ISSN　0918-0192
CODEN:HKSHEQ

兵庫県立工業技術センター研究報告書

第２５号

平成２８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２５号

目　次

有機材料系

1　触動作時に指に生じる力に着目したゴム系材料の触感評価方法の改善に関する研究　〔技術改善研究事業〕　佐伯光哉，本田幸司，石原マリ　1

2　蛍光性有機薄膜の近接場蛍光分光によるナノオーダー蛍光特性評価　〔重点領域研究推進事業〕　石原マリ，平瀬龍二，本田幸司，森　勝　3

無機材料系

3　ファインバブルの定量的評価方法と利活用に関する調査研究　〔重点領域研究推進事業〕　石原嗣生，泉　宏和，坂尾光正，吉田和利，杉本　太，北川洋一，北村新三　6

金属材料系

4　共晶反応を利用したCu-Ti系通気性材料の開発　〔重点領域研究推進事業〕　髙橋輝男，山田和俊　9

生産技術系

5　切削加工による微小歯車の製作　〔技術改善研究事業〕　安東隆志，平山明宏　11

6　低剛性電極を用いた放電加工の安定化と高性能化　〔重点領域研究推進事業〕　山口　篤，浜口和也，山田和俊　13

電子･情報技術系

7　淡路島に点在する蓄エネ設備を活用した地域エネルギーの地産地消を目指したエネルギーマネジメントに関する調査　〔地産地消型再生可能エネルギー面的利用等推進事業費補助金〕　三浦久典，真継　博，北川洋一　15

8　弾性表面波を用いた粉体の精密輸送制御　〔日本学術振興会　科学研究費助成事業　基盤研究Ｃ〕　才木常正　18

9　集積化マイクロ化学チップのための電気制御システムの開発　〔技術改善研究事業〕　濱谷　毅，才木常正，瀧澤由佳子，三浦久典　23

プロダクトデザイン系

10　超薄型柔軟膜を用いた貼付け型ヒューマンインタフェースの研究開発〔戦略的情報通信研究開発推進事業（フェーズⅡ）(総務省)〕　平田一郎　25

11　屋外対応型ウエアラブル・モーションキャプチャーシステムのデザイン　〔日本学術振興会　科学研究費助成事業　基盤研究Ｃ〕　後藤泰徳　29

繊維技術系

12 携帯型高感度ELISA分析機用マイクロフィルターの開発 〔兵庫県COEプログラム推進事業 応用ステージ研究〕 東山幸央，才木常正 瀧澤由佳子 33

13 張力差制御整経技術の実用化に向けた研究 〔技術改善研究事業〕 東山幸央，古谷　稔，藤田浩行 佐伯　靖，中野恵之，礒野禎三 近藤みはる 38

14 炭素繊維複合糸織物の補強材としての活用に関する研究 〔重点領域研究推進事業〕 藤田浩行，古谷　稔，佐伯　靖 東山幸央 42

15 綿繊維からのエタノール製造における連続処理技術開発 〔重点領域研究推進事業〕 中野恵之，東山幸央，古谷　稔 45

皮革技術系

16 におい嗅ぎ付きGC/MSによる天然皮革のにおい分析 〔技術改善研究事業〕 鷲家洋彦，松本　誠，西森昭人 原田　修，森　勝 47

経常研究

17 近接場蛍光分光による光応答性有機色素-無機複合薄膜表面の蛍光特性評価 石原マリ，瀧澤由佳子 49

18 光触媒作用の発現に関する基礎研究 柴原正文 49

19 セルロースナノファイバーの化学修飾に関する研究 平瀬龍二 50

20 UV-CおよびUV-B紫外蛍光体の開発動向の調査と試作 石原嗣生 50

21 非鉛系酸化物薄膜の作製と圧電性に関する研究 泉　宏和 51

22 集束イオンビーム加工装置による深さ制御加工の試み 山下　満 51

23 ペロブスカイト型酸化物薄膜の合成と構造・磁性に関する研究 福住正文 52

24 トドロカイト型チタン酸化物の合成 坂尾光正 52

25 電気化学測定法による表面処理皮膜の耐食性評価に関する研究 園田　司 53

26 表面処理層の特性評価　～めっき皮膜の摩擦摩耗特性～ 山岸憲史 53

27 高配向熱分解黒鉛(HOPG)からの放出CKX線スペクトルの観測角度依存性 山田和俊 54

28	超微小領域の材料特性評価に関する研究	山口　篤	54
29	メカニカルアロイングによる酸化物分散Tiの作製	青木俊憲	55
30	改良9Cr-1Mo鋼のヤング率に及ぼす寸法効果	野崎峰男	55
31	マイクロX線CTスキャナーの測定に関する研究	平山明宏	56
32	流動バレル研磨における流動特性に関する研究	山本章裕	56
33	Kinectセンサーによる人物の行動検知	松本哲也	57
34	複数画像からの画像合成技術に関する研究	金谷典武	57
35	高周波帯での電磁波シールド特性測定装置の評価に関する研究（Ⅲ）	中里一茂	58
36	弾性表面波を利用した小型噴霧器の検討	瀧澤由佳子	58
37	次世代アクチュエータに関する調査研究	福井　航	59
38	どぶろく品質評価におけるプロファイル法の有効性に関する調査研究	井上守正	59
39	清酒のオフフレーバー分析法に関する検討	吉田和利	60
40	柄の繰り返しがない“やたら縞”の試作研究	古谷　稔	60
41	織物の遮熱性評価と遮熱性織物の開発	藤田浩行	61
42	顔料染色糸の柔軟性の改善	佐伯　靖	61
43	温度差制御気化浸透法における２段分離膜による効率化	中野恵之	62
44	製品異物・不具合解析データベースの最適化に向けた研究	東山幸央	62
45	天然植物繊維の産業利用に関する研究 ～綿紡績糸のクリープ特性の改善に関する研究～	礒野禎三	63
46	ケラチンの機能化に関する研究	森　　勝	63
47	塗膜耐久性のあるインクジェットプリントレザーの開発	西森昭人	64
48	皮革に関する染色摩擦堅ろう度試験の比較	松本　誠	64

〔技術改善研究事業〕

1　触動作時に指に生じる力に着目したゴム系材料の触感評価方法の改善に関する研究

佐伯光哉，本田幸司，石原マリ

1　目　　的

スポーツ用品に使用されるグリップには、粘着性を付与することで使用時のフィット感、滑り防止による付加価値を向上させているものがある。しかし、手すり、掴まり棒など日常生活で使用するものに粘着性があると「握り心地」を損なう要因となることが多い。このようなことから、工業生産においてグリップなどに使用する粘着性のあるソフトマテリアルの材料選択においては主観値である「べたつき感」を客観的に評価する必要性がある。

これまでの研究では、主観値「べたつき感」と材料の物性を結びつけるため、相関性の大きい物性と測定方法を探索してきた。その結果、指紋を模した凹凸が摩擦面にあるゴム製摩擦子による摩擦特性による評価が、これまでに実施したことのあるタック力測定 [1]に比較して良好な結果が得られた。この理由について摩擦力波形の周波数分析を実施して調べた結果、周波数成分との関係が推測された。

本研究では、指紋のあるゴム製摩擦子による「べたつき感」の客観評価および摩擦力波形の周波数成分の影響を確認するため、新たな材料による主観評価と分析を実施しその効果を確認したので報告する。

2　実験方法

2.1　試料

評価試験用グリップの表面材として使用した材料を表１に示す。

表１　グリップに使用した材料

種類	グリップ用材料	厚さ (mm)
G1～G6	グリップ用カバー材（主材料ウレタン）	0.5～0.6
F1～F3	粘着フィルム＋ゴムシート	0.6
R1	ゴムシート（天然ゴム）	0.5

今回の測定では試料の厚みによる影響を避けるため、厚みを 0.5~0.6mm の範囲に調整したものを用いた。

2.2　主観評価

上記試料を直径 26mm の金属パイプに蛇巻して 10 種類の評価用グリップを作製した。評価は、図 1（a)、(b）のラックおよび、ハンドカートに装着して、それぞれ静止時のべたつき感、ハンドカート動作時の主観評価（べたつき感、フィット感、握り心地感）を、－3～＋3 の７段階で 10 人の被験者で実施した。

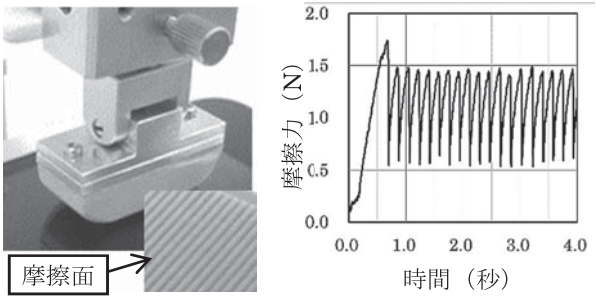


(a)静止時「べたつき感」　(b)動作時の主観評価

図１　主観評価実施例

2.3　摩擦力測定

摩擦力の測定は、トリニティーラボ株式会社製トライボマスターTL201Ts 型試験機を使用した。図２に示す指紋のあるゴム製摩擦子を使用して得られるサンプリングレート 1000Hz の摩擦力のデータを動摩擦力、周波数解析に使用した。



(a)ゴム製摩擦子　(b)摩擦力波形データ

図２　指紋パターンのあるゴム製摩擦子

3　結果と考察

3.1　摩擦力波形の周波数依存性

評価測定の結果、摩擦力と主観値との相関係数を求めたところ、「べたつき（静)」は r=＋0.67、動作時の「フィット」は r=＋0.32、「べたつき（動)」は r=＋0.61、「握り心地」は r=－0.23 であった。

摩擦力波形の周波数分析の結果を図３に示す。50Hz 以下の低い周波数域の振幅が大きくなっていることが分かる。

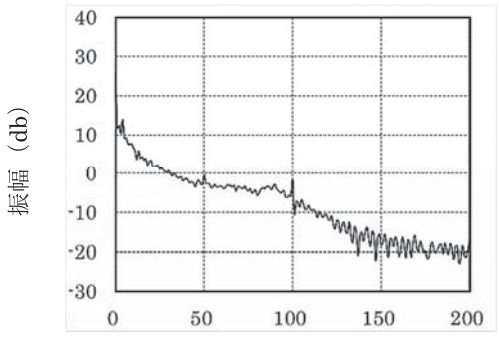


図３ 試料の摩擦力波形の周波数分析の例

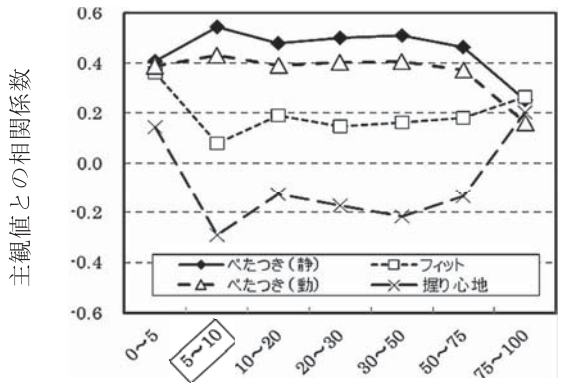
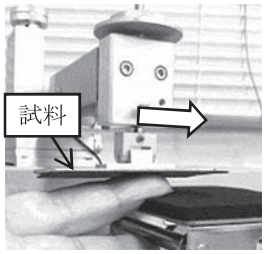


図４ 摩擦力波形の周波数帯域毎の振幅の総和と主観値との相関係数

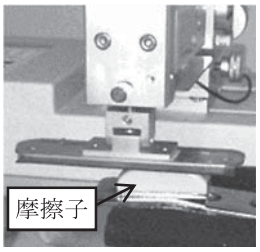
図３の周波数分析をほかの試料についても実施し、振幅と主観値との関係について周波数の影響を調べた。周波数 0Hz～100Hz の帯域を７区間に分けて区間毎の振幅の総和を求め、主観値との関係を相関係数で評価した。その結果を図４に示した。

「べたつき（静)」は、5Hz から 50Hz の帯域を含む区間において r=0.5 以上の正の相関を示している。特に［5~10］の区間の相関係数が大きいことから「べたつき（静)」との関係が比較的大きいものと考えられる。また、ハンドカート使用時の「べたつき（動)」は、静止時よりも相関係数は小さくなった。一方、「握り心地」との相関係数は負の値であり「べたつき（静)」とは反対に摩擦力が大きくなることで「握り心地」の評価値が小さくなることを意味している。

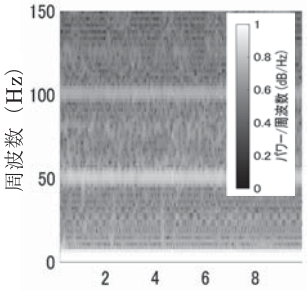
３.２ ヒトの指と指を模倣した摩擦子による摩擦の違い



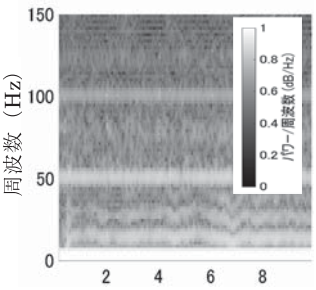
(a) ヒトの指



(b) ゴム製摩擦子



(c) (a)の時間分析結果



(d) (b)の時間分析結果

図５ 摩擦特性の比較

図５（a）はヒトの指を摩擦子として摩擦力を測定している様子である。(b）はゴム製摩擦子による場合を示す。その結果、図５下段（c)、（d）のような摩擦力波形の周波数時間分析結果となった。図５（c)、(d）には 0, 50, 100Hz に共通するピークがある。これらのピークの間にもピークが見られるが、ゴム製摩擦子の方が顕著に表れている。これはヒトの指よりゴム製摩擦子の方が弾性率は大きく、スティック・スリップが発生し易い結果となったためと考えられた。

４ 結 論

「べたつき感」の客観評価のため、指紋パターンのあるゴム製摩擦子を用いる方法の有効性について検討した。摩擦力波形の周波数分析の結果、50Hz 以下で「べたつき感」との相関が大きく、なかでも 5～10Hz 域での相関が大きいことが分かった。

参 考 文 献

1) 佐伯光哉,2014,「握り手用表面材料のテクスチャ解析」,第9回日本感性工学会春季大会予稿集,P1-12

（問合せ先 佐伯光哉）

〔重点領域研究推進事業〕

2　蛍光性有機薄膜の近接場蛍光分光によるナノオーダー蛍光特性評価

石原マリ，平瀬龍二，本田幸司，森　　勝

1　目　　的

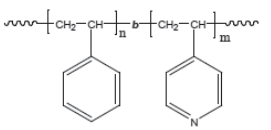
近年、光学・電子機器類に用いられる光スイッチ、トランジスタなどの機能性素子はその高性能化・高機能化を目指して微小化の傾向にあり、これらの高空間分解能での構造・特性評価や信号検出は重要度を増している。近接場光は、通常の光（伝搬光）と異なり物体の極近傍に局在する光である。近接場光を用いることにより、伝搬光では困難な光の波長以下の微小な物質の観察、高空間分解能分光測定による信号検出や構造・光機能性評価が可能であり、機能性素子開発のために近接場光の活用が望まれている。近接場光学顕微鏡によるバイオイメージングや近接場光を用いる有機系材料の微細加工などが行われている 1)一方、近接場蛍光分光による材料評価はそれほど多くない。そこで、本研究では近接場光を用いた光機能性素子用有機薄膜のナノメートルオーダーの光機能性評価に取り組んだ。具体的には、光スイッチや光メモリなどの基盤となる構造として有用と考えられる二次元周期的に蛍光性を示す有機薄膜を作製し、近接場光を用いて高空間分解能蛍光特性評価を行った。

2　実験方法

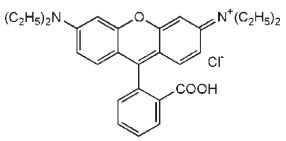
2.1　二次元周期的に蛍光性を示す有機薄膜の作製

高分子ブロック共重合体 poly(styrene-b-4-vinyl pyridine)(数平均分子量 793000:35000；Polymer Science Corporation 製) (以下 PS - P4VP と示す)、蛍光性有機色素ローダミン B（㈱林原生物化学研究所製）を用いた。

超脱水クロロホルム（試薬特級；和光純薬工業㈱製）にそれぞれを所定の濃度で溶解した後に混合し、40℃で 44 時間撹拌した。その後、スピンコート法で Si 基板上に薄膜を作製した（以下、PS－P4VP/ローダミン B 薄膜と示す)。さらに、PS－P4VP/ローダミン B 薄膜を超脱水エタノール（試薬特級；和光純薬工業㈱製）に浸漬、乾燥させ試料とした（以下、PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜と示す)。また、比較のために PS－P4VP のクロロホルム溶液からもデイップコート法による薄膜を作製した（以下、PS－P4VP 薄膜と示す)。



PS－P4VP



ローダミン B

図１　使用した化合物の化学構造

2.2　作製した有機薄膜の表面形状測定および蛍光特性評価

作製した薄膜試料の表面形状像および位相差像を、走査型プローブ顕微鏡（㈱日立ハイテクサイエンス製　環境制御型ユニット E－sweep）の原子間力顕微鏡（AFM）によりタッピングモードで観察した。さらに、薄膜試料の蛍光特性を、近接場光学顕微分光装置（日本分光㈱製　近接場顕微分光装置　NFS－230HKG）により励起波長 532 nm で測定した。用いたプローブの開口径は約 50 nm であり、薄膜の約 50 nm 深さまでの表面層の蛍光特性を評価できる。

3　結果と考察

3.1　PS－P4VP 薄膜の AFM 像

PS－P4VP 薄膜の表面形状像および位相差像を図２に示す。表面形状像においてナノメートルオーダーの海島構造が認められ、P4VP 部と PS 部との相分離構造が観察された。P4VP 部と PS 部との分子量比から、”島”の部分は P4VP 部、”海”の部分は PS 部と考えられる。また、”島”の部分は”海”の部分と比較して、位相差が小さいことがわかった。通常、AFM の位相差像において、硬い材料は柔らかい材料よりも位相差は小さく観測されることが知られている。ポリ－4－ビニルピリジンおよびポリスチレンのガラス転移温度はそれぞれ 153℃および 104℃であることから、P4VP 部は PS 部よりも位相差が小さく観測されると考えられ、P4VP 部は”島”、PS 部は”海”に相当すると考えられる。このことは、分子量比からの予想と一致している。

3.2　PS－P4VP とローダミン B の混合薄膜の AFM 像

PS－P4VP/ローダミン B 薄膜の表面形状像お

よび位相差像を図３に示す。表面形状像および位相差像は、PS－P4VP 薄膜の場合と類似しており、周期性は十分ではないものの、P4VP 部は”島”、PS 部は”海”に相当するナノメートルオーダーの相分離構造が観測された。

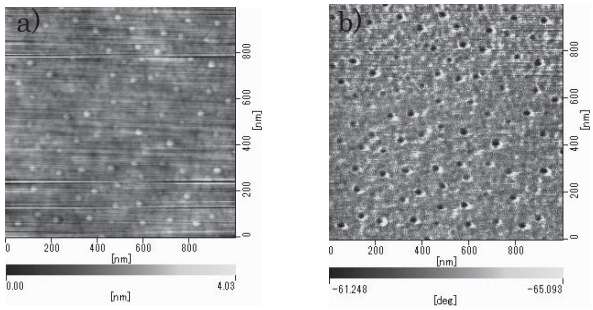


図２　PS－P4VP 薄膜の AFM 像
a）表面形状像　b）位相差像

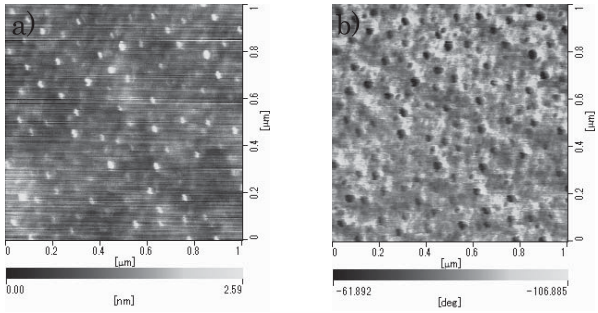


図３　PS－P4VP/ローダミン B 薄膜の AFM 像
a）表面形状像　b）位相差像

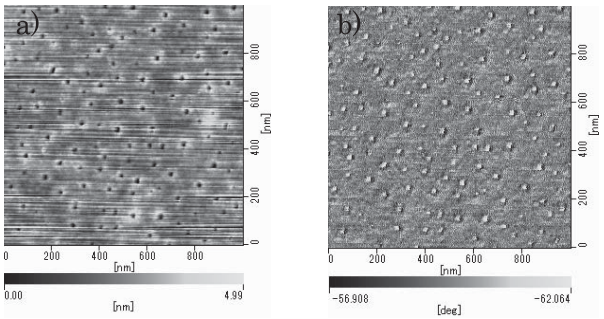


図４　PS－P4VP/ローダミン B - EtOH 薄膜の AFM 像　a）表面形状像　b）位相差像

PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜の AFM 像を図４に示す。表面形状像および位相差像は PS－P4VP/ローダミン B 薄膜の場合と異なり、海島構造における凹凸および位相差は逆転した。PS－P4VP とローダミン B の混合薄膜において、ローダミン B は P4VP と水素結合を形成し [2]、”島”の部分に存在すると考えられる。また、ポリスチレンはエタノールに不溶であるのに対しポリ－4－ビニルピリジンおよびローダミン B は可溶である。これらのことから、混合薄膜をエタノールに浸漬することにより、薄膜内部にもぐりこんでいた P4VP 部と水素結合を形成したローダミン B 分子が薄膜表面に現れた可能性が考えられる。

３.３　PS－P4VP とローダミン B の混合薄膜の蛍光特性

混合薄膜の相分離構造と蛍光特性との相関を調べるために、100 nm ステップで 2 μm×2 μm 領域の近接場蛍光スペクトルを測定した。典型的な近接場蛍光スペクトルを図５に、PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜の場合に観測された 578 nm 付近の蛍光ピーク強度分布を図６に示す。図６において、蛍光強度が強い測定点ほど明色、弱い測定点ほど暗色で示されている。

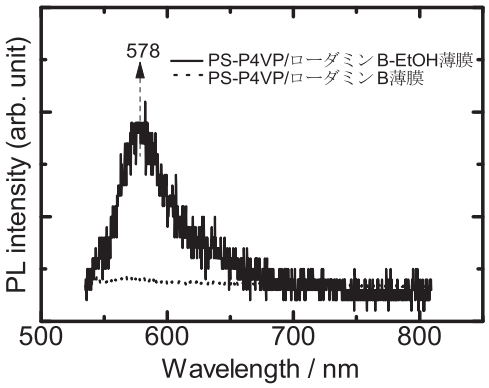


図５　PS－P4VP/ローダミン B 薄膜および PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜の近接場蛍光スペクトル

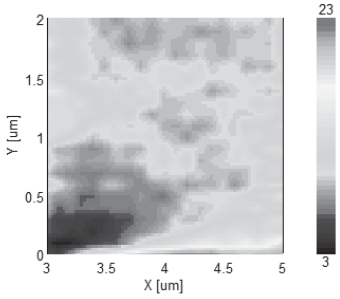


図６　PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜の蛍光ピーク強度分布

PS－P4VP/ローダミン B 薄膜において蛍光は観測されなかったのに対し、PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜の場合、ほぼ全測定点においてローダミン B に基づく蛍光ピークが 578 nm 付近に観測された（図５および図６）。混合

薄膜の AFM 像（図３および図４）において”島”の部分はほぼ全測定点に含まれていることから、ほぼ全測定点にローダミン B が含まれていると考えられる。このことから、PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜において、ローダミン B は薄膜表面に存在しているため蛍光が観測され、一方、PS－P4VP/ローダミン B 薄膜においてローダミン B は薄膜内部に潜り込んでいるため蛍光が観測されなかったものと考えられる。このように、PS－P4VP/ローダミン B－EtOH 薄膜の”島”の部分の表面にローダミン B をある程度配列させることができた。さらに、薄膜表面のローダミン B の配列を反映した近接場蛍光スペクトルを得ることができた。

4　結　　論

高分子ブロック共重合体 PS－P4VP および蛍光性有機色素 ローダミン B を用いて、周期性は十分でないものの薄膜表面に蛍光性部位ローダミン B がある程度規則的に並んだ蛍光性有機薄膜を作製することができた。さらに、蛍光性有機薄膜表面における蛍光性部位の配列を反映した近接場蛍光スペクトルを得、ナノメートルオーダーの高空間分解能で蛍光特性評価を行うことができた。

様々な機能性素子についても本研究のようなナノメートルオーダーの高空間分解能蛍光特性評価が可能であると考えられる。

参 考 文 献

1)　例えば、H. Yoshikawa, and H. Masuhara, J. Photochem. Photobiol., C, **1(1)**, 57–78(2000)
2)　A. Noro, K. Higuchi, Y. Sageshima, and Y. Matsushita, Macromolecules, **45**, 8013–8020(2012)

（問合せ先　石原マリ）

〔重点領域研究推進事業〕

3　ファインバブルの定量評価方法と利活用に関する調査研究

石原嗣生，泉　宏和，坂尾光正，吉田和利，杉本　太，北川洋一，北村新三

1　目　　的

ファインバブル（直径が数十μm 以下の気泡）は、以前より農作物や魚の成育に効果があると言われてきたが、その真偽について様々な意見があり、学術的に信頼できるデータはなかった。しかし、近年ファインバブルのサイズ、濃度の測定技術が確立されつつあり、それに呼応してその効果についても客観的評価が可能となってきた。また、ファインバブルの発生、評価、利用に関する国際規格の策定作業（ISO/TC281）が、日本のファインバブル関連企業が中心となって設立した一般社団法人ファインバブル産業会（FBIA）により進められており、その利用は世界的に見ても注目されている。

ファインバブルは、農業、水産業に限らず、水を利用する様々な工業分野においても多くの可能性を秘めており、今後の展開を注視する必要がある。そこで、近年大きく発展したファインバブルの定量評価方法の調査と利活用として池の水の浄化実験を行った。

2　調査および実験方法

2.1　ファインバブルの定量評価方法

FBIA が主催するシンポジウムやセミナー等に参加して情報収集を行うと共に、ファインバブルの評価装置の利用ユーザーおよび評価装置製造メーカである㈱島津製作所を訪問し、定量評価法に関する聞き取り調査を行った。

2.2 西脇市天神池の水の浄化実験

天神池の水の浄化への利用として、まず、数カ所の水を採取し、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量（COD）および全有機炭素(TOC)等の水質を評価した。次に、採取した池の水にファインバブルをバブリングし、水質の変化を検討した。

平成 27 年 9 月 24 日に天神池での池の水および泥の採取を行った。池の 3 カ所（上流、中流、下流）で採水を行うとともに、上流での泥の採取を行った。池の水は、季節により変動することが考えられるため、平成 28 年 3 月 1 日に再度、採水を行った。

中流および下流の池の水は、ボートに乗り池の中央部分まで行き、表層の水を 10L タンクで採取した。同時に、池の深さも調査した。

BOD、COD および TOC の水質分析は、公益財団法人ひょうご環境創造協会に委託した。また、水中の金属イオンの分析を高周波プラズマ発光分光分析装置（ICP）で測定し、重金属の有無を確認した。さらに、採取した泥の組成分析を蛍光 X 線分析法により行った。

ファインバブルのバブリング処理による浄化実験は、㈱共立合金製作所製マイクロ・ナノバブル発生器および㈱ナック製マイクロ・ナノバブル発生器（Foamest コラムタイプ）を用いて行った。

3　結果と考察

3.1　ファインバブルの定量評価方法

3.1.1　国際標準化について

国際標準化（ISO/TC281）は、三階層構成（A 基本規格、B 計測方法規格、C 個別応用規格）からなる。

A 基本規格は、ファインバブル技術に関する共通基本要素の規格であり、ファインバブル含有媒体の定義と計測・応用に関する一般原則からなる。

B 計測方法規格は、ファインバブルの多面的特性を多様な計測手法で評価し、広範囲の産業分野で利用可能となる規格である。

C 個別応用規格は、特定の産業分野におけるファインバブル応用技術要件を規定する規格である。

B において、ファインバブルを有効活用するためには、バブルの粒子径分布（サイズと濃度）を用いて用途別にカテゴライズする必要がある。そのためにも、粒子径分布の正確な測定方法の策定が重要である。

3.1.2　粒子径分布の測定方法

粒子径分布の測定方法には、①動的光散乱法、②粒子軌跡解析法、③レーザー回折・散乱法、④電気的検知帯法、⑤画像解析法などがある。レーザー光を用いる方法であるが、①動的光散乱法は、ブラウン運動の速さを散乱光の“ゆらぎ”の速さとして検出する方法であり、②粒子軌跡解析法は、ブラウン運動の速さを散乱光（光点）のビデオ画像から計算する方法である。また、③レーザー回折・散乱法は、散乱角度に対する散乱光の強度分布パターンが粒子径に依

存する現象を利用する方法である。これらの測定方法ではそれぞれ利用する物理現象が異なるため、粒子径（気泡径）の定義が異なっており、測定結果に差異が生じる場合もある。

さらに、粒子径分布で分布幅が広い場合には、濃度を体積基準にするか個数基準にするかで大きく測定結果のイメージが異なる。体積基準では、大きい粒子の存在を強調し、一方、個数基準では小さい粒子の存在を強調する。例えば、粒子径が 10 倍異なる小さい粒子と大きい粒子では体積比率が 1：1 の時には、個数比率が 1000：1 となるため全く異なる図に見えてしまう。

体積基準と個数基準の測定方法の特徴を表 1 に示す。ウルトラファインバブルの測定では、測定範囲は 1μm 程度までと狭いが、現在のバブル製造技術では観察個数が数千個程度（～10^9 個／mL）のものまでしか得られないため、個数基準の測定方法が中心である。最近、③レーザー回折・散乱法ではあるが、散乱光強度の情報を加味した後、濃度が既知のポリスチレンラテックス標準粒子で校正する方法で濃度（個数／mL）が求められる装置が、㈱島津製作所から販売されている。

表 1　体積基準と個数基準の測定方法の特徴

	体積基準	個数基準
粒子濃度	相対粒子量	個数／mL
測定対象粒子数	数万個以上	数千個まで（10^7~10^9 個/mL）
測定範囲	広い	狭い
測定方法	①動的光散乱法 ③レーザー回折・散乱法	②粒子軌跡解析法 ④電気的検知帯法 ⑤画像解析法

3.1.3　実試料の測定方法の検討状況

粒子径分布に影響を与える因子として、測定室の清浄度のみならず、試料のサンプリング、輸送、保存方法、さらには、測定前の希釈、分散、コンタミ除去等の前処理方法も考えられる。

超純水を用いて作製したファンバブル水以外には、種々の固体粒子、液体粒子等のコンタミネーションが存在する。水道水でさえ、粒子軌跡解析法では、粒子の存在が確認されるため、ウルトラファインバブルとの区別がつかない。さらに、ウルトラファインバブルの測定時にマイクロバブルが存在すると信号量がマイクロバブルと比較して微弱なため正確に測定できない。

そのため、ウルトラファインバブルを正確に測定するためには、前処理として、マイクロバブルの除去、コンタミ除去、希釈（必要な場合もある）、濃縮（バブルでは困難）等が考えられている。

現在、正確な測定が可能であるのは、コンタミが無視できる実験室環境のみである。実際に使用されているファインバブル水では、コンタミ除去が困難なため、ファインバブル発生前の原液が入手可能な場合は、ファインバブル発生後の粒子径分布測定データからファインバブル発生前の原液の測定データを差し引く方法が検討されている。ファインバブル発生前の原液が入手できない場合は、遠心分離や超音波照射によりファインバブルの除去を行い、処理前後での粒子径分布測定データの差から求める方法が nite（独立行政法人製品評価技術基盤機構）により検証中である。

ウルトラファインバブル水の保存、輸送の規格案も提案中であり、ガラス瓶を用い空気が存在しない状態でパッキングし、低温で保存および輸送する方法が検討されている。

3.2　西脇市天神池の浄化実験

3.2.1　採取した水の分析結果

平成 27 年 9 月 24 日に採取した 3 カ所の水の分析結果を表 2 に示す。ごく僅かに、下流の BOD が低いように思われるが、COD および TOC は、採取箇所による違いは見られなかった。平成 28 年 3 月 1 日に採取した水の分析結果を表 3 に示す。9 月 24 日に採取した水と比較して BOD および TOC はほぼ同じ値であるが、COD は、若干ではあるが低い値となっていた。

表 2　水の分析結果(平成 27 年 9 月 24 日採取)

計量の対象	上流	中流	下流
BOD(mg/L)	3.1	3.0	2.2
COD(mg/L)	6.7	7.1	6.9
TOC(mg/L)	3.3	3.2	3.4

表 3　水の分析結果(平成 28 年 3 月 1 日採取)

計量の対象	中流	下流
BOD(mg/L)	2.7	2.4
COD(mg/L)	5.5	5.5
TOC(mg/L)	3.1	3.4

表 4 にフィルターで濾過した水の ICP による分析結果を示す。3 カ所すべてで、Pb、Cd、Cr および Cu 等の重金属類は定量限界以下で

あった。主な元素は、Ca、Na、K、Si、Mg であり、上流の水には、中流および下流と比較して K と Na の割合が多くなっている。

表４　ICP による金属イオンの分析結果

元素	濃度(mg/L)		
	上流	中流	下流
Al	0.036	0.018	0.041
Ca	25.351	22.865	23.944
Fe	0.027	0.015	0.025
K	6.657	3.851	3.985
Mg	1.814	2.049	2.070
Na	8.518	6.619	6.611
Si	2.549	2.306	2.371

また、上流で採取した泥の組成分析を蛍光 X 線分析法により行った。採取した泥は、110℃で 2 時間乾燥した後、粉砕し、プレス成型した状態で測定を行った。その結果を表５に示す。酸化ケイ素と酸化アルミニウムを主成分とし、酸化鉄、酸化カリウム、酸化カルシウム、酸化硫黄からなることがわかった。また、0.1 質量%以上の重金属類は存在しなかった。

表５上流の泥の蛍光 X 線分析法による分析結果

成分	組成(mass%)	成分	組成(mass%)
Na_2O	0.5	Cl	0.02
MgO	0.7	K_2O	2.7
Al_2O_3	20.8	CaO	1.6
SiO_2	65.9	TiO_2	0.7
P_2O_5	0.2	MnO	0.1
SO_2	1.1	Fe_2O_3	5.4

３.２.２　バブリング処理による水質の変化

ファインバブルのバブリングによる水質の変化は、平成 28 年 3 月 1 日に採取した中流の水で行った。採取した水約 20L を水槽に入れ、㈱共立合金製作所製の発生器を用いて採取した水を循環させながらバブリングを行うと時間の経過とともに水温が上昇し、６時間後に約 20℃上昇することが分かった。そこで水温の上昇による水質の変化を抑制するために、処理時間を６時間とした。一方、㈱ナック製マイクロ・ナノバブル発生器を用いた場合は、コンプレッサーで発生した高圧空気でバブリングを行っているため、顕著な水温の上昇が見られなかったため、48 時間処理を行った。

㈱共立合金製作所製の発生器を用いた場合は、水中の懸濁物が微細化され懸濁状態が激しくなるとともにバブリング終了後は、水槽下部全面に微細化された懸濁物が沈殿した。一方、細孔吹き出し方式の㈱ナック製の発生器を用いた場合は、バブルにより懸濁物が撹拌され、処理途中に発生器の周辺に懸濁物が凝集して沈殿した。

各発生器での処理後および保管していた水（中流）の水質分析結果を表６に示す。保管していた水においても、BOD、COD および TOC 全ての値が時間経過とともに減少しており、特に、BOD は、1/2 以下の値まで減少している。処理水では、㈱共立合金製作所製の発生器を用いた場合は、特に BOD の値が大きく減少し、1/4 以下になっている。㈱ナック製の発生器を用いた場合は、保管水とほぼ同等の値であった。濁度は、㈱ナック製の発生器を用いた場合に最も値が低くなり、透視度も 130cm 以上であった。pH および電気伝導度（EC）は、ほとんど変化しなかったが、溶存酸素量（DO）は、加圧溶解方式の㈱共立合金製作所製の発生器を用いた場合に減少しており、溶存酸素を有機物の酸化分解に消費したと考えられる。

表６　採取水のバブル処理前後の水質分析結果

計量の対象	採取水	処理水		保管水
	中流	共立合金製作所製	ナック製	中流
BOD(mg/L)	2.7	0.6	1.0	1.2
COD(mg/L)	5.5	4.5	4.4	4.5
TOC(mg/L)	3.1	2.9	2.9	2.9
濁度	5～10	1	0.5	0.5～1
透視度(cm)	37	>130	>130	>130
EC(mS/cm)	17.4	17.1	17.4	17.4
DO(mg/L)	6.0	6.9	8.6	7.7

㈱ナック製装置を用いた場合に、バブル発生器の周辺に沈殿した凝集物を X 線回折測定により、結晶相の定性分析を行った。その結果、主な成分は、石英、カオリナイト、長石および雲母からなっており、山から流れ込んだ粘土鉱物であると考えられる。すなわち、濁りの原因は、主にこの粘土鉱物によるため、ファインバブル処理による顕著な効果が認められなかったと推測された。

（問合せ先　石原嗣生）

〔重点領域研究推進事業〕

4　共晶反応を利用した Cu-Ti 系通気性材料の開発

髙橋輝男，山田和俊

1　目　　的

Cu–Ti 系二元合金[1)] は図 1 に示すとおり Cu–22wt%Ti で 875℃および Cu–50wt%Ti で 960℃の共晶点を持つ。この合金系を利用して種々の粒径を有する Ti および Cu 粉末を種々の配合比で混合し圧粉成型し高真空中で加熱すると Cu 粉末より Ti 粉末が大きい場合は Ti 粒子表面に Ti-Cu の共晶合金が生成し、逆に Ti 粉末より Cu 粉末が大きい場合は Cu 表面に Ti-Cu の共晶合金が生成することが期待される。加熱により生成する共晶合金は強固に Ti あるいは Cu 粉末を結合すると考えられる。本研究では Cu–Ti 系の配合比、粉末粒径、焼結温度および焼結時間等を変化させ、得られた合金の金属組織および通気性などについて検討した。

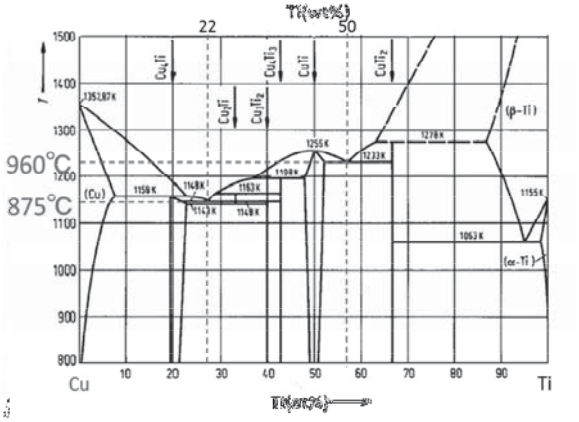


図 1　Cu–Ti 系二元状態図

2　実験方法

本実験の模式図を図 2 に示す。この模式図は Cu 粉末粒径が Ti 粉末のそれよりも小さい場合であり、本研究では Cu 粉末が Ti 粉末のそれよりも小さい場合のみ行った。表 1 は使用した Ti および Cu 粉末の配合比を示す。

Ti 粉末はふるい分けを行い、−0.5～+0.3mm、−0.3～+0.2mm のものを使用した。Cu 粉は F.F.

表 1　本研究での配合組成

Powder	Mixture Ratio of Ti:Cu powder(wt%)		
Ti	90	70	50
Cu	10	30	50

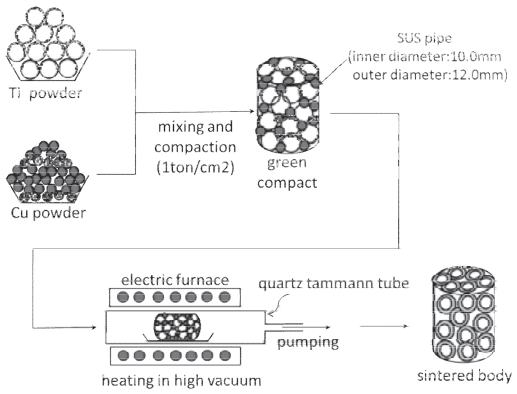


図 2　本実験の模式図
（Ti 粒径が Cu 粒径よりも大きな場合）

S 粒度 6.8 μm であった。それぞれの Ti 粉末にこれらの Cu 粉末を均一混合した後、内径 10 mm の SUS304 パイプに面圧 1ton/cm² で加圧成形しそのまま高真空中、905～950℃で各時間加熱した。得られた焼結体について SEM-EDX による生成する合金相の分析、X 線回折による合金相の同定および通気性の確認を行った。

3　結果と考察

3.1　反応後の金属組織

図 3 は一例として Ti:Cu=50:50 の混合粉末を 905℃で 1h 加熱した試験片の金属組織写真を示す。図 3 (b)は(a)の中央部分の拡大写真である。(a)中に白矢印で示すように共晶反応で生じた反応相が Ti 粒子を固着していることが明らかである。

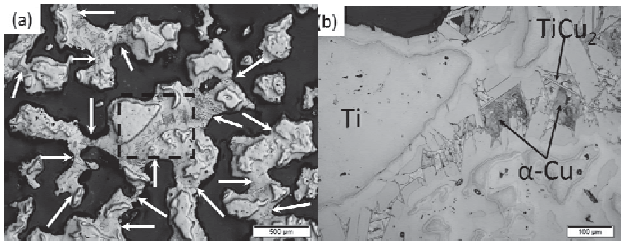


図 3　Ti:Cu=50:50 の圧粉成形体を 905℃で 1h 加熱した焼結体の光学顕微鏡金属組織
（Ti 粒径は−0.5～＋0.3mm）

図 3 (b)から分かるように α-Cu と $TiCu_2$ は

ウィドマンシュテッテン組織を示しており特定の結晶方位関係の存在が推測されるがこの方位関係については今後の課題である。

図４はこの試験片から得られた X 線回折図形を示す。生成する合金相は α–Ti, Ti_2Cu、Ti_3Cu_4、Ti_2Cu_3、$TiCu_2$ および α–Cu であり、状態図に示されている相のうち TiCu は Ti:Cu = 7:3 の試験片で観察され、$TiCu_4$ 以外の相が生成しているのが確認できた。$TiCu_4$ 相の存在の有無もさらに検討する必要があると考えられる。905℃で 1h 加熱した Ti:Cu = 90:10 および Ti:Cu = 70:30 試験片に現れる結晶相は、Ti:Cu = 90:10 では α–Ti、Ti_2Cu であり、Ti:Cu = 70:30 では α–Ti、Ti_2Cu、TiCu であった。

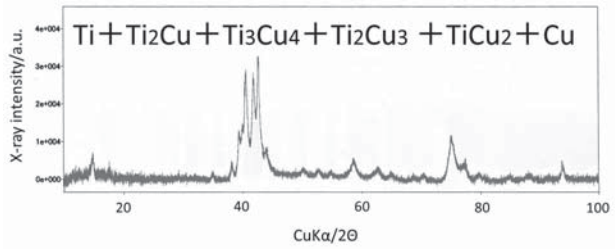


図４　図３の焼結体から得られた X 線回折図形
図中に示す化合物相が同定された。

３.２　作製した試験片の空孔率と通気性

本実験で作製した試験片の処理温度と見かけ比重および空孔率の関係を表２に示す。この結果は Ti:Cu = 50:50 のものである。また表 3 は各配合比における 905℃で処理時間を変化させたときの見かけ比重および空孔率を示す。

表２　Ti:Cu = 50:50 試験片の焼結温度と
見かけ比重および空孔率の関係

表３　905℃焼結体の見かけ比重および空孔
率に及ぼす配合組成と処理時間の影響

表２から明らかなように処理温度が上昇するに伴い見かけ比重は小さくなり、空孔率は大きくなった。表３に示すように今回行った全ての配合比においてこの傾向が観察された。

本実験で作製した試験片の通気性の確認は、作製した試験片に直列に配置したマイクロデジタル真空計により行った。一端に試験片を設置し他端からロータリーポンプで排気し、マイクロデジタル真空計の数値を読み取った結果を図５に示す。圧力が高い（到達真空度が低い）ほど通気性が高いと考えられる。図５から Ti 粒径が大きくなるに従い、また配合する Cu 量の増加に伴って通気性の上昇が認められた。

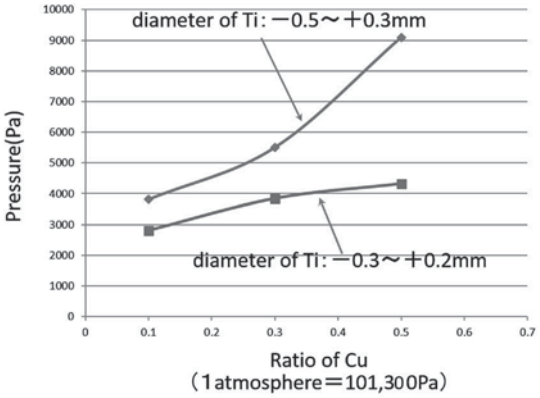


図５　本実験で得られた試験片の通気性

4　結　　論

本実験で得られた結果を要約すると次のようになる。

① 905℃で 1h 加熱した試験片に現れる結晶相は、Ti:Cu = 90:10 では α–Ti、Ti_2Cu、Ti:Cu = 70:30 では α–Ti、Ti_2Cu、TiCu、Ti:Cu = 50:50 では α–Ti、Ti_2Cu、Ti_3Cu_4、Ti_2Cu_3、$TiCu_2$ および α-Cu であった。

② 今回試作したすべての試験片で通気性があることが確認できた。

③ 使用する Ti 粒径が大きくなるに従い、また Cu の配合比が多くなるに従い、通気性は大きくなった。

参 考 文 献

1)　M.Hansen and K.Anderko: Constitution of Binary Alloys, McGraw-Hill, p.642 (1958)

（問合せ先　髙橋輝男）

〔技術改善研究事業〕

5　切削加工による微小歯車の製作

安東　隆志, 平山　明宏

1　目　　的

直径 0.03～0.1mm の微小切削ツールが一般に入手可能となり、サイズが 1mm 以下の機械部品加工が可能となっている。しかしながら、折損の可能性が高く、従来のサイズのように肉眼での取り扱いが困難であるので、微小切削加工による機械部品加工は実現には至っていない。そこで、本研究では微小ツールに発生する力を検出することにより、ツールとワークの接触を検出し、加工中の力を計測することにより微小ツール折損を低減することで、微細切削加工に取り組んだ。本研究では機構部品として代表的な歯車の微細切削加工を行った。

2　切削ツール移動軌道の生成

2.1　歯車形状の生成

図１に直径 0.03mm、長さ 0.045mm の微小切削加工ツールを示す。製作する微小歯車をインボリュート歯車とし、歯数 N=20、基礎円直径 D_G=0.4mm 厚さ t=0.045mm とする。図２に示すように歯面形状を形成する曲線はインボリュート関数で与えられる。極座標角 θ を 0～π/N[rad]範囲内で小刻みに変化させながら数値解析によりインボリュート関数を計算して圧力角 α を求め、歯面座標ベクトル(x_G,y_G)を得る。本研究では、これらの計算を実行して、歯車形状を切削加工するための切削ツールの軌道生成ソフトウェアを作成した。そのソフトウェアでは、図３に示すダイアログボックスに歯車の基礎円直径、歯数、バックラッシュなどの歯車に関するパラメータを設定することにより平面上における座標ベクトル列 $\mathbf{x}_G(k)$が生成される。

2.2　ツール移動軌道の生成

歯車形状を決定する XY 座標ベクトル列が与えられると、切削ツールの外形半径を R として図４に示す計算式によりツール移動軌道を生成する。ツール移動軌道は歯車形状 XYZ 座標ベクトル列 $\mathbf{x}_G(k)$によって表現される曲線上の点に対して法線方向にツールの半径 R の距離だけ離れた座標ベクトル列 $\mathbf{x}_P(k)$となる。ここに、k=1,･･･n であり、n は歯車を１周するための分割数である。Z 座標はツールの深さを与える。切削ツールの軌道生成ソフトウェアにおいて、図５に示すダイアログボックスに切削ツールの

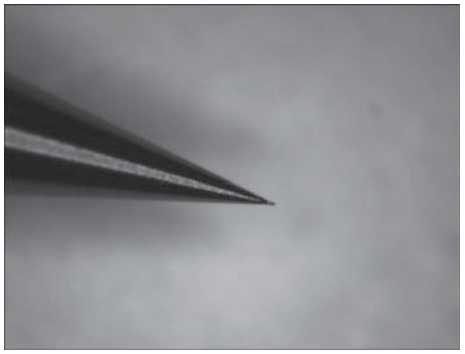


図１　刃先直径 0.03mm 微小切ツール

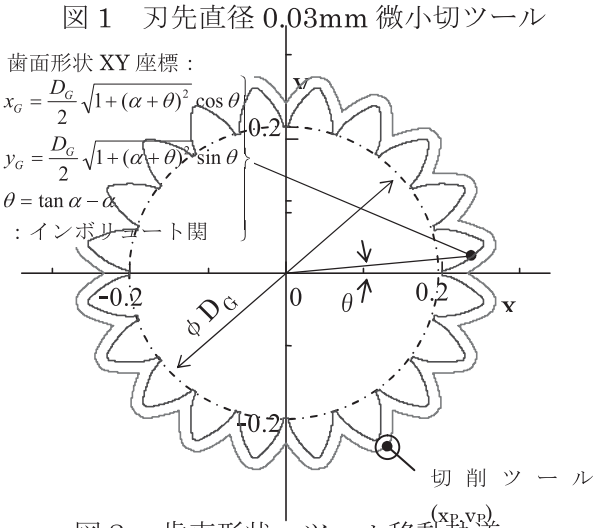


図２　歯車形状、ツール移動軌道、インボリュート方程式

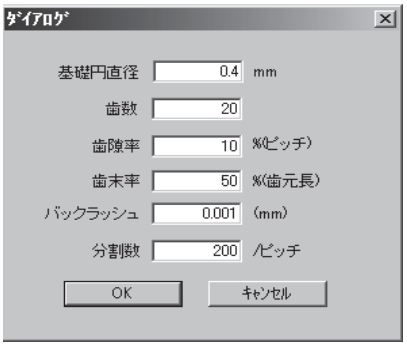


図３　歯車定数設定画面

直径(2R)やツールを移動させる制限速度などのパラメータを設定する。歯車は閉曲線となるので、切削によって歯車形状を得るためには歯車の外側の座標ベクトル列として与えられる。切削ツール移動軌道を生成する際に、軌道が交差して、軌道ループが発生する。このループを放

置すると余計な切削を行い、正常な歯車形状を形成することができなくなる。本ソフトウェアでは、移動軌道の交差によって生じるループを検出し、切削ツール移動軌道から排除する機能が付加されている。また、切削ツールによって生成される歯車形状を予測し、回転における歯車のかみあいをシミュレーションするとともできる。

磁気浮上ステージが生成されたツール移動軌道を読み込んで移動し、歯車形状が形成される。

２.３　微小歯車形状の切削加工

６自由度磁気浮上ステージ [1]と日本精密機械工作株式会社製リューターススピンドルを用いて切削加工を行った。スピンドルの回転数は 10000rpm である。歯車の厚みを 0.045mm とし、１回の切り込み量を 0.001mm とする。磁気浮上により非接触支持されたステージに加工試料を固定し、コレットチャックでスピンドルに固定された切削ツールで微小歯車形状を切削加工する。ステージを非接触支持することにより、摩擦力から開放されるだけでなく、切削ツールに作用する力を測定することができる。

３　結果と考察

３.１　製作した微小歯車

切削によって得られた基礎円直径 0.4mm の微小歯車を図６に示す。黒い柱状物体は直径 0.5mm のシャープペンシルの芯である。ZYGO により形状計測をした結果、微小ツールの長さにほぼ等しい 0.04mm の厚さを確認している。

３.２　切削加工に発生する力の計測制御

図７に微小ツールを折損したしたときの磁気浮上ステージの z 方向（切削ツール回転軸方向）変位を示す。微細切削加工に使用した磁気浮上スージは折損前後の z 方向変位の変化を捉えている。この結果から、微小ツールに発生する力を計測し、折損を予防するように制御することができる。

４　結　　論

直径 0.03mm の微小切削ツールを用いて微細切削加工により機構部品として代表的な微小歯車の製作に取り組んだ。その結果、基礎円直径 0.4mm、厚さ 0.04mm、歯数 20 の微小歯車を製作できた。

参 考 文 献

1)　安東隆志，日本機械学会論文集，
81,824(2015)

$$x_P(k) = x_G(k) + R\frac{\Delta y_G(k)}{\Delta s(k)}$$
$$y_P(k) = y_G(k) - R\frac{\Delta x_G(k)}{\Delta s(k)}$$
$$\Delta s(k) = \sqrt{\{\Delta x(k)\}^2 + \{\Delta y(k)\}^2}$$
$$\Delta x_G(k) = x_G(k) - x_G(k-1)$$
$$\Delta y_G(k) = y_G(k) - y_G(k-1)$$
$$k = 1, \cdots, n$$

図４　切削ツール移動軌道計算式

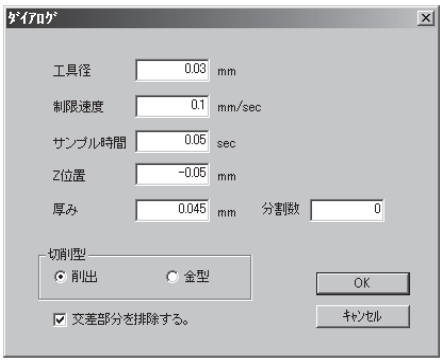


図５　切削ツール移動軌道設定画面

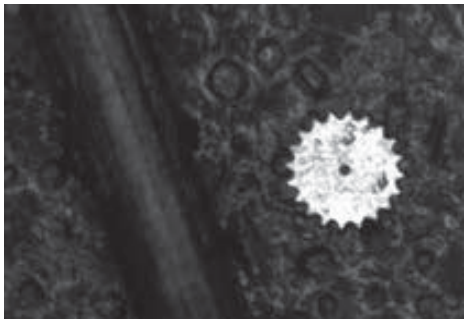


図６　基礎円直径 0.4[mm]の微小歯車

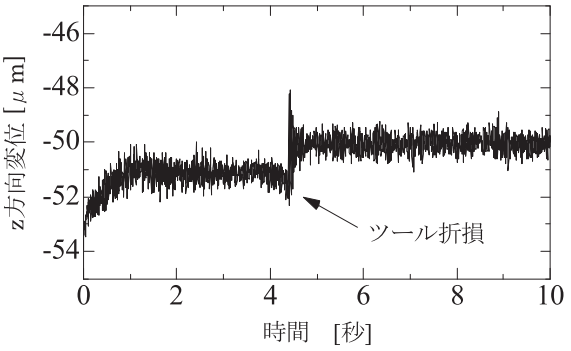


図７　微小ツールの折損検出

（問合せ先　安東　隆志）

〔重点領域研究推進事業〕

6　低剛性電極を用いた放電加工の安定化と高性能化

山口　篤，浜口和也，山田和俊

1　目　　的

工作物内部で屈折や屈曲するような曲がり穴は、金型の冷却媒体通路、油圧部品の作動油や潤滑油の流路形状として理想とされている。しかし、理想と分かりつつも加工が不可能であるため、曲がり穴の加工技術が切望されている。

我々は、簡便な方法で曲がり穴を実現することを目的とし、汎用の放電加工機と簡単な構造の電極を用いる方法を提案している[1, 2]。

これまでの研究では、アルミニウム合金等の工作物に対して直径が 7.5 mm 程度の曲がり穴を形状精度良く加工できている[3]。しかしながら、直径 5 mm 程度の比較的小径の電極を用いた場合、放電が不安定になり、加工を行うことができなかった。

本研究では、アルミニウム合金および合金工具鋼に対して小径の曲がり穴加工を実現するために、加工中の工作物に振動を付与する方法を考案し、振動の付与が加工可否や加工特性に及ぼす影響を調べた。さらに振動を付与しながら工作物を傾斜させて曲がり穴加工を試み、その可能性を検証した。

2　実験方法

電極球には、Sϕ5.5 mm の銅タングステン合金（30 mass%Cu–70 mass%W）を用いた。つり下げ部には十分な柔軟性を有する厚さ 0.03 mm、長さ 60 mm の銅箔を使用し、箔の幅は 4.0 mm とした。箔部での放電を避けるため箔は薄い絶縁膜で被覆している。工作物には、アルミニウム合金（JIS A5052）および合金工具鋼（JIS SKD11）を使用し、加工を開始する位置に半球状の下穴加工を施した。これは、電極球が弾かれないようにするためで、位置決めの役目を果たす。

放電加工は NC 形彫り放電加工機（Sodick 製、AP1L / AQ35LR）を使用した。放電加工条件を表 1 に示す。本研究では、放電電流値とサーボ基準電圧を変化させて、加工特性への影響を検討した。加工機主軸の制御は Z 軸方向のみで、電極のジャンプ動作は行っていない。

工作物への振動付与は、タービンバイブレータ(EXEN 製、BTP24)で発生させた振動を、治具を介して工作物に伝達させる方法を用いた。工作物の振動測定の結果、工作物は水平方向よりも鉛直方向に大きく振動し、その振幅は A_Z = 185 μm, A_X = 49 μm であり、振動数は約 120 Hz であった。

表 1　放電加工条件

Electrode polarity	(+)
Open circuit voltage, u_i / V	120
Discharge current, i_e / A	12 – 36
Servo voltage, S_V /V	40 – 110
Pulse duration, t_e / μs	400
Duty factor (%)	50

3　結果と考察

3.1　工作物振動付与による直線穴加工

つり下げ電極を用いた放電加工では、電極球が加工反力によって揺れ動く。その現象は電極球が小さくなるほど顕著になり、さらには放電が不安定になる。図 1 に、Sϕ5.5 mm の電極球を用いて深さ 30 mm の直線穴加工を行った際の工作物振動の有無による加工進展の違いを示す。また、この際の加工速度と加工穴径を表 2 にまとめた。

振動なしの場合は加工機ヘッドが頻繁に上昇を繰り返し加工が安定していない様子が伺える。

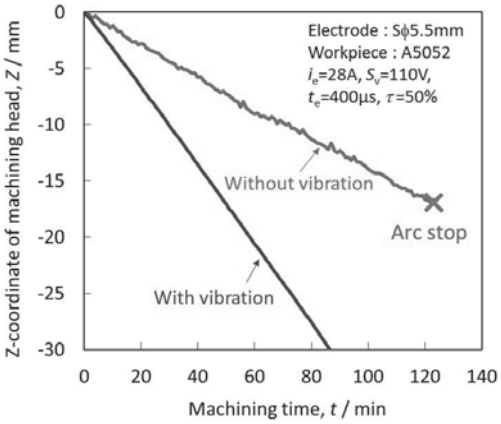


図 1　工作物振動の有無と加工速度

表 2　工作物の振動有無と加工特性

	Hole diameter, d / mm	Removal rate, V_W / mm^3・s^{-1}
With vibration	6.65	0.151
Without vibration	6.44	0.074

これは電極球が加工穴内面と加工粉を介して接触するなどして放電が発生しない状態となり加工機が極間距離を広くする制御を行っているためである。そして、加工深さが約 16 mm でアークが発生して加工が停止した。これに対し、振動を与えた場合、加工機ヘッドの上昇はほとんどなく、安定した加工が継続的に行えた。これは、振動付与により加工粉などの排出が促進されただけでなく、電極球と加工穴内面の長時間の接触を防ぎ、アークによる加工停止を抑制したためと考える。その結果、振動を与えることで、振動なしの場合に比べて加工速度は 2 倍程度になった。また、穴径は工作物の振動の影響を受け、0.2 mm ほど大きかった。

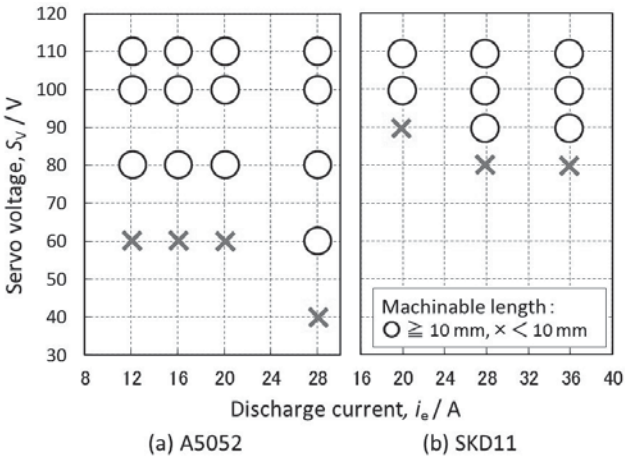


図２　加工条件と加工可否

次に、A5052 と SKD11 に対する放電加工条件と加工可否の関係を調べるため、電流ピーク値を i_e = 12 ~ 36 A、サーボ電圧を S_V = 40 ~ 110 V の範囲で種々変更して直線穴加工を行った。図２に加工可否をまとめて示す。○は深さ 10 mm の加工が可能な条件であり、×は加工が正常に進まず深さ 10 mm 未満で加工が停止した条件である。両材料ともに、高いサーボ電圧の条件で深さ 10 mm 以上の加工が可能であることが分かる。一方で×の条件は、電極と工作物の極間距離が狭く、工作物に振動を与えても放電を安定させる効果はみられなかった。SKD11 は、A5052 よりも電流ピーク値（i_e）をやや大きく設定する必要があった。これは材料物性に起因するものであり、一般的な形彫り放電加工と同様である。

３.２　曲がり穴加工

前項において、工作物に振動を付与することで直径 5.5 mm の電極球を用いて直線穴加工が可能であることを示した。次に、工作物の傾斜制御を組み合わせ、屈折穴加工を試みた。図３に SKD11 に対して、工作物に 30°, 45°, 60° の屈折角度を与えて加工を行った場合の断面写真を示す。直線穴加工の後、1.0 mm 進むごとに工作物を 10° を傾ける動作（傾斜比：T_r=10°/1.0mm）を目的の角度になるまで繰り返した。図から、屈折穴形状は正確に工作物の傾斜角に対応していることが分かる。工作物の振動と傾斜制御を組み合わせることによって、小径かつ形状精度の高い曲がり穴加工が可能であった。

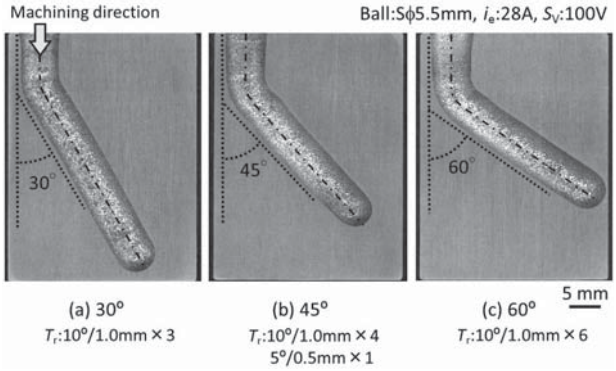


図３　合金工具鋼（SKD11）の屈折穴断面写真

４　結　　論

つり下げ電極による小径の曲がり穴加工を実現させるため、工作物に振動を付与する方法を考案した。得られた結論は以下の通りである。

(1) Sϕ5.5 mm のつり下げ電極を用いて A5052 と SKD11 の工作物に加工を行う場合、工作物に振動を付与することで加工が安定する。

(2) 加工条件と加工可否の関係を調べたところ、比較的高いサーボ電圧を設定することで安定した加工状態が得られる。

(3) 工作物への振動付与と傾斜制御を組み合わせることによって、A5052 および SKD11 に対しても比較的小径の曲がり穴を加工することができる。

参 考 文 献

1) 山口篤, 岡田晃, 三宅達也, 精密工学会誌, 81–5, 435–440 (2015)
2) 山口篤, 岡田晃, 池嶋俊貴, 三宅達也, 精密工学会誌, 81–11, 1039–1044 (2015)
3) 山口篤, 池嶋俊貴, 三宅達也, 岡田晃, 2015 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 5–6(2015)

（問合せ先　山口　篤）

〔地産地消型再生可能エネルギー面的利用等推進事業費補助金〕

7　淡路島に点在する蓄エネ設備を活用した地域エネルギーの地産地消を目指したエネルギーマネジメントに関する調査

～ 淡路島における再生可能エネルギーの調査に関して ～

三浦久典，真継　博，北川洋一

1　目　　的

本調査研究の主題は、淡路島に点在する蓄エネ設備（各家庭のヒートポンプ給湯器や EV・PHV）や、今後導入を検討する水素設備（水電解貯蔵ステーション）を、面的に監視、制御する事業モデルを構築し、その事業性を評価することである。蓄エネ設備をアグリゲータなどの事業者が遠隔で監視・最適制御を行うことにより、需要家に負担をかけずに、電力が余剰時の時間帯の安価な電力の活用などにより需要家エネルギーコストの低減を図るとともに、系統連系の制約を回避し再生可能エネルギーの導入を促進することを目的とする。

対象地域である淡路島は、あわじ環境未来島構想の下、太陽光発電設備や風力発電設備などの導入が全国的に見ても進んでいる。また、バイナリ発電所を始め、エネルギーの自給自足・省 CO_2 化を目指し、未利用エネルギーを含めた再生可能エネルギー導入の取組みが種々行われている。ヒートポンプ給湯器の導入も進んでおり、EV についてもモデル地域として充電器設置とあわせて導入を推進している地域である。

本報告書では、本調査研究のうち、工業技術センターの分担テーマである淡路島における再生可能エネルギーの賦存量、現状、今後の導入見込み等を調査した結果について報告する。なお、本調査研究全体の成果については、別資料[1)]に譲る。

2　調査結果

2．1 再生可能エネルギーの賦存量調査

賦存量は、土地の傾斜、法規制、土地利用、居住地からの距離やコストなどエネルギーの取得及び利用に伴う種々の制約要因を考慮しないで、設置面積、平均風速、河川流量等から理論的に算出しうる潜在的なエネルギー資源量であり、再生可能エネルギーの導入量を予測するなどにおいて最も基礎的な情報である。賦存量調査の対象は、太陽光、風力、中小水力、バイオマス、波力、潮流とする。その結果は、表１のとおりであり、太陽光、風力の賦存量が圧倒的に多く、次いで明石海峡及び鳴門海峡における潮流となっている[2)]。

表１　再生可能エネルギー賦存量

（単位：GWh/年）

市町区分	太陽光	風力	中小水力	バイオマス	波力	潮流
兵庫県	11,922,922	318,191,540	292	353	2,554	—
洲本市	317,067	8,091,620	3.6	4	25	4,181
南あわじ市	395,713	12,154,314	1.7	6	45	
淡路市	333,847	6,710,470	1.8	7	56	
淡路島計	1,047,627	26,956,404	7.1	17	126	4,181

2．2　太陽光発電の導入状況調査

平成 27 年 3 月末時点での導入量は、表２の通りとなっている[3)]。概ね 1MW 以上の大規模設備は、29 箇所設置され、導入容量は 115MW となっており、全体の 77%を占めている。なお、認定済み容量は 352MW と導入量の２倍を超えている。

表２　太陽光発電の導入状況

（単位：MW）

全　　国		兵庫県	淡路３市計	洲本市	南あわじ市	淡路市
導入量	23,060	1,308 (4.5%)	149 (0.6%)	39	36	74
認定量	82,630	2,680 (3.2%)	352 (0.4%)	73	98	181

2．3　風力発電の導入状況調査

平成 27 年 3 月末時点での導入量は、表３の

表３　風力発電の導入状況

（単位：MW）

全　　国		兵庫県	淡路３市計	洲本市	南あわじ市	淡路市
導入量	2,860	55 (1.9%)	55 (1.9%)	2	41	12
認定量	4,820	55 (1.1%)	55 (1.1%)	2	41	12

通りとなっている [3]。また、概ね 1MW 以上の大規模設備は、６箇所設置されており、導入容量は 55.1MW となっている。認定済み設備は全て稼働しており、現在のところ、新たな設置予定はない状況である。

２．４　他の再生可能エネルギーの導入状況

（１）中小水力発電

洲本市千草地域の農業用水路に超小型水力発電設備（0.12kW）が設置され、防犯灯の電力として使用されている。

（２）バイオマス発電

竹ボイラーの設置普及に向けて、洲本農林事務所が地域の NPO が取り組んでいる活動を支援している。また、発電ではないが、微生物処理による廃食用油の燃料化の実証が進められている。また、マルショウ運輸㈱が藻類による燃料油製造実験を行っている。

（３）太陽熱発電

南あわじ市において㈱東芝、㈱神戸製鋼所が連携し、平成 26 年度まで実証実験を行った。

（４）地中熱

現時点では、利用されていないが、ヒートポンプメーカが、農業用ハウスに地中熱利用する実証を検討している。

（５）潮流発電

三菱重工業（株）などが明石海峡で共同研究を行っている。なお、波力については、太平洋に面した南あわじ市の一部では可能性はあるが、実証等の検討は進められていない。

（６）その他

平成 24 ～26 年度に南あわじ市沼島において、太陽光発電等の再生可能エネルギーを電力源とし、直流による自立分散型エネルギーシステムに係る実証実験を神戸大学や兵庫県立工業技術センター等が行い、交流と比べて 20%以上の省エネルギーが実証された [4]。太陽光発電等再生可能エネルギーの効率的な利用が可能となる。

２．５　太陽光発電の今後の導入見込み量

太陽光発電については、FIT の導入に伴い、急速に導入されてきたが、平成 27 年 4 月以降、買取価格が 27 円/kWh と定められたことから、開発事業者へのヒアリング結果において太陽光発電の導入意欲は急激に減衰している。平成 27 年 4 月から 8 月の導入量及び認定量の推移を図１に示す。新規認定量は、概ね年間 1MW 程度の水準となっている。また、導入量は、これまでと大差なく増加しているが、認定済みのものが、順次、建設されていることが覗える。導入見込み量の推計はこの状況も踏まえ、導入容量や認定済容量によるトレンドおよび国や関係団体の導入目標 [5-7]のブレークダウン並びに太陽光発電事業者への今後の導入意向などのヒアリングを基に行った。その結果を表４に示す。なお発電量の推計は、淡路の太陽光発電事業者へのヒアリング結果で得られた 1kW あたりの年間発電量を 1,250kWh/年から算出した。

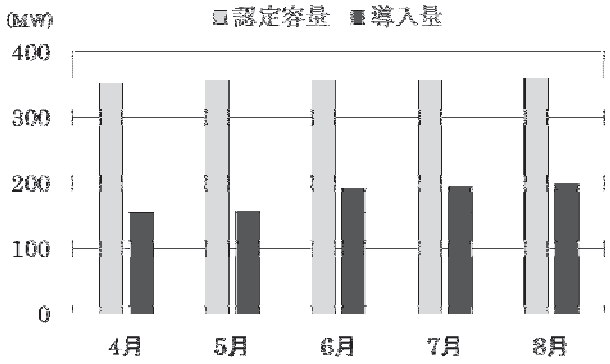


図１　平成 27 年太陽光発電導入量等の推移

表４　太陽光発電の今後の導入見込み

	現　状	2020年	2030年	2050年
太陽光発電容量 (GW)	0.15	0.24	0.36	0.6
太陽光発電量 (GWh)	195	300	450	750

２．６　風力発電の今後の導入見込み量

これまでの導入量によるトレンド、既認定済容量及び国や関係団体の導入目標 [6,8,9]のブレークダウン及び太陽光発電事業者への今後の導入意向などのヒアリングなどにより、導入見込み量を推計した結果を表５に示す。発電量は、年間利用率を 20%として推計した。

表５　風力発電の今後の導入見込み

	現　状	2020年	2030年	2050年
風力発電容量 (GW)	0.055	0.055	0.07	0.1
風力発電量 (GWh)	96.5	96.5	123	175

２．７　再生可能エネルギー自給率の推計

以上を踏まえ、再生可能エネルギーによる自給率を推計すると表６のとおりで、あわじ環境未来島構想の目標を達成できる可能性があることがわかった。

表６　太陽光発電等による電力自給率の推計

	現　状	2020年	2030年	2050年
あわじ環境未来島目標自給率	―	20%	35%	100%
太陽光発電量(GWh)	195	300	450	750
風力発電量(GWh)	96.5	96.5	123	175
自給率の推計	32.8%	44.6%	64.3%	103.9%

（淡路島の年間電力消費量を890GWhとした）

２．８　実現に向けての課題と対応策

自給率 100%に向けての大きな課題は、系統制約である。淡路島全土は関西電力の供給地域であるが、北部地域（主に淡路市）は関西電力系統、南部地域（主に洲本市、南あわじ市）は、四国電力系統に接続されている。北部では、明石海峡横断線の送電容量が限界に近づいており [10]、新たに発電設備を連系する場合、送電線の容量増が必要となる可能性がある。また、南部については、四国電力系統全体における太陽光発電の導入量が過大となり、軽負荷時期に太陽光発電の余剰が発生することから、出力抑制発動の可能性が高まってきており [11,12]、太陽光発電設備導入の障壁となっている。従って、再生可能エネルギーの導入容量を確保していくためにはこうした系統制約を解消する必要がある。解決策のひとつとして、本調査研究で検討する蓄エネ設備（ヒートポンプ給湯器や EV・PHV や水素電界設備）で余剰となった再生可能エネルギーを蓄えることで出力抑制を回避する方策が考えられる。

３　結　言

本調査研究に資するため、淡路島における再生可能エネルギーの賦存量、現状、今後の導入見込み量等の調査を行った。系統連系の制約がなければあわじ環境未来島構想の目標を達成する見込みが得られたが、本年度段階ですでに系統連系による制約が出てきている。その制約を回避する方法として蓄エネ設備の活用が有効と考えられ、そうした観点からも蓄エネ設備活用の事業性評価を行う必要性が認められた。

謝　辞

本調査研究は、一般社団法人新エネルギー導入促進協議会「地産地消型再生可能エネルギー面的利用等推進事業費補助金（構想普及支援事業）」の補助により、（公財）新産業創造研究機構および関西電力(株)と共同で実施しました。また、（株）東芝、ダイキン工業（株）、トヨタ自動車（株）の関係者の方々等、本調査にご協力いただいたみなさまに深く感謝します。

参考文献

1) （公財）新産業創造研究機構，関西電力(株)，兵庫県立工業技術センター，淡路島に点在する蓄エネ設備を活用した地域エネルギーの地産地消を目指したエネルギーマネジメントに関する調査成果報告書 (2016)
2) 兵庫県，クリーンエネルギー資源調査 (2011)
3) 固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト，http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html
4) 神戸大学，離島・漁村における直流技術による自立分散エネルギーシステム技術の実証研究成果報告書，平成 26 年度地球温暖化対策技術開発・実証研究事業 (2015)
5) 資源エネルギー庁，太陽光発電の導入状況等について (2015)
6) 環境省，2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証報告(2014)
7) （一社）太陽光発電協会，太陽光発電システムの現状と課題 (2014)
8) 資源エネルギー庁，風力発電の導入状況について (2015)
9) （一社）日本風力発電協会，風力発電の導入促進に向けて (2014)
10) 関西電力(株)，マッピング(154kV 未満)，http://www.kepco.co.jp/corporate/takusou/pdf/154kv_less_mapping_15.pdf (2018)
11) 四国電力(株)，太陽光発電設備の 30 日等出力制御枠へ到達について，http://www.yonden.co.jp/energy/n_ene_kounyu/renewable/pdf/pv_important_news_1601.pdf (2016)
12) 関西電力(株)，淡路島南部地域における太陽光および風力発電設備の系統連系状況について，http://www.kepco.co.jp/corporate/takusou/disclosure/pdf/awaji_seiyakuarea.pdf (2016)

（問合せ先　三浦久典）

〔日本学術振興会　科学研究費助成事業　基盤研究C〕

8　弾性表面波を用いた粉体の精密輸送

才木常正

1　目　　的

近年、創薬や電子産業分野において、微小粉体の輸送や分級等の物理的操作に期待が高まっている。しかしながら、固体でありながら液体や気体のように流動することが可能な粉体の正確な操作は難しく、現場においては長年の経験則に基づき物理的操作を行っている。特に、粒子径が数十 μm 以下の粉体を乾式で数百 μg から数 mg オーダーで輸送することは、汎用のコンベアやブロワーを単純に小型化しただけでは不可能である。

そこで、微量の微小粉体を乾式輸送する方法として超音波振動デバイスを利用する方法[1)]が考えられている。しかし、超音波デバイスは多層の圧電膜で構成されるため、その製作プロセスは複雑となる。そこで、著者らは構造が簡単で製作が容易な弾性表面波(Surface Acoustic Wave：SAW)デバイスに注目した。ちなみに、SAW デバイスは半導体リソグラフィ技術を用いて圧電基板上に櫛歯電極（Interdigital Transducer：IDT）をパターンニングすることのみで製作することができる。

SAW は弾性体の表面だけにエネルギーが集中して伝搬する音波であり、圧電基板上の IDT に高周波数電圧を印加することで発生する。そして、SAW の伝搬面に物体を置くことで、SAW が物体に作用しそれを動かすことが可能となる。このような SAW アクチュエータの研究に関しては、液体に関する報告[1–9)]が殆どで固体に関する報告[10)]は非常に少ない。これら SAW による液体と粉体を含む固体の輸送においては、それらの輸送方向が逆になるという興味深い特徴がある。液体では SAW の伝搬方向（IDT と反対側であり、以後、SAW 下流側という）に、固体ではその逆方向（IDT 側であり、以後、SAW 上流側という）へ輸送される。ちなみに、これら輸送現象は液中への縦波放射と弾性体表面の後方楕円回転運動[3)]により生じると考えられる。ここで、SAW で粉体を輸送し切り出す（開口部から落下させる）供給機を考えると、粉体を輸送する SAW 上流側に開口部を設けなければならず、粉体まで SAW が到達しないという根本的な問題が生じる。この例からわかるように、粉体の SAW 上流だけではなく下流方向への輸送が可能となれば、SAW による粉体輸送の応用範囲が拡がる。

そこで本研究で、SAW 下流方向への粉体輸送を可能とするために、IDT の共振周波数で駆動する従来の方法ではなく、他の周波数で駆動する新規の方法を提案する。以下、本稿では、SAW 下流方向への輸送が可能な IDT の駆動周波数について述べる。そして、SAW 下流方向への粉体輸送に適した IDT 形状を輸送速度の面から検討した結果について述べる。更に、SAW 伝搬路に設けた金属膜上での粉体輸送の抑制効果について述べる。最後に、高効率の粉体輸送が可能な IDT と粉体誘導用の金属膜パターンを有する SAW 粉体供給機の設計・製作とその性能評価について述べる。

2　粉体輸送に適した駆動周波数

SAW 下流方向へ粉体を輸送可能な駆動周波数を調べるため、櫛歯電極(IDT)の反射損失(RL：入射に対する反射電力の対数比)の周波数特性をアンテナアナライザー（RigExpert 社製 AA-230PRO）で調べた。IDT（ピッチサイズ p = 400μm、対数 n = 20、開口幅 a = 5mm）の周波数特性の測定結果を図 1 に示す。この IDT は $LiNbO_3$(128 度回転 Y カット X 方向伝搬)ウェハーの上に Cr/Al 膜（10nm + 1μm 厚）を DC スパッターで成膜し、半導体リソグラフィ技術によってパターンニングすることで製作した。そして、この IDT の設置方向（SAW の伝搬方向）はウェハーのオリエンテーションフラット(OF)の垂直方向と一致している。

図を見ると、まず 9.6MHz に RL のピークが確認でき、20.5MHz から 3.5MHz 程度の間隔で複数の RL のピークが確認できる。この 9.6MHz のピーク周波数は SAW の伝搬速度(3690m/s)を IDT ピッチサイズで割った値（理論値）とほぼ同じであり、従来の SAW アクチュエータで使用する駆動周波数である。このようなピーク周波数が 20.5MHz 以上においても複数存在することから、他の周波数においても SAW が発生し粉体が輸送される可能性があると考えられる。

そこで、得られた RL のピーク周波数で IDT を駆動し、粉体輸送の様子を観測した。SAW に

よる粉体輸送実験の概略を図２に示す。実験では、まず IDT の前方 35mm の位置に粒径 100μm の銅粉 30mg を設置する。そして、信号発生器（テクトロニクス社製 AFG3252）で 2000 周期の駆動周波数 f_D の正弦波で構成される 1kHz のバースト波形を発生させる。この f_D は周波数特性から得られた IDT の RL のピーク周波数である。そして、バースト高周波電圧を高周波アンプ(R&K 社製 ALM00110-2840FM)で増幅する。ここで、バースト波形を用いた理由は、デューティ比を下げて熱による圧電基板の損傷を防ぐためである。そして、この増幅された電圧を IDT に印加する。ここでは、IDT への印加電圧を測定するのではなく、パワーメーター（ローデ・シュワルツ社製 NRP-2 と NRP-Z91、AR 社製 DC3001M1）によって、入射電力 P_I と反射電力 P_R を測定している。そして、電力印加時の粉体の様子をハイビジョンカメラ（SONY 製 HDR-CX500V）により動画として記録し、これら動画像より粉体輸送の有無及びその方向を調べた。

典型的な SAW による粉体輸送の様子を図３に示す。図(a)と(b)の IDT のピッチサイズは共に同じ 400μm であり、それぞれ 9.6MHz と 31.6MHz の周波数で駆動したときの写真である。ちなみに、これら図中の t は電力供給開始からの時間である。図(a)と(b)から、同じ IDT であっても、粉体が IDT 側（SAW 上流側）へ又は逆側（下流側）へ輸送できていることがわかる。この事実は、従来不可能であった SAW 下流方向への粉体輸送が可能となったことを示しており、異なった周波数で IDT を駆動することで粉体の輸送方向を制御できることをも示している。

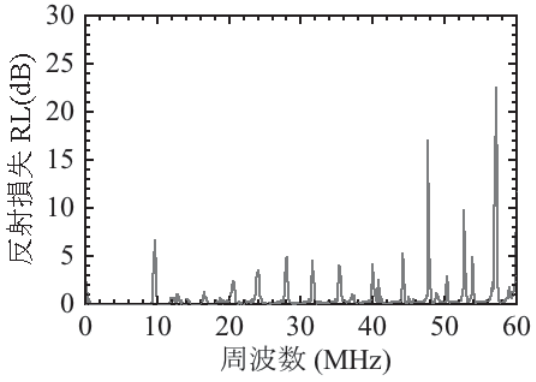


図１　櫛歯電極(IDT)の反射損失(RL)の周波数特性（p = 400μm）

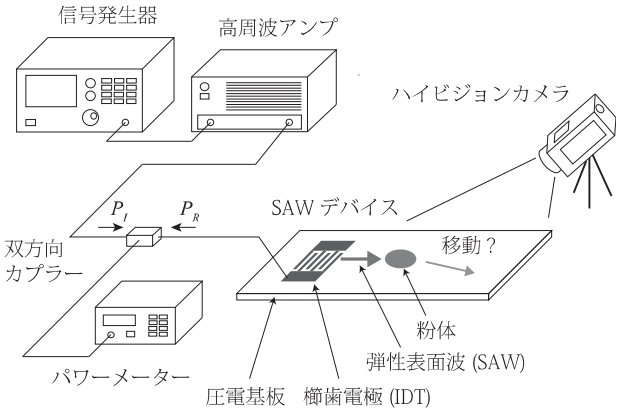


図２　弾性表面波(SAW)による粉体の輸送実験の概略

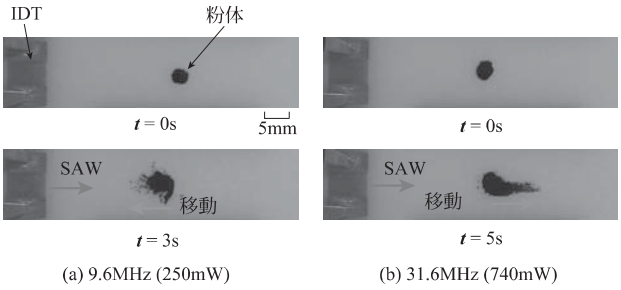


図３　典型的な SAW による粉体輸送の様子（p = 400μm）

３　櫛歯電極形状と粉体輸送速度

我々の過去の研究から IDT 形状の中でもピッチサイズが最も SAW の送液と関係するパラメーターであるとわかっている。このため、粉体においても IDT のピッチサイズが輸送に及ぼす影響は大きいと考えられる。そこで、まず、ピッチサイズを変えた４つの IDT(p = 100、200、 400、 800μm)を用意し、それらの SAW 下流側への駆動周波数を調べる。次に、それら周波数で IDT を駆動し粉体（Cu、 粒径 100μm）を輸送させ、各 IDT への供給電力と輸送速度の関係を調べ、粉体輸送に適した IDT のピッチサイズについて検討する。

SAW 下流側への輸送の駆動周波数と IDT ピッチサイズとの関係を図４に示す。ここでは、用いた全ての IDT の対数と開口幅は 20 と 5mm である。また、参考のため、粉体供給機等で必要となる SAW 下流側（IDT の逆側）への駆動周波数のみならずその逆方向のそれらについても、図中にプロットした。

図４を見ると、SAW 下流側への粉体輸送にお

いて、IDT ピッチサイズが大きくなるに伴い、駆動周波数が低くなっていることが確認できる。この傾向が理論的にも推測可能な逆方向への粉体輸送と同じになっていることからも、SAW 下流側への粉体輸送の駆動周波数と IDT のピッチサイズにおいて規則性があると考えられる。ちなみに、ピッチサイズ 100μm の IDT においては、50MHz 以上に SAW 下流側への駆動周波数があるのではなく、2W 程度の供給電力を加えても駆動周波数が確認できなかった。

次に、粉体供給機に適した IDT ピッチサイズを検討するため、SAW 下流側への粉体輸送が可能であった３つの IDT ピッチサイズについて、IDT への供給電力とそのときの粉体の輸送速度を調べた。その結果をまとめて図５に示す。ここでは、粉体輸送速度を粉体群の先端が約 10mm 移動するまでの時間から計算している。

この図５を見ると、全ての IDT ピッチサイズで供給電力の増加に伴い、粉体の輸送速度がほぼ直線的に増加していることがわかる。そして、ピッチサイズが大きな IDT ほどその直線の傾きが大きくなり、粉体の輸送効率が高くなることがわかった。このことから、実験で用いた IDT の中ではピッチサイズが 800μm の IDT が輸送に最も適していることが明らかになった。しかしながら、大きなピッチサイズの IDT を採用することは粉体供給機のデバイス自身の大型化に繋がり問題が生じる。そこで、200μm に比べ 400μm ピッチサイズの IDT の輸送速度が 800μm のそれと比較的近い値をとるため、本研究では IDT の外形サイズを考慮し、粉体供給機に適した IDT のピッチサイズを 400μm とした。

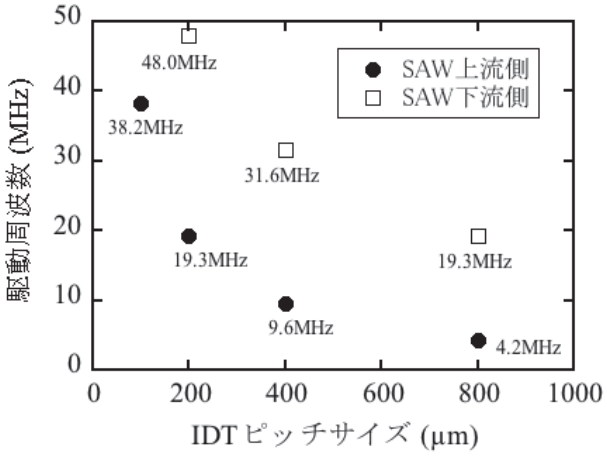


図４　粉体輸送可能な駆動周波数と IDT ピッチサイズの関係

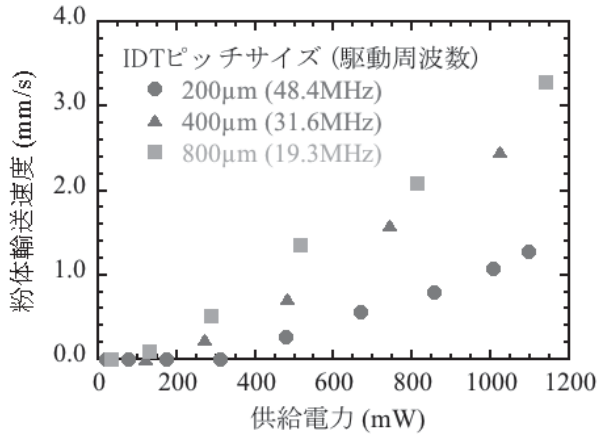


図５　IDT への供給電力と輸送速度の関係

４　金属膜による粉体輸送の抑制効果

誘導壁を設けていない SAW による粉体輸送においては、図３に示したように粉体が空間的に抑制されることなく輸送される。このため、粉体供給機として利用した場合には、基板端の一点に集中せずに粉体は落下するため、落下領域が拡がり精度の面で問題が生じることが想定される。そこで、IDT と同じ製造プロセスで製作することが可能な金属膜パターンを誘導壁の代わりに利用できるかを検討する。

実験では、前節と同じ実験装置群（図２参照）を用いて、IDT への供給電力と２種の金属膜（10nm 厚 Cr 膜、 10nm 厚 Cr + 1μm 厚 Al 膜）上での SAW による粉体(Cu)の輸送速度を測定した。この実験で用いた IDT のピッチサイズは前節の結果より 400μm を採用し、その対数と開口幅も前節と同じ 20 と 5mm である。また、金属膜は長方形（15×30mm）のパターン形状であり、IDT の前方 10mm の位置に SAW の伝搬路を覆うように設けている。

実験より得られた金属膜上での粉体の輸送速度をまとめて、図６に示す。この図では金属膜と比較するために金属膜無しの輸送速度もプロットしている。また、Cr/Al 膜では 2W 以上の供給電力であっても粉体が輸送されなかったので、図中にはプロットしていない。

図６から、粉体が輸送されれば金属膜の有無に関係なく、IDT への供給電力の増加に伴い粉体の輸送速度が増加することがわかる。更に、同じ供給電力であれば、金属膜無しの粉体の輸送速度は Cr 膜上でのそれより一桁程度小さいこともわかる。以上のことより、数十 nm 程度の薄い金属膜パターンであっても SAW は金属膜上に現われず、粉体の輸送をかなり妨げるこ

とが明らかになった。この抑制効果を利用すれば、$LiNbO_3$ 基板上の任意の領域のみを意図的に粉体輸送がすることでき、誘導壁を金属膜パターンで代用できる可能性があることがわかった。

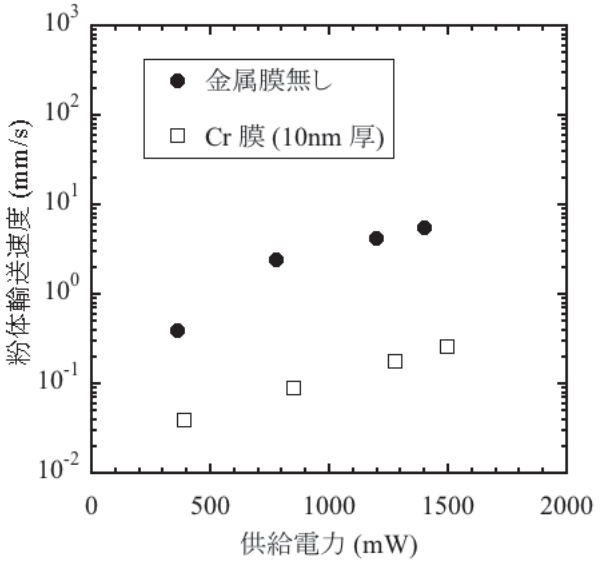


図６　IDT への供給電力と金属膜上での粉体輸送速度

5　SAW 粉体供給機の製作と輸送特性

前節の結果を基に、金属膜パターンを有する SAW 粉体供給機を設計・製作した。製作した SAW 粉体供給機の写真を図 7 に示す。この SAW 粉体供給機は 1 つ櫛歯電極 IDT（p = 400μm、 n = 20、 a = 5mm）と 2 つの三角形の金属膜パターン（傾斜角 5 度、 長さ 35mm、端部の壁間距離 300μm）で構成されている。これら金属膜パターンの材料は IDT のそれと同じ Cr/Al 膜（10nm + 1μm 厚）である。

この SAW 粉体供給機の評価実験の概略を図８に示す。この実験装置群は前節と前々節の粉体輸送実験で用いたそれらに電子天秤を追加して構成されている。増幅した高周波電圧を IDT に印加することで発生した SAW は圧電基板を伝搬し、IDT 前方 10mm に置かれた粉体（Cu：30mg）に到達する。そして、粉体は或る幅を持って SAW によって輸送路端部方向（SAW 下流側）に輸送されていくが、誘導壁代わりの金属膜パターンに当たるとそれらによって狭められ、基板の端点に集められる。これら集められた粉体は端点から 7mm 下方に設置された電子天秤に逐次落下する。このときの様子をハイビジョンカメラで記録し、落下した粉体重量を電子天秤で計測した。

SAW 粉体供給機の輸送時の写真を図９に示す。図(a)金属膜パターン有りの写真であり、図(b)は比較のための金属膜パターン無しのそれである。ここでは、SAW 粉体供給機の駆動開始からの時間を t で表す。図(a)を見ると、粉体が IDT 側と反対側に輸送され、薄膜パターンの存在によって粉体が徐々に集められていることが観測できる。そして、基板端部に到着した粉体は金属膜パターン間の隙間から落下していることもわかる。一方、図(b)を見ると、同様に粉体は IDT の反対側に輸送されているが、IDT 幅と同程度の端部から落下していることが観測できる。これらより、SAW 粉体供給機に金属膜パターンを設けることで、狙い通りの位置に粉体を精度良く的確に落下させることができることが明らかになった。

次に、図 10 に SAW 粉体供給機から落下した粉体重量の時間変化を示す。この図より、金属膜パターン有りの SAW 粉体供給機では徐々に重量が増しており、一方、金属膜無しのそれは 25 秒付近で急激に重量が増加していることがわかる。このことから、SAW 粉体供給機に金属膜パターンを設けることで、落とし込み位置の精度のみならず微細粉体の供給精度をも向上することが明らかになった。

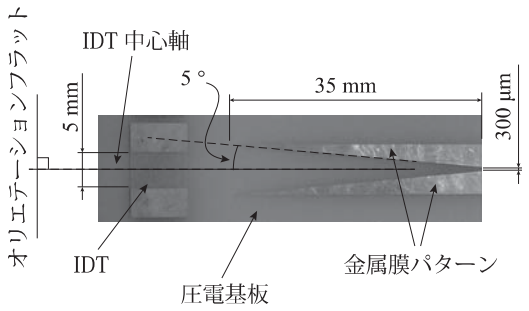


図７　製作した SAW 粉体供給機の写真

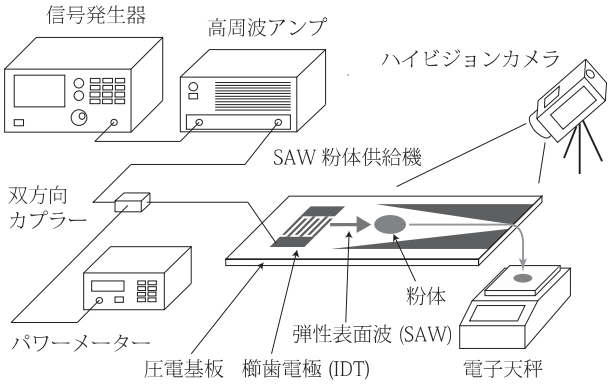


図８　SAW 粉体供給機の特性評価実験の概略

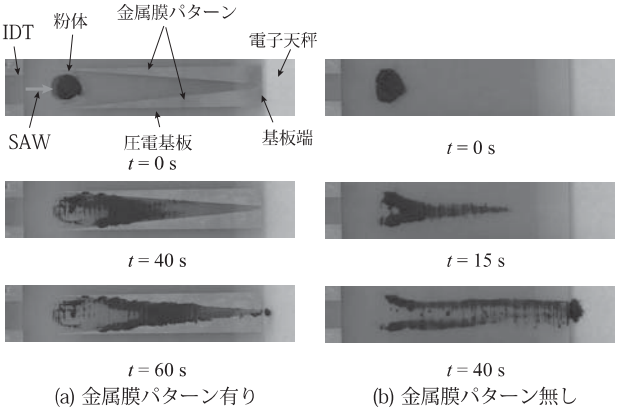


図 9　SAW 粉体供給機の粉体輸送の様子

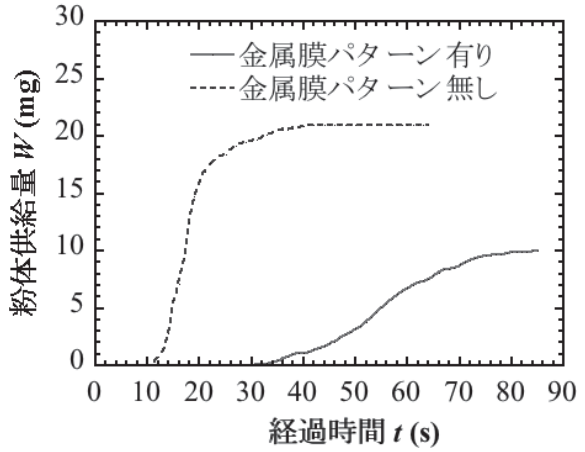


図 10　SAW 粉体供給機の供給重量の時間変化

6　結　　論

従来の共振周波数による駆動では、粉体を SAW 上流方向へしか輸送できず、SAW による粉体輸送の適応範囲に限界があった。そこで本研究において、共振周波数以外の周波数で SAW アクチュエータを駆動する新規の方式を提案し、SAW 下流方向への粉体輸送に世界で初めて成功した。そして、本駆動方式を用いた粉体輸送において、ピッチサイズが大きな IDT ほど粉体の輸送効率が高くなることがわかった。更に、SAW の伝搬路に設けた金属パターン上では、粉体輸送の抑制効果があることもわかった。

これらの結果を基に、粉体誘導用の金属膜パターンを有する高効率の SAW 供給機を設計・製作を行った。そして、製作した SAW 粉体供給機を用いることで、精度良く任意の位置に正確に粉体を落下させることができた。以上のことより、本研究の目標であった粉体輸送の高精度化については十分な成果を得ることができた。

参 考 文 献

1) M. Mracek and J. Wallaschek, Mertericals Chem. and Phys., 90, 378–380 (2005)
2) A. Sano, Y. Matsui, and S. Shiokawa, Jpn. J. Appl. Phys., 37, 5B, 2979-2981 (1998)
3) A. Wixforth, Superlattices Microstruct., 33, 389-396 (2003)
4) K. Chono, N. Shimizu, Y. Matsui, J. Kondoh, and S. Shiokawa, Jpn. J. Appl. Phys., 43, 5B, 2987-2991 (2004)
5) K. Sritharan, C. J. Strobl, M. F. Schneider, and A. Wixforth, Appl. Phys. Lett., 88, 054102 (2006)
6) S. Ito, M. Sugimoto, Y. Matsui, and J. Kondoh, Jpn. J. Appl. Phys., 46, 7B, 4718-4722 (2007)
7) T. Saiki, K. Okada, and Y. Utsumi, Micro System Technology, 16, 1589-1594 (2010)
8) T. Saiki, K. Okada, Y. Utsumi, Electronics and Communications in Japan, 94, 10, 10-16 (2011)
9) T. Saiki and Y. Utsumi, Electronics and Communications in Japan, 97, 1, 54-61 (2014)
10) M. Takahashi, and T. Higuchi, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, 43, 5, 901-906 (1996)

（問合せ先　才木常正）

〔技術改善研究事業〕

9　集積化マイクロ化学チップのための電気制御システムの開発

～ Lab-on-a-CD における PCR 用発電システムの検討 ～

濵谷　毅，才木常正，瀧澤由佳子，三浦久典

1　目　　的

近年、抗原抗体反応や環境ホルモン等をその場検出かつ多検体を同時に分析出来るデバイスとして Lab-on-a-CD と呼ばれるマイクロ流路システムが注目されている[1,2]。しかし、回転による遠心力のみで送液等を行うために、受動的な制御しかできないという問題があり、バルブ等の能動的な機能素子による流体制御や PCR として昇温機能を実現させるためには、Lab-on-a-CD 内で電力が必要となる。例えば、一般的な PCR 法においては常温から 95℃程度まで昇温させる。Lab-on-a-CD での反応場の容積（42nl）の液体を常温から 95℃まで昇温させる電力としては、数十 mW 程度が必要である[3]。

一方、CD への電力供給として、永久磁石を用いた従来の発電方式と電磁誘導方式がある。その中でも、外部装置が必要でないと言う利点から、我々は前者に注目した。

本研究では、シリコンウェハ上に発電用コイルパターンを作製し、永久磁石とウェハ回転を用いた発電機構による発電実験を行い、PCR として使用できる昇温が可能な電力を得られるかどうかの検討を行った。

2　デバイスの製作

スタート基板を４インチシリコンウェハとし、ウェハ上に発電用コイルを装備し、配線抵抗や磁石の大きさ等の制限の中でパターンを検討した結果、コイル配線幅：400μm、コイル配線間スペース：100μm、コイルサイズ：13mm、巻き数：９ターン、個数：16 個とした。今回は評価を容易にするためにコイルを４個直列に接続したものを１組とし、全体で４組の構成とした（図１参照）。

コイルの巻数と面積からコイル１ターンでの平均面積は、7.615×10^{-5} m² となる。使用する磁石の磁束密度は製品仕様から 0.33 T であり、１ターンを通る磁束は、2.513×10^{-5} T である。実験は 2000rpm の回転数で行うため、各コイルを磁束が横切る時間は、1.553 ms となる。コイル１個あたりの誘導起電力は、「巻数×磁束÷磁束がコイルを横切る時間」で求められ、0.146 V となる。

コイルは純アルミニウム（電気抵抗率：2.65×10^{-8} Ω・m）での作製とし、１つのコイルの配線長は 0.226 m、配線の断面積は、4×10^{-10} m² であることから配線抵抗は 15.0 Ω となるが、今回は４つのコイルを直列接続しているため、１組の配線抵抗は 60.0 Ω となる。

コイル両端に負荷抵抗 r を接続したときの負荷抵抗端で得られる電力 W は、起電力を V、配線抵抗を R とすると

$$W = [r\times V/(r+R)]^2 / r$$

となり、r=R の時に最大となる。起電力が 0.146 V、配線抵抗が 60 Ω であるので、負荷抵抗を 60 Ω とした場合、W は、88.2 μW となる。

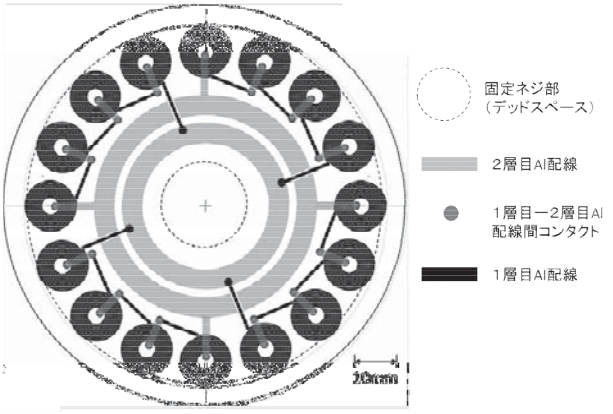


図１　パターンレイアウト

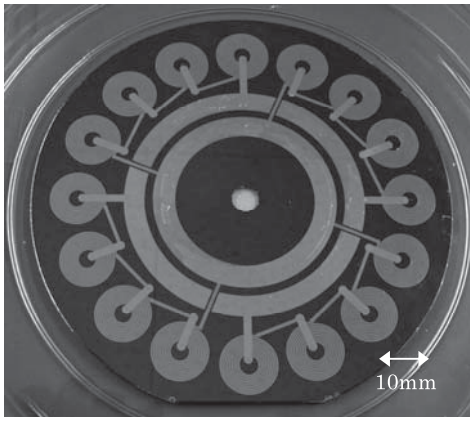


図２　製作した発電デバイス

3　実験方法

製作した発電デバイスを図２に、実験の概略図を図３に示す。製作した発電デバイスをモータで回転させる。発電デバイス回転時に各コイルが磁束を切るように磁石を設置する。回転時に発生する電力は、負荷抵抗端（56 Ω～1.5 kΩ）で発生する電圧を同時に回転させているデータロガーで取得して求めた。

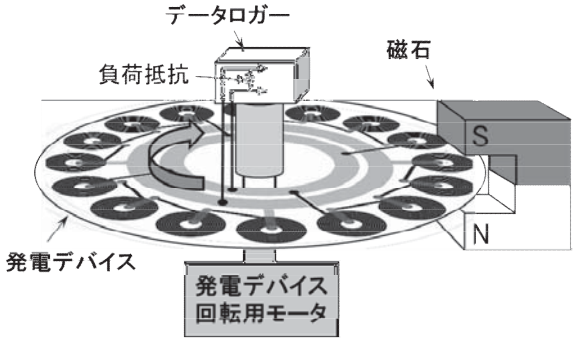


図３　実験の概略図

4　実験結果

回転数 2000rpm で、負荷抵抗値を変えたときの負荷抵抗端で得られた電力を図４に示す。評価したデバイスの配線抵抗は 102 Ω であり、負荷抵抗が同等の値となるときに最大電力が得られ、その値は、65.8 μW で、設計値の 77%となった。これはコイル１つで得られる電力であり、今回製作した 16 個のコイルすべてで同時に発電すると 1.05 mW となる。また、コイルの起電力は、負荷抵抗 1 kΩ の時に 0.148 V となり、設計値とほぼ同値となった。

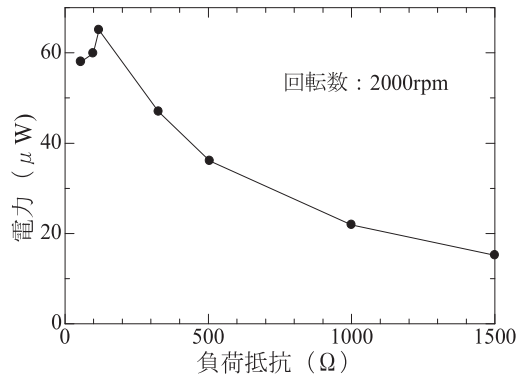


図４　負荷抵抗に対する発電電力

5　考　　察

コイルの起電力はほぼ設計値どおりとなったが、発電電力は設計値の 77%程度となった。この原因として、配線抵抗が設計値より大きくなっていることが推測される。１組のコイルにつき配線抵抗の設計値は、60 Ω であったが、実際の配線抵抗の値は 100 Ω 程度であった。この理由として設計時には純アルミニウムを想定していたが、試作では、1%Si 含有のアルミニウムを使用したためと考えられる。

今後、更に発電電力を上げて PCR として充分な電力供給を行うためには配線抵抗を下げる必要がある。今回は４つのコイルを１つのグループとして直列に接続したために配線抵抗が大きくなったが、各コイルを独立させることで配線抵抗を 60 Ω から 15 Ω に下げられる。更に配線材料として銀（電気抵抗率：1.59×10^{-8} Ω・m）を使用することで 15 Ω から 9 Ω に下げられる可能性がある。この場合の発電電力は、各コイルで 608 μW、デバイス全体で 9.74 mW となる。さらに、起電力を上げるために、コイル形状を楕円状にして磁束を通す面積を拡げ、最適な形状の磁石を選択することで起電力を上げられる。例えば、面積を 2 割増やせば起電力は 1.2 倍となる。また回転数を 4000 回転とすれば起電力は 2 倍となる。これらの対策を施すことで発電デバイス全体として 56 mW 程度の電力が得られると推計され、本発電デバイスで PCR 用の電力を賄うことができる。

6　結　　論

外部から供給される電力により PCR として使用できる Lab-on-a-CD を実現させるため、シリコンウェハ上にコイルパターンを作製し、永久磁石とウェハ回転を用いた発電機構による発電実験を行った。起電力はほぼ設計値通りとなったが、配線抵抗が設計値より大きくなり、発電電力は 77%となった。今回の試作により、配線抵抗の低減とコイルパターン等の工夫を行うことで、PCR として使用できる昇温が可能な電力を得られる可能性を見出すことができた。

参 考 文 献

1) R.Gorkin, J.Park, J.Siegrist, M.Amasia, B.S.Lee, and J.M.Park, Lab Chip, 10, 1758–1773 (2010)
2) Y.Tanaka, S.Okuda, A.Sawai,and S.Suzuki, Analytical Sciences, 28, 33–38 (2012)
3) 北條浩彦：原理からよくわかるリアルタイム PCR 完全実験ガイド，羊土社 (2013)

（問合せ先　三浦久典）

〔戦略的情報通信研究開発推進事業（フェーズⅡ）（総務省）〕

10　超薄型柔軟膜を用いた貼付け型ヒューマンインタフェースの研究開発

平田一郎

1　目　　的

本研究開発は、伸長により電気特性が変化する超薄型の柔軟膜を用いた貼付け型ヒューマンインタフェースの確立を目的とする。

薄型の柔軟膜（以降、伸長センサ）を物体に貼り付けるだけで、直感的な操作が可能な入力デバイスを実現することや、柔軟膜のしなやかさと薄さを活かして衣服や身体等の伸長変化を計測し、衣類の締め付け具合や身体の動作計測を実現することを目指した。

本研究は平成 25 年度から平成 27 年度の３年間、研究分担者の神戸大学と共同で実施した。柔軟膜を用いたヒューマンインタフェースの基盤を整備するため、平成 25 年度と平成 26 年度において下記３点を実施した。

・伸長センサの電極パターンの条件抽出（工業技術センターと神戸大学の両者で実施）
・計測プラットフォームの開発（主に研究分担者である神戸大学で実施）
・ヒューマンインタフェースとしての適用性の評価（主に工業技術センターで実施）

平成 27 年度は、上記３つのサブテーマを融合し、柔軟膜伸長センサの貼付け型ヒューマンインタフェースとして適用性・実用性について評価するため、下記２つのテーマについて神戸大学と共同で実施した。

・マトリクスタイプの伸長センサの衣服、身体への適用と可視化システムの構築
・貼付け型の伸長センサを用いた柔軟インタフェースの創出

また、外部の専門家で構成する柔軟膜センサ検討委員会を適宜開催し、委員からのコメントを研究開発にフィードバックさせた。

2　実験方法

2.1　伸長センサの電極パターンの条件抽出

電極の形状と厚さの条件が伸長センサの出力に与える影響について評価した。また、静電容量と伸長の関係やヒステリシスの有無、応答速度についても評価した。初期特性とヒステリシスについて評価するため、10×10 mm^2 の計測部分をもつ伸長センサを 0%から 100%の順番に 5%刻みで伸長させ、各伸長率と静電容量について評価した。

次に、伸長の方向に対して形状の異なる伸長センサを９種類製作して評価した。横 10 mm で縦 10、20、30、40、50 mm である４種類と、縦 10 mm で横 20、30、40、50 mm の４種類である。これらを 5%刻みで 10 回分、50%伸長率まで伸長させて計測・評価した（図１）。

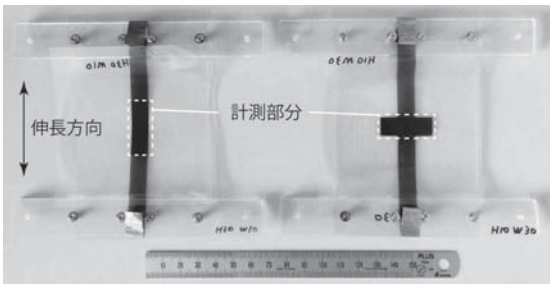


図１　実験に使用した伸長センサの一部

2.2　計測プラットフォームの開発

伸長センサの静電容量は数十から数百 pF と小さい反面、電極の抵抗値が 1kΩ以上もあるため、専用の回路が必要となる。さらに、平行電極を縦横に複数配置したマトリクスタイプの伸長センサはクロストークが発生してしまう。例えば、縦と横の電極を選択し、それらが交差する部分を計測した場合、計測部分以外の箇所にも影響が及んで計測対象の静電容量が正確に取得できない。この問題に対し、選択する２本の電極以外の電極を接地させる方法を検討した。さらに、安定的に計測するために伸長センサの電気的特性を考慮した計測プラットフォームを設計した。

2.3　インタフェースとしての適用性評価

関節に貼り付けた伸長センサの静電容量から運動している時の関節角度を算出する方法について検討した。長さ 60mm、幅 10mm の伸長センサを被験者の肘部に貼り付けて静電容量を計測した。上腕部と前腕部には赤外線マーカーを取り付けて、モーションキャプチャシステム（株式会社ノビテック VENUS３D）で計測した（図２）。上腕部と前腕部に取り付けたそれぞれ３点の光学式マーカーは剛体設定を行った後、６台の赤外線カメラを用いて撮影した。剛体設定した上腕部と前腕部のマーカーの中心位置から回転角を計測し、各部位の回転角から肘の関節角度を算出した。

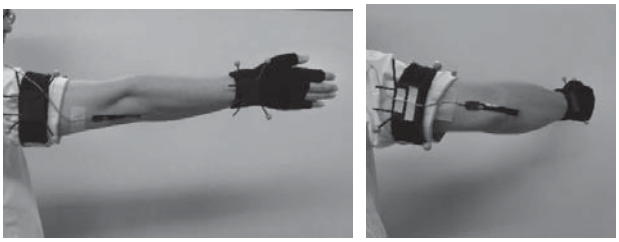


図２　関節角度の計測実験

２.４　マトリクスタイプの伸長センサの可視化システム構築と衣服・身体への適用

マトリクスタイプ伸長センサは複数点の計測点を持っており、各計測点の伸長状態を確認しにくい。そこで、伸長状態を容易に確認するための可視化アプリケーションを製作した。さらに、伸長センサを用いて衣服の状態と衣服圧との関係について比較実験した。３種類の加圧サポーターに、２枚の伸長センサを貼り付けた。貼り付け位置は、ふくらはぎの後部内側と外側である。最初に、脚型マネキンのふくらはぎ部に衣服圧測定器プローブ（エアバッグ）を組み込み、サポーターを着用させた際の衣服圧と伸長センサの静電容量を取得した（図３）。次に、３名の実験協力者に貼り付けたサポーターの静電容量から衣服圧を算出した。

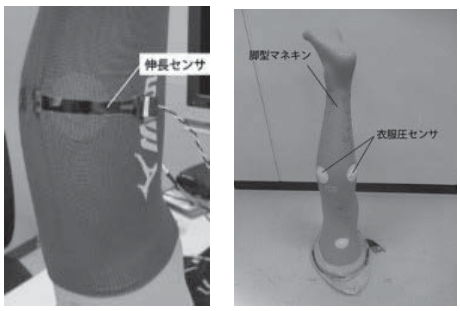


図３　サポーターに貼付けた伸長センサと計測に使用した衣服圧計測マネキン

２.５　新たな柔軟インタフェースの創出

物体に伸長センサを貼り付け、物体に変位を与えることで伸長センサの静電容量が変化する。そこで、変位が生じる点を作用点とした場合、伸長センサの伸びから作用点の変位を推定することが可能であると推定した。この仮定を検証するため、回転式のレバー型の入力デバイスを試作して検証実験を行った。本研究で製作した入力デバイスを図４に示す。構造部材は３次元 CAD で設計し、3D プリンタで製作した。４枚の伸長センサは、レバーの底部と土台の４隅にそれぞれ固定した（図４右）。

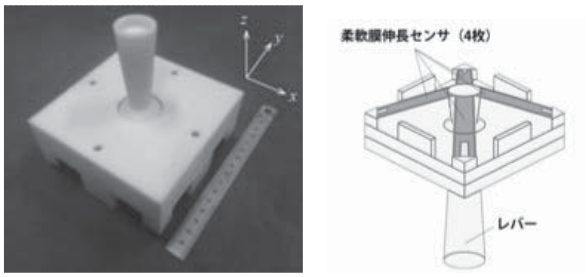


図４　製作した入力デバイスと伸長センサの貼り付け位置

３　結果と考察

３.１　伸長センサの電極パターンの条件抽出

伸長センサは初期特性が存在するため、伸長した場合の静電容量の変化と、弛緩した場合の静電容量の変化が異なることがわかった。また、一度伸長が与えられた後は、このヒステリシスが小さくなることを確認した（図５）。さらに、１方向の伸長のみならず、面的な伸長変化計測も可能であり、安定的に計測するためには面的な伸長が望ましいことがわかった。電極の厚さは静電容量に影響を与えないことを確認した。

伸長方向に対し、形状の異なる９種類の伸長センサを 50%伸長率まで伸長させた場合の伸長率と静電容量は、全種類とも伸長率と静電容量に相関があったが、縦長センサと横長センサでは静電容量の変化に違いがみられた（図６）。

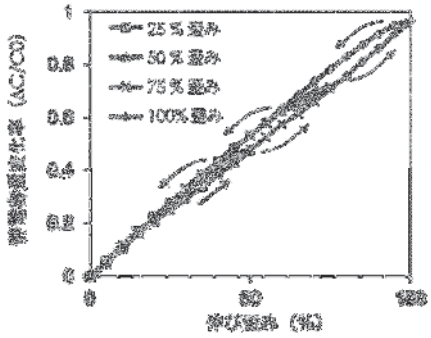


図５　伸び歪みと静電容量変化率の関係

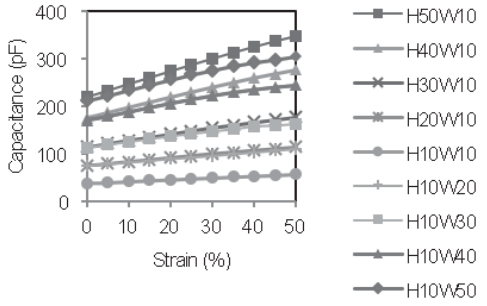


図６　形状の異なる９種類のサンプルに対する伸長と静電容量の関係

３.２　計測プラットフォームの開発

身体に装着可能なサイズ（縦 75 mm、横 111 mm、高さ 25 mm）の計測プラットフォームを開発した（図７）。クロストークを低減化するため、単極双投型マルチプレクサを採用した。電極の選択や、計測周期の制御を柔軟に行えるようにするため演算器に FPGA を用いた。それにより８個の静電容量を並行して計測可能となり、8×8 のマトリクスタイプを用いた場合でも最速 1ms のサンプリングタイムを実現した。

伸長センサとの接続方法は、接続と切断を容易に行えるようにするため角型コネクタを使用した。さらに、モーションキャプチャとの同期を容易とするためのトリガを設けた。電源は、モバイルバッテリ等から USB コネクタ経由で行い、60Hz までの計測周期であれば、Bluetooth モジュールを使用してデータを無線で送信できる仕様とした。

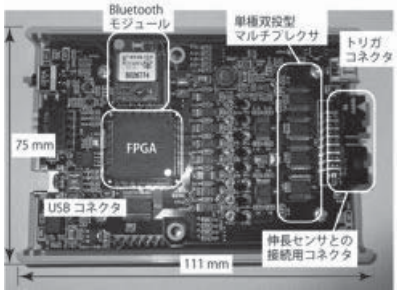


図７　開発した計測プラットフォーム

３.３　インタフェースとしての適用性評価

モーションキャプチャで計測した肘の関節角度と伸長センサの静電容量との関係を図８に示す。左の縦軸はモーションキャプチャで計測した肘部の関節角度を表し、右の縦軸は伸長センサの静電容量（図８では破線）を表している。制電容量との関係を分析しやすくするため、このグラフでは肘を伸ばした状態を 0° に設定し、屈曲する程角度が増加するよう位相をさせている。実験の結果から、肘部の屈曲に伴い伸長センサの静電容量も変化していることが確認できた。なお、５回実施した実験全てにおいて同様の結果であった。以上により、伸長センサを関節部位に貼り付けることで、容易に関節角度を計測できると考えられる。この方法により、ビジョンベースの計測が不可能な場合においても動作計測が可能となる。この方法をモーションキャプチャと比較した場合、計測用のカメラ位置のセッティングやキャリブレーションの必要がないため、モーションキャプチャよりも手軽に関節角度の計測が行える。

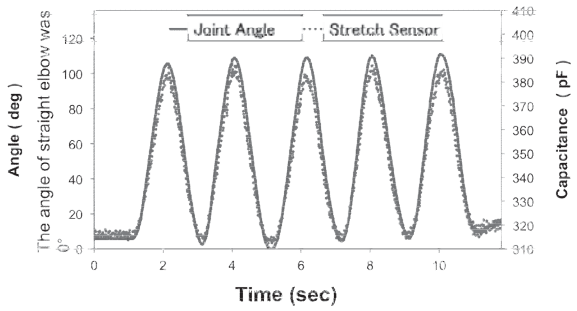


図８　関節角度と静電容量との関係

実験結果をもとに、関節角度の変化状況を可視化できるアプリケーションを開発した（図９）。このアプリケーションは、手首と肘の関節角度の変化状況をタブレット上にリアルタイムに可視化することが可能なもので、60Hz の周期で計測したものが表示される。複数の伸長センサの変化状況を同時に Bluetooth 経由で受信し表示可能であるため、身体に貼り付けた伸長センサの変化状況（伸長センサを貼り付けた関節の角度）を 10m 程度離れた場所からタブレットにて確認できる。このアプリケーションを用いて「インタラクション 2015」に出展したところ、スポーツや福祉等の様々な分野の研究者からの関心も高く好評を得ることができた。

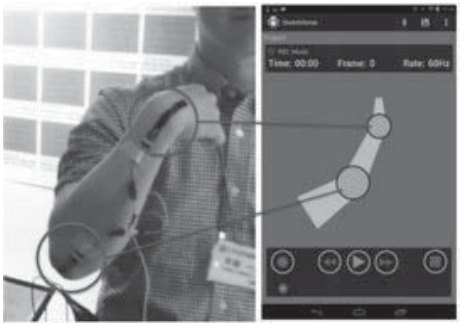


図９　関節角度の計測アプリケーション

３.４　マトリクスタイプの可視化システム構築と柔軟膜伸長センサの衣服・身体への適用

マトリクスタイプの可視化システムを構築した（図１０）。この可視化システムは、計測プラットフォームに接続した複数の伸長センサの静電容量データを Bluetooth 経由にてタブレットで受信しデータロギングできる仕様とした。データ計測中は、タブレット画面上に伸長センサの変化具合がサークルサイズと色の変化でリアルタイムに表示させることにより、伸長状態を容易に確認できるようになった。また、計測周期を 30Hz と 60Hz に切り替え可能にすることにより多様性を持たせた。

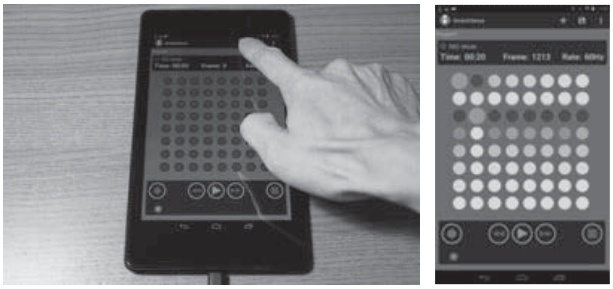


図１０　可視化アプリケーションの製作

衣服の状態と衣服圧との関係について比較実験した内容について、ふくらはぎの内側と外側の計測結果を図１１に示す。伸長センサと空気圧センサの間で 1 kPa 以上の誤差が生じたが、これはマネキンの凹凸により伸長センサと空気圧センサに微小な隙間ができたことが原因と考えられる。次に、3 人の被験者に静電容量から衣服圧を算出してプロットした結果、誤差は 0.2 kPa 以下となり、計測レンジを 10 kPa とした場合の誤差率が目標値の 10%よりも小さな値となった（図１２）。

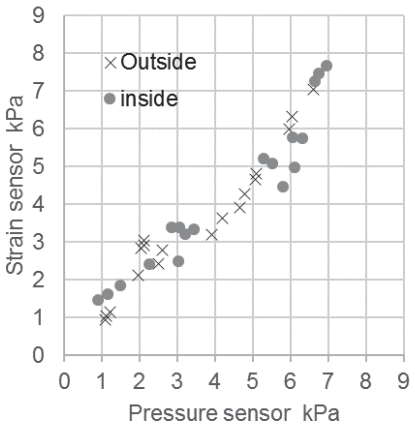


図１１　衣服圧センサと伸長センサの比較

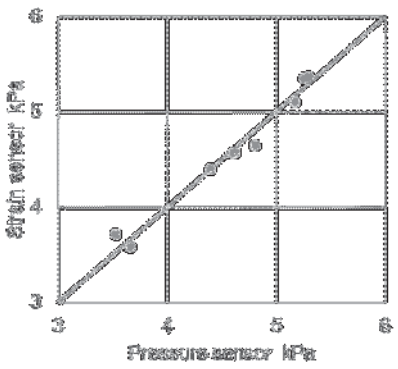


図１２　被験者による衣服圧センサと伸長センサの比較

３.５　新たな柔軟インタフェースの創出

「伸長センサの伸び量」と「レバー底面部の変位」の関係からレバーの回転量との関係はレバーの長さから幾何学的に求めることができた。図１３に、レバーが z 軸となす角 θ の目標値と推定値を示す。レバーの回転角度のレンジの 30° を 5 段階（6° ）の分解能をもつインタフェースとした場合、2.8° はその分解能の半分以下の誤差である。したがって 5 段階とした場合は 100%の確率で正確に入力を識別することが可能である。この条件において入力の認識率 95%は達成できている。ただし、実際のところ 2.8° が人間の感覚からは十分に小さいためアナログのインタフェースとして滑らかで意図通りの入力ができた。これらのから、人間の入力装置としては十分な精度を備えるインタフェースが容易に作成できることを確認できた。

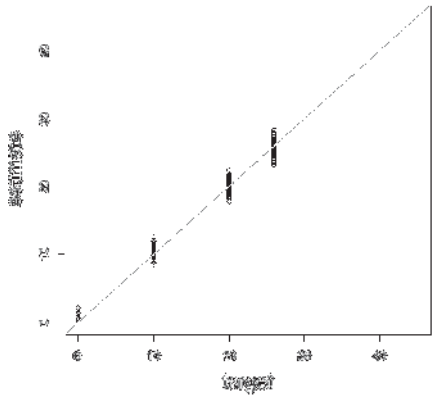


図１３　レバーの回転角度の目標値と推定値

４　結　　論

本研究により、カメラでは計測の難しい隠れた部分の動作計測、さらにその運動の計測結果を入力信号として利用することが可能となった。さらに、デザインの自由度や柔軟性を付与した新しいインタフェースを提案するこができた。これらは、健康に関する分野やノンバーバルなコミュニケーションに関する分野の研究開発へ応用が可能である。

謝　　辞

この研究は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）「超薄型柔軟膜を用いた貼付け型ヒューマンインタフェースの研究開発」を受けて行われています。

研究分担者として神戸大学大学院システム情報学研究科の中本裕之助教に参画頂きました。

（問合せ先　平田一郎）

〔日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究C〕

11　屋外対応型ウェアラブル・モーションキャプチャーシステムのデザイン

後藤泰徳

1　研究の背景

優れたプロダクトデザインのためには、被験者による人間工学的な計測や評価実験が必要である。特にモーションキャプチャーは映画やゲームなど映像制作での使用を前提としており、優れた性能を有するが、限られた開発期間の中で開発コストを考えなければならない工業製品のデザインには敷居が高い。設計改善のための人体の姿勢や動作計測が場所を選ばず、簡便かつ安価にできることで、日常での人体動作データを得ることが容易になれば、工業製品の人間工学的価値の向上が図ることができる。また、学術的な観点からも日常の生活シーンの中で屋外活動での姿勢や動作のデータロギングが簡易に行えるので、人体の姿勢・動作データの蓄積が進む。

2　研究の目的

研究の全体構想は、屋外でも使用可能なウェアラブル・モーションキャプチャーシステムを開発することである。これによりスタジオ以外の日常空間などで人間工学的な動作や姿勢のモニタリングを可能にする。

モーションキャプチャーは、カメラが発光する赤外線をマーカの反射光から位置計測するシステムや、磁界発生源、磁力計測部（センサ）によるシステムなどがあり、リアルな動きをデータとして取ることができるが、いずれも高額であり、赤外線方式は専用スタジオを必要する。また、マーカやセンサを関節部位に個別に装着しなければならない。近年出てきたキネクトにしても、モニターとカメラの前での胴体撮影が前提であるので、外部環境でデータ採取する場合はモニターを携行しなければならない。

そこで、各関節に動作量を計測する関節計測モジュールと、その変移量を同時計測する通信基板、データロギングを担当するスマートフォンを衣服内部に内蔵でき、低コストで人体の動きをキャプチャーする衣服型動作入力装置を中核としたウェアラブル・モーションキャプチャーシステムをデザインし、試作した。このシステムは、日常の生活シーンの中や屋外活動での姿勢や動作のデータロギングが簡易に行えるのが最大の利点である。

3　研究の方法

3.1　関節計測システムの基本設計と試作

各関節部位の動きを計測するため、複数軸用のポテンショメータのケーシングを各々の関節部位に合わせてCAD により設計し、RP にて樹脂造形する。LANケーブルが絡まず、ポテンショメータ故障時にも交換が容易になるような形状や構成の設計を行った。

この設計データから、RP で図２の写真のように関節計測モジュールを試作した。動作データのロギングに関しては、Gainerを用いた。Gainerとアドビ社製グラフィックソフトFlashにより、３ 軸の回転変移量を視覚化した。Gainer（ゲイナー）とはアーティストやデザイナーがユーザーインタフェースやメディアインスタレーションを製作するための開発環境である。

Gainerを利用することにより、センサからの情報をPCに取り込み、PCからアクチュエータの制御を行うことができる。 Gainerは誰でも簡単に使える開発ツールキットとして2006年に小林茂氏らによって開発された。Flashを用いてGUIのデザインが可能である。

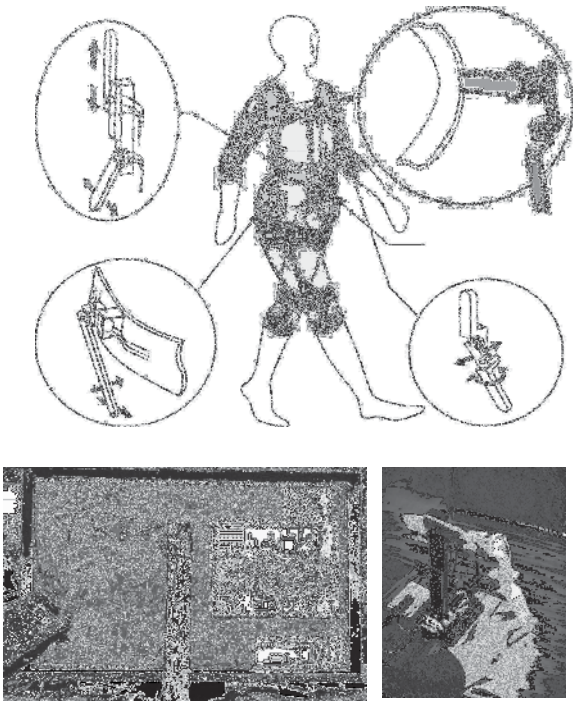


図１　肩関節計測モジュールの初期モデル

３．２　人体動作に沿う関節計測モジュールのデザイン

図１の初期モデルはセンサ動作確認のためのものであったので、次段階では関節動作追随を設計要件として、図２のような肩関節計測モジュールをリデザインした。肩の関節をまたぐようにして肩甲骨と上腕骨に装着することを想定しており、CADアプリケーションSolid Worksを使用して設計している。肩関節の構造を確認しながら、肩関節計測モジュールの設計を進めた。図２は、肩関節模型にCADデータ画像をアドビ社製フォトショップで合成したものである。

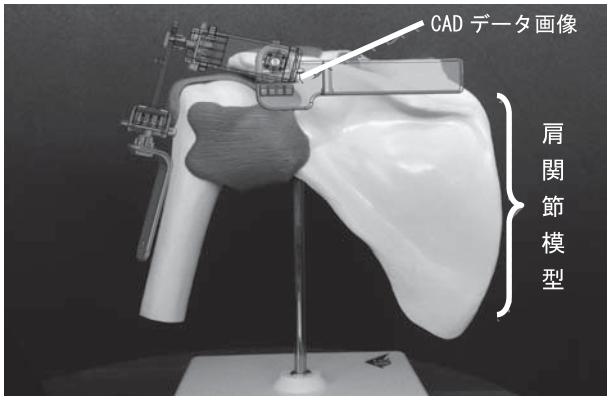


図２　肩関節計測モジュールの再設計

肩関節の動きは他の関節にくらべて複雑で、鎖骨の回旋を伴ってはじめて肩甲骨を60度程度挙げることが可能になる[1]。鎖骨の回旋がなければ、上肢は30度程度しか、頭上方向に上げることしかできない。したがって、肩関節計測モジュールの肩甲骨にあたる部分と肩甲骨を固定し、動きに追随するようにする必要がある。以上の点を考慮しながら、デザインを進めた。

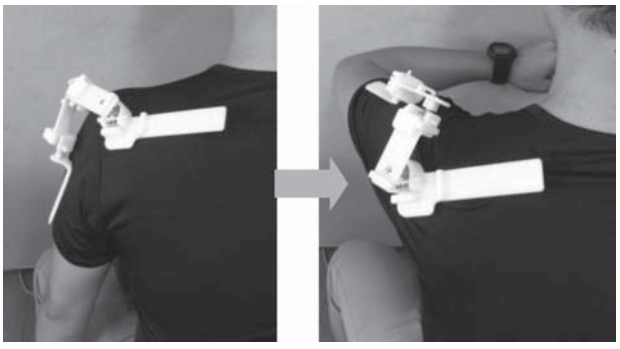
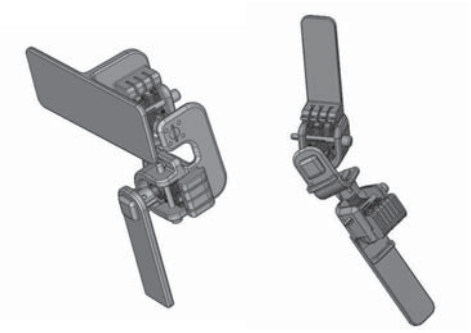


図３　肩関節計測モジュールのモデリング

このデザインのCADデータを3Dプリンタで出力したものが図３である（アクリル系紫外線硬化樹脂製）。肩甲骨と上腕骨に装着し可動した結果、上腕の動きに良好に追随した。



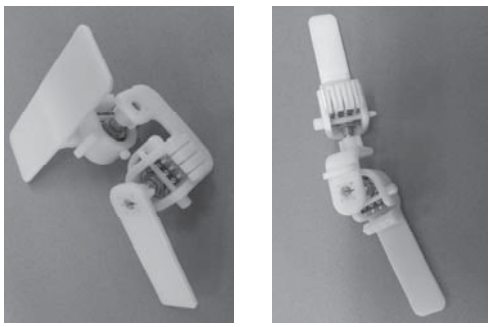




図４　股関節（左）・肘（右）計測モジュールの設計とプロトタイピング

肘関節計測モジュール、股関節モジュールなど他の部位のモジュールについてもデザイン＆プロトタイピングを進めた（図４）。製作した肘関節計測モジュールは屈伸・屈曲、内・外旋に対応している。股関節計測モジュールの場合、人体の股関節は屈伸・屈曲、回内・回外、内・外旋の３軸からなる動きであるが、現状の股関節計測モジュールでは２軸までしか対応していない。この点が今後の改良課題である。

また、その他の設計上の留意点として、ポテンショメータは、交換できるように２本のピン

を外せば取り出せるようにした。またハンダ付け部分が最も故障しやすいと想定し、引き抜けないように線を挟める形状にした。

次に、これまでデザインした関節計測モジュールをより人体に沿うようにするため、モジュールの一部分を柔らかい素材とする、いわゆる傾斜設計を行い、3Dプリンタで出力した。現在使用している機種（㈱ストラタシス・ジャパン社製Connex500）は同一部品の中で、部位別に硬度を変更することが可能である。これにより、ゴムのような柔らかい造形が可能である（図５左）。

この機種はラバーのような素材（ただし、ラバーそのものではないので、弾性変形はしない）のように成形できる。接触部材を柔らかくすることで、肩部位の曲面に沿って変形しながらフィッティング可能である。この傾斜設計により、図５右写真のように身体に沿う計測モジュールを製作した。

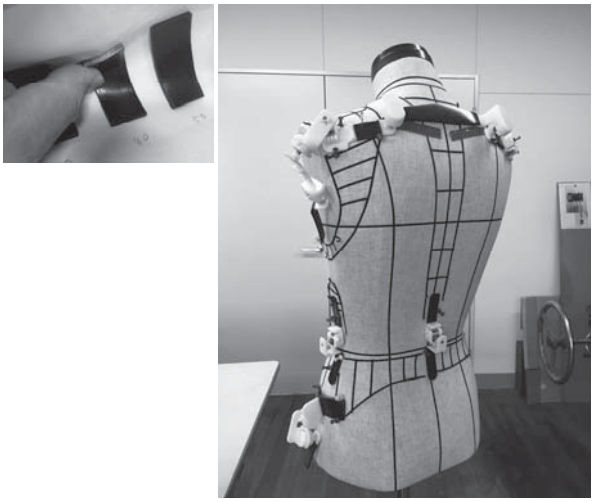


図５　硬軟素材を用いた傾斜設計による3Dプロトタイピング

３．３　通信モジュール

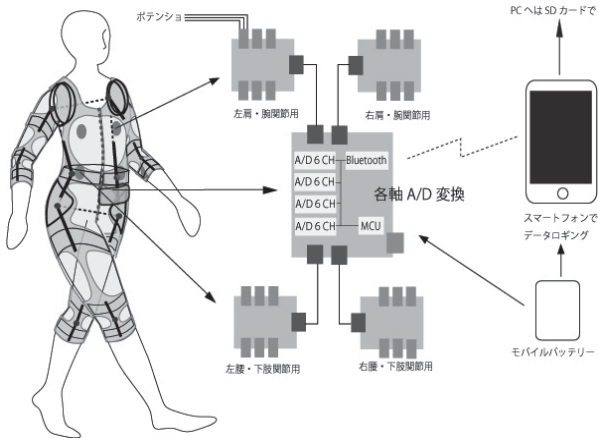
Gainer では、4CH までしか信号入力ができないので、本研究では独自の通信基板と通信ソフトウェアの開発を行った。

まず、人体の動きを左右上下半身４つのブロックにわけ、各々に最大６軸の関節の回転または直線的な変移をポテンショメータの電位差を捕捉するハブ基板を設置し、3Dプリンタで出力したウエストポーチ状のボックス（図６）内部に設置する基板にフラットLANケーブルで連結する。フラットLANケーブルを用いたのは身体に沿いやすくするためである。

この基板で集められた各軸の変移量をA/D変換＝デジタル化して、同じくウエストポーチ状のボックスに収められるスマートフォンにBluetooth無線で送り、記録するようにした。

動作入力部とデータロギング部を無線化することで、要求される実験に応じて、データロギングを担当するスマートフォン（もしくはタブレット）を実験者が保持し、データロギングを管理することも可能になる。

動作解析などはPCで行うため、スマートフォンのSDを介してデータ転送する。



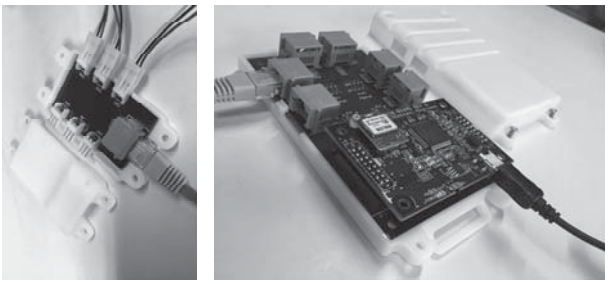


図６　各計測モジュールの動作データをスマートフォンに送る通信モジュール

ウェアラブル・モーションキャプチャーシステムは、腰に付けたスマートフォンに自身の動きを記録する方式を基本とするが、実験目的や実験環境によっては、被験者と計測者に分かれた方がよい場合もある。そこで、被験者が各関節計測モジュールと通信モジュールを装着した後、観察者が離れた場所からタブレット端末で動作データをBluetoothで受信し、計測をモニタリングできるようにした。スマートフォンの場合は、基本的にデータログの開始・停止ボタンのみであるが（図７）、タブレットの場合は、実験者が被験者の各関節の動きを視覚的に追跡

でき、また複数関節の動きを視認できるような画面デザインにした（図８）。

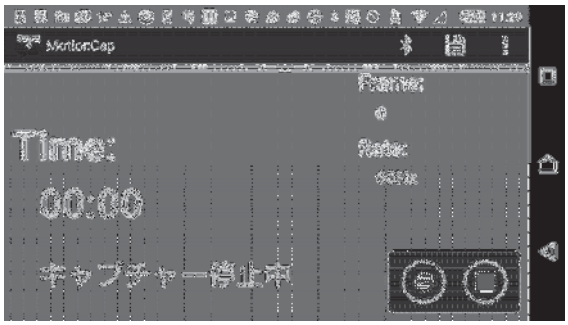


図７　データロギング画面：スマートフォン

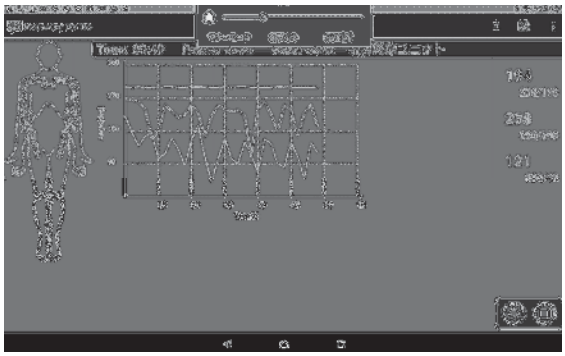


図８　データロギング画面：タブレット

４　研究成果

以上の開発経過を経て、動作計測可能なシステムが完成した。このシステムは全身の動作測定だけでなく、開発対象である製品によって、測定する身体部位に応じたカスタマイズが可能である。例えば，可搬工具の動作検証であれば、被験者の利き腕側上肢のみを計測すれば良いので、装着ウェアも鷹匠が着けるような腕部のみのシンプルな方が、測定モジュールの装着も容易になり、被験者の負担軽減と実験効率があがる。本システムでは、各関節計測モジュールと通信モジュール、データ記録部（スマートフォン、またはタブレット）と、機能・部位別にモジュール化したことで、目的に応じたカスタマイゼーションが可能である。

また、このシステムによる計測データは筋骨格モデル機構解析システム等のデジタルヒューマンソフトウェア系アプリケーションを用いることで、動作・姿勢評価が可能である。

図９はスマートフォンの関節計測モジュールの計測データを筋骨格モデルシミュレーションソフト AnyBody でモデル化した例である。上腕の前方への回転方向の関節ポイントに、計測モジュールのデータ（CSV 形式）読み込み、シミュレーションしている。このように、解析ソフトと組み合わせることで、目的に応じた解析が可能となった。

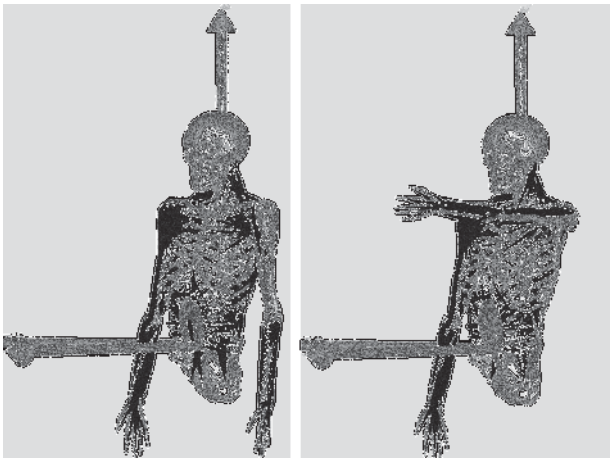


図９　動作データから筋骨格モデルシミュレーションした例

今回の研究目的は、この一連の計測システムをデザインすることであり、当初の目的は達成した。今後はこの図９のように、実際の人体動作計測において活用し、各種工業デザイン開発のための人間工学的シミュレーションに活用する。

さらに、本研究で開発した各関節計測モジュールの基本形をもとに、用途に応じたカスタマイゼーションと、角度計測以外のセンサとの併用による統合的な測定環境形成へと展開していきたい。

参 考 文 献

1)　Rene Caillet 著, 荻島秀男訳：運動器の機能解剖, 第 4 章，肩の機能解剖，医師薬出版,108–109 (2000)

（問合せ先　後藤泰徳）

〔兵庫県 COE プログラム推進事業 応用ステージ研究〕

12　携帯型高感度 ELISA 分析機用マイクロフィルターの開発

東山幸央，才木常正，瀧澤由佳子

1　目　　的

内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）は、環境汚染物質として重要な測定対象となっている。ノニルフェノール（NP）は、これまで大量に使用されてきた工業用洗浄剤などの微生物分解産物として環境中に存在しており、NP の魚類に対する予測無影響濃度（液中）は、環境省によると 0.608 μg/kg である[1)]。

現在、NP による環境汚染の分析には GC/MS 法が使われているが、GC/MS 分析装置では現地でのその場分析が非常に困難である上、前処理が複雑で検体当たりの分析時間が 30～60 分掛かるため、膨大な検体数となる環境試料分析に用いるには課題が多い。

一方、NP の多検体分析法としてイムノアッセイ（免疫測定）法が知られているが、この分析法での定量限界は 5 μg/kg であり[2)]、魚類に対する予測無影響濃度およびそれ以下を高感度に測定することができない。

兵庫県立大学では、マイクロリアクターと酵素免疫測定（ELISA）法とを組み合わせた NP 分析法を開発した[3)]。高感度化のために多段化すると問題になる装置の大型化については、マイクロリアクターを積層型とすることで解決した（図１）。酵素免疫反応場となるマイクロフィルターは、Spring-8 の放射光微細加工技術により、PMMA 樹脂から作製した（図２）。

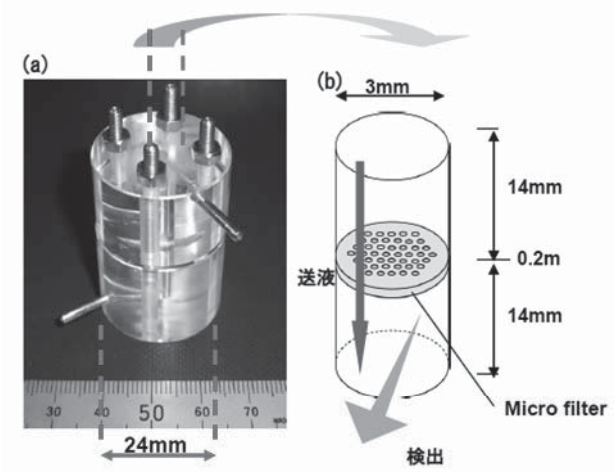


図１　（a）積層型マイクロリアクターの外観およびマイクロフィルターと（b）反応槽の模式図

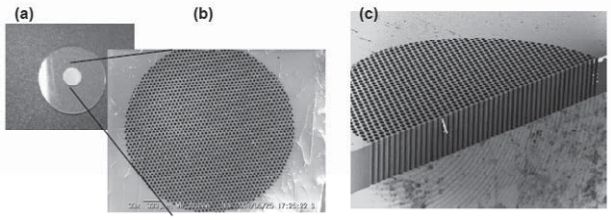


図２　（a）マイクロフィルターの外観写真（b）SEM 写真および（c）断面図

このマイクロフィルターは、数 mm サイズのリアクターの内部に、高アスペクト比の微細貫通孔が 2000 個以上集積されており、この微細空間を化学反応場に利用することで、高速かつ高選択性の反応が可能となる。また、システム全体の流路長が短く、低圧で送液制御が可能であることから、装置全体を小型化しやすいメリットがある。

しかし、放射光微細加工は設備面・コスト面では不利となるため、本研究では簡便な設備・低コストでのフィルター作製法としてエレクトロスピニング法（ESP 法）を用いたマイクロフィルターの作製を試みた。

以下、内分泌攪乱化学物質として知られる NP の微量高感度測定用フィルターの作製について検討した。

ELISA 法は、抗原と抗体が 1：1 の関係で特異的に反応する抗原抗体反応を利用する分析法であり、競合法と非競合法がある。低分子である NP（分子量 220.36）の分析には、固相表面に固定化された一定量の抗体に対して、測定対象物質である抗原と、酵素を予め結合させた抗原（酵素標識抗原）とを競合的に反応させる競合法が一般的に用いられる（図３）。

試料中の NP の含有量が多いほど、抗体と反応する酵素標識された NP の量が減少するため、抗原濃度と酵素活性との関係は、図３のような負の傾きを持ったグラフとなる。

ここで、ELISA 法の技術的課題として、固相への抗体固定化法として物理吸着法[4)]が用いられるため、固相に固定化される抗体量を均一にすることができず、測定誤差や再現性低下の原因となっていた。

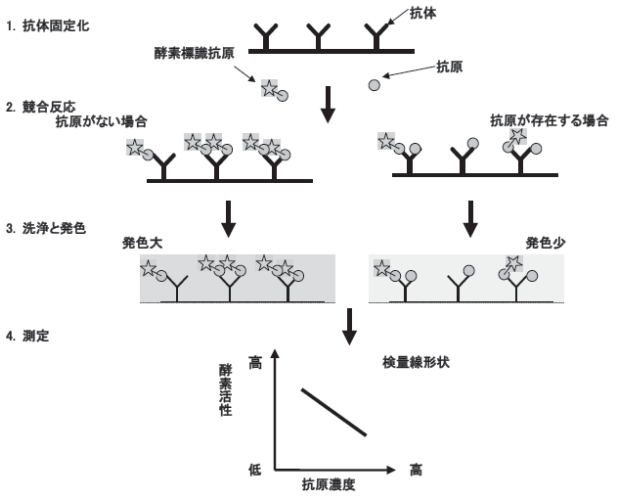


図３　ELISA（競合法）測定原理

この課題の解決のために、新規 ELISA 法（図４）を提案した。図３とは逆に、抗原を固相表面に固定化した樹脂を作製し、酵素標識抗原の代わりに酵素標識抗体を用いて図３と同様の反応を行う。試料中の抗原（NP）の含有量が多いほど、酵素標識抗体の抗原固定化相への反応を阻害するため、NP の含有量と酵素活性は、図３と同様の負の傾きを持ったグラフとなる。抗原固定化樹脂の単位重量あたりの抗原量は、重合処方を調整することで変更することができ、従来の物理吸着法よりも、バラツキを低減することができると考えられる。

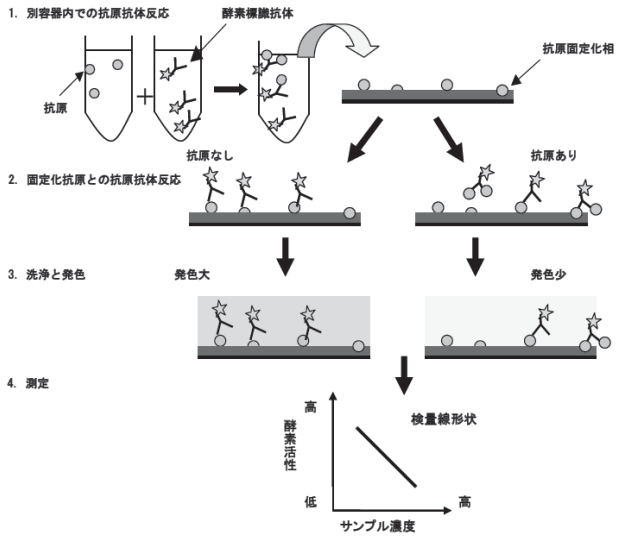


図４　新規 ELISA 法の測定原理

この新規 ELISA 法を適用するために、必要な構造を図５に示す。固定化相は、図２の積層型マイクロリアクターが PMMA 製であることから PMMA とし、抗原は測定対象物質である NP からノニルフェニル基とした。

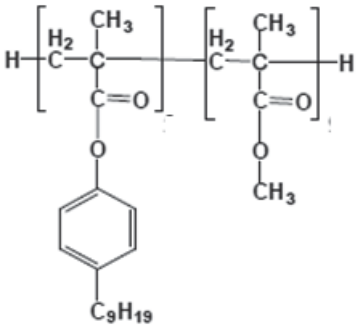


図５　マイクロフィルターに必要な分子構造

2　実験方法

2.1　ESP 法による NP 分析用フィルターの作製

2.1.1　ポリメタクリル酸メチル（PMMA）への NP の直接添加と ESP 法による膜の作製

PMMA（Mw=350,000）の 10wt%DMF 溶液を印加電圧 10kV、ノズルーターゲット距離 10cm にて ESP 噴射した。また、PMMA に対して 50wt%および 10wt%の NP を添加し、同様に ESP 噴射した。PMMA 単独ではナノファイバー膜が得られたが、NP を混合するとマイクロファイバー膜が形成されなかった。

2.1.2　NP 含有樹脂（コポリマー）の合成と ESP 法による膜の作製

メタクリル酸メチル（MMA）のメトキシ部が NP と置換したノニルフェニルメタクリレート（以下 NPM）と MMA を共重合させて NP 含有樹脂（コポリマーp（NPM-co-MMA））の合成を試みた。

まず前駆体として、NPM の合成を検討した。ピリジン 9.79g と NP22.72g、クロロホルム 50ml を混合し、メタクリル酸クロライド 12.5ml を滴下し、室温で一晩攪拌した。反応溶液を分液ロートに移し、クロロホルム 100ml、1N-塩酸 100ml と飽和食塩水を加えて、反応液を下層の有機相（白濁）と上層の水相（透明）に分離した。有機相に無水硫酸ナトリウムを加え、室温で一晩攪拌した。濾過・濃縮後、シリカゲルカラムクロマトグラフィー（展開溶媒：クロロホルム）にて NPM を精製した（図６）。

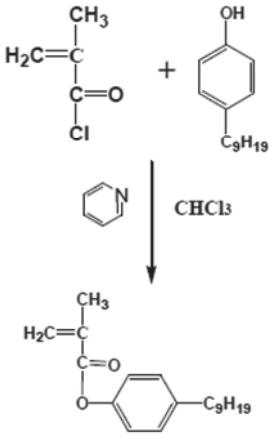


図６　NPM の合成スキーム

NPM7.0g と MMA2.5g、ベンゼン 50ml を混合し、アゾビスイソブチロニトリル（AIBN）0.164g を加えて窒素置換しながら 65℃で一晩攪拌した。メタノール中に展開して再沈殿させ、濾過洗浄後、NP 含有樹脂（コポリマーp（NPM-co-MMA）を得た（図７）。

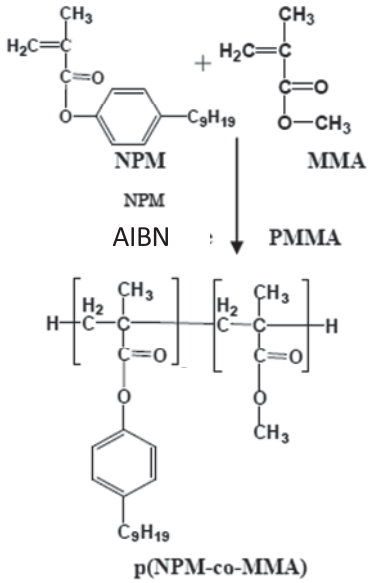


図７　NP 含有樹脂の合成スキーム

NP 含有樹脂の 20wt%DMF 溶液を印加電圧 10～15kV で ESP 噴射を行ったが、マイクロファイバー膜が形成されなかった。そこで NP 含有樹脂と PMMA（Mw=350,000）との 1/1 混合物の 10wt%DMF 溶液を調製し、印加電圧 10kV で ESP 噴射を行い、マイクロファイバー膜を得た。

３　結果と考察

３.１　ESP 法による NP 分析用フィルターの作製

３.１.１　ポリメタクリル酸メチル（PMMA）への NP の直接添加と ESP 法による膜の作製

最も簡便な NP 含有膜の作製方法として、NP を PMMA へ単に混合する方法がある。既に放射光微細加工では、この方法でフィルターの作製に成功している[2)]。しかし、今回の ESP 法による検討では、NP の添加量が増える毎にマイクロファイバー膜の形成状況が悪化した（図８）。また赤外分析より、NP10wt%添加サンプルに芳香環の吸収（Ph-H：1512cm^{-1}）が見られないことから、マイクロファイバー膜に NP が含有されていないことが分かった（図９）。これより NP は ESP 噴射の際に溶媒分として挙動し、マイクロファイバー膜（固形分）形成に

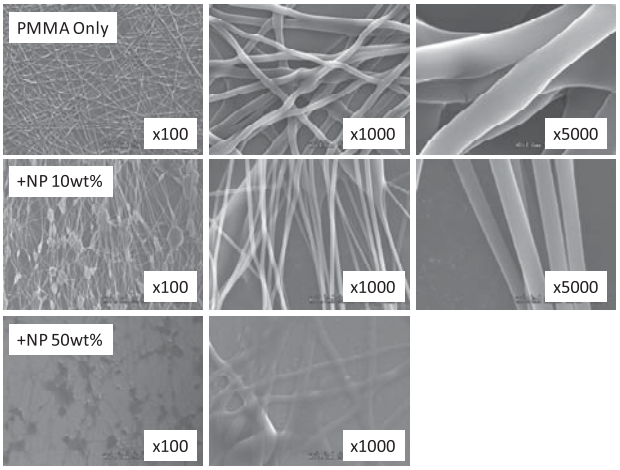


図８　ESP によるマイクロファイバー膜形成

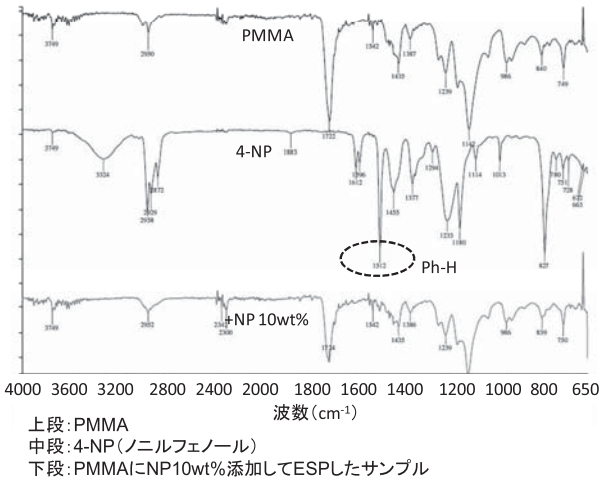


図９　NP–PM MA 混合溶液からの ESP 噴射試料の赤外スペクトル

は加わらなかったと考えられる。よって NP を PMMA へ単に混合するだけでは、ESP 法では目的のマイクロファイバー膜が得られなかった。

3.1.2　NP 含有樹脂（コポリマー）の合成と ESP 法による膜の作製

3.1.1より ESP 法では、NP を高分子鎖に直接化学結合させる必要があるため、まず前駆体の NPM を合成し、MMA と共重合させることで NP 含有樹脂（コポリマーp（NPM-co-MMA））を作製した。NP 含有樹脂の 20wt% DMF 溶液を ESP 噴射したが、マイクロファイバー膜の形成は見られなかった（図１０）。

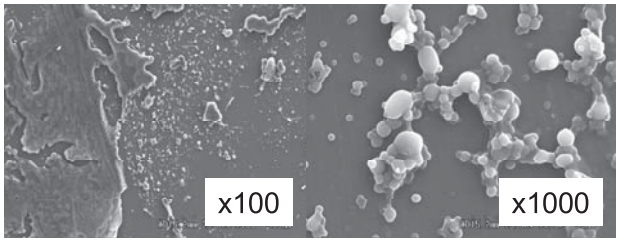


図１０　NP 含有樹脂単独での ESP サンプル

NP 含有樹脂の 20wt%DMF 溶液の粘度は、PMMA（Mw=350,000）の 10wt%DMF 溶液よりもかなり低かった。これは、NP 含有樹脂の分子量（重合度）がかなり低いことを意味する。NPM と MMA の重合は、開始剤である AIBN の 10 時間半減期温度である 65℃で行ったが、重合度を上げるために、より低温での重合を検討する必要があると考えられる。

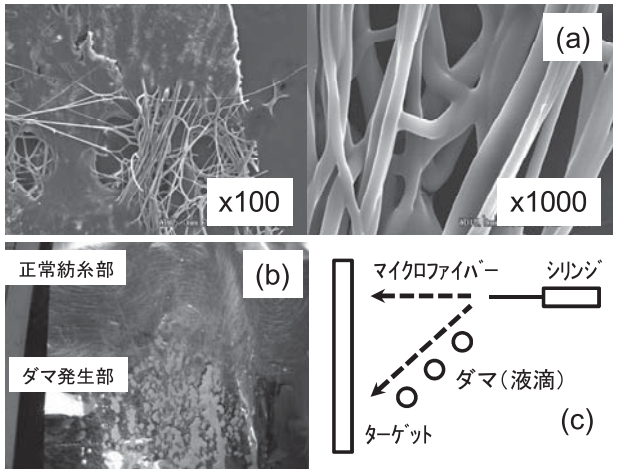


図１１　NP と PMMA 混合サンプルの ESP 噴射　(a) SEM 写真、(b) 膜の状態、(c) 概念図

次の手段として、NP 含有樹脂をマイクロファイバー膜形成可能な PMMA と重量比１／１で混合し、DMF に溶解させて ESP 噴射を試みたところ、膜形成状態は良好ではないがマイクロファイバー膜が得られた（図１１）。ESP 噴射時のシリンジノズル先端を観察すると、マイクロファイバーの飛翔と共に液滴の発生も見られた。液滴はマイクロファイバーより重いため落下しながら飛翔し、そのままターゲットに衝突してダマが発生したと考えられる。

このサンプルの正常紡糸部、ダマ発生部および NP 含有樹脂の赤外スペクトルを図１２に示す。正常紡糸部、ダマ発生部共に 1500cm^{-1} 近辺に芳香環の吸収が確認できた。よって、紡糸状態によるノニルフェニル基の偏在は見られなかった。

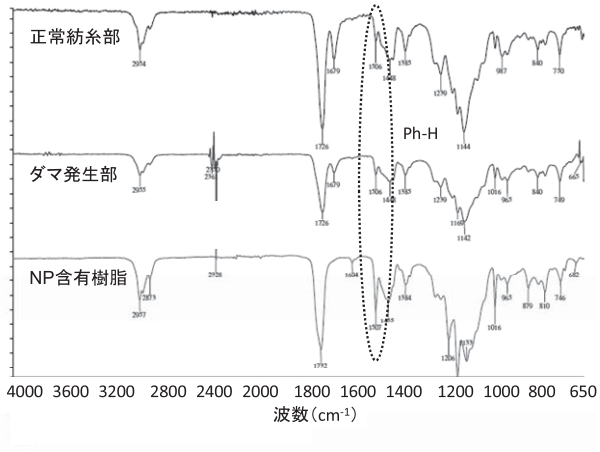


図１２　NP 含有樹脂からの ESP 噴射試料の赤外スペクトル

紡糸状態改善の試みとして、溶液の加温を試みた。室温で紡糸していた ESP 溶液を、60℃に加温することで溶液粘度を下げたところ、紡糸状態がやや安定し、厚み 200～400 μm のノニルフェニル基含有 PMMA マイクロファイバー膜を得ることができた（図１３）。

このノニルフェニル基含有 PMMA マイクロファイバー膜を用いてマイクロフィルターを作製し、兵庫県立大学にてマイクロリアクターとしての試験を行ったところ、このサンプルおよびノニルフェニル基を含有しない PMMA 単独のマイクロファイバー膜においても、放射光微細加工フィルターでは見られなかった非特異的吸着（放射光微細加工では酵素標識抗体が吸着しなかった部分にまで酵素標識抗体が吸着してしまい、酵素活性が上がってしまうことで、実濃度よりも測定値が低く計測されてしまう現

象）が起こることが明らかとなった[5)]。

この原因として、マイクロファイバー膜は放射光微細加工によるフィルターよりも比表面積が圧倒的に高く、PMMA 素材の吸着能力が向上したためと考えられる。現在、非特異的吸着を防ぐために、親水性処理剤によるブロッキング処理法を検討中である。

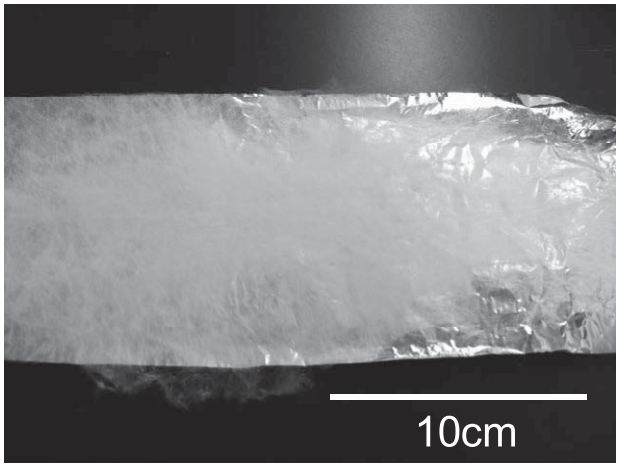


図１３　作製した NP 基含有 PMMA マイクロファイバー膜

4　結　　論

積層型マイクロリアクター用のマイクロフィルターの作製において、コストのかかる放射光微細加工に代わり、エレクトロスピニング法での作製を検討した。ノニルフェノール微量分析用のノニルフェニル基含有 PMMA マイクロフィルターの作製に成功した。マイクロリアクター用フィルターとして試験した結果、非特異的吸着が起こり、フィルターとして使用するにはブロッキング処理が必要であることが分かった。

謝　　辞

本研究は、兵庫県立大学大学院工学研究科武尾研究室との共同研究および平成 26・27 年度兵庫県 COE プログラム推進事業の一環として実施しました。関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

1) 環境省総合環境政策局環境保健部，ノニルフェノールが魚類に与える内分泌攪乱作用の試験結果に関する報告（平成 13 年）
2) 河路功夫，積層型マイクロリアクターを用いた免疫的検出系の構築，10-11，兵庫県立大学修士論文（平成 21 年）
3) T.Asano, Y.Ukita, Y.Utsumi, K.Matsui, M.Takeo, S.Negoro, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, 3, 190–194 (2005)
4) Y.Ukita, T.Asano, Y.Utsumi, Microsystem Technologies, 13, 435–439 (2007)
5) 平成 27 年度兵庫県 COE プログラム推進事業補助事業遂行状況報告書

（問合せ先　東山幸央）

〔技術改善研究事業〕

13　張力差制御整経技術の実用化に向けた研究

東山幸央，古谷　稔，藤田浩行，佐伯　靖，中野恵之，礒野禎三，近藤みはる

1　目　　的

播州織をはじめとする県内繊維産地の課題として、製品の高付加価値化・産地のブランド化があげられる。

製品の高付加価値化検討の一環として、従来特殊な二重ビーム織機（図１）が必要であった表面変化の大きな織物（図２）の製造に関して、汎用織機での製織の可能性を検討した。

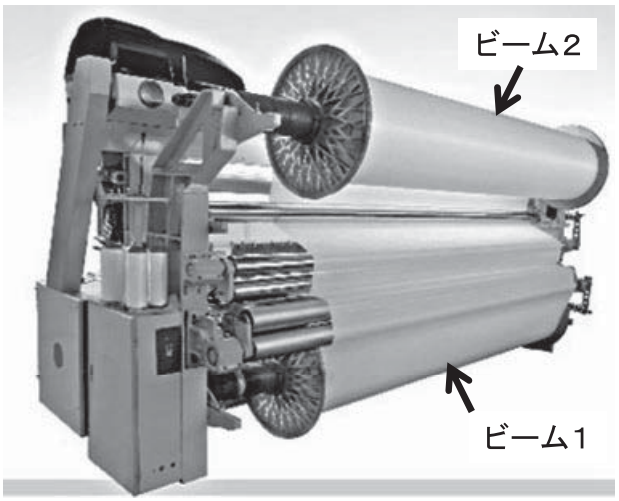


図１　二重ビーム織機

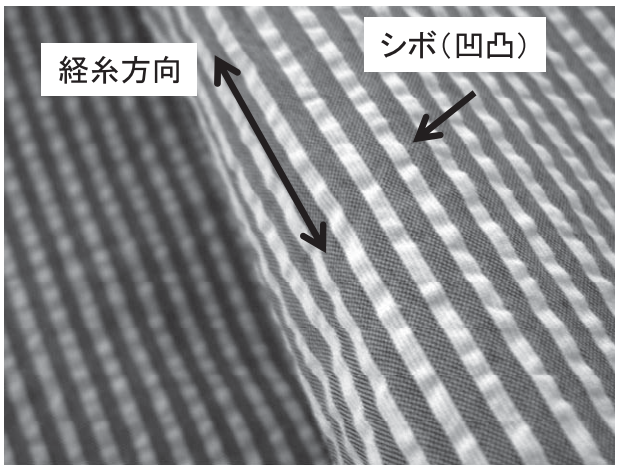


図２　表面変化の大きい織物
（例：シアサッカー柄）

図２のシアサッカー柄は、白色部分のシボ（ひだ状の凹凸）が特徴であるが、シボを形成する分だけシボの無い灰色部分よりも経糸を長く必要とする。よって製織時に白色の経糸を灰色の経糸よりも多く送り出さなければならず、白色の経糸と灰色の経糸を別々のビームに分けて整経する必要がある。これは二重ビーム織機が必要となるだけでなく、小割・糊付・機上げなど製織準備工程の工数増加を意味し、コスト高の原因となる。

ビームが１本の汎用織機では、２種類の経糸を別々に送り出し速度を変えることができないため、従来図２の様な織物は製織できなかった。

本研究では異なる種類の経糸、例えば伸びやすい経糸と伸びにくい経糸を１本のビームに整経して汎用織機で製織し、伸びやすい経糸が製織後に縮むことで、図２の織物のようなシボの表現を狙った。

また、経糸の素材や太さが異なると、整経工程でビームに巻き付けられた経糸の糸層表面が凹凸になり、整経・製織不可になる恐れがある。本研究では、本来均一であるべき経糸の張力を、あえて差を付けることで糸層表面の凹凸を打ち消すことを目的とした整経・製織の実証試験を行った。

2　実験方法

経糸には、綿糸、ナイロン紡績糸、ポリエステル紡績糸の 40 番単糸を用いた。経糸の配列パターンを表１に示す。

表１　綟割表（経糸の配列パターン）

		1綟本数	合計
綿40/1（ピンク）	15　15	30	360
綿30/1（赤）	1　1	2	24
ナイロン40/1（白）	24	24	288
ポリエステル40/1（白）	24	24	288
	x12	80	960

綿糸 30 本、ナイロン 24 本、ポリエステル 24 本のパターンで、綿とナイロン、およびナイロンとポリエステルの境目に、識別用の綿 30 番単糸（赤色）を１本ずつ配した。経糸総本数は 960 本とした。

2.1　準備工程（糊付）

糊付は、一本糊付機（梶製作所製 KS-5N）を用いた。糊剤は GF-TN（蛭田理研製）、オイリ

ング剤はエレロール NA（蛭田理研製）を用いた。糊槽温度 50℃、乾燥温度 70℃、糊付速度 100m/min にて行った。

２.２　準備工程（整経）

全自動部分整経機（スズキワーパー製 SW-K7A）を用いた。クリールは 80 錘で、80 錘全てにストレージテンサー（張力調整装置）を装着し、個別に張力を調整して整経試験を行った。整経長は 480m、送り量は 0.54mm、バンド幅は 37.9mm、バンド数は 12 バンド、整経速度は 50m/min とした。

２.３　準備工程（経通）

リーチングマシン（向建工業製）を用いた。綜絖枠枚数は４枚で、順通しとした。筬は 35 羽／インチを用い、２本通しとした。

２.４　製織工程

YF 型片４丁ドビー付見本用織機（岩間織機製）を用いた。緯糸は経糸に用いた綿・ナイロン・ポリエステルの 40 番単糸の他に、綿のエアーかおる SZ425（浅野撚糸製）の 16 番単糸と、汎用の 30 番双糸を用いた。管巻は、全自動ボーキマスカンプ高速度緯管巻機（紡機製）を用いた。緯糸密度は 34 本／インチとした。

２.５　糊抜工程

糊抜は 100℃の湯中で 30 分処理した後、充分に水洗しマングルロールにて脱水した。続いて、ピンテンター型高熱処理装置（辻井染機工業製 PT-1A）にて炉内温度 100℃および 180℃、滞留時間２分で乾燥を行った。

３　結果と考察

３.１　準備工程（糊付）

経糸の着糊量は、チーズにより異なるが、概ね 10～12%程度であった。整経および経通時の糸さばき性がすこし硬すぎたことから、着糊量はもう少し低くても良いと考えられる。

３.２　準備工程（整経）

クリールのテンサーを作動させずに整経した２バンド目の、整経長 120m および 480m 時点での整経ドラム上の経糸の様子を図３に示す。識別用の赤色綿糸を挟んで、ポリエステルとナイロンの境目の凹みが確認できる。この凹みは、整経長が増えると増大する。原因は、ナイロンが綿およびポリエステルに対して、非常に伸びやすいためと思われる。図４に経糸素材別の強伸度曲線を示す。ナイロンは、綿およびポリエステルに対して２倍以上伸びやすいことが分かる。

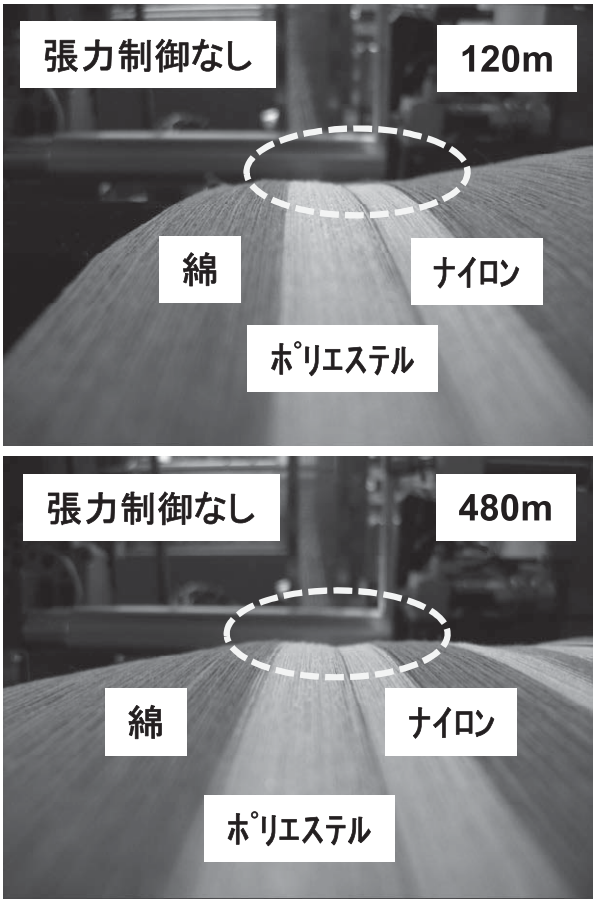


図３　整経ドラム上の経糸の様子
（張力制御なし）

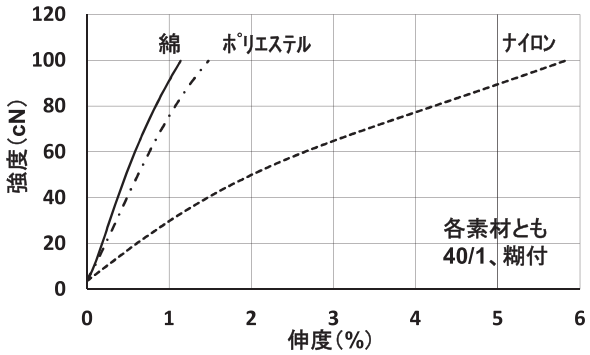


図４　経糸素材別の強伸度曲線
（100cN まで）

整経時の経糸別の張力を、クリール近辺にて測定したところ、ポリエステルの張力がナイロンに比べて低いことが分かった（表２）。糊付後の小割時の張力管理不良で、チーズ巻取時の張力がばらつき、チーズからの解舒（かいじょ）張力が異なることが原因と考えられる。

そこで、ポリエステルの経糸のみテンサーを

作動させると、整経ドラム上でのナイロンとポリエステルの境目の凹みが軽減された（表２および図５）。

表２　整経時の経糸張力（素材別）

		綿	ﾅｲﾛﾝ	ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ
張力制御なし	ﾃﾝｻ目盛	0	0	0
	張力(g)	5～6	6～7	2～3
張力制御あり	ﾃﾝｻ目盛	0	0	2
	張力(g)	5～6	6～7	6～7

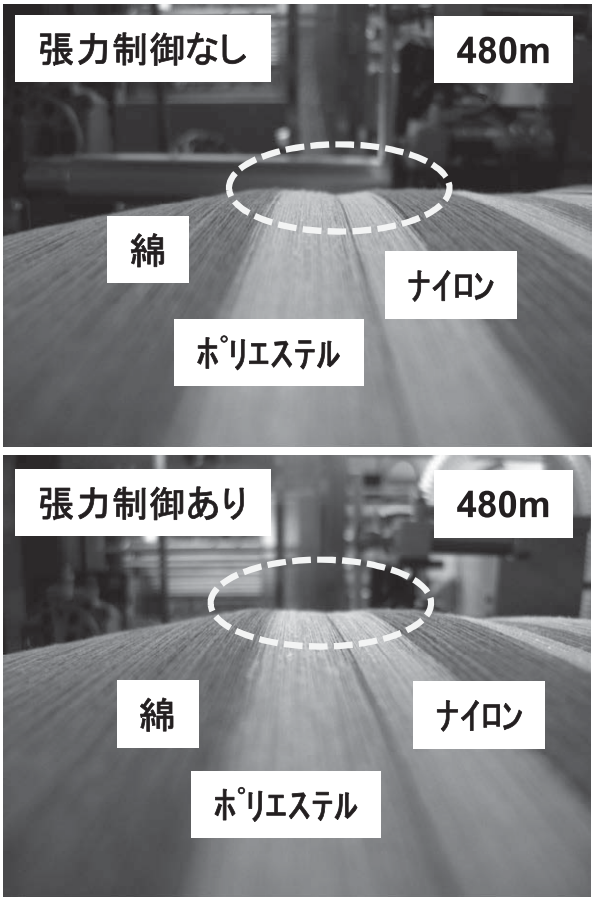


図５　張力制御の有無と経糸表面の様子

整経ドラムからビームへの巻返時の様子を図６に示す。経糸表面に凹凸を発生させることなく巻き取ることができた。

３.３　準備工程（経通）

３.１で述べたが糸さばき性が少し硬い以外は、特に不具合無く行えた。但し、整経・巻返し直後は凹凸無く平坦だったビームの経糸表面に、日数の経過と共に凹凸が発生した。綿とナイロンの境目部分が最も凹凸が顕著であった。図７に巻返しから１ヶ月後の経糸表面の様子を示す。

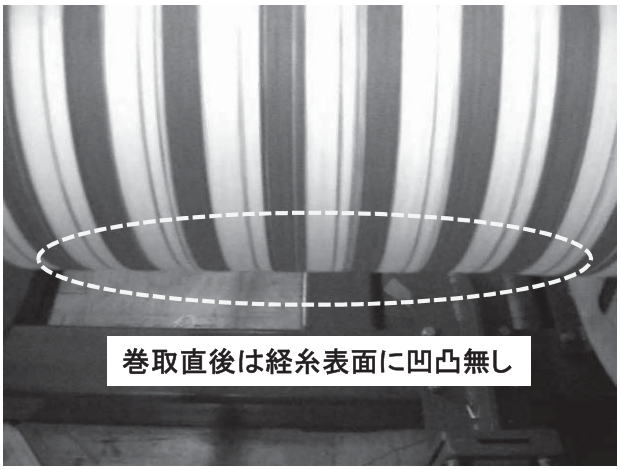


図６　巻返し直後の経糸表面の様子

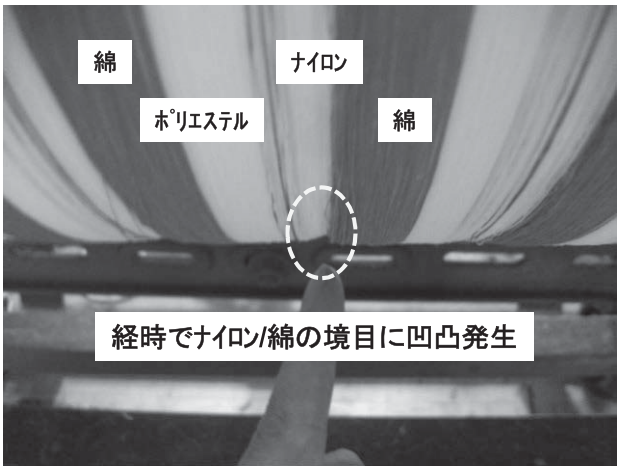


図７　巻返しから１ヶ月後の経糸表面の様子

整経ドラムからビームへの巻返し時、張力管理ロールに掛かる力を 12.2kgf で制御した。よって巻返時に経糸１本に掛かる張力は平均で 12.5cN である。この張力での各素材別の伸度は、図４より綿が 0.11%、ナイロンが 0.33%、ポリエステルが 0.13%であり、この伸度差を解消するためにナイロンが多く縮むが、大部分の経糸は糸層に押さえられているため、巻返し直後は凹凸が発生せず、経時変化に伴う張力の緩和により、後日凹凸が発生したと考えられる。ナイロンとポリエステルの境目にも、綿とナイロンの境目ほどではないが凹凸が発生した。

３.４　製織工程

製織試験中のビーム表面の経糸の様子を図８に示す。綿およびポリエステルの何本かの経糸に蛇行が見られ、図７に示すような凹凸も発生したが、100m ほど製織した時点で、経糸が引出不可能になるような問題は発生していない。

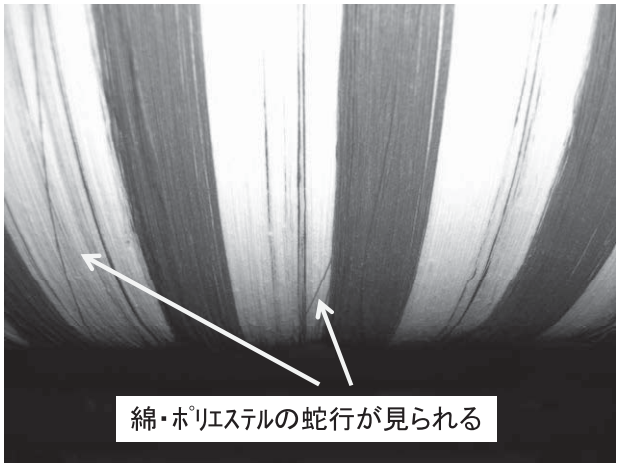


図８　製織時の経糸の様子

図８の原因は、綿とポリエステルに対してナイロンの縮みが大きく、綿とポリエステルの経糸の長さが余るためと思われる。図９は、開口不良時の様子であるが、ナイロンの経糸のみ張っていて、綿とポリエステルの経糸が緩んでいる様子が確認できる。

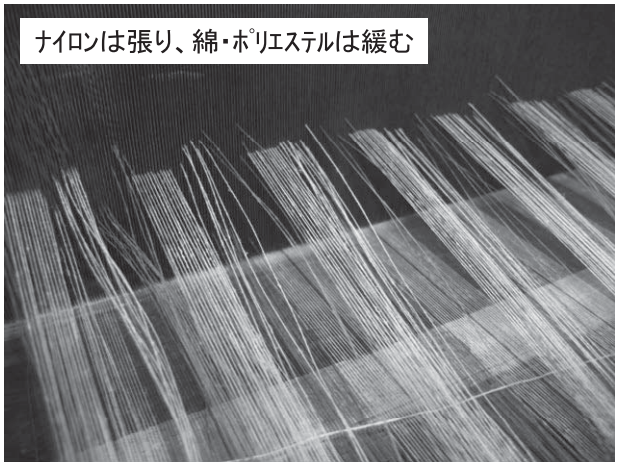


図９　開口不良時の経糸の様子

ただし、この開口不良は経糸送出量調整など、織機側の調整で解消することが可能なうえ、織始めと 100m 製織後で、ビーム表面の経糸の様子や、素材別の張力のバラツキがほぼ変わらず織機側の調整で解消可能なことから、今回の 480m 程度の整経長では製織に関する致命的な不具合が発生する可能性は低いと考えられる。

３.５　糊抜工程

乾燥後の生地の様子を図 10 に示す。綿およびポリエステルの経糸部分にシボが現れた。シボを大きく出すためにナイロンおよびポリエステルの収縮を狙い 180℃で乾燥させたが、逆に 100℃で乾燥させたものよりもシボが小さくなった。原因は、ナイロンおよびポリエステルの融点に近い高温で乾燥させると、高分子鎖の緩和が大きく進み、シボを吸収したのではと考えている。

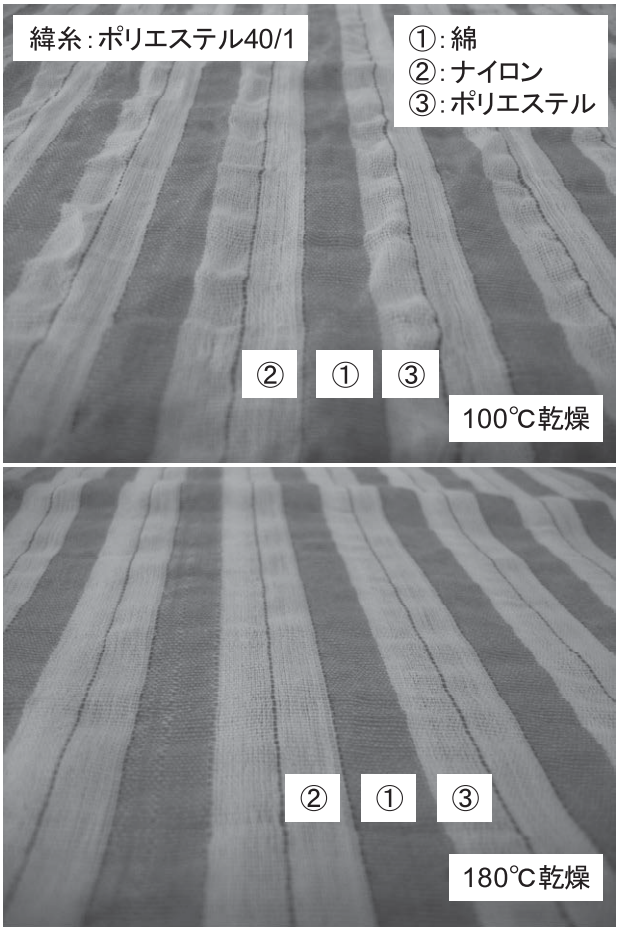


図 10　乾燥後の生地のシボの様子

４　結　　論

経糸に３種類の異なる素材（綿・ナイロン・ポリエステル）を用いて整経長 480m の整経試験を行った。これを１本のビームに巻取り、汎用織機にて 100m の製織試験を行った。糊抜後、100℃および 180℃にて乾燥処理し、経方向にシボのある織物作製に成功した。シボは、180℃よりも 100℃での乾燥処理で顕著に表れた。また整経試験および製織試験にて、整経不良・製織不良になるような不具合は発生しなかった。

（問合せ先　東山幸央）

〔重点領域研究推進事業〕

14　炭素繊維複合糸織物の補強材としての活用に関する研究

藤田浩行，古谷　稔，佐伯　靖，東山幸央

1　目　　的

これまで炭素繊維と熱可塑性樹脂繊維からなる複合糸の製造技術を活用し、複合糸からの織物および複合材料の開発を進めてきた。ミシンの巻縫い技術で作製した複合糸は、炭素繊維の製織性や熱可塑性樹脂の含浸性および得られた織物の成形性など多くの利点が得られる[1)]。

一方、炭素繊維を老朽化した橋梁やトンネルなど社会インフラの補修・補強および学校、官庁、病院等の公共建築物の耐震化工事への適用など、土木建築分野への応用も大いに期待されている。例えば、炭素繊維のプリプレグシートと木材を接着剤で積層することで、木材の剛性改善や変形等を抑制した材料を開発し、建築物への適用が図られている[2)]。

本研究は炭素繊維複合糸織物の適用拡大を目的に、木材との積層板の作製を試みた。従来、炭素繊維を補強材とした積層板は、相手材と接着剤で一体化しているが、ここでは、複合糸織物の特徴を活かしてホットプレス機で溶融接着を試み、機械的特性を評価することで、適用の可能性を検討した。

2　炭素繊維／木材積層板の開発

2.1　炭素繊維複合糸織物の作製

作製した炭素繊維複合糸織物は、炭素繊維とポリエチレン樹脂繊維からなる複合糸で構成されている。表１にミシンで作製した複合糸の構成を示す。巻縫いに使用した糸および引揃え糸の構成は、たて糸とよこ糸で異なる。織密度は、たて・よこ共 10 本/ｲﾝﾁで、織物全体に占める炭素繊維含有率は、約 52.2wt%であった。図１に試作した織物の外観を示す。

2.2　積層板の作製

試作する積層板の構成は、図２のとおりである。外層と中間層の木材の間に強化層として、

表１　炭素繊維/ポリエチレン複合糸の規格

	素材	太さ	本数	ピッチ
強化繊維	炭素繊維	3K	１本	
巻縫い糸	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	ﾀﾃ 280D ﾖｺ 130D	各３本	５本 /ｲﾝﾁ
引揃え糸	ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ	280D	ﾀﾃ３本 ﾖｺ０本	

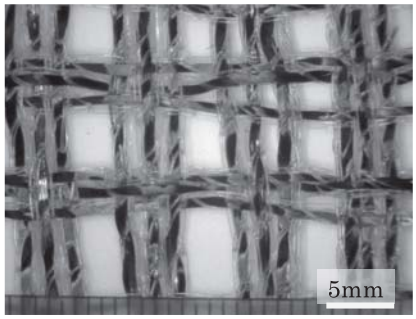


図１　試作した炭素繊維複合糸織物

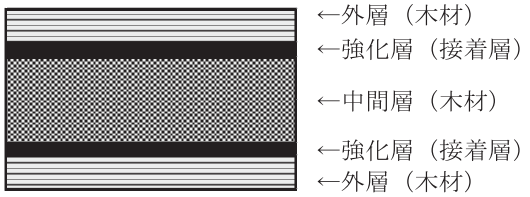


図２　炭素繊維／木材積層板の構成

表２　用いた木材の種類と厚み

外 層	ラワン材	厚み 2.5mm
中間層	杉材	厚み 9.2mm

前述の織物を配置した。用いた木材の種類および厚みは、表２のとおりである。各木材は、木目方向が長手方向となるよう、幅 130mm、長さ 270mm に切断した。

積層板を作製するには、各層を接着することが必要となるが、①接着剤使用による接着、②ホットプレス機の加熱加圧によるポリエチレン樹脂の溶融接着を試みた。比較に「接着剤のみ」および「市販の炭素繊維織物使用」の場合も検討した。市販炭素繊維織物は、接着剤を用いて積層する。接着剤使用時の条件を表３に、強化層（接着層）の種類を表４にまとめる。

ホットプレス機を用いた成形条件は、表５のとおりである。成形時間は材料内部にセットした熱電対から得られた温度が、ポリエチレン樹脂繊維の融点である 130℃に到達してからの時間である。その後、加熱を止め、プレス機内で冷却した。なお、条件Ⅱは条件Ⅰと比較して、圧力約 3.7 倍、成形時間は 3 倍とした。図３に成形時の材料内部の温度変化を示す。

また、炭素繊維複合糸織物を積層する場合、

表３　接着剤の使用条件

接着剤と塗布量	酢酸ビニル樹脂系エマルジョン形接着剤（CH18 （コニシ(株)製））、200g/m²
接着工程	常温、圧力 1MPa で 12 時間圧締

表４　強化層の構成

A	接着剤のみ
B	市販炭素繊維織物(パイロフィル TR3110M（3K 平織,織密度 12.5 本/インチ)三菱レイヨン(株)製)
C	炭素繊維複合糸織物

表５　ホットプレス機による成形条件

条件	プレス温度	実質圧力	成形時間
Ⅰ	170℃	0.42MPa	10min
Ⅱ	170℃	1.57MPa	30min

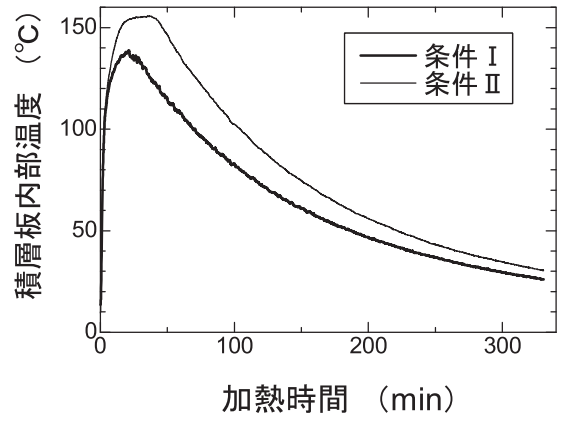


図３　ホットプレス機による積層板内部温度

①そのまま木材の間に挟んで積層する方法と②予めホットプレスし、ポリエチレン樹脂繊維を溶融させて成形したシート材を挟んで積層する２つの方法で作製した。

２.３　積層板の三点曲げ試験

各条件で試作した積層板は、中央付近木目方向に幅 30mm、長さ 250～260mm の短冊状に３本切り出し、JIS Z2101-2009（木材の試験方法）15 曲げ試験 に準拠して３点曲げ試験を実施した。なお、支点間距離 200mm、たわみ速度は、5mm/min である。

３　実験結果と考察

３.１　接着剤使用の積層板の曲げ特性

表６に、接着剤を使用した積層板の曲げ強度、曲げ弾性率、破壊エネルギー、厚みおよび比重を示す。なお、破壊エネルギーは、曲げ荷重が 500N 以下に至るまでの荷重とたわみ量から算出したものである。その結果、炭素繊維を積層しても補強効果はほとんど見られない。特に複合糸の織物は、接着剤のみの積層板より大幅に弱い。これは、複合糸織物と木材の接着力が極めて低いためであると考えられる。

ただし、破壊エネルギーは、炭素繊維の織物を積層することで大きくなっている。図４に各積層板の応力-ひずみ曲線、図５に曲げ試験後の試料の外観を示す。接着剤のみでは、応力が最大値を示した直後中央支点付近で一気に破壊が進行することで、応力が大幅に低下したと考えられる。炭素繊維の積層板は、炭素繊維と木材との界面強度が弱いため、母材破壊はわずかとなり、界面での剥離が進展することで、応力低下は徐々に進んだと予想される。

表６　接着剤使用積層板の曲げ特性

強化層の構成	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (GPa)	破壊エネルギー (Nm)	厚み (mm)	比重
接着剤のみ	45.8	5.40	3.52	13.87	0.452
市販 CF 織物	47.1	5.73	13.63	14.33	0.466
CF 複合糸織物	31.2	4.49	16.89	15.77	0.509

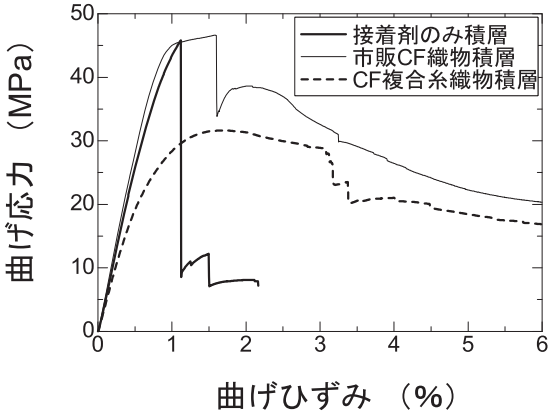
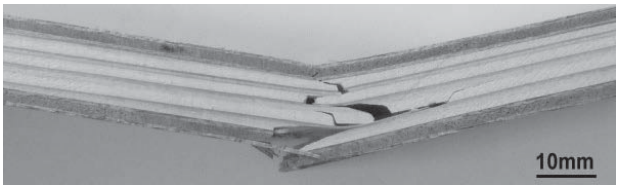
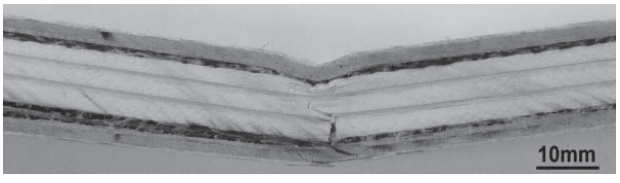


図４　接着剤使用積層板の曲げ応力－ひずみ曲線



(a) 接着剤のみ



(b) CF 複合糸織物

図５　接着剤使用積層板の曲げ試験後試料

３.２　ホットプレス機による積層板の曲げ特性

強化層に炭素繊維複合糸織物およびそれを予め成形したシートを木材と重ね、ホットプレス機で成形した積層板の試験結果を表７に示す。なお、成形条件Ⅰ、Ⅱは、表５の条件に相当する。織物をそのまま積層した材料は、シートの積層板より曲げ弾性率は低くなっているが、曲げ強度は約 10%大きくなった。これは樹脂繊維が溶融していない織物のままで強く圧縮されると、シートと比べてクリンプの大きな炭素繊維が木材表面に食い込んだ状態（図６左、図７左）で成形され、そこで溶融した樹脂が入り込むことで、界面強度を高めたと考えられる。図８に見られるように、織物を積層した場合の方

表７　ホットプレス機による積層板の曲げ特性

CF 形態	成形条件	曲げ強度 (MPa)	曲げ弾性率 (GPa)	破壊エネルギー (Nm)	厚み (mm)	比重
織物	Ⅰ	74.2	7.73	20.39	14.00	0.556
	Ⅱ	78.5	8.23	10.14	9.34	0.767
シート	Ⅰ	66.1	8.07	10.57	13.94	0.550
	Ⅱ	71.0	9.14	7.67	9.48	0.749

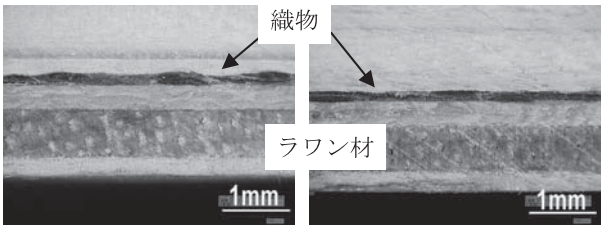


図６　積層板の断面（条件Ⅰ；左:織物、右:シート）

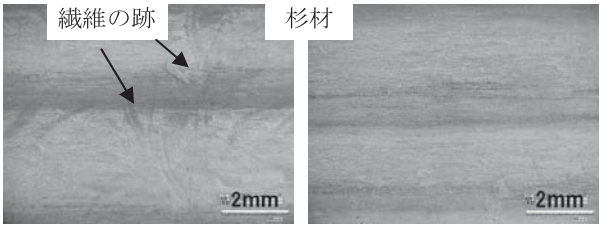


図７　剥離面（条件Ⅱ；左：織物、右：シート）

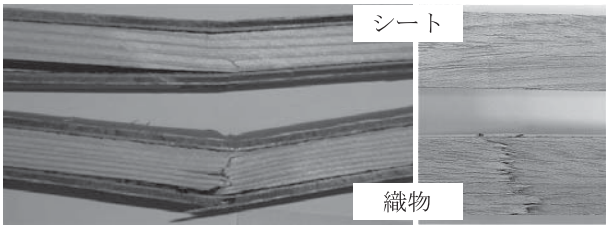


図８　ホットプレス機による積層板の曲げ試験後試料
（条件Ⅰ；左：側面、右：圧縮裏面）

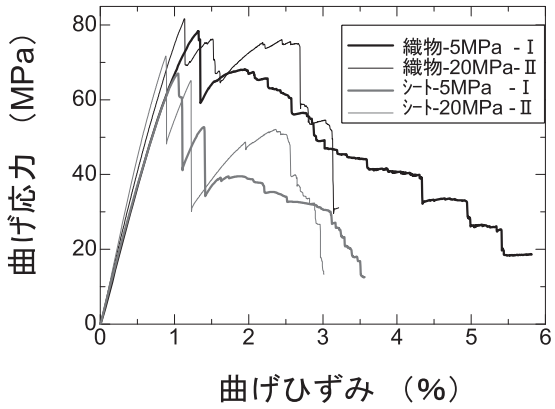


図９　ホットプレス積層板の曲げ応力－ひずみ曲線

が界面強度が大きいため、母材への荷重伝達も大きく、裏面の破壊も見られた。その変化は、図９の応力－ひずみ曲線からもわかるように織物を積層した材料は、最大応力を示した後の応力低下も緩やかで、両者は明らかに異なる。

成形条件で比較すると、表７および図９のとおり条件Ⅱの試料の方が、曲げ強度および曲げ弾性率とも大きくなった。しかし、圧縮変形に伴い厚みは薄くなり、比重は 1.36～1.38 倍大きくなった。そのため単位重量当たりで比較すれば、条件Ⅰの方が 20～30%大きくなった。また、条件Ⅱは、加熱による茶色への変色も見られた。

以上から、織物形態で積層し条件Ⅰで成形することで、軽量で優れた曲げ特性と高い破壊エネルギーを有したエネルギー吸収の高い材料の作製が可能である。

４　結　　論

炭素繊維複合糸織物と木材からなる積層板を試作した。ホットプレス機により炭素繊維複合糸を構成する熱可塑性樹脂繊維の溶融接着による積層板の作製を試みた。炭素繊維が木材へ食い込み、そこで樹脂が含浸することで強固に接着することができた。その結果、接着剤のみで積層した材料より、約 1.6 倍の曲げ強度を持つ積層板が得られた。

今後は、複合糸織物の規格や積層数および界面強度の向上を図った材料開発を継続する。

参 考 文 献

1) 藤田浩行：熱可塑性 CFRP 技術集 －材料・成形・加工・リサイクル－，サイエンス＆テクノロジー(株)，129–147 (2015)
2) http://www.teijin.co.jp/news/2015/jbd150204_43.html

（問合せ先　藤田浩行）

〔重点領域研究推進事業〕

15　綿繊維からのエタノール製造における連続処理技術開発

中野恵之，東山幸央，古谷　稔

1　目　　的

兵庫県西脇市を中心とした播州織産地は、生産工程で、余剰色糸・糸屑・端布が大量に発生しており、リサイクルしてほしいとの要望が高い。播州織物産地において綿繊維廃棄物からバイオエタノールを製造し地産地消を実施することにより、他の綿製品産地への技術普及も可能と考える。平成 27 年度の研究開発において、綿繊維からの糖化・発酵工程を１浴で同時処理が可能なことを確認した [1]。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する。そこで、本研究では、反応タンクに温度差制御気化浸透法（図１）を組み合わせて、エタノール製造装置を一体化することを検討した [2]。温度差制御気化浸透法は、減圧下で気化させたエタノールと水を分離する技術である。この分離濃縮装置を糖化・発酵工程を行っている反応タンクに設置することから、反応中の生成エタノールを抜き出すことが可能となる。これらの試みから、綿繊維からエタノールを連続的に製造しながら分離濃縮するシステムを構築し、製造工程の簡略化とコスト削減を目指した。

2　実験方法

2.1　反応濃縮一体システムの構築

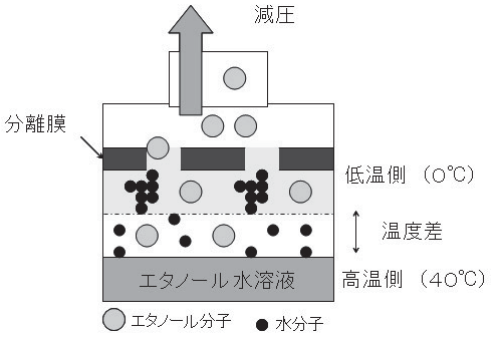
図２に反応濃縮一体システムの構成、図３にシステム全体写真を示す。反応タンクに温度差制御気化浸透装置を連結し、減圧は耐溶剤のダイヤフラム型真空ポンプを用いた。ダイヤフラム型真空ポンプは、テフロン製ダイヤフラムの往復運動と逆止弁を組み合わせて駆動するため、移送される物質に混合物が混入しない。また、温度差制御気化浸透装置で分離膜を通過し濃縮されたエタノールは、高真空に減圧されている状態では捕集に液体窒素等を用いて冷却する必要がありコスト高になる。そこでダイヤフラム型真空ポンプ通過後の大気圧にて、温度差制御気化浸透濃縮に用いる０℃程度の冷却水を活用してエタノールを捕集するシステムを構築した。

構築した反応濃縮一体システムを用いてエタノール溶液による濃縮試験を行った。試験条件は、真空度 400 Pa、分離膜は中空分離ユニットを使用し、３時間濃縮運転を行った。反応タンクの温調は 40 ℃で行った。

2.2　綿繊維くずからのエタノール製造試験

構築した反応濃縮一体システムを用いて、播州織産地で排出された綿繊維廃棄物の耳糸屑からのエタノール製造試験を行った。

エタノール製造には、酵素はファルマ㈱のメイラーゼを用い、酵母はオリエンタル酵母（saf-instant）を用いた。処理溶液は 10 L、繊維試料 500 g、酵素 3 g/L、酵母 3 g/L、酢酸と酢酸ナトリウムにて pH 4.4 に調整した。処理日数７日、温度 40 ℃、繊維耳糸は 20 cm 程度に切断して投入した。攪拌はスターラーを用いて行った。



① 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。
② 0℃の低温側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ない。
③ エタノール分子のみが分離膜を通過する。

図１　温度差制御気化浸透法の概要

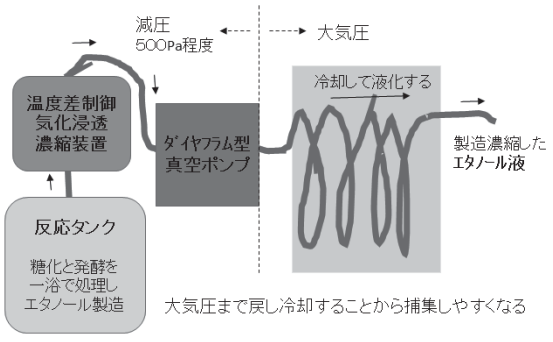


図２　反応濃縮一体システムの概要

２.３　エタノール濃度分析

エタノール濃度は、ガスクロマトグラフ（島津製作所製 GC-14A 型）にて、分析カラムは、ガラスカラム(THERMON-1000 5% SUNPOK-A 50-80)　を用いて行った。

３　結果と考察

３．１　反応濃縮一体システムによる濃縮試験

反応タンクに 500 ml の 6.1 %エタノール液を準備した。終了時には 373 ml が残り、濃度は 4,1 %に低下していた。蒸気となったものの分離膜を通過していない溶液は分離膜下に貯まり、その回収量は 95 ml で濃度は 11.5 %であった。濃縮された試料は、11.8 ml で 56.5 %であった。

これらの結果から、構築した反応濃縮一体システムは反応層内の反応液からエタノールを抜き取ることが可能であることが確認できた。

３．２　繊維屑からのエタノール製造試験

構築した反応濃縮一体システムを用いて、播州織産地で排出される綿繊維廃棄物の耳糸屑からのエタノール製造試験を行った。図４に、繊維屑からのエタノール製造試験時の反応槽の写真を示す。開始時に槽内に確認された繊維形状は処理時間とともに分解され、７日後にはほぼ繊維形態が確認できない状況まで反応が進んだ。７日後に温度差制御気化浸透装置にて分離濃縮試験を行った結果、分離膜を通過して濃縮され回収したエタノールは、14.5 ml、78.0 %であった。また、減圧によって蒸気となったが分離膜を通過しなかった試料は、910 ml、6.2 %であった。この試験によって構築した反応濃縮一体システムにより綿耳糸屑からエタノールを製造し濃縮回収を同時に進行させることが可能なことが確認できた。

４　結　　論

繊維廃棄物（綿耳糸屑）を原料とし、糖化工程と発酵工程を同時に一浴で反応させ、エタノールを製造に関し、温度差制御気化浸透法により反応層から反応を止めることなく分離濃縮することを目的に実験を行った。得られた結果は以下のとおりである。

（１）反応濃縮一体システムによりエタノール製造および分離濃縮は可能である。

（２）分離膜を通過しなかった気化エタノールおよび水は水滴として膜下に貯まる。

以上のように構築したエタノール製造システムにて綿耳糸屑の処理が可能であることが確認できた。

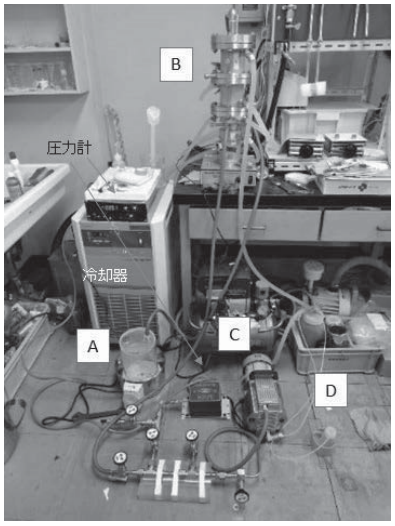


図３　反応濃縮一体システム写真

A:反応タンク設置部、B:温度差制御気化浸透装置

C:ダイヤフラム型真空ポンプ、D:エタノール回収部

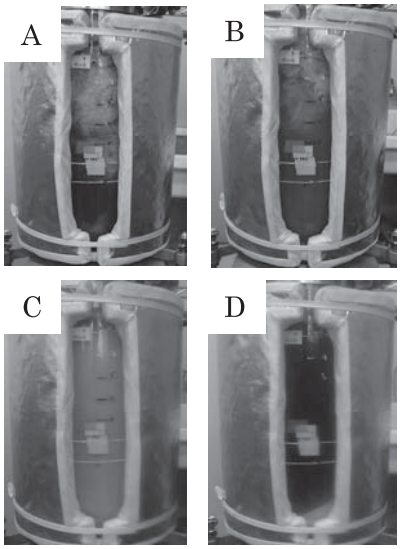


図４　エタノール製造試験時の反応槽

A：実験開始時、B：３日後、

C：７日後、D：７日後攪拌停止時

参 考 文 献

1）中野恵之他、平成 27 年度繊維学会第秋季研究発表予稿集 70 巻 2 号、p119 (2015)

2）中野恵之他、「発酵濃縮装置および発酵濃縮方法」特願 2012-157906

謝　　辞

本研究は関西大学、㈱エコログ・リサイクリング・ジャパンと共同研究にて実施しました。

関係各位に深く感謝します。

（問合せ先　中野恵之）

〔技術改善研究事業〕

16　においﾁｪｯｸ付きGC/MSによる天然皮革のにおい分析

鷲家洋彦，松本　誠，西森昭人，原田　修，森　　勝

1　目　　的

食品の異臭分析や香料の探索には、図１に示すにおいﾁｪｯｸ付きガスクロマトグラフ質量分析計（以下、においﾁｪｯｸ付き GC/MS）が用いられる。カラムで分離した化合物はスプリッタで分岐され、MS で定性・定量分析し、においﾁｪｯｸ装置で MS と同じ成分のにおいを自分の鼻で嗅ぐことができる。

皮革分野におけるにおい分析は、GC/MS による揮発性有機化合物の調査 [1]や、前処理にマイクロ固相抽出（以下、SPME）を活用する方法 [2]が検討されてきた。いずれも GC/MS のみの分析であるため、成分量とにおいの強度の関係は不明であった。そこで、本研究では、天然皮革のにおいを構成する成分を調べるため、においﾁｪｯｸ付き GC/MS による分析を行った。

また、平成 26 年度に実施した革の香り付け技術 [3] の実用化に向け、分析結果をもとに芳香革を作製し展示会へ出展した。

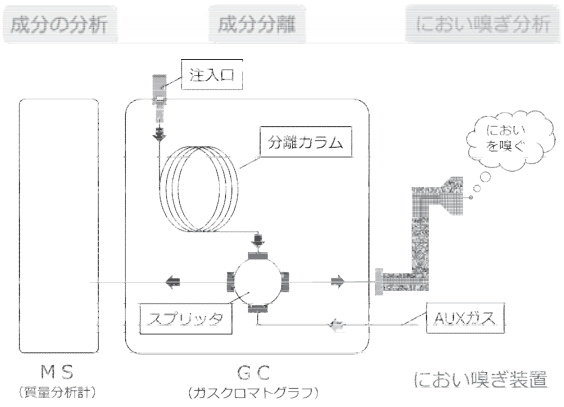


図１　においﾁｪｯｸ付き GC/MS の構成

2 実験方法

2.1　天然皮革のにおい分析

20 ml 容バイアルに 5 mm 角に細切したクロム鞣し革 0.5 g を入れ、SPME ファイバー DVB/CAR®/PDMS をバイアル上部から挿入し、70 ℃、10 分間におい成分を抽出した。

GC/MS は Perkin Elmer 社製 Autosystem XL +Turbo mass、においﾁｪｯｸ装置はジーエルサイエンス社製スニッフィングポート OP275 を使用した。キャピラリーカラムは DB-WAX（0.25 mm I.D.×30 m df=0.25 μm）を使用し、SPME ファイバーで抽出したにおい成分を GC へ注入、図２に示すにおいﾁｪｯｸ分析を行った。GC/MS で検出したトータルイオンクロマトグラム（TIC）は NIST ライブラリーで同定した。

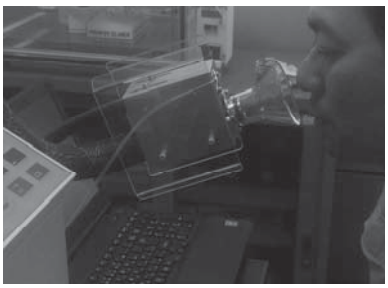


図２　においﾁｪｯｸ分析の様子

2.2　芳香革の作製

約 300 DS のクロム鞣し革の床面（革の裏側）に試薬オクタナール 5 mL をスプレー塗装し、自然乾燥させた。銀面（革の表面）はラッカー塗装だけで、香り付けは行わなかった。

3　結果と考察

3.1　天然皮革のにおい成分分析

図３にクロム鞣し革の TIC を示す。ラッカー仕上げ後の革であり、ピークの種類は有機溶剤とアルデヒド・アルコール類の 2 つに大別できる。

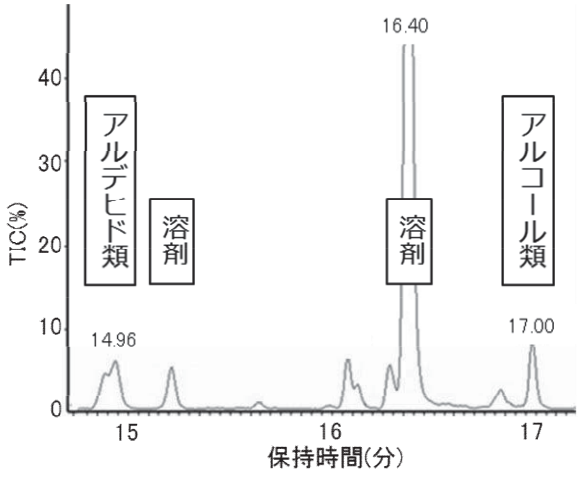


図３　クロム革の TIC

有機溶剤について、最も成分量の多い化合物は保持時間（RT）16.40 分の 2-ブトキシエタ

ノールであるが、ピークがはっきり認められるにもかかわらず、においを嗅ぐことはできなかった。他の有機溶剤も同様に、ピークは認められるが、においを嗅ぐことはできなかった。よって、有機溶剤は天然皮革のにおいを構成する成分ではないと考えられる。

一方、アルデヒド・アルコール類について、RT14.96 分のピークはアルデヒド類のオクタナールである。におい嗅ぎの結果は、果実や草のようなにおいであった。しかし、他のアルデヒド類については、ピークは認められるが、においを嗅ぐことができなかった。オクタナールは嗅覚を起こすために必要なにおいの最小濃度である閾値が低いため、においを嗅ぐことができたと考えられる。また、RT17.00 分はアルコール類のヘプタノールで油の酸化臭がした。

酸化臭は製革工程の加脂に起因すると考え、工程途中の加脂前後の革を入手し、におい嗅ぎ測定を行った結果を図４に示した。図４の矢印のピークがにおい嗅ぎが可能なピークである。その結果、加脂前の油臭は脂肪族アルコールであり、加脂後の新たな油臭は加脂剤によるものと考えられる。

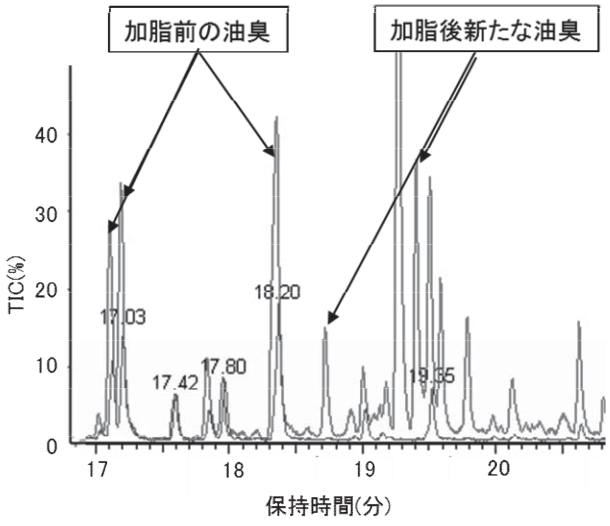


図４　加脂前後革の TIC

３.２　芳香革の作製と展示会出展

天然皮革のにおい分析の結果、アルデヒド類のオクタナールは皮革特有のにおい成分であることが明らかになった。銀面は革の香りを保持、床面は天然皮革に元々潜在する超微香成分のオクタナールの香りを強調した芳香革を作製し、ひょうご皮革総合フェア 2015&第 24 回たつの市皮革まつり（平成 27 年 11 月 21 日、22 日）で開催されたニューレザーコンテスト 2015 へ製革業者の協力を得て出展した（図５）。

においに対する反応を見るため、黒一色の革を選択した。見た目や手触りが重視されることは想定内であったが、差別化につながる・記憶に残る等の反応があった。次回出展の機会があれば、外観・感触の基本要素に、追加要素として香りづけすることで、来場者を魅了する皮革に一歩近づくことができると考えている。



図５　芳香革出展の様子

４　結　　論

におい嗅ぎ付き GC/MS により天然皮革のにおい分析を行った。天然皮革のにおい成分は、皮革が元々有するアルデヒド類の果実や草のかおりと脂肪族アルコールの油臭、および、製革工程で新たに加わる加脂剤の油臭が構成要素であると考えられる。仕上げで使用するラッカー等の有機溶剤は天然皮革のにおい成分ではないと考えられる。また、芳香革を作製し展示会へ出展した。色彩等の外観や手触り等が天然皮革の評価の基本であり、香り付けは追加要素であることがわかった。

謝　　辞

本研究に協力いただきました前實製革所代表、前田大伸氏に感謝いたします。

参 考 文 献

1) 佐藤恭司，奥村章，稲次俊敬，道志智，藤田恵美，角田由美子，皮革科学，52，59 (2006)
2) 鷲家洋彦，原田修，松本誠，西森昭人，桑田実，森勝，中川和治，兵庫県立工業技術センター研究報告書，22，58 (2013)
3) 鷲家洋彦，原田修，森勝，兵庫県立工業技術センター研究報告書，24，63 (2015)

（問合せ先　鷲家洋彦）

17　近接場蛍光分光による光応答性有機色素 - 無機複合薄膜表面の蛍光特性評価

石原マリ，瀧澤由佳子

研究背景

高機能化・高集積化のために、光学・電子機器類に用いられる光スイッチ、トランジスタなどの機能性デバイスの微細化が求められており、これらの高空間分解能での構造・特性評価はますます重要になっている。近接場光により、波長オーダー以下の微細な物質の観察や高空間分解能分光測定が可能である。近接場光学顕微鏡によるバイオイメージングや材料のナノ構造の可視化などが広く行われている一方、近接場分光を材料評価に用いた例は多くない。本研究では、近接場光による高空間分解能蛍光特性評価技術の確立を目的とし、当センターで創製した有機色素（NK3175）と粘土化合物（SWN）との光応答性複合薄膜(NK3175–SWN)における NK3175 分子の集合状態を顕微・近接場蛍光分光により調べた。

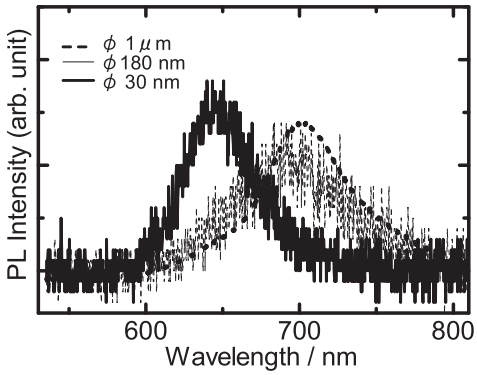


図 1　NK3175–SWN の顕微・近接場蛍光スペクトル

研究成果

NK3175–SWN の顕微・近接場蛍光スペクトルを図 1 に示す。開口径約 30 nm の近接場プローブを用いた場合の蛍光波長は、開口径約 180 nm およびレーザービーム径約 1 μm の場合の蛍光波長と比較して約 45 nm 低波長シフトして観測された。このように、NK3175–SWN 表面から約 30 nm 深さまでの極表面層における NK3175 分子の集合状態は内部と異なることを明らかにした。

18　光触媒作用の発現に関する基礎研究

柴原正文

研究背景

二酸化チタンに代表される光触媒は、環境に優しくクリーンかつ安定供給の持続が可能なエネルギー変換材料として注目されている。広いバンドギャップ（3.2eV）を有する二酸化チタンは、紫外光（波長＜380 nm）を吸収して初めて光触媒作用を発現する。また、窒素や硫黄を二酸化チタンにドープして価電子帯を負側にシフトさせバンドギャップを小さくすると、可視光領域でも光触媒作用を発現すると考えられる。本研究では、酸化チタン被膜にアンモニアガスを用いた大気圧プラズマ照射処理を施すことで、活性度が高い中性ラジカル種（$–NH_2$, –NH, –N ラジカル等）を発生させて二酸化チタン被膜に窒素のドープ反応が促進できるかを検証した。

研究成果

熱酸化処理（1000 ℃、12 時間）を行ったシリコンウエハ（100 面）基板を、酸あるいはアルカリ溶液に 24 時間浸漬して親水化させた後に、多木化学株式会社製二酸化チタンゾル タイノック AM–15（酸性）を基板上にスピンコート処理して二酸化チタン被膜を作製した。成膜層の結晶化のために熱処理（450 ℃、1 時間）を施した後に、アンモニアガスを用いた大気圧プラズマ照射処理を施した。処理条件は、アンモニアガス組成（ヘリウムガスに希釈して 1 %, 3 %）、電極投入電力（～700 W）、試料～電極間のギャップ（500 μm）、電極回転数（1000 rpm）、試料台走査区間（50 mm）、試料台走査速度（25 mm/min）、走査回数（10 往復）とした。処理後の表面を XPS 分析した結果、二酸化チタンの主成分である $Ti2p_{3/2}$、O1s や基板材料の Si2p の他に、僅かながら N1s ピークの存在が認められ、窒素の元素比率は 2 %弱であると分かった。窒化反応が起こるには試料の表面温度が 1000 ℃以上の高温雰囲気が必要との報告もあることから、今後、窒素ドープ量を高めるため試料台に補助加熱機構を付与することで、大気圧プラズマ照射される試料の表面温度を積極的に高温化していく予定である。

19　セルロースナノファイバーの化学修飾に関する研究

平瀬龍二

研究背景

我々は、セルロースナノファイバー（CNF）を補強剤とした機能性ゴム材料の開発を目標に研究を行っている。CNF は親水性であるため、単純にゴムに練り込むだけでは十分な補強効果は得られない。本研究では、CNF の表面処理、すなわち各種ゴムとの相溶性を向上させるための官能基の導入（化学修飾）について検討した。

研究成果

CNF の化学修飾はセルロースの水酸基とカルボン酸との縮合反応によるエステル化が多く研究されているが、置換基の導入率（置換度）を求めるには、化学修飾 CNF を加水分解して得られたものを逆滴定する必要があり操作が非常に煩雑である。本研究では、置換度の評価を簡便に行うためにシリル化による化学修飾を検討した（図１）。すなわち、化学修飾 CNF 中の Si を定量することにより置換度の評価が行えると考えた。CNF はスギノマシン製 BiNFi-s AMa-10005（短繊維、5 wt%水分散体）を使用した。シランとして、ゴム材料との反応を考慮し、二重結合を有する Chlorodimethylvinylsilane を選択した（図１）。反応溶媒は N-Methyl-2-Pyrrolidone を用いた。得られた CNF について FT-IR 測定を行ったところ、Si-CH_3 由来の吸収が確認されておりシリル化は達成されていると考えられる（赤外吸収スペクトルは割愛する）。この CNF について蛍光X線による Si の定量を行った。Si の含有量は 4.1 %であり、これから求めた置換度は 0.25 であった。さらに、CNF の SEM 観察を行い、ナノファイバー構造の維持を確認した。

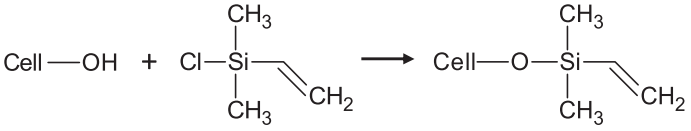


図１　CNF のシリル化による化学修飾

20　UV-C および UV-B 紫外蛍光体の開発動向の調査と試作

石原嗣生

研究背景

水銀ランプの代替光源として、AlGaN 系紫外 LED の開発を、理化学研究所や日亜化学工業㈱等が精力的に取り組んでいるが、現時点では 310 nm 以下の UV-B、UV-C 領域で高出力のものが得られていない。

本研究では、電子線励起等の水銀を使わない紫外ランプで使用可能な UV-B、UV-C 蛍光体の開発動向の調査を行った。また、数種類の UV-B、UV-C 蛍光体を試作し、発光スペクトルの評価を行った。

研究成果

光とレーザーの科学技術フェア（第 2 回紫外線・X 線フェア 2015）において、紫外線光源に関する研究動向の調査を行った。浜松ホトニクス㈱が UV-LED と比較して、光出力が約 8 倍 10 mW（@305 nm）および約 40 倍 54 mW（@265 nm）で長寿命（推定 5000 時間）の水銀フリー深紫外光源を展示していた。光源は、電子線励起で発光点サイズ約φ5 mm、消費電力 6 W、冷却不要のものである。合同会社紫光技研が、258 nm の UV-C、308 nm の UV-B、312 nm のナローバンド UV-B（バンド幅 1 nm 以下）のチューブ型の紫外光源を展示していた。また、岩崎電気㈱は、UV フィールドエミッションランプ（FEL）を開発しており、FEL 用 UV-C 蛍光体として $ZnAl_2O_4$ をウェブ上に載せていることから、260 nm 用の UV-C 蛍光体は、$ZnAl_2O_4$ であり、305 nm 用の UV-B 蛍光体は $Lu_3Al_5O_{12}$:Pr であると思われる。図１に試作した $ZnAl_2O_4$ および $Lu_3Al_5O_{12}$:Pr 蛍光体のエキシマランプ励起での発光スペクトルを示す。

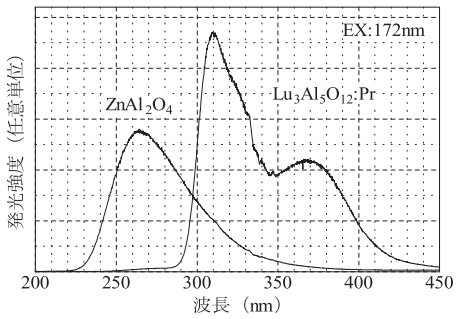


図１　試作した蛍光体のスペクトル

21　非鉛系酸化物薄膜の作製と圧電性に関する研究

泉　宏和

研究背景

電子デバイスなどに広く用いられているチタン酸ジルコン酸鉛（PZT）は優れた圧電性を有しているが、有害元素である鉛を含むため、「環境整合性」に優れた高性能代替材料の開発が望まれている。鉄酸ビスマス（$BiFeO_3$）は、比較的低い誘電率と大きな自発分極を有することから、圧電形式の振動発電素子材料として有望な材料である。本研究では、$LaAlO_3$ を 0 から 30 mol%固溶させた一軸配向性 $BiFeO_3$ 薄膜をパルスレーザー蒸着法により作製し、その誘電特性と圧電特性の評価を行った。

研究成果

600℃に加熱した $SrRuO_3/LaNiO_3/SiO_2/Si$ 基板上には、いずれの組成でも、(001) 配向した薄膜が得られた。$BiFeO_3$ に対して 10 mol%の $LaAlO_3$ を固溶させると、P-E ヒステリシスの角型性は改善し、リーク電流密度も２から３ケタ低下した。$BiFeO_3$ ではリーク電流がオーム則に従っていたのに対し、10 mol%の $LaAlO_3$ を固溶させると、空間電荷制限電流が支配的になっており、欠陥等による局在準位が減少したことが考えられる。一方、圧電応答の大きさは、$BiFeO_3$ では測定領域内でほぼそろっていたのに対し、$LaAlO_3$ を固溶させたものではドメイン間でばらつきがあり、ドメインごとに $LaAlO_3$ 固溶量に違いのある可能性が示唆された。

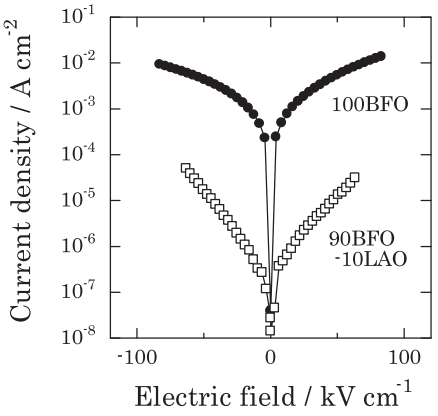


図１　$BiFeO_3$ (100BFO) および 10 mol%の $LaAlO_3$ を固溶させた $BiFeO_3$ (90BFO–10LAO) のリーク電流密度の電場依存性

22　集束イオンビーム加工装置による深さ制御加工の試み

山下　満

研究背景

集束イオンビーム加工装置（FIB）は照射したガリウムイオンのスパッタリング作用により試料を微細加工する装置である。ガリウムイオンは XY 方向に容易に走査・制御が可能なため、FIB による微細加工は専ら XY 面内の２次元形状を深さ方向に落とし込む加工に活用されてきた。本研究ではガリウムイオン照射量（DOSE 量）を精密に制御した“深さ制御加工”を実施し、底面の平坦度合いから深さ制御加工の有用性について検討した。

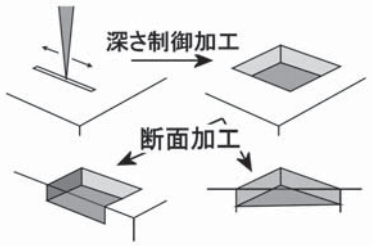


図１　底面の平坦性を検証するための FIB 加工手順の概念図

研究成果

加工条件は加速電圧 30 kV、照射イオン電流 100 pA とし、シリコン基板に一辺 5.0 μm の矩形を深さ 200 nm、100 nm、50 nm となる DOSE 量で加工した。底面の平坦性については、断面を観察しやすくするために Pt 保護膜を形成した後、図１に示すように矩形穴に対して辺、および、対角それぞれの方向に断面加工して観察した断面 SEM 像から評価した。

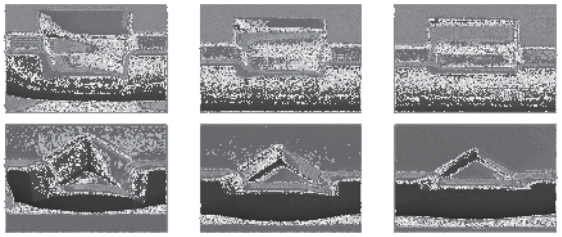


図２　深さ制御加工を行った矩形穴の断面 SEM 像（加工深さの設定値は左から 200 nm、100 nm、50 nm）
明るい帯は Pt 保護膜

加工を行った断面 SEM 像を図２に示す。矩形穴の底面は中央部が出っ張った凸形状で、矩形穴が深いほど平坦性が失われていた。底面の平坦性の劣化は再堆積物（リデポ）層による影響も考慮する必要があるため、アスペクト比を下げる、あるいは、ガリウムの有無などを手掛かりにリデポ層を区別した評価が今後の課題である。

23　ペロブスカイト型酸化物薄膜の合成と構造・磁性に関する研究

福住正文

研究背景

ペロブスカイト型 $EuZrO_3$ と $EuHfO_3$ 薄膜は磁性と電気的性質とのカップリングによるマルチフェロイクス材料への展開が期待される化合物の１つである。本研究では、これらの薄膜をスパッタリング法で合成し、結晶構造、Eu の価数について調べた。

研究成果

カーボンるつぼを用いて 1000℃で 10～30 時間、水素還元雰囲気中（Ar+5%H_2）で熱処理を行った。X 線回折測定結果から、水素還元処理前ではいずれも $Eu_2Zr_2O_7$、$Eu_2Hf_2O_7$ に帰属される回折パターンが見られた。EuZrO 系薄膜では、10 時間の熱処理で回折ピークは高角度側へシフトし、$EuZrO_3$ に帰属される回折ピークが見られた。さらに熱処理時間を長くすると、異相が現れた。EuHfO 系薄膜では、30 時間の熱処理で回折ピークは大きく高角度側へシフトし、$EuHfO_3$ に帰属される回折ピークが見られた。図１に EuHfO 系薄膜の水素還元処理前後における Eu4d の化学結合状態の変化を示す。30 時間の熱処理により Eu イオンは 3 価から 2 価へ還元されたことがわかった。今後の予定として、磁気特性について評価する。

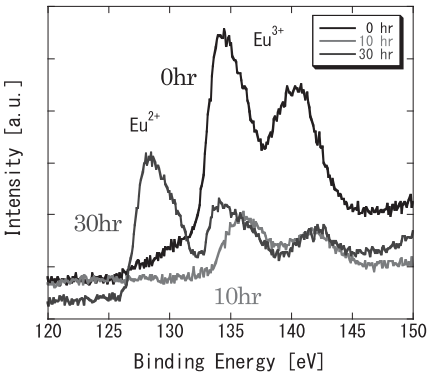


図１　EuHfO 系薄膜の水素還元処理前後の XPS 測定結果

24　トドロカイト型チタン酸化物の合成

坂尾光正

研究背景

チタン酸化物は TiO_6 八面体が鎖状に連結することで結晶構造を構成しているものが多く、多彩な一次元トンネル構造が形成される。構造内に Li イオンを吸蔵可能なことから、これまでリチウム電池負極材料として研究されてきた。トドロカイト型構造はルチル型やホランダイト型構造よりも大きなトンネルサイズを有しており（図１）高い充放電容量が期待できるが、Ti を用いた材料の合成報告がない。本研究ではトドロカイト型マンガン酸化物の合成法を参考に試料の合成を試みた。

研究成果

Cs_2CO_3 と TiO_2 （rutile）を所定の比に秤量し、混合した原料粉末を 800 °C で 20 時間空気中で焼成することにより合成した層状チタン酸化合物を、$MgCl_2・6H_2O$ の溶液中にて 24 時間攪拌処理することで Cs^+と Mg^{2+}のイオン交換処理を行った。得られた試料は EDX 分析より、Cs が部分的に Mg に置換されていることがわかった。その後 160 °C で 96 時間、水熱処理を施した試料の X 線回折パターンを図２に示す。アナターゼ構造に帰属される回折ピークのみが観測されたことから、トドロカイト型チタン酸化物の合成において、合成手法の見直しが必要であると考えられる。

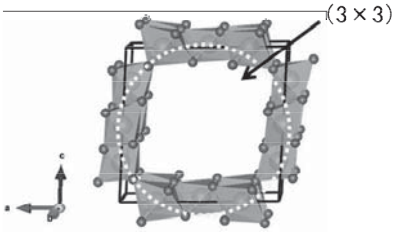


図１　トドロカイト型構造

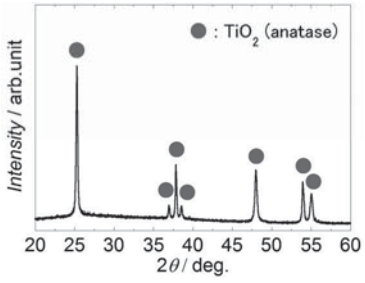


図２　水熱処理した試料の X 線回折パターン

25　電気化学測定法による表面処理皮膜の耐食性評価に関する研究

園田　司

研究背景

工業製品の耐食性評価としては、JIS Z2371 に規定されている塩水噴霧試験法などが実施されている。表面処理皮膜の耐食性については、塩水噴霧試験後の試験片における錆の発生状況、皮膜の変色などの定性的な評価が多い。そこで、炭素工具鋼 SK85 上に種々の膜厚の電気ニッケルめっきを行い、アノード分極測定法によるめっき試料の耐食性評価について検討した。

研究成果

図１に、電解液として 0.4 mol/l 塩化カリウム水溶液、参照極として銀－塩化銀電極を用い、電位走査速度 1 mV/s で浸漬電位から 300 mV までアノード分極測定を行った結果を示す。これより、電気ニッケルめっき皮膜厚さの増大に伴いアノード分極電流値が低下する傾向を示した。また、塩水噴霧試験時間の経過に伴う同試料の外観を観察したところ、めっき皮膜厚さの増大に伴い赤錆の発生面積が低下する傾向を示した。すなわち、アノード分極電流値が低下するほど、塩水噴霧試験後の耐食性に優れることがわかった。

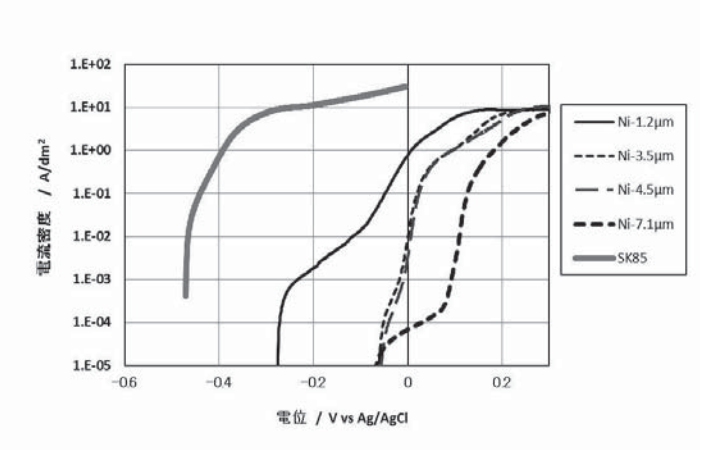


図１　アノード分極測定結果

26　表面処理層の特性評価　～めっき皮膜の摩擦摩耗特性～

山岸憲史

研究背景

耐摩耗性や摺動性などの機能性を付与する表面処理技術を開発するにあたり、目的とする性能を適切に評価するための試験方法が必要とされている。表面性能を正しく評価するには、実際の使用条件に合った試験をすることが重要であり、異なった条件で試験を行うと、全く違う結果を招くことが懸念される。今回は、めっき皮膜の往復摺動摩擦試験を種々の試験条件で行い、摩擦係数、摩耗量等を計測して特性評価する方法を検討した。

研究成果

銅基板に約 3 μm のニッケルめっきを施したサンプルに対し、鋼球またはアルミナ球を相手材として 0.098～1.96 N の荷重を掛けながら往復摺動試験を実施した（図１左）。各回における等速摺動時の摩擦力を測定し、これを荷重で除して摩擦係数を求め、200 往復までの推移を図１右に示す。往復回数の増加に伴う摩擦係数の変化より、めっき皮膜の損傷、相互間の凝着あるいはなじみ等の現象を推察できることがわかった。摩耗量はレーザ顕微鏡を用いた形状測定で計測することができた。しかし、局所計測になる点と、経過測定できない点が課題である。

往復摺動摩耗試験により摩擦係数の推移を観測することで、めっき皮膜の摩擦摩耗特性を評価するのに有効な情報を得ることができた。同じめっき皮膜でも相手材の違い等により、結果が大きく異なることが示され、試験条件の設定には十分な注意が必要であることがわかった。

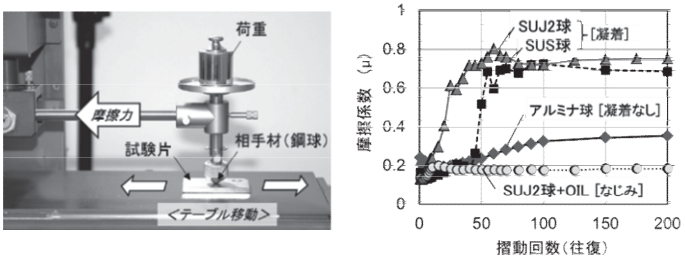


図１　往復摺動摩耗試験の概要および測定データ例

27　高配向熱分解黒鉛（HOPG）からの放出 CKX 線スペクトルの観測角度依存性

山田和俊

研究背景

高配向熱分解黒鉛（HOPG）の放出 CKX 線スペクトルは観測角度の違いにより、異なったプロファイルを示すことが知られている。しかしこれまでは特異的な角度のみが測定・評価されており、詳細な角度の違いによるプロファイルの変化について検討されたことが無かった。今回、簡便な方法であるが、HOPG の傾斜角度と回転角度を変化させて放出 CKX 線スペクトルを測定した。また結晶方位決定の可能性も検討した。

研究成果

図１に、HOPG の放出 CKX 線スペクトルを回転角度と傾斜角度をそれぞれ 15° 毎に測定したデータの１次線換算波長 4.40956 nm の標準化強度を示す。回転角度および傾斜角度の違いで強度が異なることが分かった。放出 CKX 線スペクトルは複数のピークを有する複合ベクトルのため、各ピーク強度を詳細に比較検討することで HOPG の c 軸方向を決定できる可能性の有ることが分かった。

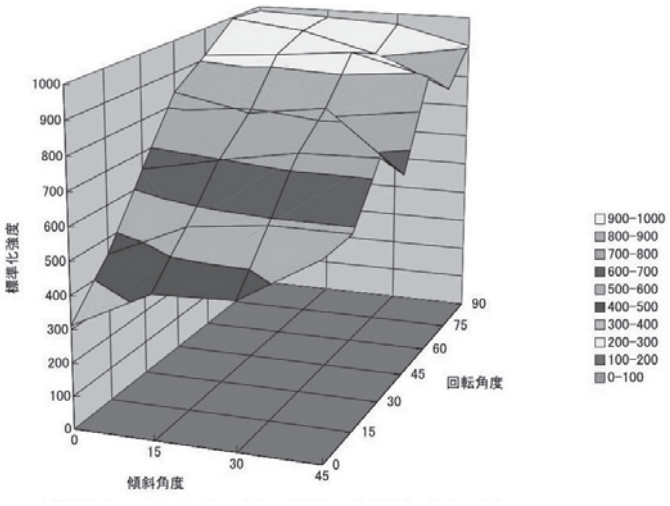


図１　１次線換算波長 4.40956 nm における種々の傾斜および回転角度の標準化強度

28　微小領域の材料特性評価に関する研究

山口　篤

研究背景

超微小押込み硬さ試験（ナノインデンテーション）は、三角錐のダイヤモンド圧子を試料表面に押込み、得られる荷重－変位曲線から押込み硬さを算出する方法で、超微小領域の硬さ試験に用いられる。この試験は、圧子形状を変更することで種々な強度特性を測定できる可能性を有している。本研究では応用利用の一つとして、球状圧子による押込み試験を行い、降伏荷重（降伏応力）測定の可能性を検討した。

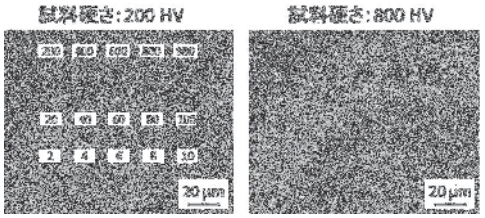


図１　種々の押込み荷重（mN）と圧痕形状

研究成果

図１に、先端部の直径が 20 μm の球状圧子を用いて、種々の荷重の押込み試験を行った場合の圧痕形状を示す。2 から 980 mN の試験荷重を表記しているが、押込み荷重が増すにつれてくぼみが現出・増大していることが分かり、弾性から塑性変形の変化を確認することができる。その変化を定量化するため、荷重増加型連続繰返し試験を行い、荷重 P と圧子と試料が接触している深さ H_C の関係をまとめた（図２）。押込み荷重の増加に伴って傾きが大きくなり、やがて一定に変化することが分かる。グラフの直線部は、塑性変形が定常であることを示しており、曲率の変化点が降伏荷重（くぼみ始め）と考えることができる。図より 200 HV および 800 HV の試料の変化点（降伏荷重 P_Y）として 5 mN、80mN を読み取ることでき、降伏荷重の測定に活用できる。

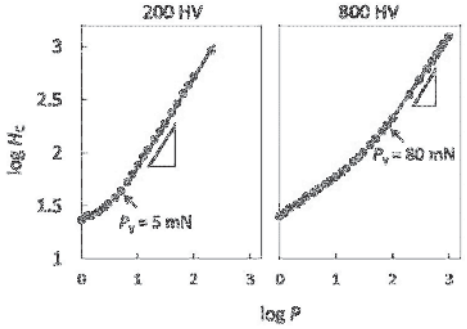


図２　押込み荷重 P と接触半径 H_C の関係

29　メカニカルアロイングによる酸化物分散 Ti の作製

青木　俊憲

研究背景

チタン材料は、軽量、高強度、低弾性率および高耐食性などの優れた特性を示すことから、航空機産業や自動車産業、医療産業などの様々な分野で採用されている。しかし、軽量･高強度用途として利用されているのは、Ti–6Al–4V などのチタン合金である。そこで本研究では、メカニカルアロイング（以下、MA）およびパルス通電焼結法（以下、SPS 法）を用いて、酸化還元反応を利用した分散強化 Ti 基複合材料の創製を目的としている。Ti、TiO_2 および Mg の粉末を MA した後、SPS 法で焼結を行い、微細な MgO 粒子が分散した Ti/MgO 複合材料の作製を試みた。

研究成果

Ti /*x*vol%MgO（*x*=0～20）となるように Ti、TiO_2 および Mg を秤量した粉末を MA し、その後 SPS 法で焼結した試料の X 線回折結果を図 1 に示す。MgO が 10 vol%以上の試料で MgO の回折ピークが見られ、MA および SPS 法により酸化還元反応が起こり、TiO_2 の酸素が Mg と結合して MgO を生成したことが分かった。図 2 にビッカース硬さ試験結果を示す。MgO の増加に伴い硬さも増加しており、MgO の分散によって強化されていることが分かった。また、X 線回折で MgO が認められなかった Ti /5vol% MgO でも硬さの増加が見られたことから、Ti 中に Mg および O が固溶して、固溶強化されていると考えられる。

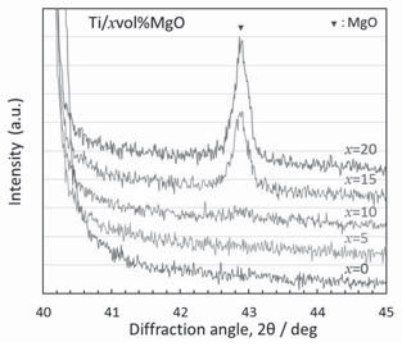


図 1　X 線回折結果（CuKα）

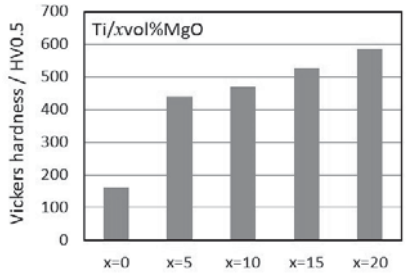


図 2　硬さ試験結果

30　改良 9Cr–1Mo 鋼のヤング率に及ぼす寸法効果

野崎峰男

研究背景

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である。とくに、構造部材からの試験片の採取による対象機器の強度低下を小さくするためには、寸法の大きい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しい。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についての明解な研究例は数少ない。本研究では、改良 9Cr–1Mo 鋼のミニチュア（標点部直径 1 mm）およびバルク試験片（標点部直径 6.5 mm）を用いて高温低サイクル疲労を実施し、ヤング率に及ぼす試験片寸法の影響を明らかにした。

研究成果

図 1 にミニチュアおよびバルク試験片のヤング率（E）を示す。高温低サイクル疲労試験の条件は、温度 823K、ひずみ速度 0.1%/s、ひずみ波形は両振対称三角波である。図 1 には、ミニチュアおよびバルク試験片ともに試験開始直後の応力-ひずみ関係をプロットした。図 1 から、ミニチュア試験片のヤング率は、バルク試験片のそれとほぼ一致し 163 GPa であった。この結果から、823 K の改良 9Cr–1Mo 鋼では、試験片標点部の直径 1 mm と 6.5 mm との寸法差が及ぼすヤング率への影響は、極めて小さいことが明らかになった。

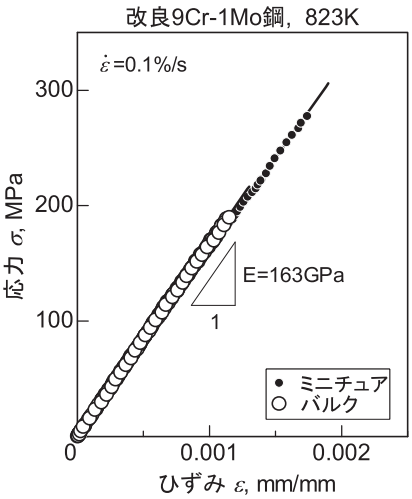


図 1　ミニチュアおよびバルク試験片のヤング率

31　マイクロ X 線 CT スキャナーの測定に関する研究

平山明宏

研究背景

マイクロ X 線 CT スキャナーは、製品や材料の任意の断面を非破壊で高精度に観察することができる装置であり、不具合解析などで幅広く活用されている。当センターでも平成 25 年度から当該装置を導入しており、その利用が拡大している。本装置の測定においては、より高分解能な観察が求められるが、分解能と測定時間についてはトレードオフの関係となっている。このため、分解能に関わる測定パラメーターの影響を明らかとし、分解能、観察画像、測定時間の関係について調査研究を行い得られた成果をもとに県内企業への機器利用の促進や技術支援に貢献していく。

研究成果

観察条件として−90 度から 90 度の間の撮影取得枚数を 10 枚/度および 5 枚/度の場合における不織布の X 線 CT 像を撮影した結果を図 1 に示す。なお、撮影取得枚数が 10 枚/度の測定時間は 5 h、5 枚/度では 2.5 h であった。両者の画像を比較すると、撮影取得枚数が少ない 5 枚/度においても 10 枚/度の画像よりも若干、画像の認識性が劣るものの約 2 μm の不織布の繊維の観察は可能であることがわかる。なお、この他にも検出器の解像度の影響についても検討を行ったが、極端に画像の認識性が落ちる結果であった。以上より、撮影取得枚数を減らした方がより短時間である程度の分解能を得られる条件となることがわかった。

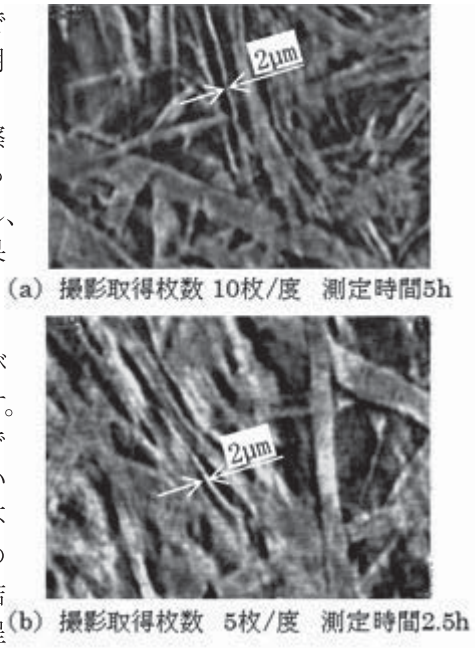


図 1　不織布の X 線 CT 画像

32　流動バレル研磨における流動特性に関する研究

山本章裕

研究背景

バレル研磨法は非常に応用範囲の広い加工法であり、多くの工場で利用されている。流動バレル研磨法は、工作物と研磨石が入れられた円筒もしくは多角形の槽の底部が回転することによって、工作物と研磨石を渦状に流動させて研磨する方法であり、バレル研磨法の中でも比較的研磨能力が高いといわれているが、ほとんど研究されておらず、そのため普及していないのが現状である。

そこで、流動バレル研磨法の普及の一助となるように、研磨能力に最も影響する流動特性を解明するための基礎的な研究として、高速ビデオカメラを用い回転数などの研磨条件を変化させたときの工作物の流動状態を調べ、研磨条件と流動特性の関係を明らかにする。

研究成果

従来、流動バレル研磨法において、工作物とメディア（研磨石）は、遠心力によりディスクの中心から半径方向へバレル槽の側壁に到達するまで移動し側壁に沿って上昇したのち、ディスク中心に向かって雪崩のように向かうという流動とディスクの回転方向への流動によりバレル槽内全域を螺旋状に流動しているものと考えられていた。しかし、工作物は主に半径方向の限られた領域において流動しており、この領域において研磨されている可能性があることが明らかになった。また、水に浮かぶ工作物の場合、ディスクの中心付近を水中に巻き込まれることはほとんど無く、水に浮かんだまま流動しているので、ほとんど研磨されない可能性があることが分かった。一方、水に沈む工作物の場合、工作物は半径方向の限られた領域で流動しており、その回転半径は、ディスクの回転速度が速い方が大きく、また半径方向の移動幅も大きくなっている。このことは、工作物の流動が激しくなっていることを示している。

33　Kinect センサによる人物の行動検知

松本哲也

研究背景

情報技術を活用した高齢者の見守りシステムの開発が強く求められてきている。奥行きセンサ Kinect（以下、センサ）は、距離画像や人物の骨格情報を活用することで人物の行動検知が可能であり、カメラ画像を利用する必要がないため抵抗が少なく、見守りに適したセンサである。しかしながら、センサと人物が正対していない場合には重要な情報である骨格情報が得られない。そこで今回、距離画像を用い、臥床状態で斜め上方からセンサにより観測した場合に呼吸の検知を行うことを試みた。

研究成果

実験では、センサを床面から 1950 mm の位置に、俯角 61.5°で固定し、人物が距離画像中に収まるように床面に臥床した状態で行った。測定では、人物の居ない距離画像との差分処理により人物の輪郭を切り出し、ベッドを想定して人物の臥床方向が一定であるという条件下で頭頂部と足先の位置から胸部位置を推定した。50 代男性（身長 170 cm）の胸部の距離変化の測定結果を図１に示す。呼吸に伴う距離変化を確実に検知できていることがわかる。床面の照度は 1050 lx であった。

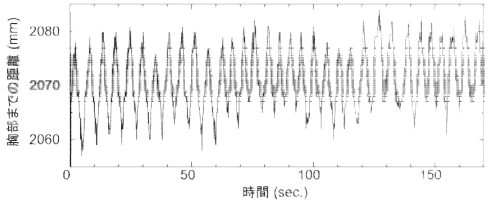


図１　呼吸に伴う胸部の距離変化の測定結果

また、本センサはパターン投影型であるため、周囲光の影響を受けやすい。そこで、LED 照明（全光束 940 lm）5 個を用い、床面の照度を 5200 lx に設定して同様の実験を行った結果、図１と同様の信号が得られ、この照度範囲内で、周囲光の影響を受けないことが確認できた。

34　複数画像からの画像合成技術に関する研究

金谷典武

研究背景

映像を利用した計測装置、監視装置、各種自動化システムにおいて、テレビカメラなどの視覚センサが利用されている。広範囲の映像を取得するという要望があるため、広角レンズや魚眼レンズを利用する方法、凸面鏡などの鏡を利用する方法、複数台の視覚センサを組み合わせて映像を取得する方法などが開発されている。当センターにおいてもこれまでに広範囲の映像を取得する方法について開発を行っているが、本研究では、複数台の視覚センサを組み合わせて映像を取得する方法と１台のカメラの撮影範囲を移動させることにより得られた複数枚の映像から１枚の画像を合成する手法について検討を行うとともに、映像合成の実験を行った。

研究成果

６台の視覚センサで構成された全方位カメラを利用して屋外環境の撮影を行い、個々の視覚センサから得られた映像を合成することにより全方位画像を生成した。この画像合成では、個々の視覚センサが持つレンズの歪みを計算によって補正した後、撮影時の各視覚センサの視点位置と姿勢を利用して、画像を繋ぎ合わせる処理が行われている。画像合成の後、作成した全方位画像から透視投影画像に変換した。変換した画像の例を図１に示す。図１の垂直方向の画角は 90 度、水平方向の画角は 150 度である。左右両端が粗い画質になっているが、それ以外は問題なく映像の変換が行われていることが確認できた。



図１　映像の合成と変換の結果

35　高周波帯での電磁波シールド特性測定装置の評価に関する研究（Ⅲ）

中里一茂

研究背景

近年、携帯電話、無線 LAN（2～5 GHz）等の高周波を扱う機器が増加し、これらの機器からの電磁波対策のため、シールド特性の評価が重要となっている。そこで、平成２４年度にギガヘルツ帯でのシールド評価の測定を目的として、1～4.5 GHz でシールド特性評価が行える装置の開発を行い、ガラス板の透過係数測定で測定値と計算値でよく一致していることが確認できた。また、昨年度は測定しやすさを考慮した装置の改良を行い、簡易に材料の取り付けが可能となった。今回、材料のシールド特性の測定による装置の評価を行った。

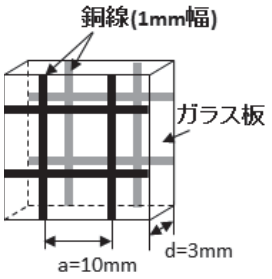


図１　測定材料の寸法

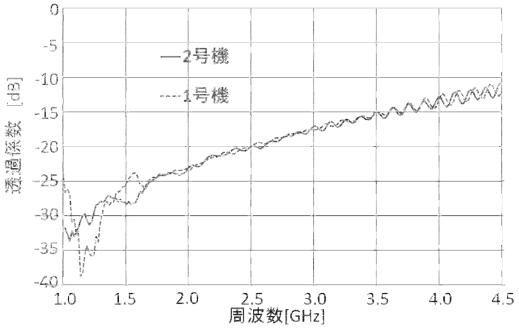


図２　材料のシールド特性測定結果

研究成果

今回の評価材料として両面銅箔格子状のガラス板を用いた。その寸法を図１に示す。その透過係数を改良後の装置（２号機）で測定し、改良前の装置（１号機）の結果と比較した（図２）。その結果良く一致しており、両機でほぼ同じ特性がとれていることが確認できた。また、ガラス板（厚さ 5.8 mm）でのシールド特性測定でも良い結果が得られた。

36　弾性表面波を利用した小型噴霧器の検討

瀧澤由佳子

研究背景

近年、化学、生化学などの分野において、μTAS（micro Total Analysis System）というチップ上で送液、混合、分析などを行う小型な化学分析システムが注目されている。湿度に敏感な試料を扱う場合、周囲の湿度制御が必要となるが、μTAS では湿度制御する空間も小さくてよい。そこで、小空間を均一に加湿する噴霧器が必要となる。一方、小型な噴霧器として弾性体の表面に沿って伝搬する波である弾性表面波（SAW : Surface Acoustic Wave）を用いる方法がある。SAW は弾性体に設けた櫛歯電極に適当な高周波電圧を印加すると生成され、伝搬方向上にある液体を噴霧する。しかし、従来は静止液体が噴霧対象であり、噴霧方向は伝搬方向と同じとなり、噴霧範囲は固定される。ちなみに、SAW は液体を噴霧するだけでなく流動させることもできる。本研究ではこのことに着目し、液体を回転させる SAW で回転させた液体を噴霧用の SAW で噴霧することで噴霧方向を可変とし、広範囲に噴霧する噴霧器を提案する。

研究成果

$LiNbO_3$（128° 回転 Y 板 X 伝搬）基板上に噴霧用 SAW および回転用 SAW を生成する櫛歯電極を作製した。次に、伝搬方向上にチューブで純水を供給した。実験では噴霧用 SAW（投入電力 910 mW）のみを用いる場合と、噴霧用 SAW と回転用 SAW（各投入電力 910 mW 、540 mW）を用いる場合の噴霧の様子を観察した。回転用 SAW を使用しない場合（図１(a)）、噴霧の方向はチューブからの流れのため左側に向けて噴霧した。一方、回転用 SAW を使用した場合（同図(b)）、回転用 SAW による回転とチューブからの流れが相殺し、ほぼ正面方向に噴霧した。この結果より、回転用 SAW で回転させた液体を噴霧用 SAW で噴霧すると噴霧方向が変わったことが確認できた。



(a) 回転なし



(b) 回転あり

図１　実験結果

37　次世代アクチュエータに関する調査研究

福井　航

研究背景

今後ロボットの導入が進むと言われている介護福祉分野や農業分野では装着型デバイスが有望であることから、アクチュエータには軽量かつ柔軟であることが要求される。これを担うと期待されている技術分野として人工筋肉がある。本研究では近年開発が進む人工筋肉について、装着型デバイスに利用できる可能性があるか調査した結果を報告する。

研究成果

人工筋肉として最もよく知られているものは空気圧人工筋肉である。これは人間と協調して作業するために必要な柔軟性や出力については申し分ないが、外部に空気圧を制御するためのポンプが必要であり、システム全体として大型で重くなるデメリットがある。他に販売されている人工筋肉として導電性高分子を利用したアクチュエータや形状記憶合金を利用したアクチュエータなどがあるが、人間が装着して動作するには出力や柔軟性において不十分である。一方、Haines ら[1]によって報告されたナイロン糸アクチュエータ（図 1）は出力や柔軟性、軽さ、さらに価格などの面で装着型デバイスへ利用できる可能性が高い。現状、外部からヒートガンで加熱する手法が提案されているが、扱いやすい制御方法を検討することで将来的な実用可能性は高いと考えられる。

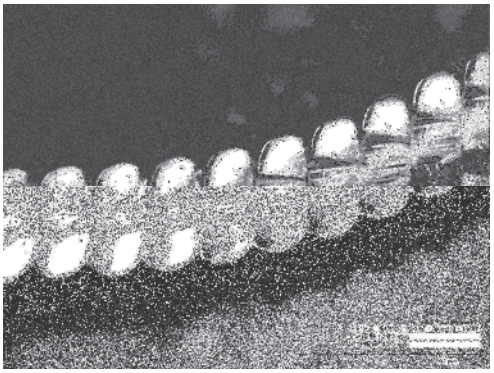


図１　再現したナイロン糸アクチュエータ

1) C.S.Haines, et al., Science, 343, 868–72 (2014)

38　どぶろく品質評価におけるプロファイル法の有効性に関する調査研究

井上守正

研究背景

今日どぶろくは全国的に製造される酒類になったが、品質上の問題が指摘されものも多く、技術改善が求められている。本研究では、プロファイル法によるどぶろく品質評価の有効性を検討し、どぶろく製造技術の向上につなげるための方策の構築につなげることを目的とした。

研究成果

毎年各県持ち回りで開催される「全国どぶろく研究大会　どぶろくコンテスト」の開催目的を、「どぶろく製造技術の向上」と位置付け、審査員を専門家のみで構成する、審査結果を公表するなど審査方法を変更した。また、どぶろくの固体部分に関する評価軸を設けたプロファイル票を作成、使用して審査した。

審査の結果、総合評価との相関が高いのは「香り品質」、「華やかさ」、「味品質」の項目であった。審査員注目度指数から、「特徴」としては「甘味」と「酸味」、「不調和」としては「酸味」、「苦味」、「渋味」が注目されていることが分かった。香りに関係する因子（主成分１）と味に関する因子（主成分２）の総合評価との関係を図１に示す。淡麗などぶろくが香、濃芳醇なものは味で評価が変わるという、どぶろくに顕著な傾向が記述できたことから、プロファイル法はどぶろく品質評価に有効であることが分かった。

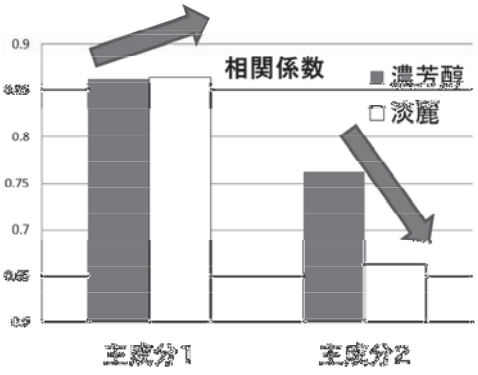


図１　主成分分析（１：香、２：味）
総合評価との相関係数

39　清酒のオフフレーバー分析法に関する検討

吉田和利

研究背景

清酒の香気成分（主として吟醸香）の分析は「国税庁所定分析法」に記載されており、当センターでも日常的にガスクロマトグラフ分析を実施している。一方で、“オフフレーバー”と呼ばれる清酒にもともと存在してはならない香りの検出は、よく訓練された評価者による官能検査では容易に検知ができるが、清酒中には香気成分がかなり低濃度で含有されていることも多く、その分析には大量の清酒からの抽出等による濃縮操作あるいは専用の濃縮装置等を付属したガスクロマトグラフ質量分析装置を用いる作業が必要となる。本研究では、市販の香気成分分析用の捕集剤を活用した簡易的な清酒のオフフレーバー分析法の可能性を探る検討を実施した。

研究成果

本研究では、清酒のオフフレーバーとして老香（ひねか）のモデル清酒（市販清酒を 45℃で４週間以上貯蔵したもの）を対象とした。そこで比較的入手が容易な市販の香気成分分析用の捕集剤（表１）を選択し、それぞれの取扱説明書に従った方法で香気成分の捕集とガスクロマトグラフ質量分析装置による分析を実施した。その結果、いずれの捕集剤でもエタノール、フェネチルアルコールなどアルコール類は容易に検出ができた。なかでもSPME(PDMS/DVB)（スペルコ社）を用いることで、熟成香の香気成分として報告されている、フルフラール、ベンズアルデヒド、コハク酸エチル等を検出することができた。一方、MotoTrap（GL サイエンス社）は、SPME と比較して表面積が多いことから香気成分の高濃縮を期待したものの今回の検討ではアルコール類しか検出することができなかった。

表１　　捕集剤の種類と抽出条件

捕集剤	抽出条件
1 SPME (PDMS/DVB)	60℃10分吸着、250℃熱脱離
2 SPME (PDMS)	60℃10分吸着、250℃熱脱離
3 MonoTrap	60℃1時間撹拌、ジクロロメタン抽出
4 MonoTrap	60℃1時間撹拌、ペンタン抽出

40　柄の繰り返しがない“やたら縞”の試作研究

古谷　稔

研究背景

昨今のファッション産業は、個性的で独創的なものが好まれる傾向にあり、播州織には、やたら縞（別称：工場縞）という個性的な織物がある。余った糸を出鱈目に並べて織る織物で、自家用織物として製造し、家人が着用した時代があった。同じものが再現できないことで個性的な柄として近年人気が上がっている。そこで、今までにない“柄の繰返しが無いやたら縞”を試作開発し、産地活性化の一助として産地に新技術として提案を行う。

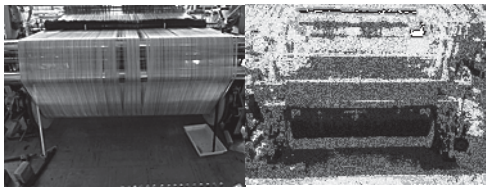


図１　試作たて糸の製織

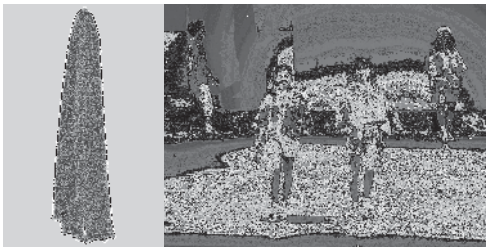


図２　製品化の例

研究成果

柄の繰り返しが無いやたら縞を製造する方法として、アレンジワインダーの活用を検討した。白と黒を基調としたアレンジワインダー糸（80 番双糸）をたて糸に用いて試織（図１）を行った。この結果、繰り返しが無く、繋いだ糸の色の出具合が微妙に変化し、かつ同じ柄が無い織物の製造方法として技術を確立した。産地企業が高級ストールの“マルチカラーのやたら縞ストール（50、60 番単糸：図２左)”として販売に着手、神戸ファッション専門学校と共同制作したやたら縞のファッションショー（図２右）で求評し高評価を得た。

アレンジワインダーを用いることで繰り返しの無いやたら縞の作製技術の確立は、同装置の新しい使用方法として期待できる。

41　織物の遮熱性評価と遮熱性織物の開発

藤田浩行

研究背景

昨年度、織物の遮熱性に関し簡便な装置を開発し、遮熱性を定量評価できることがわかった。今年度は様々な織物について開発した装置を用いて遮熱性評価を試み、遮熱性に優れた織物の設計支援を目的に実施した。

研究成果

番手および密度の異なる 12 種類の綿織物について遮熱実験を実施し、織物規格と遮熱率との関係を明らかにした。その結果、織物の目付および厚みは、遮熱性と相関関係は見られなかった。しかし、織物の空隙の指標であるクロスカバーファクターと遮熱率は、図１のとおり高い相関があることがわかった。つぎに非常に軽く通気性の良い綿織物を複数積層した場合の遮熱性を評価し、通気性との関係について検討した。その結果を図２に示す。12 種類の綿織物の結果もプロットした。積層枚数が増えれば、通気度は低下し、遮熱性も向上する。しかし、その上昇率は、織物１枚の遮熱性よりも重ねた織物の方が大幅に高く、同等の通気度を有しながら、遮熱率が大幅に向上することがわかった。

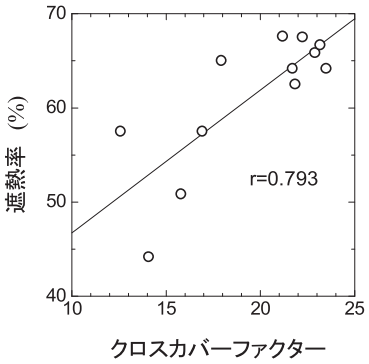


図１　クロスカバーファクターと遮熱率

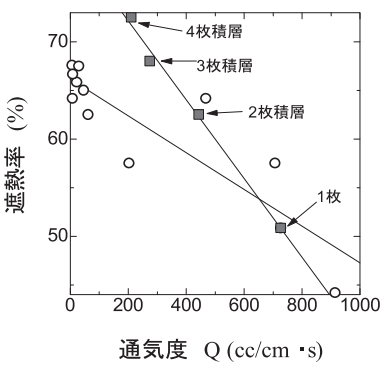


図２　通気度と遮熱率

42　顔料染色糸の柔軟性の改善

佐伯　靖

研究背景

顔料染色では顔料の定着に、バインダーの使用や摩擦堅牢性向上のため熱処理を必要とし、糸が堅くなる傾向がある。播州織物の柔軟性を付与するためには、仕上げ加工での柔軟性改善が必要である。本研究では、顔料染色の柔軟性を付与する仕上げ加工を検討し、顔料料染ニットの柔軟性評価を検討した。

研究成果

綿番手 80 双糸に三原色（赤、青、黄）および黒の顔料染色を行い筒編み機による製網（ニット）を行った。顔料染色ニットに柔軟加工を行った結果、表１に示すように、風合い試験（KES）による圧縮剛性評価から、柔軟剤 5%～10%による柔軟加工により、顔料染色糸の柔軟性は、綿 80/2 さらしの 0.32 に近づき、改善可能であることが明らかになった。

表１　顔料染色糸によるニットの風合い試験（KES）による LC（圧縮剛性）

柔軟剤量(%)	0	5	10	20
綿 80/2 さらし	**0.32**	—	—	—
赤	0.42	0.38	**0.33**	0.34
青	0.41	**0.37**	0.42	0.39
黄	0.46	0.38	**0.36**	0.39
黒	0.38	0.37	**0.35**	0.40

LC（圧縮剛性）：値が 1 に近い程、かたい

43　温度差制御気化浸透法における２段分離膜による効率化

中野恵之

研究背景

繊維廃棄物からエタノールを製造する際に、発酵液からエタノールを取り出す工程がある。従来は蒸留を用いて行うのが一般的であるが、蒸留法ではバッチ式の工程になる。本研究では、糖化発酵工程を行いながらエタノールを分離濃縮可能で糖化発酵および分離濃縮工程を連続可能とする温度差制御気化浸透法における分離膜の設置箇所を２段にすることで、より効率的なエタノールの濃縮分離を検討した。

研究成果

１段目に冷却と結露状態による水分離を目的とした分離膜もしくは金属メッシュを配置し、２段目に高度濃縮に適した中空糸分離膜を配置して分離効率を向上させることを検討した。分離膜を通過したエタノール溶液を高濃度試料、未通過の溶液を低濃度試料とした。初期の溶液は 10 %エタノール溶液 500 ml で４時間の濃縮試験を行った。表１に、細孔 20 nm のポリエチレン分離膜、電界紡糸で作成した繊維径 450 nm のポリフッ化ビニリデン（PVDF）膜および金属メッシュを配置した時の試験結果を示す。圧力の差による濃縮度の違いは確認できなかった。また、１段目の各分離膜を使用した際の結果から、100 メッシュの金属メッシュを配置すると高濃度濃縮量が向上したが、同時にエタノール分離濃縮の総量は減少した。多孔質膜の配置は性能向上に繋がらなかった。

表１　２段分離膜の１段目の分離膜の違いによる結果

１段目分離膜	圧力(Pa)	高濃度(%)	高濃度(ml)	低濃度(%)	低濃度(ml)
無し	500	85.6	11.0	13.6	112
無し	800	85.4	7.3	15.6	111
20nm膜	500	72.7	8.2	16.3	101
PVDF	500	46.0	2.4	28.8	28
795メッシュ	500	74.3	9.4	13.9	108
635メッシュ	500	75.1	8.8	14.9	116
100メッシュ	500	72.8	15.2	14.4	99
100メッシュ	800	84.7	12.7	24.6	58

44　製品異物・不具合解析データベースの最適化に向けた研究

東山幸央

研究背景

企業より持ち込まれる異物分析・不具合解析は緊急性が高いことがほとんどである。

また近年の表示偽装問題に代表されるように、製品クレームに関する分析依頼が多いため、過去の分析事例を迅速に提示することで、製品クレーム分析対応の効率化を狙う。

研究成果

異物毎の EDX と FT-IR の分析結果を関連づけた Microsoft Access データベースを作成した。入力画面を（図１）に示す。EDX の元素分析結果は、含有元素別に３段階（Strong：50%以上・Middle：10%以上・Weak：2%以上）とし、FT-IR は４つの主要ピーク（-OH・-CH・-C=O・CONH）の有無とその他特徴的なピーク等をコメント入力する方式とした。

分析結果の要素毎にフィルタによる絞り込みを掛けることで、膨大な過去の分析データの中から、迅速に類似事例を検索することが可能となった。

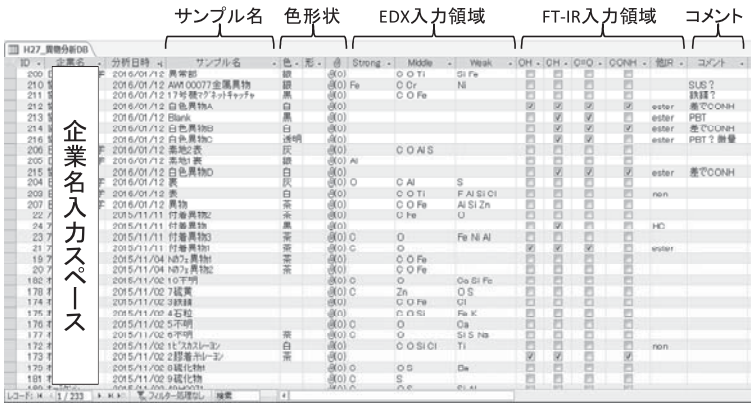


図１　データベース入力画面

45　天然植物繊維の産業利用に関する研究

～綿紡績糸のクリープ特性の改善に関する研究～

礒野禎三

研究背景

現在では、再生可能な天然植物資源の使用が求められている。そこで、ゴム製品の補強材として再生可能な天然植物資源である綿糸の使用について検討を行っている。本研究では、綿糸のクリープ特性を評価した結果、ばらつきが大きく、品質を安定させる必要があることが明らかとなったので、繊維製品に要求される太さや風合いのために行われている撚糸技術によるクリープ特性のばらつきの改善について検討を行った。

研究成果

統計では、通常 N 数が増えるとばらつきは $1/\sqrt{N}$ に小さくなることが知られている。本研究では、ばらつきは単糸を２本を撚り合わせた双糸の場合は　$1/\sqrt{2}$ に、３本を撚り合わせた三子は $1/\sqrt{3}$ に小さくなることが期待できる。

そこで、合糸機を用いて２本と３本の引きそろえを行い、意匠撚糸機を用いて Z/S の双糸と三子の糸の作成し、物性評価およびクリープ試験を行った。

糸物性については、引きそろえる合糸ではばらつきは小さくなったが、２本と３本の差はあまり見られなかった。撚糸では、双糸、三子となるにつれてばらつきは小さくなった。

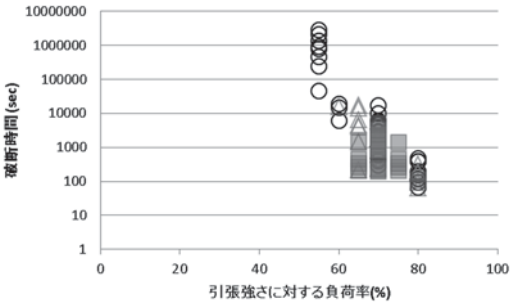


図１　クリープ試験結果（○：単糸,
△：双糸、■：三子）

クリープ試験結果を図１に示すが、単糸を双糸、三子としてもばらつきはあまり変わらず、今回の実験範囲では効果は明らかでなかった。

46　ケラチンの機能化に関する研究

森　　勝

研究背景

皮革産業で、牛毛は廃棄物として処理されている。牛毛の有効利用を目的として、牛毛からケラチンの抽出を行った。ケラチンの用途展開の１つとして、生分解性および導電性を有する複合体を作成した。

研究成果

導電性ポリマーであるポリ（3,4-エチレンジオキシチオフェン）－ポリスチレンスルホン酸(PEDOT–PSS）とケラチンとの複合化を行った。ケラチンと PEDOT–PSS 水溶液および少量のグリセリンを混合すると均一となり、キャスト法により半透明のフィルムを作成した。フィルムの表面抵抗率を測定したところ、図１に示す通り、ケラチンの割合が増えるにつれて表面抵抗率は増加した。複合体の表面抵抗率は PEDOT–PSS 単独より、２桁大きくなった。また、ケラチンの割合が多いとフィルムを剥離できたが、少ないと剥離が困難となり、無理に剥離すると粉々になった。

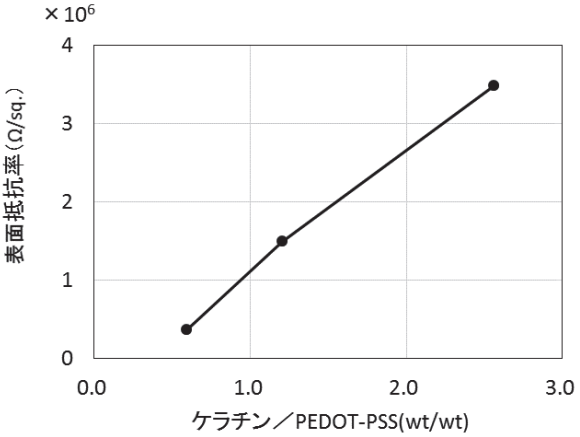


図１　ケラチン/PEDOT－PSS 複合体の
重量比と表面抵抗率の関係

47　塗膜耐久性のあるインクジェットプリントレザーの開発

西森昭人

研究背景

多品種小ロット生産に対応するために、安価なパソコン用インクジェットプリンターによるプリントレザーの開発を行ってきたが、印刷しただけでは染色摩擦堅ろう度が低く実用には適さないものであった。そこでプリントレザーの性能を向上させるために、自己修復材料による塗装を行い傷などに強い高耐久性塗膜を作製し、染色摩擦堅ろう度の向上を目指した。

研究成果

プリンターインクは染料のため耐水性が弱く、湿潤状態での染色摩擦堅ろう度は汚染評価で１級程度であった。インク、塗膜の厚さ、染色摩擦堅ろう度の関係を求めるために、塗装を１から５回まで繰り返した後に 80℃で 30 分間乾燥し、塗料の塗布量を変えて作製した。その断面を SEM 観察した結果を図１と２に示す。図から塗膜の厚さを求めたところ、塗装１回と５回でそれぞれ約 6 μm と 60 μm であった。また、塗膜表面の観察からは大きな欠陥等は見られず、良好な塗膜が作製されていた。プリントした革の染色摩擦堅ろう度試験では、自己修復材料のスプレー塗装を繰り返すことによって塗膜が改善され、４回繰り返したもので湿潤状態の評価が 3–4 級となった。この値は、JIS の靴用革基準である３級以上を満たしている。

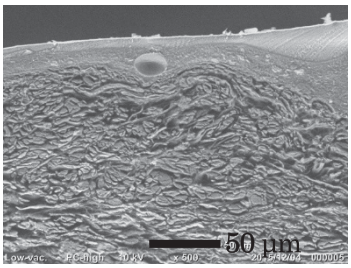


図１　革の断面：塗装１回

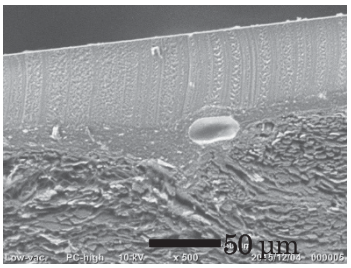


図２　革の断面：塗装５回

48　皮革に関する染色摩擦堅ろう度試験の比較

松本　誠

研究背景

現在、JIS 原案作成委員会にて、染色摩擦堅ろう度（JIS K 6547）の改正に着手している。JIS 法（クロックメータ法）と ISO 法（VESLIC 形法）では試験結果が異なる可能性がある。そこで、皮革に関する依頼試験、指導相談を行う際、分析方法により、試験結果がどれだけ異なるかを把握する必要がある。本研究では JIS 法及び ISO 法で試験を行い、試験結果を比較検討する。

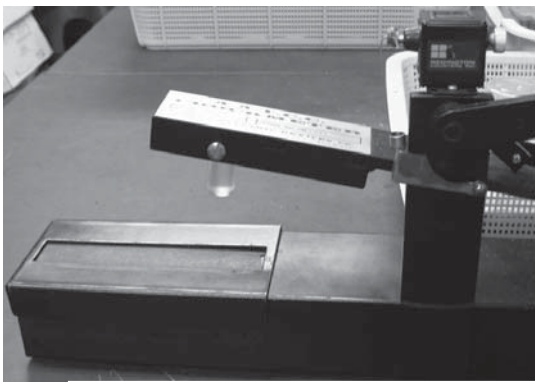


図１　クロックメータ法試験機

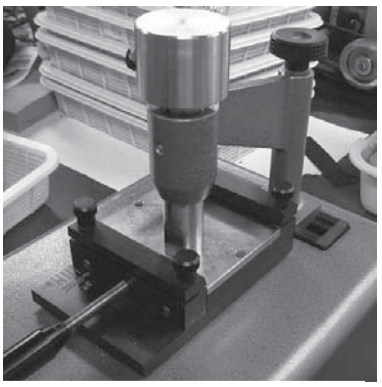


図２　VESLIC 形法試験機

研究成果

JIS 法と ISO 法を比較すると、乾燥試験においては ISO 法が全体的に良好だった。湿潤試験においては摩擦回数 10 回で比較すると ISO 法が良好、50 回で比較すると ISO 法の試験結果が低下し JIS 法が良好だった。ISO 法では試験回数を増やすと試験の約半数において等級が低下していった。この分析結果を、依頼試験の対応、技術指導相談に生かしていく。

２８産Ⓣ１－００４Ａ４