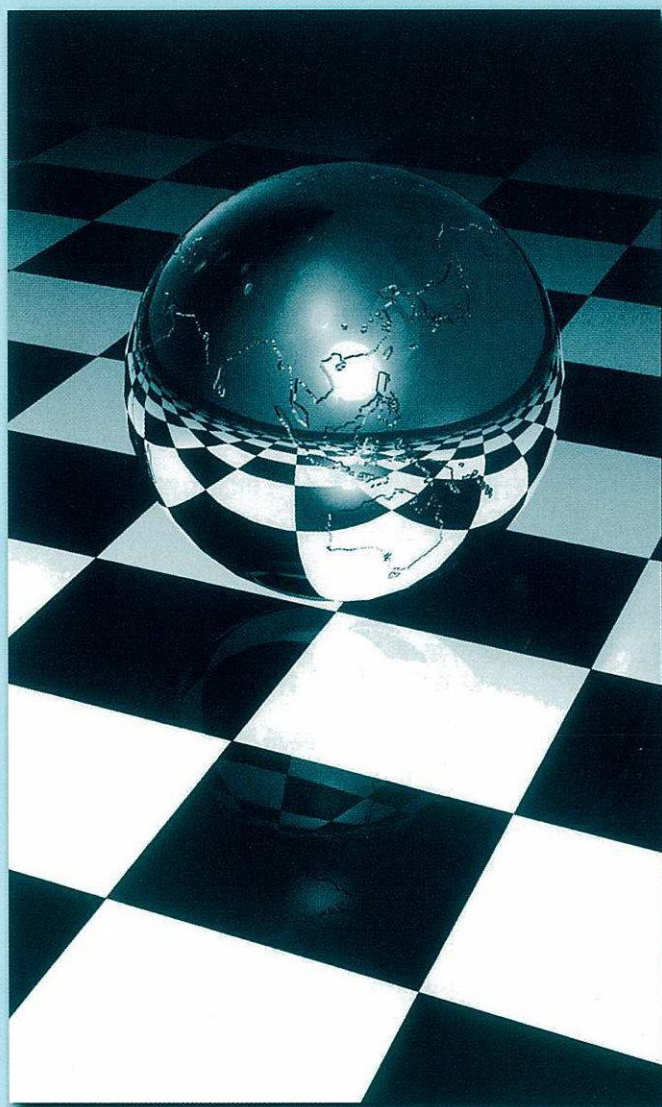


久留米工業高等専門学校紀要

第23巻 第1号

平成19年9月



**Memoirs of
Kurume National College of Technology**

Vol.23 No.1 September 2007

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23巻 第1号
(平成 19 年 9 月)

目 次

汎用マークシート読み取り集計システムの実用化	{ 中大勝行 原崎邦倫 卓伸	1
小規模風力発電システムにおけるエネルギー回収率の向上と評価	{ 川口武実 棚町哲也 行本聖司	9
サイズ排除クロマトグラフィーを用いたポリイミドの分子量測定	{ 松田貴暁 中津村一貴 田裕輔	17
二次元ゴム混練機中のゴムの流動に関する研究 — ローター羽根前方鎌状領域における フローパターンと速度分布 —	{ 権藤豊彦 森哲夫 藤道治	21
マクロポーラスパラジウム薄膜型オプティカル水素センサの作製とその評価	{ 濱上寿一 内堀大輔 高西一正 黒木雄一郎 高田雅介	27
電気泳動法と熱処理によるアパタイトコーティング膜の作製と評価	{ 濱上寿一 岸本昂之 松岡孔明	33
The Hopf invariant of a map over B	Michihiro SAKAI	39
クラブ（ラケット・バット）とボールの重量比に関する研究	明官秀隆	45
安定運用を目的とした学内ネットワークシステムの構築 — 2007年4月更新分 —	{ 大崎邦倫 江頭成人 馬場隆男	49
「二軸動作（常歩）」研究の方向性	木寺英史	57
ホップ不変量とその拡張について	酒井道宏	61
平成18年度中に発表した論文・著書等及び講演題目		65
平成18年度卒業研究題目及び専攻科研究論文題目		80
久留米工業高等専門学校紀要出版投稿内規		86

一般論文

汎用マークシート読み取り集計システムの実用化

中島 勝行, 大崎 邦倫, 原 卓伸

Development of All purpose Mark sheet Reading and Making up System for Practical Use.

Katsuyuki NAKASHIMA, Kuninori OOSAKI, Takunobu HARA

Abstract.

Recently, the multifunction printers are being introduced for business work at our college. They have the function of Copy, Facsimile, Printing, Scanner. They are combined to SMB server for common use of all staff of our college. Recently, the accuracy, speed, stability of these machines are rapidly improved.

On this background, the All-purpose Mark sheet Reading and Making up System was developed. This report would introduce the principle and functions of this system for all users of this kind work.

1. 緒 言

近年事務処理効率の向上のためFAX, コピー, 印刷, スキャナー機能を装備したいわゆるコピー複合機が導入されネットワークを介しての共用が行われている。そのうちスキャナー機能は紙媒体のデータを電子媒体に変換するために多用されており, 変換後のデータの形式も用途に応じてPDF, TIFF, JPGなどの各種フォーマットが選べるほか解像度選択, モノクロ, 2値, フルカラーと多彩な機能を有している。久留米高専の各部署に導入された複合機はほとんどこの機能を備えており, スキャンする紙媒体の連続給紙が可能で給紙の安定性, 位置精度ともに数年前の同種の機種よりはるかに高精度化されている。本研究ではこのコピー複合機を利用して, アンケートの集計, 試験の採点を行う実用システムを開発したので報告する。このシステムは既に授業の中に取り入れられており, 問題作成まで自動化して学生の教育に有効に使用されている。また汎用化されているので他の部署でも容易に使用でき事務処理能率向上に寄与するものと思われる。

2. 構 成

図1にハードウェア構成を示す。特別なものは何

もない, 全て既存の機器を使用した。このような構成は学内各所に見受けられる。逆に言えばどこでも使える, 汎用性があると言う事である。

表1は処理の流れである。

- ① コピー複合機ではオプションでJPG画像出力を選び連続給紙を利用してSMBサーバーの特定のフォルダに読み込む。
- ② パソコン側ではこのJPG画像フォルダを取り込み画素単位の処理に適したWindowsBMP画像に変換する。
- ③ 後述のようにこの画像はスキャナーでの機械,

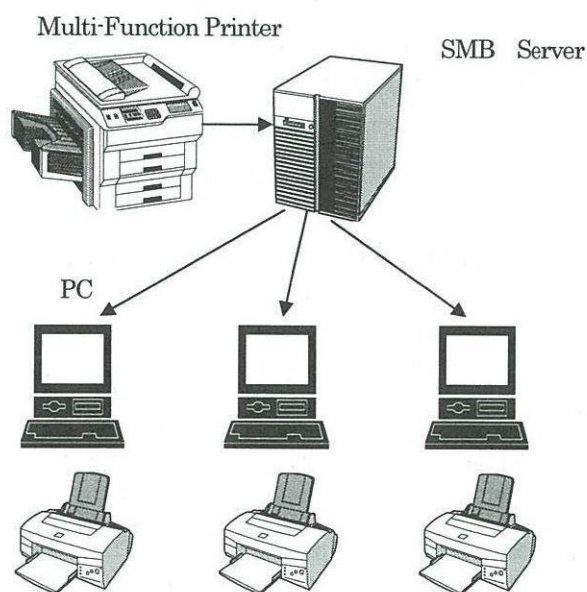


Fig.1 Hardware Block Diagram

光学的歪を含むのでこの補正を行う。

- ④ BMP画像を精査してマーク位置を表すExcel CSV形式データに変換する。
- ⑤ 所定のマークシート様式仕様に基づいて集計処理を行う。

このときマークミスなどが発生すれば元画像を手作業で修正し③からやり直す。

Table 1 Processing Flow

Proc. No.	Process
①	Scan On Scanner
②	Data Conversion
③	Image Compensation
④	CSV Out Put
⑤	Making Up

①, ②は手作業である。②では画像形式の変換にWEB上のフリーソフトを使用した。④, ⑤はExcel VBAのプログラムでの処理であるが大きな問題はなく③の画像歪の除去が工夫を要する点である。

3. 画像歪

スキャンの際の画像歪は一般的に次の2つに分類できる。ひとつは

- (a)スキャナー機構の機械, 光学的誤差に起因する台形状歪である。今ひとつは
- (b)光学レンズの性能に起因する鼓状の歪である。

スキャンして得られる画像はこの2つの複合したものである。図2にこの様子を示す。元画像には4隅にマーカー(10*10Pixel)が配置されている。(付録参照)

電気電子工学科資料室のコピー複合機a250 (FUJI ZEROX製)について図2中の各座標値を計測した結果を表1, 2に示す。

表1は4隅に配置したマーカーの絶対座標の平均値, 最大値, 最小値, ばらつき σ を示している。表2は左下原点(x00,y00)を基準にとった相対値である。単位は[Pixel], 画像サイズは水平1654画素, 垂直2340画素, 標本数は42である。このデータは上記コピー複合機で印刷したマークシートを同じ装置で読み込んだ結果である。スキャン画像の位置, 歪は使用する機器の特性に依存するが後述の歪補正により十分対応で

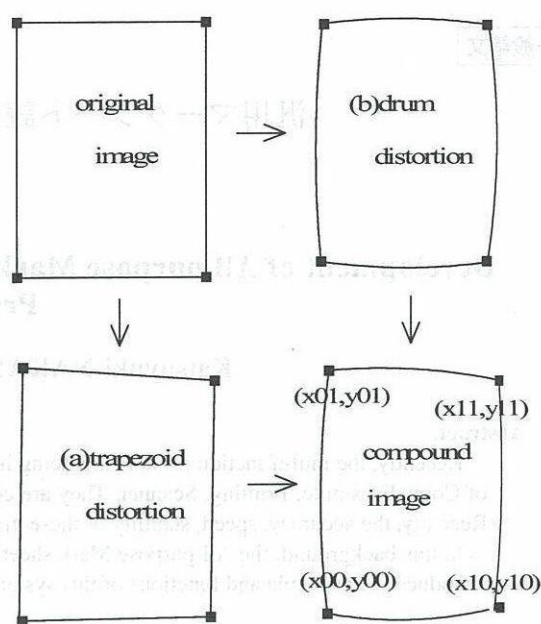


Fig.2 Distortion

Table1. Coordinates (Absolute Value)

	x00	y00	x01	y01	x10	y10	x11	y11
Avg.	178	105	179	2222	1573	101	1572	2211
Max.	186	105	188	2226	1581	108	1581	2219
Min.	160	88	156	2210	1553	93	1551	2203
σ	4.42	3.56	5.43	3.52	4.82	3.69	5.20	3.70

Table2. Coordinates (Relative Value)

	x00	y00	x01	y01	x10	y10	x11	y11
Avg.	0	0	0.93	2117	1390	4.55	1394	2115
Max.	0	0	6	2124	1397	9	1399	2120
Min.	0	0	-5	2116	1393	1	1389	2111
σ	0.00	0.00	2.65	1.88	0.87	2.06	2.56	2.34

きる。

表2の相対座標値の場合, ばらつき σ が絶対座標の場合の約半分になっている。これはマークシートをトレーからpick (引き込み) する際, 引き込み方向のタイミングの機械的なずれ, あるいは送り機構の不具合による斜行が原因と考えられるからである。従って表2の相対座標を用いた読み取りを行うことにした。また今回の実験では鼓状歪は僅かで台形歪が大部分を占めることが判ったので考慮しないことにした。鼓状歪は台形歪の10%以下であった。

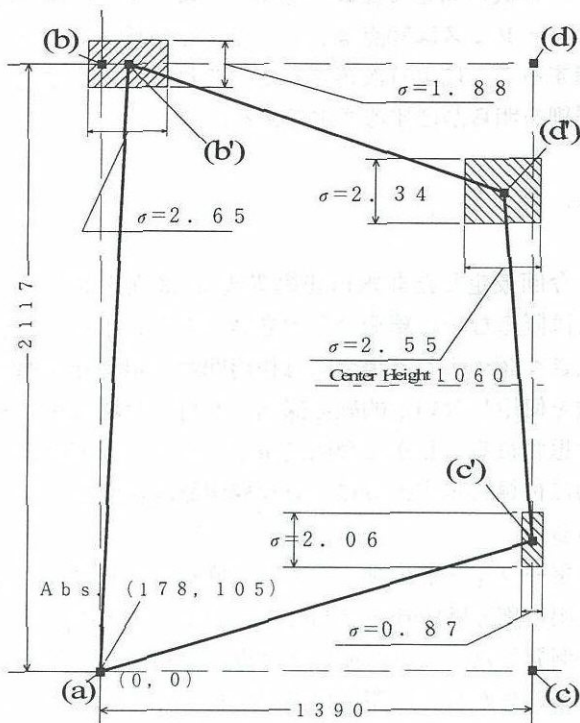


Fig.3 Relative Distortion (×100) [Pixel]

原画像を見る限り歪みの目視確認は不可能である。

直感的把握のため4つコーナーのマーカ位置の相対誤差を100倍に拡大して書いたのが図3である。これは図2左下の図形に対応する。 σ の単位は[Pixel]でこれは表2からの抜粋である。図では左下を原点としその座標は(0,0)である。後述する写像変換では左上の高さ(相対座標)は表2の平均値2117に固定した。同じく右下の幅(相対座標)は平均値の1390に固定した。但し対象となるコピー複合機の機種が変わる場合に対処するため変数とし、初期値として上記の値を代入した。

図3において上辺のx方向誤差が大きい。これは上辺から先にpickされるのでマークシートの搬送途中に横方向シフトが発生するためである。右下の誤差は水平方向1次元のセンサで感知されることを考えれば少なくなる。これは予想と一致する。原点の対角である右上の誤差は縦横いずれも大きい。しかし左上、右下のばらつきを大幅に超えるものではない。

4. 歪の補正

以上の実験結果に基づき、歪の補正を行うアルゴリズムについて考察する。マーカに対応する左下原点(0,0)を基準とした仮想座標を考え次のように関

係付ける。

(0,0) : 左下マーカ(a)原点

(0,2117) : 左上マーカ(b)

(1390,0) : 右下マーカ(c)

(1390,2117) : 右上マーカ(d)

これをスキャナで読み込んだ歪を伴う画像の原点を基準とした相対座標を次のように関係付ける。

(xr00,yr00) : 左下マーカ(a)原点

(xr01,yr01) : 左上マーカ(b')

(xr10,yr10) : 右下マーカ(c')

(xr11,yr11) : 右上マーカ(d')

この(a)→(a'), (b)→(b'), (c)→(c'), (d)→(d')の変換を行う写像変換関数を考えるとこの変換は座標の平行移動、回転だけによる線形変換ではないから、非線形写像変換となる。そこで任意の仮想座標(x,y)が与えられたとき上記の対応関係を保持したまま参照すべき新しい座標(xd,yd)に変換を行う変換関数を次のように仮定する。

$$\begin{cases} xd = ax \cdot x + bx \cdot y + cx \cdot x \cdot y \\ yd = ay \cdot x + by \cdot y + cy \cdot x \cdot y \end{cases} \quad (1)$$

係数 ax, bx, cx, ay, by, cy を求める条件は

$$x = 0, y = 2127 \rightarrow xd = xr01, yd = yr01$$

$$x = 1390, y = 0 \rightarrow xd = xr10, yd = yr10$$

$$x = 1390, y = 2127 \rightarrow xd = xr11, yd = yr11$$

これを(1)に代入して係数を求めれば

$$ax = xr10/1390$$

$$bx = xr01/2117$$

$$cx = xr11 - xr10 - xr01$$

$$ay = yr10/1390$$

$$by = yr01/2117$$

$$cy = yr11 - yr10 - yr01$$

(1)により(x, y)から(xd, yd)を求めれば参照すべき絶対座標(xad, yad)はマーカのサイズ(10×10画素)を考慮して

$$xad = xd + xa00 + 5$$

$$yad = yd + ya00 + 5$$

となる。

以上の考察に基づきプログラムを作成した。横相対寸法1395、縦相対寸法2117は実際には変数として取り扱い可変とした。理由は、マーカを含むマークシート原紙を印刷するプリンタ自体が理想的な矩形を印刷するとは限らないし、また読み取るスキャナによって歪および絶対長さが微妙に変化するからである。そのために印刷→マーキング→スキャンの

過程に於ける絶対寸法を測定するプログラムを別途用意した。付録に汎用マークシートのサンプルを添付する。100問10択である。右上には歪補正有り、無しの2つのケースについてスキャン領域（黒矩形の部分）を拡大して表示している。補正なしの場合はズレが生じている。

多くのマークシートにはこのような補正を行う代わりに読み取りタイミングを示す黒色のタイミングマークが印刷されているがこれは白黒の格子模様で一見グロテスクでありテストに使用する場合には受験者に不要な圧迫感を与える。この理由で今回タイミングマークを一切使用しなかった。

5. 運 用

このシステムは実用に供している。プログラムは (a) 画像読み取りとExcelCSVファイル出力（DOSレベルのFreeC++で記述）

(b) ExcelVBAによる集計

に分かれている。実際の運用では(b)から(a)を呼び出し連続的に処理が進むよう工夫した。

(a)はBMP形式の原画像を読み取り、補正を施してマーク位置のマークの有無を読み取り、CSV形式でファイルに出力する。この際マーク位置情報は2進の各桁に配分することにより圧縮した。読み取り領域の確認のため、調べたマーク位置を示す画像ファイルも同時に出力される。(b)は上記CSVファイルを読み込み、応用の用途に必要な手順をVBAで記述している。ExcelVBAはその名のとおり容易にマスター出来るので多くの利用者の存在が期待できる。現在の所、一般的なアンケート集計と著者が担任の任にある4Eの学生に対する英英単語テストとに使用している。前者は本校の「学生による授業評価アンケート」に使用されている。後者は平成18年12月よりホームルームの時間に実施しているが短時間に採点し結果を発表出来るので学生の学習意欲の向上に寄与するところ大である。これまでに千数百枚のシートを処理したが読み取りミスは一度も発生していない。マーク濃度の問題は皆無と言って良い。解答を消しゴムで消した際の消し残りがマークとして検出されたことがあるがこれは人の目で見ても明らかな消し損ないであった。付録にはマーク見本（左上）が印刷されているがこれは理想的なマーキングであってシャープペンシルで適度に強く線を引けば十分であ

る。10択の問題で複数を選んでしまう学生の論理的なマークミスは30点ほどあったがその都度ミスを指摘することにより改善された。これについては別途詳細を明らかにする予定である。

6. 結 言

今回仮定した非線形変換関数(1)は理想的なものとは限らない。線形歪が大きい、あるいは鼓上歪が大きく認められる場合には楕円関数を用いた変換関数を使用しないと的確な探索が不可能な場合もあると思われる。しかし今回使用したシステムでは実用的に付録に示すように十分な探索領域精度を有している。

マークシートのマークエリア探索→マーク検出結果出力部分はBorlandのFree C++コンパイラを使用して開発した。これを使った理由は、無償なので学内の誰でもが自分の環境に応じて自由にソースを修正することが出来るよう配慮したからである。集計部分をExcelVBAで記述したのも、本校がMS Officeのグروهライセンス契約を結んでいるのでこのシステムを使用することを考える関係者誰でもが自分なりの集計方法に改変できるように考えたからである。

プログラムのソースファイルは下記参考資料のURLに出ているので活用して頂きたい。またC++で記述したプログラム 5.運用(a) は付録の汎用マークシート（付録 汎用マークシート）のマーク読み取り領域を改変して使用するとき以外は修正の必要はないと思われる。実際、座標変換のアルゴリズムは事務職の方々には難解と考えるからである。

このシステムが有効と認められて使用するユーザーが増えるならば取り扱い説明書を発行する予定である。

最後に、本システムを活用して試験の採点やアンケートの集計を行う教職員が増えることを期待する。

文 献

1. 画像解析ハンドブック：高木 幹雄・下田 陽久
【監修】東京大学出版会（2004-09-10出版）ISBN：9784130611190
2. デジタル画像処理の基礎と応用：酒井幸市著，CQ出版社 ISBN-10：4789837076

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

0無し右詰め

付録

分解能が200DPIだから
1画素は0.127mmである。

マーカー10×10画素
1.27×1.27mm

1.27 × 1.27mm

一般論文

小規模風力発電システムにおけるエネルギー回収率の向上と評価

川口 武実, 棚町 哲也*1, 行本 聖司*2

Improvement and its Estimation in Wind Energy Recovering Factor
at the Small Wind Power Generation System

Takemi KAWAGUCHI, Tetsuya TANAMACHI*1, and Seiji YUKIMOTO*2

The appearance of a cut out wind speed is not frequent and also even the appearance of a rated wind speed is fewer, at the wind power generation system located in the plain where the high wind speed cannot be obtained without approaching of a typhoon. Under such a wind power condition, therefore, the large-scale wind power generation plant is not constructed according to the economic reason. However, it is necessary to study the operation scheme of the small-scale adjustable speed wind power generation system located in the plain, for the purpose of drawing the wind energy effectively, from a viewpoint of CO₂ regulation, environmental protection of the Earth. In this paper we present an improvement and its estimation in wind energy recovering factor at the small wind power generation system.

key words: small wind power generation system, adjustable speed wind power generation system, operation scheme, improvement of wind energy recovering factor

1. まえがき

一般に風力発電システムでは、カットイン風速以上になると発電を開始し、風車出力が発電機の定格出力に等しくなる定格風速以上では可変ピッチ制御あるいはストール（失速）制御による出力制御が行われる。さらに風速が増加しカットアウト風速に達すると、危険防止のため風車に制動を掛け風車の回転を止める⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

他方、台風接近以外にはさほどの強風が得られない平野部では、カットアウト風速までに達する頻度は小さく、発電機定格出力の選定値にもよるが、定格風速に達する頻度さえもさほど大きくない。このような風況下では、当然風力発電事業は経済的に成り立たない。

しかし、風力エネルギーを最大限回収することを目的に、カットイン風速から定格風速まで可変速運転を行うことを想定した小規模可変速風力発電システムで、エネルギー回収率の高い運転方法を検討しておくことは、CO₂ 排出削減・地球環境保全などの

観点から有益であると考えられる。

本稿は、プロペラ風車を用いた小規模可変速風力発電システムを対象に、発電機軸速度（＝風車回転速度）を用いて演算した負荷を掛けて、最適周速比近傍で運転させることにより、風力エネルギーの回収率向上を図った発電機側からの一アプローチについて報告する。

2. 風車の性能と最大電力点追従運転

2.1 パワー係数

自然風の中から風車を利用して取り出すことができるパワーの割合は、パワー係数 C_p と呼ばれ次式で与えられる⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

$$C_p = \frac{P_e}{(1/2)\rho A v^3} \quad (1)$$

ここに、 P_e ：実際に得られるパワー [Nm/s]、 ρ ：空気の密度 [kg/m³]、 A ：受風面積 [m²]、 v ：風速[m/s]

パワー係数の最大値は、理想風車でも0.593であり、実際の風車については、高性能のプロペラ型で0.45、抗力型のサボニウス型で0.15～0.20程度である。

平成19年8月20日 受理

*1(株)日立エンジニアリング・アンド・サービス

*2専攻科学生

Copyright 2007 久留米工業高等専門学校

2. 2 最大電力点追従運転

パワー係数は、次式のように定義される周速比 λ によって変化し、風車翼の形状で決まるある周速比で最大値をとることが知られている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \quad (2)$$

ただし、 R ：風車翼の半径[m]， ω ：風車の回転角速度[rad/s]

そこで、風速変動につれて風車翼の回転速度を変え、パワー係数が常に最大値を取るようにした運転方式（最大電力点追従運転と呼ばれる⁽⁴⁾）が考えられるが、風車翼に慣性があり、風速変動に対して回転速度を素早く追従させることができないという課題を抱えている。

このため、フライホイール発電機や蓄電池に蓄えた電気エネルギーを利用して、風速が上昇しているときに風力発電機を電動機として動作させ、風車翼の慣性を見かけ上小さくした運転方式が提案⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾され、総発電量が20%増えると試算されている⁽⁴⁾。また、風車が揚力域に達する速度まで、一定時間間隔で数秒間風力発電機を電動機動作させて微風下での始動を可能にし⁽⁶⁾⁽⁷⁾、さらに風力ピークパワー発生から風車出力ピークパワー発生までの位相ずれも補償することが提案⁽⁶⁾され、好成績を収めている。

しかし、風車の慣性を見かけ上小さくする運転方式は、風速上昇中において、風力発電機が連続して電動機動作するような運転状況が予想され、このような風況下では、ごく短時間しか発電機動作による風力エネルギーの回収ができない。微風時に一定時間間隔で電動機動作をさせる方式は、小規模風力発電システムでは必要な駆動電力量は総発電量に比べて相対的にわずかである⁽⁶⁾⁽⁷⁾が、別途ソーラーパネルなどでその電力を確保しないとすると、発電量の一部が消費されることは避けられない。

風車に流入する風速の検出が不可欠な方式に関しては、さらに次の点に留意しておく必要がある。例えば大型プロペラ風車では、ナセル上に風速計を設置して風車翼中心部の風速を捉えることができる⁽⁸⁾が、小規模風車では風速計の設置場所が問題となる。また、風速計固有の問題として、検出遅れが必ず存在する。機械式風速計では高速タイプでも0.25秒～

3.0秒の時定数を持っており⁽¹⁾、また、高価でもある。したがって、他のタイプの風速計も視野に入れ検討しておく必要がある。

ところで、風車の形式が決まれば、ある風速に対する最適な風車回転速度、すなわち最適な負荷トルクが存在する。したがって、風車出力とマッチングの取れた負荷では、効率よく風力エネルギーを取り出すことができる⁽³⁾。筆者らは、従来からこの点に着目した小規模風力発電システムでの電氣的な適正負荷構築法について検討を重ねてきたが、今回、一応の結論を得ることができたので、現段階までの成果をまとめ報告することにする。

3. 風況調査

3. 1 風力発電機と風速計の仕様

図1のように、本校制御情報工学科棟（3階建）屋上に風車タワーと風速計を設置し、2階実験室まで配線して実験を行った。



図1 風力発電機と風速計

実験に使用した風車は Southwest Windpower 社製（電菱社販売品）の3枚翼プロペラ型で、その主な仕様は、ロータ直径：1.17m、重量：6kg、発電開始風速：2.7m/s、公称定格出力：400W(at 12.5m/s)である。風車翼は炭素繊維の強化熱可塑性プラスチックでできており、安全のため、風速約18～20 m/sまたは回転速度約2250rpmで風車翼がねじれて垂直になり失速するような構造となっている。購入時点で蓄電池をつなげば充電しながらの運転が可能であるが、本稿で提案の方式で運転するため、発電機固定子巻線を平衡三相巻線に巻き直し、新規に製作した

実験回路に接続した。発電機の回転子には、ネオジウム・鉄・ホウ素をアーチ状に成形した高性能永久磁石を用いており、極数12で増速ギアは付いていない。

風速計は、3杯型で計測可能な風速範囲：0～56.0m/s、分解能：0.1m/sのものを使用した。

3.2 風況調査結果

図2に、屋上における風速と、無負荷での風車回転速度の変動を、それぞれ40秒間測定した結果を示す。計測時の風速は平均5.5m/sであった。風速の時間変化に対して、回転速度の変化には2～3秒の遅れが見られる。図3は同時に周波数スペクトラムを測定したもので、風速変化の最大周波数は約3Hzとなっており、風速変動は以外と速いことを示している。回転速度の場合、最大2Hz程度であることが分かった。回転速度の周波数スペクトラムには、風車尾翼による方位制御の影響も含まれていると考えられる。

4. 適正風車負荷の構築

前述のように、風速変動に対し風車回転速度の変化には時間遅れがある。そこで、風速のデータを用いないで、適正負荷を掛ける運転方式を検討した。

風力発電機終端負荷が蓄電池の場合、その充電状態に合わせた充電電流制御が行われることもある⁽⁷⁾

が、この運転方式では最適負荷運転は実現されない。

風車が決まり、変動する風速の全域にわたり整合したトルク特性を持つ負荷を掛けるには、まず、回転速度変化に対する風車出力の変化（動特性）を定量的に正確に把握する必要がある。しかし、それは簡単ではなく、静特性ならば風洞実験により実験的に求めることができる。

風速検出や風車出力特性の把握なしで出力制御を行うため、直流風力発電機界磁電流からその出力を推定し、これを制御量とする山登り法を適用した方式が提案⁽⁹⁾されている。

これとは異なる一方式として、本稿では、風車回転速度のみを検出し、それを基準にした山登り法を適用する方式（次に述べるA方式）を提案する。

本研究では、風車回転速度をコンピュータに入力して負荷電力指令値を求め、フィードバックシステムにより負荷電力をそれに素早く追従させて負荷を構築した。最初に、コンピュータ上での割り込み番号： i におけるトルク指令値 τ_i [Nm]を(3)式のように与え、A方式と呼ぶことにする。 τ_{i-1} [Nm]は前回割り込み時のトルク指令値、 $\Delta \tau_i$ [Nm]は割り込み時間間隔中のトルク増分を示す。 K は増分重み係数（単位：[Kg/m²]）である。なお、 ω_i 、 ω_{i-1} はそれぞれ前回割り込み時と今回割り込み時の角速度（[rad/s]）、 Δt は割り込み間隔（[s]）を表している。

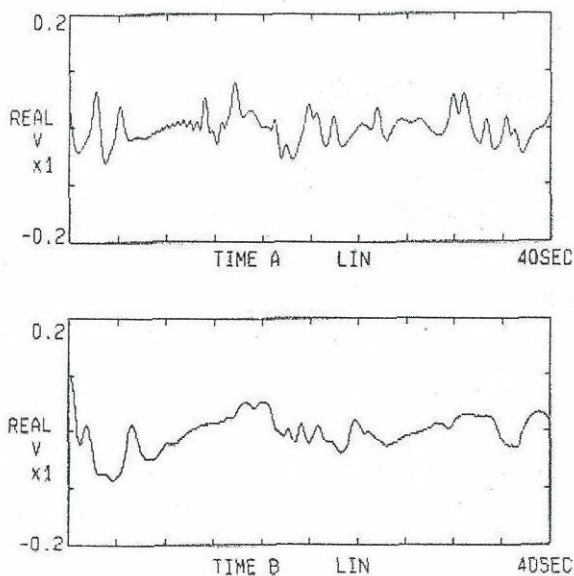


図2 風速と回転速度の変化（上：風速，下：回転速度）

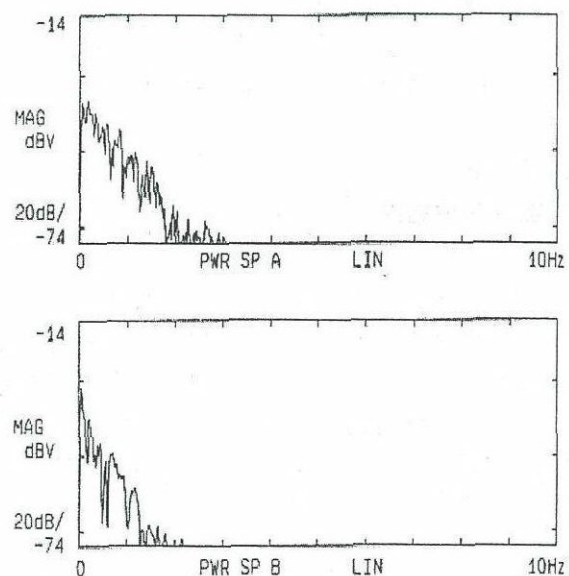


図3 周波数スペクトラム（上：風速，下：回転速度）

$$\tau_i^* = \tau_{i-1}^* + \Delta \tau_i$$

$$= \tau_{i-1}^* + K \left(\frac{\omega_i - \omega_{i-1}}{\Delta t} \right) \text{ [Nm]} \quad (3)$$

ここで、電力指令値 P_i^* は次のように与える。

$$P_i^* = \omega_i \cdot \tau_i^* \text{ [W]} \quad (4)$$

次に、回転速度に対する風車の最大負荷電力特性曲線（静特性）と風車・発電機の慣性モーメント J ($[\text{Kg/m}^2]$ 、場合によっては増速ギアを含む) が既知であるとして、もう一つの方式を提案する。

風速・回転速度ともに上昇中は、風のもつエネルギーが大きいものの風車の加速にも余分のエネルギーが必要となる。ここで、回転速度上昇中に最大負荷電力特性曲線を下回る負荷を掛け、風車の加速を速めて風車を“風に任せ”、下降時にはずみ車としての風車に蓄えられたエネルギーを有効利用することにした運転方式を考え、B方式と呼ぶことにする。B方式では、現在の割り込み: i での風車回転速度 ω_i を基に負荷指令値 P_i^* を次式により与える。

$$P_i^* = P_i - \omega_i k J \left(\frac{\omega_i - \omega_{i-1}}{\Delta t} \right) \text{ [W]} \quad (5)$$

ここに P_i は、現在の割り込み時の風車回転速度（軸速度） ω_i に対応する最大負荷電力（静特性：後述図4参照）を表す。 k は、重み付け係数 ($0 < k \leq 1.0$) で実験的に決定する。

(3)～(5)式で電力指令値を求める場合、いずれも初期値=0からスタートし、順次値を更新する。

5. 実験

5.1 風洞実験結果

図4に風洞実験結果を示す。電動機出力750Wの送風機を縦横2台ずつ並べ計4台使用し、送風機から2.0mの距離に風車を置き、その中間点に風速計を設置した。この風洞設備は、整流筒など流体力学的配慮が一切ない簡易形であるが、むしろ風車基地設置場所付近の自然風下でのデータ収集ができたと考えている。

図5は、図4から得られた風速対最大電力特性を示す。発電機固定子巻線を巻き直したことにより得

られた最大電力は購入当初の発電機定格出力よりもやや少ないと考えられる。

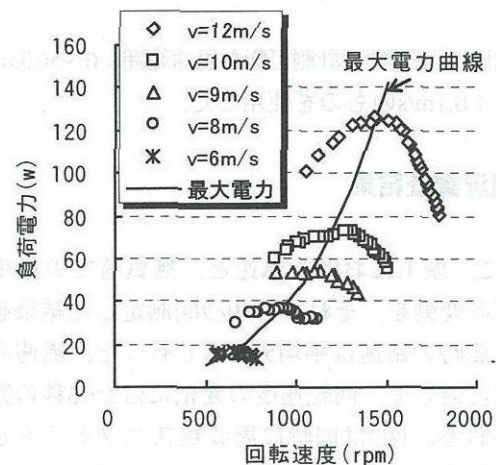


図4 風洞実験結果

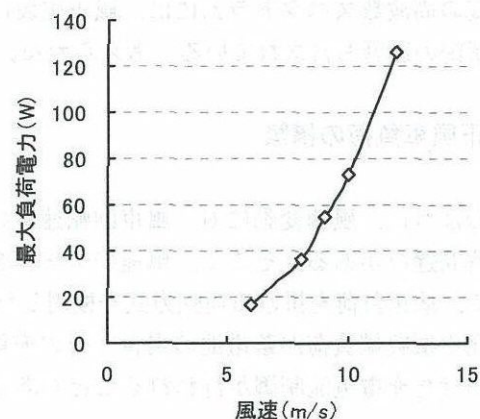


図5 風速対最大電力曲線

5.2 計測および制御回路

図6に実験回路の構成を示す。電力はPWMチョッパを用いて制御することにし、チョッパ素子にはパワーMOSFETを使用した。チョッピング周波数は10kHzである。風力発電機の発生電力は、今回抵抗で消費（以下この電力を回収電力と呼ぶ）させているが、蓄電池に一時蓄え、定出力で系統と連携運転を行う実験については、稿を改めて報告する。

後述のエネルギー回収率の定義に基づいて回収率の評価を行うための記録計を用いた計測システムを図7に示す。

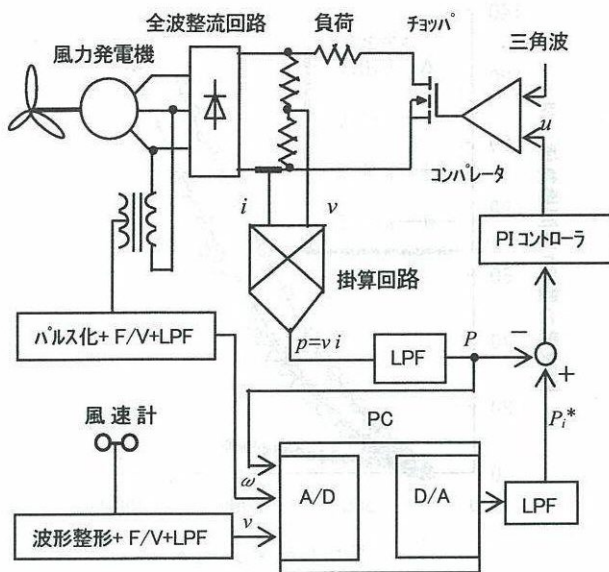


図6 電力制御実験回路

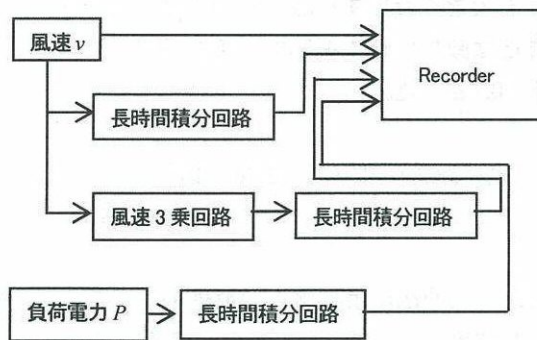


図7 計測システム

5.3 エネルギー回収実験結果

わが国の気象観測では10分間平均風速が用いられるが、風速の変動エネルギーは、周期が30秒から3分位の間で非常に大きい。従って風力エネルギーの調査のためには、例えば1分平均風速などを採用することが望ましいとされ、事実米国では1分平均風速を用いている例もある⁽¹⁾。そこで、諸データの計測は1分間行うことにした。

図8にB方式で運転した場合の計測結果例を示す。図7の長時間積分回路では、それぞれの入力を1分間積分し、次の1分間では積分器のキャパシタを短絡した。シーケンサにより2分周期でこのサイクルを繰り返す、連続計測を行なった。

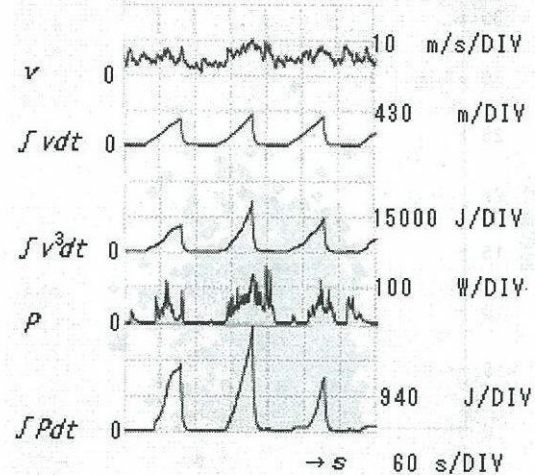


図8 計測結果例 (2007. 8. 2 a.m. 実測, B方式)

風速変動が大きいときの総発電量を定量的に評価するには、ある日時に一定時間計測を行い比較する方法⁽⁶⁾もあるが、本稿で提案したような複数の運転方式の優劣を比較する場合、その定量的な評価法についてもあらかじめ検討しておく必要がある。ここでは、まず回収率 η を(6)式のように定義する。

$$\eta = \frac{\int_0^{60} P dt}{\int_0^{60} \frac{1}{2} \rho A v^3 dt} \times 100 \quad [\%] \quad (6)$$

積分(図7参照)時間は前述の理由で1分とした。

なお、A、B両方式とも(3)、(5)式の Δt は50msに設定し、回転速度0から揚力を得る速度までは(4)、(5)式による P_i^* 設定値よりも P_i^* を低く抑えた。

図9は、A方式により実験した結果で、1分間の平均風速に対する回収率を示している。回収率 η は、図8の積分波形の頂点の高さからも求められるが、本報告をまとめるにあたっては、50msごとのデータをコンピュータにCSVファイルとして保存し、それらのデータを基に算定した。

風速が時間的に変化する変動風は脈動エネルギーをもち⁽⁵⁾、一定風速の場合よりも風力エネルギーが大きい。平均風速が同じでも(6)式の回収率は極めてバラツキが大きくなる。図9はこのことを明白に示している。この傾向は、横軸を1分間の平均回転速度としグラフ化しても同様であった。他に、バラツキ発生の要因の一つとして、尾翼による方位制御では精度が劣るため、風車中心軸が風向きと常に一致しているとは限らないことも挙げられる。また、

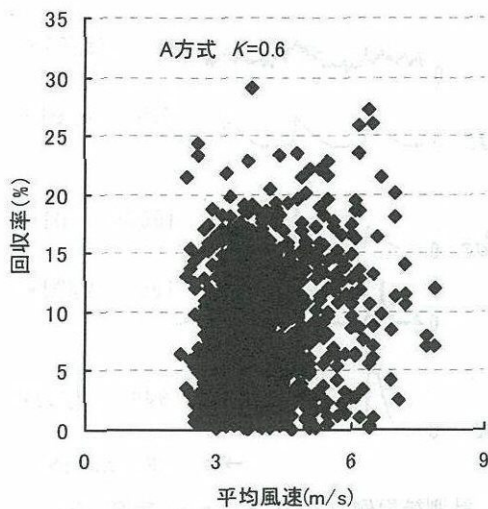


図9 平均風速対回収率 (A方式, K=0.6)

風向の乱れが強い場所に風車基地を設置したことも影響している。

そこで、このデータを、横軸を1分間の平均回転速度とし、縦軸を回収電力量の1時間換算値（実験では1分間積算）としてグラフ化することにした。

その結果を図10に示す。同図から、 K をいろいろ変えて計測データを集め、近似曲線を作成すれば十分に比較に耐え評価できることが分かる。このようにして求めた結果を図11に示す。（実験では、 K をPC内で適当にscale downした。ちなみに、図11で $K=1.0$ とは、實際上 $K=0.016 J$ に相当する。）

次に、B方式を適用する場合、風車回転速度に対する最大電力曲線の近似式と、発電機を含む風車翼の慣性モーメントを予め知る必要がある。前者は図4の最大電力曲線から(7)式のように求まる。 n_i は、

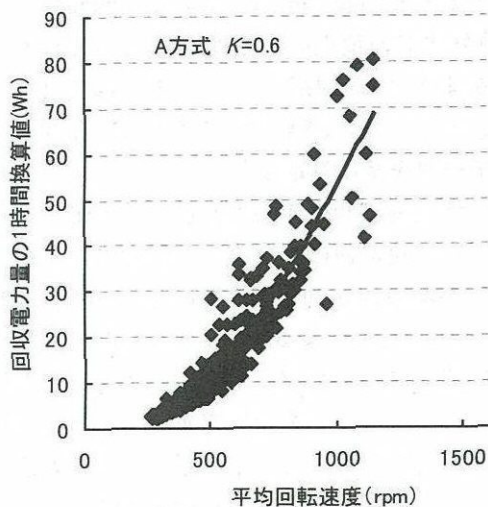


図10 平均回転速度対回収電力量 (A方式, K=0.6)

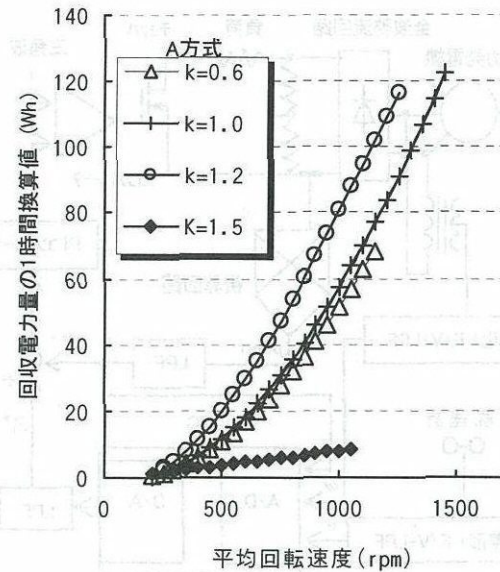


図11 A方式実験結果

割り込み時の回転速度([rpm])を示す。なお、(5)式で k を大きく設定すればするほど P_i^* が単調に増加（または減少）せず振動的に変化するので、実験では $k=0.1$ とした。

$$P_i = 5.62 \times 10^{-8} n_i^3 - 3.86 \times 10^{-5} n_i^2 + 2.65 \times 10^{-2} n_i \quad (7)$$

また、減速法により風車の慣性モーメント J を測定した結果、 $J = 2.50 \times 10^{-2} \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ が得られた。

A, B両方式の比較を行うため、それらの結果を同一グラフ上に描くと図12となる。同図には、図4の最大電力曲線を風速一定のときの最大回収電力と見なして追加している。一定風速かつ自然風に近い環境で行った簡易風洞実験の結果と比較して、B方式での回収電力量が大きいことを確認できる。

A方式はCSVファイルとしてデータを保存することで実験の進捗効率は上げられるが、最適な増分重み係数 K の決定はやはり実験に拠らざるを得ないのが難点である。また、 K を大きく設定した場合、風速が5.0m/s 程度以上の恵まれた風況でないと風車が加速できないこともある。ただし、A方式では、 K を可変とする余地がまだ残っていることを付記しておきたい。

B方式は、最大電力曲線と慣性モーメントを求める手間はいるものの、風がさほど強くないときも風車の加速は順調で、回収率を上げる観点から有用な運転方式といえる。

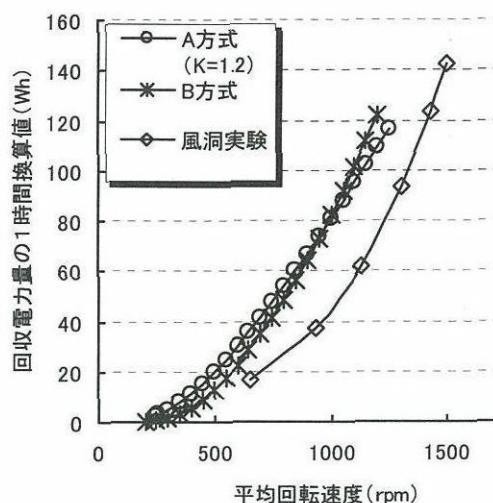


図12 運転方式の比較

なお、図5の風速対最大電力曲線に基づいて、風速を検出して負荷電力指令値（近似式）に負荷電力を追従させる方式でも実験を行った。しかし、当初から予想された通り、回収電力量はA, B両方式に較べて格段に小さかった。

5. むすび

本稿で提案した運転方式を適用することより、ほぼ整合負荷運転を実現できたと考えられる。風車や発電機の種類を問わず適用できることがこの方式の利点である。始動時は、風車が揚力域に達する速度まで、一定時間間隔で数秒間風力発電機を電動機動作させる方式を適用し、揚力を得た後は、本稿で提案した運転方式を適用すれば総発電量を増やす観点から有効ではないかと期待できる。平均風速が同じであっても風のもつエネルギーは同じであるとは限らないが、本稿では、いろいろな方式で運転してデータ整理を行い、変動風力エネルギー回収量の定量的な比較・評価ができることを示した。

本研究は、卒業研究テーマとしても位置づけ遂行してきたものである。長年にわたり、多くの学生が風車基地建设、電子回路を含む実験装置製作、C言語プログラミングおよび実験データ収集・整理などを担当した。「風」というきまぐれな自然現象と格闘する中で、行き詰まったときには議論し、アドバイスを与え、アイデアを投げては進めてきた。ようやく一応の結論を得てここに研究報告をまとめるにあたり、以下に卒論生各位の氏名を記して健闘を

たたえ感謝の意を表したい。また、シーケンサプログラム作成などにご協力いただいた寺尾慎寿技官に深謝する。

早崎貴士、石津雄介、中川洋、茅島新、高倉公美、高原俊二、シャフィクイルワンディ、松本政勝、吉富利彦、重光純一、林大輔、中山悦子、古賀千尋

参考文献

- (1) 本間琢也編：風力エネルギー読本，オーム社（1979）
- (2) NEDO新エネルギー・産業技術総合開発機構：風力発電導入ガイドブック（2001）
- (3) 牛山 泉著：風力エネルギーの基礎，オーム社（2005）
- (4) <http://www.nr.titech.ac.jp/~rshimada/>
- (5) 高久・本間・足永・尾上・嶋田：平成15電気学会産業応用部門全大，No. I，pp347-348(2003)
- (6) 佐藤・吉田・嶋田：電学論D，125，No.11，pp.1016-1021（2005）
- (7) <http://www.zephyreco.co.jp>
- (8) 松宮：風力発電のすべて，工業調査会（2005）
- (9) 田中・当宮・鈴木：平成5電気学会電力・エネルギー部門大会論文集，pp.333-334（平成5-7）

一般論文

サイズ排除クロマトグラフィーを用いたポリイミドの分子量測定

松田 貴暁, 中村 一貴^{*1}, 津田 裕輔

Molecular Weight Measurements of Polyimides by Size Exclusion Chromatography

Takaaki MATSUDA, Kazutaka NAKAMURA^{*1}, Yusuke TSUDA

The molecular weights of polyimides were measured by size exclusion chromatography (SEC). The number- and weight average molecular weights of degradable polyamide having ester bond moiety in the main chain were decreased by using a compost.

Keywords: polyimides, biodegradable polymers, size exclusion chromatography

1. はじめに

我々の生活には、プラスチック、繊維、ゴムなどの様々な高分子材料が汎用されている。高分子とは分子量の大きい分子の事だが、高分子に対して小さな分子の低分子化合物の場合、その帰属と名称が与えられれば分子構造や分子量は厳密に決定される。対照的に高分子化合物では、一般に、分子量に分布が存在する。この高分子の分子量測定を巡る研究が高分子化学或いは高分子工業の黎明を導いた。また、高分子製品を製造する上でも、高分子の分子量、分子量分布は、製品のあらゆる特性と密接に関係しており避けては通れない問題である。よって高分子の分野では、分子量を平均分子量として示し、また分子量の分布に関する情報も与える必要がある。

本研究者は、生分解性を呈す高分子材料の開発や、汎用高分子を温和な条件下に分解する系の構築について検討を行っている。高分子材料の分解を評価する際には様々な観点からの指標が存在するが、一般に、分解に伴い初期値から有意に低下するまでの誘導期間は、分子量、力学特性、重量の順に長い。この様に分子量低下には誘導期間が殆どない事から、高分子の分解性をスクリーニングする際には、まず分子量の変化を観測する事が有効である。本報では、生分解性付与を目的に分子設計されたポリイミドの分解の評価法として、サイズ排除クロマトグラフィー

(size exclusion chromatography; SEC) を用い、分解試験前後での試料の分子量を測定しその変化を追跡した結果について報告する。

2. SEC の分離原理

SECまたはゲル透過クロマトグラフィー (gel permeation chromatography; GPC) と呼ばれる手法の分離原理について簡単に述べる (図1)。本法は溶質がその分子サイズによって分離される液体クロマトグラフィーである。網目構造を持つ多孔性ゲルをカラムとして用い、分子サイズの異なる溶質 (高分子試料) の混合物の溶液を流すと、溶質分子の大きさによって多孔性ゲルの内部へどれだけ侵入可能かによりカラム通過時間が異なり、分子量の高い順に溶出する。溶出溶液中の溶質濃度は吸光や屈折率差等で検出され、溶出容量(V)の関数として記録される。これをSECクロマトグラム或いは溶出曲線と言い、この溶出曲線が分子量分布を表している。定量的には、分子量既知で分子量分布の狭い標準試料を用いて測定し、 V に対し分子量をプロットした校正曲線を予め求めておき、 V を分子量に換算する。従ってSECから求められる分子量は、標準試料を基準にした換算分子量である。

3. 実験

3.1 原料

生分解性付与を目的に分子設計されたポリイミド 1 の構造を図2に示す。剛直な構造の為、自然界で

平成19年8月20日 受理

^{*1}専攻科学生

Copyright 2007 久留米工業高等専門学校

は殆ど分解を受けないポリイミドについて、その主鎖に一般に生分解を起こし易い脂肪族エステル結合を導入する事で生分解性を付与する分子設計であり、既報の方法^{1)~7)}を基に市販の試薬を用いて合成した。脂肪族エステル結合を有するジアミンモノマーとし

てアミノフェネチルアミノフェノキシアセテート (APAPA) を合成し、ジアミンユニットの 50 % に APA PA ユニットを有するエステル結合含有ポリイミド 1 (CHDA / APAPA / DDE = 100 / 50 / 50) と、比較対象として APAPA ジアミンユニットを有していないエステル結合未含有ポリイミド 2 (CHDA / APAPA / DDE = 100 / 0 / 100) を合成した。以上 2 種のポリイミドを分解試験対象とした。

3. 2 分解試験

N-メチルピロリドン (NMP) を溶媒とし、これへポリイミド 1 及び 2 の粉末を其々 10 wt% の濃度で溶解させ、ホットプレートにて 180 °C で溶媒である NMP を緩やかに除去後真空乾燥し、得られたポリイミドフィルムを試験試料とした。これらのフィルム試料を、剪定枝・雑草・牛糞混合物由来のコンポスト中に導入し、好気条件下、50 °C のインキュベーター内で分解を試みた。20 日後にポリイミドフィルム試料を取り出し、蒸留水で洗浄後 2 時間真空乾燥した試料を分解試験後の試料とした。

3. 3 SEC による分子量測定

分解試験前後でのポリイミド試料の分子量は、TOSOH HLC-8020 高速 GPC 装置に SEC カラムとして TSK guard column α 及び TSK gel α -M (7.8 $\times$ 300 mm) を連結し、臭化リチウム (10 mM) を溶解した NMP を移動層として、40 °C、流速 0.5 ml/min. にて示差屈折計にて検出、測定した。溶出容量-分子量の校正曲線は標準ポリスチレン (shodex) を用いて作成し、数平均分子量 (M_n) 及び重量平均分子量 (M_w) は、取得

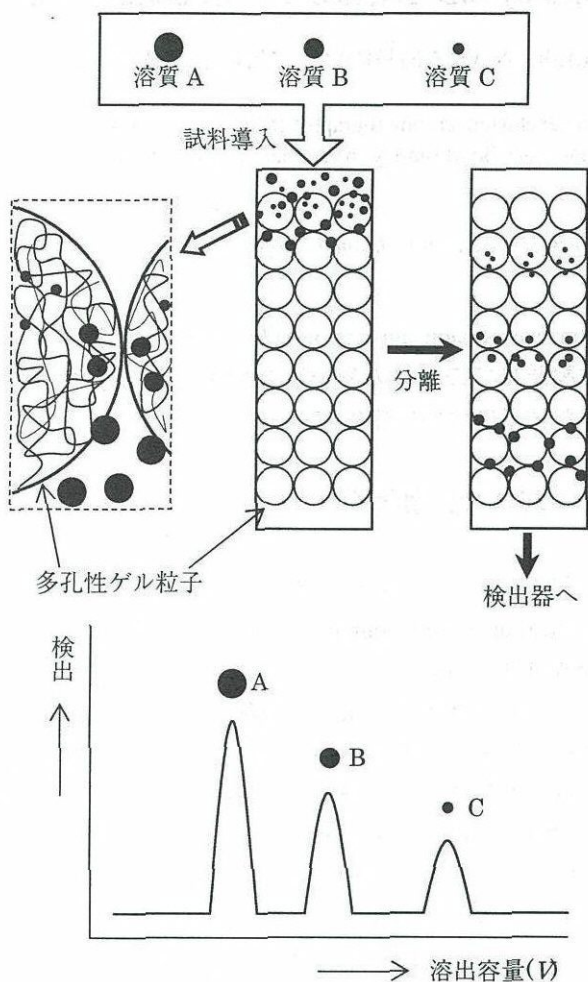
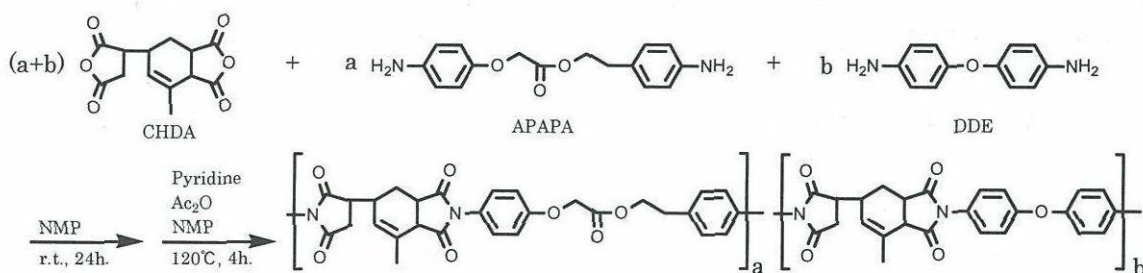


図1 SEC の概念図



※ポリイミド 1; CHDA / APAPA / DDE = 100 / 50 / 50

ポリイミド 2; CHDA / APAPA / DDE = 100 / 0 / 100

図2 生分解性付与を目的に分子設計されたポリイミド 1 の構造

したSECクロマトグラムへTOSOH GPC-8020 multistarを用いて算出した。

4. 結果と考察

主鎖に脂肪族エステル結合を含有するポリイミド 1 と、比較対象であるエステル結合未含有ポリイミド 2 の、分解試験前後での試料の呈したSECクロマトグラムを図3に其々示す。ポリイミド 1 に於いては分解試験前後で明らかに異なるSECクロマトグラムを示し、分解試験によってメインピークが消失し低分子量側へシフトする結果を得た (図3(a), (b))。他方、ポリイミド 2 に於いては分解試験前後での

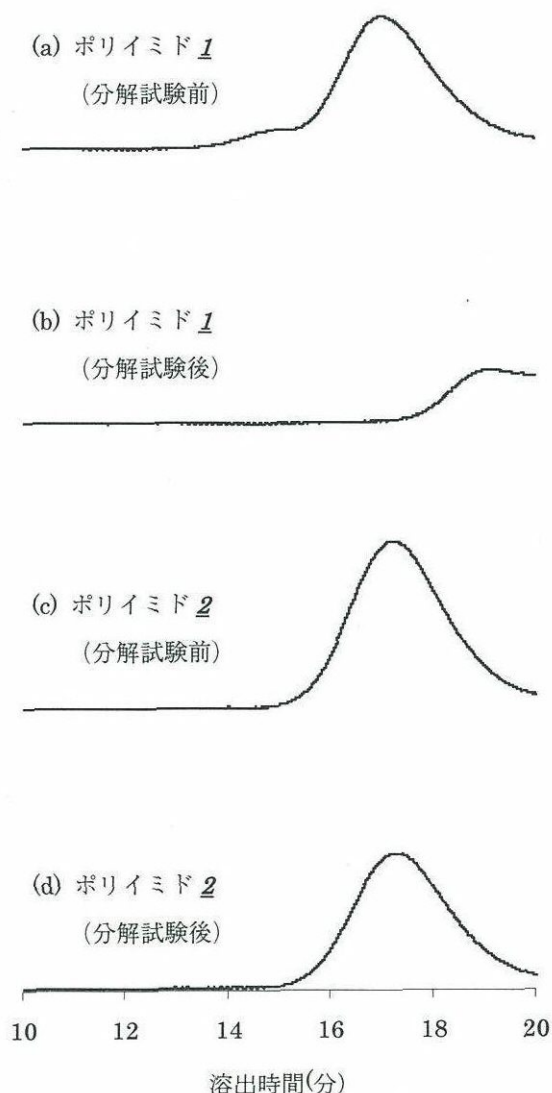


図3 分解試験前後のポリイミド 1, 2 の呈した SEC クロマトグラム

表1 SEC クロマトグラムより算出した分解試験前後のポリイミド 1, 2 の分子量

ポリイミド試料	分子量		
	M_n	M_w	M_w / M_n
(a) <u>1</u> (分解試験前)	15800	32300	2.04
(b) <u>1</u> (分解試験後)	2590	3630	1.40
(c) <u>2</u> (分解試験前)	12500	30300	2.43
(d) <u>2</u> (分解試験後)	9930	27800	2.80

SECクロマトグラムに、ポリイミド 1 の呈した様な顕著な変化は観られなかった (図3(c), (d))。SECクロマトグラムより算出された平均分子量を表1に示す。分解試験により平均分子量の若干の低下を呈したのみのポリイミド 2 (表1(c), (d))に比較して、ポリイミド 1 では大きな低分子量化が観測された (表1(a), (b))。ポリイミド 1 では、その主鎖に含有する脂肪族エステル結合が分解試験に於いて加水分解され分子量低下が大きく進行し、一方、ポリイミド 2 ではエステル結合未含有の為、比較して小さい規模の低分子量化に留まったと考えられ、エステル結合に対する加水分解反応の有無が分解への感受性に大きく影響したものと考えられる。

5. 結 言

生分解性付与を目的に分子設計されたポリイミドの分解の評価法としてSECを用い、分解試験前後での試料の分子量を測定しその変化を追跡した。エステル結合未含有のポリイミド 2 が小規模の低分子量化に留まる分解試験に於いて、主鎖に脂肪族エステル結合を含有するポリイミド 1 では分子量の大きな低下が観測された。この結果はエステル結合の有無に対応しており、主鎖へ脂肪族エステル結合を導入する分子設計により分解性を制御・付与しうる事をSECによる分子量測定から明らかとした。分解の詳細なメカニズム等については今後の検討課題である。

参考文献

- 1) M. Kusama, T. Matsumoto and T. Kurosaki, *Macromolecules*, 27, 1117(1994)
- 2) T. Matsumoto and T. Kurosaki, *Macromolecules*, 30,

- 993 (1997).
- 3) Y. Tsuda, Y. Tanaka, K. Kamata, N. Hiyoshi, S. Mataka, Y. Matsuki, M. Nishikawa, S. Kawamura and N. Bessho, *Polym. J.*, 29, 574 (1997).
- 4) 津田祐輔, 日吉紀彦, 久留米高専紀要, 13巻, 1号, 9 (1997).
- 5) Y. Tsuda, K. Etou, N. Hiyoshi, M. Nishikawa, Y. Matsuki, and N. Bessho, *Polym. J.*, 30, 222 (1998).
- 6) T. Matsumoto, *Journal of Synthetic Organic Chemistry Japan (Yuki Gosei Kagaku Kyokaishi)*, 21, 776 (2000).
- 7) Y. Tsuda, R. Kuwahara, K. Fukuda, K. Ueno and J.-M. Oh, *Polym. J.*, 37, 126 (2005).

Figure 1. SEC chromatograms of polyimides 1 and 2. The x-axis is elution volume (mL) and the y-axis is detector response.

Figure 1. SEC chromatograms of polyimides 1 and 2.

The SEC chromatograms of polyimides 1 and 2 are shown in Figure 1. The x-axis is elution volume (mL) and the y-axis is detector response. The chromatogram of polyimide 1 shows a single peak at approximately 18.5 mL, indicating a well-defined polymer with a narrow molecular weight distribution. The chromatogram of polyimide 2 shows a single peak at approximately 19.5 mL, indicating a well-defined polymer with a narrow molecular weight distribution.



The SEC chromatograms of polyimides 1, 2, 3, and 4 are shown in Figure 1. The x-axis is elution volume (mL) and the y-axis is detector response. The chromatogram of polyimide 1 shows a single peak at approximately 18.5 mL, indicating a well-defined polymer with a narrow molecular weight distribution. The chromatogram of polyimide 2 shows a single peak at approximately 19.5 mL, indicating a well-defined polymer with a narrow molecular weight distribution. The chromatogram of polyimide 3 shows a single peak at approximately 18.5 mL, indicating a well-defined polymer with a narrow molecular weight distribution. The chromatogram of polyimide 4 shows a single peak at approximately 19.5 mL, indicating a well-defined polymer with a narrow molecular weight distribution.

一般論文

二次元ゴム混練機中のゴムの流動に関する研究

— ローター羽根前方鎌状領域におけるフローパターンと速度分布 —

権藤 豊彦, 森 哲夫, 藤 道治*1

The research on the flow of rubber in a two-dimensional internal mixer

— The flow pattern and the distribution of velocities
in sickle-shape zone in front of the rotor blades —

Toyohiko GONDOH, Tetuo MORI, Michiharu TOH*1

So far, the flow state of rubber in sickle-shape zone has been explained by rolling and rotational movement of rubber. Our results, however, suggest that the flow of the rubber in this region is merely showing the flow pattern. In the sickle-shape zone, there existed a distribution of velocities consisted of drag flow by the rotor blades and the pressure flow caused by the pressure difference between voids and rubber. Therefore, the shear flow caused by the velocity gradient of rubber in the sickle-shape zone is effective for the distribution of rubber additives into the rubber.

1. はじめに

2軸オープンロールでの原料ゴム中への配合剤の混合分散, すなわち, ゴム練りは, 異方向異速回転するロール間の高せん断場と高速伸長場で行われる¹⁾。しかし, 密閉式混練機におけるゴム練りは, オープンロールのように直に見えないので, バンバリー型混練機や加圧ニーダーのような接線式混練機においては, ローター羽根先端と混合槽壁間のクリアランスで行われると考えられ²⁾, あるいはローター羽根前方鎌状領域で行われていると紹介されている³⁾。また, インターミックス型噛み合い式混練機においてはローター羽根先端と混合槽壁間のクリアランス及びローター羽根間で行われると考えられてきた²⁾。

本報告は, 接線式ゴム混練機のゴム練りに関連するローター羽根前方鎌状領域におけるフローパターンと速度分布を検討したものである。

2. ゴム練りとローター羽根周辺のゴムの挙動

密閉式混練機におけるゴム練りは, 図1(a), (b)に示すようなローター羽根先端と混合槽壁間のクリアランス部の高せん断場で起こるという報告²⁾が多いが,

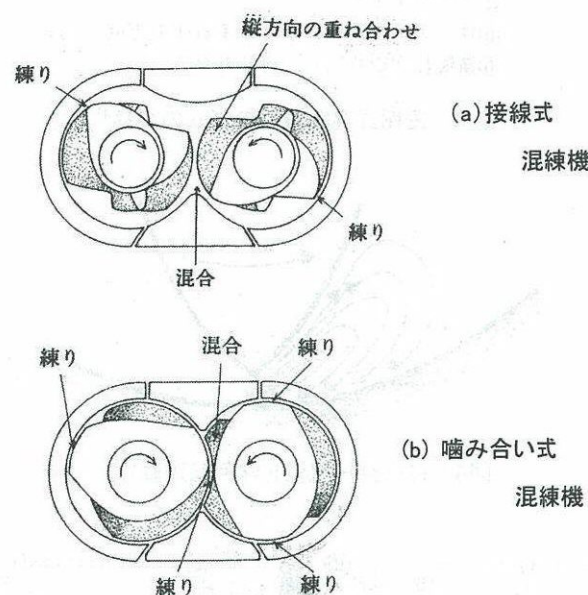


図1 密閉型混練機の混練り挙動の概念図

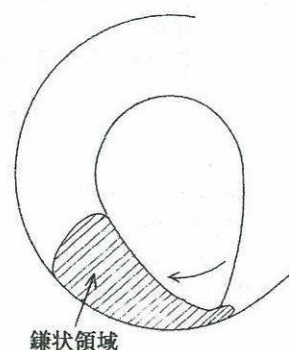


図2 鎌状領域

平成19年8月20日 受理
*1株式会社久留米リサーチ・パーク
Copyright 2007 久留米工業高等専門学校

一方ではクリアランス部に比較してかなり広い領域である図2のような鎌状領域で行われるという報告

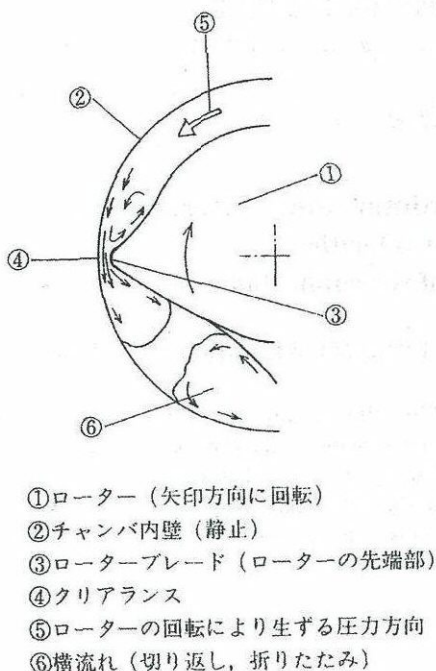


図3 密閉式混練機内のゴムの挙動⁴⁾

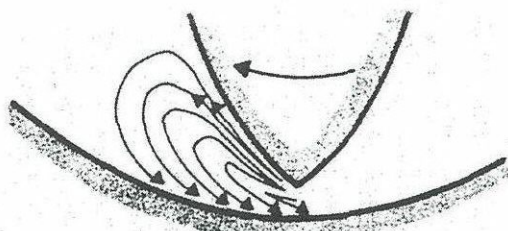


図4 ローター羽根先端回転流動^{5), 6)}

もある³⁾。しかし、ローター羽根周辺のゴムの挙動については、従来まで図3の密閉式混練機内ゴムの挙動⁴⁾、あるいは、図4のローター羽根先端回転流動^{5), 6)}などとして表されてきたにすぎない。

Freakleyらは、混合槽壁に取り付けた19個の圧力センサーによって実測した鎌状領域の圧力勾配によってゴムの流速、せん断速度、せん断応力を推測し、鎌状領域で配合剤の混合分散が行われると報告している⁷⁾。Minら⁸⁾、Min⁹⁾は、透明ガラス製小型実験機を用いて様々な形状のローターを取り付けた場合のゴム練り挙動をビデオカメラで撮影し、ローター羽根前面鎌状領域を含むローター羽根周辺のゴムの挙動やボイドの状態を明らかにしている。しかし、これらの報告においては、ローター羽根前方鎌状領域のフローパターンや速度分布は測定されていない。

3. 実験の概要

3.1 実験装置と実験方法

図5実験装置の概略図を示す。装置はリングコーン無断変速機（シンポ工業株NT-2200 (2.2Kw)）と二次元混練機からなる。

二次元混練機の混合槽の詳細を図6に示す。前面にはゴムの混練挙動が観察できるようにアクリル製透明板（厚さ20mm）を取り付けた。混合槽は、内径100mmで深さは19.7mmである。その内壁面には温度測定用の熱電対（岡崎産業株）が4箇所、圧力センサー（共和電業株）が1箇所取り付けられている。

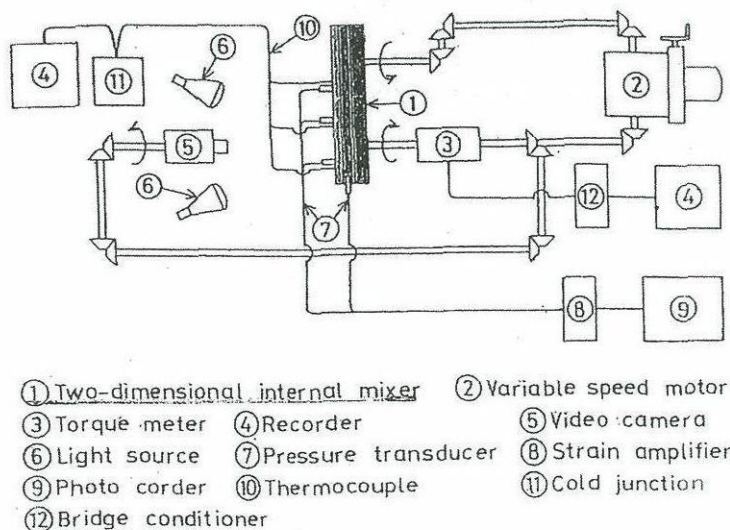


図5 実験装置

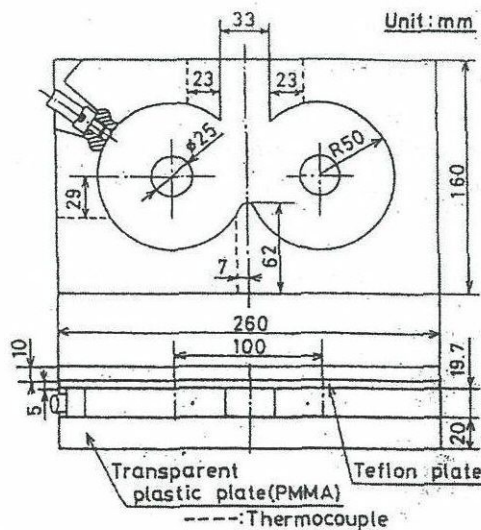


図6 二次元混練機の混合槽

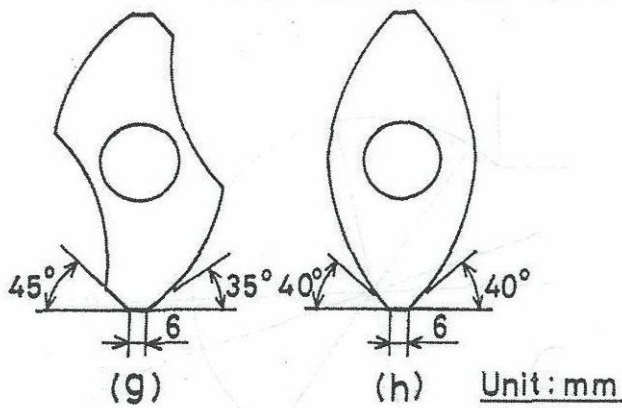


図7 ローター羽根

図7に使用した黄銅製ローター羽根を示す。厚さ19.5mm, 直径95.0mmである。図中, 左の図はゴム混連を検討したローター羽根のうち混練が良好である(g)型ローター羽根である¹⁰⁾。右の図は凸型の(h)型ローター羽根である。

(g)型ローター羽根においては, ラム下からブリッジ上に至るまでの間に相対するローター側からゴムを受け取り易いようにローター回転後部の凸面を無くし凹面状とした。混合槽内壁面とローター羽根先端とのクリアランスは, 2.5mmである。

使用したゴムはBR(日本合成ゴム株BR01)で, 充填率は70%とした。ゴム中にガラス製トレーサー粒子(直径約1.9mm)をラム部より混入した。ローター回転数を10r.p.m.とし, ゴム中のトレーサー粒子の動きをローター羽根と同一角速度で回転させたビデオカメラにて撮影した。これによりフローパターンや速度分布を測定し, 各ローター羽根前方鎌状領域の流動挙動を検討した。

3.2 速度解析

同一角速度で撮った画像から図8に示すようにトレーサーの軌跡から周方向長さ L_θ [m]と半径方向長さ L_r [m]を測定し, 式(1)・(2)より極座標 (θ, r') を求める。この値を式(3)・(4)に代入して周方向速度 V_θ [m/s], 半径方向速度 V_r [m/s]を求めた。

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{L_\theta}{(r + L_r)} \right\} \quad (1)$$

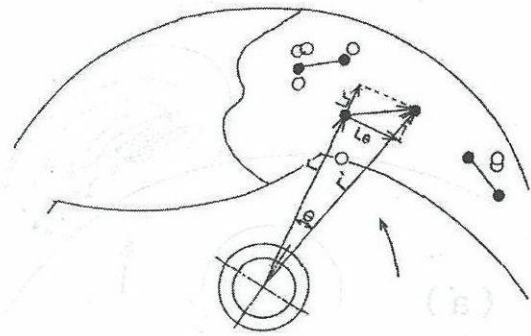


図8 速度解析法

$$r' = \sqrt{\{(r + L_r)^2 + L_\theta^2\}} \quad (2)$$

$$V_\theta = r \frac{(2\pi n t - \theta)}{(m t)} \quad (3)$$

$$V_r = \frac{(r' - r)}{(m t)} \quad (4)$$

ただし,

t : 画像のコマ送り時間 [s]

r : $t=0$ [s]での回転中心からトレーサーまでの距離 [m]

r' : $t=t$ [s]での回転中心からトレーサーまでの距離 [m]

θ : 移動角度 [rad]

n : ローター羽根回転速度 [r.p.s.]

m : 倍率 [-]

である。

4. 実験の結果

4.1 鎌状領域のフローパターン

図9に(h), (g)型ローター羽根を使用した場合の鎌状領域におけるゴム中のトレーサー粒子のフローパターンを示す。何れの図も, 右側混合槽におけるブリッジ上からラム下へローター羽根先端が移動したときのトレーサービーズの動きを連続的に追ったものである。○印がブリッジ上のスタート時を示し, 矢印がラム下時を表すので, 粒子は回転に従い矢印の方向に移動していることがわかる。

(h)型の場合, ローター羽根近傍のゴム中の粒子は最初はローター羽根と同じ速度で動くが, 回転に従いローター羽根の速度よりも遅くなり, 粒子が回

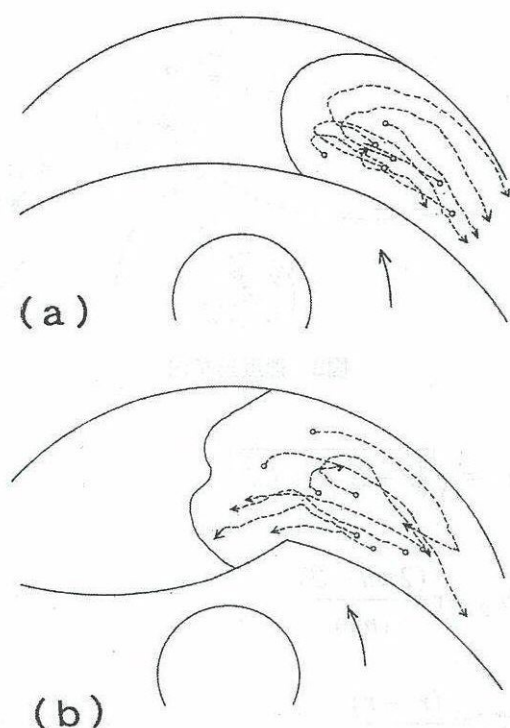


図9 (a):(h)型ローター羽根, (b):(g)型ローター羽根の鎌状領域のフローパターン

転しているように見える。ローター羽根から離れるとローター羽根よりも遅くなり、取り残されていることがわかる。しかし、(g)型の場合には、ローター羽根近傍ではゴム中の粒子はローター羽根先端の速度と同じかそれ以上の速度で動き、槽内壁近傍粒子はローター羽根よりも動きがかなり遅くなり回転に従い遅れてゆくことがわかる。一方、ローター羽根と槽内壁中間にある粒子はローター羽根と槽内壁両者の影響を受けて最初はローター羽根と同方向動くが段々遅れてゆくので、この領域にある粒子は回転しているように見える。この様なゴムの動きを見て鎌状領域でのゴムの動きが回転流動やローリング運動をしているとみなされてきたと考える。

4.2 速度分布

右側混合槽における速度分布の測定位置を図10に示す。また、(h)型・(g)型ローター羽根の鎌状領域の速度分布を図11、図12に示す。

図11は、速度測定位置(B)における各ローター羽根の速度分布である。

図11において図下の矢印の大きさは $1.0 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ である。破線はローター羽根と同じ固体的回転速度

を示し、破線を超えた分は加速成分と考える。

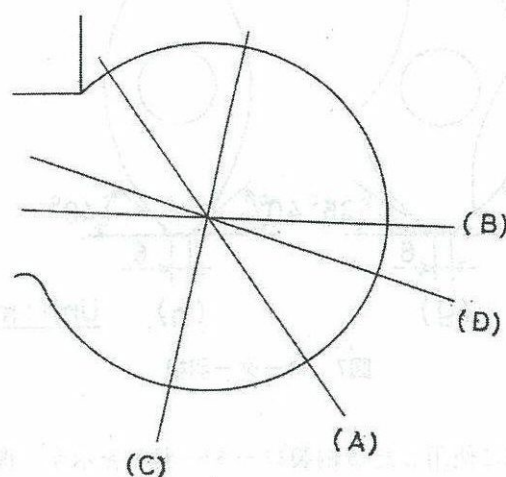


図10 速度分布測定位置

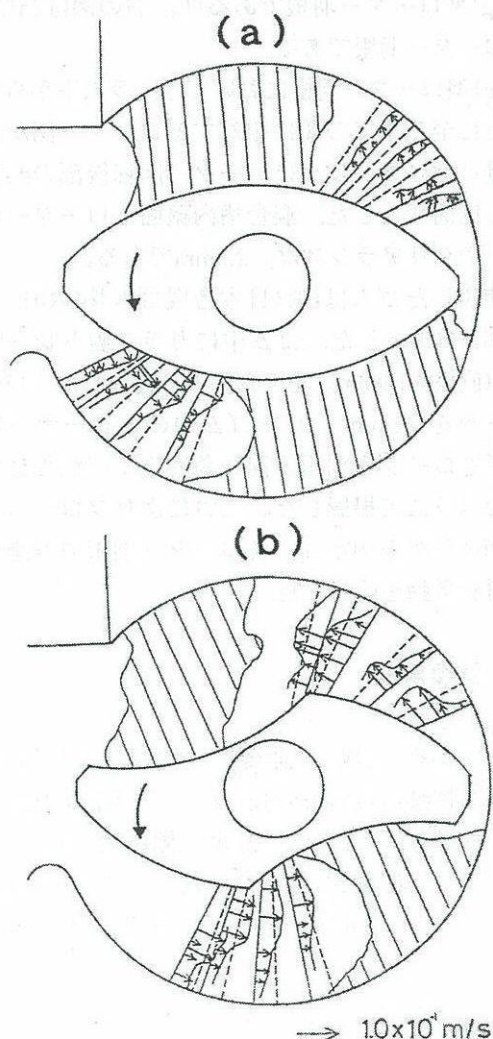


図11 (a):(h)型ローター羽根, (b):(g)型ローター羽根鎌状領域の速度分布

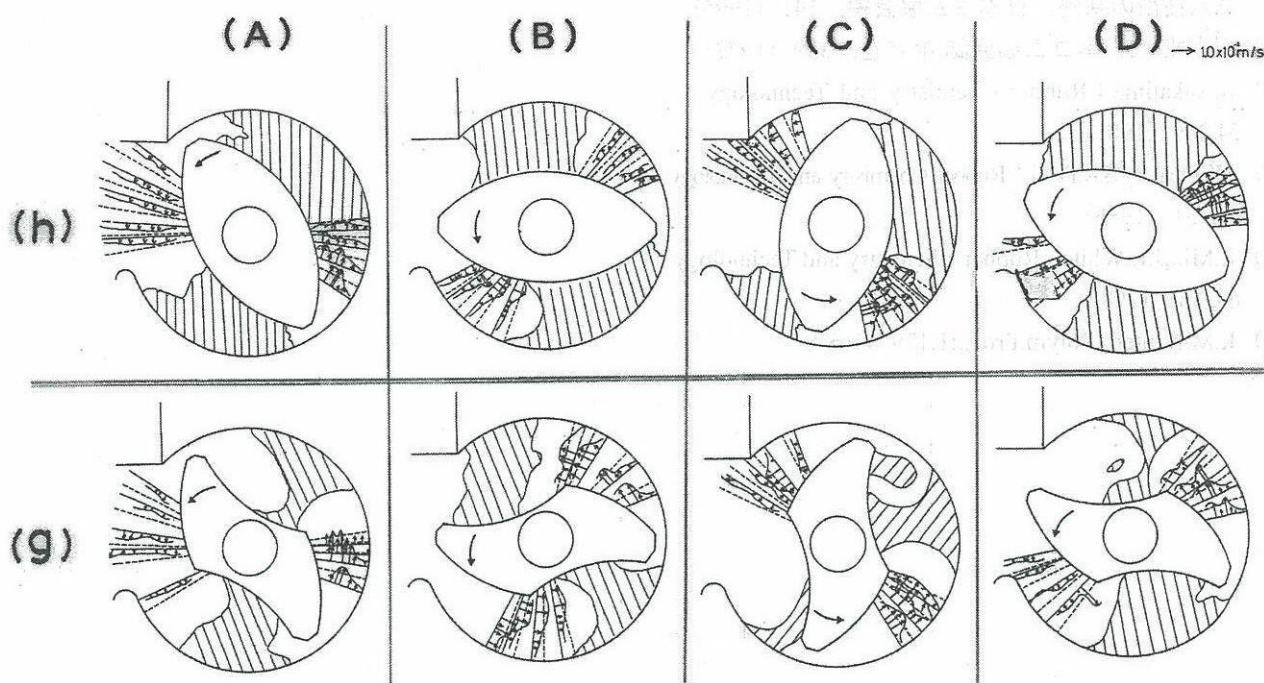


図12 各測定位置における速度分布

(g)型ローター羽根の場合、(h)型ローター羽根に比べ鎌状領域でのゴムの取り込み量が多く従って鎌状領域のゴム自由表面積が大きくなるので、ゴムとボイドとの圧力差の影響が大きく、鎌状領域内に大きな加速成分を持つと考える。また、(g)型ローター羽根では凹面状から凸面状に変わる形状部でゴムを引っ掛けて回転する様な牽引流動により鎌状領域に大きな加速成分を持つことができると考える。

図12においても中右上の矢印の大きさは $1.0 \times 10^{-1} \text{m/s}$ である。各ローター羽根の何れの位置においても、ゴムの速度は、羽根近傍の鎌状領域では加速成分が見られ固体的回転速度より大きくなり、一方、混合槽内壁面近傍では固体的回転速度より小さくなっている。加速成分はローター羽根先端の牽引と鎌状領域のゴムとその前方のボイドとの圧力差によると考える。しかし、混合槽内壁面近傍ではローター羽根による牽引の影響は少なくなり、ゴムと内壁面との摩擦により速度は小さくなっていると考え。

何れのローター羽根もラム下からブリッジ上(A)の位置では速度は小さいが、それ以外の(B), (C), (D)の位置の鎌状領域では加速成分のある大きな速度が見られる。

5. まとめ

従来から、鎌状領域のゴム流動状態をローリング運動や回転流動として捉えているが、本実験結果から鎌状領域でのゴムの流動と表現されるものは単にフローパターンを表したものであると考えることができる。

鎌状領域においてはローター羽根による牽引流動とボイドとゴムとの圧力差に起因する圧力流動からなる速度分布を持つことがわかった。

したがって、鎌状領域の速度勾配によるせん断流動場がゴム中への配合剤等の混合分散に有効であると考え。

謝 辞

卒業研究として実験に協力された佐藤仁美、吉美太郎の両氏に感謝の意を表します。

【引用文献】

- 1) ゴムの事典, 奥山通夫ら編集, 304 (2004) 朝倉書店
- 2) 新版ゴム技術の基礎, 日本ゴム協会編, 239 (1999)
- 3) 占部誠亮: ポリマーダイジェスト40, No.5, 75 (1988)

- 4) ゴム技術の基礎, 日本ゴム協会編, 141 (1995)
- 5) 山本雅美: 日本ゴム協会誌, 第45巻, 339 (1972)
- 6) N.Nakajima : Rubber Chemistry and Technology
54,266 (1981)
- 7) P.K.Freakley,S.R.Patel : Rubber Chemistry and Technology
58,751 (1985)
- 8) K.Min,J.L.White : Rubber Chemistry and Technology
60, 361 (1987)
- 9) K.Min: Intern.Polym.Proc.,:1,179 (1987)

一般論文

マクロポーラスパラジウム薄膜型オプティカル水素センサの作製とその評価

濱上 寿一*1, 内堀 大輔*1, 高西 一正*2, 黒木雄一郎*2, 高田 雅介*2

Fabrication and Characterization of Optically Readable Hydrogen Sensor
Consisting of Macroporous Pd Thin FilmsJun-ichi HAMAGAMI*1, Daisuke UCHIHORI*1, Kazumasa TAKANISHI*2
Yuichiro KUROKI*2, and Masasuke TAKATA*2

Abstract

Macroporous palladium thin film was fabricated onto an indium-tin-oxide (ITO)-coated glass substrate by polymethyl methacrylate (PMMA) colloidal templating method. First the PMMA colloidal crystal film was prepared by electrophoretic deposition process, second Pd was deposited the interstitial site in the PMMA colloidal crystal by electroplating, final the Pd/PMMA composite film was heated to remove the PMMA template. It is found that the macroporous palladium thin film works as an optically readable hydrogen gas sensor operated at room temperature.

Keywords: Macroporous Pd thin film, Optically readable H₂ gas sensor, Templating method, Electrophoretic deposition process, Electroplating, PMMA colloidal crystal template

1. 緒 言

産業革命以降の目覚ましい科学技術の進歩により、地球規模でのエネルギー資源の枯渇や地球温暖化に代表されるような環境問題が引き起こされている。これらの問題を解決するために石油を中心とした化石燃料に代わりうる次世代のクリーンなエネルギー源として水素が注目され、実用化に向けて多岐にわたる研究・開発が産官学において精力的に推進されている。^{1)~2)} 一方、水素は高压ガス規制法で管理されるような爆発性を有する非常に危険なガスでもある。そのため、水素の製造・輸送・貯蔵・エネルギー変換など水素を利用した安全・安心な水素エネルギー社会を構築するためには、水素の漏洩を的確に検知する高性能な水素センサの開発が急務とされる。³⁾

代表的な水素センサには、接触燃焼方式⁴⁾と半導体方式⁵⁾があり、すでに実用化されている。それぞれの水素検知のメカニズムは、前者の接触燃焼方式では触媒の燃焼反応による発熱によりセンサ素子の温度が増加することを電気抵抗の変化として検知し、後者の半導体方式では、センサ表面に吸着している

酸素が還元性ガスである水素により除去され、その際に電気抵抗が変化することを捕らえるものである。これらのセンサは、感度の向上とセンサ表面を常時クリーニングするために、通常150℃から500℃程度に加熱された状態で使用されている。また、ガス検知機構の観点から水素以外の可燃性・還元性ガスに対しても感度を有し、水素ガスの選択的検知においても問題となる。さらに、センサ材料と水素ガスとの化学反応に基づくセンサの抵抗変化を電気的にモニタリングするため、水素を検知する際に電気的な接点箇所が着火源となりうる可能性をも秘めている。そのため、水素ガスを安全かつ確実に検知するために、室温作動、高選択性、非接触型な新しいタイプの水素センサの開発が望まれている。

これまでに、センサ材料の光学変化により水素を検知する新しいタイプのオプティカル水素センサの開発・研究が推進されてきている。^{6)~15)} そのなかでも、構造がシンプルなPd薄膜型センサを研究対象とした。^{8), 15)} Pd薄膜型センサの特徴は、室温で作動し、水素に対する選択性が高く、その光学変化が可視光領域でも起こるという点にある。Pd薄膜型センサのさらなるセンサ特性（感度、応答速度、回復速度）の向上と耐久性の改善を図るため、微細構造が高度に制御された革新的なコンセプトのオプティカル水素センサに関する材料開発を行う必要がある。具体的に

平成19年8月20日 受理

*1久留米工業高等専門学校 材料工学科

*2長岡技術科学大学 電気系

Copyright 2007 久留米工業高等専門学校

は、ナノメートルからマイクロメートルスケールでセンサ材料の細孔構造が高度に制御された多孔質Pdセンサ材料を作製し、その微細構造が水素センサ特性に及ぼす影響について詳細に検討することである。そこで、本研究ではコロイド結晶テンプレート法を用いて多孔質Pd薄膜を作製するとともに、その多孔質試料が室温において水素センサとして機能するかどうかを調査することを目的とした。

2. 実験方法

サブミクロンサイズの細孔構造が高度に制御されたマクロポーラスパラジウム薄膜はコロイド結晶テンプレート法を用いて作製した。試料作製のフローチャートを図1に示す。まず、電気泳動法を用いてITO (Indium-Tin-Oxide) 透明導電性ガラス基板上にポリメチルメタクリレート (PMMA) 単分散球状粒子 (粒径800 nm) からなるコロイド結晶膜を作製する。次に、コロイド結晶膜の隙間に電気めっき法を用いてPd金属を析出させ、Pd/PMMA無機有機複合膜を作製する。最後に、高分子テンプレートの熱分解以上の温度に試料を加熱することにより、PMMAコロイド結晶のみを除去し、多孔質なPd膜を形成させる。

2.1 電気泳動法によるPMMAコロイド結晶テンプレート膜の作製

電気泳動法は短時間で良質なコロイド結晶膜を作製するための簡便なプロセッシングの一つである。¹⁵⁾ テンプレートとなるPMMAコロイド結晶膜は電気泳動法を用いて作製した。粒径が800 nmのPMMA単分散球状粒子 (MP-1600, Souken) 0.5 gをエタノール (純度99.5%, 和光純薬工業製) 50 ml中に添加した後に、超音波洗浄機により分散させ、電気泳動用の懸濁液とした。粒子が堆積する基板電極をITO透明導電性ガラス板 (10 mm×20 mm×1 mm) とし、対極をステンレス板とした。平行平板電極の間隔を10 mmとし、ポテンショスタットを用いて直流電圧10 Vを3分間印加し、電気泳動を行った。電気泳動終了後、電極を懸濁液から引き上げ、デシケータ内で室温にて十分に乾燥させた。

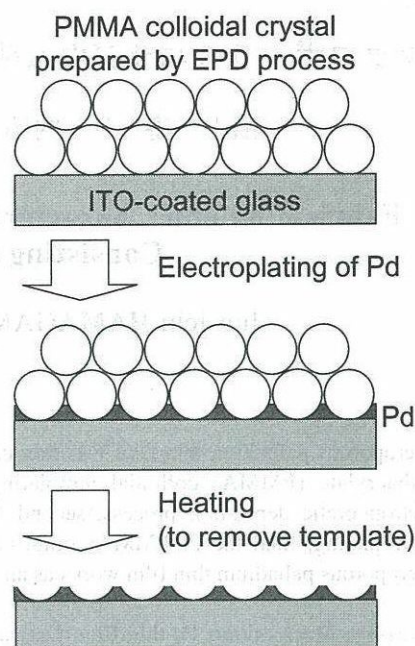


Fig.1. Schematic illustration of fabrication for macroporous Pd sensor by colloidal crystal templating method.

2.2 電気めっき法によるPd金属の析出

PMMAコロイド結晶の隙間にPd金属を析出させるプロセスとして、電気めっき法を採用した。¹⁵⁾ まず、塩化パラジウム (II) (PdCl_2) 粉末 (純度99%, 和光純薬工業製) 0.025 gを蒸留水50 ml中に添加した PdCl_2 水溶液を作製した。次に、 PdCl_2 粉末を完全に溶解させるために、 PdCl_2 水溶液のpHが2.3になるまで塩酸 (和光純薬工業製) を添加し、めっき浴とした。Pd金属が析出する陰極にはPMMAコロイド結晶膜が形成されたITOガラス電極を用いた。また、陽極には白金線を用いた。これらの電極をめっき浴に浸漬させ、定電圧めっきを実施した。電気めっき用の電源には北斗電工製のポテンショスタットHSV-100Fsを使用した。めっき条件は、印加電圧を1.5 V、めっき時間を5分とした。めっき終了後、Pd/PMMA複合膜をめっき浴から取り出し、常温常圧下にて乾燥させた。

2.3 熱処理による多孔質化

電気泳動法と電気めっき法によって作製されたPd/PMMA複合膜中のPMMA高分子粒子のみを選択的に除去するために熱処理を行った。Pd/PMMA複合膜を箱形電気炉 (FO310, ヤマト製) に入れ、昇温

速度 $1\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ で $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで昇温し、2時間保持した。雰囲気は空気とした。

2.4 膜試料のキャラクタリゼーション

得られた試料の結晶構造と生成相の同定はX線回折 (X-ray diffraction: XRD) 法 (Rint 2000, Rigaku製) により評価した。X線源としてCu-K α 線 (波長 0.15418 nm) を用い、管電圧 40 kV 、管電流 200 mA 、スキャンスピード $4\text{ }^{\circ}\text{min}^{-1}$ の条件下で測定した。得られたX線回折パターンはICDD (International Center for Diffraction Data) カードを参考にして物質の同定を行った。試料の紫外・可視・近赤外領域 (測定波長: $190\text{ nm}\sim 2500\text{ nm}$) における光透過率スペクトルは紫外可視近赤外分光光度計 (V-570, JASCO製) により測定した。試料の微細構造の観察には、走査型電子顕微鏡 (Scanning electron microscope: SEM) (S-2380, HITACHI製) を用いた。

2.5 水素ガス検知特性の評価

図2に薄膜試料の水素ガス検知特性を評価するための測定システムの概略図を示す。本実験では、垂直入射光における薄膜試料の透過光強度と反射光強度の経時変化を同時にモニタリングすることで水素センサ特性を評価した。試料は光の透過とガスの流

通が可能な自作製気密セル内にセットした。光源には、波長 680 nm の赤色半導体レーザを用いた。透過光強度の経時変化の測定には分光器一体型簡易マルチチャンネルアナライザ (PMA-10, Hamamatsu Photonics) を用い、反射光強度の測定にはSiフォトダイオードを使用した。セルに導入するガスは、乾燥空気と純水素ガス (純度 99.995% 以上) を用いた。三方向ガスバルブを適宜切り換えることにより、気密セル中にそれぞれのガスを交互に導入した。すべての水素センサ特性の測定は、常温常圧雰囲気において行った。

3. 実験結果及び考察

電気泳動法のプロセスパラメータを最適化することで、ITOガラス基板上にPMMA粒子 ($800\text{ nm}\phi$) が比較的最密充填するように堆積したコロイド結晶膜を作製することができた。さらに、光吸収スペクトルから、コロイド結晶に特有なストップバンドが検出された。以上の結果から、電気泳動法により本実験のテンプレートとして使用するためのPMMAコロイド結晶膜がITOガラス基板上に形成されていることがわかった。

次に、コロイド結晶膜中のPMMA粒子の隙間にPd金属を析出させるために電気めっき法を行った。PMMAは電氣的に絶縁性であるため、Pdが析出する

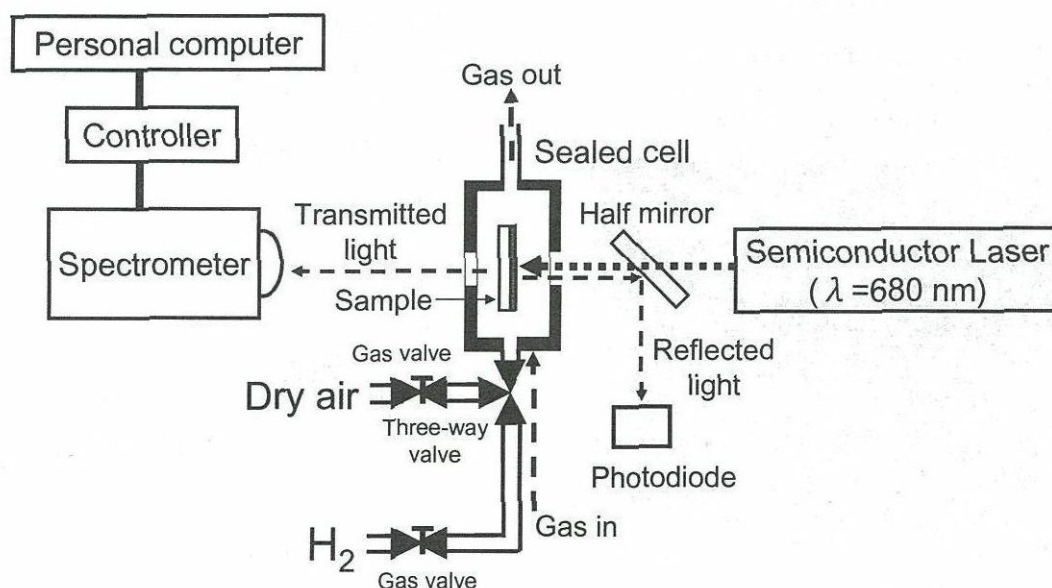


Fig. 2. Experimental setup for measuring the sensing property of optically readable hydrogen gas sensor for measuring changes in transmitted and reflected lights.

場所はITO導電性ガラスとめっき浴が接している界面部分である。電気泳動後の試料の色は薄白色であったが、めっき後の試料の色はグレーに変色しており、金属の析出を肉眼で確認することができた。また、XRDパターンの結果から、 $2\theta=40^\circ$ 付近にPd(111)面(ICDD No.46-1043)、および $2\theta=30^\circ$ 付近に基板として用いたITOに帰属される回折ピークが検出された。以上の結果より、電気めっき法を用いて、PMMAコロイド結晶膜中に金属Pdが析出していることが確認された。

次に、Pd/PMMA複合膜からPMMAテンプレートのみを熱分解するために熱処理(500°C)を行った。熱処理後の試料($10\text{ mm}\times 15\text{ mm}$)をデジタルカメラにて撮影した写真を図3に示す。また、その微細構造のSEM写真を図4に示す。SEM観察の結果より、

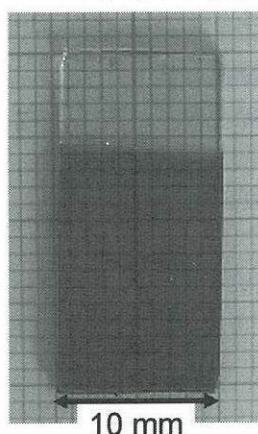


Fig. 3. Photograph of the sample prepared by the colloidal crystal templating method using 800 nm-sized PMMA microspheres.

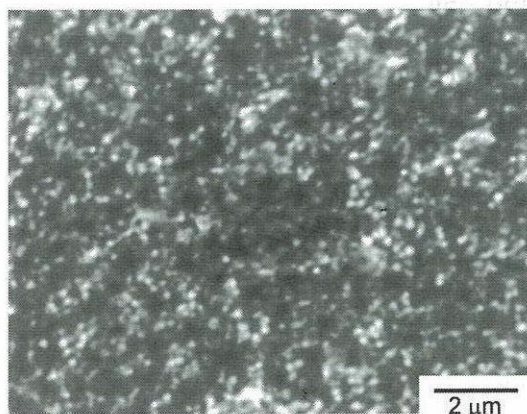


Fig. 4. SEM photograph of the sample prepared by the colloidal crystal templating method using 800 nm-sized PMMA microspheres.

テンプレートとして用いたPMMA粒子の形状とサイズを反映した細孔が形成され、多孔質な薄膜試料が作製できていることがわかった。

図5に多孔質試料のXRD測定の結果を示す。XRDパターンより、 $2\theta=34^\circ$ 付近にPdO(101)面(ICDD No.41-1107)に帰属される回折ピークが新たに検出された。これは、熱処理前の試料では電気めっきにより金属Pdが析出したが、空气中、 500°C の加熱により金属Pdが酸化され酸化パラジウム(PdO)に相転移したことに起因すると考えた。

図6に多孔質薄膜の波長190 nmから2500 nmにおける光透過率スペクトル(a)を示す。比較のために電気めっき法により作製したPd薄膜の光透過率スペクトル(b)もあわせて示す。多孔質膜のスペクトル(a)より、測定波長の全領域にわたり、20%以上の透過率を有する試料であることがわかる。とくに、近赤外領域($780\text{ nm}\sim 2500\text{ nm}$)における光透過率は80%以上であった。可視光領域($380\text{ nm}\sim 780\text{ nm}$)においては、短波長になるにしたがって透過率は減少した。この透過率の減少は、多孔質化にともなう光の散乱による影響と酸化物に相転移したことによるものと考えた。水素センサ特性を測定する波長680 nmにおいて、本試料の光透過率は70%であった。

図7に多孔質薄膜試料の室温における水素センサ特性の結果を示す。縦軸は空气中におけるバーজন試料の透過光および反射光強度に対する相対強度を示している。“ $\text{H}_2\text{ ON}$ ”で水素を導入し、“ $\text{H}_2\text{ OFF}$ ”で水素から乾燥空气に切り換えている。反射光強度の経時変化を(a)に、また透過光強度の経時変化を(b)に示している。これより、多孔質試料の反射光および透過光強度は水素—空气により変化していること

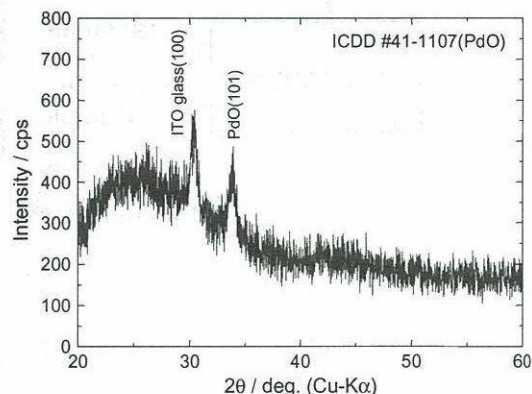


Fig. 5. XRD pattern of the sample prepared by the colloidal crystal templating method using 800 nm-sized PMMA microspheres.

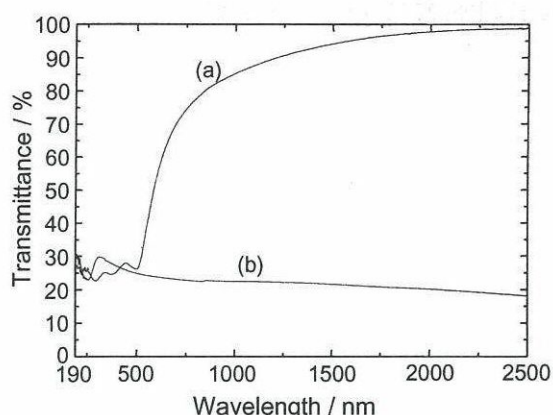


Fig. 6. Optical transmittance spectra of (a) the macroporous film prepared by the colloidal crystal templating and (b) non-porous Pd thin films prepared by electroplating.

がわかる。また、水素ガスに対する応答速度、回復速度、繰り返し特性は良好であった。

多孔質薄膜の水素-空気に対する光学応答挙動は、1回目の水素導入と2回目以降の水素導入時で異なることがわかる。これは、1回目の水素導入において、PdO酸化物からPdH_x水素化物へと変化し、その後の空気導入によりPdH_x水素化物からPd金属に変化したことに起因すると考えられる。水素導入前後におけるXRD測定の結果から、水素導入後の試料では導入前に検出されたPdOに帰属される回折ピークが消失し、Pdに帰属されるピークが新たに検出された。また、2回目以降の水素導入においては、Pd金属からPdH_x

水素化物へと変化し、次いで水素から空気に切り換えた際にはPdH_x水素化物からPd金属に変化する。以上の結果より、コロイド結晶テンプレート法を用いて作製された多孔質薄膜試料は室温において水素により反射光および透過光強度が変化していることから、室温作動型の光検知式水素センサとして機能することを明らかにした。

4. 結 論

コロイド結晶テンプレート法を用いてマクロポーラスパラジウム薄膜型オプティカル水素センサを作製し、室温における水素ガス検知特性を評価した。試料の作製は、まず電気泳動法を用いてポリメチルメタクリレート (PMMA) 単分散球状粒子 (粒径800 nm) からなるコロイド結晶テンプレート膜をITO (Indium-tin-oxide) 透明導電性ガラス基板上に作製した。次に、めっき法を用いてコロイド結晶の空隙に金属Pdを析出させ、Pd/PMMA膜を得た。500 °Cでの加熱処理により、PMMAテンプレートを熱分解除去することで、マクロポーラスな試料を作製した。熱処理後、室温において水素還元処理を行い、サブミクロンサイズの微細構造が制御されたマクロポーラスPd薄膜を得ることに成功した。試料を水素に晒したとき、波長680 nmにおける透過光強度および反射光強度は変化した。また、水素に対する繰り返し検知特性も良好

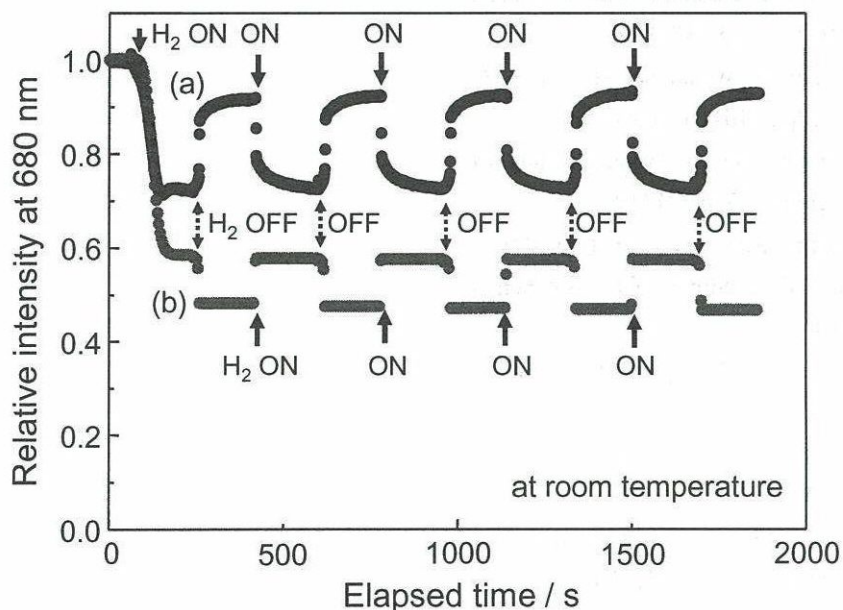


Fig. 7. Typical hydrogen sensing property of the sample prepared by the colloidal crystal templating method using 800 nm-sized PMMA microspheres: (a) Reflected light, and (b) transmitted light.

であった。以上の結果より、コロイド結晶テンプレート法を用いて作製されたマクロポーラスPd薄膜は室温作動型のオプティカル水素センサとして機能することを明らかにした。

謝 辞

本研究の一部は、平成19年度科研費基盤研究(C)(No.19560685, 研究代表者: 濱上寿一, 研究課題「マイクロ構造制御された多孔質オプティカル水素センサの創製」)および平成18年度長岡技術科学大学学長裁量経費による研究助成(C)「高専との共同研究」(研究代表者: 高田雅介教授)の補助を受けて実施されたものである。この場をかりて、謝意を表する。

参考文献

- 1) 太田健一郎, 石原顕光, 表面技術, 56, p.170 (2005).
- 2) 西丸三善, 表面技術, 56, p.177 (2005).
- 3) 福井清, 表面技術, 57, p.244 (2006).
- 4) 中島清士, 岩崎信一郎, オートメーション, 21, p.21 (1976).
- 5) T. Seiyama, A. Kato, K. Fujiishi, and M. Nagatani, Anal. Chem., 34, p.1502 (1962).
- 6) J. Hamagami, Y. S. Oh, Y. Watanabe, and M. Takata, Sensors and Actuators B, 13-14, p.281 (1993).
- 7) Y. S. Oh, J. Hamagami, Y. Watanabe, and M. Takata, Sensors and Actuators B, 13-14, p.547 (1993).
- 8) Y. S. Oh, J. Hamagami, Y. Watanabe, M. Takata, H. Yanagida, J. Ceram. Soc. Jpn., 101 [6], p.618 (1993).
- 9) J. Hamagami, B. Huybrechts, Y. Watanabe, and M. Takata, Ceramic Transactions, 43, p.331 (1994).
- 10) M. A. Butler, J. Electrochem. Soc., 138, L46 (1991).
- 11) K. Ito and T. Kubo, Proceedings of the 4th Sensor Symposium, p.153 (1984).
- 12) K. Ito and T. Ohgami, Appl. Phys. Lett., 60, p.938 (1992).
- 13) K. Ito, T. Ohgami, and T. Nakazawa, Sensors and Actuators B, 12, p.151 (1993).
- 14) 朝野章, 今井裕司, Research Reports of Sendai National College of Technology, No. 34 (2004).
- 15) 濱上寿一, 森将来, 栗原 丈, 高田雅介, 久留米高等専門学校紀要, 22 (2), pp.19-24 (2007).
- 16) 濱上寿一, 吉村浩一, 松田厚範, 久留米高等専

門学校紀要, 22 (2), pp.13-18 (2007).

一般論文

電気泳動法と熱処理によるアパタイトコーティング膜の作製と評価

濱上 寿一*¹, 岸本 昂之*¹, 松岡 孔明*¹Fabrication and Characterization of Apatite Coating Films
by Electrophoretic Deposition Process and HeatingJun-ichi HAMAGAMI*¹, Takashi KISHIMOTO*¹, and Koumei MATSUOKA*¹

Abstract

We have investigated on a fabrication of porous hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$: HAp) ceramic coating with high bioactivity and an evaluation of its biocompatibility *in vitro*. The porous HAp coating films were prepared on a titanium substrate by an electrophoretic deposition process and heat treatment. A biocompatibility of the porous specimen was examined by *in vitro* test using a simulated body fluid (SBF) with pH 7.4 at 36.5 °C. An observation with SEM on the porous sample after soaking in an SBF exhibited bone-like apatite crystal growth and that the porous coating material has a good biocompatibility *in vitro*.

Keywords: Hydroxyapatite coating, Titanium metal substrate, Electrophoretic deposition process, Heat treatment, *in vitro* test, Simulated body fluid

1. 緒 言

高齢社会である我が国日本では、さらなるQOL (quality of life) の向上を図るため、高生体活性を有するバイオマテリアルに関する基礎および臨床応用的な研究開発が非常に重要である。^{1)~9)}とくに、関節や歯根はヒトが日常生活をおくる上で欠かせない機能といっても過言ではない。臨床応用されている人工関節や人工歯根には水酸アパタイト(組成式 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$: 以下HApと略す)がコーティングされたチタンインプラントが多用されている。現在、HApコーティング法としてはプラズマ溶射法が主流となっているが、高温プロセスであるためHApの分解や組成ずれが生じるなどの問題点がある。これらの問題点を解決するために、電気泳動(electrophoretic deposition: EPD)法と熱処理を用いたHApコーティング膜の作製について検討を行った。

EPD法は粒子が溶液に分散した懸濁液に電極を浸漬し、直流電圧を印加することで電極上に帯電粒子を移動(電気泳動)させ、基板上に堆積・凝集させる湿式コーティングプロセスである(図1)。^{10)~17)}EPD

法はプロセスに用いる装置が簡便で、短時間のうちに均一な厚さをもつ粒子層を形成することができる。さらに複雑形状の金属基材表面にも緻密膜或多孔質膜などの微細構造が高度に制御されたセラミックコーティング膜の作製が可能である。とくに、人工関節や人工歯根への臨床応用を考えると、患者の年齢や性別などにより、インプラントしたい関節や歯根のサイズや形状は大きく変化するため、さまざまな形態の金属表面にHAp粒子を均一にコーティングするためのプロセス技術の開発は重要である。また、術後の患者の負担を減らすためにコーティング層を多

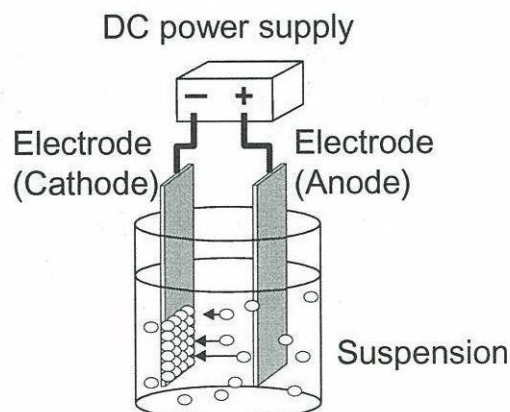


Fig. 1. Schematic illustration of typical experimental setup for electrophoretic deposition (EPD) process.

平成19年8月20日 受理

*1久留米工業高等専門学校 材料工学科
Copyright 2007 久留米工業高等専門学校

孔質化することにより生体との反応性を速めることも必要となってくる。

一般に人工的に合成された生体材料を体内にインプラントした場合、材料と体液との接触界面において骨類似アパタイト層(低結晶性の炭酸含有水酸アパタイト)を介して、生体組織と結合することが知られている。そのため、材料の生体親和性を動物実験(*in vivo*評価)することなく、*in vitro*で評価する方法として擬似体液(simulated body fluid: SBF)を用いた方法が小久保らにより提案されている。^{18)・19)} SBFとは、人の体液の血漿の無機イオン濃度に等しくなるように調製された水溶液のことである。人工材料をSBFに所定時間浸漬させ、その表面に骨類似アパタイトが形成されれば、その材料は生体内においても自然骨と直接結合する生体親和性材料であるといえる。

そこで、本研究では電気泳動法と熱処理によって高生体活性な多孔質水酸アパタイトコーティング膜を作製するとともに、擬似体液を用いた*in vitro*生体親和性の評価を行った結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 アパタイトコーティング膜の作製

EPD法に用いる懸濁液は次のように調製した。アパタイト粉末(HAP-300, 太平化学産業製)1 gをエタノール(純度99.5%, 和光純薬工業製)50 ml中に添加し、超音波洗浄器(UT-105S, SHARP製)を用いて所定時間超音波分散したものを懸濁液として用いた。

EPDプロセスは以下のように行った。電極基材には板状のチタン金属(20 mm×10 mm×0.3 mm, 純度99.5%, ニラコ製)を用い、対極にはステンレス板を用いた。電極間距離は10 mmとした。粒子が堆積する面積は10 mm×10 mmとなるようにした。EPDは直流安定化電源(AE-8150, アトー製)を用いた定電圧法により、直流電圧30 V、堆積時間60 sの条件にて行った。EPD終了後、電極基材を懸濁液から取り出し、室温・大気圧雰囲気下で十分に乾燥させた。EPD法で得られた試料は、箱形電気炉(FO310, ヤマト製)を用いて900 °C、2時間、空気中にて熱処理を行った。

2.2 *in vitro* 生体親和性試験

得られた人工試料の生体親和性を評価するために

擬似体液(SBF)を用いた*in vitro*試験を実施した。本実験ではその無機イオン濃度が1.5倍になるように調整された1.5 SBF(Na^+ 213.0, K^+ 7.5, Mg^{2+} 2.3, Ca^{2+} 3.8, Cl^- 221.7, HCO_3^- 6.3, HPO_4^{2-} 1.5, SO_4^{2-} 0.8 mmol L⁻¹)を用いた。¹⁹⁾ 作製された試料を36.5°CでpH 7.4に調整された1.5 SBF中に1日間浸漬させた。

2.3 試料のキャラクタリゼーション

作製された試料の結晶構造と生成相の同定には、X線回折(XRD)装置(MXP3VA-B, マックサイエンス製)を用いた。XRDは、X線源としてCu-K α 線を用い、管電圧40 kV、管電流30 mA、スキャンスピード4° min⁻¹の条件下で測定を行った。なお、XRDパターンのピークの指数付けはICDD(International Center for Diffraction Data)カードを用いて行った。

試料中に含まれる官能基を帰属するためにフーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR: FT/IR-230, JASCO製)を用いて分析した。なお、FT-IRの測定にはKBr法を用いた。

試料表面の微細構造の観察には、走査型電子顕微鏡(Scanning electron microscope: SEM)(S-2380, HITACHI製)を用いた。加速電圧は20~25 kVとした。なお、絶縁性の試料をSEM観察する場合は、電子線照射による試料表面のチャージアップを防ぐため、観察前に簡易型スパッタ装置(SC-701, サンヨー製)を用いて金をあらかじめ蒸着した。

3. 実験結果及び考察

3.1 出発材料のキャラクタリゼーション

EPDプロセスにおいて良好なコーティング層を形成させるためには、EPDに用いる粒子のサイズや形状、および電極基板の表面状態を調査することが重要である。図2にEPDプロセスに用いた(a)アパタイト粉末と(b)チタン基板表面のSEM写真を示す。図2(a)より、アパタイト粒子はサイズが数 μm から50 μm 程度の板状の凝集粒子であることがわかった。また、図2(b)より、電極基板として用いたチタン金属の表面には数 μm 程度の欠陥は存在するものの比較的平滑な表面をもつ基板であることがわかった。

次に、出発粉末のキャラクタリゼーションをXRDとFT-IRを用いて分析した。図3に出発粉体であるアパタイト粒子の(a)XRDパターンと(b)FT-IRスペク

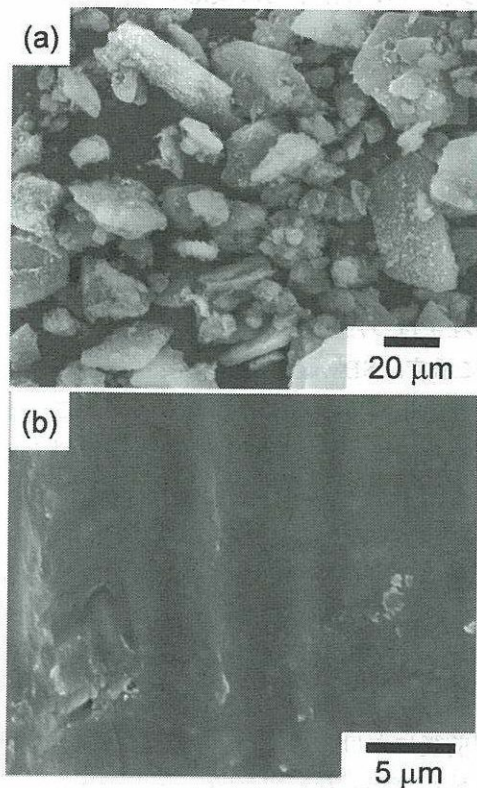


Fig. 2. SEM photographs of starting materials for the EPD process: (a) apatite powders, and (b) titanium substrate.

トルの結果を示す。図3(a)のXRDパターンより、検出されたすべての回折ピークはHAp($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$)のICDDカードNo.9-432に帰属されたことからHApであることがわかった。また、回折ピークの半値幅が比較的ブロードであることから、低結晶性のHAp粒子であることもわかった。さらに、FT-IRスペクトルの結果から、HAp結晶格子中のリン酸イオン(PO_4^{3-})と水酸化物イオン(OH^-)に帰属される吸収バンドが検出された。また、 1500 cm^{-1} 付近に炭酸イオン(CO_3^{2-})に帰属される吸収バンドも検出された。これは、アパタイトの結晶格子内に炭酸基が存在していることを意味するものである。以上のXRDとFT-IRの測定結果より、出発粉末は炭酸含有の水酸アパタイトであることがわかった。

3. 2 EPD 法によるアパタイトコーティング

図4(a)にEPD法を用いて作製された試料の写真を示す。チタン基板上に均一に粒子が形成されていることがわかる。EPDプロセスにおいて、アパタイト粒子は負極側に堆積したことから、エタノール懸濁

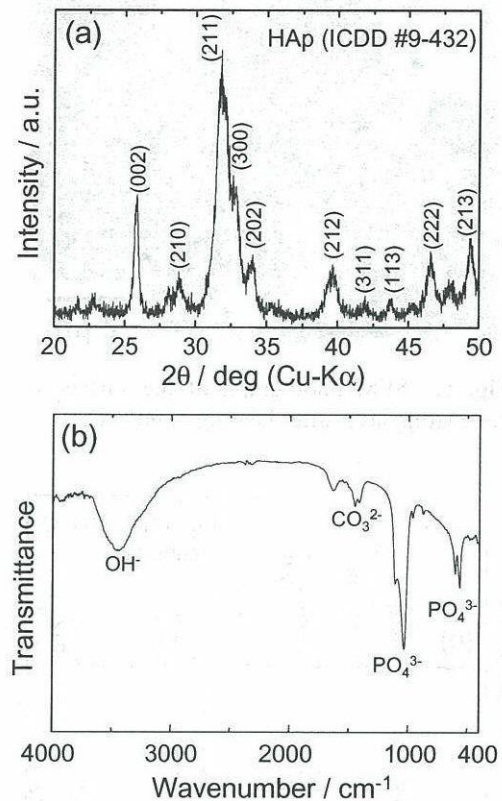


Fig. 3. (a) XRD pattern and (b) FT-IR spectrum of the starting apatite powders.

液中においてアパタイト粒子は正に帯電していることがわかった。また、基板上に堆積している粒子のサイズは $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であった(図4(b))。これは、出発粉末が $50\text{ }\mu\text{m}$ 程度の比較的大きな粒子(図2(a))を含んでいることを考えると、EPD法は出発粉末のサイズをスケーリングする効果があることを示唆するものである。

EPD法で作製された試料のXRDパターンから、ICDDカードNo. 9-432のHApとNo. 44-1294のTiに帰属されるピークが検出された(図6(a))。また、FT-IRスペクトルから、HApの PO_4^{3-} イオン、 OH^- イオン、

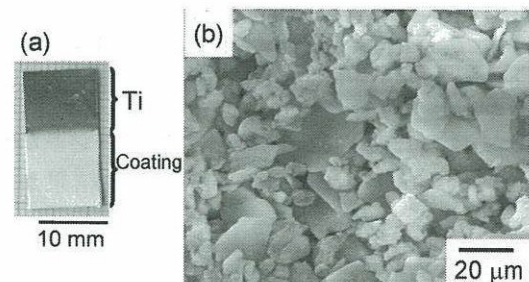


Fig. 4. (a) Photograph of the sample prepared by the EPD process and (b) SEM photograph of the surface of the coating layer.

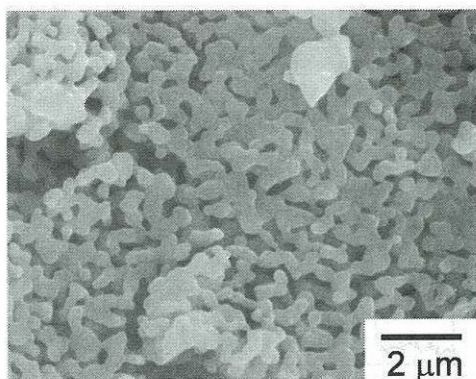


Fig. 5. SEM photograph of the surface of the coating layer after heating at 900 °C.

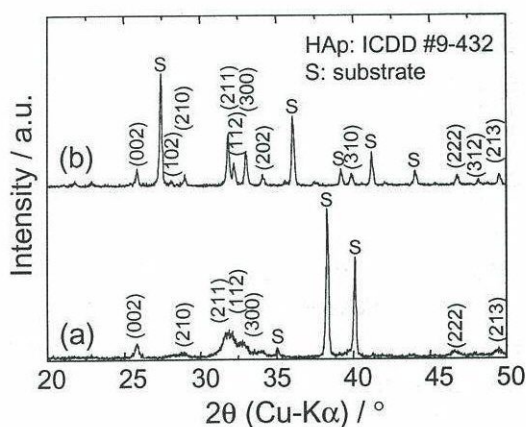


Fig. 6. XRD patterns of the samples (a) before and (b) after heating at 900 °C for 2 h.

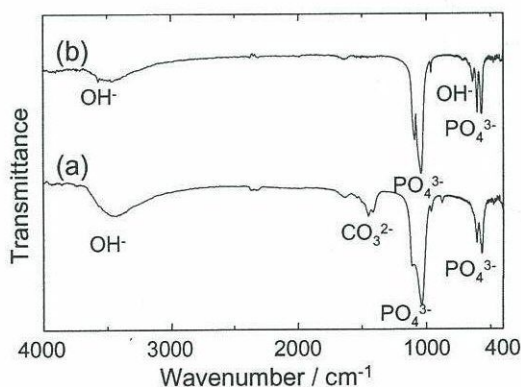


Fig. 7. FT-IR spectra of the samples (a) before and (b) after heating at 900 °C for 2 h.

および CO_3^{2-} イオンに帰属される吸収バンドが検出された(図7(a))。XRDとFT-IRの測定結果から、EPD法を用いて作製されたコーティング膜は炭酸含有水酸アパタイト膜であることがわかった。このことから、EPDプロセスは原料粉末の結晶構造とその構成イオンに影響を及ぼさないことがわかった。すなわち、EPDに用いた粒子と基板は懸濁液の溶媒で

あるエタノールと化学的に反応せず、電気化学的にも反応していないといえる。

3. 2 EPD コーティング膜の熱処理

EPD後の乾燥試料における堆積粒子間および基板/粒子層界面の密着性はファンデルワールス力であるため十分とはいえない。密着性を向上させるために熱処理を行った。熱処理後の試料表面のSEM写真を図5に示す。SEM観察の結果より、コーティング膜が多孔質化していることがわかった。この結果を考察するために、熱処理前後における試料のXRDパターンとFT-IRスペクトルの比較を行った。

図6に熱処理前後における試料のXRDパターンを示す。熱処理前のXRDパターン(a)では、HApと基板として用いたTiに帰属されるピークが検出された。900 °Cの熱処理後のXRDパターン(b)では、HApと酸化チタン(TiO_2)に帰属されるピークが検出された。熱処理前後における違いは、HApに帰属されるピークの半値幅が狭くなっていることよりHApの結晶性が高くなり、さらに基板として用いたTiが空気中での熱処理により酸化され TiO_2 へ変化したことが挙げられる。なお、 TiO_2 は生体不活性材料として知られている。

熱処理前後における試料のFT-IRスペクトルの結果を図7に示す。熱処理前の試料のスペクトル(図7(a))から、HApの PO_4^{3-} イオン、 OH^- イオン、および CO_3^{2-} イオンに帰属される吸収バンドが検出された。一方、熱処理後のFT-IRスペクトル(図7(b))から、熱処理前に検出された CO_3^{2-} イオンに帰属される吸収バンドが消失し、HApの PO_4^{3-} イオンと OH^- イオンに帰属されるバンドのみが検出された。また、熱処理後のスペクトルにおいて、3500 cm^{-1} 付近に検出されたブロードな OH^- (吸着水)に帰属されるピークが減少し、3570 cm^{-1} 付近に OH^- に帰属されるピークが検出された。

熱処理前後の試料のXRDとFT-IRの結果から、熱処理前の試料は炭酸含有水酸アパタイトであったが、900 °Cの熱処理によりHAp結晶格子中から炭酸根が抜け水酸アパタイトに熱分解されたことが明らかとなった。

さらに、多孔質化した原因を考察するために試料の熱重量分析(TG-DTA)も行った。TGカーブより300 °Cおよび700 °C付近で重量減少が起きることが

わかった。このことより300℃と700℃の中間の温度である500℃で試料を熱処理し、SEM観察、XRDおよびFT-IR測定を行った。その結果、300℃付近でHApの物理吸着水が脱離し、さらに700℃付近で CO_3^{2-} イオンが脱離することによって重量減少が起きていたということが明らかとなった。

以上の結果より、熱処理後におけるコーティング膜の多孔質化は、熱処理前の炭酸含有水酸アパタイト凝集粒子に含まれる物理吸着水と炭酸イオンが熱分解されたことに起因すると推察した。

3. 3 *in vitro* 生体親和性評価

熱処理後のHAp多孔質膜を1.5SBFに1日間浸漬させた試料表面のSEM写真を図8に示す。これより、SBF浸漬前(図5)の多孔質な表面形態とはまったく異なり、その表面が微細な針状結晶で覆われている様子が観察された。XRDとFT-IRの分析結果から、この析出物は骨類似の炭酸含有水酸アパタイトであることがわかった。一方、基板に用いたチタン金属のみを同様な条件下でSBFに浸漬させても析出物は観察されなかった。以上の結果より、生体活性な多孔質水酸アパタイトコーティング膜がEPD法と熱処理を用いて作製可能であることがわかった。

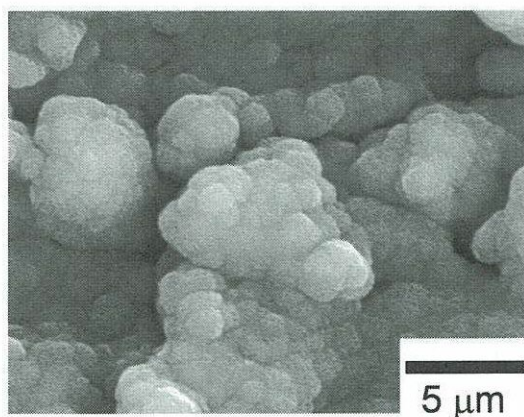


Fig. 8. SEM micrograph of the surface of the porous HAp coating film after soaking in 1.5 SBF for 1 d.

4. 結 論

電気泳動法と熱処理を用いて多孔質な水酸アパタイト(組成式 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$)コーティング膜をチタン上に作製することに成功した。まず、電気泳動

法により炭酸含有アパタイト粉末をチタン金属表面にコーティングし、次いで熱処理により脱炭することにより微細な細孔を有する多孔質水酸アパタイトコーティング膜を作製した。得られた多孔質水酸アパタイトコーティング膜は擬似体液を用いた*in vitro*試験の結果から良好な生体親和性を有することが明らかとなった。

謝 辞

本実験で使用したアパタイト粉末(商品名HAP-300)は太平化学産業㈱よりご提供いただいたものである。また、X線回折(XRD)測定は産業技術総合研究所九州センター実環境計測・診断研究ラボの野中一洋博士と蒲原敏浩博士に、熱重量分析(TG-DTA)測定は東京大学野口祐二博士にご協力をいただいた。この場を借りて謝意を表したい。

参考文献

- 1) Hench, L.L., *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 74, pp.1487-1510(1991).
- 2) Ohtsuki, C, Kokubo, T. and Yamamuro, T., *J. Non-Cryst. Solids*, Vol. 143, pp.84-92(1992).
- 3) Velez, O. D., Jede, T. A., Lobo, R. F. and Lenhoff, A.M., *Nature*, Vol. 389, pp. 447-448(1997).
- 4) Holland, B. T., Blanford, C. F. and Stein, A., *Science*, Vol. 281, pp. 538-540(1998).
- 5) Stein, A. and Schroden, R. C., *Current Opinion in Solid State and Materials Sciences*, Vol. 5, pp. 553-564(2001).
- 6) Yan, H., Zhang, K., Blanford, C. F., Francis, L. F. and Stein, A., *Chem. Mater.*, Vol. 13, pp. 1374-1382(2001).
- 7) Zhang, K., Yan, H., Bell, D. C., Stein, A. and Francis, L. F., *J. Biomedical. Mater. Res.*, Vol. 66A, pp. 860-869(2003).
- 8) Kanamura, K., Hagiwara, T., Hamagami, J. and Umegaki, T., *Phos. Res. Bull.*, Vol. 13, pp. 147-152(2002).
- 9) Tang, F., Fudouzu, H. and Sakka, Y., *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 86, pp. 2050-2054(2003).
- 10) Sarkar, P. and Nicholson, P. S., *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 79, pp. 1987-2002(1996).
- 11) Zhitomirsky, I., *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 97, pp. 279-317(2002).

- 12) Kanamura, K., Hamagami, J. and Umegaki, T., *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, Vol. 27, pp. 67-72 (2002).
- 13) Yamashita, K., Yonehara, E., Hamagami, J. and Umegaki, T., *Bioceramics*, Vol. 10, pp. 463-466 (1997).
- 14) Ducheyne, P., Radine, S., Heughebaert, M. and Heughebaert, J. C., *Biomaterials*, Vol. 11, pp. 244-254 (1990).
- 15) Yamashita, K., Yonehara, E., Ding, X., Nagai, M., Umegaki, T. and Matsuda, M., *J. Biomed. Mater. Res. (Appl. Biomater.)*, Vol. 43, pp. 46-53 (1998).
- 16) Ma, J., Wang, C. and Peng, K. W., *Biomaterials*, Vol. 24, pp. 3505-3510 (2003).
- 17) Hamagami, J., Ato, Y., Kanamura, K., *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 114, pp. 51-54 (2006).
- 18) Tanahashi, M., Yao, T., Kokubo, T., Minoda, M., Miyamoto, T., Nakamura, T. and Yamamuro, T., *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 77, pp. 2805-2808 (1994).
- 19) Kokubo, T., Takadama, H., *Biomaterials*, 27, pp. 2907-2915 (2006).



一般論文

The Hopf invariant of a map over B

Michihiro SAKAI

We give a Hopf invariant in the category of fibrewise pointed spaces over B , which is a natural extension of the ordinary one.

1. INTRODUCTION

The concept of homotopy groups is to classify homotopically the pointed maps of an n -sphere S^n into a given space X . The homotopy group is denoted by $\pi_n(X)$. The group $\pi_n(X)$ is related to the homology group $H_n(X)$ referred to the Hurewicz homomorphism:

$$\zeta_n : \pi_n(X) \rightarrow H_n(X).$$

In the case $X = S^n$, the Hurewicz homomorphism $\zeta_n : \pi_n(S^n) \rightarrow H_n(S^n; \mathbb{Z})$ is isomorphic and $\pi_n(S^n) \cong \mathbb{Z}$. It is easy to see that $\pi_k(S^n) \cong 0$ ($k < n$). In 1935 Hopf[?] gave the homomorphism

$$H : \pi_3(S^2) \rightarrow \mathbb{Z}$$

and obtained that $\pi_3(S^2)$ is an infinite cyclic group. After that the homomorphism

$$H : \pi_{4n-1}(S^{2n}) \rightarrow \mathbb{Z}$$

was constructed and the element $H([f])$ was called the Hopf invariant of f which is a homotopy invariant. Let us consider the following short exact sequence:

$$0 \rightarrow \tilde{H}^k(S^{4n}; \mathbb{Z}) \xrightarrow{j^*} H^k(S^{2n} \cup_f D^{4n}; \mathbb{Z}) \xrightarrow{i^*} H^k(S^{2n}; \mathbb{Z}) \rightarrow 0$$

, where i^* and j^* is a homomorphism induced by the inclusion map $i : S^{2n} \rightarrow S^{2n} \cup_f D^{4n}$ and the quotient map $j : S^{2n} \cup_f D^{4n} \rightarrow S^{2n} \cup_f D^{4n} / S^{2n} \approx S^{4n}$ respectively. Let $\beta \in H^{2n}(S^{2n}; \mathbb{Z})$ and $t \in H^{2n}(S^{4n}; \mathbb{Z})$ be generators respectively. Then the Hopf invariant of f is the integer uniquely determined by

$$(\beta')^2 = H([f]) \cdot t'$$

, where β' and t' are elements such that $t' = j^*(t)$, $i^*(\beta') = \beta$. The following property is well known:

Theorem 1.1. Let $f, g : S^{4n-1} \rightarrow S^{2n}$ be maps representing elements $[f], [g] \in \pi_{4n-1}(S^{2n})$.

(1) If f and g are homotopic, then $H([f]) = H([g])$

(2) $H([f] + [g]) = H([f]) + H([g])$

Next we define the category Top_B^B of fibrewise pointed spaces over B .

Definition 1.2. An object of the category Top_B^B is a pair consisting of morphisms $p : E \rightarrow B$ and $s : B \rightarrow E$ of Top such that $p \circ s$ is the identity map $id_B : B \rightarrow B$, which are often called a projection and a section, respectively. A morphism between $(p_1 : E_1 \rightarrow B, s_1 : B \rightarrow E_1)$ and $(p_2 : E_2 \rightarrow B, s_2 : B \rightarrow E_2)$ in Top_B^B is given by a map $f : E_1 \rightarrow E_2$ together with commutative diagrams given as follows:

$$\begin{array}{ccc} E_1 & \xrightarrow{f} & E_2 \\ p_1 \searrow & & \nearrow p_2 \\ & B & \end{array} \quad \begin{array}{ccc} & B & \\ s_1 \swarrow & & \searrow s_2 \\ E_1 & \xrightarrow{f} & E_2 \end{array}$$

Example 1.3. Let $p : E(\xi) \rightarrow B$ be an n -dimensional real vector bundle with section $s : B \rightarrow E(\xi)$ given by $s(b) = \mathbb{O}_b$ for each $b \in B$, where $\mathbb{O}_b$ is a zero vector in $p^{-1}(b) \approx \mathbb{R}^n$. Then $p : E(\xi) \rightarrow B$ is an object of Top_B^B .

Definition 1.4. Let f and g be morphisms in Top_B^B . Then f and g are called homotopic in Top_B^B if there exists a homotopy $h_t, t \in [0, 1]$ in Top_B^B with $h_0 = f$, and $h_1 = g$ such that h_t is a morphism for any $t \in [0, 1]$. A fibrewise pointed homotopy relation over B is denoted by $\simeq_B^B$. The fibrewise homotopy set of the fibrewise pointed maps of X into Y over B is denoted by $\pi_B^B(X, Y)$.

Let $\xi = \xi' \oplus \epsilon^2$ and $\eta = \eta' \oplus \epsilon^2$ be real vector bundle over B with $\dim \eta > \dim \xi \geq 1$, $H^*(-; R)$ -orientable. Then we obtain the following:

Theorem 1.5. Let $S(\xi) \rightarrow B$ and $S(\eta) \rightarrow B$ be associated sphere bundles over B . Then there exists a homomorphism

$$H_B : \pi_B^B(S(\eta), S(\xi)) \rightarrow H^{2(\dim \xi - 1) - \dim \eta}(B; R)$$

which is an extension of the ordinary Hopf invariant, where R is a commutative ring with unit.

In this paper we say the notation used in the category Top_B^B . Let X and Y be spaces over B . For a fibrewise pointed subspace A of X over B , let $X/_B A$ denote the fibrewise quotient space. The space $X \vee_B Y$ is the fibrewise wedge sum over B which is a subspace of the fibrewise product $X \times_B Y$ over B . The fibrewise smash product over B is defined by $X \wedge_B Y = (X \times_B Y) / (X \vee_B Y)$. In particular, $\Sigma_B^B X = (S^1 \times B) \wedge_B X$ is the fibrewise reduced suspension space of X . We denote by $X *_B Y$ the fibrewise join over B . $C_B^B X$ denotes a fibrewise cone space. The fibrewise mapping space over B is denoted by $map_B^B(X, Y)$. In particular, $\Omega_B^B X = map_B^B(S^1 \times B, X)$ is a fibrewise loop space. We denote by $\Delta_B : X \rightarrow X \times_B X$ the fibrewise diagonal map over B and $\nabla_B : X \vee_B X \rightarrow X$ the fibrewise folding map over B . We denote by $c_B : X \rightarrow Y$ the fibrewise constant map over B .

2. CONSTRUCTION OF THE HOPF INVARIANT OVER B

Let $p_\xi : E(\xi) = E(\xi' \oplus \epsilon^2) \rightarrow B$, $p_\eta : E(\eta) = E(\eta' \oplus \epsilon^2) \rightarrow B$ be real vector bundle with sections s_ξ, s_η defined by $s_\xi(b) = (\mathbb{O}_b, (1, 0))$, $s_\eta(b) = (\mathbb{O}_b, (1, 0))$ for each $b \in B$. Assume that $\dim \eta > \dim \xi \geq 1$ and ξ, η are $H^*(-; R)$ -orientable. Consider a CW-pair $(S(\xi) \cup_f D(\eta), S(\xi))$ for the map $f : S(\eta) \rightarrow S(\xi)$ representing an element $[f] \in \pi_B^B(S(\eta), S(\xi))$. Since an inclusion map $i : S(\xi) \rightarrow S(\xi) \cup_f D(\eta)$ is a fibrewise pointed cofibration, $i : S(\xi) / s(B) \rightarrow S(\xi) \cup_f D(\eta) / s(B)$ is a (in the ordinary sense) cofibration due to the result of Smith[?]. Set $H^n(X, s(B); R)$

by $H_B^n(X)$. Then we obtain the following long exact sequence:

$$\cdots \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^k(T(\eta)) \xrightarrow{j^*} H_B^k(S(\xi) \cup_f D(\eta)) \xrightarrow{i^*} H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} \cdots$$

In general, $H_B^*(X)$ and morphisms between them have the following properties.

Proposition 2.1. (1) For $\lambda \in H^*(B)$ and $x \in H_B^*(X)$, let us define the scalar multiple $\lambda \cdot x \in H_B^*(X)$ by $\lambda \cdot x = d^*(p_X^*(\lambda) \times x)$. Then $H_B^*(X)$ becomes a $H^*(B)$ -module.

(2) Let $i : (A, s(B)) \rightarrow (X, s(B))$ and $j : (X, s(B)) \rightarrow (X, A)$ be inclusion maps respectively. Then in the following long exact sequence, the induced homomorphisms $i^* : H_B^*(X) \rightarrow H_B^*(A)$ and $j^* : H^*(X, A) \rightarrow H_B^*(X)$ are $H^*(B)$ -homomorphisms. Moreover so is the connecting homomorphism $\delta : H_B^*(A) \rightarrow H^{*+1}(X, A) \cong \tilde{H}^{*+1}(X/A)$ up to the signature, precisely, $\delta(\lambda \cdot x) = (-1)^{\deg \lambda} \lambda \cdot \delta(x)$ for each $\lambda \in H^*(B)$ and $x \in H_B^*(A)$.

$$\cdots \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^k(X/A) \xrightarrow{j^*} H_B^k(X) \xrightarrow{i^*} H_B^k(A) \xrightarrow{\delta} \cdots$$

Next let us determine the structures of $H_B^k(S(\xi))$, $\tilde{H}^k(T(\eta))$ and $H_B^k(S(\xi) \cup_f D(\eta))$.

Proposition 2.2. In the following long exact sequence, let $\beta(\xi)$ be an element such that $\delta(\beta(\xi)) = t(\xi)$, where $t(\xi)$ is a Thom class of ξ .

$$\cdots \xrightarrow{j^*} H_B^k(D(\xi)) \xrightarrow{i^*} H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^{k+1}(T(\xi)) \xrightarrow{j^*} \cdots$$

$$\beta(\xi) \longmapsto t(\xi)$$

Then,

- (1) $\tilde{H}^*(T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\eta) \rangle$,
- (2) $H_B^*(S(\xi))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle \beta(\xi) \rangle$.

Proof. (1) Let a homomorphism

$$\Phi_\eta : H^k(B) \rightarrow \tilde{H}^{k+\dim \eta}(T(\eta))$$

be given by

$$\Phi_\eta(\lambda) = d^*(p_\eta^*(\lambda) \times t(\eta))$$

, where $d^* : H^{k+\dim \eta}(D(\eta) \times D(\eta), D(\eta) \times S(\eta)) \rightarrow H^{k+\dim \eta}(D(\eta), S(\eta))$ and $p_\eta^* : H^k(B) \rightarrow H^k(D(\eta))$ are homomorphisms induced by the diagonal map and the projection, respectively. Since η is $H^*(B)$ -orientable, Φ_η is an isomorphism. Hence for each $x \in \tilde{H}^*(T(\eta))$, there exists a unique element $\lambda \in H^*(B)$ such that

$$\Phi_\eta(\lambda) = d^*(p_\eta^*(\lambda) \times t(\eta)) = x$$

, namely $x = \lambda \cdot t(\eta)$. This implies that $\tilde{H}^*(T(\eta))$ is a $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\eta) \rangle$. Let $\lambda \cdot t(\eta) = 0$, then $\Phi_\eta(\lambda) = 0$. Since Φ_η is an isomorphism, $\lambda = 0$. So $\tilde{H}^*(T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\eta) \rangle$.

(2) Let us consider the following long exact sequence:

$$\cdots \xrightarrow{j^*} H_B^k(D(\xi)) \xrightarrow{i^*} H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^{k+1}(T(\xi)) \xrightarrow{j^*} \cdots$$

Since $D(\xi)$ and $s(B)$ are homotopically equivalent to B , $H_B^k(D(\xi)) = 0$. This implies that the connecting homomorphism $\delta : H_B^k(S(\xi)) \rightarrow \tilde{H}^{k+1}(T(\xi))$ is an isomorphism. Since $\tilde{H}^*(T(\xi))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\xi) \rangle$, $H_B^k(S(\xi))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle \beta(\xi) \rangle$. In fact, for each $x \in H_B^k(S(\xi))$, there exists a unique element $\lambda \in H^*(B)$ such that $\delta(x) = \lambda \cdot t(\xi)$. Since $\delta((-1)^{\deg \lambda} \cdot \beta(\xi)) = \lambda \cdot t(\xi)$ and δ is an isomorphism, $x = (-1)^{\deg \lambda} \cdot \beta(\xi)$. Let $\lambda \cdot \beta(\xi) = 0$, then $\delta(\lambda \cdot \beta(\xi)) = (-1)^{\deg \lambda} \lambda \cdot t(\xi) = 0$. Since $\tilde{H}^*(T(\xi))$ is a free $H^*(B)$ -module, $\lambda = 0$. $\square$

Proposition 2.3. In the following short exact sequence, let $i^*(\beta'(\xi)) = \beta(\xi)$, $j^*(t(\eta)) = t'(\eta)$, where $t(\eta)$ is a Thom class of η .

$$0 \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^k(T(\eta)) \xrightarrow{j^*} H_B^k(S(\xi) \cup_f D(\eta)) \xrightarrow{i^*} H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} 0$$

$$t(\eta) \longmapsto t'(\eta), \quad \beta'(\xi) \longmapsto \beta(\xi)$$

Then $H_B^k(S(\xi) \cup_f D(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle \beta'(\xi), t'(\eta) \rangle$.

Proof. Let us consider the following exact sequence.

$$\cdots \xrightarrow{j^*} H_B^k(D(\xi)) \xrightarrow{i^*} H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^{k+1}(T(\xi)) \xrightarrow{j^*} \cdots$$

Since $\delta(\beta(\xi)) = t(\xi)$ due to the proof of Proposition 2.2(2) and $t(\xi) \in \tilde{H}^{\dim \xi}(T(\xi))$, we see that $\beta(\xi) \in H_B^{\dim \xi - 1}(S(\xi))$. Next let us consider the another long exact sequence:

$$\cdots \xrightarrow{j^*} H_B^k(S(\xi) \cup_f D(\eta)) \xrightarrow{i^*} H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^{k+1}(T(\eta)) \xrightarrow{j^*} \cdots$$

Since $\tilde{H}^*(T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\eta) \rangle$, there exists $\lambda \in H^*(B)$ such that $\delta(\beta(\xi)) = \lambda \cdot t(\eta)$. $\delta(\beta(\xi)) \in \tilde{H}^{\dim \xi}(T(\eta))$ and $\lambda \cdot t(\eta) \in \tilde{H}^{\dim \lambda + \dim \eta}(T(\eta))$ imply that $\dim \xi = \dim \lambda + \dim \eta$. Since $\dim \xi < \dim \eta$, $\dim \lambda < 0$. So we see that $\lambda = 0$. So $\delta : H_B^k(S(\xi)) \rightarrow \tilde{H}^{k+1}(T(\eta))$ is a zero map. Then we obtain the following short exact sequence:

$$0 \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^k(T(\eta)) \xrightarrow{j^*} H_B^k(S(\xi) \cup_f D(\eta)) \xrightarrow{i^*} H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} 0$$

, which is split. Let $\beta'(\xi) \in H_B^{\dim \xi - 1}(S(\xi) \cup_f D(\eta))$ and $t'(\eta) \in H_B^{\dim \eta}(S(\xi) \cup_f D(\eta))$ be elements such that $i^*(\beta'(\xi)) = \beta(\xi)$, $j^*(t'(\eta)) = t(\eta)$ respectively. Since $\tilde{H}^{\dim \xi - 1}(T(\eta)) = 0$, we see that $i^* : H_B^{\dim \xi - 1}(S(\xi) \cup_f D(\eta)) \rightarrow H_B^{\dim \xi - 1}(S(\xi))$ is an isomorphism.

$$0 \xrightarrow{j^*} H_B^{\dim \xi - 1}(S(\xi) \cup_f D(\eta)) \xrightarrow{i^*} H_B^{\dim \xi - 1}(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} 0$$

So there exists a unique element $\beta'(\xi)$ such that $i^*(\beta'(\xi)) = \beta(\xi)$. This completes the proof. $\square$

To construct the Hopf invariant in the category of fibre-wise pointed spaces over B , we need the following property.

Lemma 2.4. Let $\beta(\xi)$ be the element obtained in Proposition 2.3. Then

$$\beta(\xi)^2 = 0.$$

Proof. Let us define a firewise co-multiplication $m : S(\xi) \rightarrow S(\xi) \vee_B S(\xi)$ by

$$m((e_b, (\cos \theta, \sin \theta))) = \begin{cases} ((e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta)), s(b)) & (0 \leq \theta \leq \pi) \\ (s(b), (e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta))) & (\pi \leq \theta \leq 2\pi) \end{cases}$$

, and let

$$\alpha : (S(\xi) \wedge_B S(\xi), s(B)) \rightarrow (S(\xi)/s(B) \wedge S(\xi)/s(B), *)$$

be a map defined by

$$\alpha([(e_b, e'_b)]) = [[e_b], [e'_b]], \quad (e_b, e'_b) \in S(\xi) \times_B S(\xi).$$

Then we obtain the following commutative diagram:

$$\begin{array}{ccc} (S(\xi)/s(B) \wedge S(\xi)/s(B), *) & \xleftarrow{\alpha} & (S(\xi) \wedge_B S(\xi), s(B)) \\ \uparrow q & & \uparrow q_B \\ (S(\xi) \times S(\xi), S(\xi) \times s(B) \cup s(B) \times S(\xi)) & \xleftarrow{i_2} & (S(\xi) \times_B S(\xi), s(B)) \\ \uparrow d & & \uparrow i_1 \\ (S(\xi), s(B)) & \xrightarrow{m} & (S(\xi) \vee_B S(\xi), s(B)) \end{array}$$

, where i_1, i_2 are inclusion maps and q, q_B are (q_B is fibre-wise) quotient maps respectively. Moreover we see that $i_1 \circ m$ and a diagonal map $d : (S(\xi), s(B)) \rightarrow (S(\xi) \times_B S(\xi), s(B))$ are homotopic.

$$\begin{array}{ccc} & & (S(\xi) \times_B S(\xi), s(B)) \\ & \nearrow d & \uparrow i_1 \\ (S(\xi), s(B)) & \xrightarrow{m} & (S(\xi) \vee_B S(\xi), s(B)) \end{array}$$

In fact, we may define a homotopy $H : S(\xi) \times [0, 1] \rightarrow S(\xi) \times_B S(\xi)$ by

$$H((e_b, (\cos \theta, \sin \theta), s)) = \begin{cases} ((e_b, (\cos a\theta, \sin a\theta)), (e_b, (\cos b\theta, \sin b\theta))) & (0 \leq \theta \leq \pi) \\ ((e_b, (\cos c\theta, \sin c\theta)), (e_b, (\cos d\theta, \sin d\theta))) & (0 \leq \theta \leq \pi) \end{cases}$$

, where $a\theta = (1-s)\theta + 2s\theta$, $b\theta = (1-s)\theta$, $c\theta = 2\pi s + (1-s)\theta$, $d = 2s(\theta - \pi) + (1-s)\theta$.

Since $i_1 : S(\xi) \vee_B S(\xi) \rightarrow S(\xi) \times_B S(\xi)$ is a fibrewise pointed cofibration, $i : S(\xi) \vee_B S(\xi)/s(B) \rightarrow S(\xi) \times_B S(\xi)/s(B)$ is a cofibration in the ordinaly sense due to Smith[?]. So we have the following long exact sequence:

$$\cdots \xrightarrow{\delta} H_B^k(S(\xi) \wedge_B S(\xi)) \xrightarrow{q_B^*} H_B^k(S(\xi) \times_B S(\xi)) \xrightarrow{i_1^*} H_B^k(S(\xi) \vee_B S(\xi)) \xrightarrow{\delta} \cdots$$

Then,

$$\begin{aligned} \beta(\xi)^2 &= d^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= d^*q^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= (i_2 \circ d)^*q^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= d^*i_2^*q^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= d^*(q \circ i_2)^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= d^*(\alpha \circ q_B)^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= (i_1 \circ m)^*q_B^*\alpha^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= m^*i_1^*q_B^*\alpha^*(\beta(\xi) \times \beta(\xi)) \\ &= 0. \end{aligned}$$

□

Again let us consider the following short exact sequence:

$$\begin{array}{ccccccc} 0 & \xrightarrow{\delta} & \tilde{H}^k(T(\eta)) & \xrightarrow{j^*} & H_B^k(S(\xi) \cup_f D(\eta)) & \xrightarrow{i^*} & H_B^k(S(\xi)) \xrightarrow{\delta} 0 \\ & & \cup & & \cup & & \cup \\ & & t(\eta) & \mapsto & t'(\eta), & \beta'(\xi) & \mapsto & \beta(\xi) \end{array}$$

Since $\beta^2(\xi) = 0$ and $H^{2(\dim \xi - 1)}(S(\xi)) = 0$, there exists an unique element $\lambda \in H^{2(\dim \xi - 1) - \dim \eta}(B; R)$ such that $(\beta'(\xi))^2 = \lambda \cdot t'(\eta)$. Hence we define the Hopf invariant over B as follows:

Definition 2.5. The element $\lambda \in H^{2(\dim \xi - 1) - \dim \eta}(B; R)$ uniquely determined by

$$(\beta'(\xi))^2 = \lambda \cdot t'(\eta)$$

is called the Hopf invariant over B of f and denoted by $H_B(f)$. A morphism

$$H_B : \pi(S(\eta), S(\xi)) \rightarrow H^*(B; R)$$

defined by $H_B([f]) = H_B(f)$ is called the Hopf invariant over B .

3. PROOF OF THEOREM 1.5

Let us define an addition in $\text{map}_B^B(S(\eta), S(\xi))$ as follows:

Definition 3.1. Let f, g be elements of $\text{map}_B^B(S(\eta), S(\xi))$, then their sum $f + g$ is defined by

$$(f+g)(e_b, (\cos \theta, \sin \theta)) = \begin{cases} f(e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta)) & (0 \leq \theta \leq \pi) \\ g(e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta)) & (\pi \leq \theta \leq 2\pi) \end{cases}$$

for each $(e_b, (\cos \theta, \sin \theta)) \in S(\eta)$.

Since the fibrewise pointed homotopy class $[f + g]$ depends on the classes $[f]$ and $[g]$, we can define an addition in $\pi_B^B(S(\eta), S(\xi))$ by

$$[f] + [g] = [f + g].$$

To show that H_B is a homomorphism, we need to define the following maps. Set $x = (e_b, (\cos \theta, \sin \theta))$. Then maps $\phi : S(\xi) \cup_{f+g} D(\eta) \rightarrow S(\xi) \cup_{f \vee_B g} (D(\eta) \vee_B D(\eta))$ and $\phi' : T(\eta) \rightarrow T(\eta) \vee T(\eta)$ are defined by

$$\begin{aligned} \phi(x) &= \begin{cases} (e_b, (\cos \theta, \sin \theta)) & (x \in S(\xi)) \\ ((e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta)), s(b)) & (x \in D(\eta), 0 \leq \theta \leq \pi) \\ (s(b), (e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta))) & (x \in D(\eta), \pi \leq \theta \leq 2\pi) \end{cases} \\ \phi'(x) &= \begin{cases} [(e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta)), *] & (0 \leq \theta \leq \pi) \\ (*, [(e_b, (\cos 2\theta, \sin 2\theta))]) & (\pi \leq \theta \leq 2\pi). \end{cases} \end{aligned}$$

Then we have the following commutative diagram:

$$\begin{array}{ccc}
 S(\xi) & \xrightarrow{id} & S(\xi) \\
 \downarrow i & & \downarrow i \\
 S(\xi) \cup_{f+g} D(\eta) & \xrightarrow{\phi} & S(\xi) \cup_{f \vee_{Bg}} (D(\eta) \vee_B D(\eta)) \\
 \downarrow q & & \downarrow q' \\
 T(\eta) & \xrightarrow{\phi'} & T(\eta) \vee T(\eta)
 \end{array}$$

, where q and q' are quotient maps. Next let us determine the structures of $\tilde{H}^*(T(\eta) \vee T(\eta))$ and $H_B^*(S(\xi) \cup_{f \vee_{Bg}} D(\eta) \vee_B D(\eta))$.

Proposition 3.2. (1) $\tilde{H}^*(T(\eta) \vee T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle p_1^*(t(\eta)), p_2^*(t(\eta)) \rangle$, where $p_1, p_2 : T(\eta) \vee T(\eta) \rightarrow T(\eta)$ are the first projection and the second projection respectively

(2) Let q' and i be maps in the above diagram. Then $H_B^*(S(\xi) \cup_{f \vee_{Bg}} D(\eta) \vee_B D(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t'_1(\eta), t'_2(\eta), \beta''(\xi) \rangle$, where $t'_1(\eta) = (q')^* p_1^*(t(\eta))$, $t'_2(\eta) = (q')^* p_2^*(t(\eta))$, and $\beta''(\xi)$ is an element such that $i^*(\beta''(\xi)) = \beta(\xi)$.

Proof. (1) Let us define a homomorphism $p^* : \tilde{H}^*(T(\eta)) \oplus \tilde{H}^*(T(\eta)) \rightarrow \tilde{H}^*(T(\eta) \vee T(\eta))$ by

$$p^*(x, y) = p_1^*(x) + p_2^*(y).$$

Then one can easily see that p^* is an isomorphism. Since $\tilde{H}^*(T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\eta) \rangle$ by Proposition 2.2(1), $\tilde{H}^*(T(\eta) \vee T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle p_1^*(t(\eta)), p_2^*(t(\eta)) \rangle$.

(2) It is proved by the similar argument with the proof of Proposition 2.2(2), $\square$

We see that $p_1 \circ \phi'$ and id are homotopic. In fact we take a homotopy $H : T(\eta) \times [0, 1] \rightarrow T(\eta)$ by

$$\begin{aligned}
 H([e_b, (\cos \theta, \sin \theta)], t) = \\
 \begin{cases} [(e_b, (\cos(t\theta + (1-t)2\theta), \sin(t\theta + (1-t)2\theta))] & 0 \leq \theta \leq \pi \\ [(e_b, (\cos(t\theta + (1-t)2\pi), \sin(t\theta + (1-t)2\pi))] & \pi \leq \theta \leq 2\pi. \end{cases}
 \end{aligned}$$

Similarly one can verify that $p_2 \circ \phi'$ and id are homotopic. So we have

$$(\phi')^*(p_1^*(t(\eta))) = (\phi')^*(p_2^*(t(\eta))) = t(\eta).$$

Therefore we obtain the following short exact sequence similarly to the proof of Proposition 2.3.

$$\begin{array}{ccc}
 0 & & 0 \\
 \uparrow & & \uparrow \\
 H_B^*(S(\xi)) & \xrightarrow{id} & H_B^*(S(\xi)) \\
 \uparrow \beta(\xi) & & \uparrow \beta(\xi) \\
 H_B^*(S(\xi) \cup_{f \vee_{Bg}} (D(\eta) \vee_B D(\eta))) & \xrightarrow{\phi^*} & H_B^*(S(\xi) \cup_{f+g} D(\eta)) \\
 \uparrow \beta''(\xi), t'_1(\eta), t'_2(\eta) & & \uparrow \beta'(\xi), t'(\eta) \\
 \tilde{H}^*(T(\eta) \vee T(\eta)) & \xrightarrow{(\phi')^*} & \tilde{H}^*(T(\eta)) \\
 \uparrow p_1^*(t(\eta)), p_2^*(t(\eta)) & & \uparrow t(\eta) \\
 0 & & 0
 \end{array}$$

Since $i^*(\beta''(\xi)^2) = \beta(\xi)^2 = 0$, there exist elements x_1 and x_2 of $H^*(B)$ such that

$$\beta''(\xi)^2 = x_1 \cdot t'_1(\eta) + x_2 \cdot t'_2(\eta).$$

By the above diagram, we obtain the following:

$$\begin{aligned}
 \phi^*(\beta''(\xi)^2) &= \beta'(\xi)^2 \\
 &= H_B(f+g) \cdot t'(\eta), \\
 \phi^*(x_1 \cdot t'_1(\eta) + x_2 \cdot t'_2(\eta)) &= x_1 \phi^*(t'_1(\eta)) + x_2 \phi^*(t'_2(\eta)) \\
 &= (x_1 + x_2) \cdot t'(\eta).
 \end{aligned}$$

This implies that $q^*(H_B(f+g) \cdot t(\eta)) = q^*((x_1 + x_2) \cdot t(\eta))$. Since q^* is a monomorphism, we have

$$H_B(f+g) \cdot t(\eta) = (x_1 + x_2) \cdot t(\eta).$$

$\tilde{H}^*(T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\eta) \rangle$. Hence

$$H_B(f+g) = x_1 + x_2.$$

Next we show that $H_B(f) = x_1$ and $H_B(g) = x_2$. Let us define a map $\alpha_1 : S(\xi) \cup_f D(\eta) \rightarrow S(\xi) \cup_{f \vee_{Bg}} (D(\eta) \vee_B D(\eta))$ by

$$\alpha_1(x) = \begin{cases} x & (x \in S(\xi)) \\ (x, s(b)) & (x \in D(\eta)). \end{cases}$$

Let $i_1 : T(\eta) \rightarrow T(\eta) \vee T(\eta)$ be a first inclusion map. Then we have the following commutative diagram in an

analogous way as above.

$$\begin{array}{ccc}
 0 & & 0 \\
 \uparrow & & \uparrow \\
 H_B^*(S(\xi)) & \xrightarrow{id} & H_B^*(S(\xi)) \\
 \downarrow \beta(\xi) & & \downarrow \beta(\xi) \\
 H_B^*(S(\xi) \cup_{f \vee_B g} (D(\eta) \vee_B D(\eta))) & \xrightarrow{\alpha_1^*} & H_B^*(S(\xi) \cup_{f+g} D(\eta)) \\
 \downarrow \beta''(\xi), t'_1(\eta), t'_2(\eta) & & \downarrow \beta'(\xi), t'(\eta), 0 \\
 \tilde{H}^*(T(\eta) \vee T(\eta)) & \xrightarrow{i_1^*} & \tilde{H}^*(T(\eta)) \\
 \downarrow p_1^*(t(\eta)), p_2^*(t(\eta)) & & \downarrow t(\eta), 0 \\
 0 & & 0
 \end{array}$$

$\uparrow i^*$ $\uparrow i^*$
 $\uparrow (q')^*$ $\uparrow q^*$

Since $i^*(\beta''(\xi)^2) = \beta(\xi)^2 = 0$, there exist elements x_1 and x_2 of $H^*(B)$ such that

$$\beta''(\xi)^2 = x_1 \cdot t'_1(\eta) + x_2 \cdot t'_2(\eta).$$

By the above diagram, we obtain the following:

$$\begin{aligned}
 & \alpha_1^*(\beta''(\xi)^2) \\
 &= \beta'(\xi)^2 \\
 &= H_B(f) \cdot t'(\eta), \\
 & \alpha_1^*(x_1 \cdot t'_1(\eta) + x_2 \cdot t'_2(\eta)) \\
 &= x_1 \cdot \alpha_1^*(t'_1(\eta)) + x_2 \cdot \alpha_1^*(t'_2(\eta)) \\
 &= x_1 \cdot \alpha_1^* q^* p_1^*(t(\eta)) + x_2 \cdot \alpha_1^* q^* p_2^*(t(\eta)) \\
 &= x_1 \cdot (q')^* i_1^* p_1^*(t(\eta)) + x_2 \cdot \alpha_1^*(q')^* i_1^* p_2^*(t(\eta)) \\
 &= x_1 \cdot (q')^*(t(\eta)) \\
 &= x_1 \cdot t'(\eta).
 \end{aligned}$$

Hence we have $H_B(f) \cdot t'(\eta) = x_1 \cdot t'(\eta)$. This implies that $q^*(H_B(f) \cdot t(\eta)) = q^*(x_1 \cdot t(\eta))$. Since q^* is a monomorphism, we have

$$H_B(f) \cdot t(\eta) = x_1 \cdot t(\eta).$$

$\tilde{H}^*(T(\eta))$ is a free $H^*(B)$ -module generated by $\langle t(\eta) \rangle$. Hence we obtain that $H_B(f) = x_1$. In a similar way, we have that $H_B(g) = x_2$. This completes the proof.

Acknowledgment. The author would like to express his gratitude to Masayoshi Kamata and Norio Iwase for valuable conversations at Kyushu University, and to Shigetoshi Kawagoe, Shigekazu Nakabo, Masaro Takahashi, Minoru Yamamoto for encouragements at Kurume National College of Technology without which this work could not be done.

REFERENCES

- [1] Crabb, M. C. and James, I. M., *Fibrewise Homotopy Theory*, Springer (1998).
- [2] Dold, A. and Thom, R., *Quasifaserungen und unendliche symmetrische Produkte*, Ann. of Math (2) **67** (1958), pp. 285–305.
- [3] Eggar, M. G., *The piecing comparison theorem*, Indag. of Math. **35** (1973), pp. 320–330.
- [4] Hardie, K. A., *Coherent homotopy over a fixed space*, Handbook of Algebraic Topology, North-Holland (1995), pp. 195–212.
- [5] Hardie, K. A. and Jansen, A. V., *A Whitehead product for track groups*, Springer Lecture Note. **1370** (1989), pp. 163–170.
- [6] Hopf, H., *Ueber die Abbildungen von Sphären auf Sphären niedrigerer Dimension*, Fundam. Math. **25**, (1935), pp. 427–440.
- [7] Iwase, N., *A continuous localization and completion*, Trans. Amer. Math. Soc. **320** (1990), pp. 77–90.
- [8] Iwase, N. and Sakai, M., *Functors on the category of fibrations*, preprint.
- [9] James, I. M., *On spaces with a multiplication*, Pacific J.M. **7** (1957), pp. 1083–1100.
- [10] James, I. M., *General topology and Homotopy theory*, Springer (1984).
- [11] James, I. M., *Introduction to fibrewise homotopy theory*, Handbook of Algebraic Topology, North-Holland (1995), pp. 169–194.
- [12] James, I. M. and Morris, J. R., *Fibrewise category*, Proc. Roy. Soc. Edinburgh. **119A** (1991), pp. 177–190.
- [13] Sakai, M., *On the Hopf-James homomorphism over B* , Quaestiones Mathematicae, to appear.
- [14] Sakai, M., *A report on the extension of continuous functor on the category of topological spaces*, Memoirs of Kurume National College of Technology. **22(1)** (2007), pp. 53–56.
- [15] Sakai, M., *A synthetic report on the extension of continuous functor on the category of topological spaces*, Memoirs of Kurume National College of Technology. **22(2)** (2007), pp. 33–36.
- [16] Smith, L., *Lectures on the Eilenberg-Moore Spectral Sequences*, Lect. Notes in Math. **134** Springer Verlag, Berlin (1970).

一般論文

クラブ（ラケット・バット）とボールの重量比に関する研究

明官 秀隆

The Weight Ratio of Clubs (Rackets, Bats) to Balls in Various Sports.

Hidetaka MYOKAN

Abstract

The primary purpose of this study is to look at various ball games using both balls and ball-hitting tools such as clubs, rackets and bats, and investigate the weight ratio of the balls to their tools. In this study, 18 kinds of commonly played well-known sports are examined. Those 18 kinds were categorized into four groups: (1) baseball-type, (2) tennis-type, (3) golf-type, and (4) others, according to the weight ratio indexes of the clubs (and others) to their balls, which were calculated by dividing the weight of the clubs (and others) by that of balls. It may safely be assumed that if the weight ratio of a certain sport is lowered by 60 to 70% toward the baseball-type ratio, it would become a more competition oriented sport which requires players to have considerable level of agility, techniques, and power, whereas if raised by 60 to 70% toward the tennis-type ratio, it would be aimed at everyone. From these findings of this research, it is also possible to draw the guidelines which help devise an ideal "new sport."

1. 緒 言

現在ティーボール・パークゴルフ・ミニテニスといった小学生や高齢者でも安全で簡単に楽しめるように考案されたいわゆる「ニュースポーツ」がいろいろ出現して学校教育に取り入れられたり、健康増進・地域振興などのため社会スポーツ・生涯スポーツとして活用されたりしている。また、新たなスポーツが次々と考案・企画されている。本研究ではさまざまなスポーツのクラブ（ラケット・バット）とボールの重量・重量比を調査・分析して、この側面から「ニュースポーツ」を考案または改良する際の指針を考察した。また同様の観点から、今回は現在広く行われている一般的な競技スポーツ・大衆スポーツ・ニュースポーツ18種目を調査し、4つのタイプに分けて比較検討し、それぞれのタイプごとの傾向ないしは特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

一般的なスポーツ18種目を野球型、テニス型、ゴルフ型、その他の4タイプに分けて縦軸にボール重量、横軸にクラブ（ラケット・バット）重量をとり重量比指数（クラブ、ラケット、バット÷ボール）を示したグラフを作成（図1～4）し、それを基に「競技スポーツ」と「ニュースポーツ」との比較検討を試みた。また、各種目の用具の重量は、一般男子用の標準的なものを採用した。男子・女子用の区別がないもの、ジュニア用しかない場合はその平均サイズまたは最も普及している型をモデルとして使った。市販のカタログ等がないものについては、直接当該協会に問い合わせた。

3. 結果と考察

3.1 野球型

野球型スポーツ5種目のボールとバットの重量比を見てみると（図1参照），強い体力を要し技術的に難易

度の高いと思われるクリケット(7.09)・硬式野球(6.21)の重量比が大きく、比較的難易度が低くスピードが落ちる軟式野球(5.29)・ソフトボール(3.95)の重量比が小さい傾向にあることがわかる。このことは、野球型スポーツの特性として、ボールをより遠くに飛ばすこと、速い打球を打つことが有利となることから説明できるのではないかと考える。つまり、より重いバットで軽いボールを打つ方が飛距離を出せるし、ボールスピードも上がることからスウィング・捕球も難しくなる。反対により軽いバットで重いボールを打つ場合は飛距離が出ず、ボールスピードも遅くなることからスウィング・捕球も容易になる。トップレベルのゲームは別として、一般的にレクリエーションとして老若男女みんなで楽しむには、野球よりソフトボールの方が選択されやすいのは当然である。

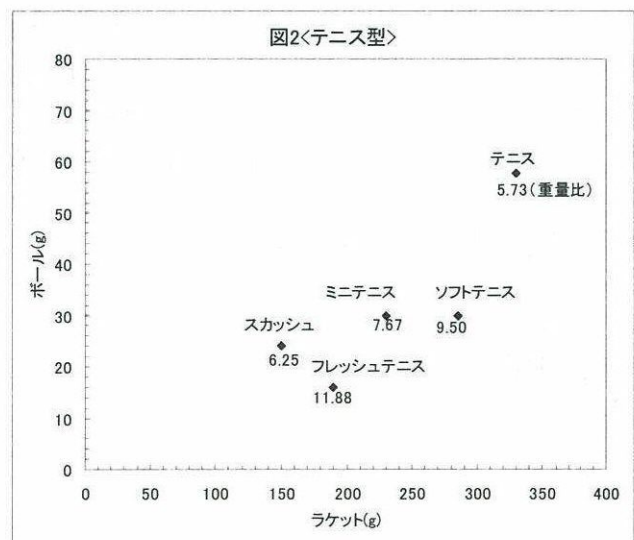
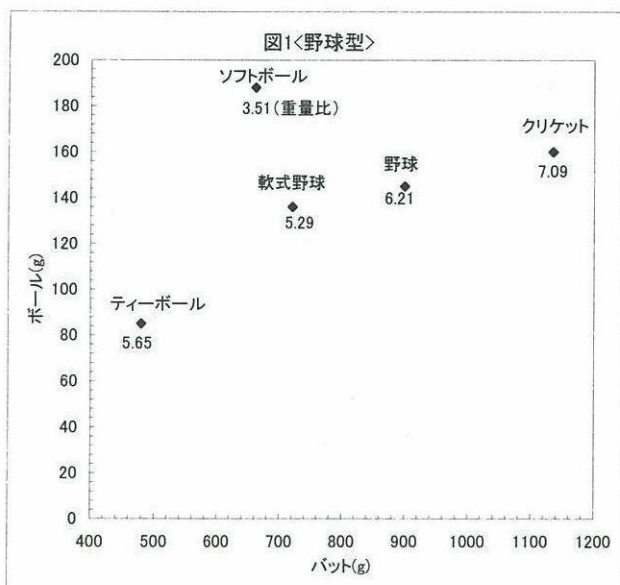
一方、ティーボールは、より万人向けに考案された野球型ニュースポーツで小学生や高齢者でも安全で簡単にプレーできるように工夫されている。この誰でも扱いやすいバットの重さが450～500g、ボールが90gで重量比(5.56)の水準となっている。

3.2 テニス型

テニス型スポーツ5種目のラケットとボールの重量比を見てみると（図2参照）、強い筋力とスピードを要し技術的に難易度の高いと思われる硬式テニス(5.38)・スカッシュ(6.2)の重量比が小さく、比較的難易度が低くスピードが落ちるミニテニス(7.67)・フレッシュテニス(10.6)の重量比が大きい傾向にあることがわかる。このことは、テニス型スポーツの特性として、ボールをネット超えさせ、なおかつコート内におさまるようにコントロールして打つことが重要なことから説明できるのではないかと推測される。面白いことに、ちょうど野球型と正反対の傾向となっている。

つまり、より重く硬い（空気圧が高い）ボールにまけないで正確に打つ方が、コントロールが難しく、軽量化が進んでいるとはいえラケットも相対的に重くなり、ボールスピードも上がることから技術的にも難しくなる。反対により軽く柔らかい（空気圧が低い）ボールを打つ方がボールにまけずラケットも相対的に軽いものでよく、ボールスピードも遅くなることから技術的にも容易となる。

ミニテニス・フレッシュテニスは、硬式テニスをより万人向けに改良されたテニス型ニュースポーツで小学生や高齢者でも安全で簡単にプレーできるように工夫されている。この誰でも扱いやすいラケットの重さが200g、ボールが約17～30gで重量比平均(9.13)が妥当な水準のようである。また、硬式テニスのジュニア用（例ヨネックス社製）ラケット210g・スポンジボール20gもほぼ同水準であった。



3.1 ゴルフ型

ゴルフ型スポーツ5種目のボールとクラブの重量比を見てみると（図3参照），筋力とスピードを要し技術的に難易度の高いと思われるゴルフ（8.89）の重量比が大きく，比較的難易度が低く取り扱いの容易なパークゴルフ・グランドゴルフ（5.43）の重量比が小さい傾向にあることがわかる。野球型と同じ傾向となった。このことは，ゴルフ型スポーツの特性として，止まっているボールをより遠くに正確に飛ばすことが有利となることから説明できるのではないかと考えられる。

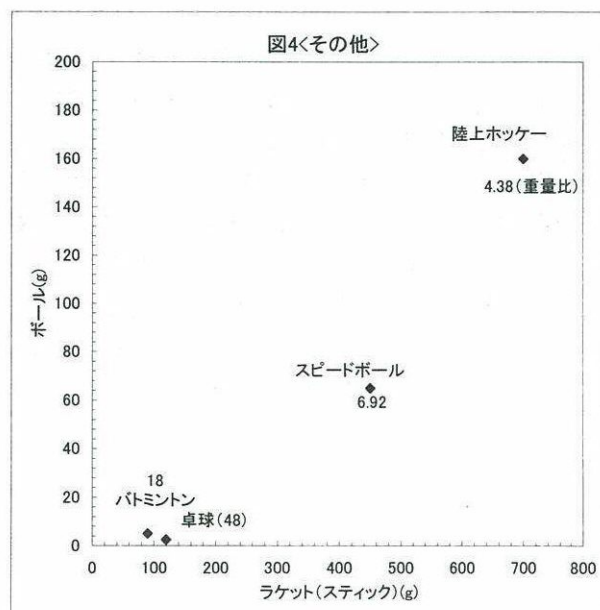
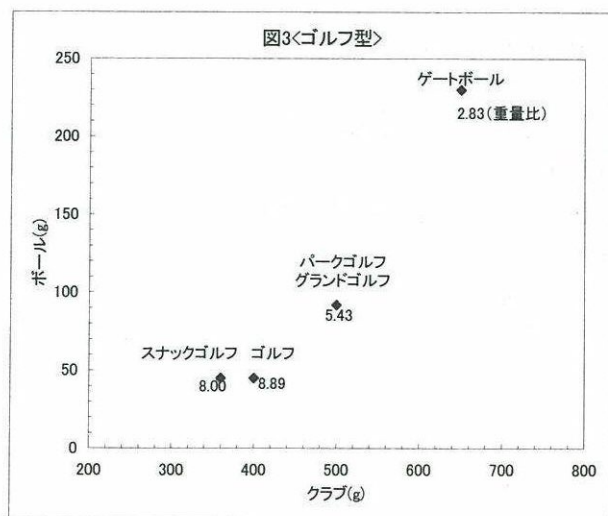
つまり，より小さくて軽く反発力の大きいボールを打つ方が飛距離を出せるが，芯で捉えることと方向性が難しくなる。反対により大きく重いボールを打つ方が飛距離は出ないが，芯で捉えることと方向性をコントロールすることが容易となる。ボールスピードも遅くなり，クラブにロフト（傾斜角度）がないことからボールはころがるだけで安全性も高くなっている。この中ではゲートボールだけが異質で飛距離やスピードはあまり関係なく，競技の特性から方向性のコントロールのみが重要となっている。このことは，今回調べた全スポーツの中で重量比が最も低い（2.83）となっていることに現れている。

パークゴルフ・グランドゴルフはゴルフをより万人向けになるよう考案されたゴルフ型ニュースポーツで，小学生や高齢者でも安全で簡単にプレーできるように工夫されている。この誰でも扱いやすいラケットの重さが約500g，ボールが約90gで重量比（5.43）の水準のようで，野球型ニュースポーツの代表であるティーボール（5.56）とほぼ同じであった。

3.4 その他

その他のスポーツ4種目のボール（シャトルコック）とラケット（スティック）の重量比を見てみると（図4参照），卓球（48）・バドミントン（18）はボール2.5g（シャトルコック5g）が極端に軽いので重量比が際だって大きくなっている。比較的ボールスピード，ラリースピードの速いのが特徴だといえる。卓球ではラージボール，バドミントンでは重めのシャトルを使って重量比を小さくするとスピードが落ちて技術的に容易になり，ラリーが続きやすいことが知られている。

スピードボールは卓球・テニスの上達のためにエジプトで考案されたニュースポーツで，安全で簡単にプレーできるように工夫されているのだが，誰でも扱いやすいラケットの重さが約450g，ボールが65gで重量比（6.92）の水準であった。つまり，前述のパークゴルフ・ティーボールにかなり近い重さ・重量比となっている。



4. まとめ

(1) 野球型、ゴルフ型のスポーツでは重量比の大きい方が、パワーを必要としボールスピードが速く技術的にも難しい。バット（クラブ）が軽く重量比の小さい方が、ボールスピードが遅く技術的にも易くなる傾向にある。

(2) テニス型のスポーツでは重量比が小さく、ボールが重く硬い（空気圧大）方が、パワーを必要としボールスピードが速く技術的にも難しい。ラケットが軽く、ボールも軽く柔らかくて（空気圧小）重量比の大きい方が、ボールスピードが遅くコントロールも易くなる傾向にある。

(3) 各型の中でちょうどよい比較対象となる種目の重量比倍率は、（硬式野球÷ソフトボール）1.57、（ミニテニス・フレッシュテニス平均÷硬式テニス）1.70、（ゴルフ÷パークゴルフ）1.64と期せずして1.6～1.7の範囲になり、驚く程近い値がでている。

つまり難しい種目「競技スポーツ」の重量比を6～7割下げる（野球型・ゴルフ型）か、上げる（テニス型）と、一般・レクリエーション向き「ニュースポーツ」になるという仮説が成り立ち、新しいスポーツを考える際の目安となると考えられる。

(4) ティーボール、パークゴルフ、ミニテニス・フレッシュテニスといった誰もが安全で簡単にプレーできるよう万人向けに考案されたニュースポーツの中で、野球型のティーボール、ゴルフ型のパークゴルフのバット・クラブ重量が約500g、ボール重量が約90g、重量比（5.45～5.55）でほぼ同水準であった。

これに対しテニス型のミニテニス・フレッシュテニスまたジュニア用硬式テニスではバット・クラブ重量が約200g、ボール重量が17～30g、重量比（7.67～10.6）でこれまたほぼ同水準であった。

5. 結 言

これらの結果から、用具の重さや重量比という観点からニュースポーツを考案したり、現行のものを改善したりする際の客観的データに基づく一定の指針や目安に関する知見が得られたのではないかと考える。また今後はさらに、クラブ（ラケット・バット）の長さやボールのサイズ（直径）という側面からも研究を進めて行きたい。

参考文献

- 1) 日本テニス研究会, 新テニスの科学, スキージャーナル, p.132-139(1994)
- 2) 日下裕弘, 生涯スポーツの理論と実際, 大修館書店, (2001)
- 3) 池上春雄, 運動処方, 山海堂, p.23-25(2002)
- 4) 高畑好秀, 野球 打つ・投げる・守るの基礎, 主婦の友社, p.12-13(2002)
- 5) 前田如矢, 運動生理学, 金芳堂, p.8-12(2003)
- 6) 明官秀隆, パークゴルフ中の心拍数・運動量に関する研究(第2報), 旭川高専研究報文42号, p.59-65(2005)
- 7) 読売新聞北海道支社, パークゴルフガイドブック, p.8(2006)
- 8) 明官秀隆, パークゴルフの運動強度・運動量に関する研究, スポーツ整復療法学研究Vol.8,No.1-2,p.41(2006)
- 9) 森谷潔, 生涯スポーツと運動の科学, 市村出版, (2006)
- 10) 明官秀隆, イラストでみる最新スポーツルール2007, 大修館書店, p.335(2007)

教育研究報告

安定運用を目的とした学内ネットワークシステムの構築

— 2007年4月更新分 —

大崎 邦倫, 江頭 成人, 馬場 隆男

A design of the Campus Network System for stable operation - The system replacement on April 2007 -

Kuninori OOSAKI, Naruto EGASHIRA, Takao BABA

1. はじめに

久留米工業高等専門学校では、コンピュータネットワークインフラとして、平成14年3月に1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 100BASE-FXによるネットワークを構築し、情報処理センターがその運用にあたってきた。1Gbpsの高速回線で各建物と電子計算機室を接続したシステムであったが、新しい技術であったことも影響して、機器が老朽化した近年においては通信障害が発生していた。特に気温が上昇する夏場で障害の発生が多いことから機器の温度特性に問題があると考えられた。これらの障害に対処するため、全システムの定期的な再起動によりネットワークを運用してきた。

平成18年度末にネットワークシステムの更新の機会を得た。そこで、今回の更新ではシステムの安定動作に重点をおくことにした。まず、各建物に分散するフロントスイッチの耐温度特性を重視した。さらに、電子計算機室に設置するセンタースイッチと各建物のフロントスイッチ間の接続については、信頼性のある100BASE-FX規格を複数本束ねることで、通信回線の安定性と高速性を実現した。

また、センタースイッチやフロントスイッチにおいては、筐体やネットワークプロトコルなどで共通規格を満たした汎用品を調達することにより、保守、管理の容易さを実現した。汎用品は安価で入手しやすいことから、予備装置を持つことで、障害発生時に迅速に対応することが可能となる。

情報セキュリティに関しては近年問題となっており、校内ネットワークにおけるセキュリティを確保することは重要である。そこで、教職員LANと学生LANを分離したネットワーク構成とし、ネットワークセグメントを接続するルータ機にIPパケットフィルタのルールを詳細に定義することで、端末間の通信に制限を設け、セキュリティの向上を図った。さらに、ファイアウォールやウイルスチェックサーバを導入することで、外部からの不正アクセスやコンピュータウイルスから、本校のシステムを防御する構成とした。

本報告は本校に導入したこれらの新システムについて解説を行うものである。

2. 導入機器

表1に今回のシステム更新における主な導入機器一覧を示す。運用に必要なソフトウェアについては、

表1 主な導入機器一覧

センタースイッチ	アラクスネットワークス社 AX2430S-48T	5台
フロントスイッチ	MNO社 Switch M-24X	52台
メディアコンバータ	DAIDEN社 DN2800GE	106台
サーバ	HP社 DL320 G5	8台
ルータ	HP社 DL320 G5	12台
無停電電源装置	APC社 UPS1500RMJ2UB	1台
	APC社 UPS3000RMJ2UB	2台
ウイルスチェックソフト	F-Secure社 アンチウイルス Linuxゲートウェイ	1ライセンス
管理用パソコン	Panasonic社 Let's Note R6	1台

本校で過去に稼働実績のある無償のOSやアプリケーションを使用することにした。そのため、ソフトウェア製品に関する導入コストが削減され、ハードウェア製品が主な調達物品となった。

3. 通信機器

3.1 光ケーブル

図2に電子計算機室を中心とする校内の建物への配線を示す。電子計算機室と各建物をつなぐ光ケーブルは平成7年度のネットワーク機器の更新時^[1]に整備したものでマルチモード光ケーブルである。光ケーブルは校内数ヶ所の建物を経由して目的の建物に配線されている。送受信に2本の光ケーブルを用いて100BASE-FXの規格で通信を行う。電子計算機室と各建物間は4本から12本の光ケーブルが配線されているため、少なくとも2組の100BASE-FXを利用することができる。

今回の更新では電子計算機室と校内の21ヶ所の建物を接続した。各建物へは2組の100BASE-FXで接続して通信線路の2重化を行った。また、事務用電算室には事務棟で使用する端末のドメインコントローラとそのファイルサーバが設置されている。事務棟と事務用電算室間の通信量に対応するために、その

間を2組の光ケーブルによる100BASE-FXと既設の2本のメタルケーブルによる100BASE-TXの計4回線を束ねて接続することで、通信線路の冗長化と容量の増大を行った。さらに、D1～D4教室を接続する機械材料工学科棟東や教育用電子計算機システムを接続する電気電子棟東への通信回線についても、それぞれ4組、もしくは、3組の光ケーブルによる100BASE-FXの接続とすることで、通信線路の冗長化と容量の増大を行った。

3.2 メディアコンバータ

今回は100BASE-FX(光ケーブル)と100BASE-TX(メタルケーブル)を変換するためにメディアコンバータを採用した。従来のシステムでは、電子計算機室に設置されるセンタースイッチと各建物に設置されるフロントスイッチに光ユニットが内蔵されており、光ケーブルを各スイッチへ直に接続することができた。しかしながら、内蔵型の光ユニットは専用品で高価であるなどの欠点があるため、今回の導入では保守、管理の容易さから汎用品のメディアコンバータを使用することにした。

メディアコンバータは電子計算機室と校内の各建物に設置する。各建物に設置するため、耐温度特性

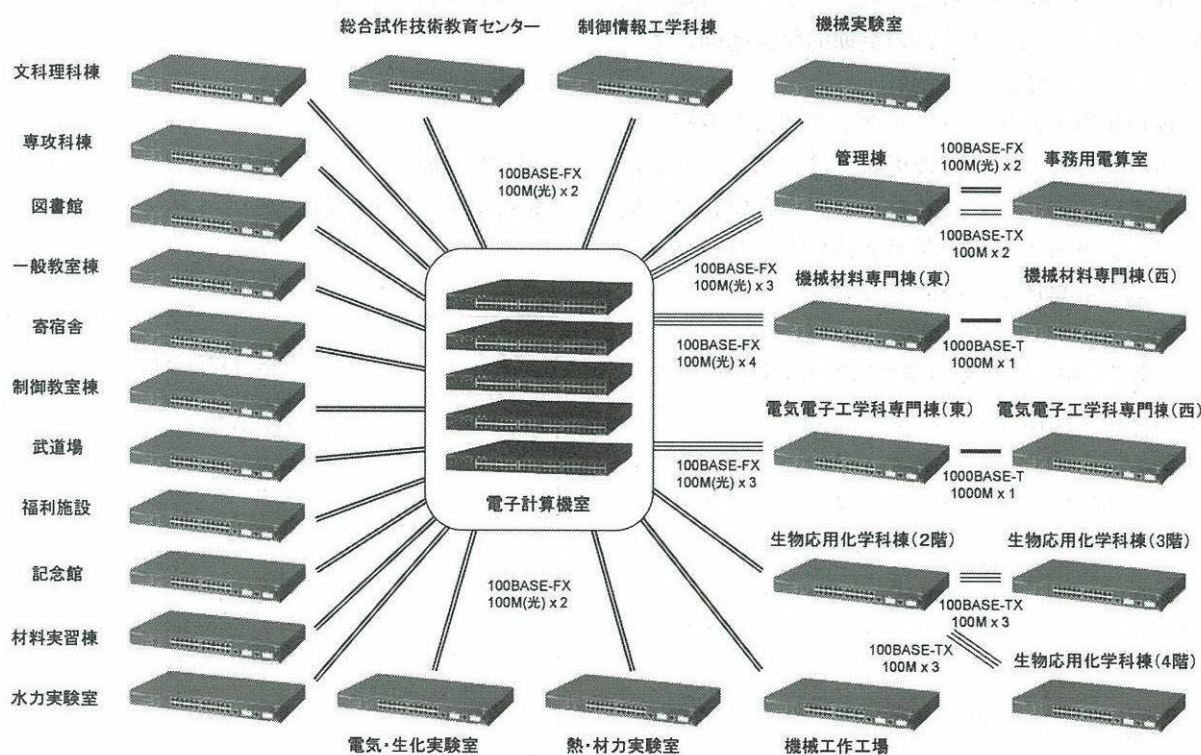


図2 電子計算機室と各建物間の配線図

の優れたものが必要である。今回は動作周囲温度が -10°C ～ 55°C である大電社のDN2800GEを採用した。このメディアコンバータは今回のシステム構築で必要となるLPT (Link Pass Through) 機能^[付1]やIEEE802.1Qに準拠したTag-VLAN^[付2]パケットのサポート機能を持っている。

3.3 フロントスイッチ

フロントスイッチは各建物に設置するため、耐温度特性を重視した。今回は動作温度範囲が 0°C ～ 50°C であるMNO社のSwitch M-24Xを採用した。このフロントスイッチは24ポートの100BASE-TXと2ポートの1000BASE-Tを装備している。24ポートの100BASE-TXは各部屋の情報コンセントや電子計算機室と接続するために使用する。建物によっては、建物内の情報コンセントの数が多く、1台のフロントスイッチではポート数の不足が生じることもある。この場合、1000BASE-Tポートを用いて複数のフロントスイッチを1Gbpsでカスケード接続することにより、必要なポート数を確保する。フロントスイッチには多くの機能があるが、今回の構築で使用した主な機能は以下の2種類である。

- ① 1本の物理回線上に複数の論理ネットワークを構築する際に必要なIEEE802.1Qに準拠したポートベースのTag-VLAN機能
- ② 回線の冗長化や高速化に必要なIEEE802.3adで規定されるリンクアグリケーション機能^[付3]

本校では1つの建物内に複数の学科などが存在しており、その複数の組織に応じたネットワークを提供しなければならない。従来は各建物に必要なネットワークの数に相当する通信回線を用意していたが^[1]、光ケーブルの芯数の問題から通信回線に冗長性をもたせることができなかった。そこで、電子計算機室と各建物間を2組の100BASE-FXで接続して、リンクアグリケーション機能により通信回線に冗長性を持たせ、その通信回線上に、IEEE802.1Qを用いて複数の論理的なネットワークを構築することにした。この手法により、校内のすべての建物において、組織別に必要となる任意のネットワークを高い信頼性で利用できるようになった。

3.4 センタースイッチ

センタースイッチは電子計算機室に設置して、メディアコンバータやルータ、サーバ類を接続するネットワークスイッチである。センタースイッチの筐体は、従来のシステムで使用したシャーシ型ではなくボックス型を採用した。ボックス型は、小型で安価であるため、障害に対する予備装置を用意することができる。

本システムでは、センタースイッチとしてアラクサラネットワークス社製のAX2430S-48Tを採用した。このセンタースイッチのスイッチング容量は96Gbit/s、パケット処理性能は71.4Mpacket/sである。また、10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-Tの自動切換えポートを48ポート装備している。

センタースイッチには、校内21ヶ所の建物と接続するためのメディアコンバータや8台のサーバ機、さらに12台のルータ機を接続しなければならないが、1台のセンタースイッチではポート数が不足する。そこで複数のセンタースイッチをカスケード接続してポート数を増加させた。カスケード接続においては4個の1000BASE-Tポートをリンクアグリケーション機能でグループ化して接続することにより、センタースイッチ間の通信容量を確保した。本システムでは5台のセンタースイッチをカスケード接続しており、常時3台のセンタースイッチで運用している。センタースイッチの1台に障害が発生した場合は、残りのセンタースイッチを障害が発生したセンタースイッチの代替機として運用することが可能である。

4. ネットワーク構成

図3に本校のネットワーク構成を示す。サーバLAN、教員LAN、学生LAN、事務LAN、システムLANで構成される。学生LANには、演習室LAN、教室LAN、寄宿舎LANが接続される。ルータ機で各ネットワークセグメントを分離した。教員LANと学生LANについては、枯渇するグローバルIPアドレスの代わりに、組織内で自由に利用できるプライベートIPアドレスを用いてネットワークを構築した。プライベートIPアドレスでネットワークを構築することにより、学外からの不正な接続が制限されるため、端末のセキュリティが向上する。

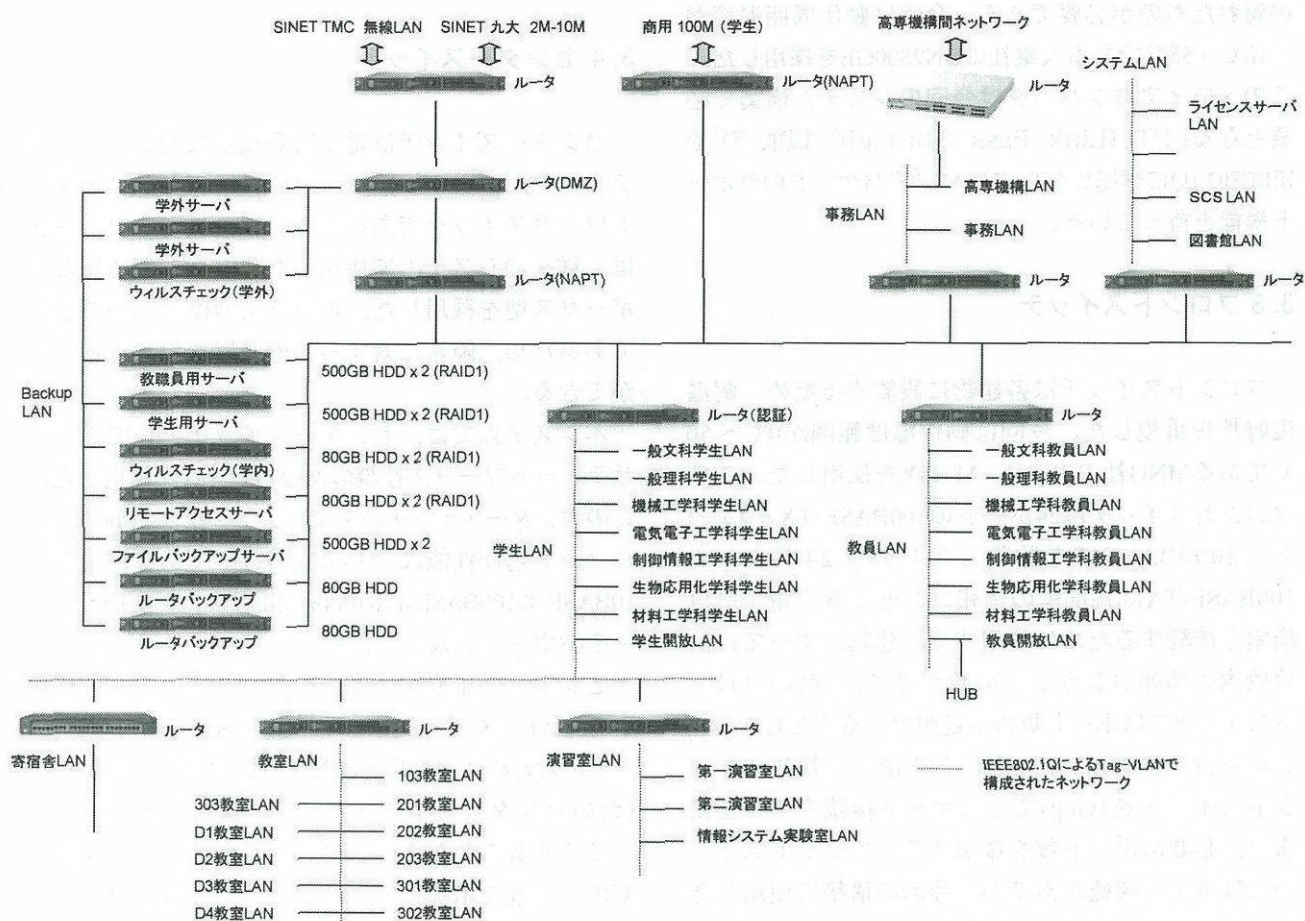


図3 久留米高専のネットワーク構成図

4.1 サーバLAN

サーバLANには、本校のメールサーバ、ウェブサーバ、ネームサーバ、ウィルスチェックサーバを接続する。サーバ機については後述する。

4.2 教員LAN

教員LANは本校の一般学科を含めた7学科の教員が使用するネットワークである。また、会議室などで教員が持参するノートパソコンを接続するために、教員開放LANを導入した。さらに、センタースイッチやフロントスイッチの遠隔保守のため、これらのネットワークスイッチを教員開放LANに接続した。

4.3 学生LAN

本校の学生が接続するネットワークである。学科の学生LANと演習室LAN、教室LAN、寄宿舎LANで構成されている。また、図書館ホール、教室などが

ら接続するための学生開放LANを設定した。学科の学生LAN以外からの利用については、ユーザ認証を必要とする。ユーザ認証は、本校で開発した認証プログラム^[2]を用いて、学生用サーバ機に登録されたユーザIDとパスワードで行う。

学生LANでは違法なファイル交換ソフトウェアなどの使用が考えられるので、教育的にネットワークの利用制限を行う必要がある。一般的にインターネットのサービスを利用するためにはTCPのポート番号が1023番以下のサービスに接続できれば十分と考えられる。そこで、TCPポート番号が1024番から65535番である学外向けのパケットをIPパケットフィルタで制限した。

4.4 事務LAN

事務部で利用するネットワークである。業務の一部において、インターネット接続時に端末を特定する必要があることから、グローバルIPアドレスで運用している。したがって、事務LANのルータ機にIP

パケットフィルタの設定を行い、学外からの不正な接続を制限した。

また、平成15年度より高専機構間ネットワークが整備され、物品発注などの事務処理に活用されている。セキュリティを考慮して、事務LANと教員LANからのみ、高専機構間ネットワークを利用できるように設定した。

4.5 システムLAN

システムLANは図書館LAN、SCS-LAN、情報処理センターLAN、ライセンスサーバLANから構成される。図書館LANには図書館の蔵書検索や図書の貸し出しなどを管理するための図書館情報システムが接続されている。SCS-LANには、SCS（Space Collaboration System）の運用に必要なネットワーク機器が接続されている。情報処理センターLANには、電子計算機室の運用に必要なネットワーク機器が接続されている。ライセンスサーバLANには、本校で利用するソフトウェアのライセンス管理を行うライセンスサーバが接続されている。これらのネットワークは保守などで学外からの接続を行う必要があるため、グローバルIPアドレスで運用している。

4.6 対外接続

平成19年4月に対外接続の変更を行った。従来は帯域保障型の1.5Mbpsによる九州大学とのSINET接続^[3]であったが、学生所有のノートパソコンによるインターネット接続が原因で、本校の教職員が業務で使用するインターネット接続に支障が生じるようになった。そこで、対外接続の回線を教職員用と学生用に分離するとともに回線容量の増加を行った。

教職員については、従来と同様に九州大学とのSINET接続であるが、通信回線を最大帯域が10Mbpsで保障帯域が2Mbpsの最低帯域保障型VLAN方式へ変更した。回線が混雑していないときには最大で

10Mbpsの回線帯域を利用できる。

学生については、商用プロバイダが提供するベストエフォート型の光インターネット回線を新たに契約した。回線速度は100Mbpsである。学生LANからのインターネット接続は、すべてこの回線を使用する。ベストエフォート型であるため、回線帯域の保障はないが、実測したところ25Mbps程度の回線帯域が利用可能であった。

5. サーバ機・ルータ機

サーバ機、ルータ機の仕様を表4に示す。ハードディスクや内蔵メモリの構成は一部異なるが、本体は同一製品である。システム運用のためのサーバ機、ルータ機とは別に、データや設定情報のバックアップを目的として3台のバックアップ機を導入した。サーバ機やルータ機に障害が発生した場合は、バックアップ機の設定を変更して、故障機の代替機として運用することで、短時間での復旧を可能とする。

システムの維持コストを低減するために、サーバ機やルータ機においては、ウィルスチェックソフトを除き、無償で利用できるOSやソフトウェアを採用した。

すべての機器は、無停電電源装置に接続されており、各機器に apcupsd という無償のソフトウェアを導入することで、無停電電源装置と機器間の通信を可能とした。停電が発生した場合には、5分後にすべての機器が自動的にシャットダウンを行うようにした。また、シャットダウンを行った後に停電から復旧した場合はシステムを自動的に起動する設定とした。

5.1 サーバ機

学外向けサーバ機として2台のサーバ機を導入した。これらのサーバ機で学外向けのネームサーバ、メール中継サーバ、ウェブサーバ機能を提供する。学内

表4 サーバ機・ルータ機の仕様

	学外サーバ	学内サーバ	ウィルスチェックサーバ	リモートアクセスサーバ	ファイルバックアップ	ルータ	ルータバックアップ
本体	HP社 DL320 G5	HP社 DL320 G5	HP社 DL320 G5	HP社 DL320 G5	HP社 DL320 G5	HP社 DL320 G5	HP社 DL320 G5
メモリ	1GB	2GB	2GB	1GB	1GB	512MB	512MB
ハードディスク	RAID1 80GB x 2	RAID1 500GB x 2	RAID1 80GB x 2	RAID1 80GB x 2	500GB x 2	80GB	80GB
OS	FreeBSD 6.2R	FreeBSD 6.2R	CentOS 4.4	FreeBSD 6.2R	FreeBSD 6.2R	FreeBSD 6.2R	FreeBSD 6.2R
台数	2台	2台	2台	1台	1台	10台	2台

向けサーバ機として、教職員用メールサーバと学生用メールサーバを導入した。さらに2台のウィルスチェックサーバと1台のリモートアクセスサーバを導入した。これらのサーバは、ハードウェアRAIDカードを内蔵しており、RAID1にてハードディスクのミラーリングを行い、記録するデータに冗長性を持たせた。ウィルスチェックサーバにはF-Secure社のアンチウィルスLinuxゲートウェイというソフトウェアを導入した。このソフトウェアはサーバOSとしてLinuxを必要とするため、無償で利用できるCentOS 4.4^[4]を導入した。また、ウィルスチェックサーバ以外のサーバ機にはサーバOSとして無償で利用できるFreeBSD6.2R^[5]を採用した。

学内の端末にはDHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)によりプライベートIPアドレスが割り当てられる。プライベートIPアドレスの名前解決のために、教職員用サーバと学生用サーバに学内用のネームサーバ機能を設定した。

学外より本校に届く電子メールについては、学外用ウィルスチェックサーバで電子メールの検査を行い、学内のメールサーバに配送される。本校のメールサーバは教職員用(@kurume-nct.ac.jp)と学生用(@std.kurume-nct.ac.jp)に分かれており、メールアドレスに応じて、当該のサーバに配送される。また、学内の端末から送信されるすべての電子メールは、学内用ウィルスチェックサーバを経由した後、目的のアドレスに対して配送される。1台のウィルスチェックサーバに障害が発生した場合でも、設定を変更することで、お互いの機能を補うことができる構成とした。

教職員用サーバと学生用サーバにウェブメール機能を設定した。本機能により自宅の端末から容易に本校のメールを読み書きすることが可能である。また、利用者はウェブメール機能を通して利用者自身のパスワードを変更することができる。利用者がウェブブラウザを使って簡単にパスワードの変更を行うことができるので、セキュリティの向上につながると考えられる。

リモートアクセスサーバは、学外からのssh接続を受け入れ、システムのリモートメンテナンスを行う目的で設置した。また、本サーバ上にOSのインストールパッケージを保存することで、システムの再インストールを容易に行うことができるようにした。

教職員用サーバと学生用サーバのデータはバック

アップLANを経由して、1日1回、午前6時にファイルバックアップ機にデータを複製するように設定した。

5.2 ルータ機

ルータ機はハードウェアRAIDカードを搭載していない点と搭載メモリが異なる点を除き、サーバ機と同じ機種である。ルータ機にはサーバOSとしてFreeBSD6.2Rを採用し、そのFirewall機能とTag-VLAN機能を用いてネットワーク構築を行った。教員LANと学生LANはプライベートIPアドレスで運用している。プライベートIPアドレスは組織内で自由に使用することができるIPアドレスであるが、このアドレスでは学外との通信はできない。そこで、NAPT機能(Network Address Port Translator機能)を搭載したルータ機でプライベートIPアドレスをグローバルIPアドレスに変換してインターネットへの接続を行うこととした。

また、2台のルータバックアップ機をバックアップLANに接続して、各ルータ機の設定情報を保存することとした。ルータ機に障害が発生した場合には、ルータバックアップ機に保存されている設定情報を利用することで、ルータ機の代替運用を可能とした。

6. まとめ

平成19年度より本システムによるネットワークの運用を開始した。従来のシステムでは夏季休業中の高温時にはネットワークが停止して本校の業務に影響をおよぼしていた。新システムでは、本稿を執筆している夏季休業中の時点において、ネットワーク機器は正常に動作しており、校内の通信に障害は発生していない。また、平成19年8月に教員用ルータの故障により教員用ネットワークが停止したが、ルータバックアップ機を用いて迅速に復旧することができた。このことは、本システムが障害に強いことの証明となった。

対外接続の回線速度の増加により、教職員と学生のインターネットの利用環境は快適になった。その反面、迷惑メールが増加するなどの新たな検討課題も出てきた。

本システムは汎用品で構築して、その予備装置を持つことにより、障害に対して迅速に対応できるシ

システムである。障害発生時には障害を切り分けて、予備装置への移行作業を行う人員が必要となる。その一方、本校におけるネットワーク管理に携わる人員の人材不足を感じる。人材育成と人材確保が本システムを運用する際の検討課題となるであろう。

最後に今回のシステム構築にあたり、仕様策定にあられた各委員の方々、機器購入にあたりご尽力いただいた事務当局の方々、さらに機器の設置にあたりご協力いただいた全教職員の皆様に深く感謝する。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 江頭, 小田, 大崎, 馬場: コンピュータを利用した教育のための構内ネットワークシステム, 久留米工業高等専門学校紀要, 第17巻, 第1号, pp.27-31, 2001.9.
- [3] 江頭, 大淵, 松本, 馬場, 佐塚: 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.
- [4] CentOS プロジェクト: <http://www.centos.org>
- [5] FreeBSD プロジェクト: <http://www.freebsd.org>

— 付 録 —

[1] LPT(Link Pass Through)機能

メディアコンバータを使ったメタルー光変換では、回線のリンク状態について以下のように3ヶ所で定義される。

- ①センタースイッチからメディアコンバータへのリンク状態 (メタルケーブル, 100BASE-TX)
- ②メディアコンバータからメディアコンバータへのリンク状態 (光ケーブル, 100BASE-FX)
- ③メディアコンバータからフロントスイッチへのリンク状態 (メタルケーブル, 100BASE-TX)

LPT機能とは、これらのリンクの1ヶ所が切れた場合に、センタースイッチとフロントスイッチに接続された100BASE-TXの双方のリンクを切る機能である。この機能によって、リンクアグリケーション機能で複数の回線を束ねて使用する場合に、送信側と受信

側は通信媒体に障害が発生したことを知ることができるので、障害が発生した通信回線をグループから切り離すことが可能となる。

[2] IEEE802.1Q(Tag-VLAN)機能

IEEE802.1Q は1つの回線上に複数の異なるネットワークのパケットを伝送する技術である。伝送するパケットに4byteのTagフレームを追加して、そのパケットが所属するネットワークを識別する。ネットワークを識別するためのTagIDは12bitで構成されるため、最大4096通りのネットワークを混在させることが可能である。

[3] IEEE802.3ad(リンクアグリケーション)機能

IEEE802.3adは複数の通信媒体をまとめて1本の通信回線として取り扱う技術である。ネットワークスイッチの複数のポートをあらかじめ1つの通信グループとして設定する。送信側はそのグループのポートに対し、分散してパケットを送信する。受信側は設定されたグループのポートに到着するパケットを取りまとめて1つの通信回線として取り扱う。グループ内の通信媒体に回線障害が発生した場合は、その通信媒体をグループから切り離して、残りの正常な通信媒体で通信を行うので、回線容量の増大と同時に通信線路の冗長化を図ることができる。

学術研究報告

「二軸動作（常歩）」研究の方向性

木寺 英史

Research Directions for Namiashi movements

Eishi KIDERA

はじめに

現在、スポーツ・武道界を中心に合理的に身体を操作する方法が各方面で研究されている。これらは、東京都私立桐朋高等学校バスケットボール部の急成長や、世界陸上選手権大会（2003年・パリ開催）で末續慎吾選手が銅メダル（男子200メートル）を獲得したことにより、さらに注目されることとなった。

筆者らは、独自の身体操作法を「二軸動作（常歩）」として提唱してきた。これまで、多くのトップアスリートやコーチ・指導者に実践され、現在でもその普及活動と研究につとめている。

本稿では、これまでの「二軸動作（常歩）」研究の経過を報告するとともに、今後の方向性を検討することとする。

研究の経過

筆者は、現代剣道の技術特性を研究し発表してきた。剣道の技術体系には、その歴史的伝承過程において複数の「媒介」が存在した。現代剣道には、それらの媒介（日本刀・木刀・竹刀）の操法が混在し剣道実践者を混乱させている。今後、剣道をいかなる運動形態で発展させるかについては、議論の余地があるが、それら複雑化した技術を整理することは不可欠である。そこで、剣道の技術を合理的身体操作の観点から再検討することとした。

まず、技術の基礎となる「歩行動作」について検証した。主に着衣や履物というような生活様式の違いから、現代人の歩き方は大きく変化していることをつきとめた。また、それら歩き方の変化と剣道の打突動作についても考察した。

これらの情報を、研究用HP（剣紫堂）を開設し開示した。さらに、2000年7月より、小田伸午（京都大学高等研究開発推進センター教授）・小山田良治（五体治療院代表・愛知県小牧市）と共同研究を開始（常歩研究会を結成）し、「走歩行動作」の他あらゆるスポーツ・武道の動きを検討し、左右の股関節及び上腕の内外旋を協調させることにより合理的な身体操作が可能であることを発見した。これらの身体操作法を「二軸動作（常歩）」と命名した。その後、「二軸動作（常歩）」を取り入れた選手らの成功により、その有効性が立証され多くの雑誌・著書等で広く紹介されるようになった。「二軸動作（常歩）」に関する著書は17冊に及んでいる。下記に紹介する。

「二軸動作（常歩）」関連著書一覧

- 「身体運動の右と左」（小田伸午著・京都大学学術出版会、1998）
- 「コーチ論」（織田淳太郎著・光文社新書、2002）
- 「運動科学 — アスリートのサイエンス —」（小田伸午著・丸善出版、2003）

- 「本当のナンバ常歩」（木寺英史著・スキージャーナル, 2004）
- 「ナンバのコーチング論」（織田淳太郎著・光文社新書, 2004）
- 「スポーツ選手なら知っておきたいからだのこと」（小田伸午著・大修館書店, 2005）
- 「サッカープレー革命」（五味幹男著・小田, 小山田, 木寺監修・カンゼン, 2005）
- 「クロール革命—二軸泳法ならもっと楽に速くなる—」（藤森善弘監修・ランナーズ, 2005）
- 「日本人のスキー革命」（平沢文雄著・スキージャーナル, 2005）
- 「実践常歩剣道」（木寺英史著・MCプレス, 2006）
- 「剣士なら知っておきたいからだのこと」（木寺英史, 小田伸午著・大修館書店, 2006）
- 「ダンステクニク革命」（堀口史朗著・モダン出版, 2006）
- 「2軸トライアスロンで楽に速くなる」（八尾彰一・ランナーズ, 2006）
- 「サッカー選手なら知っておきたいからだのこと」（中村泰介, 河端隆志, 小田伸午著・大修館書店, 2006）
- 「常歩式スポーツ上達法」（小田伸午, 木寺英史, 小山田良治他著・スキージャーナル, 2007）
- 「サッカートレーニング革命」（五味幹男著・小田, 小山田, 木寺監修・カンゼン, 2007）
- 「2軸クロール完全マスターBOOK」（藤森善弘・MCプレス, 2007）

現在、「常歩研究会」には、様々なスポーツ競技の指導者・選手、研究者、シューズの開発者などが参加している。年に数回（不定期）研究会を開催し、情報交換することによって「二軸動作（常歩）」をさらに充実させている。さらに、筆者は2003年より常歩研究会の公式HP（常歩秘宝館）を立ち上げ管理し最新の情報を公開している。

現代剣道の技術特性の分析に端を発した研究が、あらゆるスポーツ・武道の動きの改善に寄与するものとして発展したことは感慨深い。

研究の現状（課題）

「二軸動作（常歩）」が広く認知された一要因は、それぞれの競技のトップ選手の成功にある。ここでは、その数例を紹介する。

各競技のトップ選手が、「二軸動作（常歩）」を認知するようになったのは、著書・雑誌などマスコミの影響もあるが、最も大きな要因は小山田良治氏の存在である。伝説の治療師として知られる小山田英雄氏（故人）を祖父にもつ良治氏は、幼少時からその治療法を学び、現在は「五体治療院」（愛知県小牧市）を開院し多くの選手の治療とトレーニングなどのアドバイスを行っている。彼の治療を受ける競輪・サッカー等のプロ選手らに「二軸動作（常歩）」によるトレーニングを紹介したところ、多くの選手が著しい成果を上げた。中でも、競輪の山内卓也選手（S級一班・愛知県77期）は、「二軸動作（常歩）」により急速に実力をつけ、S級1班でランキング上位を維持している。

また、世界陸上ヘルシンキ大会（2005年）において、男子20キロ競歩に出場し、さらに本年開催の世界陸上大阪大会にも出場した杉本明洋選手（当時、京都大学大学院）も「二軸動作（常歩）」で飛躍した選手の一人である。高校2年生で陸上競技を始めた杉本選手は、京都大学進学後も陸上部に所属、1回生時、西日本インカレでは10000M競歩52分54秒70の記録で最下位であった。2回生になり「二軸動作（常歩）」を知った彼は、飛躍的に記録が伸び、3回生時の全日本インカレでは、10000M競歩7位（41分50秒59）、4回生時には同大会で優勝（39分59秒82、大会新）した。3年間で自己記録を約13分短縮したことになる。

ソフトバンクホークスで活躍中の和田毅投手のフォーム改造に関わったトレーナーの土橋恵秀氏も常歩研究会の参加者である。早稲田大学進学当時、球速が120キロ台であった和田投手が、左右軸を意識させるフォーム改造方法で常に140キロ台の球速を投球するまでに成長した。この間の経緯は前出の「ナンバのコーチング論」（織田淳太郎著・光文社新書, 2004）および研究会のHPである「常歩秘宝館」などに記されている。

また、「二軸動作（常歩）」は、各競技の指導者にも理解され受け入れられてきた。前述した「二軸動作（常

歩）」関連著書の著者も各競技の代表的な指導者である。

藤森善弘氏は、日本体育大学水泳部ヘッドコーチ（オリンピック代表コーチ）、平沢文雄氏はNHK趣味講座の「ベストスキー」や「中高年のためのスキー術」で講師を務めたスキー指導の第一人者、堀口史朗氏はスーパージャパンカップ6位、日本インターナショナル選手権5位などの実績を持つプロのダンス指導者、八尾彰一はトライアスロンのチームテイケイ（プロのトライアスロンチーム）監督でオリンピック代表監督である。

このように「二軸動作（常歩）」は、各競技のトップレベルの選手及び指導者に受け入れられ進化してきた。

「二軸動作（常歩）」研究の方向性

さて、研究の経過及び現状を報告したところで、その方向性を検討してみたい。現在の研究はすでに記したように各競技のトップレベルの選手らを対象にしたものである。しかしながら、今後はトップ選手だけではなく、一般の方々やスポーツ選手の動きや健康に寄与するものとしても発展させたい。その中で、本稿では「歩行動作」研究について取り上げたい。

(1) 「ヒューマノイドロボットHRP-2」による「常歩（なみあし）歩行」実験

筆者らは、これまで「歩行」に関しての研究に多くの時間を割いてきた。その中で、工学的な研究としては奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科ロボティクス講座との共同研究がある。2003年5月、奈良先端科学技術大学院大学において、「二軸動作歩行（常歩歩行）」による動作分析実験を実施した。その結果、腰（骨盤）の水平方向の回転が「通常歩行」と「常歩（なみあし）歩行」では、逆位相であることが明らかになった。さらに腰回旋の逆位相データを入力することにより「ヒューマノイドロボットHRP-2」による「常歩（なみあし）歩行」実験に成功した。通常、左足を支持脚に右足を前方に振り出す時、腰は左側が後方、右側が前方になる反時計回りに回転する。本分析において、通常歩行についての実験ではこの通りだったが、「常歩（なみあし）歩行」では、極端な言い方をすれば腰は通常歩行と逆方向に回転していることが明らかになった。左足が接地して支持脚となり、次に後方の右足を前方に振り出そうとすると左足裏は時計回りに回転するモーメントを受ける。このとき腰を反時計回りに回転させようとすると左足裏の時計回りのモーメントはより大きくなる。この腰の回転方向を逆にするということは、左足裏の反時計回りのモーメントを低減することになる。この動きは「常歩（なみあし）」でよく言われている、支持脚側の腰を前方に押し出す動作（感覚）と一致する。この腰回旋の逆位相を利用することにより、「ヒューマノイドロボットHRP-2」での歩行では、足裏に伝わるモーメントのピーク値を約30%下げることができた。これらの実験結果は、「第3回福祉工学シンポジウム（2003）」、「日本体力医学会（2003）」、「第9回ロボティクス・シンポジウム（2004）」などで発表された。

(2) 「常歩（なみあし）歩行」とシューズ開発

「ヒューマノイドロボットHRP-2」による「常歩（なみあし）歩行」実験により、「二軸動作（常歩）」を応用することにより、効率的な歩行が可能であることが示された。しかし、一般の方々やスポーツ選手が、その動きを習得することは難しい場合が多い。そこで、「常歩（なみあし）歩行」を習得しやすいシューズの開発が考えられる。

実は、「ヒューマノイドロボットHRP-2」による「常歩（なみあし）歩行」実験以前に、筆者らがアドバイザーとなり「株アシックス」より「常歩（なみあし）歩行」を習得しやすいシューズ「VFT（Vital Finger toe）」を商品化している。このシューズには大きな特徴が2つある。一つはソールが平ら（フラット）であること、もう一つはソールからはみ出した足のゆびを自在に動かせることである。

多くの方は、踵が高いシューズを履くとからだの前傾し前進しやすいと錯覚している。トレーニングを十分積んだ選手は別であるが、一般に踵が高いシューズを履くとつま先（拇指球）に足圧がかかり、前進にブレーキがかかる。さらに、腰のローリングが大きくなり、それを補償するために肩や腕を大きく振らなければならない。逆に踵が低いシューズにより「常歩（なみあし）」歩行の特徴である腰（骨盤）回旋の逆位相が誘導される。腰回旋の逆位相を誘導するために適したソールは、つま先から踵に向けて約3度下がっていることが理想であると思われたが、当時はつま先より踵が下がったシューズの例がなく、ほぼフラットソールとして商品化された。さらに、合理的な歩行を可能にするために、足の指が自在に動く構造を採用した。これは、着地足が離地するときに足趾が地面をつかむ動きにより、脚全体の前方へ切り返し（ターンオーバー）を誘導させようとするものである。この「VFT（Vital Finger toe）」はスポーツ選手のトレーニングシューズとして開発したものである。

筆者は、今後、「ウォーキング」についての認識が大きく変化すると考えている。現在の「ウォーキング」は「パワーウォーク」または「エクササイズウォーク」などと言われているもので、ダイエットを主目的としたエネルギー消費の大きな歩き方である。現在市販されている「ウォーキングシューズ」のほとんどはこのようなコンセプトから開発されたものである。しかし、近い将来、中高年のための合理的で体に負担がかからない「歩行動作」と、そのためのシューズが求められると予想される。「二軸動作」および「常歩（なみあし）歩行」の応用により、それらを可能にする「歩行方法」を提案していくとともに、そのための「シューズ開発」にも取り組んでいきたい。

研究資料

ホップ不変量とその拡張について

酒井 道宏

On the Hopf invariant and its extension

Michihiro SAKAI

We give an explanation for the Hopf invariant and introduce the extension of it.

1 序

球面はホモトピー論における基本的な空間の 1 つであり、そのホモトピー群は

『2 つの球面の間の連続写像で、ホモトピー論の意味で本質的に異なるものが何個存在するか?』

というホモトピー論における非常に重要な問題と密接に結びついているために多くのトポロジストによって研究されている。1930 年代, Hopf[10] によって球面のホモトピー群から整数への準同型写像

$$H : \pi_3(S^2) \rightarrow \mathbb{Z}$$

が定義され、 $\pi_3(S^2)$ が無限巡回群であることが得られた。その後、これを拡張した Hopf 不変量と呼ばれる準同型写像

$$H : \pi_{4n-1}(S^{2n}) \rightarrow \mathbb{Z}$$

が構成され、球面のホモトピー群の計算に有効に用いられた。1950 年以降この Hopf 不変量は、James[14, 15], Toda[22] によってホモトピー集合の間の準同型対応 (Hopf 準同型対応)

$$H : [\Sigma K, \Sigma X]_* \rightarrow [\Sigma K, \Sigma(X \wedge X)]_*$$

として捉えられ、これから EHP 列と呼ばれるホモトピー群の完全系列を導き、様々な空間のホモトピー群が飛躍的に計算出来るようになった。1980 年代後半, Hardie-Jansen[8] によって、Hopf 準同型対応を用いた Hopf 構成の計算が行われ、非自明な写像の構成がなされている。近年、さらにこれが空間の可縮な開被覆の最小数である Lusternik-Schnirelmann($L-S$) カテゴリーを決定するための障害を与えるという性質を持つことが Bernstein-Hilton[1], Iwase[12] により示された。本稿では [19], [20] を執筆する上で基になった Hopf 不変量と Hopf 一般準同型を実際に構成することにする。

2 Hopf 不変量の構成

まず、コファイブレーションの定義から始める。

定義 2.1. X, Y を位相空間とし、 A を X の部分空間とする。任意の写像 $f : X \rightarrow Y$ と各 $a \in A$ に対して $G(a, 0) = a$

となるホモトピー $G : A \times [0, 1] \rightarrow Y$ について次を満たすホモトピー $F : X \times [0, 1] \rightarrow Y$ が存在するとき、包含写像 $i : A \hookrightarrow X$ は Y に関してホモトピー拡張性質 ($H.E.P$) をもつという。

- (1) $F(x, 0) = f(x) \quad (x \in X)$
- (2) $F(a, t) = G(a, t) \quad (a \in A, t \in [0, 1])$

任意の Y について $H.E.P$ をもつとき、 $i : A \hookrightarrow X$ はコファイブレーションをなすという。

例 2.2. X を CW 複体とし、 A をその部分複体とする。このとき、 $i : A \hookrightarrow X$ はコファイブレーションをなす。

コファイブレーションとコホモロジー群との間には次の性質がある。

定理 2.3. $i : A \hookrightarrow X$ がコファイブレーションをなすとき、次のコホモロジー群の系列は完全である。

$$\cdots \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^k(X/A; R) \xrightarrow{j^*} H^k(X; R) \xrightarrow{i^*} H^k(A; R) \xrightarrow{\delta} \cdots$$

$f : S^{4n-1} \rightarrow S^{2n}$ を $\pi_{4n-1}(S^{2n})$ の代表元とし、 $S^{2n} \cup_f D^{4n}$ を f による接着空間とする。 S^{2n} は CW 複体 $S^{2n} \cup_f D^{4n}$ の部分複体であり $S^{2n} \cup_f D^{4n}/S^{2n} \approx S^{4n}$ だから、定理 2.3 から次の完全系列が得られる。

$$\cdots \xrightarrow{\delta} \tilde{H}^k(S^{4n}; \mathbb{Z}) \xrightarrow{j^*} H^k(S^{2n} \cup_f D^{4n}; \mathbb{Z}) \xrightarrow{i^*} H^k(S^{2n}; \mathbb{Z}) \xrightarrow{\delta} \cdots$$

ここで、

$$H^k(S^{2n}; \mathbb{Z}) = \begin{cases} \mathbb{Z} & (k = 0, 2n) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases}$$

だから、連結準同型 δ は 0 写像となる。よって、次の短完全列を得る。

$$0 \rightarrow \tilde{H}^k(S^{4n}; \mathbb{Z}) \xrightarrow{j^*} H^k(S^{2n} \cup_f D^{4n}; \mathbb{Z}) \xrightarrow{i^*} H^k(S^{2n}; \mathbb{Z}) \rightarrow 0$$

ここで、 $H^k(S^{2n}; \mathbb{Z})$ は自由 $\mathbb{Z}$ 加群だから、上の完全系列は直和分解する。 β, t をそれぞれ $H^{2n}(S^{2n}; \mathbb{Z}), \tilde{H}^k(S^{4n}; \mathbb{Z})$ の生成元とし、 $i^*(\beta') = \beta, j^*(t) = t'$ とする。

$$\begin{array}{ccccccc} 0 \rightarrow \tilde{H}^k(S^{4n}; \mathbb{Z}) & \xrightarrow{j^*} & H^k_B(S^{2n} \cup_f D^{4n}; \mathbb{Z}) & \xrightarrow{i^*} & H^k_B(S^{2n}; \mathbb{Z}) & \rightarrow & 0 \\ & \cup & \cup & & \cup & & \\ & t & \mapsto & t', & \beta' & \mapsto & \beta \end{array}$$

$i^*((\beta')^2) = \beta^2 \in H^{4n}(S^{2n}; \mathbb{Z}) = 0$ であり、先程の系列は完全だったから

$$(\beta')^2 = \lambda \cdot t'$$

となる整数 λ が存在する。さらにこのとき、 j^* は単射だから、 λ は一意的に定まる。そこで、Hopf 不変量を次のように定めることができる。

定義 2.4.

$$(\beta')^2 = \lambda \cdot t'$$

で一意的に定まる整数 λ を f の Hopf 不変量といい、 $H(f)$ で表す。また、 $H([f]) = H(f)$ で定まる写像

$$H : \pi_{4n-1}(S^{2n}) \rightarrow \mathbb{Z}$$

を Hopf 不変量という。

Hopf 不変量には次の性質がある。

命題 2.5. f, g を $\pi_{4n-1}(S^{2n})$ の代表元とする。このとき、次が成り立つ。

- (1) $f \simeq g$ ならば、 $H([f]) = H([g])$
- (2) $H([f] + [g]) = H([f]) + H([g])$

注意 2.6. 命題 2.5(1) から Hopf 不変量は矛盾なく定義されることがわかり、また (2) からこの写像は準同型であることがわかる。

さらに次のことがよく知られている。

定理 2.7. $H([f]) = \pm 2$ となる写像 $f : S^{4n-1} \rightarrow S^{2n}$ が存在する。

注意 2.8. これは $\pi_{4n-1}(S^{2n})$ が無限群であることを意味している。もっと正確には、これが整数と有限群の直和であることが知られている。

K-理論などを用いると、Hopf 不変量の値が 1 となるのは以下の場合であることがわかる。

定理 2.9. $H([f]) = 1$ となる写像 $f : S^{4n-1} \rightarrow S^{2n}$ が存在するのは $n = 1, 2, 4$ のときに限る。

3 Hopf 準同型対応の構成

Hopf 準同型対応を構成するために、まず約積空間の定義からはじめる。 X を頂点が 1 つからなる CW 複体とする。 X の n 個の直積 $X \times X \times \cdots \times X$ に対して同値関係 $\sim$ を以下で定める。

$$\begin{aligned} (x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, *) &\sim (x_1, x_2, \dots, *, x_n) \\ &\sim \cdots \\ &\sim (*, x_2, \dots, x_n). \end{aligned}$$

定義 3.1. $X_n = \overbrace{X \times X \times \cdots \times X}^{n \text{ 個}} / \sim$ とするとき、自然に包含関係の系列

$$X = X_1 \subset X_2 \subset \cdots \subset X_n \subset \cdots$$

が得られる。この帰納的極限

$$\lim_{n \rightarrow \infty} X_n$$

を約積空間といい、 X_∞ と表す。

注意 3.2. X_∞ は積： $\mu : X_\infty \times X_\infty \rightarrow X_\infty$ を

$$\mu(x, x') = xx'$$

で定めることにより結合的 H -空間となる。実際、

$$\begin{aligned} \mu(x, *) &= \mu(*, x), \\ \mu \circ (\mu \times 1) &= \mu \circ (1 \times \mu) \end{aligned}$$

を満たす。

約積空間 X_∞ とループ懸垂空間 $\Omega\Sigma X$ には次の関係がある。

定理 3.3. H -写像 $j : X_\infty \rightarrow \Omega\Sigma X$ を以下で定める。

$$\begin{aligned} j(x_1 x_2 \cdots x_n)(t) &= i_0 y_i \left(\frac{t - \lambda_{i-1}}{\lambda_i - \lambda_{i-1}} \right) \\ \lambda_{i-1} \leq t \leq \lambda_i, \quad \lambda_i &= \frac{\sum_{j=1}^i \rho(y_j)}{\sum_{j=1}^n \rho(y_j)} \end{aligned}$$

ただし、 $i_0 : X \rightarrow \Omega\Sigma X$ は $i_0(x)(t) = [x, t]$ で定まる写像とする。このとき、 j はホモトピー同値写像である。

Hopf 準同型対応を定義する上で、拡張に関する次の補題が必要になる。

補題 3.4. Y を結合的 H -空間とする。このとき、写像 $f : X_n \rightarrow Y$ が $f(X_{n-1}) = *$ を満たすならば、 f を X_∞ 上に拡張できる、すなわち、 f の拡張 $\tilde{f} : X_\infty \rightarrow Y$ が存在する。

$$\begin{array}{ccc} X_n & \xrightarrow{f} & Y \\ \downarrow i & \nearrow \tilde{f} & \\ X_\infty & & \end{array}$$

X_2 の部分複体 X_1 をちぢめることにより、

$$X_2/X_1 \approx X \wedge X$$

を得る。このちぢめる写像 $q : X_2 \rightarrow X_2/X_1 \approx X \wedge X$ と包含写像 $i : X \wedge X \hookrightarrow (X \wedge X)_\infty$ の合成写像を $h' : X_2 \rightarrow X \wedge X \hookrightarrow (X \wedge X)_\infty$ とすると、補題 3.4 からこの拡張 $h_2 = \tilde{h}' : X_\infty \rightarrow (X \wedge X)_\infty$ が存在する。

$$\begin{array}{ccc}
 X_2 & \xrightarrow{h'} & (X \wedge X)_\infty \\
 \downarrow i & \nearrow h_2 & \\
 X_\infty & &
 \end{array}$$

また, $ad : [\Sigma K, \Sigma X]_* \rightarrow [K, \Omega \Sigma X]_*$ を $f : \Sigma K \rightarrow \Sigma X$ に対して

$$ad(f)(x)(t) = f([x, t]) \quad (x \in K, t \in [0, 1])$$

と定める. このとき, Hopf 準同型対応:

$$H : [\Sigma K, \Sigma X]_* \rightarrow [\Sigma K, \Sigma(X \wedge X)]_*$$

を以下の写像の合成で定義することができる.

$$\begin{aligned}
 [\Sigma K, \Sigma X]_* &\xrightarrow{ad} [K, \Omega \Sigma X]_* \\
 &\xrightarrow{(j^{-1})_*} [K, X_\infty]_* \\
 &\xrightarrow{(h_2)_*} [K, (X \wedge X)_\infty]_* \\
 &\xrightarrow{(j)_*} [K, \Omega \Sigma(X \wedge X)]_* \\
 &\xrightarrow{ad^{-1}} [\Sigma K, \Sigma(X \wedge X)]_*.
 \end{aligned}$$

注意 3.5. $\Sigma S^n = S^{n+1}$, $[S^n, S^n]_* \cong \mathbb{Z}$ だから, $K = S^{4n-1}$, $X = S^{2n-1}$ のときに Hopf 準同型対応は Hopf 不変量

$$H : \pi_{4n-1}(S^{2n}) \rightarrow \mathbb{Z}$$

と一致する.

4 Hopf 不変量及び Hopf 準同型対応の拡張

[19] および [20] では, Hopf 不変量と Hopf 準同型対応を B 上の空間と呼ばれる空間のなす圏上に拡張している. B 上の空間とは, 位相空間の間の (射影とよばれる) 連続写像 $p : E \rightarrow B$ と $p \circ s = id_B$ となる (切断とよばれる) 連続写像 $s : B \rightarrow E$ を対象とし, 次の図式を可換にするような連続写像 f を射とする圏である.

$$\begin{array}{ccc}
 E_1 & \xrightarrow{f} & E_2 \\
 p_1 \searrow & & \nearrow p_2 \\
 & B & \\
 s_1 \nearrow & & \searrow s_2 \\
 E_1 & \xrightarrow{f} & E_2
 \end{array}$$

球面のホモトピー群 $\pi_*(S^n)$ は球面の間の連続写像をホモトピーで分類したものである, この拡張として球面束 $S(\xi)$ と $S(\eta)$ の間のファイバーと切断を保つ写像のホモトピー集合 $\pi_B^B(S(\xi), S(\eta))$ を考え, さらに整数 $\mathbb{Z}$ は 1 点空間の整数係数コホモロジー環 $H^*(pt; \mathbb{Z})$ に等しいので, その拡張

として 1 をもつ可換環 R を係数にもつ底空間 B のコホモロジー環 $H^*(B; R)$ を考える. [20] ではこのように拡張して準同型 $H_B : \pi_B^B(S(\xi), S(\eta)) \rightarrow H^*(B; R)$ を定義することができた.

定理 4.1 (Sakai[20]). $\xi = \xi' \oplus \epsilon^2$ と $\eta = \eta' \oplus \epsilon^2$ を $\dim \eta > \dim \xi \geq 1$, $H^*(-; R)$ -向き付け可能な B 上の実ベクトル束とする. $S(\xi) \rightarrow B$ と $S(\eta) \rightarrow B$ をそれに関連した B 上の球面束とする. このとき, 次の準同型写像が存在する.

$$H_B : \pi_B^B(S(\eta), S(\xi)) \rightarrow H^{2(\dim \xi - 1) - \dim \eta}(B; R)$$

次に, Hopf 不変量 $H : \pi_{4n-1}(S^{2n}) \rightarrow \mathbb{Z}$ をホモトピー集合の間の対応として拡張した Hopf 準同型対応

$$H : [\Sigma K, \Sigma X]_* \rightarrow [\Sigma K, \Sigma(X \wedge X)]_*$$

を B 上の空間に拡張するためには次のことが必要となる.

定理 4.2 (Sakai[19]). $p : E \rightarrow B$ が Hurewicz ファイバー空間ならば, $j_B : J_B E \rightarrow \Omega_B^B \Sigma_B^B E$ は (ファイバーと切断を保つホモトピー変形で) ホモトピー同値である.

この定理により $j_B^{-1} : \Omega_B^B \Sigma_B^B E \rightarrow J_B E$ が存在するので, [19] では B 上の Hopf 準同型対応を以下の写像の合成で定義できた.

$$\begin{aligned}
 \pi_B^B(\Sigma_B^B K, \Sigma_B^B X) &\xrightarrow{ad} \pi_B^B(K, \Omega_B^B \Sigma_B^B X) \\
 &\xrightarrow{(j_B^{-1})_*} \pi_B^B(K, X_\infty) \\
 &\xrightarrow{(h_2)_*} \pi_B^B(K, (X \wedge_B X)_\infty) \\
 &\xrightarrow{(j_B)_*} \pi_B^B(K, \Omega_B^B \Sigma_B^B (X \wedge_B X)) \\
 &\xrightarrow{ad^{-1}} \pi_B^B(\Sigma_B^B K, \Sigma_B^B (X \wedge_B X)).
 \end{aligned}$$

この応用として, Hopf 準同型対応を含む次の有名なホモトピー群の完全系列 (これを EHP 列という) が得られる.

定理 4.3. X を r -連結とする. $i \leq 3r + 1$ に対して以下は完全である.

$$\cdots \rightarrow \pi_i(X) \xrightarrow{E} \pi_{i+1}(\Sigma X) \xrightarrow{H} \pi_{i+1}(\Sigma(X \wedge X)) \xrightarrow{P} \pi_{i-1}(X) \rightarrow \cdots$$

ただし, E は懸垂写像によって誘導される準同型写像であり, P は以下の同型写像の合成をまとめて $(h_2)_*$ としたとき, $P = \partial \circ (h_2)_*^{-1}$ である.

$$\pi_i(X_\infty, X) \cong \pi_i((X \wedge X)_\infty) \cong \pi_i(\Omega \Sigma(X \wedge X)) \cong \pi_{i+1}(\Sigma(X \wedge X))$$

特に X が球面のとき, 次の定理が得られる.

定理 4.4 (James[14]). (1) n が奇数のとき, 以下は完全である.

$$\cdots \rightarrow \pi_i(S^n) \xrightarrow{E} \pi_{i+1}(S^{n+1}) \xrightarrow{H} \pi_{i+1}(S^{2n+1}) \xrightarrow{P} \pi_{i-1}(S^n) \rightarrow \cdots$$

(2) n が偶数のとき, 上の系列は $i \leq 3n - 2$ では完全であり, また $i > 2n$ では 2-成分について完全である.

結語

位相空間 E は 1 点空間上の空間 $p : E \rightarrow \{*\}$ とみなすことにより B 上の空間の 1 つと考えられる. このことから, 位相空間のなす圏を自然に拡張する形で定義されていることがわかる. B 上の空間は基点つきホモトピー論において理論的に良い拡張を与えており, James[16, 17], James-Crabb[2], Hardie[17], James-Morris[18], Smith[21] らによって精力的に研究が行われている. [20] ではホモトピー集合に対して常コホモロジー群を対応させて Hopf 不変量の拡張: $H_B : \pi_B^B(S(\eta), S(\xi)) \rightarrow H^{2(\dim \xi - 1) - \dim \eta}(B; R)$ を構成したが, 今後は K-理論を用いて一般コホモロジー群 $h^*(B; R)$ を対応させた

$$H_B : \pi_B^B(S(\eta), S(\xi)) \rightarrow h^*(B; R)$$

に拡張していきたい.

謝辞

本論文を執筆するにあたり, 適切なご助言及び情報を頂きました九州大学大学院 数理学研究院 岩瀬則夫准教授に厚く御礼申し上げます. また, 研究を支えて頂いております久留米工業高等専門学校 一般科目理科系 (数学) の川越茂敏特任教授, 中坊滋一准教授, 高橋正郎准教授, 山本稔講師にも深く感謝致します.

参考文献

- [1] Bernstein, I. and Hilton, P. J., *Category and generalized Hopf invariants*, Ill. J. Math., 4 (1960), pp. 437–451.
- [2] Crabb, M. C. and James, I. M., *Fibrewise Homotopy Theory*, Springer (1998).
- [3] Dold, A., *Partitions of Unity in the Theory of Fibrations*, Ann. of Math (2) 78 (1963), pp. 223–255.
- [4] Dold, A. and Thom, R., *Quasifaserungen und unendliche symmetrische Produkte*, Ann. of Math (2) 67 (1958), pp. 285–305.
- [5] Eggar, M. G., *The piecing comparison theorem*, Indag. of Math. 35 (1973), pp. 320–330.
- [6] Hall, I. M., *The generalized Whitney sum*, Quart. J. Math. Oxford. 16 (1965), pp. 360–384.
- [7] Hardie, K. A., *Coherent homotopy over a fixed space*, Handbook of Algebraic Topology, North-Holland (1995), pp. 195–212.
- [8] Hardie, K. A. and Jansen, A. V., *A Whitehead product for track groups*, Springer Lecture Note. 1370 (1989), pp. 163–170.
- [9] Hilton, P. J., *Homotopy theory and duality*, Nelson Gordon and breach (1965).
- [10] Hopf, H., *Ueber die Abbildungen von Sphären auf Sphären niedrigerer Dimension*, Fundam. Math. 25, (1935), pp. 427–440.
- [11] Iwase, N., *A continuous localization and completion*, Trans. Amer. Math. Soc. 320 (1990), pp. 77–90.
- [12] Iwase, N., *A_∞ -method in Lusternik-Schnirelmann category*, Topology. 41(4) (2002), pp. 695–723.
- [13] Iwase, N. and Sakai, M., *Functors on the category of fibrations*, preprint.
- [14] James, I. M., *Reduced product spaces*, Ann. Math. 62(1) (1955), pp. 170–197.
- [15] James, I. M., *On the suspension sequence*, Ann. Math. 65(1) (1957), pp. 74–107.
- [16] James, I. M., *General topology and Homotopy theory*, Springer (1984).
- [17] James, I. M., *Handbook of Algebraic Topology*, North Holland (1995).
- [18] James, I. M. and Morris, J. R., *Fibrewise category*, Proc. Roy. Soc. Edinburgh. 119A (1991), pp. 177–190.
- [19] Sakai, M., *On the Hopf-James homomorphism over B* , Quaestiones Mathematicae, to appear.
- [20] Sakai, M., *The Hopf invariant of a map over B* , preprint.
- [21] Smith, L., *Lectures on the Eilenberg-Moore Spectral Sequences*, Lect. Notes in Math. 134 Springer Verlag, Berlin (1970).
- [22] Toda, H., *Composition methods in homotopy groups of spheres*, Ann. Math. Studies 49 (1962).

平成18年度中に発表した論文・著者等及び講演題目

校 長

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻, 号 (年・月)
Development of Quasi-End-Fired Waveguide Plastic Dye Laser	{ Yuji Oki*1 Masamitsu Tanaka*1 Yukinori Ogawa*1 Hirofumi Watanabe*1 Mitsuo Maeda	Journal of IEEE, Vol.42, No.4, pp.389-396 (2006年4月)
Recent Developments in Lasers and their Applications	{ Yuji Oki*1 Mitsuo Maeda (分担執筆)	Research Signpost (Ed: Vasa J. Nilesch) pp.1-30 (2006年6月)
Coupling Control on Quasi-End-Fired DFB Film Dye Laser on a Plastic Chip	{ Yuji Oki*1 Yukinori Ogawa*1 Hirofumi Watanabe*1 Mitsuo Maeda	Technical digest of Conference on Lasers & Electro-Optics 2006 (IEEE), CFJ-2 (2006年5月)
High-Peak Power Output from a Waveguide Dye Laser Based on a Random Active Layer	{ Hirofumi Watanabe*1 Yuji Oki*1 Mitsuo Maeda Takashiige Omatsu*2	Technical digest of Conference on Lasers & Electro-Optics 2006 (IEEE), JWB-51 (2006年5月)
Nanometer-Scale Depth Resolution and Sensitive Surface Analysis Using Laser Ablation Atomic Fluorescence Spectroscopy	{ Daisuke Nakamura*1 Yuji Oki*1 Takashi Higotani*1 Takayuki Takao*1 Mitsuo Maeda	Japanese J. Applied Physics, Vol.45, No.6A, pp.5322-5325 (2006年6月)

講 演 題 目

氏 名

発表した学会・講演会名 (年・月)

プラスチック色素レーザーを有する光検査システムを搭載したマイクロロボチップの開発	{ 片岡周作*1 渡邊博文*1 興雄司*1 山健一*1 前真佐也*1 田三男	応用物理学会九州支部学術講演会 (2006年11月)
超短PPLNを利用したパームトップNd:YAGレーザーの第三高調波発生	{ 興雄司*1 鴨川周幸*1 岡口貴大*1 前田大男*3 浦田佳治*3 和田智之*3	応用物理学会九州支部学術講演会 (2006年11月)

機 械 工 学 科

論文・著書等題目

氏 名

発表した誌名, 巻, 号 (年・月)

軸直角方向振動下におけるボルト締結体のゆるみと疲労に関する研究	{ 橋村真治 Darrell F. Socie (イリノイ大学)	日本機械学会論文集(C編), 72巻, 716号, pp.1297-1304 (2006年4月)
くさびを用いたボルト締結体のゆるみ防止法	{ 橋村真治 村上敬宜 (九州大学) 嶺木邦彦 (中央精機株)	精密工学会誌論文集, Vol.72, No.4, pp.504-511 (2006年4月)
A Study of Loosening and Fatigue of Bolted Joints under Transverse Vibration	{ Shinji Hashimura Darrell F. Socie (イリノイ大学)	SAE 2005 Transactions, Journal of Materials and Manufacturing, Section 5, pp. 630-640. (2006年4月)

*1九州大学

*2千葉大学

*3(株)メガオプト

- Influences of Bearing Surface Configuration of Bolt Head on Self-Loosening under Transverse Vibration { Shinji Hashimura
Yasuaki HIROO Selected Articles of the 1st International Conference on Design Engineering and Science, pp.55-60. Article for being Come up for the Best Paper Award. (2006年6月)
- A Study of Self-Loosening and Fatigue Failure of Bolted Joint under Transverse Vibration - Influences of Property Class of Bolt and Plastic Region Tightening - Shinji Hashimura Proceedings of the International Asia Pacific Convention Center & HNA Resort Sanya, China, November 22~25, 2006. (2006年11月)
- 軸直角方向振動下におけるボルト締結体のゆるみと疲労に関する研究
-ボルト第1ねじ谷底に生じる公称応力の評価法とボルトの強度区分がゆるみ疲労寿命に与える影響- { 橋 村 真 治
徳 永 晴 紀
井 上 絢 介 (専攻科学生)
(専攻科学生) 日本自動車技術会論文集, 38巻, 2号, pp.293-297. (2006年3月)
- 平板反射鏡を用いた鉛直太陽熱蒸留器の最適運転条件の決定および屋外実験 { 田 中 大
中 武 靖 仁 太陽エネルギー, vol. 32, no. 5, pp. 55-60. (2000年9月)
- 反射鏡および方位角切替による傾斜ウィック型太陽熱蒸留器の性能向上 { 田 中 大
中 武 靖 仁 久留米高専紀要, vol. 22, no. 1, pp. 1-7. (2006年9月)
- 3D-CAD/CAMによるマイクロプロペラ形風車ブレードの設計・製作 (第1報; ラボスケールブレードの設計製図) { 中 武 靖 仁
福 田 幸 一
田 中 尾 晃 大
内 尾 晃 太
長 浜 翔 (専攻科学生)
(専攻科学生) 久留米高専紀要, vol. 22, no. 1, pp. 47-52. (2006年9月)
- A portable distiller driven by wind energy { Yasuhito Nakatake
Hiroshi Tanaka Proceedings of Renewable Energy 2006, October 9-13, 2006, Chiba, Japan, pp. 928-931. (2006年10月)
- Theoretical analysis of a basin type solar still with internal and external reflectors { Hiroshi Tanaka
Yasuhito Nakatake Desalination, vol. 197, pp. 205-216, 2006. (2006年10月)
- 平板反射鏡および1日1回の方位角切替による傾斜ウィック型太陽熱蒸留器の性能向上 { 田 中 大
中 武 靖 仁 太陽エネルギー, vol. 32, no. 6, pp. 33-38, 2006. (2006年11月)
- Numerical analysis of the vertical multiple-effect diffusion solar still coupled with a flat plate reflector: optimum reflector angle and optimum orientation of the still at various seasons and locations { Hiroshi Tanaka
Yasuhito Nakatake Desalination, vol. 207, pp. 167-178, 2007. (2007年3月)
- Crack Detection with Strain Gages and Body Force Method { Hiroshi Noguchi (九州大学)
Toyomitsu Harada Structural Engineering and Mechanics, Vol.24, No.6, pp765-769. (2006年12月)
- Calculation of Stress Fields near Notch Roots in Real Life Structures Subjected to In-Plane and Out-of-Plane Deformations { Toyomitsu Harada (九州大学)
Hiroshi Noguchi Journal of Testing and Evaluation, Vol.35, No.1, pp.10-19. (2007年1月)

講 演 題 目

氏 名

発表した学会・講演会名 (年・月)

軸直角方向振動によるボルト締結体のゆるみ・疲労挙動への締結状態の影響

{ 橋 村 真 治
井 上 絢 介
森 美 彦 (専攻科学生)日本機械学会2006年度年次大会
(2006年9月)

増締め用トルクレンチを用いた締付け力検出レンチの開発

{ 橋 村 真 治
池 田 太 一
小 松 恭 博
緒 方 智 (専攻科学生)
(東日製作所)
(東日製作所)日本機械学会2006年度年次大会
(2006年9月)

軸直角方向振動によるボルト締結体のゆるみ・疲労挙動への締結状態の影響

{ 井 上 絢 介
橋 村 真 治
森 美 彦 (専攻科学生)九州支部第60期総会講演会
(2007年3月)

久留米高専 機械工学科における設計製図教育の現状と課題	{ 橋 村 真 治 廣 尾 靖 彰	日本設計工学会九州支部製図研究会 (2007年3月)
反射鏡および1日1回の方位角切替による傾斜ウィック型太陽熱蒸留器の性能向上	{ 田 中 大 中 武 靖 仁	平成18年度太陽エネルギー学会・風力エネルギー協会合同研究発表会 (2006年・10月)
人力滑空飛行機の設計と製作 ～鳥人間コンテストへの挑戦～	{ 杉 野 貴 昭 (専 攻 科 学 生) 中 尾 中 哲 也 田 中 大	第12回高専シンポジウム (2006年)
エジェクタ式マイクロバブル混入燃料によるディーゼルエンジンの燃焼改善	{ 中 武 靖 仁 (久 留 米 工 大) 渡 邊 孝 俊 彦 (株オーラテック) 江 口 俊 彦	第19回内燃機関シンポジウム, pp. 567-572, 2007 (2007年3月)
エジェクタ式マイクロバブル混入燃料によるディーゼル機関の燃焼改善	{ 中 武 靖 仁 (久 留 米 工 大) 渡 邊 孝 俊 彦 (株オーラテック) 江 口 俊 彦	M&M研究会, 3/15/2007 (2007年3月)
風力を利用した小型海水淡水化蒸留器	{ 金 子 雅 広 (専 攻 科 学 生) 中 武 靖 仁	日本機械学会九州学生会, 第38回卒業研究発表講演会 (2007年3月)
エコランカーの熱効率向上	{ 二 江 貴 也 (本 科 学 生) 加 藤 方 智 旭 (本 科 学 生) 緒 中 武 靖 仁 (本 科 学 生)	日本機械学会九州学生会, 第38回卒業研究発表講演会 (2007年3月)
超電導ロータリアクチュエータの制御	{ 中 尾 哲 也 (矢 崎 総 業 株) 上 石 尚 志	機械学会年次大会 (2006年9月)

電 気 電 子 工 学 科

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻, 号 (年・月)
シミュレーションによる半導体デバイス構造設計	長 田 芳 裕	論文集「高専教育」, 第30号, pp.43-48 (2007年3月)
端子不完全接続・発火現象の加速試験による酸化銅, 亜酸化銅の生成と発熱について	{ 藤 田 亮*1 青 山 洋 一	平成18年度(第24回)電気設備学会全国大会講演論文集, pp189-192 (2006年9月)
The Acceleration Test Method for Heat and Fire Phenomena of Electrical Terminal by Loose Contact	{ Y. Aoyama H. Numa*2 R. Fujita*1	The Proceeding of "The 23rd International conference on Electrical Contact", pp354-360 (2006年6月)
Formant Peak Level Control for the Single-Resonant-Analysis-Type Hearing Aid to Improve Speech-Listening Through Narrow Audible Areas	{ T. Ikeda T. Itahashi*3 T. Sakata*4 Y. Ueda*5 A. Watanabe*6	Proceedings of The 9th Western Pacific Acoustics Conference Seoul, Korea (2006年6月)
レーザースペックル顕微鏡による単一細胞イメージング	平 川 靖 之	レーザー研究, 第34巻第12号, pp. 828-832 (2006年12月)
細胞イメージングのためのレーザースペックル顕微鏡の開発	平 川 靖 之	久留米工業高等専門学校紀要, 第22巻・第1号, pp. 9-15 (平成18年9月)
微弱無線モジュールを用いた認証システムの試作	{ 金 子 大 輔*7 田 中 義 規 大 崎 倫	実践教育 電気・電子・情報系ジャーナル, Vol.22・No.1, pp.46-49 (2006年3月)

*1久留米高専 専攻科, 現 ソニーイーエムシーエス株

*2Hitachi ULSI systems Ltd

*3Advanced Engineering School, Kurume National College of Technology

*4Faculty of Engineering, Kumamoto University

*5Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

*6Kumamoto Prefectural College of Technology

*7久留米高専 専攻科

Proposal of Detecting Method of Outer Side Crack by Alternating Flux Leakage Testing using 3-D Non-Linear FEM	{ Y. Gotoh*2 N. Takahashi*3	IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 42, No.4, pp.1415-1418 (2006年)
Magnetic Non-destructive Inspection of Retained Austenite in Cast Iron	{ Y. Gotoh*2 K. Koga*4 S. Sasaguri*5 N. Takahashi*3	IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 42, No.10, pp.3180-3182 (2006年)
Measurement of humidity and current distribution in PEFC	{ M. Izumi*6 Y. Hamamoto*6 Y. Gotoh*2	Fuel Cell Seminar 2006 (2006年)
磁気センサとレーザー干渉計によるPEFC発電状態の診断技術	{ 泉 後 藤 政 明*6 治*2	燃料電池, Vol.6, No.3, pp.96-100 (2006年)
固体高分子形燃料電池を対象とした非接触による発電電流分布測定手法の検討	{ 芹 田 和 則*7 後 藤 雄 治*2 泉 政 明*6	実践教育, 電気・電子・情報ジャーナル, Vol.22, No.1, pp.10-14 (2006年)
電磁現象を利用したニッケルメッキ厚み測定手法の検討	{ 松 岡 綾*8 後 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*3	実践教育, 電気・電子・情報ジャーナル, Vol.22, No.1, pp.34-37 (2006年)
差動型内挿コイルを用いた強磁性体鋼管の外周欠陥検出の検討	{ 木 屋 敦 詞*1 後 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*3	実践教育, 電気・電子・情報ジャーナル, Vol.22, No.1, pp.38-41 (2006年)

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
レーザースペckル顕微鏡による一細胞イメージング — 基礎的な特性評価 —	平 川 靖 之	第67回応用物理学会学術講演会 (2006年8月)
真の細胞・組織情報を得るために — ツールとしてのレーザー顕微鏡 —	平 川 靖 之	長崎県工業技術センター研究会 (2006年8月)
レーザースペckル顕微鏡の開発 — 細胞・組織に優しいレーザー顕微鏡 —	平 川 靖 之	応用物理学会九州支部シンポジウム (2006年11月)
微弱無線モジュールを用いた認証システムの製作	{ 金 子 大 輔*1 大 崎 邦 倫	実践教育訓練研究協会, 実践教育研究発表会 (2006年9月)
定常発電時における固体高分子形燃料電池の非接触電流測定	{ 後 藤 雄 治*2 古 賀 菜 子*4 木 屋 敦 詞*1 泉 政 明*6	燃料電池開発情報センター, 第13回燃料電池シンポジウム (2006年5月)
電磁非破壊検査法による高クロム鉄鋼内の残留オーステナイト量の測定	{ 後 藤 雄 治*2 古 賀 菜 子*4 笹 賀 信 也*5 松 原 宏 雄*9 高 橋 則 雄*3	日本鑄造工学会, 第148回全国講演大会, (2006年5月)
固体高分子形燃料電池の定常発電時における非接触電流測定法の提案	{ 芹 田 和 則*7 木 屋 敦 詞*1 古 賀 菜 子*4 後 藤 雄 治*2 泉 政 明*6	日本非破壊検査協会, 表面探傷分科会 (2006年7月)
直流磁化ECT法の三次元磁界解析による評価 — マイナーループを考慮した三次元交流非線形渦電流解析による検討 —	{ 後 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*3	日本非破壊検査協会, 表面探傷分科会 (2006年7月)

*1久留米高専 専攻科

*2現 大分大学

*3岡山大学

*4久留米高専 専攻科, 現 NTTドコモ

*5久留米高専 材料工学科

*6北九州市立大学

*7久留米高専 研究生, 現 久留米高専 専攻科

*8久留米高専 本科, 現 熊本大学

*9久留米高専 名誉教授

電磁現象を利用した鋼管外面欠陥検査手法の検討	後 藤 雄 治*2	第4回全国高専テクノフォーラム —「産学官連携・地域連携を通じた共 同教育」— (2006年7月)
固体高分子形燃料電池の計測技術とモデリ ングに関する研究開発	{ 泉 政 明*4 後 藤 雄 治*2	NEDO燃料電池・水素技術開発成果報 告会 — 燃料電池技術開発 — (2006 年8月)
電磁現象を利用したニッケルメッキ厚み測 定手法の検討	{ 松 岡 綾*9 後 藤 雄 治*2	(社)実践教育訓練研究協会, 実践教育研 究発表会 (2006年9月)
直流・交流磁場を併用した鋼板裏面電磁検 査手法の検討	{ 後 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*7	(社)実践教育訓練研究協会, 実践教育研 究発表会 (2006年9月)
交流磁界を利用した熱交換器鋼管の外面欠 陥検出	{ 木 屋 敦 詞*1 後 高 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*7	(社)実践教育訓練研究協会, 実践教育研 究発表会 (2006年9月)
固体高分子形燃料電池を対象とした非接触 による発電電流分布測定手法の検討	{ 芹 田 和 則*8 白 水 啓 奨*10 古 賀 香 菜*3 後 藤 子 治*2 泉 雄 政 明*4	(社)実践教育訓練研究協会, 実践教育研 究発表会 (2006年9月)
固体高分子形燃料電池内部の水移動現象に 関する研究	{ 泉 政 明*4 眞 拓 郎*4 小 瀬 信 輔*4 後 野 本 輔 治*2 藤 雄 治*2	(社)日本機械学会2006年度次大会 (2006年9月)
電磁気現象を利用したニッケルメッキ厚み 測定手法の検討	{ 松 岡 綾*9 後 高 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*7	(社)日本非破壊検査協会, 表面探傷分科 会 (2006年11月)
マイナーループを考慮した三次元非線形磁 界解析による直流磁化ECTの数値解析評価	{ 後 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*7	(社)日本非破壊検査協会, 表面探傷分科 会 (2006年11月)
3次元交流非線形渦電流磁界解析によるパ ルス渦電流探傷試験法の検討	{ 木 屋 敦 詞*1 後 高 藤 雄 治*2 小 井 戸 純 司*11	(社)日本非破壊検査協会, 表面探傷分科 会 (2006年11月)
電磁気を使用したニッケルメッキの厚み測 定手法の提案	{ 松 岡 綾*9 後 高 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*7	(社)日本非破壊検査協会, 表面探傷シン ポジウム (2007年1月)
直流磁化渦電流探傷試験法を使用した鋼板 裏面欠陥検査 — マイナーループを考慮し た三次元磁界解析と検証実験による検討 —	{ 後 藤 雄 治*2 高 橋 則 雄*7	(社)日本非破壊検査協会, 表面探傷シン ポジウム (2007年1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)

ロボットコンテストによる地域貢献と学習
効果測定

熊 丸 憲 男

実践教育 電気・電子・情報系ジャー
ナル, Vol. 22, No. 1 (2007年3月)学生実験の実施方法工夫と口頭試問導入に
よる学科教員負担軽減と学生のモチベーシ
ョン向上{ 江 崎 昇 二
河 津 秀 隆
寺 尾 慎 寿論文集「高専教育」30号 (2007年3月)
pp.389-394

*1久留米高専 専攻科

*2現 大分大学

*3久留米高専 専攻科, 現 NTTドコモ

*4北九州市立大学

*5久留米高専 材料工学科

*6久留米高専 名誉教授

*7岡山大学

*8久留米高専 研究生, 現 久留米高専 専攻科

*9久留米高専 本科, 現 熊本大学

*10久留米高専 本科, 現 旭化成

*11日本大学

Vibration Analysis of a Framework Structure by Generalized Transfer Stiffness Coefficient Method

{ Yasuhiro BONKOBARA
Takahiro KONDOU
Takashi AYABE
Myung-Soo CHOI

Journal of System Design and Dynamics Vol. 1 (2007), No. 1, pp73-84

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
ロボットコンテストにおける学習効果測定手法の提案と実験結果	{ 熊 丸 憲 男 中 野 明	日本産業技術教育学会 第49回全国大会 (2006年8月)
小学校におけるロボットコンテストの実施と学習効果測定	{ 熊 丸 憲 男 中 野 明 荒 牧 重 登 (福 岡 大 学)	2006実践教育研究発表会 (2006年9月)
小学校におけるロボットコンテストでの情報支援について	{ 熊 丸 憲 男 中 野 明	情報処理学会 第69回全国大会 (2007年3月)
局所的性質の定量化によるメディアン適応予測の幾何学的解析	{ 杉 本 憲治郎*1 黒 木 祥 光	平成18年度電気関係学科九州支部連合大会 (2006年9月)
H.264/AVCにおける任意形状画像のパディング法	{ 廣 重 徹*2 黒 木 祥 光	平成18年度電気関係学科九州支部連合大会 (2006年9月)
指紋画像の高精度特異点抽出	{ 許 田 霄 (早 稲 田 大 学) 鎌 黒 清一郎 (早 稲 田 大 学)	平成18年度電気関係学科九州支部連合大会 (2006年9月)
局所的性質の定量化による Median Edge Detector の幾何学的解析	{ 杉 本 憲治郎*1 黒 木 祥 光	電子情報通信学会技術研究報告, vol. 106, no.397 (2006年11月)
複数の直交基底を用いた最近傍コードワードの高速探索法	{ 黒 木 祥 光 高 橋 幸太郎 上 義 史 (九州システム情報技術研究所) 鎌 田 清一郎 (早 稲 田 大 学)	電子情報通信学会技術研究報告, vol. 106, no.397 (2006年11月)
Design of Piecewise Linear LQ Control by Multivariable Circle Criterion for Dynamic Positioning System	赤 坂 則 之	SICE-ICASE International Joint Conference (2006年10月)
Design of Piecewise Linear LQ Control by Multivariable Circle Criterion for Dynamic Positioning System	赤 坂 則 之	The 32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON' 2006年11月)
高等専門学校等を活用した中小企業人材育成事業—久留米工業高等専門学校の取り組み	赤 坂 則 之	中小企業庁人材支援シンポジウム, 平成19年2月28日, 経済産業省
複素ニューロンの選択的出力による連想記憶の想起能力向上	{ 小 田 幹 雄 宮 島 廣 美 (鹿 児 島 大 学)	電気関係学会九州支部連合大会 (2006年9月)
複素ニューラルネットワークのハードウェア化	{ 荒 木 祐 介 (専 攻 科) 小 田 幹 雄	電子情報通信学会九州支部学生会講演会 (2006年9月)
複素ニューラルネットワークによる連想記憶	{ 池 上 智 昭 (専 攻 科) 小 田 幹 雄	電子情報通信学会九州支部学生会講演会 (2006年9月)
学生実験の実施方法工夫と口頭試問導入による学科教員負担軽減と学生のモチベーション向上	{ 江 崎 昇 二 河 津 秀 慎 寺 尾 隆 寿	平成18年度高専教育講演論文集 (2006年8月) pp.249-250
二重倒立振子の安定化制御におけるディザを用いた非線形摩擦補償法	{ 村 島 利 継 (専 攻 科) 酒 見 真 志 (専 攻 科) 江 崎 昇 二	日本機械学会九州学生会第38回卒業研究発表講演会論文集 (2007年3月) pp. 13-14

*1専攻科生, 現 早稲田大学

*2専攻科生, 現 九州大学

海洋温度差発電プラントのインターネットを用いた遠隔制御	{ 山後江杉池 上藤頭中 義成剛政 広聡人直之俊*1	平成18年度電気関係九州支部連合大会 (2006年9月)
海洋温度差発電プラントのインターネットを用いた計算機シミュレータ作成	{ 山後杉有池 上藤馬村頭 義剛博政成 広聡直史之俊*1	第25回計測自動制御学会九州支部学術 後援会 (2006年12月)
DCモータの自己同期現象 (非線形固有モードによる検討) Self-Synchronized Phenomena of DC Motors (Investigation by Nonlinear Modes)	{ 森近綾 藤原部 博孝康 輝広博隆	(九 州 大 学) 日本機械学会機械力学・計測制御部門 講演会論文集 (CD-ROM), Vol. 2006 Page. ROMBUNNO. 146 (2006)
一般化伝達剛性係数法を利用した骨組構造物の最適設計 Optimal Design of Frame Structure Using Generalized Transfer Stiffness Coefficient Method	{ 尾盆子原綾 大康孝 輔博広隆 CHOI Myung-Soo	(九 大 大 学 院) (九 州 大 学) (九 州 大 学) (麗 水 大)

日本機械学会機械力学・計測制御部門
講演会論文集 (CD-ROM), Vol. 2006
Page. ROMBUNNO. 133 (2006)

生 物 応 用 化 学 科

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻, 号 (年・月)
Reactive vacuum vapor deposition of aluminum oxide thin films by an air-to-air metallizer	{ 伊藤小他 藤林敏郎 義文郎	(三 菱 重 工) J. Vac. Sci. Technol. A24(4), Jul/Aug, 939-940 (2006)
Effects of deposition conditions on gas-barrier performance of SiOxNy thin films formed via ion-beam-assisted vapor deposition	{ 伊藤小他 藤林敏郎 義文郎	(三 菱 重 工) J. Vac. Sci. Technol. A24(2), Mar/Apr, 223-228 (2006)
Synthesis of Polyimides Having Dendritic Side Chains	Yusuke Tsuda	Journal of Northwest Normal University, Vol. 42, No. 28, pp. 144-145 (2006年7月)
Soluble Polyimides Based on Diaminobenzoic Acid Alkylester	{ Yusuke Tsuda Manami Kojima*2 Jae Min OH	Polymer Journal, Vol. 38, No. 10, pp. 1043-1054 (2006年10月)
When Does an Intermediate Become a Transition State? Degenerate Isomerization without Competing Racemization during Solvolysis of (S)-1-(3-Nitrophenyl)ethyl Tosylate	{ Yutaka Tsuji John P. Richard	(University at Buffalo SUNY) Journal of the American Chemical Society, Vol. 128 pp17139-17145 (2006年)
Self-assembled Fluorescent Hexaazatriphenylenes That Act as a Light-harvesting Antenna	{ Tsutomu Ishii Koh-ichi Murakami Yusuke Imai Shuntaro Mataka	(九 州 大 学) (産 総 研) (九 州 大 学)
New Electron-transporting and Hole-blocking Material based on Hexaazatriphenylenes with Six Aromatic Groups	{ Tsutomu Ishii Naoki Matsumoto Tomoyuki Hirayama Sumio Yamasaki Masataka Yamasaki Hiroshi Tanabe Kazunori Ueno Shuntaro Mataka	(九 州 大 学) (九 州 大 学) (九 州 産 業 大 学) (キヤノン) (キヤノン) (キヤノン) (九 州 大 学)

Journal of the Organic Chemistry, Vol. 71, No. 28, pages 5752-5760 (2006年7月)

Revue Roumaine de Chimie Vol. 5, No. 7-8, pages 649-652 (2006年7月)

*1佐賀大学

*2専攻科学生, 現 日東電工株

- Microarray Analysis of Gene Expression at Initial Stages of Rice Seed Development
 { Hiroaki Kondou (BioEngineering, Nagaoka Univ. Tech.)
 Hisako Ooka
 Hitomi Yamada (NIAS)
 Kouji Satoh (NIAS)
 Shoshi Kikuchi (NIAS)
 Yoshinori Takahara (BioEngineering, Nagaoka Univ. Tech.)
 Kouji Yamamoto (BioEngineering, Nagaoka Univ. Tech.)
 Breeding Science, Vol. 56, No. 3, 235-242, (2006年10月)
- 雑草及び剪定枝を用いた堆肥中のセルロース分解菌の研究
 { 中 嘉 裕 之
 石 橋 直 樹
 野 崎 佳 奈
 (仙共栄資源管理センター小郡)
 久留米工業高等専門学校紀要第22巻第1号 p27-32 (2006年9月)
- 親水性架橋部位を有する反応性高分子ゲルの設計
 { 渡 邊 勝 宏
 田 中 哲 夫
 森
 久留米工業高等専門学校紀要, 第21巻2号 (平成18年5月)
- Geometrical correspondence identified and a new interaction unit suggested in striated muscle.
 Michiko Nosaka
 J. Theoretical Biology, Vol. 238 464-473 (2006)

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
ゴムの基本特性	森 哲 夫	久留米地域若手リーダーゴム技術者人材育成講座 (平成18年11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*1 小 嘉 愛 美	第55回高分子学会年次大会・名古屋国際会議場 (2006年5月)
液晶配向膜材料への可溶性ポリイミドの応用	津 田 祐 輔	技術情報協会セミナー・東京 (2007年7月)
Synthesis of Polyimides Having Dendric Side Chains	津 田 祐 輔	16th International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers, Lanzhou, China (2006年7月)
ゴムの試験方法 I	津 田 祐 輔	久留米地域若手リーダーゴム技術者人材育成講座 (2006年11月)
可溶性ポリイミドの合成と液晶配向膜への応用	津 田 祐 輔	技術情報協会セミナー・東京 (2006年12月)
マイクロリアクターを用いた油脂の酵素的加水分解反応	泉 本 英 次	神戸大学セミナー「バイオエンジニアリングの最前線」(2007年1月)
電子吸引性置換基を持つ 1-Phenylethyl Tosylates のソルポリシス	{ 辻 宮 豊 永 崎 有 功*2 村 野 由 佳*3 上 香 菜*4 Richard John (ニューヨーク州立大学バッファロー校)	第18回基礎有機化学連合討論会 (第36回構造有機化学討論会・第56回有機反応化学討論会) (平成18年10月)
拡張したパイ電子系を持つ n 型有機半導体トリ (フェナントロリノ) ヘキサアザトリフェニレンの1次元自己集積化	{ 石 井 努 桑 原 廉 枋 (九 州 大 学) 矢 熊 建 太 郎 (九 州 大 学) 又 賀 駿 太 郎 (九 州 大 学)	第55回高分子討論会 (平成18年9月)
1次元自己集積型 n 型有機半導体・トリ (フェナントロリノ) ヘキサアザトリフェニレンの創製	{ 石 井 努 平 島 亮 一 (九 州 大 学) 桑 原 廉 枋 (九 州 大 学) 矢 熊 建 太 郎 (九 州 大 学) 又 賀 駿 太 郎 (九 州 大 学)	第18回基礎有機化学連合討論会 (平成18年10月)

*1専攻科学生, 現 日東電工株

*2専攻科学生

*3本科学学生, 現 九州大学

*4本科学学生, 現 三洋化成工業

オクタン中で棒状に自己集合した会合体からの小角 X 線散乱	{ 工藤 泰也 (北九州市立大学) 鄭 然 (北九州市立大学) 石井 和 (北九州市立大学) 櫻井 朗 (北九州市立大学)	第55回高分子討論会 (平成18年9月)
Two-photon absorption characteristics of star-burst type porphyrin-benzothiadiazole derivatives (Poster Presentation)	{ Yoshiki Taguri (九州大学) Shin-ichiro Kato (九州大学) Motoyuki Shigeiwa (三菱化学) Shuuichi Maeda (三菱化学) Tsutomu Ishi-i (九州大学) Shuntaro Mataka (九州大学)	The 4th International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP-4) (2006, July)
Two-photon Excited Singlet Oxygen Generation of Porphyrin Derivatives having Benzothiadiazole Chromophores (Poster Presentation)	{ Motoyuki Shigeiwa (三菱化学) Tsutomu Ishi-i (九州大学) Yoshiki Taguri (九州大学) Shin-ichiro Kato (九州大学) Shuuichi Maeda (三菱化学) Shuntaro Mataka (九州大学)	International Conference on Organic Photonics and Electronics 2006, 9th International Conference on Organic Nonlinear Optics (2006, September)
Collection and structural analysis of NAC family genes	{ Hisako Ooka (NIAS) Kouji Satoh (NIAS) Doi Koji (NIAS) Kimihisa Tasaki (Tochigi AES) Hitomi Akiyama-Yamada (NIAS) Jung-Sook Lee (RDA) Koji Suzuki (Hitachi Soft.) Makoto Yamamoto (Hitachi Soft.) Koji Yamamoto (Nagaoka Univ. Tech.) Yoshinori Takahara (Nagaoka Univ. Tech.) Shoshi Kikuchi (NIAS)	The 7th International Symposium on "Global Renaissance by Green Energy Revolution" in Nagaoka Univ. of Tech. (2006年9月)
Analysis of Gene Expression at Initial Stages of Rice Seed Development	{ Hiroaki Kondou (BioEngineering, Nagaoka Univ. Tech.) Hisako Ooka (NIAS) Hitomi Yamada (NIAS) Kouji Satoh (NIAS) Kouji Yamamoto (BioEngineering, Nagaoka Univ. Tech.) Shoshi Kikuchi (NIAS) Yoshinori Takahara (BioEngineering, Nagaoka Univ. Tech.)	The 7th International Symposium on "Global Renaissance by Green Energy Revolution" in Nagaoka Univ. of Tech. (2006年9月)
様々な糖処理によって誘導されるニンジンの不定胚形成機構の解明	{ 中園 葵*1 工藤 尊裕*2 高大 規子 (長岡技術科学大学生物系)	第12回高専シンポジウム 東レ研修センター (静岡県) (2007年1月)
ホンモンジゴケの銅浄化作用の解明	{ 鶴田 功輔*2 大岡 久子	第12回高専シンポジウム 東レ研修センター (静岡県) (2007年1月)
コショウランのDNA抽出法の検討	{ 秋吉 茂年*3 大岡 久美規 (長岡技術科学大学生物系)	第12回高専シンポジウム 東レ研修センター (静岡県) (2007年1月)
イチョウの研究	{ 甲斐 裕基*3 大岡 久子	第12回高専シンポジウム 東レ研修センター (静岡県) (2007年1月)
果実袋における鳥害防止効果の研究開発	{ 岡田 多恵*4 秋吉 茂年*3 深山 琴世*5 大江 久子 (江見製袋株式会社) 岡見 登吉	第12回高専シンポジウム 東レ研修センター (静岡県) (2007年1月)
海洋温度差発電海域における新たな海洋資源の開発ならびに海洋環境問題に関する生化学的研究	{ 中島 裕之 (佐賀大学) 大北 和村 (佐賀大学) 大北 武二 (佐賀大学) 大北 彦雄 (佐賀大学)	佐賀大学海洋エネルギー研究センター平成17年度全国共同利用研究成果発表会 (2006年10月)
剪定枝等を利用した優良堆肥化に関する研究	{ 石橋 直樹 (専攻科学生) 中野 直樹 (専攻科学生) 野崎 千尋 (専攻科学生)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)

*1本科学学生, 現 ダイキン工業株式会社

*2本科学学生, 現 広島大学

*3本科学学生, 現 専攻科学生

*4本科学学生, 現 中外製薬株式会社

*5本科学学生, 現 ナリス化粧品

沖縄近海における海洋微生物の研究	澤中池大北鳥 田上和村井 仁裕康武二昭 美之彦雄美 (専攻科学生) (佐賀大学) (佐賀大学) (佐賀大学)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)
剪定枝等を用いた優良堆肥化の研究	石中野 橋崎 直裕千 樹之尋 (専攻科学生) (南共栄資源管理センター小郡)	第9回化学工学会学生発表会 (西日本地区) (2007年3月)
ゴム分解リアクターの作成	金子宏 茂木和 渉*1	日本生物工学会18年度大会 (平成18年9月)
ゴム分解微生物の遺伝子解析	千々和歩美 茂木宏和 美*2	日本生物工学会18年度大会 (平成18年9月)
天然ゴム廃液分解微生物の固定化条件の検討	茂木宏和	平成18年度高専フォーラム (平成19年1月)
Geometrical correspondence identified and a new interaction unit suggested in striated muscle: the biological energy transducer	Michiko Nosaka	第7回国際シンポジウム21世紀COEプログラム「グリーンエネルギー革命による環境再生」(平成18年9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)

多合金系白鉄の機械的性質並びに熱間摩耗特性に及ぼす炭素とバナジウムの影響	橋本光生 西本泰行 笹原信也 松原宏 (株)フジコ一 (新日鉄株) (名誉教授)	铸造工学 78巻, P.238-244 (2006年5月)
Magnetic Nondestructive Inspection of Retained Austenite in Cast Iron	Y.Gotoh K.Koga N.Sasaguri N.Takahashi (現大分大学) (専攻科) (岡山大学)	IEEE TRANSACTION ON MAGNETICS, VOL. 42, NO. 10, P. 3180-3182 (2006年10月)
多合金系白鉄の機械的性質並びに熱間摩耗特性に及ぼす炭素とクロムの影響	橋本光生 西本泰行 笹原信也 松原宏 (株)フジコ一 (新日鉄株) (名誉教授)	铸造工学 79巻, P.23-29 (2007年1月)
CBED-FEM 併用による半導体基板中の局所応力場の空間分布解析	奥山哲也	まてりあ, 第45巻第12号 (2006年12月)
静的ヤング率測定値を用いた焼結体の弾性変形解析	廣瀬徳豊 田見淳一 浅見 (都立航空高専) (都立産業技術研究センター)	材料試験技術, 第51巻第2号 (2006年4月)
焼結鋼のヤング率・引張強さと気孔率の関係およびそれら物性値間の相関について	廣瀬徳豊 田中見章 藤浅見淳一 (都立航空高専) (日産自動車) (都立産業技術研究センター)	日本機械学会論文集A編, 第72巻第716号 (2006年6月)
Hydrothermal Crystallization of Carbonate-Containing Hydroxyapatite Coatings Prepared by Radiofrequency-Magnetron Sputtering Method	Satoshi Nakamura (Tokyo Medical & Dental Univ.) Jun-ichi Hamagami Kimihiro Yamashita (Tokyo Medical & Dental Univ.)	J. Biomed. Mater. Res. Part B: Appl. Biomater., 80B, pp.102-106 (2007)
Micropattern of Colloidal Crystal by Using Electrophoretic Deposition Process with Three-Electrodes System	Jun-ichi Hamagami Kazuhiro Hasegawa (Tokyo Metropolitan Univ.) Kiyoshi Kanamura (Tokyo Metropolitan Univ.)	Key Engineering Materials, 320, pp.171-174 (2006)

*1専攻科学生, 現 九州大学

*2専攻科学生, 現 中外製薬株式会社

3D Particle Assembly in Micro-Scale by
Using Electrophoretic Micro-Fabrication
Technique

{ Jun-ichi Hamagami
Kazuhiro Hasegawa
(Tokyo Metropolitan Univ.)
Kiyoshi Kanamura
(Tokyo Metropolitan Univ.)

Key Engineering Materials, 314, pp.7-12 (2006)

Factors Influencing Solidification Structure and Mechanical Properties of P-B Cast Iron for Marine Engine Cylinder Liner

{ T. Yoshida (Toa Koki Co., Ltd.)
K. Yamamoto (Toa Koki Co., Ltd.)
S. Higashi (Toa Koki Co., Ltd.)
K. Ogi (Oita National College of Technology)

Proc. of Eighth International Symposium on the Science and Processing of Cast Iron, pp.15-22 (2006)

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
多合金系白鉄の焼戻しに伴う硬さ及び残留オーステナイト量の変化	{ 岩山 大 悟 (専攻科学生) 笹本 信 郁 (名誉教授) 松原 宏三 (香春製鋼所) 横溝 安 雄	第59回日本铸造工学会九州支部講演大会 (2007年7月)
多合金系白鉄の焼戻しに伴う硬さ及び残留オーステナイト量の変化	{ 岩山 大 悟 (専攻科学生) 笹本 信 郁 (名誉教授) 松原 宏三 (香春製鋼所) 横溝 安 雄	日本铸造工学会第149回全国講演大会 (2007年10月)
(CaO) _x ・(Fe ₂ O ₃) _y 酸化物による実際の湧水でのひ素吸着試験	{ 松久 雪 亮 太郎 (本科5年) 馬重 保 甚 一郎 (本科5年) 範越 幹 男 (本科5年) 坂松 浩 気 (本科5年) 秋本 皓 波 (本科5年) 本 雅 俊 (本科5年) 本 繁 和 (本科5年)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)
(CaO) _x ・(Fe ₂ O ₃) _y 酸化物のひ素吸着に及ぼす他イオンの影響	{ 馬久 渡 甚 一郎 (本科5年) 馬重 保 幹 男 (本科5年) 範越 幹 男 (本科5年) 坂松 皓 気 (本科5年) 秋本 皓 波 (本科5年) 本 雅 俊 (本科5年) 本 繁 和 (本科5年)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)
ひ素イオンの吸着機能を持つ CaO・Fe ₃ O ₄ 系酸化物の開発	{ 市久 川 剛 士 (本科5年) 馬重 保 甚 一郎 (本科5年) 範越 幹 男 (本科5年) 坂松 皓 気 (本科5年) 秋本 皓 波 (本科5年) 本 雅 俊 (本科5年) 本 繁 和 (本科5年)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)
燃焼合成によるモリブデンシイサイドの合成	{ 藤伊 章 裕 (専攻科学生) 江馬 隼 隆 (専攻科学生) 馬重 由 紀 (本科5年) 範越 幹 男 (本科5年) 坂松 俊 之 (本科5年) 秋本 浩 気 (本科5年)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)
Fe ₃ O ₄ 粉体のメカニカルミリングと焼結挙動	{ 伊藤 隼 隆 (専攻科) 馬重 幹 男 (専攻科) 吉重 俊 之 (専攻科) 久保 浩 気 (専攻科) 保 甚 一郎 (専攻科)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)
Si _{1-x-y} Ge _x C _y 半導体の Si 基板上への薄膜成長に関する研究	{ 江池 崎 哲 也 (現 九大総理工院生) 奥 田 山 哲 也 (現 九工大学生)	平成18年度合同学術講演会大会 (日本金属学会九州支部) (2006年6月)

$\text{Cu}_{0.05}\text{Ti}_{1.25}\text{Mo}_6\text{Se}_8$ シェベレル構造フォノン ングラス熱電変換材料の基礎研究	{ 堤 史 明 奥 山 哲 也	(専 攻 科 学 生)	平成18年度合同学術講演会大会 (日本 金属学会九州支部) (2006年6月)
$\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y/\text{Si}$ 半導体の薄膜成長および界面 構造に関する研究	奥 山 哲 也		「SAGAシンクロトロンとアカデミア ー九州における学術・産学共同利用を 目指して」シンポジウム (2006年9 月)
RFスパッタリングによって作製された $\text{Si}_{1-x-y}\text{Ge}_x\text{C}_y/\text{Si}$ 半導体界面の微細構造	{ 奥 山 崎 哲 也 江 崎 有 哲 也 内 城 寺 隆 一 白 井 志 郎	(現 九大総理工院生) (佐賀工技センター) (佐賀工技センター)	日本金属学会2006年秋期 (第139回) 大会学術講演会 (2006年9月)
$\text{Cu}_{0.05}\text{Ti}_{1.25}\text{Mo}_6\text{Se}_8$ フォノンングラス熱電材 料の作製法に関する研究	{ 堤 尾 史 明 長 崎 和 哉 山 崎 有 司 大 崎 邦 倫 奥 崎 哲 也	(専 攻 科 学 生) (現:西日本高速道路)	平成18年度応用物理学会九州支部学術 講演会 (2006年11月)
TiNiSn 基ハーフホイスラー合金の In, Sb 原子置換に伴う熱伝導率特性	{ 佐々木 孔 英 長 尾 和 哉 奥 山 哲 也	(現 佐大学生) (現 西日本高速道路)	第12回高専シンポジウム (2007年1月)
Co-Ni 合金電析に及ぼすホウ酸の影響	{ 松 田 高 好 矢 野 正 明	(専 攻 科 学 生)	西日本腐食防食協会第155回例会 (2006年12月)
電気泳動法を用いたコロイド結晶の作製と 光学特性	{ 吉 村 浩 一 濱 上 寿 一	(本 科 5 年)	日本セラミックス協会 第19回秋季シ ンポジウム, p.93 (2006年9月19日~ 21日, 山梨大学)
電気泳動法を利用したマテリアルプロセッ シング (招待講演)	濱 上 寿 一		新潟大学学術講演会 (2006年9月22日, 新潟大学)
めっき法によるオプティカル水素センサの 作製と評価	{ 森内 将 来 濱 堀 大 輔 栗 原 一 丈 高 田 雅 介	(本 科 5 年) (本 科 4 年) (長 岡 技 科 大) (長 岡 技 科 大)	日本セラミックス協会九州支部・耐火 物技術協会九州支部共催 平成18年度 秋季合同研究発表会, pp.22-25 (2006 年12月15日 (金) 長崎大学)
電気泳動法を用いたアパタイトコーティン グ膜の作製と <i>in vitro</i> 評価	{ 松 岡 孔 明 岸 本 上 一 濱 上 寿 一	(本 科 5 年) (本 科 4 年)	日本セラミックス協会九州支部・耐火 物技術協会九州支部共催 平成18年度 秋季合同研究発表会, pp.58-61 (2006 年12月15日 (金), 長崎大学)
電気泳動法によるシリカコロイド結晶の作 製とその光学特性	{ 吉 村 浩 一 濱 上 田 厚 一 松 田 厚 範	(本 科 5 年) (本 科 5 年) (豊 橋 技 科 大)	日本セラミックス協会九州支部・耐火 物技術協会九州支部共催 平成18年度 秋季合同研究発表会, pp.54-57 (2006 年12月15日 (金), 長崎大学)
電気泳動法によるアパタイト膜の作製と評 価	{ 松 岡 孔 明 濱 上 越 幹 一 馬 越 幹 一	(本 科 5 年)	第12回 高専シンポジウム (沼津), p. 109 (2007年1月27日, 東レ総合研修セ ンター)
電気めっき法と無電解めっき法を用いたオ プティカル水素ガスセンサの作製と評価	{ 森濱 将 来 上 越 幹 一 栗 原 雅 介 高 田 雅 介	(本 科 5 年) (本 科 5 年) (長 岡 技 科 大) (長 岡 技 科 大)	第12回 高専シンポジウム (沼津), p. 89 (2007年1月27日, 東レ総合研修セ ンター)
電気泳動法によるコロイド結晶膜の作製と 評価	{ 吉 村 浩 一 濱 上 越 幹 一 馬 越 幹 一 松 田 厚 一	(本 科 5 年) (本 科 5 年) (豊 橋 技 科 大)	第12回 高専シンポジウム (沼津), p. 108 (2007年1月27日, 東レ総合研修セ ンター)
めっき法を用いたパラジウムオプティカル 水素ガスセンサの作製とその評価	{ 濱 上 寿 一 森 原 将 来 栗 原 雅 介 高 田 雅 介	(本 科 5 年) (本 科 5 年) (長 岡 技 科 大) (長 岡 技 科 大)	日本セラミックス協会2007年年会, p. 11 (2007年3月21-23日, 武蔵工業大 学)

Ni 基超合金精密鑄造材の組織及び機械的特性	{ 竹 内 裕 久 (九 州 大 学) Nader El-Bagoury (九 州 大 学) 松 葉 透 (九 州 大 学) 山 本 都 (九 州 大 学) 宮 原 桂 (大 分 高 専)	第59回日本鑄造工学会九州支部講演大会, (平成18年7月)
高周波ヒュージングによる Ni-Cr-Si 系自合金溶射皮膜の組織制御	{ 藤 田 宗一郎 (九 州 大 学) 竹 野 宏 (第一高周波工業株) 中 野 宏 佑 (九 州 大 学) 山 本 都 郁 (九 州 大 学) 宮 原 桂 (大 分 高 専)	第59回日本鑄造工学会九州支部講演大会, (平成18年7月)
Factors Influencing Solidification Structure and Mechanical Properties of P-B Cast Iron for Marine Engine Cylinder Liner	{ T. Yoshida (Toa Koki Co., Ltd.) K. Yamamoto (Toa Koki Co., Ltd.) S. Higashi (Toa Koki Co., Ltd.) K. Ogi (Oita National College of Technology)	Eighth International Symposium on the Science and Processing of Cast Iron, (2006年10月)
Thermo-Calc を援用した高合金白鑄鉄の凝固組織予測と熱処理特性評価	{ 山 本 桂 郁 (大 分 高 専)	日本鉄鋼協会第153回春季講演大会, (平成19年3月)
Ni 基超合金鑄造材の凝固組織および機械的特性	{ 宮 原 広 郁 (九 州 大 学) 山 本 桂 郁 (大 分 高 専)	日本金属学会2007年春期大会
Pt-Ti 合金系 PEFC 用電極触媒の研究	{ 川 副 雄 大 (九 州 大 学) 田 中 貴 士 (九 州 大 学) 黒 木 修 大 (九 州 大 学) 周 場 致 一 (九 州 大 学) 草 岡 靖 一 (九 州 大 学) 寺 々 木 一 剛 (九 州 大 学)	電気化学会第73回大会 (2006年4月)
PEFC 電極触媒の担体からの材料設計	{ 佐々木 一大 成 (九 州 大 学) 岩 倉 大 貴 典 (九 州 大 学) 黒 木 田 志 雲 (九 州 大 学) 野 川 副 雄 大 (九 州 大 学) 川 高 田 大 平 司 (九 州 大 学) 周 進 矢 中 憲 修 (九 州 大 学) 進 田 場 靖 一 (九 州 大 学) 草 岡 衡 平 (九 州 大 学) 寺 伊 藤 (九 州 大 学)	第13回燃料電池シンポジウム (2006年5月)
固体高分子形燃料電池に用いられる Pt/CNF 界面の解析	{ 周 佐々木 致一 霆成 (九 州 大 学)	第43回化学関連支部合同九州大会 (2006年7月)
炭素ナノ繊維を用いた固体高分子形燃料電池電極触媒に関する研究	{ 岩 倉 大 典 (九 州 大 学) 野 田 志 雲 (九 州 大 学) 高 田 副 雄 大 (九 州 大 学) 進 矢 中 憲 修 (九 州 大 学) 白 鳥 靖 一 (九 州 大 学) 草 岡 一 剛 (九 州 大 学) 寺 々 木 一 剛 (九 州 大 学)	第43回化学関連支部合同九州大会 (2006年7月)
固体高分子形燃料電池用 Pt-Ti 合金系電極触媒の研究	{ 川 副 雄 大 (九 州 大 学) 田 中 貴 士 (九 州 大 学) 黒 木 修 大 (九 州 大 学) 周 場 致 一 (九 州 大 学) 草 岡 靖 一 (九 州 大 学) 寺 々 木 一 剛 (九 州 大 学)	第43回化学関連支部合同九州大会 (2006年7月)

構造制御炭素ナノ繊維担体を用いた PEFC 電極触媒の開発	{ 野岩 田 志 雲 (九 州 大 学) 岩 倉 大 康 典 平 (九 州 大 学) 高 田 副 雄 大 司 (九 州 大 学) 進 矢 貴 大 司 士 憲 介 (九 州 大 学) 黒 周 鳥 衡 一 (九 州 大 学) 白 草 場 藤 岡 一 平 剛 成 (九 州 大 学) 伊 寺 伊 靖 一 (九 州 大 学) 佐 々 木 木 (九 州 大 学)	第47回電池討論会 (2007年11月)
PEFC 電極触媒の白金/炭素ナノ繊維界面構造解析	{ 周 佐 致 憲 (九 州 大 学) 佐 々 木 一 成 (九 州 大 学)	第32回固体イオニクス (2006年11月)
固体高分子形燃料電池における触媒/担体界面の微細構造	{ 周 佐 致 憲 (九 州 大 学) 佐 々 木 一 成 (九 州 大 学)	電気化学会第74回大会 (2007年3月)
酸化物担体を用いた PEFC 電極触媒に関する研究	{ 正 生 明 宏 (九 州 大 学) 黒 木 貴 士 大 憲 介 (九 州 大 学) 川 副 雄 大 司 士 憲 介 (九 州 大 学) 周 鳥 衡 一 (九 州 大 学) 白 藤 岡 一 平 剛 成 (九 州 大 学) 伊 寺 伊 靖 一 (九 州 大 学) 佐 々 木 木 (九 州 大 学)	電気化学会第74回大会 (2007年3月)

一 般 科 目 数 学

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻, 号 (年・月)
位相空間のなす圏上の連続関手の拡張に関する研究報告	酒 井 道 宏	久留米高専紀要第22巻第1号 (平成18年9月)
位相空間のなす圏上の連続関手の拡張に関する総合報告	酒 井 道 宏	久留米高専紀要第22巻第2号 (平成19年5月)
2橋絡み目のQ多項式のチェビシェフ多項式による表示	中 坊 滋 一	久留米高専紀要第22巻第2号 (平成19年5月)

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
位相空間のなす圏上の連続関手の拡張について	{ 岩 瀬 則 夫 (九 州 大 学) 酒 井 道 宏	日本数学会 九州支部例会 (平成18年10月)
Functors on the category of quasi-fibrations	酒 井 道 宏	L-S カテゴリーシンポジウム (平成18年11月)
Functors on the category of quasi-fibrations	酒 井 道 宏	福岡大学トポロジーセミナー (平成18年11月)
2 橋絡み目の Kauffman 多項式の Chebyshev 多項式による展開	中 坊 滋 一	東北結び目セミナー (平成18年11月)
Q-polynomial of 2-bridge links in terms of Chebyshev polynomials	中 坊 滋 一	The 3rd East Asian School of Knots, Links and Related Topics (平成19年2月)
2橋絡み目のQ多項式の Chebyshev 多項式による表示	中 坊 滋 一	日本数学会年会 (平成19年3月)

一 般 科 目 文 科 外国語

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻, 号 (年・月)
IT 機器を活用した授業実践について	江 島 孝 則	久留米高専紀要, Vol.21 pp.33-38 (平成18年5月)
英字新聞を活用した情報伝達活動の英語授業実践	金 城 博 之	久留米高専紀要, Vol.22 No.2 pp.45-52 (平成19年5月)
日系人とグローバリゼーション (共訳) (原題 <u>New Worlds, New Lives</u> , Stanford Univ., 2002)	中 畑 義 明	人文書院 (平成18年6月)

一 般 文 科 体 育

論文・著書等題目	氏 名	発表した誌名, 巻, 号 (年・月)
イラストでみる最新スポーツルール2006	明 官 秀 隆*1	大修館書店, (2006年4月)
パークゴルフで脳の老化防止を (パークゴルフのスポーツ科学Vol. 11)	明 官 秀 隆*1	IPGA (国際パークゴルフ協会) ニュース, 62号 (2006年4月)
パークゴルフで骨を鍛える (パークゴルフのスポーツ科学Vol. 12)	明 官 秀 隆*1	IPGA (国際パークゴルフ協会) ニュース, 63号 (2006年6月)
夏は「熱中症」にご注意を! (パークゴルフのスポーツ科学Vol. 13)	明 官 秀 隆*1	IPGA (国際パークゴルフ協会) ニュース, 64号 (2006年8月)
パークゴルフで「体力」づくり (パークゴルフのスポーツ科学Vol. 14)	明 官 秀 隆*1	IPGA (国際パークゴルフ協会) ニュース, 67号 (2007年1月)
パークゴルフで快眠ライフを! (パークゴルフのスポーツ科学Vol. 15)	明 官 秀 隆*1	IPGA (国際パークゴルフ協会) ニュース, 68号 (2007年3月)
進化するナンバ・常歩剣道	木 寺 英 史	MCプレス (2006年4月)
剣士なら知っておきたいからだのこと	{ 木 寺 英 史 小 田 伸 午 (京 都 大 学)	大修館書店 (2006年5月)
スポーツ化した剣道	木 寺 英 史	『スポーツの百科事典』丸善出版 (2007年1月)
ナンバと常歩	木 寺 英 史	『スポーツの百科事典』丸善出版 (2007年1月)
立位姿勢の重要性	木 寺 英 史	『スポーツの百科事典』丸善出版 (2007年1月)

一 般 科 目 物 理 ・ 化 学

講 演 題 目	氏 名	発表した学会・講演会名 (年・月)
高専の特色を生かした地域教育界への貢献 — SPPを利用した地元高校生及び地元教員 に対するX線・放射線に関する実習講座の 実施 —	越 地 尚 宏	(社)日本工学教育協会 工学・工業教育 研究講演会 (2006年7月)
演示実験や実習に利用可能な可搬型蛍光X 線分析装置の試作 (1)	{ 越 地 尚 宏 西 村 健 介*2	(社)日本工学教育協会 工学・工業教育 研究講演会 (2006年7月)
The Academic Contribution to the local area through the MEXT's SPP: The Training Courses for High School Teachers and Stu- dents in the Field of Radiation, SEM and X- Ray	N. Koshiji	International Conference on Physics Education 2006 (2006年8月)

*1 旭川高専, 現 久留米高専

*2 久留米高専専攻科学生, 現 丸東産業㈱

平成18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
ドライホブ切り時の切りくず噛み込みに関する研究	モハマド シュハイミ
太陽熱を利用した海水淡水化蒸留器の屋外実験	小野田 顕
鳥人間への挑戦	瀬 崎 朋 也
太陽熱を利用した多重効用型海水淡水化蒸留器の研究	{ 田 中 一 生 中 尾 征 嵩
超電導ロータリアクチュエータの特性評価と制御に関する研究	五 通 大 輔
ハンド付ロボットアームのバイラテラル制御システムについて	平 島 治 樹
エコランカーの車体構造と動力伝達性能の向上	{ 緒 方 智 博 三 吉 源 治
エコランカーの電子制御システムと熱効率の向上	{ 加 藤 貴 旭 二 江 貴 也
エコランカーのカウルと空力性能の向上	{ 佐 藤 寛 史 松 野 寛 史
F-CON の摩擦特性に関する基礎研究	馬場園 拓 哉
ボルト締付け過程における F-CON の座面摩擦特性に関する研究	植 村 紫 帆
ホブ切りの加工限界に関する調査研究	{ 遠 藤 一 聡 柏 佳 介
軸直角方向振動下におけるボルト締結体の疲労強度に及ぼすボルトサイズの影響	古 川 智 裕
ボルト・ナット締結体の新しい締付け法の開発	井 上 智 太
繊維強化複合材料の切欠き部の応力状態に関する研究	{ 田 中 裕 介 ウイマラスーリャ サナット
繊維強化複合材料の応力集中係数の推定に関する研究	{ 今 泉 親 等 弥 吉 正 道
水冷媒を用いた冷凍システムの研究	{ 馬 場 昭 嘉 アハメド カマルル
生体の凍結・解凍過程に関する研究	{ 石 川 寛 明 佐 藤 福 也
ホブ切り歯車の歯形誤差に関する研究	{ 秋 吉 真 理 武 島 裕 樹
NC 加工による形状精度に関する研究	{ 江 藤 博 紀 吉 原 良 祐
穴あきせっけん用ホルダーのプロダクト・デザイン (1)	{ 尾 崎 竜 治 吉 川 大 輔
穴あきせっけん用ホルダーのプロダクト・デザイン (2)	{ 大 村 弘 樹 友 永 悦 郎
フレッチング損傷に関する研究	{ 井 上 晶 博 江 口 慶 太
在宅リハビリテーション支援装置の検討と実用化に関する研究	山 田 佑 資
男子用トイレの尿漏れ吸収回収装置の開発	{ 稲 員 康 浩 北 島 啓 司
仮想空間を使ったバイラテラル制御システム	真 島 隆 志

電 気 電 子 工 学 科

題 目

氏 名

Windows パソコンを核とする X 線回折システムにおける GUI の作成

石 井 謙 介

短絡試験計測法の改善

{ 村 田 浩 樹
柳 田 太 一 郎

T-T, T-N 接地方式の性能比較

{ 高 松 英 哲
田 中 友 規

D 級デジタルアンプの総合特性改善

{ 中 島 一 厳
中 村 泰 治

低電圧電源での発光ダイオードの高効率高輝度駆動

鹿子嶋 悠

シミュレーションによる n チャネル MOS トランジスタ構造の最適化

{ 木 下 悟
濱 森 信 康

MC シミュレーションによる GaAs の電子輸送の解析

{ 中 村 真 吾
松 尾 美 樹

デジタル補聴器の装用試験装置の開発研究

{ 田 添 亮 一
羽 野 修

デジタル補聴器の特性制御とその動作の検証に関する研究

植 月 竜 馬

日常の安全を維持のための補助装置の開発

中 島 康 智

Web によるアンケートシステムの開発

{ 近 藤 洋 平
衷 藤 陽 信

ワンチップマイコンの教材作成

松 川 直 樹

レーザースペックル顕微鏡におけるデータ処理法の最適化に関する研究

嶋 田 拓 磨

レーザースペックル顕微鏡の植物観察・組織観察への応用

松 木 祐 介

レーザースペックル顕微鏡の画像処理における解像度の影響に関する研究

村 田 晃

イベント用ロボットの製作

{ 藤 本 光 助
原 卓 也

回路シミュレータによるパワーエレクトロニクスシステムの設計

{ 梶 原 佑 介
山 田 恭 輔

CMOS 集積回路内への OP アンプ実装と低電圧化

{ 荒 巻 雅 弘
植 村 卓 矢
久 保 山 和 博

オペアンプ設計の簡素化に関する研究

{ 黒 木 正 好
堤 本 洸 平

ガス遠隔監視システムにおける中継装置の試作

{ 久 保 康 朝
原 広 明

GPIB による自動計測装置のシステム構築

長 尾 和 哉

電磁現象を利用した裏面欠陥検査法

楠 田 竜 也

電磁現象を利用したニッケルメッキ厚み測定手法の検討

松 岡 綾

固体高分子形燃料電池の定常発電時における非接触電流測定法の提案

白 水 啓 奨

制 御 情 報 工 学 科

題 目

氏 名

エネルギー法による倒立振子の振り上げ制御

{ 酒 見 健 太
宮 原 悠 介

適応的動き補償予測に関する研究

{ 古 賀 昭 浩
三 井 宏 樹

映像転送における物体奥行検出に関する研究

{ 梶 原 佐 智
片 山 泰 輔

作問学習支援システムにおけるフィードバック機能の強化	堤 大 樹
公倍数の概念学習を目的とした発見的学習支援システムの作成 (九大)	日 隈 健 太
DHSS 法を用いた動きベクトルの高速探索法	内 川 智 樹
2D PCA を用いた独立成分分析による顔認識	田 中 祐 輝
独立成分分析を用いたマルチスペクトル画像の符号化	滝 澤 潤 一
独立成分分析を用いた動画像圧縮	福 富 正 弘
4 相式軸方向双歯対面形 Switched Reluctance Motor の特性改善	江 口 雅 邦
風力発電におけるエネルギー回収率評価の効率化と最適アルゴリズムの検討	行 本 聖 司
風力発電システム系統連携回路の試作	轟 淳
剛体の 3 次元運動シミュレーション	{ 矢羽田 将 友 岩 永 康 孝
自動果実袋掛け機の 4 次試作 (1) 結束・封止機構の再試作 (2) 機構の総合組立	上 野 泰 寛
大学におけるロボットコンテストの実施と学習効果測定	{ 久保田 洋 進 古 賀 ふ み
小学校におけるロボットコンテストの実施と学習効果測定	{ 中 西 粧 子 古 賀 祐 一郎
3Dモデルの固定 5 軸加工	松 尾 敬 太
3 次元 CAD による自動設計	秋 根 弘 貴
立体モデリングソフトウェアの開発	林 大 樹
空白情報を用いた文字認識に関する研究	山 田 健 弘
キーストロークによる個人認証に関する研究	川 野 祐 矢
スパースコーディングによる特徴抽出に関する研究	古 賀 尚 希
オーディオ帯域信号を用いたリモートコントロールシステムの製作	益 田 和 樹
自作ジャイロセンサを用いたヘリコプターの姿勢制御	大 塚 賢 人
数値計算言語 octave を用いたオーディオ評価システムの構築	下 川 大 輔
ファジィ推論による関数近似	林 佑 樹
自己組織化写像による参照ベクトルの順序づけ	服 部 誠 一
量子計算による進化アルゴリズムの構築	{ 丸 野 裕 史 吉 田 浩 之

生 物 応 用 化 学 科

題 目	氏 名
高性能二光子吸収特性を有する事故集合性トリ (フェナントリノ) ヘキサアザトリフェニレンの創製に関する研究	雨 森 翔 悟
パラジウムと銀の抽出分離に関する基礎研究	池 田 恵 理
木材チップ及び雑草を用いた堆肥の安全性評価に関する研究	市 岡 徑 樹
農業残渣の加圧熱水条件下での過酸化水素添加による脱リグニン法の検討	市 川 浩 士
医療用滅菌ガスの除去に関する研究	太 田 友 生
圧力センサーによる NR の加硫進行状態の追跡	大 淵 祥 子
付加価値の高い果実袋の開発～鳥害防止と品質向上～	岡 田 多万江
側鎖にアルキル基を有する可溶性ポリイミドの合成 (1)	箴 島 正 子
イチョウの悪臭発生に関する酵素の解析	甲 斐 裕 基
イオン液体の液液抽出への利用に関する研究 4 — 安息香酸誘導体の抽出 その 2 —	片 淵 健 輔

堆肥中細菌の生理学的分類に関する研究	甲 木 香 織
地衣類の分類に関する遺伝学的研究	川 口 瞬
農業残渣の加圧熱水処理による糖の回収法の検討	川 原 成
地衣類の分離培養とその培養条件に関する研究	國 友 泰
イオン液体による白金の抽出分離に関する基礎研究	久保田 由 紀
O — 保護ピロガロールと3, 5 — ジニトロ安息香酸誘導体との Friedel-Crafts アシル化反応 (3)	古 賀 智 子
天然ゴム分解微生物より分離された酵素の基本的性質	後 藤 崇 文
マイクロリアクタを用いたリパーゼによる油脂の加水分解反応	志 風 美 帆
可溶性ポリイミドの合成と生分解性ポリマーへの応用	瀬 戸 彩 友
側鎖にアルキル基を有する可溶性ポリイミドの合成 (3)	尊 田 夕 琴
水処理を施した木質系バイオマスの酵素糖化	長 命 ゆかり
ホンモンジゴケの培養条件の確立と銅耐性機構の解明	鶴 田 功 輔
電氣的測定による NR の加硫進行状態の追跡	内 藤 幸 恵
ニンジン子葉における高濃度糖処理による不定胚形成と糖代謝制御の関与	中 園 葵
¹¹ B-NMR を用いた糖とホウ素の錯形成に関する研究 (ホウ素選択性吸着剤の開発を目指して)	永 野 由 佳
側鎖にアルキル基を有する可溶性ポリイミドの合成 (2)	中 村 一 貴
光切断可能な消光剤を導入した蛍光性二光子吸収色素の創製に関する研究	中 村 奈 美
ごはんパン作成におけるペーパーディスク法を用いた抗カビ試験	服 部 祐 代
圧力センサーによる EPDM の加硫進行状態の追跡	濱 北 絵 梨
ゴム分解微生物にコードされるゴム分解酵素の解析	藤 崎 薫
NBR 製ゴム手袋の耐水性について	堀 川 祥 平
光誘起消光機能を有するベンゾチアゾール二光子吸収色素の光化学特性	三 根 智 徳
ボーダーラインソルポリシスにおける生成物の選択性	村 上 香奈子
ゴム分解微生物を用いたゴム分解バイオリアクターの作成	矢賀部 由季野
大きなソルバトクロミズムを示すドナー・アクセプター化合物の創製に関する研究	矢 永 香 織
膜たんばく質アクアポリンの構造解析	山 下 恵
導電率測定による EPDM の加硫進行状態の追跡	山 邊 雄 也
オゾンを用いた切花の加圧・密閉容器による鮮度保持の研究	吉 木 宏 行
マイクロリアクタにおける油水二流体の流動挙動解析	吉 田 あい子
ごはんパン作成における目視法を用いた抗カビ試験	吉 田 麻友美

材 料 工 学 科

題 目	氏 名
ニハード鉄の組織に及ぼすW添加の影響	青 木 孝 太
26%Cr 鉄の変態特性に及ぼすVの影響	荒 尾 修 次
ひ素イオンの吸着機能を持つ CaO・Fe ₃ O ₄ 系酸化物の開発	市 川 剛 士
高速原子線照射スバッタ及び抵抗加熱蒸着による有機・無機複合薄膜成膜装置の作製Ⅱ	伊 藤 清 太
Al-10%Si 合金及び 30%SiC を含有した Al 基複合材料の熱間圧延	伊 藤 彰 吾
有機溶媒からの Co-Ni 合金電析挙動	稲 富 俊 裕

Ni 基耐摩耗材料の組織に及ぼす合金元素の影響	井 上 正 也
モリブデンシリサイド MoSi_2 の燃焼合成	江 頭 由 紀
FeO -5% Fe 混合粉体のメカニカルミリングとその性質	柿 添 勇 樹
Ni めっき膜に及ぼす水素の影響	隈 本 竜 一
FCD700 の連続冷却変態特性及び高周波焼入れ材の引張特性	古 賀 達 也
高強度アルミ合金の結晶粒微細化	小森田 卓 也
TiNiSn 基ハーフホイスラー合金の熱伝導率低減に関する研究	佐々木 孔 英
Fe_3O_4 粉体のメカニカルミリング	佐々木 洋 平
焼結法を用いた β - FeSi_2 半導体の作製と熱電変換特性に関する研究	角 裕次郎
ミリング処理した酸化鉄 (Fe_3O_4) と CO_2 ガスとの反応	田 中 祐 一
チタン不働体皮膜への水素侵入	谷 口 顕 三
硫酸塩浴からの Zn 電析形態に及ぼす有機添加剤の影響	中 西 由 起
白金ナノ粒子の合成に関する研究	中 村 彰 男
硫酸塩浴からの Fe-Co 合金電析挙動に及ぼすホウ酸、硫酸ナトリウムの影響	野 元 佑 起
チタン表面の多孔質化に関する研究	林 浩 孝
超々ジュラルミンの復元時効処理による高強度化	堀 大 介
高 Cr 鋳鉄の炭化物の高温強度に及ぼす Mo の影響	松 尾 遼太郎
電気泳動法による多孔質アパタイトコーティング膜の作製と <i>in vitro</i> 評価	松 岡 孔 明
$(\text{CaO})_x \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3)_y$ 酸化物による実際の湧水でのひ素吸着試験	松 雪 亮 太
$(\text{CaO})_x \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3)_y$ 酸化物のひ素吸着に及ぼす他イオンの影響	馬 渡 勲
Al-Mg 系合金の凝固速度と铸塊組織及び板材組織の関係	宮 原 周 作
めっき法を用いた Pd 薄膜型水素ガスセンサの作製と評価	森 将 来
複合めっきによる低水素過電圧陰極作製	森 光 亮 人
ミリング処理した酸化鉄 (Fe_3O_4) と CO_2 ガスとの反応	安河内 憲太郎
Al-Mg 系合金板材における高強度化の検討	安河内 琢 磨
電気泳動法によるシリカコロイド結晶膜の作製と評価	吉 村 浩 一
硫酸塩浴からの Fe-Ni 合金電析挙動に及ぼすホウ酸の影響	力 丸 裕 司

専 攻 科 (機電システム専攻)

題 目	氏 名
軸直角方向振動下におけるボルト締結体のゆるみと疲労に関する研究	井 上 絢 介
風力を利用した小型海水淡水化蒸留器に関する研究	金 子 雅 広
マイクロプロペラ風車のフィールド実験	末 次 寛 光
ホルマント情報を用いた音声聴取能力の推定に関する研究	牛 原 祥 太
スクロールディスプレイへの文字・画像情報表示の研究	倉 光 重 孝
電磁現象を利用した高クロム鋳鉄内のオーステナイト含有量測定手法の開発	古 賀 香菜子
非対称トラフィック環境下における FDD-TDD-CDMA システムの特性シミュレーション	波多江 直 紀
フェーズドアレイ駆動による超音波発振子の指向性の先鋭化と指向性パターン制御に関する研究	平 田 敬 典
端子不完全接続・発火現象の加速試験による酸化銅、亜酸化銅の生成と発熱について	藤 田 亮

MC シミュレーションによる GaAs 電子輸送に関する研究	山 田 陽 明
ニューラルネットワークのハードウェア化に関する研究	荒 木 祐 介
連想記憶の記憶容量改善に関する研究	池 上 智 昭
自由曲面加工の効率化	大 鶴 倫 生
振動解析プログラム用ブリプロセッサの開発	尾 崎 秀一郎
キーワードの出現を用いたテキストセグメンテーション	古 賀 千 尋
二重倒立振子の安定化制御	酒 見 真 志
介護支援装置のための画像処理による意思抽出システムの構築	柴 田 悠 里
適応的予測器の導入による予測符号化に関する研究	杉 本 憲治郎
可変速風力発電システムにおける最適負荷構築の研究	棚 町 哲 也
セルオートマトンによる領域分割	棚 町 祐 介
任意形状画像の符号化に関する研究	廣 重 徹
作問学習知的支援システム POP-B におけるフィードバック機能の強化	三 宅 宏 裕
自動果実袋掛け機の絞り・結束機構の試作	宮 崎 浩 史
Linux による倒立振子の安定化制御	村 島 利 継
6 相式軸方向双歯対面形塊状回転子鉄心スイッチトリラクタンスモータの研究	本 村 大 成

専 攻 科 (物質工学専攻)

題 目	氏 名
ゴム分解リアクターの作成	金 子 渉
側鎖に長鎖アルキル基を有する可溶性ポリイミドの合成と物性	小 畠 愛 美
ゴム分解微生物の遺伝子解析	千々和 歩 美
Fe ₃ O ₄ 粉体のメカニカルミリングと焼結挙動	伊 藤 隼 隆
多合金系白鉄の焼戻しに伴う硬さ及び残留オーステナイト量の変化	岩 崎 大 悟
陽極酸化法によるチタンの多孔質化	飛 松 晴 記
RF スパッタリング法を用いた Si _{1-x-y} Ge _x C _y /Si の薄膜成長に関する研究	江 崎 哲 也
Co-Ni 合金電析に及ぼす pH 緩衝剤の影響	松 田 高 好
アルカリ水溶液中におけるチタンへの水素吸収のその場測定	丸 山 裕 貴

久留米工業高等専門学校紀要出版投稿内規

[平成12年11月8日制定]

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）の全部を改正する。

1 掲載する事項の種類と内容

「論文」、「研究報告」及び「その他」の3種類とし、論文及び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、寄書等である。

〔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) 「研究報告」とは、教育研究報告及び学術研究報告である。

「教育研究報告」：教育の実践的方法論的研究、教育内容的研究、教材、実験設備等の開発研究、教育活動等に関するもの

「学術研究報告」：学会誌等へ投稿を目指している途中の研究、研究活動等で、その着想や手法に特徴があり、研究の紹介に意義があると考えられるもの

- (3) 「その他」とは資料、特許紹介、年間発表の論文・著書等及び講演題目、卒業研究題目、専攻科研究論文、学位論文紹介等である。

〔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、分析法及び実験法等の内容をもつもので、設計参考データ、計算図表、試験報告、統計等を含む。

(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、統計等を主としたもので、高専教育に有用な内容をもつもの

2 著作権

- (1) 第18巻第1号以降の紀要に掲載された論文等の著作権は、久留米工業高等専門学校（以下「本校」と略す。）に帰属する。

- (2) 著作者は、本校に著作権が帰属した論文等の全部又は一部を学術情報として著作者自身で利用する場合には、原則として伺い出ることとする。

3 投稿手続及び原稿の採否決定

- (1) 投稿手続：投稿責任者は、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紀要編集委員会（以下「委員会」と略す。）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する。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。

4 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。

5 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。

6 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) 原稿の作成は、既存の紀要を参考に、なるべくワードプロセッサで作成する。図、表等でワープロ表現が困難な場合は、なるべく希望する刷り上がりと同じようなレイアウトを示しておく。
- (2) 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一とする。

欧文の場合は、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。

- (3) 論文は、原則として題名、概要、緒言、本論（実験）、結果、考察等の順に書く。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、結果等を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。

- (4) 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。

数式等で、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。

量記号等については、大文字、小文字の区別をして、正確に書くこと。

例) O (オー) と 0 (ゼロ), r (アール) と γ (ガンマー), k (ケイ) と κ (カッパー) 等

- (5) 原稿における本文の区分は、原則として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、小見出し等を明確にする。

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。

- (6) 機器、材料、薬品等の名称は、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、学術用語集等での例）を参考にする。

諸記号や符号等は、国際的・専門的に慣用されているものを用いる。

- (7) 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。

- (8) 句読点、カッコ、ハイフン等は、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。

- (9) 図、表、写真の番号は、図1、図2…… 表1、表2…… 写真1、写真2……のように記入し、説明を要する場合は、表は表の上に、図・写真は図・写真の下に書く。

- (10) 図、表、写真の原稿右欄外に、投稿責任者名、刷り上がりの大きさ及び挿入希望箇所を記入する。

- (11) 5で規定する原稿受理年月日と著者の所属機関の脚注は、1頁目に書く。

- (12) 原則として刷り上がりが6頁以内になるよう、原稿（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委員会の議を経て、5頁まで超過を認めることができる。

- (13) 年間発表の論文・著書等及び講演題目の作成に関しては、別に定める。

附 則

この内規は、平成13年4月1日から施行する。

附 則

この内規は、平成14年7月25日から施行し、平成14年4月1日から適用する。

平成19年度 編集委員

委員長	前田三男	校長
副委員長	馬越幹男	教授 教務主事
	森哲夫	教授 (生物応用化学)
委員	江頭成人	教授 教務主事補
	丸山延康	教授 専攻科主事補(制御情報工学)
	平落国男	教授 (機械工学)
	平川靖之	准教授 (電気電子工学)
	濱上寿一	准教授 (材料工学)
	中坊滋一	准教授 (数学)
	谷太郎	准教授 (物理・化学)
	中畑義明	教授 (外国語)
	松尾一	准教授 (国語・人文)
	木寺英史	准教授 (体育)
	酒見史博	学生課長

平成19年 9月 発行

紀 要 第23巻 第1号

〒830-8555 久留米市小森野一丁目1番1号

編集兼
発行者

久留米工業高等専門学校

TEL 0942-35-9300

〒830-0037 久留米市諏訪野町2432

印刷所

多田印刷株式会社

Memoirs of Kurume National College of Technology

Vol.23 No.1 September 2007

Development of All purpose Mark sheet Reading and Making up System for Practical Use	Katsuyuki NAKASHIMA Kuninori OOSAKI Takunobu HARA	1
Improvement and its Estimation in Wind Energy Recovering Factor at the Small Wind Power Generation System	Takemi KAWAGUCHI Tetsuya TANAMACHI Seiji YUKIMOTO	9
Molecular Weight Measurements of Polyimides by Size Exclusion Chromatography	Takaaki MATSUDA Kazutaka NAKAMURA Yusuke TSUDA	17
The research on the flow of rubber in a two-dimensional internal mixer – The flow pattern and the distribution of velocities in sickel-shape zone in front of the rotor blades –	Toyohiko GONDOH Tetuo MORI Michiharu TOH	21
Fabrication and Characterization of Optically Readable Hydrogen Sensor Consisting of Macroporous Pd Thin Films	Jun-ichi HAMAGAMI Daisuke UCHIHORI Kazumasa TAKANISHI Yuichiro KUROKI Masasuke TAKATA	27
Fabrication and Characterization of Apatite Coating Films by Electrophoretic Deposition Process and Heating	Jun-ichi HAMAGAMI Takashi KISHIMOTO Koumei MATSUOKA	33
The Hopf invariant of a map over B	Michihiro SAKAI	39
The Weight Ratio of Clubs (Rackets, Bats) to Balls in Various Sports	Hidetaka MYOKAN	45
A design of the Campus Network System for stable operation – The system replacement on April 2007 –	Kuninori OOSAKI Naruto EGASHIRA Takao BABA	49
Research Directions for Namiashi movements	Eishi KIDERA	57
On the Hopf invariant and its extension	Michihiro SAKAI	61