

呉工業高等専門学校

研究報告

第73号

平成23年10月(2011)

目次

1. ヘッドフォンを用いた3次元音空間の生成に関する研究	田和瀬 裕之, 梶田 尚, 野村 博昭	1
2. 室内伝達関数の逆フィルタの平滑化に関する研究	野村 博昭	5
3. 2チャンネル音像再生システムにおける平滑化逆フィルタ	野村 博昭	9
4. マイクロホロー陰極放電の電圧電流特性	山崎 勉	13
5. 緩速ろ過池の砂層に生息するユスリカ幼虫と随伴する細菌群集の役割	竹内 準一, 鈴藤 真也	19
6. 既存鉄筋コンクリート構造物のひび割れの調査	寺岡 勝, 谷岡 洋介, 掛 悟史	25
7. 建物と地盤の動的相互作用を考慮した免震建物の地震時上下動応答	泉 洋輔	33
8. 呉高専建築学科棟における床面の傾きの調査	仁保 裕, 寺岡 勝, 奥 伸之, 小島 敬司	41
9. 基礎学力向上プロジェクトが学生に与える影響 —学生の学習状況の変化に着目して—	佐々木 伸子, 森脇 武夫, 赤池 祐次 笠井 聖二, 竹山 友子	49
10. クリティカル・シンキングと高専教育	上村 崇, 木原 滋哉, 宮田 健一	57
11. 基礎学力向上プロジェクト・英語寺子屋2年間の取り組み	竹山 友子, 川尻 武信, 富村 憲貴, 江口 誠	65
12. 室生犀星「幼年時代」「結婚者の手記」と犬	外村 彰	71
平成22年本校教職員による研究業績一覧	93

MEMOIRS OF KURE NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

No.73

October, 23rd Year of Heisei (2011)

CONTENTS

1. The Study of Three-Dimensional Sound Image Localization using a HeadphoneHiroyuki TAWASE, Hisashi KAJITA and Hiroaki NOMURA	1
2. Sound-Space Equalization and Intelligible Speech Reproduction in a Reverberant Sound FieldHiroaki NOMURA	5
3. Inverse Filtering Using Smoothing Technique for Cross-Talk Cancellation in a Two-Channel Sound Image Projection SystemHiroaki NOMURA	9
4. Current-voltage Characteristics of a Micro-hollow Cathode DischargTsutomu YAMASAKI	13
5. Possible Roles of Midge Larvae and the Associated Bacteria Inhabiting Slow Sand Filter BedsJuni TAKEUCHI and Shiya SUZUTOH	19
6. Investigation of Concrete Cracks of Existing Reinforced Concrete Structure BuildingsMasaru TERAOKA, Yosuke TANIOKA and Satoshi KAKE	25
7. Study on The Vertical Response of Seismic Isolated Structures Considering Dynamic Soil-Structure InteractionYosuke IZUMI	33
8. An Investigation for Inclination of Floor slabs of The Building for Faculty of Architecture and Structural EngineeringYutaka NIHO, Masaru TERAOKA, Nobuyuki OKU and Takashi KOJIMA	41
9. The Effects on Students Generated by “The Project for the Improvement of Basic Academic Ability”: Focusing on the Changes in Students’ LearningShinko SASAKI, Takeo MORIWAKI, Yuji AKAIKE, Seiji KASAI and Tomoko TAKEYAMA	49
10. Critical Thinking and Education in College of TechnologyTakashi UEMURA, Shigeya KIHARA and Kenichi MIYATA	57
11. The Project for the Improvement of Basic Academic Ability: A Report on the First Two Years of “Eigo-Terakoya”—English Remedial ClassesTomoko TAKEYAMA, Takenobu KAWAJIRI, Noritaka TOMIMURA, Makoto EGUCHI and Shinko SASAKI	63
12. Murō Saisei’s <i>Yōnen jidai</i> , <i>Kekkonsha no shuki</i> , and DogsAkira TONOMURA	84
Research Activities in 2010	85

ヘッドフォンを用いた 3 次元音空間の生成に関する研究

(電気情報工学科) 田和瀬 裕之

(電気情報工学科) 梶田 尚

(電気情報工学分野) 野村 博昭

The Study of Three-Dimensional Sound Image Localization using a Headphone

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Hiroyuki TAWASE

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Hisashi KAJITA

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Hiroaki NOMURA

Abstract

Multimedia technology requires network audio technology as well as image processing technology to render acoustic events. Acoustic events include three-dimensional sound image localization. This usually requires three-dimensional directional binaural impulse responses, which are equivalent to head-related transfer functions (HRTFs). This paper describes the sound image projection system, which has inverse filtering for HRTFs in an anechoic space. Inverse filtering for HRTFs, however, is formidable since HRTFs can often be of the non-minimum phase (all-pass). For resolving this problem, we realized the inverse filter of the non-minimum phase component (all-pass component) by using a matched filter with time-delay. From results of computer simulation, we can understand that the inverse filter of HRTFs can be realized by both minimum-phase inverse filter and matched filtering. Moreover, we can success three-dimensional sound image localization using a headphone.

Key Words: Sound image localization, Head-related transfer function, Inverse filter, Non-minimum phase component, Matched filter

音像定位、頭部伝達関数、逆フィルタ、非最小位相成分、マッチドフィルタ

§1 はじめに

ネットワークにおける 3 次元音響事象を表現・創造する記述言語の研究が進められている[1][2]。音環境を含む Cyber Space の創造、遠隔地利用者との音を含む空間共有・結合という技術は、芸術の新分野や教育、新産業への影響を含み、その産業界を活性化するという期待が持たれている。3 次元音空間の生成は音像定位技術によって実現出来る。音像定位技術の 1 つの方法は、スピーカを用いた

トランスオーラルシステムと呼ばれるものがある。スピーカ数は従来のステレオ再生との互換性から 2ch 再生が最もよく取り上げられる。トランスオーラルシステムは、受聴者にとってヘッドフォンのような遮蔽感が無く、音場の自然な拡がり感を得られる。しかし受聴者の位置が固定され、特に受聴者の頭の回転・移動の影響を受け易いという欠点を持つ。近年、Kirkeby らはこれらの欠点を解決する 1 つの方法として、波面合成の観点に立った Stereo

Dipole (SD) という技術を提案している[3]。もう1つの方法は、ヘッドフォンと頭部伝達関数(HRTF: Head Related Transfer Function)を用いるもので、音源信号にHRTFを畳み込んで出力する。この手法は、再生する室内の影響が無く、受聴者の位置に制限が無い点が特徴である。しかし、ヘッドフォンにより再生された音は頭内定位(Lateralization)する欠点がある。本論文では、音像射影フィルタ(Sound Image Projection Filter) [4]を用いた頭外定位(Localization)のヘッドフォン受聴について述べる。

§2 音像射影フィルタの設計

スピーカによる音像定位は無響室のような室内反射音のない室内において実現される。そこで、室内空間に依存しない音像定位システムとして、図1に示すヘッドフォンによる音像定位システムについて検討した。

ヘッドフォンを用いて、仮想音源を任意の地点に知覚させる音像射影フィルタ $X(\omega), Y(\omega)$ を実現する(但し、 ω は複素角周波数)。即ち

$$\begin{cases} Z_L(\omega) = X(\omega) \cdot H_L(\omega) \\ Z_R(\omega) = Y(\omega) \cdot G_R(\omega) \end{cases} \quad \dots (1)$$

ここで、 $Z_L(\omega)(Z_R(\omega))$ は、仮想音源と左耳(右耳)の頭部伝達関数(HRTF)、 $H_L(\omega)(G_R(\omega))$ はヘッドフォンと左耳(右耳)の伝達関数(Transfer Function)を示す。

$$\begin{cases} X(\omega) = \frac{Z_L(\omega)}{H_L(\omega)} = \frac{Z_L(\omega)}{D(\omega)} = \frac{Z_L(\omega)}{D_{min}(\omega) \cdot D_{ap}(\omega)} \\ Y(\omega) = \frac{Z_R(\omega)}{G_R(\omega)} = \frac{Z_R(\omega)}{D'(\omega)} = \frac{Z_R(\omega)}{D'_{min}(\omega) \cdot D'_{ap}(\omega)} \end{cases} \quad \dots (2)$$

但し

$$\begin{aligned} D_{min}(\omega) &= (H_L(\omega))_{min} : \text{ヘッドフォンと左耳の伝達関数の最小位相成分 (Minimum-Phase Component)} \\ D'_{min}(\omega) &= (G_R(\omega))_{min} : \text{ヘッドフォンと右耳の伝達関数の最小位相成分} \end{aligned}$$

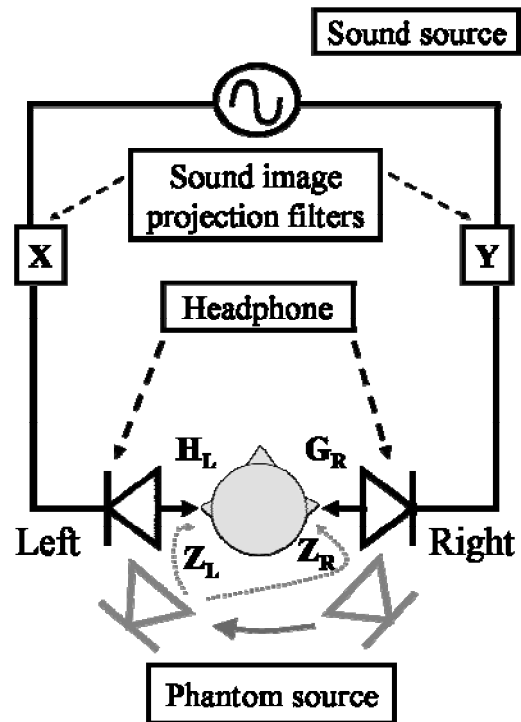


Fig. 1 Two-channel sound image projection system using the headphone.

$D_{ap}(\omega) = (H_L(\omega))_{ap}$: ヘッドフォンと左耳の伝達関数のオールパス成分 (All-Pass Component)
 $D'_{ap}(\omega) = (G_R(\omega))_{ap}$: ヘッドフォンと右耳の伝達関数のオールパス成分

また、

$$\begin{cases} W(\omega) = \frac{1}{D_{min}(\omega) \cdot D_{ap}(\omega)} \\ W'(\omega) = \frac{1}{D'_{min}(\omega) \cdot D'_{ap}(\omega)} \end{cases} \quad \dots (3)$$

とおく。

ここで、 $D_{min}(\omega)$ は $D(\omega)$ の最小位相成分で、 $D_{ap}(\omega)$ は $D(\omega)$ のオールパス成分を表す。同様に、 $D'_{min}(\omega)$ は $D'(\omega)$ の最小位相成分で、 $D'_{ap}(\omega)$ は $D'(\omega)$ のオールパス成分を表す。

$D_{min}(\omega)$ および $D'_{min}(\omega)$ は最小位相成分であるため、

この逆フィルタは時間領域において安定して動作する。一方、オールパス成分である $D_{ap}(\omega)$ および $D'_{ap}(\omega)$ の零点 (Zero) は、Z-平面上の単位円の内側にない為、逆フィルタを構成することができない。その理由は、 $D_{ap}(\omega)$ および $D'_{ap}(\omega)$ の零点は、その逆数をとると $W(\omega)$ および $W'(\omega)$ の極(Pole)になり、単位円の外側の極はシステムを不安定にする。しかし、時間遅延を持ったオールパス成分のマッチドフィルタ (Matched Filter) は逆フィルタを実現することを可能にする。周波数領域における最小位相成分の逆数及び時間遅延を持ったオールパス成分のマッチドフィルタ ($D_{mat}(\omega)$) によって、音像射影フィルタを次式のように求めることができる。(2)式より

$$D_{ap}(\omega) \cdot D_{mat}(\omega) \cdot X(\omega) = \frac{D_{mat}(\omega)}{D_{min}(\omega)} Z_L(\omega)$$

$$D_{mat}(\omega)^* \cdot D_{mat}(\omega) \cdot X(\omega) = \frac{D_{mat}(\omega)}{D_{min}(\omega)} Z_L(\omega)$$

$$X(\omega) = \frac{D_{mat}(\omega)}{D_{min}(\omega) \cdot |D_{mat}(\omega)|^2} Z_L(\omega) \quad \dots \dots (4)$$

ここで、 $D_{ap}(\omega) \equiv D_{mat}(\omega)^*$ となる。

同様に

$$D'_{ap}(\omega) \cdot D'_{mat}(\omega) \cdot Y(\omega) = \frac{D'_{mat}(\omega)}{D'_{min}(\omega)} Z_R(\omega)$$

$$D'_{mat}(\omega)^* \cdot D'_{mat}(\omega) \cdot Y(\omega) = \frac{D'_{mat}(\omega)}{D'_{min}(\omega)} Z_R(\omega)$$

$$Y(\omega) = \frac{D'_{mat}(\omega)}{D'_{min}(\omega) \cdot |D'_{mat}(\omega)|^2} Z_R(\omega) \quad \dots \dots (5)$$

ここで、 $D'_{ap}(\omega) \equiv D'_{mat}(\omega)^*$ となる。

そこで、ヘッドフォンと両耳の伝達関数の最小位相成分、およびオールパス成分のマッチドフィルタを抽出し、上記(4)式および(5)式を用いて音像射影フィルタ $X(\omega), Y(\omega)$ を導出する。

[テキストを入力してください]

§3 実験

3.1 実験方法

無響室において、スピーカより 1.5m の位置での受聴者の両耳の頭部伝達関数(HRTF)を測定する。音源スピーカと受聴者との方位角 ϕ は $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ の 8 方向とした。次に、ヘッドフォンと受聴者の左耳および右耳の外耳道入口までの伝達関数 (H_L, G_R) をそれぞれ測定する。サンプリング周波数は 48kHz とした。上記の各方位角 ϕ における両耳の頭部伝達関数(HRTF)と同等となるように、ヘッドフォンと受聴者の外耳道入口までの伝達関数 H_L および G_R を用いて音像射影フィルタ X, Y を求める。求められた音像射影フィルタを通したヘッドフォン信号により、任意の位置の仮想音源が生成される。図 2 にプログラムのフローチャートを示す。

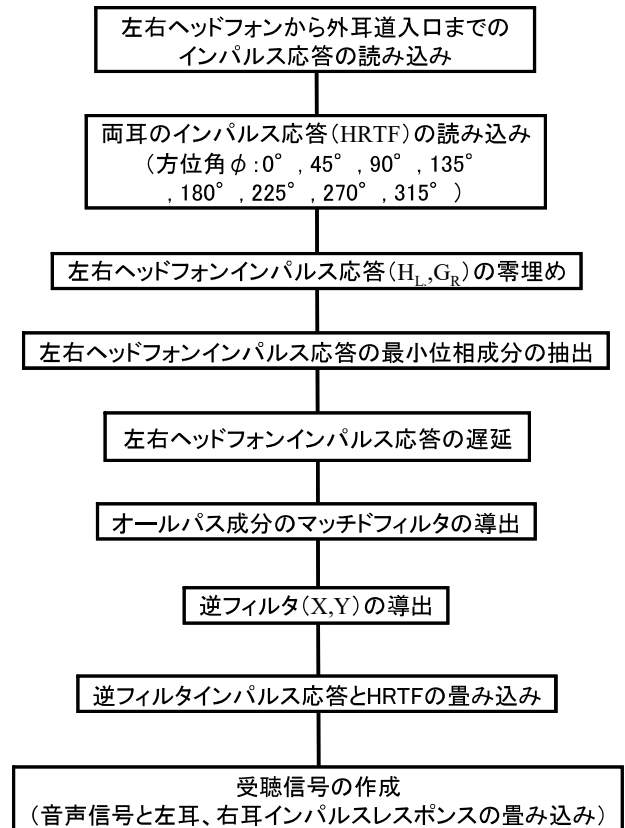


Fig. 2 A schematic diagram of the inverse filtering for two-channel sound image projection system.

3.2 実験結果

図2のフローチャートに従って得られた、方位角 $\phi : 45^\circ$ での左耳の HRTF とヘッドフォンの振幅周波数特性とその差分及び累積位相周波数特性とその差分をそれぞれ図3(a), (b)に示す。両図より、HRTF とヘッドフォンの振幅及び累積位相周波数特性は、周波数 10kHz まではほぼ同等であるが、周波数が 10kHz 以上になると両者の差が大きくなっていることが分かる。

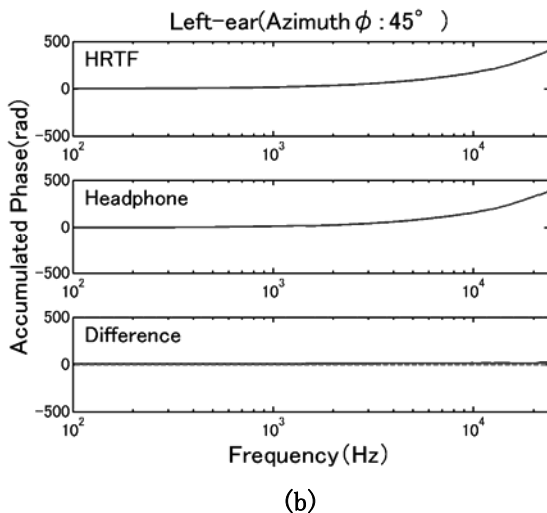
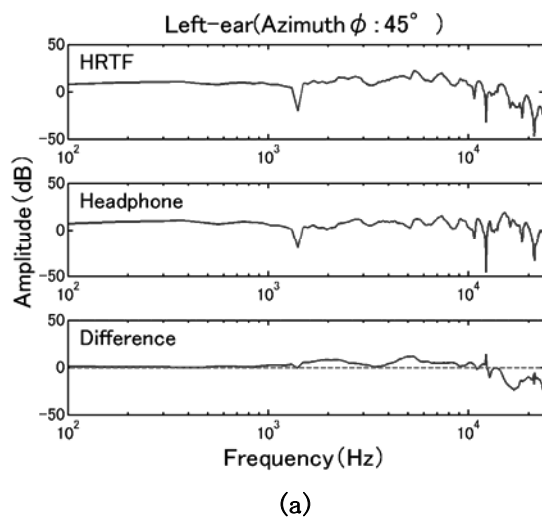


Fig. 3 Amplitude (a) and Accumulated Phase (b) frequency characteristics at azimuth of 45° in left-ear.

インパルス応答の評価方法として、SDR (Signal-to-Deviation Ratio)があり、次式で与えられる。

$$SDR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=1}^N \{h(n)\}^2}{\sum_{n=1}^N \{h(n) - \hat{h}(n)\}^2}$$

図4は、方位角 $\phi : 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ の8方向における左耳(a)及び右耳(b)の SDR を示したものである。両図より、左耳では方位角 $\phi : 0^\circ, 135^\circ, 225^\circ$ 、右耳では方位角 $\phi : 45^\circ, 135^\circ$ で劣化していることが分かる。

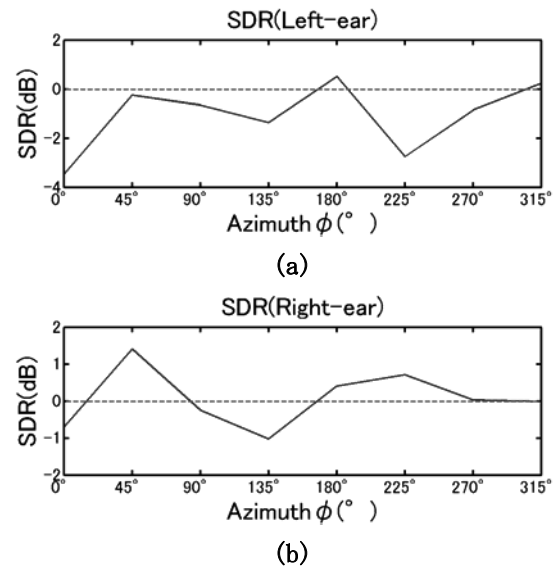


Fig. 4 SDRs of left-ear (a) and right-ear (b).

§4 まとめ

本論文では、音像射影フィルタを用いた頭外定位のヘッドフォン受聴について検討した。音像射影フィルタを構成する逆フィルタのオールパス成分にマッチドフィルタを適用した。その結果、水平角 $\theta : 0^\circ$ において方位角 $\phi : 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ の5方向においてはほぼ良好な頭外音像定位を実現できることが分かった。

参考文献

- [1]M. Uchiyama, et al. Proc. Inst. Acoust., vol. 20, pp. 231-238 (1998)
- [2]M. Tohyama, et al. Proc. IEEE Workshop MMSP, pp. 221-226 (1999)
- [3]O. Kirkeby, et al. J. Audio Eng. Soc., Vol. 46, No. 5, pp. 389-395 (1998)
- [4]M. Tohyama, et al. "Fundamentals of Acoustic Signal Processing" (Academic Press, London, 1998)

室内伝達関数の逆フィルタの平滑化に関する研究

(電気情報工学分野) 野村博昭

Sound-Space Equalization and Intelligible Speech Reproduction in a Reverberant Sound Field

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Hiroaki NOMURA

Abstract

Reproducing dry speech is an important spatial-audio technology as well as rendering desirable 3D-reverberation from a dry audio signal in reverberant space. The key issue is inverse filtering of the transfer function (TF) in the reverberant space. Inverse filtering, however, is formidable and can be instable in a reverberant space, since the TF can often be of the non-minimum phase (all-pass). The inverse filtering is able to render a desirable audio signal at the listening point (target position). However, the variations must be contained in the TF in a practical situation, since the listening position is not always fixed to a single point or the TF itself can be time-variant. We assume that smoothing (instead of localizing) the TF on a target position makes inverse filtering robust. The TF, however, must be smoothed keeping the minimum-phase and all-pass properties respectively. Therefore we propose a method for moving the poles and zeros of the TF symmetrically from the unit circle in the z-plane.

Key Words: Reverberant space, Inverse filter, Transfer function, Non-minimum phase, Poles and zeros
残響音場、逆フィルタ、伝達関数、非最小位相成分、極・零点

§1 はじめに

高度通信システムにおいては、3次元音響空間を含み、相互の音響空間をネットワークを介して効果的に共有するような音響事象を必要とする[1]。仮想現実(Virtual Reality)における音響事象モデルにおいては、室内の残響を生成したり、抑圧する技術が大変重要である。一般に、残響音場における室内伝達関数は、最小位相成分とオールパス成分(非最小位相成分)により構成される[2]。伝達関数の最小位相成分の逆フィルタは、時間領域において安定に動作するが、オールパス成分の逆フィルタは非因果となり、存在しない。そこで、オールパス成分の逆フィルタの代わりに、時間遅延を持ったオールパス成分のマッチドフ

ィルタを用いて、残響音場における伝達関数の逆フィルタを構成し、残響音声の音源回復を実現した[3]。しかしながら、残響音声の回復は焦点位置のみで、焦点から少しでも受音位置がずれると音声の回復は急激に低下する。本論文では、室内伝達関数の逆フィルタにおける極および零点を再配置することにより、残響抑圧を平滑化する方法について述べたものである。また、室内伝達関数のオールパス成分の極・零点の再配置においては、信号の最小位相成分とオールパス成分を分離・抽出する必要があるため、複素ケプストラムを用いて処理された。ここでは、Z-平面上における単位円からの極零配置の距離が、伝達関数の残響条件を表すと仮定する。

§ 2 逆フィルタ設計

残響音場でのインパルス応答 $h(n)$ および逆フィルタ $g(n)$ の伝達関数(Transfer Function)をそれぞれ $H(\omega)$ および $G(\omega)$ とすると、以下に示す関係式を得る。但し、 ω は複素角周波数(Complex Angular Frequency)である。

$$H(\omega) \cdot G(\omega) = H_{min}(\omega) \cdot H_{ap}(\omega) \cdot G(\omega) = 1 \quad \dots (1)$$

この関係より、 $G(\omega)$ は $H(\omega)$ の逆数を取ることにより得られる。従って、

$$G(\omega) = \frac{1}{H_{min}(\omega) \cdot H_{ap}(\omega)} \quad \dots (2)$$

ここで、 $H_{min}(\omega)$ は $H(\omega)$ の最小位相成分(Minimum-phase Components)を、 $H_{ap}(\omega)$ はオールパス成分(All-pass Components)を表す。

一般に 3 次元残響音場における伝達関数(TF)の周波数特性は、最小位相成分とオールパス成分の積で与えられる。最小位相成分の逆フィルタは安定でかつ時間領域で良好に動作する。しかしながら、 $H_{ap}(\omega)$ の零点は、Z-平面上の単位円の内側にない為、この逆問題を解決することができない。そこで、我々は、時間遅延を持った $H_{ap}(\omega)$ のマッチドフィルタ(Matched Filter)を導入する。マッチドフィルタの周波数特性は、それがマッチする信号のスペクトルの複素共役によって与えられる。周波数領域における最小位相成分の逆数及びオールパス成分のマッチドフィルタによって、残響音場での伝達関数の逆フィルタを次式のように求めることができる。

$$H_{ap}(\omega) \cdot H_{mat}(\omega) \cdot G(\omega) = \frac{H_{mat}(\omega)}{H_{min}(\omega)} \quad \dots (3)$$

$$H_{mat}(\omega)^* \cdot H_{mat}(\omega) \cdot G(\omega) = \frac{H_{mat}(\omega)}{H_{min}(\omega)} \quad \dots (4)$$

$$G(\omega) = \frac{H_{mat}(\omega)}{H_{min}(\omega) \cdot |H_{mat}(\omega)|^2} \quad \dots (5)$$

但し、 $H_{mat}(\omega)$: マッチドフィルタの伝達関数

$$H_{ap}(\omega) \equiv H_{mat}(\omega)^*$$

§ 3 伝達関数の振幅および位相の修正

3.1 振幅周波数特性の修正

伝達関数は、最小位相成分とオールパス成分に分離することができる。この最小位相成分とオールパス成分の極・零点(Poles and Zeros)の再配置により、振幅(Magnitude)と位相(Phase)を制御することができる。

最小位相成分の指数時間窓(Exponential Window)は振幅を修正する。負のべき指数を持った窓関数により、最小位相成分の零点は Z-平面上の単位円から遠ざかる。即ち、**[A]** 最小位相インパルス応答の零点を Z-平面上の単位円から遠ざける方法

(1)インパルス応答の最小位相成分 $h_{min}(n)$ に指数時間窓 e^{-an} を乗じればよい。

3.2 オールパス成分の位相周波数特性の修正

最小位相成分の振幅周波数特性のみならず、オールパス成分の位相は残響除去にとって重要である。オールパス成分の極・零点の再配置は複素ケプストラム(Complex Cepstrum)を用いて処理される。以下に、オールパス成分のインパルス応答の極と零点(対象配置)を Z-平面上の単位円から遠ざける方法を示す。

[B] All-Pass インパルス応答の極と零点(対象配置)を Z-平面上の単位円から遠ざける方法

(1)推定した室内インパルス応答の線形位相成分(Linear Phase Components)を取り除く。

(2)上記(1)の線形位相成分を除去したインパルス応答を $h(n) = h_{min}(n) * h_{ap}(n)$ と分割する(但し、* は畳み込み積分を表す)。

(3)上記(2)の All-Pass インパルス応答 $h_{ap}(n)$ のケプスト

ラム $c_{ap}(n)$ を

$$\begin{aligned} c_{ap}(n) &\equiv c_{ap}^{causal}(n) && \text{for } n \geq 0 \\ &\equiv c_{ap}^{non-causal}(n) && \text{for } n < 0 \quad \dots (6) \end{aligned}$$

のように因果部(Causal)と非因果部(Non-causal)に分割する。

(4)上記(3)のケプストラムの因果部 $c_{ap}^{causal}(n)$

からインパルス応答 $\hat{h}_{ap_causal}(n)$ を合成する。

(5)上記(4)のインパルス応答(線形位相は除かれている)に最小位相成分に放した指数減衰窓関数 $e^{-\alpha n}$ を乗じたインパルス応答を改めて

$$\hat{h}_{ap_causal_exp}(n) \equiv \hat{h}_{ap_causal}(n)e^{-\alpha n} \text{ とする。}$$

(6)上記(5)のインパルス応答からケプストラム

$c_{ap_exp}^{causal}(n)$ for $n \geq 0$ を求める。

(7)上記(6)のケプストラムを奇関数として折り返して

$$\begin{aligned} \hat{c}_{ap}(n) &\equiv c_{ap_exp}^{causal}(n) && \text{for } n \geq 0 \\ &\equiv -c_{ap_exp}^{causal}(n) && \text{for } n < 0 \quad \dots (7) \end{aligned}$$

新しい All-pass Phase ケプストラムを作成する。

(8)上記(7)の All-pass Phase ケプストラムからインパルス応答を復元(除去された全ての線形位相成分を加える)して、極と零点を単位円から遠ざけた All-pass インパルス

応答 $\hat{h}_{ap}(n)$ が得られる。

§ 4 実験

§ 4.1 実験方法

実験は室容積 186m^3 の不整形の残響室で行われた。残響室の残響時間は 500Hz/oct で約 1 秒である。図 1 は、スピーカとマイクロホンの位置を示したものである。スピ

ーカとマイクロホンの距離は焦点位置 (M_0 点) で 1m であり、 M_1 および M_2 点は M_0 点の中心から方位角 $\pm 15^\circ$ に設定した。残響室におけるインパルス応答の測定は、Bose 101MM スピーカから TSP(Time Stretched Pulse) 信号を出力し、上記 3 地点で無指向性マイクロホンを用いて收音した。測定におけるサンプリング周波数 F_s は 48kHz であるが、演算時間を考慮しサンプリング周波数を 16kHz にダウンサンプリング(Down-sampling)してシミュレーションを行った。

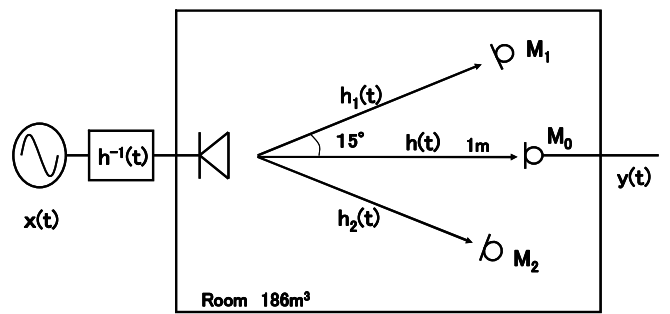


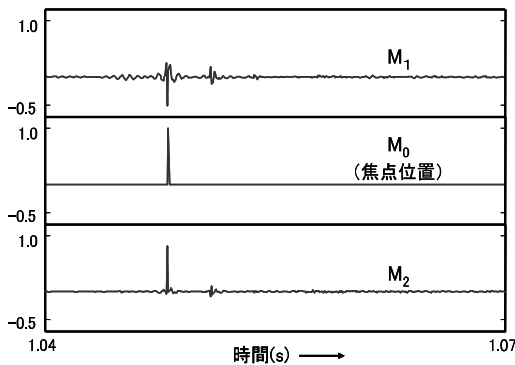
Fig. 1 Experimental setup for impulse response measurements in a reverberation room.

§ 4.2 実験結果

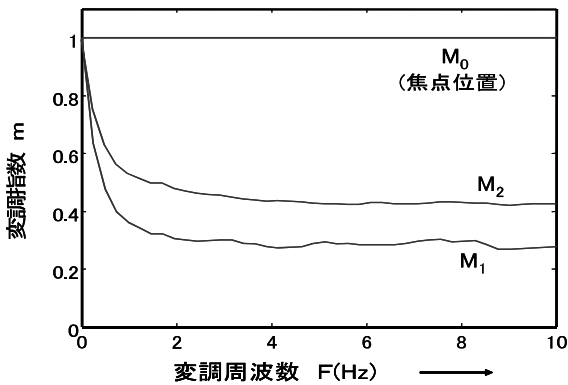
M_0 (焦点位置)点での伝達関数の逆フィルタを式(5)より求め、受信位置 M_0 、 M_1 、 M_2 点のインパルス応答に畳み込んだ結果を図 2 (a)に示す。同図より、 M_0 点では単位インパルスに復元できているが、 M_1 、 M_2 点でのインパルス応答は単位インパルスになっていない。そこで、音声明瞭度指標である MTF(Modulation Transfer Function)[4]を用いて音声品質を評価し図 2 (b)に示す。同図より焦点位置である M_0 点での MTF は完全に 1 となり原音波形が復元されていることがわかる。一方、他の M_1 、 M_2 点では MTF は $0.3 \sim 0.5$ となり、原音声が復元されず、音声明瞭度が向上していないことがわかる。

そこで、 M_0 点(焦点位置)のインパルス応答を平滑化(Equalization)することにより、残響音声回復のエリア拡大を試みた。前節で述べたように、平滑化に当たっては、平滑化処理(A)「インパルス応答の最小位相成分の処理」

および、平滑化処理(B)「インパルス応答のオールパス成分の処理」を用いた。 M_0 (焦点位置)点でのインパルス応答の平滑化逆フィルタを求め、受音位置 M_0 、 M_1 、 M_2 点のインパルス応答に畳み込んだ結果を図3 (a)に示す。同図より、 M_0 点(焦点位置)のインパルス応答は単位パルスではなく少しパルスに波が立っている。一方、 M_1 、 M_2 点のインパルス応答は図2(a)に比較しインパルスの変動が小さくなっていることがわかる。また、 M_0 点(焦点位置)のインパルス応答を平滑化した場合の3地点でのMTFを計算し図3(b)に示す。図2(b)に比較し M_1 、 M_2 点のMTFは向上し全体的にMTFの平滑化が達成されていることがわかる。但し、 M_0 点(焦点位置)のMTFは1より低下し完全な音声回復が実現できていない。

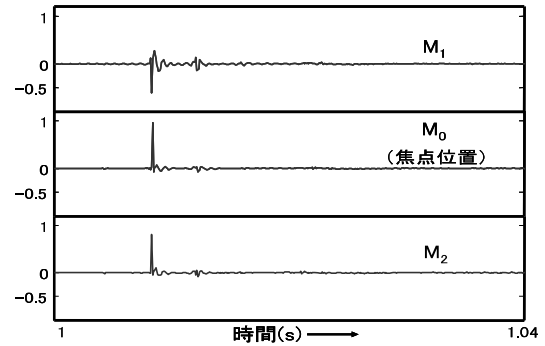


(a) Impulse response

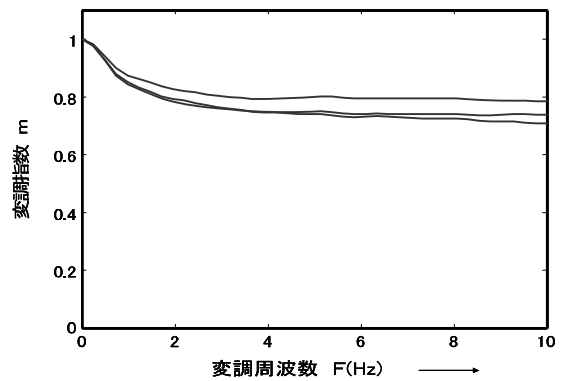


(b) MTF

Fig. 2 A sample of inverse filtering results for the positions shown in Fig. 1 using the inverse filter for the target position M_0 .



(a) Impulse response



(b) MTF

Fig. 3 The inverse filtering records using the inverse filter for the smoothed TF at M_0 .

§5 まとめ

本論文では、室内伝達関数における極および零点を再配置することにより、残響抑圧を平滑化する逆フィルタについて述べた。平滑化逆フィルタは、零点および極を Z -平面上の単位円付近から遠くに再配置することにより、音源・受音位置の変化に対する敏感さを軽減することが出来る。また、本手法の妥当性を音声明瞭度の物理指標であるMTFを用いて明らかにした。

参考文献

- [1]H. Nomura, et al. Proceedings of the Tenth International Congress on Sound and Vibration, vol. 8, pp. 4247-4253(2003)
- [2]M.Tohyama, et al. J. Acoust. Soc. Am. 89 pp.1701-1707(1991)
- [3]Radlovic, B.D.,et al. IEEE SAP 8(6),728-737(2000)
- [4]T. Houtgast, et al. Acustica, vol.46, pp. 60-72(1980)

2チャンネル音像再生システムにおける平滑化逆フィルタ

(電気情報工学分野) 野村博昭

Inverse Filtering Using Smoothing Technique for Cross-Talk Cancellation in a Two-Channel Sound Image Projection System

(Department of Electrical Engineering and Information Science) Hiroaki NOMURA

Abstract

This paper describes about the stable inverse filtering of the crosstalk canceller. The key issue is inverse filtering or magnitude and phase equalization of Head Related Transfer Function (HRTF). Inverse filtering, however, is formidable and can be instable, since the HRTF can often be the all-pass component. The locations of the HRTF-zeros can be closely to the unit circle in the complex frequency domain and those are highly sensitive to the location of source receiving positions even in a local area. If the inverse filter is utilized for sound reproduction at the target point, then receiving signals could be instable at other points even closely located to the target point. This paper investigates stable inverse filtering in a local area for the space-variant HRTF based on cepstrum decomposition of poles and zeros. From the results of computer simulation, we can understand that this smoothing inverse filtering is useful to get the original sound source in spite of the listener's head movement.

Key Words: Cross-talk canceller, Inverse filter, Head related transfer function, All-pass component, Cepstrum

クロストークキャンセラ、逆フィルタ、頭部伝達関数、オールパス成分、ケプストラム

§1 はじめに

バイノーラル收音信号を自由音場でステレオ再生する場合、頭部伝達関数(HRTF: Head Related Transfer Function)は、各スピーカから両耳への2個が生じ、左右スピーカから両耳まで、都合4個の頭部音響伝達関数が生じている。本論文は2chスピーカを用いて音像制御を実現するために必要な逆フィルタ処理の安定化について検討しものである。スピーカを用いた2ch再生による音像制御の実現に向けてクロストークキャンセラ(Cross-talk Canceller)とその安定化は今日でも重要な研究課題である[1]。特に、伝達関数の零点がZ-平面上の単位円付近に存在する場には受聴者の動きを含む環境要因変動による伝達関数の変

化が大きく、逆フィルタ処効果を安定して得ることが期待しにくい。わずかな位置変化により、伝達関数の周波数特性が変化し、再生される信号の品質低下が生じることが聴取実験でも明らかにされている[2]。安定した逆フィルタを得るための手段として、窓関数を用いた周波数特性の平滑化がある。東山らは最小位相系(Minimum-phase System)で構成されるパルス列の音源復元のために、指数窓関数(Exponential Window)を用いて逆フィルタの最小位相成分(Minimum-phase Component)の極(Pole)および零点(Zero)をZ-平面上の単位円から遠ざけることで伝達関数を平滑化し、安定した逆フィルタを求めている[3]。しかし、音声を含む日常的な音響信号は常に最小位相系であると

は限らず、オールパス成分(All-pass Component)に対する逆フィルタ処理の安定化も重要である。高橋らは、最小位相成分の平滑化に加え、オールパス成分の極・零点を Z-平面上の単位円付近から遠ざけることによって、逆フィルタ(Inverse Filter)を安定化する方法を述べている[4]。筆者は、この手法は音場再生の逆フィルタ処理の安定化にも応用できると考えた。本論文では、再生スピーカから受聴者の両耳にいたるそれぞれの伝達関数を最小位相成分およびオールパス成分を同時に平滑化し、2チャンネル再生クロストークキャンセラの安定化を試みる。

§2 クロストークキャンセラのフィルタ設計

図1はクロストークキャンセラを含む2チャンネル音場再生システムの構成例である。図中の $S_l(z)$ および $S_r(z)$ は原音場において収録した両耳の入力信号の Z 変換、 $H_l(z)$ 、 $H_r(z)$ 、 $G_l(z)$ 、 $G_r(z)$ はそれぞれスピーカから受聴者両耳までの頭部伝達関数、 $X_l(z)$ 、 $X_r(z)$ 、 $Y_l(z)$ 、 $Y_r(z)$ は音場再生に必要なフィルタの伝達関数を表す。クロストークキャンセラを含む音場再生システムは左入力信号に対する線形方程式

$$\begin{cases} R_l(z) = S_l(z)X_l(z)H_l(z) + S_l(z)Y_l(z)G_l(z) \\ 0 = S_l(z)X_l(z)H_r(z) + S_l(z)Y_l(z)G_r(z) \end{cases} \quad \dots (1)$$

および、右入力信号に対する線形方程式

$$\begin{cases} R_r(z) = S_r(z)X_r(z)G_r(z) + S_r(z)Y_r(z)H_r(z) \\ 0 = S_r(z)X_r(z)G_l(z) + S_r(z)Y_r(z)H_l(z) \end{cases} \quad \dots (2)$$

を満足すればよい。式(1)より

$$\begin{cases} R_l(z) = S_l(z)\{X_l(z)H_l(z) + Y_l(z)G_l(z)\} \\ 0 = S_l(z)\{X_l(z)H_r(z) + Y_l(z)G_r(z)\} \end{cases} \quad \dots (3)$$

また、 $R_l(z) = S_l(z)$ より

$$\begin{cases} X_l(z)H_l(z) + Y_l(z)G_l(z) = 1 \\ X_l(z)H_r(z) + Y_l(z)G_r(z) = 0 \end{cases} \quad \dots (4)$$

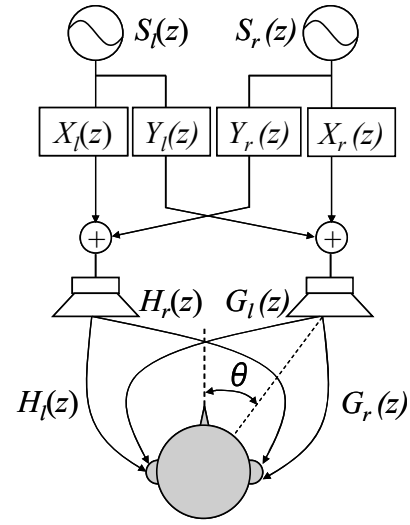


Fig. 1 Two channel sound image projection system using cross-talk cancel filters.

式(4)より

$$\begin{cases} X_l(z) = \frac{G_r(z)}{H_l(z)G_r(z) - H_r(z)G_l(z)} = \frac{G_r(z)}{D(z)} \\ Y_l(z) = \frac{-H_r(z)}{H_l(z)G_r(z) - H_r(z)G_l(z)} = \frac{-H_r(z)}{D(z)} \end{cases} \quad \dots (5)$$

但し、 $D(z) = H_l(z)G_r(z) - H_r(z)G_l(z)$

同様に、式(2)より、

$$\begin{cases} R_r(z) = S_r(z)\{X_r(z)G_r(z) + Y_r(z)H_r(z)\} \\ 0 = S_r(z)\{X_r(z)G_l(z) + Y_r(z)H_l(z)\} \end{cases} \quad \dots (6)$$

また、 $R_r(z) = S_r(z)$ より

$$\begin{cases} X_r(z)G_r(z) + Y_r(z)H_r(z) = 1 \\ X_r(z)G_l(z) + Y_r(z)H_l(z) = 0 \end{cases} \quad \dots (7)$$

式(7)より

$$\begin{cases} X_r(z) = \frac{H_l(z)}{H_l(z)G_r(z) - H_r(z)G_l(z)} = \frac{H_l(z)}{D(z)} \\ Y_r(z) = \frac{-G_l(z)}{H_l(z)G_r(z) - H_r(z)G_l(z)} = \frac{-G_l(z)}{D(z)} \end{cases} \quad \dots (8)$$

但し、 $D(z) = H_l(z)G_r(z) - H_r(z)G_l(z)$

上記に示した、式(5)および式(8)より明らかなように、各フィルタは共通部分 $D(z)$ の逆フィルタ $D^{-1}(z)$ を含んで表現される。従って、共通部分 $D(z)$ の平滑化を行うことで逆フィルタ処理の安定化を実現する。共通部分 $D(z)$ の平滑化は、 $D(z)$ のインパルス応答を最小位相成分とオールパス成分に分離し、①最小位相インパルス応答の零点を原点に近づける。②オールパスインパルス応答の極と零点を単位円から遠ざけることにより実現した。

§3 実験

3.1 実験方法

実験に用いた頭部伝達関数(HRTF)は、MITのKEMAR(Knowles Electronics Manikin for Acoustic Research)ダミーヘッドのデータ(44.1kHz サンプリング 512点)で、図1に示した「2チャンネル音場再生システムの構成例」において、左耳の頭部伝達関数($H_l(z), G_l(z)$)と、右耳の頭部伝達関数($H_r(z), G_r(z)$)に適用した。はじめに、2つのスピーカは、受聴者に対して開き角 $\theta = \pm 30^\circ$ に設定し、次に受聴者が首を動かした場合を想定して、右側に 10° および 20° 移動した場合を考えた。また本実験における伝達関数の平滑化は、前節で述べた様に、クロストークキャンセラのフィルタの共通部分 $D(z)$ を最小位相成分とオールパス成分に分離して行った。最小位相成分のインパルス応答の指数窓関数の係数は、 $\alpha_s = 0.04$ とした。また、オールパス成分のインパルス応答は、ケプストラム処理後に最小位相インパルス応答と同様に指数窓関数の係数を $\alpha_s = 0.04$ とした。さらに、本実験では、左側入力信号に単一パルスを入力し、右側の入力信号は零とした時の受聴者に到来する頭部伝達関数について検討した。

3.2 実験結果

まず、左側入力信号に単一パルスを入力した時の、左右スピーカの開き角 $\theta = \pm 30^\circ$ における両耳聴信号およびその振幅周波数特性の実験結果を左耳、右耳の順に図2(a)に示す。次に、受聴者が 10° 右へ向いたときの両耳聴信号

とその振幅周波数特性の実験結果を左耳、右耳の順に図2(b)に示す。最後に受聴者が 20° 右へ向いたときの両耳聴信号とその振幅周波数特性の実験結果を左耳、右耳の順に図2(c)に示す。同図において上段が「平滑化なしの逆フィルタ」による結果であり、下段が「平滑化のある逆フィルタ」の結果である。

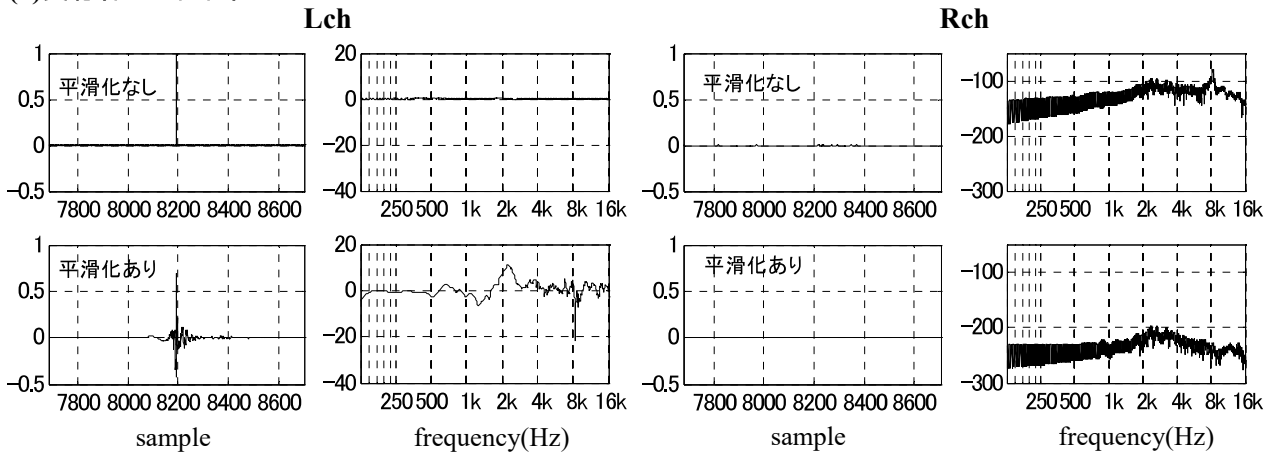
§4 まとめ

本論文では、頭部伝達関数(HRTF)の最小位相成分およびオールパス成分の平滑化を応用し、クロストークキャンセラを含む2チャンネル音場再生における逆フィルタの安定化を試みた。方法として、頭部伝達関数を最小位相成分およびオールパス成分に分離し、それぞれの極・零点をZ-平面上の単位円から遠ざけることにより周波数特性の平滑化を行った。即ち、クロストークキャンセラの逆フィルタの共通部を最小位相成分とオールパス成分に分離し、最小位相成分には、指数窓関数により、零点を単位円から遠ざけることにより平滑化を行った。一方、オールパス成分の平滑化には複素ケプストラム(Complex Cepstrum)を用いて、極と零点(対象配置)を単位円から遠ざけることにより平滑化を行った。本手法を用いて、クロストークキャンセラを用いた音場再生における逆フィルタに応用した。その結果、受聴者が右に 20° 向きを変えても、原音声に近い受聴波形が得られることが分かった。このことより、本手法は受聴者の位置変化に対し安定した逆フィルタ処理が期待できる。しかし、頭部の位置変化が大きくなるに従い、右耳のクロストークの消去量も減少している。今後は、頭部伝達関数(HRTF)の物理特性の比較だけでなく、音声や楽音を畳み込んで主観的な品質評価を行う必要がある。

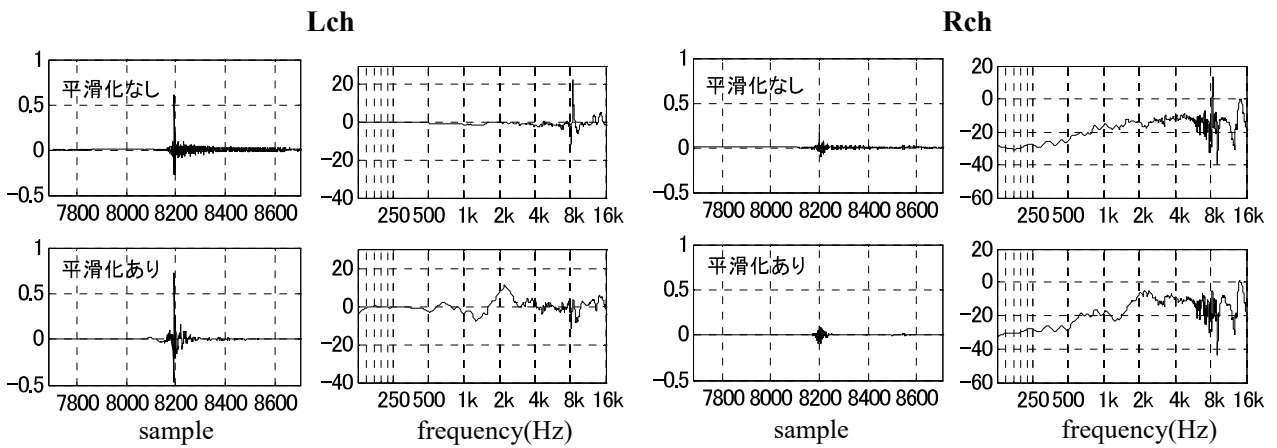
参考文献

- [1]D. B. Ward, et al. IEEE Signal Processing letters, vol. 6, No. 5 (1999)
- [2]G. S. Nocsross, et al. J. Audio. Eng. Soc., vol. 52, No. 10, pp. 1003-1028 (2004)
- [3]M. Tohyama, et al. J. Acoust. Soc. Am., vol. 89, pp. 1701-1707 (1991)
- [4]Y. Takahashi, et al. Reproduced Sound 20, vol. 26, Pt 8, Inst. Acoust. UK (2004)

(a) 受聴者が正面位置



(b) 受聴者が 10° 右方向へ向いたとき



(c) 受聴者が 20° 右方向へ向いたとき

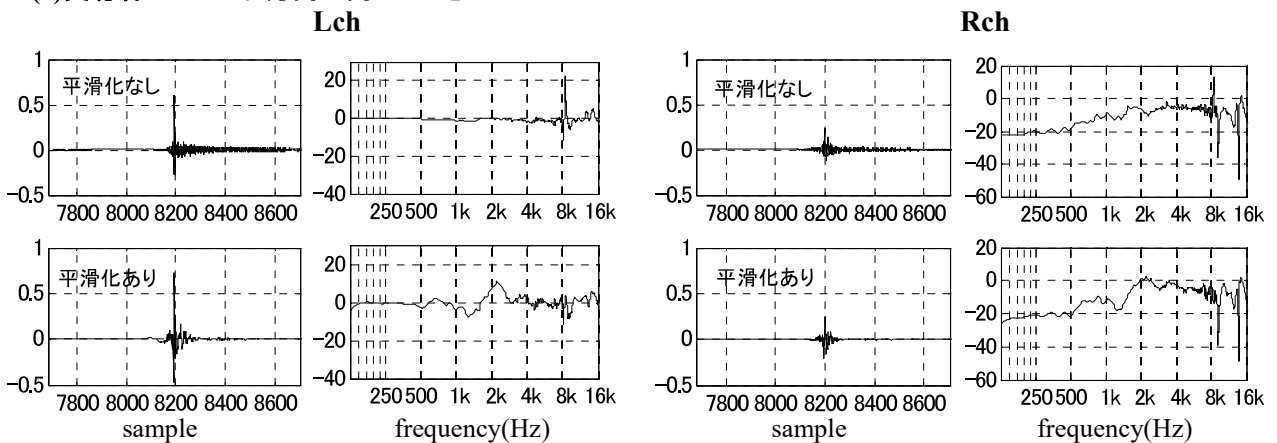


Fig. 2 Received binaural signals and their frequency characteristics through inverse filters for an impulsive input signal, when the listener faces the direction to right by 0, 10 and 20 degree.

マイクロホロー陰極放電の電圧電流特性

(電気情報工学科)山崎勉

Current-voltage Characteristics of a Micro-hollow Cathode Discharge

(Department of electrical engineering and information science) Tsutomu YAMASAKI

Abstract

Experimental results on the current-voltage characteristics of a micro-hollow cathode discharge in wide range of helium gas pressure, 1 – 120 kPa are presented. Using a metal insulator metal sandwiched electrode system with a hole of 0.5 mm in diameter. Obtained relations between reduced current and sustaining voltage were in good agreement with Townsend similarity law. In the case of large ratio of the cathode length to its diameter, hollow cathode effect appeared at low pressures.

Key Words: micro-hollow cathode discharge, current voltage characteristics, similarity law, helium

マイクロホロー陰極放電、電圧電流特性、相似則、ヘリウム

1. 前書

マイクロホロー陰極放電は大気圧近くの高い圧力で使用できることから気体の改質や浄化などの分野での応用をめざした研究開発が進められている。非平衡プラズマの特性を利用してグロー放電が利用され、気体処理に使用する機器の使用環境条件や反応に使用する電極系の構造は放電特性に影響する。広い気圧範囲でその電圧電流特性を知ることは放電機器の設計に重要である。数 kPa 以下の低気圧ではグロー放電として放電容器内にほぼ様なプラズマが得られるが、大気圧近辺ではアーク放電やコロナ放電となることが実験結果として報告されている。それらの中間の気圧範囲における放電特性はほとんど報告されていない。そこで、放電開始電圧と気圧の関係は前回報告した¹⁾。ヘリウムは低気圧から大気圧以上の範囲で様なグロー放電が得られる気体として知られていることから、広い気圧範囲で放電特性を測定するに適した気体である。今回は、放電維持電圧と放電電流の関係を 1~120 kPa の範囲で測定した結果を報告する。相似則を適用して、維持電圧と換算電流の関係として表されることを示し、ヘリウムに水素および水を数%混合した場合につ

いて比較し、その相違点を実験により示した。

2. 実験装置

安定な高気圧放電を実現するのに適した電極として知られているマイクロホロー陰極を使用して実験した。すなわち、電極は二枚の黄銅板(厚さ 3 mm)間に絶縁用セラミック(厚さ 1 mm)を挟んだ三層重ねの構造で、その板面に垂直に直径 $D=0.5$ mm 穴を貫通させて作った円筒形ホロー電極である。この電極を真空排気装置の中央部に取り付けホロー陰極・陽極内のみを少量の気体(気体流量 0.8L/min 以下)が流れるようにした。

3. 相似則

平行平板電極を用いたグロー放電では、放電維持電圧が換算電流密度 J/p^2 と pd 積の関数として一つの曲線として定まる(パッシェンの法則)ことが知られている。すなわち電圧 V は pd 積と換算電流密度の関数として $V(pd, J/p^2)$ の関係で表

される相似則(Townsend similarity)に従うとされた。ここで p は気圧、 d は陰極降下幅である。電極間隔が小さいホロー陰極放電のように陽光柱のないグロー放電では、負グローの電界強度が小さくその電圧降下も無視できるため放電維持電圧は陰極降下(電圧)に等しい。しかしながら、ホロー陰極グロー放電の場合はこの関係の修正が必要とされ、ホロー陰極直径 D に対し放電電圧 $V(pd, I/p)$ という White-Allis の相似則に従うとされた²⁾。ただしホロー陰極効果が現れている場合のみに適用され、希ガスの場合 $pD=0.1-10$ Torr cm の範囲であるとされている。今回の実験条件は電極(直径)寸法 $D=0.05$ cm では気圧範囲 $p=0.015-1.5$ kPa でホロー陰極効果が現れると予想される。

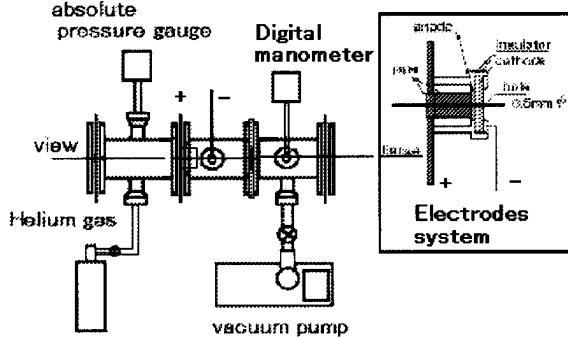


Figure 1 Experimental apparatus

図1 実験装置 排気装置 電極構造

4. 実験結果と検討

4.1 陰極長ささとホロー陰極効果

ヘリウムホロー陰極グロー放電の電圧電流特性の測定の一例として、ホロー陰極の直径と長さがともに 0.5 mm の場合について図 2 に示す。低気圧 (2.6 kPa) では放電発光は陰極容器内全体が弱く発光し高い維持電圧 700 V を示し、ホロー陰極内に陰極降下領域は生成されていない。

この pre-discharge は、電流が増しホロー陰極内に空間電荷が蓄えられると陰極内が強く発光する放電が観測され、ホロー陰極放電となる。以下は主としてこの放電状態を測定対象とした。

42 kPa 以下の低気圧側では放電電流の増加に対し電圧も単調に増加した。20 mA から 30 mA まででは電圧は電流増加とともに増加し、その後減少に転じた。その変化は気圧が

高い方がより大きな電流値で生じた。

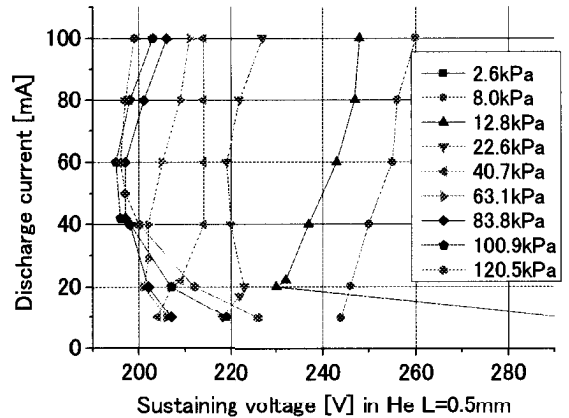


Figure 2 Current-voltage characteristic of micro hollow cathode discharge, cathode diameter $D=0.05$ cm.

図2 電圧電流特性の測定結果の一例

次に 63 kPa 以上の高気圧側では放電直後から電流が増加すると維持電圧は低下し、電圧最小値を示した後に増加に転じた。各曲線はいくつか交差しているためその変化が分かり難いので以下では相似則を適用し整理し直す。

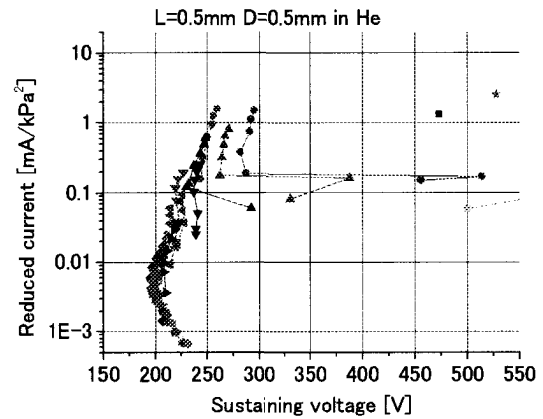


Figure 3 Reduced current as a function of sustaining voltage in the case of the cathode length $L=0.05$ cm and diameter $D=0.05$ cm.

図3 換算電流と維持電圧の関係 $V(pd, I/p^2)$

図3~図6は、前述の結果を放電維持電圧 V と換算電流 I/p^2 の関係として異なる陰極長さ $L=0.5$ mm, 1 mm, 2 mm, 3.0 mm の場合について示している。ホロー陰極直径はすべて同じ、 $D=0.5$ mm である。電流を 10 mA から 100 mA まで増加したときの換算電流が示してあり、同じ気圧の測定値は線で接

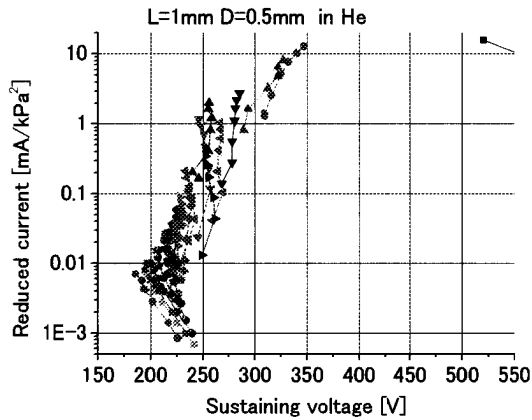


Figure 4 Reduced current as a function of sustaining voltage, $L=0.1$ cm and $D=0.05$ cm.

図4 換算電流と維持電圧の関係 $V(pd, I/p^2)$

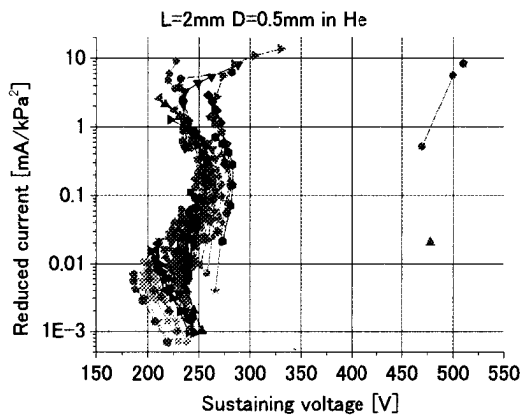


Figure 5 Reduced current as a function of sustaining voltage, $L=0.2$ cm and $D=0.05$ cm.

図5 換算電流と維持電圧の関係 $V(pd, I/p^2)$

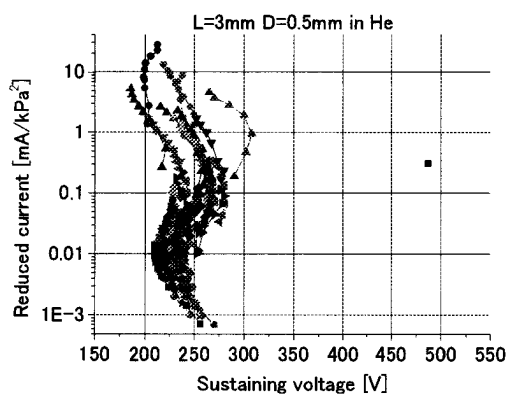


Figure 6 Reduced current as a function of sustaining voltage, $L=0.2$ cm and $D=0.05$ cm.

図6 換算電流と維持電圧の関係 $V(pd, I/p^2)$

続されている。電流の測定範囲が各気圧で同じなので高い気圧の換算電流値は小さく図の下側に、気圧が低い方は大きな換算電流値となり図の上側に現れている。 $L=0.5$ mm および 1 mm の場合、維持電圧は $I/p^2=0.006$ mA/kPa² 近傍で最小値電圧約 200 V を示した後、換算電流の増加とともに単調に増加している。この高気圧で低い維持電圧は正規グロー放電の陰極降下領域から陽極にいたる放電路の電気抵抗が最も低下し電圧が低く表れたと推定される。この傾向はいずれの長さの陰極でもほぼ同じ位置に現れていることから同じ原因によると考えられる。Pre-discharge の点は曲線から大きくはずれたところに現れている。 $L=2$ mm, 3mm の長い陰極 ($L/D=3$ 以上) では、気圧が低い大きな換算電流のところでも低い電圧が観測された。陰極長さ 3 mm の場合、低気圧 $I/p^2=6$ mA/kPa² と高気圧 0.01 mA/kPa² の近傍で低い電圧が現れた。低気圧側の電圧低下はホロー陰極効果によると推定される。短い陰極の場合にも低気圧で負グロープラズマがホロー陰極内で合体しホロー陰極効果が現れると推定されるが、 L/D が小さく陰極端からのプラズマ損失が大きくなり陰極外に負グローが広がったためホロー陰極効果は観測されなかった。すなわち、維持電圧の低下、電流密度の増加などの特徴変化は現れなかった。

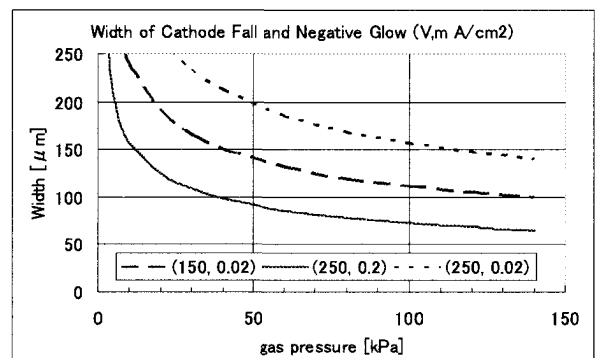


Figure 7 Calculated width of cathode fall region including negative glow as a function of gas pressure.

図7 陰極降下領域の幅と放電条件(計算例)

以下ではホロー陰極効果であること検討する。

陰極降下領域を流れる電流が移動度制限電流でかつ移動度が換算電界値に依存しないとして陰極降下幅を推定し、正規グロー放電にある負グローの幅を推定して、その合計幅を気圧の関数として図7に示した。この値が陰極半径 250 μ m より小さいならば、ホロー陰極内に陰極降下領域が生成され

ホロー陰極放電が実現される。図中のカッコ内は(維持電圧 V、陰極電流密度 A/cm²)を示している。陰極電流密度 0.2 A/cm²、0.02 A/cm² とし、放電電圧が 150 V、250 V の場合について示している。正規グローの陰極降下電圧 150 V の場合(黄銅のデータは不明なので鉄陰極でみると、気体はヘリウム)、10 kPa 以上においてホロー陰極放電が成立する可能性があることが分かる(それ以下の気圧では pre-discharge)。陰極電流密度が大きくなると陰極降下幅はさらに小さくなる。また、電極や真空容器から出る不純物のため放電維持電圧は高くなりその幅は大きくなる。

4.2 陰極降下領域と負グローの幅

陰極降下領域の電流密度 j は、移動度制限電流モデルにより計算した³⁾。

$$j = \frac{9\epsilon_0}{8} \mu_{ion} \frac{V^2}{d_{CF}^3} \quad (\text{弱い電界の場合})、$$

V と d_{CF} は陰極降下の電圧と幅、ヘリウムイオン He⁺ の He 内での移動度は実験式 $\mu_{ion} = 9,200 [\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}]$ (0° C、1Torr) を利用し、換算電界依存性は無視した³⁾。

正規グロー放電における負グローの厚さ d_{NG} は次の式で計算した³⁾。その大きさは 2kPa で数十 μm 、気圧の増加とともに減少し陰極降下幅に対し無視できるくらい薄くなった。

$$pd_{NG} = \frac{2.06 \times 10^5 \times \lambda_{eo} d_{eo} (j/p^2)}{V_c \sqrt{U_{eo} f}}$$

ここで、 $\lambda_{eo} = 770 \times 10^{-6} \text{ m}$ と d_{eo} は 1 Torr における電子の平均自由行程と陰極暗部長、 V_c は陰極降下電圧、 $U_{eo} = 175 \text{ eV}$ は負グローに突入する電子の初期エネルギー理論計算⁴⁾、 f は電子の衝突エネルギー損失係数で最小値 = $2 \times (\text{電子質量})/(\text{He 原子質量}) = 2.74 \times 10^{-4}$ から最大約 0.1544 の値となる。 j/p^2 は換算電流密度である。

4.3 発光スペクトルの気圧依存性

長さ $L = 3 \text{ mm}$ の陰極を用い放電電流 60 mA における発光スペクトル分布(波長領域 468 nm ~ 505 nm で観測された 8 本、468.1 nm ZnI, 468.6 nm HeII, 471.4 nm HeI, 481.1 nm ZnI, 486.1 nm H β , 492.1 nm HeI, 501.6 nm H γ , 504.8 nm HeI 右下の図に波長を示した)を 4.4 kPa, 9.5 kPa, 20.3 kPa, 40.7 kPa, 60 kPa の気圧に対する測定結果を図 8 に示す。測定は放電の陰極軸方向かきの発光を分光器に導き、線スペクトルの中心波

長から $\pm 0.05 \text{ nm}$ の範囲を記録した。図の縦軸は同じ線形感度で表してある。ヘリウム中性原子 HeI の発光線に加え、弱いながら放電気体のイオン線 HeII や陰極構成原子のスペクトル線 ZnI が現れている。9.5 kPa のとき発光強度が最も強くホロー陰極放電特有のイオン線や金属発光線がもっとも強く現れた。この気圧より高くても低くてもともに発光強度は低下した。

以上のように陰極降下幅と発光スペクトル強度の比較結果より 10 kPa 近傍の低気圧領域で現れた低い電圧はホロー陰極効果であることが確認できる。

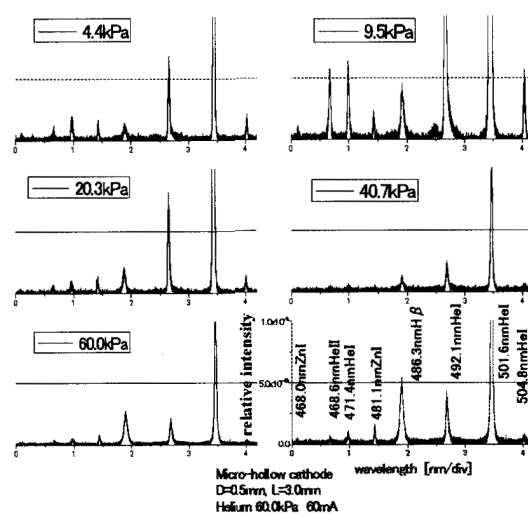


Figure 8 Relative intensities of spectral lines in the wavelength range of 468- 505 nm at various pressures.

図 8 発光スペクトル分布

4.4 ヘリウムに少量注入した水素または水の効果

維持電圧 V と換算電流 I/p^2 の関係をヘリウムに少量注入した気体(水素 1% および水数約 2.3%)について比較する。ただし、陰極直径 $D = 0.5 \text{ mm}$ 、長さは $L = 3.0 \text{ mm}$ とした。

水素混合ヘリウムでは、高気圧側 $I/p^2 = 0.01 \text{ mA/kPa}^2$ 近傍でヘリウムのみの場合とほぼ同じ低い電圧を示し、低気圧側では電圧は単調に増加し、ホロー陰極効果は見られない。ヘリウム中の水素イオンの移動度はヘリウムイオンの倍以上あり⁵⁾、プラズマ損失が大きくなるためホロー陰極効果が現れなかったと推定される。

水混合ヘリウムでは維持電圧は他の気体の場合と比べほ

ば 100 V 以上の大きな電圧を示し、換算電流 6 mA/kPa^2 と 0.03 mA/kPa^2 近傍で低い電圧を示している。二つの低い維持電圧の出現はヘリウムの場合と同様、ホロー陰極効果と放電抵抗の低下と考えられる。全域において電圧が高くなった理由は、水の電子付着により自由電子が減少し電離や励起が起こりにくくなり、それを補うため維持電圧が増加し電離を促進させ電子電流を維持したためと考えられる。なお、換算電流が小さい領域で、電流が増すと維持電圧が 250 V 以下に減少した。これは電極表面の水が影響したため沿面放電となったかまたはアーク放電に遷移したと推定される。

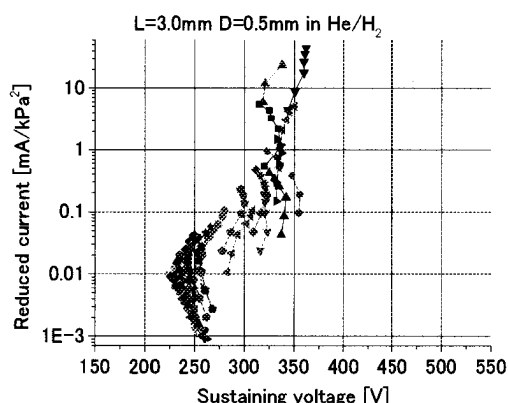


Figure 9 Reduced current as a function of sustaining voltage in helium and 1%-hydrogen mixture, $L=0.3 \text{ cm}$.

図 9 水素 (1%) が混合されたヘリウム気体の維持電圧と換算電流の関係

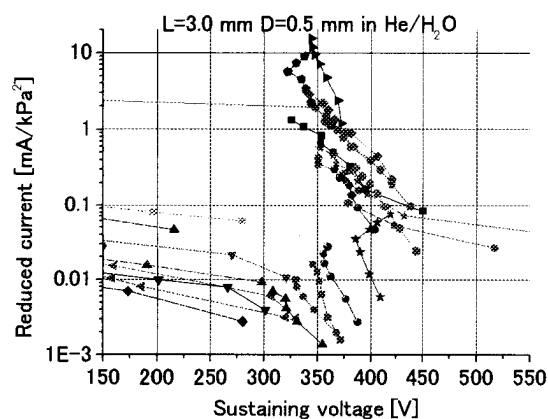


Figure 10 Reduced current as a function of sustaining voltage in helium and 2.3%-water mixture, $L=0.3 \text{ cm}$.

図 10 水 (2.3%以下) が混合されたヘリウムの維持電圧と換算電流の関係

ヘリウムに他の気体を少量混合する場合、混合した気体の電離電圧はヘリウムの第一励起電圧 (準安定準位 19.8 eV, 20.6 eV) より低く放電は注入した気体の特徴が現われる。電離電圧は水素分子 15.4 eV、水 12.6 eV である。電子は電界から得たエネルギーがヘリウム第一励起電圧に達しなくても衝突して直接電離でき、そのためヘリウムと衝突して直接励起や直接電離する電子数は減少する。さらにペニング電離はヘリウム同士の衝突による電離より消費するヘリウム準安定原子の数が少ないため注入されたエネルギーの損失が少ない。また電離電圧の大きい水素のほうが水よりもペニング電離が起こりやすいため、維持電圧は水素混合ヘリウムの方がより低くなる。さらに、水への電子付着は実効電離係数を減少させるため、放電維持電圧は水素の場合よりより高くなった。

5. まとめ

直径 0.5mm のホロー陰極放電の電圧電流特性をヘリウム気圧範囲 1kPa から 120kPa で測定した。放電維持電圧を相似則 $V(pdJ/p^2)$ に従い整理し図示したところ定性的には良い一致が得られた。少量の水素や水を注入した場合には注入した気体の特性に従った同様の結果が得られた。換算電流と放電維持電圧の関係は平板電極を用いたグロー放電の特性にほぼ一致するが、陰極長さが直径に対し長い場合に低気圧ではホロー陰極効果が観測された。

参考文献

- 1) 山崎勉; 呉高専研究報告 72 号(2010) p29
- 2) D. J. Struges 他; J. Appl. Phys. 35(1964) p2887
- 3) 電気学会放電ハンドブック編集委員会; 放電ハンドブック(電気学会 昭和 53) p65,112
- 4) A. von Engel; 電離気体 (コロナ社 昭和 52) p211
- 5) J. S. Chang 他; 電離気体の原子・分子過程 (東京電機大学出版局 昭和 57 年) p293

(平成 23 年 4 月 15 日受付)

緩速ろ過池の砂層に生息するユスリカ幼虫と 随伴する細菌群集の役割

環境都市工学分野 竹内準一, 鈴藤真也

Possible Roles of Midge Larvae and the Associated Bacteria Inhabiting Slow Sand Filter Beds

(Faculty of Civil and Environmental Engineering)

Juni TAKEUCHI
Shiya SUZUTOH

Abstract

Bacteria in the gut of midge larvae (Diptera, Chironomidae) living in the uppermost layer of the beds of slow sand filters (Hirabara works, Kure, Hiroshima) were isolated and characterized by their hydrolysis enzymatic activities against starch, casein and tributyrin, as compared with two other samples such as the surrounding sand beds and overlying water. Higher frequency (about 80%) of the isolates from the sand bed had hydrolytic activities against the substrates. This suggests that the midge larvae constantly produce faecal pellets which contain a number of bacteria having hydrolytic enzymes as a result of their grazing and excreting behaviours. Lower frequency of those from the gut may be due to difficulty in culturing strictly anaerobes. The midge larvae and their faecal pellets are not accepted as unhygienic but beneficial factor, thus conditioning the sand beds to supply us with safe and more natural-tasty drinking water.

Key Words: gut flora, internal colonizers, faecal pellets, UV-irradiation, hydrolyses
腸内細菌相, 内在菌, 糞塊 紫外線照射 加水分解

1 はじめに-問題の所在および研究の現状

緩速ろ過池は、水を湛えただけのプールのような外観を持ち、急速ろ過池のような電機設備を伴わない。しかも、水面には藻が生えていることが普通で、時にアメンボやユスリカのような水生昆虫が泳いでいたり、脱皮殻が水面に浮かんでいたりするのを見ると、飲み水を作る工場としては非衛生との誤解を抱くのも無理はない。顕微鏡で覗くと、おびただしい数の微小動物がうごめく場である。

しかし、生き物が自由に生息できる水環境は、薬剤の使用がないことの証拠であり、同じ生物である人間の飲用する原水（原材料となる水の意）としては問題がないことの担保であるとも言えよう。

本研究では、緩速ろ過池の砂層表面に常在しているユスリカ幼虫の消化管に生息する細菌群集を選択的に分離し、それらの分離菌株が持つ代表的な有機基質（炭水化物、タンパク質、脂質）に対する加水分解活性を試験することを通じて幼虫の消化管内容物および糞塊 (faecal pellet) が持つ衛生工学的な意義を評価することを試みた。一見、非衛生的であるかに見える緩速ろ過池に対する誤解が幾分でも払拭できたなら幸いである。

なお、緩速ろ過法は急速ろ過法より歴史が古く、1804年に英国・スコットランドでプロトタイプが試作され、1829年にロンドンで改良され現行の下降流方式が確立した¹⁾。したがって、その有効性は周知されていたが、微生物生態学などの周辺科学の発達が乏しくその浄化のメカニズムが深く理解されていた訳ではなかった。この傾向は、今でも基本的には変わっていない。

大まかには緩速ろ過法は英国で、急速ろ過法は米国で主流である。わが国でも、戦前は英国にならって緩速ろ過法が、戦後は占領政策の下、かつ水需要増と相まって米国式の急速ろ過が主流に転じた。

緩速ろ過池の研究は、1953年から大阪市水道局の近藤正義ら²⁾によって体系的に進められたが、30年間の空白期間があり、1984年以降、信州大学の中本信忠ら³⁾によって再び研究が着手された。しかし、その対象となる生物群集には優先順位があり、一次生産者である糸状藻類、次いで同じ信州大学の平林公男ら⁴⁾による消費者である底生動物に限られた。第3の生物群集であるべき分解者である細菌群集の研究は遅れており、緩速ろ過池から分離された細菌のDNA塩基配列データは世界的にも皆無である(2011年3月現在)。

2 材料と方法

2.1 調査場所 (平原浄水場)

広島県呉市平原町の高台に立地する、大正6年12月に完成した41,000m³/日の浄水能力を有する浄水場であるが、急速ろ過施設も併設している。貯水池を水源とする緩速ろ過池である (図1)。



図1 平原浄水場の緩速ろ過池 (手前) と管理棟 (奥)

2.2 研究方法

(1) 試料採取

砂面の定期的な漉き取り作業 (図2) のある日に水を抜いた砂層へ降り、ステンレス製のスパチュラ (薬サジ) で表面の藻類被膜を砂層 (約5mm) ごと採取し (図3), 保冷库 (約5℃) へ保管した。



図2 緩速ろ過池の砂層の漉き取り作業の光景



図3 表面の藻類被膜を採取後の砂層の状態

(2) 試料調製

採取した試料の一部をバットに分取し、脱塩 (汲み置き) 水道水を加えると、間隙に隠れていたユスリカ (chironomids) 幼虫が泳ぎ出すのでそれを微生物ピンセット (離社社, 東京) で1匹ずつ摘み出す (sorting) 作業をする。この特殊なピンセットは、虫体を摘んでも傷つける心配はない。なお、作業は20倍固定の携帯用・双眼実体顕微鏡 (TW-100, レイマー顕微鏡, 大阪) 下にて行った。

なお、写真撮影は、ズーム実体顕微鏡 (SW-700TD, 同社, 大阪) にカメラ (EOS Kiss DigitalX, キヤノン, 東京) を撮影用鏡筒に接続し自動露出で撮影 (データ保存) した。

(3) 紫外線殺菌と虫体の磨り潰し

ピペットを用いて脱塩水道水で数回洗浄した虫体を石英ガラス製の三角フラスコへ入れ、スターラーで攪拌しながら約5分間、紫外線殺菌灯から約60cm離れた位置で紫外線を照射した (図4)。

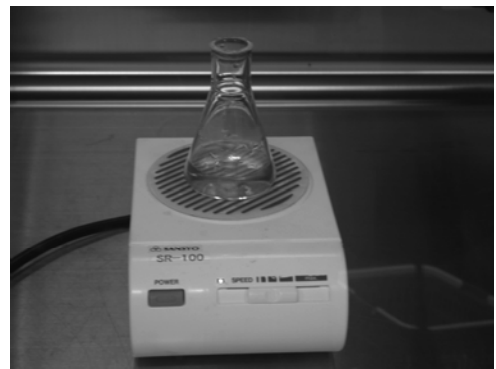


図4 攪拌しながら紫外線を照射

紫外線照射後の虫体を取り出し、エッペンドルフ・チューブ (1.5mL) へ移し、ハンディーミキサー (ケニス社, 大阪) で虫体を丸ごと試料がほぼ均質になるまで粉碎し (図5), 消化管内に生息する細菌 (gut flora) の分離用試料とした。



図5 ユスリカ幼虫を粉碎中

単独で分散または表面に存在している細菌の細胞は高々2分間程度の紫外線照射で死滅することが確認されている⁵⁾。しかし、紫外線照射による殺菌では、可視光に当たると復活する光回復現象(photo reactivation)が知られているため、以下の操作では試料を暗所に保管するなどして可視光に極力、当たらないようにした。

比較のための試料は、虫体を採取したのと同じ試料から分取し、ユスリカ幼虫を含まない砂を濁りがなくなるまで脱塩素水道水でdecantationを繰り返して洗浄後、1分間だけ超音波で砂の表面に付着した細菌を分散させて得た試料(granule-attached bacteria)および暖速ろ過池の表層水(overlying water)を用いた。

(4) 好気性従属栄養細菌の培養

上記2種類(消化管内容物および砂粒付着物)の懸濁液試料と水試料を10倍希釈してR2A寒天培地(ダイゴ, 日本製薬, 東京)平板に塗抹し、室温で2週間ほど培養した。

(5) 細菌の分離と類型化

上記のR2A寒天培地上に形成された単独コロニーを各試料から50株ずつ滅菌した爪楊枝でランダムに釣菌し、R2A液体培地中に無菌的に爪楊枝ごと入れ、細菌懸濁液を得た。全150菌株は、数日間の培養後、培地の混濁の有無を持って増殖の有無を判定した。

次に、以下の手順で3種類の有機性基質(デンプン, カゼイン, トリブチリン)の加水分解酵素活性の度合いを検査した(図6)。ここで用いた3種類の基質, デンプン, カゼイン, トリブチリンは各々, 炭水化物, タンパク質, 脂質のモデル基質である⁶⁾。

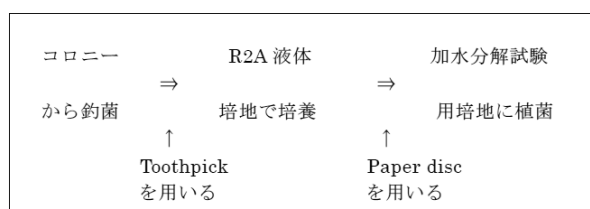


図6 細菌の分離から類型化までのフロー

R2A基礎培地(上層)へ重層した各基質の添加量は、炭水化物のデンプンは可溶性でんぷん(和光純薬, 大阪)を0.2%, タンパク質のカゼインはスキムミルク(Difco社製, 米国)を1%, さらに脂質のトリブチリン(和光純薬, 大阪)を0.5%とした。

加水分解試験用の寒天培地表面にろ紙ディスクを無菌的に貼り付け、そこへEOG(エチレンオキサライド)ガス滅菌済みのポリエチレン製ピペットで植菌した。

加水分解活性の試験は、5日間培養後に分解斑の幅から6段階に目視で判定した。デンプン分解のみはルゴール液(市販品)を平板に流し込んだ後、ヨード・でんぷん反応で可視化した。

なお、今回は通常の細菌検査で実施するような画線培養を繰り返す操作を加えていないが、単独コロニーを選択したこと、加水分解活性のスクリーニングが主眼であり、分離菌株の同定を目的とする研究でないことから、実験操作を簡略化した。

3 結果

3.1 加水分解活性の判定

(1) デンプン(炭水化物)

デンプンは、一次生産者である微細藻類や高等植物が光合成産物として生成したグルコースから貯蔵物質として転換する。暖速ろ過池では藻類が繁殖(内部生産)したり、外部(水源または池周辺部)から落葉がもたらされる(外部移入)ことがあり、暖速ろ過池の底である砂層の表面に沈積して分解対象となる。

絶対量としては、藻類や植物の細胞壁を構成するセルロース(繊維素)の方が遥かに多量に供給される炭水化物であることは間違いないが、ここでは試験操作が簡便であることからデンプンを炭水化物のモデル基質とした。デンプンはアミラーゼ, セルロースはセルラーゼが、それぞれ別の加水分解酵素が対応した基質に作用する。

デンプン分解の判定例を、図7に掲げる。デンプンが残留している部位でヨード・デンプン反応が生じているが、加水分解によってデンプンが糖化して消失した部位で透明斑が判別できる。

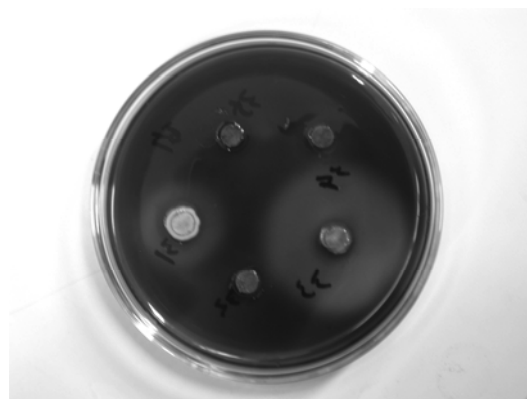


図7 分離菌株によるデンプンの加水分解

(2) カゼイン(タンパク質)

培地製材であるスキムミルクの主成分であるミルク・カゼインをタンパク質のモデル基質とした。タンパク質を加水分解するプロテアーゼ酵素を分泌する分離菌株では、コロニー周辺部がペプトン化して透明斑が生じる。図8に、代表的なプレートの写真を掲げる。タンパク質は、主に動物の筋肉などの組織を構成する成分である。

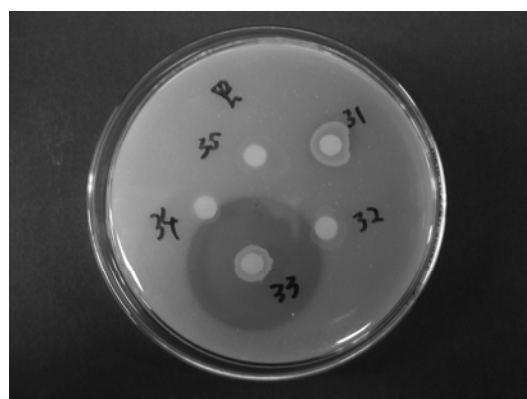


図8 分離菌株によるカゼインの加水分解

(3) トリブチリン (脂質)

自然界に存在する脂質成分はかなり多様であるが、ここでは実験操作のしやすさからトリブチリン (常温で液体) を溶解しているR2A 寒天培地の中にエマルジョン状に分散させたまま固化させ、試験に供した。リパーゼが作用すると、加水分解して分子量が小さくなりグリセリンを生じるためエマルジョンによる濁りが消失する。

その透明斑は目立たないためプレートを照明にかざすか、斜めに傾けて陽性の判定を行った。図9は、判定操作中の例である。

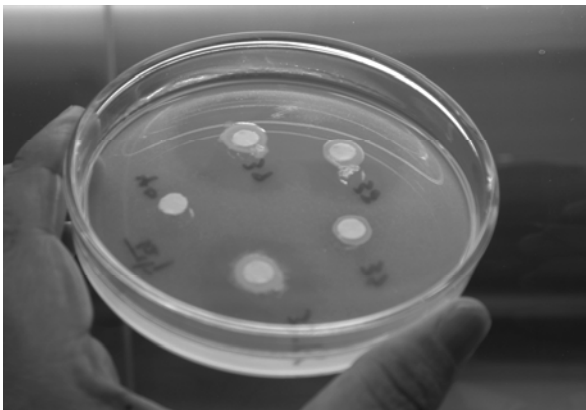


図9 分離菌株によるトリブチリンの加水分解

3. 2 加水分解活性判定結果の集計

上述のような方法で分離菌株ごとに各々の基質に対する加水分解活性の程度を記録し、その結果を試料ごとに集計した。素データは、加水分解能の大きさの程度を4段階で記録したが、最終的には分解能の有無で集計した。当初はR2A 培地で生育したもの、基質を含む平板上で生育しなくなった場合も合わせて記録した。

(1) デンプン (炭水化物)

デンプンの加水分解活性は分解活性を持つ菌株の出現率で見ると、砂粒子で最も多く (70%以上)、次いで消化管に由来する菌株 (50%程度) であった。すなわち、消化管内および周辺の砂粒子の表面から分離された菌株の半数以上にデンプンの加水分解活性を持っていたことになる。

一方、overlying water (上張水) から分離した菌株の60%弱にはデンプンに対する加水分解活性が認められなかった。また、消化管内から分離された菌株の約 20%は、デンプンを含む培地で生育しなかった。

(2) カゼイン (タンパク質)

カゼインを加水分解する菌株の出現率も、デンプンの場合と似ているが、砂粒子に由来する 80%以上の菌株で加水分解があった。また、消化管内からの分離菌株の50%強で加水分解陽性であった。さらに、水中の 60%の菌株で加水分解能を持つことが認められた。ただし、同じ水中の 30%近くの菌株でカゼインを含む培地で生育しないことも確認された。デンプン質とタンパク質とでは環境中における分布および分解特性が異なっていることが推測される。

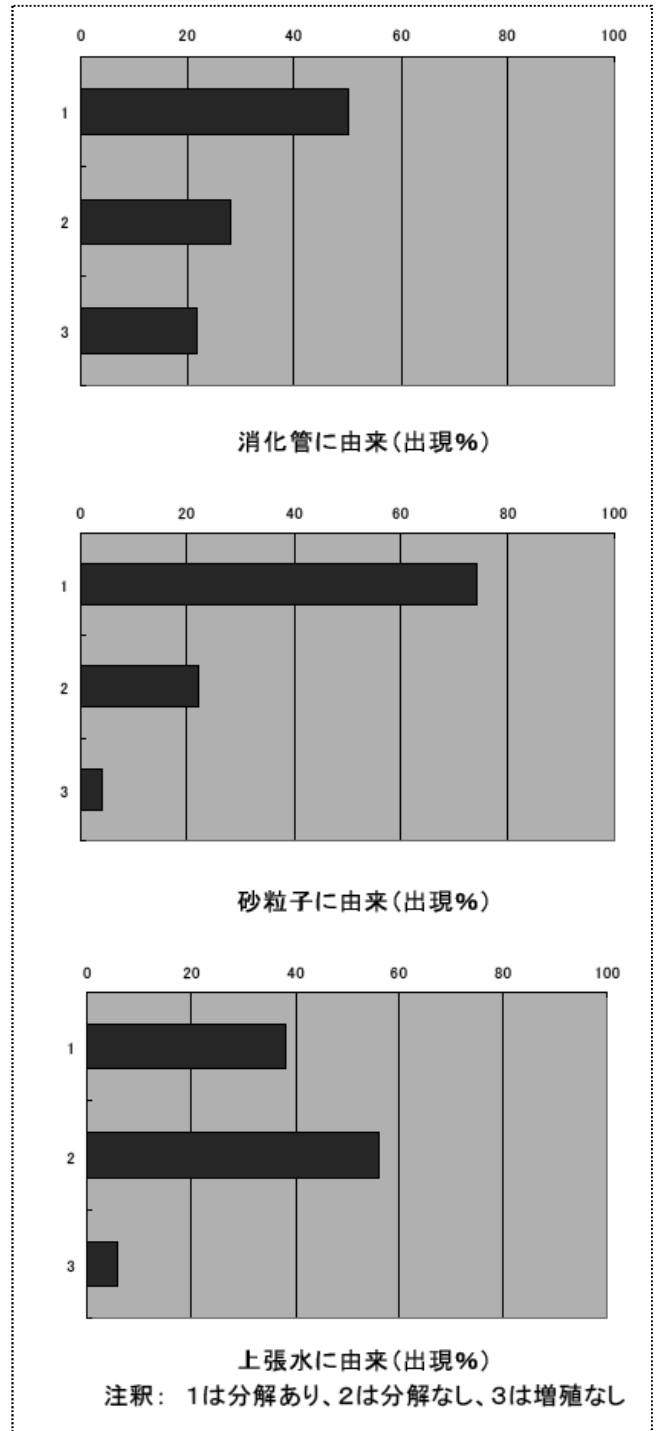


図10 デンプンを加水分解する菌株の出現頻度

(3) トリブチリン (脂質)

最後に、トリブチリンの加水分解能の分布傾向を見ると、砂粒子に由来する分離菌株の 70%以上に分解活性が認められた反面、消化管内では 30%強の菌株しか陽性を示さなかった。このことから消化管内よりも体外で脂肪分解が盛んとなることが推察される。

なお、消化管内に由来する分離菌株の 20%強がトリブチリンを含む培地上で生育しなかった。このことから、ユスリカ幼虫の消化管内では、脂肪分解が進行しにくいことが想像され、幼虫自体が脂質に富む餌を忌避しているか、もしくは砂層のような環境中が脂

質分解の場となっている可能性を示唆する。

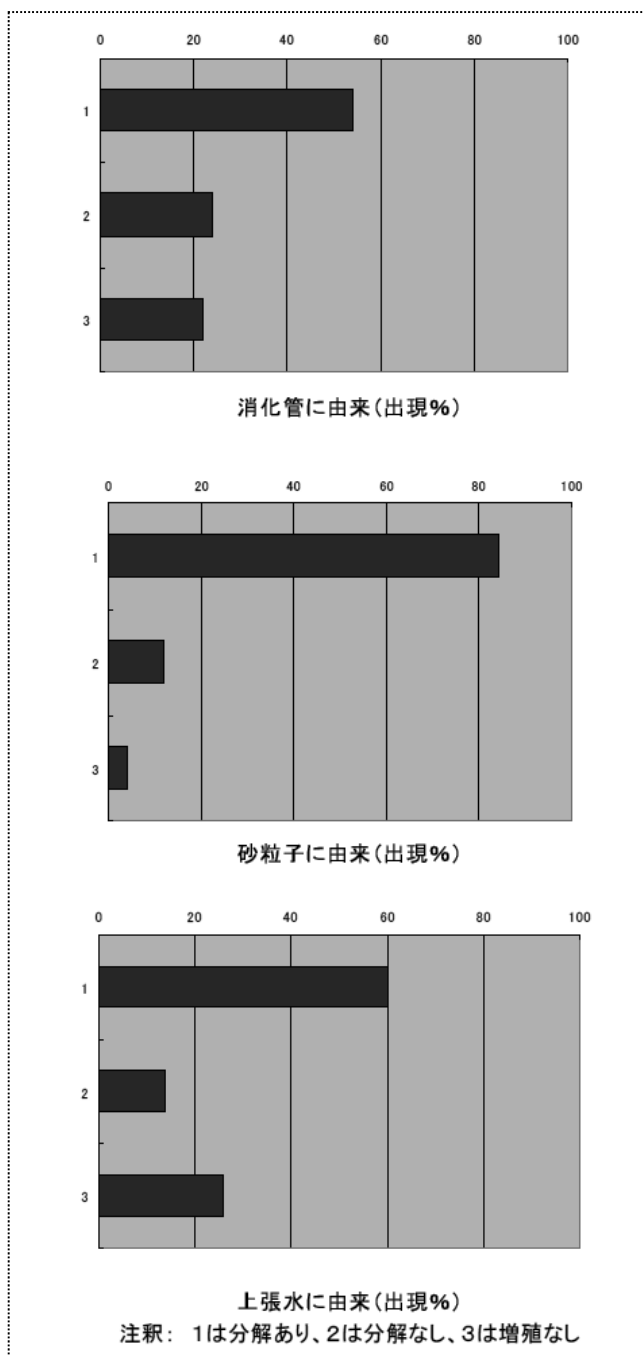


図 11 カゼインを加水分解する菌株の出現頻度

他の対象成分 (例えば、植物細胞や水生昆虫等の外骨格を形成する

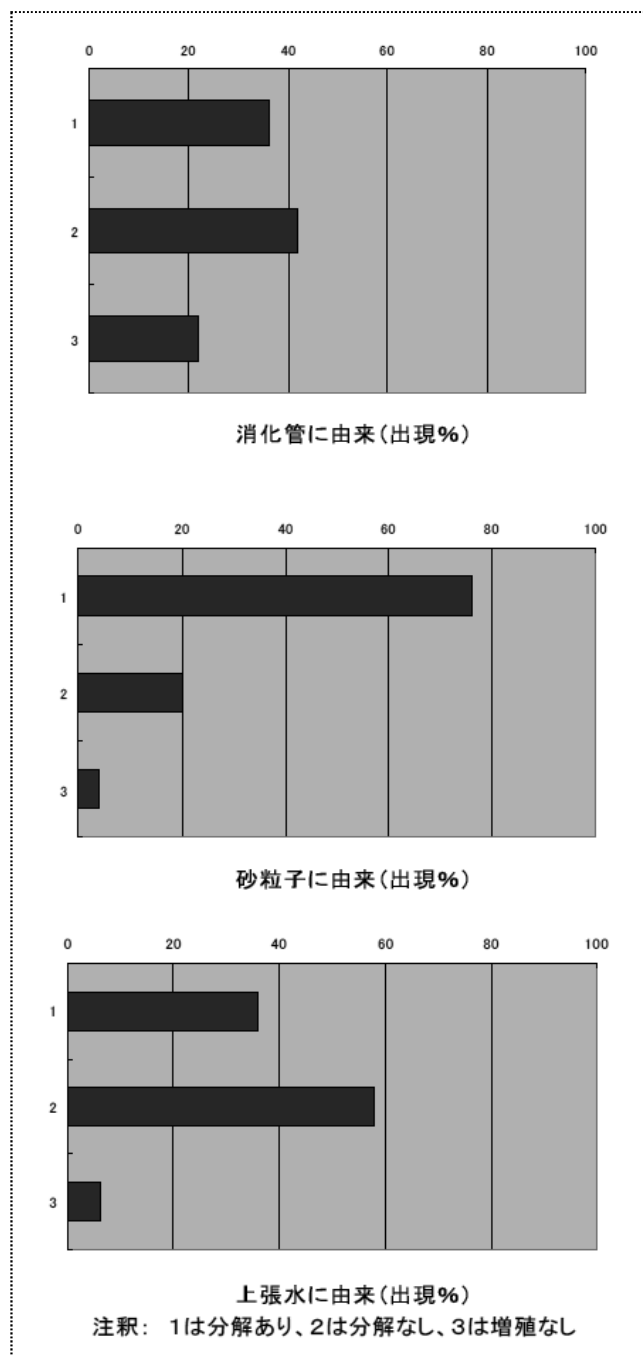


図 12 トリブチリンを加水分解する菌株の出現頻度

4 考察

暖速ろ過池の砂層に生息するユスリカ幼虫とその周辺の砂粒子、および overlying water から三大栄養素である炭水化物、タンパク質、脂質を加水分解する細菌群が存在していることが確認された。これは、暖速ろ過池の砂層上部という糸状藻類⁷⁾とその摂食者⁸⁾である各種の無脊椎動物(ユスリカ幼虫)などの生物群集が発達する部位で共存する細菌群集によってこれらの生物体を構成する有機基質が加水分解を受けていることを示唆している。今回は操作上、試験が行いやすいモデル基質を代表に実験を行ったが、おそらくは

セルロースやキチンなどに標的を変えても似たように加水分解を担う細菌が存在している⁹⁾ものと推察される(同じ浄水場から採取されたユスリカ脱皮殻からキチン分解細菌が多数、分離された¹⁰⁾)。

混合微生物群集の連続培養系である暖速ろ過池には、流入または蓄積する基質の種類に応じて、細菌群集が選択されてくる可能性がある。そこで形成される生態系で相互に共役しながら介在する物質の分解や被膜への取り込みに寄与していることは想像に難くない。

暖速ろ過池の砂層表面に形成される生物被膜には、浄水処理を行う上で有用であることが知られている。例えば、上流の貯水池で発生したアオコの毒(microcystin)¹¹⁻¹³⁾やカビ臭(geosminなど)^{14,15)}

が該当する。また、原虫の孢子^{16,17)}ほか衛生障害微生物^{18,19)}を除去するような仕組みも自動的に組み込まれている。これらの効能は、生物学的な活性がある (biologically active) 緩速ろ過だけに備わっている固有の機能で、急速ろ過法にはない優れた利点である。

5 おわりに-糞塊の新しい微生物像

紫外線による表面殺菌法で表在菌 (external colonizers) を殺菌しておき、微小動物を磨り潰して内在菌 (internal colonizers) を選択的に取り出す方法を試みた。その結果、構造が複雑な高等動物 (例えば、アリ²⁰⁾ など) と比べて消化管の構造が単純なユスリカ幼虫では、消化管内容物 (図13) と砂に付着していた糞塊由来の細菌群集の間で大きな相違点がないことが推察された。

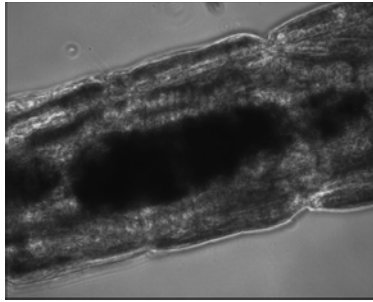


図13 消化管の内容物

動物の糞塊という、汚い印象であるが、実際には有機物分解に寄与する

加水分解酵素群を含んだ粒子を生産・放出していると見ることもできる。したがって、緩速ろ過池に生息する微小動物は、水質浄化に役立つ物質を生産する功労者として捉えた方が適切であろう。

謝辞

本研究の遂行に当っては、呉市水道局平原浄水場の岡脇和久場長ほか職員の方にお世話になりました。

参考文献

- 中本信忠, おいしい水のつくり方 生物浄化法—飲んでおいしい水道水復活のキリフダ技術, 築地書館 (東京), 2005. 8.
- 水道機工, わが国浄水技術の奇跡 (昭和戦後期~水道発展期), http://www.suiki.co.jp/hensen/jyosui_2/jyosui_42.htm
- 中本信忠, 緩速ろ過池における糸状藻類の有用性, 水道協会雑誌, **55** (3), No. 618, 19-21, 1986.
- 田川衛・野崎健太郎・坂井正・中本信忠・平林公男, 緩速ろ過池の藻類現存量変化とユスリカ幼虫量の変化, 日本陸水学会甲信越支部会報, **19**, 4-5, 1993.
- J. Takeuchi, Studies on bacteria associated with particulate matter in coastal seawater, Kochi University, 115pp, 1983.
- T. Konda and Y. Tezuka, Physiological properties of aerobic heterotrophic bacteria isolated from the water and sediment of Lake Motosu-ko, Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., **46**, 781, 1980.
- L. C. Campos, M. F. J. Su, N. J. D. Graham, S. R. Smith, Biomass development in slow sand filters, Water Res., **36**, 4543-4551, 2002.
- R. S. Wotton and K. Hirabayashi, Midge larvae (Diptera: Chironomidae) as engineers in slow sand filter beds, Water Res., **33**, 1509-1515, 1999.
- B. Hendel, J. Marxsen, D. Fiebig, G. Preuss, Extracellular enzyme activities during slow sand filtration in a water recharge plant, Water Res., **35**, 2484-2488, 2001.
- 天野沙也加, 水生昆虫の脱皮殻に付着するキチン分解細菌 (英文), 呉工業高等専門学校・環境都市工学科, 17pp. 2010.
- L. Ho, T. Meyn, A. Keegan, D. Hoefel, J. Brookes, C. P. Saint, G. Newcombe, Bacterial degradation of microcystin toxins within biologically active sand filter, Water Res., **40**, 768-774, 2006.
- D. G. Bourne, R. L. Blakeley, P. Rideles, G. J. Jones, Bio-degradation of the cyanobacterial toxin microcystin LR in natural water and biologically active slow sand filters, **40**, 1294-1302, 2006.
- L. Ho, D. Hoefel, C. P. Saint, G. Newcombe, Isolation and identification of a novel microcystin-degrading bacterium from a biological sand filter, Water Res., **41**, 4685-4695, 2007.
- B. McDowall, D. Hoefel, G. Newcombe, C. P. Saint, L. Ho, Enhancing the biofiltration of geosmin by seeding sand filter column with a consortium of geosmin-degrading bacteria, Water Res., **43**, 433-440, 2009.
- D. Hoefel, L. Ho, P. T. Monis, G. Newcombe, C. P. Aaint, Biodegradation of geosmin by a novel Gram-negative bacterium: isolation, phylogenetic characterization and degradation rate determination, Water Res., **43**, 2927-2935, 2009.
- B.-M Hsu, C. Huang, J. R. Pan, Filtration behaviors of *Giardia* and *Cryptosporidium* ionic strength and pH effects, Water Res., **35**, 3777-3782, 2001.
- W. A. M. Hijnen, Y. J. Dullemon, J. F. Schijven, A. J. Hanzens-Brouwer, M. Rosielle, G. Medema, Removal and fate of *Cryptosporidium parvum*, *Clostridium perfringens* and small-sized centric diatoms (*Stephanodiscus hantzschii*) in slow sand filters, Water Res., **41**, 2151-2162, 2007.
- M. A. Elliott, C. E. Srauber, F. Koksall, F. A. DiGiano, M. D. Sobsey, Reductions of *E. coli*, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household scale slow sand filter, Water Res., **42**, 2662-2670, 2008.
- R. Bauer, H. Dixer, I. Graeber, K.-H. Rosenwinkel, J. M. Lopez-Pila, Removal of bacterial indicators, coliphages and enteric adenoviruses from waters with high fecal pollution by slow sand filtration, Water Res., **45**, 439-452, 2011.
- M. Erthal Jr., C. R. Silva, R. M. Cooper, E. I. Samuels, Hydrolytic enzymes of leaf-cutting ant fungi, Comparative Biochem., Physiol., Part B, **152**, 54-59, 2009.

既存鉄筋コンクリート構造物のひび割れの調査

(建築学分野) 寺岡 勝

(元専攻科建設工学専攻) 谷岡 洋介, 掛 悟史

Investigation of Concrete Cracks of Existing Reinforced Concrete Structure Buildings

(Faculty of Architecture and Structural Engineering) Masaru TERAOKA

(Former Advanced Architecture and Civil Engineering Course) Yosuke TANIOKA and Satoshi KAKE

ABSTRACT

This paper describes the investigation of concrete cracks of 2 existing reinforced concrete structure buildings with each three stories, which were constructed on a soft stratum in 1965 and 1972 respectively. In this study, the self-strain stresses due to the differential settlement, concrete drying shrinkage and thermal stress were evaluated with the related the concrete crack width. Also, the concrete crack behaviors of the structural member due to variation of air temperature and relative humidity were studied. The following findings were obtained from this study:

- (1) For the concrete crack width due to self -strain stress in exiting buildings、maximum crack width to average value of crack width was scattered within the limit of 4 times.
- (2) Daily concrete crack width behavior mainly depends on air temperature with or without time lag.. But yearly concrete crack width behavior does not always depend on air temperature. Because, the structural behaviors of each member are influenced by differential restraint effect and movement of the building foundation due to thermal stress.

Keywords: Existing reinforced structure, Crack condition, Concrete crack width, Air temperature, Relative Humidity.
既存構造物, ひび割れ状態, ひび割れ幅, 気温, 相対湿度

§1 はじめに

鉄筋コンクリート構造物(以下 RC 構造物と略記)は、通常不静定構造物なので、コンクリートの乾燥収縮、温度応力および不同沈下などの自己歪応力により、部材にひび割れを生じる。RC 構造物のひび割れ問題については、戦前から今日まで連綿と検討がなされてきたが、構造物の耐久性能および構造性能に与える影響について不明な点が多々あり、データの蓄積・分析などが必要である^{1)~4)}。

本報告は、以上の状況を受け、既存 RC 構造物 2 棟について、発生したひび割れの調査を行い、ひび割れの種類および幅の分布を検討すると共に、ひび割れ幅の日間および年間の経時的挙動について検討した結果を示す。なお、本報告は建築学会大会などに報告したものを^{5)~7)}を編集したものである。

§2 対象構造物

対象構造物は以下に示す 2 棟である。A 棟は昭和 40 年 4 月に沿岸部埋立地に建設された 3 階建て RC 造であり、摩擦杭を併用したベタ基礎により支持されている。図 1 に 1 階平面を示す。

B 棟は昭和 47 年 4 月に A 棟と同じ用地に建設された 3 階建て RC 造であり、支持杭を用いた独立基礎により支持されている。図 2 に 3 階平面を示す。

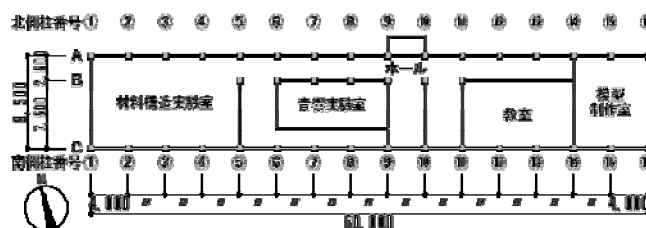


Fig.1 First floor plan of building A

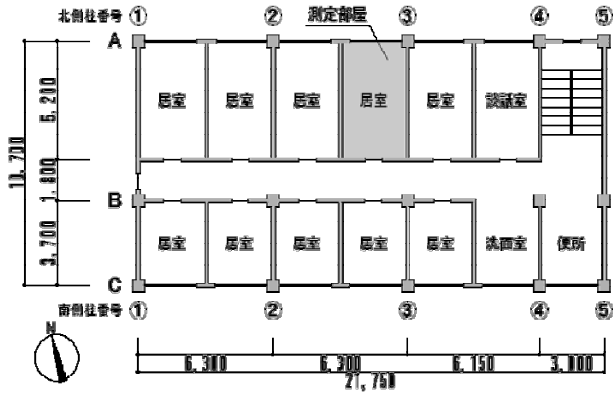
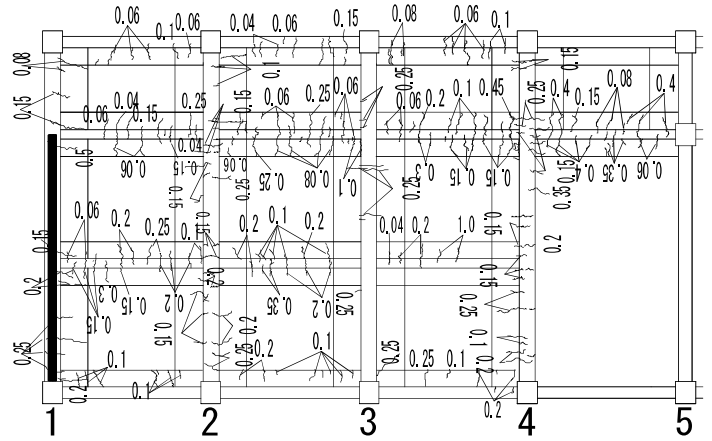


Fig.2 3rd floor plan of building B



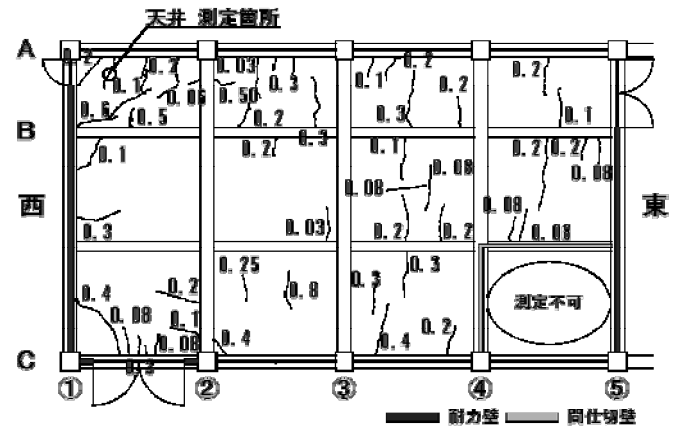
(1) Beam and sub-beam

§3 ひび割れの調査結果

3.1 ひび割れ幅の調査結果

図3, 図4に, A棟材料構造実験室内のひび割れ状況例を示す。観測は2008年5月22日に行い, 気温は21.6℃, 湿度は67%であった。柱の位置にある番号は, 柱の通し番号で, 対象構造物の西側から柱を数えた番号である。図5に示す天井面スラブ見上げのひび割れは, 主として乾燥収縮によるひび割れである。

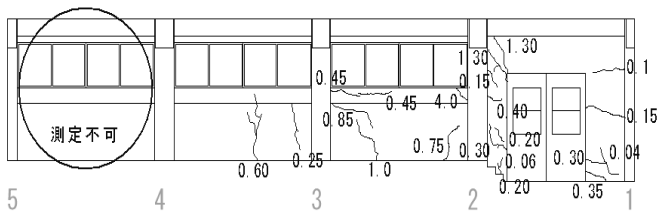
図5にB棟3階③通りの梁間方向断面およびひび割れ状況を示す。南・北側両壁面および廊下梁では乾燥収縮によるひび割れが観察された。



*図中の数値はひび割れ幅を示す

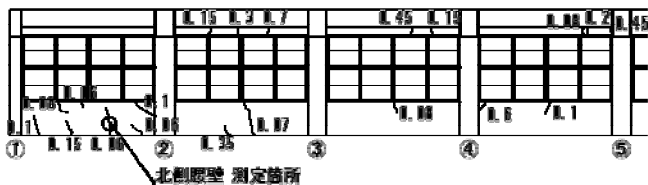
(2) Slab

Fig.4 Concrete crack conditions of material-structure laboratory of each ceiling surface in building A



*図中の数値はひび割れ幅を示す

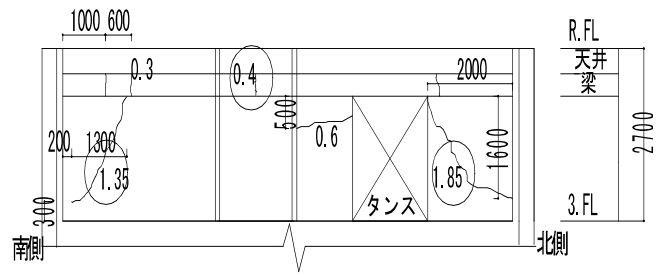
(1) South side face



*図中の数値はひび割れ幅を示す

(2) North side face

Fig.3 Concrete crack conditions of south and north side faces of material-structure laboratory in building A



○印: B棟測定位置

*図中の数値はひび割れ幅を示す

Fig.5 Concrete crack conditions of wall and beam faces in building B at 3rd floor

3.2 平均ひび割れ幅と最大ひび割れ幅との関係

図6に、構造物Aの各部材の平均ひび割れ幅を、曲げ、せん断および収縮のひび割れ種類が分かるように示した。多くの平均ひび割れは、幅が0.2mm以下であるが南壁面のせん断ひび割れおよびスラブ(南)の収縮ひび割れは幅が0.2mmより大きい。

図7~図9に、曲げ、せん断および収縮の各平均ひび割れ幅と最大ひび割れ幅との関係をそれぞれ示す。図中では、各部材について平均ひび割れ幅と最大ひび割れ幅との関係が分かるように示した。

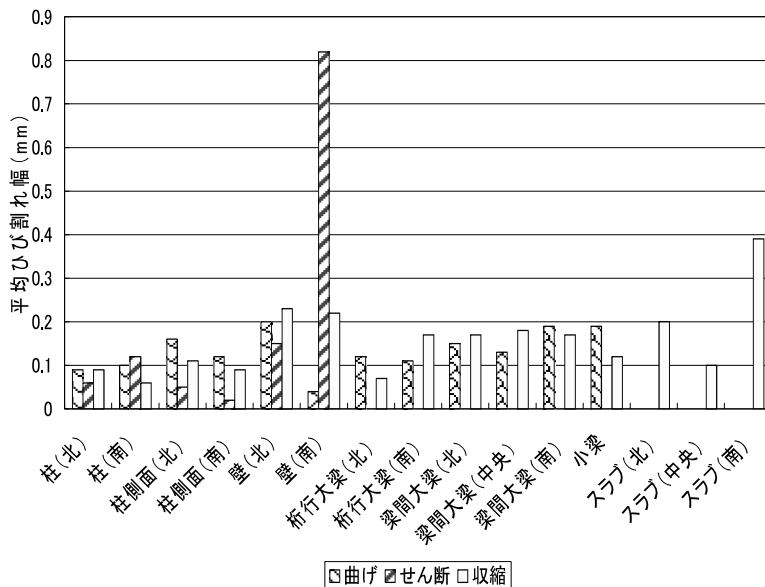


Fig.6 Average crack width of each member in building

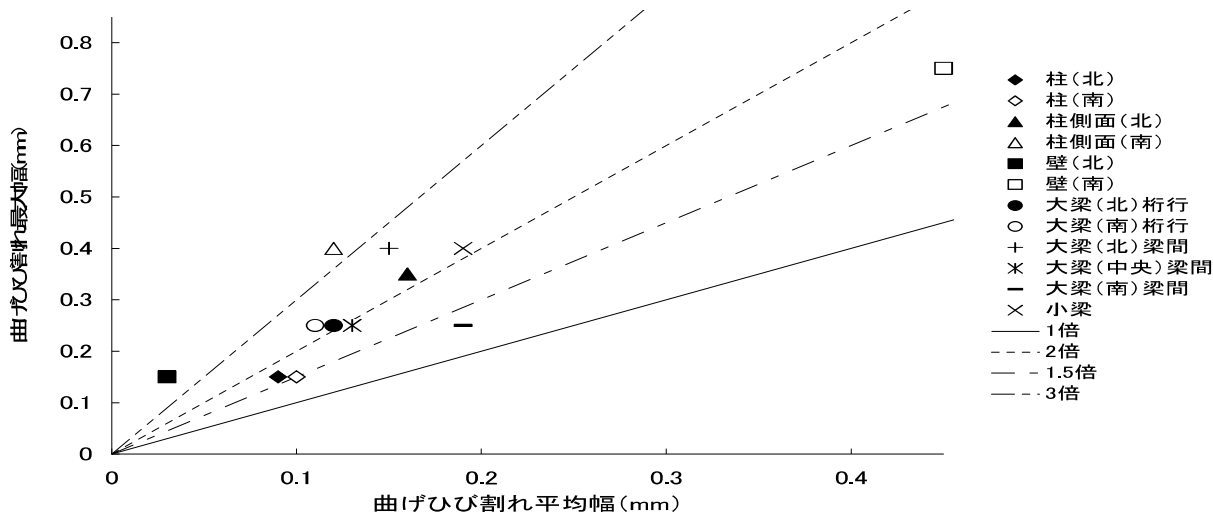


Fig.7 Relationship between average value and maximum value of flexural crack width of members in building A

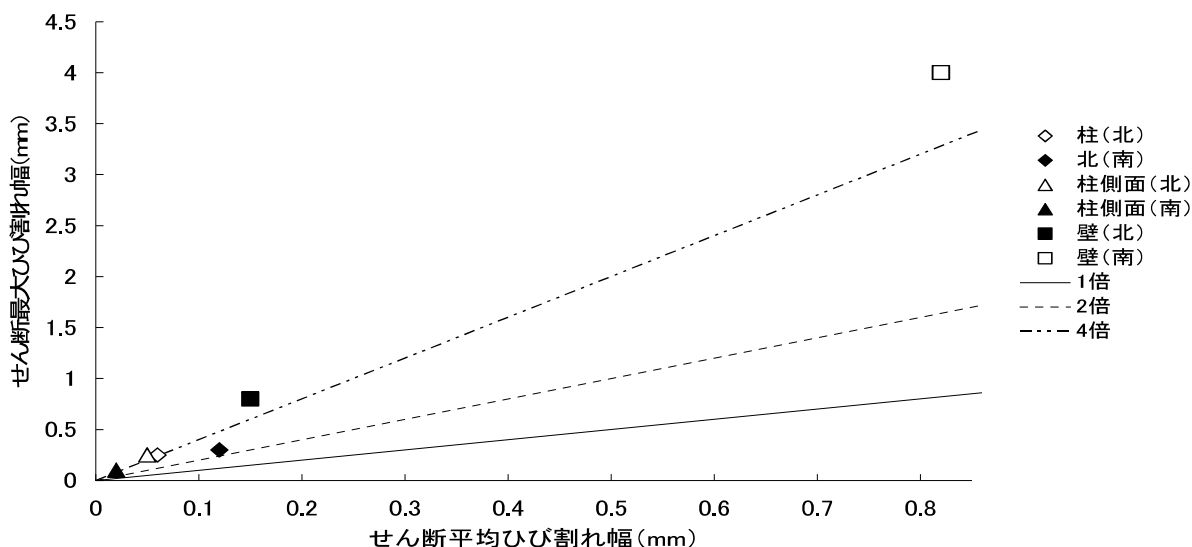


Fig.8 Relationship between average value and maximum value of shear crack width of members in building A

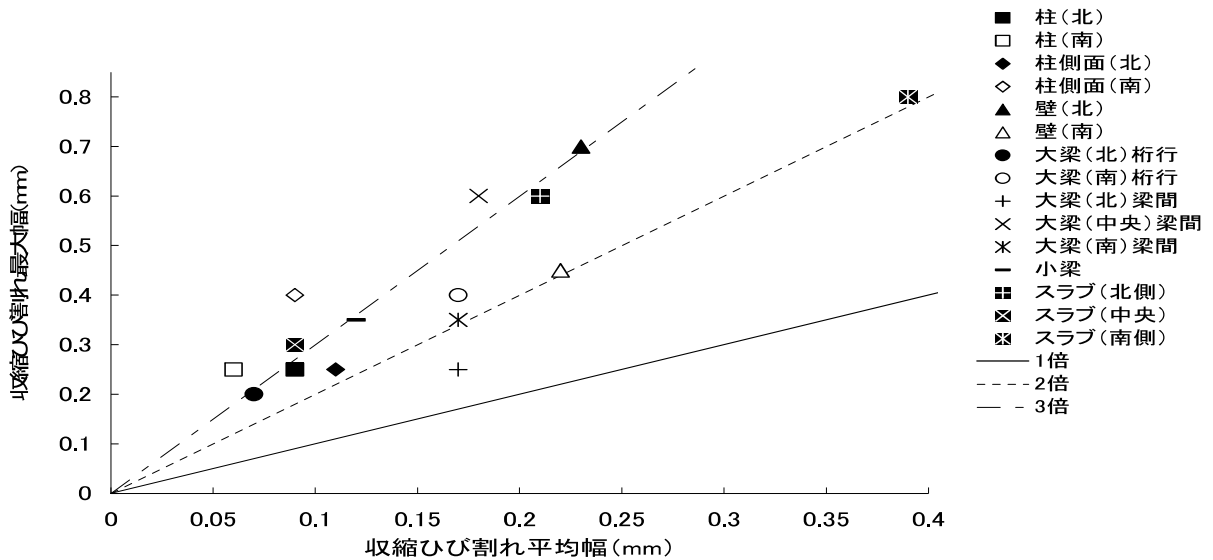


Fig.9 Relationship between average value and maximum value of shrinkage crack width of members in building A

平均曲げひび割れ幅に対する最大曲げひび割れ幅は、平均的には約2倍となり、最大で約3倍になっている。

平均せん断ひび割れ幅に対する最大せん断ひび割れ幅は、約4倍となっており、ばらつきが大きい。

平均収縮ひび割れ幅に対する最大収縮ひび割れは、2倍～4倍にあり、平均値としては約3倍になっている。

§ 4 ひび割れ幅の経時的挙動

4.1 測定対象ひび割れおよび方法

A棟に関しては、図3中に示した北側構面腰壁の収縮ひび割れおよび図4に示した天井スラブの収縮ひび割れを測定対象とした。B棟に関しては、図5中に示す南北両壁面および廊下梁の収縮ひび割れを測定対象とした。

測定方法はその幅の経時的挙動を $2000 \times 10^{-6} / \text{mm}$ 精度のパイ形変位計により測定を行った。またその付近に温度および湿度を測定するロガーを設置し、1時間毎にひび割れ幅と温・湿度を測定した。

4.2 ひび割れ幅の日較差

図10にA棟材料構造実験室北側腰壁の、図11にB棟北側壁面の夏季および冬季についての、日間のひび割れ幅と気温の関係を示す。夏季ではひび割れ幅の変動は、温度の変動に大きく依存していることがわかる。冬季では、温度とひび割れ幅の間に時間のずれが生じているが、概ね温度の変動に大きく依存していることがわかる。以上より、ひび割れ幅の変動は、温度の変動に依存しているが、その依存性状は、季節およびひび割れ測定位置で大きく異

なることが知れた。

温度の変動とひび割れ幅の変動を表1に示す。これによると、A棟・B棟の壁面における暖房使用時のひび割れ変動幅は暖房未使用時と比較して約2倍大きくなっていった。廊下の梁と壁面での測定位置で大きく異なっている。

なお、冬季暖房時では、最大温度発生時とひび割れ幅の最大変動発生時との間には大きくずれを生じ、暖房の影響が大きいことが解った⁵⁾。

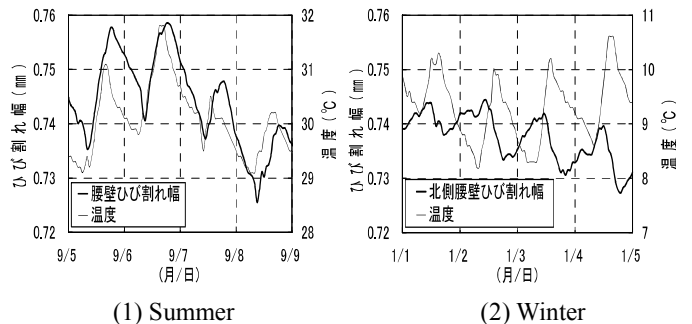


Fig.10 Movement of crack width due to variation of air temperature in building A (2008)

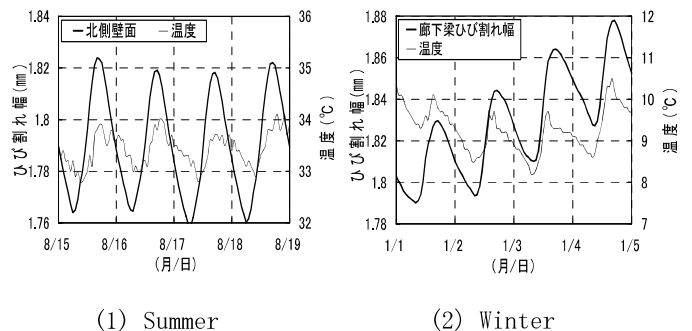


Fig.11 Movement of crack width due to variation of air temperature in building B (2008)

Table1 Relationship between maximum movement of crack width (ΔW) and variation of air temperature (ΔT)

A棟		夏季	冬季 (暖房有)	冬季 (暖房無)
天井	ΔT	2.7°C	2.4°C	4.5°C
	ΔW	0.052 mm	0.017 mm	0.029 mm
北側壁面	ΔT	2.7°C	2.4°C	4.5°C
	ΔW	0.033 mm	0.051 mm	0.025 mm

B棟		夏季	冬季(暖房有)	冬季(暖房無)
南側壁面	ΔT	1°C	—	—
	ΔW	0.067 mm	—	—
廊下梁	ΔT	2.3°C	3°C	0.5~1°C
	ΔW	0.017 mm	0.105 mm	0.013 mm
北側壁面	ΔT	1.1°C	8°C	2.5°C
	ΔW	0.06 mm	0.10 mm	0.045 mm

4.3 ひび割れ幅の年間の変化

(1) A棟北側腰壁

図 12 に材料構造実験室北側腰壁の 2008 年から 2009 年のひび割れ幅と気温の経時的変動を示し、図 13 に同ひび割れのひび割れ幅と湿度の経時的変動を示す。また図 14 に 2008 年について、1 日の中の最低気温と最小ひび割れ幅の年間の関係を示す。

図 12 から北側腰壁では、年間で概ね 0.04mm~0.06mm 程度ひび割れが変動していることがわかる。8 月の気温の極大に併せて、ひび割れ幅も極大点に達している。最小ひび割れ幅は 6 月付近および 10 月付近の中間期で現れているが、1 ヶ月単位でひび割れ幅の変動を観察すると、概ね温度変動に依存していることがわかる。図 13 から湿度については、ひび割れ幅との相関性が小さく、ひび割れ幅の変動は温度変化の依存が支配的であると考えられる。

図 1 から夏季および冬季において、最大ひび割れ幅が測定され、ひび割れ幅の測定値はある直線状に概ね分布することがわかる。また 2008 年の 1 年間について、夏季は温度上昇に伴いひび割れ幅が増大し、冬季は温度上昇に伴いひび割れ幅が減少することがわかる。これは温度応力による構造物全体の挙動の中で、部材の拘束条件が異なるためと、対象が 1 階のため基礎のスリップ^{2), 4)}によることなどが考えられる。

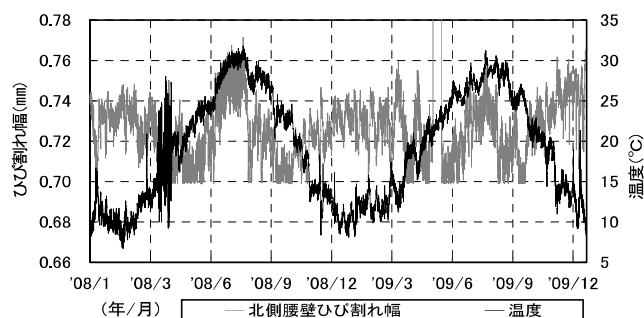


Fig.12 Movement of crack width due to variation of air temperature in north side spandrel wall of building A (2008.1~2009.12)

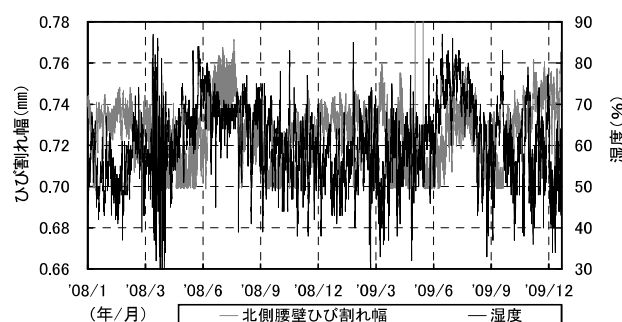


Fig.13 Movement of crack width due to variation of relative humidity in north side spandrel wall of building A (2008.1~2009.12)

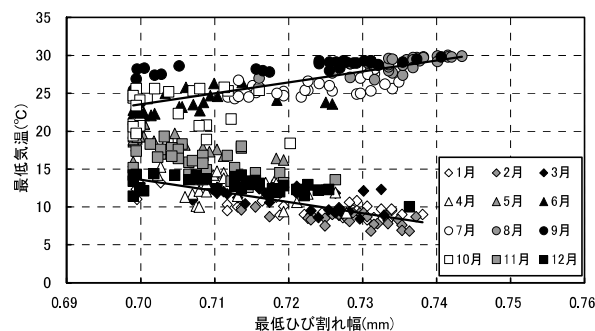


Fig.14 Relationship between daily minimum air temperature and daily minimum crack width in north side spandrel wall of building A (2008.1.1~2009.12.31)

(2) A棟天井スラブ

図 15 に天井スラブの 2008 年から 2009 年のひび割れ幅と気温の経時的変動を示し、図 16 に同ひび割れのひび割れ幅と湿度の経時的変動を示す。また図 17 に 2008 年について、1 日の最低気温と最小ひび割れ幅の年間の関係を示す。

図 15 より天井スラブでは、年間で概ね 0.15mm~0.20mm 程度ひび割れが変動していることがわかる。年間では温度変化とひび割れ幅の変動は大きな相

関性は見られないが、1カ月単位の短期間ではひび割れ幅の変動は概ね温度変動に依存していると考えられる。図16より湿度に関しては、ひび割れ幅の変動には大きな相関性は見られない。

図17より天井スラブでは、6月で最大ひび割れ幅、12月に最小ひび割れ幅が測定され、2008年の1年間について、測定値がループを描いていることがわかる。また各月の測定値はいくつかの直線状に概ね分布しており、分布直線のずれは、部材の拘束条件の変化や基礎のスリップ^{2), 4)}が要因と考えられる。また月間の変化に関しては、6月には1ヶ月間で最大約0.13mmの変動が見られた。

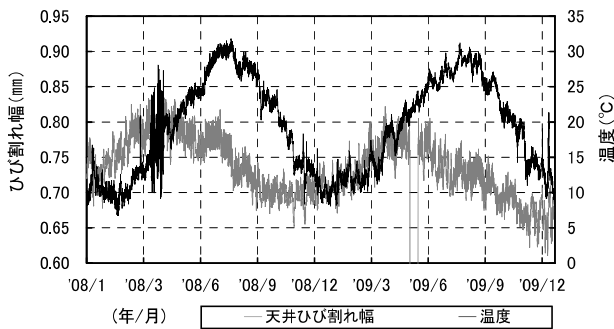


Fig.15 Movement of crack width due to variation of air temperature in ceiling slab surface of building A (2008.1~2009.12)

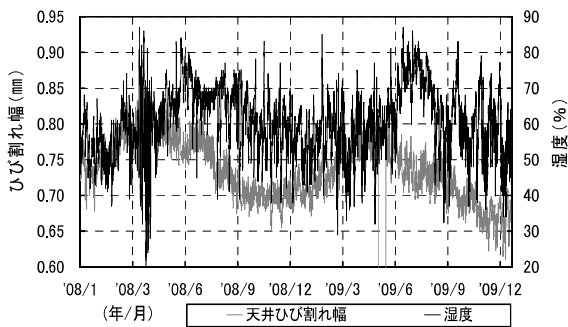


Fig.16 Movement of crack width changing due to variation of relative humidity in ceiling slab surface of building A (2008.1~2009.12)

(3) B棟北側壁面

図18に北側壁面ひび割れの2008年から2009年のひび割れ幅と気温の経時的変動を示し、図19に同ひび割れの幅と湿度の経時的変動を示す。また図20に2009年について、1日の最低気温と最小ひび割れ幅の年間の関係を示し、図21に図20の半月別詳細を示す。図中には半月の測定値の回帰直線を示す。またB棟は12月から3月にかけて暖房を使用する期間であり、12月下旬から1月上旬に限り暖

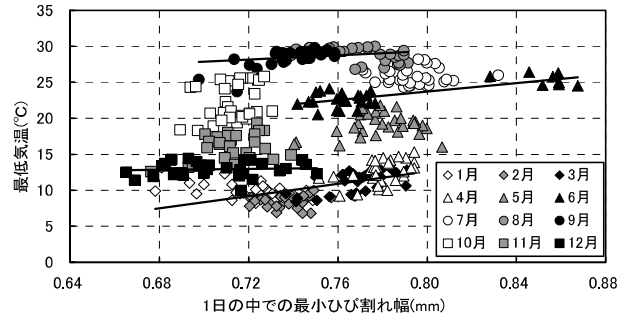


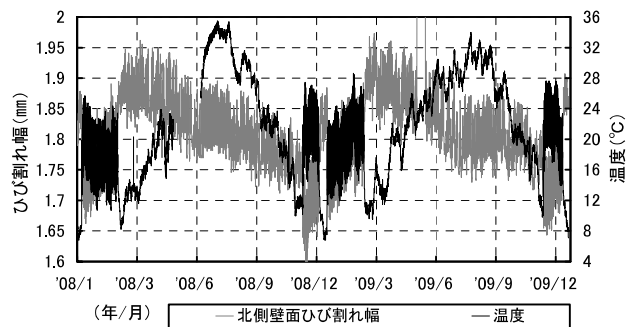
Fig.17 Relationship between daily minimum air temperature and daily minimum crack width in ceiling slab surface of building A (2008.1.1~2009.12.31)

房は使用されていない。

図18より北側壁面では、年間で概ね0.30mm程度ひび割れが変動していることがわかる。年間では温度変化とひび割れ幅の変動に大きな相関性は見られないが、1カ月単位の短期間では、ひび割れ幅の変動は概ね温度変化に依存していると考えられる。図19より湿度に関しては、ひび割れ幅の変動には大きな相関性は見られない。

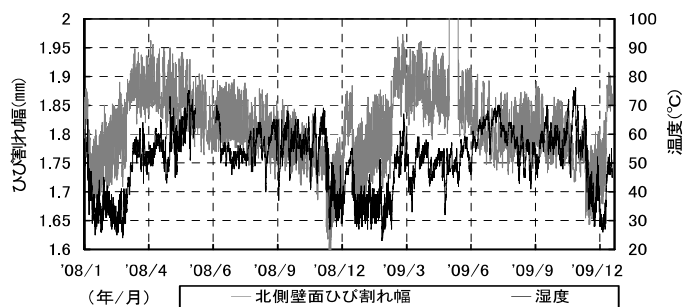
図20から2009年の1年間では、3月で最大ひび割れ幅、12月で最小ひび割れ幅が測定され、2009年の1年間について、A棟天井スラブ同様、測定値がループを描いていることがわかる。また各月の測定値はいくつかの直線状に概ね分布していることがわかる。12月においては1ヶ月で約0.20mmの変動が見られた。

図21からひび割れ幅の分布が15~20日単位である直線状から違う直線状に移行することがわかる。これは前記のように部材の拘束条件の変化によるものと考えられる。また1年を通して測定値を観察すると、ひび割れ幅は、前年と同程度のひび割れ幅に戻ることが知れた。



注) 12月~3月始めは暖房期(年末年始は除く)

Fig.18 Movement of crack width due to variation of air temperature in north side wall surface of building B (2008.1~2009.12)



注)12月～3月始めは暖房期(年末年始は除)

Fig.19 Movement of crack width due to variation of relative humidity in north side wall surface of building B (2008.1 ~ 2009.12)

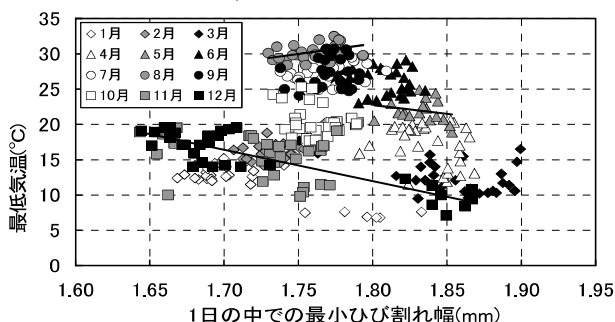
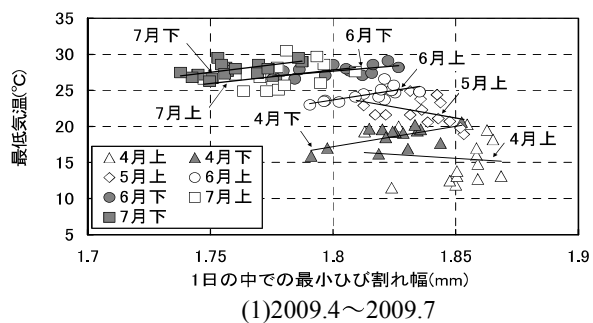
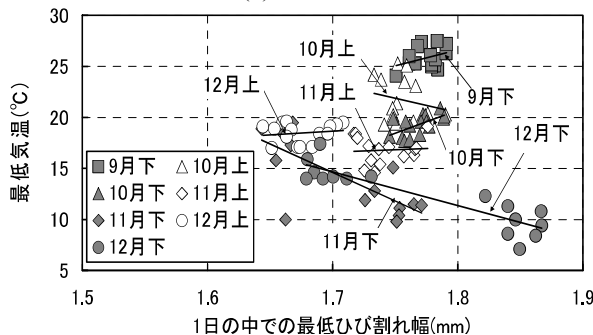


Fig.20 Relationship between daily minimum air temperature and daily minimum crack width in north side wall surface of building B (2009.1.1 ~ 2009.12.31)



(1)2009.4 ~ 2009.7



(2)2009.9 ~ 2009.12

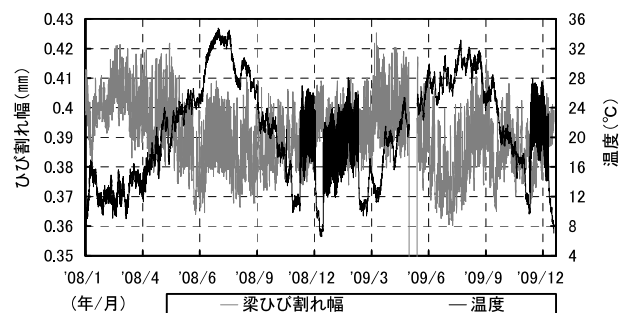
Fig.21 Relationship between daily minimum air temperature and daily minimum crack width in north side wall surface of building B

(4) B棟廊下梁

図 22 に B 棟廊下梁ひび割れの 2008 年から 2009 年のひび割れ幅と気温の経時的変動を示し、図 23 に同ひび割れの幅と湿度の経時的変動を示す。また図 24 に 2009 年について、1 日の最低気温および最小ひび割れ幅の年間の関係を示す。

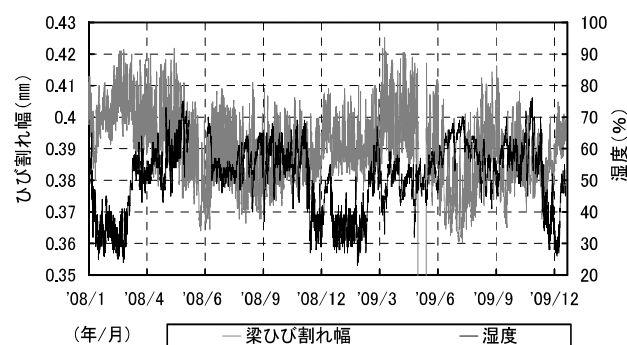
図 22 より廊下梁では、0.06mm 程度ひび割れ幅が変動していることがわかる。北側壁面同様、年間の温度変化とも相関性は小さいが、1 カ月単位の短期間では、ひび割れ幅の変動に温度変化が依存していることがわかる。

また図 24 より、北側壁面同様、測定値がループを描いており、各月の測定値はいくつかの直線状に概ね分布していることがわかる。分布直線のずれは、廊下梁も北側壁面同様、部材の拘束条件が異なるためと考えられる。



注)12月～3月始めは暖房期(年末年始は除く)

Fig.22 Movement of crack width due to variation of air temperature in corridor beam surface of building B (2009.1.1 ~ 2009.12.31)



注)12月～3月始めは暖房期(年末年始は除く)

Fig.23 Movement of crack width due to variation of relative humidity in corridor beam surface of building B (2009.1 ~ 2009.12)

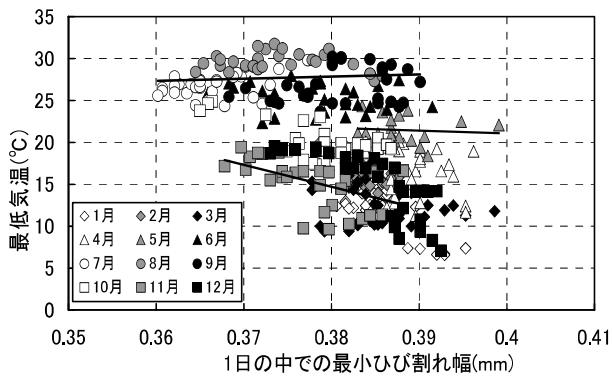


Fig.24 Relationship between daily minimum air temperature and daily minimum crack width in corridor beam surface of building B (2009.1~2009.12)

§5 まとめ

既存鉄筋コンクリート構造物2棟について、自己歪応力により発生したひび割れについて調査した結果以下のことが知れた。

5.1 平均ひび割れ幅と最大ひび割れ幅との関係

- ① 平均曲げひび割れ幅に対する最大曲げひび割れ幅は平均的には約2倍となっているが、最大で約3倍になっていた。
- ② 平均せん断ひび割れ幅に対する最大せん断ひび割れ幅は、約4倍となっており、ばらつきが大きい。
- ③ 平均収縮ひび割れ幅に対する最大収縮ひび割れ幅は、凡そ2倍~4倍にあり、平均値としては約3倍になっていた。

5.2 ひび割れ幅の経時的挙動

- ① ひび割れ幅の日較差は、温度に依存する。
- ② ひび割れ幅の変動は、1ヶ月単位の短期間においては温度変化に依存しており、その変動は年間で最大0.30mm、月間で最大0.20mm程度であった。
- ③ ひび割れ幅の年間の挙動は、半月毎の温度応力による構造物の挙動による部材の拘束条件の変化や基礎のスリップ等に依存していると推察された。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究C 19560588)、大林都市研究振興財団平成18年度助成および前田記念工学振興財団研究助成(研究代表者は共に寺岡勝)によった。

引用ならびに参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造のひび割れ対策(設計・施工)指針・同解説、2002
- 2) 大野和男：鉄筋コンクリート造構造物の温度伸縮の実態、日本建築学会北海道支部論文報告集、1956.9
- 3) 角田栄：鉄筋コンクリート建物の構造亀裂の類型について(主として収縮および温度応力による亀裂)、日本建築学会論文報告集、No. 54, pp. 93-96, 1956.10
- 4) 大野和男教授最終講義：鉄筋コンクリート構造学における二、三の話題、1973.2
- 5) 谷岡洋介、寺岡勝、福原安洋：自己歪応力による鉄筋コンクリート構造物の損傷とそれが耐震性能に及ぼす影響 その3 温度変動に伴うひび割れ幅の変動調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV, pp. 109-110, 2008.
- 6) 寺岡勝：ある鉄筋コンクリート構造物についての自己歪応力によるひび割れの調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造IV, pp. 109-110, 2010.
- 7) 掛悟史、寺岡勝、仁保裕：既存鉄筋コンクリート構造物のひび割れとその幅に関する経時的挙動、日本建築学会中国支部研究報告集、第34巻, pp. 109-110, 2011.

建物と地盤の動的相互作用を考慮した免震建物の地震時上下動応答

(建築学科) 泉 洋輔

Study on The Vertical Response of Seismic Isolated Structures Considering Dynamic Soil-Structure Interaction

(Department of Architecture and Structural Engineering) Yosuke IZUMI

Abstract

It is generally recognized that seismic isolated structures have an excellent seismic performance, particularly after the Hyogoken Nanbu Earthquake in 1995. In practical structural design using the Notification-No.2009 of Ministry of Land, Infrastructure and Transport in which are applied to the seismic isolated structures, the response deformation of each devices, i.e. isolator and damper, are to be within the allowable design deformation, and the tensile stress is not permitted in the isolators considering the vertical seismic coefficient ± 0.3 , furthermore the eccentricity of the isolated story is to be less than 3%. This paper describes the vertical seismic coefficient by the dynamic response analysis based on the base-fixed model and dynamic soil-structure interaction model.

Key Words : dynamic soil-structure interaction, seismic isolated structure, vertical seismic coefficient, pile groupe effect, vertical impedance
動的相互作用, 免震構造, 上下方向震度, 群杭効果, インピーダンス

§ 1 はじめに

免震建物の構造設計においては、免震層を構成するアイソレータ、ダンパーなどの免震装置の水平変位が設計クライテリア以内に収まることを検証することの他に、アイソレータに引張力が発生するかどうかの検討が必須となる。一般建築物に適用される、国土交通省告示第 2009 号「免震建築物の構造方法に関する安全上必要な技術基準を定める等の件」の第 6 のいわゆる免震告示においては、上下方向の静的震度（以下、上下方向震度）を ± 0.3 としてアイソレータの面圧が鉛直基準強度以下となることおよび引張力が生じないことを確認するように規定されている。これは、引張力を受けるアイソレータの復元力特性が、あるせん断ひずみを超えるとハードニングを呈するようになり、設計時に設定している復元力特性モデルと乖離することを防止するためと考えられる。

本報告は、比較的小規模な中低層免震建物を対象として基礎固定条件とした場合と動的相互作用を考慮した場合の 2 ケースについて免震建物の上下動入力に対する応答解析を行い、免震層における上下方向震度の分布について検討を行ったものである。

§ 2 入力上下動

2.1 入力加速度波形

上下動解析はレベル 2 に対してのみ行うことになって

いるが、その上下動の目標スペクトルは、極めて稀に発生する地震動（レベル 2）の水平動の目標スペクトルに対して図 2.1 に示す上下動成分係数を乗じて設定される。

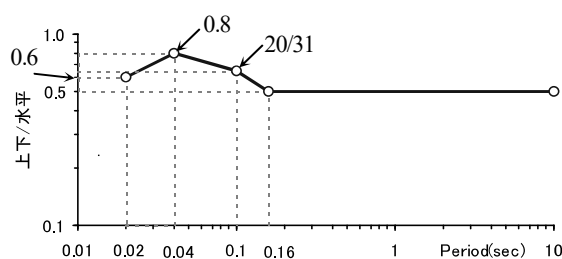


図 2.1 上下動成分係数

図 2.1 で設定されている周期間における上下動成分係数が必要な場合は、両対数軸上で直線補間することにより求める。例えば 0.05 秒での上下動成分係数は、 $(x_1, y_1) = (0.04, 0.8)$ 、 $(x_2, y_2) = (0.10, 20/31)$ として、2 点間の直線の式である、

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1)$$

を用いる。上式の両辺の常用対数をとると、

$$\log y = \log(8/10) + \frac{\log\left(\frac{20 \times 10 / 31}{10}\right) - \log(8/10)}{\log(10/100) - \log(4/100)} \times (\log x - \log(4/100))$$

となる. 上式で x に $0.05 = 5/100$ を代入すると,

$$\begin{aligned} \log y &= \log 8 - \log 10 \\ &+ \frac{\log 200 - \log 31 - \log 10 - \log 8 + \log 10}{\log 10 - \log 100 - \log 4 + \log 100} \\ &\times (\log 5 - \log 100 - \log 4 + \log 100) \\ &= -0.1197 \end{aligned}$$

これより, 0.05 秒での上下動成分係数は,

$$\therefore y = 10^{-0.1197} = 0.759$$

と求められる.

図 2.2(a)に上下動の目標スペクトルの加速度応答スペクトル S_a を, また同図(b)に擬似速度応答スペクトル Spv ($S_a = \omega \cdot Spv$, $\omega = 2\pi/T$ で変換する) をそれぞれ水平動の目標スペクトルと比較して示す. この場合においても水平動と同様に上下動の目標スペクトルは, 解放工学的基盤面で定義されている.

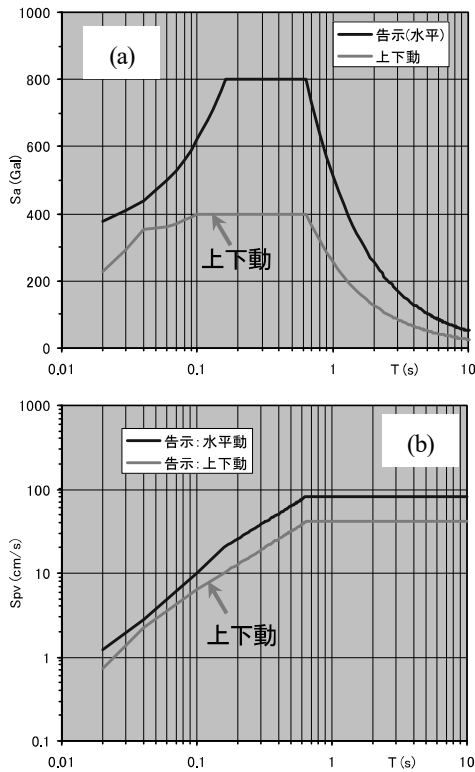


図 2.2 上下動の目標スペクトル

図 2.3 に上記の目標スペクトルにフィッティングさせた 3 種類の加速度波形およびその擬似速度応答スペ

クトルを示す. 位相特性は, 一様乱数, 八戸港湾 UD 成分 (十勝沖地震 1968), JMA 神戸 UD 成分 (兵庫県南部地震 1995) である.

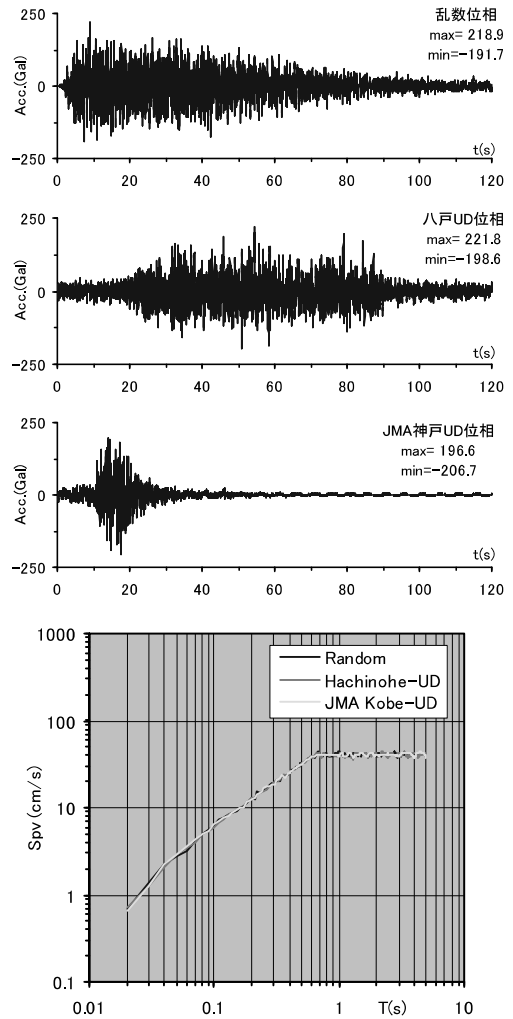


図 2.3 上下動の解放工学的基盤波と擬似速度応答スペクトル

2.2 自由地盤解析

地盤物性として, 密度, 疎密波 (P 波) 速度 V_p , 減衰定数 (通常 2% を設定) を用いて, 1 次元等価線形解析 SHAKE の線形応答解析を行い, 地表面の上下動加速度応答波形を計算する. なお, 不飽和土の上下応答については, 土の軸歪に依存した非線形性を考慮した解析が必要となるが, ここでは考慮しないものとする.

§ 3 上下動応答解析

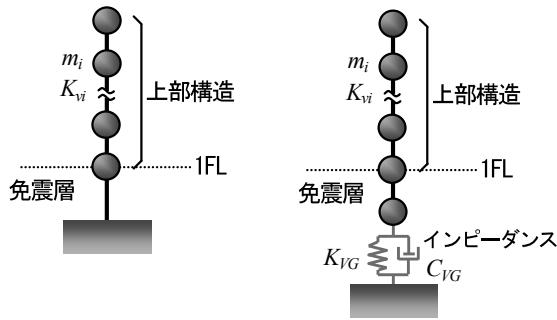
3.1 基礎固定条件の場合の応答解析

建物の各階ごとに鉛直部材のコンクリート水平断面積 (柱, 耐震壁, 上下階と一体となった壁も含める) を集計し, 鉛直剛性 K_V を次式で算出する.

$$K_V = \frac{A_C \cdot E_C}{H} \tag{3.1}$$

ここで、 A_c ：鉛直部材のコンクリート水平断面積、 E_c ：コンクリートのヤング係数、 H ：階高

また、アイソレータの鉛直剛性もメーカーカタログから求める。これより図 3.1(a)に示すような基礎固定条件の多質点振動モデルを作成し、前節で求めた入力地震動を用いて固有値解析および線形応答解析を行う。各層の減衰定数は通常 2% を設定する。設計用震度は、解析結果の応答せん断力係数に相当する。



(a) 基礎固定モデル (b) 動的相互作用モデル

図 3.1 応答解析モデル

3.2 動的相互作用を考慮した場合の応答解析

建物と地盤の動的相互作用を考慮した解析を考える。すなわち、図 3.1(b)に示すように基礎固定モデルに上下方向インピーダンス（地盤ばねとダッシュポット）を付加した振動解析モデルを作成する。ここではインピーダンスの算出には、文献 1 の実用算定手法を採用するものとする。以下に算定式を列挙する。

3.2.1 上下方向の群杭係数

群杭係数は、土方らの提案手法を採用する（文献 1 の評価法-2）。この方法は、1000 本程度の大規模群杭に適用するように開発されたものである。均質な表層地盤と支持層からなる 2 層地盤の結果に基づいているため、表層地盤を均質地盤に置換する必要があるが、これについては、自由地盤の地震応答解析結果の地盤物性値を用いて設定することになる。また、杭配置は正方配置でかつ杭頭は剛な基礎で連結されている仮定が設けられている。通常、杭の配置は不規則であるが、以下のような建物平面全体から平均化した杭間隔を用いる。

- ・ 基礎寸法： $B_X \times B_Y$ （建物外周寸法）
- ・ 総杭本数： N_p
- ・ 杭 1 本あたりの基礎面積： $A_B = B_X \times B_Y / N_p$
- ・ 平均杭間隔： $S = \sqrt{A_B}$
- ・ X および Y 方向杭本数： $N_x = B_X / S, N_y = B_Y / S$
- ・ 杭間隔杭径比： S / B

上下方向の群杭係数は次式で求められる。

$$\beta_V = N_p^{-c} \quad (3.2)$$

$$c = \begin{cases} 2.0f_z & f_z \leq 0.2 \\ 0.7f_z + 0.26 & f_z \geq 0.2 \end{cases} \quad (3.3)$$

$$f_z = \left\{ 0.3 \log(E_p / E_s) \lambda + 0.5(1 - \lambda) \delta \right\} (B / S) \quad (3.4)$$

ここで、 N_p ：杭本数、 E_p ：杭のヤング係数、 E_s ：地盤のヤング係数 $= 2(1 + \nu)G$ 、 λ ：表層地盤の応力負担率、 δ ：杭頭と杭先端の変位比、 f_z ：影響係数、 $\log(E_p / E_s)$ ：3.18 が上限値

$$1 - \lambda = 2 / \left\{ (e^{\beta_s L} + e^{-\beta_s L}) + d(e^{\beta_s L} - e^{-\beta_s L}) \right\} \quad (3.5)$$

$$\delta = 2 / \left\{ (e^{\beta_s L} - e^{-\beta_s L}) / d + (e^{\beta_s L} + e^{-\beta_s L}) \right\} \quad (3.6)$$

$$d = \frac{E_p \cdot A \cdot \beta_s}{k'_b} \quad \text{or} \quad d = \frac{E_p \cdot A \cdot \beta_s}{k_b} \quad (3.7)$$

$$\beta_s = \sqrt{S_V / (E_p A)} \quad (3.8)$$

$$k'_b = S'_V \cdot l \quad (3.9)$$

ここで、 L ：支持層貫入部を除いた杭長、 A ：杭の断面積、 $E_p A$ ：杭の軸剛性、 S_V ：表層地盤単位深さあたりの鉛直の杭周地盤ばねで式(3.10)で算定、 k'_b ：支持地盤への貫入部のばねで式(3.12)の k_b を用いることができる、 S'_V ：支持層地盤の S_V で式(3.10)において G_e を支持層地盤の G_b とする、 l ：杭の支持層への貫入長

3.2.2 上下方向インピーダンス

群杭の上下方向の地盤ばねは、限界耐力計算法の回転地盤ばねの評価法を用いて以下のように評価される。

(1) 単杭杭周の上下地盤ばね

Randolf の式を採用する。

$$S_V = \frac{2\pi G_e}{\log_e(2r_m / B)} \quad (3.10)$$

$$r_m = 2.5L(1 - \nu_e) \quad (3.11)$$

ここで、 B ：杭径、 L ：工学的基盤までの杭長（支持層貫入部を除いた杭長）、 $G_e = (1/L) \cdot \sum G_i \cdot H_i$ ：表層地盤の平均せん断剛性、 $\nu_e = (1/L) \cdot \sum \nu_i \cdot H_i$ ：表層地盤の平均ポアソン比、 G_i 、 ν_i 、 H_i ： i 層のせん断剛性、ポアソン比、層厚

(2) 単杭杭先端の上下地盤ばね

単杭の杭先端の上下地盤ばねは、平均変位仮定による次式で求める。

$$k_b = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{\pi G_b B}{2(1-\nu_b)} \quad (3.12)$$

ここで, G_b : 支持層のせん断剛性, ν_b : 支持層のポアソン比

(3) 単杭杭頭の上下地盤ばね

上記(1), (2)で求めた杭周および杭先端の地盤ばねから, 次式で単杭杭頭の上下地盤ばねを求める.

$$K_{VS} = E_p \cdot A \cdot \beta_s \frac{E_p A \beta_s (1 - e^{-2\beta_s L}) + k_b (1 + e^{-2\beta_s L})}{E_p A \beta_s (1 + e^{-2\beta_s L}) + k_b (1 - e^{-2\beta_s L})} \quad (3.13)$$

ここで, $\beta_s = \sqrt{S_V / (E_p A)}$, E_p : 杭のヤング係数, A : 杭の断面積

(4) 群杭杭頭の上下地盤ばね

群杭杭頭の上下地盤ばねは, 式(3.2)の群杭係数および式(3.13)の単杭杭頭の上下地盤ばねから次式で求められる.

$$K_{VG} = \beta_V \cdot N_p \cdot K_{VS} \quad (3.14)$$

ここで, β_V : 上下地盤ばねの群杭係数, N_p : 杭本数

(5) 上下方向の減衰係数

限界耐力計算でのインピーダンスの減衰の評価方法の考え方が踏襲され, 地盤の1次固有振動数 f_g 以下では地盤の材料減衰が支配的な減衰定数一定領域, f_g 以上では逸散減衰が支配的な減衰係数一定領域, を設定して減衰を評価する^{*)}.

$$f \leq f_g : K'_{VG} = 2h_{VG1} \cdot K_{VG} \quad (3.15)$$

$$h_{VG} = h_{VG1} = h_b = \text{const.} \quad (3.16)$$

ここで, h_b : 支持層の減衰定数で 0.02

$$f > f_g : K'_{VG} = 2h_{VG1} \cdot K_{VG} + C_{VG2} \cdot 2\pi(f - f_g) \quad (3.17)$$

$$C_{VG2} = \rho_b \cdot V_{Lab} \cdot \pi \cdot r_{V0}^2 \quad (3.18)$$

$$h_{VG} = h_{VG1} + C_{VG2} \cdot \pi(f - f_g) / K_{VG} \quad (3.19)$$

^{*)} インピーダンス (複素剛性) は,

$\bar{K} = K + iK' = K(1 + i2h) = K + iC\omega$ で表され, K は実部で地盤ばね, K' は虚部で減衰に関する. 減衰係数は $C = K' / \omega = K' / (2\pi f)$ で求められる.

ここで, ρ_b : 支持層の密度, V_{Lab} : 支持層の Lysmer の波動速度 $= 3.4V_{sb} / \{\pi(1-\nu_b)\}$, V_{sb} : 支持層のせん断波速度, ν_b : 支持層のポアソン比, r_{V0} : 上下ばね算定用の等価基礎半径 $(= (B_X \cdot B_Y / \pi))^{1/2}$, 加振方向は X 方向

(6) 群杭基礎の上下地盤ばねの減衰係数

以上まとめると, 群杭基礎の上下地盤ばねの減衰係数は次式で求められる. 式中 f は連成系の1次固有振動数を代入する.

$$\therefore C_{VG} = \begin{cases} h_{VG1} \cdot K_{VG} / (\pi f) & : f \leq f_g \\ h_{VG1} \cdot K_{VG} / (\pi f) + C_{VG2}(f - f_g) / f & : f > f_g \end{cases} \quad (3.20)$$

なお, 減衰係数の過大評価に対する処置として次式が設定されている.

$$C_{VG} = h_{VG1} \cdot K_{VG} / (\pi f_g) \quad (3.21)$$

§ 4 解析例および解析結果

建物モデルは, 免震層を鉛プラグ入り積層ゴムとすべり支承で構成した鉄筋コンクリート造集合住宅3, 5, 8階建の3ケースである. 基礎構造は, 場所打ちコンクリート杭で, 杭径は1000~1200φとしている. 地盤モデルは, 図4.1に示すPS検層が実施された実地盤3ケース (地盤1次固有周期は, Site-1 : 0.29s, Site-2 : 1.20s, Site-3 : 1.52s) とし, 各地盤に対して3ケースの建物を対応させた.

図4.2に基礎固定 (以下, FIX) モデルと動的相互作用 (以下, SSI) モデルの連成系1次固有周期の比較を示す. 基礎部分にインピーダンスを付加することにより, FIXモデルより約1.2~1.5倍建物の連成系固有周期が伸びることがわかる.

図 4.3 に地表面での上下動の加速度応答スペクトル (減衰定数 5%) を示す. Site-3 の軟弱地盤では, 0.1 秒付近に他の 2 つの地盤に対して約 1.6 倍のスペクトル値のピークを示している.

図 4.4 に計算したインピーダンスの振動数依存特性を示す. 図中には, 地盤の1次固有振動数, 連成系の1次固有振動数をプロットしている. 各地盤において 8階建てモデルの連成系の1次固有振動数が, 3, 5階建てモデルより大きいのは, アイソレータの配置個数の違いによるものである. インピーダンスは地盤の硬軟の影響が表れており, 地盤ばねである実部 K_{VG} は Site-3 が最も小さく, また, 減衰に係る虚部 C_{VG} は Site-3 で大きく評価されている.

図 4.5 に上下方向震度の最大応答値分布を FIX モデルと SSI モデルを比較して示す. これによると, 免震層

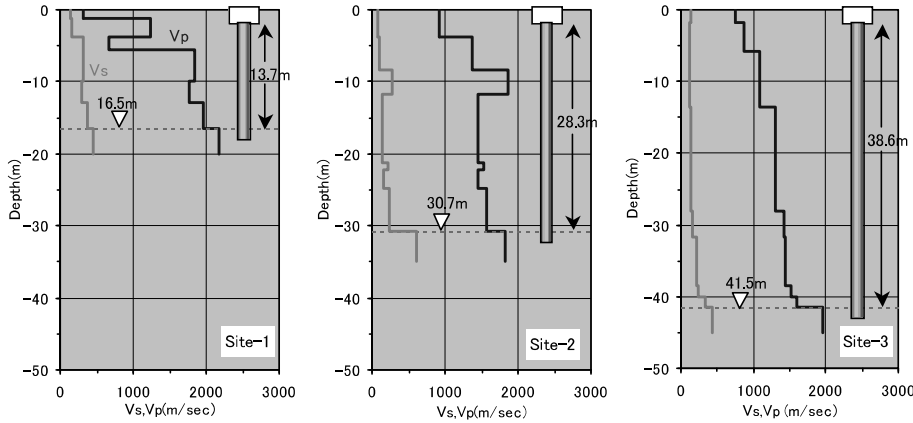


図 4.1 地盤モデル

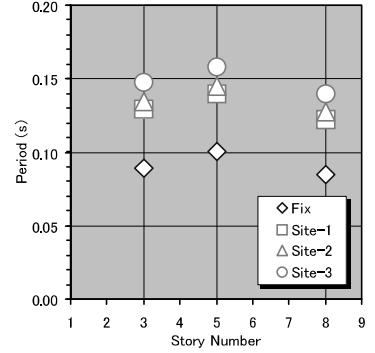


図 4.2 固有周期の変化

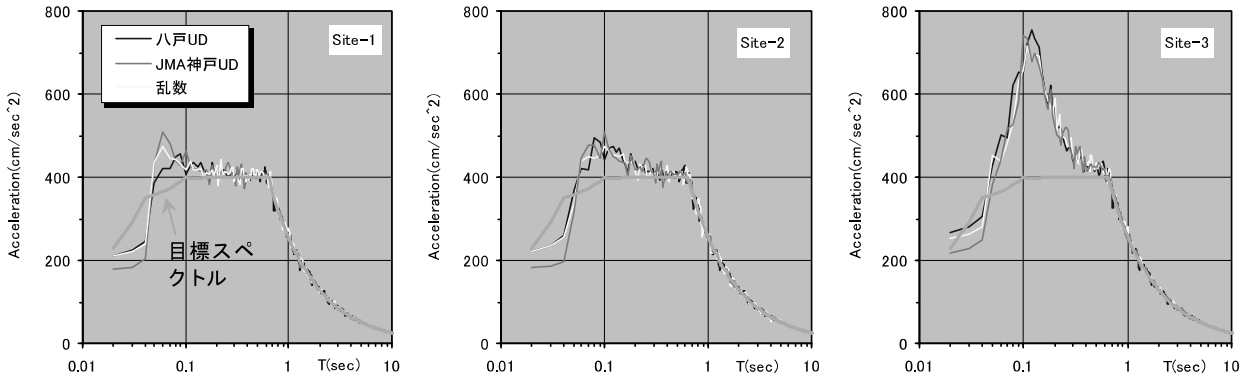


図 4.3 地表面での加速度応答スペクトル(h=0.05)

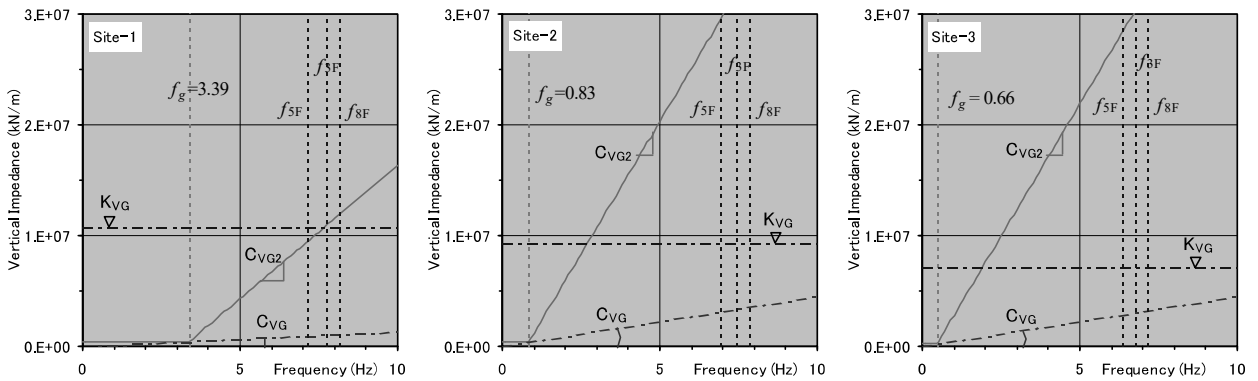


図 4.4 上下方向のインピーダンス (f_g : 地盤の1次固有振動数, f_{5P} : 連成系1次固有振動数)

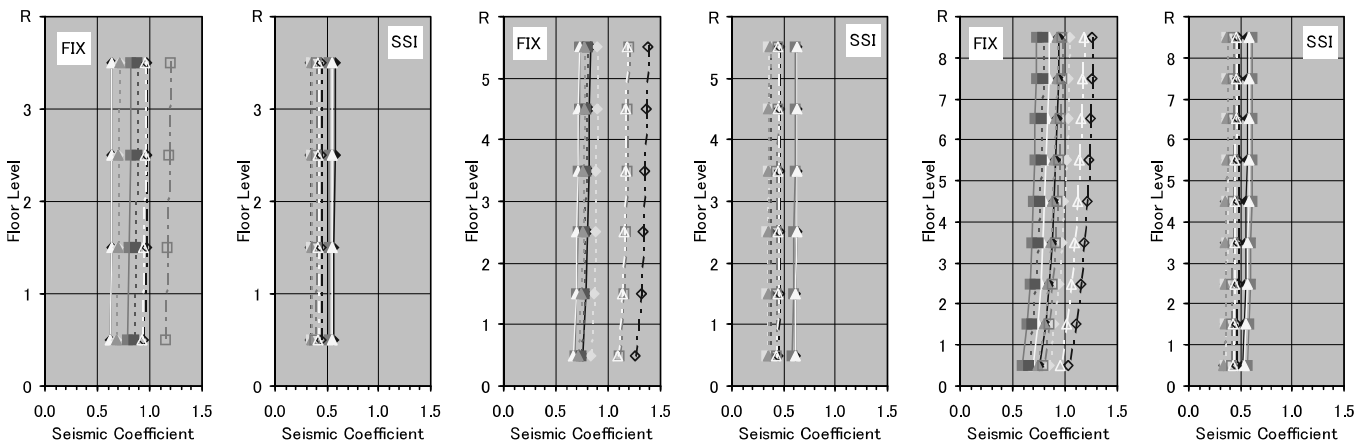


図 4.5 上下方向震度の分布 (実線: Site-1, 点線: Site-2, 一点鎖線: Site-3, ◇: 八戸, □: JMA 神戸, △: 乱数)

の上下方向震度は、FIX モデルでは 0.59~1.26、SSI モデルは 0.33~0.61 の範囲となっている。地盤の硬軟で上下方向震度を比較すると、FIX モデルでは Site-1 の方が小さく、逆に SSI モデルでは Site-3 の方が小さくなる傾向が見られ、明らかに動的相互作用の影響が現われている。また、動的相互作用を考慮することによって、上下方向震度の分布は入力地震動によらず収束する傾向を示すものの、地盤条件によって上下方向震度が 0.3 以上となる結果が得られた。建物階数が大きいほど、側柱や隅柱は地震時の変動軸力が大きくなりアイソレータの引張に対する検討がクリティカルになることを考慮すると、±0.3 を用いて設計を完了することには十分注意する必要がある。

§ 5 まとめ

以上、比較的小規模な中低層免震建物を対象として動的相互作用を考慮した免震建物の上下動の応答解析を行い、設計用の上下方向震度の分布性状について検討した。

その結果、基礎固定モデルによる設計用上下方向震度は、実際上免震層の設計を行うことができない応答結果となる傾向が大きくなることが明らかとなった。一方、動的相互作用を考慮したモデルによると、設計用上下方向震度としては 0.3 の 10% 増となる 1/3 を採用する方が安全側の評価となる結果が本解析の範囲から得られた。

文献1で示されている上下方向のインピーダンスの算定法は、実務設計において比較的少ない計算量で建物モデルを従来からの基礎固定モデルと比較してより現実的なモデルに近づけるのに有効なものであることが本解析から確認できた。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，2006.2

付録 A

§3 で示した上下方向の群杭係数およびインピーダンスの具体的な計算を示しておく。図 A.1 に基礎平面形状と杭配置を示す。杭直径は P1：1000φ（2 本）、P2：1000-1300φ（8 本）、P3：1200φ（5 本）であり、杭頭は剛な基礎で連結されているものと仮定する。基礎寸法は長辺方向長さ $B_x = 33.7\text{m}$ を固定して、図に示す建物外周線で囲まれた面積（ 333.09 m^2 ）から短辺方向長さ B_y を設定した。杭配置が不規則なため、以下のような平均化した杭間隔を算出するものとする。

- 基礎寸法： $B_x \times B_y = 33.7 \times 9.88\text{ m}$
- 平均杭径： $(1 \times 10 + 1.2 \times 5) / 15 = 1.07\text{ m}$
- 総杭本数： $N_p = 15$
- 杭 1 本あたりの基礎面積： $A_b = B_x \times B_y / N_p = 33.7 \times 9.88 / 15 = 22.2\text{ m}^2$
- 平均杭間隔： $S = A_b^{0.5} = 4.71\text{ m}$
- X 方向杭本数： $N_x = B_x / S = 33.7 / 4.71 = 7.15\text{ 本}$
- Y 方向杭本数： $N_y = B_y / S = 9.88 / 4.71 = 2.10\text{ 本}$
- 杭間隔杭径比： $S / B = 4.71 / 1.07 = 4.4$

群杭係数およびインピーダンスを求めるために必要となる地盤物性値は、RO モデルによる SHAKE の結果を用いるものとし、入力地震動 3 波の平均値を採用する。図 A.2 に等価 2 層地盤の諸元と杭の深さ方向の位置関係を示す。なお、地盤モデルは図 4.1 の Site-2 である。

$$V_{se} = (1/H) \cdot \sum V_{si} \cdot H_i = 102\text{ m/s}$$

$$G_e = (1/H) \cdot \sum G_i \cdot H_i = 25624\text{ kN/m}^2$$

$$v_e = (1/H) \cdot \sum v_i \cdot H_i = 0.493$$

$$E_S = 2(1 + v_e)G_e = 2(1 + 0.493) \times 25624 = 76513\text{ kN/m}^2$$

$$E_p = 2.442 \times 10^7\text{ kN/m}^2$$

$$A = 0.8992\text{ m}^2$$

$$E_p \cdot A = 21958464\text{ kN}$$

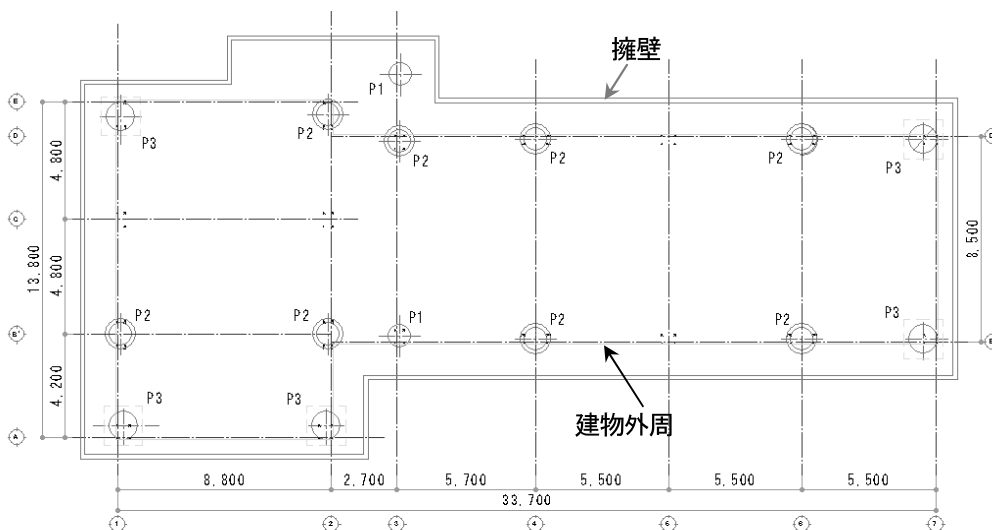


図 A.1 基礎平面形状と杭配置

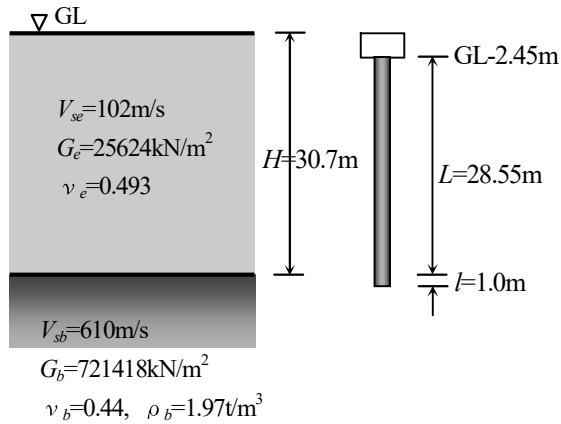


図 A.2 等価 2 層地盤への置換

【地盤の 1 次固有周期】

層厚 H : 30.7 m平均 S 波速度 : $V_{se} = 102$ m/s $T = 4H/V_{se} = 4 \times 30.7/102 = 1.204$ s ($f_g = 0.831$ Hz)

【群杭係数】

$$r_m = 2.5L(1 - \nu_e) = 2.5 \times 28.55 \times (1 - 0.493) \\ = 36.19 \text{ m} : \text{式(3.11)}$$

$$S_V = \frac{2\pi G_e}{\log_e(2r_m/B)} = \frac{2\pi \times 25624}{\log_e(2 \times 36.19/1.07)} \\ = 38204 \text{ kN/m}^2 : \text{式(3.10)}$$

$$k_b = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{\pi G_b B}{2(1 - \nu_b)} = \frac{3\pi^2 \times 721418 \times 1.07}{8 \times 2 \times (1 - 0.44)} \\ = 2550843 \text{ kN/m}^2 : \text{式(3.12)}$$

$$\beta_s = \sqrt{S_V / (E_p A)} = (38204/21958464)^{0.5} = 0.0417 \text{ (1/m)}$$

$$E_p \cdot A \cdot \beta_s = 21958464 \times 0.0417 = 915668$$

$$d = \frac{E_p \cdot A \cdot \beta_s}{k_b} = 915668 / 2550843 = 0.359 : \text{式(3.7)}$$

$$e^{\beta_s L} = \exp(0.0417 \times 28.55) = 3.289$$

$$e^{-\beta_s L} = \exp(-0.0417 \times 28.55) = 0.304$$

$$1 - \lambda = 2 / \left\{ (e^{\beta_s L} + e^{-\beta_s L}) + d(e^{\beta_s L} - e^{-\beta_s L}) \right\} \\ = 2 / \{(3.289 + 0.304) + 0.359 \times (3.289 - 0.304)\} = 0.429$$

$$\therefore \lambda = 0.571 : \text{式(3.5)}$$

$$\delta = 2 / \left\{ (e^{\beta_s L} - e^{-\beta_s L}) / d + (e^{\beta_s L} + e^{-\beta_s L}) \right\} \\ = 2 / \{(3.289 - 0.304) / 0.359 + (3.289 + 0.304)\} \\ = 0.168 : \text{式(3.6)}$$

$$\log(E_p/E_s) = \log(2.442 \times 10^7 / 76513) = 2.504 < 3.18$$

$$f_z = \left\{ 0.3 \log(E_p/E_s) \lambda + 0.5(1 - \lambda) \delta \right\} (B/S)$$

$$= \{0.3 \times 2.504 \times 0.571 + 0.5 \times 0.429 \times 0.168\} \times (1/4.4) \\ = 0.106 < 0.2 : \text{式(3.4)}$$

$$c = 2.0 f_z = 2.0 \times 0.106 = 0.212 : \text{式(3.3)}$$

$$\beta_V = N_p^{-c} = 15^{-0.212} = 0.563 : \text{式(3.2)}$$

【インピーダンス】

$$1 + e^{-2\beta_s L} = 1 + \exp(-2 \times 0.0417 \times 28.55) = 1.093$$

$$1 - e^{-2\beta_s L} = 1 - \exp(-2 \times 0.0417 \times 28.55) = 0.908$$

$$K_{VS} = E_p \cdot A \cdot \beta_s \frac{E_p A \beta_s (1 - e^{-2\beta_s L}) + k_b (1 + e^{-2\beta_s L})}{E_p A \beta_s (1 + e^{-2\beta_s L}) + k_b (1 - e^{-2\beta_s L})} \\ = 915668 \times (915668 \times 0.908 + 2550843 \times 1.093) \\ / (915668 \times 1.093 + 2550843 \times 0.908) \\ = 999176 \text{ kN/m} : \text{式(3.13)}$$

$$K_{VG} = \beta_V \cdot N_p \cdot K_{VS} = 0.563 \times 15 \times 999176 \\ = 8438041 \text{ kN/m} : \text{式(3.14)}$$

【減衰係数】

 $f \leq f_g$ の領域 : 地盤の材料減衰で決まる領域

$$h_{VG1} = 0.02 : \text{式(3.16)}$$

$$K'_{VG} = 2h_{VG1} \cdot K_{VG} = 2 \times 0.02 \times 8438041 \\ = 337522 \text{ kN/m (インピーダンス虚部)} : \text{式(3.15)}$$

 $f > f_g$ の領域 : 逸散減衰で決まる領域

$$V_{Lab} = 3.4 V_{sb} / \left\{ \pi (1 - \nu_b) \right\} = 3.4 \times 610 / \left\{ \pi (1 - 0.44) \right\} \\ = 1179 \text{ m/s}$$

$$r_{V0} = (B_X \cdot B_Y / \pi)^{1/2} = (33.7 \times 9.88 / \pi)^{0.5} = 10.29 \text{ m}$$

$$C_{VG2} = \rho_b \cdot V_{Lab} \cdot \pi \cdot r_{V0}^2 = 1.94 \times 1179 \times \pi \times 10.29^2 \\ = 760845 \text{ kN} \cdot \text{s/m} : \text{式(3.18)}$$

$$\begin{aligned}
 K'_{VG} &= 2h_{VG1} \cdot K_{VG} + C_{VG2} \cdot 2\pi(f - f_g) \\
 &= 337522 + 760845 \times 2\pi(f - 0.831) \\
 &= 337522 + 4780530(f - 0.831) \quad : \text{式(3.17)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_{VG} &= h_{VG1} + C_{VG2} \cdot \pi(f - f_g) / K_{VG} \\
 &= 0.02 + 760845 \times \pi(f - 0.831) / 8438041 \\
 &= 0.02 + 0.283(f - 0.831) \quad : \text{式(3.19)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{VG} &= h_{VG1} \cdot K_{VG} / (\pi f_g) = 0.02 \times 8438041 / (\pi \times 0.831) \\
 &= 64643 \text{ kN} \cdot \text{s} / \text{m} \quad : \text{式(3.21)}
 \end{aligned}$$

$$C_{VG} = \begin{cases} 53718 / f & : f \leq f_g \\ 53718 / f + 760845(f - 0.831) / f & : f > f_g \end{cases} \quad : \text{式(3.20)}$$

上記の式(3.15)および(3.17)から求まるインピーダンス虚部と振動数の関係をグラフ化すると、図A.3のようになる。図中には、地盤の1次固有振動数 f_g 、固有値解析から求まる連成系の1次固有振動数 f および式(3.14)の静的地盤ばね K_{VG} （インピーダンス実部）をプロットしている。

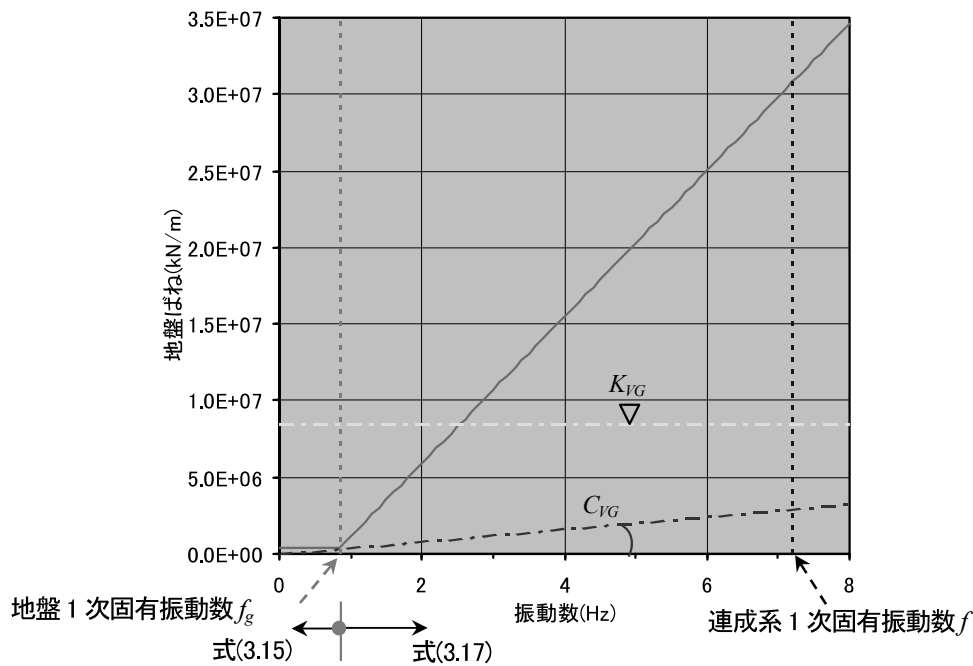
図3.1(b)の振動モデルにおけるインピーダンスの減衰係数の与え方としては、式(3.21)の最小値とするか、連成系の1次固有振動数を用いて式(3.20)の値を用いるか、の2通りがあり、減衰の過大評価を避けるためには前者を採用することになる。本解析においてもこれを採用している。

以上より、図3.1(b)に示す振動モデルのインピーダンスには、

地盤ばね : $K_{VG} = 8438041 \text{ kN/m}$

減衰係数 : $C_{VG} = 64643 \text{ kN} \cdot \text{s} / \text{m}$

を付加するものとする。



図A.3 上下方向インピーダンスの振動数依存特性

呉高専建築学科棟における床面の傾きの調査

(建築学分野) 仁保 裕, 寺岡 勝
 (大阪大学) 奥 伸之
 (豊橋技術科学大学) 小島敬司

An Investigation for Inclination of Floor slabs of The Building for Faculty of Architecture and Structural Engineering

(Faculty of Architecture and Structural Engineering) Yutaka NIHO, Masaru TERAOKA
 (Osaka University) Nobuyuki OKU
 (Toyohashi University of Technology) Takashi KOJIMA

Abstract

The building for Faculty of Architecture and Structural Engineering, one of schoolhouses of Kure National College of Technology, was built on soft ground in Aka-Minami, Kure, in 1965. Due to consolidation settlement of the ground, the building leans and deforms presently. These leaning and deformation contribute both inclination and deformation of floor slabs of the building. And, this inclination of floor slabs may have ill effects on students' mental and physical health.

This paper reports observed inclination of floor slabs of the building for Faculty of Architecture and Structural Engineering and investigates effects of the inclination on students' health.

Keywords: Differential Settlement, Floor slabs, Inclination, Deformation

不同沈下, 床スラブ, 傾き, たわみ

1. 目的

本校の建築学科棟は昭和 40 年に完成した 3 階建 RC 造であり、呉市阿賀南の沿岸埋立地上にある。建築学科棟の下には厚さ 20~30m 程度の軟弱な粘土層が広がっているとされている¹⁾一方、建設当時においてこのような厚い粘土層を打ち抜く基礎杭がなかったこともあり、建築学科棟の基礎は摩擦杭を併用したべた基礎となっている²⁾。このため、現在では建築学科棟において不同沈下が発生しており³⁾、この不同沈下に起因し、建築学科棟の構造耐力上主要な箇所に損傷が発生している^{3,4)}だけでなく、建築学科棟の住みややすさが損なわれている可能性がある。

この件に関して床面の傾いた室内で生活する居住者が身体的もしくは精神的な不調を訴えるケースがあることが知られている^{5,6)}。北原ら⁵⁾によれば、床面の傾きが 1°未満であればその傾きが居住者の心身に与える影響は殆どない一方、2°以上であれば頭がふらふらする感じや眩暈感、疲労感などを感じる居住者が表れるとされる。一方、宇野ら⁶⁾は床面の傾きが 1.3°の場合において上述の眩暈感などを感じる居住者が表れることを示している。

さて、床面を傾かせる要因として先にあげた不同沈下の他、床スラブのたわみが挙げられる。土橋ら⁷⁾によれば、床スラブのたわみが床スラブの短辺長さの 200 分の

1 以上であると苦情発生件数が急激に増加するとされる。現行の RC 造建築物の計算規準⁸⁾は土橋らの結果を踏まえ、床スラブの長期たわみ制限値をスラブ長さの 250 分の 1 以下となるよう床スラブ厚さの下限を規定している。一方で、昭和 40 年以前の計算規準⁹⁾において長期たわみに関する規定は見られない。

以上より、建築学科棟では不同沈下が発生しているのみならず床スラブのたわみが床スラブ長さの 200 分の 1 よりも大きくなっている可能性がある。さらに不同沈下と床スラブのたわみに起因して床面が傾き、その傾きが居住者である学生の心身や住みややすさに対して影響している可能性がある。本校は教育機関であり、学生たちが健康的に学習できる場所を提供する義務を持つ。よって教室棟の床面の傾きを調査し、その傾きが学生の心身に与える影響を調査することは本校教職員の責務といえる。

以上に基づき、本研究では建築学科棟についてその床面の鉛直方向変位を計測する。次いで計測結果に基づき床面の傾きと床スラブのたわみを計算する。計算結果を踏まえ、床面の傾きや床スラブのたわみが使用者の心身に対して影響を及ぼすレベルにあるかどうかを確認する。また、学生に対するアンケートを実施し、床面の傾きが学生の心身に影響を及ぼしていないかを確認する。

2. 建築学科棟

2.1 地盤

Fig.1 に建築学科棟の地盤を示す。過去の地盤調査資料²⁾によると地表から1mは埋立層であり、その下には約8.5mの砂層がある。さらにその下には粘土層が約25mの層をなしている。粘土層の下はN値50以上の砂礫層である。埋立層および砂層のN値は平均で7である。粘土層のN値は平均で2である。この粘土層の圧密沈下により建築学科棟が不同沈下していると考えられている^{3,4)}。

2.2 建築物

建築学科棟の断面図、平面図および立面図をそれぞれFig.2, 3 および 4 に示す。建築学科棟は昭和40年に竣工した3階建RC造建築物であり、構造形式は一部に耐震壁を有するラーメン構造である。長辺長さとして短辺長さはそれぞれ、60mと9.5mであり、高さは13.5mである。設計当初より粘土層の圧密沈下によって建築学科棟が沈下すると予想されたため、沈下対策として2階床スラブ以上の部分を軽量コンクリート製（基準強度 1.76kN/m^2 ）としている。設計当時、30mを越える杭を打設する技術がなかったことから基礎は長さ6mの摩擦杭を併用したべた基礎となっている。その後、2001年の改修工事により、耐震スリットやブレース等の耐震補強が施されている。

以上のように、設計当時において沈下対策がなされているものの、現在に到るまでの間に進行した粘土層の圧密沈下により、建築学科棟では不同沈下が発生している。

2.3 不同沈下の定義¹⁰⁾

建築物が Fig.5(a)のように沈下した場合において測点1~Nの沈下量を絶対沈下量と呼ぶ。しかしながらこの絶対沈下量の測定は困難であり、よって通常では任意の測点を便宜的に沈下量0として表した沈下量を測定すると考えられる (Fig.5(b))。この任意の測点を基準として表した沈下を不同沈下と呼ぶ。

3. 計測および計算

3.1 床面の変位量計測

建築物の沈下量と同様に竣工当時から現時点までにおける床面の変位量は計測できないため、床面の任意の点を基準とした変位量を計測する (Fig.6)。本研究では建築物南東隅の柱位置を基準とする。測点は建築物床面上に東西方向と南北方向それぞれに対して1m間隔で設置する。測点は約1400個である。計測にはテレスコープレベルを用いる。なお、上記の計測方法によれば変位量に床仕上げの施工精度が影響する¹¹⁾と考えられるが、本研究において床仕上げ材の厚さは計測しない。従って、計測された変位量には不同沈下と床スラブのたわみの他、床仕上げ材の施工精度も影響していることになる。

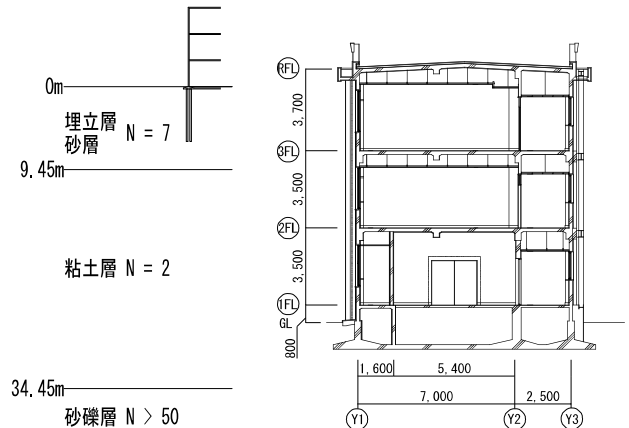


Fig.1 Section of the Ground Fig.2 Section of the Building

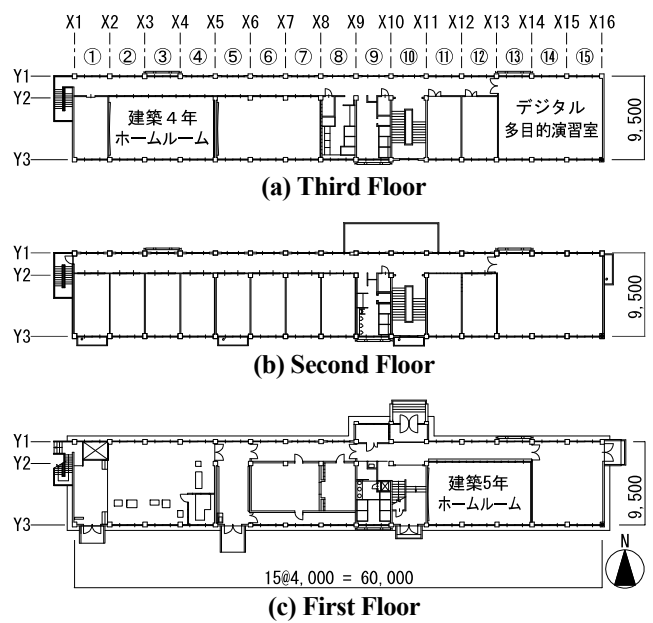


Fig.3 Floor Plans of the Building

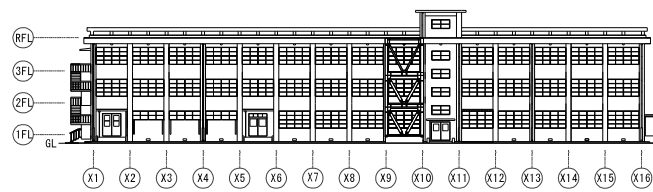


Fig.4 South Elevation of the Building

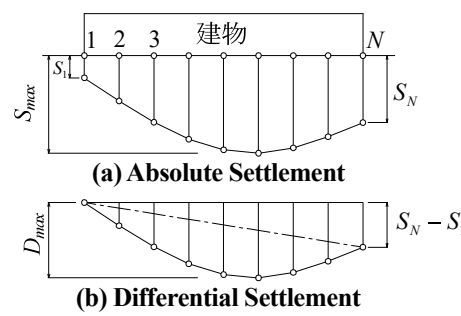


Fig.5 Definition on Differential Settlement

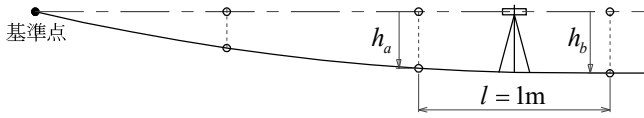


Fig.6 Level Survey

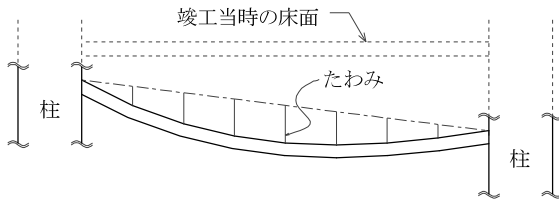


Fig.7 Definition on Deflection of Floor Slab

3. 2 床面の傾き

床面の傾き θ は次式で計算される。ただし、 h_a と h_b は隣り合う二つの測点の変位量である。また、 l は測点間距離であり $l=1m$ である。

$$\theta = \frac{h_a - h_b}{l} \quad (1)$$

3. 3 床スラブのたわみ

床スラブのたわみはスラブ両端を結ぶ直線を基準とした相対的な変位量により表す (Fig.7 参照)。

4. 計測結果ならびに考察

4. 1 建築物の不同沈下

建築物全体の傾きを把握するため、床面の変位量計測に先立ち柱位置における不同沈下量を計測した。Fig.8に柱位置における不同沈下量を示す。なお、不同沈下量の基準点は建築物南東側隅部の柱位置においた。

Fig.8より、北側と南側では北側の方が沈下していることが分かる。東西方向では東側(X16)よりも西側(X1)の方が沈下していることが分かる。また、建築物の中央あたりの不同沈下量が大きい。

Fig.9は次式で計算される柱間の変形角 ϕ である。ただし D_i は i 番目の柱位置における不同沈下量であり、鉛直下向きを正とする。 L は柱間距離であり4mである。

$$\phi = \frac{D_{i+1} - D_i}{L} \quad (2)$$

なお、変形角 ϕ が正であれば、柱 i よりも柱 $i+1$ がより大きく沈下していることを意味する。

Fig.9より、建築物の東西両端において変形角が大きく、中央付近における変形角は比較的小さい。このことは建築物東西両端において不同沈下に起因する傾きが特に大きいことを意味する。

以上をまとめると、建築物全体としては北西側に傾いており、それと同時に建築物の中央がより大きく沈下している。また、建築物東西両端の傾きが比較的大きい。

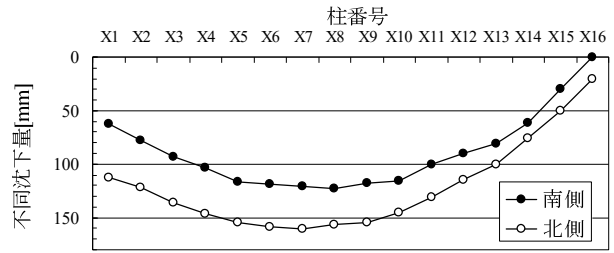


Fig.8 Differential Settlement(Observed Value)

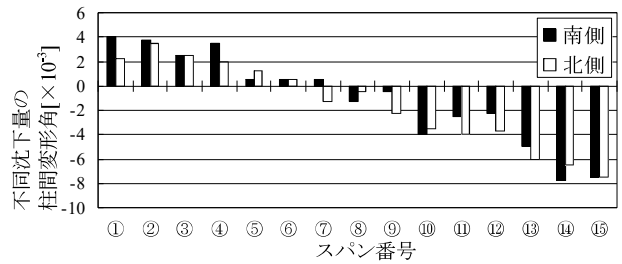


Fig.9 Relative Deformation Angle

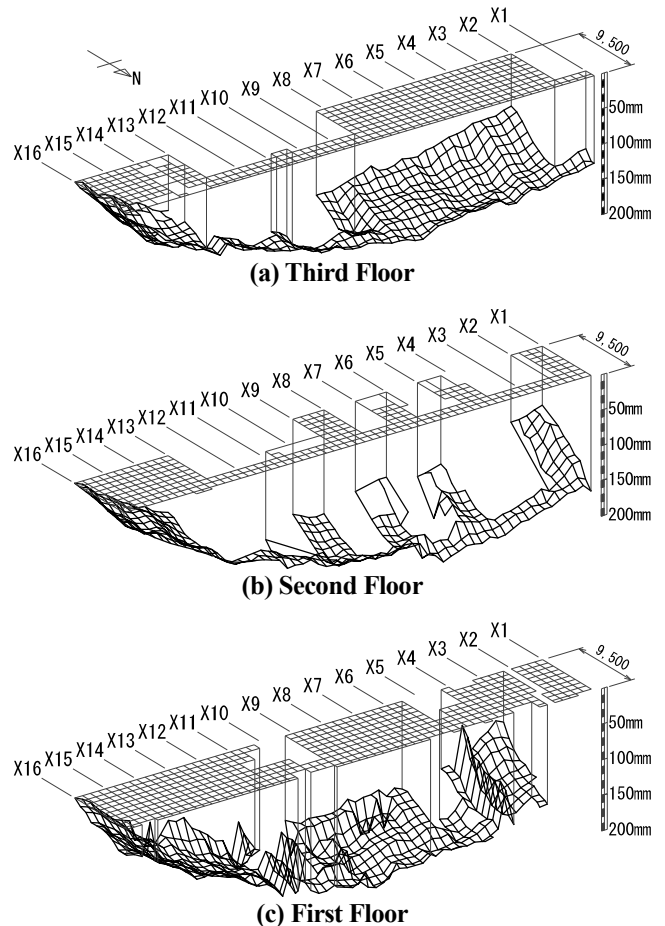


Fig.10 Displacement Diagram

4. 2 建築物の床面の変位量

Fig.10に床面の変位量を示す。なお、図のなかに空白部分が見受けられるが、これは家具の移動が困難であるなどの理由により測点を設置できなかった部分である。

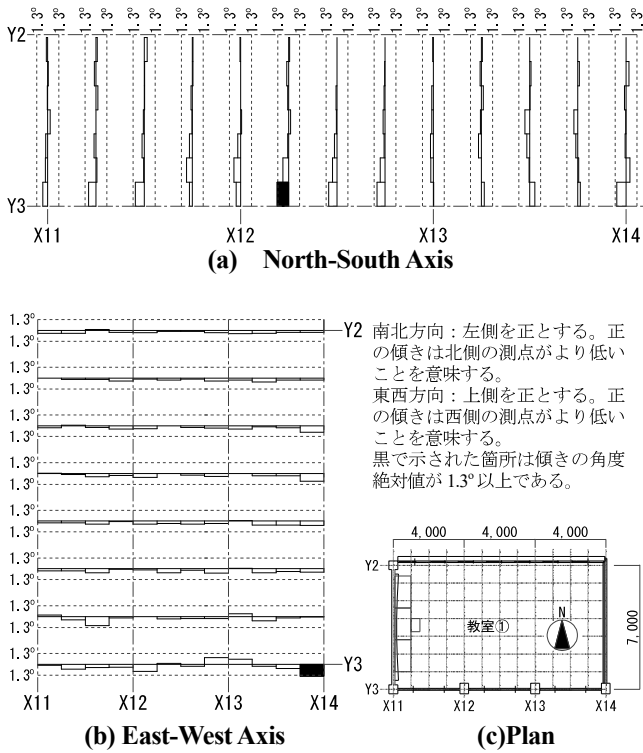


Fig.11 Inclination on Floor Slabs (Classroom for 5th-year Student)

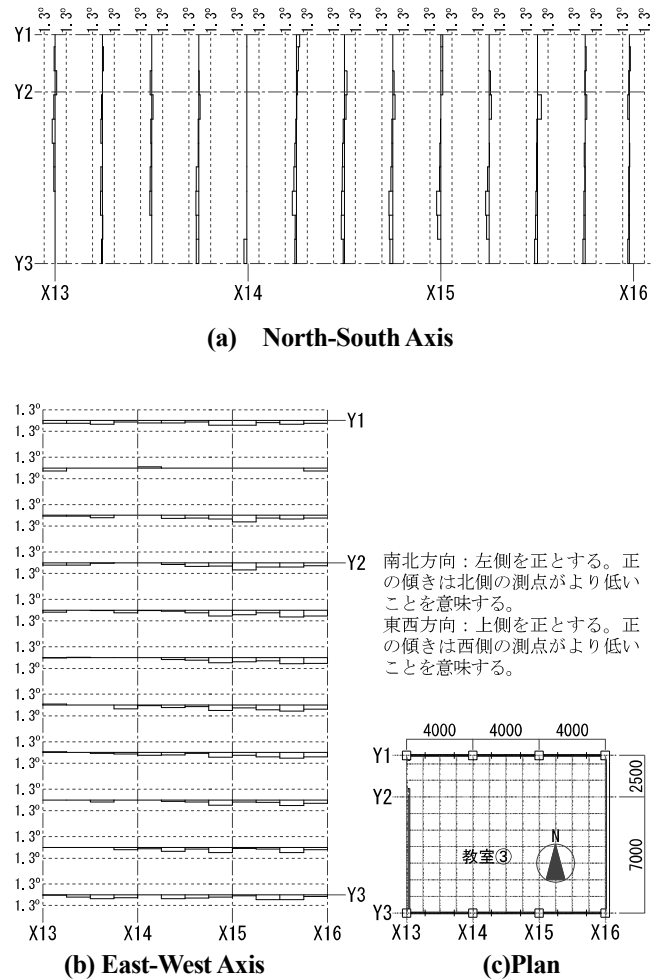


Fig.13 Inclination on Floor Slabs (Computer Room)

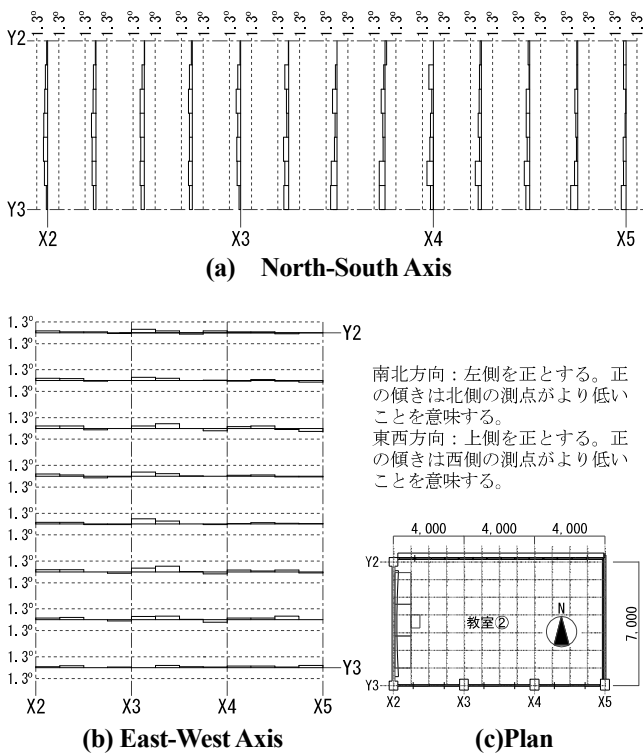


Fig.12 Inclination on Floor Slabs (Classroom for 4th-year Student)

Fig.10 と Fig.8 を比較すると床面全体の変形は建築物の不同沈下モードに類似していることがわかる。ただし、3階の X3 列から X5 列において下側に凸の変形がみられる。これは床スラブのたわみが原因と考えられる。

4. 3 床面の傾き

Fig.11, 12 および 13 に建築学科 5 年ホームルーム、建築学科 4 年ホームルームおよびデジタル多目的演習室それぞれの床面の傾きを示す。これら 3 つの教室は建築学科棟の東西両端に位置し、なおかつ学生の使用頻度が比較的高い教室である。

Fig.11,12 および 13 では、南北方向のグラフは左側を正とする。正の傾きは北側の測点がより低いことを意味する。一方、東西方向のグラフは上側を正とし、正の傾きは西側の測点がより低いことを意味する。黒塗りの箇所は傾きの角度が 1.3° 以上となったことを意味する。

(1) 建築学科 5 年ホームルーム

南北方向では教室の最南側一箇所において傾きの角度が 1.43° となっている。東西方向では教室の南東隅部において角度が 1.37° となっている。これらを除けば、角度が 1.3° 以上となった箇所はみられない。

(2) 建築学科 4 年ホームルーム

南北方向では教室の南側隅部において角度が 0.86° となっている。東西方向では教室の南側中央において角度が 0.69° となっている。

(3) デジタル多目的演習室

南北方向では教室の南側中央において角度が 0.52° となっている。東西方向では教室の東側において角度が 0.86° となっている。

以上をまとめると、建築学科5年ホームルーム、建築学科4年ホームルームおよびデジタル多目的演習室の3室において床の傾きの角度が 1.3° 以上となる箇所はほとんどみられないと言える。

4. 4 床スラブのたわみ

Fig.14 に床スラブのたわみのグラフを示す。この図において鉛直下向きのたわみは軸の右側に表されている。なお、床スラブの長さは 9.5m であり、その 200 分の 1 は 48mm となる。

(1) 建築学科5年ホームルーム

たわみの最大値は教室の南側で見られ、その値は 30mm (鉛直下向き)である。

(2) 建築学科4年ホームルーム

たわみの最大値は教室の中央南東付近で見られ、その値は 20mm (鉛直下向き)である。

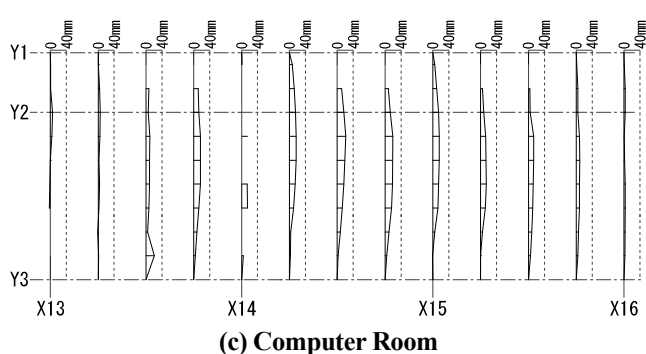
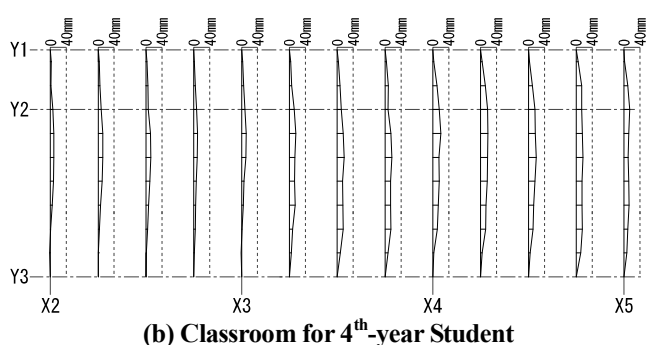
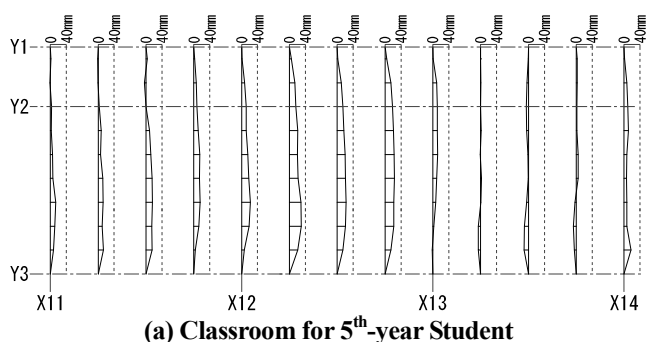


Fig.14 Diagrams of Deflection of Floor Slabs

(3) デジタル多目的演習室

たわみの最大値は教室の中央北付近で見られ、その値は 21mm (鉛直下向き)である。

以上をまとめると、建築学科5年ホームルーム、建築学科4年ホームルームおよびデジタル多目的演習室の3室において床スラブのたわみは床スラブ長さの 200 分の 1 よりも小さいと言える。

5. 学生に対するアンケート

以上の結果を踏まえると、建築学科棟における床の傾きとたわみは学生の心身に影響を及ぼすほどのレベルにはないと推測される。一方で、床が傾いていることは事実であり、この傾きが学生の心身に影響を及ぼしていないか直接的に調べる必要がある。

以上を踏まえ、特に床面の傾きが大きい建築学科4年ホームルームと同5年ホームルームを対象とし、これらの教室の主たる使用者である建築学科4年生と同5年生に対してアンケート調査を実施した。なお、5年生は4年ホームルームの使用実績を有するものの、今回のアンケートでは5年ホームルームについてのみ回答してもらった。アンケートの配布数は4年生に対して35(男性25人, 女性10人), 5年生に対して33(男性19人, 女性14人)であり、全て回収した。アンケートは2010年12月に実施した。アンケート用紙を Table 1 と Table 2 に示す。また、アンケート回答のうち、5年生の回答を Table 3 に、4年生の回答を Table 4 にそれぞれ示す。

(1) 5年生

Table 3 より、床面が傾いていることを認識している学生は33人中6人である。

床面の傾きを感じ始めた時期は回答者により異なっているが、6人中3人が4月上旬より、2人が6月よりそれぞれ床面の傾きを感じ始めたと回答している。また6人中5人が2010年12月現在においても床が傾いていることを感じていると回答している。

また、床が傾いていることを感じたときの姿勢として6人中3名が立っているときと回答し、残りの3名は椅子に座っているときと回答している。

床が傾いていることを感じた場所は回答者により大きく異なっているが、教室南側窓近辺において床の傾きを感じた回答者が多いように見受けられる。

以上をまとめると、建築学科5年生のうち、2割程度の学生は床が傾いていることを長期間にわたって感じていることが確認された。その一方で、建築学科5年ホームルームにおいて身体的な違和感を訴えた学生はいない。よって、建築学科5年ホームルームにおける床面の傾きが、利用者である学生の心身の健康状態に影響していないと判断できる。

Table 1 Questionnaire Form(first page)

教室の住みやすさに関するアンケート

Dec.2010
奥伸之, 小島敬司

1. 性別をお答えください。 男 女

2. 教室の床が傾いていると感じますか？もしくは感じたことがありますか？
はい いいえ・わからない

「いいえ・わからない」と答えた方は裏面の4にお進みください。

3. 上記の2で「はい」と答えた方に質問です。
 ① 床の傾きを感じ始めたのはいつ頃ですか？あてはまる時期を○で囲んでください。

4月			5月			6月			7月			8月			10月			11月					
上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬

② どれくらいの期間、床の傾きを感じていましたか？
1週間以内 1~2週間 2~4週間 1~2ヶ月 2~3ヶ月 3~6ヶ月
現在も感じている。

③ 傾きを感じる(感じた)とき、どのような姿勢をとっていましたか？
立っているとき 椅子に座っているとき 歩いているとき
その他 ()

④ 傾きを感じる(感じた)とき、教室のどのあたりにいましたか？
 下図に描かれた番号のうち、あてはまるものを○で囲んで下さい。

Table 2 Questionnaire Form (Second Page)

4. 教室で生活していて「ふらふらする」「気分が悪くなる」など身体的な違和感を感じますか？もしくは感じたことがありますか？
はい いいえ・わからない

「いいえ・わからない」と答えた方はこれ以上お答えいただくことなく結構です。ご協力ありがとうございました。

5. 上記の4で「ある」答えた方に質問です。
 ① その違和感はどうなものでしょうか？
ふらふらする感じ 体が浮くような感じ 体が回転するような感じ
その他 ()

② その状態が現れたのはいつ頃ですか？

4月			5月			6月			7月			8月			10月			11月					
上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬

③ どれくらいの期間、その状態が継続しましたか？
1週間以内 1~2週間 2~4週間 1~2ヶ月 2~3ヶ月
3~6ヶ月 現在まで継続

ご協力ありがとうございました。

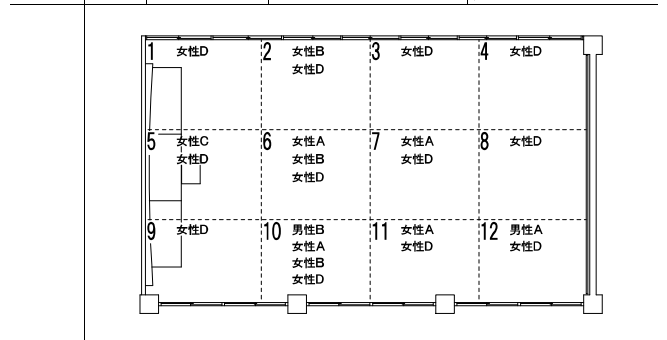
Table 3 Questionnaire results(5th-year student)

質問2 教室の床が傾いていると感じますか？もしくは感じたことがありますか？

回答		
	はい	いいえ・わからない
男性	2	17
女性	4	10
合計	6	27

質問3 上記の2で「はい」と答えた型に質問です。
 ①床の傾きを感じ始めたのはいつ ですか？
 ②どれくらいの期間、床の傾きを感じていましたか？
 ③傾きを感じる(感じた)とき、どのような姿勢をとっていましたか？
 傾きを感じる(感じた)とき、教室のどのあたりにいましたか？

回答				
	回答者	① 感じ始めた時期	② 感じていた期間	③ 感じたときの姿勢
男性	A	4月上旬	現在も感じている	立っているとき
	B	4月上旬	現在も感じている	立っているとき
女性	A	6月中旬	現在も感じている	椅子に座っているとき
	B	6月下旬	1週間以内	椅子に座っているとき
	C	4月上旬	現在も感じている	立っているとき
	D	わからない	現在も感じている	椅子に座っているとき



質問4 教室で生活していて「ふらふらする」「気分が悪くなる」など身体的な違和感を感じますか？もしくは感じたことがありますか？

回答			
	はい	いいえ・わからない	無回答
男性	0	18	1
女性	0	14	0
合計	0	32	1

(2) 4年生

Table 4 より、床面が傾いていることを認識している学生は35人中2人である。この2人は4月上旬から12月現在に至るまで床の傾きを感じていると回答している。

5年生と異なり、4年生では違和感を訴えた学生が35人中3人いる。ただし、3人のうち、1人は質問5に対して回答しておらず、どのような違和感を覚えたのかなど詳細はわからない。他の2人はふらふらする感じを2010年12月現在まで覚えていると回答している。このふらふらする感じに対して今回計測された床面の傾きが

Table 4 Questionnaire results(4th-year student)

質問2	教室の床が傾いていると感じますか？もしくは感じたことがありますか？	
	回答	
	はい	いいえ・わからない
男性	1	24
女性	1	9
合計	2	33

質問3	上記の2で「はい」と答えた型に質問です。 ①床の傾きを感じ始めたのはいつ ですか？ ②どれくらいの期間、床の傾きを感じていましたか？ ③傾きを感じる（感じた）とき、どのような姿勢をとって いましたか？ 傾きを感じる（感じた）とき、教室のどのあたりに いましたか？			
	回答			
回答者	① 感じ始めた時期	② 感じていた期間	③ 感じたときの姿勢	
男性	A 4月上旬	現在も感じている	転んでいたとき	
女性	A 4月上旬	現在も感じている	立っているとき	



質問4	教室で生活していて「ふらふらする」「気分が悪くなる」など身体的な違和感を感じますか？もしくは感じたことがありますか？		
	回答		
	はい	いいえ・わからない	無回答
男性	2	22	1
女性	1	9	0
合計	3	31	1

質問5	上記の4で「ある」と答えた方に質問です。 ①その違和感はどのようなものですか？ ②その状態が現れたのはいつ ですか？ ③どれくらいの期間、その状態が継続しましたか？			
	回答			
回答者	① 感じた違和感	② 感じ始めた時期	③ 感じていた期間	
男性	A ふらふらする感じ	7月中旬	現在まで継続	
	B ふらふらする感じ	10月上旬	現在まで継続	
女性	A 無回答	無回答	無回答	

どの程度関与しているかは定かではない²⁾。従って、ふらふらする感じをうったえる学生がいる場合、その学生の席をなるべく床面の傾きの小さい平な場所に移動させてやるなどの対応をとった後、改めてその学生にその後の心身の状態について尋ねる必要がある。

6. まとめ

本報では、昭和40年に瀬戸内沿岸の軟弱地盤上に建設された3階建RC造建築物について、その床面の鉛直変位量を測定し、測定結果に基づいて傾きと床スラブのたわみを計算した。得られた知見を以下に示す。

- 床面の傾きの角度が1.3°よりも大きい箇所はほとんどなく、よって建築学科棟の床面の傾きは居住者の心身に影響を及ぼすほどのレベルではないと推測される。
- 床スラブのたわみは床スラブ短辺長の200分の1よりも小さい。
- アンケートの結果、建築学科4年ホームルームと同5年ホームルームにおいて、利用者のうちの1~2割程度は床が傾いていることを感じている一方、心身に違和感を覚える利用者は3名程度であった。従って、これら二つのホームルームにおける床の傾きは利用者の心身に多大な影響を及ぼすほど大きいものではないと考えられる。
- 一方で、ふらふらする感じを訴えた利用者があることも事実である。今回の調査結果のみでは、これら利用者が感じたふらふらする感じと床の傾きの関係は定かではないものの、これらの利用者に対しては席順を変更するなどの対応が必要と考えられる。

<謝辞>

本研究に関する計測および図表作製に関して、呉工業高等専門学校建築学科2010年度卒業生の生、平田および安田子にご協力いただきました。また、資料覧に当たり、呉工業高等専門学校施設系の皆様にご協力いただきました。ともに深く感謝いたします。

<参考文献>

- 呉工業高等専門学校第2体育館用地地質調査工事報告書：1980年9月
- 呉工業高等専門学校構造計算書：1964年8月
- 遠山、根角知、山田也：自己歪応力による鉄筋コンクリート構造物の損傷調査および検討：2007年度呉工業高等専門学校建築学科卒業論文
- 小林、坂口知、佐藤、福田康：自己歪応力によるRC構造物の損傷の調査および評価：2006年度呉工業高等専門学校建築学科卒業論文
- 北原正章、宇野良二：傾斜室における眩暈と平：耳科臨床、第58巻第3号、1958年3月
- 宇野、遠藤：人の平感覚に関する研究：日本建築学会計画系論文集第490号、1996年12月
- 土橋由造、井野：大みをもつ鉄筋コンクリート障害床スラブの実態調査とその対策：日本建築学会論文報告集、第272号、1978年10月

- 8) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説― 容応力度設計法―：日本建築学会，1999 年 11 月
- 9) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説：日本建築学会，1962 年 11 月
- 10) 西村光正，賀保夫：呉高専における地盤沈下と建物の不同沈下について：呉高専 35 周年記念学術論文集，2000 年
- 11) 和士：床面平度の実測例：日本建築学会中国支部研究報告，1970 年 10 月

<注釈>

2 人が感じているふらふらする感じの原因が今回計測された床面の傾きであるとするならば，少なくとも 2010 年度内における建築 4 年の席替えに関する議論が必要である。すなわち，各学 においては通常，年に数回の席替えを行うものと考えられるため，この 2 人の席が年間を通じてホームルーム内のどの位置にあったかを調査し，それぞれの位置における床面の傾きを精査しなければならない。この点については今後の課題としたい。

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

(建築学分野) 佐々木伸子
(環境都市工学分野) 森脇武夫
(自然科学系分野) 赤池祐次, 笠井聖二
(人文社会系分野) 竹山友子

The Effects on Students Generated by “The Project for the Improvement of Basic Academic Ability”: Focusing on the Changes in Students' Learning

(Faculty of Architecture and Structural Engineering) Shinko SASAKI
(Faculty of Civil and Environmental Engineering) Takeo MORIWAKI
(Faculty of Natural Science) Yuji AKAIKE, Seiji KASAI
(Faculty of Humanities and Social Sciences) Tomoko TAKEYAMA

Abstract

The Project for the Improvement of Basic Academic Ability was launched in 2009. The aim of this project was to improve students' basic academic skills in mathematics, physics and English. In this report, we analyze the effects generated by two-year activities of the project. In particular, we have focused on the changes in the academic results of the students who studied in our remedial classes. We also conducted a survey in the form of a questionnaire and analyzed the results. The findings of the analysis and the survey are as follows: 1) Most of the students who studied in the remedial classes improved their academic results; 2) A lot of students has become aware of the necessity to study by this project; 3) Students have acknowledged problems in their academic results, but they don't spare time for studying; 4) The number of the first-year students who worried about learning in 2010 is larger than that in 2009, 5) The students who studied in remedial classes are not motivated to study voluntarily. As a task for the future, we should lead students' “awareness” to their “action,” giving further support to the students who are aware that they need to study more, in order for them to study autonomously.

KEYWORDS: Basic Academic Ability, Remedial Class, Learning Support, TERAKOYA
基礎学力, 補習, 学習支援, 寺子屋

1. はじめに

近年, 国際学力調査の結果等に子どもの学力低下の問題が指摘されている。本校においても同様に入学段階から基礎学力が身に付いていない学生が目立つようになってきた。そして, 低学年で単位を取得できない学生や学習生活態度の悪い学生が増えるなどの問題が顕在化している。

このような状況の中, 本校では, 第二期中期計画の初年度である 2009 年度の重点項目として, 学生生活の規律向上と基礎学力の向上, 教育内容

の大幅見直し作業の三つの取組みを掲げた¹⁾。これによって始められたものの一つが「基礎学力向上プロジェクト」である。基礎学力の中で重点科目として数学, 物理, 英語の三科目を取り上げ, 担当教員による学習支援が行われている。2009 年度の開始から 2 年が経過した。初年度の取組みについては参考文献 2) に詳しい。

本稿は, 「基礎学力向上プロジェクト」について 2 年間の取組みの効果を, プロジェクト対象学生の成績変化と, 学生の学習状況の調査結果より検証するものである。

2. 基礎学力向上プロジェクトの概要

このプロジェクトは、数学、物理、英語を積み重ねが必要な重点科目と位置づけ、これらの科目について基礎学力を確実に身につける方策の検討と実施体制の構築を目的としている。補習に限らず、授業方法の改善、学生の学習意欲を高めるなど質的向上を目指した。そのため、教科担当教員だけが行うのではなく、学校全体の取組みとして教科担当教員と教務主事、教務主事補が協力して低学年の学習支援を検討した。

数学、物理、英語の三部会に分かれて、部会ごとに現状を分析し、話し合い、必要と思われる対策を講じた。そして、高専で必要な学力レベルを下げることなく単位未習得者を減らし、基礎学力を向上させることを目指すこととなった。その方法として、数学と英語では「寺子屋^{注1)}」という名称の補習を行い、物理では夏休みに郵送方式で課題を実施させることとなった。

これらの取り組みは2009年度以降も継続して行われ、「寺子屋」は学生、教職員に補習を意味する言葉として理解されている。

3. 数学部会の取り組みとその効果

3.1 数学寺子屋の取り組み

数学部会は、2009年度に4回、2010年度に4回開かれ、学力向上に関する検討を行った。2009年度は、数学寺子屋を1年生21人を対象にして、

講師派遣で後期に7回実施し、2年生16人には数学科教員によるマンツーマン補習を行った。2010年度は、1年生19人に対し、後期に6回の数学寺子屋を開講した。2年生には前期12回(数学A、数学B各6回)の数学寺子屋を30人に対して数学科教員によって実施した。

3.2 補習の効果と課題

1年生の数学寺子屋の効果について分析を行う。寺子屋対象学生の数学A、数学Bの前期末成績と学年末成績を図1、図2に示した。前期末の成績(横軸)よりも学年末の成績(縦軸)が良くなった学生は上半分の網掛け部分に入り、成績が低下した学生は白地に位置する。学年の平均点を×と+印で示している。全体的に見て殆どのプロットが網掛け部分に入っており、学年の平均点は網掛けとの境界上にあることから多くの学生で成績の向上がみられたといえる。

なお、2009年度の学生を黒丸で2010年度の学生を白丸で表示しているが、二カ年の変化でみると目立った違いはみられない。そこで補習対象者の中で成績が向上した学生の割合で見てみる。前期末試験と学年末試験の得点差がクラス平均の差以上向上した学生は、2009年度は数学Aで66.6%、数学Bで85.7%おり、2010年度は数学Aで83.3%、数学Bで77.7%と2009年度よりも2010年度が若干補習の効果がみられた。

1年生の数学寺子屋で問題としてあげられたのは出席率である。数学寺子屋の出席率は2009年

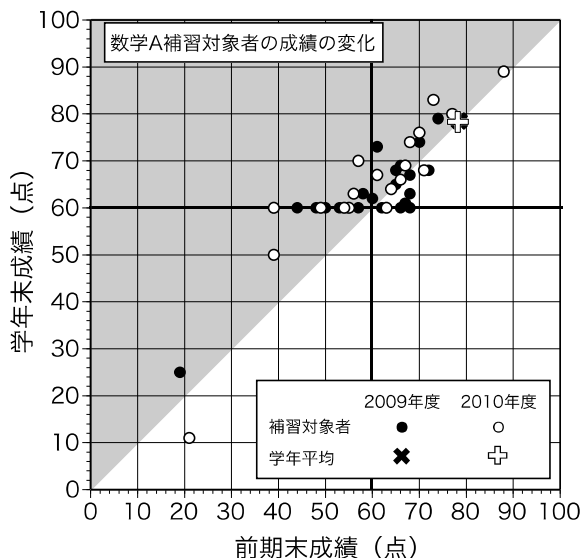


図1 数学寺子屋対象者の数学Aの成績

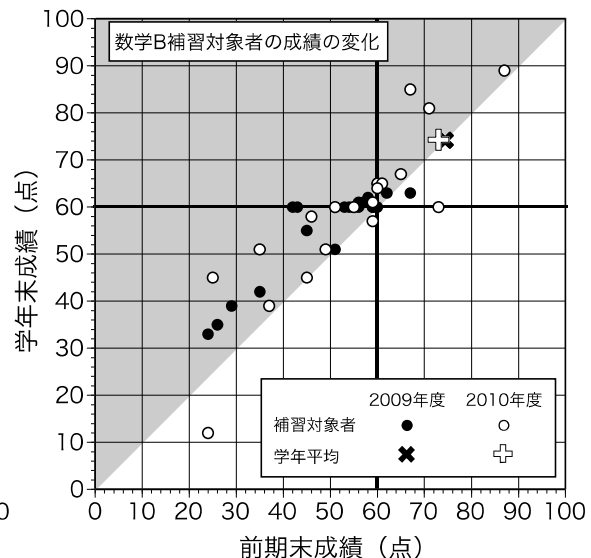


図2 数学寺子屋対象者の数学Bの成績

度は68%であり、教員が学生を呼びにいくことが多かった。2010年度は71%とあまり変化はなかった。補習対象学生がきちんと補習を受ける体制づくりが課題である。

4. 物理部会の取り組みとその効果

4.1 取り組み内容

物理部会は2009年度に6回、2010年度に2回開かれた。物理部会では、補習に関する議論ではなく授業改善に関する報告と議論が中心に行われた。学力不振者への取り組みとしては、1年生、2年生を対象に夏休み郵送課題を行っている。

すなわち、2009年度は前期末試験の評価点が50点以下の1年生56人に対し、夏休みに郵送による課題の出題と解答の返却を求め、教員が添削した後、間違った箇所を追加課題に加えて再度郵送するという学習指導を行った。また、後期には、学生を指名しての補習と再テストを繰返して行い、学生の学習を促した。2010年度は、夏休みの郵送課題を1年生87人、2年生91人に対して実施している。

4.2 夏休み課題の効果と課題

2009年度と2010年度の物理の夏休み課題対象者の試験成績を図3に示す。物理の成績は、単位の認定と総合的評価の2段階で評価しており、定期試験の点数が認定基準に満たない場合には再試験を実施している。試験で単位が認定された場合のみ、小テスト・レポート・授業態度等を総合的に評価し、学年末の成績点を決定する様になっている。全体的に見ると課題対象者のほとんどが網掛け部分に位置しており、成績の上昇がみられる。

学年末成績が欠点の学生は、2009年度は補習対象者54人の内5人(9.3%)、2010年度は87人の内15人(17.2%)であり、単位習得状況は2009年の方がよい。前期末から学年末への成績変化ではクラス平均の得点差よりも得点が上昇した学生が2009年度は48人(88.8%)いたのに対し、2010年度は60人(68.9%)と減少した。この理由には、2009年度は夏休み課題と補習が行われ2010年度は夏休み課題のみであったという取り組み方の違いが現れたのではないかと考えられる。

5. 英語部会の取り組みとその効果

5.1 英語寺子屋の取り組み

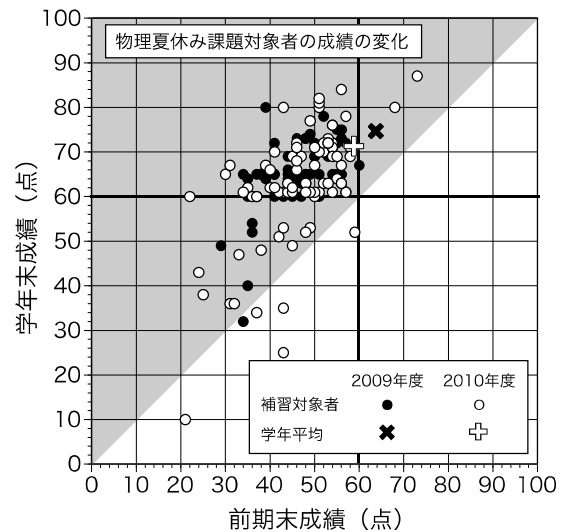


図3 物理夏休み課題対象者の成績

英語部会では、2009年度5回、2010年度3回の部会を開いて検討を進めてきた。2009年度より後期に「英語寺子屋」として、学習アドバイザー(本校非常勤講師)による補習を行っている。英語寺子屋は1年生と2年生を対象に隔週水曜の2時間、各学年2学科ずつのクラス別指導で開講した。2009年度は1年生7回、2年生6回、2010年度は1年生6回、2年生5回の開講である。補習対象者は、2009年度1年23人、2年41人で、学年に占める割合は、1年生14.4%、2年生23.0%である。2010年度は各学科10人程度、1クラス20人前後で人数を調整した結果、1年41人、2年41人となり、学年に占める割合は1年生23.7%、2年生23.0%で2010年度は1年生の対象者が増加した。寺子屋への出席率は、2009年度は1年生68%、2年生75%、2010年度は1年生73%、2年生58%で、年度や学年によって異なっている。また、2010年度は寺子屋に指名された学生だけでなく、参加を希望する学生も受けることができるようになり2人の学生が希望した。

5.2 補習の効果と課題

英語寺子屋は1年生と2年生に開講されたがここでは1年生の成績について分析を行う。

2009年度と2010年度の前期末評価と学年末評価の成績変化を総合英語とオーラルコミュニケーション(OC)にわけて図4と図5に示す。

前期末から学年末への成績変化がクラス平均の得点差よりも得点が上昇した学生は、総合英語が

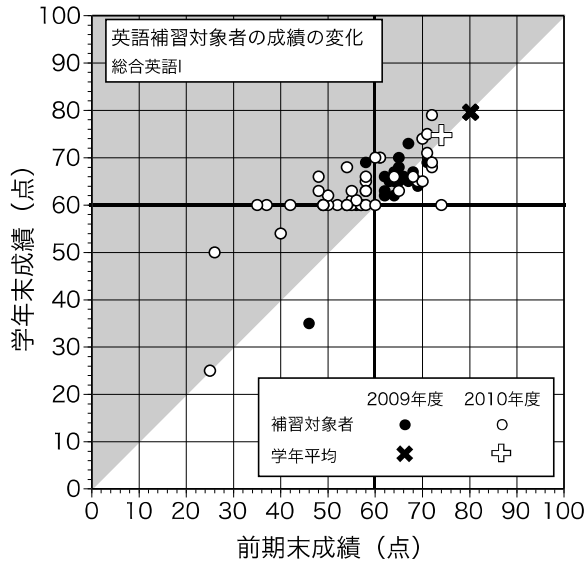


図4 英語寺子屋対象者の総合英語の成績

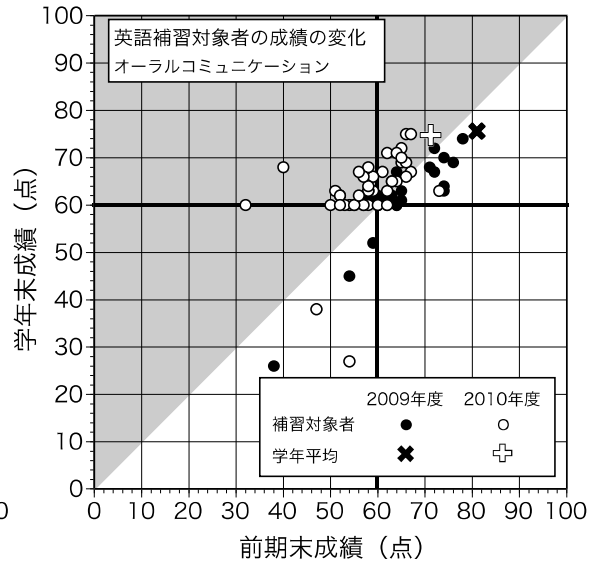


図5 英語寺子屋対象者のOCの成績

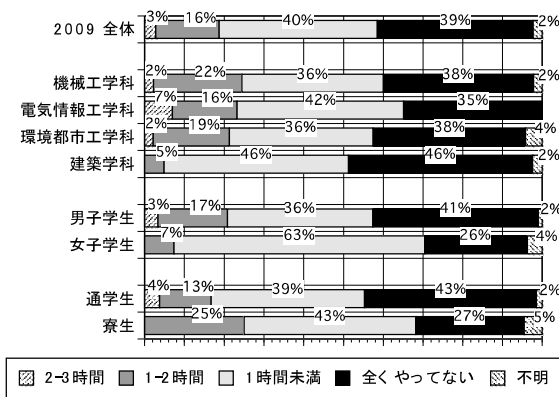


図6 2009年度1年生の自宅での学習時間

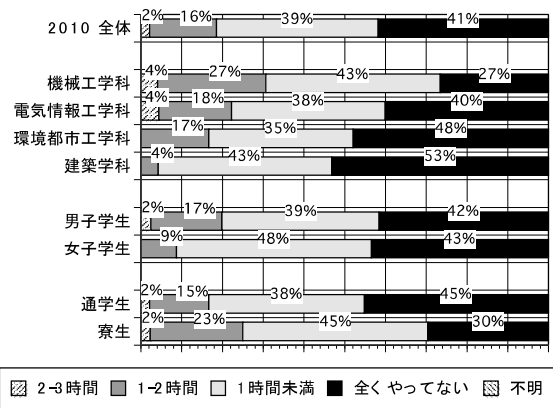


図7 2010年度1年生の自宅での学習時間

2009年度16人(69.5%), 2010年度30人(73.1%), オーラルコミュニケーションは2009年度14人(60.8%), 2010年度で26人(63.4%)あり, 6割以上の学生に良好な成績変化が見られた. グラフで見ると学年平均点は2010年度が下がっているものの得点の位置は大部分が網掛け部分に入っており, 2010年度の方で寺子屋の効果がみられると言えよう.

6. 学生への影響 (学生アンケート調査)

6.1 調査方法

基礎学力向上プロジェクトに対する学生の反応を把握し, 新年度の活動計画の資料とするため, 2年生の4月に学習状況と寺子屋への意識に関するアンケート調査を行った. 調査はクラス担任に依頼し, 新学年最初のHRで配布して記入後すぐに

回収した. 有効回答は2009年度1年生が176票, 2010年度1年生が189票である. 調査では, 1年生の時の学習状況を尋ねている.

6.2 年度別のアンケート集計結果

(1) 自宅での学習状況

自宅での学習状況に関する集計結果の2009年度1年生を図6に, 2010年度1年生を図7に示す. 「あなたの自宅での学習時間はどのくらいですか. 授業日の平均的な学習時間に○をつけてください」という質問に対し, 「全くやっていない」という学生は2009年度に全体の39.2%, 2010年度は41%であり, 4割の学生が自宅学習の習慣がなかった. 学科別に見ると建築学科の学生の学習時間が少ない傾向がみられる. 性別でみると, 1時間以上学習するのは女子学生よりも男子学生に多い. 通学形態別に見ると「全くやっていない」学生は通学生が4割強であるのに対して寮生は3割

佐々木・森脇・赤池・笠井・竹山：基礎学力向上プロジェクトが学生に与える影響
—学生の学習状況の変化に着目して—

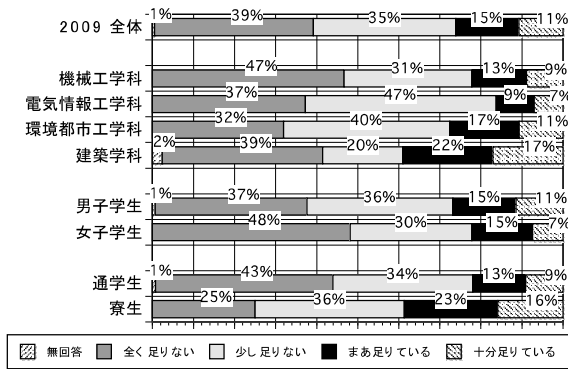


図8 2009年度1年生の学習時間についての考え

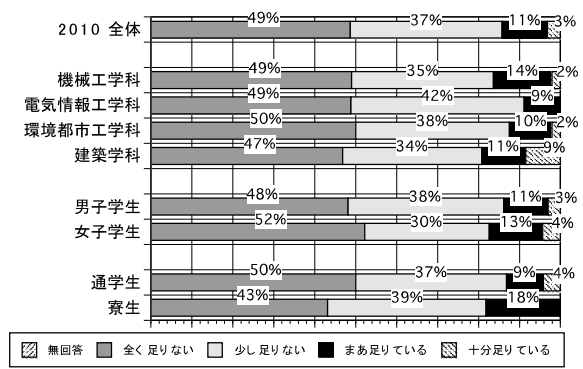


図9 2010年度1年生の学習時間についての考え

に留まり、寮生の方が学習時間を持っている。

学習時間についての学生自身の考え方(図8, 図9)では、年度の違いがみられた。2009年度1年生は全体で39%の学生が「全く足りない」と答えていたが、2010年度1年生は49%と多く、半数の学生が学習不足と認識していた。同様に「十分足りている」、「まあ足りている」と応えた学生は2009年度の26%から2010年度の14%と減少していた。

学科別にみると、2009年度は学科間の違いがみられたが2010年度は違いが少なく年度によって異なっている。性別では女子学生の方に「全く足りない」という意識が強い。通学形態別では、学習時間の少ない通学生の方に「全く足りない」という意識があり、寮生よりも通学生に学習面での問題がみられる。

(2) 学習の方法について

学校以外での学習の方法として、塾等に行っている学生は2009年度21人(12.5%)で、2010年度9人(4.7%)であった。

授業でわからないことがあった時はどのように

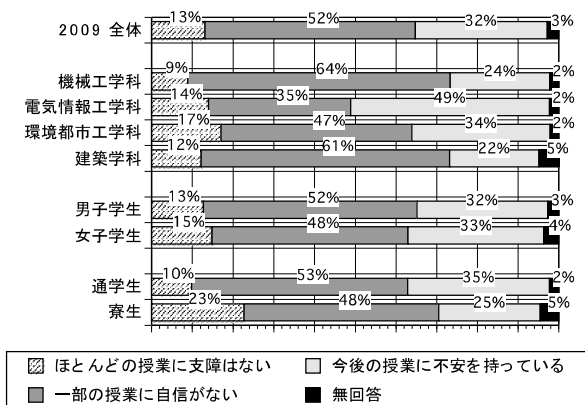


図11 2009年度1年生の自分の学力についての考え

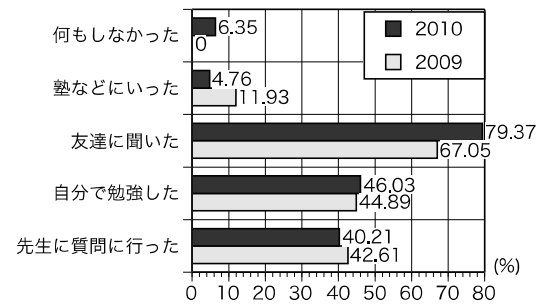


図10 授業で分からなかった時の対応

していたかを尋ねた結果を図10に示す。最も多かったのは、「友達に聞く」が7割程度あり、次いで「自分で勉強する」、「先生に質問に行く」が4割程度となる。「友達に聞く」は2009年度が67%であったものが、2010年度には79.3%と増加していた。学生間の教え合いはかなりの割合で行われているようである。

(3) 自分の学力について

高专での自分の学力についてどう思うかを尋ねた結果を図11と図12に示す。2009年度と2010年度を比べると、2010年度の方が「今後の授業に

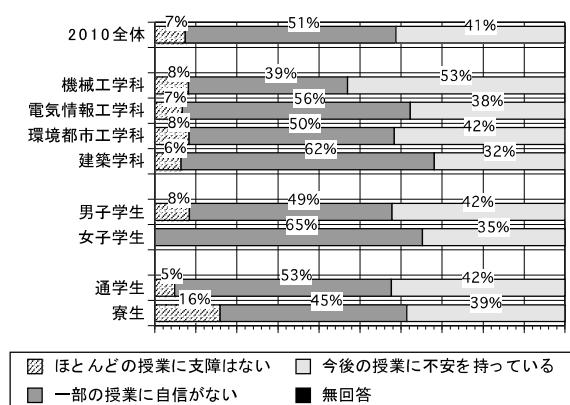


図12 2010年度1年生の自分の学力についての考え

不安を持っている」と答えた学生が多い。2010年度の1年生は2009年度に比べて学習不足という意識を持ち、授業への不安を持っているが学習時間は少ないといえる。学科別にみると「不安を持っている」学生は、2009年度は電気情報工学科が多く、2010年度は機械工学科が多かった。男女別には目立った差はみられない。通学形態別にみると通学生よりも寮生の方が、「ほとんどの授業に支障はない」と答える学生が多い。

(4) 寺子屋に対する意識

学内の電子掲示板や教室に案内が掲載されて周知されている寺子屋であるが、学生はどのように捉えているのだろうか。寺子屋への意識を尋ねた結果を図13に示す。「寺子屋のような補習は必要だと思う」という質問に「そう思う」、「どちらかといえばそう思う」と答えた学生は8割を超える。年度でみると2009年度より2010年度の方が必要だと考える割合が高かった。また、「希望者が参加できるとよい」という問には9割の学生がそう思うと答えており、その割合も2010年度の方が多かった。

寺子屋の捉え方としては、「寺子屋に指名されるのは恥ずかしい」を「そう思う」と答えた学生は2009年度が33%、2010年度は26%と減っており、「そう思わない」学生が3割程度存在し、恥ずかしいこととはあまり考えていないようである。

「寺子屋に行った学生は得をしている」と思うかという質問では、両年度とも7割の学生が「そ

う思う」と答えていた。

補習対象ではない学生の寺子屋への意識を図14に示す。「指名されても参加したくない」と答えた学生は1割程度と2009年度と2010年度に大きな差はみられないが「自分も参加したいと思った」では、2009年度は45%だったものが2010年度は30%と大きく減った。これは寺子屋の初年度には関心が高かったことが推察される。

(5) 補習の評価

補習対象の学生に補習の評価を尋ねたところ、

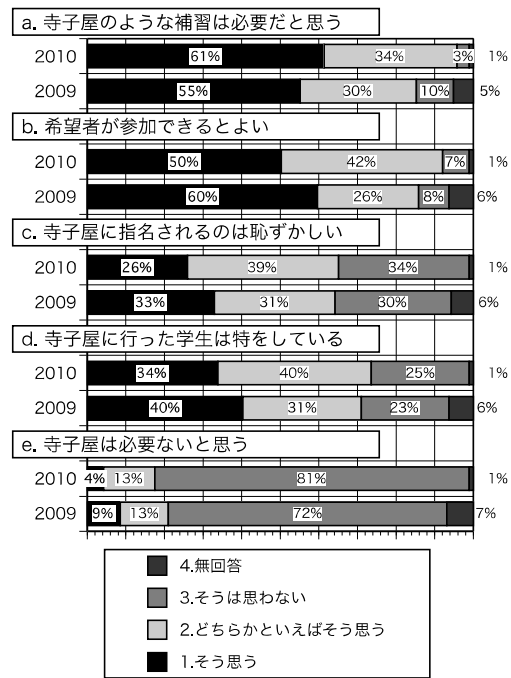


図13 寺子屋に対する考え

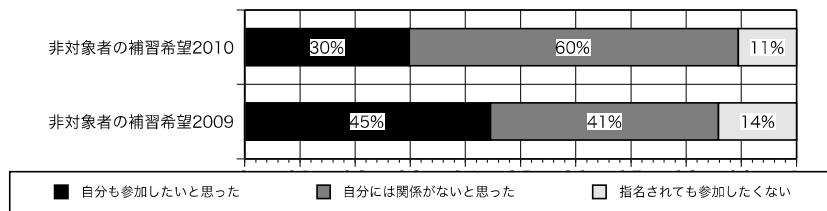


図14 補習対象ではない学生の意見

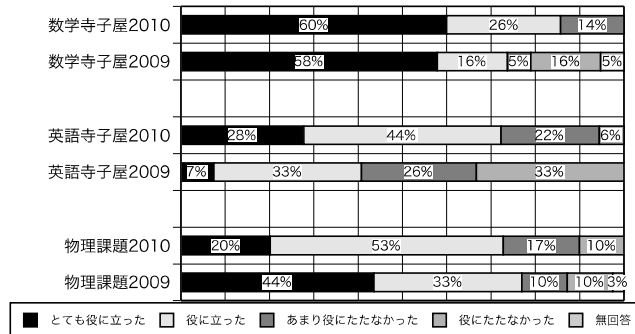


図15 補習の評価

科目によって意見がわかれた(図 15)．最も評価が高かったのは、数学寺子屋であり、6割近くが「とても役に立った」と答えている。「役に立った」を含めると2009年度は74%、2010年度は86%と評価が高くなっていった。

英語寺子屋では、2009年度は「とても役にたった」「役に立った」があわせて40%であったが2010年度には72%と大きく変化した．この理由には英語部会での検討によって実施方法や内容が変えられたことがあげられる．英語部会の活動の詳細は呉工業高等専門学校研究報告第73号で報告されている。

物理では、夏期課題について質問を行った。「とても役に立った」と答えた学生は2009年度に44%だったものが2010年度は20%と大きく異なった．しかし、「役に立った」を含めると7割強の学生が評価していた。

6.3 補習対象者別のアンケート集計結果

(1) 寺子屋に対する意識

寺子屋への意識は補習の対象学生とそうでない学生とどのように違うのであろうか．アンケートの質問項目を数学寺子屋と英語寺子屋の補習対象者別に集計した．

「寺子屋は必要だと思う」という質問には、数学では補習対象者の方が必要と考える傾向がみられた(図 16)．英語では補習対象ではない学生の方が必要と考えていた．また、年度でみると2010年度の学生の方が必要と考えている。

「希望者が参加するのがよい」という質問では、数学、英語ともに補習対象者の方が「そう思う」と答えていた(図 17)．

「寺子屋への指名は恥ずかしい」という質問では、数学では補習対象ではない学生の方が恥ずかしいと感じており、対象者の方が恥ずかしさを感じていない(図 18)．英語では補習対象別ではなく年度で違いがみられた。

「寺子屋に行った学生が得をしている」という質問では、数学は補習対象者の方が「そう思う」と答えており、補習によるメリットを感じていた(図 19)．英語では補習対象ではない学生の方が「そう思う」割合が高いが「どちらかといえばそう思う」を含めると目立った差はみられない。

全体では7割程度の学生が寺子屋にはメリットがあると考えている。

(2) 学習行動の違い

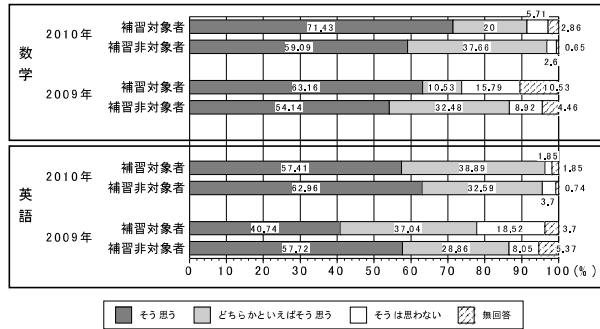


図 16 補習対象者別寺子屋の意識 (寺子屋は必要と思う)

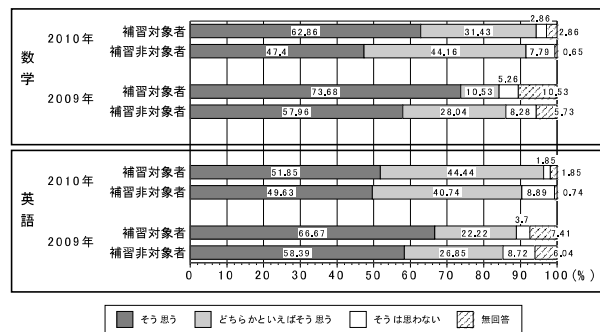


図 17 補習対象者別寺子屋の意識 (希望者参加がよい)

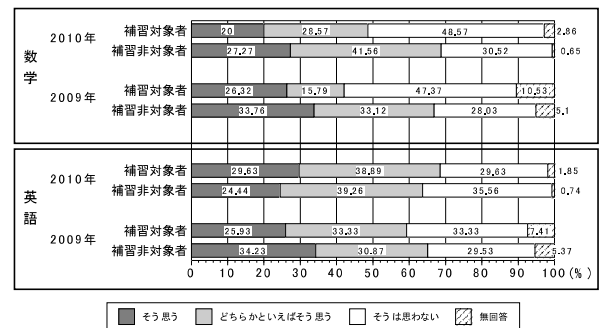


図 18 補習対象者別寺子屋の意識 (指名は恥ずかしい)

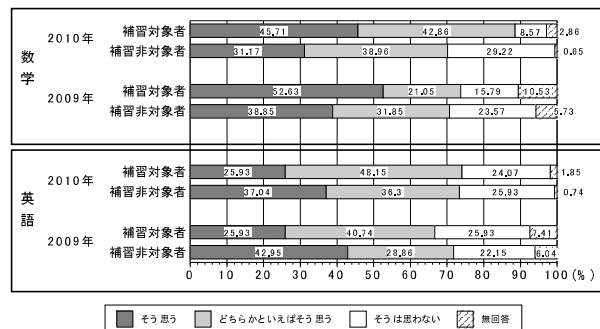


図 19 補習対象者別寺子屋の意識
(寺子屋に行った学生が得をしている)

補習対象者とそうではない学生の学習行動には違いがあるのだろうか。各科目の補習対象別学習行動を集計した。

数学では、「先生に質問」、「自分でやる」といった自主的な行動は、補習対象ではない学生の方が多かった(図 20)。物理では、年度での差が大きく、2010 年度 1 年生は夏期課題対象者に「友達に聞く」が多く、課題対象ではない学生が「先生に質問」が多いという様な行動パターンにわかれていた(図 21)。英語では補習対象ではない学生が「先生に質問」、「自分でやる」という学習行動となっており、補習対象学生との違いが顕著である。

これら学習行動をみると、補習対象学生は、自ら学習するという行動がとれていないことがわかる。自分自身で動いてわからないことを解決するという行動パターンへ導くことが課題であろう。

7. まとめ

基礎学力向上プロジェクトの 2 年間の取り組みを以下にまとめる。

- 1) 前期末と学年末の成績を比較すると、補習対象学生の多くがクラス平均以上の成績向上を示しており、このプロジェクトによって単位を修得できない学生を減らす成績底上げの効果がみられた。
- 2) 学生の意識面では、「寺子屋は必要だと思う」学生が 2 年目に増えており、学習への意識は高まっていることが推察される。
- 3) しかし、学生の学習状況では、「全くやってない」学生が 4 割で、学習時間を「全く足りない」と考えている学生が半数近くおり、実際の学習活動には至っていない。
- 4) 年度別の学生の学習状況では、2009 年度 1 年生に比べて 2010 年度 1 年生の方が学習不足の状況にあった。
- 5) 補習対象者別の集計では、補習対象者はそうでない学生に比べて自主的な学習行動がとれていない傾向がみられた。

今後の課題としては、現状の学習不足という「意識」を学習という「行動」へ移行するための支援が必要であると考えられる。

脚注

注 1) 「寺子屋」という名称は英語部会で名付けられた。「補習＝劣っている者が参加するもの」ではなく、「寺子屋＝基礎学力を積極的に学ぶもの」という意味。

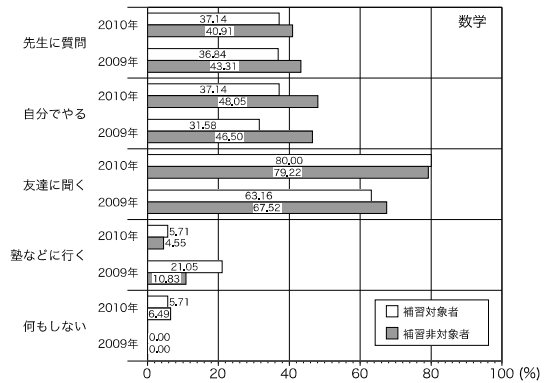


図 20 数学補習対象者別学習行動

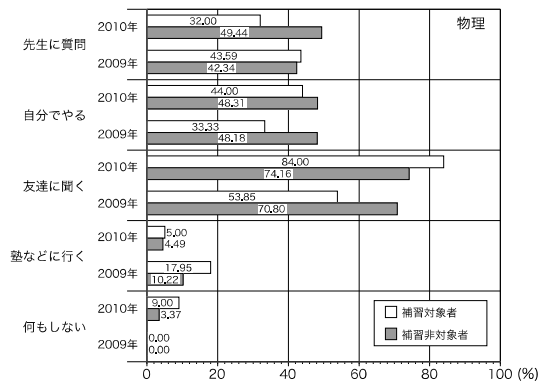


図 21 物理夏期課題対象者別学習行動

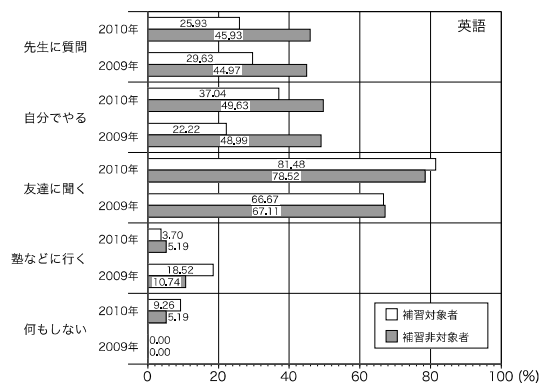


図 22 英語補習対象者別学習行動

参考文献

- 1) 呉工業高等専門学校, 「“ホップ・ステップ・ジャンプ” 呉高専の飛躍に向けて」(2009)
- 2) 佐々木伸子, 森脇武夫, 赤池祐次, 笠井聖二, 竹山友子, 木原滋哉, 大和義昭, 横瀬義雄, 「基礎学力向上プロジェクトによる低学年に対する学習支援の試み—寺子屋の取り組みと学生の学習状況について—」, 呉工業高等専門学校研究報告第 72 号, pp.59-65(2010)
- 3) 佐々木伸子, 赤池祐次, 笠井聖二, 竹山友子, 森脇武夫, 「基礎学力向上プロジェクトによる成績の底上げの取り組みとその効果」, 平成 22 年度高専教育講演論文集, pp137-140(2010)

クリティカル・シンキングと高専教育

(人文社会系分野非常勤講師) 上村 崇

(人文社会系分野) 木原滋哉

(井口高校) 宮田健一

Critical Thinking and Education in College of Technology

(Faculty of Humanities and Social Sciences, Part-Time Lecturer) Takashi UEMURA

(Faculty of Humanities and Social Sciences) Shigeya KIHARA

(Inokuchi High School) Kenichi MIYATA

Abstract

We have tried to introduce critical thinking into the education in Kure National College of Technology. This article deals with significance of introduction of critical thinking into education in College of Technology. We think that the ability to think critically consists of the sum of various skills of critical thinking. We built a map of critical thinking skills and taught these skills in the classes, and most students understood these skills. We will introduce critical thinking skills into our education more systematically.

Key Words: critical thinking, media literacy, engineering ethics

クリティカル・シンキング (批判的思考), メディア・リテラシー, 技術倫理

§ 1はじめに

2011年3月11日東日本大地震を原因として福島原子力発電所において原子炉溶融など重大な事故が起こった。この地震や事故について、専門家である科学者が「想定外」であるとか、放射線について「ただちに危険だというわけではない」などと発言している様子が、メディアを通じて国民に伝えられるたびに、専門家に対する不信の念が高まっていった。というのも、科学者の思考が市民の思考とかけ離れていることが実感されたからである。科学的思考においては、「想定外」のことは想定されていないのか、「ただちに危険だというわけではない」ということは将来にわたって危険ではないというわけではないのか、など、市民的思考から疑問が投げかけられたのである。

工業技術者を育成する工業高専にとって、科学者の思考と市民の思考の乖離を前提として、柔軟な思考力を身につけさせること、すなわち科学技術に起因するさまざまな問題を解決していく能力を身に付けることは、その乖離を架橋するためにも、現実的で重

要な課題である。そのためにも、科学技術を身につけるだけでなく、科学技術的思考や市民的思考の違いを自覚して、柔軟な思考ができる人材育成が求められている。

クリティカル・シンキング (批判的思考) とは、情報をうのみにせず批判的に検討する思考であり、文字通りさまざまな思考を架橋する柔軟な思考力を前提とする。科学者は、厳密に管理された条件内で実験をおこなない因果関係などを証明するわけであるから、科学的思考では条件外のことについて言及しないし、危険かどうかははっきりしない現象について危険があるとも言明しない。しかし、原発事故以降、市民の目線からは、そうした思考の在り方に疑問が投げかけられているのである。本稿では、厳格な論理的思考にとどまらず柔軟な思考をも可能にするクリティカル・シンキングとは何か、高専教育および高専社会科教育にとってどのような意義をもっているのか、以上の問題を授業実践に基づいて検討したうえで、クリティカル・シンキングを社会科教育に取り入れて、批判的思考力を育成するための教育実践の可能性と課題

について検討したい。

§ 2 クリティカル・シンキングと工業高専

2.1 クリティカル・シンキングとは何か？

批判的思考の能力とは、クリティカル・シンキングのスキルを使いこなすことを意味する。そのスキルとは、理由と結論を見分けるスキル、情報が受け入れ可能かどうか判断するスキル、表現や考えをはっきりさせるスキル、因果関係を的確に認識するスキル、ある前提や理由から妥当な結論を導くスキルなどからなる。私たちは、思想や概念あるいは考え方を学ぶことは多いけれども、自分がどのような考え方をしているのか、思いを巡らす機会は少ない。したがって、クリティカル・シンキングのスキルを教えるということは、自分自身がどのように考えているのか、「自分自身の思考についての思考」を自覚させることでもある。

2.2 高専教育とクリティカル・シンキング

高専の工学教育にとって、論理的思考できる能力は不可欠である。実験において、多くのデータから一定の結論を導き出すときに、どのような手続きが必要なのか、つねに自覚して実験に臨む必要がある。その手続きが論理的に適切であるかどうか、判断する必要がある。さらに近年では高専教育、とりわけ工学教育にとってもっと柔軟な論理的思考が求められるようになってきている。例えばJABEE教育目標(a)は「地球的視点から多面的に物事を考える能力とその素質」の育成にあり、「多面的思考」能力の育成が求められている。これは文字通り、クリティカル・シンキングのスキル修得と言い換えてもよいだろう。

また今日高専教育では、技術者倫理、エンジニアリング・デザイン、問題解決型学習(PBL)、持続発展教育(ESD)などさまざまな教育実践がとりいれられている。これらの新しい教育実践においては、ひとつの正しい正解、正しい考えがあることを前提としないで、複数の解答があるなかで、妥当な結論を導きだしたり、対立する見解がある中で合意形成に至る道を見出したりすることが重要なスキルのひとつである。そしてこれらの教育実践の基礎となるスキルこそが、クリティカル・シンキングのスキルなのである。

したがって、クリティカル・シンキングのスキルを修得することは、近年高専教育において注目を集めている教育実践にとって、不可欠なスキルの修得であることを意味する。

2.3 高専社会科教育とクリティカル・シンキング

高専の社会科関係科目は、各高専によって異なる。しかし、社会科の科目において、ひとつの正しい解答を導くというよりも、多様な解答がありうるものが珍しくない。またメディアからの情報を批判的に検討して妥当な情報を取り出す技術が重要である。というのも近年メディア技術が進歩しているのに伴い、学生たちは多くの情報にさらされる機会が増えているにもかかわらず、適切な情報を選びとることができなくなっているからである。この

ような現状を踏まえると、社会科においても、クリティカル・シンキングのスキルを身につけ、メディア・リテラシーを向上させることは必要不可欠な課題でもある。

クリティカル・シンキングは、工学教育にとっても高専社会科においても必要不可欠なスキルであり、社会科においてそのスキルが教育することができるならば、それは高専教育全体に大いに寄与できると考えられる。

§ 3 クリティカル・シンキング導入の試み

呉高専社会科のいくつかの科目、とりわけ政治・経済、倫理、哲学などの科目において、クリティカル・シンキングのスキルを教育しようと試行錯誤している。まず、2010年度クリティカル・シンキング教育を開始したときの教育実践については、すでに検討結果を報告している(木原・上村:2011)、簡単に触れるだけにとどめ、次に論理的思考についてのアンケート調査の結果について検討を加えたい。そのうえで、2011年度以降実施している新たな教育実践について検討を加えたい。

3.1 クリティカル・シンキング教育の導入

まず、私たちは、授業を論理的に展開することによって、クリティカル・シンキングのスキルも同時に教えることができるのではないかと考えて、論理的授業を実践した(木原・上村:2011)。

政治・経済の授業において、私たちが物事を解釈するさいに偏見にとらわれやすいことを強調して、私たちの思考を見直す必要があることを指摘した。調査捕鯨やマグロ漁、外国人問題などを素材にして、他者の価値観に立って判断すると別の結論に至る可能性があることを指摘して、自分たちの思考の筋道を明確にした。私たちは多くの情報を解釈する場合に、自分たちの価値観に立って思考する場合が少なくない。ある根拠や事実から特定の結論を導くときに、自分たちの価値観が反映することに自覚する必要があることを強調して、自分たちの思考方法について認識を深める指導を行った。しかし、偏見や価値観の問題であるにとらえられてしまい、そのときの思考方法にどのような問題があったのか、など、思考方法に焦点が絞られないままであった。

また倫理においては、格差の問題を取り上げて、前提と結論を明確にするスキルについて深めさせようと試みた。学生たちは、多くの事例を考え、また多くの対案を指摘したが、前提と結論を結びつける推論の形式について十分に自覚させるという作業にまで至らなかった。

これらの教育実践から、私たちは、授業を論理的に展開することで論理的思考、クリティカル・シンキングについて教育するという手法では、クリティカル・シンキングのスキルそのものを自覚的に学ばせることにはならないのではないかと疑問をもった。論理的授業を展開することで、「間接的に」クリティカル・シンキングのスキルを学ばせるのではなく、クリティカル・シンキングのスキルを「直接的に」理解させ、活用させる教育実践が必要で

あると考えるようになった。

3.2 クリティカル・シンキングと学生の意識

クリティカル・シンキングの導入するさいに、学生に論理的思考に関する意識調査を実施した。対象は第三学年全員である。この調査では、論理的な思考力（批判的思考力）を他の能力と比較して学生がどのように評価しているかを知ることを目的とした。質問項目ごとに、意識調査の結果と分析を加えていくことにする。

質問1

あなたが社会で生活するなかでいちばん必要だと考えているものを書いてください。

選択肢

- (1) 筋道立てて考えること
- (2) 自分を大切にすること
- (3) 他人を大切にすること
- (4) 学力
- (5) 人とうわべだけでもうまくやっていくこと

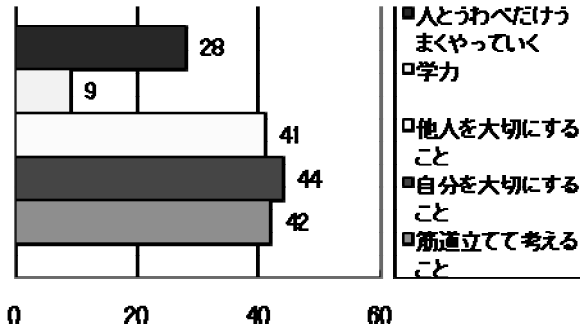


図1 社会で必要だと思うもの

分析

この項目は、社会で生活するなかで必要なものを学生がどのように評価しているか知るためのものである。「自分」や「他人」を大切にすることが必要であると考えられるが、「筋道立てて考えること」も社会に出て必要なことであると認識していることがわかる。逆に学問に対する評価が低い。

質問2 上記の(1)~(5)のなかで、特に必要ではないとあなたが考えることをひとつあげてください。

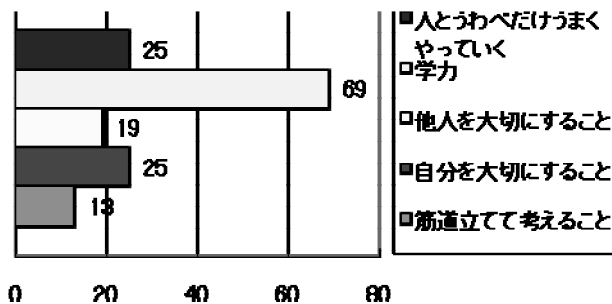


図2 社会で不必要と思うもの

分析

前項目と相関関係があり、社会で生活するなかで「学力」は必要ではないと考える学生が多いことがわかる。それに比べて「筋道立てて考えること」を必要ではないと考えている学生は少ない。このことから、学生が筋道立てて考えること＝論理的思考力が社会生活で必要であると認識していることがわかる。

質問3

下記の能力のなかであなたが一番得意なものを書いてください。

- (1) 数量的スキル
自然や社会の事柄を数字を利用して理解することができる能力。
- (2) 問題解決能力
問題を発見し、整理・分析することで解決できる能力
- (3) 論理的思考力
筋道立てて考える能力
- (4) 情報リテラシー
情報の価値を判断して、使いこなすことができる能力
- (5) コミュニケーション・スキル
人と上手につき合うことができる能力

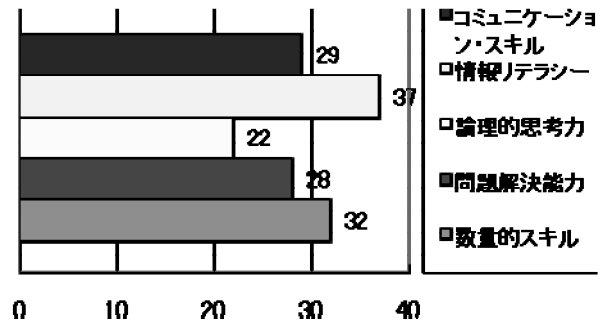


図3 一番得意なもの

分析

数量的スキル・問題解決能力・論理的思考力、情報リテラシー・コミュニケーション・スキルの五つの能力は、文部科学省で「学士力」として規定された能力である。この項目は、これらの五つの能力に関する学生の自己評価を知るためのものである。情報リテラシーを得意だと考える学生が多いことがわかる。続いて数量的スキル、コミュニケーション・スキルと続く。論理的思考力が得意だと評価する学生は最も少ない。

質問4 上記の能力(1)~(5)であなたが一番不得意なものを挙げててください

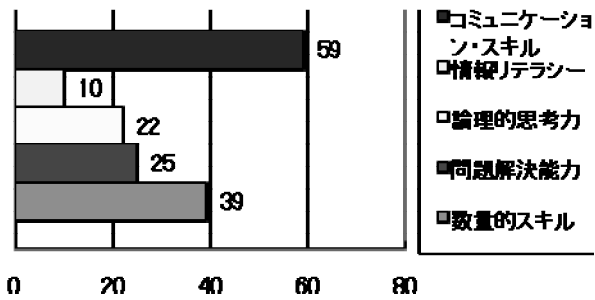


図4 一番不得意なもの

分析

コミュニケーション・スキルを不得意とする学生が多い。それに対して、情報リテラシーを不得意とする学生は少ない。論理的思考力は、情報リテラシーについて二番目に不得意だと評価する学生が少ない項目である。しかし前設問の結果を考慮すると、論理的思考力が得意であるとはいえない。むしろ、論理的思考力が身近ではないため、積極的に評価することができないのではないかと推測できる。逆に情報リテラシーやコミュニケーションは日々の生活のなかで活用しているため、ここに評価が集まると推測できる。

質問5 論理的に思考できる人(筋道立てて考える人)はどのような人だというイメージを持ちますか？

(自由記述)

結果

- ・賢い人 ・リーダーになる人 ・出世する人 ・エライ人
- ・つき合いにくい人 ・話がわからない人(融通の利かない人)

分析

全体を通して、論理的に思考できる人に対する評価は高いが、自分自身が論理的に思考する人間ではないという、ある種突き放したイメージを持っていることが自由記述からわかった。

意識調査全体の分析

論理的な思考力に関する学生の評価は高い。学生は論理的思考力は社会で生活する上で必要な能力であると考えているし、論理的に思考できる人は社会で活躍する人物であると考えている。しかし、自分自身の論理的思考力については具体的なイメージを形成することができておらず、関心が薄いのではないかと推測される。クリティカル・シンキングの教育を実践する上では、学生に論理的思考法、クリティカル・シンキングの思考法を具体的に提示することが必要である。この調査からも、クリティカル・シンキングを「直接的に」理解して活用する教育が必要であることがわかる。

3.3 クリティカル・シンキングのイメージを具体化する

クリティカル・シンキングを「直接的に」理解するためには、スキルを習得する以前に、クリティカル・シンキングのイメージを具体的化することから始めなくてはならない。クリティカル・シンキングは、「批判的思考」と訳されることが多いが、ともすればこの「批判的」という言葉は相手の考えを否定することと捉えられがちである。しかし、クリティカル・シンキングの第一人者でもあるアレク・フィッシャーが指摘しているように、「批判」とは、他者だけではなく自らの主張や議論を吟味することである。クリティカル・シンキングでは、自分や他人の主張や議論を吟味することが大切であり、正しいか、間違っているかという結果よりも吟味するプロセスが重視される。主張や議論の正誤をすぐに知りたがることは、それこそ「無批判的思考」である。学生には、議論や主張を吟味するプロセスが重要であるということを幾度となく強調した。

つぎに、クリティカル・シンキングが吟味する対象である主張や議論について学生が具体的なイメージを持てるようにしなければならない。主張とは、ここでは判断と言いかえることができる。「今日午後から雨が降る」という判断も「原子力発電は廃止すべきである」という判断も、クリティカル・シンキングで取り扱うことのできる主張である。しかし、こうした判断が、根拠もなくただ漠然と主張されているだけでは議論にはならない。議論とは、理由付きの主張のことである。たとえば、「天気予報で午後は雨だといっていたから(理由)、今日午後から雨が降る」、あるいは、「猫が顔をなめたから(理由) 今日午後から雨が降る」という主張は、理由があるため議論といえる。そして私たちは、天気予報は信頼に足るか、猫が顔をなめるから雨が降るということは根拠として十分か、など理由を検討することで、主張の妥当性を吟味することができるのである。クリティカル・シンキングの教育では、議論の構成パターンを把握することが必要である。そのために、私たちが議論を構成するパターンの一覧表を作ることが効果的であると考えた。

§4 クリティカル・シンキング用語集の作成

議論の構成パターンを知るために、クリティカル・シンキングのスキルの一覧を作成した(『教養教育とクリティカル・シンキング』)。その中では、「早すぎる一般化」、「偽りのある標本」、「因果関係の誤り」、「相関関係と因果関係の混同」、「前後関係と因果関係の混同」、「後知恵バイアス」など、私たちが誤りやすい思考方法について自覚を促すとともに、前提から結論を導き出す場合の「推論」の形式について学び、さまざまな代替案を提出し、合意形成に至るための技術まで、クリティカル・シンキングのスキルの一覧表を作成した。

そのうえで、この一覧表などを利用して、これらのスキルの特徴を学ばせ、活用させる授業を実践した。

スキル一覧(抄)

「早すぎる一般化」

十分な論拠がないままに少ない事例から一般的な結論を導くこと
「偽りのある標本」
データや母集団から見て謝った例（標本＝サンプル）だけを取り上げて結論を導くこと。

「因果関係の誤り」

ある結果が生じたときに、誤った原因によって説明すること

「相関関係と因果関係の混同」

ある出来事が起きるたびに、別の出来事も起こると一方の出来事が他方の出来事の原因であると混同すること。

「前後関係と因果関係の混同」

出来事Aの後に出来事Bが起こったときに（前後関係）、出来事Aが原因となって出来事Bが起こった（因果関係）とすること。

コンコルドの誤謬

これまでのコストに囚われすぎて合理的な判断ができないこと

確証バイアス

自分に都合のよい情報だけを集めて、自己の先入観を補強すること

あと知恵バイアス

結果を知ると、そうなるのが当然だと考えがちであること

思い込みにもとづいた情報のパターン

①誇張

話し相手や聞き手が関心を持っている部分が誇張され尾ひれがつく。

②単純化

話が単純でわかりやすくなるように、話し手や聞き手が関心を持っていない部分は省略され、微妙な部分が切れて、白か黒かハッキリと二分化される。

③つじつま合わせ・補強

話し手や聞き手が持つ先入観や、話の流れに沿うように、それと矛盾する事実が歪められる。また時には、実際にはなかった「いかにもありそうな話」がつけ加えられることもある。

こうした誤ったパターンを自覚することは、それぞれの議論が誤りのパターンに陥っていないかチェックすることが可能となり、議論を吟味する上で有効な機能を果たした。

2011年度の授業から、ひとつひとつのスキルを取り上げて、その特徴を学ばせ、別の事例に活用させるという形で、クリティカル・シンキングのスキルを社会科学の授業に取り入れている。その結果、「間接的に」論理的思考を学ばせるときには、そのスキルそのものを学ばせることが困難であったが、スキルそのものを学ばせることができるようになった。

5.1 倫理（3学年）での展開

倫理(3学年)の授業では、クリティカル・シンキングのスキルを一つひとつ取り上げたいうえで、理解度を確認するために、試験問題として出題した。例えば、その問題の一つは、次の議論が受け入れ可能かどうか、問う問題であった。

問1 「アメリカ人のトムは陽気だ。アメリカ人のジムも陽気だ。だからアメリカ人はみんな陽気だ」

問2 「太郎君も次郎君もPSPというゲーム機を持っている。みんなが持っているのだから僕も買ってほしい」

問3 「この公共事業にはこれまで多くのお金がかかっている。問題点もあるが、当初の計画を進めていくべきだ」

これらはそれぞれ、「早まった一般化」、「偏りのあるサンプル」、「コンコルドの誤謬」に当たる。この種の問題では、学生にとって、どのような誤りのパターンなのかを指摘するのは容易であったが、それぞれどのような誤りなのかを説明するのは少し難しいようであった。課題としては、授業で取り上げたもの以外の事例、もっと複雑な事例でも、誤りを的確に指摘できるかどうかである。そのためには、もっと時間をかけて、多くの事例問題に当たらせる必要があると思われる。

5.2 政治経済（3学年）での展開

政治経済(3学年)でも、クリティカル・シンキングのスキルを一つひとつ取り上げたが、さらにもっとも複雑な課題も取り上げて、試験問題として出題した。

問「次の文章の理由に十分に説得力があり、結論も妥当であるとした場合、これらの同じ理由から導きうる別の結論を2つ以上あげなさい。」

「3か月前にコンピュータを購入し、学習用に使い始めてから、私の成績は飛躍的上がった。有力な専門誌でも、コンピュータには学習用に特別に設計されたものがあり、成績向上につながるということが明らかだと述べられている。それゆえ、高専に入ったら、すべての学生はコンピュータを購入すべきだ」

この問題に対して、「私の成績」が向上したが、他の学生の成績が向上すると一般化できない、あるいは、専門誌で有効だとされているとしても本当に有効なのか不明である、など「偏りのある標本」あるいは「早すぎる一般化」の誤りであると、問題自体に対してクリティカルに臨んだ学生が少なくなかった。これは「理由に十分に説得力がある」という問いの前提を無視して解答しているわけであるから、解答としては誤りなのであるが、CTの技法を使用している点は評価できるかもしれない。

§ 5 クリティカル・シンキング教育の展開

この問いの解答としては、「成績向上を重視する学生がコンピュータを購入すればよく、すべての学生が購入する必要はない」などが考えられる。この問題は、理由に説得力があっても、「成績向上を重視しない学生」に限定し条件を変えれば、「すべての学生が購入すべきである」という結論が変わることが、ポイントである。

もっと一般的に言うと、主張Aと主張Bが対立していても、主張Aの同じ理由から別の結論を導き出すという技法は、意見が異なる相手と対話を通して、合意を形成するために重要な技法である。この場合、原則的に話を進めるのではなく、「条件付き」で話を進めるところがポイントとなる。原則的に賛成ないし原則的に反対であっても、さまざまな条件を付与して考えを巡らせることができれば、原則賛成と原則反対のあいだで、妥協したり、合意に至ったりすることも可能になる。クリティカル・シンキングは、対話の相手の議論の誤りを指摘する技法ではなく、対話の相手の議論の構造を理解して、議論を組み替えて、合意を形成する技法でもある。

5.3 哲学（5学年）での展開

哲学（5学年）では、三段論法を取り上げて、妥当な三段論法とそうでないものを列挙してクイズ形式で教えて、試験問題も同じ形式で出題した。

問1) 猫はかわいい。私のペットは犬ではない。私のペットはかわいい。

問2) 猫はマイカルではない。マイカルは猫である。マイカルは犬ではない。

こうした問いに対する解答の正解率も高いものであったが、なにも、三段論法を扱った授業では、学生たちの三段論法への関心を高めることができた。哲学での授業実践は、工業系の学生にとって、論理的思考への関心は潜在的に高いものがあると推測できる結果であった。

それぞれの授業実践は、CT教育の一部を取り入れたものであり、CT教育を体系的に取り入れたものではない。授業の中で、ある特定の経験から、一般的な結論を導き出すような発言があった場合、それは「早すぎる一般化」であると指摘すると、他の学生を含めて、思考の誤りを自覚することが容易になった。これはスキルそのものを学ぶことのメリットであろう。

§ 6 今後の展望

私たちは、クリティカル・シンキングのスキルを教える教育実践の経験から、いくつかの結論を得ることができよう。

まず、授業実践から、クリティカル・シンキングのスキルを「間接的に」教える方法では、スキルそのものの学習には結び付きにくいことが分かった。その経験を踏まえて、クリティカル・シンキングのスキルのリストを作成し、そのリストに基づいて、スキルそのものを「直接的に」授業実践の中で取り上げた。私たちは、こうした授業実践を通して、学生にスキルそのものを効果的に、

関心をもって学習させることができるようになった。

しかし、スキルの基本を学ばせることに成功しても、そのスキルを活用できるだけの応用力を身につけたのかについては、まだ十分な検証ができていない。さらに批判的思考能力を習得させるためには、類似の事例を多数取り上げた練習問題に取り組みさせて、応用力を修得させたり、実際に議論を組み立てさせることが必要であろう。

その上で、さらなる課題としては、クリティカル・シンキングのスキル一覧表を充実させることも必要であろう。とりわけ、社会科において必要不可欠なスキル、工学教育にとって不可欠なスキルなど、発展的に学習させるためには、スキルの充実が不可欠である。また、社会科で学んだクリティカル・シンキングのスキルが、社会科以外の授業実践のなかで活用されて、どの程度利用可能であったか、どのように改善していけばよいのか、他の科目からフィードバックさせて、クリティカル・シンキング教育そのものを改善していくことも必要である。

高専教育にクリティカル・シンキング教育を取り入れる場合に、多くの授業や実験などでクリティカル・シンキングのスキルを取り入れることも可能かもしれない。しかし、社会科の一部の科目でクリティカル・シンキングを取り入れる教育実践を行った結果としては、クリティカル・シンキングのスキルを体系的に取り入れた方がより効果的であろうと思われる。

以上の授業実践を踏まえて、呉高専では、2012年度から1年生にクリティカル・シンキングの授業（1単位）を導入することになった。そのためには準備作業が必要である。まず、クリティカル・シンキングのスキルの一覧表を充実させることが重要である。全体としてどのようなスキルがあるのか、またそのスキルを習得すると、どのようなことが可能となるのか、以上のことを明示するとともに、スキルの一覧表が必要である。また、高専1年生に対応した内容に修正する必要がある。これまでの授業実践では、3年生以上の学生を対象にしていた。来年度以降、中学校を卒業したばかりの1年生を対象にするのであれば、1年生に対応した内容にする必要がある。そして、呉高専全体として、学生の批判的思考能力を育成するためには、それに専念できる授業「クリティカル・シンキング」を1年生に導入するとともに、その他の授業においても1年生で学んだクリティカル・シンキングのスキルを復習しながら、応用させることが必要であると考え。関係する社会科の科目、現代社会（3年生）、法学（4年生）、国際関係論（5年選択科目）、哲学（5年生）などの科目では、継続して、クリティカル・シンキングのスキルを取り上げる予定である。

参考文献

- 1) 木原滋哉・上村崇：『批判的思考力育成のための教育プログラム試行と課題』、高専教育第34号、pp.215-220 (2011)
- 2) 木原滋哉・上村崇・宮田健一：『教養教育とクリティカル・シンキング』、平成22年度呉高専教育重点配分経費報告書、(2011)
- 3) アレク・フィッシャー：『クリティカル・シンキング入門』岩

崎豪人ほか訳，ナカニシヤ出版，(2005)

- 4) M. ニール・ブラウン，スチュワート・キーラー：『クリティカル・シンキング練習帳』，森平慶司訳，PHP，(2004)

基礎学力向上プロジェクト・英語寺子屋 2 年間の取り組み

(人文社会系分野) 竹山 友子、川尻 武信、富村 憲貴
(愛知教育大学) 江口 誠
(建築学分野) 佐々木 伸子

The Project for the Improvement of Basic Academic Ability: A Report on the First Two Years of “Eigo-Terakoya”—English Remedial Classes

(Faculty of Humanities and Social Sciences) Tomoko TAKEYAMA, Takenobu KAWAJIRI,
Noritaka TOMIMURA
(Aichi University of Education) Makoto EGUCHI
(Faculty of Architecture and Structural Engineering) Shinko SASAKI

Abstract

This is a report on the first two years of “Eigo-Terakoya”—English Remedial Classes. This is a main program of the Project for the Improvement of Basic Academic Ability at Kure National College of Technology. In order to improve students’ English ability, we offered extracurricular remedial classes named “Eigo-Terakoya” in the latter terms of the academic years 2009 and 2010. This program is targeted at first-year and second-year students who were thought likely to fail English classes. Based on the results of the first year implementation, we modified the program the next year. After the second year, more than 80 percent of the first-year students improved their results in General English I, while more than 70 percent of the second-year students improved in the subject of the same name. According to the questionnaire completed by the students, many respondents were satisfied with learning in Terakoya, and felt that they had progressed in English ability. Educational advisors (Terakoya teachers) also responded to the survey on teaching in Terakoya. The results show some problems, namely that Eigo-Terakoya cannot meet every demand of various students and only limited effects are to be expected. We also discuss the advantages and disadvantages in the case that a regular teacher, not a part-time teacher hired as an educational advisor, taught in the remedial classes.

Key Words: The Project for the Improvement of Basic Academic Ability, English Remedial Class, English language teaching at college, TERAKOYA
基礎学力向上プロジェクト、英語補習、高専英語教育、寺子屋

§1 はじめに

一般的に、高等専門学校（以下高専）に進学する学生は、普通科高校生よりも英語力が低いと言われている。¹ また、入学者間の学力差が年々広がりつつある傾向にあり、入学後に高専での勉強についていけず、学力不振に陥る学生への対応が緊急課題となっている。このような状況の中、本校では 2009 年度の重点項目として、学生生活の規律向上と基礎学力の向上、教育内容の見直しの取り組みが始まった。基礎学力向上においては数学、物理、英語の 3 科目が重点科目と位置づけられ、それぞれの教科において「基礎学力向上プロジェクト」の取り組みが開始した。本稿は英語科を中心に構成された「基礎学力向上プロジェクト英語部会」の主たる活動である「英語寺子屋」の実践結果を分析したものである。2 年間の取り組みの成果およびそこから浮かぶ課題を分析し、今後の活動につなげていくことを目的とする。

§2 これまでの取り組み

英語科では学生の英語力向上のために、また学生の英語学習環境改善のために、これまで様々な取り組みを行ってきた。近年実施している主な取り組みを表 1 に記す。これらの取り組みはすべて現在も継続中のものである。

表 1 英語科による取り組み事例

取り組み	効用他
e-learning の活用	教室授業との相乗効果および自宅学習の促進。
英語の多読「英語多読プロジェクト」	読書スピード向上・理解力向上・英文に対する意識変革、図書館との連携。
ノート・サブノート・課題チェック	英語学習の基本姿勢の指導、低学年に対するノートの取り方

	および辞書の使い方指導、課題チェックによる躓きの発見。
語彙力増強対策	副教材を用いた指導、定期的な語句テストによる確認。
個別補習	学力不振者に対して放課後に個別補習を実施。
夏季休暇中の課題	長期休暇中の継続学習のため、プリント課題等を実施。休み明けにテスト等で学習の確認。
国際交流授業	姉妹校ハワイ大学マウイ校と Skype を用いた交流授業および交流研修旅行の実施（引率）。
中国地区高等専門学校英語弁論大会参加・指導	出場者（スピーチ部門2名、暗唱部門2名）への個別指導および全体指導（引率）。
編入学試験対策	大学編入、専攻科進学希望者への個別指導。
資格試験実施	工業英検、実用英語技能検定の準会場として、外部受験者を含めた試験を指定日（週末）に開催。

英語科教員は基礎学力向上プロジェクト開始以前から以上のような取り組みを続けている。² 既に学力不振者への個別補習を実施している教員が多かったが、担任業務や各種委員会、クラブ指導など様々な校務に追われ、放課後に定期的には実施することは不可能であり、教員の労力負担が非常に大きいためきめ細かな指導を行うことは困難であった。また、教員による補習を行った場合、学生が授業よりも補習に依存する傾向が強くなるという問題が生じていた。

§3 2009年度（初年度）

3.1 対象と目標

上述の英語科教員による様々な取り組みを考慮した結果、学力不振に陥る学生への対応を目的とした「基礎学力向上プロジェクト」においては、学力不振者への個別補習を定期的に行うことが必要であるとの見解で一致した。英語は積み重ねを要する科目であるため、授業時間および単位数の多い1, 2年生を対象とするのが最善策と考え、前期末成績の結果から主に60点未満の欠点者を対象者とした。また、補習授業は学生が参加しやすいように「英語寺子屋」と名付け、講師は補習専門スタッフ（教育アドバイザー）を採用することとした。

3.2 実践方法

英語寺子屋は、対象者が1, 2年生の複数年にまたがるため、学年毎に隔週水曜日、15時30分から2時間開催した。後期から実施し、1年生は全7回、2年生は全6回の開講となった。対象者は1年23名、2年41名である。放課後の

実施で英語寺子屋を周知させるため、特にクラブ活動よりも寺子屋が優先であることを学内に周知徹底させるため、ポスターを作成して事前告知を行った。開講期間中はポスターを各教室内に常時掲示し、開講後1ヶ月間は電子掲示板での告知も行った。（図1）

教育アドバイザーは本校の現役非常勤講師および元非常勤講師の2名を採用した。教育アドバイザー1名に付き、各学年M・EとC・Aの2学科ずつ10~20人程度を1クラスとして開催した。³ 内容は総合英語IとオーラルコミュニケーションI（文法部分）の2科目の補習で、授業進度に沿った補習を行うため、英語科の各授業担当教員が毎回事前に授業進度表等で教育アドバイザーに進捗を連絡した。

図1 電子掲示板による英語寺子屋の開講告知

「英語寺子屋」開講します！

英語の基礎学力向上をめざして、後期より英語寺子屋を開講することになりました。寺子屋は無料かつ招待制です！招待された学生は、半年間寺子屋への参加が認められます（ただし、参加拒否はできません）。

1. 実施日
毎週水曜日（水曜振替授業日、定期試験直後を除く）

10月	7日[1]、14日[2]、21日[1]、28日[2]
11月	4日[1]、11日[2]、18日[1]
12月	2日[2]
1月	13日[1]、20日[2]、27日[1]
2月	3日[2]、10日[1]

[1]、[2]は寺子屋に招待される学年
1年、2年を隔週で交互に招待します

3.3 実践結果

3.3.1 効果

1年生は全7回、2年生は全6回開講したが、1, 2年生合わせた全体の出席率は75%だった。各学年の出席率に大きな差はなかった。各教育アドバイザーから提出された出欠表を部会責任者がまとめて教務主事へ報告し、教務主事から担任へ通知がなされた。一部の学生を除き、出席率はおおむね良好であった。

前期末評価と学年末評価の成績変化の分析によると、1年総合英語が約70%（23人中16人）、1年オーラルコミュニケーションが約61%（同14人）、2年総合英語が約78%（41人中32人）、2年オーラルコミュニケーションが約76%（同31人）の割合で、クラス平均と同等またはそれより良好な成績変化が見られた。

3.3.2 課題と2年目の活動に向けて

初年度の活動を終えた段階で、教育アドバイザーに英語寺子屋を実施して気づいた問題点を挙げてもらった。2名のアドバイザーともに欠席者対応と学習態度に関する問題を重要視していた。教育アドバイザーから指摘された問題点とその内容は表2の通りである。

表2 教育アドバイザーからの意見

問題点	内容
欠席者対応	<ul style="list-style-type: none"> ●欠席者に対する連絡手段がない。 ●クラブ活動を優先して欠席や遅刻をしてくる。 ●劣等感を抱いて欠席する学生もいるようだ。
開講時間	<ul style="list-style-type: none"> ●授業後の2時間は長く、疲れてしまう学生がいる。
学習態度	<ul style="list-style-type: none"> ●辞書やプリントなどを持ってこない。 ●学習以前に学習に臨むための基本的なことを指導する必要がある。
授業進度表	<ul style="list-style-type: none"> ●なるべく細かく、わかりやすい記述にしてほしい。書式を統一してほしい。

また、英語寺子屋に関して英語科教員側から指摘された問題点は表3の通りである。

表3 教員からの意見

問題点	内容
出席について	<ul style="list-style-type: none"> ●2週間に一度なので忘れる学生が多く、英語科教員や担任が毎回出席を促す必要がある。 ●欠席によるペナルティがないので出席を義務と思わない学生がいる。 ●寺子屋の出席率が悪い学生は、勉強以外の問題を抱えている。
補習内容	<ul style="list-style-type: none"> ●授業内容と寺子屋の補習内容が一致しないという意見を耳にした。 ●学生の意見を反映するためのアンケート調査を実施することができなかった。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ●最終的に2科目とも単位を落とした学生は3名であるが、彼らは総じて寺子屋の出席率が悪く、みな勉強以外の問題を抱えているため、寺子屋では対応できない。 ●受講態度が真面目で出席率も良いが、どうしてもできない学生もいる。 ●対象者でない学生が希望したときの対応がはっきりしていなかった。 ●1年は各学科5名程度、2年は各学科10名程度が対象だったが、クラスサイズによって学生の寺子屋に対する

心理的負担や補習効果に違いがあるのではないか。

出席者に対する心理的負担や補習効果の違いについては、基礎学力向上プロジェクトで2010年4月に新2年生全員を対象に実施した寺子屋に関するアンケート結果から推測することができる。アンケート項目の一つ「英語寺子屋出席の指名は恥ずかしいと思うか」の結果では、出席者の約59%が「そう思う」または「どちらかといえばそう思う」と答えている。指名されていない学生では約65%が同様の回答であった。また、「英語寺子屋の評価」の項目においては、出席者の約40%が「とても役に立った」または「役に立った」と答え、約60%が「あまり役に立たなかった」「役に立たなかった」と回答した。⁴

このアンケートは新2年生のみで新3年生には実施されていないため比較分析はできないが、この結果は前項3.3.1で述べた成績変化の学年毎の違いと関連すると推測される。2009年度の英語寺子屋対象者は1年生が1学科5名程度、2年生が1学科10名程度だった。1年生は少人数ゆえに対象者はクラスで学力的に最も下位に位置する学生となり、寺子屋出席を恥ずかしいと捉えた可能性が高い。さらに、学力的にクラスで最も下位に位置する学生は学習支援以上に睡眠障害や発達障害などで多方面の支援を必要とする場合が多く、寺子屋のような学習支援だけでは大きな成績向上を望むことはできない。その結果、成績変化(向上)の割合も2年生と比べて低くなったと考えられる。

学生アンケート結果および教育アドバイザーと英語科教員の意見を吟味した結果、初年度の取り組みで浮かび上がったこれらの問題点をできる限り改善して、2010年度も英語寺子屋を実施することに決定した。ただし、英語寺子屋はあくまでも基礎学力向上を目的とした学習支援であるため、学習支援で補うことのできない学生への対応は、英語部会ではなく学校全体または担当部署での検討をお願いすることにした。

§4 2010年度～2年目の取り組み

4.1 実践方法

2010年度では前年度の課題を改善しながら、ほぼ同条件で英語寺子屋を実施した。1,2年生を対象とし、後期からの隔週水曜日15時30分から2時間開講した。前年との大きな違いは、教育アドバイザー(1名)を当該年度の授業時間数が少なかった常勤教員(富村)が担当したことである。もう1名は前年度の教育アドバイザー(現非常勤教員)に再び依頼した。また、開催前日に毎回担任へ協力依頼メールを配信し、学生の出席を促すように心がけた。そして英語寺子屋出欠表を教務主事、担当主事補、英語科教員だけでなく、担任へも直接配信した。さらに、教育アドバイザーへ通知する授業進度表のフォーマットを統一し、進度

がすぐにわかるように改善した。

対象者については、前年度の問題点を検討した結果、1学年1学科5人程度が対象の少人数寺子屋では出席率および授業態度が改善されない傾向にあることが予測された。むしろ一定の人数を対象者としたほうがクラスにおける寺子屋の認知度が高くなり、お互い誘い合って出席する傾向があり、それに伴って指名される事に対する心理的負担が軽減し、成績も向上しやすいのではないかと考えた。その結果、1、2年生すべて1クラス20人程度(1学年1学科10人程度)で英語寺子屋を開講することとした。対象者は前年度同様に前期末成績を考慮して決定し、最終的に1年生は39人、2年生は40人を指名した。⁵ 希望者も最初に出席登録をすれば参加できるようにし、実際に2年生の希望者1名が初回から最終回まで参加した。開講回数は1年生が全6回、2年生が全5回である。また、昨年実施できなかった受講者へのアンケートを最終回に実施した。

4.2 実践結果

4.2.1 効果

出席率に関しては、1年生は良好であったが2年生は専門授業の課題提出などでの欠席が目立った。特に建築学科2年の出席率は40%と悪かったが、ほぼ休まずに出席する学生と1度も出席しない学生で二極化していた。全体の出席率は1年生が約73%、2年生は約58%であった。

前期末評価と学年末評価の成績変化の分析によると、1年総合英語が約82%(39人中32人)、1年オーラルコミュニケーションが約69%(同27人)、2年総合英語が約73%(40人中29人)、2年オーラルコミュニケーションが約63%(同25人)の割合で、クラス平均と同等またはそれより良好な成績変化が見られた。

4.2.2 学生アンケートの結果

2010年度では最終回に受講者へ英語寺子屋に関するアンケートを実施した。表4はアンケートの調査項目を、表5から表8はその結果を、開講クラス毎に記したものである。アンケートは、「1:強く思う、2:少しそう思う、3:あまりそう思わない、4:全くそう思わない」の4段階のリッカートスケールを用いた。ただしBの項目は「1:多すぎた、2:ちょうどよかった、3:少なすぎた」、Cの項目は「1:難しすぎた、2:ちょうどよかった、3:少なすぎた」の3段階スケールである。

表4 学生アンケートの項目

A	英語寺子屋を受講して力がついた
B	受講生の人数はちょうどよかった
C	寺子屋のレベルはちょうどよかった
D	寺子屋に出席する前と比べて、授業を真面目に聞く

	ようになった
E	授業の内容を自分で復習している
F	寺子屋に出席する前と比べて、英語を理解できるようになった
G	英語に興味がある
H	寺子屋は希望者のみ出る方がよい
I	勉強に関する自分の現状に危機感を感じている

表5 2年MEアンケート結果 (N=19)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	11	21	0	0	10	0	16	32	68
2	47	68	74	53	58	84	53	42	21
3	37	11	26	42	16	5	21	10	0
4	5			5	16	11	10	16	11

数字は全体に占める割合

表6 1年MEアンケート結果 (N=20)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	20	10	15	10	0	0	5	20	70
2	65	80	80	65	50	70	45	10	25
3	10	10	5	15	40	25	30	65	5
4	5			10	10	5	20	5	0

数字は全体に占める割合

表7 2年CAアンケート結果 (N=16)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	44	0	0	25	6	37	13	25	75
2	44	88	88	63	19	44	20	38	19
3	12	12	12	12	56	19	47	31	0
4	0			0	19	0	20	6	6

数字は全体に占める割合

表8 1年CAアンケート結果 (N=17)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	70	6	18	23	0	35	18	12	94
2	18	94	82	65	29	41	18	0	0
3	12	0	0	12	53	24	41	70	6
4	0			0	18	0	23	18	0

数字は全体に占める割合

表5から表8の結果を分析すると、項目Aの結果から2年MEクラスを除き、その他の3クラスで90%近い学生が英語寺子屋で多少なりとも力がついたと考えている。特に英語科教員が教育アドバイザーを兼ねた1年CAクラスの満足度が高いことがわかる。クラスサイズを問う項目Bについてもちょうどよかったという回答も7割から9割超あ

り、2009年度1年の少人数制よりも、各学年1学科10人程度で開講1クラス20人程度の規模が英語寺子屋に適していると考えられることが判明した。

さらに、項目Dの結果から、寺子屋出席による授業態度の改善を半数以上の学生が自覚していることもわかった。また、復習しているかを問う項目Eと英語に興味があるかを問う項目Gの結果が類似していることは注目に値する。各学年ともにMEクラスの学生は半数以上が授業の復習をし、かつ英語に興味があると答えている。一方、CAクラスの対象者は、およそ7割の学生が復習をあまりせず、英語への興味も薄い。英語への興味を持たせることが今後の課題であろう。

学年による傾向の違いが現れたのは、寺子屋を希望者制にしたほうがよいかを問う項目Hである。2年生はMEクラス対象者の74%とCAクラス対象者の63%が希望者制に賛成している。一方1年生における賛成派は少数で、MEクラス対象者の70%とCAクラス対象者の88%は希望者制に否定的である。この現象は、クラブ活動を休みにくい1年生の場合、寺子屋が最優先という強制力があるほうが参加しやすいことを表していると思われる。

学生の自由記述における英語寺子屋の感想は、「来年もお願いします」(2年ME, 1年ME, 1年CA)、「楽しかった」(1年ME, 2年CA, 1年CA)、「先生の教え方がわかりやすかった」(2年CA, 1年CA)、「どうせなら毎週がよかった」(1年CA)など、好意的な意見が多かった。

また、基礎学力向上プロジェクトが2011年4月に新2年生全員を対象に実施した寺子屋に関するアンケートでは、「英語寺子屋の評価」の項目において寺子屋出席者の約72%が「とても役に立った」または「役に立った」と答え、肯定的な評価の割合が前年度の約40%から大きく増加した。

4.2.3 教育アドバイザーアンケートの結果

2名の教育アドバイザーへは、学生の出席状況、開講時間帯、受講生の人数、受講者の学習態度、教科担当教員からの授業進捗の連絡・授業進捗表についての項目で、記述形式のアンケートを実施した。出席率に関しては、2年生の出席率があまり良くなかったことが、ME担当、CA担当の両アドバイザーに共通した回答であった。1年生の欠席理由として、寮生で風呂掃除や当番などのためという理由があったという報告がなされた。また、欠席する2年生の中には、苦手教科を克服しようという意欲が薄れ、あきらめている学生もいるようだ、との意見が寄せられた。

時間帯については、隔週開講なので致し方ないことであるが、学生が2時間集中力を持続させることは困難であるとの意見であった。また、常勤教員が教育アドバイザーを兼任する場合の問題として、寺子屋開講日(水曜日)に教員会などの会議が入ることが多いため、開講日を変更する

か会議を欠席することとなり、そのための作業が非常に煩雑であること、開講日直前になって研修などが入ることもあり、日程調整等で苦勞することが少なくないこと、開講日を変更した場合も当日忘れてしまう学生が多く、欠席者が増加する傾向にあったこと、などの問題点が指摘された。

受講者数については、1クラス20名程度は通常授業の半数程度で指導が行き届きやすい反面、学生個々の躓きを発見してきめ細かくフォローするまでには至らず、さらに半分程度が望ましい、との意見だった。

学習態度については、英語嫌いの学生への動機付けに苦勞した、特に2年生の場合は居眠りやおしゃべりをする学生が見られた、との意見があった(ME担当)。学習態度の良い学生が多かったが、その一方で一度も出席せずにプリントだけもらって帰ろうとする学生(2年生)もいた、30分を超えると全体的に集中力が落ち始めるという指摘もあった(CA担当)。

授業進捗の連絡および授業進捗表については、毎週進捗を連絡していただき役に立った(ME担当)、初回は連絡があったが、2回目以降からは事前に進捗の連絡が来ることは少なく、寺子屋担当者が電話で個々に確認する機会が多かった(CA担当)、との意見が分かれた。2010年度後期中途に授業担当教員の変更があったため、引き継ぎおよび連絡が不十分になってしまったと考えられる。いずれにしろ、英語寺子屋は通常授業を補完する役割を果たしているため、授業担当教員が常に進捗を意識し、事前にきちんと教育アドバイザーに伝達する重要性を認識しておく必要がある。

その他英語寺子屋実施後の全体的な感想として、両アドバイザーともに共通した意見をまとめると次の通りである—英語寺子屋での効果は授業で学習したことの補完という目的のため、中学での学習内容まで遡る基礎学習には至らず、効果は限定的である。学生個々の躓きを発見して初期段階から学習し直し、英語力向上につなげるという目的が理想であるが、そのためには時間と人的資源がさらに必要であろう—この意見に対応することが、今後の英語寺子屋の大きな課題となる。

§5 今後の活動に向けて

基礎学力向上プロジェクト英語部会では主に、学力不振者対策として英語寺子屋の取り組みを中心に活動した。初年度の英語寺子屋の活動から生じた課題を検討した上で改善し、2年目ではさらにより良い取り組みを目指した。その結果、出席者はおおむね成績が向上し、学生によるアンケート結果からも満足度が高いことが判明した。当初の第一目標である「単位未修得者を減少させる」という目的はひとまず果たすことができている。ただし、時間的および人的制約から、授業内容の補完にとどまり、躓いている部分まで遡った指導には至っていない。今年度も英語寺子屋は開講予定であるが、これらの問題を少しでも解消する方

向である。学生の集中力を考えて開講時間を 90 分に短縮し、一方でアドバイザーの人数を 3 人に増やし、対象者の人数は減らさずにクラスサイズを小さくして細かな指導を目指したい。これまでの 2 年間で浮かび上がった課題を元にさらに改善された英語寺子屋を開講する予定である。

英語寺子屋の学習支援だけでは支援しきれない学生がいることも判明しているが、このような学生への支援は学校全体で行う必要がある。また、寺子屋はあくまでも学力不振者対策として開講されているが、成績上位者向けに英語力をさらに伸ばす補習または取り組みというものは今後は検討する必要があるだろう。本稿 2 章で述べたように、英語科教員は既に英語寺子屋開講以前から様々な取り組みを行って呉高専生の英語力向上を目指している。同時に学生の英語学習環境の改善を考え、カリキュラム変更を検討しているところである。今後のさらなる取り組みにおいては英語科教員だけではなく、専門学科の教員や国際交流室との連携が必要となるだろう。英語科だけではなく学校全体の活動として、学生の英語力向上と学習環境の改善をこれからも目指していきたい。

時間多読授業の継続実践による学生の意識変化—1年目と2年目の比較『高専教育』33, pp. 151~156, 2010.

注

- 1) TOEIC 運営委員会 TOEIC Bridge 事務局が発表した 2009 年度の TOEIC-Bridge データ分析によると、平均点は高専 1 年が 113.7 点に対し、高校 1 年は 118.6 点である。
- 2) 英語の多読による読書スピード向上・理解力向上・英文に対する意識変革については、竹山他(2009)および竹山他(2010)を参照のこと。
- 3) 本校では、M は機械工学科、E は電気情報工学科、C は環境都市工学科、A は建築学科の略称である。
- 4) 基礎学力向上プロジェクトで実施した学生アンケートについては、佐々木他(2010)を参照のこと。
- 5) 不登校や重度の発達障害など特別な事情がある学生は、本稿における対象者数には含めていない。

参考文献

- 1) 国際ビジネスコミュニケーション協会 TOEIC 運営委員会 TOEIC Bridge 事務局『TOEIC Bridge DATA & ANALYSIS 2009』2010.
<http://www.toEIC.or.jp/bridge/data/document.html>.
- 2) 佐々木伸子、森脇武夫、赤池裕次、笠井聖二、竹山友子、木原滋哉、大和義昭、横沼義雄. 基礎学力向上プロジェクトによる低学年に対する学習支援の試み—寺子屋の取り組みと学生の学習状況について—『呉工業高等専門学校研究報告』72, pp. 73~80. 2010.
- 3) 竹山友子、江口誠、西原貴之、栗原武士、川尻武信. 英語多読授業の実践—2年目を終えて『呉工業高等専門学校研究報告』71, pp. 67~75, 2009.
- 4) 竹山友子、江口誠、西原貴之、栗原武士、川尻武信. 短

室生犀星「幼年時代」「結婚者の手記」と犬

(人文社会系分野) 外村 彰

Murō Saisei's *Yōnen jidai*, *Kekkonsha no shuki*, and Dogs

(Faculty of Humanities and Social Sciences) Akira TONOMURA

Abstract

The dogs that appear in MURŌ Saisei's early novels *Yōnen jidai* (Childhood) and *Kekkonsha no shuki* (Memoir of a Married Man) assume the role of alter egos reflecting the emotions of the characters. For example, the dog Shiro in *Yōnen jidai* is depicted positively as sharing with the lonely protagonist the pure memories of the house where he was born, and as guarding the sacredness that he pursues. The dog Kuro in *Kekkonsha no shuki* is the pet of the protagonist's wife, and symbolizes her mind and their sex. However, Kuro as the alter ego of the wife represses the mental state of the protagonist as he pursues sacredness. The protagonist in *Yōnen jidai* becomes aggressive towards what is opposed to his pure memories. However, the lonely protagonist in *Kekkonsha no shuki* reveals an aggressive attitude towards the wife and dog who repress him. The animals seen in Saisei's works are alter egos of the human characters and reflect natural forces; therefore, they assume the role of shedding light on the actual state of humanity itself.

Key Words: Murō Saisei's novel, dogs, alter ego, sacredness

室生犀星の小説、犬、分身、聖性

一 はじめに

室生犀星の文学には、犬猫や魚類など多くの動物が描かれる。初期の小説にその例を求めると、「幼年時代」(『中央公論』大八・八)のシロ(「白」)、そして「結婚者の手記」(『中央公論』大九・二)のクロ(「黒」)のような、飼犬たちが直ちに想起されてくる。

短篇「幼年時代」は、幼少期にある主人公「私」の生い立ちを描く瑞々しい佳作である。初収本『性に眼覚める頃』(新潮社、大九・一)の刊行時、自伝的とされる小説群のなかで「幼年時代」の「美はしさ」は「永遠的¹⁾」な価値をもつと評された。のち中村光夫²⁾も「素材と表現」が「完璧の一致を示

したとし「清澄な緊密さ」を称揚するなど、戦前から犀星の成功作の一つとみなされ、以降の文学全集などに再録⁽³⁾され続けてきた。

同作にシロが登場する場面はさほど多くない。それは主人公の両親が飼っていた犬で、父が亡くなり母も行方知れずになってからの「私」にとって、自己と父母との絆を体現する存在となっていた。

「結婚者の手記」は、貧困と孤独に苦しんだ時代を経た

「私」が、父の死を機に結婚した妻との日々を綴る、自然主義調の中篇小説である。ただ発表時「生活を見る作者の眼が詩的幻影」に隔てられ「出来事も気分の平叙」で「何だか物足りない⁽⁴⁾」といった評価がみられたことく、「幼年時代」ほどの好評を得なかった。

ただし「結婚者の手記」は「犀星の現実と、小説の世界とが、びつたり重なり合った」「純粹に私小説的な世界を描きあげた」初めての作だと中西達治⁽⁵⁾が書いたように、犀星文学の作風展開を考える上で意義のある小説とはいえよう。またその新婚生活は、妻の愛犬クロにも象徴的に投影されており、「幼年時代」よりも飼犬の役柄が重要な位置を占めていた。

そもそも犬は、周知のごとく歴史的に人間との関わりが深い。文学の世界でも、往々にして人間の情動を体現するかたちで描かれている。たとえば犀星の詩「美しき犬」(『青き魚を釣る人』アルス、大十二・四)や詩友である萩原朔太郎(「結婚者の手記」の「H」のモデル)の「見しらぬ犬」(『月に吠える』感情詩社、大六・二)などにしても、犬が詩人の心を形象する存在として抽出されていた。

「幼年時代」「結婚者の手記」の場合も、シロには幼い「私」の思念が投影され、クロには飼主だった妻と「私」の結婚をめぐる様々な情緒が仮託されていた。そうした犬たちの描かれ方を焦点として、両作を読み比べてみることは、犀星文学を動物たちとの交感という観点から解読しなおすのに有効な方法であるように思われる。

なおこれまで「幼年時代」「結婚者の手記」については、作者の実生活との照応から導かれる虚構性を読みこもうとする論考が多かつた⁽⁶⁾が、ここではそうした態度を留保し、自律した小説(虚構)世界とみなして鑑賞するよう心がける。

このような立場から、拙稿においては「幼年時代」「結婚者の手記」を読みすすめながら、それぞれの犬像から見出せる象徴機能なり意味の在処について、あらためて考察してみることを目的としたい。そこから犀星文学における生命あるものの達のもつ意味、ひいては位置付けをめぐる展望を、試みておくつもりである。

二 「幼年時代」とシロ

「幼年時代」には、家庭環境の変転にともなう「私」（室生）の情緒のうつろいが抒情的に描かれていた。そうして幼少期の不安定な感情の振幅は、家庭内（生家と養家）と家庭外（学校、放課後の交友）において大きな違いをみせていた。主人公の感情は、静と動の振れ幅を示しながら、次第に落ち着きをみせてゆく様相のうちに描かれる。

六十歳過ぎの「私」の実父はもと武家で「潔癖」な人であった。生母は「四十代の色の白い人」で「上品なおとなしい」性格をしていた。「私」はこの両親から養父母に「貰はれて」近くの家で暮らしている。彼はかねて自分が「一粒種」にもかかわらず他家の養子とされたのを疑いつつも、よく生家に遊びに来ていたのだった。

「私」は実家で杏の木に登っては「幸福」感にひたったり、母の膝で全てを忘れて眠ったりするような「甘美」な時間を得ていた。それらは美しい、楽しい記憶として「私」の裡に刻されてゆく。いつぼう実母より厳しくはなかつた養母に対し「私」は、実家を訪れたことを隠そうとする。それが知られそうになり「反感」すら抱くが、養母の優しい言葉を聞き「強情を張つた」ことを「すまなく」も思う。そこから生母のみならず養母も「私」に親身に接していたことがうかがえる。

主人公は、自己の本来属す場所を生家に求め、そこで安閑とした情緒に留まっていたい願望を、強く抱いていたようである。「私」にとって清潔で温かな実家は、自身を浄化してくれる場所でもあつた。かたや養家の母は、「私」にすれば実母への思慕が強いほどに、心からうちとけ得る対象とはならなかつた。彼女への「反感」や「強情」は、感覚的ながら、全

幅の信頼を寄せきれない(他者性を持つ)存在と彼がみなしたことを示していよう。

同居していた義姉は、生母と同じく、主人公の厚い慕情の対象であった。養家に「わづか一年も嫁入つて帰つて来た」彼女は、以前と異なり「陰気な、考へ深い人」となっていた。義姉に愛感を覚えたのにも、彼女の孤独を察知し得た一面があると考えられる。「だんだん姉と深い親しみ」を抱いた「私」は、彼女と「ならんで寝」ては「河師」の「野武士の靈魂」をめぐる昔語りを聞き、やがてその「広く温か」い胸で眠りに入るのであった。

家庭内ではかような心情を示した「私」だが、外ではあくまで活発で、むしろ野性的ですらあった。町中の果樹を子ども達で採って廻る遊び「ガリマ」では「腕利」として認められ、別の集団との喧嘩では、決して泣かない勇敢さを示すなどしていた。だが「私」はそんな時も「心ではいつも泣いて」いたのだった。要するに家庭外での腕白ぶりは「私」の虚勢で、その本質ではなかった。彼の真情は義姉のそれと同様、寂しく内省的な心懐にあつたのである。

そのような状態にある「私」は家では常々「おとなし」くふるまっていたが、学校では逆に「暴れもの」になる。「強情」な「私」は先生から憎まれて、しきりに「居残り」を命ぜられた。殺意すら抱き氣絶するほどに「私」の憎悪は増す。義母の機嫌は悪くなったが、義姉は「我慢するのよ」と労った。それを思い出しては一人「涙をなが」す主人公は、帰宅後に彼女の許で「心ゆくまで泣」きもしていた。虚勢を張る家庭外に比して、家庭内ではその屈託なり心細さを涙で浄化しようとする「私」の感情の振幅が、こうした描写から明らかに読みとれよう。

ところで「幼年時代」は全十一章に分かれていたが、こうして第四章までを読むと、「私」は自分が離れて暮らす実の父母、また生家に対して、純一な慰藉を求めていたのが知られる。そこは「私」にとって、全てが清められる理想的な場所とみなされていたようである。意識的に実父母を聖なる存在に位置づけることで「私」の自尊心は肯定された。そこでは対外的な激情や「強情」もなくなり、うるわしい純正な記憶が温かく守られていたわけなのである。

実父母の住家は、「私」にとって幼く柔弱な心持ちをいつまでも保てる場所、他への攻撃的な感情を起こさずに済む場所、つまりは聖域なのだ。そんな生家から引き離された疎外意識が「私」のいわば自己肯定欲を歪め、「強情」な行動を生ぜしめていたと考えられる。

家庭内と家庭外を往返する「私」の生活世界は、まだ幼年期にあるため狭小とはいえ、かなり複雑な様相を示していたようである。そうして家庭内、すなわち養家と生家では彼に對立する他者を意識する度合は比較的lowかつたと思われる。

ちなみに大塚博⁽⁸⁾は、当時の結婚生活を描いた「結婚者の手記」と異なり、その過去を描く「幼年時代」には「眞の他者が存在しない」としていた。大塚によると「外部的刺激剤の役割」は果すにせよ「私」と「相互作用的な葛藤やドラマ」を引き起こす「他者」はいないとのことである。しかし幼少期の子どもに「相互作用的」なドラマを求めるのには無理があるのではないだろうか。得体の知れない他者と向き合い、不可解な存在に脅かされることは、むしろ幼い子どもにすれば、大塚のいう「相互作用的な葛藤やドラマ」以前の過酷な経験だつたと考えられる。

たとえば「私」にとって（家庭外にいる）学校の先生という存在は、幼年者の経験知から想定しきれない、得体の知れぬ不可解な「他者」であつたに違いない。語りの現在から回想されていたように、学校における「私」は「先生に憎まれてゐるといふ、心理上の根本を見るほど」「おとなではなかつた」のである。つまりそれまで未分化だつた「私」の内的世界には存しなかつた對他者の経験、すなわち對立する「おとな」がここで初めて登場していたわけなのである。

他なる未知の存在、それも権力をもつ大人から憎まれる経験のなかつた「私」は、叱られた折でも「先生のためならば何んでもしてあげたい」と願ひ「あの先生は私のやうに子供の時代⁽⁹⁾がなかつたのか」とも思う。かような例は、彼我を同一とみようとする幼年期らしい心性と考えられるが、理不尽に怒鳴りたてる先生によつて「自らの心がどれだけ酷く揺れ悲しんだか」といふことを知るに至つた「私」は、ここで自覚的に不可解な他者性との對峙を体験していたのである。

さて第五章からシロが登場する。その前に「私」は「九歳

の冬」を迎えており、父が老衰で亡くなっていた。そうして「四五日」後、生母は父の弟に「追い出」されてしまう。もともと母は、父の「小間使」であった。主人公が養家に出された理由もここで明らかになったわけである。この時点で父の弟も、先生と同様「私」にとって対立する、憎むべき他者たる「おとな」となる。その後「私」は実家に入れず、母にも会えなくなってしまう。

生家から引き離された落胆から「非常に陰気な日を送」っていた「私」だったが、そんな彼の傍に「毛並のつやつやしい純白な犬」の「白」が寄り添うようになる。この犬は実父母が住んでいた頃から飼われていたのだが、シロもその家に住めなくなっていたのだ。「私」はシロについて、次のように叙していた。

父が亡くなってから、ねむるところもないこの哀れな生きものは、何人よりも私を好いてみたらしかった。私はこの生きものと一緒にみると、何かしら父や母について、引き続いた感情や、言葉の端端を感じ得られるのであった。

おそらく「私」のシロへの愛情は、会えなくなった父母の代替のそれであつたらう。シロからの愛の感受も、父母からのそれを代行するものと思われる。「私」はシロと行動を共にし、生母を探して歩き廻る。シロは養家から追い出されそうになるが、義姉の支援も得て抵抗する。義姉もシロの飼主となった。そうしたシロについて中西達治⁶⁾は、実の父母と過ごした甘美な「原意識」の記憶を自覚させる存在、「主人公の失った世界の象徴」、また「その世界を共有する、いわば分身」だと論じた。たしかにシロは、「私」にとって失われたことで不可侵の世界ともなった美しい記憶を共有する「分身」だったといえるであろう。

シロは明らかに、「私」から父母の愛を代替するものとみられていたのであるが、では「私」が生家に入りにできなくなる前（第四章）まで、シロの描写が見られなかったのはなぜであろうか。それは父母が不在となつてから、はじめてシロがその代替物として小説で前景化したためと考えられる。「私」の意識からみれば、彼の愛情は実家ではあくまで父母に対して向けられていた。つまりそれまでシロは実家の一点景にし

か過ぎなかつたのである。

たとえば第七章で「私」は生母をめぐり思い悩んで、義姉にもその思いを訴えたが受け容れてもらえずに怒りを覚えていた。その場面では「何も彼も冷たく悲し」くたつた「私」の、以下のような心情の叙述がみられた。

そんなときは、何にも言はない白が尾いて来た。そして彼がみな解つてゐるやうな悲しい顔をしてゐた。――私は母とあの広い庭へ出て茶摘みをしたり、庭で父と三人でお菓子をたべたりしたことが思ひ出された。(中略)私は小さな顔をかしげるやうにして、父と母の顔を半分づつに眺めてゐた。隔たりのない総ての親密さが私達親子の上にあつた。そんなとき、シロも傍の草のなかにねむつてゐた。

ここには「悲しい顔」をした「分身」から触発された、甘美な回想が展開されている。そうして実父母との「隔たりのない総ての親密さ」の圏内に、安逸の時を過ごすシロもいた。このように、実家でのかけがえのない記憶の一点景であつたシロは、父母の愛を同じように受けながら育ち、動物ではあつても人間同様の記憶を共有した存在として、父母の不在後に「私」の心情に内景化されていつたのである。

さらに「私」の立場からみれば、飼主を失くしたシロが天涯孤独だつたことでより共感を覚えたものと推察できる。こうした意識の推移には、飼主が父母から「私」に移つたこと、つまりシロが主人公の所有物となつたことも大きな意味をもつと考えられる。

シロは「私」の所有物となつてから、彼の懐かしむ「隔たりのない総ての親密さ」を体現する「分身」として、より強く意識されていつたようである。「分身」と共有する甘美な記憶は「私」の内面生活にもとりこまれ、ひいてはシロが「私」の守りたい「隔たりのない総ての親密さ」の表象とみなされていつたと考えられよう。

生家から離された孤独感のなかで「私」は「だんだん子供らしくない、むつちりとした、黙つた子供」となる。「ひとりである時、外部から私を動かすものゝない時」には「弱い感情的な少年」となり「優しい姉」の前では彼女の「性情の反射作用のやうに温和しく、むしろ泣虫」になるのであつた。

そこからは自己を不義の子と認めざるを得ない悲哀にうちひしがれる少年の内面風景も見受けられてくる。

一方で「外部から私を動かすもの」、わが心の静かな悲しみを脅かす者に対して「私」は過剰なまでに激しく反応する。たとえばシロは「たいがいの犬を負かした」が、喧嘩に負けて傷ついて戻ってきた時に、主人公は「この哀れな動物に殆ど想像することのできないほどの深い愛を感じ」て、喧嘩相手の大型犬のところに連れ立って行き、加勢しては「敵をめちゃくちゃにひつぱた」きすらししたのである。シロはその犬に勝ったが、のち「私」は敵犬を飼う少年とも徹底して暴力を振りあうのだった。

このような、シロの敵犬への「私」の反応について大橋毅彦は「肉親の情愛を実感しうる世界に参入しようとする『私』の魂の営みを、侵犯するものとして知覚されたから」だとしていた。「肉親の情愛を実感しうる世界」はシロの姿を通じた感傷の世界、つまりは「隔たりのない総ての親密さ」を表わす聖域でもある。そこを「侵犯」する他者は「私」の聖域を侵そうとする仇敵とみなされたわけである。

そうした情動につき、「私」は一方で、次のように自省してもいた。

私はしかしさういふ喧嘩をした日は淋しかった。(中略)
いつも外部から私の危険性が誘ひ出されることに、私は抵抗しがたい自分の性分のために、いつも淋しい後悔の心になるのであつた。(中略)私の然うした乱暴な、たえず復讐心に燃えた根強い一面は、多くの学友から危険がられてゐたのみならず、非常に怖れられてゐたので、親しい友とはなかつた。

「私」の内面には、自分の理性ですら「抵抗しがたい自分の性分」ともてあますほどの「根強い一面」が存していた。他者に向かう「私の危険性」、その乱暴さは、純正に保とうとする甘美な記憶を侵犯しそうな相手に対しては、非常に強い「復讐心」を喚起させたのである。こうした内面を自省しながらも、主人公は理性的に激情を御するすべを持たなかつたわけなのである。

自分の危険な性質から「親しい友」をなくしていた「私」は、「姉なしに私の少年としての生活は続けられなかつたか

もしれない」と思えたほど義姉を頼る。彼は姉との心の絆を支えとすることで、精神のバランスを危うく保ちながら日々を送っていたのだった。

第六章で「私」は増水後の「犀川」から拾った「一体の地藏」を庭に据え、供え物をし始める。地藏はシロと同じく、「私」の所有物となり、彼の思いを仮託する「分身」となった。この「小さな寺院」の崇拜によって「私」の心は次第に「厳粛」になり、将来「偉い人」になろうと「熱禱」するようになってゆく。自分が「地藏さんの意志を継いでいる」という感覚は「私」の荒々しい感情を鎮めさせた。また供物の世話をする義姉に「神神し」ささえ抱きもした。孤独な生活のうちに覚えた信仰心により、十一歳を迎えた「私」は、友のない寂しさに耐えようとするのである。

第七章には、父の弟によって生母が「追放」されてしまったことの回想がみられ、「惨めな心」のまま去り「生死さへも解らなかつた」母のために「私」が地藏尊に彼女の幸福と健康を祈ることが叙されていた。彼が偉くなりたいと願うのも「偉い人間に」なれと父に言われたため、「母の悲しみ苦しみを弔ふため」であつたようである。この反動で彼は義母を「冷たく憎」み、義姉にも母のことで辛くあたつた。そうしてシロと遊んだ頃の「平和な心」を思い起こし、かえつて「今総てがなくなつてゐる」という事実を強く自覚する。彼はシロが眼前を走る姿を「悲しきうに見」ては、以下のように述べる。

「あれだけが生きてゐる。あれがみな知つてゐる。」と思つた。「あれが若し話ができれば、よく私を慰めてくれるに違ひない。」とも思つた。

ここからは、亡父と生き別れになつた生母との甘美な記憶を、唯一共有していると感ずるシロに託した、切実な感情の流露が見出せる。孤独感を癒す者のいない「私」の他と代えがたい心の拠りどころが、「あれ」であつたのである。

なお大森盛和^三は、犬と地藏への主人公の思いについて「こゝとばを知らない石や犬だからこそ、はじめて交感が可能」だつたとしながら、「それは『私』の一方的な祈り」「一方的な愛執」で「実はそれは自ら投げかけた幻想を鏡に映して」見るだけで、それだけ「私」の「孤独感は深まつていくばかり」だと論じた。だが少年の愛別離苦の思い、満たされない空虚

感を安らげるためにも「幻想」は必要だったのではないだろうか。たとえかりそめの気休めだとしても、それらとの交感には彼の孤独感を癒すものであり得たに違いない。

たとえば犬と人間には、言葉を介さなくても心情の通い合いが実感されるものだ。「一方的な愛執」とはいい切れない、愛犬シロとの心の交感を「私」が体験していたことが、そのまま彼の内的真実だったのではないか。

さて郊外で働く「親のない少年」と黙笑を交わした場面の後、第八章が始まるのだが、この章以降は非凡閣版全集では、全てが削除されていた⁽¹⁰⁾。そこで「私」は、庭の地蔵堂を立派に祭祀し、それを機に懇意になった隣の寺の老住職の養子になっていた。「私」は地蔵信仰で心が清められると思ひ、「不幸な母のためにも心ひそかに祈れると思」つていたのである。

第九章は寺の信者の娘・お孝さんとの逸話が、第十章では「母であり父でもあつた」義姉が再婚したため「淋しい日」を過ごすことが記してあつた。彼女の再婚は詳述されなかつたが、ただ彼女は後悔していると葉書に書き送つて来た。そうした時に「私」は、

だんだん自分の親しいものが、この世界から奪られてゆくを感じた。しまひに魂までが裸にされるやうな寒さを今は自分の総ての感覚にさへかんじてみた。

との寂寥感を強くしている。もはや「この世界」は主人公にとって、自己肯定欲を満たせるような狭いものではなくなつていたはずである。地蔵への信仰、シロへの共感により守ろうとする甘美な過去の記憶は、次第に内面世界を侵食してゆく外界の他者性によつて、希薄になりつつもあつたようである。

最終章でも「私」は寺を手伝いながら、「シロを相手に淋しくくくら」している。そんな折、義姉の「嫁つた家」をシロと訪れ、犬に吠えさせ、彼女に気づかせて再会を果たす。シロは「久しく見なかつた主人にじやれつ」くが、「私」は「姉があとで困るだらう」と考えてほどなくそこを去つた。そうして「私」は話し相手の義父から「寂しさうにしてゐる」と心配されながら、生母や義姉のことを回想しつつ、「十二の冬」を過ごしている、との語りで「幼年時代」は終わつていた。

「幼年時代」の主人公は、理由も知らず養家に出された寂

しさを埋めるため、近くにあった生家に通っていた。そこで実の父母と過ごした時間は、甘美な記憶へと昇華されてゆく。生家と養家での「私」はまだ未分化なままの自我を保ち得ていたが、先生や友人など家庭外の「他者」にそれを脅かされると、過剰な攻撃的姿勢を示していた。

「私」は亡き父、そして生き別れになった母を追慕し、美しい記憶のままに保持しようとする。このことは自分の出生の秘密を知って以来、語りの現在においても強固に守られていた。たとえそれが幻像だとしても、自らの内的経験の美化をはかることが、「私」の心の均衡を保つためには必要であったと考えられる。

「私」はシロを、うるわしい幼時の記憶を共有するわが「分身」とみなして愛した。その強度を高めるためにも彼はシロの飼主となって、自己の所有物とする必要があったと思われる。併せてわが所有物とした地蔵を自ら供養することで、父母への愛情を信仰と同等の位置にまで高めようとした。シロと地蔵は、「私」の甘美な記憶の保持、ひいては彼の自己肯定欲を守るためにも必要な対象なのであった。

主人公の自意識のこうしたありようは、孤独な精神を癒すための自衛作用として働いていたものと考えられる。彼はシロや地蔵を自らの聖性を求めた世界に摂取することで、壊れやすい精神の均衡を自ら保とうとしていたわけなのである。

三 「結婚者の手記」とクロ

「結婚者の手記」のクロは、主人公「私」の妻が連れてきた、狐似の「黒い日本犬」であった。詩人である「私」は結婚前の冬に故郷（「私」と妻は同郷）でこの老犬に猛々しく吠えられたのだが、汽車で「一日一昼夜」揺られて田端の家に到着してからは、環境の変化からか「私」の目には不安げに映るようになっていた。

クロは飼犬となって十年目で、妻には馴れきっている。彼女には「嬉しきう」に接するクロだったが「私」に対しては容易になつかず、「むつつり」した「疑ひ深い」態度を示す。そこから「たまらなく寂しい気」になった「私」は、「私にすまないやうに、もの侘しい心」をみせる妻の様子から次のよ

うに考える。

妻のつみでもなければ私のつみでも、もちろん犬のつみでもない。まだ心が通じきらないのだ。おたがひがよく解らないのだ。妻の心にしてもまだよくわからない。

結婚前の交際が文通程度だった「私」と妻は「まだ心が通じきらない」でいる。そうしたきこちない状態を、クロが暗示するのが読みとれるところである。

それまで「私」は「あらゆる暗黒な放蕩、飲酒、欠乏のすべてをつくし」て生活してきた。その反動として彼は「清純」な人間像を妻に求めた。今後の生活に「恐ろしい受難と絶え間ない窮乏」が待っているのを予感しながら、彼は妻に一年間の生活費を渡す。その頃の述懐から引いておこう。

あの永い孤独でいためられた私のかたはらにも、慍うして選ばれた一人がいま静かにこの世のあるかぎりな誠実でうなだれてゐる。これは決してゆめやうつではない。正しく美しい運命のそこから湧き出た二人だ。

新婚当初の「私」は、「正しく美しい運命」のうちに結ばれたと信ずる新妻とのあらたな生活から、こうした幸福感を見出していた。彼はかつて「暗黒時代」を過ごした自分は汚れた人間だとの自覚があるだけ、妻には「清純」であつてほしいと願っている。それに伴い「私」は、妻の過去にもし恋文のやりとりがあつたのなら自分が「むちやくちや」になる、一生それにこだわり続ける「不幸な生活」を送らねばならないと、「卑しく疑」いもしていた。

やがてクロが「私」に「ややなじみ出した」のは、夫婦生活の親和を暗示していよう。しかし妻とクロとの絆はやはり強い。「私」にクロが馴れ出すのを「淋し」く感じる妻はやさしく犬の名を呼ぶが、「ちひさい憎しみといふほどでもない反抗的なねたみ」から「意地わるく」なつて「私」はわざとクロの体をつかまえて離さない。そうして夫婦はクロを呼び合い、結局クロは初志どおり妻に飛びつく。「私」はクロが「妻だけの生きもののやうに、いつまでも深く立ち入つて愛することのできない」もののように思え、寂寥感を強くする。そうして妻がひそかに魚を与えるのを知った「私」は、この犬との「ふしぎな因縁のまつはり」に思い到っていた。以後も、クロはこの夫婦の「因縁」を表象する存在として描かれ

てゆくのである。

ちなみに小川原健太⁽²⁾は「妻との『ゆめのやうに』」いかない現実には、妻が郷里から連れてきた犬のクロに対する両者の感情のずれによって象徴的に描かれる」とし、クロを「いわば妻と一心同体といっていい老犬」とみなして「私」の「クロへの嫉妬は妻への嫉妬と実は同じこと」だと論じていた。暗い独身時代を送ったためにかえって妻とその生活に「清純」さを望むのが「ゆめ」なら、それを現実から見出せぬことが「つみ」なのでもあろう。「ゆめ」と「つみ」の齟齬を体現しているものが、妻の「分身」たるクロなのであった。

さて新婚時の「私」の自意識には、妻のささいな過去にすら嫉妬する猜疑心が存していた。彼の心の内実には、男として妻を独占、支配したい願望がつよく渦巻いていたゆえであろう。クロを無理につかんで離さず、妻の許に行かせなかったのも、彼女の飼犬（所有物）をも自分の支配下におきたい願望によるものと考えられる。

このように「私」の愛情は、個人の過去すら「清純」の観念のもとに支配しようとし、飼犬の主人の立場をも占有しようとの望みを抱く、いわば偏執的なそれであつたといふことができるのである。

妻は温和な性質ながら、「私」に恋文を探されたり、犬を向かわせないようにされたりするのに対し、それをたしなめたり犬を呼ぶなどして、小さな抵抗を示していた。夫婦間のこうした葛藤はクロを介して持続してゆくが、そこからはクロの支配権争いという意味も見出せようか。とまれそれらの遠因は「私」の独占欲に存するわけである。

「私」はかねての「暗黒的生活」により「僕の根性にはまだ溝のやうに汚ないものがある」とも自覚していた。一方で「お前の一生は努力だ」との義母の言葉を胸に、忍耐強く人生を歩もうともしている。わが妻と同様「謙讓な心」持ちになるなどもしていた。そのように複雑な自意識をもつ「私」にとつて、結婚生活には「清純」性という理想（聖性）の実現が期待されていたと推察できる。

しかし、こののち夫婦して西洋料理店に向かい、妻がピアノで弾く国歌にドイツ人たちが謝意を表した頃になると、二人の間には「情愛そのものからくる倦怠」「やりきれない投げ

どこもない寂しさ」が起きるようになる。そうした折「私」は「暫くでも自分の烈しい内外の生活をあたためたい根本の祈願」として「ゆめのやうに」という「愛すべき善き空想」を抱く。そうして金銭を乞いに来た郷国出身の肺病患者の訪問を機に、「私」は過去の「女のがみ」を焼く。その場面で彼は、

だれでも結婚すると、ひとりのときのやうな崇高な感情で女を讚美できなくなる。その肉ばかりが目立つほど荒く深い感情になる。おれにももう心臓の止るやうな心で、慌しく女のがみを見ることがなくなりかけたのだなと思つた。

と考へていた。すでに妻に求めていた「清純」性、ないし結婚生活の聖域視は、夫婦生活の実際によつて期待されるものでなくなつていったのが知られる。また女性への崇高な感情も下降したため、昔の女性からの手紙にも、かつてのような新鮮味を感じなくなつた「私」の心の変化が見てとれるのである。

かくて「私」の過度な女性に対する理想視は、いつしか崩れて行き、併せて「私」の孤独感も結婚前より次第に強いものとなつていった。こうしたことも「ゆめ」と「つみ」の齟齬であろうし、それらをクロが、この後も象徴的に表現してゆくのである。

やがて三毛猫「ちび」を他家から貰つて来た妻は、世話をしてクロとも仲良くさせようとした。しかし「私」は扱いが手荒いためか、「すっかり猫と仲がわるく」なつてしまい、小猫も彼には「すぐ爪をいから」すようになる。一方「私」はわざとクロの耳に爪を立てるなど「愛撫の極度な発作を示し」、「内部にある野蛮な動物的な感覚」の快樂的な「満足」を覚えては、妻からそれは「虐待」だ、犬が「泣かせ」られると自分が「瘡せるやうな気がする」と訴えられ、「非常な寂しい目にあはせられたやう」な気持になるのであつた。

「私」に馴れようとせず、むしろ敵対する「ちび」は、クロと共に妻の支配圏内に属し、心理的に彼を抑圧していたと考へられる。「私」は孤独感から生じた妻への屈折した感情を、クロに愛質的な愛撫を加えることで解き放とうとしたようにも思える。

さてその年の春、老犬クロは「さかり」となり、雄犬が周囲をうろつき始めた。この頃の「私」は今自分が「幸福であらうか」との思念を「夢のやうに」思いめぐらせ、果てには「急激な吾々の同棲生活が、その激しい肉体の内に変化を加へたのではあるまいか」と思い到る。妻の頭痛や「私」の疲労も、どうやら「肉に墜ちてゆく」夫婦生活が原因なのであった。そうして「私」は生命あるものが避け得ない性の威力につき、こう考えていた。

何人がこの恐ろしい絶対者の前に勝ちえたであらう。すべてはみな地にまみれるのだ。美しい清い少女らもみなこの道へ急いでゐるのだ。(中略) 匿しても匿しきれない偉きな力の前に征服させられるのは当たり前だ。

いうまでもなく、性は生命あるものを領する、見えざる「偉きな力」である。なお「結婚者の手記」の副題「あるひは『宇宙の一部』」は、こうした宇宙に遍満する「余りに露はな、余りに正しい律法」を含蓄していると考えられる。人間も犬も、そうした「律法」の支配を受けざるを得ない。「清純」なはずの少女像には、妻の婚前の面影も潜んでいよう。

「私」は性を思うにつけ「彼女と私につながる不思議な運命の引き合せ」を強く実感するのだが、同時に「何かしら宇宙の脈搏と通じ合ふらしい霊的な予感」を「暴風」として知覚する風に見受けられたクロの性(交尾)からも「どれだけでも私達とは変つてゐない」「まるで総ての人間のかくれたところを彼奴らが露き出しにしてゐるやうだ」との感想を抱く。こうして一個人の思念などをはるかに超えた性の力を感得することで、「私」の結婚観は現実的なそれへと変化していったわけなのである。

「結婚者の手記」はこののち「友人のO」と高利貸、「詩人のH」とその妻の訪問が叙されていた。Hと「私」は結婚をめぐり孤独と性欲のありようにつき対話する。孤独については、結婚後に「ほんとの孤独がわかつてくる」「独身者よりもつと酷い孤独だらうな」と語り合う。性につき「私」は「あまり過すな」、「女性からの要求があつた後」に恐ろしい

「倦怠の時期がある」とHに告げ、「ほんとに両方の心に確かなお互ひを掴み合ふのは、ずつと年月を経た後だ」、その頃の情愛には「性慾と正反対に神聖な」ものがあるのだとも話し

ていた。

このような日と「私」との対話には、当時の「私」の夫婦生活から実感された本音が吐露されているとみてよい。すでに「私」は妻との倦怠期を自覚しており、孤独の思いを独身時代より切実に感じていたようなのである（しかし妻にも同じ孤独感が存したかは疑問である）。また長い年月を経た、神聖化した夫婦の情愛に期待する心持ちが生じたのも認められる。そうした時季に、性交後妊娠していたクロが、二匹の子犬を産むことになった。

出産後のクロは「癡猛」になって二度、近所の住人に噛みついた。「狂病犬」ではなかったにせよ、また突然人を噛んでは困るからと「私」はクロを故郷に帰すよう妻に話す。しかし妻は「自分が帰るやうな気がするので反対」する。そこで「私」の「激怒」が暴発した。彼は発作的に、九谷焼の壺を庭石に叩きつけたのだった。

妻は驚き怯えたが、「私」は自らの「野性的なものの凡てが今溢れはじめたことを知る。興奮のうちに後悔と怒りが入り混じるなか、陶器を棚から出しては投げ割り続けたのである。妻は泣きながら夫を止めに入るが、「私」は「お前にはいまの私の心持ちがわかるものか」と内心で思う。それは「冷やか」な「永久な孤独な心持ち」であった。

興奮が冷めてきた「私」は、這いながら煙草をとりに行つた自分が「犬のやう」だと感じて「ぞつと」する。クロが庭で「まつはりつ」き、その舌の感覚が気味悪くなった「私」は再び感情を暴発させる。

私は深い怨恨のあるもののやうに憎悪に顛へながら、すぐさま犬の胴ッ腹を蹴りつけた。主人に愛撫されることを予期してゐたかれは、反対に不意打ちをされたので、悲しい声をあげて縁側の下へ逃げ込んだ。その悲鳴はしづかなあたりにひびいた。私は私のしたことを、よくなまいと思ひながら名状できない一種の苦痛以上の心持ちで、陶器の破片を見つめた。そのとき、そつと耳を立てると、妻は自分の室でしづかに忍び泣きしてゐるらしいのが、しづかに、しかも咽ぶやうに、永く永くつづいた。

突然の暴力行為は、クロを通して妻の身心をも痛めつける。やり場のない激情は、「私」の理性を超えて発現され、荒々し

く「私」の心をも乱した。妻のむせび泣きからは、夫の容赦のない理不尽な怒りへの抵抗、そして両者の心理的乖離が読みとれよう。

しかし「私」はその後クロの「純な臆病な、疑ひ深さうな顔つき」から「すぐに愛を感じ」て犬を抱き、クロも「深い嬉しさ」を示す。この辺りは「畜生」らしい様態ではあるが、夫婦の関係修復を暗示してもいると思われる。

翌朝「私」は妻をつい「撲らうとした」ことに羞恥するが、クロが今度は「雑誌社の小僧さん」に噛みつく。「もう我慢ができないから国へ帰すんだね」と「私」は妻に告げ、次の日クロを故郷に戻すことに決まった。次の引用は妻の視点からのものである。

妻はもの憂い、力ない気振りを見せた。自分が嫁にきて一しよにつれて来た犬をかへすのが、かの女にとっては味方にはなれるやうで悲しかった。むづかしい夫から暫くでも離れて少女時代から手なづけたクロと何かしら話しをするやうな心で居られた唯一の慰撫が、もう今日きりで撈ぎとられてゆくかと思ふと、食事もすすまなかつた。

妻は夫に宣言された通り「味方」であるクロと別離せざるを得なくなったのだが、別れを前に、わが犬との思い出をあれこれ回想してはすっかり落胆するのだった。一方クロが仔犬共々いなくなることで「私」は安堵を感じる。ここで「分身」をひきはがされた妻の孤独と、「私」の孤独には均衡がはかられたともいえそうである。

その日、妻は浦和までクロにつき添い、泣きはらした眼をして夜に帰宅した。そうして「私」は妻の背後に、「妻の身の災厄を守るもののやうに、ちつと動かないで坐つてゐる」影がいるのを感じ取る。それがクロの「魂」であると「私」は思う。

「私」はまた妻の膝へと影が歩む幻覚や、犬らしき「くう、くう」との鳴き声（妻は「あさり貝」の音だと話す）を聞くなどした。こうした「感応」を通してクロの魂の残像を感じ取る「私」の迷懷で、「結婚者の手記」は結末を迎える。ここでの「くう、くう」は犬が寂しい時に発する鳴き声であるうし、「あさり貝」には妻の性も暗示されているのかも知れな

い。クロの影とあわせて、それらは妻の孤独感を象徴的に示すものだと考えられる。

なお児玉朝子⁽¹⁾は「生殖」「性欲」といった「性の存在」を「私」に「真つ向から否定され、クロと妻は存在意義を失ってしまった」とし「妻の身体は私によつて崩壊させられてしまい物語を終えざるを得なかった」のだと評していた。「崩壊」とまではいえないにせよ、「私」が妻の精神なり「存在意義」に大きなダメージを与えて終わるところに、同作の要諦が存するのは確かであろう。

「結婚者の手記」は、結婚生活に不可欠の性が「私」の孤独を募らせ、ついには妻への感情を暴発させるまでの経緯を描く小説であった。「私」は当初「清純」さを妻に求めたが、夫婦生活に介在する「性」により孤独の感を強くしてゆく。クロはこの夫婦にからむ「ふしぎな因縁のまつはり」の表象であり、妻の「分身」として具体的に物語られはしない「性」を暗示し、果ては夫婦の家を去つた。

ところで、クロを離京させた理由には、人に噛みつくことへの危惧のみが存したのであろうか。思うに「私」は出産後のクロが獯猛になったことで、夫婦の性を経て妊娠し子を産むであろう妻の向後の予兆とみなし、それに脅かされて「分身」クロを妻の身から離そうとしたのではないか。次第に馴れては性の偉力のもとに妊娠し、「狂犬」のごとく人を噛むようになった老犬クロと、未来の妻の姿が「私」には感応するものとして予覚されたのではないだろうか。

総じて「私」の妻への態度は、当初の親和を求めるそれとは次第に隔たつていった。「私」の横暴は、妻との心理的な支配権をめぐる家庭内の葛藤（性的な部分は伏せられていたが）から生じたようである。妻の飼犬を帰郷させたところには、妻を孤独にして「私」の家庭での優位性を確立させるという意味も存していよう。こうして夫婦が互いに孤独になり、「私」の求めた聖性からも遠く隔たつてゆくという救いのなさを主調として、倦怠に向かう結婚生活の実情を剔抉するリアリズム小説「結婚者の手記」をあらためて評価しておくことは可能であろう。

四 おわりに

「幼年時代」の「私」は不義の子として出生した。あえて幼年時の実の父母との記憶を美化して残そうとしたのは、彼の劣等感情の代償とみてよい。彼は生家の記憶を聖域視することで自己肯定欲を満たそうとしたのである。そこには語りの現在における「私」の意図的な操作があつたと思われる。このため、想念化された清い愛の世界への「他者」の侵入を拒もうとの自衛本能が無意識裡に働き、暴力的な反応をしばしば見せていたものと考えられる。

シロはそのような「私」の聖化された記憶を投影する、彼の「分身」であつた。清らかな父母との記憶を共有する（と「私」の信ずる）シロは、彼の飼犬（所有物）となつたことで「分身」像を強化されていた。また無機物ながら地藏尊は「私」の父母への愛情を聖域として示現する宗教的「分身」だと考えられた。

そうはいつても「私」の出生、生家から離され養家で暮らすという現実、常に彼の裡に劣等意識としてとどまり続けていたであろう。彼のやみがたい孤独感と表裏をなす自尊心から発した攻撃性は、その事実を物語るものである。

「結婚者の手記」は、主人公が孤独な「暗黒時代」を経ただけに期待していた結婚の「清純」性が、やがて妻との「肉に墜ちてゆく」夫婦生活を通して崩れてゆく過程を描いていた。結婚生活の「情愛そのものからくる倦怠」「やりきれない抛りどころない寂しさ」を常日頃からわだかまらせてきた「私」は、「独身者よりもつと酷い孤独」を日々募らせていったようである。

クロは妻の飼犬で、彼女を「慰撫」してくれる「分身」とみなせるものだった。「私」にとつてのクロは、「妻だけの生きもののやうに、いつまでも深く立ち入つて愛することのできない」対象として登場し、次第に馴れては行くものの、性の偉力により「地にまみれる」夫婦生活をも象徴していた。

そんなクロは出産後に「畜生」らしく「獯猛」となり、人に噛みつく。その様子から「私」は（その様態に妻の「獯猛」をも予見したためか）故郷に帰すことを妻に伝える。クロとこれまでの感情生活を共有して来た妻は反対し、「私」の激しい怒りを誘引した。

「私」は結婚生活の現実に直面し、その孤独感を妻という「他者」との葛藤のなかでより深めていた。ただし彼の自意識には、いささか偏執的な面がある。動物を結局わが所有物にできなかったことが「私」の横暴な行為にもつながっているからである。妻は家長たる「私」に対しては基本的に従順だった。そんな彼女を責め、その「分身」を奪い孤独に陥らせたのは夫の身勝手な観念ゆえと思われてならない。

以上みてきたように、「幼年時代」「結婚者の手記」の犬たちの形象からは、「私」の天涯孤独の哀感を慰藉するもの、「私」の妻との新婚生活（の暗部）を象徴するものとしての意味が見出せた。シロもクロも登場人物の心象を仮託されていたが、シロは聖性を求め守ろうとする「私」の自意識の分身として全肯定される存在であった。これに対しクロは、妻の分身として彼女の他者性と夫婦生活をめぐる性の因縁を体現し、聖性を希求していた「私」の自意識を抑圧する存在だったのである。

「幼年時代」「結婚者の手記」で描出された犬たちには、人物の内面の投影、人間関係の因縁の表象、ひいては生命同士の交感といった象徴機能が付与されているようである。両作にみられるように犀星文学における動物達は、分身となって人の魂の孤独や悲哀を共有しては慰め、性のごとき「偉力」をその動態で示現し、そこから人間の实在そのものを照らし出す役割を果たしていたと考えられるのである。

なお「幼年時代」の非凡閣全集収録時の改稿問題、それから『性に眼覚める頃』所収の「性に眼覚める頃」「或る少女の死まで」といった「自伝」的小説との比較考察などは、今後に残された課題である。こうした事項は別稿であらためて論ずることにしたい。

註

- (1) 加藤一夫「二つの自伝小説」『読売新聞』大正九・三・四 七面。
- (2) 「室生犀星論—文芸時評—」(『文学界』二卷八号、昭十・八・一) 五四、五五頁。
- (3) 再録例には児童書も多い。たとえば「幼年時代」の「ガリマ」以降を抄録した『地藏尊』(教育館「教室文

- 庫23)、昭六・一・十)も発行されていた(調査時、大阪国際児童文学館蔵)。
- (4) 宮島新三郎「読んだまま」(『サンエス』二卷三号、大九・三・一)五〇頁。
- (5) 「初期小説の世界」(『論集 室生犀星の世界(下)』龍書房、平十二・九・一)二二五頁。
- (6) この小説の虚構性については、初期の自伝的作品に「隠蔽されていたこと」「偽造しようとした試みの一端」を見出す二瓶浩明(室生犀星『幼年時代』——記憶の偽造『国文学 解釈と鑑賞』七三卷二二号、平二十・十一・一 六〇〜六五頁)や、渡部麻美の「幻想の力を借りて「自らを守る」ために『室生』少年が幼時に行っていた美化・虚構に表現を与えた」(『幼年時代』のフィクションナリゼーション『室生犀星研究』三三輯、平二十一・十一・十 一二頁)などの見解がみられる。
- (7) 今野哲に、「幼年時代」が作者において「実母・養母の双方を肯定的に形象化し得た時期」が進行していた頃の作との見解がある(『幼年時代』における二人の母『室生犀星研究』二二輯、平十三・五・二十 三七頁)。
- (8) 「室生犀星稿(二)——『結婚者の手記』と一つの系譜」(『跡見学園短期大学紀要』二二集、昭六十一・三・三十一)五二頁。
- (9) 『幼年時代』の論(『室生犀星研究』七輯、平三・十・十五)八五頁。
- (10) 『幼年時代』の位相(『室生犀星への／からの地平』若草書房、平十二・二・十五)二〇三頁。
- (11) 『幼年時代』から『愛猫抄』へ——自意識の変容について(『室生犀星研究』九輯、平五・二・二十八)六二頁。
- (12) 「幼年時代」が非凡閣版全集に収められる際、犀星は同作を全七章にしていた。そこでは第五章の義姉がシロをかわいがる場面、シロの敵犬と「私」が喧嘩をする場面も削除されていた。
- (13) 『結婚者の手記』論——『女』への旅立ち(『室生犀星研究』七輯、平三・十・十五)一六一〜一六二頁。
- (14) 「室生犀星『結婚者の手記』考」(『室生犀星研究』二

二輯、平十三・五・二十) 一三三頁。

追記 本文の引用は新潮社版全集第一巻に拠った。

平成22年（2010年）

研究業績一覧

研究業績一覧凡例

平成22年4月～平成23年3月 (Apr., 2010～Mar., 2011)

この研究業績一覧の論文等は、本校教職員が上記期間中に他誌等へ発表した研究業績である。 **ゴシック体**により標記した者は、**本校教職員**である。 例：**高専太郎, T.KOSEN**

研究業績の範囲は主として次に掲げるものとし、各業績の先頭に番号による区分を示した。

1. 学会誌，協会誌等掲載学術論文（査読付）は〔1〕とした。
2. 国際会議発表*は〔2〕とした。
3. 著書は〔3〕とした。
4. 学会誌，協会誌等掲載記事（総説，解説，技術資料等），報告書は〔4〕とした。
5. 研究報告等掲載学術論文（査読なし）は〔5〕とした。
6. 学会発表，シンポジウム発表は〔6〕とした。
7. 特許等は〔7〕とした。
8. 芸術活動，建築作品，フィールドワークは〔8〕とした。

注：*はProceeding 発表，Symposium 発表，Poster Session 発表を含む

掲載事項は以下のとおり。

1. 学会誌，協会誌等掲載学術論文（査読付）は〔1〕著者名：論文名：雑誌名，巻（号），最初頁－最後頁，（発行年）
2. 国際会議発表は〔2〕発表者名：発表題目：発表誌名，巻（号），最初頁－最後頁，（発表年月，場所）
3. 著書は〔3〕著者名：書名（編集者）：出版社名，（発行年）
4. 学会誌，協会誌等掲載記事，報告書は〔4〕著者名：論文名：雑誌名，巻（号），最初頁－最後頁，（発行年）
5. 研究報告等掲載学術論文（査読なし）は〔5〕著者名：論文名：雑誌名，巻（号），最初頁－最後頁，（発行年）
6. 学会発表，シンポジウム発表は
〔6〕発表者名：発表題目：発表誌名，巻（号），最初頁－最後頁，（発行年）又は
〔6〕発表者名：発表題目：発表会名，（発表年月，場所）
7. 特許等は〔7〕発明者：特許等の名称：登録番号，（登録年）又は
〔7〕発明者：特許等の名称：出願番号，（出願年）
8. 芸術活動，建築作品，フィールドワークは
〔8〕制作者：作品等の名称，（発表年月，発表した場所等）又は
〔8〕フィールドワーク実施者：フィールドワークの名称，（フィールドワーク実施年月，場所等）

※著者名等は20名を越える場合は最初の10名を記入し，ほか何名とした。

人文社会系分野

- [4] **谷岡憲三**：2010 年度陸上競技成績報告：呉工業高等学校人文社会系分野保健体育陸上競技成績報告書，第 35 号，P207，(2011 年 3 月)
- [1] **木原滋哉**，上村 崇（人文社会系分野非常勤講師）：批判的思考力育成のための教育プログラム試行と課題：高専教育，第 34 号，pp. 215-220，(2011 年 3 月)
- [4] **木原滋哉**：三好十郎の絶対平和主義：草茫々通信，創刊号，pp. 4-5，(2010 年 6 月)
- [4] **木原滋哉**，上村 崇（人文社会系分野非常勤講師），宮田健一（井口高校）：教養教育とクリティカル・シンキング：平成 22 年度呉高専教育重点配分経費報告書，pp1-74，(2011 年 3 月)
- [4] **佐賀野健**：広島県中学生選抜バレーボール選手の体力測定：(財) 広島県バレーボール協会 2010 年度事業報告書，(2011 年)
- [1] **岩城裕之**：島根県隠岐・出雲地域における餅・団子類語彙—稲作を中心としない 2 地点の比較から—：語彙研究，8 号，pp. 22-31，(2010 年 12 月)
- [6] **岩城裕之**：医療現場における方言をめぐる「問題」：日本方言研究会第 90 回研究発表会 発表原稿集（シンポジウム講演）：pp. 74-77，(2010 年 5 月，日本女子大学)
- [6] **岩城裕之**，今村かほる（弘前学院大），工藤千賀子（弘前学院大），日高貢一郎（大分大），友定賢治（県立広島大）：医療・看護・福祉現場における方言教育：日本語学会 2010 年度秋季大会，pp. 255-260，(2010 年 10 月，愛知大学)
- [6] **岩城裕之**：「多い」ことと「少ない」ことの非対称性—方言語彙を例に—：表現学会広島例会，(2010 年 11 月，県立広島大学)
- [3] **竹山友子**（分担執筆）：十七世紀英文学と科学（十七世紀英文学会編）：(2010 年)
- [5] 西原貴之（県立広島大学），石原知英（愛知大学），**江口誠**，**竹山友子**，**川尻武信**，栗原武士（広島経済大学）：呉高専生入学時の英語学習意欲の持続性の調査：1年間の経時データからの考察：呉工業高等専門学校研究報告，第 72 号，pp. 81-88，(2010 年 12 月)
- [6] **竹山友子**：メアリー・シドニー訳 *Psalms* における罪と女性 —Psalm 58 を中心に—：日本英文学会中国四国支部 第 63 回大会，(2010 年 10 月，四国大学)
- [1] **外村 彰**：犀星「名園の焼跡」考—訪問者と秘密と—：室生犀星研究，第 33 輯，16~27 頁（2010 年 10 月）
- [3] **外村 彰**：岡本かの子 短歌と小説 —主我と没我と—：おうふう（2011 年）
- [3] **外村 彰**（共編）：したむきな人々 —近代小説の落伍者たち—：龜鳴屋，(2010 年)
- [5] **外村 彰**：文学で伝えたいこと：数研国語通信 つれづれ，第 17 号，2~5 頁，(2010 年 4 月)

- [6] **外村 彰**：岡本かの子「遺作」考—「女体開頭」「宝永噴火」「富士」の構想から—：立命館大学日本文学会，(2010年6月，立命館大学)
- [6] **外村 彰**：室生犀星「名園の焼跡」を読む—初出の改稿をめぐって—：室生犀星学会，(2010年10月，東洋大学)
- [6] **外村 彰**：高祖保の未刊詩集「独楽」定稿（新資料）をめぐって：日本近代文学会関西支部，(2010年11月，奈良教育大学)
- [1] **富村憲貴**：英作文課題へのタイムマシン・クエスチョンの導入：論文集「高専教育」，第34号，481頁—486頁，(2011年)

自然科学系分野

- [6] **笠井聖二**：高専物理におけるクリッカーを使った授業実践：日本物理学会第66回年次大会，25aEB-6，(新潟大学)
- [1] **Yuji Akaike**, Naotsugu Chinen (広島工大)，Kazuo Tomoyasu (都城高専)：The Smirnov remainders of uniformly locally connected proper metric spaces:Topology and its Applications, vol. 158, pp. 69-83, (2011年)
- [6] **森 貞雄**：ベッセルビーム多重化によるサイドローブの抑制(Ⅱ)：日本機械学会九州支部講演論文集，No118-1，pp. 297-298，(2011年3月，九大)
- [3] **深澤謙次**(分担執筆)：KETpic で楽々TeX グラフ：イーテキスト研究所，(2011年)
- [5] **深澤謙次**，高遠節夫(東邦大学)：「Sage 上での KETpic の利用について」：京都大学数理解析研究所講究録1735「数式処理と教育」，pp. 1-8，(2011年)
- [6] **深澤謙次**，金子真隆(木更津高専)，北原清志(工学院大学)，山下 哲(木更津高専)，高遠節夫(東邦大学)：「KETpic を用いた Schwarzschild 時空に関する物理教材の作成」：第19回日本数式処理学会大会，(2010年6月，名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリ)
- [6] 金子真隆(木更津高専)，山下 哲(〃)，**深澤謙次**，北原清志(工学院大学)，高遠節夫(東邦大学)：「教材における挿図利用に関するアンケート調査について」：日本数学教育学会第92回総会，(2010年8月，新潟市朱鷺メッセ)
- [6] 山口谷陸(呉高専専攻科)，**林 和彦**：反射高速電子回折による金属蒸着したシリコン表面の研究：日本機械学会中国四国学生会，第41回学生員卒業研究発表会講演前刷集，pp. 250，(2011年3月，岡山理科大学)
- [1] **Naoya Hiramatsu**，Yuji Yoshino(岡山大学)：Automorphism groups and Picard groups of additive full subcategories:Mathematica Scandinavica, 107, no. 1, pp. 5-29, (2010年)
- [1] **Naoya Hiramatsu**，Goro C. Kato (California Polytechnic State University)：Urcohomologies and

cohomologies of N -complexes : Portugaliae Mathematica, 67, no. 4, pp.511-524, (2010 年)

- [2] **Naoya Hiramatsu** : Automorphism groups and Picard groups of additive full subcategories : XIV International Conference on Representations of Algebras and Workshop, (2010 年 8 月, 国立オリンピック記念青少年総合センター)
- [2] **Naoya Hiramatsu** : Examples of degenerations of Cohen-Macaulay modules : 第 32 回可換環論シンポジウム (The 6th Japan-Vietnam Joint Seminar on Commutative Algebra と合同開催), (2010 年 12 月, IPC 生産性国際交流センター)
- [6] **平松直哉** : Cohen- Macaulay 加群の退化問題 : 日本数学会代数学分科会, (2011 年 3 月, 早稲田大学)

機械工学分野

- [1] **中迫正一**, 灘野宏正 (呉高専名誉教授), **河野正来**, 平岡拓磨 (呉高専専攻科), 深田一徳 (鋼板工業), 山根健作 (〃), 富岡信彦 (パプ日立工業): 各種複合被膜処理を施した SACM645 鋼の摩擦・摩耗特性: 設計工学, 45 卷 (7 号), pp. 351-356, (2010 年)
- [2] **M. NAKASAKO** and I. MINAMI (岩手大): Influences of Autoxidation on the Tribological Properties of Vegetables Oils: Conference Proceedings 2010 STLE Annual Meeting & Exhibition, CD-ROM, (May 2010, Las Vegas, USA)
- [6] 灘野宏正 (呉高専名誉教授), **中迫正一**, **大東由喜夫**, **山田千鶴**, **田村忠士**, 答島一成 (アドウィン): 機械設計教材用「エコドライブ搬送台車」の設計・製作 (等駆動力のばねーリンク装置の場合): 日本設計工学会中国支部講演論文集, No. 27, pp. 7-12, (2010 年 6 月, 広島)
- [6] **中迫正一**, 南 一郎 (岩手大), 原垣内慎太郎 (呉高専専攻科), **河野正来**: 植物油の摩耗特性に及ぼす酸化の影響: 日本機械学会中国四国支部・九州支部合同企画徳島講演会講演論文集, No. 105-2, pp. 111-112, (2010 年 10 月, 徳島)
- [6] **中迫正一**, 松井英俊 (広島文化学園大), **大東由喜夫**, **山田千鶴**, **田村忠士**: 急傾斜地用ストレッチャーの開発・設計: 平成 22 年度文部科学省戦略的の大学連携支援事業成果報告書, pp. 17-18, (2011 年 3 月, 呉)
- [1] **高津康幸**, 増岡隆士 (九州大), **野村高広**: 多孔質構造体の有効熱伝導率に関する一考察: 日本機械学会論文集 (B編), 第 76 卷 (第 768 号), pp. 1240-1247, (平成 22 年 8 月)
- [2] **Yasuyuki TAKATSU**, Takashi MASUOKA (九州大), and **Takahiro NOMURA**: Natural Convection in a Vertical Enclosure with Grooves: Proceedings of 2010 ASME International Mechanical Engineering Congress (CD-ROM), Paper No. IMECE2010-39179, pp. 1-6, (平成 22 年 11 月, Vancouver, Canada)
- [6] 沖 居将 (呉高専専攻科), **高津康幸**, **野村高広**: 溝付き垂直層内の自然対流に関する研究: 多日本機械学会中国四国学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会, pp. 215-215, (平成 23 年 3 月, 岡山理科大学)
- [6] 川端カイオ (呉高専専攻科), 川上浩史 (呉高専本科), **高津康幸**, **野村高広**: 多孔質内の乱流への遷移過程に関する研究: 多日本機械学会中国四国学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会, pp. 227-227, (平成 23 年 3 月, 岡山理科大学)
- [6] 塩見和也 (呉高専専攻科), 緑 大介 (呉高専本科), **高津康幸**, **野村高広**: 多孔質内気液二相流の流動パターンに関する研究: 多日本機械学会中国四国学生会第 41 回学生員卒業研究発表講演会, pp. 223-223, (平成 23 年 3 月, 岡山理科大学)
- [6] **野村高広**, 佐藤太一郎 (呉高専専攻科), **高津康幸**: ソレノイドを利用した尾ひれ推進船の泳動特性: 日本設計工学会2010年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp. 5-6, (2010年10月, 高知工科大)
- [6] **野村高広**, 佐藤太一郎 (呉高専専攻科), **高津康幸**: 尾ひれ推進船の教材開発と利用例: 日本設計工学会2010年度秋季大会研究発表講演会講演論文集, pp. 75-76, (2010年10月, 高知工科大)

- [6] **野村高広**, 佐藤太一郎 (呉高専専攻科), **高津康幸**: 「尾ひれ推進船」教材の基本性能: 日本設計工学会四国支部 2010 年度研究発表講演会講演論文集, pp. 33-34, (2011 年 3 月, 新居浜高専)
- [5] **山田祐士**: 空気圧サーボ系に対するニューラルネットワーク併用型適応制御を用いた力制御: 呉工業高等専門学校研究報告, 第 72 号, pp. 7-12, (2010 年 12 月)
- [1] Hideyuki Ichihara(広島市立大), Kenta Sutoh(広島市立大), **Yuki Yoshikawa**, Tomoo Inoue(広島市立大): A Practical Threshold Test Generation for Error Tolerant Application: IEICE Trans. Inf. & Syst. , Vol. E93-D, No. 10, pp. 2776-2782, (Oct. 2010)
- [1] 三上雄大(広島市立大), **吉川祐樹**, 市原英行(広島市立大), 井上智生(広島市立大): 論理合成における面積・遅延最適化のためのフォールスパスの活用について: FIT2010 講演論文集, Vol. RC010, pp. 109-114, (2010 年 9 月)
- [1] 志水 昂(広島市立大), 深澤祐樹(広島市立大), **吉川祐樹**, 市原英行(広島市立大), 井上智生(広島市立大): 組込み自己テストにおける救済可能テスト生成器: FIT2010 講演論文集, Vol. RC001, pp. 59-64, (2010 年 9 月)
- [2] Yuki Fukazawa(広島市立大), **Yuki Yoshikawa**, Hideyuki Ichihara(広島市立大), Tomoo Inoue(広島市立大): A Design of Response Analyzers with Self-Distinguishability in Built-in Self-Test: International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT), pp. 732-735, (Oct. 2010)
- [2] Ryoji Noji(広島市立大), Satoshi Fujie(広島市立大), **Yuki Yoshikawa**, Hideyuki Ichihara(広島市立大), Tomoo Inoue(広島市立大): An FPGA-Based Fail-soft System with Adaptive Reconfiguration: 16th IEEE International On-Line Testing Symposium, pp. 127-132, (July. 2010)
- [2] **Yuki Yoshikawa**, Tomomi Nuwa(広島市立大), Hideyuki Ichihara(広島市立大), Tomoo Inoue(広島市立大): Hybrid Test Application in Hybrid Delay Scan Design: IEEE Proc. ETS, pp. 247, (May. 2010)
- [2] Seiji Hirota(広島市立大), **Yuki Yoshikawa**, Hideyuki Ichihara(広島市立大), Tomoo Inoue(広島市立大): Experimental Evaluation of Hybrid RTL Scan Design: Digest of Papers Workshop on RTL and High-Level Testing (WRTLTL), (Dec. 2010)
- [2] Nobuya Oka(広島市立大), **Yuki Yoshikawa**, Hideyuki Ichihara(広島市立大), Tomoo Inoue(広島市立大): A New Class of Acyclically Testable Sequential Circuits with Multiplexers: Digest of Papers Workshop on RTL and High-Level Testing (WRTLTL), (Dec. 2010)
- [6] **吉川祐樹**, 丸谷瞬(広島市立大), 市原英行(広島市立大), 井上智生(広島市立大): ロバストテスト可能データパスを指向した高位合成におけるバインディング法: 信学技報, Vol. 110, No. 106, pp. 13-18, (2010 年 6 月)
- [6] 岡 伸也(広島市立大), **吉川祐樹**, 市原英行(広島市立大), 井上智生(広島市立大): スイッチの機能を考慮した部分スルー可検査性に関する研究: 信学技報, Vol. 110, No. 106, pp. 7-11, (2010 年 6 月)
- [6] 岩本由香(広島市立大), **吉川祐樹**, 市原英行(広島市立大), 井上智生(広島市立大): 画像伸張回路を用いた組込みテスト生成に関する実験的考察: 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 110, No. 317, pp. 43-48, (2010 年 11 月)

- [6] 邊見勇登(広島市立大), **吉川祐樹**, 市原英行(広島市立大), 井上智生(広島市立大) : マルチサイクル故障に耐性を持つデータパスのためのバインディング法: 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 110, No. 317, pp. 25-30, (2010年11月)

電気情報工学分野

- [2] **F. Kuroki** and K. Nishimura(呉高専専攻科) : Connection between Microstrip Circuits in Transmitter and Receiver of VSAT System : Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics, (July 2010 in Cambridge Massachusetts, USA)
- [2] **F. Kuroki**, H. Kawagashira(呉高専専攻科), and R. Tamaru(呉高専専攻科) : Unwanted Modes Caused by Asymmetrical Structures in BIT Line Resonator at Millimeter-wave Frequencies : Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics, (July 2010 in Cambridge Massachusetts, USA)
- [2] **F. Kuroki**, S. Takeda(呉高専専攻科), and T. Ohira(豊橋技科大) : Numerical Analysis of Q-factors in Millimeter-wave Oscillators : Electronic Proceedings of Progress in Electromagnetics, (July 2010 in Cambridge Massachusetts, USA)
- [2] **F. Kuroki**, M. Nakamura(呉高専専攻科), M. Okiyokota(呉高専専攻科) : Influence on Unwanted Dielectric Slab Modes Generated in Slit Array Planer Antenna Supported by Copper-coated Dielectric Substrate at 60 GHz : Proceedings of the 40th European Microwave Conference, pp.1488-1491, (September, 2010 in Paris, France)
- [2] **F. Kuroki**, M. Nakamura(呉高専専攻科), M. Okiyokota(呉高専専攻科) : Design on Uniform Aperture Field Distribution of Slit Array Planar Antenna Consisting of Copper-foil-coated Dielectric Substrate by Taking Account of Slab Modes at 60 GHz : Proceedings of IEEE Phased Array Conference, pp. 846-849, (October, 2010 in Waltham, USA)
- [2] H. Kawagashira(呉高専専攻科), Y. Omote(呉高専専攻科), and **F. Kuroki** : Study on Construction of Cost-effective Printed Circuits at Millimeter-wave Frequencies : Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference, pp. 1490-1493, (December, 2010 in Yokohama)
- [2] S. Takeda(呉高専専攻科), K. Ohue(呉高専専攻科), **F. Kuroki**, and T. Ohira(豊橋技科大) : A Consideration on Numerical Calculation of Q-factors in Oscillation Circuit Based on Formulation of S Parameters : Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference, pp.508-511, (December, 2010 in Yokohama)
- [2] K. Nishimura(呉高専専攻科) and **F. Kuroki** : Connection between Microstrip Circuits in Transmitter and Receiver of VSAT Systems : Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference, pp. 1340-1343, (December, 2010 in Yokohama)
- [2] M. Nakamura(呉高専専攻科), M. Okiyokota(呉高専専攻科), and **F. Kuroki** : Design of Uniform Aperture Field Distribution with No-grating Lobes on Traveling Type of Slit Array Antenna Made by Copper-Clad Dielectric Substrate at 60 GHz : Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference, pp. 2056-2059, (December, 2010 in Yokohama)
- [2] **F. Kuroki** : Special Lecture of Consideration on Millimeter-wave Technologies - Why don't you

get hold of the basic concepts and perceive the reality : Proceedings of Tutorial Lecture in Asia Pacific Microwave Conference, pp.29-38, (December, 2010 in Yokohama)

- [2] M. Nakamura(呉高専専攻科), M. Okiyokota(呉高専専攻科), and **F. Kuroki** : Design of Uniform Aperture Field Distribution of Slit Array Planar Antenna at 60 GHz : Proceedings of International Student Conference 2011 in Okayama (Promoting Project for International Relationship of Eight Colleges-of-Technology in Chugoku-area), A-8, (January, 2011 in Okayama)
- [2] S. Takeda(呉高専専攻科), K. Ohue(呉高専専攻科), and **F. Kuroki** : Study on Numerical Calculation of Q-factors in Microwave Oscillators : Proceedings of International Student Conference 2011 in Okayama (Promoting Project for International Relationship of eight Colleges-of-Technology in Chugoku-area), A-9, (January, 2011 in Okayama)
- [2] H. Kawagashira(呉高専専攻科), Y. Omote(呉高専専攻科), and **F. Kuroki** : Study on Suppression of Unwanted Emission at Asymmetrical BIT Line Structure : Proceedings of International Student Conference 2011 in Okayama (Promoting Project for International Relationship of eight Colleges-of-Technology in Chugoku-area), A-9, (January, 2011 in Okayama)
- [2] K. Nishimura(呉高専専攻科) and **F. Kuroki** : Design on Connection between Facing Microstrip Circuits for VSAT Use : Proceedings of International Student Conference 2011 in Okayama (Promoting Project for International Relationship of eight Colleges-of-Technology in Chugoku-area), A-10, (January, 2011 in Okayama)
- [6] 西村高征(呉高専専攻科), **黒木太司** : 対向配置マイクロストリップ線路間の接続に関する検討 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp. 19-22, (2010年6月, 浜松)
- [6] **黒木太司**, 一瀬健人(呉高専本科), 竹田慎平(呉高専専攻科) : センチ波・ミリ波帯プリント線路帯域通過フィルタの構成法に関する考察 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp. 23-26, (2010年6月, 浜松)
- [6] 竹田慎平(呉高専専攻科), 大上晃一(呉高専専攻科), **黒木太司**, 大平孝(豊橋技科大) : 散乱行列に着目した2端子対回路発振器におけるQファクタの数値計算 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp. 31-36, (2010年6月, 浜松)
- [6] **黒木太司**, 田中智大(呉高専本科), 米山務(東北工大) : 帯域阻止形自己注入同期NRDガイドガン発振器の等価回路 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp. 27-30 (2010年6月, 浜松)
- [6] 一瀬健人(呉高専本科), **黒木太司** : ミリ波シンポジウム・帯域制限技術 —ミリ波フィルタは本当に必要か— ミリ波フィルタ不要論を念頭に置いた折衷案 : 電気学会部門別大会 TC17-5, (2010年9月, 熊本)
- [6] 田中智大(呉高専本科), **黒木太司** : ミリ波シンポジウム・発振回路位相雑音 60GHz帯帯域阻止型自己注入NRDガイドガン発振器の等価回路に関する考察 : 電気学会部門別大会 TC20-4, (2010年9月, 熊本)
- [6] 中村元紀(呉高専専攻科), 沖横田誠(呉高専専攻科), **黒木太司** : グレーティングローブを抑制した60GHz帯スリットアレイ平面アンテナの開口面一様分布設計 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp. 23-26, (2010年9月, 東京)
- [6] 西村高征(呉高専専攻科), 柏原慎也(呉高専専攻科), **黒木太司** : 改善したJ字形モノポールアレイアンテナの等価回路表示 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp. 27-30, (2010年9月, 東京)

- [6] 川頭弘幸(呉高専本科), 表 祐介(呉高専本科), **黒木太司**, :FR-4 基板を用いたミリ波帯 BIT ラインフィルタ : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.61-64, (2010年9月, 東京)
- [6] 一瀬健人(呉高専本科), **黒木太司** : ミリ波帯プリント線路帯域フィルタの構成法に関する考察 : 電子情報通信学会マイクロ波研究会, pp.65-68, (2010年9月, 東京)
- [6] 竹田慎平(呉高専専攻科), **黒木太司**, 大平 孝(豊橋技科大) : イミッタンス行列及び散乱行列による2端子対発振回路 Q ファクタの数値計算 : 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-7, (2010年9月, 大阪)
- [6] 田中智大(呉高専本科), **黒木太司** : 帯域阻止形自己注入同期 NRD ガイドガン発振器の安定化条件の考察 : 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-8, (2010年9月, 大阪)
- [6] 西村高征(呉高専専攻科), 柏原慎也(呉高専専攻科), **黒木太司** : J字形モノポールアレイアンテナの等価回路の改善 : 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-27, (2010年9月, 大阪)
- [6] 中村元紀(呉高専専攻科), 森田智紀(呉高専本科), 沖横田誠(呉高専専攻科), **黒木太司** : 60GHz 帯垂直ストリップ線路1次放射器の反射係数の低減 : 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-28, (2010年9月, 大阪)
- [6] 中村元紀(呉高専専攻科), 沖横田誠(呉高専専攻科), **黒木太司** : 60GHz 帯スリットアレイ平面アンテナにおけるスラブモードを考慮した開口面一様分布設計 : 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-29, (2010年9月, 大阪)
- [6] 一瀬健人(呉高専本科), **黒木太司** : センチ波帯プリント線路帯域フィルタの一構成法 : 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-44, (2010年9月, 大阪)
- [6] 川頭弘幸(呉高専専攻科), 表 祐介(呉高専専攻科), **黒木太司** : FR-4 基板を用いた 30GHz 帯 BIT ラインフィルタの試作 : 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-45, (2010年9月, 大阪)
- [6] 西村高征(呉高専専攻科), 柏原慎也(呉高専専攻科), **黒木太司** : J字形モノポールアレイアンテナの等価回路の精度向上 : 電子情報通信学会総合大会, C-2-53, (2011年3月, 東京)
- [6] 中村元紀(呉高専専攻科), 沖横田誠(呉高専専攻科), **黒木太司** : 整合用金属板で構成した 60GHz 帯スリットアレイ平面アンテナの設計 : 電子情報通信学会総合大会, C-2-58, (2011年3月, 東京)
- [6] 中村元紀(呉高専専攻科), 沖横田誠(呉高専専攻科), **黒木太司** : 金属板で構成した 60GHz 帯スリットにおける放射・反射特性 : 電子情報通信学会総合大会, C-2-57, (2011年3月, 東京)
- [6] 川頭弘幸(呉高専専攻科), 表 祐介(呉高専専攻科), **黒木太司** : FR-4 及びガラスファイバ PTFE 基板を用いた 30GHz 帯 BIT ラインフィルタの比較検討 : 電子情報通信学会総合大会, C-2-91, (2011年3月, 東京)
- [6] 中島翔太(呉高専専攻科), 大上晃一(呉高専専攻科), **黒木太司**, 米山 務(東北工大) : 60GHz 帯帯域阻止形自己注入同期 NRD ガイドガン発振器のバイアス線が発振特性に与える影響 : 電子情報通信学会総合大会, C-2-27, (2011年3月, 東京)
- [6] **黒木太司**, 沖田靖能(呉高専本科), 川頭弘幸(呉高専専攻科) : 高次モードを考慮した 60GHz 帯両面金属装荷トリプレート伝送線路の設計 : 電子情報通信学会総合大会, C-2-66, (2011年3月, 東京)
- [6] 田中智大(呉高専本科), **黒木太司**, 米山 務(東北工大) : 等価回路モデル及び 3-D 電磁界シミュレータによる帯域阻止形自己注入同期 NRD ガイドガン発振器の安定化の検討 : 電子情報通信学会総合大会,

- C-2-28 , (2011 年 3 月, 東京)
- [6] 一瀬健人(呉高専本科), **黒木太司**: 60GHz 帯 NRD ガイドパルスレーダにおける速度算出信号処理: 電子情報通信学会総合大会, C-2-131, (2011 年 3 月, 東京)
- [6] 森田智紀(呉高専本科), 中村元紀(呉高専専攻科), **黒木太司**: 60GHz 帯垂直ストリップ線路 1 次放射器の反射・放射特性: 電子情報通信学会総合大会, C-2-56, (2011 年 3 月, 東京)
- [7] 南谷康次郎(新日本無線), **黒木太司**: 非放射性誘電体線路と導波管の変換回路: 特許第 4458452 号, 2010 年 4 月 28 日発行
- [7] 末松英治(シャープ), 山口倫史(〃), 鈴木治夫(〃), **黒木太司**: 携帯型無線装置: 特許第 4469760 号, 2010 年 5 月 26 日発行
- [5] **山崎 勉**: マイクロホロー陰極放電の放電開始電圧の気圧依存性の検討: 呉高専研究報告, 第 72 号, pp. 29-34, (2010 年)
- [1] 伊藤純平(島根大), **藤井敏則**, 船曳繁之(島根大): マスキングを用いたクラスタ構造型 GA による電力平準化システムの最適化: 電気学会論文誌 B, 第 130 巻 (第 12 号), pp. 1125-1131, (2010 年 12 月)
- [6] 槇野洋平(岡山大), **藤井敏則**, 今井 純(岡山大), 船曳繁之(岡山大): ベクトル反射 PSO を用いた電力制御システムの最適化: 電気学会全国大会, 6-155, 278-279, (2011 年 3 月, 大阪)
- [6] 小池涼太(岡山大), **藤井敏則**, 今井 純(岡山大), 船曳繁之(岡山大): CSHA を用いた電力平準化システムの最適化: 電気学会全国大会, 6-188, 340-341, (2011 年 3 月, 大阪)
- [2] **H. Inoue**: Self-Organizing Neural Grove and Its Distributed Performance: The 10th International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing, Part 2, pp.146-155, (2010 年 5 月, 釜山)
- [2] **H. Inoue**: Incremental Learning Using Self-Organizing Neural Grove: The 20th International Conference on Artificial Neural Networks, Part 3, pp.557-562, (2010 年 9 月, テッサロニキ)
- [6] 松林真司(呉高専専攻科), **井上浩孝**: 自己生成ニューラルネットワークを用いたアンサンブル学習法: 平成 22 年度電気・情報関連学会中国支部第 61 回連合大会, pp. 451-452, (2010 年 10 月, 岡山)

環境都市工学分野

- [4] **森脇武夫**, 向井雅司(復建調査設計): 中国地方の軟弱地盤: 地盤工学会中国支部 50 周年記念誌, pp. 73-80, (2010 年 4 月)
- [4] **森脇武夫**: 弾粘性圧密理論に基づく残留沈下予測: 平成 22 年度実務における圧密沈下予測と対策講習会講演資料, 地盤工学会, pp. 57-63, (2011 年 1 月)

- [6] **森脇武夫**, 山崎裕也 (大阪ガス) : ベンダーエレメント付き分割型圧密試験装置による粘土の圧密過程
中のせん断弾性係数の測定 : 第 45 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 253-254, (2010 年 8 月, 松山市)
- [6] 上本雄也 (神戸大学), **森脇武夫**, 田中裕人 (横河ブリッジ) : まさ土斜面の降雨浸透特性に関する現地
観測 : 土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集, 第 3 部門, pp. 255-256, (2010 年 9 月, 札幌市)
- [6] 佐藤友彦 (呉高専専攻科), **森脇武夫** : 自然堆積粘土における透水係数の異方性に関する研究, 土木学
会第 65 回年次学術講演会講演概要集, 第 3 部門, pp. 271-272, (2010 年 9 月, 札幌市)
- [6] 蔦川 徹 (中電技術コンサルタント), **森脇武夫**, 服部 晃 (日本触媒), 岡本功一 (〃), 平尾隆行 (中
電技術コンサルタント), 眞田一磨 (〃) : 基礎杭打設による海面処分場の底面遮水工に与える短期的影
響 (杭先端部) の考察 : 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, Vol. 21, pp. 232-233, (2010 年 11
月, 金沢市)
- [1] **竹内準一**, 天野沙也加 (愛媛大農), 山新良彦 (広島大理) : ESP の考え方にに基づき英文で卒業論文を書
く試み—専門領域で必要とされる英語運用力の育成— : 高専教育, 34 号, pp. 209-214 (2011 年 3 月)
- [2] **J. Takeuchi**, M. Ikezaki, Y. Yoshimoto, N. Nakamoto (Shinshu Univ) : Slow sand filtration and its
biological basis of community-based practice for water supply (Poster presentation) : 17th Asian
Symposium on EcoTechnology (ASET-17), (11-13 November, 2010, Unazuki, Toyama, Japan)
- [4] **竹内準一** : いまどきの高専—環境持続化と国際化への可能性を拓く工学教育— : 月刊下水道 (環境新聞
社), 33 (12), pp. 59-64, (2010 年 10 月)
- [5] **竹内準一**, 池崎万里奈 (呉高専) : 自然微生物群集を用いた緩速ろ過方式浄水場の環境持続性 : 呉工業
高等専門学校研究報告, 第 72 号, pp. 35-40 (2010 年)
- [6] **竹内準一** : 緩速ろ過池の浄化に寄与する微生物像を追う—考え方・捉え方— : 特定非営利活動法人 地
域水道支援センター主催セミナー招待講演, (2010 年 10 月 5 日, 群馬県高崎市)
- [2] **及川栄作**, 町支康成 (呉高専専攻科), 及川胤昭 (創造的生物工学研) : Analysis of molecular weight
distribution degraded liquid polystyrene by *Bacillus thuringiensis* STR-Y-0 : The 13th
international symposium on microbial Ecology, pp. PS07.084, (Aug. 2010, Seattle, USA)
- [5] **及川栄作**, 町支康成 (呉高専専攻科), 松尾昭彦 (広島文化学園大) : かき養殖用発泡スチロール製いか
だの微生物分解処理法に関する研究 : 海・技・人の光る呉市周辺沿岸島嶼部の総合人材育成平成 22 年度
成果報告書, pp. 15-16, (2011 年 3 月, 呉市)
- [6] 町支康成 (呉高専専攻科), **及川栄作** : ポリスチレン分解菌による分解物の重合度分析 : 平成 22 年度 (第
62 回) 土木学会中国支部研究発表会, (2010 年 5 月, 徳山市)
- [6] 町支康成 (呉高専専攻科), **及川栄作** : 微生物による発泡スチロール溶液分解物の分子量分析 : 土木学
会, 第 65 回土木学会年次学術講演会, (2010 年 9 月, 札幌市)
- [6] **及川栄作**, 町支康成, 及川胤昭 (創造的生物工学研) : ポリスチレン分解菌による分解物の分子量分析 :
日本生物工学会第 62 回日本生物工学会大会, (2010 年 10 月, 宮崎市)
- [6] **及川栄作** : かき養殖用発泡スチロール製いかだフロートのバイオリサイクル法開発 : NPO 法人広島循環

型社会推進機構成果報告会（中間），（2010年11月，広島市）

- [6] **及川栄作**：におい識別機能を持ったにおいバイオセンサー：第3回環境・エネルギーイノベーションフォーラム，（2010年11月，徳山市）
- [6] **及川栄作**：かき養殖用発泡スチロール製いかだフロートのバイオリサイクル法開発：NPO法人広島循環型社会推進機構成果報告会（年度末），（2011年3月，広島市）
- [7] **及川栄作**，石橋良信（東北学院大工）：*Phormidium tenue* の同定法並びにこの方法に用いるプライマー：登録番号第4493969号，（2010年4月16日）
- [8] **及川栄作**：おもしろ科学体験フェスティバル：（2010年6月，福山市）
- [6] **黒川岳司**，横山英里（レールテック），山本龍之介（呉高専専攻科），濱本光蔵（広島市）：噴流型流動促進装置の装置形状の違いによる流動性能の変化に関する実験的検討：第62回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，II-38，（2010年5月，周南市）
- [6] 山本龍之介（呉高専専攻科），**黒川岳司**，横山英里（レールテック），濱本光蔵（広島市）：噴流型流動促進装置の装置形状と流動性能の関係に関する理論的考察：第62回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，II-39，（2010年5月，周南市）
- [6] 岩田 暁（呉高専専攻科），**黒川岳司**：金属イオン電解溶出を用いた水質浄化方法に関する基礎的検討：第62回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，II-40（2010年5月，周南市）
- [6] 北 真人（呉高専専攻科），**黒川岳司**，吉岡佑馬（日本たばこ産業）：成層期・非成層期における噴流型流動促進装置による流況と水質改善効果：第62回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，II-41，（2010年5月，周南市）
- [6] 山本龍之介（呉高専専攻科），**黒川岳司**，濱本光蔵（広島市），横山英里（レールテック）：噴流型流動促進装置の装置形状と流動特性の関係に関する理論的検討：土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，II-014，（2010年9月，札幌市）
- [6] 北 真人（呉高専専攻科），**黒川岳司**：非成層期の違いが流動促進装置による流況と水質改善効果に及ぼす影響：土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，II-163，（2010年9月，札幌市）
- [1] **重松尚久**，北岡一成（呉高専専攻科），小田 登（株式会社スターロイ）：多断型掘削方式を用いたモデル掘削機の応力制御実験：平成22年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.61-64，（2010年11月）
- [1] **重松尚久**，北岡一成（呉高専専攻科），小田 登（株式会社スターロイ）：多段型端面掘削方式を用いたモデル掘削機の開発：テラメカニクス，第30号，pp.27-30，（2010年5月）
- [1] **重松尚久**，高垣夏輝（呉高専専攻科），室 達朗（愛媛大学）：ディスクカッタービットを用いた硬質岩盤掘削機の開発について：テラメカニクス，第30号，pp.31-34，（2010年5月）

- [2] **Takahisa SHIGEMATSU**, Takashi HANAOKA (広島大学), Tatsuro MURO (愛媛大学), Noboru ODA (株式会社スターロイ) : Development of a hard rock excavator with the edge excavation method : Proceedings of Joint 9th Asia-Pacific ISTVS Conference and Annual Meeting of Japanese Society for Terramechanics, 025, (2010年9月, 北海道)
- [2] Takashi HANAOKA (広島大学), **Takahisa SHIGEMATSU**, Tatsuro MURO (愛媛大学), Noboru ODA (株式会社スターロイ) : Experimental study of a hard rock excavator using the Edge Excavation Method : 9th International Conference on Civil and Environmental Engineering, 81, (2010年11月, 中国)
- [4] **重松尚久**, 高垣夏輝(呉高専専攻科), 室 達朗(愛媛大学) : 端面掘削方式による硬質岩盤掘削機の開発 : 建設機械 8月号 546, pp. 42-45, (2010年8月)
- [4] **重松尚久**, 北岡一成(呉高専専攻科), 室 達朗(愛媛大学), 小田 登(株式会社スターロイ) : 多段型端面方式を用いた掘削機の検討 : 建設機械 9月号 547, pp. 35-38, (2010年9月)
- [4] **重松尚久**, 花岡 尚(呉高専専攻科), 室 達朗(愛媛大学), 小田 登(株式会社スターロイ) : 硬質岩盤掘削のためのローラーヘッダーの開発 : 建設機械 10月号 548, pp. 28-31, (2010年10月)
- [6] 北岡一成(呉高専専攻科), **重松尚久**, 古木秀隆(五洋建設), 小田 登(スターロイ) : 応力制御による多段型端面掘削方式を用いたモデル掘削機の実験 : 第 62 回平成 22 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, VI-4, (2010年5月, 徳山)
- [6] **重松尚久**, 高垣夏輝(呉高専専攻科), 高橋正晃(JR 東海) : ディスクカッタビットを用いた硬質岩盤掘削機に関する基礎的研究 : 第 62 回平成 22 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, VI-3, (2010年5月, 徳山)
- [6] 河村倫太郎(呉高専専攻科), **重松尚久**, 花岡 尚(広島大学), 小田 登(スターロイ) : アタッチメントとしての硬質岩盤掘削機の開発 : 第 62 回平成 22 年度土木学会中国支部研究発表会発表概要集, VI-5, (2010年5月, 徳山)
- [6] 河村倫太郎(呉高専専攻科), 花岡 尚(呉高専専攻科), **重松尚久**, **河村進一** : 応力制御方式による硬質岩盤掘削機の実験的考察 : 第 65 回年次学術講演会概要集, VI-314, (2010年9月, 北海道)
- [6] 花岡 尚(広島大学), **重松尚久**, 小田 登(スターロイ) : 端面掘削方式による花崗岩の掘削性能に関する研究 : 第 65 回年次学術講演会概要集, VI-315, (2010年9月, 北海道)
- [6] 高垣夏輝(呉高専専攻科), **重松尚久**, 室 達朗(愛媛大学) : 各供試体におけるディスクカッタビットを用いた端面掘削方式の掘削性能 : 第 65 回年次学術講演会概要集, VI-317, (2010年9月, 北海道)
- [6] 北岡一成(呉高専専攻科), **重松尚久**, **河村進一** : 多段式端面掘削方式を用いた掘削機のモデル実験 : 第 65 回年次学術講演会概要集, VI-318, (2010年9月, 北海道)
- [6] **重松尚久**, 河村倫太郎(呉高専専攻科), 小田 登(スターロイ) : 硬質岩盤掘削機の開発のための応力制御実験 : 平成 22 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp. 157-158, (2010年11月, 東京)
- [6] **重松尚久**, 高垣夏輝(呉高専専攻科), 室 達朗(愛媛大学) : 端面掘削方式を用いた硬質岩盤掘削機の開発に関する基礎的研究 : 平成 22 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp. 159-160, (2009年11月, 東京)

- [6] 河村倫太郎(呉高専専攻科), **重松尚久**: 端面掘削方式を用いた硬質岩盤掘削機の開発に関する研究: 第30回テラメカニクス研究会, (2010年11月, 山形)
- [1] **山岡俊一**, 坂本 淳 (岐阜高専), 磯部友彦 (中部大): 相対的重要度と経済的価値を考慮した鉄道駅における昇降機設置の評価: 福祉のまちづくり研究, Vol.12 No.1-2 合併号, pp.1-10, 日本福祉のまちづくり学会, (2010年)
- [1] 坂本 淳 (岐阜高専), **山岡俊一**: 高速道路利用直後の運転者の速度超過選択行動に及ぼす影響要因の分析: 第30回交通工学研究発表会論文集, pp.93-96, 交通工学研究会, (2010年)
- [6] 坂本 淳 (岐阜高専), **山岡俊一**: PT調査に基づく高齢者の自動車運転選択特性の時系列変化と地域特性の影響分析: 日本福祉のまちづくり学会第13回全国大会, USB版 (4 pages), (2010年8月, 刈谷市)
- [6] **山岡俊一**, 今田寛典 (広島文化学園大), 坂本 淳 (岐阜高専): 斜面住宅地居住者を対象としたコミュニケーションによる防災教育の効果に関する実証分析: 日本福祉のまちづくり学会第13回全国大会, USB版 (4 pages), (2010年8月, 刈谷市)
- [6] 坂本 淳 (岐阜高専), **山岡俊一**: 高速道路利用直後の運転者の速度超過選択行動に与える影響に関する一考察: 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, 4-pp.209-210, (2010年9月, 札幌市)
- [6] **山岡俊一**, 坂本 淳 (岐阜高専), **小堀慈久**, 今田寛典 (広島文化学園大): 斜面住宅居住者を対象としたアンケート調査と防災学習パンフレットによる防災教育に関する研究: 土木計画学研究・講演集, No.42, CD-ROM (4 pages), (2010年11月, 甲府市)
- [6] 北河俊樹 (岐阜高専), 坂本 淳 (岐阜高専), **山岡俊一**: 自転車の危険行為と走行挙動の関連性に関する調査分析: 平成22年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.333-334, (2011年3月, 春日井市)
- [1] **堀口 至**, 南條英夫 (中国電力), 岩田数典 (〃), 市坪 誠 (高専機構): PFBC灰硬化体の基礎特性に及ぼす配合および養生条件の影響: コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1523-1528, (2010年)
- [1] **堀口 至**, **三村陽一**: 粒径の異なる骨材を使用した牡蠣殻ポーラスコンクリートの基礎特性: セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.530-536, (2010年)
- [6] **堀口 至**, **三村陽一**: 粒径の異なる骨材を使用した牡蠣殻ポーラスコンクリートの基礎特性: 第64回セメント技術大会講演要旨, pp.98-99, (2010年5月, 東京都)
- [6] 内田拓未 (呉高専本科), 目片雄士 (〃), 柏原康平 (〃), 数実浩佑 (〃), **堀口 至**: 牡蠣殻を全量利用した植生基盤材料に関する研究: 呉地域オープンカレッジネットワーク会議平成22年度地域活性化研究報告会, (2011年3月, 呉市)
- [7] 市坪 誠 (高専機構), 竹村和夫 (呉高専名誉教授), **堀口 至**, 山田 宏 (住友大阪セメント), 山口隆司 (長岡技術科学大学), 牧 慎也 (新居浜高専): 耐硫酸性混合物: 特許第4518908号 (2010年5月28日)
- [7] **堀口 至**, 岩田数典 (中国電力), 福本 直 (〃), 今岡安則 (〃), 南條英夫 (〃): コンクリート二次製品の製造方法及びそのコンクリート二次製品: 特許第4588090号 (2010年9月17日)

- [8] **堀口 至**：食品生産過程における不要物の有効活用 牡蠣殻を有効利用したエココンクリート，第 7 回全国水産海洋系研究成果ポスター展示会，(2010 年 7 月，東京都)
- [1] **三村陽一**，吉武 勇(山口大)，海野達夫(エイト日本技術開発)，**堀口 至**：鉄筋の付着を介した一軸引張実験に基づく若材齢コンクリートの変形および強度の特性：コンクリート工学年次論文集，32(1)，pp. 341-346，(2010 年)
- [1] 七村祐輔(山口大)，吉武 勇(〃)，**三村陽一**，和多田康男(宇部興産機械)：フレッシュ時から接着した鋼コンクリート合成部材の基礎実験：コンクリート工学年次論文集，32(2)，pp. 1213-1218，(2010 年)
- [6] 七村祐輔(山口大)，吉武 勇(〃)，**三村陽一**，和多田康男(宇部興産機械)：無機系防錆材を用いて接着した鋼コンクリート合成構造の曲げ特性と変状：土木学会中国支部第 62 回研究発表会概要集，(2010 年 5 月，周南市)
- [6] 吉武 勇(山口大)，**三村陽一**：若材齢コンクリートの引張ヤング係数の一推定方法：土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集，(2010 年 9 月，札幌市)
- [6] **三村陽一**，**堀口 至**，吉武 勇(山口大)：RC 棒部材の一軸引張実験に基づく若材齢コンクリートの付着喪失等価領域：土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集，(2010 年 9 月，札幌市)

建築学分野

- [1] 佐藤幸博 (フジタ)，高森直樹 (〃)，**寺岡 勝**：材齢 1 年における超高強度コンクリート中の鉄筋の付着特性：コンクリート工学年次論文集，Vol. 32, No. 2, pp. 595-600，(2010 年)
- [5] **寺岡 勝**，**仁保 裕**，掛 悟史 (呉高専専攻科)，中本竜幸 (〃)：単一山形鋼をブレースに用いたブレース付き鋼構造骨組の耐震性能に関する実験的研究：呉工業高等専門学校研究報告，第 72 号，pp. 41-50，(2010 年)
- [6] 掛 悟史 (呉高専専攻科)，**寺岡 勝**：自己歪応力を受ける鉄筋コンクリート柱の耐震性能および耐震補強に関する実験：日本建築学会学術講演梗概集，構造IV，pp. 313-314，(2010 年 9 月，富山大学)
- [6] **寺岡 勝**，掛 悟史 (呉高専専攻科)：10N/mm²クラスの低強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート耐震壁の耐震性能：日本建築学会学術講演梗概集，構造IV，pp. 389-390，(2010 年 9 月，富山大学)
- [6] **寺岡 勝**，佐藤幸博 (フジタ)：超高強度材料を用いた鉄筋コンクリート梁の曲げ性能に関する実験：日本建築学会中国支部研究報告集，第 34 巻，CD-ROM (253)，pp. 241-244，(2011 年 3 月，徳山高専)
- [6] 掛 悟史 (呉高専専攻科)，**寺岡 勝**，**仁保 裕**：既存鉄筋コンクリート構造物のひび割れとその幅に関する経時的挙動：日本建築学会中国支部研究報告集，第 34 巻，CD-ROM (253)，pp. 253-256，(2011 年 3 月，徳山高専)
- [6] 掛 悟史 (呉高専専攻科)，**寺岡 勝**：低強度コンクリートを用いた耐震壁のせん断実験：日本建築学会中国支部研究報告集，第 34 巻，CD-ROM (260)，pp. 269-272，(2011 年 3 月，徳山高専)

- [7] **寺岡 勝**, 佐藤幸博 (フジタ) 他: プレキャスト鉄筋コンクリート部材およびその製造法: 登録番号 4651025, (2010年12月24日登録)
- [1] **篠部 裕**, 久保宏枝 (大阪ガス): 壁面緑化を題材とする環境教育の実践に関する一考察: 高専教育 第34号 pp. 221~226, (2011年)
- [6] 角田博由起 (呉高専専攻科), **篠部 裕**: 庭園の周辺景観の保全施策に関する一考察: 日本建築学会 2010年度大会 (北陸) 学術講演梗概集 F-1, pp. 645-646, (2010年9月, 富山大学)
- [6] **篠部 裕**, 宮地敬士 (呉高専専攻科): 人口減少時代の空き家整備に関する研究 その1 空き家の活用施策の現状: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第34巻, pp. 601-604, (2011年3月, 徳山高専)
- [6] 宮地敬士 (呉高専専攻科), **篠部 裕**: 人口減少時代の空き家整備に関する研究 その2 空き家の解体施策の現状: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第34巻, pp. 605-608, (2011年3月, 徳山高専)
- [5] **泉 洋輔**: 地盤の液状化を考慮した応答スペクトル法による地震荷重評価: 呉工業高等専門学校研究報告, 第72号, pp. 63-72, (2010年12月)
- [6] 貝谷淳一 (能勢建築構造研究所), **泉 洋輔**, 三浦賢治 (広島大): 直接基礎の周辺地盤に非線形領域を有する建物の地震応答 (その1 インピーダンス・基礎入力動の解析結果): 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, pp. 669-670, (2010年9月, 富山大)
- [6] **泉 洋輔**: Sway Rocking モデルによる建物と地盤の動的相互作用の理論: ワークショップ「建物と地盤の動的相互作用の簡易計算法」, 日本建築学会, pp. 1-38, (2011年1月, 東京)
- [1] 加藤博和 (米子高専), 能登路淳 (米子高専), 大塚 茂 (米子高専), 南 雅樹 (米子高専), **松野一成**, 中島美智子 (米子高専), 里村武範 (米子高専), 井上 学 (米子高専), 田中博美 (米子高専): 米子高専における寮生会と連携した寮生活改善の実践: 高専教育, 第34号, pp. 825-830, (2011年3月)
- [3] **松野一成** (分担執筆): 地域特性に配慮した耐震性向上を目指した建築技術者への再教育プログラムテキスト-鉄骨造編-: 米子工業高等専門学校, (2010年)
- [6] 佐古拓海 (呉高専専攻科), **松野一成**, 角 徹三 (日本福祉大学), 小宮 巖 (福井ファイバーテック): ガラス繊維プレート補強によるRC部材の付着割裂強度増大効果 その1. 実験概要: 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 577-578, (2010年9月, 富山)
- [6] **松野一成**, 角 徹三 (日本福祉大学), 小宮 巖 (福井ファイバーテック), 佐古拓海 (呉高専専攻科): ガラス繊維プレート補強によるRC部材の付着割裂強度増大効果 その2. 実験結果および考察: 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 579-580, (2010年9月, 富山)
- [6] 佐古拓海 (呉高専専攻科), **松野一成**, 松本幸大 (豊橋技科大), 北農幸生 (米子高専), 花田幸大 (豊橋技科大大学院), 堀文 (米子高専専攻科), 金子紘幸 (呉高専本科), 山田聖志 (豊橋技科大): 引抜成形 GFRP と鋼ガセットプレートを用いた合成構造物の力学特性: 日本建築学会中国支部研究報告集, 第34巻, pp. 181-184 (2011年3月, 徳山)
- [4] **富田英夫**: 広島県産業奨励館復元映像:『広島から広島 ドームが見つめ続けた街』展図録, p. 104, (2010年8月)

- [4] **富田英夫**：広島県産業奨励館 1/10 模型の制作：『広島から広島 ドームが見つめ続けた街』展図録，「広島から広島 ドームが見つめ続けた街」展実行委員会，p. 107，（2010 年 8 月）
- [4] 三分一博志（三分一博志建築設計事務所）+土井一秀（土井一秀建築設計事務所）+**呉高専富田研究室**：呼吸する屋根の再生「民家再生計画」：『新建築』，新建築社，p. 180，（2011 年 1 月）
- [5] **富田英夫**：R. カルナップと H. マイアーの科学的世界把握：『2010 年度日本建築学会大会（北陸）学術講演梗概集』F2 分冊，pp. 193-194，（2010 年 9 月，石川）
- [5] 宗政勇治（呉高専専攻科），**富田英夫**：「国際連盟」コンペ案（H. マイアー，H. ヴィトヴァー）の形態構成手法に関する研究：『日本建築学会中国支部研究報告集』34 巻，pp. 885-888，（2011 年 3 月，山口）
- [8] **富田英夫**，廣川修司（呉高専専攻科），宗政勇治（呉高専専攻科），崎谷果代（呉高専本科），末重麻衣（呉高専本科），西尾 萌（呉高専本科），船本綾香（呉高専本科）：広島県産業奨励館 1/10 模型：『広島から広島 ドームが見つめ続けた街』展，（2010 年 8 月 5 日-9 月 20 日，広島県立美術館）
- [8] **富田英夫**，廣川修司（呉高専専攻科）：広島県産業奨励館復元映像：『広島から広島 ドームが見つめ続けた街』展，（2010 年 8 月 5 日-9 月 20 日，広島県立美術館）
- [2] **Yutaka NIHO**, Shiro KATO(豊橋技科大) and Eka SATRIA(AndalasUniversity)：A Study on A Procedure to Design Light-Weight Latticed Shells with High Strength：International Symposium of the IASS, Shanghai, China, November 8-12, CDROM, (November 2010, Shanghai, China)
- [5] **仁保 裕**，**寺岡 勝**，福原安洋（呉高専名誉教授）：自己歪応力を有する鋼構造骨組の損傷および同骨組の耐震性能：呉工業高等専門学校研究報告，第 72 号，pp. 51-62，（2010 年 12 月）
- [6] **仁保 裕**，奥 伸之，小島敬司，**寺岡 勝**：軟弱地盤上にたつ RC 造建築物の床面の傾き：2010 年度日本建築学会中国支部研究報告会，（2010 年 3 月 11 日，徳山高専）
- [5] **下倉玲子**：専有施設をもつ老人大学の施設種類と整備実態：日本建築学会大会術講演梗概集 E-1，pp. 53-54，（2009 年）
- [5] 中本竜幸（呉高専専攻科），**下倉玲子**：小学校特別教室の配置と設えに関する基礎的研究：日本建築学会中国部研究報告集，no. 528，（2010 年）
- [3] 上野勝代（神戸女子大学），石黒 暢（大阪大学），**佐々木伸子**：シニアによる協同住宅とコミュニティづくり—日本とデンマークにおけるコ・ハウジングの実践，新・MINERVA 福祉ライブラリー 9：ミネルヴァ書房，（2010 年）
- [4] **佐々木伸子**：高専教育と高専教育とリンクした子育て期の女性技術者支援—卒業生との協働による実践型教育の可能性—：日本高専学会誌，Vol. 15, No. 4, pp. 41-44，（2010 年）
- [4] **佐々木伸子**，上野勝代（神戸女子大学），石黒 暢（大阪大学）：デンマークのシニア向けコ・ハウジングから学ぶ—入居者が共通の価値観をつくりあげる作業—：新建築家技術者集団第 27 回全国研究集会（福岡）資料集，pp. 244-245，（2010 年）
- [5] **佐々木伸子**，**森脇武夫**，**赤池祐次**，**笠井聖二**，**竹山友子**，**木原滋哉**，**大和義昭**，横瀬義雄（広島商船）：基礎学力向上プロジェクトによる低学年に対する学習支援の試み—寺子屋の取り組みと学生の学習状況について—：呉工業高等専門学校研究報告，第 72 号，pp. 73-80，（2010 年）

- [6] **佐々木伸子, 赤池祐次, 笠井聖二, 竹山友子, 森脇武夫** : 基礎学力向上プロジェクトによる成績の底上げの取り組みとその効果 : 平成 22 年度高専教育講演論文集, pp137-140, (2010 年 8 月, 長岡技術科学大学)