm 幅の導波路の近視野像を示す.また, CCD カメラにより導波光の光強度分布を測定し た. 偏光子により TM モード光, TE モード光をそ れぞれ励起し、各々の強度分布を測定した. 図 2-5 に TM モード光の x 方向, y 方向それぞれの強度 分布を示す.x方向,y方向ともに単峰性の光強度 分布となり, 単一モードの光導波路となっている ことが確認できた. 同様に TE モード光について も単一モードになっていることを確認できた.x 方向の強度分布について,光強度が最大値の 1/e² になる強度分布の拡がり幅は9 µm で、導波路幅 と同じであることが確認できた.

試作した導波路の中で光強度が最も大きかった 導波路は,幅9 μmの光導波路で,12.8 μW であった. レーザ光の出力 8.4 mW に対して 12.8 μW であるため,最も光強度の大きい導波路でも, 99.8 %の損失がある.なお,3 μm,2 μm 幅の導



図 2-3 光学系



図 2-4 導波光の近視野像

波路は損失が大きすぎ導波光を確認できなかった. 損失として考えられるのは,導波路入射部での結 合損失,導波路の荒れに起因する散乱損失,導波 路材料による吸収損失が考えられる.

3.物性評価デバイスの作製と評価

3.1 概要

フォトリソグラフィ技術を用いた物性評価とし て、微細な構造を作れることから各種物性値を評 価する構造等が考えられる.この技術を利用して、 既存の物性値を評価し、物性を理解する実験教材 や卒業研究にも応用ができる.基本的な物性評価 として抵抗測定を考え、昨年度にフォトマスクを 作製し、基本的なフォトリソグラフィの条件出し を行った.⁽¹⁾本報告では、抵抗測定の基礎段階と して、シリコンウェハの抵抗評価及び、酸化チタ







図 2-5 TM モード光の強度分布

ン(TiO₂)薄膜の導電率測定を行った.このTiO₂ については、TiO₂薄膜は一般的に透明で屈折率の 異なるSiO₂と多層構造にすることで光学膜とし て広く利用されているものであるが、近年では TiO₂を透明導電膜として利用する研究が取り組ま れている.このTiO₂の透明導電膜はアナターゼ型 結晶構造を形成し、Nbニオブなどの不純物原子を ドーピングすることで導電率が10³S/cm程度の値 を得ている.⁽²⁾そのような応用を鑑み、基礎的な TiO₂薄膜の導電率評価を行うことにした.

3.2 物性評価デバイスの作製

昨年度作製したフォトマスクの概要を図 3-1 に 示す. 薄膜の高抵抗測定用に電極構造をくさび型 に設計したものである.この電極構造により電極 幅Wは最大約3mで電極間距離Lは3µmになる. この電極構造をフォトリソグラフィ技術を用いて, シリコンウェハ上及び酸化チタン(TiO₂)薄膜上 に作製した. 図 3-2 にシリコンウェハに作製した サンプル写真を示す.フォトリソグラフィの作製 条件は表 2-1 に示したものと同じである. リフト オフに用いる電極にはアルミニウム Al 電極を用 い、スパッタリング装置にて成膜した. リフトオ フ後には、Si 基板と Al 電極との接触抵抗を低減 させるためにアニール処理として、400℃、30分 を行った. 使用した電極パターンは電極間距離 L が100µmで,Siウェハの抵抗値が小さいこと及び, デバイス作製上の埃等の影響を考慮したものであ



図 3-1 薄膜抵抗測定用フォトマスクの概要

	表 3-1	TiO,薄膜の成膜条	:作
--	-------	------------	----

ターゲット	Ti 4N 3inch
スパッタ出力	DC 400W
プロセスガス	Ar, O ₂
酸素分圧	8%,13%
圧力	0.8 Pa
基板温度	RT, 300°C, 400°C, 500°C
基板材料	コーニング#7059 ガラス

る.

また, TiO₂薄膜の作製は, 反応性スパッタリン グ法を用いた.この反応性スパッタリング法では, Ti ターゲットを用い, Ar ガス及び O₂ガスを混入 させた環境下で放電すると, ターゲットが酸素と 反応し TiO₂が形成され, スパッタリング現象によ り基板上に TiO₂薄膜が作製される方法である.本 研究で用いたサンプルの成膜条件を表 3-1 に示す.

3.3 評価結果と検討

表 3-2 に Si ウェハの導電率測定結果を示す. 用 いた Si ウェハは, p型(100)面で,抵抗率は 0.1~1 Ω cm のものである. この測定結果からアニール処



図 3-2 作製した抵抗測定用電極(シリコンウェハ)

表 3-2 シリコンウェハの抵抗測定結果

	アニール処理前	アニール処理後
抵抗值[Ω]	12.2×10^{3}	57.7
抵抗率[Ωcm]	3.4×10^{6}	16.0×10 ³



図 3-3 アルミ電極の抵抗測定結果

理前と処理後では3ケタ抵抗値が減少し、接触抵 抗が大きく影響していることが分かる.また、測 定結果では57 Ωと非常に小さい値を得た.また, 抵抗率の結果では、約10kΩcm程度となりSiウ ェハの仕様値と大きく異なる結果となった.この 原因について、AI 薄膜電極の抵抗、プローバの接 触抵抗について検討した. Al 電極の抵抗値を評価 するために、AI 電極部にプローバを当て、プロー バ電極間を変化させ、その際測定される抵抗値を 測定した(図 3-3). この結果から, Al 電極の抵抗 値は数10Ω程度あることが分かった.また、プロ ーブ間距離の依存性から,プローブ接触抵抗が電 極間距離 0 のところで 6Ω程度と見積もることが できた. ここで, Al 金属の抵抗率は 10⁻⁶Ωcm 程 度であることから、Al 薄膜の膜厚を 100nm 程度 と考えると、抵抗値は数Ω程度と見積もることが でき,本結果は妥当な結果と考えられる.さらに, Si ウェハの仕様の抵抗率から抵抗を求めると、1 Ω 以下となり、この Si ウェハの抵抗測定結果の値 は、AI 電極及びプローブの寄生容量に大きく影響 を受けた結果であることが分かった. このことか ら、抵抗値が低い材料評価には、くさび形の電極 形状は適用できず、四端子法などの方法が最適で ある. この結果からは Si ウェハの抵抗値を評価す ることは出来なかったが, Si ウェハの抵抗値が非 常に小さいことから逆に、プローブの接触抵抗や Al 電極抵抗を評価でき,数10Ω程度あることが明 らかとすることができた.

図 3-4, 3-5 に TiO₂薄膜の抵抗率測定結果を示す. 図 3-4 の酸素分圧が 8%の結果から、アニール処 理による影響は成膜温度が室温(RT)の場合のみ に現れている.また,基板温度による依存性では, RT と 300℃ではほぼ同じ値であるのに対して、 400℃では $10^8 \Omega$ cm と大きい値を示した. これは, 基板温度 400℃ではアナターゼ型からルチル型の 結晶構造に変化することが分かっており、この構 造変化に伴う抵抗値の違いと考えられる.しかし, 室温で作製した TiO2 では非晶質であることから 高抵抗となると推察できるが、AI 電極のアニール 処理により TiO2 薄膜自体にも作用し, 再結晶化又 は、AI ドーピングが生じ、低抵抗化したものと考 えている.しかし、この数 10Ωcm の抵抗率の値 は上で述べた Si ウェハの結果で検討したように, 寄生抵抗の影響を多く含む結果であると考えられ



図 3-4 TiO₂薄膜の抵抗測定結果(酸素分圧 8%)



図 3-5 TiO₂薄膜の抵抗測定結果(酸素分圧 13%)

る.

また、図 3-5 の酸素分圧が 13%の場合では、ア ニール処理により 300℃及び、500℃のサンプルで 抵抗率は減少したが、400℃では逆に上昇した.ア ニール処理によって、抵抗率が減少する効果は、 TiO₂薄膜の結晶化などの影響が関係することが推 察できるが、上昇する結果については現在検討中 である.また、抵抗率の値から 500℃のサンプル では寄生抵抗の影響を受けており、正確な抵抗値 を評価できていないと考えられる.一方、300℃及 び、400℃のサンプルでは 10⁶~10⁸Ωcm の大きさ であり、寄生抵抗の値を十分無視できる値であり、 正確な抵抗評価ができていると考えられる.これ らの結果から、フォトリソグラフィによって作製 した抵抗評価サンプルによって、高抵抗で測定が 困難であったスパッタ TiO₂ 薄膜の抵抗値を測定 することが可能となった.今後はさらに他の条件 でのサンプルを検証し,抵抗値の妥当性を検討す る必要があると考えている.

4. まとめ

本報告では、フォトリソグラフィを用いた MOEMS 技術の教材開発を目指して、光導波路、 物性評価デバイスシステムの作製ならびにその特 性評価を行った.

導波路の作製と評価では、Si 基板上に単一モー ドのチャネル導波路を作製し、その特性を評価し た.まず、SEM による形状評価の結果、導波路幅 がマスク幅より1 μm 程度大きくなっており、こ れは、露光時の回折の影響だと考えられた.露光 時のマスク-基板の密着性を上げることで回折の 影響を低減できるので、今後基板とマスクの密着 性向上に取り組む.また、導波路にレーザ光を入 射し、近視野像を観測した.観測された近視野像 から9 μmの導波路について、TM モード光、TE モード光ともに単一モード導波路になっているこ とが確認できた.しかし、伝搬損失が大きく、デ バイスとして利用するのは難しい.そのため、今 後、損失原因の特定とその低減を図っていく予定 である.

物性評価デバイスの作製と評価では,評価技術 構築の基礎段階として既値である Si ウェハを用 いて抵抗測定を行った.また,透明導電膜として 応用が期待されている TiO₂ 薄膜に対しても成膜 温度依存性を評価検討した.これらの結果から, 抵抗測定の際に現れる寄生抵抗が数 10Ω程度存 在することが明らかとなった.このことから,寄 生抵抗を考慮したマスクパターン設計が必要であ る.また,幅広く抵抗値が変化する材料に対して は,抵抗値に対応した電極パターンを複数個用意 しておく必要がある.今後はこれらのことを考慮 した新しいフォトマスクを設計し作製していく予 定である.

以上の成果より,第1報の内容を基にフォトリ ソグラフィ技術を用いたデバイス作製における一 知見を得ることができた.また,基本的な導波路 デバイス,物性評価デバイスを作製し,評価した ことで新たな課題が見えてきたところである.今 後はさらにこれらの課題に対して各種条件の見直 し等を試み,MOEMS 技術へ向けた研究開発に取 組んでいく予定である.

謝辞

本研究の一部は,東京工業高等専門学校の平成 23 年度重点配分経費により行われた.

東京大学大規模集積設計教育研究センター (VDEC) 所有の F5112+VD01 EB 描画装置 (株式 会社アドバンテスト寄付)を使用してマスクの作 製を行った. 文部科学省ナノテクネットワークの 支援を受けた.

参考文献

(1) 伊藤 浩, 新國広幸, "フォトリソグラフィ を用いたMOEMS技術の教材開発", 東京工業高 等専門学校研究報告書, 第43(2)号, 2012, pp.107-112.

(2) 一杉太郎,山田直臣,長谷川哲也,"TiO₂系 透明導電体のスパッタ成膜技術",表面技術,58, 2007, pp.798-803.

(平成25年1月7日 受理)

反応性スパッタリング法を用いた 酸化シリコン膜の基板バイアスの影響

伊藤 浩* 川又由雄**

Influence of substrate bias effect for silicon oxide film fabricated by reactive sputtering method

Hiroshi ITO* and Yoshio KAWAMATA**

 SiO_2 films were deposited by reactive dc-sputtering method applied the substrate-bias. Deposition rate and refractive index of SiO_2 samples were measured and the substrate-bias effect was developed. As a result, at increasing the substrate-bias voltage to positive, the deposition rate would be higher and the refractive index would be lower values which was optimum condition occurred in that deposited conditions such as oxygen partial pressure ratio and the substrate-bias. From these results, the substrate-bias effect in the reactive sputtering process technology was useful for high-rate deposition of full oxidation SiO_2 film.

Keywords : silicon oxide film, reactive sputtering, substrate bias

1. はじめに

酸化シリコン膜は酸化チタンなどの屈折率の異 なる透明材料との多層構造により、反射防止膜、 光学フィルターなどの光学膜として広く利用され ている^[1]。この酸化シリコンの作製にはスパッタ リング法が用いられているが、ターゲットである SiO₂は硬い材料であり成膜速度が比較的遅い。そ のため、Si ターゲットを用いて、酸素とアルゴン による反応性スパッタリング法が開発され、SiO₂ 薄膜の高速成膜に実用化されている。しかし、近 年ではコスト面において、さらなる成膜速度の高 速化、高品質化の要求があり、反応性スパッタリ ング法を改良した新しいプロセス技術の開発が求 められている。スパッタリング法では、成膜過程 においてプラズマを利用していることから、従来 から基板にバイアスを印加することでプラズマ分 布が変化し、基板に付着する膜質に影響のあるこ とが分かっている^[2]。この基板バイアス効果には、 膜の緻密化が生じ、膜が高品質化することなどが 報告されている。

そこで、本研究では酸化シリコン SiO₂薄膜の成 膜速度の向上を目的に、基板バイアスを印加でき るよう改良した反応性スパッタリング法を用いて、 成膜実験による成膜速度及び屈折率による膜質評 価の検証を行ったので報告する。

2. 基板バイアスと成膜速度の高速化

図1に基板バイアス効果の概要を示す。本研究 で用いる反応性スパッタリング法では、プロセス ガスにアルゴンガスと酸素ガスを用いる。そのた め、成膜中のプラズマ中には、アルゴンイオンAr⁺、 酸素イオンO⁽⁻⁾や酸素ラジカルO^{*}存在する。こ の酸素がターゲットSiと反応し、ターゲット表面 が酸化し、SiO又はSiO₂を形成する。この酸化Si を高エネルギーで入射するアルゴンによってスパ ッタされ、基板にSiO_x膜が付着する。このSiO_x の酸化の度合いは混合ガスの酸素分率に依存する。 ここで、基板ホルダ部に外部電源により正バイア



図1 基板バイアス効果の概要図

スを印加すると、プラズマ中の酸素イオン O⁽⁻⁾ が基板側へ移動する。この際、基板に付着した Si 又は SiO 膜は基板ホルダ近傍にある高エネルギー 酸素イオンによって酸化が促進することが考えら れる。このことから基板バイアスによって SiO₂ 膜の酸化促進効果が期待できる。さらに、成膜速 度の高い不完全酸化の酸素分率領域を利用すれば、 高速に成膜された SiO_x膜を酸化させ、ストイキオ メトリの揃った高品質な SiO₂ 膜を作製できるこ とが考えられる。この成膜速度の高速化の基本的 な考えに基づき、本実験では基板バイアスによる 影響を膜厚分布や屈折率などの変化から検証する。

3. 実験方法

実験には反応性スパッタリング装置(芝浦メカ トロニクス製 CFS-4ES)を用いた。ターゲットに は B(ホウ素)の高ドープ単結晶 Si、基板には Si ウェハー(膜厚、屈折率評価用)、Corning # 7059 ガラス(透過率評価用)を用いた。スパッタ反応 ガスには高純度 Ar、O₂ ガスの混合ガスを使用し マスフローメータによって酸素分率をパラメータ とし一定量を導入した。反応性スパッタの条件は、 ターゲット電力 300W、成膜圧力 0.8Pa を一定とし、 酸素分率を 0%~100%まで変化させて成膜を行 った。基板バイアスの印加電圧(V_b)は、-60~70V まで加えた。

SiO₂薄膜の評価には、エリプソメータ(ガート ナー社製 LM300AE)、可視紫外分光光度計(日立 U-3400)、触診式膜厚計(KLA テンコール製 P-6) を用いた。

4. 結果と検討

4. 1 反応性スパッタリングの放電特性

図2に酸素分率を変化させたときの放電電圧特 性を示す。ターゲット Si の表面が SiO_xに酸化す るとスパッタ時の放出電子量が増加し、電力一定 成膜の場合、ターゲット電圧(放電電圧)は低下 する。この結果から酸素分率 0~10%程度では、 ターゲット Si は酸化せず、放電電圧はほぼ変化が なく一定である。しかし、酸素分率 10%~16%で 放電電圧が急峻に低下し、ターゲット Si が酸化し たことを示している。さらに 16%以上では放電電 圧は飽和し、一定値となり、ターゲット Si 表面が 安定した酸化状態となる。この状態を完全酸化領 域と呼び、通常の SiO₂ 成膜で用いられる条件であ る。本実験では、基板バイアスによ成膜速度の高 速化を検証するため、不完全酸化領域の 10%前後 の成膜条件で実験を行う。

4.2 成膜速度および屈折率

図3にはSiO₂薄膜の成膜速度と屈折率の基板バ イアス依存性を示す。本結果より、基板バイアス が負バイアス側では成膜速度及び屈折率に変化が 見られず一定であることがわかった。一方、正バ イアス側では成膜速度及び屈折率とも40V程度ま ではわずかな増加傾向を示すが、50V以上で急峻 な増加傾向を示す。印加バイアスの方向によって 現れる現象が異なることから、プラズマ中のイオ ンと関係する現象と考えられる。さらに、負バイ



図2 反応性スパッタリングの放電特性



図3 SiO2薄膜の基板バイアス依存性

アス側で変化が無いことから、プラズマ中の正イ オンと考えられる。Ar⁺に対してはターゲット Si の印加電圧(約330V)に比べ基板バイアス電圧は 小さく、基板側への影響はほとんど無いものと考 えられる。また、負バイアス側ではプラズマ中の 負イオンの O⁽⁻⁾ に作用し、基板側へ影響してい ることが考えられる。なぜならば、プラズマ中の 負の電荷を持つ粒子は酸素イオンと電子しか存在 しないためである。成膜速度が上昇した理由とし て、酸素イオンが基板側へ移動することで、ター ゲット近傍の酸素濃度が低下し、低酸素分率側へ シフトしたことと等価となり、成膜速度が向上し たものと推察できる。さらに、屈折率が増加した ことから酸素の比率が低い不完全酸化の SiO_x 成 分が増加したものと推察できる。しかし、基板バ イアスが 50V 前後で成膜速度及び、屈折率の変化 の度合いが変わる理由については不明であるが、 負電荷の酸素イオンと関係する現象であると考え ている。これらの結果より、基板バイアスによる 影響は正バイアス側で現れ、負電荷の酸素イオン に関係した現象であることが明らかとなった。

4.3 成膜速度の面内分布

図4に基板バイアスによるSiO2薄膜の膜厚分布 変化を示す。本実験装置では、基板ホルダを回転 しながら成膜を行い、基板面内で膜厚が均一にな るようになっている。しかし、基板バイアスの実 験用に基板ホルダ部を大型に改造したため、ホル ダ中心部と端部では膜厚が大きく異なっている。 通常は基板ホルダ径5cmの領域内で成膜が行われ るため、分布の影響は無い。ここでは基板バイア スの影響を見るために通常は成膜を行わない領域 でも評価を行っている。図4の結果から、基板バ イアスを増加させると、膜厚分布に変化のあるこ とが分かる。10Vの場合、0Vに比べ全体的に膜厚 が増加しており、特に 3~5cm の端部付近の膜厚 の増加率が高い。さらに、20V では 0~5cm の中 心部付近での増加率が大きくなっており、特に 2 ~4cmの領域で大きい。この基板バイアス依存性 から、基板バイアスによる電界がターゲットから 飛来する SiO_x粒子の照射量に影響するのか、また は基板上の酸化の度合いに影響することが考えら れる。照射粒子に作用したとすると、飛来粒子が 負に帯電したイオン粒子として飛来していること



図4 基板バイアスによる膜厚分布変化

が考えられる。しかし、一般的にスパッタされた 粒子は中性粒子の状態であることが言われており、 基板バイアスに依存する要因とは考えづらい。ま た、酸化の度合いに影響があるとすると、基板ホ ルダ上の酸素イオン照射量がバイアスの増加と伴 に増加し、膜厚が増加することが考えられる。本 実験では基板を回転成膜しているため、基板ホル ダに膜厚が均等に増加したとしても、中心部では 常に入射粒子が飛来しており、中心部の膜厚は周 辺部に比べ厚くなり、図4の結果のようになった ものと考える。

4. 4 基板バイアス効果の検討

図5は、各成膜条件で評価した屈折率と成膜速 度の関係を示す。この図で、縦軸(成膜速度)の 上部に向かうほど成膜速度が高速化していること を示し、横軸(屈折率)右側へ向かうほど、不完 全酸化のSiO_x膜が成膜されていることを示す。よ って、実験の目的からすると、上部左側に分布す る特性が、SiO₂薄膜の高速成膜を達成する最適な 実験条件を表すことになる。

通常、酸素分率(図中では酸素流量で示す)が 増えると、ターゲットの酸化が進み成膜速度は低 下する。しかし、図5の酸素流量及び、基板バイ アスが2.75sccm及び50Vの特性と1.9sccm及び 0Vのを比較すると、成膜速度は2.75sccmの方が 最大で1.2倍増加しており、屈折率では同等以下 の値を示し、完全酸化SiO2に近い値を得ている。



図5 成膜速度と屈折率の基板バイアス依存性

また、酸素流量が同じ 1.9sccm に対して、基板 バイアスが増加すると、成膜速度は向上している が、屈折率は上昇し、不完全酸化膜 SiO_x 側へ向か う。基板バイアス 70V では屈折率のばらつきが大 きく、不安定な領域で、成膜速度向上も飽和傾向 に見える。しかし、基板バイアス 50V における 2.3sccm 及び 2.75sccm の酸素流量では屈折率の低 下は少なく、成膜速度が最大で約 2 倍程度増加し ていることが分かる。

以上のことから、基板バイアスによる成膜速度 の向上と低屈折率化には、バイアス電圧と酸素流 量に最適な条件が存在することが明らかとなった。 この最適な条件となる要因については不明である が、プラズマ中の酸素イオン O⁽⁻⁾ が関係してい ることは明らかである。

5. まとめ

本研究では、反応性スパッタリング法において、 直流の基板バイアスを印加した際に及ぼす成膜特 性及び SiO₂ 膜特性への影響を実験的に明らかに した。この結果から、基板バイアス効果はチャン バ内のプラズマ全体に影響を与え、特にプラズマ 中の負の酸素イオンに作用し、バイアス電圧があ る一定範囲内においては成膜速度の増加と屈折率 の低下が同時に働く有効な成膜条件が存在するこ とが明らかとなった。さらに、この効果を発展応 用させるためには、基板ホルダ金属部の成膜によ る電気的遮蔽効果の抑制やバイアス電極配置の工 夫などが考えられる。

以上、本研究によって反応性スパッタリング法 を用いた SiO₂ 薄膜の高速成膜技術への一知見を 得ることができた。この基板バイアス効果は成膜 速度の高速化が容易であり、将来新しいプラズマ プロセス技術の発展へ期待できるものである。

参考文献

- [1] 李 正中, "光学薄膜と成膜技術", アグネ技 術センター, pp.290-291, 2005.
- [2] B. N. Chapman, Glow Discharge Processes (邦 訳:「プラズマプロセシングの基礎」岡本幸 雄訳 電気書院), pp.197-203, 1985.

(平成25年1月8日 受理)

ヒューマンインターフェイスとしての視線検出と 歯クリック音に関する一考察

舘泉雄治*, 岡田竜太郎**

A Study of Gaze Direction and Tooth-Click Sound as a Human Interfaces.

Yuji TATEIZUMI, Ryutaro OKADA

In this study, we propose an application using two types of touch-free human interface. One detects the user's gaze from nine segments of an image taken with a low-resolution camera, and the second captures a tooth-clicking sound with a bone conduction microphone. Experiments are carried out to verify the feasibility of these interfaces; if they can be combined, it is anticipated that they will break new ground in smartphone and computer technology.

Keywords : Human interface, Smartphone, Touch-free interface, Gaze direction, Toothclick sound

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット端末が急速 に普及し、その普及速度は年々加速している。図 1 は日本における携帯電話の出荷台数を表したグ ラフであるが、2009年頃まではフィーチャーフォ ン、いわゆるガラパゴス携帯(ガラ携)が大部分 を占めていたのに対して、2010年からスマートフ オンが徐々に割合を増やし、2011年には逆転して いる様子がうかがえる。このデータは出荷ベース の値であるため、実際に使用されている総数では、 まだフィーチャーフォンが数多く使用されている。 しかし、携帯電話の平均使用年数が 3.4 年(内閣 府経済社会総合研究所景気統計部消費動向調査、 2010年3月)とすると、数年で大部分の携帯電 話がスマートフォンに置き換わると予想される。



日本のフィーチャーフォンは、ガラパゴスと呼 ばれたように独自の進化を遂げていた。例えば、 ワンセグ TV が視聴できたり、お財布携帯として 称して電子マネー機能が搭載されたり、i モード に代表されるキャリア(携帯電話会社)独自の専 用ネットワークを使用したサービスが提供される などである。これらの独自の機能・サービスがス マートフォン普及の障害となり、日本での普及を 遅らせていた。このような特殊事情を持っていた 日本ですら、これ程急速にスマートフォンの普及 が進んでいる。世界的なレベルでは、更に急速な 変化が予想される。

また、スマートフォン同様にタブレット端末の 普及も急速に進んでいる。スマートフォンとタブ レット端末は、ハードウェア、ソフトウェアの基 本的な構成は殆ど同じであるが、画面サイズの違 いによって、タブレット端末はノートパソコンと 競合している。タブレット端末の出現によって、 ノートパソコンも少なからず影響を受けており、 ヒューマンインターフェイスの変化に一石を投じ る結果となっている。

2. ヒューマンインターフェイスの変化

パソコンや携帯電話(フィーチャーフォン)を 操作する場合のヒューマンインターフェイスは、 メーカや機種の違いによらずほぼ同じ方式が採用 されている。デスクトップ型のパソコンでは伝統 的なキーボードとマウスの組み合わせ、ノートパ ソコンではキーボードとタッチパッドの組み合わ せが主となっているが、これらのヒューマンイン ターフェイスの進化、変化の速度は、コンピュー

** 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 共通基盤研究施設 超伝導低温工学センター

^{*} 電気工学科

タの進化の速度から考えて非常にゆっくりとして いる。キーボードはキーの数が多少増え、また、 接続がワイヤレス式になるなどの変化はあるが、 本質的には全く変わっていない。マウスは、ボー ル式から光学式、レーザ式に進化するなど多少の 改良は加えられてきたが、基本的な機能としては 全く変わっていない。ノートパソコンのタッチパ ッドについても、マルチタッチ(複数点認識)に より多少の機能追加はなされているが、根本的な 変化とは言い難い。携帯電話(フィーチャーフォ ン)においても、一部 QWERTY 配列のフルキー ボードを搭載する機種もあるが、大部分は数字キ ーと十字キーなど、20~30個程度のキーを使用し て全ての操作・入力を行うことは全く変わってい ない。これは、自動車においてどの車種でもほと んど違いがなく運転できるのと同じように、これ らのヒューマンインターフェイスは個々の特徴を 強調するよりも、いわゆるデファクトスタンダー ドが優先された結果であると考えられる。

しかし、スマートフォンやタブレット端末の出 現により、ヒューマンインターフェイスにも大き な変化が起こっている。スマートフォンやタブレ ット端末では、タッチパネルによる全く新しい操 作が基本となっているが、まだ誕生間もない製品 であるにも関わらず、その操作方法は既にデファ クトスタンダードとなっているように感じられ、 全く違和感がない。また、全く新しいヒューマン インターフェイスであるにもかかわらず、多くの ユーザに受け入れられ、既に多くの利用者にとっ てリテラシ上の問題も克服されたと考えられる。 この新しいヒューマンインターフェイスはスマー トフォンやタブレット端末に留まらず、パソコン などへも大きな影響を与え始めている。

3. オペレーションと文字入力

キーボードやマウス、タッチパネル等の入力系 ヒューマンインターフェイスでは、コンピュータ のオペレーション(操作)と文字入力という2つ の異なる対象が存在し、各種のインターフェイス で得意、不得意があると考えられる。

表1に、代表的な入力系インターフェイスにお けるオペレーションと文字入力の有効性の分類を 示す。

表1 各種入力系インターフェイスの有効性

	オペレーション	文字入力
キーボード	△ *1	0
マウス	O	riangle *2
タッチパッド	Ô	riangle *2
携帯キー	0	0
タッチパネル	Ô	© *2
*1 キーボードショートカット		

*2 仮想キーボード

キーボードは文字入力に優れている。しかし、 オペレーションに関しては十分とは言えない。は るか昔のキャラクタベースの OS では、キーボー ドだけで全てが完結していた訳であるが、現在の GUI 環境の OS 下では、マウスやタッチパッドな どとの併用が必須となっている。ただ、複数のキ ーを組み合わせるキーボードショートカットをう まく利用すれば、ある程度のオペレーションはキ ーボードのみで行うことも可能である。

マウスはオペレーションに優れている。特に精 密なポインティング操作においては他のどのイン ターフェイスよりも優れている。そのため、タッ チパッドを搭載しているノートパソコンでも、別 途マウスを接続する場合も多々見受けられる。し かし、文字入力は非常に難しい。画面上に表示し た仮想キーボードで入力を行うことはできなくは ないが、その操作性は非常に悪いと言わざるを得 ない。そのため、必ずキーボードとの併用が必要 となっている。

ノートパソコンなどで使用されているタッチパ ッドはオペレーションに優れている。特にマルチ タッチ(複数点認識)により操作性が向上した。 また、スマートフォンなどで使われているジェス チャー入力の機能も一部導入され、更に操作性は 向上している。しかし、文字入力は最も苦手であ る。画面上の仮想キーボードで入力を行うのは至 難の業である。

携帯電話(フィーチャーフォン)のキーは、イ ンターフェイス的にはオペレーション、文字入力 共にそれ程優れている訳ではない。しかし、総合 的なデザインの工夫によって実用となるレベルま で作り込まれている。ただ、オペレーションに関 しては万能ではなく、あくまでも携帯電話(フィ ーチャーフォン)のオペレーションに限られてい る。なお、文字入力に関しては、片手(しかも親 指のみ)で入力が可能であるという特徴を持って いる。訓練は必要になるが、慣れればかなりの速 度での入力が可能であり、人によってはキーボー ドよりも操作性が良いと感じる場合もある。

スマートフォンやタブレット端末で使用されて いるタッチパネルは、オペレーション、文字入力 共に非常に優れている。タッチパネルは、以前か ら一部の電子辞書や電子手帳なども使用されてい たが、そこで使用されていたタッチパネルはマル チタッチ(複数点認識)に対応しておらず、スタ イラスペンでの仮想キーボード入力や手書き文字 認識の用途などに限定されていた。現在のスマー トフォンやタブレット端末で使用されているタッ チパネルは入力の位置精度が非常に高くなり、ま た、図2に示すようなマルチタッチ(複数点認識) によるジェスチャー入力で非常に優れた操作性を 実現している。また、文字入力に関しても、好み に応じて各種の仮想キーボードを選択することが でき、さらに、仮想キーボードのキーにダイレク トタッチすることができるため操作性が非常に優 れている。なお、図3に示すようなフリック入力 という新しい入力方式も選択でき、習熟すると驚 異的な速度での入力が可能になる。



図2 ジェスチャー入力の例



図3 フリック入力の画面

キーボードやマウスは、それぞれの弱点を補う ために併用することが必要であったが、スマート フォンやタブレット端末で使用されているタッチ パネルはオペレーション・文字入力共に優れてお り、単独での使用に耐えうるインターフェイスで あることがわかる。

4. 新しいインターフェイスのパソコンへの影響

タッチパネルはスマートフォンやタブレット端 末で普及しているが、その影響はパソコンへも広 がると考えられる。既に一部のノートパソコンで はディスプレイにタッチパネルを搭載し、タブレ ット端末的な利用が可能な製品も登場している。 少なくともノートパソコンにおいては、近い将来 キーボードを搭載しない製品が主流になる可能性 が高いのではないだろうか。

デスクトップパソコンにおいてもキーボードと マウスの組み合わせが変わってくる可能性が高い。 デスクトップパソコンでは、キーボードのキータ ッチなど微妙な感覚も重視されるため、ノートパ ソコンのように急速には変わらないのではないか と予想されるが、例えばキーボードの位置に入力 用の特別なタッチパネルが置かれ、必要に応じて 仮想キーボードなどを切り替えながらマルチタッ チによるジェスチャー入力を行うことができるよ うになるなら、キーボードが主流ではなくなる日 も来るかも知れない。もちろん、キーボードやマ ウスが無くなる訳ではない。現在でもトラックボ ールやペンタブレットを利用しているケースがあ るが、必要に応じて、好みに応じて旧来のインタ ーフェイスも利用されるであろう。しかし、主役 の座は交代していくであろう。

これはある意味でパンドラの箱を開けてしまっ たのかも知れない。キーボードなどはコンピュー タが誕生した初期から利用され慣れ親しんできた 訳であり、いつまでも変わらないものと思ってい た。しかし、タッチパネルが短期間に全く違和感 なく浸透するという成功体験を経験したことによ りヒューマンインターフェイスの変化に対する抵 抗が薄らいだと考えられる。今後は新たなインタ ーフェイスが次々と誕生し入れ替わっていく可能 性も否定できない。古参のユーザにとっては嬉し くないことかも知れないのであるが。

5. タッチパネルでの入力方式

一般的に、全く新しい製品が誕生した場合、そ の黎明期において様々な実験的な機能の実装が試 みられ、徐々に固定化していく傾向がある。しか し、スマートフォンやタブレット端末におけるタ ッチパネルの入力方式は、まだ誕生間もない製品 であるにもかかわらず既に成熟の域に達している ように感じられる。これはアップル社の「iOS ヒ ューマンインターフェイスガイドライン」の影響 が強いと考えられる。アップル社のガイドライン は非常によく考えられており、完成度は非常に高 い。もちろん、アップル社も短期間でガイドライ ンを策定した訳ではなく、かなりの時間をかけて 作り込みを行ってきた。例えば、フリック入力は アップル社から 1993 年に発売された世界初の個 人用携帯情報端末 (PDA)であるニュートン・メッ セージパッド用に開発された「Hanabi」という入 カシステムを基としている。しかし、ニュートン・ メッセージパッドは商業的に成功したとは言えず、 また、同様の他社製品も発売されなかったため、 長い間注目を集めることはなかった。そのため、 2008 年に iPhone が発売され、驚異的な台数を売 り上げた段階で、唐突に非常に完成度の高いヒュ ーマンインターフェイスが登場したかのような印 象を与えることになった訳である。

iPhone が発売されるまで、スマートフォンとい う概念すらなかったので、iPhoneの成功に脅威を 感じ対抗する製品開発の必要に迫られた段階では、 もはや十分に時間をかけて新しいヒューマンイン ターフェイスの方式を模索する余裕がなかったの ではないかと推測する。現在、アップル社と Andoroid OS を開発した Google 社との間では訴 訟合戦が繰り返されているが、訴訟内容を見るま でもなく両者のヒューマンインターフェイスは酷 似している。これは、本来切磋琢磨して磨き上げ られるべき新たなヒューマンインターフェイスが、 その過程を経ることなくデファクトスタンダード 化してしまったこと意味している。もちろん、ア ップル社のガイドラインの完成度が非常に高かっ たため万人に受け入れられたとも考えられ、また、 複数の方式が乱立して利用者に混乱が生じなかっ たという利点もあったが訳であるが、本来はもっ と実験的な試みを行うべきであり、今からでも新 たな試みを行う価値はあると考える。



図4 指先での操作が困難な場合

6. 非接触入力方式の検討

スマートフォンやタブレット端末における入力 のスタイルは、片手で本体を持ち、もう片方の指 先で操作することが基本となっている。しかし、 図4に示すように、片手に荷物を持っている場合 や、手に障がいがある場合には、その操作が困難 となることもある。このように、必ずしもタッチ パネルでの接触式の入力方式が万能とは言えない ため、その他の方式、特に非接触の入力方式を検 討することは重要であると考える。



図5 スマートフォンに搭載されているセンサ

図5に示すように、スマートフォンには各種の センサが搭載されている。この中で非接触の入力 に使用できると考えられるセンサはイメージ入力 (カメラ)と音声入力である。なお、この非接触 型の入力デバイスはスマートフォンだけに利用す ることを想定している訳はない。センサとしては スマートフォンのカメラなどを用いるが、パソコ ンやその他の機器にも接続して、その制御用に活 用することも考えている。もちろん、パソコン用 には非接触入力方式のために新たなデバイスを開 発、もしくは既存のセンサ類を利用することも考 えられるが、本研究ではスマートフォンに標準搭 載されているセンサのみで考えることにする。ス マートフォンには高性能なセンサが既に搭載され ており、高速な CPU や大容量のメモリも搭載し ている。更にネットワーク(クラウド)に常時接 続されている。このような高性能なセンサデバイ スを多くの人が既に所有している訳であるから、 それを利用しない手はないと考える。

7. 非接触型入力方式の候補

スマートフォンのカメラと音声入力を使用して 非接触での入力を行う場合、表2に示すような候 補が考えられる。

インターフェイス	入力方式の候補
カメラ	視線検出、顔の向き、顔の表
	情、瞬き、ジェスチャー
音声入力	音声、ハミング、歯クリック
	音

表2 非接触型入力方式の候補

視線検出

視線はマウスのポインティングに相当する動 作やフリック入力のような方向指示に利用でき ると考えられる。¹⁾ 視線は随意制御が比較的容 易であり、また、肢体不自由など高度な障がい 者でも利用できる可能性が高いなどの利点があ る。しかし、正確な視線検出は難しく、また、 精密な視線制御を強いることは利用者の負担が 大きくなる可能性が高いなどの問題点もある。

顔の向き

顔を上下左右に動かすことによって利用者の 意思を伝えることができる。²⁾ イエス・ノーの 意思表示には直感的で優れていると考えられる。 しかし、それ以外の用途では有効性を見出すこ とは難しいのではないかと思われる。

顔の表情

特別な顔の表情をオペレーションのトリガー とすることは有効かも知れない。しかし、意識 的に大げさな表情を作ることは利用者の負担も 大きく、人前では敬遠される可能性も高い。

瞬き

随意的な瞬きは、マウスのクリックに相当す る動作に利用できる。左右の目で左クリック、 右クリックを使い分けることも可能であり、ま た、片目を閉じてドラッグに相当する動作も可 能である。しかし、不随意的な瞬きによる誤動 作を防ぐ必要があり、また、意識的な瞬きの抑 制によって目の渇きなどの弊害が生じる可能性 もある。なお、ウィンクが苦手な場合には瞬き の利用は難しいかも知れない。

ジェスチャー

タッチパネルでのジェスチャー入力とは異な り、指先だけではなく体の色々な部位によるジ ェスチャーが可能である。カメラの前にかざし た手の指を折るような動作や、手を振る、手招 きをするような動作、手話や野球のサインのよ うな動作で更に複雑なオペレーションを行うこ とも可能である。しかし、複雑な動作を1つの カメラ画像のみから解析することは非常に難し く、認識率を向上させることは簡単なことでは ないと思われる。認識率がかなり高くないと実 用に耐えないため、手話レベルの高度なジェス チャー認識を実用化することは容易なことでは ないであろう。

音声

音声認識は、少数の限られた単語のみの認識 と、自然言語の認識という2つのレベルがある。 限られた単語の認識は比較的容易であり、既に パソコンの OS の機能として標準実装されてい る。しかし、自然言語の認識は非常に難しく、 まだ実用段階には達していない。最近では、 iPhoneの「Siri」や docomoの「しゃべってコ ンシェル」のように処理にクラウドサーバを利 用することで比較的高度な自然言語認識を実現 した例はあるが、利用範囲はまだ限定されてい る。なお、音声認識はある意味究極の非接触型 入力方式かも知れないが、決して万能ではない。 例えば公共交通機関では携帯電話の通話が制限 されるが、同様に音声での操作も制限されるで あろう。また、静かなオフィスで皆がモソモソ と声を発しているのはあまり気持ちの良い光景 ではないかも知れない。

ハミング

鼻歌のようなハミングでも意思を伝えること はできる。音声認識よりも処理は容易であり、 認識率も高くすることができると思われる。ま た、音程の組み合わせで符号化すれば、かなり 複雑なオペレーションも可能だと思われる。し かし、音声認識以上に利用できる場は限られる であろう。少なくとも人前で鼻歌を歌うのは遠 慮させていただきたい。

歯クリック音

歯をカチカチと鳴らす音はマウスのクリック に相当する動作に利用することができる。³⁾⁴⁾⁵⁾ 大きな音を出すことは大変であるが、骨伝導マ イクを用いれば軽く歯を噛み合わせるだけで明 瞭に音を拾うことが可能である。また、歯を軽 く噛み合わせるだけであれば周囲に音が漏れる ことは殆どなく、周囲の人に気付かれずに操作 を行うことも可能である。クリックはシングル クリック、ダブルクリックの他、モールス信号 のような符号化された情報を送ることも可能で ある。骨伝導マイクを使用した場合、厳密には 非接触型とは言えないかも知れないが、小型の ワイヤレス式ヘッドセットを着ける程度であれ ば問題ないのではないかと考える。

このように、それぞれの入力方式には特徴があ り、利用者の状況によって使い分けることが理想 ではないかと思われる。本研究ではこれらのうち 視線検出と歯クリック音に着目し、その有効性を 確認することにする。

8. スマートフォンのカメラによる視線検出

視線検出を高精度で行う場合、大掛かりなアイ トラッキング装置を装着する必要があるなど、個 人レベルでのヒューマンインターフェイスとして は実用性に乏しいと思われる。また、仮にスマー トフォンの小型カメラを用いた画像処理のみで高 精度の視線検出が可能となっても、マウスのポイ ンタを微調整するような精密な視線制御を行うこ とは利用者への負担が大きいと考える。眼球は随 意的に動かすことができるが、指先のような精細 な動きは得意としていないからである。

そこで、視線の方向を図6に示すように上下方

向、左右方向にそれぞれ3分割した9セグメント で検出することにする。視線の検出精度をあえて 落としたことで、大掛かりな装置を使用しなくと もスマートフォンの小型カメラからの画像のみで 検出が行える可能性が高まり、また、利用者の眼 球制御の負担も軽減されると考えられる。5)

視線検出の精度を落としたことで視線でのオペレーションに支障が出るのではないかという懸念もあるが、視線を XY 軸上での座標というアナログ的な値の入力装置と考えるのではなく、9 セグメントの方向というデジタル値の入力装置であるという発想の転換を行う必要がある。図7に示すようなコントローラを使用したゲームでは、たかだか4方向の入力で極めて複雑な制御を極めて高速に実現している。9 セグメントあればそれ以上の制御が可能なはずである。



図 6 視線の 9 セグメント分割



図7 4方向のみのゲームコントローラ

最初に、スマートフォンの小型カメラの解像度 で視線検出が可能な画像が得られるかどうかの確 認実験を行った。スマートフォンは機種によって 搭載されているカメラの解像度が異なり、最新機 種では高解像度化も進んでいる。しかし、ここで はあえて条件の厳しい低解像度の機種で確認を行 うことにした。なお、多くのスマートフォンには 主に写真撮影などに使用されるメインカメラと TV 電話機能などで使用されるフェイスカメラの 2台のカメラが搭載されている。フェイスカメラ は更に低解像度であるが、スマートフォンのオペ レーションはディスプレイを見ながら行うことが 多いと考えられるため、ディスプレイ側に取り付 けられているフェイスカメラで確認を行うことと した。

図8に示すように、カメラのレンズ部分と眼球 の距離を50cmとし、低解像度のフェイスカメラ (解像度は640×480 画素)で試験画像の撮影を 行った。図8の写真はその撮影画像であり、この 距離では概ね上半身が撮影範囲となっている。な お50cmという距離は、スマートフォンのディス プレイを見ながら操作する場合の眼球からディス プレイまでの距離を30cm~50cm であると仮定 し、その条件の厳しい側の値である。

図9に撮影した画像の右目の眼球付近の拡大画 像を示す。かなり粗く画素一つ一つが確認できる 画像になっているが、この画像から眼球や視線を 識別することは可能であると思われる。

図 10 に眼球付近を 9 セグメントに分割した画 像を示す。眼球の範囲は15×30 画素程度であり、 分割した各セグメントは 5×9 画素となった。こ の画像のみで視線検出を行うのには余裕のある解 像度とは言えないが、9 セグメントの特定は可能 であると考える。この画像は、想定した範囲の最 も厳しい条件で撮影した画像であるため、一般的 なスマートフォンの低解像度カメラでも視線検出 を行う画像は得られると結論付けることができる。



図8 スマートフォンのカメラの解像度確認



図9 眼球付近の拡大画像



図10 9セグメントに分割した眼球付近の画像

9. 9 セグメント視線検出実験

実際に9セグメントでの視線検出実験を行った。 図 11 に実験装置の外観を示す。スマートフォン の低解像度カメラの画像から検出することを想定 しているが、この実験ではパソコンに USB カメ ラを接続した環境での実験を実施した。これは、 スマートフォンのハードウェアリソースがパソコ ンに比べて貧弱で最適化が必要となるが、初期の 開発段階ではそれが難しいこと、また、開発環境 も十分とは言えず、実験的な開発にはパソコンの 方が適していると判断したからである。



図 11 視線検出と歯のクリック音実験装置

なお、図 11 の左端は、後述する歯クリック音 を録るための骨伝導マイクである。

USB カメラの解像度などの特性はスマートフ オンのフェイスカメラと異なるため、パソコンに 入力した後ソフトウェア的に画素数の削減処理を 行ってから視線検出処理を行っている。

視線検出処理は、以下の手順で行っている。

a. 入力画像のグレースケール変換

- b. 眼球領域を楕円と考えハフ変換により検出
- c. 楕円を内接する長方形を眼球領域として特定
- d. 眼球領域を上下左右にそれぞれ3分割
- e. 各セグメント内の画素の輝度を平均化
- f. 最低輝度セグメントを視線方向として検出

ソフトウェア開発は LabVIEW という開発環 境上で行った。検出処理が多少複雑なため、視線 の早い動きを追従させ連続的に検出するためには、 ある程度ハイスペックなパソコンを使用する必要 があった。しかし、スマートフォンの低解像度カ メラと9セグメント分割による視線検出の有効性 を確認するための環境を構築することができた。



図 12 成功した視線検出の例 標準



図13 成功した視線検出の例 メガネ



図 14 成功した視線検出の例 ピンボケ

図 12~図 16 に 9 セグメント分割による視線検 出実験の結果の画像を示す。それぞれ左側の写真 が USB カメラで撮影した元画像、右側の写真が 処理後(検出後)の画像である。

図 12 は標準的な例であり、眼球領域の特定と 最終的な視線の検出に成功している。

図 13 はメガネをかけた例である。この例では 縁なしメガネであり特に問題なく検出に成功して いる。メガネの縁は検出に影響を与えるほどでは なかった。また、レンズの効果により、眼球の位 置と大きさが多少変化するが、これも影響を与え るほどではなかった。ただ、黒縁のメガネをかけ た場合には検出は難しくなると思われる。

図14は意図的にピンボケ状態にした例である。 視線検出に際してセグメント内の輝度を平均化す るため、ハフ変換によって眼球領域が特定できさ えすれば視線検出は問題なく行うことができる。

図 15 は視線を誤検出してしまった例である。 眼球領域の特定までは問題なく行えているが、最 後の視線検出時にまつ毛の影響を受けて誤検出し ている。今回使用した検出ソフトウェアではまつ 毛の影響を考慮していないため、視線を外側に向 けた場合、上まつ毛の影響で誤検出してしまうこ とが多かった。

図 16 は眼球領域の特定を誤った例である。眼 球は、画像の中心からスタートして楕円の領域を 検索しているが、この場合は眉毛を眼球と間違っ てしまっている。眼球の大きさと眉毛の濃さ、形 状にもよるが、人によっては誤検出の確率が高く なってしまう可能性も考えられる。





図15 失敗した視線検出の例 視線誤検出





図 16 失敗した視線検出の例 領域特定ミス

10. 歯クリック音実験

歯をカチカチと噛み合わせた時の音は、軽く鳴 らしてもよく聞こえる。これは、骨伝導により鼓 膜に直接音が届いているからである。従って、骨 伝導マイクを用いれば非常に高感度で音を拾うこ とが可能である。

図 17 に骨伝導マイクの例を示す。ここで使用 した骨伝導マイクは有線式のものであるが、無線 式の小型ヘッドセットタイプを使用すれば、ほぼ 非接触型の入力とみなすことができる。

図 18 に骨伝導マイクで取得した歯クリック音 の波形を示す。この例では約1秒の間に3回カチ カチカチとクリックしているが、外部雑音の影響 も少なく極めて明瞭に得ることができている。骨 伝導マイクの場合、自らが声や音を発しなければ 外部の雑音は殆ど拾わないようである。なお、得 られた音声信号は SN 比が高いが、クリック音の 信号自体の持続時間は非常に短く、インパルス的 な音であることがわかる。



図 17 骨伝導マイクの例



図 19 に歯クリック音の周波数スペクトルのグ ラフを示す。この例では、約1秒の間に3回クリ ックを行い、それを2セット繰り返している。図 19 の下側のソノグラムでは計6回のクリックの タイミングを見ることができる。図 19 の上側の 周波数スペクトルのグラフは最初のセットの3回 目のクリックの瞬間を表示している。歯クリック 音の特徴として、300Hz付近に強いピークが存在 している。これは頭部、もしくは、口腔内の共振 周波数に起因している周波数であると推測される。 この周波数は個人差があるかも知れないが、非常 に安定した周波数であった。なお、共振周波数の 倍音のピークも検出することができている。また、 口腔の形を変化させてみると、倍音である 600Hz 付近に強いピークが発生することもあった。

図 20 は比較のために音声を発した時の周波数 スペクトルのグラフである。時間軸、周波数軸共 に特徴が全く異なっていることがわかる。



図 19 歯クリック音の周波数スペクトル



図 20 音声の周波数スペクトル
11. まとめ

スマートフォンやタブレット端末の急速な普及 に伴い、タッチパネルを使用した新しいヒューマ ンインターフェイスが多くの利用者の間で急速に 浸透した。タッチパネルはスマートフォンやタブ レット端末の範囲にとどまらず、今後はパソコン に対しても大きな影響を与える可能性が高いと考 える。スマートフォンやタブレット端末に慣れ親 しむことにより利用者の感覚にも変化が起こり、 パソコンの利用形態そのものが変化してくると考 えられるからである。パソコンももはや机上だけ で使用するものではなくなるであろう。

タッチパネルは接触型のヒューマンインターフ ェイスであり、非常によくできてはいるが万能で はない。そこで、非接触型のヒューマンインター フェイスについて検討を行い、視線検出と歯クリ ック音について有効性の確認を行うことにした。 視線検出に関しては、高精度で視線を検出するの ではなく、あえて解像度を落とした9セグメント の視線入力という新たな方式を提案した。この方 式では、低解像度のカメラのみを使用して視線検 出を行うことができ、また、利用者に過度の負担 をかけないという利点がある。

この9セグメントの視線入力に関しては、パソ コンと USB カメラによって有効性の確認実験環 境を構築し、実際に検出を行った。まだ検出率が 70~80%程度と誤検出も多く、実用的なアルゴリ ズムにするためには今後改良が必要であると考え られる。しかし、スマートフォンの低解像度のカ メラでも視線検出を行うことが可能であることと、 そして、9 セグメントの視線入力が有効であるこ とを確認することができた。

歯クリック音に関してもパソコンと骨伝導マイ クによる実験環境を構築し、歯クリック音の信号 解析を行った。歯クリック音は、小さな音でも骨 伝導マイクを使用することで容易に高品質に取得 できることが確認できた。また、頭部、もしくは、 口腔内の共振周波数に起因すると考えられる 300Hz付近の周波数ピークが確認できた。この特 徴を利用して、高精度に歯クリック音の検出が可 能であると考えられる。

9 セグメントの視線入力と歯クリック音を組み 合わせることにより、マウスのポインティングと クリックに相当する動作を実現することができ、 非接触でオペレーションを行うことができる。ヒ ューマンインターフェイスは一つの万能な方法を 求めるのではなく、様々な状況に対応するために 多様性を追求すべきだと考える。その一方式とし これらの方式の有用性を確認することができた。

今後は、検出アルゴリズムの改良により検出精 度の向上を図るとともに、実際のスマートフォン のセンサを使用した検証実験を行っていくつもり である。

12. 参考文献

- Y. Ebisawa, Improved video-based eye-gaze detection method, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.47, no.4, pp.948-955, 1998.
- Y. Matsumoto and A. Zelinsky, Real-time face tracking system for human-robot interaction, Proc. of 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, vol.2, pp.830-835, 1999.
- T. Simpson, C. Broughton, M. J. A. Gauthier and A. Prochazka, Tooth-click control of a hands-free computer interface, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol.55, no.8, pp.2050-2056, 2008.
- 4) T. Simpson, M. J. A. Gauthier and A. Prochazka, Evaluation of tooth-click triggering and speech recognition in assistive technology for computer access, Neurorehabilitation and Neural Repair, vol.24, no.2, pp.188-194, 2009
- 5) Yuji Tateizumi and Ryutaro Okada, Investigation of Gaze Direction and Tooth-Click Sound as a Touch-Free Human Interface for Smartphones, ICIC Express Letters, Volume 7, Number 3(B), pp.895– 901, 2013

(平成25年1月8日 受理)

A Study on Heterogeneous Mobile Multihop Communications

Akira TANAKA

Multihop communication systems facilitate our daily life communications because multihops do not require any large-scale equipment. Several multihop sysmtes such as (a) among mobile phones (smart phones), (b) infrared multihops, (c) UHF band multihops, are already developed in my laboratory. And important problems -multipath, error correction, energy efficient routing, congestions and directional control, route-diversity- are also resolved by way of experiments. Based on these multihop systems, we newly develop a heterogeneous communication system that enables optimum multihop routing with optimum communication media with route-diversity. And as an application, we study and develop a work robot group controlled remotely through multimedia heterogeneous multihop systems.

Keywords : mobile multihop communications, heterogeneous communications, routing, multicast, shared memory, robot control

1. はじめに

著者研究室では、容易に入手可能な通信媒体を用 いて簡易に通信ネットワークを構築できる、身近な マルチホップ無線通信システムを設計している^{1), 2)}. 大規模なシステムを用いることなく,利用者が自ら 周囲に簡易なネットワークを構築できるので、近隣 での通信, 或いは, 災害時の緊急用通信, バリアフ リー通信など、用途は広い. また、マルチホップ通 信における幾つかの重要な課題も、実験システムを 構築して解決することができた. そこで, これらの システムを用いて,最適な通信方式により最適経路 で通信を行うヘテロジニアスマルチホップ通信シ ステムの研究を進めている. さらにこれらを応用し, 自走ロボットをマルチホップ無線で連接して、無線 環境が異なる場所や無線環境が変動する場所におい ても, リモートコントロール, センサデータや映像 データの情報収集, 簡易な作業等が行える, ヘテロ ジニアスマルチホップ通信ロボット制御システムを 実現する3).

2. マルチホップ移動体無線通信システム

通常の通信システムでは、大規模なネットワーク を介して情報が伝達され、端末から発信されたデー タは、基地局、中継局や中継回線などを経由して、 受信側の端末へ届けられる(図1(i)参照).一方、マ



Fig. 1 Mobile multihop communication

ルチホップ移動体無線通信システムでは,端末間だ けで情報を伝達する(図1(ii)参照).大規模ネットワ ークが有する高度な機能は利用できないことや,移 動体である携帯端末が中継を行うので,経路選択, 雑音,端末の処理能力等に起因する幾つかの問題の 解決が必要になるものの,限られた範囲の限定的な 利用であれば,非常に便利な通信方法である.2章で は,一昨年度までの著者研究室の成果を元に,著者, 及び,本年度並びに昨年度著者研究室所属学生(松 野貴徳君,天野祐樹君,林裕太君,加茂貴治君,小 林正崇君,野崎博樹君,安藤岬君,門脇雄治君)が 設計したマルチホップシステムについて述べる.3

章では、これらシステムを統合したヘテロジニアス



(a) Received data (b) Reproduced image

Fig. 2 Screen of multimedia multihop receiver

マルチホップ通信ロボット制御システムに関する設 の信号で補完するルートダイバシティ機能も設計し 計について述べる.

2.1携帯電話のマルチメディアマルチホップ通信

図 2 は、携帯電話機(Android スマートフォン) 面である.これは、ユニ/マルチ/ブロードキャス 込み、端末の移動先を予測してルーティングを行う したもので、画像をチャットの文字データとして送 経路制御データを送信することなく送信データ(コ る. このような時,多くの人が普段身につけている (RSSI)だけでなく,誤り率も利用できる改良を行っ 携帯電話でマルチホップ通信を行えば、互いに容易 た^{8),9)}. に連絡できて、無駄な混乱を避けることができる.

2.3 マルチパス問題とルートダイバシティ

受信先の端末が,中継機や送信機からの直接信号 を強いレベルで受信すると、時間差をもった同一の 信号を複数の端末から受信してしまい、マルチパス 問題が生じる. Field Programmable Gate Array (FPGA)による赤外線誤り訂正マルチホップシステ ム¹⁾を改良し,(i)通信距離の総延長が大きい副ルート 上の中継機において Wait をかけることで、複雑な制 御なしにマルチパス問題を解決し, さらに, (ii)正ル ートの受信信号の誤り率が高い場合に副ルートから



Fig. 3 UHF multihop terminal for mobility prediction and energy efficient routing

た 5).

2.4 マルチホップルーティング

Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV)等の 間のマルチメディアマルチホップ通信 Bluetooth 既存技術に,三角測量法,及び,共有メモリを用い Three Cast Multimedia Chat(BTCMC)⁴の,受信画 た3端末による受信信号状態共有,等の機能を組み トマルチホップでチャットを行うことができる,設 マルチホップシステムを完成した⁶⁾. さらに,端末の 計済みの Bluetooth multihop cast (BMHC) ¹⁾を改良 信号到達範囲最大距離×3 ホップ以内では, 独立した 信して受信端末で復元する. 多くの人に普及してい ンテンツ)のみによって経路探索とデータ送信を行 るスマートフォン間で,文字だけでなく画像も1対1 い,対象領域内の送信データ量を削減する 7. UHF ~多でマルチホップ通信が行え、さらに、音声識別 無線による FPGA を使った実験システムを図3に示 機能を組み込んで、音声コマンドも同一のアプリケ す. FPGA 内の共有メモリで近隣端末が取得した受 ーションで送受信されるよう拡張したので,端末負 信信号状態を共有しているので経路探索と中継を効 荷が小さく,利用者は煩雑な操作をする必要はない. 果的に実行でき,他端末から受信した信号を必要に 災害時には,携帯電話網やインターネットが使えず,応じてユニキャストとマルチキャスト転送が行なえ, さらに, 避難先が複数になるなどして比較的近くに さらに, マルチパス防止機能も備えている. 受信信 いながら互いに安否確認が行えない状況が想定され 号状態は, Received signal strength indication

3. ヘテロジニアスマルチホップ通信ロボット制御 システム

2章で述べた、スマートフォン間のマルチメディア マルチホップ通信、マルチパス解消とルートダイバ シティ、移動予測と信号統合による輻輳抑制ルーテ ィング, さらに, マルチホップ方向制御 1), 可視光通 信モジュールを使ったマルチホップ通信 10),の機能 を前提にして、図4に示す複数のロボットの遠隔連 携操縦のため、下記機能を設計している. なお、制 御対象のロボット本体は市販製品 11), 12)を用いている.



Each communication device is equiped with error correction; switching (infrared); multipath prevention; energy efficient routing such as mobility prediction and integrated search-and-send.

Fig. 4 Heterogeneous multihop remote-control for robot group



Fig. 5 Heterogeneous

(1) 自走ロボット間相対位置の検出:受信信号状態 を検出し3)、ロボット間連接可能性を出力し、端末 移動予測の範囲をさらに限定する.

(2) ヘテロジニアスマルチホップ:ロボット間の無 線環境に適した通信方式を選択するため,図4の (A)のように、UHF/赤外線/可視光の選択機能を、 Bluetooth も含めた選択機能へ拡張する¹⁰⁾.

(3) 自走ロボットの制御インタフェース : 手書き 文字入力でスマートフォンからロボットを赤外線 |遠隔制御可能にしており(図 5 参照), これを 2.1 節のマルチホップアプリケーションから入力する ように変更 ¹³⁾, さらに, FPGA ボードからの出力 信号をロボットの入力ポートに送り, 2.2 節と 2.3 謝辞 節の赤外線とUHFマルチホップ経由で制御を行う 3).

(4) バリアフリーユーザインタフェース:スマート フォンアプリケーションへの入力を,タッチパネル (手書き及びキー)のみから音声入力へ拡張し,音 声認識プログラムを利用して,言葉の識別だけでな く,音声長によってコマンドを識別し(図6参照), 言葉非依存かつバリアフリーのマルチホップ伝送 制御システムに改良 14)し, 2.1 節のスマートフォ



Fig. 6 Voice command transfer

ンの画像に応じて文字や音声入力によってもロボ ット制御が行われる.

4. むすび

これまでに著者研究室で設計したマルチホップ移 動体無線通信システムを応用し、マルチホップ転送 された画像等のデータに応じて、様々な環境下で複 数のロボットを遠隔かつ連携操縦できる、ヘテロジ ニアスマルチホップ無線を用いた自走ロボット制御 システムについて述べた. 直接制御が難しい, 或い は、従来の通信システムが利用できない災害現場等 への適用が期待できる.

本研究の一部は、東京工業高等専門学校の平成 23年度重点配分経費により行われた.

参考文献

- 1) 田中晶. "マルチホップ移動体無線通信の一検討 -身近な通信システムを目指して-,"東京工業高 等専門学校研究報告書, No.43(2), pp.127-133, Mar. 2012.
- 2) 田中晶. "身近なマルチホップ移動体無線通信の

一検討," 2012 年信学総大講演文集, No. B-5-38, p437, Mar. 2012.

- 3)田中晶, "ヘテロジニアスマルチホップロボット 制御無線通信の一検討," 2012 年信学ソ大(通信) 講演論文集, No. B-5-40, p404, Sep. 2012.
- 4)加茂貴治,"携帯電話の Bluetooth を用いたマルチ ホップ通信におけるファイル転送の研究,"2011 年 度東京工業高等専門学校卒業論文, Mar. 2012.
- 5) 林裕太, "マルチホップ赤外線通信におけるマルチ パス問題の研究," 2011 年度東京工業高等専門学校 卒業論文, Mar. 2012.
- 6) 松野貴徳, "移動予測を用いたマルチホップルーティングプロトコルの研究,"東京工業高等専門学校 専攻科機械情報システム工学専攻 2011 年度特別研究論文, Mar. 2012.
- 7) 天野祐樹, "マルチホップ無線通信における無階層 経路選択法の研究,"東京工業高等専門学校専攻科 機械情報システム工学専攻 2011 年度特別研究論文, Mar. 2012.
- 8)田中晶, "マルチホップ無線通信におけるノード 識別方式の一検討,2011年信学ソ大(通信)講演論 文集, No. B-5-87, Sep. 2011.
- 9) 門脇雄治, "マルチホップ通信移動予測システム の相対的測位の研究," 2012 年度東京工業高等専 門学校卒業論文, Mar. 2013. (予定)
- 10) 安藤岬, "マルチホップヘテロジニアス無線システムの研究," 2012 年度東京工業高等専門学校 卒業論文, Mar. 2013. (予定)
- 11) Tankbot, http://www.mydeskpets.com/tankbot/
- ロボット実習教材研究会監修, "ARMマイコンに よる組込みプログラミング入門," ヴイストン㈱, Jun. 2011.
- 小林正崇, "携帯電話の Bluetooth を用いたマル チホップ通信におけるファイル転送の拡張とデー タ通信の研究," 2012 年度東京工業高等専門学校卒 業論文, Mar. 2013. (予定)
- 14) 野崎博樹, "携帯電話の Bluetooth を用いたマル チホップ通信における音声通信の研究,"2012 年度 東京工業高等専門学校卒業論文, Mar. 2013. (予定) (平成25年1月8日 受理)