

久留米工業高等専門学校  
紀 要

第16卷 第1号

MEMOIRS  
OF  
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 16 No. 1  
SEPTEMBER 2000

平成 12 年 9 月

久留米工業高等専門学校

# 久留米工業高等専門学校

## 紀 要

第16巻 第1号  
(平成12年9月)

### 目 次

軽荷重ジャーナル軸受の油膜挙動に及ぼす 潤滑油成分構成の影響 .....	{ 松仁田 井原 康 悟 江廣 崎尾 靖 宏 廣 廣 尾 靖 彰	... 1
車両自動操舵の基礎研究 — 高速 Hough 変換法の有効ピット長と誤差の関係 — .....	{ 中高 島 勝 行 大松 政 利 井淵 上 政 利 高橋 勝 康 敬 高 橋 康 夫	... 7
レーザー蛍光法による SiH <sub>4</sub> プラズマ中の水素原子密度計測 .....	宮 崎 浩 一	... 15
教室用インターネット端末機と WWW を用いた 学級運営支援システムの構築 .....	江 頭 成 人	... 21
An Inquiry into the Vertex Search Algorithm for Digital Voronoi Diagram .....	{ Michiharu MAEDA Nobuyuki TERASAKI Hiromi MIYAJIMA	... 27
Na $\beta$ "-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 固体電解質を用いた化学電池の酸素分圧依存性 .....	{ 重 松 浩 氣 久 保 甚 一 馬 越 幹 郎 男	... 33
Examples of Virtual Knot Diagrams Which Vanish the Conway Polynomial .....	Shigekazu NAKABO	... 41
周濂溪の人物像について .....	平 元 道 雄	... 47
第9回高専フォーラム — 21世紀に向かって! — .....	{ 中 寫 裕 之 鎌 田 吉 之 馬 越 幹 助 鳥 井 昭 男 美	... 55
第8回科学技術セミナー — ハイテクノロジーの現状 高専のハイテク技術 域産業との技術革新を目指して — .....	{ 中 寫 裕 之 坂 田 翁 吉 之 鎌 藤 翁 吉 之 加 藤 秀 助 鳥 井 昭 美	... 61
平成11年度に発表した論文・著書等及び講演題目 .....		67
平成11年度卒業研究題目及び専攻科研究論文題目 .....		79
久留米工業高等専門学校紀要出版投稿内規 .....		85

## 一般論文

## 軽荷重ジャーナル軸受の油膜挙動に及ぼす潤滑油成分構成の影響

松	井	悟
仁	田原	康宏*
江	崎	修
廣	尾	靖彰

## Effects of Composition of Oils on Oil-film Performance in Light Load Journal Bearings

Satoru	MATSUI
Yasuhiro	NITAHARA*
Osamu	ESAKI
Yasuaki	HIROO

The oil-film performance of journal bearing is usually analyzed by applying Reynolds's boundary condition, in which it is assumed that the oil-film breakdown occurs at almost all diverging part and the film pressure is neglected as a circumferential level. But in case of light load bearings, the continuous oil-film is apt to be formed even in diverging part, and the effect of negative pressure become to be not ignored. Therefore the occurrence of oil-film breakdown directly influences on the characteristics of these bearings. Although the lubrication states of journal bearings are significantly affected by the viscosity of oils, in a light load condition the interactions between components of oil also influence on the oil-film formation ability.

The author investigated the effects of composition of oils on performance of journal bearings using the oils of identical viscosity grade., and following results were obtained.

- 1) In diverging part the flow patterns of pure hydrocarbon oil (Cetane) were different from those of blended oils.
- 2) The transition from partial oil-film state to continuous oil-film formation happened at a specific value in Sommerfeld Number  $S$ -crit of the oils own, and  $S$ -crit values were larger in Cetane than in mixtures.

## 1. 緒 言

流体潤滑条件下の油膜挙動に最も支配的な影響を及ぼす潤滑油の性状は粘度であり、他の条件が同じであれば軸受の諸特性は粘度によって決定されるものとして扱われている。しかし、多くの成分からなる潤滑油が高いせん断を受けながら流動する際には、粘度以外にも、構成分子間の相互作用が流動特性に影響することが指摘されており<sup>1)2)</sup>、薄膜潤滑状態においては、同一粘度等級にある潤滑油を用いた場合でも、その成分構成が異なると潤滑特性に大きな相違を生じることが報告されている<sup>3)</sup>。

ジャーナル軸受では、通常は“油膜拡がり部の大部分で連続膜は存在せずに、圧力は周囲圧力に等しい一定値をとる”とするレイノルズの境界条件<sup>4)</sup>を適用して解析が進められる。しかし、油膜最高圧

力と周囲圧力の差が小さい軽荷重軸受では、作動条件によっては油膜拡がり部においても連続膜が形成される場合が生じ、そこでの油膜破断の有無や圧力分布の影響が重要な意味を持つことになる<sup>5)6)</sup>。

このような軸受では、潤滑油の成分構成の相違が、とくに油膜拡がり部の流動状態を左右し、軸受全体の特性にも大きな影響を及ぼすことが予想される。

本研究では、すきま比の異なる2種類の軸受を透明な材料で製作し油膜破断の状況を直接観察すると同時に、軸受中心位置の軌跡などを測定して、潤滑油の成分構成の相違が軽荷重軸受における潤滑膜の挙動に及ぼす影響について調べた。

## 2. 実験方法

## 2.1 実験装置

本研究に用いた実験装置の概略を図1に示す。S45C材のジャーナル①は、玉軸受で支持され無段

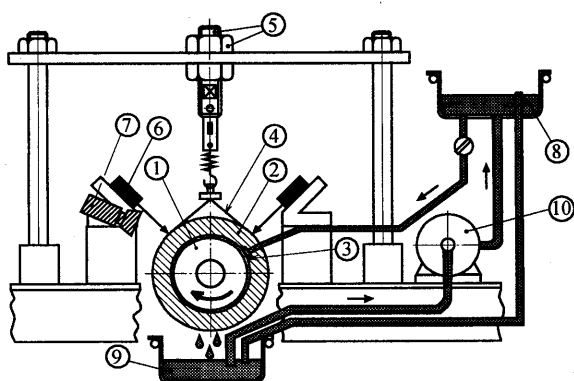


図 1 実験装置概略図

変速機により歯付きベルトを介して駆動される。一方軸受②は、油膜の状態を直接観察するために透明なアクリル樹脂とし、すきま比が異なる 2 種類のを製作して実験に用いた。荷重は、軸受外周に巻き付けた金属ベルト④をバネを介してねじ⑤で引き上げて負荷し、バネ長を調節することにより所定の値とした。また、荷重作用線に対して約 50° をなす方向の、油膜厚さが最大となる位置付近に給油溝③を設け、潤滑油は上部油槽⑧からチューブで供給し、給油溝の両端から油が下部油槽⑨に向けて常に溢れるように流量を調節し循環ポンプ⑩で上部油槽に汲み上げた。なお、油膜温度は上下両油槽の平均温度で代表させた。また運転中の軸受中心位置は、後述するように荷重作用線に対して 45° の方向に配置した一対のレーザーアナログセンサー⑥を用いて割り出した。この他、実験中の油膜拡がり部の油膜の挙動を観察するためにビデオカメラ⑦による撮影を行った。

ジャーナルと軸受の寸法を以下に示す。

- ジャーナル直径 :  $d = 99.50\text{mm}$
- 軸受幅 :  $L = 100\text{mm}$ , 幅径比 :  $L/d \doteq 1.0$
- 軸受内径  $D$  : [すきま比 :  $\psi = (D-d)/d$ ]
- $D_1 = 100.00\text{mm}$  [ $\psi_1 = 0.005$ ],
- $D_2 = 99.78\text{mm}$  [ $\psi_2 = 0.0028$ ]

2.2 試料油

表 1 に本実験に用いた潤滑油の性状表を示す。鎖状炭化水素のセタン ( $C_{16}H_{34}$ ) (以降 Ct と略称), 及びスクアラン ( $C_{30}H_{62}$ ) [表面張力  $T = 28.11\text{dyn/cm}$ ] とウンデカン ( $C_{11}H_{24}$ ) [ $T = 24.15\text{dyn/cm}$ ] を 1 : 2.8mol の割合でブレンドし粘度を Ct とほぼ等しくした Mix, また市販の工業用スピンドル油 VG2 (以降 S2 と略称) の 3 種類を用い成分構成の相違の影響について調べた。

表 1 潤滑油性状表

試料油	比重 20℃	動粘度, $\text{mm}^2/\text{s}$		表面張力 T $\text{dyn/cm}$ , 20℃
		20℃	40℃	
Ct	0.773	4.49	2.93	26.83
Mix	0.775	4.29	2.74	25.46
S2	0.832	4.42	2.03	—

2.3 実験条件

実験は所定の荷重  $W$  の下で、ジャーナルの回転速度  $N$  を 10rpm から 420rpm まで 10rpm ずつ増加させていった後、再び 10rpm まで減速するという方法で行った。荷重  $W$  は、10, 20, 30, 40, 50, 60N の 6 段階の条件を採用した。

2.4 ジャーナルと軸受の位置関係

図 2 に本実験におけるジャーナル中心  $J$  と軸受中心  $B$  の位置関係及び軸受すきま形状の概略を示す。なお、本図以降では上下関係を図 1 とは逆に表示している。軸受に図で下向きの荷重  $W$  を加え、時計回りに回転数  $N$  を与えると、図の左上部に正圧が発生し連続膜となる油膜狭まり部が形成され、最小油膜厚さ位置を過ぎると油膜拡がり部に移行する。結果的に軸受中心  $B$  の位置は、ほぼ軸受すきま円の左下 1/4 の範囲に限られることになる。

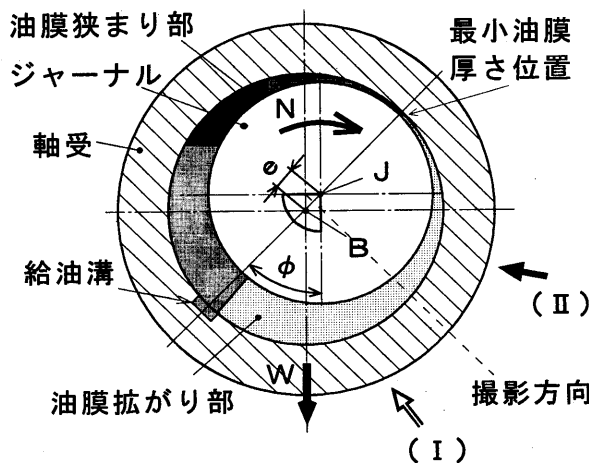


図 2 ジャーナルと軸受の位置関係

2.5 軸受中心位置の測定方法

図 3 は図 2 のすきま円の 1/4 を拡大したもので、軸受中心  $B$  のジャーナル中心  $J$  に対する偏心量  $e$  と偏心角  $\phi$  を測定した方法を示す。

前述したように荷重作用線に対し 45° 傾斜した方向に左右対称に配置した 2 個のレーザーアナログセンサーを用い、ジャーナル中心に向かうレーザー光

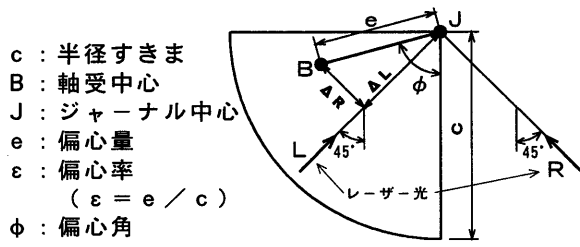


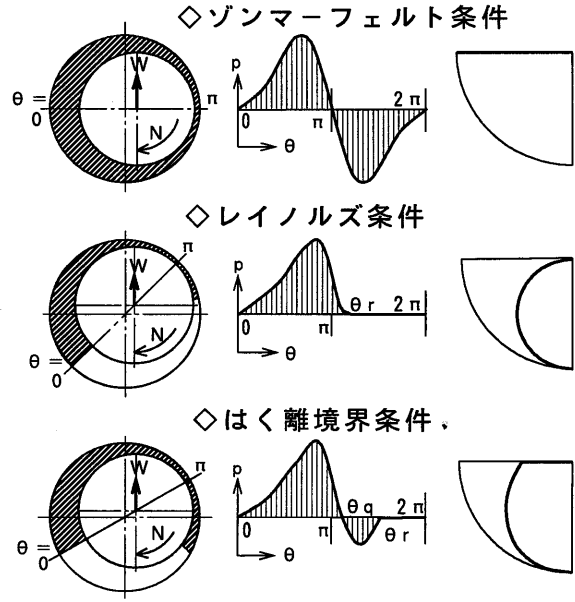
図 3 軸受中心位置の測定方法

線を軸受表面に貼布した反射膜に照射して、軸受表面から各センサーまでの距離  $R, L$  を測定した。  $J$  と  $B$  が一致した同心状態からの、  $R, L$  の変位量  $\Delta R, \Delta L$  を測定し図のように  $J$  の位置を割り出して偏心量  $e$ 、偏心率  $\epsilon$ 、及び偏心角  $\phi$  を求めた。

2.6 ジャーナル軸受の境界条件

図 4 はジャーナル軸受に適用される境界条件を示したものである。 ゾンマーフェルト条件では  $0 \leq \theta \leq \pi$  の油膜狭まり部における正圧分布と対称の負圧が  $\pi \leq \theta \leq 2\pi$  の拡がり部に発生し、軸心軌跡は  $\phi = 90^\circ$  となる。しかし一般に用いられる高荷重軸受では油膜拡がり部全体に渡って負圧の連続膜が形成されることはなく、通常はゾンマーフェルト条件の正圧部分のみを採用し、  $\theta = \pi$  の点における流量の連続性を考慮して  $\theta = \theta_r$  で  $p = dp/d\theta = 0$  とするレイノルズ条件が用いられることが多い。この条件では軸心軌跡は図のように半円弧に近い形状となる。はく離境界条件は、粘性力に比べて表面張力の影響が無視できないような軽荷重の場合に適用されるもので、油膜拡がり部でもはく離点  $\theta_r$  までは負圧の存在を許容するものである<sup>4)</sup>。

本研究に先立って行った予備実験で油膜狭まり部の圧力分布を測定した結果によれば、正圧部の荷重分担割合は作動条件によって 60~90% の間で推移す



[油膜範囲] [圧力分布] [軸心軌跡]

図 4 ジャーナル軸受の境界条件

ることが確認された。従って本実験の条件では低速域ではレイノルズ、高速域ではゾンマーフェルト条件に近く、中間の速度でははく離境界条件に相当する潤滑状態となっていることが推定される。

3. 実験結果及び考察

3.1 油膜拡がり部における油膜破断状況の変化

図 5, 6 は、図 2 に示す油膜拡がり部の潤滑膜の流動状態を、図 2 の (I) と (II) の 2 方向からカメラで撮影し、その画像を合成したものである。図には、すきま比  $\psi_2 = 0.0028$ 、荷重 50N の条件における各潤滑油の油膜形成状態を比較して示した。図中の白い矢印は油膜破断開始位置を指している。

図 5 の実験初期回転数 10rpm の条件では、図に

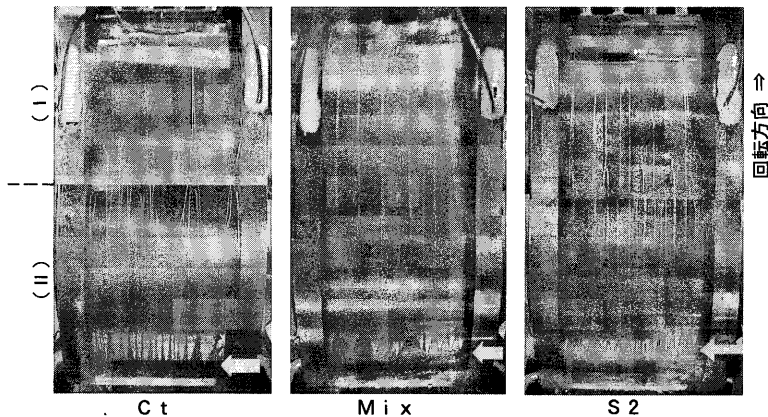


図 5 油膜拡がり部の流動状態 (N=10rpm, W=50N,  $\psi_2 = 0.0028$ )

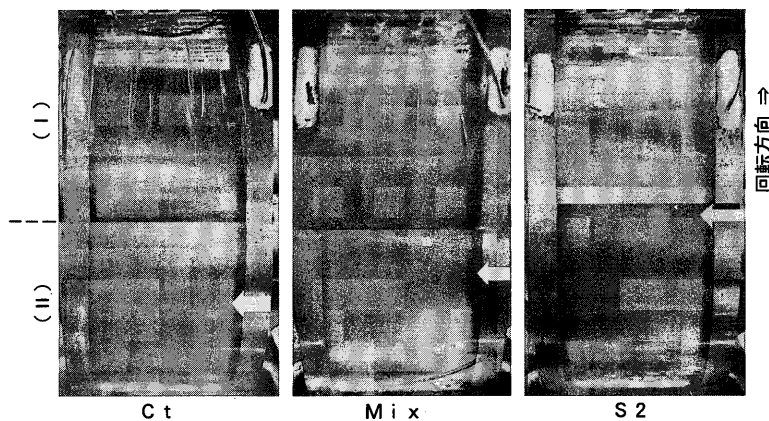


図 6 油膜拡がり部の流動状態 ( $N=80\text{rpm}$ ,  $W=50\text{N}$ ,  $\psi_2=0.0028$ )

示すように油膜は周方向に何本かに枝分かれして存在するのみで大部分は破断状態にある。分枝の数は潤滑油間で異なり、Ctでは18本程度でMixの約2倍となっている。図6は回転数を80rpmに上昇させた時の状態であるが、この条件になると分枝流は合体し、流れの先端は給油溝の近くにまで達しており、空洞部の割合も減少している。しかし、CtではMix, S2に比べて空洞部が大きくまた油膜破断開始位置も流れの上流に位置しており、連続膜を形成しにくい傾向が観察された。この後さらに回転数を上げて行くと、Ctでは240rpm前後、Mixでは150~200rpm, S2は220rpm程度で空洞部が完全に消滅し連続膜を形成した。

油膜破断開始位置の膜形状は表面張力パラメータ  $P = \eta U / T$  [ $\eta$ : 絶対粘度 Pas,  $U$ : すべり速度 m/s,  $T$ : 表面張力 N/m] によって支配され、 $P$ の値が小さいと表面張力の影響が大きくなり油膜は軸方向にシート状に拡がりやすくなる事が指摘されている<sup>4)</sup>。図6の条件で $P$ の値を比較するとCtで0.048, Mixでは0.046とMixが若干小さい程度であり、上述の流動状態の大きな相違は別の要因も加わった結果と考えざるを得ない。

平野<sup>7)</sup>は温度勾配を有する金属面上で表面張力によって駆動される油膜の拡がり挙動を観測し、単一成分のCtが駆動力の方向に細いすじ状になって流れるのに対して、Mixでは駆動力と直角方向にも大きく拡がり、かつ油膜内で成分の偏析が生じることを示した。本実験においてもこれに類似した挙動が発生し、Mixでは同一条件を仮定して換算した $P$ 値が0.018と小さいウンデカンを含むために、Ctよりもクエット流れを駆動する鋼製のジャーナル表面をぬらして拡がりやすく、このような油膜形成状態の相違が現れたと判断するのが妥当であろう。

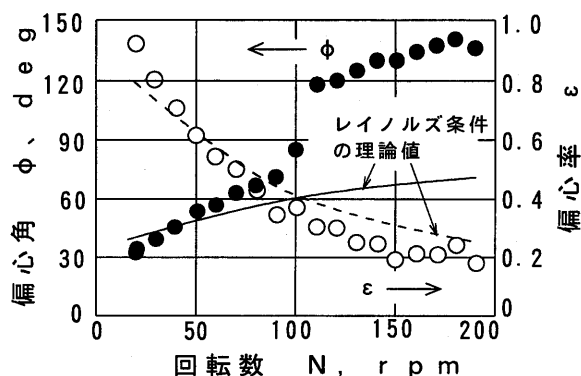


図 7 回転数の増加に伴う  $\epsilon$ ,  $\phi$  の変動

### 3.2 回転数の増加に伴う偏心率と偏心角の変化

図7に潤滑油にCtを用い、すきま比 $\psi_2=0.0028$ , 荷重 $W=30\text{N}$ の条件で行った実験の偏心率 $\epsilon$ 及び偏心角 $\phi$ の回転数 $N$ の増加に伴う変化を示す。実験初期の低速の条件では $\epsilon$ は0.8以上、 $\phi$ は $30^\circ$ 程度であるが、 $N$ の上昇につれてレイノルズ条件の理論値にほぼ添った形で $\epsilon$ は減少し $\phi$ は増加して行く。しかし、 $N$ が100rpmを越えると $\phi$ の値が急激に上昇し、ゾンマーフェルト条件の軸心軌跡に相当する $\phi=90^\circ$ を越える現象が見られた。この時の回転数は図5, 6に示した観察において連続膜が形成される時期にほぼ一致していた。

### 3.3 軸受中心軌跡の測定結果

図8は、ジャーナル中心Jに対する軸受中心Bの位置を測定した結果に基づき、すきま円の1/4を座標として $\epsilon$ と $\phi$ を同時にプロットしたものであり、 $N$ の増減につれて移動する軸受中心の軌跡を現す。なお図中の黒塗りは油膜破断状態を、白抜きは連続膜形成を示す。図8(a)は図7の潤滑油Ct,  $\psi_2=0.0028$ ,  $W=30\text{N}$ の結果であるが、前述のように低回転数の間は $\epsilon$ は1に近く $\phi$ は $30^\circ$ 以下の値をとり、

B は N の増加につれて図中に破線で示すレイノルズ条件の理論値に近い値を取りながら移動する。その後ある回転数に達すると軸受全周にわたり連続油膜が形成され  $\phi$  の値が  $90^\circ$  を越え、その後はゾンマーフェルト条件の軌跡と同様の傾向を示しながら J とほぼ同心の状態になるまで移動して行く。また、今回の実験条件では、減速時にも増速時とほぼ一致した軌跡を逆にたどる傾向が見られた。なお、ここに示すように高速域で  $\phi$  の値がゾンマーフェルト条件の偏心角  $90^\circ$  よりさらに大きくなるという測定結果が得られたが、これは測定精度の問題もあるが、給油溝における潤滑油の圧力が上部油槽との高低差の分だけ周囲圧力より高くなることの影響が現れているものと考えている。

図 8 (b) は (a) の条件から荷重だけが  $W=50N$  に増加した実験の結果である。軸受中心軌跡の全体的な傾向は (a) の場合とほぼ同様であるが、荷重が高くなった分だけ油膜破断状態から脱しにくくなっており、 $N=240\text{rpm}$  で初めて連続膜を形成している。また本実験の条件  $N \leq 420\text{rpm}$  の範囲では同心状態にまでは至っていない。

図 8 (c) は (a) とはすきま比だけが異なる  $\psi_1=0.005$  の条件の結果であるが、(b) とほぼ同様の傾向を示しており、連続膜形成の限界回転数は (a) の場合の 3 倍  $N=300\text{rpm}$  に上昇している。すなわち、すきま比を大きくすることは荷重を増加させる

のと同様の結果をもたらすことが確認された。

図 8 (d) は (a) と同一条件で潤滑油に二成分からなる Mix を用いたときの結果である。(a) と同様に油膜破断状態から連続膜を形成し、 $N=420\text{rpm}$  では同心状態にまで推移している。しかし連続膜形成への遷移は Ct の場合より低い回転数  $N=70\text{rpm}$  で発生しており、油膜拡がり部での流動状態の相違にも現れていたように、単一成分の Ct よりも連続膜を形成しやすい特性を有しているようである。

### 3.4 連続油膜形成に遷移する限界の条件

図 9 は本研究で行った実験において、図 5, 6 に示す油膜拡がり部の観察結果、及び図 8 に示す軸受中心軌跡測定結果の双方から連続膜が形成されたと判断したジャーナル回転数  $N_{crit}$  を荷重  $W$  に対してプロットしたものである。図 8 で説明した特徴は実験全体に渡って共通しており、まず  $N_{crit}$  の値が荷重の増加につれて単調に上昇する傾向が確認される。また、特にすきま比の相違による影響が顕著に現れており、 $\psi_1=0.005$  の場合には、すきま比が約  $1/1.8$  と小さい  $\psi_2=0.0028$  の実験に比べて  $N_{crit}$  の値は大きく、 $W=30, 40N$  の条件では約 3 倍にまで達している。また、潤滑油間の相違もある程度見られ、同一条件で比較すると Ct の  $N_{crit}$  の方が Mix より大きく、その差は荷重が大きくなるとより明瞭になっている。S2 の結果はすきま比が小さい条件では Ct と Mix の中間となっているが、すきま比が大きい場合には Ct より高い場合もあり、どちらかといえば Ct に近い傾向を示した。

一般に、ジャーナル軸受の特性を支配するパラメーターとしてはゾンマーフェルト数  $S$

$$S = (\eta n / p_m) (1 / \psi)^2$$

(  $\eta$  : 絶対粘度,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$      $n$  : 回転数,  $1/\text{s}$  )  
 (  $p_m$  : 軸受平均圧力,  $\text{Pa}$      $\psi$  : すきま比 )

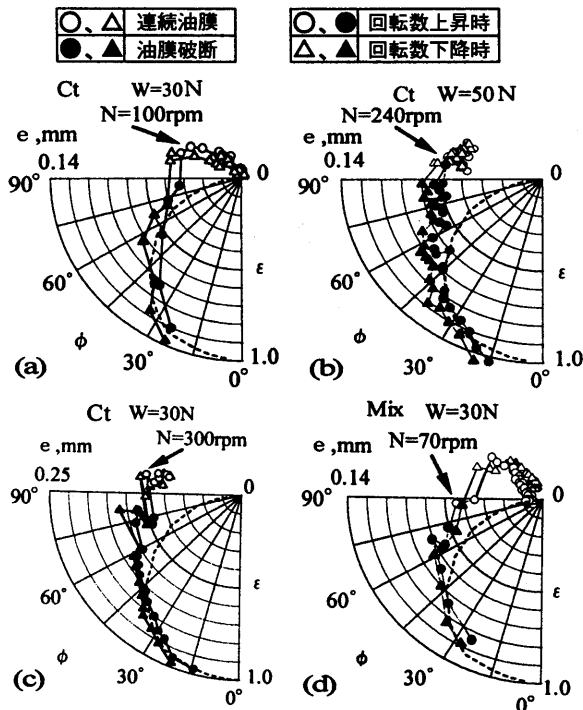


図 8 軸受中心軌跡の測定結果

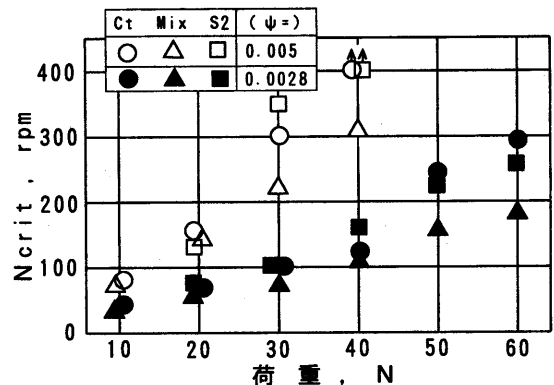


図 9 連続膜形成に遷移する回転数

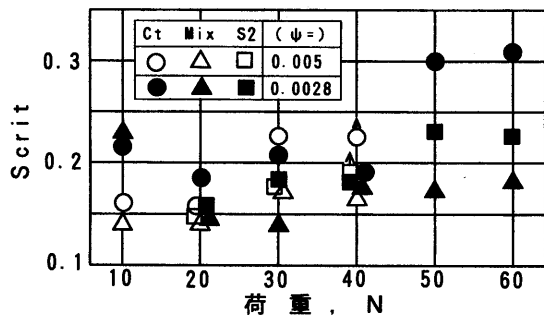


図10 連続膜形成に遷移する限界のゾンマーフェルト数

が採用され、ゾンマーフェルト数が等しければ軸受の潤滑状態も同等にあると評価される。

図10は図9の  $N_{crit}$  に対応するゾンマーフェルト数の限界値  $Sc_{crit}$  を荷重  $W$  に対してプロットしたものである。Mix では  $Sc_{crit}$  の値はすきま比の大きな相違にもかかわらず0.14から0.18の範囲で、ほぼ一定の値をとっており荷重の影響もさほど顕著ではない。一方、Ct の  $Sc_{crit}$  の値は0.13から0.3と荷重の増加と共に上昇しているが、すきま比の相違はほとんどみられなくなっている。S2では  $Sc_{crit}$  の値は0.16から0.23であり Ct と Mix の中間に位置し荷重の影響も Ct に比べると小さくなっている。

成分構成が異なる Ct と Mix を比較すると、同じ荷重条件では荷重10N の1例を除いて全て Ct の  $Sc_{crit}$  の方が大きくなっており、粘度等級は等しくても単一成分の Ct の方が油膜破断状態から連続膜形成へと移行しにくい特性を有していると判断できる。この原因としては、前に述べたように構成成分間の表面張力の相違や相互作用の影響によるミクロな流動状態の差などが考えられるが、この点は今後さらに詳細な検討を加える必要がある。

本実験で用いた Ct は単一成分のパラフィン炭化水素であり、Mix は鎖長の異なる2種類の炭化水素を混合したものである。一方、市販の工業用潤滑油である S2 は分子量や分子構造がそれぞれに異なる無数の分子の集合体であり、 $Sc_{crit}$  の値が Ct と Mix の中間となるのは、成分構成の面からも妥当な結果が得られたものと考えている。

#### 4. 結 言

軽荷重ジャーナル軸受を用いて流体潤滑膜の挙動に及ぼす潤滑油成分構成の影響について調べ、以下

の結果を得た。

- 1) 油膜拡がり部の観察を行った結果、油膜破断状態から連続膜形成への遷移が生じる以前の過程において、単一成分の Ct と2成分からなる Mix の間には流動状態に相違があることが確認できた。
- 2) 作動条件によっては、油膜拡がり部において破断状態から連続膜形成への遷移が生じるが、その限界はすきま比の相違に関わらず、潤滑油ごとに異なるゾンマーフェルト数  $S$  によって決定されている。
- 3) 連続膜形成へと遷移する限界のゾンマーフェルト数  $Sc_{crit}$  は2成分からなる混合油 Mix では荷重条件にかかわらずほぼ一定となる。一方、単一成分の Ct は Mix よりも連続膜を形成しにくく、 $Sc_{crit}$  の値は Mix よりも大きくなり、かつ荷重の増加と共に上昇していく傾向がある。
- 4) 広域の分子量分布を持つ市販の工業用スピンドル油 S2 では、 $Sc_{crit}$  は単一成分の Ct と2成分からなる Mix の中間の値となった。

以上のように、直鎖状炭化水素の潤滑油を用いて実験を行い、軽荷重ジャーナル軸受の油膜形成に粘度以外の影響も現れることを検証したが、今後は鎖状炭化水素と環状炭化水素の混合物を用いてセグメント流動<sup>9)</sup>の影響について調べる予定である。また、代替冷媒と冷凍機用潤滑油の混合物を用いたジャーナル軸受の油膜形成能力に関する問題<sup>9)</sup>に取り組むことも計画している。

#### 謝 辞

本研究を遂行するに際し、試験機の製作と調整に関しては学生課実習係の諸氏に多大なご支援を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 森 誠之：トライボロジスト, 42, 3 (1997) 175
- 2) P.M. CANN & H.A. SPIKES: Tribol. Trans., 34 (1991) 248
- 3) 境 忠男・平野富士夫：潤滑, 23, 11 (1978) 796
- 4) 中原綱光：潤滑, 26, 3 (1981) 146
- 5) 森 美郎 他3名：機論, 33, 248 (1967-4) 658
- 6) 矢部 寛：潤滑, 15, 8 (1970) 478
- 7) 平野富士夫：潤滑学会夏期セミナー講義録—潤滑における熱及び物質移動, (1978) 41
- 8) 玉井康勝：潤滑, 16, 8 (1971) 620
- 9) 火威 進：トライボロジー—先端講座—代替冷媒冷凍機とトライボロジー技術, (2000) 9



## 一般論文

## 車両自動操舵の基礎研究

## — 高速 Hough 変換法の有効ビット長と誤差の関係 —

中	島	勝	行
高	松	政	利
大	淵		豊
井	上	勝	敬 <sup>*1</sup>
高	橋	康	夫 <sup>*2</sup>

Fast Hough Transform by employing Quadruple Simultaneous Recurrence Formula  
— The Relation between Effective Bit Length and Accuracy —

Katsuyuki	NAKASHIMA
Masatoshi	TAKAMATSU
Yutaka	OBUCHI
Katsunori	INOUE <sup>*1</sup>
Yasuo	TAKAHASHI <sup>*2</sup>

Hough transform (HT) is an effective method to extract line figure from picture image. However, it has high cost of calculation that prevents applying to wide practical use. The problem lies in shortening of calculation time.

Previously, the authors proposed the simultaneous recurrence algorithm by which the operation of HT can be realized with high speed and high accuracy. It is introduced in this report that the authors manufacture special purpose hardware by way of experiment on the basis of the above algorithm.

This time, the processing speed and accuracy were considered precisely. The variables are taken in fixed decimal point integer with minor part. It is decided the best that the bit length of binary integer bit is 20 digit by this consideration.

## 1. あらまし

Hough 変換は原画像の中から直線成分を検出する有力な手法である。実時間処理が可能となれば道路のセンターラインとサイドラインを検出してハンドルを修正しながら、自動運転が可能となる。ここでは Hough 変換をハードウェアに実装して、高速に直線成分検出を行うための基礎研究を行った。

Hough 変換は正弦関数を用いた写像変換なのでそのままと莫大な計算時間を必要とする。そこで正弦関数計算を無くし、変数を固定小数点データとして加算とシフト算による逐次計算に置き換え、実験回路を作成した。その結果誤差を最小限に押さえる小数部の桁数及び処理速度の目安を得た。

## 2. 多重並列化漸化式の原理

Hough 変換の原式は次の通りである。

$$\rho = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad \dots (1)$$

式 (1) の  $\rho$  の領域を  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  に分けて図1の如く

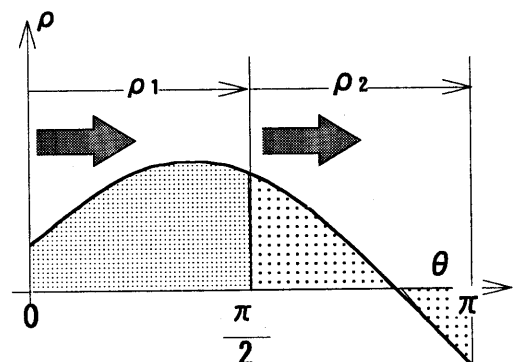


図1 Covering range of  $\rho_1$ ,  $\rho_2$

平成12年5月25日 受理

\*1元大阪大学 接合科学研究所

\*2大阪大学 接合科学研究所

領域分担させると  $\rho_2$  は  $\rho_1$  と  $\pi/2$  ずれているので  $0 \leq \theta < \pi/2$  として

$$\rho_1 = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta \quad \dots (2)$$

$$\rho_2 = -x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta \quad \dots (3)$$

$\theta = n \Delta + \Delta$  と置けば

$$\rho_1 = x \cdot \cos(n \Delta + \Delta) + y \cdot \sin(n \Delta + \Delta)$$

$$\rho_2 = -x \cdot \sin(n \Delta + \Delta) + y \cdot \cos(n \Delta + \Delta)$$

この 2 式から加法定理を用いて

$$\begin{aligned} \rho_{1, n+1} &= x \cdot \cos(n \Delta + \Delta) + y \cdot \sin(n \Delta + \Delta) \\ &= x \{ \cos(n \Delta) \cdot \cos(\Delta) - \sin(n \Delta) \cdot \sin(\Delta) \} \\ &\quad + y \{ \sin(n \Delta) \cos(\Delta) + \cos(n \Delta) \sin(\Delta) \} \\ &= \cos(\Delta) \{ x \cdot \cos(n \Delta) + y \cdot \sin(n \Delta) \} \\ &\quad + \sin(\Delta) \{ -x \cdot \sin(n \Delta) + y \cdot \cos(n \Delta) \} \\ &= \cos \Delta \cdot \rho_{1, n} + \sin \Delta \cdot \rho_{2, n} \end{aligned}$$

と表される。 $\rho_2$  については同様に加法定理を用いて

$$\rho_{2, n+1} = -\sin \Delta \cdot \rho_{1, n} + \cos \Delta \cdot \rho_{2, n}$$

と表される。上式二つを整理して

$$\rho_{1, n+1} = \cos \Delta \cdot \rho_{1, n} + \sin \Delta \cdot \rho_{2, n} \quad \dots (4)$$

$$\rho_{2, n+1} = -\sin \Delta \cdot \rho_{1, n} + \cos \Delta \cdot \rho_{2, n} \quad \dots (5)$$

$$\rho_n = \begin{pmatrix} \rho_{1, n} \\ \rho_{2, n} \end{pmatrix}$$

と置くと

$$\rho_{n+1} = \begin{pmatrix} \cos \Delta & \sin \Delta \\ -\sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix} \rho_n = A \rho_n \quad \dots (6)$$

ここで

$$A = \begin{pmatrix} \cos \Delta & \sin \Delta \\ -\sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix}$$

A は  $A \cdot A^T = [E]$  であり、良く知られているように  $\Delta$  を正にとれば座標値 ( $\rho_{1, n}$ ,  $\rho_{2, n}$ ) を時計方向に回転させる座標回転行列である。この座標回転の様子は図 2 に示されている。

図 2 を参照すると ( $x$ ,  $y$ ) なる初期値が  $-\pi/2$  なる  $\theta$  方向の回転を受けて ( $y$ ,  $-x$ ) になっている。これを利用して ( $y$ ,  $-x$ ) なる位置から逆方向 (反時計回り) に回転行列を乗じることにより  $\theta = \pi/4$  までの  $\rho$  値が求まるはずである。そこで式 (2),

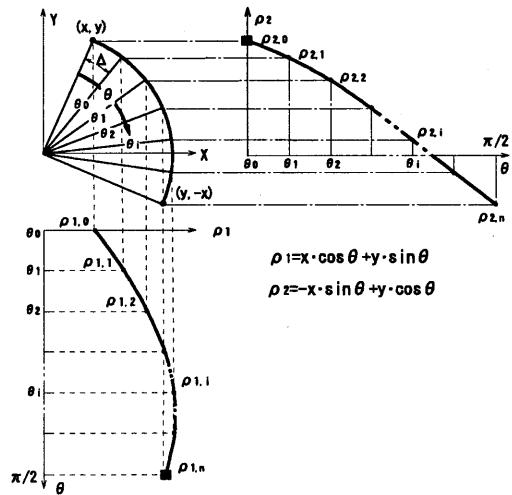


図 2 Calculation of  $\rho_1$  and  $\rho_2$  value

(3) を  $\pi/2$  位相を進めれば

$$\rho_{2, 1} = -x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta \quad \dots (7)$$

$$\rho_{2, 2} = -x \cdot \cos \theta - y \cdot \sin \theta \quad \dots (8)$$

となる。(2), (3) 式の時計方向回りで生成される  $\rho$  と区別するため  $\rho$  の第 1 添字を 2 としている。(5), (6) 式の  $\theta = 0$  に於ける値は  $(\rho_{2, 1, 0}, \rho_{2, 2, 0})^T = (y, -x)^T$  である。ここで  $\theta = -n \cdot \Delta$  として式 (7) の漸化式の第  $n+1$  項  $\rho_{2, 1, n+1}$  は上述と同じ議論により、その前項によって

$$\begin{aligned} \rho_{2, 1, n+1} &= x \cdot \sin(n \cdot \Delta + \Delta) + y \cdot \cos(n \cdot \Delta + \Delta) \\ &= x \{ \sin(n \cdot \Delta) \cos \Delta + \cos(n \cdot \Delta) \sin \Delta \} \\ &\quad + y \{ \cos(n \cdot \Delta) \cos \Delta - \sin(n \cdot \Delta) \sin \Delta \} \\ &= \cos \Delta \cdot \rho_{2, 1, n} - \sin \Delta \cdot \rho_{2, 2, n} \end{aligned}$$

と表される。また式 (8) の漸化式の項  $\rho_{2, 2, n+1}$  はその前項により

$$\begin{aligned} \rho_{2, 2, n+1} &= -x \cdot \cos(n \cdot \Delta + \Delta) + y \cdot \sin(n \cdot \Delta + \Delta) \\ &= -x \{ \cos(n \cdot \Delta) \cos \Delta - \sin(n \cdot \Delta) \sin \Delta \} \\ &\quad + y \{ \sin(n \cdot \Delta) \cos \Delta + \cos(n \cdot \Delta) \sin \Delta \} \\ &= \sin \Delta \cdot \rho_{2, 1, n} + \cos \Delta \cdot \rho_{2, 2, n} \end{aligned}$$

と表される。上式二つを整理して

$$\rho_{2, 1, n+1} = \cos \Delta \cdot \rho_{2, 1, n} - \sin \Delta \cdot \rho_{2, 2, n} \quad \dots (9)$$

$$\rho_{2, 2, n+1} = \sin \Delta \cdot \rho_{2, 1, n} + \cos \Delta \cdot \rho_{2, 2, n} \quad \dots (10)$$

但し初期値  $(\rho_{2, 1, 0}, \rho_{2, 2, 0})^T = (y, -x)^T$  である。ここで

$$\rho_{2,n} = \begin{pmatrix} \rho_{2,1,n} \\ \rho_{2,2,n} \end{pmatrix}$$

$$\rho_{2,n+1} = \begin{pmatrix} \cos \Delta & -\sin \Delta \\ \sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix} \rho_{2,n} = B \rho_{2,n} \dots (11)$$

$$B = \begin{pmatrix} \cos \Delta & -\sin \Delta \\ \sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix}$$

B は  $B \cdot B^T = E$  であり、また  $B = A^T$  である。B は座標  $(\rho_{2,1,n}, \rho_{2,2,n})$  を反時計方向に回転させる座標回転行列となっていることがわかる。ここで (2), (3) 式に示す時計方向回転による  $\rho$  値の添字を 1 として書き改めれば

$$\rho_{1,1,n+1} = \cos \Delta \cdot \rho_{1,1,n} + \sin \Delta \cdot \rho_{1,2,n} \dots (12)$$

$$\rho_{1,2,n+1} = -\sin \Delta \cdot \rho_{1,1,n} + \cos \Delta \cdot \rho_{1,2,n} \dots (13)$$

但し初期値  $(\rho_{1,1,0}, \rho_{1,2,0})^T = (x, y)^T$  とする。ここで

$$\rho_{1,n} = \begin{pmatrix} \rho_{1,1,n} \\ \rho_{1,2,n} \end{pmatrix} \text{ と置くと}$$

$$\rho_{1,n+1} = \begin{pmatrix} \cos \Delta & \sin \Delta \\ -\sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix} \rho_{1,n} = A \rho_{1,n} \dots (14)$$

ここで

$$A = \begin{pmatrix} \cos \Delta & \sin \Delta \\ -\sin \Delta & \cos \Delta \end{pmatrix} \dots (15)$$

ここで  $\rho_{i,j}$  の分担領域を描けば図 3 のようになる。図中の矢印は  $\rho$  が生成される順序方向を表している。

結局、初期値  $(x, y)^T$  から  $\rho_{1,1}, \rho_{1,2}$  が、初期値  $(y, -x)^T$  から  $\rho_{2,1}, \rho_{2,2}$  が順次生成されるこ

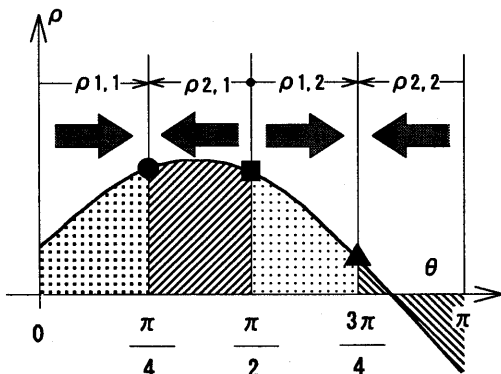


図 3 Covering range of  $\rho_{11}, \rho_{12}, \rho_{21}$  and  $\rho_{22}$

とがわかった。この生成の様態を図 2 に対応させて描けば図 4 のようになる。ここで記号 ●, ■, ▲ の種類は各  $\rho$  の接続点を表し図 3, 図 4 のそれぞれの記号と対応している。 $\Delta$  が微小なとき  $\cos \Delta \doteq 1, \sin \Delta \doteq \Delta$  と近似すると式 (12), (13) より

$$\rho_{1,1,n+1} = \rho_{1,1,n} + \Delta \cdot \rho_{1,2,n} \dots (16)$$

$$\rho_{1,2,n+1} = -\Delta \cdot \rho_{1,1,n} + \rho_{1,2,n} \dots (17)$$

が得られる。但し初期値は  $(\rho_{1,1,0}, \rho_{1,2,0})^T = (x, y)^T$  である。

また式 (9), (10) より

$$\rho_{2,1,n+1} = \rho_{2,1,n} - \Delta \cdot \rho_{2,2,n} \dots (18)$$

$$\rho_{2,2,n+1} = \Delta \cdot \rho_{2,1,n} + \rho_{2,2,n} \dots (19)$$

が得られる。但し初期値は  $(\rho_{2,1,0}, \rho_{2,2,0})^T = (y, -x)^T$  である。さらに (16), (17), (18), (19) に共通に  $0 \leq n < K_1 = 2^{m-2} \pi$  である。ここで  $\Delta = 2^{-m}$  ( $m$  は正の整数) である。また  $\theta - \rho$  平面の寸法  $K,$

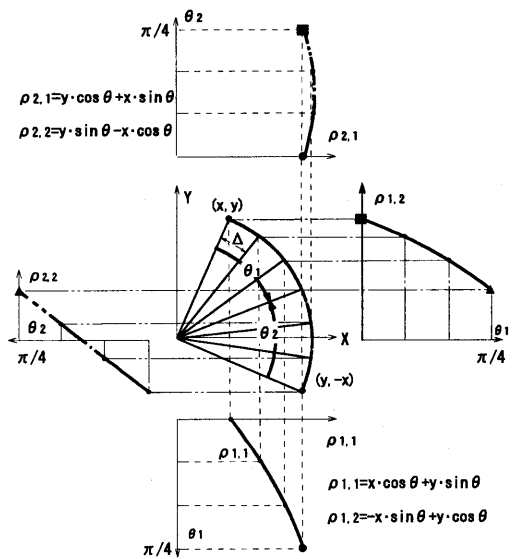


図 4  $\rho$  Value calculation using quadruple parallel operation

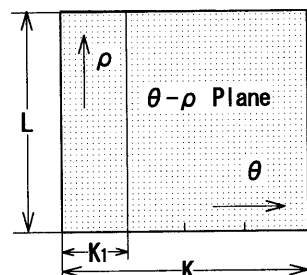


図 5 Dimension of  $K, K_1, L$  on  $\theta - \rho$  plane

$K_1, L$  は次のようにとる。 $K = [2^m \pi]$ ,  $K_1 = [2^{m-2} \pi]$ 。但し  $[ ]$  は整数化を意味するガウス記号である。ちなみに  $m=7$  のとき,  $K=402$ ,  $K_1=101$  となる。ここで  $K, K_1$  の関係は図 5 となる。このように式 (16), (17), (18), (19) を組み合わせ, ハフ変換原式 (1) を四重並列化して計算する近似式が得られた。これを実際にハードウェアに組み込むときの問題について次項で述べる。

### 3. 固定小数点演算と誤差の低減

前項で多重連立漸化式を導いた。ここではこの漸化式をハードウェアに組み込むための  $\rho$  を表す数値形式の予備的な検討を行う。 $X, Y, \theta$  の軸分割数は全て 402 と仮定した。これは  $m=128$  として  $K = [2^m \cdot \pi] = 402$  から  $\theta$  軸分割数が決まるので  $X, Y$  の軸分割数もこれに合わせたものである。この場合  $\rho$  の最大値は  $402 \times \sqrt{2} = 568[\text{Dot}]$  となる。

図 6 は漸化式で使用する  $\rho$  を浮動小数点数で表現して Hough 変換原式 (1) からの誤差を表示したものである。与えたサンプリング点は誤差が最も大きくなる  $X, Y$  平面上の右上隅で  $(x, y) = (402, 402)$  である。図 6 (a) は並列漸化式によるもの、図 6 (b) は前項で示した多重漸化式によるものである。初期値が  $\pi/2$  から与えられたことにより  $\pi/2$  における誤差の段差がなくなると同時に全体として誤差が減少している。最大誤差は  $1.7[\text{Dot}]$  である。ハードウェアに組み込む際には  $\rho$  値を浮動小数点数で取り扱うと回路が複雑になると同時に演算速度の低下を招くのでここでは  $\rho$  値を符号及び小数部付き固定小数点数 (以後単に固定小数点数と呼ぶ) として取り扱うことにする。整数部の桁数は  $\rho$  値が最大 567 になるので符号桁まで合わせて 11 [bit] 必要である。その場合小数部の桁数を何桁用意すればよいかを把握するためシミュレーションを行った。この結果を図 7 に示す。図では小数部の桁数を  $s$  で表している。上から順に  $s=6 \sim 9$  の場合である。最大誤差は  $s$  が増えると漸減している。 $s=9$  でその値は  $1.7[\text{Dot}]$  となった。これ以上  $s$  を増加させても誤差の改善は見られなかった。従って小数部は 9 桁あれば必要十分である。

### 4. ハードウェア構成

#### (1) 試作回路のブロック図

本方式をハードウェアに組み込んだ様子を図 8 に示す。主として  $\rho$  値発生部を中心に描いている。Latch はエッジトリガー形のレジスタである。

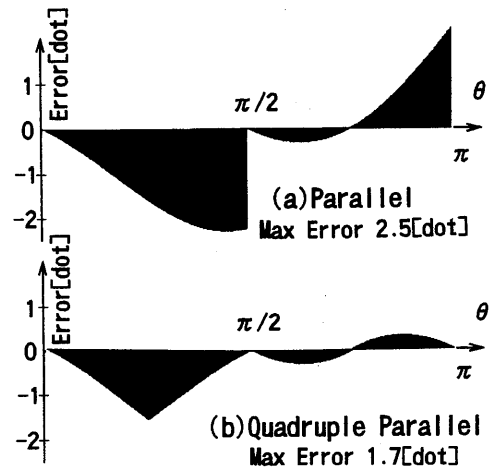


図 6 Error of two kinds of calculation method for original Hough transform expression (Floating point operation)

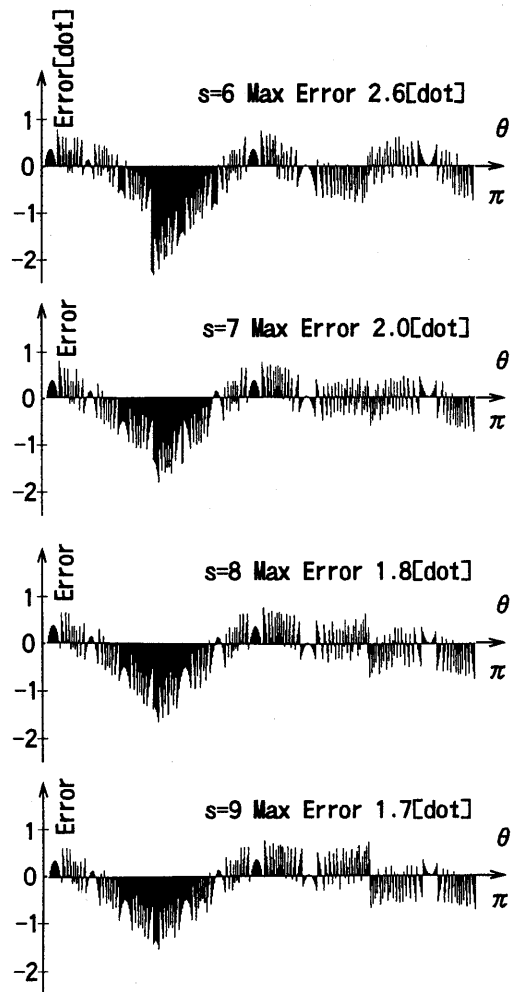


図 7 Error of quadruple parallel calculation for original Hough transform expression (Fixed Decimal point operation)

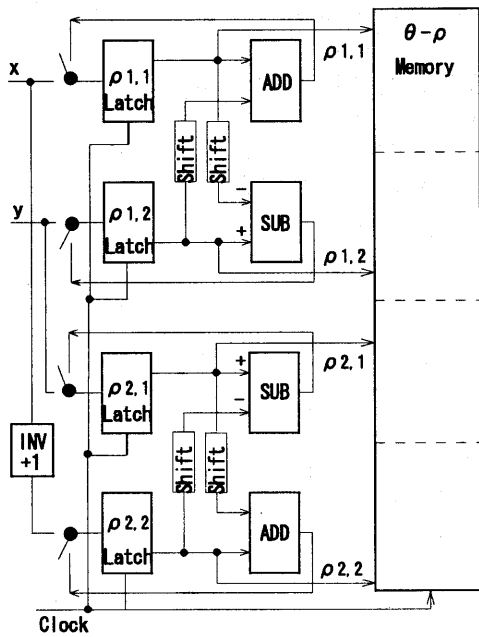


図 8 Hardware block diagram of quadruple parallel calculation

TTL74S, TTL74AS シリーズの IC で構成した。与えられた初期値  $(x, y)^T$  はそのまま時計方向回転行列演算部に入力される (図の上半分)。

一方、反時計方向回りの回転行列演算部には  $x$  の 2 の補数が作られ  $(y, -x)^T$  が初期値として与えられる。(図の下半分) 初期値設定後、スイッチが演算側に切り替えられクロックパルスを入力によって  $\rho_{1.1}, \rho_{1.2}, \rho_{2.1}, \rho_{2.2}$  が並列に発生されて行く。この部分へ供給されるクロックパルスは  $\theta - \rho$  メモリの度数累積加算部へも供給され、当該番地の内容が +1 される。図では省略されているが文献 (1) に示すものと同じ回路が使用されている。但し  $\rho$  値が 2 の補数形式で出力されるのでアドレス計算には多少の論理回路の追加が必要である。

この図で上半分と下半分は初期値の入れ替えを行えば全く同じ回路が使用可能ながわかる。回路自体も同じような論理の繰り返しであるから PGA (Programmable Gate Array) での構成が簡単で IC 化も容易である。

(2)  $\rho$  値のビット長

3. 項での検討から  $\rho$  値のビット長は整数部と符号桁を含んで 11 桁、小数部は 9 桁合計 20 桁とした。この  $\rho$  が 7 bit のシフトを受けながら逐次演算が進むとすれば図 9 に示すように  $\rho_{1.1}$  の 12~19 ビットに  $\rho_{1.2}$  の MSB が足し込まれる。これは符号ビットである。また  $\rho_{1.2}$  の 7~18 ビットが  $\rho_{1.1}$  の 0~11 ビッ

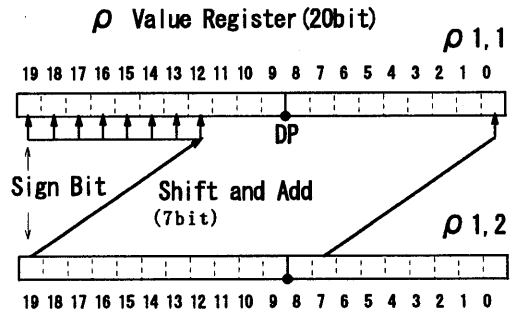


図 9 Bit shift for add and subtract operation

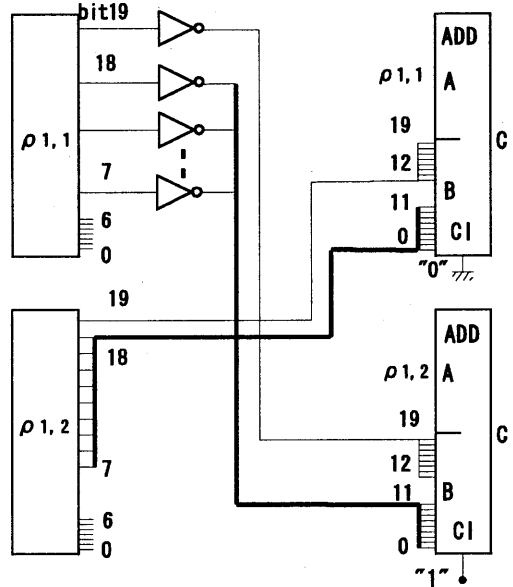


図 10 Detail chart of subtract operation part

トに足し込まれる。結果として取り出される  $\rho$  は離散的な整数部だけであるから  $\rho_{1.1}$  の 0~8 bit は切り捨てられる。

(3) 減算部の具体的構成

本試作装置で取り扱うデータは 20 桁の符号付き固定小数点データであり、その減算部 (図 8, SUB) は図 10 のように構成されている。本図は図 8 の左上部の詳細を示している。減算のための 2 の補数を作る部分を中心に描いている。図でビット線を表す数字は MSB より 19~0 と番号を振っている。アダー (ADD) は  $C=A+B$  を計算する。最下部に下桁からのキャリーを入力する端子 (CI) がある。シフト (Shift) は単なる線のつなぎ換えて済む。  $\rho_{1.1}$  は番号 7~18 ビットが反転されて 1 の補数となり下側のアダー (実質的には減算器) の B 入力の 0~11 ビットに接続されている。特に  $\rho_{1.1}$  の符号ビット、番号 19 は反転されて B 入力の 12~19 ビットに接続

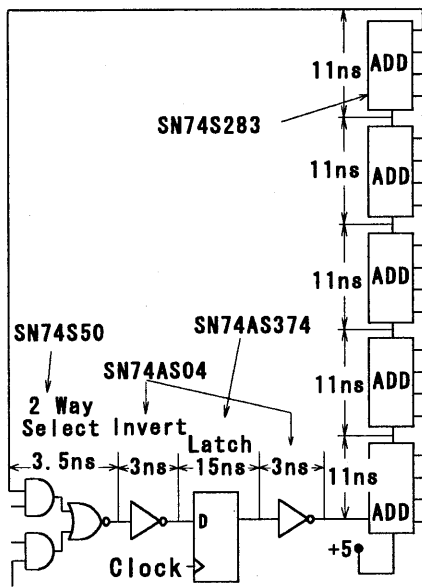


図11 The longest loop of logic signal propagation

されている。アセンブラプログラミングの算術シフトに相当する。そしてキャリー入力端子 (CI) は "1" に固定されており "1" が加算され結果的に  $\rho_{1,1}$  の 2 の補数が完成し加算が行われる。補数作成がこのように特別な反転, +1用のハードウェアを用意することなく自動的に行われる。 $\rho_{1,2}$  についてはこの値も負数になることがあるのでその符号ビット (番号19) は上側のアダーの B 入力12~19ビットに並列に接続されている。

図が煩雑になるので省略したが上下 2 つのアダーの A 入力にはそれぞれ  $\rho_{1,1}$ ,  $\rho_{1,2}$  の全 bit 線がそのまま入る。

(4)  $\rho$  値伝搬のワーストケースと演算速度

図11に  $\rho$  値計算の信号の伝搬経路のワーストケースを示す。ワーストケースは  $\rho$  の最下位ビットからの桁上げが上位の桁の IC の最上位桁まで伝搬するときが発生する。同図はこのような状態を表している。2 Way select は初期値設定と逐次演算を切り替えるために設けられている。Latch は逐次演算をしながら  $\rho$  値を更新していく。その出力が  $\rho_{1,1}$ ,  $\rho_{1,2}$ ,  $\rho_{2,1}$ ,  $\rho_{2,2}$  である。Latch の次のインバータは 2 の補数を作るためのものである。アダー (ADD) はキャリールックアヘッド型の加算器である。図中に使用した IC の品名と伝搬遅延時間 (TYP-中心値) を記入している。全体の遅延時間は計算上中心値で76.5[ns] である。

この中で最も大きな要素は加算器のキャリー伝搬時間, 合計55[ns]である。市販の TTL IC では 4

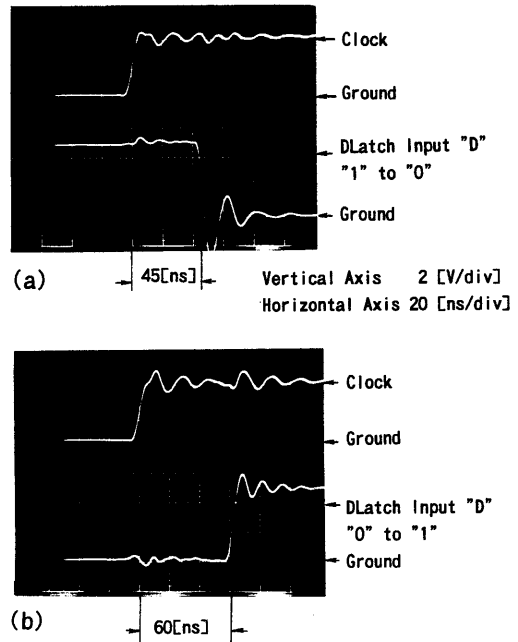


写真 1 Experimental result of propagation delay

bit 単位のものしか入手不可能なのでこのようになっている。8 bit あるいは16bit の加算器が入手できればこの部分はかなりの速度改善がなされる。上記ワーストケースについて実験を行った結果を写真1に示す。測定点は図11中の IC SN74AS374の Clock 入力と (写真 1 (a), (b) の上段) と D 入力 (同下段) との間の時間遅れである。写真 1 (a) は Clock が立ち上がって D 入力 が "1" → "0" に変化する場合, 写真 1 (b) は Clock が立ち上がって D 入力 が "0" → "1" に変化する場合を示している。遅れ量は後者の方が大きく約60[ns] である。これから計算するとクロックレートは約17[MHz] ということになる。

5. 考 察

(1) 実行速度について

図 8 の回路で, 回路が安定に動作する最小クロック周期は上記60[ns] に余裕を持って約70[ns] 程度と推定される。 $\theta - \rho$  平面の度数累積加算部は別の試作機で, 一回の度数累積加算時間50[ns] を得ているので (度数累積部のハードウェアも四個用意する)  $\rho$  値発生部側の速度が若干遅い。両者はパイプライン的に実行可能なので全体の実行速度は  $\rho$  値発生部で決まる。しかし 4 個の  $\rho$  値が同時に生成されるので一つの  $\rho$  値あたり18[ns] となる。結果的には  $\theta - \rho$  平面の一点あたり18[ns] となる。この

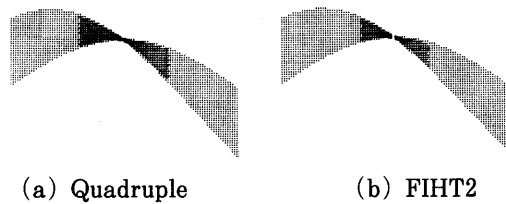


図12 Hough plot in the vicinity of  $\pi/2$  on  $\theta$  axis for horizontal line

速度は現時点でパソコンと外付けハードウェアの組み合わせとしては最高速と推定される。

## (2) 精度について

文献 (1) によれば本文で採用した並列式は FIHT2 よりも誤差が大きく (X-Y) 平面右端上部で大きさ 2.5[dot] の誤差を発生していた。しかし、今回の多重並列式の場合、3. 項で述べたように初期値が 2 箇所 (2 組) から与えられるのでこの誤差は減少する。図 7 より最大誤差は  $\pi/4$  で生じその値は 1.7[dot] である。単位 [dot] は  $\rho$  方向軸分割数の 1 単位である。この値は FIHT2 による誤差とほぼ等しい。この程度の誤差は、原画像がサンプリングされる位置による誤差、2 値化の誤差、微分によるエッジ抽出の際の誤差、度数ピーク点  $\theta^*$ 、 $\rho^*$  を求める際の誤差などの累積結果と適当にバランスする程度のものであり許容範囲にある。また図 7 では図 6 上段の  $\theta = \pi/2$  の位置における跳躍的な誤差の変化が無いことが大きな特長である。この跳躍的な誤差の変化があると、X 軸に平行な図形縁辺点の座標を与えた場合、実際上ハフ曲線が  $\pi/2$  の位置で接続する際段差を生じることになりピーク点位置が 2 つに分離することになる。図 12 はこの例で X-Y 平面上で X 軸に平行な直線をハフ変換演算しヒストグラムを形成したものの度数ピーク近傍を拡大して表示したものである。(a) は本文の 4 重並列方式によるものでスムーズなハフプロットが得られているが FIHT2 を用いて描いた (b) ではピーク点近傍で線がとぎれている。

## 6. ま と め

本文の内容を要約すると次のようになる。

- (1) 厳密漸化式を時計方向回りの回転行列と反時計方向回りの回転行列に適用し四重並列による高速演算を可能なことを示した。
- (2) 厳密漸化式から近似によって乗除算を含まな

い高速  $\rho$  値計算用の連立漸化式を導き  $\rho$  値計算の 4 重並列実行を可能とした。

- (3) 論理信号の最大伝搬遅延経路に相当する回路を製作し処理速度を推定した。
- (4) 多重並列化の副次的効果として計算精度が向上した。
- (5) それと同時に誤差の跳躍的变化が無くなりハフ曲線がスムーズに接続されることが判った。ホストコンピュータはこのハフ変換専用ハードウェアに初期値  $(x, y)^T$  を送出した後アイドルとなるのでこの間に 8 分割あるいは 16 分割用の初期値計算が可能であり、実時間性が厳しい用途にはこのような検討も必要となる。

## 参 考 文 献

- 1) 村上, 興水, 長谷川: Hough 変換法のパターン形状特徴抽出法への一般化, 電子情報通信学会技術報告, PRU88-3, (1987), pp.17-24
- 2) A. Rosenfeld and A.C. Kak: Digital Picture Processing, Vol.2, ACADEMIC PRESS (1976), pp.251-25
- 3) K. Nakashima, Y. Obuchi, K. Inoue: High-Speed Hough Transform Employing CCD Area Image Sensor, Proc. of ACCV'93, Sec. 3C1 No.77 (1993), pp.668-671
- 4) D. BEN-TZVI and M. Sandler: ANALOGUE IMPLEMENTATION OF HOUGH TRANSFORM, ELECTRONICS LETTERS, Vol.25 No.18 (1989), pp.1216-1217
- 5) D. BEN-TZVI, A.A. Naqvi and M. Sandler: Efficient parallel implementation of the Hough Transform on a distributed memory system, Image and vision computing, Vol.7 No.3 (1989), pp.169-172
- 6) 興水, 沼田: 区分的 Hough 直線による高速 Hough 変換法 PLHT について, 信学論 (D-II), Vol.J72-7-II No.1 (1989), pp.56-65
- 7) 花原, 丸山, 内山: 実時間 Hough 変換プロセッサとその FA への応用, 第 3 回日本ロボット学会講演会, No.2108 (1985)
- 8) 沼田, 興水: インкреメンタルな高速 Hough 変換法 FIHT, 電子情報通信学会技術報告, PRU87-93 (1988), pp.1-6
- 9) 沼田, 興水: 高速インкреメンタル Hough 変換法 (FIHT2), 電子情報通信学会技術報告, PRU88-107 (1989), pp.7-14

## 特 許

- (1) 度数累算型メモリ半導体集積回路 特許 第303477号
- (2) ハフ変換演算装置 出願中 特願平8-121695号

## 一般論文

レーザー蛍光法による SiH<sub>4</sub> プラズマ中の水素原子密度計測

宮 崎 浩 一

Measurements of Atomic Hydrogen Densities in SiH<sub>4</sub> Plasmas  
using Laser-Induced Fluorescence

Koichi MIYAZAKI

Measurements of absolute and spatially resolved atomic hydrogen densities in SiH<sub>4</sub> (silane) plasmas were accomplished, using a two-photon excitation from the ground state (principal quantum number  $n=1$ ) to the  $n=2$  state at 243 nm, a simultaneous excitation from the  $n=2$  state to the  $n=3$  state at 656 nm and an observation of fluorescence at 656 nm. The absolute density of hydrogen atoms was determined to be  $2 \times 10^{16}$  to  $1 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$  in pure silane plasmas and silane/hydrogen mixed gas plasmas at the silane gas flow rate of 5 SCCM, the hydrogen gas flow rate of 0-45 SCCM, the total gas pressure of 8 Pa and the RF (13.56 MHz) power of 2-6 W, for electrode diameters of 100 mm and the separation of 20 mm.

## 1. はじめに

太陽電池等の材料となる水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) 薄膜は、シラン (SiH<sub>4</sub>) ガスやシランガスと水素ガスの混合ガス等を用いたプラズマ CVD (化学気相堆積) 法によって作製される。放電プラズマ内では、親ガスへの電子衝突や化学反応により様々な原子、分子、イオン、ラジカルが生成され、それらが成膜表面へ拡散して反応し、薄膜が形成される。最近までは、これらのプラズマあるいは成膜表面での反応過程等はブラックボックスのまま、制御可能な外部パラメータ (ガス種、ガス圧力、電力、基板温度等) を調整することにより、作製された薄膜の性能の向上が図られてきた。しかしながら、薄膜の性能を飛躍的に向上するには、反応過程を解明し、それをもとにしてプラズマを最適化する必要がある。

プラズマ中には多くの種類の粒子が存在するが、中でも水素原子は膜の微結晶化などにおいて重要な役割を果たしていると考えられており、その挙動の把握が強く望まれている。プラズマ中の水素原子の計測法には、プラズマ発光分光法、質量分析法、プローブ法、レーザー蛍光法 (LIF 法) がある。中でも、レーザー蛍光法は、非接触、高空間時間分解能で測定でき、最も優れている。

レーザー蛍光法では、水素原子のエネルギー準位間に共鳴した波長のレーザー光をプラズマへ入射し

て水素原子を選択的に励起し、緩和する際に発せられる蛍光を光検出器で測定する。その蛍光強度より水素原子密度を、レーザー光の波長を掃引して得られる蛍光強度の変化より水素原子の速度分布あるいは温度を求めることができる。

水素原子の場合、基底準位から最も低い励起準位である  $n=2$  準位へ励起するには、波長122nm の紫外光が必要となる。この光は空気やシランガスに吸収されやすく、またこの光で水素原子を励起した場合に発せられる蛍光も同じ波長となり、この波長のレーザー光を用いた計測は困難である。しかし、強力なレーザー光を用いると、2個の光子を同時に水素原子に吸収させる、二光子励起が可能となり、この励起ではレーザー光の波長が長くなるため上述の問題を克服できる。波長205nm の光を用いれば  $n=3$  準位への二光子励起ができ、 $n=2$  準位へ緩和する際に発せられる波長656nm の可視光を観測すれば、水素原子計測が可能である。しかし、シランプラズマへ適用した場合、プラズマで生じた Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 分子がレーザー光で分解されて高い密度の水素原子が発生し、これらの水素原子からの蛍光信号が、最初からプラズマ中に存在する水素原子からの蛍光信号を覆い隠してしまうことが問題となる<sup>1)</sup>。ところが、これより波長の長い243nm のレーザー光で  $n=2$  準位へ二光子励起し、さらに長656nm のレーザー光で  $n=3$  準位へ励起すれば、レーザー光によるプラズマ中に存在する粒子の解離を抑制でき、計測が可能であることが示されている<sup>2)3)</sup>。



本研究では、波長243nmのレーザー光と波長636nmのレーザー光を用いて水素原子を励起し、緩和する際に発せられる波長656nmの蛍光を観測する方法を用いて、高周波放電 SiH<sub>4</sub> プラズマ中の水素原子密度の分布や放電条件による密度の変化を計測し、その挙動について考察した。

### 2. 測定原理

図1に、水素原子のエネルギー準位図と、励起に用いるレーザーの波長および蛍光の波長を示す。波長243nmのレーザー光で水素原子を基底準位から n=2 準位へ二光子励起し、さらに波長636nmのレーザー光で n=2 準位へ励起する。励起状態の水素原子が n=2 準位へ緩和する際に発せられる波長656nmの蛍光を観測し、その強度から水素原子密度を求める。

蛍光信号強度 S<sub>FL</sub> は、計測システムの感度を S とすると水素原子密度 n<sub>H</sub> と次式のような関係がある。

$$S_{FL} = S n_H \quad (1)$$

本研究では、水素原子密度が既知の水素原子源を

測定対象として蛍光信号強度を測定して (1) 式より感度 S を求め、この S を用いて水素原子が未知の測定対象から得た蛍光信号強度を水素原子密度に変換した。水素原子密度が既知の水素原子源として、次式の NO<sub>2</sub> ガスによる滴定反応を利用した装置を用いた<sup>4)</sup>。



この装置では、水素ガスのマイクロ波放電により水素原子を発生する。蛍光信号を観測しながら NO<sub>2</sub> ガスを徐々に混合すると、(2) 式の滴定反応により水素原子が減り、蛍光信号も減少する。蛍光信号が観測されなくなるときの NO<sub>2</sub> ガス流量より、水素ガスのマイクロ波放電で生成された水素原子の密度を決定できる。

### 3. 実験装置

図2に実験装置の構成を示す。プラズマは、内径400mm、高さ300mmのステンレス製円筒容器内で、直径100mm、間隔20mmの円形平行平板電極間に周波数13.56MHzのRF電力を印加することに

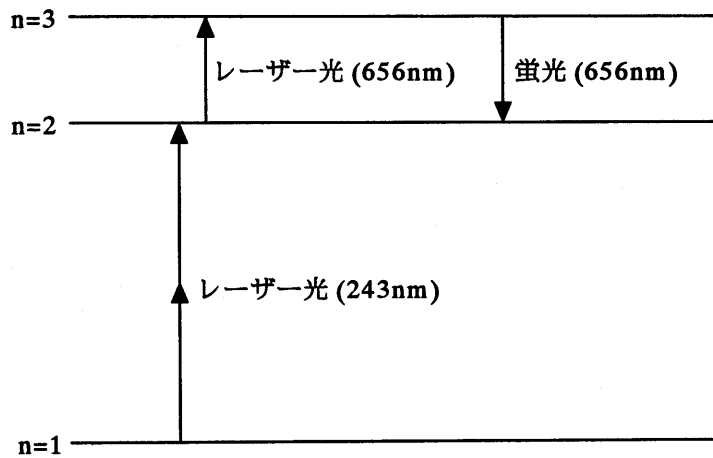


図1 水素原子のエネルギー準位図と励起波長および蛍光波長

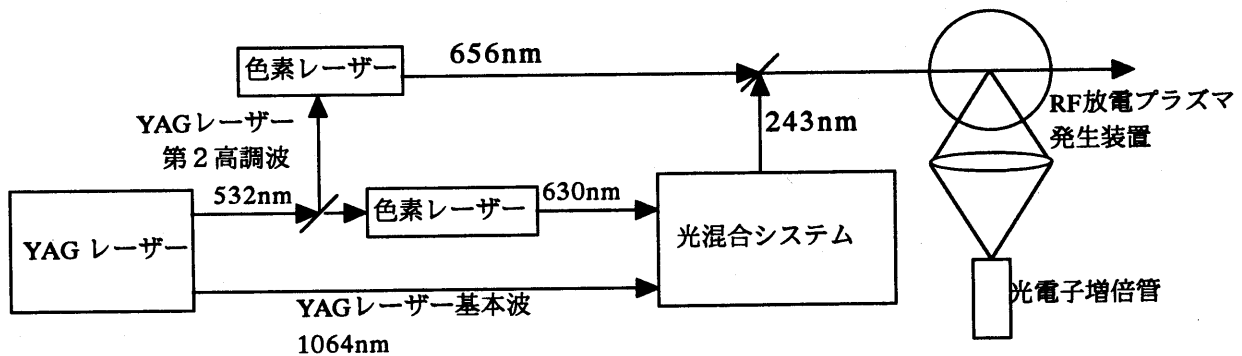
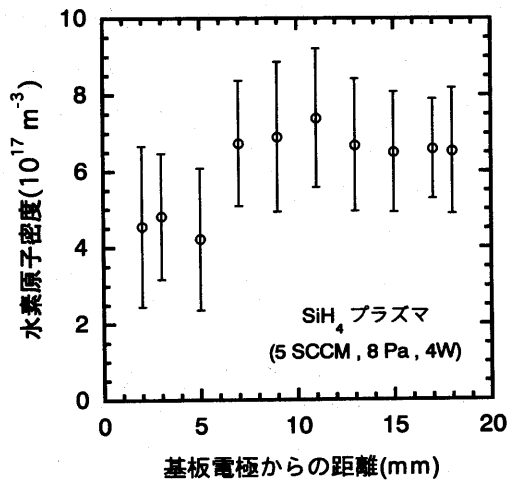
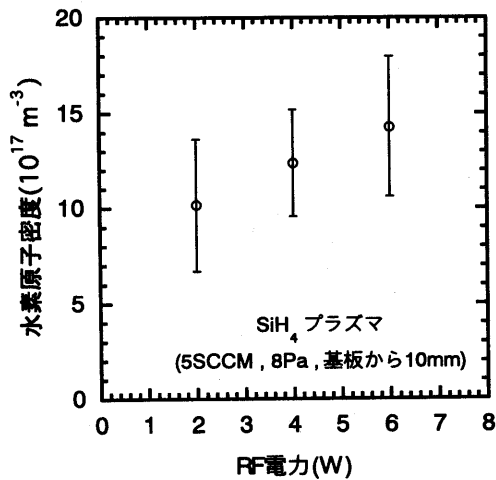


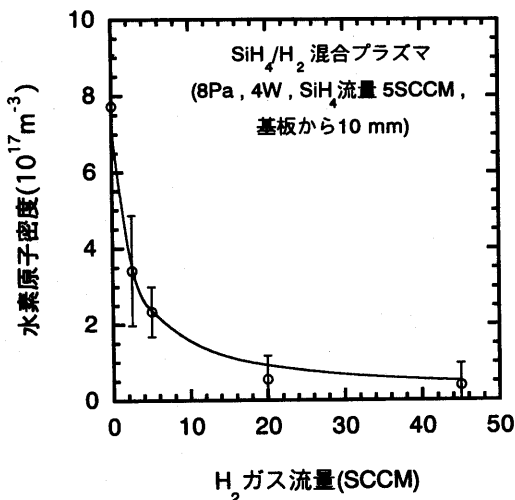
図2 実験装置



(a) 電極間の水素原子密度分布



(b) 水素原子密度の RF 電力依存性



(c) 水素ガス混合による水素原子密度の変化

図 3 水素原子密度測定結果

より生成した。放電条件は、 $\text{SiH}_4$  ガス流量 5 SCCM,  $\text{H}_2$  ガス流量 0 ~ 45 SCCM, 全ガス圧力 8 Pa, RF 電力 2 ~ 6 W とした。この真空容器には 4 つの窓を設けて、レーザー光の入射と蛍光観測を行った。

光源には、パルス発振 YAG レーザーで励起した色素レーザーと光混合による波長変換装置を用い、波長 243 nm のレーザー光と波長 656 nm のレーザー光を得た。これら二つの光は、ミラーを用いて同時にプラズマ内に入射した。波長 656 nm の蛍光は、レーザー光と電極軸に対して直角方向からレンズで集光し、スリットおよびフィルターを通して光電子増倍管で電気信号に変換し、オシロスコープで観測した。水素原子密度の電極間分布を計測する場合には、真空容器全体を動かした。

#### 4. 測定結果

図 3 (a) ~ (c) に、水素原子密度の測定結果を示す。各測定点とそのエラーバーは、それぞれ 8 回の測定の平均値とその標準偏差を示している。

図 3 (a) は、 $\text{SiH}_4$  ガス流量 5 SCCM, ガス圧力 8 Pa, RF 電力 4 W で測定した電極間の水素原子密度分布の測定結果である。横軸は、基板電極からの距離で、20 mm のところは RF 電極の位置に対応する。縦軸は、測定した蛍光信号強度より求めた水素原子密度である。水素原子密度は  $6 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$  程度でほぼ平坦であった。本研究で測定した他の放電条件でも、同じく平坦な分布であった。

図 3 (b) は、水素原子密度の RF 電力依存性の測定結果である。横軸に印加した RF 電力を示している。水素原子密度は、RF 電力の増加とともにゆるやかに増加した。

図 3 (c) は、 $\text{SiH}_4$  ガスに  $\text{H}_2$  ガスを徐々に混合した場合の電極間中心における水素原子密度の測定結果である。 $\text{SiH}_4$  ガスは 5 SCCM 一定とし、全ガス圧力を 8 Pa, RF 電力を 4 W に保ち、 $\text{H}_2$  ガス流量を 0 ~ 45 SCCM まで変化させて測定した。図の横軸に混合した  $\text{H}_2$  ガス流量を示している。水素原子密度は、水素ガス混合とともに急激に減少した。

#### 5. 考 察

図 3 (a) では、電極間の水素原子密度はほぼ一様であった。これは、圧力が低いため、プラズマ中における水素原子の平均自由行程が 3 mm 程度と長く、水素原子が電極間に広く拡散しているためと考えられる。

図 3 (b) および (c) の測定では、観測領域がプ

ラズマの中心なので、拡散については電極軸方向の 1 次元のみを考え、最低次数の拡散モードのみを考えると、プラズマ中の水素原子密度  $n_H$  は次式で決定される。

$$(k_1 + k_2 + k_3)n_e n_{SiH_4} + k_4 n_e n_{H_2} = k_5 n_{SiH_4} n_H + \frac{n_H}{\tau} \quad (3)$$

$$\tau = \left( \frac{l}{\pi} \right)^2 \frac{1}{D_H}$$

$\tau$  : 軸方向への拡散時間

$n_e$  : 電子密度

$n_{SiH_4}$  :  $SiH_4$  分子密度

$n_{H_2}$  :  $H_2$  分子密度

$k_1 \sim k_5$  : 表 1 に示す反応速度定数<sup>5)</sup>

$D_H$  : 表 2 に示す水素原子の拡散係数<sup>6)</sup>

$l$  : 電極間距離

この式の左辺第 1 項は  $SiH_4$  分子への電子衝突による水素原子の生成を、左辺第 2 項は  $H_2$  分子への電子衝突による水素原子の生成を、右辺第 1 項は水素原子の  $SiH_4$  分子との化学反応による減少を、右辺第 2 項は水素原子の拡散による減少を表している。この式より水素原子密度は次式で与えられる。

$$n_H = \frac{(k_1 + k_2 + k_3)n_{SiH_4} + k_4 n_{H_2}}{k_5 n_{SiH_4} + \frac{1}{\tau}} n_e \quad (4)$$

図 3 (b) では、RF 電力の増大とともに水素原子密度が増加した。これは、RF 電力増大とともに電子密度や電子温度が高くなり、(4) 式の  $SiH_4$  分子の電子衝突解離による水素原子の生成速度が速くなるため、すなわち  $k_1 \sim k_3$  や  $n_e$  が大きくなるために、水素原子密度が増大するものと考えられる。図 3 (c) では、水素ガスを混合すると水素原子密度が急激に減少した。同図には、表 1 および表 2 の値を (4) 式に代入して計算した水素原子密度の変化を実線で示しており、測定結果にほぼ一致している。本研究の放電条件では、水素ガスを混合すると、(4) 式の分母の第 2 項の拡散の項が大きくなり、また (4) 式の分子の電子衝突解離の速度定数が  $SiH_4$  分子 ( $k_1 + k_2 + k_3$ ) に対して  $H_2$  分子 ( $k_4$ ) は小さく、 $H_2$  分子の割合が高くなると水素原子の生成量が減るために、水素原子密度が減少するものと考えられる。

表 1 水素原子に関する反応と反応速度定数

反応式	反応速度定数 ( $m^3/s$ )
$SiH_4 + e \rightarrow SiH_3 + H$	$k_1 = 3.0 \times 10^{-17}$
$SiH_4 + e \rightarrow SiH_2 + 2H$	$k_2 = 1.5 \times 10^{-16}$
$SiH_4 + e \rightarrow SiH + H_2 + H$	$k_3 = 9.3 \times 10^{-18}$
$H_2 + e \rightarrow 2H$	$k_4 = 4.5 \times 10^{-18}$
$SiH_4 + H \rightarrow SiH_3 + H_2$	$k_5 = 2.5 \times 10^{-18}$

表 2 水素原子の拡散係数  
( $SiH_4$  ガス流量 5 SCCM, 全ガス圧力 8 Pa)

水素ガス流量 (SCCM)	拡散係数 ( $m^2/s$ )
0	1.3
2	1.9
5	2.2
20	2.5
45	2.6

## 6. ま と め

本研究では、波長 243nm のレーザー光による二光子励起と波長 656nm のレーザー光による同時励起を行い波長 656nm の蛍光を観測する、レーザー蛍光法を用いて RF 放電  $SiH_4$  プラズマ中の水素原子密度を計測し、平行平板電極間の密度分布および放電条件による密度変化を得た。本研究での放電条件、すなわち  $SiH_4$  ガス流量 5 SCCM,  $H_2$  ガス流量 0 ~ 45 SCCM, 全ガス圧力 8 Pa, RF 電力 2 ~ 6 W では、水素原子密度は  $2 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{18} m^{-3}$  であった。また、密度の電極間分布はほぼ一様であり、RF 電力の増加とともに密度は高くなり、水素ガスの混合とともに密度は急激に減少した。これらの水素原子の挙動は、水素原子の生成・反応・拡散モデルで説明できた。

本研究により、 $SiH_4$  プラズマ中で重要な役割を果たしていると考えられている水素原子の挙動が、ほぼ明らかになった。今後、本研究の成果が、プラズマ中の水素原子の制御に役立てられ、アモルファスシリコン薄膜の性能向上に寄与するものと期待する。

## 参 考 文 献

- 1) K. Miyazaki, T. Kajiwara, K. Uchino, K. Muraoka, T. Okada, M. Maeda: J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.14, No.1 (1996) 125
- 2) K. Miyazaki, T. Kajiwara, K. Uchino, K. Muraoka, T. Okada, M. Maeda: J. Vac. Sci.

- Technol. A, Vol.15, No.1 (1997) 149
- 3) K. Miyazaki, Y. Mishiro, T. Kajiwara, K. Uchino, K. Muraoka, T. Okada, M. Maeda: J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.17, No.1 (1999) 155
- 4) U. Czarnetzki, K. Miyazaki, T. Kajiwara, K. Muraoka, T. Okada, M. Maeda, A. Suzuki, A. Matsuda: J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.12, No.3 (1994) 831
- 5) Yu.E. Gorbachev, M.A. Zetevakhin, I.D. Kaganovich: Tech. Phys., Vol.41, No.12 (1996) 1247
- 6) G.J. Nienhuis, W.J. Goedheer, E.A. Hamers, W.G.H.M. van Sark, J. Bezemer: J. Appl. Phys., Vol.82, No.5 (1997) 2060
- ~~~~~

## 一般論文

教室用インターネット端末機と WWW を用いた  
学級運営支援システムの構築

江 頭 成 人

Computer Terminal for The Internet and  
Management Support System in Classroom

Naruto EGASHIRA

## 1. ま え が き

近年、多くの企業の採用情報および大学の編入学情報が、インターネット上の WWW (World Wide Web) のページに掲載されており、いくつかの企業においては通信手段として E-Mail (Electric Mail) を採用している。このような社会状況にあるので、本校学生の就職、進学活動においても WWW の閲覧や E-Mail の読み書きなど、インターネットを利用する必要がでてきた。本校も1994年6月にインターネットに接続されており<sup>1)</sup>、本校卒業生として、コンピュータネットワークの利用は必要条件であると考え、制御情報工学科5年生を対象に就職・進学情報を中心とした WWW を用いた学級運営支援システムを構築し、利用促進を図ることにした。

本校においてインターネットを利用するには、(1) 卒業研究室、(2) 電子計算機室<sup>2)</sup>、(3) 図書館などを利用する方法があげられる。しかし、(1) は制御情報工学では5年次5月より卒業研究室へ配属されるため時期的に間に合わない、(2) は授業中および5時以降は使えない、(3) は台数が少いため空いている時間が少ないなど、利用者にとっては不便な面が多い。一方、1996年3月に設置された構内コンピュータネットワークシステム<sup>3)</sup>で導入された各種サーバ機の西暦2000年(Y2K)問題に対応するために、1999年8月にサーバ機を更新した<sup>4)</sup>。その古いサーバ機や MS-Windows に対応できない古い MS-DOS 専用機を再利用して、本校制御情報工学科5年教室に、就職、進学活動の手助けとなるよう、WWW 端末機と E-Mail 端末機を一台ずつ設置した。

本論文においては、制御情報工学科5年教室に設置した WWW 端末機と E-Mail 端末機の構成について述べ、就職、進学活動に便利のように準備した学級運営支援システムのサービス内容について述べ、最後に学生に対して行ったの利用状況に関するアンケートの結果について考察する。

## 2. 教室設置用端末機の構成

教室に設置するための端末機の条件としては、以下の事項が挙げられる。

- (1) 電源の管理がやりやすいこと
- (2) ソフトウェアの起動、終了がやりやすいこと
- (3) ハードウェア、ソフトウェアが堅牢であること
- (4) システムの保護が可能であること

このような条件を満足する WWW 端末機と E-Mail 端末機を構築し、セキュリティを考えて旧 LAN システム<sup>3)</sup>に接続した。

## 2.1 WWW 端末機

教室用 WWW 端末機として用いたコンピュータ IBM RS/6000-43P は、構内 LAN システムの各種サーバ機用に導入されたもので、サーバ専用機として開発されているので、前面の電源スイッチによって OS のシャットダウンを行うことができ、安全かつ堅牢なシステムである。OSとしてインストールした AIX-4.1.4 は、Y2K 問題があるものの、UNIX であるため厳密なユーザ管理を行っており、システムの保護が容易で、WWW ブラウザが動作不良になることも少い。よって、本システムは教室用 WWW 端末機として十分な性能を有していると考えて採用した。

本システムは厳密なユーザ管理がなされているためユーザ登録を行う必要があるが、WWW ブラウザのみを利用させるため、代表のユーザ名とパスワード

ドを登録しておき、そのユーザ名でログインした場合は、WWW ブラウザが自動的に起動し、その他のサービスはいっさい利用できないように設定した。また、AIX-4.1.4は、日本語に対応しており、日本語入力が可能である。

IBM RS/6000-43P を用いて教室用 WWW 端末機を作成する手順をまとめる。

- (1) BIOS に Y2K 対応パッチを当てる
- (2) AIX-4.1.4 をインストールする
- (3) Netscape Navigator をインストールする
- (4) ユーザを登録する
- (5) 設定ファイルを作成する

以上のように、古いサーバ機を利用した使いやすい WWW 端末機を教室に設置した。

## 2.2 E-Mail 端末機

E-Mail での情報交換において、最も時間のかかるものがタイピングである。教室に古いコンピュータを再利用した E-Mail 端末機を導入することにより、効率良い情報交換が可能となる。

一般に E-Mail は文字情報の送受信を行うものであるから、E-Mail 端末機としては文字情報しか取り扱えないキャラクタ端末で充分である。そこで、日本語の表示できる MS-DOS 機にイーサネットワークカードを差し込み、telnet プログラムを動作させることによって実現した。OS と telnet プログラムを合わせて FD (フロッピーディスク) 1 枚の小さなシステムである。このシステムは堅牢とはいいがたいが、シンプルであるが故にバックアップ体制が取りやすくトラブルからの復旧が早いことが特徴である。

教室用 E-Mail 端末機の作成手順を示す。

- (1) FD をフォーマットし、MS-DOS をインストールする
- (2) イーサネットワークカードのドライバをインストールする
- (3) I/O アドレスと割り込み番号を設定する
- (4) telnet プログラムをインストールする
- (5) パラメータを設定する

以上のように、簡単に FD 1 枚の教室用 E-Mail 端末機を作成することができる。

## 3. WWW を用いた学級運営支援システム

上記システムを導入することにより、教室内から対外的な情報交換を行い得る環境を整えることができた。このシステムを学内における情報交換へと発展させるためには、我々が情報提供を行う必要があ

Please input command name and password

COMMAND:

PASSWORD:

図 1 コマンド名とパスワードの入力画面

る。特に各種端末機を教室に設置したことから、教室運営に密接した情報提供を行う WWW を用いた学級運営支援システムを構築することにした。

### 3.1 セキュリティの確保

教室運営を行うための情報提供を考えるさいに、プライバシーの保護および外部からの閲覧を可能にすることの二点に留意した。

学生が自宅からでも利用できるようにするためには、外部からの閲覧を可能にしなければならないが、制限を設けなければプライバシーを保護できなくなる。ユーザ管理を厳密に行えば良いが、電子計算機室など複数のサーバのユーザ名とパスワードを管理させると、セキュリティホールになりかねない。そこで、図 1 に示すように、コマンド名とパスワードを入力する簡単な WWW ページを C 言語で作り、正当なコマンド名とパスワードを入力しなければ先に進めなくした。これにより、正当な利用者かそうでないかの判別を行った。

### 3.2 メインメニュー

「制御情報工学科の手引」として、以下のメニューを準備した。

- ・行事予定
- ・就職受験応募手順
- ・進学受験応募手順
- ・情報提供
- ・提出書類
- ・求人一覧表
- ・進路希望一覧
- ・日直の仕事
- ・掲示板

このうち、特に工夫をした項目について説明する。

### 3.3 提出書類

就職、進学活動を行うさいの提出書類としては、企業や大学への質問事項をまとめた「質問依頼書」、就職活動のための「就職のための推薦願」および「就職関係書類発送依頼書・発送簿」、企業や大学を受験した後に提出する「受験報告書」および「欠席届」がある。これらの印刷物は、制御情報工学科棟 3F の書類入れに保管してあるが、質問依頼書およ

び受験報告書は GIF ファイルとして取り出すことができ、プリンタで印刷して利用することができるようにした。欠席届においては、担任印が必要なため、WWW ブラウザ上で必要項目を記入およびチェックすると、担任に E-Mail が届き、担任はその内容をプリンタで印刷して印を押すだけで発行できるように工夫した。この欠席届システムは、教室と教官室を往復する回数を減らせたため、好評であった。

### 3.4 求人票一覧

就職活動においては、企業を知ることが最も重要なこととなる。本校学生課学生係より配布される求人票一覧表は印刷物であり、持ち出しが禁止されているため、一覧表に WWW ページの URL が記載されていても手書きで写す必要があった。この一覧表は EXCEL で作られたものの印刷であったので、そのファイルをもらい、HTML 形式に変更するプログラムを C 言語によって作成し、WWW ページの URL をクリックするだけで、当該企業の WWW ページを閲覧できるようにした。

### 3.5 進路希望一覧

学校推薦においては人数制限があるため、誰がどこを受験するのか、早い時期に調整する必要がある。そのための情報提供として、希望されている企業名および大学名を公表することにした。ただし、プライバシー保護の観点から毎回乱数で順番を変更し、個人が特定されないよう工夫した。これにより、受験する企業および大学の決定がスムーズになった。

### 3.6 掲示板

本システムにおいて、最も重要な役割を果たしたものが、電子掲示板システムである。電子掲示板システムの一部を図 2 に示す。それぞれの項目をクリックすると、図 3 に示すように、内容を見ることがで

- ・'99-07/07 10:24:28 [卒研 中間発表会]
- ・'99-07/05 17:44:22 [ ]
- ・'99-07/01 12:39:24 [ ]
- ・'99-06/25 13:54:07 [ ]
- ・'99-06/23 11:50:28 [ ]
- ・'99-06/22 12:25:09 [ ]
- ・'99-06/22 08:42:27 [15tk 君, 39jy 君へ]

図 2 掲示板 (5 年用)

15tk 君, 39jy 君へ

担任

通知が来ましたので、来室して下さい。

以上

図 3 '99-06/22 08:42:27 [15tk 君, 39jw 君へ]

きる。本掲示板においては、あるアドレスに E-Mail を送ると、E-Mail の本文が図 3 のように HTML (Hyper Text Markup Language) ファイル化され、図 2 のトップに日付と E-Mail の内容の一行目が項目として追加され、ファイル化された HTML にリンクが張られる。以上の動作を自動的に行わせるプログラムを C 言語で開発した。

特に注意を要するのは提供する情報の内容であり、コマンド名とパスワードで守られているとはいえ、学生の氏名、学籍番号、就職・進学先、学生が不利益を被る内容などが外部へ漏洩する可能性があることである。そこで、外部から学生を特定されないために、学籍番号の下 2 桁にイニシャルをつけた独自の識別番号を考案した。この識別番号を用いると、学生本人や当該学生を良く知っているものは判別できるが、それ以外のものからはクラス名票を入手できなければ判別できないため、より安全となる。

## 4. 学生の利用状況

以上のように、教室用 WWW 端末機および E-Mail 端末機の設置し、実施して来た情報提供サービスをどれだけ学生が利用したかのアンケート調査を行ったので、その結果を示す。

アンケートは、2000年2月17日に制御情報工学科5年生37名に対して、1999年4月～2000年2月までの約1年間において、平日のコンピュータネットワークの利用状況を調査した。以下、項目順に考察する。

### 4.1 利用目的

インターネットを含めたコンピュータネットワークの利用目的について、順位を記入させた結果を表 1 に示す。「(進路)」は、「就職」と「進学」の計である。

表 1 より、1 位をつけた学生が最も多かった項目は「趣味」で半数を占め、次は「進学」であった。2

表 1 コンピュータネットワークをどのような目的で利用しましたか (順位)

項目	1位	2位	3位	延数
就 職	2	7	9	20
進 学	9	1	4	16
(進路)	11	8	13	36
学 習	1	10	9	27
交 遊	4	9	4	23
趣 味	19	7	2	33
その他	2	0	0	4

位、3位においては、各項目とも分散する傾向にあった。延べ人数においては、「(進路)」の項目が最も多く、ほぼ全員が利用しており、ついで「趣味」であった。「趣味」、「進学」および「就職」に1位をつけた人数をみると、就職を考えている者の多くが趣味に興じている傾向があると判断できる。選択個数の平均より、一人あたり3.4項目について利用していることがわかった。

4.2 利用したネットワークサービス

どのようなネットワークサービスを利用したかについて、順位を記入させた結果を表2に示す。表2より、1位を選択した学生が最も多かったはWWWであり、予想通り圧倒的多数であった。2位の選択が最も多かったのはE-Mailであり、こちらも予想通りであった。延べ人数をみると、ほとんどの学生がWWWを選択しており、次はE-Mailでありクラスの2/3を占めた。選択個数の平均より、一人あたり2.6項目のネットワークサービスを利用していることがわかった。

4.3 ネットワークの利用場所

どこからネットワークサービスを利用したかについて、順位を記入させた結果を表3に示す。表3より、1位を選択した学生が最も多かったは配属されている卒業研究室であり、次に多かったのは今回作成した教室用端末機であった。延べ人数をみると、卒業研究室と教室用端末機が最も多く、今回作成し

表2 どのようなサービスを利用しましたか(順位)

項目	1位	2位	3位	延数
TELNET	1	6	6	14
E-Mail	3	18	5	26
FTP	1	1	2	7
NEWS	0	2	5	10
WWW	33	2	1	36
その他	1	0	0	1

表3 どこからサービスを利用しましたか(順位)

項目	1位	2位	3位	延数
電算室	3	4	8	24
図書館	3	7	6	21
5S教室	9	8	8	29
卒研室	17	11	1	30
自宅	6	1	1	10
その他	0	1	0	1

た教室用端末機の持つ意義は大きかったといえる。選択個数の平均より、一人あたり3.1箇所からネットワークサービスを利用していることがわかった。

特筆すべきことは、自宅からの利用者が10名もいたことである。各家庭にインターネットが普及して来たことを示している。

4.4 ネットワークサービスの利用頻度

ネットワークサービスの利用頻度に関する結果を表4に示す。表4中の(1)~(3)について、それぞれ一つずつ選択させた。(1)の学生がE-Mailを読む間隔はおよそ1日~1週間に2~3回程度であった考えられる。(2)の教室用E-Mail端末機の利用頻度は、読み書きに時間がかかるというE-Mailの特徴を考えると、空くまで時間がかかるために利用頻度が少なくなったと考えられる。すなわち、常連がいて他の者は使えなかったと見るべきであろう。(3)の教室用WWW端末機の利用頻度も同様で、1台のみの運用であったにも関わらず、良く利用された。

4.5 情報サービスの利用

今回作成した、情報提供サービスの利用状況の結

表4 利用頻度に関する調査

項目	(1)	(2)	(3)
1回/時間以上	0	0	0
1回/日以上	12	3	5
1回/週以上	12	6	14
1回/月以上	2	8	8
それ以下	10	17	6
その他	1	3	3

- (1) どれくらいの間隔でE-Mailを読みますか
- (2) 5S教室にあるE-Mail端末の利用頻度を教えてください
- (3) 5S教室にあるWWW端末の利用頻度を教えてください

表5 制御情報工学科の手引において、どのようなサービスを利用しましたか(順位)

項目	1位	2位	3位	延数
行事予定	2	5	8	27
求人票一覧	11	6	4	22
進路希望一覧	6	6	3	22
事務手続	2	6	6	24
掲示板	18	8	4	32
その他	1	0	0	1



表 6 制御情報工学科の手引において、どのようなサービスが有用であると思いますか（順位）

項目	1位	2位	3位	延数
行事予定	0	6	5	30
求人票一覧	14	8	6	33
進路希望一覧	4	7	5	29
事務手続	3	6	12	30
掲示板	20	5	4	35
その他	1	0	0	2

果について、表 5 に示す。表 5 より、1 位を選択した学生が最も多かったサービスは、学生の呼出しなどを行っていた「掲示板」であり、次は「求人一覧」であった。延べ人数を見ると、「掲示板」の次が「行事予定」であり、上位にはランクされなかったが学生の最も気にしているサービスであることが伺えた。選択個数の平均より、一人あたり 3.4 項目のサービスを利用したことがわかった。

#### 4.6 希望する情報提供サービス

学生が希望する情報提供サービスについて表 6 に示す。表 6 より、1 位を選択した学生が最も多かったのは「掲示板」、次が「求人一覧」であり、利用したサービスと一致した。延べ人数より、全体的に選択されており、選択された個数の平均も一人あたり 4.3 項目で、学生は多様な情報提供サービスを望

んでいることがわかった。

#### 5. ま と め

インターネットを含むコンピュータネットワークを利用した WWW を用いた学級運営支援システムを構築した。本システムを利用しやすいように、古いコンピュータを再利用した教室用 WWW 端末機と E-Mail 端末機を制御情報工学科 5 年教室に設置した。

制御情報工学科 5 年生の 1 年間の学生の端末機、情報提供サービス、インターネットの利用状況に関してアンケート調査を行い、その結果をまとめたところ、本システムは有効に活用されていたことが確認できた。

#### 参 考 文 献

- 1) 松本, 江頭, 馬場: 久留米高専のインターネットと久留米地区学術系 NOC について, 久留米工業高等専門学校紀要, 第 13 巻, 第 2 号, pp.39-43, 1998. 3.
- 2) 小田, 馬場, 栗原, 江頭, 松本, 大淵: 教育用電子計算機システムの構築と運用, 久留米工業高等専門学校紀要, 第 14 巻, 第 2 号, pp.61-66, 1999. 3.
- 3) 松本, 江頭, 馬場: 校内ネットワークシステムの構成, 久留米工業高等専門学校紀要, 第 12 巻, 第 1 号, pp.45-52, 1996. 9.
- 4) 江頭, 小田, 馬場, 松本: 校内ネットワークシステムの西暦 2000 年問題への対応, 久留米工業高等専門学校紀要, 第 15 巻, 第 2 号, pp.51-55, 2000. 3.

一般論文

## An Inquiry into the Vertex Search Algorithm for Digital Voronoi Diagram

Michiharu MAEDA  
Nobuyuki TERASAKI\*<sup>1</sup>  
Hiromi MIYAJIMA\*<sup>2</sup>

### Abstract

This paper introduces a vertex search algorithm for digital Voronoi diagram. The technique includes that the set of vertex candidates is obtained on picture cell (pixel) and the set is expanded to virtual pixel. By repeating the process of segmentation and search, required vertices are obtained in finite region.

*Index Terms* : Voronoi diagram, digital point, planar graph, vertex search

### I. INTRODUCTION

Computational geometry involves a research field which develops the algorithm efficiently dealt with and clarifies its ability, by introducing the theory of computational complexity into the geometry<sup>1)</sup>. In the representative applications of computational geometry, for example, there exist computer graphics, robotics, geographic information system, computer aided design and manufacturing. By pursuing the geometric structure for the figure from the viewpoint of algorithm and computational complexity, the large-scale composition such as the Voronoi diagram has been carried out<sup>2)</sup>. The Voronoi diagram fulfills an important role in various fields, and numerous studies have been made<sup>3)~5)</sup>. In the meantime, for the digital points, Parui et al. suggested the digital Voronoi diagram whose definition and formation techniques are shown in the reference<sup>6)</sup>. The preparation of the digital Voronoi diagram by the pixel paint-out method was also proposed<sup>7)</sup>. Though these algorithms constitute the gener-

ous structure in the digital points, hardly has been mentioned the preparation of the Voronoi vertex.

The Voronoi diagram signifies a figure which shows the influence sphere in a large number of points (sites). The set of sites for the digital image is composed of pixels. This paper introduces a vertex search algorithm for digital Voronoi diagram. To begin with, the set of the vertex candidates is obtained as pixels for given sites. Then, the acquired set is expanded to virtual pixel. Subsequently, the new set of vertex candidates is obtained by segmentation and search. By repeating the process, required vertices are obtained. Numerical results show the effectiveness of the present algorithm.

### II. DIGITAL VORONOI DIAGRAM AND SPACE SEGMENTATION

The traditional Voronoi diagram can be made by calculating the perpendicular bisectors between sites<sup>2)</sup>. When the sites are provided in the planar graph, the Voronoi region in one site is obtained as the following. First, the perpendicular bisectors between the sites are calculated. Next, as the regions

平成11年5月26日 受理

\*<sup>1</sup>The author is with Kyushu Regional Police Bureau.

\*<sup>2</sup>The author is with Kagoshima University.

surrounded in the perpendicular bisectors are examined, the region which includes only one site in this region is made to be the Voronoi region in the site. The Voronoi regions for the sites are determined by executing this operation for all the sites (See Fig. 1).

The digital Voronoi diagram is defined as the following description<sup>6)</sup>. Pixel  $p$  is represented as coordinate  $(x, y)$ , where  $x$  and  $y$  are the positive numbers. The set of site  $p_i = (r_i, c_i)$  in  $n$  piece is shown as follows:

$$G = \{p_i \mid i=1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

To begin with, the site  $p_i$  is given in the region for the preparation of the digital Voronoi diagram. Then, the Euclidean distance is calculated in all the pixels  $p$  in the region as follows:

$$d(p, p_i) = \sqrt{(x-r_i)^2 + (y-c_i)^2} \quad (2)$$

Each pixel is classified into the region in site becoming the shortest distance. Here, the Voronoi region is represented as follows:

$$V(p_i) = \bigcap_{i \neq j} \{p \mid d(p, p_i) < d(p, p_j)\} \quad (3)$$

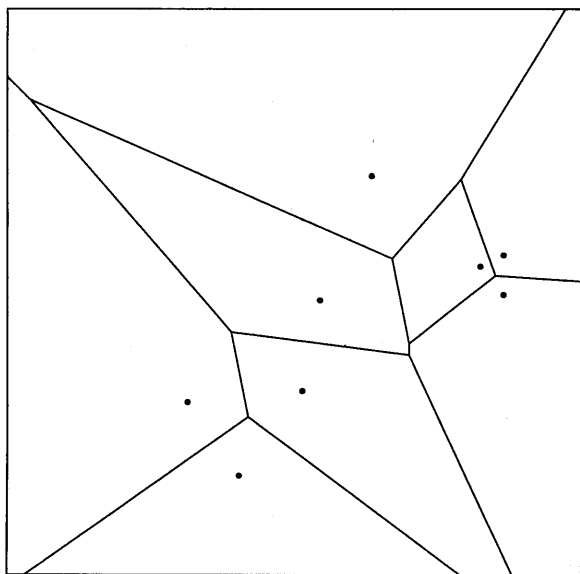


Fig. 1 Voronoi diagram. The points and the lines depict the sites and Voronoi edges defined as the boundary of the Voronoi regions, respectively.

On the preparation of the Voronoi diagram, the incremental method and the divide-and-conquer method are well known<sup>2)</sup>. The former needs  $O(n^2)$  time and the latter needs  $O(n \log n)$  time as the  $n$  sites. Then,  $O(n)$  space is also required in both. Meanwhile, the Voronoi diagram is constituted as a planar graph of the  $n$  regions. Each of  $h$  edges has two vertices, and each of  $m$  vertices belongs to three edges at least. Thus, it is made to be  $2h \geq 3m$ . From the Euler relation  $n + m - h \geq 2$ , it is known to become  $h \leq 3n - 6$  and  $m \leq 2n - 4$ <sup>3)</sup>.

### III. SEARCH ALGORITHM FOR VORONOI VERTEX

In this section, a vertex search algorithm for digital Voronoi diagram is presented. In the first step, as the regional division number is adjusted by given sites, the regions are divided in order that the Voronoi vertex may become clear to some extent. In the next step, when the Euclidean distances between sites and pixels which constitute the region are calculated, the Voronoi regions are decided. The circumference of one pixel is composed of eight pixels as shown in Fig. 2 (a). For the pixel in the region, it is examined which region in the site the eight pixels belongs to.

In Fig. 2 (b), there exist different three

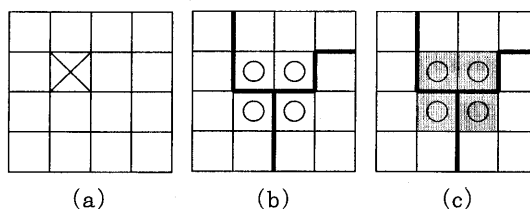


Fig. 2 Digital Voronoi diagram. (a) The circumference of one pixel is composed of eight pixels. (b) There exist different three regions in the circumference for the pixel which seems to be the Voronoi vertex. (c) A region of the square is composed in order to contain these candidates.

regions in the circumference for the pixel which seems to be the Voronoi vertex. If the condition is satisfied as the pixel has the different three circumferences, therefore, this pixel becomes a candidate of the Voronoi vertex. However, the pixel which seems to be the Voronoi vertex appears four at least. Therefore, as making these pixels to be candidates of the Voronoi vertex, a region of the square is composed in order to contain these candidates (See Fig. 2 (c)).

If the set of the candidates reaches to the effective figure length, the value of those pixels is determined the Voronoi vertex, where the Voronoi vertex is a central value of the set of pixels. If it does not reach, the candidates of the Voronoi vertex are expanded to the virtual pixels. Further, as the process of the above is repeated, the Voronoi vertex is obtained.

The search process is shown in Fig. 3. The pixels of the vertex candidates are expanded to the virtual pixels, and the pixels of the candidates are newly searched again. The similar process is repeated until the termination condition is satisfied. The above procedures are described as follows.

#### [Search Algorithm]

##### Step 1 Initialization:

Give a set of sites  $G = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ , initial division  $u_0$ , search division  $u$ , and figure length of termination  $l_r$ .

Set  $l_i \leftarrow 1/u_0$ , where  $i=1, 2, \dots, m$ .

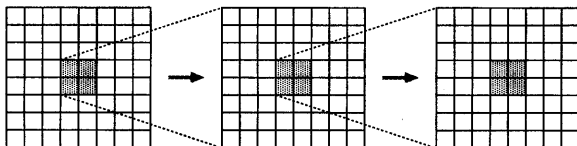


Fig. 3 Search process. The pixels of the candidates are expanded to the virtual pixels, and pixels of the candidates are newly searched again. The similar process is repeated until the termination condition is satisfied.

##### Step 2 Initial classification:

Calculate the Euclidean distance between each pixel and site, and let the closest point be the control region in the site.

##### Step 3 Selection of vertex candidates:

Examine the region into which the circumference eight pixel are classified, and form a candidate set  $S_i$  of the  $m$  vertices.

##### Step 4 Vertex search:

(4.1) Set  $k \leftarrow 1$ .

(4.2) Decide the square region  $u_k \times u_k$  in order to contain the candidate pixels.

(4.3) Divide into the region  $u \times u$  and set  $l_k \leftarrow l_k \times u_k / u$ .

(4.4) Classify control region in the site, select vertex candidates, and reset  $S_i$ .

(4.5) If  $l_k > l_r$ , then go to 4.2, otherwise go to next.

(4.6) If  $k < m$ , then set  $k \leftarrow k+1$  and go to 4.2, otherwise go to Step 5.

##### Step 5 Termination:

Let  $S_i$  be the  $i$ -th Voronoi vertex, where the vertex is the central value of candidate pixels.  $\square$

## IV. EXPERIMENTAL RESULTS

In the numerical experimentals, Table I shows eight sites, including indexes of sites and their coordinates of  $x$  and  $y$  axes are presented. Here, these coordinates were

TABLE I EIGHT SITES. THE INDEXES OF SITES AND THEIR COORDINATES OF  $x$  AND  $y$  AXES ARE PRESENTED.

sites	x	y
0	0.40539000	0.83049000
1	0.53773000	0.50690000
2	0.86373000	0.43374000
3	0.81657000	0.45127000
4	0.31386000	0.69817000
5	0.85784000	0.50377000
6	0.63369000	0.29400000
7	0.51205000	0.66705000

TABLE II VORONOI VERTICES. THE SET OF THE REGION INDEXES, THE EXPERIMENTAL RESULT, AND THE THEORETICAL VALUE ARE PRESENTED.

region	experimental result	theoretical value
{ 0, 4, 7 }	(0.41930403, 0.72304715)	(0.41930457, 0.72304772)
{ 1, 5, 7 }	(0.69885581, 0.61487027)	(0.69885602, 0.61487040)
{ 1, 3, 5 }	(0.69857843, 0.58649259)	(0.69857856, 0.58649358)
{ 1, 3, 6 }	(0.66894656, 0.43796592)	(0.66894678, 0.43796715)
{ 1, 4, 7 }	(0.39465910, 0.56609234)	(0.39465931, 0.56609255)
{ 1, 4, 6 }	(0.04486092, 0.15667363)	(0.04486025, 0.15667385)
{ 2, 3, 5 }	(0.84955616, 0.46781043)	(0.84955643, 0.46781060)
{ 2, 3, 6 }	(0.78730386, 0.30033507)	(0.78730406, 0.30033646)

formed by random numbers generated by computer.

Table II shows the results of obtaining the Voronoi vertices and the set of the region indexes for the proposed algorithm. The region means the Voronoi region in the circumference for the Voronoi vertex. Here, the theoretical value is a real number in search of the intersection point which divides the region by calculating from the sites directly. In the calculations, the initial number of partitions have done with  $w=100$  and the search number of partitions, with  $u=20$ . As a result, the values which agreed with the theoretical values were obtained, when the effective figure length whom we want to is the five digits under decimal point.

Let us, for the moment, consider other experiments. The Voronoi vertices are obtained by supplying 100 sites as well as the above. The results are presented in Appendix A. The initial number of partitions have done with  $w=400$  and the search number of partitions, with  $u=20$ . In this case as well as the eight sites, the experimental results correspond to the theoretical value under a prespecified accuracy.

## V. CONCLUSION

In this paper, the digital Voronoi diagram was made and the algorithm which calculated the Voronoi vertex was presented. As a result, it was possible to obtain the results equal to the theoretical values at the prespecified accuracy. It wants to made that the consideration of computational complexity is obtained to be our future work.

## REFERENCES

- 1) T.H. Cormen, C.E. Leiserson, and R.L. Rivest, Introduction to algorithms, The MIT Press, 1990.
- 2) M. de Berg, M. von Kreveld, M. Overmars, and O. Schwarzkopf, Computational geometry — algorithms and applications, Springer-Verlag Berlin, 1997.
- 3) F. Aurenhammer, "Voronoi diagrams — a survey of a fundamental geometric data structure," ACM Computing Surveys, vol.23. pp.345-405, 1991.
- 4) K. Sugihara, "Design of geometric algorithms in finite-precision arithmetic," Bulletin of the Japan Society for Industrial and Applied Mathematics, vol.1, pp.280-299, 1991.
- 5) I. Matsuda, K. Watanabe, and S. Itoh, "Segmentation using Voronoi diagrams for image coding," IEICE Trans., vol.J80-D-II, pp.468-478, 1997.
- 6) S.K. Parui, S. Sankar, and B.B. Chaudhuri, "Computing the shape of a point set in digital images," Pattern Recognition Letters, vol.14, pp.89-94, 1993.
- 7) T. Watanabe and S. Murashima, "A method to construct a Voronoi diagram on 2-D digitized space in  $O(1)$  computing time," IEICE Trans., vol.J79-D-I, pp.114-122, 1996.

APPENDIX

I. LIST OF ONE HUNDRED SITES AND VORONOI VERTICES

sites [index (x, y)]

0 (0.01055924, 0.00396735)	1 (0.33514916, 0.03326467)
2 (0.35571832, 0.21719692)	3 (0.53696498, 0.19577325)
4 (0.70032807, 0.94990463)	5 (0.27478447, 0.44428168)
6 (0.10897993, 0.69822232)	7 (0.56433967, 0.04150454)
8 (0.16516365, 0.81547265)	9 (0.68552682, 0.76438544)
10 (0.82761883, 0.95951781)	11 (0.21942473, 0.42679484)
12 (0.95259022, 0.83952087)	13 (0.92323186, 0.81089494)
14 (0.45102617, 0.60474556)	15 (0.66166171, 0.59971008)
16 (0.54917220, 0.72001221)	17 (0.11395438, 0.40619516)
18 (0.12143130, 0.67124437)	19 (0.47489128, 0.49109636)
20 (0.56424811, 0.34448768)	21 (0.86872663, 0.26440833)
22 (0.17981231, 0.42307164)	23 (0.69477379, 0.16369879)
24 (0.53830777, 0.64548714)	25 (0.62339208, 0.00305180)
26 (0.78721294, 0.26892500)	27 (0.46106661, 0.38654154)
28 (0.37680629, 0.58112459)	29 (0.60346380, 0.27981994)
30 (0.17056535, 0.80515755)	31 (0.29498741, 0.33389792)
32 (0.40863661, 0.24042115)	33 (0.41397726, 0.05429160)
34 (0.49408713, 0.98368811)	35 (0.00161746, 0.40982681)
36 (0.06973373, 0.07391470)	37 (0.25430686, 0.97465476)
38 (0.35510796, 0.40491341)	39 (0.19714656, 0.19708553)
40 (0.21167315, 0.24902724)	41 (0.75812924, 0.88935683)
42 (0.90537881, 0.73594263)	43 (0.46131075, 0.53156329)
44 (0.03527886, 0.13058671)	45 (0.45801480, 0.48398566)
46 (0.59696345, 0.25320821)	47 (0.11459525, 0.70133516)
48 (0.64927138, 0.88624399)	49 (0.87556268, 0.04275578)
50 (0.55350576, 0.51071946)	51 (0.62082856, 0.77109941)
52 (0.25366598, 0.21701381)	53 (0.23599603, 0.33548486)
54 (0.56623178, 0.13284504)	55 (0.61420615, 0.03106737)
56 (0.94868391, 0.21271077)	57 (0.80823987, 0.62909895)
58 (0.71506828, 0.73240253)	59 (0.55194934, 0.57160296)
60 (0.16797131, 0.33237201)	61 (0.86952010, 0.82444495)
62 (0.61472496, 0.95356680)	63 (0.99134813, 0.98207065)
64 (0.73756008, 0.50977340)	65 (0.29538415, 0.71802853)
66 (0.28580148, 0.63984131)	67 (0.49240864, 0.17517357)
68 (0.55918212, 0.38391699)	69 (0.77448692, 0.38867781)
70 (0.65085832, 0.12707713)	71 (0.14489967, 0.33630884)
72 (0.91898985, 0.65445945)	73 (0.64847791, 0.70933089)
74 (0.65552758, 0.66138705)	75 (0.72098878, 0.99766537)
76 (0.42111849, 0.56220340)	77 (0.37671473, 0.98362707)
78 (0.01464866, 0.94209201)	79 (0.45230793, 0.23730831)
80 (0.54636454, 0.49454490)	81 (0.62629129, 0.70777447)
82 (0.58329137, 0.78974594)	83 (0.43250172, 0.00369268)
84 (0.83561456, 0.71598383)	85 (0.98670939, 0.45722133)
86 (0.35284962, 0.93916228)	87 (0.64448005, 0.56473640)
88 (0.69852750, 0.22348363)	89 (0.30981918, 0.89832914)
90 (0.07217517, 0.95719844)	91 (0.61277180, 0.08187991)
92 (0.84724193, 0.72712291)	93 (0.67472343, 0.92509346)
94 (0.49375143, 0.28586252)	95 (0.68085756, 0.30963607)
96 (0.35471122, 0.75538262)	97 (0.97743191, 0.92094301)
98 (0.24454108, 0.41034562)	99 (0.91355764, 0.41953155)

vertices [region {\*} experimental (x, y) theoretical (x, y)]

{ 0, 36, 44}	(0.00177060, 0.07140340)	(0.00177167, 0.07140558)
{ 1, 33, 83}	(0.38248600, 0.01407120)	(0.38248701, 0.01407251)
{ 1, 2, 33}	(0.35306240, 0.12437680)	(0.35306380, 0.12437752)
{ 1, 2, 52}	(0.30484864, 0.12976928)	(0.30484885, 0.12976940)
{ 1, 39, 52}	(0.25971120, 0.10975348)	(0.25971207, 0.10975359)

{ 1, 36, 39}	(0.20383220, 0.06268050)	(0.20383398, 0.06268192)
{ 2, 32, 67}	(0.41270520, 0.15924360)	(0.41270686, 0.15924532)
{ 2, 33, 67}	(0.40803028, 0.14403444)	(0.40803069, 0.14403503)
{ 2, 31, 32}	(0.35491392, 0.29093060)	(0.35491403, 0.29093097)
{ 2, 31, 52}	(0.30460560, 0.26475040)	(0.30460666, 0.26475114)
{ 3, 46, 54}	(0.60209020, 0.18779200)	(0.60209348, 0.18779353)
{ 3, 46, 94}	(0.54001280, 0.25264320)	(0.54001346, 0.25264439)
{ 3, 54, 67}	(0.52927152, 0.15392464)	(0.52927224, 0.15392565)
{ 3, 79, 94}	(0.50383508, 0.23529042)	(0.50383575, 0.23529085)
{ 3, 67, 79}	(0.49756340, 0.22250580)	(0.49756440, 0.22250854)
{ 4, 41, 93}	(0.71655965, 0.90753646)	(0.71655975, 0.90753653)
{ 4, 62, 75}	(0.65941776, 0.99595040)	(0.65941807, 0.99595096)
{ 4, 62, 93}	(0.65821160, 0.96775050)	(0.65821164, 0.96775063)
{ 4, 41, 75}	(0.76247546, 0.95136942)	(0.76247562, 0.95136951)
{ 5, 28, 38}	(0.34947360, 0.49504720)	(0.34947574, 0.49504849)
{ 5, 28, 66}	(0.28691712, 0.54168808)	(0.28691727, 0.54168831)
{ 5, 11, 98}	(0.24580004, 0.43966770)	(0.24580017, 0.43966783)
{ 5, 11, 66}	(0.21224340, 0.54589440)	(0.21224550, 0.54589500)
{ 5, 38, 98}	(0.29906584, 0.39219656)	(0.29906635, 0.39219770)
{ 6, 18, 47}	(0.11912320, 0.68654160)	(0.11912515, 0.68654237)
{ 6, 8, 47}	(0.05956240, 0.79398414)	(0.05956289, 0.79398801)
{ 6, 8, 78}	(0.03034945, 0.80798623)	(0.03034967, 0.80798633)
{ 7, 55, 91}	(0.59337900, 0.05590576)	(0.59337943, 0.05590598)
{ 7, 25, 55}	(0.58277632, 0.00524812)	(0.58277665, 0.00524830)
{ 7, 54, 91}	(0.56734600, 0.08713120)	(0.56734784, 0.08713208)
{ 7, 33, 83}	(0.48961680, 0.05329200)	(0.48961728, 0.05329330)
{ 7, 33, 54}	(0.49262660, 0.08867989)	(0.49262662, 0.08867993)
{ 8, 30, 89}	(0.24195170, 0.84911174)	(0.24195242, 0.84911262)
{ 8, 37, 89}	(0.21841664, 0.89020156)	(0.21841719, 0.89020176)
{ 8, 37, 90}	(0.16778000, 0.91855720)	(0.16778100, 0.91855841)
{ 8, 30, 47}	(0.10134030, 0.77547835)	(0.10134045, 0.77547854)
{ 8, 78, 90}	(0.06865436, 0.85351988)	(0.06865438, 0.85351991)
{ 9, 41, 58}	(0.76076714, 0.80424776)	(0.76076833, 0.80424868)
{ 9, 41, 48}	(0.70516560, 0.83655072)	(0.70516581, 0.83655109)
{ 9, 58, 73}	(0.67903848, 0.72875788)	(0.67903894, 0.72875817)
{ 9, 48, 51}	(0.65888928, 0.82278272)	(0.65888944, 0.82278292)
{ 9, 51, 73}	(0.65108430, 0.74757004)	(0.65108435, 0.74757018)
{ 10, 63, 97}	(0.90980100, 0.96848720)	(0.90980121, 0.96848761)
{ 10, 61, 97}	(0.89370640, 0.90598120)	(0.89370731, 0.90598370)
{ 10, 41, 61}	(0.83111120, 0.88656544)	(0.83111155, 0.88656572)
{ 10, 41, 75}	(0.76485696, 0.95218570)	(0.76485710, 0.95218616)
{ 11, 53, 98}	(0.20473824, 0.37697070)	(0.20473859, 0.37697084)
{ 11, 22, 53}	(0.20413408, 0.37686094)	(0.20413681, 0.37686162)
{ 11, 22, 66}	(0.18752440, 0.55359460)	(0.18752534, 0.55359682)
{ 12, 13, 61}	(0.90642410, 0.85750030)	(0.90642413, 0.85750045)
{ 12, 61, 97}	(0.89862010, 0.90048400)	(0.89862278, 0.90048683)
{ 13, 42, 61}	(0.88686040, 0.77995360)	(0.88686169, 0.77995564)
{ 14, 24, 59}	(0.50579080, 0.60128160)	(0.50579234, 0.60128223)
{ 14, 43, 59}	(0.49678720, 0.57386160)	(0.49678796, 0.57386283)
{ 14, 16, 24}	(0.46221608, 0.69463350)	(0.46221719, 0.69463424)
{ 14, 43, 76}	(0.45758011, 0.56835268)	(0.45758180, 0.56835304)
{ 14, 16, 96}	(0.44653680, 0.70798220)	(0.44653736, 0.70798514)
{ 14, 28, 76}	(0.41140864, 0.60081220)	(0.41140899, 0.60081313)
{ 14, 28, 96}	(0.38900680, 0.67120080)	(0.38900745, 0.67120143)
{ 15, 57, 64}	(0.74006640, 0.58888320)	(0.74006772, 0.58888362)
{ 15, 57, 74}	(0.73028320, 0.63767680)	(0.73028436, 0.63767851)
{ 15, 64, 87}	(0.70306914, 0.55766020)	(0.70306930, 0.55766032)
{ 15, 24, 74}	(0.60080040, 0.62480000)	(0.60080196, 0.62480075)
{ 15, 59, 87}	(0.60115038, 0.60773034)	(0.60115043, 0.60773040)
{ 15, 24, 59}	(0.59842072, 0.61838440)	(0.59842093, 0.61838466)
{ 16, 51, 81}	(0.59134240, 0.73665680)	(0.59134416, 0.73665785)
{ 16, 51, 82}	(0.58484618, 0.74577096)	(0.58484688, 0.74577112)

{16, 24, 81}	(0.58190520, 0.67718340)	(0.58190674, 0.67718564)	{32, 79, 94}	(0.43443936, 0.29452336)	(0.43443960, 0.29452402)
{16, 82, 96}	(0.46415040, 0.80482280)	(0.46415146, 0.80482472)	{32, 67, 79}	(0.42601468, 0.17633077)	(0.42601499, 0.17633176)
{17, 22, 71}	(0.15508720, 0.38261360)	(0.15508832, 0.38261469)	{33, 54, 67}	(0.49226394, 0.08938084)	(0.49226438, 0.08938202)
{17, 18, 22}	(0.11506520, 0.53879280)	(0.11506651, 0.53879386)	{34, 62, 82}	(0.53334001, 0.88425662)	(0.53334002, 0.88425663)
{17, 18, 35}	(0.06206080, 0.54028800)	(0.06206222, 0.54028908)	{34, 77, 86}	(0.43543120, 0.92347460)	(0.43543223, 0.92347543)
{17, 35, 71}	(0.05553968, 0.33853484)	(0.05553989, 0.33853517)	{34, 82, 86}	(0.45862896, 0.84989312)	(0.45862937, 0.84989326)
{18, 65, 66}	(0.20997160, 0.68881480)	(0.20997320, 0.68881570)	{35, 44, 71}	(0.02061130, 0.27046680)	(0.02061465, 0.27046792)
{18, 47, 65}	(0.20531680, 0.70612240)	(0.20531824, 0.70612376)	{36, 39, 44}	(0.12372496, 0.14554920)	(0.12372519, 0.14554965)
{18, 22, 66}	(0.18442834, 0.55511056)	(0.18442877, 0.55511088)	{37, 77, 86}	(0.31484640, 0.98819400)	(0.31484709, 0.98819580)
{19, 50, 80}	(0.50928832, 0.52057760)	(0.50928863, 0.52057800)	{37, 86, 89}	(0.30125040, 0.95044500)	(0.30125123, 0.95044771)
{19, 43, 50}	(0.50823488, 0.52479808)	(0.50823511, 0.52479866)	{38, 45, 76}	(0.37098816, 0.49074492)	(0.37098835, 0.49074527)
{19, 27, 45}	(0.48810220, 0.43615776)	(0.48810261, 0.43615812)	{39, 40, 52}	(0.22144120, 0.21829040)	(0.22144197, 0.21829300)
{19, 43, 45}	(0.45787460, 0.50789760)	(0.45787575, 0.50789827)	{39, 40, 71}	(0.11864672, 0.24704144)	(0.11864696, 0.24704177)
{19, 68, 80}	(0.51343280, 0.43467160)	(0.51343350, 0.43467295)	{39, 44, 71}	(0.08692040, 0.23513480)	(0.08692118, 0.23513592)
{19, 27, 68}	(0.51140320, 0.43307560)	(0.51140427, 0.43307707)	{40, 53, 60}	(0.20363052, 0.29794000)	(0.20363052, 0.29794000)
{20, 68, 95}	(0.63652180, 0.37381120)	(0.63652593, 0.37381425)	{40, 60, 71}	(0.14497568, 0.26718382)	(0.14497638, 0.26718470)
{20, 29, 95}	(0.62567560, 0.33751120)	(0.62567696, 0.33751482)	{41, 58, 61}	(0.78005600, 0.79895600)	(0.78005815, 0.79895645)
{20, 29, 94}	(0.54905968, 0.29105248)	(0.54905988, 0.29105284)	{41, 48, 93}	(0.70397520, 0.87816440)	(0.70397579, 0.87816678)
{20, 27, 68}	(0.50938160, 0.35747760)	(0.50938204, 0.35747843)	{42, 72, 92}	(0.88257120, 0.69025360)	(0.88257251, 0.69025464)
{20, 27, 94}	(0.50426362, 0.34492016)	(0.50426367, 0.34492023)	{42, 61, 92}	(0.87000064, 0.77312384)	(0.87000072, 0.77312404)
{21, 56, 99}	(0.96227180, 0.32141200)	(0.96227499, 0.32141236)	{43, 50, 59}	(0.51169682, 0.54011216)	(0.51169728, 0.54011232)
{21, 69, 99}	(0.85552200, 0.35226200)	(0.85552351, 0.35226381)	{43, 45, 76}	(0.41382114, 0.51095005)	(0.41382135, 0.51095014)
{21, 49, 56}	(0.85338640, 0.15300240)	(0.85338778, 0.15300357)	{46, 54, 70}	(0.61230760, 0.18518400)	(0.61230898, 0.18518526)
{21, 26, 69}	(0.83171120, 0.33420480)	(0.83171217, 0.33420649)	{48, 62, 93}	(0.63663420, 0.92228320)	(0.63663502, 0.92228478)
{21, 26, 49}	(0.82161680, 0.15202320)	(0.82161743, 0.15202373)	{48, 51, 82}	(0.62701120, 0.83065480)	(0.62701367, 0.83065681)
{22, 53, 60}	(0.20013600, 0.37429440)	(0.20013646, 0.37429554)	{48, 62, 82}	(0.55458288, 0.88018016)	(0.55458365, 0.88018044)
{22, 60, 71}	(0.16405600, 0.37900480)	(0.16405696, 0.37900579)	{50, 59, 87}	(0.59629200, 0.54227440)	(0.59629308, 0.54227492)
{23, 26, 49}	(0.81646300, 0.15001040)	(0.81646542, 0.15001118)	{50, 80, 87}	(0.64466340, 0.46080801)	(0.64466484, 0.46080813)
{23, 26, 88}	(0.77226020, 0.18884352)	(0.77226105, 0.18884385)	{51, 73, 81}	(0.63514720, 0.74043600)	(0.63514791, 0.74043658)
{23, 49, 70}	(0.75080520, 0.05186180)	(0.75080724, 0.05186353)	{54, 70, 91}	(0.60816520, 0.12440400)	(0.60816647, 0.12440657)
{23, 46, 88}	(0.63576340, 0.19741280)	(0.63576600, 0.19741398)	{55, 70, 91}	(0.68634183, 0.05853011)	(0.68634194, 0.05853015)
{23, 46, 70}	(0.63245112, 0.19379144)	(0.63245136, 0.19379195)	{57, 72, 99}	(0.88745520, 0.53766080)	(0.88745656, 0.53766184)
{24, 74, 81}	(0.59649032, 0.65658512)	(0.59649066, 0.65658524)	{57, 72, 84}	(0.85926424, 0.66077726)	(0.85926444, 0.66077761)
{25, 49, 70}	(0.74665808, 0.04080726)	(0.74665844, 0.04080760)	{57, 64, 99}	(0.85450120, 0.52110040)	(0.85450245, 0.52110080)
{25, 55, 70}	(0.71357160, 0.04813424)	(0.71357283, 0.04813463)	{57, 58, 84}	(0.77051248, 0.68874032)	(0.77051267, 0.68874049)
{26, 69, 95}	(0.74781943, 0.32529126)	(0.74781957, 0.32529130)	{57, 58, 74}	(0.73414534, 0.65594011)	(0.73414543, 0.65594014)
{26, 88, 95}	(0.72837440, 0.27449120)	(0.72837509, 0.27449368)	{58, 61, 92}	(0.78367600, 0.79288360)	(0.78367649, 0.79288469)
{27, 32, 94}	(0.42182010, 0.31815420)	(0.42182273, 0.31815628)	{58, 84, 92}	(0.78325264, 0.78227774)	(0.78325285, 0.78227892)
{27, 38, 45}	(0.41469848, 0.43385904)	(0.41469883, 0.43385922)	{58, 73, 74}	(0.69203480, 0.69124400)	(0.69203601, 0.69124546)
{27, 32, 38}	(0.39622966, 0.32733926)	(0.39622968, 0.32733942)	{64, 69, 99}	(0.82907006, 0.47150031)	(0.82907010, 0.47150040)
{28, 38, 76}	(0.36541000, 0.49308520)	(0.36540996, 0.49308637)	{64, 68, 80}	(0.64611200, 0.45004480)	(0.64611310, 0.45004548)
{28, 66, 96}	(0.36882796, 0.66864248)	(0.36882894, 0.66864289)	{64, 69, 95}	(0.66629200, 0.42186314)	(0.66629357, 0.42186340)
{29, 88, 95}	(0.65569720, 0.25958720)	(0.65569858, 0.25958766)	{64, 68, 95}	(0.66592080, 0.42196641)	(0.66592323, 0.42196833)
{29, 46, 88}	(0.65226752, 0.25379834)	(0.65226809, 0.25379894)	{64, 80, 87}	(0.64532989, 0.45987837)	(0.64532992, 0.45987847)
{29, 46, 94}	(0.54840528, 0.27916880)	(0.54840536, 0.27916908)	{65, 89, 96}	(0.27884751, 0.81008048)	(0.27884864, 0.81008052)
{30, 65, 89}	(0.26745600, 0.81099120)	(0.26745774, 0.81099249)	{65, 66, 96}	(0.36734020, 0.66952640)	(0.36734456, 0.66952819)
{30, 47, 65}	(0.20402480, 0.72012080)	(0.20402575, 0.72012145)	{72, 85, 99}	(0.89911722, 0.53739200)	(0.89911789, 0.53739219)
{31, 32, 38}	(0.38070220, 0.32228640)	(0.38070472, 0.32228733)	{72, 84, 92}	(0.87683520, 0.68459040)	(0.87683752, 0.68459191)
{31, 53, 98}	(0.26643936, 0.36992760)	(0.26643963, 0.36992791)	{73, 74, 81}	(0.63914416, 0.68346808)	(0.63914431, 0.68346826)
{31, 38, 98}	(0.29902840, 0.39143216)	(0.29902877, 0.39143285)	{82, 86, 96}	(0.45761120, 0.84832280)	(0.45761202, 0.84832421)
{31, 40, 52}	(0.26699400, 0.27804680)	(0.26699604, 0.27804743)	{86, 89, 96}	(0.39872440, 0.84772720)	(0.39872593, 0.84772773)
{31, 40, 53}	(0.26404440, 0.28094240)	(0.26404584, 0.28094353)			

## 一般論文

Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 固体電解質を用いた化学電池の酸素分圧依存性

重 松 浩 気  
久 保 甚 一 郎  
馬 越 幹 男

Dependence of Oxygen Pressure on Properties of Chemical Battery  
using Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a Solid Electrolyte

Koki SHIGEMATSU  
Jinichirou KUBO  
Mikio UMAKOSHI

Three types of chemical batteries using Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a solid electrolyte were set up to study mainly the effects of oxygen pressures to emfs and to the activities of Na<sub>2</sub>O in the Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compound. The results obtained using type-1 battery, Pt, air,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O-WO<sub>3</sub>, air, Pt show that activities of Na<sub>2</sub>O in the Na<sub>2</sub>O · 11Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> compound under the air varies from 10<sup>-18</sup> to 10<sup>-11</sup> in the temperature range from 550 to 1100°C and logarithm of activities are proportional to the reciprocal numbers of temperatures. The results obtained using type-2 battery, Pt, Po<sub>2</sub>(ne)/Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/air, Pt show that there seems to be a linear relationship between emfs and logPo<sub>2</sub>(ne) changed from 10<sup>-2</sup> to 10<sup>-18</sup> atm at constant temperatures of 1000, 1050 and 1100°C, which means that this type of battery can be used as an oxygen gas sensors. The results of experiments obtained using type-3 battery, Pt, Po<sub>2</sub>(ne)/Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/air, Na<sub>2</sub>O-WO<sub>3</sub>, Pt show that activities of Na<sub>2</sub>O in the Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varied from 3 × 10<sup>-13</sup> to 3.4 × 10<sup>-11</sup> corresponding to the change of oxygen pressures from 10<sup>-2</sup> to 10<sup>-18</sup> respectively at 1000°C.

## 1. はじめに

Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物とは Na<sub>2</sub>O ·  $\chi$ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の総称で  $\chi$  が 5 ~ 7 で結合した化合物である。この化合物は Al<sup>3+</sup> と O<sup>2-</sup> からなるスピネルブロック層と Na<sup>+</sup> と O<sup>2-</sup> からなるイオン伝導面が C 軸方向に重なった結晶構造を持ち<sup>1)</sup> その伝導面を陽イオンである Na<sup>+</sup> が移動することが可能である。この化合物は陽イオン伝導性があるために、化学電池の固体電解質として古くから利用され、多くの熱力学測定<sup>2)~4)</sup> が行われた。最近では燃料電池<sup>5)</sup> や MHD 発電への実用化や応用化も進められている。しかし、Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を例えば燃料電池に用いるにしてもそのための基礎研究が十分に尽くされているとは言い難い。特に Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 固体電解質を隔壁にして正極と負極に異なる酸素分圧を与えた場合の起電力の特性や Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の Na<sub>2</sub>O の活量が温度や酸素分圧にどのように影響を受けるのか、など基本的な課題が現在でも不十分である。また熱力学的数値としては非常に重要な Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物

(Na<sub>2</sub>O · 11Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 中の Na<sub>2</sub>O の活量値についても研究者によりまちまちであるのでこの点にも留意して Na<sub>2</sub>O の活量測定を行った。

2. 本実験で用いた Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系化合物

本実験で電池の固体電解質として使用した化合物は日本特殊陶業社製で、外径 9 mm, 内径 7 mm, 長さ 10 mm のすでに一端閉管の容器に加工されている。この粉末の X 線回折分析を行った結果、ICDD ファイルの No.31-1262 と回折ピークが完全に一致し表 1 に示す組成を持つ Na $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物

表 1 固体電解質として用いた Na ·  $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

成分	Na <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
重量%	9.26	0.24	90.5
モル比	1	0.05	5.94

表 2 活量測定のために用いた Na ·  $\beta$ "-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

成分	Na <sub>2</sub> O	Li <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
重量%	37.8	0	62.2
モル比	1	0	11



であることが判明した。また、Na<sub>2</sub>O の活量を測定するために Alcoa 社から購入した粉末状の化合物は X 線回折分析を行った結果、ICDD ファイルの No.31-1263 の回折ピークと一致し表 2 に示す組成を持つ Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Na<sub>2</sub>O · 11Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) であることを確認した。また負極室に導入した気体の酸素分圧を測定するための ZrO<sub>2</sub> 固体電解質は日本化学陶業社製で外径 13mm, 内径 8mm, 長さ 500mm の一端閉管の容器である。

### 3. Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を固体電解質として使用した電池

#### 3.1 Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の Na<sub>2</sub>O の活量を測定するための電池

この電池の正極室には Na<sub>2</sub>O-WO<sub>3</sub> 二元系化合物粉末を入れている。しかもその化合物中の Na<sub>2</sub>O の活量は Lin 等<sup>9)</sup> によって調べられ (6) 式により種々の温度の活量値を知ることが出来る。負極室には白金ルツボに α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物の混合粉末が装入されている。これを電池図で示したのが図 1 である。

この電池の正負極および総括反応は次の (1), (2) および (3) 式で表わされる。

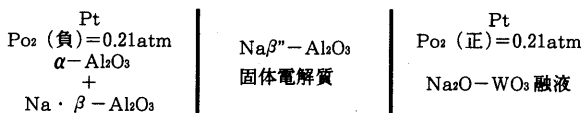
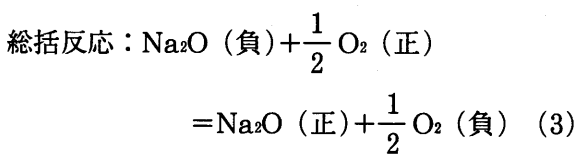
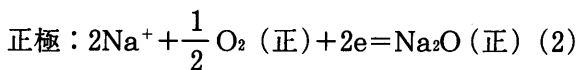
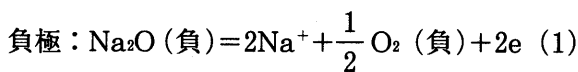


図 1 両極の酸素分圧を一定 (Po<sub>2</sub> = 0.21atm) にし、両極の Na<sub>2</sub>O の活量差により起電力を生じさせるための電池

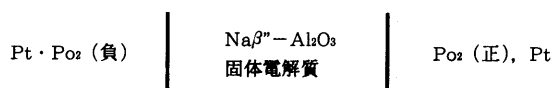


図 2 正極の酸素分圧を一定 (Po<sub>2</sub> = 0.21atm) にし、負極の酸素分圧を変化させて起電力を測定

ここで、Na<sub>2</sub>O (正) は図 1 電池では正極室の Na<sub>2</sub>O-WO<sub>3</sub> 化合物中の Na<sub>2</sub>O 成分を、Na<sub>2</sub>O (負) は負極室の α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と共存している Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の Na<sub>2</sub>O 成分を表わす。O<sub>2</sub> (正) と O<sub>2</sub> (負) はそれぞれ正極室と負極室に導入した気体の酸素成分を表わし図 1 電池の場合は両極に空気を流すので両者の分圧は等しい。図 1 電池の起電力 (Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を固体電解質として使用しているので以後は E (β") で示す) は Nernst により次の (4) 式で示される。

$$E (\beta'') = \frac{-RT}{2 \times 2.303F} \log \frac{a_{\text{Na}_2\text{O}} \text{ (正)}}{a_{\text{Na}_2\text{O}} \text{ (負)}} \left( \frac{P_{\text{O}_2} \text{ (負)}}{P_{\text{O}_2} \text{ (正)}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

ここで、R は気体定数で 8.314 (J/mol · K), T は温度 (K), F はファラデー定数で 96500 (C/mol), a<sub>Na<sub>2</sub>O</sub> は正極および負極の Na<sub>2</sub>O 成分の活量, Po<sub>2</sub> は正極または負極室の気体の酸素分圧 (atm) を表わす。前述したように図 1 電池では両極に空気を導入するので Po<sub>2</sub> (正) = Po<sub>2</sub> (負) = 0.21atm になり (4) 式中の酸素分圧項はキャンセルされる。したがって図 1 電池を構成した目的である Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中の Na<sub>2</sub>O 成分の活量, つまり (4) 式中の a<sub>Na<sub>2</sub>O</sub> (負) は次の (5) 式で計算される。

$$\log a_{\text{Na}_2\text{O}} \text{ (負)} = \frac{2E (\beta'') F}{2.303RT} + \log a_{\text{Na}_2\text{O}} \text{ (正)} \quad (5)$$

著者らは (5) 式より Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中の Na<sub>2</sub>O 成分の活量値を測定して得るほか、他の研究者の値と比較して本実験で用いた電池が正常に作動したかどうか検討した。

#### 3.2 両極室に反応に関与する固液物質を置かず、負極の酸素分圧を変化させる電池

この電池の電池図を図 2 に示した。この電池の実験目的は正極室に導入する気体は空気で常に Po<sub>2</sub> (正) = 0.21atm と一定にし、負極室に導入する気体の酸素分圧 Po<sub>2</sub> (負) を約 10<sup>-2</sup> から 10<sup>-18</sup> まで大きく変化させると E (β") はどのように変化するか、また E (β") と Po<sub>2</sub> (負) とどのような関係にあるかを検討することにある。

#### 3.3 正極に Na<sub>2</sub>O-WO<sub>3</sub> 化合物を空気下に置き負極室の酸素分圧を変化させる電池

この電池の電池図を図 3 に示す。この電池を使用する目的は負極の酸素分圧を変化させた時、その気体と接触している Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中の Na<sub>2</sub>O の活量が

変動する酸素分圧にどのように対応して変化するかを調査することにある。なお、図 3 電池により Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中の Na<sub>2</sub>O の活量は (5) 式により算出される。

#### 4. 実験方法

図 4 に本実験で使用した Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 固体電解質を用いた電池 (以後 β" 電池とする) および負極室の酸素分圧を測定するための ZrO<sub>2</sub> 固体電解質を用いた電池との組み合わせ部分の概略図を示す。まず本実験で図 1 から図 3 に示すどの電池を用いる場合でも、両電池の正極室には空気が 100ml/分 で導入されているので Po<sub>2</sub> (正) は常に 0.21atm である。図 1 の β" 電池の正極には本研究室で合成した Na<sub>2</sub>O-WO<sub>3</sub> 元系化合物 (Na<sub>2</sub>O/WO<sub>3</sub> モル比 = 2/3) を粉末状で 2g 直接固体電解質容器内に入れており、また負極室には Alcoa 社より購入した Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のそれぞれモル比で 1:1 の混合粉末を 2g Pt ルツボに入れている。この図 1 電池では両極

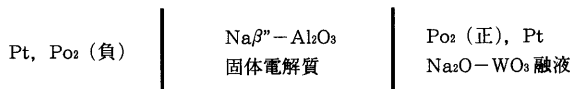


図 3 正極の酸素分圧を一定 (Po<sub>2</sub>=0.21atm) にし、負極の酸素分圧を変化させて起電力を測定

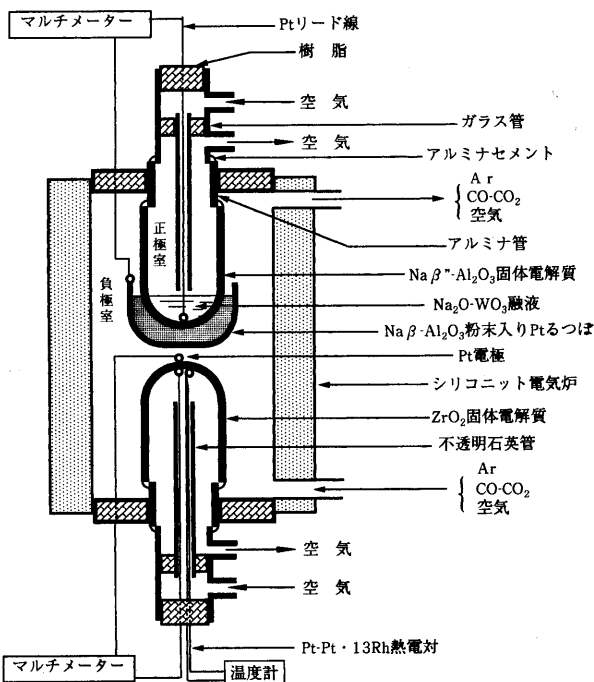


図 4 Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 固体電解質を用いた電池と酸素分圧を測定するための ZrO<sub>2</sub> 固体電解質を用いた電池の組み合わせ

とも空気を導入しているので両極の酸素分圧差は無い。図 2 と図 3 に示す電池では負極の Po<sub>2</sub> (負) をおよそ 10<sup>-2</sup> から 10<sup>-18</sup> atm まで変化させるが、これはボンベ入りの CO と CO<sub>2</sub> ガスをそれぞれフロート型流量計に導き流量比を決めそれらを混合し β" 電池と ZrO<sub>2</sub> 電池の共通の負極室に導入した。Po<sub>2</sub> (負) が 10<sup>-5</sup> ~ 10<sup>-2</sup> atm の範囲ではボンベ入りのアルゴンガスを 100ml/分 でマグネシウム脱酸炉に通し炉の温度を調整することにより Po<sub>2</sub> (負) がその範囲で異なった気体を負極に導いた。電池に導入する全ての気体は予めシリカゲルを通して脱水している。どの β" 電池と ZrO<sub>2</sub> 電池の起電力は固体電解質の両側に Pt 線を接触させてマルチメーターにより 0.1mV のオーダーまで測定したが、接触不良により起電力が不安定になることを避けるために接触部には Pt ペーストを塗付しさらに Pt 網を設置し接触状態を常に良好に保った。ZrO<sub>2</sub> 電池は測定温度に到達して安定した起電力が得られるまで 1 ~ 2 時間で良いが β" 電池の場合は 5 ~ 6 時間必要であり、安定するまでの起電力はチャート上に記録し、起電力の変動が ±1mV の範囲に収まった時点での値を測定値として採用した。図 4 に示した電池はシリコニット電気炉の均熱部に設置されており温度を一定にする場合には自動温度調整器により ±1℃ 以内の精度で保持した。

#### 5. 実験結果および考察

##### 5.1 図 1 電池について

図 1 に示す電池を用いて行った実験から、得られた β" 電池と ZrO<sub>2</sub> 電池の起電力およびそれらの測定値から (5) により計算した Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の Na<sub>2</sub>O の活量, a<sub>Na<sub>2</sub>O</sub> (負) の数値を表 3 に示した。

表 3 図 1 電池を用いて得られた各温度での E (ZrO<sub>2</sub>) と E (β") の値および Naβ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の Na<sub>2</sub>O の活量の計算値

測定温度 (°C)	E (ZrO <sub>2</sub> ) (mV)	E (β") (mV)	log a <sub>Na<sub>2</sub>O</sub> (負極)
1100	0.6	44.7	-11.21
1050	0.61	48.8	-11.60
1000	0.62	55.5	-12.00
950	0.66	56.9	-12.49
900	0.64	60.5	-12.99
850	0.48	62.8	-13.55
800	0.37	64.8	-14.16
750	0.68	66.0	-14.84
700	0.55	66.6	-15.59
650	0.57	72.4	-16.31
600	0.016	82.4	-17.20
550	0.46	88.9	-18.18

ただし、 $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  (負) を計算する場合には (5) 式中の各温度での  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  (正), つまり正極室の  $\text{Na}_2\text{O}-\text{WO}_3$  融液中の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量値が分からなければならない。この値はすでに Lin<sup>6)</sup> 等によって測定され次の (6) 式にまとめられているのでこれより計算して求めた。

$$\begin{aligned} \Delta G^M (\text{Na}_2\text{O in Na}_2\text{O}-\text{WO}_3) &= 2.303RT \log a_{\text{Na}_2\text{O}} \\ &= -95.10 - 347.2N_{\text{WO}_3} \end{aligned} \quad (6)$$

ここで  $N_{\text{WO}_3}$  は  $\text{Na}_2\text{O}-\text{WO}_3$  融液中の  $\text{WO}_3$  のモル分率であり本実験では 0.6 である。また図 5 には計算して得られた  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  (負) の対数と温度の逆数の関係をプロットした。図 5 には本実験と同じ電池を構成し同様に  $\text{Na}\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  化合物中の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量,  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  の値を測定した他の研究者等<sup>2)7)8)9)</sup> の値も同載した。本結果の  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  (負) の対数と温度の逆数の関係は文献値と同様に良好に直線関係にあるが活量値については研究者により大きなばらつきが見られる。本結果は Choudury や Brisley 等の値に近いが勾配は Itoh 等の結果に近い。しかし以上の結果から本実験で構成した図 4 に示した電池が正常に作動したとの結論を得た。図 5 のプロッ

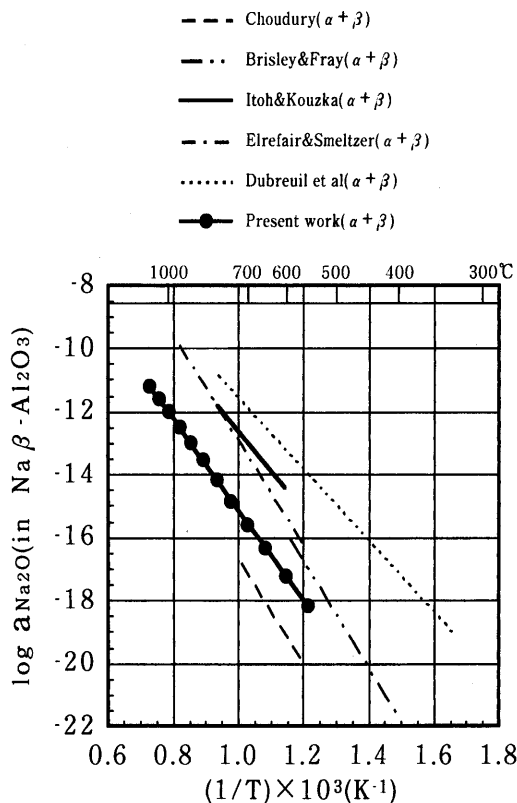
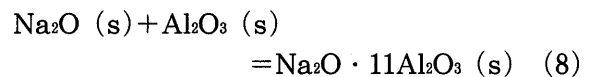


図 5 図 1 電池を用いて種々の温度で測定した負極室の  $\text{Na}\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  化合物中の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量

トを最小自乗法した結果, 以下の関係式を得た。

$$\begin{aligned} \log a_{\text{Na}_2\text{O}} (\text{負}) &= -14407 (1/T) \\ &\quad - 0.716 \end{aligned} \quad (7)$$

この (7) 式を基に次の反応式 (8) により  $\text{Na}\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  化合物が生成する時の標準生成自由エネルギーを (9) 式により推算することができる。ただし,  $\text{Na}_2\text{O}$  は本実験の温度範囲で固体, 液体に関係なく固体を基準にした。



$$\Delta G^\circ (8) = -2.303RT \log a_{\text{Na}_2\text{O}} (\text{負}) \quad (9)$$

$$= -275852.8 + 13.71T \quad (10)$$

### 5.2 図 2 電池について

この電池は両極室に反応に関与する物質を置かず,  $\text{ZrO}_2$  電池のように両極の酸素分圧の差だけで起電力がどのように変化するか検討するために構成した。この電池の起電力は (4) 式で表わされ, 両極の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量差と酸素分圧差の両方が起電力に寄与する。しかし著者らは, 正極の酸素分圧は常に空気を導入して  $\text{Po}_2 = 0.21 \text{atm}$  と一定にし, 負極の酸素分圧を  $10^{-2} \sim 10^{-18}$  の範囲で変化させた時の  $\beta''$  電池の起電力,  $E (\beta'')$  と負極室の酸素分圧,  $\log \text{Po}_2$  (負) との関係のみに注目し両者の関係を調査した。表 4, 表 5 および表 6 にそれぞれ 1273K, 1323K および 1373K で測定した  $E (\beta'')$  と  $E (\text{ZrO}_2)$  の結果を示した。図 6 には  $E (\text{ZrO}_2)$  から計算した  $\log \text{Po}_2$  (負) と  $E (\beta'')$  との関係を示した。図 6 から両者の関係は実験結果だけから判断すればどの測定温度でも直線関係を満足しているように思える。この事実は両極の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量差が  $E (\beta'')$  に寄与する割合が小さい事を示唆しており,  $\text{Na}\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$  化合物を固体電解質として用いた電池を酸素ガスセンサーとして使用することができる可能性を示している。つまり実験結果から判断すると  $E (\beta'')$  を次の (11) 式で表わしても良いと推定される。

$$E (\beta'') = -m \log \text{Po}_2 (\text{負}) + n \quad (11)$$

(11) 式中の勾配  $m$  は両極の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量差による  $E (\beta'')$  への寄与が 0 ならば理論的には (4) 式より  $-2.303RT/4F$  に一致するはずである。表 7 に図 6 のプロットの最小自乗法より求めた各温度の勾配と  $-2.303RT/4F$  より求めた計算値を示した。表 7 から勾配値は近似しているが実験値の方が大き

表 4 図 2 電池により種々の酸素分圧で測定して得た E ( $\beta$ " ) (1273K)

E (ZrO <sub>2</sub> ) (mV)	E ( $\beta$ " ) (mV)
836	1131
773	1020
752	977
730	938
715	915
652	853
688	900
712	927
665	877
633	842
585	793
581	790
637	850
658	867
718	936
772	1010
456	655
442	571
361	551
262	443
190	364
171	343
174	350
121	286
0	174

表 5 図 2 電池により種々の酸素分圧で測定して得た E ( $\beta$ " ) (1323K)

E (ZrO <sub>2</sub> ) (mV)	E ( $\beta$ " ) (mV)
672	983
637	910
652	895
607	821
651	902
552	752
817	1124
750	1041
850	1113
792	1017
760	967
803	1107
744	996
716	935
682	903
660	873
700	907
658	870
548	773
443	650
329	546
307	504
260	471
210	386
186	371
0	175

表 6 図 2 電池により種々の酸素分圧で測定して得た E ( $\beta$ " ) (1373K)

E (ZrO <sub>2</sub> ) (mV)	E ( $\beta$ " ) (mV)
705	958
655	890
617	850
574	816
506	777
557	850
570	868
578	883
610	933
636	956
662	975
705	1052
624	907
416	650
400	626
379	625
271	491
246	479
200	429
179	411
177	378
150	336
107	329
0	170

表 7 図 6 の実測値から計算した直線の勾配および (4) 式から計算した勾配

	1273K	1323K	1373K
-(2.303RT/4F)	-0.0631	-0.0656	-0.0682
実測値からの勾配	-0.0684	-0.0725	-0.0794

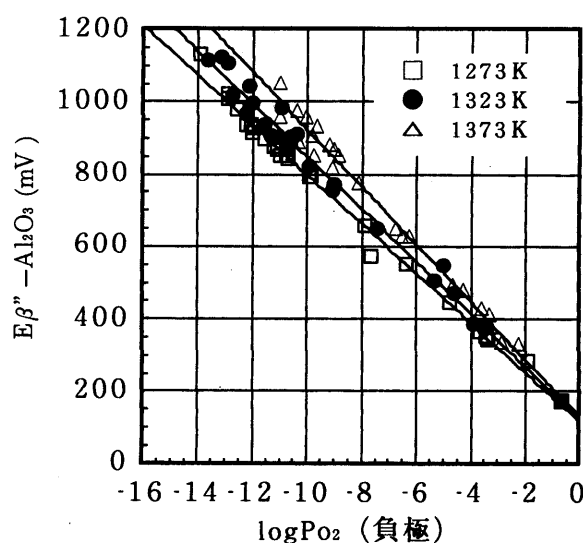


図 6 図 2 に示した電池の負極室の酸素分圧を変化させた場合の起電力の変化 (正極の酸素分圧は一定)

いことが分かる。この理由は、実験値と計算値の差分だけ Na<sub>2</sub>O の活量差が E ( $\beta$ " ) に寄与しているからだと考えられる。

### 5.3 図 3 電池について

5.2 節で報告したように両極室の酸素分圧の差異のみで起電力を生じさせ、しかも実験上では E ( $\beta$ " ) と log Po<sub>2</sub> (負) が比例する結果が得られた。一方、

表8 図3電池により種々の酸素分圧で測定して得た  $E(\beta'')$  (1273K)

$E(\text{ZrO}_2)$ (mV)	$E(\beta'')$ (mV)
836	1131
773	1020
752	977
730	938
715	915
652	853
687	900
711	927
665	877
633	842
585	793
581	790
637	850
772	1010
464	615
451	575
377	485
341	473
319	414
201	245
43	106
98	162
168	229
68	126
204	291

表9 図3電池を用いて種々の酸素分圧で測定して得た  $E(\beta'')$  (1373K)

$E(\text{ZrO}_2)$ (mV)	$E(\beta'')$ (mV)
705	958
655	890
617	850
574	816
506	777
557	850
570	868
578	883
610	933
636	956
662	975
705	1052
624	907
32	117
210	314
40	82
45	84
57	95
119	171
203	311
128	208
134	213
970	1302
1010	1351
1040	1389
990	1328
1020	1349
1050	1401
950	1275
398	579
359	519

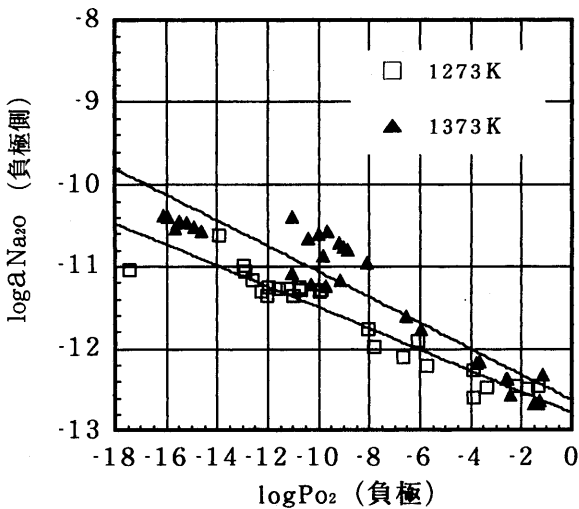


図7 図3に示す電池の負極室の酸素分圧を変化させた場合の負極側の  $\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$  固体電解質中の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量

$\text{Na}\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$  化合物の伝導イオンが  $\text{Na}^+$  のみであり  $\text{O}^{2-}$  イオンは移動しないことを前提にすれば、両極の酸素分圧の差異によって起電力  $E(\beta'')$  が生じるのは (4) 式の上だけとも考えられる。つまり、正極では  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量、 $a\text{Na}_2\text{O}$  (正) が  $\text{Po}_2=0.21\text{atm}$  に対応した値に変化し、負極では  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量、 $a\text{Na}_2\text{O}$  (負) が負極の酸素分圧、 $\text{Po}_2=10^{-2}\sim 10^{-18}\text{atm}$  にそれぞれ対応した値に変化

するので結局は両極の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量差のみで起電力が生じていると考えても良いからである。そこで、負極の酸素分圧に対応して  $a\text{Na}_2\text{O}$  (負) がどのくらい変化しているかを図3電池を用いて検証した。表8と表9にそれぞれ1273Kと1373Kで負極の酸素分圧、 $\text{Po}_2$  (負) を約  $10^{-2}$  から  $10^{-18}\text{atm}$  まで変化させたときの  $E(\beta'')$  の測定値を示した。これらの測定結果から図1の電池の場合と同様に (5) 式により  $a\text{Na}_2\text{O}$  (負) の対数を計算し、 $\text{Po}_2$  (負) の対数との関係性を求めたのが図7である。図7より確かに負極の酸素分圧に対応して  $\text{Na}\beta''\text{-Al}_2\text{O}_3$  化合物中の  $\text{Na}_2\text{O}$  の活量は変化しており酸素分圧約  $10^{-2}$  から  $10^{-18}\text{atm}$  までの変化に対し1273Kで  $a\text{Na}_2\text{O}$  は  $3.0\times 10^{-13}$  から  $3.4\times 10^{-11}$  まで変わり、酸素分圧が小さくなれば  $a\text{Na}_2\text{O}$  の値は大きくしかも直線的な関係を見せている。この理由は図2電池の実験結果から得られた (11) 式に基づいて  $E(\beta'')$  と  $\log\text{Po}_2$  (負) が直線関係にあるからである。つまり (5) 式中の  $E(\beta'')$  に (11) 式の右辺を代入すれば次の (12) 式が得られることから明らかであろう。

$$\log a_{\text{Na}_2\text{O}}(\text{負}) = \frac{2E(\beta'') F}{2.303RT} + \log a_{\text{Na}_2\text{O}}(\text{正}) \quad (5)$$

$$= \frac{-2mF}{2.303RT} \log P_{\text{O}_2}(\text{負}) + C \quad (12)$$

ただし、(12) 式中の C は  $(\log a_{\text{Na}_2\text{O}}(\text{負}) + 2nF)$  である。いずれにせよ、酸素分圧が  $10^{17}$  のオーダーで変化しているのに、両極の活量変化は  $10^2$  と小さいことは Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物を燃料電池の固体電解質として使用するの是不利であることを示している。また、この実験から  $P_{\text{O}_2}(\text{負}) = 0.21 \text{ atm}$ 、すなわち空気と接触する Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の Na<sub>2</sub>O の活量、 $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  が分かるがその値は 1273K で  $8.16 \times 10^{-12}$ 、1373K で  $6.20 \times 10^{-11}$  となった。

## 6. ま と め

いずれも Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物を固体電解質として使用した図 1、図 2 および図 3 に示す三種類の電池を作成し、主に負極の酸素分圧を約  $10^{-2}$  から  $10^{-18} \text{ atm}$  の範囲で変化させ、起電力が負極室の酸素分圧とどのような関係にあるか、また酸素分圧の変化に対応して気体と接触している部分の Na<sub>2</sub>O の活量が変化するか、などについて検討を行ったほか、Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物 (Na<sub>2</sub>O · 11Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 中や Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の空気中での Na<sub>2</sub>O の活量値を得るなど、以下に述べる結論を得た。

(1) まず両極室に空気を導入する図 1 の電池を使って負極室にある Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物の Na<sub>2</sub>O の活量、 $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  を 550℃ から 50℃ おきに 1100℃ まで測定した。その結果  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  の対数と温度の逆数との関係は良好に直線関係を満足したが、他の研究者の値とは必ずしも一致しなかった。本研究では  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  (1000K, 空気中) =  $7.94 \times 10^{-16}$  であった。またこの測定結果から、Na<sub>2</sub>O · 11Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物が固体の Na<sub>2</sub>O と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> から生成するときの標準生成自由エ

ネルギーは次式で表わされることが分かった。

$$\Delta G^\circ = -275852.8 + 13.71T$$

(2) 両極室には電池反応に関与する固体や液体の物質を一切置いていない図 2 の電池を用いて、負極の酸素分圧を変化させた。その結果、測定した 1273K、1323K および 1373K とともに起電力  $E(\beta'')$  は  $\log P_{\text{O}_2}(\text{負})$  と直線関係を示し、ZrO<sub>2</sub> 固体電解質電池と同様に酸素ガスセンサーとして使用できる可能性があることが分かった。しかし、それらの勾配から、両極の  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  差が起電力に寄与していることも分かった。

(3) 図 3 の電池を用いて負極の酸素分圧が変わればそれに接触している Naβ"-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 化合物中の  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  の値が対応して変化するかどうか検討した。その結果、酸素分圧約  $10^{-2}$  から  $10^{-18} \text{ atm}$  までの変化に対し 1273K で  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  は  $3.0 \times 10^{-13}$  から  $3.4 \times 10^{-11}$  まで変化し酸素分圧が小さくなれば  $a_{\text{Na}_2\text{O}}$  の値は大きくなり、 $\log a_{\text{Na}_2\text{O}}$  と  $\log P_{\text{O}_2}(\text{負})$  は直線関係があるように推定された。

## 参 考 文 献

- 1) 柳田博明：応用化学シリーズ 2, セラミックスの化学, 丸善, (1987) 196
- 2) M. Itoh, K. Kimura, Z. Kozuka: Trans. JIM, Vol.26 (1985) 353
- 3) N.S. Choudhury: J. Electrochem. Soc., Vol.120, No.12 (1973) 1663
- 4) 重松浩気, 久保甚一郎, J.F. Elliot: 久留米高専紀要, 第 1 巻, 第 2 号 (1986) 47
- 5) D.A. Neudorf & J.F. Elliott: Metallurgical Transaction. B, 11B (1980) 607
- 6) R.Y. Lin & J.F. Elliott: Unpublished, Research, MIT (1979)
- 7) Brisley & Fray: Met. Transaction. B, 14B (1983) 435
- 8) Elrefair & Smeltzer: 日本金属学会会報, 第 27 巻, 第 7 号 (1988) 558
- 9) Dubreil et al: 日本金属学会会報, 第 27 巻, 第 7 号 (1988) 558

一般論文

## Examples of Virtual Knot Diagrams Which Vanish the Conway Polynomial

Shigekazu NAKABO

### Abstract

Several examples of virtual knot diagrams which vanishes Sawollek's Conway polynomial are examined.

### 1. INTRODUCTION

In ordinary classical knot theory, we consider embedded loops in 3-dimensional space and their projections to an appropriate plane endowed with information of crossings. We call such projections *diagrams*. Virtual knot theory was proposed by Kauffman [3] in 1996. It is considered as an extension of classical knot theory (cf. [2]). Diagrams examined in virtual knot theory are allowed an additional type of crossing. Namely, three types of crossings appear in virtual knot theory: the classical positive or negative and the virtual. Practically speaking, a *virtual knot diagram* is an oriented 4-valent planar graph embedded in the plane with appropriate orientations of edges and additional crossing information at each vertex as depicted in Fig. 1. Two diagrams are said to be *equivalent* if one can be transformed into the other by a finite sequence of moves depicted in Fig. 2 and isotopies on the plane. A *virtual knot (link)* is defined as an equivalent class of virtual knot (link) diagrams.

Recently, Sawollek [6] defined a polynomial invariant for virtual links, which was derived from an invariant of links in thickened surfaces introduced by Jaeger, Kauffman and Saluer ([1]). It is called the Conway polynomial for virtual links because it satisfies the Conway-type skein relation. On the other hand, in [5], Satoh gave a systematical construction of virtual knots from *virtual arc diagrams*, which are immersed and oriented intervals in  $R^2$  endowed with information of crossings, to investigate the correspondence between ribbon 2-knots and ribbon torus-knots in 4-dimensional space. Due to his method, for a given virtual arc diagram, a virtual knot diagram is constructed by replacing crossings as shown in the left of Fig. 3 and connecting two strands associated to the ends of the arc diagram. A virtual arc diagram is said to be *classical*, if it has no virtual crossings. An example is illustrated in Fig. 4. It is con-

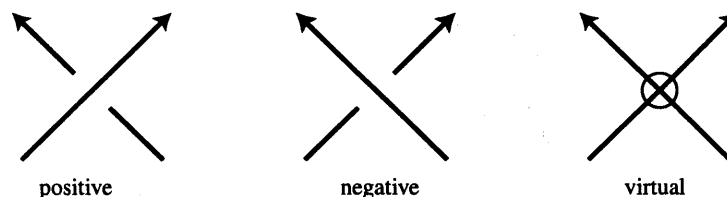


Fig. 1

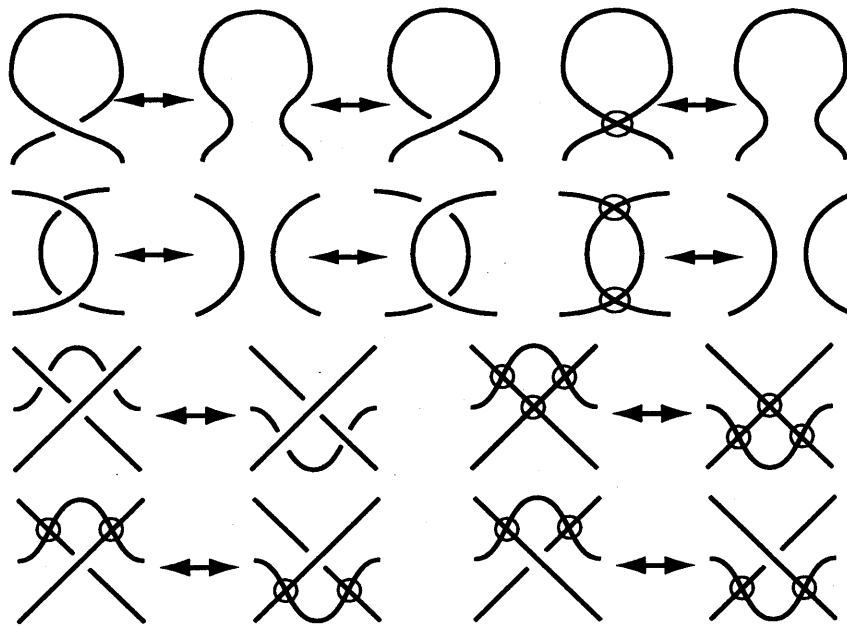


Fig. 2

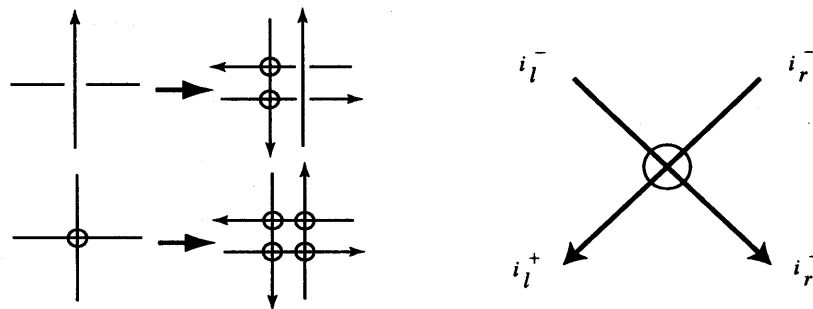


Fig. 3

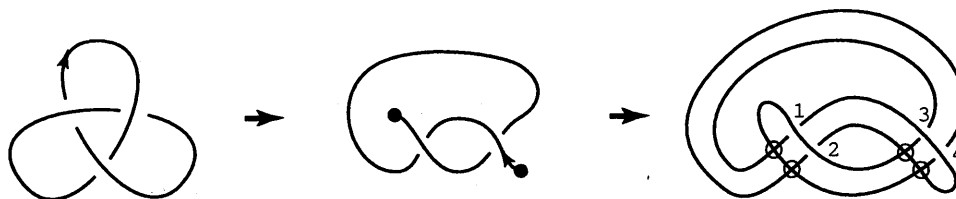


Fig. 4

constructed from the classical arc diagram obtained by cutting the trefoil knot diagram at any point on it. Satoh also mentioned that it vanished Sawollek's invariant. Thus the following problem naturally arises: does any virtual knot obtained from a classical arc diagram, through the above construction, vanish its Conway polynomial?

The aim of this paper is to seek for the other virtual knot diagrams which vanish Sawollek's invariant. In Section 2, we review the construction of the Conway polynomial for virtual knots due to Sawollek. In Section 3, we shall give several examples which vanish their



Conway polynomials.

The author would like to thank Ayumi Suzuki for her help in drawing the figures. This research is partially supported by Grant-in-Aid for Encouragement of Young Scientists, Japan Society for the Promotion of Science.

### 2. SAWOLLEK'S CONWAY POLYNOMIAL

In [6], Sawollek defined a polynomial invariant of virtual knots (links), which satisfies the Conway-type skein relation. In this section, we review his construction of the invariant.

Let  $D$  be a virtual knot diagram with  $n \geq 1$  classical crossings  $c_1, \dots, c_n$ . Define

$$M_+ := \begin{pmatrix} 1-x & -y \\ -xy^{-1} & 0 \end{pmatrix} \quad \text{and} \quad M_- := \begin{pmatrix} 0 & -x^{-1}y \\ -y^{-1} & 1-x^{-1} \end{pmatrix}.$$

For  $i=1, \dots, n$ , let  $M_i := M_+$  if  $c_i$  is positive and let  $M_i := M_-$  otherwise. Define the  $2n \times 2n$  matrix  $M$  as a block matrix by  $M := \text{diag} (M_1, \dots, M_n)$ .

Furthermore, consider the graph belonging to the virtual knot diagram where the virtual crossings are ignored, i.e., the graph consists of  $n$  vertices  $v_1, \dots, v_n$  corresponding to the classical crossings and  $2n$  edges corresponding to the arcs connecting two classical crossings (the edges possibly intersect in virtual crossings). Subdivide each edge into two half-edges and label the four half-edges belonging to the vertex  $v_i$  by  $i^+, i_r^+, i^-, i_r^-$  as depicted in the right of Fig. 3. A permutation of the set  $\{1, \dots, n\} \times \{l, r\}$  is given by the following assignment:  $(i, a) \mapsto (j, b)$  if the half-edges  $i_a^+$  and  $j_b^-$  belong to the same edge of the graph. Let  $P$  denote the corresponding  $2n \times 2n$  permutation matrix where rows and columns are enumerated  $(1, l), (1, r), (2, l), (2, r), \dots, (n, l), (n, r)$ . Finally, define  $Z_D(x, y) := (-1)^{w(D)} \det (M - P)$ , where  $w(D)$  denotes the *writhe* of  $D$ , i.e., the number of positive crossings minus the number of negative crossings in  $D$ . (If  $D$  has no classical crossings then  $Z_D(x, y)$  can be defined by  $Z_D(x, y) := 0$ .)

For example, the following is the matrix  $M - P$  for the virtual knot diagram depicted in Fig. 4:

$$\begin{pmatrix} 1-x & -y & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -x/y & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -y/x & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/y & 1-1/x & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1-x & -y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -x/y & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -y/x \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/y & 1-1/x \end{pmatrix}$$

Sawollek gave the following theorems on the properties of  $Z_D(x, y)$ .

**Theorem 2.1**  $Z_D(x, y)$  is an invariant of virtual knots (links) up to multiplication by powers of  $x^{\pm 1}$ .

**Theorem 2.2** If a virtual knot diagram  $D$  has no virtual crossings then  $Z_D(x, y) = 0$ .

**Theorem 2.3** Let  $(D_+, D_-, D_0)$  be a skein triple, depicted in Fig. 5, of virtual knot diagrams. Then the following skein relation holds:

$$x^{-\frac{1}{2}} Z_{D_+}(x, y) - x^{\frac{1}{2}} Z_{D_-}(x, y) = (x^{-\frac{1}{2}} - x^{\frac{1}{2}}) Z_{D_0}(x, y).$$

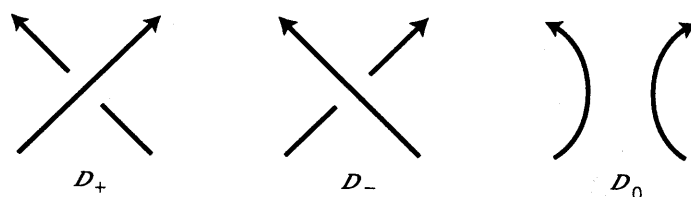


Fig. 5

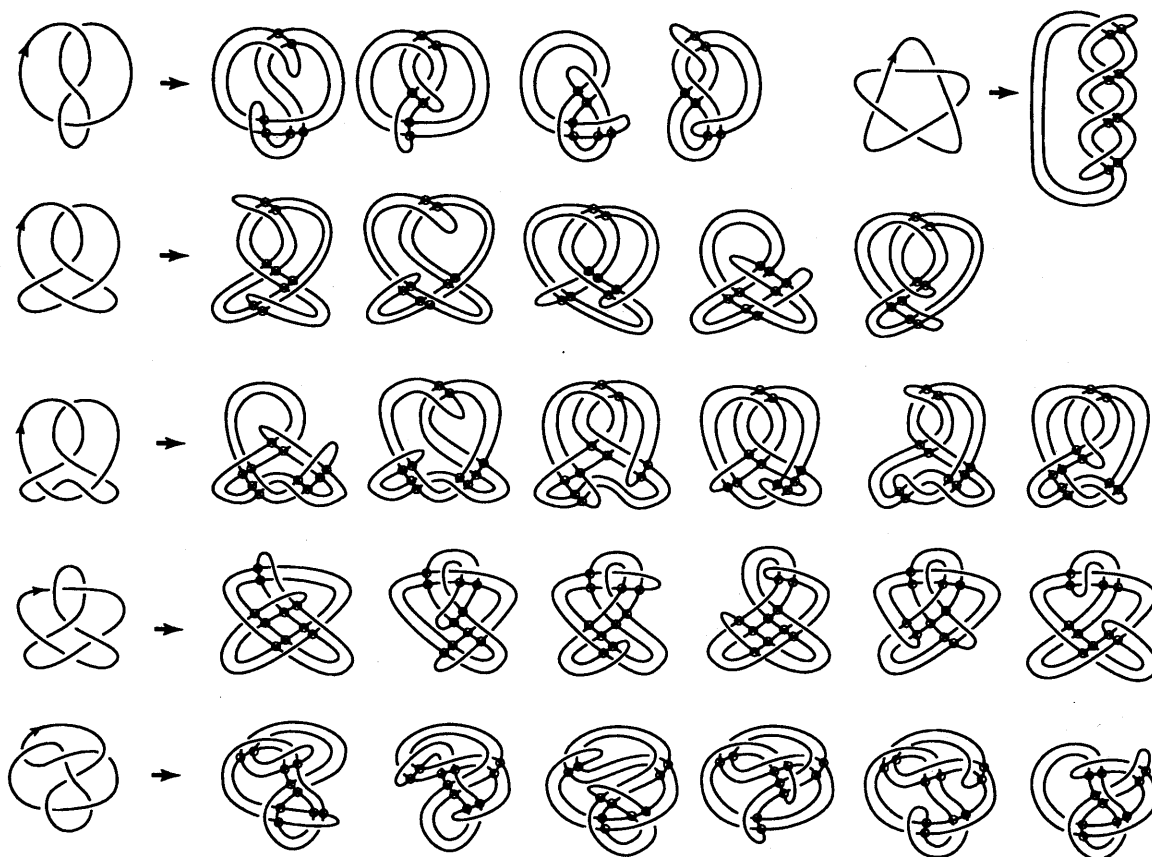


Fig. 6

### 3. EXAMPLES

Figures listed in Fig. 6 are virtual knot diagrams produced from the classical arc diagrams, which are obtained by cutting prime knots with a small number of crossings, via Satoh's construction. Each value of their Conway polynomials have been confirmed to be vanished through computations by *Mathematica*<sup>®</sup>. This result convince us of the affirmative solution for the problem proposed in Section 1.

It is also interesting to modify the crossings of the diagrams in the table. For the first entry in Fig. 6, some of such modifications are illustrated in Fig. 7. The first four diagrams arranged in the top and middle rows are given by alternating some classical crossings. By changing the connections of strands, the last ones in those rows are obtained. The bottom row consists of the diagrams given by changing some classical crossings with virtual crossings. We

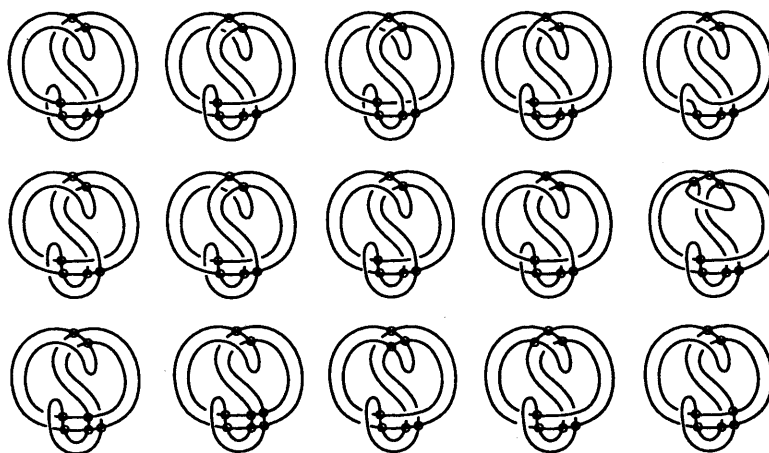


Fig. 7

can see that the diagrams in the top row and the first two in the bottom row vanish the invariant, although the others do not vanish and do have mutually distinct invariants.

#### REFERENCES

- [1] F. Jaeger, L.H. Kauffman and H. Saleur, *The Conway polynomial in  $R^3$  and in thickened surfaces: A new determinant formulation*, J. Combin. Theory Ser. B **61** (1994) 237-259.
- [2] M. Goussarov, M. Polyak and O. Viro, *Finite type invariants of classical and virtual knots*, Preprint, math.GT/9810073.
- [3] L.H. Kauffman, *Virtual knot theory*, European J. Combin. **20** (1999) 663-690.
- [4] L.H. Kauffman and H. Saleur, *Fermions and link invariants*, Internat. J. Modern Phys. A7 (Suppl.1A) (1992) 493-532.
- [5] S. Satoh, *Virtual knot presentation of ribbon torus-knots*, J. Knot Theory Ramif., **9** (2000) 531-542.
- [6] J. Sawollek, *On Alexander-Conway polynomials for virtual knots and links*, Preprint, math.GT/9912173.



## 一般論文

## 周濂溪の人物像について

平 元 道 雄

## Concerning the Character of Zhou Lianxi

Michio HIRAMOTO

## はじめに

蟹は甲羅に似せて穴を掘る、という。人間理解の困難さは、人はいくつもの顔をあわせもちつつ生きざるを得ない動物である、という点にある。あの人の本質はこうだ、などと断ずるのは不遜というものである。人間を理解するという営みには、いつもある種の歪みがともなわざるを得ない。その限界性を孕んだ危うさに警戒の念を怠ってはならないのである。これは過去の思想家を問題とする場合にも適用される原則でなければならない。いわゆる「論理」的であろうとして、人間を単純明快に理解することなどそもそもできない相談なのである。

如上の問題意識から、北宋の中期に生きた周濂溪(1017~1073)の人物像について考えようとするとき、ある種の困難を覚える。というのは、今日受用されている濂溪像は、もっぱら朱子(1130~1200)のそれ、すなわち、『伊洛淵源録』に収載された「濂溪先生事状」をなぞる形で思い描かれているからである。筆者は前稿でこの問題について少しく検討を加え、朱子の濂溪像にはその「道統」観念との整合性を求める余りある歪みがあることを指摘しておいた<sup>1)</sup>。もちろん、朱子の濂溪像が誤っている訳ではない。なぜなら、朱子は周濂溪歿後57年にしてこの世に生を享けており、書かれた文字を介してしかその人物像を描けなかったのだから。問題はその依拠すべき資料の取捨選択に於て、朱子の「かくあるべし」とする「道統」の観念に染め上げられた濂溪像が特権的に引き出されたということである。

それゆえ、いったん「道統」という観念から自由になってみると、さて周濂溪という人はどういう人物であったのか、となる訳である。「太極図説」の「無極而太極」の解釈を巡って、同じ時代の空気を吸っていた朱子と陸象山とは激しい論争を展開した

のであったが、その陸象山の文章類を集成した『陸象山全集』には、論争の際の往復書簡を除けば、周濂溪への言及は僅か一ヶ所に過ぎないということである<sup>2)</sup>。朱子が弟子たちへの手紙や会話などで、しばしば周濂溪を話題に上せ濂溪顕彰に躍起になっているのと比べると、これは異様な光景ではあるまいか。しかも陸象山の生きた江西は、周濂溪が最も愛した廬山の地元であり、定住を決意した九江から象山の故郷は指呼の間と行ってよい。後に述べるように周濂溪と最も関わりの深かった人々のうち、江西グループとでも呼ぶべき交遊圏を予想できることからすると、陸象山の周濂溪に対する冷淡さは特筆に値しよう。

朱子の発言に、「人、其の政事の精絶なるを見ては、則ち以て宦業人に過ぐと為し、其の山林の志を見ては、則ち以て襟袖洒落、仙風道氣有りとして、其の学を知る者有る無し。惟だ程太中独り之を知るのみ。」(『朱子語類』巻87)というのがある。朱子も濂溪像の多義性を承認していた訳であるが、本稿では、朱子の取り上げた三つの位相にならい、①官吏、とりわけ司法官吏としての周濂溪、②その学問にも関わる教師としての周濂溪、③隱遁志向者としての周濂溪、をそれぞれ検討したい。

さて、周濂溪の人物像を検討する際、基本資料として次のようなものを挙げることができる<sup>3)</sup>。

A 潘興嗣「周茂叔墓誌銘」熙寧6年(1073)

B 蒲宗孟「濂溪先生墓碣銘」(同上)

C 孔武仲「祭周茂叔文」(同上?)

D 孔文仲「墓祭文」(同上?)

E 孔延之「邵州新遷州学記」熙寧元年(1068)

F 黃庭堅「濂溪詩并序」元豊4年(1081)

G 蘇軾「故周茂叔先生濂溪」元祐4年(1089)

この外には、『河南程氏遺書(遺書と略称)』および『河南程氏文集』、そして周濂溪自身の著作があるが、それらを除くと幾つかの贈答詩を数える過ぎない。

このうち黄庭堅(1045~1105)と蘇軾(1037~1101)は濂溪とは面識がなく、したがってF・Gは伝聞による濂溪像ということになる。そこでこれらの基本資料の見直しによって、濂溪の人物像に新たな照明をあててみようというのである。(なお、上掲資料の名称は以下、それぞれA乃至Gのローマ字で表記している)。

—

朱子学先駆としてのいわゆる「北宋五子」の生涯を見比べて気づくことは、周濂溪が他の四人とはかなり異なった生き方をしていることである。五斗米の為に腰を折らなかつた邵康節、僅か数か月、幼い哲宗の教師を勤めただけの程伊川、地方と中央の官吏をそれぞれ勤めはしたが、王安石の新法との折り合い悪く、郷里での講学に勉めた程明道と張横渠。対して、周濂溪は25歳から死の前年56歳までの31年間を地方官吏として生きたのであった。中央官僚としての榮譽には恵まれなかつたが、主簿、司理参軍、県令、知県、判官事、通判、転運判官、提点刑獄、知州、とその担った職名を履歴の順に並べるだけで、彼がいわば現場のタタキアゲであったということが了解されよう。このことは周濂溪の人物を考えると、見落とせない条件であるように思う。

たとえば朱子である。18歳で進士となった彼であるが、70で死ぬまでの職歴を合算しても数年にも満たない。頭脳明晰な朱子のことだからその視野にはあらゆるものが鮮明に見分けられ、その人間理解が群を抜くものであつたことを否定しないが、しかし現場を踏んだものにしか嗅ぎ分けられないある種のセンスには欠ける場所があつたのではないか。もしこういってよいのなら、周濂溪は生身の人間が生き苦しむなかで物を考えたの対して、朱子はいわば書齋で物を考えたように思われるのである。

さて、如上のいくつかの濂溪資料によると、とりわけ司法官吏としての実績を特筆するのが注意される。今、その事例を挙げてみよう。

・洪州分寧県主簿(25歳~27歳)

○授洪州分寧県、君博学力行、遭事剛果、有古人風、衆交口称之。(A)

○分寧有獄不決、君至一訊立弁、邑人驚詫曰、老吏不如也。(B)

・南安軍司理参軍(28歳~30歳)

○転運使王遠以苛酷莅下、無敢可否、君与之弁獄事不為屈、因置手被、婦取誥救納之、投劾而去。遠為之改容、復薦之。(A)

○南安囚、法不当死。転運使欲深治之、君争不勝、投其司理参軍告身以去、曰、如此尚可仕乎。殺人以媚人、吾不為也。転運使感悟、囚卒得不死。(B)

○任司理参軍、転運司以權利変具獄。茂叔争之不能得、投告身欲去。使者斂聽之。(F)

少しく注釈<sup>4)</sup>を加えると、主簿は行政の末端=県の職員で、「官物の出納や簿書の整理」を担当し、多くの官吏にとって初任の事務官。周濂溪は科挙によらずに舅の鄭向の推薦、いわゆる蔭補による任官である。科挙が普及し、官界での昇進が科挙選抜者優先とされた当時であつて、周濂溪は科挙に対してはほとんど発言がなく、また応試した気配もない。タタキアゲと筆者が言挙げする所以である。

司理参軍は、「訟獄と勘鞫の事を掌る」もので、要するに検事と裁判官と弁護士を兼ねたようなもの。司法官吏としての能力が認められての昇格である。この時の上司に当たる転運使の王遠は、名裁判官として知られる包丞の弾劾をしばしばうけ、濂溪在職時のものとして、次の様な弾劾文が残っている<sup>5)</sup>。

○臣訪問江南西路転運司王遠行事任性、不顧条例、苛政暴斂、殊無畏憚。州県稍不徇從、即被裙拾。吏民無告、実可嗟憫。

さて、A・B・Fはいずれも周濂溪の二子寿・焘らの依頼によって書かれたが、その際、参照資料として何がしかの伝記資料が提示されたであろう。それゆえ、書き手の個性が現れるのは、その事蹟の選択および文飾能力であろうが、それを支えるのは周濂溪との親密度ということになる。そのような目で、改めて見直すと、Fがその冒頭で「春陵の周茂叔、人品甚だ高く、胸中灑落にして、光風霽月の如し」と格調高くうたいあげた後に、それとは色調を異にする如上の記事が来るのにはやや戸惑いを覚えるものがある。まして、Bが司法官吏としての濂溪の手腕を「姦を屠り弊を剪ること、快刀健斧の如く、落手して留るもの無し」と表現するのは一層そぐわない。周濂溪がこの南安軍司理参軍であつた時、上司でもあつた程珣はその人物と識見を見込んで二程に従学を命じたのであつたが、程伊川は父の伝記「太中公家伝」を撰した際、自分の先生を「獄掾」の二文字で形容したことを思い起こしてもよい。しかし、Aは「事に遭ひては剛果にして、古人の風有り」とし、Cは「勢に撓まず、廷争面触す。之を吏治に施し、或いは猛しくし或いは寛くす。俗を視ること張たり弛たりて、民の謳うこと翕然たり」とも記している。また、四川合州での簽書判官庁公事の任期

満ちて都へ帰る周濂溪を、友人であった成都の人、呂陶はその送別の辞の中で次のように述べている<sup>6)</sup>。

○春陵周茂叔，志清而材醇，行敏而学博。(中略)  
其政撫而不柔，与人交平居若汎愛。及其判忠諛  
拯憂患，雖賁育之力莫亢其勇。

してみれば、われわれは黄庭堅の「胸中灑落，光風霽月」にとらわれることなく、周濂溪の司法官吏としての一面をしかと見ておくことが大切であろう。分寧出身の黄庭堅の場合、周濂溪が分寧主簿として赴任した時、まだ3歳の幼児であるが、剛直果敢な若き主簿のイメージは分寧に近い南安軍での周濂溪の活躍と併せて、当地に語り継がれたとおぼしく、後年濂溪の二子と親交を結ぶなかで、その記憶が蘇ったのかも知れない。

これに関連して興味深いのは、宋代の江南地方では訴訟等の法律に関する私立の専門学校が作られ、司法書士にも似た専門家が存在して民衆の權益を守っていたということである<sup>7)</sup>。周濂溪が赴任した地域は、今日でいえば、江西、湖南、四川、広東であるが、江西にはあわせて四度出仕しているのが目立っている。江南には及ばないまでも、商品経済の発展のなかで、人々の欲望が衝突する場面はいたる所で展開されたことであろう。周濂溪の『通書』は、35の項目に解説が施されたいわば儒教哲学辞典ともいふべき不思議な体裁の作品だが、その一つに「刑」が取り上げられている。もちろん礼楽刑政と熟するように儒教概念には違いないのだが、他の項目との釣り合いからいえば、少しく奇異の感を拭えない。その一節に次のような文言が見える。

○民之盛也，欲動情勝，利害相攻。不止則賊滅無倫焉。故得刑以治。情偽微昧，其變千状。苟非中正明達果斷者，不能治也。

「中正明達果斷者」とは周濂溪の体験から吐き出された自負のことではあるまいか。

端溪といえば硯石で有名だが、これに関わっての周濂溪のエピソードが記録されている。それは度正の『周濂溪先生年表』<sup>8)</sup>に見えるもので、濂溪55歳、提点広南東路刑獄に抜擢され、知州を指揮する権力を持つまでに昇りつめた時のことである。「杜詒，端州に知たりしが，百姓の石を采るを禁ず。独だ知州の占断するのみにして，人号して杜万石と為す。先生其の民の利を奪うを惡み，因りて為に起請せるに，凡そ州に仕うる者は，硯を買うに二枚を過ぐるを得ること母かれ，と。遂に著令と為る。」と。黄庭堅はこの時のことをFで、「其れ使者と為り，官吏を進退せしむるに，罪を得る者は自ら冤ならずと

以えり」と記し、同時にまた「仕籍に権輿して，小官を卑しとせず，職として其の憂いを思う，法を論じては常に民と与にせんと欲し，訟を決して情を得れども喜ばず，其の小吏と為りて江湖の郡県に在ること，蓋し十五年なり，至る所輒ち伝うること有り」とも述べており、周濂溪の親民官としての姿が適切に要約されているように思うのである。

## 二

『通書』の「師」，「師友」(上・下)にいう。

○聖人立教，俾人自易其惡，自至其中而止矣。故先覺覺後覺，闇者求於明，而師道立矣。師道立則善人多，善人多則朝廷正，朝廷正則天下治。  
(「師」)

○人而至難得者，道德有於身而已矣。人至難得者有於身，非師友則不可得也已。(「師友上」)

○人生而蒙，長無師友則愚。是道義由師友有之，而得貴且尊。其義不亦重乎，其聚不亦樂乎。  
(「師友下」)

「人は生れながらにして蒙なれば，長じて師友無きときは則ち愚かになるなり」。「学ぶ」こと，換言すれば「学ぶことで人ははじめて人となり得る」ということ，すなわち「教育」という営みこそは儒学の淵源である孔子が最も関心を寄せた事柄の一つであった。この教育への関与は孔子を継承する周濂溪の学問を考える上で見落とせないばかりか，教師としての周濂溪はその人物像を描く上で欠かせない要素である。そもそも北宋時代は科挙制度が整備され，出版・印刷業の盛んなると並行して，昇官発財のための学習熱が人々の間に高まったとされる。そのような時代背景の中で，孔子が拓いた教育の原点に帰って「教え学ぶ」ことの社会的な意味を考え抜いた一人が周濂溪であると言えよう。

後に述べるように，濂溪と友人の関係にあったと察せられる王安石に「仲永を傷む」という佳編がある。師友との学び合いを得なかったが為に天与の才能を無駄に費やし，凡人と成り果てた一人の神童の物語であるが，そこに窺われるのは教育の力への信頼であり，教育機関の必要性への痛切な認識であり，これが後の科挙改革の一つである太学改革の情熱の原点ともなった訳であるが，王安石に見られる教育への関心，このいわば共通感覚めいたものがこの時代の思想家には認められるように思う。もちろん言葉は簡約ながらそのような教育観を開陳したのが冒頭の濂溪の言葉と見てよかろう。

さて，A～Gの中で，教師としての周濂溪を我々

に示してくれるのは、C・Eである。そこでこれらの資料によりながらその教師像を考えてみたい。

○惟愚不肖，幼也侍側。公故憐之，以勉以飭。称譽所長，以灌以植。(C)

○吾友周君惇頤茂叔，以駕部員外郎通判永州，来攝邵事，患其学舎弊陋，乃択地於牙門之東南，因故学之材，徙而新之。郡民悦喜，荷筆食，来其役，逾月而成。中略 今周君能知先王之本務，而勇於敢為。邵之士能知周君之用心，而鋭於進学。中略 周君好学博通，言行政事，皆本之六經，考之孟子。故其所施設，卓卓如此。(E)

Eは孔延之，Cはその子孔武中の文である。延之は孔子46世の子孫で，江西新淦の人。C，それに武中の弟文仲のDの記述から，孔氏は濂溪が分寧主簿時代に親交を持ち，以後交友関係にあったと推測される。ついでに言えば，孔延之の墓誌銘は曾鞏が書き，Aの潘興嗣と曾鞏とは友人関係にあり，さらに二人はともに王安石とも交遊を持ち，加えてこれらの人はいずれも江西の出身である。周濂溪がその30年の仕官生活で実に四度にわたり江西に出仕していることは，廬山にひかれ九江についの住家を定めたという経緯のみでは説明しがたく，江西の人々との有る種緊密な交友の濃度というものを感じさせる。ともあれ，EもCも，周濂溪が教育を重視し，教師としての能力にも優れていたことを示すものである。

誰でも，多感な少年期に薫陶を受けた記憶は終生忘れ難く，優れた教師であればなおさらである。筆者は前稿で，いわゆる周程授受論について卑見を述べたが，周濂溪を教師として眺めた場合，その教師像を鮮やかに提示するのが二程の発言であることに気づくのである。郴県令の時のこと，「李初平」という武官出身の上官（知郴州）は，大いに濂溪の人物を評価して属官扱いをしなかった。李が急逝後，濂溪はその恩義に答えて葬儀すべてを取りしきり李の遺子の養育にも心を砕いたという。このエピソードは，A・Bともに記すのであるが，実は程伊川に次のような発言がある。

○先生曰，「古人有言曰，『共君一夜話，勝讀十年書』。若一日有所得，何止勝讀十年書也。嘗見李初平問周茂叔云，『某欲讀書，如何』。茂叔曰，『公老矣，無及也。待某只說与公』。初平遂聞說話，二年乃覺悟」。(遺書22上・伊川雜錄・宜興唐棣彦思編)

度正の年表では「嘗に先生の学を論じるを聞き，嘆じて曰く」という状況説明が加わっている。正式の

学問を修めなかったらしい李は，周濂溪の「説（＝語）る」のを聴き続けることで何事かを深く理解することができたというのである。

問題はなぜこのエピソードを，A・Bは取り上げないのであろうか。兩人とも知らなかったのか，それとも無視したのか。二程が周濂溪に師事したのは慶暦六年（1046），程明道15歳，程伊川14歳の時だが，この年の冬には濂溪は南安軍司理參軍から郴県令へ転出している。伊川は師事後，周濂溪と再会した気配がないから，郴県令の時の李初平のエピソードを，伊川はどのようにして知り得たのか。唐棣の従学は元符三年（1100）以降ゆえに，この発言は濂溪師事より54年後のことである<sup>9)</sup>。つまりこの話柄はそれほどに記憶するにふさわしいものであったということだ。そこで，「嘗て見るに，李初平の周茂叔に問うて云わく……」という文言に着目すると，これはその場に居合わせたという雰囲気表現ではあるまいか。してみると，二程はしばらくの間，周濂溪に師事すべくその転勤にともなって行を共にしたということでないか。

「君と共に一夜話すは，十年の書を読むに勝れり」とは味わい深いことばだが，程伊川に関する次のようなエピソードが記録されている。

○伊川先生無恙時，門人尹焞得朱光庭所鈔先生語，奉而質諸先生，先生曰，某在，何必讀此書。若不得某之心，所記者徒彼意耳<sup>10)</sup>。

文字は思いを伝えない。思想の伝授の最もプリミティブな，しかし最も本質的な在り方は，口から発せられることばである。なぜなら思想のことばは発する人の全身全霊をかけてのものだから，受け取る側も自分のすべてをかけて受け取らねばならない。聖書も仏典も語られたものである。おそらく，伊川が言いたいのはそのようなことであろう。

周濂溪は「語る」という営みを通じて人を「感悟」させる能力を持っていたらしい。合州在職の折，友人となり，妹を濂溪の後妻に嫁がせた蒲宗孟はBの冒頭で「周君と語ること三日三夜なり。退きて嘆じて曰く，世に斯る人有らんか。真に吾が妹の敵なり，と。」と記し，また合州の任解かれて開封に赴いた折，当時都に居た王安石との会見を記した度正の年表には「先生東に帰りし時，王荆公安石は年三十九にして，提点江東刑獄なりしが，先生と相遇し，語ること日夜を連ねたり。安石は退きて精思し，寢食を忘るるに至る」とある。真否は確認し難いが，教師としての周濂溪を考えるには格好の話柄であるように思う。

そして、これは後々朱子によって周程授受を確信させる原因にもなったエピソードが程明道の発言として弟子により記録されている。すなわち、

○昔受学於周茂叔，每令尋顔子・仲尼樂處，所樂何事。（遺書2，元豊己未呂与叔東見二先生語）顔回の尊重は濂溪思想の特色をなし、二程に引き継がれてより洗練されていくばかりでなく、曾鞏、さらには蒲宗孟にもそれに関わる発言を見い出せる<sup>11)</sup>ごとくに、北宋中期になって思想界の注目を浴びるテーマであつたらしく、周濂溪の学問がそのような時代の思潮に深く関わるものであつた証左でもあるが、「顔子、仲尼の楽しむ處、楽しむ所何事かを尋ねしむ」その問い方には、教師としての力量が示されているよう。

### 三

黄庭堅の作品Fは、濂溪の二子と親交を結んだのが縁で書かれた。同序の冒頭「春陵の周茂叔、人品甚だ高く、胸中灑落、光風霽月の如し」は濂溪像の核心を描くものとして人口に膾炙するが、実は同序の終りに「茂叔、仕宦すること三十年と雖も而れども、平生の志は終に丘壑に在り」の文句があり、続けて「ゆえに余の詩詞は世故に及ばずして、猶お其の音塵を髣髴するがごとし」と結ばれている。そもそも、濂溪資料として紹介してきたA~Gのうち、周濂溪と最も親密であつた潘氏のAと蒲氏のBには、「平生之志終在丘壑」を補足する次のような文字が見られる。

○嘗過潯陽，愛廬山，因築室溪上，名之曰濂溪書堂。每從容為余言，可止可仕，古人無所必。束髮為学，將有以設施，可沢於斯人者。必不得已止未晚也。此濂溪者，異時与子相從於其上，歌詠先王之道，足矣。此君之志也。（A）

○生平襟懷飄灑，有高趣，常以仙翁隱者自許。尤樂佳山水，遇適意處，終日徜徉其間。酷愛廬阜，買田其旁，築室以居，号曰濂溪書堂。乘興結客，与高僧道人跨松蘿，躡雲嶺，放肆山巔水街，彈琴吟詩，經月不返。（B）

○吾嘗謂，茂叔為貧而仕，仕而有所為，亦大概略見於人，人亦頗知之。然至其孤風遠操，寓懷於塵埃之外，常有高棲遐遁之意有，則世人未必尽知之也。於其死，吾深悲焉。（B）

潘興嗣については前稿で幾つかの資料をもとにその人物像を検討したので省略に従うが、今その結論だけを繰り返せば、「その隱逸志向から仏教や老莊の書に親しむ一方で、当時の儒学（学問）の在り方を

憂いて、その革新を願う一人」であつたらしく、Aの一節「此濂溪は、異時、子と相に其の上に從いて、先王の道を歌詠すれば、足れり、と。此れ君の志なりき。」を参照すると、周濂溪とは志を同じくする間柄であつたようだ。これに対して、蒲宗孟の描く濂溪像は、より一層の隱逸志向を示し、仏僧や道士との交遊を明言するのは儒家の枠を破るといえよう。蒲氏は新法派であるとともに、蘇軾とは同じく蜀の出身であることから親交があり、かつ濂溪の義兄である。それゆえ、蒲氏の文章には溢美の誇張はありえても悪意の中傷を考え難いので、濂溪像の一端を示すものであろうことは疑えない。その意味でも興味深いのは、黄庭堅の師匠であり、蒲氏と親交のあつた蘇軾の濂溪像が道家的イメージで染め上げられているということである。蘇軾の作品Gの一節に次のような詩句が見える。

○先生本全德，廉退乃一隅，因抛彭沢米，偶似西山夫，遂即世所知，以為溪之呼，先生豈我輩，造物乃其徒，（G）

Gについては、すでに松川建二氏の研究がある<sup>12)</sup>。氏は「周敦頤に纏わる道家的雰囲気」を究明すべくGにかかわる関連資料を検討され、あわせてGの試訳を示されつつ、周濂溪に纏わる道家的雰囲気を「朱熹による“粉飾”の洗い落とされた周敦頤の素像」であると評価されている。Bが書かれたのは熙寧六年（1073）、Fが元豊4年（1081）、Gが元祐4年（1089）である。黄庭堅が蘇軾と関わりをもつのがFの書かれた頃であるのが注意される。Gは周濂溪の次子（周焘）が蘇軾と同僚であつたのを機縁に書かれたらしく、とすればその7年前に門人の黄庭堅にF「濂溪詩并序」があり、それが「丘壑」に志した濂溪像を詩的に描いたものであることを恐らく蘇軾は知っていたであろう。さらに蒲宗孟を通じて濂溪の人物像を聞かされていたかもしれない。とすれば、B・F・Gに共通してみられる道家的雰囲気は濂溪像の一面とみてよいだろう。

さて、周濂溪は40代の前半を、江西南昌の知県から拔擢されて、知州の補佐官として四川合州の僉書判官庁公事として蜀に赴任する。『宋代蜀学研究』<sup>13)</sup>によれば、四川は陳搏、陳搏に学び蜀学の基を築いたとされる張詠、【悟真篇】の張伯端などの道家的人士と関わりの深い土地であり、いずれも周濂溪との繋がりが指摘できるという。すなわち、張伯端は濂溪の岳父陸詵と密な交遊があり、陸詵の婿である張履は張伯端の学統を引き継ぎ、陸詵の子の師閔にそれを伝えたといい、陸詵との縁であらう濂溪が湖



南の郴県令、桂陽令であった時に張伯端と関係を持ったとされる。蒲宗孟は張伯端の友人で、周濂溪が後妻に蒲宗孟の妹を迎えるのもこの四川時代のことである。張詠と周濂溪との関わりについては朱子に発言があり、松川氏も詳細に検討されている。しかし、この人脈図にはそれを確定する資料が欠けており、年代的にみて不都合と思える点も少なくなく、推定の域を出ないものであり、今後の課題であろう。

道家的雰囲気は周濂溪の素像であったとして、一つ思い出されるのは、程明道の次の発言である。

○詩可以興。某自再見茂叔後，吟風弄月以帰，有吾与点也之意。（遺書3・謝顛道記憶平日語・明道先生語）

『論語』先進篇の、「暮春には、春服既になり、冠者五六人、童子六七人、沂に浴し、舞雩に風し、詠じて帰らん、と。夫子喟然として嘆じて曰く、吾は点に与せん、と」をふまえたものだが、この二つの話柄に漂っている雰囲気は何と表現しようか。山水の美に親しみ、自然との融合に喜びを見だし、人間が自然の一部である、いな自然そのものであることを自得体認することを目指した、北宋中期に起こった新儒学は確かにこのような雰囲気を是認しているように思うのであるが、「道統」観念にこだわらぬ限り、それを「道家的」と呼んでもかまわず、むしろそれが新儒学の特色でもあると言ったほうが事柄の正しい説明であろう。

### 結びにかえて

「此の巻には間々暁らむべからざる処有り。今は悉く之を存して、敢えて刪去せず」と朱子が注記する『河南程氏遺書』巻6の第79条に「周茂叔は窮禪の客なり」とある。朱子にしてみれば不可解千万であったろう。『伊洛淵源録』巻1「周濂溪先生遺事14条」に採られていないのはもちろんだが、しかしこの断片はなかなか意味深長ではあるまいか。

「愛蓮説」は簡約な文章ながら、濂溪の高潔な人柄をよく表現しているが、従来その思想的背景として華嚴経や法華経などの仏典が参照されてきた。なぜなら蓮華は仏教的真理の比喩として常用されるからである。しかし、梁紹輝氏によれば、周濂溪言う所の蓮は、むしろ詩経いらい愛され親しまれてきた中国の土俗的な雰囲気を濃厚にもつ蓮のイメージをベースにしたものであるという<sup>14)</sup>。周濂溪と仏教との関わりを強調するのが仏教側の資料であることは周知のことだが、関わりをそのものを否定しても意味がないとはいえ、ことさらに仏教の論理にひきよ

せて濂溪思想をとらえるのにはもっと慎重であるべきだろう。

人間は多面体であるとの観点から、周濂溪の人物像を、司法官吏+教師+隠遁志向者の三点から見てきた。ではこの三点を三角柱の底辺の三点として、その頂点にあたるのが周濂溪その人の原像と考えるならば、それはどのようなものであろうか。次の程明道の発言を御覧願いたい。

○周茂叔窓前草不除去，問之云，与自家意思一般。（遺書3・謝顛道記憶平日語・明道先生語）

○観天地生物氣象。周茂叔看。（遺書6）

窓辺にまで生い茂る雑草を先生はなぜ切らないのか、と不思議でならなかった明道少年は、思い切って尋ねてみたに違いない。そして何より先生の答えは意想外のものであったろう。「私の意思と同じだからだよ」と。続けて「天地が万物を生み出すその様子を観察しなさい」とも付け加えたのであろうか。鋭敏な少年の心にこれらのことばは感動とともに記憶されたに違いない。

このエピソードは、周濂溪の思想が何を課題としたものであったかをよく示しているように思う。自然と人間とを一つらなりのものとしてとらえ、自然が不断に命を生み命をはぐくみ続けることと、そのような自然の意思を受け継いだ人間が自ら生きようと意思することは一つのこと、同じことだという了解の仕方がここにはある。「氣象」という語は二程が、そして朱子が大いにこだわった言葉である。そして、「胸中灑落，如光風霽月」という黄庭堅の濂溪像を「善く有道者の氣象を形容す」といったのは朱子の師の李延平であった<sup>15)</sup>。してみれば、極めて単純な結論ながら、周濂溪が自ら願った、というか、願望としての周濂溪の原像をもっともよく形容するのが「胸中灑落，如光風霽月」という詩句であったということになる。少なくとも周濂溪の思想や人生の課題がそのような人間となることにあったろうことは疑えない。

### 注

- 1) 拙稿「周濂溪と二程」（久留米高専紀要第13巻第2号）参照。なお、本文中「前稿」というのはすべてこの論文を指している。
- 2) 吉田公平氏『陸象山と王陽明』（Ⅱ・四「無極・太極論争」）（101頁～102頁）参照。
- 3) 周濂溪に関わる引用文は、特に断らない限り、A～Gを含めて正証堂全書本『周濂溪集』および近世漢籍叢刊『周子全書』に拠るが、『全宋文』（巴蜀出版社刊）、『山谷集』（四部備要本）、『蘇軾詩集』（中華書局刊）を適宜参照した。また、二程の周濂溪に関する発言等は『二程集』（中華書

- 局刊)を底本としている。
- 4) 官職等, 官制に関する記述は, 龔延明『宋代官制用語辞典』(中華書局刊)に拠るものである。
  - 5) 楊国宜校注『包拯集校注』(「彈王遠一」, 黄山書社刊)
  - 6) 呂陶「送周茂叔詩序」(『周濂溪集』卷7)
  - 7) 郭東旭『宋代法制研究』(河北大学出版社刊)の「緒論」を参照。
  - 8) 吳洪沢編『宋人年譜集目・宋編宋人年譜選刊』(巴蜀出版社刊)なお, 周濂溪の伝記的事項についての理解は梁紹輝『周敦頤評伝』(南京大学出版社刊)に負う所が大きい。
  - 9) 朱子の「伊川年譜」等からの推定である。
  - 10) 近世漢籍叢刊『晦庵先生朱文公文集』卷75「程氏遺書後序」。
  - 11) 『全宋文』卷1629・蒲宗孟「樂宗顔字序」, 『曾鞏集下』(中華書局刊)卷45「王無咎字序」等参照。
  - 12) 松川健二氏『宋明の思想詩』(Ⅱ造物乃其徒 一つの周敦頤資料 北海道大学図書刊行会刊)参照。
  - 13) 胡昭曦等『宋代蜀学研究』(巴蜀書社刊)の「第一章・一陳搏及其閩南学派・3周敦頤之伝」および「第二章・五濂洛理学入蜀」などを参照。
  - 14) 梁紹輝氏 前掲書(87頁~97頁)参照。
  - 15) 近世漢籍叢刊『晦庵先生朱文公文集』卷97「延平李先生行状」
- ~~~~~

## 教育研究報告

第9回高専フォーラム  
— 21世紀に向かって! —

中 畠 裕 之  
鎌 田 吉 之 助  
馬 越 幹 男  
鳥 井 昭 美\*

The 9th Forum of National College of Technology in Kyushu.  
— Towards the 21th Century. —

Hiroyuki NAKASHIMA  
Kichinosuke KAMATA  
Mikio UMAKOSHI  
Akiyoshi TORII\*

## 1. はじめに

近年の小中高生の理工系離れに対する対策を含めて高専教育のあり方について再度検討し直す時期が来ていると思われる。久留米高専もこれらの一つの策として、久留米地区が活力ある地域社会の形成を推進している現状に伴い、地域企業、公的研究機関および大学との連携による教育研究の多様化・活性化に寄与するために以下のようなフォーラムを開催してきた。

すなわち、最近の化学を中心とした話題をテーマにした久留米高専フォーラムを平成3年より3回にわたって開催した。以後4回目からは九州地区高専の活性化を図る目的で九州地区高専フォーラムとして九州地区高専の輪番制で開催し現在に至っている。

参加者は主として企業技術者、大学・高専の教官、学生それにフォーラムのテーマによっては初等、中等教育関係の先生方および一般市民である。

今回、一回りして再び久留米で開催されることになった。そこで今回は2日間にわたり、1日目は老人介護問題を含め福祉に関連する内容で久留米大学文学部の先生方に、2日目は各地域企業との連携による研究開発の状況を九州内の高専の先生方に講演頂いたのでその概要を以下に示す。

## 2. プログラム

日時：平成11年11月12日（金）、13日（土）

会場：ホテルニュープラザ  
（久留米市六ツ門16-1）

主催：久留米工業高等専門学校  
日本化学会九州支部  
九州北部学術研究都市整備構想推進会議  
久留米市久留米学術研究都市づくり推進協議会  
久留米大学文学部

## プログラム

（1日目）

13:00-13:05

進行連絡事項 久留米市総合政策部総合政策課  
課長補佐 奈良崎洋治

13:05-13:15

開会挨拶 久留米市長 白石勝洋

13:15-14:25

講演Ⅰ「21世紀におけるテクノロジーと福祉の出会い」

講師 久留米大学文学部教授 保坂恵美子

〈座長〉久留米工業高等専門学校

庶務課長 堀口 勲

14:25-15:35

講演Ⅱ「21世紀に向けた福祉機器開発とリサイクル」

講師 久留米工業高等専門学校

一般科目理科系教授 入江和隆

〈座長〉久留米工業高等専門学校

一般科目理科系教授 坂 翁介

15 : 35—16 : 45

講演Ⅲ「21世紀にむけての介護保険制度の展望と課題」

講師 久留米大学文学部助教授 松尾誠治郎

〈座長〉久留米工業高等専門学校

学生課長 尾崎行春

16 : 45—16 : 55

閉会挨拶 久留米工業高等専門学校長 柳 謙一  
(2日目)

13 : 00—13 : 10

開会挨拶 久留米工業高等専門学校長 柳 謙一

13 : 10—14 : 10

講演Ⅰ「産・学連携による高専のハイテク技術の紹介をリフレッシュ教育面から見つめて」

講師 久留米工業高等専門学校

生物応用化学科教授 鳥井昭美

〈座長〉久留米工業高等専門学校

生物応用化学科教授 鎌田吉之助

14 : 10—15 : 10

講演Ⅱ「河川の生物化学的浄化」

講師 北九州工業高等専門学校

物質化学工学科教授

技術開発研究センター長 畑中千秋

〈座長〉北九州工業高等専門学校

物質化学工学科教授 磯村計明

15 : 10—15 : 20 休憩

15 : 20—16 : 20

講演Ⅲ「鉱石探索の長距離坑道 (5 km 以上) に適用可能な運搬車両の安全運転制御ハイテク技術」

講師 有明工業高等専門学校

機械工学科教授 川寄義則

助手 高橋将徳

〈座長〉有明工業高等専門学校

物質工学科教授 吉武紀道

16 : 20—17 : 20

講演Ⅳ「コンパクトな無索式海中ロボットの開発と水産資源の識別～総合技術教育研究センターでの取り組み～」

講師 佐世保工業高等専門学校

電気工学科講師 長嶋 豊

〈座長〉久留米工業高等専門学校

生物応用化学科助教授 中嶋裕之

17 : 20—17 : 30

閉会挨拶 久留米市

### 3. フォーラムの紹介

1日目は福祉問題に関する以下3テーマでの講演が開かれた。その概要を示す。

講演Ⅰ「21世紀におけるテクノロジーと福祉の出会い」

講師 久留米大学文学部教授 保坂恵美子

近年の刹那主義, 快楽主義, 状況主義, 物質主義および弱肉強食の精神は現代人の心を支配して生活世界の「負の原像」を作り出している。テクノロジーはこのような「負の原像」を人々の心に刻印する媒介ともなり得るが, 地球環境破壊から人類を救出したり, 平和産業・福祉産業・バリアフリーの住環境など, 人類の福祉向上に貢献する知識・技術の体系にもなり得る。福祉とテクノロジーとの出会いは後者との結びつきを強めることを意味するのだと述べられた。実際には現在の都市構造に, ゆとりの空間やバリアフリーの視点を加えていくことが福祉工学の課題であり, このようにして福祉とテクノロジーとが連携すれば21世紀における在宅介護をより豊かに実りあるものにするばかりでなく, 上述した「負の原像」によって枯渇したテクノロジーのロマンの再生にも有効ではないだろうかと思われた。

講演Ⅱ「21世紀に向けた福祉機器開発とリサイクル」

講師 久留米工業高等専門学校

一般科目理科系教授 入江和隆

本講演では英国のクリニックである“The David Hart Clinic”とそこで制作された障害児歩行機器(Hart Walker)の紹介, 久留米高専でのOrthotic Equipment研究会の活動と今後の展開, ならびに福祉機器のリサイクルについてお話頂いた。“The David Hart Clinic”で製作された歩行器は, 両手



写真1 講演中の久留米大学文学部 保坂恵美子教授

が自由な状態で歩け、一度歩行器にセットすると絶対に倒れない構造になっている。但し、全てが手作りであるため供給不足が現状である。そこで、演者らは Hart Walker の日本での普及を目指して、1998年11月、Orthotic Equipment 研究会を立ち上げられた。参加機関は、久留米高専物理学教室、機械工学科、体育学教室、柳川リハビリテーション病院/学院、小郡市こぐま学園である。現在、The David Hart Clinic に許可を得て試作を進めている。また、福祉器具は装着者の体格の向上とともに使用できなくなる問題があるため、福祉器具のリサイクルが必要ではないかと結ばれた。

### 講演Ⅲ「21世紀にむけての介護保険制度の展望と課題」

講師 久留米大学文学部助教授 松尾誠治郎

高齢社会が到来した現在、これに対応すべく介護保険制度が開始された。本講演ではその制度の展望と抱える課題について話された。



写真 2 講演中の久留米工業高等専門学校  
入江和隆教授



写真 3 講演中の久留米大学文学部  
松尾誠治郎助教授

高齢者は2025年には27.4%に達すると予想される。この中で、介護を要する高齢者は今年280万人である。このような現状を踏まえて介護保険制度が始まった訳だが、特に、介護要員の不足、調査員等の不足、これを解消するための質の低下、サービスの地域による偏りの問題、認定調査内容の不的確さ、福祉機器や住宅改造（バリアフリー）の開発抑制など様々な課題を残している。今後、介護保険制度推進の中で、福祉機器の開発、サービスのガイドライン作り等利用者保護とサービス向上の視点でネットワーク化を進めること、住民・NPO 的ボランティアによる支援活動等を活発に行い、高齢社会全体を豊かにする、要援護者を抱える家族や本人の組織化、ワーカビリティを向上させる、介護保険制度保持のための安定財源確保を研究するなどの点に留意し、よりよい制度としての確立が必要であると述べられた。

2日目は九州の高専での地元企業との共同研究の成果を発表された。

### 講演Ⅰ「産・学連携による高専のハイテク技術の紹介をリフレッシュ教育面から見つめて」

講師 久留米工業高等専門学校

生物応用化学科教授 鳥井昭美

久留米高専では、高専の活性化及び文部省の唱うリフレッシュ教育の推進を進める上で鳥井教授を中心にいくつかの活動を行ってきた。本講演ではその流れと概要について述べられた。

現在、各高等教育機関において初等・中等教育の生徒が理工系離れを起こしていることに危惧の念を持ち、高専の教育・研究内容を理解し把握していただくためには、中学校の先生方、市民の方々及び地域企業の技術者の皆さん方との交流を行うことによ



写真 4 講演中の久留米工業高等専門学校  
鳥井昭美教授

り今高専では何を指して教育・研究に勤しんでいるかを理解して戴くことが大切であることから、本高専フォーラムを開催することとした。先ず、平成3年から3回久留米高専において開催した久留米高専フォーラムを皮切りに、久留米以外に化学系学科を有する九州内の6高専が参加して各校持ち回りの輪番制にし、高専フォーラムとなったのである。こうして9回を迎えた今回、久留米に一巡したわけである。何れの回においてもその地区独自の形でなされたことが印象的であった。また、平成10年度の協議会においては化学系学科のない大分・熊本電波並びに鹿児島高専の参加が決定したことは、学科を越えての活性化という点で一つの進展であった。因みに第10回高専フォーラムは熊本電波高専で開催されるべく準備が整っている。

この他、全国規模でのシンポジウムや佐賀県の活性化を目指した科学技術セミナー等があるが、それぞれ連携しつつ高専の活性化並びにリフレッシュ教育の推進という同一目標を掲げながら発展していくことは高専の発展にもつながるであろうと結ばれた。

講演Ⅱ「河川の生物化学的浄化」

講師 北九州工業高等専門学校

物質化学工学科教授 畑中千秋

近年、湖沼や湾等の閉鎖性水域の富栄養化の原因物質である窒素、リンの除去が必要となっているが、これに関与する硝化菌および脱窒菌の増殖速度は遅く、好気・嫌気の適切な条件設定が難しいことにより大規模な処理設備が必要となる。また、畜産における尿尿等の汚水処理は敷地面積の制限、悪臭等衛生管理の問題が発生しており緊急の対応が必要となる。そこで、用地面積、設備投資が少なく済む高効率の汚水処理プロセスの開発を目的として、演者

は新方式の中空糸型バイオリアクターを開発され、その報告をされた。畜産排水浄化の条件を検討したところ、原水を5～7倍に希釈し、内部空気圧及び外部空気流量を調整することにより処理効果が上がると思われた。また、硝化菌はBOD 0 ppmで馴養後使用すること、アンモニウム源として硫酸アンモニウムを用いることが適当であった。同リアクターを用いれば高効率硝化リアクターが実現できると思われる。

講演Ⅲ「鉍石探索の長距離坑道(5 km以上)に適用可能な運搬車両の安全運転制御ハイテク技術」

講師 有明工業高等専門学校

機械工学科助手 高橋将徳

炭坑巻き上げ設備は、採炭のために数kmにわたり掘られた炭坑の中を炭坑作業員が移動する手段として利用されてきた運搬設備である。同設備は移動距離が5 km以上もある立坑(地面に垂直に掘られた炭坑)型の巻き上げ設備であるため(1)100mから5 km以上の人車の移動を一本のワイヤロープで行う際、ワイヤロープ長の変化や、人車に搭乗する作業員の数の変化にコントローラが十分に対応できない、(2)ワイヤロープが非常に長いためにロープの伸縮運動が無視できず、ローリングと呼ばれる振動が巻き取りドラム停止時に残留する、等の問題がある。そこで、本研究では適応制御手法に基づいた制御機能を用いた。同方法は、制御対象のパラメータの変化をオンラインで把握し、その結果をもとに常に制御系全体が最適な状態となるように自動的にワイヤロープの重量、乗員数、ドラムの慣性モーメント等の変化といったコントローラパラメータを調整する機能を備えた手法である。実験したところ、

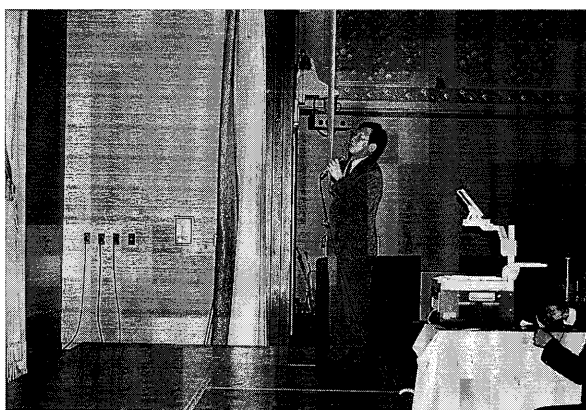


写真5 講演中の北九州工業高等専門学校 畑中千秋教授



写真6 講演中の有明工業高等専門学校 高橋将徳助手

従来法より高い制御効果が得られた。

講演Ⅳ「コンパクトな無索式海中ロボットの開発と水産資源の識別 ～総合技術教育研究センターでの取り組み～」

講師 佐世保工業高等専門学校

電気工学科講師 長嶋 豊

長崎県が、海に恵まれ、沿岸、沖合域の多様な漁場特性を持つ水産県であることから佐世保高専は海洋関連機器の研究開発を行う目的で総合技術教育研究センターを発足した。この中で自律型海中ロボットシステムの開発および魚の斑紋に注目した魚種識別システムについての概要を説明された。

従来型の無索式海中ロボットは、多くの推進器及び制御装置が搭載されているために重量やエネルギーも大型で支援船、運用コスト等大がかりである。そこでラジコンヘリコプター用の機構部品や小型DCサーボモータの採用、制御部へのFPGA素子の使用、4個の機能モジュールとして超小型ワンチップマイコンの採用などの工夫を行った。この結果、全長約85cm 重量約75kgの小型海中ロボットが完成した。また魚の体長、幅、周囲長、面積等の物理量の比、特定領域の色彩を計算する魚種識別は、から特徴パラメータを計算して決定する従来の方法は実用化されていない。そこで、魚の特徴として表面の斑点、鱗の形状及び斑模様等の斑紋に着目し、これらの特徴抽出にモルフォロジーフィルターを適用することにより魚類を識別することを試みた。同方法による識別は識別率が90%以上と有効であるが、特徴抽出時間を短縮するためにモルフォロジーフィルターの改善、処理アルゴリズムの改良等が今後の検討事項であると述べられた。

#### 4. おわりに

今回のフォーラムは、担当校が九州の高専を一巡したこともあり2日に亘って企画した。1日目は、現在環境とともに問題視されている福祉についての講演を3件頂いた。高齢化社会になり特に介護保険制度の開始に伴い大変参考になる話であった。講演の中にもあったが、久留米大学文学部の先生方と久留米高専との間で接点を得られたことも今後の福祉を共に考える上で進展したことではないだろうか。現に、久留米工業大学等も加えて「久留米フォーラム」として福祉関連のテーマを中心に開催する動きもあり、久留米市での文系及び理系の学校、企業関係者等の連携による新たな発展が見られそうである。これは、本フォーラムの目指すところでもあり、文部省の唱う産学官の連携とリフレッシュ教育に即した理想的な試みではなかろうか。

2日目は、九州の高専においてそれぞれの地域企業との共同研究の内容を講演いただき、高専の地域への貢献が如何にあるべきかを理解いただく内容であった。何れも各地域産業の特色にあったテーマで高専もタイアップしていることが御理解いただけだと思う。久留米高専も上記の福祉関係と平行してさらに地元企業との連携を深め、共同研究を積極的に進めることにより市全体の発展に努めるべきではなかろうか。

2日間にわたり開催された高専フォーラムは、久留米市周辺の高専機関・公設試験研究機関・企業関係者並びに市民の方々に多数参加頂き、盛会裡に終了した。

最後に本フォーラムの開催に御協力下さった久留米市を初めとする関係者の皆様並びに久留米大学文学部の先生方に感謝いたします。

## 教育研究報告

第8回科学技術セミナー  
 — ハイテクノロジーの現状 高専のハイテク技術  
 地域産業との技術革新を目指して —

中 篤 裕 之  
 坂 翁 介  
 鎌 田 吉 之 助  
 加 藤 秀 文  
 鳥 井 昭 美\*

The 8th Seminar of Science and Technology  
 — The Current Trends in High Technology  
 High Technology in National College  
 Trying for the Technical Innovation with a Regional Industry —

Hiroyuki NAKASHIMA  
 Ohsuke SAKA  
 Kichinosuke KAMATA  
 Hidefumi KATOH  
 Akiyoshi TORII\*

## 1. はじめに

本科学技術セミナーは、佐賀県地域産業支援センターとの共催で毎年開催されており第8回を迎えた。主に企業の方々を講師として様々な立場からの技術開発、アイデアについて御報告頂いてきた。メインテーマも第4回からは環境問題に重点を置き、リサイクル、省エネルギーにおける各企業の工夫・技術開発について、また各分野での新素材の研究開発についての多数の講演をいただいた。このため、佐賀県を中心とした企業、公設試験研究機関、教育機関等を中心に常に100名程度の参加者があった。特に第6回は、久留米工業高等専門学校の卒業生の方々を講師に迎えて行ったことにより佐賀県の中等教育機関の先生方に久留米高専のアピールをできた点でも意義あるセミナーとなった。第8回である今回は、全国の高専の中で、各地域企業との共同により進められている研究を中心に講演頂いた。

## 2. プログラム

日時：平成12年1月14日（金）

会場：マリトピア（佐賀市鍋島町八戸）

主催：国立久留米工業高等専門学校

（財）佐賀県地域産業支援センター

プログラム

13：00-13：10

開会挨拶 久留米工業高等専門学校長 柳 謙一

13：10-14：10

講演Ⅰ「今！未来への！環境関連の新技术」

講師 東京工業高等専門学校教授 西宮辰明

〈座長〉久留米工業高等専門学校教授 坂 翁介

14：10-15：10

講演Ⅱ「新炭素繊維による環境浄化 水！魚の増殖！」

講師 群馬工業高等専門学校教授 小島 昭

〈座長〉久留米工業高等専門学校助教授 中篤裕之

15：10-15：20 休憩

15：20-16：20

講演Ⅲ「コンパクトな無索式海中ロボットの開発と水産資源の識別」

講師 佐世保工業高等専門学校講師 長嶋 豊

〈座長〉久留米工業高等専門学校教授 加藤秀文

16：20-17：20

講演Ⅳ「高専のリフレッシュ教育！産・学・官の連携 今！その展望！」

平成12年5月29日 受理

\*元 久留米高専



講師 久留米工業高等専門学校教授 鳥井昭美  
 〈座長〉久留米工業高等専門学校教授 鎌田吉之助  
 17:20-17:30

閉会挨拶 財団法人佐賀県地域産業支援センター  
 専務理事 高橋 勝明

### 3. セミナーの紹介

以下に講演者 4 氏の講演についての概要を記載することにする。また、各講演の試料を以下に示す。

講演 I 「今！未来への！環境関連の新技術」

講師 東京工業高等専門学校教授 西宮辰明

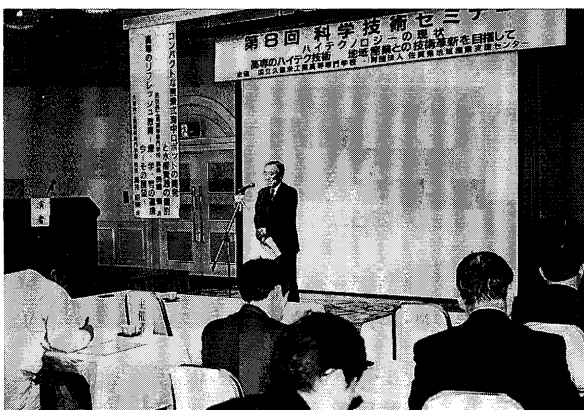


写真 1 主催者として開会挨拶をする久留米高専 柳 謙一校長

東京高専、物質工学科では企業との連携により光、空気及び水に関わる技術とそれに関連する材料開発、さらに応用製品の開発を手がけている。その主な例を挙げられた。光関連としては紫外線吸収液状コーティング材の開発である。日焼け防止を初め、省エネルギー化、夜間の飛来防止に役立つため、ショウウィンドウへの塗布、自動車、農業用ビニールへの応用として利用されている。空気関連としては列車用空気清浄機を開発し、JR 各社の列車内に搭載されているほか、病院、ホテル、飲食店にも設置されているということである。また、セラミック材料及びロータリータンクの開発による水浄化装置も手がけていらっしゃる。すでに商品化された製品は東京三越デパートの貯水槽に設置されているとのことである。以上、東京高専では多種関連企業との連携による開発を行っているが、高専は大学と異なり企業に対して身軽に協力できる強みがある。高専の卒業テーマとしても企業が要望している事項で取り上げることで学生の意欲の向上および企業の製品開発両面でお互いが連携できるのではないかと結ばれた。

講演 II 「新炭素繊維による環境浄化 水！魚の増殖！」

講師 群馬工業高等専門学校教授 小島 昭

炭素材料は生物起源であることにより生物体との親和性がある。そこで、現在利用されている炭素材料の現状と特に群馬高専で進めてきた炭素繊維を用

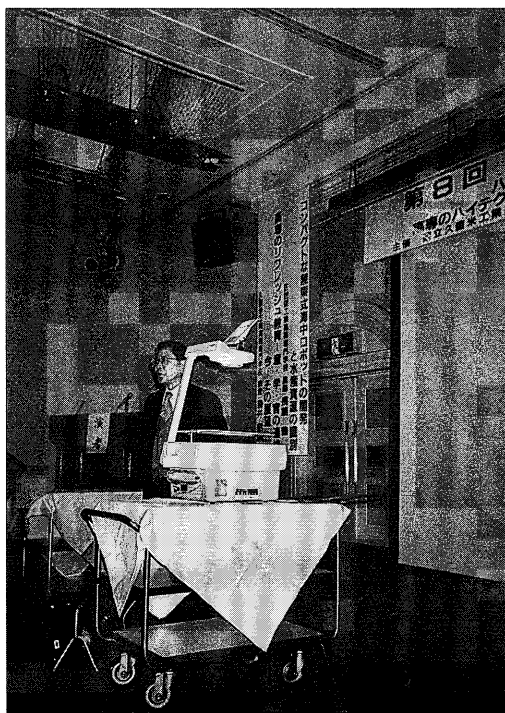


写真 2 講演中の東京工業高専専門学校 西宮辰明教授



写真 3 講演中の群馬工業高等専門学校 小島 昭教授

いた水の浄化の例をあげられた。すなわち、炭素繊維を活性汚泥を含む水中に浸けると、繊維に汚泥が固着する。この汚泥に原生動物及び細菌などの微生物が固着し、ある種の生態系を作っていると思われる。実際に、藤岡清掃工場池、高岡市八幡霊園中央池、諏訪湖で実験的に使用されており、いずれも汚泥が炭素繊維に固着し、これに嫌気的あるいは好気的微生物が生息、さらにその他の藻類が棲むためにそれぞれの生物の代謝が絡み合いながら水の浄化を行っているとのことであった。

講演Ⅲ「コンパクトな無索式海中ロボットの開発  
と水産資源の識別 ～総合技術教育研究  
センターでの取り組み～」

講師 佐世保工業高等専門学校講師 長嶋 豊  
長崎県が、海に恵まれ、沿岸、沖合域の多様な漁場特性を持つ水産県であることから佐世保高専は海洋関連機器の研究開発を行う目的で総合技術教育研究センターを発足した。この中で自律型海中ロボットシステムの開発および魚の斑紋に注目した魚種識別システムについての概要を説明された。

従来型の無索式海中ロボットは、多くの推進器及び制御装置が搭載されているために重量やエネルギーも大型で支援船、運用コスト等大がかりである。そこでラジコンヘリコプター用の機構部品や小型 DC サーボモータの採用、制御部への FPGA 素子



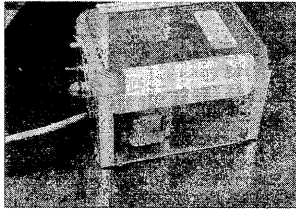
写真 4 講演中の佐世保工業高等専門学校  
長嶋 豊講師

の使用、4個の機能モジュールとして超小型ワンチップマイコンの採用などの工夫を行った。この結果、全長約85cm 重量約75kgの小型海中ロボットが完成した。魚種識別については、魚の特徴として表面の斑点、鱗の形状及び斑模様等の斑紋に着目し、これらの特徴抽出にモルフォロジーフィルターを適用することにより魚類を識別することを試みた。同方法による識別は識別率が90%以上であり有効であるが、特徴抽出時間を短縮するためにモルフォロジーフィルターの改善、処理アルゴリズムの改良等が今後の検討事項であると述べられた。

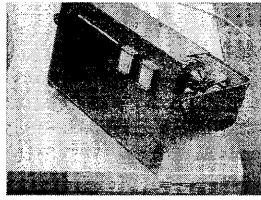
講演Ⅳ「高専のリフレッシュ教育！産・学・官の  
連携 今！その展望！」

講師 久留米工業高等専門学校教授 鳥井昭美  
久留米高専では、高専の活性化及び文部省の唱うリフレッシュ教育の推進を進める上で鳥井教授を中心にいくつかの活動を行ってきた。本講演ではその流れと概要について述べられた。

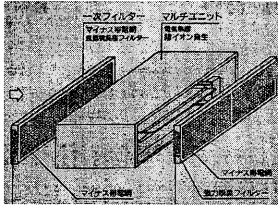
現在、各高等教育機関において初等・中等教育の生徒が理工系離れに対して行っている公開講座・体験入学・学校訪問等以外に高専の教育・研究内容を理解し把握していただくために平成3年から5年まで久留米高専フォーラムを開催した。これには久留米以外に化学系学科を有する九州内の6高専が参加していたため、4回以降を輪番制にして9回を迎えた。本科学技術セミナーはこのフォーラムを開催している折、佐賀県の財団法人、佐賀産業技術情報センター（平成8年、佐賀県地域産業支援センターに改組）から企業技術者の活性化のために久留米高専と共催したいとの連絡を受けて平成5年から開催するに至ったものである。佐賀県は県内企業に対する「研究開発」及び「技術開発」の強化、先端科学技術の普及と啓蒙に努め、高度化、複合化する技術に対応し、多分野に互り幅広い技術に対するニーズとシーズを的確に把握するために、高等教育機関並びに公設試験研究機関等との連携及び情報交換を行っている。そこで、佐賀県から多数の学生が進学している本校も、佐賀県の発展に寄与するための一助となり、さらに文部省の「地域産業技術者のための高専におけるリフレッシュ教育」の推進についてその精神の一致をみることを鑑みることを目標としている。第1回のバイオテクノロジーに関する4件の発表を皮切りに第2回以降は環境問題関連のテーマで第8回まで開催された。フォーラムを軸としてさらに全国規模の高専シンポジウムも平成8年より開催することとなった。開催の主旨はフォーラムと同様



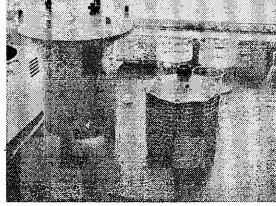
プラスチック製の弁当箱とアクリルで作った実験用空気清浄装置



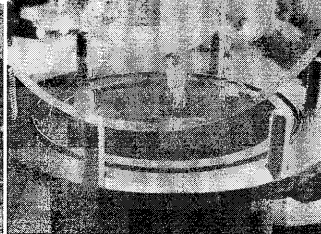
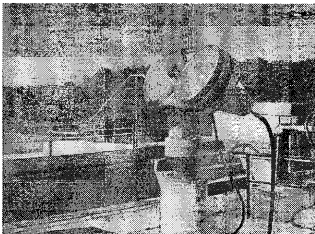
においセンサー部分の実験装置写真では見にくいがおい強度表示部分の左にセンサーがありにおいの強度により表示がグリーンから黄色、赤に変化する。



バイオゾームの構造



水浄化装置



大洋光集中光装置とロータリー部

(a) 炭素繊維関係

①使用本数	多い (固着量大)	少ない (小)
②フィラメント数	多い (固着量大)	少ない (小)
③表面サイジング剤の有無	有り (固着量小)	無し (大)
④サイジング剤の種類	水溶性 (固着量大)	水に不溶性 (固着量大)
⑤サイジング剤塗布量	多い (固着量小)	少ない (固着量大)
⑥引張り弾性率	高い (固着量小?)	低い (大?)
⑦直径	細い (固着量高い)	太い (小)
⑧フィラメントの分散度合い	高い (顕著に大)	低い (小)
⑨表面官能基 (含酸素基)	多い (固着量大)	少ない (小)
⑩ゆらぎ空間	多い (固着量大)	少ない (小)
⑪水に対する濡れ性	高い (固着量大)	低い (小)
⑫表面電位	影響なし (共にマイナス)	

(b) 炭素繊維の表面処理による影響

①表面処理 (光酸化)	有り (固着量大)	無し (小)
②表面処理条件 (時間、温度)	長い、高い (大)	短い、低い (小)
③表面処理 (低温プラズマ)	有り (無し)	無し (無し)
④表面処理 (燃焼酸化)	有り (大)	無し (小)

(c) 汚泥関係

①汚泥の活性度	高い (大)	低い (小)
②汚泥濃度	高い (大)	低い (小)
③汚泥水溶液の pH	酸性 (小)	中性 (大) アルカリ性 (小)

(d) 透過条件関係

①曝気の有無	有り (大)	無し (小)
②曝気量	高い (低い)	適度 (大) 低い (小)
③透過時間	初期は比例、長期は不明	
④太陽光照射	照射下で育成→連続 (固着量低下) 持続 (固着維持)	連続下で育成→照射 (固着量低下) 持続 (固着維持)

炭素繊維への固着現象に影響を与える諸因子

高崎市八幡堂池水での炭素繊維による水質浄化実験での水質分析結果

分析項目	1996年		1997年		1998年				
	10月	4月	8月	12月	1月	4月	8月	9月	
pH	9.2	7.7	9.2	7.7	7.7	8.6	8.4	7.3	
BOD mg/リットル	12	4	4	1	0.4	1	2	1	
COD mg/リットル	32	11	9	1	2	3	5	2	
SS mg/リットル	25	4	6	1	2	6	2		
全窒素 mg/リットル	2.1	0.85	0.74	0.14	0.13	0.27	0.27	0.33	
全リン mg/リットル	0.1	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
クロロフィル a μg/リットル	310	14	12	1	1	4	15	6	
透視度	9.8	>50	>50	>100	100	100	80	100	
水温 °C	14.5	16.5	28.0	9.0	2.0	21.0	28.0	24.5	

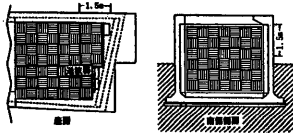


図 1 送波器(音源)の取り付け位置

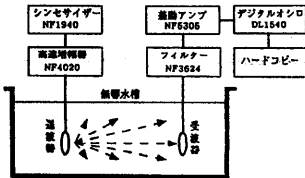


図 2 音響特性測定装置構成図

(a) 水深 2.0 m (音源: 吸音材側)

(b) 水深 2.0 m (音源: 中央)

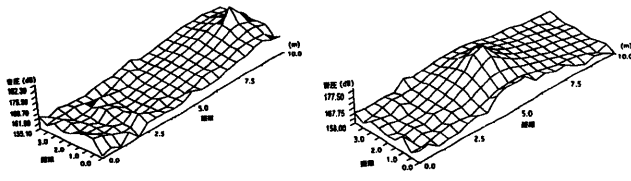


図 3 音圧分布図

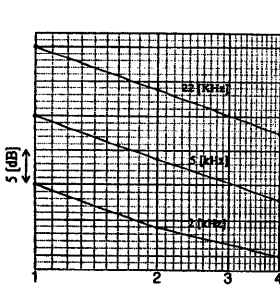


図 4 音圧レベル減衰図

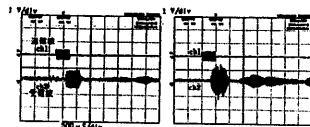
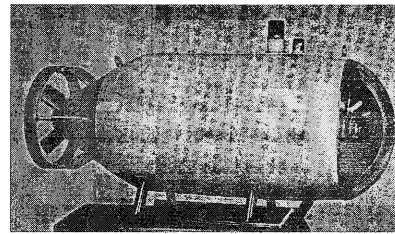
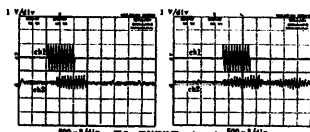
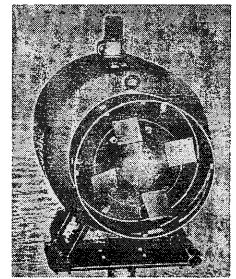


図 5 反射特性図



(側面)



(背面)

海中ロボット外観図



真鯛の原画像



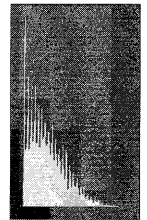
特徴抽出画像



真鯛の原画像



特徴抽出結果と自己相関関数図



真鯛の原画像



特徴抽出結果

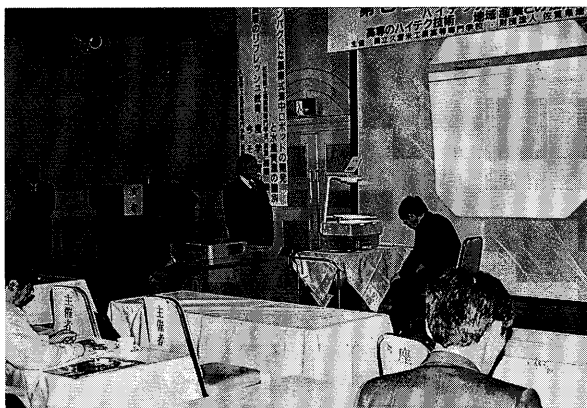


写真 5 講演中の久留米工業高等専門学校  
鳥井昭美教授



写真 6 主催者として閉会挨拶をする  
財団法人佐賀県地域産業支援センター  
専務理事 高橋勝明氏

に高専の教育・研究の活性化に寄与することであり、特に高専の専攻科を含む学生並びに教官の発表の場とすることを主体とする。また、久留米高専内を活性化するためには平成 5 年から科学教育セミナーを発足させ、第 7 回を迎える。このセミナーは学内において専門分野の壁を取り払う役割を果たしている。現在は上述の精神を維持した上でさらに中学校の先生方の御協力を得て久留米高専の公開講座として久留米高専教務主事鎌田吉之助教授が企画されている。

以上、本セミナーは高専フォーラムを契機として発足し現在に至っている。シンポジウム及びフォーラムとの連携により高専の活性化並びにリフレッシュ教育の推進という同一目標を掲げながら発展していくことは高専の発展にもつながるであろうと結ばれた。

#### 4. おわりに

今回の第 8 回科学技術セミナーは全国高専の中で地場企業との連携により進められている研究について講演頂いた。いずれも各地域に貢献する内容であり、高専としてのあるべき姿が顕著に現れていた。東京高専は、光、空気、水に関わるあらゆる面で環境に関連した技術開発に取り組んでおり、その実用化の進展には目を見張るものがあった。群馬高専の新炭素繊維を用いた水の浄化は各地域において求められる環境問題を解決するテーマであり、これをあ

る種の生態系に任せていることが特筆すべき内容であった。佐世保高専の内容は、佐世保という海との繋がりを欠かせない地域における重要なテーマばかりであり、各研究でのアイデアはすばらしいものであった。最後に私事ながら久留米高専の、同セミナーをはじめとする各種フォーラム、シンポジウムの開催は、全国高専の連携を深め、活性化させるだけでなく、初等・中等教育機関との連携を深める、地域産業との技術連携を深める、といったようなりフレッシュ教育、産・学・官の連携を目的とした高専の役割を果たすのに大いに貢献していると思われる。

本セミナーは佐賀県の企業、教育機関の発展に寄与することが目的ではあるが、今回のテーマにより、全国の高専の各地域への貢献を佐賀県の方々に理解戴いたと同時に久留米高専としても企業との連携により共同研究開発を積極的に推進し、さらに佐賀県へも還元するよう改めて考えた次第である。

因みに、出席者は従来同様佐賀県内の企業、大学・高校・中学などの教育機関並びに工業技術センター・農業試験研究センター等公設試験研究機関を中心とした多岐にわたる分野の方々であり、さらに市民の方々を含む 100 名を越える人数であった。

最後に本セミナーを開催するにあたり、会場その他の設定に御尽力下さった佐賀県地域産業支援センターの皆様方に厚く御礼申し上げます。

## 平成11年度中に発表した論文・著書等及び講演題目

## 機 械 工 学 科

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻・号 (年・月)
トルクと圧縮力の同時負荷によるボルト締付け管理法の回転角法への適用	橋村 真治 <sup>*1</sup> 森村 和也 <sup>*1</sup> 村 上 敬宣 嶺 木 邦彦 (熊本大) (九大工) (中央精機(株))	日本機械学会論文集C編, 65巻635号 (1999年7月)
生体細胞の凍結挙動に及ぼす超音波の影響	平 啓 国 男 松 本 健 一	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第1号 (1999年9月)
ホブ切り加工の現状と動向	米 倉 将 隆	ツールエンジニア Vol.40, No.12 (1999年11月)
疲労き裂の発生過程における応力分布の変化—第2報 き裂の起点をだ円領域とした場合—	今 井 良 一 <sup>*1</sup> 森 橋 村 和 也 <sup>*1</sup> 橋 村 真 治 (熊本大)	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第2号 (2000年3月)

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
超硬ホブによる高速ホブ切りの試み	米 倉 将 隆 永 野 喜三郎 櫻 木 功信 伊 藤 良 信	日本機械学会九州支部久留米地方講演 会 (1999年7月)
超硬スカイピングホブの耐久性	米 倉 将 隆 馬 田 靖彦 <sup>*2</sup> 寺 崎 登希規 <sup>*2</sup> 杉 本 武 治 (久留米工大)	日本機械学会九州支部久留米地方講演 会 (1999年7月)
ボルトの締付け過程における座面摩擦係数の挙動	橋村 真治 村 上 敬宣 <sup>*3</sup> 黒 田 祥彦 <sup>*3</sup> 嶺 木 邦彦 (九大工) (中央精機(株))	日本機械学会九州支部久留米地方講演 会 (1999年7月)
掻き取り式熱交換器の伝熱および動力性能に関する研究	松 永 崇治 藤 田 道宗 多 田 儀治 木 下 元 永 嶋 治潔 <sup>*3</sup> (イズミフードマシナリ) (九大院総理工)	日本機械学会九州支部久留米地方講演 会 (1999年7月)
オリフィスを通る管内旋回流の研究	中 武 靖 仁 松 永 崇	日本機械学会九州支部久留米地方講演 会 (1999年7月)
簡易小型氷蓄熱槽の製氷・融解特性	平 啓 国 男 松 本 健 一 山 下 友 廣 江 崎 健 司 (株)西部技研)	日本機械学会九州支部久留米地方講演 会 (1999年7月)
軽荷重ジャーナル軸受の油膜挙動に関する研究	松 井 悟 江 崎 修 仁 田 原 康 <sup>*4</sup>	日本機械学会九州支部久留米地方講演 会 (1999年7月)
小モジュール浸炭焼入歯車の仕上げホブ切り	寺 崎 登希規 <sup>*2</sup> 米 倉 将 隆 永 野 喜三郎 櫻 木 功 信	日本機械学会九州学生会, 第31回学生 員卒業研究発表講演会 (2000年3月)
環境に配慮した高能率ホブ切りの基礎研究	百 合 野 健 <sup>*5</sup> 永 野 喜三郎 米 倉 将 隆	日本機械学会九州学生会, 第31回学生 員卒業研究発表講演会 (2000年3月)

\*1元 久留米高専

\*2専攻科学生, 現 本田技研工業(株)

\*3専攻科学生, 現 長岡技術科学大学大学院

\*4専攻科学生, 現 (株)西部技研

\*5専攻科学生, 現 九州大学大学院

ボルトの締付け過程における座面摩擦係数の挙動	{ 黒田 祥治*1 橋村 真良 今井 良	日本機械学会九州学生会, 第31回学生員卒業研究発表講演会 (2000年3月)
油田掘削ドリル軸継ぎ手の新しい締結法に関する解析的考察	{ 青木 勲*2 橋村 真良 廣今 井 良	日本機械学会九州学生会, 第31回学生員卒業研究発表講演会 (2000年3月)

電 気 工 学 科

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻・号 (年・月)
パワーNICによる双方向通信装置の試作	{ 高松 政利 中島 勝行	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第1号 (1999年9月)
Development of High Speed Hough Transform Device — For Intelligent Materials Processing —	{ 中島 勝行 大井 上 勝 (元大阪大学接合科学研究所)	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第1号 (1999年9月)
SPS システム用 RF-DC エネルギー変換電子管 (その2) —シミュレーション結果との比較—	{ 杉森 欣三 大崎 邦裕 上田 裕人*3	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第1号 (1999年9月)
The Ability of Associate Memory with Sin Output Function	{ H. Miyajima (Kagoshima Univ.) M. Oda	Proc. of 1999 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (Nov., 1999)
Atomic hydrogen temperature in silane plasmas used for the deposition of a-Si: H films	{ K. Miyazaki (Kyushu Univ.) T. Kajiwara (Kyushu Univ.) K. Uchino (Kyushu Univ.) K. Muraoka (Kyushu Univ.) T. Okada (Kyushu Univ.) M. Maeda (Kyushu Univ.)	Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol.17, No.6 (November/December, 1999)
太陽光発電システム (並列連系システム構成) と運用について	{ 大淵 豊 西南出里 博 南高松 政 中島 勝 古賀 義 田中 渉 義規	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第2号 (2000年3月)
表計算ソフト「エクセル」を用いた電子軌道シミュレーション	杉森 欣三	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第2号 (2000年3月)
プラント自動監視システムに関する研究	{ 中島 勝行 大淵 上 勝	大阪大学接合科研究所共同研究報告 1999年度版

講演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
宇宙発電用 RF-DC エネルギー変換電子管	杉森 欣三	平成11年全国高専パワーエレクトロニクスセミナー (第6回) (1999年7月)
単共振分解型補聴方式における振幅圧縮特性の制御	{ 池田 隆剛 (熊本大) 池田 博 (熊本大) 上田 裕 (熊本大) 渡邊 市亮 (熊本大)	日本音響学会秋季研究発表会 (1999年9月~10月)
画像と音声を併用した聴能訓練システムの利用による聴覚障害者の音声聴取の改善	{ 池田 剛 (熊本大) 池田 博 (熊本大) 渡邊 隆亮 (熊本大)	電気関係学会九州支部連合大会 (1999年10月)

\*1専攻科学生, 現 長岡技術科学大学大学院

\*2専攻科生

\*3専攻科生, 現 日本放送協会

可飽和型磁気センサーの感度	南 里 博 己	電気関係学会九州支部連合大会 (1999年10月)
二光子励起レーザー蛍光法による SiH <sub>4</sub> プラズマ中の水素原子密度計測	{ 後 藤 昭 夫*1 宮 崎 浩 一 (九 州 大) 梶 原 了 紀 (九 州 大) 村 岡 克 紀 (九 州 大)	平成11年度電気関係学会四国支部連合大会 (1999年10月)
「SPS システム用 RF-DC エネルギー変換電子管 (その3)」	{ 大 坪 宜 嗣*2 杉 森 欣 三	平成11年度電気関係学会四国支部連合大会 (1999年10月)
「SPS システム用 RF-DC エネルギー変換電子管」	杉 森 欣 三	第43回宇宙科学技術連合講演会 (1999年10月)
ホルマント分析による補聴処理の DSP システムに関する検討	{ 池 田 隆 博 (熊 本 大) 池 上 田 裕 (熊 本 大) 渡 邊 亮 (熊 本 大)	日本音響学会応用 (電気) 音響研究会 (1999年11月)
周期的出力関数をもつ神経回路網の連想記憶能力	{ 小 田 幹 雄 (鹿 児 島 大) 鶴 田 廣 威 美 (鹿 児 島 大) 宮 島 廣 美 (鹿 児 島 大)	電子情報通信学会技術研究報告 CAS 99-79, CST99-33 (1999年11月)
音声画像を用いた難聴者のための聴き取り訓練システム	{ 池 田 隆 剛 (熊 本 大) 作 村 裕 (熊 本 大) 上 田 裕 (熊 本 大) 渡 邊 亮 (熊 本 大)	映像情報メディア学会冬季大会 (2000年12月)
チャンネル品質とパケット長を考慮した動的チャンネル割り当て	{ 大 崎 邦 倫 (九 州 大) 赤 岩 芳 彦 (九 州 大)	第6回モバイルマルチメディア通信ワークショップ MoMuC-J6 (2000年3月)
チャンネル品質とパケット長を考慮した動的チャンネル割り当て	大 崎 邦 倫	電子情報通信学会2000年総合大会 B-5-119 (2000年3月)
適応プレディストータ型歪み補償電力増幅器 (I)	赤 岩 芳 彦 (九 州 大)	電子情報通信学会2000年総合大会 B-5-211 (2000年3月)
適応プレディストータ型歪み補償電力増幅器 (II)	{ 瀬 戸 義 隆 (九 州 大) 水 田 義 邦 (九 州 大) 大 崎 邦 倫 (九 州 大) 赤 岩 芳 彦 (九 州 大)	電子情報通信学会2000年総合大会 B-5-212 (2000年3月)

制 御 情 報 工 学 科

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻・号 (年・月)
Construction of Self-organizing Algorithms for Vector Quantization	{ M. Maeda H. Miyajima (Kagoshima Univ.) S. Murashima (Kagoshima Univ.)	EEJ John Wiley & Sons Vol.127 (1999. 4)
船舶の航路保持制御系設計法と実船試験結果	{ 赤 坂 則 之*3 (三 菱 重 工) 山 本 真 生 (三 菱 重 工)	計測自動制御学会論文集, 第35巻7号 (1999年7月)
Competitive Learning Methods with Refractory and Creative Approaches	{ M. Maeda H. Miyajima (Kagoshima Univ.)	IEICE Trans. Fundamentals Vol.E82-A (1999. 9)
生体機構を有する自己組織化神経回路網の巡回セールスマン問題への適応	{ 前 田 道 治 (北 陸 先 端 科 学 技 大) 塚 本 洋 介 (鹿 児 島 大 学) 宮 島 廣 美 (鹿 児 島 大 学)	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第1号 (1999年9月)
Reduction Methods of Fuzzy Inference Rules with Neural Network Learning Algorithm	{ M. Maeda M. Oda H. Miyajima (Kagoshima Univ.)	IEEE Proc. Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics, Vol.5 (1999. 10)
Adaptivity and sensitivity Delection Methods in Competitive Learning Algorithm	{ M. Maeda H. Miyajima (Kagoshima Univ.)	IEICE Proc. Int. Sympo. Nonlinear Theory and its Application Vol.2 (1999. 12)

\*1専攻科学生, 現 北陸先端科学技術大学院大学生

\*2専攻科学生, 現 東芝メディカル九州サービス(株)

\*3現 久留米高専

ファジー推論ルールの削減法に関する考察	{ 前小宮 田島 道幹 治雄 廣 美	(鹿 児 島 大 学)	電子情報通信学会論文誌 (A) Vol.2 (2000年1月)
適応極配置によるスカラ型ロボットのロバスト制振制御	{ 江内高 崎山 昇直 二樹 木 章	(豊 橋 技 大) (豊 橋 技 大)	日本機械学会論文集66巻643号 (2000年3月)
校内ネットワークシステムの西暦2000年問題への対応	{ 江小馬 頭田 成幹 人雄 松 本 隆 健 男		久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第2号 (2000年3月)

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)	
小モジュール軸付き高硬度歯車の超硬ホブ切り	{ 櫻米 木 功 角倉 将 隆 塚本 昌 興 田中 義 裕 津村 恭 一	(カ シ フ ジ) (不 二 越) (鈴 木 工 機)	日本機械学会, 久留米地方講演会 (1999年7月)
超硬ホブの疲労チップングに関する基礎研究	{ 櫻米 木 功 角倉 将 隆 津村 昌 興	(カ シ フ ジ)	日本機械学会, 1999年度年次大会 (1999年7月)
専攻科における創造工学実験	{ 廣福 尾 靖 彰 池田 幸 一 隆		日本機械学会, 久留米地方講演会 (1999年7月)
人工生物におけるクラスタリングモデル	{ 寺前 崎 伸 行 <sup>*1</sup> 宮 田 道 治 美 島 廣 美	(鹿 児 島 大)	電子情報通信学会九州支部学生会 (1999年10月)
メカトロサーボ系における負荷イナーシャとモータイナーシャの関係	{ 江中 頭 成 人 後村 村 俊 久藤 藤 聡 良 修 郭	(佐 賀 大) (佐 賀 大) (近 畿 大)	第42回自動制御連合講演会 (1999年11月)
同時3軸制御援用簡易多軸加工に関する研究 (第1報 基本構想と問題点の分類)	{ 水 垣 善 夫 Hao Minghui (九 工 大) 寺井 久 宣 (九 工 大) 福田 幸 一 (北 九 州 高 専)		精密工学会九州支部沖縄地方講演会 (1999年12月)
自己組織化画像の並列処理と位相保持	{ 前宮 田 道 治 島 廣 美	(鹿 児 島 大)	電子情報通信学会技術研究報告 NLP99-129 (2000年2月)
方向選択による人工生物のクラスタリングモデル	{ 寺前 崎 伸 行 <sup>*1</sup> 宮 田 道 治 美 島 廣 美	(鹿 児 島 大)	電子情報通信学会技術研究報告 NLP99-130 (2000年2月)
超硬ホブの劣化対策に関する基礎研究	{ 櫻米 木 功 角倉 将 隆 津村 昌 興 小松 純 一 <sup>*2</sup>	(カ シ フ ジ)	日本機械学会九州支部第53期総会 (2000年3月)

生物応用化学科 (工業化学科)

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻・号 (年・月)	
Copper Extraction by Liquid Surfactant Membranes Containing a Hydroxyoxime Carrier—Acceleration Effect of Anionic Surfactant in LSMS—	{ 梶 隆 彦 後藤 雅 宏 中 塩 文 行	(九 大 院 工) (熊 本 工 大)	Solv. Extr. Res. Dev., Japan, 第6 巻 (1999年4月)

\*1専攻科学生, 現 九州管区警察局

\*2専攻科学生



- Enantioselective synthesis of optically active homoallylamines by nucleophilic addition of chirally modified allylboranes to *N*-silylimines
- 9-直鎖アルキルアクリジンの炭素鎖数と坑かび作用との相関性
- ピフィズ菌増殖促進物質の胞合胆汁酸分解酵素に与える影響
- ポリ(γ-グルタミン酸)塩複合体からなる医療材料
- Preparation of Polymer-supported Selenocyanates and their Application to Solid-Phase Oxyselenenylation-Deselenenylation
- Synthesis of Novel Soluble Polyimides Based on Alkyldiaminobenzophenones and Their Applications for the Alingment Films of LCDs.
- Electric in-situ measurement of vulcanization
- エーテル+メタノール+アルカン系液液平衡の ASOG による相関
- Permeation Behavior of Rare Earth Metals with a Calix [4] arene Carboxyl Derivative in a Hollow-fiber Membrane
- S. Itsuno (Toyohashi University of Technology)  
K. Watanabe\*<sup>1</sup> (National Institute of Materials and Chemical Research)  
T. Matsumoto (Toyohashi University of Technology)  
S. Kuroda (Toyohashi University of Technology)  
A. Yokoi (Toyohashi University of Technology)  
A. El-Shehawy (Toyohashi University of Technology)
- 深田剛毅 (東亜大工)  
北村章 (東亜大工)  
高橋邦治 (三栄源エフ・エフ・アイ機)  
鳥井昭美\*<sup>2</sup>  
鎌田吉之助 (九産大工)  
米田直志 (東和大中研)  
田代昌士 (九大機能研)  
又賀駿太郎 (九大機能研)
- 笈木宏和\*<sup>3</sup>  
日田麻衣子\*<sup>4</sup>  
執藤みちる\*<sup>4</sup>  
森道治夫
- 角谷徹 (鐘淵化学工業株式会社)  
富有寛\*<sup>1</sup> (鐘淵化学工業株式会社)  
岡本治豊\*<sup>1</sup> (鐘淵化学工業株式会社)  
北野光昭 (鐘淵化学工業株式会社)  
竹田弘 (福岡女子大学)
- K. Fujita (National Institute of Materials and Chemical Research)  
K. Watanabe\*<sup>1</sup> (National Institute of Materials and Chemical Research)  
A. Oishi (National Institute of Materials and Chemical Research)  
Y. Ikeda (National Institute of Materials and Chemical Research)  
Y. Taguchi (National Institute of Materials and Chemical Research)
- Yusuke. Tsuda
- T. Mori  
S. Etoh\*<sup>5</sup>  
Y. Matsuoka\*<sup>6</sup>  
T. Gondoh  
M. Toh  
D. Okai (Kyushu Rubber Co.)
- 渡辺徹 (有明高専)  
本田克美 (九大院工)  
東内秀機 (九大院工)  
荒井康彦 (九大院工)
- 久保田富生子 (九大院工)  
梶隆彦 (九大院工)  
後藤雅宏 (九大院工)  
古崎新太郎 (九大院工)  
中塩文行 (熊本工大)  
羽野志忠 (大分工大)
- J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1, 1999, 2011-2016. (1999. 8)
- 日本食品保蔵科学会誌, 25巻3号 (1999年9月)
- 久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第1号 (1999年9月)
- 日本国公開特許公報 (特許公開平11-276572) (1999年10月12日)
- Synlett, 1999, 1760-1762. (1999. 11)
- Polymer Preprints, Vol.40, No.2, 1215 (1999)
- Rubber World, Vol.221, No.4 (2000. 1)
- 有明高専紀要, 第36号 (2000年1月)
- J. Membrane Sci., 第165巻, 第2号 (2000年1月)

\*<sup>1</sup>現 久留米高専\*<sup>2</sup>元 久留米高専\*<sup>3</sup>本科学学生, 現 ダイナポット(株)\*<sup>4</sup>本科学学生, 現 三共(株)\*<sup>5</sup>専攻科学生, 現 昭栄化学工業(株)\*<sup>6</sup>専攻科学生, 現 JSR(株)

山口県における大気エアロゾル観測とその化学組成について

吉坂加鎌中岩 武藤藤田中岩 翁秀吉之裕泰 創介文助之信 (下関第一高) (名古屋大)

「山口県の自然」第60号 (2000年3月)

講演題目	氏名	発表した学会・講演会名 (年・月)
密閉型二軸混合機の混合特性	藤権森倉三 藤津島 道豊哲正 治彦夫文守 (住友重機械工業(株)) (住友重機械工業(株))	日本ゴム協会1999年年次大会 (1999年5月)
ゴムの加硫反応の電気的即時測定 (8)	坂口藤吉藤森 口藤吉武 雄一彦子瞳治夫 <sup>*1</sup> 道哲 <sup>*2</sup> 道治夫 <sup>*3</sup>	日本ゴム協会1999年年次大会 (1999年5月)
側鎖に長鎖アルキル基を有する可溶性ポリイミド	津田祐輔	第48回高分子学会年次大会 (1999年5月)
Synthesis of Soluble Polyimides Having Long Chain Alkyl Groups	Yusuke Tsuda	The 9th Tohwa University International Symposium (June, 1999)
Plant tissue constituent of atmospheric aerosol	O. Saka K. Kamata H. Kato H. Nakashima A. Torii <sup>*4</sup> Y. Iwasaka (Nagoya Univ.) M. Furuike (Nagoya Univ.)	First Asia Aerosol Conference (Nagoya, Japan) (July 27-29, 1999)
エーテル+アルカン+メタノール系液液平衡の測定と相関	東内秀機 渡辺秀機 荒井康彦 (有明高専) (九大院工)	化学工学会徳島大会 (1999年7月)
Synthesis of Novel Soluble Polyimides Based on Alkyldiaminobenzophenones and Their Applications for the Alingment Films of LCDs.	Yusuke Tsuda	American Chemical Society, New Orleans, Louisiana Meeting (August, 1999)
The Study of Detailed Ion-Pair Mechanism in the Solvolysis of 1-Phenylethyl Tosylates	Y. Tsuji M. Egashira <sup>*5</sup> T. Kurihara <sup>*6</sup> M. Nishida <sup>*7</sup> M. Fujio (Kyushu Univ.) Y. Tsuno (Kyushu Univ.)	Kyushu International Symposium on Physical Organic Chemistry (September, 1999)
高圧下でのプチロラクTONの共重合	大石晃広 (物質理工研) 大関朋一 (東大理工研) 田口洋一 (物質理工研) 渡邊勝宏 <sup>*8</sup> (物質理工研) 藤田賢一 (物質理工研) 池田嘉隆 (物質理工研) 増田志真 (東大理工研)	日本化学会第77秋季年会 (1999年9月)
コハク酸ジメチル, 1,4-ブタンジオール, グリセロールモノエーテルからなる共重合体	田口洋一 (物質理工研) 大石晃広 (物質理工研) 藤田賢一 (物質理工研) 渡邊勝宏 <sup>*8</sup> (物質理工研) 池田志真 (物質理工研)	日本化学会第77秋季年会 (1999年9月)

\*1専攻科学生, 現 東和コーポレーション(株)  
 \*2本学科学学生, 現 東レ(株)  
 \*3本学科学学生, 現 大阪シーリング印刷(株)  
 \*4元 久留米高専  
 \*5本学科学学生, 現 味の素(株)  
 \*6本学科学学生, 現 日本触媒(株)  
 \*7本学科学学生, 現 大阪大  
 \*8現 久留米高専

ポリマーサポートを用いる不斉アリル化反応	伊津野 真 一 (豊橋技科大) El-Shehawy Ashraf (豊橋技科大) 渡邊 勝宏*1 (物質研) 山口 幸太 (豊橋技科大)	日本化学会第77秋季年会 (1999年9月)
ゴム練り (素練りと混練り)	藤 道 治	ゴム練り加工実技研修会 (1999年10月)
密閉型二軸混合機の伝熱について	藤 道 治	日本ゴム協会第53回ゴム練り研究分科会 (1999年10月)
産・学連携による高専のハイテク技術の紹介をリフレッシュ教育面から見つめて	鳥 井 昭 美*2	第9回高専フォーラム (1999年11月)
密閉型二軸混合機の混合特性 練りゴムの均一性	藤 道 治 藤 豊彦 森倉 津島 (住友重機械工業(株)) 森倉 三島 (住友重機械工業(株))	日本ゴム協会第12回エラストマー討論会 (1999年12月)
高専のリフレッシュ教育! 産・学・官の連携 今! その展望!	鳥 井 昭 美*2	第8回科学技術セミナー (2000年1月)
背振山頂における個々のエアロゾル粒子の研究 (その1) - FTIR による粒子成分分析と動態変化について -	加鎌 藤 秀 文 中 田 吉 之 鳥 郷 井 裕 美 河 野 昭 美 山 田 昭 美 坂 野 子 赤 崎 朗 岩 有 翁 介 木 坂 泰 創 坂 泰 信 (下関第一高校) 岩 泰 信 (名古屋大)	第5回高専シンポジウム (2000年1月)
背振山頂における個々のエアロゾル粒子の研究 (その2) - 生物起源エアロゾル粒子の動態変化 -	加鎌 藤 秀 文 中 田 吉 之 鳥 郷 井 裕 美 東 浦 香 佳 小 松 隈 玲 山 崎 由 香 坂 有 翁 介 赤 岩 木 坂 泰 創 岩 坂 泰 信 (下関第一高校) 岩 坂 泰 信 (名古屋大)	第5回高専シンポジウム (2000年1月)
久留米市における PM2.5 (浮遊微粒子) の挙動	鎌 田 吉 之 加 藤 秀 文 中 鳥 井 裕 美 牛 山 崎 孝 則 山 坂 有 翁 介	第5回高専シンポジウム (2000年1月)
ジアザペンタフェン類の合成とその立体構造について	鳥 井 昭 美*2 渡 荒 正 裕 東 川 裕 美 杉 野 香 紀 中 野 紀 裕 鎌 田 吉 之 助	第5回高専シンポジウム (2000年1月)

\*1 現 久留米高専

\*2 元 久留米高専

\*3 本学科学学生, 現 田口電機工業(株)

\*4 本学科学学生, 現 太平環境科学センター(株)

\*5 本学科学学生, 現 住友化学工業(株)

\*6 本学科学学生, 現 雪印乳業(株)

\*7 元 本学科学学生

\*8 本学科学学生

\*9 専攻科学学生, 現 九大大学院

\*10 本学科学学生, 現 長崎大

ラネー合金を用いたアミノアクリジンの還元反応	鎌前田吉之助 富川井歩美*1 又鳥永昭美*2	富永洋一 賀駿太郎	(九州大学)	第 5 回高専シンポジウム (2000年 1月)
ラネー合金を用いた 9-アミノアクリジン類の還元反応	鎌富田吉之助 鳥永井洋一*2 又賀駿太郎	賀駿太郎	(九大機能研)	日本化学会第78春季年会 (2000年 3月)
高圧下でのガンマブチロラクトンとイブシロンカプロラクトンの共重合	大大石晃広 大田関朋裕 渡邊洋一*3 藤田勝賢 池田嘉隆 増田田志 湯浅真	真	(物 質 研) (東 理 工) (物 質 研) (物 質 研) (物 質 研) (物 質 研) (東 理 大 理 工)	日本化学会第78春季年会 (2000年 3月)
高圧下でのブチロラクトンと環状カーボナートとの共重合	大大石晃広 大田関朋裕*3 渡邊洋一 藤田勝賢 池田嘉隆 増田田志 湯浅真	真	(物 質 研) (東 理 工) (物 質 研) (物 質 研) (物 質 研) (物 質 研) (東 理 大 理 工)	日本化学会第78春季年会 (2000年 3月)
触媒量のセレン試剤を用いたオキシセレン化-脱セレン化反応	藤大田賢一 渡邊石宏*3 大池田嘉隆 田口洋	洋	(物 質 研) (物 質 研) (物 質 研) (物 質 研)	日本化学会第78春季年会 (2000年 3月)

材 料 工 学 科

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻・号 (年・月)
FEM analysis of Erosive Wear	K. Shimizu (大 分 高 専) H. Seitoh (大 分 高 専) T. Noguchi (北 大) Y. Matsubara	International Journal of Cast Metals Reserch, Vol.11, No.6 (1999. 6)
Effect of retained austenite abrasion wear resistance and hardness of hypoeutectic high Cr white cast iron	S.K. Yu (Keimyung Univ.) N. Sasaguri Y. Matsubara	International Journal of Cast Metals Reserch, Vol.11, No.6 (1999. 6)
Detection of highly oriented aggregation of L-glutamic acid-derived lipids in dilute organic solution	H. Ihara (熊 大) M. Yoshitake (熊 大) M. Takafuji*3 (熊 興 人 大) T. Yamada (熊 大) T. Sagawa (熊 大) C. Hirayama (熊 大) H. Hachisako (熊 工 大)	Liquid Crystals, Vol.26, No.7 (1999. 7)
Structure of Platelet Oxide Precipitates in Si Wafers.	Y. Tomokiyo (九 大) K. Mori (シ ャ ー プ 大) E. Tanaka (九 大) T. Okuyama	Proc. of The International Conference on Solid-Solid Phase Transformations '99 (1999. 7)
プラズマ溶射 WC-12%Co 皮膜の特性に及ぼす WC 粒径の影響	熊丸博樹*4 中村良三 馬越幹男 皆良田征夫 田中俊明 (ラ サ 工 業 KK) (ラ サ 工 業 KK)	溶射, 第36巻, 3号 (1999年 9月)

\*1本学科学生, 現 熊本大

\*2元 久留米高専

\*3現 久留米高専

\*4専攻科学生, 現 (株)化繊ノズル製作所

ひ化コバルト系化合物の熱分解によって生じるひ素ガスの平衡蒸気圧の測定	{ 重久馬 松保越 浩甚一 気一郎男	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第1号 (1999年9月)
多合金系白鑄鉄の凝固組織に及ぼす冷却速度の影響	{ 笹武横松 栗宏溝原 信雄安 (株)エノモト (株)アサノテック	鑄造工学, 第71巻, 10号 (1999年10月)
鑄物の TIG アーク表面改質	{ 本中 田田 義一 興博 (阪大接合研)	大阪大学接合科学研究所共同研究報告 1998年度版 (1999年11月)
金属ひ素の平衡蒸気圧測定	{ 重久馬 松保越 浩甚一 気一郎男	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻第2号 (2000年3月)

講演題目	氏名	発表した学会・講演会名(年・月)
多合金系白鑄鉄の耐酸化性に及ぼす Co 量の影響	{ 弓場 栗 猛*1 笹南 条 信也 松原 安宏	日本鑄造工学会第134回全国講演大会 (1999年5月)
TIG アークによる黒鉛系鑄鉄表面のポロニ化処理	{ 本中 田田 義一 興博 (阪大接合研) 牛尾 尾 誠夫 (阪大接合研) 永倉 寛巳 (佐賀県工技センター)	溶接学会九州支部平成11年度研究発表会 (1999年5月)
焼結法と MA 法を用いた L1 <sub>2</sub> 型金属間化合物 (Al <sub>18</sub> Cr <sub>7</sub> Ti <sub>12</sub> ) の作製	{ 佐久間 宏*2 中山 哲也 奥山 哲	日本金属学会・日本鉄鋼協会九州支部平成11年度学術講演会 (1999年6月)
DMO 法により合成した Al/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 複合体の性質	{ 重久馬 松保越 浩甚一 気一郎男 福島 昌孜 (南セタルハイブリッド)	資源・素材学会平成11年度春季例会 (1999年6月)
プラズマ溶射 WC-12%Co 皮膜の特性に及ぼす WC 粒径の影響	{ 熊中 丸 博 樹*3 馬越 良三 三男 皆良 征夫 (ラサ工業 KK) 田中 征俊 (ラサ工業 KK)	日本溶射協会第69回全国講演大会 (1999年6月)
多合金系白鑄鉄の大気中高温酸化に及ぼす Co の影響	{ 弓場 栗 猛*1 笹南 条 信也 松原 安雄 (株)アサノテック	日本鑄造工学会九州支部第52回講演大会 (1999年7月)
TIG アークによる鑄物材への加工新技術の紹介	本 田 義 興	長崎県工業技術センター第47回鑄物複合技術研究会 (1999年7月)
導線放電爆発法による金属およびセラミック微粒体の作製と評価	馬 越 幹 男	第5回機能粉末講演会 (1999年8月)
焼結法と MA 法を用いた L1 <sub>2</sub> 型金属間化合物 (Al <sub>18</sub> Cr <sub>7</sub> Ti <sub>12</sub> ) の作製	中 山 勝	日本金属学会宿題テーマ研究会「粉末バルク固化プロセスの新展開」(1999年9月)
高エネルギー密度熱源による鑄鉄の表面改質	{ 本松 田原 義一 興宏 島添 修司*1 永倉 寛巳 (佐賀県工技センター) 水中 田博 (阪大接合研)	日本鑄造工学会第135回全国講演大会 (1999年10月)
合金白鑄鉄の耐アブレーション摩耗性に及ぼす熱処理と合金元素の影響	{ 柳松 成 坤 (啓明大学校) 原 安 宏	日本鑄造工学会第135回全国講演大会 (1999年10月)

\*1専攻科学生

\*2専攻科学生, 現 アスカコーポレーション

\*3専攻科学生, 現 (株)化繊ノズル製作所

多合金系白鑄鉄の変態特性に及ぼす Cr の影響	{ 横 溝 雄 三 (株)アサノテック) 笹 栗 信 也 南 條 原 安 潔 松 原 安 宏	日本鑄造工学会第135回全国講演大会 (1999年10月)
窒素ガス中におけるアルミニウム, チタン, ニオブおよびタンタル線の放電爆発による窒化物微粒体の生成	{ 宮 原 準 弥 *1 馬 越 幹 男 吉 富 俊 之 中 村 良 三 重 松 浩 気	粉体粉末冶金協会平成11年度秋期大会 (1999年11月)
窒素ガス中における種々の金属線の放電爆発による窒化物微粒体の生成	{ 宮 原 準 弥 *1 馬 越 幹 男 吉 富 俊 之 中 村 良 三 重 松 浩 気	第 5 回高専シンポジウム (2000年 1月)
光機能性オルガノゲル—新しい有機媒体を目指して—	{ 高 藤 誠 *2(株) 興 人) 山 田 泰 輔 (熊 大) 佐 川 尚 隆 (熊 大) 伊 原 博 隆 (熊 大)	第14回熊本県産学官技術交流講演論文 集 pp.14307 (2000年 1月)
Brazing of High Chromium Cast Iron with Various Cr/C Value and Steel Containing Different Carbon Content	{ N. Sasaguri Y. Matsubara	韓国鑄造工学会春季学術発表と技術講演大会 (2000年 3月)

一 般 理 科

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻・号 (年・月)
(数 学)		
微積分に関するある種の問題の n 変数への拡張と応用	杠 頭一郎	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第 1 号 (1999年 9月)
ある種の非線形常微分方程式の初期値問題に対する高位の微分差分法による数値解法	杠 頭一郎	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第 2 号 (2000年 3月)
Formulas on the HOMFLY and Jones polynomials of 2-bridge knots and links	S. Nakabo	Knot Theory—Dedicated to Professor Kunio Murasugi for his 70th birthday— (March, 2000)
(物 理)		
A slow mode wave as a possible source of Pi2 and associated particle precipitation: A case study.	{ O. Saka O. Watanabe (九 大 理) K. Okada (九 大 理) D.N. Baker (コ ロ ラ ド 大)	Ann. Geophysicae, 17, 674-681 (1999)
Plant tissue constituent of atmospheric aerosol.	{ O. Saka K. Kamata H. Kato H. Nakashima A. Torii B.Y. Iwasaka (名 大) M. Furuike (名 大)	First Asia Aerosol Conference, 155-156 (1999)
Magnetic fields and particle signatures in the vicinity of nightside geosynchronous altitudes in the first one-minutes-interval of Pi2 onset: a case study.	{ O. Saka H. Akaki (九 大 理) G.D. Reeves (ロスマス国立研究所) D.N. Baker (コ ロ ラ ド 大)	J. Atmos. Solar Terr. Phys., 62, 17-30 (2000)
Preparation of DLC Films by Ion Beam Mixing Method	{ K. Irie T. Miura (The Japan Steel Works, Ltd)	Key Engineering Materials Vols. 175-176 (1999)

\*1 専攻科学生, 現 九州大学院

\*2 現 久留米高専

Preparation of DLC Films by FAB and Ion Beam Mixing Method	{ K. Irie M. Miyazaki* <sup>1</sup> K. Kuriya* <sup>2</sup> Y. Yamasaki	Proceedings of the 16th International Japan-Korea Seminar on Ceramics (1999. Nov)
--	--	---

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名(年・月)
<b>(数 学)</b>		
HOMFLY polynomials of 2-bridge knots and links	中 坊 滋 一	New KOOK セミナー (1999年5月)
コンパクト等質 Kähler 多様体上のある種の正則ベクトル束について	高 橋 正 郎	東京電機大学工学部数学系列談話会 (1999年8月)
Formulas on the Jones and HOMFLY polynomials of 2-bridge links	中 坊 滋 一	【結び目と低次元トポロジー】研究集会 (1999年10月)
ある種の非線形常微分方程式の初期値問題に対する高位の予測子・修正子法による数値解法	杠 顕一郎	日本数学会九州支部例会 (2000年2月)
<b>(物 理)</b>		
オーロラ輝度変調に同期する Pc3 脈動	{ 坂 翁 介 篠 原 学 (九 大 理) 渡 辺 修 (スイモンリサーチ機)	第105回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会 (1999年11月)
A Pi 2 onset as observed at geosynchronous altitude	{ O. Saka D.N. Baker (コ ロ ラ ド 大)	International conference of IUGG99 meeting in Birmingham, UK (1999. 8)
Preparation of DLC Films by Ion Beam Mixing Method	{ K. Irie T. Miura (The Japan Steel Works, Ltd)	Engineering Ceramics '99, Slovakia (1999. May)
Preparation of DLC Films by FAB and Ion Beam Mixing Method	{ K. Irie M. Miyazaki* <sup>1</sup> K. Kuriya* <sup>2</sup> Y. Yamasaki	16th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, Okayama (1999. Nov.)
21世紀に向けた福祉機器開発とリサイクル	入 江 和 隆	第 9 回高専フォーラム (1999年11月)
IB-30と FAB を用いた DLC 薄膜の作製と評価	{ 廚 勝 義* <sup>2</sup> 宮 崎 紀 章* <sup>1</sup> 山 崎 有 司 入 江 和 隆	平成11年度応用物理学会九州支部講演会 (1999年12月)

## 一 般 文 科

論 文 ・ 著 書 等 題 目	氏 名	発表した誌名, 巻・号(年・月)
<b>(語 学)</b>		
実用英語技能検定試験についての考察 —単位認定の論議を踏まえて—	江 島 孝 則	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第 1 号 (1999年 9 月)
「エデンの園追放劇」のコメントにみる現代高専生気質	坂 元 宏 志	高等専門学校ドイツ語教育研究会会報 第 2 号 (1999年12月)
<b>(国語・人文)</b>		
真宗の一般性とフェミニズム・ジェンダー —「坊守」論を素材として—	松 尾 一	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第 2 号 (2000年 3 月)
覚信尼への試論	松 尾 一	久留米工業高等専門学校紀要, 第15巻 第 2 号 (2000年 3 月)

\*<sup>1</sup>元 専攻科学生\*<sup>2</sup>専攻科学生

講演題目 (語学)	氏名	発表した学会・講演会名(年・月)
タコの「あし」で辞書の兄弟関係を探る	天 藤 勝	大学英語教育学会辞書研究会(1999年 12月)





## 平成11年度卒業研究題目及び専攻科研究論文題目

## 機 械 工 学 科

題 目	氏 名
疲労き裂の起点近傍の応力場	百崎 敦彦
残留応力の逆解析評価	{ 楠良 正佳 谷 光 彬
セラミックスの微小欠陥の破壊靱性	{ 石井 元治 岩 村 武彦
動力補助機構付き自転車の開発	{ 白石 勉 真 野 浩 壽
精密ねじ締結装置の開発	{ 中野 洋平 安 永 年 広
高速歯切りに関する研究	{ サイフルカマ 本 山 智 博
エンドミルによる高硬度材の切削	{ 碓 修一 古 川 健 太
切削油を用いない高能率ホブ切りの基礎実験	{ 柿並 拓馬 多 田 俊 彦
切削油を用いない高能率ホブ切り法の開発	{ 菊池 清玄 吉 岡 晋 一
ホブ切りによる歯車の歯形創成	{ 太田 裕治 廣 重 尚 志
フレッチング損傷に関する研究	{ 栗岡 将之樹 東 島 一 樹
潤滑油添加剤の摩擦・摩耗特性評価	{ 朝賀 直希 戸 田 裕 之
スプレー冷却の研究	{ 時津 武志 野 田 武 徹
氷蓄熱システムの開発	{ 大坪 洋之雄 仲 山 達 雄
オリフィスを通る管内旋回流の研究	{ 高木 聡彦 森 川 直 哉
新型マイクロ水車に関する研究	{ 黒田 良平 新 徳 慶 次 郎
河川水の水力・熱エネルギー回収技術に関する研究	{ 金子 藍子 野 崎 祥 孝
掻き取り式熱交換器の基礎的研究	{ 永利 勇人 西 村 隆 治

## 電 気 工 学 科

題 目	氏 名
産業ロボットの姿勢制御および応用に関する基礎	{ 中嶋田 浩二 諸富 淳平 峯 川 達 也
画像認識(形状および色)および応用に関する基礎	{ プラバート・バンダ 堤 居 智 憲 藤 居 創

アクティブフィルタに関する研究	{ 田 村 吉 幸 三 吉 真 実
電子応用機器の新開発 (ホームセキュリティシステム, アラームドウォッチシステム)	{ 権 藤 雅 之 石 井 陽 介
太陽電池応用光通信機の試作	{ 黒 木 勝 大 瀧 本 下 剛 進 山 剛 史
六フッ化硫黄ガス中における雷インパルス電圧沿面放電	{ 高 木 健 一 宮 川 大 郎 輔
ファジー制御に関する研究	{ 徳 永 大 政 森 洋 平
非接触充電システム	{ 酒 見 典 和 古 賀 聡 一 山 園 陽 介
電気基礎科目 (電気磁気学・電気回路) 学習のための教材作成	{ 西 村 耕 一 篠 原 誠
メカトロニクス制御用センサ・アクチュエータの検討	{ 野 尻 桂 介 福 山 達 朗
デジタル型 周波数・電圧, 周期・電圧変換装置の設計製作	{ 中 村 隆 博 鳥 居 龍 一
バックロードホーンスピーカーの設計製作と特性測定	{ アディイラナルメ・モハマツト 松 永 隆 志
バッテリーソースチョッパウェルダの設計製作	{ 堤 藤 喬 也 江 藤 淳 平
実用型デジタル補聴器に関する研究	{ 池 野 広 美 樋 口 武 士
DSP を用いた教育補助装置に関する研究	{ 中 川 義 夫 カイロズイヤット・フーセン
FPGA による各種回路の設計試作に関する研究	{ 坂 本 隆 士 阿 部 博 明
静電プローブによるプロセシングプラズマ計測	{ 前 田 陽 二 馬 田 真 児
レーザー誘起蛍光法によるプロセシングプラズマ中の水素原子計測	{ 江 崎 幸 太 中 村 大 郎 輔
プロセシングプラズマの計算機シミュレーション	{ 早 野 雄 紀 セサー・アルメロ・アダモス

制 御 情 報 工 学 科

題 目	氏 名
CAD/CAM システムの開発	久保田 一 成
工学による中世絵画資料の分析	西 見 尚 子
太陽光電池の有効利用	{ 水 本 樹 人 渡 邊 祐 志
サーモグラフによる伝熱解析	{ 千 治 耕 平 吉 田 尚 平
突極半速同期ブラシレス DC モータ駆動ソフトの開発	{ 城 戸 惠 古 賀 崇 了
風力エネルギー高効率回収システムの研究	{ 茅 島 新 高 倉 公 美

3D ラピッドプロトタイピング	{ 早野潤 光安祐美子
高専ロボコンマシンの設計と製作	{ 城戸崇行 古賀敬介 田中成史
ロボカップ用マシンの駆動系試作	{ 小川明子 江田道也
CNC ホブ盤による高硬度歯車材の超硬ホブ切り	{ 杉栄太郎 牟田正哉
MC による超硬ホブ切りに関する基礎研究	{ 井上祥太郎 小嶋浩暢
同期回転するおもりを搭載した多自由度振動系の推進メカニズム	{ 坂巻慶行 官良健吾
DADS を援用した機構シミュレーション	{ 高巢了 和田一順
車輪走行型倒立ロボットの安定化制御	{ 船津久美子 渡邊創
空気圧駆動型倒立振子の安定化制御	{ 寺崎文男 四辻修道
産業用ロボットの動作に関する研究	{ 石井憲二 松尾高弘
ジャイロソーサIIの制御に関する研究	{ 綾部俊作 荒牧岳志
ファジイクラスタリングモデルの構成	安藤裕文
神経回路網による巡回セールスマン問題の解法	草場秀和
連想記憶の内部表現と能力	野口宏一朗
カオス力学系の学習と最適化問題	平田哲

## 工業化学科

題 目	氏 名
ジアザベンタフェンに関する研究 —N, N-ジフェニレンジアミンに対する改良ベルツゼン反応 および13, 14位異置換ジアザベンタフェンの合成に関する試み—	荒川裕美
ゴム分解微生物に関する研究	石神淳
1-(4-Methylphenyl)ethyl carbocation の原系復帰の速度の測定	江頭正彦
酵素タンパク質の熱安定性	{ 江頭由季 大谷卓
2-ヒドロキシ-3-(2-ピリジル)-キノリジノンのニトロ化反応	{ 河野いづみ 白岩里香
多分岐構造を有するポリイミド (2) 高分子反応による導入	北島浩司
1-(3-Chlorophenyl)ethyl Azide の還元反応	栗原隆
大気エアロゾルの研究 (その1) —FT-IR による粒子成分分析と動態変化—	{ 河野朗子 郷田たえ子
大気エアロゾルの研究 (その3) —生物起源のエアロゾルの解析—	小浦玲佳

チオフェン環を内在したシス—ジアルデヒド体の 合成環状共役化合物の合成化学的研究	{ 小数賀 覚 平 田 修
多分岐構造を有するポリイミド (1) ジアミンモノマーの合成及び重合	谷 崇 博
2-キノリル酢酸の合成	手 嶋 竜 一
ゴム廃液分解菌を用いた分解装置の作成	永 野 雄 久
1-(3-Chlorophenyl)ethyl Tosylate のアセトリシス中における 炭素陽イオン中間体の挙動の解明	西 田 将 之
SBR の加硫進行状態の電気的測定による追跡	{ 野 村 剛 史 松 永 孝 信
密閉型二軸混合機の混合特性に関する研究	{ 原 口 真由子 東 万 梨花
大気エアロゾルの研究 (その 2) —EDX 法による粒子成分分析と形状観察—	東 香 織
低速型二軸サンドミルの粉碎特性に関する研究	{ 藤 木 奈 美 龍 智 樹
ラネー合金を用いたアミノアクリジン類の還元反応	前 川 歩 美
微生物の代謝によるアクリジン関連化合物の変遷について	松 隈 由香里
カチオン性界面活性剤を用いた核酸塩基の抽出分離に関する研究	{ 松 雪 浩 樹 光 増 誠
エチレングリコールとエーテル類を含む液液平衡の測定と相関	村 上 史 昭
ハイブリッド逆相ミセルを利用した新規乳化液膜システムの開発	森 田 史 子

材 料 工 学 科

題 目	氏 名
蒸着法を用いた Si/Ge 積層構造型半導体の作成	木 稻 賢 志
線爆溶射による Ni および Ni 系合金被膜の形成	大 石 敏 士
耐摩耗用高 Mn 鑄鉄の凝固組織	江 口 彰 史
ヒ素化合物が熱分解によって生じるヒ素ガスの平行蒸気圧測定	古 賀 功 一
TEM 像の計算機シミュレーションによる局所歪みの定量解析	江 口 匠
線爆溶射法による Ni-P/SUS304 複合被膜の耐食性の改善	井 地 正 考
TIG アークを用いた黒鉛系鑄鉄表面への TiB <sub>2</sub> 粉末添加処理	{ 熊 本 祥 子 坂 本 旬 平
放電爆発法 TiO <sub>2</sub> 微粉体の粉体特性に及ぼす線径及び線長の影響	{ 山 本 佳 代 龍 頭 昭 廣
多合金系白鑄鉄の熱処理特性に及ぼす Si, Mn, Ni の影響	津 野 大
ボールミルおよびオングミルを用いた MgO と SiO <sub>2</sub> 粉体の混合と焼結性	{ 塚 本 圭 祐 松 原 冠 左
多合金系及び Fe-25Ni-Cr-C 系鑄鉄の高温硬さ特性	志 牟 田 光 信
Ni 基高温耐摩耗材料の凝固過程	桧 枝 寛 和
鑄鉄の表面改質への TIG アークの適用	{ 田 中 祐 樹 東 純 也

Ti-1~5mass%Fe 焼結合金の析出硬化と組織	井 土 帶 刀
高マンガン鋼表層に硬化肉盛した高クロム系白鑄鉄の特性	高 橋 洋 平
テルミット反応による Al 合金/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 複合体の作成及び金属との結合	{ 坂 梨 文 康 瀬 部 宏
ボールミルおよび遊星型ボールミルによるシリカ粉体の粉碎とメカノケミカル効果	笠 英 会
多合金系白鑄鉄の酸化特性に及ぼす V の影響	庄 司 厚 志
有限要素法による析出物周りの格子歪場の解析	松 永 一 成
Cu-Mn-Fe 合金フィラを用いたクロム系白鑄鉄及び球状黒鉛鑄鉄と鋼の接合	山 口 忠 臣
魚鱗からのハイドロキシルアパタイトの合成とそれによる重金属の吸着	笹 井 那 実 子
線爆溶射 W 及び Mo 被膜のアルミニウム基材との密着性	{ 鳴 川 宜 男 村 山 賢 治
超ジュラルミン Al 合金 (2024) の時効効果に及ぼす Sc 添加の影響	片 井 信 哉
蒸着法によるヒ素およびヒ素化合物薄膜の形成とその特性	{ 平 田 英 樹 増 原 巨 樹
Ni-5~15at%Ti 焼結合金の時効効果	山 口 浩 一

#### 機械・電気システム工学専攻

題 目	氏 名
生体の凍結保存に関する研究	笠 岳 志
水蓄熱システムの開発研究	富 松 裕 幸
河川水の水力エネルギー回収技術に関する研究	黒 川 壮 志
掻き取り式熱交換器の基礎的研究	永 島 潔
セラミックスにおける焼結面強度と粗さの関係	中 川 幾 太 郎
ボルトの締付け過程における座面摩擦係数の挙動	黒 田 祥
宇宙発電 (SPS) システム用 RF-DC エネルギー変換電子管	大 坪 宜 嗣
レーザー蛍光法による SiH <sub>4</sub> プラズマ中の水素原子密度計測に関する研究	後 藤 昭 夫
光磁気薄膜素子の磁化特性測定装置の試作, 非晶質磁性薄膜 (MO 用) の作製およびその評価	溝 上 洋 二
マイクロロボットサッカーシミュレータの作成	梅 野 一 光
人工生物を用いたクラスタリングモデル	寺 崎 伸 行
回転型三重倒立振子の安定化に対するシミュレーションによる検討	河 波 健 男
伝達剛性係数法による閉ループをもった構造物の振動解析	権 藤 博 章
歯車の高能率仕上げに関する研究	寺 崎 登 希 規
軽荷重ジャーナル軸受の油膜挙動に関する研究	仁 田 原 康 宏
切削油を用いない高能率ホブ切りの基礎研究	百 合 野 健

物質工学専攻

題 目	氏 名
新規ジアミンモノマーの合成	今 永 孝
側鎖に置換基を有する可溶性ポリイミドの合成と物性	鐘 江 健 一
ラネー合金を用いたアクリジン類の還元反応	熊 添 主 隼
地衣類 DNA の抽出およびその遺伝的解析	権 藤 忍
電気的測定による各種ゴムの加硫反応進行状態の追跡	坂 口 雄 一 郎
地衣類のリボソーム DNA 領域の解析	中 垣 優
ジアザペンタフェン類の合成と X 線解析および光学分割	渡 辺 正 敬
プラズマ溶射 WC-12%Co 被膜の特性に関する研究	熊 丸 博 樹
過共晶多合金系白鑄鉄の凝固過程	坂 井 純 二
焼結法と MA 法を用いた $L1_2$ 型金属間化合物 ( $Al_{18}Cr_7Ti_{25}$ ) の作製	佐久間 弘
高エネルギー密度熱源による黒鉛系鑄鉄材料の表面改質	島 添 修 司
窒素ガス中におけるアルミニウム、チタン、ニオブおよびタンタル線の放電爆発による窒素物微粉体の作製	宮 原 準 弥
多合金白鑄鉄の耐酸化性に及ぼす Co 量の影響	弓 場 猛



## 久留米工業高等専門学校紀要出版投稿内規

[平成4年4月1日制定]

### 1 総 則

#### 1・1 掲載する事項の種類と内容

「論文」、「教育研究報告」及び「その他」の3種類とし、論文及び教育研究報告については著者の原著で、未発表のものに限る。

(1) 「論文」とは一般論文、総合論文、寄書などである。

[一般論文]：独創的な結果、考察、結論を記述したもの

[総合論文]：一つの主題についての総合的な解説で、主として著者自身の研究又は考え方を反映したもの

[寄 書]：(a) 研究内容が独創的かつ重要な結論を含み、これを実証するために必要な実験あるいは根拠を備えているもの

(b) 他の論文に対する討論又は考察

(2) 「教育研究報告」とは、教育活動あるいは研究活動に関する報告である。

(3) 「その他」とは資料、特許紹介、年間発表の論文及び講演題目、卒業研究題目、学位論文紹介などである。

[資 料]

(a) 研究資料

一つの主題について断片的な解説、データの集積及び解析、分析法及び実験法などの内容をもつもので、設計参考データ、計算図表、試験報告、統計などを含む。

(b) 教育資料

高専教育の主題について教育方法の問題点、施行結果、改善策、統計などを主としたもので、高専教育に有用な内容をもつもの

#### 1・2 投稿手続及び原稿の採否決定

(1) 投稿手続：紀要投稿申込書、紀要投稿原稿目録・原稿を著者所属学科の委員に提出し、委員会がこれらを受理する。

(2) 原稿の採否決定：投稿責任者は委員会において原稿内容を説明し、この説明及び原稿に基づき委員会は原稿採否の決定を行う。

#### 1・3 印刷校正

(1) 校正は3校までとする。

(2) 校正は必ず赤字書きで行う。

(3) 校正は活字の誤植、誤字及び欠字の修正のみで、表現内容及び行数の変更はできない。

#### 1・4 原稿受理年月日と著者の所属機関

(1) 原稿受理年月日：紀要投稿原稿目録記載の受理年月日を脚注に掲載する。

(2) 著者の所属機関：本校教職員以外の共著者についてのみ、その所属機関を脚注に掲載する。

### 2 原稿作成要領

下記要領や委員会の指示に従って原稿を作成する。

(1) 原稿の本文は、原則として横書きとする。

和文の場合、手書きによる作成は所定の原稿用紙に黒、青インキ書きとする。

ワードプロセッサによる作成は、白紙を用い書式は所定の原稿用紙のものと同じとする。

欧文の場合、ワードプロセッサにより作成する。この場合刷り上がりの1頁は100字×44行を基準とする。

- (2) 論文は、できるだけ次の順序に従って書く。題名、概要、緒言、本論（実験）、結果及び考察等。このうち不必要な項目は、省いても差しつかえない。

概要を記載する場合は、英文とし、目的、特徴及び結果などを200語以内に要約する。なお、英文題名、ローマ字の著者名（Full name）を添える。ただし、ドイツ語及びドイツ文学に関する論文に限り、題名及び概要は独文で書くことができる。

- (3) 文章は、原則として当用漢字、現代かなづかいにより簡潔、明確に書き、ローマ字、ギリシャ文字、特殊文字はすべて活字体で正確に記入する。

数式などで、独立したものは、 $\frac{a}{b}$ 、 $\frac{a+b}{c+d}$ のように、文中に出てくるものは、 $a/b$ 、 $(a+b)/(c+d)$ のように書く。

量記号などについては、大文字、小文字の区別をして正確に書くこと。

下例のように

例：オー      ゼロ      アール      ガンマー      ケイ      カッパー  
         O      0           r           γ           k           κ

などは、はっきり区別する。

- (4) 原稿における本文の区分は、できるだけポイントシステムによる記号を用いて大見出し、中見出し、小見出しなどを明確にする。

例 1) 1    1.1    1.1.1    例 2) 1    1.1    (1)    (a)

大見出しは二行分に、小見出しは一行に書く。

- (5) 機器、材料、薬品などの名称は、現在慣用されているものを原則として日本文字（仮名も含む）で書く。なお、これらに用いる用語は、各専門分野の使用基準（便覧、学術用語集などでの例）を参考にする。

諸記号や符号などは、国際的・専門的に慣用されているものを用いる。

- (6) 注及び参考文献は、原則として、それぞれ通し番号を付し本文の末尾に一括して記載する。

表示は投稿者の所属する学会の規定を準用する。

- (7) 句読点、カッコ、ハイフンなどは、原稿用紙の一コマに書き、新しい行の始めは一コマあける。

- (8) 図の用紙は、所定の図面原稿用紙を用いる。

- (9) 図、表、写真の番号は、図 1、図 2…… 表 1、表 2…… 写真 1、写真 2…… のように記入する。

- (10) 図は、ていねいに墨あるいはロットリング書きし、図中の文字を活字にしたいものは、その旨鉛筆で別紙トレーシングペーパーに記入する。図の片隅に投稿責任者名を記入する。

- (11) 表の説明は表の上に、図、写真の説明はその下に書く。

- (12) 図、表、写真の刷り上がりの大きさは、最大 1 ページとする。

- (13) 図、表、写真の大きさは、刷り上がりの 2 倍程度とする。

- (14) 図、表、写真の挿入希望箇所は、原稿右欄外に記入する。

- (15) 原稿 1 頁目の脚注に、平成 年 月 日受理並びに共著者（本校教職員でない者）の所属機関名を記入する。

- (16) 刷り上がりが 6 頁以内になるよう、原稿（本文、図、表、写真を含む）の総調整をする。ただし、論文の特殊性により編集委員会の議を経て、5 頁まで超過を認めることができる。

- (17) 年間発表の論文及び講演題目の作成要領は別に定める。

#### 附 則

この内規は、平成 4 年 4 月 1 日から施行する。

#### 附 則

この内規は、平成 6 年 4 月 1 日から施行する。

#### 附 則

この内規は、平成 10 年 4 月 1 日から施行する。



## 平成12年度 編 集 委 員

委員長	柳 謙 一 校 長
副委員長	杠 顕一郎 教 授 (数 学)
	藤 道 治 教 授 (応 化)
委 員	今 井 良 一 教 授 (機 械)
	大 淵 豊 教 授 (電 気)
	松 本 健 一 教 授 (制 御 情 報)
	本 田 義 興 助 教 授 (材 料)
	宮 本 泉 助 教 授 (物 理 ・ 化 学)
	天 藤 勝 教 授 (外 国 語)
	小 宮 厚 助 教 授 (国 語 ・ 人 文)
	木 寺 英 史 助 教 授 (体 育)

平成12年 9 月20日 印刷

平成12年 9 月30日 発行

### 紀 要 第16卷 第1号

〒830-8555 久留米市小森野一丁目1番1号

編 集 兼  
發 行 者

久留米工業高等専門学校

TEL 0942-35-9300

〒815-0035 福岡市南区向野2丁目13-29

印 刷 所

秀巧社印刷株式会社

MEMOIRS  
OF  
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 16 No. 1  
(SEPTEMBER 2000)

CONTENTS

Effects of Composition of Oils on Oil-film Performance in Light Load Journal Bearings .....	<table style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Satoru MATSUI</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Yasuhiro NITAHARA...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Osamu ESAKI</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Yasuaki HIROO</td></tr> </table>	Satoru MATSUI	Yasuhiro NITAHARA...	Osamu ESAKI	Yasuaki HIROO	1	
Satoru MATSUI							
Yasuhiro NITAHARA...							
Osamu ESAKI							
Yasuaki HIROO							
Fast Hough Transform by employing Quadruple Simultaneous Recurrence Formula ..... — The Relation between Effective Bit Length and Accuracy —	<table style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Katsuyuki NAKASHIMA</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Masatoshi TAKAMATSU</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Yutaka OBUCHI ...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Katsunori INOUE</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Yasuo TAKAHASHI</td></tr> </table>	Katsuyuki NAKASHIMA	Masatoshi TAKAMATSU	Yutaka OBUCHI ...	Katsunori INOUE	Yasuo TAKAHASHI	7
Katsuyuki NAKASHIMA							
Masatoshi TAKAMATSU							
Yutaka OBUCHI ...							
Katsunori INOUE							
Yasuo TAKAHASHI							
Measurements of Atomic Hydrogen Densities in SiH <sub>4</sub> Plasmas using Laser-Induced Fluorescence .....	Koichi MIYAZAKI...	15					
Computer Terminal for The Internet and Management Support System in Classroom .....	Naruto EGASHIRA...	21					
An Inquiry into the Vertex Search Algorithm for Digital Voronoi Diagram .....	<table style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Michiharu MAEDA</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Nobuyuki TERASAKI...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Hiromi MIYAJIMA</td></tr> </table>	Michiharu MAEDA	Nobuyuki TERASAKI...	Hiromi MIYAJIMA	27		
Michiharu MAEDA							
Nobuyuki TERASAKI...							
Hiromi MIYAJIMA							
Dependence of Oxygen Pressure on Properties of Chemical Battery using Na <sup>β</sup> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> as a Solid Electrolyte .....	<table style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Koki SHIGEMATSU</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Jinichirou KUBO ...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Mikio UMAKOSHI</td></tr> </table>	Koki SHIGEMATSU	Jinichirou KUBO ...	Mikio UMAKOSHI	33		
Koki SHIGEMATSU							
Jinichirou KUBO ...							
Mikio UMAKOSHI							
Examples of Virtual Knot Diagrams Which Vanish the Conway Polynomial .....	Shigekazu NAKABO...	41					
Concerning the Character of Zhou Lianxi .....	Michio HIRAMOTO...	47					
The 9th Forum of National College of Technology in Kyushu. .... — Towards the 21th Century. —	<table style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Hiroyuki NAKASHIMA</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Kichinosuke KAMATA ...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Mikio UMAKOSHI</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Akiyoshi TORII</td></tr> </table>	Hiroyuki NAKASHIMA	Kichinosuke KAMATA ...	Mikio UMAKOSHI	Akiyoshi TORII	55	
Hiroyuki NAKASHIMA							
Kichinosuke KAMATA ...							
Mikio UMAKOSHI							
Akiyoshi TORII							
The 8th Seminar of Science and Technology — The Current Trends in High Technology High Technology in National College Trying for the Technical Innovation with a Regional Industry — .....	<table style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-collapse: collapse; margin-left: 10px;"> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Hiroyuki NAKASHIMA</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Ohsuke SAKA</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Kichinosuke KAMATA ...</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Hidefumi KATOH</td></tr> <tr><td style="padding: 2px 5px;">Akiyoshi TORII</td></tr> </table>	Hiroyuki NAKASHIMA	Ohsuke SAKA	Kichinosuke KAMATA ...	Hidefumi KATOH	Akiyoshi TORII	61
Hiroyuki NAKASHIMA							
Ohsuke SAKA							
Kichinosuke KAMATA ...							
Hidefumi KATOH							
Akiyoshi TORII							