ISSN　0918-0192
CODEN:HKSHEQ

兵庫県立工業技術センター研究報告書

第１９号

平成２２年版

兵庫県立工業技術センター

Hyogo Prefectural Institute of Technology

兵庫県立工業技術センター研究報告書　第１９号

目　次

無機材料系

1	中温作動型ＳＯＦＣへの適用を目指したアパタイト型固体電解質薄膜の高イオン伝導化 （科学研究費補助金・基盤センター（日本学術振興会)）	吉岡秀樹	1
2	その場レーザー光照射による高結晶性非鉛圧電薄膜の開発　　((独)科学技術振興機構 シーズ発掘試験)	泉　宏和	3
3	高輝度な赤色応力発光体を用いた応力が直接目視できるセンサーの開発　((独)科学技術振興機構 シーズ発掘試験)	石原嗣生、富田友樹	5
4	水銀フリー深紫外光源用材料の精密制御と高品質化技術　　((独)科学技術振興機構 地域ニーズ即応型)	石原嗣生、泉　宏和	7
5	サブミクロン分析手法の研究　　(経常研究)	山下　満	9
6	エコマテリアル技術を活用した高機能窯業建材の開発 (経常研究)	泉　宏和、石原嗣生、河合　進、濱崎敬子	10

金属材料系

7	電子デバイスの鉛フリーはんだ接合部の強度評価法に関する研究 (科学研究費補助金・基盤センター（日本学術振興会))	野崎峰男	11
8	完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置およびダイカスト法の開発 （戦略的基盤技術高度化支援事業)	柏井茂雄、兼吉高宏、石原嗣生、福住正文	13
9	無電解めっきを活用した製品開発と高品位化に関する研究　　(技術改善研究)	山岸憲史、山下　満、西羅正芳、髙橋輝男	15
10	耐熱構造材料のミニチュア試験片を用いた高温疲労寿命評価法の開発　　(経常研究)	野崎峰男	17
11	硬質溶射被膜の腐食特性とその防止　　(経常研究)	高谷泰之、園田　司	18
12	マルテンサイト系ステンレス鋼の電解研磨 （経常研究)	西羅正芳、山岸憲史	19
13	ニッケルアレルギー対策用めっき皮膜の作製に関する研究　　(経常研究)	園田　司	20

有機材料系

14	フェノール樹脂を活用したソフトナノマテリアルの開発 ((独)科学技術振興機構 シーズ発掘試験)	鷲家洋彦、富田友樹	21
15	溶解性に優れる含チオフェン有機半導体の開発 (技術改善研究)	平瀬龍二、吉田和利、石原マリ、吉岡秀樹	23
16	触感評価法を用いたグリップ用ゴム材料の開発に関する研究 (技術改善研究)	佐伯光哉、長谷朝博、鷲家洋彦、礒野禎三	25

生産技術系

17	紫外レーザー照射と大気圧プラズマ処理を併用したギガヘルツ帯プリント回路基板の開発 (科学研究費補助金・基盤センター(日本学術振興会))	柴原正文	27
18	微細切削加工技術構築支援システム ((独)科学技術振興機構 地域ニーズ即応型)	安東隆志	29
19	医療用微細針の超精密微細成形加工に係る技術 (戦略的基盤技術高度化支援事業)	三浦久典、長谷朝博、阿部 剛、平山明宏、富田友樹	31
20	オンマシン(機上)計測装置の開発と検証 (兵庫県ＣＯＥプログラム推進事業)	阿部 剛、後藤浩二、安東隆志、有年雅敏、浜口和也、東 義隆、北川洋一、松本哲也	34
21	シミュレーションを活用した塑性加工・せん断加工の高度化に関する調査 (重点領域研究)	東 義隆、福地雄介、後藤浩二、安東隆志、岸本 正、浜口和也	36
22	吊り下げ型電極を用いた曲がり穴放電加工技術の開発 (技術改善研究)	山口 篤、浜口和也、平山明宏、後藤浩二、有年雅敏	38
23	形状記憶合金のマイクロ切削加工技術に関する研究 (マイクロポンプへの適用に向けて) (産学インキュベート事業)	平山明宏、浜口和也、安東隆志、才木常正、後藤浩二	40
24	20kW ファイバーレーザによるアルミニウム合金のビードオンプレート溶接特性 (産学インキュベート事業)	山口 篤、岸本 正、後藤浩二、有年雅敏	42
25	TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工技術に関する研究 (経常研究)	平山明宏、浜口和也	44
26	小径切削工具の先端部位置検出システムの開発研究 (経常研究)	東 義隆、安東隆志	45
27	微細部のバレル研磨に関する研究 (経常研究)	山本章裕、岸本 正	46

ロボット系

28	多指ハンド制御のための空間分解能が可変な分布触覚センサとその決定方法 （科学研究費補助金 若手Ｂ（文部科学省））	中本裕之	47
29	センサ自身の柔軟な変形にもとづいた磁気式触覚センサの開発と応用　((独)科学技術振興機構 シーズ発掘試験)	中本裕之	49
30	磁気抵抗素子とインダクタによるハイブリッド触覚センサ　（技術改善研究）	中本裕之、松本哲也、北川洋一	51
31	自律ロボットを実現する人工神経回路網コントローラの作成と検証　（経常研究）	伍賀正典、中本裕之、北川洋一	53

電子技術系

32	ユビキタスネットワークを活用した高齢者等の安心安全を確保する見守り空間創成に関する研究開発 （戦略的情報通信研究開発制度（総務省））	松本哲也、中本裕之、伍賀正典	54
33	外乱振動の影響除去可能な光干渉型振動測定技術の開発　（技術改善研究）	松本哲也、瀧澤由佳子、北川洋一	57
34	レーザ干渉を用いた微細格子形成に基づく高効率デバイスに関する可能性試験 (産学インキュベート事業)	松本哲也、瀧澤由佳子、石原マリ、北川洋一	59
35	視覚センサを利用した三次元計測システムの開発 （経常研究）	金谷典武	61
36	イミュニティ評価支援システムの開発　（経常研究）	中里一茂、金谷典武、三浦久典	62
37	ニホンジカの捕獲に関する研究　（重点領域研究）	永本正義、北川洋一、松本哲也、中里一茂、三浦久典、髙橋輝男	63

プロダクトデザイン系

38	小型圧力センサ付試作品を用いた「製品の使いやすさ評価」に関する研究 ((独)科学技術振興機構 シーズ発掘試験)	平田一郎	65
39	人体寸法や筋力といった人間特性解析による地場産業のＵＤ商品開発支援　（経常研究）	稲葉輝彦、永本正義	67

バイオ技術系

40	温度差制御気化浸透法によるバイオエタノール濃縮工程の高効率化　（エコイノベーション推進事業（ＮＥＤＯ））	中野恵之、東山幸央	68
41	低エネルギー型濃縮法による新エタノール製造技術に関する調査研究　（重点領域研究）	中野恵之、東山幸央、藤田浩行、古谷　稔、有年雅敏	70
42	安全性に着目した食品の開発に関する研究（経常研究）	泉　　恵、井上守正、吉岡秀樹	72
43	吟醸用麹酵素力価の測定方法の最適化並びに製成酒の酒質に与える影響に関する研究　（経常研究）	井上守正、吉田和利	73

繊維技術系

44	播州固有の変織技法による世界初の無縫製織物ドレスの研究開発（地域イノベーション創出研究開発事業(地域資源活用型)）	古谷　稔、藤田浩行、東山幸央、中野恵之、瀬川芳孝、有年雅敏	74
45	衣料用織物に適した顔料染色技術の開発（技術改善研究）	藤田浩行、東山幸央、瀬川芳孝、中野恵之、古谷　稔、近藤みはる	77
46	縫合技術を利用した炭素繊維織物強化複合材料の開発（重点領域研究）	藤田浩行、東山幸央、中野恵之、古谷　稔	79
47	アレンジワインダー糸を使用した織物企画設計支援システムの開発に関する研究　（経常研究）	藤田浩行、古谷　稔	81
48	極少量生産に対応した先染め織物製造技術に関する研究　（経常研究）	古谷　稔、藤田浩行、瀬川芳孝	82
49	光応答機能性繊維の開発 ～天然繊維のフォトクロミック加工に関する研究～　（経常研究）	東山幸央、平瀬龍二、藤田浩行	83

皮革技術系

50	ニホンジカの製革技術の開発　（技術改善研究）	佐伯　靖、桑田　実、松本　誠、西森昭人、原田　修、森　　勝	84
51	馬革の市場即応型多品種小ロット染色技術の開発（兵庫県産学官連携ビジネスインキュベート事業）	松本　誠、原田　修、中川和治	86
52	皮革の高堅ろう性染色技術の開発　（経常研究）	松本　誠、原田　修、中川和治	88
53	安全な非有機溶剤系仕上げ技術に関する研究（経常研究）	西森昭人、原田　修、森　　勝	89

環境分野

54	電池駆動システムの近距離路線バスへの適用実証モデル事業　（低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業）	北川洋一、中里一茂、三浦久典、熱田稔雄、富田友樹	90
55	淡路島を対象としたシステムダイナミクスモデル（重点領域研究）	伍賀正典、北川洋一、熱田稔雄、北村新三	92

〔科学研究費補助金・基盤センター（日本学術振興会)〕

1　中温作動型ＳＯＦＣへの適用を目指したアパタイト型固体電解質薄膜の高イオン伝導化

吉岡秀樹

1　目　　的

平成20～22年度科研費基盤研究Cでアパタイト型固体電解質薄膜を用いた負極支持型燃料電池(SOFC)の開発を行っている。20年度は、溶射法によりステンレス鋼基板上にアパタイト型固体電解質（ランタンシリケート）薄膜を作製し、成膜条件と結晶構造や微細構造との関係を調べた。その結果、プラズマガスやプラズマガンの種類により膜の微細構造（緻密度）が変化することを見いだした。また、成膜時点ではアパタイト型相とアモルファス相が混合していたが、水素気流中1000℃で熱処理することによりアパタイト型の単相に変化し、イオン伝導性を示すことがわかった[1,2]。

21 年度は、負極支持型 SOFC を作製するためにまず負極支持体の作製を行った。この負極支持体上に 20 年度の溶射条件を参考にしてアパタイト型固体電解質薄膜を成膜、単セルを作製し、その特性を評価した。

2　実験方法

2.1　SOFC単セルの作製

負極支持型SOFC単セルの構造を図１に示す。単セルは、金属ニッケルと高イオン伝導性のMgドープランタンシリケート(MDLS)の混合多孔体からなる負極支持体とその上に形成されたMDLS電解質膜、さらにPtペーストで形成された正極から構成される。

図２には単セルの製造工程を示す。まず、酸化ニッケルとMDLSの混合粉末を成型・焼成し、負極支持体基板を作製した。次に、溶射法により負極支持体上にMDLS電解質膜を成膜した。成膜には姫路メタリコン（株）所有のスルザーメテコ社製直流プラズマ溶射装置を用い、粒径10～45 μmのMDLS粉末を出力10kWの水素－アルゴン混合ガスプラズマで溶射し、成膜時間5分で約100μmの膜を得た。さらに、負極支持体基板とMDLS

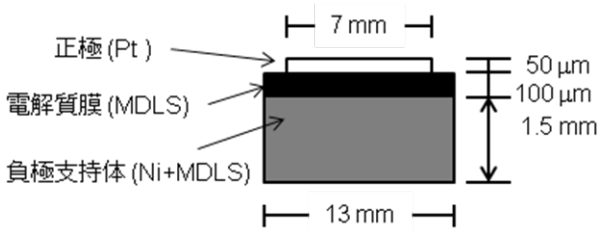


図１　アパタイト型固体電解質膜を用いた負極支持型SOFC

膜を6%水素－窒素気流中、1000℃で2時間熱処理し、負極支持体中の酸化ニッケルを金属ニッケルに還元し、燃料ガス拡散が可能な多孔体Ni-MDLS基板とした。最後に、電解質膜上に白金ペースト塗布により正極を形成し、単セルを完成させた。

2.2　評価方法

溶射膜及び負極支持体内に生成した相はＸ線回折(XRD)によって同定した。微細構造の観察は走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた。SOFC単セル発電特性は、負極に水素－窒素、正極に空気を供給し、温度600～800℃のI-V特性を測定した。

3　結果と考察

図３Ａには溶射後の電解質膜のXRD図形を示す。膜はアパタイト型相(A)とブロードなハローを示すアモルファス相から成っている。この膜は1000℃での熱処理によりアパタイト型単相に変化した（図３Ｂ)。図３Ｃ及びＤは、負極支持体の熱処理前後のXRDパターンである。負極支持体内のアパタイト相には変化がないが、酸化ニッケルは熱処理により金属ニッケルに還元されていることがわかる。また、ニッケルとアパタイト相の反応による不純物相の生成は見られない。

図４は、負極支持体上に作製した電解質膜（ＡとＤ：

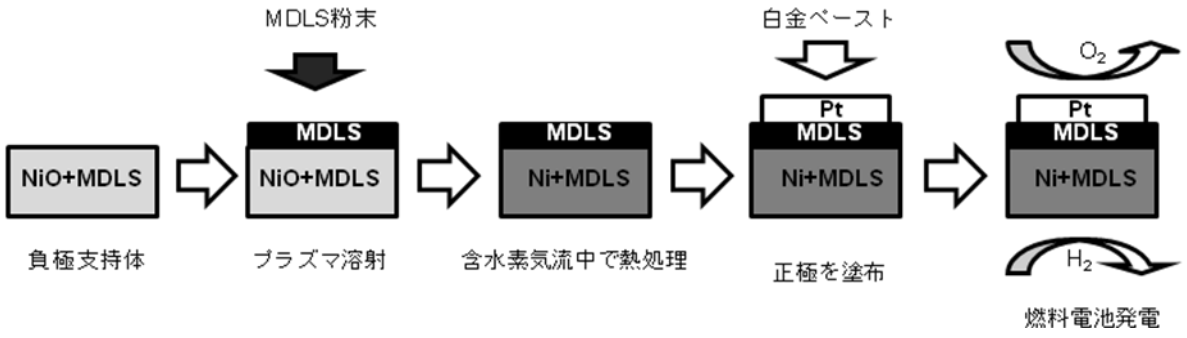


図２　負極支持型 SOFC の製造工程の模式図

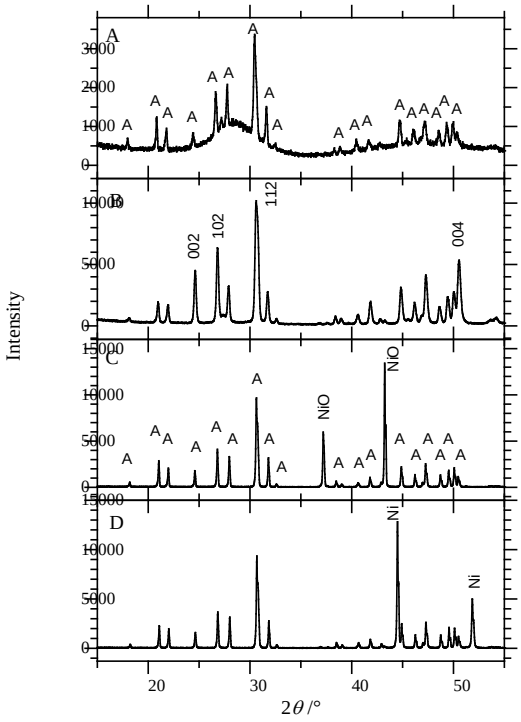


図３　電解質膜(A, B)および負極支持体(C, D)のXRD図形（A, B：熱処理前：、C, D：熱処理後）

断面、ＢとＥ：表面）の熱処理前後の微細構造の変化を示す。膜は概ね緻密であり、熱処理の前後で変化はほとんどみられないが、詳細に観察すると矢印で示すようにマイクロクラックやピンホールが存在する。図４ＣとＦは熱処理前後の負極支持体の微細構造を示す。熱処理により酸化ニッケルがニッケルに変化するとともに微細化・多孔化している様子が見られる。

単セルの発電特性を図５に示す。発電出力は800, 700, 600℃でそれぞれ57, 23, 2 mW cm^{-2}であった。また、開回路電圧(OCV)はそれぞれ0.90, 0.93, 0.95 Vであった。OCVが理論値(1.1 V)を下回った理由は電解質膜中に存在するマイクロクラックやピンホールによるガスリークのためと考えられる。溶射条件の検討により膜の欠陥を抑え、膜厚を薄くすることができれば、出力を増大できる可能性がある。また、正極を白金から混合導電性のセラミックス材料に変更することによっても出力の改善が期待でき、さらに実験を続けている。

4　結　　論

アパタイト型固体電解質膜を用いた負極支持型SOFCを作製した。負極支持体としてはニッケルとアパタイト型ランタンシリケートの混合多孔体、電解質膜としてはランタンシリケート溶射膜、正極には白金を用いた。負極支持型SOFCは、800, 700, 600℃でそれぞれ57, 23, 2 mW cm^{-2}の出力を示した。

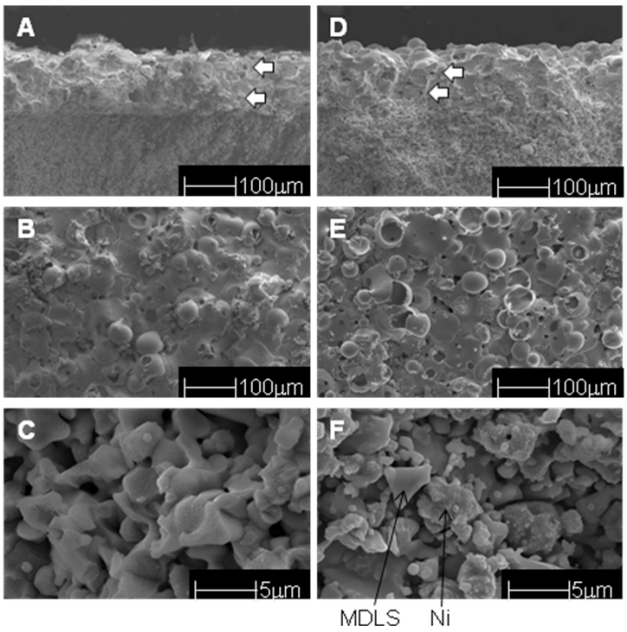


図４　電解質膜(A, B, D, E)と負極支持体のSEM像
（A, B, C：熱処理前：、D, E, F：熱処理後）

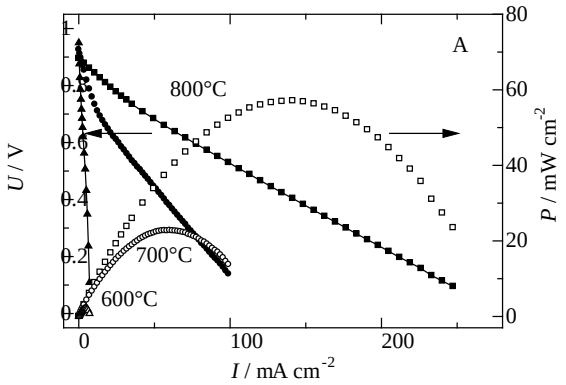


図５　SOFC単セルの発電特性

謝　　辞

溶射膜作製にご協力をいただいた姫路メタリコン(株)清水達郎代表取締役に感謝いたします。また、兵庫県立大学の嶺重温助教には共同研究者としてお世話になりました。深く感謝いたします。本研究は、文部科学省科研費基盤研究Cにより実施しました。

参 考 文 献

1) 吉岡秀樹、兵庫県立工業技術センター研究報告書、18, 8 (2009)

2) H.Yoshioka, Journal of the Ceramic Society of Japan, 117, 99 (2009)

（文責　吉岡秀樹）

（校閲　井上守正）

〔(独)科学技術振興機構　シーズ発掘試験〕

2　その場レーザー光照射による高結晶性非鉛圧電薄膜の開発

泉　宏和

1　目　　的

圧電薄膜は、電子デバイス、センサー、アクチュエーターなどの幅広い製品における必須材料であり、中でもチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)はきわめて優れた圧電性を示すことから、広く用いられている。しかしながら、有害元素である鉛を約 70 重量%含んでおり、「環境整合性」に優れた代替材料の開発が望まれている。これに対しビスマス系複合酸化物、とりわけ、結晶系が菱面体晶にひずみ、良好な圧電性を示すことが期待できる $BiScO_3$-$BiFeO_3$ 系固溶体は、有望な PZT 代替材料候補のひとつである。しかし、実用化に対しては、高価な Sc を用いているという問題点がある。我々はこれまでに、バルク体の $BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系固溶体が常圧で合成可能であり、$BiFeO_3$-$BiScO_3$ 系固溶体と同様の格子ひずみを有していることを見出している。そこで本研究では、電子デバイスやセンサー材料としての実用化を目指し、Sc を Mg と Ti に置き換えた $BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系固溶体薄膜の作製を検討した。成膜にはパルスレーザー蒸着（PLD）法を用い、成膜に用いるレーザー光の一部を基板に照射しながら成膜を行うこと（その場レーザー光照射）による低温結晶化の可能性についても検討した。

2　実験方法

2．1　$BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系バルク体の作製

目的相の組成が、$90BiFeO_3$-$10Bi(Mg_{0.5}Ti_{0.5})O_3$ となるように原料酸化物粉末を秤量・混合し、ペレット状に成形したグリーン体を仮焼（730℃、３時間）および焼成（875℃、96 時間）することで、$BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系バルク体を得た。

2．2　$BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系薄膜の作製

２．１で得たバルク体をターゲットに用いる PLD 法により薄膜を作製した。Nd:YAG 第４高調波（λ=266nm）を繰り返し周波数 10Hz でターゲットに照射し、$Pt/SiO_2/Si(100)$ 基板上へ膜を堆積させた。成膜雰囲気は酸素 1.3Pa とし、基板温度は室温から 500℃まで変化させた。一部の試料については、成膜用レーザーの一部をビームスプリッターによって分け、レンズで集光して基板に照射(その場レーザー光照射)しながら成膜した。

得られた薄膜について、Ｘ線回折による結晶性の評価、誘電特性の評価、走査型プローブ顕微鏡による表面観察を行った。

3　結果と考察

3．1　$BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系バルク体の作製

得られた $BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系バルク体のＸ線回折結果を図１に示す。わずかに異相である sillenite に帰属されるピークが見られるが、主相は、比較のために作製した $BiFeO_3$ と同じく perovskite 相であった。

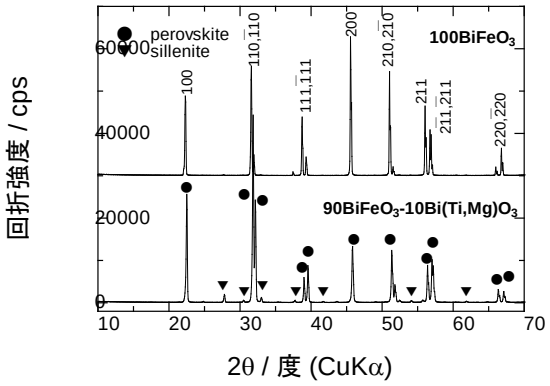


図１　得られたバルク体のＸ線回折パターン

3．2　$BiFeO_3$-$Bi(Mg,Ti)O_3$ 系薄膜の作製

図２は、成膜時の基板温度を、室温から 500℃まで変化させたときに得られた試料のＸ線回折パターンである。室温で作製した試料では回折ピークは見られず、非晶質であった。基板温度を 400℃とすると異相に結晶化し、目的とする perovskite 相を得るには、450℃以上の基板温度が必要であった。

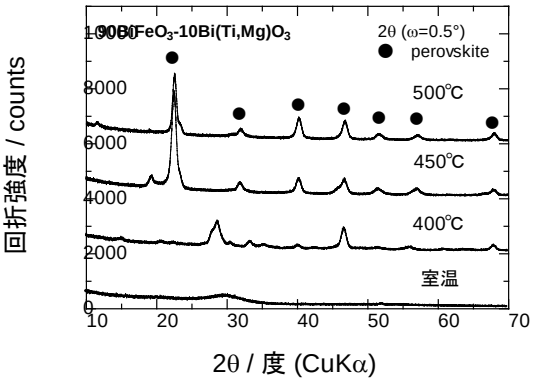


図２　得られた薄膜のＸ線回折パターン
（基板温度依存性）

基板温度を 400℃とした場合に得られる薄膜の結晶性に及ぼすその場レーザー光照射エネルギー密度依存性を図３に示す。前述のように、通常の成膜では perovskite 相は得られなかったが、10mJcm^{-2} のレーザー照射を行いながら成膜すると、異相に加えて perovskite 相に帰属されるピークが出現した。さらに 55mJcm^{-2} のレーザー照射を行うと、異相に基づくピークは消失し、ほぼ perovskite 単相の膜が得られた。これは、基板からの熱エネルギーだけでは十分ではない、perovskite 相に結晶化するために必要なエネルギーが、レーザー光により供給されたためと考えられる。

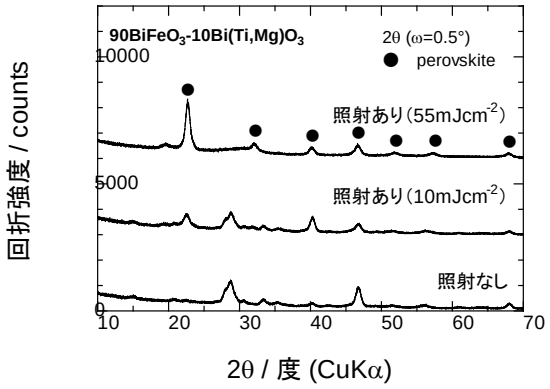


図３　得られた薄膜のＸ線回折パターン
（その場レーザー光照射のエネルギー密度依存性）

また、得られた薄膜の誘電特性を評価したところ、その場レーザー光照射を行わなかったために perovskite 相に結晶化していなかった試料では、絶縁性が悪く誘電率の測定を行うことができなかった。これに対し、55mJcm^{-2} のレーザー照射を行いながら作製した試料では絶縁性が改善され（図４）、比誘電率の電場依存性は強誘電体的にふるまうことが確認できた。

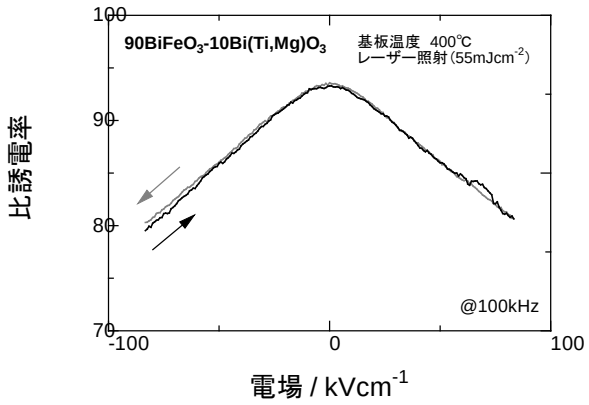


図４　得られた薄膜の比誘電率（基板温度 400℃、
その場レーザー光照射 55mJcm^{-2}）

図５に、得られた薄膜表面の走査プローブ顕微鏡による観察結果を示す。その場レーザー光照射を行わなかった場合(a)は、膜表面が粗く、結晶粒も粒径 100nm 以上と粗大であった。これに対して、その場レーザー光照射を行った場合(b)は、膜表面が平滑になり、結晶粒も粒径数十 nm 程度であった。これらのことから、その場レーザー光照射を行った試料では、結晶性および表面平坦性が改善された結果、リーク電流が小さくなり、比誘電率の測定が可能になったものと考えられる。

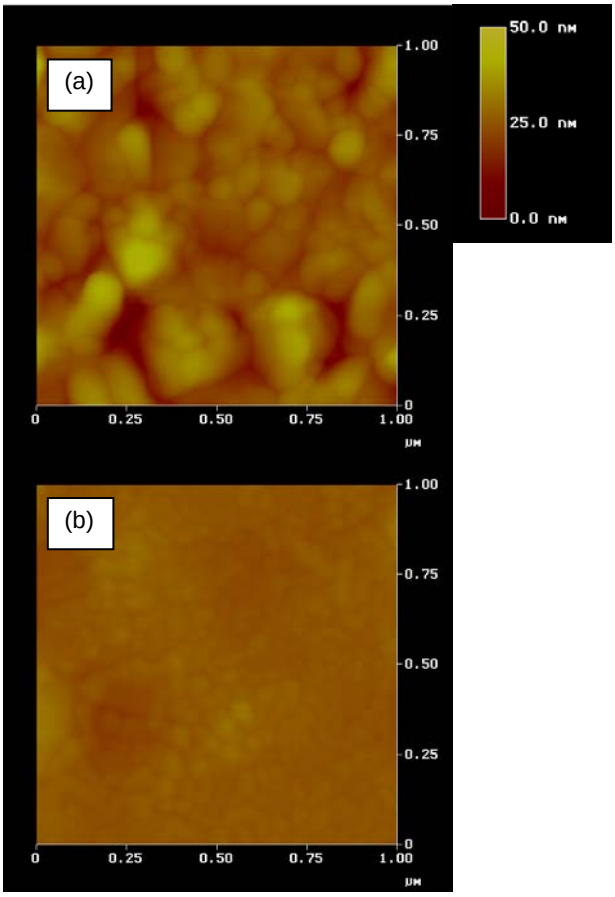


図５　得られた薄膜の表面形態観察結果（その場レーザー光照射が(a)ない場合、(b)ある場合）

４　結　　論

PLD 法による $BiFeO_3$-Bi(Mg,Ti)O_3 系薄膜の作製において、その場レーザー光照射が結晶化に及ぼす影響について検討した。通常の成膜ではペロブスカイト単相膜が得られない低温基板においても、その場レーザー光照射を行うことで、表面平坦性と絶縁性が改善された $BiFeO_3$-Bi(Mg,Ti)O_3 系の単相薄膜を得ることができた。

（文責　泉　宏和）
（校閲　柏井茂雄）

〔(独)科学技術振興機構　シーズ発掘試験〕

3　高輝度な赤色応力発光体を用いた応力が直接目視できるセンサーの開発

石原嗣生，富田友樹

1　目　　的

摩擦、衝撃、圧縮などの機械的な外力（応力）によって、直接発光する高輝度・高効率な応力発光体センサーを創製することにより、①対象物を選ばず複雑形状の計測が可能、②動的対象物もリモートでリアルタイムな計測が可能、③三次元的な情報が得られるなど、新たな応力センシングが可能、また、応力分布や歪みの計測をコンピュータによるシミュレーションにより行っていたものが、直接目視することができるため、応力計測技術の新たな展開が期待できる。しかしながら、現時点では、発光強度が十分ではなく、発光時間が短いため、アイデアレベルにとどまっている。現在までの研究から、応力発光のメカニズムとして、①ピエゾ効果によるエレクトロルミネッセンスと、②摩擦による熱ルミネッセンスの２つのメカニズムを提唱しており、なかでも、ピエゾ効果により発光する ZnS:Mn が最も高輝度な赤色応力発光を示すことを見出している。本研究では、ZnS:Cu に添加することによりトラップ準位の形成が確認されている Ga に着目し、応力発光が直接目視できる程度に高輝度で残光性を有する応力発光体の開発を目的として、微量の Ga 添加が、ZnS:Mn の応力発光特性に及ぼす影響について検討した。

2　実験方法

2．1　試料の作製

ZnS、$Mn(NO_3)_2\cdot 6H_2O$、$Ga(NO_3)_3\cdot 9H_2O$ をモル比で ZnS:Mn:Ga=100:1:x (x=0.1,0.2,0.3,0.5,1)の組成になるように秤量し、エタノール中で湿式混合した後、弱還元性雰囲気中 1100℃で仮焼した。

2．2　評価

得られた試料は、X 線回折測定により結晶構造を、蛍光分光光度計により蛍光特性を調べた。44 μm 以下に粉砕した試料をエポキシ樹脂で固めてディスク状成型体とし、材料試験機を用いて微小ガラス球による圧縮荷重を加え、生じた発光をビデオ観察するとともにモノクロメータで分光し、CCD 検出器およびフォトマルを用いてスペクトルを得た。また、エポキシ樹脂で試料をフィルム状に成型したものを、材料試験機で引張応力を印加した時の発光の様子をビデオカメラで撮影した。

3　結果と考察

3．1　結晶構造

得られた試料の X 線回折測定結果を図１に示すが、Ga 添加濃度 1mol%までは、すべて六方晶系の ZnS の回折線のみが確認された。図２に回折線の位置から求めた格子定数と Ga 添加濃度の関係を示すが、Ga の添加濃度の増加に伴い、a 軸および c 軸の格子定数のどちらもが、僅かではあるが小さくなっている。このことは、Zn よりもイオン半径の小さな Ga が Zn のサイトを置換していることを示している。

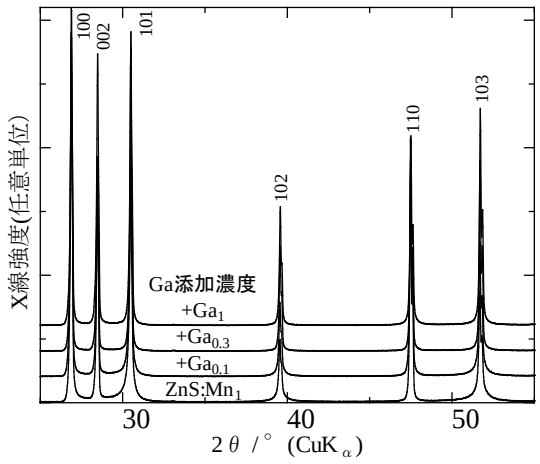


図１　X 線回折測定結果

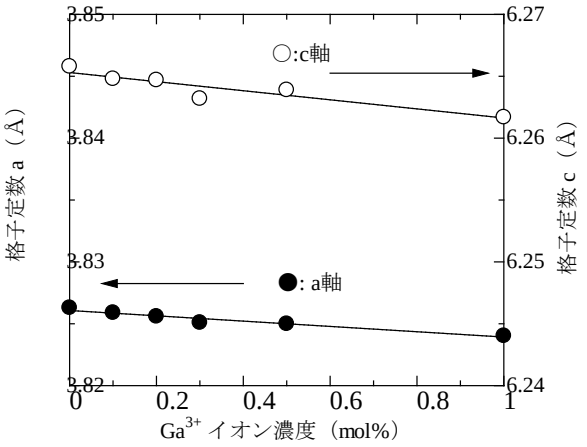


図２　Gd 添加濃度と ZnS 格子定数の関係

3．2　蛍光および応力発光スペクトルとその発光強度

微量の Ga を添加したすべての試料は、Mn^{2+}の d-d 電子遷移による高輝度な蛍光および応力発光を示した。344nm 励起による蛍光スペクトル(PL)と応力発光スペクトル(ML)を図３に示すが、蛍光スペクトルは、Ga 添加

量の増加に伴いピーク位置が長波長側にシフトするとともに、Ga を 1mol%添加した試料では、ピークの幅が大きく拡がっている。一方、応力発光スペクトルは、Ga 添加量の増加に伴うピーク位置のシフト量は僅かなものであり、また、いずれのピークの幅も、蛍光スペクトルと比較して狭いものであった

蛍光強度は、Ga を 0.1mol%添加することにより、無添加のものと比較して約 5.5 倍と大幅に増加し、さらに添加量が増加するに伴い僅かではあるが減少する傾向が見られた。応力発光強度は、Ga を 0.1mol%添加することにより、無添加のものと比較して約 2 倍と大幅に増加した。さらに添加量が多くなると応力発光強度は単調に減少し、0.5mol%以上添加した試料では、無添加の試料もよりも応力発光強度が減少した(図４)。

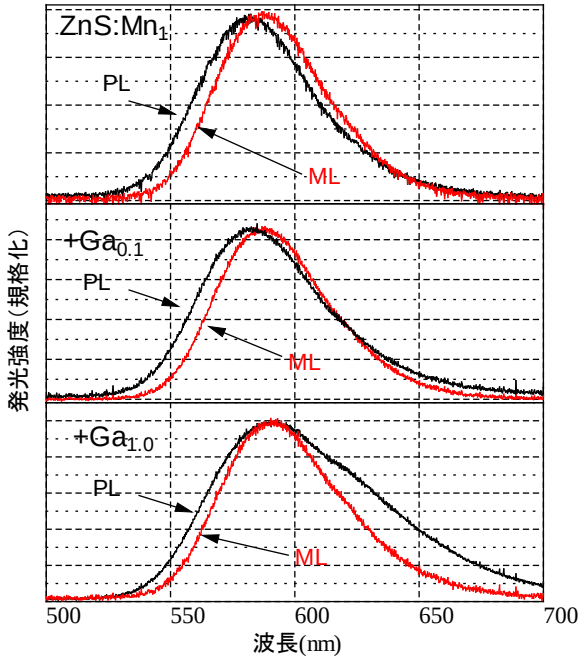


図３　蛍光スペクトルと応力発光スペクトルの比較

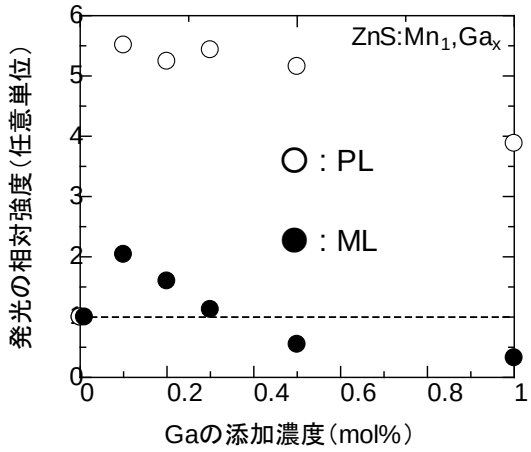


図４　Ga 添加濃度と蛍光および応力発光強度の関係

３．３　応力発光挙動とセンサーへの応用

ディスク状試料に微小球で局所的な応力を印加した時の応力発光の様子を図５に示すが、蛍光灯下の明るい状況でも、応力発光が目視で十分に観察できた。その時に得られた最大の発光輝度は、82cd/m^2 であった。さらに、フィルム状試料に引張応力を印加すると、応力が集中する箇所が特に明るく発光し、応力センサーとして利用可能であることが示された(図６)。

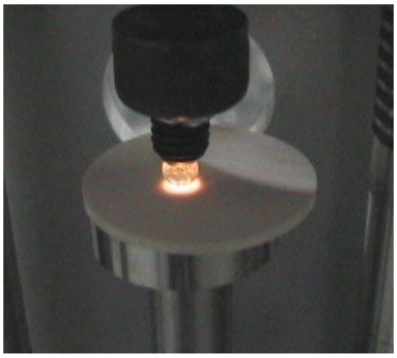


図５　微小球での応力印加時の発光の様子

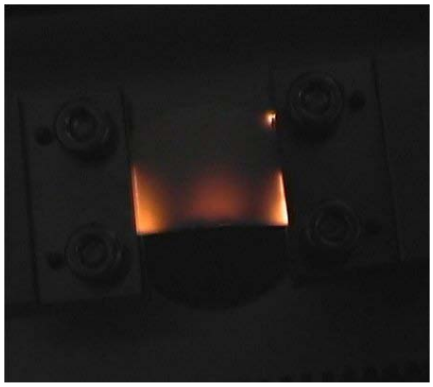


図６　フィルム状試料の応力分布の観察結果

４　結　　論

応力発光が直接目視できる程度に高輝度で残光性を有する応力発光体の開発を目的として、Ga 添加が ZnS:Mn の応力発光特性に及ぼす影響について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

①微量の Ga を添加したすべての ZnS:Mn 試料は、Mn^{2+} の d-d 電子遷移による赤色の応力発光を示した。

②応力発光強度は、Ga を 0.1mol%添加することにより、無添加のものと比較して約 2 倍と大幅に増加した。

③蛍光灯下の明るい状況でも応力発光が十分に確認できるほど発光輝度が増加した試料が得られた。さらに、フィルム状試料に引張応力を印加すると、応力が集中する箇所が特に明るく発光し、応力センサーとして利用可能であることが示された。

(文責　石原嗣生)(校閲　柏井茂雄)

〔(独)科学技術振興機構　地域ニーズ即応型〕

4　水銀フリー深紫外光源用材料の精密制御と高品質化技術

石原嗣生，泉　宏和

1　目　　的

欧州の WEEE&RoHS 指令（水銀 1,000ppm 以下）など環境有害物質の規制は益々厳しくなり、水銀ランプを利用した深紫外光源にも使用環境および製造環境における安全性には厳しい目が向けられている。水銀ランプは、現在、経過措置として適用除外品となっているものの、近い将来、規制されると思われ、水銀フリーで環境に対応した革新的な代替紫外光源の開発は喫緊の課題となっている。共同研究機関の(株)ユメックスと神戸大学は、これまでの研究で、ワイドバンドギャップ半導体である AlN を母体に用い、発光中心として希土類元素の Gd を添加し、Gd の f-f 電子遷移を利用した 317nm でナローバンド単一波長発光する AlN:Gd 膜の開発に成功している [1]。現在までに、発光効率約 1mW/A のものが得られているが、ＵＶ光源として広範な応用に対応するためには、さらなる発光効率の増大を図る必要がある。

本研究では、AlN:Gd 膜の精密な結晶構造解析ならびに Gd の局所構造を明らかにし、高輝度化に繋がる因子を検討した。

2　実験方法

2．1　AlN:Gd 膜の作製とカソードルミネッセンス(CL)測定

AlN:Gd 膜は、反応性高周波マグネトロンスパッタリング法を用いて、石英ガラス基板上に成膜した。ターゲットには、4N 金属 Al を用い、Al ターゲット上に 3N 金属 Gd チップを配置した同時スパッタリングで、アルゴン窒素混合ガス中で成膜を行った。Gd の濃度は、最大の CL 強度を示す 6mol%に調整した。AlN:Gd 膜は、石英基板上に直接および AlN のバッファー層を形成した上に基板温度 100～500℃で成膜を行った。AlN:Gd の CL 測定は、現在までに試作しているフィールドエミッション型の光源デバイスを用いて行った。

2．2　構造評価

AlN:Gd 膜の構造は、FE-SEM を用いて加速電圧 10kV で膜表面および破断面の観察を行った。

AlN:Gd 膜の結晶構造は、薄膜 X 線回折測定装置を用い、平行ビームで膜のアウトオブプレーン測定およびインプレーン測定を行い、面間および面内構造を評価した。

発光中心である Gd の局所構造は、Gd-L_3 の X 線吸収微細構造(EXAF)を SPring-8 BL14B2 において測定し、動径構造関数から検討した。

3　結果と考察

3．1　CL スペクトル

AlN:Gd 膜の典型的な CL スペクトルを図 1 に示すが、波長 317 nm に半値幅約 1 nm の鋭い発光スペクトルと、波長 312 nm に第 2 励起準位からの発光スペクトルを示し、これらの深紫外光以外の発光は見られない。

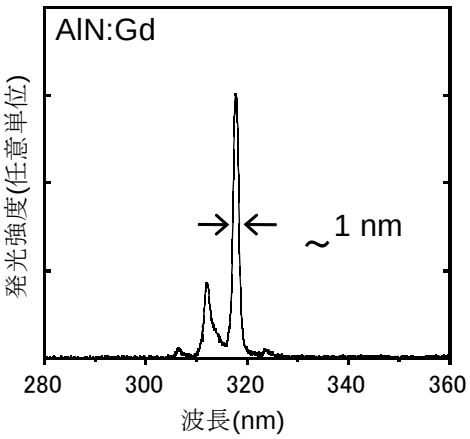


図１　AlN:Gd 膜の CL スペクトル

3．2　AlN:Gd 膜の構造

石英ガラス基板上に AlN バッファー層を形成し、その上に AlN:Gd 膜を成膜した試料の破断面の SEM 観察結果を図 2 に示す。AlN バッファー層上に柱状の AlN:Gd が密に成長していることがわかる。

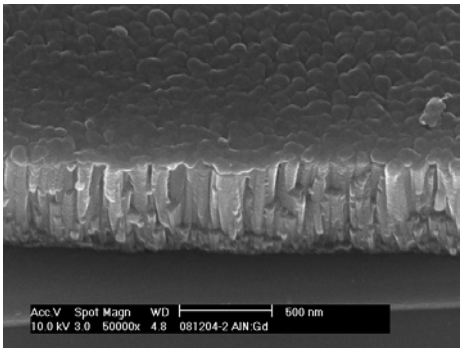


図２　AlN:Gd 膜の SEM 観察結果

3．3　AlN:Gd 膜の結晶構造

AlN:Gd 膜のアウトオブプレーン測定による X 線回折図形は、図 3 に示すように、AlN の 002 回折線が強

く現れていることより(00l)方向に優先配向した膜であることがわかる。基板温度が高くなるに従い 002 面の回折線強度が強くなり、高角度側にシフトしている。

インプレーン測定での X 線回折図形を図４に示すが、基板に対して AlN:Gd 膜が(00l)優先配向しているため、インプレーン測定では 110 面、101 面および 110 面の回折線が強く表れている。基板温度の違いによる回折線のピーク位置に大きな違いは見られなかった。AlN に起因する回折ピークは、何れも、無添加の AlN と比較して低角度側に現れており、Gd の添加により格子が拡張していることを示している。また、AlN バッファー層上に形成した AlN:Gd 膜の方が、石英ガラス基板上に直接成膜したものと比較して結晶性に優れたものであった。

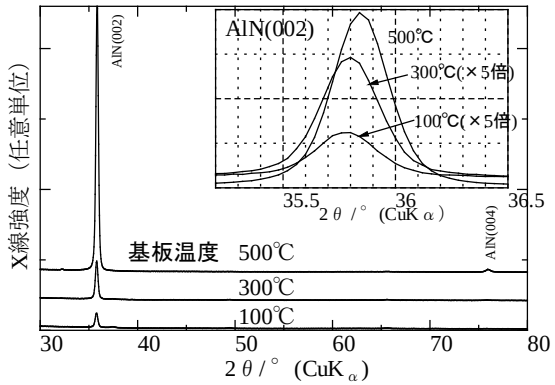


図３　アウトオブプレーン測定での X 線回折測定結果

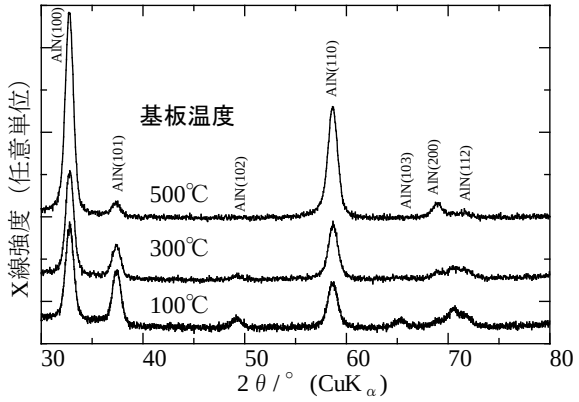


図４　インプレーン測定での X 線回折測定結果

３．４　Gd の局所構造

図５に AlN:Gd 膜および参照として測定した GdN 膜の Gd-L3 吸収端の動径構造関数を示すが、AlN:Gd 膜のパターンは GdN 膜とは大きく異なることより、Gd は Gd-N クラスターとして存在するのではなく、AlN の Al サイトを置換していると考えられる。図６に基板温度の異なる AlN:Gd 膜の動径構造関数を示す。第 1 配位に相当する 1.8Å 付近に見られるピークにはあまり変化が見られないことから、Gd-N の配位状態には変化がないと考えられる。一方、基板温度が低いほど、また、バッファー層を形成した方が第 2 配位に相当するピークの強度が大きくなっており、Gd-Al または Gd-Gd の対称性が向上していることを示唆している。バッファー層を形成し、基板温度が低いほど CL 強度が増加しており、このことは Gd の局所構造の配位対称性の向上と明らかな相関があることを示している。

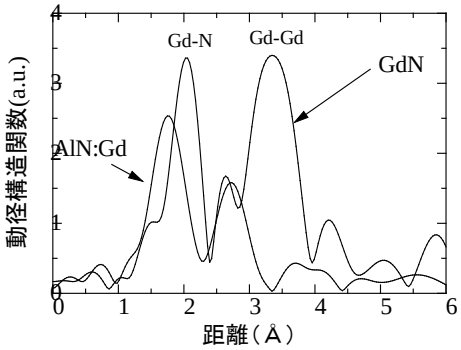


図５　AlN:Gd 膜および GdN 膜の XAFS 解析結果

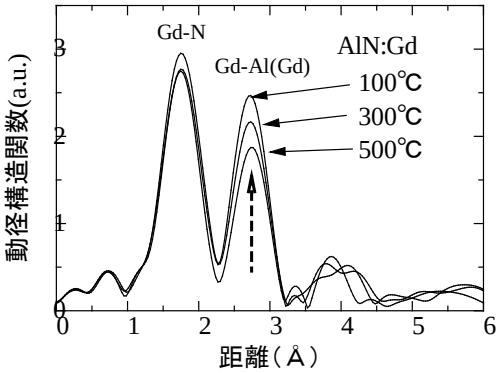


図６　AlN:Gd 膜の基板温度による動径構造関数の変化

４　結　　論

AlN:Gd 膜の形成において、基板温度が高いほど、優先配向および結晶性の向上に効果的である。一方、低温で成膜する方が、Gd が置換している Al サイトの対称性が向上することを明らかにした。CL 強度の増大には、Gd の配位対称性の向上を図ることが必要であり、さらに、AlN バッファー層を形成し、結晶性および Gd の配位対称性の向上を図ることが、効果的である。

参 考 文 献

(1)T.Kita, .S.Kityama, M.Kawamura, O.Wada, Y.Chigi, Y.Kasai, T.Nishimoto, H.Tanaka, and M.Kobayashi, APL,93,211901(2008).

謝　　辞

本研究は、(株)ユメックス、神戸大学喜多教授との共同研究により実施しました。関係各位に深く感謝します。

（文責　石原嗣生)(校閲　柏井茂雄）

〔経常研究〕

5　サブミクロン分析手法の研究

山下　満

1　目　　的

電子顕微鏡を用いた材料の成分分析は、その測定の手軽さと面分析などデータが視覚的に分かり易いなどの理由から、さまざまな業種において非常に広く利用されている分析手法である。加速した電子を細く絞って試料に照射し、そこから発生する特性Ｘ線を検出して成分元素を解析するため、電子ビームのビーム径と特性Ｘ線の発生領域の大きさの関係を正しく把握しておくことは肝要である。図1は、電子ビームのビーム径と試料内部のＸ線励起領域の大きさを模式的に示したものである。電子顕微鏡の発達にともない、電子ビームのビーム径は既にナノオーダーからサブナノオーダーに達しているため、電子ビームをプローブとして用いる元素分析の空間分解能も同程度であると誤認識されていることも多いが、実際には、図1に示すように、試料の内部で電子線による励起が連鎖して拡がってゆくため、励起領域（Ｘ線発生領域）は思いの外大きなサイズ（数百nm～数μｍ）となることが多い。この励起領域の大きさは、照射する電子線の加速電圧と試料の材質に依存しており、サブミクロン分析を実現するためには、『低い加速電圧』で電子ビームを『細く絞り』、かつ、『十分なビーム電流』の下で測定を行う必要がある。機械金属工業技術支援センターに導入されたエネルギー分散型Ｘ線分析装置付走査型電子顕微鏡は、従来の装置と比べて１０倍以上の大電流の電子ビームを低加速電圧でも非常に細く絞って照射できるため、これまで不可能と考えられてきたサブミクロン分析を実現できると考えられる。本報告では、この電子顕微鏡を活用してサブミクロン分析の可能性を検討した結果について報告する。

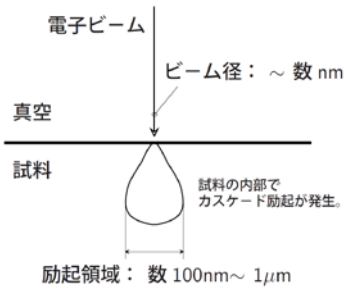


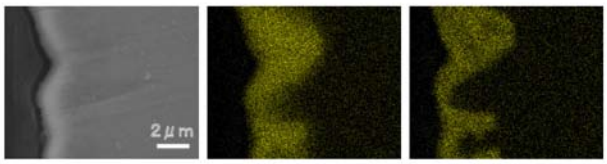
図１　電子ビームのビーム径とＸ線の励起領域

2　実験方法

従来の測定との比較を行うために、加速電圧は15kVと5kVの２条件とし、ビーム径は２次電子像が最もシャープとなるフォーカス条件で分析を行った。なお、分析試料はNi/Cuめっき界面とし、Cu Lα(0.928keV)、および、Ni Lα(0.849keV)を測定した。倍率は20000倍、照射電流はＸ線検出器のphoton数換算で3000cps程度に調整し、各ピクセルの積分時間は200ns×15framesとした。

3　結果と考察

図2は加速電圧が15kV、および、5kVでのCuの分布を測定した結果である。15kVでは境界がぼやけているのに対し、5kVでは分解能が改善されていることがわかる。



SE 像　　15kV　　5kV

図２　Ni/Cuめっき界面のSE像(a)、および、Cuのマッピング像 15kV(b)、5kV(c)

また、Cu/Ni界面を横断する直線上で、CuとNiの強度変化を測定した結果を図3に示す。5kVでは15kVに比べてNi/Cuの強度変化が急峻であり、図2と同様に、分解能が改善されていることがわかる。

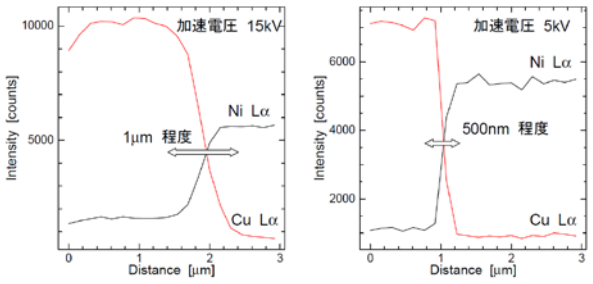


図３　Ni/Cuめっき界面のNi,Cuの強度変化（左より15kV,5kV。図中の矢印はおおよその分解能を示す。）

4　結　　論

低加速電圧法によるサブミクロン分析の可能性を検討した結果、従来、1μm程度と言われていた元素分析における空間分解能を、500nm程度（加速電圧5kV時）に向上できることを確認した。

（文責　山下　満）
（校閲　石原嗣生）

〔経常研究〕

6　エコマテリアル技術を活用した高機能窯業建材の開発

泉　宏和，石原嗣生，河合　進，濵崎敬子

1　目　　的

淡路瓦業界では、長引く景気の低迷に加え、阪神・淡路大震災以降、軽量瓦への需要が高まるとともに、洋風住宅の増加もあって売り上げが低迷している。淡路瓦新エネルギー研究開発グループは、淡路特産のいぶし瓦の特徴を生かした環境対策として、屋根瓦が太陽熱で熱くなることを利用し、水を温水に変えるシステムの開発に取り組んでいる。本研究では、いぶし瓦の集熱特性を評価することを目的に、赤外線ランプ照射による温度上昇と分光反射率との相関性について検討した。

2　実験方法

2．1　赤外線ランプ照射による瓦表面温度測定

瓦表面温度測定には、いぶし瓦に加え、参照として、素焼き瓦および淡黄色釉薬瓦を用いた。赤外線ランプは、東芝ライテック製赤外線電球 IR100V250WRHE を用い、瓦表面から 30cm の位置に設置した。瓦を断熱屋根建材にのせ、瓦表面および裏面に K 熱電対をアルミテープで固定し、２時間、温度を計測した。

2．2　分光光度計による分光反射率測定

分光反射率の測定には、島津製作所製　紫外・可視・近赤外分光光度計 SolidSpec3700 を用いて、波長範囲 300～2,500nm の領域を拡散反射法により測定した。標準反射板として、フッ素樹脂系標準反射板（スペクトロラン反射標準、反射率 99%）を用いた。

3　結果と考察

3．1　瓦表面温度

図１に赤外線ランプ照射時間と瓦表面温度の関係を示す。照射時間の増加に従い、いぶし瓦の表面温度が最も上昇し、90 分後には 80℃を超えた。一方、素焼き瓦は 62℃、淡黄色釉薬瓦は 60℃まで上昇しているが、いずれも、いぶし瓦に比べ温度上昇は大幅に小さかった。

3．2　分光反射率

図２に瓦の分光反射率を示す。銀色を呈するいぶし瓦は、測定波長領域においてフラットな反射を示しており、反射率は 21～34%と非常に低かった。一方、素焼き瓦および淡黄色釉薬瓦は、可視領域ではいぶし瓦と比較して反射率の低い領域があるが、近赤外領域の反射率は 60%を超え、近赤外線反射能の高いことがわかった。全波長領域での平均反射率は、いぶし瓦（28.5%）、素焼き瓦（50.7%）、淡黄色釉薬瓦（58.5%）となり、反射率が低いほど瓦表面温度の上昇が大きくなることが明らかになった。

太陽光の下での瓦表面温度の指標として、分光反射率から JISK5602 塗膜の日射反射率の求め方に準じて、基準太陽光の重化係数を用いて日射反射率を計算した。その結果、いぶし瓦（25.2%）、素焼き瓦（34.5%）、淡黄色釉薬瓦（48.9%）となったことから、太陽光の下でも同様の温度上昇傾向を示すと考えられる。

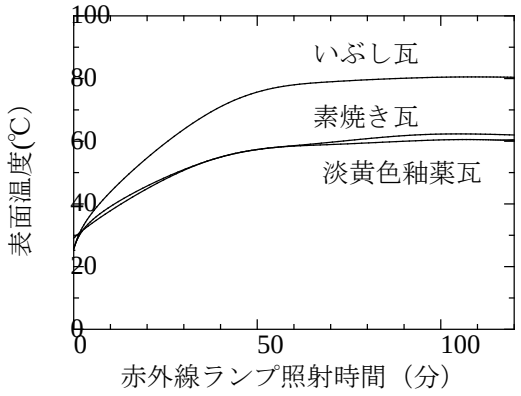


図１　赤外線ランプ照射時間と表面温度の関係

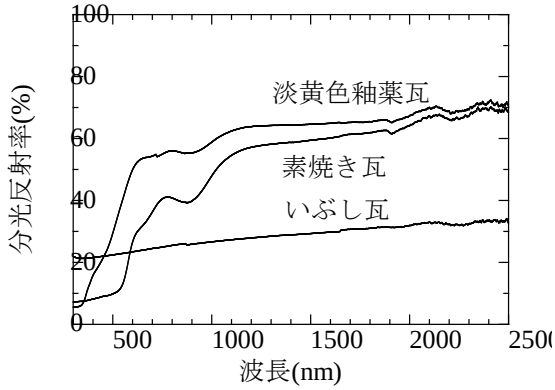


図２　各種瓦表面の分光反射率

4　結　　論

いぶし瓦は、分光反射率が 21～34%と低いため、太陽光の吸収効率が高く、素焼き瓦、淡黄色釉薬瓦と比較して、集熱性に優れていることが明らかとなった。

（文責　泉　宏和）

（校閲　山田和俊）

〔科学研究費補助金・基盤センター（日本学術振興会）〕

7　電子デバイスの鉛フリーはんだ接合部の強度評価法に関する研究

野崎峰男

1　目　　的

電子デバイスのはんだ接合部は、例えば銅合金、樹脂およびはんだなど異なった熱膨張係数を有する材料で構成されている。したがって、はんだ接合部は、電源の on/off 等に伴い、接合部品間の熱膨張係数の差により繰返し熱応力を受ける [1]。一方、はんだ接合部の形状は、はんだ付けの際、素子からのリードおよび基板側のランド等の被接合物の形状の影響によりフィレットや切欠き状になる場合が多い [2]。また、はんだは常温でも著しくクリープを呈する材料である。このため、動作中の電子デバイスのはんだ接合部は、応力集中部にクリープ疲労負荷を受けており、はんだ接合部の品質保証のためには、応力集中部に関するクリープ疲労寿命評価法の開発が必要である。しかし、これまで、応力集中を伴うはんだ接合部のクリープ疲労寿命評価法に関する実験的研究はあまり実施されていない。

本研究では、前報 [3]で報告した Sn-3.5Ag はんだの環状切欠き試験片を用いたクリープ疲労試験と同条件で、切欠き付近の有限要素解析を実施し、切欠き底断面の Mises 型相当ひずみを評価した。さらに、環状切欠き試験片のクリープ疲労寿命評価に応用するため、クリープ疲労試験から得られたき裂発生、き裂伝ぱおよび破損繰返し数に及ぼす切欠き底断面の Mises 型相当ひずみの影響を考察した。

2　実験方法および結果

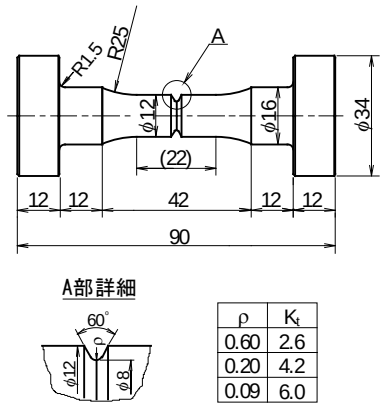
本研究で用いた供試材の化学成分を表１に、環状切欠き試験片（弾性応力集中係数 $K_t = 2.6$、4.2 および 6.0）の形状および寸法を図１に示す。試験片は、Sn-3.5Ag はんだの延べ棒を直径 50mm、長さ 200mm のインゴットに鋳造(594K、空冷)し、図１の形状・寸法に切削加工した。さらに、組織安定化のため試験直前に試験片の熱処理(430K×1h、空冷)を行った [4]。

電気油圧サーボ疲労試験機により標点距離 10mm での公称ひずみ制御のクリープ疲労試験を実施した。ここで公称ひずみとは、切欠き部を含む標点間の変位を標点距離で除した値である。ひずみ波形は、fast 部、slow 部および引張ひずみ保持部で構成される 5 種類(pp、cc、pc、cp および th 波)のものを用いた [3]。公称全ひずみ範囲（$\Delta\varepsilon_t$）は、すべての試験で 0.3%とし、試験温度は 313K、大気中とした。

本研究では、き裂発生繰返し数（N_c）を交流電位差法

表１　供試材の化学成分（wt.%）

Ag	Sb	Cu	Bi
3.51	0.005	0.001	0.001
Fe	As	Pb	Sn
0.003	0.008	0.026	Bal.



ρ	K_t
0.60	2.6
0.20	4.2
0.09	6.0

図１　試験片の形状および寸法（mm）

により検出し、き裂伝ぱ繰返し数（N_p）を $N_p = N_f - N_c$ で算出した。ここで、N_f は破損繰返し数で、引張側応力振幅が 1/2 N_f サイクル時の引張側応力振幅の 25%に低下したときの繰返し数として定義した。

き裂長さと繰返し数の関係を図２に示す。ここで、き裂長さ a は、環状切欠き試験片の試験片内部方向へのき裂深さとし、次式 [5]から算出した。

$$\frac{V_{\max}}{V_0} = 1 + 18.0\left(\frac{a}{2R}\right)^{1.88} \qquad (1)$$

式(1)で、$V_{\max}$ は 1 サイクル中における最大引張公称ひずみ時の電位差、V_0 は実験前の無負荷時での電位差、R は切欠き底断面の半径である。

図２より各ひずみ波形で繰返し数の増加に伴い、き裂長さは線形に増加した。また、き裂伝ぱ速度（da/dN）は、各ひずみ波形であまり K_t に依存していない。

3　解析方法および結果

切欠き底断面の Mises 型相当ひずみを汎用有限要素プログラム MARC により評価した。図３に一例として解析に用いた $K_t = 2.6$ の要素分割図を示す。

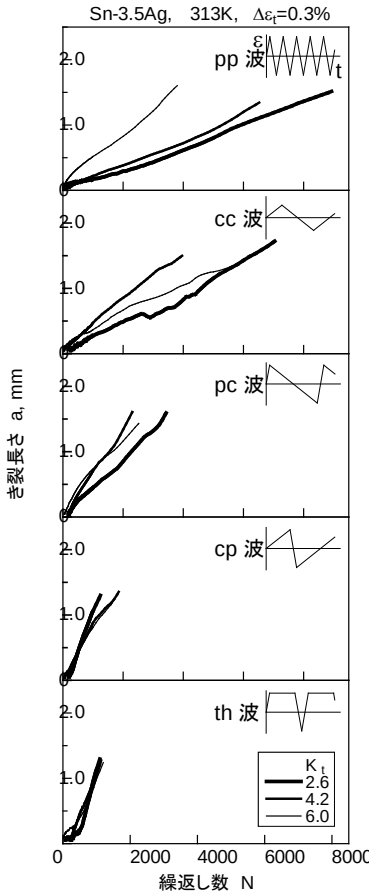


図２　き裂長さと繰返し数の関係

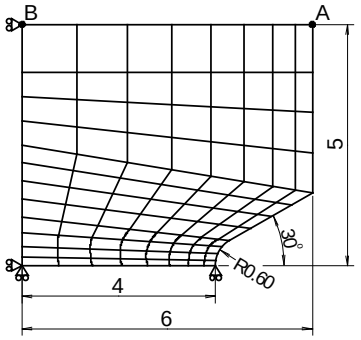


図３　切欠き部（$K_t = 2.6$）の要素分割図（mm）

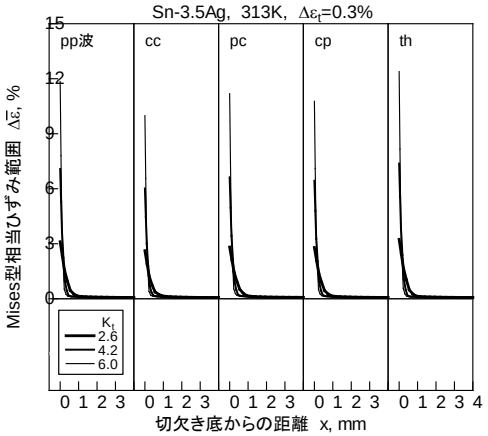


図４　切欠き底断面における Mises 型相当ひずみ範囲の分布

解析で用いた繰返し応力-ひずみ関係は、平滑材の pp 波での応力-ひずみ関係 [6]を多直線近似したものである。なお、ヤング率は 35MPa、ポアソン比は 0.3 とし、硬化則には MARC 複合則を使用した。また，クリープ構成関係は、平滑材の th 波 [6]のひずみ保持期間中の応力の変化から得られた Norton 則を用いた。

有限要素解析の負荷条件は、図３の上端 AB をひずみ波形に従い３サイクル分変位させた。なお、節点 A は伸び計の先端が接触する点に対応している。

有限要素解析により得られた切欠き底断面の Mises 型相当ひずみ範囲（$\Delta\bar{\varepsilon}$）の分布を図４に示す。図より、いずれのひずみ波形においても切欠き底からの距離の 0～約 1mm の範囲で、$\Delta\bar{\varepsilon}$ が著しく大きくなった。このことにより、切欠き底断面における切欠き底からの距離 0～約 1mm の環状部分の $\Delta\bar{\varepsilon}$ が、環状切欠き試験片のき裂発生、き裂伝ぱおよび破損繰返し数に主として関与すると推察される。

4　結　　論

クリープ疲労における Sn-3.5Ag はんだの環状切欠き試験片のき裂伝ぱ速度は、弾性応力集中係数にあまり依存しない。また、有限要素解析の結果から、いずれのひずみ波形においても切欠き底からの距離の 0～約 1mm の範囲で、Mises 型相当ひずみ範囲が極めて大きくなった。このことにより、切欠き底断面における切欠き底からの距離 0～約 1mm の環状部分の Mises 型相当ひずみは、環状切欠き試験片のき裂発生、き裂伝ぱおよび破損繰返し数に著しく影響を及ぼすと考えられる。

参 考 文 献

1) 須賀唯知：鉛フリーはんだ技術，日刊工業新聞社,(1999),p.57
2) 大澤直：はんだ付の基礎と応用，工業調査会,(2000),p.21
3)野崎峰男，兵庫県立工業技術ｾﾝﾀｰ研究報告書，18，43 (2009).
4) はんだのクリープ疲労試験法標準，日本材料学会,(2000).
5)M. Sakane, and M. Ohnami, J. Eng. Mater. Tech., ASME, 110, 247 (1988).
6)M. Nozaki, M. Sakane, Y. Tsukada, and H. Nishimura, J. Eng. Mater. Tech., ASME, 128, 142 (2006)

（文責　野崎峰男）（校閲　福地雄介）

〔戦略的基盤技術高度化支援事業〕

8　完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置およびダイカスト法の開発

分担テーマ：金型の高温制御による低速充填技術の開発

柏井茂雄，兼吉高宏，石原嗣生，福住正文

1　目　　的

ダイカスト法では、アルミニウムなどの溶湯金属を金型に油圧により高速･高圧で射出し急速凝固させるため、生産性に優れた製造技術として自動車部品や家電製品用部品の製造に広く使われている。しかし、射出時に多量のガスを巻き込み製品中に残留しガス欠陥となるため、品質の低下、強度の低下、熱処理時にふくれを発生し熱処理ができないなど問題がある。この問題を解決する方法として、①金型内を真空にする、②高圧でガス気泡をつぶす、③低速で層流充填するなどの方法が考えられる。前２つの方法として高真空ダイカスト法、高圧ダイカスト法などが開発・利用されているが、装置が大型化し高価となるため、大企業を中心に一部の企業でしか利用されていない。③の低速充填については、油圧で射出する現在の方法では低速での制御が困難であること、低速では射出圧が低くなる等の問題があり、実用的な装置は開発されていない。

そこで本事業では、ガスの巻き込みを防ぐために射出部のガス量を減らし、かつ、低速で射出が可能なダイカスト装置を目指し、完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置の開発、および開発装置によるダイカスト製造技術の開発を行った。ここでは、開発した装置の概要と、開発装置を用いて行った低速充填の可能性の検証、および製品の試作と欠陥、熱処理の評価結果について報告する。

なお事業では下記テーマについて、参画機関で分担して研究開発に取り組んだ。

① 完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置の開発
② 湯流れ制御に関する開発
③ 電動サーボモータ駆動式ダイカスト装置による製造技術開発

参画機関：アイ・イー・ソリューション㈱、㈲香川ダイカスト工業所、㈲ティミス、アクロナイネン㈱、岩機ダイカスト工業㈱、ＧＭＢ㈱、和歌山県工業技術センター、大阪大学、(財)新産業創造研究機構および当センター。

2　研　究　開　発　内　容

2.1　完全充填・電動制御スリーブ式ダイカスト装置

図１、２に従来の油圧方式と今回開発した電動サーボ方式の射出過程を比較して示した。油圧式では、溶湯の流し込みから射出の各段階でガス巻き込みが発生する。一方、新ダイカスト装置では、スリーブ内を溶湯で充満させ、電動サーボにより緩やかに溶湯を金型に射出することでガスの巻き込みを防止している。装置開発は、市販の東洋機械金属製Ｓｉ－５０Ⅳ樹脂射出成形機をベースマシンとして改造することで行った。開発装置の仕様を表１に外観を図３に示す。射出速度は 0.01～0.5m/s で、従来の油圧装置が数 m/s であるのに比べ 1/10 以下の低速での制御が可能である。開発した装置で動作確認と試作実験を行ったところ、全電動制御ダイカスト装置

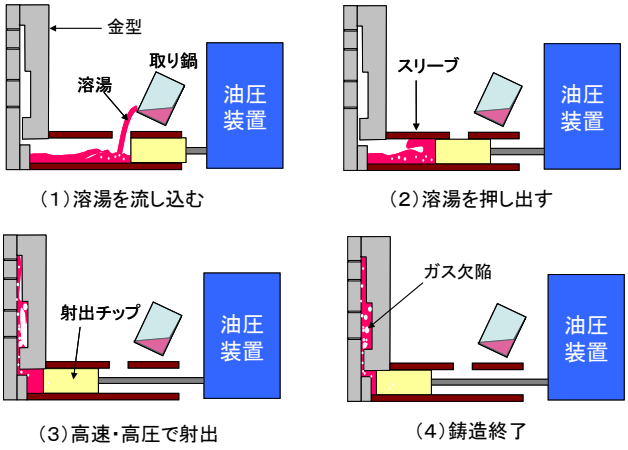


図１　油圧式ダイカスト装置の射出過程の模式図

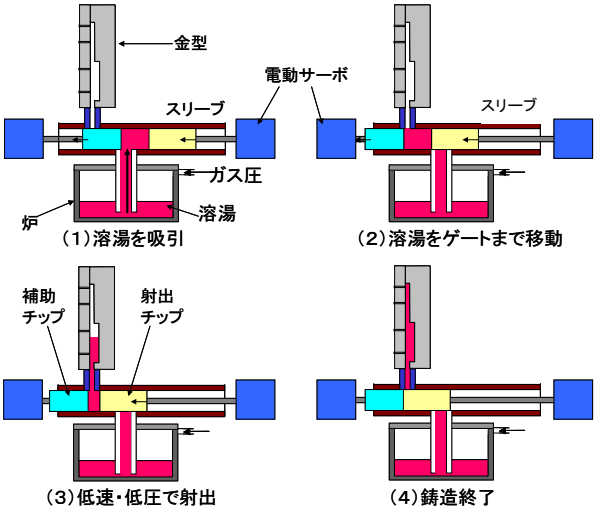


図２　新ダイカスト装置の射出過程の模式図
（池田孝史他,特許平 10-198519）

表１　全電動制御ダイカスト装置の仕様

射出力	３９２．１MPa(４ton)
増圧（保持力）	８８２．３MPa(９ton)
射出速度	０．０１～０．５m/s
型締力	４９０kN
押出力	１９．２kN
標準チップ径	４０ｍｍ
給湯量	２００ｇ



図３　全電動制御ダイカスト装置ＤＭ５０

でのダイカスト製造が可能であることを確認することができた。しかし、溶湯の給湯管と溶湯が反応し一部で湯漏れが発生した。従って量産に対応した装置開発に向けては、給湯部の改良が不可欠である。

２.２　低速充填の検証

図４に、低速充填の可能性を検証するために行った流動長試験結果を示す。金型温度が常温で、射出速度 0.2m/s で鋳造を行った場合、溶湯流動は２段目を充填

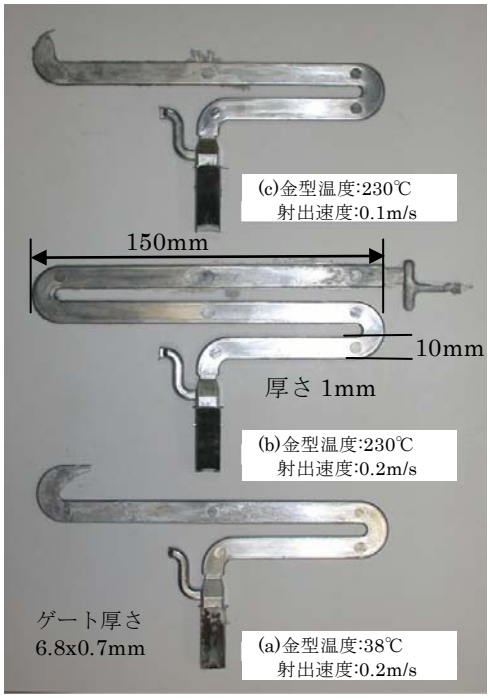


図４　流動長試験結果（材質アルミニウム）

したところで停止し、湯回りは完了しなかった。次に金型温度を 230℃に上げて鋳造を行ったところ、射出速度 0.2m/s の低速充填でも湯回りを達成できた。さらに射出速度を遅くして 0.1m/s で鋳造を行ったが、途中で流動停止した。油圧式による通常のダイカストでは射出速度は数 m/s、金型温度 200℃程度の条件で製造されており、本装置では従来の 1/10 程度の低速の射出速度でもダイカスト鋳造が可能であることを検証できた。

２.３　試作品の鋳造と熱処理（T6 処理）

数種類の金型を作製し、低速充填によるアルミニウムダイカスト製品の試作を行った（図５）。いずれの製品も湯回り不良の発生はなく、射出速度 0.2～0.1m/s で鋳造できることがわかった。しかし、X 線透視試験を行ったところ内部にガス欠陥が確認され、低速充填でのガス巻き込み防止の効果が十分に発揮されていないと思われた。これは、ゲートなどの鋳造方案が最適化されていないことが大きな要因であると考えられた。比較的ガス欠陥の少なかった試料について T6 処理の可能性を検討したところ、図６に示すように従来装置による鋳造品にはふくれが多数発生したが、開発装置による鋳造品ではふくれがほとんど認められなかった。このことから、ガス欠陥が少なく T6 処理が可能な製品の製造が可能と考えられた。



図５　試作したアルミニウムダイカスト製品例
左：精密部品 K21　右：フランジ K



図６　490℃T6 処理品の外観比較
左側従来装置では黒丸部でふくれが発生

３　結　　論

全電動制御のダイカスト装置を開発し、低速射出でのダイカスト製品の製造が可能であることを明らかにした。今後装置の改良を行い実機としての完成を目指す。

（文責　柏井茂雄）
（校閲　石原嗣生）

〔技術改善研究〕

9　無電解めっきを活用した製品開発と高品位化に関する研究

山岸憲史，山下 満，西羅正芳，髙橋輝男

1　目　　的

無電解めっきは、めっきの付きまわりが良く、均一な膜厚を得やすいという長所を有している。その中で、無電解 Ni-P めっきは耐食性、耐摩耗性にも優れることから、金物製品や機械部品などに広く利用されるようになっている。我々は、無電解 Ni-P めっきを活用した鉄鋼製品の品位向上と製品開発を目的として、無電解 Ni-P めっきの特性を十分に発揮できる製品づくりに取り組んでいる。

今回、めっき製品の耐食性を向上させるためのめっき法の改善と耐摩耗性の向上を目的としためっき皮膜の硬化処理について検討を行っており、本報では、後者に関する検討結果を報告する。ここでは、特殊なめっき浴を使用するのではなく、汎用の中リンタイプの無電解 Ni-P めっき浴を利用することでコストアップを抑えつつ、加熱処理による素材への熱的ダメージおよびめっき皮膜の変色を抑えた処理方法の開発を目指した。

2　実験方法

無電解 Ni-P めっき皮膜の硬化処理は、電気炉を用いた処理（以下、加熱処理法と記す）とレーザを用いた処理（以下、レーザ照射法と記す）により実施した。刃物等に用いられる炭素工具鋼（JIS SK80 相当、板厚 2mm）の焼き入れ、焼き戻し処理材（51HRC）を素材として、市販の中リンタイプの無電解 Ni-P めっきを膜厚約 10μm施し、これより切り出した小片を試験片として各硬化処理実験に用いた。析出しためっき皮膜の P 含有率は、ICP 発光分光分析により測定した結果、約 8%であった。

2.1　加熱処理法

実験には、約 10×10mm に切り出した試験片を用いた。電気炉に 30×30×10mm の銅製ブロックを入れ、所定の加熱温度に保持しておき、炉内銅製ブロック上に試験片を置いて加熱処理を施した。加熱温度には、240℃、320℃、400℃および 500℃の 4 通りを設定し、加熱時間 10～10,800s 間の処理を施した。めっき皮膜の硬さは、マイクロビッカース硬度計により試験力 0.98N でめっき皮膜の表面から測定した。素材の硬さは、めっき皮膜を研磨で除去した後、ロックウェル硬度計にて C スケールで測定した。

2.2　レーザ照射法

炭酸ガスレーザ加工機（三菱電機(株)製：ML2512HDⅡ）を用いて、めっき皮膜表面よりレーザ照射することにより処理実験を実施した。幅 10mm の試験片の幅方向にレーザを走査しレーザ照射した。レーザ照射条件を表 1 に示す。レーザによる加工幅が約 5mm になる＋40mm にデフォーカスし、出力 125～500W、走査速度 0.1～1.0m/min の範囲でレーザ照射した。レーザ照射線上の中心（試験片幅方向の中心）を原点として、めっき皮膜および素材の硬さ分布をマイクロビッカース硬度計（試験力 0.98N）にて測定した。めっき皮膜の硬さは、めっき皮膜の表面から、素材の硬さは、断面試料を作製し、めっき界面より 0.75mm 地点の素材部分を断面側から測定した。

表 1　レーザ照射条件

サンプル No.	レーザ出力 (W)	走査速度 (m/min)	デフォーカス (mm)
①	125	0.5	＋40
②	250	0.5	
③	500	1.0	
④		0.5	
⑤		0.2	
⑥		0.1	

3　結果と考察

3.1　加熱処理法による検討

めっき皮膜の硬化を目的として一般的に実施される 400℃・1 時間の加熱処理を行った結果、めっき皮膜は 920HV0.1 と最も硬い水準にまで硬化した。素材の硬さは 48HRC となり軟化した。また、めっき皮膜表面は酸化されて青色に変色した。

そこで、素材の硬さおよびめっき皮膜の変色に及ぼす加熱温度と加熱時間の影響について調べるため、種々の条件で加熱処理実験を行った。加熱時間とめっき皮膜の硬さおよび素材の硬さの関係をそれぞれ図 1、図 2 に示す。めっき皮膜の硬さは、加熱時間の経過に伴い上昇した後低下している。硬化のピークは、加熱温度が高いものほど短時間側に存在している。400℃、500℃の加熱処理では、数十秒でめっき皮膜は硬化し、800HV0.1 以上になることがわかった。素材の硬さは、400℃以上の加熱温度で処理した場合、加熱時間の経過とともに低下している。一方、めっき皮膜の変色状況を観察した結果、めっき皮膜の硬さが 800HV0.1 以上に硬化した条件で、

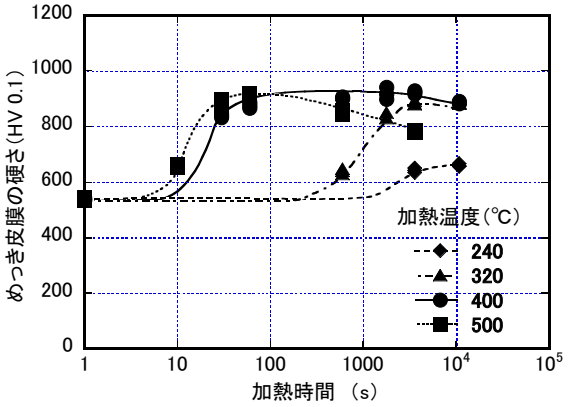


図１　加熱処理しためっき皮膜の硬さ

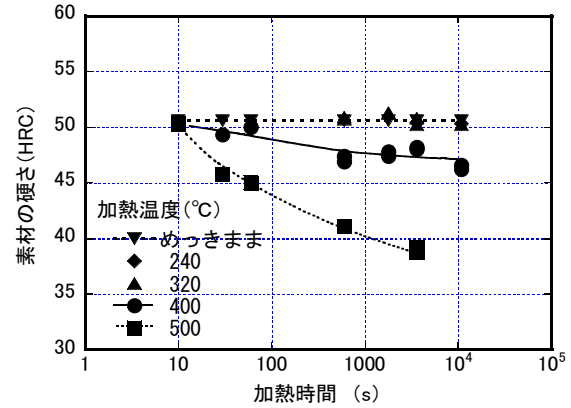


図２　加熱処理した素材の硬さ

ほとんど変色がなかったものは 400℃・30s 間のみで、400℃・60s 間および 320℃・1,800s 間がうすい黄色、その他は黄色～青色等の濃い変色を呈した。

以上の結果より、素材の熱的ダメージが少なく、皮膜の変色も抑えられる加熱処理法としては、400℃・30s 間という短時間処理が良好な条件であることがわかった。

３.２　レーザ照射法による検討

表１に示した各条件によりレーザ照射を施した試験片について、めっき皮膜の硬さおよび素材の硬さを測定した。一例として、サンプル No.⑤の結果を図３に示す。横軸：X は、レーザ照射の原点（X=0）からの距離（走査線に直交する方向）で、めっき皮膜の硬さはレーザ走査線を中心に幅約 2mm の領域で 800HV0.1 以上の硬さに硬化している。素材は、レーザ照射部直下でも供試材の硬さ（540HV0.1）とほとんど変わらず、レーザ照射による軟化は生じていないことがわかる。その他のサンプルについて調べた結果も含めまとめると、めっき皮膜の硬さは、サンプル No.①以外で硬化が認められ、原点部の硬さおよび硬化領域の幅は、No.②＜③＜④＜⑤＜⑥の順にそれぞれ高く、広くなっていた。これは、レーザ照射エネルギーの大きさに比例している。レーザ照射部直下の素材の硬さは、No.⑥が硬さ約 500HV0.1 に低下していたが、それ以外のサンプルでは、低下は認められなかった。

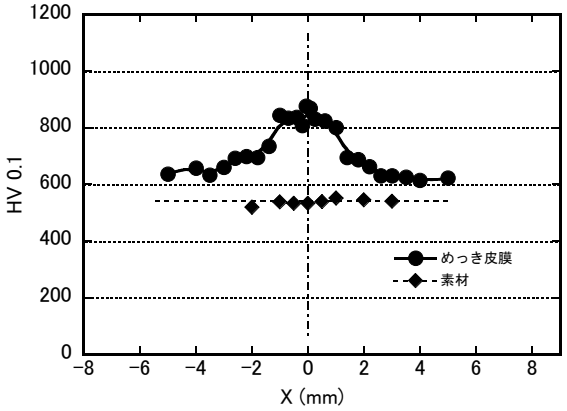


図３　レーザ照射部付近のめっき皮膜および素材の硬さ

今回実施した６通りのレーザ照射条件によるレーザ照射法の実験において、素材にダメージを与えることなくめっき皮膜のみを硬化して耐摩耗性の向上が期待できる処理としては、No.⑤が最も良好な結果を示した。しかし、レーザ照射した部分のめっき皮膜は褐色に変色していた。対策として、不活性ガスフロー等による変色防止策が考えられ、今後の検討課題とした。

４　結　　論

無電解 Ni-P めっきを活用した鉄鋼製品の高品位化を目的として、加熱処理法およびレーザ照射法によるめっき皮膜の硬化処理に関する検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

・電気炉内で短時間の加熱処理を施す加熱処理法では、400℃・30s 間保持の条件で、素材への熱的ダメージおよびめっき皮膜の変色を抑え、めっき皮膜の硬さを 800HV0.1 以上にすることができた。
・炭酸ガスレーザを用いたレーザ照射法により、素材に熱的ダメージを与えず、レーザ照射部のめっき皮膜のみを硬化させることができた。

これらの方法を利用すれば、めっき皮膜の局所的な硬化処理が可能であり、新たな製品設計にも繋がるものと期待できる。

（文責　山岸憲史）
（校閲　後藤浩二）

〔経常研究〕

10　耐熱構造材料のミニチュア試験片を用いた高温疲労寿命評価法の開発

野崎峰男

1　目　　的

経年劣化した発電プラント等の構造物の損傷量を高精度に評価するためには、構造部材から採取した試験片を用いた高温低サイクル疲労試験の実施が必要となる。とくに、構造部材からの試験片の採取による対象機器の性能低下をできるだけ小さくするためには、バルク試験片よりも寸法の小さいミニチュア試験片の採取が望まれる。しかし、高温低サイクル疲労寿命に及ぼす試験片寸法の影響は、現在まで必ずしも明らかにされていない。

本研究では、フェライト系耐熱鋼改良 9Cr-1Mo 鋼(1323K×1h、空冷→1053K×1h、空冷)のミニチュアおよびバルク試験片を用いて室温および 823K での低サイクル疲労試験を実施し、低サイクル疲労寿命に及ぼす試験片寸法の影響を考察した。

2　実験方法

図１にミニチュアおよびバルク試験片の形状を示す。試験装置は、ミニチュア試験片には小型高温低サイクル疲労試験機(荷重容量:±1kN、㈱神戸工業試験場製)を用い、バルク試験片には電気油圧サーボ疲労試験機(荷重容量:±30kN、MTS 製)を用いた。

低サイクル疲労試験は、ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}=0.1$%/s、全ひずみ範囲 $\Delta\varepsilon_t=0.5$、0.6、0.8 および 1.0%の両振対称三角波を用いて室温および 873K で実施した。また、破損繰返し数(N_f)は、引張側応力振幅が寿命中期のそれから 25%低下したときの繰返し数として定義した。

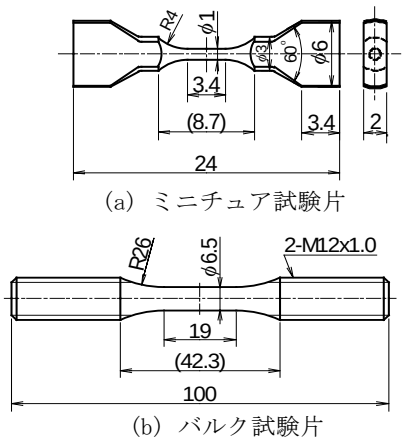
3　結果と考察

図２に(a)室温および(b)823K におけるミニチュアおよびバルク試験片の塑性ひずみ範囲($\Delta\varepsilon_p$)と破損繰返し数の関係を示す。図２より、室温および 823K でのバルク試験片の塑性ひずみ範囲と破損繰返し数の関係は、式(1)および(2)で表される。

$$N_f=1.546\times10^{3}\left(\Delta\varepsilon_p\right)^{-1.540} \quad [室温] \quad (1)$$

$$N_f=4.035\times10^{2}\left(\Delta\varepsilon_p\right)^{-2.438} \quad [823K] \quad (2)$$

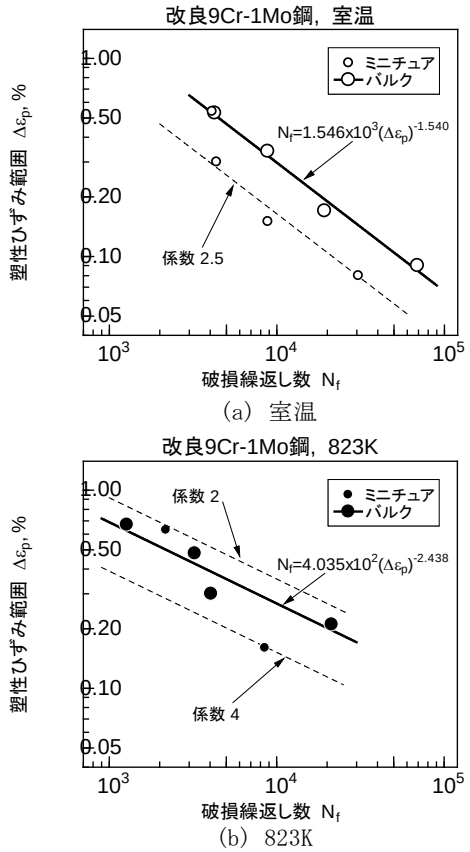
図２(a)および(b)より、室温におけるミニチュア試験片の破損繰返し数は、式(1)を基準に低寿命側にほぼ係数 2.5 の範囲に整理され、また 823K におけるそれは、式(2)を基準に高寿命側に係数 2、低寿命側に係数 4 にばらついた結果となった。破損繰返し数がミニチュア試験片とバルク試験片とで一致しなかった理由として、試験片表面に生成した酸化皮膜や表面残留応力の影響等が考えられるが、今後、両試験片間で破損繰返し数に差が生じた要因について検討する予定である。



(a) ミニチュア試験片

(b) バルク試験片

図１　ミニチュアおよびバルク試験片の形状



(a) 室温

(b) 823K

図２　塑性ひずみ範囲と破損繰返し数の関係

（文責　野崎峰男）（校閲　福地雄介）

〔経常研究〕

11　硬質溶射皮膜の腐食特性とその防止

高谷泰之，園田　司

1　目　的

溶液中で使用される装置部材は、耐食性のみならず耐摩耗性が必要とされる場合が多々ある。このため、溶液に対して耐食性のある材料が選択されるとともに、摺動部分には硬質材料へ溶射、肉盛などの表面処理がなされた材料が使用される。その際、異種材料が水溶液に曝されて異種金属接触腐食が生じ、損傷に至ることがある。

そこで、異種材料の組み合わせおよび溶接などの熱加工による腐食損傷の危険性を予知するために、溶液環境に曝された場合の各試料の腐食電位を測定し、最適な異種材料の組み合わせを検証した。

2　実験方法

試料には市販圧延材として、SUS410とSUS430のフェライト系ステンレス鋼およびSUS304とSUS316Lのオーステナイト系ステンレス鋼を使用した。また、SUS316ではスポット溶接、重ね合わせ溶着（ヘリ溶接）したものを用いた。スポット材およびヘリ溶接材は、その部分のみが溶液に露出するように工夫した。硬質材料はSUS304上へのWC系サーメット溶射材（WC/Co、WC/Cr-Ni）である。試料が完全浸漬するように、リード線部はシリコン樹脂で被覆した。

試験溶液として、実際損傷を生じた醤油中での評価を行い、試験温度は30℃～80℃とした。試料の腐食電位は飽和塩化カリウムの銀/塩化銀（Ag/AgCl）電極に対してエレクトロメータを用いて測定した。

3　結果と考察

3.1　ステンレス鋼素材の腐食電位

市販品の各種ステンレス鋼の醤油中における腐食電位の一例として、醤油温度が 80℃での結果を示す。浸漬期間中、図１に白抜き印で示す各種ステンレス鋼素材について、フェライト系ステンレス鋼の腐食電位は多少変動があるものの卑な電位で推移している。

一方、オーステナイト系ステンレス鋼は貴な電位で安定している。各種材料の腐食電位は、SUS316L が最も貴な値となり、続いて SUS304、SUS430 または SUS410 となっている。これらの腐食電位列の傾向は醤油温度が 30℃から 80℃でほとんど変らなかった。

3.2　溶接／溶着加工品

溶接加工品の腐食電位の経時変化は、図１の黒三角印で示している。スポット溶接材（▲）は貴な方向への電位振動があるが、ヘリ溶接材（▼）では安定した電位を

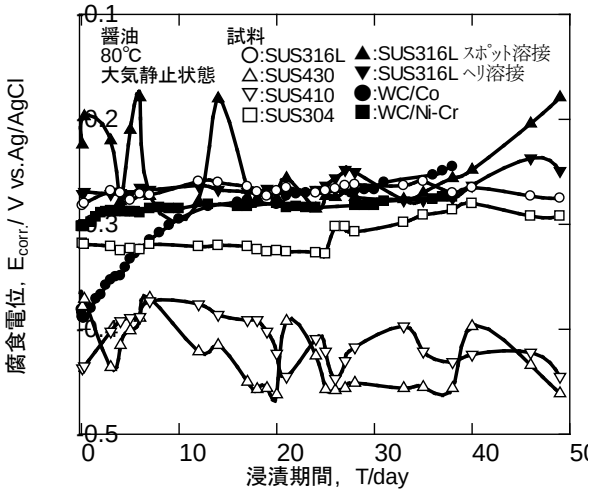


図１　醤油中における各種金属材料の腐食電位

示している。素材の SUS316L（○）とスポット溶接材、ヘリ溶接材はほとんど同じ腐食電位を示している。浸漬 50 日後では、SUS316L 素材の腐食電位よりもヘリ溶接材が貴に、スポット溶接材がさらに貴になっている。

3.3　サーメット溶射材の腐食電位

サーメット溶射材の醤油中における腐食電位は図１に示している。WC/Co（●印）は、浸漬直後には-0.4V の電位を示しているが、ゆっくりと貴な方向に移行する。

WC/Ni-Cr（■印）では浸漬直後から-0.3V 付近の腐食電位を示し、わずかながら貴な方向へ移行している。また、浸漬 10 日後には WC/Co は WC/Ni-Cr の腐食電位よりも貴な値で推移するようになる。ステンレス鋼素材と比較すると、これらのサーメット溶射材は SUS304 素材よりも腐食電位が貴であり、SUS316L に近い値である。

4　結　　論

フェライト系ステンレス鋼は、常に卑な腐食電位を示し、装置部材として組み込むと腐食が生じることを示唆しているが、他の部材は防食される。耐摩耗性に優れているサーメット溶射材をオーステナイト系ステンレス鋼と組み合わせた場合、腐食電位が卑な SUS304 が腐食される。すなわち、SUS316L との組み合わせでは腐食電位の差が小さく、基材およびサーメット溶射材の腐食の懸念が少ないことが確認された。

（文責　高谷泰之）
（校閲　園田　司）

〔経常研究〕

12　マルテンサイト系ステンレス鋼の電解研磨

西羅正芳，山岸憲史

1　目　　的

電解研磨法は電解研磨液中で金属を陽極として電気化学的に電解し、表面の微小な凹凸をなくして、表面を平滑にする手法である。この方法は加工変質層や残留応力が発生せず、光沢性に優れているため、ステンレス鋼を使った医療、食品関連等のいろいろな器具、設備に利用されている。その多くはオーステナイト系ステンレス鋼であるが、今回はステンレス鋼の中でも炭素量の多いマルテンサイト系ステンレス鋼の電解研磨について検討した。

2　実験方法

供試材には市販のマルテンサイト系ステンレス鋼（C:0.7%、Cr:13%）を使用した。電解研磨は市販の研磨液（リン酸系）を用いて、電流密度、研磨時間、浴温度等を変化させたときの表面形態について、走査型電子顕微鏡、共焦点顕微鏡、表面粗さ計等を用いて評価した。

3　結　　果

最初に、電解研磨時の電流密度について、供試材をハルセル試験用に加工(67㎜×100㎜)し、電流密度と研磨表面の形態について検討した。その結果、低電流密度側では平均粗さが大きく、高電流密度側（100A/d㎡）では比較的光沢のある表面が得られた。図１のように低電流密度側では粒界が選択的に研磨され、また大きな炭化物が脱落しているところも見られた。一方、高電流密度側では図２のように粒界腐食のような形態をとらず、素地全体が均等に研磨されることがわかった。

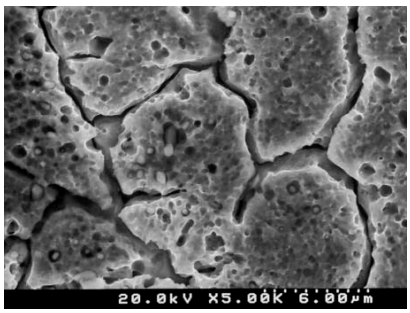


図１　低電流密度での電解研磨面

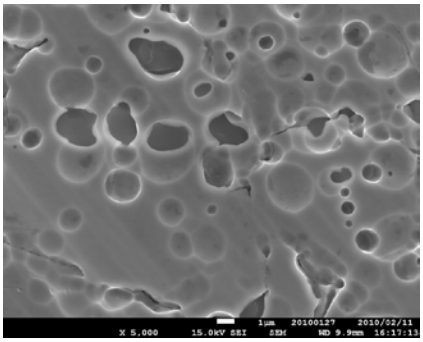


図２　高電流密度での電解研磨面

しかし、研磨面に見られる多くの炭化物の存在は、鏡面光沢のある表面にまで仕上げることが困難であることを示唆している。今回用いた供試材は炭素量が多いため、10μｍもある炭化物が多く存在し、しかも偏析した状態で分布していたため、表面粗さの低下を招く大きな要因になっている。研摩条件を変化させて検討した結果、図３のような平滑面が得られる研磨条件を得ることができた。

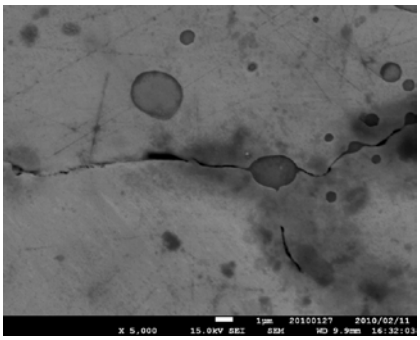


図３　最適条件下での電解研磨面

4　結　　論

１．大きな未溶解炭化物が残存している個所では最大高さ（Rz）も大きく、光沢面になりにくい。
２．高電流密度側では、比較的光沢のある平滑な研磨面が得られた。

（文責　西羅正芳）
（校閲　園田　司）

〔経常研究〕

13　ニッケルアレルギー対策用めっき皮膜の作製に関する研究

園田　司

1　目　　的

ニッケルめっき皮膜は、アクセサリー、雑貨などに装飾用めっきとして最も広く利用されている。しかし、直接肌に触れるアクセサリーでは、ニッケルアレルギーを引き起こすなどの問題がある。さらに、ニッケル化合物は、発ガン性を有し、排水中のニッケル濃度も一部の地域では規制されているため、ニッケル代替めっき皮膜の開発が不可欠となっている。

現在、ニッケルアレルギー対策用めっき皮膜として銅－スズ合金めっき浴が開発されているが、排水中の銅規制（3ppm）の問題がある。また、有害なシアン化合物を使用しない浴では、めっき浴中のスズイオンと銅イオンの反応による沈殿生成により、浴寿命が低下するなどの問題がある。そこで、ニッケルアレルギー対策用めっき皮膜として、ニッケルめっき皮膜に匹敵するめっき外観、耐食性、機械的特性を有するスズ－鉄合金めっき皮膜を作製する。スズ－鉄合金めっき皮膜は、安価で資源が豊富な鉄を合金化元素として使用することから、作業環境、排水規制などの環境問題が少ない。これまで、スズ－鉄合金めっき浴として、２価の鉄イオンを含有するめっき浴について検討してきたが、大気酸化により浴寿命が低下する可能性がある[1)]。

本研究では、３価の鉄イオンを含むめっき浴からスズ－鉄合金めっき皮膜を作製し、めっき外観に及ぼす浴のpH の影響および皮膜の結晶配向性について検討した。

2　実験方法

２．１　ハルセル試験

硫酸第一スズ、硫酸第二鉄、グルコン酸ナトリウム、添加剤を含む種々のめっき浴を作製し、アノードにスズ板、カソードに銅板を用い、液量 250mL、浴温 35℃、総電流 1A で、ハルセル試験を行った。

２．２　X線回折測定

X線回折装置を使用し、CuKα、40kV-100mAの条件で、めっき皮膜の結晶配向性を調べた。

3　結果と考察

３．１　めっき外観に及ぼす浴のpHの影響

図１に、ハルセル試験後のスズ－鉄合金めっき外観に及ぼす浴の pH の影響を示す。pH4 では高電流密度領域まで光沢領域が現れるが、pH5 および pH6 では高電流密度領域での光沢領域が狭くなる傾向を示した。pH4 で光沢領域が最も広くなる理由として、鉄含有量が大きいことが考えられる。

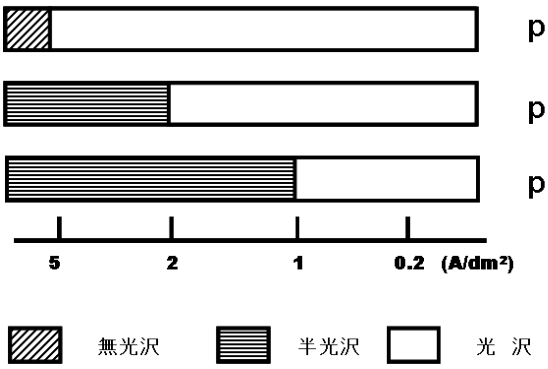


図１．めっき外観に及ぼす浴のpHの影響

３．２　めっき皮膜の結晶配向性

図２に鉄含有量約17%のＸ線回折パターンを示すが、２価および３価の何れも同様の回折パターンを示した。

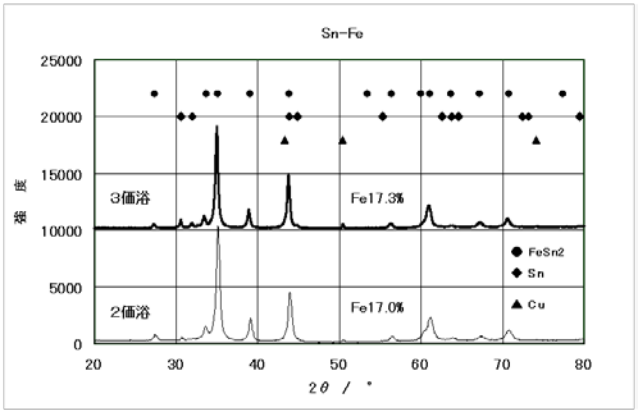


図２　スズ－鉄合金めっき皮膜の結晶配向性

4　結　　論

３価の鉄イオンを含む浴からのスズ－鉄合金めっきについて検討した結果、pH4-6 で光沢めっきが得られ、２価の鉄イオンからの皮膜と同様の配向性を示した。

参 考 文 献

1）T.Sonoda,N.Ando and Y.Fujihira J.Surface Finish.Soc.Jpn.,59,701(2008)

（文責　園田　司）

（校閲　後藤浩二）

〔(独)科学技術振興機構　シーズ発掘試験〕

14　フェノール樹脂を活用したソフトナノマテリアルの開発

鷲家洋彦，富田友樹

1　目　　的

工業用ゴム材料に求められる機能は年々高くなる一方、新たな種類のゴムが出現していないため、異種材料のブレンドで産業界の多様なニーズに応えている。

当センターでは、優れた耐油性を有するニトリルゴム（NBR）と優れた耐熱性・難燃性を有するフェノール樹脂のブレンド技術に着目した。NBR は加硫剤を添加、加硫成形により、ゴム分子間に三次元網目構造を形成する。フェノール樹脂もゴムと同様に三次元網目構造を形成する。また、NBR とフェノール樹脂は、それぞれの溶解度パラメーターが近く相溶性が良好である。そのため、NBR に少量のフェノール樹脂を添加、樹脂架橋させることは公知である。一方、フェノール樹脂の靭性を改良するため、NBR 等の外部可撓化剤を添加することも知られている。

そこで、NBR の加硫速度とフェノール樹脂の硬化速度を制御し、NBR／フェノール樹脂複合材料を開発した [1]。しかし、NBR 中でフェノール樹脂を増量かつ高度に相溶化させると、デュロメータ硬さ A95 以上の非常に硬度の高い複合材料になり、ゴムの特長であるゴム弾性が失われる問題があった [2]。本研究では、ゴム本来の柔軟性を有する NBR／フェノール樹脂複合材料の作製と、その物性について評価を行った。

2　実験方法

2.1　NBR／フェノール樹脂複合材料の作製

NBR（結合アクリロニトリル量 40.5%）100 重量部に対し、フェノール樹脂とその他の配合剤を表 1 の配合で計量し、オープンロールで混練、コンパウンドを得た。次に、コンパウンドを加硫温度 160℃、加硫時間 20 分、圧力 10MPa でプレス成形を行い、NBR／フェノール樹脂複合材料（以下、複合材料）を得た。

表 1　複合材料の配合

試料名	N0	N10	N20	N30	N40
NBR	100	100	100	100	100
フェノール樹脂	0	10	20	30	40
ステアリン酸	1	1	1	1	1
架橋剤	4	4	4	4	4

（重量部）

2.2　物性評価

複合材料の引張強さと伸びは材料試験機を用いて評価した。測定方法は、JIS K 6251（加硫ゴム及び熱可塑性ゴム－引張特性の求め方）に準拠した。硬さはタイプ A デュロメータを用いて評価した。測定方法は JIS K 6253（加硫ゴム及び熱可塑性ゴム―硬さの求め方）に準拠した。

複合材料中のフェノール樹脂の分散状態は、透過型電子顕微鏡(TEM)で観察した。また、複合材料の可視光の透過率は、紫外可視分光光度計を用いて、厚さ 0.5mm の試料を評価した。

3　結果と考察

3.1　複合材料の機械的特性

フェノール樹脂の添加量に対する複合材料の引張強さと伸びの関係を図 1 に、硬さを表 2 に示す。

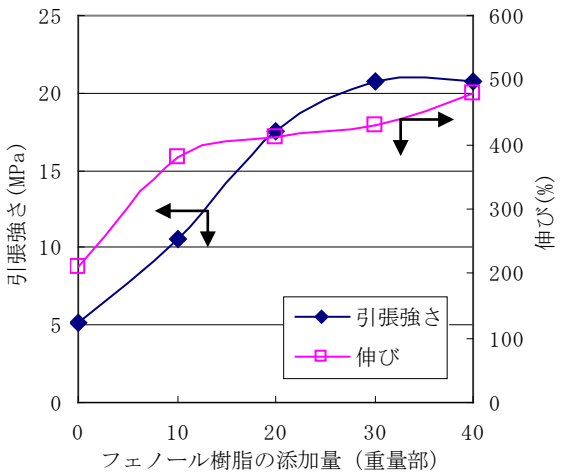


図 1　フェノール樹脂の添加量に対する複合材料の引張強さと伸び

表 2　複合材料の硬さ

試料名	N0	N10	N20	N30	N40
硬さ	A58	A56	A61	A62	A65

NBR のみの N0 の引張強さは 5.2MPa、伸びは 210%であった。フェノール樹脂を増量すると、複合材料の引張強さ、伸びともに上昇する。フェノール樹脂を 30 重量部配合した試料 N30 では、引張強さは 20.7MPa、伸びは 430%に向上した。通常の工業用ゴム製品では、黒

色のゴムにはカーボンブラック、カラーのゴムにはシリカ等の補強性フィラーが配合されている。本研究では、これらの補強性フィラーを用いず、フェノール樹脂の樹脂架橋により NBR を補強している。加熱プレス工程の熱と圧力によって、架橋剤が反応し、ゴム分子間に三次元架橋構造を形成する。同時に、硬化剤が反応しフェノール樹脂の分子間にも三次元架橋構造が形成する。引張強さと伸びが向上する要因は、これら２つの三次元架橋構造が同時に形成することによると考えられる。さらに、配合剤に黒色のカーボンブラックを使用していないため、シリカ配合のゴムと同様、任意の色に着色することができる。

表２に示すとおり、フェノール樹脂を増量すると複合材料の硬さは上昇する。フェノール樹脂を 30 重量部配合した試料 N30 の硬さは A62 であった。標準的なゴムの硬さは A60 であることから、試料 N30 はゴムの柔らかさを発現した。

当初、結合アクリロニトリル量(以下、結合 AN 量)50.0%のニトリルゴムについて、試料 N30 と同様の配合で評価した結果、その硬度は A95 以上であり、非常に硬い材料であった。本研究では、結合 AN 量を 50.0%から 40.5%へ 10%減らした NBR を用いることにより、複合材料の硬さは 30 ポイント以上低下した。これは、複合材料中におけるフェノール樹脂の分散径の違いによるものと考えられる。結合 AN 量が 50.0%の場合、複合材料中のフェノール樹脂の分散径は数 nm であったが、結合 AN 含量が 40.5%の場合、後述するようにその分散径は 10～20nm であった。

３.２　複合材料中のフェノール樹脂の分散状態

図 2 に試料 N30 の TEM 像を示す。TEM 像のコントラストを強くするため、試料は予めオスミウム染色処理を行った。四酸化オスミウムは強力な酸化剤で NBR の炭素－炭素二重結合に付加する性質があるため、TEM 像中の濃い部分は NBR、それ以外の淡い部分はフェノール樹脂であると考えられる。図 2 には、フェノール樹脂に起因する淡い部分があり、その大きさは 10～20nm である。TEM 観察の結果、複合材料中でフェノール樹脂が数十 nm オーダーの分散径で均一に分散していることが明らかになった。

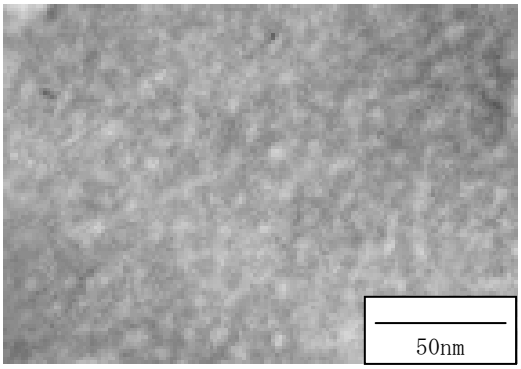


図２　試料 N30 の TEM 像

３.３　複合材料の透過率

図３ に試料 N30 の厚さ 0.5ｍｍにおける透過スペクトルを示す。TEM 観察の結果、試料 N30 ではフェノール樹脂が可視光より充分に小さい 10～20nm の分散径で複合材料中に分散した。その結果、600～800nm の領域において可視光が透過した。通常の補強性フィラーであるカーボンブラックは、一次粒子径は数 nm～数十 nm であるが、凝集するため可視光は透過しない。そのため、透明性は複合材料の特徴である。

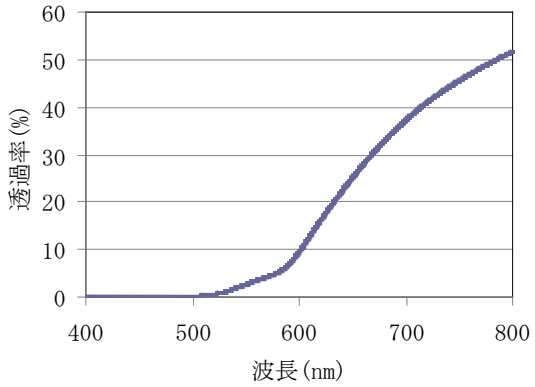


図３　試料 N30 の透過スペクトル

4　結　　論

NBR／フェノール樹脂複合材料を作製した。フェノール樹脂を 10～40 重量部配合した結果、その機械的特性は引張強さ 10～20MPa、伸び 250～500%、硬さ A56～A65 であり、ゴム弾性を示した。

複合材料中のフェノール樹脂の分散径は 10～20nm であった。フェノール樹脂が NBR 中にナノオーダーで分散した結果、得られた複合材料は可視光が透過する特徴を有した。

5　参 考 文 献

１）鷲家洋彦，平瀬龍二，長谷朝博，出羽保孝，小林幹至，清水修，第 16 回ポリマー材料フォーラム講演予稿集，105（2007）
２）特開 2007-291254

6　謝　　辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構「平成 20 年度シーズ発掘試験」の一環として、スターライト工業株式会社と共同で実施したものである。

（文責　鷲家洋彦）
（校閲　柏井茂雄）

〔技術改善研究〕

15　溶解性に優れる含チオフェン有機半導体の開発

平瀬龍二，吉田和利，石原マリ，吉岡秀樹

1　目　　的

有機半導体とは、半導体の特性を示す有機材料のことである。シリコンのような無機材料と同様に、正孔をキャリアとして伝導するp型半導体と、電子をキャリアとして伝導するn型半導体がある。性能（キャリア移動度）についてはシリコンなどの無機材料に比べて劣るものの、軽量、大面積、フレキシブル、印刷が可能などの特徴から、有機半導体を使った有機トランジスタの開発が近年活発化している。例えば、電子ペーパーやフレキシブル・ディスプレイなどのユニークな用途が拓けると期待されている。

低分子型の有機p型半導体でもっとも代表的で良く用いられるものがペンタセン（図１）である。ペンタセンは良い性能（キャリア移動度）を有する反面、溶解性が非常に悪い、安定性に劣る（酸化劣化等）などの欠点も有している。最近、京都工芸繊維大学の堀田教授らは分子サイズと形状を精密に制御した新規な有機半導体材料である(チオフェン／フェニレン)コオリゴマー(TPCO、図２)を開発した[1-3]。TPCOの中には単結晶状態でシリコン並みのキャリア移動度を示すものもあり、さらに特異な光電子物性、優れた安定性等を有することから実用化に期待の持てる材料である。しかし、TPCOもペンタセンと同様に有機溶媒に対する溶解性が劣っており、工業的プロセスでの使用（インクジェットによる印刷等）を考えると溶解性の改善が必要である。

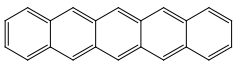


図１　ペンタセン

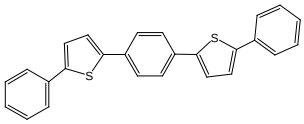


図２　TPCOの一例（AC5）

本研究では、溶解性（加工性）および性能（キャリア移動度等）に優れる有機半導体材料（TPCO）の開発を目的とし、目的材料の合成および電界効果トランジスタ（FET）の作製、特性評価を行った。

2　実験方法

２．１　目的材料の合成

図２に示すAC5の低い溶解性(0.004wt%（THF, r.t.))を改善する目的で、両端へのオクチル基（Oc=C_8H_{17}）の導入を検討した。Kumadaカップリングを用いた合成ルートを図３に示す。

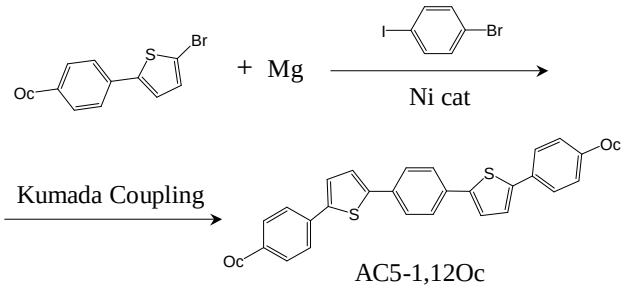


図３　目的材料の合成ルート

合成した材料(AC5-1,12Oc）は再結晶および減圧下での昇華により精製を行った。材料の性状は薄い黄色粉末状であった。

２．２　性能評価用FETの作製方法

櫛型電極付きSi/SiO_2基板（NTTアドバンステクノロジー㈱製）を用い、アセトン、イソプロパノールによる有機溶剤洗浄後、ピラニア溶液中での加熱により洗浄した。この基板上に合成したAC5-1,12Ocの薄膜を形成しボトムコンタクト型のFET(図４)を作製した。

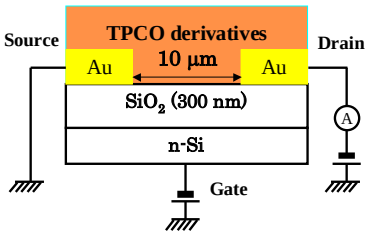


図４　ﾎﾞﾄﾑｺﾝﾀｸﾄ型 FET

基板上にAC5-1,12Ocの薄膜を形成する方法として２種類の方法を検討した。①液相結晶成長法：図５に示す装置を用い、材料の飽和溶液中で基板上に結晶を成長させた。②ドロップキャスト法：材料を各種溶媒に0.1wt%の濃度で溶解し、予め設定温度に加熱したプレート上に基板を設置し、溶液を滴下した（図６）。

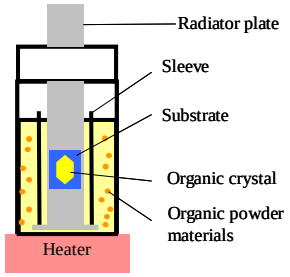


図５　液相結晶成長法

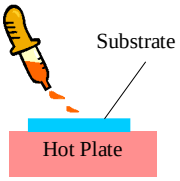


図６　ﾄﾞﾛｯﾌﾟｷｬｽﾄ法

２．３　FETの電気特性評価

有機半導体の性能を決定する第一の要因はキャリア移動度の大小である。このためFETの電気特性評価からこの移動度を算出することが重要になる。移動度の単位はcm^2/Vsであり、単位電場（V/cm）あたりのキャリアのドリフト速度（cm/s）ということになる。測定にはADVANTEST社製の直流電圧・電流源／モニタ(R6245)を用い、真空チャンバーを用いて、高真空下で行った。

3　結果と考察

３．１　液相結晶成長法によるFET作製および評価

液相結晶成長法により基板上にAC5-1,12Ocの結晶を成長させてボトムコンタクト型FETを作製し、評価を行った。結晶成長の条件およびキャリア移動度を表１に示す。

表１　液相結晶成長法によるFET作製条件および性能

Run	溶媒	温度(℃)	キャリア移動度(cm^2/Vs)
1	シクロヘキサン	60	1.9E-02
2	モノクロロベンゼン	50	2.9E-03
3	モノクロロベンゼン	50	1.8E-02
4	モノクロロベンゼン	50	3.1E-03
5	デカヒドロナフタレン	95	1.4E-02
6	デカヒドロナフタレン	90	3.7E-03
7	デカヒドロナフタレン	90	4.3E-02

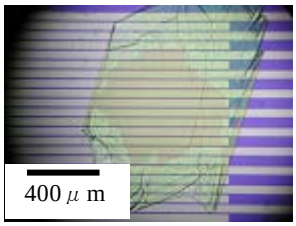


図７ Run3で得られた結晶

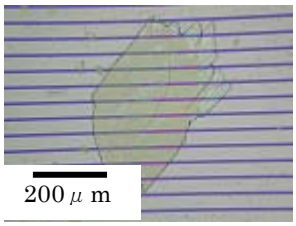


図８ Run7で得られた結晶

溶媒は表１に示す３種類を検討した。シクロヘキサンでは非常に小さな結晶しか得られなかったのに対し（図は割愛）、モノクロロベンゼンおよびデカヒドロナフタレンでは図７および８に示すように比較的大きな結晶を得ることができた。キャリア移動度はいずれの溶媒から作製したFETにおいても当面の目標値であるキャリア移動度1E-02 cm^2/Vs（例えば、電子ペーパーを駆動するとした場合の最低限の性能）以上を達成することができた。溶媒としてデカヒドロナフタレンを用いた場合に良い結果が得られる傾向であった。キャリア移動度の良否は基板に対する結晶の密着性と関連していると推測しているが、この方法では成長する結晶の密着性をコントロールすることが困難なためか、キャリア移動度にはばらつきが見られた。

３．２　ドロップキャスト法によるFET作製および評価

液相結晶成長法と比較して、簡便にFETを作製でき再現性も高いと思われるドロップキャスト法によりFETを作製し、評価を行った結果を表２に示す。

表２　ﾄﾞﾛｯﾌﾟｷｬｽﾄ法によるFET作製条件および性能

Run	溶媒	温度(℃)	キャリア移動度(cm^2/Vs)
8	モノクロロベンゼン	100	1.5E-03
9	モノクロロベンゼン	125	2.9E-03
10	モノクロロベンゼン	125	1.8E-03
11	モノクロロベンゼン	150	5.3E-03
12	トリクロロベンゼン	125	1.4E-03
13	デカヒドロナフタレン	125	2.4E-04
14	デカヒドロナフタレン	150	4.1E-04

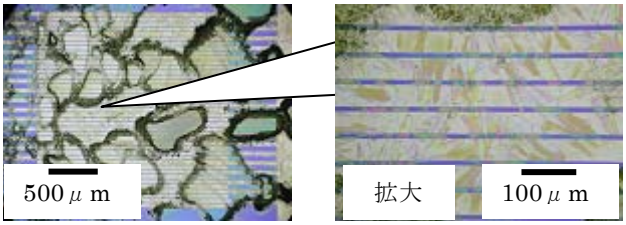


図９　AC5-1,12Ocをキャストした基板の様子(Run9)

図９に材料をキャストした基板の様子を示す。材料がシミのように広がり、不均一でデバイス化されていないように見えるが、拡大して観察すると多くの小さな結晶が基板に密着していることがわかった。キャリア移動度は液相結晶成長法と比較すると安定していたが、約１桁低下した。検討した溶媒の中ではモノクロロベンゼンが良い結果を示した。キャストする基板の温度は高いほど良いキャリア移動度を示す傾向であった。

4　結　　論

本研究では溶解性に劣るTPCO(AC5)にアルキル基を導入することにより溶解性が改善した材料(AC5-1,12Oc)を得ることができた(0.02wt% (THF, r.t.))。この材料の単結晶を用いて作製したFETのキャリア移動度は当面の目標値である1E-02 cm^2/Vs以上を達成した。より実用性のあるドロップキャスト法により作製したFETは目標値に少し及ばなかったので、キャスト条件のさらなる検討を行う必要がある。

謝　　辞

本研究を行うに当りご協力頂きました京都工芸繊維大学の堀田収教授、山雄健史先生ならびに研究室の皆様さらには、住友精化㈱の関係者の方々に感謝致します。

参考文献

１） T.Katagiri, S.Ota, T.Ohira, T.Yamao, S.Hotta, J.Heterocyclic Chem., 44, 853, (2007).

２） T.Yamao, Y.Taniguchi, K.Yamamoto, T.Miki, S.Ota, S.Hotta, M.Goto, R.Azumi, Jpn.J.Appl.Phys., 46, 7478, (2007).

３） T.Yamao, K.Juri, A.Kamoi, S.Hotta, Org. Electronics, 10, 1241, (2009).

（文責　平瀬龍二）
（校閲　吉岡秀樹）

〔技術改善研究〕

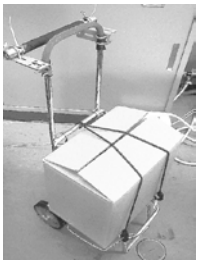
16　触感評価法を用いたグリップ用ゴム材料の開発に関する研究

佐伯光哉，長谷朝博，鷲家洋彦，礒野禎三

1　目　　的

機械、道具に使用されるグリップについて、使い易さに優れたグリップ材料の開発を効率的に行うため、「握り心地」を力学的特性値から数値的に推定する方法について研究を進めている。そのため、織物の風合い評価方法として使われているＫＥＳ法[1)]を図 1 に示すハンドカートのグリップの「握り心地」評価に適応するため、これまで研究した結果を報告[2)]した。

これまでに実施した実験では、「握り心地」を評価するため、被験者 19 名(大学生)に 25m の距離をけん引して主観評価を実施した。評価項目は、①なじむ、②べたつく、③握り心地、④重さ、⑤操作の５項目について動作後に評価したものを動作後の評価とした。①～③の３項目についてはカートを動作させる前の静止状態でも評価を行い、これを静止時の評価とした。



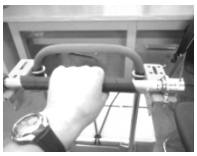


図１ 使用したハンドカート

評価に用いたグリップは、22 種類のゴム材料を選択して作製した。

この実験から、グリップの握り心地評価を KES に用いられている重回帰分析を適用した推定を行うためには次の点が問題となることが判明した。

① べたつくと相関があると考えられる粘着特性の相関係数が小さかったため、べたつくに関して推定の精度が小さい。

② 操作、重さは、いずれの力学的特性値とも相関係数が小さいため、力学的な特性値との関連性が小さく評価項目として適切でない可能性がある。

今回の研究では、次の方法を提案することで、問題点の改善を試み、その効果について検討した。

① グリップを手で握ったり、離したりする時の動作速度及び発汗を考慮した粘着特性の測定を行う。

② 材料の振動特性を物性評価に加える。

2　実験方法

2.1　粘着特性の測定方法

粘着特性の測定は、図２(左)の模式図に示す測定方法で測定を実施した。一定の押付荷重で試料への荷重を行った後、一定の剥離速度で剥離する操作を行った。この時の荷重－変位曲線（図２(右)）から粘着力、面積、距離の粘着特性の特性値を求めた。

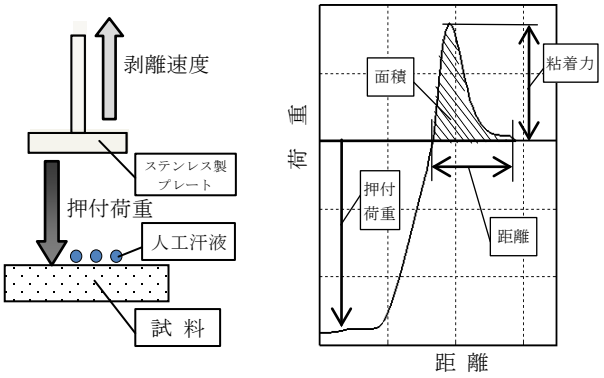


図２　粘着特性の測定原理と特性値の定義

なお、押付け圧力は、グリップを把握する時の圧力の測定結果より49kPaとした。発汗状態を再現した湿状態の測定では、JIS L 0848に規定される酸性人口汗液を使用した。

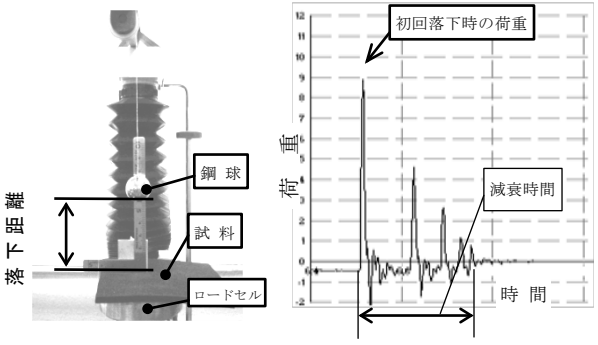


図3 ﾊﾞｳﾝﾄﾞ現象を利用した振動特性の測定装置と特性値の定義

2.2　振動特性の測定方法

振動特性として、図３(左)の装置を用いて、鋼球を試料面に落下させた時に発生するバウンド現象による加重変化を、落下面の下に設置したロードセルを用いて測定した。図３(右)の荷重－時間のチャートより計測される初回落下時の荷重と減衰時間を特性値とした。

3　結果と考察

3.1　粘着特性の測定結果

図４に、発汗を再現した湿状態での粘着力の剥離速度の影響を示した。剥離速度の増加に伴ってここに示した３種類のゴム材料の粘着力は増加することがわかった。

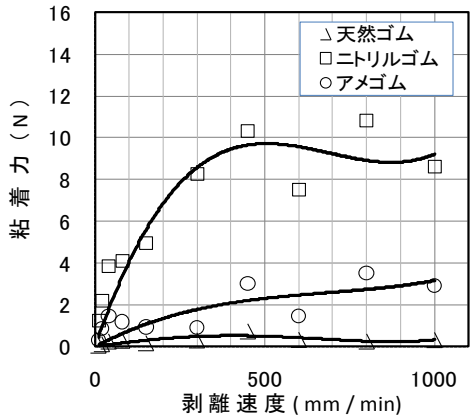


図４　剥離速度が粘着力に及ぼす影響

前回の実験条件である剥離速度10㎜/minでは、粘着力による材料間の差が小さいが、グリップの把握時の手の動きに近い800㎜/minでは、その差が明らかとなっていることがわかった。

図５は、粘着特性の測定結果について主観評価値との相関係数を、剥離速度の異なる10㎜/minと800㎜/minを比較して示した。剥離速度の大きい条件で測定した方が「べたつく」との相関係数が大きいことがわかった。

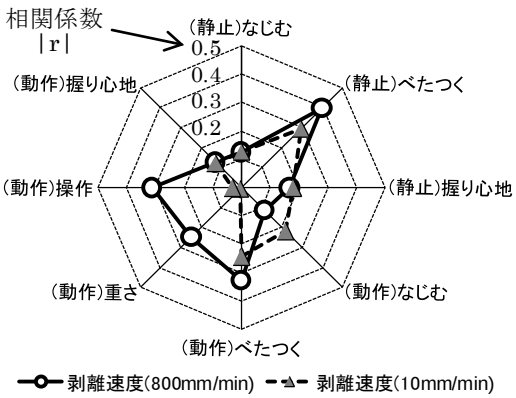


図５　粘着特性と評価項目との相関係数

３.２　振動特性の測定結果

図６は、バウンド現象を利用した振動特性の測定結果についてゴム材料による影響を示している。図６からゴムの違いにより初回落下時の荷重の大きい材料ほど、減衰時間も大きくなる傾向にある。これは、鋼球が試料に落下した際に、鋼球の持つ位置エネルギーからバネエネルギーに変換する時のエネルギーの損失が小さい材料ほど初回落下の荷重が大きくなるためである。一方、ほぼ同じ落下時の荷重であっても、硬度の異なるアメゴムの場合には、反撥特性の差は小さくても鋼球が試料と複数回の衝突を繰り返すことにより減衰時間に明らかな差が現れたものと考えられる。

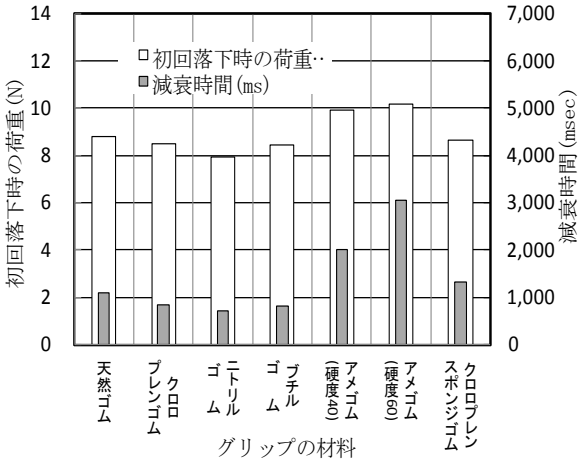


図６　振動特性の評価結果

バウンド現象から測定された振動に関する特性値と主観値との間の相関関係について調べてみた結果、動作時のべたつくにおいて、初回落下の荷重との間の相関係数は r = -0.57 となり、ある程度の相関関係があることがわかった。

表１　主観評価と特性値の相関性の改善

主観評価	相関性が最も良い特性値とその相関係数				
	前　回		今回検討した特性値の中		
(動作) べたつく	表　面 平均摩擦係数	-0.47	振　動 初回の荷重	-0.57	⇧
(動作) 重　さ	曲　げ ヒステリシス	0.33	粘　着 距　離	-0.40	⇧
(動作) 操　作	せん断 ヒステリシス	-0.43	粘　着 粘着力	-0.34	⇧

３.３　相関性の改善結果

表１に、相関性の改善が必要と考えられた主観評価の項目について、今回の検討により相関性が向上した結果を示した。表１より、(動作後）べたつく、重さとの相関性は向上することがわかった。ただし、操作感については、これまでの結果を上回る結果は得られなかった。

４　結　　論

前回の報告で課題とされていた相関性が小さい主観評価について、今回検討した力学的特性値の導入により、相関性が向上することがわかった。相関係数としてはまだ小さいが、主観値の推定について精度の向上につながるものと期待できる。

参 考 文 献

1) S.Kawabata, “ The Standardization and Analysis of Hand Evaluation,2nd ed. ”, HESC, Text. Mach. Soc. Japan, (1980)

2) M.Saeki, M.Inoue, Proc.36th Text. Res. Symp. Mt. Fuji, p131-136 (2007)

（文責　佐伯光哉）（校閲　柏井茂雄）

〔科学研究費補助金・基盤センター（日本学術振興会）〕

17　紫外レーザー照射と大気圧プラズマ処理を併用したギガヘルツ帯プリント回路基板の開発
－高周波回路基板用ふっ素樹脂の表面改質－

柴原正文

1　目　　的

数十 GHz 帯の高周波領域を利用する送受信機に組み込まれるプリント回路基板は、優れた高周波低損失特性が必要であり、基板材料には誘電特性に優れるふっ素樹脂の PTFE が適している。回路形成には基板表面に数μm 厚以下の銅薄膜を形成することが必要である。銅薄膜の形成にはスパッタ蒸着の適用が考えられるが、低コスト化を図るために無電解銅めっき処理の適用が望ましい。基板と銅薄膜との密着性を向上させるためには、環境負荷の高い溶融金属による化学エッチングでふっ素樹脂表面に凹凸を形成し、その表面に無電解銅めっき薄膜を積層して投錨効果を得る方法が一般的である。しかし、高周波電流は表皮効果により銅薄膜表面に集中するため、銅薄膜表面の平滑性はもちろんのこと、その下層表面である銅薄膜／基板界面の平滑性も保つことが求められる。このため、銅薄膜／基板界面の平滑性を保ったまま十分な密着性を得る新しいプロセスが求められ、紫外線レーザー照射による光化学反応 [1),2)]や、グラフト重合 [3),4)]による有機高分子薄膜の形成を利用した方法が提案されている。本研究では、自己集積化分子膜(以下、SAM)の末端官能基の化学吸着によって金属錯体を生成する方法 [5)]に着目し、大気圧プラズマ表面処理により親水化した PTFE 表面に SAM を形成させて、PTFE 表面に銅薄膜を形成する方法について検討した。

2　実験方法

2．1　ふっ素樹脂の親水化

ふっ素樹脂の PTFE フィルム（厚み 0.2mm）から 50×80mm の寸法に切り出した試料を、水洗・アセトン超音波洗浄した後に大気圧プラズマ処理した。大気圧プラズマ処理には、大気開放型のプラズマ発生装置 [6)]を使用した。プラズマ発生装置には、図 1 に示すように誘電バリア放電方式の大気開放型電極を取り付けた。有機溶剤等をバブリングした He ガスを電極近傍に供給し、RF 電力(13.56MHz)を電極・試料台に印加して、図 2 に示すような長尺状の大気圧プラズマを発生させた。大気圧プラズマ処理は、試料を大気圧プラズマの発生領域に対して直交方向に往復走査させて施した。処理後の試料はアセトンで超音波洗浄した。

2．2　SAM の形成

試料表面にアミノシラン SAM を形成するために、アミノシランカップリング剤を適量滴下したガラス瓶と試料をともにふっ素樹脂製容器に挿入して、容器の蓋を閉めた上で加熱炉(炉内温度は 100～200℃)に入れて数時間保持した。処理後の試料は、酸・アルカリによる浸漬洗浄して、蒸留水で超音波洗浄した。

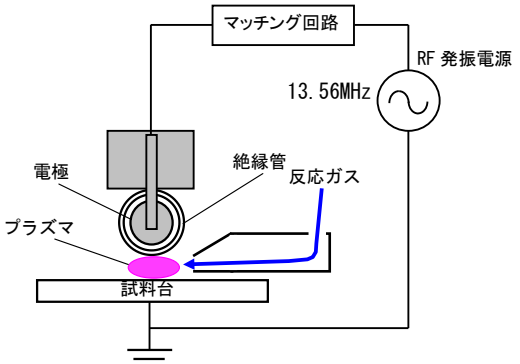


図 1　大気圧プラズマ処理装置の概念図

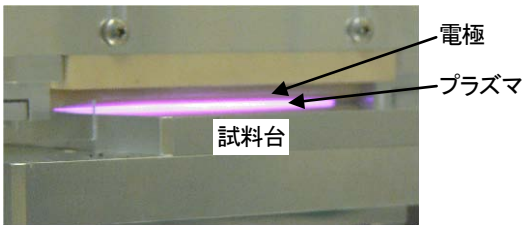


図 2　長尺状大気圧プラズマの発生状況

2．3　無電解銅めっき処理

試料を無電解めっき前処理溶液（センシタイザー：$SnCl_2$ 溶液、アクチベーター：$PdCl_2$ 溶液）に浸漬処理した後に、市販の無電解銅めっき溶液（奥野製薬工業製 OPC-750C）を用いて浸漬処理した。

各処理工程ごとの試料表面の性状は、蒸留水の接触角を測定する濡れ性試験、XPS 分析等により評価した。

3　結果と考察

3．1　大気圧プラズマ処理後の試料表面

大気圧プラズマ処理後の試料表面を XPS 分析した結果を図 3 に示す。主ピークの $F1_s$、$C1_s$ の他に、$O1_s$ ピークも認められ、試料表面に OH 基等の官能基が生成したことが分かった。表面の濡れ性を示す蒸留水の接触角は 98° と未処理時の 120° に比べて減少した。

３．２ SAM 処理後の試料表面

アミノシラン SAM 処理後の試料表面を XPS 分析した結果を図 4 に示す。図から、$F1_s$ ピーク強度が減少する一方で、$C1_s$ 、$O1_s$、$N1_s$ ピーク（図 4（ｂ））が明瞭に出現していることから、親水化処理した試料表面にアミノシラン SAM が試料表面に形成されたことが分かった。蒸留水の接触角は 48° と大きく減少した。

３．３ 無電解銅めっき処理後の試料表面

アミノシラン SAM 処理後の試料表面に無電解銅めっき処理したところ、部分的な銅薄膜の析出が得られた。図 5 には、銅薄膜が析出しなかった部分の XPS 分析結果を示す。図から、$Pd3d_{5/2}$ ピークは明瞭に出現している一方、Pd がイオン状態であることが分かった。すなわち、SAM の末端官能基(アミノ基)に Pd のイオンが化学吸着しているものの、Pd は金属化されていないと考えられた。現状では、充分な銅薄膜が試料表面に析出していないことから、めっき処理工程の改善を行う必要があると考えられる。

4 結　論

アミノシラン SAM を形成させた PTFE 試料表面に、Pd イオンの化学吸着により銅薄膜が析出できた。銅薄膜を均一に積層させるには、無電解めっき前処理、無電解銅めっき処理工程の改善がさらに必要である。

参 考 文 献

1) M. Murahara : Mater. Res. Soc. Symp. Proc. , 843, (2005)239.
2) H. Niino : Appl. Phys. Lett. , 63, 25, (1993) 3527.
3) N. Zettsu : Surface & Coatings Technology, 202, (2008)5284.
4)大久保雅章 : 静電気学会講演論文集, (2008)195.
5) L. Xu : Thin Solid Films, 434, (2003)121
6)柴原正文 : 兵庫県立工業技術センター研究報告書,17, 28, (2008)

（文責　柴原正文）（校閲　柏井茂雄）

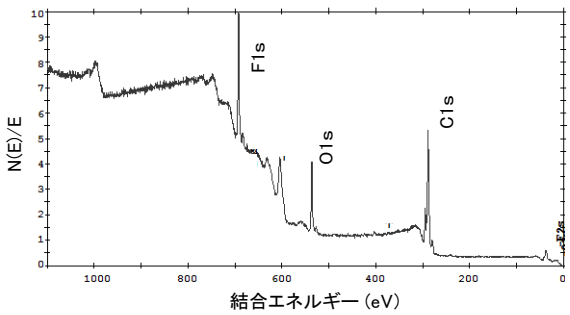


図 3 大気圧プラズマ処理後の試料表面の XPS 分析結果

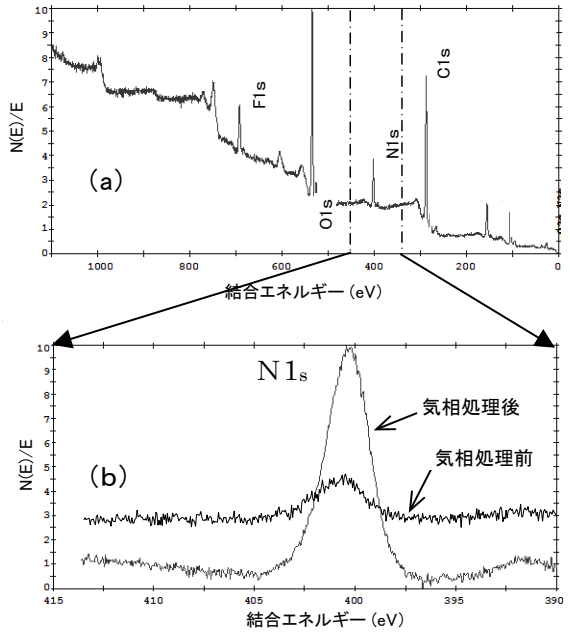


図 4 アミノシラン SAM 処理後の試料表面の XPS 分析結果
（N1s ピーク）

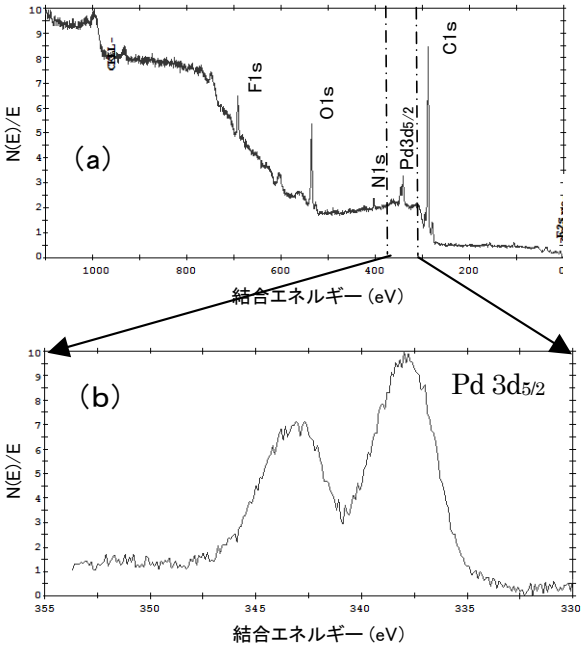


図 5 無電解銅めっき処理後の試料表面の XPS 分析結果
（Pd $3d_{5/2}$ ピーク）

〔(独)科学技術振興機構　地域ニーズ即応型〕

18　微細切削加工技術構築支援システム

安東隆志

1　目　　的

携帯型情報家電製品に必要な微細金型製作には微細な切削加工が必要であり、微細切削加工に使用する微小な切削工具の折損による切削不良が問題となりつつある。しかし、微細領域での切削工具に作用する力・トルクの計測技術や切削加工条件が整備されていないのが現状である。そこで、切削中の微小な力・トルク計測技術と切削加工条件を整備するためのシステムを構築するために、平成 21～22 年度(独)科学技術振興機構地域ニーズ即応型において、当センターと(有)大阪製作所と共同で取り組んだ研究開発について報告する。

2　事業概要

2．1研究開発概要

当該研究開発では図１に示す磁気浮上ステージを製作し、これを活用して既存のトルク計測機器では計測不可能な微小トルクの計測制御技術と微小トルク自動制御技術の研究に取り組んだ。以下では、当該研究開発で取り組んだ内容について報告する。

2．2　磁気浮上ステージの製作

磁気浮上ステージは電磁力によってステージを浮上させることにより、完全非接触でステージの位置・姿勢を制御する装置である。電磁石に流れる電流をフィードバック制御することにより、ステージがバネで弾性支持されているかのように挙動する。したがって、バネ定数が数値として得られるならば位置・姿勢と同時にステージに作用する力を計測することができる。しかし、電磁力はバネのような線形特性を示さないため、当該研究ではモデル規範適応制御による線形化を適用した。また、電圧フィードバック方式の電力増幅器では電磁石のコイルのインダクタンスによって電磁石駆動電流に遅延が生じ、ステージに振動が生じるが電流フィードバック増幅器を採用することにより振動発生の問題を解決した。

2．3モデル規範適応制御による非線形系の線形化

一般的に磁気浮上系は電磁石の非線形性、電磁石特性のばらつきによる外乱力が生じるので精密な位置決めや力の計測が困難である。そこで、モデル規範適応制御を利用して非線形な磁気浮上システムを規範となる線形モデルに一致させる手法について研究した。

まず、x 方向と y 方向の±１[μm]のステップ入力に対して適応制御を実施する前後を比較した結果、適応制御実施前のステップ応答は、x 方向には-９[μm]、y 方向には-3.5[μm]のずれがあった。しかし、適応制御実施後では x 方向と y 方向のステップ変位は±１[μm]となり、目標軌道とステージの運動軌道が一致し、適応制御による線形化の効果を確認できた。その結果、ステージに作用する外乱力を排除でき、精密な位置制御と力計測が可能となった。

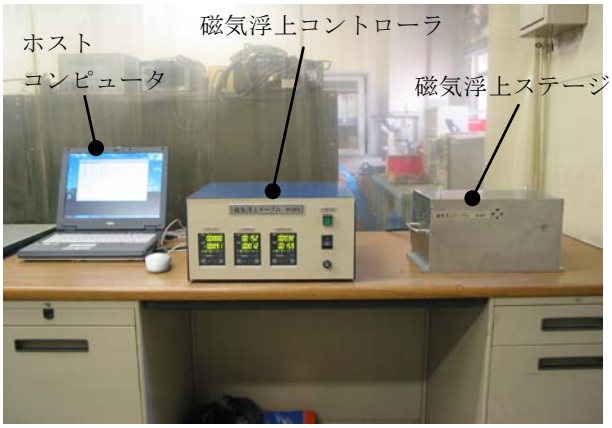


図１　磁気浮上システム概観

2．4　位置制御分解能

当該研究開発では 0.2[μm]の位置制御分解能を目標としており、特に微小切削工具の回転軸まわりのマイクロレベルのトルク計測に必要な x 方向と y 方向の位置制御には厳しい分解能が要求される。そこで、x 方向と y 方向の位置のばらつきを計測して位置制御分解能を検証した。その結果、x 方向と y 方向の両者において振動振幅は、ほぼ±0.2[μm]になることを確認した。

2．5　逐次最小二乗法による力学パラメータ推定

微小切削工具に発生する力・トルクを計測するためには磁気浮上ステージに作用する弾性力を正確に計算しなければならない。そのためには、磁力が発生する粘弾性定数を正確に推定する必要がある。当該研究開発では、まず、逐次最小二乗法により作成された離散時間状態方程式モデルによるオブザーバを構成し、オブザーバによりステージの速度を推定した。オブザーバで推定した速度はステージの位置を数値微分して得られる速度よりもノイズが低減されているので、この速度を数値微分することによりステージの加速度が得られる。運動法則により、加速度、速度、位置は線形関係にあるので、これらに逐次最小二乗法を適用することにより、速度と位置に

かかる係数行列として粘弾性定数を推定した。その結果、加速度により求まる慣性力と、速度と位置により求まる粘弾性力は一致し、磁気浮上ステージに発生する粘弾性力を検証した。

２．６　力・トルクの計測分解能の検証

当該研究では直径 10～100[μm]の切削工具に作用する力・トルクの計測を目標としているので、力・トルクの計測分解能の検証を行った。まず、切削工具の回転軸となるｚ軸まわりのトルクとｚ軸方向力の計測分解能を確認した。無負荷の状態でのトルクと力の計測値のばらつきが計測分解能を決めるので、無負荷の状態でｚ軸まわりのトルクとｚ方向の力のばらつきを調べた。その結果、ｚ軸まわりのモーメントは 1.5[μNm]以下、ｚ軸方向の力は±10[mN] 以下となった。

２．７　微小な力・トルクの自動制御

磁気浮上システムを用いた微細穴加工実験装置を製作し、ドリルに発生する力を計測するだけでなく、ドリルと被削材の相対的な位置を変化させることによりドリルに発生する微小な力を制御できることを検証した。原理的には、ドリルを被削材に近づければ力は増加し、逆に被削材から遠ざければ力は減少する。さらに、ドリルと被削材の相対位置と速度を適切に保てば両者に発生する定常的な力を一定に保つことができる。そこで、ドリルと被削材の相対位置の増分を制御することによりドリルに発生する力を制御する手法について検討した。微小トルクを制御するためには、ドリルに発生する力を制御しなければならない。ドリルに発生する力は、ドリルと被削材との相対位置を適正に変化させることにより制御することができる。当該研究開発では、図２に示すように、アルミニウムの板材に直径 50[μm]のドリル加工で発生する力を-100[mN](-10 グラム)に制御することに成功した。

２．８　インターフェイスプログラムの構築

微細切削加工技術構築支援システムは現場作業者が使用することを目標としているので、一般のアプリケーションプログラムと同様な使いやすいシステムでなければならない。特に視覚的な表示は重要である。そこで、通常のパーソナルコンピュータで使用できるインターフェイスプログラムを構築した。操作用インターフェイスプログラムには、磁気浮上ステージの設定位置(目標位置)、浮上位置、力とトルクが数値で表示される。また、力とトルクをグラフ表示することにより、加工中の力とトルクの変化や挙動を視覚的・直感的に知ることができる。計測した力とトルクをデジタルデータとしてハードディスクなどの記憶媒体に保存することができるので、加工条件と計測された力・トルクを組み合わせて保存することにより、データベースへの登録に利便性を有し、データの活用に効果を発揮する。

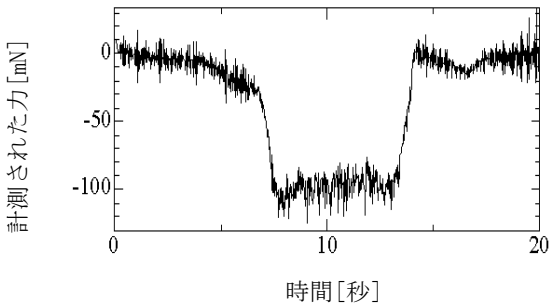


図２　ドリル回転軸方向力の力制御

２．９　微小ドリルによる微細穴加工

当該研究開発では、直径 10～100[μm]の微小ドリルを使用して、アルミ、鋼、ステンレスなどの被削材に対して微細穴加工実験を行い、ドリルに発生する力・トルクを計測した。また、科学技術振興機構から提供されたデジタルハイスピードカメラで加工部分を撮影し、視覚的側面からも微細切削加工の現象解明にも取り組んだ。

延性材料である金属だけでなく、耐食性を有する石英ガラスの微細穴加工を行った。ガラスは脆性材料であり、一般的には切削加工に適さない。しかし、ドリルに発生する力・トルクを制御することにより切削が可能であるが確認された。

２．１０　微細切削加工技術構築支援システムの検証

微細切削加工技術構築支援システムを現場で使用するために、工作機械に設置して現場作業者が使用する場合に発生する問題を抽出し、改良・改善を行った。特に、作業者の利用のし易さを向上させることが重要であるので、使用者の意見を蓄積し、システムの仕様やデータの表示・保存について改良・改善を行い、どこまで微細な穴加工が実現できるか検討した。

磁気浮上システムを有限会社大阪製作所の工作機械に設置し、動作検証を行った。当初、工作機械の回転主軸を回転させることによって生じる振動が工作機械テーブルに伝達して磁気浮上ステージに影響を与えるのではないかと懸念したが、工作機械上の振動は極めて小さく、問題ないことを確認した。

３　結　　論

当該事業で製作した微細切削加工技術構築支援システムでは、位置制御分解、力計測分解能、トルク計測分解能に対して十分な性能が得られることを確認した。また、微細切削加工技術構築支援システムを活用して、微細穴加工技術にも取り組み、当該システムの有効性を確認した。

（文責　安東隆志）
（校閲　福地雄介）

〔戦略的基盤技術高度化支援事業〕

19　医療用微細針の超精密微細成形加工に係る技術

三浦久典，長谷朝博，阿部　剛，平山明宏，富田友樹

1　目　　的

近年、遺伝子、抗体、タンパク質等を用いた先端治療の分野では、必要薬剤量がごく微量であり、また各種血液検査も少量の血液で測定できるようになってきているため、これらの治療・検査に際しては、ピンポイントに微量の血液を採取し或いは薬剤を投与できるマイクロサイズの医療用デバイスに対するニーズが高まっている。川下企業からは上記市場ニーズとして、針先端部近傍に立体開放型ナノチャンバー（ミシン針様の竪穴）を持って穿刺して薬剤等を生体内に放出可能とする、かつ穿刺に対する十分な物理的強度を保持し、生体組織に穿刺できる深さを確保できる長丈微細針が求められている。
そこで、本研究開発では、低侵襲性かつ立体開放型チャンバーを持つ医療用微細針（具体的には、長軸１ミリ以上で立体開放型チャンバーを有する低侵襲性マイクロニードル、ナノピペット等）を開発するため、ライトニックス社で経験済みの高ヤング率を有する植物由来樹脂（ポリ乳酸等）を成形原材料として用い、当該医療用機器の製作に対応する新しい射出成形システムおよびマイクロ射出成形法の確立を目指す。

2　事業概要

当該研究は、図１に示す立体開放型チャンバーの設計、キャビティの製作、成形条件の確立、およびその物理的、強度的特性を評価するものであり、財団法人大阪科学技術センターを管理法人として、(株)ライトニックス、国立大学法人長岡技術科学大学、兵庫県立工業技術センターを構成機関とする研究体制で実施した。この研究体制で実施した研究課題と担当機関は下記のとおりである。

（１）成形システムの設計開発
　　(株)ライトニックス
（２）最適射出パラメータの機能向上
　　(株)ライトニックス
（３）高精度・微細金型（キャビティ）の設計製作
　　(株)ライトニックス
（４）成形品の物理的機能と立体構造の転写性検証
　　(株)ライトニックス、兵庫県立工業技術センター、
　　長岡技術科学大学

上記の研究課題の概要と得られた成果について記述する。

3　結果と考察

3.1　成形システムの設計開発

3.1.1　立体開放型ナノチャンバー構造体の設計

本研究の実設計では、チャンバー中心点を微細針先端から 500μm に置き、楕円（長径 300μm、 短径 200μm、高さ 140μm、体積 5.8nl）立体形状の設計を行った。

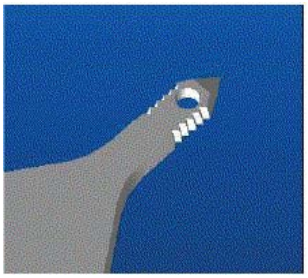


図１　微細針の３D 構想図

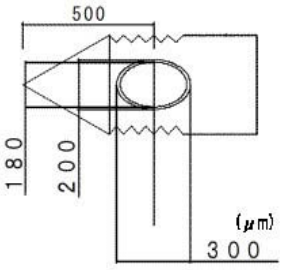


図２微細針の設計値

立体開放型ナノチャンバーを持った射出成形品（図３）を実測した結果、長径 299.18μm、短径 199.45μm、高さ 140μm であった。形状観察および測定結果から体積 5.79nl で、その体積誤差は 2/100 以下で目標精度を満たしていた。また、高深度光学顕微鏡を用い、微細針成形品は、長さ１ｍｍ以上、幅４００μm以下であることも確認できた（図４）。

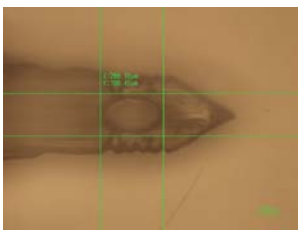


図３　成形品の先端部

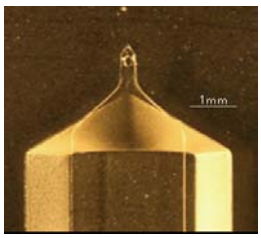


図４ 成形品の形状

3.1.2　成形機の製作

成形機に製作に関しては、上記の特殊な構造体の射出成形を可能にするため、特に樹脂溶融に対する時間的滞留を少なく、かつ樹脂劣化をなくするための温度管理システムの設計と射出ノズル温度のコントロールの詳細設計を行なった。また、型締め圧力は 10ｔクラスをめどに射出圧を適正化した可塑化構造の異なる射出成形機を検討し、縦式小型 7ｔのインラインスクリュー成形機と

超小型３ｔのスパイラル成形機の２種類を製作した。

キャビティの極小化とそれに伴うダイセットの小型化で、小型成形機を完成させインラインスクリュー成形機７ｔ、スパイラル成形機 ３ｔの目標を達した。小型化とともに機構を簡素化し、温度管理システムの設計と射出ノズル温度のコントロール機能を完成させた。製作した成形機における流し込み技術を比較検討した結果、両機とも樹脂滞留による劣化がなく良好な成形加工を行うことができた。

３.２ 最適射出パラメータの機能向上

サブミクロンサイズの特殊な射出システムを確立する目的で、樹脂可塑化構造の異なる２種の成形機を用い、シーケンシャルソフトに連動させ、諸条件（射出温度、金型内昇・降温時間、射出圧力等）の相関関係を検証した。成形条件の基本を基準期待温度として、各成形条件の最適射出パラメータの策定を行った結果、射出温度と射出圧の 2 変数での変異が大きく影響することが多変量分散分析（P<0.001）により判明した。また射出温度の基準期待温度から量産時における有効な温度交差は±3℃であれば可能と考えられる。つぎに、射出温度に対して 2 変量スクリュ圧力、 スパイラル圧力の相関を検討した結果、自由度 9、 t 値 16.773、p 値<.0001 であった。また、目標値である成形サイクルは、1 サイクル 15 秒以内に対し、インラインスクリュー成形機は 10 秒、スパイラル成形機は 15 秒で成形することができた。

３.３ 高精度・微細金型（キャビティ）の設計製作

まったく新しいリソグラフィー技術の構築で、組合せマスクを作成し、高精細な立体開放型単チャンバーのキャビティを構築させることを目的とした。川下企業のニーズの実用化を意図して、この精密微細金型は、チャンバーの貯留体積量が１００ナノリットル／穴以下となるよう設計し、体積 5.8nl で製作を行った。キャビティの形状およびチャンバー形状は、竪穴微細針の設計に伴った長さ１ｍｍ以上、幅４００μｍ以下、楕円（長径 300μｍ、短径 200μｍ）を確立できた。

３.４成形品の物理的機能および立体構造の転写性検証

３.４.１ クリープメータによる座屈強度測定

針先端部近傍に立体開放型ナノチャンバーを持つ微細針の実現は世界初であり、これらの物理的な機能に関する検証は未だ例はない。そこで本研究では、成形した微細針の物理的機能について検証するため、クリープメータによる座屈強度測定を行い、以下の点について調査を行った。

（１）座屈強度評価

スクリュー型成形機を用いて成形したチャンバー有り微細針とチャンバー無し微細針の座屈強度を測定した結果を図５に示す。図中、横軸がステージの移動量(上昇量)、縦軸がステージの移動に伴って微細針が受けた荷重を示している。また、測定中の微細針の座屈過程の現象を CCD カメラで撮影した写真も併せて示している。今回の微細針の穿刺性の機能に重要となる座屈強度は、最初に針が座屈する地点の測定値となる。この値に注目すると、チャンバー有りの座屈強度(1.93N)は、チャンバー無しの微細針の座屈強度(2.23N)と比べて低下しているが、人肌への穿刺が可能となる要求仕様強度(0.02N)を十分に満足していることがわかる。これより、本事業で開発した微細針において、チャンバーの有・無による座屈強度への影響については、要求仕様上ほとんど問題無いと言える。また、最初の座屈点以外のステージ移動量-荷重曲線について観察すると、チャンバー有り微細針の場合、針の長さとなる約 1 ㎜までのステージの移動範囲内、すなわち微細針の根元近傍にステージが当たる間に、再び座屈点が生じていることがわかる。これは、CCD カメラの写真から、最初の座屈点では、針先端部からチャンバー近傍で座屈が生じ、更にステージの上昇に伴ってチャンバー近傍から針根元部分で再度、座屈するために発生していることがわかった。次に、スパライラル型成形機を用いて成形したチャンバー有り微細針とチャンバー無し微細針の座屈強度を測定した。ステージ移動量-荷重曲線の傾向については、前述のスリュー型成形機の結果とほぼ一致しており、成形機の違いによる座屈現象の影響は、見られないことがわかった。また、スパイラル型成形機の微細針においても、座屈強度はチャンバー有りの方がチャンバー無しと比べて低下しているものの、要求仕様強度を十分に満足していた。

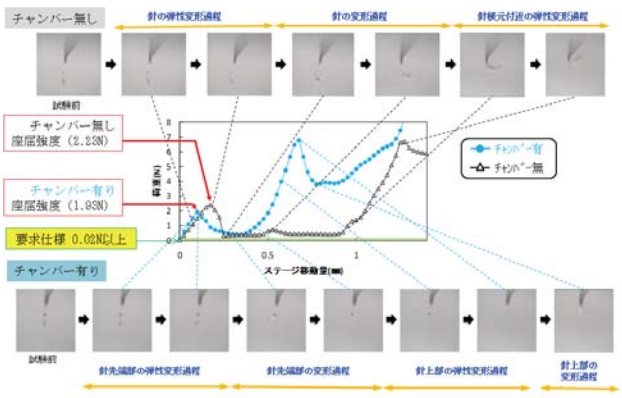
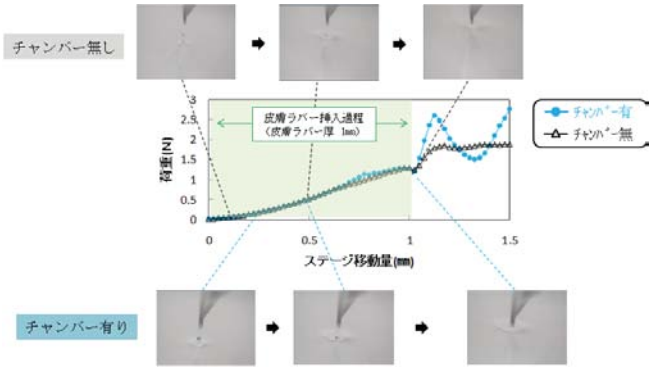


図５　成形した微細針の座屈測定結果

（２）皮膚ラバーへの穿刺性の機能検証

本事業で開発した立体開放型ナノチャンバーを持つ微細針において、人間の皮膚に対する穿刺性の機能について検証するため、人肌と同程度の硬度を持つシリコーンゴムに対して穿刺試験を行った。なお、スクリュー型成

形機で成形した微細針およびスパイラル型成形機で成形した微細針について、成形機の違いによる影響だけでなく、それぞれナノチャンバーの有・無の影響についても検証した。図６に、スクリュー型成形機で成形した微細針を用いて、皮膚ラバーへの穿刺試験を実施した結果を示す。本図より、チャンバー有・無のいずれにおいても、皮膚ラバーに穿刺している様子が確認できる。また、荷重－ステージ移動量の曲線についても、微細針が皮膚ラバー内を挿入している間(約１㎜)、チャンバーの有・無による違いは見られない。このことは、チャンバーがあっても、皮膚ラバーへの穿刺過程で抵抗にならず、チャンバーの影響は無いことを裏付けている。また、スパイラル型成形機の微細針においても、同様の結果が得



られ、成形機の違いは見られなかった。

図６　成形した微細針の穿刺試験結果

３.４.２　三次元表面構造解析顕微鏡による形状・寸法測定による転写性の検証

射出成形により製作された医療用微細針、およびその金型を三次元表面構造解析顕微鏡装置（Zygo 社 NewView6300）により計測し、比較することで形状・寸法の転写性の検証を行った。測定対象が非常に小さいため、測定条件を揃え、測定効率を向上させるために、測定用の専用ジグを製作し、測定に用いた。

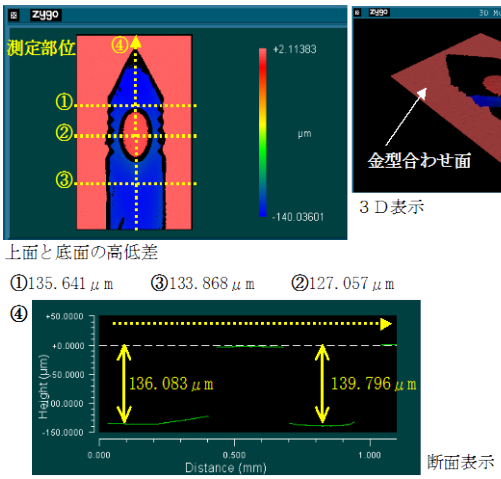


図７　金型の形状寸法測定結果

まず、微細針の金型計測を行った。金型の合わせ面と金型の底面の測定結果を図７に示す。先端部に成形機の穴開けのための円柱がある。測定した結果から、円柱部に向けて、周辺より深さが浅くなっていることが確認された。

次に、金型の成形品への転写性を検証するために比較を行った。３Ｄ表示の比較を図８に示す。

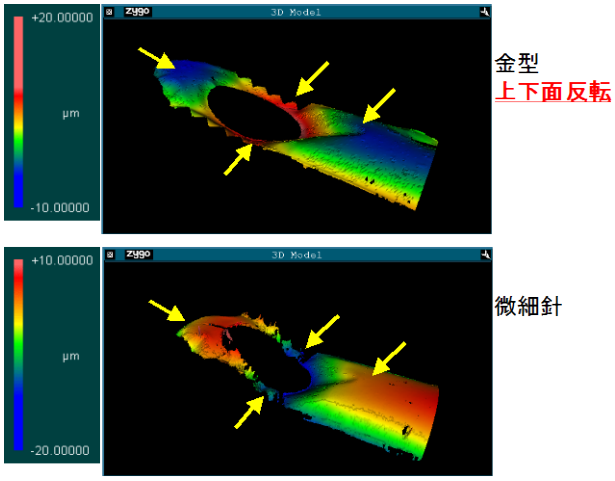


図８　金型と微細針成形品の３Ｄ表示の比較

上段が金型、下段が微細針成形品であり、比較してわかりやすいように金型は上下面反転して表示している。図中、矢印で示した部分に、顕著な類似性が認められた。そこで、それぞれの部位に関して金型と微細針成形品の詳細比較を行い、金型と微細針成形品では、ほぼ上下方向に反転した形状になっていることがわかった。このことから金型から成形品への転写性が良好であると結論づけられる。

４　結　　論

低侵襲性かつ立体開放型ナノチャンバーを持つ医療用微細針を開発するため、立体開放型ナノチャンバー構造体の設計、成形機の製作、成形パラメータの最適化、高精度・微細金型（キャビティ）の設計製作、成形品の物理的機能および立体構造の転写性検証などの課題に取り組んだ。その結果、世界で初めて針先端部近傍に立体開放型ナノチャンバーを持つ微細針の成形を行えた。また、微細成形品に対する超精密微細射出成形技術における量産化の可能性を見出した。さらに、チャンバー付微細針として使用できる十分な物性および製品原材料の安定性も確認でき、本事業を完了することができた。

（文責　三浦久典）
（校閲　富田友樹）

〔兵庫県 COE プログラム推進事業：オンマシン(機上)計測を適用した次世代精密加工技術の開発〕

20　オンマシン（機上）計測装置の開発と検証

阿部　剛，後藤浩二，安東隆志，有年雅敏
浜口和也，東　義隆，北川洋一，松本哲也

1　目　　的

近年、機械部品の小型化、高精度化にともない、厳しい寸法･形状精度が要求されるようになってきている。しかし、加工時に発生する様々な要因のため、要求精度を満たさないケースがある。寸法誤差や形状偏差が大きい場合には、修正加工が必要になる。寸法が大きく、重量がある加工物では、その移動や工作機械への再度取り付けに多大な時間と労力が必要となる。このため、金型、精密機械加工業界では、加工物を取り外すことなく形状･寸法精度を高精度で測定できる機上計測技術に対するニーズが増大している。

本研究では、精密加工の高速･高能率化を目標に、ラインレーザ変位計を使用した機上計測装置の開発を行った。本報では、開発した機上計測装置の基本性能と精度の検証結果について報告する。

2　機上計測装置

2.1　計測システム

本計測装置の構成を図 1 に示す。試作した治具でラインレーザ変位計が NC 工作機械主軸に取り付けられている。ラインレーザ変位計で測定されたデータはコントローラーとデータロガーを介して距離データ群として出力され、PC に保存される。保存された距離データ群はプログラム処理により加工面の 3 次元点群データに変換される。得られた 3 次元の点群データは、座標変換プログラムにより、CAD データと座標系が一致するように変換し、CAD データと比較演算を行うことで、測定誤差を算出する。

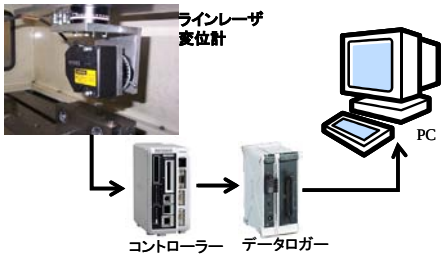


図 1　機上計測装置のシステム構成

2.2　機上計測装置センサ部

機上計測装置センサ部の外観を図 2 に示す。センサ部には三角測量法の原理を使用したキーエンス製の高精度ラインレーザ変位計 LJ-G030 を使用している。ラインレーザ変位計の設置部分は垂直方向と水平方向に回転する機構を備え、これにより急な斜面や垂直な段差の測定を可能にしている。機上計測装置は、治具に取り付けられた磁石で NC 工作機械主軸部に固定する。

ラインレーザ変位計は、約 44,000 点／秒で、データ取り込み可能で、あらかじめ準備した NC プログラムによって、NC 工作機械を自動運転させながら測定を行う。これにより加工物に対して非接触スキャニング測定（倣い測定）が可能になる。

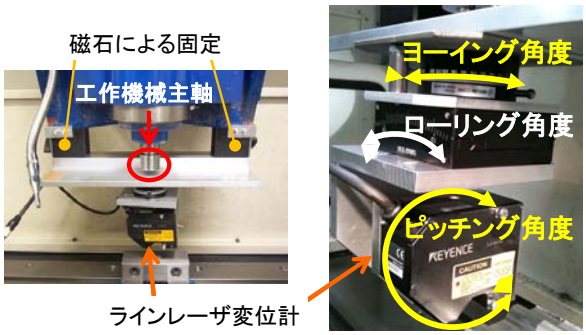


図 2　機上計測装置センサ部の外観

2.3　データ処理の流れ

測定時におけるレーザ変位計の座標系を図 3 に示す。最初に得られる距離データ群は、計算処理により YL と ZL の 2 次元断面データに変換される。これに、NC 工作機械のテーブル送り速度とレーザ変位計のデータ取得時間から算出されるレーザ変位系の位置情報 Xm、Ym、Zm を付加して、3 次元の点群データが算出される。

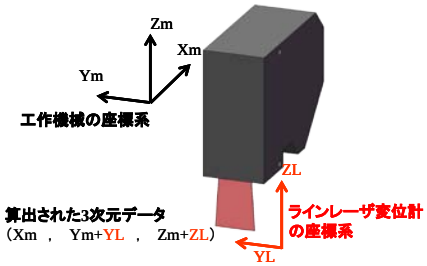


図 3　測定時におけるレーザ変位計の座標系

3　測定実験と精度検証

本研究では、高速切削加工機（東芝機械 ASV-400）を加工実験と機上計測実験に、三次元測定機（カールツァイス PRISMO5 SA）を実験結果の精度検証のため

に使用した。φ20mm の精密ゲージを三次元測定機で測定したデータとの比較を行った。三次元測定機により精密ゲージを測定した結果、真円度は 1μm 以下であった。このため、簡易比較には３次元ＣＡＤで作成したデータを使用した。図４に実験の様子と図５に測定結果を示す。

図５に示すように、測定誤差は、6.75μm (RMS)であった。測定データの波形を見ると誤差の成分は短波長であり、測定データのノイズ成分を小さくするためにはローパスフィルタが必要であることが分かった。そこで、すでに実用されている表面粗さの規格から、位相補償フィルタを用いてノイズ成分の低減を試みた。

4　位相補償フィルタと精度検証

位相補償フィルタ [1]とは入力されたデータを長波長成分と短波長成分とに分離するフィルタであり、フィルタリングによって位相遅れ発生しないものである。位相補償フィルタによって振幅が５０％に減衰する正弦波信号の波長をカットオフ値といい、位相補償フィルタの特性はカットオフ値によって決定される。位相補償フィルタの重み関数は、正規（ガウス）分布の式に一致しλcoのカットオフ値を持つ重み関数 s(x)は以下で表現できる。

$$s(x)=\frac{1}{\alpha\lambda_{co}}e^{-\pi(\frac{x}{\alpha\lambda_{co}})^2} \qquad (1)$$

x ：重み関数の中央からの位置

λco：輪郭曲線フィルタのカットオフ値

α=0.4697（波長λcoを 50%減衰させるときの係数）

以上の原理に基づいた信号処理プログラムを作成してフィルタリングを行った結果を図５中に示す。

フィルタリングを行った後の測定誤差は 4.78μm となり、短波長のノイズ成分が除去され、一定の効果は確認できた。しかし、三次元測定機の測定結果と比較しても誤差は大きくなっている。

誤差の原因のひとつとして、円筒部の勾配が増大する部分の影響およびラインレーザ変位計のスポット幅が有限であることが考えられる [2]。図６に模式図を示すようにラインレーザ変位計は、スポット幅 d のレーザ光を測定対象に照射し、その散乱光を受光素子で受けている。光の強さは正規分布になっており、輝度のピーク C を測定値としている。しかし、測定対象の表面性状により、レーザ光のスポット幅の端部 A または B で輝度のピークが発生する場合がある。この時、ラインレーザ変位計は、測定値を図中 a または b と認識し、測定誤差ε1またはε2 が発生する。今後は、ラインレーザ変位計固有の誤差の発生原理をモデル化し、誤差補償を行っていく必要がある。

5　結論

(1) 測定した結果、表面性状に起因する短波長の測定誤差が確認できた。

(2) 位相補償フィルタを用いてフィルタリングを行った結果、測定誤差を軽減させることができた。

(3) 勾配が大きくなる部分で測定誤差が大きくなることを確認した。

本技術実用化に向けた、今後の技術課題である。

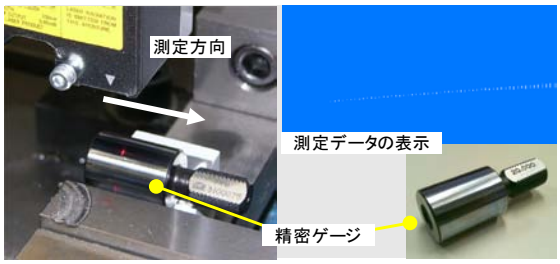


図４　測定状況

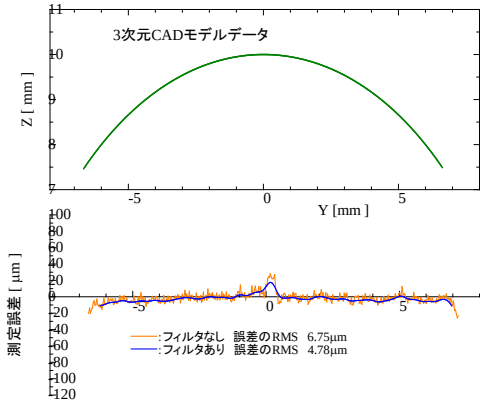


図５　精密ゲージ測定結果のフィルタリング前後の比較

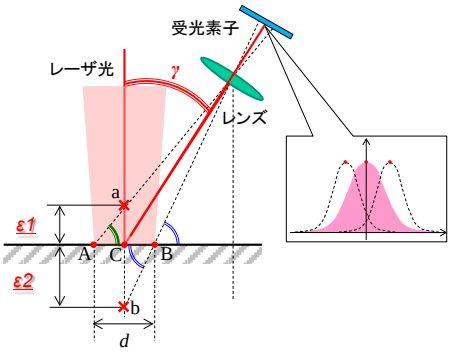


図６　スポット幅に起因する誤差要因

参 考 文 献

1) JISB0632：'01 GPS-表面性状：輪郭曲線方程式-位相補償フィルタの特性（日本規格協会）

2) 中川平三郎、廣垣俊樹、梶章宏、喜田義宏、垣野義昭：自由局面のポイント計測に適したレーザスタイラスの機上操作制御、精密工学会誌、69-10、(2003)、1423-1427

（文責　阿部　剛）（校閲　福地雄介）

〔重点領域研究〕

21　シミュレーションを活用した塑性加工・せん断加工の高度化に関する調査

東　義隆，福地雄介，後藤浩二，安東隆志，岸本　正，浜口和也

1　目　　的

兵庫県内には塑性加工・せん断加工、例えばパンチングメタル、精密板金プレス、冷間・熱間鍛造、ロールフォーミングなどを始めとして高度な技術をもつ「ものづくり」を支える多くの中小企業がある。

これらの多くの企業での技術開発は現在でも熟練者の経験と勘に頼るところが非常に多い。しかし、他企業との差別化のためには新たな技術開発や優秀な後継者の育成の他に、開発した技術に対する理論的な裏付けや定量的な評価技術の保有が求められるようになっている。一方、近年のコンピュータよるシミュレーション技術の進歩は目ざましいものがあり、これまで適用が困難であった現象が複雑な塑性加工分野においても着実に実績をあげてきているが、中小企業においてはまだまだ取り組みが少ないのが現状である。

そこで、本調査研究では塑性加工・せん断加工におけるシミュレーション技術の現状と動向について調査を行った。さらに、せん断加工、特にパンチング(打抜き加工)に着目し、現象解析にシミュレーション技術を適用して加工現象の基本的な定量モデルの構築を行った。

2　塑性加工のシミュレーション技術の現状と動向

ものづくりの工程の中で、塑性加工およびせん断加工のシミュレーション技術は無くてはならないものとなっている。多くの自動車メーカーや鉄鋼メーカーを中心に実際の問題への成形シミュレーションでの適用が試みられるようになった。表 1 に実際使われている CAE（Computer Aided Engineering）ソフトウェアの例を示す。これらの CAE において、実際に解析計算を実行するアプリケーションはソルバーと呼ばれる。その区分は、ベースとなる運動方程式における慣性項を考慮したか否か(動的か静的か)と、それを解くための解法として、陽解法と陰解法のどちらかを選択したかによる。陽解法では、解が常に陽的に求まり、陰解法は反復法で求める手法で、これらは有限要素法(Finite Element Method)で離散化され計算することができる。

これまでにも塑性加工分野において有限要素法を用いた多くのシミュレーション結果が報告されている。例えば、パンチング、ファインブランキング法、かえりなしせん断法、プレスシェービング法、引き抜き加工、転造加工などの解析に応用されている。現在、LS-DYNA 、MARC、ABAQUS 等の汎用構造解析プログラムや simufact.forming 、 DEFORM3D 、 JSTAMP 、 PAM-STAMP 等の塑性加工専用プログラムを利用することで実用レベルでの塑性加工のシミュレーションが可能な環境が現在整いつつある。

表１　日本の企業で使われている CAE の例

導入例	M 社	N 社	T 社	S 社
CAD	I-DEAS GNC (in house)	PUNCH (in house)	integrated CAD (in house) Pro/ENGINEER	Pro/ENGINEER
プリポスト ソフト	GNC	I-DEAS	FEMB PATRAN	K-SWAD CADISCT
シミュレー ションソフト	PAM-STAMP	ITAS3D AUTOFORM PAM-STAMP	LS-DYNA3D JOH-NIKE3D	PAM-STAMP ITAS3D

3　打ち抜き加工への適用

せん断加工は一組の工具に材料を挟んで切断する切断法で、他の切断法に比べて高能率であるため板からの機械部品の加工に多く用いられている。特に、板材から製品形状を切り取る打ち抜き加工が最も一般的に用いられる。図１は、せん断加工の変形破壊過程を模式的に示したもので、他の塑性加工とは異なり、材料を破壊領域まで変形させて切断するのが特徴である。このため、他の塑性加工現象のシミュレーション解析に比べて、大ひずみ、破壊条件、き裂等の解析上の問題点が多く、適用例は多くはない。そこで、打ち抜き加工(パンチング)について加工現象の定量的評価のための解析モデルについて検討を行った。

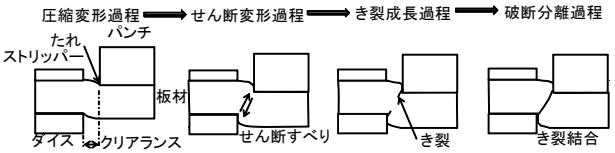


図１　せん断現象

3．1　打ち抜き加工の解析モデル

打ち抜き加工の解析に用いた有限要素法解析用の軸対称モデルを図２に示す。ダイスの上に被加工材の厚さ t の板材を置き、直径φd のパンチを変位Δz ずつ押し下げることで板材を打抜くようになっている。ただし、ダイス上端面と板材下端面およびパンチ下端面と板材上端面との間には接触条件を定義した。また、境界条件としてパンチと板材を y 軸方向にのみ固定した。一方、ダイスは y 軸および z 軸の両方を固定とした。なお、パン

チとダイスのクリアランス(隙間)は、標準的な 0.05t とした。

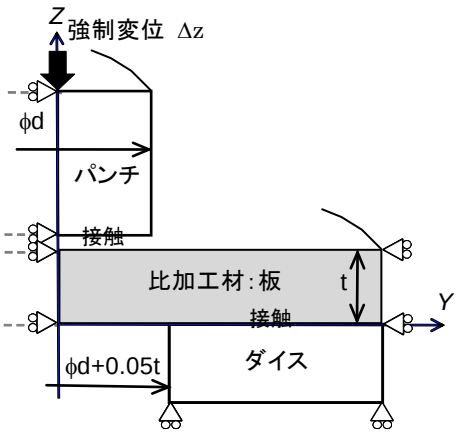


図２　解析モデル

３．２　解析方法

打ち抜き加工の解析には、汎用非線形構造解析プログラムである ADINA8.1 を用いて、動的陽解法による弾塑性の大変形解析を行った。解析に用いた材料特性は、表１に示すように板材、パンチ、ダイスとも２直線近似型の弾塑性材料とした。ただし、パンチ、ダイスは弾性応力解析のみのため、降伏点を高く設定している。なお、打ち抜き加工による板材の延性破壊条件として、相当塑性ひずみが最大許容ひずみより大きくなるときに延性破壊が生じると定義した。破壊現象は、延性破壊条件に達した要素を順次解析から排除することにより表現した。

表１　材料特性

材料特性	板材	パンチ ダイス
ヤング率 (GPa)	206	
ポアソン比	0.3	
密度 (g/cm^3)	7.89	
降伏点 (MPa)	245	980
ひずみ硬化率(MPa)	1,960	0
最大許容ひずみ	0.3	-

３．３　解析結果

板厚 t=1mm の板をパンチ径ϕd=1.5mm で打ち抜く場合のパンチのストロークの変化にともなうパンチに作用するせん断荷重との関係を図３に示す。パンチが板に接触直後は弾性変形により線形的に荷重は増加するが、弾性範囲を超えると塑性変形して非線形に荷重は増加している。パンチ端近傍にき裂が発生すると荷重は不安定になり、最大荷重に達した後、き裂が合体して破断に至っている。図４は打ち抜き加工時のパンチ、ダイス、板に

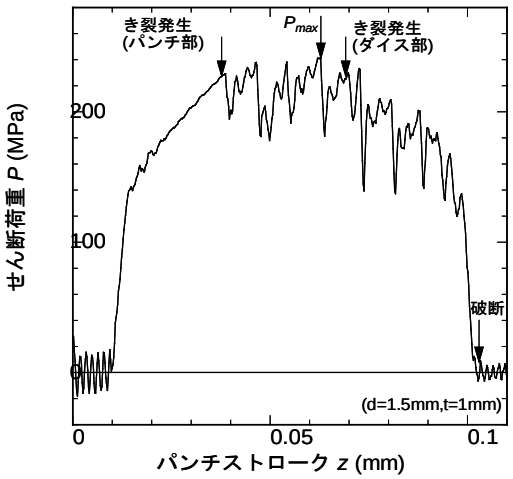


図３　せん断荷重の変化

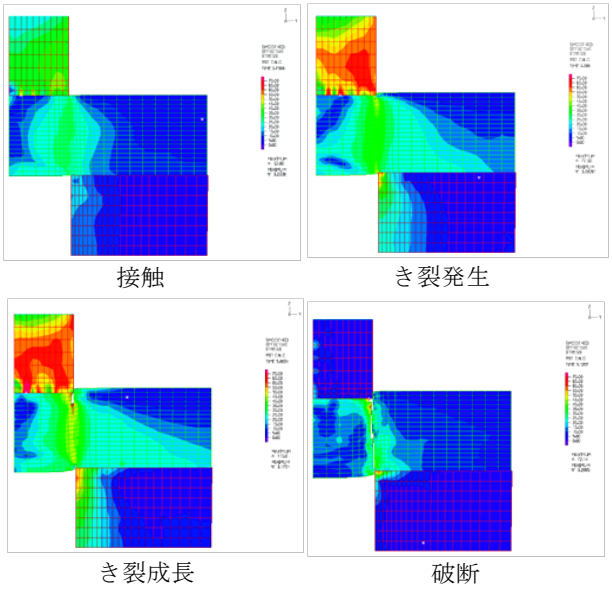


図４　応力分布の変化

生じる相当応力分布を示したものである。パンチが板に接触すると応力が生じ、き裂発生と成長過程で応力が高くなっている。

４　結　　論

汎用の有限要素法解析ソフトウェアを用いた打ち抜き加工(パンチング)の基本的な解析モデルの構築を行うことがで、今後、塑性加工に取り組む中小企業への応用が期待できる。

謝　辞

本調査の遂行にあたり、パンチングに関する貴重なご意見とご助言を賜りました総合金網・パンチングメタル･スーパーパンチングメーカーの㈱奥谷金網製作所(神戸市)に深く感謝の意を表します。

（文責　東　義隆）
（校閲　福地雄介）

〔技術改善研究：吊り下げ電極による曲がり穴放電加工法の開発〕

22　吊り下げ型電極を用いた曲がり穴放電加工技術の開発

山口　篤，浜口和也，平山明宏，後藤浩二，有年雅敏

1　目　　的

機械加工の一つに穴あけ加工があり、ドリルによる切削加工や棒状・パイプ状電極による放電加工が一般的である。これらの方法は、極細穴加工や深穴加工などの応用技術が開発され、広く実用化されている。

一方、ワーク内部で屈折や屈曲するような穴、すなわち曲がり穴は、冷却液通路や油圧部品の油通路などとして必要とされているものの、その加工技術は開発途上である。石田ら [1] は、電極を圧縮コイルばねやワイヤなどで構成された装置で制御し、電極を運動制御する放電加工法を提案している。また、内山ら [2] は電解加工法を用い、加工液の噴き出す方向を制御することによって曲がり穴加工を試みている。

筆者らは、できるだけ簡便な機構で曲がり穴加工を実現するために、球状等の加工用電極を細導線で吊り下げた電極（以降、吊り下げ型電極）を用いて放電加工を行う方法を考案した。その加工イメージを図 1 に示す。電極球は絶えず重力方向へ加工を進めようとするため、ワークを所定の角度に回転させることで、曲がり穴の加工を行うことができる。この方法は、一般の形彫り放電加工と異なり、電極球を固定していないために、ワークとのアーク放電による反力の影響を受けて振動しながら加工を進めることになる。このような固定していない特殊な電極を用いた研究例はなく、基礎的な加工情報も見当たらない。

そこで本稿では、吊り下げ型電極による基礎的な放電加工特性について調べるとともに、曲がり穴の加工を試みたので報告する。

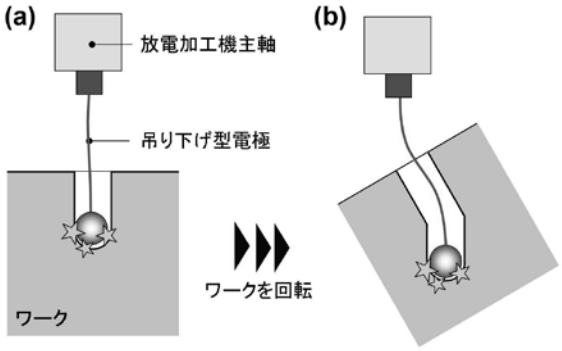


図１　吊り下げ型電極による加工イメージ

2　実験方法

2.1　吊り下げ型電極

吊り下げ型電極は、放電加工機主軸への取付部、導線、接合部、電極球から構成される。電極球は、直径 8.0mm のタフピッチ銅に図 2(b)に示すような穴加工を施し、穴部にφ0.25mm のタフピッチ銅線を銀ろう（ナイス社製銀ろう Sil 1020-5M）で接合した。ワークは炭素鋼(S45C)を用い、加工が開始される部分にあらかじめ頂角 118°、直径 5ｍｍの円錐形状の開先加工を施した。これは、加工開始時に電極球が弾かれないようにするためであり、位置決めガイドの役目を果たす。

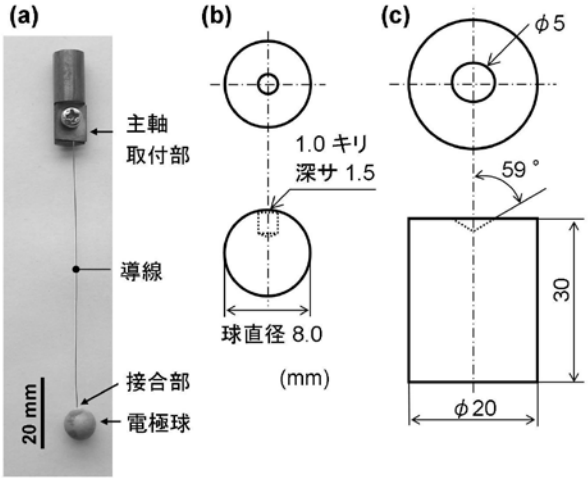


図２　吊り下げ型電極の外観(a)、
電極球の形状(b)、ワークの形状(c)

2.2　放電加工条件

放電加工実験には NC 形彫り放電加工機（Sodick 社製 *AP1L Premium*）を用い、加工液は灯油系加工液（ソディックハイテック社製 *VITOL2*）を使用した。ピーク電流値(I_p)は 29A とし、パルス幅（ON Time）を 50～400μs の範囲で変化させ、それぞれの場合の加工特性（加工速度、電極消耗率）を測定した。この実験は直線穴加工で行い、加工時間は 30 分程度とした。主要な放電加工条件を表 1 に示す。また、曲がり穴の加工実験では、ワークにφ8.5mm、深さ 10～15mm の下穴をドリル加工であけ、ワークを所定の角度に傾斜させた状態で加工を開始した。曲がり穴加工時には、導線とワークの接触を避けるため、導線を PTFE チューブ（内径φ0.5、外径φ1.0）で被覆した。

表１　放電加工条件

電極極性（PL）	＋
無負荷電圧（V_0）	120 V
ピーク電流（I_p）	29 A
パルス幅（ON Time）	50 -400 μ s
デューティーファクター	20 %
主軸ジャンプ動作(JP)	停止

3　結果と考察

3.1　吊り下げ型電極の放電加工特性

いずれの条件においても、導線および接合部は溶断することはなく、電極球は激しく振動しながらも穴加工が行えることが分かった。なお、ワークに円錐形状の開先加工を行わなかった場合は、電極が放電の度に振り子状に揺れて位置が定まらず、加工が開始できなかった。

図３は、パルス幅（ON Time）と加工速度(a)および電極消耗率(b)の関係である。加工速度はパルス幅の増加に伴って速くなる傾向があるが、200 μ s 以上は約 0.2 g/min で一定となった。吊り下げ型の電極球は不安定で、アーク放電によって絶えず振動している。このため、適正なギャップを維持できず、実際の放電時間はパルス幅の設定値よりも短いと考えられる。このことによって、200 μ s 以上のパルス幅を設定しても、加工速度が速まらなかったと考える。一方、電極消耗率は、パルス幅と反比例して減少する傾向がみられた。これは、電極球の温度上昇に起因すると考えられるが、実際の放電時間、休止時間が電極温度に及ぼす影響が不明であり、今後の検討課題である。

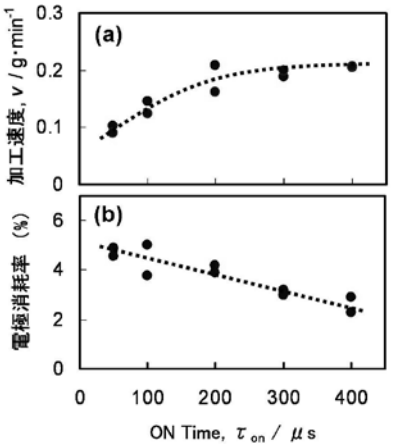


図３　吊り下げ型電極による放電加工特性
パルス幅（ON）と加工速度(a)、電極消耗率(b)の関係

3.2　曲がり穴加工

直線穴の途中から屈折する形状の曲がり穴加工を試みた。あらかじめ下穴をあけたワークを所定の角度（下穴に対して 15°～60°）に傾斜させて加工機に取り付け、下穴の真上に電極球を配置した状態で加工を開始した。電極球は下穴に沿って降下し、下穴の底部付近で重力方向に加工を始めた。

図 4 にそれぞれの傾斜角度で加工した曲がり穴の断面写真を示す。15°、30°、45°の場合は下穴の底からほぼ所定の角度で屈折した穴が加工され、吊り下げ型電極を用いることで、ほぼ目的角度の曲がり穴加工が可能であることを示した。60°の場合は下穴の途中から加工されている。60°という大きな傾斜角度では、導線を大きく湾曲させる必要がある。しかし、導線および被覆チューブの剛性によって必要なたわみが得られず、電極球を下穴の底まで押し込むことができなかったために下穴の壁面から加工が始まったと考える。

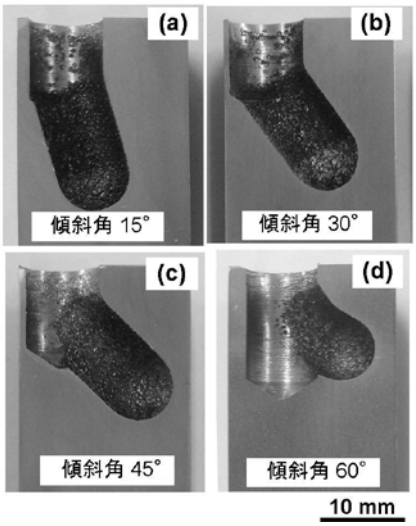


図４　曲がり穴の断面

4　結　　論

吊り下げ型電極による放電加工特性を調べるとともに、曲がり穴加工を試みた。

直径 8.0mm 銅電極球と 0.25mm 銅導線を組み合わせた吊り下げ型電極は、約 0.2 g/min の速度で放電加工が可能であり、15°～45°の曲がり穴が加工できることが明らかとなった。

謝　　辞

加工実験は、兵庫ものづくり支援センター神戸の菅野技術コーディネータの協力のもとに行われた。

参 考 文 献

1) 石田徹，中嶋洋介，三宅康仁，竹内芳美：精密工学会誌，**71**(2005)，p262
2) 内山光夫，野口与四郎，国枝正典：2009 年度精密工学会春季学術講演論文集，p867

（文責　山口　篤）
（校閲　後藤浩二）

〔産学インキュベート事業〕

23　形状記憶合金のマイクロ切削加工技術に関する研究 (マイクロポンプへの適用に向けて)

平山明宏，浜口和也，安東隆志，才木常正，後藤浩二

1　目　　的

血液検査や環境分析など多くの分野において、サンプル・試薬量の低減や化学反応効率の向上のため微量流体を用いて化学分析を行いたいという要求が高まっている。このため、ポンプ、バルブ、流路、ミキサ、センサなどをマイクロチップ上に小型化・集積化したμTAS（Micro Total Analysis Systems）と呼ばれるマイクロ化学分析システムの研究開発が、国内外で活発に行われている[1)]。

μTASの構成要素の一つであるマイクロポンプ、マイクロバルブといった微量流体デバイスの駆動源として、現在、圧電素子や静電力、形状記憶合金などが用いられている。これらは、エッチングやリソグラフィといった半導体製造微細加工技術を駆使して作製されるため[2)]、２次元形状に限られ、その性能や機能面で制限を受けるとともに、高価な製造設備を必要とする。

そこで本研究では、３次元形状を高自由度かつ高能率に作製することができるマイクロ切削加工技術を TiNi 形状記憶合金に適用することで、従来技術では作製できなかった３次元形状による多機能・高効率なマイクロポンプへの応用を目指していく。

本報では、TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工条件およびマイクロ切削加工が形状記憶特性に及ぼす影響について検討を行った。

2　形状記憶合金について

通常の金属材料は、大きな力を加えると変形前の形に戻ることはない。ところが、形状記憶合金（Shape Memory Alloys）は、変形させてもある温度に加熱すると元の形状に戻ることが可能である。すなわち、加熱するだけで元の形状をあたかも記憶しているかのような挙動を示す金属材料である。この現象は、「形状記憶効果」と呼ばれ、図１に示すような結晶構造の相変態が大きく関わっている。形状記憶合金は、温度を冷却していくとマルテンサイト変態という結晶構造の変化が生じる。これに力を加えると、金属原子の結合の手が切り離されずに、他の原子と一緒に位置を少しずつずらしながら変形が進む。そのため、加熱すると結合の手が元の位置に戻ろうとして変形前の形状に戻ることができる。これが形状記憶効果のメカニズムである。室温で形状記憶合金を動作させるには、マルテンサイト変態温度が室温以上となる必要があり、形状記憶合金にとっては重要な特性の一つとなる。

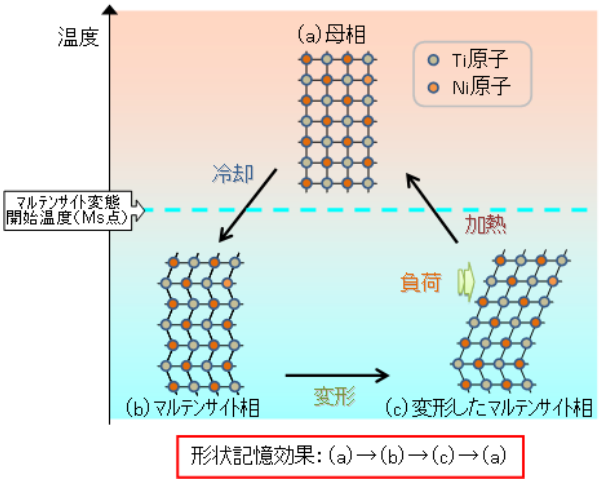


図１　形状記憶効果のメカニズム

3　実験方法

Ti-48at.%Ni 合金線材を石英管内に真空封入し、500℃-30分保持後、急冷した溶体化処理材を供試材とした。実験に使用した加工装置は、超高速回転３次元形状精密加工装置（㈱ソディックエンジニアリング製 MC250L）である。工具には、工具直径 0.4 ㎜の２枚刃超硬ボールエンドミルを使用した。加工形態は、図２に示す通り、45 度の斜面に対する平面加工である。切削方向はダウンカットであり、送り方向は Y 軸の正の方向である。半径方向切込み量は、斜面上方から下方へと与えた。主な加工条件

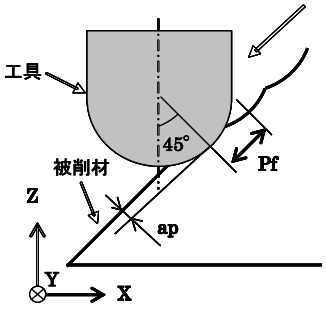


図２　切削加工形態

を表１に示す。また、工具刃先の観察には、電界放射型走査電子顕微鏡を用いた。

表１　加工条件

主軸回転数(min^{-1})	2万、4万、8万、10万
切削速度(m/min)	25.1、50.3、100.5、125.7
ピックフィードPf(㎜)	0.02
切込み量ap(㎜)	0.01
切削油の供給	ドライ

4　結果と考察

4．1　マイクロ切削加工条件の検討

図３は TiNi 形状記憶合金について、工具の主軸回転数を変化させてマイクロ切削加工した後の工具刃先の観察結果である。主軸回転数２万回転/分から高い回転数になるほど工具への凝着物が減少し、さらに高回転数になると再び工具への凝着が顕著になる様子がわかる。これは、低い回転数の領域の場合、刃先と被削材の接触時間が長くなることで工具への伝達熱量が多くなり、工具への凝着が促進されたと考えられる。また、高い回転数の領域では、工具と被削材との接触による過度の発熱によって工具への凝着が増加する。一方、主軸回転数４万回転/分から８万回転/分の中間領域では、２枚刃であるボールエンドミルの形状に起因した断続切削により、空冷効果が得られることから凝着が抑えられたと考えられる。これより、TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工において、４～８万回転/分に適正な主軸回転数が存在するとがわかった。

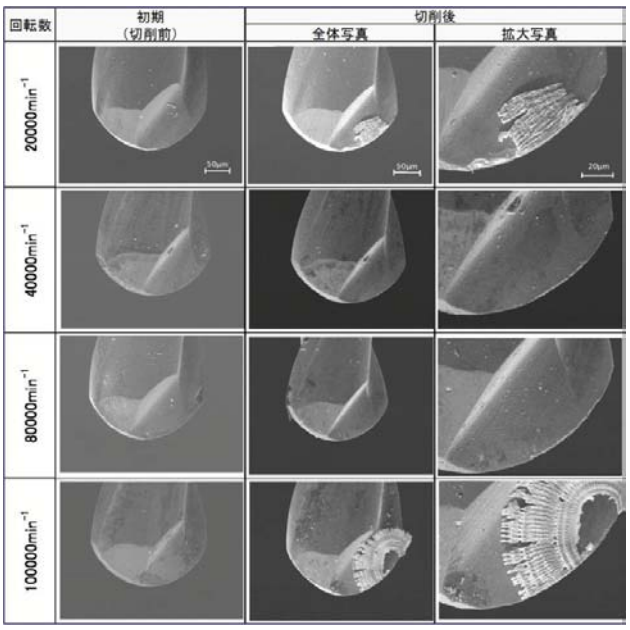


図３　マイクロ切削加工後の工具刃先の観察結果

4．2　形状記憶効果の確認

マイクロ切削加工したTiNi形状記憶合金の形状記憶特性について検討を行った。図４に示すように、薄板形状（縦３㎜×横10㎜×厚さ100μｍ）にマイクロ切削加工したTiNi形状記憶合金を強制的に変形させた後、水中の中に沈め、水温の上昇に伴う形状記憶挙動について観察した。水温が上がるにつれて、変形させた形状から記憶させた真っ直ぐな形状に回復することがわかる。これより、マイクロ切削加工を行った形状記憶合金において形状記憶効果を示すことを確認した。

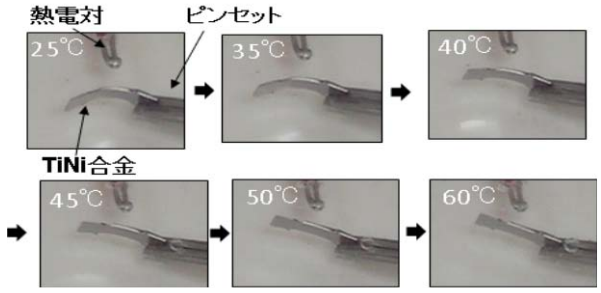


図２　TiNi 合金の形状記憶挙動観察

図４　形状記憶効果の観察

5　結　　論

本研究では、３次元形状を高自由度で高能率に行うことが可能なマイクロ切削加工技術に注目し、TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工技術を確立することを目的として検討を行った。その結果、TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工に適した加工条件が存在することが明らかとなった。また、マイクロ切削加工を行った TiNi 形状記憶合金においても、良好な形状記憶効果が得られることがわかった。今後、応用展開することでマイクロポンプなどのアクチュエーターの開発に適用することができる。

参考文献

１）庄子習一，表面科学 Vol．24，No11，pp．684-688（2003）．
２）小寺秀俊，表面技術 Vol．56，No．10，p．572（2005）．

謝　　辞

本研究は、（有）堀口鉄工所との共同研究により実施した。関係各位に深く感謝します。

（文責　平山明宏）
（校閲　福地雄介）

〔兵庫県産学インキュベート事業：大出力ファイバーレーザを用いた厚板アルミニウム合金の溶接に関する研究〕

24　20kW ファイバーレーザによるアルミニウム合金のビードオンプレート溶接特性

山口　篤，岸本　正，後藤浩二，有年雅敏

1　目　　的

近年、建設機械、船舶、車両等の厚板を使用した大型構造物は、省資源・省エネルギーのための軽量化や低コスト化が求められ、軽量材料の採用、切削加工部品の溶接構造化や溶接点数の削減等が進められている。しかし、厚板の溶接には多大な時間とコストを要するため、効率的な溶接技術の開発が急がれている。

厚板溶接材料としての利用が期待される材料にアルミニウムがある。アルミニウムは軽量でリサイクル性に優れているため、地球環境負荷低減に有望な構造材料として、現在薄板を中心に広く使われている。しかし、アルミニウムは熱伝導性が鉄に比べて高いため、厚板の溶接には高エネルギー熱源が必要とされる。ファイバーレーザは、コンパクトな発振機で大出力が得られ、レーザ光がファイバー伝送可能であることから、溶接用高エネルギー熱源として注目されている。出力 10kW 級のファイバーレーザを用いたアルミニウム合金の溶接に関して、溶込み特性に及ぼすパワー密度やレーザ照射角度の影響[1)]、溶接速度および焦点はずし位置が吸収特性に及ぼす影響[2)]などが報告されており、10mm 以上の深溶込みが得られることが明らかにされている。最近では出力 20kW の発振機も開発され、さらなる深溶込み溶接への期待がされているが、その溶接特性に関する研究報告はほとんど行われていない。

本研究では、国内最大出力の 20kW ファイバーレーザを用いて、アルミニウム合金のビードオンプレート溶接実験を行った。焦点はずし位置（以降、焦点位置）が溶込み特性（溶込み深さ、溶接欠陥）におよぼす影響を調べるとともに、溶接欠陥の一つであるスパイク(のこぎり歯状の溶け込み)の生成傾向について考察した。

2　実験方法

図 1 は、溶接装置全体の(a)外観およびヘッド部分の(b)拡大写真である。ファイバーレーザ発振機は最大出力 20kW の IPG フォトニクス社製「*YLR-20000*」で、波長は 1,070nm、ビーム品質 BPP は 11.7mm*mrad（20kW 出力時）である。レーザは、発振機からφ0.3mm のプロセスファイバーで伝送され，f=150mm のコリメーションレンズを透過後、f =300mm のフォーカスレンズで絞られて試料に照射される。光学ヘッドは HIGHYAG 社製「*BIMO-HP*」を使用した。

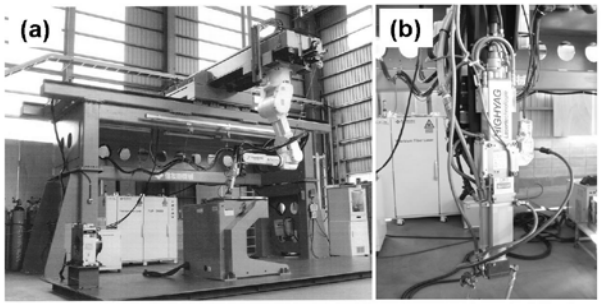


図１　溶接装置全体と溶接ヘッド部拡大

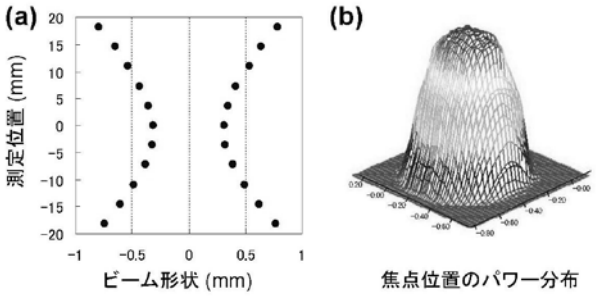


図２　ビームプロファイル

図 2 は、PRIMES 社製「*Focus Monitor FM120*」を用いて測定したビームプロファイル（測定出力 20kW）である。集光されるスポット直径は 0.6mm であり、このビーム形状を基に計算すると、20kW 出力での最大パワー密度は 71kW/mm² に達する。溶接時には、戻り光防止のためにレーザビームを前進側に 5° 傾けて照射した。

被溶接材料はアルミニウム合金 JIS-A5052 を用いた。試料厚さは 50mm、ビードオン距離は 300mm、溶接速度は 1m/min とした。シールドガスはアルゴンガスを用い、口径φ12mm のノズルから毎分 30 L を流し続けた。溶込み深さおよびスパイク数の測定は、評価長さ 100mm の縦断面で行った。なお、スパイクは溶込み深さの 10%を超える尖った溶込み部と定義した。

3　結果と考察

3.1　焦点位置と溶込み特性

図 3 は、それぞれの焦点位置におけるビード外観、縦断面、横断面である。焦点位置が+10mm の場合は、

ビード中央がやや盛り上がるとともに、アンダーカット(溝状の表面欠陥)が形成された。縦断面観察からは、ポロシティ(内部気泡)やスパイクは観察されず、良質な溶込みが得られていることが分かる。焦点位置が 0mm および-10mm の場合は、ビード表面は比較的滑らかであったが、ポロシティおよびスパイクが発生した。

図 4 は、(a)焦点位置と溶込み深さおよび(b) 焦点位置とスパイク数の関係である。溶込み深さは、焦点位置が+5mm のときに最大値の 21.5mm が得られた。スパイクは、焦点位置が+20mm から+5mm の範囲では 5 本以下と少ないものの、それ以下では多くなる傾向が現れ、-10mm 以下では 30 本以上発生していた。

これらの結果から、焦点位置が+20mm から+5mm の範囲では安定したキーホール溶接が行われたと考えられる。この範囲では焦点位置を深くするに伴って被溶接材料に投入されるパワー密度が大きくなり、溶込み深さが増加する傾向がみられた。一方、焦点位置が 0mm 以下ではキーホールが不安定となり、スパイクが多く発生し、溶込み深さは増加しなかったと考えられる。

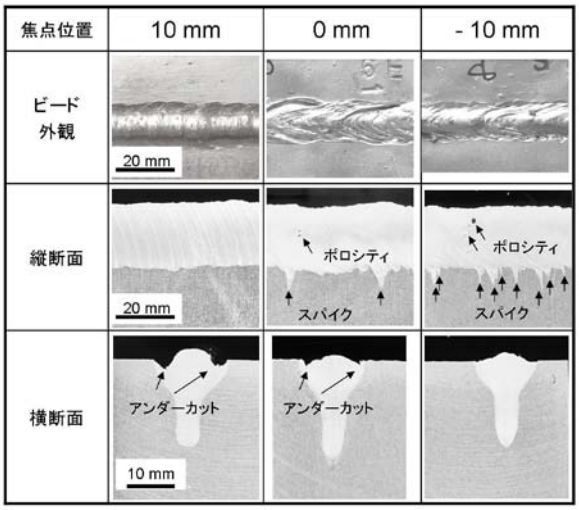


図３　焦点位置と溶込み形状

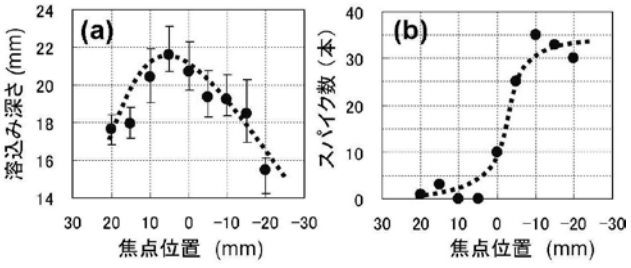


図４　焦点位置と溶込み深さ
およびスパイク生成数の関係

3.2　スパイク生成傾向

不安定なキーホールはスパイクやポロシティの原因となる。スパイクの発生傾向を検討することで、キーホールを安定させ、深溶込みおよび高品質な溶込みを得るための最適な溶接条件を予測することができると考えられる。そこで、図 5(a)に示すような溶込み深さ位置におけるパワー密度とスパイク数の関係に着目した。このパワー密度は、図 2(a)に示すビーム分布の実測値を元に、溶込み深さ位置のビーム直径を元に算出した。パワー密度とスパイク数の関係を図 5(b)に示す。この結果から、溶込み深さ位置、すなわちキーホール先端位置におけるパワー密度が大きいほどスパイクが多く発生することが明らかとなった。

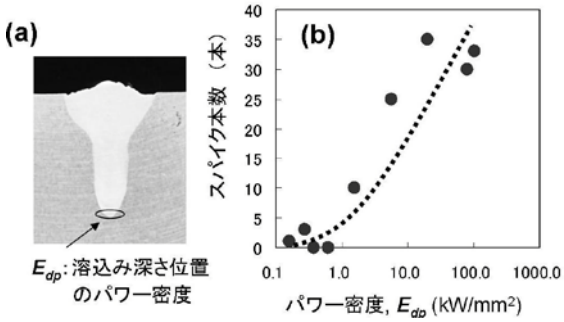


図５　スパイク生成傾向

4　結　　論

出力 20kW ファイバーレーザによるアルミニウム合金のビードオンプレート溶接特性について調べるとともに、スパイク発生傾向について検討した結果、以下の知見が得られた。

(1) 溶込み深さは焦点位置に依存し、焦点位置が+5mm の時にスパイクおよびポロシティのない良質な溶込み形状で最大値溶込み深さ 21.5mm が得られた。

(2) スパイクは焦点位置が深くなるほど多く発生し、溶込み深さ位置のパワー密度とスパイク数には相関があることを見出した。

謝　　辞

本研究は平成 21 年度産学インキュベート事業の一環として行われたものであり、溶接実験に際してご協力いただいたさくらい工業㈱に深く感謝いたします。

参 考 文 献

1) 長山，水谷，川人，片山：溶接学会全国大会講演概要，81(2007),pp.344-345

2) 川人，松本，木下，坪田，石出，片山：溶接学会全国大会講演概要，83(2008),pp.222-223

（文責　山口　篤）
（校閲　福地雄介）

〔経常研究〕

25　TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工技術に関する研究

平山明宏，浜口和也

1　目　　的

最近、エッチングやリソグラフィなどの半導体微細加工技術の発展により、マイクロマシンの開発が盛んに行われているが、以下の欠点がある。①製造プロセスが複雑、②製造設備が高価、③使用材料が制約される、④３次元形状の製作が困難。このため当センターの取り組みとして、３次元形状の加工が高自由度に行えるマイクロ切削加工による微細加工技術の開発を進めてきた。

本研究では、最高 12 万回転/分の超高速回転主軸を搭載した３次元形状精密加工装置による TiNi 形状記憶合金のマイクロ切削加工を試みた。TiNi 形状記憶合金は単位体積当たりの発生力、変位量が優れていることからマイクロマシンの駆動源として期待されている材料である。今回は、TiNi 形状記憶合金の相変態挙動の変化に及ぼすマイクロ切削加工の影響について、X 線回折法で調査した結果について報告する。

2　実験方法

供試材には、Ti-48at.%Ni 合金線材(縦３㎜×横 20 ㎜×厚３㎜、以下 TiNi 合金と呼ぶ)を石英管内に真空封入し、500℃-30 分保持後、急冷した溶体化処理材を用いた。実験に使用した加工装置は、超高速回転３次元形状精密加工装置（㈱ソディックエンジニアリング製 MC250L）である。工具には、工具直径 0.4 ㎜の２枚刃超硬ボールエンドミルを使用した。表１に示す主な切削加工条件の下、供試材表面を深さ 50μｍまで除去した。マイクロ切削加工による加工変質層の影響を検証するため電解研磨により加工表面を深さ方向にエッチングを行い、逐次、X 線回折法(XRD)により結晶構造解析を行った。

表１　マイクロ切削加工条件

主軸回転数/分(min^{-1})	*4 万*
切削速度(m/min)	*50.3*
ピックフィードPf(㎜)	*0.02*
切込み量ap(㎜)	*0.01*
切削油の供給	*ドライ*
切削方法	*ダウンカット*

晶構造へと変化していることがわかる。これは、マイクロ切削加工により M 相へ加工誘起したものと、過度の欠陥の導入により変態が阻害されて B2 相へ逆変態したものと考えられる。また、その回折ピークは非常にブロードとなっており、マイクロ切削加工により加工表面層が非晶質化していると推察される。B2 相の回折ピークは、加工表面から深さ方向 12μｍまで見られることから、B2 相への逆変態は、加工表面近傍で生じていることがわかった。さらに、M 相に起因する回折ピークは深さ方向 35μｍ まで認められ、マイクロ切削加工による加工変質層の存在を確認した。今後、これらの加工変質相が TiNi 合金の形状記憶特性に及ぼす影響について詳細に調査していく予定である。

4　結　　論

本研究では、マイクロ切削加工による TiNi 合金の相変態挙動の影響について調査した。その結果、マイクロ

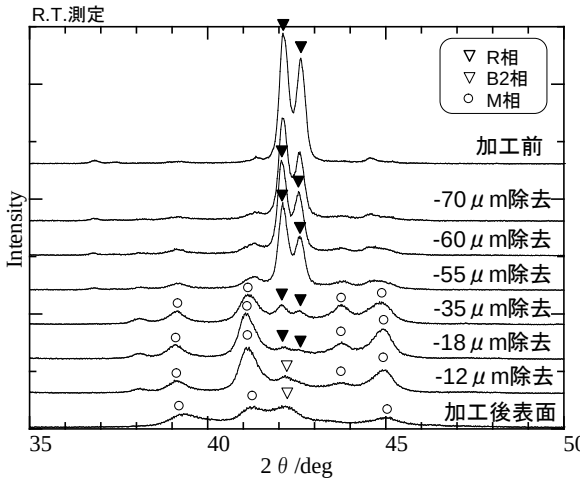


図１　X 線回折パターン

切削加工により、応力誘起マルテンサイト相の生成やオーステナイト相への逆変態が生じることが明らかとなった。今後、さらに調査を進めマイクロ切削加工による TiNi 合金のアクチュエータの開発へつなげていきたい。

（文責　平山明宏）
（校閲　安東隆志）

〔経常研究〕

26　小径切削工具の先端部位置検出システムの開発研究

東　義隆，安東隆志

1　目　　的

微細切削加工に使用される小径切削工具の先端位置を目視で判別することは困難である。そこで、被削材の上に鏡板を設置し、小径工具先端と、その鏡像を利用して先端位置を確認する方法を提案する。

2　実験方法

図１に被削材を回転切削工具で加工する状況と、提案する非接触測定法を模式的に示している。実験では、切削工具の代わりに丸棒を使用する。被削材表面に厚さtの鏡板を設置し、CCDカメラで撮影する。図２はモニタ画面に得られる画像であり、上側は丸棒、下側は鏡面に映る鏡像である。モニタ画面上で、丸棒の下端と鏡像の上端が一致するとき、図３に示す幾何学的関係が成立する。このとき、次式が成立する。

$$l=t+(d/2)\tan\theta \qquad (1)$$

ここに、lは工具先端から被削材表面までの距離(小径切削工具の先端位置)、tは鏡面の厚さを、θはCCDカメラの視線と水平面(工作機械水平面と平行)がなす角である。

3　結果と考察

提案する非接触測定方式での計測誤差について考察する。式(1)を全微分することにより、式(1)に含まれるパラメータ誤差の影響を知ることができる。すなわち、lの計測誤差⊿lに対して次式が成立する。

$$⊿l \leqq |⊿t|+(|⊿d|/2)\tan\theta+(d/2)|⊿\theta|/\cos^2\theta \qquad (2)$$

ここに、⊿t、⊿d、⊿θはそれぞれt、d、θの計測誤差である。鏡板の厚さtはマイクロメータなどにより正確に計測できるので⊿tの影響は小さいと考えられる。丸棒(工具)の直径誤差⊿dは、直径そのものの誤差は小さいが、丸棒下端と鏡像上端の位置合わせ誤差が直径誤差⊿dとして影響することが考えられる。CCDカメラの視線角θを正確に設定することは困難であり、⊿θの影響が大きいと考えられる。

4　結　　論

微細切削加工に使用される小径切削工具の先端位置を非接触で計測する手法について提案し、計測誤差について考察した。その結果、パラメータ誤差が計測誤差に与える影響など、提案する手法の実用化における問題点が明らかとなった。

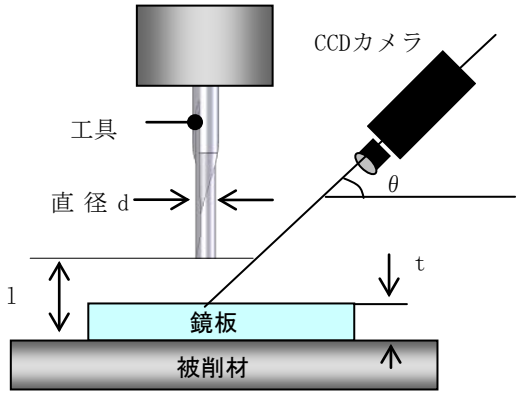


図１　測定原理図

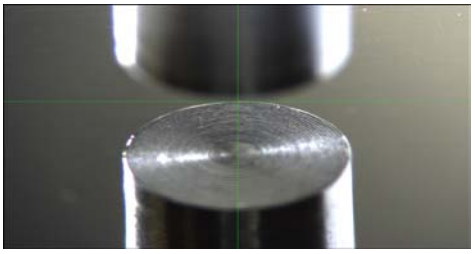


図２　切削工具と鏡面に映る切削工具のモニタ画像

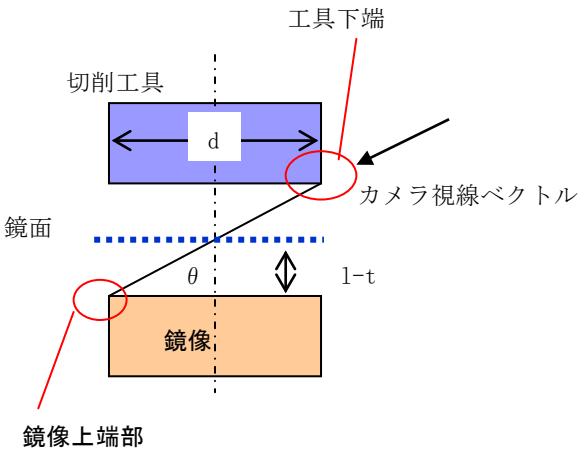


図３　幾何学的関係図

（文責　安東隆志）
（校閲　福地雄介）

〔経常研究〕

27　微細部のバレル研磨に関する研究

山本章裕，岸本　正

1　目　　的

バレル研磨法は、比較的簡単な装置でありながら、機械部品のバリ取りやエッジ仕上げばかりでなく表面仕上げも行うことができる非常に応用範囲の広い加工法であるため、多くの工場で利用されている。

とくに、バレル研磨法においてはメディア（研磨石）と工作物が接触することによって、研磨が行われるため、小物部品や微細部のバレル研磨においては、メディアが被研磨部へ到達できること（アクセシビィリティ、Accessibility）が重要となる。

そこで、微細部を持つ最も簡単な形状である部品としてアングルをとりあげ、アクセシビィリティについて検討した。

2　実験方法

2．1　遠心バレル研磨法

遠心バレル研磨法は、タレットと呼ばれる回転板の同一円周上にバレル(容器)を等間隔に取付け、その容器内にメディアと工作物を入れ、タレットと容器の回転速度を一定の比にして回転させることにより、工作物とメディアに遠心力を作用させながら研磨する方法である。

本研究では、メディア装入率(バレル容積に占めるメディア体積の割合)を50vol%とし、タレットの回転数を200min^{-1}に固定して研磨した。

2．2　メディアと工作物

本研究において使用したメディアは、ナイロンにアルミナ砥粒を混合し正三角柱状に成形した乾式用のもので、３種類(4×4、6×6、10×10mm)のサイズを用意した。工作物として、一辺15mm、厚さ2mm、幅10mmのアルミニウム合金製の等辺アングルを使用した。

2．3　アクセシビィリティの測定

アクセシビリティとして、アングル内面の隅部からアングルの外辺部に向かって油性インクで線を引き、バレル研磨後の残った線の長さを測定した。すなわち、残った線の長さが短いほど、そのメディアのアクセシビィリティは良い。

3　結果と考察

3．1　研磨時間とアクセシビリティの関係

図１は研磨時間と残った線の長さの関係を示したものである。この場合、線の長さが速く減少するメディアほどアクセシビリティは良い。

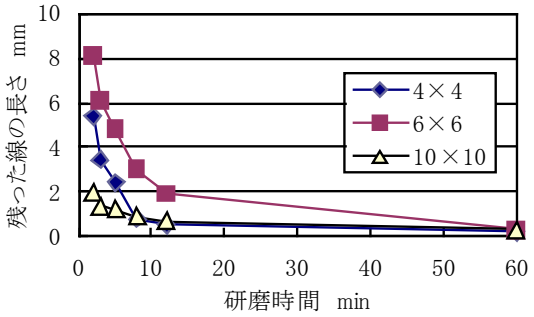


図１　研磨時間と残った線の長さの関係

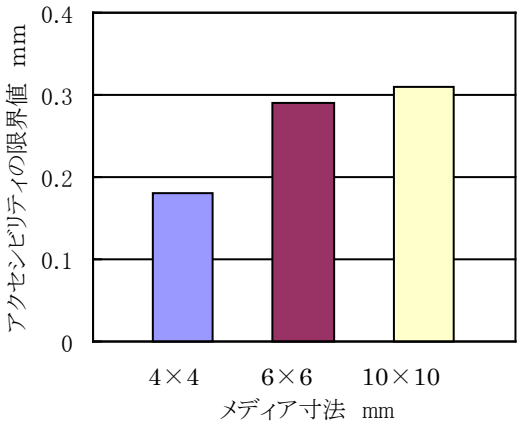


図２　アクセシビリティの限界値

研磨開始直後は、寸法の大きな10×10のメディアによる減少が最も大きくなっているが、研磨時間10min経過後は、最も小さい4×4のメディアの方が線の減少量は多くなっている。すなわち、寸法の小さいメディアの方が隅部へのアクセシビリティは良い。

3．2　アクセシビリティの限界値

図２は研磨時間60minにおける残った線の長さを示したものである。これが、各メディアのアクセシビリティの限界値を示したものであると考えられ、小さいメディアの方がアクセシビリティは良い。しかし、10×10と6×6とでは、メディアの寸法の差の割には、アクセシビリティの限界値の差は少ないように思われる。

3　結　論

等辺アングルを使用してメディアのアクセシビリティの評価を行い、微細部のバレル研磨におけるメディア選定のための指針が得られた。

（文責　山本章裕）（校閲　岸本　正）

〔科学研究費補助金　若手B（文部科学省）〕

28　多指ハンド制御のための空間分解能が可変な分布触覚センサとその決定方法

中本裕之

1　目　　的

これまで多様な作業を可能とすることを目的として、多くの多指ハンドが開発されてきた。特に人間の手の代替となるような多指ハンドを実現するためには、単に把持力や剛性、精度などを追及した多指ハンドを開発するだけでは不十分であり、把持対象の情報を得るための触覚センサを備えることが必要である。このことから、これまで指や掌面に触覚センサを持った多指ハンドが複数開発されてきているが、触覚の分布情報を物体の操作に有効に活用した研究はほとんどなされていない。

一方、人間は触覚を有した手を使って巧妙に様々な作業を行うことができる。主に皮膚に加わった機械的変形を基に脳による高度な処理を経て、形状やテクスチャなどの触覚情報を認識している。これまで産学官連携の研究開発において、5 本指のロボットハンド（以下、ユニバーサルロボットハンド）を開発し、操作中の対象物の形状を分布型触覚センサの出力に基づいて識別する研究を進めてきた [1]。この研究から、対象物の情報を詳細に得るためには分布型触覚センサの出力の適切な処理が重要であることが明らかとなっており、触覚情報をフィードバックすることで多指ハンドの実用性が高まると期待できる。しかしながら、多指ハンドに対する触覚フィードバックの研究は上述のように十分でない。特に多数の計測点をもつ触覚センサは走査に時間を要し、多指ハンドの制御周期に対して触覚フィードバックが遅れるという問題がある。これは、高密度化が進む触覚センサに共通の問題である。回路の高速化を図っても全点の走査に必要な時間を短くするための根本的な解決とはならず、目的に応じて空間分解能を変えて触覚フィードバックを行う方法を確立することが重要である。

そこで本研究では、先に述べた背景および研究動向を踏まえ、空間分解能の可変な分布型触覚センサの開発と、多指ハンドの運動や姿勢に基づく計測領域の決定方法の確立を目指す。

2　空間分解能可変可能な分布型触覚センサ

触覚センサの検出部を図 1 に示す。物体と接触する面からウレタンゲル、感圧導電性ゴム、電極シートの単純な 3 層構造である。ウレタンゲルはアスカーC 硬度 15 であり厚さが 2mm である。感圧導電性ゴムはイナバゴム（株）社製の中感度を用いた。電極シートの計測点は、指正面が 1.8×1.8mm、指先が 2.6×1.8mm、側面が 1.8×2.6mm の大きさであり、各計測点には感圧導電性ゴムの抵抗値を計測する 2 つの電極（印加電極と引込電極）を配置した。各部で計測点の大きさが異なっているのは、指先や側面は主に接触の有無を取得する、指正面は主に圧力分布を詳細に取得するというように目的が異なるためである。電極シートはこれら計測点を整列させて構成しており、指先リンクが 204 点、その下のリンクが 64 点、根元のリンクが 256 点の計測点数となる。この電極シート上では、2 つの電極をマトリクス状に配置した。

次に触覚センサを実装した指を図 2 に示す。透明のウレタンゲルを用いたため、指の各リンクの感圧導電性ゴム（黒色の部分）が透けて見えている。電極シートは指の側面から背に回り込み、そこからハンドの手首辺りまで配線される設計とした。

触覚センサの駆動回路を図 3 に示す。この駆動回路は印加電極と引込電極がそれぞれ 16 本ずつ、最大で 256 点の計測点数に対応できる。さらに、この 256 点に対して個別の計測点の選択あるいは複数の計測点を 1 点とみなした計測領域の選択とその計測結果の取得が可能である。この駆動回路の制御は、アットマークテクノ社の FPGA 搭載ボード SUZAKU-S(SZ130-U00)と AD ボード(SID00-U00)で行う。1 つの検出部に対して駆動回路や FPGA 搭載ボード、AD ボードが 1 つずつ必要となるが、複雑なロジックであっても高速な処理が期待できること、FPGA 上で動作する uClinux によって LAN 経由で計測結果を上位に送信できること、分散処理が容易などの特長がある。

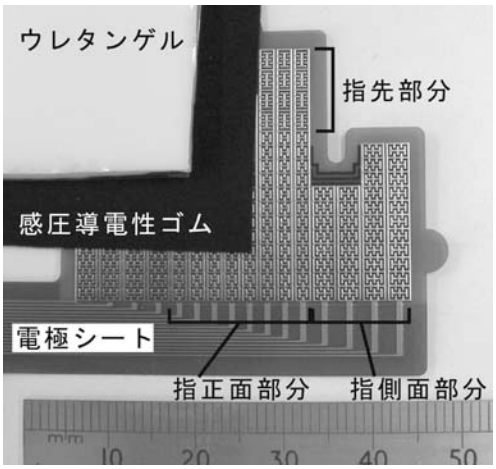


図 1　触覚センサの検出部



図 2　触覚センサを適用したロボットフィンガ

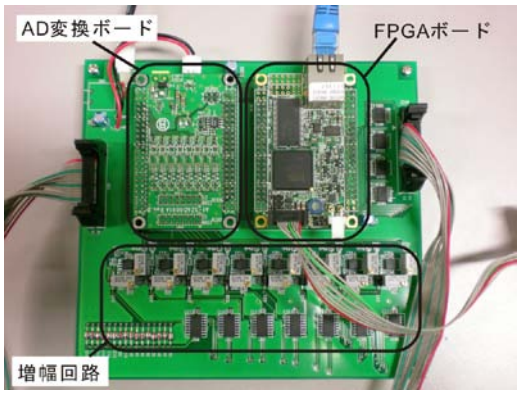


図 3　触覚センサの駆動回路

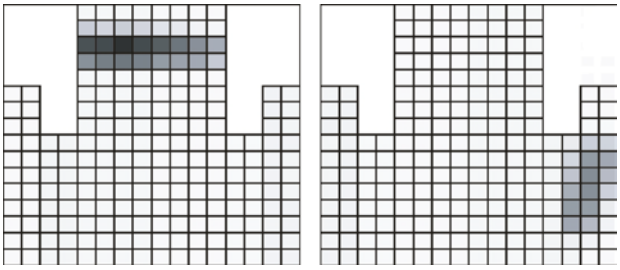
3　実　　験

3.1　動作確認

触覚センサの動作確認のため実験を行った。指先で 20×20mm の面積の押しボタンを押下した場合と直径約 10mm のペンを把持させた場合の中指の指先の圧力分布を図 4 に示す。各図の格子で表示しているのが 1 つの計測点を示し、黒色に近づくほど圧力値が高い。押しボタンを押下した場合の分布をみると、広い範囲で圧力分布が検出されており、面積の大きな接触ができていることが分かる。さらには力の加わり方が左右で異なる、ここでは図 4 に向かって左側の圧力値が高いことも分かる。これらの結果は押しボタンを押下するようなアプリケーションにおいて、十分な面積で接触ができているか、左右均等の力が加えられているかの認識が可能であることを示唆している。また、ペンを持たせた場合の分布では、ペンの方向を見てとることができる。ロボットハンドが道具を使用する場合に持ち方の認識に応用できると考えられる。

3.2　計測領域の動的決定

ロボットハンドで対象物を把持したとき、触覚センサと対象物が全体的に接触し面積の大きな圧力分布を取得することは少なく、部分的に接触し面積の小さな圧力分布となる場合が多い。この場合、触覚センサ全体を走査する必要がなく、接触状態に応じて計測領域を動的に変化すること（以下、動的計測）が有効である。そこで、次に示すような動的計測のアルゴリズムを実装した。

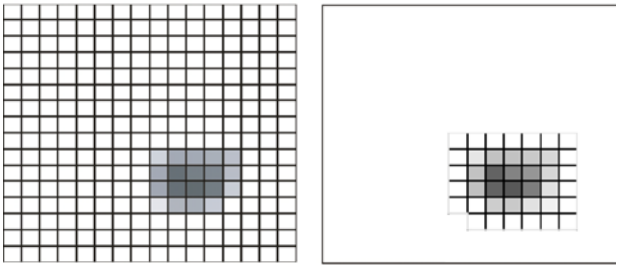


押しボタンの場合　　ペンの場合

図 4　圧力分布の様子

a) 全計測点の出力が、あるしきい値よりも小さい場合は全点計測を行う。しきい値よりも大きな出力の計測点を検出した場合、b)に進む、そうでない場合 a)を繰り返す。
b) その計測点の 8 近傍を探索し、同様の計測点があればさらに 8 近傍探索を繰り返す。
c) すべての探索が終われば計測領域対象の圧力分布として出力し、d)に進む。
d) 探索した結果、しきい値よりも大きな出力の計測点がなければ a)の全点計測に戻る、あれば e)に進む。
e) 前回に探索した計測点を初期探索点として b)に進む。

このアルゴリズムを 256 点の計測点のある触覚センサで実行した場合の結果を図 5 に示す。動的計測は 41 点のみの走査となっているが、全点計測とほぼ同じ領域の計測ができ、計測時間が約 1/6 となることを確認した。



全点計測の結果　　動的計測の結果

図 5　全点計測と動的計測の場合に得られた圧力分布

4　結　　論

ユニバーサルロボットハンド用分布型触覚センサのための空間分解能を変えられる駆動回路を開発した。今後は作業に応じて圧力分布を分散的に取得する用途に活用し、能動的な計測を実現する制御モデルを構築する。

参 考 文 献

1) 中本ほか, “連続 DP を用いたユニバーサルロボットハンドによる回転操作中物体の外周形状識別”, 日本機械学会論文集(C), Vol.74, No.746, pp.2521-2527, 2008.

（文責　中本裕之）
（校閲　三浦久典）

〔(独)科学技術振興機構　シーズ発掘試験〕

29　センサ自身の柔軟な変形にもとづいた磁気式触覚センサの開発と応用

中本裕之

1　目　　的

日本の産業用ロボットの出荷・稼働台数は世界一であり、HONDA の ASIMO に代表されるヒューマノイド型のロボットも多数開発されている。これらロボット技術を高度化することが日本の技術的優位性を維持するために不可欠となるが、産業用ロボットは旧来の教示再生型の動作のみを行っており、器用な動作でものづくりをすることはない。ヒューマノイドロボットも歩行・走行ができるが、道具の把持・操りなど具体的な作業までには至っていない。熟練の作業者のように作業状態の正確な認識や、器用な把持・操り動作を実現するためには、人間の触覚に相当するセンサが必要であり、安価で耐久性の高い触覚センサが求められている。

これまで、感圧ゴム、ピエゾ素子、光学素子などを利用した触覚センサが研究されてきたが、デファクトスタンダードとなる製品は現れていない。この要因としては、計測できる対象が限定されていること（例えば、圧力のみ、すべりのみ)、シート状で柔軟性が乏しく十分な接触面積が得られないこと、必ず接触・機械変形を伴うことから断線や破損の不具合が生じ易いことが挙げられる。接触を計測するニーズが多くあるが、実用化の遅れから市場が成熟しないという負の循環にある。

これらの背景から、触覚センサの必要な要素として次の 3 点が挙げられる。

・力とすべりのように異なる情報を同時計測できること
・人間の皮膚と同様に柔軟に対象物と接触できること
・安価で耐久性が高いこと

この 3 点を満たすことが可能な触覚センサとして、我々は永久磁石と磁気抵抗素子、インダクタを用いた磁気式触覚センサを提案し、3 軸の変位と力の計測、すべりの検出が可能なことを検証してきた。しかし、直径 20mm 程度まで小型化のニーズがあり、そのためには各素子間の位置関係を適切に決定する必要がある。そこで本研究では、磁界シミュレーションを用いて磁気式触覚センサの設計を行い、それの試作と評価を行った。本論文ではその結果について報告する。

2　磁気式触覚センサ

提案する触覚センサの構造を図 1 に示す。柔軟層と基板層からなる単純な構造であり、両者の間に配線は無い。人間の皮膚と同様に対象との柔軟な接触を可能とし、断線がなく、磨耗しても交換の容易な構造とした。動作

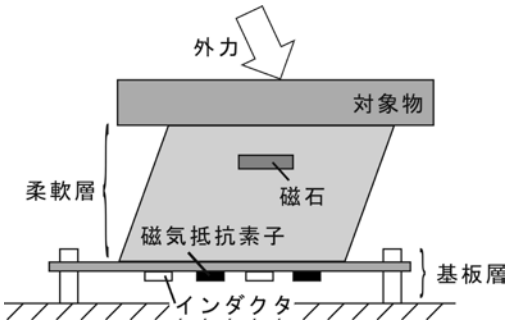


図 1　触覚センサの構造

原理は次の通り。柔軟層の変形によって磁石が変位する。その結果生じる磁界強度の変化を磁気抵抗素子で、磁束密度の変化をインダクタで計測し、それぞれ増幅回路を介して PC へ取り込む。磁気抵抗素子の出力から変位と力を算出し、インダクタの出力からすべりを検出する。

3　磁界シミュレーションによる設計

Ansoft 社の電磁場解析シミュレータ(Maxwell 2d) を用いて、磁界の強度と磁力線方向を評価するためのシミュレーションを行った。センサに使用する磁気抵抗素子が測定可能な最大磁界強度は約 2.0mT である。また、柔軟層内の永久磁石は円筒形のネオジウム磁石(Nd35)、基板層は厚さ 1.6mm のガラスエポキシ基板であるとした。直径 6.0mm、厚さ 1.0mm の円筒形のネオジウム磁石を基板から 15mm 離れた地点に設置した場合の磁束線と磁界強度の分布に関するシミュレーションの結果を図 2 に示す。図 2 の上部の短い長方形が磁石、下部の長い長方形が基板であり、磁石から放射状に出ている線が磁力線、磁石を中心にする円が磁界の強度の分布を示している。この図ではその円の最も内側の線が 2.0mT、外側の線が 1.0mT の磁界強度の分布を表わしている。この磁力線の分布より、磁気抵抗素子を永久磁石の直下から 10mm 以上離れた箇所に設置した場合に高い精度が得られると考えられる．また、図 2 に示した磁界強度の範囲は、1.0mT から 2.0mT であり、永久磁石の直下から 15mm 以上離さないと測定値が飽和する。しかしながら、この触覚センサに実際に用いる永久磁石の磁界強度をガウスメータで測定したところ、シミュレーションのおよそ 1/2 の値であった。そこで、永久磁石の直下から 10mm 離れた箇所に磁気抵抗素子を配置するよう設計を行った。

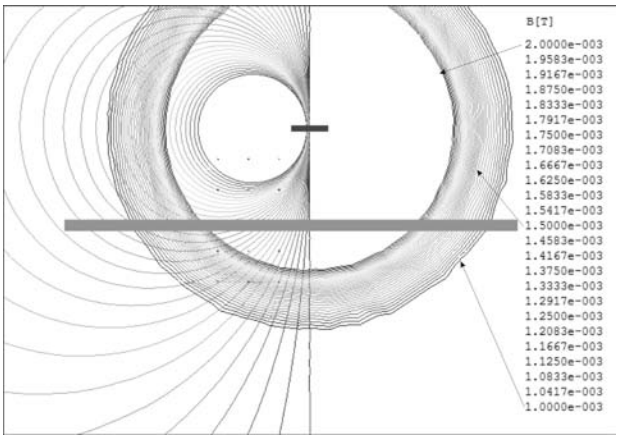


図２　磁気シミュレーション例

4　実　　験

試作した直径 20mm の磁気式触覚センサを図３に示す。また、3 軸自動ステージを使って柔軟層を z=2mm 押し込んだ後、x,y 方向（せん断方向）に与えた変位と、センサの出力した変位の比較を図４に示す。x,y の原点は柔軟層の中心の初期座標と一致する。ステージで加えた変位とセンサの出力した変位がほぼ一致しており、誤差は 0.2mm 以下となった。同実験においては、誤差 0.1N 以下で力の算出ができることも確認した。また、すべり検出の実験の結果を図５に示す。この実験ではレーザー変位計を用いて、柔軟層表面と対象物（アクリル）との間で固着とすべりが交互に発生するスティックスリップ現象を検出した。レーザー変位計の出力が大きく変化している時間にすべりが発生しており、それと同時にインダクタの出力も大きくなっている。それらインダクタの出力を基に 3σ 管理によりすべり検出を行ったグラフが図５の下部に示しているが、同じタイミングですべり検出ができていることがわかる。

直径 4mm の円筒部材をセンサの表面に固定し、スナック菓子を潰す実験を行った結果を図６に示す。図６の横軸は時間、左縦軸は x,y,z のそれぞれの変位、右縦軸はインダクタの出力を示す。スナック菓子が崩れるタイミングでインダクタの出力が大きくなっており、x,y,z の変位と合わせると崩れる大きさと方向が明確にわかる。この結果から、食品の脆さやサクサク感などを 3 軸で計測できることが明らかとなった。

以上の結果は、直径 20mm の柔軟層を試作、評価したものであるが、直径 10mm の柔軟層からなる磁気式触覚センサも試作し評価した。その結果、同様に変位と力の算出と、すべりの検出ができることを確認した。

5　結　　論

磁界シミュレーションを用いて磁気式触覚センサの設計を行い、直径 20mm、10mm の磁気式触覚センサの試作、評価を行った。今後は県内企業と実用化を進める。

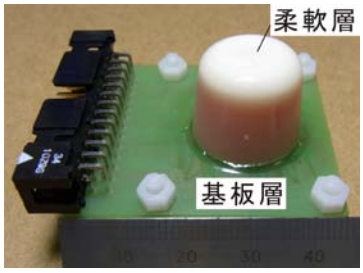


図３　試作センサ

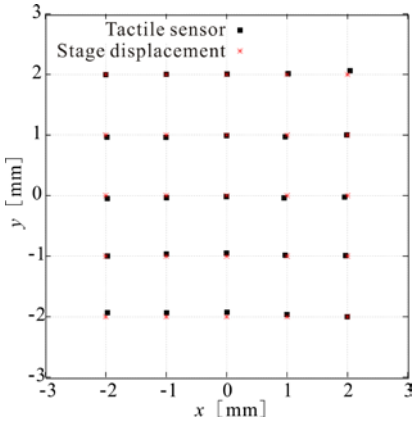


図４　自動ステージの変位とセンサの変位出力

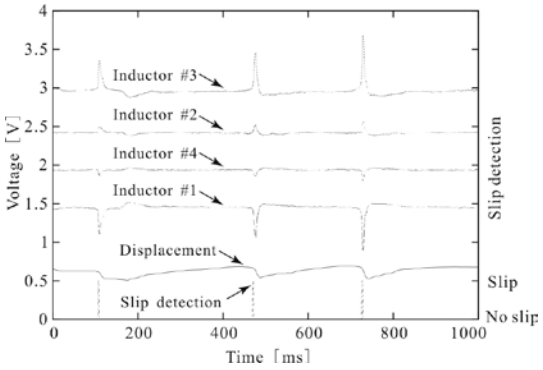


図５　すべり検出結果

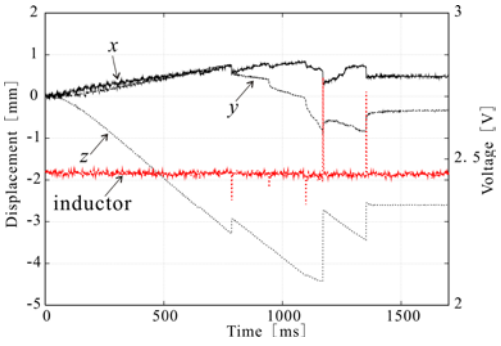


図６　スナック菓子を押しつぶした場合の結果

（文責　中本裕之）

（校閲　三浦久典）

〔技術改善研究〕

30　磁気抵抗素子とインダクタによるハイブリッド触覚センサ

中本裕之，松本哲也，北川洋一

1　目　　的

これまで産業用ロボットは主に決められた動作パターンを繰り返すティーチングプレイバック方式で運用されてきたが、現在では多品種少量生産やこれまで対象としていなかった加工食品、野菜、果実などへの適用求められている。これらを可能とするためには、自由度の高いロボットハンドと把持状態を認識する触覚センサの実用化が挙げられ、当センターでも 5 本指のロボットハンドや分布型触覚センサの研究開発を行ってきた。特に触覚センサに関しては、コスト面での制約が強く、一般に用いられるグリッパ（開閉型 2 指ハンド）に適用するためには安価という条件が重要であり、センサの基板や信号処理にコストを要する分布型触覚センサでは難しい。そこで、本研究では分布型ではなく単一型で、磁界の変化に基づいて接触時の変位や接触面に加わる応力を出力する触覚センサ（以下、磁気式触覚センサとする）の提案を行う。このセンサは安価に構成でき構造も単純でありながら、接触力やすべりの有無を取得できる。本論文では、磁気式触覚センサが接触時の力の大きさと方向に加えて、すべり発生時のスリップスティックの検出も可能なことを実験により検証する。

2　構　　造

磁気式触覚センサの検出素子として巨大磁気抵抗効果（Giant Magneto Resistive effect）を応用した GMR センサと、インダクタを用いる。GMR センサは磁界強度によって電気抵抗値が変化することから、その電気抵抗値を計測することで磁界強度を求めることができる。インダクタはコイルの原理から磁界強度の変化を受けて誘導起電力を発生する。したがって、GMR センサは静的な磁界強度を、インダクタは動的な磁界強度を検出できる。これら素子に磁界を与える永久磁石としてはネオジム磁石を用いる。開発した触覚センサの構造を図１に示す。磁気式触覚センサには対象との滑らかな接触のためにウレタンゲルによる柔軟層を設けた。柔軟層は磁石を内包しており、対象物と接触して柔軟層が変形すると同時に磁石も変位する。この変位を柔軟層の下に配置した基板層上の 4 つの GMR センサの出力から求める。さらには、柔軟層が弾性体であるとみなし、その変位から柔軟層に作用する接触力を算出する。また、すべりに伴うスティックスリップ現象の検出として同じ基板層上に配置したインダクタの出力を用いる。

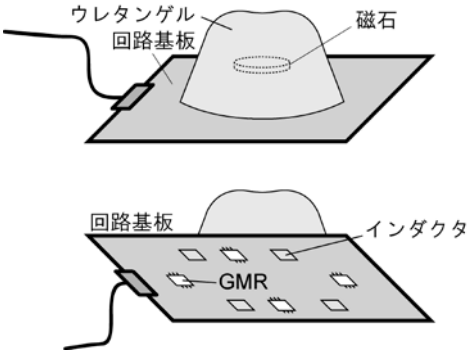


図１　センサの構造

試作したセンサを図２に示す。柔軟層の形状は平成 19 年度産学官ビジネスインキュベート事業で設計したものを用いており [1]、磁界強度に対する GMR センサの出力特性から磁石と GMR センサ間の距離を決定した。GMR センサの出力は差動増幅回路で約 100 倍に増幅した。インダクタについては後段の増幅回路の設計を容易とするためインダクタンスの高いものを選定し、増幅には 2 段の反転増幅回路を用いて約 10000 倍の増幅を行った。各増幅した電圧は PC に装着した AD 変換ボードで計測する。

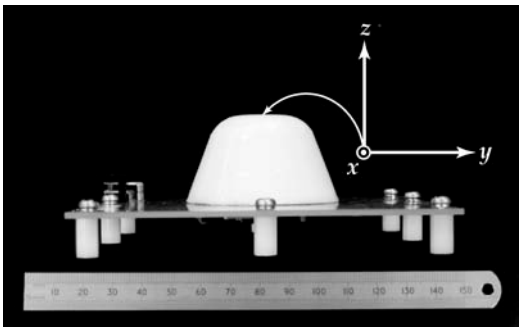


図２　試作したセンサ

3　実　　験

３．１　変位と接触力

試作したセンサに変位、接触力を与える実験を行った。事前にキャリブレーション用のデータとして変位、接触力と GMR センサ出力の関係を計測した。図２に示すように柔軟層の上面中央を原点として、z 軸方向に-2mm と-4mm、xy 軸方向にそれぞれ±2mm だけ変位（接触力）を与えてその時の GMR センサの出力を計測し、事

前に計測した変位と GMR センサの出力のキャリブレーション値から変位を算出した。接触力については変位と力覚センサの出力のキャリブレーション値から算出した。

与えた変位と算出した変位を図３に示す。垂直方向の変位すなわち z 軸方向の変位が異なっていても、x、y 軸方向の変位の算出には大きな差は出ていない。誤差は5%程度であり、変位センサとして精度の高い出力が得られている。次に、力覚センサで計測した接触力と触覚センサで算出した接触力を図４に示す。接触力の算出については図３で示した変位を用いているため、変位の誤差の影響を受けたものとなっている。接触力の誤差は10%程度であった。厳密な接触力を必要とする用途には向かないが、接触力の大まかな方向や大きさを得るには十分と考えられる。さらには、この接触力の算出には変位を用いるのではなく、GMR センサの出力から直接算出する方法を検討することで、誤差を小さくできる可能性がある。それについては、今後の課題としたい。

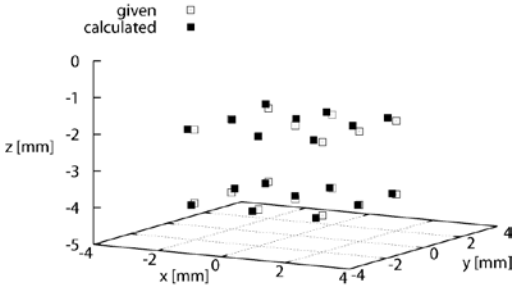


図３　与えた変位と算出した変位

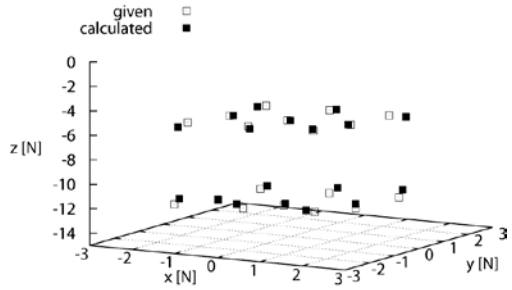


図４　与えた力と算出した力

３．２　すべり検出

試作したセンサですべり検出の実験を行った。サンプリングレートは 100Hz とした。摩擦係数が 0 でない接触の場合、すべりを生じると固着とすべりを繰り返すスティックスリップ現象が起こる。予備実験ではスティックスリップ現象の発生時にインダクタの出力が大きく変化したことから、本研究ではこの出力変化を 6σ 管理で行う。6σ 管理は、現在の出力値から決められた数だけ時間的にさかのぼったデータの平均値と標準偏差を求め、その平均値の±3σ 内に現在値が収まっているかを判定する。収まっていなければデータに変化があったことを意味し、本研究ではその場合をすべりと判定した。ただし、インダクタは 4 個配置しているので 4 出力すべてがすべりと判定した場合にのみすべりと判定する。

アクリルの棒材を用いてセンサに対して 2N の垂直力で押下した後、センサに対して水平に棒材を 3 回すべらせた際のインダクタの出力と 6σ 管理によるすべり判定出力を図５に示す。横軸は 10ms 刻みのタイムステップで 10 秒間、左の縦軸はインダクタの出力電圧、右の縦軸はすべり判定出力を示す。インダクタの出力によると、4 つすべての出力が大きく変動したタイミングが 3 回だけあり、これがすべりの発生した時間であることがわかる。判定結果をみるとその 3 回のすべり判定ができている。各インダクタの 6σ 管理の判定結果をみると、そのすべりを発生させた 3 回のタイミング以外の時間で判定ありの出力となる場合が各インダクタの出力で 1、2 回程度あるが、他のインダクタの判定がそろわず全体としてすべり判定となっていない場合があった。これは接触面積全体でスティックスリップ現象ではなく、接触面の一部ですべりが発生する局所すべりと呼ばれる現象を捉えられていると考えられるが、提案する方法では実際にすべりの発生したスティックスリップ現象だけを検出できたことがわかる。さらに追加で計 20 回の実験を行ったところ 18 回のすべり判定ができ、90%の検出率となった。6σ 管理のデータ数や接触力の大きさなど調整すべきパラメータは残されているものの、すべりが安定して検出できることが分かった。

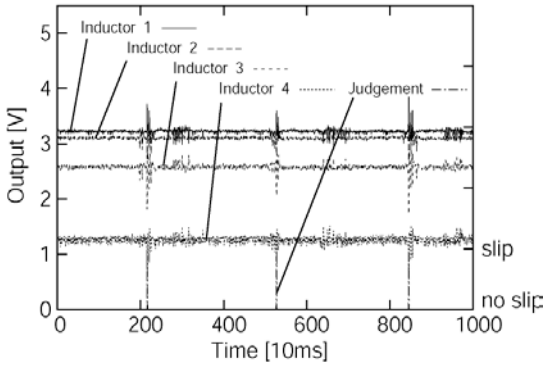


図５　すべり検出結果

４　結　　論

本研究では接触に伴う磁界強度の変化を検出原理とする触覚センサの提案を行った。今後は産業用ロボットに限らず、食品等の異分野での適用の可能性を検証していく予定である。

参　考　文　献

1)　中本，武縄，北川，兵庫県立工業技術センター研究報告書，第 17 号, pp.39-40(2008).

（文責　中本裕之）　（校閲　北川洋一）

〔経常研究〕

31　自律ロボットを実現する人工神経回路網コントローラの作成と検証

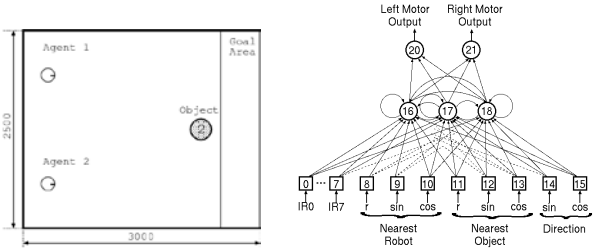
伍賀正典，中本裕之，北川洋一

1　目　　的

現在の日本において急激な少子高齢化のため、高齢者の介護や生活支援を行う家庭用ロボットに多大な期待が寄せられている。人間と直接相互作用するロボットは、これまでの産業ロボットと異なり、自律機能や知的行動が必要とされるが、知的制御技術は依然未知の領域が多い。このように、ロボットの自律行動を創発的に獲得させることを目指した研究分野として、進化ロボティクス（Evolutionary Robotics: ER）がある。そこでは制御手法の一つとして進化型人工神経回路網（Evolving Artificial Neural Networks: EANNs）を用いる場合が多い。EANNs の手法は単独のロボットの振る舞いを調整するのに有望なアプローチであると言われている。EANNs の機能をソフトウェアから、ハードウェア（ワンチップマイコン、FPGA 等）に実装しコントローラを作成するための検討を行う。

2　実験方法

ロボットに知的で自律的な振る舞いを獲得させるため、計算機実験で協調行動を伴う物体搬送問題を扱う。実験で扱うフィールドには、エージェントが 2 台、これらによって搬送される荷物が 1 つ配置されている（図 1）。荷物には仮想的な静止摩擦係数と質量が設定されており、2 台のロボットで同時に押さなくては動かせない設定となっている。この荷物がフィールドの右端まで移動するとタスクが達成されたことになる。ロボットは左右独立二輪駆動であり、前方に 6 つ、後方に 2 つの IR センサ、中心に全方位視覚と向いている方角を検知する方位センサを持つものとする。これらによって相手ロボットと荷物への距離と相対角度を検知することができる。これらの情報をセンサによって外部から取得し、コントローラであるリカレントニューラルネットワーク（Recurrent Neural Network:RNN）の入力信号とする。図 1 (b)に示すように RNN の構造は隠れ層ノード三つ(16, 17, 18)、出力層ノードは左右の車輪のモータ出力の二つ(20, 21)である。これらのノード間のリンクの結合荷重は実験開始時ではランダムであるが進化計算を用いて最適化される。ロボットは荷物と初めて接触したときに適応度 1000、その後、荷物に接触している時間ステップ毎に 0.1 を加算する。(10, 70)-ES と呼ばれる進化戦略手法を用い個体集団を発生させ一つの個体遺伝子型を二台のロボットに実装し試行を行う。計算機実験と実際の環境を近づけるため入出力信号に正規分布を加算しノイズとする。このため、試行を 1, 3, 5, 10 回行わせ評価の妥当性を高める。

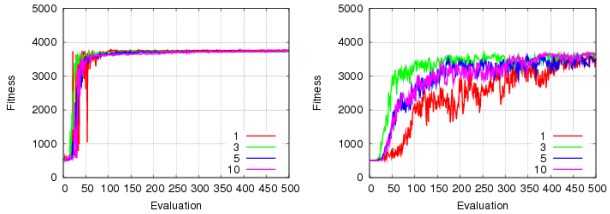


(a) 実験環境　　(b) RNN コントローラ

図 1　実験設定

3　結果と考察

図 2 に実験結果を示す。図 2 (a)　に示す最良個体の適応度の推移から 1 回の評価でもタスクを達成することがわかるが、(b) に示すように平均適応度は低く推移する。評価が 1 回のみでは平均適応度の変動も激しく、評価回数を増加させることで集団が安定することがわかる。また、評価回数が 10 回では、5 回と差はなく、進化計算の停滞が起こっていると考えられる。この環境においては、3 から 5 回が適当な評価回数であることがわかる。



(a) 最大適応度　　(b) 平均適応度

図 2　適応度の推移

4　結　　論

本研究では、ハードウェアに実装するための人工神経回路網の計算機実験を行った。RNN を用いたロボットコントローラでロボットは自律的で協調的な振る舞いを獲得することを示し、この場合の評価回数の適切な範囲を明らかにした。今後、他の実験環境での計算機実験を行い、その結果からハードウェアへ実装するのに適した設定を探る。

（文責　伍賀正典）
（校閲　松本哲也）

〔戦略的情報通信研究開発推進制度（総務省）〕

32　ユビキタスネットワークを活用した高齢者等の安心安全を確保する見守り空間創成に関する研究開発

松本哲也，中本裕之，伍賀正典

1　目　　的

社会の高齢化の進展に伴い、認知症を患って自宅で家族が介護することが難しく、高齢者介護施設に入居する高齢者が増加している。

施設では、徘徊や廊下での転倒など、入居者の生命にかかわる要救護行動をいち早く見つけて重大事故を防止することが求められており、監視カメラや IC タグなどの導入も一部で進められている。しかしながら IC タグを利用する方式は、入居者が故意または不意にタグを外すことがあり、導入の効果が上っていない。また監視カメラによる 24 時間の見守りは、人的コストの面から困難であり、入居者のプライバシー面からも問題がある。

我々はこのような社会的課題の解決を図るため、顔認証技術を利用し、施設入居者の廊下での行動パターンから徘徊、転倒等のインシデントをいち早く検知、通報可能な見守りゲートシステムを開発した [1)-7)]。

2　見守りゲートシステムの試作

本研究で開発した見守りゲートシステムの構成を図 1 に示す。施設の廊下に、複数のネットワークカメラからなるゲートを設置する。天井カメラでは動体の進入と頭部の検出を行い、進入後は、顔の向きに応じて正面カメラ或いは側面カメラにて顔サーチおよびデータベースとの照合による顔認証を行う。あわせて顔の 3 次元位置の時系列変化を得る。これにより、表 1 に示す特徴量(いつ(時刻)、誰が(属性)、どのような姿勢で(姿勢)、通過したか(移動))を検出することができる。ここで顔認証技術は、共同研究者であるグローリー株式会社が保有する技術 [8)]を利用した。

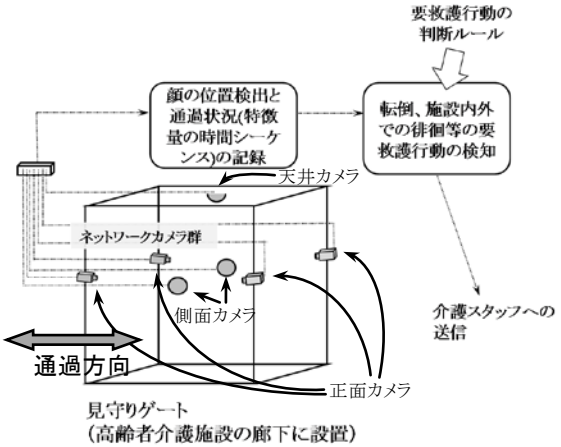


図 1　見守りゲートシステムの構成

特別養護老人ホームで調査した過去のインシデント例等により、ゲート付近で起こり得る主な要救護行動として、表 2 に示す「転倒」、「這って移動」、「無理な立ち上がり」(転倒の可能性)、「夜間徘徊」が挙げられた。これらの行動は、1 つの見守りゲートにより、表 2 に示す特徴量の時系列変化を検出することにより if-then ルールで検知することができる。

さらに、図 2 に示すように見守りゲートを施設の居室エリアの両端 2 か所に設置する場合を考える。この時、各入居者ごとに状態遷移モデルを構築することで、以下の徘徊の検知が可能となる。

即ち、「施設外への徘徊」、「徘徊(ロの字型廊下の周回)」、「周回(廊下の或るエリアの往復)」のそれぞれに対し、リスク推定のための各入居者ごとの変数 R_1,R_2, R_3(初期値 0)を用意すると、(内側)、(外側 1)、(外側 2)の 3 エリア間での 30 分毎の移動情報から各変数の値を増減させることで、変数が閾値 T_1,T_2,T_3 を超えた($R_1 > T_1$,$R_2 > T_2$,または $R_3 > T_3$)時点で

- (外側 1)或いは(外側 2)エリアに長時間滞在することによる施設外への徘徊の虞れ
- ゲート 1 とゲート 2 を順に通過することによる施設内での徘徊(周回)の虞れ
- ゲート 1 或いはゲート 2 を多数回往復することによる徘徊(往復)の虞れ

を検知できる。これらの検知結果は、無線 LAN を経由して、文字情報で介護スタッフ詰所の端末に送信される。

表 1 検出する特徴量の例

特徴量		フラグ
A	属性	A1:利用者 A2:施設職員 A3:A1,A2 以外
B	姿勢	B0:顔サーチ失敗 B1:床面座位 B2:車椅子乗車 B3:立位歩行
C	移動	C1:長時間停止 C2:短時間停止 C3:移動(通過)
D	時刻	D1:昼間 D2:夜間

表 2　特徴量から得られる要救護行動例

	特徴量の時系列変化 (if)	発生した要救護行動 (then)
1	A1,B3 -> A1,B1 -> A1,B1,C1	歩行姿勢からの転倒
2	A1,B2-> A1,B0-> A1,B0,C2	車椅子からの転倒
3	A1,B1,C3	這って移動
4	A1,B2-> A1,B3	無理な立ち上がり
5	A1,C3,D2	夜間徘徊

3　実験結果と考察

3.1　1ゲートによる模擬実験と、特別養護老人ホームでの実証実験

我々はまず、図 3 に示す 1 方向移動検出型の見守りゲートを 1 ゲート試作し、正面、側面カメラによる顔認証率を評価した。また表 2 の要救護行動(夜間徘徊は除く)と、救護を要しない行動(車椅子乗車と歩行による通過)を演じ、要救護行動の検知率を評価した。実験は被験者 23 名による模擬実験で行った。その結果、顔認証率は 97.5%、要救護行動の検知率は 96.7%となり、いずれも十分な性能が得られていることを確認できた。

次に複数ゲートを配置したシステムの実施設での性能を評価するため、のべ 30 日、582 時間にわたり県内の特別養護老人ホームにて実証実験を行った。実験は、或る居住エリア(入居者 12 名)の一方の端に双方向型見守りゲート(図 3 に示す正面カメラが人物の後方にも設置されたゲート)を、もう一方の端の 2 か所に 1 方向型見守りゲートを設置し(2 ゲートの見守り方向は逆)、計 3 か所のゲートにより行った。設置した 3 ゲートを図 4 に、各ゲート構成の詳細を表 3 に示す。また介護スタッフ詰所の端末画面上での、要救護行動のアラート表示例を図 5 に示す。

実験では、動体が各ゲートに進入してから通過し終るまでの正面カメラの映像と、要救護行動の検知結果を記録した。これら記録と介護スタッフが書き留めた生活記録票から、次の 2 点についてシステムの性能評価を行った。

(a)生活記録票中の行動記録と検知結果の突合

実証実験期間中、生活記録票に残されていた入居者の注意を要する行動は全 8 件（「夜間の徘徊」と「徘徊」(昼間)）であった。これに対し、見守りシステムでは顔照合成功による検知件数が 4 件、顔サーチのみの成功（顔照合失敗）した件数が 4 件で、誰かが通過したことを含めた検知率（特に夜間は未登録者の通過頻度も低いのでアラート出力することは有効）は 100%となった。

(b)生活記録票の記載以外でシステムが検知した要救護行動の抽出

ゲート 1 を対象に、全ての動体進入のカメラ映像から人手で抽出した要救護行動のうち検知結果ログに残っている行動を抽出した。その結果、生活記録票の記載以外で夜間徘徊 13 件、徘徊（往復）2 件を検知できており、介護スタッフの負担軽減の面からシステムの有効性を確認できた。

3．2　考察

実証実験を進める中で、以下の点が課題として挙げられ、一部はシステムの改良、アルゴリズム修正によって解決した。

1) 本システムは、複数人が同時にゲートを通過する場合にも対応可能である。しかしながら、車いす乗車の入居者を介護スタッフが押して通過する場合には、両者の頭部の水平方向位置が非常に近接し、天井カメラ画像中で両者の頭部の切り分けが困難となるため、姿勢フラグと属性フラグの誤対応が起きることがあった。このような「介助移動」では、現実には要救護行動発生の虞れはないと考えられるため、システムの改良作業の中で検知対象から除外している。

2)本システムが想定した要救護行動には、出現頻度が低いものもある。実際に、のべ 30 日間の実証実験期間中、「ヒヤリハット」と呼ばれる、事故が起きる可能性が十分ある事例の記録はなく、我々がシステムの記録と突合したのは、それより軽微な「生活記録票」に記載の記録であった。このことから、要救護行動全てにわたるシステムの性能検証には、さらに長期にわたる実験が必要である。

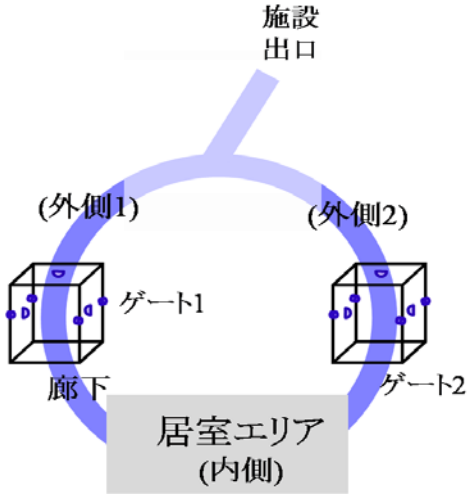


図 2　複数ゲートによる見守り

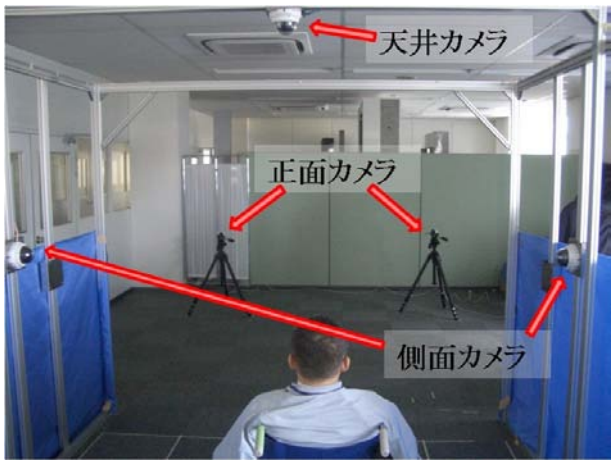


図 3　試作した見守りゲート（1方向検出型）



ゲート 1-1



ゲート 1-2



ゲート 2

図 4　実証実験で設置したゲート

4　結　　論

高齢者介護施設の特定エリアにおいて入居者の安心安全を確保するための見守りゲートシステムを開発した。本システムは、複数カメラから構成されるゲートを施設廊下の複数箇所に設置する構成であり、顔照合技術を活用したゲート通過人物の移動情報の獲得により、施設内外での徘徊や転倒等の要救護行動をいち早く検知することができる。

システムの性能評価のため、特別養護老人ホームで実証実験を行った結果、介護スタッフの記録にあった 8 件の徘徊事例をすべて検知でき、また記録にない事例 15 件をも検知でき、介護スタッフ支援システムとして有用性を確認できた。今後、3 年以内の実用化を目標として、システムの完成度を高めてゆく。

表 3　実証実験で設置したゲートの構成

	ゲート 1-1	ゲート 1-2	ゲート 2
設置位置の通路幅	2.4m	2.2m	1.7m
各ゲートのカメラ数	4	6	6
正面カメラの個数	2	2	2 (前・後向き各 1 個)
正面カメラの向き	単方向	単方向	前後の双方向
正面カメラの高さ	2.1m	1.5m	1.5m
正面カメラのゲート中心からの距離	8m	7m	6m
側面カメラ個数	0	両側面各 1	両側面各 1

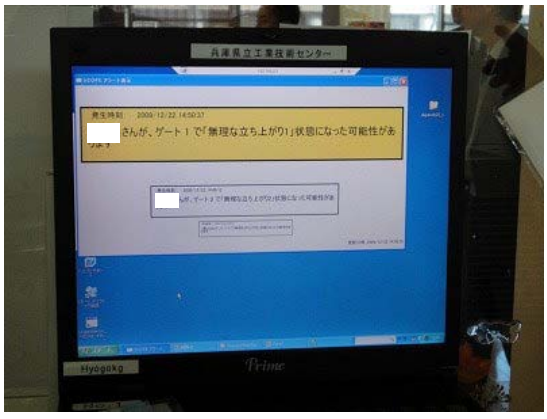


図 5　介護スタッフ詰所でのアラート出力例

参 考 文 献

1) T.Matsumoto, H.Nakamoto, M.Goka, Y.Kitagawa, H.Kameyama, Y.Kamise, K.Omori, I.Kitayama and K.Sumiya”Multi-camera gate system for locating hazardous motion in nursing home　tenants with cognition disorder”, Gerontechnology, Vol.9, No.2, p.230 (2010)

2) H.Nakamoto, T.Matsumoto, M.Goka, Y.Kitagawa, H.Kameyama, Y.Kamise, K.Omori, I.Kitayama and K.Sumiya”Development of multi-camera gate for fall detection in nursing　home with　face-recognition”, Gerontechnology, Vol.9,　No.2, p.313 (2010)

3) 特願 2009-180092

4) しんきん経営情報, Vol.36, No.5, p.18 (2010)

5) “高齢者の転倒・徘徊　画像処理で検知し通知”、日経産業新聞、2010 年 1 月 18 日

6) 松本哲也,中本裕之,角谷和俊,大森清博,亀山博史,北山一郎,”戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE) 第 6 回成果発表会資料, p114 (2010)

7) 松本哲也,中本裕之,伍賀正典,北川洋一, 亀山博史,神瀬陽二郎, 大森清博,角谷和俊,北山一郎,”高齢者の転倒・徘徊など、常時監視、不要に”, 画像ラボ, Vol.21,No.9 (2010)

8) バイオメトリックセキュリティ・ハンドブック, オーム社,pp12-15 (2006)

（文責　松本哲也）
（校閲　三浦久典）

〔技術改善研究〕

33　外乱振動の影響除去可能な光干渉型振動測定技術の開発

松本哲也，瀧澤由佳子，北川洋一

1　目　　的

金属、木材等の切断に利用される丸鋸刃は、使用中の安定性向上、騒音低減等の目的で、通常数か所にスリットを切っている。このスリットは各社各様の形状をとっているが、最適な形状とするための制振性能の定量評価を行うことが求められている。

我々が先に開発した電子スペックル干渉型振動測定システム[1),2)]は非接触かつリアルタイムで 2 次元振動振幅分布を測定できるため、本ニーズに合致すると思われるが、現場での加振試験時には、周囲の振動により加振振幅(1μm)より遙かに振幅の大きい低周波外乱振動成分が重畳されて制振性能評価ができないという問題があった。

今回、TV カメラの電子シャッター機能を利用し外乱振動の影響除去可能な手法を検討した。

2　実験方法

振動測定機の構成を図 1 に示す。半導体レーザを光源とし、ビームスプリッタ BS_1 によりレーザ光を 2 分割して一方を振動面に照射する。振動面からの散乱光をレンズにより集光後、振動面を経由しない参照光と BS_2 により重ね合せ、TV カメラにより撮像する。

得られる画像は、振動の振幅によりスペックルパターン(粒状の干渉パターン)の平均化の度合いが異なる。N 枚の画像を入力し、各画素ごとに光強度 $I(x,y,n)$の最大値 $I(x,y,n_1)$から最小値 $I(x,y,n_2)$を減じて 1 枚の画像を生成する処理(縞生成処理)により [2)]、図 2 に示す、振動の等振幅線を表す濃淡縞画像が得られる。図中、最も鮮明な白色縞が振幅ゼロの位置を示しており、それから遠ざかるにつれて振幅が増大する。通常は N=10 程度で図 2 の画像を得ることができる。

光学ヘッドと振動面を除振台上に固定することで明瞭な縞画像が得られるが、除振機構のないテーブル上での測定や、或いは光学ヘッドと振動面が別のテーブル上にある場合などでは、床などから伝わる外部の低周波大振幅振動の影響を受け易い。影響を大きく受けた場合には、図 2 の縞画像のコントラストが低下し、やがて視認できなくなる。

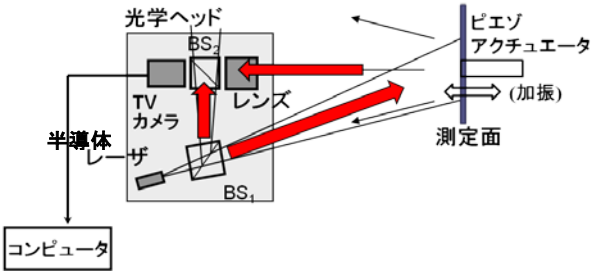
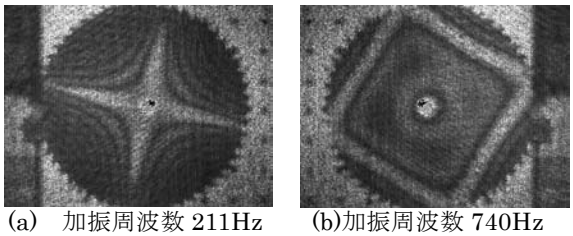


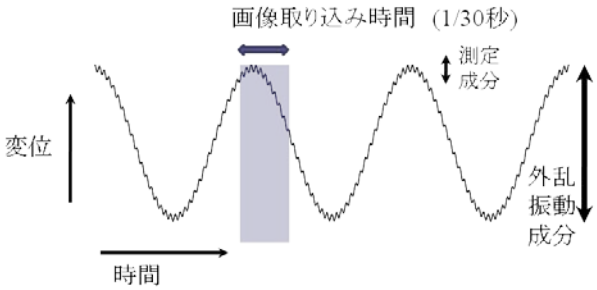
図 1　振動測定機の構成

そこで我々は、TV カメラの電子シャッター機能を利用し、コントラストを向上させる手法を考案した。図 3 (a)に示すように、NTSC 規格の TV カメラは 1/30 秒間隔で画像を生成、伝送している。その間の光強度の平均を取った画像が生成される。(a)に示す変位、周期の外乱振動成分が測定成分に重畳された場合、どのタイミン

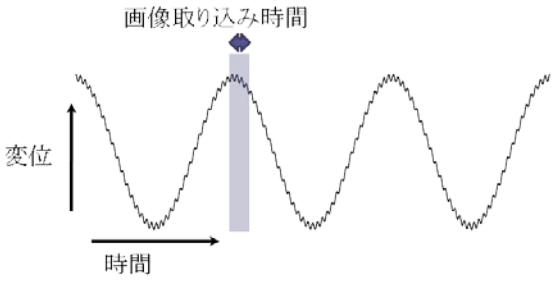


(a)　加振周波数 211Hz　　(b)加振周波数 740Hz

図 2　丸鋸刃加振時に測定される振動振幅縞画像の例



(a) 従来の画像取り込み



(b) 電子シャッターを利用した
画像取り込みの短時間化

図 3　電子シャッター機能を利用した画像取り込み

グで入力される画像も外乱振動の影響によりスペックルパターンが平均化され、ほぼ均一な光強度を取る画像となってしまう。

そこで TV カメラの電子シャッター機能を利用し、(b)に示すように画像取り込み時間の短時間化を行った。取り込み時間を短かくすることにより、外乱振動の山、谷での折り返し近傍のみを含む画像が入力される。外乱振動と同期を取らないため、多数枚の画像入力中に、折り返し近傍のみを含む画像が一定の割合で含まれることにより、振動振幅縞画像が次第に鮮明化される。今回の実験では 1000 枚の画像を取り込み、縞生成処理により現れる縞の明瞭度を評価した。なお図から容易に分かるように、この方法は、外乱振動の振幅、周波数とも高くなるにつれて効果が低下する。

またこの手法は、外乱振動成分を実測する必要がなく、また外乱振動の波形によらない、非定常な外乱振動にも適用できる利点がある。

3　結果と考察

丸鋸刃を用い、提案した手法の効果を確認する実験を行った。用いた刃は、直径 165mm、厚さ 1mm、重量 150g、制振スリット付のものであり、正反射光の影響を避けるため、表面に白色ラッカーを塗布して用いた。加振信号(周波数 765Hz、振幅 0.17μm)と外乱振動信号(周波数 2Hz、振幅 60μm)を重畳させ、ピエゾアクチュエータによって丸鋸刃を加振し、TV カメラの電子シャッター機能(ここでは 1/125 秒に設定)の有無による縞画像の変化を測定した結果を図 4 に示す。電子シャッター機能を用いない場合、(c)、(f)から測定時間 33 秒(N=1000)でも振幅ゼロ付近の白色縞が鮮明に現れていないことが分かるが。1/125 秒の電子シャッターを利用して画像取り込み時間を短かくした場合、(e)に示す N=1000 の場合に明瞭な縞が現れて縞のコントラストが向上していることが(g)の光強度分布から分かる。

ただし、電子シャッターにより画像取り込み時間を短かくしてゆくと入力画像が暗くなってゆき、1/250 秒に設定した場合には、光量不足の為全く縞が出現しなかった。最適な時間条件について更に検討を進める必要がある。

4　結　　論

丸鋸刃の制振特性を製造現場で評価するための技術として、電子スペックル干渉による非接触 2 次元振動測定技術を利用し、周囲の外乱振動の影響を除去可能な技術を提案し、実験により性能を確認した。

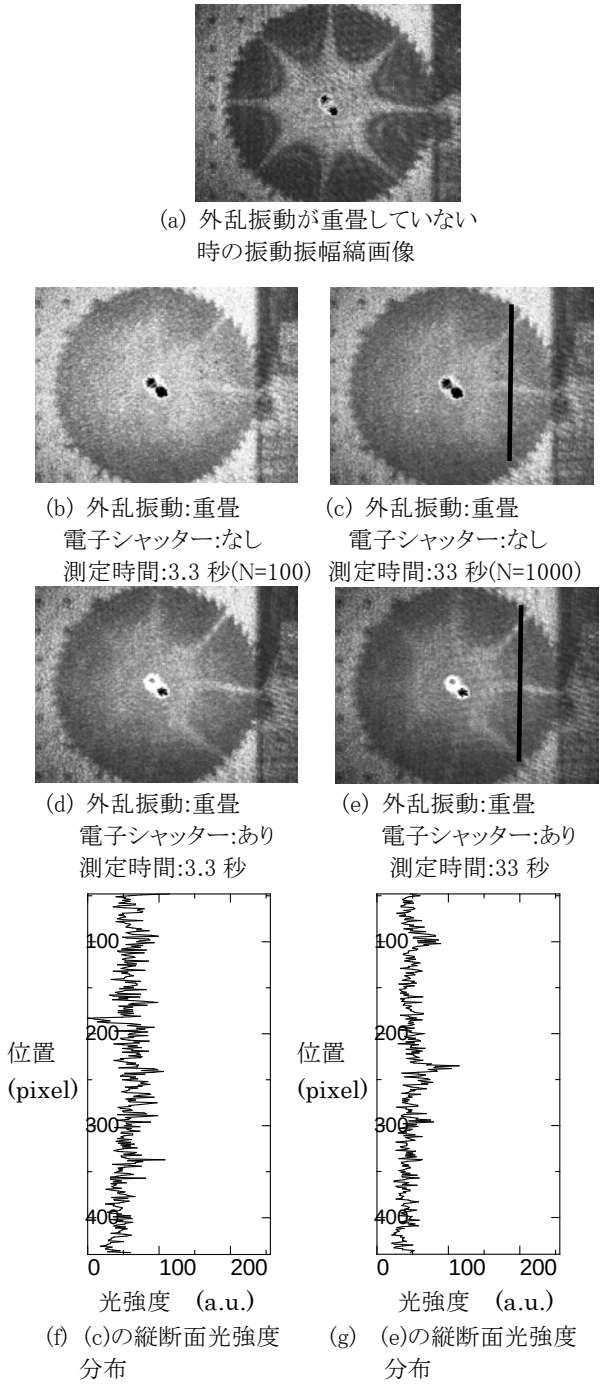
参考文献

1) T.Matsumoto, Y.Kitagawa, N.Kosaka, Y.Kinoshita, M.Shimada and M.Adachi “Vibration frequency measurement with speckle interferometry”, Proc. SPIE,Vol.5602, pp.91-98 (2004)

2)松本哲也、北川洋一、小坂宣之、中本裕之、兵庫県立工業技術センター研究報告書、No.13、pp.14-16 (2004)

（文責　松本哲也）

（校閲　三浦久典）



(a) 外乱振動が重畳していない時の振動振幅縞画像

(b) 外乱振動:重畳
電子シャッター:なし
測定時間:3.3 秒(N=100)

(c) 外乱振動:重畳
電子シャッター:なし
測定時間:33 秒(N=1000)

(d) 外乱振動:重畳
電子シャッター:あり
測定時間:3.3 秒

(e) 外乱振動:重畳
電子シャッター:あり
測定時間:33 秒

(f) (c)の縦断面光強度分布

(g) (e)の縦断面光強度分布

図4　外乱振動重畳時の振動振幅縞画像測定例
(a)の加振周波数 765Hz, 振幅 0.17μm
外乱振動の周波数 2Hz, 振幅 60μm

〔産学インキュベート事業〕

34　レーザ干渉を用いた微細格子形成に基づく高効率デバイスに関する可能性試験

松本哲也，瀧澤由佳子，石原マリ，北川洋一

1　目　　的

光を微小領域に蓄えたり必要なところに効率良く導く等の光制御技術は、光通信、光記録等の様々な分野で活用されており、今後もますます応用が進むと考えられている。このような光制御技術において、光源である光を限られた空間内で高効率に制御、導光するため、微細化と高機能化が可能な光学デバイスの開発が強く求められている。

本研究では、高機能な新規光学デバイスの開発のため、有機材料へのレーザ干渉露光技術を適用した、ナノサイズの液晶ドロプレット(滴下)構造に基づく新規の光学デバイス形成における可能性試験を行う。液晶や高分子等からなる有機複合体材料は、光照射に伴う自己組織化作用により、その構造をナノレベルで制御可能である。この材料系と強度や波長を精密に制御可能なレーザプロセスとを融合させることで、数十～数百 nm 程度の格子間隔を有する体積型の高効率回折光学デバイスの形成へと展開することが可能となる。

2　光機能材料・デバイスの作製

2.1　2 光束レーザ干渉露光光学系の構築

露光を行う装置の概略を図１に、概観写真を図２に示す。グリーンレーザをビームエキスパンダーで拡大した後、ビームスプリッターBS により２分割し、ミラーによって２箇所からの露光を行う。グリーンレーザの強度 18.91mW に対して、ビームスプリッターでレーザ光を分割した後のそれぞれのビーム強度は 8.96mW、9.49mW であり、ほぼ半分の強度で分割できている。記録材料(液晶を用いた有機複合体材料)を置く場所に回転自動制御ステージを設けており、露光を行う際にコンピュータ(PC)で角度制御、時間制御をすることが可能である。また、シャッタコントローラも PC 制御可能である。

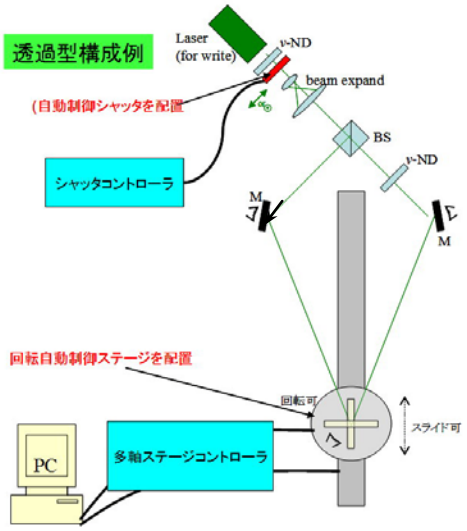


図１　レーザ干渉露光装置の構成

2.2　デバイス作製

液晶材料を用いた回折光学素子は、レーザ干渉露光を行うことで格子構造を形成している。レーザによる干渉強度パターンを照射することでこの強度パターンに対応した格子構造を形成し、液晶と高分子が周期的に配列した回折光学素子を作製することができる[1)]。

実際の光機能材料・デバイス作製においては、用いた材料の調整が重要となる。このため、今回使用した高分子・液晶複合体材料に対し、液晶材料（メルク製：BL024）の回折光学素子における作製条件の最適値を得るために、複合材料における液晶添加量と回折効率の関係について調べた。添加量として、複合体材料の全体の重量に対する添加重量比を 10～60wt%まで変化させ

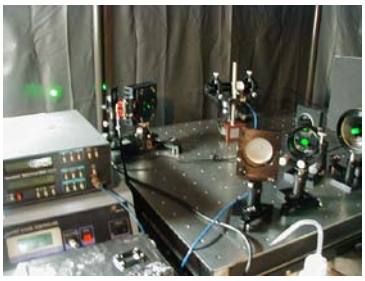


図２　レーザ干渉露光装置の概観

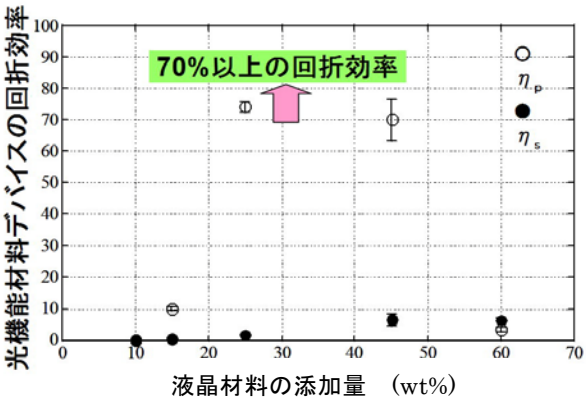


図３　液晶材料の添加量とデバイスの回折効率との関係

た。このようにして作製した素子の回折効率との関係を図３に示す。P 偏光に対する回折効率をη_P、S 偏光に対する回折効率をη_Sとして示している。回折効率の大きい P 偏光に対する回折効率を比較すると、ネマティック液晶添加量 20wt%以下では 10%未満と低い値を示しており、添加量 20wt%～45wt%ではそれぞれ 70%以上の高い値を示している。これらのことから、回折効率は液晶添加量に依存していることがわかった。これらの結果から、安定した高い回折効率を得られる液晶の添加量は 25wt%が適当であると考えられ、以下に示す実験ではこの条件を使用した。

3　結果と考察

作製したデバイスの分光スペクトル分布について詳細に評価するため、異なるデバイス膜厚で作製した素子の分光光度計による透過率測定を行った。測定結果を図４に示す。実線は入射角 30deg の場合の透過率で、破線は垂直入射の場合である。素子に入射した白色光が回折されれば、透過率が減少すると考えられるので、100%とこの透過率の差分がおおよそ回折効率に対応すると考えられる。この結果より、若干のばらつきはあるものの 400nm～800nm の波長領域で透過率の減少が見られるため、この波長領域において回折が生じているものと思われる。また、10μm と 20μm のデータを比較すると、膜厚が薄い場合の方が透過率の減少の程度が大きいように観察される。

さらに、デバイスの回折特性について調べるため、小型の分光装置と光ファイバ検出器により分光特性評価を行った。評価に用いた装置は、Ocean Optics 製 USB4000（測定波長範囲：200nm～850nm)である。この評価装置を用い、白色ハロゲン光源からの光を作製したデバイスに垂直に入射させ、デバイスから回折される光を 280mm 離れた位置に設置した光ファイバで受光して分光器へ導入し、スペクトルを測定した。

測定結果を図５に示す。この図は光ファイバの角度

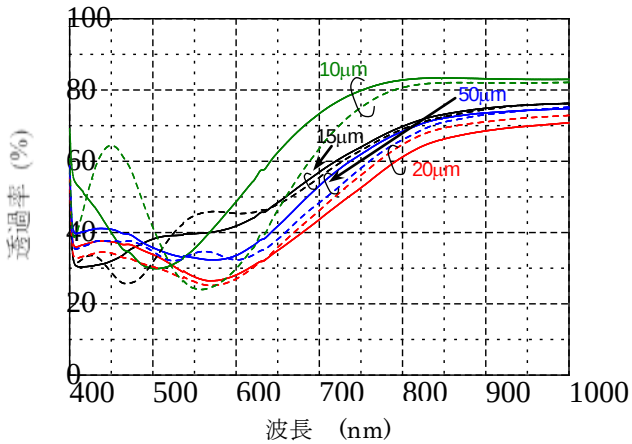


図４　作製したデバイスの分光光度計による透過率特性測定結果

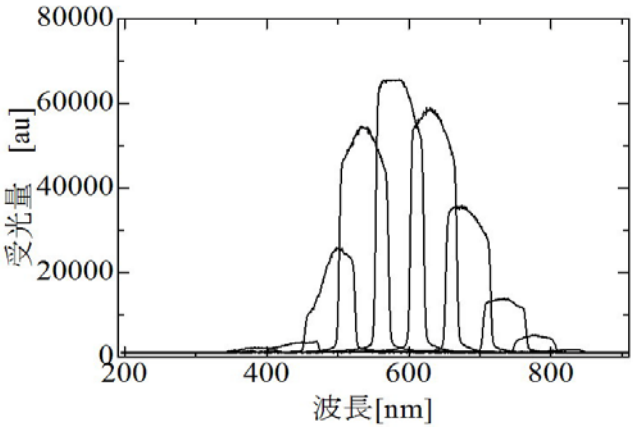


図５　作製したデバイスからの回折光のスペクトル評価結果

を変えながら、各位置において生じた波長の分光スペクトルをまとめたものである。この結果より、400nm 付近から 800nm の近赤外領域まで回折光によって分光されていることが確認できる。両端の波長域で光量が減少しているのは、これらの波長域において、光源から照射した光量自身が少ないことも影響していると考えられる。

4　結　　論

本研究では、グリーンレーザを用いて構築した 2 光束レーザ干渉露光光学系により、光機能材料・デバイスの試作試験を行った。また試作したデバイスに対して、分光光度計による透過率測定と、白色ハロゲン光源を入射した場合の分光特性評価を行った。

その結果、1μm の微細周期構造を有し、回折効率 70%以上の高効率な光学特性を有する光機能材料デバイスの形成が可能になった。このデバイスは偏光依存性が大きいため、偏光と分光を組み合わせた新しい光学特性評価・解析手法へ展開できる可能性を有するものである。格子構造の傾きの設計も可能なことが確認され、今後の計測システムに応用する場合において、小型で組み込み自由度の高いデバイス試作品を得ることができた。

参 考 文 献

1) A. Ogiwara, M. Minato, S. Horiguchi, H. Ono, H. Imai, H. Kakiuchida and K. Yoshimura, Jpn. J. Appl. Phys. 47, p 6688 (2008).

謝　辞

本研究は、神戸市立工業高等専門学校荻原昭文教授、株式会社アイデンと共同で実施しました。関係各位に深く感謝します。

（文責　松本哲也）
（校閲　三浦久典）

〔経常研究〕

35　視覚センサを利用した三次元計測システムの開発

金谷典武

1　目　　的

交通事故が発生した場合に、その後の処理として、個々の事故ごとに報告書が作成されている。その報告書には交通事故現場見取図と呼ばれる図面が含まれており、事故が起こった場所の道路状況や事故車両の位置関係等が鉛直方向の上から見た平面図として記載されている。視覚センサや画像処理技術等を利用して、この作業を省力化することができれば、事故現場での計測作業や事故処理のスピード化を進めることができる。当センターでは、見取図作成作業の省力化を目的として、計測システムの開発[1)、2)]を行っている。本報告では、測定精度の向上を目的として、新たに試作した全方位視覚センサと計測用ソフトウエアについて記述する。

2　計測方法

交通事故現場の見取図を作成する場合、道路の形状だけでなく、建物等の周囲状況も重要な情報になる。少ない撮影回数で、より広範囲な状況を撮影するために、反射型の全方位視覚センサ[1)]を利用している。試作した全方位視覚センサを図１に示す。この視覚センサは、双曲面ミラーとデジタルカメラで構成されており、デジタルカメラの画素数は1000万画素（縦2736×横3648画素）である。１枚の画像だけでは距離情報を得ることができないので、鉛直方向に設置した全方位視覚センサを水平方向に平行移動させることにより得られる２枚のステレオ画像を利用して、広範囲の三次元情報を獲得する。

3　結　　果

工業技術センターの敷地内や一般道路において、画像データを撮影し計測実験を行った。全方位視覚センサを試作したことに伴って、計測用の画像処理ソフトウエアも新たに作成した。十字路において撮影した全方位画像を図２に示す。このとき、全方位視覚センサは道路面から約150cmの高さに設置した。全方位視覚センサを水平方向に、110cm平行移動させて、もう一枚の全方位画像を撮影し、この２枚の全方位画像から三次元情報を求めた。ただし、視覚センサから得られる全方位画像は、カラー画像であるので、ＲＧＢの各画素の輝度値を利用して、ソーベル処理や対応点の探索を行った。得られた三次元情報を、鉛直方向の上から見た平面図として求めた結果を図３に示す。この図は、視覚センサの位置を中心に、半径50m範囲の計測結果を図示している。図３の結果から、十字路をうまく計測できていることを確認することができる。また、実験では図３の中央部分を拡大し斜め上方から図示することにより、十字路周辺の様子を観察することができた。

4　結　　論

視覚センサと計測用ソフトウエアを変更することにより、測定精度を向上させることができた。今後も、測定精度の向上を目的として、システムの改良を行う予定である。

参 考 文 献

1)　金谷典武，瀧澤由佳子，北川洋一，兵庫県立工業技術センター研究報告書第17号，pp. 50-51(2008)．
2)　金谷典武，兵庫県立工業技術センター研究報告書第18号，pp. 51(2009)．

（文責　金谷典武）
（校閲　松本哲也）



図１　全方位視覚センサ



図２　全方位画像（十字路）

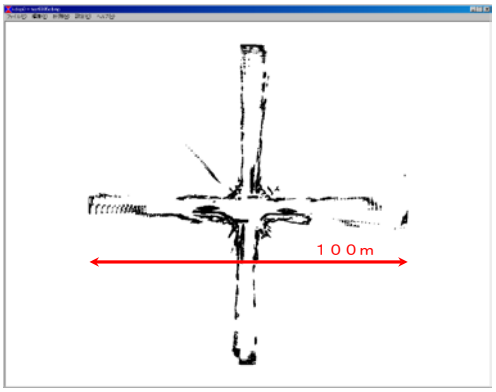


図３　十字路を計測した結果

〔経常研究〕

36　イミュニティ評価支援システムの開発

中里一茂，金谷典武，三浦久典

1　目　　的

電気電子製品等において、静電気等の電気的ノイズによる機器への影響を評価することが品質保証の面で必要となっている。当所では、設備の機器利用や共同研究等により企業にイミュニティ（ノイズ耐性）評価に対する支援を進めている。イミュニティ評価は試験の種類が多く、機器の接続方法等が複雑であり、評価の経験が浅い利用者がスムーズに試験を進めることは難しい。そこで、利用者が効率的かつ簡便に評価を行えるよう、イミュニティ評価支援システムを開発する。

2　システムの構成

イミュニティ評価を行うシールドルームでは、静電気試験、ファーストトランジェントバースト試験、雷サージ試験等７種類の試験を行うことができる。これらの試験はパソコンより測定器類を制御して行うため、試験のセッティングおよび測定ソフトの使用方法がわかれば利用者が戸惑いなく試験を進めることができる。

そこで、各試験における試験準備、測定ソフトによる測定方法、ある試験から別の試験を行うための試験変更の方法について、ホームページ感覚で閲覧できるようHTML 言語を用い、支援ソフトの作成を行った。

3　結果と考察

今回作成したソフトのトップページを図１に示す。また、測定準備と測定方法のページの内容の一部を図２に示す。このソフトは、前年度に作成した電磁波障害評価支援システム[1)]を参考にシールドルームの利用の経験がない人にでもわかるよう、試験作業内容について画像を用いて視覚的にわかりやすく表示させるようにしている。試作後、シールドルームの利用経験がない人に本ソフトを用いてイミュニティ評価を行ってもらい、改善点を洗い出した。具体的には説明語句で専門的な用語を使わない等の改善を行った。

4　結　　論

イミュニティ評価の支援を行うソフトウェアの開発を行い、モニター使用してもらうことで改善点を洗い出し、改良を加えた。今後、本システムを用いることで、利用者がいかに効率的に試験を行えているかを準備、測定時間等の項目で確認を行う。

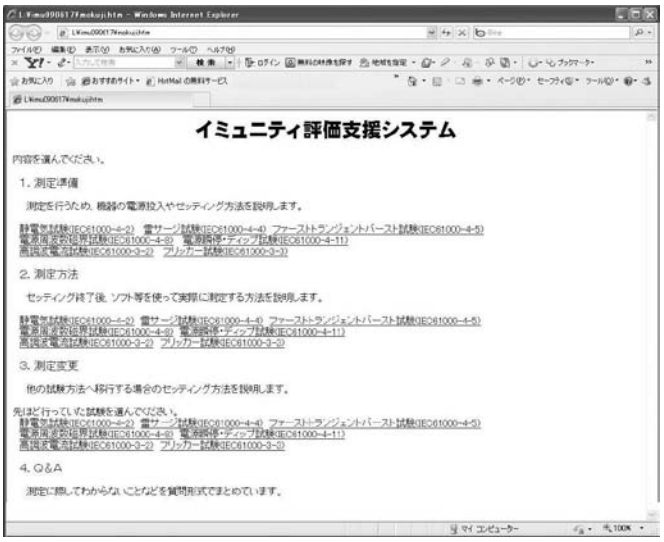


図１　イミュニティ評価システムのトップページ



図２　試験準備（左）と測定方法（右）の説明ページ

参 考 文 献

1) 中里一茂，金谷典武，松本哲也，三浦久典，兵庫県立工業技術センター研究報告書，18, 52（2009）

（文責　中里一茂）
（校閲　松本哲也）

〔重点領域研究〕

37　ニホンジカの捕獲に関する研究

永本正義，北川洋一，松本哲也，中里一茂，三浦久典，髙橋輝男

1　目　　的

兵庫県では、ニホンジカの増加に伴い農業等への被害の増大が問題となっている。この対策として、捕獲数を増やし、食用や皮革製品への利用促進が検討されている。ところが、現在の主な捕獲方法である銃猟は、近い将来人手不足のため被害を減らすために必要な捕獲数を確保できないことが予想される。このため、特別な技術を必要としない捕獲手段の開発が求められているが、有効な方法は未だに確立されていない。食用や、皮革製品の製造が経営的に成り立つためには、捕獲量の確保が不可欠であり、有効な捕獲法の開発が強く求められている。

一方、このような問題を解決するため、兵庫県森林動物研究センターがドロップネット方式によるニホンジカ捕獲装置の開発に取り組んできた。この捕獲装置は、組み立て、解体が簡単に行える可搬型とすることで、少ない装置数で広いエリアに対応できるところに特徴がある。

この捕獲法では、地上に支柱を立ててその上にネットを保持しておき、餌でシカをおびき寄せてネットを落下させて捕獲する。支柱の構造やネットの保持方法等については検討が進められていたが、支柱上に保持したネットを遠隔地からリモートコントロールにより落下させる機構が未開発であった。そこで、本研究ではネット落下装置とそのコントローラの開発に取り組んだ。

2　ドロップネット方式によるシカ捕獲

ドロップネット方式によるシカ捕獲方法を図１に示す。１辺が 18～24m のエリアに高さ３m の支柱を立て、その上部で網を支持し、エリア内に餌を置いてシカをおびき寄せる。その状況をカメラなどを用いて監視し、適当なタイミングで遠隔操作により網を落下させることでシカを生け捕りにする。

この捕獲方法は、少人数で安全に複数のシカを捕獲できるという特長がある。しかし、ネットを落下させる方法については、欧米で採用されているロープを切断する方法は、捕獲者が隠れている場所までの平地が必要となることから、日本の地形では適用困難な場合が多いという問題があった。

本研究では、これらの問題を解決するため、ソレノイドを利用し、電気的な遠隔制御によるドロップネット方式シカ捕獲装置を開発した。

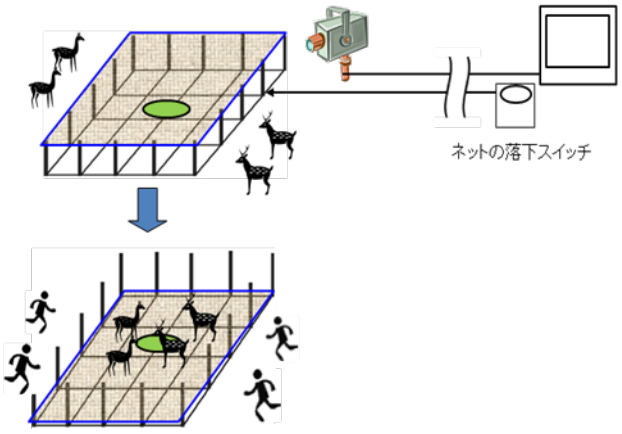


図１　ドロップネット方式によるシカの捕獲

3　開発した装置

開発したニホンジカ捕獲装置の構成例を図２に示す。ここに示すのは、24m×24m のサイズの捕獲装置を上から見た構成図である。６m間隔で支柱を立て、図中の左右端の位置の支柱上部にネット落下装置を取り付ける。このため、ネット落下装置は左右各々５台×２＝１０台が必要となる。金属ワイヤを左右のネット落下装置の間に張り、これによりネットを保持する。左右各々のネット落下装置をコントローラにより同時に駆動することでネットを落下させ、シカを捕獲する。

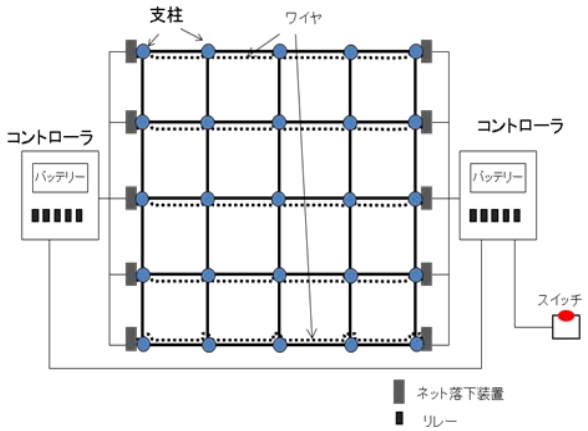


図２　ドロップネット方式によるニホンジカ捕獲装置の全体構成

3.1　ネット落下装置

開発したネット落下装置の構成を図３に示す。支柱上部に取り付けられたワイヤを、ネットに取り付けられたリングを通して回転プレートに引っ掛ける。回転プレートは、図中の A を中心として回転する構造となっており、ソレノイドにつながるプランジャによってその回転を拘束することでワイヤの両端を固定し、ネットを支柱上に保持する。ソレノイドに通電することでプランジャが引かれると、回転プレートは自由に回転できるようになり、ネットの荷重による張力がかかっている方向に回転プレートが回転することでワイヤが回転プレートから外れ、ネットが落下する。

ネットの重さにより回転プレートにかかる力を考慮し、確実に落下装置が動作することを確認するため、50kgf の力をかけて動作試験を実施した。電源としては、実際の使用形態に合わせるため、次節に示すコントローラのバッテリーを使用した。その結果、確実に動作することを確認することができた。また、冬季の使用を想定し、-10℃の環境下に置いたバッテリーによる動作実験を行い、負荷をかけたソレノイドが確実に動作することを確認した。

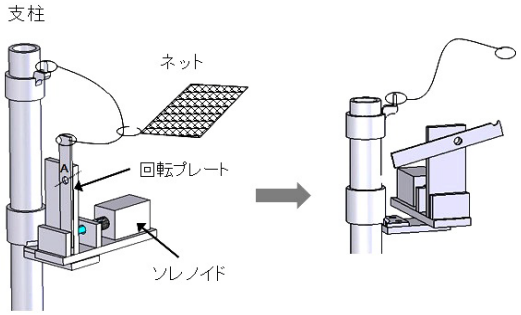


図３　開発したネット落下装置の構成

３.２　コントローラ

コントローラは、バッテリー、リレーにより構成されており、遠隔のスイッチ操作により内蔵バッテリーでネット落下装置のソレノイドを駆動する。バッテリーには、ソレノイドの突入電流、配線の電気抵抗を考慮すると共に、実際に測定したバッテリーの内部抵抗をもとにして、２輪車用バッテリーを採用した。

試作したコントローラの外観を図４に、内部を図５に示す。図４に示すコントローラは、図２中のコントローラ１台分であり、５台のネット落下装置を動作させることができる。実際のシカ捕獲装置では、２台を組み合わせて使用する。

４　実　　験

兵庫県森林動物研究センターにより、同センターが大



図４　試作したコントローラの外観

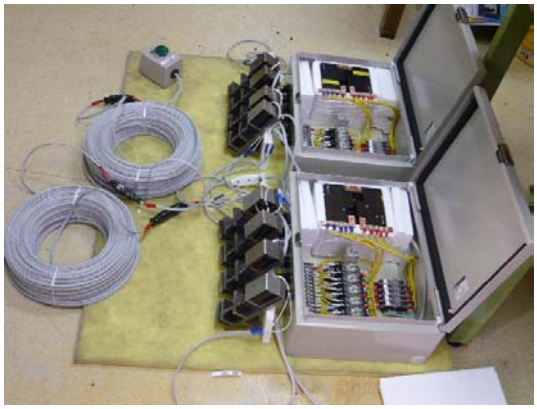


図５　試作したコントローラの内部

屋町、青垣町、光都（上郡町）に確保している実験場において、ニホンジカの捕獲実験が実施された。これらの実験の中で、１回のネット落下で最大 17 頭を捕獲することができた。

５　結　　論

ニホンジカによる農業被害の低減を図るため、ドロップネット方式によるニホンジカ捕獲装置のネット落下装置とコントローラの試作開発を行った。また、これらを組み込んだ捕獲装置を用いた実験により、最大１７頭を同時に捕獲するという実績を上げることができた。

この結果を受け、兵庫県森林動物研究センターでは、平成 22 年度に本研究で開発したニホンジカ捕獲装置 20 セットを県内各地に配置し、シカの捕獲を実施する計画である。ニホンジカによる農業被害低減の一助となることが期待できる。

謝辞

本研究は、兵庫県森林動物研究センターと共同で実施した。研究を進めるに際しご協力いただいた、同センターの皆様に感謝します。

（文責　北川洋一）
（校閲　三浦久典）

〔(独)科学技術振興機構　シーズ発掘試験〕

38　小型圧力センサ付試作品を用いた「製品の使いやすさ評価」に関する研究

平田一郎

1　目　　的

製品の使いやすさの評価方法は、これまでアンケートなどの主観評価による検証方法が一般的である[1)]。しかし、主観評価だけでは科学的な根拠として証明することが難しいため、主観評価を補うための定量的な評価方法の開発が求められている[2)]。そこで、本研究では製品の使いやすさを左右する要因のひとつである「握りやすさ」の定量的な評価方法について検討を行った。

握りやすさの要因として「形状」「太さ」「重量」「表面の弾力性」「表面形状」など様々な因子が考えられるが、　本研究では「モデルの太さ」と「握り方」、「手のサイズ」の３因子の関係性について分析を行った。

2　実験方法

本研究では、圧力分布計測システムの開発を行って、「圧力分布のデータ計測と主観評価」により「太さ」、「握り方」、「手のサイズ」の相関性について分析した。

2.1　圧力分布計測システムの開発

モデルを握ったときの圧力分布を容易に確認するための計測システムを開発した。圧力分布計測システムの概要を図１に示す。本システムでは、モデルに取り付けた感圧センサの圧力情報が、ＰＣ画面に色で表示される仕様となっている。さらに、圧力情報は数値データとして保存され、被験者ごとに管理することができる。

圧力情報をＰＣに伝達するための圧力センサ制御システムを図２（a）に示す。本システムは、最大 128 点の圧力センサと同期することが可能である。圧力センサと制御システムとの接続には、電子工作などで使われているブレッドボードと同種の接続口を採用し、センサの抜き差しが簡単に行えるようになっている。

対象モデルとして、持ち方が多様で形状が単純過ぎず、かつ複雑過ぎない傘の柄を選定した。製作した圧力センサ付きモデルを図２（右）に示す。幅2㎜の感圧センサ（株式会社イナバゴム製）をモデルに16点取り付けている。既存の圧力センサをそのまま試作品への取り付けた場合、センサ部先端の感圧ゴムの表面が劣化してしまう問題が発生した。そこで、感圧ゴム表面をクリアテープでコーティングすることで、取り付けと取り外しを繰り返しても劣化のしないように工夫した。さらに、試作品の表面をドラフティングテープで覆うことで、センサの固定が容易となった上、センサの取り外しも容易となった。

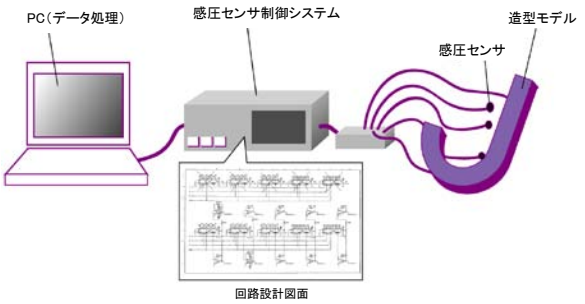


図１　圧力分布計測システムの概要

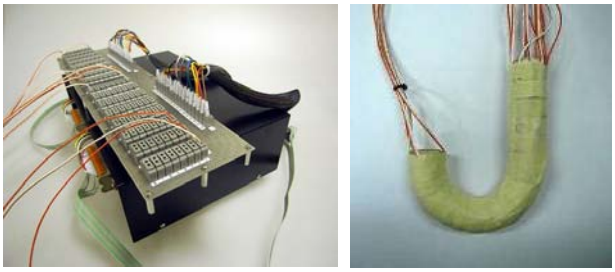
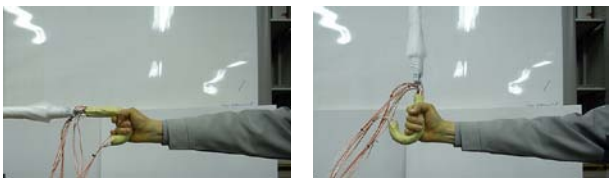


図２　制御システム（a）とモデル（b）

2.2　握りやすさの評価実験

製作した圧力分布計測システムを用い、握りやすさの評価実験を行った。34～64 歳の男女 10 名に，太さの異なる 3 種類（直径 15㎜,20㎜,25㎜）の柄をランダムに握ってもらった。普段と同じ手で傘をもってもらい、水平に持った状態（図３(a)）と垂直に持った状態



(a)　　(b)

図３　持ち方の評価



図４　手の部位の計測箇所

(図3(b))について、一対比較法[3]により評価した。また、図４に示す各被験者が傘を持った方の手のサイズ(幅、掌長、第1～5指長、握り内径）と、実験中のモデルにかかる圧力データを計測した。なお、被験者は、10 名とも右手が利き手であり、普段傘を持っている手も全員が右手であった。

3　結果および考察

3.1　手のサイズとモデルの太さの関係

主観評価の結果、「掌長」「手幅」「第3、4指長」と柄の太さの間に強い相関があった。すなわち、手が大きい人ほど太い柄が握りやすいと感じる傾向にあることがわかった。また、相関関係にあると予測していた「握り内径」に関しては、柄の太さとの間に相関関係はみられなかった。

3.2　手のサイズと握り方の関係

柄の太さと相関関係にある部位（掌長、手幅、第 3、4 指長）とモデルの圧力分布の関係について検討を行った。図５は、手幅と強い相関のあった圧力箇所を示している。手幅と強い正の相関があった箇所（番号 5, 6, 7, 13, 15）は、手幅が大きい人ほど強く握る箇所であり、負の相関があった箇所（番号 3, 4）は、手の小さい人ほど強く握る箇所を示している。実験時の写真（図６）からも、手のサイズの違いによる握り方の違いを確認したが、圧力がかかっている場所を特定することは難しかった。これらの結果から、手の大きい人は柄の上部を強く握る傾向にあり、逆に手の小さい人は、柄の下部を強く握る傾向にあることがわかった。また、掌長や指長との関係についても、ほぼ同様の結果であった。さらに、垂直握りの状態においても同様の結果であった。本研究の結果では、握り方の違いによる圧力分布の差を確認することができなかった。

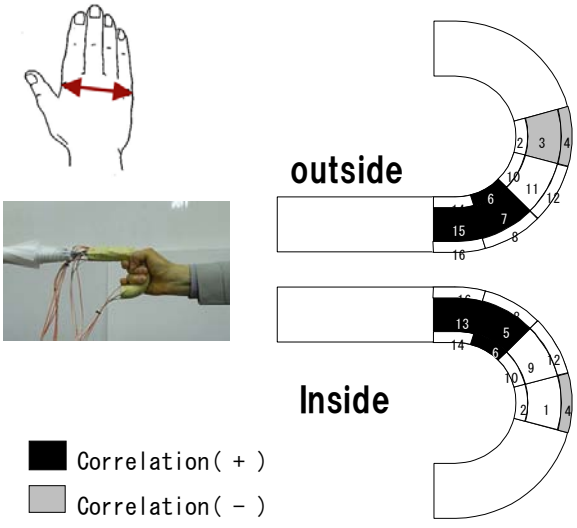


図5　手幅と圧力との相関(水平握り)



手幅（大）　　手幅（小）

図６　手幅の大小による持ち方の違い

4　まとめ

本研究は、製品と手との適合性の観点から「握りやすさ」の数値化を目的に研究を行った。モデルに小型圧力センサを多数取り付け、採取した圧力データ分布から、従来方式の主観評価との関係を明らかにすることで、客観的な使いやすさの評価を行った。その結果、「モデルの太さ」と「握り方」、「手のサイズ」の３因子の関係性を確認することができた。また、本研究で開発した圧力分布計測システムを使用することで、モデルを握った状態の圧力を容易に計測することが可能となった。

今後の展開として、先行研究で実施されている力学特性と感触評価方法[4]との関係についても分析を進めていく予定である。

謝　辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）の平成21年度シーズ発掘試験により実施しました。

参考文献

1)　黒須正明、伊東昌子、時津倫子、ユーザ工学入門、共立出版、39-44、1999

2)　西脇剛史、中部　昇、商品設計のためのシューズフィッティングの定量化、日本機械学会[No.05-27]、第 15 回設計工学・システム部門講演会講演論文集、530-531、2005

3)　山岡俊樹、岡田明、吉武良治、田中兼一、ハード・ソフトデザインの人間工学講義、武蔵野美術大学出版、169-170、2002

4)　佐伯光哉、長谷朝博、平瀬龍二、高分子材料の力学的特性と感触評価方法に関する研究、兵庫県立工業技術センター研究報告第 17 号，18，2009

（文責　平田一郎）
（校閲　福地雄介）

〔経常研究〕

39　人体寸法や筋力といった人間特性解析による地場産業のＵＤ商品開発支援

稲葉輝彦，永本正義

１　目　　的

ＵＤ（ユニバーサルデザイン）は、商品の品質の一つとして重要視されており、ＵＤによるものづくりは県内企業の大きな課題である。国では、企業のＵＤによるものづくりを支援するため、独立行政法人製品評価技術基盤機構（以下 NITE と記す）に委託し、日本人 20 歳～85 歳の男女約 1000 人の筋力や関節抵抗などを計測しデータベース化している。本年度は、握力を中心に当データベースを２、３の視点から解析し、手工具などの製品開発の基礎データとした。

２　実験方法

２.１　データの入手方法

NITE の人間特性データベースサイト[1)]から、性別、年齢、利き手、左右の握力および直径 35mm のパイプの把持力に関するデータファイルを入手した。

２.２　解析内容および解析方法

各ファイルのデータから散布図とヒストグラムを作成した。また、サンプル数 n が主として 10 名以上となるよう年齢を階級化し、母平均の 95%信頼区間を求めた。

３　結果と考察

３.１　左利きの割合

男 539 人、女 477 人の利き手の割合を算出した。なお、これら男女の年齢構成の約半数は 65 歳以上の高齢者であった。計算の結果、男の左利きは 6.3%、女の左利きは 4.0%で平均は 5.2%であった。左利きの割合は人種によらず８～15%であり、男の割合は女よりも高いことが知られている。今回得られた割合が低い理由として、日本では高齢者ほど利き手を矯正している可能性があることから、年代ごとの左利きの割合をカイ二乗により検定した。しかしながら有意差はなく、矯正の可能性は認められなかった。左利きの割合が約５％と低値であった理由は不明であるが、いずれにしても５％にあたる左利きの人のための用具開発を、今後も積極的に進める必要性があると思われた。

３.２　年齢と握力との関係

右利きの男女を抽出し、左右の握力を検討した。図に、年齢と左右の握力との関係を示す。これより、男女とも右手の握力は左手よりも約 10%大きいことが明らかになった。また、握力は高齢化により低下し、女の握力はどの年齢も男の６割程度であることが判明した。

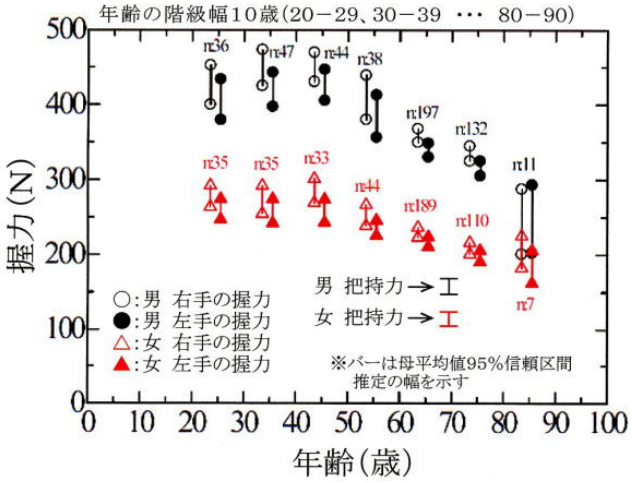


図 年齢と左右の握力との関係および把持力

３.３　握力と把持力との関係

65 歳～74 歳の高齢者（右利き男 n : 115、女 n : 80 人）が、直径 35mm のパイプを最大の力で把持した時の把持力の母平均 95%信頼区間を求めた。その結果、男の把持力は 143-162N、女は 103-124N であった。図から明らかなように、把持力は男女ともに握力の半分程度である。このことから、握力と把持力との間には大きな差があり、握る形式の用具類の開発では把持力を設計の参考にする方が好ましいと思われた。

４　結　　論

20 歳～85 歳の男女約 1000 人の人間特性データベースの解析から以下のことが明らかになった。

(1) 左利きの割合は、男女平均で約５％であった。
(2) 握力は加齢により低下する。右手（利き手）の握力に関しては、性別や年齢に依存せずに左手よりも約 10%大きかった。
(3) 女の握力は、どの年齢も男の６割程度であった。
(4) 把持力は、握力の約半分程度であり、握る形式の用具の設計では握力よりも把持力を参考にするべきであると思われた。

参 考 文 献

1) http://www.tech.nite.go.jp/human/Application/search/Search.Php

（文責　稲葉輝彦）
（校閲　園田　司）

〔エコイノベーション推進事業（NEDO)〕
〔経常研究〕

40　温度差制御気化浸透法によるバイオエタノール濃縮工程の高効率化

中野恵之，東山幸央

1　目　　的

近年、木材や農作物からエタノールを生成する技術の開発が盛んに進められているが、生成したアルコール溶液から高濃度のエタノールを取り出すことは難しい。一般的な蒸留法による分離では、多大な熱量を必要とするため、コスト高の原因となる。

そこで、低温で水とアルコールとの分離が可能で、原料となる液体に不溶な不純物が含まれていても処理できる温度差制御気化浸透法が注目されている。しかし、その分離能力は使用する分離膜の性能に大きく影響される。

本研究では、エレクトロスピニング法を用いて分離膜を試作し、水とアルコールとの分離評価を行った[1)]。

2　温度差制御気化浸透法

図１に温度差制御気化浸透法[2)]の原理を示す。水とエタノールを分離する原理は、エタノール溶液を４０℃に加熱し、かつ減圧することにより、エタノールを気化させる。この時、水分子も気化される。分離膜周辺を０℃の低温側として、この膜を通過する時に、水分子は会合するため、分離膜を通過できず、エタノール分子のみが分離膜を通過することによって分離することができる。

本方法は、分離時に混合液を気化させることから分離膜の汚染による劣化が少ないという特徴がある。

3　実験方法

3.1　エレクトロスピニング法による分離膜の試作

エレクトロスピニング法は、高分子溶液を、高電圧を印加したキャピラリーから噴出させることにより、微小サイズの繊維を作製する技術である（図２）。本方法を用いて、ポリエチレンテレフタレート（PET）の粒体集積シートを作成した。印加電圧は 25ｋV、溶剤はヘキサフルオロイソプロパノール（HFIP:和光純薬工業(株)）を用いて、溶液濃度 10vol%及び５vol%で製膜した。PET は、再生ペレット（㈱エコログ・リサイクリング・ジャパン社製アクスター）を用いた。支持体に 400 メッシュのステンレス網を用い、10vol%溶液で全体を覆ってから５vol%溶液でさらに細かな粒体を堆積させた。また、カトーテック㈱製のエレクトロスピニング装置*[1)]を用い、10vol%溶液を印加電圧 10kV にてシート状の分離膜を作成し冷却効果の評価を目的に、635 メッシュのステンレス網を用いて挟んだ分離膜も試作した。

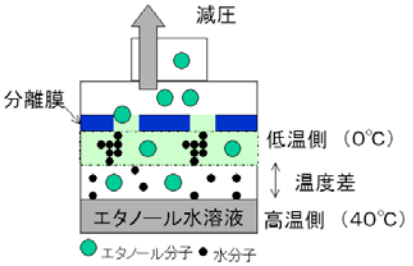


図１　温度差制御気化浸透法の概略

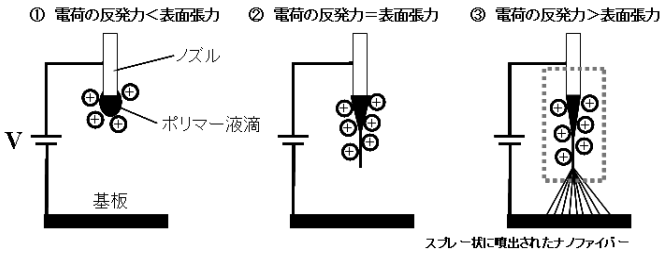


図２　エレクトロスピニング法の原理

3.2　温度差制御気化浸透試験

エタノール溶液を４０℃に加熱し、分離膜周辺を０℃に冷却して実験を行った。供給液のエタノール濃度は 10wt%で行った。

4　結果と考察

4.1　試作した分離膜の電子顕微鏡観察

図３に溶液濃度 5vol%の試作した膜の電子顕微鏡写真を示す。400 メッシュのステンレス網上にポリエチレンテレフタレートの数μm 程度の粒体を堆積させた膜であることが確認できた。この試作膜は、ミクロンサイズの粒体の隙間の空間が広がったり狭まったりを繰り返すことにより、水分子の冷却効果を向上させることを期待した。図４に試作した溶液濃度 10vol%分離膜の電子顕微鏡写真を示す。直径１μm 以下の繊維が網目状に構成されていることがわかる。通常のエレクトロスピニング法による膜は、このように繊維が集合した状態になっている。一般的に、空隙率が高く、空気清浄用のフィルターとして用いた場合には圧力損失が少ない特徴がある。図５に市販のポリエチレン分離膜（分離孔径 0.02μm）

の電子顕微鏡写真を示す。フィルムに細孔を設けている様子が認められる。

4.2　試作分離膜による水・エタノール分離試験

エレクトロスピニング法で作製した試作膜を用いて温度差制御気化浸透法のエタノール水溶液に対する透過分離特性評価を行った。供給液温度 40℃、膜周辺温度 0℃の条件でのエタノール水溶液に対する透過分離試験を行った。表１に透過分離試験の結果を示す。粒状のシートでは、供給液(10wt%)が 35wt%に濃縮され、透過速度は 0.73kg/m^{2}h であった。ポリエチレン膜では透過速度：0.34kg/m^{2}hr，透過液濃度：49 wt%であったのに対して、試作したポリエステル分離膜では透過速度：0.60kg/m^{2}hr，透過液濃度：41.9 wt%であった。

さらに、冷却効果を調べるため、膜の上下に 635 メッシュのステンレス網を置いた場合には、透過速度：0.68kg/m^{2}hr，透過液濃度：47.2 wt%の結果が得られた。エタノール濃縮については市販ポリエチレン膜とステンレスメッシュを用いた試作繊維膜は同程度であったが、濃縮速度は試作繊維膜が２倍速くなった。これは、繊維集合体の分離膜は空隙率が大きいため気体が通過する際の圧力損失が小さいためと考えられる。今後、エレクトロスピニング法における分離膜の開発において、材料の選択や繊維径およびそれらの組み合わせなどを最適化することによって、高性能な分離膜の開発の可能性が確認できた。

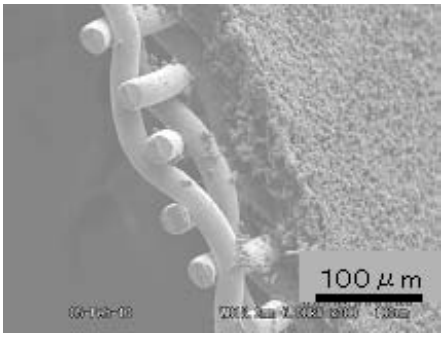


図３　溶液濃度 5Vol%の試作膜(粒形状)の電子顕微鏡写真

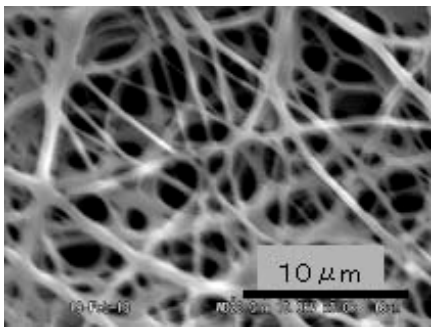


図４　溶液濃度 10vol%分離膜(繊維形状)の電子顕微鏡写真

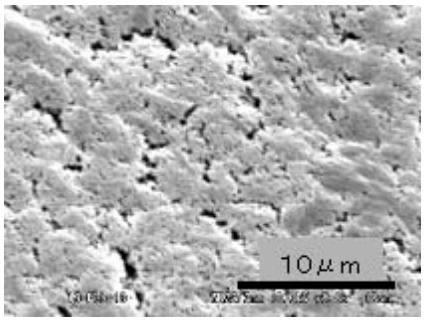


図５　市販のポリエチレン分離膜の電子顕微鏡写真

表１　透過分離試験の結果

	透過速度(kg/m^{2}h)	透過液濃度(%)
粒形状	０．７３	３５
繊維形状	０．６０	４２
繊維形状(ステンレスメッシュ使用)	０．６８	４７
市販分離膜	０．３４	４９

５　結　　論

温度差制御気化浸透法で使用する分離膜をエレクトロスピニング法を用いて試作し、水とアルコール分離評価を行った。その結果、エタノール濃縮については市販ポリエチレン膜とステンレスメッシュを用いた試作繊維膜は同程度であったが、濃縮速度は試作繊維膜が２倍速くなった。さらに、エレクトロスピニング法における分離膜開発において、材料の選択や繊維径の最適化の検討を進めることで高性能な分離膜の開発が可能と考えられる。

参 考 文 献

1）中野恵之、東山幸央、浦上　忠、“ｴﾚｸﾄﾛｽﾋﾟﾆﾝｸﾞ法により作製したﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ繊維ｼｰﾄを用いたｴﾀﾉｰﾙ濃縮技術”、日本繊維機械学会第 63 回年次大会、（2010）

2）T. Uragami, Structural Design of Polymer Membranes for Concentration of Bio-ethanol, *Polym. J.*, **40**, 485-494 (2008).

謝　　辞

繊維シートの試作において、滋賀県東北部工業技術センターのエレクトロスピニング装置*1)を使用させていただきました。ここに深く感謝いたします。

（文責　中野恵之）
（校閲　有年雅敏）

〔重点領域研究〕

41　低エネルギー型濃縮法による新エタノール製造技術に関する調査研究

中野恵之，東山幸央，藤田浩行，古谷　稔，有年雅敏

1　目　　的

近年、天然資源からのエタノール製造技術に関する研究は脱石油エネルギー開発を推進する上で緊急な課題となっている。現在、高濃度のエタノール液を得るためには蒸留等の濃縮工程が必要となるが、蒸留法では大きな熱エネルギーを要し、またエタノール(沸点 78.4℃) と水は共沸するため分離能力も低い。そのため、２段蒸留式や膜式分離の工程が必要となるなど、コスト高になるため、実用化には至っていない。

そこで、低温でアルコール分離可能な温度差制御気化浸透法[1,2] に着目した。この分離方法は、疎水性高分子の多孔質膜を用い、蒸留法と異なり、０～３０℃程度の温度で分離できる。しかし、この方法はエタノール選択透過性を高くすると透過速度が遅くなるため、さらに分離膜の性能向上が必要である。温度差制御気化浸透法は、蒸気状態でエタノールと水蒸気の混合状態から両者を分離する技術であり、分離膜の孔は貫通している必要がある。

本方法は、高濃度のエタノールを製造できる新しい技術であるため、これまでにない利用方法が期待される。本研究では、低エネルギー型濃縮法を用いた新しいエタノール製造技術に関する研究会を立ち上げて上記課題に関する情報交換や調査研究を行った。

2　背　　景

2.1　播州繊産地における繊維廃棄物の現状

西脇市を中心とした播州繊産地は、生産工程で、余剰色糸・糸屑・端布が大量に発生（約 100 ﾄﾝ/月）しており、リサイクルしてほしいとの要望が高い。有償で産業廃棄物として焼却処分されるが、その処理費が産地企業の収益を圧迫している。

このような問題を解決する方法として、繊維廃棄物を糖に分解して、その糖から酵母を用いてエタノールを製造する技術の開発が有望である。将来的にエタノールの確保は、産地内で多く使用されている規模のボイラー燃料として活用できると考える。

2.1　バイオエタノール研究会の発足

本研究会は、(株)エコログ・リサイクリング・ジャパン、(株)片山商店、大関(株)、関西大学、兵庫県立工業技術センター、(財)ひょうご環境創造協会、(財)新産業創造研究機構の７機関の参加で発足した。委員長は関西大学の浦上忠教授が務め、事務局を兵庫県立工業技術センター繊維工業技術支援センターが担当した。研究会は４回開催し、意見交換を行った。

3　調査結果

3.1　繊維廃棄物の現状

日本で廃棄される繊維製品は年間約２００万トンで、そのうちウエス等へのリサイクル率は　５～１０％前後にすぎないと言われている。また、繊維廃棄物の約60%が綿繊維で占められている。

3.2　綿の糖化について

綿のセルロース含有量は、水分を除くと９４％あり、木材で含まれるリグニン等の不純物が非常に少ない。このため綿は、バイオエタノールの原料としてきわめて有効である。また、綿セルロースはグルコースがβ-1,4結合のみで連続しているため、セルラーゼ酵素の選択が容易である。さらに、処理前にアルカリ処理することによって、糖化速度が大幅に向上し、かつアルカリ液で煮沸することによって消毒効果が得られ、雑菌による糖の消費を予防することが可能である。

3.3　現在の技術課題

糖化工程のコストが高い（処理時間（３日）セルラーゼ）ため、処理時間の短時間化と効率化が必要である。また、製造したエタノールの濃縮にも蒸留法が用いられ、エネルギーを多く使用する。市販のドライ酵母を使用した固定化酵母技術を活用し低コスト化を図る必要性がわかった[3, 4]。 濃縮技術についても温度差制御気化浸透法の期待は高く、高性能な濃縮分離のためにエレクトロスピニング法による分離膜の開発[5] も不可欠な課題である。

3.3　バイオエタノールの利用方法について

製造したエタノールの利用方法としては、80wt%のエタノール液を燃料としたボイラーを導入して利用するとバイオエタノールの搬送コストがかからず有効とした。エタノール利用のボイラーはすでに市販製品としてメーカーにより開発済みである。

3.4　播州繊産地の現状

西脇市を中心とした播州繊産地は、企業の大半が半径15kmの範囲に集積しており、国内綿織物の約16％（生地生産量約7000万m^2）を生産している。その生産工程で発生する大量の繊維廃棄物を再資源化して有効利用したいという要望が高い。余剰色糸は、目方や色目が雑多で、再利用できない糸屑は、50ﾄﾝ/月程度発生して

いる。これは、ごみの削減を打ち出している地元自治体では深刻な問題となっている。

4　実証試験

4.1　綿の糖化試験について

綿から高濃度のバイオエタノールを製造する技術に関する調査結果によれば、綿は糖化に有効な材料であるとされている。実際に、セルラーゼを用いて綿を分解し生成物の分析を行った。酵素処理は、2g の生地に対してセルラーゼを１ｇ/L 含むｐＨ５に調整された 300ml の液に浸して 45℃にて処理した。高速液体クロマトグラフを用いて、燐酸－フェニルヒドラジン法を用いて糖分析を行った。図１に高速液体クロマトグラフを用いた糖分析結果を示す。保持時間 6 min.付近にセロビオースのピークがあり、２８min.付近にグルコースのピークがあることがわかる。その他の糖は検出されておらず、セルラーゼによる綿繊維の分解は、セルロースとグルコースを生成することがわかった。さらに長時間の酵素処理により、セロビオースは最終的にグルコースに分解されることが確認できた。綿を分解して得られる糖はグルコースのみである。これは C6 糖といわれ、酵母による発酵工程において、木材のように C5 糖を含んでいないため効率的にエタノールを製造できると推測される。

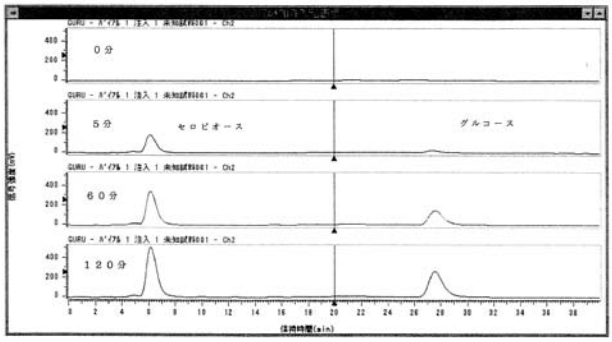


図１　高速液体クロマトグラフを用いた糖分析結果

4.2　各セルロース系繊維の糖化

セルラーゼを用いて糖を生成することが可能なセルロース系繊維は、綿の他に天然繊維の麻や再生繊維のレーヨンがある。これらの糖化の挙動について検討した。

綿とレーヨンの添付白布（(財) 日本規格協会）および、麻（トスコ㈱）について 4.1 と同様の方法で、15 日間処理した。グルコースが生地全体の何%生成したかを測定した結果、綿が 53%、麻が 26%、レーヨンが 99%であった。同条件で糖化処理を行っても素材によってグルコースの生成速度に差があることが把握できた。

4.3　温度差制御気化浸透法の分離膜試作

エレクトロスピニング法による温度差制御気化浸透法の分離膜の試作は、本研究報告書の別稿（p69）にて報告している。この結果から、温度差制御気化浸透法は水・エタノール混合液を濃縮分離可能であることを確認した。

5　結　　論

本調査結果から、播州繊産地においては、セルロース系繊維からバイオエタノールを製造し、現地で使用されている重油ボイラー等の代替燃料として利用し、低炭素社会の実現を目指しながらゼロエミッション産地を構築することが有益であることが認められた。高効率、低コストのバイオエタノール製造を行うための技術開発としては、糖化工程や発酵工程の効率化と濃縮工程の低エネルギー化という課題を、温度差制御気化浸透濃縮法によるアルコール濃縮装置と連続発酵装置を連続化すること、およびアルカリ水を用いた酵素処理による糖化工程技術で解決し、地産地消型資源エネルギーのリサイクル化を実現できる可能性を見出した。また、濃縮工程で用いる分離膜については、エレクトロスピニング法を用いた多孔質膜を用い、分離性の向上も確認することができた。

参 考 文 献

1) T. Uragami: Concentration of Aqueous Ethanol Solutions by Porous Poly(dimethylsiloxane) Membranes during Temperature-Difference Controlling Evapomeation, *Desalination*, **193**, 335-343 (2006)

2) T. Uragami: Concentration Performance of Aqueous Bio-ethanol Solutions by Porous Polymer Membranes during Temperature –Difference Controlled Evapomeation, 42nd IUPAC CONGRESS Chemistry Solutions, Glasgow, UK, August, 2009

3) 田邉和男, 和田顕男, 迫 勝善, 峯 武士, 滝波弘一, 八木修身：“ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ・綿混紡ﾕﾆﾎｰﾑのﾊﾞｲｵﾃｸﾘｻｲｸﾙ：ｸﾞﾙｺｰｽ生成とﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ素材の分離再利用”、日本繊維機械学会第 63 回年次大会，大阪、(2010)

4) 迫 勝善，和田顕男, 田邉和男, 和田顕男, 峯 武士, 滝波弘一：“廃棄綿繊維製品よりｾﾙﾗｰｾﾞによるｸﾞﾙｺｰｽ生成とﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ素材の分離再利用“、日本繊維機械学会第 63 回年次大会、大阪、(2010)

5) 中野恵之、東山幸央、浦上　忠：“ｴﾚｸﾄﾛｽﾋﾟﾆﾝｸﾞ法により作製したﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ繊維ｼｰﾄを用いたｴﾀﾉｰﾙ濃縮技術”、日本繊維機械学会第 63 回年次大会，大阪，（2010）

（文責　中野恵之）
（校閲　有年雅敏）

〔経常研究〕

42　安全性に着目した食品の開発に関する研究

泉　　恵，井上守正，吉岡秀樹

1　目　　的

本県県花である「のじぎく」は日本固有品種の菊科植物であり、中国菊花と同じ菊科菊属に分類される。当センターでは機能性成分を含有する「のじぎく茶」と銘をうつ商品を開発し、新規地域特産品として提案したいと考え、含有ポリフェノール及びアミノ酸成分の分析や微生物による*in vitro*の安全性スクリーニング試験（Ames試験・Umu試験）を行ってきた。

しかしながら、植物起源由来の生体機能性成分・生理活性成分は多種多様で、遺伝子、循環系あるいは免疫系への作用機序が未だ十分に解明されていない点が多く、食経験の乏しいのじぎくをこのまま食用に供するには不安が残る。

そこで本研究では、のじぎく熱水抽出物のマウスを用いた*in vivo*での安全性・機能性、生体への影響を調査した。さらに、のじぎくと他種間の成分を把握しておくため、日本古来品種で江戸時代より食用され、食経験を有する菊科菊属に帰属される「もってのほか」・「黄菊」との成分比較を行った。

2　実験方法

2.1　供試材料

平成 21 年 11 月収穫の「のじぎく」（白花・黄花）及び「もってのほか」・「黄菊」の花頭を使用した。

2.2　成分分析・機能性評価

のじぎくの機能を評価するために、簡易・迅速で有効な方法（ACE-kit-WST、SOD kit-WST（同人化学））を採用した。ポリフェノールの一斉分析方法は前報と同じ条件とした。

2.3　のじぎくの安全性

5週齢のICR 系雌雄マウスを5日間の検疫期間と7日間の馴化期間を設け、体重及び一般状態の観察により異常のないことを確認し、試験に使用した。飼料および飲料水は、自由摂取させた。各群雄雌各6匹とし被験物質のじぎく熱水抽出物（1.2g/ml）及び対照注射用水を、胃ゾンデを用いて強制経口投与した。投与時に絶食は特に行わなず、投与液量は至近時の体重値を基に5mL/kg投与した。投与後3時間後に半数の各群3匹の、投与後24時間後に残り各群3匹の採尿を行い尿試験紙ウロペーパーⅢ（栄研化学）により検査、またエーテル麻酔下、ディスポーザブル注射器を用いて腹部の大動脈、および心臓より採血した。採取した血液を3,500rpm，15min，4℃で遠心分離し、血清を得た。得られた投与24時間後の血清について生化学検査装置富士ドライケム3500v(富士フイルム㈱)を用いて測定を行った。また、投与3時間及び24時間後の血清の抗酸化活性をAAPH-POV法により評価した。

3　結果と考察

3.1　成分分析・機能性評価

のじぎくの花頭（白花・黄花）には、フラボノール類のケルセチン配糖体やフラボン類のアピゲニンやルテオリン配糖体、クロロゲン酸、エリオジクチオールとその配糖体等が 25 種程度検出された。他方、食経験のある「黄菊」で今回検出された含有成分はルテオリン配糖体 2 種、「もってのほか」でもアピゲニンやルテオリン配糖体、クロロゲン酸等 10 種程度であり、舌状花である食経験種に比して頭状花に舌状花を配する形状ののじぎくはバラエティーに富むポリフェノールを含有することがわかった。また、のじぎく熱水抽出物はポリフェノール由来と考えられるスーパーオキシドジスムターゼ活性機能・アンジオテンシン変換酵素阻害活性機能を有した。

3.2　のじぎくの安全性

各試験区とも試料の摂取による死亡例、異常な臨床症状は見られなかった。尿・血液生化学的検査では血清の雄の GLU（投与群：193±20，対照：232±10），雌の HDL-C（投与群：67.3±1.2，対照：76.7±1.5）で有意な低値を示した他は対照区のマウスと差が無かった。また、血清中抗酸化活性測定においては投与 3 時間後→24 時間後共にのじぎく熱水抽出物投与群が対照区に比して有意に活性を維持していた(雄：31%→27%，雌：29%→23%)。カテキンやテアフラビン同様、のじぎくポリフェノールも体内での抗酸化活性の維持に関与していると考えられた。

4　結　　論

のじぎくには、ポリフェノール由来と考えられる様々な機能性がみられた。また変異原性試験、動物試験において食品としての安全性を危惧する所見は認められなかったことから、のじぎくは新規機能性食品材料として有用であることが示された。

（文責　泉　　恵）
（校閲　吉岡秀樹）

〔経常研究〕

43　吟醸用麹酵素力価の測定方法の最適化並びに製成酒の酒質に与える影響に関する研究

井上守正，吉田和利

1　目　　的

吟醸酒の製造には、グルコアミラーゼ(g)が高い麹が必要とされている。これを実現するために吟醸麹は特殊な製麹条件で製造されており、通常よりも乾燥している傾向があるため、静置抽出法による従来の酵素力価分析手法では、酵素が完全に抽出されず正しい力価が測定されにくいと言われている。本研究では、麹の最適抽出条件を確認し、合わせてｇの活性が高い麹を製造するための製麹条件を把握することを目的とした。

2　麹および酵素力価分析方法

H20 酒造年度に兵庫県酒造技術研究会会員蔵で製造した吟醸麹 95 点を用いて分析を行った。酵素力価分析は、キッコーマン社製酵素力価分析キット（g 用）を用い、粉砕抽出法にて行った。粉砕抽出の手順は、麹 5g と加塩酢酸緩衝液(ｐH5)10ml を食品用ミルに入れ、10,20,60 秒間粉砕し、0,1,3 時間室温にて静置した後ろ過し、力価測定に供した。

3　結果と考察

3.1　酵素力価の測定方法

抽出条件とｇ酵素力価の関係を図１に示す。

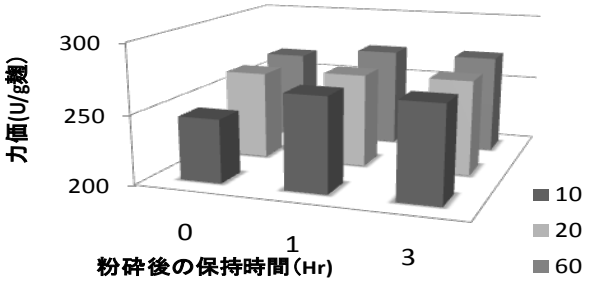


図１　抽出条件による麹酵素力価ｇの変化

図中 X 軸は粉砕後の保持時間（時間）、Z 軸は粉砕時間（秒）を示す。10 秒間粉砕 0 時間静置の力価が若干低かったが、それ以外は概ね同程度であった。この結果から、麹の酵素抽出条件は“20 秒間粉砕、0 時間静置”とした。

3.2　製麹条件の最適化

製麹では麹の乾燥コントロールが重要とされている。そこで製麹初め（引込）から終了（出麹）までの時間経過と乾燥状態について解析した。引込から出麹までの蒸米の乾燥状態を図２に示す。製麹後半に向けて乾燥が加

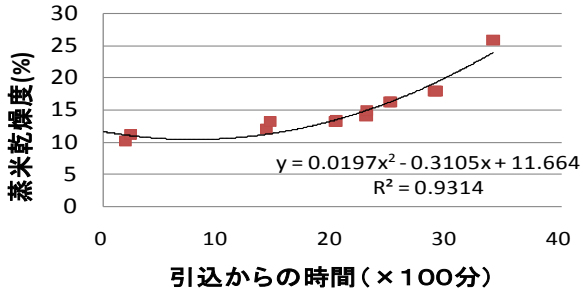


図２　製麹工程中における蒸米の乾燥状態

速している様子が伺われる。図中に近似 2 次式と相関係数を示したが、後半の乾燥速度上昇が大きい程、式第１項は大きくなる。そこで、各麹の近似 2 次式第１項と、製造された麹の酵素力価との関係を調べると良好な相関が見られた（図３）。一般的に吟醸麹は米内部に麹

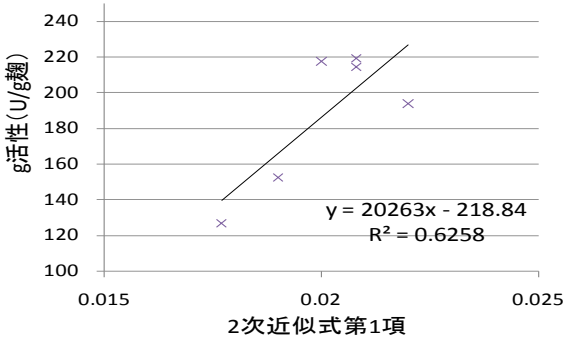


図３　蒸米乾燥速近似２次式第１項とｇ活性

菌糸が伸長した状態（突きハゼ麹）が望ましいとされており、外部から乾燥させていくことでこれを誘導している。今回製麹後半で乾燥を加速させるとｇ力価が上昇することが確認でき、吟醸麹の最適な製麹条件が示された。

4　結　　論

吟醸麹の酵素抽出方法と実際に製造された麹について製麹条件と力価について検討した。その結果、①“20 秒間粉砕、0 時間放置”が最適である、②製麹後半で乾燥を加速させるとｇ力価は上昇する、ことが分かった。

（文責　井上守正）
（校閲　吉岡秀樹）

〔地域イノベーション創出研究開発事業（地域資源活用型）[1]〕

44　播州固有の変織技法による世界初の無縫製織物ドレスの研究開発

古谷　稔，藤田浩行，東山幸央，中野恵之，瀬川芳孝，有年雅敏
（片山象三※1、小紫和彦※1、大江周平※2、谷田忠司※3、山口寿一※4）

1　目　　的

播州織固有の技法の一つに“スワイベル織”がある。この技法は、織りながら刺繍模様の柄を織っていく伝統的な変織技術であるが、現在では正常に稼働する織機や関連技術があまり残されていない。スワイベル織の特徴である二重織の技法を応用して、新規の無縫製ドレスや高付加価値織物の開発が期待できるため、業界からスワイベル織を復活してほしいという要望が大きい。

本事業では、スワイベル織を再現するための製造技術を開発するため、自動化技術並びにソフトウェアを開発し、ジャガード織機と複合化することによって高機能なスワイベル織用織機並びに新規織物の開発を行った。

2　スワイベル織用織機の開発手順

本事業では、従来のスワイベル織よりも高能率で高付加価値の織物を制作するため、以下の手順で行った。

①従来のスワイベル織における機械制御からサーボ制御に切り替えて新しいスワイベル装置を開発する。
②開発した新規スワイベル装置と、ジャガード織機を連結して二重織ができる織機を開発する。
③開発した織機で制作した織物のドレス・デザインの端面に沿って移動し、織組織で縫合する技術を開発し、無縫製ドレスを製造する技術を開発する。
④播州織独自技術（クラッシュ加工やアレンジワインダー技術）を併用したスワイベル織複合織物を開発する。

3　装置開発

3.1　スワイベル織機構に関する技術調査

現存する技術資料などを調査した結果、廃棄処分されたスワイベル織機やリボン織機などから、スワイベル織を復活させる上で、有益な機構や関連技術を見いだすことができた。

3.2　エアージェット織機との連動技術の開発

従来のスワイベル織は、低速のシャットル織機(毎分 50 回転)で織られていた。これは、スワイベル織別途横糸挿入装置が作動する時に、織機のシャットルを停止させる必要があったためである。

本研究開発では、エアージェット織機を用いて、毎分 300 回転と別途横糸挿入装置稼動時毎分 50 回転とが、交互に稼動できる織機の開発と製織条件を見出し、スワイベル織の生産性を向上させることを目標とした。

このため、当初の目標(生産性が従来の 6 倍)とする製織条件の設定は、「通常 300 回転(毎分)×5 回＋空打ち 1 回＋スワイベル 50 回転×1 回＋空打ち 1 回」となり、後述するスワイベル別途横糸挿入装置の第一次試作では上記条件で行った。第二次試作は「通常織 370 回転×5 回＋空打ち 2 回＋スワイベル 90 回転×1 回＋空打ち 2 回」に相当するため、これを数値目標にしてエアージェット織機とジャガード装置とを連動させた。

具体的には、通常のエアージェット織機(図１)の低速運転に対応した改造を行い、改造した織機にジャガード装置(図２)を連結して評価を行い、設計および条件設定の適性について検討した。また、評価した装置の試運転を行い、装置間連動の性能評価を行った。



図１　改造したｴｱｰｼﾞｪｯﾄ織機



図２　改造したｼﾞｬｶﾞｰﾄﾞ装置

3.3　スワイベル織別途横糸挿入装置の開発

従来の別途横糸挿入装置は、カムとチェーンによる機械制御で駆動されるため、重量が 50kg とかなり重い。平成 20 年度に第一次試作の装置開発(図３)を行い、６倍の速度で縫製する機能を持たせるため、別途横糸挿入装置の軽量化と左右の移動制御の分解能（１mm 以下）の開発を目標とした。その結果、軽量化(１kg)と移動制御の分解能を 0.68mm にまで高精度化することができた。



図３　第一次試作装置



図４　第二次試作装置

（※１　株式会社片山商店）
（※２　桑村繊維株式会社）
（※３　播州織工業協同組合）
（※４　新産業創造研究機構）

平成 21 年度の第二次試作(図４)では、開発した織機の回転数が 90 回転であるため、別途横糸挿入装置の回転数(50 回転)に対応させながらスワイベル織を実現するため、別途横糸挿入装置を改造するとともに、スワベルヘッドを２個から４個に増やすための改良を行った。

また、装置開発の前段階において、織物を手作業で試作した(図５)結果、別の経糸送出し装置に装着する糸の張力を安定させる必要があること判明し、機能を追加設計した。

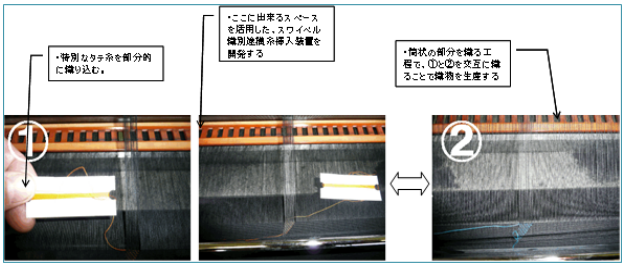


図５　装置開発の前段階で行った開発実験

スワイベル装置の移動範囲(織物の幅)を拡大するためジャカードの開口量を大きくした。その結果、製織中に顎打ち(織物が裂ける現象：図６)が発生した。そこで、バーテンプル用ガイドバーの追加及びテンプルを上置き型に改造し、顎打ち現象を防止する改善を図った。



図６　顎打ち現象の事例



図７筬との衝突事故例

一方、スワイベル装置と織機の筬が衝突する現象(図７)が発生したため、高速ビデオカメラによる発生原因の究明(図８)と、ソフトウェアによる作動タイミングの調整(図９)に取り組み、解決策を考案した。



図８　ビデオカメラによる原因究明実験



図９　事故発生時の作動タイミング例

次に、スワイベル装置を運転するためのデータ作成と織機、ジャカード装置及びスワイベル装置の運転と連動を適正に制御するためのデータを作成するソフトウェアを開発(図 10)した。開発したソフトウェアを用いて作動実験とその改良を逐次行いながら、実用に耐え得るソフトウェア開発に取り組んだ。

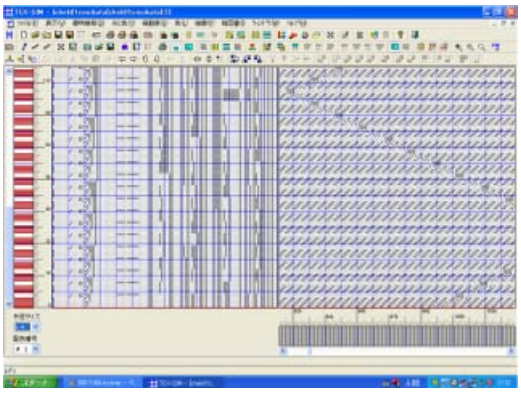


図 10　開発した装置の連動を制御するソフトウェア

4　無縫製ドレスおよび複合織物の開発

4.1　スワイベル織による無縫製織物ドレスの開発

３.２および３.３で開発した織機の連動技術と別途横糸挿入機構を用いて無縫製織物ドレスの製造技術を開発した。本装置を用いて無縫製織物ドレスの作成を行うソフトウェア(図 11)を開発した。本ソフトウェアを用い、無縫製織物ドレスの設計と試作用のデータ作成(図 12)した上で、織物の試作実験(織物仕上げ加工を含む)を行った。作成した試作品(図 13)を展示会に出品し、展示会での反響を基にして、さらに高品質の無縫製織物ドレスの開発を目指して、第二次試作、第三次試作を繰り返しながら、完成度を高める試作を繰り返し行った。

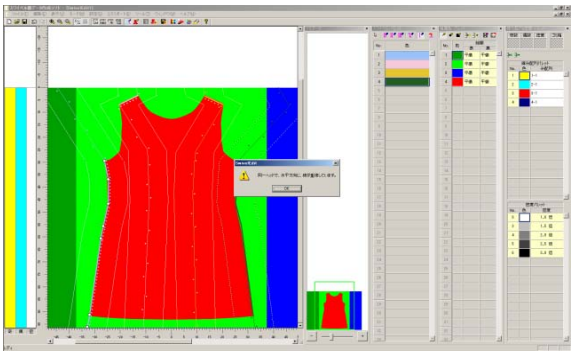


図 11　ドレス製図用ソフトウェア



図 12　ドレス制作実験例



図 13 無縫製ドレス

同時に、製品化を目指す上で必要となる縫製部分の強度（JIS―L1096Ｂ法；縫目滑脱抵抗力：図 14）を３mm 以下にするための実験を行った。

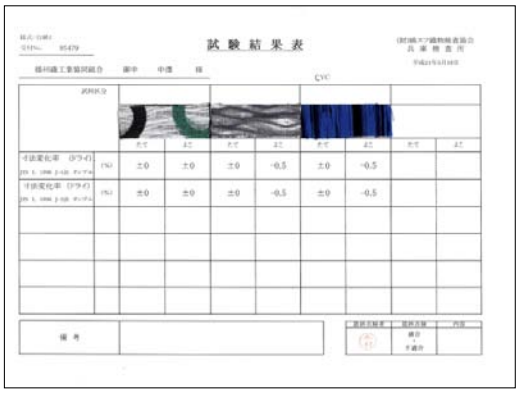


図 14　試作ドレスの強度試験結果例

４.２　斬新な“スワイベル織”複合織物開発

スワイベル織”にクラッシュ加工及びアレンジワインダーを使用し、斬新な織物を作成するためのデザイン等の諸条件等の検討を加えた。試作したスワイベル織物(図 15)を下記に示す。

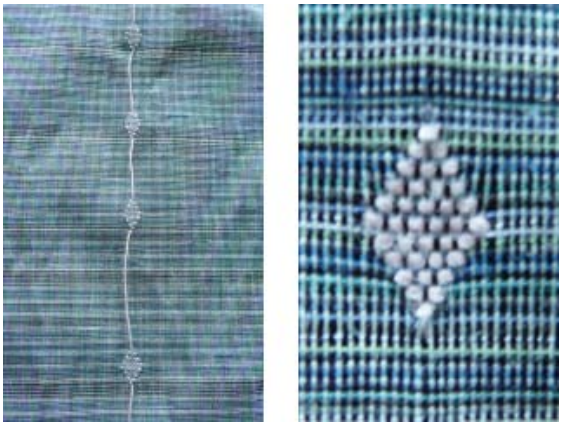


図 15 試作した織物（右側：表地、左側：裏地）

試作した複合織物を評価を得るため、無縫製ドレスとともに展示会に出品した。展示会で得られた専門家らによる反響を基にして、改良を加えながら高付加価値織物の開発に取り組んだ。

５　性能評価

５.１　スワイベル織機構に関する評価

５.１.１　エアージェット織機との連動技術の開発

製織実験の結果、スワイベル・ヘッドを高速で動作させるため、織機の開口を大きくしたり、織物組織を急激に変化させることが原因となって、織段や顎打ちが発生しやすく商品価値を大きく損ねることが判明した。そこで、当該部分の再設計を行い、大幅な改造を行った。その結果、織段や顎打ちの現象をほぼ解消することができた。改造した織機に、ジャガード装置を連結して性能試験を行うことによって、エアージェット織機と安定して駆動する連動技術を開発することができた。

５.１.２　スワイベル織用別途横糸挿入装置の開発

第一次試作で揺動型であったスワイベル装置のヘッド部分を、さらに安定動作させるために固定型ヘッドにするための大幅な改造を行った(第二次試作で実施)。その結果、実験過程において発生した前述の衝突事故や諸トラブル現象についても解決を図ることができた。その後は、さらに高速でかつ安定に動作させることに成功した。

５.２　スワイベル織による無縫製織物ドレスの試作

無縫製ドレスは曲線部分が多いため、制作する場合に重要な因子は、織物加工後に生じる加工縮みを正確に推定しておかなければならない。そこで、加工縮みを予測できるソフトウェアを開発し、加工縮みを精度良く予測できるデータを得ることができた。また、縫製部分の強度（JIS―L1096Ｂ法；縫目滑脱抵抗力）を３mm 以下に減少させることができた。

５.３　斬新な“スワイベル織”複合織物の試作

平成 21 年度(第三次試作)に改造した装置では、スワイベル口開量が 40mm(第一次試作では 20mm)となり同時にスワイベル・ヘッドを第一次試作のベッド２個から４個に増やしたため、第二次試作に比べて、種々のデザインに対応できる可能性が拡大した。しかし、スワイベル・ヘッドが大きくなったため、ヘッド同士が干渉する範囲が存在するため、サイズの大きな織物デザインに対しては制約が生じることが明らかになった。また、急激な移動によるスワイベル・ヘッドの口開け位置にたて糸が収納できない場合が発生することが分かり、一定の範囲を越える移動量に対して、制約を受けることも明らかになった。

６　結　　論

本事業は、播州織固有の変織技法で、幻の“スワイベル織”を復活させるため、スワイベル織用機構部を開発し、エアジェット織機と連動させることによってスワイベル織織機の開発に成功した。さらに、本織機を用いることによって、従来では制作困難であった無縫製ドレスの開発をはじめ、スワイベル織複合織物（クラッシュ加工とアレンジワインダー技術を入れ込んだ高付加価値織物）を開発することができた。

参 考 文 献

1)平成 20～21 年度地域イノベーション創出研究開発事業（地域資源活用型）成果報告書　古谷、藤田ら
（文責　古谷　稔)
（校閲　有年雅敏）

〔技術改善研究〕

45　衣料用織物に適した顔料染色技術の開発

藤田浩行，東山幸央，瀬川芳孝，中野恵之，古谷　稔，近藤みはる

1　目　　的

現在の播州織物は、昔ながらの織物であることと受注から生産までに長時間を要することが販路開拓の大きな障害となっている。近年、消費者ニーズの多様化により、繊維業界においても衣料品生産の多品種小ロット化が進み、個性的な感性で着る高付加価値織物の開発と短納期化が求められている。

織物製造工程中の染色工程は、染色技術は確立されているものの、多量の用水や熱エネルギーを必要とし、環境に配慮した工程にはなっていない。

そこで、染色工程において、新しい染色糸の開発、低コストで短期間に染色でき、多品種小ロット生産にも適応可能で、しかも用水、薬剤の軽減化により地球環境に優しい顔料染色技術の開発を目的とした。

2　実験方法

2.1　顔料及びバインダー

顔料は、三菱鉛筆(株)製の赤、青、黄の３色と山陽色素(株)製の赤、青、黄、白、黒の５色を使用した。

バインダーは、スタール･ジャパン(株)製のウレタン系、アクリル系、シリコン系樹脂の計 16 種類を使用した。また、樹脂の架橋剤には、溶剤タイプと水性タイプを用いた。

2.2　染色方法

図１に示した(株)梶製作所製の一本染色機を用いて、顔料とバインダーと架橋剤の混合割合を変えた顔料調整液に、綿糸80/2Sを80m/minで走らせながら、浸漬-絞り-浸漬-絞り-乾燥（２dip-２nip）して顔料染色糸を試作した。なお、乾燥は80℃、３分である。

顔料調整液は、試作糸の摩擦堅牢度や柔軟性等の評価をするために顔料濃度、バインダーの種類･濃度、架橋剤種類･濃度等、各種配合割合に調整した。

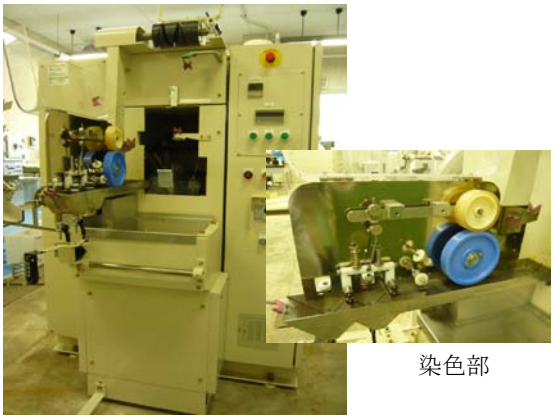


図１　一本染色機

2.3　熱処理（ベーキング）

染色糸の一部をかせ状に採取し、熱処理機を用い、160℃で３分処理した。

2.4　性能評価試験

摩擦堅牢度は、染色糸を約 500 本束ねて JIS L 1096 にて試験した。摩擦回数は 100 回である。

洗濯堅牢度は、炭酸ナトリウム 2g/L、界面活性剤 1g/L で煮沸し、色の脱落で評価した。柔軟性は、手触りによる官能検査で行った。

2.5　試織試験

試織は、たて糸およびよこ糸に顔料染色糸を用い、レピア織機 ER-145 型(津田駒工業(株)製)で製織した。

3　結果と考察

3.1　摩擦･洗濯堅牢度と柔軟性

衣料用織物は、柔軟性に加え摩擦、洗濯、日光に対して高い堅牢度を必要とする。しかし、顔料染色は、一般に日光堅牢度は良いが、風合いが硬い、摩擦堅牢度が悪い、色合わせが困難等の課題がある。これらの課題を改善し、衣料用として満足する最適な染色条件を見出すためにバインダーの種類･濃度、架橋剤の種類･濃度、熱処理の有無等を検討し顔料染色技術の確立を図った。

バインダーは、ウレタン系、アクリル系、シリコン系の16種類において、バインダー濃度を１、２、３、４、５、10wt%、架橋剤濃度を10wt%(対バインダー)、顔料濃度(三菱鉛筆(株)製の赤)を５、10wt%の調整液について顔料染色し、各種染色条件で染色した糸の摩擦堅牢度や洗濯堅牢度及び官能検査による柔軟性、熱処理の有効性を測定した。

１にバインダー濃度５wt%、顔料濃度５wt%、架橋剤濃度10wt%(対バインダー)で染色した試料の内、代表的なバインダーの試験結果を示す。

摩擦堅牢度は、１～５までの９段階で評価し、数値の大きい方が良好である。また、洗濯堅牢度は、ソーピングによる顔料の泣き出し状況で評価した。

ウレタン系のバインダーは、比較的柔軟であるが、その内部構造によってやや硬いものもある。しかし、相対的に柔らかく、しかも摩擦･洗濯堅牢度に強い。ウレタンーAは、バインダー濃度が３wt%でも５wt%でも摩擦堅牢度４－５となり、摩擦･洗濯堅牢度とも播州織物品質基準に適合する値であった。

シリコン系のバインダーは、非常に柔軟で洗濯堅牢度

は良いものの摩擦堅牢度が弱かった。また、アクリル系のバインダーは、多くの種類で実験はしていないが柔軟性や摩擦堅牢度は、ウレタン系とシリコン系の中間にある。

表１　バインダーの種類と染色糸の性能

タイプ	摩擦堅牢度	耐洗濯性	風合い
ウレタンーA	4－5	良	柔軟
ウレタンーB	4	良	柔軟
ウレタンーC	4	良	やや硬い
ウレタンーD	2－3	良	非常に柔軟
アクリルーA	4	良	やや硬い
アクリルーB	3－4	良	柔軟
シリコンーA	2	良	非常に柔軟

一般的に硬い被膜を作るバインダーは、摩擦堅牢度、洗濯堅牢度ともに良好で、逆に柔軟なバインダーは、摩擦堅牢度に弱いことがわかった。硬いバインダーは、染色糸自体も硬くなるため衣料織物としては、あまり好ましくない。

その結果、バインダーには脂肪族系ポリウレタンが有効であり、バインダー濃度３wt%でも高い堅牢度を有した。しかし、高濃度の顔料染色を考慮すれば、バインダー濃度は５wt%が最適な濃度であると思われる。

架橋剤は、バインダー濃度に起因し、溶剤タイプ、水性タイプに関係なく、バインダー量に対して10wt%が良好であった。また、熱処理の効果も調べた結果、熱処理の有無に関係なく一本染色機で染色ー乾燥するだけで高い摩擦堅牢度および洗濯堅牢度を有することがわかった。

図２に各種バインダー別による染色糸の摩擦堅牢度試験結果を示す。左から①ウレタンーA、②ウレタンーB、③ウレタンーC、④アクリルーB、⑤シリコンーA、⑥アクリルーA、⑦ウレタンーDによる染色で、上段が摩擦試験後の染色糸 500 本束、下段が添付白布である。この白布で、①ウレタンーAは、殆ど色落ちしていないが、⑤シリコンーAは、最も色落ちが激しく摩擦に弱いことがわかる。

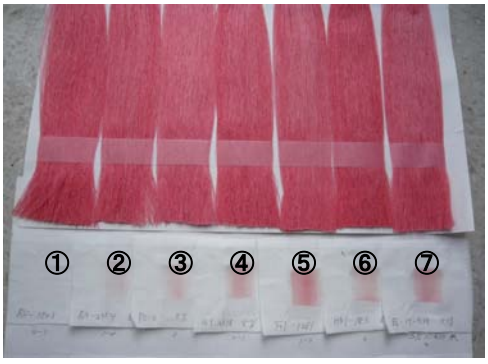


図２　各種バインダーによる染色糸の摩擦堅牢度

３.２　カラーマッチング

複数の顔料を混合して色出しを行い、カラーマッチングの可能性を調べた。

今回、主に使用した顔料は、三菱鉛筆(株)製でｐＨがアルカリ性であり、スタール･ジャパン(株)製のバインダーと相溶性があった。しかし、山陽色素(株)製の顔料は、酸性でバインダーとコンプレックスを形成した。したがって、顔料をアルカリ側に調整することにより良好な顔料染色を可能とした。

図３に青と黄の混合による緑のグラデーション染色糸を示す。この配合の他に、青と赤、赤と黄、及び白、黒も加えてカラーマッチングを行い基本色を作製した。この混合濃度は５wt%であるが、今後、低濃度から高濃度まで(１～10wt%)の混合濃度について基本色を作製することにより、播州織の染色システムへも対応可能なことがわかった。



青	0.05	0.25	0.5	1.25	2.5	3.75	4.25	4.75	4.95	5.0
黄	4.95	4.75	4.5	3.75	2.5	1.25	0.75	0.25	0.05	0.0

(wt%)

図３　青と黄の混合による緑のカラーマッチング

３.３　製織性と仕上加工

製織性や仕上加工による変退色の影響を検討するため、顔料染色糸をたて糸およびよこ糸双方に用いて製織し、その織物を毛焼きー糊抜きーシルケットーサンフォライズと一連の仕上加工を行った。その結果、製織性も良好で仕上加工による変退色はなかった。特に、アルカリ性の強いシルケットにおいて脆化もなかった。

４　結　　論

柔軟な風合で、かつ摩擦･洗濯堅牢度が良好な顔料染色条件は、バインダーが脂肪族系ポリウレタンで濃度５wt%、架橋剤濃度 10wt%(対バインダー)、顔料濃度５～10wt%、浸漬-絞り-乾燥の２dip-２nip 方式、乾燥温度･時間 80℃×３min、染色糸速度 80m／min である。

これら顔料染色技術を確立することにより、近年要望の高い中白糸、剥げ感糸、かすり糸のような従来染色法ではできなかった差別化染色糸の染色が可能となる。また、多品種小ロット化への対応や短時間での染色(８時間→１時間)および用水･薬剤の節減化にも対応できる地球環境に優しい染色である。

(文責　藤田浩行)
(校閲　有年雅敏)

〔重点領域研究〕

46　縫合技術を利用した炭素繊維織物強化複合材料の開発

藤田浩行，東山幸央，中野恵之，古谷　稔

1　目　　的

炭素繊維などの高強度・高弾性率繊維を強化材とする複合材料は、主としてエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂をマトリックス樹脂として用いているが、近年、高靭性、リサイクル性および量産性等の特長から熱可塑性樹脂をマトリックスとした複合材料の研究開発および用途開発が活発に行われている。一方、使用される強化繊維の形態は、短繊維（数十 mm 以下）、フェルトおよび織物などがあるが、織物は繊維の連続性から強度的に最も優れている。しかし、粘度の高い熱可塑性樹脂を織物内部へ含浸させることは困難であり、強化繊維および糸の隙間に樹脂を十分溶融含浸しなければ、高い剛性を持つ複合材料は得られない。そのため樹脂の含浸性を向上させる様々な技術開発が行われているが、製造コストや含浸性、付着樹脂量の制御など様々な技術課題がある。含浸性や樹脂量制御および設計自由度の高さなどに優れた方法に、強化繊維と熱可塑性樹脂繊維から複合糸を作製し、複合糸により得られる織物や組紐などの基材を用いて複合材料を成形する方法がある。しかし、複合糸作製に要する設備や低い生産性など製造コストに関する課題がある。

本研究では、ミシンの縫合技術を活用して作製した複合糸から、織物強化複合材料を製造する技術を開発した。工業用ミシンを利用することにより低コストで複合糸が作製できるとともに、樹脂の高い含浸性により優れた機械的性質を持つ織物強化複合材料の成形が期待できる。ここでは、複合糸の作製技術を紹介するとともに、炭素繊維とポリエステル糸からなる複合糸から炭素繊維織物強化複合材料の作製を試みたので、その機械的性質についても述べる。

2　縫合複合糸の作製

2.1　複合糸の構造

開発した複合糸は、強化繊維を芯とし、樹脂繊維により周りを巻くような形態をしている。また、強化繊維に樹脂繊維を複数本引き揃えた状態で、その周りを巻いた構造とすることも可能である。図１は、強化繊維である 3K の炭素繊維（ピッチ系）の周りを 300D のポリエステル（PET）のモノフィラメント糸により覆った複合糸である。周りの糸は、３本の糸により構成され、各々のループ形態の連続した編み構造により、強化繊維を覆っている。なお、複合糸の作製は、工業用ミシンの１つであるメローミシンの縫合機構を用いて行うため、開発した複合糸を以降、縫合複合糸と呼ぶ。メローミシンは一般には、ハンカチの縁、ニットの裾処理などに利用されるミシンで布端を包み込むように縫うが、縫合複合糸は、この“巻縫い”という手法を用いて作製した。

図２(a)に縫合複合糸の全体モデルを、図２(b)に強化繊維糸と引き揃え糸のモデルを示す。また、図２(c)に、図２(a)の縫合糸の平面への展開図を示す。なお、図２(c)の a-a′、b-b′の箇所の糸は連続している。縫合糸は編み目により３本の糸が連結され、糸の長さ方向に連続した構造をしている。また、編み目の間隔 L は、縫合糸の送り量を変化させることにより変化できる。

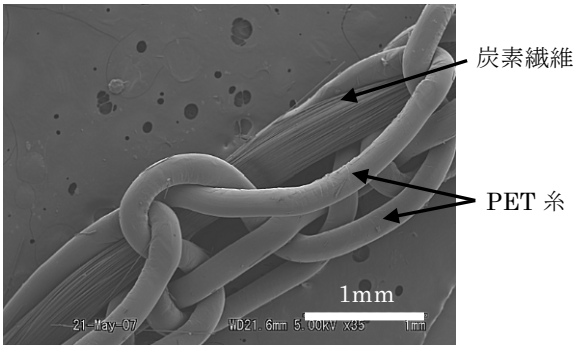
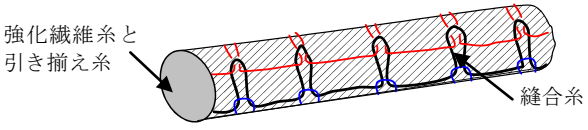
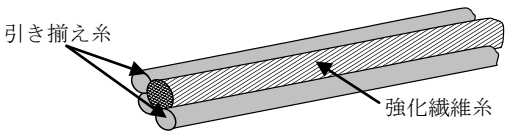


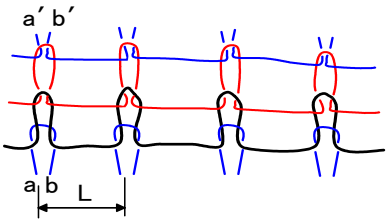
図１　炭素繊維とポリエステル糸からなる縫合複合糸



(a)　縫合複合糸の全体モデル



(b)　強化繊維糸と引き揃え糸



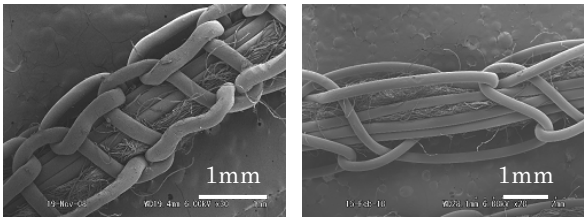
(c)　縫合糸の展開図

図２　縫合複合糸の構造

２.２　複合糸の企画設計

縫合複合糸は、強化繊維糸、縫合糸および引き揃え糸の３種類で構成され、各糸の素材や太さを選択できる。また、強化繊維糸および引き揃え糸の本数の設定、縫合糸のピッチ等､設計自由度の高い糸である｡したがって、縫合複合糸を用いた複合材料開発は、素材の選定や組み合わせおよび樹脂含有率制御などを糸の段階で容易に設計できることから、強度特性や衝撃特性など機能性を糸作製の段階で制御できる可能性がある。図３は、強化繊維に綿糸（10/4^{s})、縫合糸および引き揃え糸に 300D のポリプロピレン（PP）のモノフィラメント糸を用いた縫合複合糸であり、縫合ピッチを変化させた一例である。縫合に伴うループの回数が、図３(a)は 13 回/インチ、図８(b)は、6.5 回/インチである。また、縫合ピッチ 6.5 回/インチの縫合複合糸について、引き揃え糸（PP）を１～5 本と変化させた場合の繊維と樹脂の含有率変化の結果を表１に示す。

以上から、素材の組み合わせや構造および強化繊維と樹脂の割合などを容易に制御できる縫合複合糸を用いることにより、用途に応じた高機能な複合材料の企画設計を行うことができる。



(a) 13 回/インチ　　(b) 6.5 回/インチ

図３　綿糸とポリプロピレン糸からなる縫合複合糸

表１　綿/PP 縫合複合糸の綿と PP の重量割合

引揃糸(本)	1	2	3	4	5
綿(wt%)	50.0	45.8	41.9	39.0	36. 9
PP(wt%)	50.0	54.2	58.2	61.0	63.1

３　炭素繊維織物強化複合材料の作製

図１に示した炭素繊維と PET 糸からなる縫合複合糸を作製し、得られた複合糸から複合織物を製織した。表２に複合糸の規格を、表３に作製した３種類の織物規格を示す。また､図４に規格-Ⅱの織物の外観を示す。なお、白っぽく見えるのは、PET 糸である。複合糸に占める炭素繊維の重量割合は、約 45wt%であった。

縫合複合糸の使用は、従来の綿用織機で炭素繊維織物が生産できるなど炭素繊維の製織性を大幅に改善するこ

表２　炭素繊維/PET 縫合複合糸の規格

	素材	太さ	本数	ピッチ
強化繊維	炭素繊維	3K	1	
縫合糸	PET	300D	3	5 本/インチ
引き揃え糸	PET	300D	6	

表３　炭素繊維/PET 複合織物の規格

		規格-□	規格-□	規格-Ⅱ
織組織		平織	平織	平織
織密度(本/インチ)	たて糸	24	21	11
	よこ糸	11	11	11

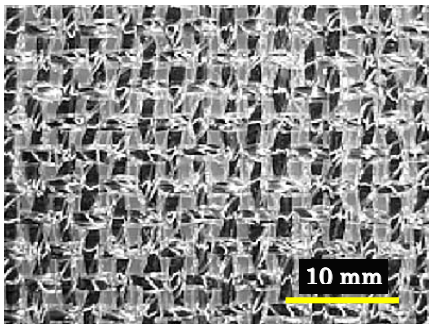


図４　炭素繊維/PET 複合織物（規格-Ⅱ）

とができるとともに、加熱圧縮工程のみでマトリックス樹脂となる複合織物の PET 糸の溶融と織物間隙への高い樹脂含浸により高強度の複合材料の成形も期待できる。そこで、規格-□、□、Ⅱの織物を図５に示す積層構成により８枚重ねた複合織物をホットプレス機により加熱圧縮して炭素繊維織物強化複合材料を成形し、その曲げ特性を評価した。積層構成は曲げ弾性率が向上するように、たて糸密度の多い織物が材料断面の外側となるような構成にした。金型温度 250℃、圧力 3MPa で 5 分間加熱圧縮し、試料厚み 1.5mm となるようスペーサーで調整した。三点曲げ試験の結果、曲げ強度 453MPa、曲げ弾性率 63.4GPa が得られた。曲げ弾性率については、既に市販されているポリエーテルイミド(PEI)と炭素繊維の複合材料の曲げ弾性率を凌駕する数値[1)]が得られた。

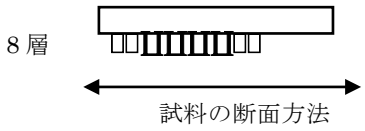


図５　複合織物の積層構成

４　結　　論

熱可塑性樹脂をマトリックスとした炭素繊維織物強化複合材料の製造について、技術課題であった樹脂の含浸性や炭素繊維織物の製織性などを改善するため、新たな複合糸を開発し、課題の解決を図ることができた。

参 考 文 献

1)“平成２０年度熱可塑性樹脂複合材料の航空機分野への適用に関する調査報告書”,(社)日本機械工業連合会,(財)次世代金属･複合材料研究開発協会, P32, (2008).

（文責　藤田浩行）（校閲　有年雅敏）

〔経常研究〕

47　アレンジワインダー糸を使用した織物企画設計支援システムの開発に関する研究

藤田浩行，古谷　稔

1　目　　的

アレンジワインダーは、多品種小ロット織物生産システムとして各繊維産地で活用されている。また、複数の染色糸を任意の長さおよび順序につないだデザイン性ある糸づくりによるオリジナル織物開発用として利用する企業も多い。これまで、オリジナル織物を開発支援するために、アレンジワインダー用データ作成プログラム（AwDMake: Arrange Winder Data Making Program）を開発した。本ソフトウェアは、国内外の企業で活用され、オリジナル織物の開発に役立っている。しかし、現在のシステムは、作成データ（糸つなぎデータ）から織り上がりの予測が得られないため、糸のデザイン設計が困難である。そこで本研究では、オリジナル織物の企画設計支援のため、糸つなぎデータから織り上がりを予測するシステムの開発を目的とする。

2．開発システムの概要

多品種小ロット織物生産システムは、アレンジワインダーで作製した糸をたて糸として用いる。しかし、オリジナル織物開発の場合は、よこ糸として使用されることが多い。そこで開発するシステムは、糸つなぎデータより作製される糸をよこ糸として製織した場合の織物イメージが予測できるシステムの開発を試みた。ただし、以下に示す２つの制約条件を設けた。

(1) １つの糸つなぎデータから予測（織機のよこ糸選択が単丁と同義）

(2)革新織機と同様によこ糸は端部で切断される（シャットル織機のように折り返さない）

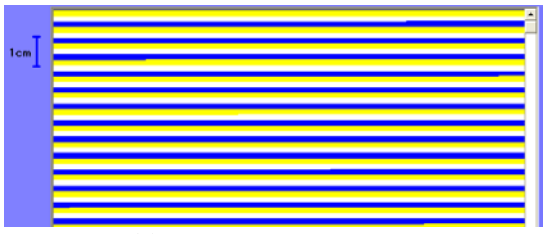
織物イメージをシミュレーションする場合、織物規格に関する情報が必要である。開発システムは、以下の織物規格を基にして予測できる。

①たて糸密度、よこ糸密度（本/インチ）
②織組織（三原組織；平、綾、朱子織）
③織幅（インチ）
④織縮み（%）

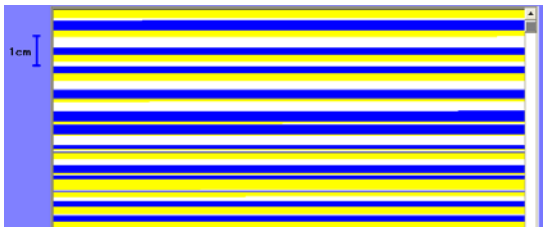
また、糸つなぎデータから作成される織物デザインは、必ずしも周期性が存在しないため、織物端部からの距離を変更して表示できるようにした。その他、よこ糸による織物イメージがわかりやすいようにたて糸の非表示による予測やたて糸の色変更なども可能とした。

3　実験結果と考察

開発システムによる織物イメージの予測結果の一例を図１に示す。用いた糸つなぎデータは、３色の糸が黄→白→青の順に同じ回数繰り返す２つのデータとした。データ A は各糸長すべて 5m とした。データ B はデータ A と同じ平均糸長 5m であるが、糸長にばらつきを与えた。その結果、データ A のデザインは等間隔の縞模様であるが、データ B は縞模様の間隔に変化が見られる。次に織組織が異なる条件で予測した結果を図２に示す。0.1m の赤い糸を約 20m 毎につなぐデータを用いたため、赤い糸によるスジ状模様（矢印）が２カ所で見られる。以上、糸つなぎデータから織物イメージを予測するシステムを開発した。今後は、汎用性の向上を目指し、開発を継続する予定である。

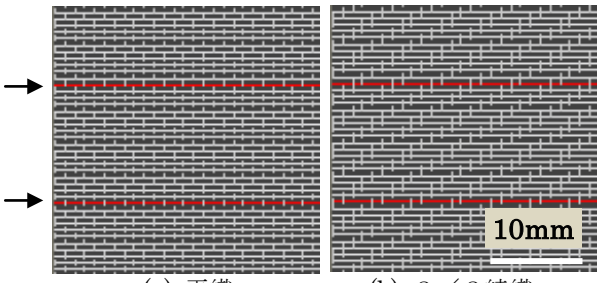


(a) データ A（糸長一定）



(b) データ B（糸長変動あり）

図１　糸長のばらつきが異なる織物イメージ（よこ糸）



(a) 平織　　(b) ２／２綾織

図２　織組織が異なる織物イメージ

（文責　藤田浩行）（校閲　古谷　稔）

〔経常研究〕

48　極少量生産に対応した先染め織物製造技術に関する研究

古谷　稔，藤田浩行，瀬川芳孝

1　目　　的

雑貨・小物ブームの中で、これらの製品を短納期での生産するのに適した織物素材の提供方法を確立することで、用途開拓の可能性が高くなる。また近年、産元商社や製布業においてマフラー、鞄、ハンカチ、帽子等の小物雑貨を生産・販売していこうとする機運が高まっている。

そこで、保有する小ロット対応の生産技術を用いて、小物・雑貨に向けの織物素材提供に活用できる先染め織物製造技術について研究を行った。

2　適切な先染め織物製造技術への提案

小ロット対応した生産技術を再検討し、生地の見込み生産（在庫対応）を活用し、雑貨・小物に適応した生産手法について検討と実験を行った。

2．1　生地在庫による対応

ここでは、織り組織に工夫した生地在庫について検討し、下記のプリント技術やクラッシュ加工に適した先染め織物の試作を行った。

2．2　プリント技術の併用

上記の生地在庫に対してプリント技術を併用する方法について検討を行った。特に対象とする雑貨・小物に向くデザインについて検討を行った。

2．3　クラッシュ加工[1)]との組合せ

クラッシュ加工用の生地在庫では織り方が限定されるため、要求されるデザインに迅速に対応する方法について検討を行った。



図１　生地在庫にプリントしたものをクラッシュ加工する実験風景（播州織工業協同組合）

3　結果と考察

極少量の雑貨・小物の生産に対応した、織物組織を工夫した生地の在庫方法やクラッシュ加工を中心とする加工技術等との併用による織物生産技術・手法について検討を行った。

生地在庫を活用した雑貨・小物用の素材提供では、バイヤーの要求に対応できる範囲での広い生地の在庫をいかに迅速に達成できるかが鍵になる。また、生地の在庫については、播州織産地が注力する戦略として確立されようとしている。これに現有するプリント技術やクラッシュ加工技術を組み合わせることで、小ロット生産に適した織物素材開発に対応した製造技術を確立することが可能であることが分かった。

今後、商談を得るためにはクイックタイムでサンプルを提示する必要性があり、どのように対応するかが課題となっている。

4　結　　論

試作したオリジナル織物について、播州織見本市(東京：図２)やオリジナル織物の展示会（西脇）で発表を行った。出品した織物のうち、プリント併用技術によるクラッシュ加工織物は、大手ブランドと共同開発（地元企業を含む：図１）に取り組んでいる。今後、播州織産地企業では、生地の見込み生産方式に注力していく可能性が高いため、本研究成果が活かされるものと期待する。



図２　試作織物の展示会における発表風景

参 考 文 献

1）表面加工方法及び表面加工織物　特許第 4304236 号　竹内、古谷

（文責　古谷　稔）
（校閲　藤田浩行）

〔経常研究〕

49　光応答機能性繊維の開発
―天然繊維のフォトクロミック加工に関する研究―

東山幸央，平瀬龍二，藤田浩行

1　目　　的

紫外線の有無により可逆的に色が変化するフォトクロミック化合物を繊維に導入することにより、例えば屋内と屋外で色が変化したり、紫外線の有無を色で判別できる等、様々な機能性を付与することが可能になる。しかし繊維分野においては、紡糸溶液にフォトクロミック化合物を分散させる方式が主流で、合成繊維にしか適用できない問題点がある。本研究では、関連業界からの要望が多い、綿をはじめとする天然繊維への効果的なフォトクロミック加工方法について基礎的な検討を行った。

2　実験方法

サニーカラー染料（青、記録素材総合研究所製）1.0g をアセトン 20ml に室温で溶解させ、綿糸 0.25g を浸漬させた後、５分間超音波処理して２時間室温で放置した。続いて綿糸をアセトンで２回洗浄し、室温で一晩乾燥させてサンプルを得た。

紫外線照射は紫外線ランプ（波長 365nm）を用い、照射時間は３分間とした。

耐洗濯性の評価として、家庭用洗剤による繰り返し洗浄を行った。サンプルを 50ml のサンプル瓶に入れ、アタック（花王製）の 0.07wt%水溶液 30ml を加えて 100 回振とうした後、５分間超音波処理を行い、10 分間放置した。その後水道水によりすすぎを行い、55℃の熱風循環式オーブンにて 30 分間乾燥させた。これらを１サイクルとし、合計５サイクル行った。

3　結果と考察

作製したサンプルの電子顕微鏡写真を図１に、紫外線照射試験前後の変色状況を図２に示す。繊維表面に分散不良などの異常は見られず、均一な加工状態であると考えられる。紫外線照射前は白色の綿糸が照射後青色に変化したが、照射 10 分後には元の白色に戻ることが確認できた。評価結果を定量化するため色差測定を試みたが、色が紫外線の照射によって１分単位で変化するため、高精度でかつ再現性のあるデータを得るためには色差測定は不適であることが明らかとなった。

そこで、図２の画像のサンプル部分における CMYK 色データから、青色成分の C（シアン）値を抽出解析した。C 値も紫外線照射により増加し、10 分後にはほぼ照射前の値に戻っていることから、色の変化の可逆性が確認できた。

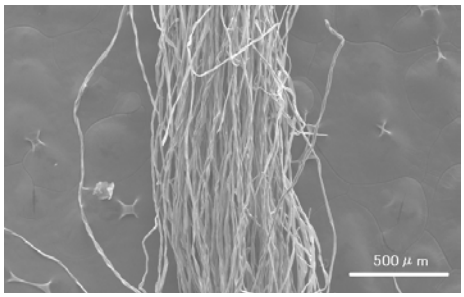


図１　加工後の繊維の電子顕微鏡写真（50 倍）

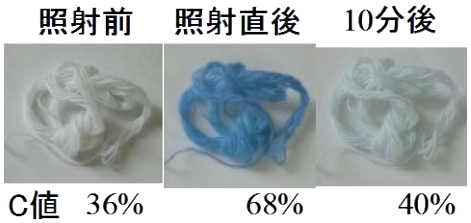


図２　紫外線照射試験後の変色状況

洗濯後のサンプルの紫外線照射直後の C 値を表１に示す。洗濯前→洗濯１回でやや値が下がり、洗濯１回と洗濯５回で値がほぼ同じことから、１回目の洗濯が、ソーピングに相当し、アセトン洗浄で除去できなかった過剰の染料が除去されたと思われる。２回目以降の洗濯では、染料の除去はほとんど起こっていないとみられ、耐洗濯性は良好であると考えられる。

表１　洗濯が変色性能に与える影響

洗濯回数	洗濯前	１回	５回
C 値(%)	68	61	59

4　結　　論

綿糸のフォトクロミック加工において、紫外線による光応答性能と耐洗濯性において良好な結果が得られた。

今後の研究として、本加工糸を用いた製布が可能になれば、更なる高付加価値化と、新規性、優位性の確立および産地のアピールにつながると期待できる。

（文責　東山幸央）
（校閲　古谷　稔）

〔技術改善研究〕

50　ニホンジカの製革技術の開発

佐伯　靖，桑田　実，松本　誠，西森昭人，原田　修，森　　勝

1　目　　的

兵庫県では、近年ホンシュウジカに分類されるニホンジカ(以後、ニホンジカと標記)による年間数億円の農林被害が深刻化し、年間約２万頭のニホンジカを捕獲し、駆除を行っている。これらのニホンジカ皮の有効利用のために、平成 20 年度にニホンジカ皮によるホルムアルデヒド鞣し白革素材の開発 [1)]を行った。平成 21 年度は、シカ皮の利用拡大を図るため、クロム鞣し革の開発とクロム鞣剤と加脂剤の添加量によるニホンジカクロム鞣し革の開発とその特性評価を行った。

2　実験方法

2.1　ニホンジカ皮のクロム鞣し試験

冷凍保存のニホンジカ皮(ホンシュウジカ)を解凍後、原料皮重量による個体の分類を行った。次にステンレス製小型鞣しドラムを用いて、準備工程(水戻し、脱毛石灰漬け、脱灰工程)から浸酸工程は、杉本等のニホンジカ皮によるホルムアルデヒド鞣し白革素材の開発 [1)]を参考に行い、以後のクロム鞣しおよび加脂工程は表１に示した添加量で試験を行った。

表１　ニホンジカ皮のクロム鞣剤と加脂剤の添加量

	クロム添加量(%)	加脂剤添加量(%)
ニホンジカ 1	4	6
		12
		24
ニホンジカ 2	12	6
		12
		24

クロム鞣し後のウエットブルーは 0.8mm にシェービングを行い、中和、再鞣、染色・加脂、真空乾燥後、バイブレーションステーキングマシンによる揉みを行い試験革とした。

2.2　ニホンジカクロム鞣し革の特性評価試験

ニホンジカクロム鞣し革のクロム含有量と脂肪分は JIS K6550 で試験した。引張強さ、引裂強さは、皮革材料試験機(AGS-X ㈱島津製作所製)を用いて、JIS K6550 で試験した。柔軟度は柔軟度試験機(BLC ソフトネスター British Leather Confederation 社製)を用い、25mmφの条件で測定した。ニホンジカクロム鞣し革および洋鹿クロム革(対照革)の断面観察は、走査型電子顕微鏡(S-3000N 日立㈱製)を用いて加速電圧 25kV 真空度 30pa 倍率 50 倍で反射電子像を観察した。

3　結果と考察

3.1　ニホンジカクロム鞣し革

原料皮重量による個体の割合(調査頭数 91 頭)を見ると、原料皮重量２kg～４kg が７割を占め、２kg 未満を含めると８割に達する。大きい皮でも６kg 台であり、ニホンジカは小型が多い事が分かる。必ずしも１年間に捕獲されているニホンジカ全頭の割合がこの結果と一致するとは限らないが、小型が多数を占めると考えられる。

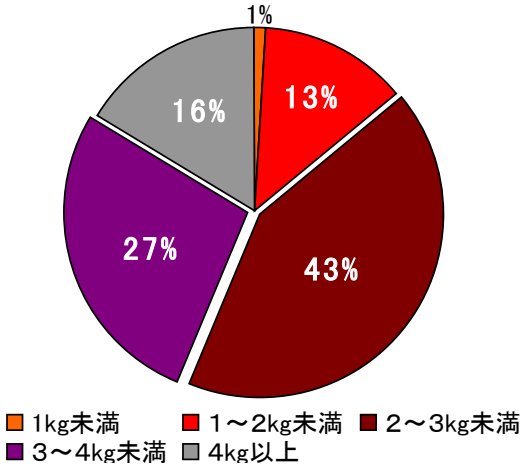


図１　ニホンジカ(ホンシュウジカ)原料皮重量の割合(丹波地域で捕獲：体長：80cm～100cm)

これらのニホンジカ皮によるクロム鞣し革の厚みは、原料皮重量２kg～３kg で 0.5～0.6mm、３kg～４kg で 0.8～1mm 、4kg 以上で 1.2mm 程度であり、革製品の用途(小物用、靴用、鞄用等)ごとに原料皮重量を選別する必要があると考えられる。

3.2　ニホンジカクロム鞣し革の特性

ニホンジカクロム鞣し革の引張強さは、図２に示したように 16～30MPa であり、靴用革の日本工業規格が牛革で 12MPa 以上であることから牛革と比べて高い引張強さを持つ革であった。また引張強さは革中の脂肪分の増加

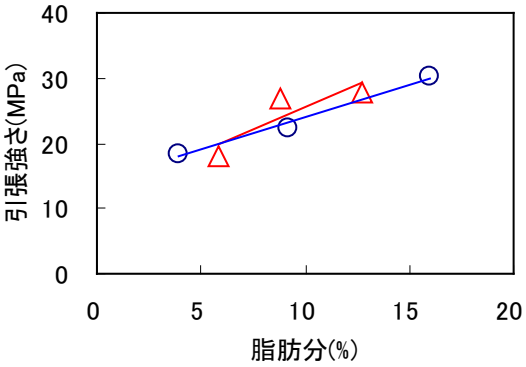


図２　ニホンジカクロム鞣し革の引張強さ
クロム含有量：2.2%，クロム含有量：3.6%

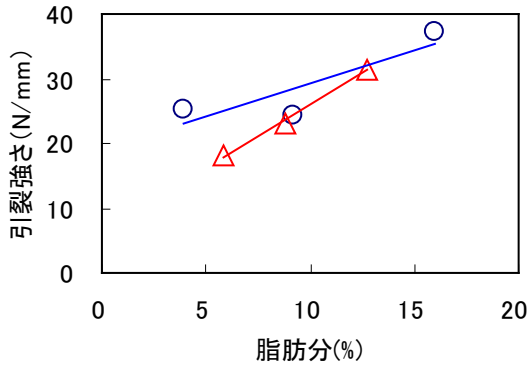


図３　ニホンジカクロム鞣し革の引裂強さ
クロム含有量：2.2%，クロム含有量：3.6%

に伴い高くなった。引裂強さは、図３に示すように、18～37N/mm であり、靴用革の日本工業規格牛革の 30N/mm 以上と比べて低いが、革中の脂肪分を増加させることにより、牛革と同等以上にする事が可能であった。

革の柔軟性は BLC 柔軟度で 2.5～3.5mm であり、革中の脂肪分の増加と共に高くなった。洋鹿手袋用革の BLC 柔軟度が 7.7mm であったことから、手袋用としては柔軟性が低いため、さらにバタ振りや空打ちドラム等による機械的な柔軟化が必要である。

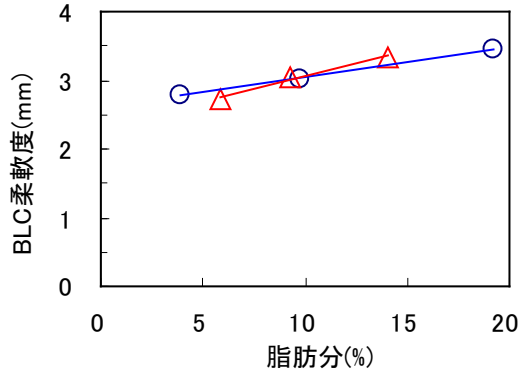


図４　ニホンジカクロム鞣し革の柔軟性
クロム含有量：2.2%，クロム含有量：3.7%

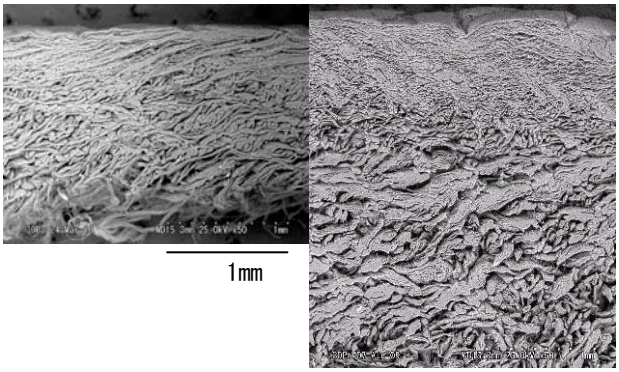


図５　鹿クロム革の断面写真（SEM）倍率 50 倍
左：ニホンジカクロム鞣し革，右：洋鹿クロム革

ニホンジカクロム革の断面観察写真を図５に示した。参考として洋鹿クロム革の断面と比較すると、全体にニホンジカクロム鞣し革は、洋鹿クロム革よりも厚みが薄く、銀面層も小さい、網状層の繊維束もかなり細いことが分かった。ニホンジカクロム鞣し革は、痩せて豊満性が乏しいため、再鞣し工程での、膨らみの改善が今後必要であると考えられる。

4　結　　論

試作したニホンジカクロム鞣し革は、牛革と比較すると高い引張強さを持つ革であり、脂肪分の増加と共に強度が高くなった。引裂強さは牛革と比較すると弱いが、脂肪分を増加することにより牛革と同等に高くすることが可能であった。革の柔軟性は脂肪分の増加と共に高くなる傾向にあった。

ニホンジカクロム鞣し革の商品化においては、原料皮の小型な事や厚みの薄さ等の課題があるが、用途(靴用、鞄用、小物)別に個体の大きさ等の選別を行う事により可能であると考えられる。野性のシカであるため、洋鹿や牛革と比較すると傷が多い事や膨らみが低い事があるが、傷の目立たない仕上げ法や再鞣し等の改善により、商品化を検討する必要がある。

本研究を実施するにあたりまして、(有) 大昌ならびに㈱山陽の関係各位にご協力頂きましたことを深く感謝いたします。

参 考 文 献

1)杉本　太，岸本　正，松本　誠，西森昭人，中川和治，安藤博美，兵庫県立工業技術センター研究報告書，18, 78 (2009)

（文責　佐伯　靖）
（校閲　中川和治）

〔兵庫県産学官連携ビジネスインキュベート事業〕

51　馬革の市場即応型多品種小ロット染色技術の開発

松本　誠，原田　修，中川和治

1　目　　的

近年、兵庫県の皮革産業では 10 枚程度の小ロットで多品種短納期の製品革の受注が多い。小型ドラムを使用した従来法では、水を大量に使い、“芯通し染色”を行うには数時間必要で、生産性が悪い。また、小型ドラムを数多く設置する必要があり、設備投資の経費が高くなる。

兵庫県には馬革を製造しているタンナーが 10 社以上ある。馬革は成牛革に比べて軽量性に優れ、肌目が細かいという長所を持ち、袋物、衣料などが主な用途である。馬革でも多品種小ロット受注に直面しており、小ロットでの製造工程の改善が課題となっている。

そこで、小型ドラムを使用せずに、界面活性剤を添加して浸透性を向上させた染料溶液を用いて、革を染料溶液に浸漬するだけで“芯通し染色”できる “静置染色法”の研究開発を行う。この技術が実用化できれば、使用する薬品、水の削減が可能になり、環境・エネルギー分野に寄与できると考えられる。平成 18～20 年度において、皮革工業技術支援センターは成牛革を用いて上記の研究をすすめており [1~3]、それらのデータを活用して馬革で実用化を行う。

本研究では、静置染色法において、染料濃度、界面活性剤濃度などを調整することにより、芯通し染色の検討を行った。

2　実験方法

2.1　静置による染色

「粉末の酸性染料(染料Ａ)」と「液体の含金染料(染料Ｂ)」を用いて所定濃度に調製した溶液に、所定量のノニオン型界面活性剤ポリオキシエチレンオクチルフェニルエーテルを添加して、厚さ 1.2㎜のクラストレザー（T12)、厚さ 1.8㎜ のクラストレザー（T18)、厚さ 2.4㎜ のクラストレザー（T24）を浸漬し、20℃で所定時間静置することにより染色を行った。

染色後、水洗を行い、染料の固着処理として、60℃（蒸留水）-30 分、60℃（ギ酸２％溶液）－30 分の２種類で行った後、水洗した。

2.2　浸透度

静置染色を行った革を切断し、断面を目視して、５段階評価(１:浸透していない～５:浸透している)で判定を行った（図１)。

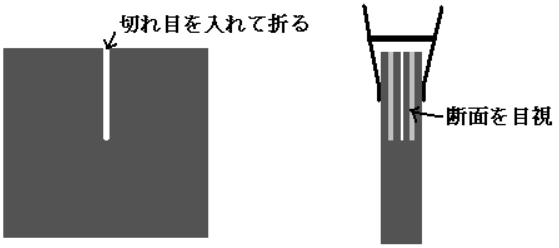


図１　染色革と断面(模式図)

2.3　革の染色摩擦堅ろう度測定

JIS K 6547 により、摩擦試験機Ⅰ型を用い、染色摩擦堅ろう度の試験を行った。

3　結果と考察

3.1　染料Ａを用いた際の浸透度

染料Ａを用いて５分間染色した際の浸透度に与える界面活性剤の影響を図２、界面活性剤無添加時の染色時間の影響を図３に示す

T12 では界面活性剤を加えなくても、染色時間５分で完全な芯通し染色を行うことができた。T18 では界面活性剤を加えたとき、浸透度は向上したが、完全な芯通し染色はできなかった。染色時間を 10 分に延長することによって、完全な芯通し染色が可能であった。T24 は界面活性剤を加えても、染色時間を長くしても、完全な芯通し染色には至らなかった。

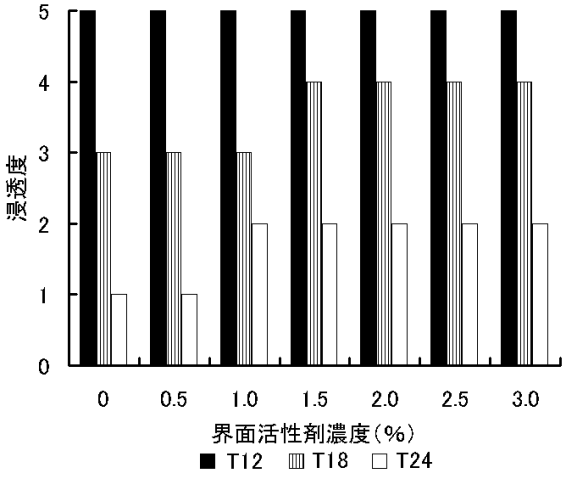


図２　浸透度に与える界面活性剤の影響（染料Ａ）

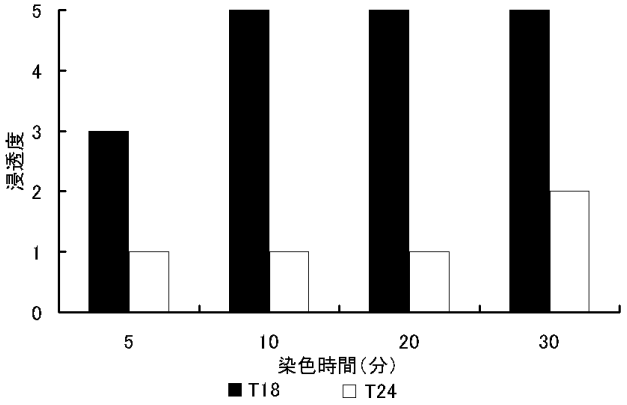


図３　浸透度に及ぼす染色時間の影響（染料Ａ）

３．２　染料Ｂを用いた際の浸透度

界面活性剤２％添加で染料Ｂを用いた際の浸透度に及ぼす染色時間の影響を図４に示す。T24 は完全な芯通し染色が行えなかったが、T12 と T18 では完全な芯通し染色を行うことができた。

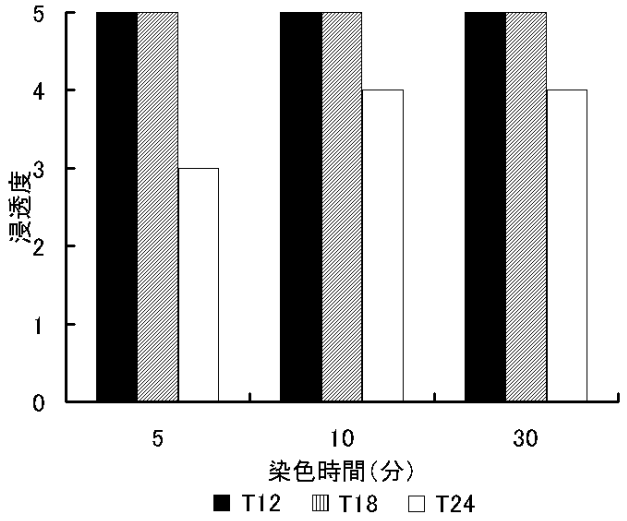


図４　浸透度に及ぼす染色時間の影響（染料Ｂ）
（界面活性剤２％添加）

３．３　染色革の染色摩擦堅ろう度

染料Ａ、染料Ｂを用いて T12 を染色したときの染色摩擦堅ろう度を図４、図５に示す。ただし、染料Ｂは染色時に界面活性剤を２％添加した。

革は用途によって様々な規格があるが、４級以上であれば、ほぼ全ての規格に適合するため、４級を目標とした。染料Ａは固着処理を行っても、４級に達しなかった。染料Ｂは固着処理を行わなければ、湿潤試験の汚染で２－３級であったが、60℃の２％ギ酸溶液による固着処理を行うことによって、いずれの試験項目も４級に達した。

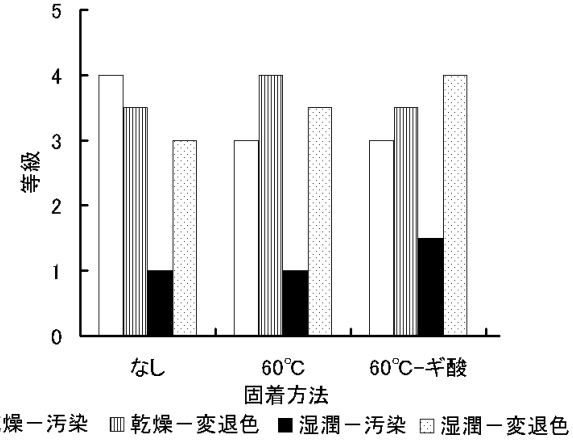


図５　染色摩擦堅ろう度（染料Ａ）（ナチュラル）

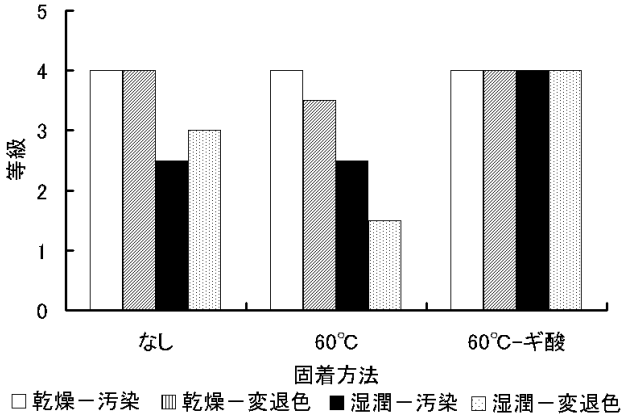


図６　染色摩擦堅ろう度（染料Ｂ）（ナチュラル）

４　結　　論

厚さ 1.2㎜と 1.8㎜のクラストレザーについては、２種類の染料とも芯通し染色の条件を確立することができた。厚さ 2.4㎜のクラストレザーではどちらの染料でも芯通し染色が行えなかったので、今後の課題である。

染色摩擦堅ろう度の目標は含金染料では達成できたが、コストが低い粉末酸性染料を用いても目標が達成できるよう、今後も検討していく。

参 考 文 献

1）松本　誠，杉本　太，西森昭人，岸本　正，中川和治，安藤博美；兵庫県立工業技術センター研究報告書, 18, 81(2009)
2）松本　誠，杉本　太，西森昭人，岸本　正，中川和治，安藤博美，礒野禎三；兵庫県立工業技術センター研究報告書, 17, 78(2008)
3）松本　誠，杉本　太，礒野禎三；兵庫県立工業技術センター研究報告書, 16, 75(2007)

（文責　松本　誠）
（校閲　中川和治）

〔経常研究〕

52　皮革の高堅ろう性染色技術の開発

松本　誠，原田　修，中川和治

1　目　　的

天然皮革に関するクレームとして、まずあげられるのは色落ち（摩擦堅ろう性が悪い）である。色落ちは、染色工程で用いる染料が皮革に固着不十分なのが原因であることが多い。皮革は高温に弱く、染色する際、60℃くらいまでしか温度が上げられないことが一因である。色落ちは、仕上げを行い、皮革の表面をコーティングすることによって、防ぐことが可能である。

しかし、仕上げを施すことによって、天然皮革に特有の触感、風合いが悪くなる。従って、素あげ（仕上げを施していない）の革は、仕上げ革よりも手触りがよいため、消費者から要望されており、市場ニーズがある。しかし、仕上げを施していないため、色落ちがしやすく、染色摩擦堅ろう度試験を行った場合、規格になかなか合格できないのが現状である。

当センターでは、高濃度の硫酸塩存在下でコラーゲンの熱変成温度が大幅に向上することを見出していた。そこで、高濃度の硫酸塩存在下で高温でも革の伸縮なしに染色できるかどうか、数種類のタンニン鞣しクラストレザーを用いて液中熱収縮温度を測定した。

2　実験方法

2.1　試料革

三種類のクラストレザー（馬革）を供試した。厚みはそれぞれ、1.2mm（T12）、1.8mm（T18）、1.6～2.5mm（T24）である。T12 と T18 は半裁革であり、T24 は尻部のみである。T24 は厚みに幅があるため、厚み 2.4mm 前後の革のみを供試した。

2.2　液中熱収縮温度の測定

JIS K 6550 5.6 液中熱収縮温度で測定を行った。95℃以上の測定では、JIS K 8295 に規定するグリセリン３容と水１容の混合溶液（23℃における密度，1.190）を用いるが、今回は硫酸アンモニウム飽和水溶液と硫酸ナトリウム飽和水溶液を用いた。

3　結果と考察

高濃度の硫酸塩が液中熱収縮温度に与える影響を図１に示す。蒸留水中で測定した場合、液中熱収縮温度は82～86℃であった。

硫酸ナトリウム飽和水溶液中で測定した場合、88～92℃と数度の上昇がみられた。一方、硫酸アンモニウム飽和水溶液中では 102～103℃と大幅な上昇がみられた。

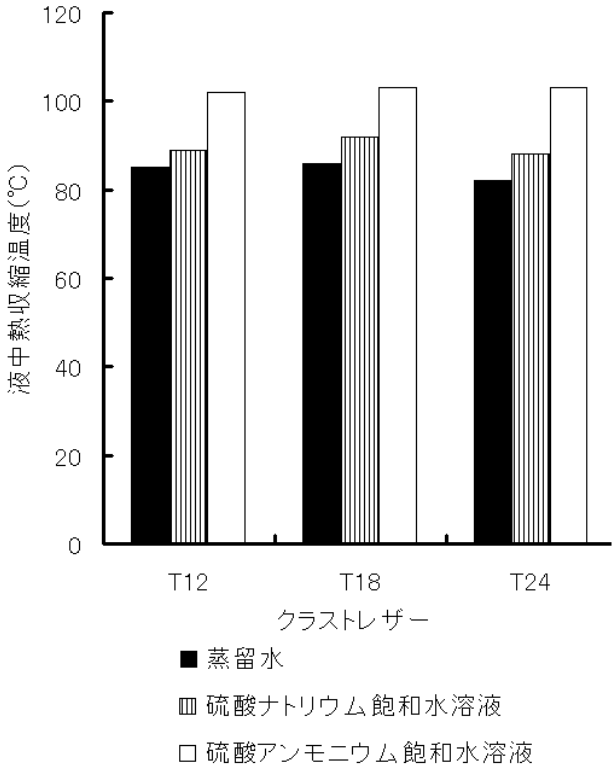


図１　硫酸塩が液中熱収縮温度に与える影響

4　結　　論

この結果から、染色後、硫酸アンモニウム飽和水溶液中で熱固着処理を行えば、革の収縮なしに高温で処理が可能となり、染色摩擦堅ろう性の改善につながると考えられる。

（文責　松本　誠）
（校閲　森　　勝）

〔経常研究〕

53　安全な非有機溶剤系仕上げ技術に関する研究

西森昭人，原田　修，森　　勝

1　目　　的

有機溶剤使用に関する規制強化に対応して、水性仕上げへの転換が迫られている。水性仕上げでは塗膜を強化するために、一般に架橋剤を添加することが行われている。しかし、架橋剤には、反応性が高く、ポットライフや保存条件などに注意が必要となるものが多く、毒性および発ガン性による作業者への健康被害も懸念されている。そこで、取扱いが容易で安全性の高い架橋剤を用いて、優れた特性を持つ水性仕上げを行うことを目指した。

2　実験方法

2.1　試料

クロム含有量 0.1%未満の非クロムなめし革を下地革として使用した。架橋剤には、安全性が高いと報告されている日清紡ケミカル株式会社より提供されたカルボジライト®を使用した。ウレタン系樹脂（WT-2511：スタールジャパン株式会社）に 2%の架橋剤（V-02-L2：日清紡ケミカル株式会社）を添加して調整した各種樹脂濃度の塗料を、バーコーター（No.14）により一定量の液量として塗装した。

2.2　染色摩擦堅ろう度試験

JIS K 6547 に規定されているクロックメーターを用いて、乾燥状態で試験し、綿布への汚染を評価した。

2.3　走査型電子顕微鏡観察

外科手術用の鋭いメスで切り取った革に、白金パラジウムを蒸着したものを、走査型電子顕微鏡（S-800：株式会社日立製作所）で断面を観察し、塗膜の厚さや状態を調べた。

3　結果と考察

3.1　染色摩擦堅ろう度

樹脂濃度の違いによる、染色摩擦堅ろう度の大きな変化が見られた。試験結果を図１に示す。樹脂濃度を濃くするにつれて、高い染色摩擦堅ろう度が得られ、27.0%では、５級の塗膜となった。

3.2　走査型電子顕微鏡観察

それぞれの革断面の写真を図２から６に示す。また、写真から読み取った塗膜の厚さを表１に示す。充分な厚さを形成することで、高堅ろう性の仕上げ塗膜になっていることが確認できた。

表１　樹脂濃度と膜厚の関係

濃度／%	3.4	6.7	10.1	13.4	27.0
膜厚／μm	15	15	20	30	50

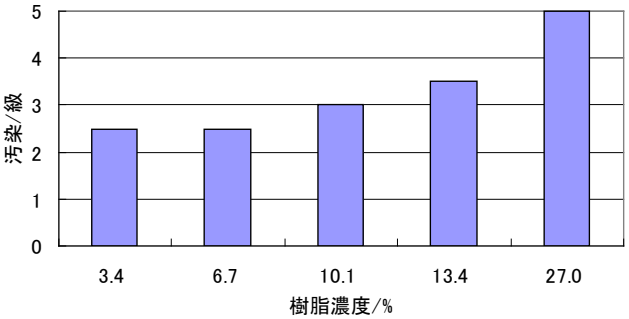


図１　染色摩擦堅ろう度乾燥試験における樹脂濃度と汚染の関係

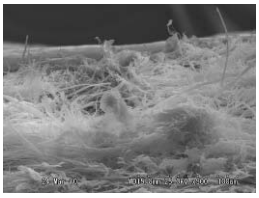


図２ 樹脂濃度 3.4%

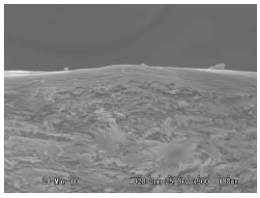


図３ 樹脂濃度 6.7%

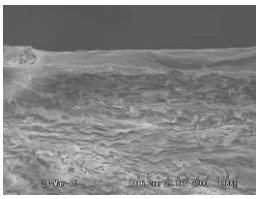


図４ 樹脂濃度 10.1%

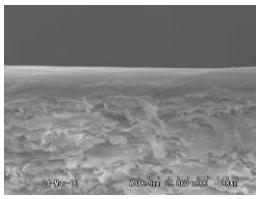


図５ 樹脂濃度 13.4%

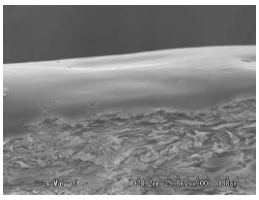


図６ 樹脂濃度 27.0%

4　結　論

安全性の高いと言われている架橋剤を使用し、充分な強度を持つ塗膜を形成することができた。

（文責　西森昭人）

（校閲　森　　勝）

〔低炭素社会に向けた技術シーズ発掘・社会システム実証モデル事業〕

54　電池駆動システムの近距離路線バスへの適用実証モデル事業

北川洋一，中里一茂，三浦久典，熱田稔雄，富田友樹

1　目　　的

二酸化炭素排出量削減のために、自動車からの排出量削減対策が急務となっている。このような状況の下、小型の電気自動車開発は、各国の自動車メーカーにより活発に進められており、既に一部は実用化されている。しかし、公共交通に利用できる大型バスの開発は未だ実現されていない。

そこで、本事業では、大型大出力のニッケル水素電池を用いて大型の電池駆動バスを開発し、その性能評価を行った。本事業は、経済産業省からの委託を受け、財団法人新産業創造研究機構を管理法人として、川崎重工業株式会社、フコクインダストリー株式会社、株式会社タイエストと当工業技術センターが共同して実施したもので、工業技術センターは、開発したバスの性能評価、および電池と充電方式の評価を行った。

2　開発した電池駆動バス

大型ディーゼルバス（日産ディーゼル工業㈱製 PKG-RA274PAN）を改造することで電池駆動バスを開発した。開発した電池駆動バスを図１に、諸元を表１に示す。



図１　開発した電池駆動バス

モータには、最大出力 150kW、最大トルク 650N･m のブラシレス DC モータを用い、バッテリーには川崎重工業製のニッケル水素電池（電池容量 48.6ｋWh）を用いた。

2.1　充電器

路線バスの平均的な１日の走行距離は、約 100km である。開発した電池駆動バスの１充電走行距離は、約 30km であるため、営業時間の中で１日に３回の充電を行う必要がある。従って、日常的に急速充電が不可欠であり、電池を劣化させずに短時間で電池容量を最大限利用できる充電を行う急速充電装置の必要性が極めて高い。

表　１　開発した電池駆動バスの諸元

全長×全幅×全高	11,490×2,490×3,000(mm)
車両重量	13,360　(kg)
定員	47 名
車両総重量	15,945　(kg)
エンジン	DC ブラシレスモータ
駆動方式	後輪駆動
最高出力	150kW/3,750rpm
モータ制御装置	IGBT インバータ
電池	ニッケル水素電池
電池搭載容量	48.6kWh
１充電走行距離	30km（20 分充電）
最高速度	76km/h

このように、小型自動車用急速充電器は目的地へ到達する前に電池切れとなった場合のセーフティネットと位置付けられているのに対し [2]、路線バスの場合の急速充電の目的は全く異なる。そこで、本事業ではフコクインダストリーが中心となって Advanced　IC&C 方式 [1]による急速充電器を開発した。この充電方式は、SOC(State of Charge)100%まで急速充電が可能な充電方式である。基本的な動作は定電流充電で、電池の端子電圧に基づいて充電電流を制御しているが、他の充電方式が充電電流を流している状態で端子電圧を測定するのに対し、この方式は、最初は定電流充電を行い、充電完了期においては充電と、充電を停止した状態における電池電圧測定を交互に繰り返す動作により正確に満充電を検出するという方式をとっている。

安全に急速充電を行うには、SOC を精度良く推定する必要がある。高精度な SOC 推定法について現在様々な方法が研究されているが研究室レベルにとどまっており、実用的なものは開発されていない [3-4]。本研究で採用した Advanced　IC&C 方式は、充電を停止して電池の端子電圧を測定することで起電力の測定が可能となるため、

現在市販されている急速充電器と比較して、SOC の推定精度が高いという特長がある。また、他の充電方式は予め設定した端子電圧値を基準として充電終了を検出しているが、この方式は端子電圧上昇の変化率がある規定値以下となった時点で充電を停止するため、過充電領域に入る前に充電を終了させることができ、電池の劣化が生じ難いという特長がある。このため、SOC100％までの急速充電が可能である。

2.2　バッテリー

現在多くの自動車メーカーが開発中の電気自動車に搭載されているのはリチウムイオン電池であるが、高エネルギー密度と高パワーを両立できるリチウムイオン電池は未だ開発されていない。そこで、大型車両を対象として、本事業で使用したニッケル水素電池と市販されているリチウムイオン電池の性能比較を行った。結果を表２に示す。

表２　電池の性能比較

	本事業で使用したニッケル水素電池	A社	B社
定格電圧（V）	324	345	350
エネルギー容量（kWh）	48.6	51	48.8
定格容量（Ah）	150	150	139
パワー（kW）	1170	1035	175
最大電流（A）	3610	3000	500
容量エネルギー密度（Wh/ℓ）	56	60	－－
重量エネルギー密度（Wh/kg）	22	44	97
容量出力密度（W/ℓ）	1353	1270	－－
重量出力密度（W/kg）	536	880	350
重量　（kg）	2178	1170	500
体積　（ℓ）	863	846	－－

この表から分かるように、リチウムイオン電池の重量エネルギー密度はニッケル水素電池の２倍～４倍以上あるが、出力密度で見ると大きな差は無い。一方、最大電流で見ると、ニッケル水素電池はＡ社の 1.2 倍、Ｂ社の７倍となっている。これより、Ｂ社の電池は、エネルギー容量に重点を置いたタイプであり、航続距離を大きくすることに主眼が置かれて設計されたと推測される。従って、これを大型バスに適用するには、パワー不足を補うためにキャパシタの併用などが必要になると考えられる。このように、車輌の軽量化と航続距離を大きくしたい用途にはリチウムイオン電池が適しているが、路線バスのように、１日の走行距離が予め分かっており、かつ、乗用車に比べて大パワーを必要とする大型車両用電池としてニッケル水素電池は有効である。

3　性能評価

公道走行試験を行い、開発した電池駆動バスの性能評価を行った。走行区間は、勾配や渋滞状況を考慮し、大阪市交通局の営業路線の中から 108A 系統（鶴町~京セラドーム）を選定した。また、二酸化炭素排出量をディーゼルバスと比較するため、この区間を運行しているバスの乗客数調査を実施し、負荷（乗車人数）条件を等しくして測定を行った。

軽油 1ℓの二酸化炭素排出量を 0.2619kg、電力量 1kwh 当たりの二酸化炭素排出量を 0.299kg（関西電力の平成 20 年実績）とし、現在運行しているディーゼルバスの燃費と、今回の実験における電力消費量、充電効率からそれぞれのバスの二酸化炭素排出量を求めた。その結果、ディーゼルバスと比較して、電池駆動バスの二酸化炭素排出量は約 28%となる結果が得られた。

4　結　　論

個人が使用する小型乗用車のように航続距離が求められる場合には、リチウムイオン電池が適しているのに対し、走行距離が予測可能な大型路線バスには、①出力パワーが大きい電池の搭載、②航続距離の短さを補うための急速充電方式の組み合わせが有効な解の１つとなる。

本事業では、大出力パワーのニッケル水素電池（川崎重工業㈱製）と、Advanced IC&C 方式による急速充電方式を採用し、実証実験により有効性を検証した。その結果、電池駆動バスの二酸化炭素排出量はディーゼルバスの約 28%となる結果を得ることができ、開発した電池駆動バスの有効性を確認することができた。

参 考 文 献

1）内藤史裕，Semiconductor FPD World,28,38(2009)
2）姉川尚史，エネルギーと動力別冊，101(2009)
3）V.Pop, H.J.Bergveld, D.Danilov, P.P.L.Regtien and P.H.L.Notten, Battery Management Systems Accurate State-of-Charge Indication for Battery-Powered Applications, Springer(2009)p.11
4）太田豊，橋本芳宏，電気学会論文誌 B，129,118 (2009)

（文責　北川洋一）
（校閲　三浦久典）

〔重点領域研究〕

55　淡路島を対象としたシステムダイナミクスモデル

伍賀正典，北川洋一，熱田稔雄，北村新三

1　目　　的

持続可能な社会を目指し、地域に密着しエネルギーを高効率に利用する自立した地域社会モデルが必要とされている。また、二酸化炭素（CO_2）排出量の削減が喫緊の課題であり、具体的な数値目標として 2020 年に 1990 年比マイナス 25%が設定されている。これを実現するための指針を見出すことが求められている。本研究では、システムダイナミクスモデルを用いて、淡路地域を対象とした CO_2 排出量と経済活動モデルを構築する。淡路地域は島という自立した環境であり、島内に農林水産業、工業、観光産業がある。温暖な気候であり、自然エネルギー、観光資源、企業による研究ポテンシャルを持ち、将来の日本の地域社会のモデルとして相応しいと考えられる。これらを踏まえ、太陽光発電、風力発電、電気自動車などの新技術導入を組み込むことで将来の CO_2 排出量と社会変化を予測し、低炭素社会の実現に最適な社会システムを提案する。

2　実験方法

2．1　CO_2 排出量推定

地域の CO_2 排出量の予測をするために、兵庫県の統計データを基に淡路の排出量を求め、それらより近似の式を求める [1) 2)]。兵庫県の CO_2 排出量は 1. 産業部門、2. 運輸部門、3. 民生家庭部門、4. 民生業務部門で集計されている。淡路地域で 1990～2005 年の期間で値を集計し、それらに基づき以下のように排出量の近似式を求める（1990 年を $x=0$ とする）。

1. 産業部門：各産業の県出荷額に対する淡路地域出荷額の割合と、産業中分類での排出量から概算する。産業部門年間排出量を 1996 年以降で以下の近似式とする。

$$y = 472.14\ e^{-0.023x} \qquad (\text{kt-}CO_2)$$

2. 運輸部門：兵庫県一台あたり年間排出量と淡路地区の登録車数から概算する。一台あたりの年間排出量は漸減、淡路地域の自動車数も 1998 年以降減少している。

$$y = -5.0\times10^{-5.0x} + 5.3\times10^{-3.0} \qquad (\text{kt-}CO_2\text{/台})$$

$$y = -471x + 61997 \qquad (\text{台})$$

3. 民生家庭部門：兵庫県一家庭あたり排出量と淡路地区の戸数から概算する。一戸あたり排出量と戸数は共に増加の傾向である。

$$y = 1.14\times10^{-5.0x} + 3.30\times10^{-3.0} \qquad (\text{kt-}CO_2\text{/戸})$$

$$y = 199.7x + 50949.0 \qquad (\text{戸})$$

4. 民生業務部門：兵庫県一事業所あたり排出量と淡路地区の事業所数から概算する。事業所数は減少、事業所あたりの排出量は増加であり、集約化の傾向である。

$$y = 2.66\times10^{-4.0x} + 1.14\times10^{-2.0} \qquad (\text{kt-}CO_2\text{ / 所})$$

$$y = 131.0x + 9337.0 \qquad (\text{所})$$

次に、これらの近似式を組み合わせ、2020 年の淡路地域の CO_2 排出量を見積もる。淡路地域における CO_2 総排出量は減少傾向であるが、2020 年で 730.11 kt であり、この値は 1990 年の排出量 780.18 kt の 93.6%に留まっており、マイナス 25%の目標から大きく離れていることが分かる。そのため、複数の CO_2 排出量削減対策を導入する必要があると考えられる。

2．2　CO_2 排出削減対策の導入

淡路島は阪神地域の都市に近接しながら、利用可能な自然エネルギーの豊かな地域である。風量と日照量が多く、農業が盛んであり豊富で多様なバイオマス資源の活用が期待できる。それらを踏まえ、本研究では以下の CO_2 排出削減対策が導入されることを想定した。太陽光発電住宅を導入することで、家庭の CO_2 排出量の 55 %が電力に起因するものなので、これが削減されるものとする。家庭用高効率給湯機が年 31.2 kg、省エネ住宅が年 21.1 kg の CO_2 排出量削減効果があるものとする。また、次世代自動車は一台で年 1,000 kg の削減効果とする。また、風力発電は一基あたり 1.74 kt、バイオエタノールは 1 kg あたりで 0.44 kg の削減効果とする。これらの削減対策が 2010 年以降、毎年積み上がるものとし、図 1 に示すシステムダイナミクスモデルを構築し 2010 年以降のシミュレーションを行った。

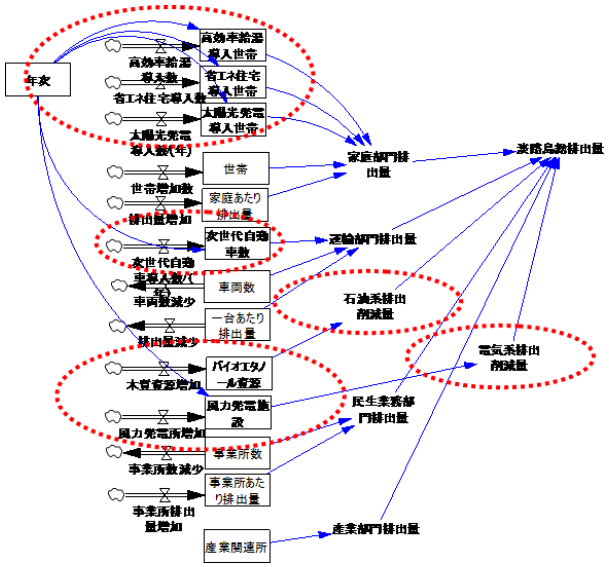


図１　淡路島システムダイナミクスモデル

3　結果と考察

3．1　排出量削減対策の効果

図２にこのモデルを使用したシミュレーションの結果を示す。CO_2 排出削減対策を導入することで、2020 年の淡路地域の CO_2 排出量は 582.49kt と推定され、1990 年の排出量の 74.7%であり、マイナス 25%の目標を達成することが可能である。この削減目標を達成するためには、太陽光発電と省エネ化対策の住宅を 2010 年から毎年一千戸、次世代自動車を毎年一千台、バイオエタノールを毎年 1,000t、風力発電を毎年 6 基づつ増加する必要がある。この対策を行うために、省エネ住宅の導入で 52 億円、次世代自動車の導入に 30 億円、バイオエタノールプラントを一基建設するために 30 億円、風力発電を 6 基建設するためには 18 億円が必要と試算される。したがって、これらの対策の初年度の導入コストは 130 億円、その後の導入コストは年 100 億円であり、2020 年までの対策のコストは 1030 億円になることが推測される。

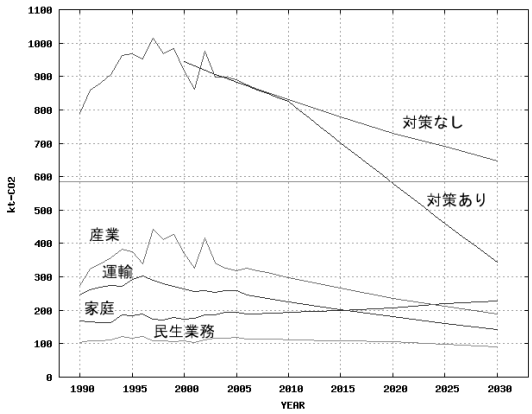


図２　淡路島 CO_2 排出量推移

3．2　課題と展望

本研究で構築したシステムダイナミクスモデルは CO_2 排出量を主に取り扱っている。今後は、CO_2 排出量削減技術の経済的効果、財政負担、それらの社会的影響を考慮してフィードバックループを構築し、複数のシナリオ（再生可能エネルギー導入、持続可能交通システム導入、社会システム転換、地域活性化等）でシミュレーションを行い、地域活性化、食糧エネルギー問題などと併せ包括的な CO_2 排出量削減対策を提言する必要がある。地域社会の活性化等の経済学・社会学的事項は定量化することが困難であるが、それらを取り扱う手法を確立する調査も併せて行っていく(図３)。

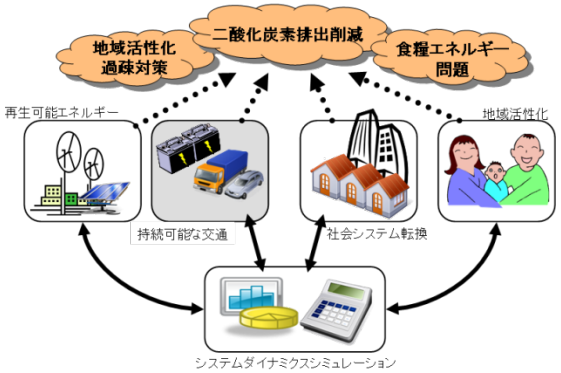


図３　研究の展望

4　結　　論

淡路地域において、2020 年に CO_2 排出量を 1990 年比マイナス 25%とするためには、太陽光発電、風力発電、家庭部門の省エネ、次世代自動車、バイオエタノールなどのバイオマス資源活用の技術はどれも不可欠であり、広く導入することが重要である。この目標を達成するためには、2020 年の時点で太陽光発電住宅 1 万戸、次世代自動車 1 万台、バイオエタノール資源 1 万トンの活用、風力発電 60 基が必要であると試算され、また 2010 年からそれらを徐々に導入していくことも必要である。このとき、対策コストは 1030 億円に達することが予想される。今後は、コストを最小化しつつ、十分に効果のある CO_2 削減対策を考慮し、もっとも効果の高い CO_2 排出削減対策の組み合わせを探索する。

参 考 文 献

1) 兵庫県統計書，兵庫県，1990～2005
2) 石油等消費構造統計表，経済産業省，1990,2000

（文責　伍賀正典）
（校閲　三浦久典）

所在地
（工業技術センター　センター神戸）
〒654-0037　神戸市須磨区行平町3丁目1-12　TEL(078) 731-4033　FAX (078) 735-7845
（機械金属工業技術支援センター）
〒673-0405　三木市平田240-1　TEL(0794) 82-0026　FAX (0794) 83-6230
（繊維工業技術支援センター）
〒677-0054　西脇市野村町1790-496　TEL (0795) 22-2041　FAX (0795) 22-3671
（皮革工業技術支援センター）
〒670-0811　姫路市野里3　TEL (079) 282-2290　FAX (079) 222-9043

兵庫県立工業技術センター研究報告　第19号

（平成２２年版）

平成２２年１１月１日　発行
発行所　兵庫県立工業技術センター
〒654-0037　神戸市須磨区行平町３丁目１－１２

２２産Ⓣ１－００６Ａ４