ISSN　0386-863X

# 工 業 技 術 研 究 報 告 書

Report of the Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture　No.32　2003

## No. 31　2002

新潟県

新潟県工業技術総合研究所
Industrial Research Institute of NIIGATA Prefecture

〒950-0915 新潟県新潟市鐙西１－１１－１
1-11-1 Abumi-nishi ,Niigata City,Niigata 950-0915,Japan

目　次

戦略技術開発研究
１．マグネシウム合金による複雑形状部品の加工技術の確立と用途開発（第３報）・ 3
２．高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第２報）・・・・・・・・・・・・ 9
３．高速デジタル動画像伝送システムの開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 16
（OFDM の原理とベースバンド部の検討／2.4GHz LNA の設計）

共同研究
１．高精度・高速処理テープ式研磨装置の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
２．標準電波受信用アンテナに関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 32
３．アイカメラの自動追尾焦点制御装置に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・ 37

信越スーパーテクノゾーン推進研究
１．高出力ＹＡＧレーザーを用いた溶接技術の研究
（マグネシウム合金の溶接条件の研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45

新潟・福島・山形公設試研究機関共同研究
１．マグネシウム合金等のリサイクル化の調査研究（第２報） ・・・・・・・・・・ 53

IS014000 に対応する商品企画設計システム構築事業
１．エコデザイン（環境配慮型設計）による商品開発研究 ・・・・・・・・・・・・ 61

実用研究
１．ＤＳＰの利用技術の研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 69
２．交流パルスＭＩＧ溶接機のステンレスへの応用試験 ・・・・・・・・・・・・ 73
３．光触媒の把持応用技術 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
４．新しいＸ線残留応力測定技術の研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 81
（シリコン単結晶と配向性をもつアルミニウム薄膜のＸ線応力測定
５．金属製品の腐食に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87
（ステンレス鋼の腐食減量実験）
６．ＣＡＤデータを利用した製造技術に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・ 91
７．中小企業における情報技術の導入・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 94
（CAD/CAM 技術およびインターネットを活用した機械部品加工技術の高度化）
８．複合材料の疲労試験評価に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 99
９．繊維製品の染着制御・機能性付加技術の開発（その１） ・・・・・・・・・・ 105
（佐渡産おけさ柿を利用した抗菌性ニットの開発）
１０．繊維製品の染着制御・機能性付加技術の開発（その２） ・・・・・・・・・・・ 108
（ペーパーヤーンへの伸縮性、柔軟性付与加工法）
１１．繊維製品の染着制御・機能性付加技術の開発（その３） ・・・・・・・・・・・ 111
（保温性蓄熱マイクロカプセルの開発）
１２．繊維素材の複合化技術に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 113
１３．ＩＴ活用織物企画設計支援システムの開発（第１報） ・・・・・・・・・・・・ 116
（織物組織分解支援システムとドビー紋栓カード自動パンチングシステムの開発）

提案公募型技術開発研究
１．高精度ボールねじにおけるラップ仕上げの自動化と
よろめき補正可能な工具の開発・・・・・・・・・・・・・・ 123
２．バイオマスエネルギーストーブのデザインと開発・・・・・・・・・・・・・・ 129
３．インプロセスモニタリングを用いた
ＹＡＧレーザー溶接による高信頼性溶接部品生産法・・・・・・ 135
４．高温酸化を利用した超硬合金チップのリサイクル ・・・・・・・・・・・・・・ 141
５．環境調和型薄膜太陽電池の電気的特性に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・ 145
６．光プローブの自律走査と平面データムの内蔵を特徴とする表面凹凸形状測定機 ・ 151

# マグネシウム合金による複雑形状部品の加工技術の確立と用途開発（第３報）

高野　格[*]　田辺　寛[*]　須貝　裕之[*]　平石　誠[*]　折笠　仁志[*]

## Establishment of Processing Technologies for Complicated Shaping Parts and Application Development for Magnesium Alloy

TAKANO Itaru　TANABE Hiroshi　SUGAI Hiroyuki
HIRAISHII Makoto　ORIKASA Hitoshi

抄　録

本研究では、現在、ダイキャストやチクソモールディングといった溶融或いは半溶融成形法により製造されているマグネシウム合金の製品を、安価で生産性の高いプレス加工に置き換えることを目的として３年間研究を行ってきた。これまでの２年間では素材の加工にあたる圧延・押出しからプレス加工・溶接・最終段階の表面処理にいたるまでの各工程において加工技術の研究を行ってきた。本報告では今年度に行った研究内容の内、マグネシウム圧延板研磨装置の開発、アルミニウムクラッドマグネシウム材料の開発、マグネシウム溶接技術の開発、マグネシウム表面処理技術の開発について報告する。

## １　緒言

マグネシウム合金は、実用金属の中で最も軽量で、比強度も高く,リサイクル性に優れるなどの特徴を持ち、近年、パソコンや携帯用家電製品の筐体にマグネシウム合金を採用したものが急速に増加している。それらのほとんどは、ダイキャストやチクソモールディング（溶融射出成形）により製造されているが、生産性が低いため、板材を使ったプレス加工が望まれている。そのため、本研究では、平成 11 年度よりマグネシウム合金を使用したプレス加工に取り組んでいるが、素材にあたるマグネシウム合金の圧延板は、現在、米国 S.C.I. 社しか生産していないため、国内ではほぼ全量をここからの輸入に頼っている状況であり、国産のマグネシウム合金製圧延板が望まれている。そこで、安価で良質な素材を供給するために、圧延・押出しについて研究を行った。また、プレス製品はそれ単体で製品となることはほとんどなく、溶接や表面処理などの工程を経てから最終的な製品となる場合が多いため、今年度はそれらの技術についても開発を行った。

＊研究開発センター

## ２　圧延板研磨研磨装置

### ２．１　概要

本研究ではマグネシウム圧延板の開発を行い、機械的性質やしぼり性において輸入品と比較して遜色のない性能であることを確認した。
しかし、この圧延板を家電製品の外観部品など高度な表面品質が要求される部分に使用することを想定した場合、圧延板の表面はブラストにより処理しているため表面粗さが大きく、塗装面に凹凸が浮き出てしまう。
さらにこの圧延材には圧延時にロールに巻き込まれたのゴミ等による小さなへこみ傷があり、これも外観部品に適用する際に材料の歩留まり等を悪化させる問題となる。

そこでこれらの問題を解決するため、マグネシウム圧延板専用の研磨措置を開発した。
この装置をもちいて材料の表面を薄く削り取ることにより、へこみ傷を少なくし塗装面に影響を及

ぼさない平滑な面を得ることを目的とする。
さらに平滑な表面が得られれば、開発中の陽極酸化を適用することによって、塗装品では得られない金属光沢を得ることができる。

## ２．２　研磨実験装置の概要

　開発したマグネシウム圧延板用研磨装置の写真を以下に示す。図１

図１　マグネシウム圧延板用研磨装置

装置の概要を以下に示す。

　研磨方式：フラップホイールを用いた湿式研磨
　ホィール回転数：１０００～２０００ｒｐｍ
　テーブル送り速度：２～６ｍ／ｍｉｎ
　加工物寸法：幅４００ｍｍ×長さ１５００ｍｍ
　　　　　　　厚さ０．５～５ｍｍ

マグネシウムの乾式研磨は粉塵爆発の危険性を伴う。そこで、この装置では湿式研磨方式を採用した。

　また、削り取ったマグネシウム粉末はペーパーフィルターにより捕集し廃棄している。
削り取ったマグネシウム粉末と切削液が反応して水素ガスが発生することに対処するため、フィルター装置は屋外に設置している。

## ２．３　研磨実験とあらさ試験

　研磨実験装置を用いて研磨実験を行った。
実験に使用したマグネシウム圧延材の仕様を下記に示す。

　材質：ＡＺ３１Ｂ
　寸法：幅３００×長さ１５００
　　　　板厚０．８ｍｍ

実験ではホイールの番手や回転数、送り速度等を変化させ、その時の研磨量との関係や表面あらさ等研磨面の状態を調べた。

　最終的に得られた研磨面の表面あらさ測定結果を下記に示す。比較のため輸入圧延板のあらさを同時に示す。図２

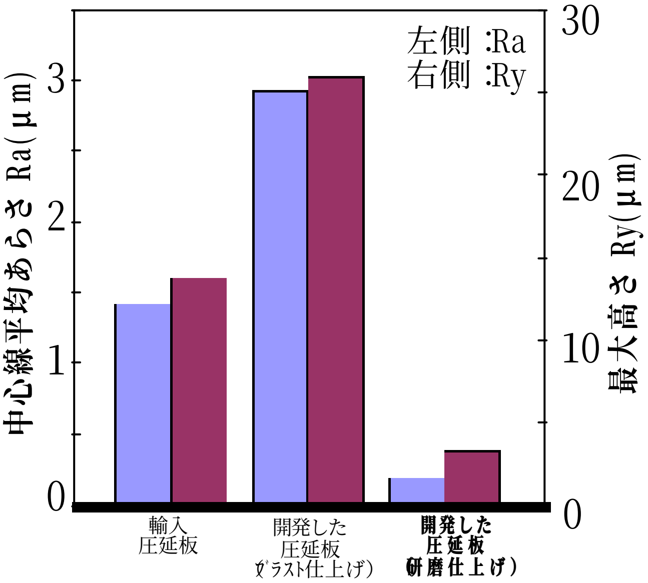



図２　あらさの比較

ブラスト仕上げした圧延板のあらさは輸入圧延板の２倍ほど大きな値となっていた。

　これに対して研磨機により研磨した圧延板の表面あらさはこれら２種類の圧延板に比較して著しく平滑になっていることが確認された。

## ２．４　塗装試験

　最終的に最適と思われる幾つかの研磨サンプルに対して塗装実験を行った。

　塗装試験では、輸入圧延材とブラストした圧延材のどちらの材料も塗装表面に下地の凹凸が浮き出ており、精密塗装に対応できない表面であることが確認できた。
これに対して研磨した圧延板では、目視検査のレベルでは塗装表面に研磨痕を確認できないことを確認した。

# ３．ｱﾙﾐﾆｳﾑ ｸﾗｯﾄﾞ ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ圧延材の開発

## ３．１　概要

　マグネシウム合金はアルミニウムやステンレスなどの一般的な金属材料に比べて腐蝕しやすく、現時点においては表面処理無しで家電製品等の外

観部品に用いることは非常に困難である。

　このため表面処理や塗装によって腐蝕を防いでおり、本研究でもマグネシウムの表面処理方法の研究を行ってきた。

　しかしこの方法とは別に、マグネシウムの表面に耐食性に優れたアルミニウムをコーティングした材料（ｱﾙﾐﾆｳﾑ ｸﾗｯﾄﾞ ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ）を作ることを試みた。

　このような材料を作ることができれば、低コストで耐食性に優れたアルミニウムを防食皮膜として使いながら、マグネシウム合金の優れた諸特性を生かすことが可能となり、製造原価の２０～４０％に達すると言われている複雑なマグネシウム合金の表面処理や塗装が簡略化され、製造コストも下がることが予想される。

　さらにマグネシウムとアルミニウムの組み合わせによるクラッド材はどちらの金属にも合金として溶解することが可能であることから、塗装に比べてリサイクル面でも優れている。

## ３．２　製作方法

　まず予備実験として、アルミニウム片とマグネシウム片を鍛造により圧縮成形し、その後電気炉において加熱することにより拡散接合する実験を試みた。

その結果、純アルミニウム（A1100）とマグネシウム合金（AZ31B）の拡散接合が確認された。

　この結果を基に、アルミニウム（A1100）とマグネシウム合金（AZ31B）の板材を使った圧延加工を行い、板材を作成した。

　圧延を行うに当たり、接合面の酸化を抑えるため、表面の酸化皮膜を除去したマグネシウム合金板をアルミニウム板で包み込み、内部を真空状態にした素材を用意した。

　この素材を適当な温度に予熱した後圧延し、幅１５０mm、板厚０．８mmの試作クラッド材を製作した。

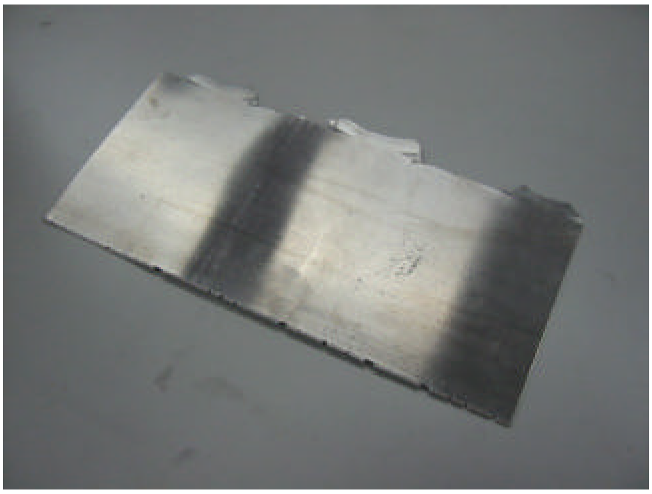


図３　試作したｱﾙﾐﾆｳﾑ ｸﾗｯﾄﾞ ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ圧延材

## ３．３　成型性試験

　試作したクラッド材を使って円筒深絞り成形性試験を実施した結果、限界絞り比（LDR）で 2.5 が得られ、実用上十分な成形性を有することが確認された。図４、５

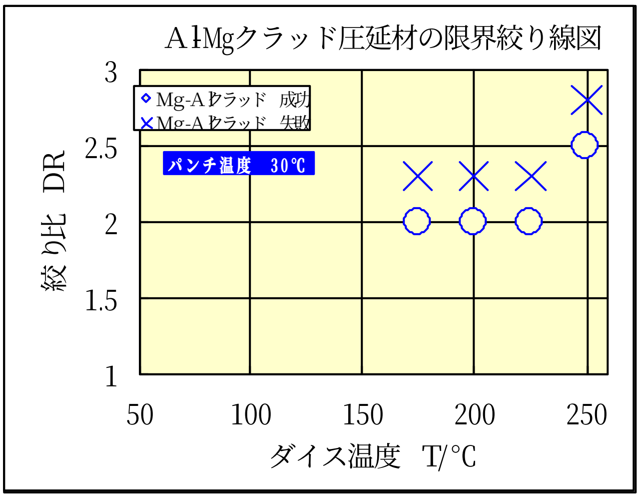



図４　限界しぼり線図

図５　しぼり試験を行ったクラッド材

## ４　溶接

Ｍｇ製プレス品にボスを形成することを目的として、スタッド溶接を試みた。製造工程の観点から、大気中での溶接が好ましいが、マグネシウムは大気中における高温での酸化が著しいために溶接熱により生じた酸化物が接合を阻害することが[1)]報告されている。本報では、溶接時間や不活性ガス雰囲気が接合性におよぼす影響について報告する。

### ４．１　実験方法

実験装置、供試材は前報と同様であり、その結果からスタッド先端のチップ長さは 1.1　mm、コンデンサ充電電圧は 60　V とした[2)]。スタッドが装填される溶接ガンには、ギャップ方式とコンタクト方式を用いた。前者では板から離れた位置からスタッドが加速され板に衝突するのに対し、後者でははじめからスタッドのチップが板に押付けられている。前者ではスタッドの加速距離を、後者では押付け力を、いずれも大きくすることにより溶接時間は短くなる。溶接時間の測定には高速度ビデオカメラを用い、9,000 frame/s でアークの発光を観察した。また、アルゴンガスを用いて不活性雰囲気の影響を調べた。

### ４．２　実験結果および考察

溶接時間と接合強度の関係は，図６に示すように、大気中およびアルゴンガス雰囲気中それぞれにおいて、ギャップ方式とコンタクト方式に共通する一本の曲線で描かれた。また、いずれの雰囲気においても、溶接時間の増加とともに接合強度は低下した。大気中における溶接では、溶接時間 1.2　ms 以下で板材のボタン型破断となる最大の接合強度が得られ、一方、1.5　ms を越えると接合強度は急激に低下した。また、アルゴン雰囲気を用いることにより最大の接合強度が得られる溶接時間範囲は 1.7 ms まで拡大された。

図６に記号(A)、(B)で示した条件（大気中、コンタクト式）における溶接部の断面組織を図７(a)、(b)にそれぞれ示す。溶接時間が短い条件 A では欠陥のない溶接部が得られたが、条件 B では溶接金属部には溶接線に平行な大きな割れが存在していた。

大気中で割れの発生する条件で溶接した試料について、引張り試験後の破断面を SEM 観察した。強制破断部はディンプル破面である（図８(a)）。割れに対応する個所には、大きく成長した二次枝を持つセル状樹枝状晶が認められ（図８(b)）、まだ融液が多く残っているときに凝固割れが発生したことを示している。これは、融液表面に厚い酸化皮膜が形成されたために融液の融合が阻害され、凝固ひずみが小さいときに融液の分離を生じたものと考えられる。

比較のため、A1050 アルミニウムを用いて同様に溶接時間と接合強度の関係を調べた結果、溶接時間 2.2　ms における接合強度の低下率は 30%にとどまり、急激な低下は生じなかった。

AZ31B の接合強度は A1050 と比較して溶接時間の変化に対し極めて敏感であり、これに影響する加速距離や押付け力、チップ長さの管理が重要である。

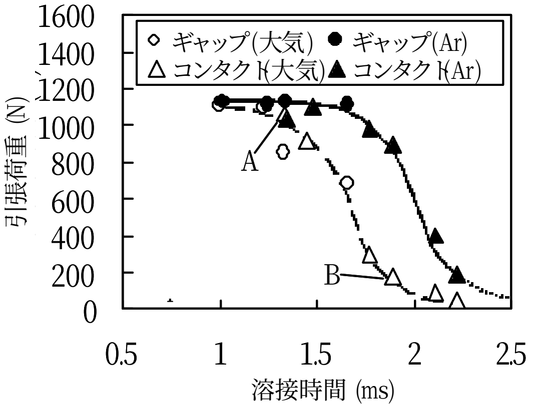



図６　溶接時間と接合強さの関係

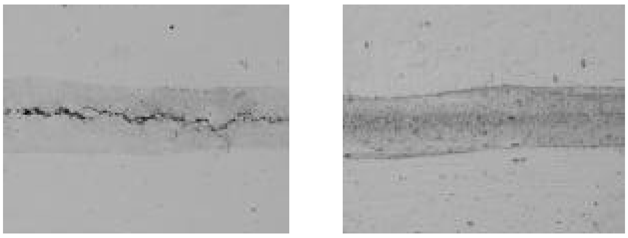
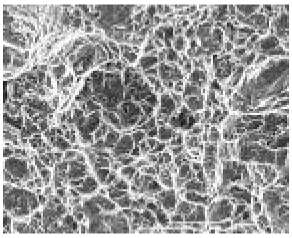


図７　(a)溶接時間 1.9 ms　(b)溶接時間 1.3ms



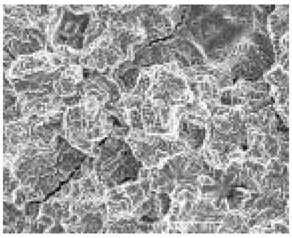


図８ (a)ディンプル　　(b)凝固割れ

5　表面処理

5．1　概要

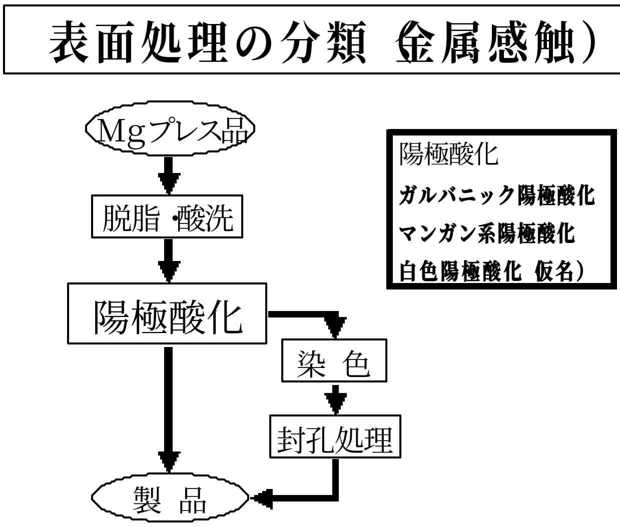
マグネシウム製品製造には現在、ダイキャストやチクソモールディングが主に行われているが、ピンホール、湯じわ等の問題があり、パテ盛り、研磨、塗装の工程が必要とされている。

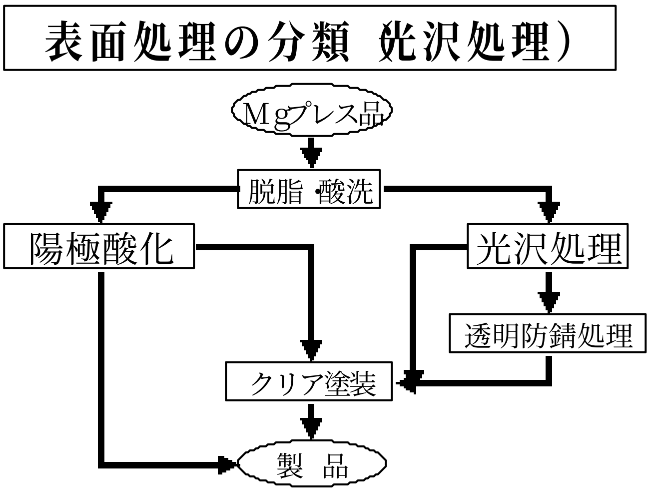
それに対しプレス製品は良好な表面を利用し、塗装面と違ったマグネシウム本来の光沢や、金属感触を持った製品を作ることが可能である、市場の要求は高いが、現在の表面処理はその要求を満たしていない。

本研究は２つの要求を同時に満たす、透明で染色可能な陽極酸化膜の実現を目標とする。

5．2　表面処理のフローチャート

表面処理工程のフローチャートを示す。




5．3　各工程

前年度の研究報告書にて発表済であるものは割愛する。ここでは新たに開発した染色可能な白色（及び半透明）陽極酸化について述べる。

5．3．1　白色陽極酸化（仮名）

この陽極酸化法は主に①陽極酸化槽②染色槽③封孔槽から成っており、その特長は、①操作条件の変更だけで、濃色から透明色まで表現できる。②染色槽の交換だけで容易（安価）に小ロット対応が出来る。③全工程が槽内で行われるので、自動化（ライン化）しやすい。等上げられる。この陽極酸化法によるサンプルを図９に示す。また評価として塩水噴霧試験を行った。

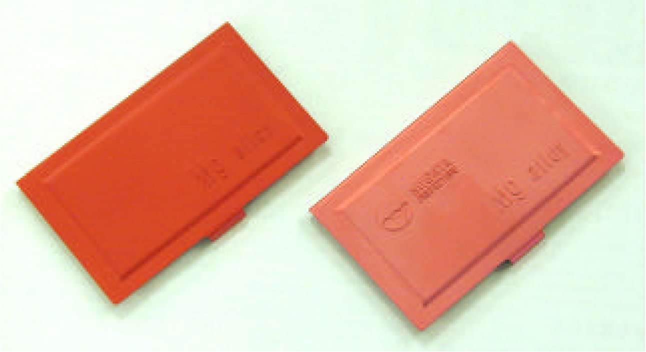


図９　濃色サンプル（左）と透明色サンプル（右）

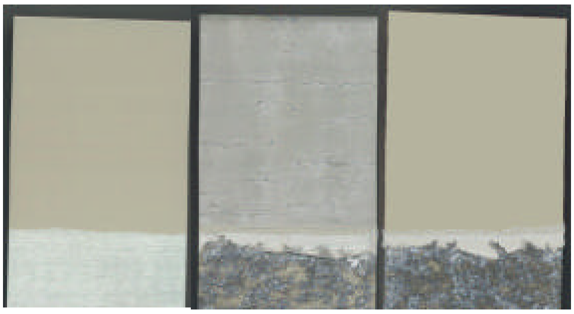
5．3．2　塩水噴霧試験結果

条件：JIS Z2371 7.2.1中性塩水噴霧試験に準ずる

暴露：暴露８時間＋休止１６時間を１サイクルとし、２サイクル暴露した。

結果を図１０に示す。封孔処理無しのものでも耐食性は上がっているが、封孔処理有りものは２サイクル試験後全く腐食が発生しない。こ

の陽極酸化法には封孔処理が重要であることが分かる




０サイクル　　２サイクル　２サイクル
（電着なし）（電着あり）

図１０　塩水噴霧試験結果

５．４　今後の課題

・陽極酸化膜の封孔処理の確立

・量産化技術の確立

## ６　まとめ

（１）マグネシウム板材専用の湿式研磨装置を開発した。

この装置により圧延板の表面のへこみ傷を減少させることができた。

また板材の表面あらさを従来のブラスト処理による場合に比べて著しく低下させることができた。

塗装試験を行った結果、家電製品の外観部品に用いられる精密塗装に対応できる研磨面であることが確認できた。

（２）アルミニウムクラッドマグネシウム圧延材を試作した。

その成型性を評価した結果、一般的なアルミニウムによる場合とほぼ同等の限界しぼり比２．５までしぼれることを確認した。

（３）マグネシウム薄板にスタッド溶接を行う場合に、溶接時間や不活性ガス雰囲気が接合性におよぼす影響について調べた。

その結果、大気中の溶接では溶接部の強度は溶接時間が 1.2 ms から 2 ms までの間に急激に低下することがわかった。

また、アルゴン雰囲気中では、板母材の強さに匹敵する接合強度が得られる時間範囲は 1.7　ms まで拡大した。

（４）塗装処理とは異なるマグネシウム本来の光沢や金属感触を持った、透明で染色可能な陽極酸化膜の生成方法について検討した結果、染色可能な白色及び半透明な陽極酸化皮膜の生成に成功した。

この皮膜に対して塩水噴霧試験を行い、封孔処理の有無が耐食性に与える影響を調べた結果、封孔処理を行うことによって耐食性が向上することを確認した。

## 参考文献

1）日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧、カロス出版、(2000)、355.

2）新潟県工業技術総合研究所：工業技術研究報告書、30(2001)、21.

研究の遂行に当たり、長岡技術科学大学名誉教授　小林勝先生より多大のご指導・ご助言を頂きましたこと感謝申し上げます。

# 高精度三次元レーザ切断加工システムの開発（第２報）

丸山 英彦＊　長谷川 雅人＊　斉藤 博＊　三村 和弘＊　田村 信＊

Developement of 3-D Precision CuttingSystemofLaser

MARUYAMAHideaki, HASEGAWA Masato, SAITOHiroshi, MIMURAKazuhiro and TAMURA Makoto

抄　録

平成１２年度より開発中の三次元レーザ加工機の精度を確かめるため、加工点の運動精度、環境温度による加工点の変位、繰り返し運動時の加工点の変位、２次元及び３次元加工精度について試験を行い、既存のレーザ加工機と比較しながら評価した。その結果、開発した加工機は、ほぼいずれの試験においても既存の加工機よりも精度がよいことがわかった。

## １．緒言

開発中の高精度三次元レーザ加工機の精度に関し、前報では直動軸の真直度、２つの回転軸の交差精度及びレーザ光軸精度について報告した。本報では、実際の加工精度に直接影響を与える加工点の位置精度について、運動精度、環境温度変化の影響、繰り返し運動の影響を報告すると共に、２次元及び３次元加工精度についても報告する。

## ２．加工点の運動精度

### 2.1　ＮＣ制御

加工機の運動制御の基本となるＮＣ制御システムについて述べておく。レーザ加工機の制御はオープンＮＣ制御とし、パソコン上で Cimetrix 社製 CODE システムによりＭＥＩ社製 NC ボードを介してＸ、Ｙ、Ｚ、Ｃ、αの各軸を制御するシステムとした。図１に開発機の制御システム概要を示す。

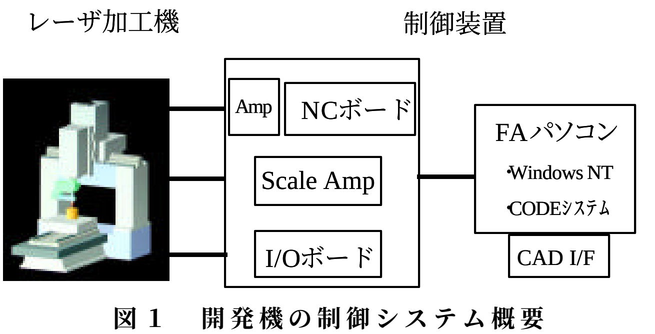



図１　開発機の制御システム概要

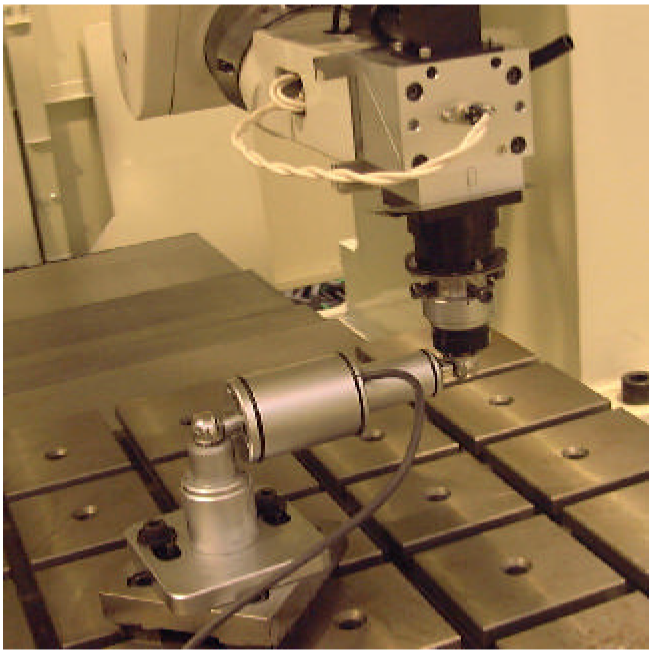


図２　DBB による運動精度測定

### 2.2　DBB による円運動の精度測定

#### 2.2.1　実験方法

レーザ切断加工はレーザビームの移動軌跡そのものが切断精度となる。本開発では、ＹＡＧレーザを用い、光ファイバーにより加工ヘッドまで伝送することで、加工ヘッドの動き如何に関わらず、加工ヘッドに対するレーザ光軸ずれの心配を無くしている。従って加工ヘッドの運動精度を調べれば実際の加工点の動きの精度がわかることになる。

*研究開発センター

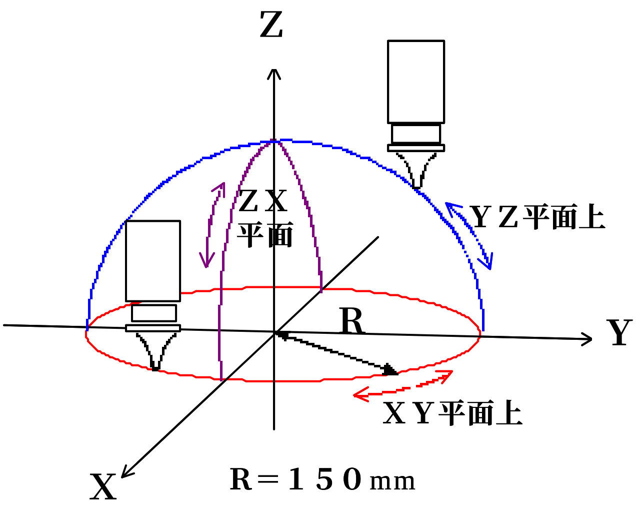



図３　各基準平面上での円運動

これに対し炭酸ガスレーザでは、レーザ光路の調整誤差を加味したものが加工点の運動精度になる。

運動精度の測定ははハイデンハイン社製の DBB を用いた。DBB 変位センサは両端がボール状になっており２つのボールの距離の変化を測定できる。図２に示すようにセンサの一端の球を加工ヘッド先端の加工点に凹形マグネットで取り付け、他端の球をテーブルに固定した凹形マグネットに取り付ける。センサ両端の球は各凹形マグネットとユニバーサルジョイントを形成する。テーブル上のジョイントを中心とした円運動のプログラムを組んで動かし、２つのボールの距離の変化を調べることにより、真円からのずれを計測することができる。今回は円運動の回転半径を150mm に設定し、開発機とともに、レーザー応用研究室で保有する炭酸ガス三次元レーザ加工機 ML2012HT も既存機として比較試験を行った。開発機の目標運動精度は機械単体で±10μmである。

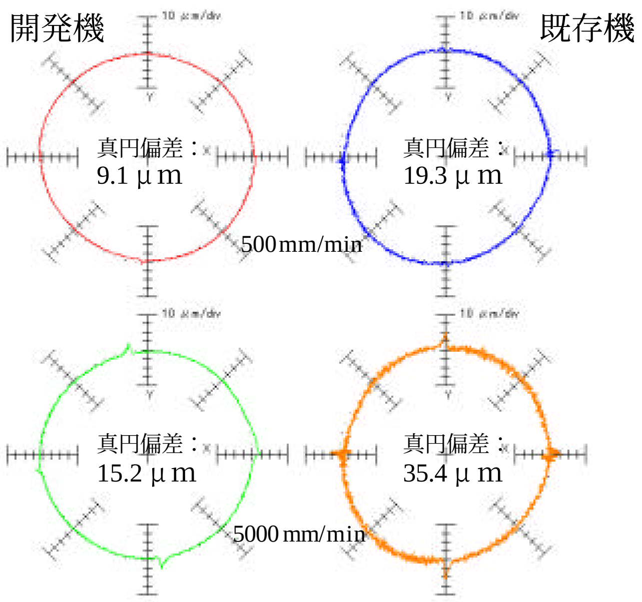



図４　XY平面上での円運動精度（R150mm）

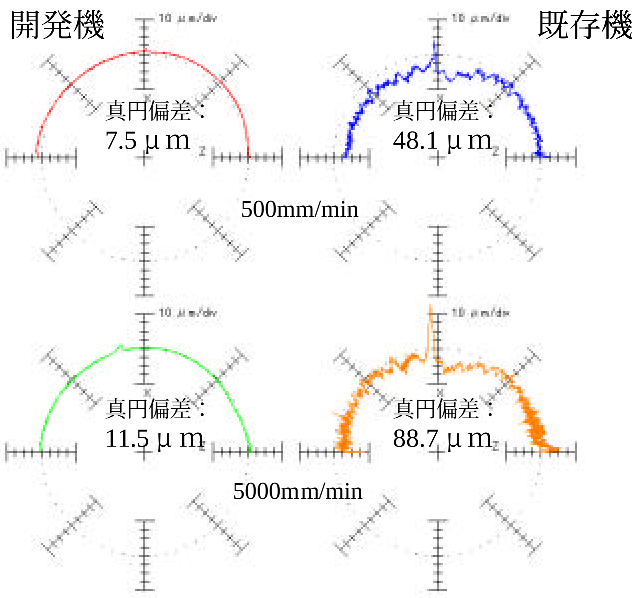



図５　ZX平面上での円運動精度（R150mm）

2.2.2　直動軸のみによる運動精度

C、α軸を原点位置（下向き）に固定し、X、Y、Zの直動軸のみを動かし、XY平面、ZX平面上で円運動を行った場合の精度を、運動速度を変えて調べた（図３）。

試験結果を図４及び図５に示す。XY平面上では、遅い速度（500mm/min）、速い速度（5000mm/min）での既存機の真円偏差は各々 19μm、35μmであった。それに対し、開発機では各々の速度に対し、9μm、15μmと約半分の偏差であった。またZX平面上では、500mm/min 及び5000mm/min での既存機の真円偏差は各々48μm、89μmであるのに対し、開発機では各々8μm、12μmと圧倒的に精度が良く、この条件の中では目標の±10μmという目標を達成していると言える。既存機ではZ軸駆動にラックを使用しているのに対し、開発機ではボールネジを使用していることが、両機のZX平面上での運動精度差の主な原因と思われる。

### 2.2.3　回転軸も含めた運動精度

３次元レーザ加工を行うには、加工面の向きに応じて回転軸を回し、ノズルの向きを変える必要があるため、回転軸も含めた運動精度が重要である。既存機では回転軸がオフセット方式のため、回転軸を回すと加工点位置が変位し、それに応じてX、Y、Zの直動軸での位置補正が必要となる。開発機は一点指向（ゼロオフセット）方式としたため、回転に対する直動軸での補正は必要ない。

試験方法は図６に示すような ISO 規格に準拠した方法をとった。半径150mm の半球上を、①から⑥の順路で、ノズル方向を球の中心に向けながら運動し、直動軸の運動精度と同様に DBB により測定評価した。既存機では、加工点運動速度が速い場合、回転軸に対する直動軸の補正速度が追いつかないため、2000mm/min までしか速度を上げることができなかった。

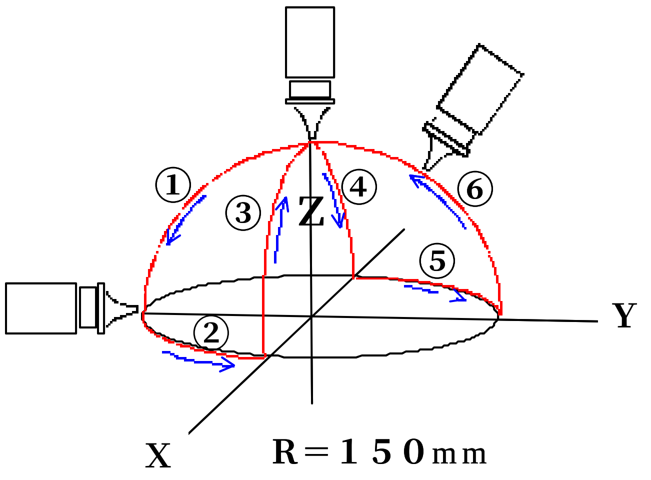



図６　回転軸も含めた運動精度試験（ISO 準拠）

試験結果を図７に示す。既存機では500mm/min でも150μm超の偏差を生じているのに対し、開発機では20μm弱であった。低速領域だけを見ると、開発機は既存機に対して大幅に精度が向上していると共に開発目標の精度をほぼ達成していると言える。しかし、2000mm/min では、開発機でも50μm近い偏差となっており、目標の±10μmを達成できていない。ただ、グラフをよく見ると、方向が変わる各円弧のつなぎ部分での振れが大きいだけなので、加減速を調整して円弧つなぎでの振動を和らげることにより、偏差はかなり改善されるものと思われる。

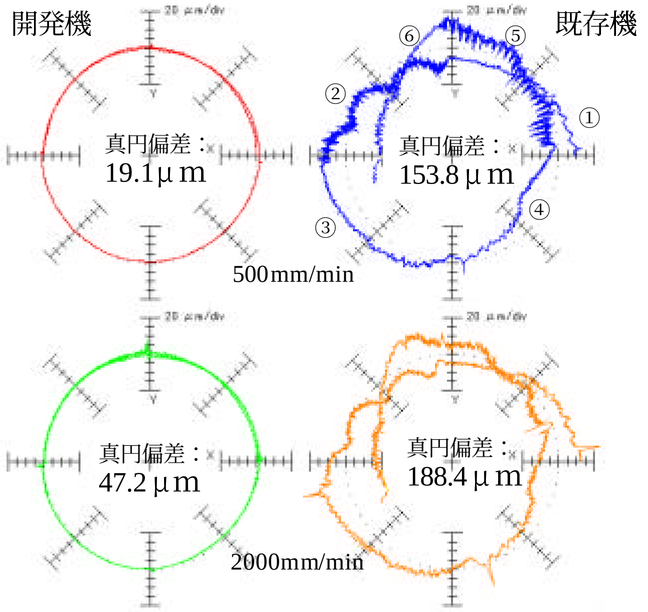



図７　回転軸も含めた運動精度

### ３．環境温度による加工点の変位

レーザ加工機は加工時にヒュームやスパッタを発生することから、解放された、温度変化の大きな環境で使用されることが多いと想定される。環境温度が変化した場合に加工点位置がどの程度変位するかを調べておくことは、高精度加工を目指す上で重要である。

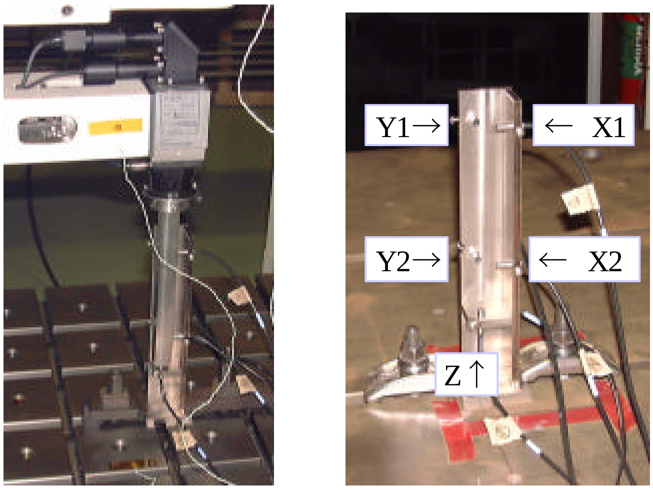



図８　加工点位置の測定方法

### 3.1　測定方法

加工機の加工ヘッドにインバー角材（□18mm）を取り付けて加工ヘッドの延長とし、その変位を図８のように５個の渦電流式変位センサー（キーエンス製 AH-305、AS-440-01）によりX、Y、Z

方向の変位及びX、Y方向の角変位を調べた。変位センサーはインバー材で作った治具により固定し、センサー自体の変位を極力排除するよう配慮した。センサー感度保持のため角材の被センシング部分には□18mm の鉄板を貼り付けた。測定はテーブル中央付近で行い、サーボ ON の状態で、気温、加工機各部の温度、及び加工ヘッドに取り付けたインバー角材の変位を数日間記録した。変位センサーX１、Y１は加工点部分を測定しているものであり、加工点のX方向、Y方向の変位を与える。変位センサーZも加工点のZ方向の変位を与えるものとした。

3.2　試験結果

開発機の測定結果を図９に示す。気温の変化に応じて加工機各部の温度も変化し、それに伴って加工点も変位している。１日間の温度変化は約３℃で、その間X方向10μm、Y方向３μm、Z方向11μmの加工点変位があった。Y方向に比してX方向及びZ方向の変位が大きいことがわかる。

X方向及びY方向各２カ所の変位値から加工ヘッドの角度変化を計算して描いたものを図10に示す。気温の変化と加工ヘッドのX方向角度変化とは極めてよく符合し、１日間３℃の温度変化に対し0.0035°の角度変化を生じていることがわかる。加工ヘッドが傾くときの回転中心が、加工点からX250mm、Z250mm だけ離れている回転アーム上にあると仮定すれば、0.0035°の角度変化によってX15μm、Z－15μmの変位を生ずることになる。この値は実測の加工点変位量であるX10μm、Z－11μmにかなり近い値である。

これらのことから、温度変化に伴って生ずる加工点の変位は、回転アーム付近の変形に起因する角度変化に主原因があるものと思われる。

比較のために、既存機についても環境温度と加工点変位の関係を調べた。その結果を図11に示す。既存機に比べ、開発機の方が全般的に環境温度変化に対する加工点変位が少なく、安定していることが確認された。

## ４．繰り返し運動時の加工点の変位

加工点の変位は環境温度の変化だけではなく、

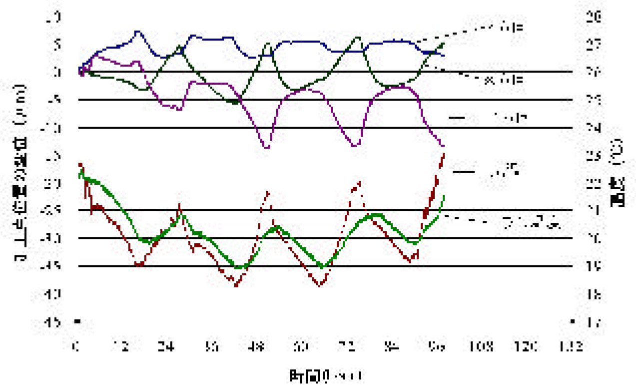


図９　環境温度変化に対する加工点変位（開発機）

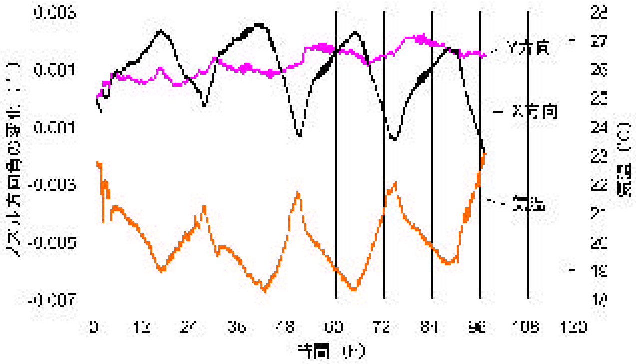



図10 気温変化に対する加工ヘッドの傾き（開発機）

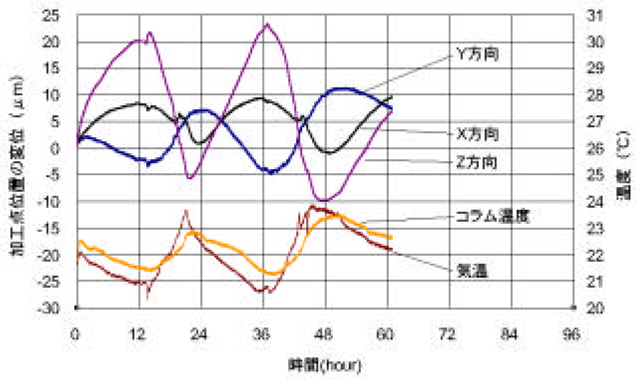



図11　環境温度変化に対する加工点変位（既存機）

加工時のモーター発熱等による加工機の熱変形によっても引き起こされる可能性がある。もし加工中に加工点が大きく変位してしまえば目標の加工精度は達成できなくなる恐れがあるため、加工機が繰り返し運動をする間にどれだけ加工点が変位するかを調べた。

### 4.1　試験方法

繰り返し加工中の精度変化を調べる目的で、図１２に示すような経路を設定し、試験を行った。図中①-②-③-④-⑤-①の経路を、ノズル方向を半球の中心に向けながら１往復運動したあと、測定位置まで移動し、10秒間停止する間に変位の測定と環境温度、加工機各部の温度測定を行った。このサイクルを400回繰り返した。測定用センサー及び治具は前項の環境温度による加工点の変位を測定したときと同じものを用いた。

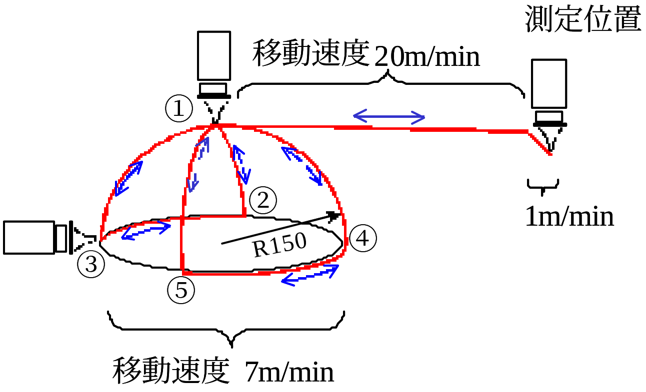



図12　繰り返し運動試験の経路

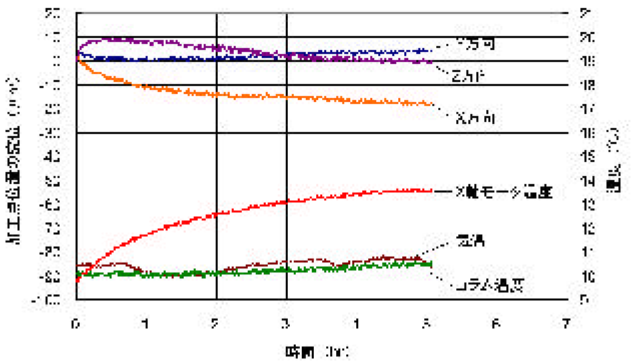



図13　繰り返し運動中の加工点変位（開発機）

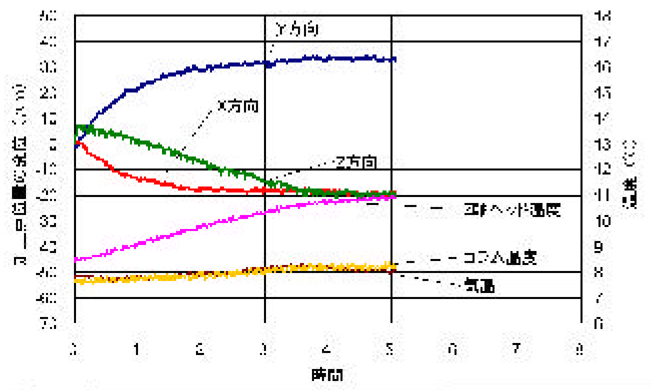



図14　繰り返し運動中の加工点変位（既存機）

### 4.2　試験結果

図13に試験結果を示す。400回の繰り返し試験には約５時間を要したが、その間気温はほとんど変化しなかった。しかしモータ温度は上昇し、加工点位置は変位している。400回の繰り返し運動の間に、加工点位置はＸ軸方向に18μｍ、Ｙ方向に10μｍ、Ｚ軸方向に10μｍの幅で変位があった。

既存機について測定した結果を図14に示す。既存機では400回の繰り返し運動の間に、加工点位置はＸ方向に24μｍ、Ｙ方向に32μｍ、Ｚ方向に38μｍの幅で変位した。この結果から、長時間加工を行っている間の加工点の変位は開発機の方が少なく、安定した精度で加工ができることがわかった。直動軸の制御は、既存機ではエンコーダフィードバック制御であるのに対し、開発機ではスケールフィードバック制御として、ボールネジの熱膨張誤差をキャンセルしているためと思われる。

## ５．加工精度

加工精度はこれまで述べた加工機の動作精度に加え、レーザーの安定性、切断面粗度、位置決め精度等の要因が含まれる。開発機を用い二次元、三次元切断を行い総合的な加工精度評価を行った。

### 5.1　２次元加工精度

２次元の加工精度はステンレス平板（SUS304、厚さ0.8mm）にφ40mm の穴加工を行い、ランクテーラーホブソン㈱製タリロンド300真円度測定機で穴の真円度を測定し評価を行った。試験結果を図15に示す。真円度は100μｍ を目標にしている。

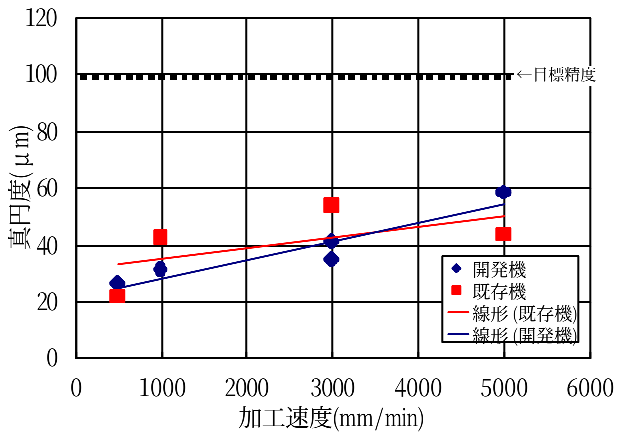



図15　２次元切断における真円度

速度が速くなるに従い真円度は大きくなるが、5000mm/min でも目標精度を達成できた。XY 平面上で２次元切断を行った場合、開発機と既存機は同等の加工精度であった。

### 5.2　３次元加工精度

３次元の加工精度は、ステンレス平板（SUS304、板厚0.8mm）を球面（半径180mm）にプレス成形したテストサンプルにφ40の穴加工を行い、穴の真円度で評価を行った。（図16参照）。穴加工時、加工機のノズルが加工面に対して垂直となるようにした。この実験で加工機は X、Y、Z 軸動作のほかに、切断点における法線方向にノズルを合わせるため回転軸動作を複合して行う。そのため、回転軸心の交差ずれやレーザ光軸のずれ、既存機ではさらに回転軸に対する直動軸補間精度などの様々な要因が総合的に加工精度に影響を及ぼす。

試験結果を図17,18に示す。開発機は既存機に比べればどの速度領域においても良好な精度が得られたが、２次元加工に比べるとかなり大きな値となっている。加工機単体での運動精度に比べてもかなり劣っており、加工面あらさだけでは説明できない。またレーザ光軸のずれも10μm以内の精度で合わせてある。　開発機の加工精度が意外と低い理由の１つとして、加工機の動作プログラムは設計切断線に沿って動くように作成されているが、テストサンプルはプレス成形時のスプリングバック等により設計寸法とは異なっていることが考えられる。そのため、想定された加工点と実際の加工点が合わず、ノズル－ワーク間の距離の誤差により切断幅が異なること等により、期待されたほどのの真円度が得られていないと推察される。

## ６．まとめ

三次元レーザ加工機の運動精度、環境温度変化による加工点の変位、繰り返し運動による加工点位置の変位、２次元、３次元の切断試験について開発機と既存機を比較しながら評価した結果、以下のことがわかった。

(1)　各基準平面上で直動軸のみでの円運動精度試験を行った結果、開発機は5000mm/min でも目標の±10μmの精度を達成できることがわかった。

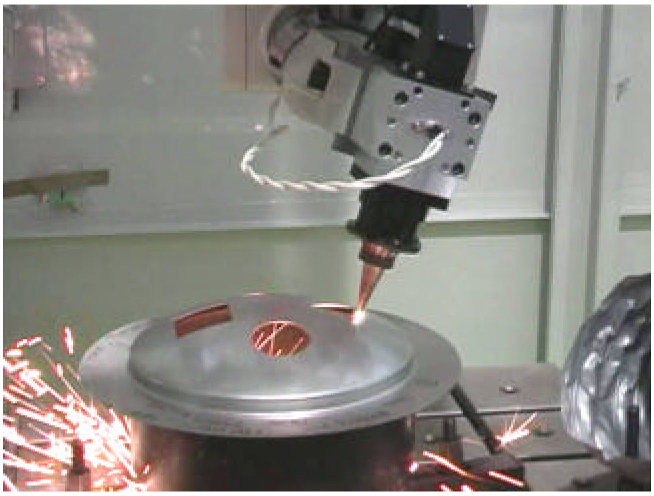


図16　３次元加工精度評価用サンプルの加工

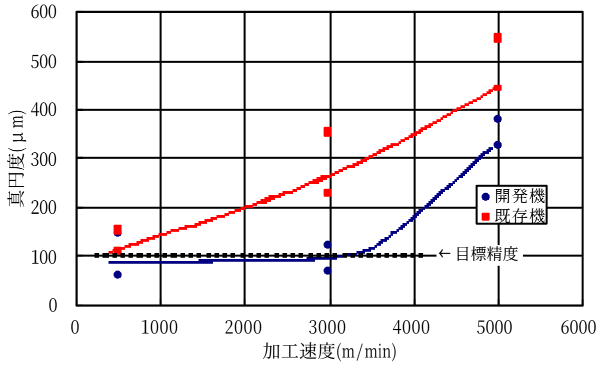



図17　３次元切断における真円度

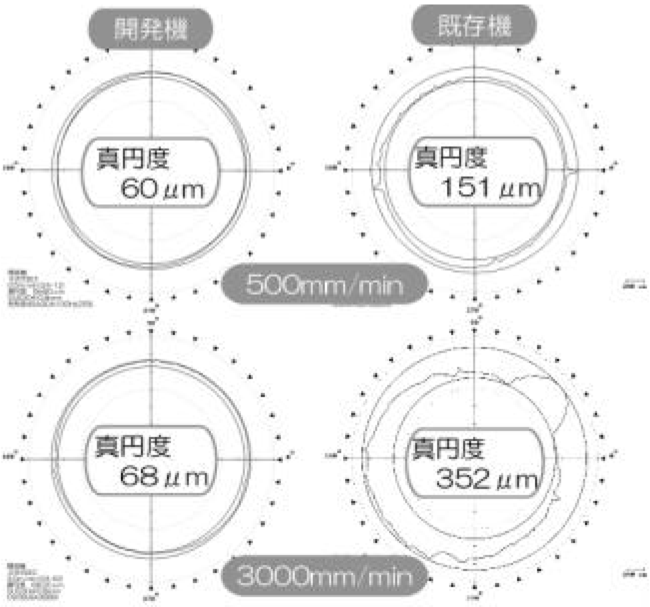



図18　３次元切断における真円度測定チャート

(2) Ｘ、Ｙ、Ｚ、Ｃ、αの５軸による球面上の運動の精度試験では、開発機は500mm/min の低速域では真円偏差19μｍで目標を達成できた。2000mm/min でも加減速の調整により改善できるものと思われる。

(3) 環境温度が３℃上昇することより、開発機加工点は、X+10μｍ、Ｚ-11μｍの変位があった。これは回転アーム付近の変形に起因する角度変化に主な原因があるものと思われる。

(4) 400回の繰り返し運動の間に、開発機の加工点位置はＸ軸方向に18μｍ、Ｙ方向に10μｍ、Ｚ軸方向に10μｍの幅で変位があった。

(5) ＸＹ平面上における２次元切断試験では開発機及び既存機とも切断面の真円度にほとんど差がなく、目標値の真円度50μｍを達成できた。

(6) 球面形状の５軸同期加工では、開発機は3000mm/min までは真円度100μｍ以下で切断加工することができた。

(7) ２次元加工でほとんど差がなかったことを除いて、いずれの試験でも開発機の方が既存機より精度がよいことがわかった。

# 高速デジタル動画像伝送システムの開発
## （OFDMの原理とベースバンド部の検討／2.4GHz LNAの設計）

吉野　武美*　　小林和仁*　　皆川　要*　　小林　豊*

Development of Digital Communications Equipment for Moving Picture with High Frequency Radios.
( Basics of OFDM. / Design of LNA Circuit in the 2.4GHz Band. )

YOSHINO Takemi, KOBAYASHI Kazuhito, MINAGAWA Kaname and KOBAYASHI Yutaka

抄録

ＧＨｚ帯の無線通信を利用して動画像などの高速大容量データをディジタル通信するためのシステムを開発することを目的に、次の項目について研究を行った。

1）ＯＦＤＭの原理及び、その利点と開発課題について調査を行った。また、ＦＰＧＡなどの素子を利用した回路実現の可能性を探るため、送信側のベースバンド部について回路構成を検討した。

2）高周波回路シミュレータを利用して、２.４ＧＨｚ帯のローノイズアンプを設計・試作し、その特性について実測・評価を行った。

## １．緒言

携帯電話の高性能化や無線ＬＡＮの普及に代表されるように、無線通信分野では高速大容量通信の需要が高まり、無線周波数の高周波化と周波数利用効率の向上が課題となっている。

ＯＦＤＭ（直交周波数分割多重方式）は、周波数利用効率が非常に高く、遅延波干渉の影響に対処しやすい等の利点があるため、大容量高速無線通信に適した通信技術として注目されている。この技術は、既に無線ＬＡＮ等の分野で実用化が進んでいるが、中小企業が特殊用途に応用できる状況には至っていない。

本研究では、ＯＦＤＭ技術を中小企業が無線による大容量通信を実現するための中核技術として捉え、その利用技術をＧＨｚ帯の高周波無線回路の設計技術と併せて取り組む。

本稿では、ＯＦＤＭベースバンド処理部のうち送信処理を中心に、必要な回路構成等について調査・検討した結果を報告するとともに、高周波無線回路に不可欠なローノイズアンプ（ＬＮＡ）を２．４ＧＨｚ帯用に設計・試作した結果を報告する。

*研究開発センター

## ２．ＯＦＤＭの原理とベースバンド部の検討
### ２．１．ＯＦＤＭの概要

ディジタル変調では、搬送波の振幅や位相を所定の時間間隔（シンボル長）ごとに切り替えることで電波に情報を載せるのが一般的である。受信側でみた周波数スペクトルは、シンボル長の逆数おきにゼロ点を取りながら、搬送波を中心にした広がりを持つ。（図１）。

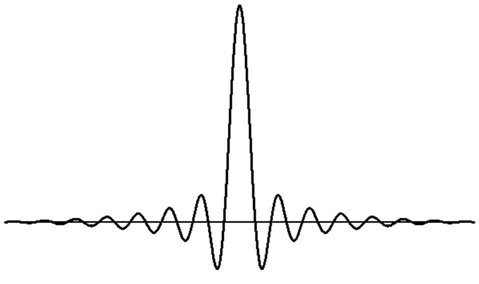


図１　周波数スペクトルの例

高速伝送を行う場合、この切り替えを早く（シンボル長を短く）するのが一般的な方法

であるが、これは周波数スペクトルをより広げ、遅延波干渉の影響を受けやすくする問題を伴う。

ＯＦＤＭは、送信データを複数の搬送波で分担することにより、個々の搬送波の周波数スペクトルを狭くした上で、搬送波をシンボル長の逆数の間隔で配置する方式である。これにより、搬送波相互の干渉を防ぎながら搬送波を密接させることができるため、同じ情報量を送信するために必要な周波数帯域は他の方式に比べて最小となる（図２）。

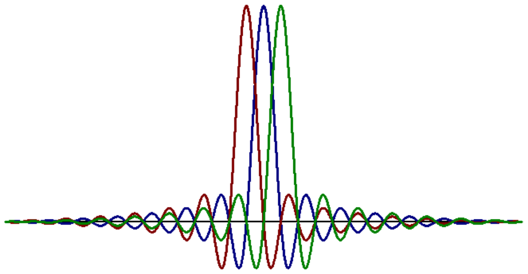


図２　ＯＦＤＭの周波数スペクトル

また、この方式では、搬送波の周波数スペクトルが狭いことを利用して、遅延波干渉に耐性を持たせることができる。遅延波により周波数選択性フェージングが発生した場合、スペクトルが狭いことでそれぞれの搬送波は一様フェージングとして扱うことができ、多くの場合問題なく復調が可能となる。また、シンボル間干渉が問題になる場合でも、元のシンボル長が長いため、対策のためガードインターバルを付加しても伝送効率はそれほど低下しない。

## ２．２．ＯＦＤＭベースバンド信号の生成

送信部回路を試作するための回路構成について、調査・検討した結果を示す。なお、ＯＦＤＭを採用した無線ＬＡＮの規格であるIEEE802.11aを参考にした。

### ２．２．１．　回路構成の概略

送信部の概略を図３に示す。

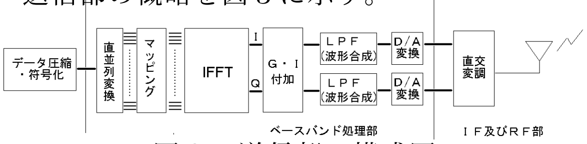



図３　送信部の構成図

以下、送信部の処理を順に挙げる。

送信するディジタルデータに、スクランブル、誤り訂正符号化、インタリーブ等の処理を行い、通信の信頼性を高める。

処理後のデータを、伝送路の品質に応じたビット数単位で、各チャネルに分配し（直並列変換）、分配されたビット列を対応する複素数データに置き換える（マッピング）。

各チャネルに割り当てられた複素数データを時系列の複素数データに変換する（ＩＦＦＴ）。

得られた時系列の複素数データを実部と虚部に分離し、それぞれをディジタルフィルタにより帯域制限する（ＬＰＦ）。この際、ＩＦＦＴが出力した時系列データの最後尾をガードインターバルとして先頭データの前に配置する（Ｇ・Ｉ付加）。

ディジタルフィルタの出力をＤＡ変換器によりアナログ信号に変換し、アナログフィルタにより波形整形する（Ｄ／Ａ変換）。

得られた実部と虚部のアナログ信号（Ｉ信号とＱ信号）を直交変調器によりＩＦまたはＲＦの信号に変換する。

### ２．２．２．　直並列変換とマッピング

直並列変換では、送信するデータを線路の状況に応じたビット数で順に分離し、各チャネルに分配する。このビット数は、それぞれのチャネル（搬送波）がシンボル長の間に送るビット数に相当し、値が大きい程伝送速度が向上するが、その分、振幅と位相の精度要求が厳しくなるため、線路の状況に左右される。IEEE802.11aでは、BPSK、QPSK、16-QAM、64-QAMを採用しているので、これに対応してビット数１，２，４，６のいずれかを選択する。

マッピングの例として、64-QAM（ビット数６）の対応を図４に示す。

ビット数が増えるとともに振幅と位相の精度要求が厳しくなる。ＯＦＤＭでは各チャネルの信号を合成した波形を送信するため、チャネル数が増える程ダイナミックレンジが必要となり、精度要求を満たすことが難しい課題となる。

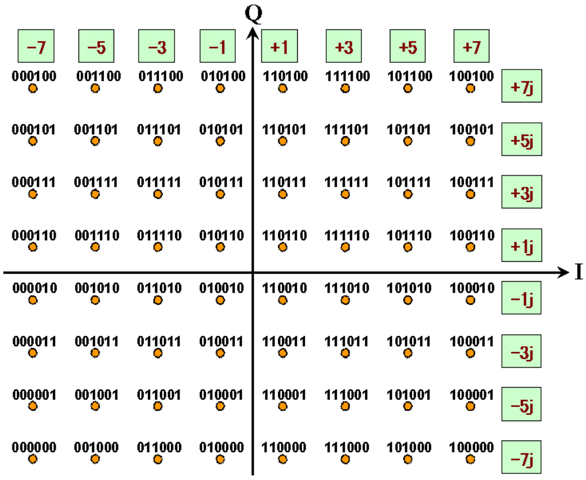



図４　64-QAM のマッピング

## ２．２．３．　ＩＦＦＴ

ＦＦＴ技術は、ＯＦＤＭの実用化において大きな貢献を果たしている。多数の搬送波を正確な間隔で配置する場合に、使用する周波数をすべて準備し、調整するのであれば、大規模なＲＦ回路が必要となるが、ＦＦＴ技術を応用すればディジタル回路の他に搬送波をひとつ準備するだけでシステムが実現できる。

Ｎ次のＩＦＦＴは０次からＮ－１次までのＮ通りの周波数成分を含んだ合成信号を作成する。使用するサンプリング時間をＴとすると、各周波数成分は１／（ＮＴ）の整数倍の周波数に相当する。このことは、ＮＴをシンボル長とした場合に、ＩＦＦＴの出力から合成した信号はＯＦＤＭの要件を満たすことを示している。

ＩＦＦＴの実装には、計算量の少ない基数４の方式を用いる。これは６４次など、次数が４のべき乗になる計算で有効である。この方式の基礎となる４次のＩＤＦＴと、基数４で６４次のＩＦＦＴを実現する際の式を以下に示す。

$$
\begin{cases}
i_0+jq_0=\{(a_0+a_2)+(a_1+a_3)\}+j\{(b_0+b_2)+(b_1+b_3)\} \\
i_1+jq_1=\{(a_0-a_2)-(b_1-b_3)\}+j\{(b_0-b_2)+(a_1-a_3)\} \\
i_2+jq_2=\{(a_0+a_2)-(a_1+a_3)\}+j\{(b_0+b_2)-(b_1+b_3)\} \\
i_3+jq_3=\{(a_0-a_2)+(b_1-b_3)\}+j\{(b_0-b_2)-(a_1-a_3)\}
\end{cases}
$$

４次のＩＤＦＴの式

**64次のIFFT**

$$i_n+jq_n=\sum_{k=0}^{63}(a_k+jb_k)\,W_{64}^{-nk}$$

右により変形 $\begin{cases} n=16n_2+4n_1+n_0 \\ k=16k_2+4k_1+k_0 \end{cases}$

$$=\sum_{k_0=0}^{3}[\{\sum_{k_1=0}^{3}[\{\sum_{k_2=0}^{3}(a_k+jb_k)W_4^{-n_0k_2}\}W_{64}^{-n_0(4k_1+k_0)}]W_4^{-n_1k_1}\}W_{64}^{-4n_1k_0}]W_4^{-n_2k_0}$$

６４次のＩＦＦＴ（基数４）

ＩＦＦＴの出力はサンプリング間隔が広いため、Ｄ／Ａ変換で波形合成するにはローパスフィルタで補間する必要がある。後述するように、ローパスフィルタの通過域を±１／（２Ｔ）に設定するので、合成される信号の周波数成分は、０次からＮ－１次ではなく、－Ｎ／２からＮ／２となる（フィルタには過渡域があるので範囲はより狭くなる）。ここでマイナスの次数が表れるが、－ｎ次はＮ－ｎ次が姿を変えたものである。この概念図を図５に示す。

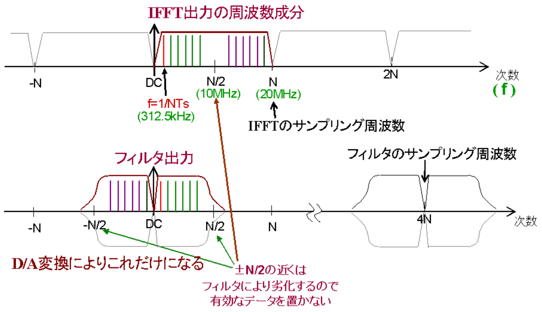



図５　IFFT とフィルタの周波数成分

IEEE802.11a では、０から６３次のうち、１から２６次と３８から６３次の周波数成分を使用する。３８から６３次は－２６から－１次に姿を変える。２７から３７次はフィルタの過渡域になるのでデータを配置しない。

## ２．２．４．　ガードインターバルの付加

ＯＦＤＭでは、遅延波によるシンボル間干渉を防ぐため、本来のシンボルの前にガードインターバル信号を付加している。

直接波と遅延波が重なって受信される遅延波干渉では、新旧のシンボル波形が合成される部分と、新しいシンボル波形同士が時間差で合成される部分で構成される。どちらの部分でも各搬送波の振幅と位相は変化するが、新旧の波形が合成される部分では各搬送波の位相・振幅がランダムに変化するため情報の復元が難しい。これをシンボル間干渉という。

一方、同じシンボルが時間差で合成される部分では、各搬送波における位相・振幅の変化がシンボルに依らずに一定となるので、この部分がシンボル長だけ確保できれば、受信側の等化処理により情報が復元できる。

従って、新旧のシンボルが重なる部分の長さをガードインターバル信号としてシンボル長に追加してやることで、シンボル間干渉を防ぎ、正しい情報伝達が可能となる。元々のシンボル波形は、シンボル長を周期とする連続波形であるので、この最後尾から必要な長さをコピーしてガードインターバル信号とするのが妥当である。

IEEE802.11a では、シンボル長の４分の一をガードインターバルとしているが、環境により適正な長さを設定する必要がある。

また、ガードインターバル信号のデータは別に準備する必要はなく、ＩＦＦＴ出力をリングバッファのような構造でフィルタに出力してやれば実現できる。この方法だと、フィルタの遅延や過渡応答部分なしで出力が可能となる利点もある。

### ２.２.5.ローパスフィルタによる帯域制限

2.2.3.に示した通り、ＩＦＦＴの出力は離散の時系列データであるために、取りうる周波数成分には無限の可能性があり、このままでは波形合成ができない。

ＩＦＦＴの出力を時間的に補間する（周波数帯域を制限する）為に、ローパスフィルタを用いる必要がある。このような用途で用いるローパスフィルタをナイキストフィルタと呼ぶが、ここではＦＩＲによるコサインロールオフフィルタを用いることとした。

ローパスフィルタは、周波数特性が偶関数となるので正負の周波数を持つ信号が同様に通過／阻止される。サンプリングデータの性質から、ＩＦＦＴの出力のうちＮ－ｎ次の信号は、姿を変えて－ｎ次に現れるので、フィルタの通過域を±Ｎ／２次に設定するのが妥当である。この場合の周波数成分の変化を図６に例示する。

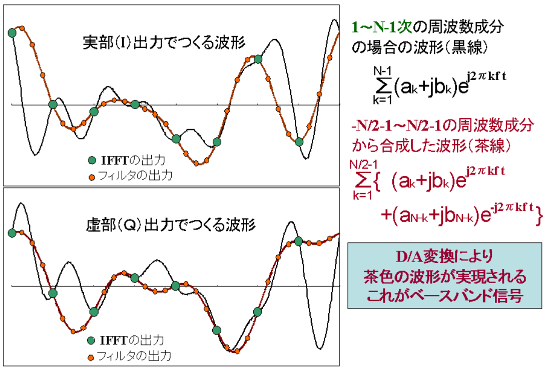



図６　IFFT とフィルタの出力信号例

グラフにおいて、変化の激しい線が１からＮ－１次の合成波形で、緩やかな線が±Ｎ／２次の範囲の合成波形である。フィルタにより見かけ上の周波数範囲が狭くなっているのが確認できる。実部と虚部の信号が組み合わさることで、元の周波数範囲が復元される。

ＩＦＦＴの出力を４倍に補間するためには、ＩＦＦＴの４倍のサンプリング周波数が必要となる（図５）。このサンプリング周波数でＩＦＦＴの±Ｎ／２次をカットオフ周波数にするため、フィルタのカットオフをナイキスト周波数の１／４に設定する。

過渡域をどの程度の範囲にするかにより、ロールオフ係数を設定する。IEEE802.11a に従って、６４次ＩＦＦＴの２７から３７次を過渡域にする場合のロールオフ係数を検討した結果、0.185 が妥当であった。

この条件で６４次１２ビットのフィルタを設計した結果を図７に示す。この設計では、通過域にある搬送波の増幅率が 0.07dB の範囲に収まり、IEEE802.11a の要件を満たす。

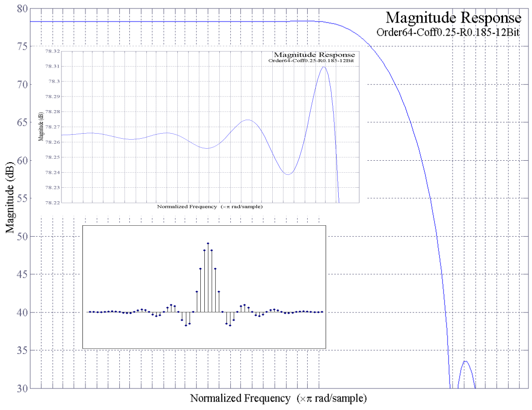



図７　フィルタの特性

２．２．６．　D／A変換

ローパスフィルタの出力も離散の時系列データであるが、サンプリング周波数が逆ＦＦＴの４倍まで高くなっているので、Ｄ／Ａ変換器によりアナログ波形を合成できる。また、この出力波形を適切なアナログローパスフィルタで整形する必要がある。

ここで得られた実部と虚部（Ｉ信号とＱ信号）の２つのアナログ信号がＯＦＤＭのベースバンド信号となる。

２．２．７．　直交変調

ここまでの処理により得られたＯＦＤＭベースバンド信号を、実際の電波として送信するために高い周波数の搬送波（ローカル）を使って直交変調する。通常の変調ではローカルの上側と下側に信号が発生するので、どちらか一方をイメージとしてフィルタで阻止する必要がある。直交変調ではイメージ成分が発生しないため、フィルタリングが不要である。ただし、ＩＱの両方に正確な位相差でバランス良く搬送波を与える必要があるため、回路設計は容易ではない。直交変調の概念図を図８に示す。

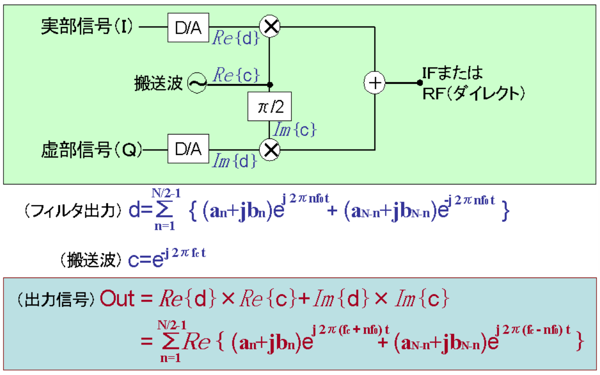



図８　直交変調

３．　２．４ＧＨｚローノイズアンプの試作

３．１．　ローノイズアンプについて

図９に OFDM 無線データ送受信回路のシステムを示す。図の中で高周波部分だけ構成要素を示した。ローノイズアンプはアンテナで受信した信号を増幅するのに使われる。受信側ではアンテナからローノイズアンプまでで全体の雑音がほぼ決まるためにできるだけ低くすることが要求される。

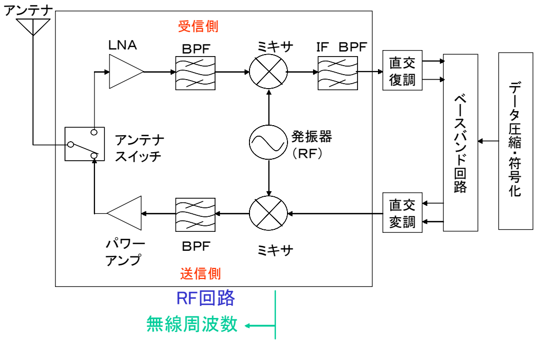



図９　OFDM 無線データ送受信回路

今回使用したローノイズアンプはｱｼﾞﾚﾝﾄﾃｸﾉﾛｼﾞｰ社製 MGA87563 である。カタログの特性では使用可能周波数帯 0.5GHz～4GHz、雑音指数は 2.4GHz で 1.6dB、ゲインは 2.4GHz で 12.5dB、電源は DC3V、消費電流は 4.5mA である。実物の写真と等価回路を図１０、１１に示す。

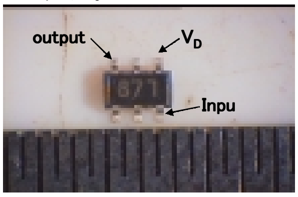



図１０　LNA チップ

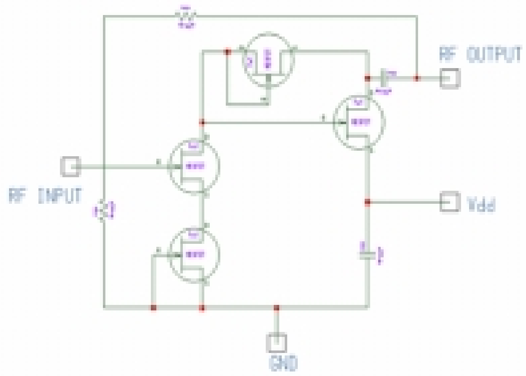



図１１　等価回路

３．２．　仕様決定と回路設計

メーカーのカタログや文献を参考に設計仕様を表１のように決定した。仕様を基に 2.4GHz で整合が取れるように設計した回路を図１２に示す。

表１　設計仕様

| | |
|---|---|
| 使用周波数帯 | 2.4GHz |
| ゲイン | 10dB 以上 |
| 入出力定在波比（SWR） | 2 以下 |
| 雑音指数 | 2dB 以下 |
| 電源電圧 | DC3V |

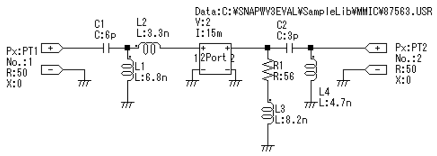


図１２　設計した回路

３.３.　測定項目

実際に測定した項目を表２に示す。仕様で決定した項目の他に 1dB コンプレッションを追加した。ただし、雑音指数の実測は測定器が無いために行っていない。また、1dB コンプレッションのシミュレーションはシミュレータに入出力電力値の設定項目が無いために行っていない。

表２　測定項目

| 項目 | シミュレーション | 測定 |
|---|---|---|
| 入出力定在波比（SWR） | ○ | ○ |
| ゲイン | ○ | ○ |
| 雑音指数 | ○ | × |
| 1 dB ゲインコンプレッション | × | ○ |

３.４.　シミュレーション

シミュレーションは市販の高周波回路シミュレータを使用した。チップの特性はメーカから S パラメータで与えられているものを使用した。解析は設計した回路を基に、S パラメータ解析と回路パターン形状を考慮した電磁界解析の２種類で行った。

３.４.1.　S パラメータ解析

S パラメータ解析は小信号領域における線形解析機能で、ベクトルネットワークアナライザの機能を模擬するものであり、整合回路や小信号増幅器の解析に適している。ただし、配線パターン、基板の損失の影響は解析することができず、素子の等価成分は今回考慮していない。

３.４.2.　電磁界解析

電磁界解析はマックスウエル方程式を解いて配線パターン間の結合状況を知ることができる。そこで設計した回路図をもとにパターンを設計し、配線パターン形状の影響、基板の損失、素子の等価成分の影響を調べた。電磁界解析で使用した回路パターンを図１３に示す。

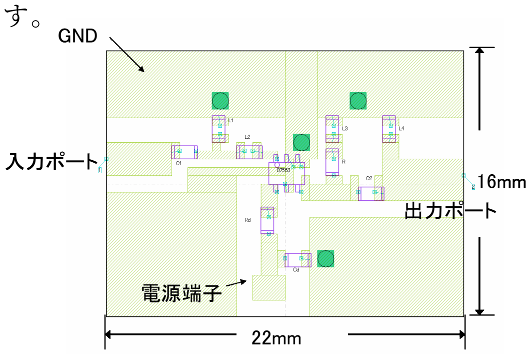


図１３　電磁界解析の回路パターン

３.５.　回路の試作

設計を基に試作した回路を図１４に示す。使用したプリント基板の特性は表３のとおりである。

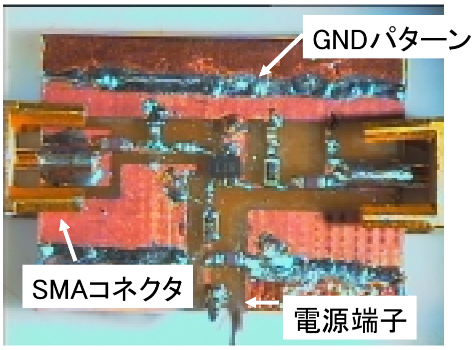


図１４　試作した回路

表３　プリント基板の特性

| | |
|---|---|
| 材質 | ｶﾞﾗｽｴﾎﾟｷｼ（εr=4.7） |
| 厚さ | 1.6mm |
| 銅箔厚さ | 35μm |

３．５.１．　素子値の調整

　試作した回路を測定したところ結果として仕様を満たすことができなかった。原因としてシミュレーションで考慮できなかったコネクタの損失分などでインピーダンス整合が取れていないことが考えられたために、実測値を基に図１５のように素子値の調整を行い測定した。調整による入出力のインピーダンスの変化を図１６、１７に示す。

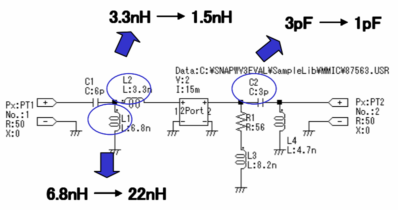



図１５　素子値の調整

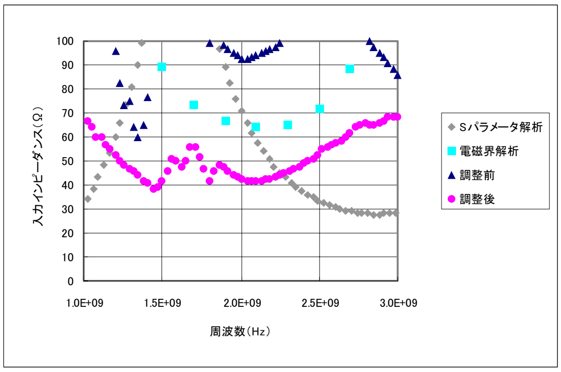



図１６　入力インピーダンス

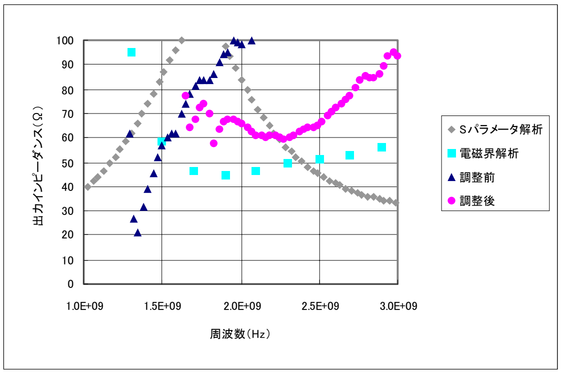



図１７　出力インピーダンス

３．６．　測定結果

　測定結果を図１８から２２に示す。測定はネットワークアナライザを用い、同軸ケーブルで接続した後ケーブル端で校正した。図にはＳパラメータ解析、電磁界解析、素子値の調整前後の測定結果を示す。

３．６.１．　入力定在波比（SWR）

　2.4GHz でＳパラメータ解析、電磁界解析ともに 2.0 以下になっている。実測では調整前は２を越えているが、調整後はほぼ１に近くシミュレーションよりも良い数値である。

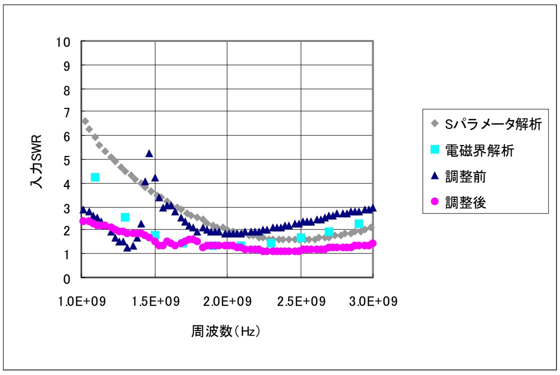



図１８　入力定在波比

３．６.２．　出力定在波比（SWR）

　入力と同様に 2.4GHz で２種類のシミュレーションは 2.0 以下で、調整前は２を越えているが、調整後は 2.0 以下である。

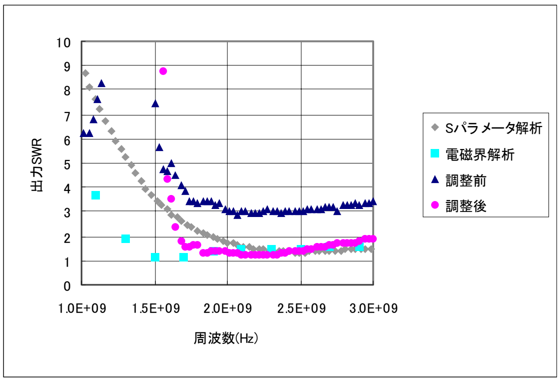



図１９　出力定在波比

３．６.３．　ゲイン

　Ｓパラメータ解析では 2.4GHz で 13dB だが、電磁界解析では 10db まで低下している。実測値では調整前が 7dB、調整後は 11db まで改善している。ゲインは整合の具合にかなり影響を受けることが分かる。

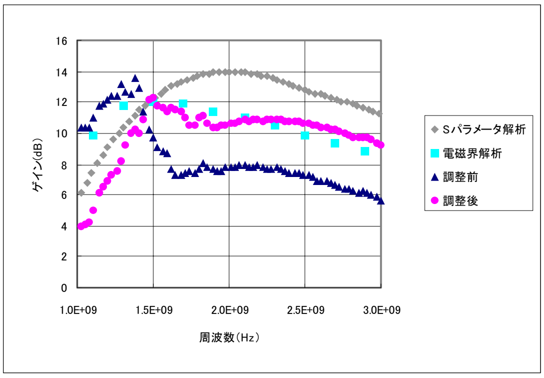



図２０　ゲイン

### ３.６.４.　雑音指数

実測が行えなかったため、シミュレーション結果のみ示す。Ｓパラメータ解析、電磁界解析ともに、2dB 以下と良好な値である。

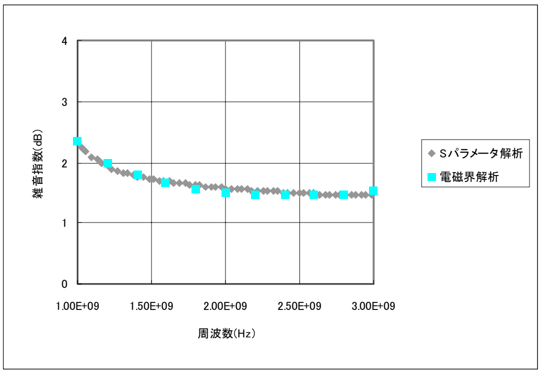



図２１　雑音指数

### ３.６.５.　1dB コンプレッション（P1ｄB）

アンプの直線性の指標として知られている。測定結果から約-2dBm であり、入力でいえば約-12dBm となる。今回の測定はこの数値から全て-15dBm で行った。

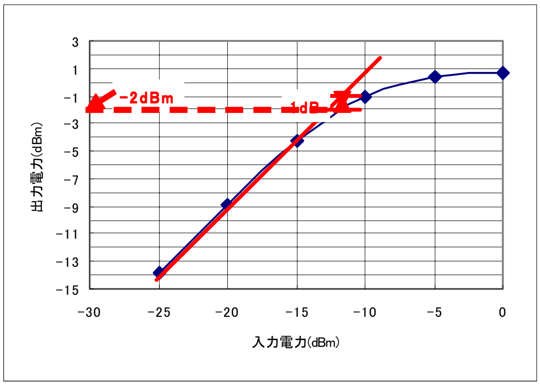



図２２　1dB ゲインコンプレッション

## ４．まとめと今後の課題

### ４.１．ＯＦＤＭベースバンド部の試作

ＯＦＤＭの送信側に必要な回路構成と、その実現に必要な技術内容について調査・検討し、理解を深めた。この理解を元にしてＦＰＧＡやＤＳＰ等の一般的な素子でベースバンド回路の試作を進めている。

今後の課題としては、演算のビット数を減らしながら精度を維持するための検証や、受信側で不可欠な同期処理、等化処理などの回路試作が挙げられる。

### ４.２.　２.４ＧＨｚローノイズアンプの試作

2.4GHz ローノイズアンプの設計製作を行い、仕様を満たすことができた。また
・高周波回路設計用シミュレータの利用方法
・インピーダンス整合の手法
についての理解を深めることができた。

また、今後の課題として、
・雑音指数の測定を行う。
・ミキサ、PLL 等システムを構成する他のデバイスについて設計を行う。
等が挙げられる。

参考文献

（１）斉藤洋一：「ディジタル無線通信の変復調」 電子情報通信学会
（２）進士昌明：「無線通信の電波伝搬」電子情報通信学会
（３）佐藤拓朗：「ＯＦＤＭ技術の基礎から応用まで」リアライズ社
（４）伊丹誠：「ディジタル放送／移動通信のためのＯＦＤＭ変調技術」トリケップス
（５）Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky 著、伊達玄訳：「Singals and System（信号とシステム）」 コロナ社
（６）貴家仁志：「マルチレート信号処理」 昭晃堂
（７）武部幹：「ディジタルフィルタの設計」 東海大学出版会

（８）　J. H. McClellan, Ronald W. Schafer, Mark A. Yoder 著、荒實訳：「DSP First（MATLAB による DSP 入門）」　ピアソン・エデュケーション
（９）　IEEE Std 802.11a-1999
（１０）Hewlett Packard Application Note 1298：「通信システムのディジタル変調入門編」
（１１）三上直樹：「アルゴリズム教科書」　CQ 出版社
（１２）小池慎一：「改定 C による科学技術計算」CQ 出版社
（１３）上田他：「高周波・光半導体デバイス」　（社）電子情報通信学会
（１４）小暮裕明：「電磁界シミュレータで学ぶ高周波の世界」　ＣＱ出版
（１５）市川裕一：連載「高周波デザインラボラトリ」　トランジスタ技術 2001.4～20001.6
（１６）楳田洋太郎：基礎講座「高周波測定の原理と実際」　応用物理学会誌 VOL70-NO10-2001

# 高精度・高速処理テープ式研磨装置の開発

田中　興一*　　坂井　修*　　高橋　靖*
細貝　信和**　五十嵐　慎継**　高野　正徳**　小俣　晃之***

Development of High precision-High speed Polisher Using Lapping Films

TANAKA Kouichi , SAKAI Osamu , TAKAHASHI Yasushi,
HOSOGAI Nobukazu , IKARASHI Noritsugu, TAKANO Masanori and OMATA Teruyuki

**抄録**

従来のバフやベルト研磨機では対応が困難な次世代プリント基板の表面を高精度かつ高能率で研磨するため、従来機の欠点であった加工能率を大幅に改善した高速テープ研磨装置を開発した。また、開発したテープ研磨装置で各種プリント基板材料の研磨試験を行った結果、従来機よりはるかに高速、高精度な加工が可能であることが確認された。

## １．　緒言

近年、プリント基板の製造技術においては多層化やファインピッチ化が進み、またＣＳＰ（Chip Scale Package）やＣＯＢ（Chip On Board）などの実装技術の進歩により、プリント基板に求められる平面度や表面粗さなどの表面精度も年々向上している。一方、これまでプリント基板表面の研磨加工には、バフロールやベルト研磨機が用いられてきた。しかし今後この従来技術では精度的に対応していくことが困難と予想されており、その対応が緊急の課題となっている。

一方、従来主に高精度機械部品等の仕上げ研磨に用いられていた研磨フィルムを用いたテープ研磨装置は、加工精度は優れるものの加工能率が低く、現状ではプリント基板の加工には使用されていない。そこで研磨フィルムによるテープ研磨加工をプリント基板の新たな研磨加工方法として提案するために、従来のテープ研磨装置の欠点であった加工能力を大幅に改善した高速テープ研磨装置を開発することを目的として研究を行った。また、開発したテープ研磨装置を使用して各種プリント基板材料の研磨試験を行い、研磨特性、研磨精度の評価を行った。

＊研究開発センター
** 株式会社　サンシン
*** 株式会社　ケイテックエンジニアリング

## ２．　テープ研磨装置の開発

### ２．１　概要

テープ研磨は現在プリント基板の加工に使われているバフロールやベルト研磨機より精度が高いものの加工能率が低い。一方、半導体などの加工に主に使われているラップ盤やＣＭＰ等に比べると加工能率は高いが精度が劣る。したがって加工速度をバフロールやベルト研磨機に少しでも近づけ、精度をラップ盤に少しでも近づけるようなテープ研磨装置を開発できればプリント基板研磨等の新たな市場に参入していくことが可能である。

今回開発した装置は、プリント基板の専用研磨機とするため従来機に対し次のような改良を加えてある。

a)テープ・テーブル送り速度の高速化
　研磨効率を上げるためにテープとテーブルの相対速度を従来機の数十倍に高速化した。

b)テープの往復送り
　テープ送りの高速化に伴い増加するテープコストを抑えるために、従来１回の使用で廃棄していたテープを往復使用することによって再利用できるようにした。

### ２．２　開発機の仕様

開発機の外観を図１、仕様を表１に示す。本装置はプリント基板用テープ研磨装置の試作機として開発したため対応するワークサイ

ズは 100 ㎜×100mm とした。

使用するテープの幅は４インチとし、テープの送り速度は従来機の数十倍にあたる 500mm/s まで上げることが可能である。テープの高速安定走行と往復送りを実現するため左右のテープリールの駆動にそれぞれサーボモーターを採用し、構造も左右対称として左右どちらの方向にも安定したテープ送りが可能なように考慮してある。

テーブルの送りにもサーボモーターを採用し、ＮＣ制御により様々な研磨パターンに対応できるように設計した。

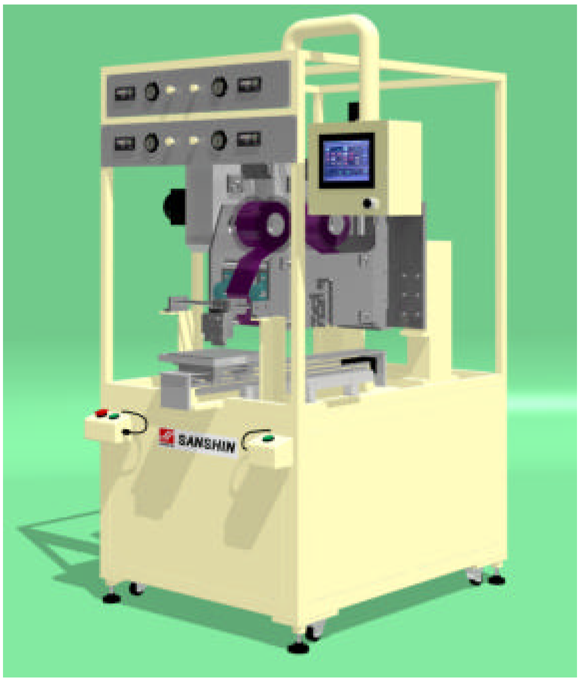


図１　テープ研磨装置

表１　装置仕様

| 項　　目 | 仕　　様 |
|---|---|
| テープ幅 | ４インチ |
| テープ送り速度 | Max ５００mm/s |
| コンタクトロール幅 | １００mm |
| コンタクトロール硬度 | 50°,70°,90° |
| コンタクトロール加圧力 | 0.1～50kgf（片側） |
| コンタクトロール揺動幅 | １mm |
| テーブルサイズ | 210mm×230mm |
| テーブル移動量 | ２７０mm |
| テーブル送り速度 | Max ２００mm/s |
| ワーククランプ方式 | バキュームチャック |

## ３．研磨試験

### ３．１　研磨特性

開発したテープ研磨装置を使用してプリント基板の研磨試験を行い、研磨特性の評価を行った。

#### ３．１．１　試験方法

試験に使用した材料は両面銅張ガラスエポキシ基板（100×100 ㎜□、厚さ 2.7 ㎜、銅箔厚さ 32μm）で、試験では表面の銅を研磨している。

テープはＣ６００、Ｃ１０００、Ｃ２０００（三共理化学製）を使用し、それぞれのテープについて、テープとワークの相対速度（テープ速度＋テーブル速度、以後「接触速度」と呼ぶ）、単位ワーク長さ当たりに使用するテープの長さ（テープ速度／テーブル速度、以後「テープ使用率」と呼ぶ）、コンタクトロール加圧力、コンタクトロール硬度を変えて研磨試験を行った。

#### ３．１．２　研磨量の算出

研磨量は研磨した銅の重量［g］から、以下の式により厚さ［μm］に換算して求めた。

研磨量［μm］＝除去した銅の重量［g］÷銅の理論密度８．９３［g/cm$^3$］÷基板の表面積１００［cm$^2$］×１００００

#### ３．１．３　研磨速度

単位加工時間当たりの研磨量を研磨速度と定義して評価した。図２は、接触速度を変えた場合の研磨速度、図３は、テープ使用率を変えた場合の研磨速度を示している。これらの図から研磨速度は接触速度に比例して増加することがわかる。すなわち、速く研磨するためには、テープ速度とテーブル速度を大きくしたほうが良い。また、研磨速度はテープ使用率が１までは増加するが、それ以上では頭打ちとなり、いくらテープ使用率を大きくしても変わらないことがわかった。

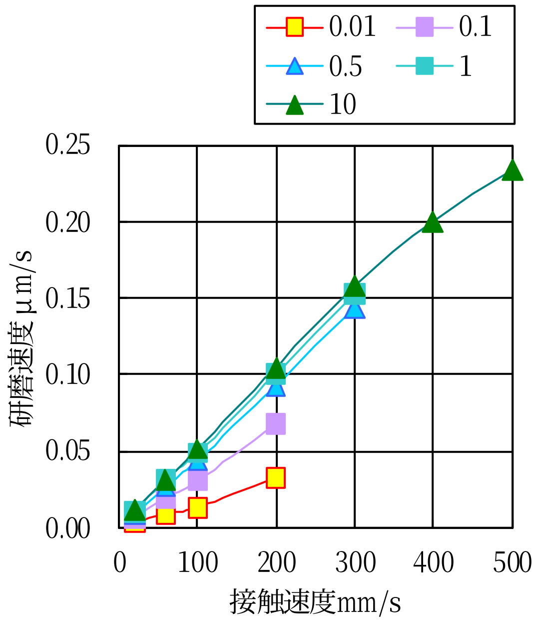



**図２　接触速度と研磨速度の関係**
（C600，加圧 20kg，CR70°）

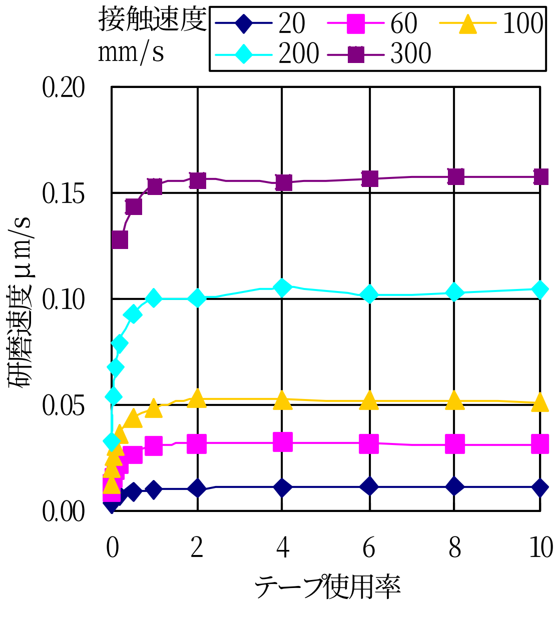



**図３　テープ使用率と研磨速度の関係**
（C600，加圧 20kg，CR70°）

### ３．１．４　テープ効率

研磨テープ単位長さ当たりの研磨量をテープ効率と定義し評価した。これによると、テープ使用率の小さいほど、すなわち、テープ速度を小さくしテーブル送り速度を大きくするほどテープ効率は良いことがわかった。

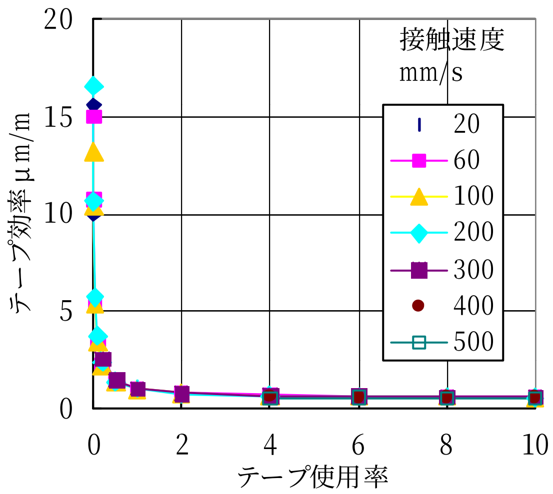



**図４　テープ使用率とテープ効率の関係**
（C600，加圧 20kg，CR70°）

### ３．１．５　コンタクトローラの影響

図５は、速度条件を固定し、コンタクトロール加圧力とコンタクトロール硬度を変えて、研磨量を調べたものである。これによると、研磨量は加圧力に比例して増加し、また、コンタクトロールは硬い方が研磨量がやや大きいことがわかった。

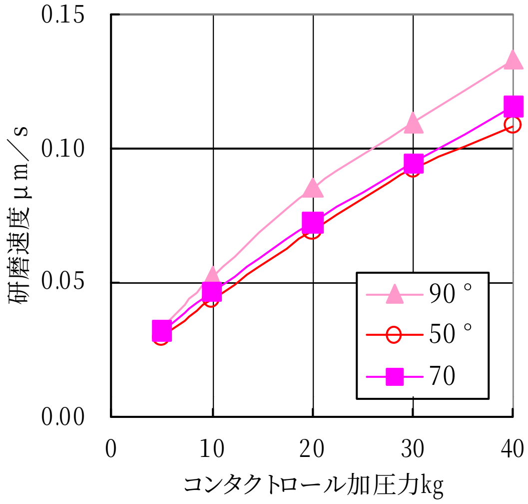



図５　コンタクトロール加圧力・硬度と研磨量との関係
（C1000,接触速度 200mm/s，テープ使用率 2）

３．２　研磨面精度

開発したテープ研磨装置を使用してプリント基板の研磨試験を行い、研磨面精度の評価を行った。

評価に使用した材料は両面銅張ガラスエポキシ基板（100×100 ㎜□、厚さ 2.7 ㎜、銅箔厚さ 32μm）で、片面のみを使用した。

使用したテープはＣ６００、Ｃ１０００、Ｃ２０００、ＷＡ４０００、ＷＡ６０００、ＷＡ１００００（三共理化学製）で、それぞれテープ速度、テーブル速度、コンタクトロール加圧力、研磨回数を変えて研磨試験を行った。

プリント基板の研磨において評価が必要となる研磨面特性は表面粗さと表面形状の２項目である。表面形状については、さらに表面の狭範囲での面性状と基板全体のうねりに分けて評価する必要がある。

３．２．１　表面粗さ

表面粗さの評価には表面粗さ計（フォームタリサーフ）を使用した。しかし、研磨後の銅の表面には材料のむしれによる欠陥が見られ、触針式の粗さ計では表面性状を正しく評価出来ないことが判明した。そこでフォームタリサーフによる微少部分の３次元測定を行い、３次元鳥瞰図により視覚的に表面粗さを評価する方法を併用することにした。各種テープによる粗さの違いを図６に示す。なお、左のグラフが研磨方向と直角に測定した粗さで右のグラフが研磨方向に測定した粗さである。

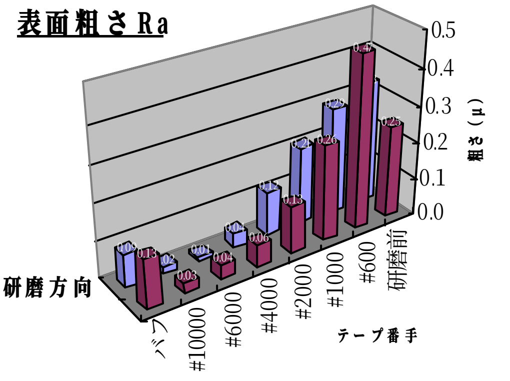



図６　テープ種類による粗さの違い

この図から面粗さはテープ番手に反比例して小さくなることがわかる。また、加工条件や研磨量を変えて測定した結果から面粗さは加工条件に関わらず同じテープで加工した場合、ほぼ同じ値になることが判明した。

基板表面の研磨傷の状況を把握するために基板表面の０.２５６×０.２５６㎜の範囲をフォームタリサーフで３次元測定し、３次元鳥瞰図に表したものを図７～図９に示す。

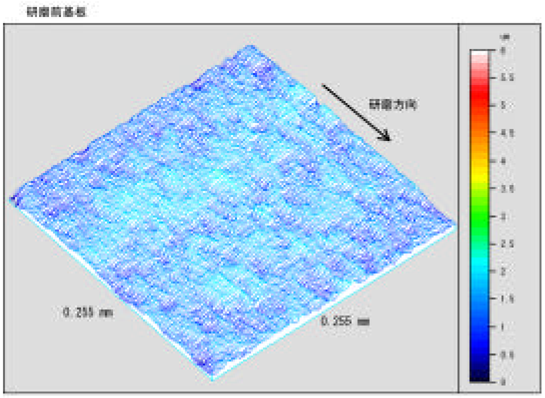



図７　研磨前基板表面

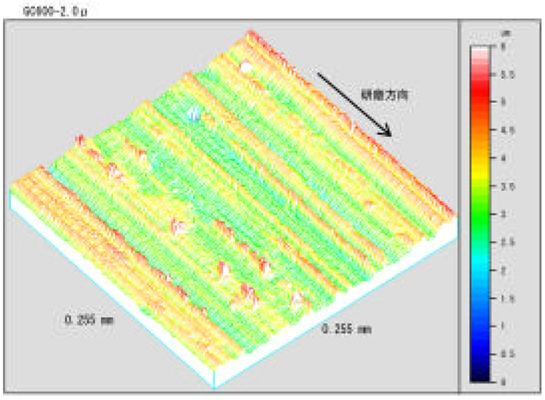



図８　Ｃ６００

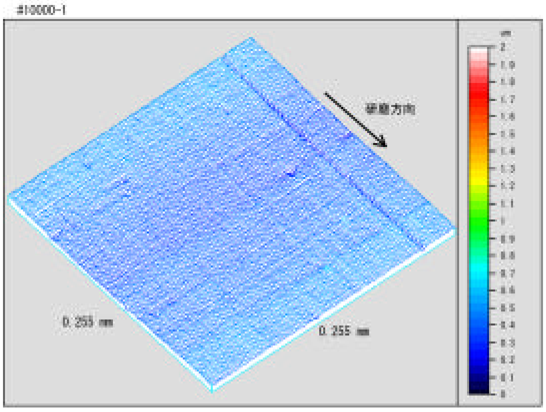



図９　ＷＡ１００００

図７が研磨前、図８がＣ６００、図９がＷＡ１００００で研磨したものである。Ｃ６００では研磨傷が大きく、特に銅のむしれによる欠陥が見られる。高番手テープで研磨するとこの傷は少なくなる。しかし図９に示すようにＷＡ１０００ではきれいな研磨が可能であるが、ごみのかみ込みによると思われる欠陥が見られる

### ３．２．２　表面形状

各種測定方法を検討した結果、測定精度、分解能などの点からフォームタリサーフによる３次元測定を行い、３次元鳥瞰図を作成して断面形状を評価することにした。

予備試験の結果、プリント基板の表面に基材のガラスエポキシ基板中のガラスクロスの織り目に起因すると思われる 0.8 ㎜ピッチ、高さ約２μｍ のうねりが存在することが判明したため研磨試験においては、このうねりを除去することがひとつのポイントとなった。そこで表面形状の評価に当たっては、このうねりの変化がとらえやすいように測定範囲を２．５６×２．５６mmの狭い範囲に設定して測定を行った。

基板全体のうねりの評価についてはプリント基板自体の変形が大きく、研磨による形状の変化を検出することが困難なため断念した。

図１０が研磨前、図１１がＣ６００、図１２がＷＡ１００００で研磨したものである。

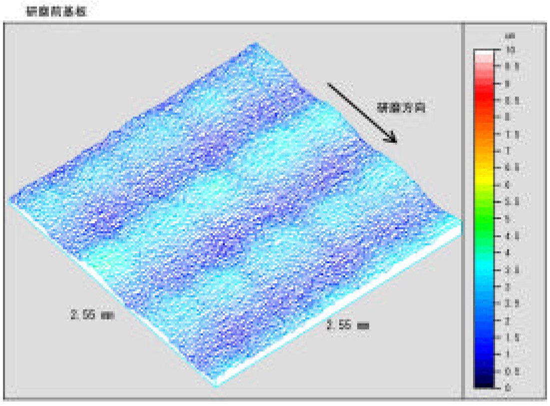



図１０　研磨前基板

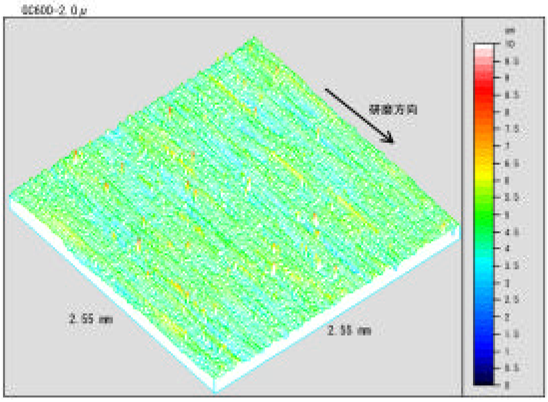



図１１　Ｃ６００

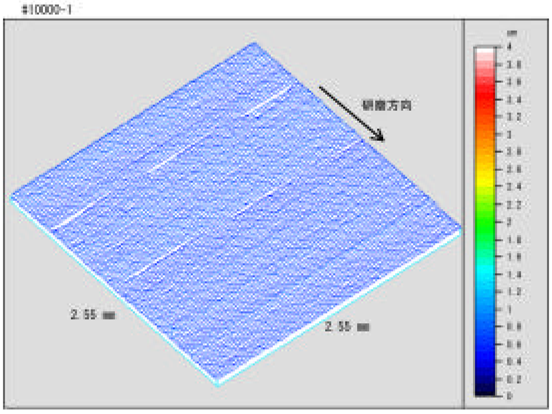



図１２　ＷＡ１００００

図１０からわかるように研磨前の基板表面には内部のガラスクロスの織目に起因すると思われる 0.8 ㎜ピッチ、高さ２μｍ のうねりが存在する。図１１に示すようにテープ研磨によってこのうねりは除去できることがわかる。図１２のように高番手テープを使用することによりほぼ平坦な面を得ることができる。

## ４　まとめ

(1)研磨効率を従来機より大幅に向上したテープ式高速・高精度研磨機を開発した。

(2)研磨速度はテープとワークの接触速度に比例して増加する。

(3)高速研磨を行いながらテープコストを抑えるには、テープ速度を低くしてテーブル速度を早くすることが必要である。

(4)研磨面性状の多角的評価を行い、テープ研磨がプリント基板の平坦化に有効であることがわかった。

# 標準電波受信用アンテナに関する研究

田中　興一[*]　　星野　公明[*]　　丸山　英樹[*]
井浦　博男[**]　　片原　義浩[**]　　浜谷　剛[**]

Study on an Antenna of Radio wave for Frequency and Time standard

by
TANAKA Kouichi [*], HOSHINO Kimiaki [*] , MARUYAMA Hideki [*]
IURA Hiroo [**], KATAHARA Yoshihiro [**] and HAMAYA Takeshi [**]

## 抄録

標準電波を受信して時刻を自動的に修正する電波時計に用いるアンテナの小型化を目的として開発を行った。アンテナコイルに用いるコアの両端にツバをつける（ドラム型コアと呼ぶ）と，コア材の見掛け透磁率が向上し，ドラム型コアを用いないものと比べると，インダクタンス値及び受信電圧値が大きくなることが分かった。したがって，同じインダクタンス値のアンテナコイルの場合，ドラム型コアを用いることにより，従来のコイルに比べて小型のアンテナを作製することが可能となった。

また，設計の効率化を図るため，電磁界解析ソフトを用いてシミュレーションを行なった。ドラム型コアは，電磁界解析ソフトでもその有効性を確認できた。

## 1.　緒言

標準電波(40kHz,60kHz)を受信し，正確な時刻を表示する電波時計は，アンテナが大きいため置き時計型がほとんどであったが，最近腕時計型も製品化されている。しかし，アンテナが大きく厚みがあるため，いっそうの小型化が望まれている。

本研究では，標準電波受信用アンテナの小型化と感度向上を目的とし，電波アンテナ技術に関する研究と製品開発を行う。アンテナの小型化と特性向上を進めることで，腕時計への搭載が拡大されると共に，その他の時間機能を有する家電製品や測定器などへの市場拡大も期待できる。また，長波帯を利用した車載用キーレスエントリのアンテナへも，技術の応用が見込まれる。

## 2.　標準電波と電波時計

### 2.1.　標準電波とは

標準電波ＪＪＹは，時間と周波数の標準，並びに協定世界時(ＵＴＣ)に基づく日本標準時(ＪＳＴ)を広く国の内外に知らせるために，通信総合研究所で運用している電波である。長波帯（福島県：４０kHz,佐賀県：６０kHz）のＪＪＹでは，時刻に関する情報としてタイムコードを送信している。

電波は電離層の影響などで精度が低下するので，電離層の影響を受けにくい長波帯の電波を用い，２４時間の周波数比較平均値で $１×１０^{-11}$ の精度を得ることができる。

表 2.1 に標準電波の諸元を示す。

表 2.1 標準電波の諸元

| 呼出符号 | ＪＪＹ(標準周波数局) | |
|---|---|---|
| 送信所 | おおたかどや山<br>標準電波送信所<br>福島県田村郡 | はがね山<br>標準電波送信所<br>佐賀県佐賀郡 |
| 緯度<br>経度 | 37°22′N<br>140°51′E | 33°28′N<br>130°11′E |
| ｱﾝﾃﾅ形式 | 傘型 250m高 | 傘型 200m高 |
| 空中線電力 | ５０ｋＷ（実効輻射電力１０ｋW） | |
| 周波数 | 40 kHz | 60 kHz |
| 備考 | 1999.6.10 開局 | 2001.10.01 開局 |

[*]研究開発センター
[**]新デンシ株式会社

## 2.2.　電波時計とは

標準電波を受信し，自動的に時刻を修正して，常に正しい時刻を表示する時計である。

図 2.1 に電波時計の仕組みを，図 2.2 に電波時計（腕時計裏面）およびアンテナを示す。

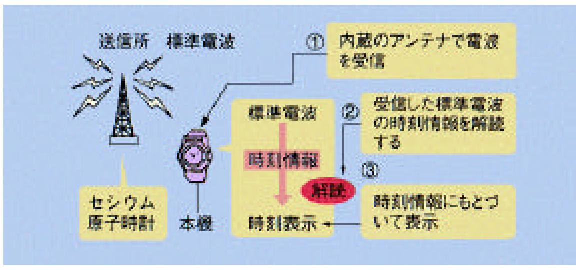



図 2.1 電波時計の仕組み

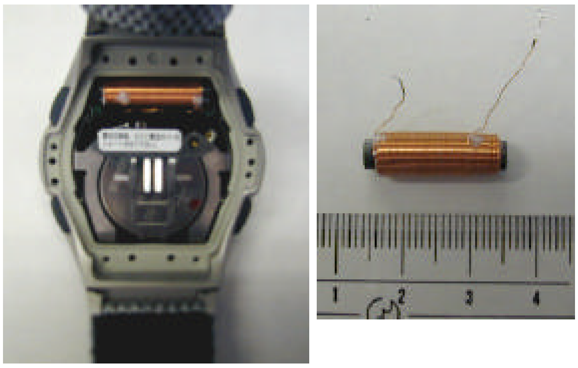


図 2.2 電波時計とアンテナ

## 3.　アンテナの理論的解析

### 3.1.　コイルのインダクタンスとQ

コイルのインダクタンスLは，コイルの巻き数をN，断面積をS，長さをｌ，コアの透磁率をμとすると，

$$L = K\mu N^2 S/l$$

により求まる。ただし，この式は単層巻きの場合であるが，多層巻きの場合でも近似的な値として求めることが出来る。また，Kは長岡係数と呼ばれる値で，コアの長さｌとコアの断面積の半径ｒの関係より，近似的に以下の式で求まる。

$$K \cong \frac{1}{1+0.9\,r/l}$$

上記式より，インダクタンスを大きくするには，透磁率を高くする，巻数を多くする，断面積大きくすることである。長さについては，後述の見かけ透磁率と関係する。

また，コイルの品質係数Qは，インピーダンスの実部をRs としたとき，

$$Q = \frac{\omega L}{Rs}$$

となる。

### 3.2.　見かけの透磁率

アンテナコイルのコアは有限の長さを持っているので，磁界***H***は外部磁界***Hex*** だけでなく磁心の両端に現れる磁極によって生じる磁界***Hd*** との差でつくられる。すなわち，

$$H = H_{ex} - H_d$$

となる。***Hd*** はいつも磁化と逆向きになるため，反磁界と称する。一般に，***Hd*** は磁化の強さ ***I*** に比例し，

$$H_d = N\frac{I}{\mu_0}$$

と書くことができる。比例係数Nは反磁界係数といい，磁心の形（長径と短径の比）に関係する。磁心が細長いときにはNは小さく，太く短い時にはNは大きい。

したがって，外部磁界***Hex*** に対する磁束密度の比は，見かけの透磁率で，

$$\mu_{eff} = \frac{B}{\mu_0 H_{ex}}$$

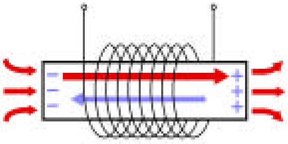


図 3.1 反磁界

であり，

$$B = \mu_0 H + I$$

であるので，

$$H = H_{ex} - \frac{N}{\mu_0}I = H_{ex} - \frac{N}{\mu_0}(B - \mu_0 H)$$

両辺を***B***で割り，透磁率に書き換えると，

$$\frac{1}{\mu_0\mu_r} = \frac{1}{\mu_0\mu_{eff}} - \frac{N}{\mu_0}\left(1 - \frac{1}{\mu_r}\right)$$

$\mu_r = \infty$とおいてみると，

$$\mu_{eff} = \frac{1}{N}$$

となる。

表 3.1 に丸棒コアの寸法比と反磁界係数，見かけの透磁率を示す。

表 3.1　反磁界係数

| 寸法比（長径/短径） | 丸棒の反磁界係数(N) | 見かけの透磁率(μeff=1/N) |
|---|---|---|
| 1 | 0.27 | 3.703703704 |
| 2 | 0.14 | 7.142857143 |
| 5 | 0.04 | 25 |
| 10 | 0.0172 | 58.13953488 |
| 20 | 0.00617 | 162.0745543 |
| 50 | 0.00129 | 775.1937984 |
| 100 | 0.00036 | 2777.777778 |
| 200 | 0.00009 | 11111.11111 |
| 500 | 0.000014 | 71428.57143 |
| 1000 | 0.0000036 | 277777.7778 |
| 2000 | 0.0000009 | 1111111.111 |

見掛けの透磁率の観点からすると，細長いコイルの方が見かけ透磁率が大きくなり，インダクタンス値が大きくなる。

## 3.3.　アンテナと共振回路

ループアンテナは，ループ内の磁界エネルギーを電力に変換する。磁束密度を高めるためにループ内に透磁率の高いフェライト（磁性材料）を挿入したものが，フェライトバーアンテナである。

周波数の選択には，LCR 並列共振回を用いる。コイルの誘導リアクタンス $X_L$と，コンデンサの容量リアクタンス $X_C$が等しいとき共振が起こり，そのときの周波数は，

$$f = \frac{1}{2p\sqrt{LC}}$$

で、共振周波数と呼ぶ。

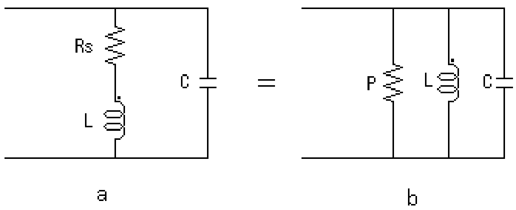



図 3.2 並列共振回路

並列共振回路は定電流源回路で，アドミッタンスＹは，

$$Y = P + \frac{1}{jwL} + jwC$$

となる。共振時には，ＬとＣのサセプタンスが相殺してゼロとなるからアドミッタンスはＰだけとなる。

実際の並列共振回路は，コンデンサの損失は無視しうるものとし，コイルだけに損失があるものとすれば図 3.2a となる。ここで，$wL >> Rs, Q >> 1$のとき，抵抗 Rs を図 3.2b のように並列抵抗に変換し，parallel resonant impedance の意味でＰとおくと，次の式で表せる。

$$P = \frac{w^2L^2}{Rs} = wLQ = \frac{Q}{wC} = \frac{L}{CRs}$$

この場合，ωＬであったインピーダンスが共振するとＱ倍に上昇してＰになると考えられ，共振インピーダンスと呼ばれている。

## 3.4.　磁界中で発生する電圧

周波数ｆで変化している磁界***H***の中におかれた，断面積Ｓ，巻数Ｎ，見かけ透磁率μのフェライトバーアンテナ（電波の到来方向と直角の向き）に誘起する電圧は，ファラデー電磁誘導の法則により，

$$e = -N\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -jwNSmH$$

となる。このとき，コイルに流れている電流は，

$$I = \frac{-jwNSmH}{jwL} = \frac{-NSmH}{L}$$

である。

いま，このアンテナに周波数ｆで共振する容量のコンデンサをつけたとき，コイルとコンデンサの電流は相殺して，見かけ上電流は流れない。図 3.2b の等価抵抗Ｐにこの電流が流れることになるので，発生する電圧は，

$$V = \frac{-NSmH}{L} * 2pfLQ = -2pfNSmHQ = e * Q$$

となり，電磁誘導で発生した電圧がＱ倍になることがわかる。したがって，理論的には，コイルの巻数Ｎ，コイルの断面積Ｓ，見かけの透磁率μ，コイルのＱに比例した電圧が発生することになる。しかし，実際には交流抵抗の増加や，共振コンデンサの損失の影響を受けるので，その値は小さくなる。

## 4. 電磁界解析ソフトによる特性の予測

### 4.1. インダクタンス，および見かけ透磁率の求め方

電磁界解析ソフトはJMAG-Studioを用いた。シミュレーションでインダクタンスを求める場合，磁束から求める方法と蓄積エネルギーから求める方法がある。

磁束から求める場合，コイルに流す電流をI，そのときに発生する磁界をΦとすると，

$$\Phi = LI$$

という関係がある。よって，$L = \Phi / I$ よりインダクタンスが求まる。

次にコイルに蓄積されるエネルギーから求める場合，コイルに流す電流をI，蓄積されるエネルギーをUとすると，

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

となり，両辺を微分して変形すると，

$$L = \frac{\Delta U}{I \Delta I}$$

となる。非線形の場合は，I(A)のときとI+ΔI(A)のときの蓄積エネルギーを計算し，その差分を上記式に代入することによりLを求めることができる。

また，見かけ透磁率は，コア材があるときのインダクタンス値Lと，空心のときのインダクタンス値L'の比であるので，シミュレーションで各値を求めて，

$$m_{eff} = \frac{L}{L'}$$

を計算することにより，求めることができる。

### 4.2. 実測との比較

試作したサンプルコイル（図4.1）について，シミュレーションと実測の比較を行った。サンプル1はツバのないコイル，サンプル2はツバ厚1mmのコイル，サンプル3はツバ厚2mmのコイルである。図4.2にシミュレーション結果（磁束密度）を示す。

インダクタンスについてはシミュレーションより求めた値，受信電圧につては，サンプル1の受信電圧を基準にして，見かけ透磁率とQ値の比により求め，実測値と比較した。

また，受信電圧の測定は図4.3の測定系を用い，実効値を測定した。

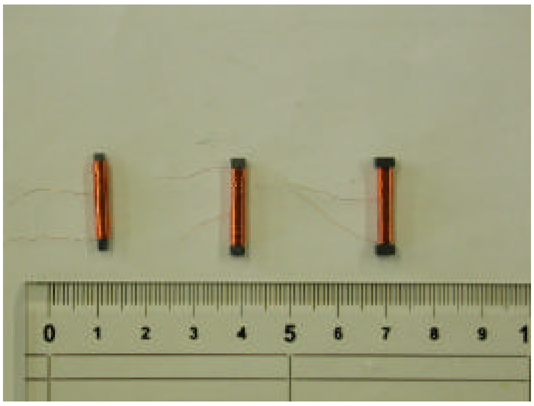



図 4.1 サンプルコイル

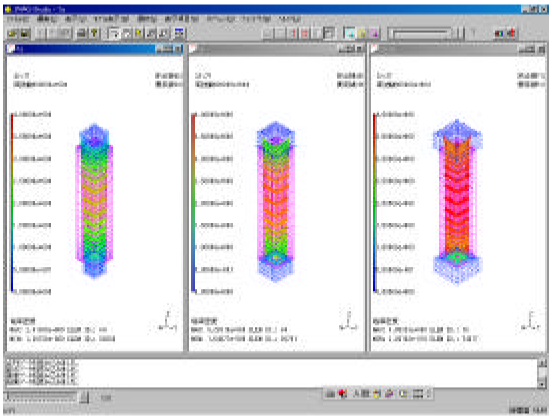


図 4.2 シミュレーション結果
（磁束密度）

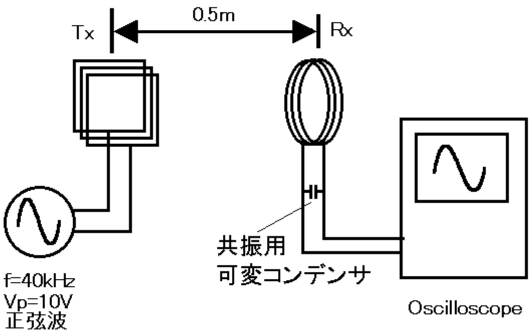



図 4.3 受信電圧測定系

表4.1に，コイルの仕様・実測結果・シミュレーションにより求めた値を示す。図4.4にインダクタンスの実測値とシミュレーションより求めた値を，図4.5に受信電圧の実測値と計算より求められる予測値を示す。

**表 4.1 コイルの仕様・実測・予測値**

| | | サンプル1 | サンプル2 | サンプル3 |
|---|---|---|---|---|
| 仕様 | コアの大きさ(mm) | 2×2 | 2×2 | 2×2 |
| | 断面積(mm2) | 4 | 4 | 4 |
| | ツバの大きさ(mm) | 2×2 | 3×3 | 4×4 |
| | ツバのはみ出し(mm) | 0 | 1 | 2 |
| | コアの長さ(mm) | 20 | 20 | 20 |
| | 巻き線部長さ(mm) | 16 | 16 | 16 |
| | ツバの幅 | 2 | 2 | 2 |
| | 巻き数 | 760 | 760 | 760 |
| 実測 | 実測L(mH) | 7.61 | 8.96 | 10.8 |
| | Rs(Ω) | 27.2 | 27.6 | 29 |
| | Q | 70.3 | 81.3 | 93.6 |
| | 受信電圧(mVrms) | 57 | 72 | 105 |
| シミュレーション | 計算L(mH) | 7.42 | 9.04 | 11.1 |
| | 計算・空心L（mH) | 0.233 | 0.233 | 0.233 |
| | 見かけ透磁率 | 31.84549 | 38.79828 | 47.63948 |
| 計算 | 予想受信電圧(mVrms) | 57 | 80.31092 | 113.531 |

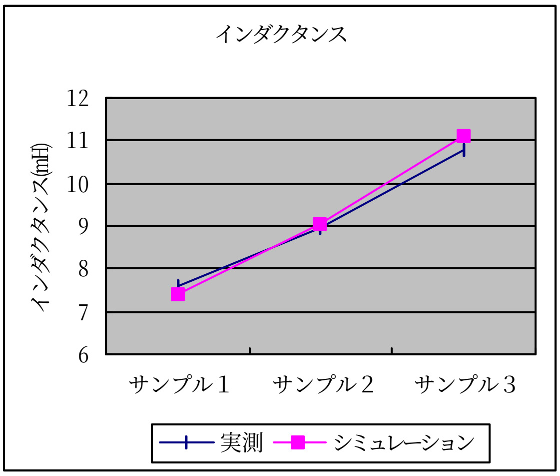



**図 4.4 インダクタンスの比較**

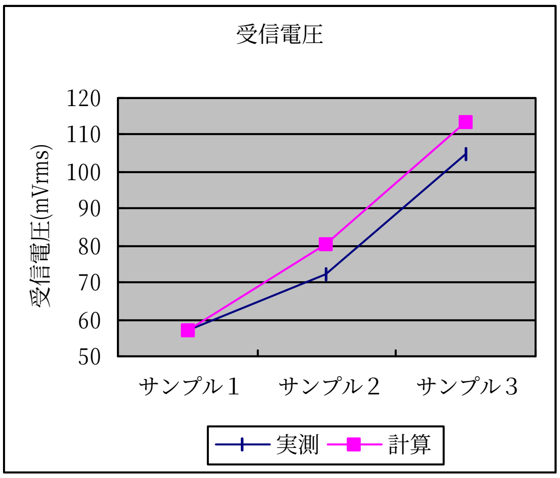



**図 4.5 受信電圧の比較**

図 4.4 より，電磁界シミュレーションで求めたインダクタンスの値と，実測の値はよく一致していることがわかる。一方，図 4.5 より，受信電圧の実測値は予測値より小さくなった。これは先にも述べたが，交流抵抗の増加と共振コンデンサの損失の影響と考えられる。

また，サンプル１よりサンプル２、サンプル３の方が，見かけ透磁率が高くなり，インダクタンス値や受信電圧値が大きくなっている。つまり，ツバが大きいほど，その効果は大きいと言える。

## 5.　結言

(1) コアの両端にツバをつけたドラム型コイルは，見掛け透磁率が大きくなり，インダクタンス値，及び受信電圧が向上する。このコアを用いることにより，アンテナの小型化が可能である。

(2) 共振インピーダンスはコイルのインピーダンスωＬ のＱ倍になり，受信電圧は電磁誘導で発生する電圧のＱ倍になる。

(3) 電磁界解析ソフトを用いたシミュレーションで，インダクタンス値，見掛け透磁率の値を求めることができ，実測値とほぼ一致する。

(4) 受信電圧の予測は，見掛け透磁率，巻き数，断面積，Ｑの比より計算で求めることができるが，交流抵抗の増加や，共振コンデンサの損失の等の影響により，実測値は予測値より小さくなる。

この研究により，ドラム型コアを用いた標準電波受信用アンテナ，自動車用キーレスエントリアンテナを開発し，各メーカに試作品を提出した。

# アイカメラの自動追尾焦点制御装置に関する研究

渡辺　真一* 　小野　崇弘* 　春日　恵介* 　田中　興一** 　宮口　孝司** 　星野　公明** 　丸山　英樹**

A Study on Homing Eye Camera System

WATANABE Shinichi*, ONO Takahiro*, KASUGA Keisuke** , TANAKA Kouichi**,
MIYAGUCHI Takashi**, HOSHINO Kimiaki** and MARUYAMA Hideki**

抄　　録

運転者の危険予知能力に関する運転適性を測定するために開発された実映像シミュレータに搭載される、視線検出カメラ（アイカメラ）の瞳孔自動追尾システムに関する開発を行った。装置の仕様は、被験者の無意識は頭部の揺動に伴う瞳孔の動きを測定して、決定した。さらに、ステッピングモータによるサーボ機構を構築し、無意識は被験者の頭部の揺動に対して、有害な振動を発生すること無く、瞳孔を自動追尾することを確認した。また、この機構を実映像シミュレータと組み合わせ、総合実験を行った結果、視線の誤差５０㎜以内で視線を検出し、精度の高い運転適性診断が可能になった。

## 1. 緒　　言

運転者の高齢化による運転技術の低下や、初心者等への安全運転技術に対する適切な指導には、その人の運転適性を客観的に評価する必要があり、ハンドル操作の正確さや刺激に対する反応時間等、の身体能力に関する適性や、性格に関する適性などが調べられていた。しかし、最近、危険源の発見や危険を予知する能力すなわち危険予知能力が、安全運転をするうえで重要であることが分かってきた。危険予知能力の向上は、運転教習等でも重視されている。

危険予知能力は、被験者がその状況において、注意を払うべき対象に対して、どれだけ注視しているかを、被験者の視線を測定することによって評価する。危険予知能力を測定する装置は視線を検出するカメラであるアイカメラと模擬運転装置とから構成される。しかし、市販のアイカメラは（１）高価、（２）被験者に装着することによる不快感がある、（３）測定準備時間が非常に長い、等の問題から、実用化には至っていないのが現状である。

新潟通信機㈱は、被験者に装着することなく視線を検出することのできるアイカメラと、これを搭載した模擬運転装置（実映像シミュレータ）から構成される危険予知能力評価装置を開発した。この装置は、被験者にアイカメラを装着しないため、測定に際して苦痛を与えることはない。しかし、視線の測定には、高い精度が要求されるため、被験者の眼球付近を大きく拡大する必要があるが、アイカメラが固定されているため、被験者の無意識な動きによってアイカメラの撮影範囲から瞳孔が外れ、視線検出が困難になるという問題がある。

そこで、本研究では、被験者の無意識な動きに対して、アイカメラが瞳孔を自動追尾する瞳孔自動追尾システムを開発することによって、この問題を解決した。

## 2. 視線測定の方法

図１に、視線測定の方法を示す。外光の影響を軽減させるため、眼球周辺に LED を用いた赤外線投光器により赤外線を照射する。

*　新潟通信機株式会社
** 研究開発センター

眼球表面は涙で濡れており、角膜表面は鏡面である。また、赤外線投光器からの直接反射光は反射の法則に従って CCD カメラに到達するが、角膜表面形状が球形であるので、角膜表面での反射角度は、眼球の回転方向によらず一定であり、瞳孔の回転に対する基準となる。同時に、赤外線投光器によって照らされた眼球周辺部の形状が、CCD カメラによって撮影される。CCD カメラのレンズ部には、900nm 以下の波長をカットするフィルターがセットされ、赤外線のみを受光する。眼球周辺部の形状は赤外線の反射率と CCD の受光感度の積に比例したグレイスケールによって、画像信号化される。画像信号は、NTSC 信号化され、画像取り込みボードから PCI バスを介して、画像処理用 PC に送られる。

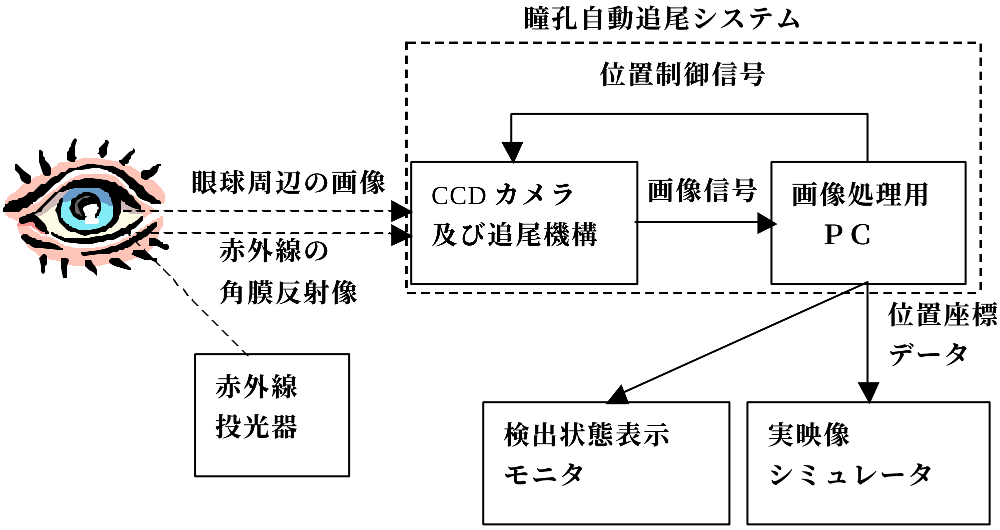



図１　視線測定の方法

数値化された画像データから、画像処理ライブラリを用いて、瞳孔と赤外線投光器の直接反射光（プルキニエ像）の範囲を求める。検出に用いた画像処理ライブラリーには、閾値、面積、真円度、座標範囲等を用いている。検出した瞳孔とプルキニエ像の走査線方向とその直角方向の最大及び最小値の中点を中心座標として求める。

視線の位置は、画面の複数点を注視することによって計測された瞳孔とプルキニエ像の中心座標の相対位置を線形近似することによって求める。視線の位置は実映像シミュレータに送られ、危険予知能力評価に用いられるとともに、画像が検出状態表示モニタに表示される。

瞳孔自動追尾システムは、数値化された瞳孔位置によって、CCD カメラに取り付けた追尾機構をフィードバック制御することによって瞳孔を自動追尾する。

## 3.　瞳孔自動追尾システムの運動仕様

### 3.1　実験方法

瞳孔自動追尾システムに必要な仕様を求めるため、実映像シミュレータを操作しているときの被験者の無意識な動きを測定した。瞳孔の移動量は，既存の画像処理された瞳孔の位置座標をテキストデータで書き出して解析した。

パン方向（x 方向）は水平方向のカメラの回転を、チルト方向（y 方向）は鉛直方向のカメラの回転として，CCD カメラの画素データを基に，実際の瞳孔位置を算出した。また、被験者の体格の違いを考慮した追尾カメラに必要な可動範囲の仕様を決定した。

### 3.2　実験結果

図２は瞳孔位置測定の一例である。横軸は時間を、縦軸に瞳孔の位置を示している。瞳孔の移動は、高速で移動する部分とゆっくり移動する部分に分けることができる。高速で移動する部分は、座り直しや首の回転によるもので、ゆっくり移動する部分は、無意識な頭部のによるものである。測定結果から、瞳孔の最高移動速度は約 50mm/s であった。瞳

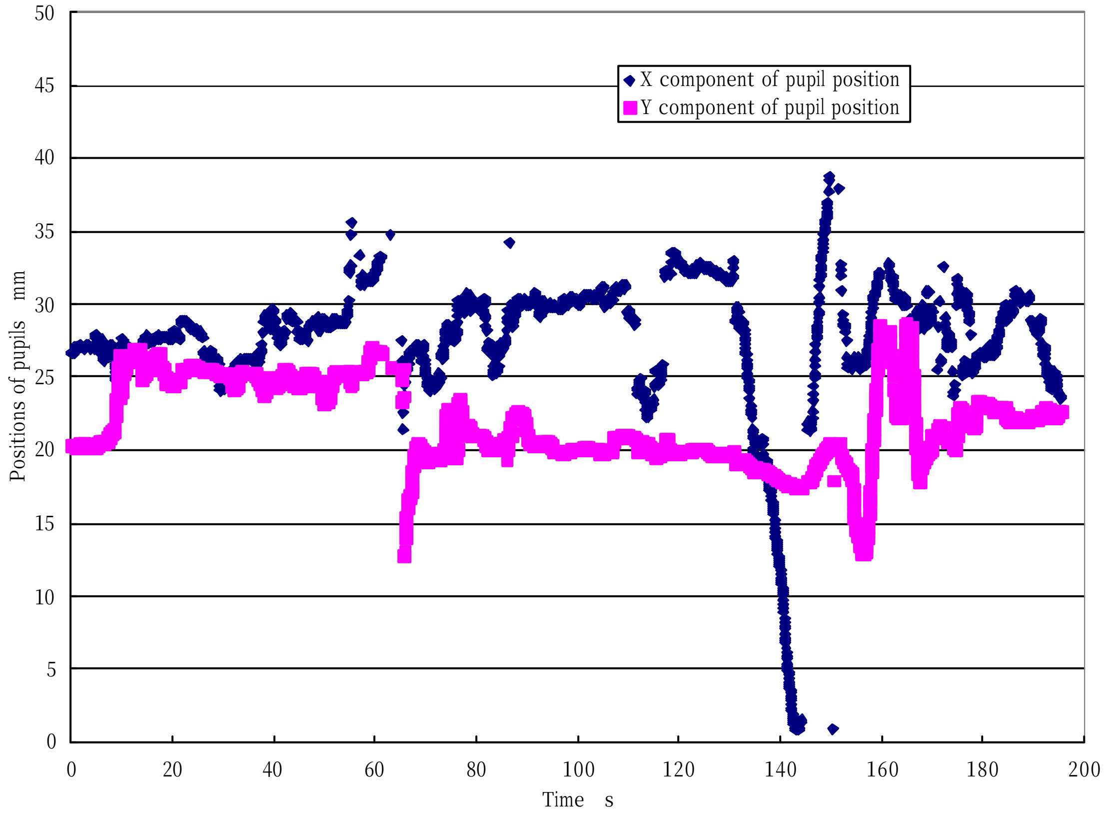



図 2　瞳孔位置測定の一例

孔自動追尾システムは、最高速度の 2 倍の 100mm/s の頭部の揺動を追尾可能とした。実験によって決定した、自動追尾システムの仕様を表 1 に示す。

## 4.　追尾機構部の製作

瞳孔自動追尾システムの追尾機構部の外観を図 3 に示す。このシステムは、バイポーラステッピングモータに対する駆動シーケンスを発生させる PWM 電源内蔵の IC を用い、TTL オープンコレクタ出力されるパルス列を受信して、2 軸のステッピングモータドライバーを設計・製作し、パン及びチルト方向の姿勢制御に必要なサーボ機構を構成した。

装置はチルト機構をベースに構築されており、必要回転範囲の広いチルト方向に対して大きな可動範囲を確保することができた。

これとは別に、DCモータ駆動による方法も検討・試作したが、小型モータやロータリーエンコーダが高価であり、また低速での

表 1　自動追尾システムの仕様

| | |
|---|---|
| 角速度 | 15 deg/s |
| パン角 | ±45 ° |
| チルト角 | 55 ° |
| 駆動トルク | 0.45mkgm$^2$ |
| 寸法（高さ×幅） | 150mm×200mm 以内 |

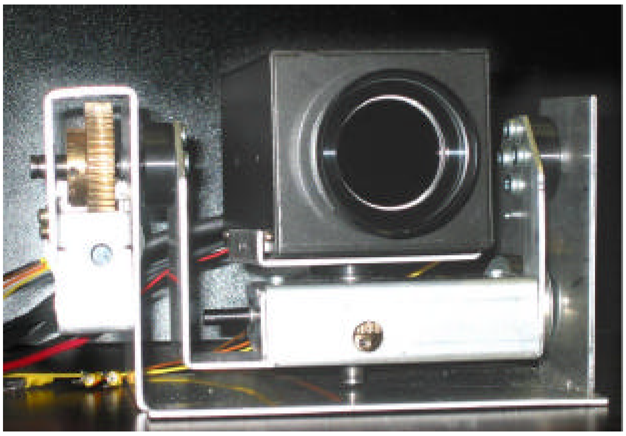


図 3　追尾機構部の外観

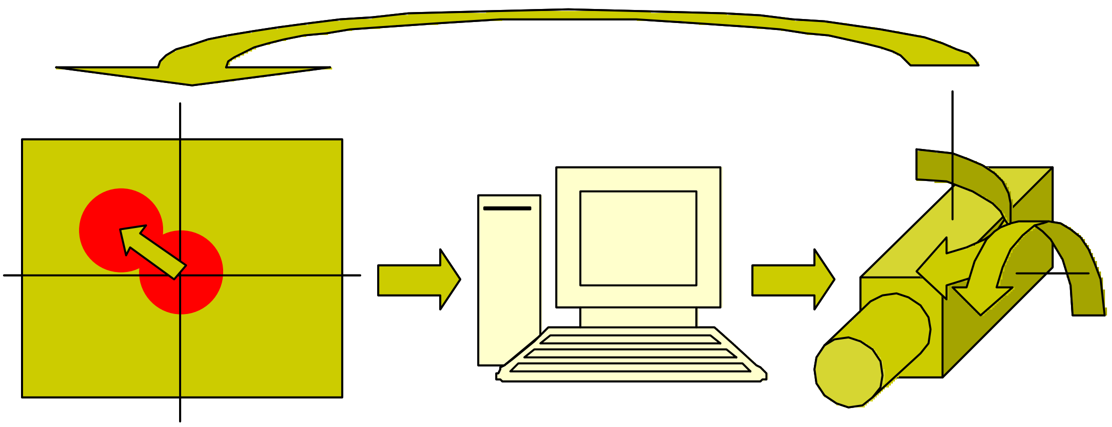



図 4　制御の流れ

トルクが非常に低くなる、安価な DC モータではブラシの寿命が短い、ブラシによるノイズが制御系に悪影響を与える可能性がある、等の理由で、ステッピングモータの方が有利と判断した。

制御方法を図 4 に示す。(a)カメラに写った瞳孔の画像処理から瞳孔の中心位置を計算し、パソコンのデータバスを介して計算したパルスをステッピングモータコントローラに送る。（b）ステッピングモータコントローラは設定した加減速度および速度でパルスをステッピングモータドライバに送る。（c）パルスモータが指定どおりに回転する。カメラが移動することによって、画素上の瞳孔位置が変わり、再度ステップ(a)に戻る。この動作は画像中心付近の設定した画素の範囲に瞳孔が入るまで繰り返す。

図 5 にフィードバック制御におけるブロック線図を示す。$\varepsilon_x(k)$ および $\varepsilon_y(k)$ は k 番目のサンプリング時の瞳孔中心位置の画面中心からの x および y 方向の距離である。伝達関数 Gx および Gy によってパルス数に変換される。Gx は次式で表される。

$$G_x = \frac{P}{EN} + \frac{D}{EN}\left(e_x(k) - e_x(k-1)\right) \qquad (1)$$

$\varepsilon_x(k-1)$は、一つ前のサンプリング時における瞳孔中心位置の画面中心からの x 方向の距離である。P および D はそれぞれ比例動作および微分動作に関する定数であり、EN より小さい。第 2 項は、瞳孔の速い動きに対応するためである。パルス数 $n_x$ は

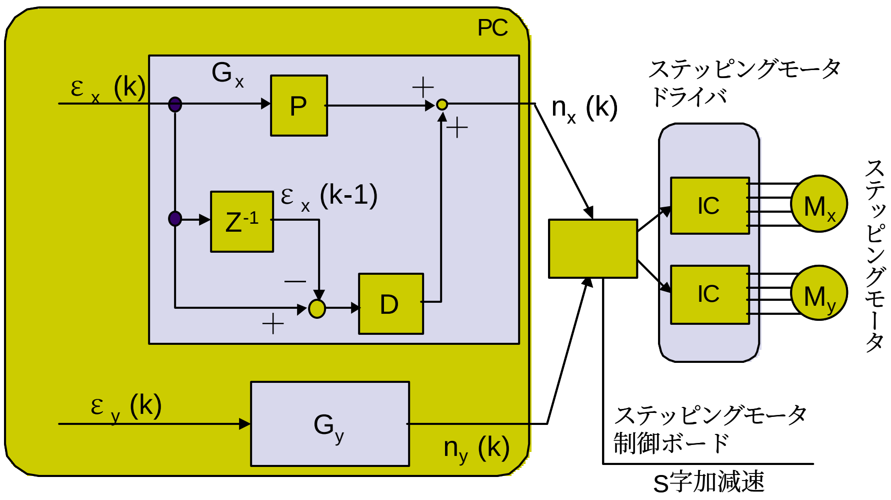



図 5　ブロック線図

$$n_x = G_x e_x \qquad (2)$$

である。同様にｙ方向に関しても計算する。

機構部の剛性が低く、振動に対する減衰が不十分である場合、機構に振動が発生し、安定した視線測定ができないが、要求された仕様に対して有害な振動は発生せず、機構が十分な剛性と減衰特性を有しているといえる。

瞳孔自動追尾システムはこのサーボ機構によって、通常の無意識な頭部の揺動であれば、特別な目印をつけることなく、アイカメラが自動的に瞳孔を追跡することが可能になった。

最後に、瞳孔自動追尾システムと実映像シミュレータを組み合わせ、運転適性試験を複数の被験者に対して行い、無意識な頭部の揺動に対して十分な視線の検出が可能であることを確認した。頭部の揺動に対する視線の誤差は５㎝以内に抑えることができた。

5. 結　　言

（１） 該 PC の瞳孔を検出するソフトウェアー内で、画素数および移動速度に比例するステッピングモータへのパルス数を計算する制御アルゴリズムを構築した。

（２） バイポーラステッピングモータに対する駆動シーケンスを発生させる PWM 電源内蔵の IC を用い、TTL オープンコレクタ出力されるパルス列を受信して、2 軸のステッピングモータドライバーを設計・製作し、パン及びチルト方向の姿勢制御に必要なサーボ機構を構成した。

（３） 衝撃を低減させる S 字加減速動作を付与し、パン及びチルト方向の合速度を制御速度とするクラス命令によってパルス列を発生させるボードを採用した。

（４） ステッピングモータによる、カメラを搭載するに十分な剛性を有し、制御に伴う振動によって自励振動が発生しないために十分な高固有振動数と減衰特性および幅広い体型の被験者に対して測定するための可動範囲を有するパン・チルト運動機構を設計・製作し、上記ソフトウェアー及び電子回路とともにサーボシステムを構築し、被験者の瞳孔を自動追尾するシステムを完成した。

これらを、模擬運転シミュレータとして総合的に動作させ、被験者の運転適性を判定するシステムを構築した。

# 高出力 YAG レーザを用いた溶接技術の研究
# （マグネシウム合金の溶接条件の研究）

平賀　仁*

Study on high power YAG laser welding

(Study on welding conditions of magnesium alloy)

by

HIRAGA　Hitoshi

**抄録**

Nd:YAGレーザ（以下YAGレーザ）は、優れたビーム品質を維持しながら高出力化が一段と進み、また光ファイバーを利用できるために加工の自由度が大きく、非常に注目されている。

しかし、高出力YAGレーザは、ここ数年で著しく進んだために、$CO_2$レーザを用いた加工技術と比較すると、その特性が十分に理解されておらず、今後の普及のためには、加工技術のデータベース化が急務である。本研究では、YAGレーザ溶接の系統的な技術蓄積のために、昨年度までの軟鋼、ステンレス鋼、純チタンおよびアルミニウム合金に引き続き、マグネシウム合金の最適加工条件データベース化を行った。

## 1.　緒言

近年実用合金上最も軽量であるマグネシウム合金の携帯情報機器や輸送機器への適用が進んでいる。

マグネシウム合金は最密六方構造であることから、室温での塑性加工性が著しく劣るため、主にダイカスト法などの鋳物によって作られており、溶接の検討は進んでいない。しかし近年ではプレス加工技術が大きく進展したため、展伸材の利用も進みつつあり、その場合には溶接技術はキーテクノロジーの一つとなる[1)]。

また大型構造物を作るには、ダイカスト材の溶接も一つの方法であり、そのデータベース化も重要である。

本研究では、6kW YAG レーザで展伸材 AZ31B およびダイカスト材　AZ91D を溶接し、溶接条件（レーザ出力、溶接速度）と溶接状態の関係を調査した。またプラズマの影響など YAG レーザと $CO_2$ レーザを比較し、その特徴を明らかにした。

*（株）レーザ応用工学センター技術部
（現(財)新潟県県央地域地場産業振興センター）

## 2.　実験方法

### 2.1　実験装置

供試材として、板厚が 0.5 mm,1.25 mm および 2.5 mm の展伸材 AZ31B と 1 mm、2 mm および 5　mm のダイカスト材　AZ91D を用いた。本研究で使用した 6 kW YAG レーザ装置の仕様を表 1 に示す。

**表1　6kWYAG レーザ装置仕様**

| | |
|---|---|
| レーザの方式 | ＭＯＰＡ(Master Oscillator Power Amplifier) |
| 発振波長 | １．０６μm |
| 平均出力 | ６．０kW以上 |
| ピーク出力 | １８kW |
| ビーム品質 | １００mm･ｍｒａｄ |
| 光ﾌｧｲﾊﾞｰ | ６００μm　NA０．１５ |
| 周波数 | ３０～５００Hz |
| 変調ﾃﾞｭｰﾃｨ | １００～４０%可変 |

レーザ発振器から出射された光は、光ファイバー（コア径 600　μm）を用いて伝送し、焦点距離 187 mm のリコリメートレンズで平行光にした後、同じ焦点距離のレンズを用いて集光して加工に用いた。従って焦点位置での

ビーム径は約 600 μm であり、焦点位置から ±2 mm 変化させてもビーム径は 1 割程度しか変化せず、深い焦点深度を持っている。また出力が高いと、焦点でのビーム径はわずかに大きくなるが、$CO_2$ レーザで見られたような焦点位置の変動はない。これはレンズ素材である石英の熱膨張係数が $1\times10^{-6}$ /K 以下と非常に小さいことが大きく影響している。

## 2.2　ビードオンプレート溶接

溶込み深さやビード形状などの溶接特性を調べるため、ビードオンプレート溶接を行った。溶接する面の酸化膜を予めステンレス鋼製ワイヤーブラシを用いて除去し、さらに全ての試験で溶接前に表面をアセトンで洗浄した。また焦点位置は、試験片の表面に設定した。またレーザ出力を 1～5 kW、溶接速度を 0.2～20 m/min の間で変化させて溶接した。またアルゴンガスをシールドに使用し、ノズル高さ 8 mm、直径 7 mm のノズルからガス流量 15 l/min でビームと同軸状に流した。

## 2.3　突合せ溶接

突合せ端部近傍の酸化膜をワイヤーブラシを用いて除去後、全ての条件で端部を十分にアセトン洗浄して、機械加工した端面を突合せて溶接した。レーザ出力を 1～5 kW、溶接速度を 0.5～20 m/min の間で変化させて調べた。シールドガス及び焦点位置はビードオンプレート溶接と同じ条件で試験した。シールドは、センターガスシールド以外にバックシールドも併用した。

突合せ溶接の評価方法は、溶接表裏面の外観観察、断面のマクロ観察、引張試験及び曲げ試験とした。引張試験及び曲げ試験は JIS に準じて行った。

## 2.4　重ね合せ溶接

試験片を 2 枚重ねてレーザ溶接を行った。レーザ出力を 1～5 kW、溶接速度を 0.5～16 m/min の間で変化させた。焦点位置及びシールドガスは突合せ溶接と同様とし、評価方法、主に溶接断面のマクロ観察とした。

ただし結果は、本報告からは割愛した。

# 3.　実験結果及び考察

## 3.1　ビードオンプレート溶接

展伸材 AZ31B のビードオンプレート試験による溶接条件と溶込み深さの関係を、図 1 に示す。

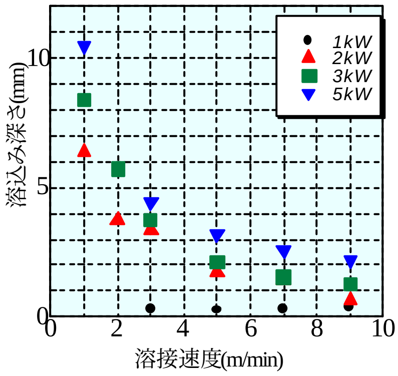
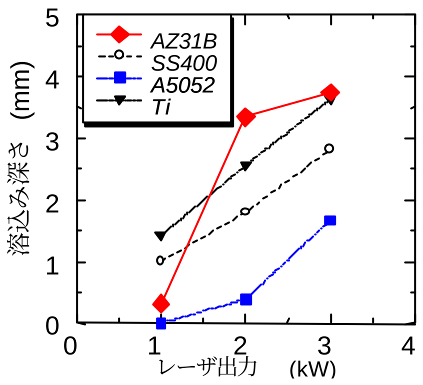



**図 1　AZ31B の溶接条件と溶込み深さの関係**

出力が 1 kW の条件では、溶接速度が遅い条件でも 0.2mm 程度の溶込み深さである。これはレーザビームが基材表面で殆ど反射されているためである。しかし、2 kW 以上あれば十分な溶込みが見られている。また溶接速度が 1m/min になると、急に溶込みが増えている。これは、レーザ照射部以外に伝わった熱が滞留し、また融点が低いために垂れ落ちたものである。またマグネシウム合金やアルミニウム合金など各種金属のビードオンプレート溶接による溶込み特性を図 2 に示す。




溶接速度: 3 m/min、ｼｰﾙﾄﾞｶﾞｽ :Ar 30l/min

**図 2　AZ91D と他の材料の溶込み深さの比較**

チタンや SS400 では、溶込み深さは出力が 1kW から増えると単調に増加するのに対して、A5052 や AZ31B では、あるしきい値を境界にして、溶込みが大きく変わり、特に AZ31B がその変化が大きい。これは、ビームの反射率はどちらも低いが、熱伝導率は AZ31B の方が低いことが影響しているものと考えられる。

またこのことは、AZ31B はアルミ合金に比べて出力の低いレーザでも、溶接が可能であることを示している。

### 3.2　突合せ溶接

AZ31B　板厚 1.25　mm の、突合せ溶接の溶接断面マクロ写真の一例を図 3 に示す。

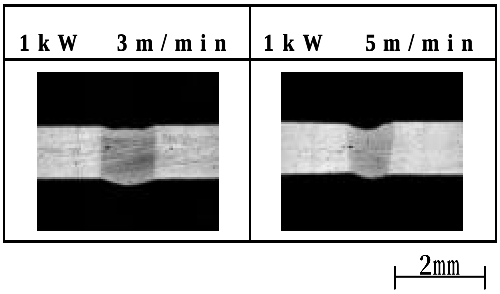



**図 3　AZ31B　1.25mmt 突合せ溶接のマクロ写真例**

また溶接条件と適正加工条件の関係をまとめた結果を図 4 に示す。

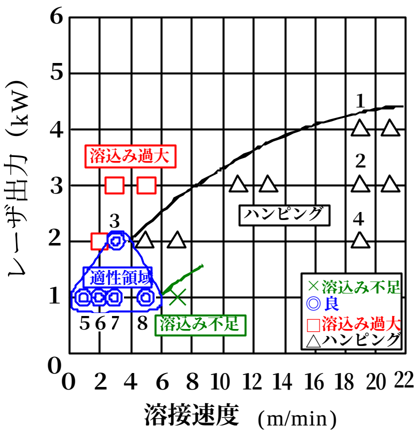



**図 4　AZ31B　1.25mmt の突合せ溶接の適正加工条件**

溶接線全体に穴や溶け落ちが発生しない、適正な条件となる領域が狭いが、レーザ出力 1 kW の時には、2〜5 m/min、2 kW の時には、3 m/min で良好な溶接となった。また速度が遅いと入熱が大きくなり、溶け込み過大となって溶け落ち、また速度が速いとハンピングビードが発生した。ビードは若干垂れ下がり、表面側では蒸発に起因すると考えられるアンダーフィルが発生した。

また AZ31B　板厚が 2.5 mm の溶接断面マクロ写真の一例を図 5 に示す。

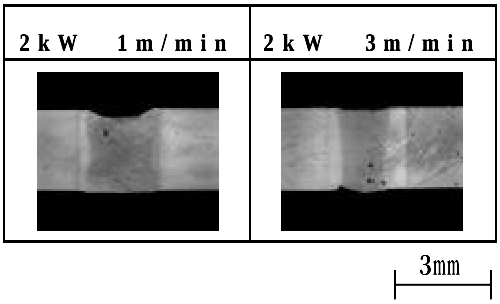



**図 5　AZ31B 2.5mmt　突合せ溶接のマクロ写真例**

また溶接条件と適正加工条件の関係をまとめた結果を図 6 に示す。

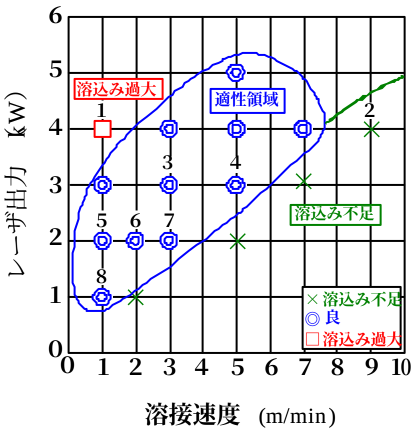



**図 6　AZ31B2.5mmt の突合せ溶接の適正加工条件**

アンダーフィルは溶接速度が速いと少なくなる事がわかる。また適正な領域は、板厚が 1.5 mm と比較して非常に広く裕度が大きいことが分かる。 また板厚が 0.5mm でも溶接試験を行ったが、パルス変調しない条件では、速度、出力、焦点外し距離などの条件を

変えたが、全て穴あきのビードとなり適正な条件は存在しなかった。

またダイカスト材　AZ91D 板厚 1.0 mm の、溶接断面マクロ写真の一例を図 7 に示す。

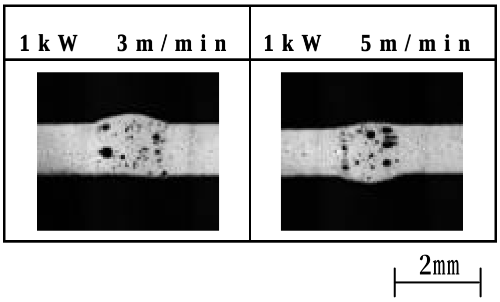



**図 7　AZ91D　1mmt　突合せ溶接のマクロ写真例**

また溶接条件と適正加工条件の関係をまとめた結果を図 8 に示す。

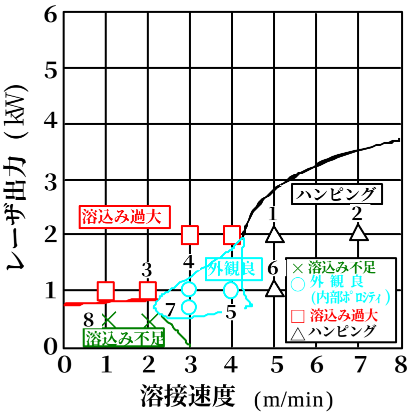



**図 8　AZ91D　1mmt の突合せ溶接の適正加工条件**

この場合、入熱（P/V）が低いと溶込み不足に、また大きいと過大となって、ビードに穴が開くのは展伸材と同様であるが、入熱上適正な条件下でも、溶接ビード内部に多数のポロシティが発生した。これはダイカスト材の製造時に混入した潤滑剤や離型材中の油分が加熱溶融で気化したり、製造時に巻き込まれた空気が膨張したものが主原因である。このようなポロシティの存在は外観上の膨れだけでなく、機械的な強度を低下させるため除く必要があるが、ダイカスト材の製造方法によって低減できることが分かっている。

また溶接金属中央部を横切る方向でのビッカース硬さ測定結果を図 9 及び図 10 に示す。

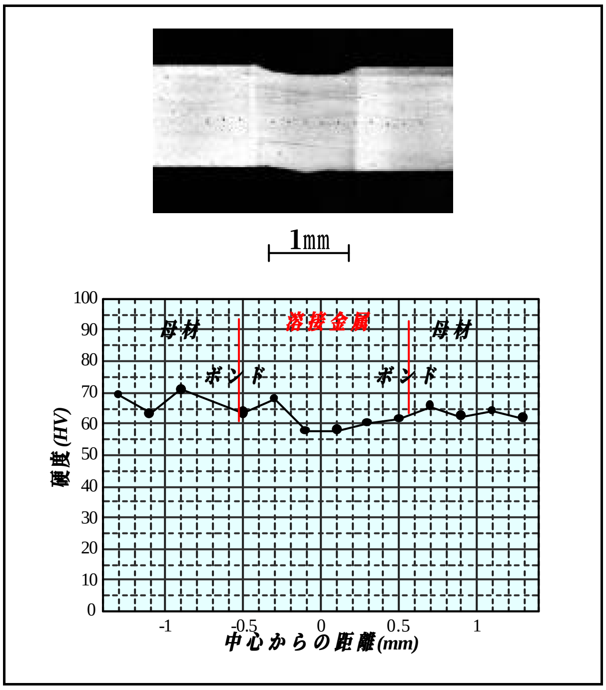



**図 9　硬度試験結果例　AZ31B　1.25mmt**
**（レーザ出力 2 kW、溶接速度 3 m/min）**

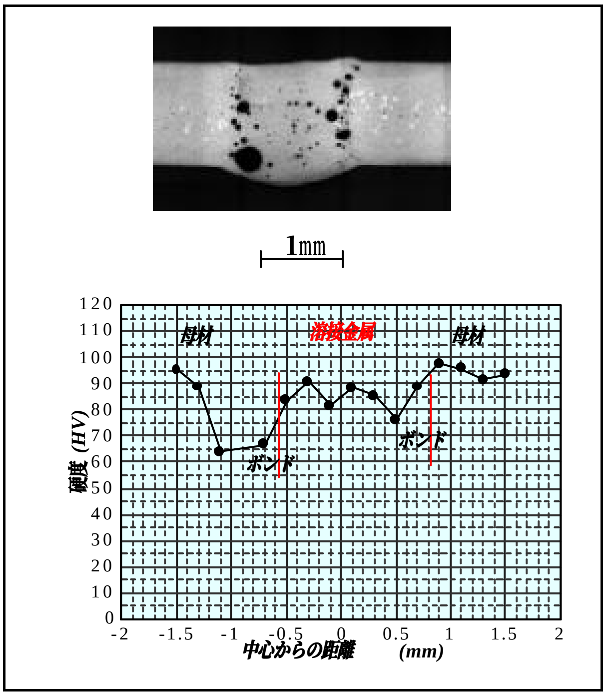



**図 10　硬度試験結果例　AZ91D　1mmt**
**（レーザ出力 1 kW、溶接速度 3 m/min）**

AZ31B の場合は、溶接金属と母材および

HAZ 部の硬さは殆ど差がなく、HV60 から 70 の間に分布する。一方 AZ91D では、母材の鋳造組織は硬度が若干高く（HV100 程度）ボンド部から HAZ にかけて硬度の低下が確認できる。

この一つには HAZ 部の粒径増大が影響しているものと考えられる。

次に使用するレーザ種類の影響を調べた結果を示す[2)]。シールドにアルゴンガスを用いて $CO_2$ レーザで突合せ溶接を行うと、表面への黒色微粒子の付着やビードの荒れ、裏面が溝状に掘れることが分かった。そこで、出力を 2 kW、速度を 3 m/min に固定してシールドガスを変化させて表裏面とビード断面の観察を行った。

図 11 に各種溶接条件での溶接ビード表面および断面を比較した結果を示す。

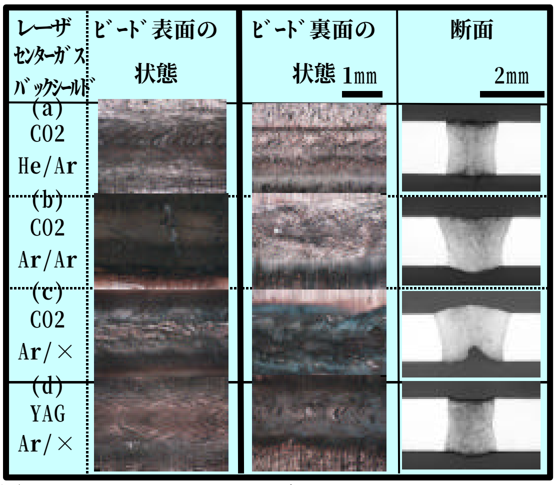
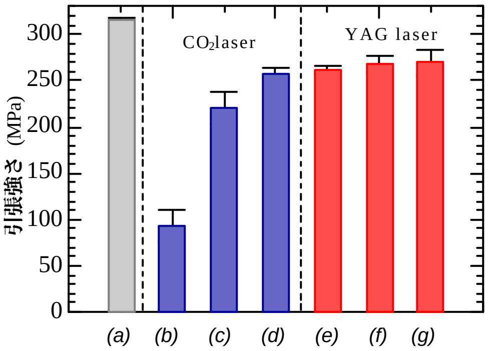



**図 11　$CO_2$ レーザおよび YAG レーザ溶接でのシールドガスの影響**

$CO_2$ レーザを用いた溶接では、(a)センターガスシールドに He、バックシールドに Ar を用いると、表裏面とも金属光沢およびリップルパターンが観察され、また、断面も若干アンダーカットが見られる程度で正常に溶接できた。しかし他の条件ではビードが変形し、特に(c)バックシールドを使用しないと、ビードが荒れて特に裏面側に深い溝ができる。断面写真によれば、この溝の深さは板厚に対して 1/3 程度とかなり大きい。しかし YAG レーザで同じシールド条件にすると(d)、リップルパターンの形成が確認でき、良好なビードを形成している事が確認できた。

次にシールド条件による機械的強度の差を調査するため、突合せ継手を作製し引張試験によって調べた。図 12 に結果を示す。




| Laser | base | $CO_2$ laser | | | Nd:YAG laser | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Center | metal | Ar | | He | Ar | | Ar |
| Back | | × | Ar | Ar | × | Ar | Ar |
| after | | × | × | × | × | × | Ar |

**図 12　シールドガスと引張強さの関係**

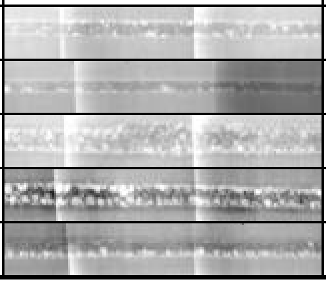
値は 3 本の平均値とした。$CO_2$ レーザではシールド条件、ビード形状に対応して引張強度が変化する。バックシールドがないと強度が低いのは、溝によって溶接断面積が減少したためと考えられる。また、センターガスが Ar と He で強度が異なるのは、プラズマが発生するほど高温場が広くなり、溶接金属の結晶粒径が大きくなるためと考えられる。

一方 YAG レーザでは、バックシールドの有無で 3%程度違うが、シールド条件にかかわらず安定した強度を示すことが分かった。

以上により $CO_2$ レーザによる溶接では、シールドガスと金属の、レーザ誘起プラズマによる影響が大きく、特に裏面ではプラズマ反力の影響によって、ビードに溝が掘られるため強度が低下する。一方、Nd:YAG レーザによる溶接では、プラズマ吸収が少ないためセンターガスには Ar で十分であり、また、バックシールドを行わなくても良好な溶接ビードが形成される。これは、$CO_2$ レーザ溶接と比べてシールドガスや金属がプラズマ化し難く、Mg 成分は気化して周りに拡がって気化ガスシールドとして溶接部の酸化を防止する

ためと考えられる。

次にダイカスト材の突合せ溶接部のポロシティの分布と引張強度を図 13 に示す。



| | 溶接条件 | 軟X線写真 10㎜ | 引張強度 N/mm² | 継手効率(%) |
|---|---|---|---|---|
| AZ91D 1.0mm t | 1 kW 3 m/min | | 150.4 | 64.2 |
| | 1 kW 4 m/min | | 151.7 | 64.8 |
| AZ91D 2.0mm t | 3 kW 3 m/min | | 106.6 | 45.2 |
| | 2 kW 2 m/min | | 97.4 | 41.3 |
| | 2 kW 3 m/min | | 136.7 | 57.9 |

**図13　AZ91D ポロシティと引張強度**

試験したどの条件でも継手効率で 40～50%とかなり低く、また継手破断した。またポロシティが多く、連続している場合ほど効率が低くなる傾向が見られた。

AZ31B の室温での曲げ試験では、殆どが溶接部で破断した。これはマグネシウム合金が最密六方構造のため母材においても滑り面が少なく塑性変形しにくいためであり、特に溶接部の強度が弱いことを示している。

### 3.3　パルス化による薄板突合せ溶接の検討

連続波 Nd:YAG レーザを連続波のままと、パルス化して溶接した場合の表裏および断面を図 14 に示す。

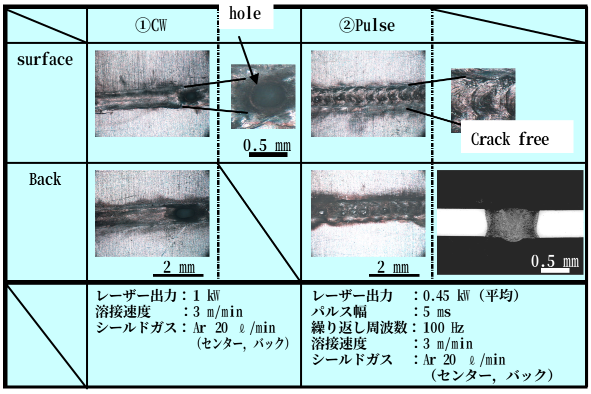



**図14　AZ31B　0.5mmt の突合せ溶接（パルス化の検討）**

連続波のまま溶接すると、①に示したように穴が部分的に空くか、部分溶込みとなり、適正条件が全く得られなかった。高速カメラで溶接現象を観察した結果、薄板になるほど溶融池の表面積が体積と比べて大きくなり、表面張力などの影響により穴が広がって、そのまま残留することが分かった。それを防止するにはレーザ光のオフ時間を作り（パルス化)、凝固を早め、溶融池が広がらないようにすることが重要である。②に連続波をパルス化して溶接したビード表面及び断面の例を示す。パルス変調しない場合と異なり、明確なリップルラインが観察され、また亀裂も存在しない。このときの引張試験の継手効率は母材と同等であり、破断伸びも 15%と良好な機械特性を示した。

## 4.　結言

高出力 YAG レーザを用いてマグネシウム合金の、突合せ及び重ね合わせ溶接を行い、溶接条件と溶接結果との関係を明らかにした。また $CO_2$ レーザとの溶接条件の比較を行い、シールドガスの影響を調べ、YAG レーザでは、溶接条件裕度が広いことを示した。今後展伸材の溶接構造やダイカスト材の大構造物など溶接の必要性が広がると考えられる。更なるレーザ溶接の技術の進展が重要である。

## 参考文献

1)K. Haferkamp, I. Burmester, N. Niemeyer, E. Doege and K. Droeder.: Innovative production technologies for magnesium light-weight constructions-Laser beam welding and sheet metal forming. Proc. Int. Symp. Automot. Technol. Autom. 30th, (1997) p247.

2)平賀仁、井上尚志、鎌土重晴、小島陽：Mg 合金薄板のレーザ溶接におけるレーザ波長とシールドガスの影響、溶接学会論文集、19, 4(2001) p591.

# マグネシウム合金等のリサイクル化の調査研究（第２報）

高野　格*　　田辺　寛*　　須貝　裕之*　　折笠　仁志*

Investigation and Study on Recycle Technique of Magnesium Alloy and other materials.

TAKANO Itaru,　TANABE Hiroshi,　SUGAI Hiroyuki and ORIKASA Hitoshi

**抄　録**

マグネシウム合金は、携帯電話やノートパソコン、ＭＤプレーヤーなどの筐体への利用が進んでおり、近い将来、これらの製品はマグネシウム合金板を使ったプレス成形品の採用が予想されることから、現段階からプレス成形の過程で発生するスクラップや端材を対象としたリサイクルを積極的に考えていく必要がある。そこで、本研究では、展伸材を中心としたマグネシウム合金のリサイクルの可能性について検討するため、マグネシウム合金の市中回収品を想定した溶解実験、連続鋳造スラブの製作、リサイクル圧延板の試作とその性能評価を行った。その結果、連続鋳造を行うことによって、欠陥のないスラブが作製可能であり、そのスラブより製作した圧延板もプレス加工を行う上で十分な成形能を有することを確認した。

## １　緒言

近年、携帯電話、ノートパソコンなどの筐体や自動車部品を中心に需要が拡大しているマグネシウム合金は、実用金属の中で最も比重が小さく、比強度、振動減衰性、耐くぼみ性においても優れた特性を有し、さらに、再溶解に要するエネルギーが小さいことから、リサイクル面でも注目を浴びている。現状のマグネシウム合金による製品のほとんどは、ダイカストやチクソモールディングにより製作されているが、後工程で手作業によるパテ埋めや研磨が必要となるために生産性が悪く、また、それらの製法では板厚の薄い成形に対して限界があると言われている。そのため、マグネシウム合金板を使ったプレス成形に対するニーズが高まっており、プレス加工が量産化に発展した場合、大量のブランクの端材やスクラップが発生すると予想されることから、現段階からマグネシウム合金のスクラップや端材を対象としたリサイクルを積極的に考えていく必要がある。そこで、展伸材を中心としたリサイクルの可能性について検討を行うため、マグネシウム合金の基礎的な溶解・鋳造試験、リサイクル圧延板の試作と評価を行った。

*研究開発センター

## ２　実験方法

### ２．１　実験材料

リサイクルの対象材料としては，マグネシウム合金の展伸材として最も一般的な AZ31B の圧延板を使用した。表面処理や塗装を全く行っていない材料をバージン材とし、市中回収品を想定した塗装材は、圧延板の片面に塗装を施して供試材として用いている。表１に供試材について示す。

### ２．２　溶解・鋳造方法について

昨年度の実験において、金型鋳造スラブを作製し、巣やピンホールなどの鋳造欠陥が発見されたことを受けて、今回の実験では鋳造方法を変更し、連続鋳造法を採用した。図１に連続鋳造法の概要について示す。連続鋳造においては、溶湯を湯だまり（tundish)から無底水冷鋳型（mold）に注入し、鋳型面から凝固殻層を形成させて、殻内に溶湯を

表１　供試材について

| | バージン材 | 市中回収品を想定した塗装材 |
|---|---|---|
| 材 質 | AZ31B | AZ31B |
| 板 厚 | 0.6mm | 0.6mm |
| 表面処理 | 無し | 無し |
| 塗 装 | 無し | 有り（プライマー+化粧塗装+クリア塗装） |
| 塗装膜厚 | ― | 80 μm |
| リサイクル材と合金インゴットの割合 | 60% | 3%～40% |

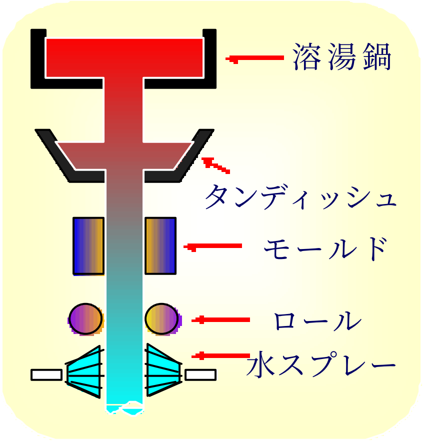



図１　連続鋳造について

図２　連続鋳造機について

注ぎ込み、やがて熱収縮により鋳型面との摩擦が減少するため、ロールによりインゴットを引き下げながら、層状に凝固させる。そして、鋳型下で冷却水スプレー等で完全凝固させる。連続鋳造法の特徴としては、

1．凝固偏析が少ない。
2．組織が均一である。
3．歩留まりが良く、大量生産に向く。

等が上げられる。

図２に今回使用した連続鋳造機の外観を示す。溶解には容量5kg のグラファイト製るつぼを使用し、るつぼは高周波により誘導加熱ができるような構造となっている。また、溶解の雰囲気はアルゴン雰囲気で行っている。図３に鋳造直後の製品を示す。鋳造後の製品寸法は幅 50mm ×高さ 5mm となっている。

## ２．３　圧延実験方法

金型鋳造スラブの圧延板材へのリサイクル利用に対する検討については、昨年度の研究で可能で

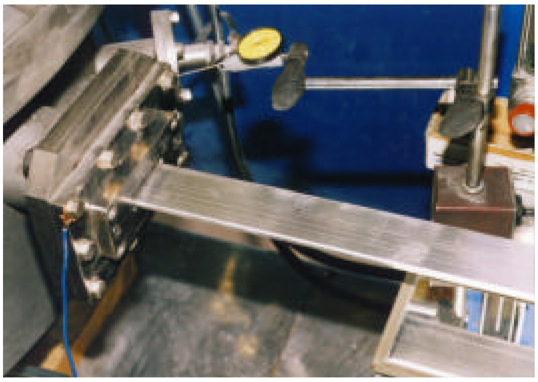


図３　鋳造後の製品

図４　圧延工程の概要

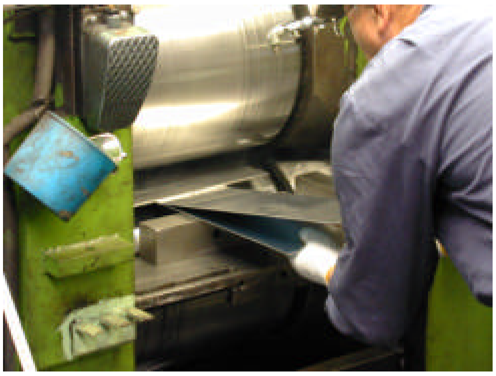


図５　圧延作業

あると判断された。今年度行った連続鋳造スラブに関しても同様に圧延を行い、板の性能評価を行うべく、圧延板の試作を行った。評価用試作板の板厚は 0.8mm とした。スラブ自体の板厚が 5mm と薄いため、圧延は、仕上げ寸法まで加工する二次圧延のみで行っている。圧延機は、2段ロール圧延機を用い、バッチ式電気熱処理炉により1パスごとに加熱して圧延を行った。圧延板の仕上がり寸法は、幅 200mm ×長さ 450mm 程度としている。図４に圧延工程の概要、図５に圧延作業を示す。

## ２．４　試作スラブの解析・評価方法

リサイクル材を使用して製作したスラブについて、X線透過観察、化学成分分析、金属顕微鏡による組織観察、硬さ試験を実施した。X線透過観察には㈱東芝製X線テレビシステム（EXS-150-4）、成分分析には㈱リガク製 ICP 発光分光分析装置(JOBINYVON JY138 ULTRACE)、硬さ試験には㈱ア

カシ製マイクロビッカース硬さ試験機（MVK-H2）をそれぞれ用いた。ビッカース硬さ試験においては試験荷重を 0.98N としている。

### ２．５　試作圧延板の解析・評価方法

リサイクル材を溶解して製作したスラブを使い、板厚 0.8mm まで圧延を行った板材について、表面目視検査、金属顕微鏡による組織観察、硬さ試験を行った。また、引張試験及び深絞り成形性試験による加工性の評価を行った。

引張試験は、圧延方向に JIS　Z　2201 による13B号試験片を採取し、精密万能試験機（インストロン社製）によりクロスヘッド速度 5mm/mim の条件で、室温から 225 ℃の温度範囲で行い、引張強さ及び破断伸びを求めた。

深絞り成形性試験は、油圧プレス（容量 200kN）に取り付けたプレス金型（パンチ径 40mm, ダイス穴径 42mm, パンチ先端及びダイス肩の丸味半径 4mm）により円筒深絞り試験を行い、限界絞り比 LDR を求めた。成形条件は、ダイス及びしわ押さえとも 150 ～ 250 ℃の温度範囲で行った。また、パンチ温度は 30 ℃、絞り速度については 約 2.5mm/s、しわ押さえ力は 19.6kN の一定条件で加工を行った。また、潤滑剤については、厚さ 0.05mm のテフロンシートをブランクの両面に使用した。

## ３　実験結果及び考察

### ３．１　スラブ試作結果

#### ３．１．１　表面状態およびＸ線透過観察結果

バージン材を用いて試作したスラブ表面の外観写真を図６に示す。スラブ表面にはオシレーションマークと呼ばれる凝固後に材料を送った痕跡が認められる。また、グラファイト製のるつぼから付着してきたと思われる黒色の斑点が各所に観察できたが、外観上、鋳造欠陥は確認できなかった。そこで、Ｘ線透過試験により、内部欠陥の有無を観察したが、明らかな欠陥は確認できなかった。

次に、市中回収品を想定した塗装材の鋳造実験結果について図７に示す。これは、塗装材を20%溶解した後、るつぼ中に凝固した塊を示す。 このように塊には塗装材の主成分であるカーボンが溶湯中に分散して、マグネシウム溶湯と分離せず、

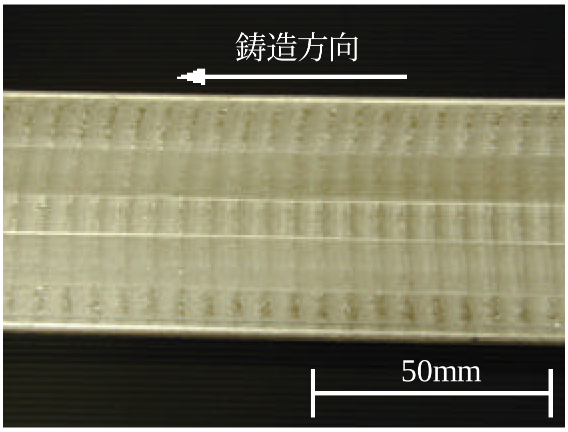



図６　バージン材の外観

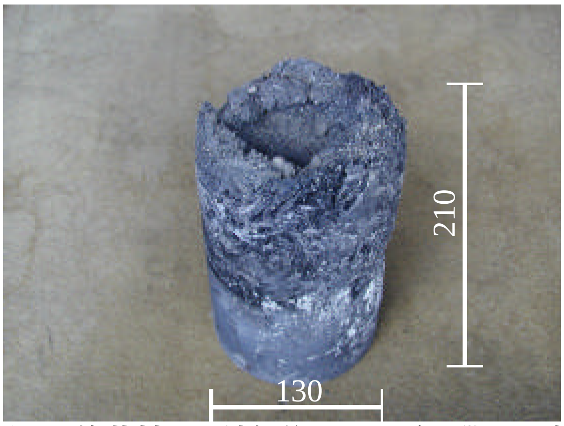



図７　塗装材 20%溶解後にるつぼに残った塊

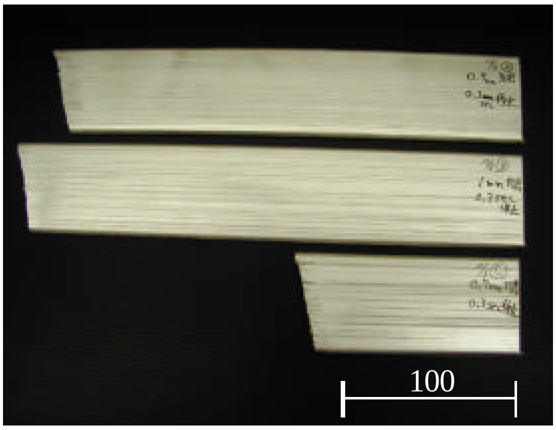



図８　鋳造途中で破断したスラブ

事実上、鋳造は不可能であった。そこで、塗装材の成分をバーナーで燃焼除去した後に、リサイクル材を 3%溶解して、鋳造した例も図８に示すが、連続したスラブは作製できず、途中破断した。このように、市中回収品を想定した塗装材については、塗装材の完全除去と溶湯の十分な精錬が必要と考えられる。

#### ３．１．２　化学成分分析結果

表２にバージン材を使用したスラブから採取し

表２　バージン材スラブの化学成分分析結果

| | Al | Zn | Mn | Fe | Si | Cu | Ni | Ca | C | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| バージン材 | 3.04 | 0.97 | 0.27 | 0.006 | 0.012 | 0.004 | 0.002 | 0.0004 | 0.0005 | Bal. |
| JIS H 4203 MP1 (AZ31相当) | 2.5 〜 3.5 | 0.5 〜 1.5 | 0.15 以上 | 0.010 以下 | 0.10 以下 | 0.10 以下 | 0.005 以下 | 0.04 以下 | — | Bal. |

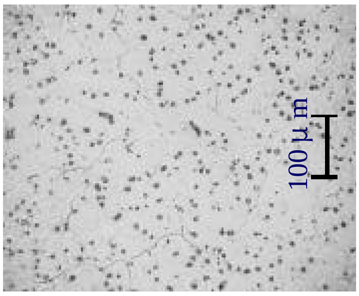


図９　バージン材スラブの金属顕微鏡写真

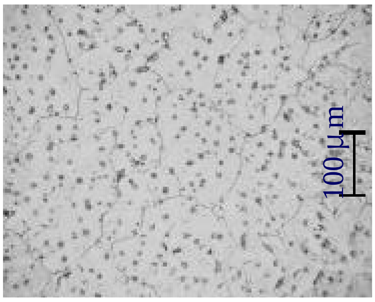


図１０　塗装材スラブの金属顕微鏡写真

たサンプルの化学成分分析結果を示す。表中にJIS H 4203によるMP1（AZ31相当）の化学成分規定値を併せて示すが、JIS規格により定められている値を満足している。今回の試作において、AZ31Bリサイクル材およびAZ31B合金インゴットを素材に用いることで、他の成分を添加して成分調整を行うことなく、化学成分規格内のリサイクルスラブを製作することが可能だった。

### ３．１．３　組織観察・硬さ試験結果

図９から図１０に試作したリサイクルスラブの金属顕微鏡による組織観察写真を示す。図９はバージン材、図１０は塗装を燃焼除去した材料によるスラブ（以下塗装材）を示している。両者とも内部組織は、マグネシウム合金特有の典型的な鋳造組織を呈しているが、塗装材スラブの方が$Mg_{17}Al_{12}$の化合物相が若干多いように見える。バージン材の観察断面には、金型鋳造スラブに観察されたような欠陥は確認できなかったが、塗装材についてはポロシティが若干見受けられた。バージン材のスラブの硬さは、45 〜 54(Ave.49)HV0.1であった。

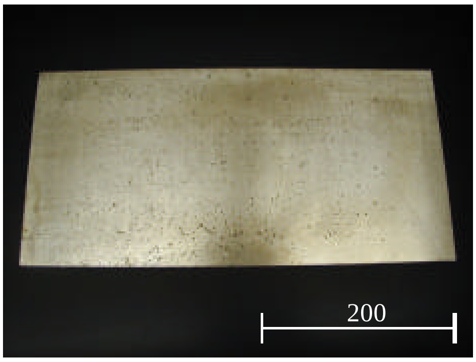


図１１　圧延板の外観

図１２　残留グラファイト

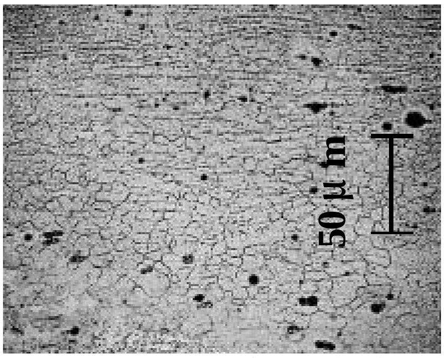


図１３　圧延板の金属顕微鏡写真

## ３．２　圧延材試作結果

### ３．２．１　表面および組織観察・硬さ試験結果

図１１に作製した圧延板を示す。圧延板の表面性状としては、グラファイトの付着したままのスラブを圧延したことから、黒色の斑点状に残留グラファイトが認められた（図１２）。これらは、圧延前に予めスラブを面削するか、圧延後にウェットブラスト等の物理的剥離を行えば、除去可能である。

圧延材焼鈍後の金属顕微鏡組織を図１３に示す。結晶粒径20μm程度の焼鈍組織が得られている。

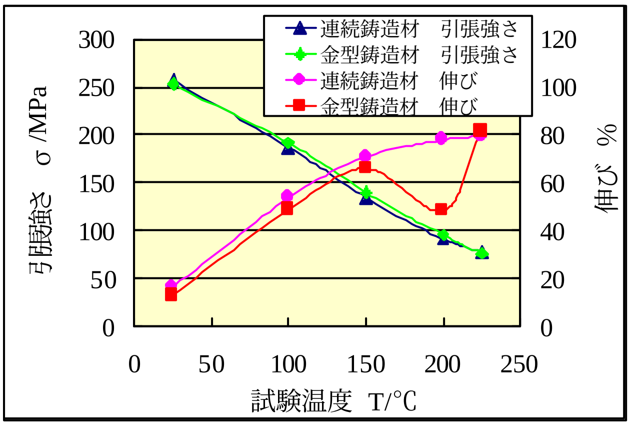



**図１４　スラブ別の引張試験結果**

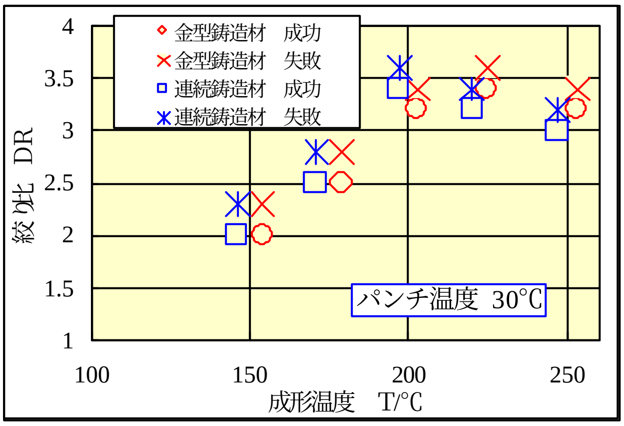



**図１５　スラブ別の深絞り成形性試験結果**

圧延材の硬さは，53 ～ 62（Ave.57）HV0.1 であった。

### ３．２．２　引張試験結果

図１４に今回試作した連続鋳造スラブを圧延した板材について、試験温度を変化させた場合の温度と引張強さ及び伸びの関係を示す。比較対象として、昨年度実験した金型鋳造スラブを圧延した材料の試験結果を同グラフ中に併せて示した。連続鋳造スラブの圧延板の引張強さは、試験を行った温度域において、金型鋳造スラブの圧延板とほぼ同じ値を示した。また、破断伸びについては、金型鋳造スラブによる圧延板は、昨年度の実験結果から 150 ℃以上の領域において不安定な傾向が認められたが、連続鋳造によるスラブを圧延した材料については、室温から 225 ℃までの温度域において安定した伸びが得られた。これは、スラブ自体が欠陥のない安定したものになったことが理由として考えられる。

### ３．２．３　円筒深絞り成形性試験結果

深絞り成形性試験の評価としては、限界絞り比(LDR)で行っており、その結果を図１５に示す。絞り比(DR)とは、素材ブランク径をパンチ直径で割った値で、絞り比が大きいほど絞りやすいと言えるが、図１５によると連続鋳造スラブを使った圧延板の絞り加工性は、成形温度 200 ℃において限界絞り比3.4が得られており、昨年度実験を行った金型鋳造材と同等の成形能を有することが確認された。また、金型鋳造スラブを使った圧延板は、成形温度 225 ℃において最大の限界絞り比が得られていることから、連続鋳造材を使った圧延板は、より低温側から成形可能であることが確認された。

連続鋳造材を使った圧延板は、引張試験で安定した結果が得られており、深絞り成形性については、金型鋳造スラブを使った圧延板と同等の限界絞り比が得られていることから、表面性状に大きく課題を残す金型鋳造スラブによる圧延板とは異なり、プレス加工用圧延板としてのリサイクルに対し十分な可能性があると考える。

### ４　まとめ

(1)マグネシウム合金のリサイクル材を使った連続鋳造スラブを作製し、リサイクル圧延板の試作を行った。

(2)市中回収品を想定した塗装材の溶解・連続鋳造においてすべての条件で鋳造が不可能だった。

(3)連続鋳造スラブを使用したバージン材の圧延板において、絞り性は限界絞り比で LDR3.4 と非常に良好であった。また、引張試験の結果、金型鋳造材と異なり高温域においても安定した伸びが確認された。

また，今後の課題として以下の項目があげられる。

(1)市中回収品（塗装材）の溶解において、精錬工程を加えた場合、連続鋳造が可能であるかどうか。

(2)塗装を低コストで完全剥離する方法（薬剤，物理的剥離）

### 参考文献

1)日本マグネシウム協会：第２回マグネシウムプ

レス成形セミナーテキスト，p.1（2001.3.8）
2)石元：2000 マグネシウムマニュアル，日本マグネシウム協会，（2000）
3)新潟県工業技術総合研究所：工業技術研究報告書，p39 ～ p43，No.30，（2001）

# エコデザイン（環境配慮型設計）による商品開発研究

小奈　一雄*　　山岸　達夫*　　畔上　正美*　　橋詰　史則*

A Study for Develop New Products by ECODESIGN

ONA Kazuo, YAMAGISHI Tatsuo, AZEGAMI Masami and HASHIZUME Fuminori

抄　録

地球環境問題への取り組みが世界的に活発となってきた中、本県産業にとっても環境対応化は大きな課題である。そこで環境に配慮した商品づくりの基盤となる研究を実施することにより、県内生活関連産業の環境対応商品開発体制づくりの支援を目的とする。

## 1．緒言

地球環境問題への取り組みが世界的に必要との認識が定着してきた。我が国の産業も、今後の世界市場での最優先課題として取り組みを進め、仕入先や協力先にも積極的な環境対応を求めるようになってきている。

本県産業にとっても環境対応は市場に生き残る必須条件であると同時に市場創造にもつながる力を秘めている。本県産業が環境対応活動をどのように進めていけば負担が少ないか、そして更には次代の活力づくりに活用できるか、そのノウハウ開発と活動計画の策定を目標に本研究を実施した。（図１）

今年度は環境対応動向の把握を主な目的とし、情報収集、分析から課題を抽出し、これからの活動の方向性を定める指針づくりまでを行った。それら成果をまとめた冊子「環境対応デザイン開発の視点分析 2001」を作成した。

＊　：デザインセンター

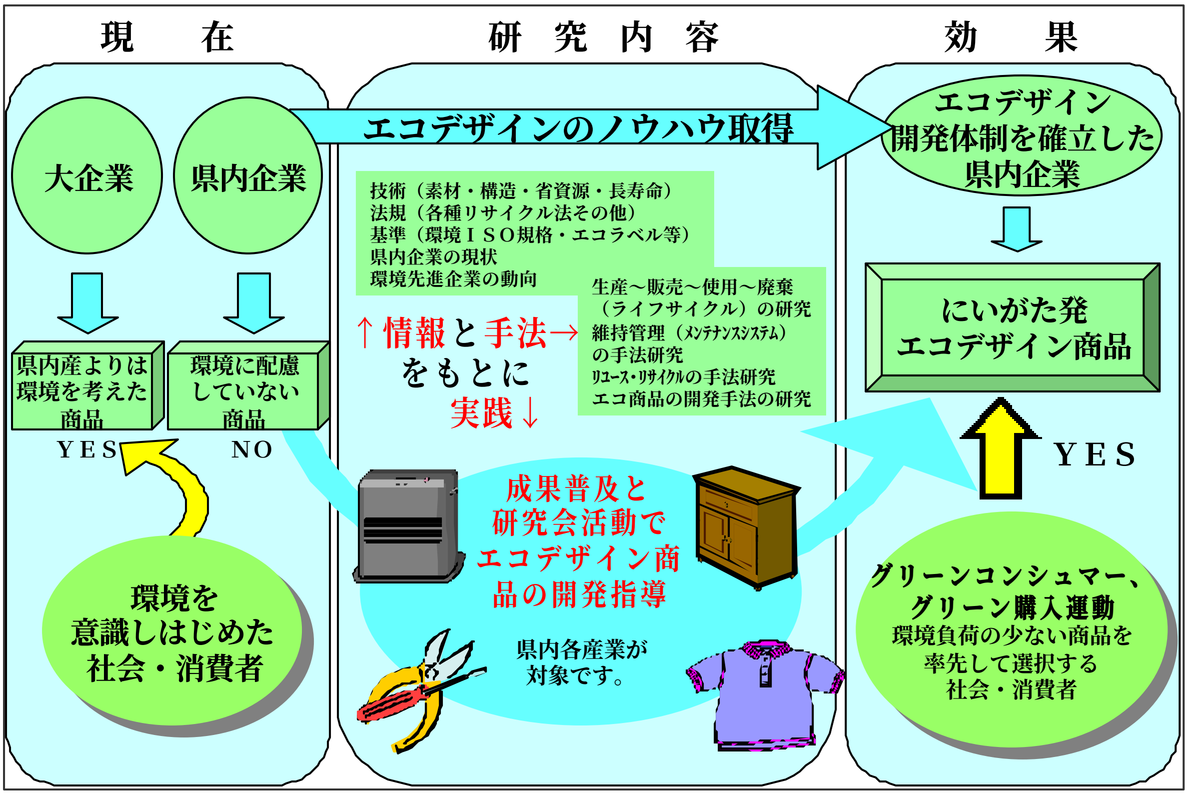



図１　本研究の内容と効果

## ２．研究内容

### ２．１　情報収集

今年度の主な目的である環境対応動向の把握のため、情報収集を重点的に行った。収集情報を以下に示す。

（１）　ＥＬ情報（全国新聞記事見出し情報）からの環境関連記事
（２）　県内新聞記事からの環境情報
（３）　環境関連新聞記事（インターネットから）
（４）　環境対応商品事例（インターネット、雑誌、カタログから）
（５）　エコデザイン表示事例（カタログから）
（６）　エコラベル事例（インターネット、雑誌、カタログから）

### ２．２　県内企業実態ヒアリング調査

研究を開始するにあたり、県内企業の実態調査として「衣」「食」「道具」「空間」の４分野生活関連企業２０社にヒアリング調査を行った。

### ２．３　研究会活動

ヒアリング調査以外にも企業担当者から意見を聞き、上記収集情報を還元する場として研究会を３回行った。

## ３．環境活動の評価・分類フレームの設定

２．１～３で示した活動により収集した情報を用いて分類・分析を行った。環境活動は「人類にとって、これまでの産業成果・生活成果を維持しつつ、新しいシステムを構築していく活動」と、創造的に捉えることが必要である。（図２　選択肢１方向）そのため、環境活動を「自然」と「社会」の２軸で捉え、それぞれ「保全・維持」「再生・育成」「創造」という３つのレベルで分類し、９つの項目を設定した「環境活動の評価・分類フレーム」（図３）を設定し、このフレームに則って分類・分析し課題を抽出、方向性策定を行った。（図４）

## ４．環境対応活動の長期動向分析

### ４．１　環境対応活動の記事件数とテーマの変化

環境対応活動は１９９７年の地球温暖化防止京都会議を契機に、公害防止という消極的対応から、より良い環境をつくるという積極的活動へ変化し、企業の取り組みが飛躍的に増加した。内容的にも段階的に変化している。ここでは２．１（１）ＥＬ情報を基に分析している。（図５）

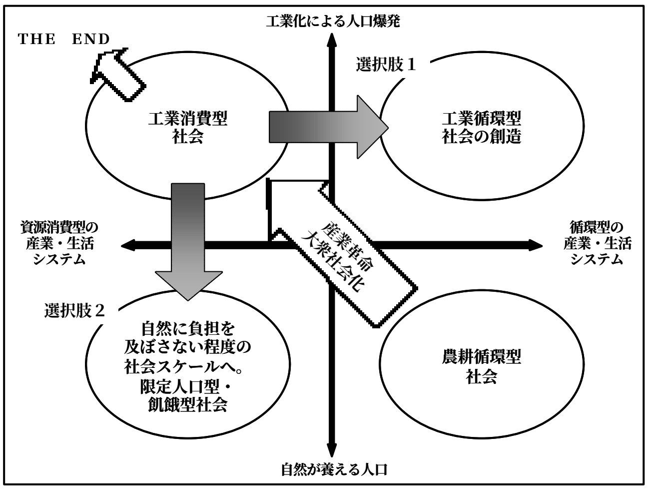



図２　環境活動の創造的視点

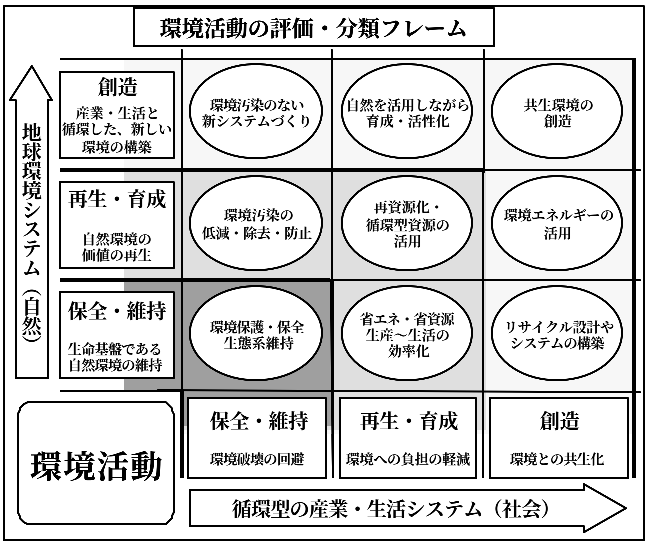



図３　環境活動の評価・分類フレーム

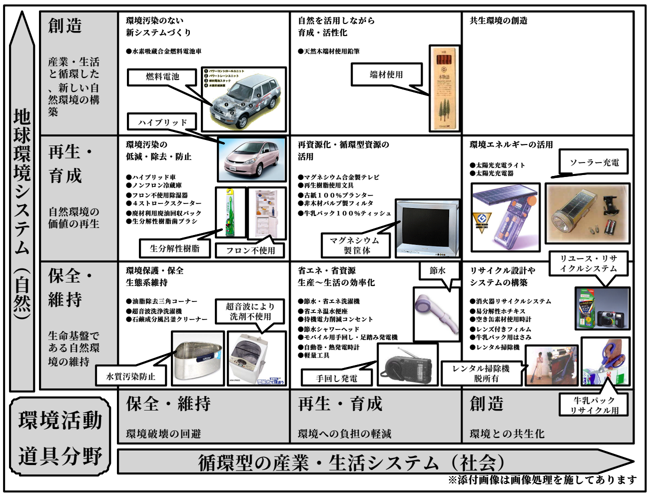



図４　フレームによる情報分析事例

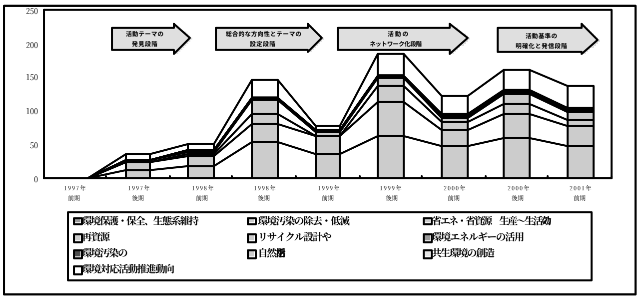



**図５　記事件数とテーマの変化**

## ４．２　各年代の動向特性

１９９７年から２００１年までの環境対応活動の具体的な活動項目とその特徴を半期ごとに抽出した。（図６）

⑧２００１年前期の動向概要

■環境対応活動の高度化と、リサイクルも含めたシステム化・ネットワーク化が重要なテーマとなり、個別企業での解決よりも企業グループや企業間分業が広がっている。また環境対応が企業の評価に大きく関わるようになり、企業は環境対応活動の情報発信を始めるようになってきた。そのため環境対応を行う余力の少ない中小企業や産地企業は、企業連合や地域ネットワークでの活動とユーザーへの情報発信を進めるように動き始めている。
■生活者にとっても、環境対応商品は特別なものではなくなり、環境対応商品の中での品揃えや質的向上が求められるようになってきている。

保全・維持に貢献する活動
●生命基盤である自然環境の維持
●環境破壊の回避
◎環境保護・保全、生態系維持
環境対応型農薬に期待　拮抗作用に着目　微生物や抵抗性誘導を活用

再生・育成に貢献する活動
●自然環境の価値の再生
◎環境汚染の低減・除去・防止
淀川製鋼所　環境対応型の高耐食性塗装鋼板発売
本田技研　環境対応の９８ｃｃ汎用エンジン発売
北九州博覧祭２００１展示館に環境対応素材
富士重工業　レガシィ一部改良し発売　最新規制上回るクリーン化　全機種で実現
不二越　環境対応型製品を強化　ドライ加工向け軸に　売上比率３０％目指す
日本ペイント　微粒子粉体塗料で特許取得、市場拡大に弾み
日本ペイント　汎用塗料の環境対応加速　建築用水性化率８０％へ
日本ケミコン　鉛フリーとＰＳシリーズ　機能性高分子コンデンサーを充実
塗料製品の環境対応　木工用でも待ったなし　シックハウス対策など定着　ラインプロセスの水系転換も
滝沢鉄工所とハクスイテック　環境対応ＮＣ旋盤装置開発　潤滑油に水と植物油　工具寿命も３倍
大日本印刷　環境対応型化粧板、シートを開発
大日本インキ化学工業　特殊紙向け大豆油インキ　ＶＯＣフリー実現　フラッシュ製法応用
大谷塗料　環境対応型の木工塗料開発　溶剤系しのぐ仕上げ感
多木化学と住友精化　高分子凝集剤　環境対応型の新製品　水系で高分散性
石川県工業試験場　綿織物の収縮率低減　環境対応の新技術
神東塗料　環境対応製品を拡充　米デュポン・パフォーマンス・コーティングス製　水系塗料を投入
神戸製鋼　新ソリッドワイヤを開発　炭酸ガス発生を３０％削減
神戸製鋼　環境対応型の新溶接材料　松下溶接システムに技術供与
松下電子部品　環境対応スピーカー開発　クロム、鉛フリーを実現
住友金属工業　鉛フリーのクランクシャフト　トヨタ自動車に本格納入
住金物産　アスファルトコンクリート用　付着防止剤を発売　米国社から販売権取得　大豆原料の環境対応型
鹿島プラント　環境対応型「簡易トイレ」開発
三洋電機産機　業務用冷凍・冷蔵庫　「Ｆシリーズ」発売　“新世紀の食”に対応
三洋化成工業　ホットメルト接着剤　新製品拡販へ分社　環境対応型前面に
荒川化学　環境対応製品を拡充　光硬化型、水性ポリウレタン樹脂　小名浜に新設備
古河電工が絶縁テープ開発　非塩ビ系で環境対応
建築物向け弱溶剤塗料　基準整備求める声強く　環境対応で製品開発活発
共和レザー　熱可塑性樹脂シート　能力倍増　環境対応、塩ビから転換
京都大学化学研究所　フッ素、鉛フリーの低融点ガラス開発　電子部品の環境対応に貢献
技術研究組合　環境対応型船用ガスタービンエンジン　開発は最終段階に　１０月に組立て、作動確認
宇治電化学工業　環境対応型の芝刈り機用研磨材発売
旭化成と住友スリーエム　フッ素系洗浄剤　工業用に販売　環境対応で洗浄力６倍
ローディアジャパン　防錆水処理剤　重金属フリー型販売　化審法に登録
バンドー化学　コンベヤーベルト接着剤　環境対応型を開発　溶剤に非ハロゲン系
トピー工業　前処理で「ノンクロム処理工法」　新アルミホイールに高評価
ジャパンエナジー　ＰＯＥ使用の冷凍機油　空調用に展開
サンユーペイント　環境対応塗料に力　建材・木材内外装向け脱ＳＭなど積極投入
サンノプコ　植物油系消泡剤で攻勢　環境対応塗料に照準
サンコールの工場　設備　環境対応型に改良

**図６　各年代の動向特性事例**

## ５．環境対応活動の変化と本県産業の課題抽出

各年代の動向を見ていくと環境対応活動は総合的なシステムづくりや活動ネットワークづくりの段階に至っている。本県にとってもそれらを視野に入れた活動方針の確立が課題となる。ここでは長期動向分析から得られた動向を評価・分類フレームの９つの項目ごとに整理し、本県にとっての課題を抽出した。（図７）

■全体的な課題
環境対応活動は総合的なシステムづくりや活動ネットワークづくりの段階に至っています。各企業の個別の活動推進も必須ですが、現段階では「生活空間・道具・衣・飲食」の分野には分けずに、地域として総合的な活動づくりに取り組むことを視野に入れた活動方針を確立していくことが望ましいと考えられます。

■活動視点
○各企業が生産や製品、物流など、多様な活動を環境視点で見直すチェックリストの作成と、チェック活動の推進を図る。
○チェック活動の結果を集積し、県としての個別的課題の把握と解決の基本資料とする。
○県としての戦略的ネットワークや情報発信など、総合的なシステムとしての競争力育成目標を明らかにし、実践に結びつけていく。
○例えば空間や道具、飲食の包装材などの共同のリサイクルシステム開発や省エネ評価マークづくり、新潟とアジアの環境NPOのネットワーク化など、地域でなくては出来ない活動や地域だから評価される活動とシステム育成を検討していく必要があります。

①保全・維持に貢献する活動の特性と課題
●生命基盤である自然環境の維持
●環境破壊の回避
◎環境保護 保全、生態系維持
★海外植林活動の推進
★化学肥料などに環境保全の配慮
★透水性舗装による環境・生態系保全
★環境保全に役立つ資材の研究開発
★環境保全型施工技術の開発／中部空港　しゅんせつ土砂固めながら埋め立て
★緩効性やコーティング型など、化学肥料の環境対応への改質
★生物利用環境対応肥料の基盤技術開発　資材化方法など課題
★魚の学習機能を利用した環境対応／高感度給餌装置　残餌がなく環境対応
★メンテサービスへ環境対応サービスの導入／フロン回収など
★環境対応型農薬に期待／微生物や抵抗性誘導
★屋根材の屋上緑化システム化

■環境保護・保全、生態系維持に関わる課題
◎環境保護活動は産業の活動としては少ない。
企業活動と直接リンクしにくいことが要因と考えられるが、地域に根ざす本県産業としては、地域の環境保護と連携した企業活動づくりが効果的と考えられる。
例えば、
★地域の特性を生かし、緑の百年物語などの活動と連携した企業アピールや製品とサービス開発、活動発信を推進する。等。

◎自然環境の新たなる価値づくりの動向はないが、地域型産業が先行できる分野として推進していくことが望ましいと考える。
すなわち、
★観光や公園、環境レジャー開発との連携のモデル的推進が必要。

◎農業や漁業環境に関わる動向は基幹的な環境課題として今後最も重要なテーマになっていくと考えられる。食資源の豊かな本県にとっても大きな課題であり、地域の産業にとっては、連携していくべき資源と考える。
すなわち、
★地域産業が、農林水産環境の維持・再生に関わる仕組みづくりが課題。

**図７　本県産業の課題抽出事例**

## ６．環境対応活動の方向性指針

４及び５から得られた動向、課題を踏まえ、本県の環境対応活動の方向性を抽出し、指針として提示した。（図８）

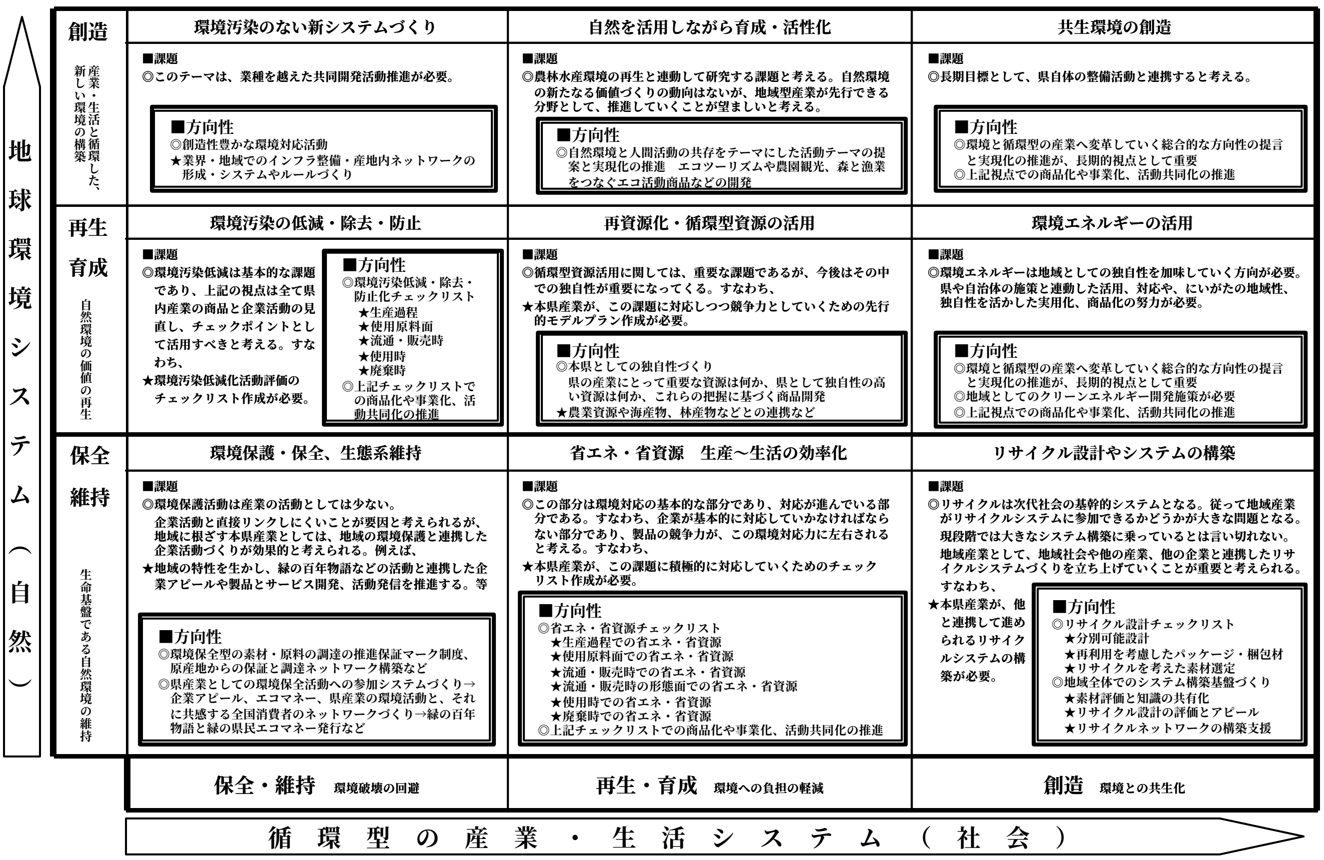



図８　環境対応活動の方向性指針

## ７．環境配慮型設計の開発計画

これまでに抽出してきた環境対応活動の課題に対し、本県の産業はどのような視点で活動を行っていけばよいのか、その視点で整理をした。

### ７．１　全県的な環境対応活動の必要性

本年度の調査で明確になったのは、にいがた地域として総合的な活動が必要であり、想定される項目を提示した。（図９）

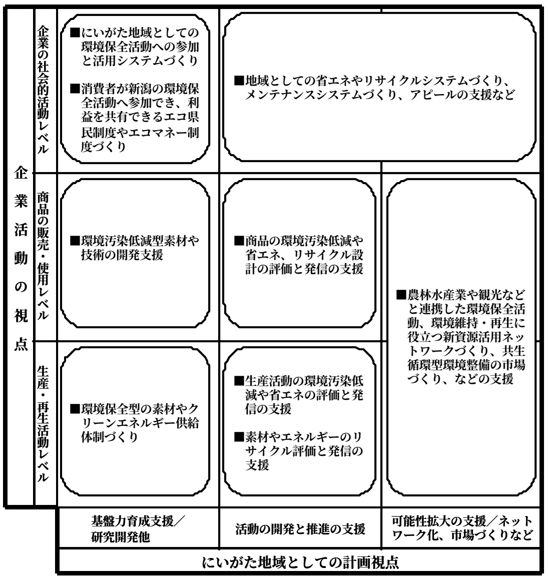



図９　活動計画フレーム

### ７．２　新潟県産業の活動課題とデザインセンターの活動計画案

企業活動の各段階で想定される課題を抽出し、そのための研究計画フレームを示した。（図１０）図の◎表示部分が当センターで支援可能な研究内容である。

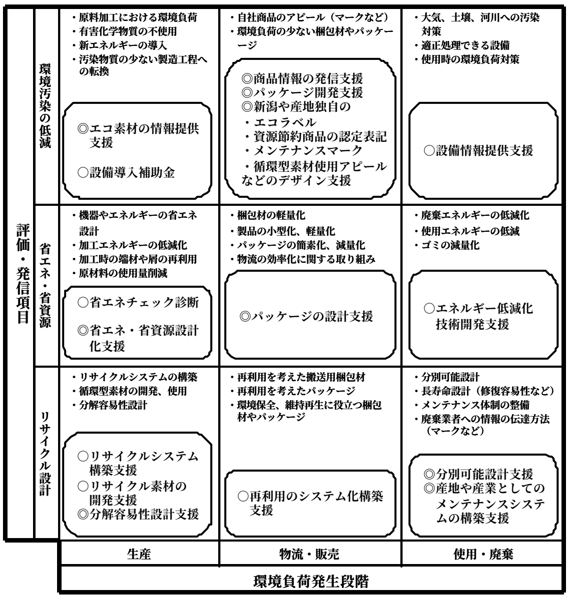



図１０　研究計画フレーム

## ８．チェックリスト案

チェックリスト案（図１１）は、環境配慮型設計を進めるためのツールとして使用してもらうことを目指して提案した。①生産面、②物流・販売面、③使用・廃棄面、④企業活動や製品の情報発信、の４項目についてポイントを記入し、自社の現状把握と課題抽出を行ってもらう形になっている。実際の使用にあたっては、評価項目やチェック方法は業種や商品に相応しい形に置き換えながら活用する必要がある。

## ９．まとめ

今年度は環境対応動向の把握を主な目的とし、情報収集、分析から課題を抽出し、これからの活動の方向性を定める指針づくりを行った。

今回提案する指針とチェックリスト案により、各産業、各企業が環境への取り組み体制や環境活動方針の確立に活用できるよう普及に努めたい。また、次年度以降、具体的なチェックリストを構築していく予定である。


## １０．謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導、ご助言をいただいた株式会社環境構造研究システムの中村正樹氏及び、横浜国立大学大学院環境情報研究院長の鈴木邦雄氏、そして研究遂行にご協力いただいた企業の皆様に深く感謝申し上げます。

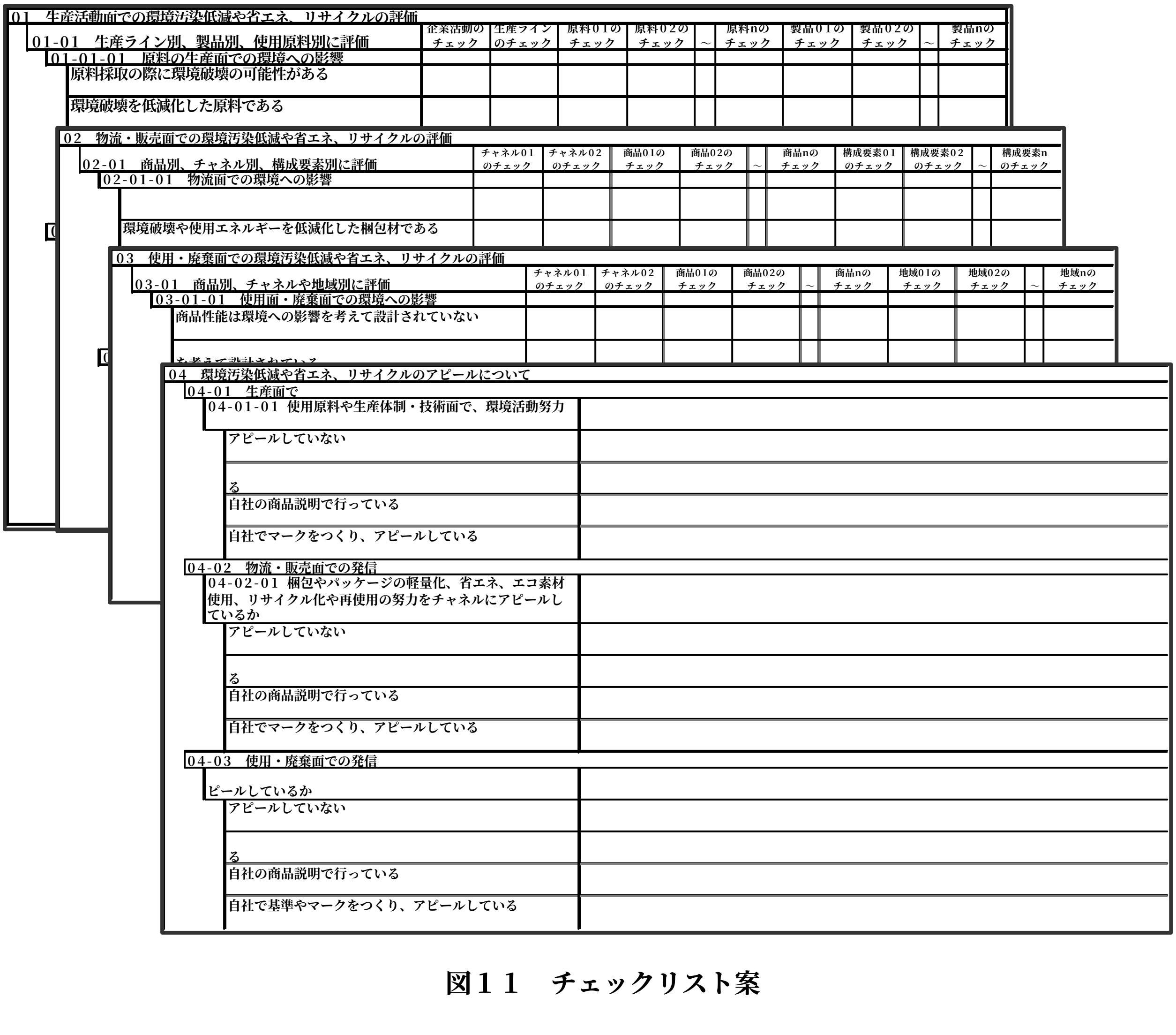




図１１　チェックリスト案

# ＤＳＰ　の利用技術の研究

長谷川　直樹[*]　　五十嵐　晃[*]　　松本　好勝[*]

Study of technology for using DSP

by

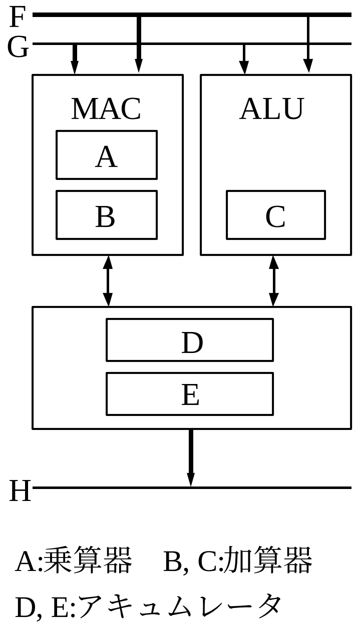
HASEGAWA Naoki[*], IKARASHI Akira[*] and MATSUMOTO Yoshikatsu[*]

**抄録**

DSP の製品への応用に役立てる目的で、その特性について評価を行った。ディジタルフィルタのアルゴリズムを DSP にプログラミングし、動作の検証を行った。汎用の CPU とのパフォーマンスの比較を行った。

## 1.　緒言

近年のディジタル携帯電話に代表されるようにディジタル通信、マルチメディア関連製品の普及は著しい。それらはいずれも大量のディジタルデータを高速に処理する技術を必要とするのが特徴である。




A:乗算器　B, C:加算器
D, E:アキュムレータ
F, G:バス（読込）
H:バス（書込）

**図 1　DSP の構造の例**

DSP(Digital Signal Processor) は高速乗算器、ハーバード型アーキテクチャ、データ・アドレス計算ユニット等を基本アーキテクチャとし、CPU などの汎用プロセッサに比べ、ディジタルフィルタなどに多用される積和演算処理により適したものとなっている（図 1）。そのため、リアルタイムでのディジタル信号処理において高速化を図ることが可能となる。この特徴から前出のディジタル携帯電話等、その利用場面が急速に拡大している。

今回は基本的なディジタルフィルタの問題に応用し、そのパフォーマンスについて調べた結果について報告する。

## 2.　ディジタルフィルタについて

従来からノイズ対策に用いられてきたアナログフィルタは実際の素子を用いることによる値の経時変化などが問題となる場合がある。そのため半導体を用いたディジタルフィルタが注目されている。

フィードバックパスを持つ IIR フィルタとフィードバックパスを持たない FIR フィルタとに分けられる。

[*]下越技術支援センター

(1)FIR フィルタ

式

$$y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + a_2 x_{n-2} \qquad (2.1)$$

で表される処理は FIR フィルタの一種である。回路は図 2 のようになる。

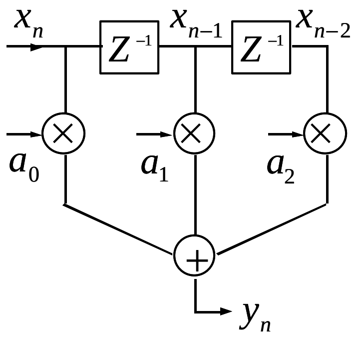



図 2　FIR フィルタの例

ここで $a_0$, $a_1$, $a_2$ は定数、$x_n$ は現在の信号の入力値、$x_{n-1}$, $x_{n-2}$ はそれぞれ 1 つ前、2 つ前の信号の入力値、$y_n$ は出力値である。

(2) IIR フィルタ

式

$$y_n = a_1 y_{n-1} + a_2 y_{n-2} \qquad (2.2)$$

で表される処理は IIR フィルタの一種である。回路は図 3 のようになる。

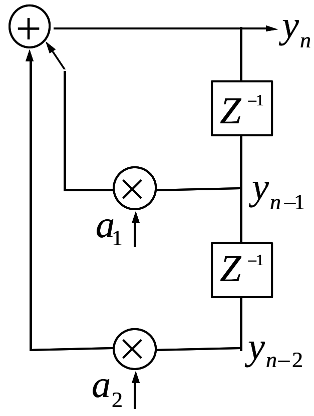



図 3　IIR フィルタの例

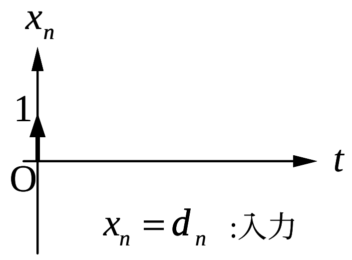
ここで $a_1$, $a_2$ は定数、$y_n$ は出力値、$y_{n-1}$, $y_{n-2}$ はそれぞれ 1 つ前、2 つ前の出力値である。

回路において⊕は加算器、⊗は乗算器、$Z^{-1}$ は単位遅延回路である。

3.　IIR フィルタの応用

図 4 のような入出力特性をもつフィルタを考える。

入力




出力

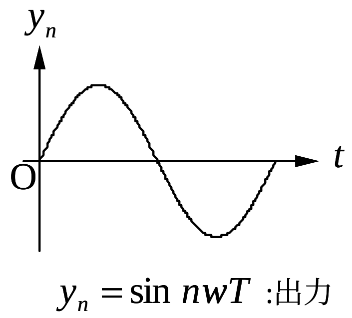



図 4　入出力特性

これは $0 < n$ において式

$$y_n = 2\cos wT \cdot y_{n-1} - y_{n-2} + \sin wT \cdot x_{n-1} \qquad (3.1)$$

で表される。ここで $T$ はサンプリング周期である。初期条件を

$$y_0 = y_{-1} = 0 \qquad (3.2)$$

とする。入力は

$$x_n = 1\ (n = 0),\ x_n = 0\ (0 < n) \qquad (3.3)$$

である。これは図 3 の回路において

$$a_1 = 2\cos wT,\ a_2 = -1 \qquad (3.4)$$

および

$$y_1 = \sin wT \qquad (3.5)$$

と与えれば再現することができる。また $z$ 変換においては

$$X(z) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n z^{-n} = 1 \qquad (3.6)$$

$$Y(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \sin nwT \cdot z^{-n} = \frac{\sin wT \cdot z^{-1}}{1 - 2\cos wT \cdot z^{-1} + z^{-2}} \qquad (3.7)$$

であり、これを用いて導出してもよい。

## 4. DSP 上での動作

3 の IIR フィルタのプログラムを DSP 上で動作させ処理時間の測定を行った。プログラミングは Code Composer Studio の C 言語を用いて行った。

**動作環境**

使用 DSP：Texas Instruments 社
TMS320C6711
クロック数 150MHz
浮動小数点型

開発環境：Texas Instruments 社
C6711DSK
Code Composer Studio ver.1.2

図 5　DSK(C5402,C6711DSK)

測定対象： 3 の処理 1 出力
測定結果：86.0ns（平均 12.9count）

また 3 の処理に
① 値の引渡し
② テキスト出力（printf12 文字）
③ テキスト出力（printf11 文字）
の 3 つの処理を追加して実行させた結果は 1.55μs（平均 232count）であった。

## 5. 他のプロセッサとの比較

同一のプログラムを他の汎用プロセッサ（パーソナルコンピュータ）で実行した結果は以下の通りである。C 言語は MS-DOS 上のものを用いた。

(1) Pentium150MHz (Windows98)で実行した場合 99.5ns
(2) PentiumIII1.13GHz (Windows2000) で実行した場合 18.5ns

同クロック数の汎用プロセッサより速く、最新の高クロック数のものに比べれば遅いという結果であった。DSP は汎用プロセッサに比べて安価であり、高速処理の目的で小型の機器に用途を限定した形で組みこまれていることが多い。今回の結果はそのような DSP の特徴を数値的に表したものといえる。

## 6. まとめ

DSP を用いたディジタルフィルタを製作し、そのパフォーマンスを測定した。実行時間を数値化し、汎用プロセッサの処理時間と比較することができた。

プログラミングについてはある程度習熟することができたが、さらに高度な処理を行うためには、より内部構造まで意識して行う必要があると感じられた。

画像等も取り扱うことができるが、汎用のフォーマットをサポートしていないため、やや扱いにくい印象である(図 6)。初心者は使いこなすまでにそれなりに時間をかける必要があると思われる。

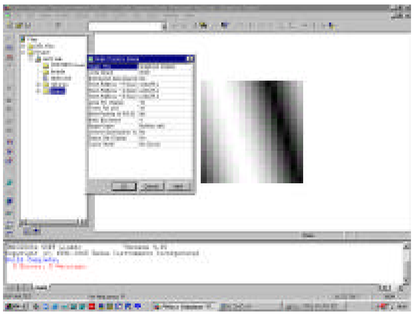


図 6　画像を扱った例

外部入力に対するリアルタイム処理とリアルタイム処理時間の把握が今後の主な課題としてあげられる。

# 交流パルスＭＩＧ溶接機のステンレスへの応用試験

田宮 宏一*　　鈴木　正幸*　　石川　淳*

ApplicationofACpulseMIGweldingtechnologytostainlesssteel

TAMIYA Kouiti,　SUZUKI Masayuki　and　ISHIKAWA Atsushi

抄　録

交流パルスＭＩＧ溶接機を用いて、ステンレス薄板（１～３mm）の溶接試験を行った。ビードオン溶接、突き合わせ溶接試験により溶接条件の把握を行い、応用試験として重ねスミ肉溶接試験を行った結果、２mmのギャップまでの溶接が可能な条件が得られた。

## １．緒言

世界的な環境問題対策の一環として、自動車産業を中心に各種構造物や部品の軽量化が進んでいる。ステンレス製の鉄道車両においても軽量化のための薄板化が図られている。しかし、溶接組立を基本とする車両製作においては薄板化に伴い、ひずみや熱影響の問題が大きくなり、溶接品質の確保、維持が重要となってきている。

そこで母材への溶け込みを制御でき、溶接の溶け落ち防止や大ギャップへの対応可能という点でアルミニウムの薄板溶接で使用されている交流パルスＭＩＧ溶接について、ステンレス薄板に対する適応性の評価と加工データの収集を行った。

## ２．使用溶接機

本実験で使用した溶接機は㈱ダイヘン製パルスＭＩＧ溶接機（デジタルACウェーブ200）である。特徴として、図１に示すようにパルス状の溶接電流の一部をマイナスに切り替え、さらにプラス部分とマイナス部分の面積比を変化させることにより、母材への溶け込み量を制御できる。

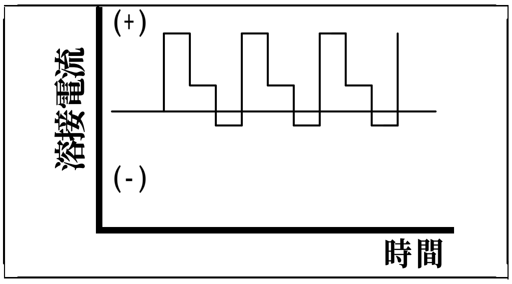



図１　溶接電流波形

また、溶接装置は図２に示すように溶接トーチ部分を自走式台車に固定し、溶接加工状態が一定となるようにした。

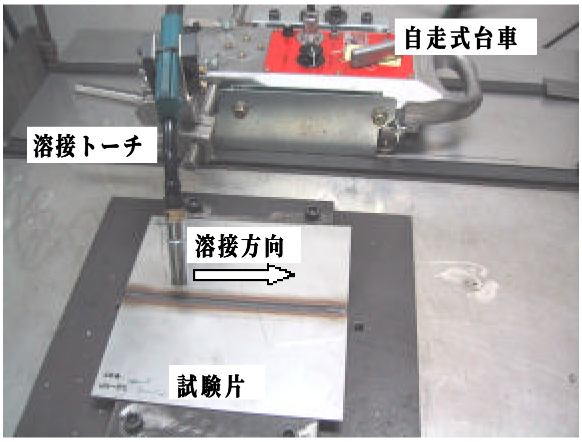



図２　溶接装置外観

## ３．溶接実験

供試材としては SUS304と SUS301L-LT を用いた。板厚は1.0、1.5、3.0mm とした。溶接実験はビードオン溶接、突き合わせ溶接、重ねスミ肉溶接を行なった。

### ３．１　ビードオン溶接試験

表１に示すとおり溶接電流ならびに溶け込み条件を変化させて溶接試験を行い、溶け込み状態、ビード形状の観察を行い、各供試材に対する最適

*下越技術支援センター

**表１　ビードオン溶接試験条件**

| 試験片 | SUS304 / SUS301L-LT (250×50) | | |
|---|---|---|---|
| 板厚 mm | 1.0 | 1.5 | 3.0 |
| **溶接電流** | **40～80** | **70~110** | **120~160** |
| **溶け込み条件** | **浅い** | **標準** | **深い** |
| 溶接速度 cm/min | 75 | | 60 |
| チップー母材間距離 mm | 10 | | 15 |
| トーチ角度 | 75°・90° | | |
| ワイヤ | WEL MIG 308L 1.0φソリッドワイヤ | | |

な溶接条件の選定を行った。なお、溶け込み条件の設定については溶接機本体のスイッチの切り替えることにより、溶接電流波形を変化させ、制御を行っている。

図３に溶け込み条件を変えた場合の溶接電流波形ならびに溶け込み状態の観察写真を示した。溶け込み条件を浅くすると溶接電流波形のマイナス側の面積割合が大きくなり、深くすると波形がプラス側にシフトしているのがわかる。

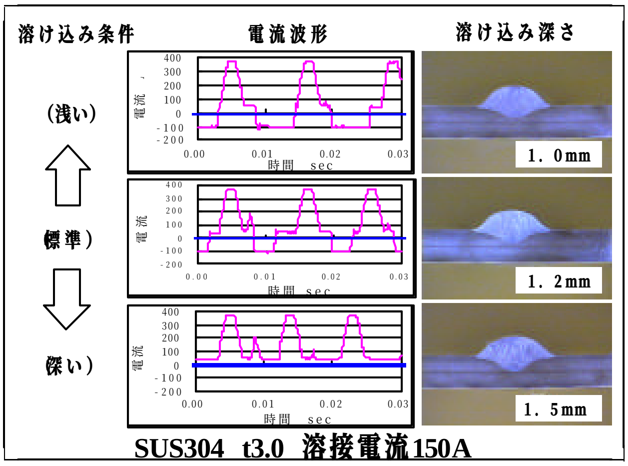



図３　溶接電流波形と溶け込み深さ

### ３．２　突き合わせ溶接試験

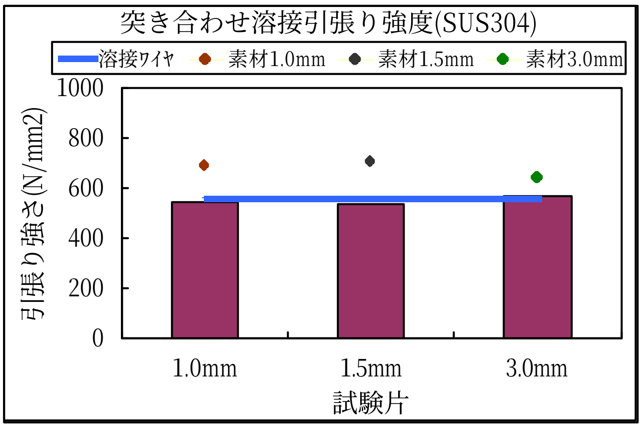
表２に示す条件にて、突き合わせ溶接を行い、試験片に裏波ビードが出る完全溶け込みの試験片を作成し、引張試験、曲げ試験、組織観察、硬さ測定を行い、溶接状態の評価を行った。

**表２　突き合わせ溶接試験条件**

| 試験片 | SUS304 (150×250) | | | SUS304 (150×250) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 板厚 mm | 1.0 | 1.5 | 3.0 | 1.0 | 1.5 | 3.0 |
| 溶接条件 | 60−5 | 100−5 | 150−5 | 60−5 | 100−5 | 150−5 |
| **溶接速度 cm/min** | **55** | **50** | **40** | **50** | **45** | **40** |
| チップー母材間距離 mm | 10 | | 15 | 10 | | 15 |
| トーチ角度 | 75°・90° | | | | | |
| ワイヤ | WEL MIG 308L 1.0φソリッドワイヤ | | | | | |
| ガス (混合ガス) | Ar 98% O2 2% 流量 15ι/min | | | | | |

#### ３．２．１　引張試験、曲げ試験

突き合わせ溶接試験片から引張試験片を作成し、250kN オートグラフにて引張試験を行った。
図４に試験結果を示した。なお、破断位置は全て溶接金属部であった。この結果より、溶接試験片は素材の強度より低いが、ワイヤ強度と同等もしくはそれ以上の強度を有しており、強度的には問題ないと言える。



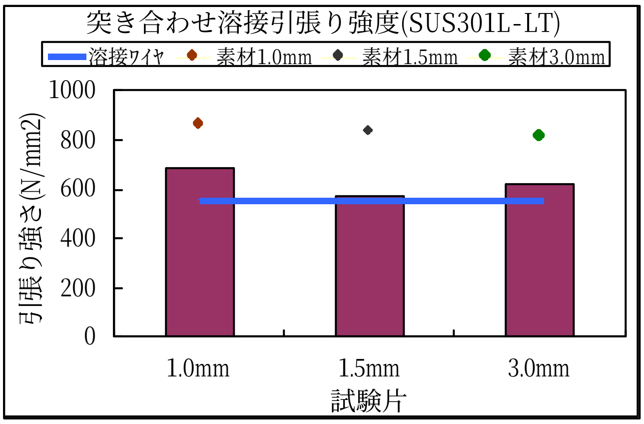




図４　突き合わせ溶接　引張試験結果

なお、曲げ試験についても全ての試験片で表・裏曲げともに欠陥は見られず、良好な溶接であることが確認できた。

#### ３．２．２　組織観察

溶接部の金属組織観察を行った。その一例を図５に示す。通常 SUS304、SUS301L-LT の溶接においてはフェライト・オーステナイト凝固形態となる。図５に示した組織はフェライト・オーステナイト凝固組織といえ、正常な金属組織であった。

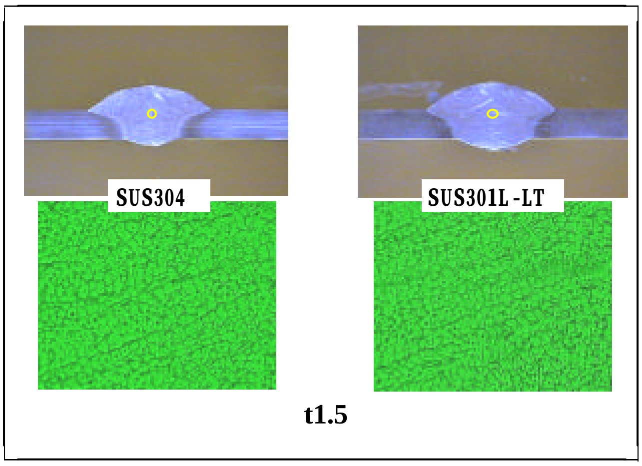
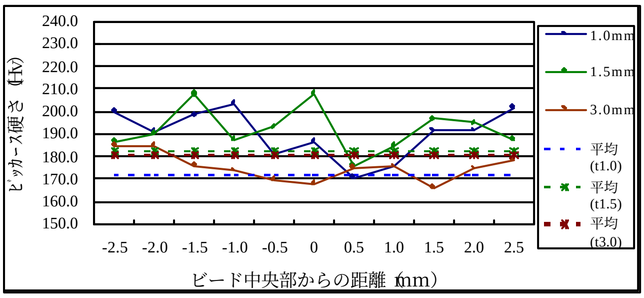


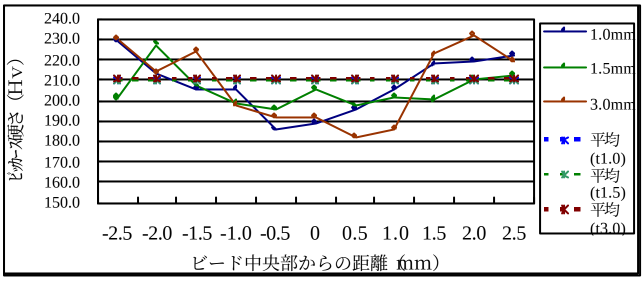

図５　突き合わせ溶接試験片の金属組織

３．２．３　硬さ試験

溶接試験片を樹脂埋め込み後研磨して、板厚中央部をマイクロビッカース硬度計にて硬さ試験を行った。図６に溶接ビード中央部からの硬さ分布測定を行った結果を示す。SUS304についてはバラツキの範囲で傾向は見られないが、SUS301L-LT についてはは溶接金属部が低い値となっている。これは SUS301L-LT 材が元々熱処理後さらに冷間圧延して強度を高めている調質材のため、溶接時に母材が溶融されることにより強度が低下したためと考えられる。




SUS304




SUS301L-LT

図６　突き合わせ溶接　硬さ試験

３．３　重ねスミ肉溶接試験

鉄道のステンレス車両の屋根溶接への適用を想定して重ねスミ肉溶接試験を行った。図７に示すように鉄道車両屋根板は、1.5mm の下板に0.6mm の屋根波板を重ねて、全長にわたり溶接を行っている。しかし屋根波板は折り返しがついて板厚が変化しているため、現在は２回に分けて溶接を行っている。これを交流パルス MIG 溶接により１回の溶接で行うことにより、ひずみや熱影響を減少させ、品質の向上を図ることを目標としている。

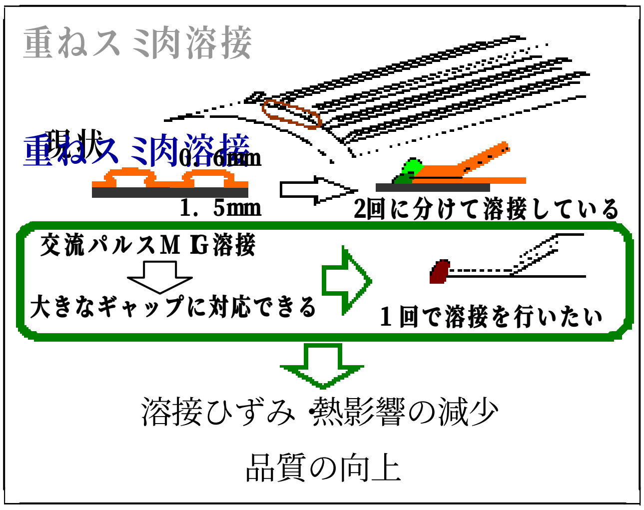



図７　実作業への適用の概念図

実験は1.5mm の下板に0.5mm の上板を任意のギャップ量で設置して表３に示す条件にて重ねスミ肉溶接を行った。ギャップ量を0mm から0.5mm づつ増加させて溶接を行ったところ、図８に示すとおりギャップ量2.0mm まで溶接可能であった。
溶接状態の確認は引張試験、組織観察、硬さ試験を行った。

表３　スミ肉溶接条件

| | |
|---|---|
| 試験片 | SUS304（240×50　t0.5、1.5） |
| ワイヤ | WELMIG 308L 1.0φソリッドワイヤ |
| 溶接条件 | ６５－２ |
| 溶接速度 | 15mm ／ min |
| ガス | Ar 98%、O2　2%　流量15L/min |
| 溶け込み調整 | 浅い |

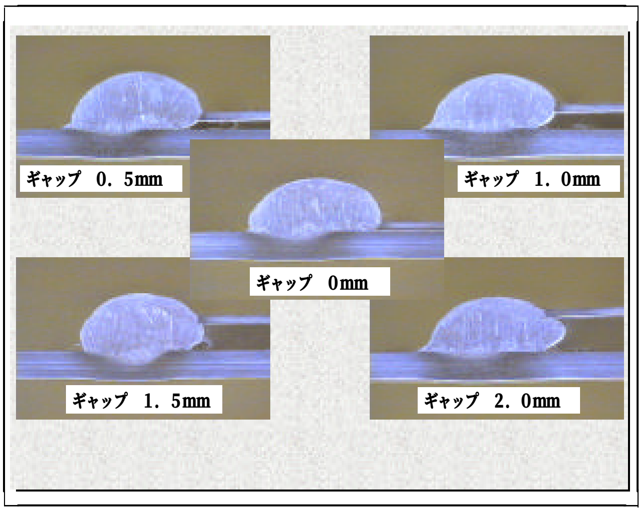



図８　重ねスミ肉溶接結果

図９に引張試験結果を示した。引張試験は上板と下板をそれぞれチャックでつかみ、溶接線と垂直方向に引張を行った。結果は縦軸に引張強さ、横軸に上板と下板のすきま（ギャップ量）をとった。これよりギャップ量が増えると若干強度が低下していることがわかる。

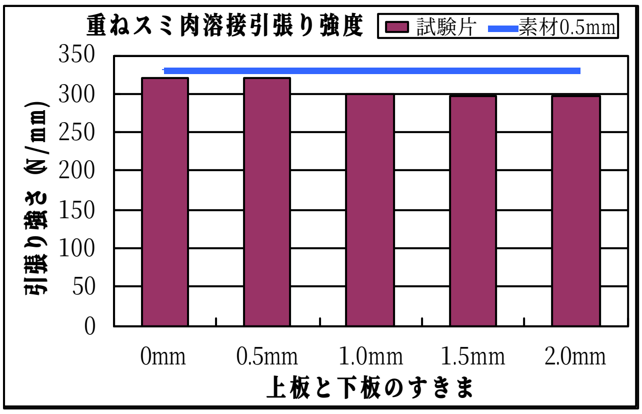



図９　重ねスミ肉溶接　引張試験結果

図10にギャップなし(0mm)とギャップ２ mm の場合の溶接金属組織の観察結果を示す。図からわかるとおりギャップ量の変化による組織の違いは見られなかった。

また、図11に各ギャップ量における溶接部付近の硬さ測定を行った結果を示した。バラツキはあるもののギャップ量による硬さの違いは見られなかった。

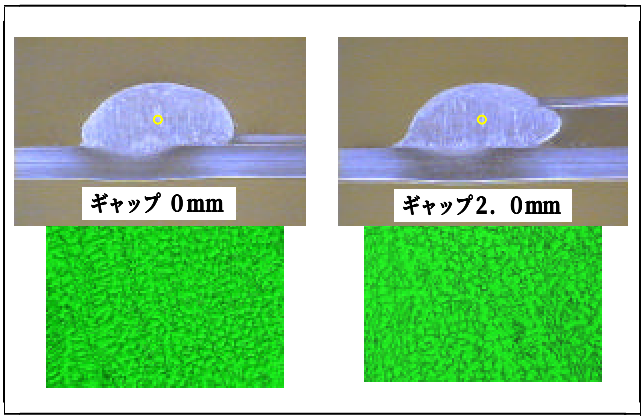



図10　重ねスミ肉溶接　金属組織観察

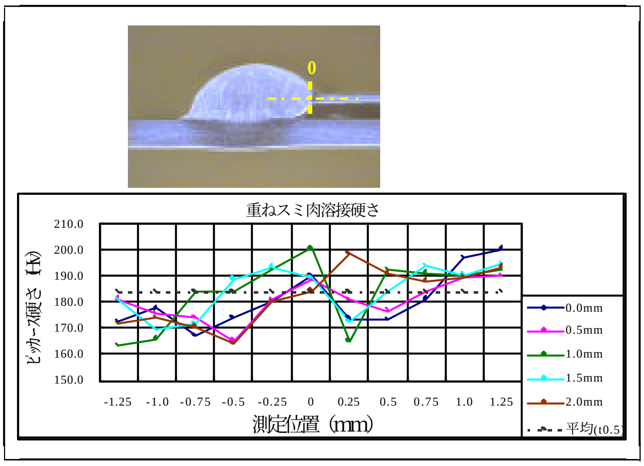



図11　重ねスミ肉溶接　硬さ試験

## ４．まとめ

（１）突き合わせ溶接においては、各板とも良好な試験結果が得られ、溶接条件を確立することができた。

（２）重ねスミ肉溶接においては、２ mm のギャップまで溶接可能であった。しかし、実ワーク対応に向けては、溶接長さ、ワーク形状への対応などの課題がある。

# 光触媒の担持応用技術

坂井　朋之*　　天城　裕子*　　佐藤　亨*　　白井　久美*

Reserch for TiO2 thin films coating technology synthesized by a sol-gel process

SAKAI Tomoyuki *, AMAKI Yuuko *, Satou Tooru *and SHIRAI Kumi *

**抄録**

二酸化チタン光触媒を簡易的に担持させる方法としてゾルゲル法について検討を行った。サンプルはチタンテトライソプロポキシド / EtOH溶液よりディップ法で作成した。基材への接着性向上のため、ポリエチレングリコールおよびスメクタイト（粘土鉱物）を添加し、同様の手順でディップ－焼成後ＳＥＭで観察したところ、スメクタイト添加溶液について良好な結果を得た。
二酸化チタン被膜の性能評価については、色素増感型太陽電池を製作し発電量を測定することにより行った。この測定の結果では、スメクタイト添加後のサンプルについては発電効率がおちることが確認された。

## 1.　緒言

光触媒の代表的な例である二酸化チタンは紫外光による励起エネルギーを利用して二酸化チタン表面に付着している有機物を分解させたり、表面に超親水性の性質を付与させるというもので、抗菌，環境浄化（大気、水質）、防汚・防曇等の幅広い分野に応用されている。

また、担持させる基材もガラス・セラミックなどの無機材料からプラスチック・繊維などの有機物までと多岐にわたっており、それぞれの素材に応じた二酸化チタン担持方法の開発が行われている。

この担持方法としては CVD, PVD，ペースト法，ゾルゲル法などがあり、それぞれに長所・短所を持つ。本研究では組成の調整操作が比較的容易であること、大がかりな装置が必要でないこと等よりチタンイソプロポキシド溶液を出発原料とするゾルゲル法について検討を行った。なお、一部を色素増感型太陽電池の電極として製作し、その発電量を測定することにより被膜の評価を行った。

*下越技術支援センター

## 2.　実験

### 薄膜作成手順

$TiO_2$ 薄膜の基板への付着強度を向上させるため、添加剤としてポリエチレングリコール(以下 PEG)およびスメクタイトの２種について効果の検討を行った。

### 2.1.　PEG 添加

- エタノール 20ml
- チタンテトライソプロポキシド　3ml
- トリエタノールアミン　1ml
- PEG#2000　0.2g

・上記に スメクタイト 2,3,4,5Wt%を添加 (コープケミカル製ルーセンタイト SPN を 13Wt%／EtOH とした溶液を使用)
・ソーダガラスにディップコーティング
・550℃、2h 加熱

### 2.2.　PEG 無添加

エタノール 30ml
チタニウムテトライソプロポキシド 5ml

トリエタノールアミン　1ml

スメクタイト(10Wt%／EtOH)　1ml

・ソーダガラスにディップコーティング

・室温乾燥後、550℃ 1h 焼き付け

（備考）

・トリエタノールアミンはチタンテトライソプロポキシドの反応抑制剤

・スメクタイトは粘土鉱物の一種で溶媒中で膨潤し、ゲルを形成する。塗料などのエマルジョンや増粘剤として用いられている。本研究では二酸化チタン被膜の接着強度の向上剤として使用した。

2.3. 結果

スメクタイト無添加では、膜のひび割れ・はがれが見られる。スメクタイト添加時はひび割れ等は観察されず、外観上半透明の膜が得られた。

3.　被膜の評価

上記手順(2.2PEG 無添加)で作成した二酸化チタン薄膜について以下の測定を行った。

3.1.　膜厚測定

スメクタイト添加量を 0，2，4，6Wt%とし、10 回ディッピングを行ったものについてマイクロメータで膜厚を測定、膜厚の概略を得た。結果は図 1 のとおり。スメクタイトの混合により液の粘度が増加、ディッピングによる膜厚が増大するのが観察される。

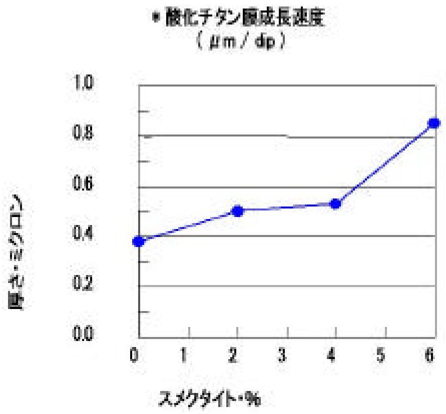



図 1 膜厚測定結果

3.2.　ＳＥＭ観察

各サンプルについて SEM による表面状態の観察を行った。図 2 にスメクタイト添加時と無添加時の比較を示す。スメクタイト無添加時は膜内での TiO2 の焼結によるものと思われるクラックが観察された。スメクタイト添加後は良好な平滑面が得られた。

機種名：日本電子製　JSM-T220A

3.3.　X線回折

測定器：リガク製　RAD-2B

結果を図.3 に示す。

薄膜のため回折線の強度が弱いが、$TiO_2$(anatase 型)の回折パターンが観察された。

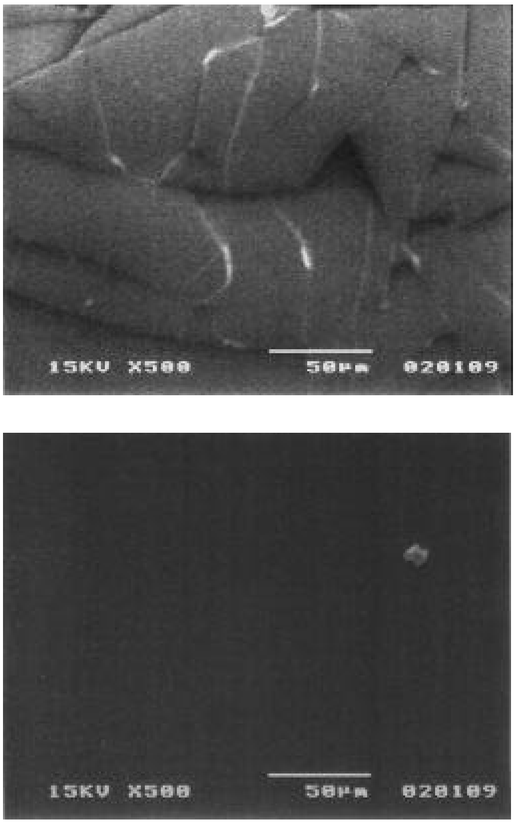



図 2　$TiO_2$ SEM 像

上段：スメクタイト 0%

下段：スメクタイト 2%

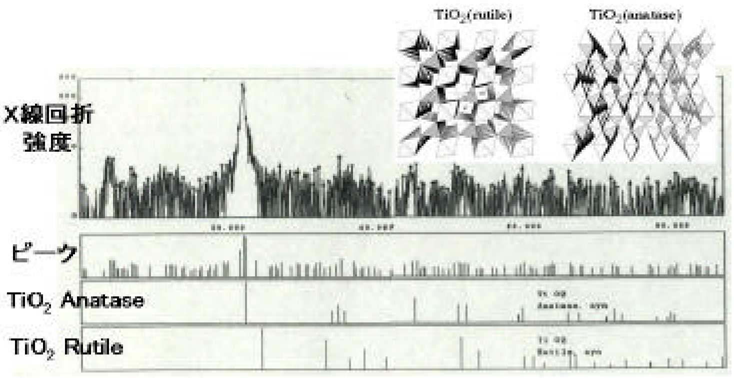



図 3　X 線回折結果

### 3.4.　色素増感型太陽電池の製作（発電量の測定による評価）

近年、低コストの太陽電池として色素増感型太陽電池（または湿式太陽電池）の開発が盛んに行われている。これは従来のシリコン太陽電池と比較して、作製に特別な設備を必要としないことや比較的安価な材料でできるという利点があり、材料面や構造面等様々なアプローチで研究が行われている。この色素増感型太陽電池の電極材料として、導電性ガラスに二酸化チタンをコーティングしたものが用いられている。そこで、今回二酸化チタン皮膜の評価法として太陽電池のセルの組立および発電を行うこととした。
以下に動作原理を示す。

動作原理（概要は図 4 のとおり）

・透明電極に光を照射
・色素がエネルギーを吸収して電子を放出し、$TiO_2$ がその電子を受けて電極（ガラス電極上の導電性皮膜）へと引き渡す。
・色素に残ったホール（$h^+$）は電解液中のヨウ素イオンを還元し、$I^-$ を $I_3^-$ へと変える。
・この還元されたヨウ素イオンは対極で再び電子を受けて酸化される。

電極作成・測定手順

・導電性ガラス（30×20×2）に上記２．２の手順で TiO2 の塗布を行い、電極材料とした。
・色素溶液に３０分間浸析後、室温乾燥させ、$TiO_2$ に色素を吸着させる
・対極の電極（カーボン電極）を重ねて電極間に電解質溶液を含浸させる。
・　Xe ランプを照射し、汎用テスターにより起電力の測定を行う。

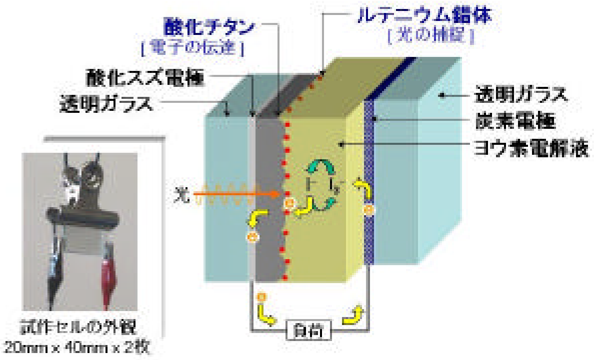



図 4 光空気電池の動作原理概略図およびセル外観

（備考）
色素溶液: 小嶋化学薬品製 Ru 錯体
0.3mmol/l EtOH 溶液

$[Ru(dcbpy)_2(NCS)_2]\cdot 2H_2O$(dcbpy = 2,2'-bipyridyl-4,4'-dicalboxylic acid)

電解液：LiI 0.5mol/l, $I_2$ 50mmol/l

（PEG#200 に溶解）

Xe ランプ：USHIO Xenon Short Arc Lamp UXL-300D

結果

スメクタイト混合量による電流値の変化を図 5 に示す。スメクタイトの混合により著しく発電量が低下した。原因としてはスメクタイトが膜中に存在することにより TiO2→導電性皮膜への電子受け渡しが阻害されることや、膜が平滑になることによる表面積の減少等が考えられる。

4. まとめ

スメクタイトを混合することにより、二酸化チタン薄膜の平滑度、接着性は向上した。
ただし、色素増感型太陽電池の電流量は著しく減少し、その点で適用できないことが判明した。

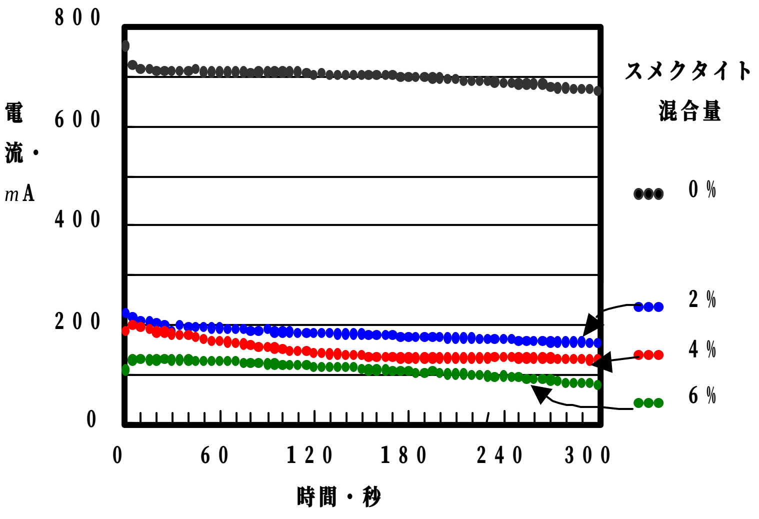



図 5 電流値測定結果

謝辞

本研究において（財）上越環境科学センター 下鳥氏に多大な協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

（株）コープケミカル
合成スメクタイト技術資料

（財）産業創造研究所
太陽光発電システム実用化技術開発
超高効率結晶化合物太陽電池の製造技術開発
周辺要素技術に関する調査研究
「湿式太陽電池実用化可能性調査」

# 新しいX線残留応力測定技術の研究
## （シリコン単結晶と配向性をもつアルミニウム薄膜のX線応力測定）

白川　正登[*]　　斉藤　雄治[*]　　中川　昌幸[*]

X-Ray Stress Measurement of Silicon Single Crystal and Textured Thin Aluminum Film

SHIRAKAWA Masato[*], SAITO Yuji[*] and NAKAGAWA Masayuki

**抄録**

当所で研究したX線応力測定装置を用いて，シリコン単結晶とその上にスパッタ法により製膜した[111]配向をもつアルミニウム薄膜の応力を測定した。シリコンは(511)と(333)面の回折線をCrKβ線を用いて，アルミニウムは(222)面の回折線をCrKα線を用いて，それぞれ二つの回折線ピーク位置から応力値を決定する方法（2点法）を提案した。さらに，シリコン単結晶とアルミニウム薄膜の応力定数を実験的および理論的に求める方法を示した。得られたシリコン単結晶とアルミニウム薄膜の応力定数の測定値は，理論値とほぼ一致した。

## 1.　緒言

半導体等の電子デバイスにおいて，熱膨張率の相違により生じる残留応力が，その機能劣化や破損原因として問題になっている。そのため，これらの問題に対応するために，高精度で迅速な残留応力測定法の確立が期待されている。

X線応力測定法は，多結晶材料表面の局所の残留応力を非破壊的に測定できる．巨視的に弾性等方性の多結晶材料に対して，X線応力測定の理論はすでに確立されており，この理論で試験片の表面法線方向のせん断応力成分が0であると仮定すれば，$\sin^2 y$線図は直線となる。

ところで，半導体デバイスに多く使われている材料に，シリコン単結晶とアルミニウム薄膜がある．これらの材料は弾性的に異方性であるので，$\sin^2 y$線図が直線にならず，等方性弾性体の測定理論は適用できない。

長岡技術科学大学の栗田教授らは，このような直線にならない$\sin^2 y$線図をもつ材料に対するX線応力測定の理論[(1)~(6)]を提案し，これを，集合組織をもつ冷間圧延したステンレス鋼SUS304[(1)~(3)]，研削加工による$y$スプリット材[(5)]，粗大結晶粒をもつ純鉄[(7)]，シリコン単結晶[(8)~(10)]およびシリコンウェハに被覆したアルミニウム薄膜[(11)]に適用した。この理論は，一定の$y$角方向のひずみは応力に比例するという前提のみを用いて導かれているので，等方性材料のみならず異方性材料でも弾性体であれば広く適用できる。

本研究は，単結晶および薄膜のX線応力測定法を明らかにするために，この理論をシリコン単結晶とそれに被覆した[111]配向をもつアルミニウム薄膜に応用して応力定数を実験的に求めるとともに，単結晶のひずみと応力の関係から求まる理論値と比較したものである。

## 2.　2点法による応力測定

前報[(1)~(6)]の理論によれば，等方性材料でも異方性材料でも弾性体であれば格子ひずみは全応力$s_t$（残留応力$s_0$と負荷応力$s_a$の和，$s_t = s_0 + s_a$）に比例する。格子ひずみは回折線ピーク位置$p$に比例するとともに応力に比例するので，全応力$s_t$によるピーク位置$p$の変化量$\Delta p$は$s_t$に比例する。これより，$\sin^2 y$線図が直線となると否とに関わらず，$\sin^2 y$線図上のピーク位置の各点に当てはめた直線の勾配$M$の変化量$\Delta M$は全応力$s_t$に比例するので，$\Delta M$から応力が測定できる。

集合組織をもつ薄膜や単結晶は，ピーク位置を測定するのに十分な強度をもつ回折線が得られる$\psi$角が限られる。しかし，上記の理論は，二つのピーク位置から応力を決定する2点法[3][6]にも適用できるので，本研究でも2点法を用いて応力を測定した。

3.　シリコン単結晶の応力定数

本研究で用いたシリコン単結晶は，表面が(100)面，オリエンテーションフラット（オリフラ）方向が[011]方向のシリコンウェハである。いま，図1に示したように，$\psi$角方向の垂直ひずみを$\varepsilon_\psi^S$とし，オリフラ方向に単軸応力$\sigma^S$を負荷する場合を考える。図1のように方位角$\phi$をとると，$\varepsilon_\psi^S$はHaukら[12]の立方晶単結晶のひずみと応力の関係式を用いて，$\phi$=0のとき

$$\varepsilon_\psi^S(\phi=0)=[s_{12}^S+(1/2)(s_{44}^S+s_0^S)\sin^2\psi]\ \sigma^S \quad (1)$$

$\phi=\pi/2$のとき

$$\varepsilon_\psi^S(\phi=\pi/2)=[s_{12}^S+(1/2)s_0^S\sin^2\psi]\ \sigma^S \quad (2)$$

と表せる。ここに，

$$s_0^S=s_{11}^S-s_{12}^S-s_{44}^S/2 \quad (3)$$

で，$s_{11}^S$，$s_{12}^S$，$s_{44}^S$はそれぞれシリコンの単結晶コンプライアンスである。

ここで，ひずみ$\varepsilon$を回折線ピーク位置$p$（回折角$2\theta$）に変換すると

$$p=p_0-k\varepsilon \quad (4)$$

ここに

$$k=360\tan\theta_0/\pi \quad (5)$$

となる。ここに，$\theta_0$と$p_0$は，それぞれ無応力状態の試験片のブラッグ角およびピーク位置である。式(1)を式(4)に代入すると

$$p^S=-(1/2)\sigma^S k^S(s_{44}^S+s_0^S)\sin^2\psi - \sigma^S k^S s_{12}^S+p_0^S \quad (6)$$

となる。式(6)は回折線ピーク位置$p^S$が$\sin^2\psi$に比例することを表している。式(6)において，$\sin^2\psi$線図の直線の勾配を$M^S$，切片を$N^S$とすると，シリコン単結晶の単軸応力$\sigma^S$は次式で表せる。

$$\sigma^S=-2M^S/[k^S(s_{44}^S+s_0^S)] \quad (7)$$

$$\sigma^S=-[1/(k^S s_{12}^S)](N^S-p_0^S) \quad (8)$$

ここで，シリコン単結晶の応力定数$K^S$，$L^S$を式(7)と式(8)から

$$K^S=-2/[k^S(s_{44}^S+s_0^S)] \quad (9)$$

$$L^S=-1/(k^S s_{12}^S) \quad (10)$$

とおき，$K^S$と$L^S$を計算すると$K^S$=－79.4MPa/deg，$L^S$=299.0MPa/degを得る。ここで，$\theta_0$にはX線回折によるシリコン粉末の(511)+(333)面の測定値85.81deg，シリコンの単結晶コンプライアンスには表1の値[13]を用いた。なお，応力定数の絶対値が小さいほど応力の測定精度は高くなるので，測定には$K^S$を用いた。

4.　アルミニウム薄膜の応力定数

本研究で用いたアルミニウム薄膜は，試験片表面の法線方向が結晶の[111]軸となる面内等方性材料である。いま，図2に示したように，$\psi$角方向の垂直ひずみを$\varepsilon_\psi^A$とし，試料面内に主応力$\sigma_1^A$と$\sigma_2^A$が作用する場合を考える。オリフラ方向を主応力$\sigma_1^A$の方向とすると，アルミニウム薄膜のひずみ$\varepsilon_\psi^A$は，田中ら[14]の[111]配向をもつ多結晶体におけるひずみと応力の関係式を用いて，図2に示した方位角$\phi$=0のとき，

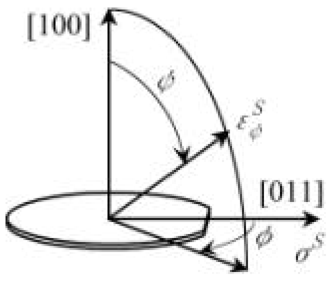



図1　シリコン単結晶のひずみ$\varepsilon_\psi^S$の方向

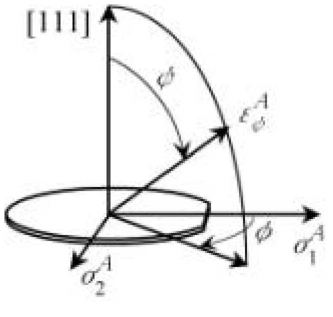



図2　アルミニウム薄膜のひずみ$\varepsilon_\psi^A$の方向

$$
\begin{aligned}
&e_y^A(f=0)\\
&\quad=(1/6)[(3s_{44}^A+s_0^A)\boldsymbol{s}_1^A-s_0^A\boldsymbol{s}_2^A]\sin^2 y\\
&\quad-(\sqrt{2}/6)s_0^A(\boldsymbol{s}_1^A-\boldsymbol{s}_2^A)\overline{\cos 3b}\sin 2y\\
&\quad+(1/3)(3s_{12}^A+s_0^A)(\boldsymbol{s}_1^A+\boldsymbol{s}_2^A)
\end{aligned}
\tag{11}
$$

$f=p/2$ のとき，

$$
\begin{aligned}
&e_y^A(f=p/2)\\
&\quad=(1/6)[-s_0^A\boldsymbol{s}_1^A+(3s_{44}^A+s_0^A)\boldsymbol{s}_2^A]\sin^2 y\\
&\quad+(\sqrt{2}/6)s_0^A(\boldsymbol{s}_1^A-\boldsymbol{s}_2^A)\overline{\cos 3b}\sin 2y\\
&\quad+(1/3)(3s_{12}^A+s_0^A)(\boldsymbol{s}_1^A+\boldsymbol{s}_2^A)
\end{aligned}
\tag{12}
$$

と表せる。ここに，

$$s_0^A=s_{11}^A-s_{12}^A-(1/2)s_{44}^A \tag{13}$$

で，$s_{11}^A$，$s_{12}^A$，$s_{44}^A$ はアルミニウムの単結晶コンプライアンス，$b$ はアルミニウムの結晶の $[11\bar{2}]$ 軸とオリフラ方向とのなす角，$\overline{\cos 3b}$ の上線は $b=0$ から $2p$ までの平均をとることを表す[13]。なお，式(11)と式(12)は，平面応力状態で Reuß モデルを仮定した場合のひずみと応力の関係式である。

式(11)のひずみ $e_y^A$ を回折線ピーク位置 $p^A$ で表すと

$$
\begin{aligned}
p^A=-k^A\Big\{&(1/6)[(3s_{44}^A+s_0^A)\boldsymbol{s}_1^A\\
&\qquad-s_0^A\boldsymbol{s}_2^A]\sin^2 y\\
&-(\sqrt{2}/6)s_0^A(\boldsymbol{s}_1^A-\boldsymbol{s}_2^A)\overline{\cos 3b}\sin 2y\\
&+(1/3)(3s_{12}^A+s_0^A)(\boldsymbol{s}_1^A+\boldsymbol{s}_2^A)\Big\}+p_0^A
\end{aligned}
\tag{14}
$$

となる。式(14) は回折線ピーク位置 $p^A$ が $\sin^2 y$ と $\sin 2y$ に比例することを表している。しかし，式(14)を計算すると，$\sin^2 y$ に対する $p^A$ の変化量は, $\sin 2y$ に対する $p^A$ の変化量に比べて数 10 倍大きい。そこで，本研究では, $\sin 2y$ に対する $p^A$ の変化量は, $\sin^2 y$ に対する $p^A$ の変化量に比べて十分小さいので無視した。

式(14)において，$\sin^2 y$ 線図の勾配 $M^A$ は,

$$M^A=-k^A(1/6)[(3s_{44}^A+s_0^A)\boldsymbol{s}_1^A-s_0^A\boldsymbol{s}_2^A] \tag{15}$$

となる。$3s_{44}^A>>s_0^A$ であるので，式(14)は

$$M^A=-k^A s_{44}^A\boldsymbol{s}_1^A \tag{16}$$

となる。一方，$\sin^2 y$ 線図の切片 $N^A$ は

$$N^A=-k^A(s_{12}^A+s_0^A/3)(\boldsymbol{s}_1^A+\boldsymbol{s}_2^A)+p_0^A \tag{17}$$

になる。式(16)から

$$\frac{\partial M^A}{\partial \boldsymbol{s}_1^A}=-k^A s_{44}^A \tag{18}$$

を得る。また，式(17)から

$$\frac{\partial N^A}{\partial(\boldsymbol{s}_1^A+\boldsymbol{s}_2^A)}=-k^A(s_{12}^A+\frac{s_0^A}{3}) \tag{19}$$

を得る。本研究では，式(18)と式(19)の逆数をそれぞれ次式のようにアルミニウム薄膜の応力定数 $K^A$，$L^A$ とおいた。

$$K^A=-1/(k^A s_{44}^A) \tag{20}$$

$$L^A=-1/[k^A(s_{12}^A+s_0^A/3)] \tag{21}$$

$K^A$，$L^A$ を計算すると $K^A$=-103.9MPa/deg, $L^A$=414.0MPa/deg となる。ここで，$q_0$ には 78.2deg, アルミニウムの単結晶コンプライアンスには表 1 の値[13]を用いた。

本研究では，シリコン単結晶とアルミニウム薄膜の応力定数 $K^S$，$L^S$，$K^A$ および $L^A$ を実験的に求めて上記の理論値と比較した。

表 1　単結晶のコンプライアンス($TPa^{-1}$)[13].

| Silicon | | | Aluminum | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $s_{11}^S$ | $s_{12}^S$ | $s_{44}^S$ | $s_{11}^A$ | $s_{12}^A$ | $s_{44}^A$ |
| 7.68 | -2.14 | 12.56 | 15.7 | -5.68 | 35.1 |

5.　アルミニウム薄膜の主応力

アルミニウム薄膜の応力定数を求めるためには, シリコン単結晶に負荷する単軸応力 $s^S$ とアルミニウム薄膜に生じる主応力 $s_1^A$，$\boldsymbol{s}_2^A$ の関係を求める必要がある。そのため，シリコン単結晶とアルミニウム薄膜の界面におけるひずみの連続条件を式(1), (2), (10)および(11)に適用する。すなわち, $y=p/2$ に対して, $f=0$ のときは式(1)=式(10)，$f=p/2$ のときは式(2)=式(11)とおく。これらの連立方程式に表 1 の値を代入して $\boldsymbol{s}_1^A$，$\boldsymbol{s}_2^A$ を求めると

$$s_1^A=0.48s^S \tag{22}$$

$$s_2^A=0.15s^S \tag{23}$$

を得る。なお，$s^S$ と $s_1^A$ の方向はオリフラ方向である。また，シリコンウェハの板厚はア

ルミニウム薄膜の膜厚の約 500 倍である。今後は, シリコン単結晶に負荷する単軸応力 $s^S$ を負荷応力とする。

6.　実験方法

用いた材料は，表面が(100)面，オリフラ方向が[011]方向の直径 5 インチ(127mm)，板厚 0.6mm のシリコン単結晶（シリコンウェハ）に, スパッタリング法で膜厚が 1μm のアルミニウムを被覆したものである。この材料から長手方向がオリフラ方向となるように，幅 15mm，長さ 100mm の長方形の試験片を作製した。試料面法線と X 線で測定する回折面法線方向とのなす角を $y$ とすると，アルミニウム薄膜は $y$=0deg と $y$=70.5deg に（222）面，シリコン単結晶は $y$=15.6deg に（511）面，$y$=54.7deg に（333）面の回折線がそれぞれ得られる。

X 線による応力測定は，本研究で開発した自動 X 線応力測定装置を用いて，四点曲げ負荷装置で試験片に負荷応力 $s^S$ を加えながら，試験片中央部を長手方向にひずみを測定した。表 2 に測定条件を示す。測定方法は，シリコンが側傾法の $y$ 揺動法，アルミニウムが側傾法の $y$ 一定法である。

アルミニウム薄膜の主応力 $s_1^A$ と $s_2^A$ は，負荷装置に取り付けた小型のロードセルで測定した荷重から求めた負荷応力 $s^S$ を，式(22)と式(23)に代入して求めた。四点曲げ負荷装置の支点間距離は外側 90mm，内側 50mm である。シリコンとアルミニウムのそれぞれについて，各負荷応力に対して二つの回折線ピーク位置を求めて $\sin^2 y$ 線図上にプロットし，これら二点を結んだ直線の勾配 $M^S$，$M^A$ と切片 $N^S$，$N^A$ を求めた。

回折強度（計数値）の測定値はバックグラウンドと LPA 因子[15]で補正した。回折線ピーク位置は，シリコンは補正した最大強度の 50%以上, アルミニウムは 80%以上のデータを用いてガウス曲線法で決定した。また本研究では，X線計数値固有の統計変動によって

| | シリコン | アルミニウム |
|---|---|---|
| 特性X線 | CrKβ | CrKα |
| 回折面 | (333), (511) | (222) |
| 回折角, deg | 171.62 | 156.4 |
| ψ角, deg | 15.6, 54.7 | 0, 70.5 |
| フィルタ | なし | V |
| 管電圧, kV | 30 | 30 |
| 管電流, mA | 2 | 10 |
| スリットの発散角 | 1 | 1 |
| X線照射面積, mm² | 6×10 | 6×10 |
| プリセットタイム, s | 4 | 20 |
| ψ-揺動角, deg | ±2 | 0 |
| ステップ角, deg | 0.05 | 0.05 |

生ずる測定値のばらつきの大きさを表す 95%信頼区間を前報[16]で提案した式を用いて求めた。

シリコンの（511）および（333）面の回折線は 172deg 付近の高角度に現れるため，本研究で用いた装置では高角度側の BG 強度を測定できない。そこで，これらの回折線の BG 補正は低角度側の BG 強度のデータを用いて行った。

7.　実験結果および考察

図 3 から図 5 には，シリコン単結晶の測定結果を示した。図 3 は，種々の負荷応力 $s^S$ に対する $\sin^2 y$ 線図である。この図には，ピーク位置の 95%信頼区間および二つのピーク位置を結んだ直線を示してある。また，前報[3]の理論式で求めた図 3 の直線群の交点は (0.256, 171.70)であり，この値は実際に図 3 の交点によく一致している。

図 4 と図 5 は，図 3 の $\sin^2 y$ 線図の直線の勾配 $M^S$ と切片を $N^S$ を負荷応力 $s^S$ に対して図示した結果で，$M^S$ と $N^S$ は前報[2] [3]の理論が示すように負荷応力 $s^S$ に対して直線的に変化している。

応力定数 $K^S$ は, 図 4 の $M^S - s^S$ 線図の直線の勾配の逆数として求まる。同様に，応力定数 $L^S$ は，図 5 の $N^A - s^S$ 線図の直線の勾配の逆数として求まる。

図 6 から図 8 には，アルミニウム薄膜の測

定結果を示した。図 6は，種々の負荷応力 $s^S$ に対する $\sin^2 y$線図である。前報(3)の理論式で求めた図 6の直線群の交点は(0.408, 156.87)であり，この値は実際に図 6の交点によく一致している。

図 7は，図 6の $\sin^2 y$線図の直線の勾配 $M^A$ をアルミニウム薄膜の主応力 $s_1^A$ に対して図示した結果である。$s_1^A = 0.48s^s$ であるから，$M^A$ は前報(2) (3)の理論が示すように負荷応力 $s^s$ に対して直線的に変化していることが図7からわかる。応力定数 $K^A$ は，図 7に示した $M^A - s_1^A$ 線図の直線の勾配の逆数から求まる。

図 8は，図 6の $\sin^2 y$線図の直線の切片を $N^A$ を応力 $(s_1^A + s_2^A)$ に対して図示した結果である。$s_1^A + s_2^A = 0.63s^S$ であるから，$N^A$ は負荷応力 $s^s$ に対して直線的に変化していることが図 8からわかる。応力定数 $L^A$ は，図 8の $N^A - (s_1^A + s_2^A)$ 線図の直線の勾配の逆数として求まる。

表 3には，このようにして求めた応力定数の 95%信頼限界を前報(16)の式から計算して示した。表 3には，式(9)，式(10)，式(20)および式(21)から計算した応力定数の理論値も示した。測定から得られた応力定数 $K^S$，$L^S$，

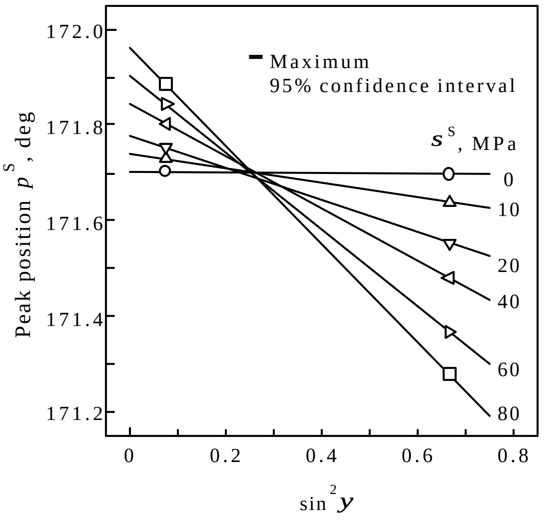
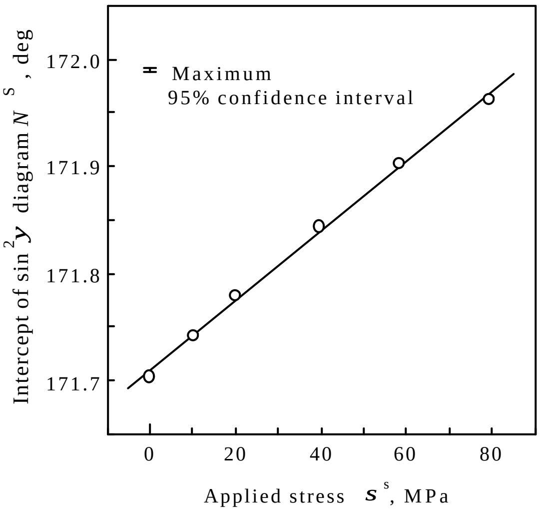



図 3　シリコン単結晶に加えた種々の負荷応力 $s^S$ に対する $\sin^2 y$線図



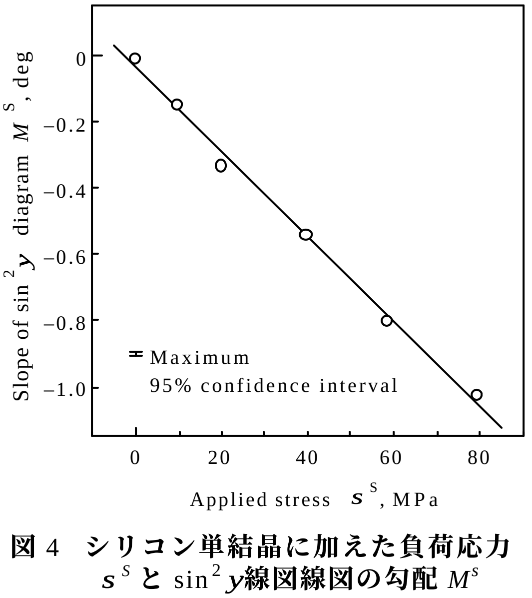




図 4　シリコン単結晶に加えた負荷応力 $s^S$ と $\sin^2 y$線図線図の勾配 $M^s$

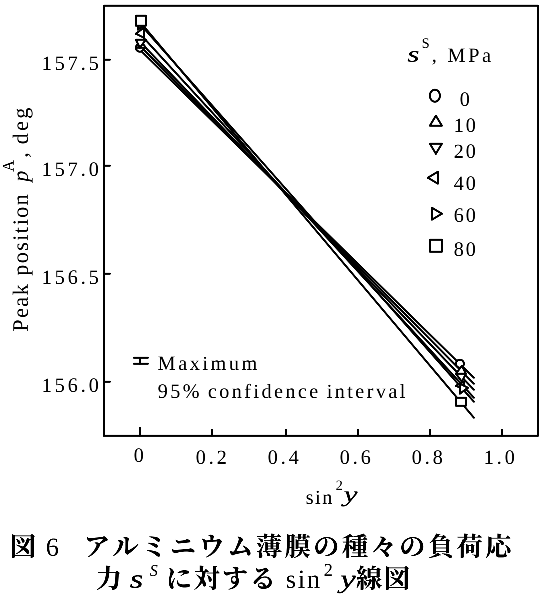



図 6　アルミニウム薄膜の種々の負荷応力 $s^S$ に対する $\sin^2 y$線図

$K^A$ および $L^A$ は，理論値とほぼ一致していることがわかる。

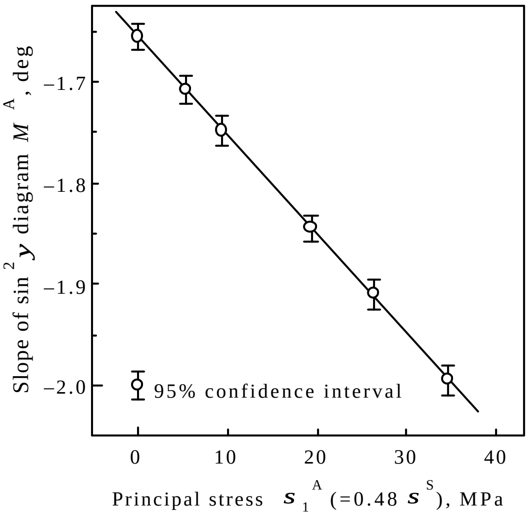



図 7　アルミニウム薄膜に加わる負荷応力 $s_1^A$ と $\sin^2 y$ 線図の勾配 $M^A$

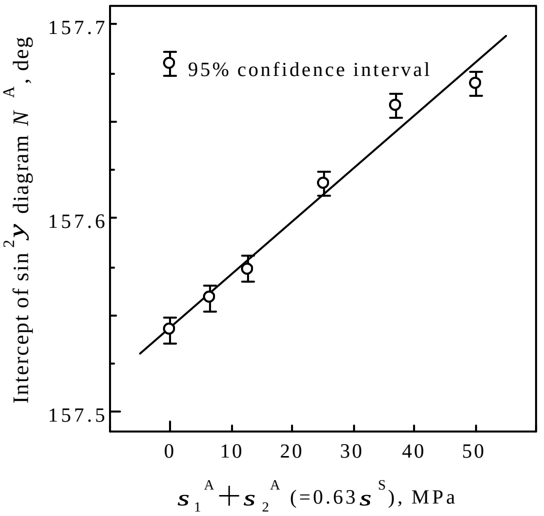



図 8　アルミニウム薄膜に加わる負荷応力 $s_1^A+s_2^A$ と $\sin^2 y$ 線図の切片 $N^A$

表 3　X 線的応力定数の理論値および測定値の 95%信頼限界

(MPa/deg)

| | Theoretical | Measured |
|---|---|---|
| $K^S$ | -79.4 | -78.6±0.4 |
| $L^S$ | 299.0 | 306.7 ±1.5 |
| $K^A$ | -103.9 | -113.4±5.6 |
| $L^A$ | 414.0 | 364.6 ±19.8 |

## 8.　結論

(1) シリコン単結晶とアルミニウム薄膜の応力を，シリコンは(511)と(333)面の回折線を CrKβ線を用いて，アルミニウムは(222)面の回折線を CrKα線を用いて，2 点法によって測定する方法を示した。

(2) シリコン単結晶に被覆した[111]配向をもつアルミニウム薄膜の応力定数を実験的および理論的に求める方法を示した。

(3) 試験片に単軸応力を加えたときのアルミニウム薄膜に生じる主応力を求めた。

(4) シリコン単結晶とアルミニウム薄膜の応力定数の測定値は理論値にほぼ一致した。

(5) 非線形な $\sin^2 y$ 線図をもつ材料に対する前報の X 線応力測定の理論が，シリコン単結晶とそれに被覆したアルミニウム薄膜にも適用できることを示した。

## 文献


(1) 栗田政則・斉藤雄治, 第 31 回 X 線材料強度に関するシンポジウム講演論文集, (1995), pp. 107-112, 日本材料学会.
(2) 栗田政則・斉藤雄治, 機論(A 編), **62**-596 (1996), pp. 1104-1110.
(3) 栗田政則・佐藤純明, 機論(A 編), **64**-623 (1998), pp.26-33.
(4) 栗田政則, 第 32 回 X 線材料強度に関するシンポジウム講演論文集, (1996), pp. 9-14, 日本材料学会.
(5) 栗田政則・遠藤邦博, 第 33 回 X 線材料強度に関するシンポジウム講演論文集, (1997), pp. 5-10, 日本材料学会.
(6) 栗田政則，日本実験力学学会第 1 回研究発表講演会講演論文集 No.1 (2001 年)，(2001)，pp. 175-178，日本実験力学学会.
(7) 斎藤雄治・星野公明・丸山英彰・栗田政則, 第 35 回 X 線材料強度に関するシンポジウム講演論文集, (1999), pp. 173-178, 日本材料学会.
(8) 斎藤雄治・星野公明・丸山英彰・栗田政則, 第 36 回 X 線材料強度に関するシンポジウム講演論文集, (2000), pp. 173-178, 日本材料学会.
(9) 斎藤雄治, 栗田政則, 村上健, 応力・ひずみ測定と材料評価シンポジウム講演論文集（第 31 回）, (2000-1), pp. 129-134, 日本非破壊検査協会.
(10) 栗田政則，日本実験力学学会第 1 回研究発表講演会講演論文集 No.1 (2001 年)，(2001)，pp. 179-182，日本実験力学学会.
(11) 斎藤雄治・栗田政則，日本実験力学学会第 1 回研究発表講演会講演論文集 No.1 (2001 年)，(2001)，pp. 171-174，日本実験力学学会.
(12) V. Hauk Wihelm Karl Krug, Rene W. M. Oudelhoven and Lothar Pintschovius, Z. Metallkde. **79** (1988), pp. 159-163.
(13) H. B. Huntington, Solid State Physics, **7** (1958), pp. 213-351.
(14) K. Tanaka, Y. Akiniwa, T. Ito and K. Tanaka, JSME Int. J., Ser. A, **42**-2(1999), pp. 224-234.
(15) 栗田政則・L. Cuong, 応力・ひずみ測定と材料評価シンポジウム講演論文集（第 31 回）, (2000-1), pp. 181-186, 日本非破壊検査協会.
(16) 栗田政則, 機論(A 編), **55**-511 (1989), pp. 590-597.

# 金属製品の腐食に関する研究
## （ステンレス鋼の腐食減量実験）

紫竹　耕司[*]　　吉田　正樹[*]　　樋口　智[*]

Study for Corrosion of Metal
by

SHICHIKU Kouji[*], YOSHIDA Masaki[*] and HIGUCHI Satoru[*]

**抄録**

ステンレス鋼について、塩化第二鉄－塩酸溶液で腐食減量実験をおこない、材質や表面状態の違いが耐食性に及ぼす影響について検討した。腐食減量の経時変化を測定することで、腐食速度および腐食開始までの時間の違いがわかり、より正確な耐食性評価が可能となった。また、ＩＮＣＯ法発色処理、硝酸処理、メッキ等の表面処理がステンレス鋼の耐食性に及ぼす影響について、その前処理も含め考察した。

### 1　緒言

県央地域は、伝統的地場産業である刃物や金属洋食器から、作業工具やハウスウェア、建築金物、その他に至るまで金属製品の集積地域である。当支援センターでは、これら金属製品に関する試験・相談を数多く受けているが、腐食に絡む相談も多い。

そこで、なかでも相談の多いステンレス鋼を対象として、製品設計やクレーム対応に活用することを目的として、腐食減量実験をおこなった。

### 2　実験
#### 2．1　試料
#### 2．1．1　丸棒試料

公称φ20（実測 20.1）×約 10mm の片端面を腐食減量実験の評価面とした。

まず、マルテンサイト系の試料は標準的な熱処理として焼き入れ（1050℃30 分空冷）焼き戻し（200℃60 分空冷）処理を施した。その際、ＳＵＳ４４０Ｃについては焼き入れ後にサブゼロ処理（液体窒素中に約１時間）して残留オーステナイト低減措置をとった。

その後試料研磨機にて所定の状態まで研磨し、さらに必要に応じ所定の表面処理を施した。最後に、評価面以外をポリエステル系樹脂でマスキングした。

材料の組成（分析値）を表１に示す。

表１　丸棒試料の組成（単位：wt％）

| SUS | C | S | P | Ni | Cr |
|---|---|---|---|---|---|
| 303 | 0.07 | 0.321 | 0.027 | 8.99 | 19.1 |
| 304 | 0.07 | 0.027 | 0.028 | 8.14 | 18.5 |
| 304L | 0.02 | 0.015 | 0.029 | 9.64 | 19.7 |
| 420J2 | 0.34 | 0.011 | 0.022 | 0.29 | 14.0 |
| 440C | 0.96 | 0.002 | 0.024 | 0.46 | 17.8 |

#### 2．1．2　平板試料

ＳＵＳ３０４－２Ｂ材（板厚 0.6mm）について、70×20mm に切断した試料全体を評価対象（マスキングなし）とした。

#### 2．2　実験方法

JIS G 0578「ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法」に準じて腐食減量を測定した。0.05N 塩酸溶液に塩化第二鉄を溶解して塩酸酸性６％塩化第二鉄溶液を調整した。

丸棒試料については、100ml ビーカーに上

[*]県央技術支援センター

記溶液を 90ml 注ぎ、試料評価面を上に向けた状態で、平板試料については、200ml ビーカーに上記溶液を 150ml 注ぎ、ビーカーに立て掛けた状態で実験した（図１参照）。

そのビーカーに時計皿で蓋をして 50℃に設定したフード付きウォーターバス中で所定時間静置し（図２参照）、0.1mg 表示の電子天秤で腐食前後の質量を測定して腐食減量の経時変化を求めた。

丸棒試料　　　　　　　平板試料

図１　試料の状態

図２　ウォーターバス

**２．３　実験結果及び考察**

**２．３．１　丸棒試料について**

**２．３．１．１　鋼種と腐食減量**

結果は図３のとおりで、オーステナイト系とマルテンサイト系の腐食速度の違い、同じマルテンサイト系でもＣｒ含有量の差による違いが明らかとなった。また、切削性向上目的で添加した微量のＳが耐食性をかなり劣化させていることもわかった。なお、ＳＵＳ３０４全時間とＳＵＳ３０３の初期は孔食状態だったが、ＳＵＳ３０３の途中からとマルテンサイト系は全面腐食状態であった。

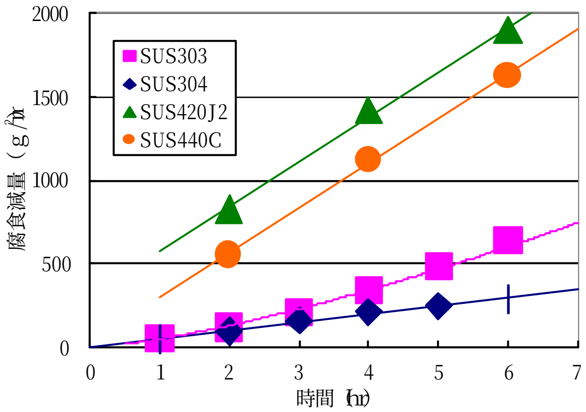



図３　鋼種と腐食減量

**２．３．１．１　表面粗さと腐食減量**

ＳＵＳ３０４について実験した結果、今回の実験方法では表面粗さによる影響をあまり受けないことがわかった（図４）。なお、各試験片の表面粗さは表２のとおりである。

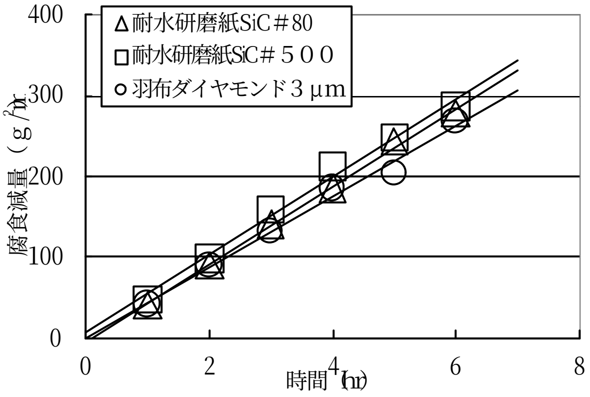



図４　表面粗さと腐食減量

表２　表面粗さ（単位：μｍ）

| | Ｒａ | Ｒｙ |
|---|---|---|
| 耐水研磨紙＃８０ | 0.203 | 2.149 |
| 耐水研磨紙＃500 | 0.040 | 0.401 |
| ダイヤモンド３μｍ | 0.005 | 0.056 |

### ２．３．１．３　硝酸処理と電解研磨

ＳＵＳ３０４Ｌを鏡面研磨した後、硝酸処理（30wt%硝酸 50℃1hr 浸漬）と電解研磨（リン酸クロム酸系）した結果を図５に示す。これらの処理でＣｒリッチな酸化物層が表面に生成され、腐食減量開始までの時間が増加したものと考えられる。ただ、電解研磨後の試料表面は荒れていて適正な処理条件となっていなかった可能性がある。

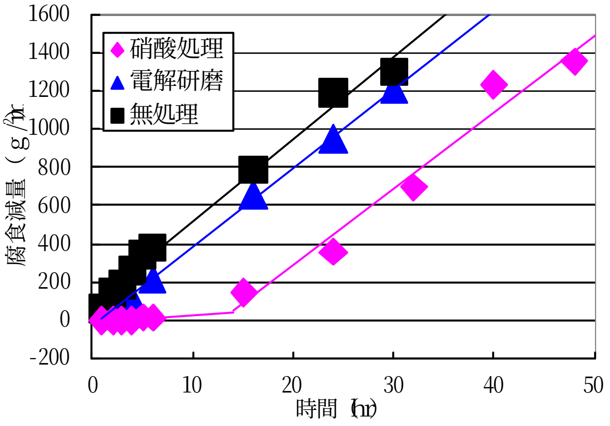



図５　硝酸処理と電解研磨

### ２．３．１．２　発色処理と腐食減量

ＳＵＳ３０４Ｌについて、ＩＮＣＯ法発色処理（硫酸クロム酸処理）を施した結果を図６に示す。この処理によってＣｒリッチな酸化物層がかなり厚く（100～400nm程度）生成され、腐食減量開始までの時間増加が確認された。また、青～緑へと酸化物層が厚くなるほど耐食性は良い。

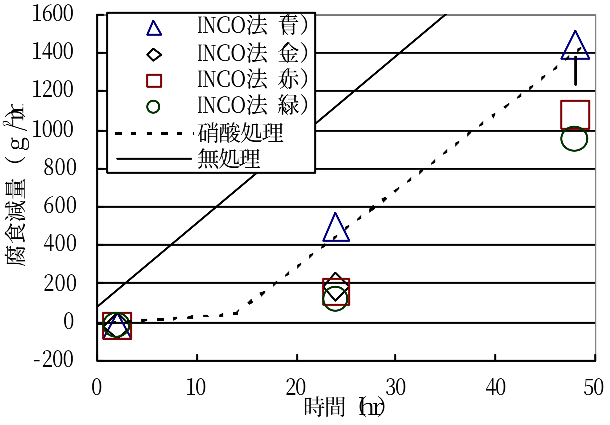



図６　発色処理（ＳＵＳ３０４Ｌ）

ＳＵＳ４２０Ｊ２及びＳＵＳ４４０Ｃについての結果を図７及び図８に示す。共に硝酸処理よりもＩＮＣＯ法発色処理の方が耐食性改善効果が大きかった。なお、ＳＵＳ４４０ＣについてＩＮＣＯ法後半の硬膜処理（硫酸クロム酸カソード処理）のみを施した試験片についてもその効果を確認した。

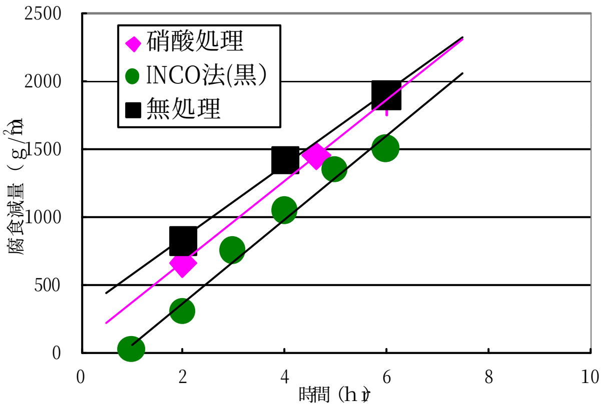



図７　発色処理（ＳＵＳ４２０Ｊ２）

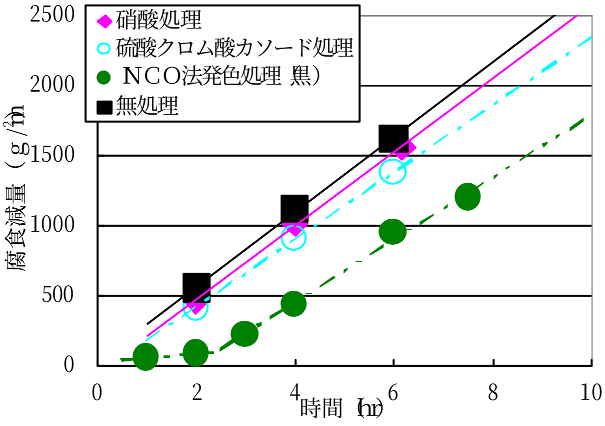



図８　発色処理（ＳＵＳ４４０Ｃ）

### ２．３．１．４　メッキと腐食減量

ＳＵＳ３０４Ｌについて、Ａｕメッキ（中間にＮｉメッキ）したものの結果を図９に示す。ごく薄いＡｕメッキは耐食性をむしろ劣化させ、ある程度厚くつけると耐食性が向上することが確認された。また、評価面の半分だけメッキした試験片では、メッキした部分のみ腐食が進行した。ステンレス鋼へのメッキにおいては、まず表面の不動態膜を除去してからメッキ層をつけるため、本来ステンレス鋼が持っている不動態膜による耐食性は損ねているといえる。

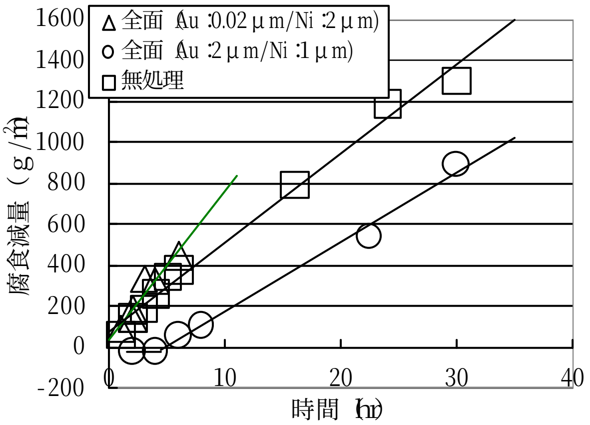



図９　メッキと腐食減量

**２．３．２　平板試料について**

ＳＵＳ３０４－２Ｂ材についての結果を図１０に示す。電解研磨とバフ研磨後硝酸処理したものが同程度の耐食性向上効果を示した。ＩＮＣＯ法発色処理はさらに優れた効果を示した。硝酸処理のみや、図では示していないがバフ研磨のみでは、ほとんど効果がなかった。硝酸処理で耐食性を向上させるためには、前処理で表面を均一にする必要があると考えられる。

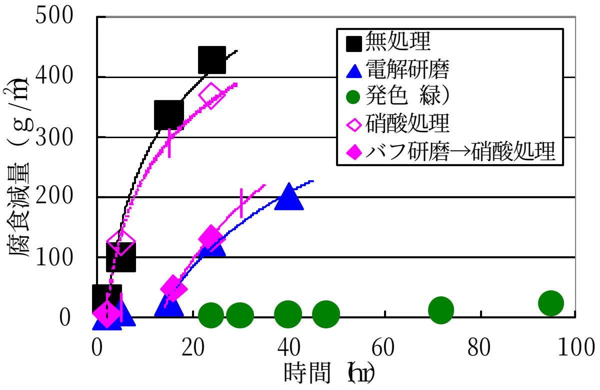



図１０　平板（ＳＵＳ３０４－２Ｂ）

**３　まとめ**

(1) 腐食減量の経時変化を測定することで、より正確な耐食性の評価が可能となった。

(2) ＩＮＣＯ法による発色処理はどの場合においても優れた耐食性を示した。

(3) ステンレス鋼の耐食性向上対策としては、表面を如何にＣｒリッチな酸化物で均一に覆うかが重要であるが、電解研磨は表面均一化と不動態膜強化の両作用を持った処理法であるといえる。

(4) 硝酸処理自体には表面均一化作用はないので、耐食性を向上させるためには前処理で表面を均一にする必要がある。また、材質によりその効果には差があって、ＣやＳが少ない鋼種ほど効果が大きいようだ。

(5) ステンレス鋼へのメッキは不動態膜による耐食性を損ねるので注意が必要である。メッキする場合は耐食性の良い物質をある程度厚くつけたほうがよい。


**＜謝辞＞**

本研究に際し、（株）中野科学様には発色処理及び電解研磨等で、（株）高秋化学様にはメッキ等で、島田工場様にはバフ研磨で多大なるご協力を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。


**４　参考文献**


(1) 長谷川監修：ステンレス鋼便覧

(2) （社）日本材料学会腐食防食専門委員会編：実験で学ぶ腐食防食の理論と応用

(3) 田中編著：ステンレス鋼の選び方・使い方

(4) 表面処理対策Ｑ＆Ａ1000 編集委員会編：表面処理対策Ｑ＆Ａ1000

(5) （社）表面技術協会編：表面技術便覧

(6) 諸橋、桑原、内藤、南、有田：工業技術研究報告書、No.22、P.72

(7) 諸橋、南、内藤、桑原、中條：工業技術研究報告書、No.23、P.63

(8) 小林、紫竹、田村：工業技術研究報告書、No.30、P.72

# ＣＡＤデータを利用した製造技術に関する研究

山田　敏浩*　　林　成実*

StudyonproductionmethodbyusingCADdata

YAMADA Toshihiro　and　HAYASHI Narumi

**抄　録**

プレス品、射出成形品などの開発期間短縮とコスト低減を目的として、３次元ＣＡＤのデータから、ＣＡＤ／ＣＡＭと木工用ＮＣルーターを使って木型を作製した。それを用いて精密鋳造により簡易金型を作製し、収縮等について評価を行った。

## １．緒言

近年、３次元ＣＡＤは、金属、プラスチック、木工など様々な業種で普及が進んでおり、そのデータを使ったＣＡＤ／ＣＡＭ、ＣＡＥの利用も一般的な技術となってきた。

一方、海外製品との価格面などの競争は厳しさを増しており、企業においては高付加価値のため、様々な新製品開発の取り組みが行われている。新製品開発の後半では実際の形状を試作し、評価を行う場合も多く、試作の期間短縮、コスト低減が求められている。

そこで、本研究では、プレス品、射出成形品などの開発期間短縮とコスト低減を目的として、３次元ＣＡＤのデータから、ＣＡＤ／ＣＡＭと木工用ＮＣルーターを使って木型を作製し、それを用いて、精密鋳造により簡易金型を作製した。

## ２．簡易金型の作成

作製手順の概略を図１に示す。３次元ＣＡＤで形状データを作製し、それを用いて、以下の工程で簡易金型を作成した。

### ２．１　３次元ＣＡＤによる形状データ作製

３次元のＣＡＤ／ＣＡＭはＧＲＡＤＥ／ＣＵＢＥを使用した。作製する簡易金型は図２の形状とした。

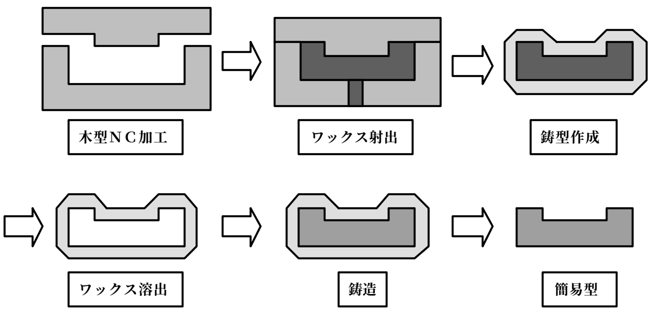



図１　作製手順

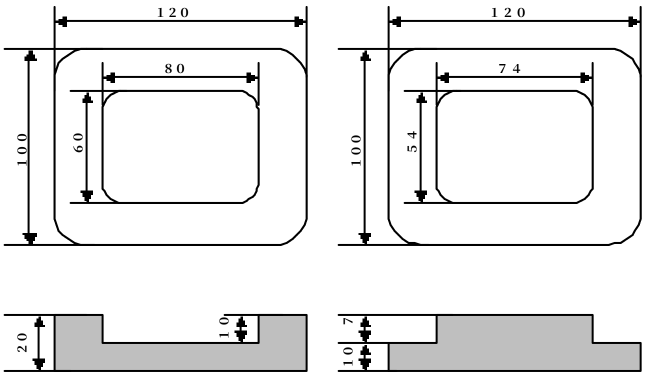



図２　簡易金型

精密鋳造では、肉厚変化があると、変形や寸法精度の低下につながるため、肉厚を一定にすることなどが必要となる。図３は、作製する簡易金型に肉抜きをした形状について、汎用プラスチックの射出圧力を付加して構造解析を行ったものの一

＊県央技術支援センター加茂センター

つである。発生する応力や変形が大きいため、今回は肉抜きを行わない形状で作製を行うこととした。

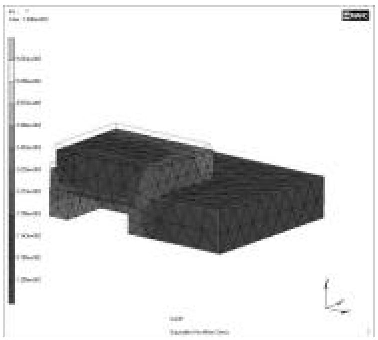


図３　構造解析結果

### ２．１　木型の作製

ホオノキとケミウッドの２種類の材料をＮＣルーターで加工し、＃６００の研磨紙により仕上げを行った。表面粗さはＲａ１．７μｍ～６．１μｍ。ケミウッドを加工したものが写真２。

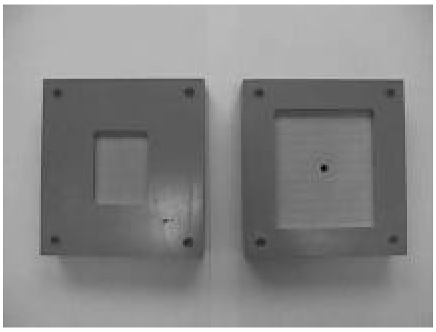


写真２　木型（ケミウッド製）

### ２．２　ワックス射出

ホオノキの型では木目に離型材が入り込み、均一な離型材の塗布が難しかったため、ワックス射出にはケミウッドの型を用いた。射出はワーク中央部の一カ所から行った。

ワックス射出には、通常、アルミニウムなどの熱伝導度の高い材料を用いるが、今回用いたのは熱伝導度の低い材料である。そこで、ワックスの熱の伝わり方を把握するため、ＣＡＥにより熱伝導解析を試みた。図４は型を木材として、型の内部を５８℃、外気温１５℃に設定し、解析した結果で、型の外側は約１５℃のままとなっている。図は省略するが、型の材質がアルミニウムのものでは型の外側でも５８℃に近い温度を示しており、熱伝導の違いが把握できる。実際の射出工程でも、アルミ型と比べてワックスの冷却に多くの時間が必要だった。

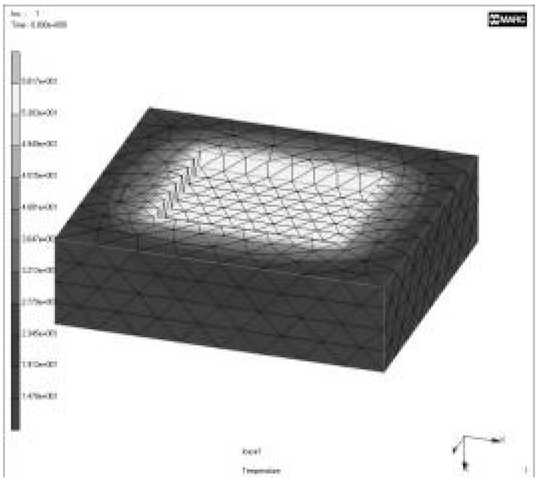


図４　熱解析結果

### ２．３　鋳造

写真３は鋳造後の簡易金型で、材料はＳＣＳ１３Ａを使用。鋳造後、溶体化処理を行った。

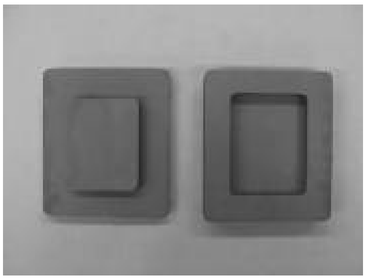


写真３　鋳造した簡易金型

凸形状の金型については、目視で確認できるほどの変形が生じた。

変形については、鋳造の工夫で改善できると思われるが、肉厚が大きく変化する部分では、収縮後に設計した形状を維持するのは簡単ではない。

肉厚部では、肉を抜いて形状を安定させ、強度が不足することについてはＣＡＥで解析を行い、他の部材で補強することも可能と思われる。

## ３．収縮率の測定

木型、ワックス型および鋳造した簡易金型について、三次元測定器により図５の幅１から幅４に対応する部分を寸法測定し、木型の寸法を１００％として収縮率を算出した。本来、ＣＡＤデータ

と簡易金型の寸法を比較することが必要であるが、使用したＮＣルーターは、入力も１／１００単位であり、金型に必要と思われる加工精度をが得られないため、木型の寸法を基準とした。測定結果を表１に示す。大きな変形を示した凸形状の簡易金型の収縮が大きい。

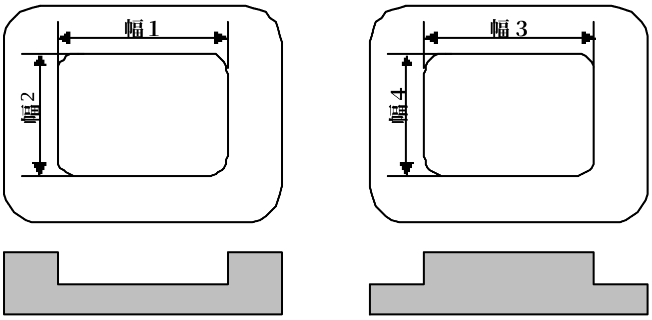



図５　収縮率の測定位置

表１　ワックスと鋳造した簡易金型の収縮率

| | ワックスの収縮率（%） | 簡易金型の収縮率（%） |
|---|---|---|
| 幅１ | １．５ | ３．４ |
| 幅２ | １．９ | ３．６ |
| 幅３ | ２．０ | ４．５ |
| 幅４ | ２．０ | ４．７ |

精密鋳造をしている企業に伺ったところ、今回の簡易金型の寸法では、アルミ型を用いた場合で、型を１００％とした鋳造品の収縮率は１～１．５％程度、ワックスの収縮率はその半分ほど、とのことであるが、今回の測定結果では、それと比べて２倍以上になった。

ワックスの収縮率が大きいことについては、射出工程中、ワックスの熱が逃げにくいため、収縮が少なく、充填率が低下することや、射出工程終了時でワックスの温度が高いために、ワックスの熱収縮が通常の精密鋳造より大きいことなどが考えられる。それらについては、熱伝導率の低い材料を用いた場合、程度の違いはあっても生じることであるので、ＣＡＤデータ作製の際には、収縮が増す分の補正が必要になるものと思われる。

## ６．まとめ

３次元ＣＡＤのデータを用いて作製した木型から、精密鋳造を行い簡易金型を作成した。

（１）ワックスの射出に木型を用いると、ワックスが冷却されるまでに時間が掛かり、収縮も大きくなった。

（２）肉厚が変化する部分で変形を生じた。

木型を用いた場合、通常の精密鋳造とはワックスの収縮率が異なるため、それを事前に把握しておくことが必要である。

# 中小企業における情報技術の導入

（CAD/CAM技術およびインターネットを活用した機械部品加工技術の高度化）

片山　聡*　嶽岡悦雄*　菅家　章*　石井啓貴*

The introduction of information technology in the small and medium enterprise

(The effect of processing information electronicization using Web and CAD/CAM technology)

KATAYAMA Satoshi, TAKEOKA Etsuo, KANKE Akira and ISHII Hirotaka

抄　録

CAD/CAM 技術によって電子化された図面情報をインターネット上で共有する方法について検討し、形状データ確認の際にXVL形式を用いることで、データ容量の大幅な軽減や高精度表示が可能となることを確認した。また、実際の切削過程で発生する情報を加工データ作成者に伝える際、インターネットを介することで、工具軌跡や加工条件が適正かどうか迅速に判断でき、品質の向上や納期短縮の効果が見込まれることを明らかにした。

## １．緒言

中国をはじめとする諸外国との競争が激化する中で、県内の製造業が勝ち残っていくためには、品質や精度、納期などにおいて十分な優位性を持つことが必要である。機械部品加工を主たる業務とする企業を例にとれば、加工技術の高度化が必須であるが、さらに高い付加価値を生み出すためにも、情報技術の活用が求められている。

例えば、精密部品加工を行う企業においては、自社内に設置した加工機械だけでは要求を満たすことのできない要素を含む部品加工を受注することがある。そうした場合は、加工の一部を外部に委託しなくてはならないが、従来のような紙の図面を介した情報のやりとりでは、加工条件や加工精度で不具合が発生する度に担当者自身が何度も移動して打ち合わせを繰り返す必要があった。しかし、こうしたプロセスは時間的にも経済的にも無駄であり、これに費やす時間は極力減少させる必要がある。

本研究は、中小企業に情報技術を導入することにより、技術の高度化と生産性の向上を図ることを目的とする。まずCAD/CAMシステムを用いて図面情報を電子化し、インターネットを介して発注側と受注先で情報を共有する方法について検討した。また、実際の加工を行う過程で発生する情報を、インターネットを介して加工データの作成者に伝え、工具軌跡データや加工条件が適正かどうかを迅速かつ正確に判断する方法についても検討した。

＊上越技術支援センター

## ２．インターネットを介した図面情報の活用

### ２．１　ビューワによる形状データの確認

３次元CADにより、図１、２に示すモデルを作成し、異なるCAD/CAM間の形状データ受け渡しに用いられる代表的な中間ファイル形式（IGES 形式、

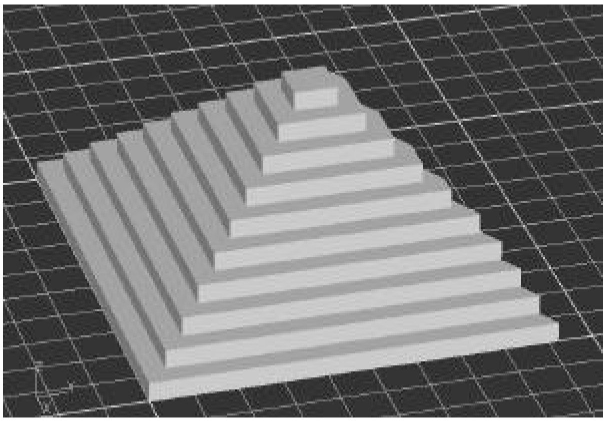


図１　モデルA全体図

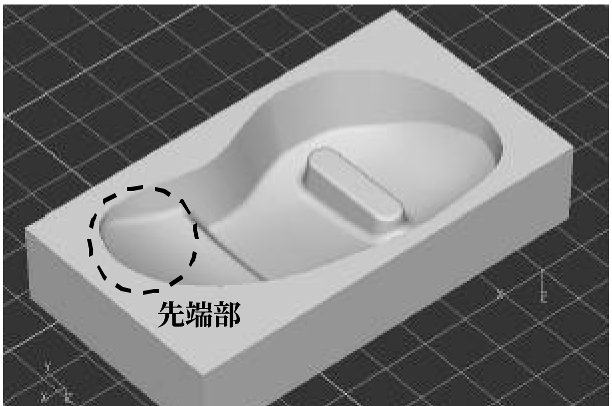



図２　モデルB全体図

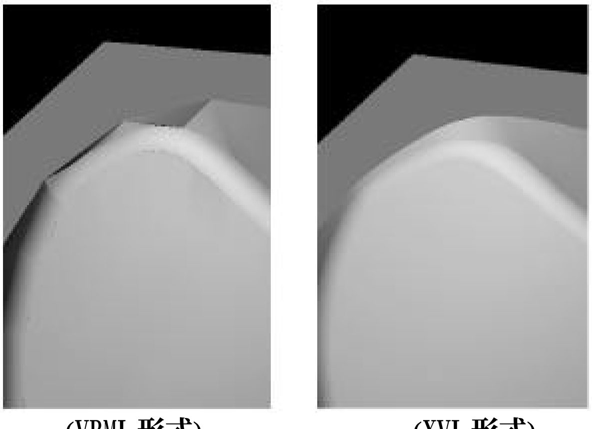
VRML形式、XVL形式）に変換後、データ容量とビューワ（形状表示ソフト）上での表示精度を確認した。なお、表面の幾何形状による影響を調べるため、モデルAは平面のみを用いた形状、モデルBは自由曲面を用いた形状とした。モデルの作成には（株）フォロトン社、図脳RAPID3Dを使用し、各種中間ファイル形式への変換も同ソフトより行った。

表１に中間ファイル変換後のデータ容量を示す。モデルA、Bともに、XVL 形式で最もデータ容量が小さくなっており、オリジナルデータに対し１%以下となっている。また、自由曲面を含むモデルBでは、モデルAに比べて変換後のデータ容量が大きくなっており、特に IGES 形式ではその違いが顕著に現れた。

表１　中間ファイル変換後のデータサイズ

| データの種類 | モデルA (KB) | モデルB (KB) |
|---|---|---|
| オリジナルデータ | 1760 | 1568 |
| IGES形式 | 385 | 1183 |
| VRML形式 | 262 | 362 |
| XVL形式 | 4 | 11 |

図３に VRML 形式、XVL 形式に変換したモデルB先端部を示す。VRML 形式は Computer Associates International 社の Cosmo Player、XVL形式はラティステクノロジー社の XVL Viewer を用いて形状を確認した。図３を比較すると、VRML 形式で細部が滑らかに表示されていないことが分かる。これは VRML 形式がポリゴン（多角形平面）を用いて表面を近似するためである。ポリゴンのメッシュを細かくすることで曲面を滑らかに表示できるようになるが、その場合にはデータ容量が大きくなり、実用的でない。



(VRML形式)　　(XVL形式)

図３　モデルB先端部

以上のことから、現状においてはXVL形式がビューワを利用した形状データの確認に適しているといえる。またデータ容量が小さいため、インターネットを介したデータの共有にも適している。ただし、NC データの作成や再設計には正確な幾何・位相情報が必要であり、この場合にはオリジナルデータや IGES 形式を用いねばならない。そのため本研究では、加工サンプルの形状確認および検討にXVL形式、CAD から CAM への形状データ転送に IGES 形式を用いることとした。

### ２．２　NC加工データの確認

厚さ 1.60mm のアルミニウム平板（A7570）上に、図４に示す形状の穴をボールエンドミルおよびスクエアエンドミルにより 2000 個程度創成する部品を加工対象として、ワコム社のΦSTATION により NC 加工データを作成した。使用工具を表２に示す。

図中 A に示す部分の加工には直径が 0.3mm 以下の極小径のエンドミルを使用する必要が生ずるが、通常の回転速度のマシニングセンタでは必要な切削速度を得ることが難しいため、毎分３万回転以上の回転速度を持つ主軸を搭載したマシニングセンタ等を用いることが望ましい。

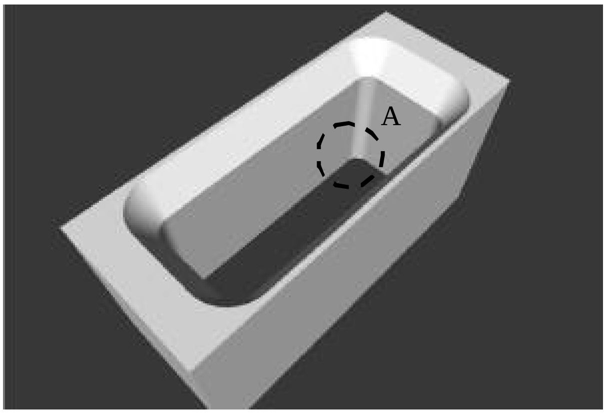



図４　加工対象

表２　工具諸元

| 工具の種類 | 直径 (mm) | 刃長 (mm) | 備　考 |
|---|---|---|---|
| ボールエンドミル | 1.0 | ―― | ２枚刃 |
| テーパエンドミル | ―― | 2.0 | テーパ片側 30° |
| スクエアエンドミル | 0.3 | 1.2 | ２枚刃 |

各工具による軌跡を生成する上で、留意した点は下記のとおりである。

（1）比較的小径の工具を用いることから、切込み深さや一刃当たりの送りの適正化を図り、加工誤差や工具破損の発生を防ぐ
（2）仕上げに用いる直径が0.3㎜の工具においては前工程での削り残し量に十分注意し、特にコーナ部で過度な負荷が作用しないよう配慮する
（3）単純な形状ではあるが、加工個数が約 2000 個と多いため、むだな動きは極力排除し、加工時間の短縮を図る

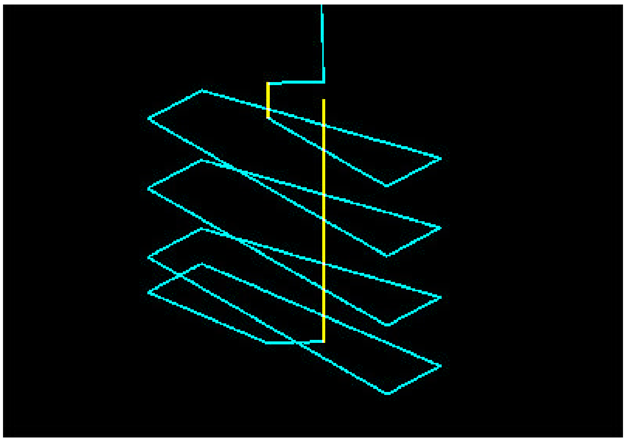
以上の条件を配慮して、主に等高線輪郭加工、ヘリカル加工などにより工具軌跡を生成した。各工具による工具軌跡の代表的な部分を図６の(a)～(c)に示す。また、表３には各工具を使用した場合の切削条件を示す。

NC加工データの確認にはΦSTATION付属のシミュレータとプロキャスト（株）の CASTSTAR-S を用いた。各工具に対する工具軌跡はサブプログラムとして作成したが、各穴間の移動時間も考慮するため、プログラムを展開して加工時間を確認し、全加工時間の短縮を図った。

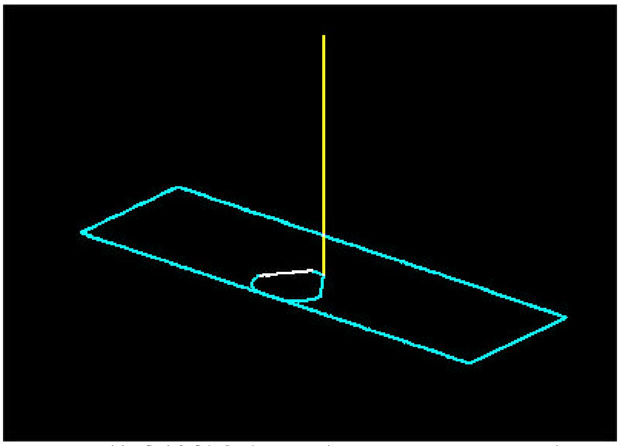
### 3．切削実験と加工状況の監視方法

実験に使用した加工機械は、空気静圧軸受主軸を搭載した NC フライス盤であり、その最高回転速度は45000$\mathrm{min}^{-1}$である。

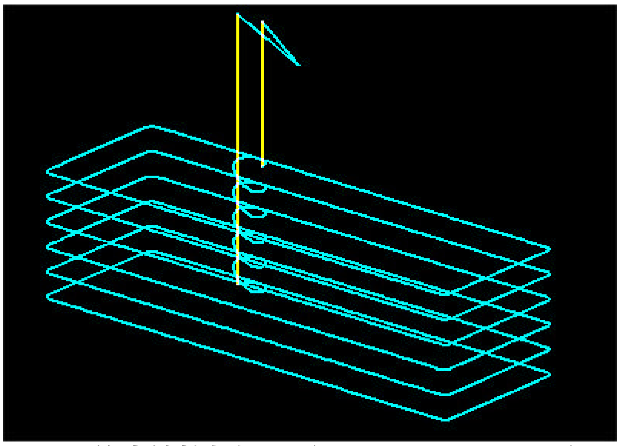
本実験では工具とその加工対象が小さく、また主軸回転速度が高いために、正常な加工が行われているかどうかを作業者が感覚的に判断することが難しい。そこで小型の圧電型動力計を用いて切削抵抗を実時間で計測し、その変動を監視することで、正常な切削が行われているかどうかを判断した。また、そこで得られたデータをデジタル化し、インターネットを介して加工データの作製側へ伝送することにより、相互に結果を検討することを試みた。



(a)　ヘリカル加工（ボールエンドミル）



(b)　等高線輪郭加工（テーパエンドミル）



(c)　等高線輪郭加工（スクエアエンドミル）

図６　工具軌跡

表３　切削条件

| 工具の種類 | 回転速度 ($\mathrm{min}^{-1}$) | 送り速度 (mm/min) | 軸方向切り込み (mm) | 備　考 |
|---|---|---|---|---|
| ボールエンドミル | 24000 | 500 | 0.21 | ヘリカル加工　コーナ部で減速 |
| テーパエンドミル | 30000 | 600 | 0.21 | 等高線輪郭加工　コーナ部で減速 |
| スクエアエンドミル | 45000 | 420 | 0.20 | 等高線輪郭加工　コーナ部で減速 |

## ４．切削抵抗の測定と加工状況の把握

### ４．１　ボールエンドミルによる荒加工

図７に、ボールエンドミルを用いて切削した時の切削抵抗（X軸方向成分）の変動を示す。図には約３周分の切削抵抗の変動が示されている。

主軸が毎分３万回転しており、切れ刃が２枚であるから、断続切削の基本周波数は約 1kHz に達する。図には示していないが、固有振動数の高い動力計を用いていることから、個々の切れ刃による切削抵抗の変動が明瞭に計測されている。

図７から、コーナ部で切削送り速度を減速したことによる切削抵抗の減少（図中ａ）や、実切込み深さが増すことによる切削抵抗の増加（図中ｂ）が明瞭に観察される。これにより、切込みや一刃当たりの送りなどの切削条件が適正かどうか判断できる。また、コーナ部での切削送り速度の制御の必要性があるかどうか、また制御した場合はそれが有効に作用しているかどうかの判断も可能である。

この実験では直線部での切削抵抗の最大値が約 12N 程度である。コーナ部では実質的な切込みの増加に伴って切削抵抗も増加する傾向が見られるが、直線部での最大値を超えることがないことから、切削条件は妥当であると判断される。

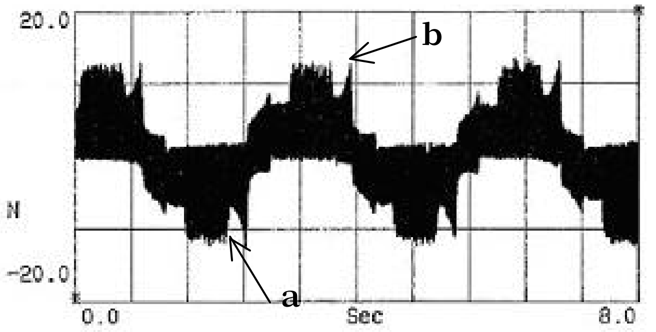


図７　ボールエンドミルによる切削時の切削抵抗波形

### ４．２　スクエアエンドミルによる仕上げ切削

写真１に、スクエアエンドミルによる加工の状況を示す。図８、９には、ボールエンドミルおよびテーパエンドミルを用いて切削した後、スクエアエンドミルで仕上げ切削した時の切削抵抗の変動波形を示す。

図８にはスクエアエンドミルによる等高線輪郭加工（図６-c）のおよそ１周分の切削抵抗の変動が示されている。図中には示していないが、切削抵抗が作用しているにはコーナ部切削時であり、それ以外の加工部位では切削抵抗が作用していないことがわかる。これは工具の振れや変形、加工テーブルの運動精度など様々な誤差要因のために、あらかじめ想定されたとおりの形状が創成されておらず、一定の

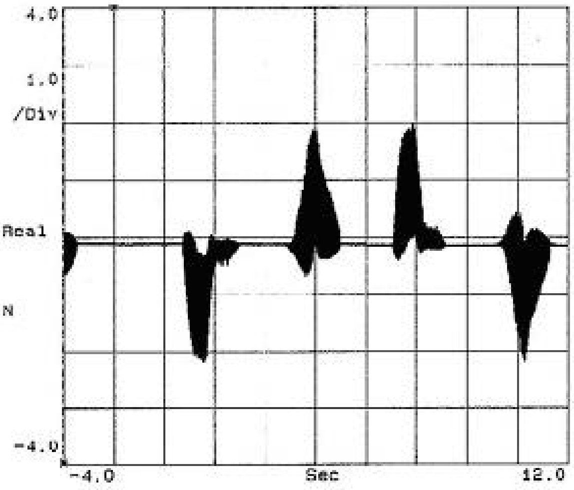


図８　スクエアエンドミルによる切削抵抗の変動

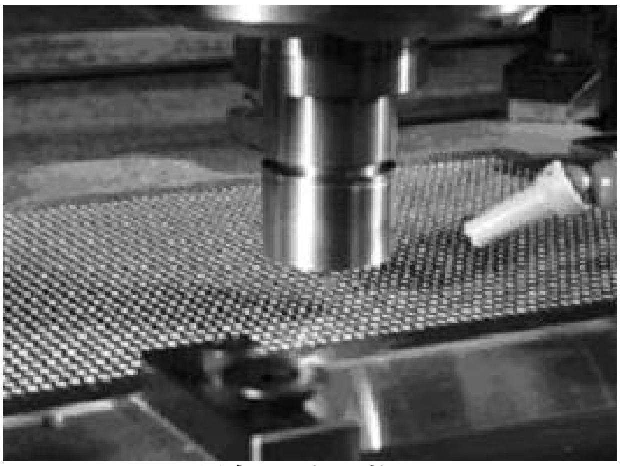


写真１　加工状況

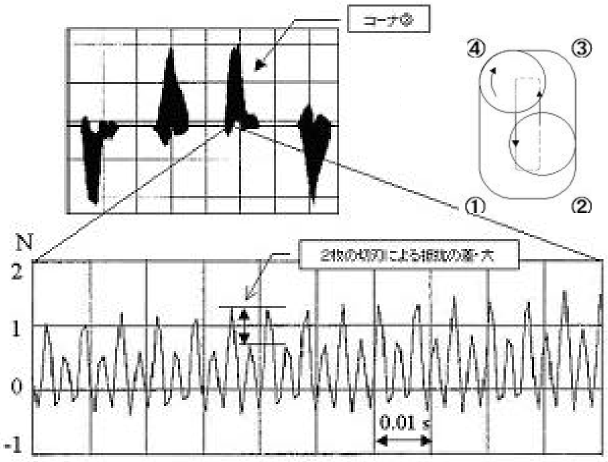


図９　切削抵抗詳細図

仕上げ代が確保されていたにもかかわらず実際には切削が行われなかったことを示している。

こうした状態では前加工面の一部が残ってしまい、完全な仕上げ加工が行われないことになり、高い製品精度や機能を満たすことができない。

そこで、この測定結果をインターネットによりプログラム作成者に送信することにより、不具合の具体的な状況を具体的に伝達した。CAD/CAM システムのオペレータはそれに基づいて NC 加工データや切削条件の変更を行い、再度加工サイドにデータ転送することにより、切削の適正化が図られた。

## 5．結　言

本研究は中小企業に情報技術を導入することにより、技術の高度化と生産性の向上を図ることを目的とするものであり、精密機械部品の加工を例に、具体的な手法と得られた効果を明らかにした。以下にその具体的な項目を示す。

1）CAD/CAM 技術を用いて図面情報を電子化することにより、インターネットを介して情報が共有でき、企業間における正確且つ迅速な検討が可能となる。
2）形状データを XVL 形式に変換し、それに対応したビューワを用いることで、非常に軽量な形状データを企業間で共有することが可能となる。
3）加工中の切削抵抗の変動を測定し、インターネットを介してそのデータをやりとりすることにより、NC 加工データおよび切削条件の適正化が迅速に行うことが可能である。

# 複合材料の疲労試験評価に関する研究

浦井　和彦*　　石井　啓貴*

The researchon fatigue testevaluation of the composite material

URAIKazuhiko　and　ISHII Hirotaka

**抄　録**

信頼性と高品質を備えた製品を開発する上で、その製品の品質や性能を評価するための試験方法や評価・基準・規格が必要になる。現在、ウインタースポーツのひとつに、複合材料を構成材とした製品、スノーボードがある。このスノーボードに関するこれらの試験・規格としてＩＳＯ／ＤＩＳ　１０９５８等があるが、しかし、その内容は金具、ブーツに関する規格であり、スノーボード本体の強度性能や疲労性能などの品質と信頼性に関する項目は含まれない。

本研究は、複合材料製品であるスノーボードについて、その疲労特性を検討するための試験方法と製品本体の疲労特性を評価するために、旧　ＪＩＳ　Ｓ　７０１９（アルペンスキー試験方法）を参考に、スノーボード用ねじり強度試験機を用いて、曲げ疲労試験やねじり疲労試験を実施した。

## １．はじめに

スノーボードは、１９８０年代にアメリカから伝わったウインタースポーツであるが、日本での本格的な流行は、１９９０年代後半からである。現在、若者を中心に、スキーを凌ぐ冬のスポーツになった。

上越技術支援センターには、この複合材料製品であるスノーボードについて、県内外の製造メーカー、輸入代理店、商社などから依頼試験や技術相談がある。

現在、スノーボードの製品、品質性能に関する試験方法、規格としてＩＳＯがあります。しかし、その内容は、金具（ビンディング）の取り付けエリアやブーツ、ブーツプレートに関するもので、スノーボード本体の強度や特性を評価する試験方法ではない。

このため、当センターでは、スノーボードの強度試験・相談に対応するために、独自の試験方法を第２５回国際スキー科学技術研究会（1992）に発表した。その後、試験項目の追加や訂正を重ね、現在の方法になった。

当センターの「スノーボード試験方法」は、ボード本体の曲げ弾性や破壊強度、ねじり弾性等の強度的性能を測定する項目と温度等の環境変化に伴うボード本体の形状変化や滑走面の状態変化を調べる計測的な検査項目から構成されている。しかし、スキーの試験規格（旧 JIS　S　7019）に比べると、その内容は不十分である。

そこで本研究は、スノーボードの疲労特性の把握とその試験方法の確立を目的に、スキーを用い、ＪＩＳ　Ｓ　７０１９に準拠し、試験回数条件を１０倍の２０万回で曲げ疲労試験を行い、疲労特性を把握した。次に、スノーボード用ねじり強度試験機によるスキーの曲げ疲労試験を行い、疲労特性を把握した。その結果を参考に、スノーボード用ねじり試験機によるスノーボードの疲労試験（曲げ疲労、ねじり疲労）を実施したので、ここに報告する。

## ２．スノーボード試験方法の現状

スノーボードには、日本工業規格（ＪＩＳ）は無い。しかし、国際規格草案（ISO/DIS）でいくつかの試験規格が規定されている。また、当センターが提案した試験方法があるので、以下に記載する。

### ２．１　国際規格草案（ＩＳＯ／ＤＩＳ）

・ＩＳＯ／ＤＩＳ　１０９５８

＊上越技術支援センター

ビンディング取付けエリア
ー要求事項および試験方法
・ＩＳＯ／ＤＩＳ　１１６３４
スノーボード用ブーツ
・ＩＳＯ／ＤＩＳ　１４７９０
スノーボード・プレート

２．２　スノーボード試験方法

第２５回国際スキー科学技術研究会（１９９２）で発表し、専門誌のスノーボード特集欄を通し、一般的なスノーボードの評価方法として業界に広まり、その後、試験項目の追加改訂し、現在に至る。

試験方法（一部省略）

１．接触長さとその求め方
接触長さとは、スノーボード本体を定盤に置き、０．５mmのすきまゲージを走らせて滑走面と相交わる箇所にできる二つの接触線間の長さのことをいう。

２．曲げ弾性試験
スノーボードの接触長さを支点間距離（スパン）とし、その中央を高さ方向の上から垂直に２０Ｎの予備荷重をかけ、さらに荷重３００Ｎになるまで２０mm／ｍｉｎ以下の速さで静かに荷重をかけて、その時のたわみ量を測定する。

３．ビス保持試験
・４×４ビス保持試験
・バートン社ボードのビス保持試験

４．ねじり強度試験
スノーボードの接触長さを支点間距離（スパン）とし、同一平面上に固定し、かつ、ねじり試験機の中心にスノーボード軸を合わせて装着し、ねじりトルクを静かに加えねじり角度を読みとる。

ねじり弾性は、次のように求める。

$$Ct = M / \alpha$$

Ｃｔ　：ねじりばね定数（Ｎ・ｍ／度）
Ｍ　：スノーボードに加えたねじりトルク（Ｎ・ｍ）
α　：ねじり角度（度）

５．曲げ破壊強度試験

６．温度特性試験

６－１　キャンバ高さ及び測定位置
スノーボードを定盤上に置いた状態でスノーボードの滑走面と定盤との間の隙間距離をキャンバ高さという。

キャンバ高さの測定点は、スノーボード接触長さの中心部（長さ方向及び幅方向）を測定する。

６－２　低温における形状変化について
アルペンスキー試験方法ＪＩＳ Ｓ ７０１９－１９８２に準拠し、スノーボードの常温におけるキャンバ高さを測定した後これを低温（－２０℃）槽に２時間放置し、その時のキャンバ高さを測定し温度変化（単位温度あたり）によるキャンバ高さの変化量（mm／℃）を表した。

$$Ht = \frac{ht - h't'}{T - T'}$$

Ｈｔ：単位温度あたりのキャンバの変化量（mm／℃）
ｈｔ：常温におけるキャンバ高さ（mm）
ｈ’ｔ’：低温におけるキャンバ高さ(mm)
Ｔ：常温（試験室温度）　（℃）
Ｔ’：低温（低温槽温度）　（℃）

６－３　滑走面の状態

３．試験体

図１　試験体

３．１　アルペンスキー
ショートカービングスキー
ＳＬカット
呼び長さ　１６５

３．２　スノーボード

アルペンボード

呼び長さ　１５８

４．試験機

４．１　スキー曲げ疲労試験装置

・㈱東京試験機製作所

CHF-02K-01

・最大負荷力　９８０N

４．２　スノーボード用ねじり強度試験機

・㈱島津製作所

・最大荷重

・ねじり荷重　１００N・m

・曲げ荷重　　２kN

・最大変位

・ねじり角度　±５０度

・曲げ変位　　下方へ１５０mm

・負荷速度

・ねじり試験　最大　±５０度／1Hz

・曲げ試験　最大 ± 100mm/0.25 Hz

５．スキーの疲労試験

５．１　試験回数の設定

１シーズン中に、スキー、スノーボードがたわむ回数について、厳密な調査が必要であるが、本研究では、スキーメーカーのアドバイスと要望から、次の様に設定した。

スキーヤーが１回の滑りで行うターン回数を１００回とし、1日に１５本滑ると仮定し、これを１シーズンで、延べ４０日滑るとすると、スキーに負荷されるターン数は１年で６万回になる。この数を３倍し、これにプラスアルファを加えた２０万回を疲労試験回数と設定した。この回数は３年以上に相当する。

ねじり角度についても、メーカーの要望により片ねじり角を５度とした。

５．２　曲げ疲労試験方法

試験体アルペンスキーを用い、ＪＩＳ Ｓ ７０１９に準じ試験を行った。

・スパン　呼び長さ－２８０mm

・加振ストローク　４５０N時のｽﾄﾛｰｸ

・試験回数　　　　２０００００回

・試験温度条件　－５℃±２℃

・測定項目

・ボトムキャンバ

・中心ばね定数

・ねじりばね定数

・その他　外観目視による検査

・測定回数（測定時試験回数）

２万回ごとに２０万回まで延べ１０回

５．３　ねじり疲労試験方法

スノーボード用ねじり強度試験機を用い、片ねじり角度を５度に設定し、周波数１Hz で、曲げ疲労試験条件と同条件で２０万回のねじり疲労試験を行った。

試験温度は室温で、この時、サーモレコーダーにより温度を記録した。

６．スキーの疲労試験結果

アルペンスキーの曲げ疲労試験結果ならびにねじり疲労試験結果を中心ばね定数の変化、ねじりばね定数の変化、ボトムキャンバの変化量で下図に示す。

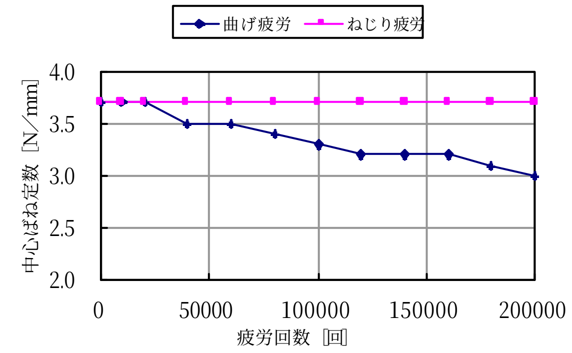



図２　スキー疲労試験（中心ばね定数）

６．１　中心ばね定数

１）ねじりによる疲労試験では、中心ばね定数の変化はない。

２）曲げ疲労において、２万回を超えると徐々に中心ばね定数が減少し、２０万回で 3.0 N／ mm となり、試験前に比べ約２０%疲労した。

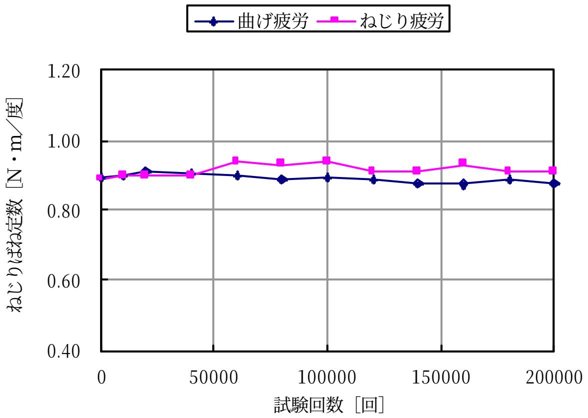



図３　スキー疲労試験（ねじりばね定数）

### ６．２　ねじりばね定数

曲げとねじりの疲労試験では、ねじりばね定数の変化は見られない。

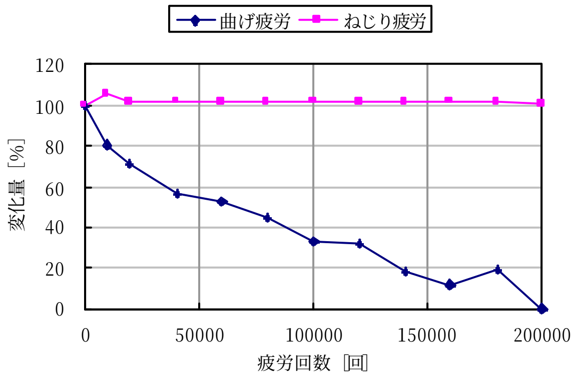



図４　スキー疲労試験（ボトムキャンバ）

### ６．３　ボトムキャンバ

１）ねじり疲労では、ボトムキャンバ（キャンバ高さ）の変化は見られない。

２）曲げ疲労では、試験回数が２０万回でキャンバが無くなった。

３）曲げ疲労試験の終了後１週間経過した時点でキャンバ高さを測定したが、キャンバは戻らなかった。

## ７．スノーボード用ねじり強度試験機によるアルペンスキーの疲労試験

当センター所有のスキー曲げ疲労試験装置は、構造上の問題からスノーボードの疲労試験ができない。そこで、スノーボード用ねじり強度試験機を用いた疲労試験の試験条件設定のために、同試験機による予備試験をスキーで行った。

### ７．１　試験条件

- 曲げ疲労試験
- スパン　呼び長さ－２８０mm
- 荷重制御　（２条件）
  - ３００N±５０N　（条件１）
  - ４５０N±５０N　（条件２）
- 周波数　３Hz
- 試験回数　２０００００回
- 試験温度条件　室温（温度を記録）
- 測定項目
  - ボトムキャンバ
  - 中心ばね定数
  - ねじりばね定数
- その他　外観目視による検査
- 測定回数（測定時試験回数）
  ２万回ごとに２０万回まで延べ１０回
- 試験体　アルペンスキー

### ７．２　結果および考察

スノーボード用ねじり強度試験機でアルペンスキーの曲げ疲労試験を実施した結果、次の様な事がわかった。

１）中心ばね定数の疲労性について

図５に示すように、今回の試験条件では、曲げ疲労試験装置による結果のような明らかな中心ばね定数の変化（疲労）は見られなかった。

同スペック、同性能を有する試験体を用いているので、変化が見られない理由として
①疲労時に与える振幅（ストローク）の量が少ないこと。
②設定荷重が小さいこと。
以上が考えられる。

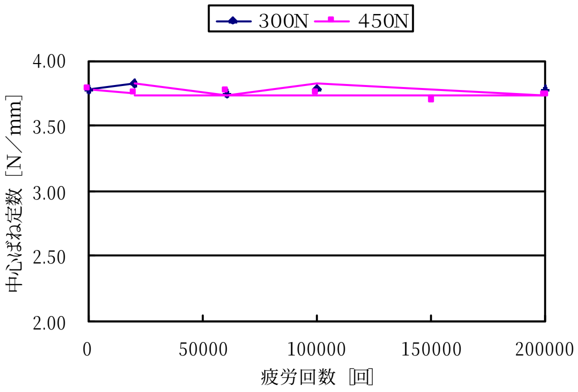



図５　スノーボード用ねじり強度試験機によるスキーの疲労結果（中心ばね定数）

２）ねじりばね定数の疲労性について

ＪＩＳ曲げ疲労試験の結果同様、３００Nの条件では、ねじりばね定数の変化は見られない。但し、図６に表れた試験回数６万回での定数減少については、計測時の温度が影響したものと思われる。

また、４５０Nの条件では、試験回数６万回で定数が減少した。その後、変化は無かったことから、６万回の曲げ疲労により、試料スキーの内部で何らかの問題（接着層の一部剥離）が発生したと思われる。

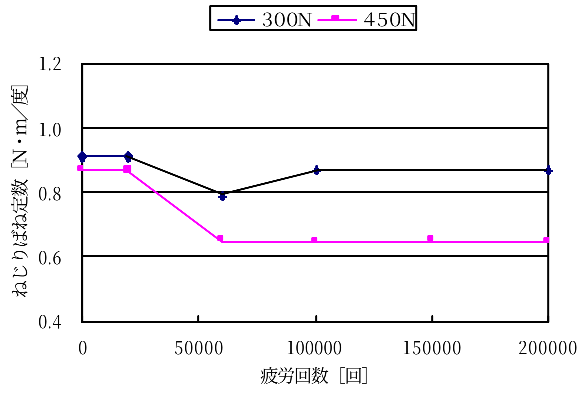



図６　スノーボード用ねじり強度試験機によるスキーの疲労結果（ねじりばね定数）

３）ボトムキャンバの疲労性について

図７に示すように、設定荷重３００Ｎについては、ボトムキャンバが２０万回で４０％減少した。これは、ＪＩＳ試験方法の結果、４万回に相当し、４５０Ｎの２０万回試験回数は、１６万回に相当する。

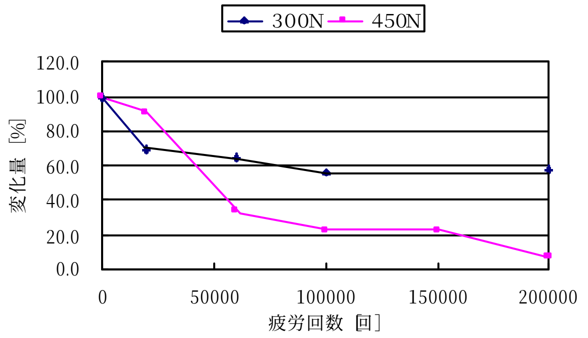



図７　スノーボード用ねじり強度試験機によるスキーの疲労結果（ボトムキャンバ）

８．スノーボードの疲労試験

スキーによる試験結果を参考に、スノーボードの疲労試験をスノーボード用ねじり強度試験機を用い、曲げ疲労とねじり疲労による試験方法で実施した。

８．１　試験条件

８．１．１　曲げ疲労試験

・スパン　接触長さ（１４００mm）
・荷重制御　（２条件）
　・６００Ｎ±３００Ｎ　（条件１）
　・９００Ｎ±３００Ｎ　（条件２）
・制御波形　正弦波
・周波数　　３Ｈｚ
・試験回数　　　２０００００回
・試験温度条件　　室温（温度を記録）
・測定項目
　・ボトムキャンバ
　・中心ばね定数
　・ねじりばね定数
　・その他　外観目視による検査
・測定回数（測定時試験回数）
　２万回ごとに２０万回まで延べ１０回

８．１．２　ねじり疲労試験

・スパン　接触長さ（１４００mm）
・ねじり角度　片ねじり　５度
・制御波形　正弦波
・周波数　　１Ｈｚ
・試験回数　　　２０００００回
・試験温度条件　　室温（温度を記録）
・測定項目
　・ボトムキャンバ
　・中心ばね定数
　・ねじりばね定数
　・その他　外観目視による検査
・測定回数（測定時試験回数）
　２万回ごとに２０万回まで延べ１０回

８．２　スノーボードの形状変化（単位温度あたりの変化量）

スノーボードのキャンバ高さは、温度変化により変化する。しかし、試験装置の構造上から、恒温条件下での試験実施は困難であるので、予め、スノーボードの低温時における形状変化量を測定した。その結果を表１に示す。スキーに比べ、スノーボードの変化量が大きいことがわかる。

表１　試験体の形状変化量

| 試験体 | 単位温度あたりのﾎﾞﾄﾑｷｬﾝﾊﾞ変化量 |
|---|---|
| スキー平均 | −０．０１６（mm／℃） |
| ボード平均 | −０．２９０（mm／℃） |
| A | −０．２７２（mm／℃） |
| B | −０．３４６（mm／℃） |
| C | −０．２５８（mm／℃） |

８．３　試験結果

試験結果を図７，８，９に示す。

曲げ疲労試験による中心ばね定数及び、ねじりばね定数の定数変化は見られない。また、ボトムキャンバは、２０万回の曲げ疲労回数で約２０％減少した。これは、スキーの曲げ疲労試験条件の４万回に相当する。

ねじり疲労試験では、ばね定数、ねじり定数、ボトムキャンバとも、疲労を示す値示さなかった。

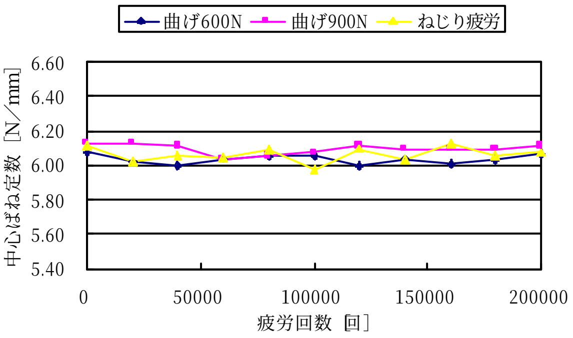



図７　スノーボード疲労試験（中心ばね定数）

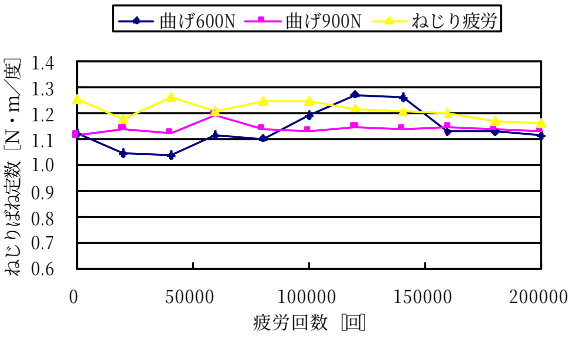



図８　スノーボード疲労試験（ねじりばね定数）

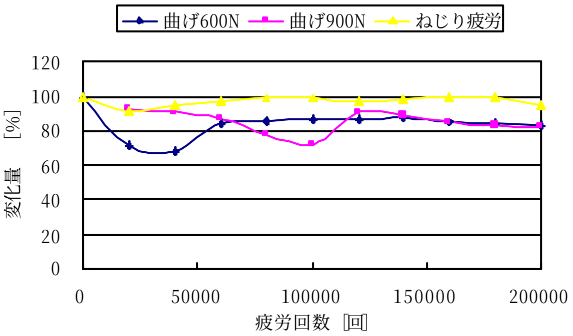



図９　スノーボード疲労試験（ボトムキャンバ）

９．まとめ

１）スキー、スノーボードの曲げ及びねじり疲労特性についてのデータが得られた。

２）現在市販されているスキーを、ＪＩＳによる試験方法の１０倍の回数である２０万回を負荷したが、目視による外傷、破損などのはキズは確認できなかった。これは、１０年前のスキー（射出成形スキー、木製スキー）に比べ、耐久性能、品質が格段に向上してると言える。

３）片ねじり角度５度による繰り返しねじり疲労試験では、曲げ疲労試験に比べ、ばね定数、ねじりばね定数、ボトムキャンバの変化は確認できなかった。

このことから、疲労試験方法としてのねじり疲労試験方法は、スキー、スノーボードの疲労評価方法としては不適当であると考える。疲労特性を把握する試験方法として曲げ疲労による試験方法が適当である。

４）本試験で得られたデータを活用し、依頼試験や技術相談に活用したい。

１０．今後の課題

１）疲労試験（３年分の繰り返し疲労回数）を行った試験体（スノーボード）の実走による官能評価を現在メーカーに依頼中で、その官能試験結果をもとに、疲労試験の試験条件を再検討したい。

２）製品の疲労度を評価する方法としては、強度試験などの物性試験方法もあるが、今回の試験では、試験体を用い、実走による官能評価をするために、強度試験が出来なかった。また、クリープ試験等も実施しなかったので、今後の検討課題としたい。

図１０　スノーボード曲げ疲労試験

# 繊維製品の染着制御・機能性付加技術の開発（その１）
## （佐渡産おけさ柿を利用した抗菌性ニットの開発）

諸橋 春夫*　佐藤 清治*　佐野 正*

DevelopmentofFunctionalTextile
(Development of Knitwear usingPersimmonTannin)

MOROHASHIHaruo,　SATOU Seiji and　SANO Tadashi

**抄　録**

低濃度の佐渡産柿渋液と一本糊付け機により、柿渋付着後の斑発生を回避すると同時に、染色堅ろう度及び糸物性等を低下させることなく、綿糸に柿渋を付着させることができた。また、この柿渋処理糸（編み地）には、十分な抗菌性がみられた。

### １．緒言

近年、衣料品の差別化戦略として“機能性”や“エコ素材”を取り入れた商品開発が盛んになっている。また、天然成分であるポリフェノールやその一種であるカキタンニンには抗菌防臭性や消臭、抗アレルギー性等の機能のあることが報告されている[1)2)]。

一方、新潟県農業総合研究所食品研究センターが、おけさ柿の青い実を砕いて搾った液(以下、新型柿渋と示す)をおけさ柿の用途拡大を目的として開発し、平成１３年度から佐渡羽茂農協で新型柿渋の生産を開始した。現在市販されている従来からある柿渋(以下、従来型柿渋と示す)は、番傘・漁網・木製品等の生活用具の補強的染料として使われてきたが、衣料製品への応用の際には、その独特の臭気や色のため用途が限られている状態であり、ニットへの応用は見当たらない。

そこで本研究では、“新潟発”のブランド品作りを目的として、カキタンニンを含む新潟県佐渡産であるおけさ柿を原料とした新型柿渋を用い、抗菌機能を付加したニット製品の開発を行った。

*素材応用技術支援センター

### ２．作製方法

製品開発には抗菌性付与を目的として新型柿渋液を用い、

**精練→染色→新型柿渋液付着→編成**

という工程で開発を行った。

#### ２.１　使用素材

新型柿渋液の付着対象糸として天然素材である綿糸を用いた。

使用素材：綿３０／２、綿６０／２

#### ２.２　染色

本開発では新型柿渋液付着前に染色を行った。

染料：反応染料

#### ２.３　新型柿渋液の付着

柿渋液を糸に付着する際には糊付け機(図１)を使用した。付着液としては、柿渋液の原液に溶媒として水を用いた1%濃度溶液を用いた。但し抗菌防臭性の評価用としては、0.2、0.5、50(%)の溶液も用いた。

糊付け機：㈱ﾔﾏﾀﾞ製YS-6型ｻｲｼﾞﾝｸﾞﾜｲﾝﾀﾞｰ

### ３．評価方法

作製製品の抗菌性、物性、堅ろう度を調べるために下記の試験を行った。

・抗菌防臭性：JIS　L1902繊維製品の抗菌性試験方法定量試験
・強伸度試験：ﾂｪﾙﾍﾞｶﾞｰｳｽﾀｰ㈱製

図１　糊付け機

全自動糸強伸度試験機TENSORAPID3を使用
・耐光性試験：JIS　L0842紫外線ｶｱｰﾎﾞﾝｱｰｸ灯光に対する染色堅ろう度試験方法
・洗濯試験　：JISL0844洗濯に対する染色堅ろう度試験
・汗試験　　：JISL0848汗に対する染色堅ろう度試験

## ４．結果および考察

本研究で作製した開発ニット製品を図２に示す。

図２　開発ニット製品

### ４．１　抗菌性

得られた柿渋付着サンプルおよび10回洗濯後の抗菌防臭性を調べた。結果を表１に示す。評価の結果、0.5%の低濃度以上の処理で抗菌効果を付加できることが確認できた。

表１　各処理サンプルの静菌活性値

| 処理濃度(%) | 静菌活性値 | |
|---|---|---|
| | 未洗濯 | 洗濯10回 |
| 0.2 | 0.5 | 5.8以上 |
| 0.5 | 4.8 | 3.2 |
| 1.0 | 3.8 | 2.5 |
| 50.0 | 4.6 | 5.5 |

測定：（財）日本繊維製品品質技術ｾﾝﾀｰ
・静菌活性値2.2以上で抗菌防臭機能あり。
・洗濯前・後の両方2.2以上の場合、繊維製品新機能評価協議会から抗菌防臭効果を認める「SEKﾏｰｸ」の表示が許諾される。

### ４．２　物性

強伸度試験、風合い試験(曲げ特性)ともに未処理品と処理品に差は見られなかった。

表２　強伸度

| ｻﾝﾌﾟﾙ | 強度(gf) | 伸度(%) |
|---|---|---|
| 未処理 | 338.8 | 4.85 |
| 1%処理 | 334.4 | 4.56 |

v＝300mm/min、FV＝5.7gf、LH＝300mm

表３　曲げ特性

| ｻﾝﾌﾟﾙ | B | 2HB |
|---|---|---|
| | 曲げ硬さ | 回復度 |
| 未処理 | 0.0300 | 0.0721 |
| 1%処理 | 0.0274 | 0.0780 |

### ４．３　染色堅ろう度

耐光試験においては4級以上、洗濯試験と汗試験の変退色では45級以上であった。

表４　耐光試験結果

| ｻﾝﾌﾟﾙ(色) | (級) |
|---|---|
| ｵﾚﾝｼﾞ | 4 |
| ﾌﾞﾗｳﾝ | 4 |
| ｴﾝｼﾞ | 4 |

表５ 洗濯試験結果

| ｻﾝﾌﾟﾙ(色) | | (級) |
|---|---|---|
| | 変退色 | 4-5級 |
| ｵﾚﾝｼﾞ | 汚染(綿) | 3-4級 |
| | 汚染(絹) | 4-5級 |
| | 変退色 | 4-5級 |
| ﾌﾞﾗｳﾝ | 汚染(綿) | 4 級 |
| | 汚染(絹) | 4-5級 |
| | 変退色 | 4-5級 |
| ｴﾝｼﾞ | 汚染(綿) | 4-5級 |
| | 汚染(絹) | 4-5級 |

表６ 汗試験結果

| ｻﾝﾌﾟﾙ(色) | | 酸性 | ｱﾙｶﾘ性 |
|---|---|---|---|
| | 変退色 | 4-5級 | 4-5級 |
| ｵﾚﾝｼﾞ | 汚染(綿) | 3-4級 | 3-4級 |
| | 汚染(絹) | 4-5級 | 4-5級 |
| | 変退色 | 4-5級 | 4-5級 |
| ﾌﾞﾗｳﾝ | 汚染(綿) | 4-5級 | 4-5級 |
| | 汚染(絹) | 4-5級 | 4-5級 |
| | 変退色 | 4-5級 | 4-5級 |
| ｴﾝｼﾞ | 汚染(綿) | 4-5級 | 4 級 |
| | 汚染(絹) | 4-5級 | 4-5級 |

抗菌性試験において10回洗濯済みのサンプルに抗菌性があったことと洗濯試験結果が良好であったことから、本開発品は家庭洗濯に適応できることが確認できた。また、物性(強伸度、風合い)において未処理品と処理品に差が無く、堅ろう度においても良好な結果であったことから、市販ニット製品と同様の実用製品作製が可能であることも確認できた。

## ５．まとめ

(1)糊付け機を利用した柿渋付着ニットの製造技術を確立し、ムラの無い柿渋付着ニット作製が可能になった。

(2)低濃度(0.5%以下)の新型柿渋液でも十分抗菌性付与ができることを確認できた。

(3)新型柿渋の低濃度使用と染色糸へのオーバーダイにより、柿渋付着繊維の強度、風合い、堅ろう度の低下抑制を可能にした。

(4)新潟県産品である「おけさ柿」を用いることにより、市場が求めている“機能性”と“環境に優しい”エコ素材を併せ持った抗菌性ニット製品が開発できた。これにより県内繊維産業と県内園芸産地の相互振興ができる“新潟発”の独自ブランド品作りに努めたい。

本研究（その２，３共に）は、１３年度新潟県工業技術総合研究所素材応用技術支援センターの実用研究および見附商工会の地域振興活性化事業「世界競争に向けた見附繊維産地の活力強化」で行われた。

参考文献

1)木村、中林、加藤,“食品の変色の化学”,㈱光琳（1995）p141

2)特集　植物成分の機能性を探る　６　植物成分の機能性と開発：食品と開発，28，No.2，25-27（1993）

# 繊維製品の染着制御・機能性付加技術の開発（その２）

（ペーパーヤーンへの伸縮性、柔軟性付与加工法）

佐藤 清治*　菊地孝之*

Development of FunctionalTextile

(The addtionofflexibility andsoftness to Paper Yarn)

SATOUSeijiand KIKUCHITakayuki

抄　録

１２°ﾎﾞｰﾒ以上の水酸化ﾅﾄﾘｳﾑ水溶液中で、ペーパーヤーンを室温下-約３０分間無緊張シルケット処理することによって、これに伸縮性を付与することができた。また、酵素処理によってペーパーヤーンに柔軟性(柔らかさ)を付与することができた。これらにより、ペーパーヤーンの編成性が可能となった。

## １．緒言

ペーパーヤーン（抄繊糸）は、原料がマニラ麻等(その他にアバカ,ケナフ)の繊維を利用して紙すきと同様の手法で製紙し、カット－撚りをすることによってヤーン(糸)化されている。その特徴は、利点としてその構造（撚りによる空洞嵩高）から①吸汗－速乾性が非常に良好である、②麻本来の性質であるシャリ味がある、③特にニット用素材としては余り前例がない。等の快適性に優れ、且つ新素材である点で、夏用の衣料としての利用が期待される。しかし、最大の欠点は、その構成繊維が麻であることと撚りのために繊維が非常に剛直となり、そのために非常に編み難いことが挙げられる。

そこで、本研究ではこれに伸縮性や柔軟性を付与することによってこの欠点を克服し、ペーパーヤーンの編成性を可能にすることを目的とした。具体的方法としては、文献を参考にして伸縮性の付与については“ｱﾙｶﾘ処理[1)2)]”を、柔軟性の付与については、“酵素処理”を試みた。

## ２．実験

### 2.1 アルカリ処理の条件及び処方の概略

・糸(綛)　：ﾍﾟｰﾊﾟｰﾔｰﾝ 1/36 (トスコ ㈱)

次項写真１参照

・ｱﾙｶﾘ濃度：５，９，１５，２１及び２７°ﾎﾞｰﾒ

・処理温度－温度　：１５～２０℃（室温)-３０分

・処理の概略

綛－－→ｱﾙｶﾘ液への浸漬－－→水洗－－→酢酸中和－※

※→水洗→脱水→乾燥→編成→ or 評価試験

### 2.2 酵素処理の条件及び処方の概略

・糸(ﾁｰｽﾞ)：同上

・酵素　　：ｴﾝﾁﾛﾝ-CMｿﾌﾄ（洛東化成工業㈱)

・処理濃度：1.5，1.8，**2.0**，2.2，2.5 (g/l)

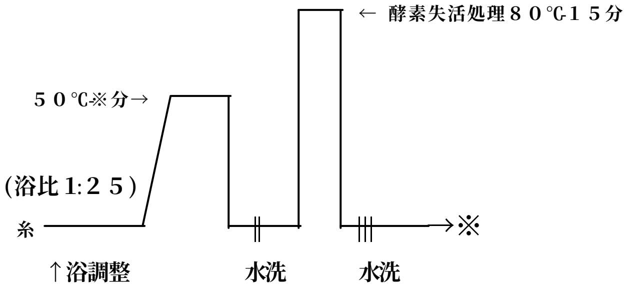
・処理温度：４５，**５０**，５５(℃)

・処理時間：２０，**３０**，４０(分)

・処理ｐH：4.0，4.5，**5.0**，5.5，6.0

(太字は基本設定条件)

・処理の概略




※ 脱水→乾燥→編成 or 評価試験

### 2.3 評価試験

・引張強度試験(強伸度測定)

試験機　：自動引張試験機

USTER TENSORAPID3: zellwerger uster 社製

引張条件：長さ＝２０ cm, 速度＝２０ cm/min,

初加重＝約７ gf, 試験回数＝１００

＊素材応用技術支援センター

・編成性及び風合い評価
　ニット編み立て業者による評価

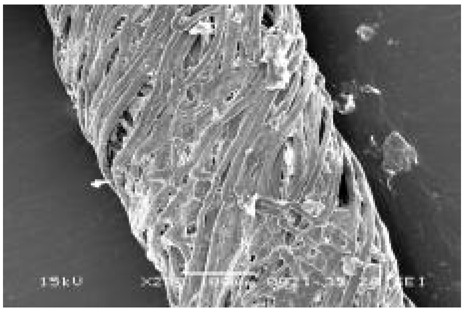


写真 1;原糸の SEM 像

## 3．結果及び考察

### 3.1 アルカリ処理による伸縮性の付与

アルカリ処理（２９°ﾎﾞｰﾒ）後と未処理の写真を、写真２に示した。

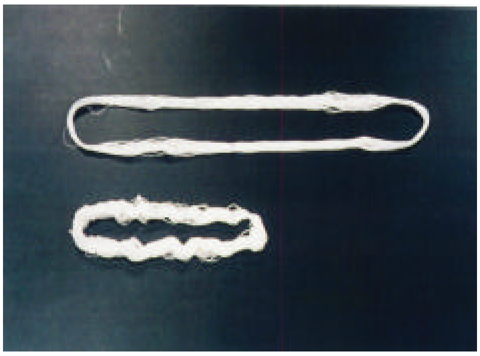


写真２　（処理糸:下）

写真２より明らかなように、アルカリ処理糸は未処理糸の約半分にまで収縮し、この処理によって伸縮性を付与することができた。さらに、収縮の程度を定量的に把握するために、それぞれの濃度で処理を施した糸の強伸度試験結果を図１及び２に示した。

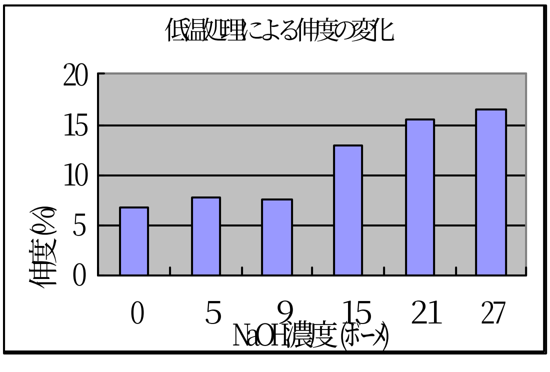



図１処理濃度と伸度の関係

図１より、アルカリ濃度＝９°ボーメ付近から、伸度が増加しており、これを実際にアルカリ処理を施した紙糸の外観と比較すると、紙糸は１２°ボーメ付近の濃度から大きく収縮することから、アルカリ処理で、ペーパーヤーンに伸縮性を付与するには、アルカリ濃度＝１２°ボーメ付近が最低濃度であることがわかった。

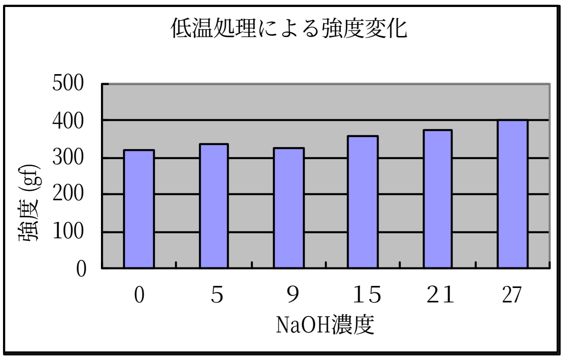



図２処理濃度と強度の関係

引張強度については伸度と同様に、約９°ﾎﾞｰﾒから上昇し、一般の綿糸と同様にシルケット加工後に強度が向上した。

編成性については伸縮性が付与されると、これが可能となり、風合いについては、硬めの仕上がりとなった。

また、参考例として、２１°ボーメで処理を施した糸で編成――→製品化したサンプル（サマーセーター）を写真３に示した。

写真３

### 3.2 酵素処理による柔軟性の付与

酵素処理は、一般的に処理濃度，処理温度，処理時間及び処理 pH に大きく依存し、処理後の糸の強度劣化が大きく懸念される。特に、加工工場(大ｽｹｰﾙ)では処理条件を厳密に制御することは困難であ

る。そこで、当試験では基本設定条件(2g/l,50 ℃,30 分,pH=5)に対して、それぞれの条件を想定される範囲内でずらして酵素処理試験をすることによって、酵素処理可能性を確認することを目的とした。

種々の設定条件で処理した後の結果を、図３～６に引張強度の値で示した。

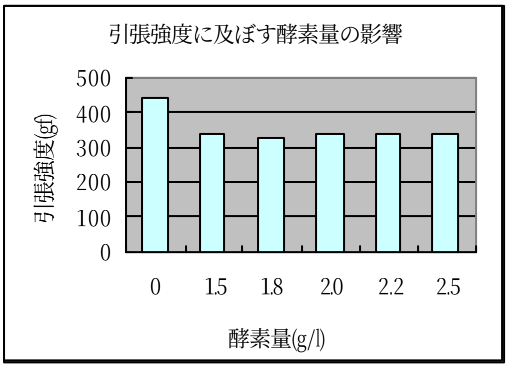



図３ 酵素量と引張強度の関係

図３より酵素量 2.0g/l(基準値)に対して、± ２５％変化させたが、強度的には全く問題はなかった。

温度及び時間(それぞれ図４と５参照)に対しても、約３５０ gf の強度を保持しているために問題はなかった。

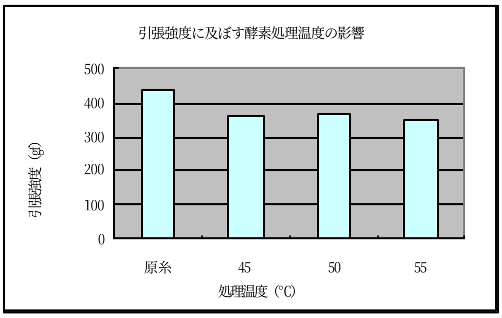



図４ 処理温度と引張強度の関係

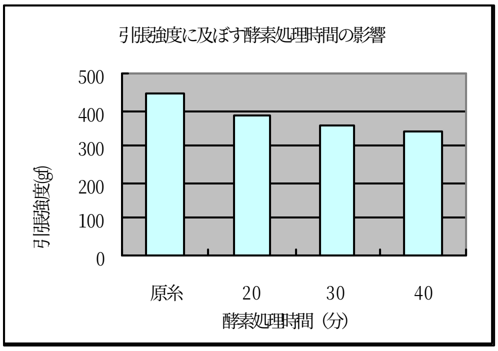



図５ 処理時間と引張強度の関係

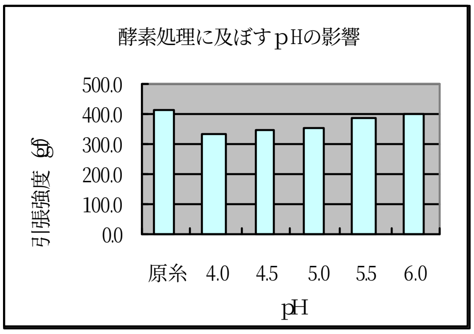



図６ 処理ｐＨと引張強度の関係

ｐＨに対しては、pH=４に於いて強度が約３２０ gf まで低下しているが、緩衝液を用いて pH 調整を実施しているために、実際の処理では、基準値 pH=５からのこの様な大きなずれはないと思われる。また pH=５.５以上に於いては、減量加工不良による風合い不良が生じたが、同様にして緩衝液を用いて pH 調整を実施しているために、問題はないと考えられる。

大スケールの加工処理で想定される適正設定条件からのずれの範囲内では、強度的には全く問題はなっかった。

また、業者委託による編成試験試験及び風合い試験でも、ほぼ同一の風合いで同一に仕上がり、ペーパーヤーンの柔軟加工に酵素処理を適応できることがわかった。

## ４．まとめ

特殊な繊維であるペーパーヤーン(表面が樹脂で覆われている。写真１参照)においても、一般のセルロース繊維(綿麻)と同様に、①無緊張アルカリ処理で伸縮性を、②酵素処理で柔軟性を付与することができた。今後の課題として、柔軟性に関しては高風合いという点ではまだまだ不十分であり、改良する必要がある。

## 参考文献

[1] 鈴木等；新素材開発による繊維製品の高付加価値化研究(新潟･山形･福島三県共同研究)平成１１年度実績報告書

[2] 祖父江等；化学･工業 セルロースハンドブック朝倉書店(1958)268

# 繊維製品の染着制御・機能性付加技術の開発（その３）

## （保温性蓄熱マイクロカプセルの開発）

渋谷　恵太*　　佐藤　清治*　　諸橋　春夫*

DevelopmentofFunctionalTextile

(DevelopmentofParaffinMicrocapsuleforHeatStorage of Textile)

SHIBUYA Keita,SATOU Seiji and MOROHASHI Haruo

抄　録

反応条件を適切に制御することによって、壁材の主成分としてとしてＰＳ（ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ）,芯剤してﾊﾟﾗﾌｨﾝを内包するマイクロカプセルを作成することができた。このマイクロカプセルは約１０μｍ粒径を示し、またその蓄熱性能は約１２Ｊ/gであった。

## １．緒言

近年、繊維製品においては急増する安価な輸入品との差別化戦略として、後加工により機能性を付与した製品の開発が盛んである。その中でも保温性加工については、保温性自体が衣料の本質的かつ重要な機能であることからアピール度が高く、これをうたった加工・商品は近年増加の傾向にある。そこで本研究では繊維製品等に付着加工させ、保温性の向上を目的とした蓄熱材料を内包する、マイクロカプセルの開発を行った。また、これを織物等に付着させ、繊維製品等の保温性の向上を図ることを目的とした。

## ２．マイクロカプセルの構造及び使用材料

壁材：スチレン、メタクリル酸メチル、ジビニルベンゼン

芯剤：パラフィンmp.42～44℃、流動パラフィン

重合開始材：ＡＩＢＮ（アゾビスイソブチロニトリル）

分散剤：ＴＣＰ（リン酸三カルシウム）

### ２．１　保温性のしくみ

・暑いとき(芯剤パラフィンの融点をまたいで周囲の温度が上昇する時)

パラフィンが融解し融解熱を吸収する

→　周囲から熱を奪う。涼しくする

・寒いとき(芯剤パラフィンの凝固点をまたいで周囲の温度が下降する時)

→　周囲に熱を放出する。暖かくする

このように、このマイクロカプセルは周囲の温度を一定に保つ方向に作用する。

### ２．２　マイクロカプセルの作成

製造工程の概略を図１に示す。

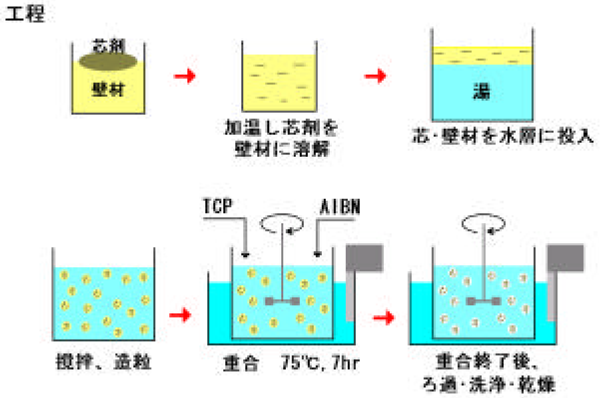



図１　マイクロカプセルの製造工程

（工程の説明）

（１）壁材のモノマーに芯剤パラフィンを入れ加温・溶解する。

（２）（１）を芯剤が凝固せぬよう50℃程度に加

---

*　素材応用技術支援センター

温した水層に投入しミキサーにて撹拌する。（1）は水中で微少な油滴となる。

（3）重合開始材、分散剤を加え約250rpmで撹拌しながら75℃で7時間重合する。油滴のうち壁材モノマーがポリマーとなり、その際芯剤を取り込みカプセル化する。

（4）ろ過してマイクロカプセルを水層から取り出し、ろ紙上で洗浄し完成。完成したマイクロカプセルは図２に見られるように粒径10μm強の球状である。

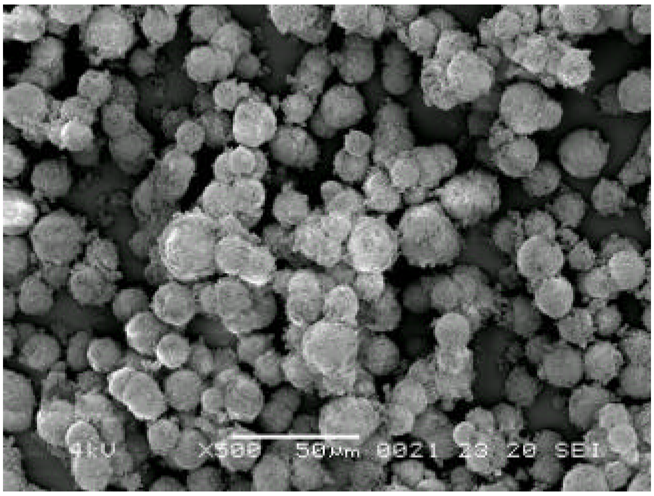



図２　マイクロカプセル電子顕微鏡写真

３．マイクロカプセルの蓄熱性能

マイクロカプセル単体での蓄熱性能を測定した。測定にはDSC（示差熱量分析計）を使用した。芯剤をパラフィンm.p.42～44℃：流動パラフィン＝３：１としたマイクロカプセルの場合、温度を上げていくと30～40℃にかけてカプセル1g当たり12J程度の吸熱を示した（図３参照）。

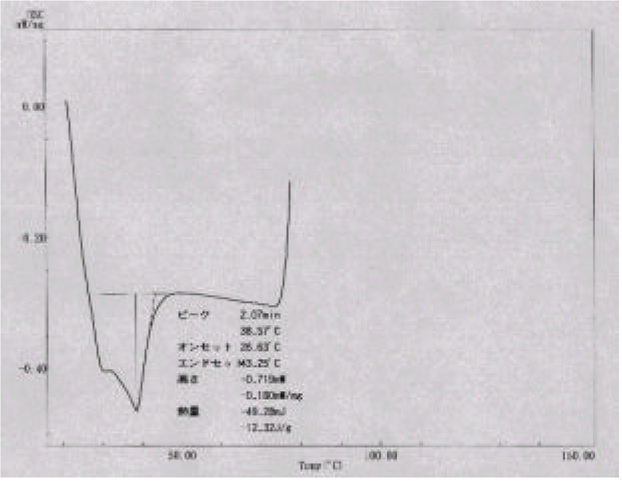



図３　蓄熱性能の測定

４．マイクロカプセルの織物への付着加工

以下に示すレサイプでマイクロカプセルをパディング加工で織物生地に付着させた。加工生地は図４に示すとおりカプセルが生地表面に残ったためやや白色化した。

試料：綿織物、毛織物

バインダ：(ラクゾールAC400　洛東化成工業（株）製)2.0 %sol.

界面活性剤：(ノイゲンEA-120　第一工業製薬（株）製）1.0 %sol.

マイクロカプセル：2.5 wt%

工程

パッド(pickup80%)　→　予備乾燥（60℃～70℃）→　キュア（130℃× 3 min.)

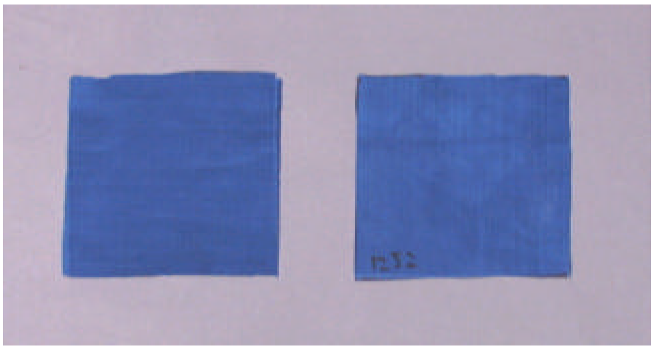


図４　織物への付着加工　（右側が加工後）

５．まとめ

(1)蓄熱物質を内包するマイクロカプセルを作成できた。

(2)マイクロカプセル単体の状態で蓄熱性能を有していることを確認した。

# 繊維素材の複合化技術に関する研究

古畑　雅弘*　　土田　知宏*　　五十嵐　宏*　　明歩谷　英樹**

Development of fiber matereialsby mixing method

FURUHATA Masahiro,　TUCHIDA Tomohiro,　IKARASHI Hiroshi　and　MYOUBUDANI Hideki

**抄　録**

素材応用技術支援センターでは、複合化によるものづくり研究に取り組み、業界の新製品開発を支援してきた。本報では、「多色のスペック染色をした先染め駒絽」と「撚糸によるメランジュ調ニット」を開発し、その評価を行った。

## １．緒言

県内繊維産地は、中国からの安価な製品と欧州諸国からの高級品の輸入増加により、企業の存亡に関わる非常に厳しい状況が続いている。この打開策の一つとして、自社企画による素材開発の重要性が叫ばれており、容易に真似の出来ない差別化素材の開発が急務となっている。

そこで本研究では、素材の複合化により機能性や意匠性に優れた高付加価値商品の開発に取り組んだ。

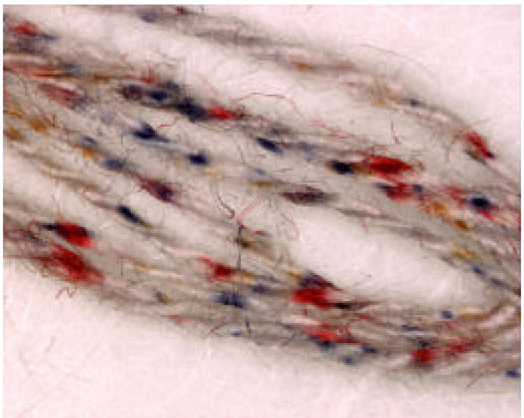


図１　多色スペック糸の拡大写真(綿)

## ２．素材開発

県内企業より要望のあったものの中から、下記の２つのテーマについて開発を行った。

・多色のスペック染色をした先染め駒絽

・撚糸によるメランジュ調ニット

## ３．多色のスペック染色をした先染め駒絽

スペック染色とは、染料を粒子化して、斑点状に染める手法で、糸に部分的な色の濃淡を付けることで色彩表現力を高めている。これまでの染色法は、直接染料が用いられ、主に綿糸に染色が行われていた。

今回､反応染料でのスペック染色法を開発し綿以外に、羊毛、絹などの染色も可能になった。さらに、図１のように多色スペック染色も開発したので報告する。

### ３．１　染色方法

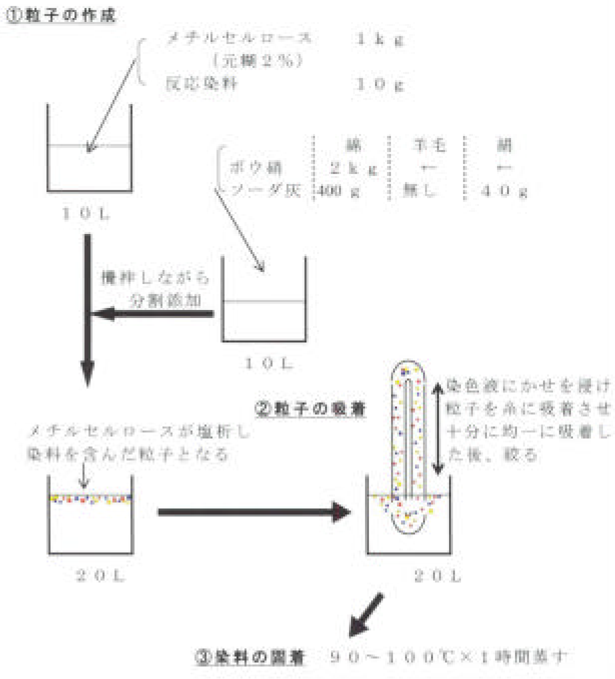



図２　　染色方法の概要

---

*素材応用技術支援センター

**同　十日町センター

反応染料/メチルセルロース混合水溶液を芒硝（硫酸ナトリウム）で塩析させ、染料を含んだメチルセルロースを析出させる。多色化する場合は、所定の色のスペック粒子を色数だけ調製し、混合する。これらを絽状の糸に吸着させた後、蒸して染着させ、その後水洗、ソーピングを行う。染色方法の概要を図２に示した。

### ３．２　先染め駒絽の開発

当該研究を発展させ、多色化し、絹糸に染色した。この糸を五泉産地で生産している駒絽のよこ糸に使用し、新たな製品としてスペック先染め駒絽を開発することが出来た。

この先染め駒絽と十日町産地の友禅を組合せ、新たな製品(図３)を提案することが出来た。

図３　試作した訪問着(駒絽) と拡大写真

### ４．撚糸によるメランジュ調ニットの開発

４色使いの杢糸でニットを作成する場合、従来は編地のターゲット色と許容可能な編地を作成するまでには、色出し作業を試行錯誤で何度も繰り返し、多大な時間と労力を費やしていた。そこで本研究ではコンピュータによるＣＡＤシミュレーションを利用して色出し作業の効率化を図ることを検討した。併せて４色使いの杢糸による新しい表面効果をねらったニット製品の作成を行った。（工程図は図４のとおり）

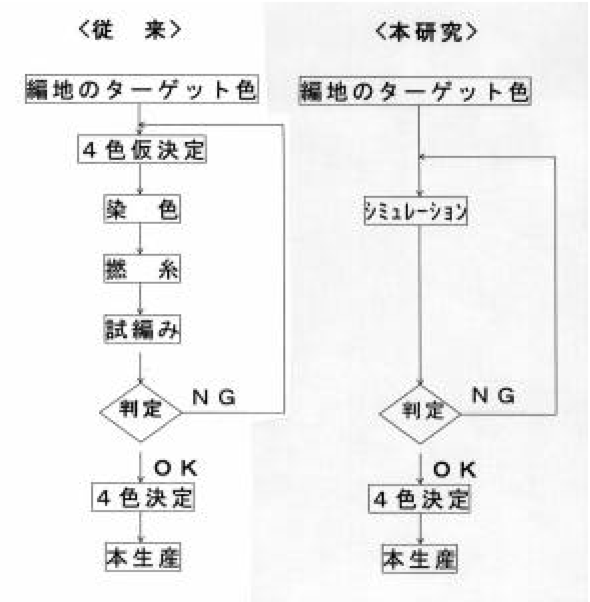



図４．工程の概略

### ４．１．色比較試験

従来方法による試編みの色とＣＡＤシミュレーションで作成した色を比較するため、両方法によりサンプルを７点作成し、色の比較検討を行った。

（１）試験条件

①使用素材

綿 ─┐
アクリル ─┘ S 750 T/m ─┐
綿 ─┐　　　　　　　　　　├ S 200 T/m
アクリル ─┘ S 750 T/m ─┘

②ＣＡＤシステム
島精機製作所（株）製　SDS-480

③撚糸機
片岡機械工業（株）製　ｲﾀﾘｰ式撚糸機

（２）ＣＡＤシミュレーション作成方法

図５に示すように、仮決定した４色でよこ糸を作成し、これを並べることにより、擬似的に色を表現した。実際はディスプレイのドットレベルで表現されるため、遠目では１色で描画されているように見える。

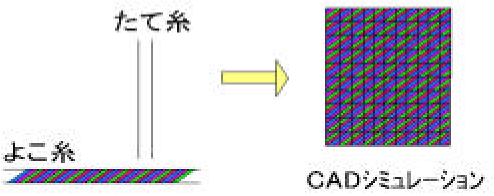



図５．シミュレーションの作成方法

（３）結果

作成したサンプルの中から代表的な２点を図６に示した。素材が紙と布で異なるため、彩度の違いはあるが、色相は概ね近似することがわかった。

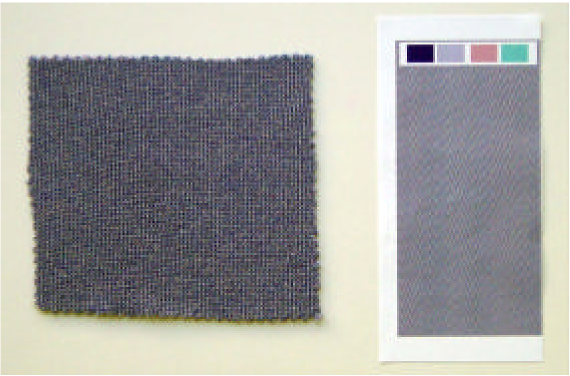


図６－１．色の比較１

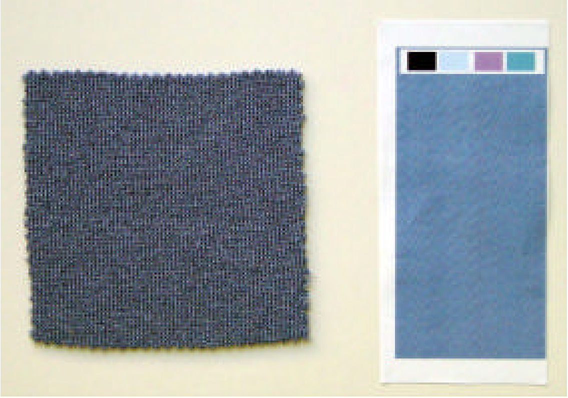


図６－２．色の比較２

４．２．４色使いの杢糸によるニット製品の作成

ＣＡＤシミュレーションを利用して、４色使いの杢糸による婦人春夏カーディガン、セーターを作成した。製品例とその表面の拡大写真を図７に示した。

図７．製品例とその拡大写真

５．まとめ

１）反応染料による多色スペック染色を開発し、羊毛、綿、絹の試染、織物試作を行った。この試作品を基に、企業の新製品開発を支援することができた。

２）従来、杢糸の編地では出来上がりの色がなかなか解らず、試行錯誤で何度も色出しを繰り返していたが、ＣＡＤを利用したシミュレーションにより、概ねの色が把握できるようになり、色出し作業が効率的に行えるようになった。

３）この技術を利用して、企業では2002年春夏物から４色使いの杢糸によるカーディガン、セーターを作成し好評を得ることができ、実生産につながった。

謝辞

本研究に当たり、ご協力をいただいた小熊機業(有)、共同精錬染色工業(株)、吉沢織物(株)、(有)中島繊維様に深く感謝いたします。

# ＩＴ活用織物企画設計支援システムの開発（第１報）
## （織物組織分解支援システムとドビー紋栓カード自動パンチングシステムの開発）

大野　宏*　　　　牧野　斉*

Development of Textile Design System using Information Technology
（Development of Textile Weave Analyzing System and of Dobby Card Automatic Punching System）

by

OHNO Hiroshi*　and　MAKINO Hitoshi*

**抄録**

織物組織の設計と分解をコンピュータで行う織物組織分解支援システムおよび、織機を制御するために必要なドビー紋栓カードを自動的に作成するパンチングシステムを開発した。従来人手で行っていた作業が本システムを導入することで正確になり、織物の企画設計やドビー紋栓カード作成に要する時間を大幅に短縮することができる。

## １．緒言

県内織物産地が低価格輸入品に対抗するためには、差別化商品の多品種生産と短納期生産の体制を確立しなければならない。そのため、ＩＴ（Information Technology）を活用した織物企画設計の迅速化や生産情報の一元管理が必要となる。

本研究では、織物組織の設計と分解を支援する組織分解支援システムおよび、織機を制御するドビー紋栓カードを自動的に作成するパンチングシステムを開発した。

織物組織の設計は方眼紙に組織図、通し図、紋栓図を作成することからはじめられるが、既存の織物を参考にして、組織図から通し図、紋栓図を作成する（これを組織分解とよぶ）ことがある。従来、この設計作業は熟練した作業者が紙と鉛筆を使い手作業で行っており、間違い箇所の修正がしにくく、紙に書かれたデータは長大で管理保存に不便であった。また、作成したデータをパンチングマシンに手入力する際も、キーの押し間違いなどが生じるという問題があった。そこで、織物の設計や組織分解をパソコン上で行い、後述する自動パンチングシステムに対応したデータを作成する組織分解支援システムを開発した。

*素材応用技術支援センター

ドビー紋栓カードは織機制御に使用されるもので、カードにパンチングされた穴によって織機が動作し、各種柄の織物が製造される。紋栓カードは、従来手動パンチングマシンのキーとハンドルを人手で操作しながら１行ずつ作成していたため、非常に時間がかかり、またデータ数が多くなると押し間違いが発生しやすくなる。そこで、パソコンで織機の制御データを作成し、自動的にドビー紋栓カードを作成するドビー紋栓カード自動パンチングシステムを開発した。

## ２．組織分解支援システム

### ２．１．織物設計と組織分解

図１に織物の組織図、通し図、紋栓図を示す。織物の設計は一般に方眼紙に組織図を記入し、この組織図を通し図と紋栓図に分解することで行われている。組織図は完全組織と呼ばれる周期的な織り柄の最小単位をたて糸とよこ糸の上下関係で表示している。通し図は織機でたて糸を上下に動かすためのヘルドに糸を通す順番を表している。紋栓図はヘル

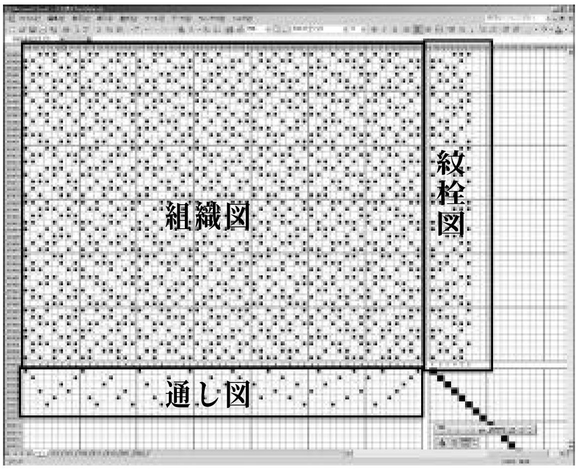



図１：組織分解支援システム

ドの動きを制御するためのデータであり、パンチングマシンに入力されるのはこの部分である。

２．２．システムの概要

　基本的な機能としてはたて糸がよこ糸の上になっていることを示す■をキーボード（またはマウス）からワンアクションで入力することができ、組織図を作成すると、自動的に通し図と紋栓図に組織分解され、自動パンチングマシン用のデータファイルも自動的に作成される。また組織の入力方向や分解方向は織物の産地や各企業によって異なっているが、このような設計書式の地域や機業による違いにも対応できるよう、システムの表示形式に柔軟性を持たせた。組織図（紋栓図）のよこ糸は約１６，０００本まで入力演算することができる。

　これらのプログラムは表計算ソフトＥｘｃｅｌをベースにしており、ＶＢＡ機能を利用することによりデータの編集を容易にする様々な機能を作成した。これらの編集機能は図２に示すメニューから項目を選択することによって、対話的に操作を進めることができ、裏織りや反転といった織物特有の機能を有する。本システムで作成したデータが次章で述べる自動パンチングシステムにも使えるよう、出力するデータの仕様を統一した。

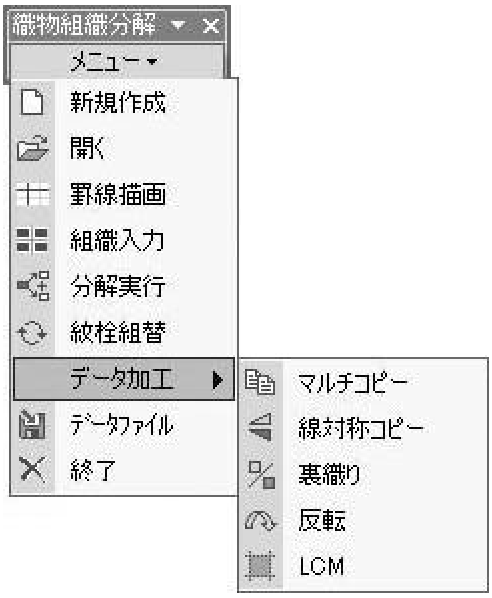



図２：組織分解支援システムのメニュー

３．ドビー紋栓カード自動パンチングシステム

３．１．ドビー紋栓カード

　織物を織機で製造する場合、ヘルドの制御とどのよこ糸を選択するかで各種柄の織物が製造される。図３に示すように、ドビー紋栓カードには多数の穴があり、この穴によって織機のフィラーニードルと呼ばれる針が上下し、ヘルド制御やよこ糸選択が行われる。県内織物産地では、ドビー紋栓カードで制御する織機を使用している機業が多い。

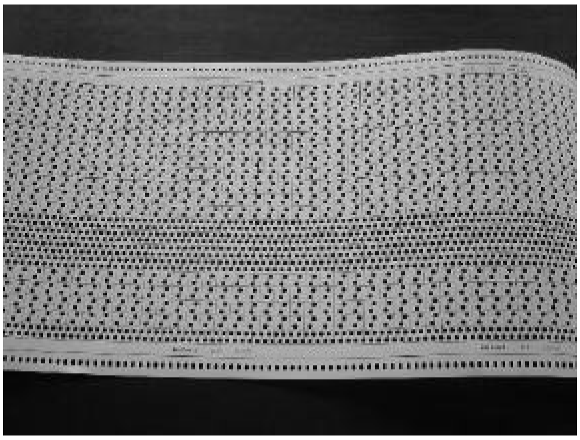


図３：ドビー紋栓カード

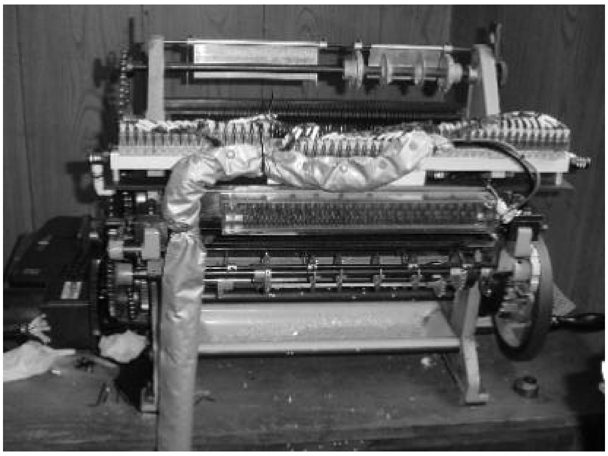


図４：エアーシリンダー式自動パンチング
システム

図５：電磁ソレノイド式自動パンチング
システム

３．２．システムの概要

実際に開発した自動パンチングマシンを図４と図５示す。前者はエアーシリンダー式、後者は電磁ソレノイド式である。どちらも、既存の手動パンチングマシンにキーを制御する自動制御機構を取り付けており、この他にハンドルを回転させてカードをパンチングするモータ、全体を制御するプログラマブルコントローラ、電源や操作ボタンから構成される。エアーシリンダー式はさらに小型のコンプレッサーが必要となる。

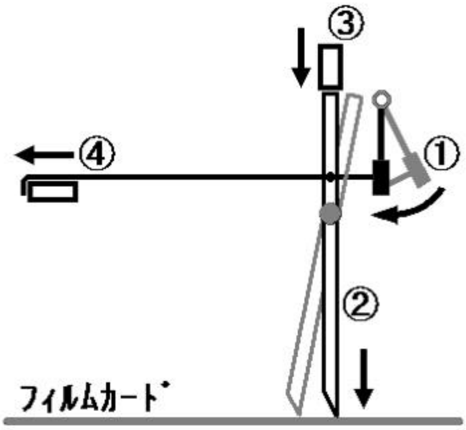
３．３．自動パンチングシステムの動作原理

（1）エアーシリンダー式

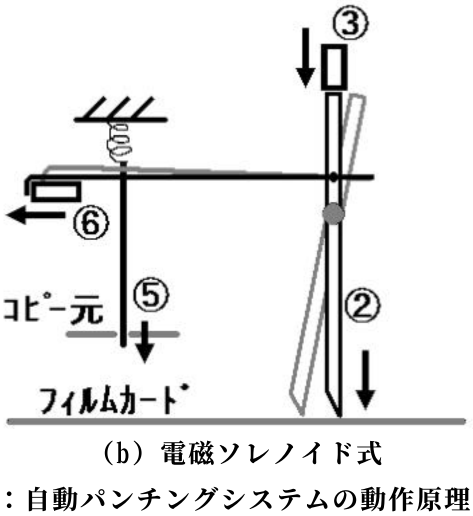
図６（a）に示すとおり、手動パンチングマシンは、キー①を押すと針②が紋栓カードに対して垂直となり、ハンドルを回転させるとバー③が針②を押し下げカードに穴が開く。このキーを①押す変わりに、針金④を図の左方向にエアーシリンダーで引っ張り穴を開ける。

（2）電磁ソレノイド式

手動パンチングマシンはパンチングされたドビー紋栓カードと同じカードを作成するコピー機能を元々備えている。図６（b）に示すとおり、コピー元カードに穴があると、針金⑤が下がってバー⑥に引っかかり、このバーが左に移動すると針②が紋栓カードに対して垂直となる。ハンドルを回転させるとバー




(a)エアーシリンダー式




（b）電磁ソレノイド式

図６：自動パンチングシステムの動作原理

③が針②を押し下げカードに穴があき、コピー機能の位置にセットしたカードが１行送り出される。この機能を利用し、電磁ソレノイドとバネで針金⑤を制御し、自動的にカードを作成する。

また、電磁ソレノイド式パンチングシステムは自動機部分の不具合が発生した場合、簡単に手動操作に切り替えられる構造になっている。図７は自動パンチングマシンのコピー機能部分の断面図で、左右にそれぞれ２５個ずつ電磁ソレノイドのユニットが設置してある。自動運転時は図７（a）に示すとおり、電磁ソレノイドがＯＮすると、針金の押さえが外れて下がり、この部分の穴があく。手動操作に切り替える時は、図７（b）に示すとおり、システムの電源を切った状態で丸棒を上げて針が下がるようにする。この場合は、キーを手動で押した箇所の穴が開く。

３．４．システムの仕様

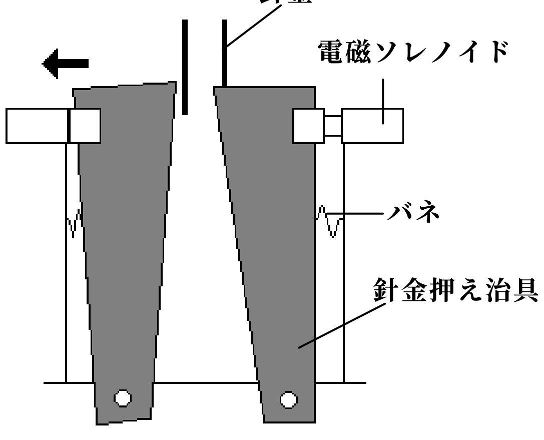
ハンドルが１回転しカードに２行のパンチングが行われるのに要する時間は約２．５秒で、３,０００行のカードではおよそ１時間かかる。また、標準で最大１６，０００行のカードを作成できる。ここで、行は織物のよこ糸の本数を意味する。

３．５．プログラマブルコントローラのアルゴリズム

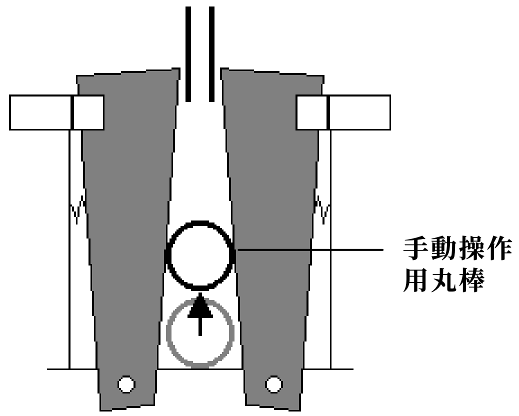
パンチングマシンはプログラマブルコントローラで制御する。テストパンチングを行うテスト運転と、実際の制御データに基づきパンチングを行うパンチ運転がある。

テスト運転では、奇数番の穴と偶数番の穴と交互に一度ずつパンチングを行う。１回転の終了は近接センサで検出する。

パンチ運転では、実際の制御データに基づきパンチングを行う。最初にプログラマブルコントローラのメモリにパンチを行うデータ数とデータ本体をセットする。次に、これらデータに基づきパンチングを行い、１回転が終了するとデータ数をセットしたカウンタの値から１を引く。カウンタの値がゼロになるまでパンチングを繰り返す。



(a)自動運転（左側電磁ソレノイドはＯＮ、右側はＯＦＦ）



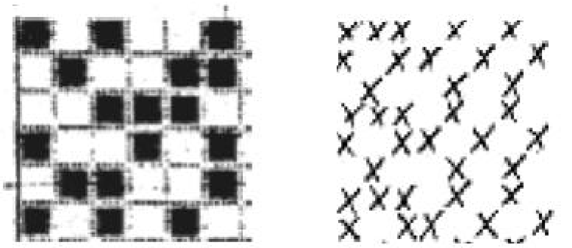
(b)手動操作

図７：自動と手動の切り替え機構

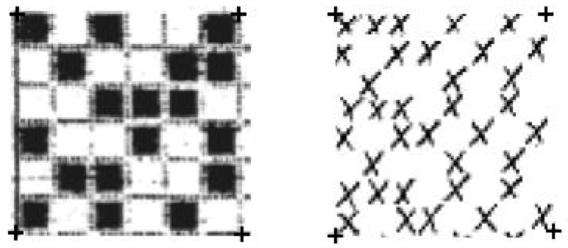
３．６．制御データの作成

２章で述べた組織分解支援システムと同様に、表計算ソフトＥｘｃｅｌのＶＢＡを使い、制御データ作成プログラムを開発した。表の部分に紋栓データ、よこ糸選択や巻取り停止といったデータを入力し、自動パンチングマシンの制御用データに変換する。パンチングマシンのキーは５０個あるので、２桁の１６進数４個で制御データを表す。

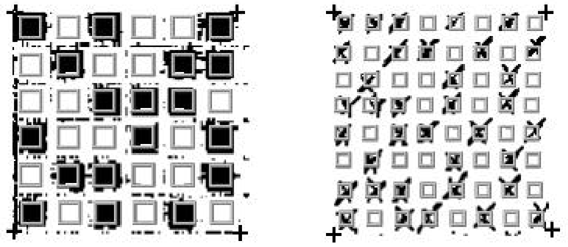
制御データはパソコンとプログラマブルコントローラを直接シリアルケーブルでつないで転送するか、メモリカード（コンパクトフ



(a)スキャナーで読み込んだ紋栓図



(b)４隅の位置設定



(c)画像の２値化と画像処理範囲

図８：紙に記した紋栓図の自動認識
（左■右×）

ラッシュ）を使ってプログラマブルコントローラにセットする。シリアルケーブルでデータを転送する場合は、パソコンからプログラマブルコントローラを制御しなければならない。そのために必要な制御データをプロトコルアナライザーで解析し、転送用プログラムをＶｉｓｕａｌＢａｓｉｃで開発した。

４．紙に記した紋栓図の自動認識プログラム

以前作成した手書きの紋栓データを利用したいという要望や、製造が中止されたＮＥＣ製ＰＣ９８パソコンの組織設計システムのデータを紙に印刷して利用したいという要望が多かった。そのため、紙に記した紋栓図をスキャナーで読み込み、紋栓データを画像処理で自動認識し、Ｅｘｃｅｌに読み込めるようテキスト形式でデータを出力するプログラムを開発した。

図８のように、紙に記した紋栓図をスキャナーで読み込み、４隅の位置決めを手動で行う。次に、縦横のデータ数を入力し画像処理の範囲を決定する。また、画像をあらかじめ決めた閾値で２値化し、設定した範囲内の黒の画素数をカウントすることで、自動的に判別する。紋栓図の印は、図８のように■と×どちらにも対応するよう、閾値等各種パラメータをユーザーが変更できるようにした。

５．まとめ

操作の容易な織物組織分解支援システムを開発した。また、低価格で信頼性の高いドビー紋栓カード自動パンチングシステムを開発した。これらのシステムを使うことにより織物の企画設計やドビー紋栓カードの作成に要する時間を大幅に短縮することができ、短納期、多品種少量生産に対応した迅速な商品開発を行うことができる。また、作成したデータはＥｘｃｅｌ形式であるため、データの管理保存や再利用が容易であり、インターネットを利用したデータの送受信が可能である。

自動パンチングシステムについては平成１３年１２月より、見附市内の機業に持ち込んで試験および改良を行い、実製織に活用している。また、平成１４年度には、県内機業８社に導入予定である。

本研究は、素材応術技術支援センターの実用研究および見附商工会の地域振興活性化事業「世界競争に向けた見附繊維産地の活力強化」で行われた。

なお、手動操作切り替え機能付き自動パンチング機として、見附商工会と共同で特許出願した（特願 2002-126582 号「手動操作切り替え機能付き自動パンチング機」）。

参考文献

(1)足立他、“繊維・繊維製品”、実教出版
(2)井上俊宏、“Visual Basic 6.0 の応用 50 例”、ソフトバンク

# 高精度ボールねじにおけるラップ仕上げの自動化とよろめき補正可能な工具の開発

久曽神　煌*　　磯部浩已*　　細貝　豊**

Development of automatic lapping method for high precision ball screw and lapping tools for improvement of error on travel

KYUSOJIN Akira, ISOBE Hiromi and HOSOGAI Yutaka

抄　　録

熟練作業者の経験と感覚に委ねられていたボールねじ軸のラップ作業を自動化し、安価でかつ超高精度なボールねじの量産化を実現させる。また、移動量誤差変動（よろめき）をラッピングで可能にするために、多数のラップ歯を持つ新形式のラップ工具を開発した。

## 1　緒　　言

近年、工作機械・半導体製造装置の高精度化やCD-ROM・DVDなどの一般化によって、市場では高精度なボールねじが大量に必要となっている。しかし、その製造工程の最終ラップ仕上げ作業は人力に頼らざるをえない。本研究では、ラップ作業中に移動量誤差を推定し、精度の悪い部分を自動的に、重点的にラップすることで、ねじ軸全体の精度を目的の等級まで、効率よく向上させる。この結果、これら熟練作業者の経験と感覚に委ねられていたボールねじ軸のラップ作業を自動化し、安価でかつ超高精度なボールねじの量産化を実現させる。また、従来のラップ工具では１回転中の移動量誤差変動（よろめき）の補正は不可能であった。本研究では、多数のラップ歯を持つ新形式のラップ工具を開発し、ラッピングによるよろめき修正を可能にすることで、さらなる高精度化を図る。

## 2　ラッピングによるよろめき補正の理論

２つ割りラップ工具を用いた円筒ラッピングにおいて、ラッピング前の断面形状成分のうち、３角形や５角形成分などの奇数山成分は減少しないことが証明されている。この円筒ラッピングにおける理論解析を応用して新形式のラップ工具を設計する。まず、円筒の断面形状成分をラッピングによって減少させ、真円に近づけることを考える。ラップ工具の形状を等角多角形（$k$ 角形）とし、ラッピング中は工作物にラップ工具が外接すると仮定して、加工物形状（円筒軸）によるラップ工具中心の軌跡の変化を考える。表１において、空欄はラッピング中に加工物とラップ工具の中心が常に一致していることを示す。従って、その断面形状の凸部は削りとられるので、断面形状成分は減少するこ

表１　ラップ工具の振れ回り

| $k$ ＼ $n$ | Regular Polygon of $k$ Angles | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Ellipse 2 | | × | | | | | | |
| Triangle 3 | × | | × | | | | | |
| Square 4 | | × | | × | | | | |
| Pentagon 5 | × | × | × | | × | | | |
| Hexagon 6 | | | | × | | × | | |
| Heptagon 7 | × | × | × | | × | | × | |
| Octagon 8 | | × | | | | × | | × |
| Nonagon 9 | × | | × | × | | | × | |

*　長岡技術科学大学　機械系
**　ケースエス株式会社

とを意味する。一方、×印の場合には、断面形状の凹凸に応じてラップ工具も同じ量だけふれまわるので、断面形状成分は減少しない。等角 $k$ 角形の工具を使うことで、断面形状の（$k$-2）山成分を全て減少させることが可能になる。

これまで述べてきた円筒軸の断面形状は、半径方向に対する形状誤差である。一方、ボールねじは、円筒にくさび形状をした紙を巻きつけてできる「つる巻線」に適当な形状の溝を設けたものである。移動量誤差は、つる巻線の軸方向に対する形状誤差であり、ねじ研削盤の親ねじ精度、親ねじ軸受の偏心、主軸軸受のスラスト振れなどの影響による。また、ボールねじの一回転における移動量誤差の変動成分をよろめきと呼ぶ。

円筒ラッピングの理論は、工作物の半径方向断面形状に対して提案されたものである。ボールねじのラッピングに対しては、この理論を軸方向の移動量誤差に拡張したものである。従って、円筒ラッピングにおける断面形状成分が、よろめきの周波数成分に相当する。

## 3　ラッピング実験装置

### 3．1　ラップ工具

これまでにボールねじ軸の最終仕上げとして行われるラッピングにおいては、製作が容易で安価な2つ割りや3つ割りのラップ工具が用いられてきた。しかし、この工具では、ねじ溝研削後のボールねじ軸が有する移動量誤差成分のうちで、ねじ軸一回転中に変動する成分（旧JISにおいては「よろめき」と表現）を修正することはできない。そこで本研究では、図1に示す6つ割りラップ工具を製作した。従来のラップ工具と同様に、円筒状のコマの内面に、加工対象となるボールねじ軸の溝面に適合するねじ山が作られている。ただし、両端面から、合計6本のスリットが刻まれており、周囲から圧力を掛けることによって、6カ所のラップ歯が均等にボールねじに接触し、加工が行われる。

### 3．2　自動ラップ盤

表2　ラッピング実験条件

a)ボールねじ仕様

| | |
|---|---|
| ねじ部有効長さ | 260mm |
| ねじ軸外形 | 14mm |
| リード | 2mm |
| ボール直径 | 1.5875mm |
| 等級 | C5 級（JISB1192-1997） |
| ねじ溝形状 | ゴシックアーク |
| 材質 | SCM415 |
| 熱処理 | 浸炭焼き入れ |
| 硬さ | HRC58～62 |

b)ラッピング条件

| | |
|---|---|
| ねじ軸回転速度 | 200 rpm |
| 砥粒 | FO#600 |
| ラップオイル | なたね油 |
| 加工範囲 | 200 mm (100 leads) |
| 初期ラップトルク | 1.8～2.2 N･m |

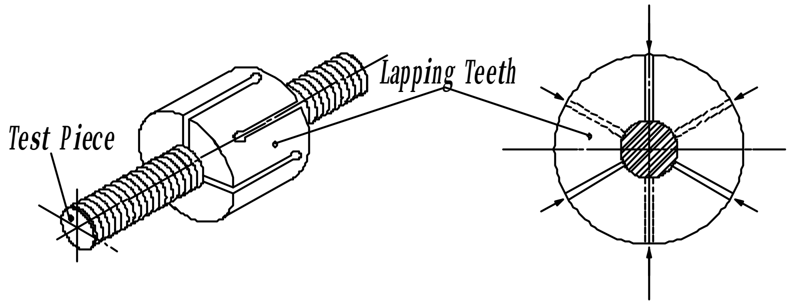



図1　6つ割り型ラップ工具

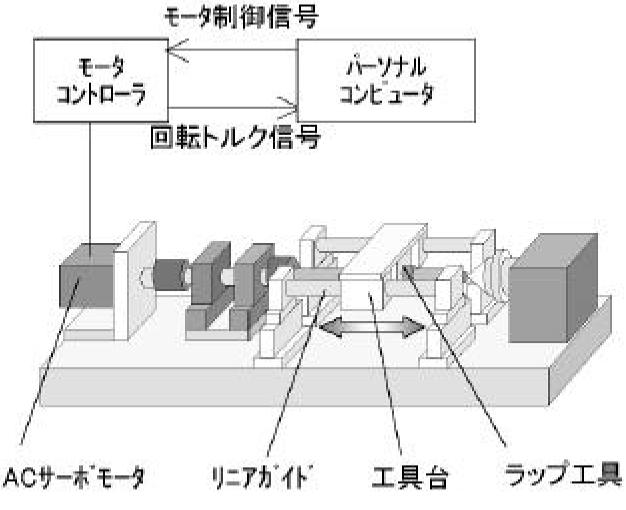



図2　自動ラップ盤概略図

図２に製作した自動ラップ盤の概略図を示す。装置の簡易化・小型化およびラップ砥粒塗布を容易にするために、装置を横型とした。その結果、テストピースの寸法を考慮して、ベースプレート長さ 1000㎜、幅 300㎜ と小型にすることができた。手作業ラッピングにおいては、作業者はラップ工具を手で柔軟に保持し、ねじ軸のたわみやそりがラッピングに与える影響を取り除いている。ここでは、工具台とラップ工具間にポリウレタン製のワッシャおよび平行板ばねを介すことで、ねじ軸のたわみやそりを吸収する構造とした。

## ４　ラッピング実験結果

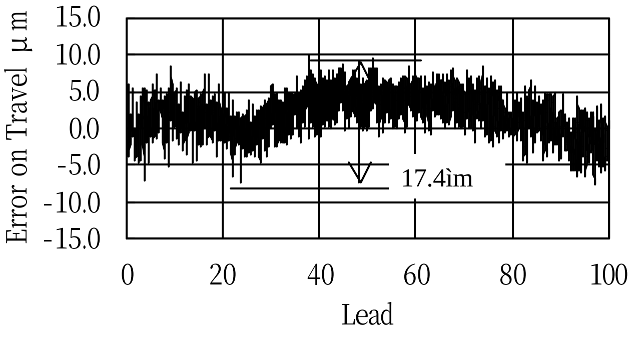
表２に、試料ボールねじの仕様およびラッピング条件をまとめた。自動ラップ盤に試料ボールねじをセットした後、ラップ工具取り付けジグの調整ねじによって、加工圧力（ラップトルクが 1.8～2.2N･m の範囲に入るように調整する。初期ラップトルクはトルクレンチによって測定した。

### ４．１　移動量誤差の変化

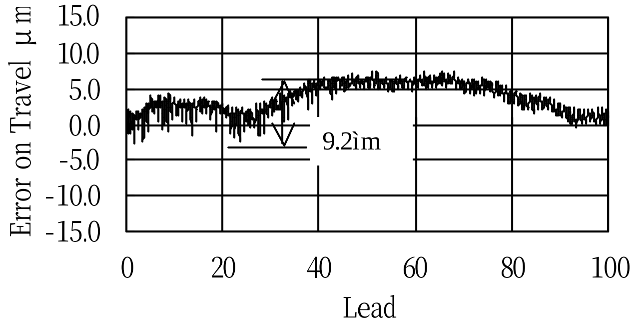
ラッピング前と 10 往復のラップ作業後における移動量誤差の変化を、0～100 リードの範囲内に渡って測定した結果を図３に示す。これより、わずか 10 往復程度のラッピング（時間にして 10 分）によって、移動量誤差の最大変動幅は、17.4ìmから 9.2ìmと半分程度まで減少しており、提案した新型ラップ工具の高い加工能率および加工精度が明らかとなった。また、図４は、１リード中における移動量誤差の変動成分（よろめき）を周波数解析した結果である。ラッピング前、ねじ研削盤の親ねじの移動量誤差が、試料ボールねじ軸に転写されたため、2.2 山、4.4 山成分が支配的となったと考えられる。この試料ボールねじに、10 往復のラッピングを行った結果、よろめきの支配的な成分は、ほぼ取り除くことができ、提案した新型ラップ工具がよろめきの修正に有効であることが確認された。

### ４．２　ラップトルクによる移動量誤差および有効径変動の推定

熟練作業者は、ボール盤に取り付けられたボールねじ軸を回転させることで、手で持ったラップ工具をねじ溝に対して摺動さる。そして、その時に感じたトルク変動（ひっかかり、重み

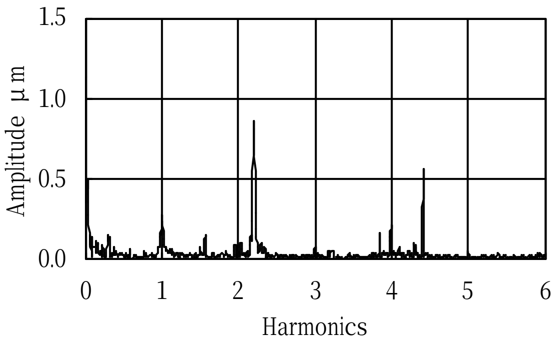



a)　ラッピング前

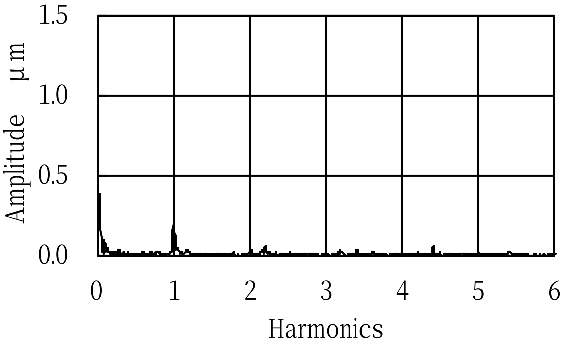



b) ラッピング（10 サイクル）後

図３　ラッピングによる移動量誤差の変化




a)ラッピング前




b)ラッピング（10 サイクル）後

図４　よろめきの周波数成分の変化

など）の大きい部分を重点的に繰り返し加工を行う。その結果、他の部分と比べて移動量誤差や有効径変動の大きい部分を修正していると考えられる。

しかしながら、これまでにトルク変動と移動量誤差および有効径の関係については明らかになっていない。そこで、トルクと移動量誤差の関係を図５に、トルクと有効径の関係を図６に示す。また、図中には最小二乗法によって求めた近似直線および相互相関係数 $R$ を併記した。

移動量誤差とラップトルクの相関関係（図５）は、ラッピング前には $R$=0.45 と、明確な相関関係を見ることはできなかった。その理由としては、トルク変動の大きな理由が表面粗さなどによるため、移動量誤差がトルクに与える影響が相対的に小さかったものと考えられる。また、10 サイクルのラッピング後では、相関係数は $R$=0.78 となった。相関係数が増加した理由としては、ねじ研削工程で生じたばりや表面粗さが、ラッピング工程の初期段階で修正されたため、トルク変動幅が小さくなったと考えられる。以上の結果、ラップトルクによる移動量誤差の推定の可能性が見いだされた。

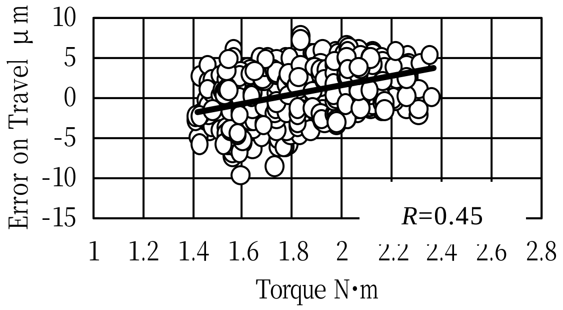
有効径とラップトルクの関係（図６）についても、10 サイクルのラッピングによって、相関係数は 0.77 から 0.91 に増加しており、両者には明らかな相関関係があることを確認できた。

## 5　有効径自動測定器

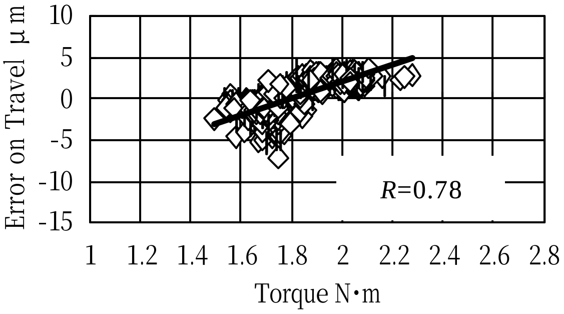
一般的な加工現場においては、簡易的に有効径を測定するためにダイヤルコンパレータに鋼球を２つ取り付けたもので測定している。しかし、いずれの方法においても、手作業による測定であるため、有効ねじ部長さの数カ所でしか測定・検査を行っていない。また、ボールねじ軸、ピンゲージおよびマイクロメータの相対関係を安定にして高精度な測定を行うことは、熟練作業者でなければ困難である。本研究では、有効ねじ部長さ全体に渡って有効径の変動を連続的かつ高精度で測定する有効径自動測定器を開発した。

### ５．１　三針法と三点法

これまで説明した三針法は、真円度測定においては直径法に分類される。従って、ボールねじ軸１回転における有効径変動の周波数成分の内、奇数山成分は検出することができない。そこで、本研究では、従来の有効径測定における三針法の代わりに、三点法を採用する。この方法は、３つの変位センサの設置角度を適当に設定することで、全ての周波数成分

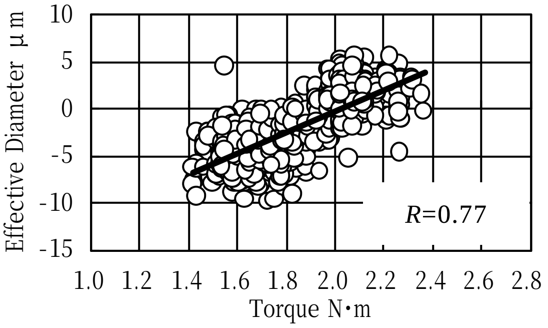



a)ラッピング前

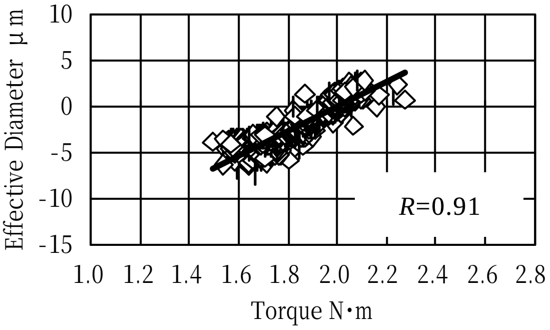



b)ラッピング（10 サイクル）後

図５　移動量誤差とラップトルクの相関関係




a)ラッピング前




b)ラッピング（10 サイクル）後

図６　有効径とラップトルクの相関関係

を測定できる特長をもつ。また、信号処理によって偏心成分はキャンセルされるので、ボールねじ軸のそりやセンタの振れなどに起因する誤差成分は取り除くことができる。

### 5．2　三点法に基づく有効径自動測定器

図７に製作した有効径自動測定器を示す。ピンゲージはボールねじに組み込まれる鋼球と等しい径を持っている。そして、板ばねで支持・案内されているので、ねじ軸の半径方向に対してのみ、摩擦無く滑らかに、かつ平行に変位する。そして、ピンゲージはねじ軸に対して３方向から押し当てられる。ピンゲージの変位は、電気マイクロメータによって測定される。測定ユニットの設置角度は、１本が水平で、他の２本がそれぞれ32°、15°の設置角度となっている。この設置角度によって、有効径変動の周波数成分で特に重要となる低周波成分（2〜10 山成分）は全て測定が可能になる。

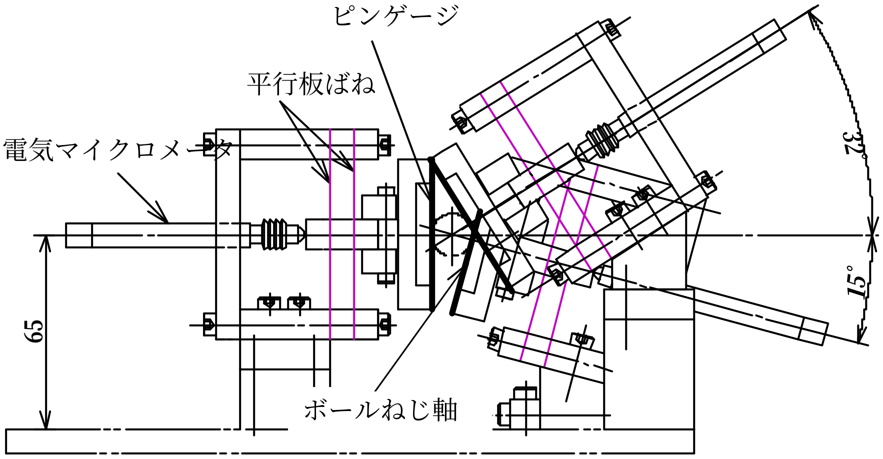



図７　三点法有効径自動測定器

### 5．3　有効径測定実験

各変位計の測定結果から、三点法に基づいて有効径変動を算出した結果を図８に示す。これより、試料ボールねじは中央部分が凸である傾向があり、その変動幅は 30μm 程度であった。この特徴は従来の三針法を用いた手動測定においても確認されており、測定結果は妥当であると考えられる。次に、その結果をボールねじ軸一回転における有効径変動の周波数成分として算出した結果を図９(a)に示す。また、三針法を用いて同じ試料ボールねじを測定した結果を図９(b)に示して比較する。これより、三点法の測定においては、三針法では検出することのできない、3 および 5 山成分を見ることができた。

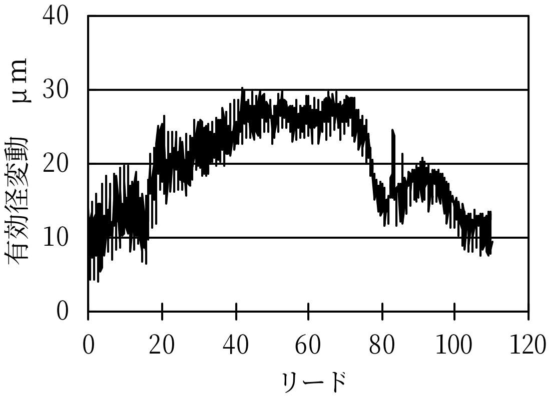
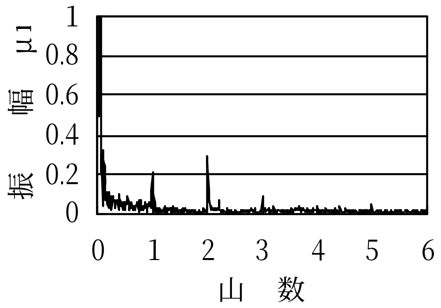
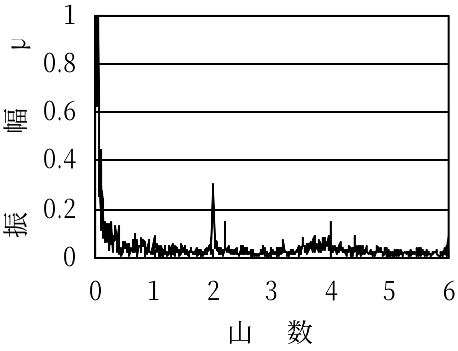



図８　有効径変動測定結果




(a) 三点法による測定結果




(b) 三針法による測定結果

図９　よろめきの周波数成分

## 6　熟練作業者を模したラッピング

### 6．1　ラッピング加工パターン

熟練作業者は、ラップ工具の保持トルクを手で感じ取りながら、ひっかかりやトルクの大きい部分を集中にくり返しラッピングを行い、効率的にラップ

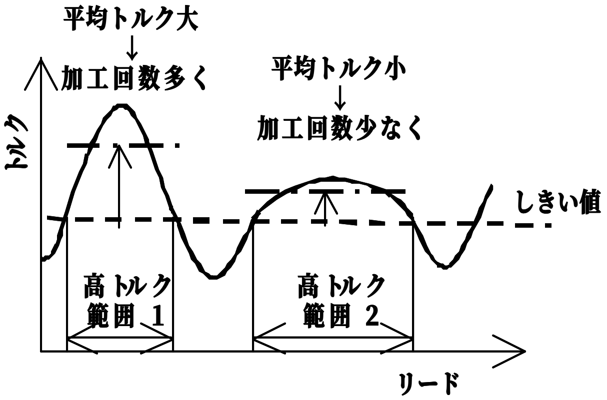



図１０　トルクと加工範囲・回数の関係

トルクを平均化していく。その方法は、経験と勘に頼られているが、ここでは自動化を目指して加工パターンを作成して、ラッピングを行う。図１０は、トルク変動曲線を示し、しきい値は最小二乗近似直線とする。しきい値よりも高いトルクが検出された部分を加工すれば良いが、平均トルクがより高い範囲、すなわち範囲２よりも範囲１の加工回数を多くすることで、より短時間でトルク変動の平坦化を図る。

６．２　ラッピング結果

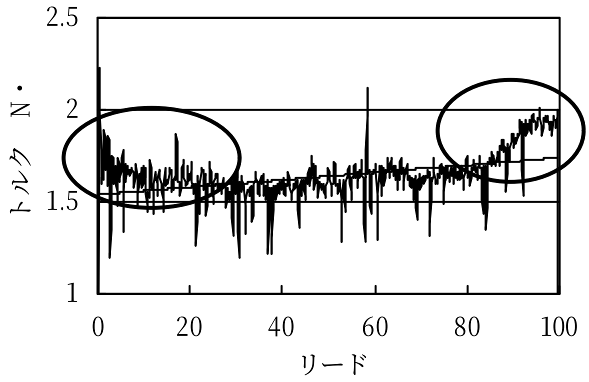
図１１にラッピング前後でのトルク変動の違いを示す。ラッピングは上述のラッピングパターンに従って、２サイクルの加工工程（約１０分間）を行った。図中の直線が最小二乗法で引かれたしきい値である。ラッピング前には、○印で囲まれた領域のトルクがしきい値よりも大きいため、重点的にラッピングが行われた。その結果、図１１(b)に示すように、全体的に平坦なトルク変動を得ることができた。

## ７　結　　論

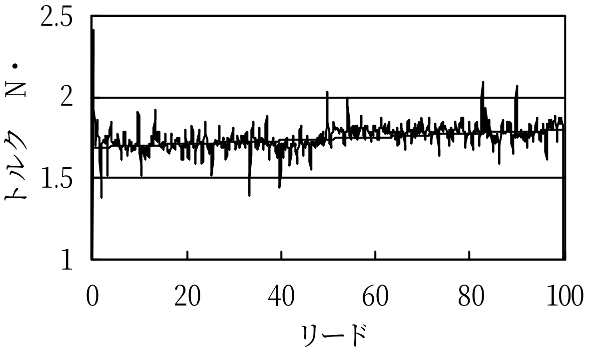
本研究では、熟練作業者の経験と感覚に委ねられていたボールねじ軸のラップ作業を自動化した。さらに、よろめき補正可能な新型工具を開発して、加工実験を行い、以下のような結果を得た。

１　円筒ラッピングの理論に従い、６個のラップ歯を持つ新型ラップ工具を開発した。加工実験を行った結果、短時間で移動量誤差を修正できることが確認された。

２　ラップトルクと移動量誤差および有効径変動に相関関係があった。




(a)　ラッピング前




(b)　ラッピング後

図１１　自動ラッピングによるトルク変動の平坦化

３　三点法に基づく有効径自動測定装置を開発した。この結果、１リードあたりの移動量変動の全ての周波数成分を測定できた。

４　熟練作業者を模したラッピングパターンによって加工実験を行った結果、短時間でトルク変動を平坦にすることができた。

以上の結果、提案したラップ仕上げの自動化装置ならびによろめき補正が可能な新型ラップ工具を用いることで、高精度なボールねじ軸のラッピングを比較的簡単に行うことが可能になると考えられる。ここで開発された技術は、精密加工、生産技術分野において、非常に有効であると考えられる。

# バイオマスエネルギーストーブのデザインと開発

赤沼　潔*　　森田　守*　　平原　太慶夫**

Stove design and its development by biomass energy

AKANUMA Kiyoshi,　MORITA Mamoru　and　HIRAHARA　Takeo

**抄録**

木質バイオマスエネルギーの典型であり、また、日本古来より使われ続けてきた「木炭」を燃料とするストーブのデザインを含めた開発を目的とし、ストーブ構造だけで木炭による高温連続燃焼を可能にした技術を基に 1 号機、2 号機 2 種類のプロトタイプの製作を実施したので報告する。

## 1　緒言

我が国におけるストーブの燃料は、薪、石炭、コークス、合成石炭燃料、石油、ガス、電気等があげられるが、最近では、省力化、ワンタッチ、オートマチック志向が強いため、燃料の供給、コントロール、自動化等が容易にできる石油ストーブの需要が圧倒的に多い。ただし、欧米では、室内装飾品としての価値も含め、薪、石炭ストーブは根強い人気があり、日本では欧米スタイルの住宅の増加に伴い、現在は薪ストーブの需要もだいぶ増えてきている。この事業では、この薪ストーブと重なる部分が多いと思われるが、木炭を燃料とするストーブの開発が目的である。木炭は、脱臭、除湿、土壌改良、融雪等にも現在は使用されているが、本来の燃料として使われる場合は、火鉢、囲炉裏、調理用等であり、ストーブの主燃料として使われることはほとんどなかった。そこで既存技術にはない、ストーブ構造だけで高温連続燃焼を可能とする機能を持つストーブの開発を行った。また、このストーブの燃焼炎は、非常に魅力的なものであり、その効果を最大限に生かし、日本の住空間に適応しながら和をテーマとした新たなライフワークツールとしてのバイオマスエネルギーストーブのデザイン開発、試作製作を実施した。

＊長岡造形大学

＊＊(有)暖談森社

## 2　事業実施方法

### 2．1　試作担当者

2．1．1

赤沼　潔　長岡造形大学教授
基礎調査、デザイン開発、試作開発

森田　守　長岡造形大学教授　デザインセンター長
基礎調査、意匠関連、評価

平原　太慶夫　（有）暖談森杜
燃焼構造設計、試作開発、燃焼試験

### 2．2　試作内容

2．2．1　試作

（株）ファンドリー　燕市長所１０３１
本体鋳造、アッセンブリー、総合製作

（株）アルモ　長岡市大荒戸６６－６

2．2．2　実験　長岡造形大学鋳金工房　長岡市宮関町１９７燃焼実験、CO、空気量検査

### 2．3　試作期間

平成１３年7月１日～平成１４年3月２０日

## 3　事業の内容

申請者を中心に、意匠権に習熟している指導者、木炭の燃焼構造の研究をしている者、鋳造、機械加工に定評のあるメーカー、精度の高い木型メーカーが加わって、操作が簡単で安全性が高く、木炭が高温で燃焼維持できる装置を考案し、それをもとに日本独自の懐かしさを感じさせる魅力的な外観をもつストーブの設計試作まで一貫して行った。よりリアリティのある製品に近づける詳細な検討は今後の課題である。木炭を高温で燃焼する装置を確立し、そこで発生する燃焼炎の美しさを

魅力的に鑑賞できるスタイルのストーブを製作したいと考えた。外観は、貯炭式の構造のため、縦長のプロポーションとなる。また、ストーブの視覚的処理としては、心の平穏（癒し）を誘う魅力的形体を根底におき、日本の住空間に適応し、新たなライフワークツールとしての内容を充実させた。

### ３．１　事業の重要箇所または特色

古来より日本では、いろりや火鉢などで木炭を燃料として暖をとってきた。現在では、電気、ガス、石油に切り替わり木炭の役割は普段の生活からは消え、バーベキューや業務用として、または消臭剤のような別の用途での使われ方をしている。木炭の製造技術において日本は世界一であるが、その技術を海外へ広めたために、安価な木炭が大量に輸入されることとなり、全体の消費量が低下している上に品質は良いが価格の高い国内で生産された木炭は苦戦をしいられているのが現状である。このような状況の中でバイオマスエネルギーとして木炭を燃料とした燃焼技術が新しく展開された。国産の木炭製造で発生する端材（クズ炭）を利用し、送風機などの電気エネルギーは一切使用しないで、燃焼構造だけで1、000℃以上の温度を保持できるものである。これまで木炭は、あまり高温は保てない燃料とされ、ストーブへの応用は試みられていたが、良い結果は得られなかった。これは、高温での燃焼を確立できなかったためである。ヨーロッパ、アメリカ、カナダなどでは薪・チップ・ペレットなどの燃料を使用したストーブがほとんどで木炭ストーブは見当たらない。日本独自のものであると考えられる。また、木炭を燃料として使用するストーブを開発することの利点は次のようなことが挙げられる。

・　ここ数年間で地球温暖化防止など地球環境の保全を考える上でバイオマスエネルギーとしての木質系燃料が見直され、太陽エネルギーのリサイクルとして注目を集めるようになったこと。
・　今でも高級料理店や旅館では炭火のいろりや火鉢があるが、一般家庭では昭和３０年代で姿を消し始め、現在ではまったくといって良いほど姿を消している。ところが、最近輸入薪ストーブが家庭に入り始めたが、煙や煙の臭い、煤が飛んできては困るとの近隣のトラブルの原因となっている。そこで煙や臭い、煤のでない木炭ストーブは、密集した居住を形成している日本社会においては有望であると考えられる。
・　ヨーロッパでは、今でも長い歴史の教訓と生活防衛の目的から、インフラがいつ切断されても生活できるように木質燃料の調理暖房機器が大切に使われている。

このような内容が考えられるが、この木炭の消費によって木炭関連の産業の活性化、また、その原料となる間伐材や雑木の処理によって里山や森林の整備が促進され、自然の循環の再生もはかれることは特に重要な点である。

### ３．２　ストーブの構造

本体構造は、以前日本で普及した貯炭式ストーブ（石炭を燃料としたもの）を参考とし、貯炭筒の部分を改良したものである。中心部に逆ロート型ロストル（火格子）を吊り下げることで炭が滑らかに落下できるようにし、また対流を起こさせることによって炭が燃えることで貯炭筒があたためられ、熱い炭を燃焼部に供給し続ける構造になっている。燃焼部は耐火断熱レンガを使用し、熱が貯えられる配慮をしている。また上部には、中間部と煙突接合部に触媒を配し、２次、３次燃焼をおこし、暖められた空気を供給できるようにしており、安定した燃焼を実現した。

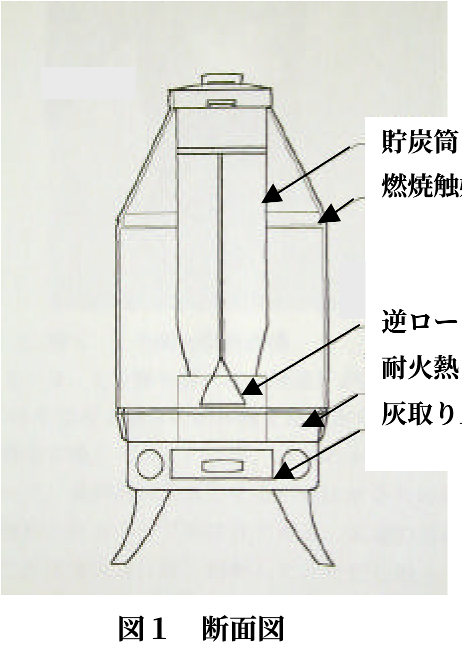



図１　断面図

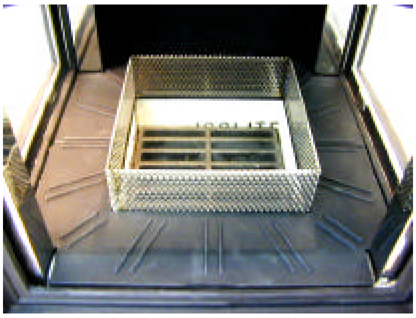


図２　燃焼部

図３　触媒

### ３．２．１　　１号機２号機のプロトタイプの実作

１月中旬より、鉄板製、鋳物製の二度の試作のもとに実作にはいった。当初、家庭用と業務用といったくくりの中で展開したが現実的ではない点から、１号機２号機の２種のバリエーション展開とすることとした。鋳造も量産と技術的面でクリアしている企業で実施した。

図４　１号機完成機(黒)

図５　２号機完成機(赤茶)

デザイン面での開発で重要と考えた点は、まず日本の住宅に適応できるものであることとストーブ自体が魅力的なことである。ストーブ本体は、耐熱素材でなければならないが鋳物以外でも製造は可能である。ただし、新潟県の産業を考えるとセラミック等ではなく、鋳造業をベースとして展開することが理想的であると判断した。新潟県の鋳造関連企業は、景観鋳物等の展開をしている企業もあるが、工業鋳物系で工作機械関連の部品の製造が主である。安定した品質で製造されているが、視覚的に非常に大切である鋳肌については、あまり配慮されていないことが多い。この面は、岩手県の南部鉄器の製造とはだいぶ意識が違ってみられた。今回の開発では、この鋳肌が、ストーブの魅力を大きく左右するのでだいぶ神経を使った。また、この鋳肌をひきだして鋳鉄の存在感をただの地金から重厚感のあるものへ変換することを試みた。次に、日本で使用されている薪ストーブに多く見られるが、洋風の住宅以外では、借り物のような違和感があるのが現状である。その点も考慮し、「和」にも対応できるスタイリングを試みた。貯炭式の構造面から縦長のプロポーションは変更できないのでそれを生かせる構成とした。結果的には、床面の設置面積が、薪ストーブと比較すると半分ぐらいになり、非常にコンパクトで、日本の住宅事情にも適応している。形態的には、100ｋｇ以上あ

るものなので圧迫感を与えないように配慮した。特に脚部は、全体を軽快に感じさせることと同時にシャープで安定感を与えられるように形を処理した。窓部のガラス面もできるだけ大きくとり、炎の美しさを十分に鑑賞できるように設計した。ストーブの上部は、1号機、2号機それぞれに展開したが、統一感がありながら違った印象を与えるように配慮し、イメージを固めた。1号機は、南部鉄器の霰模様も参考にしているが、日本の古来の印象をベースに考え、上の形状を絞り込み下部とのつながりをスムーズにした。2号機は、ボリュウム感を大切にし、親しみを感じさせる文様として、植物の形状のレリーフを全体が貧弱にならないように配した。取っ手部は、温かみを感じさせる真鍮素材を使用し、形態は、やけど防止などを配慮しながら、ストーブ全体のアクセントになるよう製作した。

図６　1号機上部

図７　2号機上部装飾

図８　2号機脚部

3度目の一酸化炭素測定、燃焼試験を下記のとおり実施した。

・測定年月日　　平成14年2月21日
・測定方法　　一酸化炭素：　非分散型赤外線吸収法
　　　　　　　二酸化炭素：　非分散型赤外線吸収法
　　　　　　　酸素　　：　ジルコニア方式
　　　　　　　流速　　：　アネモマスター流速計
・測定結果　　下表のとおり。

表１　測定結果一覧

測定結果一覧

| 測定条件 | 前面空気取入口 | 全開 | | 全閉 | | 炭投入後 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 裏面空気取入口 | 全閉 | 全開 | 全開 | 1/2開 | |
| 測定項目 | CO (ppm) | 510〜520 | 350〜390 | 450〜700 | 500〜660 | 400〜750 |
| | $CO_2$ (%) | 10.2〜11.3 | 9.8〜10.3 | 9.4〜10.6 | 9.3〜11.5 | 10.7〜11.5 |
| | $O_2$ (%) | 9.3〜10.3 | 10.1〜10.6 | 9.8〜11.3 | 9.0〜11.4 | 9.0〜9.8 |
| | 排ガス温度(℃) | − | − | − | − | 271 |
| | 排ガス水分(%) | − | − | − | − | 2.5 |
| | 空気吸引流速(m/s) | 2.0 | − | − | 4.5 | − |
| | 空気吸引流量($m^3$N/h) | 11 | − | − | 25 | − |

・考察　　上記測定結果より、排ガス濃度はＣＯ350〜750ｐｐｍ、ＣＯ 9、３〜11、5%、Ｏ 9、０〜11、4%の範囲であり、空気取り入れ口を替えても比較的に安定した結果が得られた。また、炭投入後もＣＯの増加は見られず、良好な燃焼状態が確認された。

３．２　木炭ストーブの仕様

今回製作した木炭ストーブプロトタイプの仕様は下記のとおりである。

・材質　ストーブ本体　　鋳鉄（ＦＣＤ４５０；耐熱性、強度、加工性、熱変形の少なさ）
　燃焼部　　耐火断熱レンガ（炭の燃焼部の保温）
　貯炭筒　　ステンレススチール（ＳＵＳ３０４；耐蝕性、熱変形の少なさ）
　ロストル　　　　同上
　燃焼部フェンス　　同上（パンチングメタル；視覚効果、炎の確認）
　窓部パネル３パーツ　　耐熱セラミックガラス（３００℃耐熱、上部曲面カット）
　燃焼触媒５パーツ　　　カルシウムアルミネイト

（2 次燃焼部長方形 4 個、3 次燃焼円形 1 個）
取っ手部３パーツ　　　真鍮（ＹＢＳＣ３；視覚効果、加工性の良さ）

- 寸法　１号機　幅４００mm　奥行き５５０mm　高さ８５０mm
  ２号機　幅４００mm　奥行き５５０mm　高さ９００mm
- 重量　１号機　１０５ｋｇ　　２号機　１１１ｋｇ
- 本体色　黒、赤茶（耐熱塗料 600℃まで）
- 貯炭筒容量　６　（炭約４ｋｇ）
- 最大燃焼時間　8 時間（くず炭使用；最大で 8 時間であるが、炭の種類により時間は短くなる）
- 燃料　くず炭（３ｃｍ以内の粒度であれば可　種類は基本的には選ばないが白炭が最良　輸入炭等では煙が多く発生し煙突内部の汚れ触媒の劣化が進む）
- 暖房面積　17～22 坪

図９貯炭筒中蓋

図 10　灰取皿

図 11　上蓋裏面ガスケット

## 4　研究の成果

今回の研究で 1 号機 2 種、２号機 2 種の 4 台のプロトタイプの製作が実現できた。木炭を燃料とした燃焼構造をもつストーブのデザインと開発を行なってきたが、今回の研究での成果をまとめると次のとおりである。

①日本独自のストーブの開発

木炭燃料による鋳物製のストーブの開発を実現した。なぜ鋳物なのかといった点は先にも述べたが、熱に対して堅牢であることと量産に適していることが挙げられる。今回のデザインの開発ではこの他に特に鋳肌の効果を重要視した。デザインする上で基本としたことは、日本の住宅に適応することであった。日本人の潜在意識の中にある金属の風合い、テクスチャーといったものを端的に呼び起こせるものは、南部鉄器や茶釜の鉄の鋳造による肌合いと判断した。輸入した薪ストーブにも美しい鋳肌のストーブは多い。しかし、日本のものとは一味違うものである。鋳肌の効果を考え、その効果を引き出した。また、全体のスタイリングについては貯炭式であるため、縦型の大きな構成は変更できないのでその点を生かした。サイズ的にもある程度の燃焼温度を確保できていたのでコンパクトな方向で展開した。全体的には、「和」を感じさせながら日本独自のオブジェとしての魅力も備えたストーブの開発成果を得た。

②魅力的な炎の獲得

木炭ストーブで燃焼させた時の炎の美しさはある程度確認していたが、今回のストーブでも効果的に見せられるかといったことが大きな課題であった。炎を発生させる問題点としては、燃焼スペース、燃焼部の炭の量、燃焼部に送る空気量のバランスが挙げられるが、各試作機において少しず

つ改良を加え、魅力的な炎を発生させることに成功した。また、ストーブの窓のパネル部も外観と炎の関係を特に意識して構造面でゆるせるぎりぎりのところで展開した。この窓部は 3 面パネルにすることによりいろいろな角度から鑑賞できる構造とし、室内での設置場所に選択の幅をもたせた。
③バイオマスエネルギーの消費のツールの確立

木質系バイオマスエネルギーは現在多方面で研究されているが、今回の研究の重要な燃料である炭は、日本の伝統的燃料であり、燃焼による公害も少なく、自然のエネルギーとしては価値の高いものである。ただし日本では、昭和三十年以降の経済成長により、木炭生産量は、年間約 200 万トン、現在は、3 万 5 千トンまで減少し、最盛期のころの約 1.７％となってしまっているのが現状である。これもやはり安価な中東石油が大量に輸入されたエネルギー革命の結果である。だが、このエネルギー革命により、地球の温暖化が促進され危機感はより強くなり、より一層バイオマスエネルギーに対する期待が大きくなってきた。そこで、あらためてこの木質燃料の中では最もエネルギー密度が高い燃料である炭に着目し開発したものが今回の研究である。日本の炭づくりは品質、生産効率とも世界一であるが、消費する方法が限られており、そのひとつのツールとしてこの木炭ストーブの開発にあたったが、煙が出ない、燃料を蓄えるスペースがあまりいらないなど住宅密集地に対応できるため、今後普及を図れれば木炭の消費ツールとして効果は大きい。また、炭化炉を使用して間伐材を炭化させ燃料とすることにより、里山や森林の整備につながる効果が出ると期待される。

## 5　まとめ

日本の生活風土に根ざした独創的な木炭ストーブを開発することにより、新たな生活スタイルの提供ができる。家族のコミュニケーションツールとしての役割は大きく、業務用として店舗等で使用する場合も同様である。スタイリングの魅力、炎の魔力、健康面や環境面への良好な影響等をとおして存分にストーブライフを楽しめる「日本のストーブ」という文化を創出していくことができると考える。また、海外においても日本を感じさせるデザインのこのストーブはオリジナリティーがあり評価されるものであると思える。今回の開発にあたっては、県内産業にもたらす効果を考え、県内での展開を心がけた。金属関連企業との連携が多かったが、現在の不況の中でもたくましいプロダクト精神を発揮しており、また、技術力特に習熟した手業のレベルの高さに感服した。ただし、後継者の問題、経営的問題等どの企業も抱えており、今回の開発がその一助になることを願うものである。また、この研究において成果物は提出できたが商品化までは、生産性、市場性、マーケティング等これから多方面で展開していかなければならない課題は多く、継続して研究を続ける必要性がある。

# インプロセスモニタリングを用いたＹＡＧレーザー溶接による高信頼性溶接部品生産法

中村　奨*　　廣井　晃**　　田中　栄策**　　伊藤　義郎***

Production of welding parts with high reliability by YAG laser welding using in-process monitoring

NAKAMURA Susumu, HIROI Akira, TANAKA Eisaku and ITO Yoshiro

**抄録**

健全性の高い，軽量化された溶接部を得ることを目的として，ＹＡＧレーザーによるビードオンプレート溶接並びに突き合わせ溶接を実施した。さらに溶接品質の保証技術を確立するために，発光・音響信号による溶接性状のモニタリングを行ったので報告する。

## 1　緒言

自動車用部品であるオイルパンのプラグシール部など溶接を伴う密閉製品の加工においては，リークタイトな溶接部を得るために，従来はＭＩＧ溶接により過剰量の溶融金属を接合部に付与することで，安全率を見込んだ生産が行われてきた。しかし，材質の違いや熱膨張係数の差による残留応力などのために，溶接材と本体材料との界面などに割れが入りやすく，加工後の全数検査を必要としていた。

本研究の目的は，局部的に高い熱入力が得られ，溶け込みの深いビードを形成することが可能なＹＡＧレーザー溶接を加工に適用することで，健全性の高い，軽量化された溶接部を得ようとするものである。ＹＡＧレーザーは光ファイバー伝送が可能であるためフレキシブルな生産ラインを組むことができる。さらに溶接品質の保証技術を確立するために，筆者らが$CO_2$レーザー溶接において培ってきたプロセスモニタリングの技術[1－4]をＹＡＧレーザー溶接にも適用し，溶け込み深さなどの溶接性状の評価・判定を試みた[5]。

*　長岡工業高等専門学校 電気工学科
**　長岡レーザー技術研究会
***　長岡技術科学大学 工学部 機械系

## 2　実験

実験装置の概略を図１に示す。実験に使用したレーザーは，新潟県工業技術総合研究所レーザー応用研究室に設置されている出力４kWの連続発振ＹＡＧレーザー（IHI iLS-YC-40A）である。レーザービームはコア径１mmの光ファイバー伝送によりノズル先端から出射する。焦点でのビーム直径は0.7mmであった。レーザー出力，ビームノズル移動速度を変えることにより，異なった溶接性状，即ち溶け込みの浅い熱伝導型溶接から溶け込みの深いキーホール型溶接までを作り出した。ビーム照射時には，シールドガスとしてアルゴンガスを30l/minの流量

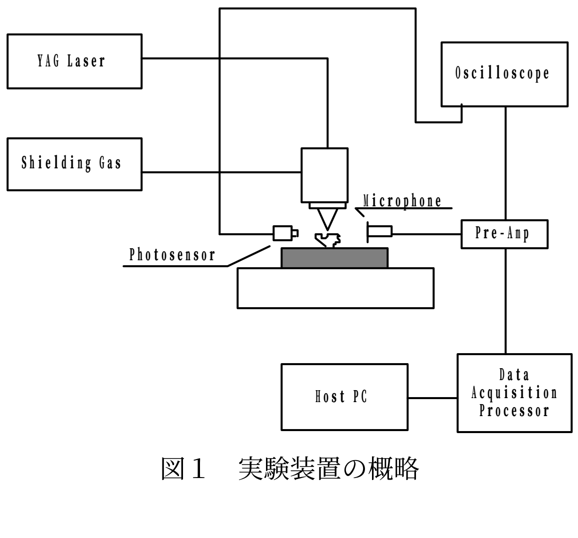



図１　実験装置の概略

で流した。試料には板厚６㎜のSS400とSUS304を使用した。それぞれの材料に対してビードオンプレート溶接と突き合わせ溶接を実施した。溶け込み深さ，ビード幅は，ビード断面の顕微鏡観察により評価した。

溶接性状をモニタリングするために，レーザービーム照射時，加工部から発せられる発光・音響信号を計測した。発光信号は 190－1100nm まで波長感度のある Si フォトダイオード（浜松ホトニクス S2281）を使用した。音響信号は 3-40kHz まで計測可能なコンデンサマイクロフォン（Bruel & Kjaer Type 4191）を使用した。センサーからのアナログ出力は，デジタルオシロスコープ（LeCroy LT-264M）によりデジタル化した後，コンピューターに取り込んだ。周波数解析などの信号処理は，解析ソフト LabView を使用してコンピューター上で行った。

## ３　実験結果

### ３．１　ビードオンプレート溶接

#### ３．１．１　SS400

図２は SS400 における各レーザー出力での溶接速度対溶け込み深さの関係を示す。溶接速度の増加に伴い溶け込み深さはスムーズに減少していることがわかる。図３は規格化した溶接性状，即ちアスペクト比（溶け込み深さ/ビード幅）で溶接結果を整理したグラフである。ビード断面の観察より，熱伝導型から深溶け込み型への溶接性状の遷移は，アペクト比 0.4 を境に行われていることを確認した。レーザー出力１kW では溶接速度 1-2m/min の領域で，1.5kW，2kW では 4-6m/min の領域で，2.5kW では 6-8m/min の領域で，そして 3kW，3.5kW では 8-10m/min の領域で溶接性状が遷移していた。

図４は，レーザー出力２kW，溶接速度１m/min の条件下で計測された発光・音響信号の時間変動である。発光信号には周期的に強いピークが現れている。また音響信号の変動周期は発光信号のそれよりも非常に早い。

図２，図３に示した溶接性状と発光・音響信号との相関について検討した。図５上図は溶け込み深さと発光強度との関係を示す。ここで発光強度とは，ピーク最大値を意味している。レーザー出力 3.5kW，3kW および 2.5kW の場合，発光強度は溶け込み深さとは無関係におよそ 0.6V と一定である。しかし出力が 2kW 以下になると，溶け込み深さ 0.4mm を境に発光強度は急激に低下している。これは出力が低下

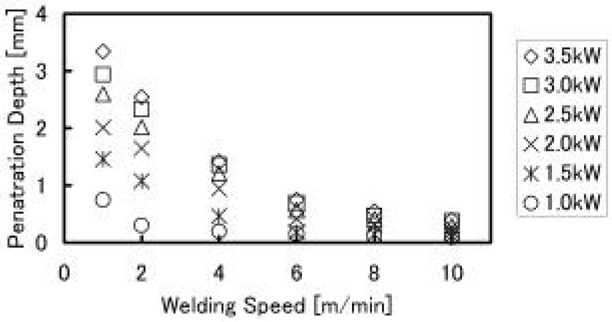



図２　溶接速度と溶け込み深さの関係：SS400

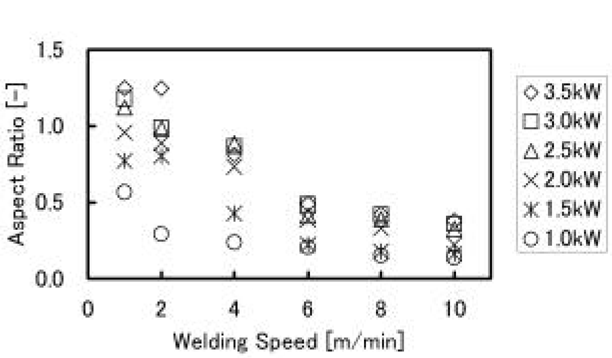



図３　溶接速度とアスペクト比の関係：SS400

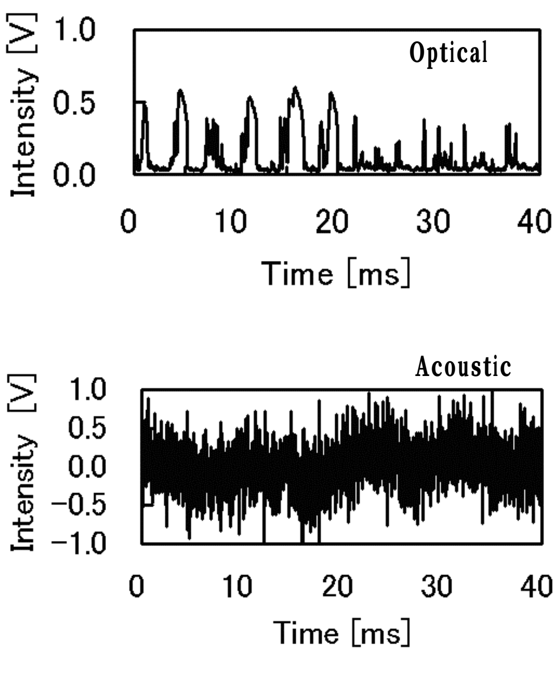



図４　発光信号と音響信号の時間変動：SS400
レーザー出力：２kW　溶接速度：1m/min

することにより，加工部表面に発生するレーザー誘起プラズマが収縮することを意味している。この溶け込み深さ0.4mmはアスペクト比で表せば0.4となる。前述したようにアスペクト比 0.4 は，溶接の遷移点に対応している。したがって，発光強度の変化から溶接の遷移点を評価することが可能であることがわかる。

図５下図は溶け込み深さと音響強度との関係を表している。音響強度は信号の最大振幅を意味している。各出力において音響強度は溶け込み深さに対して非常に緩やかに変化している。したがって音響強度の変化から，溶接の遷移点を明確に見出すことはできない。

レーザー出力２kW，溶接速度１m/min の条件下で計測された発光・音響信号の周波数スペクトルを図６に示す。この条件では溶け込みの深い溶接が得られている。発光スペクトルの主立ったピークは５kHz 以下に現れている。これに対して音響スペクトルにはよりはっきりとしたピーク群が現れている。発光強度と異なり１kHz 以下の領域のスペクトルは比較的小さく，2-4，6，10，12kHz 領域に大きなピークが現れている。

このような発光・音響信号のスペクトル解析から以下のことが明らかになった。

① 深溶け込み型溶接の場合には，音響スペクトルにおいて2-4kHz帯の周波数成分が大きく現れる.

② 熱伝導型溶接の場合には，発光・音響スペクトルともに平坦なスペクトルになる.

したがって，周波数変動に注目することで，溶接性状との相関が取れるものと予想される。

この結果に基づき，周波数スペクトルの低周波数帯と高周波数帯との信号強度の比を取り，アスペクト比との相関について検討した。図７は発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係を示す。信号強度比を求めるにあたって低周波数帯には，深溶け込み型で音響スペクトルに必ず大きなピークが現れる 2-4kHz 帯を採用し，高周波数帯には発光信号では 22-25kHz 帯，音響信号では 32-35 kHz 帯を採用した。即ち発光信号の強度比は 22-25 kHz 帯/2-4kHz 帯であり，音響信号の強度比は 32-35kHz 帯/2-4kHz 帯である。図に示されているように，発光・音響信号のどちらにおいてもアスペクト比の増加とともに信号強度比は急激に減少し，その後一定の値をとることがわかる。発光信号はアスペクト比 0.4 付近を境にプロットの勾配が急激に変

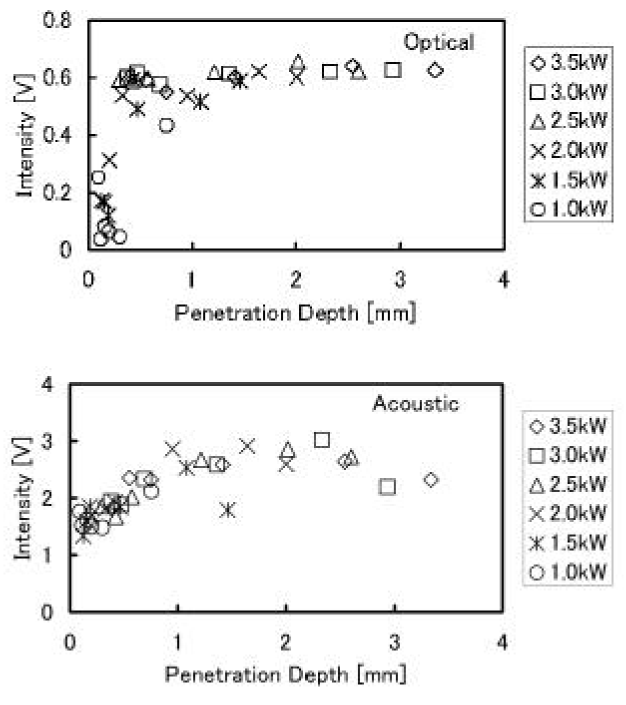



図５　溶け込み深さと発光・音響強度の関係：SS400

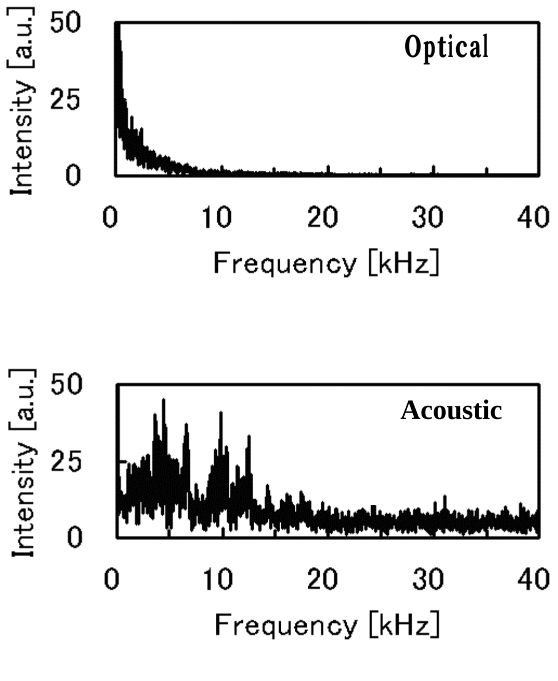



図６　発光・音響信号の周波数スペクトル：SS400
レーザー出力：２kW　溶接速度：１m/min

化している。またその時の信号強度比はおよそ 0.1 である。音響信号でも同様に，信号強度比はアスペクト比 0.4 付近まではその増加に逆比例して減少するが，その後プロットの勾配は一定となる。また，その時の信号強度比はおよそ 0.4 である。前述したようにアスペクト比 0.4 は溶接性状が熱伝導型から深溶け込み型に変化する遷移点である。したがって，信号強度比をモニタリングすることで，熱伝導型か深溶け込み型かの溶接性状を評価することが可能であると言える。溶接性状の遷移点付近で信号強度比が大きく変化するのは，キーホール内部でプラズマの挙動が乱れ，それが発光信号と音響信号に影響を及ぼすためであると考える。

３．１．２　SUS304

図８に発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係を示す。発光信号の強度比は 22-25kHz 帯/2-4kHz 帯であり，音響信号の強度比は 32-35kHz 帯/2-4kHz 帯である。図に示されているように，発光・音響信号のどちらにおいてもアスペクト比の増加とともに信号強度比は急激に減少し，その後一定の値をとることがわかる。発光信号は，溶接性状が熱伝導型から深溶け込み型に変化するアスペクト比 0.4 付近を境に，プロットの勾配が一定となる。またその時の信号強度比はおよそ 0.1 である。音響信号でも同様に，信号強度比はアスペクト比 0.4 付近まではその増加に逆比例して減少するが，その後プロットの勾配は一定となる。また，その時の信号強度比はおよそ 0.3 である。したがって SUS304 においても SS400 と同様に，信号強度比をモニタリングすることで，熱伝導型か深溶け込み型かの溶接性状を評価することが可能であると言える。

３．２　突き合わせ溶接

３．２．１　SS400

図 9 は SS400 における各レーザー出力での溶接速度対溶け込み深さの関係を示す。溶け込み深さは溶接速度の増加に伴いスムーズに減少しているが，6 m/min 以上の速度ではほぼ一定の値となり，ビードオンプレート溶接に比べれば高速度域でもある程度の溶け込みが得られている。図 10 は溶接速度対アスペクト比の関係を表している。前述したように，高速度域でもある程度の溶け込みが得られているため，溶接速度に対するアスペクト比の減少傾向は小さい。

発光・音響信号の信号強度と溶接性状との相関に

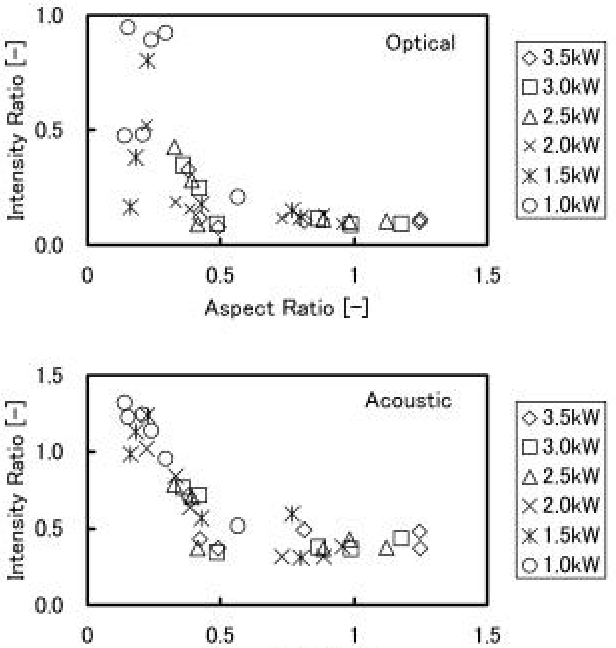



図７　発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係：SS400

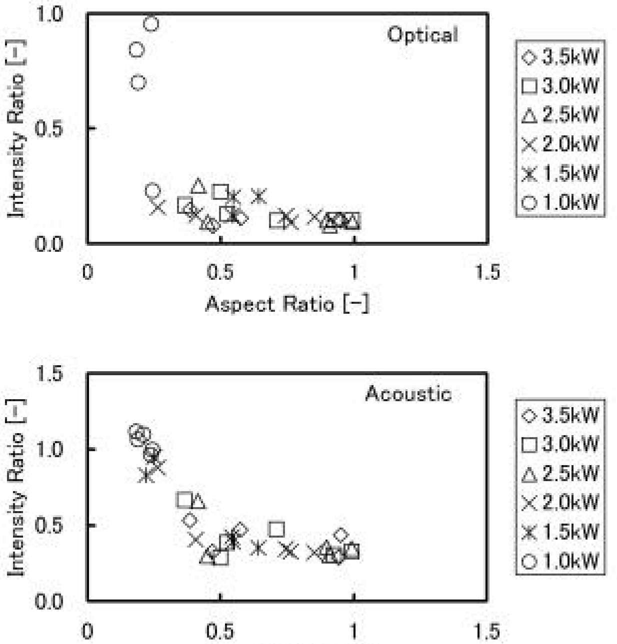



図８　発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係：SUS304

ついて検討した。その結果を図 11 に示す。出力 1 kW の場合を除いて，発光強度は溶け込み深さとは無関係にほぼ一定の値を示す。したがって発光信号の強度変化から, 溶接性状を評価することは難しいことがわかる。音響信号についても，各出力において, その強度は溶け込み深さに対して非常に緩やかに変化しており, 溶接性状を評価することはできない。

そこでビードオンプレート溶接と同様に, 周波数スペクトルの低周波数帯と高周波数帯でその信号強度比を取り, アスペクト比との相関について検討した。図 12 は発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係を示す。信号強度比を求めるにあたっては, 低周波数帯には深溶け込み型溶接の場合に音響スペクトルに必ず大きなピークが現れる 1-4kHz 帯を採用し，高周波数帯は発光・音響信号ともに 32-35kHz とした。発光信号のグラフはばらつきが大きいため正しい評価を下すことができない。それに対して音響信号においては，信号強度比はアスペクト比 1 まではその増加に反比例して減少し，アスペクト比 1 以上になるとほぼ一定値をとる。したがって信号強度比，特に音響信号のそれに注目することで, 溶接性状を評価することが可能であると言える。

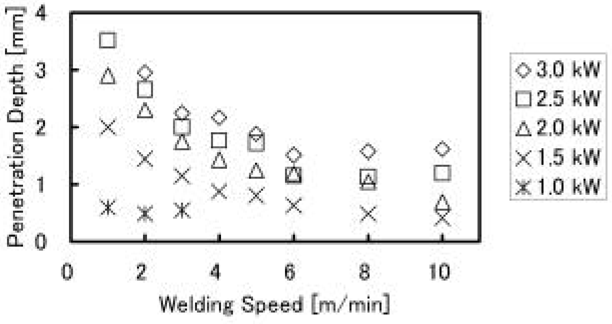



図 9　溶接速度と溶け込み深さの関係：SS400

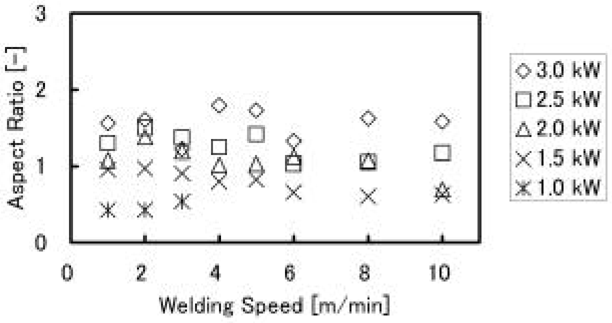



図 10　溶接速度とアスペクト比の関係：SS400

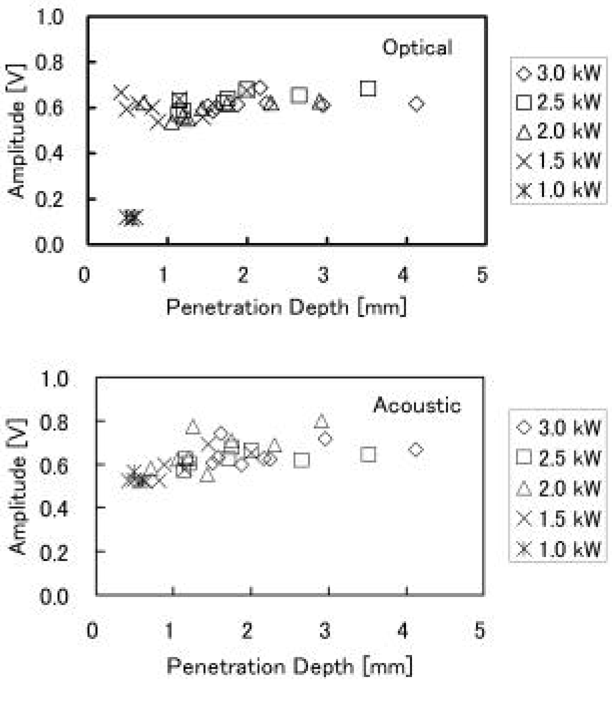



図 11　溶け込み深さと発光・音響強度の関係：SS400

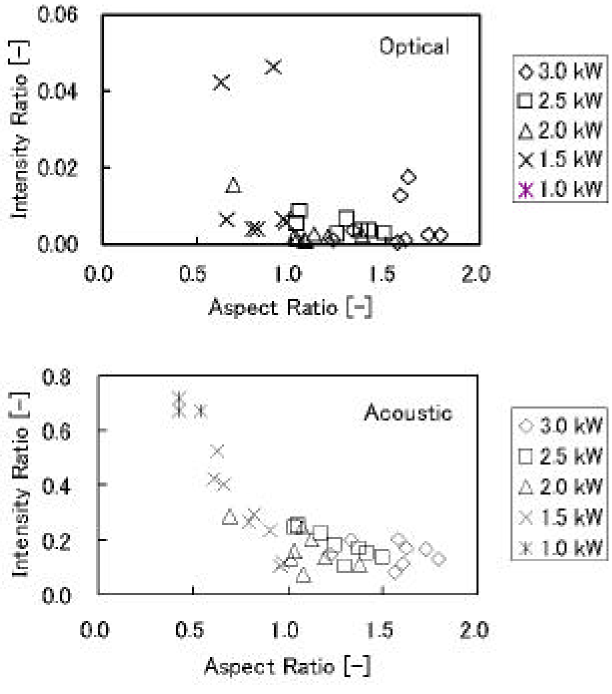



図 12　発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係：SS400

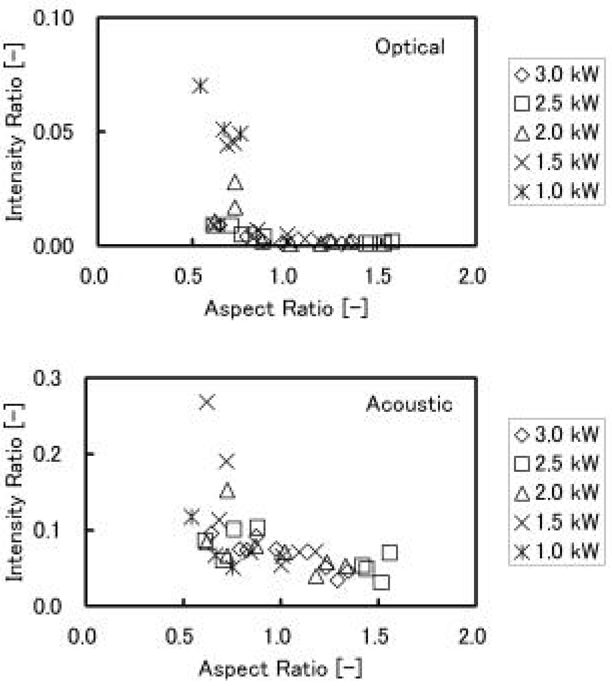



図 13　発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係：SUS304

### ３.２.２　SUS304

図 13 に発光・音響信号におけるアスペクト比と信号強度比との関係を示す。発光・音響信号の強度比はともに 32-35kHz 帯/2-4kHz 帯である。図に示されているように，発光・音響信号のどちらにおいてもアスペクト比の増加とともに信号強度比は急激に減少し，その後ほぼ一定の値をとることがわかる。発光信号は，アスペクト比 0.8 付近を境にプロットの勾配が急激に変化している。音響信号でも同様に，信号強度比はアスペクト比 0.8 付近まではその増加に逆比例して減少するが，その後プロットの勾配は一定となる。したがって SUS304 においても SS400 と同様に，信号強度比をモニタリングすることで，熱伝導型か深溶け込み型かの溶接性状を評価することが可能であるといえる。

## ４　まとめ

本研究では，健全性の高い，軽量化された溶接部を得ることを目的として，ＹＡＧレーザーによるビードオンプレート溶接並びに突き合わせ溶接を実施した。さらに溶接品質の保証技術を確立するために，発光・音響信号による溶接性状のモニタリングを行った。

発光・音響信号の周波数スペクトルを解析することにより，

① 深溶け込み型溶接の場合には，音響スペクトルにおいて，1-4kHz帯の周波数成分が大きく現れる．

② 熱伝導型溶接の場合には，発光・音響スペクトルともに平坦になる．

ことを明らかにした。

この結果に基づき,周波数スペクトルの低周波数帯と高周波数帯との信号強度比を取り,この比とアスペクト比との関係について整理した。その結果,特定のアスペクト比を境にして信号強度比が大きく変化することを明らかにし,信号強度比に基づいて深溶け込み型か熱伝導型かの溶接判定を行えることを示した。

ここで提案したプロセスモニタリングは，測定システムの簡便さと，外乱に対して強い安定性を有しているため，生産現場への適応はとても容易であると考える。計測システムに必要となる機器は，フォトセンサ，マイクロフォン，バンドパスフィルタそしてコンピューターである。これらの機器は，レーザー装置本体に比べれば極めて低コストで導入可能なものであるため，加工費アップに占める割合は小さい。

レーザー溶接機は従来の溶接機より高価であり，初期投資が非常に大きい。しかしながら，溶接歪みの少なさ，生産性の高さなど，レーザー加工の特徴を生かして，従来の加工機では加工することのできない製品を作り出すことが可能となれば，生産技術面での差別化を図ることが可能となり，投資費用を製品価格に上乗せしていくことができるものと考えられる。

## ５　参考文献

(1) M.Watanabe et al, Proceedings of ICALEO'95, LIA Vol.80, pp.553-562 (1995).
(2) S.Nakamura et al., Proceedings of ICALEO'97, LIA Vol.83 Part2 Section G, pp.256-262 (1997).
(3) S.Nakamura et al., Proceedings of ICALEO'99, LIA Vol.87 Part2 Section E, pp.28-33 (1999).
(4) S.Nakamura et al., J. Physics D: Applied Physics, Vol.33, No.22, pp.2941-2948 (2000).
(5) S.Nakamura et al., Proceedings of ICALEO2001, LIA Vol.90, E802 (2001).

# 高温酸化を利用した超硬合金チップのリサイクル

南口 誠*　　　　　安藤秀明*

Recycle of Cemented Carbide Chips by Using High Temperature Oxidation

NANKO Makoto and ANDO Hideaki
Nagaoka University of Technology

**抄録**

超硬合金工具の廃材をリサイクルする方法として，高温酸化を利用した方法を提案する。市販のWC-Co系超硬合金チップを1300°C, 大気中の高温酸化により$WO_3$としてタングステンの回収を確認した。しかし表面に液相の$CoWO_4$が生成するため，$WO_3$の蒸気圧が著しく低下し，その回収速度はきわめて遅くなることがわかった。また，セラミックス製の容器との反応が著しいが，アルミナよりは安価なムライトの方が，反応がゆるやかであることがわかった。

## 1　緒言

切削や金型などに使われている超硬合金工具は WC を主成分とし，焼結助剤としてCoやNi を添加したものである。また，しばしばTiCといった炭化物を切削性能の向上のために加える。超硬合金のリサイクル率は,日本では約30%程度であり,十分とはいえない[1)]。これは，現在利用されているリサイクル方法である溶融亜鉛を用いた方法や化学的，電気化学的な方法[2)]には，使用後の超硬合金工具の選別・管理やリサイクルコストに少なからず問題があるためであるといえよう。

WC を高温で酸化させることで酸化タングステンが表面に生成し，蒸発することが知られている。したがって，酸化タングステンの蒸発を利用すれば，焼結助剤や添加炭化物が加わらない状態でWのみを回収できる。また，大気炉のみで処理できれば非常にシンプルでランニングコストの低減につながる。本研究では超硬合金を高温酸化する新しいリサイクル方法を確立することを目的としている。

## 2　実験方法

### 2．1　リサイクル原理

超硬合金工具はの主成分である WC を大気中で高温酸化すると，最表面に$WO_3$が生成する。その$WO_3$の酸化膜は$WO_2$, $WO_3$, $(WO_3)_2$などの様々な形で蒸発する。図１に大気中における酸化タングステンの蒸気圧を示す。各材料の標準ギブズエネルギーはBarinのデータブック[3)]に記載されている値を用いた。1300°Cでは$(WO_3)_3$が最も高い蒸気圧を示し，およそ $2\times10^{-3}$気圧程度である。この圧力から最大蒸発速度$J$を以下の式：

$$J=\frac{P}{(2\pi mkT)^{1/2}} \qquad (1)$$

をもとに計算すると1cm²,1hで168 gとなり，通常のバイトやフライス用のチップであれば 1h もかからず全て蒸発させうる速度である。ここでは$P$を蒸気圧，$m$を分子１つあたりの質量，$k$をボルツマン定数，$T$を温度とした。これらの酸化物を炉内の低温部で凝縮させ回収した後，還元して W 単体，あるいは炭化して WCとして再資源化をする。

### 2．2　実験装置

実験装置の構造を図２に示す。電気炉はシリコニット発熱体を用いて自作した。その電気炉中に試料を入れたタンマン管（外径φ15，内径φ11，長さ 100mm）を下から支持し，周囲を保護管で覆った。炉内の温度はタンマン管下部のアルメル－クロメル熱電対を設置して測定した。なお，電気炉内の均熱帯は 4°Cの幅で40mmであった。

---

＊長岡技術科学大学

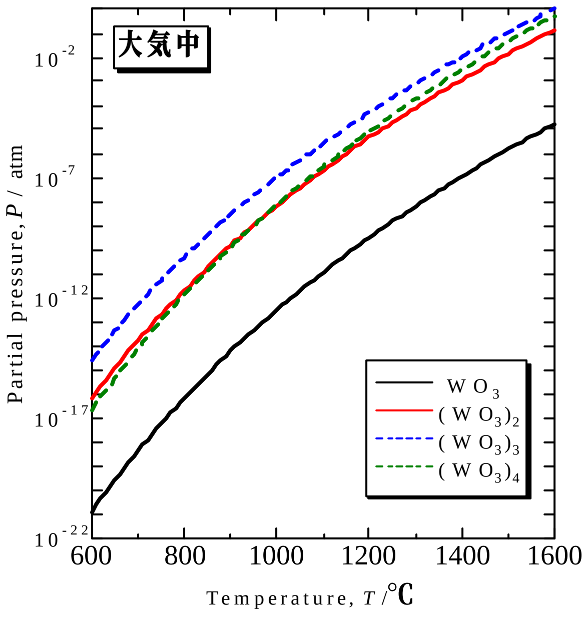



図１　酸化タングステンの蒸気圧

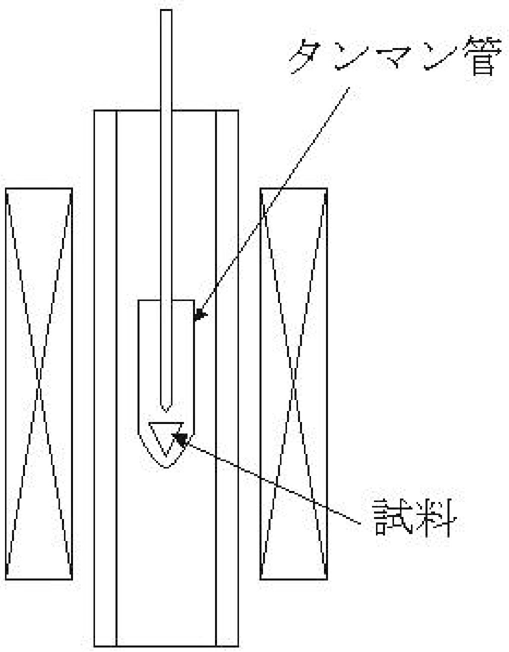



図２　実験装置の構造

２．３　実験方法

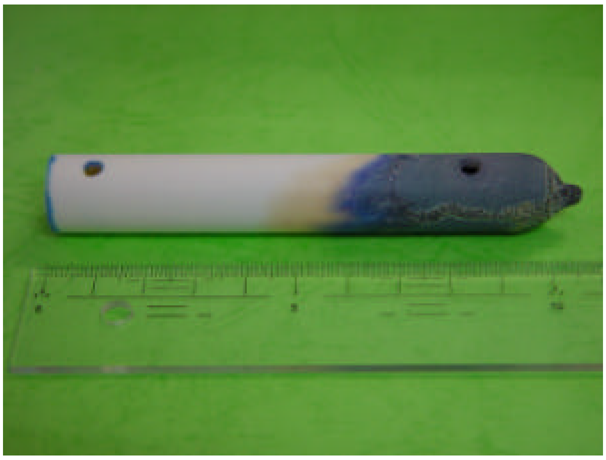
試料の酸化物との反応を考えるため，ムライト(NC，日本化学陶業製)，アルミナ（SSA-H，日本化学陶業製）の２種類のタンマン管を試料容器として検討した。さらに空気の供給口の溝を開けたものと開けていないものを使用した。

炉を室温から２ｈで１３００℃に加熱し，実験時間保持した後，炉冷した。実験時間は１から２４ｈとして６種類を行った。その後，走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ)，電子プローブマイクロアナライザー（ＥＰＭＡ)，Ｘ線回折（ＸＲＤ）を用いて試料の解析を行った。

３　実験結果

３．１　試料容器

図２に酸化後の容器外観を示す。アルミナ容器の方がムライト容器よりも激しく反応している。また，どちらの場合でも空気の供給口となる溝を開けた方が試料の蒸発が速かった。試料の酸化速度が極めて速いため，雰囲気中の酸素が急激に低下する．そのため，空気の供給が十分に行われるようにする必要がある。実際のリサイクル装置では大量のスクラップを酸化する必要があるので，空気の供給法を工夫する必要がある。



(a) アルミナ容器

(b) ムライト容器

図３　1300℃，3h 後の酸化後の容器

３．２　酸化した試料

実験後の試料容器には，図４のように一度液相になった物質が容器の底に溜まっている様子が認められる。その物質にＸＲＤを用いて分析した結果，図５に示す

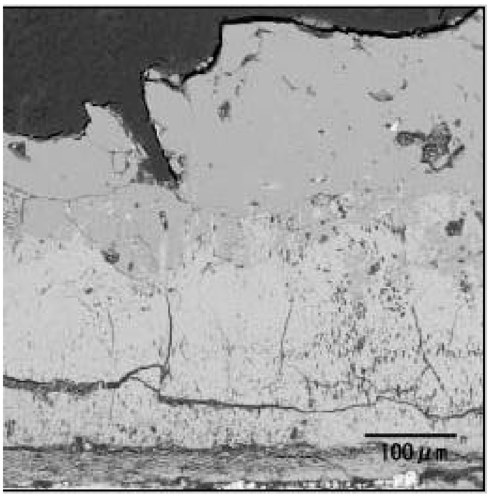
ようにタングステンとコバルトの酸化物である $CoWO_4$ などが確認された。1300℃では W-O 系酸化物には液相が生成しない。このことから $CoWO_4$ の融点が 1300℃よりも低く酸化時に液相を生成するものと考えられる。

図４　容器の底の液相(1200℃,1day)

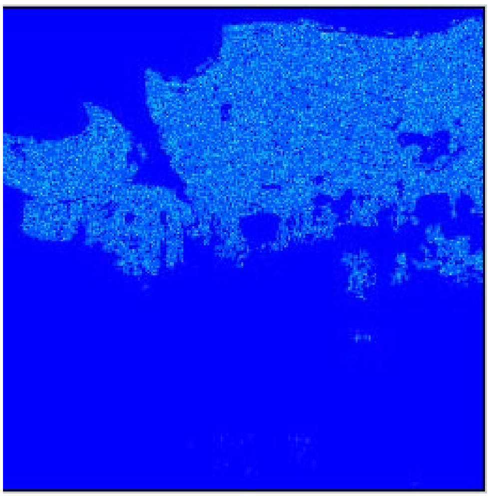
タンマン管に溝を設けなかったため，酸化が遅くなった試料を用いて酸化皮膜の分析を行った。図５は酸化実験を行ったときの試料にＥＰＭＡを用いてマッピング分析を行った結果を示す。試料の表層に Co と W が存在していることがわかる。ＸＲＤの結果から，WC-Co が酸化すると酸化皮膜の最も外側には $CoWO_4$ の酸化膜ができているといえる。

３．３　蒸発

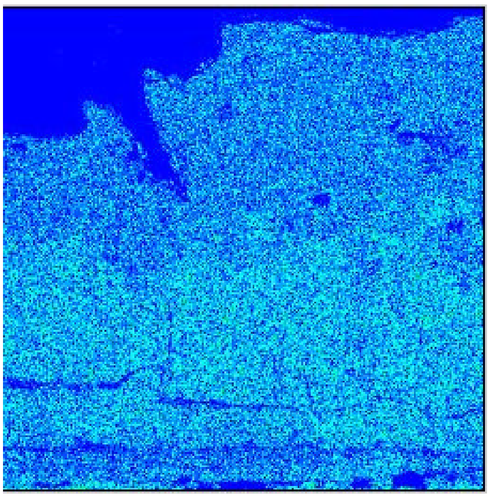
図６に示すように酸化後にＡの部分に $WO_3$ が確認された。熱電対に付着した $WO_3$ を図７に，回収したものを図８に示す。試料温度 1300℃，９時間の酸化においておよそ 30ｍｇの $WO_3$ が回収できた。しかし，これは２で述べた蒸発速度に比べてきわめて遅い。この理由は酸化皮膜の構造のところで述べたように皮膜の最表面に $CoWO_4$ 層が形成しているためであると考えられる。図９は $WO_3$, $CoWO_4$ のそれぞれから蒸発する酸化物の酸素分圧を求めたものである。なお，$CoWO_4$ については CoO の活量を１として計算した。すなわち，熱力学的に $CoWO_4$ から蒸発する蒸気圧の最低値を示す。試料の表面に $CoWO_4$ 層が存在すると酸化タングステンの蒸気圧は非常に低くなる。1300℃では６桁ほど低くなる。最大酸化速度は蒸気の分圧に比例するので，蒸発量と




(a) ＳEMイメージ



(b) マッピング-Ｃo



(c) マッピング-W

図５　酸化皮膜のマッピング分析結果

しては 1cm$^2$，１時間あたり 0。2mg 程度となる。酸化時間を９時間とすれば，約 2mg となる。ＸＲＤの結果から CoO が確認されないので CoO の活量が１ではないこ

とを考慮すれば，妥当な回収速度である。しかし，工業的な観点からあまりに低い。今後，回収速度の向上を図る必要がある。

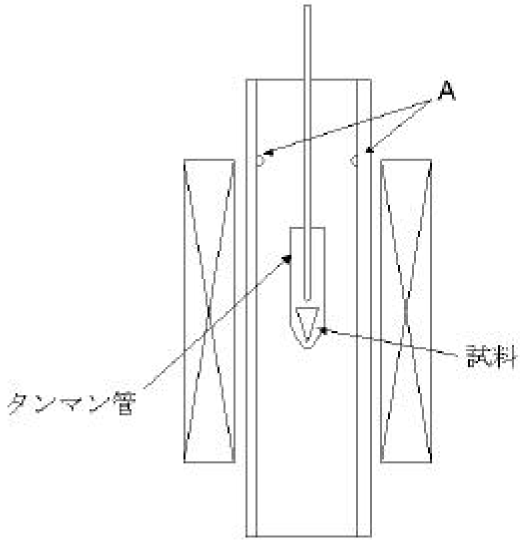



図６　実験後の実験装置

図７　熱電対保護管に付着した $WO_3$

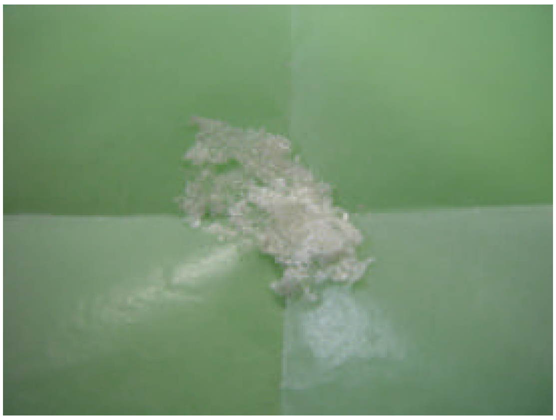


図８　回収した $WO_3$

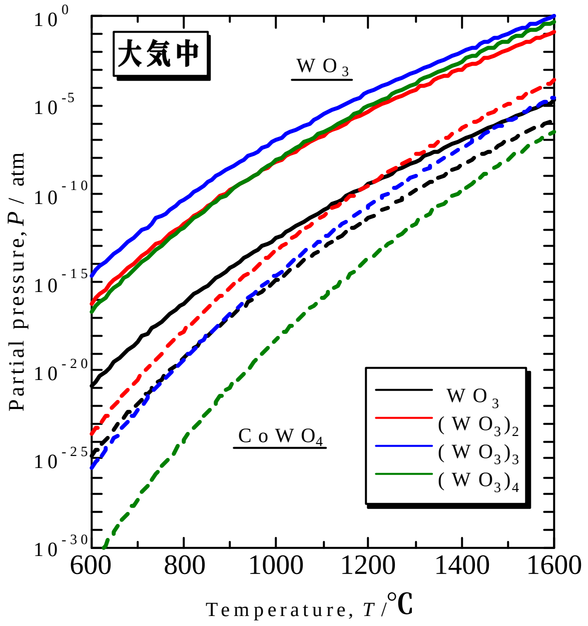



図９　酸化タングステンの蒸気圧

## ４　まとめ

本実験により高温酸化を利用した超硬合金のリサイクル法について以下の知見を得た。

①本研究の実験により，廃材を酸化タングステンとして回収することが可能である。しかし，$WO_3$ からの理論蒸発速度より酸化速度が遅い。

②試料の表面を液相の $CoWO_4$ が覆うため酸化タングステンの蒸気圧が低下する。$CoWO_4$ を取り除く必要がある。

③試料を入れる容器はアルミナよりも安価で反応の少ないムライトが望ましく，空気の供給を確保することが重要である。

引用文献

1) 難処理人工物解析システム研究グループのホームページ，伊藤秀章，http://www.rescwe.nagoya-u.ac.jp/publish/report12/kaiseki.html
2) B.F.Kieffer,E.F.Baroch, Extr.Metall.Refract.Met.Pro.Symp, Ed.by H.Y.Sohn,O.NormanCarlson, J.Thomas Smith , (Metall soc.AIME,1980), pp.273-294.
3) I. Barin, "Thermochemical Data of Pure Substances", 1st ed. (VCH, Weinheim, 1989).

# 環境調和型薄膜太陽電池の電気的特性に関する研究

片桐　裕則*

Electrical characterization of a new environmentally friendly thin film solar cell

KATAGIRI Hironori*

**抄録**

環境調和型薄膜太陽電池の開発を目指し，$Cu_2ZnSnS_4$（以下 CZTS）薄膜を光吸収層とする薄膜太陽電池を作製し各種評価を行った。作製した太陽電池は，Al/ZnO:Al/CdS/CZTS/Mo/ガラス構造である。厚さ 1.2mm のソーダライムガラスを基板とし，RF スパッタ法により下部電極 Mo を製膜した。Mo 上に，光吸収層 CZTS 薄膜を E-B 蒸着・気相硫化法により積層した。バッファー層 CdS は，溶液成長法(CBD 法)で成長させた。上部窓層 ZnO:Al は，$ZnO+Al_2O_3$:2.0wt%ターゲットを用い，RF スパッタ法により積層した。最後に上部櫛形 Al 電極を真空蒸着法により作製し，太陽電池を構成した。本研究で得られた最高変換効率は4.13%であった。この値は，これまでのトップデータ 2.62%を大きく上回る値である。

## 1　緒言

現在，太陽電池の主流は Si 結晶型であるが，製造コストの高さから，一般的普及には至っていない。製造コスト削減のためには，太陽電池の薄膜化が重要な課題となっている。商用電源との競合を目指す次世代薄膜太陽電池の開発は，$CuIn_xGa_{1-x}Se_2$(以下 CIGS)系薄膜を中心として，各国の研究機関で精力的に展開されている。既に，小面積セルにおいては 18%の変換効率が達成されている。しかし，CIGS 系薄膜は，稀少元素 In・Ga や有毒性元素 Se を構成元素としている。従って，将来の大量生産段階における資源上の制約，リサイクル時・廃棄時における地球環境に与える影響が懸念される。

本研究室で開発している $Cu_2ZnSnS_4$ (以下 CZTS)は，$CuInSe_2$ (以下 CIS)における稀少元素 In を Zn,Sn で，有毒性元素 Se を S で置換したケステライト構造を持つ化合物半導体である。本材料の禁制帯幅は 1.4～1.6eV と推定され，太陽電池光吸収層の最適値に極めて近い値である。さらに，光吸収係数は $10^4cm^{-1}$ 台で，CIS に匹敵するほどの大きな値を示す [1-5]。これらの光学的特性は，本材料が薄膜太陽電池光吸収層として極めて有望であることを示している。CZTS のケステライト構造は，CIS のカルコパイライト構造に極めて近似した構造である。そのため，CZTS 系薄膜太陽電池を作製する際には，研究・開発が進んでいる CIS 系薄膜太陽電池の周辺技術がそのまま応用できる可能性が極めて高い。さらに，CZTS は稀少元素を含まないため，CIS に比べ原材料費が安価である。化学量論比的には，In：２モルを Zn,Sn：各１モル(計２モル)で置換することになり，この部分での原材料費は約 1/4 で済むという試算が成立する。これらの特徴は，CZTS 系薄膜太陽電池の実用化に向けての大きなメリットである。

信州大学・伊東教授らは，原子ビームスパッタ法による CZTS 薄膜の作製に成功し，CTO 導電膜とのヘテロ接合による光起電力効果を，世界で初めて報告している [1)]。また，Stuttgart 大学 Friedlmeier らは同時蒸着法による作製に成功し，ZnO/CdS 窓層との積層構造で 2.3%の変換効率を報告している [3)]。

本研究室では，気相硫化法による CZTS 薄膜の作製を提案している [2,4-8)]。これまでに，高基板温度蒸着・気相硫化法による CZTS 薄膜を用いた Al/ZnO:Al/CdS/CZTS/Mo/ソーダライムガラス(以下 SLG)構造の太陽電池で，変換効率 2.62%,開放電圧 522mV を得ている。しかし，曲線因子(以下 FF)の値が 35.54%と低く，更なる高効率化のためには直列抵抗成分の低減化が重要な課題となっていた。そこで，上部窓層材料 ZnO:Al 薄膜の低抵抗率化・高透過率化に関する研究を実施し，$10^{-4}\Omega cm$ 台と充分に低い抵抗率と 90%以上の高い透過率を同時に達成することに成功した。しかし，このように最適化された ZnO:Al 薄膜を従来の CZTS 薄膜(膜厚：約 2 μm)に積層しても，太陽電池特性に大きな改善

*長岡工業高等専門学校　電気工学科

は確認できなかった。これは，光吸収層 CZTS 薄膜作製条件の最適化が不十分で，光吸収層自体の直列抵抗成分が高すぎたことに原因があると考えられる。また，CZTS 薄膜の作製報告例が非常に少ないことから，作製手法・作製条件と基本的物性，特に電気的特性との関連を明らかにする必要がある。

そこで本研究では,

① CZTS 薄膜作製条件の最適化

② C-V 測定システムの構築および拡散電位の測定

③ 磁場可変型 AC ホール効果測定システムの構築

の三項目について調査・研究を行ったので報告する。

## 2 CZTS 薄膜作製条件の最適化

CZTS 薄膜の作製には，本研究室独自の E-B 蒸着・気相硫化法を用いた。これは，E-B 蒸着装置により Mo コート SLG 基板上に Cu/Sn/ZnS の積層膜（以下プリカーサ）を製膜した後，別の硫化炉内で $N_2$+$H_2S$(5%)の反応ガスを用いて硫化を行う二段階作製法である。従来の研究では，基板洗浄に界面活性剤を用いた超音波洗浄を採用し,硫化時には石英管反応炉を使用していた。本研究では，基板前処理に UV 洗浄器を導入した。本洗浄法は，近年の液晶ディスプレイ製造でも採用されている最先端の有機洗浄法である。さらに，気相硫化には，ターボ分子ポンプを主排気系とした，SUS チャンバーによる新型気相硫化装置を用いている。

### 2.1 Cu/Sn/ZnS/Mo-SLG プリカーサの作製

図１に，プリカーサ作製に使用した E-B 蒸着装置の模式図を示す。本装置の排気系は，油拡散ポンプを主ポンプとしており，ポリコールドチラートラップとの併用で背圧は $10^{-55}$Pa 台である。E-gun は４元ターレット式であり，４層までの積層膜が真空を破ることなく高品質で作製可能である。プラネタリー型の基板保持部は，最大３インチのウェファーが 18 枚まで同時にセットする事が可能であり，同一バッチで多くのプリカーサの作製が行える。また，水晶振動子をセンサーとした膜厚モニター（Inficon 社製 XTM）により，各積層膜厚を制御している。蒸着時の真空度は約 3×$10^{-4}$ Pa 以下とし，ハロゲンランプ加熱により蒸着中の基板温度は 150℃一定とした。このような E-B 蒸着装置で Cu/Sn/ZnS/Mo-SLG の積層プリカーサを作製した。

SLG 基板の前処理には，UV 洗浄法を採用した。Mo-SLG は，同洗浄を行った SLG 上に約 1 μm の Mo をスパッタ法で製膜したものである。なお，Mo-SLG 基板を E-B 蒸着装置にセットする直前にも UV 洗浄を施している。

基板前処理を従来の湿式洗浄からドライ洗浄へと変更しているため，プリカーサ第１層(ZnS)の付着状態に変化が生じる可能性がある。そこで，プリカーサ最適化のために，第１層の ZnS を 240，270，300，330nm とし，それぞれに Sn:150nm，Cu:90nm を積層した４種類のプリカーサを作製した。

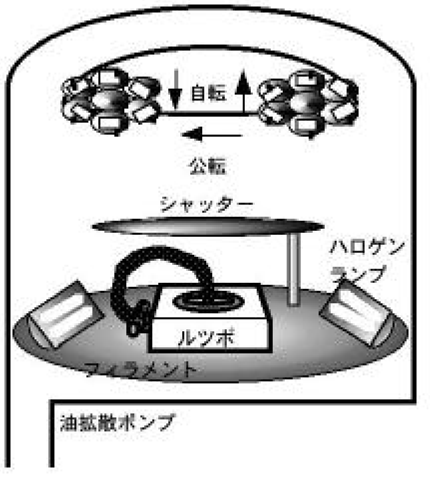



図１　プリカーサ作製用 EB 蒸着装置模式図

### 2.2 気相硫化による CZTS 薄膜の作製

前述の方法で作製したプリカーサを，新型気相硫化炉で $N_2$+$H_2S$ (5%)雰囲気中で硫化した。図２に，気相硫化に使用した装置の模式図を示す。SUS チャンバーには，ターボ分子ポンプを主ポンプとする排気系と，２系統のガス導入口が接続されている。図中の Reflector には Ti 板を採用している。プリカーサをグラファイトブロック上に乗せた後，ロータリーポンプと $N_2$

ガスにより反応管内の活性元素である $O_2$ をパージした。その後，チャンバー内をターボ分子ポンプにより 7×$10^{-4}$Pa 以下まで高真空排気する。メインバルブを閉めたことを確認した後，チャンバー内を１気圧の反応ガスで満たし加熱を開始する。加熱中の反応ガス流量は，フロート式流量計で 10$cm^3$/min 一定とした。なお，加熱中は Gas-outlet(パスバルブ)を開放し，未反応ガスを脱硫カートリッジを通した後大気に放出している。試料加熱には，試料ホルダー背面にセットしたハロゲンランプを用いている。

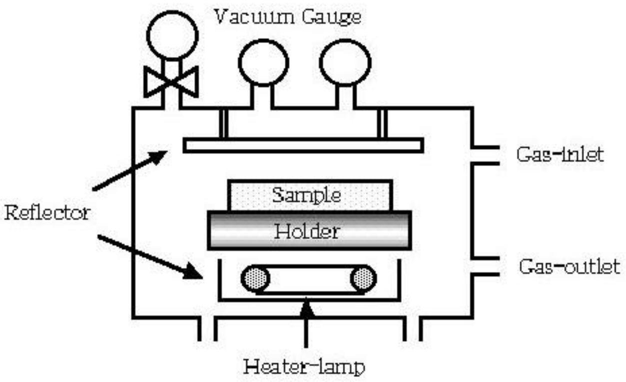



図２　新型気相硫化装置
模式図

硫化昇温パターンは，従来の石英管反応炉で採用していたパターンと同一である。室温より 10℃/min で 200℃まで加熱し，さらに 550℃まで 2℃/min で昇温する。そして３時間保持し，300℃まで 2℃/min で下降させ，その後自然冷却を行う。また，550℃から下降する際に，反応ガスを $N_2$ ガスに切り換えている。

表１に，プリカーサ作製時の ZnS 膜厚に対する，硫化後の CZTS 薄膜の組成比を示す。

2.3　太陽電池の構成と出力特性

前項の手法で作製した CZTS/Mo-SLG 上に，溶液成長法でバッファー層 CdS を堆積した。さらに，上部窓層 ZnO:Al を RF スパッタ法で積層した後，上部櫛形 Al 電極を真空蒸着法で作製し太陽電池を構成した。図３に，作製した Al/ZnO:Al/CdS/CZTS/Mo-SLG 構造の CZTS 系薄膜太陽電池の模式図を示す。

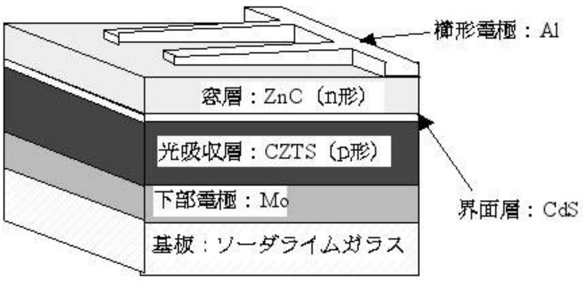



図３　CZTS 系薄膜太陽電池
模式図

入射強度 100mW$cm^{-2}$，AM1.5 のソーラーシミュレーターを用いて，四端子法による太陽電池出力特性の測定を行った。図４に，CZTS 系薄膜太陽電池の出力特性を示す。また，表２に各太陽電池のセル面積と，図４の出力特性より得られた各種特性値を示す。さらに，定エネルギー分光照射装置を用いて，波長範囲 400nm 1000nm の光電流を測定し，量子効率を求めた。図５に，各太陽電池の量子効率スペクトルを示す。

図４及び表２より，ZnS 膜厚の増加とともに変換効率が上昇することが確認できる。ZnS 膜厚 330nm のプリカーサを用いた太陽電池で，4.13％の変換効率が得られている。CZTS 系薄膜太陽電池におけるこれまでの最高変換効率は 2.62％であった。従って，今回の大幅な変換効率の改善は，環境調和型薄膜太陽電池の実現に向けての極めて大きな成果である。

表１　ZnS 膜厚に対する CZTS 薄膜の組成比

| ZnS(nm) | Cu (at%) | Zn (at%) | Sn (at%) | S (at%) | Cu/(Zn+Sn) | Zn/Sn | S/M |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 240 | 22.9 | 13.3 | 12.3 | 51.4 | 0.895 | 1.08 | 1.06 |
| 270 | 22.5 | 13.0 | 12.5 | 52.0 | 0.882 | 1.04 | 1.08 |
| 300 | 22.9 | 13.4 | 12.4 | 51.3 | 0.888 | 1.08 | 1.05 |
| 330 | 22.5 | 14.3 | 11.9 | 51.2 | 0.859 | 1.20 | 1.05 |

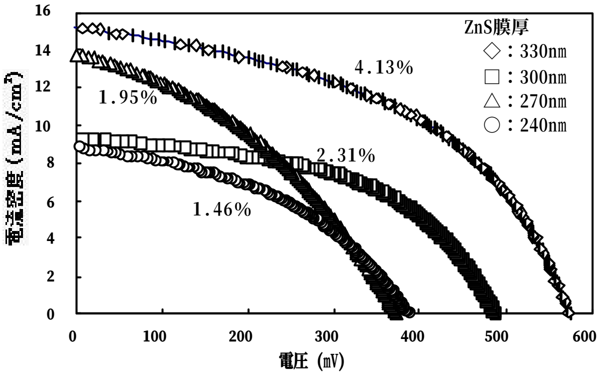



図４　ZnS 膜厚をパラメータとした
CZTS 系薄膜太陽電池の出力特性

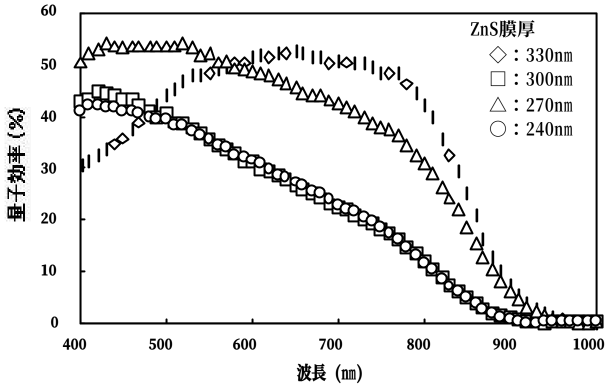



図５　ZnS 膜厚をパラメータとした
CZTS 系薄膜太陽電池の量子効率

開放電圧に関しては，ZnS 膜厚の増加とともに上昇する傾向が見られる。一方，短絡電流密度に関しては，ZnS 膜厚に対する明瞭な傾向が見られない。図６の量子効率スペクトルによると，ZnS 膜厚 300nm 以下の太陽電池では，400～500nm の間にピークを持ち，500nm 以上の長波長側で単調減少の傾向を示している。これらの特性は，従来の石英管反応炉により硫化した CZTS 光吸収層による太陽電池の特性とよく似ている。一方，最高変換効率 4.13%を示した ZnS 膜厚 330nm の太陽電池では，550～800nm 付近までほぼ一定の量子効率を示している。550nm 以下の短波長領域における量子効率の低下は，バッファー層に用いた CdS 薄膜の吸収によるものである。これらの量子効率スペクトルを比較することにより，ZnS 膜厚 330nm の光吸収層が他のサンプルより深さ方向に均質な高品質な薄膜であったことが理解できる。

前述の表１より，ZnS 膜厚 330nm の CZTS 薄膜の組成比は Cu/(Zn+Sn)=0.859, Zn/Sn= 1.20 であった。これらの値は，今回作製した CZTS 薄膜の中で，最も Cu-poor, Zn-rich な組成であることを示している。今後，本研究成果をもとに，さらに組成の最適化を図り各種特性の改善を目指す予定である。

### 3　C-V 測定システムの構築および拡散電位の測定

プレシジョン LCR メータ（Agilent Technolog-ies:4284A)とパソコンを GP-IB で接続し，Lab VIEW を用いて自動計測システムを構築した。太陽電池の pn 接合部に一定のステップで直流バイアス電圧を加え，順次接合容量を測定する。図６に，面積補正を加えた $1/C^2$-DC バイアス電圧特性の測定例を示す。

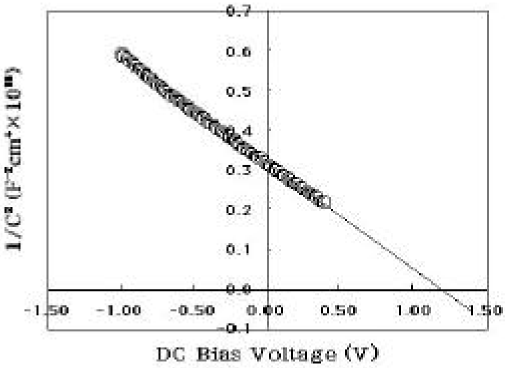



図６　CZTS 系薄膜太陽電池の
C-V 測定例

表２　CZTS 系薄膜太陽電池の特性値

| ZnS 膜厚(nm) | セル面積($cm^2$) | 短絡電流密度(mA/$cm^2$) | 開放電圧(mV) | 曲線因子(%) | 変換効率(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 240 | 0.172 | 8.78 | 394 | 42.2 | 1.46 |
| 270 | 0.139 | 13.7 | 380 | 37.4 | 1.95 |
| 300 | 0.164 | 9.33 | 490 | 50.6 | 2.31 |
| 330 | 0.154 | 15.2 | 575 | 49.4 | 4.13 |

測定試料は，最高変換効率 4.13％を示した ZnS 膜厚 330nm の太陽電池である。測定点が $1/C^2$ にフィッティングすることから，pn 接合が階段接合であることが確認できる。また，測定点を外挿して得られる交点から，拡散電位は約 1.2V と推定できる。従って，デバイスとしての最適化が進めば，現状の 575mV を大きく超える開放電圧を得る可能性が極めて高いことが明らかとなった。

## 4　磁場可変型 AC ホール効果測定システムの構築

図７に，これまで本研究室で行ってきた DC ホール効果測定例を示す。図中の段差 $V_H$ が，磁場の ON/OFF に対応したホール起電力を表している。大きな DC ドリフトと微弱な高周波ノイズ成分が確認できる。一般に，高抵抗サンプルに対しては，これらの誤差要因が大きくなり，測定不可能となることが多い。

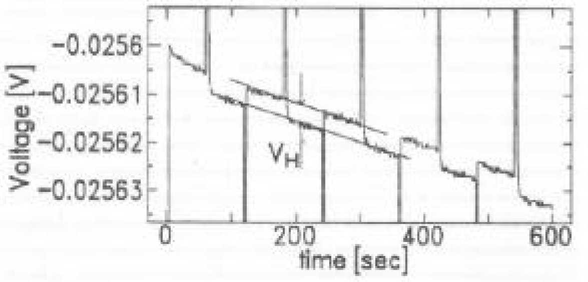



図７　DC ホール効果測定例

本研究で開発中の CZTS 薄膜は，移動度が小さくホール起電力が微少なため，これまで殆どホール効果の測定が不可能であった。しかし，太陽電池デバイスとして CZTS 薄膜を応用するためには，ホール効果測定による電気的特性の把握が必要不可欠である。そこで，極低周波で磁場を可変する AC ホール効果測定システムを構築することとした。

図８にシステム全景を，図９にシステムのブロック図を示す。

磁場の向きと大きさを極低周波で変化させ，それと同期してサンプルに現れる純粋なホール起電圧のみを，ロックインアンプで検出し，DC 不平衡電圧，高周波ノイズの影響を除いて測定する。既にシステムの構築は終了し，現在テスト・ランの状態である。これまでに，ｲﾝﾀｰﾅｼｮﾅﾙ・ｻｰﾎﾞ・ﾃﾞｰﾀ社提供の MMR ホール効果測定装置用標準 Si サンプルで，同社の測定結果とほぼ一致する測定結果を得ている。キャリア濃度に関して，サンプル仕様書では $2\times10^{16}$cm$^{-3}$ であるのに対し，本システムでは 50，100，200mHz の測定周波数で 2.01，2.06，$2.15\times10^{16}$cm$^{-3}$ の値が得られている。一方，本研究対象である CZTS 多結晶薄膜では移動度が極めて小さく，現段階では測定の再現性に問題がある。今後，他研究機関との相互比較を行い測定手法の完成を目指す予定である。さらに，サンプル温度を室温から 12K の極低温まで冷却可能なクライオスタットも導入しており，CZTS 薄膜の詳細な電気的特性を明らかにする予定である。

図８　AC ホール効果測定システム全景

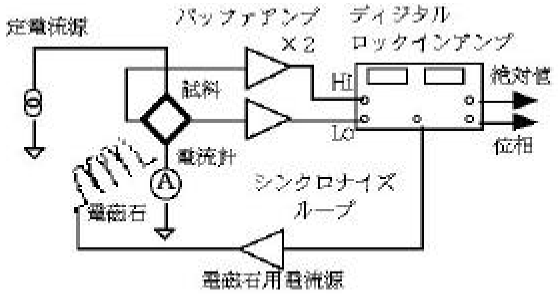



図９　AC ホール効果測定ブロック図

## 5　まとめ

環境調和型薄膜太陽電池の開発を目指し，$Cu_2ZnSnS_4$ 薄膜を光吸収層とする薄膜太陽電池を構成した。基板洗浄法，気相硫化装置の変更を行うとともに，作製条件の最適化を図った。

さらに，電気的測定系の充実を図った。

その結果，

① 従来のトップデータ 2.62%を大きく超える 4.13%の変換効率を達成した。

② C-V 測定より 1.2V の拡散電位を確認した。

③ 磁場可変型 AC ホール効果測定システムを構築した。

今後，本研究で得た知見をもとに，新たに構築した電気的特性測定システムを活用し CZTS 光吸収層の電気的特性を明らかにすることで，環境調和型薄膜太陽電池の更なる変換効率の向上を目指す。

## 6 謝辞

本研究は,平成 13 年度新潟県提案公募型技術開発研究事業として実施された。また，本研究の一部は平成 13 年度文部科学省科学研究費補助金で実施された。関係者各位に感謝申し上げる。

## 7 参考文献

[1] K. Ito and T. Nakazawa, Jpn. J. Appl. Phys. **27** (1988) 2094.

[2] H. Katagiri, et al., Technical Digest of the International PVSEC-9 (1996) 745.

[3] Th. M. Friedlmeier, et al., 14th European PVSEC and Exhibition, P4B.10 (1997)

[4] H.Katagiri, et al., IEEE Proceedings of PCC-Nagaoka, vol.Ⅱ (1997) 1003.

[5] H. Katagiri, et al., Sol. Energy Mater. & Sol. Cells **49** (1997), PART Ⅲ, 407.

[6] H. Katagiri, et al., Proceedings of the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion (1998) Vol. Ⅰ 640.

[7] H. Katagiri, et al., Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) 500.

[8] H. Katagiri, et al., Sol. Energy Mater. & Sol. Cells **65** (2001) 141.

# 光プローブの自律走査と平面データムの内蔵を特徴とする表面凹凸形状測定機

柳　和久*　　黒蔵　忠**　　根本　賢太郎**

Development of a profiling instrument with reference plane insensitive to surrounding conditions

A study on surface topography measurement using spot-type optical probes on the market

YANAGI Kazuhisa,　KUROZO Tadashi　and　NEMOTO Kentaro

**抄録**

面領域を走査する座標系として直交座標に加えて極座標の実用性を追求し、光プローブ変位計の異常値補正と最適なサンプリング条件を導出するためのソフトウェア開発に力点を置いた。

## 1　緒言

工業製品の高機能化・高性能化に伴って，機械加工部品の図面指示による要求項目は多様化し，また数ナノメートルという高い精度が要求されるようになっている．このような超高精度で部品の幾何特性仕様を検測するためには，恒温室のように測定環境が整った場所に設置された大掛かりな防振設備付の高価で特殊な光学式測定機を使用する必要が生じる．

本研究では，簡単な構造でも外乱の影響を受けにくく，多様な測定要求項目に対応できる，高精度な非接触ポイントセンサ相対走査型の表面凹凸形状測定機の開発を目的とした．

## 2　測定原理

本研究で開発した測定機の構造を図１に示す．被測定表面を倣う用のセンサとして被接触ポイント型変位計を門型コラム上にある Z ステージに取付けている．被測定物をテーブルの上に置き，直交座標系の *X-Y* ステージを水平方向に移動させることで，面領域の表面凹凸形状測定が行える．この時ステージの移動に伴って，テーブルには運動誤差が生じる．そこで，テーブル背面に平面データムを内蔵させることにより測定の基準面を作成する．その基準面と直交し，非接触ポイント型変位計の測定軸が通る基準法線上に静電容量変位計を設置し，下方から基準面の測定軸（Z 軸）方向変位をリアルタイムで測定するようにした．この計測データは，テーブルの Z 軸方向運動誤差に相当する．

上方で測定された被測定表面の凹凸形状データから下方で計測されたテーブルの運動誤差データを差引くことにより，簡素なステージを使用しても，テーブルの運動誤差を含まない高精度な表面凹凸形状データが得られる．

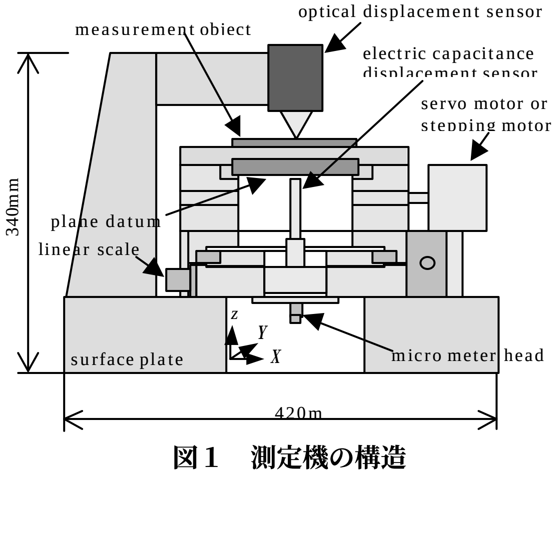



図１　測定機の構造

＊長岡技術科学大学　工学部　機械系　教授
＊＊長岡技術科学大学大学院　工学研究科

## ３　測定機の仕様及び特徴

開発した測定機のステージ部の仕様を表１に示す．X-Y 各ステージは，ステッピングモータ（オリエンタルモータ製：励磁最大静止トルク 0.3Nm，2W）あるいはサーボモータ（山洋電機製：最大ストールトルク 0.264Nm 以上，30W）を用いて駆動する．送り機構には，ボールネジ（KSS 製：リード 1mm，ネジ径φ8mm）とクロスローラガイド（日本ベアリング製：スライドウェイ，ストローク 90mm）を用い，さらに，リニアスケール（HEIDENHAIN 製：測定長 50mm，分解能 0.2μm，又は CANON 製：測定長 100mm，分解能 0.1μm）を取付けて，(x,y)座標を検出する．非接触ポイント型変位計を取付ける Z ステージ（中央精機製：ストローク 50mm）により変位計ヘッド-被測定表面間が変位計の作動距離となるように調節する．また，ステージ内部に取付ける静電容量変位計（フォトニクス製：プローブ径φ4mm，測定範囲 50μm，分解能 5nm）は，マイクロメータヘッド（ミツトヨ製：ストローク 6mm）によって，プローブ-平面データム間が 50μm 以内になるように調節する．

測定機の全体構成は図２に示すようになっている．ステッピングモータの場合はモーションコントローラ（メレック製），サーボモータの場合は I/O ボード（インターフェース製）を用いて制御する．

上下両変位計の出力信号は，AD ボード（ナショナルインスツルメンツ製：分解能 16bit，最高サンプリング周波数 200kHz）により取り込み，パソコン（DOS/V，CPU 800MHz，RAM 128MB，Windows2000）上で実行されている測定プログラム（Borland C++ Builder4 で作成）を用いて補正データを作成した上でファイルに保存する．リニアスケールのパルス信号はモーションコントローラのパルスカウンタ機能を用いて読み取っており，これによりフィードバック位置決め制御が可能である．

表１　測定機の仕様

| | |
|---|---|
| Dimensions of external form (D×W×H) | 420×420×340mm |
| Movable area (X×Y×Z) | 35×35×120mm |
| Resolution of location (that of linear scale) | 0.1μm |
| Running parallelism | 5μm |
| Orthogonality error between X and Y | 3μm |

本測定機の特徴は，市販されている様々な種類の変位計を，治具を介して取り付け可能なことである．平面度測定用にはスポット径の大きいものを，逆に表面粗さ測定用にはスポット径の小さいものをというように測定用途に合わせて，変位計を選定することができる．また，本測定機はテーブルの運動誤差を常時計測しているので，X-Y ステージ可動領域内の送り精度データを予め用意しておく必要がなく，測定方式もこのデータに合わせた送り運動によるものでなければならないという制限を受けない．したがって，本測定機ではテーブルを水平面内で任意の方向に走査させながら測定することができるという特徴を持っている．

さらに，本測定機のコラムには，熱膨張率の低いグラナイト（大菱計器製作所加工）を使用しており，上下両変位計間の距離が，気温変動の影響を受けて変化することを極力抑えるようにしている．外部から振動が加わった場合に備えて，定盤の下には除振ゴム（昭和電線製）を敷き，振動を減衰させる．この働きにより減衰しても残る低周波振動は，測定機全体が上下に揺れているとみなせ，上データから下データを差引くという測定原理により補正される．

また，気圧や空気対流等が変化すると，変位計の出力信号が変動する．変位計が異常信号を出力する機能を持っている場合は，それを常時監視するようにし，異常と認識されたサンプリング点について，データの取り直しや近傍数点の測定データから推定するというような柔軟な測定方法に対応することも可能である．そのような意味で外乱の影響を軽減できる拡張性に富んだ測定機であると言える．

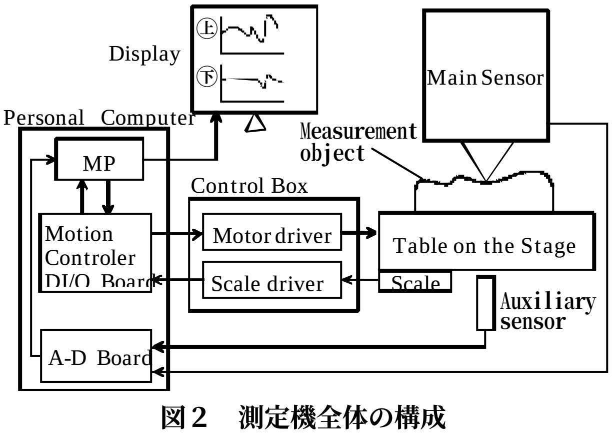



図２　測定機全体の構成

## 4　平面データムと静電容量変位計

平面データムとして使用する参照平板としては，フラットプレート（ツガミプレシジョン製：□50㎜×10㎜，材質 SK-5，ラッピング仕上げ），オプティカルフラット（オハラ製：□50㎜×10㎜，材質 クリアセラム, クロム蒸着）を使用している．このうち，フラットプレートについて，白色光干渉計（Cannon 販売 Zygo GPI）で測定した場合の形状誤差を図３に，また，表面粗さ測定機（小坂研究所製：ET-30HK, 触針先端半径 0.5μm）で測定した場合の粗さ曲線を図４に示す.

参照平板表面の形状誤差は, 30nm以下となっている．参照平板表面に存在する粗さ成分の最大断面高さ *Rt* は 0.2μm 程度であることが分かる．ここで，粗さ曲線を求めるに際し，λc=250μm の Gaussian ハイパスフィルタを使用した．しかし，静電容量変位計を用いた場合，プローブ径に比べて極端に小さいこのような短波長成分は検出されないと考えられる．

次に静電容量変位計の被測定表面波長の伝達特性について述べる．波長が既知である正弦波の被測定表面を，静電容量変位計と輪郭形状測定機（東京精密製：Surfcom3000A，触針先端半径 2μm）の両方で測定し，触針式で得られた振幅を 1 として，静電容量変位計で得られた振幅を相対比として求めた．結果を図５に示す．なお，静電容量変位計はプローブ径φ6mm のものと合わせて 2 種類使用して実験を行った．プローブ径がφ4mm の静電容量変位計の場合において，被測定表面の波長が 0.4mm 以下では，振幅伝達率が 5%程度となっている. したがって図４に示したような短波長成分の影響はほとんど受けないと言える．

また，静電容量変位計の応答周波数特性を図６に示す．この結果は，ファンクションジェネレータを用いて圧電素子に正弦波状の振幅を与え，静電容量変位計でその変位を測定して得られた振幅の大きさの割合を求めたものである．周波数が 100Hz を上回ると振幅伝達率が低下していることが分かる．このことから，有効な運動誤差補正周波数帯域は約 100Hz 以下であると言える．すなわち，走査速度を 1mm/s と設定して測定を行う場合は，本測定機により測定可能な最小波長は 10μm 程度であると言える．

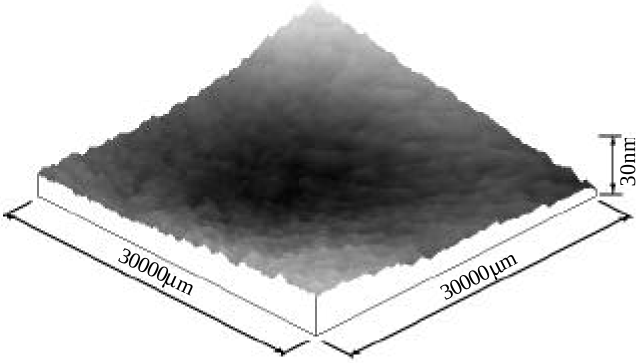



図３　参照平板の形状誤差

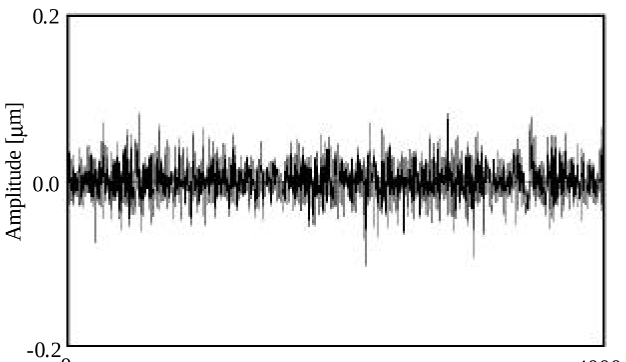



図４　参照平板の粗さ曲線

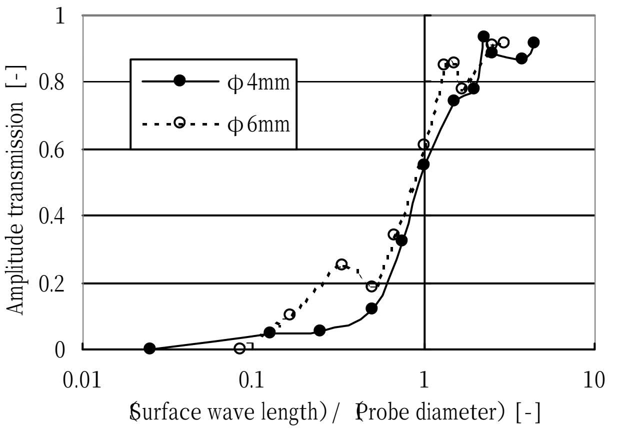



図５　表面波長の振幅伝達特性

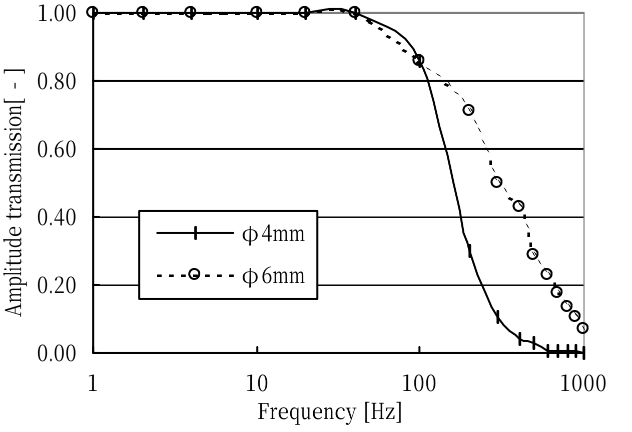



図６　機械的振動周波数の振幅伝達特性

5　測定方法の提案とソフトウェア

本測定機の特徴として前述したとおり，本測定機はラスタスキャン方式以外の測定方式による測定が可能である．したがって，被測定物表面の幾何公差や表面性状を測定する際に，測定要求項目に合わせた柔軟な離散量子化を試みられる．

本論文では，サンプリング点を長方格子状に配置した場合に限定して述べる．被測定面上の全サンプリング点を測定するには，そのサンプリング点を時系列順につなぐ必要がある．従来，これをラスタスキャン方式により実現していた．本研究では，この方式に加えて，表２に示すような２つの測定経路を追加して検討を行った．

新測定経路に対応できるような測定アルゴリズムとして次のような工夫を測定プログラムに施した．従来測定データは輪郭曲線の集合であるとみなし，測定プログラムは輪郭曲線１本１本のサブルーチンから構成されていると考えられる．本プログラムでは，全サンプリング点を独立に取り扱い，全サンプリング点の時系列順 x-y 座標データを作成し，その測定経路データに従って測定する方法を用いた．この流れを表したフローチャートを図７に示す．

得られた測定データは，時系列の１次元配列から x-y 面領域の２次元配列に並べ替えて，従来どおりのデータ構造（輪郭曲線データを測定本数分並べたもの）で保存した．ファイル形式は，国際標準となりつつある UDF 形式（拡張子 sdf）を採用している．

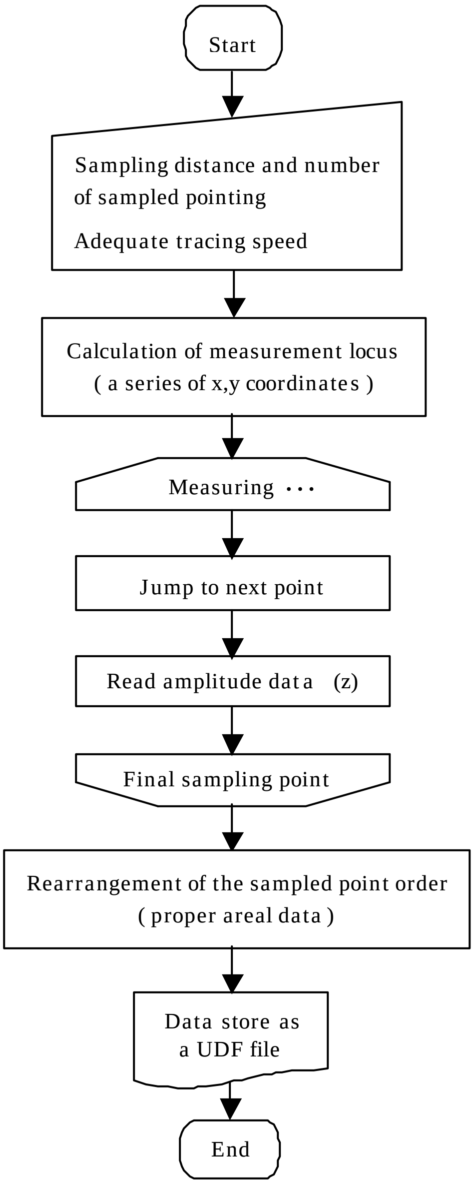
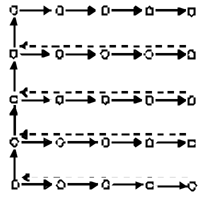
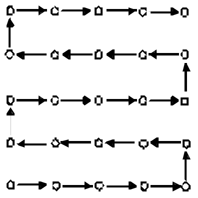
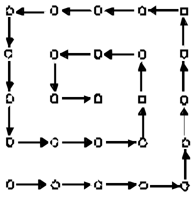
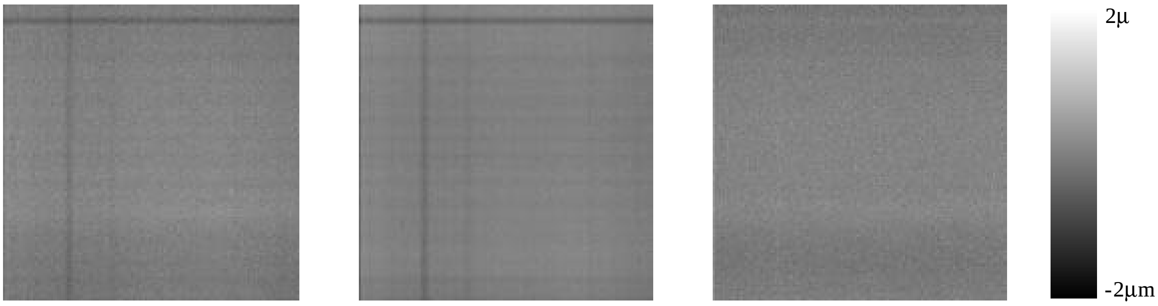



図７　計測フローチャート

表２　測定経路の比較

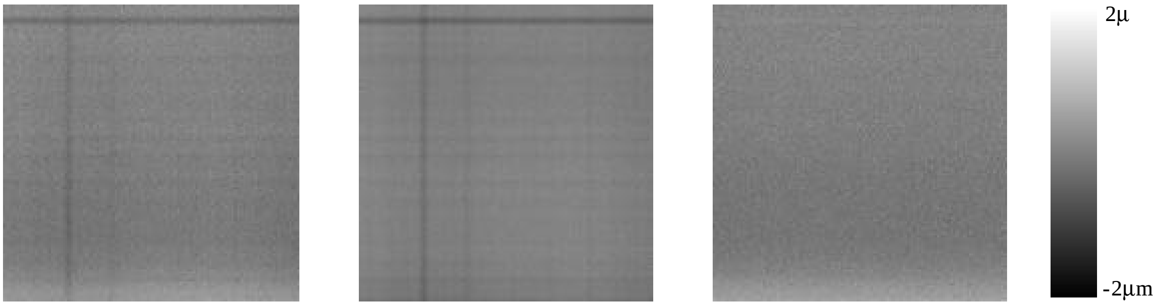
| | Conventional scanning method | Novel tracing method |
|---|---|---|
| Measurement locus |  Raster scanning method |  Round trip tracing method  Modified spiral tracing method |
| Features | (advantage) Mechanical motion error can be systematic in each profile<br>(disadvantage) Unnecessary return traces are included | (advantage) Any measurement locus can be set to comply with a request<br>(advantage) Measurement time is markedly shorter than the conventional scanning method<br>(disadvantage) An auxilary sensor is needed |

## 6　基本的性能の検証



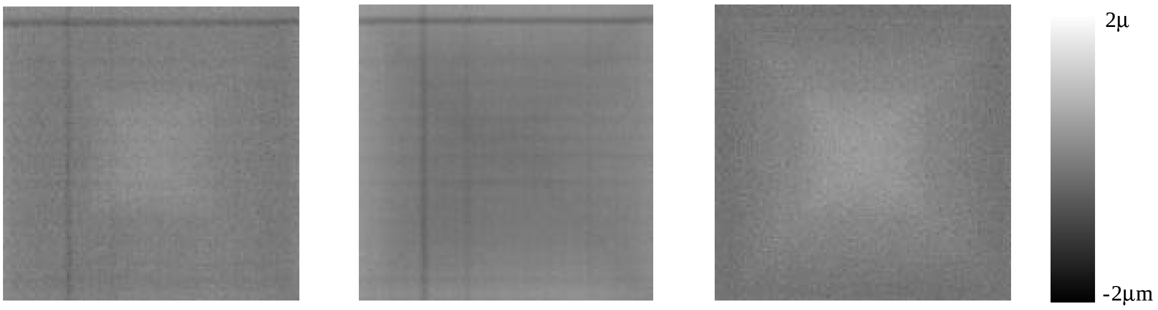

(a)　表面凹凸形状データ　　(b)　運動誤差データ　　(c)　補正後

図８　ラスタスキャン方式の測定結果




(a)　表面凹凸形状データ　　(b)　運動誤差データ　　(c)　補正後

図９　往復トレース方式の測定結果




(a)　表面凹凸形状データ　　(b)　運動誤差データ　　(c)　補正後

図 10　渦巻きトレース方式の測定結果

本測定機の運動誤差補正に関する基本的な性能を図８～図 10 に示す．各図（a）が上側で得られた被測定表面凹凸形状データであり，（b）が下側で得られた運動誤差データであり，（c）が上データから下データを差し引いた補正後のデータである．被測定表面には参照平板と同等の鏡面仕上げ面を使用し，測定方向特性が等方的であると考えられる静電容量変位計を上下に用いて測定を行った．測定条件は，サンプリング間隔 30μm，測定領域 15mm×15mm，走査速度 1mm/s とした．

柔軟な測定経路として設定した 3 つのどの経路について見ても，上データ及び下データには同一個所に溝状の運動誤差が生じていることが分かる．また，運動誤差補正後のデータを見れば，溝状の運動誤差が除去されていることが分かる．

## 7　まとめ

外乱の影響，特に運動誤差や機械的振動により生じる測定誤差を軽減し，任意の測定経路を設定することが可能な表面凹凸形状測定機が開発できた．

## 8 参考文献


1) ISO/DTR 16611：Geometrical product specification (GPS) - Extraction (2002)

2) ISO 1101： Geometrical product specifications (GPS) – Geometrical tolerancing – Tolerances of form, orientation, location, and run-out

3) JIS B 0601：製品の幾何特性仕様(GPS)－表面性状:輪郭曲線方式－用語,定義及び表面性状パラメータ（Ref. ISO 4287）

4) JIS B 0633：製品の幾何特性仕様(GPS)－表面性状:輪郭曲線方式－表面性状評価の方式及び手順
ISO 4288：Geometrical Product Specifications (GPS)－Surface texture：Profile method－Rules and procedures for the assessment of surface texture

5) JIS B 0651：製品の幾何特性仕様(GPS)－表面性状:輪郭曲線方式－触針式表面粗さ測定機の特性
ISO 3274：Geometrical Product Specifications (GPS) － Surface texture ： Profile method-Nominalcharacteristics of contact (stylus) instruments

6) JIS B 0632：製品の幾何特性仕様(GPS)－表面性状:輪郭曲線方式－位相補償フィルタの特性
ISO 11562 ： Geometrical Product Specifications(GPS) － Surface texture ： Profile method－Metrological characterization of phase correct filter

7) JIS ハンドブック 46 機械計測（2002，日本規格協会）p483－732