ISSN　0919-6676
CODEN：SFHPFE

試 験 研 究 報 告

平成２７年度

福島県ハイテクプラザ
FUKUSHIMA TECHNOLOGY CENTRE

平成２７年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告

目　　　次

○企業支援業務

福島の未来を担う開発型企業育成支援事業

酵母開発・頒布事業

○技術開発業務

チャレンジふくしま「ロボット産業革命の地」創出事業

ふくしまから はじめよう。産総研福島拠点連携技術開発推進事業

ふくしまから はじめよう。震災対応技術実用化支援事業

ハイテクプラザ研究開発事業

産業廃棄物減量化・再資源化技術支援事業

いのちを守る地域農作業安全推進事業

受託研究開発事業

共同研究開発事業

石炭灰を利用した粒状固化材の実用化

Development of granulated materials made from coal fly ash

技術開発部 工業材料科　加藤和裕　中山誠一　長谷川隆
相馬環境サービス株式会社　管野栄　熊谷祐一

火力発電所から排出される石炭灰を原料とする粒状固化材を製造するための条件を検討した。また粒状固化材の炭酸化を迅速に評価するための炭酸化促進試験を検討した。その結果、低湿度環境で養生したものほど炭酸化反応が抑制され、有害元素の溶出が少ないことがわかった。また二酸化炭素中では炭酸化反応が速やかに進行し、促進試験が可能であることがわかった。

Key words: 石炭灰、リサイクル、炭酸化、養生

１．緒言

相馬環境サービス（株）は、相馬市に立地し、相馬共同火力（株）新地発電所から発生する石炭灰の運搬・埋設処分業務を行っている。また石炭灰の再資源化を目指して、混和剤・ショット用研磨材・石炭灰粒状固化処理材（以下、粒状固化材と記す）の開発も行っている。

粒状固化材は、石炭灰と高炉セメント、不溶化剤、高分子凝集剤および水を混練後、粒径数ｃｍ程度に造粒し、埋戻し材や路盤材の用途を狙うものである。しかしこれは、時間の経過とともに空気中の二酸化炭素を吸収する「炭酸化」が進行し、ホウ素やヒ素などの有害物が溶出することなどが懸念されており、同社ではその解決に向け検討を行っている。

本事業では、養生時の湿度条件が粒状固化材の安定性に及ぼす影響と粒状固化材の炭酸化挙動の評価法について検討した。

２．実験方法

２．１．原料

粒状固化材の原料には相馬環境サービスで標準的に使用している石炭灰、不溶化剤、高分子凝集剤、高炉セメントおよび水を使用した。

２．２．粒状固化材の調製

上記の各原料を所定量、相馬環境サービス保有の混練機（図１）で混練後、粒径数ｃｍとなるようスコップで適宜、解砕した（図２）。解砕物を表１に示す 5 水準の環境で約 60 日間、養生、固化させた。シリカゲルや無機塩の飽和水溶液は、ガラスデシケータ内の相対湿度を調整するために共存させたものである。図３にガラス製デシケータ内養生の様子を示す。なおガラスデシケータ内には湿度計を設置した。

ここで封緘養生とは、試料を容器内に密閉し、水分が散逸しない状態での養生である。なお解砕までの作業は相馬環境サービス（株）で、それ以降の作業はハイテクプラザで実施した。

図１　使用した混練機外観

図２　粒状固化材

表１　養生条件

No.	条　　件	固化材の略称
1	デシケータ内シリカゲル共存	Si 材
2	デシケータ内硝酸マグネシウム飽和水溶液共存	Mg 材
3	デシケータ内硝酸カリウム飽和水溶液共存	K 材
4	封緘養生	封材
5	室内開放	開材

図３　養生試験の様子

２．３．分析

原料および粒状固化材は、熱重量分析(以下、TG-DTA)およびエックス線回折分析（以下、XRD)で分析した。

２．４．炭酸化促進試験

所定の環境で養生した粒状固化材を市販の家庭用ポリ袋に入れたのち、袋内の空気を二酸化炭素で数回置換した。24 時間静置後、粒状固化材を取り出し、XRD で評価した。試験の様子を図４に示す。

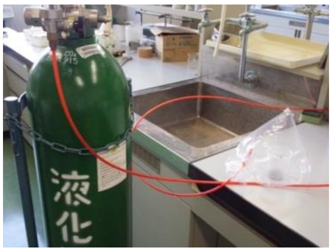


図４　炭酸化促進試験の様子

２．５．溶出試験

それぞれの条件で調製した粒状固化材について環境庁告示 13 号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」に従って溶出試験を行い、ICP 発光分光分析装置でほう素（B)の溶出量を測定した。また溶出試験後、溶出液の pH を測定した。

３．結果

３．１．原料の分析

相馬環境サービスでは、造粒固化材の製造にあたり、石炭灰をセメントのみで固めるのではなく、市販の「不溶化剤」と「高分子凝集剤」を加えている。それぞれの添加目的は有害成分溶出抑制と造粒性向上である。本報告では、石炭灰と不溶化剤の XRD と TG-DTA での分析結果について記す。

石炭灰の XRD 結果を図５に示す。結晶性物質として石英（SiO_2）とムライト（$Al_6Si_2O_{13}$）が確認された。また 2θ=23° 付近を中心とした幅広いハローから、ガラス成分もあることがわかる。

図６は不溶化剤の XRD 結果である。不溶化剤は主成分が水酸化カルシウムと炭酸カルシウムであり、pH を高く保つことでほう素やふっ素などの有害元素溶出を抑制するものであることがわかった。

また石炭灰に含まれるガラス成分は、水の存在下で不溶化剤中のアルカリと反応すると考えられ、単なるセメントによる固化ではなく、複雑な反応を考慮する必要がある。

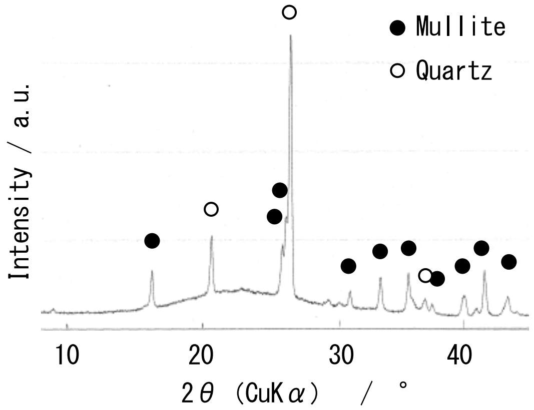


図５　石炭灰の XRD 結果

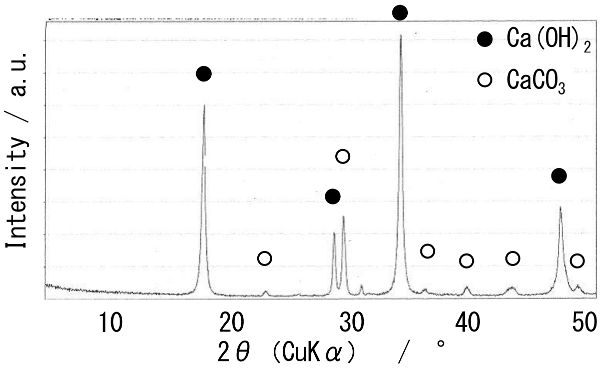


図６　不溶化剤の XRD 結果

また TG-DTA の結果を図７に示す。①室温～120℃、②440℃付近および③600～700℃の三段階での重量減少を示した。これらはそれぞれ、

①付着水の脱離

②水酸化カルシウムの熱分解

$$Ca(OH)_2 \rightarrow CaO + H_2O\uparrow$$

③炭酸カルシウムの熱分解

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

に相当すると考えられる。

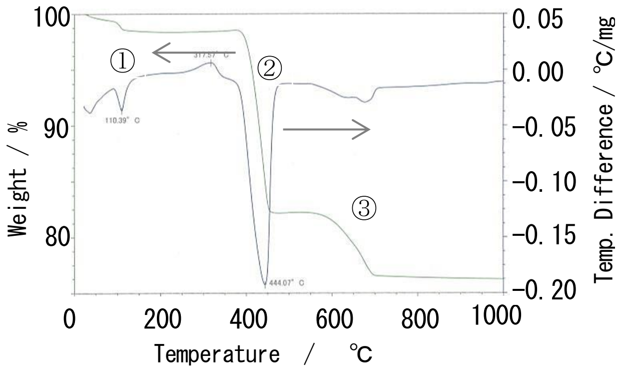


図７　不溶化剤の熱分析結果

３．２．粒状固化材の分析

図８に粒状固化材の代表的なXRD結果を示す。主な検出相は石英（SiO_2）、ムライト（$Al_6Si_2O_{13}$）の他に、わずかではあるが炭酸カルシウム（$CaCO_3$）、水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）が確認できた。粒状固化材中の有害成分は、空気中の二酸化炭素によって炭酸化（ $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$ ）され、pHが低下するこで溶出しやすくなるとされている。３．１．で述べたように、水酸化カルシウムや炭酸カルシウムはXRDやTG-DTAで評価することができるため、これらの分析方法で炭酸化反応の評価が可能である。

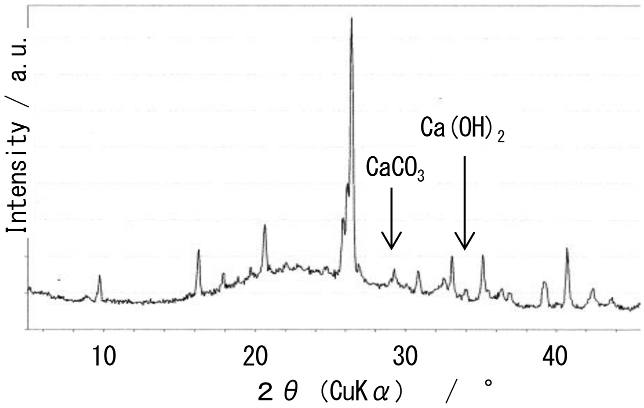


図８　粒状固化材のXRD結果

３．３．養生時の湿度の影響

湿度を制御する目的で、ガラスデシケータ内での養生をした。シリカゲルと硝酸マグネシウム飽和水溶液を共存させたデシケータでは湿度緩衝能が不十分であり、養生開始から７日間程度はそれぞれ相対湿度65%RH、98%RHだったが、それ以降は22%RH、55%RHまで低下した。しかし、硝酸カリウム飽和水溶液を共存させたデシケータ内は養生開始時から最後まで約98%RHを保った。

以上のように十分な湿度制御はできなかったが、Si材がもっとも低湿度環境での、K材がもっとも高湿度環境での養生となった。

図９にSi材、Mg材、K材のXRD結果を示す。水酸化カルシウムのピーク強度はK材≪Mg材≦Si材であり、炭酸カルシウムのピーク強度はK材≫Mg材≧Si材となった。この結果から、養生過程は低湿度であった方が炭酸化が進行しにくく、より安定な固化材が製造できることが示唆される。

以上より、これまで製造現場でみられた製造条件、特に養生場所（屋内/屋外）の違いによる品質変動の一因は湿度であったと推測される。

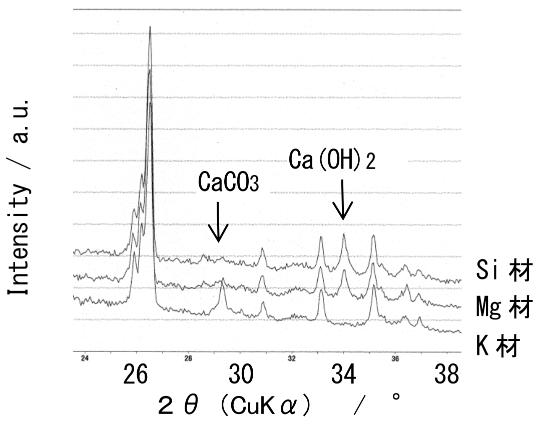


図９　異なる養生条件での粒状固化材のXRD結果

３．４．炭酸化促進試験

炭酸化反応をより明瞭かつ迅速に評価するため、粒状固化材を二酸化炭素中に置き、炭酸化促進試験を試みた。製造現場で簡便に行うことを想定し、市販の家庭用ポリ袋に二酸化炭素と試料を封入して試験をした。

炭酸化促進試験前後のXRD結果を図１０に示す。促進試験後、炭酸カルシウムの回折ピークが非常に強く観察され、二酸化炭素中で炭酸化反応が促進されることがわかった。

今後は種々の養生条件で作成した固化材で炭酸化促進試験をし、養生条件と炭酸化反応の関係をより明確にすることが望まれる。

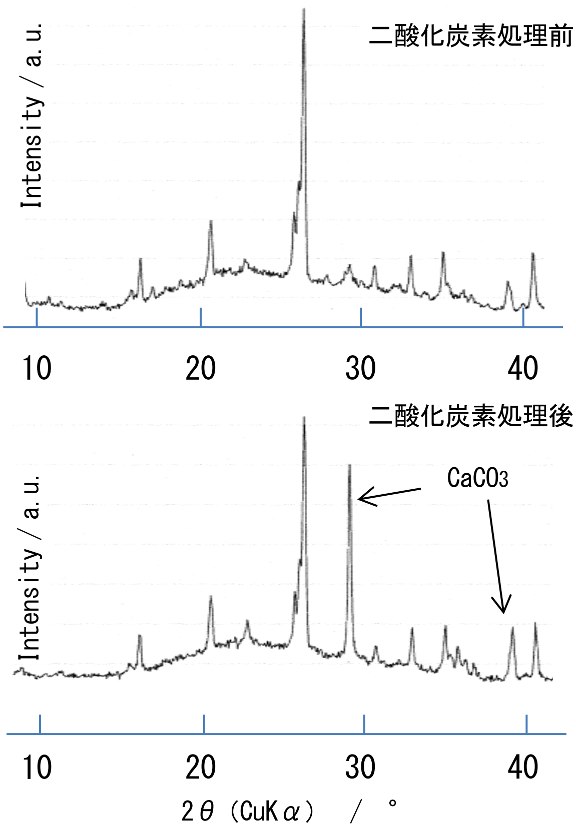


図１０　二酸化炭素処理によるXRDの変化

３．５．溶出試験

約 60 日間養生後の Si 材、Mg 材、K 材、開材、封材と二酸化炭素処理をした開材、封材で溶出試験をした。試験液の pH とほう素溶出量測定結果を表２に示す。

デシケータ内で養生した Si 材、Mg 材、K 材間の比較では、より低湿度環境であった方が高い pH を示し、また溶出量も少なく、XRD と整合する結果となった。

開材と封材の比較では、

pH ：封材＞開材

溶出量：封材＜開材

であった。これは大気に開放した養生で炭酸化が進んだ結果と考えられる。これに対し、両者の二酸化炭素処理物では、

pH ：封材（CO_2）＜開材（CO_2）

溶出量：封材（CO_2）＞開材（CO_2）

となり、この結果からも低湿度環境で養生したものが炭酸化しにくいと言うことができる。

表２　溶出試験結果

試料	B 溶出量/ppm	pH
Si 材	ND	12.9
Mg 材	ND	12.5
K 材	0.17	12.2
封材	0.17	12.1
開材	0.92	11.4
封材（CO_2処理）	2.05	9.1
開材（CO_2処理）	1.73	11.1

４．結言

火力発電所から排出される石炭灰をセメント等と混練し、造粒固化材とする上で問題となる有害物質溶出を抑制できる製造方法を検討した。その結果、養生時の湿度環境により製品の安定性が変動すること、また低湿度であるほど製品の炭酸化が進みにくいことが確認された。

また試料を二酸化炭素中に置くと、迅速に炭酸化反応が進行し、短時間で反応を評価できる可能性があることが分かった。

本研究より養生過程での水分管理が重要と考えられるが、現実的には大量の粒状固化材の養生は屋外で行わざるを得ず、湿度制御は困難であると考えられる。

今回は、事象の確認に留まったが、今後はどのような機構により炭酸化が抑制されるのかを解明し、生産工程の改良に繋げることが望ましい。

アルミニウムダイキャスト ADC12 への黒アルマイト

Black anodized treatment to aluminum die cast ADC12

技術開発部 工業材料科　齋藤宏
株式会社鈴中電気化学研究所　酒井延子

アルマイト処理が困難な材料と言われているアルミニウムダイキャスト ADC12 への黒色アルマイトを検討した。その結果、フッ酸系前処理剤やシュウ酸電解浴、あるいは電流反転電源を用いず、通常の処理液や設備のまま処理条件の変更でこれまで灰色の仕上がりであった外観を黒色に近づけることができた。
Key words: アルミニウムダイキャスト、ADC12、アルマイト、正パルス率、染色、封孔処理

１．緒言

自動車部品や機械部品に使用されるアルミニウムダイキャストの主力材料は ADC12 であり、JISH5302:2006 に分類される 20 種類のアルミニウムダイキャストの中でも、ADC12 の使用割合は 90%以上を占めると言われている[1)]。この ADC12 に高付加価値を求める場合は耐食性、耐摩耗性、装飾性を付与する表面処理が行われている。

代表的な表面処理法はアルマイトであるが、ADC12 は、機械特性、被削性、鋳造性に優れている反面、アルマイト処理性には若干の問題がある。ADC12 は、Si が 9.6～12.0%と多量に含まれており、Si はアルマイト処理の際に酸化も溶解もされず、均一な酸化皮膜生成を阻害する要因となっているため、アルマイト処理が困難な材料と言われている。

ADC12 へ均一な酸化皮膜を成膜させるために、一般的にフッ酸系の前処理剤を用いて Si を溶解したり、シュウ酸電解浴でアルマイト処理したり、また、電流反転電源を用いることで対応している。しかし、新たな前処理液や設備の導入にはコストがかかるため、ADC12 のアルマイト処理に苦慮している表面処理事業所が少なくないのが現状である。

そこで、今回は通常のアルマイト処理液、設備を用いて処理条件を検討することで、ADC12 へのアルマイト処理を試みた。さらに黒色染料による染色も試みた。その結果、これまで外観が灰色に近い状態であったが、通常のアルマイト処理条件でも黒色に近づけることができた。

今回は、次の４条件（①前処理法②使用電源③電流密度④封孔処理法）について検討したので得られた結果を報告する。

２．実験方法

２．１．試料

ADC12 板材を 60×20×6mm 程度の大きさに切り出したものと、目的の被処理物（図１ただし実物を１/２に切断している。）の２種類を準備した。

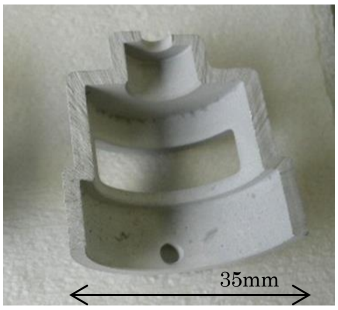


図１　被処理物

２．２．全体の処理条件

基本的な条件は以下のとおりであるが、検討項目ごとに変更した条件は適宜記す。

２．２．１　前処理条件

前処理では、アルカリエッチング（以下、エッチングと記す。）後、アルミニウムに含まれていた Si などの第２相化合物（スマットと呼ばれている。）が黒色となって表面に残存するため、酸処理してスマットを除去するのが通常であるが、ADC12 の場合、スマットが取り切れないため、今回はスマットを発生させないようにエッチングを省略した。そのため、前処理は被処理物を 18%硝酸水溶液に 10 秒静止状態で浸漬した。

２．２．２　アルマイト処理条件

電源は株式会社千代田エレクトロニクス製のシリコン整流器 DUTY0.1（200V-10A）を用い、直流 100%の定電流電解を行った。

電解浴は 15%硫酸水溶液を室温で用い、電動ポンプにより電解液をろ過しながら循環させた。

陰極は純度 99.99%鉛板で、大きさが 100×100×2mm を用い、被処理物の固定治具は、純度 99.6%チタン線直径 0.3mm を４本分撚り線として使用した。

電解時間は 10、15 分、電流密度は 2、3、4A/dm^2 とした。なお、電流密度は被処理物をノギスで計測しておおよ

その表面積を算出して電流値で除した。

２．２．３　染色処理条件

染料は奥野製薬工業株式会社製 TACBLACK-SLH(ブラック 415)を用い、染色浴温度を 55～60℃とし、スターラで撹拌した。染色時間は 15 分で、被処理物を静止状態で浸漬した。染色後は蒸留水洗浄後自然乾燥した。

２．２．４　封孔処理条件

奥野製薬工業株式会社製トップシール H-298 の封孔処理剤を 80～90℃加温した。浸漬時間は 10 分で被処理物を静止状態で浸漬した。処理後は蒸留水洗浄後自然乾燥した。

２．３．処理後の観察方法

処理後の外観観察は、マクロ観察をパナソニック株式会社製デジタルカメラ DMC-FX2 で、ミクロ観察を株式会社日立ハイテクノロジーズ製走査型電子顕微鏡（以下、SEM と記す。）S-3700N で行った。なお、アルマイト皮膜の断面観察もオリンパス株式会社製金属顕微鏡 GX71 で行った。その際、被処理物の板材を切断、エポキシ樹脂包埋、研磨して観察用試料とした。

３．結果と考察

３．１．前処理法の検討

３．１．１　変更条件

エッチングの影響を検討した。45～50℃に加温した 30g/L 水酸化ナトリウム水溶液に 3 分板材を静止状態で浸漬し、蒸留水で水洗後 18%硝酸水溶液に 10 秒静止状態で浸漬した。なお、スマットが除去しきれないため、さらに蒸留水で超音波洗浄を数分行った。

３．１．２　結果と考察

エッチング前後の外観は図２のとおりであった。

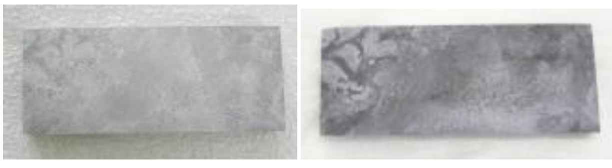


図２　エッチング前後の外観
（左：エッチング前　右：エッチング後）

エッチング後硝酸でスマットを除去したが、図２のとおり取り切れないスマットが黒色となって残存していることがわかった。そこで、図３のとおり蒸留水で超音波洗浄した。板材表面から黒い粉が水中に放出されていく様子がわかる。

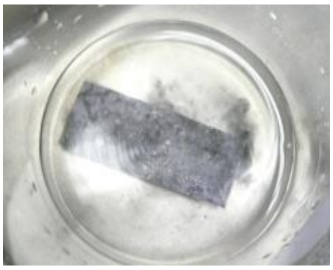


図３　エッチング後の超音波洗浄の様子

超音波洗浄後もスマットがかなり残っていたので、いったん紙製ウエスでスマットを拭き取ってから再度超音波洗浄した。水分を拭き取って乾燥させた結果は、図４のとおりである。だいぶスマットは除去できたが、完全には除去できなかった。

図４　再超音波洗浄後の外観

自然乾燥後アルマイト処理、染色処理を行った。染色した皮膜を 18%硝酸水溶液処理のみの板材と比較した。ただし、板材は 2/3 程度に切断したものもあるが、電流密度は同じにして処理した。

エッチング有、無の板材を電流密度 4A/dm^2 で 15 分アルマイト処理し、染色後の外観を比較した結果は図５のとおりである。

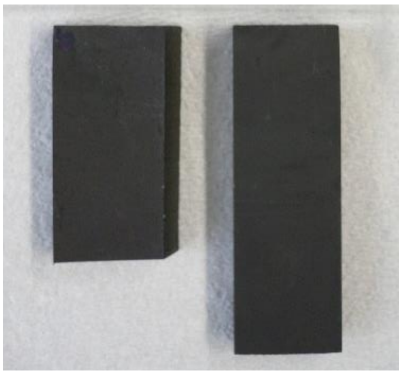


図５　染色処理後の外観
（左：エッチング無　右：エッチング有　）

外観の色の濃さはほとんど同じであった。表面を SEM 観察した結果は図６のとおりである。

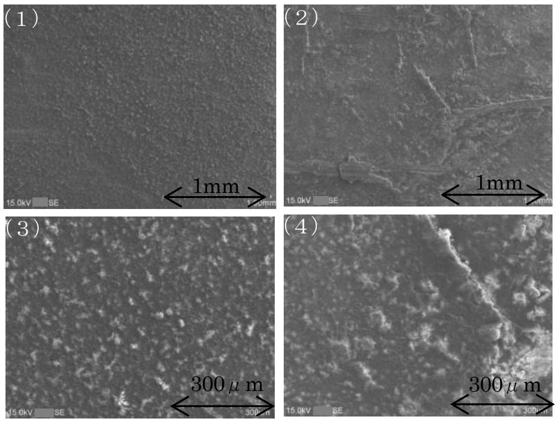


図６　染色処理後の表面
（（１）エッチング有　（２）エッチング無　（３）エッチング有拡大　（４）エッチング無拡大）

エッチングを行うと表面の凹凸が著しく少なくなることがわかった。皮膜断面を金属顕微鏡で観察した結果は図７のとおりである。

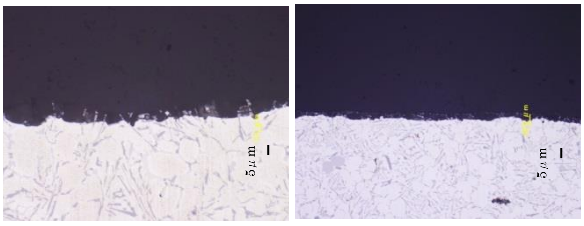


図７　染色処理後の皮膜断面
（左：エッチング有　右：エッチング無）

エッチング有はエッチング無に比べて、皮膜下の素地が損傷を受けている部分が多いことが確認された。エッチングにより素地表面の第２相化合物だけでなく、アルミニウムも溶解するため、凹みとなっていると考えられる。

エッチングの有無に関わらず、外観の色の濃さは変わらないことから、ADC12 のアルマイト処理においては、エッチング過程は省略可能であると思われる。

３．２．使用電源の検討

３．２．１変更条件

アルマイト処理時の電源を正パルス 100%の他、極性の正パルス率を 95, 80, 67, 57, 50%に変えて実験した。なお、正パルス率の定義は次のとおりとした。

正パルス率＝（正パルス数／（正パルス数＋負パルス数））×100

例えば、正と負の比率が、20:1 の場合、(20／(20+1))×100≒95%となる。

３．２．２結果と考察

外観観察の結果、次の順に濃くなった。

正パルス率：100%、95%＞80%＞67%＞57%＞50%

外観は図８のとおりである。正パルス率が高い、つまり極性反転が少なく、100%に近い方が黒色は濃くなることがわかった。

100%でも 95%と遜色なく黒色は濃くなった。極性反転が少ない方が、被処理物の陽極で酸化反応に費やす時間が長いということであり、したがってアルマイト皮膜は厚くなる。一般的に皮膜が厚い方が染色は濃くなるとされている[2)]。

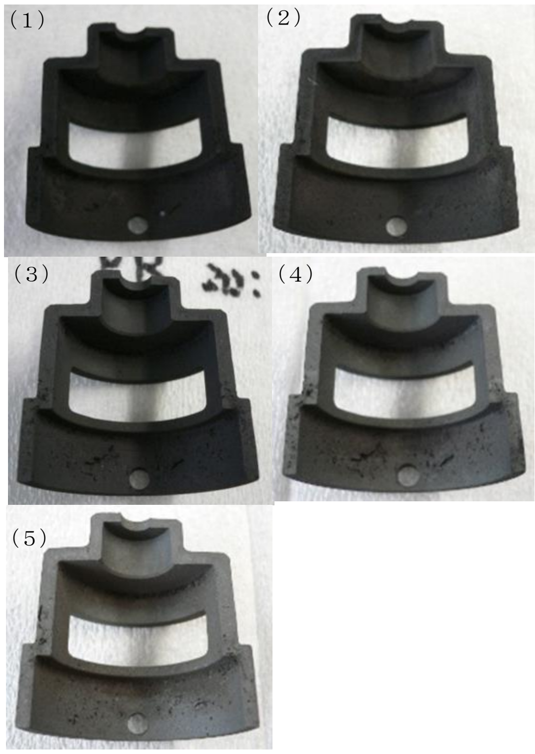


図８　正パルス率別の外観
（（１）９５%（２）８０%（３）６７%（４）５７%（５）５０%）

３．３．電流密度の検討

３．３．１　変更条件

アルマイト処理時の電流密度を 2.0, 3.0, 4.0 A/dm^2 と変えて実験した。

３．３．２　結果と考察

図９は目的の被処理物をアルマイト処理 10 分行い、染色した結果である。

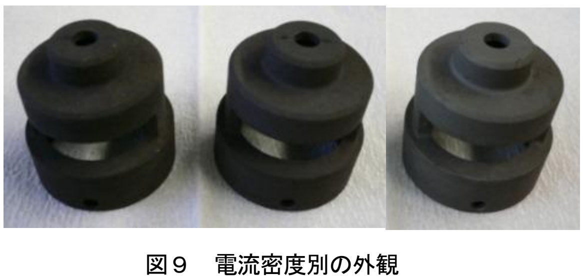


図９　電流密度別の外観
（左：4.0A/dm^2　中：3.0A/dm^2　右：2.0A/dm^2）

電流密度が3.0A/dm^{2}は2.0A/dm^{2}より明らかに濃い黒色となり、さらに4.0A/dm^{2}が最も濃い色となった。定電流電解で処理時間が同じ場合、電流密度に比例して皮膜厚さは厚くなるので、濃い色となったと考えられる。

なお、アルマイト処理時間15分では、処理直後の水洗後拭き取ると表面から粉落ちが確認された。アルマイト皮膜表層の溶解が進んだためと考えられたので、処理時間を10分で行った。

３．４．封孔処理法

３．４．１　変更条件

酢酸ニッケル系封孔処理剤による封孔（以下、酢酸ニッケル封孔と記す。）と、沸騰水封孔を比較した。沸騰水封孔の条件は、95℃以上の蒸留水に10分静止状態で浸漬後、自然乾燥した。

３．４．２　結果と考察

板材を電流密度 4A/dm^{2}で 15 分アルマイト処理し、染色した後、酢酸ニッケル封孔と沸騰水封孔のそれぞれ異なる方法で封孔処理した。その結果は、図１０のとおりである。

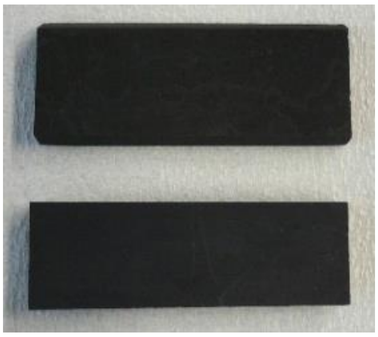


図１０　封孔処理別の外観
（上：沸騰水封孔　下：酢酸 Ni 封孔）

沸騰水封孔の方が黒く、酢酸ニッケル封孔は灰色を帯びている。どちらも染色までは同じ条件であることから、灰色を帯びたのは酢酸ニッケル封孔の処理に何か原因がある。原因は酢酸ニッケル封孔の処理剤の汚染物の残存によるものか、それともニッケルが染料分子と反応して形成する金属錯体が残存したと考えられる。いずれにせよ洗浄を強化することで解消する可能性はあるが、沸騰水封孔でも濃い色が出せることがわかった。

４．結言

今回は、通常のアルマイト処理を行っている処理液、設備を用いてADC12に黒色アルマイト皮膜の成膜を試みた。黒色化に先立ちまず最も障害となるのが、ADC12表面に均一なアルマイト皮膜を成膜させることである。均一な皮膜の成膜は難しかったものの、灰色の仕上がりから黒色にすることが可能であることがわかった。特に、染色には酢酸ニッケル封孔を行うことが一般的であるとされていたが、沸騰水封孔でも黒色を出せることがわかった。

黒色のさらなる濃色化や皮膜の耐光性評価など検討事項はまだ残っているが、高価な処理液や特殊な電源を使わずに黒色皮膜を成膜する方法を示すことができた。この結果が、ADC12のアルマイト処理に携わる方々の一助となれば幸いである。

参考文献

１）アルミニウム研究会誌. 一般社団法人表面技術協会ライトメタル表面技術部会. 2015, No.6, 446 号 p.64.
２）アルミニウム表面処理の理論と実務第三版. 軽金属製品協会. p.178.

カメラ型センサ技術を活用した工業製品の挙動解析

Dynamic behavior analysis of industrial products by the camera-type sensor technology

技術開発部 工業材料科　工藤弘行
アネスト岩田株式会社　小川陽介　植田樹　本間利弘

複数部品からなる工業製品の強度信頼性評価を行う際に、多数の測定点での振動・ひずみ測定が必要となる課題を克服するため、光学カメラで撮影したデジタル画像を基に物体の形状、運動、変形を測定するカメラ型センサ技術による挙動解析を適用した結果、CAE 解析をベースとして実製品の形状、変形をフィードバックして精度を高める手法が、設計、製造、品質保証の各工程を通して統一的に利用できる点で有望であることを確認した。

Key words: デジタル画像相関法、振動測定、ひずみ測定、強度信頼性、疲労特性、溶接部

1．緒言

振動荷重を受ける工業製品では、溶接部などで疲労破壊が生じることが多く、重要な課題となっており様々な新技術が利用されている。例えば、高い信頼性が要求される自動車、重機、造船、化学プラント分野などでは､設計段階で製品の寿命､耐久性能を予測し、製造コストと耐久性能のバランスを見出す技術や、耐久試験の一部をシミュレーションに置き換えて長期信頼性を確保する技術が利用されている。

一般的な機械部品でも、製品開発期間の短縮や信頼性への要求の高まりを受けて、徐々に疲労強度設計への注目度は増している。特に、短時間で疲労特性を試験・評価することへの要求が強いが、多数部品で構成される製品では適切な評価方法が無く、数か月間にも及ぶ実稼働による耐久試験に頼らざるを得ず、製品開発全体のボトルネックになっている。

工業製品の疲労特性評価には、ひずみゲージや加速度センサを利用することが多い。しかし、これらは点測定、一方向測定であり、複雑な挙動を十分に把握するのは困難である。これに対し、近年、光学カメラで撮影したデジタル画像をもとに、物体の形状、運動、変形を測定する技術や、何らかのセンサ、手法で測定したデータを光学カメラの画像と合成して表示する AR（Augmented Reality：拡張現実）技術などが広く利用され始めている。これらの技術は、カメラ視野中での多点測定が可能であることや、センサ取付けの手間が軽減されること、直感的に分かり易いデータを得られることから、その活用が大いに期待されている。

本研究では､上記の技術群を｢カメラ型センサ技術｣と総称し一体的に捉え、挙動解析技術としてどのような利用が可能か検討を行った。

2．試験および解析方法

2．1．強度信頼性評価における挙動解析の役割

挙動解析の役割を明確にするため、強度信頼性評価に関する要素を整理し、その関係性を図１に示した。

単純な形状を持つ単一の物体であれば、その変形を計算することは容易であり、形状寸法、材料特性、境界条件（荷重条件・固定条件）の３条件が決まれば、その変形は一意に求まり、疲労特性データベースを参照して寿命を予測することが可能である。

これに対し、複数部品からなる製品では各部品の運動の結果、部品同士の接触が生じ、各部品へ荷重が伝達され､個々の部品の変形が決まる｡複雑な運動では、接触状態は急激に変化するため、振動とひずみの相関は複雑で把握が困難である。さらに多点での接触により変形も複雑となるため､変形挙動を十分把握できず、寿命予測は極めて困難な状態、いわゆる「ブラックボックス」状態となる。

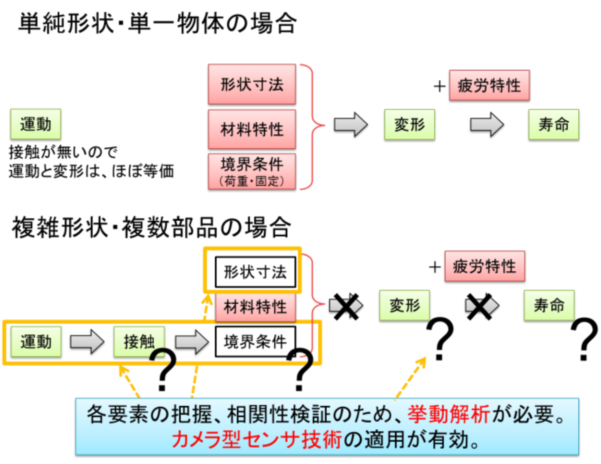


図１　強度信頼性に係わる要素と挙動解析の役割

本研究では、複雑な運動・接触状態を把握し、変形との相関性を明らかにするため、光学カメラで撮影したデジタル画像をもとに挙動解析を行う「カメラ型センサ技術」の適用を提案する。図２にハイテクプラザが導入済み、あるいは導入を検討している「カメラ型

センサ技術」を従来技術との対比で図示した。

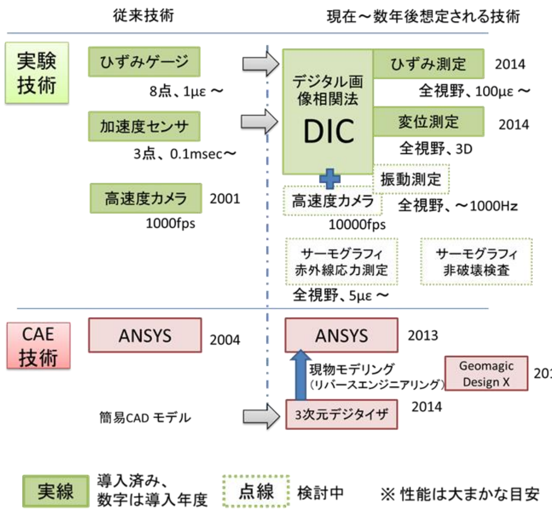


図２　ハイテクプラザにおける挙動解析技術

２．２．デジタル画像相関法を用いた振動（変位）測定、ひずみ測定

ハイテクプラザでは平成 26 年に「非接触ひずみ測定システム」（コリレーテッド・ソリューションズ社製 Vic-3D）を導入した。この装置は、CCD カメラで撮影された画像を基に、デジタル画像相関法（DIC:Digital Image Correlation）と呼ばれる画像処理手法で、ひずみや変位を測定するものである。

デジタル画像相関法では、参照画像（図３左）中の赤い四角で囲まれたサブセットと呼ばれる領域（1 辺 10～30 画素程度）が、変形後の画像（図３右）のどの位置に対応するかをデジタル画像の輝度分布の相関性から照合する。サブセット領域を走査することで、画像中の全視野測定が可能である。測定精度を高めるために、試験サンプルにはスプレーで白黒のランダム模様を付与する。適切な条件で測定した場合の測定精度は 1 画素の 1/50～1/100 である。

本研究では、加速度センサやひずみゲージの代わりに、デジタル画像相関法を使用して振動測定、ひずみ測定を行い、その有効性を検証した。

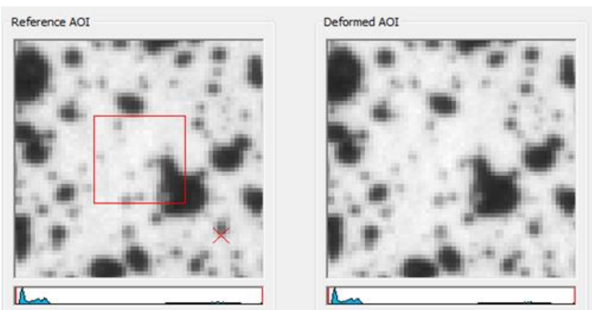


図３　デジタル画像相関法に用いる画像例

２．３．ひずみゲージによるひずみ測定

ひずみ測定手法のうち、従来から最も広く利用されるのはひずみゲージによる測定である。本研究では、溶接部止端近傍を 1mm 長のひずみゲージで測定する「局所ひずみ」アプローチによる疲労評価を行った。

ひずみ測定は、プレート部品に溶接されたナット（溶接ナット）を対象とし、図４に示す通り、溶接線に対し 90 度方向と 60 度方向の 2 条件を狙いとした。溶接部は不規則な形状をしているため、溶接線前縁の形状に合わせて調整した。荷重は溶接ナット自身に長さ 85mm のシャフト部品を取り付け、シャフト先端に対して 100N を目安として付与した。 荷重方向は 360 度全周を 30 度刻みに分割した 12 条件とした。

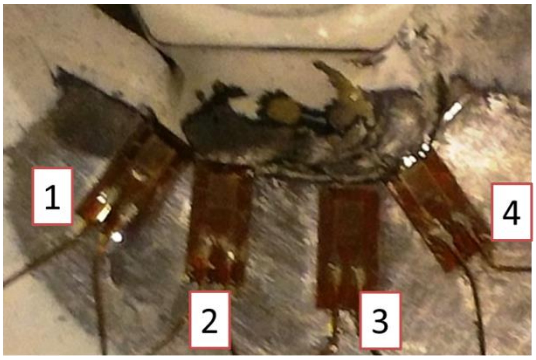


図４　ひずみゲージ貼付位置、方向

２．４．ＣＡＥ解析によるひずみ推定

設計時に予め隅肉溶接部を CAD 化したモデルを利用するとしても、溶接部は手溶接作業で形成されるため、その寸法は製品により大きく変動する。さらに、溶融金属部は溶融凝固により形成される 3 次元の複雑な曲面を持つため、CAD モデル化が困難である。そこで、本研究では、設計工程向きの「簡易形状モデル」による解析と、品質保証工程向きの「現物モデル」による解析の 2 種類の解析を実施した。

「簡易形状モデル」は隅肉形状を単純化したもので、底面を直角三角形とする三角柱、左右端は回転体として作成した。図５に示す脚長、フランク角、溶接線長さの３つの代表寸法を脚長は 3、4、5mm、フランク角は 35、45、55 度、溶接線長さはナットの稜線長さと同じ、片側 1mm 不足、片側 2mm 不足と変化させ計算し、ひずみ分布に及ぼす隅肉形状の影響を評価した。なお、ナット中心線を基準に溶接線長さを分割し、左側、右側の長さを異なる数値とすることで、実在の溶接部で良く見られる左右非対称形状を表現することができる。

「現物モデル」は、可搬型の 3 次元デジタイザ zSnapper（ViALUX 社製）を使用して実製品の溶接部の形状を測定し、リバースモデリング・ソフトなどにより、実製品の形状寸法情報を解析モデルへフィードバックする手法を検討した。

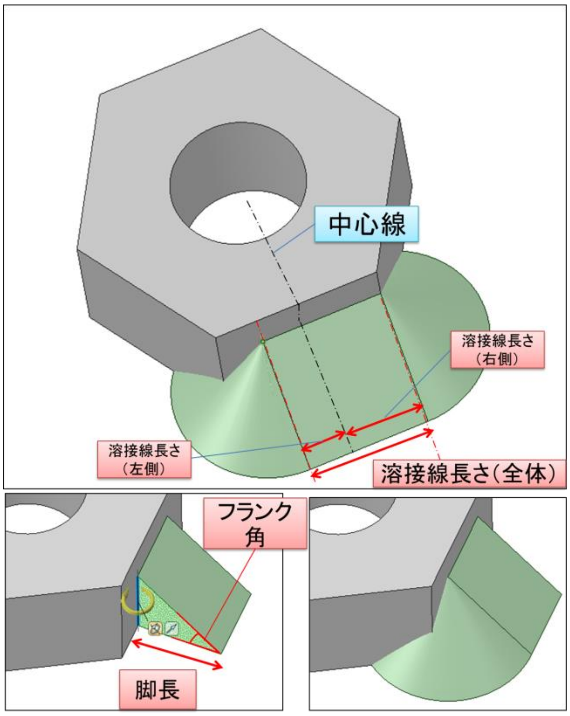


図５　簡易モデルと代表寸法

３．試験結果および考察

３．１．デジタル画像相関法を用いた振動（変位）測定

本研究では､最大サンプリング周波数 10Hz の装置で､複数部品からなる工業製品に静荷重と衝撃荷重を与えた場合の変位を測定した。測定対象製品の詳細については公表を差し控える。

静荷重試験では製品の一部に最大 320N 程度の静荷重を付与した際の製品中の２つの特徴点の距離の変化を測定した。図６にその結果を示すが、製品全体の並進運動と区別して、二部品間の距離の変化を測定することに成功した。距離変化は最大４画素（1mm）程度であり、デジタル画像相関の精度、1/50～1/100 画素に対して、十分な余裕がある。

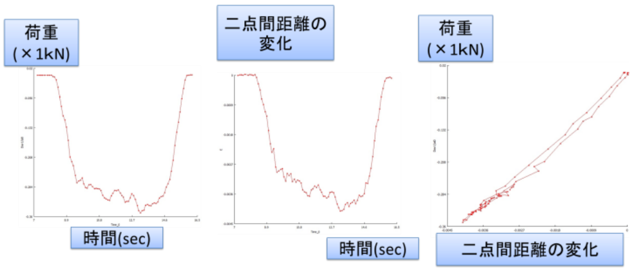


図６　荷重、二点間距離の経時変化グラフ

次に衝撃荷重を与えた際の二点間距離の変化を図７に示す。この挙動は、衝撃荷重を受けた後の減衰挙動として典型的なものだが、サンプリング周波数が不足していることが分かる。機械製品で疲労破壊の原因になる振動は数十～数百 Hz であることが多いので､サンプリング周波数 10,000Hz 程度のハイスピードカメラを用いて同様の画像が撮影できれば、振幅が比較的大きい振動現象を測定することができる。

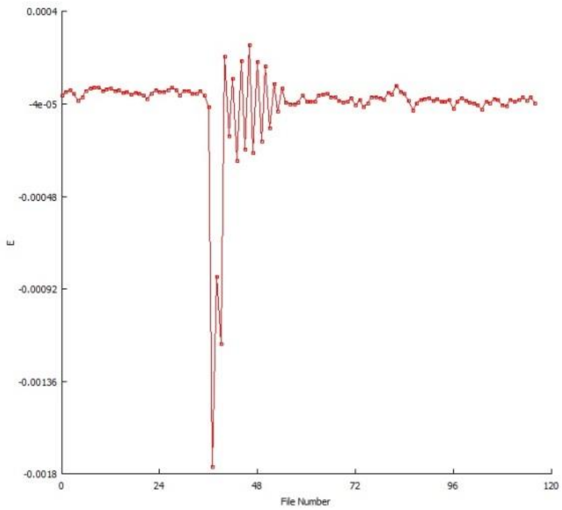


図７　衝撃荷重付与時の二点間距離の変化

３．２．デジタル画像相関法を用いたひずみ測定

デジタル画像相関法を用いたひずみ測定は、ひずみゲージ測定と同一溶接部を対象に、マクロレンズを使用して横幅が約 25mm（1 画素あたり約 0.01mm）となる撮影条件で測定を行った。図８にひずみ解析結果を示す。一見、止端近傍のひずみを測定できているように見えるが、後述するひずみ測定や CAE 解析（図８右）の結果との整合性から、定量的なひずみ測定ができているとは言い難いと結論付けた。

溶接部止端は応力が局所的に高まる応力特異点であるのに対し、デジタル画像相関法のひずみ算出はサブセット寸法(約 0.23mm)、ステップ寸法（約 0.02mm）が空間分解能の制限となることや、デジタル画像相関法のひずみの最小分解能は 100$\mu\varepsilon$ である点から、止端近傍にて疲労限度レベル（250～300$\mu\varepsilon$ 程度）のひずみを直接測定するには不向きであると判断した。

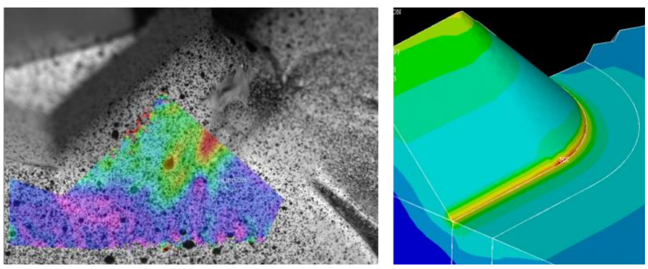


図８　デジタル画像相関法によるひずみ測定（左）と
ＣＡＥ解析（右）の比較

３．３．ひずみゲージによるひずみ測定

図９に単一溶接ナットの４測定点に様々な方向から荷重を与えた場合の結果を示す。荷重とひずみの相関性は高く、妥当な測定が行われたことを確認した。

次に、異なる溶接部間の比較を行うため、各測定点について、最大のひずみ振幅を算出し、表１に記載した。全体的な傾向としては、60 度方向(CH1,4）の方が高いこと、各測定点間のバラツキは比較的小さいことが分かった。また、表１には、ゲージ貼付位置の特徴も記載した。飛びぬけてひずみが大きいB1 は、表１右図に示すようにゲージ貼付位置が止端に極めて近く、測定結果に大きな影響を与えている。

以上より、溶接止端近傍のひずみは、部位により多少のばらつきはあるものの、全体として見た時には、一般の構造物と同じで、負荷モーメントの大小、方向と幾何学形状の組合せで決まると考えてよい。

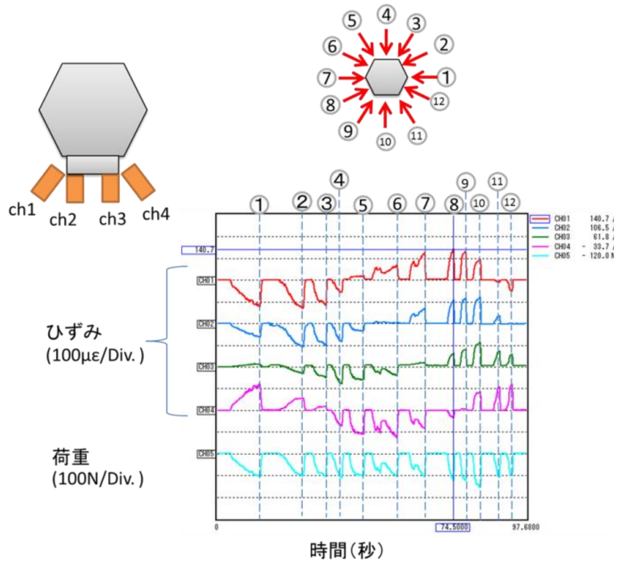
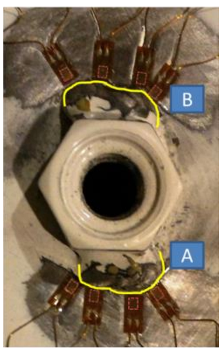


図９　溶接ナット荷重試験時のひずみ測定結果

表１　測定点によるひずみ振幅の違い

測定点	角度	ひずみ振幅 με	ゲージ貼付位置 近い	ゲージ貼付位置 遠い
A1	60	123.0		
A2	90	101.9		
A3	90	73.3		○
A4	60	117.1	○	
B1	60	169.2	○	
B2	90	80.5		○
B3	90	84.1		
B4	60	108.0		
C3	90	118.6		
C4	60	116.8		
D1	60	117.8		
D2	90	88.1		



３．４．ＣＡＥ解析によるひずみ推定（設計工程向け簡易形状モデル）

図１０に簡易形状モデル図ならびに要素分割図を示す。解析モデルは、ナット、プレート、溶接部、シャフト、ひずみゲージ領域の５つの領域を区別して、要素分割を行った。プレート部は幅 100mm、奥行き 100mm とし、端部を完全固定した。シャフト長さは荷重試験と同じく 85mm とし、先端に強制変位を与えた。ひずみゲージ領域は、実測値との比較を適切に行うために区別したもので、同じ要素寸法(ゲージ測定方向長さ 0.25mm)とした。

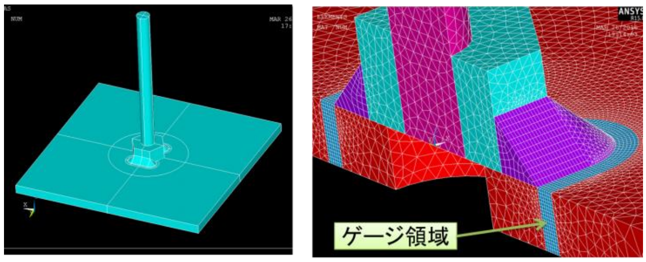


図１０　ＣＡＥ解析モデル

ひずみゲージ貼付位置の影響を検討するため、図１１に止端近傍のひずみ分布を要素分割と併せて示した。図中、赤く囲んだ領域は止端から 0.5mm から 1.5mm の範囲であり、ひずみゲージの標準的な測定領域を示している。止端近傍は極めて応力が大きい応力特異場であるため止端に近づくにつれて急激にひずみが増加する。ひずみゲージは瞬間接着剤を用いて手作業で貼付するため、熟練した作業者でも完全に狙いの位置に貼付するのは困難である。貼付位置による測定誤差を低減するには、応力勾配の大きい止端直近部は避けて勾配の小さい領域で測定するか、ゲージ貼付位置を別途測定しひずみ測定値を補正する手法が望ましい。

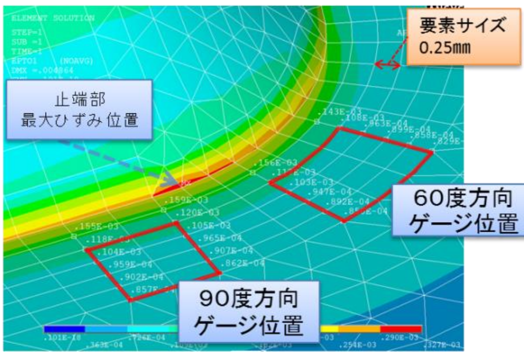


図１１　止端近傍のひずみ分布

次に、荷重方向がひずみ分布に及ぼす影響を調べるため、脚長 5mm、フランク角 45 度、溶接線長さが稜線長さと一致するモデルに対して、荷重方向⑦、⑧、⑨、⑩とした場合の CAE 解析を実施した。対称性を考慮して４測定点について 12 方向から荷重を付与した場合のひずみ変動を算出した。図１２に結果を示すが、図９の実験結果とほぼ同様の傾向を示した。

以上より、隅肉溶接部止端近傍のひずみ分布は、隅

肉形状や荷重付与方向により決定されるものであり、簡易モデルによる CAE 解析は、設計工程で定性的な傾向を調べるのに有効であることを示した。

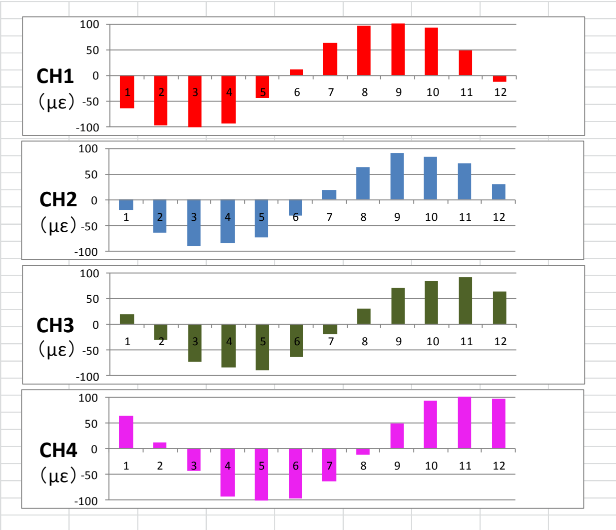


図１２　荷重方向が変化した場合のひずみの変動

３．５．ＣＡＥ解析によるひずみ推定（品質保証工程向け現物モデル）

実製品の溶接部の形状を反映した現物モデルを作成するため、可搬型の 3 次元デジタイザを用いて、隅肉溶接部の形状測定を行った。図１３に測定例を示すが、空間分解能が不十分である上に、データの欠落も多かった。そこで、測定される点群データから直接 CAD データを作成する手法ではなく、簡易モデルと同様の代表寸法を読み取る「現物寸法モデル」による手法を用いた。3 次元デジタイザ測定結果から、図１４に示すように、溶接部を左右、前後対称と仮定し、脚長が 5mm、フランク角が 45 度、溶接線長さはナットの稜線長さより 1mm 短い場合としてモデルを作成し、荷重方向⑧、⑨の 2 条件で計算を行い、結果を表２に示した。荷重方向に対する増減の傾向に違いはあるものの、実験と CAE 解析の相違は概ね 5～15%であり、定量的な評価も十分可能な結果であった。この結果には、ひずみゲージの貼付位置や、形状の単純化の影響も含まれているため、この点を改善すれば、より高精度なひずみ推定ができると見込まれ、局所ひずみを基にした疲労強度評価も十分可能と思われる。

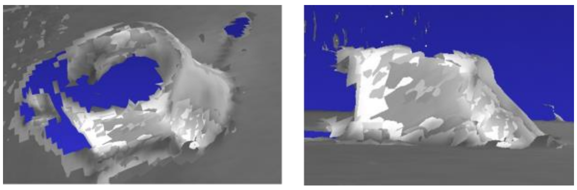


図１３　可搬型 3 次元デジタイザによる形状測定例

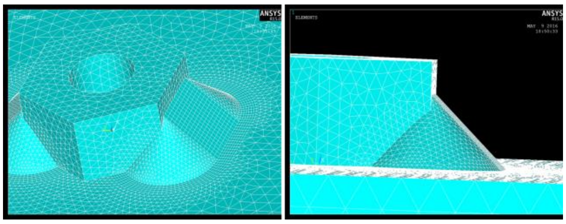


図１４　現物寸法モデル

表２　現物寸法モデルによる計算結果

イベント	荷重方向	実験 ひずみゲージ測定値(με) CH1	CH2	CAE解析－現物寸法モデル 仮想ゲージひずみ(με) CH1	CH2
No.8	8時	120.1	90.7	101.5	85.8
No.9	7時	109.8	98.6	115.1	93.9

４．結言

カメラ型センサ技術を複数部品からなる工業製品の挙動解析ならびに溶接構造体の疲労寿命予測に適用した場合の実用性について検討し、以下の結果を得た。

（１）複数部品からなる工業製品を対象にデジタル画像相関法による変位測定を行った結果、全体の並進運動と区別して、2 部品間の距離変化を測定することができた。

（２）溶接ナットを対象にデジタル画像相関法によるひずみ測定を行った結果、応力集中が生じる止端近傍で疲労限度レベルのひずみを測定するには不向きであることを確認した。

（３）「簡易形状モデル」による CAE 解析を実施し、各種要因の影響を定量化するなど、設計工程で定性的な傾向を調べるのに有効であることを示した。

（４）実製品の形状測定に基づく「現物寸法モデル」による CAE 解析を実施し、実験と CAE 解析の差異は概ね 5～15%であることを確認した。これにより定量的な寿命予測、寿命評価も十分可能であると見込まれる。

（５）本研究により、局所ひずみアプローチによる疲労強度評価において、ゲージ貼付位置によるひずみ測定誤差は無視できないほど大きいことを示した。

これらを踏まえると、CAE 解析をベースとして実製品の形状データや、ひずみ測定値をフィードバックして評価の精度を高める手法が、設計、製造、品質保証の各工程を通して統一的に利用できる点で有望である。

金属積層造形製品の品質向上技術の開発

－性能評価におけるミクロ組織的着眼点－

Development of analysis technique for quality improvement of metal additive manufacturing products

Viewpoint from microstructural characteristics in the assessment of product performance

技術開発部 工業材料科　光井啓　工藤弘行　小柴佳子

金属積層造形法で発生する不良現象のメカニズムを明らかにするには、形成されたミクロ組織の特徴を把握する必要がある。本研究ではマルテンサイト系ステンレス鋼粉末で作製した積層造形品のミクロ組織の特徴を調査した。その結果、レーザー溶融池の模様は一般的な「鱗状模様」ではなく周期的な「さざ波模様」となり、凝固偏析が生じるとともに多くのオーステナイト相が残留することが明らかとなった。また、製品内部には3次元的な残留応力が発生することが分かった。

Key words: 金属積層造形法、凝固偏析、3次元残留応力分布、残留オーステナイト

１．緒言

金属積層造形は図１に示すように敷き詰められた金属粉体にレーザーを照射し、その部分だけを選択的に加熱・溶融（あるいは焼結）することで断面形状を加工し、それを繰り返し積層することにより、最終的に3次元形状を造形する加工法である[1)]。

金属積層造形では、材料や製品形状によっては、スパッタ、スス、反り・割れなどが発生することが課題となっている。しかし、これらの不良現象のメカニズムは未だ多くのことが明らかとなっていないため、試行錯誤的なモノづくりが行われているのが現状である。原因として、不良現象に関連するパラメータが多すぎて、系統だった知見が得られていないことが挙げられる。特に、反りや割れに関しては、スパッタ、ススと異なり、作製中または直後に発見されないケースも多く、原因究明にはミクロ組織的見地からの解析が重要な情報源となる。

そこで本研究では、製品の品質向上にあたって、どのような組織因子に着目すべきか、金属積層造形法で形成されたミクロ組織の特徴について調査を行った。

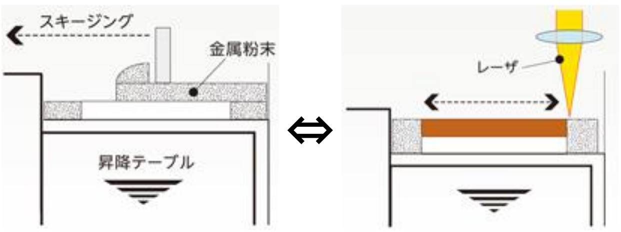


図１　金属積層造形法の模式図[1)]

２．実験

２．１．試験片作製

金型用鋼を台座とし、マルテンサイト系ステンレス鋼の粉末を用いて、図２に示すような 10×10×50mm の直方体の試験片を作製した。試験片の作製は提案企業において標準的に使用されている造形条件で行った。

また、提案企業では、造形時に発生した残留応力を除去するため、応力除去焼鈍を行っている。製品形状によっては、この焼鈍処理時に割れが発生する場合があることから、昇温速度 150℃/時、600℃×30 分間保持、降温速度 50℃/時での焼鈍を行い、その前後でミクロ組織にどのような変化が起きたか調査を行った。

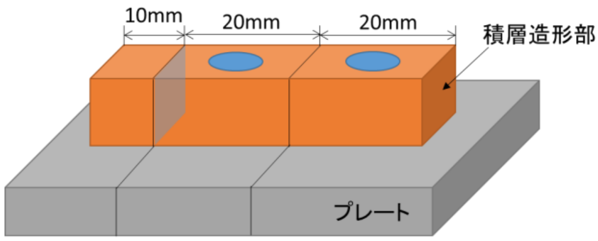


図２　作製試料の模式図

２．２．ミクロ組織観察

光学顕微鏡によるミクロ組織観察及び走査型プローブ顕微鏡（Park Systems 製 XE-7）による析出物観察を行った。直方体試験片の端部から 10㎜ の位置を切り出し鏡面研磨した後、ミクロ組織観察では 10%シュウ酸水溶液による電解エッチング（3V×60 秒）にて、析出物観察では Ar イオンエッチング（日立ハイテクノロジーズ製 IM4000Plus：フラットミリングモード、4kV×3 分、傾斜 80°）にて、それぞれの対象組織を現出してから行った。

２．３．元素マッピング

電子線プローブマイクロアナライザ（島津製作所製 EPMA-1610）による Cr（Kα）、Fe（Kα）、C（Kα）、Ni（Kα）の元素マッピングを行った。なお、試料はミクロ組織観察と同じものを使用し、鏡面研磨のまま導電性コーティングなしで分析を行った。

２．４．残留応力及び残留オーステナイト量の測定

積層造形部の表面及び内部の残留応力状態を調査するため、X 線応力測定装置（リガク製 AutoMATE：Cr-Kα）により長軸方向の残留応力測定を行った。内部の残留応力状態は、耐水研磨紙による機械研磨及び過塩素酸水溶液による電解研磨を用いて、約 1mm の間隔で除去しながら残留応力測定を行った。ここで、電解研磨は測定面の最終仕上げとして行い、機械研磨の影響を排除するため研磨量は 0.2mm 以上とした。

また、本研究で用いたマルテンサイト系ステンレス鋼では残留オーステナイト量も製品性能に影響を与えることから、X 線応力測定装置により残留オーステナイト量の測定も行った。

３．結果及び考察

３．１．ミクロ組織観察

図３に積層造形ままの断面ミクロ組織を示す。一般的な積層造形法では、造形時のテーブルの降下ピッチを一定にしてレーザー溶接の繰返しのように金属粉末を十分溶融させることから、扇形模様が等間隔に配列した「鱗状模様」となることが多い。一方、本研究で作製した試験片では、テーブルの降下ピッチが一定であるにもかかわらず､約 300μｍ間隔でやや扁平した扇形模様が配列した「さざ波模様」の見られる層（約 100μｍ厚）と見られない層（約 200μｍ厚）が繰り返されている。この理由は明らかではないが、積層条件

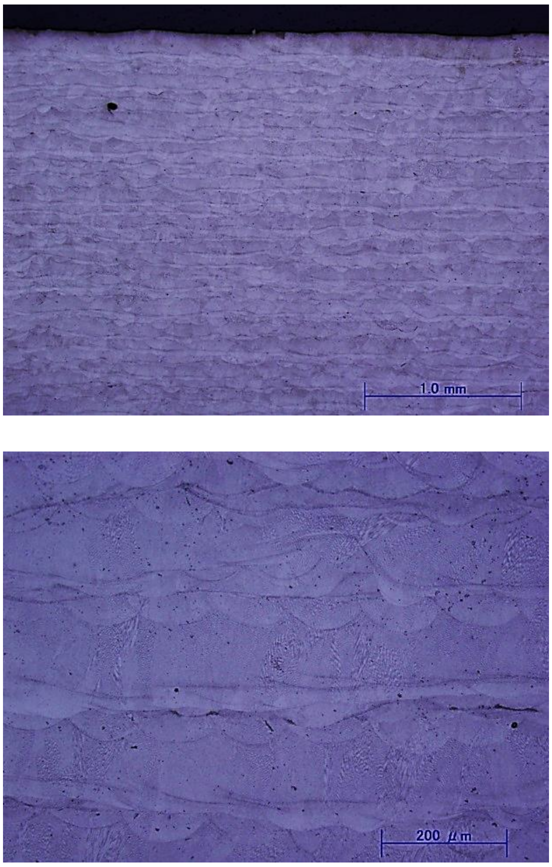


図３　積層造形ままの断面ミクロ組織
（下写真は上写真中央の拡大）

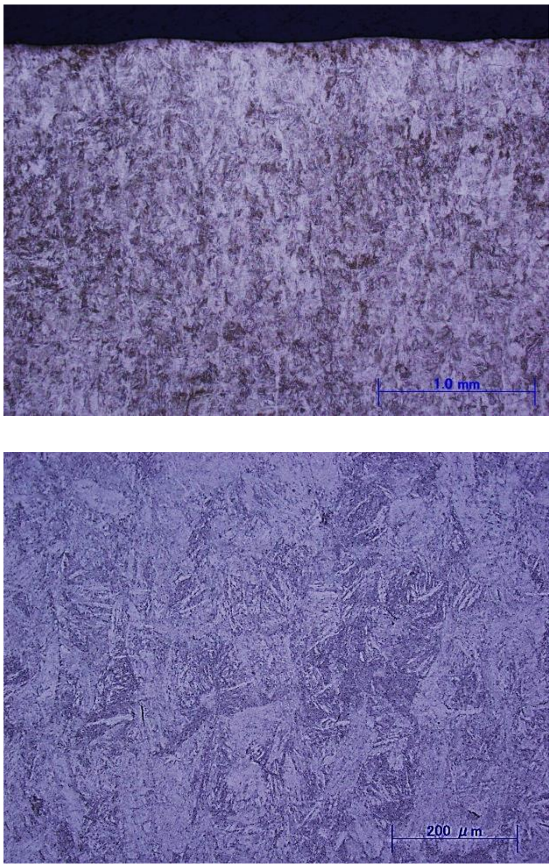


図４　応力除去焼鈍後の断面ミクロ組織
（下写真は上写真中央の拡大）

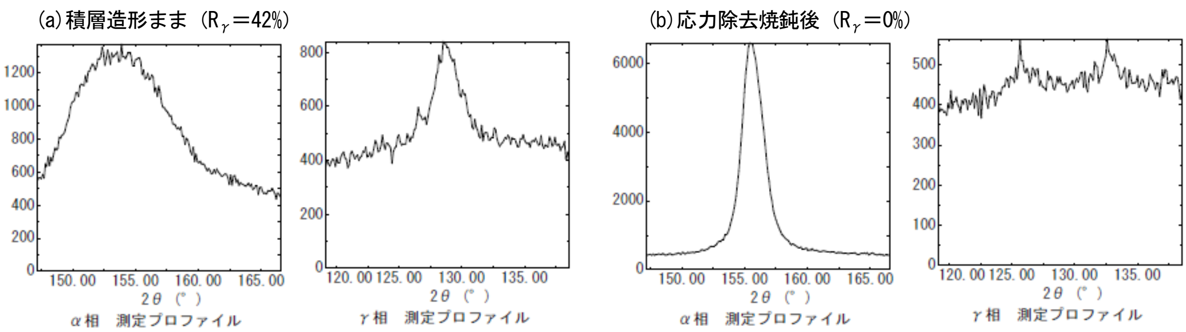
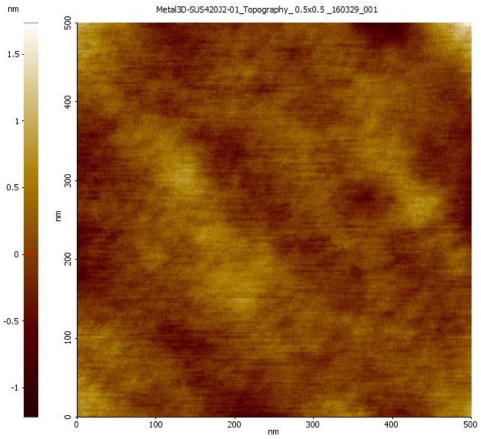


図５　残留オーステナイト量測定結果．(a)積層造形まま、(b)応力除去焼鈍後

や材質（マルテンサイト系ステンレス鋼）が関係していると考えられる。さざ波模様の１片の大きさは平均的な断面形状で約 100 μｍ幅×約 50 μｍ深さであった。

図４に応力除去焼鈍後の断面ミクロ組織を示す。積層造形後の周期的模様は確認されず、組織が均質化されていることが分かる。図５にＸ線応力測定装置による残留オーステナイト量（R_γ）の測定結果を示す。積層造形までは残留オーステナイト量が 42%である一方、応力除去焼鈍後ではオーステナイト（γ）相の回折ピーク（2θ＝128.9°）がほとんど見られなくなっている（126.1° 及び 132.5° はそれぞれフェライト（α）相及びクロム炭化物の回折ピークである）。また、マルテンサイト相の回折ピークのピーク位置が 153.9° から 155.6° にシフトするとともに、半価幅も小さくなっていることから、マルテンサイト相がフェライト相（焼戻しマルテンサイト相）に分解していると考えられる。図６に走査型プローブ顕微鏡による積層造形部の断面 AFM 観察結果を示す。応力除去焼鈍を行ったものにおいて、数十 nm 程度の微細な析出物（炭化物と考えられる）が観察されたことからも、そのことがうかがえる。

(a)積層造形まま



(b)応力除去焼鈍後

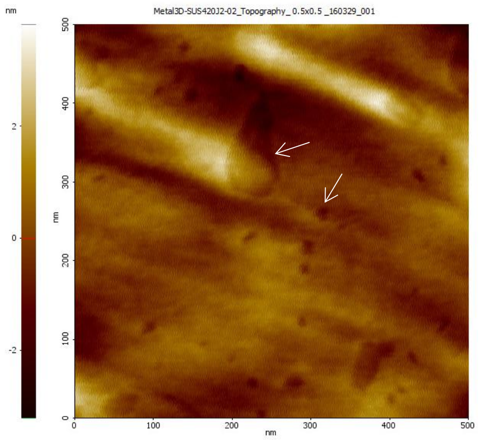


図６　積層造形部の断面 AFM 観察（0.5μm×0.5μm）
(a)積層造形まま、(b)応力除去焼鈍後

３．２．EPMA による元素マッピング

図７に積層造形ままにおける台座プレートと積層造形部の界面の Cr、Fe、C 及び Ni の元素マッピング結果を示す。台座プレートは金型用鋼製のため数 μｍ程度のクロム炭化物が分散している。一方、積層造形部では急速加熱・急速冷却のため、1μｍ以上の大きな炭化物は観察されない。図６(a)からも分かるように、C はほぼ固溶状態にあり、このことが図５(a)に示すように残留オーステナイト量を高める要因になっていると考えられる。また、Ni は本来ほとんど含まれない元素であるが、溶融池の底にあたる箇所に（検出強度は低いものの）偏析していることが分かった。このような元素分布も積層造形法の特徴の一つと言える。

650℃×30 分間の応力除去焼鈍では、図８に示すように Ni の偏析は解消されていない。さらに、積層造形まま（図７）ではほぼ均一な分布であった C は、平均検出強度が下がるとともに濃度ムラが現れている。これは、前項で示したように、マルテンサイトの分解により炭化物が析出し母相中の C 濃度が低下したためと考えられる。

３．３．残留応力

残留応力測定結果の例を図９に示す。深さ方向（垂線方向）に応力分布を持たない平面応力状態の試料の場合、$2\theta-(\sin\phi)^2$ グラフは図９(b)に示す応力除去焼鈍後のように線形的になる。積層造形までは、図９(a)に示すような曲線となっているため、3 次元的な応力分布を持っていることが分かる。これは、積層造形法が局所的に溶融凝固する加工法であることに加えて、上述したように合金元素の偏析や、マルテンサイト系の金属粉末を使用していながらオーステナイト相が比較的多く残留していることが原因と考えられる。

次に、機械研磨及び電解研磨を用いて、試験片内部の残留応力状態を調査した。積層造形ままの試験片では、図１０(a)に示すように $2\theta-(\sin\phi)^2$ グラフは最表面以外ほぼ同じプロファイル形状となった。プロファイル形状がほぼ一致するということは、3 次元的な応力分布ながら全体としてほぼ均一な応力状態であることを示唆しており、最表面では深さ方向の応力が緩和されたためプロファイルが比較的直線性を示したと考えられる。このような 3 次元的な応力状態を把握することが、品質向上には重要となる。

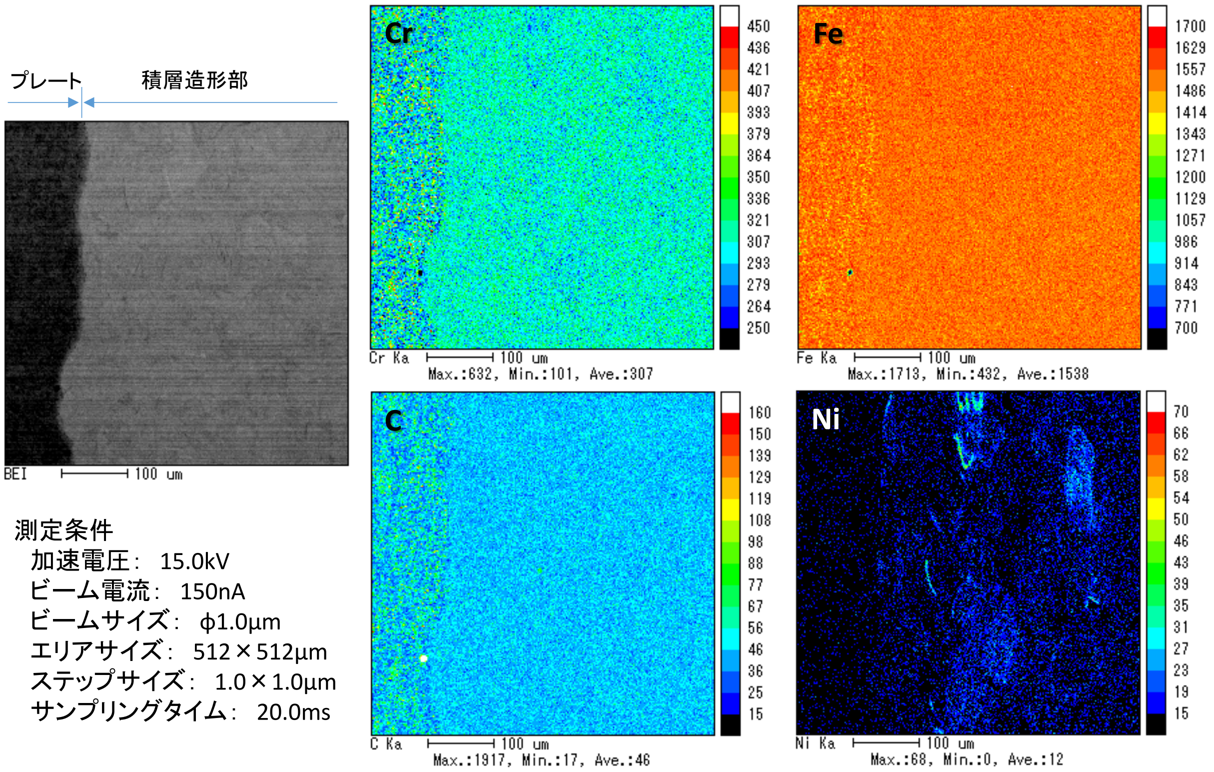


図７　プレート/積層造形部界面における元素マッピング（積層造形まま）

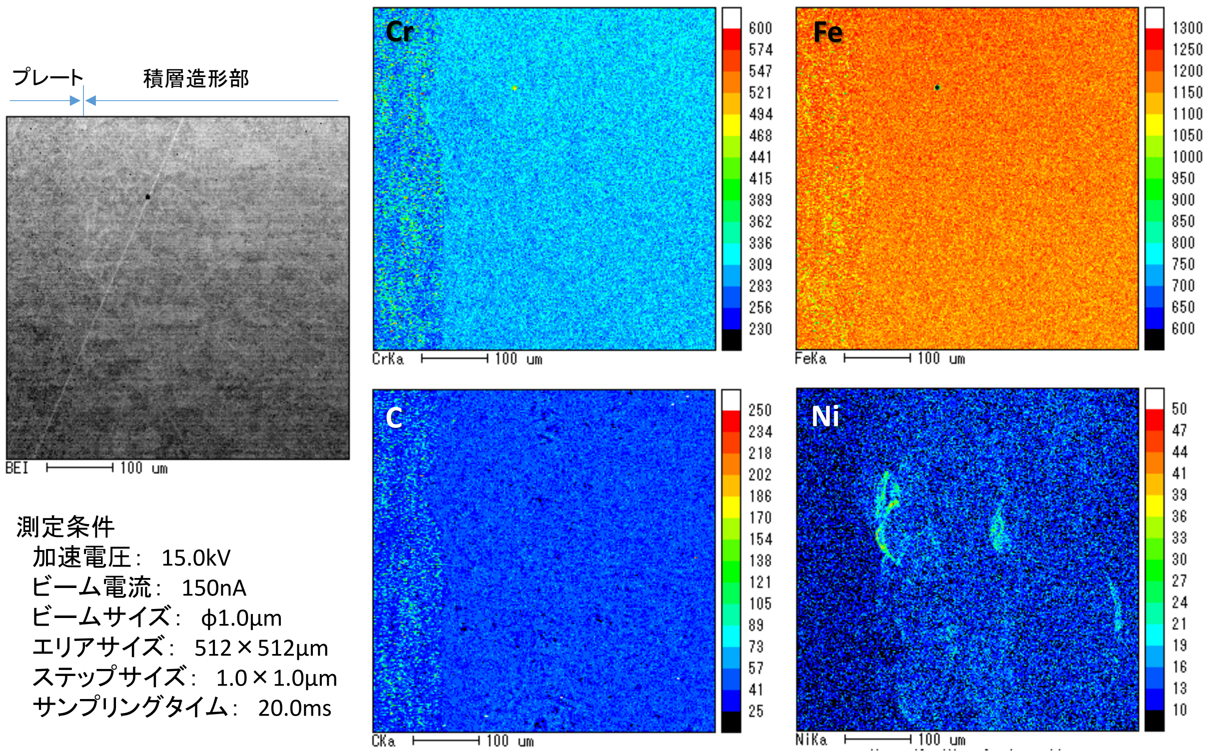


図８　プレート/積層造形部界面における元素マッピング（応力除去焼鈍後）

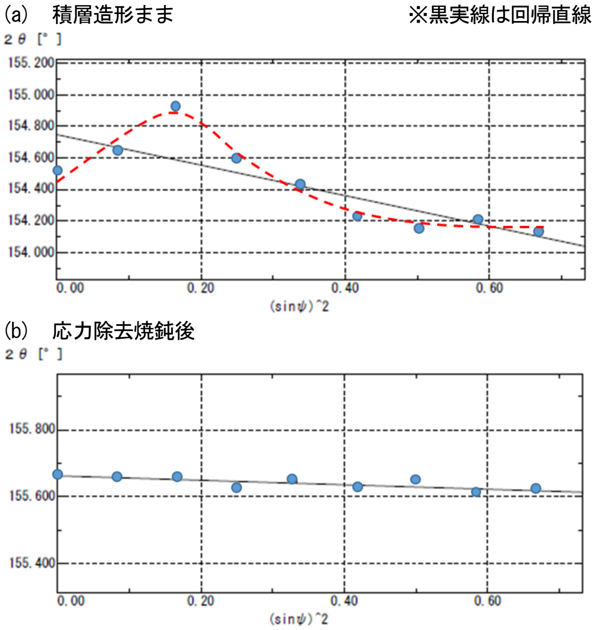


図９　表面の残留応力測定例(長軸方向)
(a)積層造形まま、(b)応力除去焼鈍後

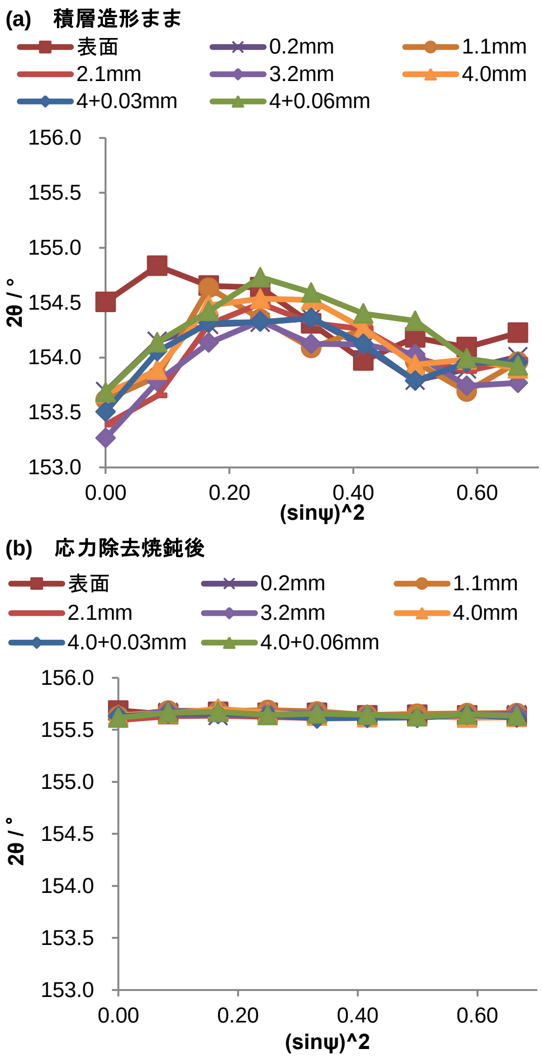


図 10　内部の残留応力測定結果(長軸方向)
(a)積層造形まま、(b)応力除去焼鈍後

４．結言

本研究では、金属積層造形製品の品質向上にあたって、どのような組織因子に着目すべきかについて、マルテンサイト系ステンレス鋼粉末で作製した積層造形品を取り上げ、そのミクロ組織の特徴について調査を行った。その結果、以下のような知見を得た。

① 等間隔に配列する「鱗状模様」が一般的であるが、本研究では扇形模様が周期的に見え隠れする「さざ波模様」を呈していた。積層条件あるいは材質等の違いが、金属積層造形法で形成される特徴的なミクロ組織形態であるレーザー溶融池の扇形模様に影響を与えたと考えられる。

② 650℃での応力除去焼鈍により、ミクロ組織は均質化されるものの、積層造形時に生じたレーザー溶融池の底部の凝固偏析は依然として解消されないことが明らかとなった。

③ 金属積層造形法で作製した製品内部には、その特異な加工法により、3 次元的な残留応力分布が生じる。マルテンサイト系ステンレス鋼では、積層造形後に多くのオーステナイト相が残留する。製品の品質向上にはこれらの組織因子を十分に考慮する必要がある。

参考文献

１）"金属光造形複合加工とは？". 松浦機械製作所. http://www.lumex-matsuura.com/japan/contents/lumex03.html, (参照 2016-03-27).

深層学習 Deep Learning を用いた物体識別と位置検出

Object identification and position detection using the Deep Learning

技術開発部　生産・加工科　牛坂慶太　太田悟　浜尾和秀
株式会社東日本計算センター　中野修三

自動走行システムや移動ロボットのソフトウェア開発において、移動時の物体識別にはパターンマッチング等の技術が用いられてきた。しかし、同じ物体でも明るさや背景によって見え方が異なり、それに対する適応性に欠けていた。そこで、そのような問題に対して Deep Learning と呼ばれる手法を適用し、様々な状況下の画像から構築した学習モデルによって、物体識別及び位置検出を行い、その性能について知見を得た。

Key words: ディープラーニング、ニューラルネットワーク、機械学習、物体識別

１．緒言

本技術開発事業は、株式会社東日本計算センターからの提案で「画像処理による機械学習の利用法を習得し開発に利用したい」とのことから、近年、機械学習による会話、テキストあるいは画像識別の分野に画期的な進歩をもたらしているディープラーニングと呼ばれる技術に着目し、画像処理による物体識別の性能について検証した。この手法は、多数の非表示レイヤーを持つニューラルネットワークを用いて、コンピュータが自律的にタスクの習得、情報の整理、パターン検出を行うものである。根幹の技術であるニューラルネットワークは、1960 年代に開発されたが、近年再び注目されている。ニューラルネットワークは大きく 3 層（入力層、中間層、出力層）に分けられる（図１）。入力したデータは、各層を通過して処理され、出力結果として得られる学習モデルによって、物体識別が可能となる。ディープラーニングとは、特に中間層が 2 層以上のネットワークを対象にした学習手法であり、物体の特徴が自動で抽出されることが最大のメリットである。

本技術開発では、この手法を用いた画像処理による物体識別の性能について検証を行ったので報告する。

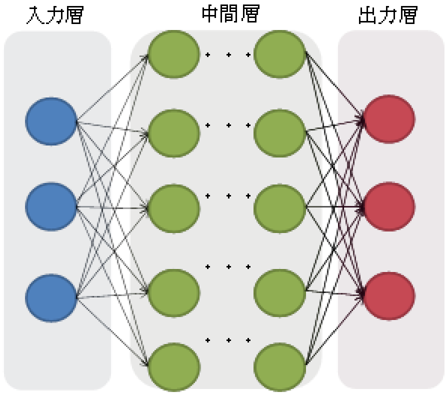


図１　ニューラルネットワーク

２．目的

図２のように画像から物体の位置を検出後、その物体について学習モデルを適用し、最も類似する分類として識別することを目的とする。

図２　物体識別および位置検出イメージ

３．基礎実験

基礎的な実験として、動作確認も含めて、ディープラーニングの環境を整え、物体識別及び位置検出を行った。

３．１．実験環境

以下に実験環境を示す。

フレームワーク	：Chainer1.6
言語	：Python2.7
OS	：Ubuntu14.04
GPU	：NVIDIA Quadro K2200
ネットワークモデル	：GoogLeNet

３．２．フレームワークの選定

従来の画像処理による物体識別は、事前に認識したい物体の特徴を SIFT や HOG[1] といわれる方法によって抽出し、さらに識別したい物体ごとに細かな調整が必要だった。

しかし､ディープラーニングを用いることによって、物体ごとの特徴を自動で抽出することが可能となる。ディープラーニングを実装する際、ある程度ソフトウェアの枠組みができているフレームワークを用いることでプログラミングが容易になるといわれている。今回は2015年6月に株式会社Preferred Networksから公開されたChainerを利用した。他のフレームワークと比較し、Pythonですべて処理できるため環境構築が容易である。また､記法が直観的かつシンプルなので、ネットワーク構成を直感的に捉えることができることがメリットであり、畳み込み、リカレントなど、様々なタイプのニューラルネットを実装可能である。

３．３．物体識別

ディープラーニングによって物体識別をする場合、識別したい複数のカテゴリにおいて、数万点の画像を収集し、それを基に学習させたモデルを利用して画像の識別を行う。今回は簡易的に動作検証をするため、ネットワーク上で公開されている学習済みのリファレンスモデルと呼ばれるモデルを利用して、図３に示す画像の物体識別を行った｡上位20個の識別結果を表示したものを図４に示す。最上位の結果が、44%でairlinerと識別している｡2位はspeedboatで12.4%、3位はsubmarineで8.5%となっており、見た目が同じような物体が識別率の上位となっている。また、1位と比較すると30%程度の差があり、物体識別が正しく動作していると考えられる。

図３　テスト画像

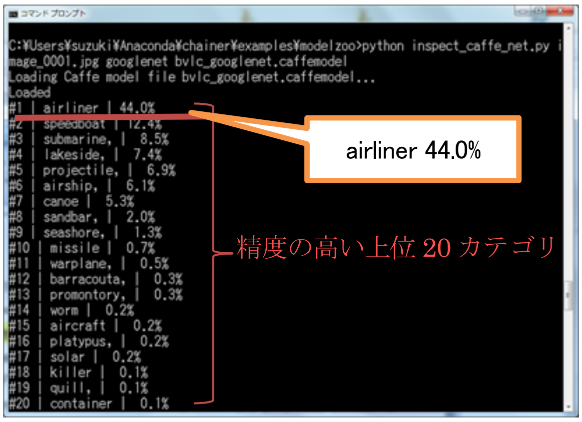


図４　物体識別の結果

３．４．位置検出

ディープラーニングを用いた物体識別と同時に位置を検出するための手法について検証した。画像処理における物体検出の代表的な方法として、Sliding Window[2]というアルゴリズムを使い、画像の中から物体を抽出する方法もあるが、切り出す領域の数が非常に多くなることや時間がかかるという欠点がある。

今回選定したSelective Searchは、イメージのセグメンテーションを使った手法で、ピクセルレベルで類似する領域をグルーピングしていくことで候補を抽出する。Sliding Windowを用いた手法よりも高速で、pythonに実装するためのモジュールも用意されている。図５にSelective Searchによって領域が抽出された結果を示す。1枚の画像から領域をいくつか抽出していることがわかる。また、抽出した領域の画像内における座標を取得することも可能であった。位置検出の精度については、処理速度とトレードオフの関係にあり、より高い精度の位置検出が必要な場合には、Selective SearchよりもObjectness[3]やCPMCとよばれる手法が適していると考えられる。また、Selective Searchがほかの手法と比べ、処理速度が速いとはいえ、今回の検証では、画像のサイズに依存するものの20秒程度かかっているため、用途によっては処理速度の改善が必要である。

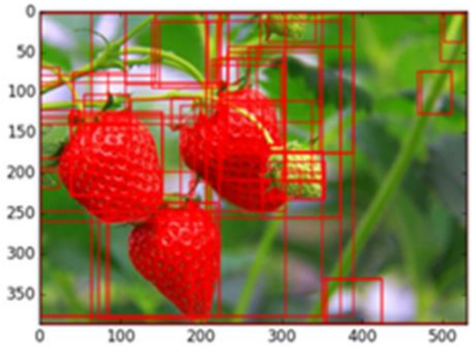


図５　Selective Searchの結果

３．５．物体識別及び位置検出

Selective Searchによって、切り出した領域ごとに物体識別を行う。識別精度の高い（90%以上）領域に対してのみラベルを表示する。

データセットには、101カテゴリに分類されたcaltech101と呼ばれる機械学習では一般的に用いられているものを使用した。

実際の識別結果は、図６の様になった。ある程度、正しい範囲でstrawberryと識別されたが、umbrellaと誤識別してしまっている領域もあった。

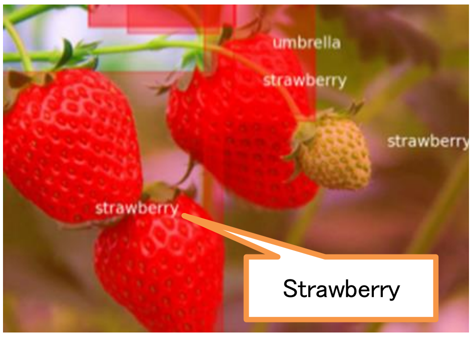


図６　物体識別及び位置検出の結果

４．実験

実験では、所望のデータセットを自作し、学習させた後、そのモデルを利用して、物体識別及び位置検出を行った。自作した学習モデル、Chainer を用いた物体識別、Selective Search を組み合わせて、自動車の画像から、ヘッドライトを抽出することを目的とする。

４．１．モデルの作成

基礎実験では、リファレンスモデルをそのまま利用していたが、実際に所望の物体を認識させたい場合には、その写真データを集め、学習させる必要がある。

画像収集には、flickr という写真共有サービスサイトを利用した（図７）。使用した画像は約 50 枚であり、利用のライセンス分類ごとに検索が可能である。

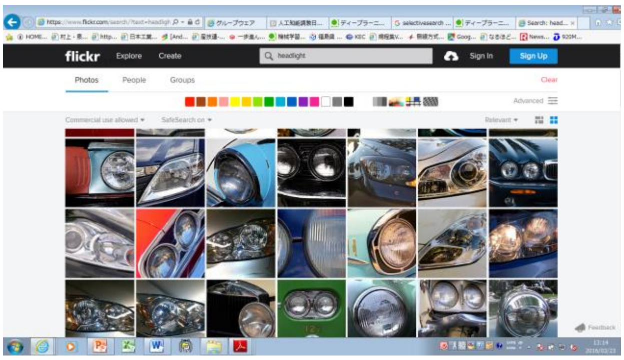


図７　flickr でヘッドライトを検索した結果

次に収集した画像をもとに学習を行う。学習にはNVIDIA が無償提供している深層学習ツールであるDigits3 を使用した。約 1 万枚の画像を Epoch200 で約 8 時間学習させた結果は図８のとおり。横軸が学習回数、縦軸の左側が訓練誤差、右側が精度を示す。学習回数ごとに精度が上がり、Epoch100 程度ではほぼ収束しており、学習が良好に推移していることが確認できた。精度としては、70％～90％の結果が得られていることがわかる。

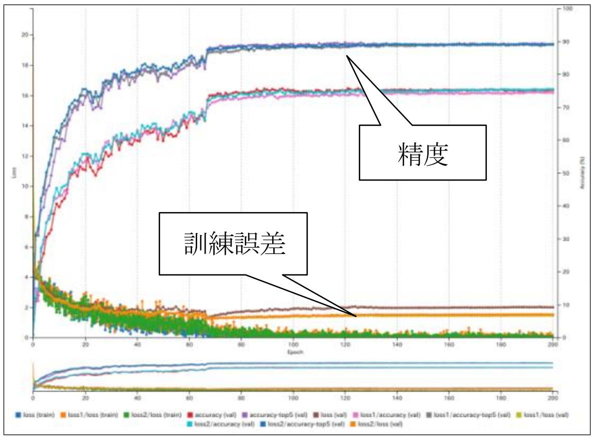


図８　学習経過

４．２．物体識別及び位置検出

学習したモデルを用いて、テスト画像からヘッドライトを検出する。結果は図９のとおり。ヘッドライトの部分を領域として切り出しているが、ヘッドライトとしては認識していない。原因としては、収集したデータにいくつか問題があると考える。ひとつは学習に使用した画像の絶対的な枚数不足、さらには、その質と考えられる。また、モデルを作成したツールであるDigits３は、ベースのフレームワークが Chainer ではなく、caffe であり、フレームワークの差異も起因しているのではないかと考えられる。

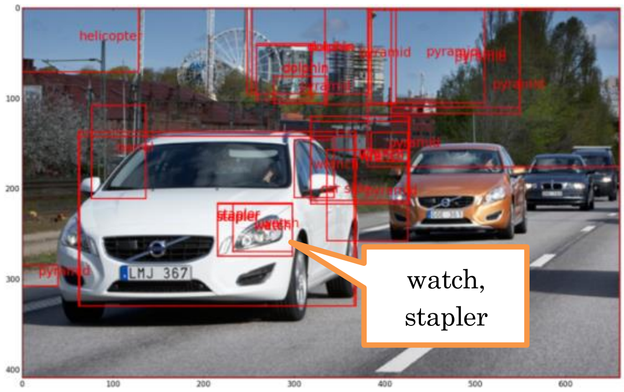


図９　物体識別及び位置検出

５．結言

本技術開発ではディープラーニングと呼ばれる手法に着目し、実験環境を整備し、物体識別及び位置検出の性能について検証した。自動車のヘッドライトに特化した学習モデルも作成し、このモデルを使った物体識別及び位置検出を行い、精度良く検出することはできなかったが、以下のような知見を得ることができた。

（１）ディープラーニングを実装する際、使用するフレームワーク、ネットワークモデル、データセットや物体領域の抽出の方法、さらにはそれぞれのパラ

メータの設定など、認識の精度に起因するものの組み合わせが数多くあることがわかった。今回の検証では、特定の組み合わせによる実験のみであり、今後は実用化に向けて検出の精度を向上させるためにも、更なるパラメータの組み合わせを試し、物体識別のための最も有効な環境を構築することが必要と考える。

（２）所望の物体を識別するためには、データセット作成の際、質の良い数多くのデータを集めることが重要であることがわかった。必要なデータが、労せずに集まってくるような仕組みづくりができれば、さらに精度の高い物体識別が容易に可能となると考えられる。そのなかで、データ数が増えてくれば、学習にかかる時間も増えるため、開発を効率的に進めていくためには、計算機能力を強化することも必要と考える。

参考文献

１）"Gradient ベースの特徴抽出-SIFT と HOG-". http://www.hci.iis.u-tokyo.ac.jp/~ysato/class14/supplements/sift_tutorial-Fujiyoshi.pdf, (参照 2015-9-15).

２）"進化計算を用いた物体検出における位置特定高速化". http://www.kansei.soft.iwate-pu.ac.jp/abstract/2012/0312009103.pdf, (参照 2015-09-15).

３）"ディープラーニングにおける様々な物体領域検出のアプローチ方法". http://qiita.com/t-hiroyoshi/items/e9def50ba2c2249db04b, (参照 2015-9-15).

樹脂コーティング繊維を活用したライフテキスタイル製品の開発

Development of Life textile product using resin coated fiber

福島技術支援センター 繊維・材料科　東瀬慎　長澤浩　中村由和　佐々木ふさ子
アルテクロス株式会社　川崎元裕　田中貴之　佐藤美佐子

提案企業の固有技術である二色押出成形と広幅織物製織の技術を組合せ、ライフテキスタイル製品の試作開発支援を行った。その結果、熱処理条件及び裁断条件を絞り込むことで、加工条件の選定を行った。

Key words: ライフテキスタイル、広幅織物製織

１．緒言

１．１．研究背景

提案企業では、新商品開発を目的に数年前から押出成形機の新規導入を進め、カラーコーティング繊維の製造技術を蓄積している。この固有技術をインテリア、エクステリア分野等のライフテキスタイル製品として展開し、将来的には企画、製造、販売までビジネス化したいと考えている。

１．２．研究目的

カラーコーティング繊維の製造技術と製織技術を活用し、インテリア、エクステリア分野等のライフテキスタイル製品を試作開発する。

１．３．従来技術

スクリーン織物（網戸）として、樹脂コーティングした繊維を格子状に固定化する方法が広く知られている。提案企業では、以前より外注で樹脂コーティングしたガラス繊維を、自社で製織することでスクリーン織物を製造してきたが、国内でも希少な広幅織機を保有し、他社との差別化が図れることから、今後の用途展開次第では付加価値の高い製品づくりを内製化したいと考えている。

１．４．市場ニーズ

市場ニーズが期待される分野として、ディスプレイ用看板生地、ガーデニング用マット、デザイン防草シート、エクステリア及びインテリア用マット、インテリア用ウォールタイル、浴室用ヒンヤリ防止マット、ロールカーテン、デザイン性畳などが挙げられる。

１．５．技術課題

現状の樹脂コーティングされた織物単体の組合せでは、想定する市場ニーズ製品に限界があり、別途基材となる副資材との組合せにより試作対象製品を検討する必要がある。

一方、高速自動裁断機によるテストカットでは、バキューム裁断後に切断面から繊維組織が崩れるため保形性に大きな課題があり（図１）、裁断前に織物組織を固定化（熱溶着）する熱処理条件を検討する必要がある。

さらに、高速自動裁断機を使い多彩なパーツ形状の組合せと寸法精度に優れたカッティングを実現可能とするため、高速裁断条件を検討する必要がある。

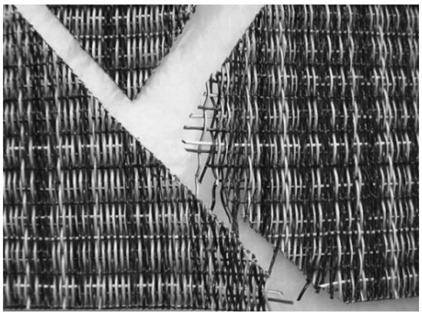


図1 テストカット時の織物組織の分解

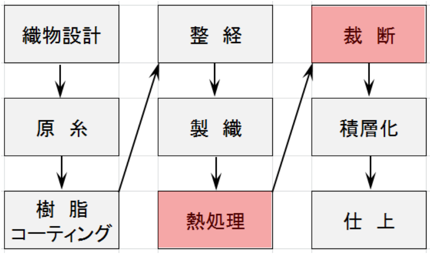


図2 カラーコーティング繊維、織物の作製手順

２．試験方法

２．１．カラーコーティング織物による試作対象品の検討

市場ニーズが期待される用途から、別表に示す自社で製作可能な試作対象品を選定し加工方法、市場優位性について検討した。

また、開発のベースとなるカラーコーティング繊維と織物設計を表１に示す。

カラーコーティング繊維			織物設計	
芯糸	PET モノフィラメント 333dtex		組織	変化綾
樹脂被膜	信越ポリマー株式会社製塩化ビニールコンパウンド　EZ－584		密度	経糸:18 本/cm
				緯糸:8 本/cm
膜厚	約 500μm		目付	約 750g/㎡
成型	二色押出		厚さ	約 1.7mm

表1　カラーコーティング繊維及び織物設計

２．２．織物組織の固定（熱処理）方法の検討

織物組織の固定方法（熱溶着）は、ドライオーブン（エスペック社製、型番 PHH-101）を使い、カラーコーティング繊維の押出成型温度（約 160～170℃）を中心に、最適な熱処理温度、時間の関係を測定した。

また、溶着強度の評価は、カラーコーティング織物を指定の温度、時間で熱処理した後、万能抗張力試験機（島津製作所製 AGS-10kNG)を使用し、交接点の溶着強度を求めた。試験条件は、標点間距離 200mm、引張速度 100mm/min で最大引張荷重の平均（N=15)を求め、2N 以上を良品と定義した。

２．３．カッティング条件（高速自動裁断機 CAM）の検討

高速自動裁断機（島精機製作所製、P-CAM160）を使用し、裁断速度を 3～15m/min、丸刃回転数を 220rpm、1111rpm、2000rpm に可変した時の裁断条件を検討した。具体的には破断面の切り残し、バリの発生状態から、最適な裁断速度と丸刃回転数の関係を求めた。

３．結果と考察

３．１．カラーコーティング織物による試作対象品の検討

別表より検討した結果、試作対象品を案③⑦に絞り込み、その基材となる副資材をクロロプレンゴム（ダイワボウプログレス社製 CR 系ゴム NV5mm、以下 CR 系ゴムと略記)とした。基材の CR 系ゴムは、衝撃吸収性、防水性、防炎性（UL94HF－1）に優れる特徴を持つ。

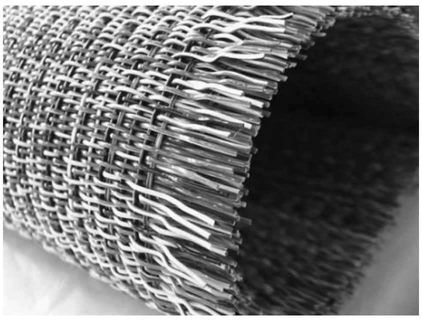


図3 開発ベースとした試作織物

３．２．織物組織の固定（熱処理)方法の検討

熱処理条件の適正結果を図４に示す。まず熱処理時間を 15min、30min、45min に設定し、熱処理温度を 120℃から 230℃までそれぞれ変化させた時の溶着強度、表面クラックの有無を求めた。その結果、十分な溶着強度が得られる温度と時間の許容範囲は赤色領域となることが分かった。

一方、橙色領域では十分な溶着強度を満たすものの、樹脂被膜の塩ビ樹脂表面にクラックが生じ外観不良となった。また灰色領域では溶着強度の目安となる 2N を満たすことが出来ず、織物組織の固定が不十分な結果となった。

次に図４の橙色領域で発生した樹脂被膜のクラック写真を図５に示す。クラックの発生は、コーティング織物の経糸方向のみに確認され、緯糸方向には発生していない。

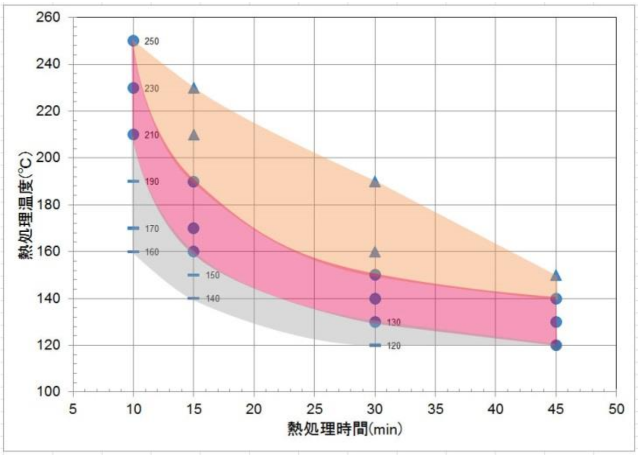


図4 熱処理条件の適正
（赤色:最適、橙色:クラック有、灰色:強度不足）

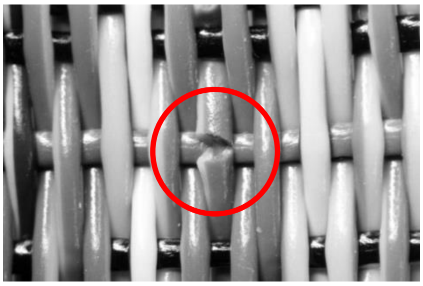


図5 熱処理後(160℃,30min)のクラック

また、クラック発生時の経糸の端面を図６に示す。熱履歴の影響により、経糸芯部の PET モノフィラメントと塩ビの樹脂被膜に収縮差（芯材と被膜の滑り）が確認されたことから、クラック発生の一因であると考えられる。

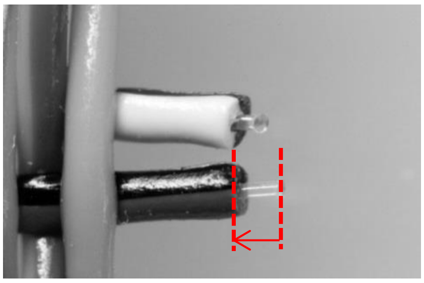


図6 クラック発生時の経糸の端面（160℃,30min）

次に作業時間の短縮化を目的に、短時間（10min）で処理可能な熱処理条件の検討をした結果、熱処理温度210℃において、十分な溶着強度を満たし、かつ塩ビの樹脂被膜にクラックが発生しない(図７)許容領域は、図４に示す赤色領域に限定されることが分かった。

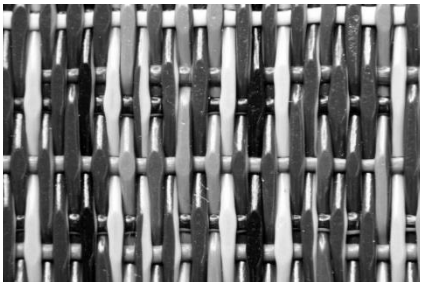


図7 熱処理時間の短縮化(210℃,10min)

３．３．カッティング条件（高速自動裁断機 CAM）の検討

裁断条件の適正結果を図８に示す。切り残しやバリの発生が無い最適な裁断条件は、図８の赤色領域となる。橙色領域では一部切り残しとバリが発生し、ピックアップの作業に時間を要する。灰色領域の条件下では全体的な裁断不良が確認された。

また図９に丸刃回転数の違いによる裁断面の状態を示す。一般的に丸刃の自走回転により、裁断性能は向上するが、高速域（1111rpm、2000rpm）になると摩擦熱により丸刃が高温となり、塩ビ樹脂が溶融して、バリの発生や再固着による切り残しの原因となることが確認された。

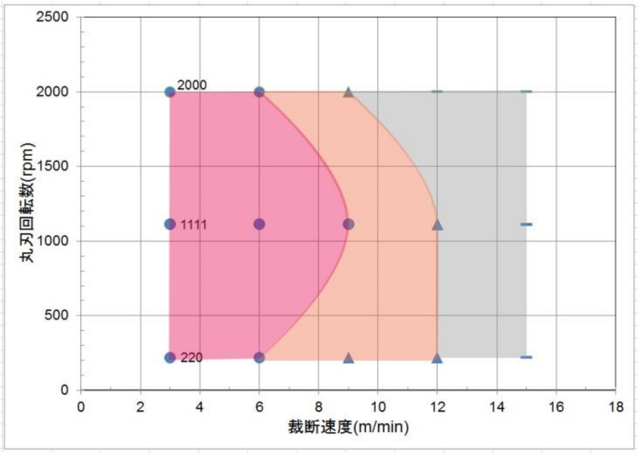


図8 裁断条件の適正
（赤色：最適、橙色：適、灰色：不適）

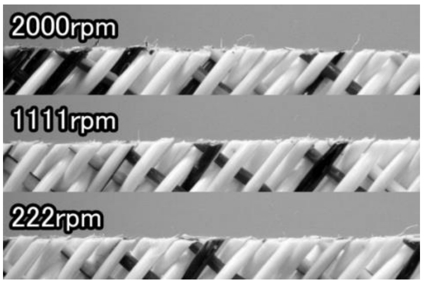


図9 丸刃回転数と破断面の状態

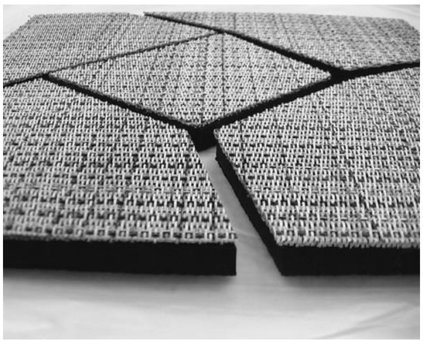


図10 熱処理、裁断条件の最適化

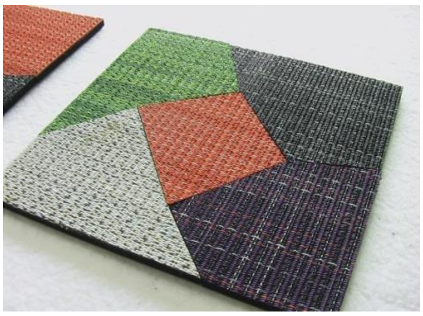


図11 試作完成した案③、⑦向けサンプル

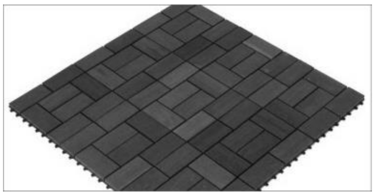
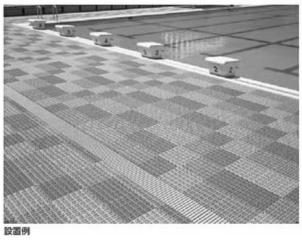
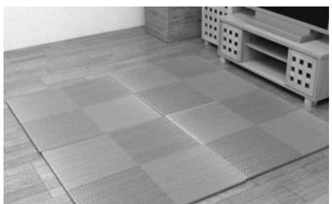
４．結言

提案企業の固有技術である二色押出成形と広幅織物製織の技術を組合せ、ライフテキスタイル製品の試作開発支援を行った。その結果、熱処理条件及び裁断条件を最適化することで、図１０、１１に示す試作対象品（案③⑦）を作製した。

参考文献

１）特開 2010-209505
２）特開平 07-145532

別表　試作対象品の検討結果

	展開用途案	加工処理	既存商品との優位性	既存商品例
案①	ガーデニング用マット（多色タイルの組合せ）	耐久性素材との積層化	無機素材に比べ色彩変化による差別化	
案②	デザイン防草シート	織物組織の高密度化	耐久性、デザイン性による差別化	
案③	エクステリア、インテリア用マット	耐久性素材、クッション素材との積層化	軽量性とデザイン性による差別化	
案④	ディスプレイ用看板生地	透明フィルムとのラミネート加工	単色看板との装飾性、耐久性の差別化	
案⑤	浴室用ヒンヤリ防止マット	必要によりメッシュ素材との積層化	接触冷感性の軽減、デザイン性による差別化	
案⑥	ロールカーテン	熱処理による組織の固着	耐紫外線性、組織変化による調光機能	
案⑦	デザイン性畳	各種クッション材による積層化	防汚性、メンテナンス性、軽量性による差別化	

ニット用特殊加工糸に関するデニット巻取装置の開発

Development of knit-de-knit winder about silk yarn for knitting

福島技術支援センター　繊維・材料科　東瀬慎　長澤浩　中村由和　佐々木ふさ子
菅野繊維株式会社　菅野京一　清野光一

人間の指先による「扱き」と呼ばれる熟練を要する手作業を、①デニット(解編)する機構と、②積極送りを持つ巻取機構に分け、連続運転可能な加工条件を検討した。その結果、半自動のデニット巻取装置の提案を行った。

Key word: デニット

１． 緒言

１．１．研究背景

本事業におけるニット用特殊加工糸の製造技術については、過去に提案企業と共に進めてきたシルクニット糸に関する研究テーマ[1]の終了後、新たな開発要素と知的財産価値を持つ研究課題として継続して検討している。

１．２．研究目的

デニット(解編)する機構及び、積極送りによるソフト巻取機構の提案を行う（図１）。

１．３．従来技術

従来、絹糸に伸縮性、嵩高性を付与する加工方法は様々提案されているが、個々に課題があり、新たなシルクニット糸の製造方法が市場ニーズから広く切望されている。

１．４．市場ニーズ

カシミヤ等の高級紡績糸の細繊度化は紡績技術に限界があり、市場に流通している中では、約 333dtex が限界である。

一方、絹紡糸(短繊維を紡績した絹糸)では約 83dtex まで流通するも、品質と風合い、商品価値では長繊維の絹糸には遠く及ばない。

しかし、長繊維の絹 100%のシルクニットは重く、型崩れし易い欠点があるため、仮に紡績糸特有の風合い(嵩高性)を、高品質な絹糸(長繊維)で再現できれば、市場競争力の高いニット製品の提案が可能である（図２）。

１．５．技術課題

現在､ひも状の特殊加工糸から手作業(図３)により、デニット(解編)し、糸が伸び切らないようソフトにボビン巻きを行っている。

一般的なモノフィラメント糸は､容易にデニット(解編）可能であるが、本事業で加工する生糸強撚糸を使用した特殊加工糸は、生糸自体に強い撚りが掛かっており、デニット(解編）の際に、絡み合う糸コブを解く作業が必要となる。そのため人間の指先による「扱き」と呼ばれる熟練を要する手作業に頼り、市販の巻取装置では対応することができない。

さらに市販のワインダー(巻取装置)では、糸が伸び切り、強調すべき超ソフト感の風合いが損なわれてしまう課題が残る。

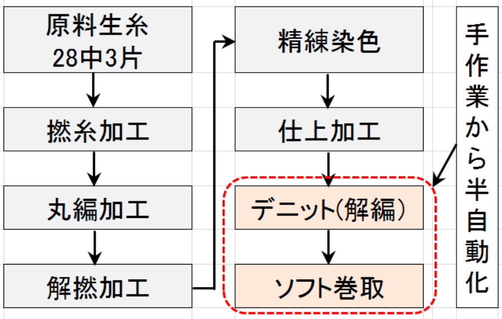


図1 デニット(解編)糸の製造プロセス

図２ デニット(解編)前後の嵩高性の違い(同重量)

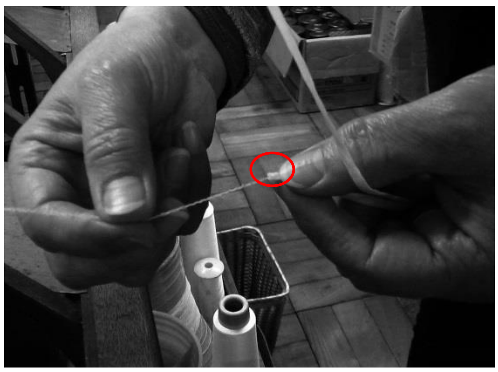


図３ 手作業によるデニット(解編)作業

２．試験方法

２．１．デニット(解編)する機構(代替素材)の検討

人間の指先による「扱き」と呼ばれる手作業を、発泡素材､シリコンゴム､ヤーンテンション装置を使い、糸を引き出した時のデニット（解編）が実現可能かどうかを比較検討した。

２．２．デニット(解編)する機構(解編荷重)の検討

デニット(解編)本数を16本(解編前)から7本､5本、3本に解編し、デニット(解編）に必要な通常時の荷重(N)を求めた。次に糸コブを解くために必要な荷重(N)を求め、さらにデニット(解編)糸が破断する荷重(N)について、各々万能抗張力試験機（島津製作所製AGS-10kNG)を使用し、その最大荷重(N)を測定後、平均値(N=5)を求めた。測定は試験環境20℃、65%相対湿度(RH)の条件下で、標点間距離 100mm、引張速度は手作業で引き出す速度を基にして約134mm/minと設定した。

２．３．デニット(解編)する機構(不良検出)の検討

デニット(解編)後の断面径に対し、レーザー判別変位センサー（キーエンス製透過型デジタルレーザセンサIG-010）を使いリアルタイムに測長し、人間の感覚に依存しないデニット(解編)不良の検出を行った。

デニット(解編)後の平均繊度（断面径）をレーザー式判別変位センサーに入力設定し、デニット(解編)不良を確実に検知する断面径の許容外範囲を求めた。

２．４．積極送りを持つ巻取機構(巻取速度)の検討

解除前の特殊加工糸を9.8×10^{-3}Nで100mmになる長さにカットし、これを16本(解編前)から7本、5本、3本にデニット(解編）した際の糸長を測定し、ソフト巻きに適正な巻取速度の許容範囲を求めた。

３．結果と考察

３．１．デニット(解編)する機構(代替素材)の検討

代替素材の適正比較結果を表1に示す。

表1 代替素材、装置のデニット(解編)の適正比較

提案素材		デニット(解編)結果		
素材種類	規格	平常状態	糸コブ状態	素材適性
発泡素材	(株)旭化成製 ポリエチレンフォーミング材 20mm Q-25	○	×	×
シリコンゴム	(株)タイガースポリマー製 内径12mm、肉厚3.0mm、外形18mm SR1554	○	△	△
ヤーンテンション装置	V字型6穴ガイド 板バネ調整付	○	○	○

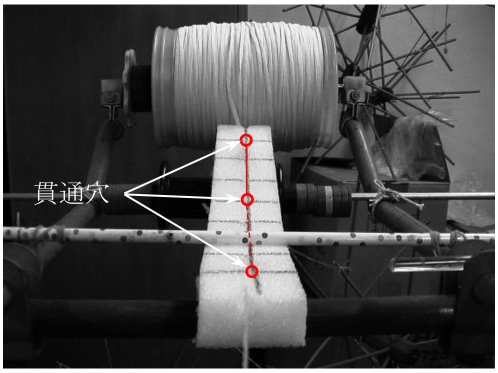


図４ 発泡素材を活用した解編試験

発泡素材を活用した解編試験を図４に示す。発泡素材には、予め加工糸が通過できる程度の小さい糸道を段階的に空けておき、発泡素材内で適度な扱きが加えられることで、糸コブ発生時に対応できないかと考えた。これにより指先による手作業に比べ、格段の作業性が向上したが、巻き取り速度によっては、摩擦熱で発泡素材が溶けて加工糸を汚染する問題が残った。

次に、シリコンゴムを活用したデニット（解編)試験を図５に示す。

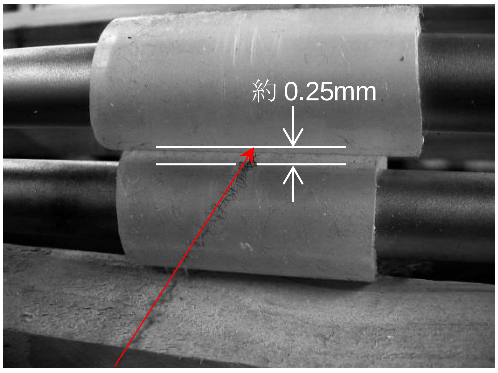


図5 シリコンゴムを活用したデニット(解編)試験

シリコンゴムは直径10mmのアルミパイプに肉厚3mmのシリコンチューブを挿入し、上下に並べたチューブ間（スリット）を、デニット(解編）後の断面径のみが通過できるよう（解編糸 3 本、約 0.25mm)に固定しておく。

スリット間隔の精度が結果を左右するため、通常すきまゲージ等を使用するが、簡便性を考えて官製はがき（厚さ約0.25mm）をスリット間隔の調整に使用することを提案している。このタイプは、軽微な糸コブのデニット(解編）に優れ、安定した巻き取りが可能となるが、スリットサイズを大きく超えた糸コブが通過した時に、瞬間的に過剰な荷重が働き、特殊加工糸が破断またはシリコンゴムが引き裂かれてしまう問題があるため、異なるサイズのスリットを複数個設置して、段階的に絞り込む機構が必要となる。次に、ヤーンテンションを活用した解編試験を図６に示す。

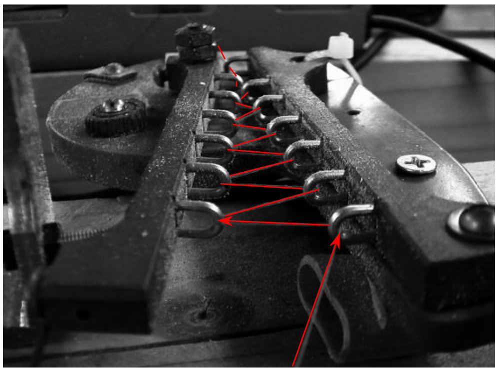


図６ ヤーンテンションを活用した解編試験

ヤーンテンション装置は、通常巻取装置等の糸の「たるみ」を効率よく解消するための部品として使用されている。しかし、今回は糸の出入り方向を逆向きにすることで、デニット（解編）による糸コブ解消に使えないかと提案を行った。具体的には、ヤーンテンション装置には、U 字型の金属製ガイドが左右等間隔に固定されおり、ガイドより挿入した加工糸が、板バネで調整されたテンションにより、金属製ガイドを左右交互に通過する際、V 字状に屈曲抵抗を複数回加えることが出来る。

これにより、糸コブの大小に関わらず左右６箇所、計 12 箇所の V 字状の屈曲動作を繰り返すことで、効率良くデニット（解編）が出来ると考えた。ただし、デニット（解編）する加工糸により、板バネの設定値を微調整する必要があるため、過剰なテンションを加えた際は、V 字状の糸道で矩形状態が伸び切り、容易に破断してしまう恐れがある。

３．２．デニット（解編）する機構（解編荷重）の検討

図７にデニット（解編）に糸コブ無しの解編荷重と糸コブ発生時の解編荷重及び、デニット（解編）糸の破断荷重の関係を示す。

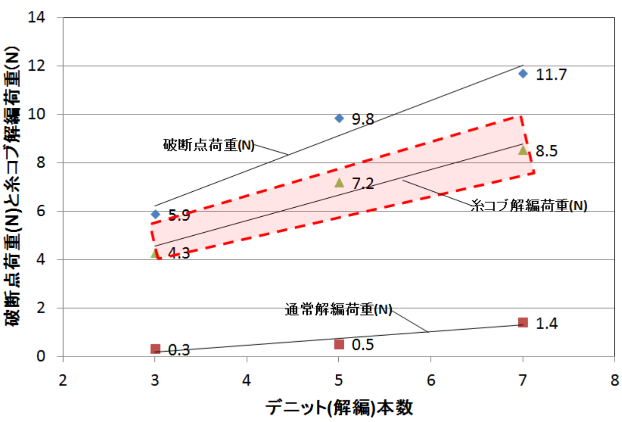


図７ デニット（解編）荷重（N）と破断荷重（N）の関係

糸コブのない状態では、微小な引張荷重で連続したデニット（解編）が可能であるが、糸コブ発生時には破断強度の約８割の引張荷重を加える必要がある。

ただし、糸コブを解くことを重視し過ぎると、デニット（解編）された糸の矩形状態が伸び切ってしまうか、部分的なデニット（解編）糸の破断につながる恐れがある。

よって、本研究では図７の赤色領域の荷重を加えることが、デニット（解編）に必要な荷重値として適正であると考えた。実際には解編前のボビンとデニット（解編）モーター間の荷重が、図７の赤色領域を満足させるように、解編前のボビンの回転に抵抗を加える重りの数と、デニット（解編）モーターの回転速度を微調整しながら安定化を図った。

３．３．デニット（解編）する機構（不良検出）の検討

レーザー判別センサー（図８）を使用した不良検出結果を表２に示す。デニット（解編）後の断面径を本数別に入力設定し、連続運転を行った際の解編状態の安定性から、上限と下限の許容範囲を求めた。

表２ 判別センサーの不良検出適正

	解編本数	断面径mm	上限20%	上限15%	上限10%	下限5%
糸コブ判定	解編前	3.5				
	7	0.63	△	○	○	○
	5	0.46	△	○	○	○
	3	0.25	×	△	○	○

その結果、解編本数７本、５本の上限値は 15%程度、解編本数３本では、上限 10%程度の設定値が不良検出に良好な結果となった。

また下限については、糸コブが無い状態では、断面径が安定して推移しているため、設定値の 5%程度以内が適正であることが分かった。

なお、許容値を超えた場合は、エラー信号によりインバーター（富士電機社製 FRN0.75C1S-2J）へ停止シグナルを送り装置制御を行っている。

図８ レーザー判別センサーの導入

３．４．積極送りを持つ巻取機構（巻取速度）の検討

デニット（解編）前後の糸長について、解編本数と糸長の関係を図９に示す。赤が無荷重時、青が 9.8×10^{-3}N

時のデニット(解編)糸の長さを表している。

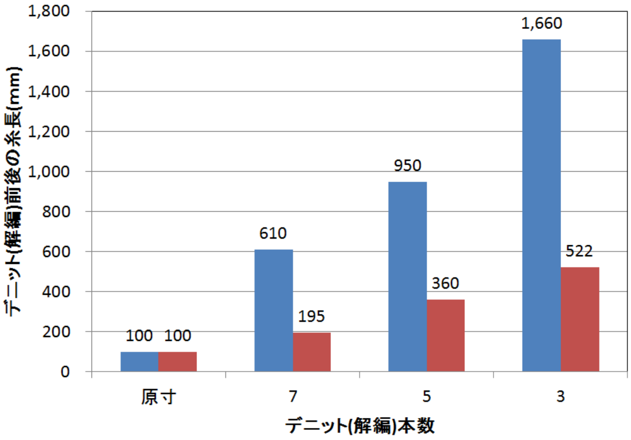


図9 デニット(解編)後の糸長の関係
(赤:無荷重時、青:9.8×10^{-3}N 時)

解編本数が少ない(細い)ほど、極めてストレッチ性の高いデニット(解編)糸を得ることができる。ソフト巻を達成するには、解編後無荷重時と 9.8×10^{-3}N 時の範囲内に、巻取ボビンの速度を設定することで図10に示すソフト巻が達成可能であることが分かった。

また、図11に従来の手作業によるデニット(解編)、図12に提案した半自動機を示す。

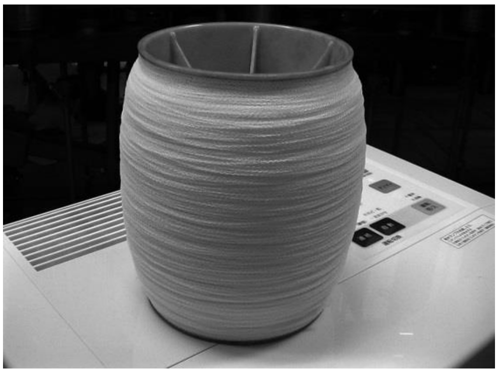


図10 9.8×10^{-3}N 以下でソフト巻した特殊加工糸

図11 従来の手作業によるデニット(解編)風景

図12 提案した半自動機によるデニット(解編)風景

4. 結言

①デニット(解編)する機構と、②積極送りを持つ巻取機構の提案を行った。デニット(解編)糸は柔らかく、伸縮性に富むため、今後手作業(図11)に替わる半自動機(図12)が連続的に稼働すれば、市場競争力の高い新たなニット用加工糸の安定供給が期待できる。

参考文献

1) "超精密横編機に対応する新規シルクニット糸開発と製造技術の確立". H25 受託研究(新技術開発財団 復興支援新技術開発助成 2013).
2) 特開 2001-098433
3) 特開 2002-242035
4) 特開 2005-336653
5) 特開 2008-057074

脚物家具に適した桐集成化技術の開発

Development of glued-laminated timber of paulownia wood suited to legged furniture

会津若松技術支援センター 産業工芸科　齋藤勇人　橋本春夫
株式会社會津桁本　松本亘平

本技術開発では桐を脚物家具に適用することを目的として桐の集成方法の検討を行った。そこで桐材の繊維方向を平行に接着する方法と直交に接着する方法で集成化した試験体での曲げ、圧縮試験を行った結果、繊維方向を平行に集成化する方法が強度面で有利であるデータが得られた。また表裏に桐材を配して中央にブナ材などの密度の高い樹種と組み合わせることで、桐単体よりも曲げ強さが大きく強度が高い集成材が得られた。ただし脚物家具に利用されているブナ材と比較すると半分程度の強さであった。また、桐集成材に木ダボ接合を施し接合部の強度の測定を行った。特に家具を模した門型ダボ接合では、表裏に桐材を配して中央にブナを組み合わせた集成材を使った試験体は強度が高く、ブナ無垢材を使った門型試験体と同等の強度であった。

Key words: 桐、家具、集成材、強度

１．緒言

福島県の会津地方は、全国的に有名な会津桐の産地で、伝統的に桐箪笥や工芸品などに利用されてきた。会津地方の企業である株式会社會津桁本もまた、桐箪笥を中心に会津桐を使った家具を生産販売している。近年は特に桐の温かみのある質感を生かしたスツールなどの脚物家具の開発に取り組んでいる。

しかし桐は他の樹種と比較して強度が小さいこと（縦圧縮強さ 200kg/cm^2、曲げ強さ 350kg/cm^2）が知られており、脚物家具の材料として好まれるブナ材（縦圧縮強さ 450kg/cm^2、曲げ強さ 1000kg/cm^2）と比較しても強度は小さい[1)]。そのため強度が求められるスツール等の脚物家具には、あまり利用されていなかった。

そこで、本技術開発では、桐材を脚物家具に利用するための桐集成化技術を開発することを目的とした。目的達成のために以下のことを実施した。

① 桐集成材の曲げ及び縦圧縮の強度評価
② 桐集成材のＬ型ダボ接合の強度評価
③ スツールに模した門型ダボ接合の強度評価

２．実験方法

２．１．供試材

供試材は、中国産桐材（幅接ぎ集成材）及び国産ブナ材を用いた。その気乾密度と含水率を表１に示した。

表１．供試材の気乾密度と含水率

材　種	気乾密度		含水率	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
中国産桐材	０.２８	０.０２	１２.３	０.２０
国産ブナ材	０.６４	０.０２	１３.５	０.６４

２．２．曲げ及び縦圧縮の試験方法

供試材の中国産桐材を８㎜厚みにプレーナー加工した。それを①桐+桐+桐(平行):繊維方向を平行に接着、②桐+桐+桐(直交)：中央の繊維方向を直交に接着、③桐+ブナ+桐：中央が国産ブナ材(8 ㎜厚み)で繊維方向を平行に接着、の３種類の構成で、酢酸ビニール系接着剤を使用して３プライに接着したものを製作した。また比較用に④ブナ無垢材を用意した。その後、接着層が充分に乾燥したものから曲げ試験体と縦圧縮試験体を採取した。

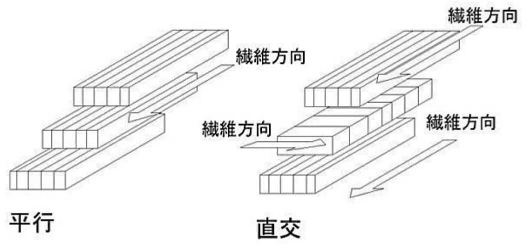


図１　曲げ及び縦圧縮の試験体構成

その試験体を用いて JIS Z 2101(2009) 木材の試験方法の 15 曲げ試験に準じ、万能試験機（島津製作所製 AG-2000E）を使用して３㎜/min の送り速度で試験を行った。また、曲げ試験では図２に示す Test1,Test2 の 2 種類の試験方法にて荷重方向により得られる曲げ強さの違いを確認した。

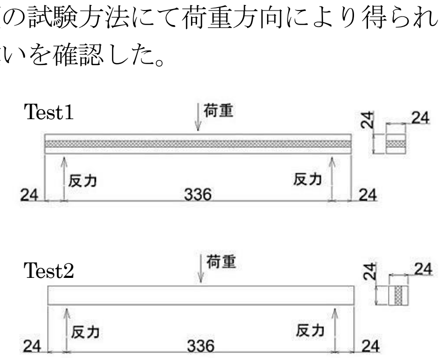


図２　曲げ試験方法

また、縦圧縮試験はJIS Z 2101（2009）木材の試験方法の10縦圧縮試験に準じ、万能試験機（島津製作所製　AG-2000E）を使用して1mm/minの送り速度で試験を行った。

２．３．Ｌ型ダボ接合及び門型ダボ接合の試験方法

供試材の中国産桐材を 10 mm厚みにプレーナー加工した。それを①桐+桐+桐(平行)：繊維方向を平行に接着、②桐+ブナ+桐：中央が国産ブナ材(10 mm厚み) で繊維方向を平行に接着、の２種類の構成で、酢酸ビニール系接着剤を使用して３プライに接着したものを製作した。また比較用に③ブナ無垢材を用意した。

Ｌ型ダボ接合は、図３に示す形状に、門型ダボ接合は図４に示す形状に製作した。接合部の製作方法は、試験体の各面に直径9.8㎜のドリルで穴を開けたところに酢酸ビニール系接着剤を塗布し、ブナ材の直径10㎜、長さ40㎜の木ダボを打ち込む方法とした。製作した試験体を１週間室内で養生し十分に接着剤を乾燥させた後に、試験体を万能試験機（島津製作所製 AG-2000E）のステージ上に図５、図６に示すように設置し、Ｌ型で10㎜/min、門型で5mm/minの送り速度で圧縮し強度を測定した。

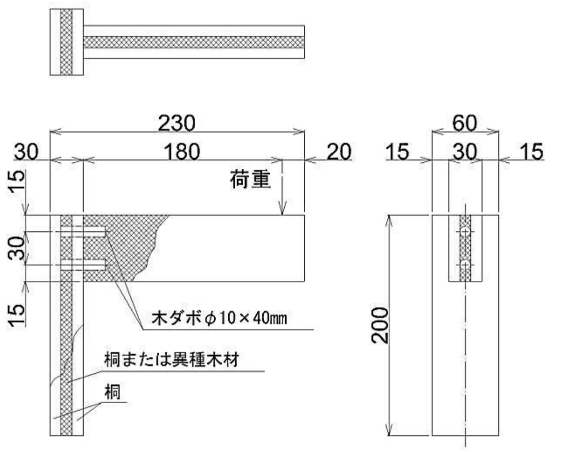


図３　Ｌ型ダボ接合の形状

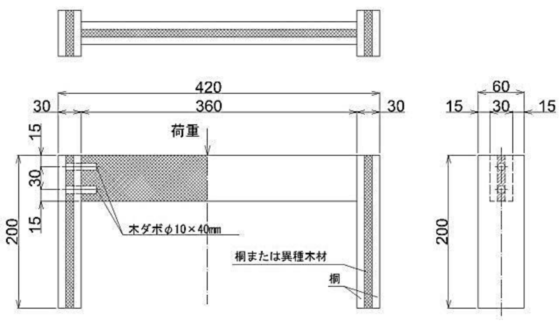


図４　門型試験体

図５　Ｌ型ダボ接合の強度試験

図６　門型ダボ接合の強度試験

３．試験結果

３．１．曲げ及び縦圧縮の試験結果

３．１．１　桐+桐+桐(平行)と桐+桐+桐(直交)の試験結果

桐+桐+桐(平行)と桐+桐+桐(直交)の曲げ試験の試験結果を図７に示す。その結果、平行のほうが曲げ強さが大きい結果が得られた。また直交の曲げ破壊の様子を観察したところ、図８に示すように中央の構成部材に繊維軸に沿った割裂が見られた。つまり中央に直交に貼り合せた層の繊維軸が荷重に対して割裂しやすい方向を向いており、曲げ強さを低下させている原因となっていると思われる。脚物家具の構造体である梁(台輪)は曲げ応力がかかることが想定されるが、曲げ試験の結果を踏まえると繊維を直交させて接着した集成材は脚物家具に適していないと思われる。

次に縦圧縮試験の結果を図９に示す。平行のほうが直交よりも、縦圧縮強さが大きいという結果が得られた。一般的に木材の繊維軸方向に圧縮荷重を加えた場合と、半径軸及び接線軸に圧縮荷重を加えた場合の圧縮比例限応力度を比較すると、木材の繊維軸方向に圧縮荷重を加えた場合に対し半径軸及び接線軸に圧縮荷重を加えた場合は1/10以下の強さである[1)]。ゆえに繊維を直交させて接着した集成材は部分的に半径軸、接線軸方向に加重を受けるため、その部分に起因して強度が低下していると思われる。脚物家具の脚部分には圧縮力がかかることが想定されるため、繊維を直交させて接着した集成材は脚物家具に適していないと思われる。

一方で桐+桐+桐(直交)は、一般的に広く使われてい

る単板積層材(Laminated veneer Lumber：LVL)や直交集成材(Cross Laminated Timber：CLT)と繊維方向を直交に接着して集成する点で同じである。よって桐+桐+桐(直交)のような集成材もLVLやCLTと同様に、狂い防止や幅方向の強度向上の観点から座面などの面材としての利用は期待できるが、具体的な効果は未確認である。

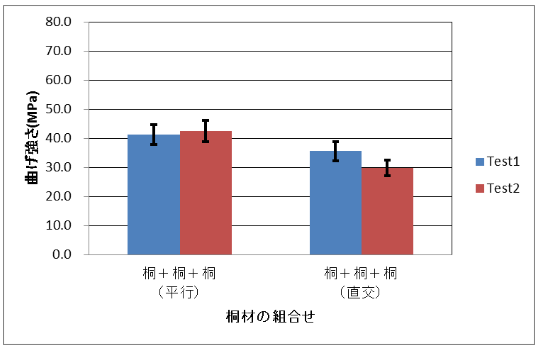


図７　桐集成材の曲げ強さ

図８　桐+桐+桐(直交)の曲げ試験による破壊

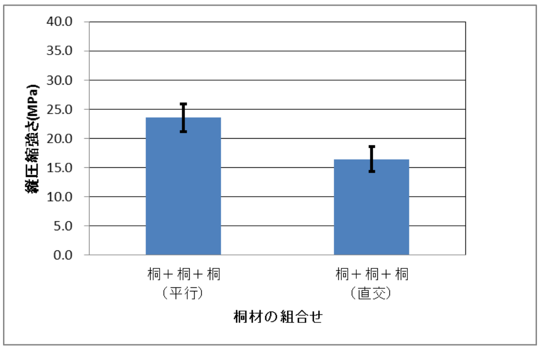


図９　桐集成材の縦圧縮強さ

３．１．２　桐とブナを組み合わせた集成材の試験結果

①桐+桐+桐(平行)と②桐+ブナ+桐の曲げ試験結果を図１０に示す。Test1の試験体の曲げ方向では①と②の間に大きな差は見られなかったが、Test2では②のほうが曲げ強さが大きい結果を得た。試験で得られた各試験体の曲げ強さの比（Test1で①:②=1:1.07、Test2で①:②=1：1.34）は、集成材を低ヤング係数の桐材と高ヤング係数のブナ材の複合梁と見たときの曲げ剛性の比(Test1で①:②=1:1.05、Test2で①:②=1：1.47)と近い比であり断面構成と材料の強さの影響が強く見られる。

以上より、桐にブナなどの密度の高い樹種と組み合わせて集成化することで強度を高めることができた。しかし､図１１に示すように桐+桐+桐(平行)と桐+ブナ+桐の曲げ強さが､ブナ無垢材のそれの1/2以下であり強度面で大きな違いがあった。

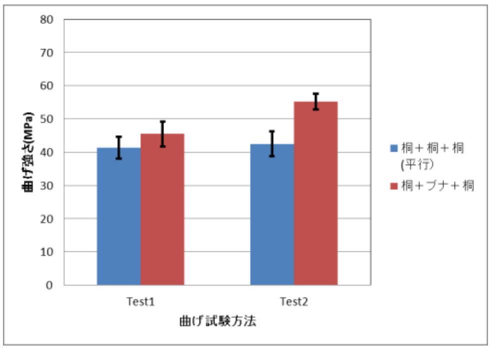


図１０　桐とブナ材を組み合わせた集成材の曲げ強さ

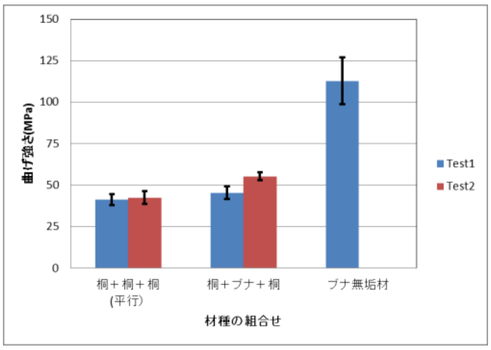


図１１　桐とブナ材を組み合わせた集成材
及びブナ無垢材の曲げ強さ

３．２．Ｌ型ダボ接合の試験結果

Ｌ型接合の圧縮破壊荷重の測定結果を図１２に示す。その結果から桐+ブナ+桐の組み合わせ試験体は、桐+桐+桐(平行)組み合わせ試験体の約1.3倍の圧縮破壊強度を示したが、ブナ無垢材の約0.6倍であった。その破壊の形態は桐+桐+桐(平行)及び桐+ブナ+桐では木ダボと接触する部分の割れであった（図１３左、中央)。一方でブナ無垢材では割れが見られない代わりに木ダボの変形が見られた（図１３右)。圧縮破壊試験の結果と破壊の様子を合わせて考察すると、ダボ接合部の強度は木材の割裂抵抗の大小が関係していると思われる。

以上より桐の温かみのある質感を活かしつつ強度を向上させる集成化の手法としては、表裏に桐材を配して中央にブナ材などの密度の高い樹種を組み合わせることで、桐単体の集成材よりも高い強度の集成材料が得られた。

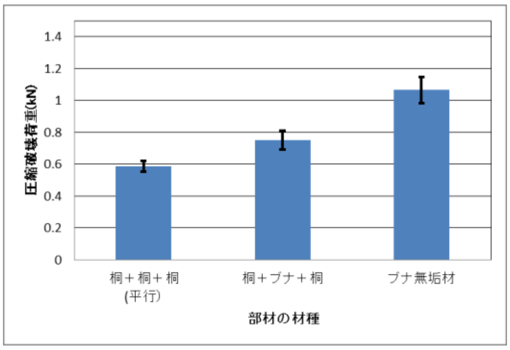


図１２　Ｌ型試験体の圧縮破壊荷重の測定結果

図１３　Ｌ型試験体の圧縮破壊試験後の断面

図１５　梁(台輪)の割裂破壊の様子

図１６　梁(台輪)の引張破壊の様子

３．３．門型ダボ接合の試験結果

門型ダボ接合の圧縮破壊荷重の測定結果を図１４に示す。その結果から桐+桐+桐(平行)組み合わせ試験体は、ブナ無垢材の約 1/2 の圧縮破壊強さであったのに対して、桐+ブナ+桐の組み合わせ試験体ではブナ無垢材と同程度の圧縮破壊強さであった。破壊の形態は接合梁(台輪)の割裂破壊(図１５)か接合梁(台輪)下部の引張破壊（図１６）であった。門型ダボ接合の強度と破壊の形態はＬ型ダボ接合試験方法と異なった結果となったが、この門型ダボ接合の試験結果が実際の製品の挙動と近いものと思われた。以上より桐の温かみのある質感を活かしつつ強度を向上させる集成化の手法としては、表裏に桐材を配して中央にブナ材などの密度の高い樹種を組み合わせることで桐単体の集成材より高い強度の集成材料が得られた。

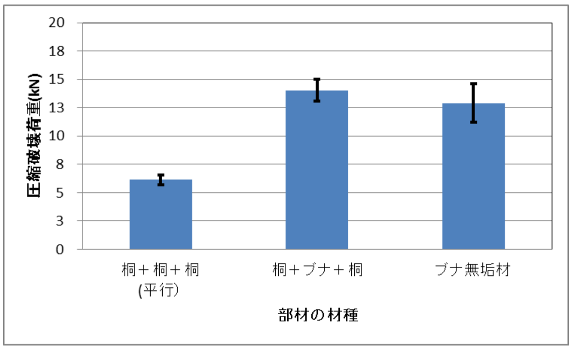


図１４　門型試験体の圧縮破壊強度の測定結果

また、接合部分に割裂破壊が発生したことから、図１７に示すような割裂破壊を防ぐ補強を施して同様の試験を行ったところ、補強を加える前と比較して約 1.８倍の強度が得られることを確認した。このように破壊の形態を考慮した補強や、梁(台輪)の断面形状の影響の検討、ほぞ接合との強度の比較が今後の課題である。

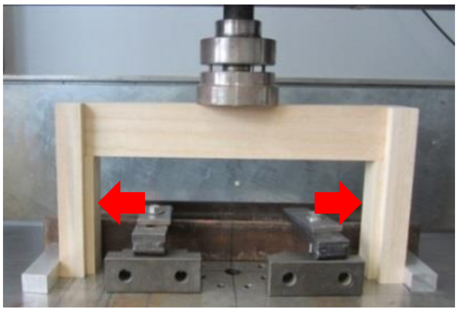


図１７　補強を加えた門型試験体

４．結言

脚物家具に適した桐集成化技術の開発を行った。その結果、下記の知見が得られた。

（１）脚物家具の構造材料に桐材を集成化して用いるには、桐の繊維方向を平行に接着した方法が直交より曲げ強さ及び縦圧縮強さが大きく、有効である結果が得られた。一方で桐の繊維方向を直交に接着した方法は構造材料としての利用は避けて、座面などの面材として利用することが

有効であると思われる。

（2）桐の温かみのある質感を活かしつつ強度を向上させる集成化の手法としては、表裏に桐材を配して中央にブナ材などの密度の高い樹種と組み合わせて集成化をすることが、桐単体で集成化するよりも有効な手法と思われる。

（3）脚物家具に使われるダボ接合について、表裏に桐材を配して中央にブナ材を組み合わせた集成材をＬ型に接合し圧縮破壊強度を測定したところ、桐単体で集成化したＬ型ダボ接合と比べると約 1.3 倍の強度向上が図れたが、ブナ無垢材のL型ダボ接合と比較すると約0.6倍であった。破壊の形態から推測するに木材の割裂抵抗の大小が関係していると思われる。

（4）脚物家具に使われるダボ接合について、表裏に桐材を配して中央にブナ材を組み合わせた集成材を門型に接合し圧縮破壊強度を測定したところ、桐単体で集成化した門型ダボ接合と比較すると約 2.3 倍の強度であり、またブナ無垢材の門型ダボ接合と比較して同等の強度が得られた。門型ダボ接合の強度と破壊の形態はＬ型ダボ接合による試験結果と異なったが、門型ダボ接合による試験結果が実際の製品の挙動と近いものと思われた。

参考文献

１）林業試験場編. 木材工業ハンドブック.

高品質ステンレス容器の溶接焼け低減技術

Welding scale decreasing technology of high-quality stainless containers.

いわき技術支援センター 機械・材料科　佐藤善久　渡邊孝康
タニコー株式会社福島小高工場　渡部秀紀　鈴木時男　鈴木努　中野光太郎

シールド効果の低下を防止することによって溶接焼けを低減するための検討を行い、次のような結果を得た。溶接トーチよりもシールド治具中のシールドガス流量が小さい場合、シールド治具中の酸素濃度が増加する。試作したシールド治具は、シールド治具を使用しない通常の溶接法と比較して、溶接焼けを大幅に低減することができた。試作したシールドノズルを用いて、溶接トーチからのシールドガスのみでシールド治具と同等に溶接焼けを低減することができた。

Key words: 溶接焼け、シールド治具、酸素濃度、シールドノズル

１．緒言

溶接部は高温になるため、その表面が大気と触れて酸化や窒化することによって溶接焼けが発生する。溶接金属に発生する溶接焼けは材料に含まれているＣｒが濃化する。そのため、溶接金属中ではＣｒの濃度が低下するので、それに伴って耐食性も低下する。また、溶接焼けは次工程でバフや電解等の研磨を行っても一部が残存して不良となるため、廃棄や再研磨による工数の増大が問題になっている。そこで、溶接焼けを低減することによって、耐食性向上と大幅な工数の削減ができる。

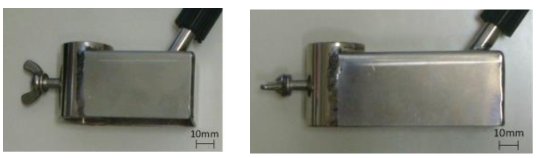
ＴＩＧ溶接法では、アークの近傍はシールドガスによってシールド効果が働くが、アークの移動に伴ってその効果が低下するために溶接焼けが発生する。そこで、シールド効果の低下を防止することで、溶接焼けを低減することができる。

今回はシールド効果の低下を防止するためにシールド治具を製作し、その性能を評価するために治具の中の酸素濃度測定とビードオンプレート溶接実験を行った。また、ビードオンプレート溶接実験から得られた知見を基にシールドノズルを試作し、溶接トーチからのシールドガスのみでシールド治具と同等の効果を得ることができたので報告する。

２．実験

２．１．シールド治具

チタン合金の溶接を参考にして図１に示すように長さが異なる２つのシールド治具を試作した。ガスを拡散させてシールド効果を高めるため、それぞれのシールド治具の内部にはスチールウールを設置している。



（治具１）　　　　　　（治具２）

図1　シールド治具

２．２．シールド効果の確認と溶接実験

シールド効果を確認するため、確認実験を行った。確認実験は、図２に示すように溶接トーチとシールド治具からシールドガスを流しながら、治具の３箇所(①～③）から順にガスを採取して酸素濃度を測定することによって行った。表１に確認実験の条件を示す。

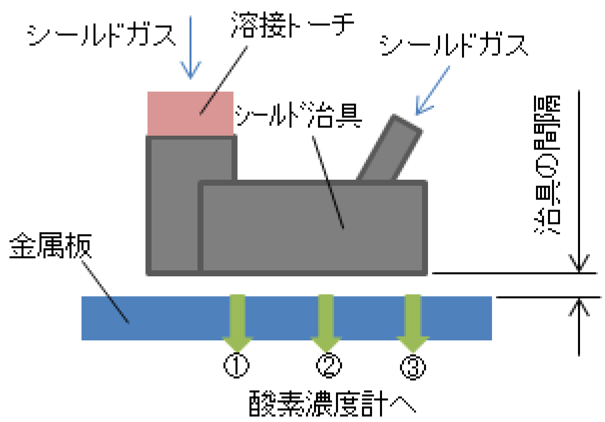


図2　確認実験

表1　確認実験の条件

シールドガス流量（Ar、L/min）	溶接トーチ	5, 10, 15, 20
	シールド治具	
治具の間隔（mm）		2, 3
溶接アーク		無し
酸素濃度測定用ガス採取量（mL）		250

その結果、図３に示すように、治具のガス流量がトーチのガス流量より小さい場合、治具中の酸素濃度が増加する傾向があることがわかった。また、その傾向は、治具１，２共に同様であった。酸素濃度の上昇は、トーチからのシールドガスが治具に流入する際に大気

を巻き込むことによって引き起こされると考えられる。酸素濃度の上昇はシールド効果が低下することを示しているので、トーチと治具はシールドガスの流量を等しくする必要があると考えられる。そこで、次に行うビードオンプレート溶接実験では、トーチと治具のシールドガス流量を等しくして行うことにした。ビードオンプレート溶接実験を図４､主な条件を表２に示す。

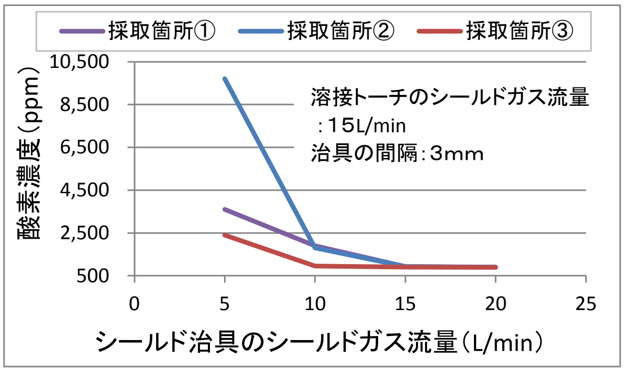


図3　シールド治具中の酸素濃度

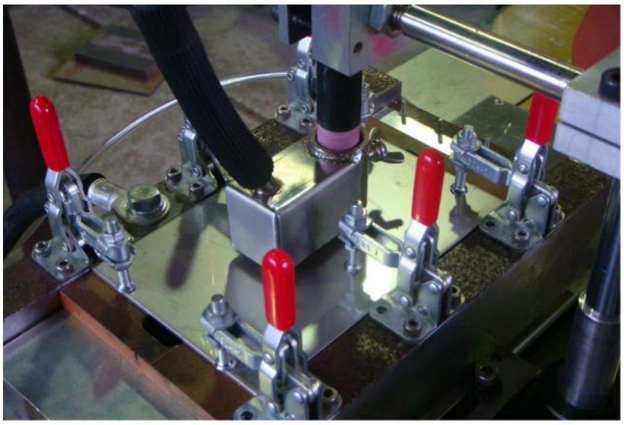
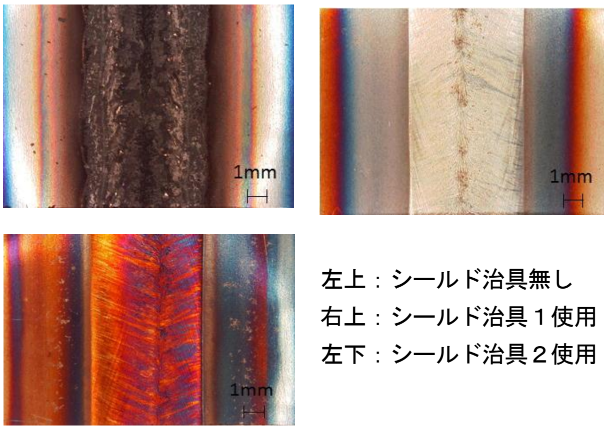


図4　ビードオンプレート溶接実験

表2　ビードオンプレート溶接実験の主な条件

溶接電流（A）	130
溶接速度（mm）	300
シールドガス流量（Ar、L/min）	15
治具－試験片間（mm）	3

ビードオンプレート溶接実験の結果、図５に示すように、治具１を使用することで溶接焼けが大幅に低減されたことがわかった。治具２も溶接焼けの低減は認められたが､治具１よりも効果は小さかった｡これは、治具の加工精度や形状によって治具の中や周辺に形成されたガスの流れに差が生じるためと考える。

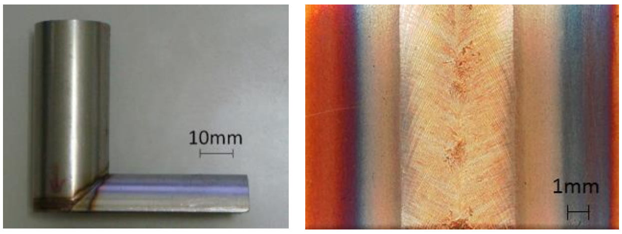


左上：シールド治具無し
右上：シールド治具１使用
左下：シールド治具２使用

図5　シールド効果の比較

２．３．シールドノズル

シールド治具を用いた実験により、ガスの流れがシールド効果に影響を与えることがわかった。また、シールドガスの流量に比べて、溶接トーチや治具の容積は約 100mL と小さい。そこで、シールドガスを溶接金属に導くように流れを作ることによって、溶接トーチからのシールドガスのみで溶接焼けの低減ができると考えてシールドノズルを試作した。そして、シールドノズルを用いてビードオンプレート溶接実験を行った結果、治具１と同等の溶接焼けの低減効果を得ることができた。図６に試作したシールドノズルと溶接部の状態を示す。



（シールドノズル）　　（溶接部）

図6　シールドノズルとその効果

３．結言

シールド効果の低下を防止することによって溶接焼けを低減するための検討を行い次のような結果を得た。

（1）溶接トーチよりもシールド治具中のシールドガス流量が小さい場合、シールド治具中の酸素濃度が増加する。

（2）試作したシールド治具は、シールド治具を使用しない通常の溶接法と比較して、溶接焼けを大幅に低減することができた。

（3）試作したシールドノズルを用いて、溶接トーチからのシールドガスのみでシールド治具と同等に溶接焼けを低減することができた。

福島県オリジナル酵母の改良

Improvement of Fukushima prefecture original sake yeast

会津若松技術支援センター 醸造・食品科 中島奈津子 菊地伸広 高橋亮 鈴木賢二

平成 16 年から開発が始まり、平成 20 年に頒布が開始された「うつくしま煌酵母」について、現場の多様なニーズに応えるため、従来の高カプロン酸エチル産生能を保持したままで、現在よりも酸の生産力の低い酵母の開発を目指した改良試験を行っている。これまでに、3 種類の煌酵母に遺伝子変異処理を施し、約 3,000 株の候補株を取得した。今後は、これらの候補株に対して醸造特性試験などを行い、優良な候補株を選抜し、選抜した候補株を用いて平成 28 年度中の実規模醸造を目指している。

Key words: 清酒酵母、カプロン酸エチル、セルレニン耐性

１．緒言

清酒製造に用いられる酵母は、アルコール生産だけでなく、清酒の特徴となる香気成分、また有機酸やアミノ酸などの味に関与する成分の生産にも関与する重要な微生物である。公的研究機関および酒造メーカー各社では、それぞれに特徴を有した酵母の開発が進められており、独自の香味を有した清酒やバラエティ豊かな清酒の製造に役立っている。

福島県では平成 3 年に「うつくしま夢酵母」[1]、平成 9 年に多産性酵母「52-5S-38」[2]を開発した。また、平成 16 年度から新たに高カプロン酸エチル産生株の取得を開始し、この試験によって取得した 3 種類の酵母[3]が「うつくしま煌酵母」として平成 20 年より県内酒造メーカーに頒布されている（以下、煌酵母と省略）。頒布以降、煌酵母は毎年の酵母頒布全体の 3 割程度を占め、主に高級酒製造に用いられている。煌酵母は香りの高さや発酵力にそれぞれ特徴があるが、他のカプロン酸エチル産生酵母に比べて醪の酸が高いことが指摘されていた。開発当初は醸造アルコールを使用した吟醸酒で使用されることが多かったが、近年は純米酒および純米吟醸酒の顕著な伸びにしたがって、煌酵母を用いた純米酒も多く製造されるようになってきた。醸造アルコールを添加しない純米酒に使用した際に、醪の酸が高いという煌酵母の特徴によって、製成酒のバランスを崩してしまうことがあった。そのため、近年、醸造現場から酸が低い煌酵母への改良が望まれてきた。そして、清酒に対するニーズは年々高まり、製造者だけでなく消費者も多様な清酒を求めている。

本研究では、既存の煌酵母を高カプロン酸エチル産生の特性を有したままで、酸産生の低いものへと改良し、県産酒の多様化および品質向上に寄与することを目的とした。なお、本研究は平成 28 年度まで行われる予定であり、この報告では、主に候補株の取得について記載している。取得した候補株に対する醸造特性試験については現在進行中である。

２．実験方法

２．１．使用菌株

変異処理の親株として、うつくしま煌酵母「701-g31」「901-A113」「701-15」の 3 株を用いた。また、対照株として、セルレニン耐性を有する日本醸造協会の協会 1601 号（K1601）、および協会 1801 号（K1801）、明利酒類（株）の所有株「M310」を、また、セルレニン感受性株として協会 7 号（K7）およびうつくしま夢酵母（F7-01）を使用した。

２．２．培地

酵母の前培養には、YPD 培地（2%ポリペプトン、1%酵母エキス、2%グルコース）を、セルレニン耐性株の分離培地にはセルレニン含有 YPD 寒天培地（上記 YPD 培地にセルレニンおよび 2%寒天を添加）を用いた。

２．３．セルレニン濃度の検討

セルレニン 0ppm、1ppm、2ppm、3ppm、4ppm、6ppm、8ppm を含む YPD 寒天培地に、段階的に希釈した酵母培養液 5μl をスポットし、30℃にて 2 日間培養した。

２．４．変異株の取得

新たなセルレニン耐性株は、Ichikawa[4]ならびに北本[5]の方法を一部改変して取得した。すなわち、親株を 10ml の YPD 培地にて 30℃、48 時間前培養し、この 0.1ml を YPD 培地にて本培養する。30℃、18～20 時間、120rpm にて振とう培養し、培養液を 12,000×g、5 分間遠心分離して菌体を得た。これを 0.1M リン酸緩衝液（pH7.0）に懸濁して 12,000×g、5 分間遠心して洗浄し、菌体を 3ml の 0.1M リン酸緩衝液（pH7.0）に再懸濁した。この懸濁液 1ml に各々の酵母の生存率が 50%となるような条件で EMS（ethyl methanesulfonate）を添加し、一定時間室温にてゆるやかに振とうして変異処理を施した。処理後の培養液を 25,000×g、1 分間遠心して集菌し、5%チオ硫酸ナトリウム溶液および

0.1Mリン酸緩衝液にて洗浄したものを、滅菌水で希釈して分離培地に塗布し、30℃、3 日間静置培養した。出現したコロニーは YPD 培地にレプリカし、選抜候補株として保存した。

２．５．低酸性酵母の取得

96well マイクロプレートにメチルオレンジ（MO）培地（0.8% yeast nitrogen base (w/o AA)、1%グルコース、1%MO 溶液（50mg/100ml））0.2ml を分注し、これにレプリカした酵母を釣菌して懸濁した。20℃にて静置し、親株および対照株を基準として培地の変色により選抜した。

３．実験結果および考察

３．１．セルレニン濃度の検討

２．１.に示した 8 種類の酵母を２．３．に示した培地にて培養した結果を図 1 に示す。K7 および F7-01 のセルレニン感受性株ではセルレニン含有培地では生育しないと思われたが、セルレニン 2ppm までの培地で生育することが確認された。よって、分離培地に添加するセルレニンは選択性の明確な 3ppm とし、カプロン酸エチル産生能の高い変異株を効率的に取得することとした。

また、セルレニン耐性株のうち、701-g31 は、6ppm 以上のセルレニン濃度でも唯一生育した。701-g31 は、今回試験に供した 3 種類の親株の中で最もカプロン酸エチル産生能が高い[6]。これらの結果から、カプロン酸エチル産生能とセルレニン耐性濃度には相関がある可能性が示唆された。この結果については、大変興味深く、酵母の特性把握および多様な酵母取得にも活用できる可能性が高いため、今後さらに試験を行う予定である。

３．２．変異株の取得

煌酵母は、協会 701 号および協会 901 号を親株とし、EMS による変異処理で取得された。本研究では、煌酵母を親株として再び EMS 処理を施し、変異株の取得を試みた。すなわち、遺伝子変異株に再度変異処理を施し、変異株の取得を行った。

3 種類の菌株に対する EMS 処理条件は、それぞれ「701-g31」: 0.1% 10 分、「901-A113」: 0.2% 30 分、「701-15」: 0.1% 30 分であった。この条件にてそれぞれの酵母に変異処理を施し、「701-g31」: 576 株、「901-A113」: 1,344 株、「701-15」: 1,152 株、計 3,072 株を取得した。

なお、701-g31 は、処理時間が長くなるとコロニー出現率が高まる傾向があった（結果非公表）。セルレニン耐性株は、高カプロン酸産生であるほど脂肪酸合成酵素 *FAS2* にホモ変異が生じていることが多く、また変異がホモである場合、親株に比べて生存率が低くなる傾向があるといわれている。このことから、701-g31 は開発当初の変異処理によってホモ変異が生じており、本試験による EMS 処理によってそれがヘテロ変異または変異前の親株と同じ遺伝子配列に戻ったことによって生存率が高まった可能性が考えられる。これまで、

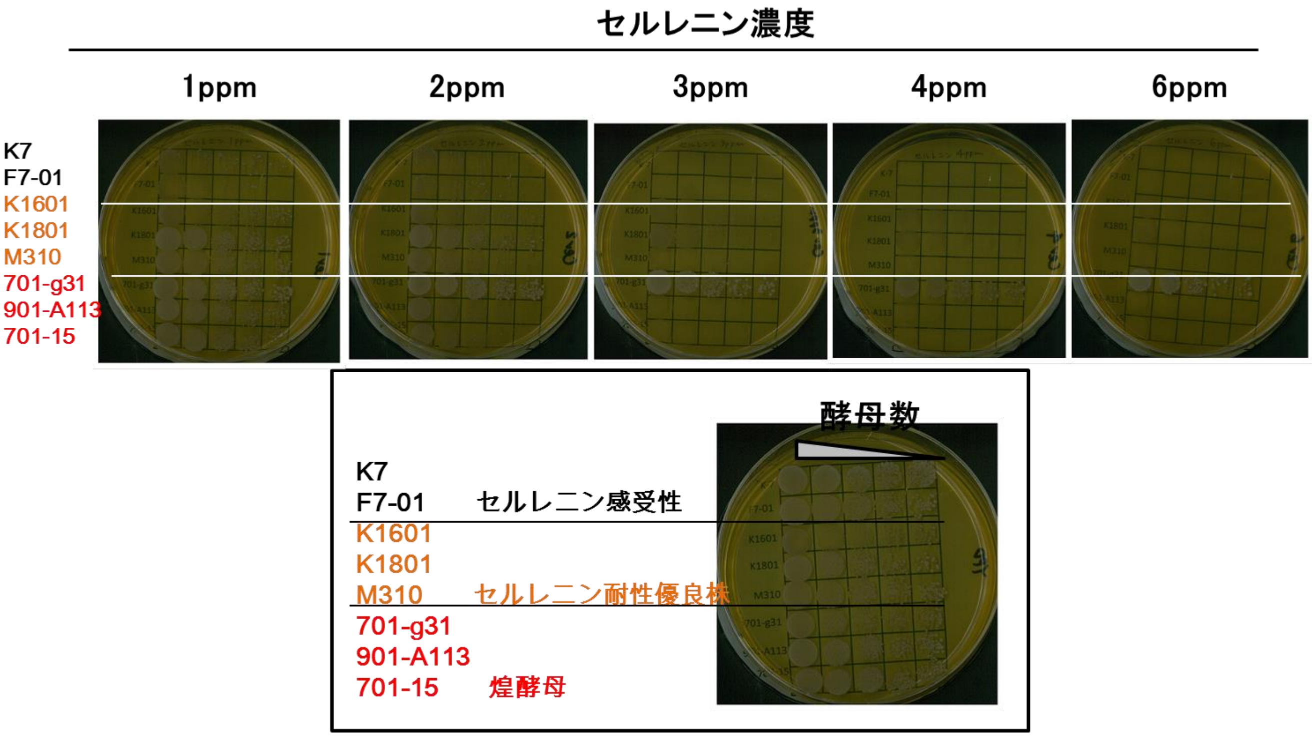


図１　セルレニン含有培地における酵母の生育

変異処理により一度セルレニン耐性を有し高カプロン酸産生能を有した株を親株として更なる変異処理を行った報告や、生存率回復に関する報告はないため、今回得られた現象は大変興味深い。

３．３．低酸性酵母の取得

３．２．によって得られた変異株について、現在２．５．の方法に従って選抜試験を進めている。培養後 1 日で培地色が無色透明となるほど酸が高いものが約 1 割含まれており、変異処理によって多種多様な酵母が取得されていることがうかがえる。

４．結言

平成 20 年から頒布が開始された「うつくしま煌酵母」について、酒造現場の新しいニーズへの対応および県産酒の多様化を目的に、より酸産生が少なく、香気特性に優れた酵母へと改良を行っている。開発当初に EMS 処理にて遺伝子変異を誘発した菌株を親株として、これに対して再度遺伝子変異を誘発して目的株を取得した。この操作によって、変異による酵母の高カプロン酸エチル産生能取得と生育には何らかの関係がある可能性が示唆された。また、菌株のカプロン酸エチル産生能とセルレニン耐性濃度には一定の比例関係がある可能性も示唆された。詳細な試験および検証はこれから行いたいと考えているが、新しい知見が得られれば、より効率的に県オリジナル酵母を選抜することができ、大変有益であると考える。

現在、取得した候補株に対して、酸産生の低いものを選抜し、醸造適性に関する試験を行っている。最終的に選抜された株を使用して、平成 28 年度中に実規模での醸造試験を行う予定である。

本研究によって新しい酵母が取得され、それによって醸造された清酒が福島県の産業および観光等の活力の一助となるよう、優良株の取得を目指していく。

参考文献

１）遠藤浩志ほか. "清酒用新酵母の造成 6". 福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター試験研究報告（食品部）. 1992, p.63-71.
２）桑田彰ほか. "清酒用変異酵母の試験醸造へ向けての選抜試験". 福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 1998, p.129-130.
３）大野正博ほか. "福島県産ブランド清酒の開発". 平成 16 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告". 2005, p.78-79.
４）Ichikawa, E. *et al*. "Breeding of a Sake Yeast with Improved Ethyl Caproate Productivity ". Agricultural and Biological Chemistry . 1998, 55, p.2153-2154.
５）北本勝ひこ. "醸造用酵母からのリジン要求性変異株の取得法". 日本醸造協会誌. 1989, vol.84, no.1, p.34-37.
６）鈴木賢二ほか. "新多様性清酒用酵母の開発". 平成 19 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 2007, p.56-58.

電気防獣柵漏電検出・通報装置と自走式電気防獣柵除草ロボットの開発

Development of the electric fence leakage detection and reporting device
and the self-propelled weeding robot

技術開発部 プロジェクト研究科　高樋昌　三浦勝吏
農業総合センター 企画経営部　青田聡　木幡栄子　河原田友美

農作物を獣害から守るために設置された電気防獣柵において、伸長した雑草が電気防獣柵に接触して発生する漏電を通報するための漏電検出・通報装置と、漏電予防・対策のために電気防獣柵近傍の雑草を自動で刈り取る自走式除草ロボットのプロトタイプの開発を行った。その結果、漏電判定電圧を下回った場合の漏電検出・通報および電気防獣柵に沿った除草ロボットの自走を実現した。

Key words: 電気防獣柵、漏電通報、除草ロボット

１．緒言

福島県の相双地区では、東京電力福島第一原子力発電所の事故の影響で営農者が遠隔地に避難しており、営農地に毎日出入りすることが困難になっている。このため、頻繁な耕作地の管理ができなくなり、イノシシなどによって農作物が荒らされる獣害が多発している[1)]。これに対し、獣害対策の最も有効な手段である電気防獣柵（以下、電気柵）を設置して対策をとっているものの、頻繁な管理ができないために伸びた雑草が電気柵に接触して漏電が発生し、電気柵が機能不全に陥ってしまうことが問題になっている。

一般的に雑草対策はいくつか存在する。一つに農薬による抑草があるが、減農薬の観点から農薬を嫌う農家も多く、雑草自体が畦畔の形態を維持することもあり、現在は推奨されていない[2)]。また、抑草シートも有力だが、安価な抑草シートは伸長した雑草に突き破られ機能しなくなる場合がある。また、導電型抑草シートは電気柵の機能を阻害せず雑草に突き破られることもないので有効だが、一般的な抑草シートに比べ高額であり、周長1～数kmにわたって設営される電気柵に対して非常に大きな投資が必要となる[3)]。

そこで、電気柵が機能不全に陥ったことを早急に営農者へ通知するための漏電検出・通報装置（以下、漏電通報装置）と漏電通知を受けて電気柵周りを自動で除草する自走式除草ロボット（以下、除草ロボット）を開発することを目的とし、３ヶ年にわたり研究を実施する。初年度は、漏電通報装置の実験装置を製作し機能確認を行った。また、除草ロボットのミニモデルを製作し電気柵に倣った走行制御を実施した。

２．実験装置

２．１．漏電検出・通報装置

漏電検出・通報装置は、既存の電気柵に設置し、遠隔地にいる所有者に漏電を知らせることを想定している。そのため、容易に電気柵に取り付けられる必要がある。そこで、検知した電圧が設定電圧以下になった場合に漏電と判断し、メールで関係者に通知するシステムを開発することとした。

装置は主に電圧測定部、通信部から成る。電圧測定部では、マイコン（Smart Projects、ArduinoUNO）を用いて電圧の測定及び漏電検出を行った。電気柵は通常、約5k～10kV の電圧（パルス）が,約１秒間隔でかけられているので、分圧回路とピークホールド回路を用いて電圧測定部を構成した。システムのブロック図と回路図をそれぞれ図１、２に示す。

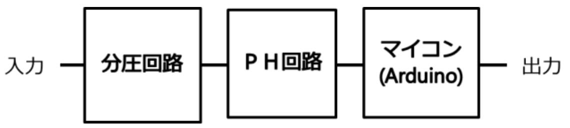


図１　電圧測定部ブロック図

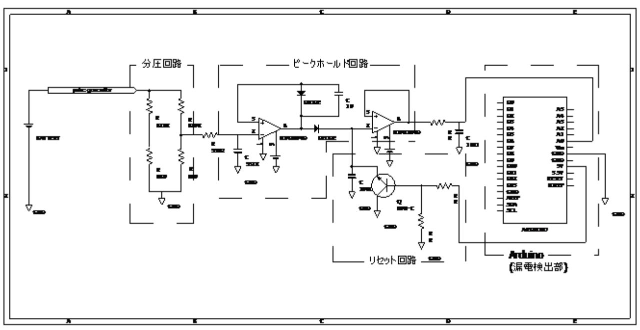


図２　電圧測定部回路図

分圧回路では10kV を5V まで下げ、ピークホールド回路では一瞬しか発生しない電圧のピーク値を維持することによってArduino での電圧測定を可能とした。それぞれの電圧の様子を図３、４に示す。

電気柵の電圧が3kV を下回った場合、イノシシなど

の獣には効果がなくなる[4)]。そこで、安全を見て 3.3kV 未満を漏電電圧とした。また、電圧降下の継続状態で

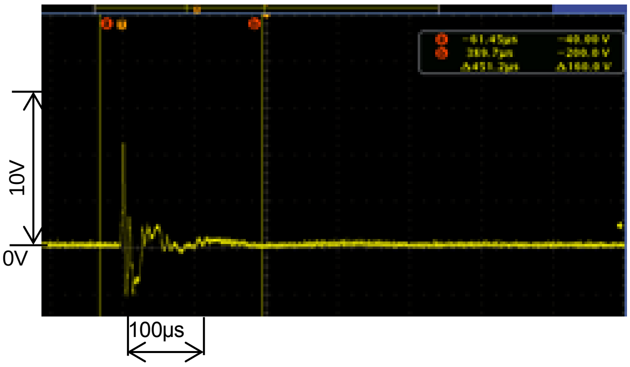


図３ 電圧波形（分圧回路）

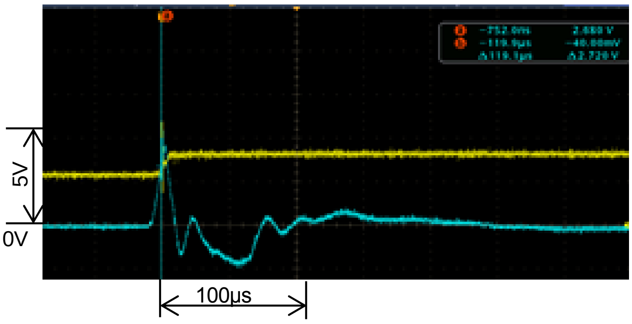


図４ 電圧波形（ＰＨ回路）

漏電の判定をするために、30 秒に１回電圧を測定し、漏電電圧が 3 回以上続いた場合を漏電とした。

通信部は、3G shield（TABrain, ver2.0）と呼ばれる、3G 通信機能を持つ拡張ボードを用いた。これにより持ち主に漏電したことをメールで知らせることが可能となる。具体的には、3G shield の機能の１つであるツイッター機能を用いて漏電したことをツイッターにツイートするように設計した。次に、登録したアカウントがツイートした場合に、ツイートしたことをメールで伝えるというツイッター側の機能を用いて遠隔地にいる持ち主に知らせることとした。装置の概要を図５に示す。

設計したシステムを実際の農地で使えるように、防

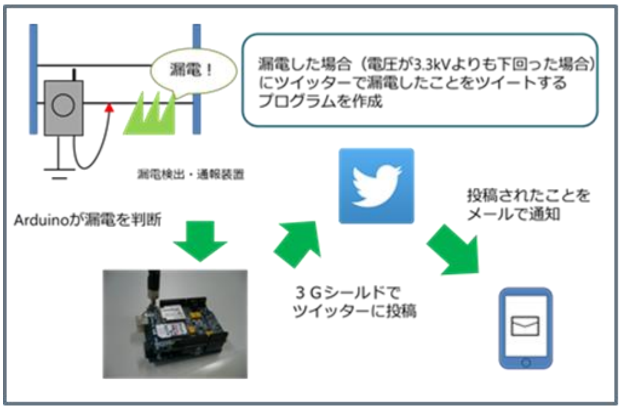


図５ 検出と通報の概要

塵防水プラボックスを用いて装置を製作した。概形を図６に示す。

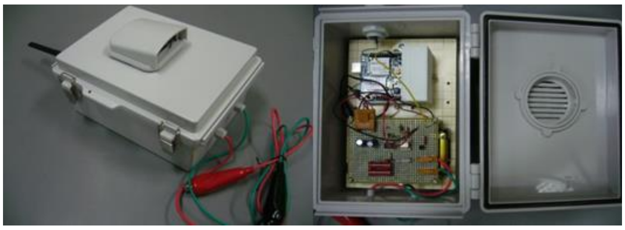


図６ 漏電検出・通報装置

２．２．除草ロボット

除草ロボットは、畦畔に設置された電気柵周りの除草を想定しているため、走行部は走破性を考慮しクローラ型とした。また、電気柵電線（以下、電線）を走行目標として利用することが可能であるため、位置センサ（角度センサ）を用いて電線の位置を計測しながら電気柵直近を自動走行させる構造とした。市販のクローラロボット走行部と角度センサ等を用いて製作した除草ロボットのミニモデルを図７に示す。

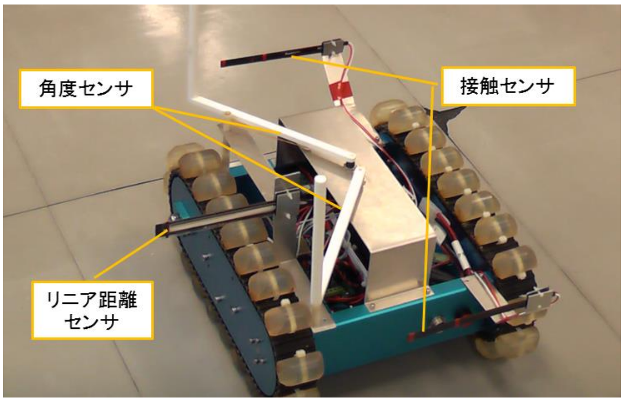


図７　除草ロボットミニモデル

除草ロボットが電気柵に沿った走行をする場合、電気柵の支柱を回避する必要がある。ミニモデルは、角度センサの他、接触センサ、リニア距離センサによって支柱回避動作を行うことができる。なお、角度計測できている間はフィードバック制御しているが、支柱回避動作時はオープンループ制御となる（オープンループ制御の手法は割愛する）。

ミニモデルに対する数学モデルを図８に示す。また、角度検出機構を図９に示す。

図８、９から、除草ロボットの状態は式（1）～（6）のように表すことができる。

$\dot{x} = V\cos\theta = \{(VR + VL)/2\}\cos\theta$ ・・・（1）

$\dot{y} = V\sin\theta = \{(VR + VL)/2\}\sin\theta$ ・・・（2）

$V = (VR + VL)/2$ ・・・（3）

$\theta = (\theta 1 + \theta 2)/2$ ・・・（4）

$\omega = (VR - VL)/2a$ ・・・（5）

$\eta = l(sin\theta 1 - sin\theta 2)/2$ ・・・（6）

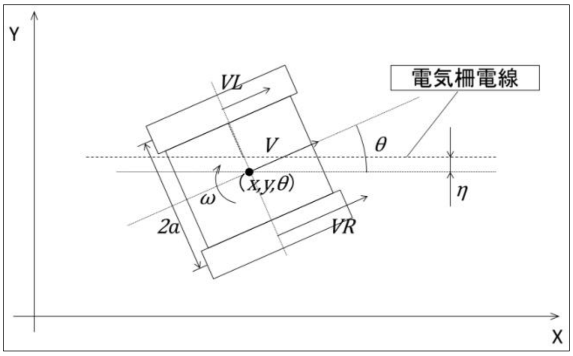


図８　除草ロボットの数学モデル

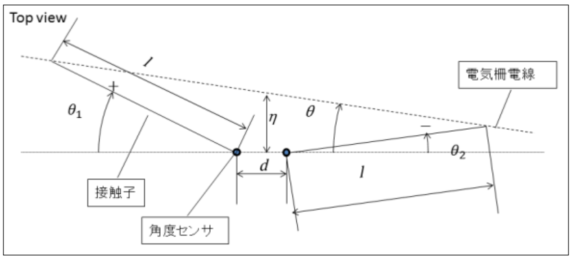


図９　角度検出機構

ここで、x、yはロボットの中心位置、θはロボットと電線のなす角、Vはロボット中心の速度、VL、VRはロボットクローラの左右の速度、$2a$はロボットのトレッド長、ηは電線とロボットのオフセット、ωはロボットの角速度、lは接触子の長さ、θ_1、θ_2は角度センサが示す角度である。図９のdはセンサ間の距離で、十分小さいとみなし０とした。なお、式（１）、（２）は自己位置推定に用い走行制御には用いない。

式（３）、（５）から次式を得る。

$$\begin{pmatrix} VL \\ VR \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -a \\ 1 & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V \\ \omega \end{pmatrix} \quad \cdot\cdot\cdot（７）$$

本研究では、除草ロボットは一定速度で走行させることとした。よってVは固定値となる。またaも固定値である。したがってωを推定できれば除草ロボットのVL、VRが求まり制御が可能となる。そこで、直線追従制御の制御則を式（８）のように設定する[5)]。

$$\frac{d\omega}{dt} = -k_\omega \omega - k_\theta \theta - k_\eta \eta \quad \cdot\cdot\cdot（８）$$

ここで、k_ω、k_θ、k_ηはそれぞれ角速度、角度、オフセットに関する制御係数である。また、ωは式（５）により、θ、ηは式（４）、（６）のとおり角度センサを用いて求めることができる。

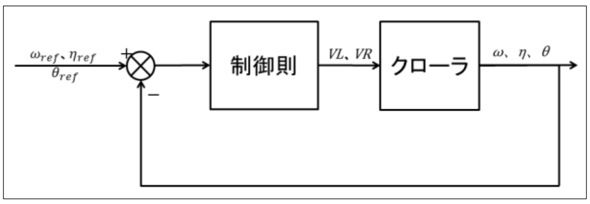


図１０　制御ブロック図

これらから、制御モデルのブロック図は図１０のようになる。制御ブロックをもとに、制御係数を適切に選択しプログラムを実装した。

なお、本年度の目標は走行可能性の確認とし、除草部の検証は行っていない。

３．実験

３．１．漏電検出・通報装置

装置を福島県農業総合センターの電気防獣柵に接続し、作動を確認した。通常時の電圧波形を図１１に示す。7kV 付近の電圧を示し、安定して電圧を測定していることを確認できた。

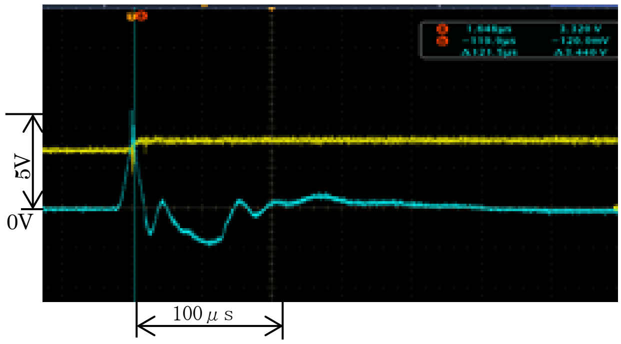


図１１　通常時の電圧波形

漏電時の検証では、柵下に抑草シートが張られていたため、金属の脚立を電線に接触させ、漏電状態を故意に設定し、作動状況を確認した。その結果、電圧が 0.6kV となって設定した電圧の 3.3kV を下回り、メールが送られたことを確認できた。また、安定して通信ができた。実験の様子を図１２に示す。

今後実際の農場で実証試験を行い、課題を抽出する。

図１２　実証実験の様子（左）通報メール画面（右）

３．２．除草ロボット

図１３に除草ロボットを電線に沿わせて走行させた走行経路と、シミュレーションで算出した走行経路を示す。

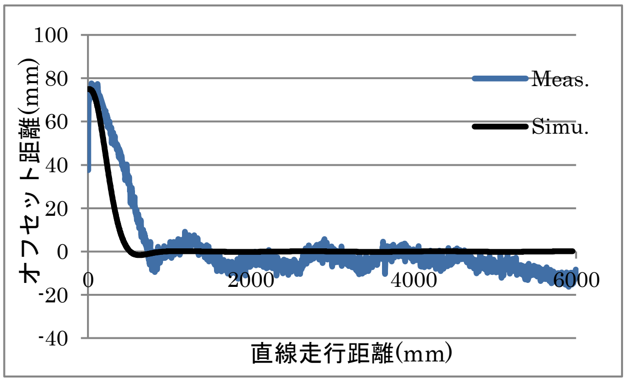


図１３　シミュレーションと実走による走行経路

走行実験では､電線から 75㎜ 離し電線に平行に離れた場所から走行開始させたが、シミュレーションと同様の走行経路をたどり、電線に倣った制御ができることがわかった。

４．結言

４．１．漏電通報装置

電気防獣柵の電圧状況を常時測定し、設定電圧以下になると漏電と認識し、漏電を知らせるメールを自動送信できる電気防獣柵漏電検出･通報装置を試作した。今後実証試験を行い、課題抽出と改良を行う。

４．２．除草ロボット

電気柵周りの雑草を除草する自走式の除草ロボットを開発するために、除草ロボットのミニモデルを製作し電気柵に倣った走行制御を実施した。その結果、接触式の角度検出機構で除草ロボットと電気柵の角度を測定し制御を行うことで、安定走行を実現した。今後は、ミニモデルで得られた知見をもとに実験機を製作し、走行除草実験により適切な制御変数や除草条件を抽出する。

参考文献

１）"福島県営農再開支援事業の検証結果（平成 27 年３月）". 農林水産省生産局農産部農業環境対策課. http://www.maff.go.jp/j/seisan/suisin/tuyoi_nougyou/t_tuti/h26/pdf/kikin_05.pdf, (参照 2016-04-21).

２）宮原佳彦. "特集，除草のための最新技術動向". 機械化農業. 2016, p. 5-11.

３）"野生動物侵入防止用防草通電シート（港屋株式会社）～第１回～". 新潟県工業技術総合研究所ホームページ. http://www.iri.pref.niigata.jp/25new69.html. (参照 2016-04-21).

４）"畜産用電気柵施工マニュアル". ファームエイジ株式会社ホームページ. http://www.farmage.co.jp/agri2008/manual/pdf/tikusan-seko.pdf, (参照 2016-04-21).

５）米田完ほか. はじめてのロボット創造設計. 講談社. 2001, 229p.

太陽光発電用シリコンウェハの加工技術に関する研究

Studies on manufacturing technology of a silicon wafer for photovoltaic cell

技術開発部 生産・加工科　小野裕道　三瓶義之　小林翼　本田和夫
株式会社横浜石英　大野仁嗣　石塚圭一　蛭田亨　坂本俊哉
東成イービー東北株式会社
　笹島登紀雄　佐々木伸也　鈴木秀　村上友宏　高島康文　石井裕司
株式会社東北電子　渋川達弘　篠田清郁
学校法人日本大学工学部工学研究所 池田研究室　池田正則　半澤大貴　渡邉和也
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所
　高遠秀尚　白澤勝彦　福田哲生　鈴木信隆　望月敏光　水野英範　木田康博

結晶シリコン太陽電池セルは、さらなる発電効率の向上と製造工程の簡素化による低コスト化が求められている。この実現には受光面の電極をウェハに貫通した穴を通して裏面に配置するメタルラップスルー（MWT）型太陽電池セルが有望な技術である[1)]。 そこで産総研福島再生可能エネルギー研究所と福島県内の企業・大学 5 者と共同で MWT 型太陽電池セルの試作と評価を行い、量産化技術の確立に向けた知見を得られた。

Key words: 太陽光発電、太陽電池セル、メタルラップスルー(Metal Wrap Through)

１．緒言

東日本大震災後、再生可能エネルギーにより発電された電力の固定価格買取制度が開始され、再生可能エネルギーによる発電への関心は高まっている。特に太陽光発電所は、その設備容量から比較的容易に発電量を目論むことができるため、福島県内においてもメガソーラー発電所が設備されつつある。しかしながら、固定価格買取制度による再生可能エネルギー賦課金の増加により、買取固定価格の見直しがなされるに至った。このため今後の再生可能エネルギーの持続的な導入には、設備のコスト削減と高効率化が強く求められている。

これに対し国立研究開発法人産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所（FREA）では、太陽光発電の主流である単結晶シリコン太陽電池の量産実験設備を導入し、軽量で高い変換効率を得られる廉価な太陽電池の研究開発を行っている。太陽電池セルは、複数の手法で変換効率を向上させる試みがなさせており、次々世代の太陽電池セルと期待されるメタルラップスルー（Metal Wrap Through ： MWT）型太陽電池セル[1)]は、受光面の電極をシリコンウェハの貫通穴を通して裏面に配置することで、受光面積の拡大とモジュール組立工程の簡略化が期待されるものの、微細な貫通穴加工と電極材料の充填が課題となり量産に至っていない。

そこでハイテクプラザは、東日本大震災からの復興を目指し、県内の企業３社と大学、産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所の５機関とともに、MWT 型太陽電池セルの量産に必要な製造技術の研究開発に取り組んだ。平成 26 年度はそれぞれの工程ごとに開発を進め、平成 27 年度はインゴットの切断から電極の製作まで一貫して行い変換特性の評価を行った。

２．研究課題

２．１．シリコンインゴットの高能率薄切り技術

太陽電池セルはシリコンインゴットをワイヤーソーで薄くスライスしたシリコンウェハから作られる。コスト低減のため、スライスするウェハ厚を薄くすることで同量のシリコンインゴットからより多数枚のウェハを作製すること、また、より短い時間で高能率にスライスしたいとの要求が高い。このため用いるワイヤーソーは、ワイヤーに砥粒が懸濁したスラリーをかける遊離砥粒型から、砥粒をワイヤーに電着した固定砥粒型が求められている。

しかし、シリコンウェハは薄く変形しやすいため、切削力の大きな固定砥粒型ワイヤーソーで切断した場合、ウェハに小さなクラックが残り、ウェハ割れの原因になると考えられる。このため、固定砥粒型の導入にはクラック発生の低減が課題となる。

２．２．垂直電極の形成技術

表面電極を裏面に配置する MWT 型太陽電池セルの模式図を図１に示す。

太陽電池セルは産総研 FREA より提供を受けた薄型シリコンウェハに、ドリル加工やレーザー加工、ドライエッチング加工によって小径の貫通穴を開けて不純物を拡散させ、次にパッシベーション膜を成膜し、最後に貫通電極を形成することで製作する。転用可能な

微細な貫通穴の加工技術の開発と貫通穴への電極材料の充填技術の開発が量産への課題である。

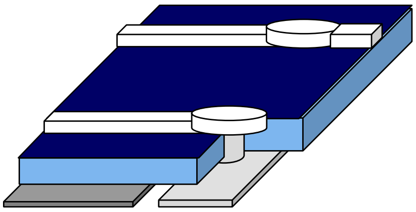


図１　MWT 型太陽電池セルの模式図

３．実験と結果

３．１．高能率薄切り技術

シリコンインゴットをマルチワイヤーソーによりスライスした後、温水と界面活性剤により洗浄したアズスライスシリコンウェハを図２に示す。このウェハを走査型レーザー顕微鏡(レーザーテック(株)製 HYBRID L3) で観察した表面とその断面形状を図３に示す。アズスライスシリコンウェハの表面には周期的な溝が観察された。またクレーター状の窪みの連なりが見られた。

高速で薄いウェハにスライスするためには、ウェハの破損の起点となるクラックの発生を低減する必要がある。加工ダメージを評価するため、アズスライスシリコンウェハのクラックを観察した。イオンミリング装置（(株)日立ハイテクノロジーズ製 IM4000PLUS）により Ar イオンビームでアズスライスシリコンウェハの断面を作製し、走査型電子顕微鏡（(株)日立ハイテクノロジーズ製 S-3700N）により観察した。図４に示すようにクレーターの下部に長さ数μm の微細なクラックが観察された[2)]。今後、この観察手法により加工条件ごとのクラックを観察し、クラックを低減可能な加工条件の選定を目指す。

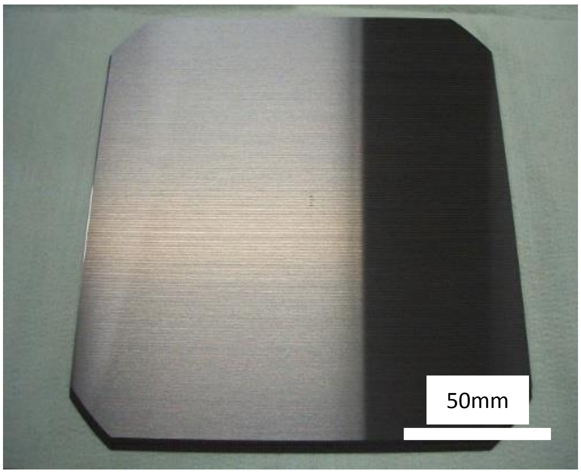
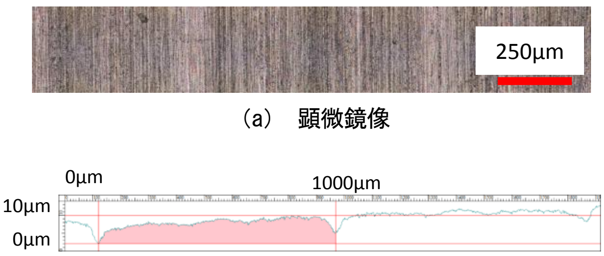


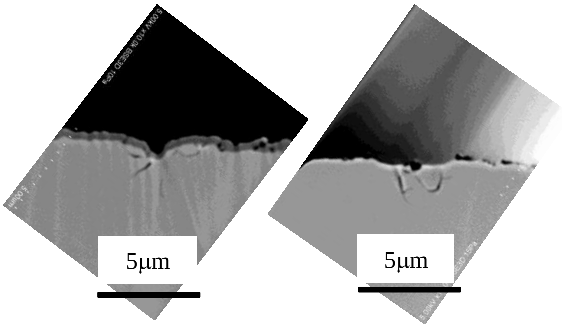
図２　アズスライスシリコンウェハ



(a)　顕微鏡像

(b)　断面形状

図３ シリコンウェハの断面形状



(a) クラック　　(b) クラック

図４ 加工ダメージの観察

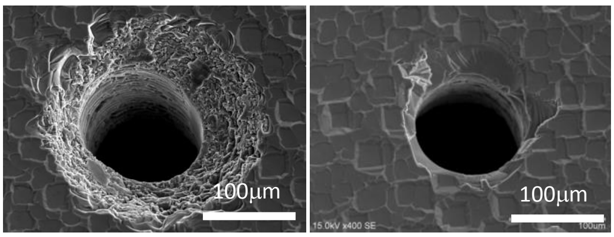
３．２．貫通穴加工

３．２．１．ドリル加工

シリコンウェハにドリル加工により貫通穴を形成した。加工装置や工具、加工条件を表１に示す。シリコンウェハは熱可塑性ワックスにより平板に固定し、加工油をかけながら加工した。走査型電子顕微鏡で観察したダイヤコートドリルで加工した穴の電子顕微鏡写真を図５に示す。工具が侵入した表側にカケがあるが、これは工具の切込量が過大だったためである。走査型電子顕微鏡で観察した 600 穴加工前後の工具を図６に示す。工具摩耗が少なく継続使用が可能であるが、

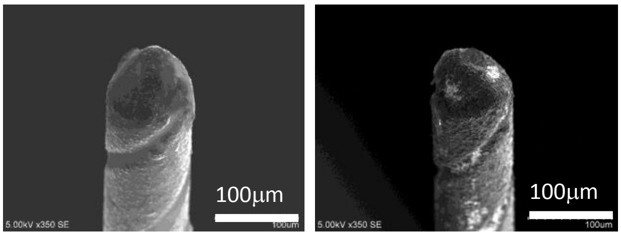
表１　ドリル加工実験条件

加工装置	立形マシニングセンタ 主軸回転数 5,000 rpm
工具	ダイヤコートドリル 直径 0.1mm
工作物	単結晶シリコンウェハ 156mm×156mm×0.2mm
加工時間	2分 / 穴



(a) 表面側　　(b) 裏面側

図５ ドリル加工穴



（a）使用前　　（b）600 穴加工後

図６ 工具の摩耗

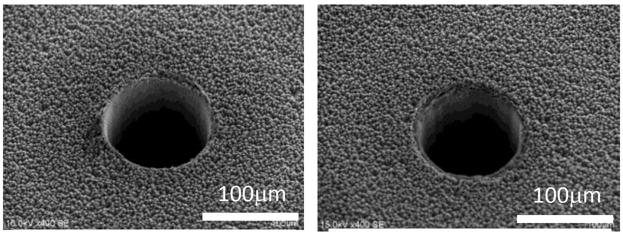
1 穴の加工に 2 分を要したため、加工時間の短縮が課題である。

３．２．２．レーザー加工

シリコンウェハにレーザー加工により貫通穴を形成した。超短パルスレーザー加工装置によりレーザー波長と加工品位、時間の関係を検討した。加工条件を表２に、加工された穴を電子顕微鏡で観察した結果を図７に示す。平成 27 年度は加工時間の短縮が課題であったが、0.69 秒／穴まで短縮することができた。

表２ レーザー加工実験条件

加工装置	ピコ秒レーザー加工装置
波長	SHG (第2高調波) 532nm THG (第3高調波) 355nm
工作物	単結晶シリコンウェハ 156mm×156mm×0.2mm
穴径	直径0.1mm
加工時間	0.66 秒/穴 (SHG) 0.69 秒/穴 (THG)



（a）SHG（532nm）　（b）THG（355nm）

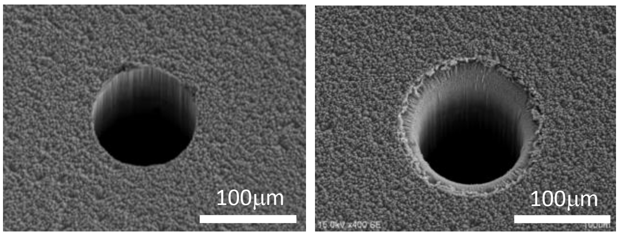
図７ レーザー加工穴

３．２．３．ドライエッチング加工

シリコンウェハにドライエッチング装置により貫通穴を形成した。レジストマスクを作製し、反応性イオンエッチング（Deep-RIE 装置）により貫通穴加工を行った。加工条件は表３、加工結果は図８に示す。レジスト面はレジストマスクの穴径と一致するが、裏面はサイドエッチがあり、穴径が広がってしまったことが分かった。

表３ ドライエッチング加工実験条件

加工装置	住友精密工業(株)製 シリコン深堀装置 MUC-21
マスク	OFPRレジスト
工作物	単結晶シリコンウェハ 156mm×156mm×0.2mm
穴径	直径0.1mm



（a）レジストマスク側　（b）裏側

図８ ドライエッチング加工穴

３．３． 液体不純物源による不純物拡散

不純物の拡散は有毒なガスによるガス拡散が多い。これに対し液体不純物源は、有害ガスの除害装置等が不要で、比較的簡便な設備で安全な処理が可能である。

液体不純物源の塗布条件や熱処理条件を表４に示す。

表４ 不純物拡散条件

装置	拡散炉
不純物源	EPLIS SC-913
拡散温度	900－950℃
時間	5－45分
試料	p型シリコン(100)

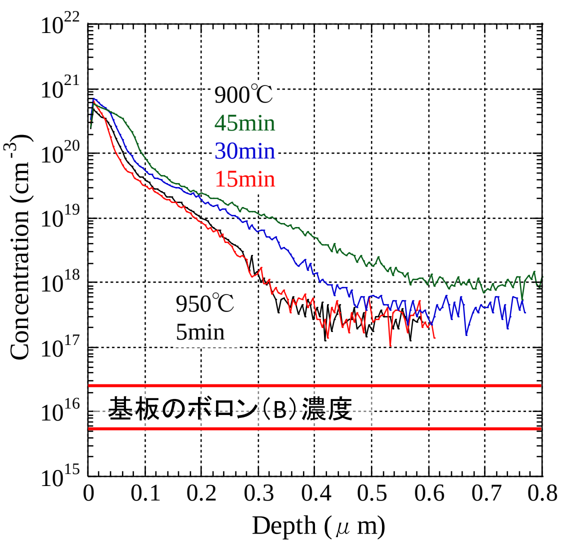


図９ リン濃度深さ方向プロファイル

900－950℃における処理時間毎のリン拡散深さ方向プロファイルを図９に示す。目標としたリンの表面濃度 10^{20} cm^{-3} 以上の条件を満たしたウェハでセルの試作を行う。

３．４．パッシベーション膜の成膜

不純物拡散後のシリコンウェハに表面の保護と反射防止を目的に、PE-CVD 装置により窒化シリコン膜を成膜した。成膜条件と屈折率、膜厚の狙い値を表５に示す。また加工したシリコンウェハを図１０に示す。PE-CVD 成膜の場合、SiN 薄膜の組成により膜応力が生じることが知られている。今後は膜の応力データを取得し、成膜条件の選定に取り組むこととした。

表５ 窒化シリコン膜の成膜条件

装置	住友精密工業(株)製 PE-CVD装置 MPX-CVD
処理条件	50W, 80Pa
屈折率,膜厚	n = 2.0, d=75nm

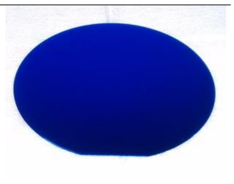
		
項目	試料 1	試料 3
屈折率	1.93	1.97
膜厚	60.5nm	80.9nm
成膜時間	2.75分	2.75分

図１０ SiN 成膜結果

３．５．パッシベーション膜の除去加工

太陽電池セルの表面はパッシベーション膜が成膜されるが、このうち表裏面の電極にあたる部分を選択的に除去することで発電効率の向上が期待される。

レーザー加工によりパッシベーション膜の選択的な除去加工を行った。加工部分をレーザー顕微鏡で観察した結果を図１１に示す。表面の酸化膜が除去されてシリコンが観察され、良好な除去が行われたことを確認した。

３．６．貫通穴への電極材料充填技術

３．６．１．ディスペンサーによる電極材の充填

ドライエッチングにより貫通穴を加工したシリコンウェハに対し、ディスペンサーにより銀インクを塗布した。貫通穴内に所定の体積を充填し乾燥を行った。銀ナノインクは銀粒子を有機溶媒に分散しているため、

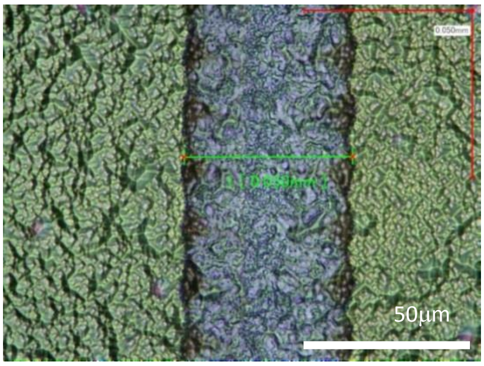


図１１ パッシベーション膜の除去

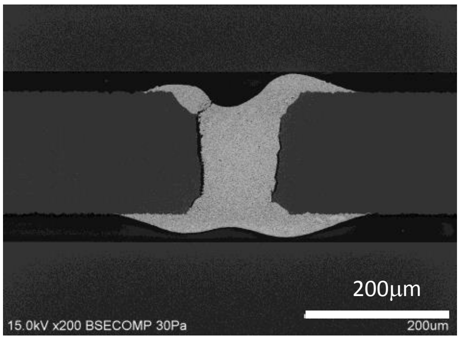


図１２ 貫通穴への電教区材料の充填

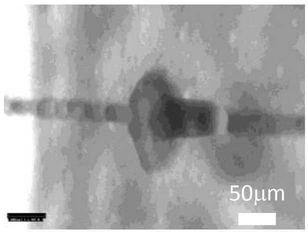


図１３ 貫通電極の X 線撮影

乾燥後に体積が大幅に減少する。

そこで貫通穴に対して表面側と裏面側から２回に分けて充填し同時に乾燥することで、図１２に示すように表裏面の電極を一体的に焼成することができた。

３．６．２．スクリーン印刷による電極材の充填

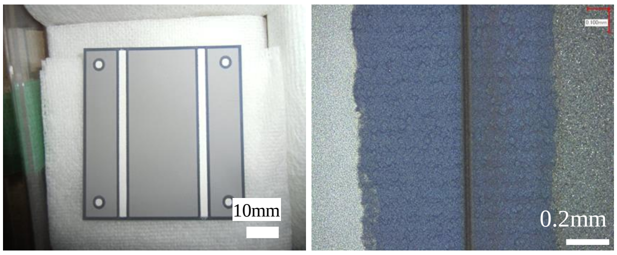
ドライエッチングにより貫通穴を明けたシリコンウェハに、スクリーン印刷により電極材料の充填を行った。非破壊で充填率を評価するため、X 線顕微検査装置（マース東研 X 線検査(株)製 TUX-3200N）により透視撮影を行った結果を図１３に示す。内径 0.1mm の電極材料の充填状況を撮影でき、十分な充填がなされていることが分かった。

３．７．電極間の絶縁加工

MWT 型太陽電池セルは、裏面に配置された p 極と n 極の電極間の絶縁を図るため、レーザーにより溝加工を行う。溝はシリコンウェハにダメージを与えず、絶縁に十分な幅と深さを得ることが求められる。

表６ 加工条件

加工装置	ピコ秒レーザー加工装置
波長	THG (第3高調波) 355nm
工作物	太陽電池セル 156mm×156mm×0.2mm
移動方法	ステージ移動



(a) 裏面電極外観　　(b) 溝加工部

図１４ 電極の絶縁加工

試作したセルのｐ極とｎ極の間にレーザーを用いて溝を加工した。実験条件を表６に、加工された溝を図１４に示す。断面形状を確認し、所定の溝幅と溝深さを得たことを確認した。

４．考察

貫通穴加工で最も加工ダメージの少ないドライエッチング加工で加工した、MWT 型太陽電池セルを製作した。産総研 FREA の実験設備により製作するため、シリコンウェハの外寸は 156mm×156mm とした。

検査ジグを作製し、ソーラーシミュレーターでセルの電気的特性の測定を行った。試作したセルの外観を図１５に示す。このセルの IV 特性の測定結果を図１６に示す。試作セルの短絡電流密度（short-circuit current）J_{sc} = 35.8 mA/cm^2 と解放電圧（open-circuit voltage）V_{oc} = 614 mV を得たが、曲線因子（Fill Factor）FF = 52.5% と低かった。この原因としてはシャント抵抗 が R_{sh} = 13.2μ と非常に低かったことから、漏れ電流が大きいことである考えられる。このため、変換効率は 11.5%であった。

平成 28 年度はシャント抵抗の向上による変換効率の向上を目指す。

５．結言

MWT 型太陽電池セルの量産技術の開発のため、単結晶シリコンインゴットの高能率薄切り加工と微細貫通電形成技術の開発に取り組み、次の知見を得た。

・マルチワイヤーソーにより厚さ 0.12mm のシリコンインゴットの薄切り加工を行った。アズスライスウェ

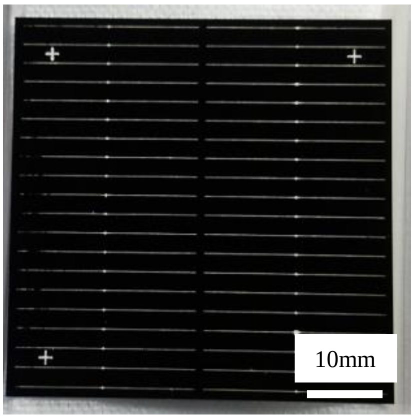
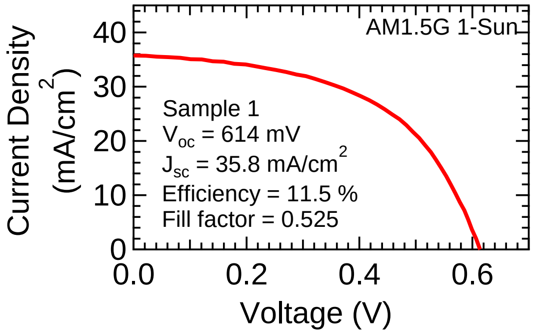


図１５ 試作した MWT 型太陽電池セル



各パラメータの導出は、K. Bouzidi, Sol. En. Mat. Sol. Cells 91 (2007) 1647-1651 による。

図１６ 太陽電池セルの IV 特性

ハの断面を観察し、クレータ状の窪みの下部に深さ数μｍのクラックが存在することを確認した。

・MWT 型太陽電池セルを試作したが、シャント抵抗が低く、変換効率 11.5%であった。

今後、変換効率向上のためシャント抵抗の低い要因の究明と工程の改善に取り組む。

参考文献

１）F.Clement, B.Thaidigsman et al. "Pilot-Lline Processing of Highly-Efficinet MWT Silicon Solar Cells". 25th Europen PV Solar Energy Conference and Exhibition, 6-10 September 2010.

２） 福田哲生, 白澤勝彦, 高遠秀尚ほか. "切断ワイヤの摩耗と単結晶シリコンウェハの破壊強度". 第 75 回応用物理学会春季学術講演会講演論文集. 2015, 12a-A18-5.

災害時における超音波センシングシステムの開発

Development of the system with ultrasonic sensor for the disaster response

技術開発部 プロジェクト研究科　安藤久人　三浦勝吏　高樋昌
ひさき設計株式会社　吉田慶太　岡部勝男　三浦健　石井亮
竹井亮　上遠野聡　草牟田美年　浅川秀樹
株式会社アド　添田和真　服部憲昭　本柳進平

災害発生時、遠隔操作ロボット等を投入し、現場の状況確認や復旧作業を行う必要があるが、そのロボットの多くがカメラ等の画像センサからの映像を頼りに作業者が現場の状況を認識、推測しながら操縦を行っているのが現状である。これら作業者によるロボットの遠隔操作を支援するため、近赤外レーザ、超音波による災害用センサユニット、その走査機構、及び操縦用の専用アプリケーションを開発した。これにより、カメラ画像のみでは分からない測定物までの距離提示や視界不良状況下での平面のイメージングを実現した。

Key words: 災害用センサユニット、超音波、近赤外レーザ、アプリケーション、クローラロボット

１．緒言

災害の発生は、夜間、悪天候下、有害物質等の粉塵や煙が飛散する状況など予測が困難である。災害発生直後、人が入れない危険な現場の初動対応には、遠隔操作ロボット等による調査が必要である。そのロボットの多くがカメラ等の画像センサからの映像を頼りにオペレータが現場の状況を確認し、推測しながら操縦している。この時、画像センサのみでは目的とする調査対象や周囲の障害物の位置関係等がわからないため瓦礫に足を取られロボットが走行不能になるケースが多い。これらロボットを活用する災害状況として、大地震等により工場内で有害な粉体やガス等がメイン配管から漏えいした実例を踏まえることとした。視界が遮られた状況の中で、遠隔操作で作業者が漏えい配管のバルブの位置や室内への出入り口を認識する必要がある。この時、視界不良状況でのセンシング手段として、応答速度や感度は劣るものの、指向性が高く、距離分解能に優れ粉塵や煙などの環境下にも強い超音波センサに着目した。

油田らは、超音波センサによる空気中での位置検出とロボットへの応用について、また、高畑らは人と共に移動する自律走行ロボットを想定した目標物の位置検出を試みている[1),2)]。しかし、視界不良状況でセンシングを行った事例は少ない。

そこで本研究では、視界不良状況下でロボットに搭載されたカメラ等の画像情報を補助するシステムを構築した。この時、超音波センサは指向性が高い反面、測定物の形状や位置によっては反射波が返らず、測定が難しいなどの課題が想定されることから、長距離の測位が可能な近赤外センサを加えた災害用センサユニットを構成した。また、検出範囲を広げるため、センサユニットを回転、揺動、上下動させる機構、当該機構をクローラロボットに搭載し、かつ走査機構とロボット両方を操縦する専用アプリケーションも併せて開発した。

２．設計

２．１．センサユニットの設計

本研究で開発する災害用センサユニットは災害時の調査等で実績のあるクローラロボット（Survey Runner、幅 500×奥行 463（フリッパ格納時）×高さ 163㎜、トピー工業（株）製）に搭載することとし、周囲の状況確認のために搭載するネットワークカメラの画像情報を補助するため、近赤外センサと超音波センサによるユニットとした。それぞれの特性から、遠距離測位に近赤外センサを、近距離測位に超音波センサを用いセンサユニットとして統合した。

検出範囲として、静止状態でネットワークカメラに映し出される画角内の距離測位、及びカメラの死角となるクローラ前方 600㎜ の範囲を検出できる構成とした。また、検出範囲を広くとることができるよう、カメラ、センサを搭載した雲台を回転、揺動、上下動の３方向可動できる機構とした。

２．１．１　遠距離測位センサ（３次元測位センサ）

遠距離用の測位センサとして、近赤外レーザによる３次元の測位センサ（infiniSoleil FX8、日本信号（株）製）を用いた。

測定距離は 0～15m、応答時間は　画素数 2,535（65 x 39）時は 10fps(Frames Per Second)、5,917（97 x 61）時は 4fps、消費電力 7.2W（起動時 24W）である。図１に、アプリケーションの表示イメージを示す。測位した距離に応じカラー及びグレースケールの濃淡で距離情報を視覚的に表示し、マウスでクリックするこ

図１　表示イメージ

とで選択した位置の計測値を画面に表示する。

距離測定値は 1 単位あたり 4 mm、色段階は距離換算後に算出した。カラー時の色数は 256 段階を使用し R,G,B 値を調整した。グレースケール時は、256 段階と 4,096 段階の選択が可能である。

２．１．２　近距離測位センサ（超音波センサ）

近距離測位センサとして、超音波センサ（型式 USA-S1AN、竹中電子工業（株）製）を用いた。検出範囲は奥行 100～1000mm、幅 80～120mm 程度、応答時間は 4msec、消費電力は 1.3W である。超音波センサからの距離に応じたアナログの電圧値を A/D 変換によりデジタル値に変換する。この時、信号はシリアル通信により CPU ボード（Raspberry Pi 2 Model B、OS Raspbian（Linux））に送信され、コマンド制御されてオペレータの操作する専用アプリケーションと通信を行う。

２．２．センサユニット走査機構の設計

２．２．１　機構部

災害用センサユニットを操作するため、クローラロボットベースに据え付ける 3 自由度の機構を設計し、図２に示す。センサを設置する雲台が上下(0～200mm)、回転：パン（-90°～90°）、搖動：チルト（-45°～45°）稼働する。駆動用のモータ、及びドライバは、それぞれ、ステッピングモータ（日本パルスモーター（株）製）、回転軸（型式：減速機付き PF42-48C4(ギヤ比 1/50))、搖動軸（型式：同上(ギヤ比 1/30))、上下軸（型式：減速機付き PF55-48C4(ギヤ比 1/60))、モータドライバ(型式:AD1131、日本パルスモーター(株)製）を採用した。

２．２．２　電気部

電気部は、ルネサス製マイコン(R5F5631FDDFP)、モータドライバ、イーサネット・インターフェース、電源回路と周辺の回路からなる。ロボット電源は、超音波センサが接続されている「制御ユニット(センサ側)」にも中継する。

ネットワークカメラ（型式：WV-SC385、パナソニック（株）製）は、単独でイーサネットに接続する。画像の転送速度は 30fps、カメラの電源は PoE でクローラロボットから供給される。ソフトウェアは、PC とのイーサネット通信、PC からの Command 解釈、PC への Response 返信、及び機構部のモータ制御を行う。イーサネット通信のプロトコルは TCP/IP を使用する。

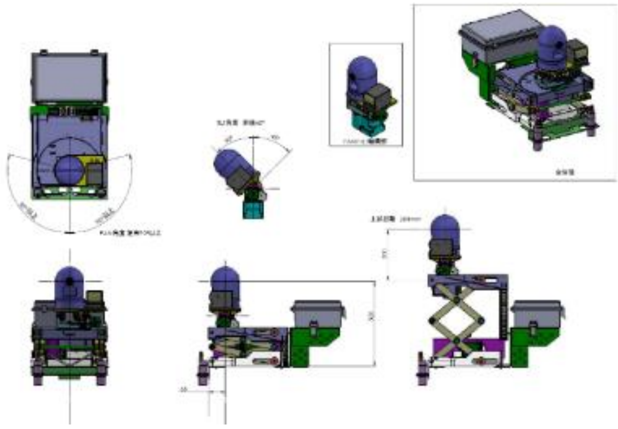


図２　機構部の設計

２．３．アプリケーションの設計

アプリケーションは、ロボット、及び災害用センサユニットとの通信を行い、状態の表示やオペレータへの提示を行う。統合環境は、Visual Studio Express、開発言語は C#、対応 OS は Windows7 を用いた。各機器と PC 間との通信は、各機器に固定の IP アドレスを割り振り、無線 LAN により行う。通信プロトコルは TCP/IP を用いた。搭載したネットワークカメラの画像と、超音波センサの値をリアルタイム表示する。

３．開発

３．１．災害用センサユニットの搭載

開発した災害用センサユニット、走査機構、及びクローラロボットへ搭載した外観を図３に示す。カメラ、センサ類が載る雲台は樹脂製とした。

電気回路は背面の制御ボックス中に一括搭載し、各機器からのハーネスにより接続される。

図３　システムの統合

３．２．アプリケーションの開発

開発したアプリケーションを、図４に示す。操作者はカメラの画面を見ながらコントローラにて操作する。ロボット直前の障害物については超音波センサの値を見て障害物の有無を確認する。アプリケーションは、操作ボタンやコントローラの操作内容に従って、各機

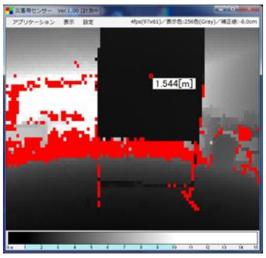
器に定期的(約 50msec)にコマンドを送信して画面表示する。更に、クローラロボットの移動速度等の情報を送信し、受信した応答速度・電流・電圧等を画面表示する。全ての状態は、優先順位に従って「システム動作状態」に表示される。ロボットのバッテリー残量も画面上で確認できる。

図４　専用アプリケーション

３．３．災害用センサユニットの評価

３．３．１　視界明瞭の場合

３次元測位センサで距離を測定した。災害用ロボット正面につい立を設置し、距離 1.5m 及び 6m の場合で距離を測定した結果を図５に示す。



(a) センサ画像

(b) カメラ画像

図５　３次元測位センサによる計測

センサでロボットとつい立の間の距離を測定した結果は、1.5m、6m とメジャーで計測した結果とほぼ一致した。

３．３．２　視界不良状況の場合

視界不良状況下での超音波によるセンシングの実験状況、及び結果を図６に示す。測定対象として平板をロボットの前方 50cm に設置して防カビ用の発煙燻蒸剤を用いて視界不良状況を実現した。

この時、超音波センサでの多点測定結果を基にマッピングを行うとおよそ距離 50cm の位置に平板の形状を視覚化することに成功した。

一方、超音波センサにより、スリット及び段差を計測した結果を図７に示す。

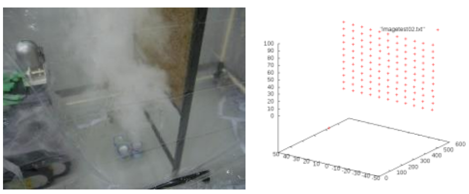
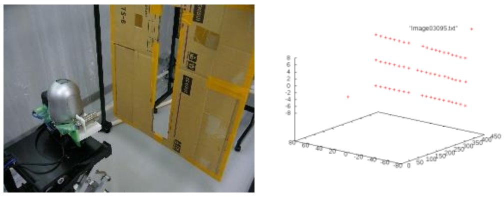
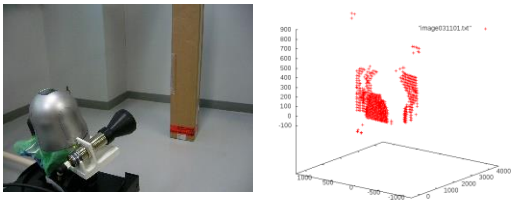


図６　超音波による視界不良状況下での認識実験

スリットの幅 100mm のところ測定結果は約 40mm、段差の幅 140mm のところ測定結果は約 450mm、段差と段差後方の壁までの距離は 550mm のところ約 500mm であった。以上より、超音波センサによる奥行方向の距離計測結果は実際の値にほぼ等しいものの、幅方向はスリットの場合は小さく、段差の場合は大きく計測される。



(a)　スリット 幅 100mm



(b)　段差幅 140mm、段差-壁間距離 550mm

図７　超音波による形状の認識実験

４．結言

災害用センサユニット、センサユニット走査機構、及び機構とロボット両方を操縦できる専用アプリケーションを開発した。また、その評価を行い、ネットワークカメラの画像のみではわからない、近赤外レーザセンサによる測定対象物までの距離提示や視界不良状況下での超音波センサによる平面のイメージングを実現した。

今後の課題として、超音波による形状認識の精度向上やセンシング時間の短縮、より過酷な環境下での評価などがあげられる。複数の超音波センサによる位置検出、センサ本体の改良等の対応が必要である。

また、ロボットは直流電源（バッテリー）駆動であるため、走行やフルセンシングを行った場合のバッテリー寿命は、３０分～６０分と推測される。実際の災害現場での作業を想定した場合、そのバッテリー寿命の向上が課題である。ロボット側のバッテリーの大型化等が考えられる。また、センサの信号をクローラロボットにフィードバックさせ、障害物までの距離がある一定値になった場合に動作を停止するなどの安全機能の付与も考えられる。

参考文献

1）油田真一. "ロボットのための超音波センシング －その限界と今後への期待－". 日本ロボット学会誌. 2002-5, vol.20, no.4, p.389-392.

2）高畑志生, 大矢昌久. "超音波トランスポンダによる特定目標物の位置検出". 超音波 TECHNO. 2002-7, vol.14, no.4, p.88-91.

CAE による電子デバイスの信頼性評価手法の確立

－第２報－

Establishment of reliability evaluation method for electronic devices by computer simulation

- 2nd report-

技術開発部 工業材料科　矢内誠人　鈴木雅千　工藤弘行

電子デバイスの信頼性評価に CAE 解析を用いることで、新しい評価手法を確立することを目的とした。本年度は試験体を用いて繰返し荷重試験を行い、CAE 解析結果の妥当性を検証した。結果、100 サイクルの繰返し荷重負荷によりはんだ接合部に亀裂を確認し、CAE 解析結果が妥当であることを確認した。

Key words: 電子デバイス、信頼性評価、CAE、はんだ、繰返し荷重試験

１．緒言

今や製品に電子制御が欠かせなくなっている。自動車を例に取ると、1990 年前半、電子デバイスは１台約 30 個であったが、現在では約 100 個と 3 倍以上搭載されている[1)]。これは、電子デバイスが高性能になったことと、小型化が達成されたためであると考えられる。自動車にはエンジンユニットの上部やドアパネルの間など、あらゆる空間に電子デバイスが配置されるようになった。このため、電子デバイスには、過酷な使用環境でも動作する信頼性が要求されている。

電子デバイスの信頼性評価は、主に環境試験と故障解析によってなされる。しかし、信頼性の要求が高いため、評価する企業にとっては、環境試験の長期化、試験体数の増加が大きな負担となっている。また、改善するにも、試験途中の状態が不明である、故障箇所が特定できないなどの問題がある。そこで我々は、それらの課題解決に CAE 解析を用いることを考え、研究に着手した。

昨年度は、CAE 解析に必要な形状データに着目した。電子基板と電子部品は、はんだによって接合される。この際、はんだは溶融、凝固の過程を経るため、接合箇所ごとに形状が異なる。この形状がはんだ接合部の寿命に影響すると考えた。我々は製品の X 線 CT の画像からはんだ接合部の形状情報を取得し、これを反映させた CAE 解析モデルを作成して CAE 解析を実施した。その結果、はんだ接合部の形状によって、ひずみ値が大きく異なることが分かった。また、一般的に用いられている解析モデルと、製品形状を反映させた解析モデルではひずみの最大値、最大位置が異なることが分かった。

本年度は、CAE 解析結果の妥当性を検証するため、はんだ接合部に繰返しの負荷を与える実験を行った。電子デバイスには多くの部品が基板両面に実装されているため、解析が困難である。このため、検証用の試験体を準備し、これを用いて実験を行った。熱による変形挙動は複雑で、検証が難しいため、変形を制御しやすい繰返し荷重試験を採用した。試験体を用いた繰返し荷重試験を実施し、試験結果と CAE 解析結果を比較することにより、CAE 解析の妥当性を検証した。

２．試験方法

２．１．試験条件の決定

既報[2)]の Coffin-Manson 則（式１）を用い、100 サイクル程度で亀裂が生じるようなひずみ振幅（Δε）を計算した。式１における N_f は繰返しのサイクル数、Δε は１サイクルで生じるひずみを示す。繰返し荷重試験の CAE 解析を行い、はんだ接合部に生じるひずみの最大値がΔε となるような試験条件を求めた。

$$N_f = 1000 \times \left(\frac{\Delta\varepsilon}{0.01}\right)^{-1.24} \qquad （式１）$$

２．２．繰返し荷重試験

先に求めた条件で試験体を用いた繰返し荷重試験を実施した。試験体は、長さ 100㎜、幅 20㎜、厚さ 1.6㎜の電子基板（FR-4）の中央に、10Ωのチップ抵抗が実装されたものを準備した（図１）。チップ抵抗は 2016 サイズ（長さ 2.0㎜、幅 1.6㎜、厚さ 0.55㎜）のものを採用した。はんだは一般的な組成の鉛フリーはんだ（スズ-銀-銅）を用い、リフローにより実装されたものである。

図１．繰返し荷重試験用試験体（左：全体、右：部品拡大）

繰返し荷重試験は、JIS C62137-1-4:2011[3] に準拠して実施した（図２）。試験体の支点間距離を 80mm とし、部品の裏側から試験体を押し、CAE 解析で求めた変位を与えた。ジグは毎分 1mm の速度とした。ジグが試験体と接触し、荷重値が 3N となったところを 0mm として変位を与えた。計算した変位の状態で５秒間保持し､荷重値が 3N となるまで同じ速度で逆方向に移動させた。変位が 0mm となった状態で５秒間保持した。これを１サイクルとし、100 サイクルの試験を実施した。試験実施後、試験体を樹脂包埋、断面研磨し、顕微鏡を用いてはんだ接合部の観察を行った。

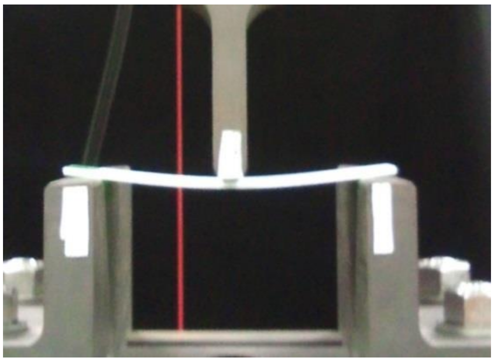


図２．繰返し荷重試験

３．結果

３．１．試験条件の決定

Coffin-Manson 則に N=100 を代入すると $\Delta\varepsilon=0.064$ となる。はんだ接合部に生じるひずみが 0.064 となるような変位を CAE 解析によって求めた。基板の変形によってはんだ接合部にひずみが生じるが、基板とはんだ接合部は大きさが異なるため、一度に解析するのが難しい。この問題を解決する手段として、マルチスケール CAE 解析がある。解析モデルを２つに分け、一方の解析結果を他方の解析条件とする手法である。今回の解析はマルチスケール CAE 解析を採用し、基板全体の変形を計算するマクロモデルと、はんだ接続部の形状を重視し、その周辺部のみ切り取った形のミクロモデルの２つを準備した（図３）。ミクロモデルは試験体の X 線 CT の画像から形状を取得し､モデルを作成するイメージベース CAE 解析とした。

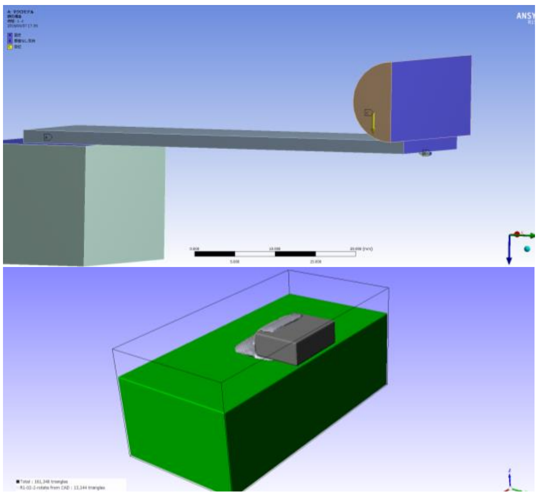


図３．解析モデル（上：マクロモデル、下：ミクロモデル）

初めにマクロモデルにジグの変位値を入力し、基板全体の変形を計算した。この結果をミクロモデルの基板断面に与え、はんだ接合部のひずみを計算する解析条件とした。ジグの変位を 3mm としたとき、はんだ接合部のひずみ値が 0.058 となり、先に求めた $\Delta\varepsilon$ とほぼ同じ値となったため、繰返し荷重試験の変位を 3mm と決定した。このとき、基板に 3mm の変位を与えるのに必要な荷重は 40N となった。

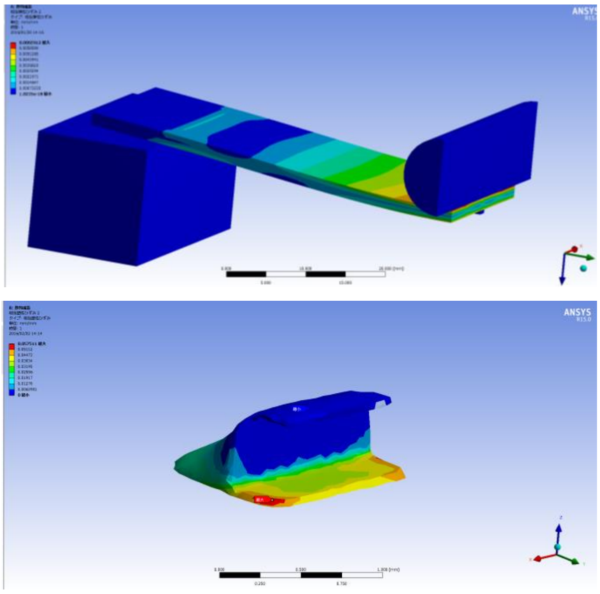


図４．CAE 解析結果（上：マクロモデル、下：ミクロモデル）

３．２．繰返し荷重試験

CAE 解析の結果から、試験体に与える変位を３mmとし、繰返し荷重試験を実施した。試験体に３mmの変位を与えたときの荷重は 37N であり、先の CAE 解析の結果とほぼ一致した。このことから、基板の CAE 解析結果は妥当であり、はんだ接合部に生じるひずみ値は CAE 解析結果とほぼ一致していると考えられる｡３mmの変位を 100 回与えた試験体の断面写真を図５に示した。これより、左側のはんだ接合部において、チップ部品の側面に沿って亀裂が確認された。長さは約 50μm であり、Coffin-Manson 則と良い一致を示した。

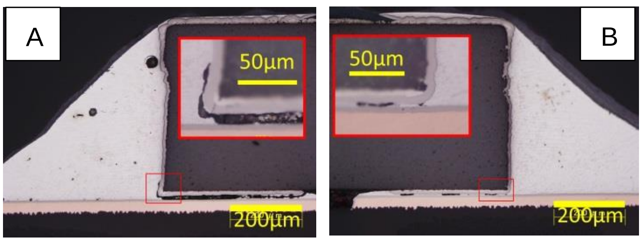


図５．100 サイクル試験後の断面（A:左側、B:右側）

はんだ接合部の CAE 解析の結果、ひずみの最大値を示したのは、チップ部品の電極下部である。すなわち、この部分が亀裂先端であることが予想された（図６）。しかし、断面観察の結果は、チップ部品の電極下部は破断状態にあり、チップ部品の角を起点として亀裂が生じていた。また、亀裂は片方のはんだ接続部にしか存在していなかった。これらについて以下のとおり考察した。

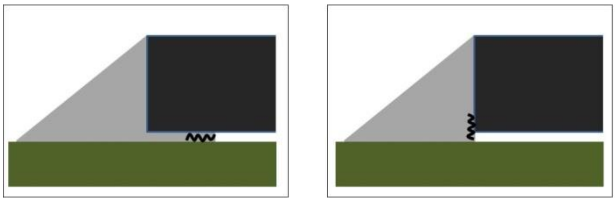


図６．亀裂のイメージ図（左：予想、右：実験結果）

４．考察

４．１．亀裂の発生位置について

荷重試験前の試験体について、X 線 CT 撮影を実施した。基板とはんだ接合部付近の断面を図７に示した。これより、電極下部には多くボイドが存在していることが分かる。また、断面観察の結果、電極下部のはんだ接合部の厚さは約 9 μｍであった。ここで、電極下部にボイドが存在する場合としない場合について CAE 解析を行った（図８）。この結果より、ボイドが存在するとその周囲のひずみ値が上昇しているのが分かった。以上より、繰返し荷重試験の初期の段階で、電極下部のはんだ接合部の各ボイドから亀裂が生じ、ボイドをつなぐように亀裂が進展していき、電極下部が破断したのではないかと考えた。亀裂はチップ部品の角の部分にも発生し、ここから繰返しの負荷により亀裂が進展し、Coffin-Manson 則で予想した結果とほぼ一致したものと考えられる。

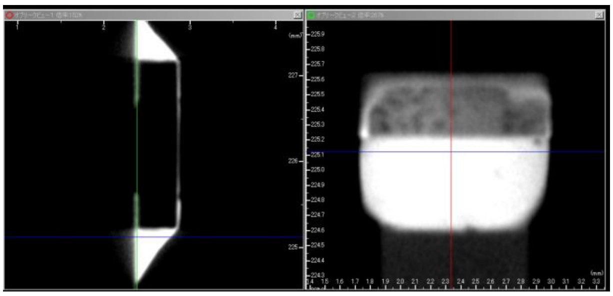


図７．試験体の X 線 CT（左：部品断面、右：電極下部）

４．２．亀裂発生の有無について

断面写真を比較すると、亀裂が発生したはんだ接合部の長さは、発生していない側と比較すると約半分の長さしかない。この形状の違いが亀裂の有無に影響すると考えた。断面写真からはんだ接合部の長さを測定し、この長さを反映させたモデルを用いて CAE 解析を行った（図９）。この結果より、はんだ接合部の長さが短いほどひずみが大きいことが分かった。片方に亀裂が生じた場合、応力が亀裂先端に集中し、亀裂を進展させたと考えた。

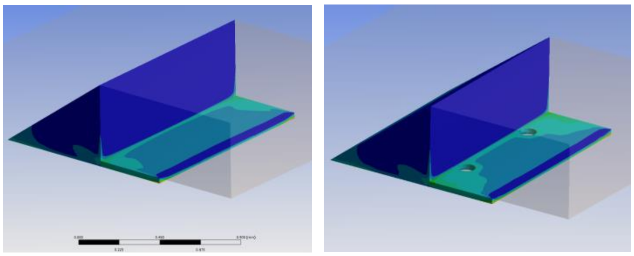


図８．CAE 解析結果（左：ボイドなし、右：ボイドあり）

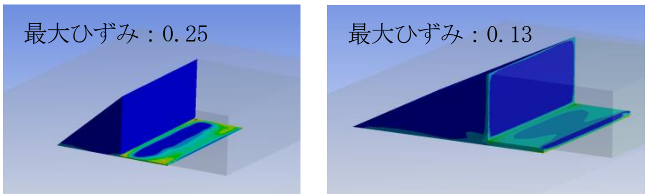


図９．試験体形状を反映させた CAE 解析結果

４．３．亀裂の長さについて

変位を 3 ㎜与える試験を 100 サイクル実施した際、はんだ接合部に約 50 μｍの亀裂が確認された。さらにサイクル数を増加させた場合、亀裂長さがどうなるか実験した。同じ試験体を用い、変位を 3 ㎜与える試験を 250 サイクル実施し、断面観察により亀裂を確認した（図１０）。結果、片方のはんだ接合部に、およそ 105 μｍの亀裂を確認した。亀裂は基板と平行方向に発生し、100 サイクルの試験とは方向が異なっていた。クラックの進展方向は、亀裂先端部のはんだの状態、特にボイドの有無に大きく依存すると考えられる。すなわち、亀裂先端付近にボイドがある場合、ボイドに向かって亀裂が進展しやすい。亀裂長さについて、Coffin-Manson 則を用いると、250 サイクル時には 125 μｍ となり、今回の実験結果と概ね一致する結果となった。以上より、CAE 解析によって求めたひずみ値から予想される亀裂長さは実験結果とほぼ一致した。

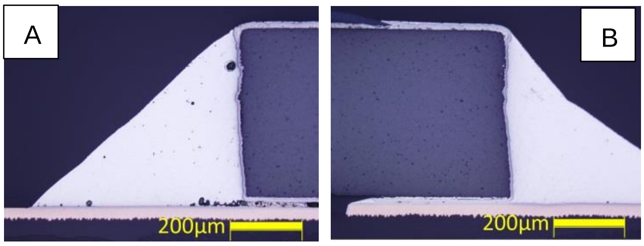


図１０．250 サイクル試験後の断面（A:左側、B:右側）

５．結言

繰返し荷重試験とCAE解析の妥当性を検証した。試験の結果は、CAE解析結果とほぼ一致し、CAE解析が妥当であることを確認した。これにより、基板の変形によって生じるはんだ接合部のひずみの値から、負荷の繰返し数によって生じる亀裂長さが推測可能となった。また、繰返し荷重試験後の試験体より、部品電極下部のはんだ接合部が薄く、ボイドが多い場合、部品の角から亀裂が進展していくことを確認した。亀裂の発生から断線に至るまでは、亀裂の進展方向が重要になるが、はんだ接合部の状態によって方向が変化するため、予測が困難である。しかし、X線CTからはんだ接合部の形状の情報を取得し、はんだ接合部の長さが分かれば寿命を予測することが可能であると考える。

参考文献

１）デンソーカーエレクトロニクス研究会. 図解カーエレクトロニクス（増補版）上. 日経BP社. 2014, p.286.

２）宮内祐樹, 于強, 澁谷忠弘. "チップ部品の鉛フリーはんだ接合部における疲労寿命のばらつき". 日本機械学会論文集（A編）. 2009, 75(755), p.815-822.

３）"表面実装技術－はんだ接合部耐久性試験方法－第1-4部：繰返し曲げ試験方法". JIS C62137-1-4：2011.

本藍染めによる自動染色システムの試作開発

Trial manufacture and development of the automatic dyeing system with the natural indigo dyeing

福島技術支援センター 繊維・材料科　伊藤哲司　尾形直秀

これまで手作業でしか染色できなかった本藍染めを自動化し、量産化に対応する染色システムを構築することで県内繊維産業での本藍染製品化へ繋げる。今年度は発酵建ての技術の習得と、藍還元菌を使った発酵管理システムの課題抽出を行った。また、綛を使った染色システムで試験染色を行った。次年度はそれぞれの抽出した課題を解決し、本藍染めの量産化システムの開発に繋げて行く。

Key words: 藍、還元菌、染色、自動化

１．緒言

１．１．研究背景と目的

福島県ニット工業組合では、天然染料を使った製品作りをテーマに、平成２５年度から福島県の地場産業ものづくり強化補助事業を活用し、「地域ブランド」の確立を目指している。その結果、熱水で抽出する染材（樹木、果皮など）で量産化の目途が立ち、桃剪定枝（県産品）、柿の皮（県産品）、茜(市販品)を使って染色加工した「だて染め」製品を試作し、展示会へ出品を行う段階に至った。しかし、これらの天然の草木染料には「青」系の色彩が含まれないため、色合いのバリエーションが乏しいという問題点があった。「青」を出す天然染料は「藍」に限られるため、「藍染め」の必要性が迫られている。しかし、本藍の染料には澱などの不純物が多く含まれるため、量産に対応した一般的な染色機では使用できない。また、環境負荷のない方法で藍染めを行う本藍染めは、長年の経験と技術が必要となり、安定的な染色による量産化は難しい。

そこで本研究では、藍建てを安定的に量産化するための管理システムと、藍染色液の劣化や糸の痛みを生じない染色方法を研究するとともに、試験染色装置の検討を行う。これにより、本藍染め染色システムの自動化を図り量産化に対応する。

２．１．本藍染めについて

一般に藍染めとは、含藍植物から色素成分であるインディゴを抽出・濃縮した染色液を使い染色を行うことである。原料の植物、抽出方法の違いにより、すくも藍や沈殿藍（泥藍）という異なった手法の染料があり、沈殿藍はすくも藍に比べ、単位重量当たりのインディゴ含有量は少ないが、澱などの不純物は少ないという特徴がある。

また、藍は不溶性色素をアルカリ還元操作を行い水溶性にして繊維中に含浸させ、酸化により元の不溶性に戻すとともに発色させる建染染料である。この還元作用は強アルカリ下でハイドロサルファイトなどの還元剤を使用すれば容易に染色が可能となるが、本藍染めではこの還元作用を、還元菌の働きにより行う。そのため、状態の維持と管理が非常に難しく、発酵建てを上手にすすめるには藍還元菌の増殖と、藍還元酵素の十分な生成が必要となる[1)]。

２．研究方法

２．１．計画と目標

本研究では藍建て管理システムと染色システムの試作開発と検討を行う。

研究終了時の目標としては、藍色（濃色から淡色 3 色位）で、染色堅牢度は国内のアパレル製品化合格基準を満たすことである。例えば摩擦に対する染色堅牢度　乾燥４級、湿潤３級以上　キセノンアーク灯光に対する染色堅牢度　3-4 級以上を目指す。また、ロット内の色差については、最終製品で色ムラが発生しないことを目標とする。

２．２．藍建て管理システム

今年度は、澱が比較的に少ない沈殿藍（琉球藍）の藍建て技術の習得と、発酵浴の温度と pH を自動的に記録し、その挙動と染色状態について検討した。また、染色状態は、綿添付白布等を染色し還元菌の活性化の指標とした。

藍建てについては琉球藍を使った藍建て[2)]を基に、総容量を 20L で行った。調合条件を下記に示す。

琉球藍 4kg(沈殿藍 1.6kg＋浸込み液 2.4kg)
木灰 1kg（上澄み液を使用）
消石灰 100g
水飴 15g
サトウキビ糖蜜 15g

また、藍溶液は pH を 10 前後、温度を 30℃に維持した[3)]。

通常の沈殿藍では、アルカリ調整のため木灰の灰汁上澄み液を使用するが、原料となる木材などにより成分にバラツキが生じる恐れがある。そこで、灰汁上澄み液の成分をイオンクロマトグラフにより分析を行い、その成分に近い水溶液を作り、炭酸カリウムの水溶液（2g/L）を使用したものと比較した。この発酵溶液中に pH 電極と熱電対を入れ、それぞれ pH、液温の値を測定した。

２．３．染色システム

藍染めは大気中の酸素で酸化することで不溶化が起こる。特に攪拌時の泡や渦などにより溶存酸素量が増えると、より酸化が進んでしまう。そこで、以下の項目についての検討を目的に、染色システムの試作開発を行う。

① 泡などが発生しにくい染色液の攪拌方法。
② 染色液中の酸素量を少なくする方法。
③ 糸の染色液に対する浸漬方法。

これまで我々は綛を使った染色機の開発を進めてきた[3)]。このシステムは糸にダメージを与えることなく染色することを目的として開発してきたため、通常の綛染色機とは異なり、手作業で染色するイメージを再現したものである。そのため、染色液をポンプ等で攪拌することがないので、泡などの発生もなく染色液の酸化は進みにくいと考えられる。このシステムを参考に染色試験を行った。

３．結果と考察

３．１．藍建て管理システム

木灰の灰汁上澄み液の分析結果と硫酸カリウムと炭酸ナトリウムを使った水溶液のイオンクロマトグラフによる測定結果を表１、２に示す。それぞれの濃度は以下の通りである。

灰　汁：1kg/10L　上澄み液
調整液：Na_2CO_3(1.06g/L)、K_2SO_4（3.35g/L）

表１　陽イオン（mg/L）

	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Al^{3+}
灰　汁	460	1.8	1290	0.4	147	9.8
調整液	428	1.0	1490	-	0.5	-

表２　陰イオン（mg/L）

	F−	Cl^-	Br^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}
灰　汁	0.2	636	1.6	1950	1.4	0.3
調整液	-	-	-	1600	-	-

pH 測定は水質管理用の浸漬型のホルダーにガラス電極を入れて行った。温度測定は K 型のシース型熱電対を使用した（図１）。2 週間ほど測定を行ったが、ガラス電極と熱電対に固形物が付着し、測定に誤差が生じてしまった。また容器内壁面にも固形物（図２）が析出した。固形物を走査型電子顕微鏡（SEM）とエネルギー分散型 X 線分光器（EDS）で分析を行った結果（図３、４）、カルシウムが多く、硫黄分も検出した。固形物は熱水には溶解せず pH も中性を示すことから、石こう（硫酸カルシウム）と考えられる。発生原としては水酸化カルシウムを pH 調整に使用しているのでこれが影響していると思われる。しかし、灰汁の上澄み液、炭酸カリウム水溶液を使用した場合では見られない現象であった。この固形物により pH と温度の記録に誤差が生じ、溶液の pH が 11 以上となり、藍還元菌が活性化できず、染色と発酵の挙動の関係を記録できなかった。固形物の発生原因は、当初 pH 測定用の電極に入っている、塩化カリウムが影響しているのではないかと考えた。しかし、pH 電極を使用しなかった藍溶液でも、少量であるが固形物が見られた。今後は再現試験を行うとともに、原因究明と調整液の見直しを行う。

図１　藍建て記録システム

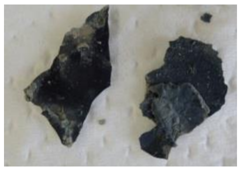


図２ 容器壁面の固形物

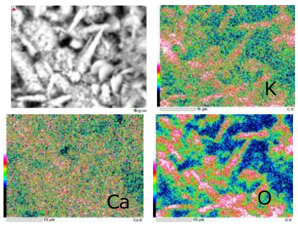


図３ EDS による固形物のマッピング

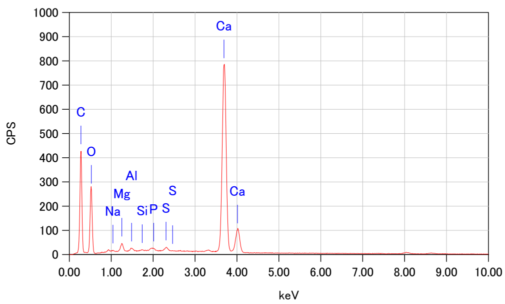


図４　EDS による固形物の組成

３．２．染色システム

染色システムを図５、染色糸を図６に示す。このシステムは、上下、左右方向の２本のシリンダで、手で綛を動かすように浸漬と綛の回転を行う。浸漬条件（上下運動）と回転タイミング（左右方向）は染色する動

作を真似て制御した。染色した綛糸には若干の染色ムラが発生したが、藍の場合は染色液の状態によって仕上がりが左右されるため、システムが原因とは言えない。

藍染色の場合、酸化により発色するため、システムの中に絞り機構を組み込むことで酸化を促し発色させ、よりムラのない染色が可能となる。

図５　染色システム

図６　染色システムした綛糸

４．結言

今年度は藍建ての技術を習得することができたが、管理システムを構築する際、重要なポイントである溶液の pH を記録できなかった。また、綛の染色システムでは染色性を確認した。

次年度は以下の項目を行う。

① 藍建ての管理システムでは、溶液の連続的な pH 記録を行い、藍溶液の状態を把握し染色性との関連付けを行う。

② 染色システムでは絞り機構を組み込んだ試作開発を行う。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご指導をいただいた北の藍工房代表　角寿子氏、武庫川女子大学　牛田智教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

１）高原義昌. "染織と生活 No.10". 染織と生活社.1975, p.76.

２）角寿子. "堅牢な藍染にするための材料の選択と pH・温度・養分の調整　２琉球藍" 天然染料顔料会議報告. 2014, 2015, p.30.

３）尾形直秀, 伊藤哲司ほか. "縫合溶解糸を用いた縫製品の開発と低コスト分解処理システムの構築" 平成 26 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 2014 , p.81.

県産醸造製品の品質向上に向けた高品質製造技術の確立

Development of high-grade processing technology

for quality improvement of fermented foods from Fukushima prefecture

会津若松技術支援センター 醸造・食品科　小野和広　馬淵志奈　高橋亮　菊地伸広

福島県醤油醸造協同組合　紅林孝幸

福島県味噌醤油工業協同組合　宮﨑久重

県産醤油および味噌の品質向上を目的に、製品品質との関連が深いとされる麹について、微性物、酵素活性等について調査した。また併せて、製品の成分等について調査し、麹の分析値と比較した。その結果、醤油の場合、麹の一般細菌、グラム陽性菌は、県外工場製よりも県内工場製の方が 10^1 オーダー多く、好気性芽胞菌は 10^1 オーダー少ない傾向があった。また、酵素力価については、糖化酵素（グルコアミラーゼ、α-アミラーゼ）および全プロテアーゼともに県外工場製と大差なく、分解力は十分であることがわかった。官能評価との関連性では、麹の一般細菌、グラム陽性菌が多い工場製の醤油は「香り」の評価が低かった。麹の生菌数が過度に多い場合、「香り」の評価にマイナスの影響を及ぼすことから、製麹環境の清掃、殺菌等をより徹底することが必要と考えられる。一方、味噌の場合も、麹の一般細菌、グラム陽性菌が多い工場製の味噌は、官能評価において「香り」の評価が低い傾向があった。このことから、醤油と同様、麹の生菌数が多すぎると、製品の香味に影響を及ぼす可能性があり、何らかの低減対策が必要と考えられる。また酵素力価は、糖化酵素およびプロテアーゼともに十分な値であることがわかった。

Key　words : 醤油、味噌、麹、生菌数

１．緒言

当県は全国有数の醸造処であり、古くから数多くの酒造業や、醤油、味噌製造業が営まれている。近年、清酒は、業界の取組みや当所の技術支援等により品質が大きく向上し、全国新酒鑑評会において金賞受賞数が３年連続で全国一になる等、大きな話題となっている。そうした中、醤油、味噌製造業においても、酒造業の躍進に刺激を受け、福島県醤油醸造協同組合を中心に、勉強会を立ち上げる等、県産醤油および味噌のさらなる品質向上への気運が高まっている。以上のような背景をもとに、本研究では、県産醤油および味噌の品質向上を目的に、製品品質との関連が深いとされる麹について、微生物、酵素活性等について調査した。また併せて、製品の成分等について調査し、麹の分析値や製品の官能評価と比較した。

２．実験方法

２．１．　供試材料

味噌用米麹は、県内味噌製造工場が 2015 年度に製麹した麹を供試した。また味噌は、全国味噌鑑評会に出品したものと同一ロットのものを供試した。

醤油用麹および生揚は、県内外の生揚工場が 2015 年度に製麹した麹および生揚を供試した。

２．２．醤油の調製方法

醤油は、各工場から提供された生揚を 85℃で 60 分間火入れ（加熱）後急冷し、成分分析および官能評価に供試した。

２．３．微生物の計数方法

各麹の一般細菌は、標準寒天培地（日水製薬）を用い常法により計数した。好気性芽胞菌は 80℃・10 分間の温浴処理後、標準寒天培地を用い計数した。

またグラム陽性菌は 2-Phenylethanol を 0.25%添加した標準寒天培地[1]を、グラム陰性菌は CVT 寒天培地[1]（日水製薬）を用い、30℃で 2～4 日間培養後に出現したコロニーをそれぞれ計数した。

２．４．麹の酵素活性

麹の酵素力価は、プロテアーゼは、しょうゆ試験法[2]および基準みそ分析法[3]により測定した。またグルコアミラーゼおよび α-アミラーゼは、糖化力分別定量キットおよび α-アミラーゼ定量キット（キッコーマンバイオケミファ（株））を用いて測定した。

２．５．一般成分の分析方法

醤油の一般成分は、しょうゆ試験法[2]により、また味噌の一般成分は基準みそ分析法[3]により分析した。

２．６．官能評価

官能評価は、醤油については、当所の職員８名（男性６名、女性２名）のパネルにより、色、香り、味、総合の 4 項目について、5 段階評価（1(良い)～5 点(悪い)）し、平均評点を求めた。味噌については、福島県味噌醤油工業協同組合および当所の職員等 6 名（男性３名、女性３名）のパネルにより、色、香り、味、組成、総合の 5 項目について、3 段階評価（1(良い)～3 点(悪い)）し、平均評点を求めた。

３．実験結果及び考察

３．１．醤油および味噌麹の生菌数

図１に、県外６工場、県内５工場で製麹された醤油麹の生菌数を示した。県外工場製の麹（n=6）の一般細菌、好気性芽胞菌、グラム陽性菌、グラム陰性菌数は、それぞれ 8.3、6.0、8.2、6.4 logCFU/g で、同様に県内工場製の麹（n=5）は、各 9.1、4.3、9.1、6.3 logCFU/g だった。

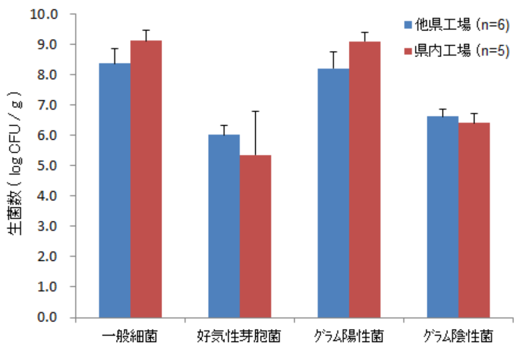


図１　他県および県内醤油工場製の麹の生菌数

県内は県外に比べ、一般細菌、グラム陽性菌は約 1logCFU/g 多く、好気性芽胞菌は約 1logCFU/g 少なかった。醤油麹の場合、工場によっては、検出される一般細菌の多くを好気性芽胞菌が占めるとされるが[4)]、今回供試した麹の場合、好気性芽胞菌は、一般細菌の約 1%で、それ以外のグラム陽性菌の占める割合が高かった。

図２に、県内 11 工場で製麹された味噌麹の生菌数を示した。その結果、麹の一般細菌、好気性芽胞菌、グラム陽性菌、グラム陰性菌数の平均は、各 5.0、3.1、4.3、2.6 logCFU/g だった。味噌麹の場合も醤油麹同様、一般細菌の多くはグラム陽性菌で占められていた。

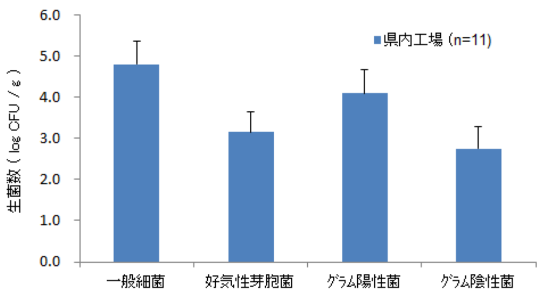


図２　県内味噌工場製の麹の生菌数

３．２．醤油及び味噌麹の酵素力価

表１に、醤油麹（県外 6 点、県内 1 点）、表２に味噌麹の酵素力価を示した。醤油麹のグルコアミラーゼ、α-アミラーゼ、全プロテアーゼの平均値は、県外工場製（n=6）が、各 342、1437、274 units/g で、同様に県内工場製（n=5）は、各 364、1289、296 units/g だった（データは示していない。）。グルコアミラーゼ、全プロテアーゼは県内が県外よりもやや高く、α-アミラーゼはやや低かったが、明確な差はなく、麹自体の分解力は十分であることがわかった。

表１　県内外醤油工場製の麹の酵素力価（ units/g ）

	グルコアミラーゼ	α－アミラーゼ	全プロテアーゼ
①	360	1245	352
②	394	1273	279
③	296	1491	324
④	285	1244	310
⑤	325	1399	174
⑥	57	1429	374
⑦	692	1788	181
平均	344	1410	285

1）県内工場１点を含む。

一方、味噌麹の場合、グルコアミラーゼ、α-アミラーゼ、中性プロテアーゼの平均値は、各 314、1672、54 units/g だった。一般的に味噌麹のグルコアミラーゼは 200 units/g、α-アミラーゼは 1000 units /g、中性プロテアーゼは 50 units/g 程度必要とされるが[5)]、県内工場製の麹は概ね問題ない値であり、味噌麹の場合も麹自体の分解力は十分であることがわかった。

表２　県内味噌工場製の麹の酵素力価（ units/g ）

	ｸﾞﾙｺｱﾐﾗｰｾﾞ	α－ｱﾐﾗｰｾﾞ	ﾌﾟﾛﾃｱｰｾﾞ		
			酸性 (pH3)	中性 (pH6)	ｱﾙｶﾘ (pH7.5)
a	301	1661	35	45	0
b	318	1538	109	46	4
c	263	1777	52	112	6
d	290	1330	23	45	0
e	410	1873	42	40	0
f	217	1311	49	51	2
g	306	1939	55	49	4
h	276	1719	62	60	2
i	444	1904	24	43	3
平均	314	1672	50	54	2

３．３．醤油および味噌の一般成分

表３に、県内外醤油工場製（県外６点、県内１点）の麹の消化性と醤油の一般成分値を示した。麹の消化性は、⑤、⑥、⑦は他の試料に比べグルコースが低かった。先述の酵素力価の結果と併せ考えると、⑥はグルコアミラーゼ活性が低いことが要因と考えられる。また⑤、⑦は、グルコアミラーゼ活性は他と大差なかったことから、製麹前のコムギの炒煎（α 化）が不足していた可能性がある。

表3　県内外醤油工場製の麹の消化性と醤油の成分値

	麹の消化性		醤油					
	TN	グルコース	食塩	TN	直糖	pH	アルコール	Brix
①	1.4	9.3	16.7	1.8	2.8	4.8	2.6	37.5
②	1.4	9.1	16.5	1.7	2.6	4.9	2.4	36.3
③	1.5	8.9	16.7	1.7	7.8	4.8	0.8	39.6
④	1.6	8.6	16.7	1.9	4.2	5.0	2.3	38.4
⑤	1.6	6.1	17.1	1.7	1.7	4.9	1.8	35.8
⑥	1.7	5.3	16.7	1.8	2.5	4.9	1.7	36.7
⑦	1.6	6.6	17.2	1.8	2.5	5.0	0.7	37.2
平均	1.5	7.7	16.8	1.8	3.4	4.9	1.8	37.4

1) 単位は麹は%（w/w)、醤油は%（w/v）。ただし、pH、Brix を除く。

３．４．醤油及び味噌の官能評価

表４、５に、醤油および味噌の官能評価を示した。醤油の場合、先述した麹の生菌数と比較すると、最も評価が低く、汚染臭との指摘があった⑦では、他試料より比較的一般細菌が多かった。また、⑦以外でも一般細菌、グラム陽性菌がともに多かった③、⑤では、「香り」の評価が低かった。また、酵素力価との関連性については、必ずしも明確には一致しなかったが、全プロテアーゼが 200 以下と低かった⑤、⑦は、官能評価も低い傾向があった。一方で醤油の成分値との関係性は見いだせなかった。これらの結果を勘案すると、麹の細菌については、過度に多いと香りの評価にマイナスの影響を及ぼすことから、製麹環境の清掃、殺菌等をより徹底することが必要と考えられる。今後は仕込以降の工程について検討していく必要がある。

味噌の場合、麹の一般細菌が比較的多かった a（7.5logCFU/g）、c（6.6logCFU/g）は官能評価も低い傾向があった。特に一般細菌、グラム陽性菌がともに多かった a、c、e では、「香り」の評価が低い傾向があった。一方で、官能評価の高かった d は、全般的に生菌数が少ない傾向があった。これらの結果から、麹の生菌数が多すぎる場合、製品の香味に影響を及ぼす可能性があることから、今回菌数の多かった工場においては何らかの低減対策が必要と考えられる。また、最も評価の低かった i は、成分値において、食塩濃度が 11.4%と低く、pH も低かったことから、過度に塩分が低いために、生酸菌の増殖（有機酸生成）が過剰となり、官能評価にマイナスの影響を及ぼしていると考えられた。

表4　県内外醤油工場製の醤油の官能評価

試験区	色	香り	味	総合
①	1.9	2.2	2.0	1.9
②	2.3	2.3	2.2	2.0
③	2.1	2.6	2.3	2.2
④	2.3	3.1	2.8	3.0
⑤	2.0	2.7	2.9	2.6
⑥	2.2	2.8	2.5	2.4
⑦	3.3	4.0	3.4	3.8

表5　県内味噌工場製の味噌の官能評価

試験区	色	香り	味	組成	総合
a	1.75	1.83	1.67	1.58	1.75
b	1.42	1.50	1.67	1.75	1.75
c	1.50	1.67	1.75	1.75	1.83
d	1.17	1.17	1.25	1.50	1.25
e	1.42	1.67	1.58	1.50	1.67
f	1.67	1.58	1.67	1.50	1.58
g	1.58	1.50	1.67	1.58	1.58
h	1.67	2.00	1.67	1.42	1.92
i	2.17	2.00	1.83	1.60	2.00

４．結言

県産醤油および味噌の品質向上を目的に、製品品質との関連が深いとされる麹について、微生物、酵素活性等について調査した。また併せて、製品の成分等について調査し、麹の分析値と比較した。

その結果、醤油の場合、麹の一般細菌、グラム陽性菌は、県外よりも県内の方が 10^1 オーダー多く、好気性芽胞菌は 10^1 オーダー少ない傾向があった。また酵素力価は、糖化酵素（グルコアミラーゼ、α-アミラーゼ）および全プロテアーゼともに県外と大差なく、分解力は十分であることがわかった。官能評価との関連性では、麹の一般細菌、グラム陽性菌が多い工場製の醤油は「香り」の評価が低かった。麹の生菌数が過度に多い場合、「香り」の評価にマイナスの影響を及ぼすことから、製麹環境の清掃、殺菌等を徹底することが必要と考えられる。一方、味噌の場合も醤油と同様、麹の一般細菌およびグラム陽性菌が多い工場製の味噌は、官能評価において「香り」の評価が低い傾向があった。このことから、醤油と同様、麹の生菌数が多すぎる場合、製品の香味に影響を及ぼす可能性があり、低減対策が必要と考えられる。また酵素力価は、糖化酵素およびプロテアーゼともに十分な値であることがわかった。今後は麹の生菌数が製品の香りに及ぼす影響についてさらに検証するとともに、仕込後の諸味管理や出荷管理について調査する予定である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、試料を提供いただきました県内外の醤油および味噌製造企業の皆様に感謝いたします。

参考文献

１）宮尾茂雄, "発酵漬物における微生物制御".日本食品科学工学会誌. 1997, 44, p.1-9.
２）財団法人日本醤油研究所.しょうゆ試験法. 1985.
３）"基準みそ分析法". みそ技術ハンドブック. 全国味噌技術会. 全国味噌技術会. 1995. 111, p.310.
４）公益財団法人日本醸造協会. "醤油の科学と技術". 2012, p.112.
５）みそ技術ハンドブック. 全国味噌技術会. 1995.

未利用農産物等の機能性成分を活かした加工技術の開発

Development of the processing technique using functional ingredient of discard parts of crops

会津若松技術支援センター　醸造・食品科　星保宜　島宗知行
会津農林事務所 会津坂下農業普及所　一条晶恵

アスパラガスの緑色や切り下の特徴である糖分を保持するピューレ加工方法を開発した。さらにピューレ加工残渣が発酵飼料の製造に利用可能であることを実証し、廃棄物の減量化を図った。また、ソバ末粉から熱水によりルチンを効率的に抽出する方法を明らかにした。着色不良で規格外品の青トマト果実を利用したジャムは、γ－アミノ酪酸（GABA）含有量が赤トマトの約 1.7 倍であり、機能性成分を保持する加工方法として、有効であることが明らかになった。

Key words: 未利用農産物、食品製造残渣、機能性成分、加工方法

１．緒言

前報[1)]までに、アスパラガス、ソバ、トマトおよびこしあんの生産・製造過程で排出される残渣等の廃棄物について、それらに含まれる特徴的な機能性成分を明らかにするとともに、アスパラガス切り下とあん粕を利用した加工品の開発について検討した。

アスパラガス切り下については、ピューレを試作したところ、原料採取後の日数経過に伴う黄化が課題となった。アスパラガスの緑色の主体となるクロロフィルは、熱や酸性条件によって分解されることが知られている[2)]。また、野菜では、保存中の品質低下や変色を防ぐために、ブランチング処理等が行われている。

そこで本報では緑色を保持したピューレ加工方法を確立するために、pH 調整やブランチング処理の有無がピューレの品質に及ぼす影響について検討した。さらに、切り下に多く含まれる糖分を保持するため、加熱方式についても検討した。

また、アスパラガス切り下の 100%利用を目指すため、ピューレ加工時に発生する残渣（以下、ピューレ残渣）の発酵飼料としての利用を検討した。

ソバについては、ソバ末粉からのルチンの抽出方法について検討した。

トマトについては、果実の成熟に従いグルタミン酸含量が増加し、機能性成分であるγ―アミノ酪酸（GABA）が減少することが知られており[3)]、前報では摘果果実の方が正品よりも GABA 含有量が多いことを明らかにした。一方、秋季に着色不良となった果実（青トマト）も摘果果実と同様に廃棄されているが、南会津町の加工業者がこれを活用してジャムを作製した。そこで、青トマトジャムの GABA 含有量を調査し、同様の方法で作製した赤トマトジャムとの比較を行った。

２．実験方法

２．１．供試材料

アスパラガスは、前報と同様に会津若松市のＪＡ全農福島県本部広域選果施設から排出された切り下を採取して試料とした。採取は平成 27 年 5 月 18 日と 6 月 15 日に行った。

ソバ粉は、前報と同様に、県内製粉業者が製粉して排出されたソバ末粉を用いた。

トマトは、南会津町で収穫された果実を原料とし、同町の加工業者が作製したジャムを試料とした。

２．２．機能性成分を活かした加工技術の検討

２．２．１　アスパラガス切り下ピューレの改良

pH 調整および加熱方式についての検討は、前報のピューレ加工方法を基本とし（A法）、ボイルする液に pH 調整として重曹を加えるＢ法、さらにボイルする代わりに市販の家庭用圧力鍋で蒸煮するＣ法の３つの方法で行った（図１）。なお、重曹は市販の食品添加物（株式会社幸田商店製）とした。

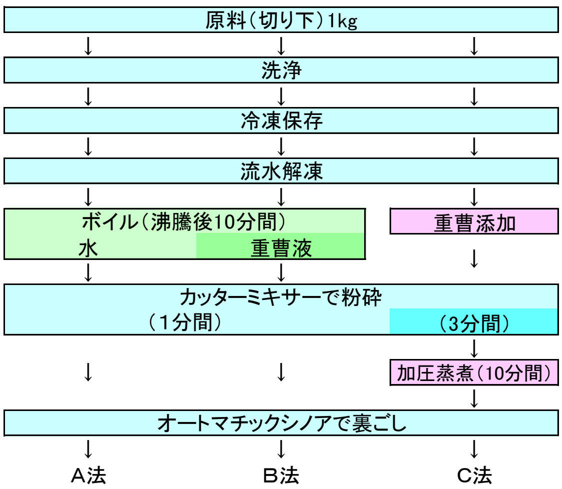


図１　アスパラガスピューレの加工方法

ブランチングの有無についての検討は、C法をもとにして、冷凍前に3分間のブランチング処理を行い、切り下と正品について比較した。

ピューレの pH、糖度、エネルギーは常法により、黄化度、糖含量は前報に従い分析を行った。

２．２．２　ピューレ残渣の飼料化

ピューレ残渣で乳酸菌を増殖させ、品質の良い籾米サイレージ[4)]を安価で安定的に作り出す発酵スターター（以下、アスパラスターター）として利用可能であるか検討した。

ピューレ残渣には乳酸菌が検出されなかったため、サイレージ添加用乳酸菌資材（サイマスターLP スプレー，雪印種苗（株））を規定量添加し、ビニール容器に入れて密閉し、25℃で 17 日間保存した。その後、飼料へ混和しやすくするため、通風乾燥機で乾燥（無加温、30 時間）させたのち粉砕したものをアスパラスターターとした。

籾米サイレージの調製は、会津坂下町の養鶏業者の協力により 11 月 4 日に行った。原料籾 50kg、水 1.6kg、廃糖蜜 15g、アスパラスターター15g を混和しながらフレコンバッグに入れて密閉し、屋外で 2ヶ月間貯蔵した。籾米サイレージの発酵品質については、市販のサイレージ添加用乳酸菌資材（畜草 1 号プラス，雪印種苗（株））のみを添加して調製した籾米サイレージと、外観品質および給餌状況を比較することで評価した。

２．２．３　ソバ末粉からのルチン抽出方法の検討

農産物等に含まれるルチンを定量する場合、抽出液には通常メタノールなどが用いられる[5)]が、今回は抽出物をその後食品加工に利用することを考慮し、熱水による抽出について検討した。

小島ら[6)]は、抽出液に熱水を用いた場合における、ソバ殻からのルチンの抽出量を、抽出温度や時間を変えて比較し、100℃、10 分が最も効率的であることを示している。そこで、抽出温度 100℃、抽出時間 10 分を基本とし、抽出時間および回数を変えて、抽出量を比較した。さらに、井上ら[7)]により、ルチンはアルカリ溶液にも可溶と報告されていることから、ソバ末粉に対し 5％の重曹（株式会社幸田商店製）を加えた抽出も行った。

抽出は、ソバ末粉 1g を 50mL ガラス製遠沈管に入れて蒸留水 40mL を1回または3回に分けて加え、100℃のウォーターバスで10分間または30分間行った。

ルチンの定量は前報と同様に HPLC で行った。また、対照として、90％メタノール（HPLC 用、和光純薬工業（株）製）で 3 回、計 40mL で抽出したものを定量し、比較した。

２.２.４　青トマトジャムのγ－アミノ酪酸(GABA)含有量

GABA の定量は、前報と同様に行った。

３．実験結果および考察

３．１．アスパラガス切り下ピューレの改良

まず、添加する重曹の適切な濃度について検討した。ボイルする液に重曹を加える方法（B法）では、重曹濃度が高くなるに従ってピューレの緑色は濃くなった。しかし、重曹濃度が 0.3％以上になると暗緑色となり、苦味も出てきたため、色調と食味の点から、ボイル液への添加濃度は 0.1％が適当と判断された（データ省略）。

同様に、ボイルする代わりに圧力鍋で蒸煮する方法（C法）では、原料に対して 0.2％の添加が適当と判断された（データ省略）。

図１の方法で加工したピューレの品質を表１に示す。原料に対する製品の割合（歩留まり）は、A法に比べてB法はやや低く、C法は高かった。また、糖度も同様な傾向が見られた。これは、B法では重曹を加えることにより、糖分の煮汁への溶出量が増加し、C法ではボイルしないために糖分がピューレに留まったことによると考えられた。また、色調を示す黄化度は重曹の添加により低下し、C法ではさらに低下して緑色が保持された（図２）。

以上のように、歩留まり、糖度、色調等の点から、ピューレの加工には加圧蒸煮方式（C法）が最も適していると考えられた。

さらに、C法において、原料を冷凍する前のブランチングがピューレの品質に及ぼす影響を比較した結果､ブランチングした方が黄化度が高くなった(表２）。

ブランチングは、野菜等の内在酵素を失活させ、緑色を保持する効果があるとされているが、今回、ブランチングした方で黄化度が高くなった。これは冷凍期間が約３カ月とやや短かったこと、ブランチングの際の温度や時間が影響したためと考えられるが、今後検討が必要である。

ピューレの栄養成分は、ブランチングの影響はほとんどみられず､部位では切り下の方がエネルギー、タンパク質、脂質がやや少なかった（表３）。

	歩留まり（％）	pH	糖度（Brix）	黄化度[1)]
A法	60.1	5.8	2.1	269
B法	55.3	8.1	1.5	69
C法	68.3	8.0	4.8	42

注1)値が高いほど黄色味が強い

表１　加工方法の異なるアスパラガス切り下ピューレの品質

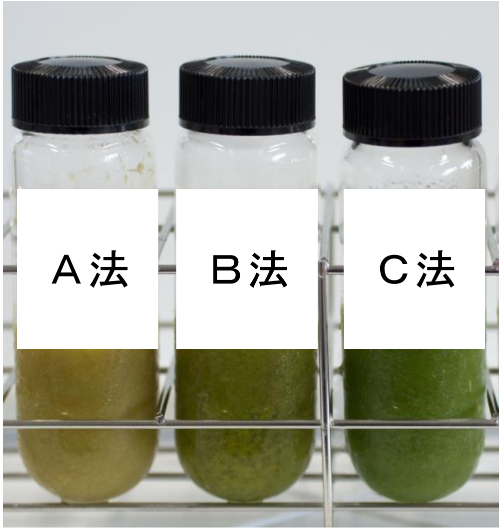


図２　加工方法の異なるアスパラガス切り下ピューレの色調

表２　部位およびブランチング処理の異なるアスパラガスピューレの品質

	ブランチング	pH	糖含量（mg/100g新鮮重）	黄化度
切り下	有り	7.9	1858	62
切り下	無し	8.0	2137	42
正品	有り	8.0	1681	56
正品	無し	7.7	1752	50

表３　アスパラガスピューレの栄養成分

	ブランチング	水分	エネルギー	タンパク質	炭水化物	脂質	灰分	ナトリウム	食物繊維
		(%)	(kcal)	(g/100g新鮮重)					
切り下	有り	94.2	24.4	1.0	4.5	0.25	0.012	0.061	2.0
切り下	無し	93.3	28.5	1.2	5.2	0.32	0.012	0.064	2.3
正品	有り	92.6	31.3	2.0	5.0	0.38	0.010	0.066	2.5
正品	無し	92.7	31.3	2.0	4.8	0.42	0.014	0.064	2.1

３．２．ピューレ残渣の飼料化

アスパラスターターの乳酸菌数は、作製直後は市販の資材と概ね同程度であった（表４）。しかし、2週間室温で保存すると、乳酸菌数の減少が認められたことから、籾米サイレージ作製試験ではサイレージ調製の5日前にスターターを作製した。

調製後2カ月経過した2種類の籾米サイレージについて、養鶏業者と外観品質および給餌状況を確認した。外観品質は、両者ともカビや異臭の発生がなく、良好であった（図３）。また、鶏への給餌状況も、嗜好性は同等という評価が得られた（図４）。

以上のことから、アスパラスターターは、長期の室温保存条件下では菌数の減少が見られるものの、籾米サイレージ調製における発酵スターターとして適用可能と考えられた。

表４　アスパラスターターの乳酸菌数

	乳酸菌数（cfu/g）
アスパラスターター	4.2×10^{4}
サイマスターLPスプレー[1)]	1.3×10^{5}

注1）　家畜用飼料添加剤（商品名：サイレージ調整用L型乳酸菌 サイマスターLPスプレー　雪印種苗（株））を使用基準に従って希釈した。

市販の資材のみを添加　　　アスパラスターターを添加

図３　籾米サイレージの外観品質

図４　籾米サイレージの給餌状況

（左容器：市販の資材のみ、右容器：アスパラスターター）

３．３．ソバ末粉からのルチン抽出方法の検討

表５に前処理、抽出時間および回数を変えて、ソバ末粉からルチンを抽出した結果を示す。その結果、基本としたＡ法に対して、超音波処理を加えたＢ法と抽出時間を30分としたＣ法ではやや増加し、さらに抽出回数を3回としたＤ法や重曹を添加したＥ法では2倍以上に増加した。小島らは、抽出液に90%メタノールを用いた場合の抽出量に対する熱水での抽出率は約60%としているが、重曹を添加することにより抽出率を約 67%まで上昇できると考えられた。

以上のことから、ソバ末粉からルチンを熱水抽出する場合、重曹を添加して 100℃の熱水で抽出する方法が最も効率がよいと判断された。ただし、重曹を添加すると、抽出液はやや赤みがかることから、着色が問題となる場合には、抽出回数を増やす方法

がよいと考えられた。

表５　抽出条件の異なるソバ末粉のルチン抽出量

	抽出方法				抽出量[1)]	抽出率[2)]
	抽出液	前処理	時間	回数	(mg/100g)	(%)
A	水	ー	10分	1	8.2 a	28.5
B	水	超音波	10分	1	11.5 ab	40.1
C	水	ー	30分	1	14.9 bc	51.7
D	水	ー	10分	3	17.4 c	60.4
E	水	重曹5%	10分	1	19.3 c	67.1
F	90% メタノール	ー	10分	3	28.8	100

注1）異なる符号間で有意差（p<0.01,Tukey）あり
　2）抽出率は、90%メタノール抽出した値を100とした値

３．４．青トマトジャムのγーアミノ酪酸（GABA）含有量

表６に青トマトまたは赤トマトを原料としたジャムのアミノ酸含有量を示す。青トマトジャムのアミノ酸含有量を赤トマトジャムと比較すると、GABA は約 1.7 倍と多く、グルタミン酸は 10 分の 1 以下と少なかった。

このような結果は摘果トマトと同様であり、秋季に着色不良となったトマトも、GABA 含有量が多く、機能性を有しており、機能性成分を保持するための加工方法としてジャムも有効であると判断された。

表６　原料の異なるトマトジャムのアミノ酸含有量

	含有量（mg/100gFW）	
	青トマト	赤トマト
γーアミノ酪酸（GABA）	96.6	56.1
グルタミン酸	12.5	133.2

４．結言

アスパラガス切り下ピューレの加工方法を改良した。アスパラガスの重量に対して 0.2%の重曹を加えて蒸煮することにより、アスパラガスの緑色と切り下の特徴である糖分を保持したピューレの加工が可能となった。

さらに、ピューレ加工残渣に乳酸菌製剤を加えて培養し、家畜用発酵飼料への利用を検討した。ピューレ加工残渣を添加した飼料に対する鶏の嗜好性は良好であり、アスパラガス切り下の 100%利用が可能であると判断された。

ソバ末粉から熱水によりルチンを抽出する方法について検討した結果、重曹を添加するか、抽出を 3 回程度繰り返すことにより、90%メタノール抽出の 6 割程度、抽出が可能であった。

着色不良となった果実（青トマト）を活用したジャムは、γーアミノ酪酸（GABA）含有量が着色の良い果実（赤トマト）の約 1.7 倍であり、機能性成分を保持する加工方法として有効であると考えられた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、試料を快く提供いただいた企業各社、ならびに飼料試験にご協力いただいた養鶏業者　株式会社 GAizu 信　代表取締役　佐藤信行氏に感謝いたします。

参考文献

１）佐藤光洋，星保宜，小野和広，馬淵志奈，"未利用農産物の機能性成分を活かした加工技術の開発" 平成 26 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, 2014, p.43-48.

２）片山修，田島眞．食品と色．光琳. 2003, p.37-72.

３）稲葉昭次，山本努，伊東卓爾，中村怜之輔．"トマト果実の樹上成熟及び追熟中の遊離アミノ酸と可溶性ヌクレオチド含量の変化"．園芸学会雑誌．1980, vol.49, p.435-441.

４）福島県農林水産部．"籾米サイレージの調整方法"．飼料用米給与マニュアル. 2015, Vol.1. p.4-5.

５）食品機能性評価支援センター技術普及資料等検討委員会．"ソバスプラウトのフラボノイド・アントシアニンの分析"．食品機能性評価マニュアル集第Ⅱ集. 2008, p.7-13.

６）小島康夫，小原裕美子，"蒸煮－乾留炭化 2 段処理によるソバ殻の有効利用"．廃棄物学会論文誌．2007, Vol.18, p.137-144.

７）井上柳吾，山岸恵美子. (1) "そば蛋白質中の各種形態の窒素",(2) "そばの生育とルチンの含量"．そばの研究(第 3 報). 長野短大紀要. 1958, 12, p.1-7.

簡易型転落・転倒警報装置の開発

Development of a simplified device to alert the tumble and fall of the tractor

技術開発部 プロジェクト研究科　高樋昌
技術開発部 生産・加工科　牛坂慶太
農業総合センター　青田聡　河原田友美

農作業における乗用トラクタでの転倒・転落事故の予防、また事故が発生した場合の緊急事態伝達手段として、後付で組み込む簡易型の転倒・転落警報装置の開発をした。

今年度は、これまで開発した機能の実証試験及び改良を行った。特に角度警告機能の精度向上、危険位置警告機能の実証試験、緊急事態伝達距離の延長に取り組んだ。

Key words:農作業、乗用トラクタ、Arduino、3 軸加速度センサ

１．緒言

農作業時の死亡事故が平成 25 年(農水省最新データ)は、全国で 350 件発生[1] しており、例年同等の件数で推移している。そのなかで、乗用トラクタの事故は 3 割を越える 111 件を占めている。また、本県における農作業時の死亡事故についても、その発生件数は全国でも上位の 13 件[2] であり対策は急務である。

事故は単独での作業中に発生しているケースが多く、発生を早急に周囲に伝える手段が重要である。また、予防安全として、危険箇所の事前把握やその周知により事故を未然に防ぐことも必要と考えられている。近年では、ハウス等の閉鎖空間における農作業安全対策と事故発生時の伝達手段確保についても求められている。

本技術開発では、これまでにハイテクプラザがトラクタの角度検出手法や緊急事態が発生した場合の伝達手法を検討し、この結果に基づき農業総合センターとアサヒ電子株式会社が共同でスマートフォンアプリ「転倒通報アプリ」を開発した。開発したアプリを図１に示す。本アプリは登録したメールアドレスに転倒通報するもので､本県ホームページで公開されている。

また、トラクタ事故を未然に防ぐ予防安全のアプリ機能として、これまでに２つの機能を開発している。

１つ目は、スマートフォンに予め危険な場所の位置情報を入力しておき、危険な場所に接近した時に警告を発する危険位置警告機能である。

２つ目は、トラクタの傾きから危険を運転者に事前に警告する角度警告機能である。昨年度まで角度検出の精度を向上させるため、トラクタにセンサを取り付け、ほ場を走らせ振動データを収集し、デジタルフィルタの係数を求めた。その結果を踏まえ、今年度はアプリにデジタルフィルタを実装した。

さらに、転倒通報アプリとは別に周囲に事故の発生を知らせる緊急事態伝達装置の開発も行っている。本装置は、メールによる緊急事態伝達手法の補助手段及び作業者のハウス内等の閉鎖空間における単独事故（酸欠・一酸化炭素中毒による気絶等）発生時の緊急事態伝達装置としての適用を想定している。スマートフォンと回転灯・警告音発生装置間の通信に Zigbee を用いることで約 200m の距離で事故発生の伝達が可能であった。しかし、実証試験の結果、農作業時の移動範囲や屋内における使用を考慮すると通信距離が十分ではなく、500m 以上の通信距離が必要との要望があった。

今年度は各機能の改良および実証試験を行ったので、その内容について報告する。

図１　転倒通報アプリ

２．機能の改良及び実証試験

今年度実施した項目は以下のとおりである。

- 角度警告機能
- 危険位置警告機能
- 緊急事態伝達機能

２．１．角度警告機能

角度警告機能は、トラクタの横・縦方向の角度をトラクタに固定したスマートフォンで常時計測し、指定した角度以上になると警告する機能（図２）である。

昨年度は、IIR フィルタ(カットオフ周波数 0.1Hz)

を用いたところ、細かい振動を除去でき、角度の変動も±2〜3度以内に抑えることができたが、検出に数秒の時間を要することが問題だった。今年度は、指数移動平均フィルタ、2次IIRフィルタを検討した。それぞれのフィルタのパラメータを変更しながら振動状態を検討した結果、IIRフィルタのカットオフ周波数を0.5Hzとした時のフィルタ効果が最大となり、検出時間も短縮され、変動も±2〜3度以内に抑えられた。その結果を図3に示す(フィルタなしの値は変動幅±30度超となるため、図には示さない。傾斜角度はトラクタの横方向。)。今年度は結果を踏まえ、このフィルタを上述のアプリに実装した。

図2　角度警告・転倒通報アプリの
警告画面(警告音も発生)

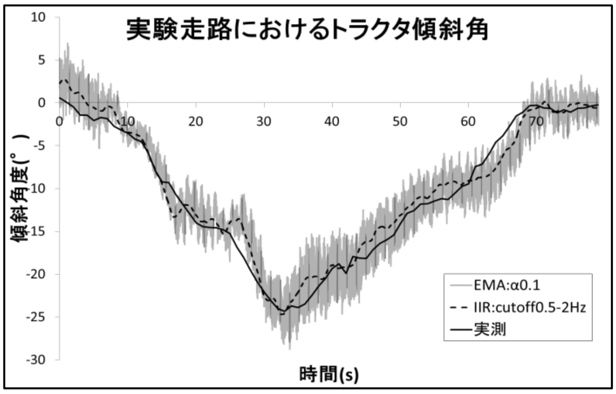


図３　デジタルフィルタによる振動ノイズの除去

２．２．危険位置警告機能

簡単に危険位置情報（緯度・経度）をスマートフォンに入力・登録でき、GPS情報からその位置に接近すると警告を発するアプリを昨年度に試作した(図４)。入力・登録画面で、危険個所に立ち「保存」ボタンを押すと緯度・経度の値が登録される。登録位置と現在地の距離が検出設定距離内になると警告を発する。検出設定距離は現時点では任意に設定できない。

実際に車両を用いて警告範囲精度を測定した。車両の設定走行速度と検出設定距離は、10km/h(道交法小型特殊免許最高速度15km/h未満を想定)の場合で25m(15km/h走行時に基点から5秒前に警告を出す)、30km/h(車輌法 小型特殊車輌最高速度35km/h未満を想定)の場合で50m(35km/h走行時に基点から5秒前に警告を出す)とした。試験は、ある一定の区間で、登録した危険位置（基点）に向かって走行し、アプリ画面で警告を発した位置を確認した。アプリ検出設定距離を25mに設定した時、走行速度13km/hで基点から約19m手前で警告を発した（表1）。アプリ検出設定距離50mの時は、走行速度40km/hで基点から約39m手前で警告を発した（表2）。走行速度が速くなるほど、サンプリング速度の影響から精度が下がっていくと考えられる。検出設定距離については、今後の実証試験によって実際に使用する環境に合わせて検証していく必要がある。

図４　警告検出例

表1　危険位置警告アプリ試験　検出設定距離25m、
設定走行速度10km/h時の警告発生状況

no.	走行速度 (km/h)	アプリ警告発生地点から基点までの距離 (m)	基点まで[1]の時間 (s)
1	12.1	19.4	5.8
2	12.5	21.9	6.3
3	14.5	17.8	4.4
4	12.9	15.6	4.3
5	11.2	19.2	6.2
平均	12.7	18.8	5.4

1) アプリ警告発生地点から基点まで走行した場合の到達時間

表2　危険位置警告アプリ試験　検出設定距離50m、
設定走行速度30km/h時の警告発生状況

no.	走行速度 (km/h)	アプリ警告発生地点から基点までの距離 (m)	基点まで[1]の時間 (s)
1	39.6	40.1	3.7
2	37.1	36.3	3.5
3	36.4	37.5	3.7
4	40.0	41.2	3.7
5	44.4	37.1	3.0
平均	39.5	38.5	3.5

1) アプリ警告発生地点から基点まで走行した場合の到達時間

２．３．緊急事態伝達装置

万一の事故発生時に即時に緊急事態を伝達通報ができ、早期に発見されれば救命率が上がる。

ここでは、スマートフォンの転倒通報アプリを利用した回転灯・警告音緊急事態伝達装置の機能について説明する。

昨年度までの状況としては回転灯・警告音発生装置について実証実験を行い、WiFi による無線到達距離を確認したところ、送受信器間距離が 60m までは中継器無しで通信でき、中継器を介すと最大 217m まで安定した通信が可能であった。

今年度は、ビニールハウス内など障害物がある場所での利用を考え、見通しの良い空間において中継器なしで、500mの通信距離を目標とした。装置は回転灯・ブザー部（パトライト社､RFT-100A-R）、通信装置（通信規格 IEEE802.15.4、モノワイヤレス株式会社製 ToCoStick、TWE-strong）、制御部（マイコン：Arduino Pro Mini 328 3.3V 9MHz）から成る（図５）。マイコンの制御は昨年試作した専用プログラムを改良し、スマートフォンの角度警告・転倒通報アプリと連動させた。

実験の結果、見通しの良い場所においては、中継器を用いずに約 550m の距離で通信が可能であることを確認できた。

図５　回転灯・警告音緊急事態伝達装置

また、緊急事態伝達装置は、トラクタ以外の使用方法も検討しており、例えばスマートフォンを身に付けている作業者が何らかの理由によって倒れてしまった場合、傾きを検知して緊急事態を知らせることなども想定している。そのため、障害物等がある場合の通信試験も行った（図６）。

屋内と屋外で通信するような状況で実際に使用したが、やはり場所によっては壁などの障害物によって信号が減衰するため、通信が不安定になることが分かった。屋内付近であればほ場や畑と違い電源の供給が容易であるため､中継器を複数設置して Zigbee の特徴でもあるメッシュネットワークを構築することで、安定した通信ができることを確認できた。

図６　回転灯・警告音緊急事態伝達装置の通信試験

３．結言

本技術開発は、トラクタ転倒事故に関して、その発生件数を減らすための手法として、スマートフォンで使用するアプリや装置の開発によって下記機能を実現した。

事故を未然に防ぐための予防安全機能として
①角度警告機能
②危険位置警告機能
を実現した。

また、事故発生時の緊急事態の伝達機能として、
③転倒通報機能
④緊急事態伝達機能
を実現した。

今後は実用化に向けて、農業総合センター、農業担い手課で引き続き実証試験を実施予定である。

また、今年度の農業担い手課の実証試験により実際の農家の方にアプリの使い勝手等の意見をヒアリングし、それを参考にアプリ内で使用される文言等の修正や設定角度の修正など軽微なものについては、その都度実施していた。しかし、実際に運用し、普及させていくためには、OS アップデートに対するメンテナンスや機種ごとへの対応など、運用上のサポート体制も今後大きな課題になると考えられる。

参考文献

１）農林水産省生産局農産部技術普及課生産資材対策室．"平成 25 年に発生した農作業死亡事故の概要". http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_kikaika/anzen/pdf/sibou25.pdf (参照 2015-08-10)

２）福島県農業担い手課．"農作業死亡事故発生状況について". http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36021c/hasseijyoukyou.html (参照 2015-08-10).

超小型高性能面実装サージアブソーバーの商品化に伴う試作開発と量産設備試作開発

－希ガスリークテスト装置による封止方法の評価－

Development of micro surface mounting surge absorber and trial manufacturer equipments

- Evaluation of sealing method by noble gas leak test machine -

技術開発部 生産・加工科　本田和夫　三瓶義之
株式会社コンド電機　近藤善一　小林好之　沼田耕治

サージアブソーバーの小型高性能化と表面実装への対応のために、銅製の外装および放電電極とアルミナ製の絶縁基板との封止手法の評価に取り組んだ。接着剤を用いて封止したサージアブソーバーについてリークテスト装置で加熱し、リークの挙動を観察した結果、試料間でリークの有無およびリーク開始温度が異なることが確認できた

Key words: サージアブソーバー、表面実装型、放電

１．緒言

電子部品に対する小型化・高性能化および低コスト化への要求は非常に厳しい。それはサージから機器を保護するサージアブソーバーについても同様である。しかし、放電現象を用いる形式のサージアブソーバーはガラス管にリード線が取り付けられた構造のものが多く、構造上小型化が難しく、また手作業で基板に実装せざるを得なかった。そのため、サージアブソーバーの面実装化への要望は非常に強いものがある。

そのなかで、株式会社コンド電機はサージアブソーバーの素材及び構造の改良に取り組み、表面実装が可能な金属缶製のサージアブソーバーを開発し、平成26年度からはサポイン事業により「超小型高性能面実装サージアブソーバーの商品化に伴う試作開発と量産設備試作開発」に取り組んでいる。

本研究では、株式会社コンド電機からの委託により、サージアブソーバーに用いられる銅製の外装および内部電極とアルミナ製の絶縁基板との封止手法の評価および長期使用の際の信頼性の評価に取り組んだ。

平成 26 年度は封止手法として鉛フリーはんだによる封止についての検討とその評価のためのリークテスト装置の製作を行った。平成 27 年度は接着剤による封止手法の評価として加熱してのリークテスト、および放電試験後のサージアブソーバーの内部の SEM 観察を行った。

２．実験

２．１．接着剤による封止の検討

接着剤を用いた封止は鉛フリーはんだに比べ低温で封止でき、プロセスタイムを短くできる利点がある。しかし、実装の際に接着剤がリフロー時の熱により軟化あるいは分解を起こしてリークが発生する可能性や、長期使用時に接着剤より脱離するガスによりサージアブソーバー内部の放電ガスを汚染してしまう可能性が懸念される。そこでまずリークテスト装置を用いて接着剤により封止を行ったサージアブソーバーを加熱し、その際のリークの挙動について観察を行った。リークテスト装置の構造について図１に示す。

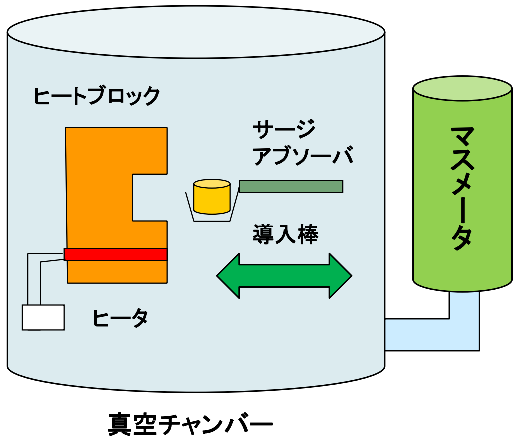


図１　リークテスト装置の構造

封止には㈱スリーボンド製紫外線硬化樹脂 TB3113B を用い、ヒートブロック中にサージアブソーバーを入れた状態で、10℃/min. の昇温速度で 350℃まで加熱を行った。サージアブソーバー内部にはリークの際に、マスメーターにより検出するための標識ガスとしてアルゴンを封入し、アルゴンのマス№に相当する信号が急増した際にリークが起こったと判断した。測定したサンプルそれぞれのアルゴンを示す信号の変化とリーク温度について図２に示す。

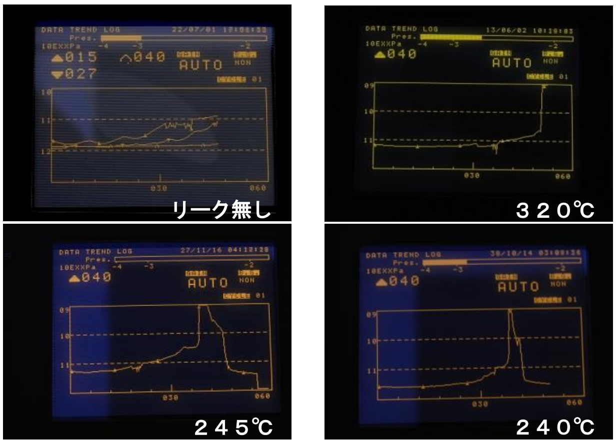


図２　リークテスト試験の結果

図２より、リークの有無およびその際の温度はサンプル間で大きくばらついていることが確認される。このことからリークの発生は接着剤による封止に起因するものではなく、封止状態の良否により引き起こされると考えられる。

２．２．接着剤からの脱離ガスの確認

次いで封止に用いた接着剤からの脱離ガスについてその成分と量について確認を行った。まず接着剤からの脱離ガス成分としてリークの際に着目するマスNo.を決定した。サージアブソーバーを急加熱することで短時間に急激に脱離ガスを発生させ、その際のマスメーターのマスNo.ごとの信号の変化を測定した。急加熱については 350℃に加熱したヒートブロックに常温のサージアブソーバーを挿入させることで行った。急加熱前後のマスメーターの分子量ごとの信号について図３に示す。

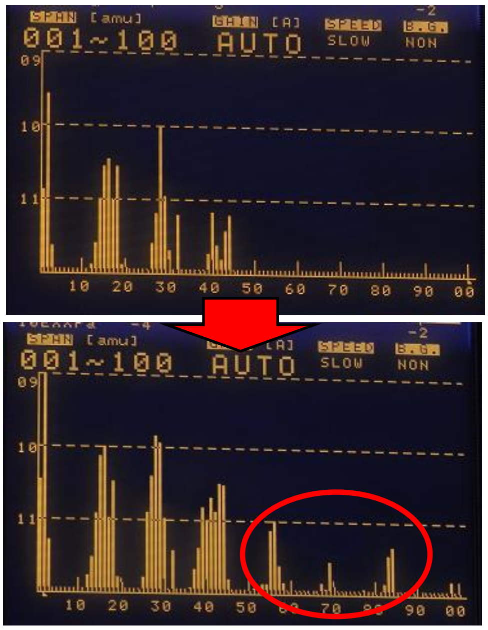


図３　急加熱前後のマスメーター信号

（上：加熱前，下：急加熱後）

図３より、急加熱後のマスメーターの信号では加熱前からある信号が増加していることに加えて新しい信号ピークが発生していることが確認できる。これらのうち、マスNo.が小さい側のピークについては缶外側に吸着していたガス成分の脱離、マスNo.が大きい側の信号については接着剤からの脱離ガスだと考えられる。そこで、マスNo.が大きいピークのなかで特に大きく変化しているマスNo.69, 83, 84 および標識ガスとしてのアルゴンに着目し、先に行ったリークテストと同条件での加熱を行い、マスフィルターの信号量変化を測定した。加熱によりリークが起きなかったサンプルの信号変化を図４の上に、リークしたサンプルの信号変化を図４の下に示す。

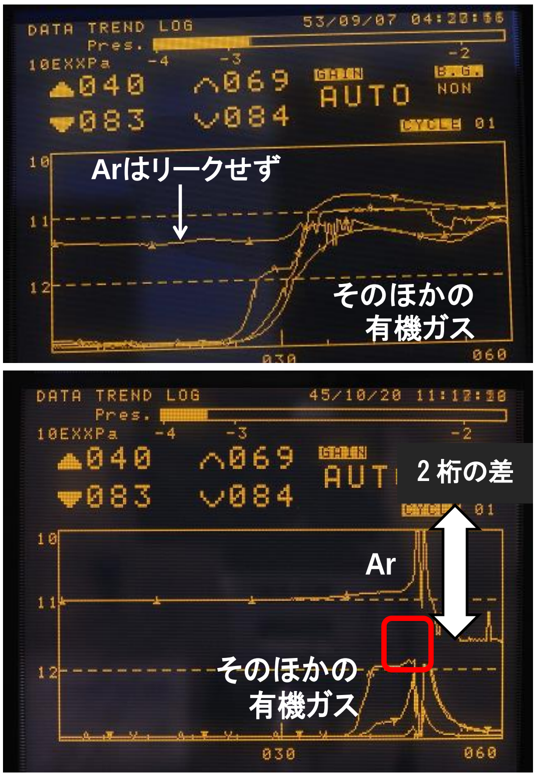


図４　加熱時の接着剤からの脱ガス量変化

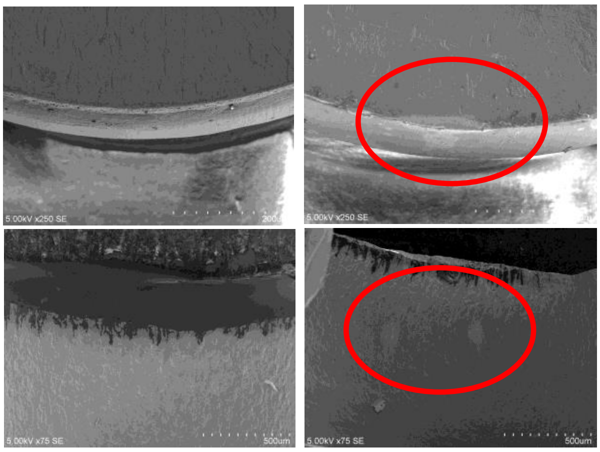
（上：リークなし，下：リークあり）

図４より、リークの有無にかかわらず 175℃付近よりガスが発生し始めることが確認できる。しかし、リークしたサンプルにおいてアルゴンの信号が急増した314℃時点のマスNo.69, 83, 84 の信号は同時にリークしたアルゴンの信号に比べその量、変化量とも非常に小さいことが確認できる。このことから、サージアブソーバー内部においては接着剤から発生するガスの量はもともと封入されている放電ガスに比べて非常に少ないと考えられる。

２．３．サージアブソーバーの内部の観察

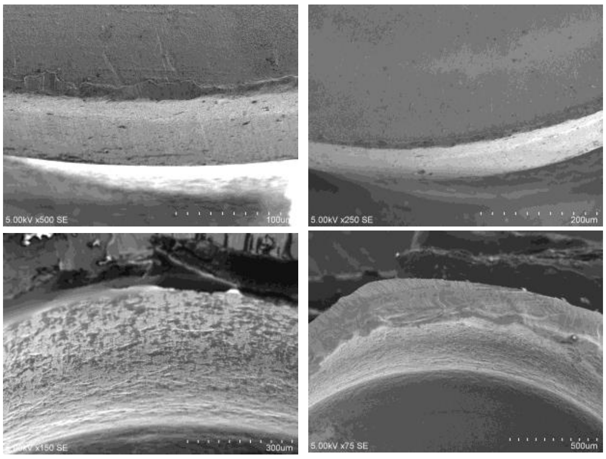
接着剤により封止を行ったサージアブソーバーでは、

接着剤の塗布時に未硬化の接着剤が缶内部へ侵入することや長期使用時に脱離したガスが再凝結して汚染されることが懸念される。従来のサージアブソーバーでは外装がガラスのためそれらについては問題を目視で確認することができたが、株式会社コンド電機が開発した面実装型サージアブソーバーは、外装素材をガラスから金属へと変更したために目視での確認は不可能である。また、長期使用時には缶及び放電電極に用いられている銅が酸化して異常放電などの原因となる可能性もある。そこで、未使用および長期使用を模した放電試験後のサージアブソーバーについて缶内面および放電電極の SEM 観察を行った。サージアブソーバーの缶および放電電極には銅素地のものと、スズめっきによる表面処理を行ったものを用いた。放電試験は、2.2ｋV, 1mA の条件で 60 秒間、計 2000 回の放電を行い、その前後の試料について缶内面及び相対する放電電極の SEM 観察を行った。表面処理なしのサージアブソーバーの SEM 観察像について図５に、スズめっきを行ったサージアブソーバーについては図６に示す。



未使用　　　　　　　　　放電試験後

図５　放電試験後のサージアブソーバーの内部の SEM 観察像（表面処理なし　上：放電電極，下：缶内面）



未使用　　　　　　　　　放電試験後

図６　放電試験後のサージアブソーバーの内部の SEM 観察像（スズめっきあり　上：放電電極，下：缶内面）

図５および図６より、未使用および放電試験後のサージアブソーバー共に缶内部への接着剤の侵入及び脱離ガスの凝結などによる内部の汚染は観察することができなかった。また、表面処理を行わなかったものでは放電後の缶内面及び放電電極の SEM 観察像に放電痕と思われる箇所がみられたが、スズめっきを行ったものでは観察することができなかった。これらのことから、接着剤を用いたことによって内部が汚染される可能性は低いことが確認された。また、缶及び電極にスズめっきを施すことで放電痕の発生を抑えることができることが確認できた。

３．結言

サージアブソーバーの封止手法として接着剤を用いることについてリークテスト装置による評価および SEM による放電試験前後の内部観察を行い。次のような知見を得ることができた。

① 接着剤の選定及び封止条件の最適化により接着剤による封止は実装に耐えうる可能性がある。
② 接着剤からの発生する脱離ガスは非常に微量で放電ガスの希釈や内部を汚染する可能性は低い。
③ 缶及び放電電極にスズめっきを施すことは長期使用に際して放電痕の発生抑制に効果的である。

今後は封止条件によるリーク温度の確認、ガス種、ガス圧による放電電圧の制御およびサージアブソーバーとバリスタを組み合わせた素子の評価を行う予定である。

アルミ合金鋳物における潜在的な欠陥発生予測のための組織解析技術の確立

Establishment of microstructure analysis method to predict the risk of casting defect in aluminum alloy casting

技術開発部 工業材料科　光井啓　鈴木雅千　齋藤宏　小柴佳子

本研究では、溶湯成分の定量分析に一般的に用いられているカントバック試料における凝固組織の評価を行い、溶湯成分及び性状の差による組織変化を捉えることが可能であることを確認した。溶解条件及び溶湯成分とともに凝固組織の特徴を実製品における不良発生状況に関連付けてデータベース化しデータ解析を行うことで、現生産ロットが潜在的にもつ不良発生リスクを予測することが可能となり、的確な不良対策を迅速に行う手段として有効であると考えられる。

Key words: アルミ合金鋳物、凝固組織解析、溶湯管理法、主成分回帰分析

１．緒言

アルミニウム合金鋳物はその製法上、内部欠陥が不可避的に発生する。そのため微量成分により組織制御することで欠陥を小さくしたり影響を軽減したりする工夫がなされている。しかし、それらの成分管理値は、各社独自の経験的で且つ生産工程に支障のない範囲で設定されたものであるがゆえ、ある製品では欠陥がほとんど発生しないのに違う製品では発生率が増加してしまう、あるいは他の要因が関連すると一気に不良率が上昇してしまうなど、潜在的に欠陥を引き起しやすい成分範囲も含まれていることが往々にしてある。そのため、生産工程中で潜在的な不良発生リスクを事前に把握することができれば、溶湯の再処理や該当ロットに対する検査を強化するなど、その場対策が可能となる。

以上を背景に、本研究では、スパーク放電発光分光分析（カントバック）用試料に着目した。カントバックは溶湯成分を管理する手法として一般的で、溶解ロットごとに必ず実施される。また、装置メーカーによらず試料形状もほぼ同じである。このカントバック試料の成分と組織、さらには過去の生産品の欠陥発生状況を関連付けることにより、低コスト・短時間で組織検査が可能となる。また、重力鋳造・低圧鋳造・ダイカストなど鋳物の製法の違いを考慮することなく組織データを一般化することも可能となる。

本研究では、カントバック試料における組織変化を調査し、溶湯成分と凝固組織の特徴を関連付けてデータベース化することにより、不良発生を的確に予測する組織評価手法の確立を目的とした。

２．実験方法

２．１．試験片の作製及び光学顕微鏡観察

カントバック（正式にはスパーク放電発光分光分析）は溶湯成分を管理する手法として一般的であり、その試料は図１に示すように分析に使用する直径 50～80㎜ 程度の円盤と分析面を平坦に切削するときのチャッキングに使用する直径 10～20㎜ 程度の円柱を組み合わせたような形状をしていることが多い。実際には図１を逆さにしたような形状の鋳型に円柱部から溶湯を流し込む。円盤部はかなりの急冷凝固となるが、円柱部は比較的遅い凝固速度になると考えられる。

そこで、検鏡面は分析面から 15㎜ の部分とした。この近辺は中心引け巣が出にくく凝固速度も比較的緩やかな場所で、組織解析には比較的利用しやすい場所と考えられる。検鏡面を鏡面研磨した後、その中心部の光学顕微鏡観察を行った。

なお、供試材として、県内のアルミ合金鋳物メーカー（数社）において実際の製造工程で作製されたものから、任意のタイミングで抽出し譲り受けたものを使用した。

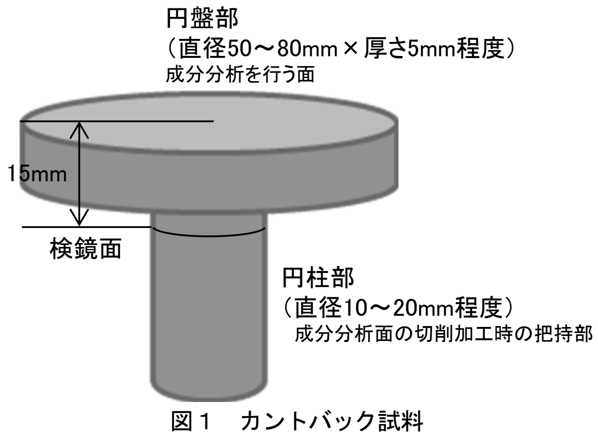


図１　カントバック試料

２．２．ミクロ組織解析

光学顕微鏡で撮影した凝固組織を特徴づけるため、①デンドライト２次アームサイズ、②デンドライトの面積率、③マイクロポロシティの面積率に着目し画像処理による数値化を行った。

アルミ合金鋳物はデンドライト（母相アルミ）、析出相、共晶からなる混相組織である。凝固組織を特徴づける指標として旧来よりデンドライト組織の２次アーム間隔（DAS2）が知られている。DAS2 はその組織の凝固開始温度や冷却速度に依存して変化し、製品の強度特性に影響を及ぼすとされている。DAS2 を求める方法はいくつか提案されているが、本研究では観察される２次アームの直径（２次アームサイズ）から DAS2 を求めた。

引張強度に関しては共晶組織の面積率も大きく関係する。そのため、本来であれば共晶組織の面積率を計測したいが、初晶やポロシティを含む実際の組織において、画像処理により共晶組織の面積率を求めるのは困難なため、光学顕微鏡では最も明るく観察されるデンドライトの面積率として評価することにした。

さらに、後述するようにカントバック試料においてもマイクロポロシティが黒点として観察された。マイクロポロシティの存在は実製品の欠陥発生リスクに直結するものであるため、その面積率も求めた。

３．実験結果

３．１．代表的な光学顕微鏡組織

図２に製造ロットの異なる４つの AC2B 合金における光学顕微鏡観察結果を示す。いずれも所定の濃度基準を満たす溶湯より得られた凝固組織であるが、その範囲内においてもミクロ組織の性状が異なることがわかる。

また、図２に示すようなポロシティが確認される試料もあった。検鏡面は凝固速度が比較的遅い箇所であるが、中心引け巣が発生しない箇所を選択しているため、観察されたポロシティは溶湯中に溶け込んだガスが凝固過程で現れたガス欠陥であると推測される。このように溶湯の性状によって発生するポロシティを観察することは、製品欠陥を予測する上で非常に有用な情報になると考えられる。

３．２．DAS2 と２次アームサイズの相関

古くからデンドライト組織の２次アーム間隔(DAS2)や２次アームサイズは、鋳塊や鋳物の凝固時の冷却速度、凝固速度、凝固時間及び機械的性質と関係づけて議論されてきた。工業的には、冷却速度分布の推定、アーム間隙に晶出する晶出相（共晶相，化合物相など）の分布の粗さを表わす示度、凝固過程の把握、さらにそれらを総合して鋳塊や鋳物の品質の評価などに用いられている。DAS2 の測定方法は、軽金属学会鋳造・凝固部会により２次枝法及び交線法が提案されている[1]。このうち２次枝法は整列した２次アームの直径は DAS2 に等しいという観点から求める方法で、画像処理を用いてデンドライト２次アームサイズを求めようとしている本研究とほぼ同様の手法と考えてよい。

本研究で求めた２次アームサイズと交線法により求めた DAS2 の相関を図４に示す。画像処理により求められた２次アームサイズはデンドライトの主軸の一部を含むため交線法により求められた DAS2 よりやや大きく評価されているものの比較的良い相関を示している。２次アームサイズを求める場合、全てのデータの平均値（図４中の「円相当径」）を用いると非常にバラツキ

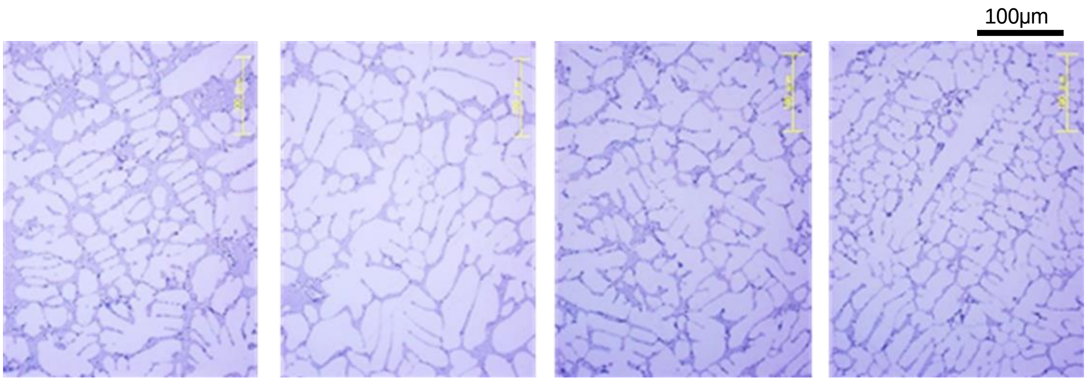


図２　断面ミクロ組織（円柱部（分析面から 15㎜の箇所）の中心）

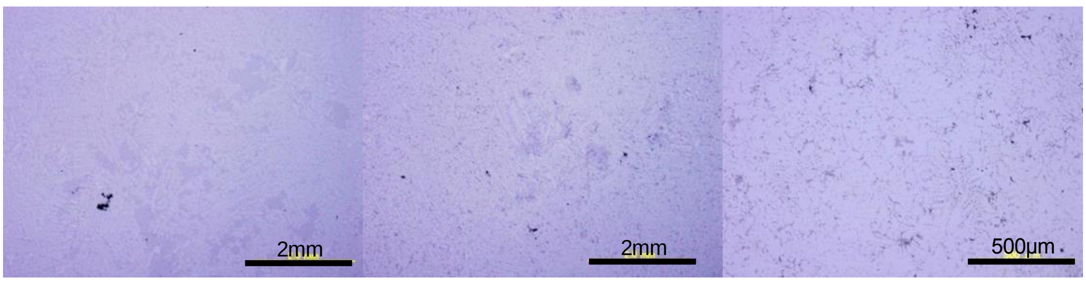


図３　溶湯の性状によって発生したと考えられるポロシティの観察例

が大きくなる。これは、1次アームサイズ（100μmを超えるもの）あるいは共晶組織の一部（5μm未満のもの）が含まれることに起因する。5～100μm の閾値を設けることでバラツキを小さくできる。また、ヒストグラムの中央値 d50%も比較的バラツキが少なく相関性も得られている。

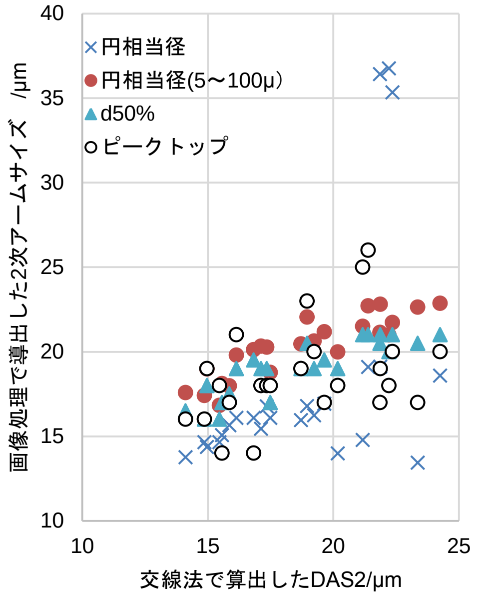


図４　２次アームサイズと DAS2 の相関

４．統計処理による溶湯管理法の提案

４．１．Excel を用いた直感的な溶湯管理法

カントバック試料から定量分析値と本研究で示した凝固組織の特徴（組織因子）が情報として得られる。この他、溶湯温度や出湯時間等多くのパラメータが存在するが、これらを一続きのデータとしてまとめ、実製品における不良発生状況と組み合わせて蓄積していくことで、溶湯管理に有効なデータベースとすることができると考えられる。本項では、凝固組織データベースを活用した溶湯管理法について、Excel 及び主成分回帰分析法を用いた２つの方法を提案する。

本研究で得られた組織観察結果はＮ数が少なく解析方法の説明には適当でないため、不良率及び要素 A～J に対し一部相関を持たせた 0～100 の乱数値の組合せを 200 通り作成した模擬データを用いて説明する。実際には要素 A～J がそれぞれ定量分析値や組織因子、溶湯温度等に相当することになる。Excel 等の表計算ソフトを用いてグラフ化すると、図５(a)のようになる。ある一つのデータに着目すれば、赤太線のような１本の折れ線グラフとなる。

この時点では全ての要素が羅列されているだけであるが、Excel のフィルター機能により不良率を 2%以内に限定してグラフ表示させると図５(b)に示すようになる。図５(b)においては要素 C、D、G、J の値がある

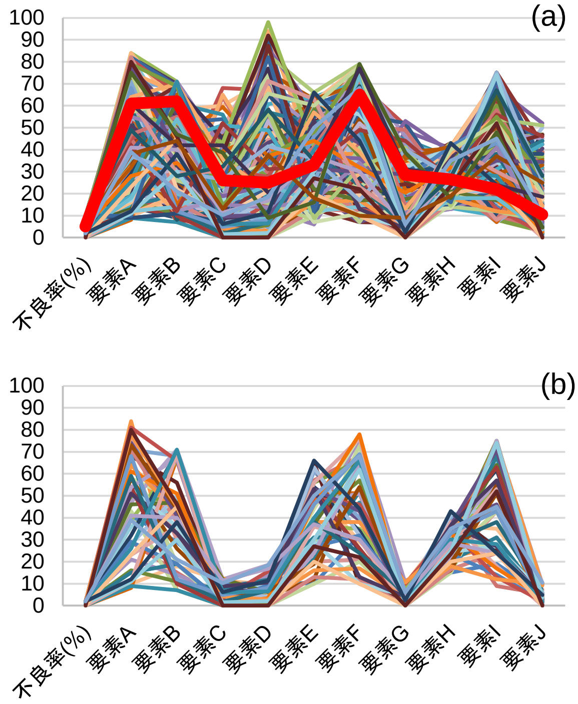


図５　データベースを用いた溶湯管理法(模式図).
(a)全データ表示、(b)不良率 2%以下

領域に限定されることがわかる。すなわち、これらの要素が不良率に対して大きな影響を及ぼし、溶湯管理として重要なファクターであると言える。一方、これらの要素以外が多少変動しても不良率に対してほとんど影響がないという見方もできる。

４．２．主成分回帰分析法を用いた溶湯管理法

主成分回帰分析（PCR：Principal Component Regression）法とは、定量的データが多数あり、それらが互いに相関も持つために目的とする差異が現れないとき、できるだけ少ない情報の損失で、互いに相関のない少数の合成変数（主成分）に縮約して資料間の差異をはっきりさせるデータ分析手法である。PCR 法は Excel で行うことも可能であるが、市販ソフトあるいはフリーウェアもあるため、これらを使用するとよい。PCR 法により、図５(a)のデータの不良率(%)に対する主成分を求めた結果を図６に示す。図６(a)は求められた主成分の順にその寄与を積算して図示したもので、合計が 100%に近いほど情報損失が少ないことを意味している。本研究で設定した模擬データは、乱数を用いたため、第１主成分（PC-1）で 70%強を説明できるが、PC-2 以降は寄与率が小さく、80%程度で頭打ちとなっている。このうち寄与の大きい PC-1 及び PC-2 を用いて予測される不良率（Y 予測値）は、図６(b)に示すように実際の不良率（本研究で模擬的に与えた不良率：Y 基準値）と比較的良い相関があることから、元々10 個の要素であったものを２つの主成分に縮約できるといえる。ここで、要素 i（A～J）のデータを M_i、

不良率予測の回帰係数を q_i（表１）とすると、Y 予測値は次式により表される。

$$\text{Y 予測値} = \sum_i q_i M_i = q_A M_A + q_B M_B + \cdots + q_0$$

上式において q_i の絶対値が大きいほど、その要素の不良率への寄与が大きいことを意味している。表１において絶対値が大きいのは要素 C、D、G、J であり、前項で述べた結果と良く一致している。

また、主成分を求める過程で各要素間の相関を確認している。このとき、図７に示すように要素 E と要素 H が非常に良い相関を示していることが発見できる。本研究では、図５のデータを作成する際に意図的に要素 H を要素 E の関数として与えたため当然の結果であるが、実際の解析においても、このように良い相関を持つ要素については主成分を求める前に排除することができるので、管理要素数を削減することで効率の良い溶湯管理が可能となる。(表１において要素 H の結果がないのは、そのためである)

５． 結言

本研究では、溶湯成分と凝固組織の特徴を組合せてデータベース化することにより、不良発生を的確に予測する手法の確立を目的として、溶湯成分の定量分析に一般的に用いられているカントバック試料における凝固組織の評価を行った。その結果、同材質においても溶湯成分及び性状の微小な差による組織変化を捉えられることが明らかとなり、不良発生リスクを予測する上で有用な情報が得られると考えられる。本手法は鋳造方法によらない注湯直前の溶湯の性状を把握するものであり、一般化したデータベースの構築が可能な評価方法であると考えられる。

また、データベースの利用方法として Excel と主成分回帰分析によるデータ解析手法を提案した。本研究で行ったように、溶解条件及び溶湯成分とともに凝固組織の特徴を実製品における不良発生状況に関連付けてデータベース化しデータ解析を行うことで、現生産ロットが潜在的にもつ不良発生リスクを予測することが可能となり、的確な不良対策を迅速に行う手段として有効であると考えられる。

謝辞

本研究は東北経済産業局平成 27 年度自動車軽量化に資するものづくり基盤技術データベース構築事業[2]で行った研究成果である。

参考文献

１）軽金属学会 鋳造・凝固部会. "デンドライトアームスペーシングの測定手順". 軽金属. 1988, Vol.38(1), p.54-60.

２）"自動車産業振興参考資料等". 東北経済産業局ホームページ. http://www.tohoku.meti.go.jp/s_car/index_car.html, (参照 2016-05-06).

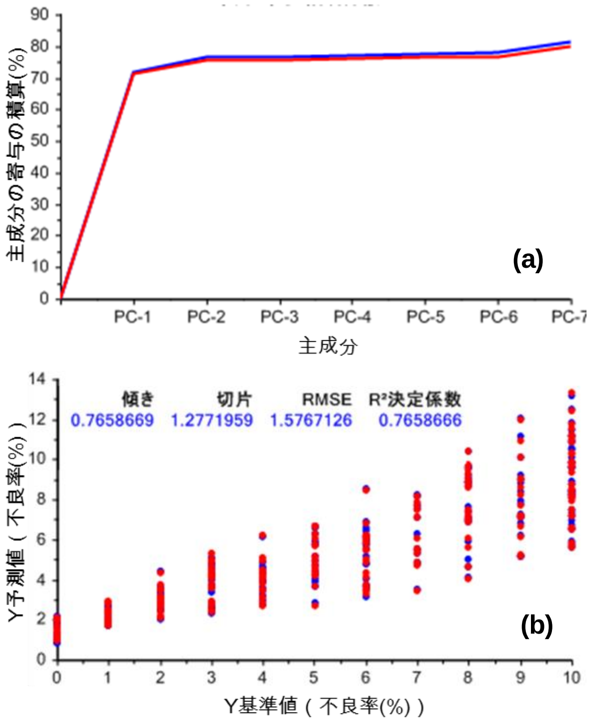


図６　PCR 法を用いた溶湯管理法（解析例）
(a) 導出された主成分の寄与の積算、(b) PC-1、PC-2 を用いた不良率の予測値と実測値の相関

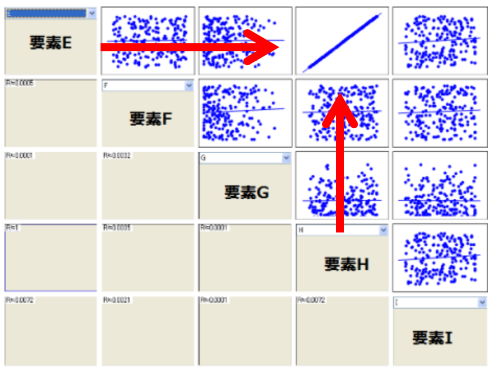


図７　PCR 法を用いた溶湯管理法（解析例）
要素間の相関の確認作業図

表１　図 5(a)のデータを用いた PCR 解析の結果

要素, i	A	B	C	D	E	F	G	I	J	切片, q_0
不良率予測の回帰係数, q_i	0.0033	0.0180	0.0357	0.0759	0.0034	0.0028	0.0322	0.0072	0.0335	−0.0353

縫合溶解糸を用いた縫製品の開発と低コスト分解処理システムの構築

Development of heat-water soluble sewing thread
and construction of low-cost sewn clothes disassembling system

福島技術支援センター　繊維・材料科　尾形直秀　伊藤哲司　高橋幹雄
東和株式会社　佐藤恵一　藤井秀明
株式会社シラカワ二本松工場　菅野幸二　近藤隆　齋藤勝男
株式会社クラレ　豊田恭郎　山口俊朗

低コストでリサイクルできる縫製品を開発するため、高温水で溶解する糸を原料とした
ミシン糸とそれを染色加工する技術を開発し、縫製品の試作と着用試験を行った。
また、縫製品は高温水で容易に各パーツに分解できることを確認した。
Key words: 水溶性ビニロン、染色加工、縫製品、リサイクル

１．緒言

１．１．研究背景

平成１２年度に施行された循環型社会形成推進基本法に基づき、各製造業界はリサイクルを念頭においた商品の設計と開発を進めている。繊維製造業において、繊維製品の廃棄量は年間約 171 万トン（平成２１年実績・経産省データ）であり、そのうち衣料製品が 95 万トンを占めている。しかし、リサイクルやリユース、リペアされているのは 38 万トン（22%）で、残りは埋め立て・焼却処分されている。衣類はリユースされるものを除いては廃棄されており、その量も徐々に増える傾向にある。この他にも、寝具類を含めた縫製品の廃棄量は依然として膨大であり、人口増加による世界的な資源の奪い合いという現状を鑑みても他の工業製品同様に「リサイクルの技術革新」が重要となっている。

縫製品をリサイクルするためには素材毎に分別が必要である。例えばスーツの場合、表地はウール、裏地はポリエステル、ナイロン、袋地は綿・ポリエステル、芯地は麻など、様々な繊維で構成されている。しかし、人力で縫い糸を切断する分解では、スーツ一着あたりおよそ８時間かかり、またバッチ処理のように大量処理することは不可能であるため、高コストとなり、リサイクルが進んでいない大きな要因となっている。

そこで、縫製品を容易に分解するため「縫い糸」に着目し、日常生活では溶けないが、特殊な処理を施せば簡単に溶ける縫い糸（溶解糸）を開発することで、短時間での分解が可能となり、その後の素材の分別作業を容易にし、リサイクルが事業として実現可能であると考えた（図１）。

この溶解糸の原料として高温水で溶解し、環境への負荷も小さい、「PVA 繊維（クラロン K-II）」を用いることで、これまでどおりのミシンでの縫製が可能で、

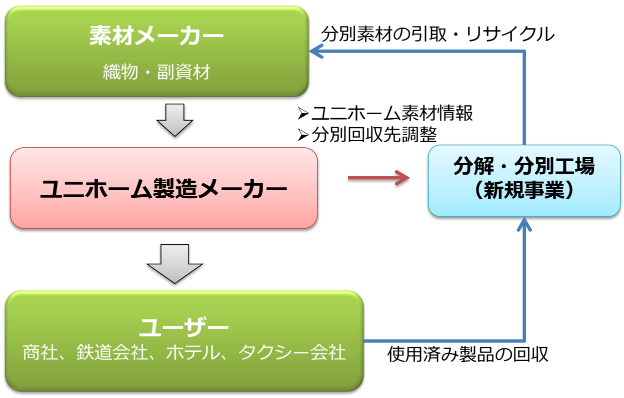


図１ 目指すリサイクルシステム

リサイクル時には分解が容易な「縫製品」の開発が期待できる。

実際に PVA 繊維を使用した縫合糸（白色）でスーツを試作し、着用試験やドライクリーニング試験を行った結果、綻びやパッカリングは発生せず、その後高温染色機での分解試験を行い、パーツ毎に分解することを確認した。

今後は実用化に向けて、様々な色に染色した「縫合糸」が必要となるが、水溶性の素材であるため、一般的な高温水を使用する方法での染色は不可能である。

そこで、平成２４年度の国立研究開発法人科学技術振興機構の復興促進プログラム可能性試験「低コストでリサイクルが可能な縫製品の開発」において PVA 繊維を原料とした縫合糸とその染色加工について研究を行った。その結果、実用化に向けた新たな課題が発生したため、平成２５年度国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラム　ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）に応募し、継続的に研究開発を行った。

本事業は平成２６年度で終了の予定であったが、研究開発加速期間が認められ、平成２７年度も継続して研究を行った[1)]。

１．２．研究課題

平成２６年度の研究では以下の結果が得られた。

① PVA 繊維を原料とした縫製用溶解糸を開発した。
② 縫製用溶解糸を物性値の低下なく染色する技術を開発した。その結果、伸度、湿摩擦堅牢度は一般的なミシン糸と同等の数値となった。
③ 耐久性の検証のため、縫製用溶解糸を用いた試作品の作製と着用試験を行い、課題点を抽出した。

そこで抽出された課題は以下のとおりである。

① ポケットマシーンなどの特殊ミシンでの使用時に糸切れが発生する。構造強化、潤滑などの対策が必要である。
② 量産に対応できる量の染色装置が必要である。
③ 平成２６年度と異なる素材､製品での縫製試験、試作を行っていく必要がある。
④ 着用試験でのサンプル数の増加、期間の長期化及び､より実用強度の検証を高める必要がある。

今年度はこれらの課題の解決のため、研究開発を行った。

２．研究項目と分担

研究体制を図２に示す。

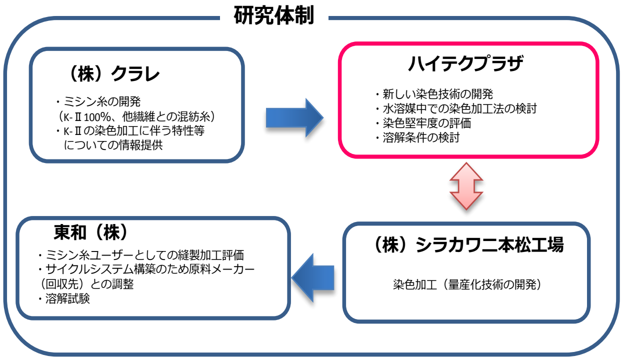


図２ 研究体制

２．１．縫製用溶解糸の開発と評価

①開発目標

縫製時の糸切れ､着用時の綻びが生じない強度を有する縫製用溶解糸の製造と縫製現場での縫い評価を行う。

②担当機関

株式会社クラレ、東和株式会社

２．２．染色技術の開発

①開発目標

市販紡績縫合糸と同程度の強度特性（強度：1,000gf 以上、伸度：18%以上、湿擦擦堅牢度４級以上）と可縫製を有し、1kg 程度の処理が可能な染色方法の開発を行う。

②担当機関

株式会社シラカワ二本松工場
福島県ハイテクプラザ福島技術支援センター

２．３．縫製試験

①開発目標

上記の染色済み縫合糸を用いて生産ラインで縫製品を試作し､特殊ミシンでの縫製で糸切れの発生しないことを検証すること。

②担当機関

東和株式会社
福島県ハイテクプラザ福島技術支援センター

２．４．着用試験

①開発目標

通常着用時に綻び等の不具合が発生せず､使用後に熱水（約 80℃）により分解分別ができること。

②担当機関

東和株式会社
福島県ハイテクプラザ福島技術支援センター

３．結果と考察

３．１．縫製用溶解糸の開発と評価

平成２６年度は 50 番手､80 番手とも３本合わせで作製したが、特殊ミシンでの糸切れに対応するため、それぞれ１本増やした縫製用溶解糸を作製し、強度の向上を図った。4 本合わせにすることにより、強伸度とも向上した。表１に撚糸条件と強伸度測定結果を示す。

表１ 試作したミシン糸

	No.	繊度	撚り数（上撚り）	見掛繊度（d）	強度（gf）	平均伸度（%）
26年度	1	50/4	488T/m	470	1,790	12.8
	2	80/4	700T/m	292	1,070	11.5
	3	50/4	500T/m	407	1,900	11.0
	4	80/4	700T/m	277	1,250	11.1
27年度	1	50/3	413T/m	317	1,230	9.3
	2	50/3	506T/m	320	1,170	9.3
	3	50/3	413T/m	320	1,060	9.7
	4	80/3	506T/m	198	730	8.6
	5	80/3	589T/m	204	680	8.7
	6	80/3	728T/m	188	760	9.4

表２ ワックス試験評価結果

縫いテスト機種	未 加 工	液体ワックス	固形ワックス
	評 価	評 価	評 価
本縫いミシン	良 好	良 好	良 好
ロックミシン	良 好	良 好	良 好
環縫いミシン	糸切れ	糸切れ	糸切れ
カンドメミシン	糸切れ	良 好	良 好
穴かがりミシン	糸切れ	良 好	良 好
ルイスミシン	糸切れ	良 好	良 好
ポケットマシーン	糸切れ	糸切れ	糸切れ

また、平成２６年度に作成した３本合わせ 50 番手の糸にワックスを塗布し、ミシンでの縫製試験を行った。

ワックスは固形と液体を使い比較したが、どちらも糸切れの発生した５種類の特殊ミシンのうち３種類の評価が良好となり効果に差はなかった（表２）。

３．２．染色技術の開発

昨年までの染色条件を基に試作染色を実施した。染色した糸の物性データを表３に示す。色は着用試験で作製する作業服のデザインから、グレーとモスグリーンとした。１ kg程度の染色が可能となり、染色糸は強伸度、湿摩擦堅牢度も目標値をクリアできた。

表３ 染色糸の物性データ

色	繊 度	見掛繊度 (d)	強度 (gf)	伸度 (%)	湿摩擦堅牢度
グレー	80/3	234	630	16.3	5
	80/4	304	880	21.3	5
	50/3	349	1,090	19.0	5
	50/4	485	1,490	22.0	5
モスグリーン	80/3	250	690	17.1	4
	80/4	327	870	20.6	4-5
	50/3	390	1,100	19.0	4-5
	50/4	502	1,490	22.2	4

３．３．縫製試験

染色した糸を使った縫製品の縫目の強さを JISL1093 繊維製品の縫目強さ試験方法 4.a)A 法（グラブ法）(A-1 法 縫目水平法)に準拠(つかみ幅 6 cm)で試験を行った。結果を表４に示す。50 番手(50/3)については、市販品と比較したが、同等の数値となっている。また、50 番手 (50/3) の試験片を 70、80、90℃の湯温に１時間浸漬後、同じ試験を行った。70℃、80℃では、浸漬する前に比べ強度、伸度とも低下しなかった。90℃は未加工糸の溶解温度を超えているが、外観上少し細くなり溶解しなかった（図３）。

表４ 縫目強さ試験結果

繊 度	強 度 (kgf)	伸 度 (%)
50/3	43.0	15.1
50/4	61.5	22.5
80/3	33.5	14.3
80/4	42.2	19.6
市販品（50 番）	43.7	15.8


縫製後


70℃ １時間


80℃ １時間浸漬


90℃ １時間浸漬

図３ 湯温浸漬後の縫目

図４ 作業服のデザイン画

また、図４に示す作業服（ブルゾン、ベスト、パンツ）を 30 着生産した。実際の量産ラインを活用して縫製加工を行ったが、一部の特殊ミシンで糸切れが発生してしまった。今後、染色糸のワックス塗布の条件を見直し糸切れの解消を目指す。

３．４．着用試験

縫製試験で試作した作業服を１か月程度、洗濯も含めた通常の使用条件の下、着用試験を行ったが糸切れや解れなどの不具合は発生しなかった。

熱水での分解試験は、水温を 90℃と 95℃で行った。90℃では縫製用溶解糸の一部が残っていたが、手で引きちぎることができた。95℃では 90℃より分解が進み、糸の残留はあるが、パーツ毎の分解に手間はかからなかった。図５に分解直後の作業ズボンを示す。

90℃で分解処理　　95℃で分解処理

図５　分解処理後の作業ズボン

４．結言

縫製用溶解糸は、ミシン糸として目標とした物性値をクリアすることができ、着用試験でも綻びなどの問題が発生することはなかった。また、着用後の分解試験では、当初想定していたよりも溶解温度が高温となったが、圧力容器を必要としない 100℃以下の温水で容易にパーツ毎に分解できることを確認できた。

今後、実用化に繋げるため以下の項目について検討し、世界初の繊維リサイクル技術の確立と発信を行い、日本の繊維産業の復活に貢献したい。

① 開発した縫製用溶解糸が、ミシンや素材を選ばず縫製出来ることが望まれる。そこで制服・スーツ・作業服・防寒衣等、様々な服種の縫製試験と着用試験、分解試験を行う。
② 衣料品以外の分野、たとえば羽毛及び羊毛等の寝具類も対象として本技術の適用範囲の拡大も併せて進める。
③ 繊維製品のリサイクルシステムの構築については、公的な機関を含めた協議会などを立ち上げることで、回収システムをつくる。

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラム　ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）で実施した研究である。

参考文献

１）尾形直秀, 伊藤哲司ほか. "縫合溶解糸を用いた縫製品の開発と低コスト分解処理システムの構築". 平成 26 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 2014, p.81.

絹タンパクの改質加工による高機能化シルク織物の開発

Development of high functionality silk fabrics by reforming of silk protein

福島技術支援センター 繊維・材料科　伊藤哲司
齋栄織物株式会社　齋藤泰行　齋藤栄太
東北撚糸株式会社　金井史郎

絹繊維に物理的な加工と化学的な加工を組み合わせ、伸縮性を付与する技術の開発を行い、絹素材の問題点であった「伸縮性」や洗濯後の「シワ」を解消した絹織物を提案するとともに、絹需要の拡大に向けた取り組みについて研究を行った。

Key words: 絹、生糸、改質加工、撚糸加工

１．緒言

１．１．研究背景

福島県は江戸時代から養蚕業が盛んで国内有数の生糸生産量を誇り、それを原料とした織物産業が川俣町を中心とした地域に集積し、国内有数のスカーフ素材、和装裏地の産地として発展してきた。しかし近年は、絹織物市場の縮小等により生産量が著しく低下している。さらに東日本大震災の福島第一原子力発電所事故による風評被害の影響も加わり、売り上げが減少し続けている。

そこで、新たな絹素材を開発することで、これまでの和装やドレスなどのフォーマルな用途から、ブラウスやシャツなど、よりカジュアルな商品展開に繋げ、絹糸と絹織物の需要拡大を図ることにした。

また､本研究は平成 25 年度国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラムハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）に採択され、平成 26 年度で終了の予定であったが､研究開発加速期間が認められ、平成２７年度も継続して研究を行った。

１．２．研究目的

天然繊維で唯一の長繊維である絹は、光沢感や吸湿性、保温性、清涼感及び肌触り等、他の繊維に比べて非常に優れており、和装など高級服飾素材として市場に認知されている。しかし、ファッションの多様化や合成繊維等の他素材の高機能化により、絹織物の市場規模は縮小の一途である。そこで､「洗濯に注意が必要で取り扱いが難しい」「ストレッチ性がなく､洋装素材では着心地が良くない」「シワになりやすく着用後のケアが面倒」といった絹素材の問題を解決することで、新たな洋装分野での市場開拓を図ることとした。

これまで福島県ハイテクプラザでは絹素材の問題を解決するために、絹糸に恒久的な伸縮性を付与する技術を開発した（特許 2014-149653「特捲縮性を有する絹糸の製造方法および絹織物の製造方法」)。本研究ではこの技術を利用し、「伸縮性」や「シワ」など絹素材の欠点を改善した絹織物を開発することで､「取扱いの難しさ」を解消した絹製品を市場に提案し、絹需要の拡大を図る。

２．研究方法と分担

２．１．研究方法

絹繊維に伸縮性を付与する方法としては、撚糸加工などの物理的な加工方法があるが、伸縮性を上げるため撚り数を多くすると、光沢感が無くなり風合いも固くなってしまう。また、熱可塑性を有するナイロンやポリエステルなどの合成繊維の場合、熱処理により高い伸縮性を付与できるが、熱可塑性がない絹繊維には応用できない。

他の方法としては、ウレタン糸等の伸縮性を持つ素材と組み合わせて撚糸加工を行うことで、伸縮性を与えることができる。しかし、異素材が混ざることでの市場価値の低下や、絹本来の風合いの低下が問題となる。

福島県ハイテクプラザでは絹糸に改質加工と撚糸加工を組み合わせて行うことで、絹タンパク質の構造を変化させ、繊維に捲縮性を付与し、恒久的な伸縮性をもつ絹糸を開発した（特許 2014-149653「捲縮性を有する絹糸の製造方法および絹織物の製造方法」)。伸縮性を発現させる改質剤は、ウォッシャブルシルク等に用いられている加工剤を使用しているため、伸縮性と洗濯時の防縮性などを同時に付与できると考えられる。

繊維製品が収縮する原因の一つは、糸の吸湿性、吸水性によるものである。これは、糸が水分を吸収し膨潤することにより断面積が増加し、その後水分が蒸発すると断面積が減少し、糸（織物）間に隙間が生じ、収縮が起きることが知られている。特に吸湿性、吸水性の大きい天然繊維やレーヨンなどに多発する。これを防ぐには二つの方法がある。一つは

吸湿、吸水率を少なくし、水分による断面積の変動を無くすことであるが、着用時の蒸れや冷たさの原因となる。もう一つは繊維に伸縮性を付与させることで、収縮した部分を自己回復させることである。

また、繊維のフィブリル化による白化を防ぐ技術や防縮性については、絹の様々な改質加工によりウォッシャブルシルクの研究がなされ、効果の検証も発表されている[1) 2)]。

つまり、改質加工を行った絹素材に伸縮性を付与することにより、洗濯等による収縮がなく取扱いが容易な絹織物を開発できる。

図１に加工工程について示す。改質糸は、①改質加工（改質剤の浸漬）②加撚加工③熱処理④解撚加工の順で作製した。この改質糸を用いて製織、精練、染色を行い絹織物とした。

改質条件の一例として、ナガセケムテックス(株)社製デナコール EX-313 を 20wt％と中性塩水溶液5wt%溶液に 24 時間浸漬させた後、加撚加工、熱処理加工、解撚加工を行い改質糸とした。

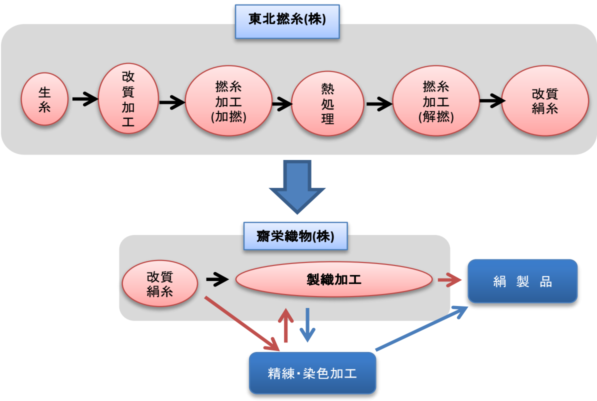


図１ 加工工程

平成 27 年度は、改質剤を環境負荷の少ない改質剤を用いて改質糸の試験を行うとともに、昨年度、課題となった染めムラの解消を目指し、各展示会へサンプルを出展し、事業化を進めた。また、絹織物のストレッチ性の有無が、着用者やデザインに与える影響について検討を行った。

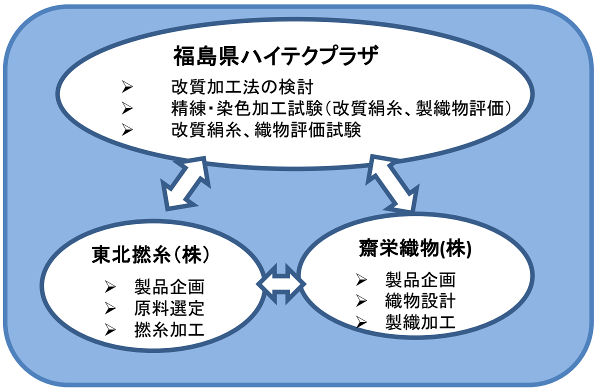


図２ 研究体制

２．２．研究分担

図２に研究体制図を示す。ハイテクプラザで改質加工、精練方法の検討を行い、東北撚糸株式会社で撚糸加工、熱処理加工、齋栄織物株式会社で織物の企画と製織を担当する。

３.結果と考察

図３は改質剤に水溶性エポキシ樹脂を使用した改質糸の加工前と加工後の電子顕微鏡写真を示す。また、表１に加工糸の物性値を示す。加工糸の繊度は70dtex で、Ａは水溶性エポキシ樹脂による改質加工糸、Ｂは環境負荷の少ない改質剤による加工糸である。

加工糸ＡとＢは目標とした物性値である、伸縮伸長率 10%以上、切断強度比 70%以上を確保し、製織時の問題も発生しなかった。しかし、環境負荷の少ない改質剤を使ったＢはＡに比べ伸縮伸長率は小さい値となった。

未加工糸、加工糸Ｂを使い、昨年度とは異なった織物設計で製織し精練・染色加工を行った。織物は昨年度と同様にカケンテストセンターで、洗濯後のシワや残留ホルマリンについて試験を行った。その結果を表２に示す。

染めムラの発生や残留ホルマリンは、確認されなかったが、洗濯性の目安である洗濯後のシワや寸法変化率は、前年度開発品に比べ悪い数値となってしまった。昨年度の織物の結果を表３に示す。

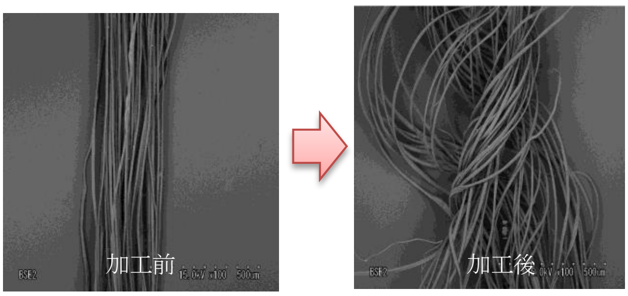


図３ 加工糸の顕微鏡写真

表１ 加工糸の物性値

	伸縮伸長率 (%)	最大強度 (mN)	応力 (mN/dtex)	伸び (%)	強度比 (%)
原 糸		2520.4	36.0	15.5	100.0
A	34.2	2075.4	29.7	42.0	82.3
B	24.8	2036.3	29.1	40.8	80.8

加工原糸：生糸 21 中×4 本（S120T/m）
強伸度：JIS L1013 8.5 引張速度 100mm/min つかみ間隔 200mm で測定
伸縮性：JIS L1013 8.11 A 法 荷重 0.1g、7g 使用し測定

表２ 織物の評価結果

試験方法 ／ 織 物				加工糸B
ウォッシャブル性（JIS L0217 105法吊干し 中性洗剤使用）	1回目	洗濯後のシワ（級）※1		2.7
		寸法変化率（%）	経	-5.0
			緯	-0.1
	5回目	洗濯後のシワ（級）※1		2.6
		寸法変化率（%）	経	-5.0
			緯	-2.9
ホルムアルデヒド （厚労省令第34号による） 乳幼児（A-A0）＊2				0.05以下
伸縮性・伸び率（%）	（JISL1096 伸縮性 B法）			6.0（セット品）

表３ 昨年度の織物評価結果

試験方法 ／ 織 物				従来品	開発品
ウォッシャブル性（JIS L0217 105法吊干し 中性洗剤使用）	1回目	洗濯後のシワ（級）※1		2.3	3.7
		寸法変化率（%）	経	-1.9	0.3
			緯	-0.7	0.0
	5回目	洗濯後のシワ（級）		2.2	3.7
		寸法変化率（%）	経	-1.9	1.2
			緯	-1.2	0.1
ホルムアルデヒド （厚労省令第34号による） 下着類（μg/g）				20以下	20以下
伸縮性・伸び率（%）	（JISL1096 伸縮性 B法）			1.5	11.0

※1 洗濯後のシワは１級（シワが多い）～5級（シワが少ない）で表示される。(AATCC Test Mthod124)
※2 吸光度差で表示のため無単位

改質条件と織物設計を変えたことにより、ストレッチ性や洗濯性が低下してしまった。今後は改質条件の一つであるセット温度と織物設計条件を見直す必要がある。

また杉野大学より、ストレッチ性のある絹織物が衣服に与えるシルエットの変化について研究するため、我々が開発している絹織物の試料提供の依頼があった。ストレッチ性を証明する為の試験方法として、ダーツ（衣服にした時のシワやたるみを除去するための切り込み）を用いずにどこまで着用者にフィットしたシルエットが形成されるかによって検証を行った。試験生地は、我々が開発した絹織物と未加工糸によるストレッチ性のない絹織物を使用した。その結果を図4-1、2に写真を示す。同じウエストではストレッチ性があることにより、全体的に体に沿っており、シワが無く、無理の無いシルエットであるが、ウエストにゆとりを感じた仕上がりになった。

そのストレッチ性により、衣服デザインの可能性は大きく広がるため、アパレル業界における新しい素材としての可能性は非常に高いと思われる。

図４－１　ストレッチ性なし　ウエスト64cm

図４－２　開発した織物 ウエスト64cm

４. 結言

昨年度に引き続き、ハイテクプラザが開発した「捲縮性を有する絹糸」を使用し、絹織物の欠点である、「ストレッチ性」や「洗濯後のシワ」などを解消した織物の開発に取り組んできた。昨年度開発した織物では洗濯後のシワが少なく、形態安定の表示が出来ることが確認された。（洗濯後のシワが 3.2 以上で表示可能）

今年度は、環境負荷の少ない改質剤で加工糸の製造が可能なことを検証するとともに､織物の持つ｢ストレッチ性」の優位性を検証できた。しかし、「洗濯後のシワ」などの洗濯性については、前年度より低い結果となったが、洗濯性の向上を図るための改質糸のセット温度や織物設計条件の絞り込みができた。

試作品を国内外の展示会に織物やストール、ブラウスなど試作品を展示し、この取組を紹介するとともに、市場の反応を探った。来場者からはサンプル提供の依頼が多くあった。

謝辞

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラム　ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）で実施した研究である。

参考文献

１） シルクサイエンス研究会. "シルクの科学". 朝倉書店. 1994, p.211.
２）加藤弘. "絹繊維の加工技術とその応用: 最新技術情報". 繊維研究社. 1987,p.306.

ニットとテキスタイルの融合による

オンリーワン・ファッション衣料の開発と販売

－ニットと織物の融合生地の開発とファッション衣料の製品化－

Production of unique fashion textile by harmonizing knit with clothes

－Development of fashion apparel products of knit and woven fabrics of fusion fabrics－

福島技術支援センター 繊維・材料科　長澤浩　東瀬慎　中村和由　佐々木ふさ子
福島県ファッション協同組合　永山産業(株)　(株)大三　菅野繊維(株)
齋栄織物(株)　(株)三恵クレア　(株)シラカワ

平成２７年度研究開発のプロセスとして、①織物耳部ソルブロン挿入の確立と基本設計、②編機 6～12Ｇの編物基本設計、③織物加工後の隙間 5㎜ の確保とニットとの融合化織物の試織開発、④編機 6～12G を用いた織物との融合化技術の確立がある。それぞれの成果は①は同一織物で異ゲージに対応可能な耳組織の開発し、②はデザイン企画を元に手動編み機８Ｇの基本設計を作成した。新方式の耳輪作成により同一ヨコ密度の織物で各ゲージに対応した耳輪作成が可能となった。④では織物とニットの融合化技術により手動編機による７Ｇの融合化製品を試作できた。

Key words: 織物、ニット、融合、ゲージ、密度

１．緒言

世界規模でファッションの多様化が進む中、他にはない新規スタイルの衣料が求められている。そこで、県内企業が持つ他産地には出来ない細番手による編織技術、及びハイテクプラザの技術を活用することにより、ニットと織物を一体化した新たな衣料製品の共同開発を行った。

織物とニットを組み合わせた製品は従来から存在するが、重ね合せてミシンで縫製するか接着する方法に限られていた。そこで既存方法による接合製品との差別化のために、ハイテクプラザの保有するニットと織物の融合化技術を活用し、繋ぎ合わせ部分を肉厚にすることなく、スムーズに一体化させる技術を確立することにした。接合の方法は織物の端の部分を編機の編針に掛けられるように織り組織を工夫し、織物から編み組織を編成することで、織物と編地の一体化した生地が一括成形されるという方法である。

従来の製品では、織物と編物の結合部分の関係により太番手素材で粗ゲージの編機に限られていたが、今回の事業では、ファインゲージ（6～12G）の製品化により既存品との差別化を図るのが目標である。

２．研究内容

２．１．織物耳作成の改良

これまでの織物の耳は、製織時にシャトル（杼）が左右の往復運動によって耳が形成されるために耳が連続で出現する（図１参照）。この方法で編機7G用の耳を作成するには、織物のヨコ密度は14 本/インチ、また編機 10G用の耳を作成するには織物のヨコ密度は20 本/インチにしなければならない。しかし、実際の７G融合用織物のヨコ密度は30 本/インチである。この織物の耳では、編機の編針と耳の数が合わずに耳がだぶついてしまって、スムーズなニットと織物の融合部分が出来ない。そこで、織物耳のピッチと編物のピッチをそろえるための耳輪組織の改良を行った。

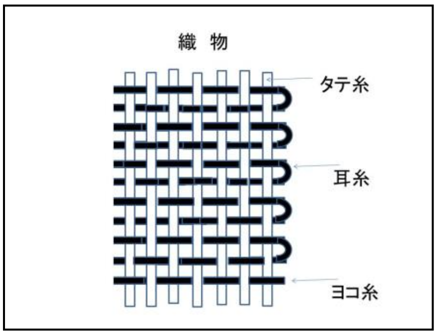


図１ 織物模式図

改良方法は次のとおりである。ヨコ糸を２種類用意する。一つ目は織物を構成するヨコ糸、二つ目はニットと融合する耳糸を構成するヨコ糸である。また、織物の耳が構成されるタテ方向部分に太糸を設ける。こ

の糸の太さと耳の大きさが同じくなるので編機の編針にピッチに合わせて太さを決める。

織物の耳輪になる糸は、編機の編針のピッチに合わせて織物のヨコ糸で地部になる本数と決めて耳輪の組織を作成する。図２の概念図は地ヨコ（緑色）を４本打ちこんだ後に太い糸（橙色）を挿入している。

このように、編機のゲージに合わせて２種類のヨコ糸配列の組み合わせにより耳輪が作成される。

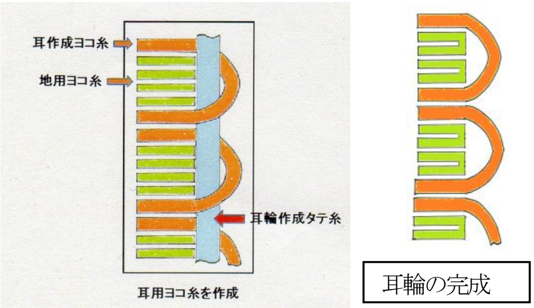


図２「耳作成の改良」概念図

この方法で耳輪を作成するには最低、片側２丁杼機能を持つ織機が必要である。また、耳作成時に耳の大きさ 5mmを確保するために織物の端部タテ方向に太糸を設けるが、この太糸も組織で上下することによって耳を作成するために、太糸専用に新たにドビー（綜絖枠）を１枚追加する。昨年度の試織により太糸の素材は、水溶性繊維（ソルブロン）を使用することで仕上加工時に水溶性繊維が除去され、きれいな耳輪が出現すると考えられる。
織物の基本設計は表１のとおりである。

表１　織物設計

タテ糸	生糸 21 中×2
ヨコ糸	①生糸 21 中×2
	②ブレーダー糸
端部太糸	シルク 340(d)×2
使用筬	90 羽/鯨寸
通し巾	120cm
経糸本数	6530 本
組　織	図３参照
ヨコ糸打込数	38.7 本/cm

地ヨコ８本、耳ヨコ２本での組織図、紋栓図、通し順を図３に示す。図３では、太糸用ドビーは 10 番目を使用している。

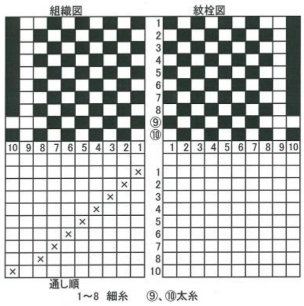


図３　改良型耳作成の組織図

図４の黄色部の丸印に太糸をセットし、１ 本の太糸では、綜絖や筬が通らないため、８ 本に分割して筬を超えた時点で１本の太糸になるよう設定して、実際に自動織機で試織を行った。

図４　耳作成用太糸（黄色部）（織機後方）

図５　耳作成用太糸（黄色部）（織機前方）

図５の黄色部が耳作成の太糸が挿入されている写真である。拡大写真を図６に示す。右側は太糸を除去した後の耳作成の写真である。

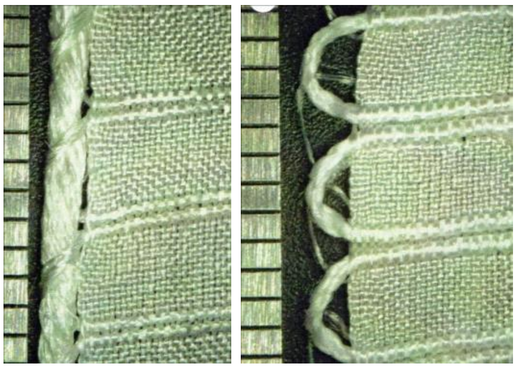


図６　図５の拡大写真
・太糸が挿入されている耳部分（左）
・太糸を除去した耳部分(右)

２．２．耳間隔作成の条件について

製織時に耳間隔を設定するには、①ヨコ糸打込み密度、②耳糸間の地糸の本数の２点が条件となる。この設定条件は、使用ヨコ糸の太さに影響される。

ここで、ヨコ糸として地糸に生糸 21 中/2、耳糸にノップヤーン糸 340（d）を用いた 7G 用の条件設定を行った。図７のように①織物のヨコ糸打込み密度、②ノップヤーン糸間の地糸本数の条件を変えて耳糸の間隔が 7Gになる条件を求めた。ヨコ糸打込み密度（打込み本数）が多くなれば、耳間隔は大きくなり、地糸本数が多くなると耳間隔が大きくなる。織物がスリップしないで耳間隔が 7Gに収まる条件を求めて試験した。その結果を表２に示す。

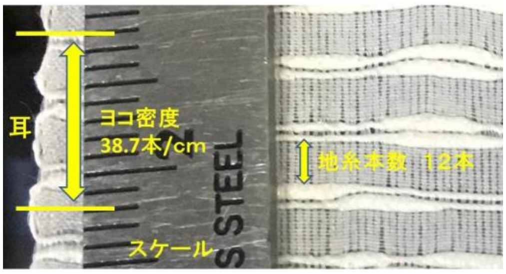


図７　織物の耳間隔設定条件の試験
（図の設定条件は密度 38.7 本/cm、地糸 12 本）

表２　７Ｇ条件設定試験結果

	ヨコ密度（本/cm）	地糸本数（本）	耳個数（G）（個/in）
1	36.4	16	5.5
2	40.1	16	5.7
3	40.1	14	6.5
4	38.7	12	6.7
5	41.4	12	7.0
6	41.4	14	8.0

表２から 7Gには試験６のヨコ密度 41.4 本/ｃｍ、地本数 12 本に設定することで耳が作成されることが分かった。設定条件では先ず織物がスリップしないようにヨコ糸打込み密度を決定し、その後に目標とするゲージになるよう地本数を調整すると目標とする耳作成が容易に作成出来ることが分かった。

２．３．手動編み機による融合化

改良型耳作成方法で完成した織物の耳を手動編機(7G）を使用して融合化を図った。織物の耳部分を編機の編み針に掛けていくが（図８)、織物の耳のピッチと編機の編み針のピッチが異なり、実際に編機に織物の耳を掛けて調整した結果、４つ目の耳を掛けるときに耳を２つ同時にかけることによりピッチが揃い融合化を図ることできた（図９)。編糸は織物の使用糸と同じ緑色の糸と黄色の糸２種類を用いて３本で編んだところ、編地の色にムラが生じた（図１０)。この原因は、使用糸が引き揃えの糸なので均一な色合いが出ないためということが判明し、撚りをかけて色合いを均一にすることにより解決することができた。また、編地を明るくするために黄色一色の製品の試作を行った。（図１１）

図８　手動編機による織物とニットの融合化（１）
（織物の耳と編機の編針を掛けて融合化を図る）

図９　手動編機による織物とニットの融合化（２）
（織物の耳と編機の編針を掛けて融合化を図る）

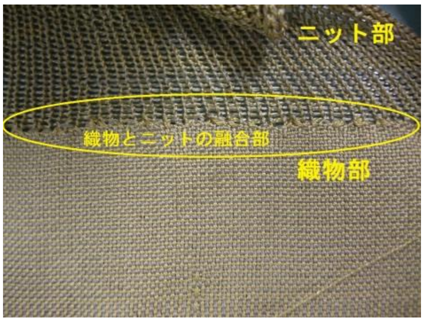


図１０　手動編機による織物とニットの融合化（３）
（織物とニットの融合による生地作品）

図１１　織物とニットの融合作品

２．４．自動編み機による融合化

自動編機（図１２）による織物とニットの融合化を行った。織物生地を掛ける際に編機の目と織物耳のピッチが合わなく、生地に掛ける目と針間隔がずれて生地がだんだんしわになり目が伸ばされるという問題が生じた。織物の耳間隔が織機上では適正だったが仕上げ加工によりピッチが詰まった事が原因である。（図１３、図１４参照）

図１２　自動編機

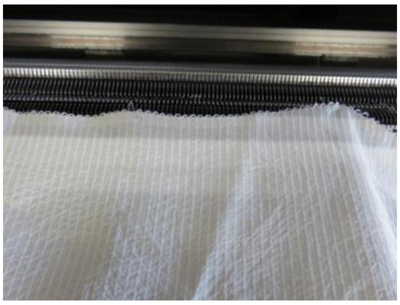


図１３　自動編機による織物とニットの融合化

図１４　自動編機による織物とニットの融合化

このように生地を張ると針目と生地かけする目が合わないという問題と課題が生じた。また、耳のループも大きいと融合部分で隙間が生じてしまうために生地に合わせた耳のループのサイズを調整する必要があることが分かった。

３　結言

織物とニットの融合化において、織物の改良型耳作成により、各ゲージの編機に対応した織物の耳が出来るようになった。これによりファインゲージにも対応可能となり幅広いゲージに対応した融合化製品が開発できるようになった。

今年度は、実際に改良型耳作成で製織した織物の耳を編機に掛けてみたところ、耳の間隔と編機の編針の間隔が合わずに生地が掛けられないという問題が生じた。これは、織機に掛かかった状態での耳の間隔が仕上げ加工後に狭くなる事から生じた現象なので、今後の対応として仕上げ加工後の耳の間隔を想定した設計を行っていくことにした。

また、自動編機による織物とニットの融合化は実際に織物を編機に掛ける場合に編機の下から織物を上げてベッドの羽口から出して、織物の耳に編機の針を掛けることになるが、羽口が狭いために織物を引き出すのが困難となった。このため、編機の上から織物を下げることを検討した。しかし、仮に織物が掛かかったとしても編機の針を織物の耳に引っかけることが困難であったため解決には至らなかった。

このことから、自動編機による織物とニットの融合化は難しく別な方法での融合化に向けて対応していく必要があることが分かった。今後は、これらの結果をもとに融合化の展示会用作品開発に取り組んでいきたい。

ニットとテキスタイルの融合による
オンリーワン・ファッション衣料の開発と販売

－シルクとカシミヤによるニットおよび織物用最新ブレーダー意匠糸の製品化－

Production of unique fashion textile by harmonizing knit with clothes

－Production of the latest fancy lily yarn which is made from silks and cashmeres for knits or textiles－

福島技術支援センター 繊維・材料科　長澤浩　東瀬慎　中村和由　佐々木ふさ子
共同研究者　福島県ファッション協同組合　永山産業株式会社　株式会社大三　菅野繊維株式会社
齋栄織物株式会社　株式会社三恵クレア　株式会社シラカワ

高級素材であるシルクとカシミヤを組み合わせ、既存の混繊糸とは異なった特徴を持つニット用加工糸（シングルブレーダー糸）の開発を行なった。さらに、かさ高性に着目し、既存のシングルブレーダー糸とは構造が異なる新規ニット用加工糸の製造方法を提案した。

key words: シルク、カシミヤ、かさ高性、中空、ニット

１．緒言

前年度の研究では、シルクを素材に使い中空状の編み目構造を持ったニット用シングルブレーダー糸（14Ｇ～16Ｇ）を開発し評価を行った（図１）。その結果、本来のシルクにはない伸縮性を持ったニット用加工糸の開発が可能となった[1)]。

図１　シルクシングルブレーダー糸

本年度は、前年度開発したシングルブレーダー糸を発展させ、高級素材であるシルクとカシミヤを組み合わせた新規シングルブレーダー糸の開発を行った。

素材の特徴として、カシミヤはヌメリ感（肌触りの良さ）や保温性、シルクでは光沢感や吸湿性、ドレープ性などがあげられる。しかし、既存のシルクとカシミヤの混繊糸ではそれぞれの繊維の特徴を十分に活かされているとは言えない。その理由は混繊糸では糸に撚りをかけるため、カシミヤ本来のかさ高性が損なわれ、肌触りの良さが失われること等が考えられる。

それに対して、本事業で開発するシングルブレーダー糸では、中空状の編み目構造により、異素材を組み合わせた場合でも、それぞれの風合いを損なうことがないと考えられる。また、中空状の編み目構造とすることによって、カシミヤ紡績糸と比べて、繊維中により多くの空気を蓄えることが可能となり保温性等の機能性の向上や軽量化が期待できる。

２．研究内容

２．１．目的と目標

研究の目的及び目標値を以下に示す。目標値については、「繊維の宝石」と呼ばれ、ニット用繊維素材として希少価値が高く、高価なカシミヤを基準とし、その物性値を超えることを目標とした。

目的：

①6Ｇ～8Ｇ編機用カシミヤ及びシルク・カシミヤシングルブレーダー加工糸の開発

②新規シルク・カシミヤダブルブレーダー加工糸の開発

目標値：

①　伸度　　　１４．９％

②　かさ高性　　６．７以上

２．２．繊維素材

繊維素材として２種類の繊維を使用した（表１）。

表１　繊維素材の仕様

繊維素材	繊度（dtex）	備考
カシミヤ	333	東洋紡糸工業株式会社製 KAHHS（毛番手 2/60N/m）を用いた。
シルク	178	5A級シルク 26 中を 8 本合撚し、酵素精練後用いた。

シルクは、合撚機により、表２の条件で合撚した。

表２　シルクの合撚条件

撚り回数	486 回/m
撚り方向	S

シルクは、合撚した後に、表３の条件で酵素精練を行った。

表３　酵素精練条件

シルク重量	0.8 kg
試薬	キヌコン　SA （洛東化成工業株式会社）　7g/L ハイドロサルファイト （和光純薬工業株式会社）　1g/L スコアロール７００ （北広ケミカル株式会社）　0.1g/L
浴比	1：15
精練温度	55℃
精練時間	24 時間
精練率	23％

２．３．試験機器

製造装置及び物性試験機器等を表４に示す。

表４　使用機器と使用目的

使用目的	機器名	製造メーカー
ブレーダー糸加工	新ブレーダーマシン	(有)小塚コーポレーション製 K-5、商標名：超組紐太郎
試料観察	拡大映像システム	((株)キーエンス製、VH-8000)
シルクの合撚加工	合撚機	須賀機械（株）製、KF5 型
試料重量測定	精密天秤	(株)ザルトリウス製、R160P
試料強伸度測定	万能抗張力試験機	（株）島津製作所製、AGS-10kNG

２．４．評価試験

２．４．１　強伸度試験

万能抗張力試験機を用い、恒温恒湿室内 20℃、65％の条件で、強伸度試験を行った。また、繊度については、1m の長さの加工糸を３点取り、精密天秤によりそれぞれの重量を測定し、その平均値から繊度（dtex）を求めた。

２．４．２　かさ高性評価試験

かさ高性は、拡大映像システム（図２）により加工糸の直径を３点測定し、その平均値である実測直径 A を求めた。一方で、次式[2] を用いて繊維が隙間なく充填したと仮定して充填直径 B を求めた。

$$D(\mu m)=11.9\times\sqrt{\frac{デニール}{\rho}}$$

D（μm）：繊維の直径

ρ：繊維の比重

充填直径 B に対する実測直径 A の比、すなわち実測直径 A／充填直径 B を求めることにより、どれだけ繊維中に空隙があるかを求め、加工糸のかさ高性として評価した。この測定法により、簡便に、糸に過重がかからない一番かさ高な状態と、細密な状態との比較ができるものと考えた。繊維の密度は、シルクが $1.37g/cm^3$[3]、カシミヤが $1.32\ g/cm^3$[4] を用いた。

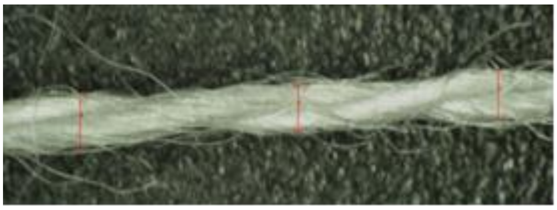


図２　繊維断面径測定画面

２．５．シングルブレーダー糸製造方法について

シングルブレーダー糸製造装置は、図３のように周状にベラ針が並んだ構造をしている。ベラ針を保持しているスピンドルが回転すると、装置内に固定されたカムがベラ針上のバットを押し上げて上下運動を繰り返す。このように丸編機の原理により、紐状のブレーダー糸を製造する。

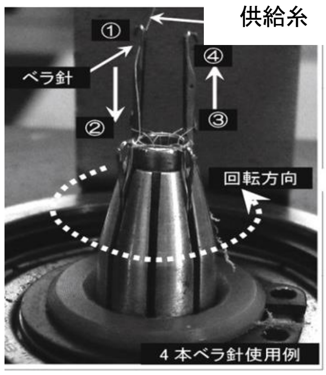


図３　シングルブレーダー糸加工装置

２．６．シングルブレーダー糸加工条件について

装置外観を図４に示す。加工条件は、表５に示す。加工糸は片撚りが残り、スナール（ループ状の縮れ）が発生したので、カバリング装置により残留撚りトルクが０となるように解撚を行った。加工糸は比較のため、カシミヤ単体とシルクカシミヤの２種類を試作した。

図４　シングルブレーダー糸加工装置外観

表５　シングルブレーダー糸加工条件

試作糸	素材（種糸）	針本数	回転速度(rpm)	巻取速度(m/min)
加工糸①	カシミヤ	4	850	4.0
加工糸②	カシミヤ＋シルク	4	850	4.0

２．７．シングルブレーダー糸の試験結果と考察

２．７．１　強伸度試験結果

強伸度試験結果を表６に示す。

表６　シングルブレーダー糸強伸度試験結果

試験糸	繊度(dtex)	破断強度(N)	伸度(%)
加工前カシミヤ	333	2.9	14.9
加工糸①	3441	18.8	22.3
加工糸②	3219	31.4	20.7

２．７．２　かさ高性評価試験結果

かさ高性評価試験結果を表７に示す。

表７　シングルブレーダー糸かさ高性評価試験結果

試作糸	実測直径Ａ（μｍ）	充填直径Ｂ（μｍ）	A/B
加工前カシミヤ	1200	179	6.7
加工糸①	3350	577	5.8
加工糸②	3590	553	6.5

１）カシミヤブレーダー糸（加工糸①）

伸度は加工前より約8%増加した。かさ高さ性については、ほぼ変わらなかった。

２）シルクカシミアブレーダー糸（加工糸②）

伸度は約6%増加した。かさ高性については加工前と同等だった。その結果、本年度の数値目標を達成することができた。よって、カシミヤの伸度やかさ高性を損なわずにローシルクの光沢感を加えた新規ブレーダー加工糸を開発することができた。

２．８．ダブルブレーダー糸製造方法について

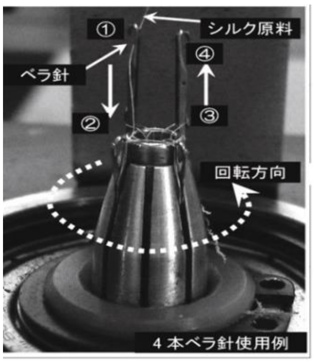
加工糸②のブレーダー糸の評価の結果、伸度は向上したが、かさ高性については比較素材のカシミヤと同等だった。

加工糸のかさ高性を向上させることが可能なら、編地にしたときにさらなる機能性（保温性等）の向上や軽量化が期待できると考えられる。

そこで、既存のシングルブレーダー糸製造装置の造を見直し、表８に示す２点の改良を施し、新技術（ダブルブレーダー製造装置）を開発した。

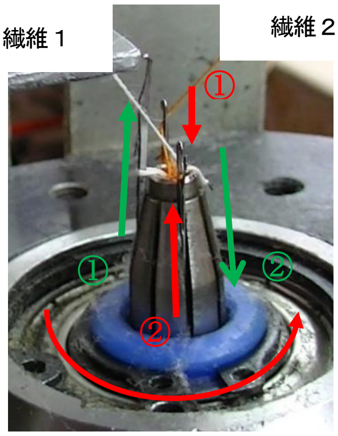
表８　新技術改良点について

改良点	既存技術（シングルブレーダーマシン）	新技術（ダブルブレーダーマシン）
給糸口	1	2
カム	1	2



従来技術
（シングルブレーダー）

繊維１　繊維２

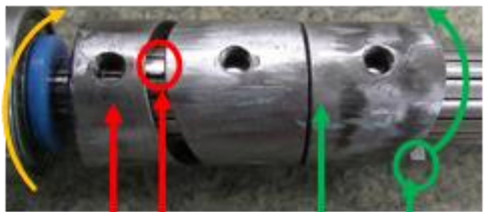


回転方向
新技術
（ダブルブレーダー）

図５　新技術の給糸口の改良点

スピンドル回転方向　カム①　ベラ針バット①

従来技術
（シングルブレーダー）



スピンドル回転方向　カム②　ベラ針バット②　カム①　ベラ針バット①

新技術
（ダブルブレーダー）

図６　新技術のカムの改良点

この２点について装置の改良を行ったことによって、２種類の繊維素材をストライプ状に独立して挿入することができ、シングルブレーダー糸と比べるとさらに中空状で、よりかさ高な加工糸が製造できると考えられる（図７）。

図７　ダブルブレーダー糸の側面

２．９．ダブルブレーダー加工糸作製

ダブルブレーダー糸の加工は、図４に示すブレーダー加工装置を使用し､表９に示した加工条件で行った。作製糸は片撚りが残り、スナール（ループ状の縮れ）が発生したので、カバリング装置により、残留トルクが０になるように解撚を行った。

表９　ダブルブレーダー糸の加工条件

試作糸	カシミヤ針本数	シルク針本数	回転速度(rpm)	巻取速度(m/min)
加工糸③	1	1	750	5.0
加工糸④	2	2	550	4.0

２．１０．ダブルブレーダー加工糸の試験結果と考察

２．１０．１　強伸度試験

ダブルブレーダー糸の加工糸③と加工糸④について、強伸度試験結果を表１０に示す。

表１０　ダブルブレーダー糸強伸度結果

試験糸	繊度(dtex)	破断強度(N)	伸度(%)
加工前カシミヤ	333	2.9	14.9
加工糸③	1554	21.6	16.4
加工糸④	2664	38.7	16.7

２．１０．２　かさ高性評価試験結果

ダブルブレーダー糸の加工糸③と加工糸④について、かさ高性評価試験結果を表１１に示す。

表１１　ダブルブレーダー糸のかさ高性評価試験結果

試作糸	実測直径Ａ(μm)	充填直径Ｂ(μm)	A/B
加工前カシミヤ	1200	179	6.7
加工糸③	4350	383	11.4
加工糸④	4750	501	9.5

試験結果より、強伸度は双方の加工糸ともに加工前より約 2%程度増加した。さらに、かさ高性についても、約 40%程度向上した。かさ高性が向上した理由は、図８に示すように針本数が同じだと仮定した場合、ダブルブレーダー糸は、ベラ糸でニットした後の糸は繊維の中心を通るのに対して、シングルブレーダー糸は隣の針に糸が渡っている。そのため、単位断面積当たりの空隙がダブルブレーダー糸のほうが大きくなるためと考えられる。

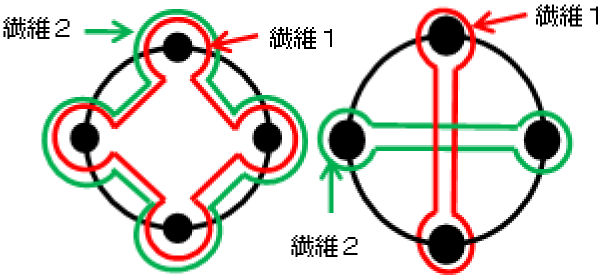


図８　ブレーダー糸断面の違い試験結果

新技術と既存技術により製造した加工糸の比較結果は、表１２に示すとおりである。

表１２　新技術と既存技術の比較結果

比較項目	比較結果
繊度	既存技術　≧　新技術 (シングル)　　(ダブル)
伸度	既存技術　≧　新技術 (シングル)　　(ダブル)
かさ高さ	既存技術　＜　新技術 (シングル)　　(ダブル)
軽量化	既存技術　≦　新技術 (シングル)　　(ダブル)
製造スピード	既存技術　＞　新技術 (シングル)　　(ダブル)

今年度開発した新技術であるダブルブレーダー糸については、編地評価等が不十分であり、来年度行う予定である。

３．製品への応用

ダブルブレーダー糸について、数点の加工糸を企業に提案し、編地サンプルを作製した。従来技術であるシングルブレーダー糸を使った編地サンプルと肌触りを比べた結果、ダブルブレーダー糸を使った編地のほうが良好であった。

その結果から、ダブルブレーダー糸を使った製品を制作し、今年度開催したイタリヤのミラノでの展示会に出展した。（図９）


図９　ミラノ展示会用製品パンフレット画像

４．結言

本年度の成果は以下の３点である。

①シルクとカシミヤを組み合わせたシングルブレーダー糸については、伸度（≧14. 90%）、かさ高（≧6. 7）の目標値を達成することができた。

②市販されているカシミヤ紡績糸よりかさ高な加工糸の製造のため、シングルブレーダー糸製造技術を改良し、新技術（ダブルブレーダー糸製造技術）を開発した。

③新技術により製造したダブルブレーダー糸においてシングルブレーダー糸では達成できなかったかさ高性の向上や軽量化ができた。

５．参考文献

1）長澤浩，東瀬慎，中村和由，菅野陽一，佐々木ふさ子. "ニットとテキスタイルの融合によるオンリーワン・ファッション衣料の開発と販売". 平成 26 年度福島県ハイテクプラザ試験研究概要集. 2015, p.25.

2）　司忠，繊維便覧 - 原料編 - . 丸善株式会社. 1968, p.961.

3）小野四朗. "製糸技術と絹の物性、特に風合いについて". 製夏大教材, 1972, p.1-21.

4）山脇繁，広瀬伍朗. "ニューマチックアナライザと機構と流体力学的作用（第１報）". Journal of the Textile Machinery Society. 1959, p.325-333.

漆塗装や蒔絵技術を応用した家電製品の高級感・機能性の向上に関する研究

Study on the improvement of the luxury and functionality of consumer electronics products
by applying the lacquer paint and lacquer technology

会津若松技術支援センター　産業工芸科　須藤靖典　出羽重遠　夏井憲司
いわき技術支援センター　機械・材料科　橋本政靖

工業製品の高級感･機能性を向上させる目的で含漆UV塗料を応用し､研究開発を行った。
その際、工業製品の筐体に使用される金属板にプレス及び曲げ加工に耐えられる柔軟性を持った、加飾インクや含漆UV塗料を活用したことで、特徴ある装飾効果が得られた。

Key words: 含漆UV塗料、蒔絵、柔軟性、曲げ加工

１．緒言

工業製品の分野において付加価値の向上を目指した取り組みが積極的に行われている。従前より漆塗料は「人に優しく」、「衛生的」で「安全・安心」な塗料であることが知られており、これらの機能を持ち得た自然素材は他に例を見ないことから、製品開発に応用できるものではないかと考える。本研究では、工業製品へ漆塗装や蒔絵技術を応用し、高級感と機能性を持った塗料の開発を行うこととした。

そこで、主に工業製品に活用を目指して開発した県有特許技術である含漆UV塗料を応用し､塗装後の金属板の曲げ加工、プレス加工に耐えられる加飾インクと塗料、そして塗装工法の検討を行った。

２．研究

現在の工業製品の筐体はプラスチックやステンレス鋼（SUS）など様々な材料が使用されている。特に金属板へオフセット印刷されたラッピングシート材を張り合わせ、一体化した後にプレス加工を行い、工業製品の筐体とする事例は多く、あらゆる製品にその技術は使われている。そのため、含漆UV塗料の硬化被膜がラッピングシート材と同じく、折り曲げ又は、プレス成型加工に耐えられる柔軟性を持った塗膜を形成出来れば、金属板を二次加工した筐体に直接、塗装や加飾を行うよりも、装飾性効果や精度が向上するのではないかと考え、塗膜物性試験と塗料変性を行い、有効性を検証した。

２．１．塗装物性試験

２．１．１ベンダー曲げ試験

SUS板に含漆UV塗料を塗装した後、ベンダー曲げの実験を行い、塗料の柔軟性と密着性の状況について評価を行った。試験では、SUS板へ加飾（蒔絵）と塗装を含め5工程で被膜を作った試験板(図１)を用いた。試験結果は試験板の曲げた部分から含漆UVの塗膜が剥離する結果となった。(図２、３)

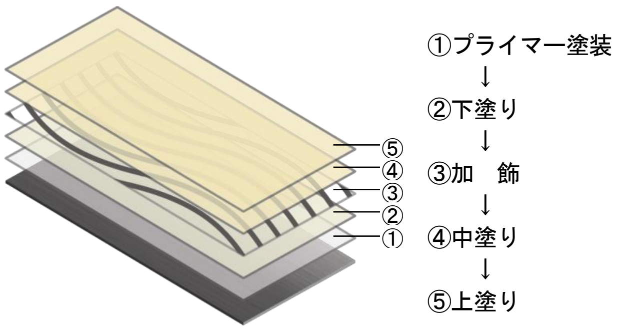


図１　塗装５工程

図２　曲げ試験結果１　　図３　曲げ試験結果２

２．１．２．三点曲げ試験

ベンダー曲げ試験で発生した試験板の塗膜の剥離を検証するために、当センターが保有する万能試験機（(株)島津アクセス製AG-2000E）を使い、半径5㎜の3点曲げ試験を行った。(図４、５）その結果、ベンダー曲げ試験の結果と同様に試験板の曲げた部分から含漆UV塗料の剥離（図６、７）が確認されたため、試験板の改良を行うこととした。

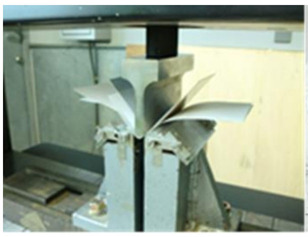


図４　３点曲げ試験１　　図５　半径5㎜ ３点曲げ

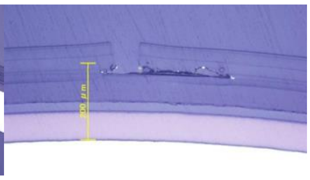


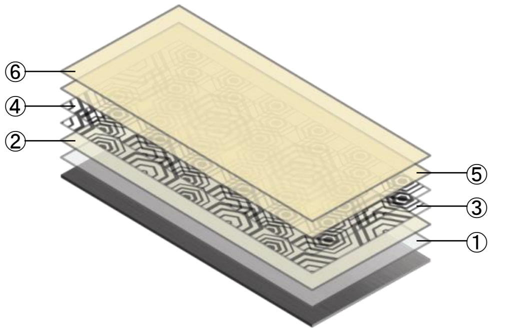
図６　試験結果１　　　図７　試験結果２（割れ）

２．２．改良

塗装、加飾を行ったSUS板を平板の状態から折り曲げた際に、塗膜がより折り曲げに耐えられるようにするためには、SUS 板と塗料の密着性を向上させ、塗膜の柔軟性を高める必要がある。密着性を高めるためのプライマーを下塗りし、中塗り、加飾（蒔絵）を施し、上塗りには柔軟性を高めるための変性の異なる含漆UV 塗料を塗装した。曲げ試験は塗装の硬化後に行った。その結果、当初の塗膜と比べ、柔軟性を持たせた含漆UV 塗膜は「割れ」・「剥離」が少なくなり、折り曲げに耐えることができる良好な結果が確認された。その後も同様の条件で変性した含漆 UV 塗料を塗装した試験板を製作し、折り曲げ試験を行ったが、同じく良好な結果が確認された。

２．３．試作

SUS 板を使い「奥行き」・「深見感」を表現できる塗装工法を確立する目的から、加飾はシルクスクリーン印刷の応用と各種金属粉を使った「蒔きぼかし」の工法で試作を行った。塗装工程は下記の図８の通りである。



①プライマー塗装→②下塗り→③加飾（１回目）→④加飾（２回目）→⑤中塗り→⑥上塗り（含漆 UV 塗料）

図８　試作の塗装工程

加飾のデザインは３種類とし、詳細は下記の図９から図１４の通りである。

・加飾パターン１「大波」（図９，１０）
　大小の大きさの異なるドットで大きな波を表現した。
・加飾パターン２「青海波文」（図１１，１２）
　伝統的な波紋様をドットで表現した。
・加飾パターン３「六角形」（図１３，１４）
　大きさの異なる六角形を配置し、パターン化した。線の太さを変えることで視覚的な遠近感を狙った。

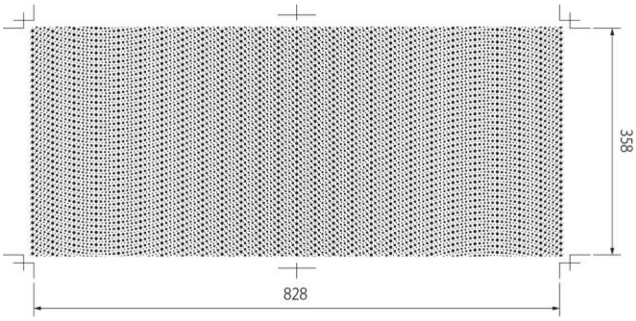


図９　工程③～④の加飾パターン１(ポジ)

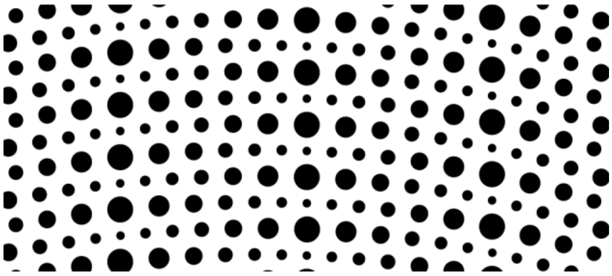


図１０　工程③～④の加飾パターン１詳細(ポジ)

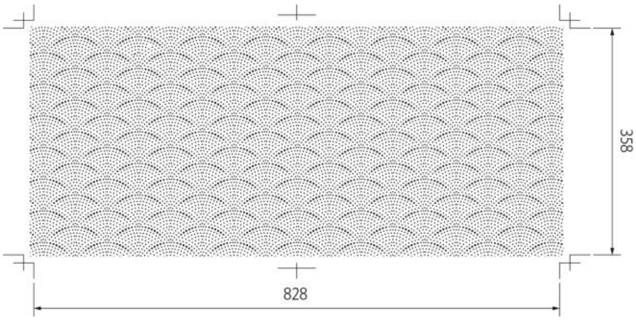


図１１　工程③～④の加飾パターン２(ポジ)

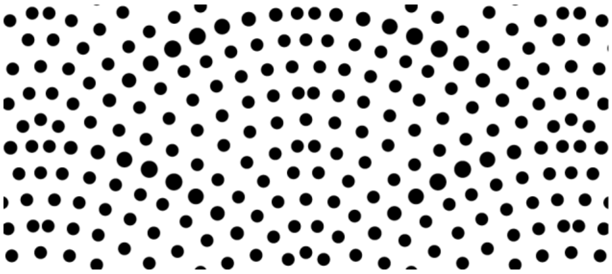


図１２　工程③～④の加飾パターン２詳細(ポジ)

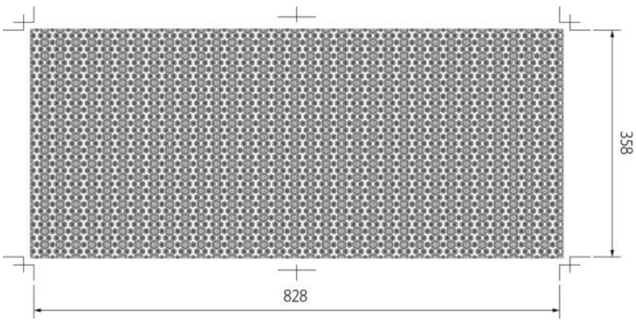


図１３　工程③～④の加飾パターン３(ポジ)

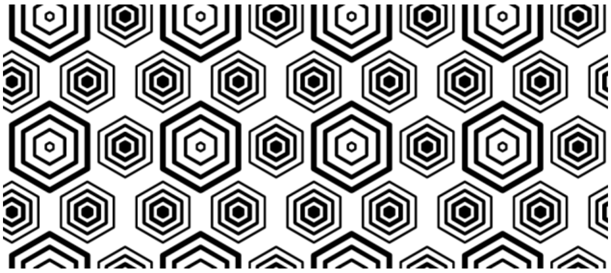


図１４　工程③～④の加飾パターン３詳細（ポジ）

加飾に使用したインクや蒔絵は色別に粉を使い分けながら加飾を行った。

また、工程⑥において使用した含漆 UV 塗料は曲げ専用のオリジナル塗料として、再変性したものを使用し、柔軟性を重視したものである。

今回の試作では平面で加飾、塗装された SUS の平板を立体にし、当センターの研究発表会で展示し、公表した。その作業風景と完成品は図１５～１８の通りである。

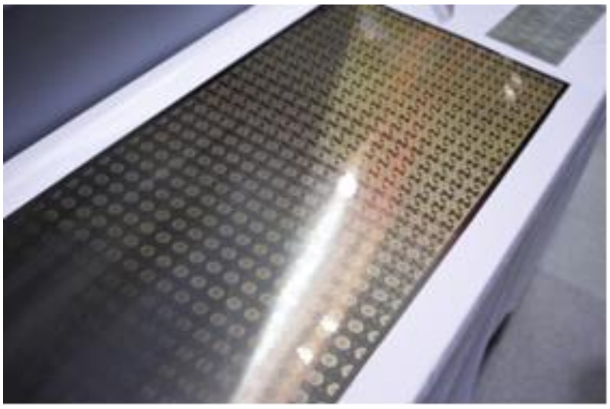


図１５　工程⑥　完成品

図１６　工程⑥　完成品

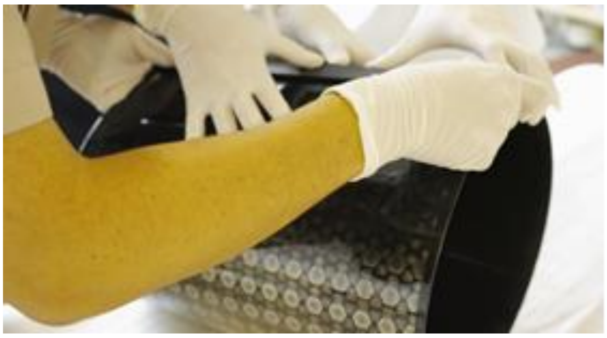


図１７　止め治具のはめ込み

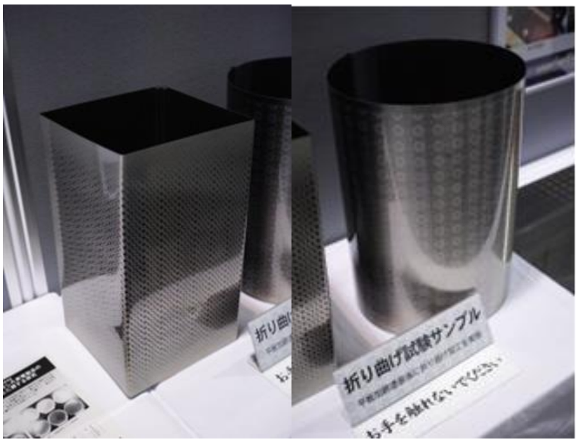


図１８　折り曲げ完成

３．結言

SUS の平板を使い、加飾と上塗り塗装後に、円柱及び直方体に曲げた。試作品の曲げ部分から「割れ」、「剥離」などは見受けられず、良好な仕上がり状態であった。この結果は課題であった密着性が改善された結果と考える。但し、実用面から考えると折り曲げ後の塗膜硬度の向上が必要となることから、今後、塗料の改良が必要である。

平成 28 年度においては、さらなる改良化を進めて実用化に対応できる塗料変性と加飾、塗装工法を確立して実用化を目指す予定である。

高い耐放射線能力と軽量で高強度な複合材料の開発

－放射線遮蔽プラスチックの開発２－

Development of the radiation-resistant ability, the light-weight and high-strength composite

- Development of the plastic which radiation-resistant 2-

技術開発部 プロジェクト研究科　菊地時雄

H25 に開発した放射線遮蔽プラスチックの改良を行った。スズ粉末を用いたことと混練条件を変えたことで、比重 2.6 のサンプルを試作することができた。セシウム 137 の標準線源を用いて、この試作品のガンマ線遮蔽能力を測定したところ、約 20mm の厚さで 50%遮蔽することが確認できた。

Key words: スズ（Sn）、放射線、遮蔽、微細分散、混練

１．緒言

平成 25 年度に実施した研究「放射線を遮蔽するプラスチックの開発」[1] の改良を行った。

当時は、鉛フリーはんだインゴットをドリルで切削した切粉を用いたが、切粉が大きいため混練時に分散不良が発生し、比重が 1.85 までしか上がらず、ガンマ(γ)線を 50%遮蔽するのに必要な厚さは、48mm であった。

そこで今回、融点 232℃、比重 7.4 のスズ(Sn)粉末を用いて、比重 2.6 のプラスチックを試作しガンマ線遮蔽能力を測定したので報告する。

$$I = I_0 exp(-\mu_m \cdot \rho \cdot d) \quad (1)$$

式(１)に基づいて簡単に原理[2] を説明する。密度(ρ)、厚さ(d)の物質に強さ(I_0)の放射線が透過すると、強さは(I)に減衰する。このとき(μ_m)を質量吸収係数と呼び、物質ごとに決まった値であり、放射線のエネルギーにより異なる。つまり放射線遮蔽プラスチックの開発において、充填材によりプラスチックの密度を上げることがポイントとなる。

２．実験

２．１．材料

樹脂は、電気化学工業（株）製の透明 ABS 樹脂（デンカ ABS CL-301）を用いた。

スズ粉末(メッシュ 38μｍパス、純度 99.9%)は、(株)高純度化学研究所製を用いた。

２．２．混練

混練は、(株) 東洋精機製作所製バッチ式２軸同方向回転型混練機ラボプラストミル C 型を用いた。混練機を 200℃にセットし、ABS を投入し溶融させた。ここに所定量のSn粉末を投入しローター回転数50r.p.m.で5分間混練し、Sn 粉末を分散混合させた。その後、温度を 240℃に昇温し加熱して Sn を融解させながら 50r.p.m.で 10 分間混練し、試料を得た。これをプレス成形により厚さ約 1mm の板を作成し透過実験の試料とした。

２．３．X 線透過実験

X 線透過実験は、IT コントロールズシステム（株）製 X 線 CT スキャン TOSCANER-32300μを用い、管電圧と試料厚さを変えながら透過率を測定した。

２．４．γ線透過実験

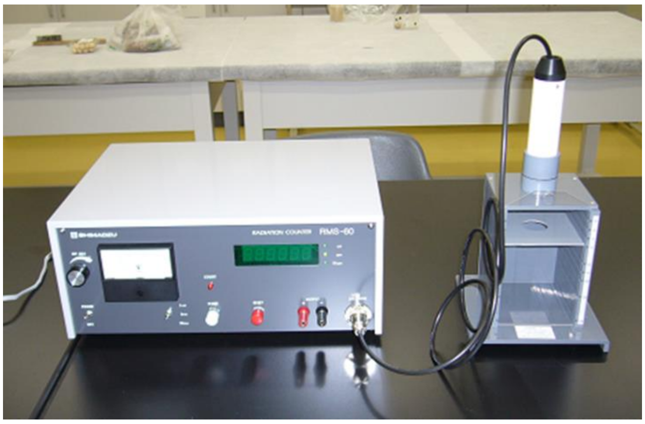


図１　計測装置

（株）島津製作所製の計測機 Radiation Counter RMS-60（図 1）を、用いてγ線透過率を測定した。測定に用いた標準点線源は、日本アイソトープ協会の ^{137}Cs、0.662MeV、9.85×10^5Bq である。

３．結果および考察

３．１．微細分散メカニズム

ラボプラストミルを用いて、透明 ABS と Sn 粉末を混練し、比重 1.77、2.01、2.60 のサンプルを試作した。Sn が微細に分散することで、透明だった ABS は深緑色となった。

図２は比重 2.60 のサンプルをミクロトーム(ガラスナイフ）で切削した断面 SEM 観察写真である。5μm 程度に白く見えるのが金属 Sn であり、投入した Sn 粉末の粒径よりもはるかに小さいのが観察された。

微細分散のメカニズムは次のように考えられる。200℃の混練において、粉末 Sn が樹脂中に分散する。次の 240℃の混練において分散した Sn は融点をこえているため溶融する。混練時、樹脂（高粘度）中の Sn（低粘度）は、せん断場の速度勾配により内部で回転しながら楕円形に変形する（図３）。樹脂が伸長変形する動きに伴い、溶融 Sn も変形し端からちぎれ、樹脂中に分散（図４）し、これらを繰り返すことで微細分散するものと考える。

微細分散のプロセスを証明するために、以下のモデル実験を行った。粉末 Sn の代わりに鉛フリーはんだ（融点 220℃）インゴットの切削片を用いた。図５は、樹脂と鉛フリーはんだを直径 10mm、240℃のシリンダーに投入し、直径 2mm のダイスから押し出したときの、樹脂ストランドの光学顕微鏡写真である。粒径の大きな金属から小径の金属がちぎれて分散している様子が観察された。

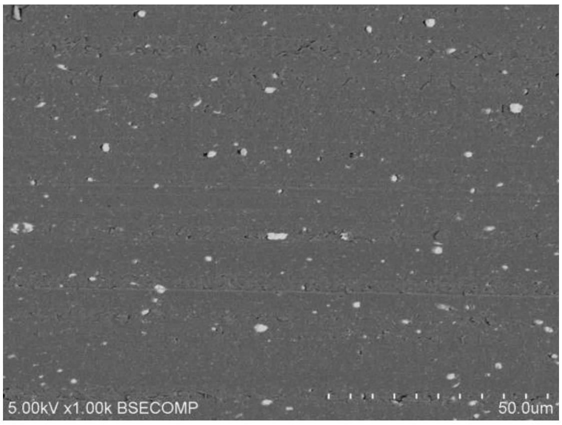


図２　ABS/Sn の SEM 観察

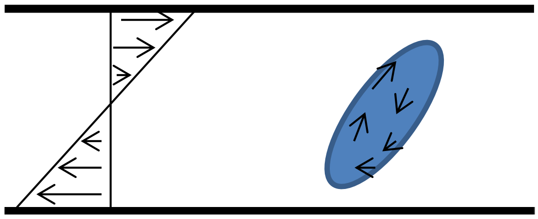


図３　せん断場における樹脂中の溶融金属の変形

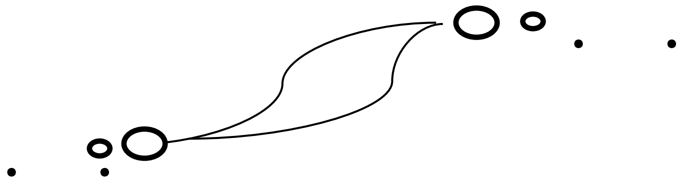


図４　微細分散のイメージ

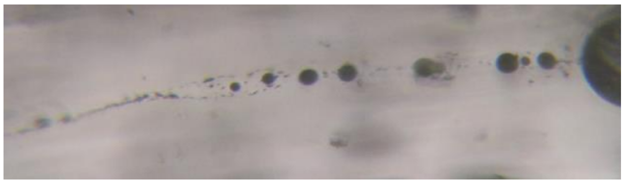


図５　微細分散のモデル実験

３．２．X 線透過実験結果

図６は、試作品３種類（比重 1.77、2.01、2.60）の X 線エネルギー120keV における X 線透過度 I/I_0 の測定結果である。板厚が厚い方が I/I_0 は低く、比重の大きいサンプルの方が I/I_0 は低くなった。

次に X 線エネルギーE を変えて、3 種類のサンプルにおける板厚 d と I/I_0 の関係を(1)式により回帰曲線をそれぞれ求めた。この回帰曲線より、サンプルごとの質量吸収係数(μ_m)と X 線エネルギーの関係をプロットしたのが、図７である。(μ_m)はサンプルごとに異なり、E が大きくなるにつれ小さくなった。また、密度の小さいサンプルの方がその依存性が大きくなった。

比重 2.60 のサンプルにおける I/I_0 を、E を変えて測定したのが、図８である。サンプルが厚くなると I/I_0 は低くなり、E が大きくなると I/I_0 は大きくなった。

図９は同じく比重 2.60 のサンプルについて、I/I_0 と、サンプル厚さ d の関係を示した。d が大きくなると I/I_0 は小さくなり、エネルギーE が大きくなると I/I_0 は大きくなった。

以上のことより、ABS 樹脂に Sn を微細分散させた系においても、X 線の遮蔽能力は、比重が大きいことと遮蔽材が厚いことでその能力は大きくなることがわかった。また、エネルギーが高くなればなるほど、同じ材料、同じ厚さでも透過度は高くなることがわかった。

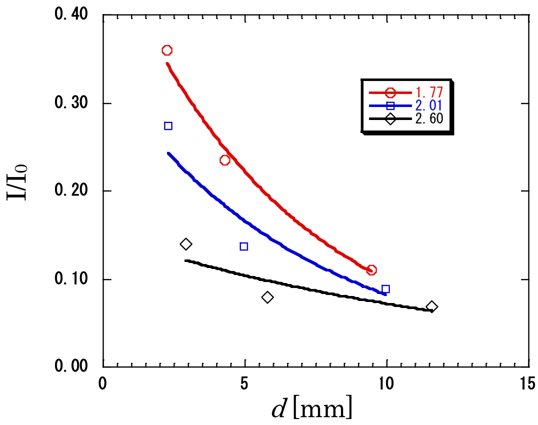


図６　各サンプルの板厚と X 線透過度

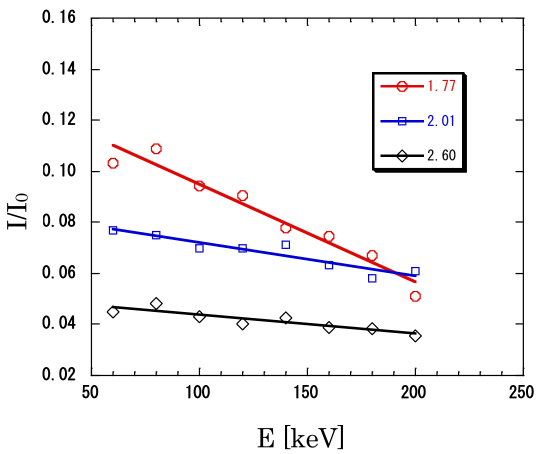


図７　質量吸収係数と X 線エネルギー

３．３．γ線透過実験結果

実際にいま必要とされているのは、X 線ではなくγ線の遮蔽能力であるため、比重 2.60 のサンプルについてγ線の透過度測定結果を図１０に示した。

サンプルが厚くなるに従い透過度は低くなった。測定結果を、（1）式により近似したところ（2）式の結果となり、相関係数 r^2 は 0.9811 と極めてよい相関が得られた。このときの質量吸収係数は、0.0082 であった。

$$I = 0.83\, I_0\, exp(-0.0082\rho \cdot d) \quad (2)$$

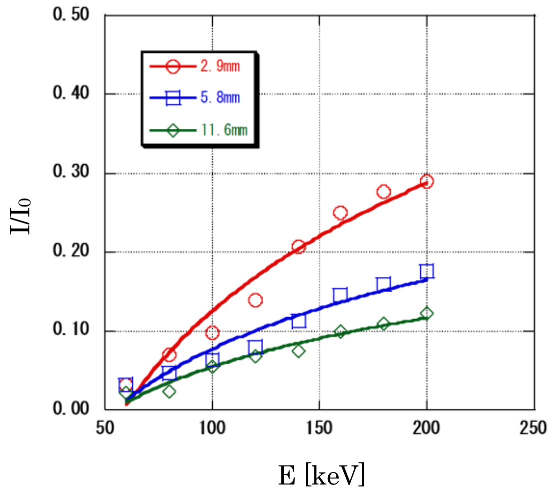


図８　X 線透過度と X 線エネルギー（比重 2.60）

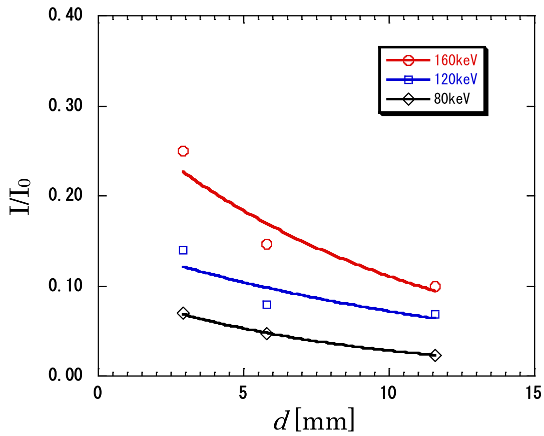


図９　X 線透過度と試料厚さ（比重 2.60）

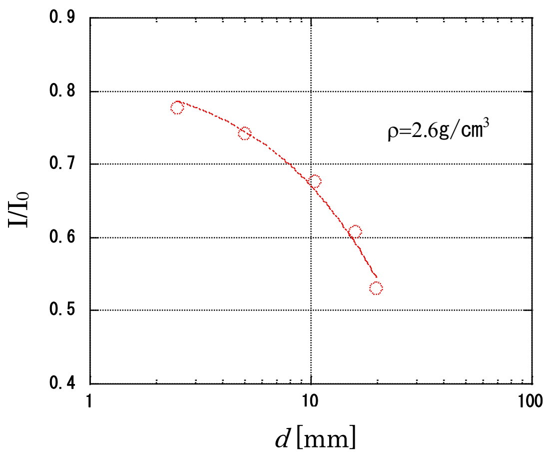


図１０　γ 線透過度と試料厚さ（比重 2.60）

３．４．他社品との比較

樹脂に無機化合物や金属粉末などを混練し、放射線遮蔽能力を向上させる手法は、既知の事実[3),4),5)]であり特許には抵触しないため、各社いろいろな組み合わせの材料を開発している。中でも信頼できる大手 2 社との性能比較を表１に示した。γ線を 50%遮蔽するときの製品厚さの比較では､今回の試作品が 20㎜ と他社よりも優れた結果であった。

表１　γ線遮蔽能力の他社品との比較

	試作品	A社	A社	B社
フィラー	Sn	$BaSO_4$	W	－
フィラー比重	7.4	4.5	19.3	－
製品比重	2.6	－	－	2.0
γ 線50%遮蔽板厚[mm]	20	60	30	42

A 社の比重 4.5 の硫酸バリウム品に比べ、比重 19.3 のタングステン品の性能が極端に優れていないのは、商品価格と性能と混練機等の摩耗を考慮して、添加量を少なくしているためと考えられる。一方 B 社品はフィラーを明らかにしていないが、製品比重 2.0 を公表している。

A 社､B 社ともに遮蔽能力を上げるためにフィラー添加量を上げると、材料粘度が上昇し成形不良が起こりやすくなるため、おのずと添加量は限られてくる。

本研究において、樹脂に比重の大きい金属等を混練するのは、他社製品と変わらないが、無機粉体ではなく低融点金属を樹脂と混練する手法[6),7),8)]が他社との大きく異なる点である。これには大きく２つの利点が挙げられる。

１つは、Sn の融点（232℃）が樹脂の成形温度（200～300℃）に近いことである。これは、混練中に Sn が溶解し、無機粉末とは異なり機器を摩耗させることがないため、新たな設備投資は不要になる。

さらにもう１つは、溶融金属の粘度が低いことが挙げられる。溶融金属の粘度は樹脂のそれに比べ、10^5～10^7ほど小さい。そのために、金属粉末や金属酸化物などとは異なり混練中の機器のトルク上昇はほとんど無く、また流動性もほとんど変わらないため成形不良も起こりにくくなる。

以上の２つの理由により、無機粉体などを混練する手法よりも Sn 添加量を上げることができたため、γ線遮蔽能力が優れたものを開発できたものと考えられる。

３．結言

低融点金属である Sn の粉末を用いて、ABS との混練を 2 段階で行うことで、比重 2.60 の材料を試作した。この材料の､^{137}Cs 標準線源を用いたγ線遮蔽実験では、γ線を 50%遮蔽するのに必要な厚さは、約 20㎜ であった。これは市販している A 社、B 社の製品よりも遮蔽能力が優れていた。

謝辞

樹脂と Sn との混練実験において､山形大学工学研究科　西岡昭博教授にご協力いただきましたことを感謝いたします。

また、^{137}Cs 標準線源を用いたγ線遮蔽実験では、国際情報工科大学校放射線工学科 吉澤敏雄先生にご協力いただいたことを感謝いたします。

追記

この研究開発は、文部科学省の国家課題対応型研究開発推進事業「廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム」(H26～H30) における福島高等工業専門学校の研究テーマ「高い耐放射線能力と軽量で高強度な複合材料」において福島高専の依頼により行ったものである。

参考文献

１）菊池時雄ほか. "放射線を遮蔽するプラスチックの開発". 平成 25 年度福島県ハイテクプラザ研究報告. 2014, p.12-14.
２）日本複合材料学会編. 複合材料ハンドブック. 培風館. 1989, p.431
３）特開 2003-255081
４）特開 2003-28986
５）特許第 4883808 号
６）岩倉賢次, 佐藤正樹. 成形加工'90. 1990, p.111-112 .
７）野口裕之, 中川 威雄. エレクトロニクス実装学会誌. 1999, p.377-241.
８）野口裕之. 成形加工学会誌. 2000, Vol.12, No.5 , p.238-241.

福島県ハイテクプラザ試験研究報告

平成２７年度（２０１５年度）

平成２８年８月発行

福島県ハイテクプラザ
〒963-0297 郡山市待池台一丁目１２番地

代表	０２４－９５９－１７４１
企画管理科	０２４－９５９－１７３６
産学連携科	０２４－９５９－１７４１
工業材料科	０２４－９５９－１７３７
生産・加工科	０２４－９５９－１７３８
プロジェクト研究科	０２４－９５９－１７３９
ＦＡＸ	０２４－９５９－１７６１

福島県ハイテクプラザ福島技術支援センター
〒960-2154　福島市佐倉下字附ノ川１－３

代表	０２４－５９３－１１２１
繊維・材料科	０２４－５９３－１１２２
ＦＡＸ	０２４－５９３－１１２５

福島県ハイテクプラザ会津若松技術支援センター
〒965-0006 会津若松市一箕町大字鶴賀字下柳原８８－１

代表	０２４２－３９－２１００
醸造・食品科	０２４２－３９－２９７６
産業工芸科	０２４２－３９－２９７８
ＦＡＸ	０２４２－３９－０３３５

福島県ハイテクプラザいわき技術支援センター
〒972-8312　いわき市常磐下船尾町字杭出作２３－３２

機械・材料科	０２４６－４４－１４７５（代表）
ＦＡＸ	０２４６－４３－６９５８

編集
福島県ハイテクプラザ　企画管理科
URL http://www.pref.fukushima.lg.jp/w4/hightech/index-pc.html
E-mail hightech-info@pref.fukushima.lg.jp