

久留米工業高等専門学校  
紀 要

第12卷 第2号

MEMOIRS  
OF  
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 12 No. 2  
MARCH 1997

平成9年3月

久留米工業高等専門学校

# 久留米工業高等専門学校

## 紀 要

第12巻 第2号  
(平成9年3月)

### 目 次

ハフ変換の漸化式導出と多元化による高速計算 .....	{ 中大井 島淵上 勝 勝 行豊敬	...	1
超硬ホブ切りに関する基礎研究 — 特に歯車材の被削性の検定について — .....	{ 桜米角 木倉 將昌 功隆 廣永 尾野 靖喜 興彰 永 野 三 郎	...	5
An Invariant of Links in a Solid Torus Related to the XXZ Model in Statistical Physics .....	Shigekazu NAKABO	...	13
フッ素樹脂の熔融加圧接着 .....	{ 湊入三 江浦 喜久雄 和隆毅	...	21
高速原子線を用いた Si ウェハのドライエッチング .....	{ 入西石 江村 和隆 湊 橋 幸士 喜久雄	...	27
反応性スパッタリング法による酸化物薄膜の作製 .....	{ 入西石 江橋 和隆 湊 村 幸士 喜久雄	...	33
程明道の科挙改革論 .....	平 元 道 雄	...	46
吉崎の蓮如 — 戦国期本願寺教団形成史論・序説 — .....	遠 藤 一	...	47
現代剣道の技術特性 (2) — 芸術的結果技術論の構築 — .....	木 寺 英 史	...	53
第4回科学技術セミナー “リサイクル技術の現状と展望” .....	{ 鳥鎌 井田 昭吉 美助 津田 田 祐之 中野 篤裕 輔 杉 野 紀 三	...	59
高専における英語教育への一提言 .....	佐 藤 勇 治	...	63

## 一般論文

## ハフ変換の漸化式導出と多元化による高速計算

中 島 勝 行  
大 淵 豊  
井 上 勝 敬\*

Deviation of Plural Recurrence Formula in Hough Transform  
and High-Speed Calculation by Parallel Processing

Katsuyuki NAKASHIMA  
Yutaka OBUCHI  
Katsunori INOUE\*

Deviation of plural recurrence formula in Hough transform is performed. By using this formula, 4N pluralisation is possible. It dose not only speed up calculation of Hough transform, but reduces the calculational error. Hardware of parallel processing for the formula is also shown.

## 1. ま え が き

ハフ変換は低品質の画像から直線，フェレ長，周囲長，円，楕円などの図形を検出するための有力な画像処理手法の一つである。

ハフ変換の原式は次式で表される。

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

但し， $0 \leq \theta < \pi$ とする。ここで， $(x, y)$  は原画像平面 (X-Y 平面) 内の図形縁辺点の座標である。本文では(1)式の  $\rho$  値を，連立漸化式を用いて求める近似漸化式を提示する。この係数行列が座標回転行列であることに着目し，順，逆両方向の回転行列を利用することによって，4元並列に計算が可能であることを示す。この式を近似式で置き換えシフトと加減算による高速演算法を示し4元並列化による誤差の低減について述べる。そしてこの方式をハードウェア上にインプリメントする際のブロック図を示し信号伝搬の最大遅延時間から処理速度を推定する。

## 2. 4元並列近似漸化式

(1)式で  $\Delta$  を  $\theta$  の微小変化量として  $\theta = n\Delta$  とおき  $\rho$  を  $\rho_{1,n}$  とすれば

$$\rho_{1,n} = x \cdot \cos(n\Delta) + y \cdot \sin(n\Delta)$$

また(1)式の  $\theta$  を  $\pi/2$  進めた位置の  $\rho$  を  $\rho_{2,n}$  とすれば (図1 参照)

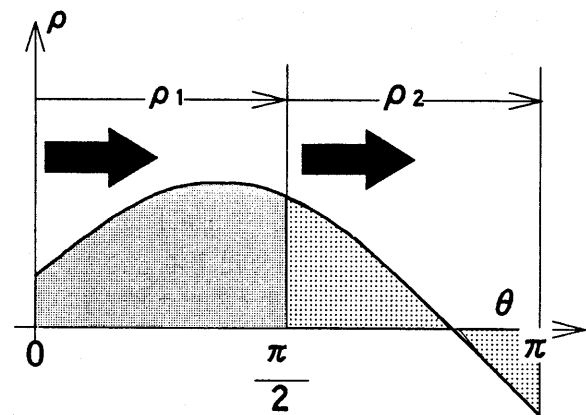


図1  $\rho_1$  と  $\rho_2$  の領域分担

$$\rho_{2,n} = -x \cdot \sin(n\Delta) + y \cdot \cos(n\Delta)$$

と書ける。ここで文献1)を参照すれば

$$\rho_{1,n+1} \doteq \rho_{1,n} + \Delta \cdot \rho_{2,n} \quad (2)$$

$$\rho_{2,n+1} \doteq -\Delta \cdot \rho_{1,n} + \rho_{2,n} \quad (3)$$

なる連立漸化式で  $\rho$  が求められる。但し  $\sin \Delta \doteq \Delta$ ,  $\cos \Delta \doteq 1$  と近似している。初期値はそれぞれ  $\theta = 0$ ,  $\pi/2$  を(1)式に代入して  $(\rho_{1,0}, \rho_{2,0}) = (x, y)$  である。(2), (3)式は行列の理論から判るように，一組の  $\rho$  値 ( $\rho_{1,n}, \rho_{2,n}$ ) を時計回りに  $\Delta$  だけ回転して次の  $\rho$  値を求めている。逆に  $\rho$  値を反時計回りに回転させて求めていく漸化式は(2), (3)式の  $\Delta$  に  $-\Delta$  を代入すればよく，これで求まる一組の  $\rho$  値を ( $\rho'_{1,n}, \rho'_{2,n}$ ) とすれば次のようになる。

$$\rho'_{1,n+1} \doteq \rho'_{1,n} - \Delta \cdot \rho'_{2,n} \quad (4)$$

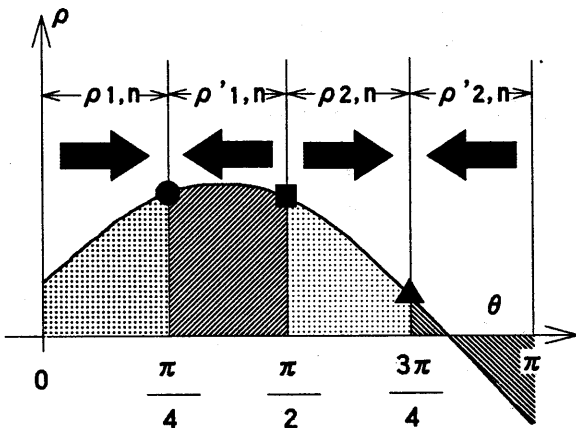
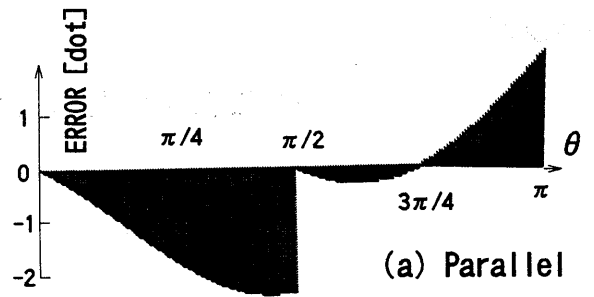


図2  $\rho_{1,n}, \rho'_{1,n}, \rho_{2,n}, \rho'_{2,n}$  の領域分担

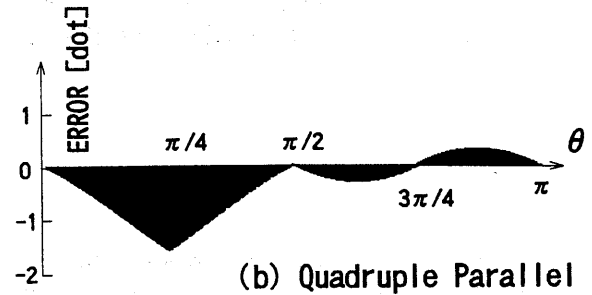
$$\rho'_{2,n+1} \doteq \Delta \cdot \rho'_{1,n} + \rho'_{2,n} \quad (5)$$

ここで  $\rho_{1,n}, \rho_{2,n}, \rho'_{1,n}, \rho'_{2,n}$  の分担範囲を図2の如く割り付ければ  $\rho'_{1,n}, \rho'_{2,n}$  の初期値は(1)式にそれぞれ  $\theta = \pi/2, \pi$  を代入して  $(\rho'_{1,0}, \rho'_{2,0}) = (y, -x)$  となる。結局(2)~(5)式を用いて  $\theta$  を  $0 \leq \theta < \pi/4$  の範囲で変化させることにより4元並列に  $\rho$  値が計算可能であることがわかる。

(2)~(5)式は  $\Delta = 2^{-m}$  ととることによりビットシフトと加減算で演算可能<sup>3)</sup>である。この具体的手順はパラメータ平面の  $\theta$  軸分割数を  $K = [2^m \cdot \pi]$ ,  $K_1 = [2^{m-2} \cdot \pi]$ ,  $\rho$  軸分割数を  $L$ , パラメータ平面として大きさ  $K \times L$  の2次元配列として用意し(2)~(5)式により  $\rho$  値を順々に算出するものである。ここで【】は整数化を意味するガウス記号である。ちなみに  $m=7$  とすると  $\Delta = 1/128$ ,  $K=402$ ,  $K_1=100$  が得られる。こうして  $\theta$  が  $0 \sim \pi/4$  の範囲で  $\rho$  値4個を並列高速計算する漸化式が得られた。これはハードウェアでの構成や並列処理可能な計算機に適した計算式である。この式で求められる  $\rho$  値のハフ変換元式(1)に対する誤差曲線を図3(b)に示す。図3(a)は式(2), (3)のみを用いて  $\theta$  を  $0 \leq \theta < \pi/2$  の範囲で変化させて得られる、従来から知られている並列漸化式<sup>1)2)</sup>による計算誤差である。与えた図形縁辺点座標は(402, 402)であり  $\rho$  の真値は(1)式により浮動小数点数で求めている。図(b)においては、 $\rho$  の初期値は  $\theta = 0, \pi/2$  において  $\theta$  の増加方向に与えられるだけでなく、 $\theta = \pi/2$  及び  $\pi$  から  $\theta$  の減少方向にも与えられるので真値との計算誤差は同図(a)で  $\pi/2$  の部分にあった誤差の大きな段差が消滅し且つ全体として減少している。図で  $\pi/2$  の位置で生じている不連続な段差は実際にハフプロットを行う際、度数ピークの位置が2つに分離し精度が低下する原因となる。特にX軸に平行な直線につ



(a) Parallel



(b) Quadruple Parallel

図3 Hough 変換原式からの誤差 (浮動小数点演算)

いてその傾向が著しい。  
これが4元化で解消する。

### 3. ハードウェアへのインプリメント

前章で示した高速演算の手順は非常に簡素で、並列演算が容易なハードウェア化をするのに適している。この場合、取り扱う数値は、高速化のため浮動小数点数とするよりも小数部を含む符号付き固定小数点データとする方がよい。2章のように  $m=7$  とすると  $\Delta = 1/128$  であり、例えば(2)式によれば  $\rho_{2,n}$  を7ビットシフトして  $\rho_{1,n}$  に加算しなければならない。また与える縁辺点座標を(402, 402)とすれば  $\rho$  の最大値は569となり整数部は符号ビットを含め11ビット必要となる。小数部のビット長はこれをどの程度用意するかによって精度が左右される。

図4は本方式をハードウェア化した場合のブロック図である。 $\rho$  値ラッチ(エッジトリガタイプ)から加減算器を経て再びラッチの入力に至る最長伝搬経路を試作して実験したところによれば計算クロック周期は75[ns]であった。同時に4個の  $\rho$  が求まるので一つの  $\rho$  当たりでは約20[ns]と非常に高速である。ブロック図で上半分の回路と下半分の回路は初期値の入れ替えを行えば全く同じものが使えるので一方のブロックをIC化すれば一般的には4N元(Nは自然数)並列多元化が容易になる。

ただし8元以上の多元化に際してはホストコンピュータで(1)式による初期値の計算を行う必要がある。

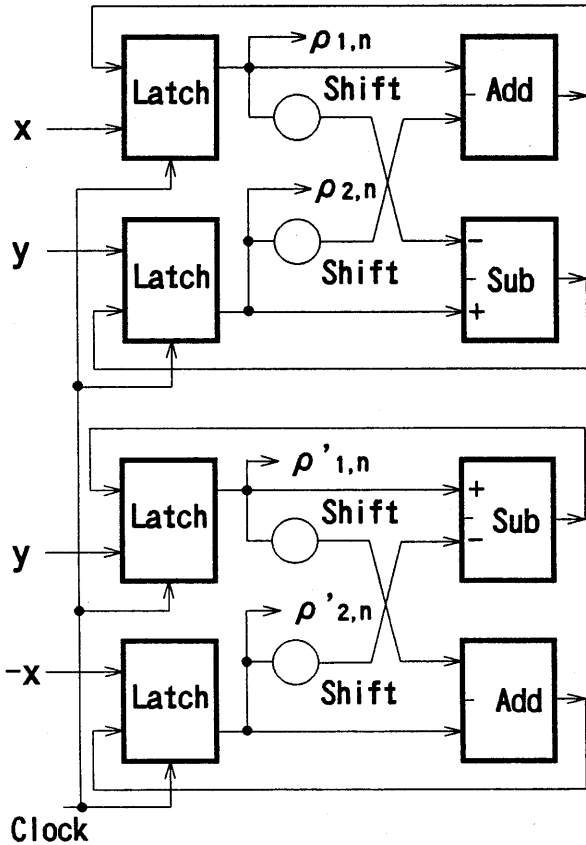


図4 ハードウェアブロック図

#### 4. む す び

本文の内容をまとめると次のようになる。

- [1] ハフ変換の  $\rho$  値計算に用いられる一般化漸化式

の係数行列が座標回転行列であることを示し、時計方向回転、反時計方向回転行列を利用することにより  $\rho$  値が4元並列に計算実行できることを示した。  
 [2] 正弦関数の近似によりビットシフトと加減算のみで  $\rho$  値が生成できることを示した。  
 [3] 4元並列演算の効果として演算の高速化に加えて  $\rho$  値計算の誤差が減少することを示した。  
 [4] 一組の並列漸化式に対応する回路をIC化すればこれを並列に用意することにより容易に4元並列化が可能であることを示した。

現在  $\rho$  値を小数部付き固定小数点数として演算したときの精度について小数部の桁数を何桁用意すれば良いかを含めて本方式のハードウェア設計を検討中である。

#### 謝 辞

最後にこの研究は大阪大学溶接工学研究所の共同研究員制度の成果であることを付記する。

#### 文 献

- 1) 中島勝行, 大淵 豊, 井上勝敬: “連立漸化式による高速, 高精度ハフ変換法”, 電子情報通信学会掲載予定
- 2) 中島勝行, 大淵 豊, 井上勝敬: “高速 Hough 変換のための漸化式とその一般解導出及びインプリメンテーション”, 高温学会誌, 22,1, pp.48-54 (1996)
- 3) 沼田宗敏, 奥水大和: “高速インクリメンタル Hough 変換法 (FIHT2)”, 信学技報, PRU-88-107 (1989)

## 一般論文

超硬ホブ切りに関する基礎研究  
— 特に歯車材の被削性の検定について —

桜	木	功
米	倉	隆
角		昌興*
廣	尾	靖彰
永	野	喜三郎

A Fundamental Study on Carbide Hobbing  
— For Evaluation Method of Cutting Performance against Gear Blanks —

Isao	SAKURAGI
Masataka	YONEKURA
Masaoki	SUMI*
Yasuaki	HIROO
Kisaburo	NAGANO

Carbide hobbing is suitable for high efficiency production with excellent hobbing precision. Recently, it has been adopted by factories of gears production. But the most important problem on carbide hobbing is the chipping on cutting edges in case of gear blanks hardly to be cut. If an experiment for chipping is attempted by using carbide hob, it will be difficult because of the high cost.

In this paper, the authors have prepared fly tools representing one cutting edge of a carbide hob, and have cut some grooves with a reconstructive machining center, and investigated the boundary which indicates the region where chipping should occur when cutting various gear blanks (carbon steel or forged carburizing steels which are used in mass productions) at various cutting conditions, and considered the countermeasures against occurred chipping, and want to lengthen the life of carbide hob by application of the results.

## 1. 緒 言

最近、生産能率が高く、さらに歯切精度も高い超硬ホブ切りが歯車業界に幅広く採用されようとしている。しかし歯車業界で実際に使用されている歯車材は化学成分、製造方法（鍛造方法、熱処理方法）、形状および寸法などが非常に異なり、それらの被削性はさまざまであると考えられる<sup>1)2)</sup>。ゆえに、それらの被削性が工具の損傷面から、どの程度異なっているかを相対的に評価することは、今後重要な問題になると予測される。すなわち、その被削性を工具の損傷面から十分に把握しないで、超硬ホブを試作して超硬ホブ切りすれば、超硬ホブの切れ刃にチップングや熱き裂などが早期に発生し、その寿命を極端に短くすることが考えられる<sup>2)</sup>。

したがって、ここでは実際に使用されている歯車

材の被削性を相対的に評価する基礎実験を行うために、主軸ヘッドを改造したマシニングセンタで、ホブの一刃を表わす舞いツールを試作し、超硬バイトを取り付け、各歯車材に対して広範囲に切削条件を変えて、みぞ切削したときに発生した損傷（特に、チップング、熱き裂など）を系統的に分類し、その発生領域を吟味することによってそれぞれの被削材の特性を明らかにし、さらに初期マクロチップングの対策を明らかにして、特に被削性の悪い歯車材に対する超硬ホブ切りの実用化に役立てようとしたものである。

## 2. 実験装置および方法

実験に使用したマシニングセンタはMACCMATIC-50HL（日立精工(株)製）である。その主軸は舞いツールホルダを両持ちで支えるようにオーバーアームを取り付けてその剛性を高めたものである<sup>3)</sup>。図1は

その装置の主要な主軸部分である。舞いツールの径は  $D=80\text{mm}$  になるように取り付けられた。使用した超硬バイトは形式が36-1型で、その一部を修正したものである。使用した超硬材種は4種類である。被削材の取り付けはパレット上のワークアーバに固定した。使用した被削材は圧延された炭素鋼 S45C ( $H_B 180$ ) と各社で実際に使用されている鍛造された浸炭歯車材 (A材, B材, C材で、材質は SCM および SCr 材で、ブリネル硬さは  $H_B 145\sim 190$  の範囲のもの) である。切削みぞは平歯車と同様に被削材の円周部分に入るようにした。超硬バイトの切れ刃面の研削は万能工具研削盤で行い、研削砥石は #220 のカップ型のダイヤモンドホイールを使用した。超硬バイトの損傷は工具顕微鏡で、30倍に拡大して測定した。表1は使用した舞いツール、被削材および切削条件をまとめたものである。図2は理論上のアップカットの切削状況を示したものである。表2は舞いツールの刃先中央が描く理論上の切削くずの切削断面の最大切削厚さ  $S$ 、長さ  $L$  およびそのときの食付角  $\theta$  を近似計算したものである。図3は著者らが分類している超硬ホブに発生する主なチップングの形態を示したものである。図中の  $L$ 、 $M$  および  $S$  はチップングの形態を分類するときの判定基準となりやすい一般的な寸法の大きさを、わかりやすく表現したものである。ここでは特に被削性の悪い歯車材で最も重要となる初期マクロチップングおよび熱き裂について考察した。

表1 使用した舞いツール、被削材および切削条件

舞いツール	
外径	D 80mm
すくい角	$\alpha$ $0^\circ, -4^\circ, -6^\circ, -8^\circ, -10^\circ, -12^\circ$
超硬材種	P10, P20, P30, X
型式	36-1 (一部修正)
被削材	
外径	95~205mm
幅	b 20~70mm
材質	S45C材, SCM材, SCr材
ブリネル硬さ	$H_B 145\sim 190$
切削条件	
切削速度	V 100~550m/min
送り	f 0.38~0.78mm/rev
切込	h 0.75mm
切削方法	アップカット
切削油	なし, SK-2M (4 $\epsilon$ /min)
マシニングセンタ	MACCMATIC-50HL

X: 現在, 超硬ホブ用に使用されている超硬材種

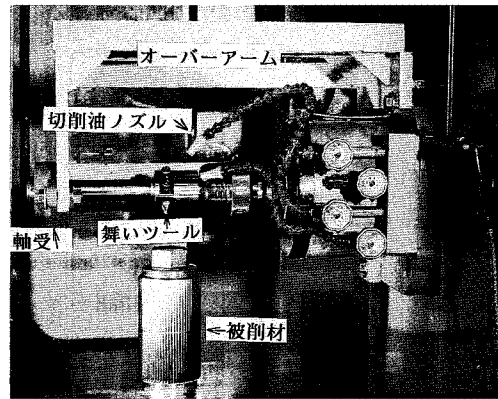
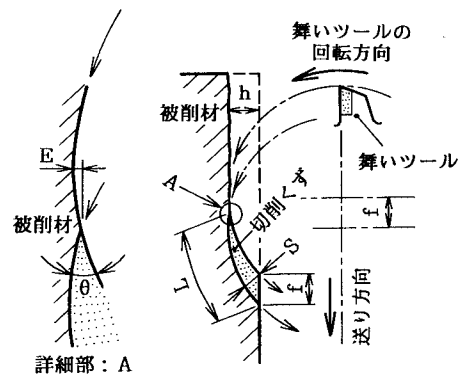


図1 マシニングセンタの主軸回り



$$E \approx f^2 / 8R$$

$$S \approx f \cdot \sin [\cos^{-1} \{ (R-h) / R \}]$$

$$L \approx R \cdot \cos^{-1} \{ (R-h) / R \} + R \cdot \cos^{-1} \{ (R-E) / R \}$$

$$\theta \approx 2 \cdot \sin^{-1} \{ f / (2R) \}$$

(R: 舞いツールの半径, h: 切込み)

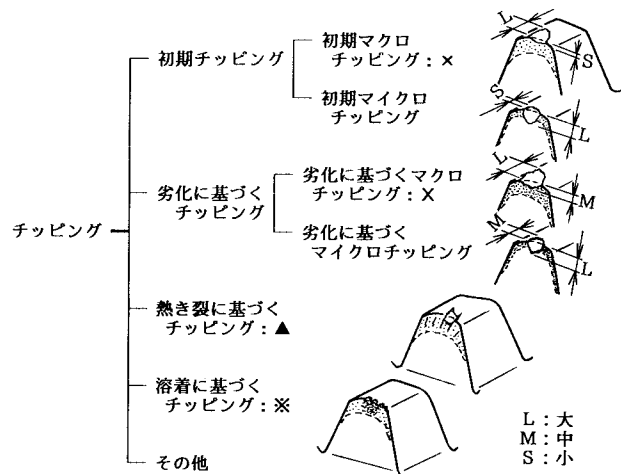
図2 超硬舞いツールによる切削状況

表2 近似計算した切削くずの主な寸法

最大厚さ	S mm	0.073
長さ	L mm	7.947
食付角	$\theta^\circ$	0.542

舞いツール径:  $D=80\text{mm}$

切削条件:  $f=0.38\text{mm/rev}$ ,  $h=0.75\text{mm}$



ここではX,  $\Delta$ ,  $*$  (図中の記号) のチップングについて検討した

図3 超硬ホブの主なチップングの形態

### 3. 超硬舞いツールによる被削性の検定

#### 3.1 圧延された S45C 材の場合

図4はS45C (H<sub>B</sub> 180) 材を切削油 (SK-2M) を注ぎ、切れ刃のホーニングなし (d=0 mm) およびすくい角なし ( $\alpha = 0^\circ$ ) の超硬舞いツールを用い、切削速度をそれぞれ変えてみぞ切削したとき、いつ切れ刃にチップングおよび熱き裂が発生したかの境界を示したものである。図中の○印はチップングおよび熱き裂が発生していないこと、△印はチップングなしで、熱き裂が切れ刃のクレータ部に観察されたこと、▲印は熱き裂の発達に基づくチップングが発生したこと、×印は二番面に沿って比較的に大きなチップングが発生したこと、※印は溶着に基づくチップングが発生したこと、↑印はさらに切削可能であるが、時間の都合で実験を中断したことを示したものである。切削速度  $V=125\sim 250$  m/min 付近は切削長さが短いときにチップングが発生した。他方、 $V=100$  m/min 付近以下から急激にチップングが発生しにくくなった。これは切削中に切れ刃に溶着物が付いて、切れ刃の局所的な部分にかかる主分力方向の力を緩和するためであると考えられる<sup>4)</sup>。さらに  $V=300$  m/min 付近でチップングおよび熱き裂は発生しにくくなった。さらに切削速度 =  $350\sim 400$  m/min 付近になると、熱き裂が徐々に発生しやすくなったが、切削みぞ長さ  $l=25$  まではチップングに発達しなかった。さらに切削速度が  $V=450$  m/min 以上になると、切れ刃面のクレータ部に熱き裂が早期に発生し、切削みぞ長さ  $l=25$  以内でその発達によるチップング (図中の▲) が発生した。図5は切削油なしで、それ以外は図4と同条件で切削した場合のチップングおよび熱き裂の発生する境界を示したものである。切削油を使用した場合と切削油を使用しなかった場合で、チップング発生境界に対してはほとんど変化はなかったが、熱き裂発生境界は切削油を使用しない場合、切削速度の高い方向に大きく移動した。すなわち、切削油を使用しない場合が熱き裂は発生しにくく、その発達によるチップングも発生しにくい。これは切削油を使用した場合に比べ、切削油を使用しない場合が一回転中の切れ刃の最高温度と最低温度との差が小さくなるために発生しにくくなったと考えられる<sup>5)</sup>。したがって、マイクロチップングの発生しやすい切削条件およびマイクロチップングや熱き裂の発生しやすい被削材の場合は、切削油を使用しない場合が工具のチップングに対しては有利である。他方、工具の二番摩耗に対しては切削油を使用した場合が有利で

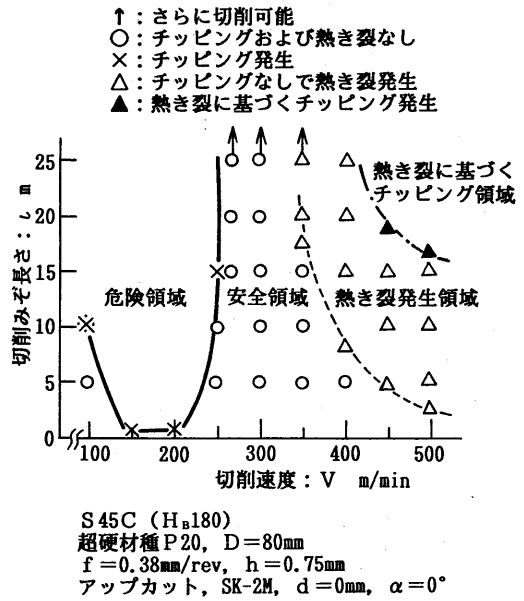


図4 圧延材 (S45C) の安全領域 (切削油あり)

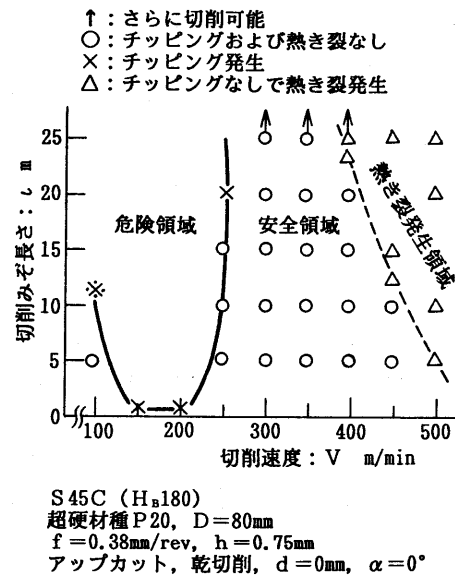


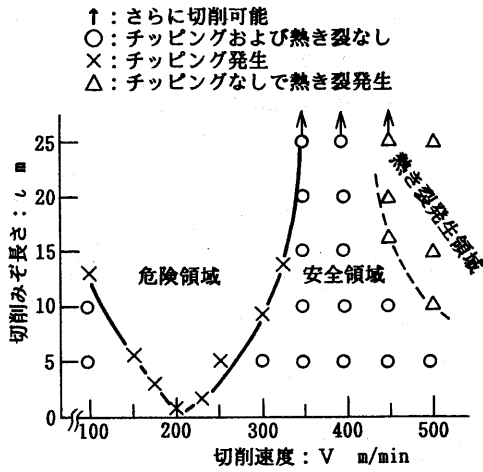
図5 圧延材 (S45C) の安全領域 (切削油なし)

ある<sup>6)</sup>。実際の超硬ホブ切りでは比較的に重切削となることが多いので、切削油を使用しない場合は機械、工具および歯車材に対する温度上昇対策および切りくず処理の工夫が是非とも必要であると考えられる。

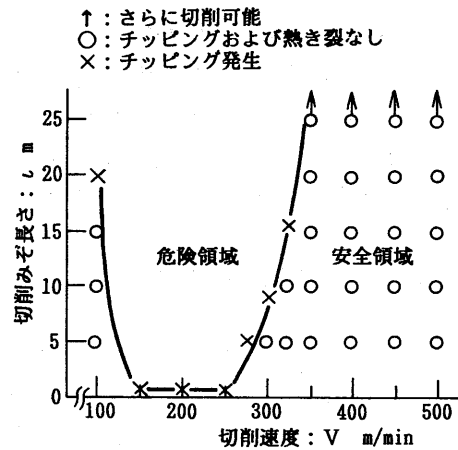
#### 3.2 鍛造された浸炭材の場合

図6は被削材以外は図5と同条件、すなわ45C (H<sub>B</sub> 180) 材から a 社の鍛造浸炭材 (A材) に変更した場合である。S45C (H<sub>B</sub> 180) 材に比べ、切削速度  $V=250\sim 325$  m/min 付近でチップングが発生しやすくなった。これは切削中に切れ刃の局所的な部分にかかる主分力方向の力が S45C (H<sub>B</sub> 180) 材



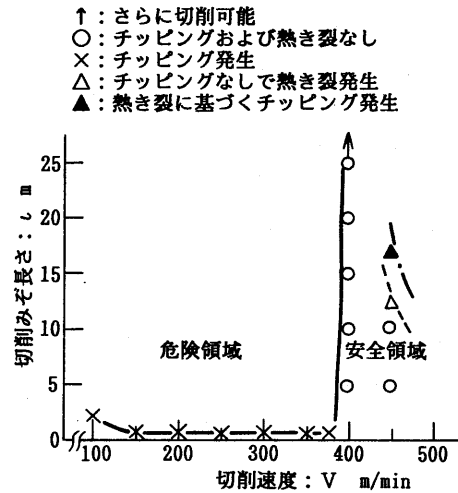


鍛造した浸炭材：A材  
超硬材種 P20, D=80mm  
f=0.38mm/rev, h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, d=0mm, α=0°  
図6 鍛造浸炭材 (A材) の安全領域



鍛造した浸炭材：B材  
超硬材種 P20, D=80mm  
f=0.38mm/rev, h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, d=0mm, α=0°  
図7 鍛造浸炭材 (B材) の安全領域

の場合よりも、大きくなりやすいためであると考えられる。さらに熱き裂は S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合よりも、わずか発生しにくくなった。他方、V=100~175m/min 付近でチッピングがわずか発生しにくくなった。これは S45C (H<sub>B</sub> 180) 材よりも、切削速度の高い領域から切れ刃のクレータ部に溶着物が付きやすいためであると考えられる。このような軽切削の場合、A材の安全な切削速度は V=350~400m/min 付近である。すなわち、A材は傾向としてはやはり S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合と同様に、チッピングの境界と熱き裂の境界が明確に存在することが明らかとなった。図7は図6と同条件でB材に変更した場合である。S45C (H<sub>B</sub> 180) 材に比べ、切削速度 V=250~325m/min 付近でチッピングが発生しやすくなった。これも切削中に切れ刃の局所的な部分にかかる主分力方向の力が S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合よりも、大きくなりやすい被削材と考えられる。さらに熱き裂は S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合よりも、かなり発生しにくくなった。他方、V=100~200m/min 付近ではチッピングの発生時期が S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合とほとんど同じであった。これは S45C (H<sub>B</sub> 180) 材と同程度の溶着性のある被削材であると考えられる。このような軽切削の場合、B材の安全な切削速度=350~500m/min 付近である。すなわち、B材は S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合の切削速度 V=250~300m/min 付近のチッピング発生境界が右側(切削速度が高い方向)に移動したようなもので、使用した被削材の中で最も高速切削しやすい被削材であることがわかった。図8は図6と



鍛造した浸炭材：C材  
超硬材種 P20, D=80mm  
f=0.38mm/rev, h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, d=0mm, α=0°  
図8 鍛造浸炭材 (C材) の安全領域

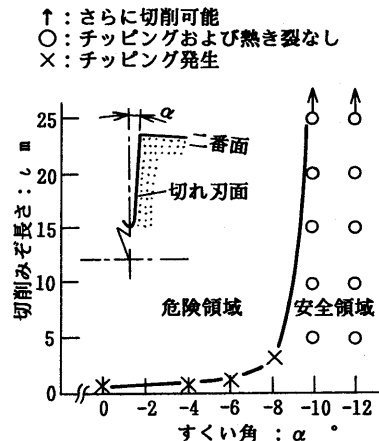
同条件で、C材に変更した場合である。S45C (H<sub>B</sub> 180) 材に比べ、切削速度 V=250~375m/min 付近でチッピングが発生しやすくなった。これも切削中に切れ刃の局所的な部分にかかる主分力方向の力が S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合よりも、たいへん大きくなりやすいものと考えられる。さらに熱き裂は S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合とほとんど同じ時期に発生したが、二番摩耗の進行が S45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合に比べて速いためか、熱き裂の発達によるチッピングは非常に速く発生した。他方、V=100m/min 付近でもチッピングが発生しやすくなった。このときの切りくずを観察した結果、切りくずがつながって

たことから、これはS45C (H<sub>B</sub> 180) 材よりも、粘いために切りくずが切れ刃から離れずに、切りくずが切れ刃に付いた状態で、次の切削を行うために、切れ刃のエッジに過負荷がかかり、初期マクロチップングが発生しやすいものと考えられる。このような軽切削の場合でもC材の安全な切削速度はV=400m/min付近のみで、使用した被削材の中で最も切削しにくい被削材であることが明らかとなった。すなわち、C材はS45C (H<sub>B</sub> 180) 材の場合のチップングの発生しやすい危険領域が左右の両側に大きく拡大したものとなった。したがって、実際に現在使用されている歯車材の中でも、このように各社でその被削性が驚くほど異なっていることが明らかとなった。歯車材の選定は強度の面からだけで検討するのでなく、被削性の面を考慮に入れて検討することも重要であると考えられる。

4. 超硬舞いツールによるチップング対策

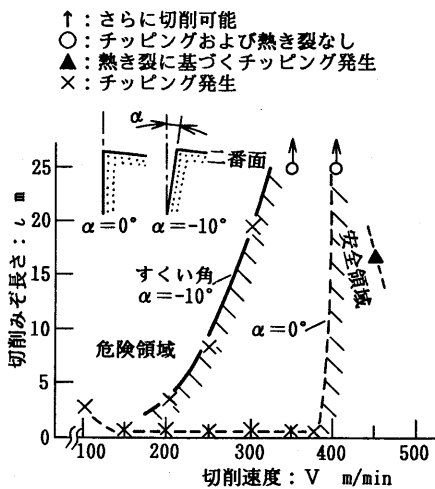
被削性の悪い歯車材の超硬ホブ切りを実用化するには、前述したような方法でまずチップングの発生しない安全領域を明らかにし、その範囲内を選定することが重要である。しかし一般に量産メーカーでは生産能率をあげるために、超硬ホブの条数を増すために重切削になることが多い。そこで多条超硬ホブを用いて被削性の悪い歯車材を高速切削すると、熱き裂の発達によるチップングや劣化に基づくチップングが発生しやすくなる<sup>7)</sup>。したがって、前述した初期チップングの発生しない切削速度範囲よりも切削速度をおとす必要が生じることがある。図9は使

用した中で最も被削性の悪いC材を使用し、切削速度V=350m/minで、切れ刃のすくい角を徐々に変えたとき、いつ初期マクロチップングが発生するかを調べたものである。すくい角を-10°以下にすると、急激に初期マクロチップングが発生しにくくなった。図10はC材を使用し、すくい角なし(α=0°)およびすくい角(α=-10°)の舞いツールで切削速度をそれぞれ変えたとき、いつ初期マクロチップングが発生するかの境界を比較したものである。各境界線のハッチングを入れた領域がマクロチップングの発生しない安全領域を示したものである。すくい角をα=-10°にすると、すくい角なしに比べ、マクロチップングの発生する危険領域が切削速度の



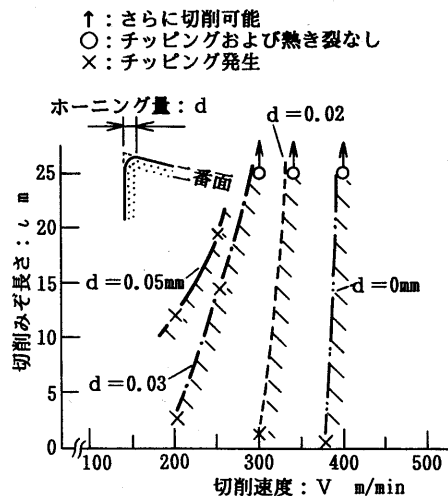
鍛造した浸炭材: C材  
超硬材種 P20, D=80mm  
V=350m/min, f=0.38mm/rev, h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, d=0mm

図9 適正なすくい角の選定 (C材)



鍛造した浸炭材: C材  
超硬材種 P20, D=80mm  
f=0.38mm/rev, h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, d=0mm

図10 すくい角の影響 (C材)



鍛造した浸炭材: C材  
超硬材種 P20, D=80mm  
f=0.38mm/rev, h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, α=0°

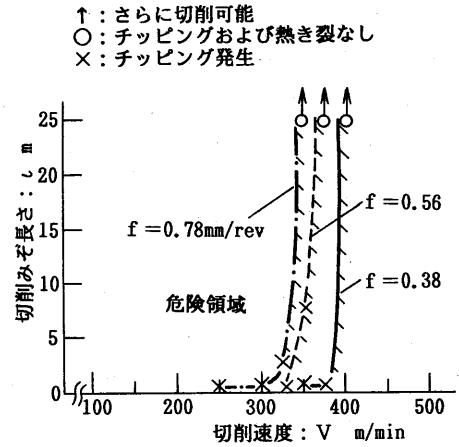
図11 ホーニングの影響 (C材)

高いほうから縮小し、安全領域が拡大した。これは切れ刃に負のすくい角をつけることによって、切れ刃のエッジの強度が増し、マクロチップングが発生しにくくなったものと考えられる。図11はC材を使用し、丸ホーニングを施した超硬バイトを用い、切削速度をそれぞれ変えて、いつ初期マクロチップングが発生するかを調べたものである。各境界線のハッチング側が安全領域を示したものである。ホーニング方法はボール盤に超硬バイトを取り付けて、カーボランダム（#20）の砥粒の入った容器中で正回転させて行った<sup>8)</sup>。丸ホーニング量を増すほど、初期マクロチップングの発生する危険領域が切削速度の高い領域から縮小し、安全領域が拡大した。図12はC材を使用し、送りを変えて切削したときの初期マクロチップングの発生領域を比較したものである。各境界線のハッチング側が安全領域を示したものである。送りを大きくするほど、初期マクロチップングの発生しない安全領域が切削速度の高い領域から拡大することが明らかとなった。これは切れ刃面にかかる力、すなわち局所的な部分にかかる主分力方向の力が切れ刃のエッジから、離れるためではないかと考えられる。図13はC材を使用し、超硬材種および切削速度をそれぞれ変えたとき、いつチップングが発生するかを比較したものである。各境界線のハッチング側が安全領域を示したものである。超硬ホブ用材種（X）は現在超硬ホブの材種として広く使用されている材種で、使用した超硬材種の中で最も優れていた。次に優れていたのはP20, P30, P10（P10, P20, P30は国内の市販の超硬材種）の順であった。超硬材種によっても、主に初期マクロチップングの発生する危険領域が切削速度の高い領域から、変化することがさらに明らかとなった。すなわち、被削性の悪い超硬ホブ切りの場合、超硬材種の改良も重要な項目のひとつである。

### 5. 結 言

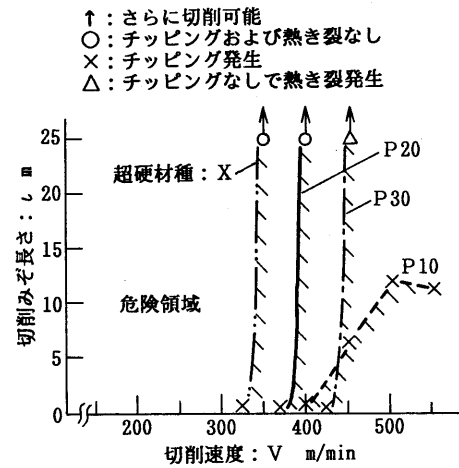
改良したマシニングセンタを使用して、ホブの一刃を表す超硬舞いツールで、現在各社で使用されている主な歯車材を各切削条件でみぞ切削した結果、次のことが明らかになった。

(1) 実際の歯車材の被削性を評価するには、その化学成分、製造方法、形状および寸法などが大きく異なっているためにたいへん厄介である。しかしこのような方法で他の要因が入りにくい簡単なみぞ切削を行えば、歯車材の寸法などが変化しても、その被削性を簡単に検定できるとともに、超硬ホブ切



鍛造した浸炭材：C材  
超硬材種 P20, D=80mm  
h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, d=0mm, α=0°

図12 送りの影響 (C材)



鍛造した浸炭材：C材  
D=80mm  
f=0.38mm/rev, h=0.75mm  
アップカット, 乾切削, d=0mm, α=0°

図13 超硬材種の影響 (C材)

りの適切な切削条件の選定に対してもたいへん役立つものと考えられる。

(2) 一般に鍛造された浸炭歯車材は圧延されたS45C (H<sub>B</sub> 180) の歯車材に比べ、比較的切削速度の高い領域で初期マクロチップングの発生しない安全領域が存在する。さらに現在各社で使用されている鍛造された浸炭歯車材の中でも、その安全領域は非常に異なっている。

(3) 切削速度を高くすれば、初期マクロチップングは防ぐことができるが、逆に熱き裂が徐々に発生しやすくなり、熱き裂の発達によるチップングや劣化に基づくチップングで工具の寿命となるので、適切な切削速度を選定すべきである。

(4) 熱き裂を防ぐには切削速度をさげること、一刃にかかる切削負担量を減らすことおよび熱き裂に強い超硬材種を開発することである。したがって、鍛造された浸炭歯車材の初期マクロチッピングに対する安全領域は比較的切削速度の高い領域になりやすいので、それ用の超硬ホブは一刃にかかる切削負担量を減らすために、切れ刃みぞ数をできるだけ多くしたものが優れていると考えられる。

(5) 熱き裂や劣化に基づくチッピングを減らすために、初期マクロチッピングの発生しやすい切削速度におとす場合、その切削速度に応じた量の丸ホーニングを切れ刃に施すことおよび負のすくい角 ( $-10^\circ$  以下) を付けるなどの工夫が必要である。さらに、優れた超硬材種の開発が重要である。

以上のことから、このような簡単な超硬舞いツールでチッピングの発生する領域を求める手法を用いれば、実際に使用されている歯車材の被削性が相対

的に明らかにでき、さらにその歯車材に対する超硬ホブ切りの適正な切削条件の推定ができ、超硬ホブ切りの実用化に非常に役に立つものと期待している。

### 参 考 文 献

- 1) 相浦, 桜木: 機論 54, 498, (1988), 480.
- 2) 相浦, 桜木: 機論 53, 493, (1987), 2008.
- 3) 桜木, 米倉, 廣尾, 永野: 久留米高専紀要 9, 1, (1993), 13.
- 4) 桜木, 米倉, 廣尾, 永野: 久留米高専紀要 11, 1, (1995), 25.
- 5) 星, 星: 改訂 金属切削技術 (1940) 127.
- 6) 桜木, 米倉, 廣尾, 永野: 久留米高専紀要 8, 2, (1993), 11.
- 7) Sakuragi, I., Ainoura, M: ASME, International Power Transmission & Gearing Conference, San Francisco, No.80-C2/DET-56, (1980).
- 8) 桜木, 米倉, 廣尾, 永野: 久留米高専紀要 10, 1, (1994), 9.

一般論文

# An Invariant of Links in a Solid Torus Related to the XXZ Model in Statistical Physics

Shigekazu NAKABO

## Abstract

An invariant of links in a solid torus is constructed by means of the  $L$ -operator for the XXZ model in the exactly solvable models. We see that this invariant contains essentially different parameters from the ones known so far.

## 1. Introduction

We have researched on the invariants of links in a handlebody or a solid torus associated with the representations of the quantum group  $U_q(sl_2)$  in [4], [5]. This note gives a slightly different approach to construct invariants of links in a solid torus from the ones so far. Although we mostly follow the method of construction due to Turaev ([1]), Morton-Strickland ([3]) or us, a new tool is adopted to characterize the embedding of the link into a solid torus, which is called  $L$ -operator.

Let us briefly mention here the background of  $L$ -operator. There are numerous models in statistical physics worked out to describe the phase transition phenomena. The Yang-Baxter equation is well-known as the master equation in solvable models, for the solution of Yang-Baxter equation, so called  $R$ -matrix, gives foundations of the solubility of the model. For an  $R$ -matrix,  $L$ -operator is defined as to satisfy a certain commutation relation. Owing to this relation,  $L$ -operator leads the link invariants into the solid torus world.

In the following section, we define the  $R$ -matrix and  $L$ -operator for XXZ model, which is not only a famous but an important subject in solvable models, closely related to the quantum group  $U_q(sl_2)$ . Next, we reformulate the construction of the invariant by means of the  $L$ -operator. Finally, we give some concrete examples of the invariant.

Since our invariant has three specific parameters regarded as the generators of  $U_q(sl_2)$ , it may contain more informations than the others already known. It is more important to investigate the geometrical meanings of the parameters and the relationships to the other invariants. They will, however, be discussed in the separate paper.

## 2. XXZ model

We briefly review here the XXZ model in solvable lattice models in statistical physics. Let us begin with the Hamiltonian for XYZ model, that is

$$H = \sum_n J_x \sigma_n^x \sigma_{n+1}^x + J_y \sigma_n^y \sigma_{n+1}^y + J_z \sigma_n^z \sigma_{n+1}^z, \quad (1)$$

where  $\sigma_n$ 's are spin variables and  $J$ 's are parameters. In the case where  $J_x=J_y=J_z$  or  $J_x=J_y$ ,

it is called the XXX or XXZ model, respectively. In the context of the quantum inverse scattering method,  $L$ -operator plays an important role to describe the Hamiltonian. From our point of view, it is a key tool to construct solid torus link invariants.

Let  $V$  and  $W$  be vector spaces over  $\mathbb{C}$ . Generally speaking, the  $L$ -operator  $L(\lambda) \in V \otimes W$  defined by the commutation relation

$$R^{12}(\lambda - \mu)L^{13}(\lambda)L^{23}(\mu) = L^{23}(\mu)L^{13}(\lambda)R^{12}(\lambda - \mu) \quad \text{on } V \otimes V \otimes W, \quad (2)$$

where  $R(\lambda) \in V \otimes V$  is so called  $R$ -matrix, which satisfies the Yang-Baxter equation:

$$R^{12}(\lambda - \mu)R^{13}(\lambda)R^{23}(\mu) = R^{23}(\mu)R^{13}(\lambda)R^{12}(\lambda - \mu) \quad \text{on } V \otimes V \otimes V. \quad (3)$$

The indices  $i, j$  of  $L^j$  or  $R^j$  mean that  $L$  or  $R$  act on the  $i$ th and  $j$ th components and as identity on the other component.

It is well-known that there are various solutions of (2) and (3) corresponding to each model. We introduce them in an appropriate form for our purpose. Suppose that  $V = \mathbb{C}^2$ . We recall the solutions for spin 1/2 XXZ model according to Faddeev ([6], [7]), that is,

$$L(\lambda) = \begin{pmatrix} \sinh[\gamma(\lambda + iS)] & iF \sin \gamma e^{\gamma\lambda} \\ iE \sin \gamma e^{-\gamma\lambda} & \sinh[\gamma(\lambda - iS)] \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$R(\lambda) = \begin{pmatrix} \sinh[\gamma(\lambda + i)] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sinh \gamma \lambda & i \sinh \gamma e^{\gamma\lambda} & 0 \\ 0 & i \sinh \gamma e^{-\gamma\lambda} & \sinh \gamma \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sinh[\gamma(\lambda + i)] \end{pmatrix}, \quad (5)$$

where  $\gamma$  is a complex parameter and,  $E, F$  and  $S$  will be defined just below. Set  $q = e^{i\gamma}$ ,  $x = e^{\gamma\lambda}$  and  $K = e^{i\gamma S}$ . Then the operators decompose as follows:

$$L(\lambda) = xL_+ - x^{-1}L_-, \quad R(\lambda) = xR_+ - x^{-1}R_-, \quad (6)$$

where

$$L_+ = \begin{pmatrix} K & (q - q^{-1})F \\ 0 & K^{-1} \end{pmatrix}, \quad L_- = \begin{pmatrix} K^{-1} & 0 \\ -(q - q^{-1})E & K \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$R_+ = \begin{pmatrix} q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & q - q^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q \end{pmatrix} \quad \text{and} \quad R_- = \begin{pmatrix} q^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -(q - q^{-1}) & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q^{-1} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Let us explain what the matrix elements  $E, F$  and  $S$  are. They are well-known as the representations on  $W$  of the generators of the quantum group  $U_q(\mathfrak{sl}_2)$ , which is some kind of deformation of the Lie algebra  $\mathfrak{sl}_2$  with  $q$  as deformation parameter. Namely, they satisfy the

relations:

$$KE=qEK, \quad KF=q^{-1}FK, \quad [E, F] = \frac{K^2-K^{-2}}{q-q^{-1}} \quad (9)$$

Note that if  $P$  is a permutation matrix, that is,  $P(x \otimes y) = y \otimes x$ , then

$$R_- = PR_+^{-1}P \quad \text{and} \quad R_+ - R_- = (q - q^{-1})P, \quad (10)$$

and decomposed operators also satisfy the relation like as (2) and (3);

$$(Id_w \otimes PR_{\pm}) \circ (PL_{\pm} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes PL_{\pm}) = (PL_{\pm} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes PL_{\pm}) \circ (PR_{\pm} \otimes Id_w), \quad (11)$$

$$(Id_2 \otimes PR_{\pm}) \circ (PR_{\pm} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes PR_{\pm}) = (PR_{\pm} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes PR_{\pm}) \circ (PR_{\pm} \otimes Id_2), \quad (12)$$

where  $Id_w$  and  $Id_2$  are the identity operators on  $W$  and  $\mathbb{C}^2$ , respectively. We shall make use of these operators without spectral parameters in the following sections.

### 3. Construction of the invariant

In this section, we construct an invariant of links embedded in a solid torus in almost the same way as [5]. However, we consider a slightly different situation from [5], to characterize the embedding of a link in a solid torus.

We regard a solid torus as  $\Sigma \times I$ , where  $\Sigma$  is an annulus and  $I = [0, 1]$ . Suppose  $\Sigma$  is embedded in  $\mathbb{R}^2$  and the coordinate of the center of  $\Sigma$  coincides  $(0, 0)$ , that is,  $\Sigma = \{(x, y) \mid r_1^2 \leq x^2 + y^2 \leq r_2^2\}$ . Moreover, as an additional situation, we suppose that a piece of "rope" winds around the torus and the "rope" is fixed as illustrated in Fig. 1 (i).

We call  $D$  a diagram of a link in a solid torus, here, if  $D$  is an ordinary projection of the link together with the "rope" onto  $\mathbb{R}^2$  as shown in Fig. 1 (ii).

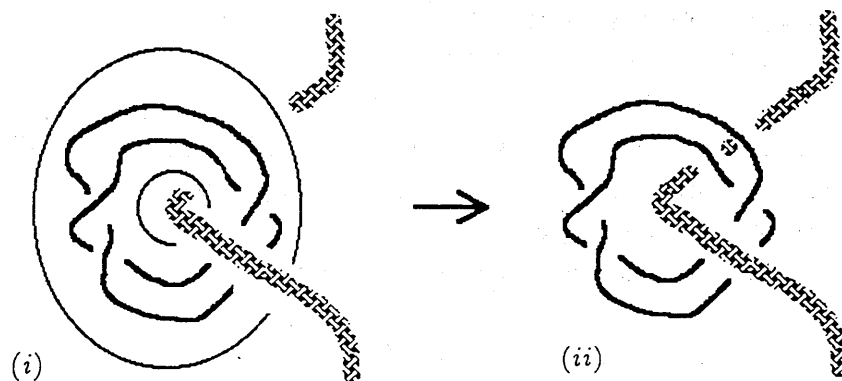
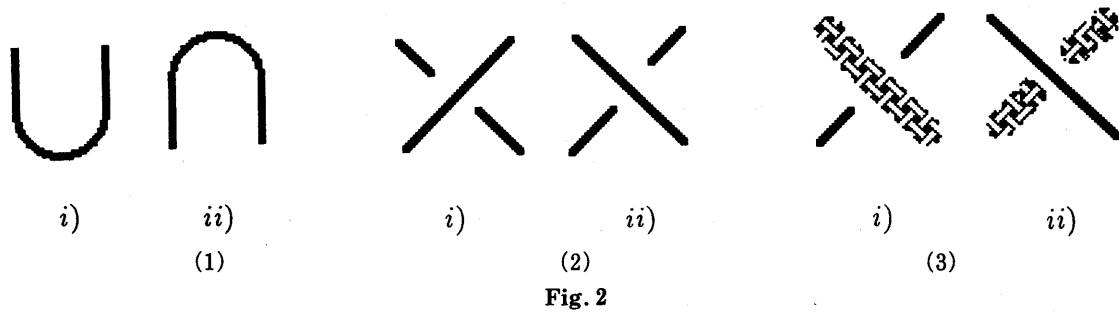


Fig. 1

A point of  $D$  is called critical if it is a point in which (1) the tangent line is parallel to the  $x$ -axis, (2) a self-crossing point of link strands or (3) a crossing point of a link strand and the "rope" shown in Fig. 2.



Let  $d$  be the number of critical points of  $D$ . We draw  $d+1$  parallel lines  $\{y=\alpha_i\}_{1 \leq i \leq d+1}$  satisfying the following conditions: (1)  $-r_2 = \alpha_1 < \alpha_2 < \dots < \alpha_{d+1} = r_2$ . (2) Each open strip  $\alpha_i < y < \alpha_{i+1} (i=1, 2, \dots, d)$  either contains exactly one critical point of  $D$  or does not contain critical points of  $D$ . (3) None of these lines  $\{y=\alpha_i\}$  contains a critical point of  $D$ .

We assign  $\mathbb{C}^2$  and  $W$  to the link strand and the "rope", respectively. With each line  $y=\alpha_i, i=1, 2, \dots, d+1$ , we associate a vector space  $V^i$  which is the tensor product of the vector spaces assigned to the strings which meet the horizontal line. In particular, if that line doesn't meet any strings of the diagram then we define  $V^i := \mathbb{C}$ .

With each strip  $\alpha_i < y < \alpha_{i+1}$  we associate a linear operator  $f_i: V^i \rightarrow V^{i+1}$  in the following way. Let  $e_{-1/2} := {}^t(1, 0), e_{1/2} := {}^t(0, 1)$ . With the critical points depicted in Fig. 2, we associate the following operators, respectively:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & i) \quad c: \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2 \\
 & \quad \quad c(1) = \sum_{i=-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} (-1)^{\frac{1}{2}-i} q^i e_i \otimes e_{-i} \\
 & \quad ii) \quad a: \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2 \rightarrow \mathbb{C} \\
 & \quad \quad a(e_k \otimes e_l) = (-1)^{\frac{1}{2}-k} q^k \delta_{k,-l} \\
 (2) \quad & i) \quad \check{R}: = PR_+ : \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2 \rightarrow \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2 \\
 & \quad ii) \quad \check{R}^{-1}: \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2 \rightarrow \mathbb{C}^2 \otimes \mathbb{C}^2 \\
 (3) \quad & i) \quad \hat{L}: = PL_+ : \mathbb{C}^2 \otimes W \rightarrow W \otimes \mathbb{C}^2 \\
 & \quad ii) \quad \check{L}: = L^{-1}P : W \otimes \mathbb{C}^2 \rightarrow \mathbb{C}^2 \otimes W.
 \end{aligned}$$

With the strand parallel to the  $y$ -axis we associate the identity operator on  $\mathbb{C}^2$  or  $W$ . Then, for the strip containing a critical point we define a linear operator  $f_i: V^i \rightarrow V^{i+1}$  by the tensor product of the operators defined above.

Since  $V^1 = V^{d+1} = (\mathbb{C} \otimes) W$ , we have a linear operator

$$P_D := f_{d+1} \circ f_d \circ \dots \circ f_1: (\mathbb{C} \otimes) W \rightarrow (\mathbb{C} \otimes) W.$$

For an arbitrary vector  $w$  in  $W$ , we can express the image of  $1 \otimes w$  by  $P_D$  in the form  $P_D(q, E, F, K) w$ , where  $P_D(q, E, F, K)$  is some formal powers and linear combinations of  $q, E, F$  and  $K$ . Suppose that  $E, F$  and  $K$  are the generators of  $U_q(\mathfrak{sl}_2)$ . Then we may consider that  $P_D(q, E, F, K)$  takes its values in  $U_q(\mathfrak{sl}_2)$ . Hence we obtain the following result as an analogous one to Theorem 2.1 of [4] or Proposition 1.1 of [5].



**Proposition 3.1** *Let  $\mathcal{L}$  be an unoriented link in a solid torus and  $D$  a diagram of  $\mathcal{L}$ . Then  $P(\mathcal{L}) := P_D(q, E, F, K) \in U_q(\mathfrak{sl}_2)$  is a regular isotopy invariant of  $\mathcal{L}$  and has the following properties :*

- (1)  $P(\bigcirc) = q + q^{-1}$
- (2)  $P(\delta) = -q^{\frac{3}{2}} P(\cup)$   
 $P(\zeta) = -q^{-\frac{3}{2}} P(\cup)$
- (3)  $q^{\frac{1}{2}} P(\times) - q^{-\frac{1}{2}} P(\times) = (q - q^{-1}) P(\cdot)$

We can prove Proposition 3.1 by using the following lemmas and the properties of  $\check{R}$  along the same lines of Theorem 2.1 in [4]. Therefore we omit to write down the proof.

**Lemma 3.2**

- (1)  $(Id_2 \otimes a) \circ (c \otimes Id_2) = Id_2 = (c \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes a)$
- (2)  $(Id_2 \otimes a) \circ (\check{R} \otimes Id_2) = (a \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \check{R}^{-1})$
- (3)  $(Id_2 \otimes a) \circ (\check{R}^{-1} \otimes Id_2) = (a \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \check{R})$

**Lemma 3.3**

- (1)  $(\hat{L} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \hat{L}) \circ (c \otimes Id_w) = P \circ (c \otimes Id_w)$
- (2)  $(Id_2 \otimes \check{L}) \circ (\check{L} \otimes Id_2) \circ (c \otimes Id_w) = P \circ (c \otimes Id_w)$
- (3)  $(a \otimes Id_w) \circ (\hat{L} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \hat{L}) = P \circ (a \otimes Id_w)$

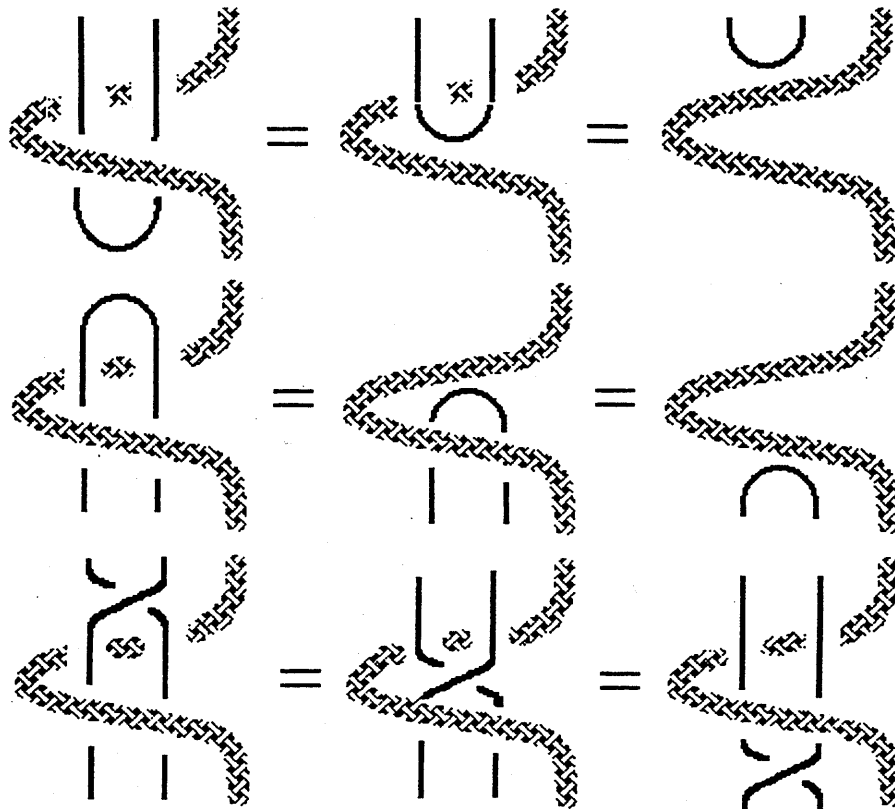


Fig. 3

- (4)  $(a \otimes Id_w) \circ (Id_2 \otimes \check{L}) \circ (\check{L} \otimes Id_2) = P \circ (a \otimes Id_w)$
- (5)  $(Id_w \otimes \check{R}^{\pm 1}) \circ (\hat{L} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \hat{L}) = (\hat{L} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \hat{L}) \circ (\check{R}^{\pm 1} \otimes Id_w)$
- (6)  $(Id_2 \otimes \check{L}) \circ (\check{L} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \check{R}^{\pm 1}) = (\check{R}^{\pm 1} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes \check{L}) \circ (\check{L} \otimes Id_2)$

Note Lemma 3.3 corresponds to the diagrams in Fig. 3. In Lemma 3.3, the equalities from (1) to (4) are assured directly by definitions and the others follows from the equations (11) and (12) in the section 2.

#### 4. Examples

In this section, we give two simple examples of our invariant and make a comparison with the one derived from our previous work.

Let  $K_1$  and  $K_2$  be knots in a solid torus which are represented by the diagrams  $D_1$  and  $D_2$ , respectively, illustrated in Fig. 4.

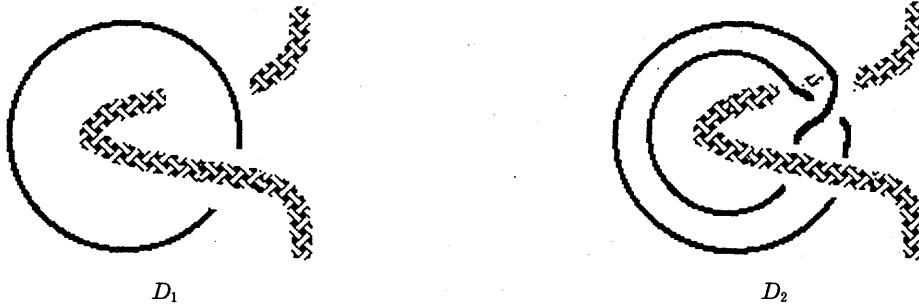


Fig. 4

With each diagram, we may associate the following linear operators by definition described in the previous section.

$$\begin{aligned}
 P_{D_1} &= (a \otimes Id_w) \circ (Id_2 \otimes \check{L}) \circ (Id_2 \otimes \hat{L}) \circ (c \otimes Id_w); \\
 P_{D_2} &= (a \otimes Id_w) \circ (Id_2 \otimes a \otimes Id_2 \otimes Id_w) \circ (Id_2 \otimes Id_2 \otimes \check{R} \otimes Id_w) \circ (Id_2 \otimes Id_2 \otimes Id_2 \otimes \check{L}) \\
 &\quad \circ (Id_2 \otimes Id_2 \otimes \check{L} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes Id_2 \otimes \hat{L} \otimes Id_2) \circ (Id_2 \otimes Id_2 \otimes Id_2 \otimes \hat{L}) \\
 &\quad \circ (Id_2 \otimes c \otimes Id_2 \otimes Id_w) \circ (c \otimes Id_w).
 \end{aligned}$$

Then, after troublesome calculations, we obtain the following result:

$$\begin{aligned}
 P(K_1) &= (q - q^{-1})^2 EF + qK^{-2} + q^{-1}K^2; \\
 P(K_2) &= q(q - q^{-1})^4 E^2 F^2 + (q^2 + 1)(q - q^{-1})^2 (q^2 EFK^{-2} + q^{-2} EFK^2) + q^3 K^{-4} + q^{-1} K^4 + q - q^{-1}.
 \end{aligned}$$

In our previous work ([5]), we could also derive the similar invariants for  $K_1$  and  $K_2$ , that is,

$$\begin{aligned}
 P_{\frac{1}{2}}(K_1) &= qt^{-1} + q^{-1}t; \\
 P_{\frac{1}{2}}(K_2) &= q^{-1/2} (q^3 t^{-2} + q^{-1} t^2 + q - q^{-1}).
 \end{aligned}$$

Compared with them, it is clear that our new invariant has additional and essentially new parameters (i.e  $E$  and  $F$ ). Therefore our invariant is expected to be an extension of the previous

one. We have to continue our inquiry to make clear the meanings of new parameters.

## 5. Acknowledgment

This work is partially supported by Grant-in-Aid for Encouragement of Young Scientists 08740080, the Ministry of Education, Science, Sports and Culture, Japan.

## References

- [1] V.G. Turaev, *The Conway and Kauffman modules of solid torus with an appendix of the operator invariants of tangles*, LOMI preprint **E-6-88** (1988).
- [2] A.N. Kirillov and N.Yu. Reshetikhin, *Representations of the algebra  $U_q(\mathfrak{sl}_2)$ ,  $q$ -orthogonal polynomials and invariants of links*, in "Infinite dimensional Lie algebras and groups" (ed. V.G. Kac), World Scientific, 1989, 285-342.
- [3] H.R. Morton and P. Strickland, *Jones polynomial invariants for knots and satellites*, Math. Proc. Camb. Phil. Soc. **109** (1991), 83-103.
- [4] S. Nakabo, *An invariant of links in a handlebody associated with the spin  $j$  representation of  $U_q(\mathfrak{sl}(2, \mathbb{C}))$* , Proc. Amer. Math. Soc. **118** (1993), 645-655.
- [5] S. Nakabo, *Links in a solid torus and dichromatic link invariants derived from quantum groups*, J. Knot Theory Ramifications **3** (1994), 187-195.
- [6] L.D. Faddeev, *Algebraic aspects of the Bethe ansatz*, Int. J. Mod. Phys. A **10** (1995), 1845-1878.
- [7] L.D. Faddeev, *How Algebraic Bethe ansatz works for integrable model*, hep-th/9605187.
- [8] C. Gómez, M. Ruiz-Altaba and G. Sierra, *Quantum groups in two-dimensional physics*, Cambridge UP, Cambridge, 1996.



## 一般論文

## フッ素樹脂の溶融加圧接着

湊 喜久雄  
入 江 和 隆  
三 浦 毅\*

## Study on Adhesion of PTFE by Hot Press Method

Kikuo MINATO  
Kazutaka IRIE  
Tsuyoshi MIURA\*

One of the most remarkable features of polytetrafluoroethylene (PTFE) is weak adhesion because of its very low surface energy. To improve such bondability of PTFE, various surface modifications of bulk PTFE have been developing. In this work, bulk PTFE is bonded to steel surface by means of hot press method. The bond strength of PTFE depends on pressure applied to melted PTFE at 380°C. Maximum bond strength about 10MPa is obtained for pressure range from 15 to 18MPa. Results of FT-IR measurement indicate that fluorine is replaced by oxygen or hydrogen at the surface of PTFE due to the effects of pressure and heat. These functional groups may contribute to the increase of bond strength.

## 1. はじめに

PTFEは、耐薬品性、電子特性、摩擦特性などに優れ半導体、医療用具などいろいろの分野で使用されている。しかし、その特長である非粘着性、非ぬれ性によって、他の材料との接着や複合化が困難である。

PTFEの接着には、通常、薬品<sup>1)</sup>や添加剤<sup>2)</sup>あるいはプラズマによる表面処理<sup>3)</sup>を行い、接着強度を上げる工夫がなされているが、実用上十分な接着強度が得られているとは言い難い。本報告では、圧縮成型したPTFE粉末を、溶融加圧することにより、金属とフッ素樹脂を直接接着した。この方法によると、通常の接着方法に比べて4～5倍の接着強度が得られることを見い出した。

## 2. 実験方法

PTFE試料は、ダイキン工業(株)製ポリフロンM-12を用いた。図1に粉末試料の加圧成型と溶融接着を行った装置を示す。径50mm、長さ70mmのステンレス容器の周囲をヒーターで巻き、中心に径12mmの穴をあけ、この中で試料を成型し、溶融加圧して金属と接着した。

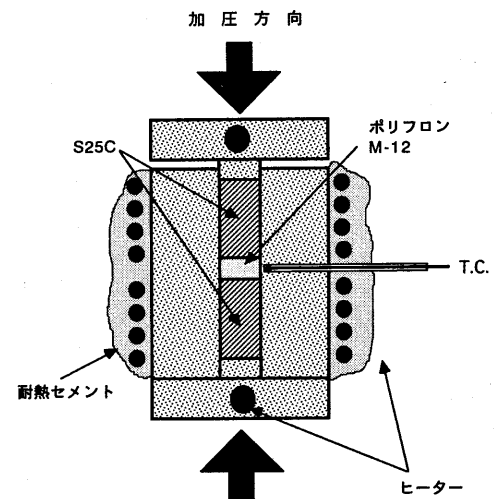


図1 加圧溶融接着容器

粉末試料0.300グラムを2本の炭素鋼棒(S25C)の間に入れて、上下を2個の蓋で塞ぐ。これを油圧プレスで鋏み、室温で20～22MPaの圧力を15分間加えて、径12mm、厚さ2mmの樹脂円板に成型した。圧力は油圧プレスのプランジャーにロードセル(オリエンテック社製CAX, Max 2tonf)をとりつけて測定した。

炭素鋼棒(S25C)は径12mm、長さ30mmに旋削した。樹脂と接着させる鋼棒は、接着面を#150

ペーパーで研磨して粗く仕上げ、アセトンで15分間超音波洗浄し、乾燥機で乾燥した。

試料を加熱し、また熔融した試料を所定の温度に保持するために、容器側面のヒーターを温度制御装置で制御し、試料温度を±0.1℃以内に制御した。試料温度を測定するために、図1のステンレス容器の側面から、試料円板の外周面0.5mmの位置まで穴をあけ、これに熱電対を挿入して温度を測定し、これを試料温度とした。上下2個の蓋のヒーターには、一定電圧を加え、試料温度に伴いこの電圧を適宜調節した。

試料温度は、室温から300℃まで約35分で加熱した。300℃に達したとき、試料に10~30MPaの圧力(以後初期圧と呼ぶ)を加えて、試料温度を30分間で380℃に上げ、この温度で試料を所定の時間保持した。圧力が加わると試料の融点は上がり、300℃~380℃の温度領域で試料の融解が始まる。このときの試料内部の温度をできるだけ均一にするために、この温度領域では、昇温速度を小さくした。試料は初期圧により一定体積に保たれているので、試料が融解し始めると、熱膨張により試料の内部圧が急激に増加する。試料の最高温度380℃において到達する試料の圧力(以後最大圧力と呼ぶ)は、初期圧に依存する。したがって、初期圧を変えて最大圧力を調節することにより、接着強度が異なる試料が得られた。380℃で温度を一定に保つと、圧力も最大圧力のまま一定に保たれる。所定の時間の間、この温度と圧力に保った後、試料温度を220℃~240℃まで下げ、以後室温まで自然冷却した。加熱試料に対する加圧は、油圧プレスプランジャーにロードセルを取付けて、図1の装置全体をステンレス容器の軸方向に加圧した。ロードセルに対する熱の影響を防ぐために、ステンレス容器の上側の蓋とロードセルとの間には、面積の大きい銅板のフィンをつけたブロックを挟み、フィンを空冷してロードセルの温度上昇を防いだ。ロードセル本体の温度は、つねに室温程度に保たれていたため、圧力の測定値に対する熱の影響は無視できると思われる。

接着強度は、島津製作所製オートグラフ試験機(AG5000)を用い、クロスヘッド速度0.5mm/min、室温で測定した。

FT-IR スペクトルは、日本分光製フーリエ赤外線顕微鏡(UMA300A)による反射吸収法(RAS)および日本バイオ・ラッドラボラトリーズ製フーリエ変換赤外分光光度計(FTS-40)による光音響分光法(PAS)で測定した。

XPS スペクトルは、島津製作所製X線光電子分光分析装置(ESCA-1000)を用いて測定した。X線にはMgK α線を用い、電圧8KV、電流30mAで測定した。深さ方向の分析は2KV、20mAのアルゴンイオンでエッチングした。

### 3. 実験結果および考察

熔融加圧によって、炭素鋼表面に接着したPTFEの表面と未接着のPTFEの表面状態を比較するために、FT-IR スペクトルの測定をおこなった。図2に試料として用いたポリフロンM-12(粉末)の赤外吸収スペクトルを示す。1160および1210cm<sup>-1</sup>付近にPTFEの吸収スペクトルが見られる。この粉末試料を20MPaの圧力で成型し、炭素鋼の間に挟んで、圧力を加えずに380℃で焼成した。この場合、PTFEは炭素鋼と接着することはない。この試料表面(以後未接着面と呼ぶ)の赤外吸収スペクトルを図3に示す。

炭素鋼に接着したPTFEについて、次の3通りの場合の赤外吸収スペクトル(PAS)を測定し、図3の未接着面のそれとの差スペクトルをとり、接着強度との関連について検討した。

- (a) 接着強度9.3MPaの接着面(図4)
- (b) 接着強度1.7MPaの接着面(図5)
- (c) (a)の接着表面よりやや内側の層(図6)
- (d) (b)の接着表面よりやや内側の層(図7)

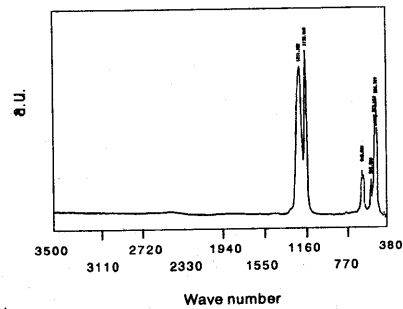


図2 ポリフロンM-12のFT-IR スペクトル

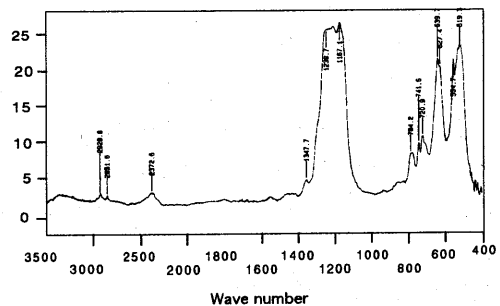


図3 無加圧焼成のポリフロンM-12のFT-IR スペクトル

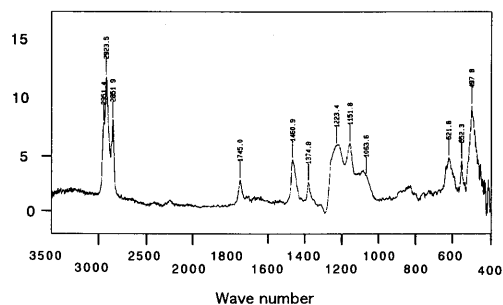


図4 金属溶解除去した PTFE 接着面の FT-IR スペクトル (接着強度9.3MPa)

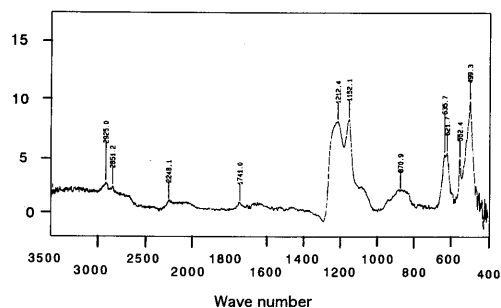


図5 金属溶解除去した PTFE 接着面の FT-IR スペクトル (接着強度1.7MPa)

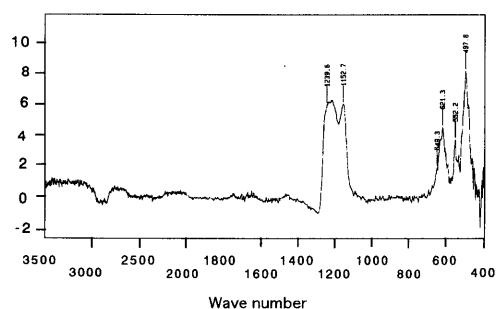


図6 引っ張り試験により接着表面層を剥離された PTFE の FT-IR スペクトル (接着強度9.3MPa)

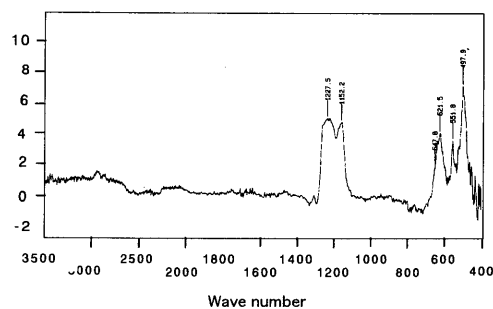


図7 引っ張り試験により接着表面層を剥離された PTFE の FT-IR スペクトル (接着強度1.7MPa)

(a) の接着面は次のようにして得られた。図1に示す装置でフッ素樹脂を接着させた炭素鋼棒を引っ張り試験機で引っ張り、強度測定を行なうと、試験試料はフッ素樹脂の所から二つに分離される。分離された炭素鋼棒のうち、フッ素樹脂円板がついている方の炭素鋼棒を切断し、残りの鋼を硝酸で溶解してフッ素樹脂表面を露出させた。このとき得られたフッ素樹脂の表面は、接着面の本来の状態と考えられる。これが、(a)、(b)の接着面である。以下この面を金属除去接着面と呼ぶ。

(c) は、接着強度試験によって炭素鋼棒から引き離されて露出した PTFE の破断面である。この面の状態は、接着状態によって異なっている。PTFE の接着面を含む極く薄い樹脂層は、炭素鋼にくっついて剥離され、接着面よりやや下の層が露出したものと考えられる。(c) の面を以後剥離面と呼ぶ。

図4は、試料表面と接着していた炭素鋼を溶解して、露出した樹脂の金属除去接着面について赤外吸収スペクトルを測定し、未接着面のスペクトルとの差をとったものである。試料の接着強度は9.3MPaであり、通常の接着強度の4倍程度の強さである。このように、接着強度の大きい接着面では、未接

着試料表面に見られない、 $2850\sim 2950\text{cm}^{-1}$  付近に  $\text{C-CH}_2\text{-C}$  の吸収スペクトル、 $1700\text{cm}^{-1}$  付近には  $\text{C=O}$  の、また  $1100\text{cm}^{-1}$  付近に  $\text{C-O}$  の吸収スペクトルが見られる。

図5に、接着強度が小さい1.7MPaの接着面(b)と未接着面との差スペクトルを示す。図4に見られる吸収スペクトルは弱くなっている。

図6および図7に、樹脂接着面が剥離された樹脂面と未接着面との差スペクトルを示す。接着強度の大(図6)、小(図7)に拘わらず図4に見られる  $\text{C-CH}_2\text{-C}$ 、 $\text{C=O}$ 、 $\text{C-O}$  などの吸収スペクトルは見られない。図4に見られる官能基は樹脂の表面近傍のみに生成されていると考えられる。

以上のことから、強く接着している PTFE の接着面では、表面層の近傍で、 $\text{C-CH}_2\text{-C}$ 、 $\text{C=O}$ 、 $\text{C-O}$  などの官能基の生成が著しく、これらが金属との接着に関連していると考えられる。また、接着表面層より少し下の層では、本来の PTFE のままであると思われる。

試料円板を作成する際に、室温に置かれた金属と樹脂の界面間には、水分を含む空気が僅かに残っていると考えられ、また、円板試料の周縁部分は空気

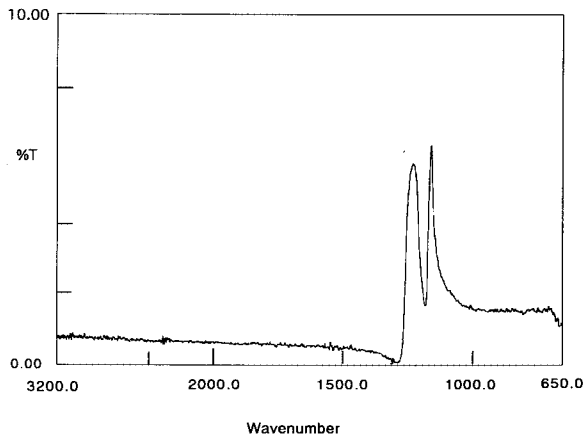


図8 金属溶解除去した PTFE 接着面周縁部の顕微 FT-IR スペクトル (接着強度11.3MPa)

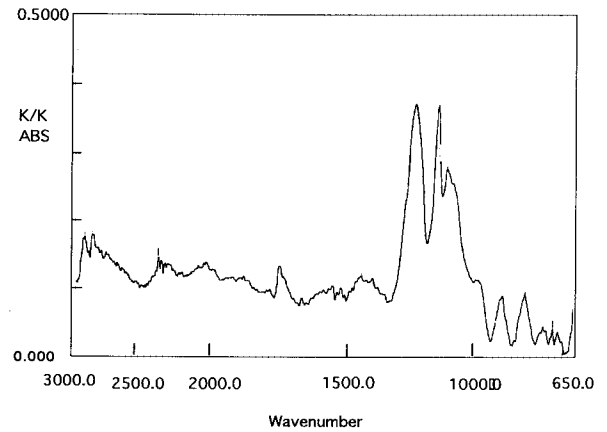


図9 図8の試料面中心部の顕微 FT-IR スペクトル

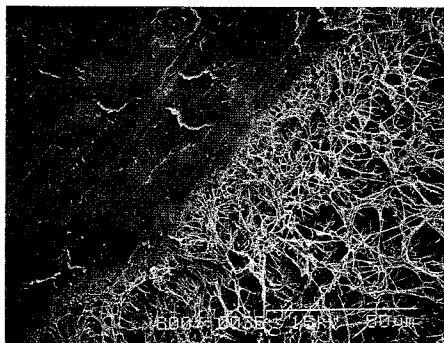


写真1 引っ張り試験後の図8の PTFE の破断面周縁部

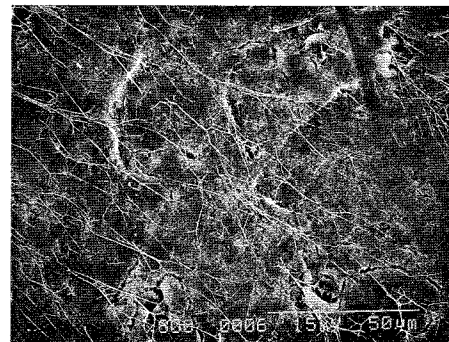


写真2 引っ張り試験後の図8の PTFE の破断面中心部

と接している。一方、圧縮成型された粉末樹脂の試料内部には空気は殆ど存在しないか、存在してもその量は極めて少ないと考えられる。金属と樹脂の界面や樹脂周縁部に空気が存在する雰囲気の中で、溶融した樹脂に圧力が加わると、金属の触媒効果もあって PTFE の C-F 結合が切れ、これに雰囲気中の酸素や分解した H<sub>2</sub>O の H が、C-F 結合が切れた C と結合し、C-CH<sub>2</sub>-C、C=O、C-O などの官能基が生成されると推定される。圧力や雰囲気中の酸素や水分の量が官能基の生成に適していれば、接着強度が増加するものと思われる。

圧力が增大すると、試料円板の中心部付近の空気は周縁部に押し出されて、中心部は空気の量が少なくなる。したがって、中心部と周縁部では、これら官能基の生成の度合いが異なっていると考えられる。

このことを確かめるために、顕微 FT-IR を用い、同一試料の接着面の中心部と周縁部について、接着面の微小部分の赤外吸収スペクトルを測定し、官能基が生成されている場所を調べた。試料は、380℃

で最大圧力16.3MPa を30分間保持して接着した。接着強度は11.3MPa である。図8に、金属を溶解除去した樹脂の接着中心部の赤外吸収スペクトルの例を示す。この図が示すように、接着中心部では、PTFE の構造に変化はなく、金属との接着は殆ど生じていないと推定される。一方、周縁部の微小部分では、図9に示すように、図4の場合と同様な吸収スペクトルが見られ、強い接着が主として周縁部で生じていると考えられる。また、周縁部でも吸収スペクトルの様子は場所によって異なっている。これは金属の表面状態、溶融樹脂に対する圧力の場所による不均一によるもので接着面の狭い範囲でも、当然接着の度合いは異なると思われる。したがって、接着面全体にわたって一様に官能基の生成ができれば、接着強度はさらに増加する事が期待できる。

引っ張り試験機で接着強度を測定した後、炭素鋼から引き離されたフッ素樹脂の接着面を観察すると接着強度が大きい試料では、周縁部にフッ素樹脂のフィブリルが残っている場合が多い(写真1)。こ

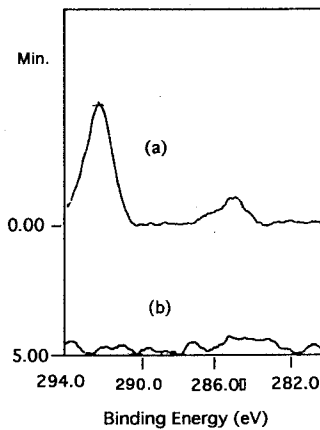


図10 炭素鋼接着面の XPS スペクトル,  $CF_2$  の存在を示す  $C_{1s}$  のピークが見られる (a), アルゴンイオンで5分間エッチングするとピークは見られない。

これは、接着面の周縁部で、金属とフッ素樹脂が強く接着して、引っ張り試験によって、フッ素樹脂の部分から破断がおきていることを示している。これに対して、中心部付近は金属とフッ素樹脂は界面の所から分離している (写真2)。このような破断面の状況は、接着の度合いが、周縁部が中心部より強いことを示すものである。このような周縁部と中心部の接着状態の違いは、先に述べた顕微赤外分光計の測定結果から得られた官能基のスペクトルの場所による違いと対応している。

接着が弱い試料では、炭素鋼接着面の周縁部にフィブリル状のフッ素樹脂が残るようなことはなく、フッ素樹脂は炭素鋼との接着界面からはがれた。このように、金属表面側にフッ素樹脂の痕跡が認め難い場合でも、ESCAによる金属接着面の測定結果から、ごく少量のフッ素樹脂は金属表面に付着していると考えられる。図10 (a) に、炭素鋼接着面の XPS スペクトルを示す。この面には、292.5eV 付近の  $C_{1s}$  ( $CF_2$  により化学シフトした炭素のシグナル) のピークが現れ、 $CF_2$  の存在を示唆するが、さらにアルゴンイオンで5分間エッチングした図10 (b) では、このピークは現れない。この付着が、フッ素樹脂表面に生じた官能基と金属との結合によるものか、あるいは別の原因によるものかは定かではないが、このような金属にフッ素樹脂の付着によって弱い接着が生じていると考えられる。

380℃における最大圧力のもとで熔融接着した試料の接着強度と最大圧力の関係を図11および図12に示す。それぞれ、最大圧力を10分および30分保持し

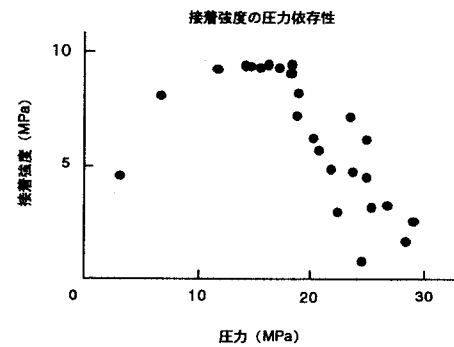


図11 接着強度の最大圧力依存性, 圧力保持時間10分

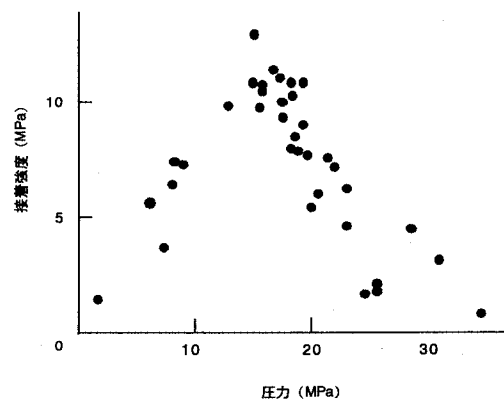


図12 接着強度の最大圧力依存性, 圧力保持時間30分

た場合の接着強度である。これらの図に見られるように、接着強度は最大圧力の増加とともに大きくなり、最大圧力15~18MPaの範囲で接着強度は10MPa程度の極大を示す。さらに最大圧力が増加すると、接着強度は減少する。したがって、熔融したフッ素樹脂を金属に加圧して接着させるには、適切な圧力範囲で行う必要がある。この原因については、次の点との関連が考えられる。

(1) フッ素樹脂と炭素鋼の界面に存在する空気が、加圧によって界面の中心部から周縁部へ追い出される。圧力が大きくなると、この度合いがさらに顕著になって官能基の生成が阻害され、接着強度が低下する。

(2) フッ素樹脂に加わる圧力が増加すると、融点が高くなる。フッ素樹脂の融解が始まると C-F の結合が切れる反応が起こり、先に述べた金属表面とフッ素樹脂との接着が生じるとすれば、融点が高くなると、この反応時間は短くなる。

(3) フッ素樹脂の結晶化温度も圧力に依存する<sup>4)</sup>。圧力によってフッ素樹脂の結晶化度が影響を受け、



これが破壊強度に関連する。

接着強度は、圧力の他に接着面の表面粗さ、接着時における界面の雰囲気、熔融樹脂に対する加圧時間、樹脂の破壊強度などの要因が複雑に関連していると思われる。このために、接着強度のばらつきも多く、引っ張り試験によって生じた破断面の状態も様々であり、これを接着強度と単純に関連づけることは困難であるが、ここでは、その関連が著しいと思われる点について検討した。

#### 4. おわりに

難接着材である PTFE に対して、新しい接着法を試み、以下の結果を得た。

(1) 前処理や接着剤を用いずに熔融 PTFE を金属に直接加圧して接着した。接着強度は従来法より 4～5 倍大きい 10～13MPa の強さが得られた。

(2) 接着強度は、圧力 15～18MPa に対して最大となるので、この圧力領域で加圧熔融接着する必要がある。

(3) PTFE の主構造である  $CF_2$  が分解し、C-F 結合が切れた C と雰囲気中の酸素および水分が分解し生成した O および H が結合し、C-O、C=O、

C-CH<sub>2</sub>-C など官能基が金属と結合して強い接着が生じると考えられる。

(4) 接着は、主として接着面の周縁部で生じている。接着面全面に (3) で述べた官能基の生成が可能となれば、接着強度はさらに増加すると考えられる。

ここで用いた熔融加圧の装置は試験的なものであり、圧力の制御は確実であるが、接着面の形状などが限定されている。今後は、この手法を生かした接着手段の改良と接着全面で接着が生じるような方法の検討の必要がある。

おわりに、FT-IR の測定には日本バイオ・ラッドラボラトリーズ株式会社分析機器部、データ解析には日本製鋼所中央研究所研究部、ESCA の測定には長崎県工業技術センター馬場恒明博士にお世話になった。これらの方々に謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 山崎悦男：接着の技術 10, 10 (1990)
- 2) 三刀基郷：コンバーテック (2), 1 (1989)
- 3) 角田光男：実務表面技術 34, 415 (1987)
- 4) 平川 晋：学位論文「ポリテトラフルオロエチレンの高圧下における物性に関する研究」(九州大学) (1972)

## 一般論文

## 高速原子線を用いたSiウェハラのドライエッチング

入 江 和 隆  
西 村 忠 士\*  
石 橋 幸 子\*  
湊 喜 久 雄

## Dry Etching of Si Wafer by Fast Atom Beam Bombardment

Kazutaka IRIE  
Tadashi NISHIMURA\*  
Sachiko ISHIBASHI\*  
Kikuo MINATO

A dry-etching process using a fast atom beam (F.A.B.) is presented. Inert gas (Ar) is selected for working gas to avoid erosion of the device. An orifice is installed adjacent to the F.A.B. source in order to get a high chamber vacuum pressure. Si wafer is used for target, and an unmasked area of it is sputtered by F.A.B. The etching rate is obtained by measuring the difference of the step height using an advanced surface texture measuring system. As a result, a maximum etching rate of 12 nm/min is confirmed. This rate is much better than seen elsewhere. Findings for a variety of distances between the F.A.B. source and the target is presented, also, the effect of the orifice is discussed.

## 1. はじめに

近年、マイクロマシンの製作等に関連してサブミクロン領域での微細加工を行うための特殊加工技術が注目されている。従来から用いられている化学的エッチング（湿式エッチング法）に加えレーザー加工、電子ビーム加工ならびにイオンビームを固体表面に照射して表面原子を除去するイオンビームスパッタエッチング技術等も広く用いられるようになった（ドライエッチング法）。一般にはイオンビームエッチングにおいてもエッチング速度を上げるために固体表面と反応して固体原子の除去を促進する塩素等の反応性ガスを用いることが多く、その点では化学的なエッチングとの共通性がある技術といえる。ドライエッチング過程は、基本的に固体表面原子と照射ビームとの相互作用で決まりこれらの作用領域は表面から100 Å程度とされている<sup>1)</sup>。この点がサブミクロン以下の超微細加工技術としてドライエッチング技術が期待される理由である。しかし、イオンビームでは絶縁物ターゲットがチャージアップしてしまいエッチングの効率が落ちる為、中性ビーム（Fast Atom Beam/FAB）を用いたエッチング（Fast

Atom Beam Etching/FABE法）が望ましいといえる。下川はこのFABE法に反応性ガスを用いたR-FABE法によりGaAs基板のドライエッチングを行い、高効率でシャープな加工が可能であることを示している<sup>2)</sup>。これはドライエッチングによる微細加工の新しい方法といえる。しかし、R-FABE法では試料ターゲットによりガス種は異なるものの、エッチング速度を上げるために反応性ガスを用いるため、装置や真空排気系に腐食が生じる等の問題点が指摘されている。本研究では装置の腐食がなく、作業環境上安全な不活性原子照射によるFABE法（Fast Atom Beam Etching）によるドライエッチングを行い、微細加工技術の新しい可能性を探る実験を行った。特にFAB源内に流すガス流量とチャンバー内の真空度との関係について基礎データ収集を行い、新しい知見を得たので報告する。

## 2. 実験装置

## 2-1. 照射装置

図1に中性ビーム照射装置（FAB）の概要を示した。FABビーム取り出し部の口径は4インチで、試料交換等を容易にするため、チャンバー上部を開閉式にしたためビームは水平に照射される配置となっ

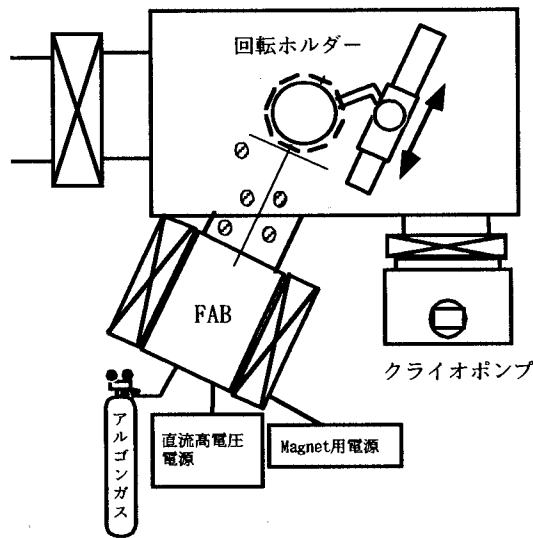


図1 装置構成図

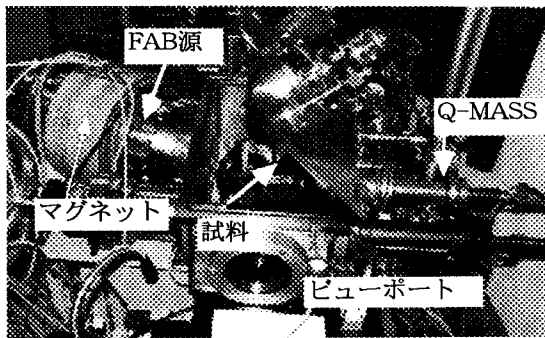


写真1 FABチャンバー

ている (写真1)。FABの構造<sup>3)</sup>を図2に示す。グラファイト製の円筒状カソードの中心にドーナツ型のアノードが配置され、目的とするガスを導入してプラズマを発生させる。プラズマはアノードとカソード間にかけた最大3kVの電圧により電界放射された電子とガス分子との衝突により生成される。電離度を上げるためにカソード周囲には電磁石が取り付けられている。カソードの一方の側はメッシュ状のグラファイト板でビームの引き出し口ともなっている。中性化の原理は次の2点で説明される。

- ① FAB源内で加速されたAr<sup>+</sup>イオンがビーム引き出し孔付近で中性Ar原子と衝突して運動量交換を行いAr原子が高速原子線となる。
- ② ビーム引きだし孔付近ではB-K振動を行う電子や陰極から放出される二次電子とAr<sup>+</sup>イオンが再結合してAr原子線となる。

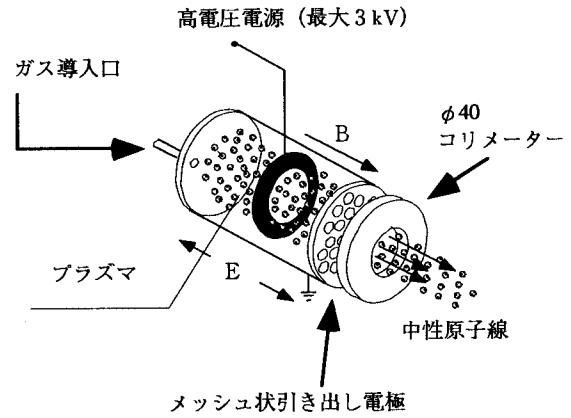


図2 FABの構造

### 2-2. コリメーター部

このFAB源のメッシュ状になったビーム引き出し口には、Φ1mmの穴が約4500個あり、その開口率は56%である。この開口部からアノード電圧で加速されたビームサイズ4インチの中性原子線が取り出されるが、本実験ではこのカソード部にΦ40のSUS製コリメータを取り付けて照射実験を行った。これはチャンバー内の真空度が分子の平均自由行程に大きく影響するため、FAB源内とチャンバー内の真空度に差をつけるためである。この方法では、FAB源内のガス濃度を保ちながら、チャンバー内の真空を向上させることになり、試料への到達原子数の増加が図れ、コリメーターの有無によるスパッタレートの違いを求めることができる。

一般に平均自由行程λは気体分子がMaxwellの速度分布則に従うと単純化すれば、下の式で表される。

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2\pi P \sigma^2}}$$

$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ [J/K]}$  T: 温度  
 $p$ : 圧力 [Pa]  
 $\sigma$ : 原子直径 [m]

Arガスの原子直径を3.6Åと仮定して、λを計算すると室温では次のように求められる。

$$\begin{aligned} \text{圧力} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ Torr} & \dots \lambda = 54 \text{ cm} \\ 2.0 \times 10^{-4} \text{ Torr} & \dots \lambda = 27 \text{ cm} \\ 3.0 \times 10^{-4} \text{ Torr} & \dots \lambda = 18 \text{ cm} \end{aligned}$$

従って、現在の装置配置(カソード部と試料間の距離26.5cm)では $2 \times 10^{-4}$  Torrの真空度以下になると到達原子数の低下が起こりうる。逆にチャンバー内の真空度を $1.0 \times 10^{-4}$  Torrにすれば、到達原子数の増加が図られる。

### 2-3. 試料ホルダー部

試料ホルダーは図3に示した回転ホルダーを自作

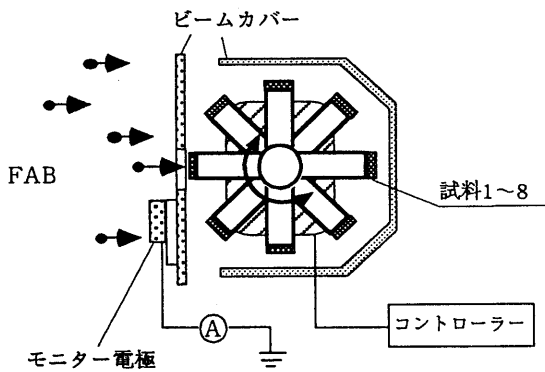


図3 回転試料ホルダー

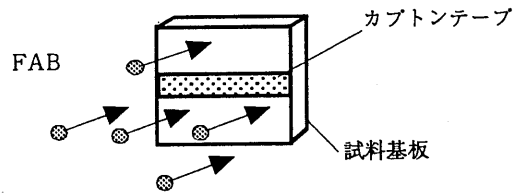


図4 試料形状

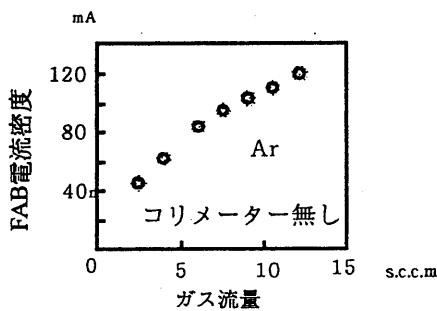


図5-1 FAB電離電流とガス流量

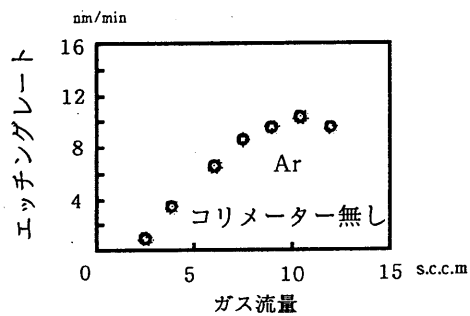


図5-2 エッチングレートとガス流量

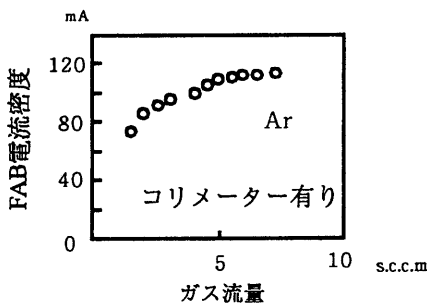


図6-1 FAB電離電流とガス流量

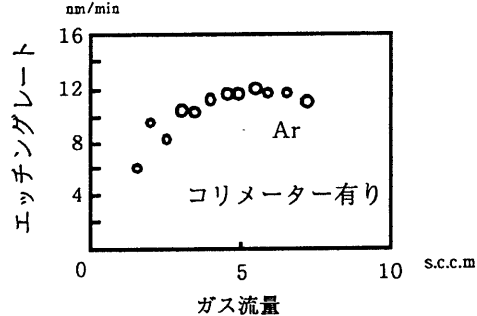


図6-2 エッチングレートとガス流量

し、真空を保ったままで8つの試料へ照射が順次行えるように工夫した。試料基板は半導体の微細加工の可能性とガラス加工の可能性を探るためにSiウェハ(サイズ20×20)を用いた。Siウェハは平面性が高くエッチング後の段差測定が容易になる点でも優れている。今回の実験では、段差測定用に耐熱性カプトンテープを用いて試料表面を図4のようにマスクし、段差は触針式表面形状測定器(Dektak3)で測定した。

### 3. 実験結果

#### 3-1. Ar原子線照射条件とエッチングレート

Ar原子線を次のような条件で試料へ照射した場合のガス流量に対するFAB電離電流、エッチングレ

ートについて示す。まず、カソードにコレクターをつけず、ビーム全体を引き出した場合には、FAB源に供給するArガス流量の増加とともにFABの電離電流は図5-1に示したように増加するが、15s.c.c.m.近傍でも増加している。この場合のチャンバー内のエッチングレートは図5-2のように10s.c.c.m.で最大となった。同様の実験条件でコレクターを取り付けた場合には、図6-1と図6-2に示した結果となった。コレクターを付けてない場合に比べると5s.c.c.m.のガス流量でもFAB電離電流が飽和状態になり5s.c.c.m.近傍でエッチングレートも最大となっている。これはコレクターを付けたことによりFAB引きだし部のコンダクタンスが減少し、小流量でもガスの電離が効率よく行えるようになった

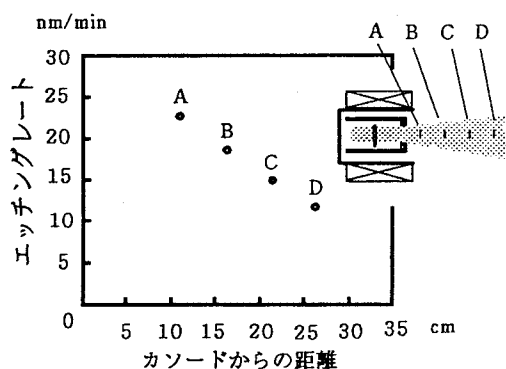


図7 カソード・試料間距離依存性

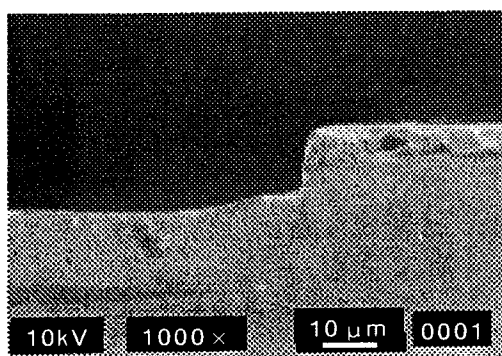


写真2 エッチング後の試料断面 SEM写真

めと考えられる。

同時にエッチングレートにおいても真空チャンバー側の真空度が向上するために FAB の平均自由行程が伸び、小流量のガスによっても多くの Ar 原子がターゲットに照射された為と思われる。測定したチャンバー内の真空度はコリメーターを付けない場合で  $2.9 \times 10^{-4}$  Torr, コリメーターを付けると  $1.7 \times 10^{-4}$  Torr となり、平均自由行程は 1.7 倍に伸びていることになる。エッチングレートの値は  $12 \text{ nm/min}$  でコリメーターのない場合の  $10.3 \text{ nm/min}$  に比べ約 20% 向上していることが分かる。

### 3-2. カソードと試料との距離並びに SEM による加工面の観察

次にエッチングレートに直接関係するカソードから試料までの距離を変えて実験した結果を図 7 に示した。測定位置は図中に示したように 4 箇所である。距離とエッチングレートはほぼ反比例関係にあり、カソードからの距離  $12 \text{ cm}$  でのエッチングレートは  $23 \pm 0.7 \text{ nm/min}$  の値を得た。写真 2 にはエッチング形状を確認した SEM 写真を示している。ドライエッチングを行う上で、試料のマスキングと試料ホルダーのビームに対する角度設定が重要であり、光学用の精密傾斜ステージを用いて試料角度を調整した。またマスキング材として用いたカプトンテープは、長時間の照射を行う場合は、照射による熱のため粘着材が軟化し境界が不鮮明となるので SUS 板をマスク材としてアロン  $\alpha$  で Si ウェハに接着した。この場合も境界を完全に密着させることができず段差形状は垂直にはならなかった。

## 4. 考 察

本研究では不活性ガスによるドライエッチング法

を行うにあたりカソード部にコリメーターを取り付けてビームを絞り、FAB 源内のガス濃度を高めたままチャンバー内の真空度を向上させる差動排気の実験を行った。その結果、電離電圧  $1.1 \text{ kV}$  の Ar 原子線を用いて Si ウェハを最大  $23 \text{ nm/min}$  のエッチングレートで加工できることが確認された。これは下川<sup>2)</sup>による  $1.6 \text{ kV} \sim 1.8 \text{ kV}$  の電離電圧 FAB による GaAs に対する  $500 \text{ nm/min}$  のエッチングレート (塩素ガス使用) と比較すると低いものの、GaAs と Si のスパッタリングイールドの違い (GaAs/Si $\sim 5$ )<sup>1)</sup> を考慮すると実際には反応性スパッタと比較して 1/5 程度のエッチングレートと判断され、従来の値より 1 桁向上したと言える。従って不活性ガスエッチングの応用にも今回の結果は道を開くものと考えられる。ただし、SEM 観察の中でスパッタエッチング部に SUS の粒子が付着していたことが EPMA 分析により明らかになった。この点の改善にはコリメーター素材としてカソードと同じグラファイトの利用が望まれる。さらに、段差形状をシャープにするためのマスキング材料の選択、他の基板に対するエッチングについての効果等の研究が課題であるが、微細加工、精密工作の手段として不活性ガス利用のドライエッチング法は今後もその可能性を追求する必要があると考えられる。

一般に FAB 照射装置は半導体基板の加工を目的の一つとした装置であり、カソード口径を大きくすることが望まれているが、逆にビームを絞ることで FAB 源内のプラズマを維持でき、チャンバーの真空度を向上させた本研究の結果は、スパッタリング効率を高めることにつながると同時に真空ポンプの負担を軽減させることができる。従ってドライエ

チングだけでなくスパッタリングによる製膜を行う場合も、効率は上がるものと期待される。

## 5. おわりに

本研究の実施にあたり、コリメーターの製作ならびにEPMA分析では大電株式会社の藤井英貴氏、大西孝之氏に格別の便宜を図って頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 和佐清孝, 早川 茂: スパッタ技術, 共立出版株式会社 (1988)
- 2) Fusao SHIMOKAWA: Reactive-fast-atom beam

etching of GsAs using Cl<sub>2</sub> gas. J. Appl. phys., 66(6), (1989)

- 3) Fusao SHIMOKAWA: High-power fast-atom beam source and its application to dry etching. J. Vac. Sci. Technol. A, 10(4), (1992)
- 4) 三浦 毅, 入江和隆, 湊喜久雄, 越地尚宏, 山木晋一: デュアルイオンビームミキシング装置の開発とそれを用いた炭素膜の作製, 表面技術 (1992) 第43巻, 第12号
- 5) 入江和隆, 湊喜久雄, 越地尚宏, 山木晋一, 三浦 毅: デュアルイオンビーム照射装置による薄膜作製, 久留米工業高等専門学校紀要 (1993) 第8巻, 第2号
- 6) 蓮山寛機, 湊喜久雄, 入江和隆他: N<sub>2</sub> イオン照射によるTi被膜アルミナの金属-セラミックス界面におけるイオンミキシング効果, 日本溶射協会誌 (1989) 第26巻, 第1号



## 一般論文

## 反応性スパッタリング法による酸化物薄膜の作製

入 江 和 隆  
石 橋 幸 子\*  
西 村 忠 士\*  
湊 喜 久 雄

The Formation of a Thin Metal Oxide Film  
by a Reactive Ion Beam Sputtering Method

Kazutaka IRIE  
Sachiko ISHIBASHI\*  
Tadashi NISHIMURA\*  
Kikuo MINATO

Increased tolerance of the MgO film against plasma exposure is required for its use as the protective cover of the phosphors of plasma display panels (PDP). A reactive ion beam sputtering method is used to make a thin film of MgO on a glass plate. A 20keV Ar<sup>+</sup> beam is used for the sputtering of a Mg target, under the condition of flowing O<sub>2</sub> gas into the chamber. This new process is expected to make good quality film. In order to measure the tolerance of the film against plasma exposure quickly, a fast atom bombardment system (FAB) is newly applied. The tolerance of the MgO film is increased three times compared to the film made with the electron beam evaporation method. The possibility of the application of the new process to the general metal oxide films is discussed.

## 1. はじめに

イオンビーム照射装置を用いたスパッタリング法による薄膜作製は、膜質や膜厚の制御が可能で、幅広い応用が期待できる製膜技術である。本校には加速電圧30kVのデュアルイオンビーム照射装置 (IB-30) があり、これまでに金属基板上へのセラミックス薄膜作製<sup>1)</sup> やシリコン基板上への DLC 膜作製<sup>2)</sup> 等を行ってきた。今回この装置を用いて試料チャンバー内へ酸素ガスを流しながら金属ターゲットをスパッタリングする、いわゆる反応性スパッタリング法による酸化物 (酸化マグネシウム/MgO) 薄膜の作製を試みた。MgO 薄膜は、現在薄型のテレビとして注目されているプラズマディスプレイパネル (P.D.P.) の蛍光体をプラズマによるスパッタリングから保護する透明膜として利用されており、主に典型的な物理的製膜法 (P.V.D. 法) の一つである電子ビーム蒸着法 (EB 蒸着法) により作製されている。P.D.P. の長寿命化にはこの保護膜の耐スパッタ性の向上が不可欠であり<sup>3)4)</sup>、蒸着法よりも密着強

度に優れたスパッタリング法が期待されている。従って本研究では IB-30 を用いたスパッタリング法による作製に注目し、チャンバーに供給する酸素ガスの流量調整を行い、20kV の Ar<sup>+</sup> ビームによる Mg ターゲットのスパッタリングによってプレパラート基板上に厚さ約100nm の MgO 膜の作製を試みた。その膜の構造解析を X 線光電子分光装置と X 線回折法を用いて行った。また、P.D.P. における環境下で必要となる膜の耐スパッタ特性についての評価を高速原子線源 (F.A.B.) を用いて行ったのでその結果を併せて報告する。

## 2. 実験装置概要

使用したイオンビーム照射装置 (図1) は加速電圧が最大30kV で、質量分析電磁石により電荷と質量の揃ったイオン照射を行う事が可能である。またチャンバーには高速原子線 (Fast Atom Beam/F.A.B.) 照射装置が取り付けられており、多様なイオン照射が可能である。通常イオンビームスパッタリングによる薄膜作製では高エネルギーのイオンが固体表面に照射されると、固体表面の構成物質を

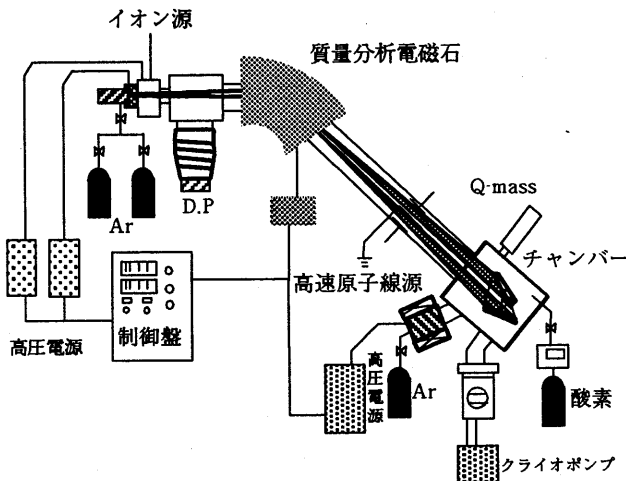


図1 イオンビーム照射装置概要 (IB-30)

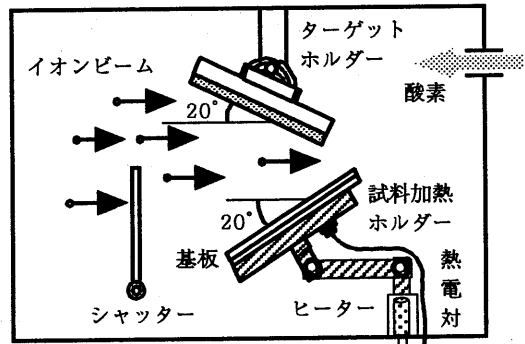


図2 イオンビーム照射配置

じき飛ばして基板上に被膜を形成させるが、今回試みた MgO の反応性スパッタリング (図2) ではチャンバー内に酸素ガスを導入しながら金属 Mg ターゲットのスパッタリングを行って MgO 薄膜をつくるものである。MgO は主にターゲット表面で形成された酸化膜がスパッタされて試料表面に付着するものと考えられる。ターゲットとして MgO の焼結体を用いることもできるが、セラミックスである MgO はスパッタリングレートが小さく製膜効率が低い上に照射イオンによるチャージアップのためスパッタリングが継続できなくなる事から今回の反応性スパッタリング法を採用した。Mg ターゲットは純度99.9%、サイズがφ80mm、厚さ5mmの円板で、水冷されたターゲットホルダーに図2のように入射ビームに対して20°の角度で取り付けた。試料基板も入射ビームに対して20°の角度で設置し、温度は高温用試料ホルダー背面に取り付けた熱電対(クロメル・アルメル)により制御した。照射イオン電流は200~480μA (at target), 照射時間は5時間である。

チャンバー内に流す酸素ガスは、ガス流量コントローラーで供給し、四重極質量分析装置からの残留ガス濃度と電離真空計のデータをコンピューターに取り込んで、酸素ガス分圧の経時変化を測定した。測定システムを図3に示す。

試料基板には膜厚測定用の段差を作るため室温での製膜の場合は耐熱性テープ(カプトンテープ)を張り、試料を高温にして製膜する場合はカバーガラス(カットしたプレパラート)をワイヤーで止めて製膜した。O<sub>2</sub>ガスの導入パイプは図3のようにチャンバー全体に供給する位置に取り付け、濃度は3段

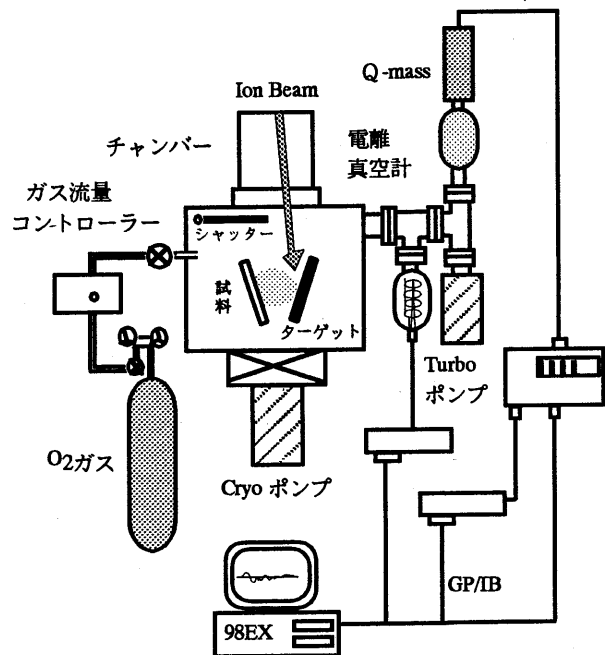


図3 測定システム

階に調整して製膜を行った。

また、イオンビームスパッタリング法と比較するための試料を一般的な MgO 薄膜の製法で作製した。

### 3. 実験結果

各試料への反応性イオンビームスパッタリングの製膜条件ならびに製膜後の膜厚を表1に示した。膜厚測定は触針式表面形状分析機(Dektak3)を用いて行った。その結果室温でのスパッタリングによる膜厚(試料B, C)はいずれも80nm±15nm, 200°Cでのスパッタリング(試料D, E)では120±10nmであった。この違いは室温での製膜中にイオンビーム電流がイオン源のプラズマ状態変化により減少し



表1 実験結果

	試料A	試料B	試料C	試料D	試料E	試料F
成膜方法	スパッタ	反応性 スパッタ	反応性 スパッタ	反応性 スパッタ	反応性 スパッタ	EB 蒸着
酸素濃度 [sccm]	0	0.2	0.4	0.2	0.4	
基板温度 [°C]	室温	室温	室温	200	200	200
膜状態	メタリック膜	透明膜	透明膜	透明膜	透明膜	透明膜
膜厚 [nm]	580	77	78	121	120	92
エッチングレート [nm/min]		>3	>4	0.6	0.6	2

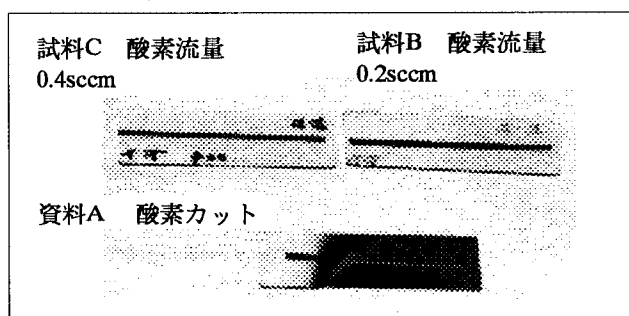


写真1 製膜後の試料写真

たためで、基板温度の変化によるものではない。成膜後の試料を写真1に示したが、酸素を供給しながらスパッタした試料B、Cは透明なMgO膜になっている一方、酸素を供給しないでスパッタした試料Aはメタリックになっている。また試料Aの膜厚は580nmであった。これはターゲット表面に酸化物がなないため、金属Mgがスパッタされたためと考えられ、膜厚の違いは金属と酸化物のスパッタリングレートの違いによるものである。

次にチャンバー内へ酸素を供給している時の真空度と酸素分圧の変化を図4に示す。酸素流量調節器によるガス供給と同時にチャンバー内の真空度ならびに酸素濃度を常時監視できるシステムは、反応性スパッタリングを行う上で不可欠である。今回の測定ではイオンビーム照射開始後2時間までは真空度が徐々に減少しており、これはチャンバー内の吸着ガスの放出によるものと思われる。この吸着ガスの放出が落ちつくと、 $2 \times 10^{-6}$  Torrではほぼ一定になるが一方で酸素濃度（相対比）が上がっていく事が分かる。特に長時間の照射中に酸素濃度が変動する点は重要で、今後この値を制御する事が必要となる。

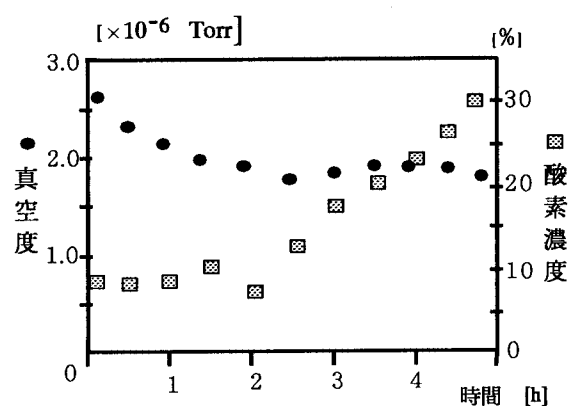


図4 真空度と酸素濃度測定結果

次に光電子分光装置（ESCA）による膜構造分析について深さ方向の組成分布の一例を図5-1に示す。表面から20層の分析を行ったが、表面近傍に存在するMgとO原子および基板のSiO<sub>2</sub>を構成するSiとO原子が8層付近で入れ替わる状態が分かる。MgとSiの交差する部分は界面でのミキシング部と考えられる。図6にはMgとSiについてピークプロファイルの変化を示した。この図からも表面のMgと下地のSiが入れ替わる状態が分かる。ただし、Mgは水との反応が強いため上記分析においてMgOだけでなくMg(OH)<sub>2</sub>の存在も十分に考えられるが、ESCAの分解能では2者の区別はできなかった。ESCAのデータでは単純に元素の存在比率が結合状態を反映しているとは言えず、また上記理由によりMgOだけではないと考えられるが、MgO焼結体を用いて蒸着したEB蒸着法による膜の分析結果（図5-2）と結果がよく一致していることから、今回の反応性スパッタリングによりMgO膜が製膜できたものと考えられる。また酸素流量を変化させた試料Bと試料Cについての分析結果に差は認められず、酸素濃度が製膜に及ぼす影響評価については十分な

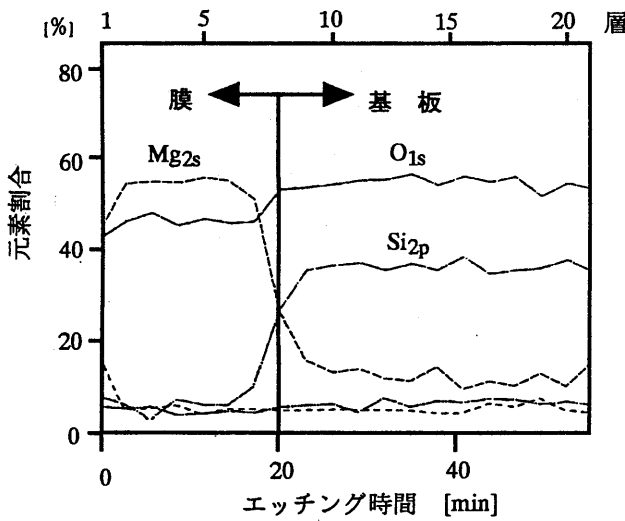


図5-1 ESCA Depth Profile 試料B (反応性スパッタリング)

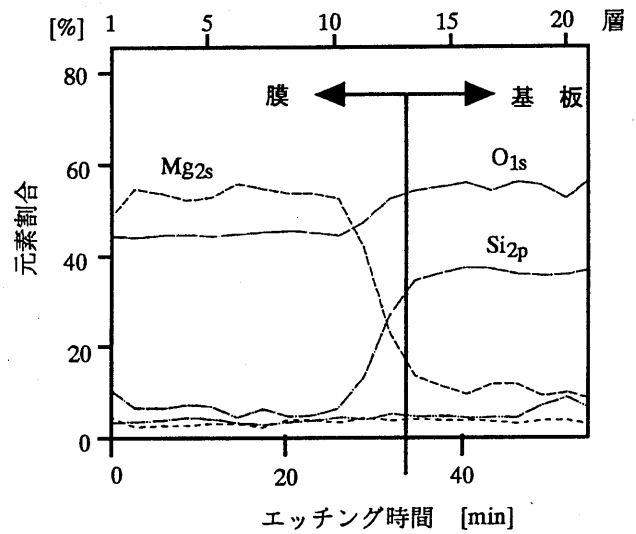


図5-2 ESCA Depth Profile 試料F (EB蒸着)

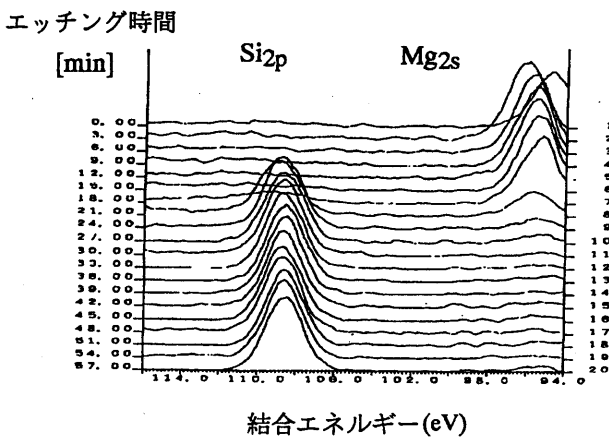


図6 ESCA Peak Profile

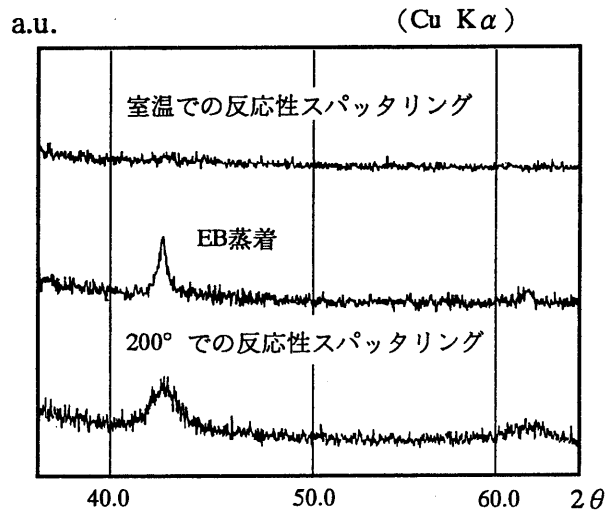


図7 X線回折パターン

知見を得ることができなかった。

これらの試料については薄膜X線回折による結晶性の評価も行ったが(図7), 室温で製膜したMgOはいずれもブラッグピークが得られず, 結晶性は低いと判断される。一方EB蒸着と200℃に加熱してスパッタ製膜した試料では42°付近に小さなピークが得られた。このピークはMgOの100反射( $2\theta = 42.9^\circ$ )またはMg(OH)<sub>2</sub>の101反射( $2\theta = 42.2^\circ$ )と考えられ, 結晶性が向上したと考えられる。MgO膜の結晶性と基板温度についてはすでに報告がなされており<sup>5)</sup>, この結果と合致する。

#### 4. 耐スパッタ性評価

##### 4-1. 耐スパッタ性評価装置

高速原子線照射装置(F.A.B.)は, 図1に示したようにIB-30のチャンバー部に別途取り付けられたビーム源で, 加速電圧3kVまでの原子線の照射が可能である。この装置はN.T.T.の境界領域研究所で開発されたバケット型イオン源<sup>6)</sup>を用いており, ビーム中性化率は90パーセント以上である。本来F.A.B.照射装置は中性ビームを利用した製膜装置であるが, 本研究ではこれを耐スパッタ性の評価装置として利用した。MgO膜はP.D.P.保護膜として利用されるため, その耐スパッタ性の評価としてはP.D.P.内と同じプラズマ環境下でのテストが重要であるが,

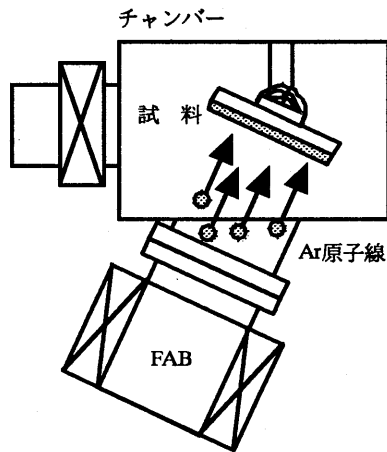


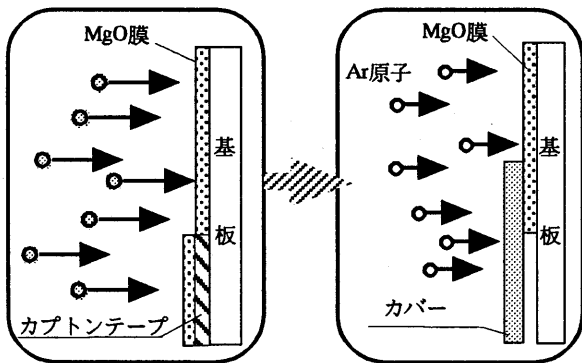
図8 FAB照射配置

短時間に性能評価を行う必要性を考慮するとチャージアップを生じないF.A.B.による中性ビーム照射での評価も有効な手段と考えられる。本実験ではイオンビームで成膜した試料B~Eを図8のようにF.A.B.装置に垂直に取り付け、加速電圧1.0kVのAr原子線照射を行った。照射は図9のように未照射部との比較を行うため試料の半分をプレパレートでカバーして行い中性原子のスパッタリングを受けた部分の膜厚減少量を測定することで、膜の耐スパッタ性の評価を行うこととした。製膜法による違いを調べるためにEB蒸着法によるMgO薄膜(試料F)も同じ条件で照射を行った。照射条件は電離電圧1.1kV、照射時間30分である。

4-2. 耐スパッタ性評価

試料B~Fの段差形状を表面形状測定機 dektak-3で調べたところ図10-1~10-3のようになった。それぞれ図の左側が測定データで、右側の図は、試料のマスキングとエッチングの状況を示したものであり、太い実線がスパッタ後の試料形状を示している。

図10-1からは室温で製膜したMgO膜がF.A.B.照射によりMgO膜だけでなく下地のガラス部分まで削り取られている事が分かる(試料B, C)。一方EB蒸着で製膜した試料Fでは照射後もMgO膜が残っている(図10-2)。同様に200℃に加熱した基板上にスパッタ製膜した試料DとEでもMgO膜は残っており、表1に示したように単位時間あたりのエッチング深さ(エッチングレートと呼ぶ)は0.6[nm/min]とEB蒸着による膜の2[nm/min]に比べ3倍以上耐スパッタ性に優れていることが分かった。これはX線分析でも示されたように基板温度を上げる



基板とカプトンテープにMgOを製膜

FAB照射による膜の耐スパッタ性評価

図9 耐スパッタ性評価実験

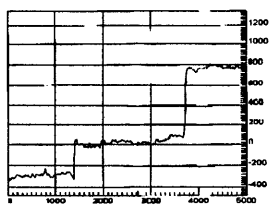


図10-1 室温 反応性スパッタ (試料B,C)

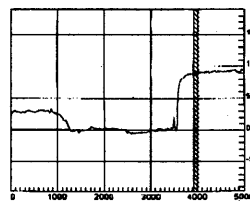


図10-2 200℃ EB蒸着 (試料F)

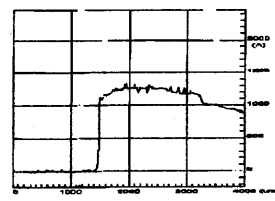
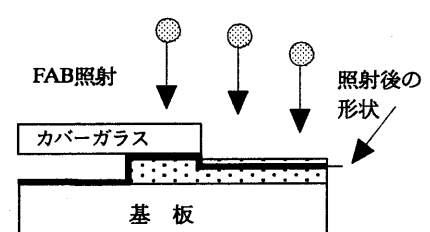
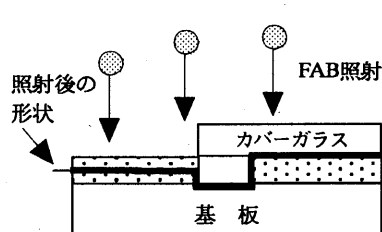
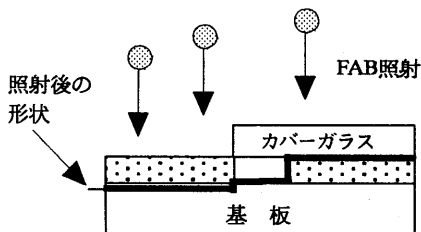


図10-3 200℃ 反応性スパッタ (試料D,E)



ことで結晶性が高まることと関連があるものと考えられる。

## 5. 考 察

加速電圧20kVのイオンビームによる反応性スパッタリング法でMgO薄膜の作製を行い、ガス流量コントローラーでの調整でメタリックなMg薄膜から透明なMgO薄膜の作製ができることが確認された。膜質についてはガス流量の違いによる膜構造には大きな違いが認められなかった。しかしチャンバー内の真空度ならびに酸素分圧は経時変化を行うので、今後はこの値に注目し現在開発中の酸素供給量を微細にコントロールできるシステムを用いて詳細な実験を行う予定である。また本研究の手法はMgOにとどまらず各種酸化物薄膜の作製にも応用できるものであり、半導体分野で用いられるSiO<sub>2</sub>等の誘電体被膜作製に寄与するものである。基板温度については結晶性を高めるために200℃に加熱するのが有効であることが分かったが、最適な基板温度の決定ならびに熱応力の解析までは至らなかった。特に熱履歴による膜中の残留応力は膜の密着強度や剥離に大きく影響する要素であり、今後はこの面からの研究が不可欠である。耐スパッタ性評価については今回初めてF.A.B.装置を評価装置として利用したが、実際のプラズマ環境下でのデータとつきあわせる必要があるものの膜質評価の新しい手段として有効であると考えている。今回の実験では反応性スパッタリングにより作製した薄膜の耐スパッタ性は従来のEB蒸着法で作製した膜よりも3倍以上優れていることが分かりP.D.P.等のプラズマ環境下での長寿命の保護膜を作製する手段としてスパッタ法が有効であることが確認された。今後の問題点として反応

性スパッタリングの製膜速度が遅い点があげられる。この点に関してはイオンビーム出力の増加、あるいはビーム電流の大きなF.A.B.装置を用いた製膜等により速度の向上を図りたい。MgO薄膜の反応性スパッタによる製膜法についてはこれまでに詳しい報告がなく、本研究で得られた基礎的データの集積は意義が大きいといえる。

## 6. お わ り に

本研究のESCAならびに薄膜X線回折を用いた分析では長崎県工業技術センターの馬場恒明博士ならびに福岡県工業技術センターの山下洋子氏に、またEB蒸着に際しては株式会社大電の藤井英貴氏に格別の便宜を図って頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 入江和隆, 湊喜久雄, 越地尚宏, 山木晋一, 三浦 毅: デュアルイオンビーム照射装置による薄膜形成, 久留米高等工業専門学校紀要, 第8巻第2号(1993年3月) p57~62
- 2) 三浦 毅, 入江和隆, 湊喜久雄, 越地尚宏, 山木晋一: デュアルイオンビームミキシング装置の開発とそれを用いた炭素膜の作製, 表面技術, 第3巻第12号(1992年) p1239~1240
- 3) 野崎勝弘: NIKKEI MICRODEVICES, 1996年7月号, p160~161
- 4) 登尾雅之: AC面放電型PDPにおけるMgO表面のスパッタリング, NECカラーPDP開発センター
- 5) 町田賢司, 内池平樹, 天野邦晶, 戸倉正人: AC形プラズマディスプレイの保護膜材料, ディスプレイアンドイメージング, 1993, Vol.1, p.329-341
- 6) 下川房男: ドライブプロセス用高性能原子線源の開発とその実用化に関する研究, N.T.T.境界領域研究所, 学位論文

## 一般論文

Chêng Ming Tao's Proposition of the Reform  
in the Civil Service Examination

Michio HIRAMOTO

This paper analyzes Chêng Ming Tao's proposition of the reform in the Civil Service Examination, discussing the significance it had in those days, and the close relationship between Chêng's reform proposition itself and the way he looks at learning and thought.

## 程明道の科挙改革論

一般文科 平 元 道 雄

平成8年11月18日 受理

熙寧二年四月、神宗は科挙改革に着手すべく、学校及び貢舉制の問題点について羣臣に議論を求めたが、それは次のような王安石の意を承けてのことであった。

伏して以ふに、古の士を取るは、皆な学校に本づく。故に道徳は上に一にして、習俗は下に成り、其の人材は皆な以て世に為すこと有るに足れり。先王の沢竭きて自り、教養の法は本づく所無く、士に美材有りと雖も而れども学校師友の以て之を成就すること無きは、議者の患ふる所なり。今追つて古制に復して以て其の弊を革めんと欲せば、則ち其の漸無きを患ふ。宜しく先づ声病対偶の文を除去し、学ぶ者をして以て意を経義に専らにするを得しむべくして、以て朝廷の学校を興建するを俟ちて、然る後に三代の教育選挙する所以の法を講求して、天下に施さば、古に復るべきに庶幾らん。

翌五月には司馬光、呂公著、蘇軾らの、各々の立場から様々な議が上せられるが、程明道もまた、「請修学校尊師儒取士劄子（学校を修め師儒を尊びて士を取るを請ふの劄子）」<sup>(2)</sup>を奏上して自らの意見を披瀝している。筆者は以前本誌で、程明道の学問思想が王安石の新法（「新学」）と対決する中で構築された経緯を粗描したが、本稿ではこの明道の科挙改革案に焦点を当てて論じてみたい。管見によれば、明道案は、他の論者と較べて王安石の改革精神と正面から向き合うものとなっており、程明道が拓こうとしていた思想学問の新たな地平を知る上で興味ある資料のように思われる。そこで次に煩を厭わずに、本劄子を分節して、逐一検討を加えてみたい。

## 二

## 第一節

臣伏して謂へらく、天下を治むるには、風俗を正し賢才を得るを以て本と為す、と。宋興りて百余年、而るに教化は未だ大醇ならず、人情は未だ美を尽くさず、士人に謙退の節微く、郷閭に廉恥の行無く、刑は繁しと雖も而れども奸は止まず、官は冗なりと雖も而れども材の足らざる者は、此れ蓋し学校の修まらず、師儒の尊ばれず、以て風勸養励すること無きが然らしむるのみ。竊かに以ふに、聖を去ること久遠にして、師道立たず、儒者の学廢息するに幾し。惟だ朝廷、崇尚して教育せば、則ち日ならずして復せんのみ。古者は道德を一にして以て俗を同じくす。苟くも師学正しからざれば、則ち道德何に従りて一ならんや。方今、人々私見に執し、家々異説を為し、経訓を支離して復た統一すること無く、道の明らかならずして行はれざるは、乃ち此に在り。

程明道はまず、治世の根本が「風俗を正し、賢才を得る」ことにあるとし、「教化未だ醇、人情未だ美、郷閭無廉恥之行、刑繁而奸不止、雖官冗而材不足」と、上は官界から下は庶民に至る風俗解体の在り様を簡潔に列挙し、その原因が、ひとえに儒学の衰退にあると断じる。具体的には学校制度が確立されず、師儒が尊重されず、また師学が正しくないため、「人々私見に執し、家々異説を為し、経訓を支離して」学説入り乱れ、誰もが「道」を見失っているのだ、という。そしてこの状況を克服するには、「一道德而以同俗」であった古に復帰すべく、学校制度の確立を主張するのである。「学校、師儒、師学、師道」などの語に着目するならば、明道の改革構想が、前掲王安石のそれに対応するものであることは見易い。しかも、風俗解体の原因が、より本質的には「道」が明らかにされず、履行されていないことに在るといのが、明道の立場である。

## 第二節

臣謂へらく、宜しく先づ近侍の賢儒に礼命して、各々類を以て挙げしめ、百執事・方岳・州縣の吏に及んでは、心を悉くして推訪せしむべし、と。凡そ先王の道を明らかにし、徳業充備して、師表為るに足る者有り。其の次には、志を篤くし学を好み、材良く行修まる者有り。

皆な名を以て聞こえしむ。其の高蹈の士は、朝廷当に礼を厚くして延聘すべく、其の余は州県に命じて敦遣せしむ。京師に萃めて、之を寛閑の宇に館し、其の廩食を豊かにし、其の家の有無を恤み、大臣の賢なるを以て其の事を典領せしめ、羣儒をして朝夕相与に正学を講明せしむ。其の道は必ず人倫に本づき、物理を明らかにす。其の教へは小学の灑掃應對より以往、其の孝悌忠信を修め、礼学に周旋するにいたるまで、其の誘掖激励し漸摩成就する所以の道は、皆な節序有り。其の要は、善を択び身を修めて、天下を化成するに至るに在り。郷人よりして聖人に至る可きの道なり。其の学行の皆な是れに中る者を成徳と為す。

前節を承けて、本節では、「明先王之道、徳業充備、足為師表者」と「篤志好学、材良行修者」とを、中央から地方までの官吏に推挙させ、京師に経学アカデミーともいべきものを作つて招き、後顧の憂い無く専念できるよう経済的優遇措置を講じた上で、「正学」を講明させよと言う。「正学」の内容とは、「其道必本於人倫、明乎物理」、「其教自小学灑掃應對以往、修其孝悌忠信、周旋礼学、所以誘掖激励漸摩成就之道、皆有節序」、「其要在択善修身、至於化成天下」であつて、一言にしていえば、「郷人よりして聖人に至る可きの道なり」ということになる。つまり、道Ⅱ正学Ⅱ聖人之学、ということであつて、後述するごとく程明道の構想する学問思想の在り方を表明したものと見えよう。

## 第三節

又た其の次には材識の明達にして、善に進む可き者を取り、日々其の業を受けしむ。稍や久しかれば、則ち其の賢傑なるを挙げ、以て高任に備ふ。其の学業の大きいに明らかに、徳義の尊む可き者を扱ひて、大学の師と為し、次は以て天下の学を分ち教へしむ。藩府より始めて列郡に至るまで、士の学ばんことを願ひ、民の俊秀なる者を扱ひて学に入らしむ。皆な其の廩給を優にして其の身役を除く。凡そ其の父母骨肉の養ひ有る者は、亦た其の優游往来に通じて、以て其の行ひを察す。其の大きいに教へに率はざる者は之を斥けて役に従はしむ。

本節は、大学と州学を主管する教官の選任及び学生について述べる。すなわち「材識明達、可進於善者」を経学アカデミーの、「正学」を体得し実践する成徳の士の下で学ばせ、人物と才能を基準に、賢傑なる者はその

まま挙用して高任に備え、「学業大明、徳義可尊者」は太学の教官に、それらに及ばぬ者は州学の教官に選任するとしている。そして、士人の入学志願者及び庶民の俊秀なる者を選んで入学させ、労役を免除するなど経済的に優遇して学問に専念させる、と述べている。

#### 第四節

漸く太学より州郡の学に及び、其の道業の成り、人の師為る可き者を択びて、県の学に教へしむ。州郡の制の如し。異日は則ち十室の郷より党・遂に達するまで、皆な当に其の庠序の制を修め、之が為に師を立て、学ぶ者は次を以て察すべし。県令は毎歳、学の師と郷飲の礼を以て其の郷老を会す。学ぶ者衆く経明らかに行ひ修まり、材能任ず可きの士を推さば、州の学に升し、以て其の實を觀る。学荒み行ひ虧くる者は、罷め帰して其の吏と師とを罪す。其の州に升して当る者は、其の家の役に復せしむ。郡守も又た歳々学の師と郷飲酒の礼を行ひ、大いに郡士を会し、経義・性行・材能の三物を以て其の士を太学に賓興し、太学も又た聚めて之を教ふ。其の学不明にして、行ひ修まらざると材の下なる者とは、罷め帰して以て郡守と学師の罪と為す。太学に升る者には、亦た其の時を以て郷里に還り、復た学に来るを聴す。本節では、「県学」から「州学」へ、「州学」から「太学」への学生の進級について述べる。まず県学の教官の選任について、太学及び州学の中から、「道業之成、可為人師者」を選んで教官に当てる、とする。そして、明道が構想する学校制度の理想として、『周礼』『礼記』等に記載された古代の学校制度を取り上げ、それに倣うことを進言している。すなわち、州の長官は毎歳、県学・州学の教官と共に、「郷飲酒之礼」をとり行い、郷老や郡士をもてなせというもので、「教育」の基盤が風俗の如何にあるという発想である。学生の進級基準としては、「経義、性行、材能」の三点を挙げ、学生・教官・州県の長官・地域の有識者らに推薦させて進級させ、また、進級したものの、学業が振るわず品行不良なる場合は放校処分にし、あわせて薦挙した教官・地方長官の責任を問うて罰するとしている。自薦と能力主義に収束していく科挙制度の流れから見れば、明道がここで描く他薦主義、人物本位は明らかに古代への復帰であろう。しかしそれは王安石のみならず、後述の如く当時の有力な士大夫に共有された觀念でもあって、明道の提案は王安石のいわゆる三舎法に通底し、しかもこれを

「県学」レベルから実施しようとする、一種の徹底した学校主義に立つものであり、その支柱として提示されたのが彼の学問Ⅱ正学であった。

#### 第五節

太学は歳々に其の賢者・能者を朝に論ず。之を選士と謂ふ。朝廷は之に経を問ひて以て其の言を考へ、之に職を試して以て其の材を觀る。然る後に其の等差を弁論して之が秩を命ず。凡そ郡県の学と太学とに処る者は、皆な三歳を満たして、然る後に薦に充つることを得るなり。其の州郡より太学に升る者は、一歳にして後に薦む。其の学行超卓なること有りて衆の信服する所の者は、学に処らず、或いは学に処りて而も未だ久しからずと雖も、亦た数に備へて薦を論ずるを得るなり。養士機関としての学校について述べ来た程明道は、ここで取士、彼のことばでいえば選士について言及する。すなわち、太学は毎歳、学生の中から賢者・能者を選抜して朝廷に薦挙し、朝廷では「経」を問うてその理解力と表現力を、実地に仕事を与えてその官吏としての能力を評価した後、その成績に応じて官職を与える。薦挙の対象は、州・県・太学は在学三年を終えた者を原則とするが、州学より太学に進級した者は太学在学一年でも良く、また、その卓越せる学行に衆目が一致して信服する者は、在学学生でなくとも、また在学期間が短くても薦挙できるとする。

#### 第六節

凡そ選士の法は、皆な性行端潔にして、家に居りては孝悌、廉恥礼遜有り、学業に透明し、治道に曉達する者を以てす。州県の学に在りては、則ち先づ其の郷里の長老をして（推さしめ）、次には学衆の之を推すに及ばしむ。太学に在る者は、先づ其の同党をして（推さしめ）、次には博士の之を推すに及ばしむ。其の学の師と州県の長とは、其の私を専らにすること或る無からしむ。苟くも実を以てせずして、其の姦を懐き上を罔みする者は、師・長は皆な其の仕籍を除きて、終身齒ひせず。失する者は亦た官二等を奪ひて、赦を以て去職の論に及ぶこと勿し。州県の長、事に莅むこと未だ半歳に満たざる者は皆な薦さず。士師は皆な学ぶ者の成否の分数を取りて之が賞罰を為す。

本節は薦挙の基準について述べる。他薦がややもすれば請託や賄賂の横行を招きやすいのは何も宋代に限った問題ではなく、現今の整備された入試制度であれ、いわゆる推薦制度の運用が恣意的な傾きを生じ易いのはし

ばしば指摘されるところである。明道が列举する「性行端潔、居家孝悌、有廉恥礼遜、通明学業、曉達治道」という人物評価の項目は通念を出ないが、人格を重視したものと見える。次に薦挙者として州県では、郷里の長老、教官・学生、大学では学生、教官を挙げているが、いわばその人物と日常的に接し、裏表を知り尽くしている者を薦挙の主体とするところに明道の特色がある。その上で、私意を挟むことのないように、薦挙の最終責任者としての教官と地方長官には厳しい罰則規定を設け、また、地方長官の場合、就任半歳未満では推薦できず、教官は薦挙した学生の成績如何によって賞罰を加えらるゝとする。

### 第七節

凡そ公卿大夫の子弟は皆な学に入る。京師に在る者は太学に入り、外に在る者は各々其の在る所の州の学に入る。之を国子と謂ふ。其の補蔭に当ること有る者は、並な旧制の如し。惟だ学に選ばれざる者は授くるに職を以てせず。毎歳、諸路の一路の国子の秀なりと別言する者は太学に升し、其の升りて当らざる者は、其の監司と州郡の師とを罪す。太学は歳々に国子の学行・材能有る者を朝に論じ、其の学に在るときの寶興考試の法は皆な選士の如し。

国子は学に入りて自り、中外通じて七年に及ぶ。或いは太学は五年なり。年三十以上に及びて、学ぶ所の成らざる者は、弁じて二等と為す。上なる者は授くるに筥庫の任を以てするを聴す。自ら其の後学業の修進して、論選に中るに非ざれば、則ち復た民政を親らせしめず。其の下なる者は、之を罷め帰す。歳満つと雖も学に留まるを願ふ者は、亦た聴す。其の外に在りて学ぶこと七歳にして升選に中らざる者は、皆な太学に論致して之を考察して、二等の法を為す。国子の太学に教へに率はざる者は、亦た之を斥罷す。凡そ職任有るの人の、其の学業材行の応に薦むべき者は、諸路及び近侍以聞すれば、之を太学に処く。其の論試は亦た選士の法の如くし、其の賢能を取りて之を進用す。凡そ国子の官有る者、選に中れば則ち其の秩を増す。

本節は公卿大夫の子弟について補説する。従来、官僚の子弟は国子監で教育し、その上で科挙に応募しめる規定であるが、当時の状況は混乱を極めてその体を為していなかったとされる。明道の提案では、官吏の子弟に許された入官制度である「補蔭」は留保しつつも、基本的には学校で教育

し、士庶の場合と同じ基準で選抜の上任用させるといふものである。具体的には、その所在地に応じて、太学か州学に入学させ、州学での優秀者は特に太学に進級させ、学行・材能有るものを選抜したうえで任用させる。また、在学期間は七年ないし五年とし、三十歳以上で、成績不良者は二等に分けて、上等には卑官を授けるが、その後も学業振るわず薦挙の対象とならなければ民政に閑与させず、また下等は放校し、州学在学七年の者で太学への進級及び任官の薦挙を得なかつた者は、太学の上申・審査して、三十歳以上の例に従うとする。また現職の者についても触れ、学業材行に優れて薦挙された者は太学に入学させて教育し、「選士の法」に準じて選抜し、任用昇進せしめる、というものである。

### 第八節

臣謂へらく、既に一に道德仁義を以て之を教養し、又た専ら行実材学を以て升進し、其の声律の小碎、糊名謄録を去れば、一切義理の弊無く、数年ならざるの間、学ぶ者は靡然として丕変せん、と。豈に惟だに士を得ることの浸やく広くなるのみならんや、天下の風俗將に日々醇正に入らんとするは、王化の本なり。臣謂へらく、帝王の道は、此より尚なるは莫し、と。願はくば陛下特に宸意を留めて、万世の為に之を行はれんことを。

最後に、「道德仁義」言い換えれば程明道の言う「正学」で教育し、詩賦などの文才ではなく「行実材学」をつまり、その人物の品行・才能・見識を、糊名謄録などの姑息なやり方ではなく、他者による人物評価を基に総合的に審査して選抜すれば、現在の科挙制度が惹起している弊害は一切なくなり、学ぶ者は正しい方向に向かい、その結果、人材が確保しやすくなるばかりか、天下の風俗も醇正に改まり、皇帝による教化の礎は確立するだろうと、神宗にその実行を進言する。

以上、繁雑なるを厭わず程明道の科挙改革論を見てきたが、その要点として次の三点を指摘できよう。

- 一、養士と取士を「学校」に一本化する。
- 二、教官の養成に意を用い、師道を確立する。
- 三、教育の基本を「正学」に置く。

いつとは特定できないものの、短期に終わった御史在職時に執筆されたと思われる、明道の王道立国論とも言うべき「論十事劄子」の中で、明道



は次のように述べている。

古は天子自ら庶人に達するまで、必ず師友を須ちて以て其の徳業を成就す。中略。古は政教は郷里より始まり、其の法は比閭族党州郷鄴遂より起りて以て相ひ聯属統治す。故に民は相安んじて親睦し、刑法は犯さるること鮮く、廉恥は格され易し。此れ亦た人情の自ら然る所にして、之を行はば則ち効あり。中略。庠序の教えは先王の人倫を明かにし天下を化成する所以なり。今や師学廢れて道徳一ならず、郷射亡びて礼儀興らず、貢士は郷里に本づかずして行実修まらず、秀民は學校に養はれずして人材多く廢せらる。

見られるように、「請修學校尊師儒取士劄子」と同じ趣旨を述べたものであつて、先に指摘した三点が、明道の科挙改革の眼目であつたことを確認できよう。

### 三

熙寧二年の科挙論議には程明道の外に、孫覺、范純仁、呂公著、司馬光、陳襄、韓維、劉放、蘇頌、蘇軾らの文章が残されている。蘇軾のそれが、「人を得るの道は人を知るに在り、人を知るの法は実を責むるに在り」として、担当官に人を得るならば今のままで問題はないとして改革そのものに消極的であるのを除けば、いずれも王安石の改革構想を承けて、改革すべき事項を挙げての提言を試みている。そのおおよそを挙げれば、一、詩賦を廢止して策論・經義を重視する（孫覺、呂公著、司馬光、韓維）。二、特別の科を設けて取士の方途を広げる（韓維、劉放、孫覺、蘇頌）。三、自薦を改め郷舉里選の精神を生かした他薦を取り入れる（孫覺、范純仁、呂公著、司馬光、韓維、劉放、蘇頌）。四、「學校選士（養士）之法」に基づく（孫覺、范純仁、呂公著、司馬光、陳襄、韓維、劉放、蘇頌）などである。以上の議論はその発想において基本的には明道の改革構想と共通したものを窺わせ、中で蘇頌「議論學校法」、呂公著「答詔論學校貢舉之法奏」、司馬光「議學校貢舉狀」は、提言の具体性においては明道のそれよりも詳細である。そこで、比較の意味で呂と司馬の改革案の大意をかいつまんで見ておきたい。

#### 呂公著

①古来の學校制度に倣つて、學校による取士の制度を確立し、學校が推

薦するものを優先的に取つてその数を増し、科挙による選拔者を徐々に減らしていけば、十数年もすれば、取士は學校からすべて賄えるようになる。

その方法は、まず京師に太學を建て、道徳の面で天下の師法たる者にそれを主管させ、開封府及び州縣に學校を建て、道徳の面で人師に足る者を選んで主管させる。學校教化は道徳を一にし、風俗を同じくする所以の源であるが、個々が自ら教えを為せば、師は説を異にし、人々の學習は異なるから、広く天下の道徳ありて人師たるにふさわしい人を選抜し、太學に集めて、教育する所以の方法を講議させる。朝廷では道を基準にその得失をはかり定め、講議が決まれば、然る後に適格者を選び、主要な州府に置いてその學校を主管させる。その他の州郡では轉運司と知州、通判に委嘱してその州及び屬縣の中から「經術通明、行誼素著」一人を選抜させて州學を主管させる。本州に人がなければ、轉運司が同路の州縣から選び、あるいは朝廷置くところの學官から選んで朝廷教育の方法を受けさせる。士人の道徳ありて人師たるもので仕えていない者があれば、本州と轉運司がその可否を審査して官を授け、學校を主管させ、太學において教育する所以の方法を受けさせる。

②本県の役人の保明したものを州學に入れる。州學では毎年貢士する。太郡は二人、士人の少ない小郡は二年もしくは三年に一人貢する。知州、通判、學の主幹は學生の中から入學一年以上の者で、經明行修のものを朝廷に貢して太學に升せ、官が給食を為す。太學では入學一年以上で、經明行修、世務に通じ、人を治めるに足るものを七十人、朝廷に挙げる。その中で、上等の者は中書門下で才能を審査して官とし、次等は流内銓で審査して官を授ける。一年で七十人、三年で二百人、科挙での進士・經學の合格者を百人減らせる。さらに太學の人数を四百人にふやせば、三年で科挙による選拔は不要となり、士の進用される者は皆學校出身者となる。

#### 司馬光

現在の學校は教官に人を得ず、レジャーランドと化しており、修勤の士は多く入學するのを恥としている。地方官の中に學校を興して評判の者がいるが、建物や糧食を充実させ學生を集めて虚名を求めているだけである。師長の中には立教を自負する者がいるが、内実は科挙の為の學習に血眼になつて、合格者の数を上げるだけのこと。いずれも先王立學の精神とは言えず、人材を育て風俗を厚くすることはできない。そこで次のようにする。

州学に教官を一人置く。この教官は、長官が当該州の官吏の中から、節行有り、講説能力有りと衆目の認められたものを充てる。もしなければ中央で選び充てる。これは国子監でその能力を試験する。科挙に応じて入学するものを外舎生として聴講と試験を受けさせるだけで宿食させない。成績の良いものを内舎生として宿食を許す。教授と試験を繰り返して、成績の管理を厳密にして、学業・志操を審査して初等生、中等生、高等生と進級させていく。内舎生の定員は、解額の半分とする。また中等生は高等生の倍、初等生は中等生の倍とする。定員は厳守する。高等生は解試を免除して省試に赴かせる。初等生、中等生で解試を受験する際は他の挙人よりも優遇する。省試でも高等生は他の挙人よりも優遇する。経術の深淺は試験では知り得ないし、行誼の美悪はすぐに知れるものではない。だから、学校で教育して二三年の教育を経て、厳しく審査して高等生に進学させ、解額を高等生で占めて、進取の路を限定すれば、行誼に少しでも過差があれば、衆人が認めないであろう。そのようにすれば高等生の経術は、講説は常に通じ、文芸も優れ、行誼も衆人の服する所となる。これを糊名、膾録に比べれば、すぐれているのは言うまでもない。もし以上のことができなければ、小手先の改革は無益で、従来の方法を貫徹するにしくはない。

司馬光の提言は、「朝廷若し此の保挙の法を行ふこと能はざれば、其の次は学校の法を修めて以て之を取るに若くは莫し」と留保を含みつつも、州学のレベルでの三舍法というべく、王安石の太学三舍法、明道の県学一州学一太学の三層制と発想を同じくするであろう。また、呂公著のそれは、提言の冒頭に「周礼」「礼記」などに記された古代の学校制度を列挙しつつ、その古の理想に復することを提唱し、科挙を廃止して学校による取士の提案であって、明道の議論と同軌である。なお、省略した蘇頌「議論学校法」もほぼ構想を同じくするといつてよい。

程明道は熙寧二年三月、王安石新法の審議機関たる正置三司条例司の属官に起用されて新法の策定に参画し、同八月には当時王安石の僚友であった御史中丞呂公著の推挙を得て、監察御史裏行に拔擢されている。明道が新法批判に転ずるのは、青苗法の施行及び熙寧三年四月の王安石による呂公著の御史中丞罷免を契機とするから、この明道の議が上された熙寧二年の時点では呂公著と同じく王安石の改革構想そのものには同調するものがあつたのを見てよく、とりわけ科挙改革について言えば、王安石の改革構

想は司馬光をはじめとして有力士大夫の多くが共有していたと言えよう。熙寧四年に定められた科挙の新制度はこれらの議論の集成であつた訳である。

#### 四

嘉祐二年、二程は応挙し、明道は及第するも伊川は殿試で落第し、同四年にも登第適わず二度と応じなかつた。その伊川に亡母を回想した次のような文章がある。

夫人に人を知るの鑒有り。中略、頤が兄弟幼かりし時、夫人之を勉めて書を読ましむ。因りて線貼の上に書して曰く、我れは惜しみて書を読むに勤むるの児なり、と。又た二行に並書して曰く、殿前に及第せん程延寿、と。先兄（明道）の幼時の名なり。次に曰く、処士ならん、と。先兄は登第し、頤は不才を以て科挙に應ずるを罷むるに及んで、方に夫人の之を童稚の中に知れるを知るなり（上谷郡君家伝）。子を知るの母にしくはない、とはよく言うが、母は何故伊川が科挙では成功しないと見抜いたのだろうか。それにしても自らを不才と断ずる中に科挙に対する伊川の屈折した心情を見ることができまいか。彼は科挙で選ばれるのは「博聞強記之士」のみであり、明経諸科は暗記を専らにして「義理」を知らず、進士科とて詩賦声律の末技を競うのみであつて、このような科挙の学問では天下を治めることはできぬ、とその弊害を仁宗に切論し、「投名自薦、記誦声律は、賢を求めるの道に非ず」とも英宗に訴えている。科挙に應じるべく太学で学んでいた頃、胡瑗の出題した「顔子所好何学論」において、顔子の学が「学びて以て聖人に至るの道なり」と断じ、「博聞強記巧文麗辞を以て工と為し、其の言を榮華にするは、道に至る者有ること鮮し。則ち今の学、顔子の好む所と異なれり」と思い至つた伊川であつてみれば、いわゆる挙業は疑念に満ちたものであつたに違いない。それは明道にも言え、「十五六の時、汝南の周茂叔の道を論ずるを聞きて自り、遂に科挙の業を厭ひて、慨然として道を求るの志有り」とは伊川「明道先生行状」の一節である。周濂溪の啓発によってめざされたのは、「聖人に至るべきの道」の究明であり、程明道はそのような学問の在り方を「正学」と呼んだのであつた。してみれば、二程における科挙批判の根拠に彼等の構想する学問思想が大きく関わっていたのを知るのである。

程明道の改革論の柱の一つ「師道」に関して次のような興味深い発言が明道に残されている。

異日能く人をして師道を尊厳ならしむる者は、吾が弟なり。後学を接引し、人才に随ひて之を成就するが若きは、則ち予れ讓るを得ず（『宋元学案』巻15）。

また、二程いづれか明記しないが『程氏遺書』巻4に次のように記す。

天下を治むると善言する者は、法度の立たざるを思へずして人材の成らざるを患ふるなり。善く身を修むる者は、器質の美ならざるを思へずして師学の明らかならざるを患ふるなり。人材成らずば、良法美意有りとも雖も、孰か之を行はんや。師学明らかならずば、道を受くるの質有りと雖も、孰か之を成さんや。

申すまでもなく人が人となるのは学問の力によるのであり、学問は師から弟子に伝授されるという形をとるのだ、というのは孔子以来傳承された儒学の精神に外ならないが、二程はその伝統を改めて自覚し、その真実の在り方を今に実現したいと願ったのである。程明道二十代、晋城の令であった時のエピソードとして次のようなものがある。

晋城に令為りしとき、其の俗朴陋にして、民は学ぶを知らず。中間幾んど百年、科に登る者無し。先生其の秀異なるを択び、為に学舎・糧具を置き、聚めて之を教ふ。朝夕督励し誘進す。学ぶ者の風靡すること日々に盛んなり（『門人朋友敘述並序』）。

諸郷皆な校有り。暇時には親ら至り、父老を召して之と語り、児童読む所の書は、親ら為に句読を正す。教ふる者善ならざれば、則ち為に易へ置く。俗始めは甚だ野にして学を為すを知らず。先生子弟の秀なる者を択び、聚めて之を教ふ。邑を去ること纔かに十余年にして、儒服を服る者は蓋し数百人なり（『明道先生行状』）。

前者は「先生に従ふこと最も久し」と自負する弟子の一人劉立之の言であり、後者は弟伊川の言葉故に割り引く必要もあるが、明道の改革案の根底には自らの実体験が踏まえられていたということは言い得よう。

## 五

中国における官吏登用制度としての科挙は、試行錯誤の末、北宋の熙寧年間に整備確立され、清末廃止されるまで存続したものである。北宋初期

から熙寧二年に至る科挙改革の論点は、試験制度としての公正さをいかに確保し、官吏にふさわしい能力をより適切に測定するための試験内容とは何かを巡るものであった、と要約されよう。後者に関して言えば、試験内容の限定は国家を運営する基本原理とは何かの問題と通底しており、国家にとつて有為な人材とはどのような人間であり、それをいかに育てるかの問題と絡んでいく。科挙改革論議が学術思想の問題、養士機関としての学校問題と表裏している所以である。重要なことは、この改革論議を通して、漢唐と引き継がれた伝統的な經典解釈学に対する不満から、新しい時代に適合した儒教經典の再解釈の気運を醸成し、いわゆる義理の学の創唱がなされ、しかも、この義理の学は仏教の隆盛に対抗して独自中国的な儒家の伝統に復帰すべきとする復古思想として標榜され、先憂後樂の士大夫意識にも支えられていた、ということであろう。

しかし一方で、科挙による官吏任用制度は、自薦、能力主義を原則として、士庶に開かれた官吏任用の試験制度であった故、貨幣経済の進行を背景に升官發財の捷徑として功利的な思惑からする一種の加熱した受験競争を惹起し、風俗の解体という現象をも生み出した。改革論議の提起される所以であるが、そのピークをなすのが上述熙寧二年の科挙論議、とりわけ王安石に代表される改革構想である。王安石のそれは新法の一環として提起されたが、その構想は、科挙制度が一君万民の体制を実現するために合理的に機能すべく、その新学（三經新義）で經書解釈に統一し、彼の政治理想を実現しうる人材に理財に長じた官僚群の輩出ということを目指したものであった、と言える。そして養士と取士を一本化すべく学校制度の確立を主張するが、それは既に彼のいわゆる「万言書」に見られ、太学における三舍法の実施はその試みであった。

これに対して、程明道の科挙改革論は王安石に同調するものではあるが、本質的に異なるのは、何を教えるか、つまり經義の問題であり、程明道は經世済民の主体たる士人官僚に、学んで聖人となるべき学に正学を要請するのである。これは後に性理の学として自然と人間を貫徹する原理に天理の觀念の下に体系化されたが、本筋子は王安石の新学に抗すべくその初期的な段階に於ける正学の宣明であり、このような姿勢は王安石を除く他の改革論議には見られないものである。そして正学を講明・教授する学校制度の確立を提唱し、教官と学生との在るべき姿を古の学校に求めて、師道

の確立を強調し、県学—州学—太学という三層からなる進学制を採って、養士と取士とを一本化すべく提案している。王安石の太学三舍法を県学レベルから徹底させようというのである。また漢代の郷举里選に倣い、自薦を排して他薦主義に徹するのも特色の一つであるが、歴史的に見れば退行と思われるこの他薦主義には、当時の風俗の解体現象に対する彼の危機意識が見られ、功利を否定してあくまで道德的主体であるべきだとする彼の人間観に基づいている。

後年、朱子はその科挙改革論である「学校貢挙私議」の中で、「必ず時に乗じて制を改め、以て漸く先王の旧に復して、今日の俗を善くせんと欲せば、則ち必ず明道先生の熙寧の議の如くならん。然る後に以て大いに其の本を正して、尽く其の末流の弊害を革むべし」と、程明道の改革論を称えているが、逆に言えば明道の構想は一つの提言に終わった訳である。しかし、例えば「洛陽に居ること殆ど十余年、弟の伊川先生と学を家に講じ、化、郷党に行はる。士の従学する者は館に絶えずして、千里を遠しとせずして至る者有り」とあれば、二程は私に実践することでその構想を実現しようとした訳である。いずれにせよ、このような「教育」実践の蓄積の中で、程明道兄弟の学問思想は磨かれ深められていったのであって、語録の形で伝えられたその思索の跡には、「教育」の本質を考える上でも今日なお示唆に富むものがある。

## 注

- (1) 「乞改科条制」(上海人民出版社刊「王文公文集」卷31所収)
- (2) 中華書局刊「二程集」(四四八頁)。なお、本論文で取り上げた程明道及び程伊川等の文章・語録はいずれも同書による。
- (3) 拙稿「程明道と新法」(久留米工業高等専門学校紀要六一)、「二程と孟子」(同紀要九一二)参照。なお本論文で言及した程明道の王安石新法(新学)とに関わる記述は、これらの論稿を踏まえている。
- (4) 本筋子と同趣旨の内容を述べる「論養賢筋子」(「二程集」(四五五頁)には「延英院」という語が見える。
- (5) 「正学」という語は、他に「顔樂亭銘」(「二程集」(四七二頁)に見えるのみで、二程の語録にはない(拙稿「程明道「顔樂亭銘」小考」・久留米高専紀要十一参照)。
- (6) 本筋子において程明道は「周礼」「礼記」などに典拠を持つ語を意識的選んでいるように思われる。
- (7) 例えば、陳襄「議学校貢挙筋子」(「全宋文」第25冊四〇四頁など参照)。

- (8) 韓維「議貢挙状」(「全宋文」第25冊一四七頁)、陳襄「議学校貢挙筋子」(同冊四〇四頁)、呂公著「答詔論学校貢挙之法奏」(同冊六二二頁)、司馬光「議学校貢挙状」(同冊28冊二二九頁)、蘇頌「議学校法」(「議貢挙法」(同冊31冊四頁)、劉放「貢挙議」(同冊34冊五七八頁)、范純仁「奏設特舉之科分路考校取人」(同冊36冊二六〇頁)、孫覺「上神宗論取士之弊宜有改更」(同冊37冊七二二頁)、蘇軾「議学校貢挙状」(同冊42冊九一一頁)等である。
- (9) 「上仁宗皇帝書」、「為家君應詔上英宗皇帝書」(「二程集」五一〇、五一八頁)参照。
- (10) 拙稿「程明道「顔樂亭銘」小考」(久留米高専紀要十一)参照。
- (11) 科挙の制度及び歴史の変遷については宮崎市定氏「科挙」(全集15)、荒木敏一氏「宋代科挙制度研究」などを参照。
- (12) 「朱文公文集」卷69。
- (13) 「門人朋友叙述並序」(「二程集」三三八頁)で、范祖禹が亡き程明道を追悼して述べたもの。

## 一般論文

# 吉崎の蓮如

## — 戦国期本願寺教団形成史論・序説 —

遠藤 一

### On the Development of "Honganji" Orders

Hajime ENDOH

1465（寛正6）年1月の比叡山大衆の衆議に従った公人・犬神人・坂本馬借による、東山大谷の坊舎の破却は、一時的に本願寺という寺院を地上から消滅させた。寛正の法難は、以後10数年にわたる本願寺の彷徨を産んだわけであるが、真宗史、ことに本願寺を寺院史的に見た場合は戦国期本願寺への脱皮を図る宗教運動の時期であったことも事実である<sup>1)</sup>。

さて、小論は戦国期本願寺教団の実質が蓮如教団であるという見通しに立ち、前稿「近江の蓮如」に続けて、吉崎の蓮如を論ずることとなる<sup>2)</sup>。吉崎の蓮如という場合、1471（文明3）年春より76年夏にかけて蓮如の活動の拠点となった越前国坂井郡坪江郷吉崎に建立した坊舎と、そこにおける蓮如の活動を現わし、小論の論議の対象となる。

#### 1. 吉崎坊舎とは何か

まず、吉崎の地に建立された坊舎の性格から論議して行こう。というのも、吉崎坊舎に関しては、寺内町研究や、蓮如が吉崎を選定した事情について論議はなされたが、本願寺寺院史・教団史という視点の中での論議は不足していると思われ、その点の分析から始めていきたいと思う。

文明3年蓮如は、吉崎に坊舎を建立し北陸地域の門徒への教化を開始した。この坊舎を本願寺という本山寺院史に位置づけるとどのようなことになるのだろうか。というのは、吉崎坊舎には、本願寺の本山機能は移っていないからである。

繰り返しになるが「御伝抄」は本願寺の寺院としての出発を、親鸞の廟堂と位置づける。これを前提に考えると、吉崎には根本の御影と言われている親鸞影象は移らず、寛正の法難後に仮安置所とされた大津近松顕正寺にあり、本願寺の寺院としての根幹

は移動していないことになるからである。にもかかわらず、画像の親鸞御影を安置したにすぎない吉崎坊舎に門徒が群集したのも事実である。

とすれば、「吉崎本願寺」は成り立たないことを前提にして、改めて吉崎坊舎が何であったのが問題となる。だが、この吉崎坊舎についての位置づけは実のところはつきりせず、例えば、井上鋭夫『本願寺』は吉崎の坊舎といい、神田千里「蓮如の活動と本願寺教団の発展」も蓮如の吉崎留錫（坊舎）といった表現であり、「坊舎」自体についての論議は深くなされていない<sup>3)</sup>。

さて、蓮如「御文」によれば、吉崎坊舎に冠した呼称はこの坊、一字、吉崎の当山、吉崎の山上、吉崎の山中といった表現を使っている（「御文」No.21, 66, 71）。ここには吉崎の坊舎をさして、後に山科坊舎を呼んだ京都本願寺、当寺といった表現はなく吉崎が本願寺本寺を示さないことが『御文』の上にも現れている。また、吉崎坊舎の建造物に対しても、文明6年3月28日の火災についての「御文」においても、本坊という表現しかとらず、しかも焼失した建物が本坊1・多屋9のあわせて10で、それで南大門から北大門に至まで灰塵に帰したというのであるから、吉崎坊舎が本寺というにはあまりに貧弱な施設であったことが暗示される（「御文」No.66）。

吉崎寺内町という場合、両門内に本坊と各国末寺の主張所兼門徒宿泊施設である多屋九坊が立ち並んだ境内地部分と、そこへ参詣した門徒が群集し、群集した門徒が建設した自称「多屋」が立ち並んだ寺辺部分で成り立つ地域であるということである。そして、ここで確認して置かなければならないのは、境内地としての吉崎の成立から、寺辺としての吉崎が成立するまで2年しかかかっていないという事実をどのように考えるかという事である（「御文」No.25）。

つまり、蓮如の吉崎での教化活動の結果により門徒が増加し、その門徒が吉崎に群集したという説明方法に、「そんなに短期間で…」というごちなさによる疑義が生ずるからである。感覚的な論議ではあるが、蓮如の留錫と同時に門徒が吉崎を目指して群集したというのが事実であるように思う。

このような事を踏まえて吉崎坊舎の位置づけを論議すれば、蓮如が吉崎退去後に建立した出口・堺の坊舎と同様ということになり、吉崎はただの道場であったことになる。吉崎坊舎は、「多屋」衆という寺辺住民の町場建設による地域の規模が肥大化（寺辺の形成）が招いた都市化が印象的であり、それによる巨大宗都市吉崎（寺内町）観が先行したわけであり、この克服が当面の吉崎坊舎論の課題となるが、ここではその準備もないので疑義の表明にとどめ、吉崎坊舎論が本願寺教団発展史を解く鍵にはならないことを確認しておきたい。

## 2. 吉崎進出研究史

### 吉崎へ

文明3年4月上旬、蓮如は、近江国大津三井寺南別所から京を経て吉崎に着いた。その経緯を「御文」の中で次のように認め門末に送っている。

文明第三初夏月上旬のころより、江州志賀郡三井寺南別所辺よりなにとなく風度しのびいて、越前加賀諸々を経廻せしめおはりぬ、よて当国細呂宜郷内吉崎といふこの在所すくれておもしろきあひた、年来虎狼のすみなれしこの山中をひきたひらけて、七月廿七日よりかくのこことく一字を建立して、昨日今日とすきゆくほとに、はや三年の春秋はおくりけり、さるほとに、同俗男女群集せしむといへとも、さらになにへんともなき体なきあひた、当年より諸人の出入をと、むるこ、ろは、この在所に居住せしむる根源はなにことそなれば、そも〜人界の生をうけてあひかたき仏法にすてにあへる身か、いたつらにむなしく奈落にしつまんは、まことにもてあさましきことにはあらずや、かつあひた念仏の信心を決定して、極楽の往生をとけんとおもはさらん人々は、なにしにこの在所へ来集せんことかなふへかさらるよしの成敗をくはえおはりぬ、これひとへに名聞利養を本とせず、た、後生菩提をこと、するかゆへなり、しかれば見聞の諸人偏執をなすことなかれ、あなかしこへ、

文明五年九月日  
吉崎に進出した蓮如は、ほぼ三年がたった文明5

年9月に「御文」で吉崎の3年間をこのように総括する。吉崎進出への具体的な叙述はなく、単に吉崎留錫の目的・動機を述べ、それを文明5年秋における吉崎坊舎の現状を嘆いているにすぎない。この吉崎進出経緯説明へのそっけなさが、研究者をして所説分分ならしめる要因を生んだのである。それは、吉崎の選定と用地確保がどのようにして行なわれたのが当事者の蓮如から聞けないからである。もっとも、元来「御文」は一紙法語として叙述されるもので、法語部分を引き出す導入として吉崎留錫が語られたわけであるから、後世のための記録として語られたものではなく、「御文」の分析から得られる情報には自ずから限界が生ずる<sup>4)</sup>。

このために従来の研究者は、蓮如の吉崎進出について二つの難問を抱えることになり、おおよそ次のような設問を行ない解答に充てようとした<sup>5)</sup>。

① 京・近江がそれまでの活動拠点であった蓮如は北陸の地に不案内である。それゆえ、北陸方面で、何れかの人物が蓮如の案内役を務めたはずであり、その人物とは誰か。

② 坊舎の用地の確保は、空地を不法占拠したわけではない。ために、用地を何処から寄進を受けるなり、借地しなければならない。吉崎の地を蓮如に提供したのは誰であろうか。

### 朝倉寄進説

後の蓮如の人物像形成に多大な影響を与えた願得寺実悟撰「拾塵記」は、

敷地は、越前守護朝倉弾正左衛門尉之入道恵林字素寄進之地也。

と述べ、朝倉孝景の土地寄進により吉崎坊舎が創建されたという。

また、「朝倉始末記」も、

文明三年以来、景行天王の苗裔、日本の将軍の後胤、朝倉弾正左衛門尉日下部朝臣孝景 英林寺、当国 草創の時、本願寺上人、吉崎と云在所を被請、子息一人下て、道場を建立し、御山と号して国々の人民参詣恭敬…

と、朝倉寄進説を採用している。

両者を見ると、戦国末期から近世初頭にかけて成立した史料は、朝倉寄進説に立っていることが判明する。しかし、蓮如の活躍した時代に近く成立したと思われる朝倉寄進説は、現代の研究者から支持されておらず、むしろ誤説として扱われているのが現状である<sup>6)</sup>。

朝倉寄進説が成り立ちにくい事情は、文明3年という時点において、越前国内において領域支配が及

んでおらず、吉崎の寺地を寄進しうる立場にはなかったからである。つまり、蓮如の吉崎進出を考える直接史料がかけているため、戦国期守護権力として越前に一国支配権を構築し君臨した朝倉氏と、本願寺中興蓮如を接合させて吉崎進出を説明しようとした推論であろう。

事実、蓮如が吉崎の地に進出した時期に朝倉孝景は、文明・応仁の乱により守護代甲斐氏と抗争中で、まだ越前の一國支配権は確定しておらず、守護職を手に入れる文明3年夏段階でも、吉崎が存在する坂井郡、すなわち加越国境方面へは未進出であり、蓮如にどのような権限をもって寺地寄進あるいは安堵をなしたのかが判然としない。つまり、朝倉氏が戦国期権力として未完成な時期に、蓮如との接点は見だしにくいものと思われる。

興福寺大乘院関与説

次いで有力な説は、吉崎の地の領有関係と蓮如の血縁関係から考えようとする大乘院経覚関与説である<sup>7)</sup>。経覚より若輩で同じく大乘院門跡であった尋尊の関与が云々されたともあった。

興福寺大乘院門跡を務めた安井寺経覚の日記である「経覚私要抄」には、本願寺および蓮如に関する記事が相当量見られる。これは、経覚の母の出自が本願寺であったためと思われ、蓮如と交渉をもっている。また、尋尊も経覚の関係からか蓮如と昵懇にしていたらしく、『大乘院寺社雑事記』に蓮如との交流が見受けられ、『経覚私要抄』と併せて年表風

にまとめてみると次のようになる(表「蓮如と大乘院の交流」)。

といった具合である。少なくとも、経覚・尋尊ともに蓮如と昵懇な間柄にあったということが知られる。この事実が、経覚・尋尊の吉崎進出関与説の根拠とされ、ある程度の説得力が認められてきた。

しかし、経覚・尋尊=大乘院関与説の致命的欠陥は、「経覚私要抄」・「大乘院寺社雑事記」の双方に本願寺との頻繁な交流を記録しながら蓮如の吉崎進出については全く記述がなく、逆に関与の薄弱さを暗示してしまっている。つまり、両者に本願寺と大乘院の交渉が記録されている上に、文明3年の日録が伝来しているのだから、大乘院が関与しているのであれば一言あってしかるべきだと思う。したがって、「経覚私要抄」・「大乘院寺社雑事記」双方における吉崎進出への無関心ぶりが非関与を実証していること寸法となる。

大乘院の非関与を傍証する事実の一つとして、文明6年の加賀一向一揆について、「加賀一向宗土民号無碍光宗与侍分確執…」(「大乘院寺社雑事記」文明6.11月条)と記述しながら本願寺については一言もないし、翌年の吉崎退去についてもなにも記してはいない。表にまとめたように、本願寺との交渉は、越前・加賀における蓮如・本願寺教団の活躍が媒介になったにせよ、大乘院への荘園経営への関心が中心で、北陸での本願寺の教線に関与したとはとても思えない。つまり、大乘院関与説は、『経覚私要抄』・

表 蓮如と大乘院の交流

年・月・日	事項
1448/10/8	存如、経覚を奈良大乘院に訪ねる。
1448/10/9	経覚、存如を本願寺に訪ねる。
1456/2/2	蓮如、経覚に扇を贈る。
1457/5/12	経覚、存如に楳一荷・棕十把を贈る。
6/2	経覚、存如に五詩宋二鋪・阿弥陀名号一鋪を贈る。
6/27	経覚、存如死去に当たり弔問使を本願寺に送る。
12/4	蓮如、興福寺大乘院経覚を訪ねる。
1458/6/28	経覚、本願寺へ瓜を贈る。
7/19	興福寺衆徒、大和国内の一向宗を破却する。
1459/1/18	経覚、本願寺へ物を贈る。
1/14	蓮如、経覚に扇を贈る。
2/18	蓮如、経覚に会う。
8/28	蓮如、経覚に扇を贈る。
1/6	蓮如、経覚に扇を贈る。
3/9	蓮如、経覚を訪ねる。
4/3	蓮如、経覚に鏡を贈る。
5/9	経覚、本願寺を訪ねる。
1458/2/11	経覚、蓮如が奈良で家族とともに新能を見るを伝聞する。
6/7	経覚、尋尊、本願寺を訪ねる。
7/29	蓮如、経覚を訪ねる。
8/3	経覚、醍醐三寶院義准准后の金策に当たり、貸し手に蓮如を紹介する。
12/9	経覚、本願寺を訪ねる。
1466/8/5	蓮如、尋尊を訪ねる。
1468/1/7	蓮如、経覚を訪ねる。
1472/9/10	蓮如、経覚に書状を送る。
1478/4/7	経覚、蓮如に越前国河口庄細呂宜郷の年貢取取について依頼する。
1474/11/18	尋尊、蓮如に書状を出す。
1475/6/11	尋尊、蓮如に加賀国小坂庄に関する書状を出す。
1479/12/19	大乘院、越前国吉崎の年貢を収公する。
1480/2/17	尋尊、蓮如と加賀国小坂庄の山相論について交渉する。
1484/10/25	藤原永継、大乘院へ越前国細呂宜郷に関する実如の書状を贈る。
1485/10/10	尋尊、和田本覚寺蓮光に油煙・奉書を贈る。
1495/3/10	蓮如、大乘院領大和国古市に馬を送る。



『大乘院寺社雑事記』に記述が豊富だということで、また、経覚の母が本願寺の出だということ事実を念頭に入れた、いわば見込み捜査を行なった結果の誤断といえよう。

#### 和田本覚寺誘引説

次に検討しなければならないのが、和田本覚寺誘引説である<sup>9)</sup>。

越前国和田本覚寺が吉崎進出の下工作をすすめ寺地の選定や、坪江荘の領主興福寺との交渉を担当し蓮如を北陸へと誘ったという説である。この和田本覚寺誘引説は、前の二説が状況証拠や政治権力の均衡などから類推したのに対し、いくつかの史料をあげ一定の説得力をもっている。それは、次の三点から構成されている。

一点は、和田本覚寺は蓮如が本願寺宗主を継職する以前からの北陸における有力寺院であり、かつて蓮如経職については好意的な寺院の一つであった。二点目は、本覚寺が在地で荘官を勤め、とくに吉崎が存在する坪江上郷細呂宜下方の別当職を所有し領主・荘民双方に対して交渉しやすかった。さらに、三点目は、蓮如の吉崎退去に対し留守を本覚寺が言いつけられている、といったものである。

とくに、三点目の吉崎退去に対し、蓮如から本覚寺に宛てられた次の書状は、吉崎に深く関わる本覚寺の姿を浮かび上がらせる。

又〔 〕のほかに〔 〕にてその御煩の  
ミにこそ候へ

吉崎事留守之儀、於干今無等閑事候間、悉皆それの可為計候間、心安覚候、仏法不思議之事候間、さのミ煩もあるましく候、乍去老体事候間、御身勞推量申し候、愚老も事外老屈候間、迷惑こそ候へ、毎事期後信候、恐々謹言、

五月十日

蓮如（花押）

#### 本覚寺御房

蓮如は、文明7年5月、その年の4月に蜂起したと考えられる文明7年の加賀一向一揆の煽りを受けて北陸から身を引き、吉崎から退去する決断を下した。その際に吉崎坊舎の留守は和田本覚寺が命じられたといわれその根拠は、ここに示した蓮如が本覚寺に命じた留守は、現在のところことなきをえているので安心している、といった内容の「本覚寺御房」宛書状にある。

この蓮如「書状」による限り蓮如が退去した後の吉崎は、和田本覚寺を中心に護持されて行く予定であったと考えるしかならう。しかも、蓮如の一向

一揆の渦中での吉崎退去といういわば緊急避難の最中での吉崎を等閑なく取り叶えと命じているのだから、吉崎坊舎に関わる本覚寺の関与の大きさを窺い知らせるものがある。

しかし、肝心の吉崎坊舎は、原因不明の出火により灰燼に帰し、以後は加悦国境の戦国争乱の渦中の地となり坊舎の再建といった事業は、事実上不可能となり、吉崎の地はの真宗史の前面から姿を消した。また、機内に活動の拠点を移した蓮如が吉崎の地へ再び坊舎を建立しようとした形跡もない。

つまり、15世紀末の北陸の政治状況の混迷は、蓮如の北陸での活動復帰を実現させるような事態を生まなかった。そして、遠く近世の中期まで吉崎復興の槌の音は響くことはなかった。さて、そこで問題なのは、ここに所引した「書状」をもって蓮如が吉崎に坊舎の地を選定する際に、現地で中心となりそれを取りしきったのが本覚寺であると断定しうるのであろうか。

蓮如は、吉崎進出について不思議なほど寡黙であり、数多くの子弟にもそれに関わるようなことを語っていないようである。このことは、蓮如が吉崎の地の選定という北陸への教線拡大に対して絶大な功績を、なんら論功行賞しないわけにはいかないのに、それが行なわれなかった事情を考えなければならない。つまり、蓮如自身が「スクレテオモシロキ」と満悦した吉崎へ本覚寺が誘った功労者であるとすれば、どのような事情で名前が出てこないのであろうか理解に苦しむのである。

つまり、吉崎留守を本覚寺に命じる事情は、文明7年一向一揆敗亡で加賀教団は存立の危機に瀕していたので、吉崎の留守を維持する能力を欠いていた。また、蓮如自身も文明7年一揆は、文明6年一揆のように、〈王法為本〉により守護を助けたものではなく、〈世間三昧〉の結果に起こした仏法の領分に反する行動であると論難しているので、加賀一向一揆に関係が深い門弟に吉崎護持を命じるわけにもいかなかったろう<sup>9)</sup>。従って、坪江上郷細呂宜下方の別当職を所有し、かつ、加賀一向一揆とは表面上は無関係な本覚寺が命じられたのは当然の成りゆきだったのではなからうか。

従って、和田本覚寺は、その退去に当たっては、蓮如からその留守を任じられたとはいえるものの、進出にあたってはその活躍は確認できないのが現状であろう。

以上の考察の結果、吉崎の蓮如を考える前提となる進出に関わる研究史が共有の財産ではないことが



判明した。従って、蓮如の吉崎進出の経緯の分析は改めて論議しなおす必要があることが明らかになり、今後の課題となる。

### 注

- 1) 遠藤 一「戦国期本願寺の開幕と蓮如の宗教活動」(『講座 蓮如』3巻 平凡社 1997年)。
- 2) 遠藤 一「近江の蓮如～戦国期本願寺教団形成史論・序説」(『龍谷史壇』99, 100号 1992年)。
- 3) 井上鋭夫『本願寺』(1963年 至文堂), 神田千里『一向

一揆と真宗信仰』(1992年吉川弘文館)。

- 4) 「『御文』の史料化をめざして」(福間光超教授還暦記念会編『真宗史論輯』1994年 永田文昌堂)。
- 5)6) 吉崎進出研究史で最も網羅的に史料を扱ったのは、重松明久『中世真宗思想の研究』1973年 吉川弘文館)。
- 7) 経覚の存在を重要視するのは、笠原一男『一向一揆の研究』1962年 山川出版社)。
- 8) 本覚寺については、浅香年木『北陸真宗教団史論』(1981年 能登印刷出版部)。
- 9) 遠藤 一「蓮如と文明6・7一向一揆」(光華会編『続親鸞と人間』1992年 永田文昌堂)。



## 一般論文

## 現代剣道の技術特性(2) — 芸術的結果技術論の構築 —

木 寺 英 史

### Characteristics of Technique in Modern Kendo after the War (2) — To Make a Theory of which Regard Result in Artistic View —

Eishi KIDERA

## はじめに

現在、剣道はその伝統ある身体運動文化としての特性を失いつつあるといえる。戦後、「精神性」を廃してスタートした現代剣道は、急速に競技化して現在に至った。競技化と同時に、「剣道らしさの喪失」・「剣道の技の変質」がいわれるようになった。全日本剣道連盟は昭和50年に「剣道の理念」<sup>1)</sup>を発表したが、殆どその効力を発揮しないまま現在に至っている。そこで筆者は、現代剣道の本質的な課題を明確にするために「剣道の理念」を考察し<sup>2)</sup>、さらに剣道の歴史的技術特性区分を設け<sup>3)</sup>、それぞれの技術を考察した。しかし、それだけでは技術の成立過程を明確にすることはできない。ましてや現代剣道の技術特性や本来あるべき技術の姿は浮き彫りにはならない。

そこで、本論では現代剣道を運動技術論の立場から考察し、さらに各特性区分の技術に考察を加えることによって剣道技術の成立過程と現代剣道の技術特性を分析したい。

## 1. 運動技術と現代剣道の技術

まず、運動技術について論じておきたい。

一般に技術とは「やり方」・「方法」のことであり、より正確には「ある目的を成し遂げるに必要なもろもろの手段のすべての体系」<sup>4)</sup>であるといえる。我々は、生誕と同時に様々な技術を修得していくことによって生活する事を可能にするのであり、換言すれば我々が生活するためには、諸々の技術の修得が必要不可欠である。運動技術も広義からは同様に考えてよい。各々の運動技術にはそれぞれの目的(運動課題)がある。この場合の目的とは「人間形成」であるとか「心身の錬磨」であると言うような2次的

なものではなく、その運動競技の勝敗に直接帰属する1次的な目的である。この1次的目的(運動課題)は、個々の運動競技により明確にされている。簡単に述べれば、陸上競技であればその目的とは「一定の距離を速く移動する」・「より高くまたは遠くへ跳躍する」等であり、サッカーやバスケットボールのような球技では「ボールをゴールへ入れる」ことである。これら目的の達成のために「より速く移動する」・「より高くまたは遠くへ跳躍する」または「ボールをゴールへ入れる」ための技術が存在するのである。そして、運動技術において最も重要であるのは、その技術が個々の運動競技の目的達成の方法として最善のものであることとされている。さらに、この方法は合目的性と経済性が追求される。言い換えれば、合目的性・経済性が発揮されるためには運動課題が明確になっていなくてはならない。

これらの観点から現代剣道の技術を考察し、その技術特性を導き出す鍵を見いだしていくこととする。大まかに言えば、明治中期以降剣道は競技化の方向へ向かい、現在では「剣道競技」という言い方も一般的になりつつある。現在の剣道が競技として確立しているならば「剣道競技」においても明確な目的(運動課題)が規定されているはずである。他の競技と同様に考えるならば、それは「相手を打つこと」つまり「有効打突を相手に加えること」である。さらに具体的に言えば「相手から有効打突を加えられることなく相手に有効打突を加えること」である。ここで有効打突の基準についてみてみよう。現在施行されている「剣道試合・審判規則」の12条には次のように記されている。

有効打突は、充実した氣勢、適法な姿勢をもって、竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突し、残心

あるものとする<sup>5)</sup>。

ここで注目すべきなのは「充実した氣勢」・「適法な姿勢」・「残心あるもの」という3ヶ所である。運動競技の技術の目的である有効打突の基準にこのような3項目を加えてあるのは何を意味するのか。これらを考えるために運動技術の「結果性」と「経過性」について論述しなければならない。

一般に運動競技の技術を考察すれば、その目的(運動課題)は技術の結果を評価して優劣を競うものと経過を評価をして優劣を競うものに大別される。例えば、ボールゲームではルール内で「ボールをゴールに入れる」という結果を競うのである。この場合シュートする選手はどのような姿勢・体勢でシュートしてもいいのであり、ましてやシュートした後の姿勢や行動は得点には無関係である。一方、例えば体操競技やダンス競技、またはスケートのフィギュア競技等は、運動の経過を評価して優劣を競っているのであり、よってその優劣はすべての運動の経過が全て終了してから審判員が得点(数値)により判定する。このように運動競技には技術の「結果性」を競うものと「経過性」を競うものがある。本論では運動の「結果性」を運動課題とする技術を「結果技術」、 「経過性」を運動課題とするものを「経過技術」というものとする。

さて、現代剣道の技術はこの観点からはいかに考えるべきだろうか。先の有効打突の基準において「竹刀の打突部で打突部位を刃筋正しく打突し」という記述は技術の「結果性」を求めているのであり、「充実した氣勢、適法な姿勢をもって」と「残心あるものとする」というのは明らかに「経過性」を要求している。現代剣道の技術はその中に「結果技術」と「経過技術」を同時に求められているのである。そこで、運動技術論の側面からその「結果性」と「経過性」つまり「結果技術」と「経過技術」に焦点を絞り、今一度剣道の歴史的技術特性区分におけるそれぞれの技術を考察することにする。

## 2. 剣道における歴史的技術特性区分と技術特性

剣道の技術は運動技術論の立場からも非常に難解な技術であると推測される。これをさらに分析するために運動技術論的考察を加えながら歴史的技術特性区分を考察する。そして、各特性区分の技術を明確にするために、それぞれの特性区分における技術にその特性を表す技術名を付した。

### (1) 実用期) = <実用性結果技術>

「日本刀」の出現による剣道の技術の発生から16世紀半ばまでを「実用期」とした。この「実用期」の技術の目的(運動課題)は「相手を殺傷する」ことである。この「相手を殺傷する」為の技術こそ剣道だけでなく武道がもつ技術の根元である。この技術遂行の失敗はすなわち自分の命をなくすことであるから、これは最も「結果性」を重んじる技術である。このように、剣道の技術は運動技術としては最も結果を重視する技術として発生したと言える。よって、この実用期の技術を<実用性結果技術>ととらえることとする。

### (2) 「型」<sup>6)</sup> 成立期 = <経過的结果技術>

16世紀半ばから剣術が脚光を浴びることになった。そして、<実用性結果技術>であった剣術の技術が「型」によってその技術を伝承することとなった。ここに、剣道の技術が「結果技術」だけでなく「経過技術」を内包して発展してきた発端がある。そして、次第に剣術の技術は相手を殺傷する実用術としての技術から「日本刀」の操法を修得すること自体にその価値を見いだすようになる。よって、この時代の技術を<経過的结果技術>とする。これは<実用性結果技術>に「経過技術」の要素を加えながら発達する。

### (3) 「型」中心期 = <経過技術>

先に述べた<経過的结果技術>は、時代が進むに従い「結果技術」の要素を失いながら発達していく。そして、剣術の技術は「型」稽古中心の形式主義となる。この時期は剣術の技術がその実用術としての役割をほとんど失っていた。よって、この時期の技術を<経過技術>ととらえる。

### (4) 「しない打ち剣道」台頭期 = <結果的経過技術>

「結果性」を失い<経過技術>となった剣術の技術も、そこに「結果技術」の要素をもった「しない打ち剣道」が出現することによりその特性を変容させていく。しかしながら、その台頭期の技術はその後の「しない打ち剣道」隆盛期のような「結果技術」を十分に含んだものではなかったようだ。下川は、

例えば長沼、中西氏等が竹刀の打込稽古を初めしは従來の型劍術が形式に流れ實用に遠かり來りし斯道の教習法を改善せんとするの目的なりしことは既に述べたる所なりしが泰平打續きて眞劍を試むるの

機なく士風日に奢侈惰弱赴きつゝありし當時に於ては此竹刀稽古の如きも唯徒らに外觀の美を専らとし巧に竹刀を振舞はして見事勝たんことのみを求め反つて實用に遠かる弊に陥り(後略)<sup>7)</sup>

と述べている。このように台頭期の技術は「経過技術」の要素を多く含んでいた。相手を打つという「結果性」を含んでいるものの「経過技術」の特性が強い技術ととらえることができる。よって、「しない打ち剣道」台頭期の技術を<結果的経過技術>とする。

#### (5)「しない打ち剣道」隆盛期= <芸術的結果技術>

「しない打ち剣道」の出現により、「結果技術」をとりもどした剣道は江戸中期から後期にかけて隆盛する。そして、時代が進むにしたがい「結果技術」の占める割合が多くなる。

而して諸流の祖師が刻苦精練して組織せる刀法の眞理は其流の組太刀即ち型に存するが故に各流の生命は其型にありと云うべし、各流とも其型を以て教習の根本とし、先づ此型より教習するを順序とす、即最初入門の際血判を以て師弟の契約を為し、先づ三年間鍛錬の功を積み、流儀の體を備へざる間は決して他流試合の如きを許可せず、又初め一年間は相互の試合を禁じ先づ流儀の組太刀を以て教師は一人毎に手を下し嚴肅なる禮儀に依り、執刀法・構備・防備・突撃の正確なる刀法及び進退等の諸法を充分習熟せしめ而して後竹刀を以て撃込稽古をなさしむ(後略)<sup>8)</sup>

このように、「しない打ち剣道」隆盛期の技術は「経過技術」を充分内包したところの「結果技術」である。さらに、ここでの「経過技術」は、「しない」で「日本刀」の操法を具現化したところの技術である。つまり、「しない」は「日本刀」の代用として、その技術の「経過性」を発揮することになるのである。そして、その技術は「結果技術」に着目すれば「しない」での技術の「独自性」も徐々に発揮されることとなった。「しない」を媒介とし「日本刀」の操法を「経過技術」として具現化しながら「しない」独自の「結果技術」をも持ち合わせるという複雑なものとなった。この時期の技術を<芸術的結果技術>とする。

#### (6)「しない打ち剣道」競技化期)= <競技性結果技術>

<芸術的結果技術>の出現により剣道は再び全盛期を迎え「しない打ち剣道」は大いに発展した。このように「経過技術」を重視したところの「結果技術」つまり<芸術的結果技術>は、明治中期まで存続したとされる。以後、剣道は徐々に競技化し戦後は急速にその傾向を強めた。競技化とは、技術論からは「経過技術」の喪失であるといえる。剣道を競技化するためには明確な運動課題が必要となる。運動課題が明確であればあるほどその運動は競技化が容易であると言える。先に述べたように「経過技術」は明確な運動課題としては限界がある。よって、必然的に剣道が競技化する場合には「経過技術」の要素は切り捨てられることとなった。言い換えれば、「結果技術」の要素が肥大した。よって、この技術を<競技性結果技術>というものとする。

#### む す び(現代剣道の技術的特性)

さて、いよいよ現在の「しない打ち剣道」の技術的特性に言及する。現代剣道の技術的特性を解明するために剣道の本質的課題を明らかにし、技術の歴史の変遷を考察し技術の特性区分化を試みた。そして、各々の歴史的特性区分について技術論の立場からその「結果性」と「経過性」に着目し技術の成立過程を明確にした。

剣道の技術の発生が「日本刀」の出現に端を発するとすれば、前述のように剣道の技術は実用術として「結果性」の最も高い「結果技術」(<実用性結果技術>)として発生したのである。そして、技術が高度化し流派が出現することにより、技術は「型」化する。「型」化とは「結果技術」に「経過技術」の要素が徐々に入り込むことである。さらに時代背景もあり、その「実用性」つまり「結果技術」の要素が薄れていき、剣術の運動形態は形式主義といわれた「型」稽古の形態となる。これは、剣術の技術がほとんど「経過技術」となったことを意味する。しかし、元来「結果技術」として発現した剣道の技術が「経過技術」として存続し続けることができるはずもなく、必然的に「しない打ち剣道」の出現によって「結果技術」を再びその技術に加えることとなった。そして、「しない打ち剣道」は徐々に「結果技術」の要素が増し、競技化することによってさらにその割合を増していった。そして、現在ではほとんど他の競技スポーツと大差のない「結果技術」として存在している。

これまで何度も述べてきたように、剣道の技術の発生は「日本刀」の出現に起因すると考えるのが一般的である。よって、これまでの剣道技術論の根拠となってきたのが、昭和50年に発表された「剣道の理念」に代表される「日本刀代用論」<sup>9)</sup>である。しかし、「日本刀」の観念の喪失により、この「日本刀代用論」を拠り所とした剣道技術論は現在では実体的には全く機能しなくなっている。そこで、全く新しい剣道技術論の構築が迫られるのである。

まず、剣道の技術を最も複雑にしている媒介に着目すべきである。技術論からは媒介が異なればその技術は異質のものであるととらえなければならない。新しい剣道技術論は「しない」を「しない」とするところから出発しなければならないと考える。よって、現代剣道の技術の源は歴史的技術特性区分でいうところの「しない打ち剣道」台頭期とすべきであり、技術特性からは「結果的経過技術」がその出発点というべきである。そして、「しない打ち剣道」の本来の姿は「経過技術」と「結果技術」が共存していた「しない打ち剣道」隆盛期の技術、技術特性としては「芸術的結果技術」であるとするのが妥当である。「芸術的結果技術」とは簡単にいえば「しないによって日本刀の操法を表現したところの経過技術の要素をもちつつ、しないによる独自の結果技術を発揮しうる技術」とすることができよう。この「芸術的結果技術」こそ現代剣道が取り戻すべき技術である。この論を『芸術的結果技術論』とする。

次に、現代剣道における最大の課題である競技化による「剣道の技の変質」について『芸術的結果技術論』の立場から検討してみたい。現在いわれている「剣道の技の変質」は一般には「試合数の増加」や「勝利至上主義」にその原因があるとされている。しかし、『芸術的結果技術論』の立場からは断じてそれは根本的な原因ではない。その原因は、現在の剣道の試合・審判規則では剣道の本来あるべき技術、つまり「芸術的結果技術」を正しく評価しえないところにある。現在のような有効打突をその直後に審判が判定するような規則では「結果技術」は評価しなくても「経過技術」を正しく評価することは困難である。つまり、現代剣道をいわゆる「正しい剣道」に修復できない原因は「芸術的結果技術」の特性を正しく把握していないことによる。「結果技術」と「経過技術」が共存するこの技術は競技技術としては成立しにくいことをまず認識すべきである。剣道が競技化した初期の時期は「芸術的結果技術」の優劣を「結果技術」で判定してもさほど問題はなかつ

たが、競技化が進むうち評価されやすい「結果技術」の要素が肥大し現在のような「剣道競技」のすがたとなったのである。「芸術的結果技術」は競技規則によって変化・発達すべき技術ではなく、規則によってその特性を維持すべき技術なのである。また、競技化が進む中で剣道の技術の価値体系の2極化があらわれてきた。つまり、「芸術的結果技術」の中の「結果技術」を高く評価する価値体系と「経過技術」を高く評価する価値体系があらわれ、現在その2極化がますます顕著になりつつある。ここから、例えば試合のための技術と審査の為の技術が存在し、剣道家がそれを使い分けるといような現象もみられる。

このように、このまま剣道の競技化が進めばその技術の本質は歪められ「芸術的結果技術」は解体し「結果技術」のみが残ることになる。剣道界は剣道の技術特性を把握し、早急に競技規則と有効打突の基準を再検討する時期に遭遇しているのである。

最後に『芸術的結果技術論』における今後の研究の方向性を述べておきたい。この論は今後大きく2つのアプローチの方向性をもつ。第1は技術論的アプローチである。つまり、本論の現代剣道への適応である。『芸術的結果技術論』により現代剣道が抱えている多くの技術的課題の解決の糸口を見いだしようと自負するものである。技術の詳細な課題についての本論の適応が待たれる。第2は歴史学的アプローチである。本論は剣道の技術を歴史的な特性区分を設けそれを技術論の立場から考察することにより導きだした。しかし、これは歴史学的には仮説にとどまっている。よって今後は豊富な史料を検証することにより、さらに本論を確固たるものにしなければならない。

#### (注)

- 1) 全日本剣道連盟通達—全剣連第56号, 1975(昭50)「剣道は剣の理法の修練による人間形成の道である」。
- 2) 拙稿「現代剣道の理念に関する研究—50年理念とその矛盾—」, 1996(平8), 久留米工業高等専門学校紀要第11巻第2号。
- 3) 拙稿「現代剣道の技術特性(1)—歴史的技術特性区分の試み—」, 1996(平8), 久留米工業高等専門学校紀要第12巻第1号。
- 4) 竹之下休蔵, 「体育の学習指導と技術」, 『新体育』, 1970(昭45), 新体育社, p.9。
- 5) 「剣道試合・審判規則, 剣道試合・審判細則」, 1995(平7), 全日本剣道連盟, p.7。
- 6) 「かた」についての用語は、「型」または「形」が用いられている。一般には、武道や古流の「かた」という場合には「型」を、それらが形態としてあらわれた場合は「形」を用いているようである。しかし、これらの用いかたは

時代・個人により明確ではない。よって、本論文では双方共「型」を用いることとした。

- 7) 下川潮『剣道の発達』, 1925(大14), 大日本武徳会本部, p.282。
- 8) 下川潮『剣道の発達』, 1925(大14), 大日本武徳会本部, p.280~281。
- 9) 拙稿, 『現代剣道技術論序説』, 1994(平6), 久留米工業高等専門学校紀要第9巻第2号。



## 教育研究報告

## 第4回科学技術セミナー “リサイクル技術の現状と展望”

鳥	井	昭	美
鎌	田	吉	之
津	田	祐	輔
中	篤	裕	之
杉	野	紀	三

### The 4th Seminar of Science and Technology The Current Trends and View in the Technology of Recycle

Akiyoshi	TORII
Kichinosuke	KAMATA
Yusuke	TSUDA
Hiroyuki	NAKASHIMA
Toshimi	SUGINO

#### 1. はじめに

久留米高専が佐賀県とも隣接している関係で佐賀県の発展にも寄与すべく平成5年から毎年開催してきた科学技術セミナーも今回で4回に至った。本セミナーは佐賀県の中小企業、高等教育機関および公設試験研究機関との連携により隣接県である佐賀県の発展の一助となることを目指して佐賀産業技術情報センターとの共催で進めてきたものである。

近年盛んに問われている環境問題に対する解決策については、産業界をはじめ地域単位でも真剣に取り組まれはじめています。科学技術の発展と共に発生する廃棄物、有害物質および環境破壊に目を向ける必要性が生じてきたためであろうと思われる。このような観点から今回は第3回までの科学技術を中心とした講演とは一変して各分野におけるリサイクル、省エネルギーの技術に関する講演内容で開催された。テーマの設定および講師の交渉等は前回同様久留米工業高等専門学校の鳥井と鎌田が担当し、4件の講演となったのでここにその概要を報告する。

#### 2. プログラム

日時：平成7年11月6日（月）

会場：増田会館バル21（佐賀市鍋島町）

平成8年11月18日 受理

主催：国立久留米工業高等専門学校

（財）佐賀産業技術情報センター  
プログラム

13：30

開会挨拶 久留米工業高等専門学校  
校長 谷口 宏

13：35-14：35

講演Ⅰ「産業界における、これまでのリサイクル・  
これからのリサイクル」

講師 （株）新日化環境エンジニアリング  
取締役副社長 佐々木 勤  
〈座長〉久留米工業高等専門学校  
教授 鎌田吉之助

14：35-15：25

講演Ⅱ「バイオマスの熱化学的糖化」

講師 九州工業技術研究所 材料化学部  
主任研究官 坂木 剛  
〈座長〉久留米工業高等専門学校  
助教授 津田 祐輔

15：25-15：30 〔休憩〕

15：30-16：20

講演Ⅲ「印刷関連材料のリサイクル」

講師 （株）大日本インキ化学工業  
印刷材料技術本部  
部長 小江 紘司  
〈座長〉久留米工業高等専門学校



写真1 開会挨拶をする本校谷口校長



写真2 講演中の新日鐵化学 佐々木氏

講師 中島 裕之

16:20-17:10

講演Ⅳ「未利用資源の微生物による有効利用」

講師 福岡農業高校専攻科講師

佐賀大学科学技術共同開発センター

客員教授 田中 米實

〈座長〉久留米工業高等専門学校

助手 杉野 紀三

17:10

閉会挨拶 (財)佐賀産業技術情報センター

専務理事 徳久 賢

### 3. セミナーの紹介

講演について以下に簡単な概要を述べる。

講演Ⅰ「産業界における、これまでのリサイクル・  
これからのリサイクル」

(株)新日化環境エンジニアリング

取締役副社長 佐々木 勤

産業界における環境対策としては、①廃棄物ゼロ・プロセス②廃棄物の再資源化、リサイクル技術の両面からの技術開発が展開されているが、これらのことを新日鐵化学の事例から述べられた。まず、鉄鋼業で生じるコークス炉ガス、コークス炉ガスおよび高炉スラグを利用してそれぞれフェノール・ナフタレン類、アンモニア・メタノール類およびセメントを合成している。また、コークス炉ガス中のエチレンからスチレンモノマーを製造する過程でアルキル化反応行程にゼオライト触媒を用いるユノカル法の導入により、廃棄物ゼロ・プロセスの生産システムが可能になった。また、他社においてもポリプロピレン製造過程において生じる不要なアタクチックPPについても触媒開発と流動層型反応器の開発によってほとんど副生されなくなった事例があるとのこと

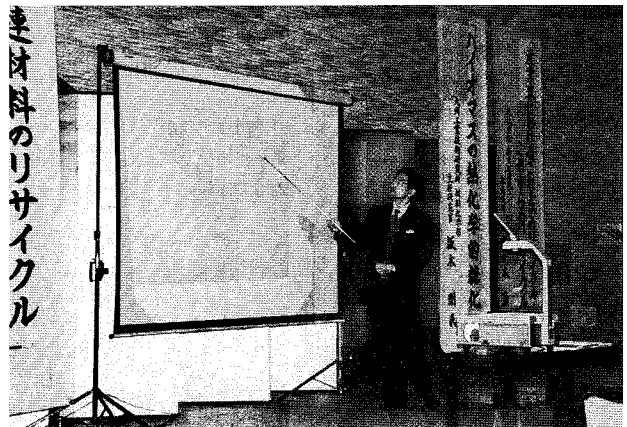


写真3 講演中の九州工業技術研究所 坂木氏

であった。今後は、市場のみならず社会的なりサイクルシステムが必要であろうと述べられた。

講演Ⅱ「バイオマスの熱化学的糖化」

九州工業技術研究所材料化学部

主任研究官 坂木 剛

バイオマスは、化石燃料と異なり短期間で生産できしかも再生可能である点で新たなエネルギー源として注目されている。この中で植物の細胞壁の成分であるセルロース系バイオマスの有効な利用法についての検討を述べられた。これまでの処理法としては酵素や酸による加水分解法を用いたが、反応速度および腐食性に問題があったため加圧熱水で短時間に処理したところ、速やかな分解が起こることが判明した。この結果、最終的に生じる生成物はガス、水溶性生成物および非水溶性生成物である。水溶性生成物はアルコール燃料や機能性有機物質の原料として、非水溶性生成物のうちリグニン分解物は芳香族系化学原料としての再利用が可能であると思われる。さらにこれらの分解産物は酵母によるアルコール発酵にも利用できるとのことであった。分解速度





写真4 講演中の大日本インキ化学工業 小江氏

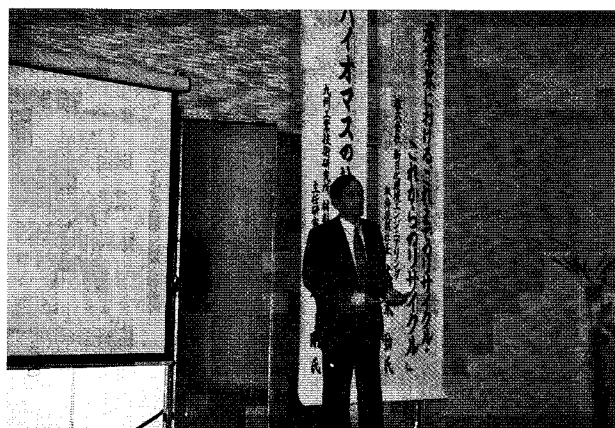


写真5 講演中の福岡農業高校講師 田中氏

も極めて速いため、処理システムも容易でありまた廃棄ポリマーのリサイクル技術としても重要になるだろうと結ばれた。

#### 講演Ⅲ「印刷関連材料のリサイクル」

(株)大日本インキ化学工業

印刷材料技術本部長 小江 紘司

大日本インキでは常に“環境保安最優先”の理念のもとに国内20工場インキ、化成品および樹脂を中心とした多種多様の生産活動がなされている。特に印刷の中での工程排出物、製品、廃棄物の削減およびリサイクルについて平板印刷(オフセット印刷)を例に話された。主材料としては、フィルム、印刷版および現像液、定着液がある。印刷のフィルムはPETに銀が塗布されており、この銀は回収、再使用のシステムが定着している。また、印刷版はアルミが主原料であり、この回収もリサイクルシステムがすでに整っている。フィルム用現像液はハイドロキノンを中心としており、酸化物の蓄積、除去が困難である。そこで大日本インキではアスコルビン酸を主薬とする現像液を開発した。同液は現像時の酸化により分解されて低分子の酸になり、処理が簡単に行える。定着液にも銀が95%以上含まれているが、この銀を回収した後の廃液が海洋投棄されていたものを陸上処理へ転換しつつある。さらに、不要プラスチックは木屑との混合による新素材、いわゆる“ディックウッド”として製品化されているとのことであった。なかなか一般には注目することのない印刷業界であるが、上記のようになり確立されたリサイクルシステムをもつ産業であることを知らされた。

#### 講演Ⅳ「未利用資源の微生物による有効利用」

福岡農業高校専攻科講師

佐賀大学科学技術共同開発センター

客員教授 田中 米實

最近では、“微生物機能を利用した環境浄化”並びに“微生物による有機廃棄物のリサイクル”の開発が重要な課題となっている。これらの利点としては、公害を伴わない、常温常圧での反応であるため操作等が容易である、製品のリサイクルが可能であるということが挙げられる。そこで上記の課題を解決する機能を有する微生物のスクリーニングが現在盛んに行われている。演者も数種の機能を持つ放線菌を発見されており、そこに至るまでの基礎的研究および地域での応用および開発の過程を話された。まず、人糞の悪臭の原因がその中に含まれる蛋白質顆粒(FPP)であることをつきとめ、これを分解する33株の放線菌を分離した。この中には鶏糞中の尿酸および鳥の羽毛をも分解しその結果アンモニアとアミノ酸を生成する菌が存在することが確認された。従って、この放線菌を用いることにより脱臭効果および産生されたアンモニアによる窒素肥料を得ることができる。また、同放線菌を家庭厨芥(生ゴミ)の脱臭、ハエの卵殻破壊にも利用できた。さらに有機排水処理場汚泥の脱臭、焼酎蒸留廃液の堆肥化等への開発も可能であると話された。

#### 4. おわりに

第4回の科学技術セミナーは企業、公設試験研究所および教育機関の分野における講演であったため100名近くの多数の参加者があった。講演内容は“リサイクル技術”に関する企業、研究機関等各立場での工夫や努力についてであった。環境問題が近年深刻になっている中で実際の現場での取り組み方を直に拝聴できる機会であったこともあり、佐賀県を中心とした多種企業、教育機関および公設研究機関等の多数の参加があった。前回の“ハイテクノ

ロジの現状”のテーマとは相補的ながら常に考慮すべき内容であるため活発な討論がなされた。今後、環境について考えていく上で各分野から検討し合うきっかけになったと思われる。

最後に本セミナー開催にあたり会場その他の設定に御尽力下さった佐賀産業技術情報センターの皆様方に厚くお礼申し上げます。



## 教育研究報告

高専における英語教育への一提言<sup>1)</sup>

佐藤 勇 治

## A Suggestion to Improve English Education at College of Technology

Yuji SATO

The present paper reviews the English education at college of technology (*Kosen*) from overall viewpoints, and proposes a new perspective to organize and conduct English education at *Kosen*. This discusses various topics inherent to English education: ideals, goals, curriculum, teaching methods, teaching materials, evaluation methods, and educational environment including the facilities.

## 1. 緒 言

高専の英語教育に10年携わったが、この間「高専の学生は英語ができない。」という評価を周囲の人々から何度となく聞いてきた。これを裏返して考えてみると、「英語教師は何をしているのか。もっと努力をするように。」との叱責のようにも思える。ただ、このような評価は相対的なものであり、何と比較するのかによっても変わるものである。専門家の立場から観れば、著名大学の英語学科や英米文学科の卒業生といえども、その英語力たるやかなりお粗末なものと言うこともできる。また、授業時間数や施設・設備などの学習環境についても同じ条件で比較してみなければ、本当の意味での評価はできない。

10年前まで久留米高専の英語科主任であられた伊藤教授<sup>2)</sup>は高専の英語教育を総合的に考察した論文の中で当時の状況を、「総じて英語スタッフ側にはまだ工夫と努力が不足であり、学校側には高専カリキュラムの中での言語教育の限界について無頓着な所がある。大学教養部並みの条件を欠く無理からは、そのレベルに相応しい道理は望みがたく、入学時の偏差値はかなりの高さであっても高専が高専であることを止め、大学受験校並の体制をとり得ないかぎり、一流大学志望の高校生並みの英語学生は多くは生じがたい。」と分析しておられるが、この考察は現在にもあてはまるように思える。

ともあれ、高専の英語教育が現状のままではない。改善なき所に進歩がないのは自明の理である。本論では、これまでの高専勤務の中で考えてきたこれからの高専の英語教育のありかたについ

て、総合的な見地からその理念、目標、教育課程、指導教材、指導方法、評価方法、教育環境について私見を述べ、改善の方向を考える一素材としたい。

## 2. 教育理念

明治以来、日本の近代化の過程で欧米の学問を吸収してきた歴史的経緯からして、日本の英語教育界にも長らく英語教育を欧米の文化を摂取するための「教養教科」と位置づける風潮が続いてきた。このため「心の栄養」や「頭の鍛練」には役立ってきたわけであるが、現実の生活や仕事に実利的に役立ると言う意味では必ずしも十分とは言えないままであった。

しかしながら、世界の経済大国となり、また、急速な国際化で諸外国の人々との交流があらゆる分野で必要となった今日の日本においては、もはや教養主義的の外国語教育だけでは済まされない状況になっている。現在の状況で必要とされるのは、高専の教育理念に言う「実践的技術者」と同様な、外国語を道具として使いこなせる「実践的コミュニケーター」なのである。従って、高専の英語教育が掲げるべき第一の理念は「実利的英語教育」である。もちろんこのことは従来からの教養的英語教育を否定するものではない。優れた教養に裏打ちされてこそ、英語の実践力も血が通うわけである。

第二の理念は生涯教育の時代に対応できる英語教育を目指すことである。これは英語に限らず何の学問についても言えることであるが、変化の激しい現代社会においてその変化に柔軟に対応して必要とされる英語力を磨いて行ける自己教育力を備えた人材の育成こそが求められているのである。

### 3. 教育目標

第1の理念たる「実利的英語教育」から導かれる教育目標には2つあると考える。一番目は、英語を通じた情報の受信や発信を一般的分野と専門的分野の両方にわたりおこなえる基礎的知識と技能を育成することである。このためには、まずは発音・語彙・文法・構文・語法などの英語の基礎要素を習得すること、その上で「聞く・話す・書く・読む」の4技能分野の調和をとりながら一般的分野（例えば、英文の手紙が書ける、英字新聞が読める、英語でスピーチができる等）と専門的分野（例えば、英語で工学分野の論文が読める、英語で研究論文の口頭発表ができる等）の基礎的知識と技能を身に付けさせることが必要となる。

二番目は、異文化コミュニケーション能力の育成である。英語の言語素材を習得すれば一人前の国際コミュニケーターになれるかと言えば、話はそう単純ではない。あらゆる言語には、それを生み出した社会とその文化が背景にあるのである。この意味では英語という一言語を学んだからといって世界のあらゆる人々とコミュニケーションができるわけではない。しかし、世界の全ての言語を学ぶことも現実にはできないわけで、ここに半ば世界の共通言語と化した英語を通じて、英語圏のみならず世界の他の地域の人々の文化（価値観、社会的ルール、非言語コミュニケーション等）についても理解を深め、このような人々と適切に交流していける能力を育てることが必要となるのである。

第二の理念たる「自己教育力を育てる英語教育」についても二つの目標が必要であると考え。一番目は、生涯にわたる継続学習ができるような英語学習への動機づけを行い、学ぶ喜びを感じさせるような指導を行うことである。生活や仕事のために必要にせまられて学ぶのと違い、日本のようなほぼ単一民族・単一言語社会においては、英語は教育の一環として学ぶ以外は、学生の間は使わなくても毎日暮らしていけるわけであるから、学習意欲もいまひとつ盛り上がり欠けるのも有る程度はやむを得ない。しかし、学生の知的好奇心をくすぐりながら英語を学ぶことの楽しさを教え、社会生活上の御利益を実感させるような指導の工夫を行うことで、英語の生涯学習に取り組む心理的準備を整えることができると思う。

二番目は外国語（英語）学習の方法を習得させることである。何をやるにしても無手勝流にやっても上手になることは少ない。英語学習に唯一無二の最良

の方法があるわけではないが、長年にわたる英語教育研究や先達の学習経験から一般的に有効と思われる学習方法は存在するわけで、それらの方法を学生たちに在学中に体得させておくことが大切である。こうすることで、卒業後も必要に応じて英語学習に取り組むことが可能となるのである。

### 4. 教育課程

上述の理念や目標を達成するためには、次の4項目を満たすような科目配置や時間配分が望ましいと考える。第一に、現状の通年科目のみの設定を半期科目との組合せ方式にすることである。言語学習の4領域の総合的な学習は通年の設定とし、ダイアットや異文化コミュニケーションなどの特定の教育目標や専門分野にかかわる学習は半期の設定とすることで、英語の広範な学習領域を柔軟に学ぶことができるようになる。

第二に時間数（単位数）の配分は、上学年では工業の専門科目の占める割合が高くなるという高専の特性からして、一般科目たる英語は現状通りのピラミッド型時間配分を基本とせざるを得ない。但し、4年生や5年生でも意欲の有るものは時間の許す限り英語力を高めることができるように、選択科目を追加することで4年、5年生でも実質的に4単位ぐらいは学習する道を保証してやるが必要と考える。

学習時間の長さや学習到達度には必ずしも正比例の相関関係があるわけではないが、一般論として言えば、やはりたくさん勉強したものが高い水準に達することができる。本論の最後に資料として掲載した明善高校の国立大学理系コースの教育課程と九州工業大学情報工学部の教育課程とを久留米高専のそれと比較してみると、その差が明らかである。明善高校の場合は教育課程表上は、久留米高専と大差ないように見えるが、大学受験準備のために1年から3年まで一貫して行われる早朝や長期休暇中の課外授業のことを考慮すると、実質的には1.5倍から2倍の授業を行っている。その上、大学受験という明確な学習目的と頻繁に行われる各種試験のことに思いを致せば、高専の学生との学力格差が生じるのも自然の道理とも言える。

さて、第三のポイントは全ての学年で外国人教師の指導が受けられるような科目（時間）を設けることである。外国語を学ぶ過程で一番学習意欲を喚起するのは、その言葉を母国語とするひとに話が通じた時である。この喜びを全ての学年の高専生に体験

させる制度的保証が教育課程に必要である。常勤講師が難しければ、非常勤でも良いし、毎週が難しければ、月に1回でも良い。

外国人教師の選定にあたっては、やはり外国語教育の専門家であり、英米人であることが望ましい。中学や高校ではALT（外国語指導助手）が配置され、その国籍も様々であるが、英語の初級学習者には正しい英音か米音で指導してくれる人のほうが混乱を招かずに良い。国際理解教育的視点ならどこの国の人でもよいが、残念ながら何と言っているのか理解に苦しむような発音をするひとも英語国民の中には存在するのである。

第四の考慮点は、学生が実際に英語が生活の中で使われている場面を経験できるような教育機会を教育課程に設定することである。第2次世界大戦時にアメリカが外国語のスペシャリストを短期養成するために用いた、通称アーミーメソッド<sup>3)</sup>にしても、最近のクラシエンのインプット仮説<sup>4)</sup>にしても、目標言語に大量に触れさせることで言語習得を達成しようとしているわけで、学生たちも「相手の言っていることがわからない」とか「相手に自分の言いたいことを伝えられない」などの欲求不満を感じつつも、目標言語が実際に使われている社会を体験することで得る効用は大きいものがある。

そのためには、有る程度英語の基礎的語彙や文法構造などがわかりかけた2年生のときに、夏休みなどを利用した国際交流キャンプを行うことと、一通り英語の基礎を学び終えたと思われる4年生の時に海外研修旅行を実施することである。国際交流キャンプは2泊3日程度とし、英語科教官の他に近隣の高校や大学に勉強に来ている英語圏の留学生や中学・高校に配置されているALTの参加も呼びかけて朝から晩まで「英語づけ」の生活体験をさせるのである。一学年の学生数が200名と多いので、運営上は

夏休みと春休みに半分ずつにわけて行うことが無理がないであろう。

海外研修旅行については、工場見学旅行との抱き合わせという形を取らざるをえないだろうが、期間を10日間ほどに設定し、午前中は英語の集中訓練コースを履修し、午後は工場見学などに時間を使えば有意義な研修を行うことができると考える。

これまで述べた4つの視点を踏まえた教育課程としては、私は例えば表1のようなものを考えてみた。

表1の英語教育課程試案に掲載した科目の内容は次の通りである。

1. 総合英語Ⅰ・Ⅱ：英語の聞く・話す・書く・読むの4領域の学習を総合的に行うと共に、英語圏の人と文化などの背景知識についても学ぶ。外国人講師とのチームティーチングも考えられる。
2. 英文法Ⅰ・Ⅱ：英文法の基礎を構文や語法も含めて学習する。英作文や口頭発表にも意を払った授業展開が望ましい。
3. 発音の基礎：LL教室を使い、英語の発音表記、発声法、リズム、ストレス、イントネーションなどの発音の基礎を体系的に学ぶ。
4. 英文タイプ：手紙を書くにしろ、論文を書くにしろ英文タイプの技術は必須である。コンピュータールームを使いその基礎技術を習得する。
5. リスニング演習：LL教室を使い何故聞いてわからないのかに始まり、どうしたら聞いてわかるようになるかを、組織的に演習する。特に、ナチュラルスピード教材で広範なジャンルに及ぶ教材の使用と、音声変化に焦点を当てた指導が望ましい。
6. パブリックスピーキング：プレゼンテーション技法も含めて、目的に応じたスピーチの構

表1 高専における英語教育課程試案

	週時間数	通年科目	前期科目	後期科目
1年生	6	総合英語Ⅰ(3) 英文法Ⅰ(2)	発音の基礎(1)	英文タイプ(1)
2年生	5	総合英語Ⅱ(3) 英文法Ⅱ(2)		
3年生	4		リスニング演習(2) 英米文学 —小説—(2)	パブリックスピーキング(2) 英米文学 —詩—(2)
4年生	2		ニュース英語(2)	文章作法(2)
5年生	2		異文化コミュニケーション(2)	工業英語(2)

成技法と発表の技術の基礎を学ぶ。

7. 英米文学：小説もしくは演劇と詩の鑑賞を通じて、英米の社会、自然、思想、人間観などに触れ英語圏の人々と英語の織り成す文化についての理解を深める。
8. ニュース英語：LL教室を用いて英字新聞の読み方とテレビニュースを理解する方法について、実戦的演習を行う。
9. 文章作法：英語での手紙、エッセイ、レポート、論文などの書き方を組織的に演習形式で習得する。
10. 異文化コミュニケーション：異文化コミュニケーションを妨げる諸要因についての理解を深めると共に、どうしたらより良いコミュニケーションが成立するかについて考察する。
11. 工業英語：科学技術英語の基礎を、その文体論的特徴に焦点を当てながら、カタログ、実験報告書、品質保証規定、学術論文など幅広いジャンルからのサンプルを通じて学び工業英語への入門とする。

## 5. 指導方法

これまでの指導方法で日本の英語教育界の主流を占めてきたのは、何といても文法訳読法である。これは文法を下敷きにして、英文を日本語に置き換えることでその意味を確認していく方法であるが、何かと批判の多い方法でもある。特に、英語を話したり聞いたりする力を養うには役に立たないと言われてきた。また、指導形態としては教師主導の一斉授業が一般的であった。英語教育の改善に熱心な学校や教師たちは、早くから音声面の大切さや学生主体の授業運営にも心致し、LL教室での語学演習や個別指導にも取り組んできているが、今でもやはり文法訳読法と一斉授業が全国的レベルで見ると、一般的であるように思える。

もちろん、伝統的な指導法にも利点はあるわけで、外国語として中学生ぐらいから英語を学び始める場合には、効率的に一定の読解力を育てることができる。しかし、これからの英語教育においてはいくつかの改善をほどこさなければ時代の求める英語力は育成しにくい。私は次の4つの視点から指導法を組み立てて行くべきだと考えている。

第一に、「学習者中心主義」の考えを指導の中心に据えることである。これまでの英語教育では教師が一方向的に知識を与えるということが主流であったわけだが、これからは指導形態も一斉授業のみなら

ず、グループ学習や個別学習も適宜組合せながら、学生の演習を重視した形態を実践していく必要がある。このような工夫を施すことで、学生が主体的に新しい知識や技能を習得していくことが可能となると思う。

第二に、文字のみに頼る指導から脱却し、テープやビデオのような音声と映像を加えた「立体的な指導」を「平常」の授業の中で行うことである。LL教室ではもちろんこのような授業は以前から行われて来たわけであるが、普通教室ではせいぜいテープによる音声の提示ぐらいまでである。英米人の美しい発音を聞き、英語圏その他世界の様々な地域の映像を目にするとき、学生も新鮮な喜びを感じることと思う。

第三に、教室の中での説明や指示、また家庭での宿題や予習・復習に「できるだけ英語を使う」ような指導を行うことである。外国語の学習はその言語を日常生活でどれぐらい使っているかによって達成度が変わってくる。平均的な学生の英語使用量は極めて限られている。せいぜい教科書の予習・復習や宿題に取り組むぐらいのことであろう。せめて授業に関連した所で、意味が良くわからないなどの欲求不満を感じながらも、少しでも英語に多く触れる機会を作ることで、英語を「生活言語」的なものに変えたいものである。

第四は、「現実世界との接点を持たせた指導」を心がけることである。英語学習においても物事を具象化することは大切である。ロンドンの地図を使って道案内をする、ホリデイインの案内書を使ってホテルの予約の練習をする、衛星放送でアメリカのCNNニュースに接近してみる等、英語が使われている現実世界との関わりを持つことが英語学習への強い関心を生むことにつながる。

## 6. 教材

これまでの高専英語教育では3年生までは検定教科書を主たる教材とし、4年生と5年生は大学テキストを中心とした教材を使用してきたところが多いのではなかろうか。検定教科書は複数の英語教育専門家が、多面的に長い時間をかけて検討したものだけに、それなりに長所も多い。しかし、教材の内容や編集方式には、高専教育の目的や授業時数などに必ずしもあっていないことも確かである。

やはり、高専教育の目的と授業時間数にあわせた独自教材の開発が必要である。本当は、学校の種類と数と学生のレベルをかけ合わせた分だけの教科書

がいると言うことなのだが、そのようにたくさんの教科書は作りえないことからして、せめて自分の所属する学校の英語科の教育理念と目標にあう教材は独自に編纂することとしたい。これもまた、いざ始めるとなるとたいへんな仕事であり、一朝一夕にして事が成就するようなものではないが、教材論の基本として独自教材の作成ということ念頭に置いておきたいのである。もちろん一人でできるような仕事ではないので、英語科全員で共同して作る必要がある。

もし独自教材の開発が難しければ、せめて既存の検定教科書や大学テキストを目的に合うように編集しなおすことを考えてもよい。著作権などの問題も絡んでくるのでこれも大変な仕事ではあるが、ゼロから教材を作り出すよりも比較的労力が少なくて済むと思える。どちらの方式にしても、高専教育の実態と理念・目標にかなったものを教材として使うということが重要なのである。

教材使用についてももう一つ留意したいことに、英語圏で実際に生活や仕事に使われている材料をできるだけ用いることがある。電話のかけかたを学んでいるのであれば、アメリカで使われている電話帳を活用するか、ニュース英語を学んでいるのであれば、CNN ニュースを使うとか、イギリスの小説を学んでいるのであれば、イギリスで製本・出版された本を用いるなど様々な「本場の材料」を授業に導入することで、英語を生活言語的実感を伴って学ぶことができるものと確信する。

## 7. 評価方法

教育実践の成否は学生評価に現れる。学生が教授した内容をどれくらい習得したかを測定するわけであるから当然である。非常に重要な教育活動の締めくくりなのであるが、これまでの一般的な評価方法は必ずしも適切に学生の実力を伸ばすような評価には繋がっていないように思う。評価の方法を見直すということは、指導方法と指導内容を見直すことと不可分のものであるからして、教育活動全体を見通したものでなければならない。

従来の英語教育における一般的評価方法は、定期考査期間に筆記試験を行い、それに平常の授業中に行う小テストや提出物、出席状況などを加味して評価するというものである。このような評価方法の欠点は、「読む・書く」力の測定が中心で、「話す・聞く」力の測定は従的なものになることと、認知的領域における言語知識の測定に片寄っていることがあ

げられる。

これからの評価方法としては、情意的レベルや行動的レベルまでも含めて、自分の意図した内容を感じを交えて、かつ、論理的に効果的に発表できるかとか、自分の遭遇する場面に応じて適切な表現ができるかなど総合的な評価を行う必要があると考える。また、外国語学習への意欲や態度といったものをどう評価するか、外国語学習の方法を心得ているかどうかの評価といったことも今後の課題に加えてもよいのではないかと考える。

評価は学生の実力を測定すると同時に、これからどのように学習に取り組みばよいかを学生に指導するために行うわけで、評価結果の学生への「フィードバック」が重要である。この意味では、評価の根本に「診断的評価」という基本概念がなければならぬ。良識ある教師は言うまでもなくこの診断的評価の思想にもとづき、学生へのフィードバックを十分に行っているであろう。しかし、著者も含めてのことであるが、ややもすると「成績評価のための評価」になっている向きがないか良く振り返って見る必要があるのではなからうか。

## 8. 教育環境

教育効果を高めるためには環境も大切である。どんなにいい知恵をもっている道具立てが整わなければできないこともある。英語教育に役立ちそうな環境改善として、私は次の5つを提案したい。もちろん、これらは久留米高専の現状をもとにしているので他の高専では当てはまらないこともあると思われる。

第一は、全ての普通教室にAV機器を設置することである。テレビモニター、ビデオデッキ、テープレコーダー、OHPプロジェクター、スライド映写機、スクリーンといった道具である。こういった機能を備えたものとして視聴覚教室やLL教室があるが、普段の学習で一番利用しているところにこのようなAV機器があれば、どれほど多彩な授業展開が可能となるだろうか。小学校や中学校の教室でもこのようなものはいくつかはそろっている。高等教育機関たる高専にこのようなものがないのはいかなものか。

第二は、全ての学年に留学生を配置し日常生活の中で異国人との交流ができるような制度的整備を行うことである。具体的には1年生と2年生には最低1名ずつAFSなどの国際交流団体の留学生を受け入れると共に、3年生以上には国費・私費を問わ

ず外国人留学生をこれまで以上に可能な限り受け入れることである。1～2年生への受入れは英語学習という視点からは、できれば英語圏からの留学生が望ましい。

第三は教室内のものも含めた学校の各種案内表示を全て日本語と英語の2か国語併記にすることである。外国語というものは日常の生活の中に自然な形ではいつているのが好ましく、学生の目にふれるものが英語であれば親しみもわくというものである。韓国の先端科学技術大学院 (KAIST) も同じ発想で、学内の表示は全て韓国語と英語の2か国語表記である。

第四に、学生の放課後の自学自習の場所を提供することである。具体的にはパソコンでCAIソフトを動かして学習ができるような部屋と、AVソフトを動かして自習ができるような部屋とを設けることである。もちろん上記の2つを一部屋にまとめることもできる。大切なのは豊富な学習ソフトがそろっていて、学生が必要な時に必要な事を自由に学習できる環境を整えてやることである。大学では既にやっていることであるが、高専でも少しずつでもこのような方向で動くことが必要である。

第五は、国際交流提携校との密接な交流に学生を参加させることである。相互訪問はお金のかかることで容易には実現しにくいかもしれないが、徐々に双方の学生を受け入れてくれるホストファミリー候補先を増やせば、比較的lowコストで相互訪問が可能となるかもしれない。また、文通やインターネットを通じたコミュニケーションも奨励されてよい。英語学習の醍醐味は知識の吸収ということの他には、つまるところ諸外国の人たちと英語を通じて意思疎通ができるところに集約されているとも言える。この意味では英語を使う実体験の世界を幅広く確保したいものである。

## 9. 結 び

これまで高専の英語教育を改善するための具体的な視点を述べてきた。どれを取っても容易にできるようなことではない。しかし、これから高専が社会的に高い評価を受けて行くためには、高専でもここで論じたようなことが実現されるべきだと思っている。

また、ここで述べたことは高専だけにとどまらず日本の英語教育の質を高めるためにはどの学校にも当てはまることも多いはずである。

日本の英語教育の歴史も100年を越えた。国際化は益々進む一方である。個別領域での指導法や評価法などミクロ的な研究の蓄積には膨大なものがある。しかし、英語教育全体を見通したマクロ的な研究は極めて少ないように思う。木を見て森を見ないような事にならぬよう、時には英語教育の全体像を論じることにも意義があろうと思う。この意味では、本論は高専を例にしたマクロ的研究を目指したものである。日本の英語教育の全体像を考える一助となれば幸いである。

### (注)

- 1) 本論は去る平成8年7月29日に八戸高専英語教育情報センターが主催した「高専における英語教育の将来像」研究会において講演したものを基礎として加筆したものである。
- 2) 現在は九州工業大学情報工学部英語科教授である。
- 3) 正式にはA.S.T.P. (Army Specialized Training Program) といい、模倣記憶練習を中心としたオーラルアプローチの一環である。
- 4) ナチュラルアプローチの一環で授業において聞き取りと読書を通じた理解可能な外国語の入力をなるべく大量に行うことを重視する。

### 参 考 文 献

- 1) 安藤昭一編『英語教育現代キーワード事典』, 1991, 増進堂
- 2) 伊藤武久「高専の英語教育」, 『久留米工業高等専門学校紀要』, 第3巻第2号, 1988
- 3) 九州工業大学, 『学生便覧』, 1996
- 4) 福岡県立明善高等学校, 『学校案内』, 1996

〔参考資料：授業時間数比較〕

	1年	2年	3年	4年	5年
久留米高専	7	5	4	2	2
明善高校	6	5	6		
九州工大				4	2

- (注) 1) 久留米高専は一時間を45分、明善高校は一時間を50分、九州工大は一時間を45分で表示してある。  
 2) 明善高校の授業時数には課外授業は含めていない。  
 3) 九州工大は上記の他、選択科目として3年次と4年次まで含めると、さらに4時間学習の機会が与えられている。



平成8年度 編集委員

委員長	谷口	宏	校長
副委員長	松本	健一	教授(制御情報)
	糸瀬	征夫	教授(外国語)
委員	平瀨	国男	教授(機械)
	池田	隆	助教授(電気)
	東内	秀機	助教授(工化・生化)
	中村	良三	助教授(材料)
	川越	茂敏	教授(数学)
	大串	伸	助教授(物理・化学)
	平元	道雄	助教授(国語・人文)
	木寺	英史	助教授(体育)

平成9年3月25日 印刷

平成9年3月31日 発行

紀 要 第12巻 第2号

〒 830 久留米市小森野町1232番地

編集兼  
発行 者

久留米工業高等専門学校

TEL 0942-35-9300

〒 815 福岡市南区向野2丁目13-29

印刷所

秀巧社印刷株式会社

MEMOIRS  
OF  
KURUME NATIONAL COLLEGE OF TECHNOLOGY

Vol. 12    No. 2  
(MARCH 1997)

CONTENTS

Deviation of Plural Recurrence Formula in Hough Transform and High-Speed Calculation by Parallel Processing .....	{ Katsuyuki NAKASHIMA Yutaka OBUCHI ... Katsunori INOUE	1
A Fundamental Study on Carbide Hobbing — For Evaluation Method of Cutting Performance against Gear Blanks — .....	{ Isao SAKURAGI Masataka YONEKURA Masaoki SUMI ... Yasuaki HIROO Kisaburo NAGANO	5
An Invariant of Links in a Solid Torus Related to the XXZ Model in Statistical Physics .....	Shigekazu NAKABO...	13
Study on Adhesion of PTFE by Hot Press Method .....	{ Kikuo MINATO Kazutaka IRIE ... Tsuyoshi MIURA	21
Dry Etching of Si Wafer by Fast Atom Beam Bombardment .....	{ Kazutaka IRIE Tadashi NISHIMURA... Sachiko ISHIBASHI Kikuo MINATO	27
The Formation of a Thin Metal Oxide Film by a Reactive Ion Beam Sputtering Method .....	{ Kazutaka IRIE Sachiko ISHIBASHI ... Tadashi NISHIMURA Kikuo MINATO	33
Chêng Ming Tao's Proposition of the Reform in the Civil Service Examination .....	Michio HIRAMOTO...	46
On the Development of "HongANJI" Orders .....	Hajime ENDOH...	47
Characteristics of Technique in Modern Kendo after the War (2) — To Make a Theory of which Regard Result in Artistic View — .....	Eishi KIDERA...	53
The 4th Seminar of Science and Technology The Current Trends and View in the Technology of Recycle .....	{ Akiyoshi TORII Kichinosuke KAMATA Yusuke TSUDA ... Hiroyuki NAKASHIMA Toshimi SUGINO	59
A Suggestion to Improve English Education at College of Technology .....	Yuji SATO...	63