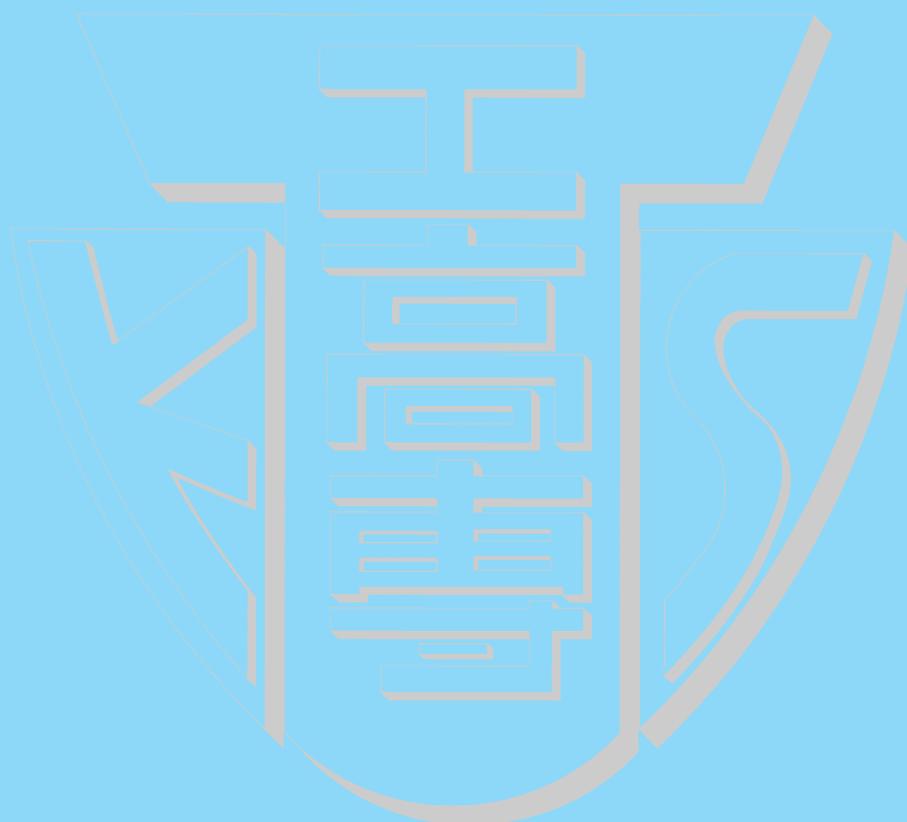


Research Reports of
Tokyo National College of Technology

東京工業高等専門学校

研 究 報 告 書



第 38(2)号

2007.3

東京工業高等専門学校研究報告書 第38(2)号 目次

ダグラス・ディリクレ積分	拜 田 稔.....	1
1年英文多読授業の改善報告	竹 田 恒 美.....	7
戦後日本における競争政策と入札談合問題 技術者倫理教育のために	浅 野 敬 一.....	17
高専における数学について	高 見 昭 康.....	27
東京と松江の学生アンケート調査を通して		
日英言語文化の差異に関する一考察	関 根 紳太郎.....	35
責任ある内部告発とは何か	川 北 晃 司.....	45
技術者倫理教育のために		
高分子圧電フィルムを用いたひずみゲージの試作 (重ね合わせフィルムによる二軸ゲージ)	久 慈 惇 史..... 黒 崎 茂	57
数値ラプラス変換法による信号処理	伊 藤 彰.....	63
電気回路の過度応答解析について		
パソコンを使用した電圧出力センサ対応 USB 接続データ収集システム	山 内 峯 生..... 高 橋 三 男	67
「ものづくり基礎工学」における体験重視型専門導入教育 ～東京高専1年生への試み～	大 塚 友 彦..... 小 坂 敏 文 大 貫 繁 雄 他	71
eラーニング導入とコンテンツ制作	白 石 啓 一..... 竹 田 恒 美 関 根 紳太郎 青 木 宏 之	77
廃電子機器からの金属回収	加 藤 格..... 野 中 享 鷲 津 いくる	85

マイクロコンピュータのシステム設計教育について	横山 繁 盛..... 89 西村 友 亮 平尾 友 一 鈴木 孝
ロボット座標系指示誤差補正に関する卒業研究指導チュートリアル	小坂 敏 文..... 95 吉本 定 伸 松林 勝 志
蓄積型放送におけるコマーシャル出力方式の提案	青野 正 宏..... 99 小嶋 徹 也
多重マルコフモデルに基づくマルチメディア通信帯域予測に関する研究	小嶋 徹 也..... 105 ルハムスレン・エンクトゥル 藤原 亜希子 青野 正 宏
廃棄物を出さない魚と野菜の同時生産システムの開発	松林 勝 志..... 113 中川 文 寛 星野 猛 他
カーボン成型体の電磁気物性	阿久沢 昇..... 119 野村 洋 輔 岩谷 篤 志 土屋 賢 一 玉田 耕 治 岩佐 山 大
一般廃棄物焼却灰溶出試料中の重金属の陸生植物, ミジンコ, 藻類におよぼす有害性の寄与	浦田 真 嗣..... 123 庄司 良 飯田 裕 他
重金属蓄積コケ実験研修と学生実験への成果還元	飯田 裕..... 131 庄司 良 榊原 均 他

Research Reports of Tokyo National College of Technology No. 38 (2)

CONTENTS

Minoru HAIDA	Douglas-Dirichlet Integral	1
Tsunemi TAKEDA	Improving the Teaching of Extensive Reading for First Year Students	7
Keiichi ASANO	Competition Policy and Illegal Collusion of the Postwar Japan..... For the teaching of engineering ethics	17
Akiyasu TAKAMI	A Report on the Mathematics in College of Technology	27
	The Questionary Survey for Students of Tokyo and Matsue	
Shintaro SEKINE	A Study on the Differences between Japanese and English Language Cultures	35
Koji KAWAKITA	What Is the Responsible Whistleblowing?..... For the Teaching of Engineering Ethics	45
Atsushi KUJI	Development of Strain Gauges Using Piezoelectric Polymer Film	
Shigeru KUROSAKI	(Biaxial Gauge by Superposed Film)	57
Akira ITOH	Signal Processing by the Numerical Inversion of Laplace Transform.....	63
	For the Analysis of Transient Response on Electric Circuits	
Mineo YAMAUCHI	USB Connected PC Based Data Gathering System	
Mitsuo TAKAHASHI	for Voltage Output Sensors	67
Tomohiko OHTSUKA	Approach of experience type practice	
Toshifumi KOSAKA	in “Fundamental Engineering Laboratory”	71
Shigeo OHNUKI et al.	On trial for freshman at TNCT	
Keiichi SHIRAISHI	On Introduction of e-Learning and Making Contents	77
Tsunemi TAKEDA		
Shintaro SEKINE		
Hiroyuki AOKI		

Itaru KATO Akira NONAKA Ikuru WASHIZU	Recovery of Metals Contained in Used Electrical Devices.....	85
Shigemori YOKOYAMA Makoto NISHIMURA Yuichi HIRAO Takashi SUZUKI	Study on the Teaching of Microcomputer System Design.....	89
Toshifumi KOSAKA Sadanobu YOSHIMOTO Katsushi MATSUBAYASHI	Tutorial on Graduation Work about Error Compensation of Robot Coordinate System	95
Masahiro AONO Tetsuya KOJIMA	A Proposal of Commercial Contents Output Method for Store-and-Forward type Broadcast	99
Tetsuya KOJIMA Lkhamsuren ENKHTUR Akiko FUJIWARA Masahiro AONO	On the Estimation of the Multimedia Communication Bands Based upon Multi-Order Markov Models	105
Katsushi MATSUBAYASHI Fumihiko NAKAGAWA Takeshi HOSHINO et al.	Development of a Simultaneous Production System of Fish and Vegetables without Any Waste	113
Noboru AKUZAWA Yosuke NOMURA Atsushi IWATANI Ken-ichi TSUCHIYA Kohji TAMADA Yamahiro IWASA	Galvanomagnetic Properties of Carbon Moldings	119
Shinji URATA Ryo SHOJI Hiroshi IIDA et al.	The Toxicity of Heavy Metals in Municipal Waste Incineration Ash to Terrestrial Plants, Daphnia sp. and Pseudokirchneriella subcapitata	123
Hiroshi IIDA Ryo SHOJI Hitoshi SAKAKIBARA et al.	Study on Heavy Metals Accumulated in Bryophyte and Feedback to the Student Experiment.	131

ダグラス・ディリクレ積分

拜 田 稔¹

Douglas-Dirichlet Integral

Minoru HAIDA

Douglas [1] introduced Douglas-Dirichlet integral $E(x)$ to solve Plateau's problem. Struwe described $E(x)$ in his excellent lecture note [5]. We prove here according to Nitsche [4] that $E(x)$ is equal to Dirichlet integral $D(X(x))$ for x in some set M defined in [5] (see below).

(Keywords: Douglas-Dirichlet Integral)

1 主張

$$B_r = \{w = (u, v) \in \mathbf{R}^2; |w| < r\} \quad (1.1)$$

$$B = B_1 \quad (1.2)$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial u^2} + \frac{\partial^2}{\partial v^2} \quad (1.3)$$

とし、 Γ は \mathbf{R}^n 内の求長可能なジョルダン閉曲線とし、 $\gamma: \partial B \rightarrow \Gamma$ は同相写像とする。 $h: C^0(\partial B; \mathbf{R}^n) \rightarrow C^0(\bar{B}; \mathbf{R}^n)$ は、任意の $\xi \in C^0(\partial B; \mathbf{R}^n)$ に対して、

$$\Delta(h(\xi)) = 0 \text{ in } B, \quad h(\xi) = \xi \text{ on } \partial B \quad (1.4)$$

をみたす調和関数 $h(\xi) \in C^0(\bar{B}; \mathbf{R}^n)$ を対応させる調和拡張作用素 [2] とし、

$$M_0 = \{x \in C^0(\mathbf{R}; \mathbf{R}); \text{任意の } \phi_1, \phi_2 (0 \leq \phi_1 < \phi_2 \leq 2\pi) \text{ について} \\ x(\phi_1) < x(\phi_2), \text{任意の実数 } \phi \text{ について } x(\phi + 2\pi) = x(\phi) + 2\pi\} \quad (1.5)$$

とするとき、写像 $X: M_0 \rightarrow C^0(\bar{B}; \mathbf{R}^n)$ を $X(x) = h((\gamma[x]) \circ \arg)$ により定める。ただし、

$$\arg(\cos \theta, \sin \theta) = \theta \quad (1.6)$$

$$((\gamma[x]) \circ \arg)(\cos \theta, \sin \theta) = (\gamma[x])(\theta) = \gamma(\cos x(\theta), \sin x(\theta)) \quad (1.7)$$

とする。さらに、

$$M = \{x \in M_0; D(X(x)) < \infty\} \quad (1.8)$$

$$D_r(X) = \frac{1}{2} \int_{B_r} |\nabla X|^2 dw \quad (1.9)$$

$$D(X) = D_1(X) \quad (1.10)$$

$$E(x) = \frac{1}{16\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{|\gamma[x](\phi) - \gamma[x](\phi')|^2}{\sin^2\left(\frac{\phi - \phi'}{2}\right)} d\phi d\phi' \quad (1.11)$$

とする。このとき、

定理 1 任意の $x \in M$ について、

$$E(x) = D(X(x)) \quad (1.12)$$

2 定理 1 の証明

補題 1 任意の $w = (u, v) \in \bar{B}$ に対して、 $u = \rho \cos \theta$ 、 $v = \rho \sin \theta$ ($0 \leq \rho \leq 1$) と極座標表示すると、

$$(X(x))(u, v) = \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \rho^m (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \quad (2.1)$$

ただし、

$$\mathbf{a}_m = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \gamma[x](\phi) \cos m\phi \, d\phi \quad (2.2)$$

$$\mathbf{b}_m = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \gamma[x](\phi) \sin m\phi \, d\phi \quad (2.3)$$

補題 1 の証明 証明は、文献 [3] の第 4 章を見れば明らかであるが、ここでは 3 つの場合に分けて考える。

(1°) $\rho = 0$ のとき、平均値の定理 [2] より、任意の $r \in (0, 1)$ に対して、

$$\begin{aligned} X(x)(0, 0) &= \frac{1}{2\pi r} \int_{\partial B_r} (X(x))(u, v) \, ds \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (X(x))(r \cos \theta, r \sin \theta) \, d\theta \end{aligned} \quad (2.4)$$

よって、

$$\begin{aligned} \left| (X(x))(0, 0) - \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 \right| &= \frac{1}{2\pi} \left| \int_0^{2\pi} \{(X(x))(r \cos \theta, r \sin \theta) - \gamma[x](\theta)\} \, d\theta \right| \\ &\leq \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |(X(x))(r \cos \theta, r \sin \theta) - (X(x))(\cos \theta, \sin \theta)| \, d\theta \end{aligned} \quad (2.5)$$

ところで、 $X(x)$ はコンパクト集合 \bar{B} 上では一様連続であるから、任意の $\epsilon > 0$ に対して、ある数 $r_0 \in (0, 1)$ が存在して、 $r_0 < r \leq 1$ ならば任意の実数 θ に対して、

$$|(X(x))(r \cos \theta, r \sin \theta) - (X(x))(\cos \theta, \sin \theta)| < \epsilon \quad (2.6)$$

ゆえに、

$$\left| (X(x))(0, 0) - \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 \right| < \epsilon \quad (2.7)$$

ϵ は任意の正の数であるから、

$$(X(x))(0, 0) = \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 \quad (2.8)$$

すなわち、 $\rho = 0$ のとき (2.1) が成り立つ。

(2°) $0 < \rho < 1$ のとき、一様収束級数は項別微分可能であることより、

$$\begin{aligned} & \Delta \left\{ \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \rho^m (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \right\} \\ &= \left(\frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \left\{ \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \rho^m (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \right\} \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} \{ m(m-1) \rho^{m-2} + m \rho^{m-2} (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \\ & \quad - m^2 \rho^{m-2} (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \} \\ &= 0 \end{aligned} \tag{2.9}$$

(3°) $\rho = 1$ のとき、(2.1) は求長可能なジョルダン閉曲線 Γ の媒介変数表示

$$(X(x))(\cos \theta, \sin \theta) = (\gamma[x])(\theta) \tag{2.10}$$

のフーリエ級数展開を表す。

(1°)、(2°)、(3°) より、 $(u, v) = (\rho \cos \theta, \rho \sin \theta)$ と表すとき、

$$\Delta \left[(X(x))(u, v) - \left\{ \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \rho^m (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \right\} \right] = 0 \text{ in } B \setminus (0, 0) \tag{2.11}$$

$$(X(x))(u, v) - \left\{ \frac{1}{2} \mathbf{a}_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \rho^m (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \right\} = 0 \text{ on } \partial B \cup (0, 0) \tag{2.12}$$

さらに、(2.1) の右辺は $\rho \rightarrow 1$ のとき $(\gamma[x])(\theta)$ に $[0, 2\pi]$ の上で一様収束することが示せるから (文献 [3] の (4.15) 式の証明参照)、 $X(x)$ のみならず (2.1) の右辺も \bar{B} 上で連続である。よって、最大値の原理 [2] より、 \bar{B} 上で (2.1) が成り立つと言える。□

補題 2 $0 < r < 1$ のとき、

$$D_r(X(x)) = \frac{\pi}{2} \sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} (|\mathbf{a}_m|^2 + |\mathbf{b}_m|^2) \tag{2.13}$$

補題 2 の証明 $u = \rho \cos \theta$ 、 $v = \rho \sin \theta$ と極座標表示すると、補題 1 より、

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial u} (X(x))(u, v) &= \sum_{m=1}^{\infty} \{ m \rho^{m-1} \cos \theta (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \\ & \quad - m \rho^{m-1} \sin \theta (-\mathbf{a}_m \sin m\theta + \mathbf{b}_m \cos m\theta) \} \end{aligned} \tag{2.14}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial v} (X(x))(u, v) &= \sum_{m=1}^{\infty} \{ m \rho^{m-1} \sin \theta (\mathbf{a}_m \cos m\theta + \mathbf{b}_m \sin m\theta) \\ & \quad + m \rho^{m-1} \cos \theta (-\mathbf{a}_m \sin m\theta + \mathbf{b}_m \cos m\theta) \} \end{aligned} \tag{2.15}$$

$$\begin{aligned} |\nabla(X(x))(u, v)|^2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \{ m^2 \rho^{2m-2} (|\mathbf{a}_m|^2 + |\mathbf{b}_m|^2) \\ & \quad + (\rho \text{ の多項式を係数とする } \sin \theta, \cos \theta \text{ の多項式}) \} \end{aligned} \tag{2.16}$$

よって、 $0 < r < 1$ のときの級数の一様収束性より項別積分すると、

$$\begin{aligned} D_r(X(x)) &= \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \int_0^r \sum_{m=1}^{\infty} \{m^2 \rho^{2m-2} (|\mathbf{a}_m|^2 + |\mathbf{b}_m|^2)\} \rho \, d\rho d\theta \\ &= \frac{\pi}{2} \sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} (|\mathbf{a}_m|^2 + |\mathbf{b}_m|^2) \end{aligned} \quad (2.17)$$

□

ところで、

$$\begin{aligned} &\int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \{|\gamma[x](\psi)|^2 + |\gamma[x](\phi)|^2\} \cos m(\psi - \phi) \, d\psi d\phi \\ &= 2 \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} |\gamma[x](\psi)|^2 \cos m(\psi - \phi) \, d\psi d\phi \\ &= 2 \int_0^{2\pi} |\gamma[x](\psi)|^2 \cos m\psi \, d\psi \int_0^{2\pi} \cos m\phi \, d\phi \\ &\quad + 2 \int_0^{2\pi} |\gamma[x](\psi)|^2 \sin m\psi \, d\psi \int_0^{2\pi} \sin m\phi \, d\phi \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

より、

$$\begin{aligned} |\mathbf{a}_m|^2 + |\mathbf{b}_m|^2 &= \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} (\gamma[x](\psi)) \cdot (\gamma[x](\phi)) \cos m(\psi - \phi) \, d\psi d\phi \\ &= -\frac{1}{2\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} |\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2 \cos m(\psi - \phi) \, d\psi d\phi \end{aligned} \quad (2.19)$$

したがって、補題 2 より、

$$\begin{aligned} D_r(X(x)) &= -\frac{1}{4\pi} \sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} |\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2 \cos m(\psi - \phi) \, d\psi d\phi \end{aligned} \quad (2.20)$$

ここで、

補題 3 $0 \leq r < 1$ のとき、任意の実数 α について、

$$\begin{aligned} -\sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} \cos m\alpha &= r^2 \frac{(1+r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} - (1-r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\{(1+r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + (1-r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}\}^2} \\ &=: P(r, \alpha) \end{aligned} \quad (2.21)$$

補題 3 の証明

$$\frac{1}{(1-x)^2} \text{ のマクローリン展開 } \frac{1}{(1-x)^2} = \sum_{m=1}^{\infty} m x^{m-1} \quad (|x| < 1) \text{ より、}$$

$$-\sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} \cos m\alpha = -\sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} \frac{e^{im\alpha} + e^{-im\alpha}}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= -\frac{1}{2} \left(\sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} e^{i m \alpha} + \sum_{m=1}^{\infty} m r^{2m} e^{-i m \alpha} \right) \\
 &= -\frac{r^2}{2} \left\{ e^{i \alpha} \sum_{m=1}^{\infty} m (r^2 e^{i \alpha})^{m-1} + e^{-i \alpha} \sum_{m=1}^{\infty} m (r^2 e^{-i \alpha})^{m-1} \right\} \\
 &= -\frac{r^2}{2} \left\{ \frac{e^{i \alpha}}{(1 - r^2 e^{i \alpha})^2} + \frac{e^{-i \alpha}}{(1 - r^2 e^{-i \alpha})^2} \right\} \\
 &= -\frac{r^2}{2} \frac{e^{i \alpha} (1 - r^2 e^{-i \alpha})^2 + e^{-i \alpha} (1 - r^2 e^{i \alpha})^2}{(1 - r^2 e^{i \alpha})^2 (1 - r^2 e^{-i \alpha})^2} \\
 &= -r^2 \frac{\cos \alpha - 2r^2 + r^4 \cos \alpha}{(1 - 2r^2 \cos \alpha + r^4)^2} \\
 &= r^2 \frac{(1 + r^2)^2 \frac{1 - \cos \alpha}{2} - (1 - r^2)^2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}}{\left\{ (1 + r^2)^2 \frac{1 - \cos \alpha}{2} + (1 - r^2)^2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} \right\}^2} \\
 &= r^2 \frac{(1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} - (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\left\{ (1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right\}^2} \tag{2.22}
 \end{aligned}$$

□

(2.20) 式の和と積分は、級数の一様収束性より順序交換可能であるから、補題 3 より、

$$D_r(X(x)) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} P(r, \psi - \phi) |\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2 d\psi d\phi \tag{2.23}$$

ところで、 $\alpha \not\equiv 0 \pmod{2\pi}$ 、 $0 \leq r < 1$ のとき $P(1, \alpha) \neq 0$ であり、

$$(1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} - 4r^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = (1 - r^2)^2 > 0 \tag{2.24}$$

$$\begin{aligned}
 &\left\{ (1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right\}^2 - \left| (1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} - (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right|^2 \\
 &= 4(1 - r^4)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \cos^2 \frac{\alpha}{2} = (1 - r^4)^2 \sin^2 \alpha > 0 \tag{2.25}
 \end{aligned}$$

よって、

$$\begin{aligned}
 &\frac{|P(r, \alpha)|}{P(1, \alpha)} \\
 &= \frac{4r^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{(1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} \cdot \frac{|(1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} - (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}|}{(1 + r^2)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + (1 - r^2)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2}} \\
 &< 1 \tag{2.26}
 \end{aligned}$$

より、

$$|P(r, \alpha)| < P(1, \alpha) = \frac{1}{4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}} \tag{2.27}$$

を得る。ところで、任意の ϵ_1, ϵ_2 ($0 < \epsilon_1 < \epsilon_2 < 2\pi$) について、

$$\begin{aligned}
 &\frac{1}{4\pi} \int \int_{\epsilon_1 \leq |\psi - \phi| \leq \epsilon_2} P(1, \psi - \phi) |\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2 d\psi d\phi \\
 &= \frac{1}{4\pi} \int \int_{\epsilon_1 \leq |\psi - \phi| \leq \epsilon_2} \lim_{r \rightarrow 1} P(r, \psi - \phi) |\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2 d\psi d\phi \\
 &= \lim_{r \rightarrow 1} \frac{1}{4\pi} \int \int_{\epsilon_1 \leq |\psi - \phi| \leq \epsilon_2} P(r, \psi - \phi) |\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2 d\psi d\phi \\
 &\leq \lim_{r \rightarrow 1} D_r(X(x)) = D(X(x)) \tag{2.28}
 \end{aligned}$$

ただし、(2.27) より $P(r, \psi - \phi)$ は $0 \leq r < 1$ 、 $\epsilon_1 \leq |\psi - \phi| \leq \epsilon_2$ において一様に有界であるから、ルベークの収束定理を使った。ここで、 $\epsilon_1 \rightarrow 0$ 、 $\epsilon_2 \rightarrow 2\pi$ とすると、 $E(x) \leq D(X(x))$ を得る。ところで、 $x \in M$ より $D(X(x)) < \infty$ 。よって、 $E(x) < \infty$ 。このとき、 $P(1, \psi - \phi)|\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2$ は ψ 、 ϕ の可積分関数であるから、(2.27) よりルベークの収束定理が使えて、

$$\begin{aligned} D(X(x)) &= \lim_{r \rightarrow 1} D_r(X(x)) \\ &= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} P(1, \psi - \phi) |\gamma[x](\psi) - \gamma[x](\phi)|^2 d\psi d\phi \\ &= E(x) \end{aligned} \tag{2.29}$$

これで定理 1 が示された。□

参考文献

- [1] J.Douglas, Solution of the Problem of Plateau, Transact.Amer.Math.Soc. **33**(1931), 263-321.
- [2] D.Gilbarg and N.S.Trudinger, Elliptic Partial Differential Equations of Second Order, Second Edition (Revised Third Printing), Springer, Berlin-Heidelberg-New York-Barcelona-Budapest-Hong Kong -London-Milan-Paris-Santa Clara-Singapore-Tokyo, 1998.
- [3] 黒田成俊, 関数解析, 共立出版, 1980.
- [4] J.C.C.Nitsche, Lectures on Minimal Surfaces Volume 1, Cambridge University Press, Cambridge-New York-New Rochelle -Melbourne-Sydney, 1989.
- [5] M.Struwe, Plateau's problem and the calculus of variations, Math Notes **35**, Princeton University Press, Princeton, 1989.

(平成 18 年 1 1 月 2 7 日 受理)

1 年英文多読授業の改善報告

竹田 恒美*

Improving the Teaching of Extensive Reading for First Year Students

Tsunemi TAKEDA

This paper aims to report how the teaching of extensive reading for the first year students in 2006 was improved by examining and reflecting on the experiences of the previous year. While the teaching environment for extensive reading has generally been improved, some areas are left unsolved. They are related to the field of evaluation and testing.

(Keywords: extensive reading, evaluation, testing)

1. はじめに

東京高専の英語科では 2005 年 12 月に、授業改善と英語科全体のカリキュラム構成について検討する目的で FD を実施している。筆者は当該年度には Reading I (1 年全クラス) と Reading II (2 年一部クラス) を担当していたが、FD では Reading I を中心にその年度の反省点を洗い出し、次年度に向けての改善策をまとめた。

本稿の目的は FD に接続する形でその後の取り組みについて報告することにあるが、より具体的には次のように 2 つある。

- (1) 06 年度の授業で実際に改善策がどの程度実現し、それらはどの程度有効だったのかを検証する。
- (2) 05 年度末に実施した、Reading の授業に特化した学生アンケートの概要を報告する。

Reading I の授業では、従来型の読解テキストを使用した一斉授業を 90 分の授業時間のうち、前半の 30 分程度行う。その後は図書館に移動し、そこに配架されている英語図書教材を使用した、いわゆる英文多読授業を行なっている。本稿では主に英文多読授業に焦点を当て、スパイラルアップの一環として行なった検証作業の過程を報告する。

なお、本校では 2004 年度から低学年の Reading 授業の中に英文多読指導を取り入れているが、指

導開始年度の実践報告は竹田・堀 (2006) に詳述されている。

2. 課題の洗い出し・改善策・実施結果

2005 年度の授業で英文多読指導を 1 年近く実施してきた 12 月の時点で、以下のような課題を洗い出した。

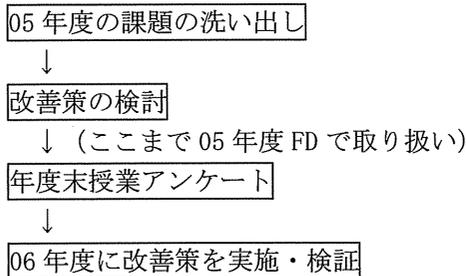
- (1) 選書指導について
- (2) 個別インタビューについて
- (3) 教室移動について
- (4) 図書館での座席について
- (5) 集中力の持続について
- (6) 多聴指導について
- (7) 語彙指導について
- (8) 読書語数と成績の関連について
- (9) 定期テストとの関連について
- (10) e-learning の導入について

本節ではそれぞれの課題について述べ、その時点で考えられた翌年度 (今年度のこと) に向けての改善策を記す。課題の中には学期途中で既に効果的と思われる改善策を実施したために、新たな改善策は講じず、現状維持としたものもある。また、05 年度末に実施した独自の授業アンケートの中から関連する項目があれば言及する。最後に、提案された改善策を今年度の授業で実施してみた

*一般教科 (英語)

結果について述べ、更に問題点等があればそれらを述べることにする。

これら一連の検証作業をチャート化すると以下のようになる。



2.1 選書指導について（その1）

【05年度の課題】

英文多読授業では、学生が興味や能力に応じて自律的に選書ができるようになることを目標としている。そのために多読を始めたばかりの学生には、教師による適切なアドバイスと、選書をやりやすくするための工夫が大切だが、そのための環境整備は十分とは言えない。例えば書棚に並んでいる多くの本を前にして、学生はどこから手をつけてよいか分からないまま不適切なレベルの本を選んでしまう例が散見される。こうした学生には、学期途中になってから個別に話し合って選書パターンを修正させることは容易ではない。指導開始当初の適切なアドバイスと環境整備が望まれる。

【改善策】

語数に応じた色別シールを本に貼ることにより、学生が選ぶのを容易にする。4月開始当初には、より入門的な本を読むことを奨励する。（前期中間くらいまでは、読書語数でなく、読書冊数を記録させる。）

【06年度の実施結果】

色別シールの貼り付けは、春休みに学生のボランティアを募って手伝ってもらうことができた。学生には4月当初のオリエンテーションで、本の選び方についてのガイドラインを文書にして配った。何でも手当たり次第に本を選んでよいわけではなく、入門期には語数の少ない本から読み始めるのがよいことなどを説明した。これにより、前年度のような不適切なレベルの本を読む学生は減ったようである。

中には最初から中級レベルの本を読みたいと申し出る学生もいたが、TOEIC Bridge や速読テスト

のスコアなども参考にしながら、個別に指導することができた。

2.2 選書指導について（その2）

【05年度の課題】

高専入学以前に「ダレンジャー」、「ハリポッター」などの長編を日本語で読んだ経験のある学生は、自分の英語のレベルを無視・過信して、最初から上級レベルに属する原著を読もうとすることがある。こうした学生は英語を読んでいるつもりでも、実際は日本語で既に読んだ内容を思い出しながら、英語を読んだ気になっているに過ぎない場合が多い。学期途中になってもっと易しいレベルの本を読むようアドバイスをするのは、本人のプライドにも配慮しなければならず、容易ではない。学期当初の適切なアドバイスが望まれる。

【改善策】

05年度の途中からすでに始めている方法だが、1冊2000語（2年生は3000語）以上の本を読んだら面接を受けるような指導を来年度も継続し、個別指導を木目の細かいものにしてゆく。また、「キリン読み」、「パンダ読み」などのさまざまな読み方があることを紹介する。

【06年度の実施結果】

ガイドラインを配布したことにより、4月開始早々から長編を読もうとする学生はいなくなった。しかし、その一方で英語には意欲を示さないが「ダレンジャー」を日本語で読んでとても気に入っている、という学生がたまにいる。そうした学生に夏休みなどの長期休業を利用して読むことを勧めるのは、学生の意欲を引き出すのに有効な手段になりうる。それが英語学習全般の動機付けに転移するかどうかについての検証は、今後の課題としたい。

2.3 個別インタビューについて

【05年度の課題】

個別インタビューを、D評価の学生と、語数の多い本を読んだ学生を対象に進めてきたため、中間層の学生に対する指導に遅れを取ってしまった。

【改善策】

定期試験後はD評価学生が個別指導の中心にならざるを得ないが、できるだけ片寄らずに毎時間数名ずつ面接を続けてゆくことにする。また、週

に1回程度、放課後に時間を設けて、授業でやり残した面接や、自主的に多読を行う学生のサポートなどでもできるようにする。

【06年度の実施結果】

06年度は5000語を読み終える毎に読書記録手帳を持って、教員のサインをもらいに来ようとした。こうすることにより毎時間10人～15人程度の学生がサインをもらいに来ようになり、2～3回の授業でほぼ全ての学生と定期的に面接をすることができるようになった。サインをする時を使って読んだ本の感想を聞き、次にどういう本を読むかなどの話しをすることができた。

ただ、読書量が多い学生の中には、1冊2000語以上の本を読む場合と、累計読書語数が5000語に達する場合という二つの条件で面接を受けるのは煩雑過ぎると感じる者もいるようだ。そうした学生には、例えば面接を1万語ごとに変更するなどの個別対応を行なうこととする。

放課後のサポート体制は実施には至っていない。しかしその代わりに週一回早朝（8時～8時半）の英文多読サークルを始めた。学生と教職員に呼びかけたところ、12月現在で、学生・教職員合わせて毎回平均6、7名の参加者を得ている。

2.4 教室移動について

【05年度の課題】

授業の前半は各HRを使い、後半に図書館に移動するという方式は、いくつかの点でリスクがある。①途中で学生がいなくなる心配がある。②移動の時間が無駄となる。②については、授業アンケートでも学生から指摘があった。

【改善策】

授業の前半から同じ図書館棟2階のLL教室を使うことによって上記のリスクを回避する。（ただし、LL教室を使用する他の科目との調整が必要）

【06年度の実施結果】

時間割編成上の理由により、今年度もLL教室を使用することができなかつた。上記①のリスクに対しては、定期的に学生に注意を喚起したが、実際には発生していないようである。②については、移動を迅速にするよう毎時間指示を行なっている。

来年度（07年度）はLL教室を使用できる見込みで、教室移動に伴う問題点は解消する模様である。

2.5 図書館での座席について

【05年度の課題】

図書館では席は自由に決めてよいことにしている。図書館に移動してから最初の10分程度は座席決めや読む本を探したりするために、落ち着かず、ざわついてしまう。それは止むを得ないとして、その後も隣同士で話をする学生には強制的に席を移動させた。

【改善策】

座席の強制移動は効果あり。来年度も続ける。教師が予め座席を指定し、好きな者同士が一緒にならないようにするという手もあるが、授業以外で図書館を使用する学生がいるため、実効性に乏しいと考えられる。

【06年度の実施結果】

今年度は最初のオリエンテーションで説明しておいたので、強制移動はスムーズに行なえた。来年度はLL教室を使用できることになるが、多読もLL教室で行なうことを検討中である。そうした場合には隣同士での話しは減るものと期待できる。

しかし今年度の授業で改めて多読授業中のおしゃべりを観察してみると、本の感想を共有しあうなど有益な情報交換が意外と多いことに気付かされる。また親しい者同士が側にいて、ある種の安心感を得ることが読書行為を促進させるという面があるかも知れないとも考えるようになった。こうした点については今後も継続的に考察してゆきたい。

2.6 集中力の持続について

【05年度の課題】

落ち着いて読み始めると、今度は眠くなってしまう学生が出てくる。そうした学生には、トイレに行つて気分転換を図らせたり、その場で立ち読みをさせることで、緊張感を持続させた。

【改善策】

うまく機能したようなので、来年度も続ける。

【06年度の実施結果】

多読授業の目標の一つが、自ら選んだ英語の本を45分間集中して読み続けられることと年度当初のオリエンテーションでは説明してある。また併せて、立ち読みは眠気など集中力を阻害する要因に対して有効な手段であることを説明しているのので、居眠りしそうな学生は素直に教員の指示に従

ってくれている。

2.7 多聴指導について

【05 年度の課題】

英語で朗読された音声を聴きながら本を読む、いわゆる多聴は最近注目されている英語学習法の一つである。多読と多聴は共に大量のインプットを重視する点で相性がよいため、授業にも積極的に取り入れることが求められている。しかし、具体的に多聴をどのように導入するかについては課題として残った。

【改善策】

音声 CD やカセットテープ付きのテキストを重点配分経費によってまとめて購入できたので、例えば、「1 万語（又は 5 冊）読んだら次は音声付のテキストを選び、聞きながら読書する」などのルールを決めて多聴を取り入れる。

【06 年度の実施結果】

年度当初のオリエンテーションで配布したガイドラインでは多聴に言及しているものの、日常の指導の中ではルーチン化するには至らなかった。理由としては、多聴以前の段階でまだ指導体制が十分に整えられていなかったことが挙げられる。次年度は CD プレーヤーを授業内で貸し出す体制を整えるなどして、積極的に取り組んでみたい。

一方、少数ながら学生の中には長期休業を利用して音声付のテキストを借り出している者もあり、教師による指導に先行して多聴を実践しているのは注目に値する。

2.8 語彙指導について

【05 年度の課題】

英文多読において辞書の使用は積極的には奨励されていない。辞書を使わないでもスラスラと読めるレベルの本を大量に読むことにより、英文理解の過程が自動化されるようになることを優先しているからである。ただし共通テキストによる前半の一斉授業では辞書を使用した、いわゆる「精読」を行なっている。辞書を使った「精読」のスキルと辞書を使わない「多読」のスキルを、学生は一つの授業の中で矛盾なく使い分けているようである。

しかしそうは言っても、多読用のテキストを読んでいる最中も未知語には出会うわけで、そうし

た時に言葉の意味を調べたいと考えるのは自然なことである。英文理解の自然な流れを阻害せず、言葉の意味を知りたいという欲求にうまく折り合いをつけることはできないだろうか。

【改善策】

「本を読み終えても、なお気になる未知語」というような条件を設ければ、多読の流れを損なわずに意味調べを取り入れてみることができそうだ。

【06 年度の実施結果】

多読の最中に未知語に出合った場合、多くの学生は前後の文脈から大体の意味を推測していることがアンケート調査からわかる。それ以外の方略としては隣の学生に聞く、教師が近くにいる場合には教師に聞く、などがある。更に辞書で調べたいと考える学生が少数ながらいるが、そうした学生には改善策で提案された方法を勧めている。単語帳を使って履歴を残すなど、どの程度ルール化させて行なうかについては今後の検討課題とした。

2.9 読書語数の取り扱いについて

【05 年度の課題】

学生が読んだ本のタイトル、シリーズ名、感想、読書語数などは読書記録手帳に履歴として残すよう指導している。読書語数は定期試験毎に集計し、平常点の一部として成績に反映させている。05 年度は 100 点の素点中 10 点分を多読点として割り当てているが、読書語数は 1 万語で 10 点というレートを設定した。それを超えて読書した分は同じレートで計算し、余剰点として素点に上乘せしている。したがって素点で 100 点を超える例も出ている。授業アンケートによれば、この方法は英語学習の一つの動機付けとして学生たちに支持されているようである。しかしその半面、上限が存在しない読書語数を成績に反映させるため、多読点のインフレ傾向を招いている。学生のやる気を引き出しつつ、適正な成績評価を維持するために、多読点の扱いが課題として残った。

【改善策】

多読点のインフレ傾向を抑制する対策としては次のようなことが考えられる。

- (1) 対数関数を導入し、上限を設定する。
- (2) 読書語数と多読点のレートを工夫する。
- (3) 読書語数の基準値を引き上げる。

【06年度の実施結果】

多読点の素点全体に占める割合を初期設定で10%、レートは読書語数が1万語で10点とした。これは前年度と同じ設定であるが、1万語を超えた場合は、レートを前年度の半分に抑えて2000語で1点とした。しかしそれでも素点が100点を越える例が少なからず出てしまい、インフレ傾向を是正することが難しかった。一つの原因としては、05年度よりも環境整備が進み、全体的に学生の読書量が昨年を上回っていることが挙げられる。いかに読書意欲を刺激しつつ、インフレ傾向を抑制できるか、今年度も課題として残ってしまった。

来年度も試行錯誤になるが、これまでのように予め読書語数と素点のレートを設定するのではなく、偏差値の考え方を取り入れることを検討してみたい。すなわち、平均語数と偏差を割り出して、素点の上限を設定するやり方である。こうすれば多読点のインフレ傾向は抑制できることになる。新しい方式が学生の意欲にどう影響を与えるかについては、注意深く観察してゆきたい。

2.10 定期テストとの関連について

【05年度の課題】

Reading Iの授業では2つの異なる読解スキルを扱っているため、理想的には定期テストもそれらに対応して、2種類のテストで構成されることが望ましい。一斉授業で使う共通テキストに基づいたテストはいわゆる「到達度テスト」という性質を持つ一方、多読授業を反映させた定期テストがあるとすればどのようなものなのだろうか。学習者が学期などの一定期間に学習した項目がどれくらい定着しているかを測る到達度テストは多読授業とは馴染まないことは明らかだが、具体的なイメージを作ることが難しい。05年度の定期テストではとりあえず、英検準2級レベルの問題を実力テストとして出題したが、普段行なっている多読の内容と十分に整合性を持ったテスト開発が望まれる。

【改善策】

JABEEの認定を既に受けている豊田高専で実践されている、多読の達成度測定の見点に基づいた定期試験問題の作り方が参考になる。

【06年度の実施結果】

言語テストは一般に「到達度テスト

(achievement test)」、「能力テスト(proficiency test)」、「適正テスト(aptitude test)」の3つに分類されるが、多読授業の趣旨をテストに生かすとすれば「到達度テスト」でなく、「能力テスト」的なものになるだろう。しかし06年度は残念ながら改善策を検討する余裕がなかった。この課題は07年度に持ち越される。

2.11 e-learningを取り入れることについて

これらは全て今後の検討課題である。

- (1) Web上での利用を想定した、自前による音声音声のデータベース作り。
- (2) Webを利用した読書記録の可能性の検討。

3. まとめ

前節で見たように、この一年間多読指導をしてきて改善された部分もあれば、課題として持ち越された部分もある。特に2.9と2.10で難航している。これらはいずれも測定、評価、テストという一連の評価行動に関係している。英語教育における評価行動は、価値判断、教育目標、シラバス、学習者の特性、学習環境等々、扱うべき変数の種類が多く、一筋縄ではいかない。更に本校ではJABEE等の認証評価を意識したシラバス作りが求められており、複雑さに拍車がかかっていると言えよう。このことを改めて実感した一年であったが、07年度も最適の解を目指した実践をつけてゆきたい。

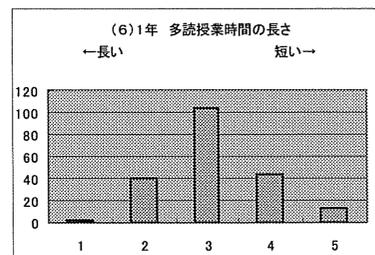
事後アンケート集計結果

2006年2月実施

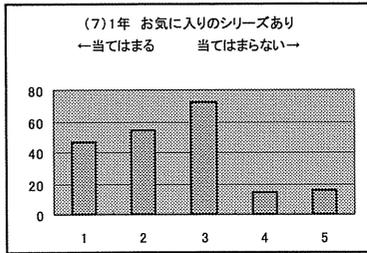
対象者：2005年度1年生 202名 (MEDJC)

なお、同時期に2年生に対しても同様のアンケートを実施したが、スペースの都合で割愛した。

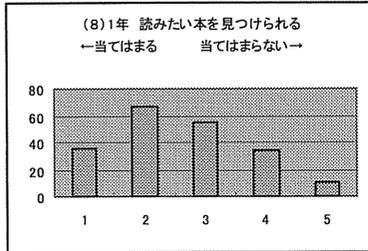
- (6) 毎回の授業で多読に充てる時間の長さは、



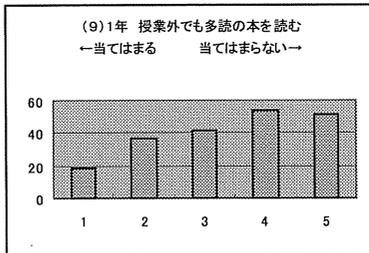
(7) 自分のお気に入りのシリーズがある。



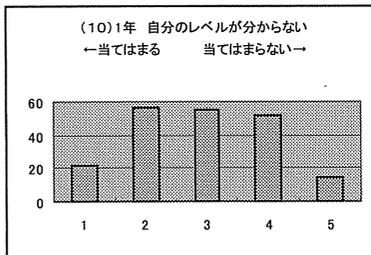
(8) 多読の時間では、自分の読みたい本をその都度見つけることができる。



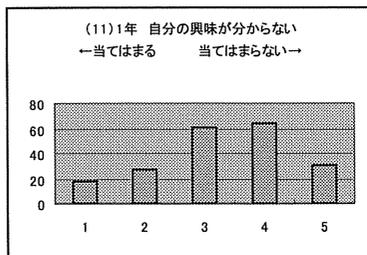
(9) 授業以外でも多読の本を読む方だと思ふ。



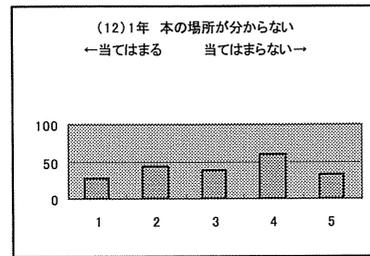
(10) 自分の読む力（レベル）がどのくらいなのかよく分からない。



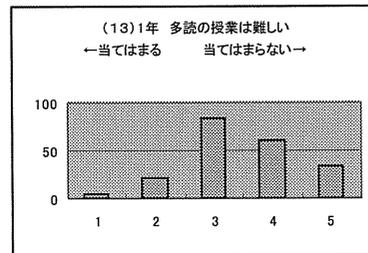
(11) 自分がどのような本に興味を持っているかよく分からない。



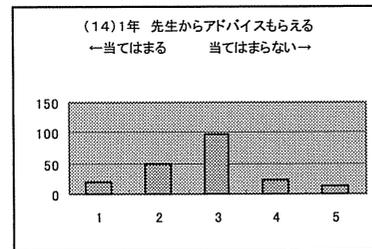
(12) どのような本が、書架のどこにあるのかよく分からない。



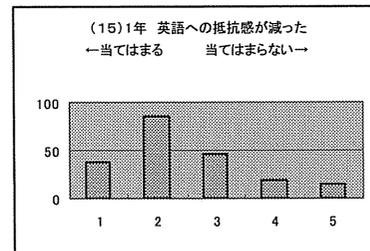
(13) 自分の英語力では多読の授業についてゆくのが難しい。



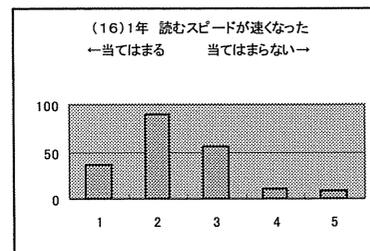
(14) 先生から適切なアドバイスがもらえる。



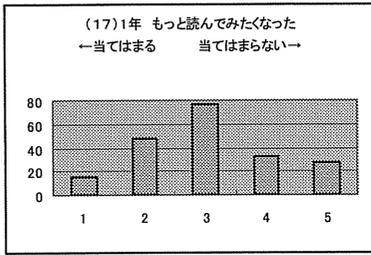
(15) 多読を始める前と比べて、英語を読むのに慣れた。英語への抵抗感が減った。



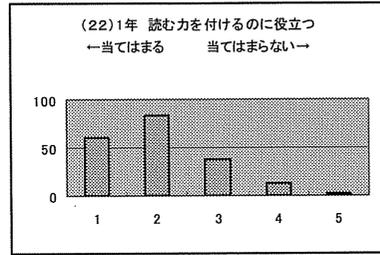
(16) 多読を始める前と比べて、英語を読むスピードが速くなった。



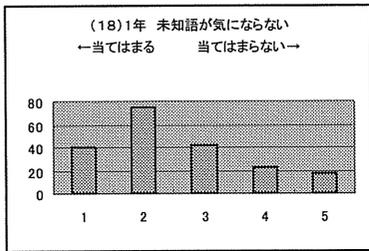
(17) 多読を始める前と比べて、もっと英語の本を読
んでみたくなった。



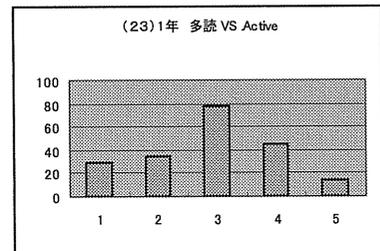
(22) 多読は、英語を読む力を付けるのに役立つと思
う。



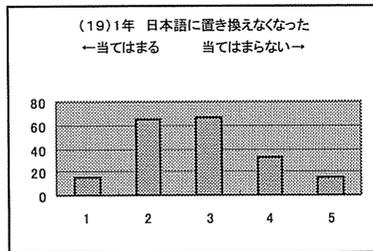
(18) 多読を始める前と比べて、わからない単語があ
っても気にせず読み進めるようになった。



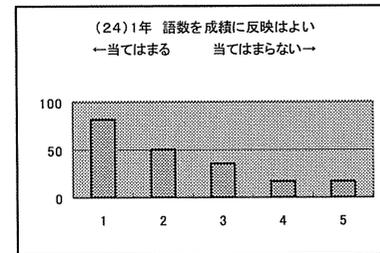
(23) 多読の授業と、ACTIVE のテキスト (赤い本)
を使った授業では、どちらの方が役に立つと思
いますか。



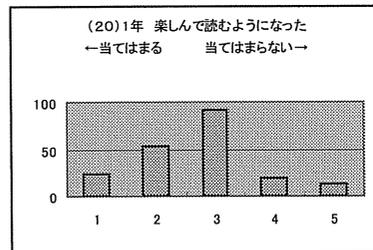
(19) 多読を始める前と比べて、英語を日本語に置き
換えなくてもわかるようになった。



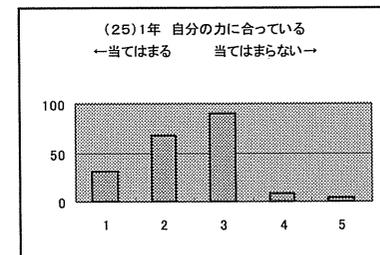
(24) Reading の成績に、読んだ語数を反映させるや
り方はよいと思う。



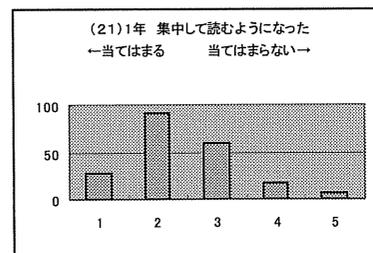
(20) 多読を始める前と比べて、英語を楽しんで読め
るようになった。



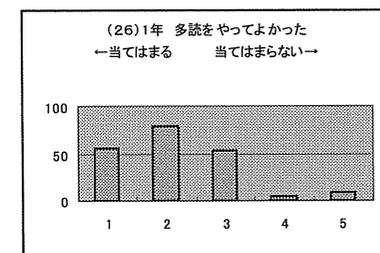
(25) 多読の授業は自分の英語力に合っていると思
う。



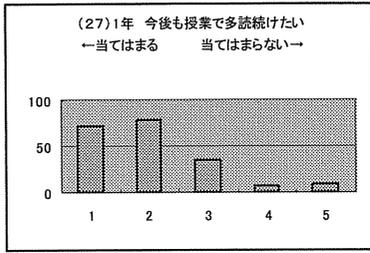
(21) 多読を始める前と比べて、英語を集中して読め
るようになった。



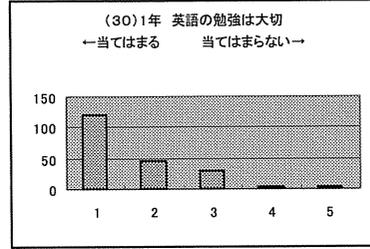
(26) 多読をやってよかったと思う。



(27) 今後も授業で多読を続けたいと思う。

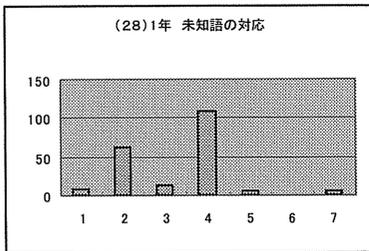


(30) 英語の勉強は大切だと思う。

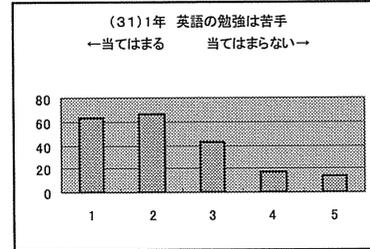


(28) 多読用の本を読んでいて、見たことのない単語が出てきた時、どうすることが多かったですか。(一番多かったと思われるものを一つ選択。複数回答は不可)

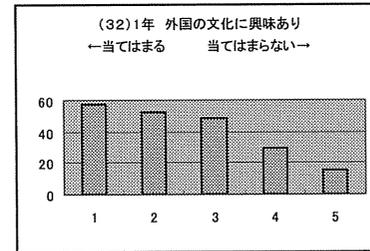
1. とりあえず辞書を引いてその単語の意味を調べる。
2. 辞書は引かずにそのまま読み進む。
3. ひとまとまりの部分を読んだ後に辞書を引いて意味を調べる。
4. その単語の前後を読んで、意味を推測する。
5. 近くの人に聞く。
6. 読むのを止めて、別の本を探す。
7. その他



(31) 英語の勉強は苦手な方だと思う。

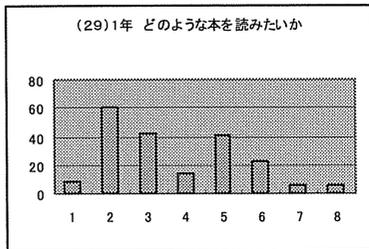


(32) 外国の文化や人間に興味がある方だと思う。

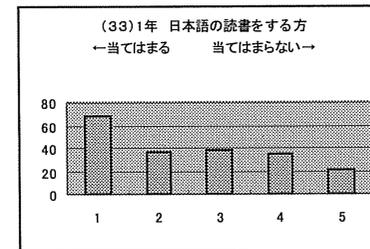


(29) これからは、どのような本(英文)を読めるようになりたいですか。(複数回答は不可)

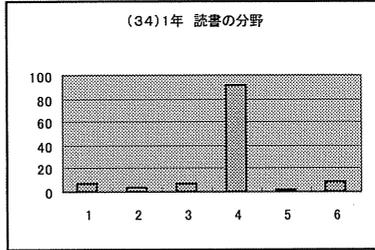
1. 論文
2. 小説・物語
3. 英字新聞・雑誌
4. マニュアル・カタログ
5. Eメール・ホームページ
6. コミック
7. ノンフィクション
8. その他



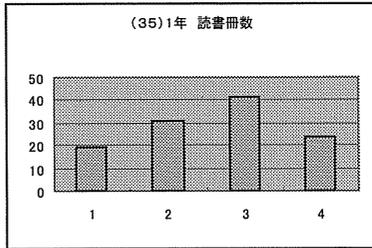
(33) 授業以外の目的で、日本語の本の読書をする方だと思う。



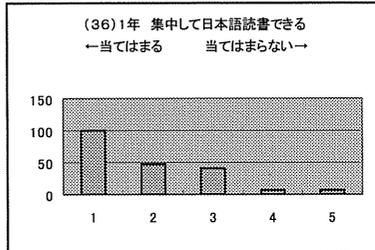
- (34) (31) で1, 2を選んだ人は、主にどのような分野の日本語の本を読みますか。
 (一つだけ選択。複数回答は不可)
 1. 科学 2. SF 3. ノンフィクション
 4. 小説・物語 5. エッセイ 6. その他
 ()



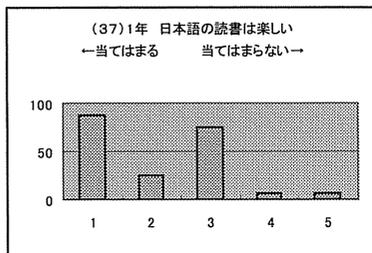
- (35) (31) で1, 2を選んだ人は、過去1年間で何冊くらい日本語の本を読みましたか。
 1. 1~5冊程度 2. 6~10冊程度
 3. 11~20冊程度
 4. それ以上 (_____ 冊くらい)



- (36) 集中して日本語の本を読める方だと思う。



- (37) 日本語の読書は楽しいと思う。



- (38) (37) で1, 2を選んだ人にお聞きします。
 これまでに日本語の本を読んで楽しかったり、感動した思い出について書いて下さい。
 (省略)
- (39) (37) で4, 5を選んだ人は、考えられる理由を具体的に書いて下さい。
 (省略)
- (40) 多読用の本について、どのようなレベルの本が、又はどのような内容の本がもっとあったらいいと思いますか。自由に書いて下さい。
 (省略)
- (41) 多読の授業を振り返って、自由に感想を書いてください。
 (省略)
- (42) 多読の授業をもっとよくするために、何かよいアイデアがあれば自由に書いて下さい。
 (省略)

参考文献

[1] 堀智子. 竹田恒美. 2004. 「英文多読に関する一考察：英語教育のパラダイム・シフト」『高専教育』第28号 pp. 351-356

[2] 堀智子. 竹田恒美. 2004. 「英文多読指導に関する一考察：英語教育のパラダイム・シフト」『平成16年度高専教育講演論文集』pp. 81-84

[3] 金谷 憲. 2003. 『英語教育評価論』河原社.

[4] 西澤 一. 吉岡貴芳. 伊藤和晃. 2005. 「豊田高専の英文多読、3年のあゆみ」第4回多読教育ワークショップ pp. 26-28

[5] 酒井邦秀. 2002. 『快読100万語！ペーパーバックへの道』筑摩書房.

[6] 酒井邦秀. 2005. 『教室で読む英語100万語』大修館書店

[7] Susser, B. & T.N. Robb, 1990. EFL Extensive Reading Instruction: Research and Procedure, *JALT Journal*, Vol.12, No.2.

[8] 竹田恒美. 堀智子. 他. 2004. 「専門学科と英語科との共同による英語多読指導の試み」『平成16年度日本工学教育協会第52回年次大会講演論文集』pp. 9-10

[9] 竹田恒美. 堀智子. 2004. 「専門学科と連携した多読指導の試み」『全国高等専門学校英語教育学会論集』pp. 65-72.

- [10] 竹田恒美, 堀智子. 2005. 「高専1年生を対象とした英文多読指導の実践」『平成17年度日本工学教育協会第53回年次大会講演論文集』 pp. 296-297
- [11] 竹田恒美, 堀智子. 2006. 「英文読解を取り入れた1年英文読解授業の実践報告」『東京工業高等専門学校研究報告書 第37(2)号』 pp. 11-17.

(平成19年1月4日 受理)

戦後日本における競争政策と入札談合問題

—技術者倫理教育のために—

浅野 敬 一*

Competition Policy and Illegal Collusion of the Postwar Japan

—For the teaching of engineering ethics—

Keiichi ASANO

Illegal collusion, “*dangō*,” is one of the most crucial topics in a field of business ethics. The purpose of this article is to review the history of the Japanese competition policy and the problem of illegal collusion. After the war, the United States, as one of the Allied Powers, reorganized Japanese cartelized economy and ordered the Japanese government to establish strict antitrust legislation. But this was under the external pressure. Have the Japanese ever considered the significance of competition on its own initiative? Why do some people regard *dangō* as a necessary evil? We must work out practical solution of that problem.

(Keywords: Business Ethics, Engineering Ethics, Competition Policy)

1. 問題の所在

本論の目的は、日本における競争政策形成の歴史的特異性を検証することで、入札談合事件の原因の一端を明らかにし、解決への一助に資することである。

近年、公共工事を巡る入札談合事件が後を断たない。特に、建設及び関連業界の談合は、もはや業界全体の体質ともされる。こうした業界体質が、1990年代以降の競争政策の強化に加え、小泉政権による公共事業費削減に直面し、いわゆる官製談合に至る例も少なくない。

日本の法体系は、1889年制定の会計法が政府調達における競争入札の原則を規定し、1941年には、刑法に談合罪を追加した。さらに、1947年に、私的独占の禁止及び公正取引の確保に関する法律（以下、「独占禁止法」と略す。）を制定、同法の運用主体としての公正取引委員会を設置した。独占禁止法は、談合を含むカルテル等を不当な取引制限と規定し（第2条第6項）、これを禁止している（第3条後段）¹。刑法が特定取引の談合を禁じるに対し、独占禁止法は、一定の広がりをもった取引分野における競争制限的共同行為を規制するものである。当該業界の取引慣行を含めた入札談

合の取り締まりは、独占禁止法の規定をもって、法体系上は一応の完成をみたといえよう。

しかし、入札談合に対する日本社会の姿勢は、現在においても未だ揺れ動いている。汚職への発展は論外としても、雇用や地域経済の維持を理由に、談合を不可欠、あるいは必要悪とする主張が根強いことも、また現実である。少なくとも、談合一般を悪とせず、「良い談合」と「悪い談合」を区別し、前者を是認する論は根強い。

こうした背景には、談合を違法とする前提条件として、日本における競争政策の歴史が浅く、競争原理に関する理解も未成熟なことがある。法が万能でないことは当然として、特に私的領域が中心となる経済取引の規律については、国家の強制力に依存する法の限界は明らかである。また、競争の是非は、社会や経済の変化により歴史的に形成される相対的価値に基づく。つまり、入札談合事件の阻止には、法体系の整備と運用強化にとどまらず、競争政策のあり方についての社会的合意が必要なのである。

一方で、企業の側は、社会的合意の欠如を持ち出し、入札談合を正当化することはもはや許されない。談合への批判がさらに強まることは不可避

*一般教科（人文社会）

であり、談合は企業の存続をも危うくする。例えば、新卒を中心とした労働市場の逼迫により、談合事件の当事者企業は、従業員の採用に支障を来す現実がある。また、発注官庁からの処分に加え、消費者や取引先に拒絶されるリスクも増大している。違法行為としての談合排除は当然であるが、自社や業界における談合体質の払拭に努めることも、最低限の企業倫理として要求されている。

同時に、独占禁止法を中心とする競争政策に関する分野横断的研究は十分ではない。競争政策の実効性確保には、経済の実態と統合的な法規制が不可欠だが、法学と経済学の成果を融合させた研究は決して多くない²。また、談合擁護の論拠として度々中小業者保護の問題に言及する。しかし、中小企業問題の多様性及び中小企業政策と独占禁止法の複雑な関係を問う研究は皆無に等しい。

以下、独占禁止法を中心とした日本の競争政策及び入札談合問題の史的展開をそれぞれ検証した後、その過程で積み残された問題を明らかにし、問題解決への方途を探りたい。

なお、本論は、紙幅の関係から概論的記述にとどめた。より詳細な実証を要する部分もあるが、機会を改めたい。

2. 第二次大戦以前の日本における競争原理

(1) 重要物産同業組合にみる競争原理

重要物産同業組合（以下、単に「同業組合」という。）は、1900年制定の重要物産同業組合法（以下、「同業組合法」と略す。）に基づく事業者団体であり、当該商品を扱う商業者及び工業者は、地域の同業組合に加入する義務があった。当該商品の品質維持を目指すと同時に、新規参入を調整し、かつアウトサイダーによる攻撃を排除することで価格維持を図る、競争制限的カルテル組織である。また、商業者と工業者が強制加入する仕組みは、問屋勢力による工業者支配の基盤でもあった。

ところが、1928年になると、商工省は、同業組合法、重要輸出品工業組合法及び輸出組合法の三法を統合し、商工組合法とする構想を推進した。三法の規定する組合制度はいずれもカルテル組織だが、商工省は、商業者と工業者の組合を分離し、かつ任意加入の組合に改変する方向を打ち出したのである。商工省の意図は詳述しないが、1920年代は、地主制度の改革や労働組合法の制定が議論

に浮上した時期である。商工省の構想は、これらの改革と連動しながら、問屋の影響力を削ぎ、営業の自由や消費者利益を拡大することで、製造業全体の近代化を図ったといえよう。

しかし、商工省の構想に対して、同業組合の中心である問屋勢力は、工業者を含む強制加入を維持すべく猛反対した。結局、強制加入の組織原理に立つ同業組合は、戦時経済体制が頂点に達した1943年まで存続し、そのまま国家による統制組織へ移行したのである。

経済史家の藤田貞一郎は、こうした商工省構想の挫折と同業組合の存続について、「経済社会において競争原理を適切に維持・機能させるためには、どのような政策的選択をすべきかということ、民衆はほとんど経験しなかった」としたうえで、商工省を含む政府も、「営業の自由」を大日本帝国憲法22条に基き、個人の自由の原理の範疇で理解し、経済政策上の公序の原理で理解することはなかった。」と評価している³。戦前日本の世論一般及び政府が、競争自体の価値を自発的に検討する機会を得ないまま戦時体制に突入した現実について、正鵠を得た指摘である。

(2) 戦前日本における競争原理の希薄性

商工省の構想が挫折した後、1934年4月の大審院判決にも、競争に対する当時の認識が反映している。同業組合法は、品質を損ねる行為を行った組合員に対する制裁権を同業組合に認めていた。この「毒草丸・定価販売カルテル事件」では、同法に基づく神奈川県薬種売薬同業組合が、定価を下回る価格で市販薬を販売した組合員に過怠金を課し、それが同業組合法の認める制裁に該当するか否か争われた。結果、大審院は、品質に関する制裁規定の拡張解釈を戒めつつも、特に、小売業には価格協定が重要として、過怠金の賦課を積極的に支持したのである⁴。

同判決は、現在の法解釈を基準とすれば、一般消費者の利益及び競争の自由が視野にないと批判できる⁵。しかし、歴史的には、同判決が当時としては至極妥当な内容と理解することに意義がある。第一に、当時の世論は、個人の営業の自由や消費者の利益を重視してはいない。同業組合は、消費者の支持を維持しながら商工省の構想を頓挫させたが、判決もまた、世論に沿った内容といえる。第二に、藤田が評するように、営業の自由等

を重視した商工省でさえも、競争自体の価値は認識しておらず、競争の制限を即ち悪とする認識はきわめて希薄であった。当然ながら、独占禁止法のように競争の制限を取り締まる法も存在しない。大審院の判決には、競争に対する当時の認識の限界が反映しているのだ。こうして、日本の経済社会は、競争原理への理解が希薄なままに、戦時統制を経て、戦後改革に向かったのである。

3. 独占禁止法の制定と競争原理

(1) 独占禁止法制定過程における議論

日本は、ポツダム宣言の受諾に伴い、実質的に米国の単独占領下に置かれた。米国は、1945年9月6日の「降伏後における米国の初期対日方針」等に基づき占領政策を推進したが、占領初期における重要政策は、日本の非軍事化、特に経済的非軍事化に向けた改革である。そのため、第一には、軍需工業の解体や工業力再建の規制により、日本経済から物的戦争能力が排除された。第二には、日本経済の対外侵略性の根源を除去すべく、農地改革、労働改革及び財閥解体のいわゆる「経済民主化」が実施された。米国及びGHQは、財閥と地主による富の独占が、社会的不安の増長、民主主義勢力の発展阻害及び国内市場の狭隘性をもたらし、これらの解決策のために日本経済が対外侵略を必要とした、と分析していたのである⁶。いずれにしても、米国をはじめとする連合国は、日本経済の復活を懸念し、初期の占領政策は、日本経済の弱体化が基本方針となる⁷。

こうした方針のもと、本論の対象とする独占禁止法は、財閥解体との関係において、制定へ動き始めた⁸。日本政府と経済界は、ある程度の財閥解体は不可避と判断したうえで、可能な限り望ましい形態を確保しようと試みた。そこで、日本政府は、1945年11月4日、「持株会社解体に関する日本政府提案」をGHQに提出し、四大財閥の解体や持株会社整理委員会の設立等を提案した。GHQもこれを了承し、併せて米国の反トラスト法に相当する恒久的な独占禁止法の制定、即ち競争政策の確立を日本政府に指示したのである。

GHQの指示を受け、政府内では法案作成に向けた検討が始まった。最も早く反応したのは商工省であり、1946年1月には「産業秩序法案要綱」を作成した。しかし、これは、1931年に制定された

「重要産業ノ統制ニ関スル法律」の焼き直しで、カルテル組織を国家の統制下に置き、価格吊り上げ等を規制する意図であった。しかし、私的カルテルの規制や消費者利益への配慮を散見できるが、明らかに競争制限的内容であり、商工省自ら、戦前日本における競争原理の希薄性を忠実に再現したのである。GHQが同要綱を受け入れるはずもなく、本格的な法案化には至らなかった。競争政策における自発的改革の難しさを示したといえる。

結局、独占禁止法の制定は、米国政府とGHQが主導し、戦後改革でも最も「外圧」に依存した分野となった⁹。米国国務省と司法省は、コーウィン・エドワーズ (Corwin Edwards) を長とする調査団を日本に派遣し、46年3月には、日本における競争政策の基本構想を策定する。エドワーズは、当時の米国反トラスト法さえも不十分とする急進的改革派であった。彼は、日本経済のカルテル体質を批判するにとどまらず、米国以上に厳格な規制を内容とする報告書を提出したのである。

GHQでは、経済科学局反トラスト・カルテル課が、独占禁止政策を所管した。課長のエドワード・ウェルシュ (Edward Welsh) は、改革派のエコノミストで、ニューディール後期に米国における独占や中小企業問題を調査した臨時全国経済調査委員会 (TNEC) でも活躍した人物である。その他にも、経済科学局や民生局は、経済改革に積極的な「ニューディーラー」が主流を成した。ニューディーラーたちは、大戦で保守化した米国政権内では発言力を減じていたが、逆に日本の占領統治を自らの政策理念を実現する好機と見なしていた¹⁰。

一方、マッカーサーは、当初こそ、厳格な内容の「エドワーズ報告書」を非現実的とした。しかし、1948年の大統領選挙で共和党の指名を獲得するには、改革の成果を誇示し、かつ自身の保守的なイメージを払拭する必要があったため、次第に、エドワーズの報告を支持した¹¹。結果、GHQは、きわめて急進的な競争政策を志向したのである。

46年8月には、反トラスト・カルテル課立法班長のポーギー・カームが、いわゆる「カーム私案」を作成し、日本側に提示した。カーム私案は、エドワーズ調査団の提言に沿った厳格な内容であり、また、違反行為に対しては刑事罰中心の厳罰主義を掲げていた。

カーム私案の内容に衝撃を受けた日本側は、10

月 5 日に、独占禁止法制定に向けたプロジェクトチームを発足させ、GHQ に修正を求めていった。以後、カイク私案の緩和を求める日本側とこれを拒否する GHQ の攻防が続き、ようやく翌 47 年 3 月 18 日に「独占禁止法案」が閣議決定された。

同法案とカイク私案の最大の相違点は、法執行を独立行政委員会である公正取引委員会が担う点である。競争原理が希薄な日本では、司法による刑事罰を中心とした独占禁止法運用は困難であり、「指導・啓蒙」的対応を含む行政的手段が現実的とされたのである。一方で、実質的には企業規模の制限につながる事業能力の較差の排除、事業会社の株式保有禁止、役員兼任の規制及び企業結合の徹底的な制限等々、米国反トラスト法と比較しても、きわめて厳格な規定を有していた。

法案は、3 月 22 日に第 92 回帝国議会に上程、28 日に特別委員会に付託し、2 日後の 3 月 31 日には可決した。GHQ が、会期内成立を急いだためである。結局、独占禁止法は、GHQ と日本政府が、競争原理よりも財閥解体や企業分割の問題を重視した攻防を展開した後は、実質的な法案審議もなく成立した。よって、独占禁止法制定の過程は、日本の政府及び経済社会にとって、競争原理への理解を深める機会とはなり得なかった。

(2) 占領政策の転換と独占禁止法の改正議論

独占禁止法制定と前後し、米国の対日占領政策は大きな変化をみせた。冷戦の激化に伴い、日本経済の弱体化を重視した「経済民主化」から、復興を目指す「逆コース」へ転換したのである¹²。

最初の「逆コース」の具体化は、1947 年 2 月に公布された過度経済力集中排除法の運用である。持株会社整理委員会は、48 年 2 月 22 日までに、325 社について、過度に経済力が集中し、分割等の措置を要すると指定した。しかし、同年 7 月 1 日までに、一転してうち 225 社の指定を取り消した。占領政策の転換に伴い、独占禁止法制定の出発点でもあった財閥解体及び日本経済を弱体化する政策は、大きく後退したのである。

こうした状況のもと、日本側は、独占禁止法の緩和への取り組みを始めた。まず、6 月 30 日、経団連の独占禁止法対策委員会が「独占禁止法改正要望覚書案」を策定、外資導入の促進を名分に、事業会社による株式所有制限の緩和、カルテル禁止適用除外の拡大及び合併不認可要件の縮小等を

求めた。政府も素早く反応し、7 月 23 日、経済安定本部が「外資導入に関する独占禁止法の改正に関する件」を発表、経団連の要望を支持した。さらに、9 月 22 日には、公正取引委員会が「独占禁止法改正案要綱」を作成、独占禁止法の運用主体自身が緩和を求めたのである。

同時に、米国政府も占領政策の転換を受け、独占禁止法を行き過ぎと評価し始めた。1948 年には、日本における集中排除の状況を検討する集中排除審査委員会が来日、8 月にはマッカーサーに対し、独占禁止法の規定内容を含めて、余りに過激な集中排除政策を再検討すべき旨の勧告を出した¹³。本国でも、国務省を中心に、既に必要な財閥解体は終了しており、米国以上に厳格な独占禁止法は、経済効率を阻害すると判断していた。また、対日援助の負担を軽減するには、日本経済の自立は不可欠であった。そのためには、日本自らが、競争政策を修正し、結果的に独占禁止法を緩和することも容認していた¹⁴。

一方、GHQ の所管である反トラスト・カルテル課は、独占禁止法緩和の動きに強く反発した。10 月 2 日には、課長のウェルシュが、独占禁止法に関する行き過ぎた改正要求に認めない旨、公正取引委員会に警告を発している。しかし、「逆コース」が進むなか、占領政策の最優先事項は、日本の経済復興であり、反トラスト・カルテル課の姿勢は少数派になっていた。マッカーサーも、それまでの占領政策を否定する「逆コース」には反発したが、政府の方針は拒絶できなかった。

米国政府は、1948 年 12 月、日本に対する「経済安定九原則」を指示、通貨供給の削減と緊縮財政により一気にインフレの撃退し、産業の合理化を迫る劇薬を処方した。同時に、米国以上に厳格な独占禁止法の維持も放棄され、1949 年 5 月 20 日に、改正独占禁止法が成立した。

改正独占禁止法は、原始独占禁止法と比較し、以下の点で規制が緩和された。第一に、改正の名分でもある外資導入を促すため、国際契約の認可制が届出制に改められた¹⁵。第二に、より実質的内容として、合併や事業会社の株式保有について、原則禁止から一定の取引分野における競争を「実質的に制限する」可能性のある場合に緩和した。以後は、株式持合い等を手段に、銀行を中心とした企業グループの形成が進むのである。

独占禁止法は、1949年の改正に続き、53年にも大幅な緩和が行われた。特に53年改正では、カルテル的共同行為の禁止規定（第4条）が削除された。既に49年改正により、企業分割に重きを置いた原始独占禁止法の思想は放棄されていたが、これは財閥解体という戦後の特異な事情との関連を断ち、平時の独占禁止法に回帰したとも評価できる。しかし、わずか4年後の53年改正は、競争や競争政策の価値を検討する間もなく、一気にカルテル的行為を容認したのである。1957年の公正取引委員会年次報告は、「カルテルのない業種は、ほとんどない」と、日本における競争政策の欠如を指摘したが、1970年代半ばまで、独占禁止法及びその運用が強化されることはなかった。

(3) 戦後改革と高度経済成長期の競争政策

既述のとおり、戦後の日本では、独占禁止法の趣旨が浸透せず、1953年改正ではカルテル的行為の容認に至るが、その要因を検討しておこう。

第一は、反トラスト・カルテル課を中心に、GHQで法案作成に従事した者は、米国でも急進的な改革派であり、当時の日本の状況からは過剰な内容が出发点となったことである。財閥解体の結びつきもあり、企業分割や合併の防止を中心に、米国以上に厳格な独占禁止法の制定をみた。しかし、競争原理への理解が浅かった日本の政策当局や経済社会には、この原始独占禁止法の内容を財閥解体という特殊要因部分と恒常的な競争政策の部分に切り分け、特に後者の意義を積極的に検討することは困難であった。逆に、論点が前者に引きずられ、競争原理への理解を遅らせたともいえる。

第二に、高度経済成長以前の日本経済には、競争リスクを受容する体力がなかったことも事実である。戦後の日本は、伝統的な市場であった中国大陸を完全に喪失し、代替地とされた東南アジア市場も成長しなかった。また、GATT加盟は1955年まで遅れ、主要国市場では緊急輸入制限の頻発に直面した。さらに、国内市場も発展途上のため、米国市場への依存で凌ぐ状況であった。この状況では、競争の回避もやむを得ない面はあり、経済界は、独占禁止法は資源等に余裕のある国がもつもので、資源のない日本には無駄との考えを強めたのである¹⁶。

第三に、敗戦後も、戦前からの官僚機構が存続し、競争に対する否定的姿勢も継承された。商工

省をはじめとする政府は、独占禁止法制定時は過激な内容の修正に、制定後は規制の緩和に奮闘し、相当の成功を収めた¹⁷。また、戦後復興における経済官僚の役割の増大とカルテル的産業政策の成功は、経済界の支持も獲得し、競争制限を正当化する循環を生んだといえる。

このように、戦後の経済社会も、独占禁止法の制定にもかかわらず、競争原理を積極的に理解し、受容することはなかった。むしろ、厳格すぎる原始独占禁止法からの度重なる緩和やカルテル的手法の産業政策により、高度成長期においても競争制限的環境が志向されたのである。

4. 談合体質の定着と建設業界の特殊性

(1) 戦前の大審院判決にみる談合問題

前節までにおいて、日本の経済社会は、戦前、戦後を通じて、競争政策全般を適切に機能させ得なかった点を確認した。こうした状況で、公共調達における入札談合の問題が如何に形成され、また定着したかを検討しよう。

日本の法体系は、1889年の会計法競争入札の原則を定めた後は、1902年に改正された会計規則は、談合参加者は2年間競争参加の資格を失うと規定した。ところが、1907年制定の新刑法が、旧刑法では業務妨害罪の一形態として明示されていた入札妨害行為を業務妨害一般に含めて規定した。談合に対する旧刑法の実効性は不明だが、この時点では、競争入札妨害を処罰する明確な規定がなくなったのである。

確かに、その後も、公共調達における談合行為の違法性は、大審院判決等によりある程度は維持された。例えば、1916年の大審院判決は、談合は会計法及び会計規則の趣旨に反するとして、談合に基づく業者間の利益配分契約を無効としたのである¹⁸。しかし、大審院判決が談合行為を違法した論拠は、あくまでも「価格」の高低の問題であり、「競争」の有無自体を考慮していない。また、1919年の大審院判決は、談合を伴う契約行為について詐欺罪の成立を否定したが、その理由は、予定価格以内であれば、発注者に損害を与えたわけではないとした。つまり、談合自体の違法性や談合による損害の発生を否定したのである¹⁹。

(2) 談合罪の成立に至る違法性の認識

1941年の談合罪制定に関する帝国議会の審議

でも、談合の違法性を巡る「価格」と「競争」の議論が繰り返された。2月、政府は、帝国議会に刑法の一部改正案を提出、「偽計若クハ威力ヲ用ヒ又ハ談合其ノ他ノ方法ヲ以テ公ノ競売又ハ入札ノ公正ヲ害シタル者ハ二年以下ノ懲役又ハ五千元以下ノ罰金ニ処ス」との内容であった。偽計や威力とともに、公共入札における談合自体を違法としたもので、貴族院も、政府原案を支持した。しかし、衆議院は、談合一般を違法とすることの是非を巡り激しい論戦を展開、その後の両院協議会を通じて、政府案は大幅な修正を施され、「公正ナル価格ヲ害シ又ハ不正ノ利益ヲ得ル目的ヲ以テ談合シタル者」を処罰の対象とし、可決、成立した²⁰。

これらの議論から、当時の日本における談合への意識を整理しよう。第一に、談合自体に違法性はなく、公正な価格を妨げない、あるいは不正な利益を得ない「良い談合」を肯定する意見が大勢であった。衆議院の修正により、談合罪成立の目的要件が付され、「公正なる価格を害する」または「不正な利益を得る」目的が立証されない談合は容認された。ここでは、談合自体、つまり「競争」の欠如を悪とする規範意識は確認できない。第二に、談合罪を提出した政府も、「競争」の意義を認識していない。確かに、政府は、談合一般を処罰対象とする法案を提出し、審議過程でも談合自体を違法とする答弁を繰り返した。しかし、当時は、1938年に国家総動員法が制定され、戦時の経済統制が強化された時期である。公定価格が導入されれば競争入札は実施不可能であり、軍部の調達に価格を軽視することは説明を要しない。また、前出1931年制定の「重要産業ノ統制ニ関スル法律」も、私的カルテルに対する国家統制であり、競争促進の要素は既がない。政府による談合罪制定の出発点は、競争の問題ではなく、談合を経済統制への妨害行為と位置付けたためといえる。

(3) 戦後の談合罪解釈と談合体質の定着

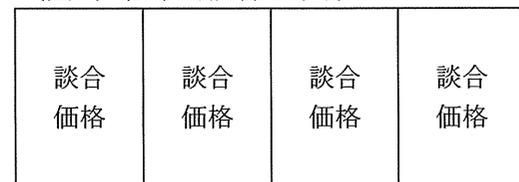
終戦後の戦時経済統制の解体に伴い、統制経済下で制定された談合罪は、新たな解釈の模索を必要とした。特に、「不正の利益を得る」や「公正なる価格を侵害する」という、談合罪が成立するための目的要件の内容が問題になったのである。このうち前者については、談合金の授受を「不正の利益」とする説が確立していく。しかし、後者の「公正なる価格の侵害」については、立証の難し

さが伴った。確かに、「公正なる価格」といえる自由競争により形成された価格が存在し、単発的に談合が行われ、通常より著しい高値落札が発生したとすれば、談合の存在を疑い、かつ「公正なる価格の侵害」を容易に立証できる〔図1〕。しかし、恒常的に談合が行われ、自由競争により形成された価格、つまり「公正なる価格」がそもそも存在しなければ、談合の存在を疑うことも、また「公正なる価格を害する」目的を立証することもきわめて困難である〔図2〕。談合罪は目的犯であり、目的が立証されない限りは、業者間の「話し合い」を処罰できないためである²¹。

〔図1〕 単発的談合の場合



〔図2〕 恒常的談合の場合



一方、戦後に制定された独占禁止法は、「不当な取引制限をしてはならない」（第3条）と規定し、談合にとどまらずカルテル行為全般を対象としている。刑法の談合罪が、特定の入札案件等に適用されることに對し、独占禁止法の不当な取引制限の禁止規定は、一定の広がりをもった取引分野に適用され、業界等に定着した「談合体質」の違法性を問うことが可能になる。

もともと、独占禁止法の趣旨である競争原理への理解は浅く、また公正取引委員会の組織や権限に未整備であったため、独占禁止法の運用は低調であった。1977年にはカルテル行為による不当利得を回収する課徴金制度が導入されたが、実効性を上げるまでには時間を要した。それでも、1989年からの日米構造協議を受けた運用強化により、独占禁止法を中心とする競争政策も役割を増してきた。また、日本経済のグローバル化や規制緩和

の推進は、競争原理に対する企業や消費者の理解をようやく前進させたといえる。

ところが、1990年代以降、価格カルテル等の競争制限的行為が減少する一方で、公共工事を巡る談合事件が頻発、独占禁止法による処分対象の大半を入札談合事件が占めるようになった〔表1〕。入札談合の問題は、日本における競争原理の歴史的希薄性を出発点としながら、建設業界と公共工事を取り巻く特殊な環境にも依存し、むしろ顕在化してくるのである。

(4) 戦後日本における建設業界の特殊性

入札談合を擁護する論拠のひとつは、公共調達による中小企業の保護である。例えば、1966年に制定された「官公需についての中小企業者の受注の確保に関する法律」は、中小企業との契約の実績を経済産業大臣に年度ごとに通知するよう規定している。また、公共工事に景気対策や失業対策の性格を付されることで、競争の徹底ではなく、雇用吸収力の維持を期待される事実もある。

しかし、日本の中小企業政策を単に保護や景気対策とみることは、建設業界の特殊性を中小企業一般の問題にすり替える危険がある。そもそも、日本に限らず、現代の中小企業政策は、①競争政策の流れを汲む反独占的産業組織政策、②産業部門間の資源配分を調整する産業構造政策、③社会問題の解消・緩和を目指す社会政策と、三つの政策の混合体である。また、産業構造政策は、②(a)成長支援や新事業展開といった資源の「足し算」である産業育成政策及び②(b)衰退産業の退出・転換を促す資源の「引き算」である産業調整援助政策に分類される。社会政策も、③(a)既存中小企業が抱える問題に対応する保護政策と③(b)創業による雇用創出や地域振興といった中小企業を積極的手段として種々の社会問題の解決を図るものに二別できる。

戦後の中小企業政策は、財閥解体と独占禁止法制定を受けた反独占的産業組織政策(①)から始まり、独占禁止法緩和後は、混乱した経済状況に対応する保護政策(③(a))に移行した。しかし、高度経済成長の進展とともに、産業構造の高度化や輸出振興に重点が移り、1963年の中小企業基本法制定により、製造業を重視した産業構造政策(②)が中心を占めるのである。

一方、産業構造政策としての中小企業政策が、競争制限的施策を多用したことは確かである。特に、産業調整援助政策(②(b))としては、1958年に制定された「中小企業団体の組織に関する法律」(以下、「中小企業団体法」と略す。)等に基づき、独占禁止法の適用除外となる合理化カルテルを多数認めた。しかし、1970年代半ばからはカルテル件数も減少、比較的残存した繊維業界の設備制限カルテルも80年代後半からの輸入急増で存在意義を失い、1994年をもって中小企業団体法に基づくカルテルは全廃された〔表2〕²²。既得権益の温存や業界の停滞もあったが、中・長期的には企業整理や業種転換を促したといえる。

また、産業育成政策(②(a))としては、各種補助金や低利融資等の公的支援が拡充されたが、輸出への貢献や技術力の向上等を支援条件にすることで、施策を利用できない中小企業の振り落とし効果を有していた。つまり、産業構造政策としての中小企業政策は、ミクロの施策手段では競争制限的あるいは保護的だが、マクロの政策目標としては輸出振興等の競争的内容となり、結果として、生産性の向上や弱小企業の淘汰にも一定の成果を上げたのである²³。

製造業を中心とした中小企業及び中小企業政策の状況を正視すると、建設業界の特殊性と競争制限的体質が定着した要因が浮かび上がる。第一に、主要顧客である発注官庁の予算制度が、競争入札の意味を著しく減退させた。予算制度における事前査定と単年度主義は、支出削減ではなく、「使いきり」を目指すことになる。多少乱暴に言えば、発注者側は、本来は価格競争を促す競争入札を用いながらも、予定価格内であればいくらかでもよいという、矛盾した取引姿勢をもつのである。第二に、競争入札は、逆に価格面以外の競争をも排除した。品質向上等の非価格競争を追及すれば、入札で破れるか、利益を減らすだけとなる。第三に、高度成長期以降の「土建国家」化により公共事業費が膨張し、価格と非価格の両面で競争が減退したままに、過剰な供給力を蓄積したといえる。

こうした特殊な状況から、公共工事の入札では、競争を行う理論的根拠さえも失われた。競争市場の基本的プレーヤーは、低価格を求める多数の需要者と高価格を求める多数の供給者である。しか

〔表 1〕 排除措置命令等の法的措置件数（行為類型別）の推移

年度		87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06
カ ル テ ル	価格カルテル	4	5	6	5	12	9	9	1	4	10	3	1	1	1	3	2	3	3	2	4
	入札談合	0	0	1	4	3	20	14	19	20	5	16	17	18	10	33	30	14	14	22	13
	その他カルテル	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
	小計	4	5	7	9	15	30	24	21	24	15	19	19	20	12	36	33	17	17	24	17
不正な取引方法		1	0	3	6	8	4	5	1	4	2	9	6	3	6	2	3	7	7	8	2
その他		1	0	0	2	4	0	2	2	3	4	3	2	4	0	0	1	1	1	3	0
合計		6	5	10	17	27	34	31	24	31	21	31	27	27	18	38	37	25	25	35	19

公正取引委員会『公正取引委員会年次報告』各年度版より作成。

*1 「その他カルテル」とは、数量、販路、顧客移動禁止、設備制限等のカルテルである。

*2 「不正な取引方法」とは、再販売価格の拘束、取引妨害、優越的地位の濫用等の行為である。

*3 「その他」とは、私的独占、事業者団体による構成事業者の機能活動の制限等である。

〔表 2〕 「中小企業団税法」に基づくカルテル件数の推移

年度	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76
件数	53	143	218	314	467	591	587	634	522	439	607	511	279
(続き)	78	80	82	84	86	88	89	90	91	92	93	94	
	274	268	263	235	224	179	174	170	147	90	1	0	

黒瀬直宏『中小企業政策の総括と提言』同友館、1997年、277ページを一部改変。

*1 「中小企業団税法」の前身となる特定中小企業の安定に関する臨時措置法(1952)及び中小企業安定法(1953年)に基づくカルテルを含む。

*2 件数は各年度末現在。

し、公共工事の場合は、結果として、低価格を求めない少数の需要者と高価格を追及できない多数の供給者が存在する。建設業界としては、価格競争の回避は当然として、非価格競争も回避しながら、発注者の予算を残らず分け合うことが最も合理的行動であり、指名競争入札であれば「暗黙の合意」の形成も容易である。一方、発注官庁側にも、競争入札のもとで予算を消化するには合理的状況が生まれる。仮に業者と発注官庁の間に特段の癒着がなくとも、両者を取り巻く環境が、入札談合による競争制限を合理化したのである。

ところが、近年は、ゼネコン汚職等を契機とした一般競争入札の範囲拡大に加え、公共事業の削減は、特に地方の建設業を過当競争に直面させた。その結果、談合がまとまらず、入札での価格競争が激化する場合も増えている。贈収賄事件等の官製談合も、業者間の激烈な受注合戦が背景にある。談合体質を払拭しないままの過当競争が、より談合を誘発する悪循環に陥っているのである。

一方で、一部の安値受注については、独占禁止法の禁止する不当廉売の疑いで公正取引委員会が調査を開始するという、皮肉な事態も生じている²⁴。建設業界そのものの構造調整を遂行しない限り、入札談合問題の実効ある解決策は成立しない。

5. 談合体質の払拭に向けて一現段階の私案一

近年では、入札談合を問題とする認識は、確実に大勢を占めている。しかし、ここまでの分析のとおり、①日本の経済社会が歴史的に競争自体の価値を重視しなかったこと、②競争原理を自発的に検討する機会が少なかったこと、よって③入札談合を競争の欠如ではなく価格の問題として理解する場合が多かったこと、④建設業界の特殊性と公共調達の制度的問題が談合を合理化したこと等、入札談合問題の原因は、きわめて複雑である。

そこで、談合問題の解消には、単なる取締りの強化だけでなく、業界と発注官庁はもとより、社会全体による取り組みが必要である。また、雇用

問題にも直結するため、建設業界を過度に疲弊させない配慮も求められる。

第一に、法人としての企業の責任を重視しながら、独占禁止法の強化を図るべきである。確かに、談合金の授受や官製談合等の悪質事例については、刑法の談合罪を中心に、当事者の処罰が重要である。しかし、建設業界以外を含む談合事件の多くは、競争手段の欠如や過当競争等、業界の構造的問題に起因している。この状況で個人処罰を重視すると、たまたま当該業務を担当したまじめな企業人を処罰し、法人としての企業や業界の責任が曖昧になるといえる。また、業界全体の問題である談合体質の払拭には、個別事件を対象とする談合罪ではなく、一定の広がりをもった取引分野に適用できる独占禁止法の強化が適当であろう。具体的には、不当利得の回収を基準とする現行の課徴金の他に、抑止力の向上も期待できるより懲罰的な課徴金制度の導入を検討すべきである。

第二に、企業側は、組織的なコンプライアンス体制の整備を急ぐ必要がある。入札談合に限らず、不祥事によるリスクは高まっている。問題は、体制整備へ企業を誘引する手段である。例えば、米国の連邦量刑ガイドラインは、企業においてコンプライアンス体制整備の取り組みが行われていた場合には、処罰を減免している。しかし、この場合は、体制整備への誘引にはなるが、違法行為を行った企業にのみ具体的利益がある点に問題がある。2006年の独占禁止法改正で導入された、違反事実を自ら報告した事業者への減免制度の適用条件として用いる程度であろう²⁵。この点では、企業倫理の確立及び世論やマスコミを含むステークホルダーによる監視圧力が重要となる。

第三に、入札談合の一方の当事者であり、本来は一次「被害者」である発注官庁の改革である。官製談合は論外だが、既述のとおり現行の予算及び入札制度は、談合による競争制限を合理化する状況を用意する。そこで、決算を重視した予算執行の事後評価体制を確立、単年度予算主義の緩和及び価格以外の技術力等での競争が期待できる技術提案総合評価型入札の拡大等を急ぐ必要がある。

第四に、過当競争が顕在化した建設業界に対して、本格的な産業調整援助政策、すなわち「引き算」の産業政策を発動すべきである。厳しい財政事情のなかで、かつ人口の減少や社会資本整備の

成熟等を勘案すれば、公共事業費の削減は不可避であろう。そこで、公共事業費を段階的に削減する中期計画を明示したうえで、多少の時間をかけながら、整理を誘導する必要がある。中期的には労働人口の減少により、建設労働者の確保が困難になり、自然淘汰も進むといえるが、それまでの間は、省力化投資の促進、事業転換資金を対象とする低利融資及び職業訓練の充実等を講じるべきであろう。

最後に、教育機関の役割を述べておこう。近年の工学系高等教育機関における「技術者倫理」教育は、幅広い分野や問題を対象とし、入札談合への言及も少なくない。しかし、入札談合の問題は、既述のとおり、技術者個人の倫理では解消し得ない部分も多い。入札談合の複雑な背景及び競争政策の現状等への理解を出発点に、企業倫理の問題を含めた対応が肝要であろう。

¹ 現行規定によるが、内容は制定時から変わっていない。

² 後藤晃、鈴木興太郎編『日本の競争政策』東京大学出版会、1999年は、産業政策との関連を視野に含む。新井弘毅『独占禁止法と経済学』大阪大学出版会、2006年は、大学院修士課程程度の教科書だが、独占禁止法の論理を経済理論で裏付ける良書である。

³ 藤田貞一郎「近代日本中小企業政策史研究の欠陥点」『市場史研究』22号、2002年11月、151頁他。

⁴ 「毒草丸・定価販売カルテル事件」(大審院判決、昭和9年4月17日)。

⁵ 平林英勝『独占禁止法の解釈・施行・歴史』商事法務、2005年、322頁。

⁶ 無論、こうした分析の妥当性は別途検討されるべきである。例えば、三和良一は、戦前の日本経済に対する米国の認識に疑問を呈している。三和良一『日本占領の経済政策史的研究』日本経済評論社、2002年、2頁。しかし、妥当性の有無に関わらず、これらの分析結果と認識が、政策立案の前提になったことは事実である。

⁷ Bruce Cumings, "Japan and the Asian Periphery," in Melvyn P. Leffer and David S. Painter eds., *Origins of the Cold War*, Routledge,

1994, p. 216.

⁸ 次の研究が各主要規定の成立過程までをきわめて詳細に分析している。西村暢史、泉水文雄『原始独占禁止法の制定過程と現行法への示唆』競争政策研究センター、2006 年。

⁹ 五百旗頭真『戦争・占領・講和 1941～1955』中央公論新社、2001 年、336 頁他。

¹⁰ また、経済科学局の初代局長は、繊維産業出身のロバート・クレマー (Robert C. Kramer) であった。米国繊維業界は、戦前日本の集中豪雨的輸出攻勢に対する記憶から、日本経済の復活を懸念した。さらに、イギリスも、アジア市場における日本の復活を恐れた。これら戦前日本への恐怖心も、競争政策の厳格化を促したといえる。Cumings, “Japan and the Asian Periphery,” p. 223.

¹¹ Wyatt Wells, *Antitrust and the Formation of the Postwar World*, Columbia Univ. Press, 2002, p. 177.

¹² 対日占領政策の正式な転換は、1948 年 10 月 9 日に策定された、米国国家安全保障会議文書 NSC13-2 による。

¹³ 集中排除審査委員会「集中排除計画の諸問題に関する勧告」1948 年 8 月 28 日。

¹⁴ Wells, *Antitrust and the Formation of the Postwar World*, pp. 182-184.

¹⁵ 同時期に、「外国為替及び外国貿易管理法」「外資に関する法律」等が制定され、実際には、外資を排除した経済成長路線が選択された。

¹⁶ Wells, *Antitrust and the Formation of the Postwar World*, pp. 174-176.

¹⁸ 「佐世保市塵芥運搬競争入札談合事件」（大審院判決、大正 5 年 6 月 29 日）。

¹⁹ 「長野県小県郡上田町小学校新築請負工事入札談合事件」（大審院判決、大正 8 年 2 月 27 日）。

²⁰ 郷原『独占禁止法の日本的構造』、138 頁。なお、刑法の現行規定（第 96 条の 3 第 2 項）も、「公正な価格を害し又は不正な利益を得る目的で、談合した者」を処罰の対象としており、口語体とされた以外に実質的变化はない。

²¹ 郷原『独占禁止法の日本的構造』140-144 頁は、「談合のシステム化」と指摘する。

²² なお、最後のカルテルは、金属洋食器製造業の出荷数量規制カルテルであった。

²³ なお、中小企業基本法は、1999 年に改正され、産業調整援助政策としての性格を薄めた。

²⁴ 「公共工事の安値受注、公取委が調査 悪質事例に警告も」『朝日新聞』2007 年 1 月 5 日、夕刊、15 面。

²⁵ 内閣府の独占禁止法基本問題懇談会でも、評価は分かれている。同「論点整理」2006 年、7 頁。また、反トラスト法違反については、連邦量刑ガイドラインに基づく減免措置が認められた例はない。

本稿は、科学研究費補助金・基盤研究 (C) の援助を受けた研究の一部である。

(平成 19 年 1 月 9 日 受理)

高専における数学について

—東京と松江の学生アンケート調査を通して—

高見昭康*

A Report on the Mathematics in College of Technology
—The Questionary Survey for Students of Tokyo and Matsue—

Akiyasu TAKAMI

An exchange teacher system among colleges by Institute of National Colleges of Technology comes to be held from 2006 and I am transferred to Tokyo National Colleges of Technology from Matsue National Colleges of Technology and will take a birch as a teacher of a general subject (mathematics). In this paper, I considered a curriculum and a guidance method of mathematics in College of Technology. I carried out questionnaire survey for students of Tokyo and Matsue National Colleges of Technology, considered it.

(Keywords: mathematics education, applied mathematics, achievement levels)

1. はじめに

平成 18 年度から国立高専機構による高専間人事交流制度が行われるようになり、筆者は松江高専から東京高専に転勤し一般教科(数学)の教員として教鞭をとることになった。

本論文では、筆者の目を通して高専における数学のカリキュラムや指導方法について比較検討し、更に東京・松江高専の学生を対象としてアンケート調査を実施し考察を行った。

2. 両高専における授業構成

近年の中学校における新学習指導要領における数学の 3 割削減や以前から言われていた学生の習熟度の格差の拡大に伴い、東京と松江の両校それぞれ数学カリキュラムや指導方法の見直しなどが行われてきていた。例えば、高専 1 年生において、入学前の課題配布、入学後の試験、時間数の拡充が行われ、東京では各クラス同一進度・同一試験を行うために同一時間帯で授業が行われている。また、2 年生の微分・積分学においては早くから習熟度別授業¹⁾²⁾を取り入れ、各学生個人にあった授業が展開されてきた。松江においては、1 から 3 年生の数学および 4 年生の応用数学においても習熟度別授業が行われ、確率・統計を除いたすべ

ての教科で同一進度・同一試験が実施されている。

両校のカリキュラムの違いを見てみると、東京では確率・統計の授業は、専門科目として一部の学科で専門科目教員が講義を行い、松江では 3 年生に対して数学教員で講義を行っている。

東京では、確率・統計の授業は一般科目として実施されていないが、平成 16 年度まで 3 年生において 2 変数の微分・積分学と微分方程式が合計 6 単位分実施されていた。しかし近年のコンピュータ社会における線形代数の重要性を鑑みて 2 単位分カリキュラム変更がなされた。松江においても、これまで選択授業であった 2 年生数学特別演習の授業を線形代数の授業に振り替えて、線形代数の単位数を平成 18 年度から 1 単位増やすことになった。

応用数学においては、東京では専門科目の位置づけとして専門科目の教員自身が講義を行っている学科や科目名を工業数学と変えて専門教員が行っている学科もある。さらに、専任の数学教員は、本科の 1 から 3 年生と専攻科の授業を全て担当し、応用数学の授業は行っていない。一方、松江では、非常勤講師を一部含めて数学教員のみで授業を行っている。従来、応用数学は専門科目として位置づけられていたため、専門教員による授業の実施、低学年における専任教員による教育の充実が松江においてもこれまでに何度か議論されてきた。し

*一般教科(数学)

かし、専門学科での授業構成・時間数の不都合のため、また数学教員によって数学的厳密性や論理性を明確に教えてほしいとの要望もあり、現在でも数学教員による授業が行われている。ただし、専攻科設置および専門科目カリキュラムの変更のため、2年間ほど専門科目教員による応用数学の授業が実施されたことが特別にあった。

このように数学教育においても高専によって類似点・相違点いろいろあることが分かった。両校の学習理念・諸事情により違いが見受けられるのは当然である。そこで実際に授業を受けている学生がどのように感じているのかアンケートを通じて調査してみた。

調査対象は、微分・積分および応用数学（工業数学）の授業を受けている東京および松江の4年生である（表1）。ここでは、これらの授業形態をどのように評価しているかについて、応用数学の前期の授業が終了した後に、図1に示すアンケート調査を実施した。

3. アンケート調査及び結果

次の3つの観点からアンケート調査を実施した。

- [1] 数学全般について
- [2] 応用数学（工業数学）について
- [3] 習熟度別授業について

設問Iの成績に関しては、東京と松江では表2のように基準や呼び方が変わっている。

表1 調査人数

東京	調査人数	松江	調査人数
機械	35	機械	31
電気	30	電気	45
電子	38	電子制御	35
情報	33	情報	33
物質	40	土木	30
総計	176	総計	174

設問VIIIの項目は、東京と松江では質問内容が変わっている。前述したように、東京では習熟度別授業は2年生の微分・積分学のみであるが、松江では1年生から3年生まで全ての数学の授業において習熟度別を行っているためである。

表2 成績

東京	点数	松江	点数
A	80以上	優	80以上
B	70~79	良	60~79
C	60~69	可	50~59
D	60未満	不可	50未満

図1 授業アンケート

数学授業アンケート

この授業アンケートは、数学の授業をより良いものにするために、皆さんの意見を聞くものです。（成績には一切関係ありません）下記の項目に対して、該当する番号に○を付け、その理由などコメントもお願いします。

【数学全般】

I. これまでの数学の成績（1～3年）について教えてください。
 ①ほぼAだった ②ほぼBだった ③ほぼCだった ④ほぼDだった

II. 数学は好きですか。該当する番号に○付けてください。（必ずしもよい点を取らなくても好きなときもあると思います）
 ①とても好き ②まあまあ好き ③どちらでもない ④あまり好きでない ⑤嫌い
 { そのように回答した理由を書いて下さい }

III. これまで自分が受けた数学の授業（1～3年）は満足できましたか。該当する番号に○付けて下さい。
 ①満足できた ②どちらかといえば満足できた ③どちらでもない
 ④どちらかといえば満足できなかった ⑤満足できなかった
 { そのように回答した理由を書いて下さい }

IV. 数学の学習をなぜしなければならないと思いますか。次の中から思うもの全てに○を付けて下さい。
 ①進級したいから ②将来役に立つから ③好きだからやっている ④先生が勉強しろと言っているから
 ⑤志が勉強しろと言っているから ⑥専門科目の勉強に役に立つから ⑦卒業するため
 ⑧しなければならないと思っていない ⑨その他 }

【4年生応用数学について】

V. 学科によっては、専門科目の教員による授業が行われていますが、どのように思いますか。
 ①専門科目の教員による授業が良い ②数学科の教員による授業が良い ③どちらでも良い
 { そのように回答した理由を書いて下さい }

VI. 学科によって教科書や一部内容が異なる授業が行われていますがどのように思いますか。
 ①学科独自のカリキュラムが良い ②どの学科とも同じが良い ③どちらでも良い
 { そのように回答した理由を書いて下さい }

【2年生習熟度別授業について】

VII. 2年生次の「微分積分学」で実施された習熟度別授業は良いと思いませんか。
 ①良いと思う ②まあまあ良いと思う ③どちらとも思わない ④あまり良いと思わない ⑤良いと思わない
 { そのように回答した理由を書いて下さい }

VIII. 他の数学で習熟度別授業を実施した方が良かった授業がありますか。
 ①1年生代数（式の計算など） ②1年生幾何（三角関数など） ③2年生線形代数（図形、ベクトルなど）
 ④3年生解析（2変数微分積分など） ⑤3年生線形代数（行列、行列式など）

【最後に】 授業に関する具体的な改善内容や授業に関する希望・感想・意見などあれば自由に書いて下さい。
 { }

ご協力ありがとうございました

VII. 数学で習熟度別授業を実施しない方が良かった授業がありますか。
 ①1年生数学（講義） ②1年生数学演習（演習） ③2年生微積分 ④2年生線形代数（ベクトル、行列など）
 ⑤3年生微積分（2変数微分積分など） ⑥3年生確率統計 ⑦全て

注）設問VIIIは上段が東京、下段が松江である

表3 数学全般

I. これまでの数学の成績について						I. これまでの数学の成績について					
東京	①ほぼA だった	②ほぼB だった	③ばらば らだった	④ほぼC だった	無回答	松江	①ほぼA だった	②ほぼB だった	③ばらば らだった	④ほぼC だった	無回答
機械	26%	17%	31%	23%	3%	松江	13%	39%	3%	45%	0%
電気	23%	17%	30%	30%	0%	松江	24%	36%	18%	22%	0%
電子	26%	18%	29%	26%	0%	電子制御	40%	31%	6%	23%	0%
情報	24%	27%	30%	18%	0%	情報	39%	33%	21%	6%	0%
物質	15%	23%	45%	15%	3%	土木	37%	30%	10%	23%	0%
総計	23%	20%	34%	22%	1%	総計	30%	34%	12%	24%	0%

II. 数学は好きですか						II. 数学は好きですか							
東京	①とても 好き	②まあま あ好き	③どちら でもない	④あまり 好きでな い	⑤嫌い	無回答	松江	①とても 好き	②まあま あ好き	③どちら でもない	④あまり 好きでな い	⑤嫌い	無回答
機械	20%	26%	29%	11%	14%	0%	松江	3%	26%	26%	19%	26%	0%
電気	10%	47%	20%	13%	10%	0%	松江	4%	40%	27%	20%	9%	0%
電子	11%	45%	18%	18%	8%	0%	電子制御	6%	40%	34%	11%	9%	0%
情報	6%	45%	12%	18%	18%	0%	情報	3%	48%	27%	12%	9%	0%
物質	5%	40%	28%	18%	10%	0%	土木	10%	40%	17%	13%	20%	0%
総計	10%	40%	22%	16%	12%	0%	総計	5%	39%	26%	16%	14%	0%

III. 自分が受けた数学の授業は満足できたか						III. 自分が受けた数学の授業は満足できたか							
東京	①満足で きた	②やや満 足できた	③どちら でもない	④やや満 足できな かった	⑤満足で きなかつ た	無回答	松江	①満足 できた	②やや満 足できた	③どちら でもない	④やや満 足できな かった	⑤満足で きなかつ た	無回答
機械	17%	31%	49%	0%	3%	0%	松江	0%	29%	23%	19%	26%	3%
電気	3%	17%	40%	30%	10%	0%	松江	7%	38%	36%	13%	7%	0%
電子	3%	24%	37%	26%	11%	0%	電子制御	9%	29%	31%	29%	3%	0%
情報	6%	12%	48%	12%	18%	3%	情報	0%	39%	39%	21%	0%	0%
物質	3%	18%	43%	20%	15%	3%	土木	10%	23%	43%	7%	17%	0%
総計	6%	20%	43%	18%	11%	1%	総計	5%	32%	34%	18%	10%	1%

IV. 数学の学習をなぜしなければならいか									IV. 数学の学習をなぜしなければならいか								
東京	①進級	②将来	③好き	④先生	⑤親	⑥専門	⑦卒業	⑧思っ てない	松江	①進級	②将来	③好き	④先生	⑤親	⑥専門	⑦卒業	⑧思っ てない
機械	57%	46%	17%	0%	3%	40%	46%	17%	松江	39%	26%	0%	10%	3%	48%	42%	10%
電気	47%	27%	20%	10%	7%	53%	53%	0%	松江	29%	20%	13%	2%	0%	64%	20%	4%
電子	58%	39%	11%	11%	0%	63%	61%	11%	電子制御	29%	29%	9%	3%	3%	60%	23%	6%
情報	39%	24%	12%	6%	0%	33%	48%	18%	情報	52%	42%	15%	6%	3%	61%	36%	6%
物質	43%	28%	15%	0%	8%	40%	45%	5%	土木	27%	3%	10%	3%	0%	40%	30%	3%
総計	49%	33%	15%	5%	3%	46%	51%	10%	総計	34%	24%	10%	5%	2%	56%	29%	6%

表 4 相関係数

東京	設問 I と II (成績と嗜好)	設問 I と III (成績と満足)	設問 II と III (嗜好と満足)	松江	設問 I と II (成績と嗜好)	設問 I と III (成績と満足)	設問 II と III (嗜好と満足)
機械	0.406	0.167	0.523	機械	0.612	0.666	0.412
電気	0.431	0.234	0.538	電気	0.464	0.480	0.291
電子	0.341	0.165	-0.089	電子制御	0.456	0.522	0.477
情報	0.124	0.203	0.191	情報	0.244	0.507	0.494
物質	0.294	0.105	0.420	土木	0.552	0.470	0.432
総計	0.312	0.166	0.292	総計	0.499	0.541	0.431

3. 1 数学全般について

数学全般についてのアンケート結果を東京と松江あるいは各学科間で比較してみる。

設問 I では、1 から 3 年生までの数学の成績について尋ねたのだが、松江が A や B の割合が多くなっている。両校とも C の割合はほぼ同程度であることが分かる。成績のつけ方、学習レベルの要求度は、高専間によって違いがあり、また入学してきた時点で学力は、特に大きく差があることが公開されていた入学試験の結果からも分かっている（東京が松江より数学の平均点が 10 点以上高い）。両校の数学の授業を実際に行い、学習不良者の多くが授業に対する集中力のなさ、日々の勉強不足が大きな要因となっているような気がしてならない。特徴的な傾向としては、松江での学科間の A および C の割合が大きく異なっている。これは、入学時点の学習能力（入試点数・入学後試験）とその後のクラス全体の学習に対する姿勢などにより顕著にその違いが現れている。

設問 II では、数学が好きと答えたのは理工系の学校であるがゆえに、両校とも 5 割近いものとなった。しかし、難しいから嫌いや中学のときは好きだったが高専に入って嫌いになったなどの理由を述べていた。

設問 III では、学科間の多少の違いはあるものの両校とも似た傾向になっている。

設問 IV では、なぜ数学を勉強しなければならぬかに対して、両校とも専門で必要だからと答えていたのが 5 割程度と高いものになっていた。進級・卒業のためと答えた学生の割合が東京では 5 割と高いものになっていた。これは、カリキュラ

ムおよび進級基準の変更により、東京では 1 単位も落したら進級できないという条件があり、一方松江では、数学も必修科目ではなくなったのと進級条件も以前より緩和されて単位を落としても進級できるようになったためだと考えられる。

表 2 は、設問 I から III までの互いの相関をとったものである。設問 I と II の相関を見ると東京と松江とも情報の相関が低くなっている。アンケート内容を見てみると成績は良かったが数学があまり好きでない解答が多く見られた。両校とも情報は、一番良い成績で入学しているため成績の良い学生は多いはずであるが、数学に対して面白みを感じていない学生も多い。一因としては、他の学科より、高専で習った数学を使う場面が少ないためであるのではないかと考える。また、松江の機械の相関係数が高くなっている。これは成績が悪く数学も嫌いと言った学生が多かったためである。彼らの入学時点の成績はあまり良くない。その後の成績も改善されず、数学が嫌いになり、さらに学習もしないという悪循環となり成績も悪く数学も嫌いという状態になってしまう学生がかなりいたためであると考えている。

設問 I と III との相関では、東京と松江とでは、倍以上の違いとなった。これは、都市部の学生と地方の学生との気質の違いが現れていると思われる。

設問 II と III の相関は、東京の電子がかなり低く負の相関となった。アンケート内容など見て検討してみたが、なぜこのような結果になったかは分からなかった。

表5 応用数学について

V. 応用数学担当教員について				
東京	①専門科目教員が良い	②数学科教員が良い	③どちらでも良い	無回答
機械	6%	26%	54%	14%
電気	3%	40%	47%	10%
電子	18%	29%	53%	0%
情報	6%	55%	36%	3%
物質	10%	15%	50%	25%
総計	9%	32%	48%	11%

V. 応用数学担当教員について

V. 応用数学担当教員について				
松江	①専門科目教員が良い	②数学科教員が良い	③どちらでも良い	無回答
機械	19%	35%	45%	0%
電気	7%	47%	44%	2%
電子制御	11%	54%	31%	3%
情報	9%	61%	30%	0%
土木	13%	43%	43%	0%
総計	11%	48%	39%	1%

VI. 応用数学の授業について

東京	①学科独自の良い	②独自でなく良い	③どちらでも良い	無回答
機械	17%	14%	51%	17%
電気	17%	23%	50%	10%
電子	32%	16%	50%	3%
情報	6%	24%	55%	15%
物質	45%	5%	48%	3%
総計	24%	16%	51%	9%

VI. 応用数学の授業について

松江	①学科独自の良い	②独自でなく良い	③どちらでも良い	無回答
機械	26%	39%	32%	3%
電気	13%	62%	24%	0%
電子制御	17%	60%	20%	3%
情報	15%	48%	36%	0%
土木	30%	47%	23%	0%
総計	20%	52%	27%	1%

3. 2 応用数学について

設問Vでは、応用数学（東京・電子は、工業数学にカリキュラム変更）の担当教員は、専門科目教員と一般科目の数学教員とどちらが良いか尋ねた。「どちらでも良い」と意見がかなりの割合を占めているが、「両校とも数学教員が良い」という意見が多かった。これは、3年生まで数学を教えたのは一般科目の数学教員であり、その延長として数学であると学生たちは捉え、数学教員に教えてもらいたいと思っていると考える。また、松江では数学教員が応用数学を担当しているため割合が多くなったのも当然であると考えられる。ただし、東京の電子は、カリキュラム変更し専門色を強く打ち出して、専門学科の教員が工業数学を教えているためこのような結果になったと考えられる。

設問VIでは、応用数学のカリキュラムは学科独自の良いか学校で統一されているほうが良いか尋ねた。表7は、東京および松江で講義される応用数学（工業数学）の内容である。

予想していた通り、現在学校で統一されたカリキュラム（習熟度別3クラス編成）で行われている松江は「独自でなくて良い」と意見が多く、学科独自の授業が行われている東京は、「どちらでも

良い」という意見が多かった。特に独自の授業が行われている電子では学科独自の良いという意見の割合が多かった。しかし、情報はかなり少ない割合となった。物質については、他学科が4単位であるのに対して、2単位分しか授業が行われていないため学科独自の授業が良いという意見が多くなったと考えられる。

表6 応用数学カリキュラム

	科目名	単位数	内容	担当	
東京	機械	応用数学I	4年通年・必修・2単位	ベクトル解析・複素関数論	数学・非常勤
		応用数学II	4年通年・必修・2単位	ラプラス変換・フーリエ解析	
	電気	応用数学I	4年通年・必修・2単位	ベクトル解析・複素関数論	数学・非常勤
		応用数学II	4年通年・必修・2単位	ラプラス変換・フーリエ解析	
	電子	工業数学I	4年前期・必修・1単位	ベクトル解析	電子・常勤
		工業数学II	4年後期・必修・1単位	複素関数	
		工業数学III	4年前期・必修・1単位	最小二乗法・フーリエ解析	
		工業数学IV	4年後期・必修・1単位	離散フーリエ解析・データ解析	
	情報	応用数学I	4年前期・必修・1単位	フーリエ級数・フーリエ変換	情報・常勤
		応用数学II	4年前期・必修・1単位	物理現象と微分方程式・ラプラス変換	情報・常勤
		応用数学III	4年後期・必修・1単位	ベクトル解析(28時間)・複素関数論(2時間)	情報・非常勤
	物質	応用数学	4年通年・必修・2単位	ベクトル解析・複素関数論	数学・非常勤
松江	応用数学I	4年前期・選択・1単位	ラプラス変換・フーリエ級数	数学	
	応用数学II	4年後期・選択・1単位	ベクトル解析・複素関数論の基礎	常勤・非常勤	
	応用数学III	5年前期・選択・1単位	フーリエ解析・ベクトル解析の応用	数学・常勤	
	応用数学IV	5年後期・選択・1単位	複素関数論	数学・常勤	

表 7 習熟度別授業について

VII. 習熟度別授業は良いか						
東京	①良いと思う	②まあまあ良いと思う	③どちらとも思わない	④あまり良いと思わない	⑤良いと思わない	無回答
機械	14%	31%	31%	3%	6%	14%
電気	20%	13%	40%	13%	10%	3%
電子	34%	21%	24%	11%	5%	5%
情報	24%	27%	27%	12%	6%	3%
物質	28%	25%	28%	8%	10%	3%
総計	24%	24%	30%	9%	7%	6%

VII. 習熟度別授業は良いか						
松江	①良いと思う	②まあまあ良いと思う	③どちらとも思わない	④あまり良いと思わない	⑤良いと思わない	無回答
機械	32%	26%	19%	6%	13%	3%
電気	24%	38%	24%	7%	0%	7%
電子制御	23%	29%	26%	6%	6%	11%
情報	21%	58%	21%	0%	0%	0%
土木	37%	33%	23%	0%	3%	3%
総計	27%	37%	23%	4%	4%	5%

VIII. 習熟度別を実施したほうが良いと思う授業					
東京	①1年代数	②1年幾何	③2年線形代数	④3年解析	⑤3年線形代数
機械	3%	6%	17%	14%	23%
電気	17%	10%	20%	33%	27%
電子	5%	21%	18%	29%	21%
情報	6%	30%	15%	18%	27%
物質	8%	18%	15%	20%	28%
総計	7%	17%	17%	23%	25%

VIII. 習熟度別を実施しないほうが良いと思う授業							
松江	①1年講義	②1年演習	③2年微分	④2年線形	⑤3年微積	⑥確率統計	⑦全て
機械	13%	10%	0%	3%	0%	10%	16%
電気	11%	9%	2%	7%	2%	18%	9%
電子制御	29%	11%	0%	0%	0%	6%	11%
情報	9%	15%	0%	0%	3%	12%	6%
土木	7%	7%	0%	3%	0%	17%	7%
総計	14%	10%	1%	3%	1%	13%	10%

3. 3 習熟度別授業について

2年生次に微分・積分の授業で実施した習熟度別クラス編成は、東京では全体の48%、松江では64%の学生が良いと感じていた。これらの結果は、以前に取られてきたアンケートの結果と同様であり、学生たちがこの授業構成に概ね満足していると考えられる。

設問VIIIは、前述したように東京と松江では質問内容が異なっている。東京では3年解析学と3年線形代数に対して、習熟度別授業を実施したほうが良いと答えた学生の割合が高くなっている。これは、3年解析学が2年微分・積分の延長上の授業であり、また、3年線形代数が以前より単位数も増え、より難しい内容を教授されることになったためだと考えられる。

松江では、1年の講義と演習および3年の確率統計に対して、習熟度別授業を実施しないほうが良いと答えた割合が高くなっている。これはカリキュラム変更にもない、1年生約200名に対して80名・70名・50名の3クラスでの習熟度別の講義授業と40名ずつの5クラスによる習熟度

別の演習授業に分かれて授業を行ったためであると考えられる。成績上位クラスでは80名での講義となりきめ細やかな指導が取りにくくなっていた。講義の時間と演習の時間が別々の授業スタイルに学生たちが馴染めなかった感もぬぐえない。そこで、現在ではその形式を取りやめ、これまで2学年で行ってきたような5クラス講義演習形式での習熟度別授業に切り替えた。確率統計においては、この学生たちの年度から調査発表形式の授業のクラスを1クラス分募集し、残りの4クラスで習熟度別授業を行った。その際、特に統計において教員による教授の違いや試験も一部異なったため成績面において学生たちに不満があったようである。

4. まとめ

数学は、科学を記述する言葉であり高専における専門科目の基礎となる重要な科目の一つである。そのため、数学学習の内容に関して専門科目の側から次のようなことがよく言われる。「難しい数学を教えなくてもよい」、「1・2年生の数学をきつ

ちり教えてほしい」、「高校の検定教科書を使った方が良いのでは」。確かに、基礎的な部分を正確に理解し、専門で難なく使いこなせるようになることが大切ではあるが、実際に今のカリキュラムの時間数、学生たちの学習時間、専門科目との整合性を鑑みたとき、内容を削減し基礎部分を丁寧に教えることは、優秀な学生へのさらなる向上心を削ぎ、また全体の学習レベルも低下させることになる。顕著なら例が、中学校における学習内容の3割削減であろう。高専の数学は、普通高校のように大学受験のため暗記や解法のテクニックを重視することなく、専門で関連する項目を1年生の早い時期から新しい内容をつぎつぎと習うことになる。そのため、記憶として数学の内容が定着しにくい。習ったという事実があり、学年が進み、低学年で扱った内容が必要となりそこでまた記憶が呼び戻され少しずつではあるが定着していくと考えられる。このことは、昨年度松江の1・2年生に対して数学の共通試験を実施し検証された。専門科目においても、その内容の解法を教えるだけでなく、できる限り数学的な発想についても解説することが大切であると思われる。抽象的な説明を繰り返し受けることによって、理解が深まり、新たな発想を得ることにつながるのではないかと提言する。

応用数学においても、高専のさまざまな変革からもたらされた結果から、どの高専でもほぼ同様に教授されてきた内容が変更あるいは削減されてきている。カリキュラム、講義内容について各高専各学科の特徴を出すことは非常に大切なことではあるが、応用数学は工学における基礎的な数学でありこれまでにまとめられてきたフーリエ・ラプラス解析、ベクトル解析、複素解析の基本的な事柄は是非習得すべき内容であると筆者は考える。実際、松江において前述したように専門科目教員が応用数学を教えたときかなり偏った講義内容になったことがあった。また、応用数学も選択授業になったため、フーリエ解析を専門で学習するという理由から選択しなかった学生がいたが、理解できずに数学教員に教え請う事があった。また、アンケート結果の学生の要望から大学編入を意識して共通の内容を教えて欲しいという意見も多数あった。

高専は中学出たての若者たちを5年間の長い年月をかけて技術者として育てて良く機関である。

その若者たちにはあらゆる可能性があり、ただ単に、学習レベルを下げたり、学習内容を削減しない方が良いと考える。例えば数学においては、高専用として何度も改編されてきた数学教科書の基本的内容については、一通り教えておく必要があると考える。そのためにも、それぞれの高専で特色を生かした授業システムや社会背景を意識した授業システムを構築していかなければならない。東京、松江の両校で行われている習熟度別授業、線形代数の授業時数の拡大、東京の一部の学科で行われている専門と数学との相互連携など、今後の展開を見守っていき、更なる発展も期待していきたい。

最後に高専での数学科の果たす役割の1つに、専門教育で必要になる数学的素養を身につけることで専門教育の理解を助けることが挙げられるが、学生たちを社会の成員としてふさわしい存在へと育て上げていくための準備をしている側面もあることを強調したい。

謝辞

この研究報告書をまとめるにあたってご協力を頂いた東京高専の諸先生方および東京高専、松江高専の数学科の先生方に感謝いたします。

参考文献

- (1) 中村 元, 岡本信之, 勝部 豊, 高見昭康, 武藤久憲, 森山茂明, 数学の習熟度別教育の試み, 高専教育, 第18号, 1995, 223-229
- (2) 市川裕子, 習熟度別授業の実施報告と今後の課題 (東京高専第2学年微分積分学授業について), 高専教育, 第25号, 2002, 209-214

(平成19年1月9日 受理)

日英言語文化の差異に関する一考察

関 根 紳太郎*

A Study on the Differences between Japanese and English Language Cultures

Shintaro SEKINE

American linguist and anthropologist, Edward Sapir said, "Again, language does not exist apart from culture, that is, from the socially inherited assemblage of practices and beliefs that determines the texture of our lives." In short both language and culture are closely related, and it could be through the language that the person first understands the culture.

However, this might also cause some misunderstandings among people. Those who develop the misunderstandings do not usually realize the language that people choose to use in their daily lives reflects the thoughts, beliefs, and social values that the people have. Therefore, they just try to assess things or events that occur around them through the surface meaning of the language without knowing how deeply the culture is rooted in the language.

This paper will analyze the cultural aspects that appear in the language and explore the differences between the Japanese and English language cultures.

1. はじめに

これまで我が国は諸外国、とりわけ欧米の知識や文化を取り入れ、日本古来のものと巧みに融合させることで発展してきたと言える。例えば、電気、機械、科学などのものづくりの分野などで顕著である。そして、そうして生まれたモノやその他さまざまな社会事象というものは言葉になって我々が容易に認識できるカタチになってくるのである。しかしながら、モノや社会事象を表す言葉はそれを取り巻く(文化的)環境に大きく左右されるのである。実際、日々造成される新語、新表現の中にも言葉とそれが用いられる文化との間にズレが発生していることが散見される。また、社会情勢の変容などにもない既存の解釈と現在のそれとの間にもズレが見られることがある。

そこで、本論では、そうした言葉とモノや社会事象との間に存在する差異を日本文化を紹介する海外向け英文雑誌の中で取り上げられた表現に焦点をあてながら、英語辞書表記とも比較考察してみたい。

2. 海外向け英文雑誌における表現

本論では、海外向け英文雑誌に見られる日本文化の一端を紹介する中で、任意に抽出した以下の英語表現を考察対象として取り上げる。

■ Inari (稲荷) : considered gods of good harvest and commerce, with foxes as divine messengers.*1

■ shakkei (借景) : borrowed scenery[views] (a venerable technique of garden design that incorporates the surrounding natural beauty into the garden itself).*2

■ torii (鳥居) : a [Shinto] gateway, marking the sacred space where divinities dwell.*3

■ kuzukiri (くずきり) : fiber-rich jellied noodles made from kudzu starch and old-style Japanese sugar.*4

■ komainu (狛犬) : Korean dogs.*5

■ mikoshi (神輿) : portable shrines, god's palanquins.*6

*一般教科 (英語)

- maiko (舞妓) : apprentice geisha.*7
- noren (暖簾) : a noren curtain [soften the sunlight], hung in an open doorway, becomes a partition the wind can pass through.*8
- furin (風鈴) : wind bells, made of glass ring with a distinctively cool tone as the wind blows.*9
- geta (下駄) : wooden clogs*10
- setta (雪駄) : flat, leather-soled sandals*11
- tabi (足袋) : kimono socks*12
- hanao (鼻緒) : the V-shaped thongs that secure a clog or sandal on your foot*13
- kaiseki (懐石 [料理]) : the elegant succession of seasonal delicacies rooted in the tea ceremony*14

2. 1 Inari (稲荷)

Inari (稲荷)とは、「いねなり」、つまり稲が育つことを意味し、また、五穀をつかさどる農業の神を表し、それを祀る神社を一般に稲荷神社と呼ぶ。守り神や神の使者という言い伝えから狐が稲荷と結び付けられることも多い。この点において、“considered gods of good harvest and commerce, with foxes as divine messengers”は日本文化事情を平易に表現したものと考えられる。

2. 2 shakkei (借景)

shakkei (借景)とは、庭外の風景を景観として借り、自然景観を人工物に取り込むことであり、日本の造園技法のひとつである。例えば、京都の円通寺では、比叡山を背景として「借りる」ことで、その人工の庭園に自然の奥行きを生み出している。そもそも英米語圏をはじめとする西洋の庭園は、左右対称な幾何学的なデザインを中心とするものが多く、自然との調和や一体感を主とする日本庭園とは設計概念が根本的に異なる。この点から、“borrowed scenery [views] (a venerable technique of garden design that incorporates the surrounding natural beauty into the garden

itself)”は括弧内にあるような補足説明が必要であろう。

2. 3. torii (鳥居)

torii (鳥居)とは、通例神社の参道などにあり、神域への入口の役割をし、2本の柱の上に笠木をのせて、その下に貫を入れて柱を連結したものを基本形としたものである。この点において、“a [Shinto] gateway, marking the sacred space where divinities dwell”は日本の文化事情に即した明解な表現と言える。

2. 4. komainu (狛犬)

komainu (狛犬)とは、神社仏閣の入口に鎮座して境内を守る犬型の彫像を指す。通例参道左側は口を開き(阿形)、右側は口を閉じている(吽形)。また、一種の魔よけとしても置かれている。元来狛犬は高麗から伝来したと言われており、高麗犬とも書く。この意味において、“Korean dogs”は、狛犬の文化的意味よりも単に歴史的背景に触れた表現と言える。

2. 5. mikoshi (神輿)

mikoshi (神輿)とは、祭礼のときに社から神霊を迎え、氏子地域を渡御(とぎょ=巡幸)する際に神体が鎮座する輿のことであり、「しんよ」とも言う。つまり、神の乗り物である。この点において、“portable shrines (god's palanquins)”は、移動可能な神社という機能性に着目した表現と考えられる。

2. 6. maiko (舞妓)

maiko (舞妓)とは、芸妓になる前の未成年(15歳から20歳程度まで)の女性を指す。舞妓として約5年間修行を積み、その後芸妓になる。京都・大阪では芸子、江戸[東京]では芸者と呼ぶことが多い。この点から、“apprentice geisha”は見習いの芸者という的確な表現と言えよう。

2. 7. noren (暖簾)

noren (暖簾)にはいくつかの用途があり、布

に屋号・商標を染め抜き、店の軒先に吊るす看板用のもの、店と部屋を分ける仕切り用のもの、看板も兼ねた日よけ用のものなどがある。こうした点から、“a noren curtain [soften the sunlight], hung in an open doorway, becomes a partition the wind can pass through”は、英語文化圏の生活事情にも照らした noren から連想される表現になっていると言える。

2. 8. furin(風鈴)

furin(風鈴)は小さい鐘のような形をしており、中に舌(ぜつ)が下がっている金属製・陶器製・ガラス製などの鈴をさす。吊しておくに風が吹かれて快い音を発し、夏の風物詩でもある。この点において、“wind bells, made of glass ring with a distinctively cool tone as the wind blows”は、主な風鈴の特徴については触れているが、季節感は弱い表現と言えるであろう。

3. 英語辞書表記との差異

現在我が国で出版されている主要英語辞書において、本論で取り上げている日本文化事情の英語表記に差異が見られることが分かっている。そこで、前項で触れた文化的背景をふまえ、それらの英語辞書表記における差異について検証してみたい。なお、参照辞書は差異が見られるものを筆者の判断で選択し、表1-1および1-2のようにまとめた。

3. 1. Inari(稲荷)

Inari の表記に関しては、スーパー・アンカー和英辞典(以下、ア和英とする)、プログレッシブ和英辞典(以下、プ和英とする)、ジーニアス和英辞典(以下、ジ和英とする)では“Inari shrine”と稲荷をそのまま英語表記した神社としている。また、ア和英やプ和英のように、必要に応じてそれが農業や穀物に関連するということを補足的に説明している例も見られる。

ルミナス和英辞典(以下、ル和英とする)の“the god of cereal(s)[grain(s)]”やアドバンスド・フェイバリット和英辞典(以下、フェ和英とする)の“a shrine for the deity of grain”のように(五穀をつかさどる)穀物の神という一面を強調しているようなものもある。

3. 2. shakkei(借景)

shakkei の表記は各辞書にそれぞれ解説が加えられている(アおよびジ和英はなし)、“natural scenery”(ル和英)、“borrowed natural scenery”(フェ和英)、“surrounding scenery”(プ和英)のように“scenery”が共通項となっている。しかしながら、前項でも触れたように、庭園の設計概念が異なる日本と英語文化圏では、shakkei を borrowed (natural) scenery のように単に1語で表記しただけでは本来の意味が伝わり難いように感じられる。その意味において、各辞書とも補足的な説明をしているのであろう。

3. 3. torii(鳥居)

torii の表記は基本的に“gateway (at the entrance) to a Shinto shrine”(プ和英、ジ和英、ル和英、フェ和英)で良いであろう。“a large gate that stands at the start of the front approach to a Shinto shrine”(ア和英)もあるが、基本的なニュアンスにズレはないように思われる。前項で取り上げた英文雑誌の表現と比較すると、torii が神域への gateway という点において、若干ニュアンスが弱いように感じられる。

3. 4. komainu(狛犬)

komainu の表記では、“guardian dogs”(プ和英、ジ和英、ル和英)とあるように“guardian”が共通項であり、日本文化事情から見ると魔よけとしての意味合いが強いように思われる。その意味において、前項にある“Korean dogs”が単に歴史的背景を表している点との間に言語文化的なズレがあるようだ。なお、“a pair of

statues of lion-like animals before a Shinto shrine” (フェ和英) のように客観的な像として捉えているものもある。

3. 5. mikoshi (神輿)

mikoshi は前項にある表現と同様に、いずれも“portable (Shinto) shrine” (プ和英、ジ和英、ル和英、フェ和英、ア和英) となっている。しかしながら、輿が台のついた乗り物という意味であることを考えると、移動もしくは持ち運び可能な神社、つまり建造物を表す“portable shrine”で適切であるかについては疑問の余地が残る。つまり、日本文化的に捉えると、神輿とは神が鎮座する乗り物であり、“portable shrine”に見られる建造物というニュアンスとはズレがあるように感じられる。

3. 6. maiko (舞妓)

maiko を“apprentice geisha” (ル和英、ジ和英、ア和英) や“geisha in training” (フェ和英) のように見習い中の芸者[芸子]として捉えているものが基本となっているようだ。また、“(young) dancing girl” (プ和英、ア和英) のように若い踊り子として表現しているものもある。geisha が英語化していることを考慮すると、前項にある見習い中の芸者で十分に maiko のニュアンスは伝えられると言える。

3. 7. noren (暖簾)

noren の表記は、“shop curtain” (ル和英、ジ和英、プ和英) や補足説明が付いた“a split half-curtain hung over the entrance of a shop” (ア和英) のように、店のカーテンとしている。また、“the credit [good name] of the store”、“lose credit”、“close the store” (いずれもフェ和英) のように暖簾の日本文化事情を反映する具体的な表現を取り上げているものもある。しかしながら、英語文化圏では窓や(演劇などの)舞台を連想させることの多い curtain を店の屋号などを表す垂れ幕や部屋との仕切りな

どに使う暖簾に対して用いることが適切かどうかについては検討する必要があるように思われる。

3. 8. furin (風鈴)

furin の表記は、前項にある表現と同様に、“wind bell” (プ和英、ジ和英、ル和英、フェ和英) が基本的なようだ。ただ、“hanging bell that tinkles in the wind” (ア和英) のように補足説明を加えた表現もある。確かに英語文化圏では bell に対して教会のような大きなものから食事の際の比較的小さなものまで想起させることを考えると、吊るされる(サイズの)ものということを明記することは適切であろう。しかしながら、今回の取り上げた参照辞書においては、furin が醸し出す冷涼感に触れる表現はいずれにも見られない。

4. 言語と文化の不可分性

これまで取り上げた表現に見られる英語文化キーワードと日本語文化的解釈[(意味の)陰影]を比較対照させながら、それらに生じる差異の要因の一端を言語と文化の不可分性という観点から考察してみたい。また、そうした差異に投影される英語文化キーワードの関連語も抽出したい。なお、英語文化キーワードおよびその関連語と日本語文化的解釈に関するものを表2にまとめた。

4. 1. Inari (稲荷)

英語文化キーワードでは、Inari に対して、“commerce”や“business”だけでなく、“fox”や“divine messenger(s)”という捉え方があるということが分かる。これは「商売の神(様)」や「(稲荷明神の)使いの狐」という日本語文化を反映する表現になっていると言えよう。しかしながら、英語文化キーワードの関連語をみると、“trading”や“exchange”とあり、1つの

“enterprise”であるという点に分かる。狩猟文化の伝統を持つ英語文化圏では、売買を通じて大陸での商業活動が発展してきたが、稲作文化の伝統が根付く島国の日本では、稲などの豊作は太陽や降雨などの自然の恵みに頼るものであった。確かに現代の稲荷信仰は英語の“commerce”や“business”に近い「商売」繁盛を祈願するものであるが、日本人の生活の糧としての五穀を司る稲荷に対する受動的な元来の信仰に基づく「商売」と商業活動を主とする能動的な英語文化圏の“commerce”や“business”とは必ずしも同じような性格を有するものではないということは留意しておきたい。

4. 2. shakkei (借景)

英語文化キーワードにおいて、shakkei には“technique”や“incorporate”があることが分かる。これは shakkei を周囲の自然環境を取り込む造園の設計技術として捉えているということである。関連語を見ると、“practical method”や“art applied to some particular task”とあり、庭園に自然美を取り込むという実用的な方法という点と合致する。また、“integrate”や“combine”などからも人工的な庭園造りと自然美との融合を表していると言えよう。しかしながら、shakkei それ自体は背景などに自然美を取り込んでいる「景色」であり、technique ではない。それゆえ、あくまでもそうした“method”や“art”を用いているということを明確にしておきたい。

4. 3. torii (鳥居)

英語文化キーワードでは、torii には“marking the sacred space”がある。これは torii が単に gateway というだけではなく、関連語にもあるような神仏の宿る神聖な場所への“tag [label]”であり、周囲にそれを“tell [inform]”しているということがうかがえる。その意味で、辞書表記においてもこうした torii のも

つ日本文化的意味の深層を明記する必要がある。さらに、日本語では「鳥居をくぐる」というが、それは神が鎮座する聖域の中に入ることであり、家屋でいうところの玄関にあたるのである。これがキリスト教を中心とする英語文化圏であれば、「天にまします我らの父よ…」で始まる聖書の一節にあるように、神は天空に存在すると考えられているので、神域に入るのに「くぐる」ということは言語文化的な差異を生じさせることであろう。その他、生命や災厄をふりはらう霊力を示すということから、たいていの鳥居が朱色であるという点にも触れておきたい。こうした点も配慮した説明等が必要であろう。

4. 4. komainu (狛犬)

komainu は、英語文化キーワードにおいて、単に“Korean”、つまり高麗(朝鮮半島地域)という“country”から伝来してきたという歴史的事情が反映されているようだ。上述したように、komainu には神社仏閣を守る一對の魔よけ(の獣像)であるという本質的な日本文化事情を補足する必要がある。この意味において、前項で触れた“guardian”という概念が適当と思われる。さらに、古くはエジプトの古代文明から王の権威やその権威を守る護符として獅子が用いられていたこと(スフィンクスの獅身)や、それがインドや中国を経て唐獅子となり、仏教とともに日本に伝来してきたという説と照らし合わせると、“dog”と断定するのではなく、“lion-like”等にもすることも考えられる。

4. 5. mikoshi (神輿)

英語文化キーワードおよび関連語では、mikoshi が“portable”であり、“easily transported”な建造物である“shrine”だという。日本文化事情に精通していない英語文化圏の人々であれば移動可能な礼拝施設を想起することは容易ではないであろう。むしろ、片

手でも持ち運びできるポータブル音楽プレーヤーやポータブル暖房機、良くても厨子のようなものを連想するであろう。一般に mikoshi が神体[御霊代]が鎮座する輿[乗り物]ということを考えて、単に“portable shrine”とするだけではなく、“shrine-like”のような表現を用い、神体が mikoshi に祀られるという補足説明が必要であると思われる。

4. 6. maiko (舞妓)

英語文化キーワードでは、maiko は“apprentice”であり、関連語を見ると“in training”や“inexperienced”とある。つまり、訓練中や(経験の浅い)見習いという含みがある。また、酒宴の席で舞を披露する少女ということからも“young dancing girl”などとも言えるであろう。しかしながら、最近ではhip-hopなどの激しいダンス(ミュージック)が流行しているので、“traditional”で“formal”なダンスである舞を披露するというニュアンスの表現も加味したいところだ。

4. 7. noren (暖簾)

noren には、英語文化キーワードとして、“curtain”、“partition”、“cool tone”、“wind”などが挙げられる。また、“curtain”の関連語には、“blind”、“screen”、“protection”などがある。上掲したように、noren が店の屋号を表す垂れ幕や部屋のちょっとした仕切り程度に用いるという日本文化事情を考えると、窓用のカーテンから舞台などの重厚感あふれる大型のものまで想起させる“curtain”には言語文化的な差異があるように思われる。実際、“draw a curtain”のようにカーテンは「引く」ものである。また、“rise [fall, drop] a curtain”のように幕は「上がる[降りる]」ものである。軽く手で分ける noren とは異質なものである。この点から、単に“noren curtain”とするだけではなく、“door curtain”や“partition curtain”といった

“curtain”の役割も明示するような表現が好ましいであろう。また、英語文化圏の“curtain”と比較すると小さく、また布が縦に複数枚に分かれていることから“short split”などの説明があると良い。さらに、noren には“credit”、つまり店の信用が含まれているということも触れておきたい。

4. 8. furin (風鈴)

英語文化キーワードでは、furin には“cool tone”があり、関連語として“temperature”や“sound property”が挙げられる。上掲したように furin には人為的ではない自然の風により奏でる音とそれが醸し出す冷涼感が肝要である。この点において、単に“wind bell”とするのではなく、“wind blow”や“cool tone”といった表現を加えることで furin の日本文化的事情を映し出すことができよう。

5. おわりに

日本文化事情の発信という観点からすれば、日本語文化に関する解説的表現を用いるのが望ましい。本稿で取り上げた中でも、英語文化圏の人々の直感や発想に近い語を代用した表現である komainu の“Korean dog”および mikoshi の“portable shrine”は日本の文化事情を十分に反映したものとは言えないであろう。辞書表記においてもスペースの関係等で同様の訳出が見られるが、上述したような補足説明を加える努力が必要に感じる。

このように、日本語文化圏と英語文化圏といった言語文化が異なる人々に対して自国の文化的事象を言語を介して伝達や表現するには、その際に顕在化される言語文化的な差異や意味の陰影を認識することが重要であると言える。実際、八百万の神々が宿る多神教の日本と一神教の英語文化圏では、根本的な宗教観やそれにともなう価値観が異なる。

特に自然崇拝を土壌とし、水や火、岩や風までもが神格化する日本語文化圏と、唯一絶対神である God の下に万物が創造されていると考える英語文化圏とでは、言語文化的差異が生じるのも当然のことと考えられる。それゆえ、そのような異質性に対して積極的に理解を示すことが望まれる。

こうした言語文化、特に日本語文化と英語文化にある異質性を検証し、英語辞書に内在する諸問題を顕在化させることを今後の課題としたい。

注

*1 KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p158.

*2 KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p160.

*3 KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p157.

*4 KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p173.

*5 KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p52.

*6 KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p99

KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p68.

KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p84.

*7 KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)p155.

*8 KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p34.

*9 KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p35.

*10 KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p77.

*11 KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p77.

*12 KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p77.

*13 KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p77.

*14 KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)p162.

参考英文雑誌

KATEIGAHO International edition(2004 年夏季号[創刊第 4 号], 世界文化社)

KATEIGAHO International edition(2004 年秋季号[創刊 1 周年号], 世界文化社)

参照辞書

ルミナス和英辞典初版(2001 年, 研究社)

ジーニアス和英辞典第 2 版(2003 年, 大修館)

アドバンスド・フェイバリット和英辞典初版(2004 年, 東京書籍)

プログレッシブ和英辞典第 3 版(2002 年, 小学館)

スーパー・アンカー和英辞典第 2 版(2004 年, 学習研究社)

Macmillan English Dictionary 初版(2002 年, マクミラン社)

Oxford Advanced Learner's Dictionary 第 7 版(2005 年, オックスフォード社)

WordNet 2.0(プリンストン大学認知科学研究所)

表1-1

***	Inari	shakkei	torii	komainu
KATEIGAHO	considered gods of good harvest and commerce, with foxes as divine messengers.	borrowed scenery[views], a venerable technique of garden design that incorporates the surrounding natural beauty into the garden itself.	a [Shinto] gateway, marking the sacred space where divinities dwell.	Korean dogs
ルミナス和英	the god of cereal(s)[grain(s)]	natural scenery used as the background in (the) landscaping (of a garden)	gateway at the entrance to a Shinto shrine	(a pair of) stone statues of guardian dogs (at the gate of a Shinto shrine)
ジーニアス和英	Inari shrine	N/A	gateway at the entrance to a Shinto shrine	(a pair of) stone guardian dogs
ア・フェイバリット和英	a shrine for the deity of grain	borrowed natural scenery used as a background in garden landscaping	a gateway to a Shinto shrine	a pair of statues of lion-like animals before a Shinto shrine
プログレッシブ和英	an Inari shrine; a shrine where the god of the harvest is worshiped	making use of the surrounding landscape in the design of a garden, surrounding scenery	a gateway to a Shinto shrine	a pair of stone guardian dogs (at a gate of a Shinto shrine)
スーパー・アンカー和英	an inari shrine, an inari is a shrine that is dedicated to a harvest god who is also believed to give success in business.	N/A	a torii is a large gate that stands at the start of the front approach to a Shinto shrine.	N/A

表1-2

***	mikoshi	maiko	noren	furin
KATEIGAHO	portable shrines, god's palanquins	apprentice geisha	a noren curtain [soften the sunlight], hung in an open doorway, becomes a partition the wind can pass through	wind bells, made of glass ring with a distinctively cool tone as the wind blows.
ルミナス和英	Japanese portable shrine [sacred palanquin] paraded through the streets as a Shinto festival artifact [implement / day]	apprentice geisha (in the Kansai area)	shop curtain (at the entrance with the shop's logo printed on it)	Japanese wind [hanging] bell

ジーニアス和英	(sacred) portable shrine	apprentice geisha	shop curtain *「日本と同様のものは英米にはない」という注あり	wind bell
ア・フェイバリット和英	a portable [Shinto] shrine	a geisha in training	the credit [good name] of the store (のれんにかかわる), lose credit (のれんに傷がつく), close the store (のれんを下ろす)	wind bell
プログレッシブ和英	a portable shrine	a (young) Japanese dancing girl (of Kyoto)	a (split) shop curtain (which is hung outside the entrance and has the shop's name on it)	a wind-bell
スーパー・アンカー和英	a portable Shinto shrine (that holds a sacred object of worship)	a dancing girl, a young apprentice geisha	a split half-curtain hung over the entrance of a shop, ect	a hanging bell that tinkles in the wind

表2

***	英語文化キーワード	関連語	**	日本語文化的解釈[陰影]
■Inari (稲荷)	commerce/(business) fox/divine messengers	commerce>>>trading/dealings/exchange	⇔	商売(の神様) (稲荷明神の)使いとしての狐
■shakkei (借景)	technique/incorporates/(used as)	technique>>>practical method/art applied to some particular task incorporate>>>integrate/comound/combine/mix/unify	⇔	(周囲の風景[環境]を)(庭園の一部として)取り入れること[方法, 手段, 技術]
■torii (鳥居)	marking the sacred space/(start of the front approach)	mark>>>attach a tag[label]/indicate/tell/inform	⇔	(神聖な場所としての)神社への入り口(を明示するもの)
■komainu (狛犬)	Koean dogs	Koean>>>country	⇔	高麗(こま)犬(獅子に似た獣)魔よけ
■mikoshi (神輿)	portable shrines	portable>>>easily transported/movable	⇔	神体(御霊代)が乗るとされるこし移動可能な神社
■maiko (舞妓)	apprentice geisha	apprentice>>>in training/inexperienced	⇔	見習い[修行中の]芸者
■noren (暖簾)	curtain/partition/wind can pass through	curtain>>>blind/screen/protection/covering	⇔	(日よけとしての)カーテン[覆い], ブラインド, スクリーン, 分割, 風通し
■furin (風鈴)	wind bells/cool tone/wind blows(tinkles in the wind)	cool>>>temperature/environment	⇔	(風による)ベル, 鈴, 涼しげな音色

* * *	英語文化キーワード	関連語	* *	日本語文化的解釈[陰影]
		tone>>>sound property/spirit/feeling/atosp here		

(平成19年 1月 9日 受理)

責任ある内部告発とは何か

—技術者倫理教育のために—

川 北 晃 司*

What Is the Responsible Whistleblowing?
—For the Teaching of Engineering Ethics—

Koji KAWAKITA

The obvious way to remove the need for whistleblowing is for management to allow greater freedom and openness of communication within the organization. The crucial factor is the creation of an atmosphere of positive affirmation of engineers' efforts to assert and defend their professional judgments in matters involving ethical considerations. Yet there will always remain a set of norms concerning the responsible whistleblowing by individual engineers. So my view is that the teaching of engineering ethics should contain such rules and steps as C. K. Gunsalus (associate provost of univ. of Illinois) suggests, as well as the precautionary principle.

(Keywords: whistleblowing, bad news, the precautionary principle)

はじめに

「内部告発」は教育上とくに扱いの難しい主題に感じられる。しかし技術者倫理教科書の多くがその主題のために、一章や一節を割いているのはなぜか。「内部告発」は、プロの技術者にとっては公衆の健康、安全、福利の方が、自分の雇用者や、キャリアや、安楽な暮らしよりも大事、ということを立て証する一つの方法である。プロの技術者はその高い専門能力のおかげで、「内部告発」の主体にも客体にもなりうる機会が多い、という事情もあるだろう。

そこで本稿の目的は、技術者倫理教育上、否応なく課されることになるだろう主題のひとつである、「責任ある内部告発」とは何か（何であるべきか）について考察することにある。⁽¹⁾

I. 内部告発の逆説性

内部の人間が、組織内部に存在する違法、不正、倫理に反する行為に関する情報を、監督官庁や報道機関などの外部に明らかにすること、つまり「内部者による外部に対する告発」を「内部告発」と呼ぶ。しかし内部者からすれば、「内部告発」は「外部告発」ないし「外部通報」と言い換えることも

できるだろう。そしてそれに対をなす形で、「内部通報」という用語も実際ある。ここで「内部通報」とは、内部の人間が、組織内部に存在する違法、不正、倫理に反する行為に関する情報を、組織自身が設けた通報窓口や担当役員、管理職などに通報することをいう。この「内部通報」とさきの「内部告発」は紛らわしい。

内部告発者と内部通報者をまとめて、英語で「ホイッスル・ブローアー」（警笛を吹く人）と呼ぶこともある。⁽²⁾ 不正を放置したまま組織が危険な方向に傾くことに対して、警告を発してくれる人という意味になる。警察官やサッカーの審判が笛を吹くのと同じように、大きな音を立てて、法律や規則の違反に注目を集める、というのが語源で、1960年代後半、あるいは70年代初期に、英語圏で使われ始めた。⁽³⁾

しかし「ホイッスル・ブローアー」や「内部告発者」は善意のこともあれば、それほど善意ではないこともある。情報が正確なことも不正確なこともある。通報の中には、単に組織への不満だとしか見なせないようなものも多く、米国で審査当局が実施している予備審査は「金鉱を見つけるた

*一般教科（人文社会）

めに砂を除くような作業」であるという。(4)

また、日本での内部告発事例に詳しい研究者によれば、多くの有名無名事例を詳細に調べたが、社会性の高い適切な内部通報でも「動機に怨恨的要素が皆無であった事例はほとんどなかった」との報告がある。(5)

にわかには信じがたいような話ではあるが、動機はともかくも通報を受取る側としては、そこから公益に資する部分の抽出に努めるのが筋であろう。告発者は大変エモーショナルであるというのはその通りかもしれないが、そのことと申し立ての正確さ、誠実さとは直接には何のつながりもない。実際のところ、「内部告発者の動機および人格的安定性は、その告発に十分な裏付けがあるかどうかとはなんら直接的関係をもたないと見てよい」からである。(6)

イリノイ大学の著名な工学倫理学者マイケル・デイヴィスは、内部告発者のまた別な動機を示唆している。米国での過去の内部告発例を調べ終えた結果として彼は言う。内部告発者が、よきサマリヤ人のような単なる第三者であるケースはほとんどない。彼らは概ね、彼らが暴いてみせる活動に深く巻き込まれている。だからこう考えてはどうだろうか。大方の内部告発が正当化可能なのは、それが公衆への危害(harm)を予防可能だからというよりも、このままでは悪事に連座(complicity)させられてしまうので、それだけは避けねばという義務感の遂行だからであると。(7)

スペースシャトル・チャレンジャー号事故で有名になった技術者、ロジャー・ボイジョリーの事例を考えてみよう。ボイジョリーが O リングをめぐる議論の経緯を内部告発(外部通報)したのは、チャレンジャーの事故後であった。危害はすでに発生済みであり、それに基づき今後の同様の事故対策はすでに考慮済みと思われた。しかし彼は、会社側の記録が改ざん(falsification)されて、自分が共犯扱いされる事態を深く憂慮したのであった。ボイジョリーからこうした証言を引き出したのはデイヴィスの功績であろう。

英国では、ホイッスル・ブローアーへの法的助言、警笛鳴らしに関する宣伝と啓蒙を専門に手がける非営利組織である PCaW(職場での公的懸念 Public Concern at Work)が 1993 年に発足した。しかし「ホイッスル・ブローイング」は当時、ま

だ否定的な意味合いに取られることが多かった。ホイッスル・ブローアーという言葉は、メディアに情報を漏らして重い罰を受ける公務員を表現するのによく使われていたからである(8)

それでは、もし動機が純粋に道徳的で、かつ合法的な内部告発であれば、倫理的、社会的に問題なく歓迎してよいだろうか。2000 年 6 月に日本の有名自動車メーカーの欠陥隠しを暴いた匿名社員は、欠陥自動車殺人凶器になることを考えれば、社会に多大の貢献をしたといえる。しかし、その自動車メーカーは 100 万台以上をリコールし、1000 億円単位の費用を要し、大勢の経営陣が逮捕され、グループ全体の信用も失墜した。それだけならまだしも、ある食品会社のように、内部告発によって組織が解散すれば、社会全体に対する影響は大きい。組織的不正に関与していない従業員の解雇による失業者の増加、地域経済への影響もある。違法行為を行い、それを放置、隠蔽する組織をそのまま存続させることは、社会にとっての不利益の放置である。しかし同時に、不正に関係のない従業員が仕事や働く場を失うのも、社会にとっての大きな損失である。公益のための内部告発が、他方で公益を大きく損なうこともありうるのは、想像に難くない。

これを帰結主義的に考えれば、公益上の利害得失の長期的(あるいは超長期的)予想次第で、個別に内部告発の是非が決まるだろう。片や非帰結主義的に考えれば、深刻な不正に蓋をすることは、その利害得失の結果予想にかかわらず、許さない義務があるだろう。いや、それ以外の大事な義務も考えられるから、話は簡単ではない。いずれにせよ、苦渋の決断になるのは確かと思われる。

もうひとつ確かなこととして、社会と組織は概念的に対立関係にあるというよりも、組織も社会の重要な一員である。東洋英和女学院大学の岡本浩一らも言うように、望ましいのは、社会にとって価値のある組織が利益を得て維持されること、それによって、社会も利益を受けることである。そのためには組織が健全であることが必要である。よって、社会は、組織をサポートするとともに、厳しく監督し、批判する必要がある。(9)

個人もまた、所属組織をサポートするとともに、批判する機会が与えられるべきである、という前提があればこそ、内部告発の正当化が可能なの

であるが、ここでも、犯罪行為等を内部告発することの利益と、他人のプライバシーなど秘密保護の利益とを比較・衡量することが必要となる。

そもそも他人の秘密を、しかも匿名で暴くのは「密告」と呼ばれ、ふつう卑怯なふるまいと見なされる。市民がお互いに密告しあうよう促された諸国民の悲劇は、すでに知られているところである。では「密告者」(informer)と「内部告発者」(whistleblower)とはどちらがうのか。朝日新聞社会部記者である奥山俊宏の著書によれば、合衆国特別顧問局(OSC)という政府組織に属する、キャプランなる人物が説明するには、「密告者」はお上(official)と私益のために行動する。一方、「内部告発者」は自分の個人的利益をしばしば犠牲にして、公衆の利益のために働き、独裁や権威と闘う。自由のない国では、密告者がはびこり、内部告発者が弾圧される。自由な国では、内部告発者は称賛され、ヒーローとみなされる。⁽¹⁰⁾

ただしこの鮮やかな分類は、たぶん意図的に単純化されたものである。「内部告発者」は、「権威」や「お上」と闘いたいのではなく、本当に公益のためになるならむしろ連携すべきだと考えているだけかもしれない。またとりわけ、「自由な国では内部告発者は称賛される」というのは、「自由でない国に比べれば」という大きな限定がつく。

外部の者にとっても、単純に内部告発一般を称賛してすむ問題ではない。というのもひとつには、一般的に、従業員には「誠実義務」すなわち、従業員は与えられた業務について誠実を尽くさなければならないという法的義務が課せられているからである。従業員は雇われている組織に利する行為をする義務があり、それに反する行いが「誠実義務違反」である。内部告発は、組織の行っている行為を断罪するのが普通であるから、少なからず組織の利益に影響を与える。すると、その告発を行った従業員は、組織の利益を損なった場合、誠実義務を違反したことになる。ただし、規定や規範は、公益がより優先する。そして不正を告発するために、やむを得ず何らかの規制や規範に違反したときには、「違法性の阻却事由」を訴えることができる。しかし「違法性の阻却事由」の立証責任は告発側にあり、その立証は容易ではないとされる。⁽¹¹⁾

また、不正確な内部告発はとりわけ有害たりう

る。したがって裁判所も、明らかに虚偽である内部告発については、告発者の処分を認める傾向がある。たとえば、中国電力事件判決(広島高裁判決H元年から最高裁判決H4年)では、電力会社の従業員が原発建設を阻止する目的で原発批判のビラを周辺住民に配布した事案につき、「社員も原発に反対しています」「社員は地元の魚は食べません」等の記載がある当該ビラに関して「主要な部分について虚偽の記載がある」などとされ、懲戒解雇が有効と判断された。もっとも、内部告発においては過激な表現が用いられ、告発者の主観的な評価が混ぜられたりする傾向があることから、裁判例では、このような内部告発のもつ性格をも踏まえたうえで、どこまでの表現を保護するのか検討がなされているようである。⁽¹²⁾

以上では、内部告発の逆説的性質を指摘した。ここで「逆説」とは、「意外だが十分にあり得る事実」程度の意味である。⁽¹³⁾ すなわち、私情を交えぬ告発は皆無に近い。たとえ概ね善意で公益のための内部告発でも、公益を大きく損なうことがありうる。告発は同時に告白(自白)につながる場合が多い。そして、告発者は告発されやすい。外部通報者は組織に少なくとも短期的損害、最悪の場合は致命的損害を与え、また本来は組織のために活用すべき時間や組織の資源を反組織活動のために用いたり、捏造に近い誇張表現を用いたりして、自分自身ルール違反を犯してしまう例もある。⁽¹⁴⁾

内部告発に関する著者である太田さとしも警告する。内部告発を行う者には、一分の隙もあってはならない。自身も別の不正行為をしていたり、みぎれいではあっても違法な手段で情報を集めるなど告発の際に落ち度があったりすると、報復の機会を対象者に与えてしまうのはもちろん、告発の信頼性も疑われることになる、と。⁽¹⁵⁾ ただし、「一分の隙もあってはならない」という表現には語弊があるだろう。必要な内部告発を促すよりも、抑制する効果の方がまさりかねないからである。

また、ボイジョリーによれば、深刻な報復を受けないための一番の防衛策は、力と権威を有する人々から、組織の生産的アウトプットの主要な貢献者として認識されることである。⁽¹⁶⁾ これもまた、「組織の生産的アウトプットの主要な貢献者」になれる可能性に疑問をもつ多数者にとっては、

たとえ真実でも厳しい言葉に感じられよう。片や岡本による以下のような促しは、比較的素直に受け入れられやすいかもしれない。すなわち、「人の支持をも最終的に受け得るためには、あなた自身がある程度フェアな人間であり、かつそれが周囲に理解されていなくてはならない。その周囲の理解は、[……]日頃の積み重ねによってのみ形成されるのである」。(17)

II. いかに警笛を鳴らさないか

内部告発者を保護するための法律整備が各国で進んでいる。しかし法律では、告発者が周囲から受ける大きなストレスや精神的傷までは防ぎ難いとのことである。(18) したがって、内部告発しないうすませられるなら、多くの者にとりそれが一番好ましいだろう。そのためには何が必要だろうか。1989年の『ビジネスと専門職の倫理ジャーナル』誌に掲載された、デイヴィスの論文「警笛鳴らしの悲劇を避ける」を参考にして、考えてみよう。(19)

内部告発の必要に迫られる事態を避ける一番単純な方法はなにか。内部告発（外部通報）が必要になりそうにない組織を選んで所属することである。そのような組織は、悪い知らせ(bad news)の扱い方に特徴がある。職場倫理ヘルプライン（相談窓口）のような制度や、法令遵守の教育プログラムなどが論外の雰囲気であったり、トップの姿勢が無責任であったりする組織は、悪い知らせに蓋をして済ませようとする組織である疑いが濃い。

日本のある実務経験者による観察では、鍵は、企業と従業員との間の信頼関係を回復または維持することにある。企業のコンプライアンス（法律遵守）に対する姿勢に疑問があるから、従業員は外部に告発するともいえる。とすれば、企業がこの姿勢をしっかり示し実践したならば、不要な内部告発のリスクは大きく低下することになる。実務感覚からすると、日本の企業の従業員はトップの姿勢をよく観察している。そして、簡単に盲信する傾向もある。わずかにでもトップがコンプライアンス重視の方向をみせれば、ほとんどの従業員の意識は変わる。少なくとも、会社が変わったことを感じとる。問題はリーダーが真に意識変革できるかにある。仮に虚像であるならば、裏切られたと感じる従業員は外部通報へ走ることになる。その意味で、内部告発は従業員の問題ではなく経

営者側の問題でもある。以上のような指摘がなされている。(20)

制度やプログラムが完備していると紙に書かれていることではなくて、それらが実際に活用されていることが重要である。その情報開示に応じてくれるような所を選ぶ。内部通報制度はあっても利用されていないとすれば、それは組織が完璧だからではなく、その制度が、無駄か、悪くすると報復の糸口としてしか、従業員に見なされていないからと考えられるとデイヴィスは言う。

「幸せな一家」“one happy family”として描かれるような組織が一番あぶない、と彼が言うのも、そのことに関係している。よき時代のみを回想する組織は、悪しき時代がなかったのではなく、悪い知らせには用のない組織である。そしてまさにそのような種類の組織が、内部告発を最も要しやすいという。

正しい組織を選べたとして、未来の内部告発（外部通報）の必要性をさらに減少させるために、個人として試行可能なことは何かあるだろうか。それは確かにある。しかしそれはもはや政治的のといってよい行為になる、とデイヴィスは言う。たとえば、内部での自浄作用が期待される公式の経路を無視せず、それをむしろ補強するために、個人的に非公式のチャンネルを築き上げる。上司に影響力ある上層部との人脈形成もそのひとつであるし、同僚および部下との連携は、何より大切である。単独で上役に対立してもうまくはいかぬ。しかし数を頼めばよいというものでもない。一個人が外部通報を真剣に考えねばならないような道徳的懸念に対して、問題意識を共有できる成員からなる集団でなければならない。そして潜在的同盟者の道徳的感性を啓蒙する努力も大切になる。方法はたくさんあるが、新聞利用が便利である。自分たちが直面しうるような問題を取り上げた新聞を昼食時に回覧して、「われわれなら何ができるでしょうか」と聞いてみる。もし潜在的同盟者たちが同じ専門職仲間なら、職場で浮上する倫理問題に関する議論を地区大会テーマにするよう、学協会支部に働きかけてくれるかもしれない。

その他、ひとりでもできることも多い。内部告発は、それに至るまで、悪い知らせ(bad news)の利用に組織が失敗してきたことを意味している。しかし見方を変えればそれは、組織に悪い知らせを

聞く耳を持たせて、傷を浅くさせるのに告発者が失敗してきたことをも意味している。したがって、なるべく外部通報は避けたいと希望するのならば、悪い知らせを、それが一番受け入れられやすいかたちで、内部にプレゼンテーションする能力を磨く必要がある。まず、テクニカルな細部と根拠となるエヴィデンスを十分明確に呈示できるようにする。その上で、言葉の選び方と論理展開に注意する。修辞学を学ぶのもよい。苦い薬も少しの砂糖で飲みやすくなる。悪い知らせの中にも良いところはないか。もしあれば、それを先に呈示してはどうだろう。どこも良いところがない場合でも、悪い知らせにまともに対処することで、聞き手の個人的利益が守られる面がたしかにあることに意識を向けてもらう。

要するに「内部告発者には、聴衆のフィーリングに十分な注意を払わなかったせいで、内部告発に至らざるをえない場合が多いのだ」というデイヴィスの警告は傾聴に値しよう。

III. 警笛を鳴らすべきか否か

しかし以上のようなデイヴィスの助言は、やや上級者向けと思われるので、以下ではより素朴できめ細かな諸ルールとステップを記して、これらを「責任ある内部告発」に関する条件例と考えたい。

ここで参考になるのは、1998年の『科学と技術業の倫理』誌に掲載のガンセラス論文、「いかに警笛を鳴らして、しかもキャリアを保つか」および「警笛鳴らしの必要化を予防する——大学管理者のための実践的助言」のうち、とりわけ前者である。そこで展開された諸ルールとステップの要点をこれから論じよう。⁽²¹⁾

ちなみに日本では2006年4月から公益通報者保護法が施行されたが、⁽²²⁾ 公益通報者による外部への通報(内部告発)が法的に保護されるのは、少なくとも「通報対象事実が生じ、又はまさに生じようとしていると信ずるに足りる相当の理由がある場合」に限られる。したがって、そのような事実または事実生成根拠の、非在(虚偽)を知っているか、または知り得たはずと考えられる場合には、通報者は労務提供先から解雇処分を受ける危険性ありと考えられる。「知り得たはず」というさきの部分が重大な意味をもつ。そこで、通報者にとって安全で、社会的にも責任ある内部告発の

ための諸ルール(無責任な内部告発を予防するための諸ルールでもある)を考える場合、第一のルールは以下のようなものになってよいだろう。これはむしろ、科学・技術者として必須の思考・行為規範と言ってよいほどである。

ルール1： 他の説明が見つからないか(とりわけ自分が間違っているのではと)考えよ

Rule One: Consider Alternative Explanations (Especially That You May Be Wrong)

これ以降の諸ルールはすべて、このルール1の誠実遵守を前提にして適用される。節目ごとに、自分の状況認識には誤りがあるかもしれないという事実をまじめに考えよ。自分自身の考える説明に代わりうる説明を可能にする情報に対して、オープンであり続けよ。自分自身の結論に矛盾する情報を入手したときには、退いて、自分の論理がそれでまだ成り立つか再試せよ。明白な事実からの確かな結論を無視せよというのではない。自分の結論が健全で精査に耐えるだろうことを確かめる努力を惜しむな、というだけである。自力で発見できたはずの大きな欠陥を、あとで他者に暴かれるくらいなら、自分でこうしたチェックを実行した方が、はるかにましではないか。

あなたの持っていない情報、あるいは持ち得ない情報があるだろう。あなたが全知であることは誰も期待していない。しかし意見形成の際には入念にして賢明であることが要求されている。

あなたの結論がいかに強固であれ、あなたの懸念を公式に伝える際には、次のルール2に従うこともまた、きわめて重要である。

ルール2：ルール1に照らして質問をせよ、非難はするな

Rule Two: In Light of Rule One, Ask Questions, Do Not Make Charges

「質問」という語に決定的重みがある。誰かを何かで非難する前に、あなたの懸念を質問として呈示する、とりわけ、あなたが状況を誤解している可能性があるという事実を斟酌するのは、よい習慣である。このことは学生たちにとりわけよく当てはまるだろう。というのも、状況を評価するために必要な情報をまだ十分に所有していない場

合が多いだろうからである。たとえば、自分の功績が論文の中で正当に評価されていない、との不満を募らせる学生もいるだろう。自分のワークに集中してきたせいで、実験チーフを含めて、実験室の仲間たちによる貢献の大きさに気がつかないこともある。自分がプロジェクトの「すべて」のワークを行ったと感じて、なぜ他に共著者名を書かねばならないのかと問う学生は、実験チーフがその問題に関してそれまでにこなしてきたワークに、そして、実験室の仲間も同じか関連する問題に取り組んでいるのだという事実ですら、気づいていない場合がある。

あなたの行う質問は、あなたがまだ理解していない何かがある、という暗黙の前提にしたがって、すなわち、あなたが求めているのは、あなた自身の認知改善のための助けなのだ、という前提のもとに、方向付けられるべきものである。以下にそうした質問のモデルを示す。

「実験そして原稿の完成にかなりの貢献をした者は全員、著者として扱われるべきだと私は教えられました。私の貢献度をご批評たまわり、なぜ私の努力水準では共著者としての資格がないのか、私にも理解できるようご助力お願いできるでしょうか。」「結果の解釈を私が間違えているのでしょうか。何回計算し直しても、本論文のこの図にある結果が得られず困っています。わたしがどこで間違えているのか、ご助言くださいませんか。」

ただ語りかけるのではなく、聞き取ることが非常に大切である。これら質問を投げかける際にはいつも、双方向の会話に従事しなければならない。

ルール 3 : あなたの懸念を支持する資料とそのありかを確認せよ

Rule Three : Figure Out What Documentation Supports Your Concerns and Where It Is

会話だけでなく、確たる証拠の存在が問われるべきである。証拠なくしては、内部告発者の人格が逆に疑われてしまうことが多い。道徳判断よりも事実問題とその証拠資料に論点を厳しく絞り、そしてまた、あなた自身を可能な限りプロフェSSIONナルに、非情緒的に打ち出すことが、あなたが疑われることの予防になる。

ルール 4 : 人格上の懸念と業務上のそれを分離せよ

Rule Four : Separate Your Personal and Professional Concerns

社会的信用のあるプロの従事者としてのあなたの側面のみを打ち出した方が、今の場合あなたの話の説得力がある。もしあなたが怒り、不満、恨み、不安などに圧倒されている状態ならば、医師やカウンセラーに助けを求めるか、よそで捌け口を見つけることを考えよ。知的専門業務上の問題行動についてあなたが質問を投げかけている当の相手が、あなたの友人やセラピストとして機能してくれるように、相手に頼んだり、期待したりしてはいけない。いずれあなたは友人を必要とするだろうし、セラピストも必要とするかもしれない。そうしたニーズと、他者の仕事ぶりについてあなたが問いを投げかけるときにあなたが開始することになる、知的専門職上のやりとりとを、決して混同しないように。問題になっている仕事ぶりに関する交渉に、あなたの焦点を当て続けよ。

ルール 5 : あなたの目標を分析せよ

Rule Five : Assess Your Goals

あなたがこの状況から望んでいることは何か。適切に問題解決がなされたと感じるためには何が必要か。あなたが目標を達成したことをどうやってあなたは確認するのか。行動を起こす前に、これらの問いに対する答えを知れ。それがあなたの次にとるべき行動を左右するからである。

あなたは記録を修正してもらいたい(だけな)のか。仕事をやり直してもらいたい(だけな)のか。問題に関して広く世間での議論を喚起したいのか、それとも私的な場での議論をなせればいいのか。誰かに非を認めさせ、あなたの方が正しいと言わせたいのか。あなたの理論を証明するためのお金がほしいのか。不正行為への連座からあなた自身を守りたいのか。

助言を求めたり、外部通報したり、正式に告訴したりをあなたがし始めるよりずっと以前に、あなたが個人的にその状況をどうしたいのか、どうまではしたくないのか、自分で自分のことを知ることが、決定的に重要である。諸状況は急速にエスカレートする。外部通報後や、とりわけ告訴後は、あなたが状況を制御するのはもはや不可能に近い。したがって、あなた自身の動機と目標の分析が必須である。

ルール 6 : 助言を求め、それを傾聴せよ

Rule Six : Seek Advice and Listen to It

もしあなたが以上のルールすべてにあなたが能う限り従ったとしても、やはり問題を内部告発すべきであるとあなたが信じるならば、責任ある内部告発の段階的ステップへと踏み出す準備をあなたは終えたことになる。告発以前に踏むべきステップがまだいくつもあることに注意せよ。以下にそのステップを素描する。

これまでのルールに従い、これからの段階的ステップに注意を払うならば、あなたは比較的安全である。あなたが実際に内部告発を実行する、その瞬間までは。

IV. いかにかに警笛を鳴らすか

ステップ1：あなたの懸念をあなたの信頼できる相談相手と一緒に見直せ

Step One : Review Your Concerns with Someone You Trust

第1ステップは、あなたの懸念について批評可能な、あなたの信頼する誰かと、つねに静かに内密に話し合うことである。あなたが懸念を覚えている相手と同等か、それ以上の地位の人物をできれば選べ。あなたに欠けた洞察を与えてくれる可能性が高いし、あなたにとって力強い同盟にもなりうる。ルール1と2を忘れるな。他者への攻撃ではなく、質問のみ為せ。あなたの懸念内容を説明し、状況理解のための助力を頼め。

この相談は内密に、という点を相手に強調せよ。相手の職責上、どうしても内密にするという約束ができない場合もあるだろう。そのときは、なんらかの開示がなされる前に、あなたに予告する、そして、最大限あなたを守るためにあなたと組むという約束を取り付けよ。

ステップ2：その相手の助言を傾聴せよ

Step Two : Listen to What That Person Tells You

助言を求めてあなたが選ぶその人物が、もしあなたの見解に不同意ならば、あるいは、この問題へのこれ以上の深入りをやめさせようとするならば、その反応を客観的に評価すべく全力を尽くせ。あなたに同意しないからといって、他の誰かをかばおうとしているとか、臆病とか思うな。実際にそうなのかもしれないが、あなたの情報が間違っている、あるいは、あなたの状況理解の範囲に不足がある、あるいは、あなたの状況理解の一部に

解釈上のミスがある、といった可能性を考えよ。

問題の存在、あるいは存在の蓋然性について助言者があなたに同意ならば、どんなステップが取りうるか、だれがそれを取るか、話し合え。その人物が高位者で、自ら局面打開に乗り出してくれるならば、問題は解決の方向に大きく動くだろうし、あなたも保護を得やすくなる。

あなたが何をなすべきか、まだ迷いがあるならば、ステップ3に進め。ただしくれぐれも慎重に。

ステップ3：セカンド・オピニオンを入手し、それも真摯に受け取れ

Step Three : Get a Second Opinion and Take That Seriously, Too

このステップを取る前に覚えておきたいことであるが、ほとんどのコミュニティは意外と小さく、そのなかをうわさ話が拡散していく。あなたの言い回しの有する影響力は大きいし、あなたの匿名性が守られる意義もまた、あなたを守る上できわめて大きい。言葉を選び、そしてあなたの個人情報漏れないように、あなたの相談相手に念入りに依頼せよ。

難しいことではあるが、つねに事実焦点を当て続けよ。あなたが行動を懸念している人物についてのあなたの感情に、ではない。そうした感情に言及されることがあってもよいが、それはあなたの懸念の根本にある、科学・技術上の問題とは別問題である。

ここであなたのプレゼンテーションの雰囲気は次のようなものになろう。「私が最初に懸念を覚えたのは、その論文中の数値が私のこれまで集めたデータに合わないことに気づいたときでした。そこでA先生にお聞きしたところ、われわれのものより性能の良い機器を使っている協力者がいて、データはその人からのものであるとのことでした。私が不思議に思うのは、私もその種の機器を以前の実験室で使っていたのですが、類似の結果は得られなかったということです。この点についてもお聞きしたのですが、君の気にすることではないと言われました。そこでB先生に確認しました。この機器に関するエキスパートの方です。そのお答えによると、データがこのようなかたちで得られることは、この種の機器ではありえないはず、とのことでした。私は大いに混乱し、どうしたらよいのか思案に暮れています。私の次に打つべき

手が私に分かるようにしていただけないでしょうか。私の実験室ではこれ以上の質問がしづらいのです。これ以上詮索しないようにと言いつ渡されてしまいましたから。しかしやはり、コミュニケーション不足の問題ではないか、単に私の誤解ではないかという思いが払拭できません。私が集めたデータのノートは、697号室の左から3番目の棚にあります。あなたにお見せするためにその写しをここに持参しました。私が最初に懸念を覚えた論文原稿と、B先生が私にくださった、その種の機器の特徴を記述した文献はこれです。ご助言をいただけないでしょうか。

あなたが受け取る回答を、ここでもまた十分入念に検討せよ。あなたの状況認識を変化させる要素が何かないか。その情報を他の事実であなたはくつがえせるか。これまでのルールをすべて適用して、あなたの現在地を評価し直せ。それでもあえて前進することが、取るべき正しいことだと、もしあなたが信じるならば、ステップ4を慎重かつ十全に実行せよ。

ステップ4：正式な告発着手をもしあなたが決断したならば、同志を募れ

Step Four : If You Decide to Initiate Formal Proceedings, Seek Strength In Numbers

あなたが適切な機関に申告するにあたっては、あなたの助言者も共同歩調を取ってくれるかどうか確かめよ。あなたの周囲に同じ問題を経験中か、あなたが懸念を覚えたのと同じ行為を見聞したかもしれない者が他にもいるか。その場合は、一緒に文書を作成してくれないかどうか、確かめよ。あくまで慎重に。あなたが情報提供する人数が多くなるほど、うわさ話は広まり、やがてあなたが懸念を覚えている当の本人の耳にも入りやすくなる。しかもあなたに最も不利な人たちで。それゆえ、諸ルールにあくまで忠実に従い、あなたが間違っているという可能性を残した仕方での質問を続けよ。

同様に、あなたが相談や依頼を持ちかけた相手が誰も進んで一緒に行動してくれない場合も、その理由を冷静に分析せよ。あなたの意見に反対なのか。賛成だがそれほどの大事件ではない、あるいは、他のやり方の方がより建設的と考えているのか。それとも通報した結果が怖いのか。このう

ちどれが理由であるかによって、あなたの究極的決断も影響を受けることになろう。

オンブズパーソンや公益通報支援センターのような組織からのサポートは非常に力になるだろう。いずれにせよポイントは、独断専行は公益のためにも私益のためにもならないだろうということである。

ガンセラス論文はこれ以後、まだステップ8まで記述が続くのであるが、本稿では省略しよう。これ以後のステップは、じつはステップ4も含め、責任ある通報のための条件というよりも、安全で合理的なそれのための条件にかかわっているからである。

V. むすび

本稿の章立ては以下のようなものであった。すなわち、Ⅰ. 内部告発の逆説性。Ⅱ. いかに警笛を鳴らさないか。Ⅲ. 警笛を鳴らすべきか否か。Ⅳ. いかに警笛を鳴らすか。

Ⅰでは、「内部告発」を単純に評価したり推奨したりできない倫理的理由をおもに論じた。

そこでⅡでは、技術者が内部告発の必要に迫られずに済む方法を、おもにデイヴィスに学んだ。

技術者にもやはりプレゼンテーション能力が大切になるということを受験したのを受けかたちで、次のⅢでは、内部告発に移行してしまう前に、技術者が守るべき手続き的ルールがいくつもあるだろうことを、ガンセラスに学んだ。

それらルールはそれぞれ次のように言い直せるだろう。まず「自説をこそつねに疑え」、ゆえに当の相手に「非難ならぬ質問をせよ」。質問して終わりではなく、返答に耳をすますのは言うまでもない。返答に納得が行けばよいが、さもなければ会話以外の「何が懸念のエヴィデンスとしてあるか答えられるようにせよ」。しかし、有意な証拠とは、あなたの心理的不満という主観ではなくて、業務違反が確かになされているという客観的事実の方である。ゆえに、「人格ならぬ手法のみを論ぜよ」。その結果、それでもあなたは外部通報したくなるかもしれないが、その場合はもはやあなたの手には負えないほどの効果・影響を、相手、周囲、そして自分に及ぼすかもしれない。それでもあなたは後悔しないかどうか、「あなた自身の目標と覚悟を知れ」。それはあなた自身にしか答えられないことだが、しかし信頼できる他者が与えてくれるだろう

う助言を無視するのは無謀すぎる。ゆえに、「必ず助言者に相談せよ」。

以上はルールの併存であってステップではない。すなわち、行為上どれが先で、どれが後という決まりは今回ないのであろう。むしろ何度もルール間を行き来したり、同時に実行したりする必要があるのだろう。ただ、これらルールを守らない内部告発は、思慮の浅い無責任なものと思なせるので、正当化できないと思われる。換言すると、これらルールの遵守が、責任ある内部告発の論理的（必要）条件になる。そしてこの種のテストによって、無責任な内部告発予防も期待できる。

ルールと違いステップは時間差がある。上記のルール群の遵守が、実は最初のステップであるから、あえてこれをステップ0と呼ぶこともできるだろう。そして責任ある内部告発のためには、ステップ0、1、2、3、4と順を踏む必要がある。それを論じようとしたのがIVであった。

ステップ0から4までを、それぞれ独自にまとめ直してみよう。ステップ0は、「自分の真の意思と限界を想定し、懸念対象者に謙虚に質問してその言い分をよく聞き、違反行為の確かな証拠がなければ引き返せ」。ステップ1から3までについては「信頼できる助言者に相談し、セカンド・オピニオンまで求め、それで翻意できるなら引き返せ」。引き返せないなら「仲間を増やして力をつけるべきだが、それはステップ3までの実行後でなければならない」。それがステップ4に込められた意味であろう。

最後に、疑問点を二点に絞り指摘したい。

第一に、セカンド・オピニオンまでしか求めないのは妥当かどうか。第3、第4、そして最高意思決定者への内部申告（相談）をはじめからあきらめて、実力行使してよいのか。⁽²³⁾「少なくともあなたが大きな自己犠牲を要しない場合には、内部の可能なチャンネルすべてを使用して、組織に自浄の権利と機会を与える努力をせよ」と言われてもよいのではないか。

第二の疑問として、プロの科学・技術者にとって、「確たる証拠」「科学上の確実性」という規範はどこまで確たる規範であるべきかを、われわれは反省してよいのではないか。エヴィデンスに基づいた議論をしようとするのは当然である。しかし、科学上のエヴィデンスを突き止めたときには、

すでに被害が深刻化しているかもしれない。水俣病の場合がそうであった。そうならない前に打てる手は打つべきであろう。それが予防原則である。

北海道大学大学院教授の杉山滋郎が指摘するように、水俣問題史上有名な「猫400号の実験」とそれに対する新日本窒素肥料株式会社の工場附属病院医師の対応は、内部告発との関係で考えることもできる。「たった一例では科学的に確実でない、したがって公表すべきではない」、「いまだ確実でない科学上の知見は公表すべきではない（ないしは公表しなくてもよい）」という考えが、科学者の間で、さらに一般社会の側でも、正当なものとして当時認められていた。そのような主張が「科学者としてとるべき対応」「科学者としての行動規範」だと考えられているかぎりには、内部告発の制度があったとしても、それに踏み切るのは難しかったであろう。

「科学上の結論を公表するか否かは、基本的に科学的な確実さによって律せられるべきだ」という考えが妥当であるかどうか。それは事実上、すでに反証されているのである。すなわち、科学者たちは、「確実さ」を第一義に考えて研究結果を報告しているのではなく、「結果（を報告すること）の重要性・意義」を第一義に考えて、報告するか否かを決めていると杉山は言う。「傍証」や「状況証拠」が発表の十分条件なのである。科学研究のプロセスは、「確実なこと」を発表しつつ進んでいくのではなく、「重要なこと」を発表しつつ進んでいく。もちろん、科学者たちは「まだ不確実なこと」を社会に向けて発表しないことが多い。がそれは、「不確実」だから発表しないのではなく、「不確実なこと」を発表することに「重要性」（意義）を見いださないからである。

しかしその「重要性」には、「社会的な重要性」と呼ぶべきものがある。科学者だけの専決事項ではなく、「社会的」に判断されるべき重要性である。したがって科学者は、「社会的な重要性」の判断が必要な、科学上のいまだ不確実な知見については、社会的な議論の場にまずは提出すべきである。その不確実な知見の「重要性」をどう評価するか（その不確実さをどう取り扱うか）は、利害関係者なども含めて社会的に決定されるであろう。そうした社会的決定のために、科学者は、どの程度に不確実なのか、なぜ不確実なのか、などについても

詳細を公開すべきである、という杉山の論は説得的であると思われる。⁽²⁴⁾

責任ある内部告発とは何か。技術者にとってそれは、いくつかのルールとステップに則り、科学的に慎重に行為するとともに、社会的な重要性和予防原則に鑑み、知見を社会的議論の場に提出する判断力の一産物なのである。

注

(1) 以下に見るように技術者倫理教科書は一般に、内部告発（警笛鳴らし）を奨励するというよりも、その必要性を肯定し、条件付きで義務視するにとどまっている。そして内部告発の権利は確保しつつ、その権利を実際に行使する必要がなくなる事態を理想視している。

「内部告発をする前に、それが道徳的に許される条件と道徳的に義務となる条件を自分でチェックすることが大切だ。」（齋藤了文・坂下浩司『はじめての工学倫理』昭和堂、2001年、p.112.）

「警笛鳴らしは、会社が重大な不正を犯していると被用者が考える場合にその人が公表するもので、密告による内部告発と区別される。警笛鳴らしをすることは、本来、守秘義務に反することであり、正当化の基準は明確ではない。真に公衆の安全にかかわる警笛鳴らしは、企業、学協会、政府の諸勢力による保護が必要である。」（杉本泰治・高城重厚『技術者の倫理 入門』丸善、2001年、p.43.）

「内部告発者という「モラル・ヒーロー」を作らないように、企業内にコミュニケーションのためのシステムを作っておくことが重要になります。」（藤本温編著『技術者倫理の世界』森北出版、2002年、pp.126-127.）

「倫理的な技術者がジレンマに陥らないような企業倫理が構築されていくことが求められている。」（札幌野順『技術者倫理』放送大学教育振興会、2004年、p.196.）

「内部告発以外の選択肢を失った時には最後の手段を使わざるをえませんが、本当はそのような状態になってしまうのは個人にとっても組織にとっても不幸なことです。不幸な状態になった時の対策を練ることはもちろん

大切です。しかし、そのような不幸な状態にならないためにはどうしたらよいのか、つまり、内部告発をしなくてもすむような働き方や組織づくりのあり方を考えることは、もっと大切なのです。」（黒田光太郎・戸田山和久・伊勢田哲治『誇り高い技術者になろう』名古屋大学出版会、2004年、p.188.）

「この事件[三菱自動車工業リコール隠し事件]の結果、三菱自工業は、2001年3月期の連結決算は約1,200億円の減収、2,781億円の赤字を計上した。また、三菱グループからは見限られ、ダイムラー・クライスラーが経営権を握り、大幅な人員削減と工場の休廃止が行われた。このような状況になることを想定しても、あなたは内部告発に踏み切れるであろうか。自分自身の立場にたって考えてみよう。[……]この告発が三菱自工の体質改善のきっかけを作ったということで評価している社員も多いということを追記しておく。」（松島隆裕編『技術者倫理』学術図書出版社、2004年、p.183.）

「内部告発を肯定する動きがでてきてはいるが、告発者のその後の生活を見る限り、内部告発は、「組織の内部でできる限りの手段を尽くした上での最後の行動」と考えるべきである。」（中村昌允『事故から学ぶ技術者倫理』工業調査会、2005年、p.172.）

「今後は日本でも、内部告発をしやすい仕組みが整っていきそうであるという期待はできる。[……]しかし、理解しておかなければならないのは、内部告発が増えることが良いことなのではなく、あくまでも告発すべき事件がなくなる（少なくなる）ことが良いことだということである。」（林真理・宮澤健二・小野幸子ほか著『技術者の倫理』コロナ社、2006年、p.70.）

(2) ただし、たとえばウィトベックは「ホイッスル・ブローイング」（警笛鳴らし）を、内部通報としての苦情申し立てから区別している様子が、以下の記述からうかがえる。「苦情申し立て complaining（組織内部での）と、警笛鳴らし whistle-blowing（組織外部への）の両方を通して安全上の懸念を伝えるという主題に対して、技術業界の関心は高まりを見せ

ている。」(Caroline Whitbeck, *Ethics in Engineering Practice and Research*, Cambridge, 1998, p.129.)

しかし彼女はマスコミへの警笛鳴らしには懐疑的である。「ジャーナリストが新聞を売らんがために情報をセンセーショナルに仕立て上げようとする誘惑に駆られやすいのは、経営者が納期を守るために安全性への注意を二の次にしようとする誘惑に駆られやすいのと同様である。」(*Ibid.*)

- (3) 「内部告発」という言葉が日本で一般的に使われるようになったのは1971年で、その4月28日の朝日新聞朝刊に「職業ガンを“内部告発” 北九州の染料工場 患者、年々ふえる」という見出しの記事があるという。(奥山俊宏『内部告発の力 公益通報者保護法は何を守るのか』現代人文社、2004年、p.228.)
- (4) 奥山、前掲書、p.133.
- (5) 岡本浩一・今野裕之『組織健全化のための社会心理学 違反・事故・不祥事を防ぐ社会技術』新曜社、2006年、p.43.
- (6) C. K. Gunsalus, “Preventing the Need for Whistleblowing: Practical Advice for University Administrators,” *Science and Engineering Ethics, Volume 4, Issue 1*, 1998, p.83.
- (7) Michael Davis, “Some Paradoxes of Whistleblowing,” *Business & Professional Ethics Journal. Vol.15, No.1*, 1996, pp.9-10.
- (8) 奥山、前掲書、p.202。日本では2002年10月28日、内部告発者の支援を目的に、弁護士らで組織する「公益通報支援センター（略称・内部告発支援センター）」が発足した。
- (9) 岡本浩一・王晋民・本多・ハワード素子『内部告発のマネジメント コンプライアンスの社会技術』新曜社、2006年、pp. 205- 206.
- (10) 奥山、前掲書、p.188.
- (11) 太田さとし『内部告発マニュアル』ビジネス社、2002年、pp.107-108.
- (12) 田口和幸・丸尾拓養・原田崇史・加藤寛史編著『公益通報者保護法と企業法務』民法研究会、2006年、p.153.
- (13) デイヴィスも内部告発の三つの逆説について論じている。ただし彼の言う逆説とは、

筆者の理解では以下のようなものである。

①内部告発に関する標準的な正当化理論(いかなる時に内部告発は許容可能化しないし義務化するか)は、内部告発者に多大の自己犠牲までは要求していないと思われるが、内部告発者の多くは実際には大きな自己負担を強いられている。すなわち、負担過剰の逆説(the paradox of burden)。

②内部告発に関する標準的な正当化理論では、内部告発が義務ではなく許容されるためだけでさえも、内部告発者は「深刻重大な危害」の予防を意図していなければならないとされるが、大半の内部告発は、深刻重大(serious and considerable)な身体的、経済的、ないし精神的な危害(harm)を予防するための告発とまでは見なし難い。すなわち、危害不在の逆説(the paradox of missing harm)。

③単に道徳的不正(moral wrong)の予防ではなくて危害の予防を企図しているのが本来の内部告発者であるとする、彼らの成功確率はじつは高くない。内部告発に関する標準的な正当化理論では、内部告発者は「脅威の暴露により危害が予防できると信ずるに足る合理的根拠」を持たなければならないとされるが、それは非現実的要求というものである。成功がおぼつかない要求をしている。すなわち、目標不達成の逆説(the paradox of failure)。(Davis, *op. cit.*, pp. 8-10.)

- (14) ここでニーチェの箴言、「怪物と闘う者は、そのためおのれ自身も怪物とならぬように気をつけるがよい。お前が永いあいだ深淵をのぞき込んでいけば、深淵もまたお前をのぞきこむ」(ニーチェ『善悪の彼岸』箴言と間奏曲 146、ちくま学芸文庫、信太正三訳)という箴言が想起されてもよいだろう。
- (15) 太田さとし、前掲書、p.48.
- (16) Roger M. Boisjoly, “Applications to the Industrial Sector: Commentary on “How to Blow the Whistle and Still Have a Career Afterwards” (C. K. Gunsalus),” *Science and Engineering Ethics, Volume 4, Issue 1*, 1998, p.73.

- (17) 岡本浩一『無責任の構造 モラル・ハザードへの知的戦略』PHP 新書、2001 年、p.76.
- (18) Robert L. Sprague, “The Voice of Experience,” *Science and Engineering Ethics*, Vol. 4, Issue 1, 1998, p.42.
- (19) Michael Davis, “Avoiding the Tragedy of Whistleblowing,” *Thinking Like an Engineer: Studies in the Ethics of a profession*, Oxford Univ. Press. 1998, pp.73-82 (orig. *Business and Professional Ethics Journal*, Vol. 8, No. 4, 1989)
- (20) 田口和幸・丸尾拓養・原田崇史・加藤寛史編著『公益通報者保護法と企業法務』民事法研究会、2006 年、p.145。このように経営者側の責任を強調するのは当然であるが、当然すぎて議論の余地がない。そこで本稿はむしろ、「従業員」（本稿では科学・技術者とその卵達）側の責任に照明を当て、議論の材料を提供しようとしている。
- (21) C. K. Gunsalus, “Preventing the Need for Whistleblowing: Practical Advice for University Administrators,” *op. cit.*, pp.75-94. & “How to Blow the Whistle and Still Have a Career Afterwards,” *op. cit.*, pp. 51-64.
- (22) 2001 年に内閣府国民生活局というところの音頭で、国民生活審議会の消費者政策部会の下に自主行動基準検討委員会が設けられ、企業や消費者団体の代表、学者らが内部告発者保護について議論し始めた。翌 2002 年 2 月 19 日の委員会では、事務局側から「内部通報制度」案が示された。「内部告発」の「告発」という言葉が非常に厳しいニュアンスを含むので、「内部通報」という表現になった。3 月 29 日の次の委員会では、「内部通報」の代わりに「公益通報」と表現することになった。英国の公益開示法を参考にしたという。（奥山、前掲書、p.246.）
- (23) たとえば「忠臣蔵」にあからさまに批判的な福沢諭吉なら、「もっと本来のチャンネルで筋を通せ」と言うかもしれない。諭吉は書いていた。「浅野家の家来共この裁判[徳川政府による上野介のお咎め無し]を不正なりと思わば、何が故にこれを[徳川]政府

へ訴えざるや。四十七士の面々申合わせて、各々その筋に由り法に従って政府に訴え出でなば、固より暴政府のことゆえ最初はその訴訟を取上げず、或いはその人を捕えてこれを殺すこともあるべしと雖ども、仮令い一人は殺さるるもこれを恐れず、また代りて訴え出で、随って殺され随って訴え、四十七人の家来理を訴えて命を失い尽すに至らば、如何なる悪政府にても遂には必ずその理に伏し、上野介にも刑を加えて裁判を正しうすることあるべし。かくありてこそ始めて真の義士とも称すべき筈なるに、（中略）妄りに上野介を殺したるは、国民の職分を誤り政府の権を犯して私に人の罪を裁決したるものと言うべし。」（『学問のすゝめ』）

むろん今は封建時代とちがう。「技術者倫理」教育のポイントは、いわゆる「英雄」的行為を必要としたり、させたり、しないための知恵や規則を学んでもらうことにあると思われる。「倫理」である以上、負担になる要求は不可避だが。

- (24) 新田孝彦・蔵田伸雄・石原孝二編『科学技術倫理を学ぶ人のために』世界思想社、2005 年、pp.198-222.

なお、「健全な科学」と「予防原則」、「予防原則」と「費用便益分析」との対立・相補関係については、以下の拙稿で論じた。

「環境リスク管理論とその価値前提——技術者倫理教育を展望して——」東京高等専門学校『研究報告書』第 37(1)号、2005 年、pp.21-30.

（付記）本論文は平成 18 年度科学研究費補助金（基盤研究 C、「工業高専および企業における人材育成と技術者倫理教育の現状と課題」川北晃司・河村豊・浅野敬一・木村南・庄司良）による研究成果の一部である。

（平成 19 年 1 月 9 日 受理）

高分子圧電フィルムを用いたひずみゲージの試作 (重ね合わせフィルムによる二軸ゲージ)

久慈惇史*, 黒崎 茂**

Development of Strain Gauges Using Piezoelectric Polymer Film (Biaxial Gauge by Superposed Film)

Atsushi KUJI, Shigeru KUROSAKI

The purpose of the paper is development of strain gauges using piezoelectric polymer film. The piezoelectric polymer film is Polyvinylidene Fluoride. An abbreviation of Polyvinylidene Fluoride is PVDF. PVDF film has anisotropy in the rolling direction. When PVDF film is used as a strain gauge, it must be bonded with two kinds of directions of the film separately. In this study, we developed strain gauge to be able to simultaneously measure two directions by bonding in superposed film with different directions. Constant cyclic load tests were carried out using two kinds of test specimen. The strain value shown on this experiment was similar to the value with a conventional strain gauge, theory, and finite element method. Therefore, the validity of a superposed piezoelectric polymer strain gauge was proved.

(Key Word: Stress-Strain Measurement, Experimental Stress Analysis, Experimental Mechanics, Nondestructive Inspection, Stress Concentration, Strain Gauge, Piezoelectric Polymer Film)

1. 緒 言

代表的な高分子圧電フィルムであるポリフッ化ビニリデン (略称: PVDF フィルム) は, 生ずる出力電圧が電気抵抗ひずみゲージに比べ非常に大きく, 増幅アンプを必要としない. そこで高分子圧電フィルムを使用したひずみ測定法の研究が, 主に Lee⁽¹⁾, 琵琶⁽²⁾, 勝見等⁽³⁾ 黒崎等⁽⁴⁾ によって行われている.

勝見等⁽³⁾ は, 片面電極フィルムを円孔付平板に取り付け, 非接触電位計を使い, フィルムに生ずる電位を詳細に測定している. この結果から詳細なひずみ分布測定に成功した.

黒崎等⁽⁴⁾ は, 非接触電位計を使用せずに, 圧電フィルムにリード線を接合して, 出力電圧を測定した. ただし, 圧電フィルムを貼付けた試験片を一定繰返し荷重で加振した. その時の出力電圧を測定し, ひずみ解析を行った. その結果, 平面応力状態でのひずみ成分, ε_x , ε_y の解析に成功した.⁽⁴⁾

高分子圧電フィルムは, フィルム面内で延伸方向を主軸とする異方性を有している. 延伸方向の出力電圧と直角方向の出力電圧とは, フィルムの貼付け方で出力電圧が異なる⁽⁴⁾. このため従来の研究^{(2) - (5)} では, すべて延伸方向と直角方向

の出力電圧を別々に求めなくてはならない煩雑さを伴った.

本研究は, 上記煩雑さを解消すべく, 図 1 に示すように両者を同時に測定できるひずみゲージ (高分子圧電ひずみゲージ) を試作した. 試作ゲージを用いてひずみ測定の精度検証を行い, 実用化の可能性を探った. 同時に重ね合わせフィルムゲージを使ったひずみ解析式も導いた.

2. 高分子圧電フィルムの出力電圧検出

高分子圧電(PVDF)フィルムは, 静的負荷状態において電位の計測器への流れ込みのため, 出力電圧が減少する.⁽³⁾ これに対し図 2 に示す動的負荷状態では, 上記流れ込みによる出力電圧の減少は無くなる. すなわち PVDF フィルムを貼付けた試験片に, 一定繰返し荷重を作用させると図 2 に示す負荷と同様な電圧波形が得られる. これをオシロス

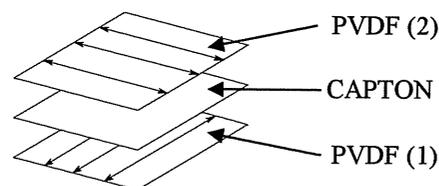


Fig.1 PVDF film and insulation film

コープで測定する。繰り返し負荷は、通常の疲労試験と同様に平均荷重 (P_{ave}) を加え、荷重振幅 (P_{amp}) を変化させる。そして PVDF フィルムの出力電圧幅 (V) を測定する。負荷範囲は、弾性範囲内で作用させる。

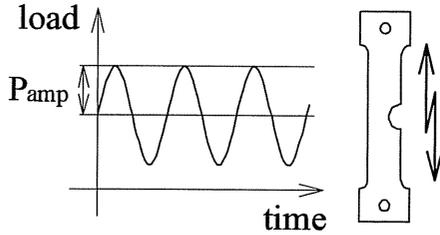


Fig.2 Applied load for strain measurements

3. ひずみ解析式

3.1 PVDF フィルムの出力電圧 V とひずみの関係

本研究で提案している PVDF フィルムを用いたひずみ測定式は、黒崎⁽⁴⁾等が導いた両面に電極が貼付けてあるモデルを使用する。

図 3 に模式図として示すように被測定物に (x, y) 座標を決め、出力電圧 V を表すと式(1)になる。⁴⁾

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

ただし

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

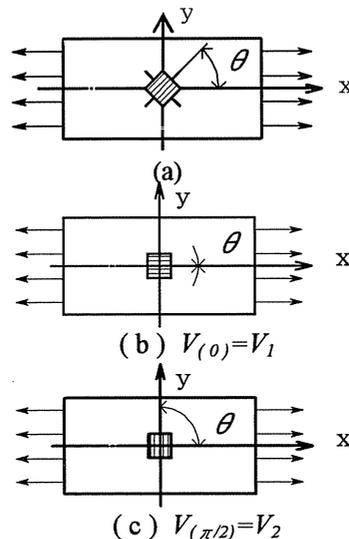


Fig.3 PVDF film bonded on the specimen

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$: 試験片のひずみ成分

V : PVDF フィルムの出力電圧

θ : 引張り方向とフィルムのなす角度,

C : PVDF フィルムの電気容量,

k_t : 電気機械結合定数,

A : 貼付フィルムの面積,

α_{31}, α_{32} 圧電定数と弾性定数で表される定数⁴⁾

ただし $f_i(\theta)$ は、PVDF フィルムの貼付け角度 θ に依存する。添え字 i は、応力、ひずみをベクトル表示するとき以下のように置き換えたものである。11→1, 22→2, 33→3, 23→4, 31→5, 12→6 したがって、図 3(b), (c) に示す角度での出力電圧 V は、次式(3), (4)になる。⁽⁴⁾

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

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

上式(3), (4)は、 α_{31}, α_{32} の定数が入っている。

α_{31}, α_{32} を消去するために F_1, F_2 を次式(5), (6)として式(3), (4)へ代入した。

$$F_1 = \frac{\alpha_{31}}{C(1+k_t^2)} \cdot A \dots \dots \dots (5)$$

$$F_2 = \frac{\alpha_{32}}{C(1+k_t^2)} \cdot A \dots \dots \dots (6)$$

ここで $\varepsilon_x = -\nu \varepsilon_y$ の関係より式(3)~(4)から次式(7), (8)を導くことができる。

$$\begin{aligned} V_{(0)} &= (F_1 \cdot \varepsilon_x - \nu \cdot F_2 \cdot \varepsilon_x) \\ &= (F_1 - \nu \cdot F_2) \cdot \varepsilon_x \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{(\pi/2)} &= (F_2 \cdot \varepsilon_x - \nu \cdot F_1 \cdot \varepsilon_x) \\ &= (F_2 - \nu \cdot F_1) \cdot \varepsilon_x \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

式(7), (8)を連立方程式とし、 $V_{(0)}=V_1, V_{(\pi/2)}=V_2$ とし $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ を求めると式(9), (10)となる。

$$\varepsilon_x = \frac{F_1 V_1 - F_2 V_2}{F_1^2 - F_2^2} \dots \dots \dots (9)$$

$$\varepsilon_y = \frac{F_1 V_2 - F_2 V_1}{F_1^2 - F_2^2} \dots \dots \dots (10)$$

3.2 比例定数 k_x, k_y の解析方法

式(9), (10)の V_1, V_2 は PVDF フィルムの圧延方向 ($\theta=0$) での出力電圧 V_1 (図4(a)) と, 直角方向 ($\theta=\pi/2$) での出力電圧 V_2 (図4(b)) である。

ここで式(7), (8)を次式(11), (12)に置き換える。

$$V_{(0)} = k_x \varepsilon_x \quad \dots (11)$$

$$V_{(\pi/2)} = k_y \varepsilon_x \quad \dots (12)$$

ただし k_x, k_y は次式となる。

$$k_x = (F_1 - \nu \cdot F_2) \quad \dots (13)$$

$$k_y = (F_2 - \nu \cdot F_1) \quad \dots (14)$$

上式(13), (14)から F_1, F_2 を求めると次式になる。

$$F_1 = \frac{k_x + \nu \cdot k_y}{1 - \nu^2} \quad \dots (15)$$

$$F_2 = \frac{k_y + \nu \cdot k_x}{1 - \nu^2} \quad \dots (16)$$

式中の k_x, k_y は, 式(11), (12)の関係から図5に示す予備実験で求めておく。すなわち平滑試験片の表側に V_1, V_2 方向の PVDF フィルムを, 図5に示すように貼り付ける。同時に裏側には一軸ひずみゲージを荷重軸方向に貼る。得られた結果を横軸にひずみゲージ値、縦軸に出力電圧として図5のグラフを作成する。グラフの傾きが k_x, k_y 値となる。ただし ν はポアソン比である。

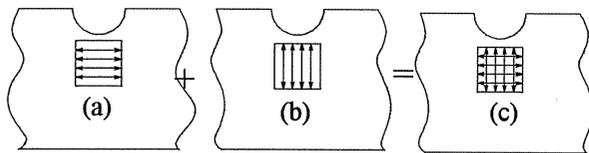


Fig.4 PVDF film on the half circular edged plate specimen

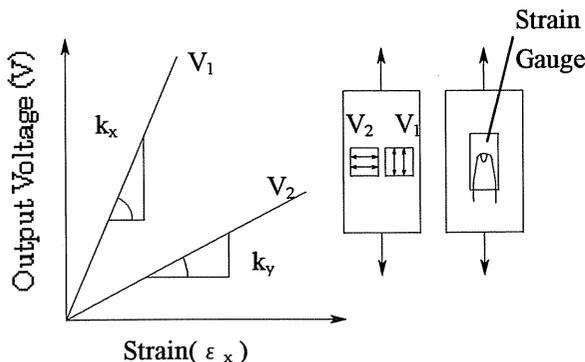


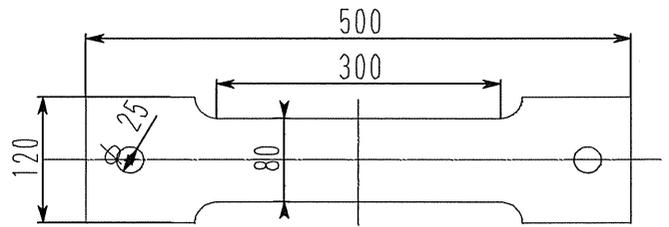
Fig.5 Output Voltage vs. Strain

4. 実験方法

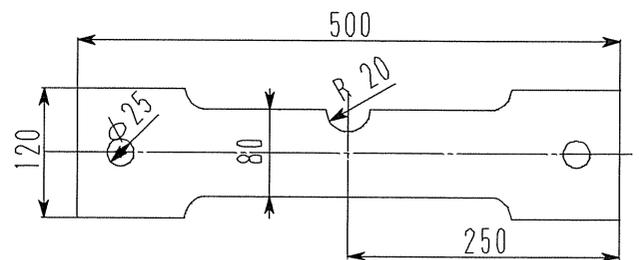
4.1 試験片

実験に使用した試験片は, 板厚 3.0mm の冷間圧延鋼板(spcc 材)で, 図6に示す。単純平板(a)は予備実験に用い, 半円孔縁切欠き試験片(b)と中央円孔帯板試験片(c)はひずみ測定に用いる。

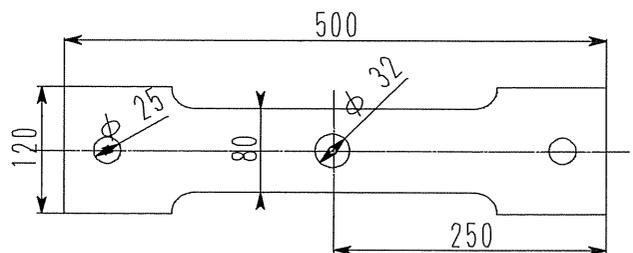
PVDF ゲージは, 米国 AMP 社製高分子圧電シートフィルムで膜厚 $28 \mu\text{m}$, $240 \times 140\text{mm}$ を所定の大きさに切り出して使用した。貼付け時の接着剤には, 2液混合型のデブコン(アイディー・ダブリュー・インダストリー株式会社)を用いた。試作 PVDF ゲージの電極は, 導電性の銅箔テープにハンダでリード線を接合させ, PVDF ゲージの端末部に接着させた。比較のために使用したひずみゲージは, ゲージ長 5mm の 2 軸ゲージ(共和 KFG-5-120-D16)である。図7に半円孔縁切欠き試験片と中央円孔試験片の PVDF フィルムの貼付け位置を示す。PVDF フィルムは各試験片に 5 枚ずつ貼付けた。



(a) Test specimen



(b) Half circular edged plate specimen



(c) Center holed plate specimen

Fig.6 Test specimens

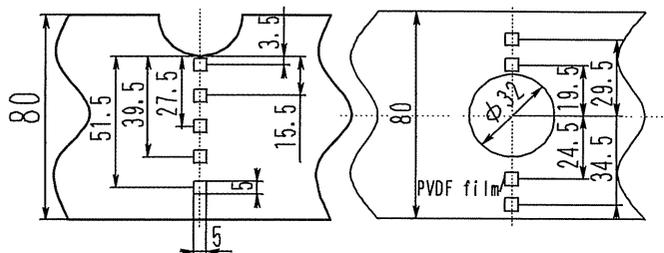


Fig.7 PVDF strain gauges on the half circular edged plate and center holed plate specimens

4. 2 高分子圧電ひずみゲージの試作

試作した高分子圧電ひずみゲージは PVDF を重ね合わせたものであり、図 8 にその様子を示す。フィルムの圧延 x, y 方向とも 5×5mm² に切り出し、その 2 枚のフィルムの上に絶縁フィルム「カプトン」(東レ・デュポン (株) 製) を挿入した。また、絶縁フィルムは「カプトン」の中でもポリイミド単体フィルム H タイプの厚さ 7.5μm のものを使用した。試験片にはりつけた様子を図 9 に示す。フィルムとリード線との間には、通常のひずみゲージで扱うターミナル端子を用いた。

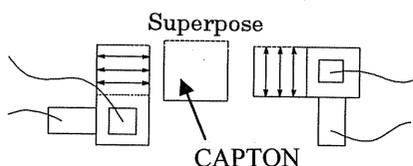


Fig.8 PVDF films and insulation film

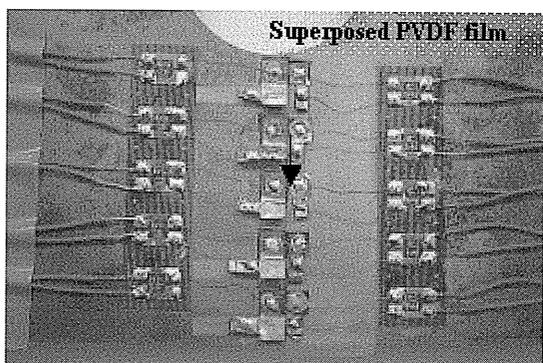


Fig.9 Strain gauges made by piezoelectric polymer film

4. 3 予備実験による k_x, k_y の導出

式(11),(12)に示す F_1, F_2 を求めるために、式(13),(14)の k_x, k_y を実験から求める。高分子圧電フィルムの圧延方向を試験片軸方向と同一方向に貼り V_1 を求める。同じフィルムを 90° の方向に

貼り、 V_2 を求める。同時に一軸ひずみゲージを、試験片の裏側軸方向に合わせて貼り、ひずみを測定する。その結果より図 5 に示すグラフを作成し、傾き k_x, k_y を求める。

4. 4 ひずみ測定試験方法

(a) PVDF フィルムの重ね合わせによる影響試験

試作した高分子圧電ひずみゲージを、図 9 に示す。図 4(a)に示すような試験片に V_1 の方向が引張り方向と平行になるように試作ゲージを重ね合わせて貼付けた。容量 100 kN の電気油圧サーボ式疲労試験機を用いて繰返し実験を行い、PVDF フィルムからの出力電圧を測定した。PVDF フィルムの出力電圧は、ノイズの影響を除去するためにフィルタ(NF 製 E-3201)を通してオシロスコープで測定した。フィルタの出力感度を上げて、出力電圧をすべて 10 倍にしてオシロスコープで採取した。測定した負荷周波数は 5, 10, 15, 20Hz である。重ね合わせていない PVDF フィルムも V_1 が引張り方向と平行、 V_2 が引張り方向と直角に貼付け、同様な実験を行った。

(b) 応力集中試験

試作した高分子圧電ひずみゲージを、図 6 (b), (c)に示す試験片上に図 7 に示すように付けた。 V_1 の方向は引張り方向と平行 (V_2 の方向は引張り方向と直角となる) に貼付けた。そして応力集中分布を重ね合わせによる影響試験と同じ方法で測定した。測定した負荷周波数は共に 5, 10, 15, 20Hz である。

4. 5 有限要素法解析

ひずみ測定値と比較するために、有限要素解析を行った。本研究で用いた FEM 解析ソフトウェアは、ALGOR (米国 ALGOR 社) を使用した。FEM 解析はひずみ値の比較にのみ利用するため、比較的簡単に解析が行えるよう 2 次元要素でメッシュを切り、解析することとした。要素タイプは、二次元平面応力要素を用い、分割要素数は約 650 となった。

5. 実験結果及び考察

5. 1 予備実験結果

図 10 にひずみと出力電圧の関係を示す(負荷周波数 10Hz)。以後、全ての実験結果の負荷周波数は 10Hz である。図 10 より、出力電圧はひずみに比例している。その結果、式(5),(6)中の $k_x = 0.48, k_y = 0.07[mV/\mu strain]$ が求められた。この k_x, k_y を用いて式(5), (6)の $F_1 = 0.591, F_2$

=0.275 をそれぞれ求めた. この F_1 , F_2 を使い, ひずみ値の計算に用いている.

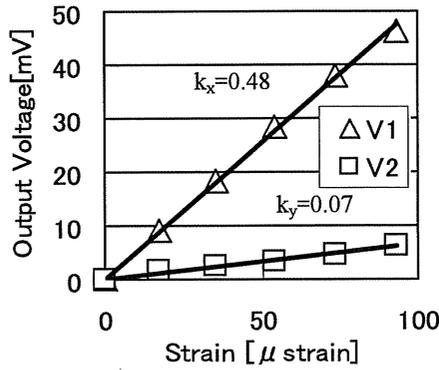


Fig.10 Output voltage vs. strain

5.2 試作高分子圧電ひずみゲージの実験結果

図 11 に試作重ね合わせひずみゲージと市販されている従来のひずみゲージのひずみ値の比較を示す. 図 11 より両者とも近い値が得られている.

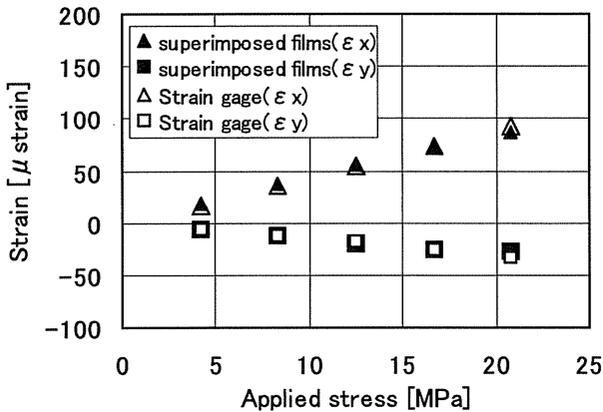


Fig.11 Strain components vs. applied load

5.3 フィルムの重ね合わせの有無

図 12 に重ね合わせ高分子圧電ひずみゲージ (superimposed film), 重ね合わせてない高分子圧電ひずみゲージ (piezoelectric polymer film) のひずみ値の比較を示す. 図 12 より両者とも近い値が得られている. この結果より, フィルムを重ね合わせた場合でも, 従来の重ね合わせていないフィルムと同等の結果が得られた.

5.4 応力集中実験結果

半円孔縁切欠き試験片と中央円孔試験片を用いて試作した重ね合わせ高分子圧電ひずみゲージを使い, 通常のひずみ測定を行った. 実験で得られた重ね合わせ高分子圧電ひずみゲージ, 通常のひずみゲージ, ひずみ理論値⁽⁶⁾, FEM 値の ϵ_x , ϵ_y を図 13, 14 にそれぞれ示す. 同様に行った中

中央円孔試験片の結果を図 15, 16 に示す. 半円孔縁切欠き試験片, 中央円孔試験片ともに負荷周波数 10Hz, 平均荷重 6kN, 荷重振幅 5kN の結果である.

半円孔縁切欠き試験片の結果は ϵ_x , ϵ_y ともに応力集中近傍部 (y/R) で, PVDF フィルムとひず

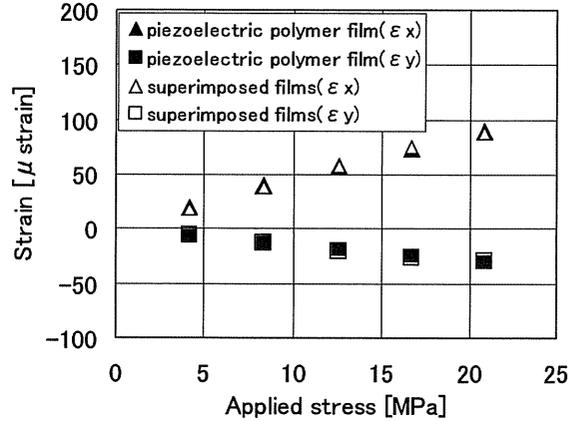


Fig.12 Superimposed films vs. piezoelectric polymer film

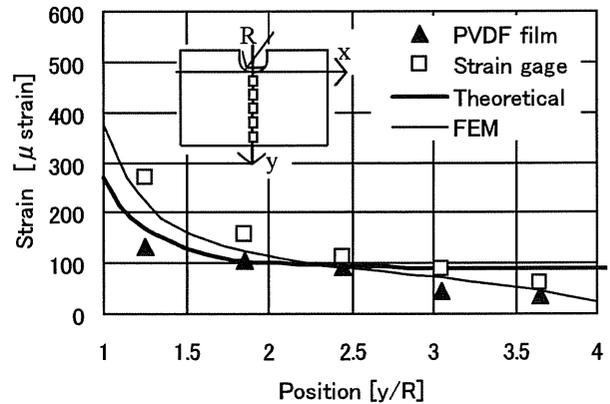


Fig.13 Strain components ϵ_x of half circular notched plate specimen

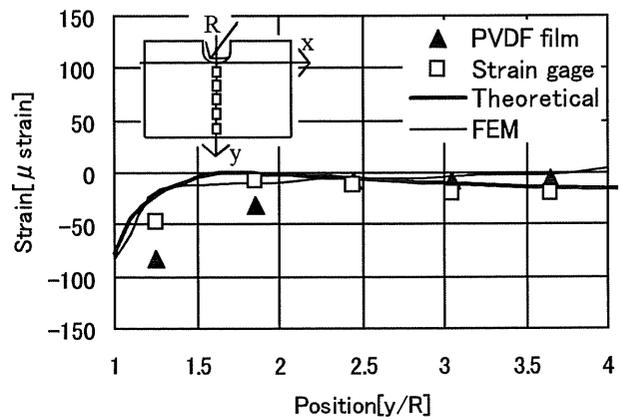


Fig.14 Strain components ϵ_y of half circular notched plate specimen

みゲージとの結果に差が出てしまった。しかし、応力集中部から離れるに従い、両者とも近い値を示している。

中央円孔試験片は ε_x , ε_y とともにひずみゲージと近い値を示していることがわかる。これらのことより応力集中部近傍での測定の改善は必要だが、高分子圧電ひずみゲージとしてのひずみ測定の可能性は十分に示された。

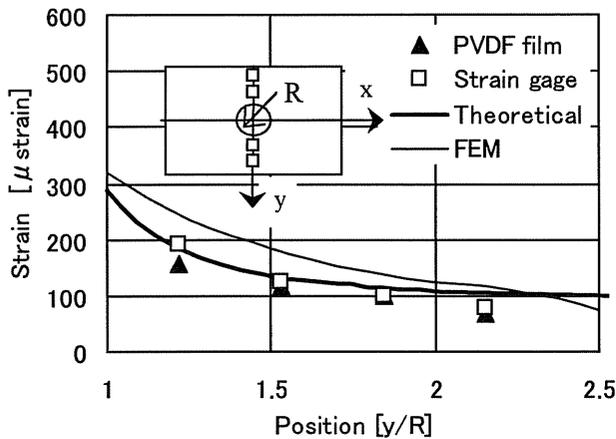


Fig.15 Strain components ε_x of center circular holed plate specimen

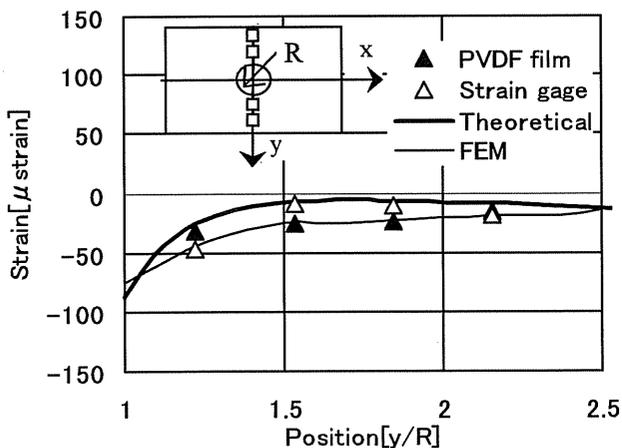


Fig.16 Strain components ε_y of center circular holed plate specimen

6. 結 言

高分子圧電フィルムの延伸方向と、面内垂直方向とのフィルムを重ね合わせて高分子圧電ひずみゲージの試作を行った。試作した高分子圧電ひずみゲージを用いてひずみ分布測定試験を行った。同時に、ひずみ解析式も導いた。その結果、試作した重ね合わせ高分子圧電ひずみゲージで得られたひずみ値は、従来の市販されている電気抵抗ひずみゲージのひずみ値や理論値と近い値が得られた。このことから重ね合わせ高分子圧電ひずみゲ

ージの実用化の可能性が示された。

参考文献

- (1) C.K. Lee and T.C O' Sullivan, Piezoelectric Strain Rate Gages, J. Acoust. Soc. Am, Vol.90, No2, pp945-953, (1991)
- (2) Biwa, S., Katsumi, K., Matsumoto, E. and Shibata, T., Proceeding Advanced Tech. For Clean Env.2, pp133-140, (1999)
- (3) 勝見圭介・琵琶史朗・松本栄治・柴田俊忍, 高分子圧電フィルムを用いた静ひずみ分布の測定, 機論A, Vol.64, No.617, pp 215-220, (1998)
- (4) 黒崎茂, 山口賢一, 圧電高分子フィルムを用いた一定繰り返し負荷によるひずみ分布測定法, 機論A, Vol.71, No.702, pp85-92, (2005)
- (5) 藤本由起夫, 新宅英司, Gernot Pirker, 田中義和, 圧電センサーを用いた二次元き裂の応力拡大係数の測定, 機論A, Vol.68, No.673, pp1212-1219, (2002)
- (6) 中原一郎編, 弾性学ハンドブック, 朝倉書店, pp144-146, (2001)

(平成19年1月9日 受理)

数値ラプラス変換法による信号処理

—電気回路の過渡応答解析について—

伊藤 彰*

Signal Processing by the Numerical Inversion of Laplace Transform
—For the Analysis of Transient Response on Electric Circuits—

Akira ITOH

Signal processing is very important technology in the field of electrical engineering. In this paper, I am dealing with transient response on electric circuits for signal processing using by a mathematical method which is Laplace transform. I calculated transient response for the high pass filter using by the numerical Laplace transform method.

(Keywords: Signal Processing, Electric Circuits, Numerical Laplace Transform)

1. はじめに

電気工学の分野では、音波や電磁波、電圧電流などの信号を処理することは重要な技術である。信号処理には、アナログ—デジタル信号の相互変換や周波数—時間領域の相互変換などがある。特に後者は電気現象を多角的に解析したり、目的の現象を得るための回路合成に有用である。

そこで、本論文では電気回路の時間応答特性を解析するための複素周波数—時間領域変換について、数学的一手法であるラプラス変換法を適用した例を述べる。具体例として、高域通過型濾波器に単位ステップ関数の電圧波形が入力された場合にどのような出力電圧波形になるかという過渡応答特性を解析し数値結果を示した。回路解析の数学的手法は、ラプラス変換法を用い時間領域への

変換の際の複素積分をあらかじめ関数近似を行い、数値的に複素積分（留数計算）を行う数値逆ラプラス変換法（Fast Inversion of Laplace Transform Method, 以下 FILT 法と呼ぶ）[1]–[3]を用いた。

2. ラプラス変換

関数 $f(t)$ のラプラス変換は次式で定義されている。

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{st} dt \quad (1)$$

$f(t)$ を原関数、 $F(s)$ を像関数といい、両者を合わせてラプラス変換対という。 $f(t)$ （時間応答関数）と $F(s)$ （複素周波数信号関数）がラプラス変換対であることを記号で次式のように記述する。

$$f(t) = \mathcal{L}^{-1}F(s) \quad (2)$$

*電気工学科

2.1 電気回路への適用

電気回路の応答解析を行う場合、通常は微分方程式を立ててそれを解いて行く。微分方程式の解法にラプラス変換法を用いることにより、通常の解法に比べて以下の優位点がある。

- (1) ラプラス変換法では斉次方程式を考えなくて良い。
- (2) ラプラス変換法では一般解の未定係数を決める連立方程式を解く必要がない。

ラプラス変換法の具体的手続きは、つぎの 3 手順である。

- (1) 問題を原空間から像空間へ写像する (正変換)。
- (2) 像空間での解を求める。
- (3) 像空間での解を原空間へ逆写像する (逆変換)。

一般に上記 (1), (2) は簡単であるが, (3) が問題である。(3)を行うには、以下の方法がある。

- (1) 変換表を使う。ただし、変換表に掲載されていないときは困難である。
- (2) 複素積分を使う。ラプラス変換の逆を表す関係 (後述の式 (3) の Bromwich 積分) から求めるが、像関数が少し複雑になると、きわめて困難になる。
- (3) 数値的に行う。種々の方法がある。

本論文では、電気回路へのラプラス変換を適用する方法として上記 (3) を用い、特に適用範囲の

広い FILT 法を採用する。

2.2 数値逆ラプラス変換法

本論文で用いる数値逆ラプラス変換法である FILT 法について述べる。FILT 法はラプラス変換の逆を表す関係 (次式 (3) の Bromwich 積分) を以下のように近似して、式 (6) をコンピュータで数値的に求める方法である。

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\gamma-j\infty}^{\gamma+j\infty} F(s)e^{st} ds \quad (3)$$

$$\approx \frac{1}{2\pi j} \int_{\gamma-j\infty}^{\gamma+j\infty} F(s)$$

$$\{e^{st} - e^{-2A}e^{3st} + e^{-4A}e^{5st} - \dots\} ds \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2\pi j} \int_{\gamma-j\infty}^{\gamma+j\infty} F(s) \frac{e^A}{2 \cosh(A-st)} e^{st} ds \quad (5)$$

$$f(t) \approx \frac{e^A}{t} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n$$

$$Im \left\{ F \left(\frac{A + j(n-0.5)\pi}{t} \right) \right\} \quad (6)$$

ここで、 $Im\{\}$ は複素関数の虚数部を表す。像関数 $F(s)$ には次の条件を仮定している。

- (1) $Re\{s\} > 0$ で正則
- (2) $\lim_{|s| \rightarrow \infty} F(s) = 0$
- (3) $F^*(s) = F(s^*)$ (*は複素共役記号)

2.3 電気回路の過渡応答解析例

4 端子からなる電気回路 (入力 2 端子, 出力 2 端子からなる高域通過型濾波器) を考える。高域通

過型濾波器は高い周波数成分のみを通過させ、低い周波数成分を除去するような機能をもつフィルタであり、一般に広く使用されている。回路内の素子は、入力側から直列にコンデンサ C [F]、出力側に並列にコイル L [H]、終端抵抗 $R = 600 \Omega$ が接続されている。除去しはじめる周波数を決定する遮断周波数 f_c 、 $\omega_c = 2\pi f_c$ を与え、動作減衰量の回路素子を次式の計算式 [4] によりコンデンサとコイルの値を求めた。

$$L = \frac{R}{\sqrt{2}\omega_c} \quad (\text{H}) \quad (7)$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{2}\omega_c R} \quad (\text{F}) \quad (8)$$

以下はこの高域通過型濾波器に 1 ボルトの単位ステップ関数の電圧波形が入力された場合に、どのような出力電圧波形が得られるかを次式の像関数に FILT 法を適用した結果である。

$$F(s) = \frac{1}{s} \frac{sRL/(sL + R)}{sR + 1/sC + sRL/(sL + R)} \quad (9)$$

図 1 は遮断周波数 $f_c = 5$ [Hz] の高域通過型濾波器の過渡応答特性である。時刻 $t = 0$ [sec] の時、出力電圧 $E2 = 1$ [V] であり、その後時間の経過とともに緩やかな右下がりの応答になっていることから、低域の信号成分が除去されていることがわかる。

図 2 は遮断周波数 $f_c = 10$ [Hz]、図 3 は遮断周波数 $f_c = 20$ [Hz] の場合である。遮断周波数が高くなるほど、図 1 に比べて急峻な応答波形となり、より高い周波数の信号成分のみ通過していることがわかる。この結果から、FILT 法により高域通過型濾波器の特性が正しく求められていることがわかる。

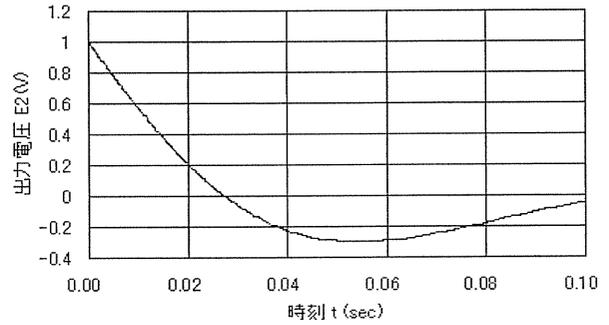


図 1: 高域通過型濾波器の過渡応答特性
(遮断周波数 $f_c = 5$ Hz)

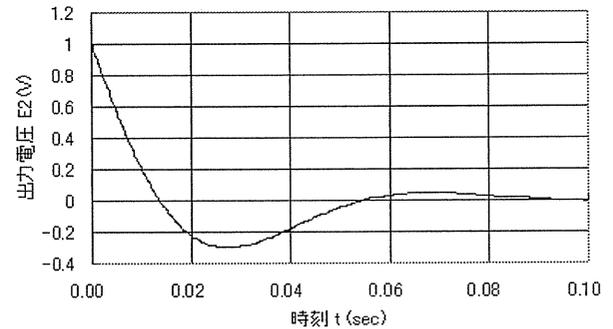


図 2: 高域通過型濾波器の過渡応答特性
(遮断周波数 $f_c = 10$ Hz)

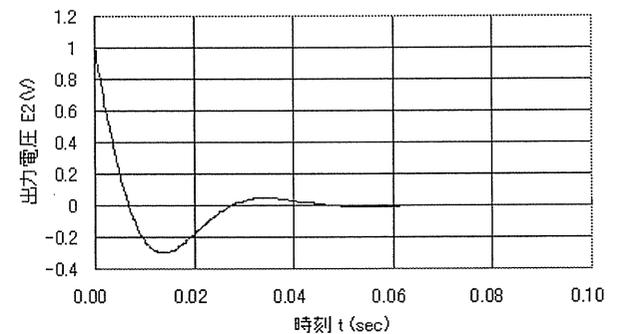


図 3: 高域通過型濾波器の過渡応答特性
(遮断周波数 $f_c = 20$ Hz)

3. まとめ

本論文では、信号処理について、特に電気回路の時間応答特性を解析するための複素周波数—時間領域変換のための数学的一手法であるラプラス変換法を適用した例を述べた。

具体例として、電気工学で有用な高域通過型濾波器に単位ステップ関数の電圧波形が入力された場合にどのような出力電圧波形になるかという過渡応答特性について、FILT 法を使って解析して数値結果を示した。得られた結果から、FILT 法によって高域通過型濾波器の過渡応答特性が正しく求められていると判断できた。したがって、FILT 法は電気回路の時間応答特性を解析するために有用な手法であることがわかった。

文 献

- [1] Toshio Hosono, “Numerical inversion of Laplace transform and some applications to wave optics”, Radio Science, 16, 6, pp.1015–1019, Nov.,1981.
- [2] 細野 敏夫, 数値ラプラス変換 [I], 電子通信学会誌, Vol.65,No.8,pp.849–854 (1982)
- [3] 細野 敏夫, BASIC による高速ラプラス変換, 共立出版 (1984)
- [4] 伊藤 彰, フィルタの設計と伝送特性の実験およびパソコンによる数値実験, 創造電気工学実験 IVテキスト, 東京高専電気工学科 (2006)

(平成 18 年 12 月 28 日 受 理)

パソコンを使用した電圧出力センサ対応 USB 接続データ収集システム

山内峯生*, 高橋三男**

USB Connected PC Based Data Gathering System for Voltage Output Sensors

Mineo YAMAUCHI, Mitsuo TAKAHASHI

There are many kinds of sensors that generate voltage signals corresponding to physical quantity. Universal data gathering system has been created that supports any voltage sensor of linear characteristic. The system is composed of voltage sensors, measurement circuit device, Windows XP PC, and data gathering software. The device is connected to the PC by USB cable that transfers signals between the PC and the device and feeds power from the PC to the device. The software works based on an sensor definition external file and supports any type of voltage sensor by replacing the above file. We have applied this system to a Galvani type oxygen sensor and a temperature sensor. It has worked as expectation.

(Keywords: Galvani type Oxygen Sensor, Temperature Sensor, USB, Data Gathering)

1. はじめに

物理量を電圧信号として出力するセンサには、温度センサ、湿度センサ、ガス濃度センサなど多くのものがある。これらのセンサを対象としたパソコンデータ収集システムが発表されている。これらシステムの多くは、センサの種類ごとに、そのセンサに最適化されたシステムとして作成されている。このためセンサごとにソフトウェアの作成が必要であった。またセンサからの電圧測定装置とパソコンとの接続には電源供給機能が無い RS232C インターフェースが使用されていたため電圧測定装置の電源を必要としていた。

今回パソコンと電圧測定装置とをパソコンから電源供給可能な USB 接続し、外部ファイルを書き換えるだけで多種類のセンサに対応できるソフトウェアを備えた汎用データ収集システムを作成した。このセンサは2チャンネル(CH-1、CH-2)の入力が可能である。このシステムに対し、CH-1 に酸素センサ、CH-2 に温度センサを接続し、酸素濃度・温度データ収集システムとして動作させた。

2. パソコン使用データ収集システム

パソコンを使用したセンサデータ収集システム

は下記の処理から構成されている。

- (1)センサ出力電圧受信
- (2)増幅
- (3)オフセット補正
- (4)AD変換
- (5)データ送信/受信
- (6)電圧値から物理量への変換
- (7)リアルタイムデータ表示
- (8)データ記録(保存)
- (9)データ解析(グラフ化など)

通常、(1)から(4)までは電圧測定装置、(6)から(9)まではパソコンで処理される。(3)のオフセット補正はOPアンプで発生したオフセット電圧を補正するものである。この処理はデータを受信した後、パソコンで処理することも可能である。

上記処理の殆どはセンサの種類を問わないで共通したものである。センサごとに異なるのは、(2)増幅、(6)電圧値から物理量への変換、(7)リアルタイムデータ表示、(9)データ解析(グラフ化など)の処理部分である。これらはセンサの種類によって、出力電圧が異なること、電圧値と物理量との関係が異なること、物理量の単位と表示名が異なることによっている。電圧値と物理量との関係が非線形なときには(6)の電圧値から物理量への変

換処理のなかで線形化という処理が追加される。センサごとに異なる処理部分をソフトウェアの外部ファイルとして定義できるようにすれば全てのセンサに共通使用できるデータ収集ソフトウェアが作成できると予測される。

3. パソコンを使用した USB 接続酸素濃度・温度データ収集システム

物理量に比例した電圧を出力するセンサ群を対象とした2チャンネルの汎用データ収集システムを作成した。CH-1 に酸素センサ、CH-2 に温度センサを接続し、酸素濃度・温度データ収集システムとした。このシステムは、センサ部(酸素センサ、温度センサ)、電圧測定装置、Windows XP パソコン、そのパソコン上で動作するデータ収集ソフトウェアから構成されている。図1に酸素濃度・温度データ収集システムの構成図、図2に電圧測定装置の写真を示す。

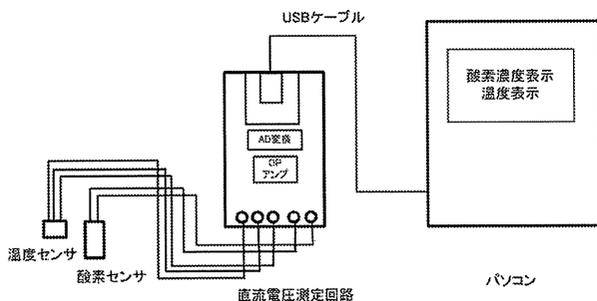


図1 酸素濃度・温度データ収集システム

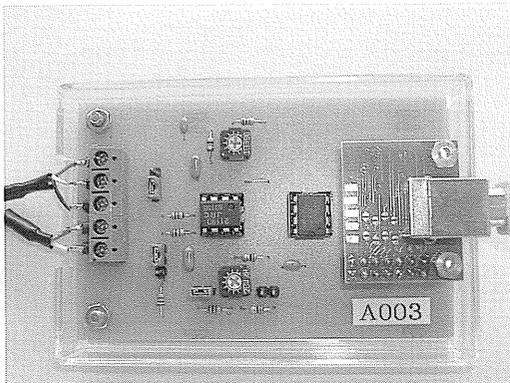


図2 電圧測定装置

CH-1 にはガルバニ電池式酸素センサを接続する。このセンサは酸素濃度に比例した電圧を出力する。今回使用した酸素センサは標準気体(酸素濃度 20.9%) では約 10~20mV の電圧を出力す

る。多様なセンサ出力電圧に対応できるようにするため電圧測定装置の増幅度は可変抵抗で1倍から200倍まで変更できるようになっている。

CH-2 には、高精度 IC 温度センサ (LM35DZ)、あるいはクロメル・アルメル (K 型) 熱電対センサを接続する。LM35DZ を接続すると 0°C から 100°C まで温度に対して線形な出力 (10mV/°C 出力) を得ることができる。熱電対の場合には K 型熱電対専用 IC (AD595) と組み合わせて使用する。この IC はアンプと冷接点補償回路を内蔵していて、10mV/°C の出力を得ることができる。高精度 IC 温度センサも熱電対センサも共に 10mV/°C の出力であるため互換性がある。今回は測定する温度が 0°C から 40°C までであるため高精度 IC 温度センサを採用した。また溶液の温度測定を行うため高精度 IC 温度センサを防水加工した。

電圧測定装置は OP アンプ、PIC マイコン (PIC12F675、PIC16C771)、USB シリアル変換モジュール (ストローベリー・リナック社) で構成されている。PIC マイコンで AD 変換とデータの送信処理を行っている。AD 変換の分解能は 10ビットあるいは 12ビットである。この装置への電力はパソコンから USB ケーブルで供給されるため装置電源は不要である。

4. データ収集の操作

4.1 ソフトウェアのインストール

USB シリアル変換モジュール用ドライバ、データ収集ソフトウェア、マイクロソフト TTS (Text-to-Speech) エンジンを実インストールする。

4.2 主画面

ソフトウェアを起動すると電圧測定装置との接続が確立され図3の主画面が表示される。零点校正、気体酸素濃度校正、溶存酸素濃度校正、気体測定、液体測定が主なメニューとボタンである。画面上部がパラメータ設定部、画面中央および左下がデータ表示部、画面右下がグラフ表示部である。電圧測定装置は USB シリアル変換モジュール接続であるためパソコンからは RS232C で接続されているように見える。COM ポートの番号はソフトウェアによって自動記入されるため手入力する必要はない。

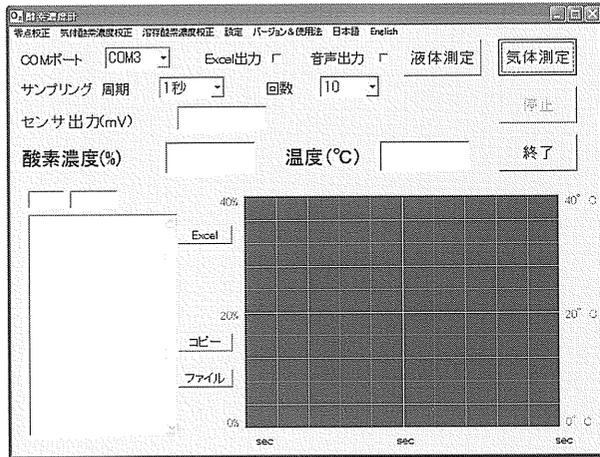


図3 主画面

4.3 零点校正

測定に先立って零点と校正点での校正を行う。零点校正は物理量が零のときのセンサ出力電圧を測定して物理量への変換パラメータとして保存する。この零点校正は OP アンプのオフセット補正をソフトウェアで行うことでもある。この零点校正は測定装置を取り替えたときに行うだけでよい。図4に零点校正画面を示す。

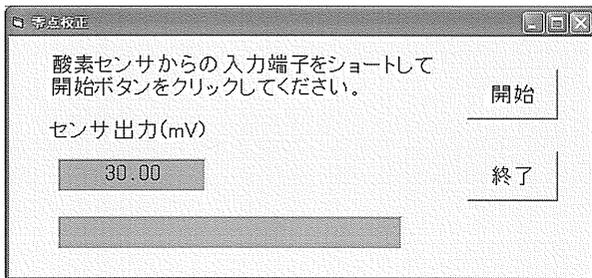


図4 零点校正画面

4.4 校正

校正は校正点での物理量に対するセンサ出力電圧を測定して物理量への変換パラメータとして保存する。図5、図6に気体酸素濃度校正、溶存酸素濃度校正の画面を示す。気体酸素濃度は標準気体(酸素濃度 20.9%)で校正される。溶存酸素濃度は温度に対応した純水飽和溶存酸素濃度で校正される。この校正では校正温度の値が必要であるが、これは温度センサの測定値が自動記入される。

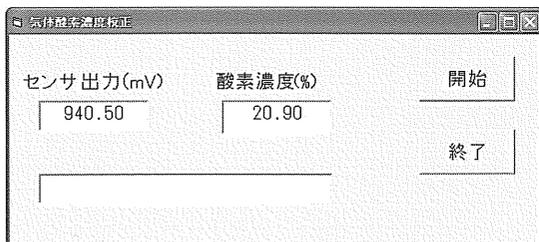


図5 気体酸素濃度校正画面

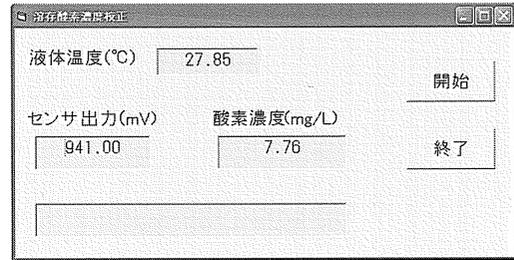


図6 溶存酸素濃度校正画面

4.5 測定

測定では、パソコンが電圧測定装置からセンサ出力電圧を受信し、校正で取得した変換パラメータを参照して電圧値から物理量への変換を行う。サンプリング周期と回数を指定して、気体測定ボタンあるいは液体測定ボタンをクリックするとデータ収集が始まる。物理量に変換された測定値が表示され同時にグラフにもプロットされる。液体測定(溶存酸素濃度測定)の場合には気体測定と識別するため文字の背景が水色で表示される。

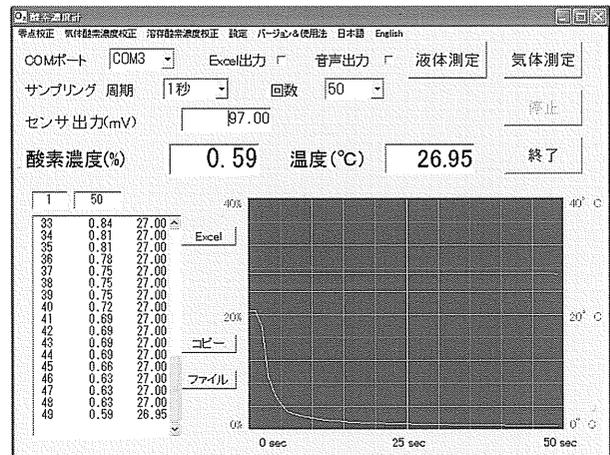


図7 気体酸素濃度測定画面

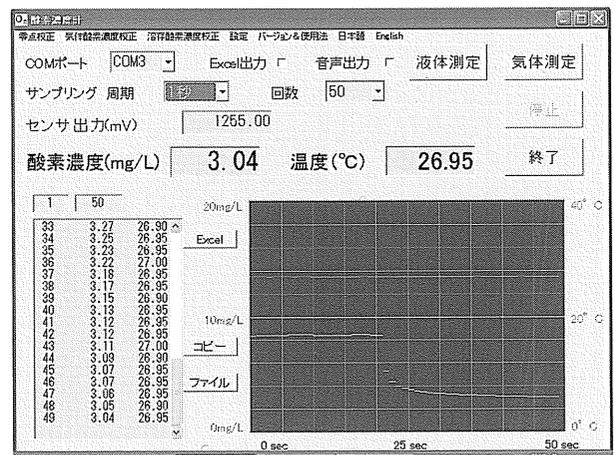


図8 溶存酸素濃度測定画面

5. 付加機能

5. 1 EXCEL 出力

Excel ボタンをクリックすると収集データが Excel ソフトに送信され Excel 画面でグラフ表示される。この機能を使用するにはマイクロソフト社から Office ライセンスを購入して Excel ソフトがインストールされていることが必要である。

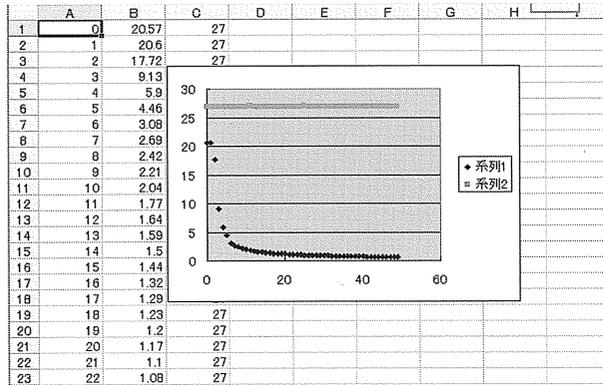


図 9 EXCEL 画面

5. 2 音声読み上げ

視覚障害者への対応として TTS 機能を使用した測定値の音声読み上げ機能がある。主画面で、「音声出力」のチェックボックスにチェックを入れて測定するとデータ収集ごとにパソコンがそのデータ数値を音声で読み上げる。この機能を使用するにはパソコンにスピーカが接続されていること、および TTS エンジンソフトがインストールされていることが必要である。

5. 3 日本語・英語 画面切り替え

英語圏でも使用可能とするため画面の言語切り替え機能がある。メニューで「英語」をクリックすると画面が英語表示画面に切り替わる。英語表示画面のメニューで「Japanese」をクリックすると画面が日本語表示画面に切り替わる。

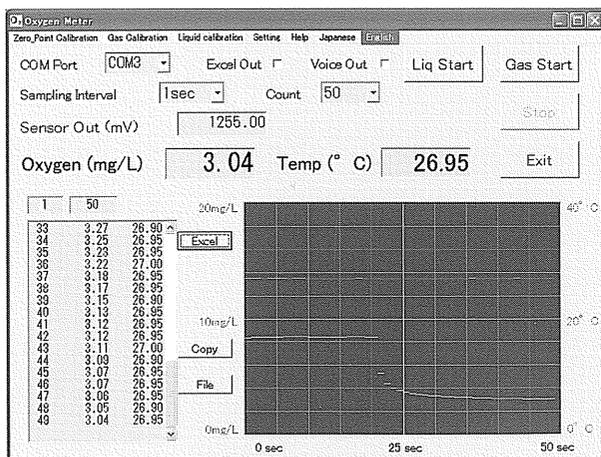


図 10 英語画面

5. 4 CH-1 だけの画面

場合によっては、CH-1 だけを見たい場合がある。メニューで CH-1 の酸素濃度だけの画面に切り替えることができる。

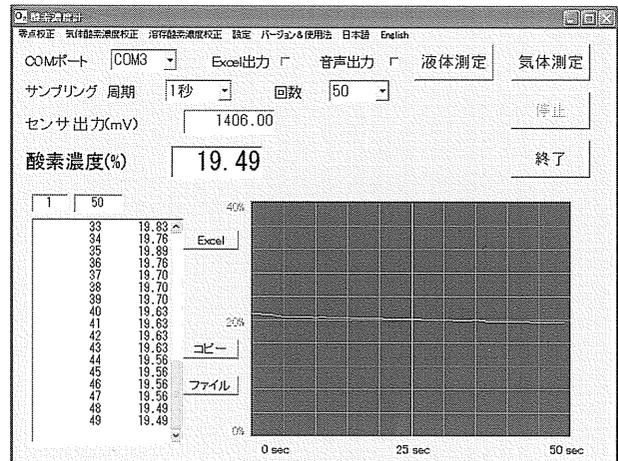


図 11 酸素濃度だけの画面

6. まとめ

物理量に比例した電圧を出力するセンサに対応する汎用 USB 接続データ収集システムを作成した。このシステムに酸素センサと温度センサを接続して酸素濃度・温度データ収集システムとして動作させた。このデータ収集システムの特長を整理すると以下ようになる。

- (1)外部ファイルを書き換えることにより多種類の電圧出力センサに対応できる。
- (2)電圧測定装置の電源はパソコンから USB ケーブルで供給されるため装置電源が不要である。
- (3)USB 接続のための COM ポート番号はソフトウェアにより自動記入されるため手入力する必要がない。
- (4)オフセット補正をパソコンで実施していることにより OP アンプの交換にも容易に対応できる。
- (5)校正と測定がボタンクリックだけで出来るようになっていたため操作が簡単である。
- (6)収集データを EXCEL に渡して解析できる。
- (7)測定値を音声で読み上げることができる。
- (8)英語画面と日本語画面が切り替えられるから英語圏でも使用できる。

(平成19年1月5日 受理)

「ものづくり基礎工学」における体験重視型専門導入教育 ～東京高専 1 年生への試み～

大塚友彦¹, 小坂敏文², 大貫繁雄³, 清水昭博⁴, 西村 亮², 城石英伸⁵, 黒崎 茂⁴, 福田勝己⁴, 森下達哉⁴, 堤 博貴⁴, 土井 淳³, 伊藤 浩³, 山内峯生³, 木村知彦³, 加藤 格¹, 一戸隆久¹, 正木 進¹, 鈴木 孝², 松林勝志², 吉本定伸², 松本章代², 中野雅之⁵, 羽鳥広範⁶, 鈴木塔二⁷, 藤野 宏⁷, 海津朋之⁷, 中村源一郎⁷, 米谷雄介⁷, 松岡 敏⁶, 村田賢俊⁶, 雑賀章浩⁸, 新田武父⁶

Approach of experience type practice in “Fundamental Engineering Laboratory”

—On trial for freshman at TNCT—

Tomohiko OHTSUKA, Toshifumi KOSAKA, Shigeo OHNUKI, Akihiro SHIMIZU, Makoto NISHIMURA, Hidenobu SHIROISHI, Shigeru KUROSAKI, Katsumi FUKUDA, Tatsuya MORISHITA, Hirotaka TSUTSUMI, Atsushi DOI, Hiroshi ITO, Mineo YAMAUCHI, Tomohiko KIMURA, Itaru KATO, Takahisha ICHINOHE, Susumu MASAKI, Takashi SUZUKI, Katsushi MATSUBAYASHI, Sadanobu YOSHIMOTO, Akiyo MATSUMOTO, Masayuki NAKANO, Hironori HATORI, Tohji SUZUKI, Hiroshi FUJINO, Tomoyuki KAIZU, Genichiro NAKAMURA, Yusuke KOMETANI, Satoshi MATSUOKA, Yoritoshi MURATA, Akihiro SAIGA, Takenori NITTA

This paper presents the approach of the experience type practice in the lecture “Fundamental Engineering Laboratory” on the trial for freshman grade at Tokyo National College of Technology.

(Keywords: experience type practice, Fundamental Engineering Laboratory)

1. はじめに

近年の小中学校教育課程改訂により、考える力やコミュニケーション能力育成のための総合的な学習の時間が増強された。考える力やコミュニケーション能力は、いわゆる「生きる力」に繋がる重要な能力であり、こうした試みに対しては一定の評価がされている。

しかし、その一方、総合学習の時間を増設した分、数学(算数)や理科の内容や時間数が削減される状況となった。この影響もあって、子供たちが科学や技術の大切さをイメージする力が弱くなり、結果として、理工科離れも進行してしまったと言われている。

近年、工業高専においても数学や理科体験の少ない新入生を迎えるようになり、一般教養科目と専門科目を楔形に配置した従来型の5年一貫教育を行うことは難しい状況になってきた。こうした現状を踏まえ、東京工業高等専門学校(以降、東京高専と言う)では、数年前より工業高専の教育課程の改訂、現在の小中学校の教育課程を意識した高専新入生教育等を検討してきた[1]～[4]。

従来、専門科目では、講義と学生実験は別々の科目として行われてきたが、小中学校の新教育課程に対応するため、東京高専では、講義と実験を融合した講義形式実験を新設した。実験室で講義を行い、説明を行ったその場ですぐに実験で現象を確認させることにより、小中学校での理科実験体験の少ない新入生に対し、短期間で技術の基礎知識・理論の理解を現象観察体験により一層深い理解へと導く工夫も試みている。また、講義とは別に放課後の計算特訓による計算力トレーニングを新入生に実施し、高専の技術修得に必要な基礎学力を伸ばす試みも実施してきた[4]。

しかし、ここ数年、新入生の「読み・書き・計算」のトレーニング不足の傾向は顕著となり、中学校卒業直後から新入生を専門学科に所属させ、一般教養科目と専門科目を楔形5年一貫教育すること自体が困難になりつつあった。

一方、実社会での製品開発では、特定分野の知識のみならず、様々な分野の知識を結集して作業を進めることが多いことから、真の技術マインド

-
- 1) 電子工学科 2) 情報工学科 3) 電気工学科 4) 機械工学科 5) 物質工学科
6) 技術室第二技術班 7) 技術室第一技術班 8) 技術室第三技術班

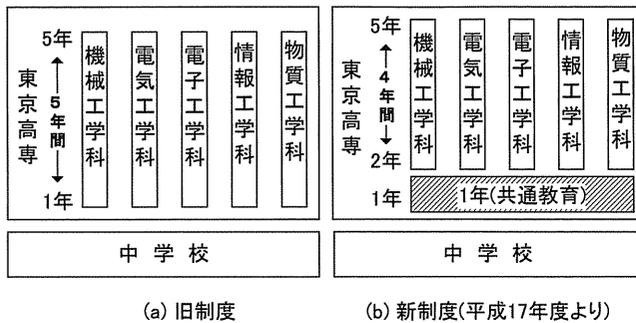


図1. 新しい東京高専の教育体制

を育成するには、幅広い分野の知識や技術の修得に意欲的に取り組める心構えを持つことが重要と考えられる。そこで、東京高専は全国高専に先駆けて、1年次を技術の基礎修得のために必要な「読み・書き・計算」の能力を育成する学年と位置づけ(図1)、平成17年度より専門学科に所属する前段階として新入生全員を対象とした共通工学基礎教育を実施している。

1年次の共通基礎教育では、特に、技術全般を概観し、さらに幅広い技術分野の体験から技術者としての素養を伸ばすことを目的とした科目「ものづくり基礎工学」が開講されている。この科目を通じて、機械技術、電気技術、電子技術、情報技術、物質技術の幅広い分野の体験学習し、これらの分野が複合融合して社会でどのような役割を果たすかを学生に理解できるよう工夫を試みている[5]~[7]。

本報告では、図1の新制度下において、入学前の理科実験等の体験の少ない新入生を対象に技術マインドの育成・獲得、並びにこうした体験を通じて学生らのモチベーション向上を目的に創られた新しい工学系共通教育科目「ものづくり基礎工学」の試みについて報告する。

2. 実験・実習・演習テーマの概要

2. 1. 概要

「ものづくり基礎工学」は、東京高専の5学科がそれぞれの専門分野に関連する実験テーマを指導する形式で実施されている。実験テーマ選定に際しては、1年次共通基礎教育の趣旨に配慮し、1年生が将来どの学科に所属しても役立つ内容となるように選定した。この理由は、その場限りの

華やかな先端技術のデモンストレーションを見学することよりも、各分野の基礎をしっかりと体験学習して修得した方が複合的な技術を理解する上で重要と考えたからである。また、「ものづくり基礎工学」では、各分野の基礎修得と同時に実験に向かう心構えについて学ぶことも教育目標の一つと位置付けている。

実験・実習・演習テーマは、大別して機械工学分野、電気工学分野、電子工学分野、情報工学分野、物質工学分野の5分野からなり、1年生は各分野の実験・実習・演習をクラス毎にローテーション形式で体験学習する。各分野の実験・実習・演習テーマとその概要を以下に示す。

2. 2. 機械工学分野

表1. 機械工学分野の実習概要

No.	テーマ名	概要
M0	CADによる作図	自動車の部品製作図をCADで作成する。
M4	旋盤によるタイヤ部分の加工	アルミの丸棒にタイヤ痕を付け、4個を「突っ切り」で切断する。
	フライス盤による本体部分の溝加工	アルミ本体の軽量化のため溝加工を行う。
	ねじ切りと穴開け加工	ボール盤による穴開け加工と、タップやダイスによるねじ加工。
M5	鋳造工程体験	自動車車室部の木工加工及び鋳物製作。
	組立、調整、コンテスト	組立と調整の後、性能コンテストを実施。

機械工学分野の実習では、実習工場における「ものづくり加工」について、各種工作機械を扱いながら設計から製作・評価までの一連の流れを体験学習する。製作する課題は、「自動車モデル」の製作となっている。材料はアルミニウムを用い、一人1個の自動車モデルを製作している。製作品は、1年生が各自持ち帰ることができる。表1の5部門の加工製作を体験学習し、最終回(M5)に製

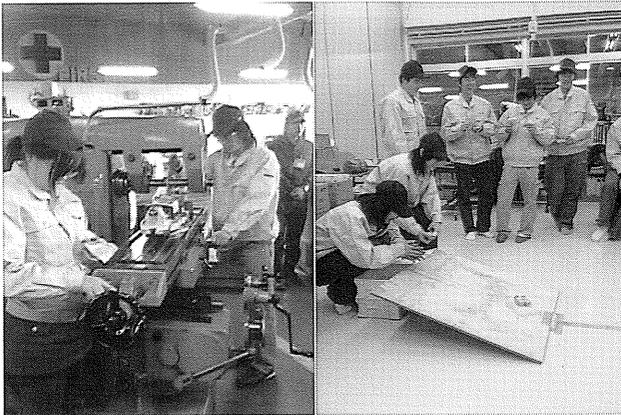


図 2. 加工や性能評価を行う学生(機械工学分野)

作品の走行コンテストを実施し、性能を競う。
機械工学分野の実習の様子を図 2 に示す。



図 3. ロボット制御を行う学生(電気工学分野)

2. 4. 電子工学分野

2. 3. 電気工学分野

表 2. 電気工学分野の実験概要

No.	テーマ名	概要
E0	ロボットの組み立てとプログラミング	LEGO ロボットを組み立て、その動作のプログラミングを行う。
E1	テストの製作と測定①	テストを製作し、その校正を行う。また、製作したテストを用いて電流・電圧・抵抗の測定を行う。
E2	テストの製作と測定②	
E3	PICマイコンを用いた電子工作①	PICマイコンを用いて、LED点灯、スイッチ入力、モータ駆動などの基本的なプログラミングを行う。
E4	PICマイコンを用いた電子工作②	
E5	PICマイコンを用いた電子工作③	

電気工学分野の実験では、電気工学に関連した基本事項（ハンダ付け技術、テストによる電圧・電流・抵抗の測定技術、オームの法則、マイコン制御、プログラミングの基礎）を身につけるため、表 2 のような 3 項目の「ものづくり」体験を通して実験を行っている。

電気工学科の実験の様子を図 3 に示す。

表 3. 電子工学分野の実験概要

No.	テーマ名	概要
D0	マイコンを用いたものづくり実習	PICマイコンを用いた電子オルゴールや7色発光装置のものづくりを通じ、コンピュータの仕組みや歴史を学ぶ。
D1	直流回路の性質(1)	直流回路の法則を学び、抵抗や電圧降下の測定法を修得する。
D2	直流回路の性質(2)	電流の測定方法、直列回路の電圧降下測定法、ダイオードの性質を理解する。
D3	オペアンプと波形観測	オペアンプを使って増幅回路の基礎を学び、交流電圧波形の観測法を理解する。
D4 及 び	電波と通信のしくみ	ラジオ放送の仕組みを学び、電波の性質を理解する。
D5	光エレクトロニクス	ものづくり体験や光通信実験を通じ、光エレクトロニクスの基礎を学ぶ。

電子工学分野の実験では、電子工学の基礎として直流回路の法則、電子デバイスの仕組みを学びながら、基本的な電子計測技術、測定結果の整理

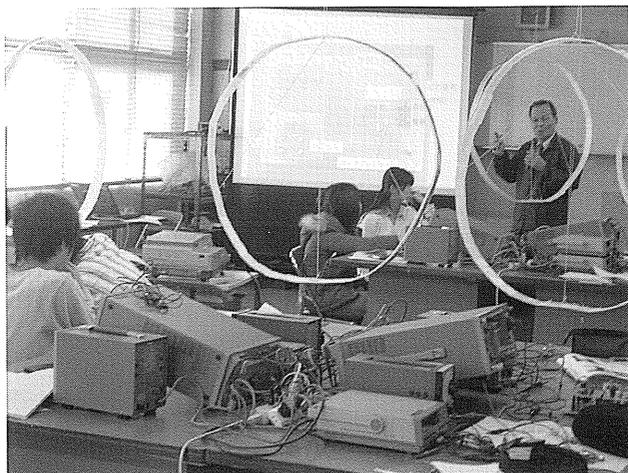


図 4. 電波の実験を行う学生(電子工学分野)

方法（グラフの書き方など）を学ぶ。ここでは、表 3 の 6 項目について各種計測機器に触れながら体験学習する。

図 4 は、電子工学分野の実験テーマで、「電波と無線通信のしくみ」の実験の様子を示したものである。電子工学分野では、中学卒業間もない学生にも出来るだけ理解を深めてもらうため講義形式実験を取り入れ、説明したその場で実験を行って学んだ知識を確認できるよう工夫している。

2. 5. 情報工学分野

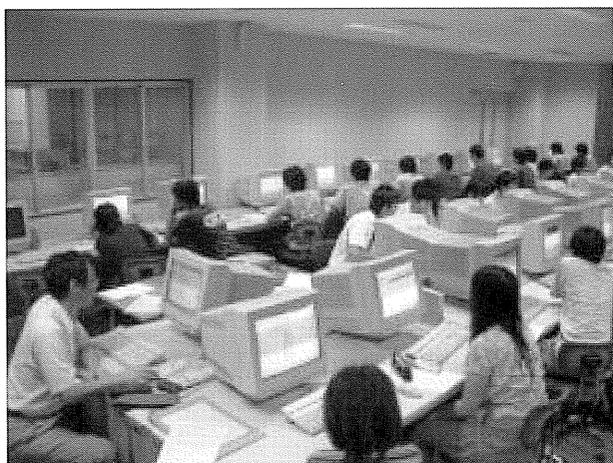


図 5. プログラミングを行う学生(情報工学分野)

情報工学分野の実験・演習では、表 4 のようにコンピュータグラフィックス (CG) 及びマイクロコンピュータ (マイコン) を題材としたプログラミング入門を行う。プログラムを通じた様々なも

のづくりを体験すると共に、プログラミング一般に通じる考え方を修得する。

情報工学分野の実験・演習の様子を図 5 に示す。

表 4. 情報工学分野の実習概要

No.	テーマ名	概要
J0	情報工学とものづくり	卒業研究の見学を通じて、情報工学分野におけるものづくりと研究内容の概要を知る。
J1	プログラミングの基本	CGを題材として、プログラミングの基本となる考え方について学ぶ。
J2	変数を用いたプログラム	変数を用いたCGのプログラムを作成し、プログラミングに特有な考え方の一端に触れる。
J3	繰り返しを用いたプログラム	繰り返しを用いたCGのプログラムを作成し、複雑な処理を簡潔に記述できることを学ぶ。
J4	マイコンプログラミング	マイコンを用いて、組込機器用のプログラミングを体験する。
J5	マイコンによるモータ制御	ロボコンを想定して、モータを制御するプログラミングを体験する。

2. 6. 物質工学分野

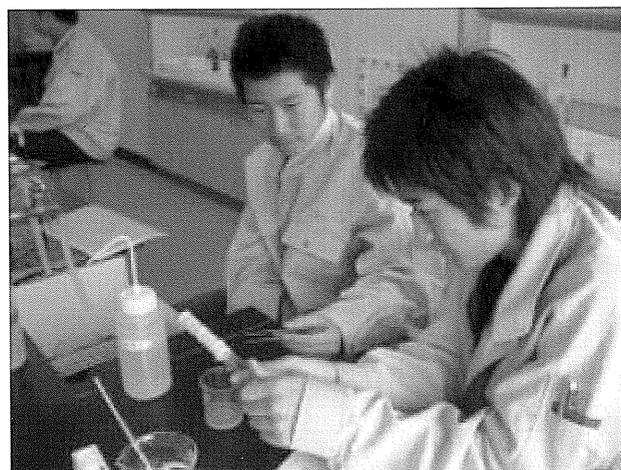


図 6. 化学実験を行う学生(物質工学分野)

表 5. 物質工学分野の実験概要

No.	テーマ名	概要
C0	炭化水素とエステル合成	メタン、アセチレン、酢酸イソペンチル、酢酸エステルを合成する。
C1	物質の分離と精製	ろ過、蒸留、再結晶、抽出の操作、ガスバーナーの使用法を体験する。
C2	代表的な金属の反応	主な金属特有の反応を体験する。
C3	コンピュータ化学/反応熱とヘスの法則	コンピュータが化学でどのように使われるかを体験する。反応熱を測定し、ヘスの法則が成り立つことを理解する。
C4	酸塩基と中和反応	pHの関心を深め中和反応について理解する。
C5	酸化還元反応	酸化剤と還元剤の反応を体験する。

物質工学分野の実験では、基本的な化学的知識や考え方を理解するために、物質の生成、化学反応を体験する。また日常生活にも化学が密接に結びついていることについて、実験を通して理解し、その原理を追求する。

物質工学分野の実験の様子を図6に示す。

3. 学生の授業アンケート評価

「ものづくり基礎工学(電子工学分野)」では、開講当初の平成17年度より、クラス別・分野別に授業アンケートを行っている。アンケート調査結果は、今後の授業改善に役立てたいと考えている。

表6は、電子工学分野に関して平成18年度1年生3組に対してアンケート調査した集計結果である。アンケートは無記名形式で行った。他のクラスについてのアンケート結果も概ね同様な傾向となっている。集計結果を見る限り、

- ・ 授業に熱心に取り組んでいる学生は約80%
- ・ 授業への興味を示す学生は約80%
- ・ 授業の重要性を認識している学生は約70%
- ・ 授業のレベルについては、中程度と感じる学生は約60%、難解と感じる学生は約25%、

易しいと感じる学生は約15%

- ・ 教員の学生へ理解してもらおうという雰囲気を感じる学生は約70%
- ・ 説明のわかりやすさについて良い評価をしている学生は約80%
- ・ 授業のスピードについては、中程度と感じる学生が約80%

という傾向が確認できた。

電子工学分野以外についても、平成18年度については、クラス別・分野別に学生への授業アンケート調査が実施されている。分野毎に実験内容が大きく異なるため、アンケートの質問項目も若干異なっているが、各分野のアンケート集計結果の傾向は同様で、

- ・ いずれの分野も学生は熱心に取り組んでいる。
- ・ 教員側の熱意も学生全体に届いているように判断される。

こうしたアンケート集計結果の情報、並びに1年生「ものづくり基礎工学」の受講態度等については、1/4期毎に各分野の代表教員、並びに技術室代表が集まり、意見交換や情報共有している。

4. まとめ

本報告では、1年生共通教育における東京高専専門導入教育「ものづくり基礎工学」の取り組みについて記した。実社会での製品開発では、特定分野の知識のみならず、様々な分野の知識を結集して作業を進めることが多いことから、入学して間もない段階で幅広い分野の技術の基礎を体験学習することは意味深いものと考えられる。また、授業アンケートの集計結果から、将来所属する学科に関連する分野以外でも、学生は概ね熱心に取り組んでいるように判断される。

「ものづくり基礎工学」を開講して2年が経つが、今後は、分野毎に内容改善を行うとともに、各分野間の連携等についても検討していく必要があると考えられる。今後とも、学生に幅広い分野の知識や技術の修得により一層意欲的に取り組む心構えを持たせるよう教授方法等にも改善を試みていきたい。

表 6. 電子工学分野授業アンケート結果例

質問項目 (選択肢)	回答 [%]				
	1	2	3	4	5
1. あなたは授業に意欲的に取り組んでいますか。 (1. 全く意欲がない 2. やや意欲がない 3. ふつう 4. やや意欲がある 5. とても意欲がある)	0	0	23.8	47.6	28.6
2. あなたはこの授業のために予習や復習をどの程度行っていますか。 (1. 全くしない 2. あまりしない 3. ふつう 4. 少しする 5. 積極的にする)	9.52	42.9	19.0	28.6	0
3. あなた自身の授業態度等はまじめな方だと思いますか。 (1. 全くまじめでない 2. まじめでない 3. ふつう 4. まじめである 5. 大変まじめである)	0	11.9	57.1	26.2	4.76
4. 授業の内容はあなたにとって難しいですか。 (1. とても難しい 2. 難しい 3. ふつう 4. やさしい 5. 大変やさしい)	2.38	28.6	57.1	9.52	2.38
5. 授業の進度はあなたにとって適切ですか。 (1. とても速すぎる 2. 速い 3. ふつう 4. 遅い 5. とても遅い)	2.38	14.3	83.3	0	0
6. 先生の説明はわかりやすいですか。 (1. とても分かりにくい 2. 分かりにくい 3. ふつう 4. 分かりやすい 5. 大変分かりやすい)	2.38	4.76	28.6	52.4	11.9
7. 先生の話し方(声量、スピード等)は聞き取りやすいですか。 (1. とても聞きづらい 2. 聞きづらい 3. ふつう 4. 聞きやすい 5. とても聞きやすい)	0	2.38	31	31	35.7
8. スクリーンに投影された文字や図はわかりやすいですか。 (1. とても分かりにくい 2. 分かりにくい 3. ふつう 4. 分かりやすい 5. 大変分かりやすい)	11.9	28.6	26.2	26.2	7.14
9. 授業の説明は、学生に理解してもらおうという雰囲気を感じますか。 (1. 全く感じない 2. 感じない 3. ふつう 4. 感じる 5. 大変感じる)	0	2.38	21.4	52.4	23.8
10. この科目の必要性(重要性)は授業を通じて伝わりますか。 (1. 全く伝わらない 2. 伝わらない 3. ふつう 4. 伝わる 5. 大変伝わる)	0	7.32	26.8	46.3	19.5
11. あなた自身はこの科目の内容をどの程度理解できていると思われませんか。(1. 全く理解できない 2. 理解できない 3. ふつう 4. 理解できる 5. よく理解できる)	0	9.52	45.2	42.9	2.38
12. あなたは実験・実習のための事前準備を行っていますか。 (1. 全くしない 2. しない 3. ふつう 4. する 5. きちんとする)	7.14	33.3	35.7	23.8	0
13. あなたは実験・実習のレポート作成にまじめに取り組んでいますか。 (1. 全く取り組んでいない 2. 取り組んでいない 3. ふつう 4. 取り組んでいる 5. 十分取り組んでいる)	2.38	7.14	21.4	52.4	16.7
14. 実験実習の指導書やプリントは内容を理解するのに役立ちますか。 (1. 全く役立たない 2. 役立たない 3. ふつう 4. 役立つ 5. 大変役立つ)	0	2.38	16.7	57.1	23.8
15. 実験・実習に興味がわき、おもしろいと感じますか。 (1. 全く興味がない 2. 興味がない 3. ふつう 4. 興味がわく 5. 大変興味がわく)	0	4.76	19	40.5	35.7

参考文献

- [1] 大塚友彦, 加藤格, 青木宏之, 村田賢俊, 福井繁雄, 正木進, “東京高専電子工学学科における情報教育の試み”, 平成 17 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 504-505
- [2] 大塚友彦, 加藤格, 谷田部喜久雄, 福井繁雄, 青木宏之, 正木進, “フィードバック制御教育のための導入実験の試み”, 平成 16 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 533-534
- [3] 潮秀樹, 青木宏之, 小池清之, 大塚友彦, 加藤格, 正木進, “ものづくりの心を育てる物理教育を目指して”, 平成 16 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 7-8
- [4] 小池清之, 青木宏之, 大塚友彦, 加藤格, 柚賀正光, 正木進, “低学年の工学導入教育の新しい試み”, 平成 15 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 275-278
- [5] 福田勝己, 黒崎茂, 清水昭博, 森下達哉, 吉沢誠, 中村源一郎, “模型自動車モデルの機械加工製作によるものづくり実践授業—第 1 報 東京高専全 1 年生への試み—”, 平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 94-95
- [6] 黒崎茂, 福田勝己, 松林勝志, 鈴木塔二, 藤野宏, 海津朋之, “模型自動車モデルの機械加工製作によるものづくり実践授業—第 2 報 CAD 実習から製作完成までにおける取り組み”, 平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 96-97
- [7] 大塚友彦, 一戸隆久, 加藤格, 福井繁雄, 村田賢俊, 正木進, “新入生向け工学系共通教育としての電子工学導入教育”, 平成 18 年度工学・工業教育研究講演会講演論文集, pp. 164-165

(平成19年1月5日 受理)

e ラーニング導入とコンテンツ制作

白石啓一*, 竹田恒美**, 関根紳太郎**, 青木宏之*

On Introduction of e-Learning and Making Contents

Keiichi SHIRAISHI, Tsunemi TAKEDA, Shintaro SEKINE, Hiroyuki AOKI

We discuss e-Learning and making contents. First, we introduce Instructional Design (ID), making contents, Learning Management System (LMS), supporting students and copyright. These are important knowledge for e-Learning. ID is the framework for design of education includes analysis, design, development, implementation and evaluation. ID will make e-Learning contents better. Second, we show experience of installation and operation LMS. Third, we show examples of making contents. One is the materials for English listening, the other is the analysis of contents for drug abuse prevention. (Keywords: e-Learning, Instructional Design, making contents)

1 はじめに

近年、コンピュータやネットワークなどのテクノロジーを教育に活用する e ラーニングが注目されている。特に、

- (1) 教材・資料配布
- (2) 問題(テスト)の配布
- (3) 答案・レポートの回収
- (4) 答案の半自動採点
- (5) 学習進度の把握
- (6) 成績の確認

などの学習管理が注目を集めており、そのための学習管理システム(Learning Management System, LMS)が数多く開発されている。LMS 導入により、学生の講義時間外での学習補助や、教員の負担軽減が期待できる。

システム開発が進む一方で、システム利用やコンテンツ制作に関するノウハウは広まっていない。そのため独立行政法人メディア教育開発センター(NIME)は、IT を活用した教育のための研修講座を開講している。本稿の目的の一つは、NIME の研修講座(インストラクショナルデザインセミナー、インストラクショナルデザインワークショップ、コンテンツ制作ワークショップ、学習者支援セミナー、LMS 入門セミナー、e-Learning セミナー、教育著作権セミナー I・II)で受講した内容を報告することである。

東京高専では、平成 17 年度より e ラーニング

ワーキンググループ(WG)が結成され、e ラーニング導入が検討されてきた。平成 18 年度には、重点配分経費を受け、e ラーニング試行システムの構築を行うことになった。また、「専門分野と連携した高専英語教育の新展開」プロジェクトと結び付けられた教員交流により異動して来た白石が WG に加わった。WG では、(1)試行用 e ラーニングプラットフォーム構築、(2)英語向け e ラーニング試行システムの構築の 2 本のプロジェクトを進めることになった。(2)は、コンテンツ作成、授業等での利用、システム構築・運用のノウハウの蓄積、マニュアル整備を目標に掲げている。本稿では、システム構築・運用マニュアル整備、英語音声教材作成について報告する。

2 節で NIME の研修講座の内容を報告し、e ラーニングを実施していくための知識をまとめる。3 節では「英語向け e ラーニング試行システムの構築」に利用した LMS 導入について述べる。4 節のコンテンツ制作には二つの話題が含まれる。一つは e ラーニングコンテンツのための素材作成である。英語の音声教材を取り上げたが、音声教材一般でも同様である。もう一つは 2.1 節のインストラクショナルデザインをベースにした薬物乱用防止に関する学生指導用コンテンツの分析である。今後、この分析を元に教材開発を進めることになる。

2 IT を活用した教育のための研修講座

NIME は e ラーニング開発研修プログラムの一環で、インストラクショナルデザインセミナーをはじめとする講座を開講している。研修で得られた知識のうち、インストラクショナルデザイン (ID) ¹⁾²⁾、コンテンツ制作、学習者支援、LMS、著作権について、以下にまとめる。

2.1 インストラクショナルデザイン

ID とは、コースや科目に対して、ニーズ調査などの分析を行い、効果的・効率的に学べるカリキュラム・教材を設計、開発する手法である。開発時に成績の評価方法の他、カリキュラム・教材の評価方法も設定するので、開発結果の評価を簡単に行うことができる。ただし、教育では測定できそうにない結果を学習目標に設定することがあるので、成績評価方法の設計には困難が伴う。教育の実施後に、カリキュラム・教材を評価、フィードバック、改良する。教材の評価には、Carey のコンテンツ品質チェックリスト、Keller の ARCS モデル ⁴⁾チェックリストなども利用できる (チェックリストは ³⁾の PowerPoint 資料に含まれる)。

ID では、設計前にニーズ調査、初期分析を行う。初期分析は対象者分析、技術分析、環境分析、タスク分析、重要項目分析、学習目標分析、メディア分析、既存資料分析、コスト分析に分けられる。なお、ID は e ラーニングのためだけのものではない。メディア分析、コスト分析により、e ラーニングに不適であり、他のメディアを使うべきであるという結果が得られる場合もある。

分析を元に、設計、開発、実施 (授業や LMS による公開) し、実施後に評価を行う。設計では、学習目標を詳細化した上で、ガニエの ⁹⁾教授事象 ^{5),6)}や Keller の ARCS モデルに注意しながら、学習項目を構造化する。

開発では、誰が何をどうやって開発するのかという開発計画、素材や教材のバージョン管理方法を事前に決めておくことが望ましい。手戻りが発生するとコストが増大するので、設計を綿密に行っておくことも重要である。

ID のような、手法の明文化は、各作業における作業漏れをなくし、成功確率を上げることにつながる。1),2)に、各作業に使用できる各種の図表、報告書のフォーマットが用意されている。また、

3)に Microsoft Office 形式で電子ファイルが提供されている。これらは、それぞれの作業に有効に使えるだろう。

2.2 コンテンツ制作

Web ベースの LMS を使う場合、クライアントが対応できれば、文章以外に音声・静止画・動画などマルチメディアコンテンツを使える。文章の場合、ワープロソフトのファイルフォーマットをそのまま使うよりも、HTML 形式にした方がクライアントにワープロソフトをインストールしなくて済むので、便利である。多くのワープロソフトは HTML 形式での出力機能をもつこと、LMS によってはワープロソフトのファイルからのフォーマット変換機能を持つことから、コンテンツ作成の際にワープロソフトを使うのも一つの手段であると言える。ワープロソフトを使い慣れている教職員も多いので、コンテンツ増加が期待できる。

文章の読みやすさは言うまでもなく、視覚デザインも重要である。コンテンツの内容や学習者の属性 (人種、年齢など) にもよるが、落ち着いた学習できる色彩、統一されたデザインの使用が望まれる。デザインの基本 ³⁾も参考にできる。

講義風景を撮影し、講義で使用したスライドと同期させた教材を作成したいというニーズも多い。Microsoft 社の PowerPoint で作成されたスライドであれば、PowerPoint に同梱された (ダウンロードで無償提供されている) Producer を使用して、動画とスライドが同期した教材を作成できる。PowerPoint と Producer の組み合わせ以外にも、様々な製品が提供されている。

2.3 学習者支援

スクーリングもなく、一人で学習する e ラーニングの場合、やる気の減退やスケジュールの立て方の甘さから最終目標まで到達しない場合がある。手遅れにならないうちに学習者を支援 (やる気を出してもらい、スケジュールの立て直しを一緒に行うなど) すれば、学習ゴールまで到達する可能性が高まる。高専の場合、講義の補助としての e ラーニング利用がほとんどだろうが、学習者支援の考え方は重要と考えられる。学習支援については、⁶⁾などに詳しい。

本校では、専攻科生が本科生の TA になる制度が始まろうとしている。TA と学習支援者 (メンタ) の役割には相違があろうが、重複する部分で

は参考になるのではないだろうか。

2.4 LMS

1節でも示したように、LMSは教材や問題を配布したり、答案やレポートを回収したりといった機能を持ち、学習者の学習状況を管理するシステムである。最近のLMSには、各科目専用の掲示板、TV会議、メールなどの機能が統合されたものもある。導入する際には、必要とする機能を十分検討する必要がある。

LMSを運用する際には、一般的なセキュリティ対策とともに、学習者の個人情報扱うことから、個人情報保護法の精神に則った対策を行う必要がある。

以前は、一度あるLMS上で学習コンテンツを作成すると、他のLMSへ載せかえることは困難だった。近年、SCORM[®]と呼ばれるコンテンツフォーマットの標準規格が制定され、LMSを変えてもコンテンツを修正しなくても済むようになってきている。これは、市販のコンテンツ増加が期待できるという意味でも非常に良い。しかし、SCORM準拠のLMSでもコンテンツの載せかえは難しいこともある。それに対して、日本eラーニングコンソシアム⁷⁾は、LMSのSCORM適合性の認定、コンテンツ技術者のSCORMアセッサ認定を通し、相互運用性を高める活動をしており、徐々にコンテンツの乗せかえは容易になるだろう。

2.5 著作権に関する注意

著作権は、著作物の許諾のない利用を防止し、文化を発展させるためにある。著作物を利用する際には、著作者より利用許諾を受ける必要があるが、いくつかの場面では著作権が制限され、許諾を得ずに利用できる。授業で使う場合がその一つで、公表された著作物であり、著作権者の利益を不当に害さなければ、必要と認められる限度の数量を複製できる(著作権法⁸⁾第35条、以下同様、ただし平成18年12月現在の著作権法を参照した)。eラーニングで使う場合、教室外・学校外への送信や、授業時間外の送信が考えられる。このような利用は、著作権法上、公衆送信(自動公衆送信)にあたるなど許諾なく利用できない場合が多い。そのような場合、著作権者から利用許諾を受ける必要がある。なお、履修登録しているなど、特定された人たちに対する送信でも、特定多数であれば公衆送信にあたることに注意しなければな

らない(公衆の定義は第2条5)。

法人が著作権を持つ著作物であれば、その法人での利用は自由である。法人の発意に基づき、業務に従事するものが職務上作成するもので、その法人名義で公表する著作物であれば、勤務規則に著作権に関する定めがない限り法人が著作権を持つ(第15条)。その他の場合、例えば教職員や学生(卒業研究や実験の一環で作るなど)が著作権を持ち、それらの著作物を公衆送信などで利用する場合、利用許諾を得ておく必要がある。利用許諾契約書には、利用方法、範囲、(複製の)部数などが必要と考えられる。

以上、9)、10)、11)を参考にした。実際に利用許諾契約を行う際には、契約担当者との相談が必要である。

3 LMS導入・運用

英語向けeラーニング試行システムの導入・運用について述べる。当初の「専門分野と連携した高専英語教育の新展開」プロジェクトの目標は、LMS導入、英語コンテンツの制作、学生指導用コンテンツの制作であった。本校にはLMSが導入されておらず、予算もなかったため、オープンソースのLMSを試用し、本プロジェクトに適用できるか確認することにした。オープンソースのLMSにはmoodleをはじめいくつもあり、その中で、東京大学で開発されたCFIVE¹²⁾を試用した。最低限必要と考えられていた、資料配布とテスト配布・回収・自動採点が十分に動作すること、WindowsXP上でも動いたこと(Javaで書かれているのでプラットフォームを選ばず、WindowsXP上で動くなら、現在、管理している白石以外にも運用できると考えられた)、システムが大規模でないことから管理運用できる程度に十分小さいと判断し、CFIVEを使い続けることにした。

WindowsXP上で利用することによる不利益は開発元が動作確認していないことであろう。オープンソースソフトウェアを利用する際にはよくあることで、自分で動作確認する必要がある。なお、CFIVEはJava¹³⁾、Maven¹⁴⁾、Tomcat¹⁵⁾、PostgreSQLまたはhsqldb¹⁶⁾、LDAPを利用する。LDAPは必須でなく、PostgreSQLの代わりにhsqldbが使えるので、ここでは、Java、Maven、

Tomcat, hsqldb について述べる。Java は WindowsXP をサポートしており、Maven, Tomcat, hsqldb, CFIVE は Java 上で動いているので、CFIVE も動作すると考えられる。実際に、資料配布・テストの各機能の動作を確認している (図 1、CFIVE より配布された音声ファイルが Windows Media Player により再生されている)。

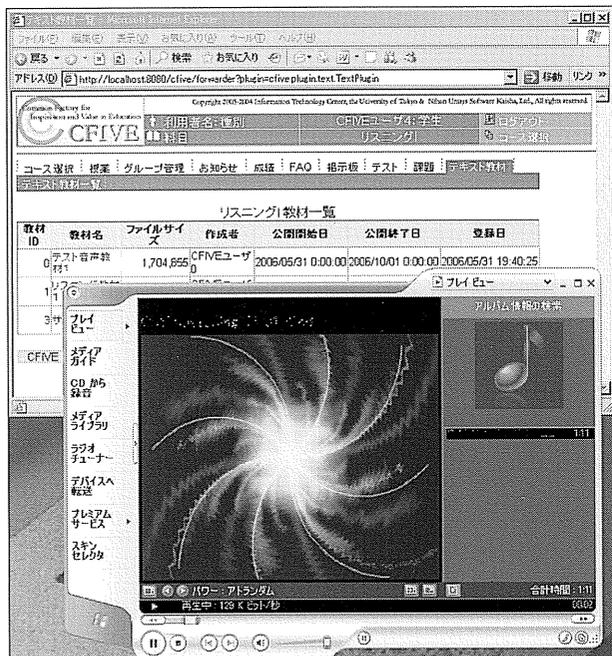


図 1 CFIVE による資料配布

なお、PostgreSQL を利用していないのは、バージョン 7.4 系の Windows 用バイナリが開発元から提供されていないためである。PostgreSQL へ移行するならば、PostgreSQL8 系の Windows 用バイナリを用い、動作確認するか、UNIX 系 OS へ移行する必要がある。

CFIVE の導入・運用には、WindowsXP の一般的な使い方の他、環境変数、バッチファイル、改行コード、データベースと SQL などの知識を必要とする。CFIVE のインストール、運用もある程度順序良く示すと分かりやすい。CFIVE 付属のマニュアルは、Linux に CFIVE をインストールし、LDAP と PostgreSQL の利用を前提として書かれている部分もあるので、WindowsXP 上にインストールし、LDAP を使わず、hsqldb を使う場合についての記述は有用と考えられる。また、本校の運営と CFIVE の運用をつなぐことも必要であろう (学科・教員の登録、学期初めの学期・学生・科目の登録、教員の担当科目の登録、学生の履修

登録の際の CFIVE の操作)。これらをまとめた「LMS CFIVE インストール、運用マニュアル」を整備した。現在、プロジェクトメンバーにより評価中で、今後、書き足りない部分の追加を予定している。また、GPL2¹⁷⁾で公開している CFIVE に敬意を表し、本マニュアルも GPL2 での公開を考えている。

実際に運用していくためには、ハードウェアも含めた CFIVE サーバのパフォーマンスも重要である。学生が CFIVE にアクセスしても、長時間、応答がなければ、学習意欲も減退するものだ。ネットワークの速度も関係するが、本節では十分高速な LAN 内に接続された CFIVE サーバとクライアントを想定し、CFIVE サーバのパフォーマンスについて触れておく。

東京大学では CFIVE 運用のために、負荷分散スイッチ、CFIVE サーバ 5 台 (CPU Intel Xeon 2.80 GHz x 2, Memory 2.5GB, OS RedHat Enterprise Linux ES 3)、DB サーバ (CPU Intel Xeon 3.20 GHz x 2, Memory 4GB, OS Miracle Linux Standard Edition V2.1)、LDAP サーバを用い、登録学生数 4000 人以上、同時ログイン数 1 時間当たり平均 10 人、最大約 200 人を捌いている。連続ログインによる負荷試験では、同時に 50 ユーザがログインしても平均 2 秒以内に処理している¹⁸⁾。

本校では、授業中に使用すると、同時ログイン数は 1 クラス当たり 40 人が見込まれる。従って、本格的に使用するには、十分な CPU、メモリを持つサーバを用意する必要がある。現在、負荷試験計画を持っており、

1. 人海戦術にて実地試験
 2. JMeter¹⁹⁾によるベンチマーク試験
- の 2 種類の方法を検討している。コンテンツ作成しだい、実験する予定である。

4 コンテンツ制作

コンテンツ制作について、素材作成 (音声教材) の例、ID をベースにした薬物乱用防止に関する学生指導用コンテンツの分析例を述べる。

4.1 英語リスニング教材

英語リスニング教材の電子化について述べる。LMS で教材を配信するには電子ファイルである必要がある。音声ファイルには様々なフォーマッ

トがあるが、サイズと学習者側パーソナルコンピュータ (PC) での再生可能性を考慮し、MP3 形式が良いと考えられる。カセットテープの音声を電子化するために、カセットプレイヤー、USB オーディオアダプタ (IO DATA 製 DAVOXL)、PC を用いた。録音に用いたソフトウェアはオーディオアダプタ付属の Sound it!3.0LE である。電子化の手順は以下の通りである。

1. カセットテープの音声を確認し、最大音量の部分を探す
2. 1 の部分を試し録音し、音が割れないことを確認する
3. 音が割れていけば、音が割れないレベルまで、カセットテーププレイヤーの音量を下げる
4. カセットテープ 1 本分の音声を PC に録音し WAVE 形式で保存する (使用するソフトウェアにもよるがメモリ 1GB と HDD1GB 以上の空きを持つ PC で簡単に扱える)
5. 4 のファイルから適切な部分を切り出す
6. 必要があればノーマライズ処理をかける
7. MP3 形式に変換する

1~3 や 6 で、音が割れない程度に音量を大きくするのは、再生時に音量を下げるのは簡単だが、歪みなく音量を上げるのは難しく、音量が小さ過ぎる音声ファイルだと音量を上げて聞き取れないことがあるためである。

5 での音声の切り出しを Sound it!3.0LE で行うと、GUI で直感的に操作できるが、対象となる部分を聞いて確認し、数秒分を前または後ろに加えるといった細かい調整は難しいかも知れない。例えば、フリーソフトウェア WaveSplitter²⁰⁾は、秒単位での経過時間表示しかないので、最高分解能での調整はできないが、音声ファイルを重なりなく分割するためには非常に使いやすい。

カセットテープ 1 本分の音声を全て最初に録音し、後から必要とする部分を切り出す方法を示したが、必要とする部分のみを録音する方法も考えられる。作業時間の観点から、前者の方法が良いと考えられる。カセットテープから PC へ録音するための準備時間を T_p 、カセットテープの再生時間を T_i 、必要とする部分の平均的長さを T_m 、その数を n としよう。切り出し処理時間、ノーマラ

イズ処理後の確認時間にそれぞれ T_m かかるとすれば、全作業時間は次のように見積もれる。前者の方法であれば、録音の準備は一度なので、 $T_p + T_i + 2nT_m$ となる。実際には、カセットテープから録音する際、開始作業と終了作業のみ行い、その間放置することができるので、大まかに $T_p + 2nT_m$ である。後者の方法であれば、毎回、

準備作業が必要なので、 $2n(T_p + T_m)$ である。提案手法は、カセットテープ 1 本分の HDD (などの記憶メディア) を準備しなければならないが、 T_p が十分に長ければ、

$$T_p + 2nT_m < 2n(T_p + T_m)$$

といえるので、作業効率が高まる方法である。また、カセットテープを一度しか再生しないので、カセットテープ劣化への対応策としても良いと考えられる。

なお、2.5 節で述べたとおり、LMS を用いて配信する場合、著作物の利用許諾契約を必要とする場合があることに注意しなければならない。

以上の音声ファイル作成に関するマニュアルを、今後、整備する予定である。

4.2 薬物乱用防止に関する学生指導用コンテンツ制作に向けての分析

まず、ニーズ分析を行う。社会的、受講者など、複数の視点から分析する。

第三次覚せい剤乱用期の終息に向け、薬物乱用防止対策が政府中心に講じられている。薬物乱用対策推進本部は、高専年代の青少年に対し、「目標 1 中・高校生を中心に薬物乱用の危険性の啓発を継続するとともに、児童生徒以外の青少年に対する啓発を一層工夫充実し、青少年による薬物乱用の根絶を目指す。」²¹⁾を立て、学校での薬物乱用防止教育の推進を謳っている。学校での教育により、青少年の意識を高め、在学中、そして社会に出てからの薬物乱用に歯止めをかけられる (社会的ニーズ)。

近年、小中学校での薬物乱用防止に関する授業も増え、多くの高専学生も薬物乱用防止に関する

知識を持っている。正確な薬物関係の法律知識や社会に出たとき、誘われたときの対処法を知りたいのではないだろうか(学生の立場からのニーズ)。

保護者、教職員は学生に対し、「幸せな人生を過ごして欲しい」「無事に学校を卒業して、立派な大人になって欲しい」と思っている。そのための知識・知恵を伝えたい(大人の立場からのニーズ)。

これらのニーズを満たすために教育が解決法になるか、ニーズの源は何かはつきりさせておくコンテンツをより効果的なものにできる。政府は密売組織等供給者の摘発を行っているが、100%の取締りは困難であり、漏れた部分に対する対策が必要である。その対策は、法整備や薬物乱用者の摘発だけでなく、広報や教育による薬物を乱用しない社会の雰囲気作りや薬物を所持・使用しない意思を持つ人作りであろう。所持・使用の前に思いとどまらせるには、その理由も含め、知らせておく必要がある。そのために、教育は重要であろう。

学校では、体に害があるという意味で、薬物(シンナー、麻薬、覚せい剤など)とともにアルコール、タバコの害も合わせて考えることが多い。子供向けの本であるが、22)も同様である。本稿でも同様に考えることにする。

そこで、本コンテンツ修了時の理想像を以下に挙げた。

- アルコール、タバコ、薬物(シンナー、麻薬、覚せい剤など)の害を知る
- アルコール、タバコは20歳以上しか使っていないことを知り、未成年であれば、使わない
- 薬物の所持や使用をすれば、法律により罰せられることを知り、決して使わない

なお、20歳以上のアルコール、たばこの過剰摂取については、害を知らせることにとどめ、使用の可否については扱わない。

理想像を元に、学習目標を定める。「ある条件下である行動ができる」という形式にし、合格基準も明確にする。

1. アルコール、タバコ、薬物の害を知り、何も見ずに選択問題やキーワード記述式問題に正答できる(正答率50%)
2. 未成年者がアルコールを飲まない(100%)
3. 未成年者がタバコを吸わない(100%)

4. 成年者は、構内ではルールを守ってタバコを吸う(100%)

5. 薬物を所持・使用しない(100%)

1は、講演や自習で勉強した後、クイズ形式で知識を問うものである。単位認定の伴う試験ではないので、講演を聞いていたかどうか、自習したかどうかを確認する程度の簡単なクイズを想定している。害の他、どのような場所・状況で誘いや罠があるかを学んでもらい、確認する。2~5は、日常の学校生活の中で、繰り返し指導することで、達成される目標だろう。従って、コンテンツとして考えた場合、1が主になる。薬物乱用防止に関する教育が政府の関与により生涯を通して行われることもあり、本コンテンツでの学習が、生涯における薬物乱用防止にどの程度寄与するか判断が難しい。従って、本コンテンツの評価は、長くとも在校期間の学生の行動を元にした評価が妥当だろう。例えば、23)と同じアンケートを学習の前後に実施し、意識の変化や全国平均との比較を見る方法が考えられる。なお、IDでは、コンテンツの評価を元に内容の改良を奨めている。コンテンツの評価が芳しくなければ、方法や内容の改良を考慮すべきである。

長期教育計画には、学生の人生の時間軸方向、本校の時間軸方向が考えられる。前者については、21)の通り、学生は中学校以前と卒業後を含め生涯教育されるので、本校では高専年代に適した教育をすればよい。後者については、本校の教育計画に基づき計画する必要がある。

対象者分析には、前提知識と学習形態の好みの把握がある。対象者は第1学年全学生約200名である。本コンテンツの場合、入学以前に学習していることもあろうが、内容に変化があることもあるので、薬物に関する前提知識を必要としないコンテンツを制作した方が良いだろう。LMSを利用するなら、LMSを利用したことのある学生を対象とする。LMSを利用したことがない学生には、LMSに関する簡単なレクチャーを受けてもらう必要があるだろう。学習形態の好みについて、長時間かかる学習が嫌われる傾向にある。講演形式ならば1時間程度、自学自習形式のみならば、1セット15分程度で終わる長さが望まれる。

本校では、教える環境として、

- 教室

- 大教室、体育館
- 計算機室

が考えられる。教室や計算機室では、1クラスの学生しか入れないが、黒板にそれほど大きな字を書かなくても、それほど大きな声で話さなくても全員に情報を伝えられる。大教室、体育館では、2クラス以上の学生に同時に情報を伝えられるが、後方にいる学生にも情報を伝えるために、プロジェクタで文字を大きく示したり、マイク、スピーカで声を大きくしたりする必要が出てくる(表1)。学生は多く集めると騒がしくなることも多く、大教室や体育館で教える際には、騒がしくならないような工夫(関心を惹く内容の準備や注意を与えることなど)が必要である。

表1 環境の特性

場所	人数	設備
教室	40人前後	黒板
大教室 体育館	~1000人	プロジェクタ マイク、スピーカ
計算機室	40人前後	ホワイトボード PC

LMSを使い、計算機室で教える場合、計算機室数によって同時に教えられる学生が制限される。本コンテンツは1学年200名が対象なので、LMSと計算機室を使う場合、放課後、自主的に利用してもらうことになるだろう。同じ日に対象学生全員が来ると計算機の台数が足りなくなるので、利用状況を見ながら、学科によって曜日を決めるなど、混雑が少なくなる方策を立てる必要がある。

学外からLMSへのアクセスを許すなら、計算機室の混雑は緩和されるが、ネットワーク回線の混雑を考える必要が出てくる。必要であれば、容量の増強を行う。学外向け回線の容量と各学生が利用している回線の容量を勘案し、コンテンツを制作する必要もあるだろう。特に、動画は容量を圧迫するので、テキストと静止画のみを使うなどの工夫が必要となる。動画をふんだんに利用することで、分かりやすいコンテンツになるかも知れないが、回線が細すぎて再生までに何分かかっているのは学習してくれない(技術分析、環境分析、メディア分析)。

既存資料には、書籍や政府提供のWebコンテン

ツなど数多くあり、参考資料として利用できる。LMSを用いた確認テストを行う際に、ヒントとして、あるいは知識を深めるために、これらの既存資料を知らせると良いと考えられる。

コストには、コンテンツなどの開発コスト、LMSなどの運用コスト、学習者コストがある。開発コスト、運用コストは学校側のコストなので手間をかければ見積もることができる。LMSを利用した場合、学習者である学生がかかるコストには、LMSの使用方法を覚える時間、自主的にPCの前に座りLMSを利用する時間がある。その他、LMSの学外からの利用を許した場合、インターネットサービスプロバイダとの契約料、回線使用料、PC購入費、ソフトウェア購入費など目に見えるものの他、LMSを利用できるように設定する時間や手間が必要となる。また、LMSを利用する際のトラブルシューティングを学校が行う場合、それに関わる人件費が運用コストに加わる。学習者に対しては、それらのコストを使っても余りあるメリットがあることを説明する必要があるだろう。一般に、講義時間の数分の一の時間で同じ内容のeラーニングコンテンツを見終えると言われる。ただし、計算練習や内容を深めるなど、学習者が手を動かして習得すべきものも含めると、同程度の時間がかかる。学習すべき内容は、eラーニングで見ただけで、身につくものではない。むしろ、黒板と違い、後から資料を見返せることや、自分のペースで素早く資料を見て、数多くの練習問題に当たることで、同じ時間で効率良く、密度の高い学習ができること、などをメリットとして強調すべきだろう。

5 おわりに

インストラクショナルデザイン、コンテンツ制作、学習者支援、LMS、著作権というeラーニングを教育に利用していくために必要な知識、LMS CFIVEの導入、素材作成例とコンテンツ制作に向けての分析例をまとめた。著者達はLMSとしてCFIVEを導入し、運用を始められるまで準備している。薬物乱用防止に関するコンテンツは、分析で終わっているため、今後、設計・開発と進んでいかなければならない。CFIVEに載せる教材を充実させ、実際に学生に使用させることも必要である。また、教材は評価されなければならない。評

価し、次の教材や他の科目へフィードバックすることによって、複数の科目がより良く改良される。

今後、まず、「LMS CFIVE インストール、運用マニュアル」と「音声ファイル作成に関するマニュアル」を完成させ、その後、コンテンツ制作に移る予定である。これをきっかけに東京高専で e ラーニング利用が拡大されていくことを願ってやまない。

参考文献

- 1) ウィリアム W.リー, ダイアナ L.オーエンズ 著, 清水 康敬 監訳, NPO 法人日本イーラーニングコンソシアム訳, インストラクショナルデザイン入門 マルチメディアにおける教育設計, 東京電機大学出版局, 2003
- 2) 内田 実, 実践インストラクショナルデザイン 事例で学ぶ教育設計, 東京電機大学出版局, 2005
- 3) メディア教育開発センター, 研修のお知らせ インストラクショナルデザインセミナー, http://www.nime.ac.jp/KENSYU/kensyu_h18/001-01/resume.html, 2006
- 4) Keller J. M., Motivational design of instruction, Instructional-design theories and models : An overview of their current status(C. M. Reigeluth ed.), Lawrence Erlbaum Associates, 1983
- 5) Gagne R. M., Wager W. W., Golas K.C., Keller J. M., Principles of Instructional Design (5th edition), Wadsworth/Thomson Learning, 2005
- 6) 玉木 欽也 監修, 齋藤 裕 他著, e ラーニング専門家のためのインストラクショナルデザイン, 東京電機大学出版局, 2006
- 7) 日本 e ラーニングコンソシアム, <http://www.elc.or.jp/>
- 8) 著作権法, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S45/S45HO048.html>
- 9) 尾崎 史郎, 著作権法の基礎知識—IT 活用教育関係者が知っておきたい著作権—, メディア教育開発センター, 2006
- 10) 尾崎 史郎, 教育関係者のための著作権契約に関する手引き, メディア教育開発センター, 2006
- 11) メディア教育開発センター, IT 活用教育と著作権—関係者が知っておくべきこと— (パンフレット), 2006
- 12) 東京大学情報基盤センター, 日本ユニシス株式会社, LMS 開発プロジェクト CFIVE, <http://cfive.itc.u-tokyo.ac.jp/>, 2003
- 13) Sun, Sun Developer Network(SDN), <http://java.sun.com/>
- 14) The Apache Software Foundation, Apache Maven Project, <http://maven.apache.org/>
- 15) The Apache Software Foundation, Apache Tomcat, <http://tomcat.apache.org/>
- 16) The hsqldb Development Group, hsqldb – 100% Java Database, <http://hsqldb.org/>
- 17) Free Software Foundation , GNU 一般公衆利用許諾契約書, <http://www.gnu.org/licenses/gpl.ja.html>
- 18) 関谷 貴之, 寺脇 由紀, 尾上 能之, 山口 和紀, 学習管理システム CFIVE の開発と運用, 第 9 回 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム・再考 ネットワークの運用・管理とセキュリティ -, pp. 81-86, 2004
- 19) The Apache Software Foundation, Apache JMeter, <http://jakarta.apache.org/jmeter/>
- 20) DDiamond, WaveSplitter, <http://www.vector.co.jp/soft/win95/art/se222492.html>
- 21) 薬物乱用対策推進本部, 薬物乱用防止新五年戦略, 2003
- 22) 横矢 真理, 薬物・万引きなどの悪いさそいから身をまもる, ポプラ社, 2002
- 23) 文部科学省スポーツ・青少年局学校健康教育課, 薬物に対する意識等調査報告書, http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/14/06/020605.htm, 2002

(平成19年1月9日 受理)

廃電子機器からの金属回収

加藤 格¹, 野中 享¹, 鷺津いくる¹

Recovery of Metals Contained in Used Electrical Devices

Itaru KATO, Akira NONAKA and Ikuru WASHIZU

Recovery of metal resources contained in used electrical devices was investigated by using pH control and ion exchange methods with zeolites. Heavy metals were dissolved with an acid solution. Heavy metals in the solution were separated by pH control. The heavy metals in the acid were exchanged with the sodium or calcium ions in the micro pores of zeolite. The lead selectivity of synthetic sodium mordenite (NaM) was eighty-one percent, and it became a comparative high value in three or more component systems.

(Keywords: Recovery of heavy metals, pH control, Zeolite)

1. はじめに

近年、化石燃料やレアメタルなどの資源枯渇の危機に伴いリサイクル問題が重要な課題となっている。既に日本国内では家電リサイクル法が施行され、4 家電と言われるテレビ・エアコン・冷蔵庫・洗濯機に加えて自動車も対象品目として検討されている。一方、パソコンや OA 機器等の回収により有用な貴金属の回収が行われている。その中でも急激な通信技術の進歩により平均買い換え寿命が 1.5 年 (米国) とされる携帯電話のリサイクルが重要な課題となっている。

携帯電話等の廃電子機器から貴金属を回収するプロセスにおける問題点として、焼却灰中に含まれる鉛、カドミウムなどの有害金属の大気環境への飛散や酸廃液の処理などが挙げられ、回収技術や十分な環境対策技術を持たない発展途上国では環境汚染が深刻な社会問題となりつつある。

そこで本研究では、環境や省エネルギーを指向した重金属の選択的回収法を開発するための一つの試みとして、携帯電話に含まれる有用な金属を pH 調整により分離回収する方法について検討した。さらにイオン交換体としてゼオライトを用いて、携帯電話に含まれる重金属のモデル溶液に対する回分吸着実験を行い、重金属の分離特性について、特に毒性の高い鉛選択性について検討した。

その結果、幾つかの得られた知見について報告する。

2. 実験方法

2.1 pH 調整による分離回収実験

はじめに携帯電話を手作業で写真 1 のように分解し、各部品の重量を計測した結果を表 1 に示す。その中で、重金属を多く含む基板部分を王水 (濃硝酸 1 + 濃塩酸 3) により溶解した。基板の一部の残査を取り除いた後の溶解液に、5M 水酸化ナトリウム水溶液を段階的に加えて pH 調整を行い沈殿生成させ、重金属を分離させた。pH 値を 1, 3, 6 と段階的に調整した溶解液をそれぞれ液体試料 A1, B1, C1 とし、誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (ICP-AES) により定量分析を行った。

2.2 モデル溶液による吸着分離実験

2.1 の分析結果より、基板中に特に多く含まれる金属¹⁾であるニッケル、銅に加えて、水環境で問題となる鉛、マンガンおよび亜鉛の 5 種類を選択し、ゼオライトを用いたモデル溶液の単独および 5 成分系の吸着実験を行った。イオン交換剤として、国内資源が豊富で安価である天然モルデナイト Nitto #3 およびナトリウム型合成モルデナイト NaM の 2 種類のゼオライトを用いた²⁾。

モデル溶液中の金属イオンの初濃度を各々10ppmに調整し、全量を50mlとした。モデル溶液は0.1及び0.3グラムを秤取したゼオライトと共に各々100ml 共栓付三角フラスコに入れ、恒温振とう器内で24時間、25°Cで振とうさせた。試料溶液は、0.2 μ mメンブレンフィルターで吸引濾過し、濾液中の金属濃度をICPで定量分析した。

3. 結果と考察

3.1 pH調整による分離回収実験

pH調整により分別された各試料液に含まれる主な金属の回収量をまとめた結果を図1に示す。初めに王水へ溶解した試料A1では、ニッケルが基板1kg当たり184mmolと最も多く含まれ、鉄、銅、チタン、スズなどの順に回収された。pH=3に調整した試料B1では、ニッケルが基板1kg当たり48mmol、銅が22mmolに減少し、鉄、チタン、およびスズの存在は認められなかった。すなわち、試料A1をpH=3に調整した段階でこれらの金属の多くが沈殿したと考えられる。さらに、pH=6に調整した試料C1では、ニッケル以外の主要金属はすべて沈殿により分離回収できることが明らかになった。

図1と同様の各試料液に含まれる主な有害金属の存在量を比較した結果を図2に示す。試料A1では、鉛が基板1kg当たり25mmolと最も多く亜鉛、クロム、マンガン、ヒ素などの人体に有害な金属の存在が認められた。試料B1では、きわめて有害であるクロムおよびヒ素は、ほぼ100%沈

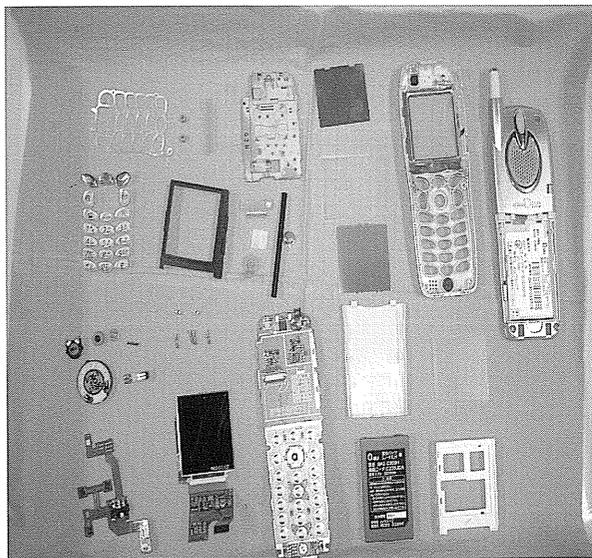


写真1 分解した携帯電話

殿として分離回収できたと考えられる。また他の有害金属についても試料B1をpH=6に調整した段階で、ほぼ沈殿として回収できることが確認された。

表1 各部品の重量

No.	名称	重量 (g)
1	外装・表	12.22
2	外装・裏及び周辺部品	12.92
3	バッテリー蓋	2.59
4	バッテリー	18.74
5	ボタン関連	4.06
6	基板	16.93
7	液晶	5.16
8	配線	1.69
9	内部プラスチック	1.88
10	液晶周辺部品	3.87
11	スピーカー	3.54
12	その他	2.48
総重量		86.12

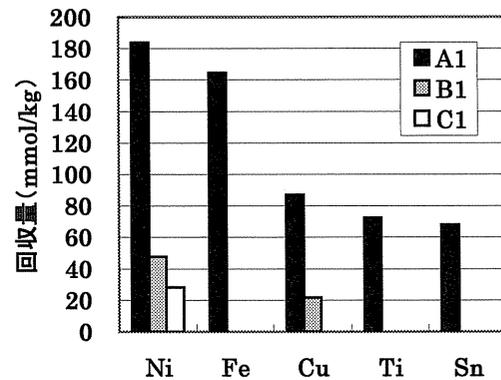


図1 pH調整による金属の分離(1)

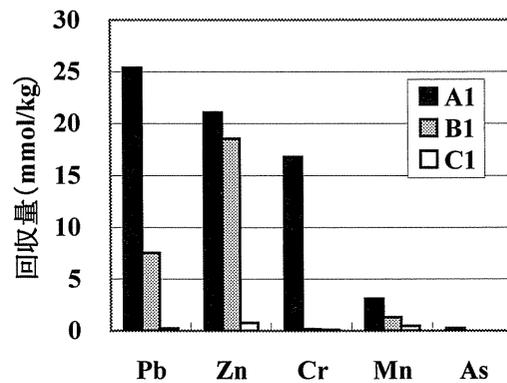


図2 pH調整による金属の分離(2)

3.2 モデル溶液による吸着分離実験

5成分の重金属イオン吸着実験における、各金属イオンの平衡吸着量 q_m を各金属イオンの単独吸着量 q_s と比較した結果を表 2 に示す。

NaMにおける鉛の q_s はゼオライト 1g 当たり 1.6 mg であり q_m では 0.76mg/g-ad となり、他の金属の値より高くなった。他の 4 種の金属イオンの q_s 値は 0.1 以下であり、鉛の値と比べると 15 分の 1 以下であった。すなわち NaM は極めて高い鉛吸着性があることが判明した。一方、Nitro#3 の鉛イオンの q_s はゼオライト 1g 当たり 1.5mg であり NaM の値とほぼ同じ鉛単独の平衡吸着量が得られたが、 q_m 値は 0.45 であり、NaM の q_m 値 0.76 より 40%程減少した。また、他の 4 種の金属イオンの q_m 及び q_s は Ni の q_m 値の値を除いて NaM の値と比較すると全て高くなった。従って、Nitro#3 より NaM が鉛イオン選択性が高いことが分かった。NaM 及び Nitro#3 の 5成分系吸着における鉛イオンの平衡濃度は、それぞれ 5.6、7.3mg/L であり、10ppm 以下の低濃度の鉛イオンを選択的に回収することがわかった。

3.3 鉛選択性の比較

表2に示した5成分系の重金属イオン吸着データを文献値²⁾と比較した結果を表3に示す。鉛吸着量を全吸着量 q_a で除した百分率を鉛選択率[%]として表した。本研究で用いたNaMの鉛選択率は81%であった。各文献の実験条件は様々であり、組成や吸着濃度および温度等の条件が異なるため直接的な比較はできないが、3成分系以上の吸着系では比較的高い値となった。

4. まとめ

携帯電話に含まれる重金属を pH 調整により分離回収する方法およびゼオライトを用いた重金属モデル溶液に対する吸着分離特性について検討した。その結果、王水溶液中の重金属を水酸化ナトリウムにより段階的に pH 調整することにより、沈殿物として分離回収できることが確認された。

ゼオライトの一種であるナトリウム型モルデナイトは、5成分系の重金属溶液において極めて高い鉛吸着選択性を有することが確認された。

今後の課題として、より高い金属吸着量を有する吸着剤の探索および吸着メカニズムの解明が挙げられ、精度の高い吸着等温線が求められる。

参考文献

- 1) 野中亨: リサイクルプロセスにおける重金属の回収に関する研究, 東京高専電子工学科卒業研究論文, 2003
- 2) 鷲津いくる: 廃電子機器からの金属資源回収, 東京高専専攻科特別研究論文, 2005
(平成 19 年 1 月 9 日 受理)

表 2 各金属イオンの吸着量比較²⁾ [mg/g-ad]

金属イオン	NaM		Nitro#3	
	q_s	q_m	q_s	q_m
Pb	1.6	0.76	1.5	0.45
Ni	0	0	0.26	0
Zn	0.079	0.093	0.63	0.15
Mn	0.11	0.074	0.73	0.15
Cu	0	0	0.87	0.072

表 3 多成分系の金属吸着量の比較²⁾

adsorbent	Multi comp. adsorption [mg/g]								Total	Pb/ q_a	References	
	Pb	Ni	Zn	Mn	Cu	Cd	Cr(III)	Cr(IV)				Hg
NaM	0.76	ND	0.096	0.082	ND					0.94	81	This study
Lignin	1600					ND	ND	ND	150	1800	89	Masri et al.,(1974)
Chitosan	800					6.4	92	27	1100	2000	40	Jha et al.,(1988)
Xanthate	18					33	20	ND	1.2	73	25	Bricka and Hill(1989)
Clinoptilolite	150					84	26	ND	150	420	36	Leppert(1990)
Bentonite	6.0							ND		6.5	92	Khan et al.,(1995)
	6.0							ND		61	10	Cadena et al.,(1990)
Peat	230					5.0	76	44	16	370	62	Tummavuori and Aho et al.,(1980a)
Clay	58					17		57		130	45	Pradas et al.,(1994)
Modified wool	140					87	17		630	880	16	Masri and Friedman et al.,(1974)

マイクロコンピュータのシステム設計教育について

横山繁盛*, 西村 亮*, 平尾友一*, 鈴木 孝*

Study on the Teaching of Microcomputer System Design

Shigemori YOKOYAMA, Makoto NISHIMURA, Yuichi HIRAO, Takashi SUZUKI

Computer hardware courses and computer software courses are usually instructed separately in computer related fields. However, computer hardware and computer software form an undivided system. A microcomputer system design course was designed in which the hardware design of a microcomputer and the input and output controllers and the software design were instructed synthetically. Educational tools were developed for constructing the microcomputer, the input and output controllers and software tools.

(Keywords: microcomputer, embedded microcomputer, system design)

1. はじめに

本校情報工学科では、平成 17 年度からコンピュータ・ハードウェア系の科目を、図 1 のカリキュラム構成で教育している。この中の 4 年次の科目である応用計算機設計は、平成 17 年度から開始した新しい科目であり、本報告では、その科目用に開発した教材と授業内容について報告する。まず、第 2 章では、教材であるマイクロコンピュータシステムについて述べ、次に第 3 章で授業の構成と教材の利用法について述べる。

2 マイクロコンピュータシステム

2.1 ハードウェア

教材用に開発したマイクロコンピュータシステムのハードウェアの全体図を図 2 に示す。図中において点線部は NEXUS-80 と呼ぶ市販の Z80 CPU を使用したシングルボードコンピュータ(SBC)である。

(1) NEXUS-80 の概要

NEXUS-80 は、CPU に Z80、周辺 LSI に

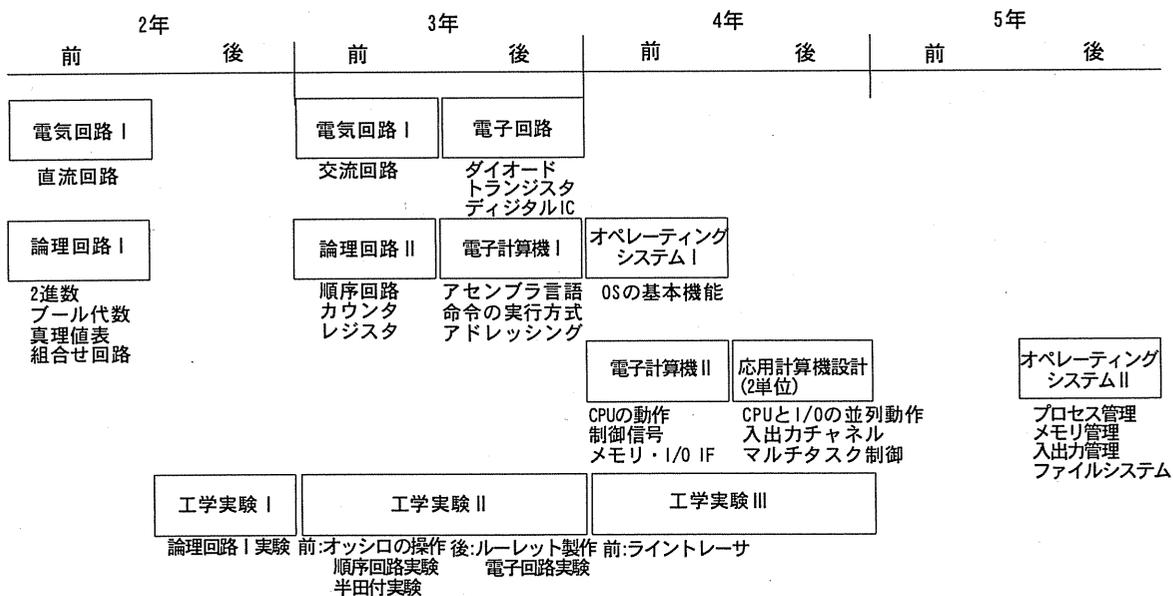


図 1. 情報工学科ハードウェア関連科目

* 情報工学科

Z80PIO(Parallel Input/Output Interface Controller), PPI(Programmable Peripheral Interface), Z80CTC (Counter Timer Circuit)及び USART(Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter)を搭載し, メモリは, ROM 4K バイト, RAM 8K バイトを搭載するシングルボードコンピュータである. 図 3 に NEXUS-80 の本体部とディスプレイキーボード部を示す.

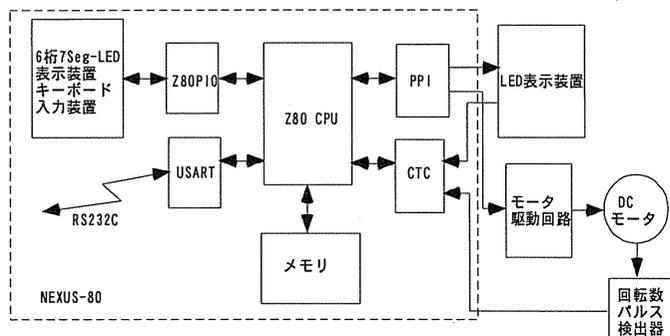


図 2. ハードウェア全体構成図

と PC5 の 2 ビット, 応答信号用に CTC のチャンネル 3 の割込み入力を使用する. 図 5 にデータ転送のタイミングチャートを示す. 動作は, まず CPU 側では PPI のポート A に 1 バイトのデータを書き込み後に, データ送出のタイミング信号である OBF(PC4)信号をアクティブローにする. LED 表示装置側では, OBF 信号がアクティブローになったことでデータラインの PA7-PA0 から 1 バイトのデータを受け取るとともに, CT0 と CT1 で構成される 8 ビットのカウンを動作させる. このカウンタは, 内部クロックの 256 クロック後にキャリーを出力し, これにより ACK 信号をセットする. この信号は, LED 表示装置が 1 バイトのデータを受け取って動作を終了し, 次のデータを受け取ることが可能になったことを示し, 応答信号が CTC の

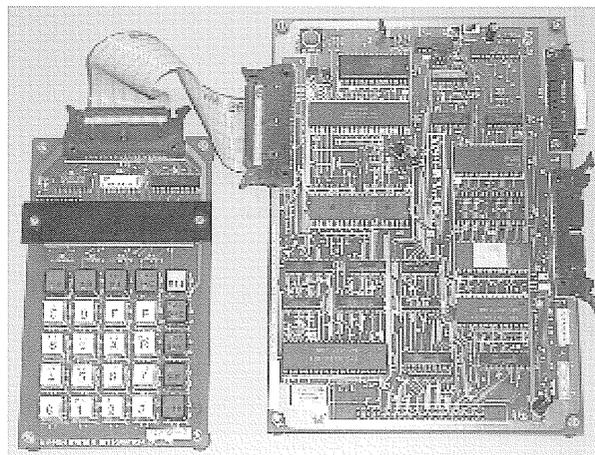


図 3. NEXUS-80

(2) LED 表示装置

I/O 装置の 1 つとして, 図 4 の回路図で示す LED 表示装置を製作した. この装置は CPU から 1 バイトのデータを受け取りそれを 2 桁の 10 進数として 7Seg-LED に表示する機能を持つ. この装置は CPU とは, PPI 及び CTC とに接続され, データ転送用に PPI のポート A の 1 バイト, 制御出力用に PPI のポート C の PC4

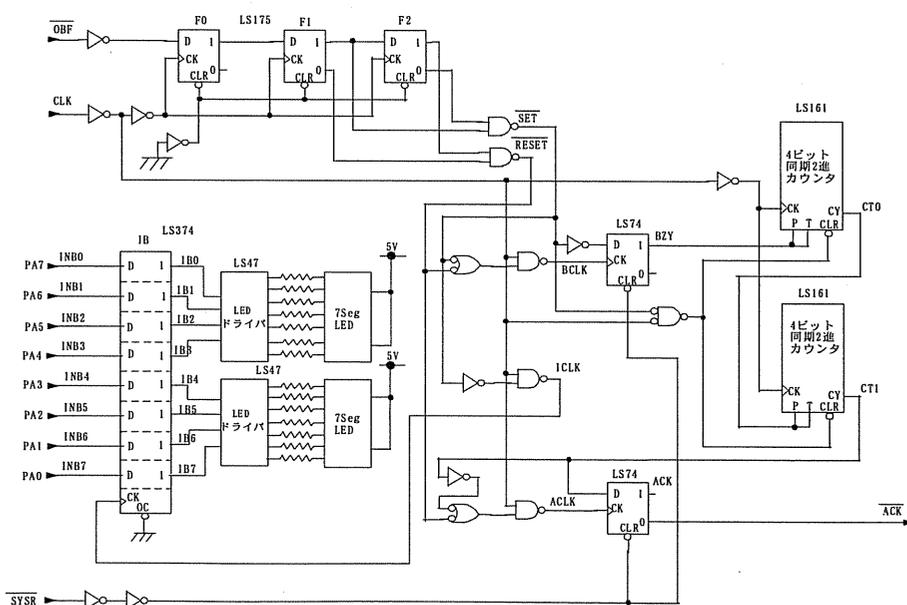


図 4. LED 表示装置

チャンネル 3 の割込み入力端子に送られる。このカウンタによる遅延は、機械動作を伴う遅い IO を模擬するためのものである。

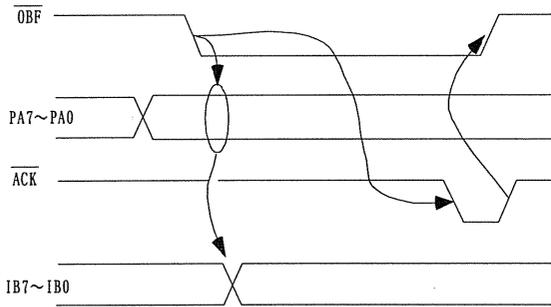


図 5. データ転送タイミングチャート

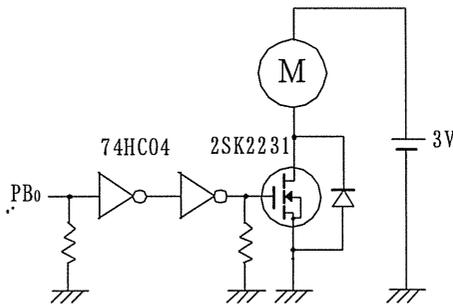


図 6. DC モータ駆動回路

(3) DC モータの駆動制御

DC モータの駆動回路を図 6 に示す。DC モータの駆動は、プログラムで PWM 信号を生成し、PPI のポート B の PB0 の 1 ビットを使用して FET トランジスタを駆動することによっておこなう。DC モータの回転数パルス検出回路を図 7 に示す。回路図中のフリップフロップは、1 スリットあたり正確に 1 個のパルスを検出するためのものである。回転数の計測は、次のようにおこなう。まず DC モータの回転軸に 1 箇所スリットを持つ円盤を取り付け、フォトインタラプタにより 1 回転あたり 1 個のパルス信号を取り出す。これを CTC のチャンネル 2 の割込み入力端子に入れて割り込みを発生させ、割込みの周期をタイマで計測することによりパルスの周期を求め、DC モータの回転数は、パルスの周期を T_{sec} とすると $60/T(rpm)$ で示される。

2.2 ソフトウェア

ソフトウェアの全体図を図 8 に示す。

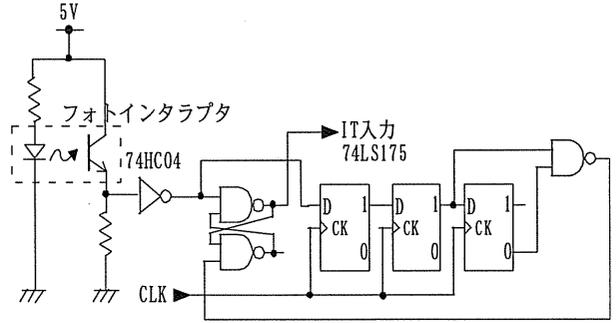


図 7. 回転数パルス検出回路

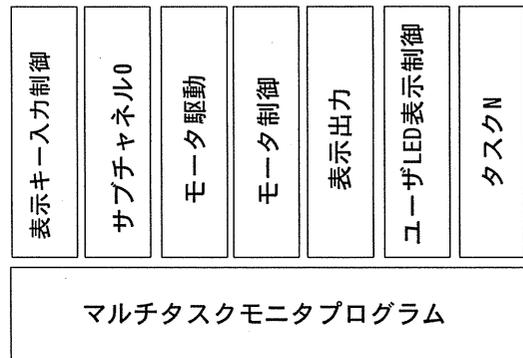


図 8 ソフトウェア全体図

(1) マルチタスクモニタプログラム

マルチタスクモニタプログラムの概略諸元を表 1 に示す。タスクのスケジューリングアルゴリズムは優先度制御方式を採用し 20ms 毎にタスクスケジューラを起動する。

(2) 表示キー入力制御プログラム

NEXUS-80 の標準の 6 桁の 7 Seg-LED への表示制御と 6×4 構成のキーボードマトリックスの入力制御のプログラムである。

(3) サブチャンネル 0 プログラム

I/O データチャンネルの機能の中の、サブチャンネル 0 に対応する I/O とのデータ転送を制御するプログラムである。

(4) モータ制御プログラム

1 周期分のモータ回転数パルス数をモニタプログラム経由で受取り、DC モータの現在の回転数(rpm)を計算すると共に、指定回転数との比較をおこない、指定回転数にするために次に与えるべき PWM のデューティ比を計算するプログラムである。

(5) モータ駆動プログラム

(4)のモータ制御プログラムの指示のもとに PWM の

パルスを発生させて DC モータを駆動するプログラムである。図 9 にモータ制御とモータ駆動プログラムの機能分担を示す。

表 1. マルチタスクモニタの概略諸元

項目	内容
CPU	Z80
タスクスケジューリング方式	優先度制御
スケジューラの起動周期	20ms
定期起動タスク制御	有
タスクの優先度	7F~00
タスク数	10
モニタコールの種類	TNWAIT, SIO, ACKWAT, EXIT, WAKEUP, GETTDI

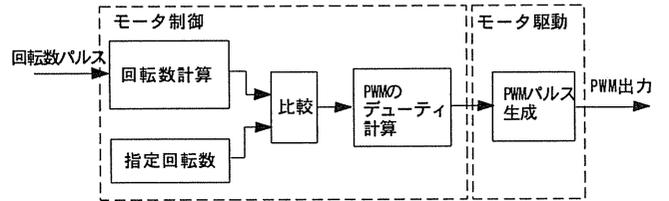


図 9. モータ制御/駆動プログラム

オーダー	モディファイヤ
アドレス	
データ	

図 10. CCW(チャネルコマンドワード)

(6) 表示出力プログラム

6 桁の 7 Seg-LED の 3 桁に DC モータの現在の回転数を表示するプログラムである。

(7) ユーザ LED 表示制御プログラム

LED 表示装置に対して、表示出力するためのデータと図 10 に示す構造を持つ CCW(Channel Command Word)と呼ぶデータを用意して、SIO モニタコールを発行して、表示出力をおこなうプログラムである。

2.3 データチャネル

データチャネルは、マイクロコンピュータシステムのハードウェアとソフトウェアによって実現される機能であり、CPU と入出力装置(I/O)との間にあってデータ転送の制御をおこなう。図 11 にデータチャネルのソ

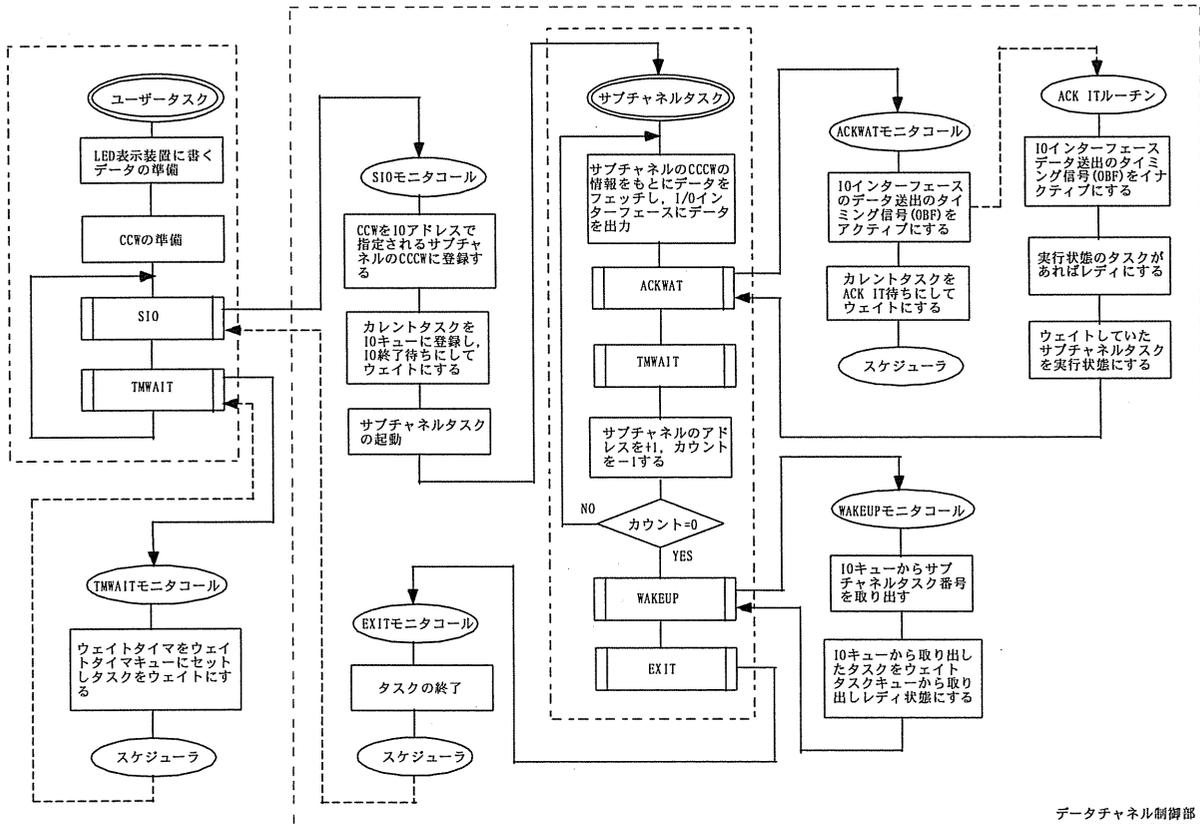


図 11. データチャネルの制御

ソフトウェア制御部の全体図を示す。ユーザプログラムが SIO モニタコールにより I/O の起動指示をおこなうと、データチャンネルは以降ユーザプログラムとは独立して I/O とのデータ転送をおこない、終了するとユーザプログラムに割込みで終了報告をおこなう。次にデータチャンネルの動作を示す。

(1) データチャンネルの起動

出力装置の I/O を動作させるには、まず出力用のデータを用意し、その先頭アドレスとデータ数を示すバイトカウント及び出力を示すオーダを記述する CCW を用意し、出力装置の I/O アドレスを指定して SIO のモニタコールを発行する。これによりデータチャンネルの起動がおこなわれる。

(2) SIO モニタコール

SIO モニタコールが発行されると、指定された I/O アドレスに対応するサブチャンネルの CCCW(Current Channel Command Word)に、指定された CCW をコピーし、サブチャンネルタスクの起動をおこなうとともに、SIO モニタコールを発行したタスクをウェイト状態に移行させる。

(3) サブチャンネルタスク

サブチャンネルタスクが起動されると CCCW にしたがって I/O との間でデータ転送をおこなう。指定されたカウントの分のデータ転送が終了すると、SIO モニタコールを発行したタスクをウェイト状態からレディ状態に移行させ、サブチャンネルタスクを終了させる。

3. 応用計算機設計

3.1 授業の目標

CPU, メモリ, I/O 装置及びソフトウェアから成るマイクロコンピュータシステムの設計と製作の実際について学ぶ。プログラムの実行と I/O 動作の並列動作、多重プロセス制御による複数プログラムの並列動作について学ぶ。I/O 装置については、簡単な順序回路を含む LED 表示装置の製作をおこない、ソフトウェアを用いたハードウェアのデバック手法についても学ぶ。次に第 2 章でのべたマイクロコンピュータシステムの教材を使用した授業の構成について述べる。

3.2 授業の構成

(1) マイクロコンピュータ用の OS とハードウェアの基礎

マイクロコンピュータシステムの設計と製作にあたり、関係する OS とハードウェアの基本である次の項

目について概説する。リセット、初期プログラムロード、多重プロセス制御、プロセススケジューリング方式、プロセス間通信と排他制御、リアルタイム制御等。

(2) LED 表示制御プログラムの作成

Z80-SBC 上の 7 Seg-LED の 2 桁を異なる時間間隔で点灯制御させるプログラムを、OS を使用しない場合と、マルチタスク OS を使用する場合とで作成する。7 Seg-LED はダイナミック点灯で制御する必要があるため、モニタプログラムを使用しないで各桁を異なる周期で変化させるには工夫を要する。モニタプログラムを使用することにより、時間にかかわるプログラム製作が簡単になることを理解することが目的である。

(3) LED 表示装置の製作及び試験

I/O 装置として第 2 章で示した LED 表示装置の製作と試験プログラムを作成して試験をおこなう。製作は TTL IC を使用し、ブレッドボード上でジャンパ線による配線で組み立てをおこなう。試験は、まず図 12 で示すタイミング信号 1 の信号波形をプログラムで発生させて、正しく動作するかの試験をおこなう。このときのクロック入力は 100kHz 程度とする。この信号は、CPU からの一方的な出力信号だけで構成され、まず基本的な動作の確認をおこなう。次に図 13 で示すタイミング信号 2 の信号をプログラムで発生させる。このプログ

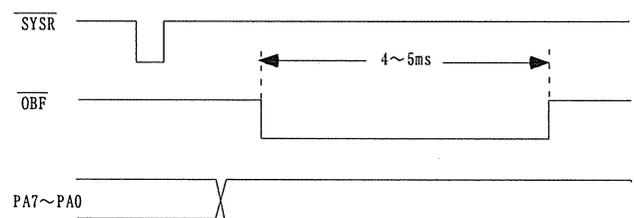


図 12. タイミング信号 1

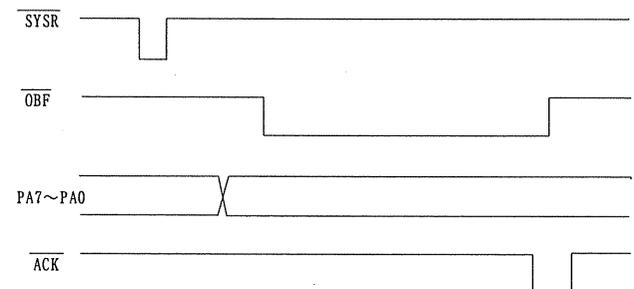


図 13. タイミング信号 2

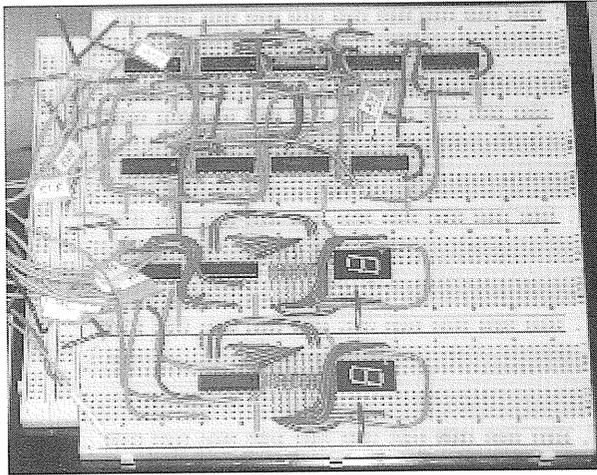


図 14. LED 表示装置

ラムでは、LED 表示装置からの応答信号である ACK 信号を用いた双方向の問答をおこなう動作の確認をおこなう。図 14 にブレッドボード上で組み立てた LED 表示装置を示す。

(4) データチャンネルによる LED 表示装置の制御

ここでは、第 2 章の図 8 で示したソフトウェア全体図の中のサブチャンネル 0 とユーザ LED 表示制御の 2 つのプログラムの製作をおこない、ユーザ LED 表示制御プログラムの指示のもとにデータが出力され LED 表示装置の 2 桁の 7-Seg LED が点灯することを確認する。LED 表示装置のクロック入力を数 100kHz から 100Hz 程度まで変化させても CPU がそれに追従して正しく制御できることを確認する。

(5) DC モータの駆動制御

第 2 章の図 6 の DC モータ駆動回路とそれを駆動するモータ駆動プログラムを製作し、PWM のデューティ比を変化させ、回転数が変化することを確認する。次に図 7 の回転パルス検出回路とモータ制御プログラムを製作し、回転数パルスから現在回転数を求め、指定回転数と比較して、次に与えるべき PWM のデューティ比を計算する。これにより、DC モータが指定回転数で回転することを確認する。図 15 に DC モータ、モータ駆動回路及び回転パルス検出回路を示す。なお、DC モータは、ライントレーサの実験で使用している、ギア付の車輪用モータである。

(6) 総合試験

Z80-SBC 上の LED の表示、LED 表示装置へのデータ出力、DC モータ駆動を並列に動作させ、各種パラメータを変化させて正しく動作することと動作の限界の確認をおこなう。

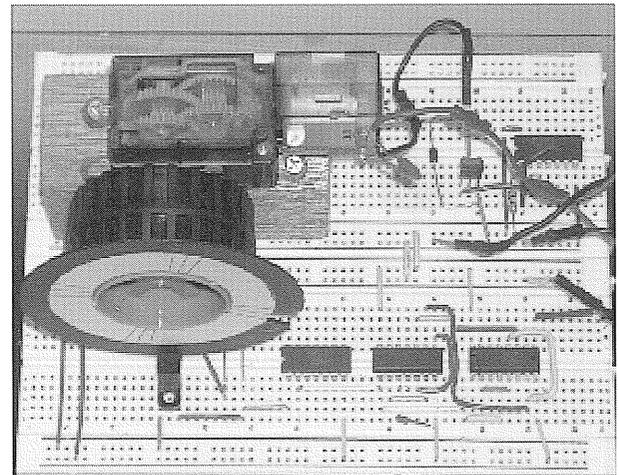


図 15. DC モータ, 駆動回路, 回転パルス検出回路

4. まとめ

応用計算機設計の科目は、CPU、メモリ、I/O 装置及びソフトウェアから成るマイクロコンピュータシステムの設計と製作の実際について学ぶことを目標としている。具体的には、CPUでのプログラムの実行とI/O動作の並列動作、多重プロセス制御による複数プログラムの並列動作を、実際にハードウェアとソフトウェアの設計、製作、デバック及び試験をおこなうことを通じて、体験的に実感して学べるようにすることを目指した。今回の教材は CPU に Z80 を使用したが、Z80 を使用した SBC の入手性が悪くなっていることや、卒業研究等で新規に CPU を使用する場合には、H8 等の最近のものを使用するため、今後 H8 を使用した SBC に移行の予定である。

参考文献

- 1) A・S・タネンバウム, 水野忠則他(訳):モダンオペレーティングシステム原著第 2 版, ピアソン・エデュケーション, 2004-12.
- 2) チング・リー/キャロライン, 宇野みれ(訳):リアルタイム組込み OS 基礎講座, 翔泳社, 2005-11.

(平成 19 年 1 月 9 日 受理)

ロボット座標系指示誤差補正に関する 卒業研究指導チュートリアル

小坂敏文*, 吉本定伸*, 松林勝志*

Tutorial on Graduation Work about Error Compensation of Robot Coordinate System

Toshifumi KOSAKA, Sadanobu YOSHIMOTO, Katsushi MATSUBAYASHI

Leading students on graduation work the teachers usually teach them knowledge and ideas that they haven't mastered. Although it is easy to provide pieces of knowledge, students can't gain capability of a solution. This report shows an example to make a students gain the knowledge for their study, using a tutorial exercises. Main theme is "Error Compensation of Robot Coordinate System", and contents are homogeneous coordinate system, matrix, inverse matrix, and modified multiple regression analysis.

(Keywords: leading tutorial exercise, error compensation of robot coordinate system)

1. はじめに

高専卒業研究指導においては、まだ修得していない知識や考え方を修得させる作業が多く含まれる。この部分を教え与えることはたやすいが、それでは学生が育たない。ここでは「ロボット座標系指示誤差補正に関する研究」を例にとって、必要な内容の見極めと、必要な学習内容を修得させるためのチュートリアル課題を順を追って提示することとする。主なテーマは同次座標系・逆行列・変形重回帰分析である。

2. 卒業研究課題の背景

産業用ロボットアームではアーム先端部のポイントツーポイント動作のティーチング (PtoP Teaching) を行なう。このような場合、ワークの存在する実座標系とロボットアームコントローラが指示する指示座標系の間で食い違いが生じ、これを補正する必要が生ずる。この食い違いはロボットアームの製造誤差 (軸長や相対取り付け角度など)、およびロボット設置誤差に起因すると考えられる。ここではロボットの製造誤差は無視できるくらい小さいが、ロボット設置誤差は小さいが無視できない場合を想定し、補正を加える方法を検討する必要がある。

3. 卒業研究の目標

ロボットアーム先端部の位置決めにおいて、

ロボットへの指令座標値 (x, y, z) を与えてもロボットの設置誤差により、実座標値 (x_R, y_R, z_R) になってしまう場合を考える。このような時には、指令座標値 (x_C, y_C, z_C) を与えれば実座標値 (x, y, z) を得ることができる関数、すなわち (x, y, z) から (x_C, y_C, z_C) への修正関数を必要とする。そこであらかじめ N 個の指令座標値を与え、対応する N 個の実座標値を測定し、2つの座標値ペアから修正関数を得ることとする。そして N をいくつにするのがよいかの検討も行う。

4. 仮定の設定

補正に当たっては、次のことを仮定する。

- (1) ロボットアーム先端座標は (x, y, z) 空間直交座標系で記述し、この先端点座標のみを扱い、ロボットアームの先端の傾きは問題としない。
- (2) ロボットアームの製造誤差は無視できるくらい小さいので、製造誤差は補正対象に含めず、ロボット設置誤差のみを補正するものとする。
- (3) ロボット座標補正のために N 点の座標 (N 点教示法) を使うことにする。すなわち、指令値で $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ を目指した時、ロボット設置誤差

により理論的に、 $P_1', P_2', P_3' \dots$,
 P_N' になるものとし、これらの座標は
 得られるものとする。

- (4) 補正量の妥当性は教示点において、
 2乗誤差最小の意味で行なわれれば
 よい。

また、ロボットの設置誤差については次のよ
 うに仮定する。ただし、座標系は右手系とし、
 xy 平面が水平面であり、 z 軸は鉛直上方向が
 正である。

ロボットは z 軸、 x 軸、 y 軸まわりで微小角度
 α, β, γ 回転し、かつ、原点が (x, y, z) 座標
 系で (p, q, r) ずれているように設置されてい
 る。ただし、 p, q, r は微小変位とは限らない。
 そして、誤差の生ずる原因は、 $\alpha, \beta, \gamma, p,$
 q, r の6つの値のみで記述されると仮定し、
 修正関数はこの6つの値で記述されるものと
 する。

5. 研究遂行のための解析方法の獲得

「3, 4」で示された課題を遂行するに当たっ
 て、必要となる知識・計算力を習得させるため、
 次のようなチュートリアル課題を設定するこ
 とにした。

5. 1 3次元座標変換

3次元座標変換では、幾何学で用いられてい
 る同次座標系を用いた変換マトリクス法を用
 いると見通しがよくなる。しかし、高専の幾何
 学の授業の範囲では、2次元座標系の変換マト
 リクスまでが普通である。そこで、同次座標系
 などの素材知識を与えるために、つぎのような
 座標変換の修得手順を用いることにする。

- (1) 2次元座標系における回転・対称移動座
 標変換を変換マトリクスで表現する。

例 原点周りの回転

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

- (2) 2次元座標系における回転・対称移動座
 標変換を複数回連続させると、合成変換マトリ
 クスが、個々の変換マトリクスの積で表され、
 後から行う変換を記述する変換マトリクスが

左からかけられる。

例

$$\mathbf{x}' = \mathbf{T}_1 \mathbf{x} \quad \mathbf{x}'' = \mathbf{T}_2 \mathbf{x}'$$

$$\mathbf{x}'' = \mathbf{T}_2 (\mathbf{T}_1 \mathbf{x}) = \mathbf{T}_2 \mathbf{T}_1 \mathbf{x} = (\mathbf{T}_2 \mathbf{T}_1) \mathbf{x}$$

- (3) 2次元座標系における平行移動を変換マ
 トリクスで行うには、同次座標系の導入が必要
 となる。回転・対称移動座標変換も含めた、複
 数回連続変換は、同次座標系に拡張した変換マ
 トリクスを用いると、合成変換マトリクスが、
 個々の変換マトリクスの積で表され、後から行
 う変換を記述する変換マトリクスが左からか
 けられる。

例

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$x' = x + a \Rightarrow \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & a \\ 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

- (4) 3次元座標系で同次座標系表現を用いる
 と、平行移動を含め複数回連続変換では、合成
 変換マトリクスが、個々の変換マトリクスの積
 で表され、後から行う変換を記述する変換マト
 リクスが左からかけられる。

例

$$x' = x \cos \theta_z - y \sin \theta_z$$

$$y' = x \sin \theta_z + y \cos \theta_z$$

$$z' = z$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_z & -\sin \theta_z & 0 & 0 \\ \sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

5. 2 微小角度における近似

工学上重要な近似計算の修得では次の内容がある。

(1) 微小角度においては, $\sin \theta \cong \theta$, $\cos \theta \cong 1$ であること。

(2) 「非微量」と「微量」の和においては「微量」を無視することができること。

(3) 「微量」と「2つ以上の微量の積」の和においては「2つ以上の微量の積」を無視することができる場合のあること。

5.3 最小2乗誤差を与える変換行列

3次元空間上の点を回転および平行移動して別の点に移す未知の変換マトリクスを, 複数組の教示点ペア (移動前の座標と移動後の座標) から推定する方法を考えるための提示手順を次のようにする。

(1) 変数 x, y の一次関数近似

変数 x に応じて変化する量 y があり, 複数の (x_i, y_i) が与えられている時, それらの関係が一次関数 $y = ax + b$ で近似される場合の一次関数を推定する。 a, b が既知であるとした場合, $x = x_i$ の時には $y = ax_i + b$ である。ところが $x = x_i$ で実際には y_i が得られている。すなわち, 誤差は $y_i - (ax_i + b)$ で表されている。

「誤差の2乗値」の総和を最小にするのが誤差最小2乗近似の考え方であり, a, b を推定するには評価関数

$$J = \sum (y_i - (ax_i + b))^2$$

を最小とする a, b の組み合わせを求めることに帰着する。 J は a, b の関数であり, 下に凸の超方物面であることがわかっているため,

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \frac{\partial J}{\partial b} = 0$$

より, a, b を求めることができる。

実際, N 組の (x_i, y_i) が与えられている場合について解くと

$$\begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i \end{pmatrix}$$

(ただし N は与えられた (x_i, y_i) の組数)

となり, 推定マトリクス

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & N \end{pmatrix}$$

が正則ならば

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & N \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum x_i y_i \\ \sum y_i \end{pmatrix}$$

で求めることができる。

なお $N = 1$ では

$$\begin{vmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i & N \end{vmatrix} = 0$$

となるので, 推定行列 \mathbf{A} は正則とならず, a, b を求めることができない。

$2 < N$ では, すべての点が重なるのでないならば推定行列は正則となり, a, b を求めることができる。

これは, 最小2乗直線近似と呼ばれる手法である。

(2) 平面座標において (x, y) から (x', y') への写像の推定 (その1)

平面座標において (x, y) から (x', y') への写像が

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

で表される場合, (x_i, y_i) と (x'_i, y'_i) の組み合わせが複数組得られているもとの, 変換マトリクス

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$$

を推定する。

これも誤差最小2乗直線近似の考え方をを用いて, 評価関数

$$J = \sum \{ (x'_i - (ax_i + by_i))^2 + (y'_i - (cx_i + dy_i))^2 \}$$

を最小とする a, b, c, d の組み合わせを求めることに帰着する。 J は a, b, c, d の関数であり, 下に凸の超方物面であることがわかっているため,

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \frac{\partial J}{\partial b} = \frac{\partial J}{\partial c} = \frac{\partial J}{\partial d} = 0$$

より, a, b, c, d を求めることができる。

実際, N 組の (x_i, y_i) と (x'_i, y'_i) が与えられている場合について解くと推定マトリクス

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & 0 & 0 \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ 0 & 0 & \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} \sum x_i' x_i \\ \sum x_i' y_i \\ \sum y_i' x_i \\ \sum y_i' y_i \end{pmatrix}$$

とおくと,

$$\mathbf{A} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \mathbf{b}$$

で表され, 推定マトリクス \mathbf{A} が正則である仮定の下

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{b}$$

で求められる。

「(1)」と同様に推定行列の正則性を吟味すれば, どのような場合に解がえられるのかわかる。

(3) 平面座標において $(x \ y)$ から $(x' \ y')$ への写像の推定 (その 2)

平面座標において $(x \ y)$ から $(x' \ y')$ への写像が

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b & p \\ c & d & q \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

で表される場合, $(x_i \ y_i)$ と $(x_i' \ y_i')$ の組み合わせが複数組得られているもとの, 変換マトリクス

$$\begin{pmatrix} a & b & p \\ c & d & q \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

を推定する。

これも誤差最小 2 乗直線近似の考え方をを用いて, 評価関数

$$J = \sum \left\{ (x_i' - (ax_i + by_i + p))^2 + (y_i' - (cx_i + dy_i + q))^2 \right\}$$

を最小とする a, b, c, d, p, q の組み合わせを求めることに帰着する。 J は a, b, c, d, p, q の関数であり, 下に凸の超方物面であることがわかっていて, ため,

$$\frac{\partial J}{\partial a} = \frac{\partial J}{\partial b} = \frac{\partial J}{\partial c} = \frac{\partial J}{\partial d} = \frac{\partial J}{\partial p} = \frac{\partial J}{\partial q} = 0$$

より, a, b, c, d, p, q を求めることができる。この後は「(1) (2)」と同様の取り扱いを行うことができる。

6. ロボット座標系指示誤差補正

「5」に述べたチュートリアルを終了した後, 本題に戻るよう指導する。

(1) ロボットが原点を中心として x, y, z の各軸の周りに α, β, γ だけ回転し, その後 x, y, z の各軸と平行に p, q, r だけ平行移動している変換マトリクスを同次座標系変換マトリクスの合成により作成する。

(2) α, β, γ が微小である仮定の基に微量に関する近似を行い, 変換が一次結合になるように変換マトリクスを単純化する。

(3) 誤差 2 乗最小の原理に基づいて, 評価関数 $J(\alpha, \beta, \gamma, p, q, r)$ を求める。

(4) 各変数により偏微分し,

$$\frac{\partial J}{\partial \alpha} = \frac{\partial J}{\partial \beta} = \frac{\partial J}{\partial \gamma} = \frac{\partial J}{\partial p} = \frac{\partial J}{\partial q} = \frac{\partial J}{\partial r} = 0$$

より推定マトリクスを求める。

(5) 推定マトリクスから $\alpha, \beta, \gamma, p, q, r$ を求め, 推定マトリクスの正則性を考察する。

(6) 修正関数 (修正マトリクス) を求める。

7. まとめ

卒業研究内容指導は, 担当学生がどこまで課題遂行能力を修得しているかに依存し, 場合によっては, チュートリアル課題を課して, 必要事項を修得させるようにしている。本報告では, 「ロボット座標系指示誤差補正に関する研究」を例にとり, 事前学習チュートリアルを提示するケーススタディについて述べた。この内容は現在指導中であり, 結果については次年度報告することとする。

(平成19年1月9日 受理)

蓄積型放送における商業出力方式の提案

青野正宏*, 小嶋徹也*

A Proposal of Commercial Contents Output Method for Store-and-Forward type Broadcast

Masahiro AONO, Tetsuya KOJIMA

The store and forward type broadcast becomes popular, and then audiences who skip commercial message are increase when they watch TV. Therefore there is an anxiety about collapse of commercial broadcast based on advertisement charge. We propose a method that commercial message skip become difficult by using encryption and steganography. Depending on utilization of this method, the audience can enjoy broadcast contents for free, making the most of advantage of store and forward type broadcast.

(Keywords: Store-and-Forward type Broadcast, Commercial-Contents, Business Model, CM Skip)

1. 蓄積型放送

蓄積型放送とは、放送された TV 番組などのコンテンツをユーザーの HDD などの大容量記憶装置に蓄積しておき、好きな時にそのコンテンツを再生して見る事ができるシステムである。単なる録画の蓄積再生システムと異なる点は、双方向サービスや付加情報を活用し、高度な利用形態が実現できる点である。

2002 年に専用の装置に番組を蓄積できる ep が発足した。専用の装置の HDD に録画し、好きなときに番組取り出しができる。専用のチャンネルで番組を配信するものであった。しかし、わずか 2 年でサービスを終了し、事業は失敗に終わった。失敗した原因は、それなりの値段で大量の録画ができる HDD 記録装置が魅力のひとつであったが、一般の HDD 記録装置の値段がどんどん下がっており、ep 導入のメリットが失われたこと、魅力的コンテンツを提供できなかったことなどが挙げられ、結果的に時期尚早であったと言われている[1]。

視聴者は能動的に番組を選ぶというより、受動的にあてがわれたスケジュールで習慣的に番組を見る方法を選択するという方法はそう簡単には変わらない。しかし、視聴者は、リアルタイムで放送を視聴するとともに、放送時に見逃した番組を特別の事前操作(録画予約)なしに見ることができたり、もう一度見直したり、早送りやスキップできる機能がリアルタイム視聴に加えて実現できるの

であれば、大きな利点であることは間違いない。その手段として、ビジネスモデルが適正であれば、蓄積型放送は有望な放送形態であることは変わらないと考える。

2. 想定するビジネスモデル

放送をビジネスとして考えると、放送に対する対価収入が必要となってくる。視聴したコンテンツに対して直接対価を支払うペイ TV のような方式も考えられるが、もっとも一般的なモデルは、視聴そのものは無料とし、商業 (以下 CM と略す) を流すことによりスポンサーから収入を得る方式である。現在の地上波民間放送はこの方式である。放送局はユーザーが視聴したいと思っているコンテンツ(CM もコンテンツのひとつと考えることもできるが、本稿においては CM を除いた視聴者が直接視聴したいと感じている番組の中身と定義する。) の前後、中間に CM を流す。視聴者は、平均的に言えば、CM が流れている間は我慢して終わるのを待っている。しかし、ここらならずも視聴した CM がなんらかの形で視聴者の頭に残るので、CM を流す効果は得られる。

このモデルはやや危機に瀕している。HDD 録画が普及するつれ、少し視聴開始時間を遅らし、時間差をおいて視聴を開始する視聴者が増えていく。(図 1 参照) CM が再生されているとこれを早送りし、本来の視聴したいコンテンツが再生され

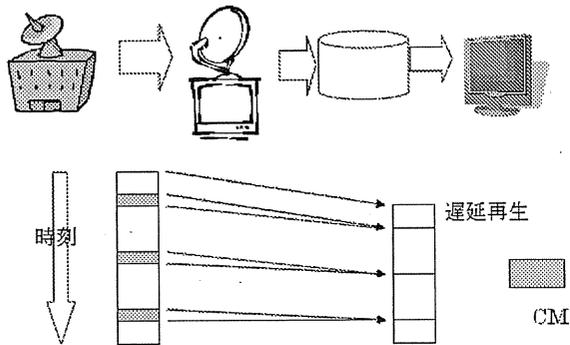


図1 ディスク蓄積による遅延再生

るまでの時間を縮める。CMがスキップされることによるCM価値の減少は数百億円とする試算もある[2]。従来のビデオテープによる録画・再生でもこのようなCMスキップは可能であった。しかし、その都度ビデオテープに録画再生することは煩わしいので、あまり大きな問題にならなかった。現時点においても、リアルタイム視聴の比重が大きいため、CMスキップは、それほど大きな問題とはなっていないが、HDD録画が普及するにつれて問題が顕在化する可能性が大きい。

GyaOに代表されるオンデマンド型無料のストリーミング配信の場合、コンテンツを選択すると、まずCMを流し、次に選択したコンテンツを流す。制御はサーバー側で行うため、CMをスキップすることは原則的にできない。しかし、このモデルは通信帯域を大きく消費するため、普及が進むと返ってインフラただ乗り論として、問題が顕在化するものと思われる[3]。

本稿では、蓄積型放送を取り上げる。この理由は、あくまで放送であるので、帯域を効率良く利用できること、視聴者が望むときにコンテンツを視聴できること、データ記憶装置の低廉化により大量のコンテンツを蓄積することが可能となったため、今後の視聴スタイルのひとつとなる可能性があるためである。

ここで、次の想定を行う。現時点で既に進行中のように、放送受信端末はTV機能と情報処理機能が融合したものである。受信端末の制御はソフトウェアで行う。放送システム構築側(放送業者、受信端末製造業者)は、ユーザーにとって、まずまず快適に利用できるようなコンテンツ再生スケジュールの制御を行う標準ソフトウェアを提供する。ただし、このソフトウェアはシステム構築側の都

合により、コンテンツを選択するとCMが先に流れたり、適当なタイミングでCMが挿入されたりするようなプログラムを組んで提供することになる。この点に関してはユーザーにとって快適でない。原理的には、放送コンテンツを蓄積して再生する方式において、CMをスキップすることは容易である。コンテンツ再生スケジュールがソフトウェアで構築されているため、もし、標準ソフトウェアにあきたらない力量のあるユーザーがいれば、CMを視聴する必要なしに、直接選択したコンテンツにアクセスし、再生するという機能を持つソフトウェアを開発することは難しくない。これをフリーソフトウェアとして流通させることも十分考えられる。

このような条件下で、ビジネスモデルとして、CMを視聴してもらうことを前提とした蓄積型放送を検討する。

3. 据え付け型受信再生装置

現在、汎用のTV受信装置において地上波放送を視聴することが可能であり、PCにおいてもTV電波受信再生機能を備え付けた機種が溢れており、さらに、ブロードバンド回線を介して個別有線回線経由で、映像を視聴することが可能となっている。このような環境において専用の装置を取り付ける放送モデルは、epに見られるように難しい。ここでは、据え付け型受信再生端末の場合は、汎用のTV機能付きPCで蓄積型放送が成り立つようなビジネスモデルを検討する。また、常時接続型のブロード回線に接続できるような環境と想定する。さらに、視聴に必要なソフトウェアは放送局側で配布する。しかし、原理上可能であれば、放送局側にとって都合が悪くても、ユーザーにとって利便性が向上するソフトウェアがあればそれが普及してしまうものとする。従って、原理上そのようなソフトウェアを発生させないよう考えなければならない。

CM放送を経営基盤とするのであれば、先にCMを視聴しないと、選択した目的コンテンツを視聴できない仕組みを設けることが必要である。コンテンツを選択してから、CM視聴に要する時間が経過しないと、目的コンテンツの再生が不可能にする。そうすれば、CM視聴をスキップするソフトウェアを、仮に作成しても、目的コンテン

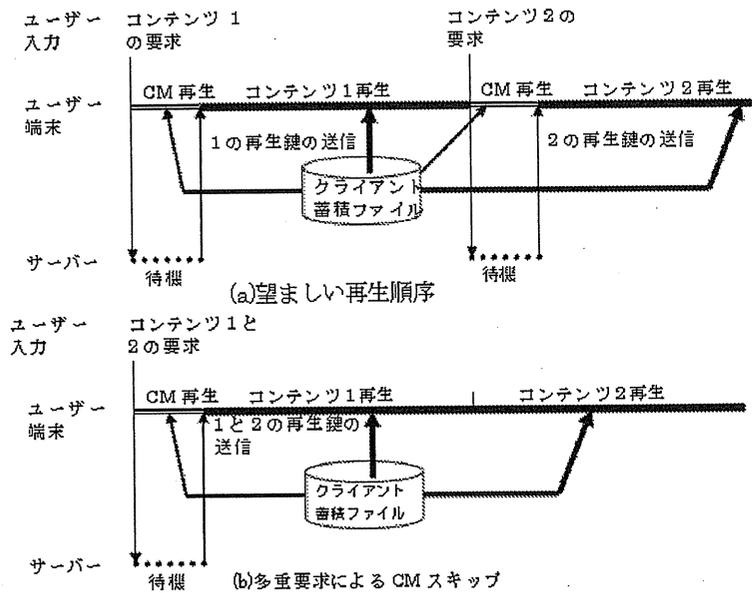


図2 コンテンツとCMの再生順序

ツを視聴できないため、そのようなソフトウェアを利用する意味がなくなり、標準のCM放送つきのソフトウェアを利用することになる。

CM 視聴時間だけコンテンツの再生を不可能とする方法は、放送コンテンツの暗号化を行い、暗号化されたコンテンツの配布と、コンテンツを復号化する鍵の配布のタイミングをずらすことにより、実現することができる。

蓄積型放送機能を有する据え付け型受信再生装置においては、視聴するつもりコンテンツもそうでないコンテンツも含めて、一括して放送されるコンテンツを、常に受信・録画する。ユーザーはそのなかから選択したコンテンツを視聴する場合を考える。

まず、コンテンツを選択すると、端末に組み込まれた放送ソフトウェアは、まずCMを再生する。同時に、コンテンツ視聴の要求を放送サーバーに伝える。放送サーバーは、要求を受けるとCM再生時間に相当する時間を経過してから、コンテンツ復号の鍵を送信する。

ただし、この方法のみでは、次の抜け道を許すことになる。視聴者が同時または非常に短い間隔で複数のコンテンツを視聴する要求を放送サーバーに要求する。それぞれに対して放送サーバーが復号化の鍵を応答する。最初のコンテンツ要求に対するCM時間の待機はやむを得ない。しかし、その次のコンテンツ視聴のための鍵は事前に入手

していることになるので、ソフトウェアの作り方次第でCMを視聴することなく、コンテンツの再生・視聴を行うことは可能となる。(図2参照)

これを防ぐためには、ひとつのコンテンツの再生時間が終わるまでは、次のコンテンツの復号化鍵を送らないようにする必要がある。長時間ドラマのような場合では、適当に区切って間にCMを挟みたい。従ってコンテンツも、CMで区切られる単位にサブコンテンツとしてそれぞれ別の鍵で暗号化し、サブコンテンツが放送され、CMが再生され終わる時刻に次のサブコンテンツの鍵を当該受信端末に送る。この方法により、受信装置に独自の再生ソフトウェアを構築しても、CM時間中はコンテンツを再生することはできない。

途中で視聴をキャンセルし、別のコンテンツの視聴に切り換えたいと視聴者が感じた場合、上記の方法でのみではコンテンツの再生が終わる時刻まで次のコンテンツを視聴できないことになる。これを緩和するためには視聴打ち切りの要求を視聴者端末からサーバーに送る。サブコンテンツに分けられたコンテンツであれば、以後のサブコンテンツの鍵の送信を打ち切る。

次のコンテンツの鍵の送信は、CM時間後に送れば良さそうであるが、打ち切り要求後も当該コンテンツの視聴を続ければ、次に視聴するコンテンツの鍵を先取りすることと同じとなり、次のコンテンツをCM視聴抜きで視聴できることとなる。これを防ぐには、サブコンテンツ再生終了時刻まで、次のサブコンテンツの鍵を送ることを待たなければならない。(図3参照) ひとつのサブコンテンツの時間を短くすれば、視聴中断の場合の待ち時間を緩和することができる。ただし、鍵の数を多く必要とし、個々の視聴者への通信量も増えるので、どの程度までサブコンテンツのサイズを小さくするかは、途中でキャンセルした場合の待ち時間の長さとのトレードオフである。

以上の方法をとっても、第三者が共同すればCMをスキップすることはできる。たとえば、先にコンテンツを視聴するために鍵を入手した者が、その鍵をWeb上に公開したとする。後から視聴す

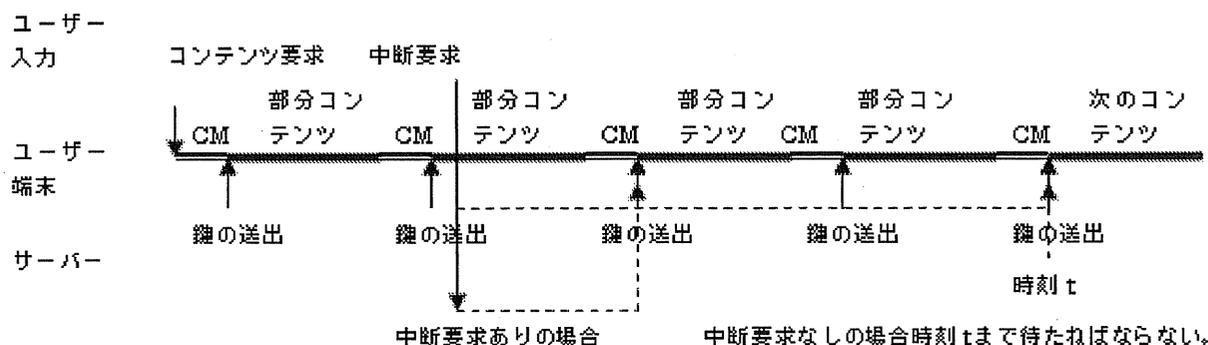


図3 コンテンツの分割と視聴の中断

る者が放送サーバーからではなく、公開されたWeb上のページから入手すれば、特に放送サーバーの制御を受ける必要がないので、CMを視聴する必要がなくなる。この問題は、ファイル交換による著作権侵害と同じである。完全に防ぐことはできないとしても、違法性をはっきりさせれば、そこまでしてCM時間をスキップしようとする者はごく一部に限られると予測できるので、CMの効果はそれほど損なわれることはないと考えられる。

このCMを視聴しなければならない代償にコンテンツ視聴を可能とする方法は、常時回線接続し、サーバーから刻々データを端末に送る点においては、オンデマンド放送に似ている。しかし、大量の映像情報を送るオンデマンド放送に比べると時々鍵情報を送るだけであり、回線に与える負荷は非常に小さく、視聴者の数が多大となっても問題はほとんどない。ただし、安定して送れないと映像が途切れたりする可能性は残る。

4. モバイル型受信再生装置

4.1 モバイル型受信再生装置の特徴

モバイル端末におけるコンテンツの利用形態としては、固定型受信再生装置が利用できない場面で、通勤途中の待ち合わせ時間や職場や学校における休憩時間など、視聴時間は短く細切れになると考えられる。その結果、視聴時間が長いドラマや映画などの情報よりも、一般ニュースなど暇つぶしや、天気予報、交通情報のような特定の情報収集で、短い情報にニーズが大きいと考えられる。さなければ、スポーツ生中継のような情報で途中経過を知りたいといった目的も考えられる。このようなコンテンツは新鮮さが重要であり古いコン

テンツはあまり価値がない。

また、バッテリー性能は向上したとは言え、モバイル型受信再生装置においては常に情報を受信記録していると電力消費が大きいので、電源をオンにしてシステムの動作を始めるような使い方が自然である。このような状況でも放送データを蓄積し再生する方式は次のような場合に有効である。

あるコンテンツを放送するために必要な時間がそのコンテンツを再生するために要する時間と等しいとき、これを1チャンネルと定義すると、複数チャンネルで多くのコンテンツを放送する。視聴者は電源をオンにした後、これらの放送されたコンテンツを蓄積しつつ、再生したいコンテンツを選んで再生する。こうすれば、1チャンネルのみの受動的な受信再生のみに比べて目的とする情報を早く得ることができる。

据え付け型受信再生装置による蓄積型放送では、常に安定して回線接続できる環境を前提とした。しかし、無線通信による携帯電話などのモバイル端末などにおいては次の問題がある。安定して回線接続ができない。特に下り回線は概ね放送回線においてデータを受信できても、個別の上り回線や下り回線を確保できない場合がかなりあると考えられる。また、据え付け型受信再生装置は、常時接続型の有線接続が中心であり、個々の通信のコストを意識する必要があまりない。しかし、モバイル環境の場合、個別通信については、通信量に比例したコストが一般にかかる。(パケット定額という選択肢もあるが、やはりコストが高い。)蓄積された映像を視聴するためにコストがかかれば、ユーザとしての抵抗感は大きい。

加えて、モバイル装置は据え付け型のPCほどの汎用性はなく、モバイル型受信再生装置として

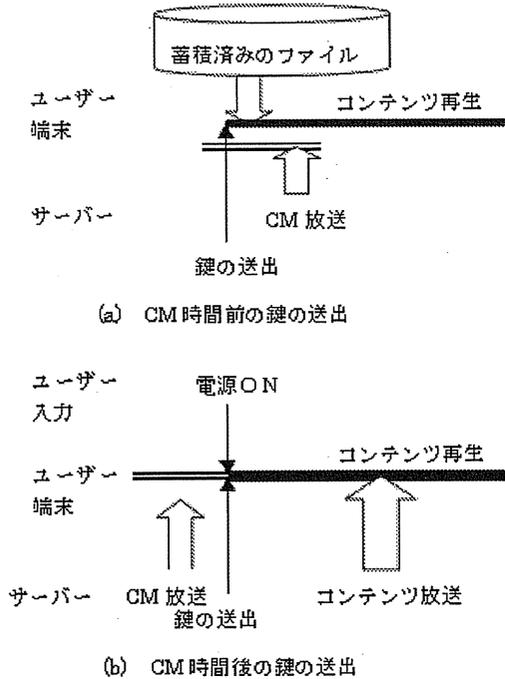


図4 CM前後に鍵を放送した場合の問題

ノート PC が使用される頻度もそれほどないであろうと考えられる。そのため、この蓄積型放送処理のための専用の H/W 装置が加わっていても、既存チャンネルが従来どおり視聴できれば、据え付け型装置のように普及の妨げになる可能性は小さい。

このような条件において CM を先に視聴させてコンテンツを配信する方法を検討する。

4. 2 CM 放送時に鍵を放送する方法

モバイル型受信再生装置の電源を入れると、その時点で放送されているコンテンツの蓄積から始まる。CM は常に最新である必要ではないので、そのときの電源を入れる前のある期間内に電源を入れてファイリングと視聴を行ったときの CM ファイルが残されていれば、その CM ファイルの再生で良い。CM を先に視聴してもらうためには、やはりコンテンツを暗号化しなければならない。ただし、個別回線による目的コンテンツの復号鍵の要求と配送ができないとすれば、鍵は適当なタイミングで放送する必要がある。受信再生装置が CM 再生を行うタイミングを定める。CM 再生タイミングの最初や中途に鍵の放送を行うと、視聴者は CM すべてを視聴せずに目的コンテンツの鍵

を手に入れることができる。目的コンテンツが蓄積されていれば、CM を最後まで視聴する前に、目的コンテンツの視聴に切り替えられてしまうかもしれない。CM を視聴してもらうためには、CM 再生タイミングの最後になるまでは目的コンテンツの復号化の鍵を放送できない。

逆に、CM タイミングの最後に鍵を放送しても、CM を視聴しないうちに再生可能なコンテンツを得られる可能性が生じる。受信再生装置の電源を入れたとき、たまたま CM 再生タイミング中であれば CM をすべて視聴しないうちに鍵を得ることになる。この観点からは、鍵放送は CM 再生タイミングの前が良いということになる。(図 4 参照)

両者の要求を両立させるため、再生の鍵は CM 放送開始時と終了時に分割して、両方が揃わないと、目的コンテンツの再生ができないようにする必要がある。また、一定時間コンテンツを視聴すると、再び CM を視聴してもらいたいという要求ができるであろう。同じ鍵では、2 回目以降の CM タイミングを待つ必要はなくなり、CM スキップが可能となる。

その対策として、CM が放送される度に、目的コンテンツの暗号化/復号化の鍵を変更することが考えられる。しかし、CM 放送から CM 放送の間に、複数チャンネル放送で合計コンテンツ入力時間よりコンテンツ再生時間が長い場合は、鍵が放送されてしまっているので、2 回目の CM 前後の鍵を入手しなくても、(2 回目の CM を視聴しなくても)、コンテンツを視聴し続けることが可能であることである。

この問題への対処としては、長時間コンテンツを視聴し続けることは少なく、また少なくとも 1 回は CM を視聴してもらえるので、このような抜け道が存在しても無視するというのがひとつの考え方である。

もうひとつの考え方は、携帯端末は汎用性をそれほど重視しないので、この蓄積放送対応のユーザー端末に専用の表示・音声再生機構を設け、この再生機構で一定期間の間に必ず CM の再生を実行させないと、他のコンテンツの再生もできないようにするというものである。

4. 3 表示・音声出力制御機構による CM 再生制御方式

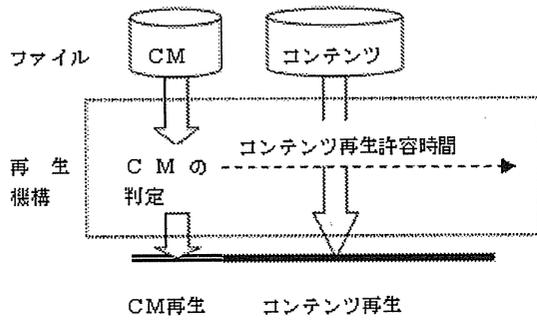


図5 表示音声再生気候によるCM制御

この方式は、ユーザー端末から表示・音声出力を行う場合には、以下に述べる機能を持った費用時・音声出力機構を通さなければならないとするものである。この機構は、ある時間になるとCMファイルしか再生しない。この場合は逆にCMファイルのみ暗号化し、一般のコンテンツは暗号化する必要はない。CM時間になるとCMファイルのみ復号化しつつ再生する。このとき、別のコンテンツを再生させようとソフトウェア的にすり替えを行っても、復号化の変換をおこないつつH/Wによる再生機構が再生を行うので、映像が乱れてしまう。

実現方法として再生機構がCM再生時刻になったと判断すれば、そのシグナルを正規に提供するアプリケーションに伝える。アプリケーションはそのシグナルを受けると、暗号化されたCMファイルを選んで再生回路に出力する。

しかし、この方法はコンテンツ再生時間の長さに強い制限がある。コンテンツが中途半端な長さであれば、コンテンツ途中でCMに入ってしまう、視聴者に不快感を与える。コンテンツ途中であってもあらかじめ設計されたところで区切りたい。コンテンツの長さがある程度バラバラでもコンテンツに区切りがついた時点でCMを入れる方法を考える。

基準時刻から一定時間が経過後、コンテンツが終了すればCM再生に入るものとする。また、この間隔が長すぎないようにコンテンツは適当な大きさのサブコンテンツに分け、サブコンテンツの終了時はCMを入れても良いということにする。

再生機構は、ある一定時間、コンテンツを再生すれば、CMを再生しないとビデオや音声の再生ができないものとする。正規のコンテンツ再生制御スケジュールソフトウェアであれば、適切なタ

イミングでCMファイルを再生するようスケジュールする。CMを回避しようとして作られた再生制御のスケジュールソフトウェアではコンテンツ再生ができなくなる。

CMは固定でなく、複数存在し更新もされていく。一方再生機構は固定である。従って、CMファイル全体のハッシュ値でCMか否かを判定することはできない。CMか否かを判断するため、再生ファイルに単純な情報を組み込むだけであれば、コンテンツのファイルをCMに見せかけるよう、受信した目的コンテンツにCM判定情報を埋め込むソフトウェアを作ることができる。そのため、CMを識別するマークを透かし情報として、CMファイル中に埋め込む。CMを識別するマークを知られないようにするためには、CM識別マークを取り出し、判定するロジックは耐タンパー機能を備えていることが望ましい。

5. むすび

一般視聴者にとって、CMは邪魔なものであり得るなら視聴したくないと感じているものである。しかし、CMはコンテンツを一般視聴者に無料で提供してビジネスモデルを成立させるためには、不可欠なものである。いろいろな意味でCMの社会的影響は大きい。コンテンツを蓄積し再生するという方法は視聴者にとって時間的な制約から解放され、いつでも望むコンテンツを視聴できるという意味で進んだ方法であるが、CMをベースとした民間放送が成り立たなくなる恐れも含んでいる。本稿においては、蓄積放送の利便性を確保しつつ、CMの機能を失わない方法を提案した。

参考文献

- [1]<http://www.itmedia.co.jp/news/articles/0402/10/news079.html>
- [2]<http://www.nri.co.jp/news/2005/050531.htm>
1
- [3]<http://www.atmarkit.co.jp/news/200603/24/iiij.html>

(平成 19 年 1 月 9 日受理)

多重マルコフモデルに基づくマルチメディア通信 帯域予測に関する研究

小嶋徹也*, ルハムスレン・エンクトウル*, 藤原亜希子†, 青野正宏*

On the Estimation of the Multimedia Communication Bands
Based upon Multi-Order Markov Models

Tetsuya KOJIMA, Lkhamsuren ENKHTUR, Akiko FUJIWARA and Masahiro AONO

Surplus bands often occur in multimedia communication such as data streaming when VBR encoding is employed. Such surplus bands can be used efficiently by adding the data of static contents. However, there are some delays for adding the data, so that the transmission rates of the total data frequently exceed the maximum communication band. This is because each surplus bandwidth is calculated from the formerly observed data. In this paper, we propose a method to estimate the surplus bandwidth by using the multi-order Markov model together with the quantization of the bandwidth. The proposed method requires so little computational time that it is quite suitable for real-time data processing. The efficiency of the proposed method is evaluated through some computer simulations.

(Keywords: multimedia communications, VBR encoding, bandwidth, surplus band, Markov model)

1 まえがき

近年、インターネットやネットワーク通信に関する技術が急速に発展しており、多くの一般家庭においても、高速インターネットサービスが導入されている。中でも、データ・ストリーミング技術を利用した音楽や動画のダウンロードは、ブロードバンド・インターネット・サービスの重要なコンテンツとして注目を集めている。ストリーミング技術では、データのダウンロードを行ないながら、再生を行なうことが可能であり、再生時のデータ品質が通信路やコンピュータの特性によらない点に特徴がある [1, 2].

ストリーミング技術において、マルチメディアデータを符号化する方法としては、受信データ品質を一定に保つことが可能な可変ビットレート (VBR) 方式が使われることが多い。しかし、VBR 方式では、データの通信帯域が時々刻々変化するため、最大通信帯域が一定の場合には、余剰帯域

が生じてしまう。このことは、通信帯域の有効利用という観点から見た場合、大きな問題であると考えられる。

一方、このような余剰帯域を利用することにより、動画などのストリーミングデータに加えて静的な付加コンテンツを送信することが考えられる。このような方法により余剰帯域を有効活用する方法は、メディア同期技術 (media synchronization) としても知られている [1, 2]. この技術を実現する最も単純な手法は、余剰帯域幅を観測し、それを超えない量の付加コンテンツを次の時刻に送信するというものであるが、観測された余剰帯域幅と付加コンテンツ送信時の余剰帯域幅が異なる場合があるため、しばしば総送信データ量が最大帯域幅を超過してしまうという問題がある。この問題に対する解決策としては、ストリーミングデータの送信を遅らせて、余剰帯域幅が観測されて付加コンテンツ送信用の帯域が判明した後に、2 種類のデータを同期させて送信するという手法が考え

られる。しかし、この手法では、送信されたデータを即時に受信側で再生することが不可能で、再生時の遅延が避けられないため、テレビ会議システム [3] や遠隔学習システム [4] といった、双方向リアルタイム通信技術への応用には適していると言えない。

本論文では、このような方法に代わる解決策として、多重マルコフモデル [5] を利用して余剰帯域幅を予測し、予測された帯域幅に見合う付加コンテンツを送信する方法 [6, 7] について報告する。ただし、ストリーミングデータの通信帯域幅は非常にさまざまな値をとるため、そのままではマルコフ過程の遷移確率行列の次数が膨大になってしまう。そこで、本方式では、ストリーミングデータの帯域幅を量子化し、遷移確率行列の次数を小さい値に固定することを考える。本研究では、各種のパラメータ設定や最適な量子化法について検討し、マルコフモデルで予測を行なった場合と予測を行なわない場合について、帯域の有効利用という観点から計算機シミュレーションを通して比較を行なう。

2 ストリーミングと余剰帯域

2.1 ストリーミング技術

データストリーミングは、音楽や動画といったマルチメディア・コンテンツをブロードバンド通信ネットワークを通して送受信、あるいは放送するための技術として良く知られている [1, 2]。この技術により、受信者は音楽や動画などの大容量のデータを再生するために、すべてのデータがダウンロードされるのを待つ必要がなく、データをダウンロードしながら再生することができる。この長所を活かし、ストリーミング技術は、ビデオ・オン・デマンド (VOD) サービスや、インターネットを通じた生中継、テレビ会議システムなどに応用されている。

マルチメディアデータをストリーミング技術で利用するための符号化法としては、固定ビットレート (CBR ; Constant Bit Rate) 方式と可変ビットレート (VBR ; Variable Bit Rate) 方式という 2 つの方法が知られている。CBR 方式では、ストリーミングデータは一定の速度で送信されるが、受

信データの品質にはばらつきが生じてしまう。一方、VBR 方式では、データの変速を可変にすることにより、受信データ品質をほぼ一定に保つことが可能となる。しかし、データ送信速度が時々刻々変化するため、通信に利用する最大帯域幅を一定とした場合、余剰帯域が生じることになる。

以下では、余剰帯域を通信路における最大帯域と各時刻のストリーミングデータの送信帯域 (ビットレート) の差として定義する。すなわち、任意の時刻 t において、余剰帯域幅 $B_{sur}(t)$ を

$$B_{sur}(t) \stackrel{\text{def}}{=} B_{max} - B_{vbr}(t) \quad (1)$$

で表すこととする。ここで、 B_{max} は時刻によらない最大帯域幅、 $B_{vbr}(t)$ は時刻 t におけるストリーミングデータの送信帯域幅とする。以下では、任意の時刻 t において、 $B_{vbr}(t)$ が最大帯域幅 B_{max} を超えないことを仮定するため、余剰帯域幅 $B_{sur}(t)$ は負の値はとらない。

ストリーミングデータとして動画を想定した場合、データ圧縮法として、各時刻におけるデータの差分を符号化する方式が多く用いられている。このため、一般に、動きの激しいシーンではシーンに変化が少ない場合よりも多くの送信帯域幅を必要とする。したがって、変化の少ない動画データの場合は、ストリーミングにおける送信データ量が少ないため、多くの余剰帯域が発生することになる。

2.2 余剰帯域の有効活用

通信チャネル資源が制限されている場合、大きな余剰帯域が生じていることは非効率であり、この帯域を有効に活用することが重要である。本研究では、このような余剰帯域を利用して、ストリーミングデータに加え、静的な付加コンテンツを送信することを考える。このとき、時刻 t における総送信帯域 $B_{total}(t)$ は

$$B_{total}(t) = B_{stat}(t) + B_{vbr}(t) \quad (2)$$

のように 2 つの成分に分割して考えることができる。ここで、 $B_{stat}(t)$ は時刻 t において送信される付加コンテンツの送信帯域幅である。付加コンテンツとしては、例えば、映画放送における俳優の出演作品一覧や、スポーツ中継における選手紹

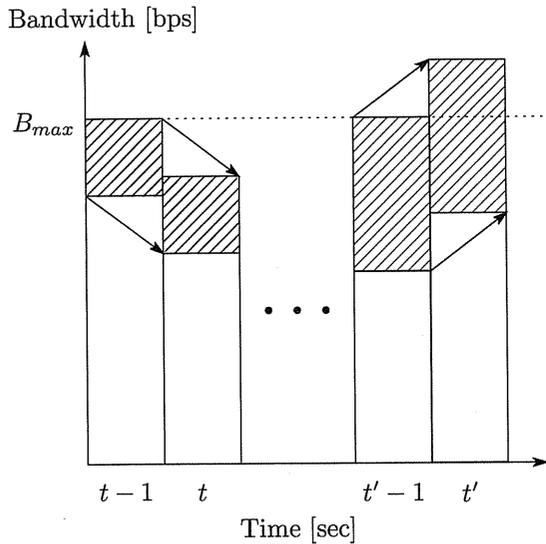


図 1: ストリーミングデータと付加コンテンツの総送信量の例

介, さらには, テレビ会議における参考資料や文献などが挙げられる. このような技術は, マルチメディア通信におけるメディア同期とも呼ばれている [1, 2].

ここで, 簡単のため, 任意の時刻 t において $B_{total}(t) = B_{max}$ が成り立っていると仮定する. このとき, 式 (1) (2) より, もっとも効率的に余剰帯域を利用するには $B_{stat}(t) = B_{sur}(t)$ とすればよいことがわかる. ところが, 一般にはリアルタイム通信における余剰帯域幅は未知であるため, 何らかの方法で, 付加コンテンツ送信用の帯域幅を精度良く求める必要がある. 最も簡単な方法は, 時刻 t における付加コンテンツ用の帯域幅として, 1 時刻前に観測された余剰帯域幅を用いるもの, すなわち, $B_{stat}(t) = B_{sur}(t-1)$ とする方法である. しかし, この方法では, ストリーミングの送信データ量が 1 時刻前よりも増加する場合, 付加コンテンツを加えた総送信量が最大帯域幅をしばしば超えてしまうという問題が生じる. 図 1 にこの問題点を例示する. 図中の斜線部が余剰帯域幅を表している. 図 1 において, 時刻 $t'-1$ で観測された余剰帯域幅を時刻 t' における付加コンテンツ送信量とした場合, 時刻 t' において総送信量 $B_{total}(t')$ が最大帯域幅 B_{max} を超過している.

このような問題を回避するために, 以下のような 2 つの方法が考えられる.

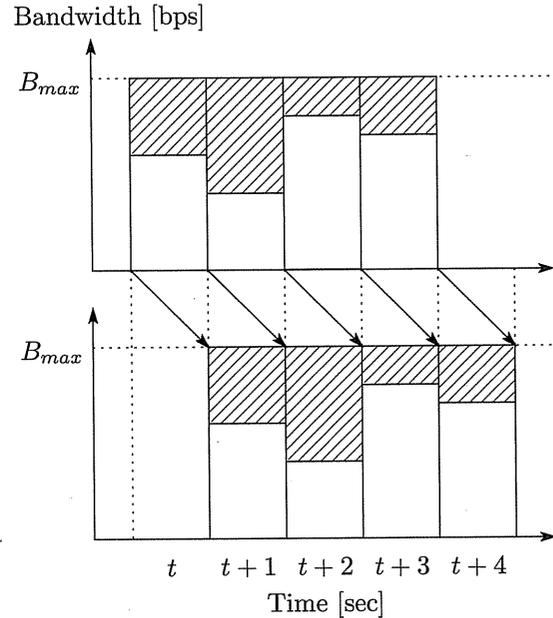


図 2: 方式 1 における総送信帯域の例.

- **方式 1:** ストリーミングデータを一度送信側で蓄えておき, 余剰帯域幅が観測され, 付加コンテンツを送信可能な帯域幅が判明してから, 2 つのデータを同時に送信する. 図 2 にこの方式の模式図を示す. 図中, 上のグラフが観測された帯域幅を, 下のグラフが実際の送信帯域幅を表す.
- **方式 2:** 余剰帯域幅を統計的に予測し, 予測値に応じたデータ量の付加コンテンツを送信する.

図 2 に示すように, 方式 1 の場合, $B_{total}(t) = B_{max}$ なる関係が常に成立し, 理論的には, 余剰帯域は一切発生しないことになる. しかし, この方式では, ストリーミングデータの送信に遅延が生じることから, テレビ会議システム [3] や遠隔学習システム [4] といった, インタラクティブなリアルタイム双方向通信には適していると言えない. 一方, 方式 2 は上記のような応用に適していると考えられるが, $B_{total}(t) = B_{max}$ は常に成立せず, 余剰帯域が発生したり, 総送信量が最大帯域幅を超えるような状況が発生しかねない. したがって, 余剰帯域幅をできるだけ精度良く予測することが不可欠となる. さらに, 実時間での通信を考慮すると, 帯域幅の予測に要する計算時間は

極力抑えられなければならない。

3 マルコフモデルを用いた余剰帯域幅の予測

本研究では、前節で述べた方式 2 を採用し、余剰帯域の予測方法としては、多重マルコフモデルに基づく方法を提案する。本節では、多重マルコフモデルの定義と帯域予測の方法について述べる。

3.1 単純マルコフモデル

確率過程を $\{X_t\} \stackrel{\text{def}}{=} \{X_0, X_1, \dots, X_t, \dots\}$ で表す。簡単のため、各確率変数 X_t は同一のアルファベット \mathcal{X} 上に値をとると仮定する。また、 $|\mathcal{X}| = L$ であるとし、一般性を失うことなく、 $\mathcal{X} = \{1, 2, \dots, L\}$ と書き表すこととする。ここで、 x_i^j を長さ $j-i+1$ のデータ系列 $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_j\}$ と定義し、 $p(x_i^j)$ は確率 $\Pr\{X_i^j = x_i^j\}$ を表すとする。

確率過程 $\{X_t\}$ は、任意の t において X_t が X_{t-1} のみに依存する、すなわち

$$p(x_t | x_0^{t-1}) = p(x_t | x_{t-1}) \quad (3)$$

が成立するとき、(単純) マルコフ過程 (Markov process) であるという。ここで、確率 $p(x_t | x_{t-1})$ は遷移確率と呼ばれ、この確率が時刻 t に依存しないとき、このマルコフ過程は斉次 (homogeneous) であるという。以下では、簡単のため、斉次マルコフ過程のみを考えることとする。また、 $L \times L$ 行列:

$$P \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} p(1|1) & p(2|1) & \cdots & p(L|1) \\ p(1|2) & p(2|2) & \cdots & p(L|2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p(1|L) & p(2|L) & \cdots & p(L|L) \end{bmatrix} \quad (4)$$

を遷移確率行列と呼び、この行列の各行 i ($1 \leq i \leq L$) について

$$\sum_{j=1}^L p(j|i) = 1 \quad (5)$$

が成り立つ。

ある統計的モデルにおいて、情報源から発生する無限長のデータ系列がマルコフ過程をなすとき、このモデルをマルコフモデルと呼ぶ [5]。

3.2 多重マルコフモデル

確率過程 $\{X_t\}$ は、長さ k の系列 X_{t-k}^{t-1} が与えられ、任意の $t \geq k+1$ に対し、系列 X_0^{t-k-1} と X_t^∞ が互いに独立であるとき、 k 次の多重マルコフ過程であるという。言い換えると、任意の時刻 t において、確率変数 X_t が直前の長さ k の系列 X_{t-k}^{t-1} のみに依存する、すなわち、

$$p(x_t | x_0^{t-1}) = p(x_t | x_{t-k}^{t-1}) \quad (6)$$

が成立するとき、 $\{X_t\}$ は k 次の多重マルコフ過程をなす。 $k=1$ の場合は、単純マルコフ過程に他ならない。 k 次多重マルコフ過程の遷移確率行列は $L^k \times L$ 行列となる。以下では、簡単のため、遷移確率行列の各行は、長さ k の既知系列 X_{t-k}^{t-1} の辞書順にソートされているものと仮定する。単純マルコフモデルの場合と同様に、遷移確率行列の各行、すなわち、任意の $x^k \in \mathcal{X}^k$ に対し、

$$\sum_{j=1}^L p(j|x^k) = 1 \quad (7)$$

が成り立つ。 k 次多重マルコフ過程についても単純マルコフ過程と同様に斉次性が定義でき、本論文では、斉次多重マルコフ過程のみを考える。

ある統計的モデルにおいて、情報源から発生する無限長のデータ系列が k 次多重マルコフ過程をなすとき、このモデルを k 次の多重マルコフモデルと呼ぶ [5]。 k 次多重マルコフモデルは、過去のデータに関する記憶をすべて長さ k の有限長系列 X_{t-k}^{t-1} に集約するような有限記憶モデルと考えることができる。

3.3 余剰帯域幅の予測

時系列データを統計的に予測する方法としては、AR モデル、ARMA モデルを用いる方法を始めとして、さまざまな手法が知られている [8]。しかし、既に述べたとおり、ストリーミングにおける帯域幅の予測では計算時間を小さく抑えることが

重要であるため, 複雑なデータ解析方法は適しているとは言えない.

本研究では, 余剰帯域幅の予測方式として, 多重マルコフモデルに基づくものを用いることを提案する. 実際の予測方法を以下に述べる. まず, 事前にトレーニング用のストリーミングデータを用いて, k 次多重マルコフモデルの遷移確率行列が計算されているものとする. 予測を行なうデータは未知のデータであるので, トレーニング用のデータには含まれていない.

各時刻 t において, 余剰帯域幅 $B_{sur}(t) = x_t$ の推定量 \hat{x}_t を

$$\hat{x}_t := \arg \max_{x_t} p(x_t | x_{t-k}^{t-1}) \quad (8)$$

のように求める. ここで, x_{t-k}^{t-1} は過去の長さ k の時間で観測された系列を表す. 式 (8) は, 長さ k の系列 x_{t-k}^{t-1} を観測したとき, 遷移確率 $p(x_t | x_{t-k}^{t-1})$ を最大にするような帯域幅 x_t を余剰帯域幅の推定値とすることを意味している. 帯域幅を予測した後, $B_{stat}(t) = \hat{x}_t$ として, 帯域幅 \hat{x}_t を超えないだけの付加コンテンツを, ストリーミングデータと共に送信する.

一般に, ストリーミングデータのビットレートは非常に多様な値をとる. したがって, ビットレートの値をそのまま使用したのでは, 遷移確率行列の次数が大きくなり, 最大確率の検索に要する時間が膨大になってしまう. このため, 本研究では, 観測および予測に使用する帯域幅の値を L 個の値に量子化する. 以下では, この正の整数 $L = |\mathcal{X}|$ を量子化レベルと呼ぶ. 既に述べたとおり, 本論文では, $\mathcal{X} = \{1, 2, \dots, L\}$ を仮定しており, 帯域幅の値は事前に整数の集合 \mathcal{X} の各要素に置き換えられているものとする.

ここで, 実際の予測の例を示す. 例えば, アルファベット $\mathcal{X} = \{1, 2\}$ 上の 2 次多重マルコフモデルを考え, 遷移確率が

$$\begin{cases} p(1|\{1, 1\}) = 0.1, & p(2|\{1, 1\}) = 0.9 \\ p(1|\{1, 2\}) = 0.8, & p(2|\{1, 2\}) = 0.2 \\ p(1|\{2, 1\}) = 0.4, & p(2|\{2, 1\}) = 0.6 \\ p(1|\{2, 2\}) = 0.5, & p(2|\{2, 2\}) = 0.5 \end{cases} \quad (9)$$

のように与えられているとする. このとき, 観測された余剰帯域幅が $x_{t-2}^{t-1} = \{x_{t-2}, x_{t-1}\} = \{1, 2\}$ であったとすると, $p(1|\{1, 2\}) > p(2|\{1, 2\})$ より,

余剰帯域幅の推定量は $\hat{x}_t = 1$ と得られることになる.

この方法では, 帯域幅の予測に要する操作は遷移確率行列において, 長さ k の観測値系列に対応する行の最大要素を検索することだけである. したがって, パラメータ k, L として大きな値を考慮しない場合は, 計算時間は極めて小さく, 実時間通信に影響を及ぼすものではないと考えられる.

4 計算機シミュレーション

4.1 通信モデル

本研究では, 次のようなマルチメディア通信モデルを考える. 簡単のため, 通信システムは 1 台のサーバ (送信器) と 1 台のクライアント (受信器) からなるとする. ストリーミングデータは Microsoft Windows Media Format (WMF) 形式でエンコードされているとする. サーバは, 付加コンテンツ用の送信帯域幅の予測を行ない, WMF 形式のストリーミングデータと付加コンテンツを同時に UDP プロトコルを用いて送信する. クライアントは, 受信したストリーミングデータおよび付加コンテンツを再生する.

通信路としては, 通信速度 (帯域幅) が制限される無線通信路を想定する. 最大帯域幅は固定されており, サーバ側では既知であると仮定する. 実際の計算機シミュレーションでは, 電波を用いて無線通信を行なうわけではなく, 最大帯域を固定して, サーバ側, クライアント側双方のプログラムを 1 台の計算機上で動作させる.

4.2 実験における条件

数値実験に必要なパラメータとしては, マルコフモデルの次数 k , 量子化レベル L に加え, 量子化する帯域の上限 Q_{max} および下限 Q_{min} を考慮する. 後者の 2 つのパラメータを考慮する理由は以下の通りである. 帯域を量子化する際, 最大帯域幅 B_{max} に対し, 0 [bps] から B_{max} [bps] の全帯域を量子化することも考えられるが, 実際には, ストリーミングデータの通信帯域は全帯域内に一様に分布するわけではない. 特に, シーンの変化が少ない動画データなどの場合は, 実際の通信帯

域はある特定の区間に集中することとなる。したがって、帯域幅の予測を行なう際は、全帯域ではなく、実際の通信帯域値が取りうる区間を対象にした方が効率が良い。そのため、通信帯域の量子化や予測を行なう際は、 Q_{min} [bps] \sim Q_{max} [bps] のみを対象とし、実測された帯域幅がこの区間を超えた場合は、強制的に値を Q_{min} や Q_{max} にセットすることとする。

本論文では、最適な量子化法についての検討結果も報告するので、量子化レベル L を除くパラメータについては、予備実験やトレーニングデータの観測結果等から適当な値を与えることとする。これらのパラメータを含め、本論文では、以下のような条件の下で計算機シミュレーションを行なう。

- ストリーミング用のデータとしては動画データを用いる。予測に用いる動画はトレーニング用とは異なるものを使用する。簡単のため、会議や授業の風景など、シーンの変化が少ない動画データを使用する。
- 帯域幅の値は 1 [sec] 間隔で観測を行なう。
- 最大帯域幅は $B_{max} = 500$ [kbps] とする。
- 量子化を行なう帯域の上下限はそれぞれ、 $Q_{max} = 300$ [kbps], $Q_{min} = 200$ [kbps] とする。
- マルコフモデルの次数は簡単のため $k = 2$ で固定する。
- シミュレーションでは、実際の総送信データ量 $B_{total}(t)$ と最大帯域幅 B_{max} の差、すなわち、

$$\begin{aligned} d(t) &\stackrel{\text{def}}{=} B_{total}(t) - B_{max}, \\ &= B_{stat}(t) + B_{ubr}(t) - B_{max} \quad (10) \end{aligned}$$

を観測する。ここで、 $d(t)$ が正であるということは、総送信帯域幅が最大帯域幅を超えていることを意味し、 $d(t)$ が負であることは、余剰帯域が発生していることを意味している点に注意されたい。

- 予測精度の指標として、式 (10) の平均 $E[d]$ と標準偏差 $\sigma[d]$ を評価する。理想的な帯域幅の予測が行なえている場合、3つの条件：(i)

$E[d] < 0$, (ii) 絶対値 $|E[d]|$ が小さい, (iii) $\sigma[d]$ が小さい, が満たされていると考えることができる。

4.3 最適な量子化の検討

ここでは、最適な量子化レベルを検討するための予備実験を行なう。

帯域幅の量子化においては、通信帯域を L 個の量子化レベルに分割し、分割された各帯域の代表値を通信帯域幅の値として採用する。このとき、帯域幅の代表値として、分割された帯域の上端を採用するか、あるいは中央値や下端を採用するかを選択しなければならない。ここでは、代表値として、上端、中央値、下端を採用した場合をそれぞれモード A, B, C として定義する。例えば、 $Q_{max} = 300$ [kbps], $Q_{min} = 200$ [kbps], $L = 4$ とした場合、帯域は 25 [kbps] 幅の 4 つの小帯域に分割される。このような条件の下で、実際の通信帯域が 220 [kbps] であったとすると、この値は 200~225 [kbps] の小帯域に属することになり、代表値としては、モード A ならば 225 [kbps], モード B ならば 212.5 [kbps], モード C ならば 200 [kbps] をとることになる。

本節では、量子化レベル L の最適値を導出するが、代表値の選び方としてこれらの 3 つのモードのいずれを選択した場合が最適であるかについても、数値シミュレーションを通して検討する。

モード A, B, C の各々において、量子化レベルを $L = 4, 8, 16, 32, 64$ と変化させて実験を行なった結果を表 1 に示す。3 つのモードは、各小帯域における代表値のとり方を変えただけであるので、最大帯域幅と送信帯域幅の差 $d(t)$ の標準偏差 $\sigma[d]$ については、3 つのモードとも同じ値を示している。

表 1 において、モード A, B の場合は、 $d(t)$ の平均値 $E[d]$ がいずれも正の値になっている。モード B の $L = 8, 16, 32$ などの場合は、1[kbps] 以下で小さな値とはなっているものの、標準偏差が 6~8 [kbps] と大きいため、実際にはかなり多くの場合において最大帯域幅を超過していることが考えられる。これに対し、モード C では、 $L = 64$ 以外のすべての場合において、 $E[d] < 0$ となっている。また、平均の絶対値 $|E[d]|$ は最大でも 6 [kbps] 程度で、量子化で考慮している全帯域幅 100

表 1: 量子化法による予測結果の比較

L	E[d] [kbps]			σ[d] [kbps]
	Mode A	Mode B	Mode C	
4	18.915	6.415	-6.085	6.132
8	6.812	0.562	-5.688	6.369
16	3.786	0.661	-2.464	6.717
32	1.957	0.394	-1.168	8.067
64	2.025	1.244	0.463	8.539

[kbps] の 5% 程度に留まっている。さらに、標準偏差との関係について注目すると、 $L = 4$ の場合は、 $|E[d]| = 6.085$ [kbps] に対し、 $\sigma[d] = 6.132$ [kbps] となっているため、多くの場合において総送信帯域が最大帯域幅以内に収まっていることが考えられる。 L が 8 以上の場合は、平均の絶対値 $|E[d]|$ に比べて標準偏差 $\sigma[d]$ が大きく、最大帯域幅を超える場合が増えることが予想される。したがって、今回使用した動画データについて見る限り、モード C を採用し、 $L = 4$ と設定する場合が最適であると考えられる。

4.4 予測による効果の検証

表 2 および図 3 において、余剰帯域の予測を行なわなかった場合と多重マルコフモデルにより予測を行なった場合の結果を比較する。ここで用いたストリーミングデータは、前節で用いたものと同じ動画データである。量子化レベルは $L = 4$ とし、小帯域の代表値はモード C を採用している。表 2 では、 $d(t)$ の平均 $E[d]$ と標準偏差 $\sigma[d]$ を双方の場合について示している。前節と同じデータに基づく結果であるため、マルコフモデルで予測を行なった場合 (Estimated) の $E[d]$, $\sigma[d]$ は、表 1 の $L = 4$, モード C の場合と同じである。一方、図 3 では、マルコフモデルで予測した場合の差 $d(t)$ を実線で、予測を行なわなかった場合の $d(t)$ を破線で表示している。また、図中に表示されているのは動画データ全体ではなく、再生開始後 120[s] ~ 300[s] の区間のものである。

表 2 より、予測を行なわない場合の $d(t)$ の平均値 $E[d]$ は、非常に小さい値をとっているが、標

表 2: 予測の有無による $d(t)$ の平均と標準偏差の比較

Case	E[d] [kbps]	σ[d] [kbps]
Not Estimated	0.166	10.881
Estimated	-6.085	6.132

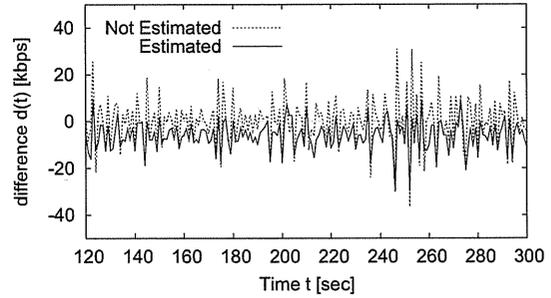


図 3: 予測の有無による差 $d(t)$ の比較

準偏差 $\sigma[d]$ が非常に大きいため、多くの場合において、総送信帯域幅が最大帯域幅を超過していると考えられる。図 3 では、このことが実際に見てとれる。この図より、予測を行なわなかった場合に比べ、マルコフモデルで予測を行なった場合は、最大帯域幅を超過することが非常に少なく、多くの場合において、総送信量は最大帯域幅以内に収まっていることがわかる。

図 4 では、提案方式で予測を行なった余剰帯域を利用した場合の総送信帯域とストリーミングデータの送信帯域を 120[s] ~ 300[s] の間について示

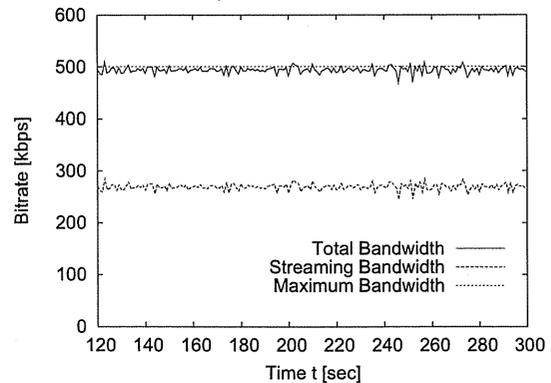


図 4: 送通信帯域の例

す。図中、下方の 200[kbps] ~ 300[kbps] 付近に見られる曲線がストリーミングデータの帯域幅であり、上方の最大帯域幅付近の曲線が、ストリーミングデータに付加コンテンツを加えた総送信帯域幅である。このことから、余剰帯域が非常に小さく、効率の良いマルチメディア通信が行なえていることがわかる。

5 むすび

本論文では、ストリーミングを用いたマルチメディア通信における余剰帯域を多重マルコフモデルにより予測する方法を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより実証した。しかし、本研究は、基礎的な検討を始めたばかりであり、解決しなければならない問題は非常に多い。特に、本論文で示した結果は特定のデータに関して有効性を示しているに過ぎないため、帯域の変動が激しい場合など、さまざまなデータについて最適なパラメータ設定を行なう方法を示すことが最重要課題である。この他、帯域が急激に変動した場合にも対応可能な適応的な予測方式の開発、他の通信帯域予測方法 ([9] など) との比較、ある種の統計的基準 ([10] など) を用いたマルコフモデルの高精度な次数推定、予測精度の向上、実際の無線通信路における提案方式の実装なども重要な研究テーマであると考えられる。

参考文献

- [1] R. Steinmetz and K. Nahrstedt. *Multimedia: Computing, Communications and Applications*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 1995.
- [2] D. Wu, Y. T. Hou, W. Zhu, Ya-Qin Zhang, and Jon M. Peha. Streaming video over the Internet: Approaches and directions. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 11, No. 3, pp. 282–300, March 2001.
- [3] T. Turetti and C. Huitema. Videoconferencing on the Internet. *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 4, No. 3, pp. 340–351, June 1996.
- [4] S. G. Deshpande and J. N. Hwang. A real-time interactive virtual classroom multimedia distance learning system. *IEEE Trans. Multimedia*, Vol. 3, No. 4, pp. 432–444, December 2001.
- [5] 韓太舜, 小林欣吾. 情報と符号化の数理. 培風館, 1999.
- [6] 藤原亜希子, 小嶋徹也, 青野正宏. マルコフモデルを用いたマルチメディア通信帯域予測に関する研究. 電子情報通信学会 2006 年総大会講演論文集, A-16-1, March 2006.
- [7] T. Kojima, A. Fujiwara, and M. Aono. On the estimation of the multimedia communication band using multi-order markov model. *Proc. of Joint 3rd International Conference on Soft Computing and Information Systems and 7th International Symposium on Advanced Information Systems (SCIS & ISIS 2006)*, pp. 378–383, September 2006.
- [8] 谷口正信. 第 II 部 時系列解析入門. 統計学の基礎 I: 線形モデルからの出発 (竹村 彰通, 谷口 正信 著), 統計科学のフロンティア 1. 岩波書店, January 2003.
- [9] 谷口雅昭, 村尾高秋, 串田高幸, 萩野浩明, 安木成比古, 稲村浩, 山内長承. 無線ネットワーク環境における帯域幅の予測とマルチメディア・コンテンツの送出量制御. 情報処理学会 研究報告 (マルチメディア通信と分散処理), Vol. 2001, No. 107, pp. 65–70, November 2001.
- [10] N. Merhav, M. Gutman, and J. Ziv. On the estimation of the order of a Markov chain and universal data compression. *IEEE Trans. Inform. Theory*, Vol. 35, No. 5, pp. 1014–1019, September 1989.

(平成 19 年 1 月 9 日 受理)

廃棄物を出さない魚と野菜の同時生産システムの開発

—アクアポニックスシステムの開発計画—

松林勝志*, 中川文寛**, 星野 猛***, 小坂敏文*, 三谷知世****

Development of a Simultaneous Production System of Fish and Vegetables without Any Waste
—Plan of the Development of an Aquaponics System—

Katsushi MATSUBAYASHI, Fumihiko NAKAGAWA, Takeshi HOSHINO,
Toshifumi KOSAKA and Tomoyo MITANI

Aquaponics is a combination term of aquaculture (fish farming) and hydroponics (growing plants without soil) and is the simultaneous production system of fish and vegetables without any waste.

In aquaculture, the water quickly becomes nutrient rich due to the fish digesting their food and excreting waste. The waste water is usually filtered and/or disposed of to keep the water free of toxic buildups. In hydroponics, nutrient solution is required for growing plants. The solution is created by adding the elements plants need to water. In aquaponics, the fish waste provides a food source for the growing plants and the plants provide a natural filter for the fish. This creates a small ecosystem where both plants and fish can thrive.

In this study, a small aquaponics system which is enjoyable in a home will be developed and the plan of the development is described in this paper. Principal nutrients components required for growing plants are nitrogen (N), phosphorus (P) and kalium (K). Fish waste provides all nitrogen plants need as nitric acid ion. Phosphorus and kalium are provided by additives because fish waste contains very little of them. The characteristic of this study is that additives are used as pH buffer. The additives keep the pH constant value which is suitable for growing plants.

(Keywords: Aquaponics, Aquaculture, Hydroponics, Ecosystem, pH Buffer)

1. はじめに

アクアポニックス (Aquaponics) とは Aquaculture (水産養殖) と Hydroponics (水耕栽培) とを組み合わせた造語であり, 廃棄物を出すことなく両者を同時に実現するシステムである。魚の養殖により富栄養化した水は植物に栄養を与え, 植物は天然のフィルタとなり魚に住みやすい水質を提供する。すなわちアクアポニックスは植物と魚の両者が成長できる小さな生態系である。

本研究では家庭で楽しめる小型サイズのアクアポニックスシステムを開発する。植物の成長には窒素(N)・リン(P)・カリウム(K)の三大要素が十分供給されなければならない。窒素は魚の排泄物ですべて供給し, 排泄物にほとんど含まれないリ

ン・カリウムは添加物で供給する。添加物は生物の体内に普通に存在し, 食品加工用として一般に用いられる安全なものを使用する。また植物の成長には pH を一定に保つことが重要であるため, pH 緩衝液を構成できる添加物を使用することも本研究の特徴である。

本報告ではアクアポニックス開発の準備状況と計画について述べる。

2. アクアポニックスシステム

図1に水槽を2個用いた場合のアクアポニックスシステムを示す。ポンプで水を循環させ, ヒーターとクーラーで水温を最適値 (魚の飼育槽は魚種にもよるが 25 °C前後, 水耕栽培槽は 20 ~ 22

℃) に保つ。上部の水耕栽培槽では発泡スチロールに穴を開け、スポンジを積めて苗床とする。装置は窓辺に設置し太陽光で植物を育てるが、太陽光が利用できない場合は、植物の光合成が飽和する明るさ(気温 22℃時約 7000lx)以上の照度が確保できる照明を用いる。

3. 三大要素の供給

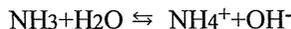
植物の生長に必要な三大要素はイオン、即ち、硝酸イオン(NO₃⁻)、リン酸イオン(PO₄⁻)、カリウムイオン(K⁺)として植物に吸収される。それらの濃度設定は(株)M式水耕栽培研究所のアドバイスを得て、表1に示す値を目標値として設定した。

表2 三大要素目標濃度

NO ₃ ⁻ (硝酸イオン)	260ppm
PO ₄ ⁻ (リン酸イオン)	120ppm
K ⁺ (カリウムイオン)	350ppm

3.1 硝酸イオン(NO₃⁻)の供給

与えた餌は魚の消化や自然界のあらゆる場所に存在する好気性従属栄養細菌群(活発なタイプで20分に1回分裂)により最終的にアンモニア(NH₃)となる。アンモニアは水溶液中では、次のように平衡状態となり、毒性の強いNH₃の濃度はpH・温度(と平衡定数)で決まる。



魚の飼育初期において餌をやりすぎた場合など、好気性従属栄養細菌群のブルーム(大発生)がおき、白濁する場合がある。このときはアンモニア濃度が高い状態であり、魚にとっては住みやすい状態ではない。(この時、魚が死ぬことがあり、それを嫌って魚を入れずにマグロの切身を投入し白濁課程を通過させる場合もある。)

白濁の前後からアンモニアは好気性独立栄養細菌であるニトロソモナス属(アンモニア酸化菌)により亜硝酸になる。但し増殖は遅く平均1日1回であるため、亜硝酸が増えるのは時間がかかる。

亜硝酸が増えると次に偏性好気性独立栄養細菌であるニトロスピラ属(亜硝酸酸化菌)が増殖し、亜硝酸は硝酸塩(イオン)となる。

以上を化学式で表すと、次のようになる。

◎ニトロモナス属

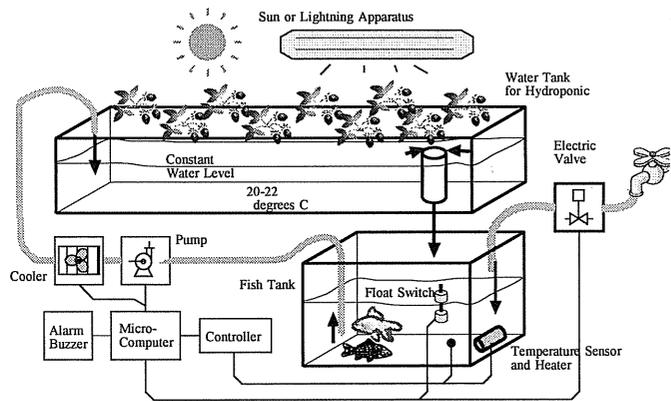


図1 アクアポニックスシステム

◎ニトロスピラ属



なお、これらの硝化作用を受け持つ主なバクテリアは飼育水槽においては、ニトロスピラ属はニトロソモナス・マリーナ、ニトロスピラ属についてはニトロスピラ・マリーナである¹⁾。

本研究では硝酸イオンについては魚の排泄物だけで全量供給したい。

3.2 リン酸イオン(PO₄⁻)とカリウムイオン(K⁺)の供給

リン酸イオンとカリウムイオンについては、これまでの飼育水の分析で、使用している餌(Tetra社テトラミンを使用)にはほとんど含まれていないことがわかっている²⁾³⁾。そこで、極めて安全な食品用の添加物で供給する。計画している添加物の一覧を表3に示す。リン酸イオンとカリウムイオンを同時に補うため①②、カリウムイオンはリン酸イオンに比べて多く供給する必要があるため③④を選定した。

表3 リンとカリウムを補う添加物⁴⁾⁵⁾

添加物名	①リン酸二水素カリウム (KH ₂ PO ₄)
添加物名	②リン酸水素二カリウム (K ₂ HPO ₄)
使用例	中華そば、ワンタン・ギョーザ等の皮、食肉製品、魚肉練り製品、プロセスチーズ、チーズフード、ビスケット・ドーナツ等の菓子類、日本酒等
添加物名	③炭酸二カリウム (K ₂ CO ₃)
使用例	中華そば、ワンタン・ギョーザ・シューマイの皮等
添加物名	④炭酸水素カリウム (KHCO ₃)
使用例	海外で食品や医薬品に使われる。重曹(炭酸水素ナトリウム(NaHCO ₃))と類似の物質である。炭酸二カリウムを空气中に放置すると炭酸ガスを吸収し炭酸水素カリウムとなる。農園芸の極めて安全な使用回数に制限のない病害防除剤として使われる。

文献⁶⁾によるとリン酸二水素カリウムはリン酸水素二ナトリウムと組み合わせ、pHを任意の値で安定させるpH緩衝溶液を構成できる。リン酸二水素カリウム-リン酸水素二カリウムの組合せも文献は見つからないが、その化学式から同様に緩衝溶液を構成できると考えられる。また炭酸二カリウム-炭酸水素カリウムの組合せでも可能性がある。

pHを一定に保つことは植物の生長にとって重要である。pHが適した値の範囲内(6 ± 0.5程度)に設定できない場合、苗の成長が止まってしまう²⁾。そこで、これら4種類の添加物により、リンとカリウムを補うと共にpHを水耕栽培に適した値に固定したい。

今後これらの添加物でpH緩衝液を構成し、その緩衝能力について検証する予定である。その準備として水槽の現在の各イオン濃度から添加すべき添加物の量をpHを一定に保つという条件で計算するアプリケーションを開発した³⁾。

なお、日本では炭酸水素カリウムが食品添加物に指定されていない。これは同じ性質の炭酸水素ナトリウムが食品添加物の重曹(ふくらし粉)として広く普及していることと、炭酸水素ナトリウムは炭酸水素カリウムより単位mol当たり16%も軽いため経済的であることが原因と考えられる。

4. 魚の飼育による水質変化

魚の飼育により水質がどのように変化していくのかを把握するため測定を行っている。八王子市立柵田小学校の協力を得て、2006年10月2日から飼育実験を継続中である。

4.1 飼育条件

飼育の条件を表4に示す。(以下単位リットルをLと表記する。)

表4 飼育条件

餌の量	休祝日を除き1日1g
魚	エンゼルフィッシュ10匹
水温	ヒータの設定温度25℃
フィルタ	Suisaku ニューフラワーDX 1台, 10cm大の石1個
水槽	60cm水槽, 47.6 L

表5 イオン濃度測定装置

測定対象	装置名	メーカー	型番
硝酸イオン(NH ₃ -N)	コンパクトイオンメータ	HORIBA	C-131形
カリウムイオン(K)	コンパクトイオンメータ	HORIBA	C-141形
リン酸イオン(PO ₄)	ロボビンド吸光度計	盤合社	LPC 111
アンモニウムイオン(NH ₄ -N)	バックテスト	(株)共立理化学研究所	WAK-NH ₄
pH	pHメータ	ビー・エー・エス(株)	pH BOY-KS701

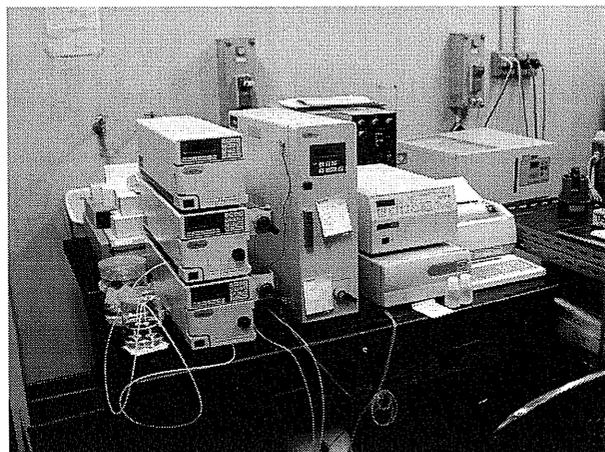


図2 イオンクロマトグラフ

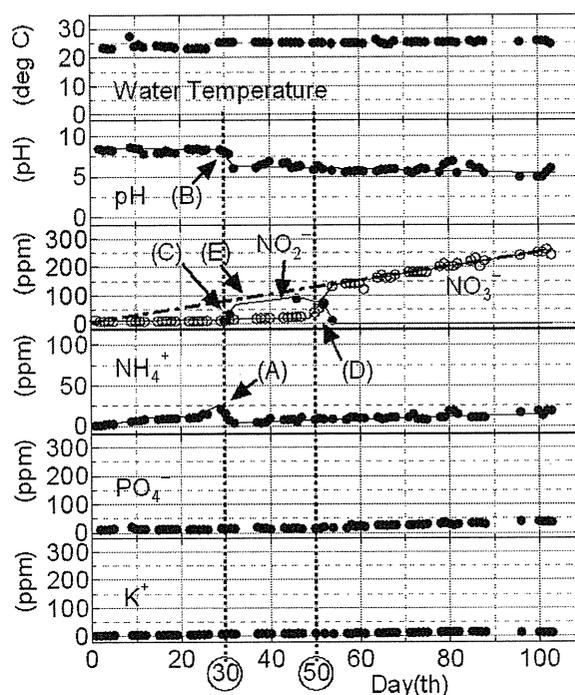


図3 飼育水の水質測定結果

4.2 水質測定機器

水質はpH・水温の他、各イオン濃度を測定する。表5に示す装置の他、全イオンを一度に高精度に測定するためイオンクロマトグラフ(図2)も使用する予定である。イオンクロマトグラフは、既存の陰イオン測定用の装置に加え、陽イオン測定用の装置一式を増設した。現在、校正作業を終え、収集しておいた飼育水サンプルを測定中である。

4.3 水質測定結果

表5の装置を使用して約100日間の水質の変化を測定した結果を図3に示す。

(1) pH, 水温

pH は当初 8 ~ 8.5 で推移したが 30 日目付近から急に下がり (図 3 の B), その後 6 付近で推移している。

水温は当初 23 °C に設定したが, 魚の動きが活発でなく食欲が少ないことと, 10 日目から発生したブルーム (好気性従属栄養細菌群の大発生) による白濁現象がなかなか解消されなかったことから, 27 日目に 25 °C に設定温度を上げ, 小型のアメーバやゾウリムシ等の細菌を捕食する原生動物と亜硝酸酸化菌の増殖を促した。その結果, 30 日目以降から急激に白濁現象は解消された。

(2) アンモニウムイオン (NH_4^+) と硝酸イオン (NO_3^-)

pH が 8 ~ 8.5 において両者の比率は, アンモニウムイオン 95 ~ 90%, アンモニア 5 ~ 10% で平衡状態となっている⁷⁾⁸⁾。アンモニアは数 ppm の濃度でも魚にとって非常に危険である (致死量は 0.5ppm 程度と言われている)。30 日目においてアンモニウムイオンは 20ppm に達し, その後急激に減っている (図 3 の A)。この時, アンモニアは 2ppm 程度と予想され, アンモニア中毒の症状 (エラの露出) が発生し, 比較的耐性が弱いと思われる幼魚 (エンゼルフィッシュ) 1 匹が泳ぎがおかしくなり死亡した。

30 日を過ぎてからは pH は 6 程度であり, アンモニウムイオン 99.9%, アンモニア 0.1% 程度である。つまりアンモニアの濃度は, アンモニウムイオン濃度の約 1/1000 (アンモニウムイオンは 10ppm 未満であることから, 0.01ppm 未満) であり, アンモニア中毒の症状は見られなくなった。

30 日目にアンモニウムイオンはピークを迎えた後, 急激に低下すると同時に亜硝酸イオンが増加した。50 日目には亜硝酸イオンの低下と共に硝酸イオンの増加が始まり (図 3 の D), その後は亜硝酸イオンは検出されず, 硝酸イオンのみが一定の傾きで増加している。つまり, 54 日目で硝化サイクル (前述 3.1) が完成したと言える。

54 日目以降の硝酸イオン濃度の傾きを延長すると原点を通る (図 3 の一点鎖線 E) ことから, 硝酸イオン濃度は餌投入量に比例することがわかる。47.6L の水の入った水槽に合計 64g のテトラミンを投入し, 硝酸イオン濃度は 260ppm に達していることから, 水槽容量を W(L), 餌 (テトラ

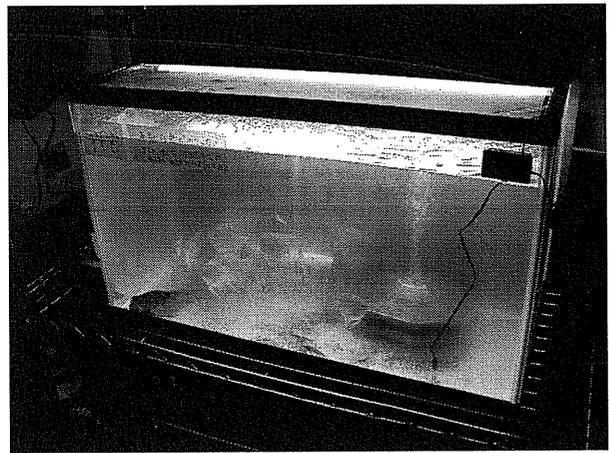


図 4 10 ~ 30 日目に発生した好気性従属栄養細菌群のブルームによる白濁現象 (梶田小)

ミン) の投入質量を F(g) とすると, 得られる硝酸イオン濃度 N(ppm) は次式で表される。

$$N = 0.193 F / W \times 1000$$

この式は, 計画するアクアポニックスの規模と必要な餌の量の関係を示す。例えば 100L の水量で 30 日後に 260ppm の硝酸イオン濃度にした場合は, 硝化サイクルをできるだけ早く完成させると共に, 一日あたり 4.5g の餌を与え, それを食べきれだけの匹数の魚を飼育することになる。その後は植物の吸収量に応じて餌の量を調整する。

(3) リン酸イオン (PO_4^-) とカリウムイオン (K^+)

リン酸イオンについては 20ppm, カリウムイオンについては 10ppm しか増加していない。これらは表 2 に示す目標濃度に全く足りないため, 添加物として与えなければならない。

5. まとめ

アクアポニックス開発の準備状況と計画について述べた。

植物の成長に必要な三大要素 (窒素(N)・リン(P)・カリウム(K)) についてその供給方法を示すと共に, 魚を飼育することによる硝化サイクルの完成課程を明らかにした。また餌の投入量・得られる硝酸イオン濃度・必要な魚の飼育量の関係も明らかにした。

今後, 次に示す検討を行う。

(1) 効果的な硝化サイクルの完成方法の検討

本報告書の条件では硝化サイクルの確立に 54 日を要した。魚を入れる代わりにフィッシュレス・サイクリング法 (マグロの刺身を投入する方法

9)や, 1999年にChris Cowにより示された純アンモニアを滴下する方法¹⁰⁾を検討し, 早期に硝化サイクルを完成させる手法を確立したい。またカーボンファイバを水槽に投入し, 硝化菌が増えやすい環境を作ることも検討する。

(2) pH についての検討

pH は水耕栽培においては 5.5-6.5, 魚の飼育には 6.5-8.0 が適当である。pH が 6.5 を切るとニトロモナス属が, 6 以下になるとすべての硝化菌が活動を停止する⁹⁾ので, 6.5 ~ 7 程度で安定させたい。3.2 で示した添加物により pH 緩衝液を構成する実験を行う。

(3) アクアポニックスの実験

2 つの水槽を用いてアクアポニックスの実験を開始し, 植物の各イオンの吸収速度を調べ, 将来の生産プラント実用化のためのデータの収集を行う。

(4) 環境教育への応用

本研究では, 小型のアクアポニックスの開発を行うと同時に, アクアポニックスを初等教育機関の教育現場に適用し, 環境教育と科学技術のリテラシー教育を推進することも目的としている。八王子市立柵田小学校に水槽を設置し, 実験を進めているが, 担当教諭と共に教育教材としての活用研究を進めたい。

本研究には(株)M式水耕研究所取締役の赤林智氏が研究協力者として参加している。また中央農業総合研究センター(北陸研究センター)の奥西智哉氏からも知見を頂いた。実験は八王子市立柵田小学校の鈴木幸子校長, 篠山哲雄教諭(八王子市小学校科学教育センター講師), 星野洋教諭, 橋本泰子教諭, 飼育委員会児童(5・6年生)の協力を得て行われている。この場を借りて感謝の意を表します。

本研究は, 平成 18-19 年度文部科学省科学研究費補助金「萌芽研究」の採択課題として行われ, 継続中である。

参考文献

- 1) 金魚水槽内で活躍する細菌たち
<http://members.jcom.home.ne.jp/m381t/Nitospira.html>
- 2) 星野猛, 植物と魚の循環生産システムに関する研究—アクアポニックスに関する研究—, 東京工業高等専門学校卒業論文, 2006.3
- 3) 中川文寛, 半田真帆, 星野猛, 松林勝志, 廃棄物を出さない魚と野菜の同時生産システムに関する研究, 八王子産学公連携機構第5回研究成果発表講演会論文集, pp60-61, 2006.12
- 4) 関東化学(株), 食品添加物,
<http://www.kanto.co.jp/kasei/syokuhin.html>
- 5) 住化タケダ園芸(株), eグリーンコミュニケーション,
http://www.sumika-takeda-engei.co.jp/siru/y_qanda/q19.htm
- 6) pHの理論と測定法, 吉村壽人, 松下廣, 森本武利, 丸善, p123, 1968
- 7) アンモニア水溶液中の非解離アンモニアの割合
<http://www3.tokai.or.jp/corydoras/seibutsugaku.html>
- 8) pHによるアンモニア, アンモニウムイオンの存在率の変化,
http://www.taropi.com/menu_sc_n00.htm
- 9) 水温とpHのテクニック,
<http://members.jcom.home.ne.jp/m381t/051right.html>
- 10) What is Fishless Cycling?, wiseGEEK,
<http://www.wisageek.com/what-is-fishless-cycling.htm>

(平成19年1月9日受理)

カーボン成型体の電磁気物性

阿久沢昇¹, 野村洋輔¹, 岩谷篤志¹, 土屋賢一¹, 玉田耕治², 岩佐山大³

Galvanomagnetic Properties of Carbon Moldings

Noboru AKUZAWA, Yosuke NOMURA, Atsushi IWATANI, Ken-ichi TSUCHIYA,
Kohji TAMADA and Yamahiro IWASA

A great number of graphite intercalation compounds have ever been obtained. Its¹ high electrical conductivity is quite attractive. One of practical possible applications would be as the filler material to enhance the electrical conductivity of composites with polymer. In this paper, the electric resistivity, galvanomagnetic properties and thermoelectric power of the moldings of graphite, $C_{97}FeCl_3$ and $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ were determined. It was suggested that the carrier mobility is a key factor for getting high conductive composites.

(Keywords: intercalation compounds, thermoelectric power, electrical properties)

1. はじめに

グラファイトは特徴的な層状構造を有することから、さまざまな化学種が層間を押しひろげながら侵入してグラファイト層間化合物を生成することはよく知られている。グラファイト層間化合物はグラファイトにくらべて電気伝導率が大きいため電気伝導性を向上させるためのフィラーとしての用途が期待される場所である。実際には粉末状で用いられることが多いと思われるが、粉末単味の電気伝導率を測定することは難しいので、本研究では特別に設計した金型を用いて成型体を作成し、その電気抵抗率、熱電能、磁気抵抗及びホール電圧を測定した。グラファイト層間化合物としては、空气中で比較的安定なグラファイト-塩化鉄層間化合物と三元系セシウム-エチレン-グラファイト層間化合物を用いた。

2. 実験

2.1 試料

グラファイト粉末 80mass%に対してバインダーである PTFE(ポリテトラフルオロエチレン)を 20mass%添加し、乳鉢でよく混ぜた。それを金型に入れ、手動のプレス機を用いて加圧することによって図 1 に示した形状の成型体を作成した。異なるみかけ密度 ($1.6\sim 2.0\text{ g/cm}^3$) を有する 6 種

類の成型体を作成した。この成型体をガラス板上に固定して、電気抵抗測定及びホール電圧測定のために 6 本の銅リード線を各端子に銀ペーストを用いて接続した。

グラファイト粉末と無水塩化鉄を希望の組成となるように秤取りし、混合物をガラス製反応管中にセットして真空下で 450°C の電気炉中に約 1 週間保持してグラファイト-塩化鉄層間化合物を調製した。また、三元系セシウム-エチレン-グラファイト層間化合物は CsC_{24} に 194K でエチレンを吸収させて調製した。

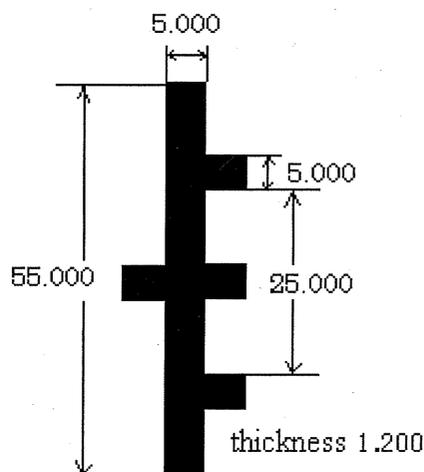


図 1 粉末成型体の形状とサイズ

生成物をシリカゲルを用いて十分に水蒸気を除いた乾燥空気中で取り出し、グラファイト粉末の場合と同様に $C_{97}FeCl_3$ と $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ の粉末からみかけ密度 2.0 g/cm^3 の成型体を作成した。これらの粉末成型体はガラス管中にセットして、シリカゲルで覆って水蒸気による分解を防いだ。

2. 2 成型体の電気抵抗測定

みかけ密度の異なる6つのグラファイト粉末成型体の室温電気抵抗率を四端子法で測定した。このうち、みかけ密度 2.0 g/cm^3 の試験片については電気抵抗の温度依存を液体酸素温度 (90K) 付近から室温の間で決定した。

2. 3 成型体の磁気抵抗・ホール電圧測定

グラファイト、 $C_{97}FeCl_3$ 、 $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ の成型体 (みかけ密度 2.0 g/cm^3) について、室温での磁気抵抗とホール電圧を $0 \sim 0.62 \text{ T}$ の磁場のもとで測定した。

2. 4 成型体の熱起電力測定

発泡スチロール製容器中に2つの銅ブロック (片方 (高温側) にはヒーター用のマンガン線を巻きつけてあるもの) を固定し、それらに成型体を銀ペーストで取り付け、成型体の両先端に温度測定用クロメルアルメル熱電対線、熱起電力測定用の銅線を銀ペーストで取り付け、全体を発泡スチロール粒子で覆った。マンガン線の先にはヒーター電源としてスライダックを接続した。

マンガン線に電流を流すことにより高温側の温度を上昇させ、成型体の両端で温度勾配を生じさせた。その際の温度差 ΔT は二つの熱電対の電位差を測定して求めた。また、同時に成型体両端の電位差 (熱起電力) ΔV を測定した。

3. 結果と考察

みかけ密度の異なる6種類のグラファイト粉末成型体について、室温電気抵抗率 (試料形状から単純に算出したみかけの電気抵抗率) をみかけ密度に対してプロットした結果を図2に示した。みかけ密度が増加するにつれて電気抵抗率が低下する傾向が認められた。この結果から、 1.90 g/cm^3 以上のみかけ密度の試料でグラファイト粉末間の接触抵抗の寄与が小さくなるものと考えられたので、以後の実験においては 2.0 g/cm^3 のみかけ密度を有する粉末成型体を用いることとした。

グラファイト粉末成型体、 $C_{97}FeCl_3$ 成型体および $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体の抵抗率の温度依存を図3に比較して示した。どの試料も半導体的温度依存を示した。 $C_{97}FeCl_3$ 成型体の抵抗率の絶対値はグラファイト粉末成型体にくらべて $20 \sim 30\%$ ほど小さくなっており、塩化鉄挿入の効果が認められた。しかし、 $C_{97}FeCl_3$ よりもゲスト濃度の高い $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体は抵抗率がグラファイト粉末成型体よりも大きい値となった。一般的にグラファイト層間化合物のゲスト濃度が増加すると抵抗率は減少することが知られている¹⁾。このことから、単純に粉末単味の抵抗が全体の抵抗を支配するわけではないものと考えられる。

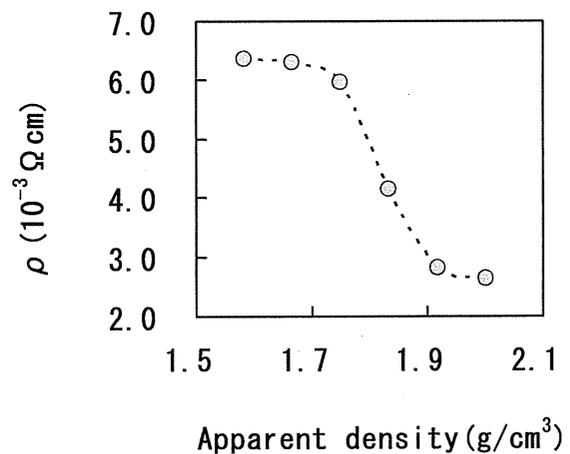


図2 グラファイト粉末成型体のみかけ密度に対する電気抵抗率の依存性

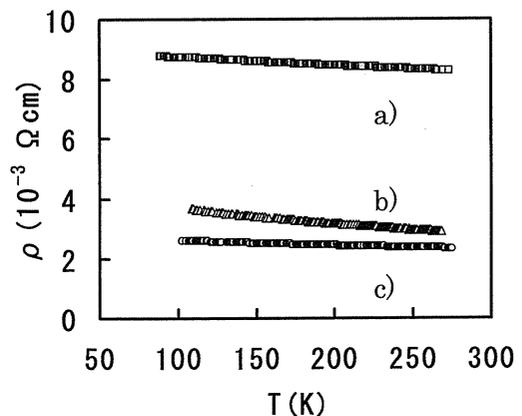


図3 各種成型体の電気抵抗率の温度依存: a) $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$, b) グラファイト, c) $C_{97}FeCl_3$

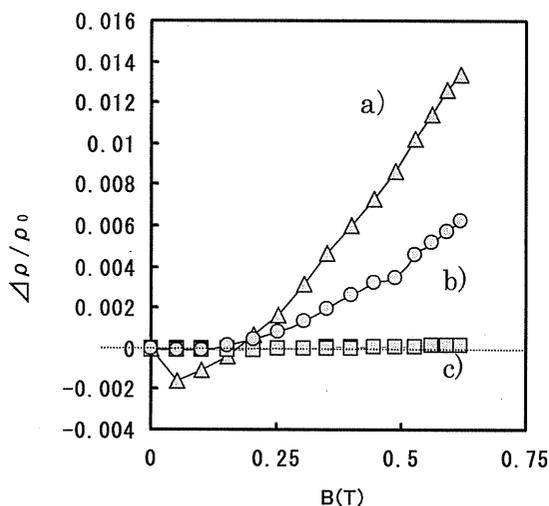


図4 各種成型体の磁気抵抗の磁場依存: a) グラファイト, b) $C_{97}FeCl_3$, c) $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$

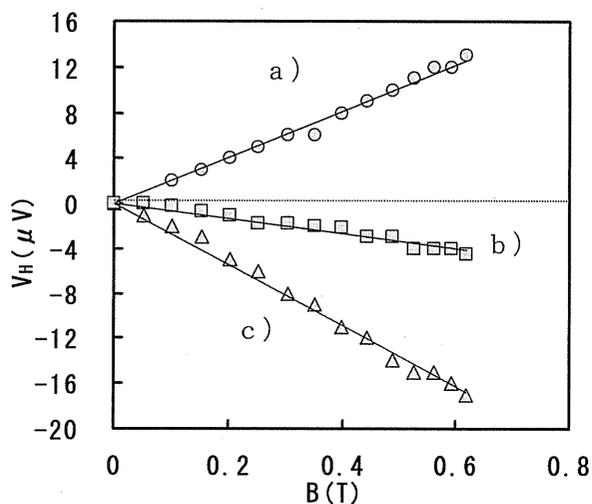


図5 各種成型体のホール電圧の磁場依存: a) $C_{97}FeCl_3$, b) $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$, c) グラファイト

図4にこれら三つの試料の磁気抵抗測定結果を比較して示した。グラファイト粉末成型体は磁場の増加に対していったん減少し(負の値を示し)、その後磁場の増加と共に増加した。 $C_{97}FeCl_3$ 成型体は、グラファイト粉末成型体に比べて磁気抵抗が減少した。 $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体は0.62Tまで磁場を増加させても磁気抵抗はほとんど観測されなかった。

表1 各成型体のキャリア密度とキャリア移動度

sample	μ_e $cm^2V^{-1}s^{-1}$	n_e cm^{-3}	μ_h $cm^2V^{-1}s^{-1}$	n_h cm^{-3}
graphite molding	1.8×10^3	6.4×10^{17}	1.8×10^3	6.4×10^{17}
$CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ molding	28	2.6×10^{19}	1.2×10^3	1.6×10^{16}
$C_{97}FeCl_3$ molding	3.6×10^3	0.8×10^{17}	0.47×10^3	52×10^{17}

図5にはこれらの試料について観測されたホール電圧を磁場強度に対してプロットした結果を示した。グラファイト粉末成型体は磁場増加に対してホール電圧が減少した。これとは逆に $C_{97}FeCl_3$ 成型体のホール電圧は磁場の増加に対して増加した。 $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体はグラファイト粉末成型体に比べるとわずかではあるが磁場増加に対してホール電圧が減少した。

磁気抵抗 ($\Delta\rho/\rho_0$)、ホール係数 (R_H)、電気伝導率 ($\sigma = 1/\rho_0$) の値から、2キャリア系低磁場近似を適用するとキャリア密度 (n_e , n_h) とキャリア移動度 (μ_e , μ_h) が算出できる²⁾。ここで添え字の e と h はそれぞれ電子と正孔を表している。このモデルによると電気伝導率、磁気抵抗、ホール係数は(1)式~(3)式で与えられる。

$$\sigma = e (n_e \mu_e + n_h \mu_h) \quad (1)$$

$$\Delta\rho/\rho_0 = n_e \mu_e n_h \mu_h (\mu_e + \mu_h)^2 B^2 \times 1 / (n_e \mu_e + n_h \mu_h)^2 \quad (2)$$

$$R_H = - (n_e \mu_e^2 + n_h \mu_h^2) \times 1 / e (n_e \mu_e + n_h \mu_h)^2 \quad (3)$$

(3)式中の e は電子の電荷である。さらに電子と正孔の密度の積は一定であるとしてNewton法によって計算した³⁾。電気抵抗、磁気抵抗、ホール電圧の測定結果から算出したグラファイト粉末成型体と $C_{97}FeCl_3$ 成型体、 $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体

のキャリアの密度および移動度を表 1 に示した。グラファイト成型体においては電子とホールが同数存在するのに対して、 $C_{97}FeCl_3$ 成型体は正孔がメインキャリアとなってその密度はグラファイトの電子と正孔の合計した値の約 4 倍となっている。いっぽう、 $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体では電子がメインキャリアで、その密度はグラファイトの電子と正孔の合計値の 20 倍となっている。キャリア密度だけで考えれば $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体の電気伝導率が最大となることが期待されるが、キャリア移動度の値が約 $1/64$ となっているために結果的に伝導率が減少していると考えられる。それに対して、 $C_{97}FeCl_3$ 成型体ではキャリア移動度は約 $1/4$ 倍で、この減少の程度が小さいことから結果的にグラファイト成型体にくらべてほぼ同じか若干大きい伝導率を示したものと考えられる。以上のことから電気伝導率向上のためにはキャリア密度を増加させながらキャリア移動度の減少を如何に小さくするかが重要となる。

各成型体について室温で測定した熱起電力 ΔV を温度差 ΔT に対してプロットした結果を図 6 に示した。いずれの成型体についても熱起電力は温度差に対して直線的に変化しており、その傾き ($\Delta V/\Delta T$) から相対熱電能 $S_{\text{sample,Cu}}(T)$ が求められる。この値から銅の絶対熱電能 S_{Cu} を引いて絶対熱電能 (Termoelectric power; TEP と略) が算出される。その結果を表 2 にまとめて示した。熱電能の符号からメインキャリアが判定でき、 $C_{97}FeCl_3$ 成型体では正孔が、 $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ 成型体では電子がそれぞれメインキャリアであることが示された。この結果は電磁気物性から求めた結果とよく一致している。一般にグラファイト層間化合物の絶対熱電能の絶対値は $30 \mu V \cdot K^{-1}$ 程度であり⁴⁾、ここで得られた値もほぼ同様な値を示していることから成型体のキャリア情報が熱電能に直接的に反映されているといえる。

4. 結論

黒鉛粉末およびそれから合成した $C_{97}FeCl_3$ 及び $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ の粉末を金型を用いて成型体とし、それらの電気抵抗率、磁気抵抗、ホール係数、熱電能を決定した。成型体全体の抵抗は粉末単味の抵抗だけではなく粉末間の接触抵抗が大きく関与していることが確認できたが、磁気抵抗やホー

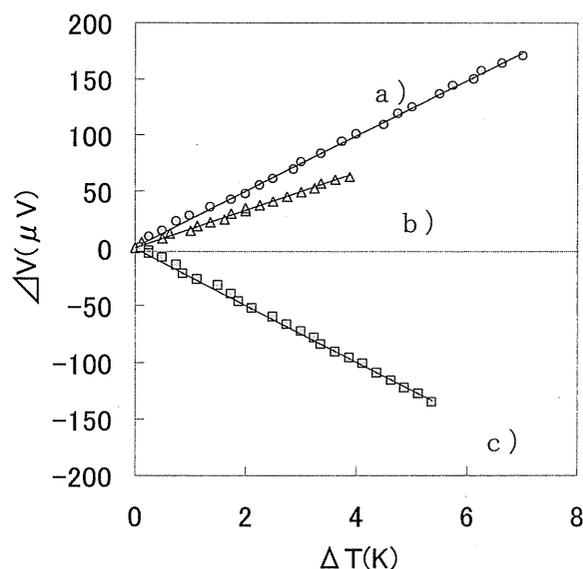


図 6 各成型体の熱起電力 (ΔV) の温度差 (ΔT) に対するプロット: a) $C_{97}FeCl_3$, b), グラファイト c) $CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$

表 2 各成型体の絶対熱電能 (TEP)

specimen	TEP ($\mu V \cdot K^{-1}$)
graphite molding	+16
$CsC_{24}(C_2H_4)_{2.2}$ molding	-25
$C_{97}FeCl_3$ molding	+25

ル係数から見積もったキャリア密度や移動度から、成型体の伝導率を増加させるためにはキャリア移動度を減少させることが重要であるとの結論が得られた。

参考文献

- 1) N. Akuzawa, Y. Hane, E. Toyama and T. Abe, J. Phys. Chem. Solids, 65 (2004) 191-194.
- 2) N. Akuzawa, S. Kondow, Y. Kaburagi, Y. Hishiyama and Y. Takahashi, Carbon 31 (1993) 963-968.
- 3) 松本里香、炭素 2003 [No.209] 174-178.
- 4) R. Matsumoto, N. Akuzawa and Y. Takahashi, Mater. Trans. 47 (2006) 1458-1463.

(謝辞) 本研究の一部は八王子産学公連携機構産学協同研究等助成事業による助成金によって実施された。記して謝意を表する。

一般廃棄物焼却灰溶出試料中の重金属の陸生植物, ミジンコ, 藻類におよぼす有害性の寄与

浦田真嗣*, 庄司 良**, 飯田 裕***, 古儀さやか****, 毛利紫乃****, 小野芳朗*****

The Toxicity of Heavy Metals in Municipal Waste Incineration Ash to Terrestrial Plants, *Daphnia* sp. and *Pseudokirchneriella subcapitata*

Shinji URATA, Ryo SHOJI, Hiroshi IDA, Sayaka KOGI, Yoshiro ONO, Shino MOHRI

The phytotoxicity test was performed using seven terrestrial plants and *Pseudokirchneriella subcapitata* and *Daphnia* sp. acute immobilization test, so as to evaluate the toxicity of thirty waste incineration ashes. The plant growth rate and the immobilization rate showed that waste incineration ash samples disorrored much heavy metal were significantly toxic to all species. The toxicity unit was calculated as a toxicity index. The toxicity index of nine species exposed to four heavy metals showed that the contributing rate of lead was the highest among various heavy metals. The toxicity of heavy metal was dominant in waste incineration ashes.

(Key words: heavy metal, municipal waste incineration ash, ecotoxicological evaluation)

1. 緒言

減容効果が高く、衛生的な処理である焼却処理や焼却後の一般廃棄物焼却灰の埋め立て処理が行われている。その一方では、一般廃棄物焼却灰を埋め立てることによる周辺環境に対する有害性の問題が指摘されている。埋め立ての大半を占める焼却灰中には有害性が知られている重金属類を多く含んでいる場合が多く、一般廃棄物焼却灰から生態に対し有害性をもつ重金属が溶出することが確認されている¹⁾。そのため、降雨などにより、埋め立てた一般廃棄物焼却灰から重金属が溶出し、何らかの原因で処分場外に放出された場合、その周辺で生息している生態系へ影響をおよぼすことが懸念される。²⁾現在、一般廃棄物焼却灰の埋め立ての是非を判定するための溶出試験は機器分析による特定の物質に対しての濃度規制を行っているが、この方法では実際に河川域で生息する生態系にどのような影響があるのかを調査する上では十分でなく、生態系保全のための規制としては不十分と考えられる。そこで、実際に河川域で生息する生物を使った生態毒性試験を用い、廃棄物試料の生態への影響を見ることが提唱されている。

³⁾ これまでに、都市ごみ焼却飛灰を試料とした藻

類生長阻害試験より、都市ごみ焼却飛灰中の亜鉛による藻類への有害性が確認されている。⁴⁾また、化学分析結果より、溶出試料中には亜鉛を含む生態系に対し有害性を示す重金属が多量に含まれていることが確認されている。そのため、溶出試料中の重金属が各生物に対する有害性を見積もる必要がある。

そこで本研究では、溶出試料を陸生植物、ミジンコ、藻類に曝露し、溶出試料に対する有害性を評価し、溶出試料中の重金属濃度と比較することで、溶出試料中の各重金属の生物に対する有害性の寄与を求めることを試みた。

2. 実験方法

2.1. 溶出試験

廃棄物焼却炉にて採取された 15 種類の一般廃棄物焼却灰試料 No. 1~15 から、環境庁告示第 13 号法試験に準じて、溶出試料を作製し、有害性評価を行った。具体的な調製方法を以下に述べる。まず、各一般廃棄物焼却灰試料 1.00×10^3 [mg] に対し超純水 10.0 [mL] を加え、振とう機を用いて 200 [rpm] で 6 時間振とうした。これを孔径 1.0 [μm] のガラスフィルターを用いて吸引ろ過を行い、溶出試料とした。なお溶出試料の濃度は

*物質工学専攻 **物質工学科 ***技術室第三技術班

****山梨大学工学部物質・生命工学科 *****岡山大学大学院環境学研究科

1.00×10⁵[mg/L]である。溶出試料はまず、ICP-MSにて定量分析を行った。溶出試料中に溶出した金属濃度を表 1 に示す。

2.2. 陸生植物阻害試験

陸生植物生長阻害試験は、OECD テストガイドライン (OECD-TG208)⁵⁾ に認定されている陸生植物 16 種類のうち、*Avena sativa*、*Oryza sativa*、*Brassica alba*、*Raphanus sativus*、*Brassica campestris var chinensis*、*Brassica chinensis*、*Vicia sativa*、*Lactuca sativa* の種子を、濾紙(No. 2 Whatman、φ90mm)を敷いた滅菌シャーレに 10 粒播種し、純水で希釈した濃度 1.00×10⁵、5.00×10⁴、2.50×10⁴、1.00×10⁴、5.00×10³ [mg/L] の 5 濃度区に溶出試料を全量 4ml となるように曝露、5 日間インキュベーター内で 20℃又は 25℃に保ち、5 日後の植物の根の長さを測定した。測定した根の長さを対照区 (0[mg/L]) の根の長さと比較した。この結果を元に 50%生長阻害濃度(EC₅₀)を算出した。

2.3. 甲殻類急性遊泳阻害試験

甲殻類急性遊泳阻害試験は、OECD-TG202⁶⁾ 甲殻類急性遊泳阻害試験および繁殖試験に準処し、生物種には *Daphnia magna* (*D. magna*) を用い

た。*D. magna* は事前に M4 培地にて飼育し、生後 24 時間未満の個体を使用した。飼育条件は温度 20℃で 12 時間暗、12 時間明の断続照明とした。試験は飼育条件と同様にして行った。溶出試料を 48 時間曝露した際の遊泳数および生存数を計数した。この結果を元に 50%遊泳阻害濃度(EC₅₀)を算出した。

2.4. 藻類生長阻害試験

藻類生長阻害試験は、OECD-TG201⁷⁾ 藻類生長阻害試験に準処し、生物種には *Pseudokirchneriella subcapitata*(*P. subcapitata*)を用いた。*P. subcapitata* は事前に AAP 培地にて培養し、増殖期にまで生長したものを使用した。培養条件は温度 20℃で連続振とう、連続的な均一照射とした。試験は培養条件と同様にして行った。溶出試料を 72 時間 (3 日間) 暴露した際の藻体数を 655nm の吸光度で測定した。この結果を元に 50%生長阻害濃度(EC₅₀)を算出した。

2.5. 毒性単位および寄与率の計算

陸生植物生長阻害試験、甲殻類急性遊泳阻害試験、藻類生長阻害試験の結果を元に算出された EC₅₀ 値を用い、加算できる毒性単位(TU=Toxicity unit)を計算した。計算には以下の(1)式を用いた。

表 1 一般廃棄物焼却灰試料から溶出した金属濃度

元素 試料名	Mg [mg/L]	Ca [mg/L]	Cu [mg/L]	Zn [mg/L]	Pb [mg/L]	Cd [mg/L]	Cr [mg/L]
No. 1	ND	5.51×10 ¹	ND	5.10×10 ⁻²	4.23×10 ⁻¹	ND	1.09×10 ⁰
No. 2	3.60×10 ⁻²	4.77×10 ³	2.83×10 ⁻¹	4.00×10 ⁰	1.29×10 ²	ND	ND
No. 3	3.50×10 ⁻²	3.22×10 ³	1.27×10 ⁻¹	3.00×10 ⁻²	1.34×10 ⁰	ND	8.90×10 ⁻²
No. 4	6.00×10 ⁻²	8.62×10 ²	ND	6.00×10 ⁻²	1.00×10 ⁻¹	ND	4.28×10 ⁰
No. 5	3.20×10 ⁻²	3.93×10 ³	2.68×10 ¹	9.26×10 ⁰	2.67×10 ¹	1.40×10 ⁻²	2.53×10 ⁰
No. 6	ND	9.79×10 ²	1.60×10 ⁻¹	1.75×10 ⁻¹	6.17×10 ⁻¹	ND	1.68×10 ⁻¹
No. 7	ND	4.55×10 ³	1.36×10 ⁰	ND	1.13×10 ¹	ND	1.47×10 ⁰
No. 8	ND	2.27×10 ²	ND	1.46×10 ⁻¹	1.78×10 ⁻¹	ND	5.70×10 ⁻²
No. 9	1.01×10 ⁰	2.11×10 ²	ND	ND	ND	ND	4.64×10 ⁰
No. 10	5.30×10 ⁻²	4.55×10 ¹	ND	ND	ND	ND	1.51×10 ⁻¹
No. 11	6.72×10 ⁻¹	2.10×10 ²	ND	ND	ND	2.00×10 ⁻³	7.67×10 ⁻¹
No. 12	6.00×10 ⁰	2.59×10 ³	8.00×10 ⁻²	5.00×10 ⁻³	1.00×10 ⁻³	9.00×10 ⁻⁴	9.40×10 ⁰
No. 13	3.90×10 ⁰	2.23×10 ³	4.90×10 ⁻²	8.00×10 ⁻³	5.00×10 ⁻³	1.00×10 ⁻³	3.60×10 ⁰
No. 14	3.50×10 ⁰	1.93×10 ³	9.10×10 ⁻²	1.60×10 ⁻²	1.00×10 ⁻³	5.00×10 ⁻⁴	7.80×10 ⁰
No. 15	1.17×10 ¹	1.89×10 ³	2.30×10 ⁻²	1.00×10 ⁻²	ND	5.00×10 ⁻⁴	6.00×10 ⁰

ND:定量下限値以下

$$TU_{tot} = \frac{1.00 \times 10^5}{EC_{50tot}} \dots (1)$$

ここで、

TU_{tot} = 溶出試料の TU [-]

EC_{50tot} = 溶出試料の EC_{50} [mg/L]

である。

各重金属を暴露したときの陸生植物生長阻害試験、甲殻類急性遊泳長阻害試験、藻類生長阻害試験のより得られた EC_{50} 値を表 2 に示す。各重金属の *D.magna* 及び *P.subcapitata* に対する EC_{50} 値は U. S. EPA ECOTOX Database の文献値を参考にした⁸⁻¹⁵⁾。また、Cr については $Cr(III)Cl_3$ を暴露したときの EC_{50} 値である。この値を元に ICP-MS により、検出された重金属濃度に対する TU を算出した。計算には以下の(2)式を用いた。

$$TU_i = \frac{C_i}{EC_{50i}} \dots (2)$$

ここで、

TU_i = 重金属の TU [-]

C_i = 重金属の溶出濃度 [mg/L]

EC_{50i} = 重金属の EC_{50} [mg/L]

である。

また、今回の実験結果を元に焼却灰の TU 値に対する重金属の TU 値を百分率で表す各重金属の寄与率の計算を行った。計算には以下の(3)式を用いた。

$$\text{寄与率 [\%]} = \frac{TU_i}{TU_{tot}} \times 100 \dots (3)$$

表 2 重金属を暴露したときの各生物の EC_{50} 値

生物名	元素	Cr [mg/L]	Cu [mg/L]	Zn [mg/L]	Pb [mg/L]
<i>Avena sativa</i>	-	-	4.13×10^1	-	5.94×10^2
<i>Oryza sativa</i>	2.79×10^2	4.32×10^1	-	2.18×10^2	-
<i>Brassica alba</i>	1.13×10^2	-	4.42×10^1	2.00×10^3	-
<i>Raphanus sativus</i>	1.85×10^2	2.44×10^1	6.54×10^2	-	-
<i>Brassica chinensis</i>	2.68×10^2	1.28×10^1	2.31×10^2	2.92×10^3	-
<i>Vicia sativa</i>	2.79×10^3	1.61×10^2	1.28×10^3	-	-
<i>Lactuca sativa</i>	-	1.50×10^3	1.97×10^2	3.13×10^2	-
<i>D. magna</i>	9.97×10^0	8.00×10^3	2.80×10^0	1.20×10^1	-
<i>P. subcapitata</i>	3.97×10^1	4.30×10^1	4.47×10^2	2.66×10^0	-

-: 計算不可

3. 結果と考察

図 1 に横軸を溶出試料の試料濃度[mg/L]、縦軸を各陸生植物の根の生長率[%]、藻類の生長率[%] およびミジンコの遊泳率[%]とした、一例として、溶出試料No. 2 を曝露したときの用量作用曲線を示す。陸生植物生長阻害試験では、試料濃度の増加と共に全ての陸生植物の根の生長阻害が認められた。特に試料濃度 2.50×10^4 [mg/L] から全ての陸生植物の根の生長阻害が認められ、試料濃度 1.00×10^4 [mg/L] の低濃度側からも一部の陸生植物の根の生長阻害が認められた。また、試料濃度 1.00×10^5 [mg/L] では全ての陸生植物の根長が対照区と比較して 50%未満となり、生長阻害が確認できた。甲殻類遊泳阻害試験では、試料濃度 5.00×10^3 [mg/L] でミジンコの遊泳率が半分以上に抑えられ、試料濃度 1.00×10^4 [mg/L] では遊泳率が 0 になった。藻類植物生長阻害試験においても、試料濃度が上昇すると共に藻類の生長が阻害され、試料濃度 1.25×10^4 [mg/L] では藻類の生長は 50%以上阻害されていることが示された。これらの結果から、溶出試料No. 2 は陸生植物、ミジンコ、藻類に対し有害性が大きいことが明らかとなった。

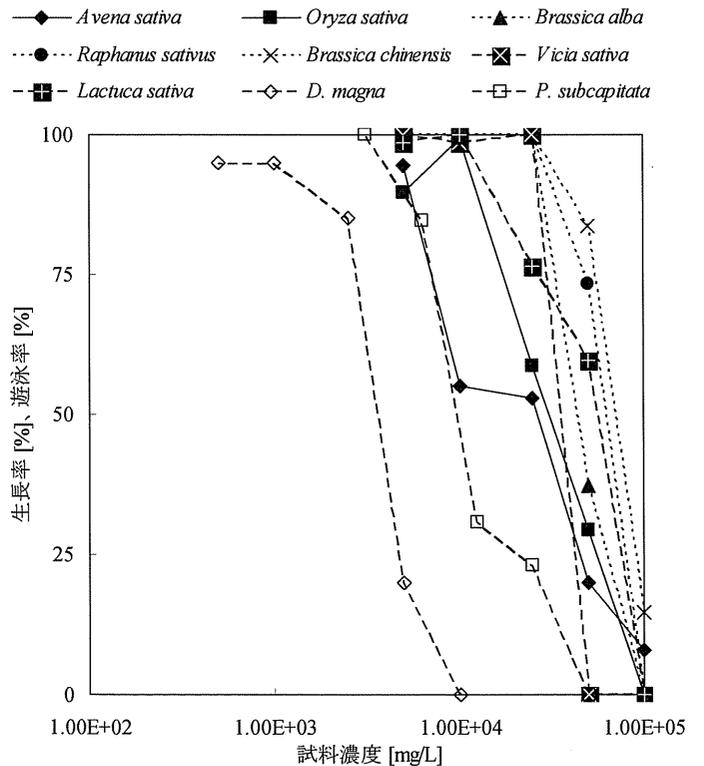


図 1 溶出試料No. 2 を曝露した各陸生植物における根の生長、*D. magna* における遊泳、および *P. subcapitata* における生長に対する用量作用曲線

溶出試料No. 1~15 を曝露した試験結果から、EC₅₀ 値を算出し表 3 に示す。顕著な有害性が認められなかったため、EC₅₀ 値が算出できなかった試料や生物も発見されたが、溶出試料No. 2、5 は全ての陸生植物、水生生物で EC₅₀ 値が算出できた。

表 1 の重金属濃度と比較すると、溶出試料No. 2 には Pb が、No. 5 では Cu、Pb が高濃度で存在していることが確認できた。この結果より、生物に対し有害性があることが知られている Cu、Pb の溶出量が大きい溶出試料No. 2、5 はこれら重金属による有害性が大きいと予測される。

溶出試料から溶出した Cu、Zn、Pb の各重金属は陸生植物、ミジンコへの有害性が確認されており¹⁶⁾、U. S. EPA ECOTOX Database より Cr も陸生植物、ミジンコ、藻類に対し有害性が確認されている。そこで、溶出試料から溶出した Cr、Cu、Zn、Pb による陸生植物、ミジンコ、藻類への有害性に着目し、各重金属が陸生植物、ミジンコ、藻類に対する有害性の寄与の算出を試みた。算出した寄与率の結果を図 2 に示す。溶出試料中の 4 つの重金属による有害性の寄与の総和は、陸生植物で 15%以上の有害性の寄与がみられ、ミジンコ・藻類では 50%を超える有害性を示した溶出試料があることが確認できた。

有害性の寄与が大きい溶出試料中に 4 つの重金属のいずれかが高濃度で溶出している傾向があることが ICP-MS 重金属定量分析結果から示された。このことから、溶出試料中の重金属は陸生植物、ミジンコ、藻類に対し有害性を示すと考えられる。また、各重金属の陸生植物への有害性の寄与はミジンコ、藻類と比較すると小さいことが結果より示された。これは陸生植物に対する Cu の有害性は共存する Ca や Mg の濃度によって減少することが明らかとなっており¹⁷⁾、ICP-MS 定量分析結果より、溶出試料中に Ca が多量に溶出していることが明らかとなっていることから、溶出試料中の重金属の陸生植物への有害性もまた、共存する Ca や Mg によって減少した可能性がある。

一方、No. 2、5 のような高濃度の重金属が含まれる試料については、ミジンコに対する有害性の寄与率は 100%を超える結果となった。藻類にお

いても、ミジンコと同様に重金属が高濃度で含まれる試料については寄与率が 100%を超える結果が認められた。各重金属の有害性の寄与率が 100%を超えるものについては、FIAM (Free Ion Activity Model) を適応することにより解決できる可能性がある。重金属が自由イオンの状態であるときのみ生物に対し有害性を示すが、一般的に曝露される溶出試料の pH は 7 付近に調整するため、このときの Cr、Cu、Zn、Pb などの重金属は自由イオンの状態で存在する割合は小さい。pH7 における各重金属の自由イオンとして存在する割合は Cr: 3.00×10^{-3} [%]、Cu: 21.9[%]、Zn: 27.6[%]、Pb : 25.0[%]である。一方、ICP-MS 重金属定量分析などによる定量分析は錯体や自由イオンの状態に関係なく全ての濃度を測定するため、生物に対する毒性を示す自由イオンの濃度を測定することができない。そのため、重金属の総濃度を元にした生物への毒性の予測は確実性が高くない¹⁸⁾。故に、重金属の自由イオンについて FIAM を元に寄与率の計算を行うことにより、寄与率が 100%を超える問題を解決できる可能性が期待され、拡充金属の正確な有害性寄与の計算には今後検討する必要がある。

他方、今回着目した 4 つの重金属の寄与率が確認できなかった溶出試料については、これら重金属以外の金属または、微量に存在する有機物による影響があるため、それらの物質の有害性の寄与率についても検討する必要がある。有害性が確認されている重金属が多量に含まれている溶出試料においては機器分析によって、生物への有害性の予測が可能である。しかし、溶出試料No. 1、11 等の重金属の溶出量が小さい、または定量下限値以下の溶出試料においては、重金属による有害性の寄与はほとんど認められない。そのため、溶出試料中の有害性が確認されている重金属の溶出濃度を測定しただけでは、溶出試料の生態系への有害性を十分に予測することができないため、仮に重金属分析値から有害性が正確に予測できる方法が開発されたとしてもバイオアッセイによる生態系への有害性評価は必要不可欠な場合もある。

表3 一般廃棄物焼却灰溶出試料の各生物のEC₅₀値

試料No.	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Avena sativa</i>	1.74×10 ⁴	1.90×10 ⁴	5.12×10 ⁴	3.29×10 ⁴	2.15×10 ⁴	-	4.85×10 ⁴	-
<i>Oryza sativa</i>	5.27×10 ⁴	2.79×10 ⁴	8.28×10 ⁴	4.93×10 ⁴	1.98×10 ⁴	-	3.11×10 ⁴	-
<i>Brassica alba</i>	3.43×10 ⁴	4.61×10 ⁴	-	8.08×10 ⁴	5.12×10 ⁴	-	8.05×10 ⁴	-
<i>Raphanus sativus</i>	3.08×10 ⁴	3.00×10 ⁴	-	5.92×10 ⁴	4.60×10 ⁴	-	8.49×10 ⁴	-
<i>Brassica chinensis</i>	9.14×10 ⁴	5.75×10 ⁴	-	-	7.92×10 ⁴	-	9.31×10 ⁴	-
<i>Vicia sativa</i>	4.72×10 ⁴	5.04×10 ⁴	-	5.42×10 ⁴	5.07×10 ⁴	-	6.12×10 ⁴	-
<i>Lactuca sativa</i>	8.87×10 ⁴	6.88×10 ⁴	-	8.76×10 ⁴	8.00×10 ⁴	-	-	-
<i>D. magna</i>	1.27×10 ⁴	3.22×10 ⁴	5.14×10 ⁴	1.02×10 ⁴	6.54×10 ⁴	1.40×10 ⁴	1.49×10 ⁴	1.92×10 ⁴
<i>P. subcapitata</i>	-	1.14×10 ⁴	2.97×10 ⁴	-	-	-	-	4.61×10 ⁴

試料No.	9	10	11	12	13	14	15
<i>Avena sativa</i>	-	-	6.73×10 ⁴	-	3.60×10 ⁴	3.14×10 ⁴	4.88×10 ⁴
<i>Oryza sativa</i>	2.87×10 ⁴	-	4.02×10 ⁴	4.39×10 ⁴	2.91×10 ⁴	3.32×10 ⁴	-
<i>Brassica alba</i>	-	-	6.19×10 ⁴	3.02×10 ⁴	3.57×10 ⁴	7.07×10 ⁴	9.85×10 ⁴
<i>Raphanus sativus</i>	7.67×10 ⁴	-	2.70×10 ⁴	3.76×10 ⁴	9.31×10 ⁴	-	-
<i>Brassica chinensis</i>	6.58×10 ⁴	-	-	9.67×10 ⁴	7.74×10 ⁴	-	-
<i>Vicia sativa</i>	6.24×10 ⁴	-	-	8.99×10 ⁴	8.91×10 ⁴	-	-
<i>Lactuca sativa</i>	8.04×10 ⁴	-	-	-	-	-	-
<i>D. magna</i>	1.21×10 ⁴	1.07×10 ⁴	1.05×10 ⁴	6.14×10 ⁴	2.11×10 ⁴	2.44×10 ⁴	1.65×10 ⁴
<i>P. subcapitata</i>	2.96×10 ⁴	3.62×10 ⁴	1.23×10 ⁴	1.50×10 ⁴	-	-	4.67×10 ⁴

- : 計算不可

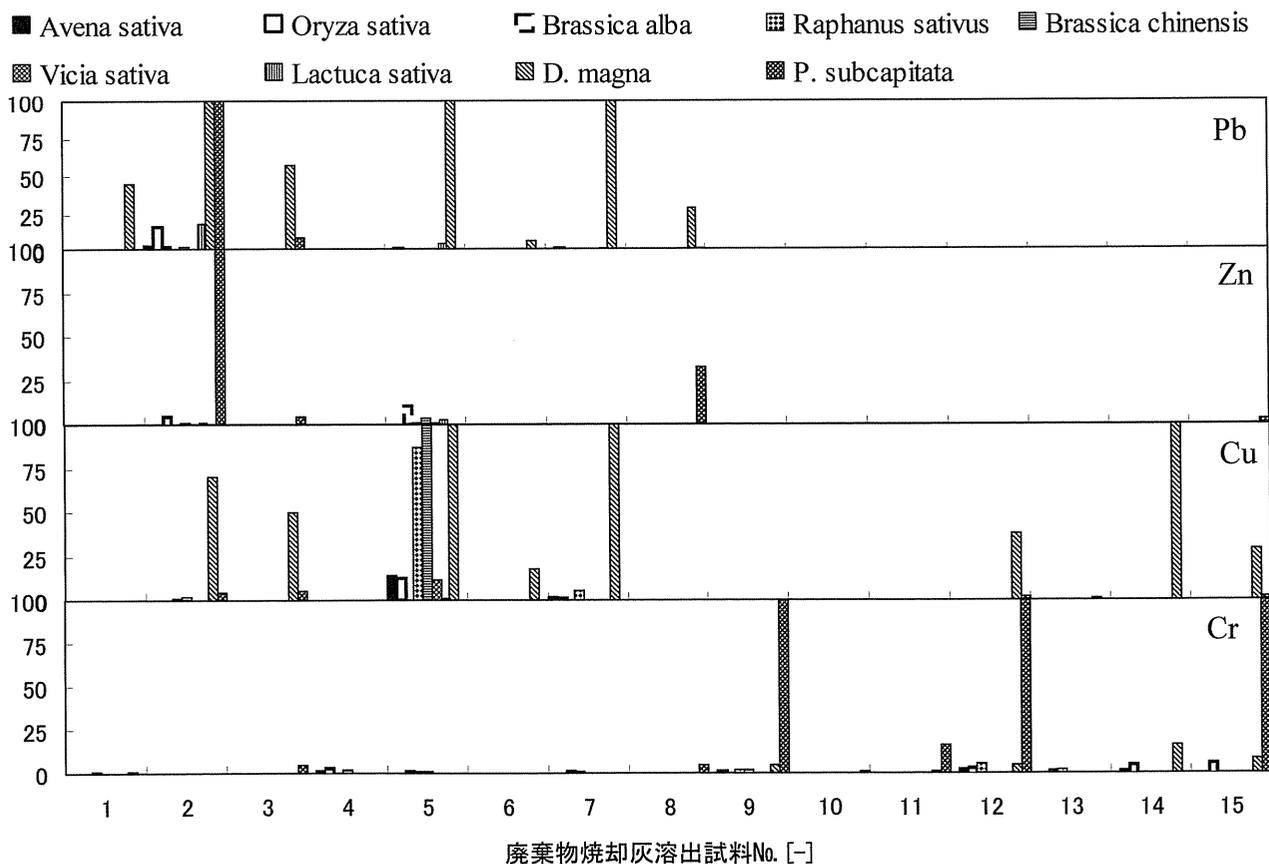


図2 溶出試料中の各重金属における陸生植物、*D. magna*、*P. subcapitata* に対する有害性の寄与率

4. 結論

今回行った実験の結果より、現在の埋め立てのは非判定である重金属を中心とする機器分析による特定物質の濃度のみの規制では生態系に対する影響を見ることができないため、生態系への影響を見るためには、実際に生物を用いた試験を行うことによる溶出試料の規制法が必要である。陸生植物への重金属の有害性の寄与はNo. 2、5のようなPb、Cuが多く含まれている溶出試料で最大18%の有害性の寄与が説明でき、ミジンコではCr、Cu、Zn、Pbが多く含まれていない試料についても、20%を超える有害性の寄与が確認できることが示され、藻類においては最大39%の有害性の寄与が計算できたことが示された。また、着目した4つの重金属の寄与率が確認できなかった試料については、これら重金属以外の金属による影響があるため、他の金属の有害性の寄与率についても検討する必要がある。

謝辞

本研究は文部科学省リーディングプロジェクト“固体・ガス状試料の安全性評価システムの開発”のご支援によるものである。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 貴田晶子, 野馬幸生: 廃棄物の溶出特性, 廃棄物学会誌, Vol. 7, No. 5, pp. 410-421 (1996)
- 2) 酒井伸一, 水谷聡・高月紘: 溶出試験の基本的考え方, 廃棄物学会誌, Vol. 7, No. 5, pp. 383-393 (1996)
- 3) 庄司良, 中山秀謹, Nguyen Phuong Anh Thi, 毛利紫乃, 山田正人, 工藤宏紀, 酒井康行, 迫田章義: 廃棄物中の有機物の溶出試験とバイオアッセイによる有害性評価, 環境科学会誌, 16, pp. 475-484 (2003)
- 4) 金子栄廣: 藻類の生長に対する都市ごみ焼却飛灰の溶出毒性, 廃棄物学会論文誌, Vol. 8, No. 7, pp. 321-326 (1997)
- 5) OECD: Terrestrial Plants Growth Test, 208, pp. 1-6pp (1984)
- 6) OECD: Daphnia sp., Acute Immobilisation Test and Reproduction Test, 202, pp. 1-16pp (1984).
- 7) OECD: Algae, Growth Inhibition Test, 201, pp. 1-14pp (1984)
- 8) Guilhermino, L., T.C. Diamantino, R. Ribeiro, F. Goncalves, A.M.V.M. Soares: Suitability of Test Media Containing EDTA for the Evaluation of Acute Metal Toxicity to *Daphnia magna* Straus, Ecotoxicol. Environ. Saf, Vol. 38, No. 3, pp. 292-295 (1997)
- 9) Bowmer, C.T., R.N. Hooftman, A.O. Hanstveit, P.W.M. Venderbosch, N. Van der Hoeven: The Ecotoxicity and the Biodegradability of Lactic Acid, Alkyl Lactate Esters and Lactate Salts, Chemosphere, Vol. 37, No. 7, pp. 1317-1333 (1998)
- 10) Nebeker, A.V., M.A. Cairns, S.T. Onjukka, R.H. Titus: Effect of Age on Sensitivity of *Daphnia magna* to Cadmium, Copper and Cyanazine, Environ. Toxicol. Chem, Vol. 5, No. 6, pp. 527-530 (1986)
- 11) Bitton, G., K. Rhodes, B. Koopman: CerioFAST: An Acute Toxicity Test Based on *Ceriodaphnia dubia* Feeding Behavior, Environ. Toxicol. Chem. Vol. 15, No. 2, pp. 123-125 (1996)
- 12) Richter, J.E.: Results of Algal Toxicity Tests with Priority Pollutants, Memo to C.E. Stephan, U.S.EPA, Duluth, MN, pp. 1-12pp (1982)
- 13) Turbak, S.C., S.B. Olson, G.A. McFeters: Comparison of Algal Assay Systems for Detecting Waterborne Herbicides and Metals, Water Res. Vol. 20, No. 1, pp. 91-96 (1986)
- 14) Chen, C.Y., K.C. Lin: Optimization and Performance Evaluation of the Continuous Algal Toxicity Test, Environ. Toxicol. Chem. Vol. 16, No. 7, pp. 1337-1344 (1997)
- 15) Blaise, C., R. Legault, N. Bermingham, R. Van Coillie, P. Vasseur: A Simple Microplate Algal Assay Technique for Aquatic Toxicity Assessment, Toxic. Assess, Vol. 1, pp. 261-281 (1986)
- 16) Milan B. Arambasic, Sabrija Bjelic And Gordna Subalov: Acute toxicity of heavy metals(copper,

lead, zinc), phenol and sodium on *Allium cepa* L.,
Lepidium sativum L. and *Daphnia magna* St.:
comparative investigations and the practical
applications, Pergamon, Vol. 29, No.2, pp.
497-503 (1995)

- 17) Parker, D. R., Pedler, J. F., Thomason, D. N. and
Li H. : Alleviation of copper rhizotoxicity by
calcium and magnesium at defined free metal-ion
activities, Journal of Soil Science Society of
America, Vol. 62, 965-970 (1998)
- 18) Z. Prokop, P. Cupr, V. Zlevorova-Zlamalikova, J.
Komarek, L. Dusek, and I. Holoubek : Mobility,
bioavailability, and toxic effects of cadmium in
soil samples, Environmental Research, Vol. 91,
119-126 (2003)

(平成19年1月9日 受理)

重金属蓄積コケ実験研修と学生実験への成果還元

飯田 裕*, 庄司 良**, 榊原 均***, 井藤賀 操***, 須藤恵美***, 小野芳朗****

Study on Heavy Metals Accumulated in Bryophyte and Feedback to the Student Experiment.

Hiroshi IDA, Ryo SHOJI, Hitoshi SAKAKIBARA, Misao ITOUGA, Emi SUDO, Yoshiro ONO

A study of heavy metals accumulated in bryophyte was performed at the RIKEN Plant Science Center in the summer of 2006 as a training for technical staff of Tokyo National College of Technology. The purpose of this study is to acquire the way of handling heavy metals accumulated in bryophyte and to introduce the technique to the student experiment and research. We have tried to begin the Advanced-course student experiment for which this technique was used. In this paper, the outline of this study and the example of experimental results derived by employing the technique were reported.

(Keywords: heavy metals accumulated in bryophyte, training for technical staff of TNCT)

1. はじめに

東京高専において、平成18年度から教職員のスキルアップを目的とした企業研修が始まった。対象は常勤の教職員（教員、技術職員、事務職員）である。東京高専の技術職員のための既存の研修プログラムとしては、初任者研修などの座学を中心とした研修、放送大学を用いた自己啓発的な研修があるのみで、技術習得を目的とするような研修が存在しなかった。そのため、技術職員にとって企業研修のような実務を体験できるタイプの研修は最も有用なものとなる。

企業研修の目的は、地域企業などに出張して、関係者から指導や助言を受けながら、実務を体験することを通じて修得した技術や管理運営方法などを実験、実習、講義や事務処理などに応用して、教育の質や事務などの業務の向上を目指すとともに、研修者のキャリアアップに資する¹⁾と定められている。

平成18年度夏期に企業研修を受けた技術職員は3名で、研修先は株式会社エリオニクスおよび理化学研究所であった。それぞれの研修期間は3日間および5日間であり、研修終了後には、研修報告書を東京高専と研修企業にそれぞれ1部ずつ提出するこ

とが義務づけられ、教育研究会においての口頭報告も行われた。また、平成18年度下期においても第二技術班から1名の企業研修予定者があることから今後もこの研修制度が継続される。

技術職員の業務内容は、本校の教育及び研究活動を支援する²⁾と定められており、実験実習、卒業研究などの技術的指導や研究活動に伴う技術的支援などの技術の提供を求められている。しかし、求められている技術の習得は自己研鑽に任せるのみであり、提供できる技術の質にも限界がある。そのため企業や研究機関で利用されている技術の一部を習得する機会として企業研修は一つの有効な選択肢になりえる。

今回研修を行った理化学研究所植物科学研究センターは著者らの担当分野である環境工学および生物工学系分野の技術習得において最適であるとの判断から、同研究センター生物機能研究グループ生産制御研究チームにおいて5日間の研修を行った。習得した技術は専攻科物質工学専攻特別実験に導入され、環境工学教育に効果的な実験内容となった。

また、重金属蓄積コケを用いた環境工学系の卒業研究にも習得技術を導入した。そのような背景から

*技術室第三技術班 **物質工学科 ***理化学研究所植物科学研究センター

****岡山大学環境理工学部

本稿では研修内容の詳細と学生実験の実例を報告する。

2. 研修概要

2-1. 日時

平成18年7月31日（月）～8月4日（金）

2-2. 場所

独立行政法人 理化学研究所
植物科学研究センター 生物機能研究グループ
生産制御研究チーム
神奈川県横浜市鶴見区末広1-7-22

2-3. 担当者

榑原 均 チームリーダー
井藤賀 操 研究員、須藤 恵美 研究員

2-4. 実験スケジュール

[1日目]

カラム試験用のテストチューブ準備
寒天培地用セロハンの切り出し
X線分析顕微鏡用の液体窒素準備
胞子の観察

[2日目]

X線分析顕微鏡試料台作成
X線分析顕微鏡の操作
固体培地用セロハンの高圧蒸気滅菌

[3日目]

培地準備、培地分注
培地へのセロハン敷き、液体培地準備
コケ 継代培養

[4日目]

原糸体回収、設置およびストック
胞子滅菌およびは種
原糸体カラム設置およびカラム試験

[5日目]

ICP 質量分析装置の立ち上げ
検量線作成、質量分析
カラム試験チューブ回収
胞子発芽確認

3. 研修内容詳細

3-1. 材料・試薬

重金属蓄積には原糸体、発芽試験には胞子を使用した。培地はクノープ改変培地³⁾を使用した。

3-2. 培養方法

3-2-1. 培地の作成

寒天培地にはクノープ改変培地³⁾に1%のアガロースを加えたものを用い、7mL ずつ組織培養皿（35 3220 60x15mm FALCON）に分注し固化させた。寒天培地には5mM EDTA・2Na 溶液中でオートクレーブ後、滅菌水で洗浄したセロハン（PL300 二村化学）を敷いた。

3-2-2. 原糸体の培養

植物培養試験管（TST-F30-120 IWAKI）に25mLのクノープ改変培地³⁾とコケをとり、ポリトロンホモジナイザー（PT2100 KINEMATICA）で破碎し懸濁液とした。1mLの懸濁液を500mLのクノープ改変培地³⁾の入った培養瓶に入れ、14日間（明期16時間、暗期8時間、20℃）培養した。

3-2-3. 胞子発芽と原糸体の観察

1.5mL マイクロチューブに胞子体1粒、900 μ Lのクノープ改変培地³⁾そして100 μ Lの次亜塩素酸溶液を順に加え、5分間放置した。放置後、上清を取り除き900 μ Lのクノープ改変培地³⁾を加え、3分間放置した後、上清を取り除いた（4回）。900 μ Lのクノープ改変培地³⁾を加え、ペッスルで胞子体をつぶし、胞子懸濁液とした。寒天培地に200 μ Lの胞子懸濁液を滴下し、7日間（明期16時間、暗期8時間、20℃）培養した。

3-3. 重金属蓄積試験と発芽試験

3-3-1. カラムの作製と重金属蓄積

液体通気培養で14日間培養した原糸体を硝子繊維濾紙（GS-25 ADVANTEC）を敷いたカラム（図1）に充填し、MiliQ、各種重金属溶液の順にそれぞれ250mL ずつ溶出させた（流速：0.2mL/min.）。

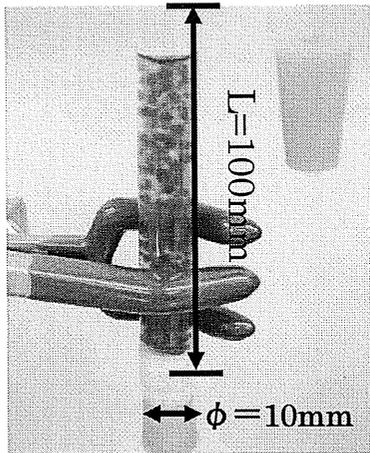


図1 カラムの概観

3-3-2. 重金属蓄積量の測定

重金属を蓄積したコケを 1.5mL エッペンドルフチューブに取り、乾燥機中で60℃、2日間乾燥させ、マイクロウェーブ試料前処理装置 (Multiwave3000 PerkinElmer) で湿式分解したコケ溶液およびカラム溶出液中の各種重金属濃度を ICP-MS (ELAN DRC-e PerkinElmer) で測定した。

3-3-3. 孢子発芽の観察結果

セロハンを敷いた寒天培地に 200 μ L の孢子懸濁液を滴下し、2週間(明期16時間、暗期8時間、20℃)培養した。発芽の確認は実体顕微鏡で行った。

孢子を用いた発芽試験の特徴は、孢子体中の孢子がクローン体であるため、安定した成長率と非常に高い発芽率が得られることにある。また、今回発芽試験に用いた孢子体は長期保存してあったものだが、その発芽率はほぼ100%であることが確認された。高等植物の種子を用いた発芽試験では、成長率や発芽率に個体差があり、長期保存した種子では発芽率が低下する。そのため発芽試験において発芽率の低下が暴露物質による影響なのか種子の劣化による影響なのかを判別することが困難である。その点、上記の特徴を備えたヒメツリガネゴケ孢子は発芽試験用の材料に適している。

3-3-4. X線分析顕微鏡によるコケの観察

野外から採集したコケ2種類を試料台にのせた。2種類のコケをそれぞれ試料台の左右に同量程度のおせ、フィルム(Cell window HORIBA)を被せ、X線分析顕微鏡(XGT-5000 HORIBA)によってコケ内部の銅と鉄の分布を観察した(図2)。

図2より、試料台中央より右側のコケには鉄のみが、左側のコケには銅のみが存在していることが確認された。この結果より、コケは生育環境中に複数種存在する金属イオン種から選択的に金属イオンを吸収し、蓄積していることが分かる。

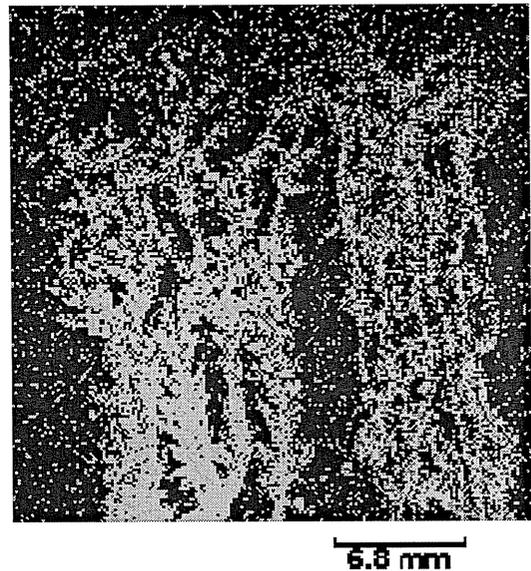


図2 コケ内部の鉄および銅の分布

4. 企業研修からの成果還元

4-1. 専攻科物質工学特別実験への技術導入

研修で習得したコケ培養法を用いて環境工学系の新規の専攻科物質工学特別実験を立ち上げた。現在は、同実験を行うための最終予備実験を行っている最中である。コケの培養で重要となる光条件および温度の管理には既存の冷蔵庫に改良を加えたものを使用し、重金属蓄積に使用するカラムはガラス管から作製し、重金属溶液の溶出と分取には既存の機器を使用している。また、重金属を蓄積したコケの湿式分解には電子レンジを使用し、蓄積した各種重金属の測定には物質工学科機器分析室に設置されている ICP-AES (SPS7800 SEIKO) を使用している。このような工夫により研修時とほぼ同

様の実験環境を東京高専内で実現している。

新規に立ち上げた専攻科物質工学特別実験のねらいは原糸体の有する各種能力を探ることである。今後、農業的あるいは工業的利用などへ発展できるコケ植物や実験課題を見つけることができるかもしれない。また、専攻科特別実験では、得られた測定値と最新の報告⁴⁾との比較を行わせ、それらへの応用可能性を考察してもらおう。

4-2. 卒業研究への技術導入

コケ類は重金属蓄積能力を有する。しかし、重金属蓄積メカニズムの詳細は明らかではない。そのため卒業研究では重金属蓄積メカニズムを速度論的並びに平衡論的なモデル式から解明する研究を始めている。また、重金属の蓄積に金属親和性が高いタンパク質の関与も予想されることから、極少量のサンプルから DNA を抽出する方法⁴⁾によって DNA を調製することも予定している。

5. おわりに

今年度から始まった企業研修であるが、そこで得られた技術は研修者のスキルアップはもとより、卒研生にも継承された。本校に専攻科が設立されて4年を経たが、その高度な教育体制を補うべき技術職員の技術力の向上が必要となっており、今回の研修を通して行われた最先端の環境生物工学技術を教育に還元できるようになったことの意義は大きい。このような習得技術の継承およびその公開は研修の成果を有効利用する一つのモデルケースとなりうる。今後の企業研修においても習得された技術継承と公開が継続されていくことが望まれる。

本科で行われている学生実験は、主に実験操作や実験原理を効率よく学べるような実験テーマが選ばれている。それに対して専攻科物質工学特別実験ではより実践的であり、今回の研修を基礎として確立した実験は、得られたデータを元に生物が持っている能力を評価し、どのような分野で利用していくかを考察することに重点を置いている。このような実験を可能としているのは近年研究に用いられているユニークな生物体を用いているからである。このよ

うなスタイルの学生実験が学生に受け入れられるか否かは、その意図が実験者に十分に伝えられるかが鍵であるため、事前のブリーフィングには細心の注意が必要になる。

謝辞

本研修を行うにあたり、理化学研究所植物科学研究センター生物機能研究グループ生産制御研究チームテクニカルスタッフの小松由佳梨さんに多大なるご支援、ご指導をいただいた。また、専攻科物質工学特別実験の立ち上げ過程において、物質工学科庄司研究室 中村奏美さん、浦田真嗣くんにご協力を頂いた。ここに深く感謝いたします。

本稿の一部は文部科学省リーディングプロジェクト「固体・ガス状試料の安全性評価システムの開発」のご支援によって行われたものである。

文献

- 1) 教職員の企業研修計画（研修者配布資料）
- 2) 東京工業高等専門学校技術室組織等規則
- 3) Itouga, *et al.*: 一般廃棄物の燃焼飛灰の溶出液がヒョウタンゴケ原糸体の細胞分裂に与える影響, 蘚苔類研究 9, pp. 78-83 (2006)
- 4) 日本土壌肥料学会, 講演要旨集第 5 2 集, pp. 161-189 (2006)
- 5) Tsubota, *et al.*: A Simple Procedure for DNA Isolation Using Small Quantities of Lichen Thallus, *Lichenology*, Vol. 4, no.1, pp. 25-28 (2005)

(平成 18 年 12 月 26 日 受理)

東京工業高等専門学校研究報告書

第 38 (2) 号

平成 18 年度

平成19年 3 月15日発行

編 集 者 東京工業高等専門学校図書委員会

発 行 者 東京工業高等専門学校

東京都八王子市栢田町1220の2

TEL 八王子 (042) 668 - 5111

〒193 - 0997

印 刷 所 電算印刷株式会社

長野県松本市筑摩 1 - 11 - 30

TEL 松本 (0263) 25 - 4329

〒390 - 0821

The name of the journal has been changed from “*Research Reports of Tokyo National Technical College*” into “*Research Reports of Tokyo National College of Technology*” since the 1984 issue.

