

ISSN 0386-2542

徳山工業高等専門学校
研 究 紀 要

第 27 号

平成 15 年 12 月

RESEARCH REPORTS
OF
THE TOKUYAMA COLLEGE OF TECHNOLOGY
No. 27
DECEMBER 2003

PUBLISHED BY THE TOKUYAMA COLLEGE OF TECHNOLOGY
SHUNAN, JAPAN

目 次

うず電流形センサにおける速度効果について	田中章雄 石田浩一 武平信夫 三木俊克	1
A Note on Closure Property of Sublogarithmic Space-Bounded 1-Inkidot Alternating Turing Machines with Only Existential(Universal)States. (和文題目：空間量が対数以下に制限された存在(全称)状態のみからなる 1-インクドット交代チューリングマシンの閉包性について)	Tsunehiro YOSHINAGA Jianliang XU Katsushi INOUE	7
非線形振動子の計算機実験	日南住 博	13
Consideration on Evaluation of Fracture Toughness and Testing Methods.	Ken-ichi HASHIMOTO	17
層状チタン酸塩 $Cs_xTi_{2-x/2}Zn_{x/2}O_4$ ($x=0.70$) の合成とイオン交換	大橋 正 夫	23
新入生アンケートの結果に見られる平成15年度入学生の特徴	松尾 葉子 原田 徳彦 国重 徹	29
情報処理センタープログラム相談員の業務報告システム	林 嘉雄 鳥居 恵子 新田 貴之 神田 徳夫	39
リアルタイム Linux を利用した振動モータの遠隔制御システム	福本 隆浩 山田 健仁 百田 正広	43
馬蹄形渦の時空間構造	深江 忍 佐賀 孝徳	53
SCP 工法における砂杭の造成メカニズムに関する研究(その3)	伊東 圭一 上 俊二 大内 光徳 藤原 東雄	59
一様流中における円柱後流の三次元構造	松田 智恵子 佐賀 孝徳	67
<hr/>		
徳山工業高等専門学校校外発表論文, 学術講演, 著書, 分担執筆など		77

徳山工業高等専門学校
研 究 紀 要

第 27号

平成 15 年 12 月

うず電流形センサにおける速度効果について

田中章雄*¹ 石田浩一*² 武平信夫*² 三木俊克*³

Speed Effect of Eddy Current Type Sensor

Akio TANAKA*¹, Kouichi ISHIDA*², Nobuo TAKEHIRA*²
and Toshikatsu MIKI*³

Abstract

The eddy current sensor is measurable in the noncontacting condition, and moreover, the response is rapid. It has wide application fields such as the non-destructive testing, displacement meter and vibration meter etc.. When a coil faces moving conductor, the coil impedance is influenced by speed effect. As the result, the eddy current sensor gives the different indication in the standstill and movement of the conductor. The automatic balanced circuit has been adopted as the countermeasure. In this paper, a sheet conductor is chosen as measuring object. Coil system is arranged on one side of conductor. Coil system configuration which can reduce the effect of the speed has been required theoretically. One of the solutions is proposed.

Key Words : Eddy Current Sensor, Coil System, Noncontact, Speed Effect.

1. まえがき

非接触状態で測定可能で、しかも応答の速い渦電流形センサは、非破壊検査をはじめ変位計、振動計などに広い応用分野を持つ。ところで、測定対象導体が運動中であれば、速度の影響を受けて導体中のうず電流分布に変化を生じる。その結果、センサは導体の静止時と移動時では異なった指示を与える。これを速度効果と称している。その対策として例えば、自動平衡回路⁽¹⁾を採用するなどしているが、速度効果そのものについては不明確な点が多い。先に、筆者らはこれに関連して、移動平板導体に相対したソレノイドコイルのインピーダンスについて報告⁽²⁾したが、速度効果の軽減に関する具体的な方法については示さなかった。

本論文では、測定対象として平板状の金属導体を選び、導体板の片側に励磁コイルと検出コイルを配置した起電力法について、コイル系をどのように配置すれば速度の影響を除去ないし軽減できるかを理論的に考察した。

2. コイル系の配置について

励磁コイルと検出コイルの配置としては図1(a)のように両コイルが同軸な場合と、図1(b)のように両コイルの軸が離れている場合が考えられる。本論文では、検出コイルを励磁コイルの周囲に回転させ、速度効果が最小となる位置を見出すことを目的としているので、同軸な場合は別論文に譲ることとし、図1(b)の配置を検討対象とする。

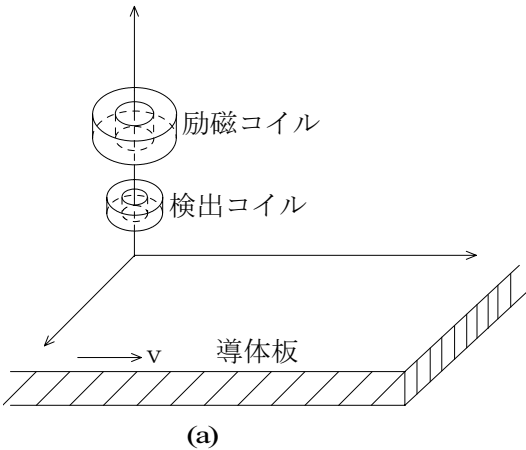
本論文に関連するうず電流速度計の解析⁽³⁾においては、励磁コイルと検出コイルの軸間を結ぶ線分は、導体の進行方向に平行であったが、ここでは任意の角度をとるものとする。

ところで検出コイルと鎖交する磁束には、励磁コイルから直接入る入射磁束⁽³⁾と、導体のうず電流による反射磁束⁽³⁾がある。入射磁束による起電力は、センサには不要信号であるから、その相殺方法について考える。

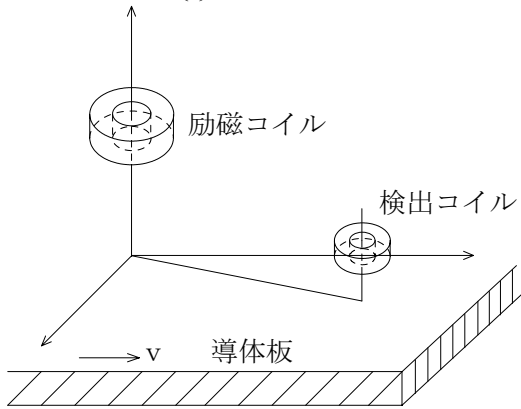
*¹ 宇部高専

*² 機械電気工学科

*³ 山口大学



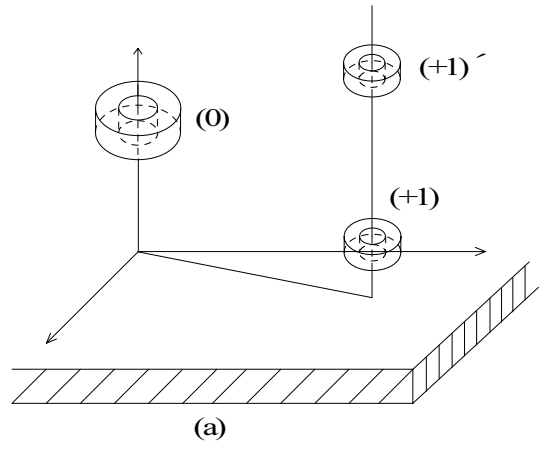
(a)



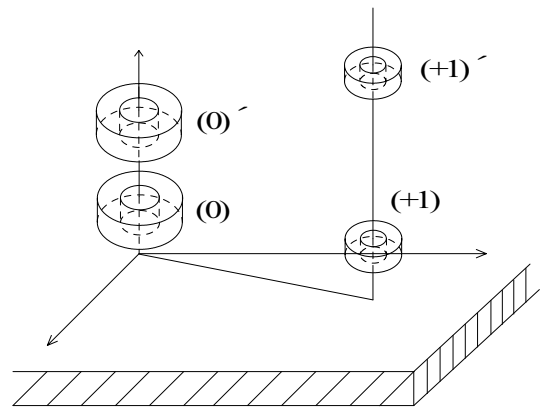
(b)

Fig.1 Coil system.

図2(a)は励磁コイル(0)の上下対称な位置に同形な二つの検出コイル(+1)と(+1)′を配置したものである。(+1)は導体に近接し、(+1)′は導体から十分離れている。(+1)には入射磁束による起電力と反射磁束による起電力が発生し、(+1)′には入射磁束による起電力のみが発生する。(+1)と(+1)′を差動接続しておけば、入射磁束による起電力は打ち消され、反射磁束による起電力のみを取り出すことができる。ところで、検出コイル(+1)′を導体板から十分離して配置した結果、励磁コイルと導体板との距離も大きくなり、反射磁束による検出コイル(+1)の起電力は小さくなる。その対策として図2(b)に示すように、同形な二組のコイル系を用意し、対象な位置に十分離して配置する。その後、差動接続すれば入射磁束による起電力を打ち消すことができ、一方、反射磁束も有効に利用できる。したがって、次章以下では図2(b)の励磁コイル(0)と検出コイル(+1)の配置を対象に解析する。



(a)



(b)

Fig.2 The differential connecting coil system.

3. 理論

まず励磁コイル、検出コイルが共に単巻の場合の誘導起電力を求め、それを拡張することにより両コイルが共に多層の場合の起電力を求める。

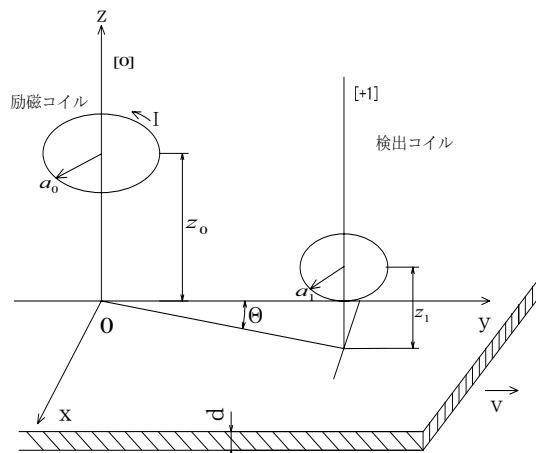


Fig.3 One turn coil system.

3.1 単巻コイルの誘導起電力

図3にコイル面が導体表面と平行な半径 a_0 の励磁コイル(0)と、半径 a_1 の検出コイル(+1)を示す。座標系として直角座標系を採用し x, y 軸を導体表面上にとる。導体の進行方向と平行に y 軸をとり、励磁コイルの中心軸は z 軸に一致させる。エアギャップは z である。また、検出コイルの軸は励磁コイルの軸と平行で、エアギャップは z_0 である。両コイル間の距離を c とし、両コイルの軸と導体表面との交点による線分と y 軸とのなす角を Θ とする。導体は導電率 σ 、透磁率 μ 、厚さ d の平板状導体で、 y 方向へ速度 v で移動しているものとする。前述の通り、ここでは反射磁束を考察対象とする。励磁コイルに電流を流したとき、うず電流による反射磁束密度の z 成分は次式となる⁽³⁾。

$$B_{rz} = -\frac{\mu_0 a_0 I}{4\pi} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \zeta J_1(a_0 \zeta) e^{-(z_0+z_1)\zeta} \times \lambda e^{-j\zeta(x\cos\varphi+y\sin\varphi)} d\varphi d\zeta \quad (1)$$

ただし、

$$\lambda = \frac{\left(\frac{\gamma - \mu}{\zeta} \frac{\mu_0}{\mu} \left(\frac{\zeta + \mu_0}{\gamma} + \frac{\mu}{\mu}\right)\right) + \left(\frac{\gamma + \mu}{\zeta} \frac{\mu_0}{\mu} \left(\frac{\zeta - \mu_0}{\gamma} - \frac{\mu}{\mu}\right)\right) e^{-2\mu d}}{\left(\frac{\gamma + \mu}{\zeta} \frac{\mu_0}{\mu} \left(\frac{\zeta + \mu_0}{\gamma} + \frac{\mu}{\mu}\right)\right) + \left(\frac{\gamma - \mu}{\zeta} \frac{\mu_0}{\mu} \left(\frac{\zeta - \mu_0}{\gamma} - \frac{\mu}{\mu}\right)\right) e^{-2\mu d}} \quad (2)$$

$$\gamma = \sqrt{\zeta^2 - j\sigma\mu\nu\zeta \sin\varphi + j\omega\sigma\mu} \quad (3)$$

ここで、 μ_0 ：真空の透磁率、 ω ：励磁電流角周波数、 (ϕ, ξ) ：積分変数、 $J_1(a_0\zeta)$ ：ベッセル関数、 j ：虚数単位($=\sqrt{-1}$)。

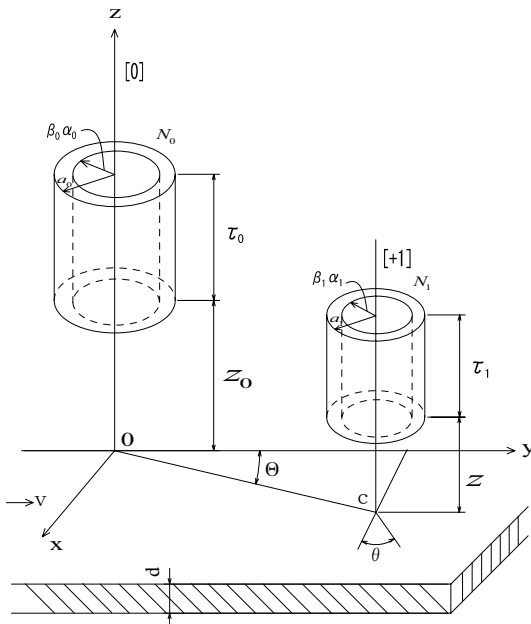


Fig.4 Multi-layer coil system.

解析に当たっての仮定は文献(3)と同一であるから参照されたい。(1)式を用いると検出コイルと鎖交する磁束は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Phi_r &= \int_0^{2\pi} \int_0^{a_1} B_{rz} \Big|_{z=z_1} r dr d\theta \\ &= -\frac{\mu_0 a_0 I}{4\pi} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \zeta J_1(a_0 \zeta) e^{-(z_1+z)\zeta} \lambda \\ &\quad \times \int_0^{a_1} \int_0^{2\pi} r e^{-j\zeta\{(r\cos\theta+c\sin\theta)\cos\varphi+(r\sin\theta+c\cos\theta)\sin\varphi\}} \\ &\quad \times dr d\theta d\varphi d\zeta \\ &= -\frac{\mu_0 a_0 a_1 I}{2} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} J_1(a_0 \zeta) J_1(a_1 \zeta) \\ &\quad \times e^{-(z_1+z_0)\zeta} \lambda e^{-j\zeta \sin(\Theta+\varphi)} d\varphi d\zeta \end{aligned} \quad (4)$$

(4)式において、積分する際に $x = r\cos\theta + c\sin\theta$ 、 $y = r\sin\theta + c\cos\theta$ なる座標変換を施している。これより検出コイルの誘導起電力は

$$\begin{aligned} E &= -\frac{\partial \Phi_r}{\partial t} \\ &= \frac{j\omega\mu_0 a_0 a_1 I}{2} \\ &\quad \times \int_0^\infty \int_0^{2\pi} J_1(a_0 \zeta) J_1(a_1 \zeta) e^{-(z_0+z_1)\zeta} \\ &\quad \times \lambda e^{-j\zeta \sin(\Theta+\varphi)} d\varphi d\zeta \end{aligned} \quad (5)$$

となる。

3.2 多層コイル系の誘導起電力

図4の励磁コイル(0)と検出コイル(+1)は共に多層ソレノイドコイルであり、その巻数および長さとはそれぞれ N_0, N_1, τ_0, τ_1 、外半径、内半径をそれぞれ $a_0, \beta_0 a_0, a_1, \beta_1 a_1$ とする。

検出コイルの誘導起電力は(5)式をコイルの長さ方向、半径方向に積分して得られ次式となる。

$$\begin{aligned} E &= \frac{j\omega\mu_0 N_0 N_1 I}{2a_0 a_1 \tau_0 \tau_1 (1-\beta_0)(1-\beta_1)} \\ &\quad \times \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \left[\int_{\beta_0 a_0}^{a_0} R J_1(R\zeta) dR \right] \left[\int_{\beta_1 a_1}^{a_1} R J_1(R\zeta) dR \right] \\ &\quad \times \left[\int_{z_0}^{z_0+\tau_0} e^{-z\zeta} dz \right] \left[\int_{z_1}^{z_1+\tau_1} e^{-z\zeta} dz \right] \\ &\quad \times \lambda e^{-j\zeta \sin(\Theta+\varphi)} d\varphi d\zeta \\ &= \frac{j\omega\mu_0 N_0 N_1 I}{2a_0 a_1 \tau_0 \tau_1 (1-\beta_0)(1-\beta_1)} \\ &\quad \times \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{S(a_0, \beta_0) S(a_1, \beta_1)}{\zeta^6} e^{-(z_0+z_1)\zeta} \\ &\quad \times (1-e^{-\tau_0\zeta})(1-e^{-\tau_1\zeta}) \lambda e^{-j\zeta \sin(\Theta+\varphi)} d\varphi d\zeta \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、

$$S(a, \beta) = \int_{\beta a \zeta}^{a \zeta} x J_1(x) dx \quad (7)$$

4. 規格化及び正規化

特性を統一的に扱うために、求めた誘導起電力を規格化し、しかるのちに、適当な起電力を選び正規化を行う。

4.1 起電力の規格化

文献(4)と同様に励磁コイルの平均半径 $a_m = a_0(1 + \beta_0)/2$ で規格化を実行する。 a_m によりコイルならびに導体寸法は規格化されて $a_{0m} = a_0/a_m, a_{1m} = a_1/a_m, \tau_{0m} = \tau_0/a_m, \tau_{1m} = \tau_1/a_m, z_{0m} = z_0/a_m, z_{1m} = z_1/a_m, d_m = d/a_m, c_m = c/a_m$ となる。さらに $a_m \zeta = \zeta_m$ とおくと $d\zeta = d\zeta_m/a_m$ であるから、多層コイル系の起電力を表わす(6)式は次式となる。

$$E = \frac{j\omega\mu_0 N_0 N_1 I a_m}{2a_{0m} a_{1m} \tau_{0m} \tau_{1m} (1 - \beta_0)(1 - \beta_1)} \times \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{S_m(\beta_0) S_m(\beta_1)}{\zeta_m^6} \times e^{-j(z_{0m} + z_{1m})\zeta_m} (1 - e^{-\tau_{0m}\zeta_m})(1 - e^{-\tau_{1m}\zeta_m}) \times \lambda_m e^{-j c_m \zeta_m \sin(\Theta + \varphi)} d\varphi d\zeta_m \quad (8)$$

ただし、

$$S_m(\beta) = \int_{2\beta\zeta_m/(1+\beta)}^{2\zeta_m/(1+\beta)} x J_1(x) dx \quad (9)$$

$$\lambda_m = \frac{\left(\frac{\gamma_m}{\zeta_m} - \frac{\mu}{\mu_0}\right) \left(\frac{\zeta_m}{\gamma_m} + \frac{\mu_0}{\mu}\right) + \left(\frac{\gamma_m}{\zeta_m} + \frac{\mu}{\mu_0}\right) \left(\frac{\zeta_m}{\gamma_m} - \frac{\mu_0}{\mu}\right)}{\left(\frac{\gamma_m}{\zeta_m} + \frac{\mu}{\mu_0}\right) \left(\frac{\zeta_m}{\gamma_m} - \frac{\mu_0}{\mu}\right) e^{-2\gamma_m d_m} + \left(\frac{\gamma_m}{\zeta_m} - \frac{\mu}{\mu_0}\right) \left(\frac{\zeta_m}{\gamma_m} + \frac{\mu_0}{\mu}\right) e^{-2\gamma_m d_m}} \quad (10)$$

$$\gamma_m = \sqrt{\zeta_m^2 - j\frac{2}{\pi}\mu_s \frac{v}{v_c} \zeta_m \sin\varphi + j\frac{f}{f_c}\mu_s} = \sqrt{\zeta_m^2 - j\frac{2}{\pi}\mu_s V \zeta_m \sin\varphi + jF\mu_s} \quad (11)$$

(11)式における f_c, v_c はそれぞれ特性周波数、特性速度であり、 F, V は規格化周波数、規格化速度を表わす。 f_c, v_c, F, V はそれぞれ次式で与えられる。

$$f_c = 1/2\pi\sigma\mu_0 a_m^2 \quad (12)$$

$$v_c = 2/\pi\sigma\mu_0 a_m \quad (13)$$

$$F = f/f_c \quad (14)$$

$$V = v/v_c \quad (15)$$

4.2 入射波による起電力

反射磁束による起電力を正規化するに当たって、どのような量を用いるべきかは慎重に考慮されね

ばならない。ここでは、速度に無関係な入射磁束による起電力により正規化を行うこととし、まず、その起電力を求める。この起電力の計算は平行な軸をもつ二つの多層ソレノイド間の相互インダクタンスを求める問題に帰着し、以前から計算が進められている⁽⁵⁾。著者らによってもこの問題は試みられており、その結果⁽⁴⁾に次に示す。

$$E_0 = -\frac{j\omega\pi\mu_0 N_0 N_1 I}{\tau_0 \tau_1 a_0 a_1 (1 - \beta_0)(1 - \beta_1)} \times \int_0^\infty \frac{S(a_0, \beta_0) S(a_1, \beta_1)}{\zeta^6} J_0(c\zeta) \times e^{-(z_0 + z_1)\zeta} (e^{-\tau_0\zeta} - 1)(e^{-\tau_1\zeta} - 1) d\zeta \quad (16)$$

これを反射波の場合と同様に規格化して次式を得る。

$$E_0 = -\frac{j\omega\pi\mu_0 N_0 N_1 I a_m}{a_{0m} a_{1m} \tau_{0m} \tau_{1m} (1 - \beta_0)(1 - \beta_1)} \times \int_0^\infty \frac{S_m(\beta_0) S_m(\beta_1)}{\zeta_m^6} J_0(c_m \zeta_m) \times e^{-(z_{0m} + z_{1m})\zeta_m} (e^{-\tau_{0m}\zeta_m} - 1)(e^{-\tau_{1m}\zeta_m} - 1) d\zeta_m \quad (17)$$

4.3 正規化起電力

反射波による起電力を表わす(7)式を、入射波による起電力(17)式により規格化し、正規化起電力を求めるに次式を得る。

$$E_m = \frac{E}{E_0} = -\frac{1}{2\pi} \frac{\int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{S_m(\beta_0) S_m(\beta_1)}{\zeta_m^6} * \frac{e^{-(z_{0m} + z_{1m})\zeta_m} (1 - e^{-\tau_{0m}\zeta_m})(1 - e^{-\tau_{1m}\zeta_m})}{e^{-(z_{0m} + z_{1m})\zeta_m} (1 - e^{-\tau_{0m}\zeta_m})(1 - e^{-\tau_{1m}\zeta_m})} * \lambda_m e^{-j c_m \zeta_m \sin(\Theta + \varphi)} d\varphi d\zeta_m}{\int_0^\infty \int_0^{2\pi} \frac{S_m(\beta_0) S_m(\beta_1)}{\zeta_m^6} J_0(c_m \zeta_m) * \frac{e^{-(z_{0m} + z_{1m})\zeta_m} (1 - e^{-\tau_{0m}\zeta_m})(1 - e^{-\tau_{1m}\zeta_m})}{e^{-(z_{0m} + z_{1m})\zeta_m} (1 - e^{-\tau_{0m}\zeta_m})(1 - e^{-\tau_{1m}\zeta_m})} * \lambda_m e^{-j c_m \zeta_m \sin(\Theta + \varphi)} d\varphi d\zeta_m} \quad (18)$$

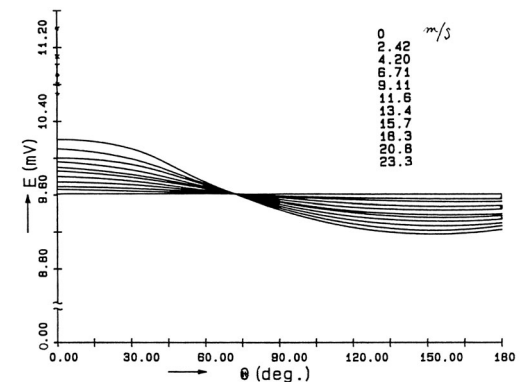


Fig.5 Calculation example(parameter:speed)

5. 計算例

本稿では解析に主眼を置いたが計算例を示してみよう。励磁コイルを固定して検出コイルをその回りに配置して導体板の速度を変化させたものが図5である。付近に配置すれば速度の影響をほとんど受けず速度効果が無視できることがわかる。

6. むすび

今後の課題として、各種の対象導体に対して検討し、実験的検証も行う予定である。

終わりに日頃御指導賜る徳山高専、宇部高専、山口大学の教官各位に深謝する。

文 献

- 1) 日本非破壊検査協会編：非破壊検査便覧，p. 662(昭 53)日刊工業
- 2) 武平，田中：移動平板導体に相対したソレノイドコイルのインピーダンス変化，電学論A，103, pp. 233-240 (昭 58-5)
- 3) 武平，田中，戸田：うず電流を利用した速度計の解析，電学論A，97, pp. 457-464 (昭 52-9)
- 4) 武平，田中 移動平板導体に対するフォーク形コイルの特性解析，電学論A，101, pp. 551-558 (昭 56-11)
- 5) 例えば F. W. Grover : Inductance Calculations, Working Formulas and Tables, p. 228 (1962) Dover, New York

(2003. 9. 5 受理)

A Note on Closure Property of Sublogarithmic Space-Bounded 1-Inkdot Alternating Turing Machines with Only Existential (Universal) States

Tsunehiro YOSHINAGA^{*1}, Jianliang XU^{*2} and Katsushi INOUE^{*3}

Abstract

A 1-inkdot Turing machine is a slightly modified Turing machine model which has been introduced in order to show a strong separation between deterministic and nondeterministic complexity classes. An alternating Turing machine is a generalization of nondeterministic one, and is considered as a mechanism to model parallel computations. This paper investigates closure property of sublogarithmic space-bounded 1-inkdot alternating Turing machines with only universal (existential) states, and shows, for example, that for any function $L(n)$ such that $L(n) \geq \log \log n$ and $L(n) = o(\log n)$, the class of sets accepted by weakly (strongly) $L(n)$ space-bounded 1-inkdot two-way alternating Turing machines with only universal (existential) states is not closed under complementation, length-preserving homomorphism, concatenation with regular sets, and Kleene closure.

Key Words: alternating Turing machines, 1-inkdot Turing machines, sublogarithmic space, closure property, computational complexity

1. Introduction and Notations

Alternating Turing machines (ATM's) were introduced in Ref. 1) as a mechanism to model parallel computations. We assume that the reader is familiar with the basic concepts and terminology concerning ATM's and computational complexity (If necessary, see Refs. 1) — 4)).

A two-way ATM (2ATM) we consider here has a read-only input tape and a semi-infinite read-write worktape. We denote a 2ATM with only universal states (resp., existential states, i.e., a two-way nondeterministic Turing machine) by 2UTM (resp., 2NTM). Further, we denote by 2DTM a two-way deterministic Turing machine.

Ranjan et al. introduced in Ref. 2) a slightly modified Turing machine model, called a *1-inkdot Turing machine*, to show a strong separation of deterministic and nondeterministic complexity classes. The 1-inkdot Turing machine is a Turing machine with the additional power of marking at most 1 tape-cell in the input tape (with an inkdot). This tape-cell is marked once and

for all (no erasing). The action of the machine depends on the current states, the input and the worktape symbols scanned currently, and the presence of the inkdot on the currently scanned tape-cell. For each $X \in \{A, U, N, D\}$, let $2XTM^*$ denote a 1-inkdot 2XTM.

For each $X \in \{A, U, N, D\}$ and any function $L(n)$, *strong-2XTM*($L(n)$) and *weak-2XTM*($L(n)$) denote the classes of sets accepted by strongly and weakly $L(n)$ space-bounded 2XTM's, respectively, and *strong-2XTM*^{*}($L(n)$) and *weak-2XTM*^{*}($L(n)$) denote those accepted by strongly and weakly $L(n)$ space-bounded 2XTM^{*}'s, respectively.

Ranjan et al. showed in Ref. 2) that for any two-way Turing machines with an inkdot, nondeterministic and deterministic sublogarithmic space complexity classes are not equal. After that, Geffert showed in Ref. 5) that *strong-2NTM*^{*}($\log \log n$) — *strong-2NTM*($o(\log n)$) $\neq \phi$, where from now on logarithms are base 2. In Ref. 6), Inoue et al. strengthened the result above and showed that *strong-2NTM*^{*}($\log \log n$) — *weak-2NTM*($o(\log n)$) $\neq \phi$. Inoue et al. also introduced 2ATM^{*} in Ref.7) as a generalization of 2NTM^{*}

^{*1} Department of Computer Science and Electronics Engineering

^{*2} Ocean University of China

^{*3} Yamaguchi University

and showed that for each $X \in \{A, U\}$ and each $Y \in \{U, N\}$, $strong\text{-}2XTM^*(\log \log n) \text{---} weak\text{-}2XTM(o(\log n)) \neq \phi$ and $strong\text{-}2ATM^*(\log \log n) \text{---} weak\text{-}2YTM^*(o(\log n)) \neq \phi$. Furthermore, Yosihnaga et al. introduced in Ref. 4) sublinear space-bounded 1-inkdot two-way alternating multi-counter automata and showed that the accepting power of these automata with only existential states are incomparable with the one of these automata with only universal states.

While several important properties of 1-inkdot Turing machines with sublogarithmic space are explicated up to now, there are little investigations relating to closure properties of these as we know. So, from the theoretical interest, we investigate in the present paper closure properties of $2UTM^*$ and $2NTM^*$ which have sublogarithmic space. We show, for example, that for each $m \in \{strong, weak\}$, each $X \in \{N, U\}$ and any function $\log \log n \leq L(n) = o(\log n)$, $m\text{-}2XTM^*(L(n))$ is not closed under complementation, length-preserving homomorphism, concatenation with regular sets, and Kleene closure.

2. Results

Throughout this paper, let $L(n)$ be a function such that $L(n) \geq \log \log n$ and $L(n) = o(\log n)$, and let m be an element of the set $\{strong, weak\}$.

For the standard Turing machines, in Ref. 3), it is shown that $weak\text{-}2XTM(L(n))$ is not closed under complementation, but it is unknown if $strong\text{-}2XTM(L(n))$ is closed under the operation, for each $X \in \{U, N\}$. Our corresponding result is shown as follows:

Theorem 2.1. $m\text{-}2NTM^*(L(n))$ and $m\text{-}2UTM^*(L(n))$ are not closed under complementation.

Proof. It is proved in Ref. 4) that the class of sets accepted by strongly (weakly) $S(n)$ space-bounded 2-way 1-inkdot alternating multi-counter automata with only existential (universal) states is not closed under complementation, where $S(n)$ is a function such that $S(n) \geq \log n$ and $\log S(n) = o(\log n)$. By using the same languages and idea as in Ref. 4), we can directly prove the theorem. \square

Remark: It is trivial that $m\text{-}2NTM(L(n))$ and $m\text{-}2NTM^*(L(n))$ (resp., $m\text{-}2UTM(L(n))$ and $m\text{-}2UTM^*(L(n))$) are closed under union (resp., intersection). Thus, $m\text{-}2ATM(L(n))$ and $m\text{-}2ATM^*(L(n))$ are closed

under union and intersection.

For the standard Turing machines, in Ref. 3), it is shown that $m\text{-}2NTM(L(n))$ is closed under intersection, but whether $m\text{-}2UTM(L(n))$ is closed under union or not is an open problem. On the other hand, for the 1-inkdot Turing machines with $L(n)$ space, different situations occur. To get our results, we need the following key lemma:

Lemma 2.1. Let

$$\begin{aligned} A = & \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\ & wcw_{11}cw_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\ & \in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\ & \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\ & \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+]] \ \& \\ & \forall i (1 \leq i \leq 2)[\exists j (1 \leq j \leq r_i)[w = w_{ij}]]\}, \end{aligned}$$

and let

$$\begin{aligned} B = & \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\ & wcw_{11}cw_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\ & \in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\ & \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\ & \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+]] \ \& \\ & \exists i (1 \leq i \leq 2)[\forall j (1 \leq j \leq r_i)[w \neq w_{ij}]]\}, \end{aligned}$$

where for each positive integer $m \geq 1$, $bin(m)$ denotes the string in $\{0,1\}^+$ that represents the integer m in binary notation (with no leading zeros). Then,

(1) $A \notin weak\text{-}2NTM^*(L(n))$ and

(2) $B \notin weak\text{-}2UTM^*(L(n))$.

Proof. From the assertions in Refs. 8) and 9), we straightforwardly get (1) and (2), respectively. \square

Theorem 2.2. $m\text{-}2NTM^*(L(n))$ and $m\text{-}2UTM^*(L(n))$ are not closed under intersection and union, respectively.

Proof. Let

$$\begin{aligned} A_1 = & \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\ & wcw_{11}cw_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\ & \in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\ & \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\ & \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+]] \ \& \\ & \exists j (1 \leq j \leq r_1)[w = w_{1j}]\}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_2 &= \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
&\quad w_cw_{11}c_w_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\
&\in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\
&\quad \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\
&\quad \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+] \ \& \\
&\quad \exists j (1 \leq j \leq r_2)[w = w_{2j}]\},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_1 &= \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
&\quad w_cw_{11}c_w_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\
&\in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\
&\quad \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\
&\quad \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+] \ \& \\
&\quad \forall j (1 \leq j \leq r_1)[w \neq w_{1j}]\},
\end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned}
B_2 &= \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
&\quad w_cw_{11}c_w_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\
&\in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\
&\quad \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\
&\quad \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+] \ \& \\
&\quad \forall j (1 \leq j \leq r_2)[w \neq w_{2j}]\}.
\end{aligned}$$

It can be observed that

- (i) both A_1 and A_2 are in $strong\text{-}2NTM^*(L(n))$,
- (ii) both B_1 and B_2 are in $strong\text{-}2UTM^*(L(n))$,
- (iii) $A_1 \cap A_2 = A$, and
- (iv) $B_1 \cup B_2 = B$.

From these facts and Lemma 2.1, the present theorem follows. \square

Theorems 2.1 and 2.2 above show closure properties of $m\text{-}2NTM^*(L(n))$ and $m\text{-}2UTM^*(L(n))$ under Boolean operations.

We will then discuss whether $m\text{-}2NTM^*(L(n))$ and $m\text{-}2XTM^*(L(n))$ are closed under the language operations: length-preserving homomorphism, concatenation with regular set and Kleene closure.

The following theorem shows non-closure under the language operations above for $m\text{-}2NTM^*(L(n))$:

Theorem 2.3. $m\text{-}2NTM^*(L(n))$ is not closed under

- (1) length-preserving homomorphism,
- (2) concatenation with regular sets, and
- (3) Kleene closure.

Proof of (1): Let

$$\begin{aligned}
A_3 &= \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
&\quad w_cw_{11}c_w_{12}c\dots cw_{1r_1}cc_1w_{21}c_2w_{22}c_3\dots c_{r_2}w_{2r_2} \\
&\in \{0,1,c,d,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\
&\quad \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\
&\quad \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+] \ \& \\
&\quad \exists i (1 \leq i \leq r_1)[w = w_{1i}] \ \& \\
&\quad \exists j (1 \leq j \leq r_2)[c_j = d \ \& \ w = w_{2j} \ \& \\
&\quad \forall p (1 \leq p \leq r_2, p \neq j)[c_p = c]]\}.
\end{aligned}$$

We can easily show that $A_3 \in strong\text{-}2NTM^*(L(n))$. Further, $h(A_3) = A$, where h is a length-preserving homomorphism such that $h(0) = 0$, $h(1) = 1$, $h(\#) = \#$, and $h(c) = h(d) = c$. From these facts and Lemma 2.1, (1) follows.

Proof of (2): Let

$$\begin{aligned}
A_4 &= \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
&\quad w_cw_{11}c_w_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\
&\in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\
&\quad \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\
&\quad \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+] \ \& \\
&\quad \exists j (1 \leq j \leq r_1)[w = w_{1j}] \ \& \ w = w_{2r_2}\}.
\end{aligned}$$

and let $A_5 = \{cw \mid w \in \{0,1\}^+\}^*$. It can be easily seen that

- (i) $A_4 \in strong\text{-}2NTM^*(L(n))$,
- (ii) A_5 is regular, and
- (iii) $A_4 A_5 = A$.

From these facts and Lemma 2.1, (2) follows.

Proof of (3): Let

$$\begin{aligned}
A_6 &= \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
&\quad w_cw_{11}c_w_{12}c\dots cw_{1r_1}ccw_{21}cw_{22}c\dots cw_{2r_2} \\
&\in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ w \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil} \ \& \\
&\quad \forall k (1 \leq k \leq 2)[r_k \geq 1 \ \& \\
&\quad \forall l (1 \leq l \leq r_k)[w_{kl} \in \{0,1\}^+] \ \& \\
&\quad \forall i (1 \leq i \leq r_1)[w_{1i} = c]]\}.
\end{aligned}$$

It is obvious that $A_4 \cup A_5 \in strong\text{-}2NTM^*(L(n))$. We can observe that $A_6 \in strong\text{-}2DTM(L(n))$. Suppose that $(A_4 \cup A_5)^*$ is in $weak\text{-}2NTM^*(L(n))$. Then, $(A_4 \cup A_5)^* \cap A_6$ is also in $weak\text{-}2NTM^*(L(n))$. This is a contradiction, since $(A_4 \cup A_5)^* \cap A_6 = A$. \square

In order to obtain our result that $m\text{-}2UTM^*(L(n))$ is not closed under the language operations mentioned above, we prepare the following lemma which is shown in Ref. 7).

Lemma 2.2. Let

$$\begin{aligned}
T = & \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
& cw_1cw_2c\dots cw_rccu_1cu_2c\dots cu_r, \\
& \in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ r, r' \geq 1 \ \& \\
& \forall k (1 \leq k \leq r) [w_k \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil}] \ \& \\
& \forall l (1 \leq l \leq r') [u_l \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil}] \ \& \\
& \exists i (1 \leq i \leq r') [\forall j (1 \leq j \leq r)[u_i \neq w_j]]\}.
\end{aligned}$$

Then, $T \notin weak\text{-}2UTM^*(L(n))$.

Theorem 2.4. $m\text{-}2UTM^*(L(n))$ is not closed under

- (1) length-preserving homomorphism,
- (2) concatenation with regular sets, and
- (3) Kleene closure.

Proof of (1): Let

$$\begin{aligned}
T_1 = & \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
& cw_1cw_2c\dots cw_rccu_1c_2u_2c_3\dots c_ru_r, \\
& \in \{0,1,c,d,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ r, r' \geq 1 \ \& \\
& \forall k (1 \leq k \leq r)[w_k \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil}] \ \& \\
& \forall l (1 \leq l \leq r') [u_l \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil}] \ \& \\
& \exists i (1 \leq i \leq r') [c_i = d \ \& \\
& \forall j (1 \leq j \leq r)[u_i \neq w_j] \ \& \\
& \forall p (1 \leq p \leq r, i \neq p)[c_p = c]]\},
\end{aligned}$$

and let h be the homomorphism defined in the proof of Theorem 2.3. Then, we can show that $h(T_1) = T$. So, from this fact and Lemma 2.2, (1) follows.

Proof of (2): Let

$$\begin{aligned}
T_2 = & \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
& cw_1cw_2c\dots cw_rccu_1cu_2c\dots cu_r, \\
& \in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ r, r' \geq 1 \ \& \\
& \forall k (1 \leq k \leq r) [w_k \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil}] \ \& \\
& \forall l (1 \leq l \leq r') [u_l \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil}] \ \& \\
& \forall j (1 \leq j \leq r)[u_{r'} \neq w_j]\}
\end{aligned}$$

and let A_5 be the language defined in the proof of Theorem 2.3. Then, it is clear that

- (i) $T_2 \in strong\text{-}2UTM^*(L(n))$ and
- (ii) $T_2A_5 = T$.

(2) follows from these facts and Lemma 2.2.

Proof of (3): It is trivial that $T_2 \cup A_5$ is in $strong\text{-}2UTM^*(L(n))$. Let

$$\begin{aligned}
T_3 = & \{bin(1)\#bin(2)\#\dots\#bin(n)\# \\
& cw_1cw_2c\dots cw_rccu_1cu_2c\dots cu_r, \\
& \in \{0,1,c,\#\}^+ \mid n \geq 2 \ \& \ r, r' \geq 1 \ \& \\
& \forall k (1 \leq k \leq r) [w_k \in \{0,1\}^{\lceil \log n \rceil}] \\
& \forall l (1 \leq l \leq r') [u_l \in \{0,1\}^+]\}.
\end{aligned}$$

Then, it is clearly shown that $T_3 \in strong\text{-}2UTM^*(L(n))$ and $(T_2 \cup A_5)^* \cap T_3 = T$. From these facts and Lemma 2.2, (3) follows. \square

3. Concluding Remarks

We investigate closure property of sublogarithmic space-bounded 1-inkdot 2-way alternating Turing machines with only existential (universal) states.

Our main result is that $m\text{-}2NTM^*(L(n))$ and $m\text{-}2UTM^*(L(n))$ are not closed under intersection and union, respectively, and both of them are not closed under complementation, length-preserving homomorphism, concatenation with regular sets, and Kleene closure.

For determinism, it is shown in Ref. 2) that

$$"m\text{-}2DTM^*(L(n)) = m\text{-}2DTM(L(n))"$$

(For closure properties of $m\text{-}2DTM(L(n))$ (thus, $m\text{-}2DTM^*(L(n))$), see Refs. 3), 4)).

Unfortunately, whether $m\text{-}2ATM^*(L(n))$ is closed under the operations discussed in this paper except for union and intersection is an open problem.

Inoue et al. introduced in Ref. 8) a multi-inkdot Turing machines as an extension of the 1-inkdot Turing machine. Some of the results obtained here will be able to be extended to the multi-inkdot version. We will give them in a forthcoming paper.

References

- 1) Chandra, A.K., Kozen, D.C., and Stockmeyer, L.J.: Alternation, J. ACM, Vol.28, PP.114—133 (1981).
- 2) Ranjan, D., Chang, D.R., and Hartmanis, J.: Space bounded computations: review and new separation results, Theoret. Comput. Sci., Vol.80, PP.289—302 (1991).
- 3) von Braunmühl, B., Gengler, R., and Rettinger, R.: The alternation hierarchy for sublogarithmic space is infinite, Comput. Complexity, Vol.3, PP.207—230 (1993).
- 4) Yoshinaga, T. and Inoue, K.: Some observations on 1-inkdot alternating multi-counter automata with sublinear space, IEICE Trans. Inf. & Syst. Vol.E83-D, No.2, PP.285—290 (2000).

- 5) Geffert, V.: Nondeterministic computations in sublogarithmic space and constructability, *SIAM J. Comput.*, Vol.20, No.3, PP.484—494 (1991).
- 6) Inoue, K., Ito, A., and Takanami, I.: A relationship between non-deterministic Turing machines and 1-inkdot Turing machine with small space, *Inform. Process. Lett.*, Vol.43 PP.225—227 (1992).
- 7) Inoue, K., Ito, A., and Takanami, I.: On 1-inkdot alternating Turing machines with small space, *Theoret. Comput. Sci.*, Vol.127, PP.171—179 (1994).
- 8) Inoue, K., Ito, A., Takanami, I., and Yoshinaga, T.: A note on multi-inkdot nondeterministic Turing machines with small space, *Inform. Process. Lett.*, Vol.48, PP.285—288 (1993).
- 9) Yoshinaga, T. and Inoue, K.: Sublogarithmic space-bounded multi-inkdot two-way alternating Turing machines with only universal states, *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, Vol.E84-D, No.1, PP.61—64 (2001).
- 10) Szepietowski, A.: Turing machines with sublogarithmic space, LNCS 843 (Springer-Verlag, 1994).

(Received September 5, 2003)

非線型振動子の計算機実験

日南住 博^{*1}

Computer Experiment on the Non-Linear Oscillators

Hiroshi HINAZUMI ^{*1}

Abstract

Computer experiment has been carried out on a harmonically driven dissipative pendulum and the Duffing oscillator. The results show that the phase-space trajectories of the dissipative pendulum depend on the initial conditions and /or the amplitude of the external force. The phase-space trajectories of the Duffing oscillator show complicated but periodic aspect, once the transient motion passes over,

Key Words : dissipative pendulum, phase-space trajectory, Duffing oscillator, chaos

1. はじめに

振動や波動は、振り子の運動や水面波を始めとして、自然界には数多く見受けられる現象で、それらの振る舞いを調べることは理論上も実用上も意義があると考えられる。

しかしながら、それらの大部分は複雑な方程式で記述されており、解析的な解を得る事は大変困難であるとおもわれる¹⁾。幸いなことに、最近のパーソナルコンピューターや数式処理ソフト性能の改善に伴い、ある種の振動や波動現象については数値計算を実行することでそれらの振る舞いを調べることが可能になった。

ここでは、周期的外力と散逸力を受けて振動する単振り子と Duffing 振動子について計算機実験を行った結果について報告する。

2. 周期的外力を受ける単振り子

2. 1 計算モデル

図 1 に示すように、長さ l の軽くて伸びない糸の先に質量 m のおもりをつけ、これを鉛直面内で振動させる。このときおもりに周期的な外力 $F_0 \cos(\Omega t)$ と速さに比例する抵抗力が働くものとする、その運動方程式は

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_0 \cos(\Omega t) - b \frac{dx}{dt} - mg \sin \theta \quad (1)$$

となる。ここで、 x は最下点 O より測った円弧の長さであり、右辺第 2 項は抵抗力で $b > 0$ 、第 3 項は重力の運動方向への分力を表し、 θ は糸が鉛直線となす角である。 $x = l\theta$ の関係があるから、この方程式は

$$ml \frac{d^2 \theta}{dt^2} = F_0 \cos(\Omega t) - bl \frac{d\theta}{dt} - mg \sin \theta \quad (2)$$

と書ける。

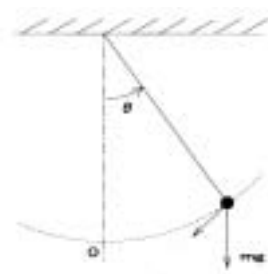


図-1. 抵抗力を受ける単振り子

^{*1} 土木建築工学科

ここで $\tau = t/\sqrt{l/g}$ として無次元の変数 τ を導入する. この定義から τ は時間を $T/(2\pi) = \sqrt{l/g}$ を単位として測ったものとなる. T は振り子が外力や抵抗力を受けず, また触れ角 θ が小さいとしたときの振り子の周期を表す. さらに,

$$\gamma \equiv \frac{b}{m} \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad \phi_0 \equiv \frac{F_0}{mg}, \quad \omega_D \equiv \sqrt{\frac{l}{g}}$$

で無次元の定数を導入する. その結果振り子の運動方程式は

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \gamma \frac{d\theta}{dt} + \sin\theta = \phi_0 \cos(\omega_D t) \quad (3)$$

と書き直すことができる^{2)・3)}. ここでは再び τ の代わりに t を用いた. もちろん, t は無次元の変数である.

この方程式を

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = \omega \\ \frac{d\omega}{dt} = -\gamma\omega - \sin\theta + \phi_0 \cos(\omega_D t) \end{cases} \quad (4)$$

と連立方程式の形に書き直し, 以後はこの式を用いて Runge-Kutta 法により計算を行った^{3)・4)}. この場合のパラメーターは γ, ω_D, ϕ_0 および初期条件 $\theta(0), \omega(0)$ である.

2. 2 計算結果

まず, 振り子の $\theta-\omega$ 位相空間内の軌跡の初期条件への依存性を調べた. $\gamma=0.25, \omega_D=2/3, \phi_0=1.5, \theta(0)=-0.8$ として, $\omega(0)$ を $0.6, 0.7, 0.8$ と変えて計算した結果を図2に示す. これら図は横軸に θ , 縦軸に ω をとって各時刻に相当する点をプロットしたもので, 位相平面図 ($\theta-\omega$ 図) とよばれるものである. この図では時間にして $t=0$ から 15 単位の間に対応する区間を図示している. これらの図からも分かるようにわずかな初期条件の違いによってその後の位相空間内の軌跡は全く違った様子を示す. なお, 図中で曲線が交差しているように見えるところもあるが, これは本来3次元の曲線を $\theta-\omega$ 平面に射影した結果であって, 実際には交差をしていない. もし, 交差するようなことがあれば, それは微分方程式の “uniqueness theorem” に反する.

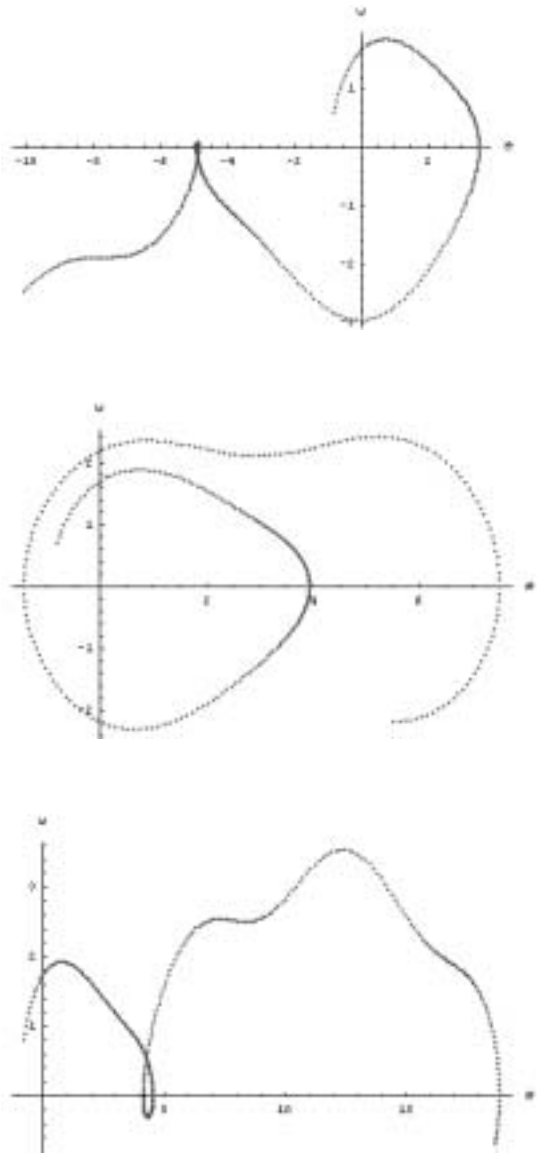


図-2. 初期条件 $\omega(0)$ の違いによる軌跡の変化
上から順に $\omega(0)=0.6, 0.7, 0.8$ の各場合

次に, 振り子の $\theta-\omega$ 位相空間内の軌跡の外力の振幅 ϕ_0 への依存性を調べた. ここでは $\gamma=0.5, \omega_D=2/3, \theta(0)=\pi, \omega(0)=0$ として ϕ_0 を $0.97, 1.1, 1.15, 1.2$ と変えて計算した結果を図3に示す. $\phi_0=0.97$ あるいは $\phi_0=1.1$ のときは初期の非定常状態を過ぎれば, ほぼ楕円状の定常状態に

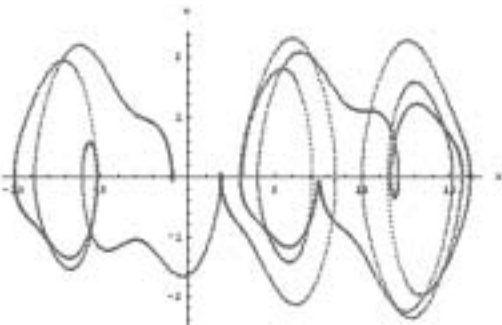
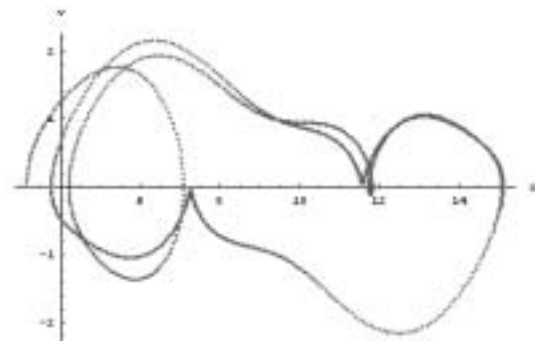
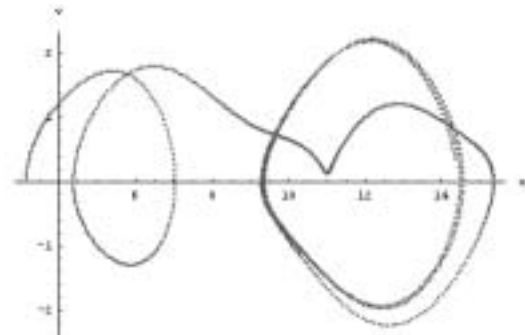
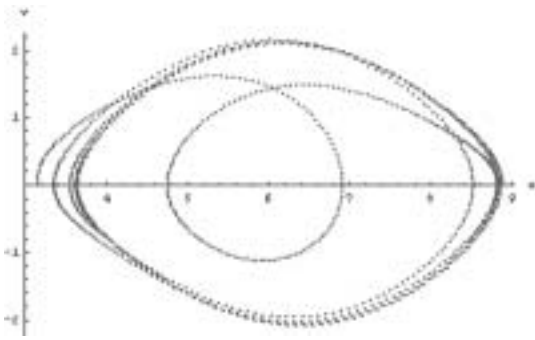


図-3. ϕ_0 の違いによる軌跡の変化
上から順に $\phi_0 = 0.97, 1.1, 1.15, 1.2$ の各場合

おちいる様子が見受けられる。しかしながら ϕ_0 の値が 1.2 あたりになると定常状態と呼べる軌跡に収束するようには見受けられない。この場合も初期条件の場合と同様に、わずかなパラメータの違いがその後の運動に大きく影響をしている様子がうかがえる。

3. Duffing 振動子

Duffing 振動子とは運動方程式

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \alpha x + \beta x^3 = a \cos(\omega_D t) \quad (5)$$

で記述される振動子である^{1),3)}。ここに、 α, β は定数で $\beta > 0$ である。この振動子の特徴は変位 x の三乗に比例する力が働くことにある。この場合も方程式を次のように書き直す。

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v \\ \frac{dv}{dt} = -2\gamma v - \alpha x - \beta x^3 + a \cos(\omega_D t) \end{cases} \quad (6)$$

非線型振動をする系に周期的な外力を加えた場合にも強制振動は起こるが、その様子は線形の場合に比べて大変複雑になる。そこで、ここでは x のおおよその振る舞いを見るために、 $\alpha = \beta = 1, \gamma = 0.1, \omega_D = 0.1$ として a の値をいろいろ変えて Ruge-Kutta 法により計算を行った。初期条件として $x(0) = v(0) = 0$ とした。これは、時刻 0 に原点に静止していた振り子に周期的な外力と減衰力が働き始めたことを想定している。得られた結果のうち代表的なものを $x-v$ 位相平面内の軌跡として図 4 に示す。これらの図においては、横軸は x を、縦軸は v を表す。初期の段階では運動が定常的でないのでプロットする範囲からは除外し、定常状態になってからの軌跡を図示してある。

これらの図からも読み取れるように、他のパラメータの値が同じであれば、 a の値が大きくなるにつれて、軌跡は周期的ではあるが複雑な様相を示し、特に $|x|$ が最大に近いところでは特に複雑な振る舞いをしているかのように見受けられる。参考のために、 $a = 20$ の場合の $x-v-t$ 3次元空間の軌跡を図 5 に示す。この図で t が 0 に近いところでは軌跡が乱れているが、これは初期の非定常状態の時間帯に相当する。

行った範囲内ではあるが、単振り子の位相空間内の軌跡は初期条件や、振り子が受ける外力の振幅

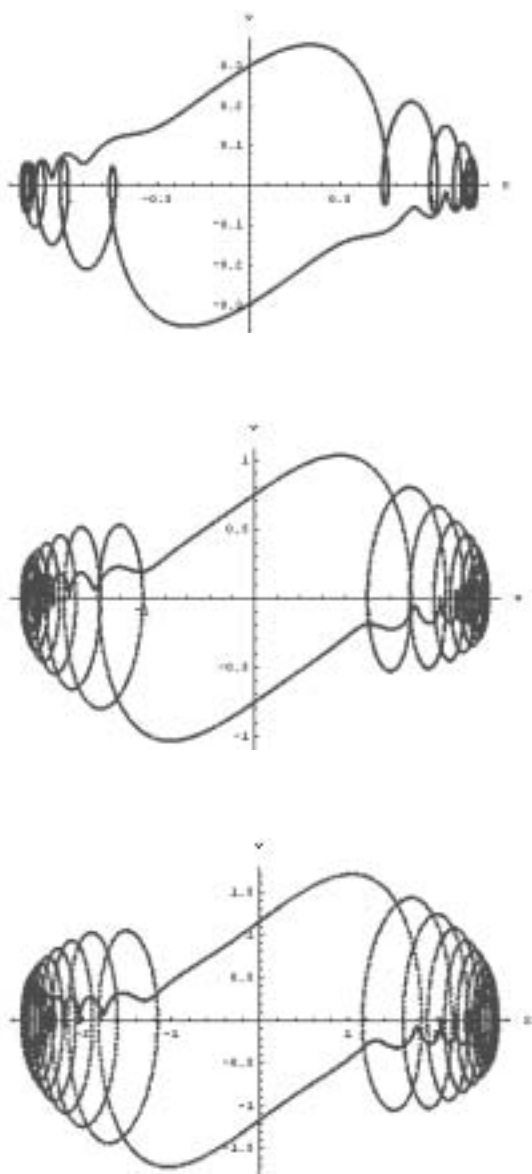


図-4. Duffing 振り子の $x-v$ 位相平面図
上から順に $a = 1, 10, 20$ の各場合

4. 終わりに

周期的外力と減衰力を受ける単振り子と Duffing 振り子について、計算機実験を行った。その結果、我々が仮定したパラメーターで計算を

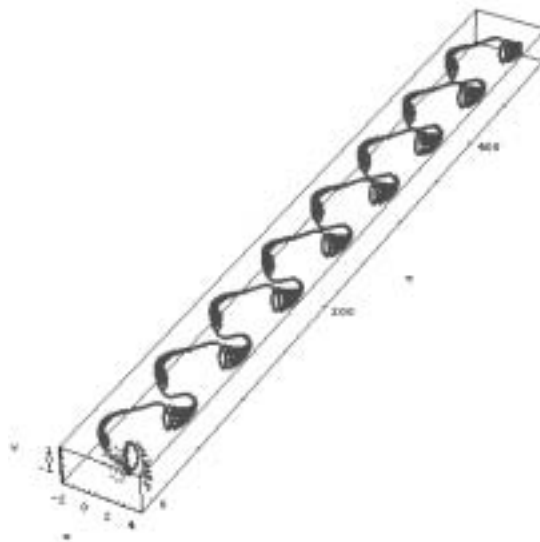


図-5. $x-v-t$ 3次元空間の軌跡 ($a=20$)

のわずかな違いに大きく依存する可能性があることが分かった。これについてはパラメーターの変化との関連をさらに系統的に調べる必要があると思われる。

また、Duffing 振り子の位相空間内の軌跡は初期の過渡的な時間を過ぎれば、かなり複雑ではあるが周期的な振る舞いをするのが観察された。今後はパラメーターの組み合わせを検討し、複雑な変化をする過程についても詳細に調べることも必要であろう。

文 献

- 1) 有山 正孝：基礎物理学選書8 振動・波動，裳華房（1978）
- 2) Hassani, S.: *Mathematical Methods For Students of Physics and Related Fields* (Springer-Verlag, New York) (2000)
- 3) Hassani, S.: *Mathematical Methods Using Mathematica For Students of Physics and Related Fields* (Springer-Verlag, New York) (2003)
- 4) 和田 昇：*Mathematica* による線形・非線型力学とカオスへの入門，サイエンス社（1996）

(2003.9.2 受理)

Consideration on Evaluation of Fracture Toughness and Testing Methods

Ken-ich HASHIMOTO*¹

Abstract

The evaluation of fracture toughness is very important when we predict ultimate strength of material. The standard testing method for fracture toughness evaluation is already proposed. However, making an experiment using the standard test method is a little complicated including production of a loading apparatus.

In this study, fracture toughness K_{IC} is estimated by some easy testing methods using the model that can evaluate a stress intensity factor K_I . The acryl resin specimen that shows a linear behavior is used for the experiment, and K_{IC} is evaluated using the maximum load. The error over each testing method is investigated, and the strong and weak point for each procedure is discussed.

Key Words: fracture toughness, K_{IC} , testing method, acryl resin, testing accuracy

1. Introduction

Fracture mechanics is an engineering discipline, where the aim is to give a quantitative description of the transformation of an intact structural component into a broken one by crack growth. In its most basic form, it relates the maximum permissible stress to the size and location of a crack. It can also predict the rate at which cracks grow to a critical size, by environmental influences or by varying loads (fatigue). Further it can determine the conditions of rapid propagation and arrest of moving cracks.

Fracture mechanics is primarily used to prevent and predict catastrophic failure of structure of man-made materials such as metals, plastics, and ceramics. Historically fracture mechanics is a development of the strength approach of materials, in which the stress in a structure is compared with some material strength value in order to decide whether failure will occur or not. The basic material parameter in fracture mechanics is called the fracture toughness.

As for the evaluation method of fracture toughness, the theory is based on the linear elastic theory. The evaluation of fracture toughness is quite complicated in order that almost all material may show a nonlinear behavior. Moreover, it is difficult to obtain the fracture toughness that mean inherent characteristic for the material, or the fracture toughness as the judgment standard value for a crack extension. So, the fracture toughness currently obtained is considered to be the rough estimate value of the strength for a crack

extension. If you want to obtain the standard of strength for a crack extension, it is more rational to use a simple method.

Now, there are two kinds of the standard testing methods¹⁾ for fracture toughness evaluation. One is a compact tension test, and another is three points bend test. However, many simple testing methods, such as a single edge cracked plate tension test and a center cracked plate tension test, can be considered as a method of evaluating fracture toughness.

In this study, an acryl resin that shows a linear behavior is used for material, the specimens that a size differs are prepared, and six kinds of fracture toughness testing methods are tried. The dispersions over each the experimental results are investigated and the validity of each testing method is discussed.

2. Testing Methods for Fracture Toughness Evaluation of Mode I

The fracture toughness is estimated respectively independently by the opening mode (Mode I), the sliding mode (Mode II), the tearing mode (Mode III). However, the generality is considered and the fracture toughness evaluation is restricted to Mode I in this study. Although it is possible to perform many Mode I testing methods, the treated testing methods are the following six kinds of tests.

- (1) Double edge cracked plate tension test^{2),3)} (DECT)
- (2) Single edge cracked plate tension test^{4),5)} (SECT)
- (3) Single edge cracked three point bending

*¹ Department of Civil Engineering and Architecture

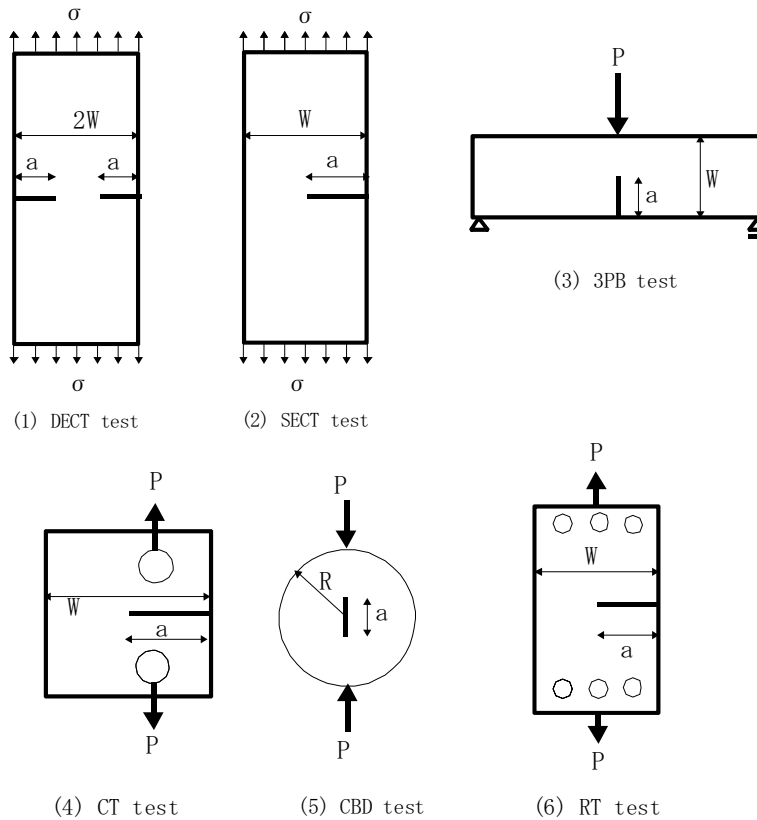


Fig. 1 The general views of K_{IC} tests in this study

test^{4),(6),(7)} (3PB)

(4) Compact tension test^{6),(8)} (CT)

(5) Center slant cracked circular plate subjected to compression load⁹⁾ (CBD)

(6) Single edge cracked test for mixed mode loading device¹⁰⁾ (RT)

In these tests, the experiment of (5) and (6) is one of the mixed mode testing methods and is performed as part of a mixed mode test. Although the tests of (2) and (6) are same in the type to pull a single edge cracked plate specimen, the joint of the loading apparatus and the specimen is the type to grasp for the former and the type of pin joint for the latter. So, although the evaluation of the stress intensity factor of (2) is based on stress, (6) is based on load. The general views of these tests are shown in **Fig. 1**.

3. Experiment

The acrylic resin (poly-methyl methacrylate : PMMA) which shows the deformation and failure behavior near a linear elastic body was used as a material of experiment specimens. The

Table 1 Material property of acryl resin.

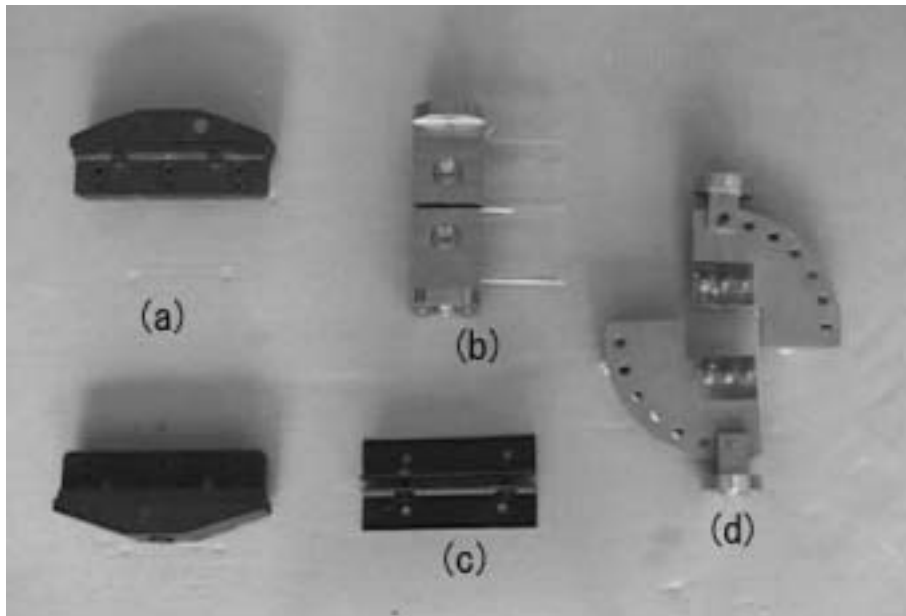
Tensile strength	74.5 MPa
Bending strength	117.7 MPa
Compressive strength	123.6 MPa
Shearing strength	61.8 MPa
Young's modulus	2.94 GPa

material property of acryl resin is shown in **Table 1**.

The outline of a specimen size is shown in **Table 2**. The specimen size of DECT test is one kind of size, which has 5 specimens with notch length $a = 10\text{mm}$, specimen width $W = 20\text{mm}$, specimen thickness $t = 2\text{mm}$, specimen length $l = 160\text{mm}$. The specimen size of SECT test is two kind of size, which have 5 specimen with notch length $a = 20\text{mm}$, specimen width $W = 40\text{mm}$, specimen thickness $t = 2\text{mm}$, specimen length $l = 160$, and 6 specimens with notch length $a = 100\text{mm}$, specimen width $W = 200\text{mm}$, specimen thickness $t = 2\text{mm}$, specimen

Table 2 The kind of specimens

Group name	Specimen number (n)	Notch length (a ; mm)	Specimen width(W;mm)	Specimen thickness(t;mm)	Specimen length(ℓ ;mm)
DECT	5	10	20	2	160
SECT1	5	20	40	2	160
SECT2	6	100	200	2	550
3PB1	5	15	30	30	150
3PB2	6	14,15,16	30	30	140
CT1	5	60	120	2	144
CT2	3	20	40	2	48
CT3	3	60	120	10	144
CBD	3	20	100	10	100
RT	3	30	60	2	120

**Fig. 2** Loading equipment, (a) is for DECT test and SECT test, (b) is for CT test (with big size specimen), (c) is for CBD test(top view), and (d) is for RT test.

length $\ell = 550\text{mm}$. The 3PB test is performed a series of test twice. First test has 5 specimens with notch length $a = 15\text{mm}$, specimen width $W = 30\text{mm}$, specimen thickness $t = 30\text{mm}$, specimen length $\ell = 150\text{mm}$. Another test is prepared 6 specimens with a different notch length, 14mm, 15mm and 16mm. The span length is 120mm. CT test has three kind of size. The specimen number is three respectively to each test kind. The details are shown in **Table 2**(CT1, CT2, CT3). The specimen size of the CBD test and the RT test is one kind. The CBD

test has 3 specimens with notch length $a = 20\text{mm}$, specimen radius $R = 100\text{mm}$, and specimen thickness $t = 10\text{mm}$. The RT test has 3 specimens with notch length $a = 30\text{mm}$, specimen width $W = 100\text{mm}$, specimen thickness $t = 2\text{mm}$, and specimen length $\ell = 120$.

Although all specimens are made by machining progress, the notch tip is processed by hand with the cutter knife.

In these experiments, two electro-hydraulic fatigue testing machines, whose capacities for static loading are 15kN and 450kN, is used. Each



Fig. 3 Set up of three point bend specimen in testing machine

of loading equipment is shown in **Fig. 2**. In CBD test, the specimen fixed in the equipment (c) (**Fig.2**) is loaded using loading plate for compression test. In all tests, the average stress intensity factor rate during the test shall be not less than about $0.002MPa\sqrt{m}$ or such that failure occurs within about 10 min of initial load application. The set up of three point bend specimen in testing machine is shown in **Fig. 3**.

4. Conclusion and Discussion

The typical relationship between load and load point displacement in the test for SECT2 group is shown **Fig.4**. As shown in this figure, the relation of load and load point displacement shows a liner behavior in all examinations.

Fracture toughness K_{IC} is acquired by substituting the maximum load for an evaluation formula respectively. The used evaluation formula is shown below.

(1) DECT test²⁾

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}F_I(a/W), \quad a/W = \xi$$

$$F_I(a/w) = \left(1 + 0.122 \cos^4 \frac{\pi\xi}{2}\right) \sqrt{\frac{2}{\pi\xi} \tan \frac{\pi\xi}{2}}$$

(2) SECT test⁴⁾

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}F_I(a/W), \quad a/W = \xi$$

$$F_I(a/w) = 1.12 - 0.231\xi + 10.55\xi^2 - 21.72\xi^3 + 30.39\xi^4$$

(3) 3PB test⁶⁾

$$K_I = \frac{3SP}{2W^2B} \sqrt{\pi a}F_I(a/W), \quad a/W = \xi$$

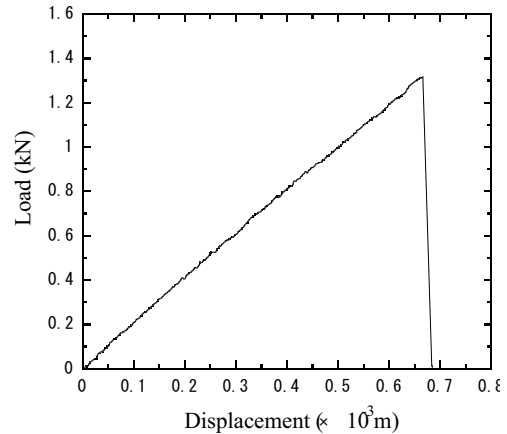


Fig. 4 Typical relationship between load and load point displacement in SECT1 group.

$$F_I(a/w) = \frac{1.99 - \xi(1-\xi)(2.15 - 3.93\xi + 2.7\xi^2)}{\sqrt{\pi(1+2\xi)(1-\xi)^{3/2}}}$$

(4) CT test⁶⁾

$$K_I = P/(B\sqrt{W})F_I(a/W), \quad a/W = \xi$$

$$F_I(a/w) = \frac{2+\xi}{(1-\xi)^{3/2}} (0.886 + 4.64\xi - 13.32\xi^2 + 14.72\xi^3 - 5.6\xi^4)$$

(5) CBD test⁹⁾

$$K_I = \frac{1}{\sqrt{\pi a}} \int_{-a}^a \sigma_{\theta}(\theta, \rho) \left(\frac{a+\rho}{a-\rho}\right)^{1/2} d\rho$$

$$= F_I(\beta) \frac{P}{Rt} \sqrt{\frac{a}{\pi}}$$

where θ and ρ are the variables in polar coordinates, and $F_I = 1.06$ for Mode I with $\beta = 0$.

(6) RT test¹⁰⁾

$$K_I = \frac{P\sqrt{\pi a}}{WB} \frac{\cos \alpha}{1-\xi} \sqrt{\frac{0.26 + 2.56\left(\frac{\xi}{1-\xi}\right)}{1 + 0.55\left(\frac{\xi}{1-\xi}\right) - 0.88\left(\frac{\xi}{1-\xi}\right)^2}}$$

where $\alpha = 0$ for Mode I and $\xi = a/W$.

All fracture toughness K_{IC} values obtained in this study are shown in **Table 3**. The average value of fracture toughness, standard deviation, and the value that divide standard deviation by average value as the error are also respectively shown in the table for the experiment group.

Table 3 Experiment results contained experiment error

Group Name	Notch Length (mm)	Specimen Width (mm)	Specimen Thickness (mm)	Fracture Load (kN)	Fracture Toughness $K_{IC}(MPa\sqrt{m})$	Average Fracture Toughness	Error (%)
DECT	10.2	40.0	2.0	0.469	1.229	1.196 ± 0.201 $MPa\sqrt{m}$	16.8
	10.3	39.9	2.0	0.376	0.992		
	10.4	40.0	2.0	0.375	0.990		
	10.3	40.0	2.0	0.584	1.536		
	10.5	39.9	2.0	0.460	1.231		
SECT1	20.9	40.0	2.0	0.228	1.255	1.332 ± 0.094	7.1
	21.0	39.9	2.0	0.267	1.496		
	21.5	40.0	2.0	0.214	1.258		
	20.4	40.0	2.0	0.244	1.272		
	21.2	40.2	2.0	0.246	1.380		
SECT2	100.0	200.0	2.0	0.720	1.609	1.443 ± 0.162	11.2
	100.0	199.9	2.0	0.734	1.662		
	100.0	201.0	2.0	0.671	1.480		
	101.0	200.0	2.0	0.615	1.404		
	101.0	201.0	2.0	0.580	1.306		
	101.0	201.0	2.0	0.531	1.196		
3PB1	14.9	30.1	30.1	0.892	1.785	1.618 ± 0.099	6.1
	14.9	30.1	30.0	0.781	1.568		
	14.8	30.1	30.1	0.749	1.483		
	14.9	30.0	30.0	0.794	1.610		
	14.9	30.1	30.1	0.821	1.643		
3PB2	14.0	30.1	30.8	0.926	1.652	1.549 ± 0.095	6.1
	14.0	30.1	30.7	0.876	1.567		
	15.0	30.0	30.7	0.833	1.668		
	15.0	30.1	30.8	0.780	1.541		
	16.0	30.0	30.9	0.631	1.400		
	16.0	30.1	31.1	0.672	1.465		
CT1	60.9	119.8	2.0	0.082	1.174	1.274 ± 0.060	4.7
	60.1	119.9	2.0	0.090	1.260		
	60.9	119.8	2.0	0.089	1.274		
	60.9	120.0	2.0	0.095	1.356		
	60.7	120.0	2.0	0.092	1.304		
CT2	20.5	40.0	2.0	0.060	1.506	1.539 ± 0.064	4.2
	29.9	39.4	2.0	0.060	1.483		
	21.0	40.5	2.0	0.064	1.628		
CT3	60.0	120.0	10.0	0.496	1.383	1.298 ± 0.085	6.5
	60.0	120.0	10.0	0.435	1.213		
	60.0	120.0	10.0	0.445	1.241		
CBD	20.0	100.0	10.0	10.388	1.757	1.707 ± 0.040	2.3
	20.0	100.0	10.0	9,800	1.658		
	20.0	100.0	10.0	10.094	1.707		
RT	30.0	60.0	2.0	0.267	1.891	1.851 ± 0.108	5.8
	30.0	60.0	2.0	0.276	1.959		
	30.0	60.0	2.0	0.241	1.704		

The value of fracture toughness is distributed widely from 1.19 to 1.85. The experiment group of DECT shows the maximum error, 16.8%, and the

smallest fracture toughness. Speaking of experiment accuracy, the experiment groups of SECT show the comparatively large experiment

error. By these things, as for the testing method with the type that grasps and pulls specimen, it is guessed that the eccentricity of load tends to happen. The experiment groups of CBD and RT show comparatively large fracture toughness. Here, it may be necessary to take a contact surface into consideration for a CBD examination, and, as for RT, the component of Mode III may be contained in loading. The comparatively large fracture toughness also for 3PB tests is shown. This is considered because the thickness is large and plane-strain fracture did not take place. In CT tests, the small specimens give the comparatively large fracture toughness. Judging from experiment accuracy, 3PB test and CT test, which are adopted as the standard testing method, are effective. However, if it says from viewpoints, such as preparation of loading equipment, 3PB test and CBD test are useful.

It is estimated by the above thing that inherent fracture toughness is about $1.3 \text{ MPa}\sqrt{m}$. It is important for every testing method not to make the eccentricity of load cause. If it says from synthetic view, CT test and 3PB test using specimen with comparatively small thickness will be able to judge as the excellent testing method.

In this research, the fracture toughness of an acrylic resin by using the various fracture toughness testing methods has been evaluated. As a result, it is shown that 3PB test and CT test with comparatively thin thickness, which are the

standard testing methods, are easy to treat for the exception of load eccentricity.

References

- 1) Annual Book of ASTM Standards: Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Materials, E399-90, Part 10 (1990)
- 2) Benthem, J. P. and Koiter, W. T. : Asymptotic Approximations to Crack Problems, Method of Analysis and Solutions of Crack Problems, Mechanics of Fracture I (edited by Sih, G. C., Noordhoff Int. Pub., P.157 (1972)
- 3) Nisitani, H. : Tension of a Strip with Symmetric Edge Cracks or Elliptical Notches, Trans. Japan Soc. Mech. Engrs., Vol. 49, No.349, PP.2518-2526.
- 4) Brown, W. F. Jr. and Srawley, J. E. : Plane Strain Crack Testing of High strength Metallic Materials, ASTM STP 410, P12 (1966)
- 5) Tada, H., Paris, P. and Irwin, G. : The Stress Analysis of Cracks Handbook, Del Research Corporation, (1973)
- 6) Srawley, J. E. : Wide Range Stress Intensity Factor Expressions for ASTM E399 Standard Fracture Toughness Specimens, Int. J. Frac. Mech., Vol. 12, PP.475-476 (1976)
- 7) Gross, B. and Srawley, J. E. : Stress Intensity Factor for Three-Point Bend Specimens by Boundary Collocation, Technical Note, D-3092, NASA, (1965)
- 8) Newman, J. E. : Stress Analysis of Compact Specimen Including the Effects of Pin Loading, ASTM STP 560, PP.105-121.
- 9) Atkinson, C., Smelser, R. E. and Sanchez, J. : Combined Mode Fracture via the Cracked Brazilian Disk Test, Int. Frac. Vol. 18, No.4, PP.279-182 (1982)
- 10) Richard, H. A. and Benitz, K. : A Loading Device for the Creation of Mixed Mode in Fracture Mechanics, Int. J. Frac., Vol. 22, PP.R55-58 (1983)

(Received September 5, 2003)

層状チタン酸塩Cs_xTi_{2-x/2}Zn_{x/2}O₄ (x = 0.70)の 合成とイオン交換

大橋正夫 *

Preparation and Ion Exchange of Layer Structured Titanate Cs_xTi_{2-x/2}Zn_{x/2}O₄ (x = 0.70)

Masao OHASHI *

Abstract

A layer structured titanate Cs_xTi_{2-x/2}Zn_{x/2}O₄ (x = 0.70) with a lepidocrocite-related structure has been prepared by a solid state reaction using Cs₂CO₃, anatase type TiO₂ and ZnO at 800 °C. Ion exchange reactions have been studied in aqueous solutions. The single phases of lithium, sodium and hydrogen ion exchange products were obtained from Cs_{0.70}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O₄. They contain interlayer water and the host layer was retained on the reactions. Cs⁺ in the interlayer space was ion exchanged up to 100 %. Zn²⁺ in the intralayer was also ion exchanged with H⁺ in H₂SO₄ solution. The Li⁺ exchange product was electrochemically active in a lithium battery.

Key Words : layer structure, titanate, zinc, ion exchange, lithium battery

1. 緒言

lepidocrocite (γ-FeO(OH)) 類似の層状構造を持つ一連のチタン酸塩が知られている。^{1,2)} これらは A_xTi_{2-x}M(III)_xO₄ や A_xTi_{2-x/2}M(II)_{x/2}O₄ と表される組成式を持つ。ここで A は K, Rb, Cs のアルカリ金属で、結晶中では 1 価の陽イオンである。M(III) は結晶中で 3 価の陽イオンとして存在する金属で、Sc, Cr, Mn, Fe, Al が知られている。M(II) は 2 価の陽イオンで、Co, Ni, Cu, Mg, Zn が知られている。これらのチタン酸塩中では、TiO₆ 八面体が稜を共有して積み重なるの単位となる層を形成している。すべてのチタンのサイトが占められている構造を考えると、この単位の層は TiO₂ の組成で表され、電気的に中性となる。実際にはこのような構造を持つ TiO₂ は存在せず、チタンのサイトの一部が M(III) や M(II) で置換されたものが存在す

る。4 価のチタンが低価数の金属イオンによって置換されたことによって足りなくなる陽電荷は、層間のアルカリ金属イオンによって補償される。この層間のアルカリ金属イオンの量は、化合物の種類により組成式あたり、0.7 から 0.9 まで変化するが、アルカリ金属が Cs の場合は 0.7 程度でほとんど変化しない。チタンのサイトが空孔である Cs_xTi_{2-x/4}O₄ が知られており、空孔を □ で表すと、この化合物は Cs_xTi_{2-x/4}□_{x/4}O₄ と表される。^{3,5)}

我々は、これら一連のチタン酸塩の合成と性質について調べ、これら化合物は新たな機能性材料と考えることができることを報告している。⁶⁻¹⁷⁾ 本研究では、同様の層状構造を持ち、層内に Zn²⁺ を含む標題の化合物を合成した。この化合物の性質についてはほとんど調べられていない。この化合物のリチウム、ナトリウムおよび水素のイオン交換を行い、生成物の組成、構

* 一般科目 (化学)

造について調べた。また、リチウムイオン交換生成物については、リチウム二次電池の正極としての性質についても調べた。

2. 実験

$\text{Cs}_x\text{Ti}_{2-x/2}\text{Zn}_{x/2}\text{O}_4$ ($x = 0.70$) の合成には炭酸セシウム(Cs_2CO_3)、酸化チタン(IV) (anatase 型 TiO_2) および酸化亜鉛(ZnO)を用いた。所定の組成比混合物を 800°C で 20 時間加熱後、粉碎混合した。これを再び 800°C で 20 時間加熱して試料を得た。生成物は粉末 X 線回折(XRD)により調べた。測定には理学電機製 RINT-Ultima⁺を用いた。

Li^+ および Na^+ のイオン交換には 1.0 M LiNO_3 および NaNO_3 溶液を用いた。9 日間反応させ、水溶液は 3 日ごとに交換した。 H^+ とのイオン交換には $0.05\text{ M H}_2\text{SO}_4$ 溶液を用いた。3 日間反応させ、水溶液は毎日交換した。いずれの場合も、試料約 2 g に対して 1 l の水溶液を用いた。生成物はテフロンフィルターを用いて吸引ろ過し、イオン交換水で洗浄した。

試料中のセシウム、リチウム、ナトリウムおよび亜鉛は原子吸光分光光度計(日立製作所製、Z-8000)を用いて定量した。試料約 0.1 g を希硫酸に溶解後分析した。

試料の脱水過程を熱重量-示差熱(TG-DTA)測定により調べた。測定にはセイコー電子工業製 TG/DTA32 を用いた。昇温速度は $5^\circ\text{C}/\text{min}$ とし、 800°C まで加熱した。

リチウム電池の正極は、試料にアセチレンブラックが 7%、テフロン粉末が 3% となるように加えて作成した。この正極混合物を真空中 150°C で 1 時間加熱して乾燥した。対極にはリチウム金属を用い、電解質溶液にはジメトキシエタン(1,2-Dimethoxyethane, DME)と炭酸エチレン(Ethylene Carbonate, EC)をそれぞれ等体積混合した溶媒を用いた。 LiClO_4 を 1.0 M となるように溶解した。電池の組立ておよび充放電はすべてアルゴンガスを満たしたドライボックス(美和製作所製、DBO-1K 型)中で行った。酸素と水分量は常に 1 ppm 以下となるようにした。

3. 結果と考察

3. 1 合成

層間に Cs^+ を含む lepidocrocite 類似層状チタン酸塩においては、その Cs 量は組成式あたりほぼ 0.7 で、ほとんど変化しない。^{1,6,7)} 本研究では、組成が $x = 0.70$ の化合物である $\text{Cs}_{0.70}\text{Ti}_{1.65}\text{Zn}_{0.35}\text{O}_4$ の合成について検討した。得られた試料の XRD パターンを図 1(a)に示す。図に示すように、XRD パターンは単一相として指数付けすることができた。Reid ら¹⁾ は $\text{Cs}_{0.70}\text{Ti}_{1.65}\text{Zn}_{0.35}\text{O}_4$ が合成可能であると報告しているが、その格子定数の記述はない。Zn を Mg に変えた試料については、その斜方晶の格子定数を、 $a = 0.3821\text{ nm}$ 、 $b = 1.6350\text{ nm}$ 、 $c = 0.2981\text{ nm}$ と報告している。本研究において合成した $\text{Cs}_{0.70}\text{Ti}_{1.65}\text{Zn}_{0.35}\text{O}_4$ の格子定数は $a = 0.3806(3)\text{ nm}$ 、 $b = 1.700(3)\text{ nm}$ 、 $c = 0.2939(6)\text{ nm}$ であり、上記の格子定数と比較的近い値を示した。格子定数を表 1 に示す。

3. 2 イオン交換

3. 2. 1 リチウムイオン交換

リチウムイオン交換生成物の XRD パターンを図 1(b)に示す。図に示すようにほぼ単一相として指数付けすることができた。この試料の熱重量分析の測定結果を図 2(a)に示す。層間水の脱離によると考えられる減量が室温から始まり、 200°C 付近まで続いた。化学分析と熱重量分析の結果より、この生成物の組成は $\text{Li}_{0.53}\text{H}_{0.10}\text{Cs}_{0.07}\text{Ti}_{1.65}\text{Zn}_{0.35}\text{O}_4 \cdot 1.0\text{H}_2\text{O}$ と見積もることができた。層間の Cs^+ はその 90% が溶出し、76% が Li^+ に交換された。表 1 にこの生成物の斜方晶の格子定数を示す。 a 軸と c 軸の格子定数はもとの試料と比較してほとんど変化していないので、試料の層構造はイオン交換後も保たれているものと考えられる。 b 軸の $1/2$ に相当する層間距離は、イオン交換後層間水を含むようになり、 0.850 nm から 0.86 nm に増加した。

3. 2. 2 ナトリウムイオン交換

ナトリウムイオン交換生成物の XRD パターンには、低角度に $d = 1.14\text{ nm}$ と $d = 0.88\text{ nm}$ のピークが確認された。これらのピークは、試料中に存在する層間距離の異なるふたつの相に対応するものと考えられる。この試料を 100°C で 1 時間加熱すると、層間距離の大きい相は消失し、層間距離の小さいものの単一相となった。XRD パターンを図 1(c)に示す。この単一相試料の熱重量分析の測定結果を図 2(b)

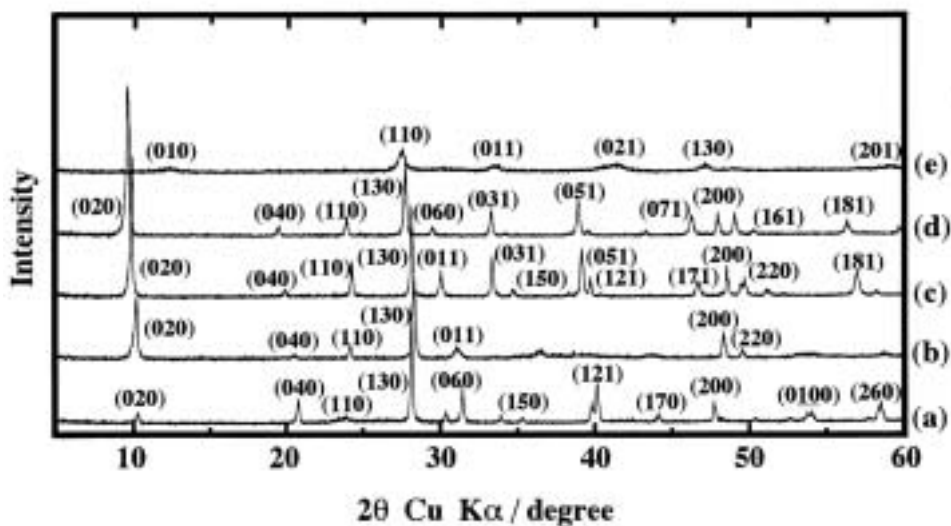


図1 生成物のXRDパターン (a) Cs_{0.70}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O₄ (b) Li_{0.53}H_{0.10}Cs_{0.07}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O₄ · 1.0H₂O
(c) Na_{0.53}H_{0.17}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O₄ · 1.1H₂O (d) H_{1.39}Cs_{0.01}Ti_{1.65}O₄ · 1.0H₂O (e) Li_{0.53}H_{0.10}Cs_{0.07}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O₄

表1 組成と斜方晶格子定数

Compositions	a / nm	b / nm	c / nm
Cs _{0.70} Ti _{1.65} Zn _{0.35} O ₄	0.3806(3)	1.700(3)	0.2939(6)
Li _{0.53} H _{0.10} Cs _{0.07} Ti _{1.65} Zn _{0.35} O ₄ · 1.0H ₂ O	0.376	1.72	0.291
Na _{0.53} H _{0.17} Ti _{1.65} Zn _{0.35} O ₄ · 1.1H ₂ O	0.375	1.78	0.301
H _{1.39} Cs _{0.01} Ti _{1.65} O ₄ · 1.0H ₂ O	0.379	1.81	0.300
Li _{0.53} H _{0.10} Cs _{0.07} Ti _{1.65} Zn _{0.35} O ₄	0.369	0.671	0.289

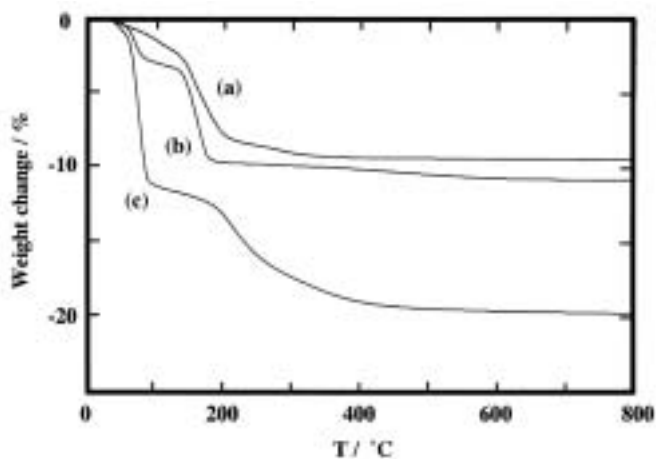


図2 熱重量分析結果 (a) Li_{0.53}H_{0.10}Cs_{0.07}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O₄ · 1.0H₂O (b) Na_{0.53}H_{0.17}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O₄ · 1.1H₂O
(c) H_{1.39}Cs_{0.01}Ti_{1.65}O₄ · 1.0H₂O

に示す。層間水の脱離によると考えられる、吸熱を伴う減量が、室温から始まり 180°C 付近で完了した。化学分析と熱重量分析の結果より、単一相の組成は $\text{Na}_{0.53}\text{H}_{0.17}\text{Ti}_{1.65}\text{Zn}_{0.35}\text{O}_4 \cdot 1.1\text{H}_2\text{O}$ と見積もることができた。層間の Cs^+ は 100% が溶出し、76% が Na^+ に交換された。加熱前の試料には、層間水が 2 分子層を形成した層間距離の大きな相が混在していたものと考えられる。100°C の加熱によって、層間水が一部脱離して単一相が生成したものと考えられる。

表 1 にこの生成物の斜方晶の格子定数を示す。この場合も a 軸と c 軸の格子定数はもとの試料と比較してほとんど変化していないので、試料の層構造はイオン交換後も保たれているものと考えられる。層間距離は、0.850nm から 0.89nm に増加した。前述のリチウムのイオン交換生成物と比べると、層間距離の増加量が若干大きいのは、 Na^+ のイオン半径が Li^+ よりも大きいためであると考えられる。

3. 2. 3 水素イオン交換

水素イオン交換生成物の XRD パターンを図 1 (d) に示す。この場合もほぼ単一相として指数付けすることができた。この試料の熱重量分析の測定結果を図 2 (c) に示す。層間水の脱離によると考えられる減量が室温から 100°C 付近まで見られ、さらに 400°C 付近まで、層間の H^+ の H_2O としての脱離に伴う減量が確認された。化学分析と熱重量分析の測定結果より、組成は $\text{H}_{1.39}\text{Cs}_{0.01}\text{Ti}_{1.65}\text{O}_4 \cdot 1.0\text{H}_2\text{O}$ と見積もるこ

とができた。層間の Cs^+ はその 99% が H^+ に交換された。また、層内の Zn はすべて溶出し、試料中には確認されなかった。これは、層間の Cs^+ のイオン交換と同時に、層内の Zn^{2+} も H^+ とイオン交換したことを示している。このような例は少ないが、 $\text{Cs}_{0.70}\text{Ti}_{1.65}\text{Cu}_{0.35}\text{O}_4$ の場合、層内の Cu^{2+} が一部 (54%)、 H^+ とイオン交換することが知られている。¹⁵⁾

表 1 にこの生成物の斜方晶の格子定数を示す。この場合も a 軸と c 軸の格子定数はもとの試料と比較してほとんど変化していないので、試料の層構造はイオン交換後も保たれているものと考えられる。層間距離は、0.850nm から 0.91nm に増加した。

3. 3 リチウム電池放電特性

本研究で新たに得られたリチウムイオン交換生成物はリチウム電池の正極として充放電可能であると考えられる。生成物は層間水を含むため 200°C で 1 時間加熱した。生成物の XRD パターンを図 1 (e) に示す。結晶性は悪くなったが、斜方晶の単一相として指数付けすることができた。その格子定数は $a = 0.369\text{nm}$ 、 $b = 0.671\text{nm}$ 、 $c = 0.289\text{nm}$ であった。a 軸と c 軸の格子定数は若干小さくなったが、ほとんど変化がなく、もとの層構造は保たれているものと考えられる。これまでの試料では、すべて b 軸は層間距離の 2 倍で指数付けできたが、この 200°C 加熱試料では、層間距離をそのまま b 軸の格子定数として指数付けすることができた。層間水の脱離によ

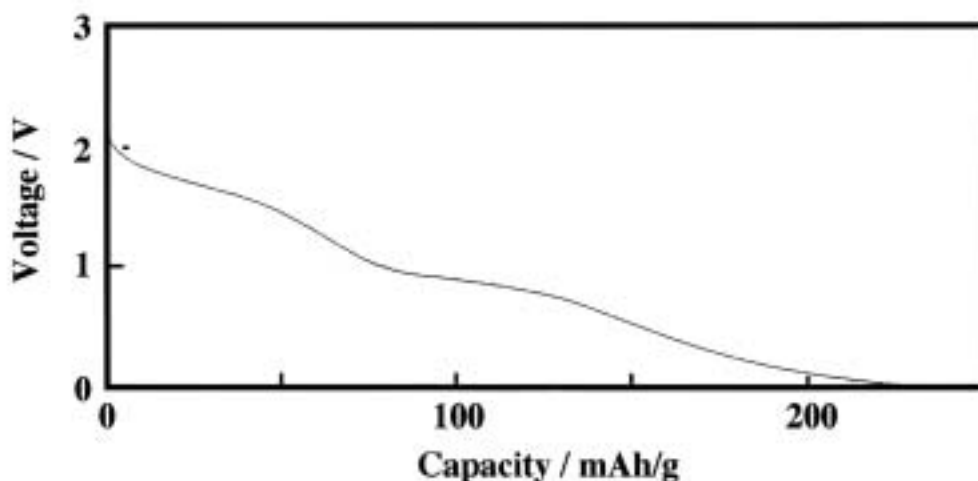


図 3 $\text{Li}_{0.53}\text{H}_{0.10}\text{Cs}_{0.07}\text{Ti}_{1.65}\text{Zn}_{0.35}\text{O}_4$ の放電曲線

て層間距離は 0.86nm から 0.671nm に減少した。格子定数を表 1 に示した。図 3 にリチウム電池の放電曲線を示す。レストポテンシャルは 3.1V であった。放電電位は低いが、200mAh/g 以上の放電容量を示し、リチウム電池の正極として電気化学的に活性であることがわかった。別に 1.0V–3.5V 間で充放電試験をしたところ、40 mAh/g 以上の充放電可能な容量を示すことがわかった。放電電位が比較的低いことから、負極活物質としての利用も可能であると考えられる。今後さらに詳しい充放電試験を行い、その特性について調べる必要がある。

4. まとめ

層内に Zn^{2+} を含む層状チタン酸塩 $Cs_{0.70}Ti_{1.65}Zn_{0.35}O_4$ を合成した。この化合物のリチウム、ナトリウムおよび水素のイオン交換について調べたところ、層間の Cs^+ は、90% から 100% までイオン交換されることがわかった。また、水素イオン交換では、層間の Cs^+ とともに、層内の Zn^{2+} もイオン交換され、溶出することがわかった。リチウムイオン交換生成物を加熱して層間水を除いた試料は、リチウム電池の正極として充放電可能であることがわかった。正極活物質とともに、負極活物質への利用も可能であると考えられる。

文献

- 1) A. F. Reid, W. G. Mumme and A. D. Wadsley, *Acta Cryst.*, **B24**, 1228(1968).
- 2) D. Groult, C. Mercey and B. Raveau., *J. Solid State Chem.*, **32**, 289(1980).
- 3) M. Hervieu and B. Raveau, *Rev. Chim. Min.*, **18**, 642(1981).
- 4) I. E. Grey, C. Li, I. C. Madsen, J. A. Watts, L. A. Bursill and J. Kwiatkowska, *J. Solid State Chem.*, **58**, 350(1985).
- 5) I. E. Grey, C. Li, I. C. Madsen and J. A. Watts, *J. Solid State Chem.*, **66**, 7(1987).
- 6) 大橋正夫、植田義文、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 19 号、41(1995).
- 7) M. Ohashi, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **311**, 51(1998).
- 8) 大橋正夫、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 20 号、7(1996).
- 9) M. Ohashi, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **341**, 265(2000).
- 10) 大橋正夫、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 21 号、87(1997).
- 11) 大橋正夫、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 22 号、61(1998).
- 12) 大橋正夫、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 23 号、61(1999).
- 13) M. Ohashi, *Electroceramics in Japan IV*, **216**, 119 (2002).
- 14) M. Ohashi, *Key Engineering Materials*, **228-229**, 289 (2002).
- 15) 大橋正夫、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 24 号、37(2000).
- 16) 大橋正夫、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 25 号、31(2001).
- 17) 大橋正夫、徳山工業高等専門学校研究紀要、第 26 号、49(2002).

(2003. 9. 1 受理)

新入生アンケートの結果に見られる 平成15年度入学生の特徴

松尾葉子*¹ 原田徳彦*² 国重徹*³

The Characteristics of the Freshmen in 2003 ---An Analysis Based on the Results of a Questionnaire to the Freshmen---

Yoko MATSUO*¹ Norihiko HARADA*² Toru KUNISHIGE*³

Abstract

It is four years since the school counselors' office was set up at Tokuyama College of Technology in 1999. The school counselors' office has been supporting the students proactively rather than reactively for two years. Two years ago, the office started to use a questionnaire to the freshmen inquiring about their worries, motivation to study and so on as a kind of the proactive support. The staff of the office used the same questionnaire in April this year for the third time in order to help the freshmen to adapt themselves to the new environment.

This report comparatively analyzes the results of the questionnaire given to the freshmen from 2001 to 2003 and points out some of their noticeable characteristics, putting an emphasis on three different departments they belong to.

Key Words : proactive support, reactive support, adapt, new environment, questionnaire

1. はじめに

徳山高専学生相談室では、平成13年度から「学生相談室プログラム」※の一環として新入生アンケートを採用している。

この新入生アンケートの目的は、中学という義務教育機関を卒業し、高等専門学校という高等教育機関に入学したばかりの学生が、これまでと全く異なる新しい環境にできるだけうまく適応できるように援助することである。

平成13年、14年に引き続き、平成15年4月には平成15年度新入生に対して、同じアンケート

を実施した。アンケートに基づき、入学当初より悩みを抱えている学生及び入寮した新入生全員に対して個別面談を実施した。

本稿は、平成13年4月から3年連続で新入生に対して実施した新入生アンケートの結果を比較分析し、平成15年度新入生の特徴を明らかにするとともに、3年間蓄積したデータから読み取れる、学科ごとの注意すべき傾向を考察するものである。

2. 新入生アンケート

新入生アンケートは、鳴澤(1998)¹⁾の東京

*¹ 学生課学生係

*² 情報電子工学科

*³ 一般科目(英語)

※学生相談室プログラムについては、国重、佐々木²⁾や佐々木、国重³⁾に詳しく論じられている

都立大学新入生対象アンケートを徳山高専用に修正し作成したものである。

アンケートは平成15年4月9日の学生相談室オリエンテーションで実施した。実施方法は、学生相談室スタッフがアンケートを配布し説明を行ったあと学生に記入させ、その場で回収した。

アンケートは記名式で、全員に23の項目、寮生には6項目を追加して尋ねた。

対象は、平成15年度一年生129人(男子105人、女子24人；自宅通学生97人、寮生32人；機械電気工学科生(ME)42人、情報電子工学科生(IE)42人、土木建築工学科生(CA)45人)で、当日の欠席者1名を除く128人から回収できた。

以下に、アンケートの質問項目と回答の全てを示す。回答はパーセンテージで()内に示してある。

1. あなたは自宅から通学していますか、それとも寮生ですか。
(a) 自宅通学生(75.0) (b) 寮生(25.0)
2. あなたは中学校時代にクラブ活動に参加していましたか。
(a) はい(97.7) (b) いいえ(2.3)
3. あなたが徳山高専に進学を決定したのはいつですか。
(a) 小学生の頃(1.6) (b) 中学1年生の頃(10.9)
(c) 中学2年生の頃(21.1) (d) 中学3年生の頃(66.4)
4. 徳山高専はあなたが第一に志望した学校ですか。
(a) はい(89.1) (b) いいえ(10.9)
5. あなたは徳山高専の本当に入りたかった学科に入れましたか。
(a) はい(93.5) (b) いいえ(4.7)
6. あなたが徳山高専に入学した動機は何ですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。
(a) 入学しやすい(1.6) (b) いいところに就職できる(74.2) (c) 通学の便がいい(4.7)
(d) 経済的な理由(12.5) (e) 先生や親にすすめられた(28.9) (f) 自由な校風だから(39.1)
(g) 先輩・知人がいる(8.6) (h) 兄弟がいる(3.9) (i) 自分の志望に合っている(57.8)
(j) 他に入学するところがなかったから(1.6)
(k) 何となく(4.7) (l) その他(12.5)
7. あなたは中学校時代に満足のいく学校生活が送れたと思いますか。
(a) とても満足している(46.9) (b) 一応満足している(46.1) (c) あまり満足していない(6.3) (d) 全く満足していない(0.8)
8. あなたは徳山高専に入学できて満足していますか。
(a) とても満足している(55.5) (b) 一応満足している(42.2) (c) あまり満足していない(2.3) (d) 全く満足していない(0)
9. あなたが徳山高専に入学した目的は何ですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。
(a) 専門的な学問・技術を身につけるため(85.2)
(b) 教養を高め人間的に成長するため(28.1)
(c) 先生や友人と交流するため(7.8) (d) いいところに就職するため(57.8) (e) 学生生活をエンジョイするため(34.4) (f) 専攻科や他の大学に進学するため(22.7) (g) 何とはなしに(2.3) (h) その他(3.9)
10. 現在、あなたの勉強への意欲は次のどれですか。
(a) 十分意欲がある(34.4) (b) 一応意欲がある(58.6) (c) あまりない(6.3) (d) 全くない(0.8)
11. あなたは徳山高専での勉強についていけるかどうか不安ですか。
(a) とても不安である(33.6) (b) 少し不安である(53.1) (c) あまり不安ではない(9.3) (d) 全く不安ではない(3.9)
12. 周りの新入生が自分より勉強面で優れているように思いますか。
(a) 強くそう思う(44.5) (b) 少しそう思う(39.1) (c) あまりそうは思わない(13.3) (d) 全くそうは思わない(3.1)
13. 自分には徳山高専で友人ができないのではないかと心配ですか。
(a) とても心配である(8.6) (b) 少し心配である(37.5) (c) あまり心配ではない(34.4) (d) 全く心配ではない(19.5)
14. あなたは徳山高専での学生生活がどのくらい楽しみですか。
(a) とても楽しみである(53.1) (b) 少し楽しみである(41.4) (c) あまり楽しみではない(4.7) (d) 全く楽しみではない(0.8)
15. あなたは自分が将来どんな職業につき、どんな人になりたいか、すでに心の中で決めていますか。
(a) はい(53.9) (b) いいえ(46.1) 無回答(0)
16. あなたは中学時代に個人的に打ち明け話をし

- たり、相談に乗ってもらえるような同性の親友がいましたか。
 (a)はい(81.3) (b)いいえ(18.8)
17. あなたは徳山高専に知り合いの人がいますか。
 (a)はい(77.3) (b)いいえ(22.7)
18. あなたは徳山高専に個人的に打ち明け話をしたり、相談に乗ってもらえるような同性の親友がいますか。
 (a)はい(43.0) (b)いいえ(57.0)
19. あなたはある程度親しくつき合っている異性の友人がいますか。
 (a)はい(44.5) (b)いいえ(55.5)
20. 今までに、反抗して親を手こずらせたことがありますか。
 (a)はい(60.9) (b)いいえ(39.1)
21. 今までに、失敗や挫折をしてすごく悩んだことがありますか。
 (a)はい(50.8) (b)いいえ(49.2)
22. 学生相談室で相談できるとしたら、あなたは次のどのような内容について相談してみたいですか。該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。
 (a) 勉強のこと(78.1) (b) 今まで知らなかった人たちとの出会いに関する(15.6)
 (c) 家庭のこと(3.1) (d) 自分の性格のこと(16.4) (e) 心の健康に関する(6.3)
 (f) 体の健康に関する(7.8) (g) 性に関する(1.6) (h) 友人関係のこと(30.5) (i) 恋愛に関する(10.2) (j) 徳山高専が自分に合っているかどうかに関する(18.8) (k) 進学のこと(32.0) (l) 就職のこと(40.6) (m) その他(4.7)
23. 前問で挙げてある項目の中で、「今すぐ」あなたが相談をしたい事柄があれば、その記号をすべて○で囲み、具体的に詳しくその相談内容を自由に書いてみて下さい。
- ※以下の質問には、寮生の人だけ答えて下さい。
24. 寮生活全般に関して不安を感じていますか。
 (a) とても不安である(6.5) (b) 少し不安である(80.6) (c) あまり不安ではない(12.9) (d) 全く不安ではない(0)
25. 家族から離れて一人で生活するので寂しく思いませんか。
 (a) とても寂しい(0) (b) 少し寂しい(41.9) (c) あまり寂しくない(32.3) (d) 全く寂しくない(25.8)
26. 寮を出て自宅から通学したいですか。

- (a) 是非自宅通学したい(3.2) (b) 少し自宅通学したい(19.4) (c) あまり自宅通学したくない(51.6) (d) 全く自宅通学したくない(25.8)
27. 現在、あなたは寮生活に関して学生相談室で相談をしてみたいような事柄や悩みがありますか。
 (a)はい(6.5) (b)いいえ(93.5)
28. (27. で、「はい」と答えられた方へ) それはどのような事柄や悩みですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。
 (a) 一人暮らしについて(0) (b) 寮の施設・設備について(0) (c) 先輩との関係について(6.5) (d) その他(0)
29. 寮生活に関する質問や悩み、訴えたいこと、「今」何となく考えていることなど何でもかまいません。自由に書いて下さい。

3. アンケート結果に見られる主な特徴

平成15年度のアンケート結果を学科および年度で比較するため、学科ごとの平成13年度から15年度までの変化を表す。問い3：「あなたが徳山高専に進学を決定したのはいつですか。」について、中学3年と答えた割合がMEで73.2%、IEで64.3%、CAが62.2%であり、MEが昨年の57.1%に比べやや増加している。問い4：「徳山高専はあなたが第一に志望した学校ですか。」について、はいと答えた割合はMEが92.7%、IEが90.5%、CAが84.4%である。MEが昨年の97.6%に比べてやや減少しているが高い水準を維持している。IEは昨年の85.4%に比べやや増加している。CAは昨年の95.0%から大きく減少している。問い5：「あなたは徳山高専の本当に入りたかった学科に入れましたか。」について、いいえの割合がMEは4.9%、IEは0%、CAは8.9%である。問い6：「あなたが徳山高専に入学した動機は何ですか。」の回答候補ごとに、その項目が選択された場合を肯定、選択されなかった場合を否定としてその割合を示した。「いいところに就職できる。」を選択した割合は、MEが70.7%、IEが83.3%、CAが68.9%である。MEとIEでは肯定が年々増加しているが、CAはほぼ横ばいである。「経済的な理由」を選択した割合は、MEが14.6%、IEが14.3%、CAが8.9%である。肯定の割合はどの学科でも年々増加している。「先生や親にすすめられた」を選択した割合は、MEが34.1%、IEが35.7%、CAが17.8%

である。ME と IE は平成 14 年に落ち込み平成 15 年に戻っている。CA は年々減少している。「自由な校風だから」を選択した割合は ME が 46.3%、IE が 33.3%、CA が 37.8%であり、ME が昨年の 21.4%に比べて大きく増え、IE も昨年の 22.0%よりやや増えている。CA は昨年の 45.0%に比べやや減少しているが高い割合を維持している。「自分の志望に合っている」を選択した割合は ME が 58.5%、IE が 61.9%、CA が 53.3%である。ME は昨年の 71.4%より減少、IE は昨年の 63.4%とほぼ変わらず、CA は平成 13 年が 70.0%、昨年が 60.0%であり年々減少している。

「何となく」を選択した割合は ME が 4.9%、IE が 7.1%、CA が 2.2%である。3 年間を通して ME におけるその割合が低く、IE の割合がやや高い。問い 8 : 「あなたは徳山高専に入学できて満足していますか。」について、とても満足していると答えた割合は ME が 51.2%、IE が 57.1%、CA が 57.8%である。ME では昨年の 59.5%から減少、IE では昨年の 46.3%より増加、CA では昨年の 47.5%より増加している。問い 9 : 「あなたが徳山高専に入学した目的は何ですか。」の回答候補ごとに、その項目の選択された割合を問い 6 と同様示した。「専門的な学問・技術を身につけるため」を選択した割合は、ME が 92.7%、IE が 95.2%、CA が 68.9%であり、ME と IE が年々増加しているのに対して、CA は昨年の 80.0%から減少している。「教養を高め人間的に成長するため」を選択した割合は、ME が 17.1%、IE が 26.2%、CA が 40.0%である。ME は昨年の 31.0%より大きく減少、IE は昨年の 19.5%よりやや増加、CA は昨年の 25.0%より大きく増加している。「先生や友人と交流するため」を選択した割合は、ME が 4.9%、IE が 7.1%、CA が 11.1%である。3 年間を通して CA が比較的高い割合である。なお、昨年に比べ 3 学科とも減少している。「いいところに就職するため」を選択した割合は、ME が 61.0%、IE が 54.8%、CA が 57.8%であり、年度による変化は各科でほぼ横ばいである。「学生生活をエンジョイするため」を選択した割合は、ME が 34.1%、IE が 26.2%、CA が 42.2%である。3 年間を通して CA における割合が高い。また、ME と IE における割合も年々増加している。「専攻科や他の大学に進学するため」を選択した割合は、ME が 4.9%、IE が 28.6%、CA が 33.3%である。ME が昨年の 28.6%に比べ大きく減少する一方、IE は昨年の 12.2%から大きく増加、CA も昨年の 17.5%から増加している。「何とはなしに」を選択した割合は、ME が 4.9%、IE が 0%、CA が 2.2%

である。昨年度に比べ ME で増加、IE と CA で減少している。問い 10 : 「現在、あなたの勉強への意欲は次のどれですか。」について、あまりないと答えた割合は、ME が 4.9%、IE が 4.8%、CA が 8.9%である。昨年の ME は 11.9%、IE は 14.6%、CA は 27.5%であることから、3 学科とも大きく減少している。十分意欲があるも 3 学科とも増加している。問い 11 : 「あなたは徳山高専での勉強についていけるかどうか不安ですか。」について、とても不安と答えた割合は、ME が 31.7%、IE が 33.3%、CA が 35.6%である。CA では昨年の 62.5%に比べ大きく減少している。問い 12 : 「周りの新入生が自分より勉強面で優れているように思いますか。」について、強くそう思うと答えた割合は、ME で 41.5%、IE で 42.9%、CA で 48.9%である。昨年の ME は 33.3%、IE は 34.1%、CA は 32.5%であることから、3 学科とも増加する中で特に CA の増加が大きい。問い 13 : 「自分は徳山高専で友人ができないのではないかと心配ですか。」について、とても心配であると少し心配であるを足した割合が、ME で 51.3%、IE が 57.1%、CA が 31.1%であり、CA における割合が他学科に比べ小さい。問い 14 : 「あなたは徳山高専での学生生活がどのくらい楽しみですか。」について、とても楽しみであると答えた割合が、ME が 53.7%、IE が 45.2%、CA が 60.0%である。CA が昨年の 42.5%に比べ大きく増加している。問い 15 : 「あなたは自分が将来どんな職業につき、どんな人になりたいか、すでに心の中できめていますか。」について、はいと答えた割合は、ME が 43.9%、IE が 54.8%、CA が 62.2%である。3 年間を通して CA が高い割合を維持しており、IE も年々その割合が増加している。

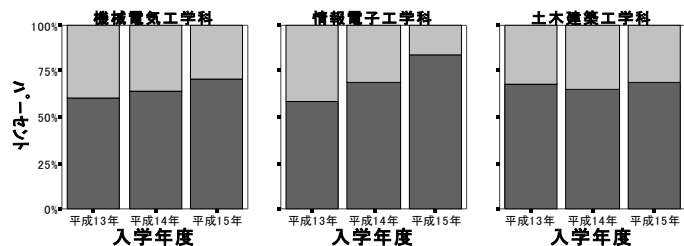
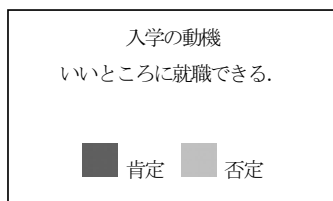
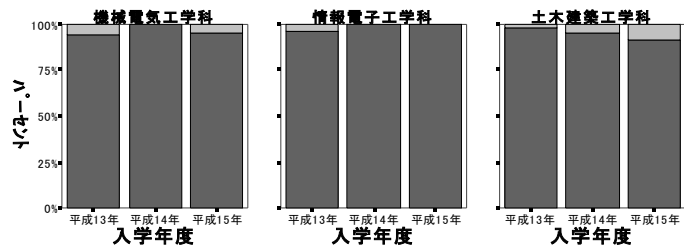
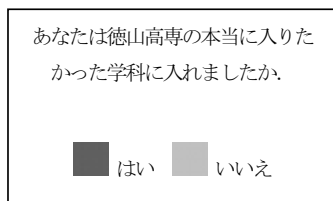
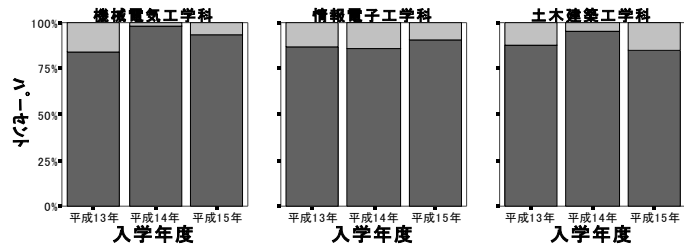
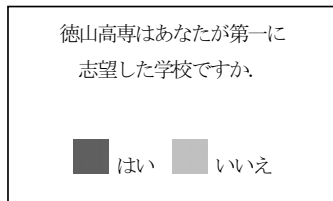
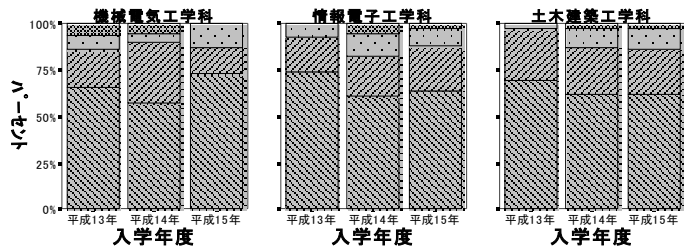
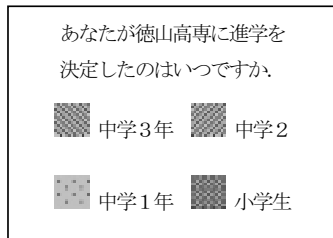
ME の新入生の特徴は、入学の目的として進学する割合が低く、専門的な学問・技術を学ぶためとする割合が高いことから、早く社会に出て実践的に活躍したいという意志のある者が多い。その反面、志望時期が中学 3 年生と答えた割合が高く、問い 22 の相談したい内容として「進学のこと」と回答した割合が 34.1%と意外に高いことから、まだこれからの自分の将来について確固たる自信が持てない者も多い可能性がある。また、志望動機として「自由な校風」を選択する割合が高い。実践的な教育と自由な校風にあこがれ志望している者が多い。

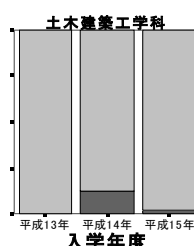
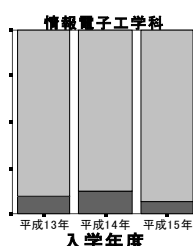
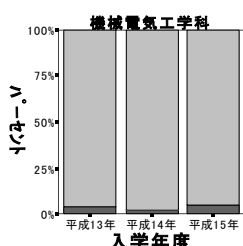
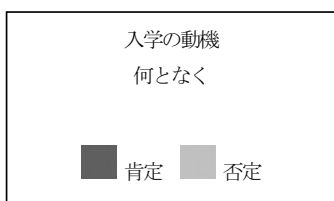
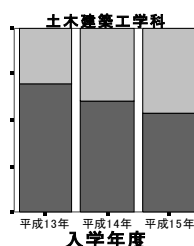
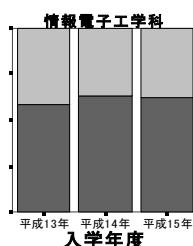
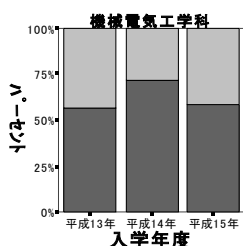
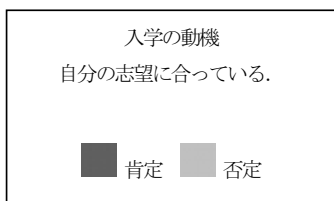
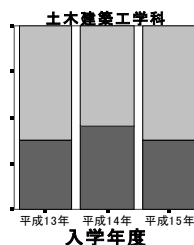
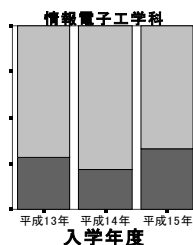
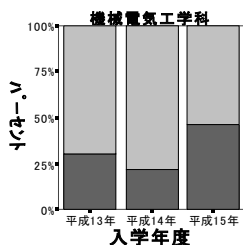
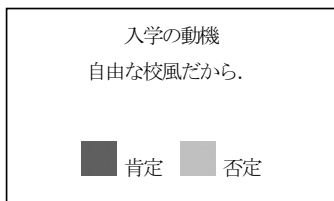
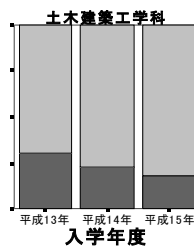
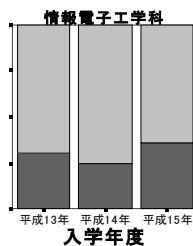
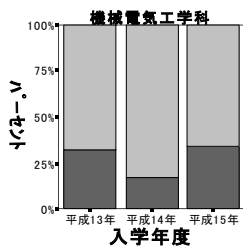
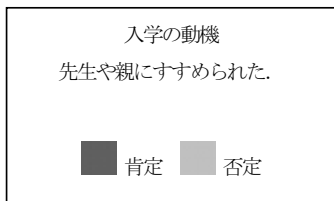
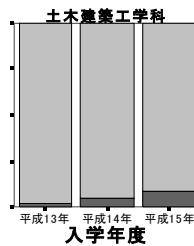
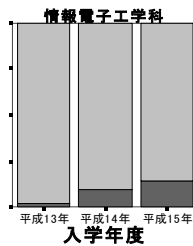
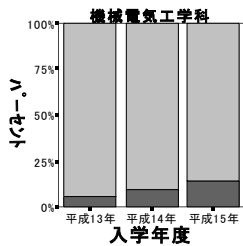
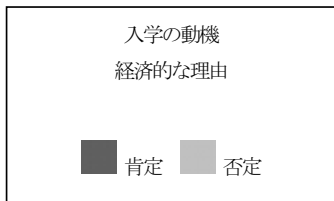
IE の新入生の特徴は、入学の目的として専門的な学問・技術を学ぶためとする割合が高く、自分の志望や将来を見据えた上で本校を志望している者が多

い。また、自由な校風を志望動機とし、学生生活を楽しみたいと望む者も年々増えてきている。

CAの新入生の特徴は、自分の将来像について早くから決めている割合は高いが、入学の動機として自分の志望に合っていると答える割合が年々減少してきている。また、入学の目的として専門的な学問・技術を学ぶためとする割合も減少し、逆に教養を高め人間的に成長したいという割合が高くなった。ま

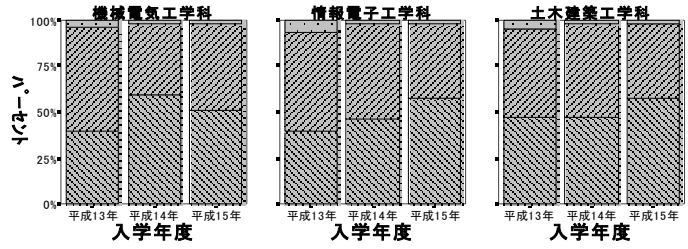
た、先生や友人と交流し学生生活を楽しまたいという意識は他学科に比べ高い。自分の将来の理想は早くから決めているが、そのために学ぶべき専門的な内容について具体的に思い描けない者が多いのではないかと思われる。学校や学科が第一志望ではない割合も少なからずいることから、目的を見出せずにいる者もいる可能性がある。





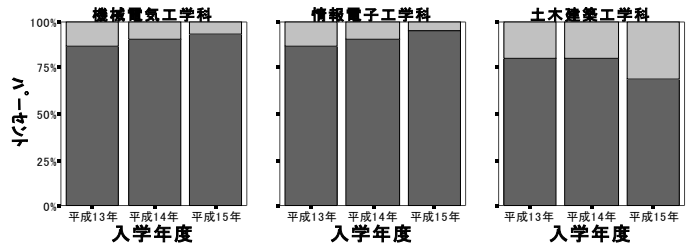
あなたは徳山高専に入学できて満足していますか。

とても満足している
 一応満足している
 あまり満足していない



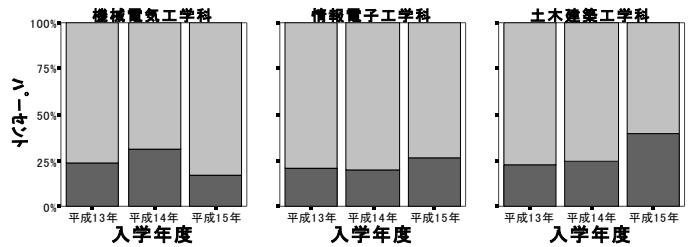
入学の目的
専門的な学問・技術を身につけるため。

肯定 否定



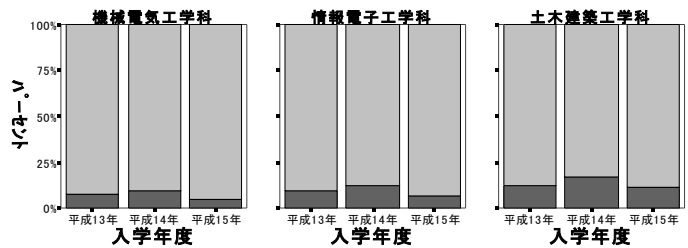
入学の目的
教養を高め人間的に成長するため。

肯定 否定



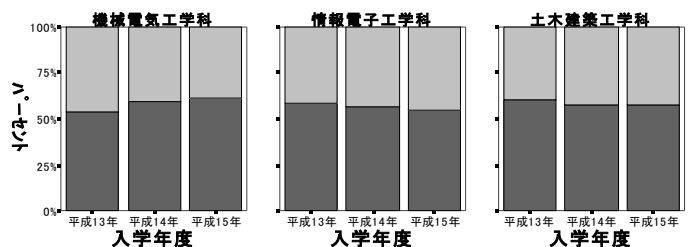
入学の目的
先生や友人と交流するため。

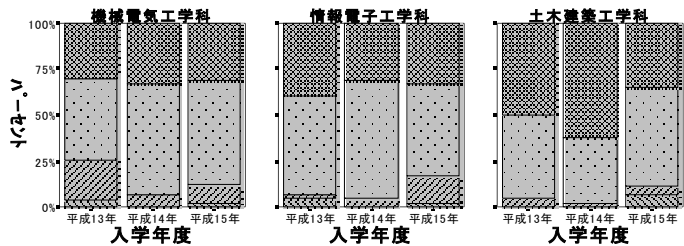
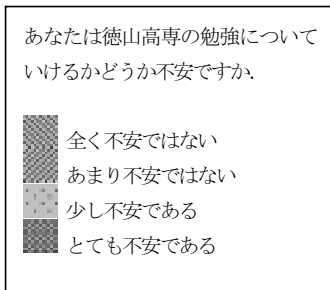
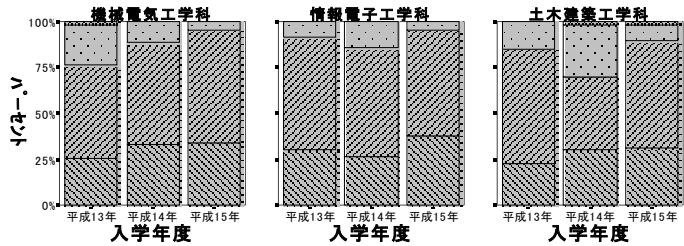
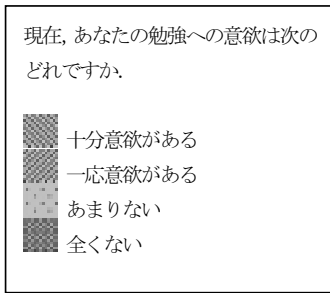
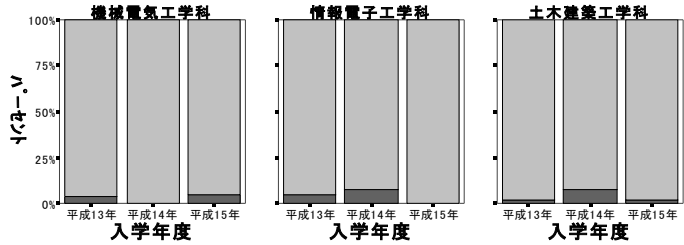
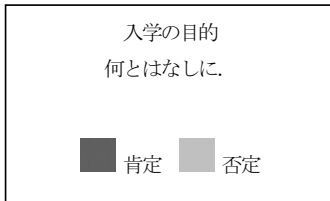
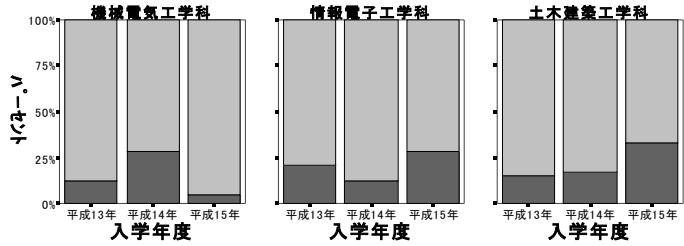
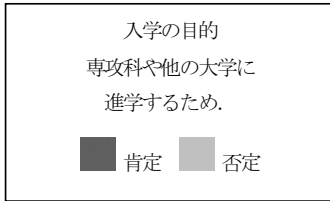
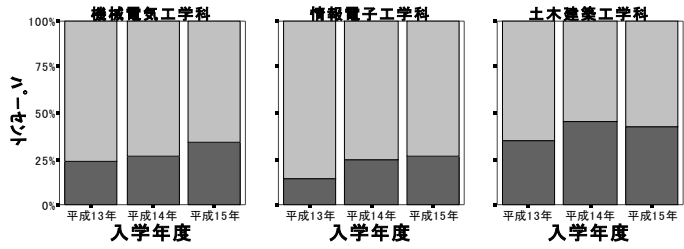
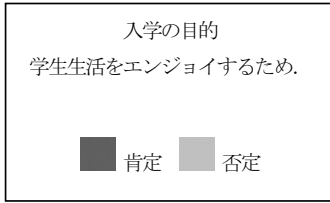
肯定 否定

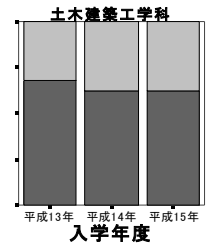
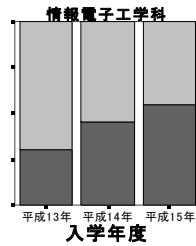
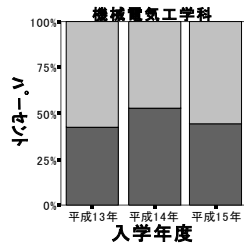
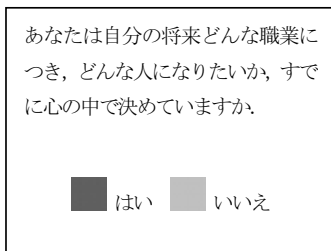
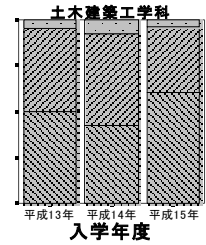
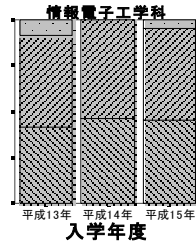
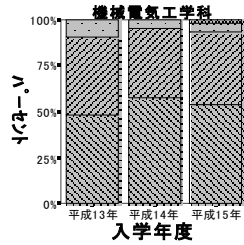
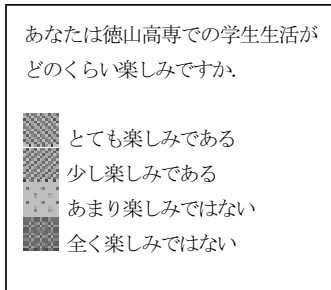
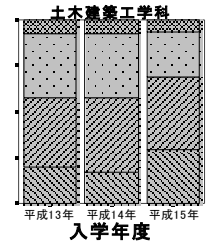
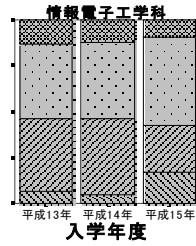
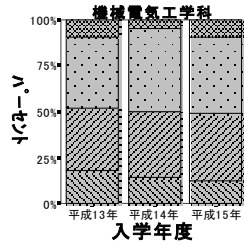
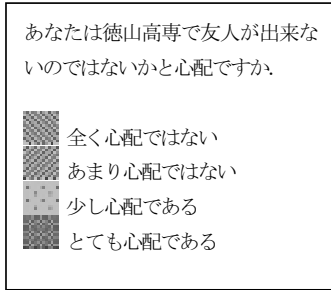
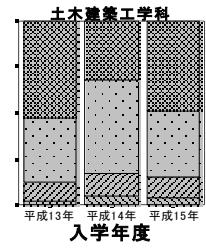
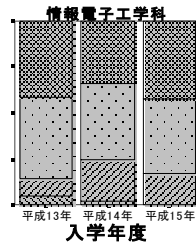
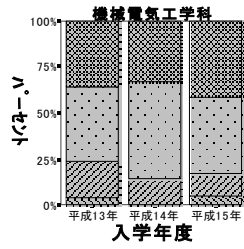
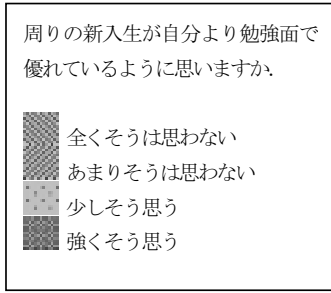


入学の目的
いいところに就職するため。

肯定 否定







4. まとめ

新入生の状況を知り、不適応要因を改善する目的で実施している新入生アンケートも、平成15年度で3回目を数える。

3年間のデータの蓄積により、各学科の特徴及び年度による傾向を明らかにすることができた。また3年間を比較することで、平成15年度新入生について特に注意すべき特徴を捉えることができ、このこ

とは今後の学生相談室における学生指導・援助の参考になると考えられる。

学生相談室では今後も新入生アンケートを継続して実施していき、この分析結果が特に各学科における学生サポートの一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 鳴澤:新入生の実態調査、東京都立大学学生相談

室レポート、9、PP. 6-42 (1980)

2) 国重、佐々木：新入生アンケートを活用した入学時適応援助の方策について、論文集「高専教育」、第25号、PP. 455-460 (2002)

3) 佐々木、国重：高専における学生相談の具体的活用策——心理検査を利用したキャリア・ガイダンスの試み——、論文集「高専教育」、第25号、PP. 461-466 (2002)

(平成15年9月5日受理)

情報処理センタープログラム相談員の業務報告システム

林嘉雄^{*1} 鳥居恵子^{*1} 新田貴之^{*2} 神田徳夫^{*2}

Job Reporting System for Assistant Students at the Information Processing Center

Yoshio HAYASHI^{*1}, Keiko TORII^{*1}, Takayuki NITTA^{*2} and Norio KODA^{*2}

Abstract

The personal computer rooms of the information processing center are available after school up to 7 pm. At that time zone, the assistant students are employed for some jobs such as the supervision of the PC rooms and the adviser of the PC operations of the users. After jobs, the assistant students must submit a job report to the technical staffs of the information processing center. So far, they composed the job reports by the papers. This paper-based reporting system has some disadvantages. Therefore, we developed the computer-based job reporting system using webs and databases. This paper describes the structure of this system and some results of the practical use of this system.

Key Words: Web, PHP, Database, PostgreSQL

1. まえがき

本校の情報処理センターでは、パソコン室を放課後16時から19時まで開放している。その間の学生に対する相談・補助として、プログラム相談員の学生を雇っている。勤務内容は、一般学生の質問・トラブルの対応やプリンタの管理、パソコン室の清掃、戸締りなどである。

昨年度までは、日誌を紙ベースで提出して、後日、管理者が日誌を確認するという形態をとっていた。そのため、相談員の業務報告の把握が十分でなかったり、相談員からの質問に対して対応が遅れる場合があった。また、勤務報告として人事係に提出する月毎の勤務時間/利用統計は手計算で行っていた。

これらの問題点を改善するために、Webとデータベースを用いたプログラム相談員の業務報告の電算化を行った。必要とされる情報の収集・公開をリアルタイム

で提供できるように自動化した。これにより、プログラム相談員の業務報告のペーパーレス化と情報処理センターの業務簡素化を達成できた。

本稿では、システムの目的、構成、および、その運用状況について述べる。

2. 目的

従来、プログラム相談員の業務報告は、紙ベースの日誌に記入して提出し、後日、管理者が確認する形態であった。人事係に提出する勤務時間などの勤務報告も手計算で行っていた。また、相談員の活動内容などが学内へ周知されていなかった。これらの問題点を改善するために、以下の4点を目的として電算化を行った。

- A) 日誌のペーパーレス化
- B) パソコン室の利用状況の把握

^{*1} 教育研究支援センター 第三技術室

^{*2} 情報電子工学科

- C) 種々の情報集計の自動化
- D) パソコン室状況と業務報告のWeb公開

3. 構成

図1にシステムの全体構成図を示す。本システムは、既存のWebサーバ (Apache¹⁾) としても機能しているメールサーバ (FreeBSD) 上に構築した。PHP²⁾ と PostgreSQL³⁾ を用いて、学内 LAN に接続された PC から Web を通して自由にアクセスできるシステムにした。また、アクセスに利用者制限を付加したいページには、メールサーバのアカウント情報を利用して、ユーザ名とパスワード認証により限られたユーザのみがアクセスできるようにした。

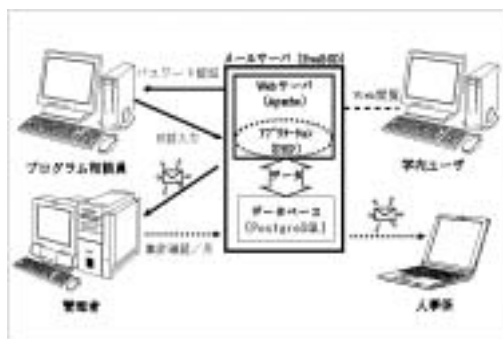


図1 構成図

3-1. データベースの設計

データベースの構成を下記に示す。

- ◆ 日誌テーブル (入力年月日, ユーザ ID 1, ユーザ ID 2, 利用者数, 質問者数, 第1パソコン室利用状況, 第2パソコン室利用状況, プリンタ状況, 電灯・ゴミ状況, 当番から管理者へのメッセージ)
日誌テーブルは、提出された業務内容の基本データを格納する。
- ◆ 名前テーブル (ユーザ ID, E-MAIL, 姓, 名, 所属)
名前テーブルは、教職員と学生の全てのユーザデータが納められている。
- ◆ 相談員テーブル (ユーザ ID, E-MAIL, 学科)
相談員テーブルは、現在のプログラム相談員のユーザ情報を格納する。
- ◆ 質問/対応テーブル (年月日, ユーザ ID, 質問, 対応)
質問/対応テーブルは、学生からの質問と、その対応データを格納する。
- ◆ 連絡テーブル (年月日, ユーザ ID, 連絡内容)
連絡テーブルは、相談員へのメッセージデータを格納する。

3-2. アプリケーション

以下に、各ユーザがアクセスするフォームごとに詳しく説明する。また、図2に処理の流れを示す。

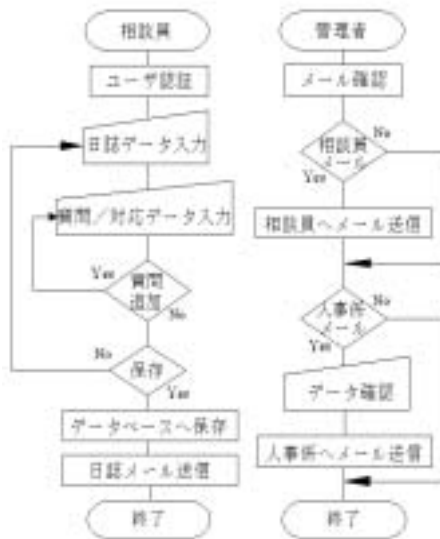


図2 処理の流れ図

1) 相談員専用

相談員専用のフォームは、相談員テーブルに登録されているユーザのみがアクセスできる。

◆ 日誌入力フォーム

日誌入力フォームを図3に示す。勤務開始時にユーザ ID とパスワードでユーザ認証を行い、日誌テーブルに当番 ID を格納し、情報処理センターのホームページに当日の当番名を表示させる。下記にフォームの入力項目を挙げる。

入力項目

- 名前 (自動登録: フォームアクセス時に登録)
- 日時 (自動登録)
- 勤務時間 (選択式)
- 利用者人数
- 質問者数 (自動登録: 質問/対応データ数)
- 第1パソコン室利用状況
- 第2パソコン室利用状況
- プリンタの状態
- プリンタ用紙補充状況 (選択式)
- 電灯・ゴミ箱の確認 (選択式)
- センター係員へのメッセージ

業務終了時に全ての日誌項目に記入し、保存ボタンをクリックすることで、データベースにデータを格納すると同時に、図4のように自動で管理者宛、全相談員にメール送信する。



図3 日誌入力フォーム



図4 日誌メール

◆ 質問/対応入力フォーム

図5のように、学生からの質問内容と、その対応内容を記入する。随時、記入可能であり、管理者も記入できる。また、登録されたデータは表に反映される。相談員が記入したデータ内容は、「日誌入力フォーム」で、送信されるメールに追加して送信する。



図5 質問/対応入力フォーム

2) 学内公開用

学内公開用のフォームは、ユーザ認証なしで学内の全てのユーザがアクセスすることができ、情報処理センターのホームページからアクセスできる。

◆ 日誌データ/日フォーム

参照したい日誌データを、年月日を記入し送信することで、参照したい日誌データを図3と同じフォーマットで閲覧できる。

◆ 月毎の集計フォーム

年月で検索し、図6のように月毎に、日時、当番、勤務時間、利用者数、質問者数の一覧表と各相談員の勤務時間表を自動集計し、閲覧できる。

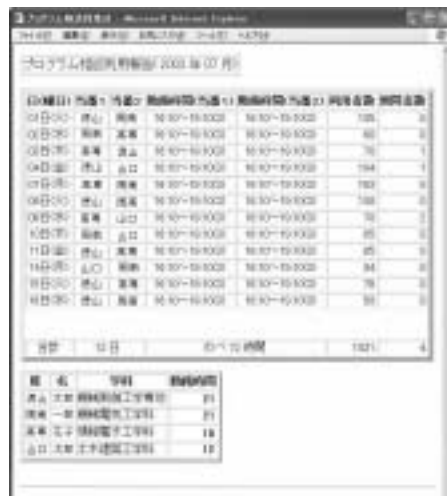


図6 月毎の集計フォーム

◆ 質問内容/対応フォーム

「質問/対応入力フォーム」で登録されたデータの質問日時、質問/対応内容の最新200件が一覧表として閲覧できる。

3) 管理者専用

管理者専用のフォームにアクセスするには、管理者のユーザ名とパスワードでのユーザ認証が必要である。

◆ 相談員登録/削除フォーム

図7のように、メールアカウントの入力のみで、新規登録や削除をすることができる。ここで、登録されたユーザのみが、「日誌入力フォーム」と「質問/対応入力フォーム」にアクセスできる。



図7 相談員登録フォーム

◆ 人事係宛のメール送信フォーム

月替わりに管理者が、「月毎の集計フォーム」のデータと出勤簿等を再度確認し、フォーム上の送信をクリックすることで、図8の集計完了通知のように、その旨を人事係へメールで通知する。



図 8 集計完了通知

◆ 相談員宛のメール送信フォーム

図9のように相談員宛のメールをフォーム上から、勤務日ごとの相談員や全相談員にメール送信できる。また、ここで送信された内容は無条件で管理者にも送信される。



図9 相談員宛のメール送信フォーム

4) 人事係専用

◆ 人事係専用フォーム

勤務報告/月の一覧表(今月分・先月分)のExcelファイル出力と、それを簡単に出力するための説明が表示してある。クライアントPCに、MicrosoftのInternet ExplorerとExcelがインストールされていれば、サーバ上に置いてあるExcelファイル内の機能「Web クエリ」を使用することにより、最新のデータを自動更新して簡単に出力できる。

4. 運用状況

運用開始から、まだ半年であるが、電算化を行ったことによる利点と問題点を以下に示す。

利点

◆ ペーパーレス化

日誌をWebから入力して、データベースに格納することで、紙を使用することがないシステムとなった。

◆ パソコン室の利用状況の把握

日誌内容をメールすることにより、管理者はパソコン室の迅速な状況把握ができるようになった。また、相談員の仕事に対する姿勢も向上した。

◆ 勤務時間集計の自動化

月毎の勤務時間/利用者の集計も自動化することで計算間違いや煩雑さ、紙や時間の無駄がなくなった。

◆ 利用状況の公開

情報をセンターホームページに公開することで、パソコン室の利用状況や相談員の活動が、学内の方へ周知できるようになった。

問題点

◆ 日誌データの不統一

日誌データは、入力する相談員の個人差があるので、相談員の意見も取り入れ、日誌入力内容を統一する必要がある。

◆ データベースの設計

日誌入力項目を工夫し、データの有効活用が行えるよう、再度、データベースの設計を見直す必要があると考えられる。

◆ Web公開の内容

管理側として、情報提供内容を検討して、公開しているが、実際に有益な情報なのか疑問が残る。

5. まとめ

本稿では、プログラム相談員の勤務報告の電算化を行った。運用開始からまだ半年であるが、電算化の目的として挙げた4点は、ほぼ満たされ、情報処理センターの簡易な事務処理を自動化することで、必要とする情報を必要な時に取得でき、ペーパーレス化と業務簡素化が実現できたと考えられる。

今後、管理者側だけの意見だけではなく、実際に使用する相談員や教職員、一般学生の意見を取り入れて、改善していく必要があると考えられる。

文献

- 1) <http://www.apache.or.jp/>
- 2) <http://www.php.gr.jp/>
- 3) <http://www.postgresql.jp/>
- 4) 重村, 林, 鳥居, 神田, 馬渡, 河村: proxy 認証を用いたインターネット有害情報へのアクセス制限, 高専教育, 第23号, pp. 393-398(2000)
- 5) 鳥居, 神田, 重村, 林: IPアドレスに基づいた端末監視システムの開発とその運用, 高専教育, 第26号, pp. 657-662(2003) (2003.9.5 受理)

リアルタイム Linux を利用した振動モータの 遠隔制御システム

福本 隆浩 *¹ 山田 健仁 *² 百田 正広 *²

A Remote Control System of Vibration Motors using Real-Time Linux

Takahiro FUKUMOTO, Takehito YAMADA and Masahiro MOMOTA

Abstract

Synchronous control of vibration motors has been realized using a microcomputer (PC) with a real time operating system (RT-Linux). The vibration motors are AC motors with centrifugal weights, and consist of two axes. Vector inverters drive the vibration motors. Based on the digital PID control theory, the PC calculates the velocity reference value for control of the vector inverters. Moreover, various motor control states were realized by adding vibration mode (maximum, middle, zero and backward direction rotation). Use of AT compatible small-sized single board microcomputer achieved a miniaturization and rich functions of the PC system. The real time processing of digital control attained in the function of the RT-Linux. The RT-Linux is extended the function of the Linux operating system, so the RT-Linux could realize a remote control by using the network function in the Linux. In this research, communication control between two personal computers connected to LAN and Ethernet was realized. By using RT-Linux for one personal computer, remote control with the real-time operation became possible. The UNIX network socket on Linux is used for the communication control, and TCP/IP is used as the communication protocol.

Key Words : Synchronous Control, PID Control, Vibration Motor, Real-Time Linux, Network Socket, TCP/IP

1. まえがき

遠心重式振動機（以下振動モータ）は、一般的に生産現場の加振手段として使用されている。振動モータは振動数が高く、間欠運転に適している。また、設置や取り扱いが容易で、加振力調整が可能であるという特徴を持っている¹⁾。

実験対象の振動モータは2軸で構成されているもので、ACモータを2個用いることによって様々な振動を発生させることができる。しかし、2個のモータの各軸

の位相制御が適切でないと所望の振動を得ることはできない。

この制御をコンピュータによるデジタル制御で実現するが、最近では汎用のコンピュータシステムにフリーソフトのリアルタイム OS を利用した高精度なコンピュータによる機器制御が実用的になってきている。リアルタイム OS とは、処理をリアルタイムに実現することを重視し、そのための機能を実装した OS のことである。この機能を備えたものが Real Time Linux（以下 RT-Linux）である。

*¹ 情報電子工学専攻

*² 情報電子工学科

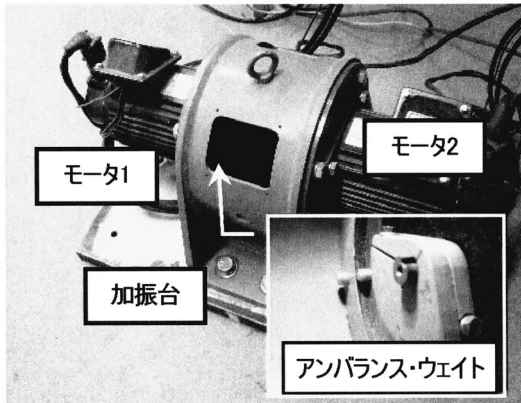


図1 振動用モータによる機構部の構成

逆方向回転			同方向回転		
アンバランスウェイトの位	振動モード	方向性	アンバランスウェイトの位	振動モード	方向性
		上下			最大
		右上			中間
		水平			ゼロ
		左下			中間

図2 アンバランス・ウェイトの位置関係による振動モード

過去の研究において、ワンボードマイコン (PC) と RT-Linux を利用して 2 軸モータの基本的な同期制御を実現した (詳細については参考文献 1 を参照)。今回はさらに振動モードを追加することにより多様性のある 2 軸モータの同期制御システムを実現する。さらに Linux 上の UNIX ネットワークソケットを利用しコマンド入力によるサーバ、クライアント型の遠隔制御を実現する。

2. 振動モータの遠隔制御システム構成

2.1 振動モータの機構部の構成

図 1 に機構部の構成を示す。遠心重式の振動モータでは、モータの軸部にアンバランス・ウェイトを取り付ける。モータを 2 個用いれば、アンバランス・ウェイトの位置関係や回転方向によって任意の振動を作り出すことができる。図 2 にモータの回転方向や各軸に取り付けられたアンバランス・ウェイトの位置関係によって任意の振動が発生する状態を示す。

表 1 制御対象, 遠隔制御コンピュータ仕様

制御対象側 PC (AT 互換機)	CPU : Cyrix Media GXtm 400MHz
	OS : Silicon-Linux Version 2.2.16
遠隔制御側 PC (AT 互換機)	CPU : AMD-K6 3D processor 233MHz
	OS : Redhat Linux Version 2.2.12
ネットワーク (イーサネット)	徳山高専学内 LAN 通信速度 : 10 [Mbps]

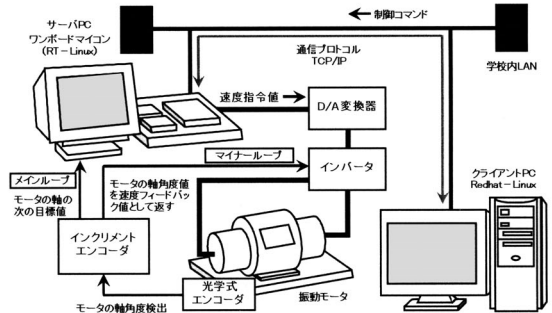


図3 2軸モータ遠隔制御システム構成

同期運転には比例要素 (P要素) と積分要素 (I要素) を備えたPI制御を用いる。また、速度フィードバック制御をかけることで、モータの一定回転速度 (安定状態) を保つようにしている。

2.2 システム構成

本研究で用いる制御対象側コンピュータと遠隔制御側コンピュータの仕様を表 1 に示す。また、2 軸モータ遠隔制御システム構成を図 3 に示す。インバータはモータの軸に取り付けられた光学式エンコーダからの回転パルスを基に速度フィードバックをかけて制御系の安定化をはかっている。このループをマイナーループとし、メインループはPCのデジタル制御で実現する。メインループは光学式エンコーダからの回転パルスをインクリメントエンコーダで受けて、サンプリング時間毎にその値を読み取り、モータの軸角度 (位置) の検出を行う。そして目標値 (位置指令値) と軸角度の偏差を求め、偏差から目標速度を演算して D/A 変換器でアナログ信号にした後、インバータに速度指令値として与える。

また、イーサネットで繋がった LAN 上の 2 台の PC 間で通信を行う。これには Linux 上の UNIX ネットワークソケットを利用し、通信プロトコルとして TCP/IP を使用している。クライアント側からコマンドを入力し、サーバ側でコマンドを受け取り、コマンドに応じて 2 軸モータの運転・停止・実験結果の表示などを行っている。

3. RT-Linuxによる実装

本研究では、モータの2軸同期制御システムをPI制御器によるデジタル制御器で実現する。また、そのデジタル制御器をプログラムに組み込む際にリアルタイム処理を備えているRT-Linuxを使用した²⁾。

3.1 RT-Linuxの特徴

RT-Linuxはフリーソフトウェアである。LinuxにRT-Linuxをインストールすることで、リアルタイム処理用のシステムが実現できる。LinuxとRT-Linuxのデータ処理の流れは、図4のような形になる。図中の点線で囲まれた部分がRT-Linuxで拡張される部分である。ハードウェアからの割り込みをRT-Linuxのリアルタイムカーネルで受け付け、Linuxまたはリアルタイムタスクに処理を渡す。リアルタイムタスクとLinuxのプロセス間の情報交換機能としてリアルタイムFIFO (First-In-First-Out) が設けられている。

この機能を用いれば、例えばリアルタイム性の必要な処理のみをRT-Linuxのリアルタイムプログラムとして動作させ、リアルタイム性の必要がない処理をLinux上で構成することによって、リアルタイムに処理しているデータをLANに流すようなシステムを作ることができる。

3.2 リアルタイムプログラム

過去の研究では、図2に示す振動モードにおける同方向回転における方向性最大についてのみ実現した。今回はさらに同方向回転における方向性中間、ゼロ、逆方向回転における振動モードの追加を行った。

2軸モータ制御プログラムのフローチャートを図5に示す。全体的な流れは各振動モードで同じである。しかし、振動モードで各モータの位相差や回転方向が異なるために、軸角度や速度調整が困難になる。そこでプログラム上では各モードに回転方向、振動モードのフラグを設け、そのフラグの値によってエンコーダの判定基準値やモータの制御方法などを設定・変更するようにした。

例えば、同方向回転における方向性最大の同期制御では、それぞれのモータのエンコーダの値（以下パルス数）の差の判定基準値を0として判定を行っている。それに対して同方向回転における方向性ゼロについては、それぞれのモータの位相差を180度に保ちながら一定速度回転を行わなければならない。そこでモータ1回転（360度、1000パルス）に対し、パルス数の判定基準値を500にすることで、各モータの位相差を180度に保ち

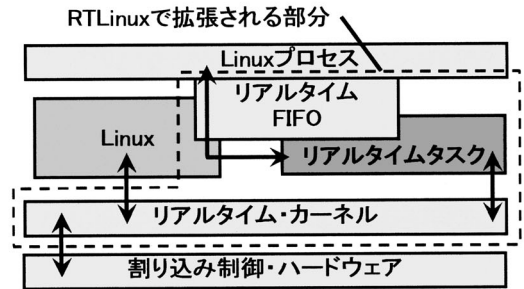


図4 RT-Linuxデータ処理フロー

ながら一定速度回転を実現することができる。

逆方向回転に関しては、片方のモータを逆回転するために位相差は0～180度の範囲で変化する。その際にパルス数の差が500を超えてしまう場合が考えられ、モータが誤動作を起こしてしまう（パルス数の差が500パルス以内の場合は同方向回転の場合と同様）。それを改善するために、パルス数の差が500を超えた場合は最大パルス数（1000）を基準に以下のような処理を行い、判定パルス数を求めた。

- ① モータ1のパルス数 > モータ2のパルス数
判定基準パルス数 = | 1000 - モータ1のパルス数 + モータ2のパルス数 |
- ② モータ2のパルス数 > モータ1のパルス数
判定基準パルス数 = | 1000 - モータ2のパルス数 + モータ1のパルス数 |

ここで、| | は絶対値を示す。

このような方法により振動モードを変更した場合でも誤動作をすることなくそれぞれの振動モードを実現することができた。

4. 実験

実験では、デジタル制御器におけるサンプリング周波数1kHz（サンプリング周期1ms）、目標回転速度420rpmで、2軸同期制御実験を行った。現在のパルス数と過去（1つ前）のパルス数と目標位置から偏差を求める。この偏差よりPI制御演算を行う。これで求めた値を速度指令値に変換し、D/A変換器に送る。この間にパルス数を測定しておき、制御実験後FIFOを介してLinux側へ観測データを転送し、実験値を評価する。評価としてそれぞれのパルス数の差から位相差を求め、各振動モードが実現できているかどうかについて検討した。また、振動モードについては同方向回転における振動モード最大に加え、同方向回転における振動モード中間、ゼロ、逆方向回転について実験を行った。

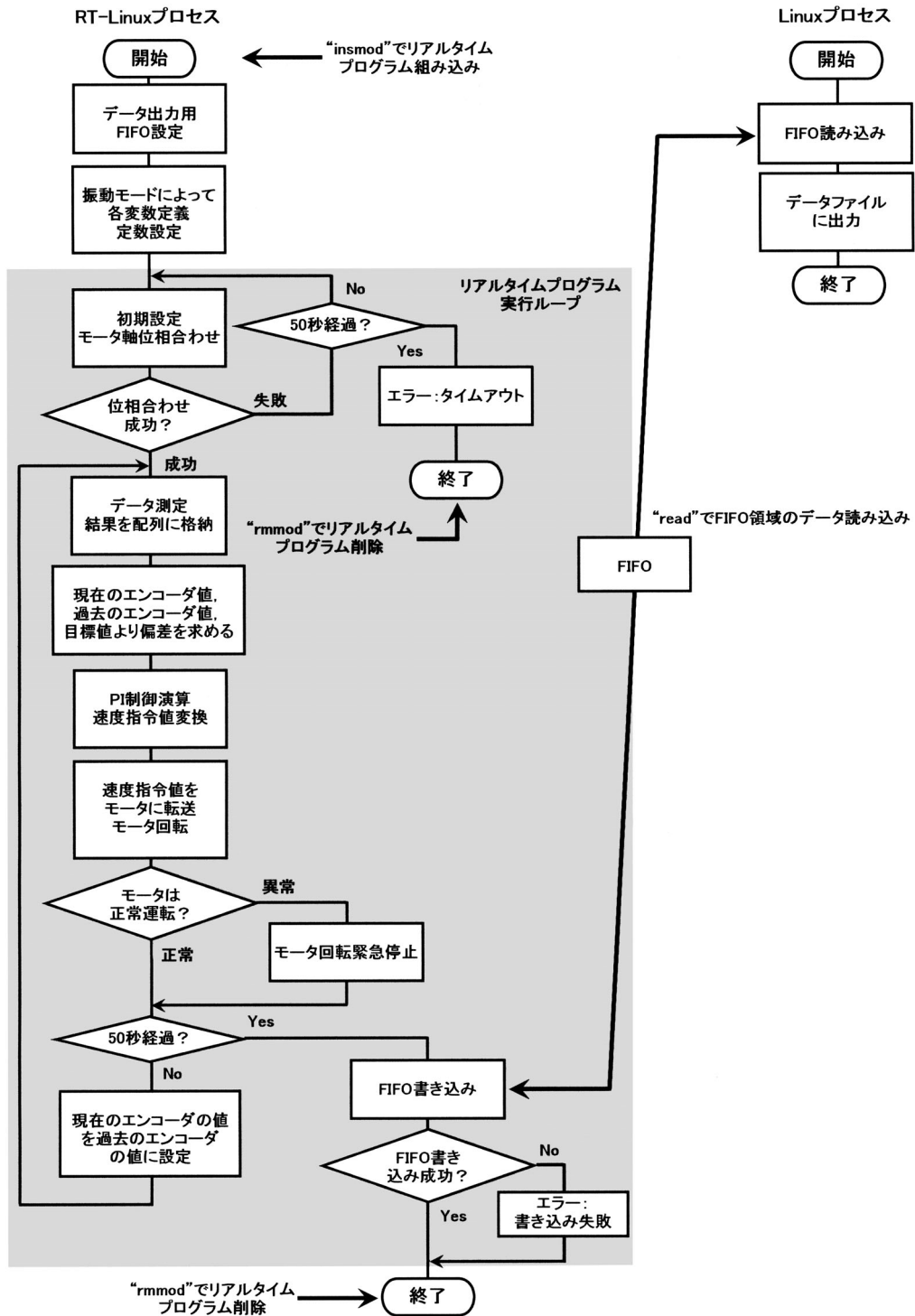


図5 2軸モータ制御プログラムのフローチャート

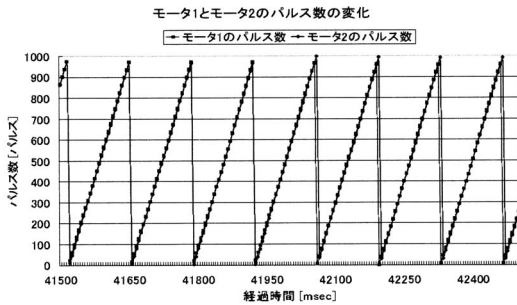


図6 振動モードが最大のときの2軸同期制御後の各モータのパルス数の変化

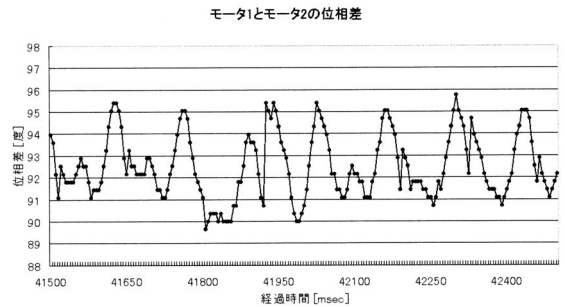


図9 振動モードが中間のときの2軸同期制御後のモータ間の位相差

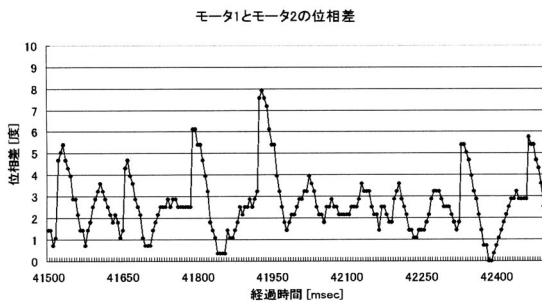


図7 振動モードが最大のときの2軸同期制御後のモータ間の位相差

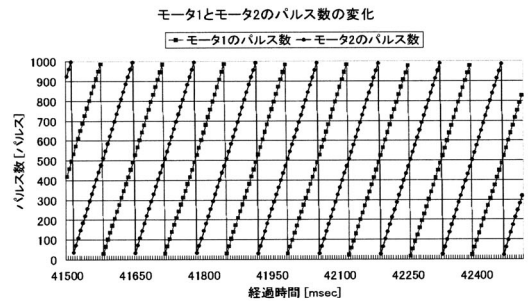


図10 振動モードがゼロのときの2軸同期制御後の各モータのパルス数の変化

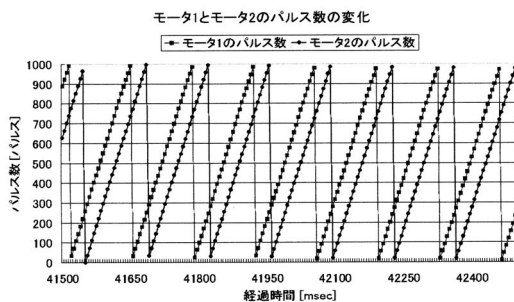


図8 振動モードが中間のときの2軸同期制御後の各モータのパルス数の変化

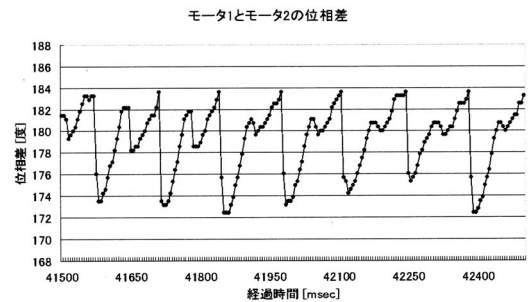


図11 振動モードがゼロのときの2軸同期制御後のモータ間の位相差

4.1 同方向回転による2軸同期実験

2軸での同期制御を行うには、2つのモータの位相を合わせなければならない。そのために、最初に低速回転で2つのモータ軸の角度合わせ（位相合わせ）を行い、それから2軸同期制御を行うという手法を採った。各モータのパルス数の差が5パルス以内になるまで低速回転から位相を合わせ、その後、モータの目標速度まで回転速度を上げる。振動モード最大、中間、ゼロについての実験を行った。

振動モード最大のときの同期を取った後の結果につ

いて、図6、7に示す。図6は2軸同期後の各モータのパルス数の変化である。これを見るとそれぞれのモータのパルス数がほぼ一致していることから同期が取れていることが分かる。図7は、2軸同期後の各モータ間の位相差（軸角度のずれ）である。最大で約8度の位相誤差が生じているが、ほぼ同期を取って回転していることが分かる。

振動モード中間における同期を取った後の結果を図8,9に示す。図8は経過時間に伴う各モータのパルス数の変化である。先ほどの振動モード最大のときに比べる

と経過時間とともにそれぞれのパルス数の変化に一定の差が出ていることが分かる。これを元にそれぞれのパルス数の差を求め、位相差がどの程度出ているかを検討した結果が図9である。振動モード中間においては、位相差が90度であれば同期が取れていることになる。これより最大で約6度の位相誤差が生じているが、ほぼ90度の位相差を保って回転していることが分かる。

振動モードゼロにおける同期を取った後の結果を図10,11に示す。図10は各モータのパルス数の変化である。先ほどの振動モード最大のときと比べると経過時間とともにそれぞれのモータのパルス数の間に差が出ていることが分かる。これを元に位相差がどの程度出ているかを検討した結果が図11である。振動モードゼロにおいては、位相差が180度であれば同期が取れていることになる。これより最大で約8度の位相誤差が生じているが、ほぼ180度の位相差を保って回転していることが分かる。それぞれの振動モードにおける位相誤差の主な原因として、光学式エンコーダのスリット精度の問題が考えられる。

4.2 逆方向回転による2軸同期実験

一方のモータを逆方向回転させた場合の同期実験について検討する。これについても、同方向回転と同様に最初に低速度回転で2つのモータ軸の角度合わせ（位相合わせ）を行い、それから2軸同期制御を行う。

同期を取った後の結果を図12, 13に示す。図12は2軸同期後の各モータのエンコーダの値である。一方（モータ1）を逆方向回転しているため、モータ1のパルス数の変化は減少する方向になっている。これを見ると経過時間によるそれぞれのエンコーダの値に差が出ていることが分かる。図13はそれぞれのパルス数の差から位相差を求めた結果である。これを見ると一定の周期を保って位相差が0～180度変化していることが分かる。同方向回転のときと違って位相差は周期的に変化している。これより同期がとれていることが分かる。

5. 遠隔制御システム

本研究では、イーサネットに繋がったLAN上の2台のPC間での通信により遠隔制御を実現する。そのためにLinux上のUNIXネットワークソケットを利用し、通信プロトコルとしてTCP/IPを使用した。クライアント側（遠隔制御側PC）、サーバ側（制御対象側PC）のプログラムのフローチャートを図14に示す。また、図15にサーバ側とクライアント側の通信状況を示す。この図はサーバ側プログラム起動後、クライアント側プログラム

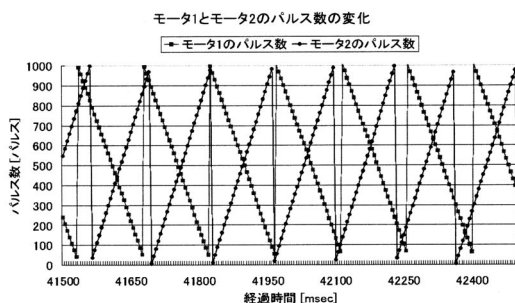


図12 逆方向回転2軸同期制御後の各モータのパルス数の変化

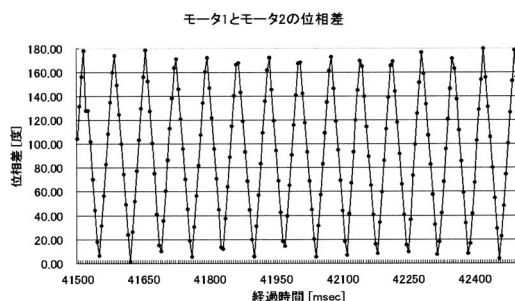


図13 逆方向回転2軸同期制御後のモータ間の位相差

を起動し、“start 1,420”, “quit”と入力した場合のデータの流れを図示したものである。図15の番号は図14のフローチャートのどの処理をしているかを表している。

サーバ側では、`socket()`と`bind()`、`listen()`を実行するとコネクションを受け付けられるようになる。クライアント側が`socket()`、`connect()`を実行すると、コネクション確立のためのSYNセグメントが送信される。コネクション確立後、サーバ側で`accept()`が実行されると、コネクションを利用してホスト間で通信ができるようになり、サーバ側からコマンド入力促進用のプロンプトが送られてくる。クライアントは、受け取ったメッセージを画面に表示する。クライアント側の処理は、`select()`によるイベントドリブン型の処理になる。キー入力やメッセージの受信がなければ何も処理しない。

クライアント側でキーボードからの入力があると、そのメッセージがそのままサーバ側に送信される。サーバはメッセージを受信すると、それを解釈してそれに対応したコマンドを実行する。そして、コマンドの処理結果をクライアントに転送する。このコマンド処理は短時間で終わるために、通常はメッセージの送信と前のパケットの確認応答が1つのTCPセグメントで

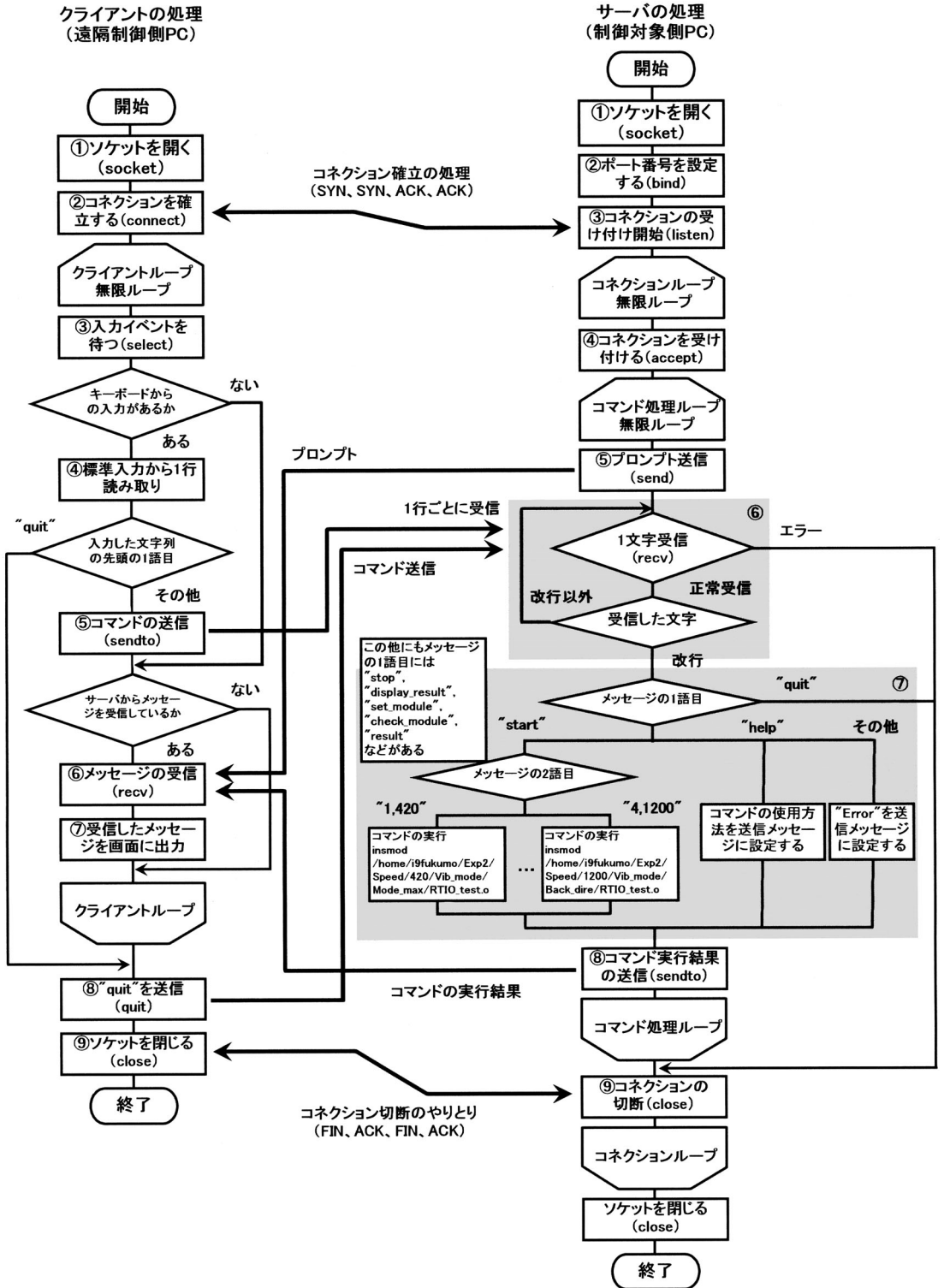


図 14 クライアント側、サーバ側のプログラムのフローチャート

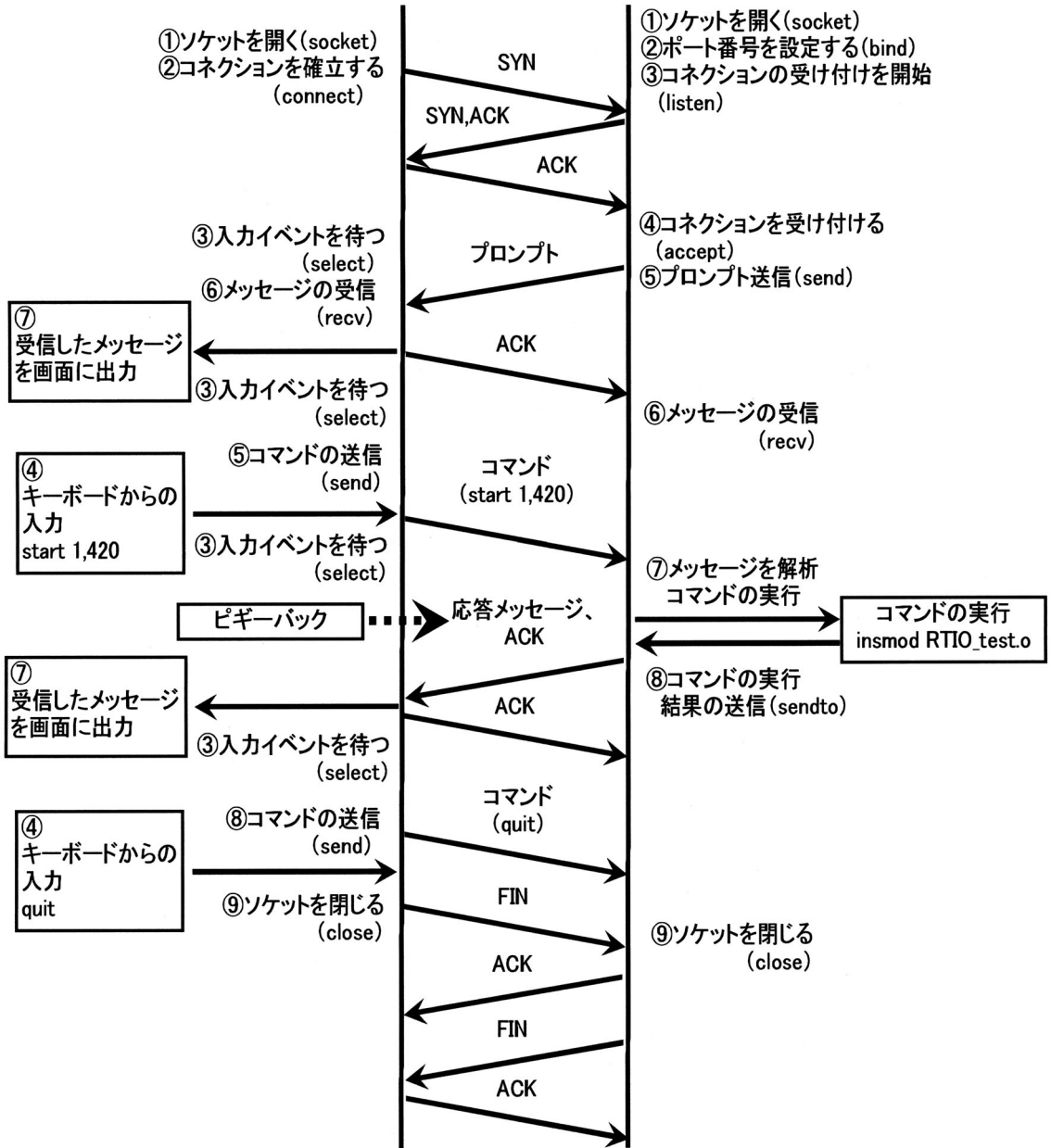
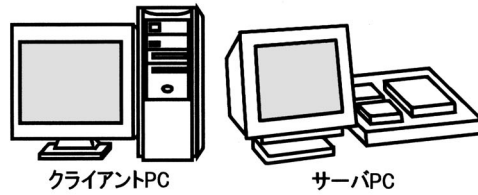


図 15 サーバ側とクライアント側の通信状況

表 2 使用できるコマンド一覧

コマンド	コマンドの意味
set_module	必要なモジュールの組み込み.
start 振動モード, 回転速度	振動モード, 回転速度を指定したモータ制御プログラムを実行. 振動モード: 1 (最大) 2 (中間) 3 (ゼロ) 4 (逆方向回転) 回転速度: 420, 720, 1200 [rpm]
stop	モータ制御プログラムモジュール削除 (モータ停止).
check_module	モータ制御プログラムなどの組み込まれているモジュールの確認.
result	モータ制御プログラムでの結果をサーバ側のファイルに出力.
display_result	実験結果ファイルを表示.
help	使用できるコマンドの表示.
quit	通信の終了.

行われる。これをビギーバックと呼ぶ。

モータを運転させる場合は、クライアント側から“start 1,420”というコマンドをサーバ側へ送信する。サーバ側がそのコマンドを受信すると、振動モード“1” (最大)、回転数 420rpm のモータ制御プログラム (リアルタイムプログラム) のモジュールを組み込み実行する (モジュール組み込みコマンド: “insmod RTIO_test.o”)。実現した振動モードは、同方向回転における最大、中間、ゼロ、逆方向回転の 4 種類である。回転速度については、420rpm, 720rpm, 1200rpm の 3 種類である。それぞれの振動モード、回転速度が設定されたモータ制御プログラムが別々のディレクトリに格納されており、コマンドによって専用のプログラムを実行するようにしている。

モータを停止させる場合は、クライアント側から“stop”というコマンドをサーバ側へ送信する。サーバ側がそのコマンドを受信すると、組み込んだモータ制御プログラムのモジュールを削除し、モータを停止する (モジュール削除コマンド: “rmmod RTIO_test”)。このようにサーバ側 (RT-Linux 側) では、モジュールの組み込みと削除によってモータの運転、停止を行っている。これによって、振動モードや回転速度の変更がそれぞれのモータ制御プログラムのモジュールの組み込

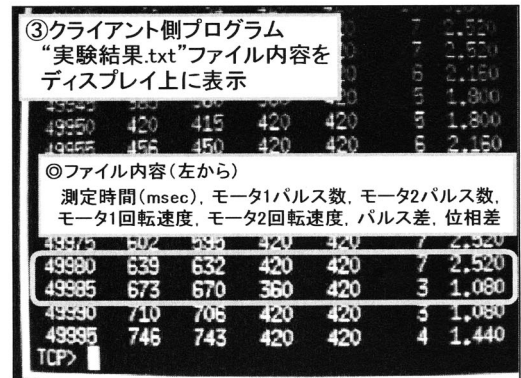
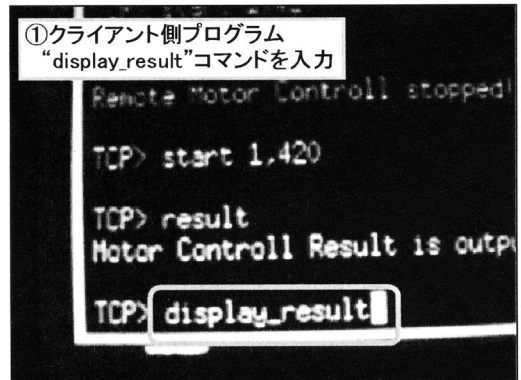


図 16 クライアント側プログラム実行画面

み、削除で容易に行うことができる。遠隔制御で使用できるコマンド一覧を表 2 に示す。

クライアント側で“quit”と入力すると、クライアントは“quit”という文字列をサーバへ送り、close を実行する。close が実行されると、TCP のコネクションが切断される³⁾。

5.1 遠隔制御実験

遠隔制御実験では、クライアント側からコマンドを入力し、そのコマンドをサーバ側で受け取ったときの実行状態について調べた。目標回転速度 420rpm で、同

方向回転による方向性最大のモータ制御プログラムを実行し、その後モータの測定結果ファイルを表示する“display_result”コマンドを入力した場合の結果を図16に示す。クライアント側よりコマンドを入力するとそのコマンドがサーバ側に送信される(図16の①)。サーバ側ではそのコマンドを解析し、クライアント側から送信されたコマンド内容をディスプレイ上に表示する(図16の②)。次にそのコマンドに応じた処理を実行して、その出力結果をバッファに格納する処理を行う。最後にこのバッファの内容をクライアント側に送信し、クライアント側ではバッファの内容をディスプレイ上に表示する(図16の③)。実験結果のファイル内容は左から経過時間[msec]、モータ1のパルス数、モータ2のパルス数、モータ1の回転速度、モータ2の回転速度、パルス差、位相差の順に示している。

6. まとめ

本研究では、RT-Linuxを用いた振動モータの制御性能に関して実験を行った。RT-Linux下のデジタルPI制御器を用いての一定回転速度および2軸同期の実現性を検討した。

メインループにおいてデジタルPI制御器を構成し、モータの一定速度回転を実現した。また、データ測定としてRT-LinuxシステムのFIFO領域への書き込み、

Linux側からのFIFO領域への読み込み、データのファイルへの書き込みなどを実現し、データの測定環境を確立した。実験の結果、各振動モードを通して最大2%の位相誤差が生じていることが分かった。今後はこの誤差が実際の振動においてどれくらい影響があるのかについて検討していく。

また、TCP/IPを通信プロトコルとした遠隔制御を実現し、クライアント側からコマンドによるモータの運転、停止などが可能となった。これには、RT-Linuxの特徴の1つであるモジュールの組み込み、削除を併用することで実現した。これにより振動モード、回転速度を変えることも可能となった。現在は、回転速度のモードが3種類しか実現できていないので、回転速度のモードを増やすことが課題である。

文 献

- 1) 福本 隆浩, 山田 健仁, 百田 正広: “リアルタイムLinuxを利用した振動モータの同期制御”, 平成14年度徳山工業高等専門学校研究紀要, 第26号, PP.61-66 (2002)
- 2) 森友 一郎, 薬師 輝久, 馬場 秀忠: “RTLlinuxリアルタイム処理プログラミングハンドブック”, (株式会社) 秀和システム, PP.105-125 (2000)
- 3) 村山 公保: “基礎からわかる TCP/IPネットワーク実験プログラミング”, オーム社開発局, PP.150-167 (2001) (2003.9.2 受理)

馬蹄形渦の時空間構造

深江 忍*¹ 佐賀孝徳*²

Time and Space Structure of Horseshoe Vortex

Shinobu FUKAE*¹ and Takanori SAGA*²

Abstract

The characteristics of horseshoe vortex around a cylinder in the shear flow are investigated by using the flow visualization technique of plan view and whole view of the flow for various Reynolds number and various object shape. In order to clarify coherent structure of horseshoe vortex in the shear flow, horseshoe vortex in the shear flow are compared with that in the uniform flow. The results of comparison show coherent structure and time-space characteristics of horseshoe vortex movement. It is found that horseshoe vortex movement change by Reynolds number and object shape.

Key Words : horseshoe vortex, coherent structure, scour, flow visualization, shear flow

1. 緒論

物体周りの流れは、物体前面のよどみ点から物体に沿って流れる境界層が形成された後、逆圧力勾配下で剥離現象を生じる。そして、その剥離点からさらに剥離せん断層を形成し、物体の両側より発生した剥離せん断層の相互作用により後流が基本的に形成される。さらに壁面近くに馬蹄形渦が存在することが知られている^{1), 2), 3)}。この馬蹄形渦は、柱状物体の接合部から放出する渦の挙動などを支配する重要な因子であると考えられ、橋脚の洗掘現象、船舶の造波抵抗に関連する工学上重要な現象である。洗掘現象とは、河床や海底面上に構造物を設置すると、水の流れに3次元的な加速流や渦流が形成され、これに伴い、土砂を移動させる力（掃き出し力）が場所的に変化し、結果として構造物周辺の水路床面や海底面が洗掘を受ける現象をいう^{4), 5)}。

近年、この馬蹄形渦により構造物周辺が洗掘を受け、施設の機能を損なう事例が多く見受けられる。そのようなことから、馬蹄形渦の特性を明らかにすることは工学上非常に意義がある。層流中における馬蹄形渦について調べられた研究⁶⁾は多くあり、その渦システムは明らかにされているが、せん断流中における組織構造についてはまだ十分には解明されていない。

*¹ 環境建設工学専攻

*² 土木建築工学科

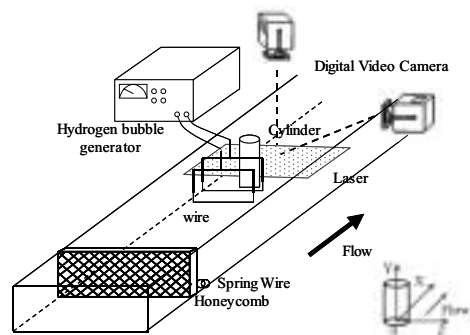


図-1 実験装置の概略

そこで本研究では、実際に橋脚の洗掘現象が生じるときの流れ場である、せん断流中に形成される固有の馬蹄形渦の組織構造および変動特性を一様流中のそれと比較し、さらに、物体の形状が馬蹄形渦に及ぼす影響とレイノルズ数の変化に伴う洗掘範囲の変化についても考察を行なうことにより明らかにする。

2. 実験装置および実験方法

実験装置には、長さ 10m、幅 60cm、高さ 15cm 水路床勾配 1/1000 の総アクリル製開水路が用いられた。せん断流に

おいては上流端に整流用のハニカム、下流端には水位調節用の堰を設置した。比較検討のため一様流でも実験を行ない、一様流における実験では水素気泡発生装置より80cmの位置にハニカムを設置した。この開水路流れの中に円柱を垂直に挿入し、水平断面視、斜め上方からの全体視による撮影を行なった。また、その同時可視化も行った。流れの可視化には、水素気泡法、及び蛍光染料(比重1.005)を用いた。図-1に実験装置の概略図、表-1に実験条件を示す。

3. 実験結果および考察

3.1 せん断流と一様流中の馬蹄形渦の比較

円柱周りの一様流とせん断流中における馬蹄形渦の可視化の様子を図-2に示す。それぞれ、上図は水路上方、下図は水路斜め上方より同時可視化を行ったものである。これより、一様流中においては乱れが少なく、剥離現象に伴う安定的な3本の渦構造が見られる。せん断流中ではbursting現象に伴う低速渦の形成から、上昇流と下降流が時空間的に非定常に形成されており、常に乱れが生じるため、渦構造は不安定となる。

これらの渦はビデオ観察より円柱近傍へと移動することが認められ、その変遷をまとめたものが図-3であり、上図は一様流、下図はせん断流の移動特性である。縦軸は円柱前端を原点とした上流方向への距離(L)、横軸は時間軸(t)を示し、それぞれ使用円柱径(D)、渦の発生周期(T₀)で無次元化している。これより、一様流では円柱径の8割程度より馬蹄形渦が安定的に発生し、移動していることが示される。しかし円柱近傍に形成される渦は、あまり変動せずに渦の接近に伴い上流方向へ移動する。

せん断流においては、円柱径の6割程度から渦が発生し、形象は不明瞭となり安定的な3本の渦構造も見られないが、円柱近傍の渦(下図c)は、わずかな移動を伴いながらも安定性を保つ。特に、ビデオ映像より、せん断流中の変動特性は円柱から周囲方向への流れが一様でないため、強い流れが形成される領域では、外部からの円柱方向への流れと強い相互作用が認められた。

これらの考察から、一様流とせん断流における馬蹄形渦の形成にはさまざまな相違が認められるが、円柱より最も遠方に形成される渦の発生周期は両者とも約6秒であった。

3.2 物体形状による馬蹄形渦の変化特性

物体形状と、よどみ点の影響を明らかにするために角柱を用いた可視化形象を図-4に示す。角柱の平面を流れと垂直に配置し(以下Rec90とする)、さらにその状態

表-1 実験条件

	水深	平均流速	代表長さ	Re		
	H(cm)	U(cm/s)	D(cm)	Re _d =UD/ν	Re _h =UH/ν	
case1	10	5.5	8	3500	4400	
case2	9.9	5.5	3.9	1700	4300	一様流
case3	10	5.6	8	4800	6000	せん断流
case4	10	5.5	4	1800	4400	せん断流
case5	10	5.5	4	1800	4400	一様流
case6	10	5.5	5.66	2500	4400	せん断流
case7	10	5.5	5.66	2500	4400	一様流
case8	10	5.6	3.9	2400	6000	せん断流
case9	7	7.8	8	6800	6000	せん断流
case10	7	7.8	3.9	3300	6000	せん断流
case11	9.9	5.6	8	3500	4333	

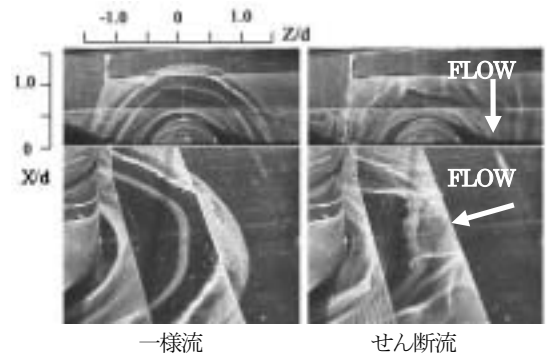


図-2 馬蹄形渦の可視化(CASE1)

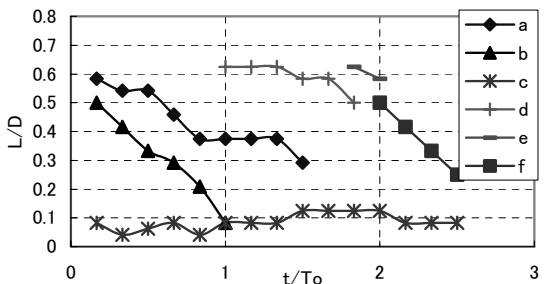
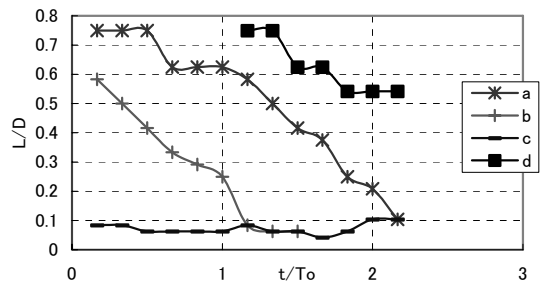
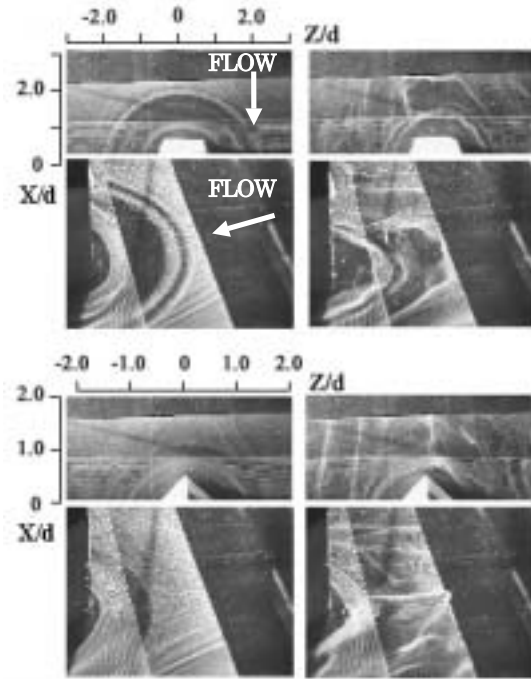


図-3 馬蹄形渦の変動特性



一様流(CASE5, 7) せん断流(CASE4, 6)
 図-4 角柱まわりの可視化形象

から角柱を 45° 傾けた (以下 Rec45 とする) 2 ケースの実験を行った結果、せん断流中において、渦が物体形状によって変形することが認められた。このことは、馬蹄形渦が円柱径レイノルズ数(以下 Red とする)やよどみ領域の影響だけでなく、物体の形状の影響も受けていることを示唆している。ただし、一様流中においてはこの傾向は示されなかった。

円柱を使用した実験と同様に、角柱における馬蹄形渦の変動特性を図-5 (上図は一様流, 下図はせん断流) に示す。ただし、縦軸の物体前端から上流方向への距離 (L) は、それぞれ角柱の一边、または対角線により無次元化したものである。

これより Rec90 では変動が顕著であり、Rec45 では変動がなく安定していることが認められる。これらは、よどみ領域の大小に影響していると考えられ、また、せん断流における変動特性には、すべての渦変動が互いに強い相関を持つことが認められる。なお、Rec45 における渦形象は2本のみであった。

3.3 レイノルズ数による変化特性

せん断流中においてレイノルズ数 (以下 Re とする) を変化させた馬蹄形渦の変動特性を図-6 に示す。なお、変動幅の測定は、3.4 馬蹄形渦の組織構造の考察から、円柱

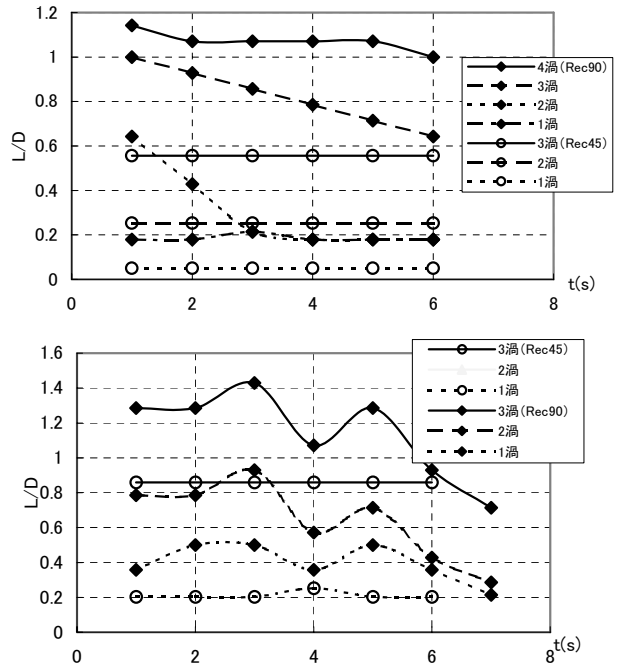


図-5 角柱まわりの馬蹄形渦の変動特性

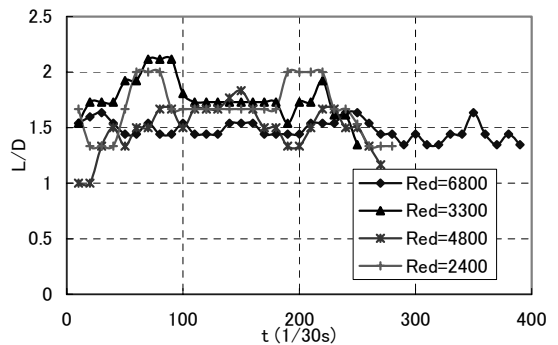


図-6 Re 変化による変動特性

前部での渦変動と後部での変動は連動しているものと考えられるため、変動の現れやすい後端で行なった。これより円柱径を用いたレイノルズ数, Red が高い場合は微細な変動を繰り返す傾向があり, Red が低い場合は、安定的でありながらも変動幅が増大することが認められる。また, Red の上昇に伴い、渦の発生周期が早まることが認められたが、変動幅が物体前部の渦変動と連動していることから、この変動特性は発生周期に関与していると推測される。

さらに Red が高いほど濃い筋状の馬蹄形渦が観察され, Red が低いほど薄い不明瞭な馬蹄形渦が観察された。濃い筋状の渦は水素気泡が集中している部分であり、渦度の

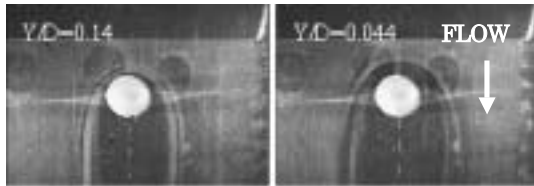


図-7 水平断面可視化 (CASE2)

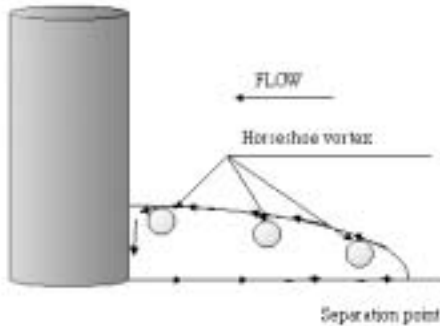


図-8 円柱前方馬蹄形渦の移動モデル

強い渦，つまり掃き出し力の強い渦にあたる。これは馬蹄形渦の発生要因であるとされる円柱前端の逆圧力勾配が Red の上昇に伴い増加するためと考えられる。これらのことより，短周期の変動，変動幅，発生周期，渦度の強さは，全て Red により変化するといえる。 Red の上昇に伴い馬蹄形渦の微細な変動，渦度の強さは増加するが，変動幅は減少するということから， Red が大きい物体には，狭い領域に強い掃き出し力が生じるため，洗掘深がより深くなると考えられる。

3.4 馬蹄形渦の組織構造

3.4.1 物体前方の馬蹄形渦構造

図-7は，各馬蹄形渦の形成領域を明らかにするため，可視化位置 Y/D を変化させたものである。 $Y/D=0.14$ の場合は円柱近傍の馬蹄形渦が，より水路床に近い $Y/D=0.044$ では遠方の馬蹄形渦が可視化された。このことは，円柱より離れるに従い，馬蹄形渦の高度が下がることを示唆している。またビデオ映像より，3本の馬蹄形渦の外側に上流方向へ掃き出される流れが認められたことから，馬蹄形渦の物体前端での構造は図-8のような模式図で示される。

物体よりも遠方の領域で剥離した流れが，馬蹄形渦を形成し，壁面から離れながら流下する。物体前端まで移送した渦は物体近傍の渦と相互作用しながら水路床方向へ巻き込まれ，馬蹄形渦の下側を通して剥離点方向の

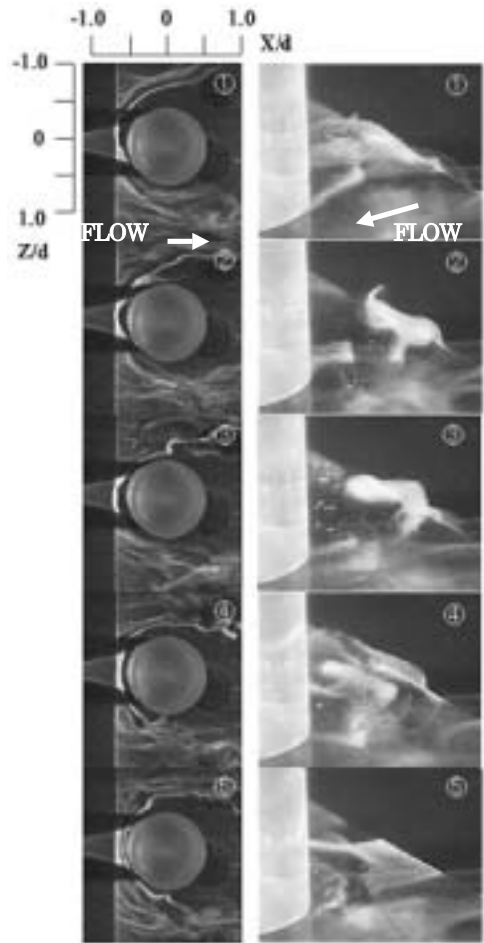


図-9 馬蹄形渦の時系列変化 (CASE3)

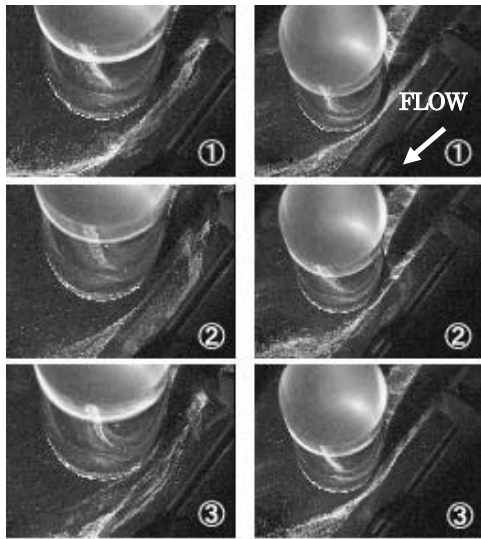
流れを形成する。その流れ強さの非一様性は，図-9にも見られるように，せん断流では顕著である。

3.4.2 円柱側方および後方領域の変動特性

円柱前部，および水平視における変動形象の時系列図を図-9に示す。各形象は1秒間隔であり，同時可視化による左右対応した形象となっている。

ここでは馬蹄形渦の円柱前端での変動が，側方，後方領域での変動に影響していることが認められる。例えば，図-9②③のように，馬蹄形渦の前端が上流に位置している場合，側方，後方領域の馬蹄形渦も外側に大きく広がり，逆に図-9④⑤のように渦が円柱近傍に位置し，左右の対称性が保たれない場合は，側方領域において，内側への巻き込みと変動の幅の縮小，左右の非対称性といったような現象が認められる。

可視化位置 Y/D を変化させた円柱側方領域の馬蹄形渦の挙動を，図-10に示す。ここでは円柱後方での馬蹄形渦



Y/D=0.07 Y/D=0.14
 図-10 側報領域の可視化形象 (CASE3)

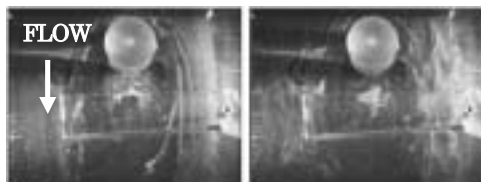


図-11 形成領域内の可視化形象(CASE11)

の巻き込みがとらえられた。Y/D=0.14 では上部に位置する馬蹄形渦の2次流れを可視化しており、後流形成領域の中心線に向かう流れが形成されていることを示している。また、水素気泡が底壁方向に引き寄せられたとき(図-10②)では、水路床近傍における馬蹄形渦の形象が同時に可視化されている。上部では巻き込みが強く、それに対して下部(Y/D=0.07)では外側への広がりが見られたことから、馬蹄形渦の上部では巻き込み流れ、壁面近くでは外側へ広がる流れを誘起していることが明らかである。

3.4.3 死水域の構成

図-11に、壁面近傍における形成領域の可視化形象を示す。一様流中においては物体背後の流れが停滞し、完全な死水域となっているが、せん断流中では死水域内において図-9、図-10にも確認されたような巻き込み流れが形成され、トレーサは停滞することなく渦的な挙動を示した。

その原因は巻き込み流れの発生に併せて、せん断流では死水域への運動量輸送が生じるためと考えられる。

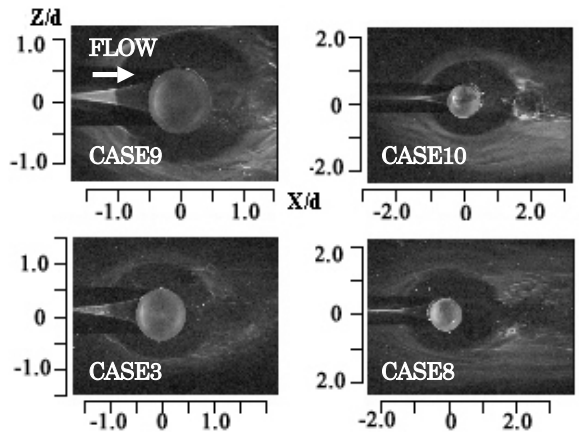


図-12 染料による掃き出し現象

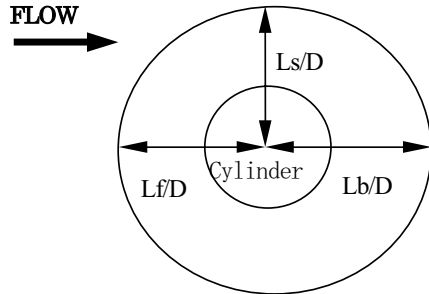


図-13 スケールの測定方法

3.4.4 洗掘範囲

図-12に染料による水平断面形象可視化を示す。壁面近傍の粘性低層に滞留した染料が、円柱近傍の流れ、特に馬蹄形渦により時間経過とともに円柱外側に掃き出されている。この掃き出し跡のスケールを測定し、図-14に示す。なお、測定値を円柱径Dで無次元化した値を縦軸に、横軸をReで示す。本実験では、Lf/D、Ls/D、Lb/Dは図-13のように定義する。

図-14より、Lf/D、Ls/DはともにRedの大小に関わらずほぼ一定の値を示す。一方、Lb/Dについて注目すると、Redの増加に伴い減少する。これはRedの上昇とともに、円柱後方への巻き込み力が強くなっていることを示唆している。また、水素気泡を用いた実験のビデオ映像より、形成領域の大きさと円柱前端近傍での馬蹄形渦の位置関係は、馬蹄形渦が円柱から最も離れるときに、形成領域が流れ方向に長くなっているように観察された。この変化を考察する上で、後流形成領域の長さを一様流中の流れの可視化実験より求めた後流形成領域を図中に実線、破線で同時に示した。その結果、実線で示した後流の形成領域と円柱後方での馬蹄形渦による掃き出し跡Lb/Dは

ほぼ一致した。

このことから、下流方向の掃き出し領域は後流の形成領域に関係していると考えられる。また、これまで行なわれた同じ水理条件の実験結果から、 $Y/H=0.2$ 以下の水平断面ではカルマン渦の形成が確認されていないが⁸⁾、この事はその上部の流れ構造が壁面に及んでいることを示唆し、注目すべき点である。

4. 結論

馬蹄形渦の可視化が行なわれ、その構造、変動特性が明らかとなった。本研究の主要な結果を以下に示す。

- (1) 物体前面では、複数の馬蹄形渦が形成され、物体方向への移動が生じる。一様流中では3本の安定した馬蹄形渦が形成されるが、せん断流中では、渦の本数が安定せず変動し、非一様性、非定常性を持つ。
- (2) 馬蹄形渦はその変動が円柱前部と後部で連動しており、一様流中では円柱後部での渦の巻き込みを生じないが、せん断流中では物体に沿った巻き込みを生じる。
- (3) Redの変化により馬蹄形渦の変動幅、渦度の強さ、発生周期は変化する。Redの増加に伴い変動幅は減少し、渦度は強くなり、発生周期は短くなる。
- (4) 物体の形状により馬蹄形渦は、その非一様性や渦形状に影響を受ける。よどみ領域が大きい形状ほど、広がり非一様性は増加し、よどみ領域が小さいと安定した馬蹄形渦が形成される。
- (5) 洗掘範囲は、Redの増加に伴い減少する。物体前、側面では一定であるが、背面では後流の形成領域に等しい変化を示す。

文献

- 1) 松口 淳, 津田宜久, 鶴野省三: 馬蹄形渦の乱流遷移過程の研究, 日本機械学会論文集 (B 編), 65 巻 629 号, pp.28-35 1999.

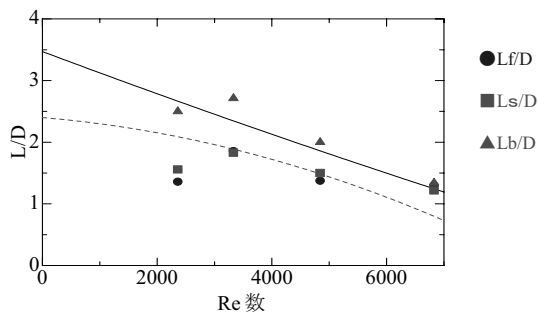


図-14 染料の掃き出しスケール

- 2) C.V. SEAL and C.R. SMITH: Visualization of a mechanism for three-dimensional interaction and near-wall eruption, *J. Fluid Mech*, 394, pp.193-203, 1999.
- 3) 村富英: 壁面近くの円柱周りに生成する首飾り渦に関する研究, 平成12年度卒業研究論文集, pp.109-110, 2001.
- 4) 谷 毅, 漆山 仁, 秋山真吾: 流れによる構造物周辺の最大洗掘深の予測と洗掘対策, 鹿島技術研究年報, 第47号, pp.212-213, 1999.
- 5) 石野和男, 大谷英夫, 勝井秀博: 急潮流下における橋脚周辺の捨石洗掘防止工の設計法に関する研究, 土木学会論文集 No.521/II-32, pp.123-133, 1995.
- 6) C. J. BAKER: The laminar horseshoe vortex, *J. Fluid Mech*, 95-2, pp.347-367, 1979.
- 7) 大成博文, 佐賀孝徳, 斎藤 隆: 壁面領域内乱流構造の立体可視化, 土木学会論文集, 第345号/II-1, pp.65-67, 1984.
- 8) 佐賀孝徳, 今本雅恵, 渡辺勝利: せん断流中における円柱後流の三次元構造に関する研究, 水工学論文集, 第46巻, pp.541-546, 2

(2003.9.5 受理)

SCP工法における砂杭の造成メカニズム に関する研究(その3)

伊東 圭一*1 上 俊二*2 大内光徳*3 藤原東雄*2

A Study on Construction Mechanism of The Sand Pile by SCP Method (Part3)

Keiichi ITO, Shunji UE, Mitsunori OUCHI and Haruo FUJIWARA

Abstract

CP(Sand Compaction Pile)method is a method of improving the soft ground by building dense sand pile and this method has spread wide globally. When casing pipes are put in the soft ground, the sand in the pipes prevent a soft soil by the plugging effect. On the other hand, when the sand is exhausted, it is necessary to solve the plugging effect. This is the most important subject for the construction process of sand pile. In order to clear the mechanism of the plugging effect of the sand in casing pipe, push-out tests were carried by using the visibilitization equipment which installs friction board in the both-sides. In the result, by the change of the friction of the wall surface, it is clear that there is a different the plugging effect.

Key Words:sand compacion pile method, casing pipe, plugging effect, friction board

1. まえがき

サンドコンパクションパイル(SCP)工法とは軟弱地盤中によく締まった砂杭を造成することにより地盤を改良する工法で、世界的に、陸上だけでなく、海上においても広く普及しており(写真-1)、日本においても戦後の土質工学のめざましい発展や高度の経済成長に支えられて急速に普及してきた。この工法が普及してきた背景には、東京を基点とした名古屋-阪神-瀬戸内海-大分の沿岸部を埋め立てた臨界工業地域建設計画によるものと、周辺に安価で良質な天然試料(砂)が採れたことにある。この建設計画の当初は、SCP工法よりも排水を目的とするサンドドレーン工法の方が広く普及していたが、地盤が所定の強度になるまで時間がかかること、管理が大変難しいことなどを理由に、施工後、すぐに構造物の立てることのできるSCP工法に移ってきた。その後、構造物の大型化により、さらに強度の高い地盤が要求されるようになり、最終的には、ほとんどの軟弱地盤を砂で置き換えるという状況に変わっていった。しかし、社会の環境問題への関心が強くなり品質を管理することが難しくなった。現在、SCP工法が残した多くの実績が社会に受け入れられ、SCP工法をベースとした新しい地盤改良工法が考えられている。

一般に砂杭の造成方法として、ケーシングパイプ内に砂を投入した後、パイプ上部からエアーを負荷させながら砂を排出させてゆく方法がとられている¹⁾。この砂杭造

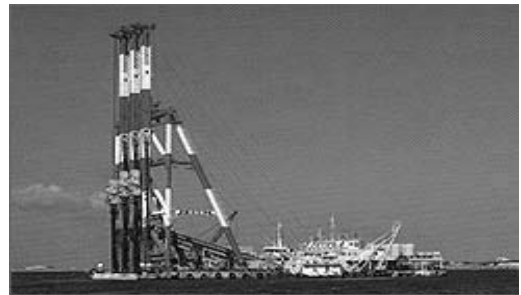


写真-1 SCP 船

成において、ケーシングパイプを貫入する際に軟弱地盤の侵入を防ぐために砂を閉塞させる必要がある。しかし、この砂を地盤中に排出する際には、閉塞させたことにより効率よく排出が行われない。このことが砂杭の造成過程における最も重要な課題とされている。

そこで、昨年、パイプ内の砂の動きを観察するため可視化実験が行われた。それによって、パイプ内の砂を押し上げられる際に、パイプ壁面に摩擦が生じていることが明らかとなった。その結果をもとに、本研究では、壁面の摩擦係数を変えることにより、壁面での砂の動きを見えやすくすると共に、摩擦の発生がパイプ内の砂に与える影響を3種類の材質を用いて比較をし、砂の閉塞メカニズムを明らかにすることを目的とする。

*1 環境建設工学専攻

*2 土木建築工学科

*3 井森工業(株)

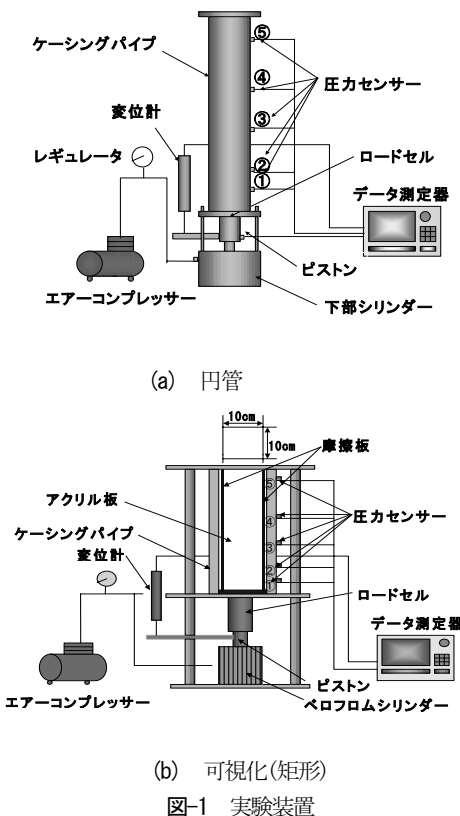


表-1 豊浦珪砂の物理的性質

土粒子の比重	2.663
最大間隙比 e_{max}	0.961
最小間隙比 e_{min}	0.590
最大粒径 D_{max} (mm)	0.900
均等係数 U_c	2.294
曲率係数 U_c'	1.268

表-2 実験条件

	管径 D (cm)	壁面の 材質	相対密度 Dr (%)	密度 ρ_s (g/cm ³)	投入砂高 H (cm)
円管	10.5	鋼板(鋳鉄)	30%	1.470	10~40
矩形	10×10	鋼板(鋳鉄)	50%	1.524	
		摩擦板 P320	80%	1.611	

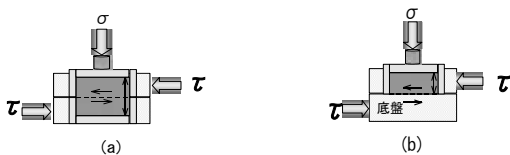


図-2 一面せん断試験箱

2. 実験概要

2.1 実験装置と試料

図-1 に実験装置の概要図を示す。図-1(a)は、実際に現場で用いられているパイプを縮小した円管である。図-1(b)は正方形断面で、ケーシングパイプの側面に鋼板と2種類の摩擦板 P320, P180 を取り付けた。ここで P320 と P180 という値は摩擦板の粗さを表し、値が低いほど粗い摩擦板である。そして、前面と後面にアクリル板が取り付けられており、アクリル面より砂のパイプ内での挙動を可視化することができる。図-1(a)の周面摩擦と図-1(b)の側面の周面摩擦とは相関性を持たせるために等しくなるように考慮されている。実験において、実際にケーシングパイプを貫入させることは難しい。そこで本研究では、ケーシングパイプを固定し、ベロフロムシリンダーにエアコンプレッサーで下部から圧力を負荷し、砂杭を押し上げる方法をとった(押し抜き試験)。そして、ピストンにかかる荷重をロードセルで、ピストンの変位を変位計で測定し、データ測定器で収録を行った。また、ケーシングパイプ壁面の側圧を調べるため、側面には5つの圧力センサーを取り付けた。圧力センサーはパイプ下端より、5cm, 10cm, 20cm, 30cm, 45cmの位置にあり、下端から側圧1~5とし、図-1 に示している。試料として豊浦標準砂を用い、物理的性質については、表-1 に示す。

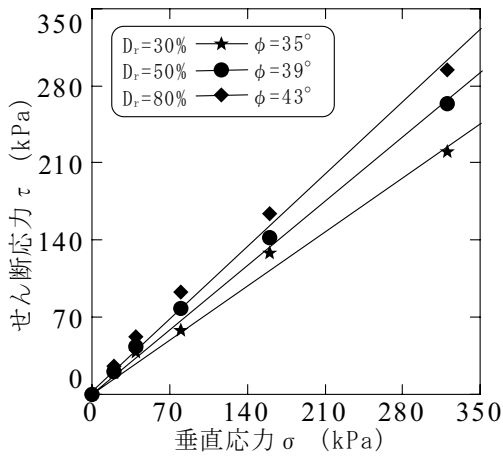
2.2 一面せん断試験

砂の内部摩擦角 ϕ を求めるために図-2(a) に示すせん断箱を用いた。また、砂と鋼板、摩擦板 P320, P180 の3種類の摩擦角 δ を調べるため、図-2(b) に示すせん断箱を用い、底盤をそれぞれの材質に変え、実験を行った。実験条件は供試体高さ 1cm、鉛直応力 σ を 40~320kPa に変化させ、相対密度 $Dr=30, 50, 80\%$ の乾燥砂を用いた。

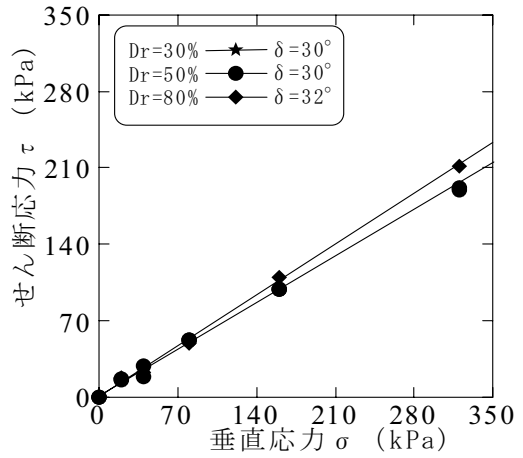
2.3 円管と可視化装置による押し抜き試験

実験条件は表-2 に示す。ケーシングパイプ貫入による砂の挙動を可視化するために砂の相対密度 Dr 、投入砂高 H を変え、押し抜き試験を行った。実験方法は以下の通りである。

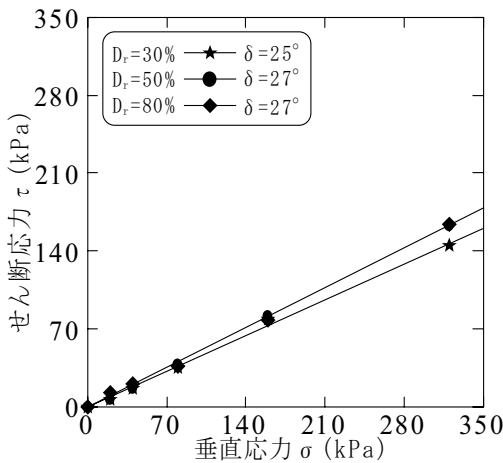
- 1) 所定の砂の相対密度で砂高分の試料を計る。
- 2) パイプ内に砂高 2cm ずつ砂を投入し、その度に色砂を敷く。また、所定の高さになるように締め固める。
- 3) 砂杭表面は平らにする。
- 4) 下部シリンダーからエアーを負荷させピストンを 20mm/sec の速度で上昇させ、砂杭を押し抜く。
- 5) 押し抜き時にかかる荷重とパイプ壁面の側圧と変位を測定する。可視化実験の場合は、同時にその様子をデジタルカメラで撮影する。



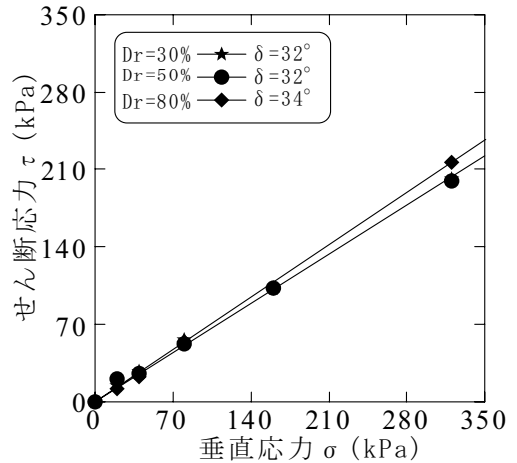
(a) 砂の内部摩擦角



(c) 砂と摩擦板P320



(b) 砂と鋼板



(d) 砂と摩擦板P180

図-3 一面せん断試験結果

表-3 摩擦係数 f

	Dr=30%	Dr=50%	Dr=80%
砂と砂	0.700	0.810	0.933
鋼板と砂	0.466	0.510	0.510
摩擦板P320と砂	0.577	0.577	0.625
摩擦板P180と砂	0.625	0.625	0.675

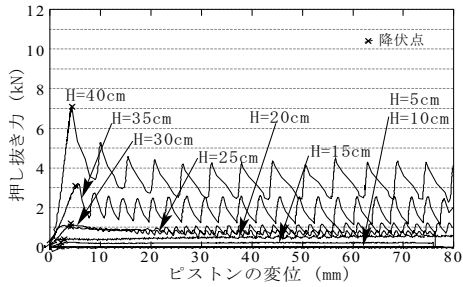
3. 実験結果と考察

3.1 一面せん断試験

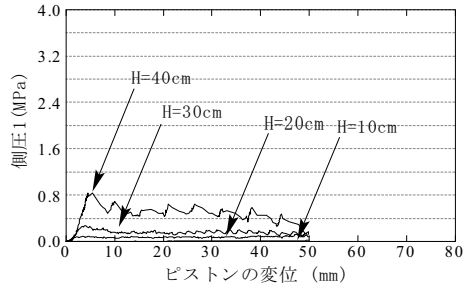
図-3は、一面せん断試験によって得られた垂直応力 σ とせん断応力 τ との関係を示している。図-3のいずれにおいても相対密度 D_r が大きくなるにつれて、砂の内部摩擦角 ϕ と摩擦角 δ が大きくなるという結果が得られた。図-3(b)(c)(d)より同じ相対密度 D_r においては摩擦が大きくなるにつれて摩擦角 δ は大きくなっている。また、

砂の内部摩擦角 ϕ と摩擦角 δ を比較すると、いずれも摩擦角 δ よりも砂の内部摩擦角 ϕ が大きくなっていることがわかる。以上のことより、相対密度 D_r が大きくなることですべりが生じにくくなり、壁面摩擦においては、壁面での摩擦が大きくなることですべりが生じにくくなるということが明らかとなった。また、すべり面は砂間よりも壁面上で大きく生じていることがわかる。

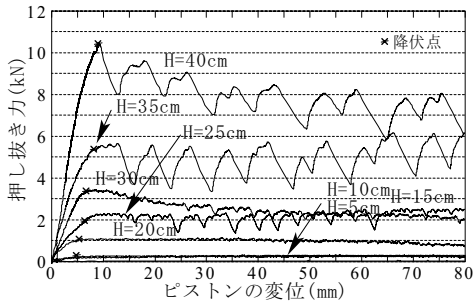
この試験によって得られた摩擦係数 $f = \tan \phi$ 、または、 $\tan \delta$ を表-3に表す。



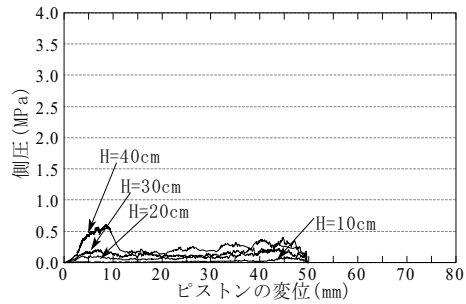
(a) 円管



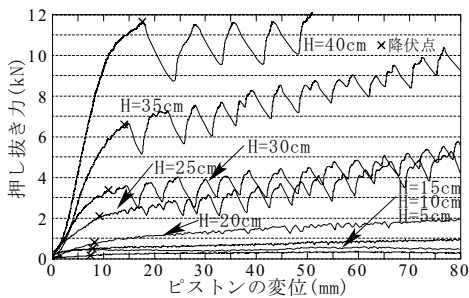
(a) 円管



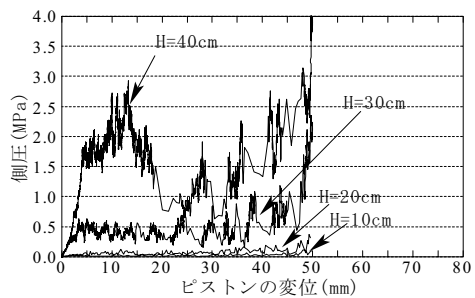
(b) 矩形(鋼板)



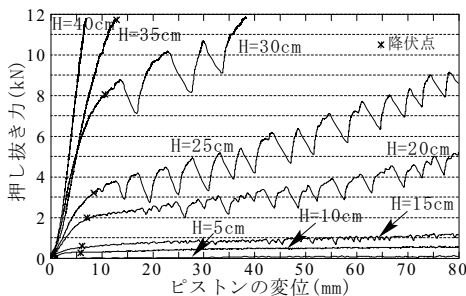
(b) 矩形(鋼板)



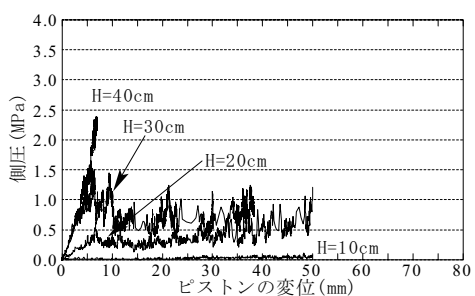
(c) 矩形(摩擦板 P320)



(c) 矩形(摩擦板 P320)



(d) 矩形(摩擦板 P180)



(d) 矩形(摩擦板 P180)

図-4 ピストンの変位と押し抜き力の関係 ($D_r=30\%$)図-5 ピストンの変位と側圧 I の関係 ($D_r=30\%$)

3.2 可視化装置, 円管を用いた押し抜き試験

図-4 は押し抜き試験の一例として, 相対密度 $D_r=30\%$ におけるピストンの変位と押し抜き力の関係を示したものである。押し抜き力が最大(ピーク)になる所を降伏

点と定め, 図中に×で表す。図-4 のいずれにおいても砂高 H が低い場合は弱い力で押し上げられてしまうため, 押し抜き力が小さく, ピークがみられない。これは, 砂高 H が低いために壁面と砂の摩擦が少ないためである。しかし, 砂高 H が高くなると壁面と砂の摩擦が大きくな

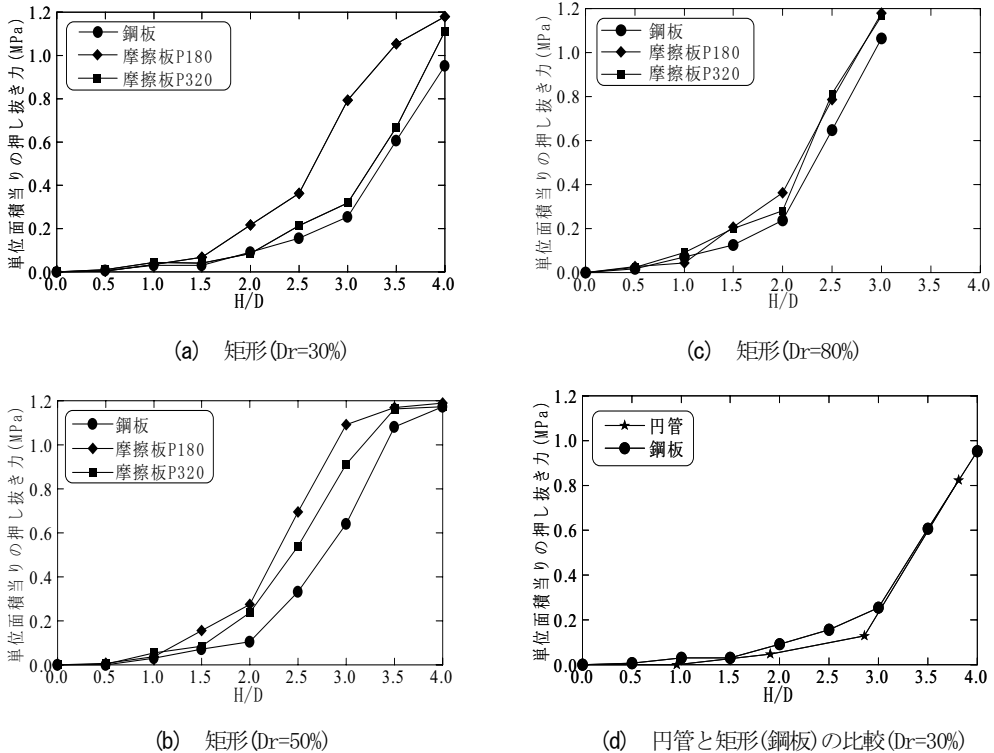


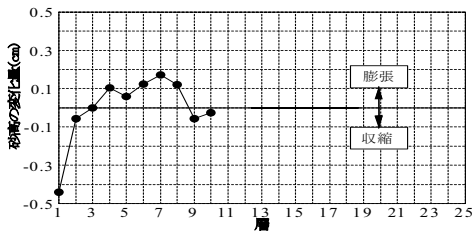
図-6 H/D と単位面積当りの押し抜き力の関係

り、押し抜き力が急激に上昇し、ピークもみられるようになる。また、図-4(a), (b)においては、 $H=35\text{cm}$ のあたりからはっきりとしたピークが現れ、閉塞の傾向が見られる。図-4(c)では、 $H=30\text{cm}$ のあたりから、閉塞の傾向が伺える。また、図-4(d)にあたっては、 $H=25\text{cm}$ のあたりから、閉塞の傾向が見られる。以上のことから、壁面の摩擦が大きければ低い砂高 H で閉塞効果を得ることができる。また、図-4(a), (b), (c), (d)において、同じ砂高 H で押し抜き力を比較してみると、摩擦係数の大きい材質を取り付けたパイプの方が砂を押し抜くために大きな押し抜き力を必要としていることがわかる。相対密度 $Dr=50, 80\%$ においても、同じ傾向を得ることができた。

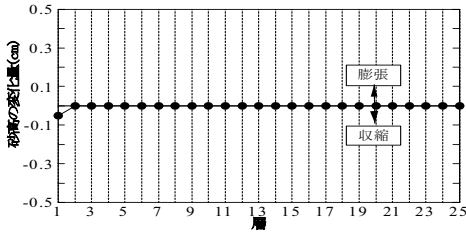
図-5は、ピストンの変位と側圧1の関係を表した図である。これは、図-4と同じ実験で得られたデータである。側圧においては投入砂高 H を 10cm から 40cm までの 10cm 間隔となっている。どの図においても、砂高 H が高くなるにつれて側圧は大きくなっている。また、図-4において、押し抜き力がピークを示す変位量で側圧も大きくなっており、押し抜き力と同様に摩擦が大きい材質になるにつれて側圧は大きくなっている。このことから、パイプ内の砂は軸方向から加わる力により鉛直方向に進もうとするが、壁面摩擦の抵抗により砂がスムーズに押し上げ

られない。そのため、押し抜き力は大きくなり、摩擦の影響により定位置を保とうとする壁面の側圧も大きくなる。このことから、押し抜き力と側圧には相関関係があることがいえる。

図-6は、それぞれの実験における、砂高 H を管径 D で除した比 (H/D) と、押し抜き力を管径の断面積で除した単位面積当りの押し抜き力の関係を示している。まず、図-6(a)では、 H/D が 1.5 以下の場合では3本の曲線がほぼ重なっており摩擦の影響はあまりみられない。しかし、 H/D が 1.5 以上になると、それぞれの曲線が独立し始め、このあたりから砂杭に壁面の摩擦が影響し始めると考えられる。また、図-4に示したとおり、閉塞の傾向を伺いはじめるあたりから単位面積当りの押し抜き力が急激に増加しはじめていることがわかる。次に、図-6(b)では、 H/D が 1.0 のあたりから、曲線が独立し始め、図-6(c)では、 H/D が 0.5 のあたりから、曲線が独立し始める。これは、相対密度が大きくなるにつれて、パイプ内の砂杭が低い砂高で閉塞の傾向を生じはじめていることがわかる。また、図-6(a), (b), (c)を、同じ H/D で比較してみると、いずれも壁面の摩擦が大きいほど単位面積当りの押し抜き力は大きくなっている。また、図-6(d)において、円管と同じ材質の鋼板との場合を比較してみると、両者とも



(a) 閉塞しない場合(H=20cm)



(b) 閉塞する場合(H=40cm)

図-7 砂段と砂高変化の関係
(摩擦板 P180, $D_r=30\%$)

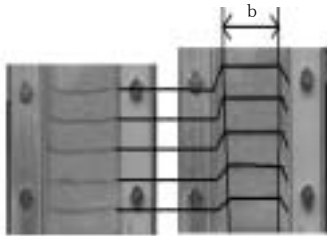
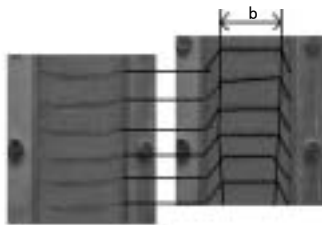
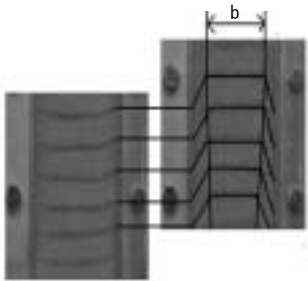
(a) 鋼板(相対密度 $D_r=30\%$ 砂高 H=20cm)(b) 摩擦板 P320(相対密度 $D_r=30\%$ 砂高 H=20cm)(c) 摩擦板 P180(相対密度 $D_r=30\%$ 砂高 H=20cm)

写真-2 砂杭の可視化

H/D が 2 のあたりから急激に押し抜き力が増加しはじめ、同じような変化を表している。曲線もほぼ一致しており、単位面積当りの押し抜き力もほぼ等しくなっていることがわかる。

図-7 は図-4 に示すような押し抜き力の降伏点においてパイプ内の砂の密度変化を調べるため、各層と砂高の変化量の関係を示したものである。紙面上、ここでは $D_r=30\%$ 時の摩擦板 P180、閉塞しない砂高として $H=20\text{cm}$ 、閉塞しない砂高として $H=40\text{cm}$ を取り上げることにする。また砂高の変化量とは、パイプ中の各砂層の左端、中央、右端の 3 点で押し抜く前の状態からの変化量を測り、その平均をとったものとする。図-7(a) で、1 層目から 3 層目まで砂高変化がマイナスとなり、これらの層は密になる傾向があらわれた。また 4 層目以降の層は砂高変化がプラスとなり膨張の傾向はあらわれた。このことから砂杭は押し抜く際は、パイプ先端から密になっていくことがわかった。図-7(b) から、砂杭は閉塞しているのでわずかな変位しか得られず、密度変化を生じるのは 1 層目だけである。

写真-2 はそれぞれ、図-4、図-5 に示した砂高 $H=20\text{cm}$ 、相対密度 $D_r=30\%$ の可視化実験装置による押し抜き実験の様子をデジタルカメラで撮影した様子である。パイプ内の砂が、壁面摩擦の影響によって、どのような動きを示すのかを調べるために、写真-2(a)、(b)、(c) それぞれの場合の色砂の動きを比較する。写真-2 のいずれにおいても、左側の写真は、エアにより、押し抜き力を载荷する前、右側の写真は、押し抜き力の降伏点、つまり、ピーク時の様子である。写真-2 のいずれにおいても押し抜き力が载荷された後では中央部が押し上げられていることがわかる。しかし、パイプ壁面部分の砂はもとの定位置を保とうとしている。写真-2 において押し抜き力のピーク時での写真を比較すると、壁面の摩擦が大きいほど、定位置を保とうとする砂の量が多く、その力が強いことがわかる。また、写真-2 より、押し上げられている中央部の砂杭の幅を b と表すと、壁面の摩擦が大きいほど、押し上げられている砂杭の幅 b が狭いことがわかる。ここで、これは、押し上げる際に生じる、壁面にかかる水平方向の力の反力であり、摩擦が大きいほど大きくなっていることがわかる。特に砂層の下層部ではさらに中央部の幅 b が狭くなっている。さらに、下層部においては、幅 b だけでなく、色砂の間隔も狭くなっている。これは、押し上げられる際、パイプ内の砂杭では密度変化が生じているといえる。そのため、図-5 のいずれにおいても、低いセンサー位置での側圧のほうが、高い位置での側圧より大きいことがわかる。

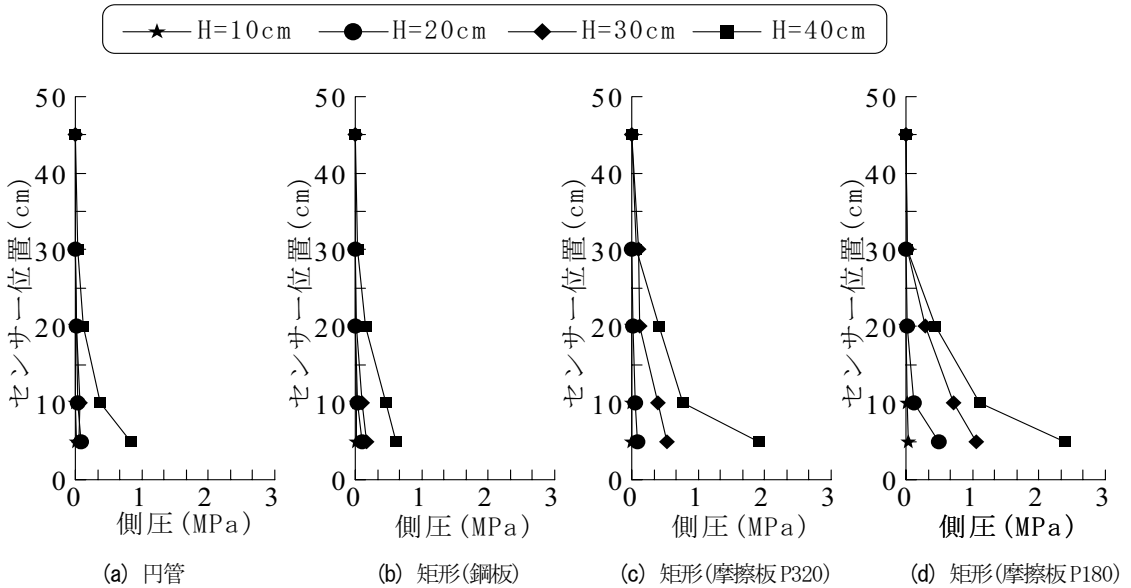


図-8 パイプ壁面の側圧分布

図-8 に $D_r=30\%$ におけるパイプ壁面の側圧分布をあらわす。ここでの側圧とは、図-4 においての降伏点に達した時の変位を基準とし、得られた値のことである。まず、図-8 のいずれにおいても、砂高 H が高いほど側圧は大きくなっており、同じ砂高 H においてはセンサー位置が低いほど側圧は大きくなっていることがわかる。このことは、これまで記してきた結果と同じく、同じ砂高 H に対しての側圧は、壁面の摩擦が大きいほど強くなっていると考えられる。これらのことは、相対密度 $D_r=50, 80\%$ でも同じ傾向を示している。図-8(a), (b)の側圧分布を比較すると、分布図の傾向はよく似ており、値もほぼ等しいことがわかる。ゆえに、図-6(d), 図-8(a), (b)より円管と矩形(鋼板)では、パイプの形状が変化したにもかかわらず、相関関係がみられ、応力状態の変化はほとんどないことが考えられる。

4. 結論

一面せん断試験、円管・可視化実験装置を用いた押し抜き試験の実験から次のような結果が得られた。

1) 一面せん断試験の結果より、砂の内部摩擦角 ϕ と摩擦角 δ を比較するといずれも砂の内部摩擦角 ϕ の方が大きくなった。また、同じ相対密度 D_r において、摩擦が大きくなるにつれて大きな摩擦角 δ を得ることができた。以上の結果より、すべり面は砂間よりもパイプ壁面で生じている。すべりが生じにくくなる条件は、壁面の摩擦が大きくなることと、同摩擦においては、相対密度 D_r が大きい時である。

- 2) 押し抜き試験において、砂杭は相対密度 D_r が大きいほど閉塞の傾向が早くみえてくる。すべての押し抜き試験において、砂高 H が高いほど押し抜き力は大きくなり、同じ砂高 H で比較すると壁面摩擦が大きいほど大きな押し抜き力を必要とする。
- 3) 同試験での側圧については、押し抜き力と同様に砂高 H が高くなれば、側圧も大きくなり、同じ砂高 H で比較すると、壁面摩擦が大きいほど側圧が大きくなっている。また、砂杭の下層部分で密度変化が生じているため、パイプ先端の方が側圧は大きくなる。
- 4) パイプ内の側圧は押し抜き力と相関関係があり、押し抜き力の降伏点(ピーク)で側圧も大きくなっている。
- 5) 砂杭を押し抜く際、パイプ内の砂層は、パイプ壁面では定位置を保とうとしているが、中央部の砂層は押し上げられている。定位置を保とうとする力は壁面摩擦が大きいほど強く、その力は砂層の中央部にまで及ぶ。また、砂杭は、押し抜かれる際、下層部から密度変化が生じていく。
- 6) 単位面積当りの押し抜き力は同じ相対密度において、低い砂高 H までは摩擦の大小に関わらず等しくなる。同じ H/D において比較すると、壁面摩擦が大きいほど単位面積当りの押し抜き力は大きくなる。
- 7) 実験装置において形状が円管から矩形(鋼板)に変わったが、 H/D と単位面積当りの押し抜き力の関係、側圧分布の結果より相関関係が同え、応力状態の変化はほとんどみられない。

5. 参考文献

- 1) 榎 明潔：軟弱地盤中における砂杭の造成機構に関する研究，京都大学学位請求論文，pp36-59, 1982.
- 2) 大内光徳，中西和夫，兵頭正幸：軟弱地盤におけるサンドコンパクションパイル工法の施工上の問題点，土質工学セミナー報告会，1997.
- 3) 大内光徳，上 俊二，有井康洋，藤原東雄：SCP 工法におけるケーシングパイプ内の砂の閉塞効果に関する研究，徳山工業高等専門学校研究紀要第 24 号，pp21-28, 2000.
- 4) 佐伯晴香，上 俊二，大内光徳，藤原東雄：SCP 工法における砂杭の造成メカニズムに関する研究(その 2)，徳山工業高等専門学校研究紀要第 26 号，pp67-74, 2002.

(2003. 9. 5 受理)

一様流中における円柱後流の三次元構造

松田智恵子*¹, 佐賀孝徳*²

The Three Dimensional Structure of Cylinder Wakes in Uniform Flow

Chieko MATSUDA*¹, Takanori SAGA*²

Abstract

Using the flow visualization techniques with streamwise view, plan view, whole view and PTV, the three-dimensional structure in cylinder body wakes in uniform flow are investigated. Hydrogen bubbles were used as tracer in flow visualization technique. The structure of streamwise vortices in cylinder body wakes and its transmission characteristics became clear. And the three-dimensional structure, for example spanwise scale and time-space instability of streamwise vortices, changing with Reynolds number are clarified. By PTV, the motions of streamwise vortex changing with the time series are investigated. Furthermore it was shown clearly that bifurcation phenomenon play important role of the structure and the transmission characteristics of streamwise vortices.

Key Words : three-dimensional structure, streamwise vortex, cylinder body wakes, PTV

1. 緒論

物体周りの流れは、自然界の現象はもとより、航空工学、船舶工学、自動車工学などあらゆる工学の流体力学の分野で数多く観察される基本的で重要な流れである。その現象は物体に直接作用するいわゆる流体力を及ぼすことから、これまでも多く研究がなされてきている。流体力を応用し、翼による揚力、抗力を制御する飛行原理、流線型による圧力抵抗の軽減は、物体周りの流れの制御が工学的に生かされている事例である¹⁾。

物体周り、特にその素過程として一様流中における円柱周りの流れに関する研究は、今日まで数多く行われてきているが、物体後流中の流れ構造については、明らかとされていない部分がある。しかしながら、後流中の三次元性に注目することにより、今まで多く謎とされていたことが最近の文献²⁾で解明されてきている。Williamson

によれば、後流中の三次元性の研究は、この分野の研究を劇的に進展させる鍵であるとされる³⁾。

また、流れの三次元性に関する研究では、開水路乱流内層における壁面領域の組織構造の考察がなされ、そこでは壁縦渦が組織構造の支配的な役割を果たし⁴⁾、さらに、瞬時二次流れを誘起することが明らかにされている^{5)・6)・7)}。このことは、縦渦の形成が流れの三次元構造を解明するうえで重要な視点であることを示している。

以上のことを踏まえ、本研究では一様流中に置かれた円柱周りの流れの研究を行い、円柱後流の組織構造の三次元性、時系列特性を縦渦の挙動に注目しながら、可視化により検討する。さらにPTVを用いて、流れの三次元構造が誘起する瞬時流速分布特性について解析、考察を行う。

*¹ 環境建設工学専攻

*² 土木建築工学科

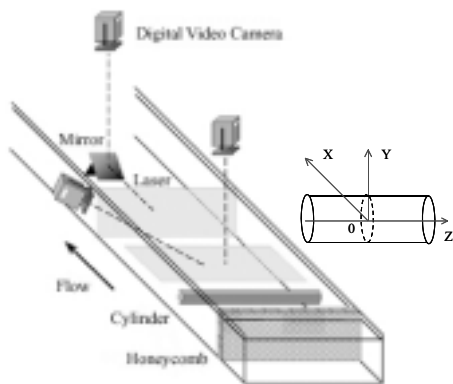


図-1 実験方法の概略

2. 実験方法および解析方法

実験装置は、長さ10m、幅60cm、高さ15cm、水路床勾配1/1000の総アクリル製開水路を用いた。開水路流れの中に円柱を水平に挿入し、円柱上流側75cmに整流用のハニカムを設置し、下流端には水位調節用の堰を設置した。実験方法の概略を図-1に示す。

本研究では、水平円柱周りの流れを横断面視、水平断面視および水路上方と側壁からの全体視により可視化し、その形象をデジタルビデオカメラにより撮影した。流れの可視化は水素気泡法、およびフルオレセインナトリウム水溶液を用いた染料流脈法（比重1.005）で行った。一様流中では、円柱の中心を原点とし、流下方向をX、水深方向をY、円柱軸方向をZとする。これらは円柱の直径Dで無次元化した値で表現する。

実験条件は表-1に示すとおりで、レイノルズ数、平均流速は、流下断面積の損失による流速の増加を考慮した値を示している。

解析方法は、可視化実験により得られた粒子映像の観察とPTVによる。PTVは可視化映像を1/15秒ごとに画像として3枚取り込み、各画像の粒子を画像処理ソフトにより着色する。その後、各画像を重ね合わせ、それぞれの粒子の軌跡を求めることで瞬時流速成分を求めた。また、それらを基にして変動流速分布、渦度を計算した。

3. 実験結果および考察

3.1 横断面形象

物体背後の流れは、カルマン渦に代表される後流域とその渦が発生するまでの形成領域とに分かれる。さらに、形成領域内には流れが停滞している死水域、せん断渦が

表-1 実験条件

	レイノルズ数 $Re=UmD/\nu$	平均流速 $Um(\text{cm/s})$	水深 $H(\text{cm})$	動粘性係数 $\nu*10^{-2}(\text{cm}^2/\text{s})$	可視化条件
Case1	599	1.675	10.9	0.897	横断面可視化
Case2	612	1.709	10.8	0.897	
Case3	611	2.293	10.4	1.204	
Case4	600	1.676	10.8	0.897	水平断面可視化
Case5	616	1.723	10.8	0.897	
Case6	1618	4.520	12.0	0.897	
Case7	254	0.981	13.0	1.237	水平全体視および 水路側壁からの 斜め全体視
Case8	270	1.045	12.2	1.237	
Case9	294	1.138	11.2	1.237	
Case10	333	1.288	9.9	1.237	
Case11	383	1.474	13.1	1.237	
Case12	418	1.609	12.0	1.237	
Case13	482	1.857	10.4	1.237	
Case14	506	1.951	9.9	1.237	
Case15	424	1.678	12.0	1.271	水平断面可視化

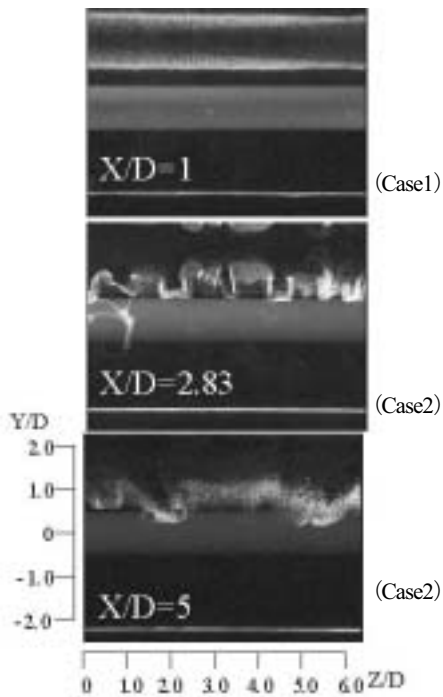


図-2 横断面形象

形成される、はく離せん断層が存在する。本章では、X/D、Y/Dの変化に伴う、円柱背後の形成領域内の三次元性について考察する。

図-2に可視化位置、X/Dの変化に伴う横断面形象の変化を示す。流れは紙面奥から手前である。X/D=1では形成領域内であるため三次元的な挙動は見られず、水素気泡が下流方向へ一様に流れる。X/D=2.83は形成領域の終端にあたり、縦渦が形成されて、流れが三次元化している。X/D=5では後流が形成され、カルマン渦と縦渦が発生して円柱周りの流れが三次元化し、さらに複雑化している。

図-3は形成領域内におけるY/Dによる形象の変化を示したものである。形成領域内においてX/Dを1から1.75まで段階的に変化させ、さらに各条件においてY/Dを

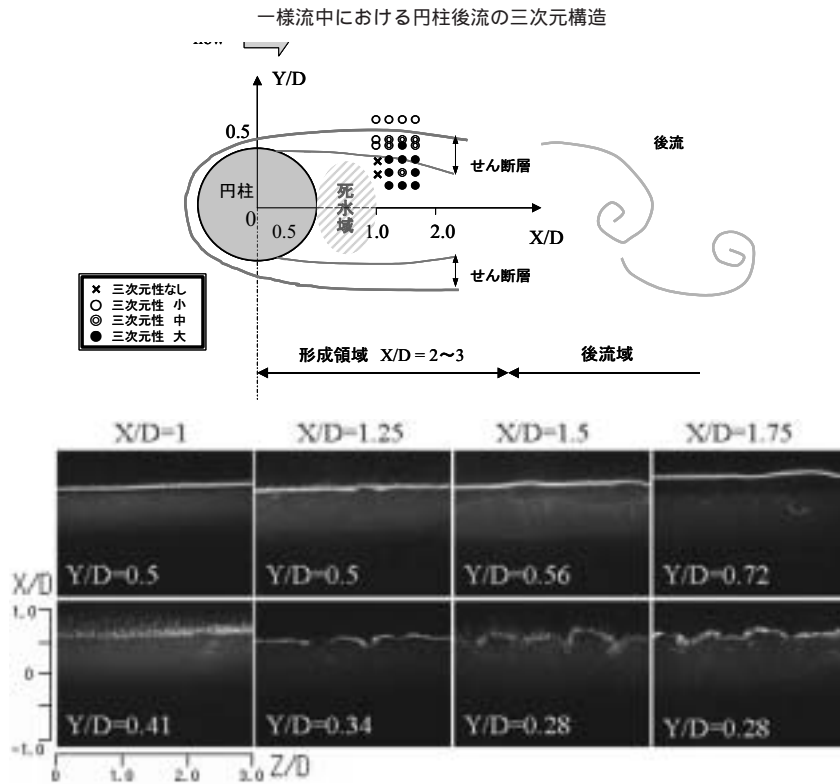


図-3 形成領域内における Y/D による横断面形象の変化 (Case3)

0.72 から 0.28 まで変化させた。円柱の端部は、 $Y/D=0.5$ に当たる。このポイントは、はく離せん断層の境界におよそ対応することから、横断面形象に何らかの変化が見られるものと想定した。

$X/D=1$ では $Y/D=0.5$ 以上の領域において、図-2 にも示した通り、トレーサーは一様に流下する。一方、 $Y/D=0.41$ 以下の領域は死水域であるため、流れが停滞しており流下速度を失った水素気泡は上昇している。

$X/D=1.25$ では $Y/D=0.5$ の領域にさしかかった時点で、まったく一様には流下せず、形象にやや変動が見られ始める。さらに Y/D を下げると、流れには流下以外の成分が見られるようになり、一部にはマッシュルーム型渦のような形象が見受けられる。

$X/D=1.75$ では、 $Y/D=0.72$ においても三次元的な流れが見られ、マッシュルーム型渦の一部分が確認されるようになる。これらの形成領域内における流れの三次元化は、カルマン渦が形成される過程にある円柱規模の巻き込み流れの影響を受けるためである。

ここで、横断面形象における円柱後流の縦渦の挙動を図-4 に示す。各形象は 0.6 秒間隔で $X/D=2.83$ である。円柱端から流下するトレーサーがその上部より発生する巻き込み流れに移流しながら縦渦を形成し、巻き込み流れの方向に従って移動している様子が確認される。この

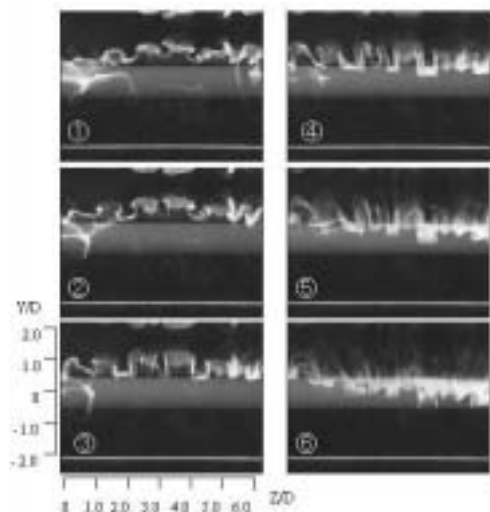


図-4 縦渦の挙動 (Case2)

とき、縦渦の中心部にはトレーサーが集中し、尾を引くように筋を上方に残す。このように筋を残す形象は水平断面形象においても観測された。さらに、流れの全体視を行うことにより、この形象を明確にとらえることができた。その詳細については全体視についての考察で示す。

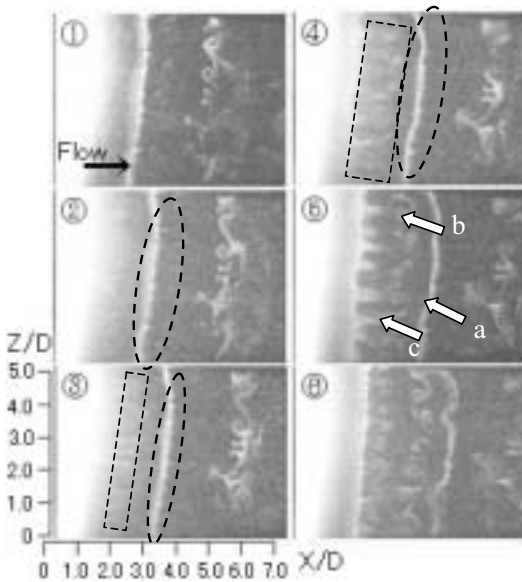


図-5 水平断面画像 (Case4)

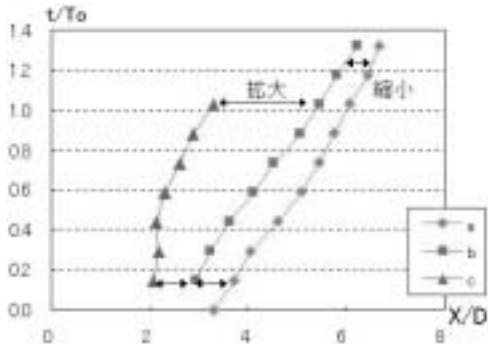


図-6 各形象の位置関係の変化

なお、この一連の運動の周期は6.8秒であった。この周期を片側のせん断層から発生するカルマン渦の平均周期と考え、これよりストローハル数 $St (=fD/U, f: 円柱の背後に生じる渦の振動数, D: 円柱の直径, U: 平均流速)$ を求めると0.197となり、これまで明らかとされたカルマン渦の結果と一致する⁸⁾。また、この縦渦構造の発生は、遠心力不安定⁹⁾に起因すると考えられる。

3.2 水平断面画像

図-5に水平断面画像の時系列変化を1秒間隔に示す。流れは紙面左から右である。スリットの位置は $Y/D=0.4$ でスリット厚はスリット位置を中心に10mmずつ上下に広がっており、計20mmである。円柱上側を流下したトレーサーは形成領域内では一様に流下するが、後流を形成する点に至ると一部が消失する。その後、消失した部分を境に円柱軸方向の1本の線となり、さらに流下していく

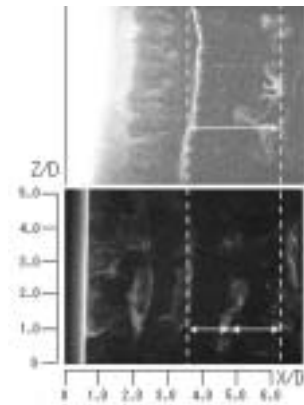


図-7 水平断面画像 (Case4, Case5)

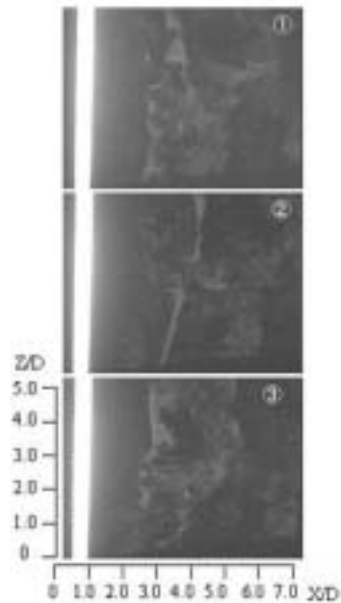


図-8 高 Re 数における水平断面画像 (Case6)

と上流側にマッシュルーム型の渦が出現する。この際、形成領域内に残されたトレーサーに、このマッシュルーム型の筋と連動するような流下方向への筋状の形象が確認される。横断面画像の場合は、巻き取られるトレーサーが下流から上流方向へ筋を残すのに対し、水平断面画像では逆に、巻き取られずに残されたトレーサーが円柱から下流方向へと筋を残している。これら2種類の筋の残り方には、互いに繋がっているなどの相互関係があると考えられる。

同図中⑤には線 (a) と、マッシュルーム型の渦 (b)、そして筋状の形象 (c) が明確に確認される。「線」は水平面での巻き込み運動の先端 (全体視ではないので必ずしも「先端」とは断言できないが) が流下する様子を示し、「渦」は縦渦の挙動にも示されたように、縦渦が巻き

込み運動に伴って流下しながら回転し、水平断面に出現している可能性が考えられる。中でも上流側に発生する筋については、反対側のせん断層からの巻きこみ流れも流下とともに存在してくることから、両者の相互関係を今後詳細に調べる必要がある。

図-6 に水平断面に確認された各形象の位置関係の変化を示す。縦軸は流下時間をカルマン渦の発生周期で無次元化した値、横軸は各形象の位置 X/D を表し、グラフは左より順に、c は筋状の形象、b は渦、a は線の形象の移動を表す。なお、筋状の形象は一瞬しか確認されないが、発生後は残されたトレーサーと同化して流下するため、流下の先端位置を測定した。これより、線と渦の形象は流下するに従いその位置関係が狭まっていくことが確認され、それとは対照的に、筋状の形象と渦との間隔は流下するにつれて次第に離れていく。本研究においては、円柱上側のせん断層の巻き込み流れのみを可視化しているが、この傾向には反対側からの巻き込み流れの発達も深く関係していると考えられる。この場合、筋状形象と渦の間に下側からのカルマン渦が入り込み、渦の成長によって発生段階より渦径が増大していくため各形象の流下距離に差が生じ、結果としてマッシュルーム型渦は流下方向に追いやられ、筋の流下は上流側で足止めされる形となる。また、図-12 (Case15) にもマッシュルーム型渦の形成される様子が観測されたが、この断面においては、線状形象は発生しなかった。

図-7 に可視化方法の相違による形象の変化を示す。上図は水素気泡による可視化、下図は染料による可視化である。染料による可視化は $Y/D=0.17$ でスリット厚は 19 mm である。水素気泡と異なる点として、形象の間隔が短いということが挙げられる。その間隔は水素気泡の場合の約 1/2 で、これは両側からのカルマン渦による可視化形象が認められるためである。

図-8 に高レイノルズ数における水平断面形象を示す。Re=2088 で、各画像は 1 秒間隔である。Re=800 でも見られた形象が瞬間的に観察されたが、流れが速いため変動が激しい。トレーサーが巻き取られ雲状に集まり流下していく周期は約 2~3 秒であった。

3.3 全体視

本研究においては、流れの全体像を捕らえるためにスリットを用いない全体視を行った。これにより、今まで断片的に見えていたそれぞれの形象に関連性を見出すことが可能となった。図-9 にレイノルズ数の変化による全体視の変化を示す。図の左列は水路上方から水平面を捕らえた全体視で、右列は下流側の水路壁から円柱後流の斜め全体視を行ったものである。ここでは流速によって

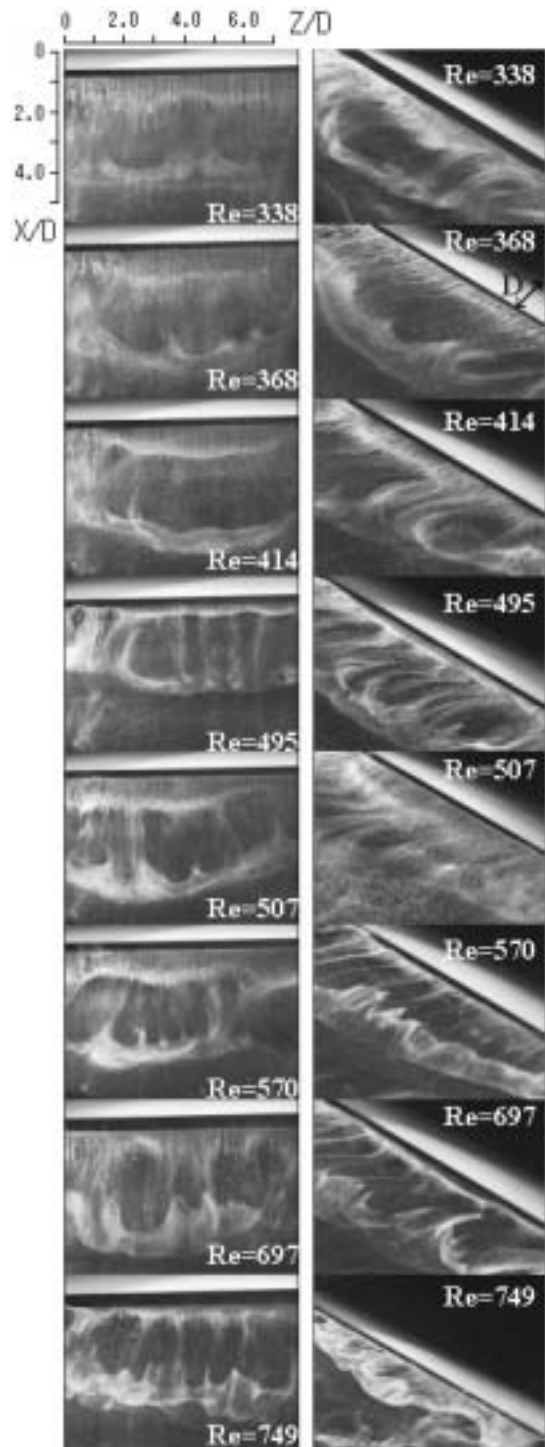


図-9 全体視 (Case7~Case14)

形象の発生に変化が生じている。Re=300 後半では、カルマン渦形成時にトレーサーが巻き取られる際に尾を引く現象は見られないが、Re=500 付近になると頻繁に発生するようになる。特に Re=495 の全体視では水平全体視・斜

め全体視の両方において、「尾」がトレーサーを発生させるタングステン線の位置まで伸びていることが確認される。これは図-10の斜め全体視の時系列変化でも観測された。各画像は1秒間隔で、トレーサーの流下・巻き取り、尾の発生が示されている。尾は、横断面形象で確認された縦渦の回転成分である可能性が高く、これが次のカルマン渦の形成部分までに伝わっている。すなわち、縦渦の回転成分は次に発生する縦渦に伝播していると考えられ、後流の三次元性は次から次へと伝播していると予想される。

流速が上昇すると尾の発生する間隔は狭まり、また流れの三次元化やカルマン渦の発生周期が早まるためトレーサーが途切れてしまい、全体像が捕らえにくくなってしまう。そうして $Re=495$ 以降の形象を観察すると、流速が速まるにつれて尾の連続性は減少していく。 $Re=749$ の水平全体視では連続性が失われ、水平断面形象で観測された筋状形象が生じるようになる。

以上の結果より、次のような構図が浮かび上がる。まず、円柱下側からカルマン渦が形成され、流れが集中した部分に尾を引く現象や筋状形象、つまり縦渦の成分が発生する。断面視においては、これらが巻き込み流れを伴いながら流下することによって、マッシュルーム型の渦、縦渦の形が確認されるようになり、その後、この縦渦は、反対側のせん断層から発生する縦渦に自身の回転成分を受け渡す。この際に、回転成分を受け渡す縦渦の位置は互いに入れ違いとなり、縦渦の回転部分を共有する形となって重なる(図-18参照)。

図-11に縦渦の円柱軸方向の発生間隔($=\lambda z/D$, λz : 縦渦の発生間隔, D :円柱の直径)とレイノルズ数の関係を示す。本実験での $Re=800$ 付近における縦渦発生間隔を測定した結果、 $\lambda z/D=0.96$ であった。これより、その発生間隔は円柱径にほぼ等しくMode Bとなり、従来の傾向と一致する¹⁰⁾。また、図-9では $Re=338\sim 414$ での水平全体視において、縦渦の発生間隔が円柱径の3~4倍となるMode Aおよび等倍となるMode Bの両ケースが発生している。さらにレイノルズ数が増大すると発生間隔はMode Bへと移行する。

3.4 瞬時流れの構造特性

水素気泡による水平断面視(Case 15)の時系列の形象変化をPTVで得られた結果をもとに考察を行う。なお、この実験は、水素気泡の発生位置は $X/D=1.18$, $Y/D=-0.83$ であり、スリットは $Y/D=-0.32$ の位置で可視化を行った。その結果を図-12~16に示す。流下方向は紙面上から下で、縦軸は X/D , 横軸は Z/D で表した。各画像は1秒間隔で、1秒ごとに(a), (b), (c), (d)と表すことにする。

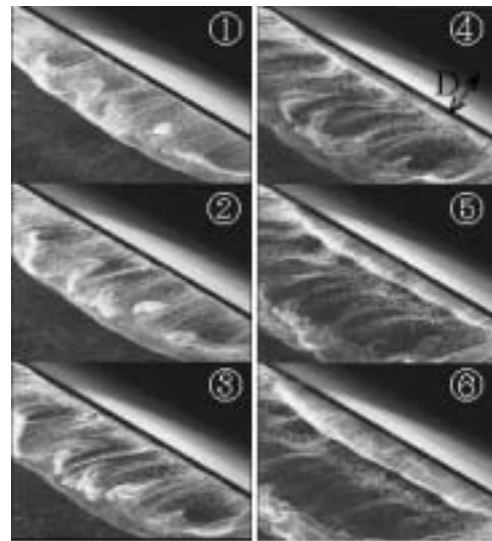


図-10 斜め全体視 (Case10)

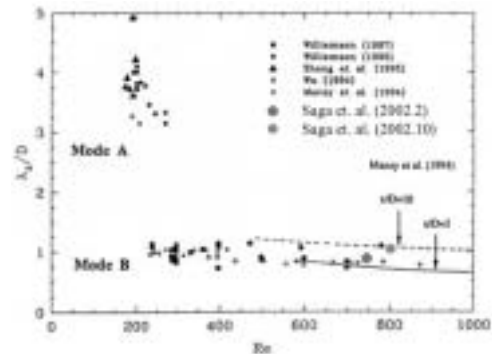


図-11 $\lambda z/D$ と Re 数の関係³⁾

図-12は水平断面形象の3秒間の変化を時系列で示したものである。横断面視、水平断面視と同様に縦渦の筋を引く形象が見られる。渦や筋の形象変化の説明については水平断面形象、全体視の節で述べたので省略し、ここでは速度情報との関係を含めて、それらの時系列における変化の特徴を追っていくことにする。ここで、図-12の縦渦対を左から順に縦渦①, ②, ③とし、それに対応する左右の渦, 筋をそれぞれ $1V_L$, $1V_R$, $1S_L$, $1S_R$, $2V_L$, $2V_R$, $2S_L$, $2S_R$, $3V_L$, $3V_R$, $3S_L$, $3S_R$ と表す。これらの渦と筋の形象は図-17の模式図に対応する。特に回転の様子が明確に現れていた $2S_R$ に注目すると、水平断面形象で述べられた筋にも図-19に示すようならせん状の回転が存在することが明らかになった。

図-13に瞬時速度ベクトルを示す。ほとんどの速度ベクトルが流下方向に向かっているが、一部、逆向きのベクトルが認められる。これは図-12の流れが逆流していた領域に相当し、この領域は、ベクトルが短いことから、流

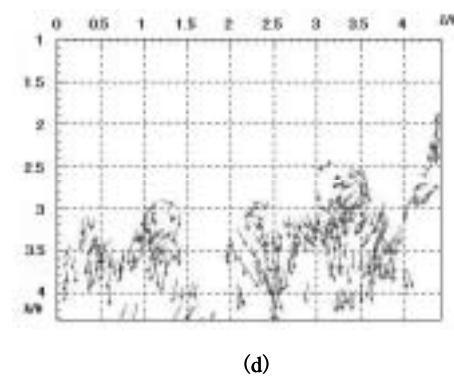
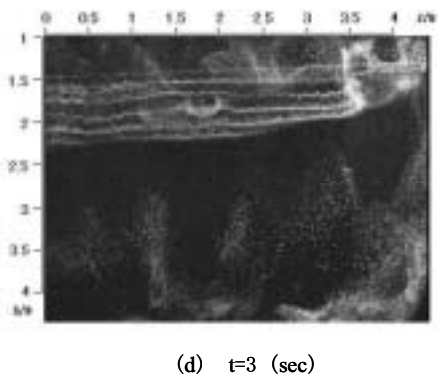
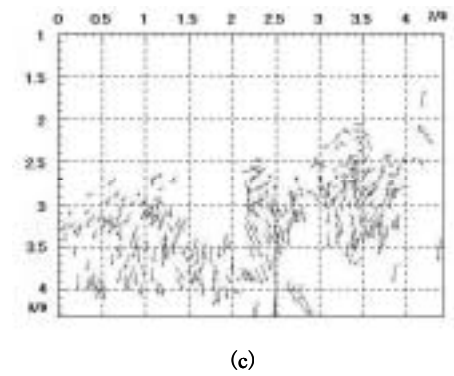
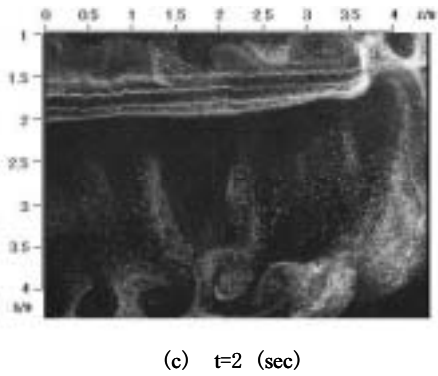
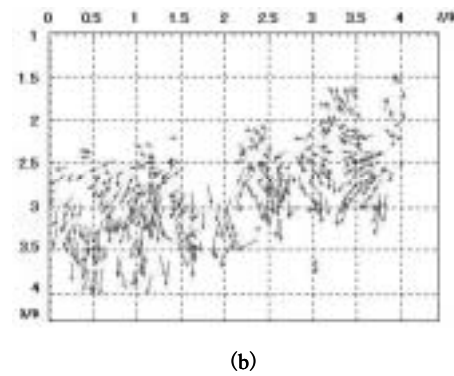
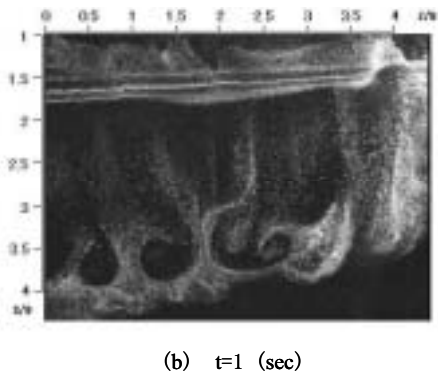
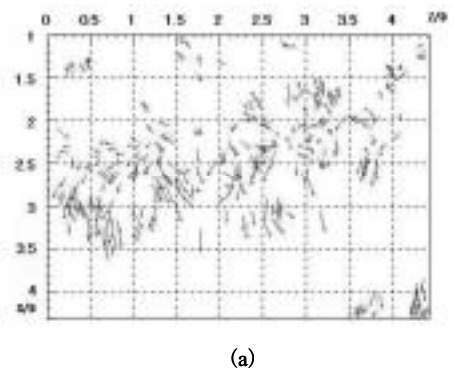
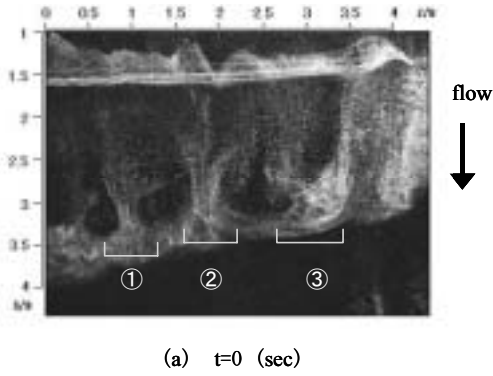
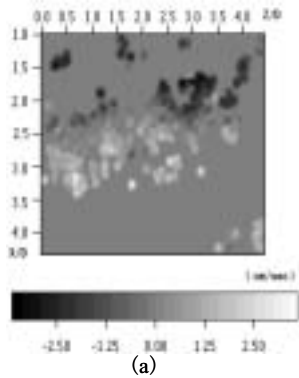
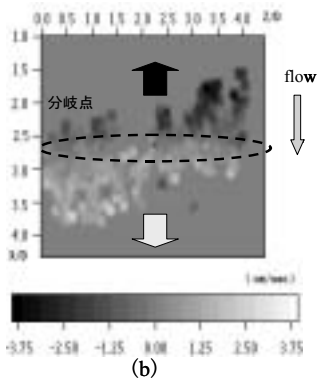


図-12 水素気泡による水平断面形象 (Case15)

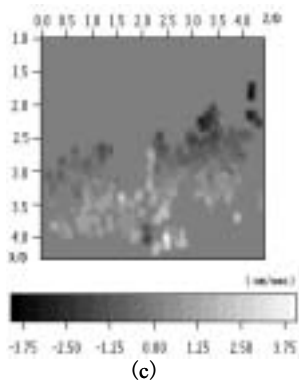
図-13 瞬時速度ベクトル



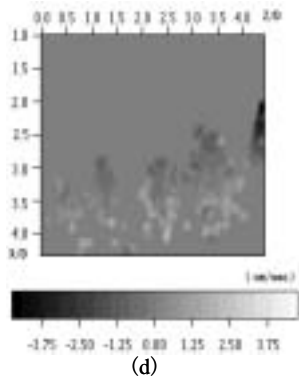
(a)



(b)

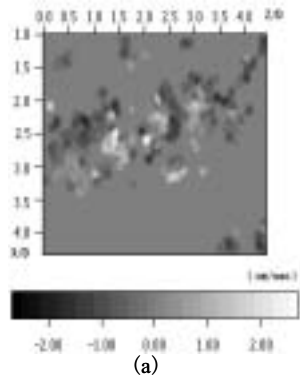


(c)

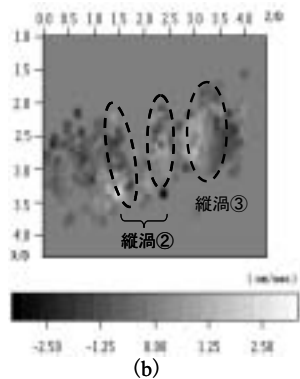


(d)

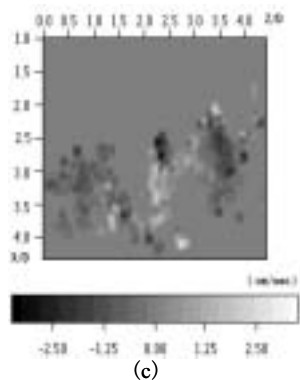
図-14 変動U成分の分布



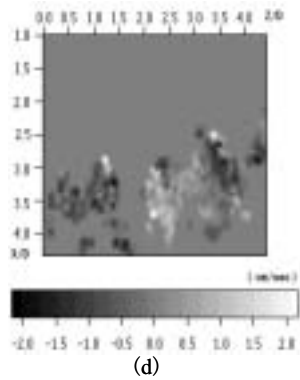
(a)



(b)

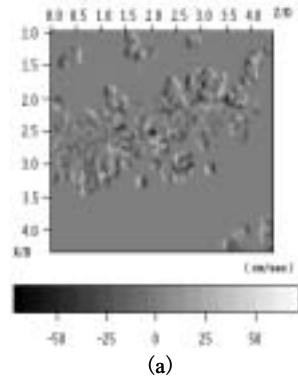


(c)

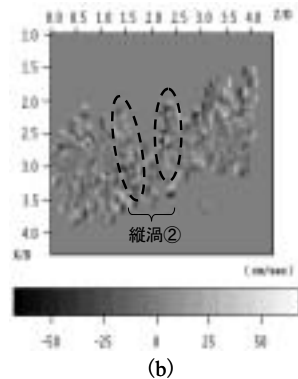


(d)

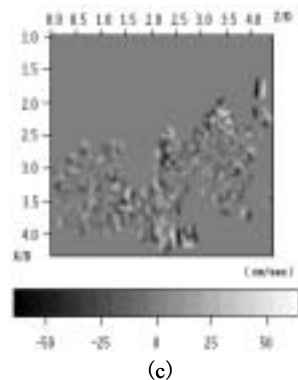
図-15 W成分の分布



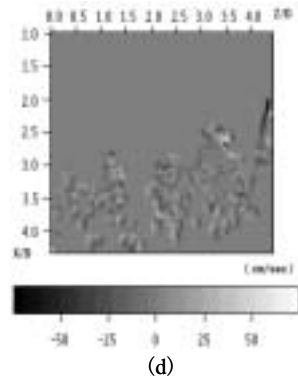
(a)



(b)



(c)



(d)

図-16 渦度の分布

下方向の成分と比較して移動距離が少ないという特徴がある。また、図-12 でほとんど動きがなく上昇しているように見えた部分はベクトルが短く、流下方向に向かって流れていることが明らかに確認できる部分はベクトルが長く表示された。回転運動の認められる領域は向きの異なる速度ベクトルが重なり合っている。全体の形象としては流下方向のベクトルが多く、一部、逆流はあるものの、緩やかに流下方向に流れている。

図-14 は X 方向の速度から移流速度を除いた場合の流れを示したもので流下方向への移動を白色、逆流している領域を黒色で表した。黒色で表示された領域は、図-12 における形象の筋に相当する部分で、可視化形象においても同様の現象が観察された。また、筋のらせん状の回転は図-14 の白と黒色の境目で逆回転になることが認められた。この境を以下、分岐点と呼ぶ。分岐点を境に進行方向も回転方向も逆になる現象が起こっているが、縦渦が連続しているものと考え、これを縦渦の進行方向から観察すると、分岐点の上下は同回転であった。これより、円柱上方から発生したカルマン渦の縦渦が、下側のカルマン渦より発生した縦渦の影響を受けて、分岐し、その回転成分を保持したまま、一方は上流側に、他方は流下方向に向かうと考えられる。これらの結果と、全体視の節での考察を合わせた水平円柱の後流の三次元モデルを図-18 に示す。

次に、Z 方向における W 成分の分布図を図-15 に示す。画面に向かって右側への移動を白色、左側への移動を黒色で示している。これより各瞬間で流れの向きが左右に変化していることが認められる。このことは、図-12 において、発生した縦渦が隣り合った渦、筋の影響を受けて横方に揺動しながら流下していく様子から裏付けられる。

図-16 に鉛直方向の渦度の分布を示す。縦渦の回転方向は時計回りを白色、反時計回りを黒色で表すことにするが、ここでは、縦渦はらせん状に回転しているため、白と黒は常に対として考えるものとする。これより、色が濃く表れている部分は図-12 に示す縦渦の回転運動が強い領域と一致する。さらに、時系列による変化において、ほとんど縦渦の回転成分が見られなくなった(d)では、(a), (b), (c) と比較し、色が半分の薄さになっていることから、回転の成分が弱くなったと考えられる。また、回転方向も図-17 で示した模式図とよく一致し、回転方向が逆になる分岐点を境に逆転した白と黒の組み合わせが存在することも確認できる。

図-14, 図-15 を含め、その前後の解析結果から、縦渦は強さの異なる渦同士で対になり、左右に揺動しながら流下していくことが考察できる。縦渦は、そのほとんどが対をなしており、縦渦対に関して、渦は互いに影響を

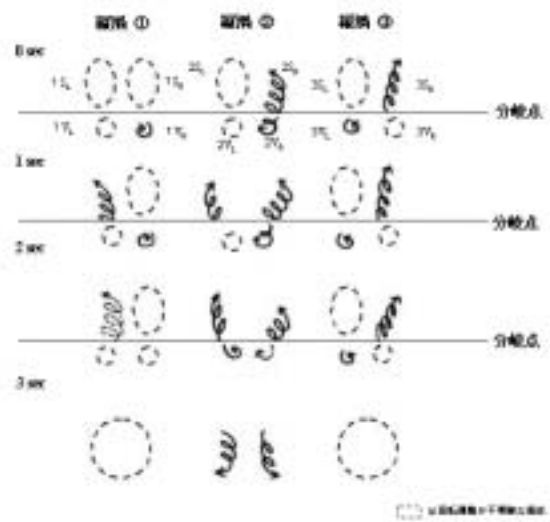


図-17 時系列による縦渦の形象変化



図-18 後流の三次元モデル

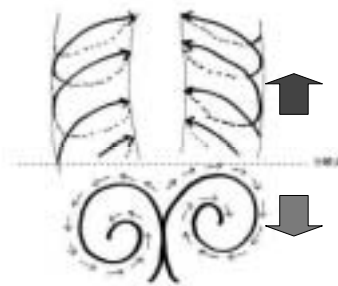


図-19 縦渦の詳細

及ぼし合い、対自身としても複雑な挙動を繰り返すが、隣り合う渦同士でもそれぞれの渦の強さと規模に応じて相互作用を繰り返すことが知られている⁴⁾。また、開水路に形成される壁縦渦対の挙動に関して、渦対が付根を中心にして左右に揺動現象を呈するという特徴が明らかにされており⁴⁾、この揺動の原因は、渦対を形成するそれぞれの渦の強さが常に異なるためと考えられている。2S_R 付近の筋についても、筋の回転が強い部分と弱い部分が

交互に存在し、弱い部分はほとんど回転せず上昇していることが確認された。

これらのことから、同様の現象が円柱後流においても起こっていると推測でき、それは渦の強さが大きい方の影響を受けて揺動が繰り返されていると思われる。開水路壁面には壁縦渦対が強弱のペアで形成されるが、円柱後流中においても、同様に強弱のペアの縦渦が形成されることは注目すべき点である。

4. 結論

本研究では流れの可視化、PTV を用いて一様流中における円柱後流の組織構造と三次元性、瞬時流速分布特性を検討し、以下のことが明らかになった。

(1) 円柱後流に発生する縦渦は交互に発生するせん断層からの巻き込み流れに伴って、その回転成分を受け渡しながら、後流の三次元性を伝播させる。このことは瞬時流速特性の解析においても明らかとされた。

(2) レイノルズ数の上昇にともない三次元性の伝播は顕著となり、 $Re=500$ 周辺においては、伝播の様子と考えられる筋状形象が明確に確認される。さらにレイノルズ数が上昇すると、流れ場の三次元性が複雑化するため、これらの形象は確認されない。

(3) PTV により、縦渦の伝播に、回転成分の受け渡しの行われる分岐点が存在することが明らかになった。また、円柱後流中に形成される縦渦について、開水路の壁縦渦と同様に、強さの異なる渦対が形成され、揺動現象が起こることも確認された。

文献

- 1) J.C.R. Hunt: INDUSTRIAL AND ENVIRONMENTAL FLUID MECHANICS, *Annu. Rev. Fluid Mech.* Vol.23, pp. 1-41, 1991.
- 2) Roshko A.: Perspectives on bluff body aerodynamics. *J. Wind Ind. Aerodyn.* 49:79, 1993.
- 3) C.H.K. Williamson: VORTEX DYNAMICS IN THE CYLINDER WAKE, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, Vol.28, pp.477-539, 1996.
- 4) 大成博文, 佐賀孝徳, 斎藤隆: 開水路乱流内層の縦渦構造, 土木学会論文集, 第367号, pp.135-144, 1985.
- 5) 佐賀孝徳, 大成博文, 渡辺勝利, 斎藤隆: 開水路乱流内層の渦構造と流速波形の相互関係, 土木学会 論文集, 第393号, pp.131-140, 1998.
- 6) 佐賀孝徳, 大成博文, 渡辺勝利, 杉本博幸: 開水路乱流側壁領域の組織構造と二次流れの形成機構, 土木学会論文集, No. 677/II-55, pp.33-41, 2001.
- 7) 佐賀孝徳: 壁乱流の組織構造と速度変動の同時測定について, 土木学会応用力学委員会乱流研究小委員会中間報告書, pp.30-34, 2001.
- 8) 渡辺英樹, 佐賀孝徳: 一様流中における円柱周りの流れ構造と円柱の振動特性, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第25号, pp.73-80, 2001.
- 9) 奥出宗重, 大蔵信之, 早藤英俊: 渦輪に現れる遠心力不安定, ながれ 21, pp.78-88, 2002.
- 10) 佐賀孝徳, 今本雅恵, 渡辺勝利: せん断流中における円柱後流の三次元構造に関する研究, 水工学論文集, 第46巻, pp.541-546, 2002.

(2003. 9. 5 受理)

徳山工業高等専門学校校外発表論文，学術講演，
著書，分担執筆など

(平成14年・9・6～平成15年・9・5)

学 位 論 文

指紋画像のための2値化手法に関する研究

学位 博士(工学)

取得大学 山口大学

取得年月日 平成15年3月10日

三木 幸

ブロードバンド・インターネットの時代をむかえ、情報システムに対するセキュリティ対策、特に本人認証が重要となってきた。指紋は、万人不同、終生不変という特徴から、運用性や経済性に優れているため、昔から個人を識別する有力な手段として用いられてきた。指紋は谷線と隆線が、渦状や蹄状などの紋様を形成するが、隆線の分岐する点や端の点（これをマニューシャと呼ぶ）が個人を同定する特徴となる。しかし、指紋は非常に雑音のりがやすく、雑音除去の精度が最終的な指紋照合の精度に大きな影響を与える。これまで、指紋画像を対象として多くの2値化手法が提案されているが、これらの比較・評価については十分な検討がなされていない。本研究では、指紋画像を対象として2値化手法を評価した。さらに、雑音の中でもこれまでに検討されていない傷に注目し、傷の影響も受けにくい2値化手法について検討した。

指紋を採取する際には、(1)指の方向による画像の回転、(2)押捺面が固定できないこと、(3)インクの擦れやかすれ、(4)押捺時の圧力の加減による歪み、(5)指の傷、(6)汗腺孔などの問題がある。これらの問題点のうち(1)と(2)は、押捺時の注意や指を固定するリードをつけるなどにより改善が可能である。(3)はインクを用いる場合特有の問題となる。一方(4)～(6)はインクの使用によらず、雑音となる。指紋照合システムは、入力部、特徴抽出部、事前のテンプレート指紋の登録部、照合・判定部からなる。特徴抽出部と照合・判定部を構成するモジュールは、照合に用いる特徴の種類に依存し、マニューシャなどの特徴点を特徴とする方式(以下、特徴点方式と呼ぶ)と、非特徴点方式に分けられる。雑音のうち(4)の押捺時の圧力の加減による歪みは非特徴点方式では吸収できないため、照合の高精度化のためには特徴点方式の方がよい。また、特徴点方式では、傷や汗腺孔、インクの擦れやかすれなどの雑音を含む低品質な指紋画像では、これらの雑音を

除去した後に特徴点を抽出しなければならない。前述の雑音のうち、これまでに(4)のかすれと(6)の汗腺孔については、それぞれ木村らの研究や Stosz らの研究があるが、(5)の傷に関してはまだ研究がなされていない。本研究では、特徴点方式の照合システムにおける2値化処理の重要性に着目し、高精度な2値化処理が照合精度の向上に寄与することを明らかにした。本論文は4章からなる。以下に各章の要約を述べる。

第2章は、特にフィルタリングによる前処理に焦点を当てて2値化手法を特徴づけ、代表的な4つの2値化手法と通常の局所しきい値法を含めた5つの2値化手法を比較した。一般的に、指紋の照合過程は、前処理、しきい値処理、細線化、後処理、特徴点抽出、照合からなる。本論文では、前処理としきい値処理を併せて2値化処理と呼ぶ。前処理としては、濃淡画像における雑音除去や隆線の復元処理を行う手法と画像強調処理を行う手法が提案されているが、本論文では、画像強調処理に注目する。画像強調処理はフィルタリングにより行われる。フィルタのたたみ込み処理には、隆線方向を用いる方法と隆線方向を用いない方法がある。前処理後、局所しきい値法を用いて2値化指紋画像を得る。NIST指紋データベース14から抽出した高品質な指紋画像に対し、5つの2値化手法から、それぞれの2値化指紋画像を得た。得られた2値化指紋画像について、特徴点の抽出精度を目視により主観評価した。さらに、分離度と照合率による客観的評価も行った。両方の評価結果を総合的に判断して、高品質な指紋画像に対しては、contextual フィルタを用いて画像強調を行う Mehtre 法が有効であるという結果を得た。

第3章では、2章で有望と考えられる Mehtre 法に対し、傷のある低品質な指紋画像に対しても有効となるようにロバスト化を図った。指の傷の存在は隆線方向の抽出に重大な影響を与えるため、隆線方向の情報をを用いる照合システムでは精度の低下が予想される。従って、傷のある指紋画像を対象とする立場からの2値化の検討は、照合システムの実用化を考える上で、重要であると考えられる。傷のある指紋画像に対する Mehtre 法の照合率は、傷のない指紋画像に比べて、10倍程照合精度が劣化した。劣化した第1の理由は、

傷の存在により隆線方向が正確に抽出できないことであると考えられる。Mehtre 法では隆線方向を抽出する際、隆線が不明瞭な領域や、傷のある領域に対しては隆線方向を正確に抽出することができない。第2の理由は、contextual フィルタによる強調処理に関することであると考えられる。Mehtre 法では、contextual フィルタのサイズが、指紋画像の全領域で同一である。一般に、指紋画像には、押捺の圧力変化により隆線間隔が狭い領域と広い領域が存在する。そのため全領域を同一のフィルタサイズでフィルタリングすると、隆線間隔が広い領域では隆線が割れる場合がある。逆に、隆線間隔が狭い領域では隆線がゆ着する場合がある。これらが照合精度を劣化させる原因となる。Mehtre 法の問題点を改良するために、隆線方向の修正法と強調処理法を提案した。

まず、画素ごとに隆線方向を求めた後、濃淡指紋画像を $B \times B$ のブロックに分割する。全ブロックを隆線が比較的明瞭なブロック（以後、有効ブロックと呼ぶ）と、不明瞭なブロック（以後、無効ブロックと呼ぶ）に分類する。無効ブロックは、隆線方向が不明瞭な領域であり、ゆ着やインクの擦れなどを含む。背景も無効ブロックとする。有効ブロックの隆線方向を求め、周囲の有効ブロックとの隆線方向の相違により、有効ブロックを方向確定ブロックと方向未定ブロックに分類する。方向未定ブロックは、傷や擦れなどを含んでいる。隆線方向未定ブロックの隆線方向は、隆線方向確定ブロックの隆線方向を参照しながら、隆線方向差が小さくなるように修正した。

次に、有効ブロックに対してのみ Gabor フィルタを用いて画像強調を行う。このフィルタリングでは、フィルタの波長を隆線間隔と等しくするように、Gabor 特徴値から隆線間隔を推定した。3種類の波長の Gabor フィルタをそれぞれ有効ブロックにたたみ込み、3つの Gabor 特徴値を得る。3つの Gabor 特徴値の中で、最大の特徴値を与える Gabor フィルタの波長をその有効ブロックの隆線間隔とする。次に、有効ブロック間での隆線間隔が急激に変化しないように、隆線間隔の平滑化を行う。各ブロックごとに、隆線間隔に適合した波長をもつ Gabor フィルタの実部をたたみ込むことにより画像を強調する。最後に局所しきい値法により2値化する。

1308 個の指紋画像を用いて照合実験を行った。任意の2枚を選ぶ本人同士の組合せ 654 通り、他人同士の組合せ 854,124 通りに対して、笹川らの特徴点による精照合方式により照合実験を行った結果、提案手法の照合精度が最も高かった。傷のない指紋画像に対して提案手法を用いることで他人受理率がわずかながら増加したものの、大幅に照合精度が劣化することは見られなかった。これらにより、提案手法の有効性が確かめられた。

第4章で、まとめと今後の課題を述べた。一般に、特徴点方式による指紋照合システムは、2値化処理、細線化処理、後処理、特徴点抽出、照合のモジュールからなる。照合システムを構成する各モジュールは相互に深く関連するため、モジュール単体の評価に加えて、照合システム全体としての評価も行わなければならない。

論 文

移動平板導体に対向した多層ひし形コイルのインピーダンス解析

電気学会論文誌D Vol.123 No.4
pp.337-343 (2003)

田中章雄 石田浩一 武平信夫 三木俊克

近年、金属平板を対象とする渦流探傷の分野において、平行四辺形コイルやひし形コイルを使用することの有用性が報告されている。その理由は、これらのコイルが、従来からよく用いられている円形コイルでは得ることのできない磁界分布を生成できるところにある。したがって、その特長を有効に利用すれば、渦流探傷のみならず、他の分野への応用も大いに期待できることになる。そのためには、多くの詳細な検討が要

求されるが、これらのコイルについては、まだまだ不十分と言わざるをえない。中でも、厳密な磁界解析や、それに基づいた各種検討については、著者らの単層ひし形コイルに関する報告以外には見当たらないようである。また、より実用的と考えられる多層コイルや扁平コイルの解析に至っては、コイル幅についての式的取り扱いに困難を生じ、今まで未解決のままとなっている。

そこで、本論文では、平板導体に対する多層ひし形コイルのインピーダンス変化に着目し、まず、厳密な磁界解析を行う。そして、得られた結果を基に、コイルの自己インダクタンスの計算式を求めている。続いて、平板導体の影響によるコイルのインダクタンス変化分および抵抗変化分について、非磁性、磁性にかか

ならず適用可能な理論式を導出している。加えて、平板導体が連続的に移動している場合に適用できるようにも配慮している。さらに、理論の妥当性を確認するために、移動平板導体についての場合も含め、それぞれ実験検証を行っている。

**徳山工業高等専門学校における工業所有権教育
工学教育 vol.51 no.1 pp.78-84 (2003)
門脇重道 藤本浩 伊藤尚 櫻本造男 石田浩一
藤満達朗**

高等専門学校は大学が淘汰される時代の中でそのあり方が厳しく問われている。大学に対する新たな価値の創出要求は高専に対しても求められていると考えられるが、高専は大学と異なり教育機関であり、その特性を活かすには、学生の創造力育成が重要と考えられる。

徳山高専機械電気工学科は平成7年より創造教育に取り組み、各種の成果を上げてきた。創造教育では学生がアイデアを示すことになるが、それを活用するには工業所有権の獲得が必要となる。そこで創造教育と工業所有権教育を結合した教育を、平成13、14年度に行ってきた。学生特許を2件出願する状況となっており、さらに出願件数は増加する予定である。本報告ではこれらの取り組みの経緯と成果について述べると同時に、全国高専が高専制度の特徴を示すものとして取り組み、1年間に100件の学生特許を目指すことを提案している。

**高専から学生特許100件を目指す
～創造教育による価値作りが高専の存在意義～
大学と学生 通巻458号 pp.31-34 (2002)
門脇重道**

大学の淘汰が進もうとする中で、これまで大学に準じる位置づけをされてきた高専は、その存在意義を改めて問われている。大学が研究機能を通して、新たな価値作りを求められていることに対して、教育機関と位置づけられる高専は、高校年齢段階から自由度の高い、かつ実践的な教育を行える特徴を活かすことによって、高専制度の存在意義を示すことができる。

徳山高専機械電気工学科は、高専のこれらの特質を活かし、かつ新たな価値作り結びつく創造力に富んだ技術者育成を目指して平成7年から創造教育を開始

した。そして様々な試行を繰り返しながらも、各種の成果を上げてきた。

これらの創造教育の取り組みの上に、平成13年度からは工業所有権教育を組み込んで、発想、アイデアを特許出願に結びつける教育を開始したが、その成果として平成13年度には学生特許を2件出願し、さらに数件の出願が見込まれた。そのことより高専学生の自由な発想力が伸び伸びと発揮されれば、社会や産業に対して新たな価値を生み出せる特許が高専在学中に実現することを示した。

すなわち高専は研究ではなく、学生特許に示されるような教育による新たな価値作りができる教育機関として位置づけることが可能である。全国高専では創造教育と工業所有権教育への取り組みが進みつつあるので、有用な価値作りとしての学生特許に的を絞って、全国の国公私立62の高専で100件の学生特許に取り組むことを提案した。

Surface Integrity of Radical Nitrided Maraging Steel.

Proceedings of the 3rd International Conference on Surface Engineering. pp.409-412 (2002)

**Norio KAWAGOISHI, Kazuhiro MORINO,
Quingyuan WANG, Y.YAN, Eiji KONDO,
and Kazunori FUKADA**

Properties of wear, corrosion and fatigue were investigated for a radical nitrided maraging steel. By nitriding, surface layer was highly hardened and compressive residual stress was generated, while the ductility was decreased. Consequently, resistances to wear and corrosion were improved. The fatigue strength was also increased by nitriding, however, the effect of nitriding on the fracture mode was different depending on the stress level. That is, fracture occurred from specimen surface at high stress levels, and from an inclusion in the subsurface at low stress levels, because the hardened layer suppressed the initiation of a surface crack. As a result, the shape of S-N curve showed a step-wise in the nitrided steel.

**Laser Surface Modification of Aluminum Alloy.
Proceedings of the 10th JSME/ASME International
Conference on Materials and Processing. Vol.1**

pp.234-239 (2002)

Kazunori INADA, Haruo KOGA and Kazuhiro MORINO

Surface modification was tried on the aluminum alloy A5083 by irradiating YAG laser beam after sticking stainless steel powder to the surface. The focus position, the stainless steel powder thickness and Ar gas flow rate are changed under at fixed laser power and laser moving speed. As a result, the surface modified layer, the surface of which was flat with high hardness, fully thickness and without crack and porosity, was able to be obtained. The thickness of this layer was about 700 μm , when the hardness was about Hv500. In this case, structure was divided into the hard needlelike part and soft matrix part.

Internal Fracture Process in Fatigue of Radical Nitrided Bearing Steel.

Surface Treatment VI (C.A.Brebbia編) pp.213-222 (2003)

Kazuhiro MORINO, Norio KAWAGOISHI, Quing CHEN, Kazunori FUKADA and Eiji KONDO

Rotating bending fatigue tests were carried out for a radical nitrided bearing steel in order to investigate the initiation and propagation behavior of an internal crack. Surface fracture occurred under high stress levels and fish-eye fracture happened under low stress levels so that the S-N curve appeared in the shape of two-step lines. Depth of the origin of internal fracture was confined in a relatively narrow region near the boundary between the hardened and non-hardened matrix. By two-step loading fatigue tests in internal fracture region, a circular trace corresponding to the stress change was observed within the fish-eye. In internal fracture region, a crack was initiated at the early stage of fatigue process, that is, most of fatigue life of internal fracture was occupied by the growth life of an internal crack.

Passive Control of the Two-Dimensional Jet Using a Rectangular Notch.

Proceedings of 2002 ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition CD-ROM (2002)
Shigetaka FUJITA, Takashi HARIMA and Hideo OSAKA

The mean and turbulent flow properties of turbulent jet issuing from a quasi two-dimensional (2-D) nozzle with a rectangular notch (aspect ratio: $AR=12.5$) perpendicular to the two-dimensional nozzle at the midspan, have been measured. The exit Reynolds number was kept constant 13000. The aim of this study is to examine the effects of the rectangular notch on the mean and turbulent flowfields of the two-dimensional jet, and to clarify a possibility of a passive control of the two-dimensional jet using a rectangular notch. From the experiments, it was revealed that the potential core region existed until the section of $x/d=25$. In the upstream region, the entrainment rate was smaller than that of the two-dimensional jet due to the inward secondary flow on the y and z axes. Furthermore, the streamwise development of the turbulent intensity was delayed.

Development of Educational CAM System Applied to Personal CAD.

PROGRESS OF MACHINING TECHNOLOGY pp.838-843 (2002)

Hisashi ITO and Yuzi KAI

An educational CAM system was developed to convert the vector information extracted from the personal CAD data or the bitmap image in MS Windows into G-codes for NC work. A simple algorithm was developed so that even a student in beginners' class without advanced mathematics knowledge could understand. It is effective to perform the CAD/CAM education using the system.

Extreme Wind Events.

Wind Power 2003 Conference and Exhibition, American

Wind Energy Association CD-ROM (2003)

Vaughn NELSON, Ken STARCHER, Hisashi ITO and Pamela LOCKWOOD

Extreme wind events for Texas, Oklahoma and Eastern New Mexico were analyzed for 1995-1999 in terms of type and wind class. There were 1,361 tornadoes, 3 tropical storms and 1 hurricane, and 1,601 high wind events (most associated with thunderstorms). Locations, tracks and number of event type per degree area are graphed. The probability of a tornado hitting a degree area was calculated from the area of tornado tracks, with the high value being 0.004/year for Central Oklahoma. All the maximum 1 second gusts from the 17 met sites over the five-year period were less than 50 m/s, except for the high wind event on 1/17/96 that damaged wind turbines at the Texas Wind Power Project.

Effects of Calcium Stearate Addition of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene in Direct Compression Molding.

Journal of Applied Polymer Science, Vol.87, Issue 10 pp.1602-1609 (2003)

Masahiro UTSUMI, Kazuya NAGATA, Masahiko SUZUKI, Akiko MORI, Itsuo SAKURAMOTO, Yuuichi TORIGOE, Toshiaki KANEEDA and Hideshige MORIYA

The effects of calcium stearate addition in molding of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE) were investigated by tensile testing, scanning electron microscope (SEM), Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy, and elemental analysis. Four types of UHMWPE specimens with varying contents of calcium stearate (<5, 50, 100, and 1000ppm) were used in this study. SEM observation revealed that calcium stearate added specimens have smoother and more homogeneous microstructures. After accelerated aging, subsurface oxidative degeneration was observed in all specimens; however, calcium stearate added specimens had less oxidative degeneration in comparison with specimens without additives. Specimens showed better mechanical

properties with increasing content of calcium stearate. Though all specimens aggravated their mechanical properties due to oxidation after accelerated aging, the specimens of 100ppm of calcium stearate showed better properties at 3.7MPa larger yield strength and four times larger value of elongation at fracture than the specimens without additives. These results indicate that calcium stearate addition produces dense packing of UHMWPE particles, which brings about stronger fusion among the particles and fewer structural defects, and results in better mechanical properties and better resistance to oxidative degeneration.

直接圧縮成形の成形条件がUHMWPE材料の酸化劣化に及ぼす影響

バイオマテリアル(日本バイオマテリアル学会論文誌)

第21巻 第4号 pp.311-318 (2003)

森亜希子 桜本逸男 渡辺英一郎 永田員也

尾坂明義 蔵本孝一

超高分子量ポリエチレン(UHMWPE)は人工関節の摺動部材として40年以上用いられてきた。しかし、UHMWPEの酸化に依存する疲労摩耗により再手術がなされるケースも少なくない。そのなかで直接圧縮成形(DCM)により成形されたUHMWPEコンポーネントはすぐれた臨床成績を残しているという報告がある。そこで、本研究では、DCMの成形圧力や成形雰囲気などの成形条件がUHMWPEの酸化に及ぼす影響を、加速酸化劣化法を用いて詳細に検討した。

その結果、UHMWPEの酸化の進行は、UHMWPE粒子界面の融着状態と内在酸素により大きく影響を受けることがわかった。UHMWPEの溶融前の脱気、成形圧力の最適化、滑剤などの加工助剤の添加がUHMWPE粒子融着の向上に、また、真空下での成形が内在酸素の低減に有効であると考えられた。

The Control Engineering Education using an Advanced Control Training System by mean of integrating MATLAB software and Experimental Systems.

Proceedingsof the 4th Asian Control Conference, Singapore. CD-ROM (2002)

Akihiro KANESHIGE and Kazuhiko TERASHIMA

This paper introduces an advanced training system for control education developed at the control and measurement engineering laboratory of the authors, and describes the control education carried out by this method at our college and university. Our education method, which combines the use of MATLAB CAD software for control with the control experimental devices, is well presented herein. In this system, servo systems such as those of the crane, inverted pendulum, and magnetic bearing system, and process systems such as those involving level, flow, and temperature control of liquids and pressure control of gases are prepared. It is thought that a talented person equipped with advanced specialty technology and general knowledge as an engineer could be appropriately educated by the proposed advanced training system.

制御教育トレーニングシステムを用いた制御工学教育の実践

論文集「高専教育」第26号 pp.157-162 (2003)

兼重明宏 川原秀夫 久保博昭 星出武夫

本稿では、高等専門学校教育先端設備費により導入された制御教育トレーニングシステムについて紹介し、高専における制御教育方法について事例を挙げて述べる。制御教育トレーニングシステムは、温度、圧力、流量、液位制御を学習できるプロセス制御実験装置と、電気-油圧式サーボ機構を学習できるサーボ制御実験装置からなる。教室での制御理論の学習とともに制御教育トレーニングシステムを併用した教育を行うことによって、エンジニアとして高度な専門技術と総合的なセンスを育成し、今後の技術革新に対応できる人材を教育できると考える。

実践的な国際化教育の本校の現状と企業の現状調査

論文集「高専教育」第26号 pp.249-254 (2003)

兼重明宏 佐々井祐二 三原伊文 中村次男

高度情報通信機器の発達により、政治、経済、情報などが地球的規模で議論されるようになり、高専卒業生が就職する製造業をはじめとする技術分野においても、海外への生産拠点の転換などにより、技術者が働く環境は著しく変化してきている。これらのことから、

実践的技術を身につけた高専卒業生においても、技術のみならず、語学力・国際的センスを身に付けた能力が要求されるようになってきており、技術系企業に対して、英語力についての現状やその問題点の調査研究が行われている。本調査研究では、外国語能力だけでなく、異文化に対する国際的センスを身につけた技術者育成のために、海運企業を含めた企業の現状把握とともに実効のある教育カリキュラムの検討を行う。

高専における実践的な国際化教育の現状調査と本校における今後の取り組み

論文集「高専教育」第26号 pp.255-260 (2003)

中村次男 佐々井祐二 三原伊文 兼重明宏

本調査研究では、外国語能力だけでなく、異文化に対する国際的センスを身につけた技術者育成のために、実効のある教育の取り組みについての検討を行う。前報において、海運、陸上企業における国際化の現状とその対応及び企業が高専に求める教育について調査報告した。本稿では、前報で得られた結果を踏まえ、他の高専の現状と本校における今後の取り組みについて調査を行い、一端ではあれ、高等専門学校における語学（英語）教育の、国際理解教育・異文化コミュニケーションとのかかわりを、全国高等専門学校よりのアンケート回答結果に基づいて述べる。

簡易スポット溶接の試作とその溶接強度の評価

大島商船高等専門学校紀要 第35号 pp.15-19 (2002)

川原秀夫 古賀英司 武智義輝 兼重明宏

本研究では簡易的なスポット溶接機を製作し、その溶接強度について検討を行った。スポット溶接は、電極加圧力、通電時間および溶接電流の変化によって、その溶接強度が大きく変化する。このため、スポット溶接された部品の使用状態によって、その溶接条件を決定しなければならない。また、試作したスポット溶接機は、ある特定の溶接条件に設定した場合、JISが推奨している引張せん断強さが得られることを確認した。今後、より正確な溶接施工ができるよう、電流値、加圧面積や加圧時間の制御を行うことが課題である。

FMS 指向天井クレーンのリアルタイム搬送制御システムの開発

マツダ財団研究報告書 Vol.15 pp.31-38 (2003)

兼重明宏

本研究では、搬送環境がオフラインでわかるものとし、障害物の認識・経路計画および荷振れを抑制した搬送制御が可能な自律走行天井クレーンシステムの開発を行う。まず、三角測量の原理を利用した光切断法を用いて搬送環境上の固定障害物の認識をオフラインで行い、障害物回避に必要な3次元空間上の障害物の位置と高さの情報を含む環境地図を自動的に作成するシステムを構築する。そして、生成された環境地図に基づいたクレーンの最短距離や最小エネルギーの経路の条件を満たす最適搬送経路の自動生成システムを構築する。さらに、目標軌道への追従性と荷振れの抑制を考慮した制御系を最適レギュレータにより構築する。天井クレーン実験装置を用いて、提案した方法により未知障害物回避搬送制御実験を行い、開発したシステムの検証および有用性について考察を行う。

Analysis of an Elliptical Internal Crack near Free Surface using Singular Integral Equation of the Body Force Method.

Key Engineering Materials. Vol.243-244 pp.297-302 (2003)

Kazuhiro ODA, Yoshiyuki MURAOKA and Nao-Aki NODA

In this paper, a singular integral equation method is applied to calculate the distribution of stress intensity factor along crack front of an elliptical internal crack near the free surface. The stress field induced by the force doublet in a semi-infinite body is used as the fundamental solution. Then, the problem is formulated as an integral equation with a singularity of the form of r^{-3} . In the numerical calculation, the unknown functions of the densities of body force doublet are approximated by the product of fundamental density function and polynomials. The numerical results show that the present method yields smooth variation of stress intensity factors along crack front very accurately even when the crack is extremely near from the free surface. The mode I, II and III stress intensity factors for an inclined elliptical crack are shown for various geometrical

conditions.

Stress Intensity Factors for Interaction between Interface Crack and Internal Crack and for Kinked Interface Crack in Bonded Semi-Infinite Planes.

Key Engineering Materials. Vol. 243-244 pp.375-380 (2003)

Kazuhiro ODA, Nao-Aki NODA and Satoru ARITA

This paper deals with two interface crack problems, (I) interaction problem between an interface crack and an internal crack and (II) problem of a kinked interface crack in bonded dissimilar materials. The problems are analyzed by using the singular integral equations based on the body force method. In the numerical analysis, the unknown functions of the body force densities are approximated by the products of the fundamental density functions and power series. By using the fundamental density function, the oscillatory stress singularity near the interface crack tip can be expressed. The stress intensity factors of interface crack are systematically calculated for various crack dimensions, arrangements of the cracks and elastic constants of the materials. The accurate stress intensity factors are presented and the interaction effects of these problems are discussed by comparing the obtained results with the results of ordinary cracks in homogeneous materials.

A General Expression of Condensation Coefficient based on Transition State Theory and Molecular Dynamics Simulation.

Journal of Chemical Physics. Vol. 118, No. 3 pp.1392-1399 (2003)

Gyoko NAGAYAMA and Takaharu TSURUTA

A theoretical derivation of condensation coefficient based on transition state theory is presented by considering the three dimensional movement of condensing molecules in the liquid-vapor interface region. The theoretical expression is a function of free volume ratio of liquid to vapor and activation energy for condensation. An evaluation of the activated

state conditions in the interface region has been developed with the use of molecular dynamics simulations for argon and water. From the molecular scale consideration, it is found that a characteristic length ratio $\sqrt[3]{V^l/V^g}$ has an important role in evaluating condensation coefficient because the restricted translational motion is dominant in the condensation process compared with the rotational motion. Present theoretical values agree well with molecular dynamics simulation results in both of the cases on monatomic and polyatomic polar molecules. Consequently, the new expression reveals that the condensation coefficient is an inherent physical property of a given pure liquid-vapor interface and the interface structure plays a primary role in condensation.

A Molecular Dynamics Approach to Interphase Mass Transfer Between Liquid and Vapor.

Microscale Thermophysical Engineering, Vol. 6, No. 4 pp.267-285 (2002)

Takaharu TSURUTA and Gyoko NAGAYAMA

The study is conducted in order to understand a mechanism of interphase mass transfer between liquid and vapor. The molecular dynamics (MD) simulation is used to examine details of condensation and evaporation from a viewpoint of molecular kinetics. First, molecular boundary conditions for condensing, reflecting and evaporating molecules are presented for argon molecule as a function of the surface-normal component of translation energy. The velocity distributions can be expressed by the modified Maxwellian with making use of the condensation coefficient. The condensation coefficient of water is also examined for two kinds of intermolecular potential, the Carravetta-Clementi (C-C) model and the Extended Simple Point Charge (SPC/E) model, in order to consider the effect of the surface structure of liquid on the condensation coefficient. The results indicate that the condensation coefficient of water is close to unity for both model and its dependency on the translation

energy is small compared with argon. Finally, the condensation coefficient is studied based on the transition state theory. An evaluation of the transition state is considered by applying the results of MD simulations for argon and water.

傷のある指紋画像に対する2値化手法の改良

情報処理学会論文誌 Vol.43 No.12

pp.4042-4050 (2002)

三木幸 樋口泰彦 藤井慶 浜本義彦

濃淡指紋画像を用いる多くの指紋照合システムでは、最初に2値化を行ない、続いて特徴を抽出し、照合を行う。中でも2値化は、照合精度に大きな影響を与えるため、その重要性が指摘されている。筆者らはこれまでに、5つの代表的な2値化手法を比較評価し、比較的品质の良い指紋画像に対しては、Mehtre法が優れているという結果を得た。しかしながら、傷のある指紋画像に対して、Mehtre法の2値化指紋画像を用いると、照合率が劣化することが予備実験から判明した。本論文では、Mehtre法の問題点に対し、隆線方向の修正と画像強調からなる改良法を提案する。NIST指紋画像データベース14からの傷のある指紋画像に対し照合実験を行った結果、照合精度が改善され、提案手法の有効性が認められた。

Las Vegas, Self-Verifying Nondeterministic and Deterministic One-Way Multi-Counter Automata with Bounded Time.

IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E86-A, No.5 (Special Section on Discrete Mathematics and Its Applications) pp.1207-1212 (2003)

Tsunehiro YOSHINAGA and Katsushi INOUE

This paper investigates the accepting powers of deterministic, Las Vegas, self-verifying nondeterministic, and nondeterministic one-way multi-counter automata with time-bounds. It is shown that (1) for each $k \geq 1$, there is a language accepted by a one-way Las Vegas k -counter automaton operating in real time, but not accepted by any one-way deterministic k -counter automaton operating in linear time, (2) there is a language accepted by a real time-bounded one-way

self-verifying nondeterministic 2-counter automaton, but not accepted by any polynomial time-bounded one-way Las Vegas multi-counter automaton, (3) there is a language accepted by a real-time one-way self-verifying nondeterministic 1-counter automaton, but not accepted by any polynomial-time one-way deterministic multi-counter automaton, and (4) there is a language accepted by a one-way nondeterministic 1-counter automaton operating in real time, but not accepted by any one-way self-verifying nondeterministic multi-counter automaton operating in polynomial time.

管理容易な学内ネットワークの在り方とその構築

論文集「高専教育」第26号 pp.645-650 (2003)

新田貴之 重村哲至 力規晃 鳥居恵子 林嘉雄
神田徳夫

学内ネットワークは、今や電気・ガス・水道に並ぶ重要なインフラの一つである。もしネットワーク・サービスが停止したならば、教育・研究・事務の全てに渡って、業務に支障が出る。本論文では、学内 LAN が教育・研究活動の基盤の一つであるという立場で、教育用ネットワークの在り方とその構築について論じた。

ネットワークは、何らかの原因が元で障害が発生する。「手間がかかる子供ほどかわいい」とはいうものの、ネットワークのお守りに多大な時間を割いていては、肝心の学生への対応が疎かになってしまう。専任管理者が居れば問題ないのだろうが、多くの高専では、ほとんどの管理者が兼任であり、学内 LAN に関する多くの苦労に関しては、他高専も事情は同じようである。そこで、新規のネットワーク導入に際しては、管理が容易なネットワークの構築を目標とした。

始めに、本学の旧学内 LAN で発生した障害事例をもとに、学内 LAN で発生する障害はどのようなものであるかを明らかにした。次に、障害の発生を考慮した設計方針を立て、その方針に沿った新規のネットワークを構築した。最後に、この新学内 LAN での障害事例を考察し、管理容易なネットワークになったかを検討した。

検討の結果、耐障害性が上がると共に業者とのやりとりもスムーズに行うことができ、管理容易にするという目標は十分に達せられた。その背景は、旧ネットワークでの障害事例を学習し、明確なポリシーの作成

後にネットワークを構築する手法が非常に有益であったと考えられる。

Local-global FE analysis of R/C cooling tower with cutout.

Structural Engineering World Congress 2002. CD-ROM
Takashi HARA and Phillip L. GOULD

Reinforced concrete (R/C) cooling towers are thin shell structures composed of concrete and reinforcement and have a vast concrete surface area. To evaluate the stresses and displacements of these structures, an axisymmetric analysis may be selected using a shell of revolution finite element. However, it is not an efficient to solve a shell with a non-axisymmetrical imperfection or with openings through the shell surface. To design these structures, it is advisable to analyze them precisely, especially the portions around the opening and the column supports. In this paper, the local-global strategy is applied to column-supported reinforced concrete shell structures with openings on the shell surface and utilized for the nonlinear structural analysis of a column supported reinforced concrete cooling tower shell with imperfections.

Load carrying characteristics of cylindrical shell under cyclic loading.

International Conference on Protection of Structures Against Hazards 2002 Singapore. pp191-198 (2002)
Takashi HARA

R/C shell structures are used in many kinds of industrial structures and the building roof structures. These structures are subjected to the dead load as well as the dynamic load such as the wind pressure or the earthquake effects. To design the reliable R/C structure it is desired to examine the cyclic behavior of R/C structures numerically and experimentally.

In this paper, the load carrying characteristics of the cylindrical R/C shell under cyclic loading are analyzed by use of the latticed type

constitutive model. Numerical results are compared with the results under monotonic loading as well as the experimental results. Then these numerical procedure is applied to the analysis of R/C cooling tower structure under wind pressure.

Behavior of stiffened plates subjected to in-plane compression and shear.

Second International Symposium on Steel Structures Seoul Korea. pp.525-532 (2002)

**Takashi HARA, Tsunemi SHIGEMATSU,
Toko HASHIMOTO and Motofumi YOSHIHARA**

A basement in an office building has been used for a storage or an instrument space. However, in a residential house it will utilize as a space for the particular purpose considering a blocking of noise and light. In such case, a steel retaining wall is one of the choice of the retaining system. These steel retaining wall system shows a kind of cantilever panel and is subjected to an axial compression by self weight of the building and to lateral bending and in-plane bending and shear by the soil and water pressure.

In this paper, the stiffened panel is analyzed under the compression and the in-plane shear numerically and experimentally. In experiment, the steel panels with stiffeners are tested both under an axial compression and a lateral load. In numerical analysis, the finite element method is employed. From both numerical and experimental analyses, these results are in good agreement and it is confirmed that the in-plane failure of the panel is caused by the combination of the local buckling of the plate and stiffeners.

Local-global analysis of cooling tower with cutouts.

**Computers & Structures. Vol.80 No.27-30
pp. 2157-2166 (2002)**

Takashi HARA and Phillip L. GOULD

The local-global strategy is extended to column-supported reinforced concrete shell structures and applied to the nonlinear structural

analysis of a column-supported reinforced concrete cooling tower shell with imperfections. In the numerical examples a column-supported R/C cooling tower with openings is considered and the nonlinear behavior is computed under a combination of dead load g and static wind pressure w . Especially, the structural behavior of the cooling tower is estimated under the combination between openings and the wind direction.

Behavior of R/C cylindrical shell under lateral load.

**Structural Engineering and Mechanics. Vol.16 No.3
pp.361-369 (2003)**

**Takashi HARA, Tsunemi SHIGEMATSU and
Takahiro TAMURA**

Reinforced concrete (R/C) cylindrical panels are commonly used for industrial plants and storage tanks. Usually, these structures are composed of concrete and reinforcements and form a thin shell structure. R/C cylindrical panel shows large load carrying capacity under lateral distributed external pressure.

In this paper, the structural behavior of R/C cylindrical panel is analyzed by a numerical approach as well as by experimental results. From both numerical and experimental results, the load carrying behavior of R/C cylindrical panel is presented under an external lateral pressure. Then, it is concluded that both results show in good agreement and the experimental model represents the same characteristics as the numerical analysis. Even if R/C shell does not possess geometric imperfections, the inaccuracy of the reinforcement position strongly affects to the ultimate strength and the failure patterns of such shells. The behavior of R/C cylindrical shells are well simulated under the consideration of both the geometric imperfection and several inaccuracies.

物体周りの流れの3次元構造に関する研究

流体力の評価とその応用に関する研究論文集

第2巻 pp52-56 (2003)

佐賀孝徳 渡辺英樹 渡辺勝利

一様流中に置かれた円柱まわりの流れの3次元構造と、せん断流中の河床壁面と円柱周りに形成される馬蹄形渦の構造が、主として水素気泡をトレーサーに用いた流れの可視化法を用いて検討を行った。一様流中の円柱後流に形成される3次元性を表す縦渦は、遠心力不安定によって形成され、分岐現象を伴って、次の渦へと伝播される特徴が示された。また、その横断方向の存在スケールは従来の結果と一致した。水素気泡による同時可視化を用いて、円柱前部と側方、後方領域での馬蹄形渦の特徴が明らかにされ、相互に相関のある特徴が示された。また、馬蹄形渦の洗掘領域の範囲を示唆する可視化を行い、前端および側方では、Re数に伴い変化しないが、後方は、後流の形成領域の長さに一致する傾向を示した。

Study on the three dimensional vortical structure of the flow around a circular cylinder.

PROCEEDINGS of 7th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization.

CD-ROM (2003)

Takanori SAGA

The three-dimensional vortical structures of the flow around a circular cylinder are studied by flow visualization technique and PTV (particle tracking velocimetry). From plan view and streamwise view visualized by fluorescent dye tracer, it is clear that the characteristics of vortex in the separated shear layer, Karman vortex, and horseshoe vortex.

名古屋市における街園の空間特性とその評価に関する研究

ランドスケープ研究21 造園学会論文報告集 Vol.66 No.5

pp795~798 (2003)

熊野稔 三分一淳 亀野辰三

名古屋市街園は大正10年から作られ歴史が古く、「道路の中の小さな空地で添景施設で道路景観のポイント、憩いと集いの場となうことを目的としているもの」と定義した。本論では市内322カ所の街園データを収集し、各資料の分析と住民・行政に対するアンケート・ヒアリング調査や図面等の文献調査により街園の基本的空間特性、規模と配置状況、構成内容、施設配置状況及び行政や住民の評価を明らかにした。

歩行者から見た歩道植栽の景観イメージの評価

環境情報科学論文集 16 pp311~316 (2002)

亀野辰三 熊野稔

本論は、住宅地における歩道幅員と樹高とのプロポーシオンを分析したものである。歩行者の視点から見て、所与の歩道幅員のとき景観上望ましい樹高を樹形別に明らかにするために、住宅地内街路の景観疑似画像を作成して心理実験を行い、被験者の評価構造に基づく望ましい樹高を求めてみた。因子分析の結果から、街路樹景観の評価は、「好ましさ」と「開放感」の二つの因子軸によって表され、この2つの因子によって総合評価がほぼ説明できること、また、歩道幅員に応じて、望ましい樹高は樹形によって異なること等が明らかになった。

中心市街地におけるまちづくり3法の限界と広域的土地利用制御の必要性

日本都市計画学会中国四国支部研究報告論文集

pp3-6 (2003)

熊野稔

地方都市における中心市街地の活性化のための中心市街地活性化法、大規模小売店舗立地法、改正都市計画法のまちづくり3法のうち、改正都市計画法が十分に機能していない要因を実証し、先進諸国の事例も挙げて、中心市街地を守るためには、都府県の県境を超えた広域的土地利用制御が必要なことを論証した。

縦棧粗度を設置した開水路乱流の組織構造

水工学論文集 第47巻 pp433~438 (2003)

渡辺勝利 國弘栄司

棧粗度は河川乱流を制御するための有効な手段であることから、その流れの乱流構造の究明は水工学的に重要である、本研究では棧粗度を流れ方向に設置した縦棧粗度上の乱流特性を流れ場に形成された組織構造の特徴と関係付けて検討した。実験では平均流速、乱れ計測、流れの可視化を行った。流速計測結果からは、棧粗度上およびその周辺では相対的に低速かつ乱れが大きくなることが明らかとなった。流れの可視化からは、棧粗度周辺部には大規模な組織構造が時空間的に安定して形成され、それらが速度分布の特徴の形成に寄与していることが明らかとなった。

Novel synthesis of TiN fine powders by nitridation with ammonium chloride.

Materials Research Bulletin. Vol.37 pp.475-483 (2002)

Liping ZHU, Masao OHASHI and Shoji YAMANAKA

TiN fine powders were prepared by the reaction of TiH_2 with ammonium chloride at various temperatures under a flow of N_2/H_2 mixed gas. In a temperature range of 500–800° C, the powder samples obtained had a particle size of 3–20 nm, and a specific surface area of 30–60 m^2/g . The particle size increased with the increase of the reaction temperature. The lattice parameters and the chemical analysis data showed that the TiN powder had the stoichiometric composition. The TiN powder prepared at temperature of 600–800°C showed superconductivity with a transition temperature of 4.0–4.5 K.

Zirconium Nitride Derived from Layer-Structured β -ZrNCl by Deintercalation of Chlorine Layers.

Chemistry of Materials. Vol. 14 pp. 4517-4521 (2002)

Liping ZHU, Masao OHASHI and Shoji YAMANAKA

A highly oriented thin-layered zirconium nitride, ZrN, was derived from layer-structured crystals β -ZrNCl via deintercalation of the chlorine atoms by the reaction with Na metal vapor. β -ZrNCl consists of rhombohedrally stacked [Cl-Zr-N-N-Zr-Cl] slabs, each of which is composed of a honeycomblike double ZrN layer sandwiched between two close-packed

chlorine layers. On deintercalation of the chlorine layers, the honeycomblike ZrN layers converted into ZrN(001) layers of the rock salt structure by expanding to the three equivalent directions $\langle 100 \rangle$ of β -ZrNCl. β -ZrNCl crystals were also thermally decomposed into ZrN at 950°C under a stream of N_2/H_2 mixed gas. The two types of ZrNs that were obtained had the same stoichiometric composition of 1:1 but showed superconductivity at different transition temperatures (T_{cs}) of 6.2 and 10.0 for the thin-layered and the thermally decomposed structures, respectively.

**IP アドレスに基づいた端末監視システムの開発とその運用
論文集「高専教育」 第26号 pp.657-662 (2003)**

鳥居恵子 神田徳夫 重村哲至 林嘉雄

本校では、昭和62年に最初の校内 LAN が構築された。以来、全学生、教職員に利用アカウントが発行されて、電子メールの他、Web サーフィンや学内データベースの利用など、学習、教育、研究に広く活用されている。当初、校内 LAN に登録された端末は200台程度であったが、現在では1000台を越えている。端末数が増加するにつれて、端末の使用実態を正確に把握することが困難となった。また、サーバへの不正なアクセスなどが発生したり、校内 LAN の異常な状態を引き起こすなどの問題が発生した。そこで、IP アドレスに基づいた端末監視システムを開発した。本システムを運用した結果、ユーザの取得した IP アドレスの自己管理が容易となり、IP アドレスの不正利用に起因するネットワーク障害に有効に対処できることが明らかとなった。

学 術 講 演

○印講演発表者

講演者	演 題	発 表 機 関	年 月 日
田中章雄 ○富吉真仁 武平信夫	多層だ円形コイルの磁界解析	電気・情報関連学会中国 支部第53回連合大会	2002. 10. 20
○門脇重道 藤本浩 石田浩一 櫻本逸男 兼重明宏 藤満達朗	徳山高専における学生特許	日本機械学会 2003年度 年次大会	2003. 8. 8
○門脇重道 藤本浩 石田浩一 櫻本逸男 兼重明宏 藤満達朗	創造教育と工業所有権教育との結合	産業財産権標準テキスト の有効活用に関する実験 協力校14年度年次報告会	2003. 3. 5
○西村太志 森野数博 皮籠石紀雄 深田一徳	ラジカル窒化した高強度鋼の引張変形特性の検討	日本機械学会 2002年度 年次大会	2002. 9. 27
森野数博 西村太志 ○山岡芳彰 山根健作 深田一徳 皮籠石紀雄	ラジカル窒化処理したSKD61の摩擦/摩耗特性の検討	日本機械学会 2002年度 年次大会	2002. 9. 27
○森野数博 皮籠石紀雄 深田一徳	SNM439鋼の疲労強度に及ぼすラジカル窒化の影響	日本機械学会 M&M'02 材料力学部門講演会	2002. 10. 13
深田一徳 ○森野数博 皮籠石紀雄	ラジカル窒化した軸受鋼における内部き裂の発生と伝ば挙動	日本機械学会 M&M'02 材料力学部門講演会	2002. 10. 13
○森野数博 深田一徳 皮籠石紀雄 陳 強 燕 怒	マルエージング鋼の疲労強度に及ぼす窒化条件の影響	日本材料学会 第26回疲 勞シンポジウム	2002. 11. 29
森野数博 ○皮籠石紀雄	ラジカル窒化した高強度鋼の疲労特性	日本材料学会疲労部門委 員会 第61回組織構造分 科会 第135回材料強度確 率モデル研究会 合同研 究会	2003. 1. 10

講演者	演題	発表機関	年月日
森野 数博 西村 太志 ○山岡 芳彰 山根 健作 深田 一徳 皮籠石 紀雄	プラズマを利用した複合改質処理鋼SKD61の 摩耗特性	日本機械学会 2003 年度 年次大会	2003. 8. 7
○皮籠石 紀雄 森野 数博 山北 剛士 深田 一徳	マルエージング鋼の疲労強度に及ぼす窒化の影 響	日本機械学会 2003 年度 年次大会	2003. 8. 7
藤満 達朗 ○吉原 雄一	球状黒鉛鋳鉄の高温疲労強度特性	日本機械学会中国四国支 部第 41 総会後援会	2003. 3. 6
○張間 貴史 藤田 重隆 大坂 英雄	噴流中心間距離が異なる 2 円形自由噴流の混合 拡散過程	日本機械学会松山地方講 演会 (中国四国支部・九 州支部合同企画)	2002. 10. 19
○末若 尚志 井上 泰輔 桜本 逸男 高橋 和彦 河野 俊一	湖底調査用水中ロボットの開発	日本機械学会中国四国支 部第 41 期総会講演会	2003. 3. 6
○兼重 明宏 伊藤 尚 森野 数博 戸田 善久	PIC マイコン制御製品開発による総合演習教育の 試み	日本機械学会 2003 年度年 次大会	2003. 8. 6
小田 和広 ○中山 孝浩 野田 尚昭 陳 玳行	遺伝的アルゴリズムによる複数き裂の同定	日本機械学会材料力学部 門講演会	2002. 10. 12
小田 和広 ○桑野 領	有限板中の三次元表面き裂同定に関する基礎的 解析	日本機械学会松山地方講 演会 (中国四国支部・九州 支部合同企画)	2002. 10. 19
○野田 尚昭 鍵田 雅幸 陳 夢成 小田 和広	リング状界面き裂の応力拡大係数の解析	日本機械学会 2003 年度年 次大会	2003. 8. 6
○長山 暁子 鶴田 隆治	蒸発・凝縮の分子動力学シミュレーションと逆温 度勾配現象	第 40 回日本伝熱シンポジ ウム	2003. 5. 30
○原田 徳彦 新田 貴之 杉村 敦彦 寺西 信 山田 健仁 百田 正広	情報電子工学実験の導入期における実践例	電気・情報関連学会中国 支部第 53 回連合大会	2002. 10. 19

講演者	演 題	発 表 機 関	年 月 日
神田 徳夫 池田 信彦			
○長谷 晃裕 百田 正広 山田 健仁	対象物の動きを用いたネットワークカメラ制御	電気・情報関連学会中国 支部第53回連合大会	2002.10.20
○田丸 光太郎 百田 正広 池田 信彦 山田 健仁	Java 言語を用いたニューラルネットワーク学習 支援に関する検討	電気・情報関連学会中国 支部第53回連合大会	2002.10.20
○義永 常宏 井上 克司	Realtime One-Way Self-Verifying Nondeterministic Multi-Counter Automata	平成14年度電気・情報関 連学会中国支部第53回連 合大会	2002.10.19
○新田 貴之 古川 達也 相知 政司	仮想シングルボードコンピュータ x80 に対する 信号出力機能の拡張	計測自動制御学会九州支 部学術講演会	2002.12.7
○新田 貴之 古川 達也 相知 政司	シングルボードコンピュータを用いた学習環境 の構築の試み	電気学会教育フロンティ ア研究会	2003.5.30
○新田 貴之 古川 達也 相知 政司	仮想シングルボードコンピュータ x80 を用いた 学習環境の構築	電気学会電子・情報・シス テム部門大会	2003.8.30
○上 俊二 藤原 東雄 桑嶋 啓治 中村 裕樹	時間効果および温度効果を受けた粘土の非排水 せん断強度の評価	第38回地盤工学研究発表 会	2003.7.2
○桑嶋 啓治 藤原 東雄 上 俊二 福田 靖	模型基礎貫入により生じる土粒子の形状および 粒度分布の変化	第38回地盤工学研究発表 会	2003.7.4
○福田 靖 藤原 東雄 上 俊二 桑嶋 啓治 常村 忠生	開放型フィルターと植生を併用した斜面の保護 工法	第38回地盤工学研究発表 会	2003.7.4
○大久保 奈月 原 隆	等分布荷重を受ける R/C 円筒シェルの挙動に関 する研究	日本建築学会中国支部研 究報告会	2003.3.16
○岸村 麻衣子 重松 恒美 原 隆	変断面を有する波型シェルの座屈解析	日本建築学会中国支部研 究報告会	2003.3.16
○原 隆	分布荷重を受ける周辺支持 R/C 円筒パネルの耐 荷特性について	日本建築学会大会(東海)	2003.9.5

講演者	演題	発表機関	年月日
佐賀孝徳 ○深江忍 松田智恵子	円柱周りに形成される馬蹄形渦の特徴	第55回土木学会中国支部 研究発表会	2003. 5. 31
○深江忍 松田智恵子 佐賀孝徳	円柱周りの流れの三次元構造 1	第55回土木学会中国支部 研究発表会	2003. 5. 31
○松田智恵子 深江忍 佐賀孝徳	円柱周りの流れの三次元構造 2	第55回土木学会中国支部 研究発表会	2003. 5. 31
○熊野稔 亀野辰三	ポケットパークの設立目的と空間特性に関する研究	日本造園学会学術研究報告 発表会	2002. 5. 19
熊野稔 ○亀野辰三	我国における住民参加型道路美化活動の現状と評価	日本造園学会学術研究報告 発表会	2002. 5. 19
○熊野稔	ポケットパークの計画と管理に関する研究	日本建築学会中国支部計画 系学位論文公開発表会	2002. 8. 10
○熊野稔	健康・福祉・療養を基本とした温泉街の再生について	第4回MNB研究フォーラム	2002. 12. 22
熊野稔 ○竹重敬典	道の駅の施設内用と改善方策に関する研究 その1、中国地方における道の駅の住民参加型維持管理 の動向と評価	日本建築学会中国支部学術 研究報告発表会	2003. 3. 17
熊野稔 ○竹重敬典	道の駅の施設内用と改善方策に関する研究 その2、道の駅の内容特性と課題及び改善方策への方向 性	日本建築学会中国支部学術 研究報告発表会	2003. 3. 17
熊野稔 ○吉原麗紗	人間ドッグを活用した温泉街の振興の評価と導入条件 に関する研究 その1、健康やまどびあ事業の動向と評価	日本建築学会中国支部学術 研究報告発表会	2003. 3. 17
熊野稔 ○吉原麗紗	人間ドッグを活用した温泉街の振興の評価と導入条件 に関する研究 その2、リピーター客・温泉旅館・行政の評価について	日本建築学会中国支部学術 研究報告発表会	2003. 3. 17
熊野稔 ○三分一淳	街園の空間特性と評価に関する研究-名古屋市を事例と した-	日本建築学会中国支部学術 研究報告発表会	2003. 3. 17
○熊野稔	山口県諸都市の震災復興計画と都市計画の動向	日本建築学会都市計画委員 会 第9回都市形成・計画史 公開研究会(下関市)	2003. 3. 21
○熊野稔	コンパクトなまちづくりと都市交通 その必要性和中 心市街地再生のための土地利用制御及び住民参加のま ちづくり・交通実験	第31回都市交通計画全国会 議 国土交通省実行委員会	2002. 5. 16
○熊野稔	人間ドッグとマイクロバブルを活用した温泉街の振興 計画	第5回MNB研究フォーラム	2003. 6. 21

講演者	演題	発表機関	年月日
○室長大應	技術者教育における物理教育の課題と展望(1)	日本理科教育学会第53回 全国大会	2003. 8. 8
○大橋正夫	層状チタン酸塩 $Cs_xTi_{2-x}Cr_xO_4$ ($x = 0.70$) の合成と 正極材料への応用	2002年日本化学会西日本 大会	2002. 11. 2
○大橋正夫	層状チタン酸塩 $Cs_xTi_{2-x}Fe_xO_4$ ($x = 0.70$) の合成と イオン交換	日本化学会第83春季年会	2003. 3. 18
○林 嘉雄 新田 貴之 重村 哲至 力 規晃 鳥居 恵子 神田 徳夫	徳山高専におけるギガビット・ネットワークシス テムの導入について	第22回高等専門学校情報 処理教育研究発表会	2002. 8. 27

分担執筆

執筆者	書名および章題・題目・頁	発行所	年月日
原 隆	構造力学 II 1章2節 3章	コロナ社	2003. 3. 25
熊野 稔 他 12名	社会基盤のメンテナンス	理工図書	2002. 11

特許 該当無し

委員長 編 集 委 員
委員 秋 吉 康 光 (図書館長)
櫻 本 逸 男 (機械電気工学科)
重 安 邦 之 (情報電子工学科)
日 南 住 博 (土木建築工学科)
和 田 實 (一般科目)

徳山工業高等専門学校研究紀要 第27号

平成 15 年 12 月 1 日 発行

編集兼 徳山工業高等専門学校
発行者 〒745-8585 周南市久米高城3538
TEL 0834(29)6200

印刷所 株式会社あかつき
〒745-0801 周南市久米西神女3218-2
TEL 0834(25)0121

Contents

Speed Effect of Eddy Current Type Sensor.....	Akio TANAKA Kouichi ISHIDA Nobuo TAKEHIRA Toshikatsu MIKI.....	1
A Note on Closure Property of Sublogarithmic Space-Bounded 1-Inkdot Alternating Turing Machines with Only Existential (Universal) States.....	Tsunehiro YOSHINAGA Jianliang XU Atsushi TAKEMOTO.....	7
Computer Experiment on the Non-Linear Oscillator.....	Hiroshi HINAZUMI.....	13
Consideration on Evaluation of Fracture Toughness and Testing Methods.....	Ken-ichi HASHIMOTO.....	17
Preparation and Ion Exchange of Layer Structured Titanate $Cs_xTi_{2-x/2}Zn_{x/2}O_4$ ($x=0.70$).....	Masao OHASHI.....	23
The Characteristics of the Freshmen in 2003---An Analysis Based on the Results of a Questionnaire to the Freshmen---.....	Yoko MATSUO Norihiko HARADA Toru KUNISHIGE.....	29
Job Reporting System for Assistant Students at the Information Processing Center.....	Yoshio HAYASHI Keiko TORII Takayuki NITTA Norio KODA.....	39
A Remote Control System of Vibration Motors Using Real-Time Linux...	Takahiro FUKUMOTO Takehito YAMADA Masahiro MOMOTA.....	43
Time and Space Structure of Horseshoe Vortex.....	Shinobu FUKAE Takanori SAGA.....	53
A Study on Construction Mechanism of the Sand Pile by SCP Method(Part3).....	Keiishi ITOU Shunji UE Mitunori OUCHI Haruo FUJIWARA.....	59
The Three Dimensional Structure of Cylinder Wakes in Uniform Flow...	Chieko MATSUDA Takanori SAGA.....	67
<hr/>		
Abstracts of Other Papers and List of Lecture		77