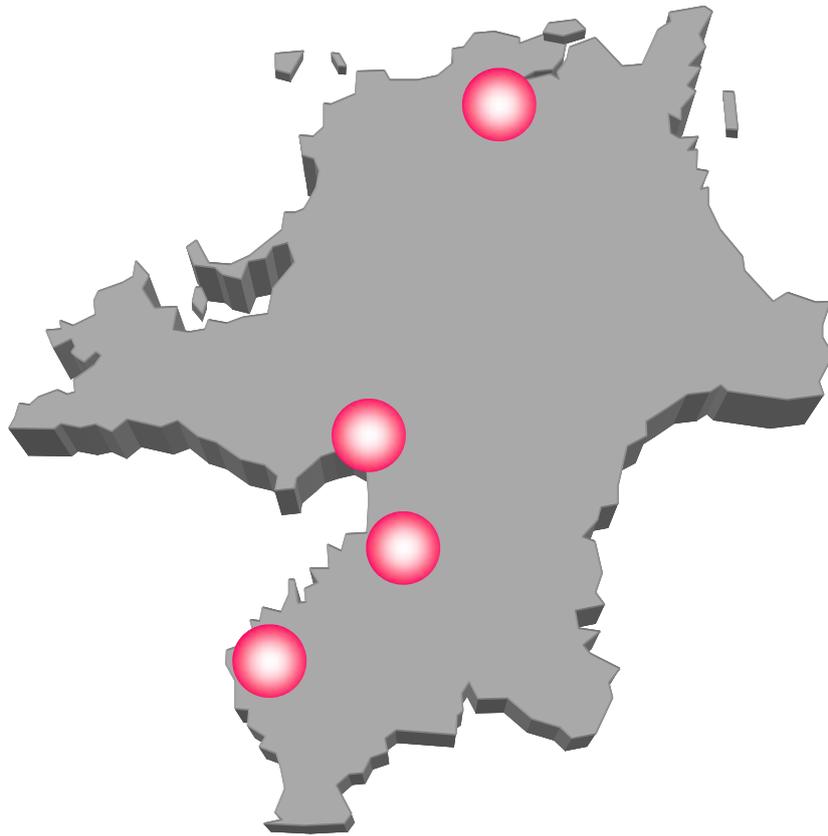


No.24 (2014)

研究報告



福岡県工業技術センター

◆◆研究報告◆◆

凍結乾燥法を用いる新規ナノ構造体製造技術.....	1
木村 太郎, 内山 直行, 齋田 真吾, 岡 美早紀	
3Dターニングマシンによる切削加工における加工条件の最適化.....	5
楠本 幸裕, 刈谷 臣吾, 隈本 知伸	
針葉樹家具部材の寸法安定性向上に関する開発(第2報).....	9
岡村 博幸, 朝倉 良平, 竹内 和敏	
部分筆めっきによるNi-P-SiC複合膜の作製.....	13
中野 賢三	
細胞培養マイクロウェルプレート製造技術の開発 —熱硬化性樹脂を用いた新しい細胞培養容器「ガラスボトムMSA」への適用—.....	16
在川 功一, 谷川 義博, 中村 憲和, 八尋 寛司, 藤川 勇, 小野 史博	
ろう付け部の打音検査技術.....	20
糸平 圭一, 山本 博美, 山本 圭一朗, 脇部 康彦, 岩本 幹夫, 吉永 憲市, 江頭 隆喜	
ノリ乾燥機のための排熱回収予熱装置の開発.....	22
周善寺 清隆, 林 伊久, 島田 雅博, 白石 日出人	

◆◆学協会誌掲載論文の概要◆◆

バチルス・チューリンゲンシスA1470株が産生する二番目の細胞傷害性タンパク質の同定.....	25
奥村 史朗, 石川 智之, 齋藤 浩之, 赤尾 哲之, 水城 英一	

研究報告

凍結乾燥法を用いる新規ナノ構造体製造技術

木村 太郎*1 内山 直行*1 齋田 真吾*1 岡 美早紀*2

A Simple Manufacturing Process of Inorganic Nanofiber Using Freeze Drying Method

Taro Kimura, Naoyuki Uchiyama, Shingo Saita and Misaki Oka

近年、ナノファイバーやナノ粒子といったナノ構造体の応用研究、産業利用が盛んに進められている。しかしながら、これらの製造工程は高度な設備や精密な操作を必要とする場合が少なくない。著者らは、これらナノ構造体を簡単に低コストで作分けする技術として「凍結乾燥法」を提案し、その基盤技術を確立することを目的として研究を行った。その結果、素材とする高分子の種類、濃度を制御することにより、ナノ構造体の作り分けが可能であることが明らかとなった。特に、各種フィルターや触媒担持体として利用価値が高いナノファイバーについての製造条件の確立を行うことが出来た。また、凍結乾燥過程における諸条件が及ぼす効果についても検討を行い、ナノ構造体生成メカニズムの検討を行った。

1 はじめに

ナノファイバーは、各種フィルター、再生医療の足場材、燃料電池のセパレーターなど様々な分野で有効性が確認されている。現在、微細な繊維の製造方法として、①溶融紡糸法、②エレクトロスピンニング法等が報告されている。しかしながら、それぞれ現在のところ①1 μ m以下の繊維を作製することは困難、②大量生産に向かず高コスト、といった欠点があり実用化への障壁となっている。ナノファイバー自体の有効性は数多く報告されているにもかかわらず、製造方法がネックとなり産業分野への応用が限定されている現状は、極めて改善の余地があると考えられる。

本研究で提案する「凍結乾燥法を用いるナノ構造製造技術」は、高分子希薄水溶液を制御された環境下で凍結乾燥することにより、ナノファイバーやナノ粒子を簡便に製造するものである^{1), 2)} (図 1)。また、凍結乾燥法はフリーズドライ製法とも呼ばれ、インスタントみそ汁やカップラーメンの具など日常的な食品の製造に用いられている汎用的な技術である。従って、製造インフラもすでに整っており「低コスト」「大量生産」を可能とするものであるため、産業分野への応用範囲も広いと期待される。

本研究では、「凍結乾燥法」によるナノ構造体生成のメカニズムについて詳細な検討を行い、実用化展開を視野に入れた基盤技術の確立を行ったので報告する。

2 実験方法

2-1 凍結乾燥法の基本操作

水溶性高分子を0.1~5.0wt%の範囲で水に溶解させたものを500 μ Lサンプル管に入れ、これを液体窒素で急速凍結した後、緩やかに真空乾燥(真空度10Pa)することでナノ構造体を得た。

2-2 高分子材料

水溶性高分子として、ポリビニルアルコール(PVA)やポリビニルピロリドン(PVP)、ポリエチレンオキシド(PEO)、ポリスチレンスルホキシド(PSS)、といった合成高分子、シゾフィラン(SPG)、デキストラン、プルラン、アガロース、フコイダン、グアーガム、キサンタンガムといった天然多糖類、また、デキストラン硫酸ナトリウム、アルギン酸ナトリウムといった荷電高分子を用いた。

2-3 ナノ構造体の評価

得られた生成物の構造を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察し、分子構造とナノ構造体との相関について評価を試みた。画像からの判断になるため、基本的には、同一条件について複数回のサンプル作製・観察を行い、観察者も複数とし、極力観察者の主観やサンプル間のばらつきを排除した。

*1 化学繊維研究所

*2 久留米工業高等専門学校(現 九州大学)

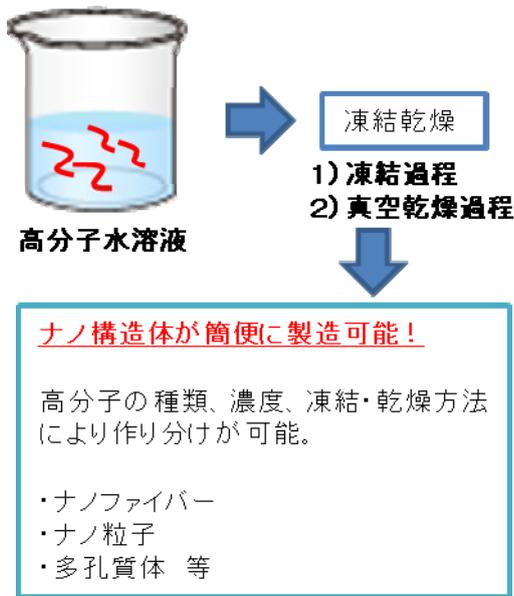


図1 凍結乾燥法の概要

3 結果と考察

3-1 高分子構造，濃度がナノ/マイクロ構造体生成に及ぼす影響

様々な水溶性高分子を凍結乾燥し，得られた構造体について検討を行った。その結果，高分子種や溶液濃度によりシート，マイクロファイバー，ナノファイバー，ナノ粒子といった様々な構造が観察された。代表例としてPVA，PVP，SPGについての濃度変化と生成するナノ構造体との相関を図2に示す。全体的な傾向としては溶液濃度が高い場合はシートやマイクロファイバーといった比較的大きな構造が，低い場合はナノファイバーやナノ粒子といった微小な構造が観察された。これは，高濃度の高分子水溶液中では分子鎖同士の距離が近いため凝集が起こりやすく大きな構造体が生成するのに対し，希薄な溶液中では凝集体の発達が抑えられ，ナノサイズの構造体に留まるためと考えられる。濃度による構造の変化が顕著に表れた例としてPVP (Mw 360000) のSEM画像を図3に示す。これによるとPVPを0.5wt%水溶液として凍結乾燥した場合，直径1 μm 以下のナノ粒子が生成した。次に1.5wt%水溶液を凍結乾燥したところおよそ直径200 nmのナノファイバー（及び一部粒子）が，更に，5.0wt%水溶液ではテープ状のマイクロファイバーが生成することを確認した。同じ高分子を用いても濃度の違いにより劇的に構造が変化することが明らかとなり，ナノ/マイクロ構造体の作り分けを可能とする現象といえる。

高分子溶液濃度 (wt%)	5.0	3.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.1
高分子材料							
PVA (Mw 120000)	マイクロファイバー		ナノファイバー				
PVP (Mw 360000)	マイクロファイバー		ナノファイバー		ナノ粒子		
PVP (Mw 5000)	マイクロファイバー		ナノファイバー		ナノ粒子		
SPG (Mw 150000)	シート		ナノファイバー				

図2 凍結乾燥法により生成するナノ構造と高分子種，溶液濃度の相関

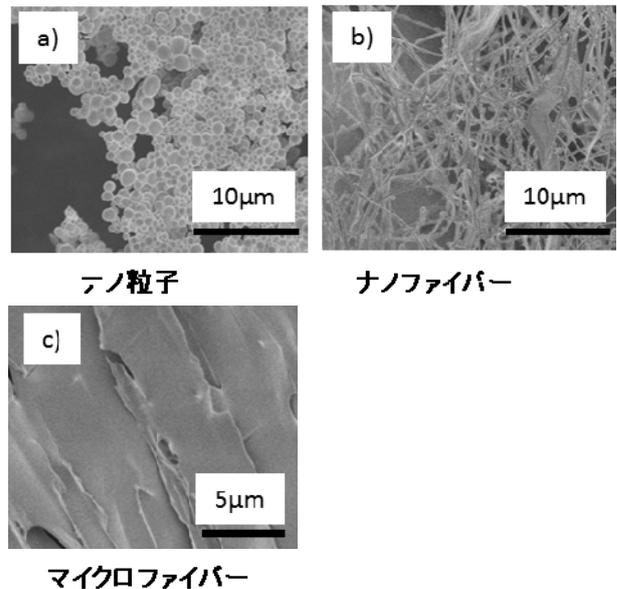


図3 異なる濃度のPVP溶液から作製されたナノ構造体のSEM画像： a) 0.5wt%， b) 1.5wt%， c) 5.0wt%

3-2 ナノファイバー生成条件の探索

「凍結乾燥法」により様々なナノ/マイクロ構造体が生成し得ることが3-1より明らかとなった。その中で，特にナノファイバーは高い比表面積を有するため，フィルターや触媒担持体として産業利用上重要であると考えられる。そこで，2-2に示す高分子種について濃度0.1～0.5wt%の範囲で網羅的にナノファイバー生

成材料を探索した。その結果、PVP, PEO, SPG, PVA, グアーガム, キサンタンガムがナノファイバーを生成することが明らかとなった。これらの分子構造には共通点は見られない。強いて言えば、水溶性の高い合成高分子, または剛直性の高い多糖類の2群がナノファイバー生成に適した素材ではないかと推測される。なお、分子量はナノ/マイクロ構造体生成には影響を与えないことが示唆された。得られたナノファイバーの代表例を図4に示す。図4a), b) はSPGから作製したナノファイバーを示す。低倍率のSEM画像からはナノファイバーが視野全体にわたり発達していることが分か

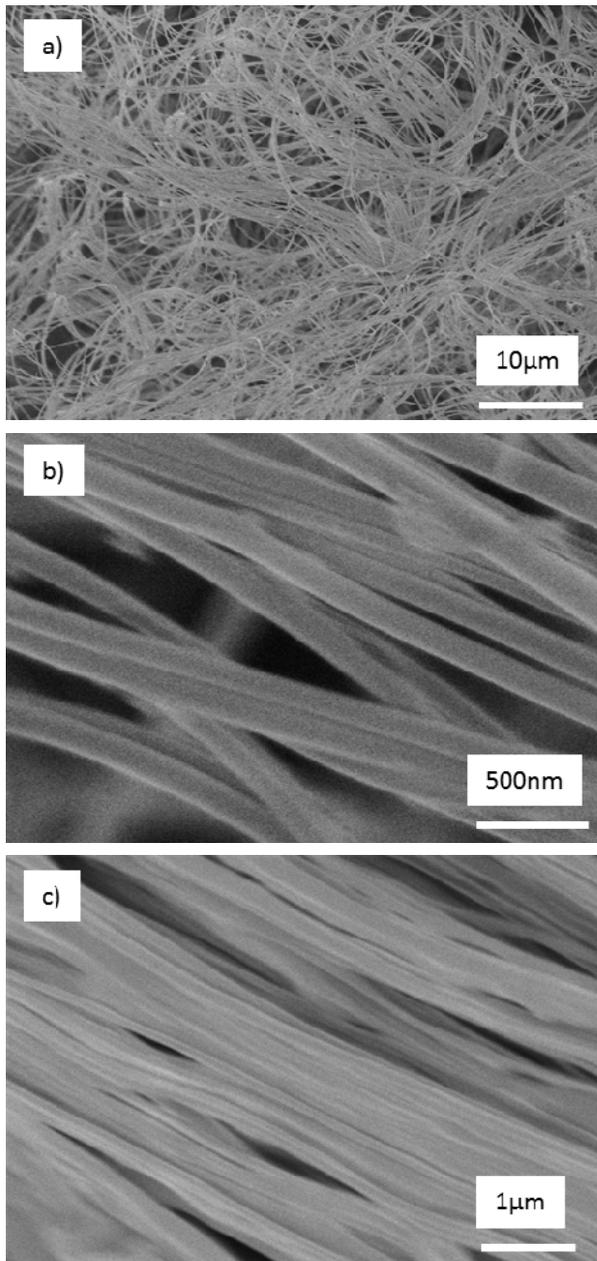


図4 凍結乾燥法により生成するナノファイバー: a) SPG 0.5wt% (低倍率), b) SPG 0.5wt% (高倍率), c) PEO 1.0wt%

る。また、高倍率の画像からは、繊維径が直径150 nmでそろっていること、こぶや太さムラが少ない繊維であることが確認された。図4c)にはPEOにより作製したナノファイバーを示すが、やはり繊維径約200 nmの均一な繊維が生成していることが確認された。

3-3 ナノファイバー生成に及ぼす凍結・乾燥条件の影響

次に、凍結乾燥条件がナノファイバー生成に及ぼす影響について検討を行った。具体的には凍結速度, 乾燥速度(減圧度)を変えて生成するナノ構造体の評価を行った(各過程の速度の定義は図5を参照)。PVAの例を図5に示す。これによると凍結過程を「急冷」した場合、ナノ粒子やナノファイバーといった微細な構造が生成するが、「緩冷」した場合は数μmの厚みを持つシート構造が生成した。凍結速度がナノ構造に影響

		乾燥過程	
		急乾	緩乾
凍結過程	急冷	<p>2μm ナノ粒子</p>	<p>30μm ナノファイバー</p>
	緩冷	<p>50μm シート</p>	<p>100μm シート</p>

急冷: 液体窒素にて5分以内に凍結
 緩冷: フリーザーで30分以内に凍結
 急乾: 減圧度1.5 Pa、常温で真空乾燥
 緩乾: 減圧度10 Pa、常温で真空乾燥

図5 凍結, 乾燥の条件がナノ構造に及ぼす影響: PVA 0.5wt%

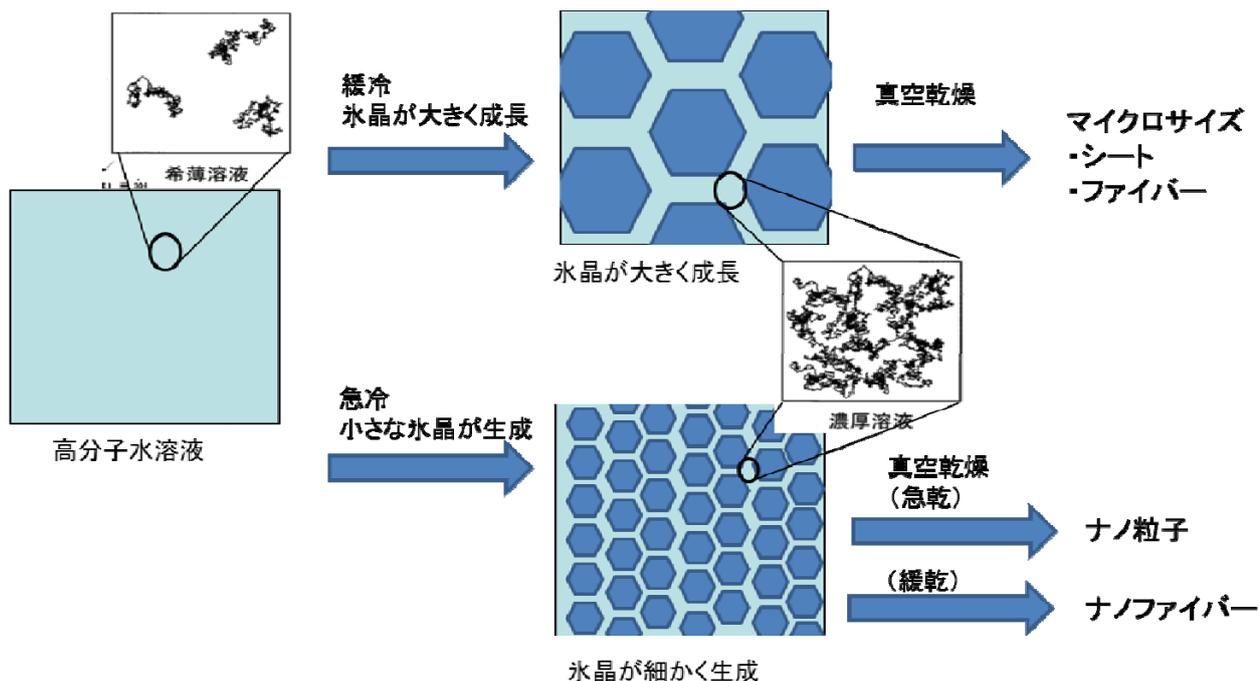


図6 凍結乾燥過程がナノ構造に及ぼすメカニズム

響を与える原因としては、水溶液が凍結する際の氷晶の発生・成長が変わることが考えられる（図6）。即ち、緩やかに凍結した場合、水溶液中では少数の氷晶が大きく成長し凍結に至ると考えられる。そのため、水溶液中の高分子は氷晶の生成により押しのけられ高濃度に濃縮されることになる。これを凍結乾燥すると粗く大きな構造が生成する。これに対し、「急冷」すると小さな氷晶が数多く生成することになり、これに沿う形で高分子もきめ細かな構造が生成されることが考えられる。また、乾燥時の真空度を高めると繊維から粒子への変化が誘起されることが示唆された。この原因は今のところ明らかではないが、乾燥速度の違いにより高分子の配向が変わる可能性が挙げられる。従って、凍結乾燥法によるナノ構造体製造においては、原料となる高分子の構造のみならず、凍結・乾燥条件の制御が重要であることが明らかとなった。

なお、3-1、3-2で行った実験は全て「急冷」-「緩乾」の条件で統一していることを補足する。

4 まとめ

本研究では、希薄な高分子水溶液を凍結乾燥することで、ナノ粒子やナノファイバーといったナノ構造体の作り分けが可能であることを示すことが出来た。そ

のためには、高分子の種類、濃度といった材料面の因子、及び凍結速度や乾燥速度といった環境面の因子、という2つの要因をコントロールすることが重要である。

また、「凍結乾燥法」を用いてPVP、PEO、SPG、PVA、グアーガム、キサンタンガムを素材としてナノファイバーを製造することに成功した。これらは汎用的な高分子であり低価格で入手できるものが多い。また、グアーガムやキサンタンガムは増粘多糖類として食品添加が認可されている物質である。従って、本法で作製されるナノファイバーはフィルターや触媒担持体のみならず、食品関連、化粧品関連など新たな分野への応用が期待される。

謝辞

本研究はJSPS科研費 24651149の助成を受け実施されました。

5 参考文献

- 1) 木村太郎：特願2013-024668
- 2) 木村太郎，内山直行，齊田真吾，岡美早紀：第63回高分子学会年次大会予稿集，63巻（1），pp. 3803-3804（2014）

3Dターニングマシンによる切削加工における加工条件の最適化

楠本 幸裕*1 刈谷 臣吾*1 隈本 知伸*2

Optimization of the processing conditions in cutting with "3D turning machine"

Yukihiro Kusumoto, Shingo Kariya and Tomonobu Kumamoto

独楽工房 隈本木工所が新規に導入した『3Dターニングマシン』は木工旋盤と似ているが、チップソーによる切削とNC制御により、木工旋盤では不可能な非対称形状の加工が可能である。しかし開発されたばかりで導入実績が少ない為、操作性や加工の正確性において完成度が低く、実使用レベルに引き上げる必要があった。例えばチップソーの送り方向が本来と異なることが原因とされる形状誤差(例：真球のはずが卵型)が生じている。そこで本研究では加工の送り速度やチップソーの回転数・寸法等加工条件の最適化による形状誤差の抑制を図った。その結果、形状誤差が減少する傾向と最適な加工条件の関係を見出すことができ、十分な加工精度を得ることができた。

1 はじめに

伝統的な木製玩具であるコマは、「八女和コマ」や「博多コマ」が福岡県知事指定特産工芸品・民芸品に指定される等、県内においても古くから盛んな産業であった。しかし近年は携帯ゲーム機やキャラクター玩具等の普及に加え、子供達が昔に比べヒモを巻く動作が苦手になってきていることにより、コマ業界は需要の低迷に貧している。そこで八女市の木製玩具・コマ製造業「独楽工房 隈本木工所」(以下、隈本木工所)と共同で、ヒモの巻きやすさと高いデザイン性の両方を兼ね備えた従来にない形状のコマとして、らせん状の溝を持った木製コマ(らせんコマ)の開発に着手した。図1にそのイメージ図を示す。

通常、木製コマの製造には「木工旋盤」を使用するが、木工旋盤はその特性上、必ず対称な形状(回転体形状)となる。しかし今回目指すらせんコマは非対称な形状であるため木工旋盤では加工できない。そこで我々は、非対称な形状への加工が可能でコマ業界では使用された前例のない『3Dターニングマシン』を用いて、らせんコマの開発に取り組んだ。同加工機はNC制御装置を備えており、3次元CADでモデル化し、専用のCAMを用いてNCプログラムを作成し、プログラムに従い木材やチップソーを制御しながら加工する¹⁾(図2・左)。しかし開発されたばかりで導入実績が少ないため、操作性や加工の正確性において完成度が低く、実使用レベルに引き上げる必要がある。その一つがチ

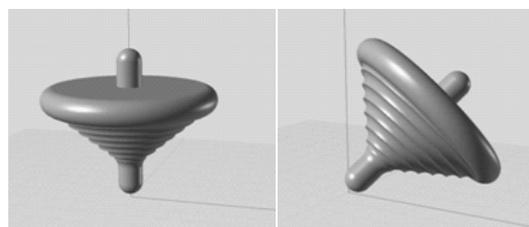


図1 らせんコマ イメージ

ップソーの送り方向が本来と異なることが原因と考えられる形状誤差(例：真球のはずが卵型)である。チップソーは本来送り方向を縦向きで使用するため、横方向の剛性は極めて低い。しかし3Dターニングマシンはチップソーを横向きの送り方向で加工している。そのためチップソーは切削中に送り方向と逆向きに発生する反作用力によって変形し(図2・右)、その影響で本来得べき形状とは若干異なる形状に加工されると考えられる。ヒモの巻きやすさを実現するためには、らせん状の溝の細かな形状が重要であるため、その若干の誤差も許容されない。そこで本研究では、まずチップソーの変形度合いに及ぼす要因を明らかにし、それらを最適化することで形状誤差の抑制を図った。

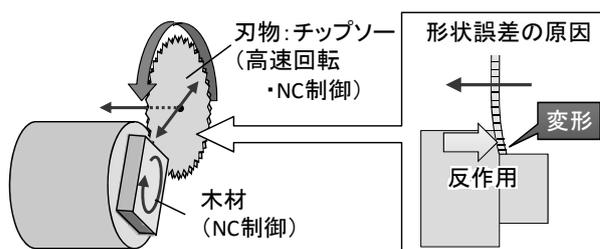


図2 3Dターニングマシンの機構と形状誤差の原因

*1 インテリア研究所

*2 独楽工房 隈本木工所

2 実験方法

2-1 ヒノキを用いた実験手順

チップソーの変形度合いに及ぼす要因を明らかにするため、隈本木工所の商品で使用されている樹種の一つであるヒノキを用い、次の手順で実験を実施した。

2-1-1 要因の選出

まず3Dターニングマシンによる加工において、チップソーの変形度合いに影響を及ぼすと推定される要因を選出する。今回は加工中の送り速度、チップソーの回転数、チップソーの種類(寸法)の3つを選出した。

2-1-2 加工条件の設定と試料の作製

前項で選出した要因が実際にどの程度チップソーの変形に影響を及ぼすのかを検証するため、表1に示す加工条件を組み合わせた全45種類の加工条件で試料を作製した。試料の形状は「55 mm角の角柱から削り出した直径30 mmの半球体」とした(図3・左)。なおチップソーの種類は、3Dターニングマシンに取付け可能で、かつ一般に流通している既製品から選んだ。

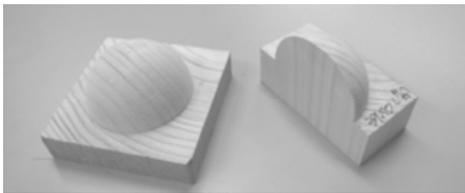


図3 試料・切断した試料

表1 試料作製用の加工条件

要因	加工条件					
	送り速度 [mm/分]	5	10	20	30	40
回転数 [rpm]		3,000		4,500		6,000
チップソーの種類【名称】		【A】	【B】	【C】		
直径[mm]×刃厚[mm] ×刃数[個]		165×1.6 ×52	205×1.3 ×40	205×1.3 ×50		

2-1-3 形状誤差面積の算出

前項で作製した試料に対して、以下の方法で正確な直径30 mmの半球体との誤差を測定した。試料を半分にし(図3・右)、その切断面をスキャナで取り込みCADデータへ変換、CAD上で直径30 mmの半円との差分を取ると、図4に示すような面が得られる。この面が形状誤差であり、CADでその面積を算出しその大小をもって加工精度の良否を評価することとした。

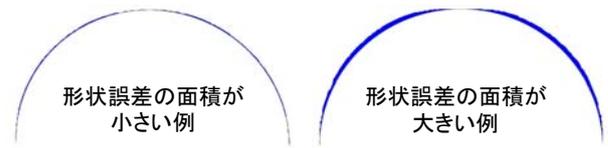


図4 形状誤差

2-2 ヒノキに関する加工条件の最適化

ヒノキによる実験によって明らかになったチップソーの変形度合いに及ぼす要因について、その傾向と共に実用性を加味した上で、加工条件を最適化した。

2-3 ヒノキ以外の樹種の場合での検証

ヒノキで最適化された加工条件をもとに、商品用の他の樹種(ミズキ・ケヤキ・ブナ)での加工実験を行い、それらに対する最適化を行った。

3 結果と考察

3-1 送り速度の影響について

実験結果を送り速度で比較したグラフを図5~7に示す。縦軸が形状誤差の面積、横軸が送り速度である。送り速度が速くなるほど誤差面積が増える傾向が認められた。特にチップソーAの増加度合いは顕著で、対してチップソーCは、緩やかな増加度合いとなっていた。

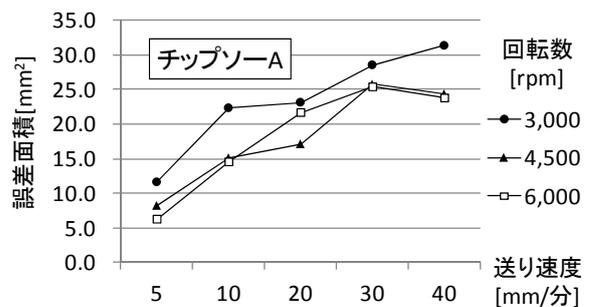


図5 送り速度による形状誤差面積の比較(A)

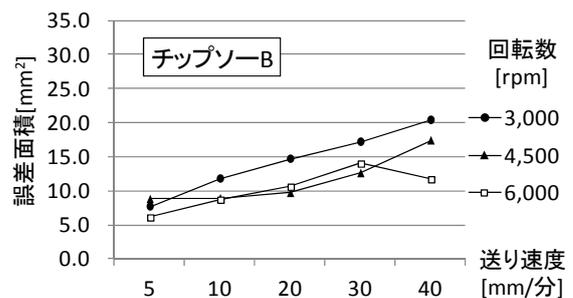


図6 送り速度による形状誤差面積の比較(B)

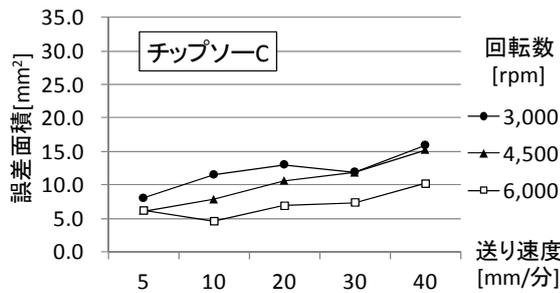


図7 送り速度による形状誤差面積の比較 (C)

3-2 チップソーの回転数の影響について

実験結果をチップソーの回転数で比較したグラフを図8~10に示す。縦軸が形状誤差の面積、横軸がチップソーの回転数である。送り速度ほど明確ではないが、回転数が高くなるほど誤差面積が減る傾向が認められた。

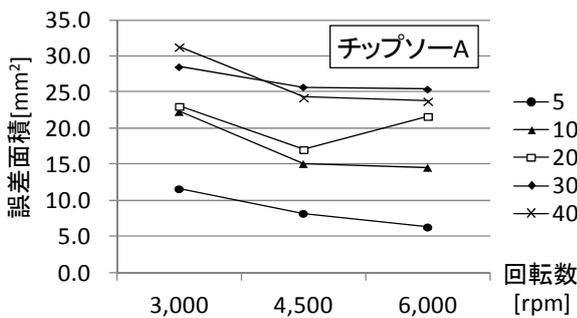


図8 回転数による形状誤差面積の比較 (A)

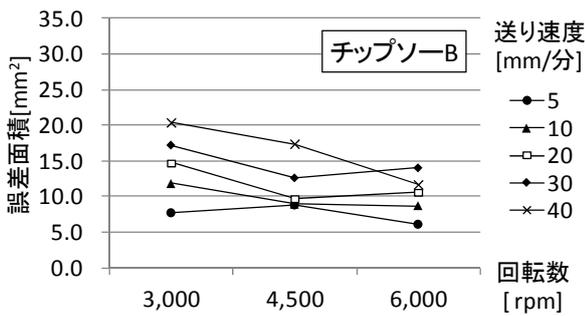


図9 回転数による形状誤差面積の比較 (B)

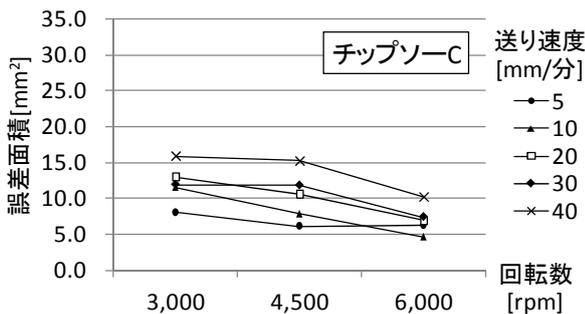


図10 回転数による形状誤差面積の比較 (C)

3-3 チップソーの種類の影響について

実験結果をチップソーの種類で比較したグラフを図11~13に示す。縦軸が形状誤差の面積で、チップソーの種類ごとに横に並べている。全ての回転数に共通して、送り速度が5 mm/分の場合を除きチップソーAが他のBとCに比べ大幅に誤差面積が大きい結果となった。またチップソーBとCを比較した場合には、送り速度や回転数によってバラつきは見られるが、ほぼ同じか若干Cの方が誤差面積は小さい結果となった。

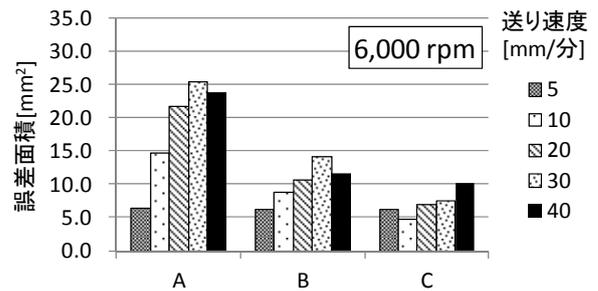


図11 チップソーの種類による形状誤差面積の比較 (6,000 rpm)

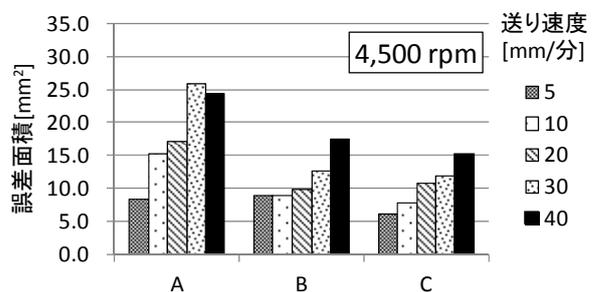


図12 チップソーの種類による形状誤差面積の比較 (4,500 rpm)

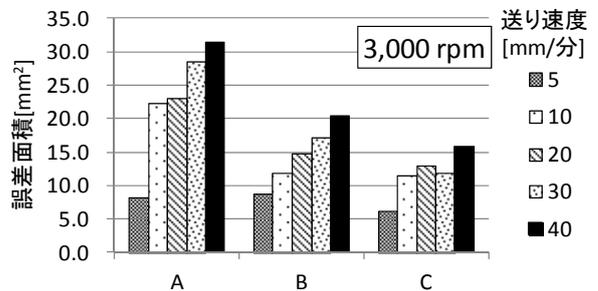


図13 チップソーの種類による形状誤差面積の比較 (3,000 rpm)

3-4 実験結果の考察

今回の実験で得られた結果を整理すると、まず送り速度については低速であるほど誤差面積が減る傾向に

あり、特に径の小さいチップソーAでは顕著であった。次にチップソーの回転数については、送り速度ほど明確ではないが、高回転であるほど誤差面積が減る傾向であった。チップソーの種類については直径165 mmのチップソーAと同205 mmのチップソーB及びCとを比べると、直径が大きいB及びCの方が誤差面積は少ない傾向にあった。また直径は同じだが刃数が異なるチップソーBとCとを比較すると、僅かではあるが刃数が多いCの方が誤差面積は少なかった。つまり径が大きく、刃数が多いほど誤差面積が小さい傾向が認められた。

3-5 ヒノキに対する最適な加工条件の選定

3-5-1 理論上の最適な加工条件

以上の傾向から単純に加工条件の最適な値を導き出そうとすると、その指標は「送り速度はできるだけ低速、チップソーの回転数はできるだけ高回転、チップソーはできるだけ径が大きく刃数が多いもの」となる。例えば今回の実験条件の中からであれば、「直径205 mm×刃厚1.3 mm×刃数60のチップソーCを6,000 rpmで使用し、5 mm/分の送り速度で加工する」が理論上の最適な加工条件となる。しかし実用性を考慮した場合、送り速度5 mm/分では、速度が遅すぎて生産効率が格段に悪化し現実的でない。そこでまず許容される誤差を設定し、その範囲内で最も高速な送り速度を最適な送り速度とすることにした。

3-5-2 許容される誤差の設定

許容される誤差の値については、木製玩具を対象とした学術的な数値や指標等が存在しないため、独自に設定する必要がある。そこで作製した全ての試料に対し隈本木工所が可/不可を判断し、可となったグループの誤差面積から、許容値(面積)を設定することとした。その結果、誤差の許容値を12 mm²と設定した。

3-5-3 実用性を考慮し最適な加工条件

以上を踏まえ最適な加工条件を次の通りとした。チップソーの種類は、全ての条件において誤差面積が少なかったチップソーC。次に回転数は高回転であるほど誤差面積が小さい傾向であったため、3Dターニングマシンにおける最大回転数である6,000 rpm。最後に送り速度は、チップソーCを6,000 rpmで用いた場合に、許容値である12 mm²を超えない範囲で最も高速である40 mm/分とした(図7参照)。なおこの速度は、隈本木工所が求める生産効率(長さ70 mmのコマを1時間に8個以上)を十分に満たしている。

3-6 ヒノキ以外の樹種の場合での検証

ヒノキ以外の樹種を用いた場合を検証するため、ミズキ・ケヤキ・ブナを用いて同様の実験を実施した。図14に送り速度による誤差面積の比較を示す。ヒノキの時と同様に、チップソーCを6,000 rpmで使用し、「許容誤差12 mm²」の範囲内で最も送り速度が速い条件を最適な加工条件とすれば、それぞれミズキは20 mm/分、ケヤキは10 mm/分、ブナは5 mm/分となる。木の硬さに応じて、許容範囲内に収まる送り速度が遅くなる結果となった。またこれら樹種の中で最も硬いブナの場合、求める生産効率を満たさない結果となった。

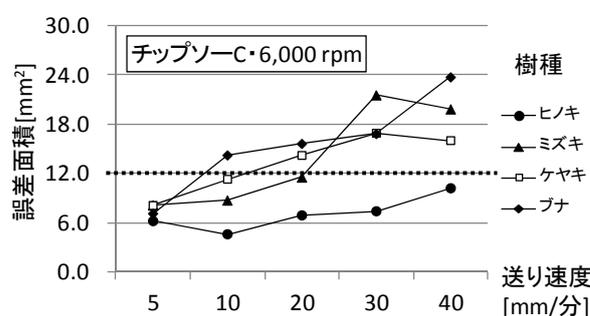


図14 樹種別での送り速度による形状誤差面積の比較

4 まとめ

らせんコマ開発のために隈本木工所が新規導入した3Dターニングマシンには、切削に用いるチップソーの送り方向が本来とは異なる横向きとなっていることから、加工中にチップソーが変形し、それがもとで形状誤差の発生する課題があった。

本研究ではこの形状誤差を抑制するために、まずチップソーの変形の要因として、送り速度、チップソーの回転数、チップソーの種類3点を選出した。次にヒノキ・ミズキ・ケヤキ・ブナにおいて誤差を許容される範囲内に留めるために必要なこれら3点に関する加工条件の最適化を行った。その結果、ブナを除く3樹種について、実用上十分な送り速度で誤差を許容範囲内に抑えた加工を実現した。ブナについては、形状誤差を想定した修正プログラムの開発による送り速度の向上を目指す。

5 文献

- 1) 橋本, 関山他: 第62回日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM), 口頭発表, S16-09-1545(2012)

針葉樹家具部材の寸法安定性向上に関する開発(第2報)

岡村 博幸*1 朝倉 良平*1 竹内 和敏*1

Dimensional Stabilization of Softwood for Furniture Materials (II)

Hiroyuki Okamura, Ryohei Asakura and Kazutoshi Takeuchi

前報に引き続き針葉樹家具部材の寸法安定性および表面の硬さの向上を目的に、糖類（エリスリトール）による含浸処理方法を検討したところ、硬さおよび寸法安定性等の基礎的な知見が得られた。処理により硬さは増したが耐摩耗性は低下した。寸法安定性に関しては他の糖類（ラクチトール、トレハロース）処理に比べ ASE（抗膨潤能）が大きいことが解った。さらに、ラクチトール、トレハロースおよびエリスリトール処理スギ材を対象に曲げ強度および木ねじ保持力を評価した結果、トレハロースおよびエリスリトール処理スギ材において強度向上が見られ、含浸重量当たりの比較から、エリスリトールが強度向上に対する効果が最も大きいことが解った。

1 はじめに

スギ材を家具や内装材として利用する場合、未処理のままでは寸法安定性が低く反り易いこと、および他の樹種に比べ軟らかく傷が付き易いこと等が問題となっている¹⁻²⁾。前報³⁾ではスギ材に寸法安定性および硬さを付与するため、減圧加圧法によってスギ材に糖類溶液を浸し評価した。実験に供した糖類は、考古学において遺物の保存処理で実施されている“糖アルコール含浸処理法”を参考に、同処理法で用いられるラクチトールおよびトレハロースとした⁴⁻⁶⁾。これらの糖類は食品添加物として販売され比較的安価であり入手も容易であるため、本研究の材料に最適であると考えられた。実験の結果、ラクチトール処理（以下、La処理）スギ材は一定の寸法安定性の向上は見られたが硬さの向上は見られなかった。一方、トレハロース処理（以下、Tr処理）スギ材は硬さの向上は見られたが、寸法安定性の向上についてはLa処理スギ材に比べ低かった。そこで本報告では、新たな材料による処理を検討するため、糖アルコールであるエリスリトール（図1）を用いた処理方法を検討した。

本材料はラクチトールおよびトレハロースと同様、食品添加物であり、比較的安価で入手が容易であることから、コストと安全性の観点から実験に供することとした。また、3種の糖類を浸し処理した材料について強度性能を見るため、曲げ試験及び木ねじ保持力試

験を実施した。

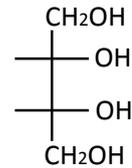


図1 エリスリトール

2 実験方法

2-1 供試材料

九州産スギの辺材部分を用い、寸法安定性評価用に15 (L) × 30 (T) × 15 (R) mm、硬さおよび耐摩耗性試験用に100 × 100 mmの板目材、曲げ試験用に20 × 20 × 320 mm、木ねじ保持力試験用に20 × 20 × 50 mmの板目材を浸し処理に供した。

2-2 糖類の含浸処理

エリスリトール（株）カーギルジャパン）は食品添加物製品を用い、35および20wt%の水溶液を調製した。同様に50wt%も調製したが室温で過飽和溶液となったため、本研究では評価対象としなかった。作製した水溶液に試験片を浸漬後、-90 kPaで1時間減圧、0.7 MPaで1時間加圧処理を行った。試験片を取り出し、70℃の乾燥器中で1週間静置した。これをエリスリトール処理（以下、Er処理）スギ材とし試験に供した。評価ではさらに20℃、65%RHの恒温恒湿器中で24時間養生したものを用いた。

曲げ試験および木ねじ保持力試験には上記の方法で作製したEr処理スギ材の他、前報³⁾と同様の処理を行

*1 インテリア研究所

ったLaおよびTr処理スギ材を用いた。処理液濃度はエリスリトール35wt%，ラクチトール50wt%，トレハロース50wt%とした。

2-3 バルキング効果の測定

糖類が細胞壁内に定着しているかを確認するため、処理試験片の乾燥状態における膨張率（バルキング効果）を見た。操作は前報³⁾と同様の方法で実施した。

2-4 吸湿量および寸法安定性の評価

吸湿条件として 20℃、90%RH の恒温恒湿器中に試験片を 48 時間静置し、重量および寸法を測定した。その後、103±2℃の乾燥器中で乾燥し重量および寸法を測定した。これらの値から、吸湿率（重量増加率）、および寸法安定性の指標である抗膨潤能（以下、ASE）を求めた。ASE（%）は次式により求めた。

$$ASE (\%) = (\beta_c - \beta_t) / \beta_c \times 100$$

ここで β_c は未処理材の膨潤率、 β_t は処理材の膨潤率である。

2-5 表面硬さおよび耐摩耗性試験

ブリネル硬さ試験⁷⁾および耐摩耗性試験⁸⁾は前報³⁾と同様の方法で実施した。

2-6 曲げ試験および木ねじ保持力試験

曲げ試験⁷⁾は、万能試験機（オートグラフ AG-X, (株)島津製作所）を用い、荷重速度は 5 mm/min, スパンは 280 mm とした。木ねじ保持力試験は繊維板の JIS 規格⁹⁾を参考にして、呼び径 2.7 mm, 長さ 16 mm の木ねじのねじ部（約 11 mm）をねじ込んだ後、2 mm/min で引張り、任意の 2 か所における最大荷重の平均値を木ねじ保持力とした。

3 結果及び考察

3-1 バルキングの効果

含浸処理による膨張率および飽水処理スギ材の膨張率を図2に示す。Er処理スギ材において、バルキング効果が確認された。20, 35wt%処理の膨張率は接線方向においてそれぞれ4.8, 5.8%で、半径方向においてそれぞれ2.0, 2.4%であった。Er処理スギ材は接線方向、半径方向ともに処理濃度が大きい程、膨張率が大きくなることが解った。この傾向は前報³⁾のLa処理およびTr処理スギ材にも見られた。特に35wt%処理の膨張率は飽水処理スギ材の膨張率に近く、エリスリトールは細胞壁内に侵入しやすいことが推察された。

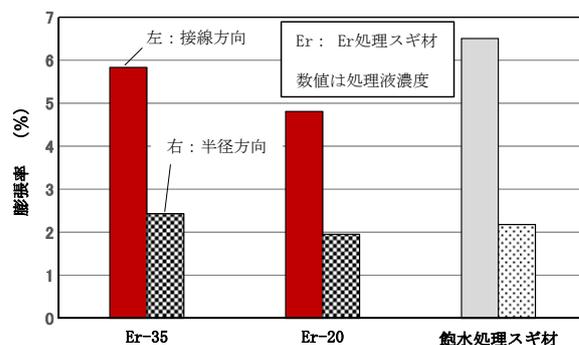


図2 含浸処理による膨張率および飽水処理スギ材の膨張率

3-2 吸湿量および寸法安定性の向上効果

吸湿率（重量増加率）と処理濃度の関係を図3に示す。Er 処理スギ材はコントロール（未処理スギ）より吸湿率が低く、20wt%処理と 35wt%処理では処理濃度が高い方が吸湿率は低いことが解った。

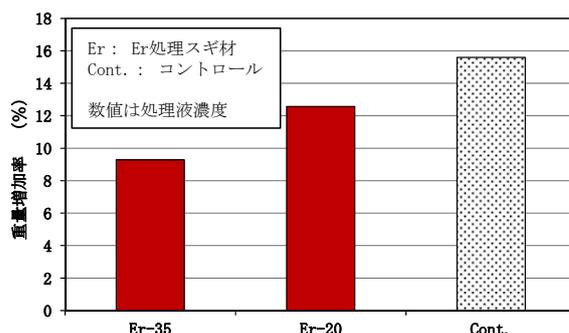


図3 吸湿率（重量増加率）と処理濃度の関係

含浸処理による寸法安定性向上の効果を表1に示す。ASE 値の指標は値が大きい程、寸法安定化処理の効果が大きいことを表す。20wt%処理と 35wt%処理ではASEに顕著な差は確認されなかった。前報³⁾のLa処理およびTr処理スギ材のASEが最大で約40%であったことから、Er処理スギ材は寸法安定性が極めて高いことが解った。これは、Er処理スギ材では含浸処理後の

表1 糖類の含浸処理による寸法安定性向上の効果

	処理液濃度 (wt%)	方向	ASE (%)
Er処理スギ材	35	接線	65.0
		半径	51.0
	20	接線	54.9
		半径	65.6

膨張率が高く、細胞壁が十分に膨張したまま固定化が進むことで、寸法変化の抑制に寄与したためと考えられる。

3-3 硬さおよび耐摩耗性

糖類の含浸処理がブリネル硬さに与える影響（早材部分）を図4に示す。比較的軟らかい早材部分において、含浸処理により硬さ向上の効果が確認された。硬さの向上は、20wt%処理と比較して35wt%処理の方が大きかった。処理濃度が高くなる程、硬さが向上することが推察された。

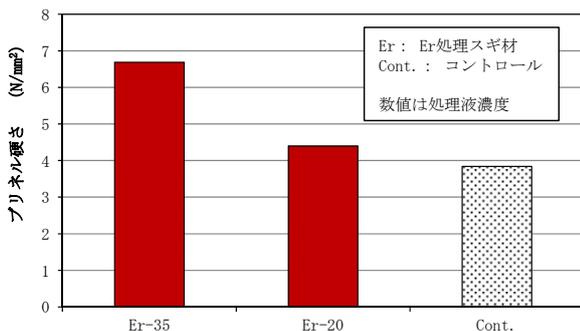


図4 糖類の含浸処理がブリネル硬さに与える影響（早材部分）

耐摩耗性試験の結果を図5に示す。測定した摩耗減量は、別に測定した密度の値により、推定の体積減量に換算した。推定の体積減量が小さい程、耐摩耗性が高いことを表す。Er処理スギ材の体積減量はコントロール（未処理スギ）と比較して大きくなった。エリスリトールの含浸処理により、耐摩耗性が低下することが確認された。

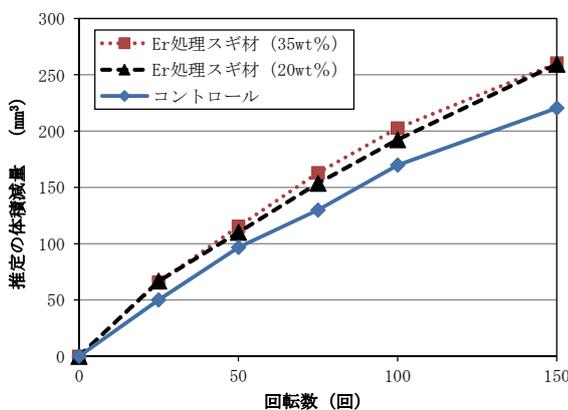


図5 糖類の含浸処理が推定の体積減量に与える影響

3-4 曲げ試験および木ねじ保持力試験

糖類の含浸処理による曲げ強度および木ねじ保持力の向上と重量増加率を表2に示す。TrおよびEr処理スギ材については、含浸処理によって曲げ強さ、見掛けの曲げヤング係数および木ねじ保持力が向上することが解った。しかし、La処理スギ材については曲げ強さおよび見掛けの曲げヤング係数に向上は見られず、木ねじ保持力については強度の低下が見られた。一方、重量増加率はTr処理、La処理、Er処理の順で大きくなっていった。これらの強度を重量増加率1%当りに換算すると、曲げ強さおよび木ねじ保持力がLa処理スギ材で0.42および2.89、Tr処理スギ材で0.66および5.43、Er処理スギ材で1.2および7.3となり、Er処理スギ材が最も大きな値となった。含浸重量当たりで比較すると、Er処理が強度の向上に及ぼす効果が最も大きいことが解った。

表2 糖類の含浸処理による曲げ強度および木ねじ

サンプル名	曲げ強さ (MPa)	見掛けの曲げヤング係数 (GPa)	木ねじ保持力 (N)	重量増加率 (%)
La処理スギ材 (50wt%)	54	6.8	373	129
Tr処理スギ材 (50wt%)	97	10.3	804	148
Er処理スギ材 (35wt%)	86	8.4	540	74
コントロール	54	6.4	423	0

保持力の向上と重量増加率

4 まとめ

スギ材に対する硬さおよび寸法安定性の向上を目的として、比較的安価な糖類を減圧加圧法によって含浸処理する方法を検討したところ、本報告ではエリスリトールを含浸処理したスギ材について基礎的な知見が得られた。Er処理スギ材は硬さと寸法安定性の向上を示したが耐摩耗性の低下が見られた。さらにLa, TrおよびEr処理スギ材を対象に曲げおよび木ねじ保持力試験を実施した結果、含浸重量に対する比較では、Er処理が強度に対する効果が最も大きいことが解った。耐摩耗性や、硬さ等の更なる向上のためには、塗装等の処理を検討する必要がある。

5 参考文献

- 1) 一般財団法人大川インテリア振興センター：木材産業等連携支援事業 地域木材産業等連携支援事業（文化用品等市場開拓型）実績報告書（2013）
- 2) 竹内和敏，刈谷臣吾：福岡県工業技術センター研究報告，No. 22，pp. 42-45（2012）
- 3) 岡村博幸，朝倉良平，竹内和敏：福岡県工業技術センター研究報告，No. 23，pp. 27-30（2013）
- 4) 今津節生：奈良県立橿原考古学研究所研究成果，第1冊（1999）
- 5) 沢田正昭，今津節生，他：遺物の保存と調査（2003）
- 6) 今津節生：水浸木製文物の保存科学的研究－中国江蘇省泗水王陵出土文物保存に関する共同研究－（2009）
- 7) JIS Z2101 2009 木材の試験方法
- 8) 合板の日本農林規格
- 9) JIS A5905 2003 繊維板

部分筆めっきによるNi-P-SiC複合膜の作製

中野 賢三*1

Preparation of Ni-P-SiC Composite Film by Selective Sponge Plating

Kenzo Nakano

筆めっきは、主に補修用部分めっきの用途として、金属単独のめっきに従来から用いられている。本研究では、部分筆めっきによる複合めっき皮膜の作製を目的として、めっき筆具陽極構造および陽極部の運動条件がNi-P合金層へのSiC粒子共析に及ぼす影響について検討した。SiC粒子にせん断力を与えないように、ローラー構造の陽極部を進行方向に回転させながら電解することで、Ni-P合金層中にSiC粒子が共析することがわかった。

1 はじめに

近年、SiCやPTFEなどの機能性微粒子を共析した複合めっきは、共析した微粒子特有の耐摩耗性、潤滑性、非粘着性といった機能を付与できることから、摺動部品や樹脂金型などの表面処理に用いられており、今後様々な分野での応用が期待されている¹⁻³⁾。

筆めっきは、めっき槽を用いる槽めっきと比べて設備が簡易でポータブル性がよく、大型部品への部分めっきが容易といった特徴を持つことから、従来から摩耗や傷、めっき不良部の補修などの手作業による部分めっきとして利用されており、金属単独めっきに関しては多数のめっき液やめっき筆具が市販されている^{4,5)}。しかし、複合めっきに関しては、ワイヤーソーへのダイヤモンド粒子複合筆めっきは実用化されているものの³⁾、汎用性が高い手作業での部分筆めっきは行われていない。

部分筆めっきは、めっき液を浸み込ませた吸水材を筆具の陽極部に取り付け、筆具のハンドル部を持って陰極となる被めっき物上を擦りながら電解して行う。市販のめっき筆具は、繊維の束を陽極の先端に付けた構造や脱脂綿やスポンジで陽極を被覆した陽極部構造となっている。しかし、これらの構造では、筆圧が弱すぎると筆具を動かす際に吸水材と陰極との接触面積が一定となりにくい。めっき皮膜は陰極電流密度により合金組成や結晶組織が変化することから、このような変化を避けるためには、十分な筆圧により接触面積を一定に保持しながら筆具を運動させることが望ましいと考えられる。

本研究では、複合めっき皮膜に適しためっき筆具構

造を考案し、筆具陽極部の運動条件が機能性微粒子の共析に及ぼす影響について検討した。複合めっきとしては、耐摩耗性が高いことが知られているNi-P-SiCめっきを用いた。

2 実験方法

試験片にはハルセル試験用Cu板を用い、めっき面以外はマスキングした。工程は前処理として9.1vol%硝酸水溶液に30秒間浸漬し、次いで、密着力向上のためのNiストライクめっきを施した後、Ni-P-SiCめっき液による筆めっきを行った。各工程間には水洗を行った。表1にNiストライクめっきの液組成および電解条件、表2にNi-P-SiCめっきの液組成を示す。機能性微粒子には、粒子径50-60 nmのSiC(IV)粒子（関東化学製）を使用した。

図1に筆めっき実験装置の概要を示す。陰極は30°傾斜したアクリル板上に設置した。めっき筆具陽極部は、直径φ50 mm、長さ40 mmのアクリル製ローラーにNi箔を巻き、その上に厚さ約10 mmのポリウレタン製スポンジを巻いた構造とした。めっき筆具陽極部に十分な筆圧を加えた際、陽極部のスポンジと陰極との接触面積はおおよそ30 mm×40 mmで一定となったため、陰極電流密度の算出にはこの面積を用いた。陽極部は十分な筆圧を加え、陰極表面幅60mmを速度10 mm/secで往復運動させながら、陰極電流密度100 mA/cm²で12分間電解した。得られためっき膜は、電析条件が一定となる中心部30 mm×40 mmを評価面とした。往復運動に際し、陽極部を回転させない方法と陽極部を進行方向に回転させる方法の2種類の条件を採用し、筆具陽極部による陰極表面の摩擦がSiC粒子の共析に及ぼす影響を検

*1 機械電子研究所

討した。なお、陰極表面およびスポンジのめっき液を更新するため、めっき液をポンプで陰極表面に供給するとともに、電解の途中、適度に陽極部のスポンジにめっき液を浸漬させた。

筆めっきとの比較試料には、同様の前処理を施した後、マスキングした30 mm×40 mmの陰極を表2のめっき液組成中に浸漬して電流密度100 mA/cm²で6分間電解して作製した槽めっき皮膜を用いた。

めっき皮膜の断面構造観察にはFE-SEM (JSM7001F, 日本電子 (株)) を用いた。深さ方向の成分分析にはグロー放電発光表面分析装置 (JY-5000RF, (株) 堀場製作所) を用いた。また、めっき皮膜の耐摩耗性評価には、スガ摩耗試験機 (NUS-ISO-3型, スガ試験機

表 1 Ni ストライクめっきの液組成および電解条件

Ni(NH ₂ SO ₃) ₂ ·4H ₂ O	350 g/L
NiCl ₂ ·6H ₂ O	10 g/L
H ₃ BO ₄	30 g/L
pH	4.0
温度	50°C
陽極	Ni
陰極電流密度	20 mA/cm ²
電解時間	30 min

表 2 Ni-P-SiC めっきの液組成

NiSO ₄ ·4H ₂ O	350 g/L
NiCl ₂ ·6H ₂ O	10 g/L
H ₃ BO ₄	30 g/L
H ₃ PO ₃	5 g/L
C ₆ H ₅ N ₃ O ₇ ·2H ₂ O	140 g/L
SiC(IV) 粒子	20 g/L
カチオン界面活性剤	適量
pH	4.0
温度	50°C

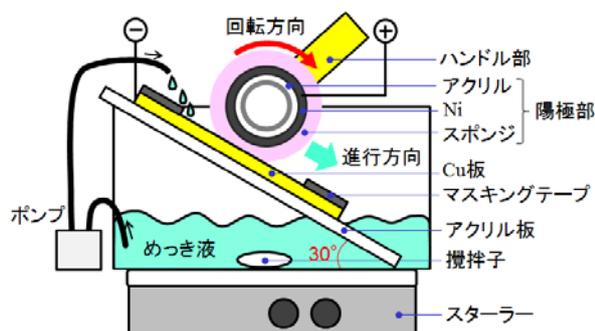


図 1 筆めっき実験装置

(株)) を使用し、試験荷重9.8 N, 試験往復回数 (DS 数) 100 DS, 研磨紙CC (粒度#400) の条件で往復運動摩耗試験を行い、DS数を試験前後の重量差で除した値を耐摩耗性WRとした。

3 結果と考察

図2に筆めっき皮膜および槽めっき皮膜の断面構造のSEM画像を示す。陽極部を回転させない筆めっき皮膜, 陽極部を回転させる筆めっき皮膜, 槽めっき皮膜の膜厚は, それぞれおよそ11 μm, 11 μm, 7 μmであった。SEM画像より, 陽極部を回転させない筆めっき皮膜ではNi-P合金層中にはSiC粒子が観察されることがわかった。一方, 陽極部を回転させる筆めっき皮

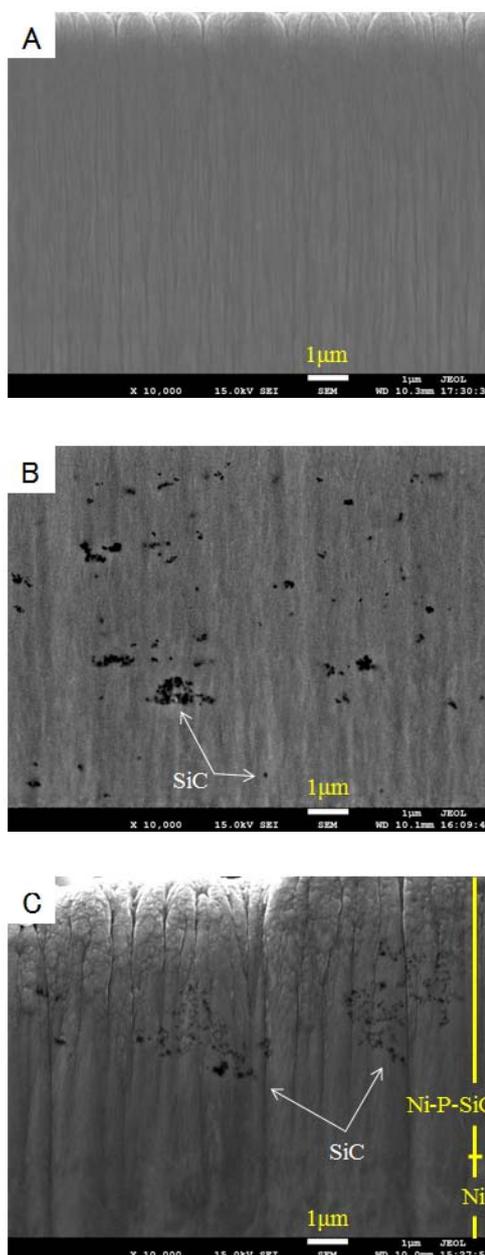


図 2 めっき皮膜断面の SEM 画像 : (A) 筆めっき (無回転), (B) 筆めっき (回転), (C) 槽めっき

膜では槽めっき皮膜と同様、Ni-P合金層中に疎らにSiC粒子の共析が観察され、その分散状態は単分散粒子と凝集物が混在していた。

図3にグロー放電発光表面分析によるめっき皮膜の深さ方向プロファイルを示す。図より陽極部を回転させない筆めっき皮膜では、Ni-P合金層のPは深さ方向に均一となっていたが、SiおよびCはめっき層内部に検出されなかった。一方、陽極部を回転させる筆めっき皮膜では、槽めっき皮膜と同様、SiおよびCがPとともに皮膜内部まで共析されることがわかった。

これらの結果から、筆めっきにおけるNi-P合金層へのSiC粒子共析機構については、次のように推察される。陽極部を回転させずに往復運動させると、陰極表面に付着したSiC粒子は、Ni-P合金層中に十分取り込

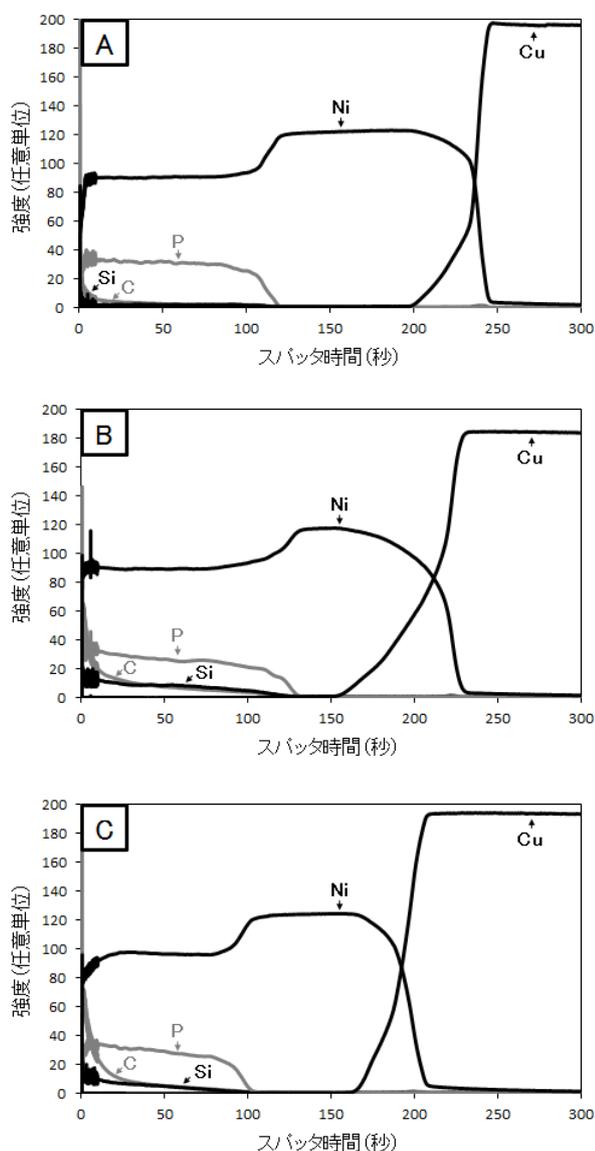


図3 グロー放電発光表面分析によるめっき皮膜の深さ方向プロファイル：(A)筆めっき（無回転），(B)筆めっき（回転），(C)槽めっき

まれる前に陽極部から強いせん断力を受け、付着状態を維持できず容易に脱離する。一方、陽極部を進行方向に回転させながら往復運動させると、付着したSiC粒子へせん断力が加わりにくく、Ni-P合金層中に取り込まれると考えられる。

図4にSiC粒子の共析が確認された筆めっき皮膜（陽極部回転）および槽めっき皮膜の耐摩耗性試験結果を示す。筆めっき皮膜の耐摩耗性は槽めっき皮膜と同等であった。

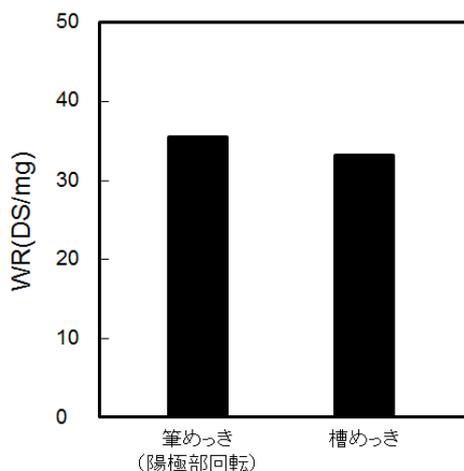


図4 めっき皮膜の耐摩耗性試験結果

4 まとめ

本研究では、部分筆めっきにおけるNi-P-SiC複合めっき皮膜の作製を検討した。めっき筆具陽極部をローラー構造にし、進行方向に回転させながら電解したところ、陽極部による付着SiC粒子へのせん断力が加わりにくく、Ni-P合金層中にSiC粒子が共析した。この共析量については本実験で用いた槽めっきと同程度であったことから、今後、最適な槽めっき液組成、SiC粒子径を選択することにより、共析量および耐摩耗性を制御できると考えられる。

5 参考文献

- 1) 古川直治：実務表面技術，Vol. 33，pp.16-19 (1986)
- 1) 浅井良規：表面技術，Vol. 57，pp.60-64 (2006)
- 2) 諏訪部仁：砥粒加工学会，Vol. 56，pp.54-59 (2012)
- 3) 吉村一世：実務表面技術，Vol. 29，pp.30-36 (1982)
- 4) Marvin Rubinstein：実務表面技術，Vol. 31，pp.9-15 (1984)

細胞培養マイクロウェルプレート製造技術の開発 —熱硬化性樹脂を用いた新しい細胞培養容器「ガラスボトムMSA」への適用—

在川 功一*1 谷川 義博*1 中村 憲和*1 八尋 寛司*2 藤川 勇*3 小野 史博*3

Development of Cell Culture Micro-substratum Manufacturing Technology

-Apply to the New Cell Culture Substratum "Glass-bottom MSA" by Use of Thermo-setting Resin-
Kouichi Zaikawa, Yoshihiro Tanigawa, Norikazu Nakamura, Kanji Yahiro, Isamu Fujikawa and Fumihiko Ono

細胞培養マイクロウェルプレートとは、多数のくぼみを有する平板状の製品であり、各々のくぼみを試験管もしくはシャーレとして使用する、細胞培養には欠かせないデバイスの1つである。近年では、再生医療に関する研究開発が活発化していることから、培養する細胞の多様化、単位面積当たりの培養細胞数の増加など、マイクロウェルプレートの微細化ならびに機能性向上が要求されている。本研究では、微粒子グラファイト材を電極とした放電加工技術を用いて細胞培養マイクロウェルプレート成形用金型製作技術の開発を行い、熱硬化性樹脂を用いた新しい細胞培養容器「ガラスボトムMSA」の量産化技術への展開を行った。

1 はじめに

細胞培養マイクロウェルプレートは、平板上の多数のくぼみ(ウェル)に対し、目的の細胞を播種して細胞培養を行うデバイスであり、再生医療の研究開発等に用いられている。従来のマイクロウェルプレートは、1枚あたりのウェル数が48個や96個の製品が一般的であったが、近年では細胞の種類や培養サイズの多様化、単位面積当たりの培養細胞数の増加を背景に、ウェルサイズの微細化ならびに機能性向上が進んでいる。

従来型マイクロウェルプレートの製造技術としては、対称形状となる凸形状を有する金型を用いた射出成形が一般的であるが、微細化したマイクロウェルプレートでは凸形状の微細化、狭ピッチ化が必要なことから金型製作が困難であり、これまでアクリル等の樹脂材料に対し小径エンドミル等での切削加工により製造されていた。しかし、この製造技術ではウェル底面に切削痕が残存して細胞観察性が悪化することや、量産化が困難であることが課題となっている。

そこで、量産化を目的とした微細凸形状金型を製作するため、放電加工技術に着目した。放電加工は被削材と工具電極との間に放電を発生させることにより、電氣的エネルギーで被削材を熔融・除去する加工法である。金型分野においては高硬度材や難削材の加工に利用されている。本研究では、マイクロウェルプレート

成形用の微細凸形状金型を製作するため、電極加工が比較的容易な微粒子グラファイト材を電極とした放電加工技術による、狭ピッチな微細凸形状を加工する技術の開発、ならびに細胞培養マイクロウェルプレート成形用金型の製作を行い、新しい細胞培養容器「ガラスボトムMSA」量産化技術への展開を行った。

2 研究, 実験方法

2-1 電極材料

従来、放電加工におけるグラファイト電極は自動車用などの大型部品を製造する金型をはじめとする、大面積、粗加工用途の電極として用いられてきたが、近年は金型の精密化が進み、グラファイト電極にも精密な形状が保持できる消耗の少ない特性が要求されている¹⁾。その要求に応えるべくミクロンオーダーの超微粒子で構成されたグラファイト材が開発され、微細かつ高精度な形状を加工する放電加工にも電極として使用されている。グラファイト材は切削性が容易であるため、短時間で電極製作が可能なが大きな特徴であり、その他にも放電加工速度の向上や、金属電極に比べて材料費が安価であることも利点として挙げられる。本研究では、これらの特徴を活かし、微粒子グラファイト材(TTK-9改良材;東洋炭素(株)製)を用いて電極製作を行った。

表1に本研究にて使用したグラファイト材の代表的な物性値を示す。

*1 機械電子研究所

*2 STEMバイオメソッド(株)

*3 豊洋エンジニアリング(株)

表1 グラファイト電極材

型式	TTK-9 改良材
平均粒径 [μm]	2~3
かさ密度 [Mg/m^3]	1.77
電気抵抗率 [$\mu\Omega \cdot \text{m}$]	18.0
曲げ強さ [MPa]	92
ヤング率 [GPa]	13.0

2-2 放電加工による金型製作

目標とする金型の形状を図1に示す。微細化されたマイクロウェルプレート进行を想定し、直径0.4 mm、高さ0.4 mmの微細円柱形状を有する金型の加工を目標とした。図2は、微細凸形状を製作するプロセスを示している。放電加工を用いて微細凸形状を製作するには、逆形状である微細穴を有する電極を製作しなければならない。そのため、微粒子グラファイト材に小径ドリルで直径0.45 mmの貫通穴を0.5 mm間隔の千鳥配置で10×10=100か所加工し、電極とした。被削材にはSUS304を25 mm角、長さ45 mmに切り出して使用した。表2に放電加工条件を示す。

表2 放電加工条件

電極	TTK-9 改良材 (30×30×5 mm)
被削材	SUS304 (25×25×45 mm)
開放電圧 [V]	128, 80
ピーク電流 [A]	2.5~3.3
加工深さ [mm]	0.45
極性	Electrode(-)
加工液	油性

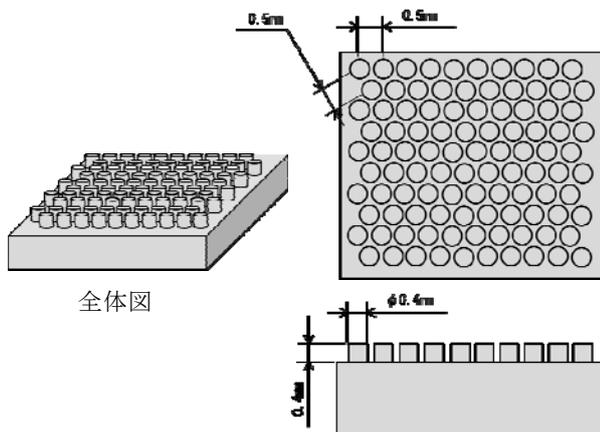
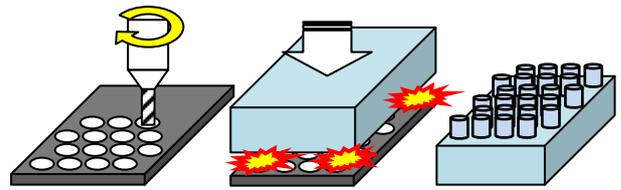


図1 目標金型形状



(a)電極製作 (b)放電加工 (c)微細凸形状金型
図2 微細凸形状金型加工プロセス

2-3 細胞培養容器「ガラスボトムMSA」の製作

製作した金型を用いて熱硬化性樹脂の一種であるPDMS（ポリジメチルシロキサン）を成形し、厚さ0.4 mmで直径0.4 mmの貫通穴を100穴有するシートを得た。使用したPDMSの物性値を表3に示す。このシートを厚さ0.17 mmのカバーガラスと組み合わせることにより、細胞培養容器「ガラスボトムMSA」を製作した。容器の外観を図3に示す。

表3 PDMSの物性値

沸点 [$^{\circ}\text{C}$]	>100
引火点 [$^{\circ}\text{C}$]	94
密度 [g/cm^3]	1.03
粘度 [cSt]	110

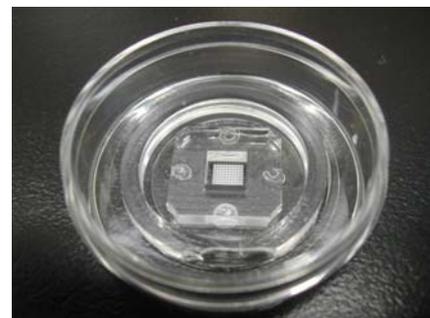


図3 ガラスボトムMSA

2-4 細胞培養機能性評価

「ガラスボトムMSA」における細胞培養機能性に関して、ヒト子宮頸がん由来の細胞であるHeLa細胞を培養し、評価した。「ガラスボトムMSA」は底面がカバーガラス製であるため、共焦点レーザー顕微鏡による高精細な蛍光観察画像評価が可能であることが大きな特徴である。そのため、細胞培養機能性としては、3次元培養性および蛍光観察性の2点を重点的に評価した。細胞播種ならびに観察条件を表4に示す。

表4 細胞播種，観察条件

観察装置	倒立型生物顕微鏡 (Leica) 共焦点レーザ顕微鏡 (Bio Rad Radiance 2100 システム)	
細胞	HeLa (ヒト子宮頸がん由来)	
細胞播種数 [cells/well]	200	
倍率	20x (細胞観察) 40x (蛍光観察)	
観察方式	位相差観察 共焦点蛍光観察	
蛍光染色	生細胞	緑色: Calcein
	死細胞	赤色: PI
蛍光条件	生細胞	励起波長: 488nm (Ar レーザ) 蛍光波長: 500-530nm (BP)
	死細胞	励起波長: 488nm (He-Ne レーザ) 蛍光波長: 500-530nm (BP)

3 結果と考察

3-1 放電加工による金型製作

図4に放電加工後に得られた微細凸形状の直径，真円度ならびに高さを測定した結果を示す。測定器はいずれも非接触3次元測定器 (NH-3SP; 三鷹光器株) を使用し，得られた凸形状から10か所を抜き出して測定した。

その結果，直径ならびに真円度に関しては電流値の増加に伴い，凸形状の直径は減少し，真円度は悪化する傾向となった。これは，放電エネルギーの増加によって放電ギャップが大きくなったことに起因するものであると考えられる。

一方，高さに関しては，すべての条件において 0.40 ± 0.005 mm に収まった。これは，貫通穴を有する電極を使用したため，凸形状上面には放電がほとんど発生せず，凸形状側面を形成する放電が集中的に発生しているためと考えられる。図5に電流値2.8 A の条件で加工した金型をSEM (ERA-8800; 株式会社エリオニクス) で観察した結果を示す。この画像からも，凸形状の高さが均一に揃っており，形状に倒れ，欠けなどが発生していないことが確認できる。この金型を用いてPDMSの成形を行い，「ガラスボトムMSA」を製作した。

3-2 「ガラスボトムMSA」の製作

加工した金型にPDMSを流し込み，所定の温度まで加熱して硬化させた後，離型してカバーガラス等と組み合わせて「ガラスボトムMSA」を製作した。結果とし

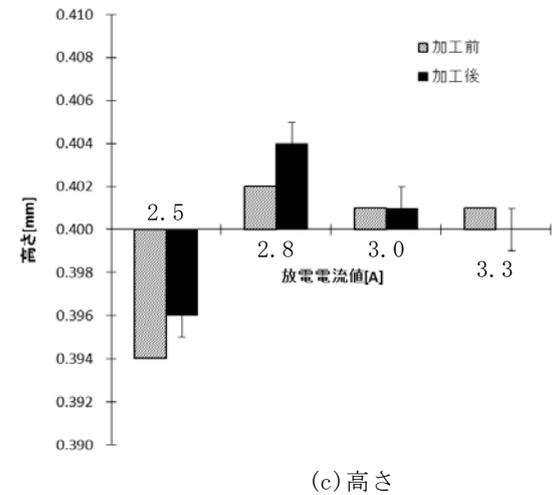
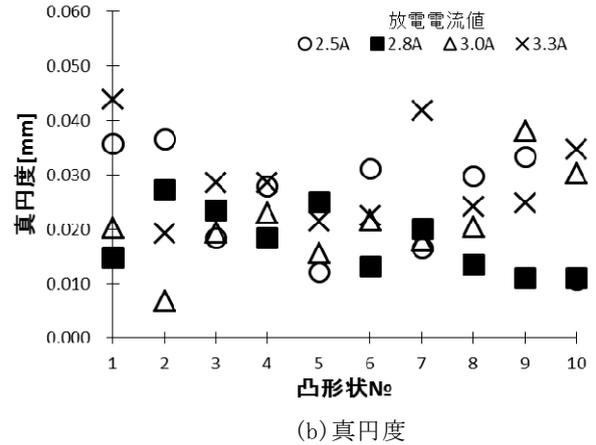
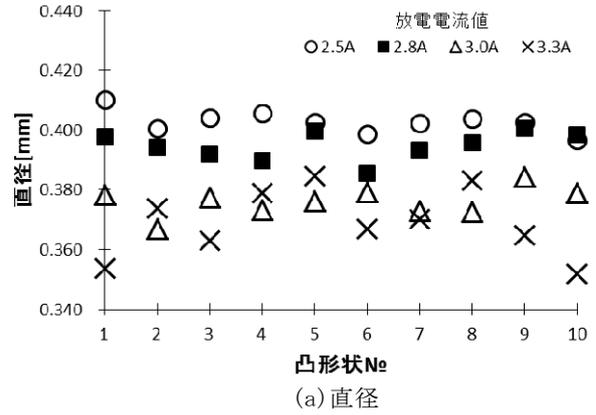


図4 金型形状測定結果

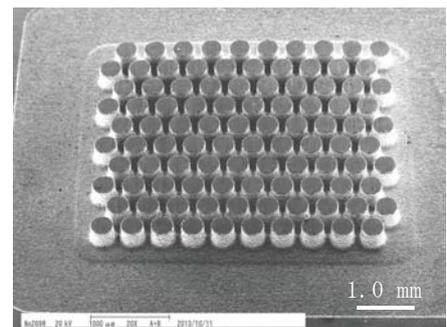


図5 金型外観

て、図6に示すような直径0.4 mmの貫通穴100穴を有するPDMSシートを成形することに成功した。

3-3 細胞培養機能性評価

図7は製作した「ガラスボトム MSA」において、HeLa細胞の3次元培養を行った結果である。HeLa細胞はヒト子宮頸がん由来の細胞であり、1951年に分離され、細胞株として樹立されたものである²⁾。増殖能が高く、付着性の強い不死化細胞であることから、これまで一般的なヒト細胞のモデルとして、多くの研究において利用されている³⁾。播種直後は1つ1つの細胞が分離しているが、3日目には完全に凝集し、7日目には直径約150 μmの3次元凝集塊まで成長していることが確認できた。

また、この容器の最大の利点である、高精細な蛍光画像観察に関しては、表4に示す条件で蛍光染色および観察を行ったところ、図8に示すような高精細な蛍光観察が可能であることが確認できた。これらの結果から、「ガラスボトム MSA」に関する機能性評価は非常に良好であることを確認した。

4 まとめ

本研究では、微細凸形状金型を放電加工にて製作し、直径0.4mmの貫通穴を有するPDMSシートを成形することで、これまで市場にない新しい細胞培養容器「ガラスボトムMSA」を製作した。従来の細胞培養機能に加え、高精細な蛍光観察が可能であることから、今後は大学や病院等の研究機関への普及を目指す。

5 参考文献

- 1)伊丹弘明：新グラファイト電極材 TTK シリーズを用いた放電加工の提案，電気加工技術，Vol.30，No.94，pp.7-10(2006.05.12)
- 2)William F. Scherer, Jerome T. Syverton, George O. Gey : The Journal of Experimental Medicine, 97(5), pp.695-715 (1953)
- 3)John R. Masters : Nature Reviews Cancer 2, pp.315-319 (2002)

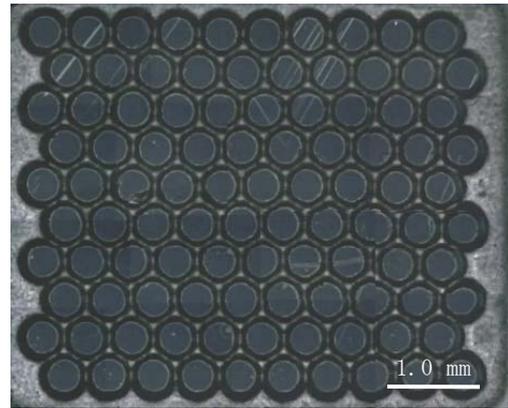
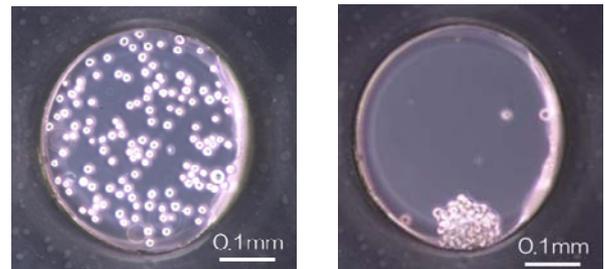


図6 成形したPDMSシート



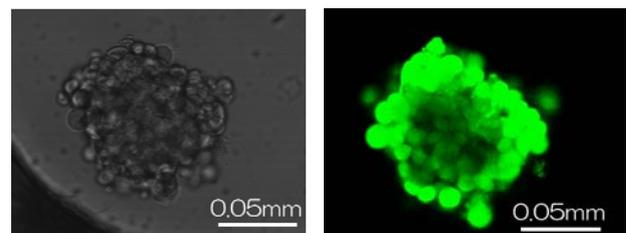
(a) 播種1時間後

(b) 播種3日後



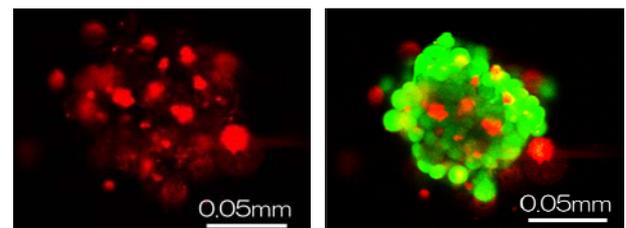
(c) 播種7日後

図7 HeLa細胞の3次元培養



(a) 位相差(明視野)画像

(b) 蛍光画像(生細胞)



(c) 蛍光画像(死細胞)

(d) 蛍光画像(生細胞+死細胞)

図8 共焦点レーザー顕微鏡による観察

ろう付け部の打音検査技術

糸平 圭一*1 山本 博美*1 山本 圭一朗*1 脇部 康彦*2 岩本 幹夫*2
吉永 憲市*3 江頭 隆喜*3

Hammering Inspection of the Soldering Part

Keiichi Itohira, Hiromi Yamamoto, Keiichiro Yamamoto, Yasuhiko Wakibe, Mikio Iwamoto,
Kenichi Yoshinaga and Takaki Egashira

レールボンドは、レール同士を電氣的に接続する鉄道用インフラ部品で、国内では低温ろう接式が主流となっている。ろう付け部は列車通過時の振動により剥離が進行するため、レールボンドの2重化と、定期的に見視検査、耳による打音検査を行っている。しかし、レールボンドの剥離は耳による打音検査では信頼性が低いため良否を自動で判別する検査法の確立が求められている。そこで、打音から自動でろう付け部の良否を判別する打音検査技術を開発し打音検査装置を試作した。

1 はじめに

我が国の鉄道は日常的に旅客や貨物を運送し定時性と安全性の優れた交通機関となっており、鉄道の安全性を保つ信号システムを構成する重要部品にレールボンドが使用されている。

レールボンドは、レールとレールの継目付近に取り付ける鉄道用部品で、列車位置を検知して信号機や踏切などを制御するための電流や電車の駆動電流を流す役割を持つ。

機械電子研究所は、平成24年度に(株)昭和テックスと耐久性が従来比3倍以上の低温ろう接式の新型レールボンドを共同開発した^{1,2)}。しかし、レールボンドのろう付け部は、列車通過時の振動により剥離がかしめ側から進行してしまうため、鉄道事業者は定期的な目視による外観検査と聴音による打音検査を行っている。現状の打音検査法は耳による判断で信頼性が低いため、非破壊検査法として超音波と打音を利用した検査法が適用可能か実験、検討を行った。

超音波での検査法は、新日本非破壊検査(株)がフェイズドアレイ超音波探傷器で実験を行い、剥離状態を把握できたが、検査に要する時間と装置価格の観点から現場適用は難しいという判断となった。そこで、打音から自動で良否を判別する簡便な打音検査技術の開発と打音検査機の試作を行った。

2 実験方法

試験片は、良品20個と剥離不良品19個を準備した。良品はろう付け後に何も負荷をかけていないものである。剥離不良品は、剥離時の独特の打撃音が人の耳で聞き取れるものとし、(株)昭和テックスが所有する振動試験機でレールを繰返し打撃することでフィールドでの剥離を再現して製作した。

実験はレールボンドの導線のかしめ部を(株)昭和テックスのベテラン技術者が汎用ハンマーで3回ずつ打撃し、打撃部から150 mm離れた箇所にセットした騒音計(LA-1440)とFFTアナライザ(CF-7200)によりサンプリング速度19.5 μ sで打音を測定した(図1)。測定した3回分の打音波形を平均、波形解析し良品と剥離不良品の打撃音の周波数特性の比較を行い、波形解析結果を使用して良否を判別する判別式を作成した。

打音の測定後に試験体を落とし、ろう付け面に対する剥離の割合を目視で測定した剥離率と判別式の計算値で整理した。

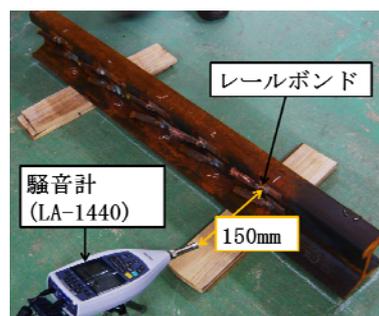


図1 実験風景

*1 機械電子研究所

*2 新日本非破壊検査株式会社

*3 株式会社昭和テックス

3 結果

3-1 基礎実験

良品20個、剥離不良品19個の初期の波形を周波数解析し平均化した結果（図2）、6 kHz以降の周波数領域で大きな差が表れることが分かった。この特徴を活かした判別式で計算した値と剥離率の関係を図3に示す。剥離不良品は剥離率が40%以上であり、判別式で計算される値が0.16未満の時に良品、0.16以上の時は不良品とすれば良否を判別できることが分かった。

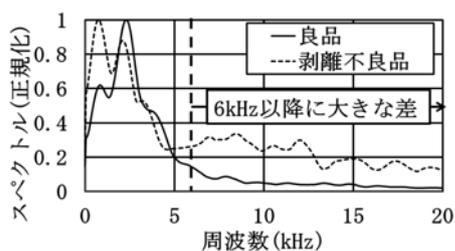


図2 周波数解析結果

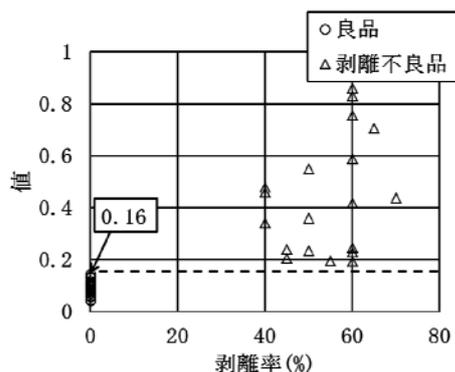


図3 剥離率と判別式での計算値

3-2 打音検査試作機での実験結果

基礎実験で確立した検査フローを組込んで新日本非破壊検査機で試作した打音検査機を図4に示す。一人が汎用品のハンマーで打撃、もう一人が打撃音をマイクで集音し判別機で○×表示を確認し二人で検査するものとなっている（図5）。

打音検査試作機でレールボンド試験体（全48個）を打音検査実験した結果を図6に示す。検査試作機は、基礎実験時と比較してサンプリング速度やA/D変換機等の構成を変更しているが、良否判定の閾値を0.1と設定し良品と剥離不良品を判別できた。



図4 打音検査試作機(新日本非破壊検査社製)



図5 打音検査試作機での実験風景

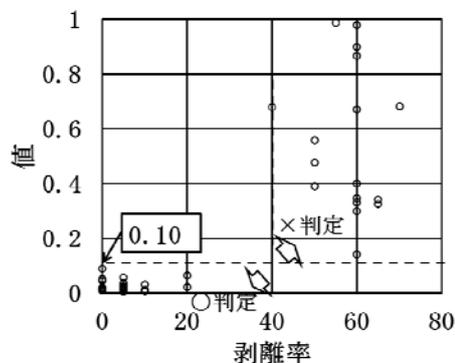


図6 検査機1号での実験結果

4 まとめ

打音検査実験の結果、以下の知見が得られた。今後は片手で検査できるよう小型化と軽量化を進めていく予定である。

- 1) レールボンド剥離不良品の打撃時の独特の剥離音は、6 kHz以上の周波数域の音であった。
- 2) レールボンドの良否を打撃音から自動で判別する検査フローを組込んだ検査機1号を試作した。

謝辞

実験にご協力して頂いた株式会社小野測器の平松栄治氏に深く感謝いたします。

5 文献

- 1) 株式会社昭和テックス：HP式レールボンド、<http://www.showatecs.co.jp/>
- 2) 高宮義弘，吉村賢二，山本圭一朗，吉永憲市，江頭隆善：福岡県工業技術センター研究報告，No. 23，pp. 49-51（2013）

ノリ乾燥機のための排熱回収予熱装置の開発

周善寺 清隆*1 林 伊久*1 島田 雅博*1 白石 日出人*2

Utilization of Flue Heat for a Seaweed Drier

Kiyotaka Shuzenji, Tadahisa Hayashi, Masahiro Shimada and Hideto Shiraishi

板ノリの乾燥に使用されている A 重油の使用量削減を目的として、既設のノリ乾燥機に追設可能な排熱回収管を設計試作し、既設の乾燥機に設置して燃料削減効果を評価した。実地試験の結果、設置前 5 年間の燃料使用量の平均値に比べて、回収管の設置により燃料使用量は 20%程度削減できた。また、回収管を設置したノリ乾燥機の排ガス損失は、投入燃料の発熱量に対して 8~10%程度であった。

1 はじめに

板ノリを製造するノリ乾燥機の燃料には A 重油が使用されている。平均的なノリ養殖業者は漁業支出の約 2 割に相当する 150 万円前後の燃料費を 1 漁期に支出している¹⁾。近年、A 重油の一般小売価格は徐々に上昇し、板ノリの単価が低迷を続ける中で経営が圧迫されており、ノリ養殖経営の維持および向上を図るためには、A 重油使用量の節減が喫緊の課題である。

本研究では、ノリ乾燥機の煙突から排出されるガスの温度が高く、未利用熱が存在すること、かつファンに誘引され加温部に供給される乾燥空気の流速が大きいことに着目し、加温部上方に新たに配管とフィンから構成される排熱回収管を設置することによる燃料費削減効果について調べた。排熱回収管の早期の普及を目指し、既設乾燥機に追設できる装置として開発した。

2 実験方法

図 1 にノリ乾燥施設およびノリ乾燥機排熱回収管の模式図を示した。一般に、ノリ乾燥機には前部、後部にそれぞれ設置されたバーナーの煙突が乾燥機両端から施設天井に向かって垂直に伸びている。本試験では、煙突位置を施設中央に移動させ、配管を 90 度屈曲させて、空気の入入口であるファンの上部にはわせ、中央部から天井に向かって伸ばし、排気するような構造とした。排熱回収装置の仕様はソフトウェアクレイドル(株)の STREAM ver. 10 により熱流体解析を実施して、フィンの間隔、大きさ、厚みをパラメータとして熱回収量を算出することで決定し、配管直径は 250 mm、

フィンピッチを 200 mm、サイズを 400 mm 角、厚みを 2 mm とした。回収管長さは乾燥機前部が 2 m、後部が 3 m である。設置した回収管について図 2 に示した。配管とフィンには燃料中の硫黄分による腐食および水分、塩分に対する耐久性が必要であるため、ステンレス材 SUS304 を使用した。また、配管径が 250 mm と大きく、配管内部の熱抵抗が大きいというシミュレーション結果にもとづき、配管内部に直径 100 mm の攪拌板(図 3)を設置した試験も実施した。

ノリを 100 枚生産する際に使用する A 重油量(L/100 枚)を燃料使用量と定義した。ノリの生産枚数と燃料使用量は養殖業者の作業日誌から算出した。排熱回収装置の出口には排ガス損失を求めるために、熱電対を配管中心と壁面に取り付け、温度を測定した。排ガス損失は回収装置出口における燃焼ガスの流量、比熱、平均ガス温度から算出した。

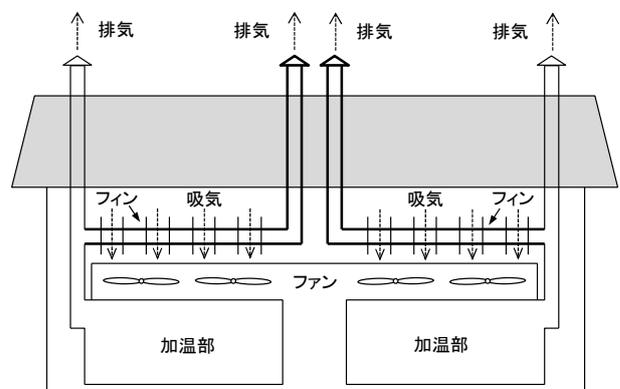


図1 ノリ乾燥施設および乾燥機の模式図
(実線：既存煙突、太実線：排熱回収管設置後)

*1 機械電子研究所

*2 水産海洋技術センター 有明海研究所



図2 排熱回収管

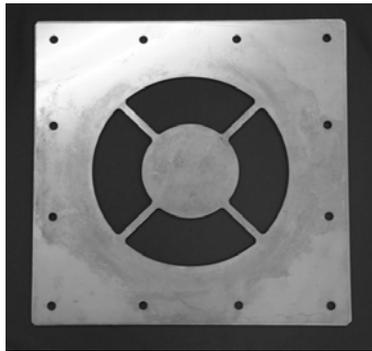


図3 流体攪拌板

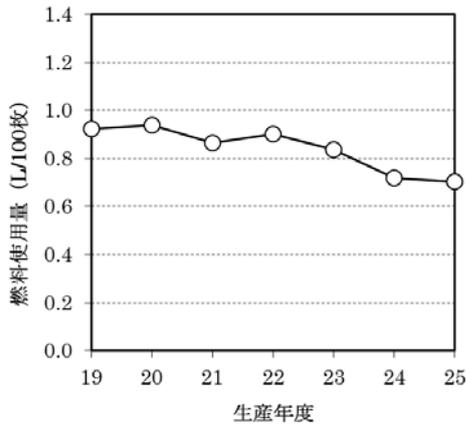


図4 燃料使用量の年度推移

3 結果と考察

既設の8連のノリ乾燥機（株大坪鉄工製）に排熱回収管を設置し、実地試験を実施した。図4に回収管設置前の過去5年（平成19～23年度）の燃料使用量と設置後（平成24～25年度）の燃料使用量を示した。過去5年平均の燃料使用量が0.90（L/100枚）であったのに対して、設置後の平成24年度の燃料使用量は0.72（L/100枚）に減少しており、約20%の燃料削減効果が確認された。また、平成25年度には排熱回収管の配管内部の熱伝達を促進するための攪拌板を設置して実地試験を実施した。図より、平成25年度の燃料使用量は

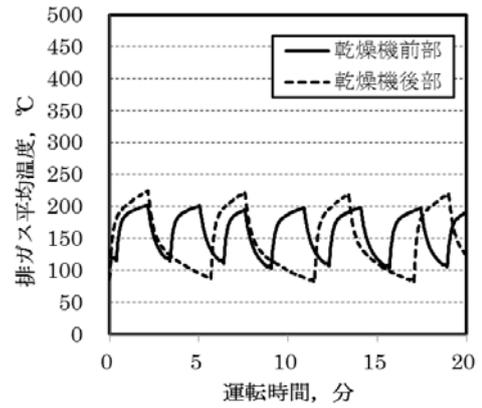


図5 排ガス平均温度の時間変化（一例）

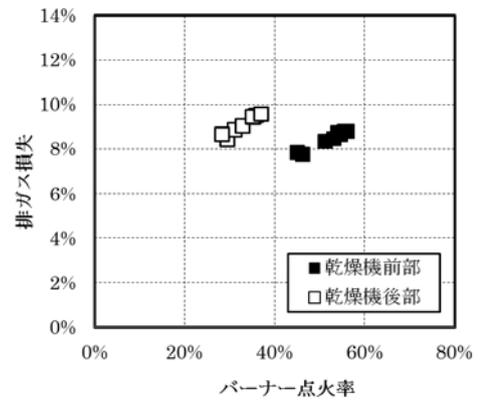


図6 バーナー点火率による排ガス損失

0.70（L/100枚）であり、前年度に比べて燃料削減効果の向上が確認された。

平成25年度に取得した排熱回収管及びその内部に攪拌板が挿入されているノリ乾燥機の排ガス損失を調べた結果について述べる。図5に乾燥機前部及び後部の配管中心温度と壁面温度を平均した排ガス平均温度の時間変化の一例を示した。バーナー点火中は温度が上昇し、停止中は温度が低下している。乾燥機前部と後部のON/OFFサイクルは異なるものの、排ガス平均温度は100～200℃の範囲にあった。図6にバーナー点火率に対する乾燥機前部および後部の排ガス損失を示した。測定したバーナー点火率の範囲内において、乾燥機前部、後部の排ガス損失はともに8～10%程度であった。同一のバーナー点火率（例えば、40%）に着目すると、後部の排ガス損失は前部に比べて大きい。これは、乾燥機加熱部の前部、後部の熱交換配管の長さが前部の方が後部よりも長く、熱交換性能が良いことに起因していると考えられる。また、前部、後部ともにバーナー点火率の増加に対して排ガス損失が増加する傾向に

あった。本乾燥機は、バーナー点火時に温度が上昇、停止時に低下するため、バーナー点火時間が長くなる、つまり点火率が高くなると排ガス温度が上昇を続け、排ガス損失率が増加してしまう。したがって、乾燥機の運転に際しては、生産性を考慮しつつ、乾燥空気温度を低目に設定することで省エネ運転が可能であると考えられる。

4 まとめ

本研究では、板ノリの乾燥に使用されているA重油の使用量削減を目的として、既設のノリ乾燥機に追設可能な排熱回収管を設計試作し、既設の乾燥機に設置して燃料削減効果を評価した。実地試験の結果、設置前5年間の燃料使用量の平均値に比べて、回収管の設置により燃料使用量は20%程度削減できた。また、回収管を設置したノリ乾燥機の排ガス損失を調べた結果、投入燃料の発熱量に対して8~10%程度であり、約90%は乾燥空気の加熱に使用されていることがわかった。

5 参考文献

- 1) 西日本水産研究会：有明海ノリ養殖活性化促進事業
経営実態調査報告書，pp. 24-28（2001）

学協会誌
掲載論文の概要

バチルス・チューリングエンシスA1470株が産生する 二番目の細胞傷害性タンパク質の同定

奥村 史朗*¹ 石川 智之*¹ 齋藤 浩之*¹ 赤尾 哲之*¹ 水城 英一*¹

Identification of a Second Cytotoxic Protein Produced by *Bacillus thuringiensis* A1470

Shiro Okumura, Tomoyuki Ishikawa, Hiroyuki Saitoh, Tetsuyuki Akao and Eiichi Mizuki

バチルス・チューリングエンシス (BT) はグラム陽性の桿菌で土壌に普遍的に存在している。BTの中にはヒト培養がん細胞に対して特異的に細胞傷害活性を持つタンパク質を産生する株があり、そのタンパク質はパラスポリンと呼ばれている。BT A1470株はパラスポリン4を産生することが知られているが、それ以外にも細胞傷害活性を示すタンパク質を産生していることが報告されていた。このA1470株が産生する2番目の細胞傷害性タンパク質を同定したところBT A1547株が産生するパラスポリン2と高い相同性を持つことが判明し、パラスポリン2の近縁種としてパラスポリン命名委員会に承認された。

1 はじめに

BTは、孢子形成時にパラスポールインクルージョン (PI) と呼ばれる封入体のタンパク質を産生し、このPIが特定の昆虫に対して殺虫活性を示すことで知られている。BTはホ乳類、鳥類、爬虫類などには病原性を示さず、このためPIから得られた殺虫活性を持つタンパク質はしばしば遺伝子組み換え作物に応用されている。BT A1470株が産生するPIにはCACO-2, Sawano, MOLT-4などのヒト培養がん細胞に対して細胞傷害活性を示すパラスポリン4が含まれているが、以前からそれ以外にも細胞傷害活性を持つタンパク質が含まれることが示唆されていた。本研究においてはBT A1470株のPIから新規の細胞傷害性タンパク質を同定したので報告する。

2 実験方法

2-1 BT A1470株の培養

研究に用いたBT A1470株は東京都日野市の土壌から分離したもので、この株を1% meat extract, 1% polypeptone, 0.2% NaCl, 1.5% agarを蒸留水で溶解しpH 7.6に調整した寒天培地上で28°Cで培養して、PIを含む孢子形成後の培養産物を回収した。

2-2 PIの可溶性および活性化

BT A1470株から得たPIに10 mM ジチオスレイトール及び1 mM EDTAを含む50 mM 炭酸ナトリウム緩衝液

(pH10.5)を加えて、37°Cで1時間可溶性化した。この可溶性液に最終濃度が50 µg/mLとなるようにプロテナーゼKを加えて37°Cで90分インキュベートし活性化させた。終濃度が1 mMになるようにPMSFを加えて、活性化を停止し、活性タンパク質溶液を得た。

2-3 新規細胞傷害性タンパク質遺伝子の同定・発現

既存のパラスポリンの遺伝子配列を参考にA1470株の新規細胞傷害性タンパク質の遺伝子を増幅するためのプライマーを設計し、同株のゲノム抽出物をテンプレートとしてPCR法による遺伝子増幅を行った。得られた候補遺伝子のC末端側にヒスチジンタグ遺伝子を付加しpET30aプラスミドに導入して、大腸菌によるタンパク質発現を行った。

2-4 細胞に対する傷害活性の測定

MOLT-4, Jurkat, HeLa, HepG2細胞を用いて細胞傷害活性の測定を行った。これらの細胞はRIKEN Cell Bankから入手し、供給元の推奨方法に従って取り扱った。これらの細胞を 2×10^6 個/mLの濃度で96ウェルマルチウェルプレートに90 µLずつ分注し、このプレート中でさらに16時間培養し試験に用いた。前項で発現した細胞傷害性タンパク質サンプルについて2倍の段階希釈を行い、各ウェル中に10 µLずつ投入し、24時間後に市販のMTT試薬 (CellTiter96 Aqueous One Solution Reagent [プロメガ製])を用いて細胞生存率を測定し、「タンパク質濃度-細胞生存率曲線」からプロビット法により半数致死濃度 (EC_{50})を算出した。

*1 生物食品研究所

3 結果と考察

A1470 株の PI を可溶化活性化した溶液を SDS-PAGE で分析し、得られたバンドをプロテインシーケンサーで解析して、細胞傷害性タンパク質候補の N 末として Gln-Ser-Thr-Thr-Asp-Val-Ilo-Arg-Glu-Tyr というアミノ酸配列を得た。Blast 検索によりこの配列が BT A1547 株が産生するパラスポリン 2 の 48-57 番目のアミノ酸配列と同じことが判明した。そこでパラスポリン 2 の遺伝子配列を参考に新規細胞傷害性タンパク質の遺伝子を増幅するためのプライマーを設計し、同株のゲノム抽出物をテンプレートとして PCR 法による遺伝子増幅を行ったところ、約 1000 bp の増幅物が得られた。この増幅物はパラスポリン 2 の遺伝子と極めて相同性が高く、違いは 8 bp のみであった。遺伝子配列から推定されるアミノ酸配列はパラスポリン 2 とは 4 残基異なり、このアミノ酸配列情報に基づいて新規細胞傷害性タンパク質はパラスポリン 2Aa2 と命名された。

この遺伝子を pET30a プラスミドに導入し、大腸菌で発現し、MOLT-4, Jurkat, HeLa, HepG2 の 4 種類の

細胞に対する細胞傷害活性をパラスポリン 2 (A1547 株が産生するパラスポリン 2Aa1) およびパラスポリン 4 と比較した (表 1)。すると、新規細胞傷害性タンパク質はこれら 4 種類の細胞に対してどれもパラスポリン 2Aa1 と同等の細胞傷害活性を示した。また、パラスポリン 4 との比較では HeLa 細胞に対しては、ともに細胞傷害活性を示さなかったが、他の 3 つの細胞に対しては異なる活性を示した。

4 まとめ

これまでに世界中で 19 種類のパラスポリンが報告されており、これら 19 種のパラスポリンはそのアミノ酸配列情報をもとに 6 つに分類されている。6 つのパラスポリンはそれぞれ異なる作用機構や細胞スペクトルを持つと考えられており、がん治療やがん診断に向けてさらなる研究の進展が期待されている。

5 掲載文献

Biotechnology Letters, Vol. 35, 1889-1894 (2013)

表 1 新規細胞傷害性タンパク質 (パラスポリン 2Aa2) とパラスポリン 2Aa1 および 4 との細胞傷害活性の比較

Cell line	Cell type	PS2Aa2 ($\mu\text{g protein mL}^{-1}$)	PS2Aa1 ($\mu\text{g protein mL}^{-1}$) ^b	PS4 ($\mu\text{g protein mL}^{-1}$) ^c
MOLT-4	Leukemic T cell	0.041 (0.014 - 0.12) ^a	0.044	0.47
Jurkat	Leukemic T cell	0.054 (0.022 - 0.13) ^a	0.015	>2
HeLa	Uterus (cervix) cancer	>1	>10	>2
HepG2	Hepatocyte cancer	0.081 (0.033 - 0.20) ^a	0.023	1.9

^a カッコ内は 95% 信頼性限界値

^b Ito et al, J Biol Chem, Vol. 279, 21282-21286 (2004) から引用

^c Okumura et al, J Agric Food Chem, Vol. 53, 6313-6318 (2005) から引用

連絡先

福岡県工業技術センター	
企画管理部 (情報交流課)	〒818-8540 筑紫野市上古賀 3-2-1 TEL:092-925-5977 FAX:092-925-7724
化学繊維研究所 (技術総合支援室)	〒818-8540 筑紫野市上古賀 3-2-1 TEL:092-925-7402 FAX:092-925-7724
生物食品研究所 (技術総合支援室)	〒839-0861 久留米市合川町 1465-5 TEL:0942-30-6644 FAX:0942-30-7244
インテリア研究所 (技術総合支援室)	〒831-0031 大川市上巻 405-3 TEL:0944-86-3259 FAX:0944-86-4744
機械電子研究所 (技術総合支援室)	〒807-0831 北九州市八幡西区則松 3-6-1 TEL:093-691-0231 FAX:093-691-0252

研究報告の内容については、各研究所（技術総合支援室）までお問い合わせください。

Fukuoka
Industrial
Technology
Center
<http://www.fitc.pref.fukuoka.jp/>
ISSN 0916-8230

福岡県工業技術センター研究報告

No.24 (2014)

平成 26 年 10 月発行

発行：福岡県工業技術センター
〒818-8540 福岡県筑紫野市上古賀 3-2-1
TEL 092-925-5977 FAX 092-925-7724

印刷：株式会社 ○○印刷

無断複写・転載を禁じます。

R100
古紙/パルプ配合率100%再生紙を使用