

ISSN 0919-6676
CODEN: SFHPFE

試験研究報告

平成23年度

福島県ハイテクプラザ

平成23年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告

目次

○技術開発業務

成長産業基盤技術高度化支援事業

- | | | | | |
|---|-------------------------------|------|------|------|
| 1 | CFRPの穴加工における工具・加工条件の検討…………… 1 | | | |
| | 技術開発部生産・加工科 | 夏井憲司 | 吉田 智 | 斎藤俊郎 |
| | | 山口泰寿 | | |
| 2 | FPGAを用いた制御システムの開発…………… 5 | | | |
| | 技術開発部生産・加工科 | 須藤尚子 | 高樋 昌 | 吉田英一 |

環境・新エネルギー関連産業創出プロジェクト事業

- | | | | | |
|---|-----------------------|-------|------|------|
| 1 | 浅部地中熱利用システムの開発…………… 8 | | | |
| | 技術開発部工業材料科 | 五十嵐雄大 | 小柴佳子 | |
| | 技術開発部生産・加工科 | 野村 隆 | 平山和弘 | 吉田英一 |
| | 日本大学工学部 | 伊藤耕祐 | | |
| | 有限会社住環境設計室 | 影山千秋 | | |

いのちを守ろう！農作業安全対策推進事業

- | | | | | |
|---|-------------------------|------|------|--|
| 1 | 簡易型転落・転倒警告装置の開発…………… 10 | | | |
| | 技術開発部生産・加工科 | 高樋 昌 | 有賀真一 | |

受託研究事業

- | | | | | |
|---|--|------|-------|------|
| 1 | 地場水産資源由来グリコサミノグリカン・機能性ペプチドの開発…………… 13 | | | |
| | (一般財団法人内藤泰春科学技術振興財団 調査・研究開発助成) | | | |
| | 技術開発部生産・加工科 | 大野正博 | | |
| 2 | スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信の研究開発(第1報)…………… 17 | | | |
| | (総務省 戦略的情報通信研究開発推進制度) | | | |
| | 技術開発部プロジェクト研究科 | 浜尾和秀 | | |
| | 技術開発部生産・加工科 | 高樋 昌 | | |
| | 福島コンピューターシステム株式会社 | 石川泰弘 | 橋本健一 | 宗像友男 |
| | | 石山修司 | | |
| | いわき明星大学 | 櫻井俊明 | | |
| 3 | 材料科学的なアプローチによる厚板鍛造の高度シミュレーション技術の確立…………… 21 | | | |
| | (経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業) | | | |
| | 技術開発部工業材料科 | 工藤弘行 | 五十嵐雄大 | 栗花信介 |
| | 林精器製造株式会社 | 大沼 孝 | 池浦清一 | 佐藤幸伸 |
| | 茨城大学 | 鈴木徹也 | 永野隆敏 | 岩瀬謙二 |

共同研究事業

- 1 ネットワークオンチップ構成における高位合成に関する研究…………… 2 5
(会津大学戦略的創造研究推進事業 チーム型研究)
技術開発部生産・加工科 吉田英一
会津大学 齋藤 寛 方波見英基 山口 亮
- 2 コーティング処理技術の開発…………… 2 7
(福島県郡山地区木材木工工業団地協同組合福島県森林整備加速化・林業
再生基金事業(地域材利用開発事業))
会津若松技術支援センター産業工芸科 橋本春夫 遠藤知里 宇野秀隆

○企業支援業務

がんばれ福島！産業復興・復旧支援事業

ものづくり復興支援事業(技術開発)

- 1 石炭灰を加工したショットピーニング材の用途拡大…………… 3 0
技術開発部工業材料科 光井 啓 小柴佳子 渡部一博
相馬環境サービス株式会社 熊谷祐一 管野 栄
- 2 石炭灰を配合した陶芸用材料の開発…………… 3 2
会津若松技術支援センター産業工芸科 山崎智史
相馬環境サービス株式会社 熊谷祐一 管野 栄
- 3 蓄電池集電部用溶接システムの開発…………… 3 4
いわき技術支援センター機械・材料科 佐藤善久
本多電機株式会社 伊藤雅人
- 4 羅布麻／絹繊維製品の漂白加工技術の開発…………… 3 6
福島技術支援センター繊維・材料科 伊藤哲司
齋藤産業有限会社 齋藤捷一 佐藤正晴
- 5 微小部品のバリ取り技術の開発…………… 3 9
いわき技術支援センター 機械・材料科 緑川祐二
東洋シャフト株式会社 奥田要一 三瓶 敦 緑川健太
- 6 除染テープの開発…………… 4 1
いわき技術支援センター機械・材料科 三瓶義之
古藤工業株式会社 根本慎一
- 7 パーフェクトシルクを活用した寝装寝具の開発…………… 4 3
技術開発部プロジェクト研究科 東瀬 慎
福島技術支援センター繊維・材料科 菅野陽一 佐々木ふさ子
株式会社東北寝装開発センター 後藤英三郎
- 8 会津身不知柿の冷凍技術を活用した一次加工食材の開発…………… 4 6
会津若松技術支援センター醸造・食品科 一条晶恵 大島健司 鈴木賢二
株式会社河京 佐藤富次郎
- 9 石炭灰フィルターの成形方法の確立と吸着可能な有害物質または有価物質の特定…………… 4 9
いわき技術支援センター機械・材料科 吉田正尚
相馬環境サービス株式会社 管野 栄

1 0	洋ナシの冷凍技術を活用した一次加工食材の開発 会津若松技術支援センター醸造・食品科 株式会社白亜館	一条晶恵 大島健司 鈴木賢二 佐原智恵	5 1
1 1	ナツハゼを活用した一次加工食材の加工技術開発 会津若松技術支援センター醸造・食品科 株式会社白亜館	後藤裕子 大島健司 佐原智恵	5 5
1 2	野の花マットの容器開発 会津若松技術支援センター産業工芸科 有限会社仲田種苗園	遠藤知里 橋本春夫 仲田茂司	5 7
1 3	紫黒米の色素を活用した味噌の開発 会津若松技術支援センター醸造・食品科 有限会社グリーンタフ工業	菊地伸広 小野和広 鈴木二三子	6 0
1 4	CFRPサンドイッチパネルの開発 技術開発部工業材料科 丸隆工業株式会社	菊地時雄 宮田智弘	6 3
1 5	繰返し荷重試験による疲労特性評価 技術開発部工業材料科 東北ネヂ製造株式会社	工藤弘行 関口龍一郎	6 5

CFRPの穴加工における工具・加工条件の検討

Investigations on tools and processing condition for CFRP by drilling

技術開発部生産・加工科 夏井憲司 吉田智 斎藤俊郎 山口泰寿

軽くて高強度であるという特性から燃費向上を目的として航空機や自動車に使用されるようになった CFRP(炭素繊維強化プラスチック)の穴加工実験を行い、加工穴の品質、加工欠陥および工具摩耗の評価を行った。その結果、CFRP の穴加工を行う際に工具、加工条件を決定するための基礎データを収集することができた。

Key words: CFRP、穴加工、工具寿命、加工欠陥

1. 緒言

近年、CFRP(炭素繊維強化プラスチック)は、軽くて高強度であるという特性から燃費向上を目的として、航空機や自動車などに使用されるようになってきた。

CFRP の接合には主にリベットやボルトが用いられるため穴加工が必要になるが、CFRP の穴加工においては、バリ、層間剥離(デラミネーション)や繊維切れ残りなどの加工欠陥および著しい工具摩耗の発生などの問題が多数ある。

そのため、各工具メーカーでは形状や表面処理方法を改良し、工具摩耗、加工欠陥対策を施した専用ドリル(特殊形状超硬ドリル、ダイヤモンドコーティングドリル(以下は、ダイヤモンドコートドリルとする。)、PCDドリルなど)を販売している。

そこで本研究では、特徴的な CFRP 専用ドリルを用いて穴加工実験を行い、発生する加工欠陥や工具摩耗を調べて、工具を選定するために必要な基礎データを収集した。併せて、CFRP の穴加工に関する周辺技術の検討も行ったので、その結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1. 使用ドリルおよび加工条件

今回、実験に使用したドリルとその加工条件を図 1 に示す。本研究では、4 種類のドリルを使用した。ドリル A は、先端がロウソクの様な形をした特殊形状超硬合金ドリルで、切れ刃の先端が鎌の様に尖っており、炭素繊維の切れ残りを抑制する形状になっている。ドリル B は、ダイヤモンドコーティングを施した超硬合金ドリルで、ドリルの先端角が切れ刃の途中で変化するダブルアングル形状をしており、切削時のスラスト力を小さくし、デラミネーションの発生を抑制することができる。ドリル C は、直溝のダイヤモンドコーティング超硬ドリルで、こちらもデラミネーションを防止するために、ドリル先端角が切れ刃の途中で変化する形状となっている。ドリル D は、CFRP 専用ドリルとの違いを比較するために金属加工用ドリルを選定した。

切削条件は、切削速度、送り量とも工具メーカーの推奨する値を用いた単純貫通穴加工とした。ただし、

金属加工用ドリルは工具メーカーで CFRP に対しての推奨切削条件を定めていなかったため、他の CFRP 専用超硬ドリルを参考に切削条件を決定した。

また、実験に使用した工具の径は、航空機の製造において最も多く用いられている直径 6.35mm に、市販されているものの中で最も近いものとした。

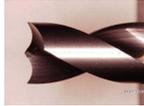
	形状	切削速度 (m/min)	送り量 (mm/rev)
ドリルA 特殊形状超硬 (φ6.5mm)		102.1	0.06
ドリルB ダイヤモンドコート (φ6.35mm)		99.7	0.06
ドリルC ダイヤモンドコート(直溝) (φ6.375mm)		60.1	0.06
ドリルD 金属加工用 (φ6.4mm)		60.3	0.06

図1 使用ドリルおよび加工条件

2. 2. 被削材および実験装置

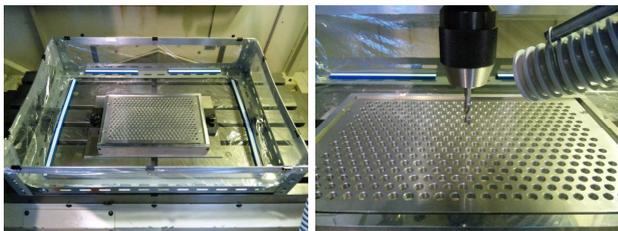
実験に使用した被削材を図 2 に示す。被削材には、炭素繊維を一方方向に引きそろえて樹脂を含浸、半硬化させた UD プリプレグシートといわれるものを、繊維方向を 45° または 90° 回転させながら 16 枚積層し、オートクレーブで成形した CFRP を使用した。



図2 実験で使用したCFRP

実験装置には、マシニングセンタ(三菱重工業(株)製 M-V5B)を使用した。CFRP の切りくずは、加工機の精度を低下させたり、作業者の健康被害の原因となったりするため、切りくずの飛散を防止する囲いをステージ上に取り付け、主軸脇に取り付けた集塵機の吸引口から切りくずを吸引しながら実験を行った。

また、囲いの中に CFRP を固定するための治具と切削力による被削材の変形を防止するためのバックアップボードを取り付けた。バックアップボードには、ドリル径より直径が 1.5mm 程度大きい下穴が開いており、その上に CFRP を固定し、下穴の開いている位置で穴加工を行った。今回、作製した治具を図 3 に示す。



(左:切りくず飛散防用囲い 右:バックアップボード)
図3 作製した治具

2. 3. 評価方法

今回の実験では、測定顕微鏡((株)ニコン製 MM-40)を用いて加工穴数が 10、20、30、50、70、100、150、200、250、300 に達するごとに、それ以降は 100 穴ごとにドリル逃げ面の観察を行った。逃げ面の摩耗量が 100 μ m に達した場合や加工穴数が 1000 穴に達した場合は、実験を終了した。

実験終了後は、デジタルマイクロスコープ((株)ハイロックス製 KH-7700)による工具摩耗状況の観察、実体顕微鏡(オリンパス(株)製 SZX12)による CFRP 加工穴の観察、三次元測定機(カールツァイス(株)製 UPMC550)による加工穴径の測定、真円度測定機((株)東京精密製 ROND COM60A)による加工穴の真円度測定を行った。

3. 実験結果および考察

3. 1. 切りくず処理



図4 穴加工の様子

図 4 に、加工実験の様子を示す。使用するドリルにより、切りくずの形状は変化した。ドリル A,B,D の穴加工では、比較的大きな粒状の切りくずとなったため、集塵機で吸引することができたが、ドリル C の穴加工では、粉状の切りくずが加工穴の周りに固まっ

て発生したため、集塵機で吸引することができず、穴加工後に切りくずの吸引のみを別途行う必要があった。しかし、今回行った実験の全ての加工条件では、ドリルの回転により切りくずが巻き上げられて囲いの外に飛散するといった現象は発生しなかった。

て発生したため、集塵機で吸引することができず、穴加工後に切りくずの吸引のみを別途行う必要があった。しかし、今回行った実験の全ての加工条件では、ドリルの回転により切りくずが巻き上げられて囲いの外に飛散するといった現象は発生しなかった。

3. 2. 工具の摩耗状態

図 5 にデジタルマイクロスコープで撮影したドリル切れ刃の新品時と実験終了後の観察画像を示す。ドリル A は、加工穴数が増えるとドリル外周部の先端が丸まっていくだけで逃げ面に摩耗はあまり進行しなかった。実験終了の条件ではないが、400 穴加工したところで、摩耗により外周部先端に鋭さがなくなったため実験を終了した。

ドリル B,C は、加工穴数が 1000 に達したため実験を終了した。工具の摩耗幅はいずれも 40 ~ 50 μ 程度であった。

ドリル D については、100 穴加工したところで摩耗量が 100 μ m に達したため、実験を終了した。

	切れ刃 (新品)	切れ刃 (実験終了後)	加工穴数
ドリルA			400
ドリルB			1000
ドリルC			1000
ドリルD			100

図5 各ドリルの観察画像

3. 3. 加工穴の品質

実体顕微鏡で撮影した加工穴の観察画像を図 6 に示す。今回発生した加工欠陥のうち、加工穴の内側にかかるように炭素繊維が残っていた場合を繊維切れ残り、加工穴の内側にはかからない極短い炭素繊維の切れ残り、樹脂の盛り上がりバリとした。

ドリル A では、始めは入口、出口側ともバリや繊維切れ残りもない良好な穴品質だったが、30 穴程度より出口側で一部炭素繊維の切れ残りが見られるようになった。それ以降は、実験を終了した 400 穴まで、切れ残った繊維量に多少の増加は見られたが同じような品質の加工穴となった。

ドリル B は、1 穴目から入口側にバリと出口側に炭素繊維の切れ残りが見られた。出口側の切れ残った繊維

維の量は、450 穴程度まで増加していったが、その後は実験を終了した 1,000 穴までほぼ一定となった。

		1穴目	31穴目	状態
ドリル A	入口側			良好
	出口側			一部繊維の切れ残り
		1穴目	451穴目	状態
ドリル B	入口側			バリあり
	出口側			繊維切れ残りあり
		1穴目	160穴目	状態
ドリル C	入口側			繊維切れ残りあり
	出口側			繊維切れ残りあり
		1穴目	100穴目	状態
ドリル D	入口側			バリあり
	出口側			繊維切れ残りあり

図6 加工穴観察画像

ドリル C についても、1 穴目から出口側に炭素繊維の切れ残りが見られた。切れ残った繊維の量は、加工穴数が増えると共に増加していったが 160 穴程度とドリル B に比べ早い段階で一定となった。また、加工穴数の増加に合わせて、入口側でも短い繊維の切れ残りが発生するようになった。

ドリル D については、1 穴目から入口側にはバリが出口側には繊維の切れ残りが発生した。実験を終了した 100 穴まで穴品質に大きな変化はなかった。

今回の実験で、ドリル A ~ D で開けた加工穴には、目視で確認できるような表層のデラミネーションは発生しなかった。しかし、CFRP 板厚中央の層間に目視では確認できないようなデラミネーションが発生している可能性はあるため、そのようなデラミネーションを評価する方法を、今後検討する必要があると考えられる。

3. 4. 加工穴の形状精度

図 7 に加工穴数に対する穴径誤差の推移を示す。ここに示す穴径誤差は、三次元測定機で測定した加工穴の直径から測定顕微鏡で測定したドリル径の実測値を引いたものである。

ドリル A の加工穴の直径は、ほぼ一定となったが、それ以外のドリル B ~ D については、加工穴数が増えると穴径は減少する結果となった。

切削による穴加工をする場合、切削力により弾性変形していたものが、加工後にもとに戻り穴径が小さくなるスプリングバックという現象が発生する。実験の前後でドリル径に変化は見られなかったため、この結果は、摩耗により切れ味が落ち、被削材を切るのではなく押し広げる作用が強くなり、スプリングバック量が増加したためだと考えられる。

特にドリル B,C は、デラミネーションを防止するため、先端角が切れ刃の途中で変化する形状をしており、穴を押し広げながら加工する。そのため、通常のドリルよりもスプリングバックを発生しやすく、加工穴数の増加に伴い穴径が減少する傾向を顕著に示したものである。

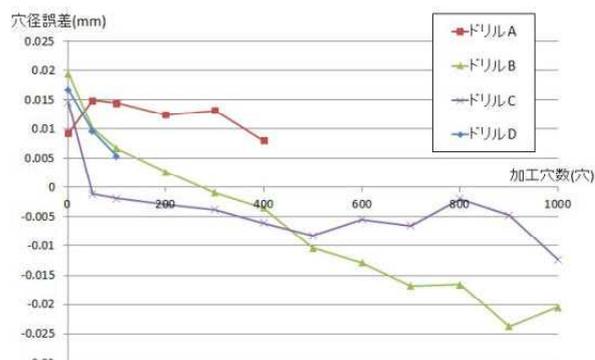


図7 穴径誤差の推移

加工穴数に対する真円度の推移を図 8 に示す。全てのドリルの加工穴で、加工穴数の増加に伴い真円度は悪化する傾向を示した。

ただし、ドリル C の加工穴については、真円度は 40 μ m 程度まで悪化したのちほぼ一定となった。この結果は、ドリル C の形状に起因すると考えられる。通常のねじれドリルであると加工穴の内径部を切削するのは、切れ刃の最外周部の 1 箇所であるのに対し、ドリル C は直溝であるため、加工穴の内径部を切削

することのできる切れ刃は先端を除いた溝長すべてに存在する。そのため、先端側の切れ刃が摩耗したとしても、シャンク側の摩耗していない切れ刃で切削することができたため、真円度の値が安定したと考えられる。

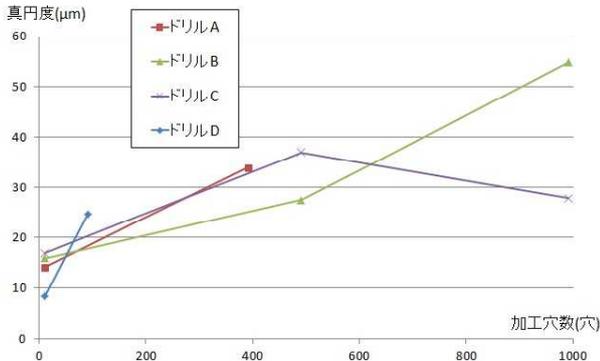


図8 真円度の推移

4. 結言

CFRP 専用ドリルを用いて、UD プリプレグより製作した CFRP の穴加工実験を行い工具・加工条件を選定するための基礎データの収集を行ったところ、以下のことがわかった。

- (1)ドリル A (特殊形状超硬ドリル) は、炭素繊維の切れ残りが発生しにくく、比較的良好な穴品質を得ることができる。工具摩耗についても、ダイヤモンドドリルに及ばないまでも、金属用ドリルよりは摩耗の進行は遅かった。
- (2)ドリル B (ダイヤモンドドリル) は、工具摩耗量は一番小さかったが、コーティングの膜厚により切れ刃の鋭利さが損なわれているため、炭素繊維の切れ残りが発生しやすかった。
- (3)ドリル C (直溝のダイヤモンドドリル) は、ドリル B と同じく工具摩耗量は小さかったが、炭素繊維の切れ残りが発生しやすかった。しかし、穴品質は、加工穴数の増加に伴いある程度悪化するとその後は安定することを確認した。
- (4)集塵機や切りくず飛散防止用の囲いなどを使用すれば、テーブル外への切りくずの飛散はほとんどないと思われる。
- (5)デラミネーションが、CFRP 板厚中央で発生した場合、目視や顕微鏡観察では確認することができないため、他の確認方法の検討が必要となる。

今回は、バックアップボードを用いて被削材のたわみを取り除いた状態で実験を行ったが、実際の製造の現場ではバックアップボードは使用されていないことが多い。バックアップボードを使用しない場合、被削材にたわみや貫通時の振動が発生するようになり、工

具摩耗や加工欠陥にも影響することが考えられるため、バックアップボードを使用しない場合についても実験を行う必要があると考えられる。

また、今後は、今回は検討することができなかったデラミネーションの評価方法の検討やクロスプリプレグより製造した CFRP を用いて、切削速度や送り量などの加工条件を変えた場合、加工欠陥や工具摩耗にどのような影響を及ぼすかの調査に取り組む予定である。

FPGAを用いた制御システムの開発

Development of the industrial machine control system using FPGA

技術開発部生産・加工科 須藤尚子 高樋昌 吉田英一

生産機械の制御回路開発の効率化と小型化を図るために、FPGAを用いたSoCシステムの構築を行った。また、制御ソフトウェア開発の優位性を確認するためにリアルタイムOSを用いた。その結果、モータ制御の基本機能のみの実装ではあるが、SoCシステムにより制御回路基板を15分の1程度に小型化することができた。また、回路変更も通常1~2週間程度要していたところが、数分から数時間以内に短縮できることを確認した。さらに、TOPPERS/JSPを用いることでMPUに依存しないソフトウェアを構築することができた。

Key words: 組込み、FPGA、SoC、 μ ITRON、TOPPERS プロジェクト

1. 緒言

電機製品の開発において、制御回路が大規模化する一方、回路の開発期間は短縮を求められている。企業は開発効率の向上により対処する必要があり、組込み技術は代表的な対策の一つである。近年、新たな技術として、MPUと周辺回路を全てFPGA内部に実現するSoC(System on a Chip: 複数機能を集積した半導体チップ設計)を使用した開発の効率化が注目されている¹⁾。SoCのメリットは、記述型回路を用いることにより急な仕様変更、設計変更に対応できることや、MPU周辺機能の設計を開発者が行うため、必要最小限のデバイス・機能のみで回路を構成することができることである。このように、FPGAを用いた製品開発を行うと開発効率の劇的な向上が期待できるため、開発期間の短縮や従来システムの機能の充実を迫られることの多い中小企業でも積極的に取り入れようとしている。

FPGAは、従来より回路設計の自由度の高さから電子回路には必須のデバイスと言われてきた。また、ここ数年大容量化と低価格化が進んだため、SoC分野への中小企業の参入が可能となってきている。将来的には、大企業からFPGAによるSoCの設計を委託されることも想定される。

初年度は、具体的なターゲットとして産業機械に多く使われている三相交流モータの制御を想定し、ワンチップで三相交流モータの制御システムを構築するために、制御回路とMPUをFPGAに配置しSoCを実現した。制御回路には、モータ駆動に多く用いられるPWM回路²⁾を用いた。

これにより、従来製品(基板部分)と比較してどの程度小型化できるか、また、仕様変更を製品にどの程度早く反映できるかを検討した。さらに、組込み用リアルタイムOSとしてTOPPERS/JSP³⁾を搭載し汎用性を高めた。

2. システム設計

図1に本研究で構築するシステムの概要を示す。

FPGAの内部にMPUとPWM制御回路を配置し、同一のバスに接続してSoCシステムとした。最終的に

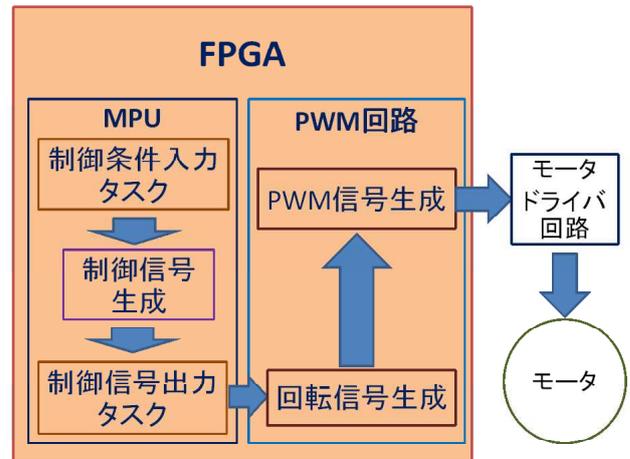


図1 システムブロック

FPGAの制御回路で生成したモータ制御信号(PWM信号)をモータドライバで増幅しモータを動作させる。なお、本年度は簡単のためフィードバック制御などの安定化制御は加えていない。

実験に用いるFPGAボードを図2に示す。実験用ボードはヒューマンデータ社のACM-024-GX50を用いた。本ボードにはAltera社のFPGA:CycloneIVGX(EP4CGX50)が搭載されている。また、汎用デバイスとして、LED(8bit)、PB(プッシュボタン)、EPCSメモリ(2MB)、DDR2SDRAM(32MB)、JTAGコネクタ、汎用入出力ピンが用意されている。

SoCを構成するMPUブロックとPWM回路ブロックのハードウェア(記述回路)を図3、図4に示す。

MPUブロックにおいて、MPUにはAltera社が提供するNiosII/eIPコア(32ビット)を用いた。MPUに接続する汎用デバイスは、SoCを構成するFPGAが実装された実験用ボードのハードウェアをそのまま利

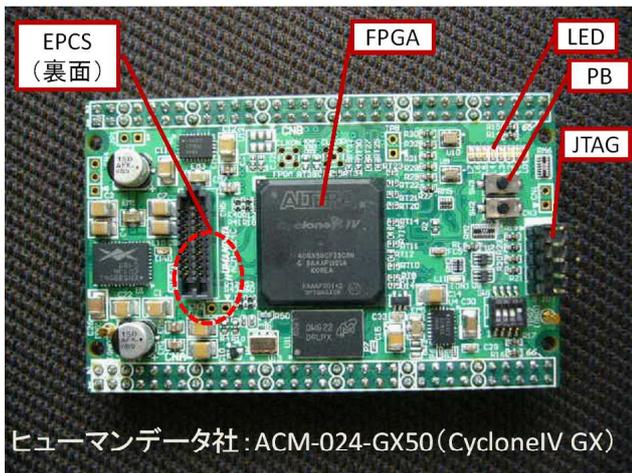


図2 実験用FPGAボード

用した。本研究では、8bit LED、PB × 2、EPCS メモリ 2M バイト、JTAG コネクタを MPU に接続するためのインターフェースを用意した。FPGA 内部に十分なオンチップメモリ (256k バイト) を準備できるため、外部メモリは使用しなかった。また、OS 用のシステムタイマを用意した。

PWM 回路ブロックの構成要素は、位相調整器、ゲイン調整器、キャリア信号発生器、比較器、PWM 信号生成器、PWM 回路基準クロック生成器とした。

PWM 回路は、速度指令値を受けとり各相ごとの速度信号を生成したのち、キャリア信号と比較して PWM 信号を生成するという一般的な回路となっている。システムクロックを 50MHz、PWM 回路基準クロックを 3.84MHz とし、キャリア信号は 1kHz の三角波とした。なお、交流モータの制御では、制御信号の正負反転時に空走時間 (デッドタイム) を挿入する必要がある。デッドタイムは通常回路で実装することが多いが、本システムでは PWM 信号発生器内に実装した。

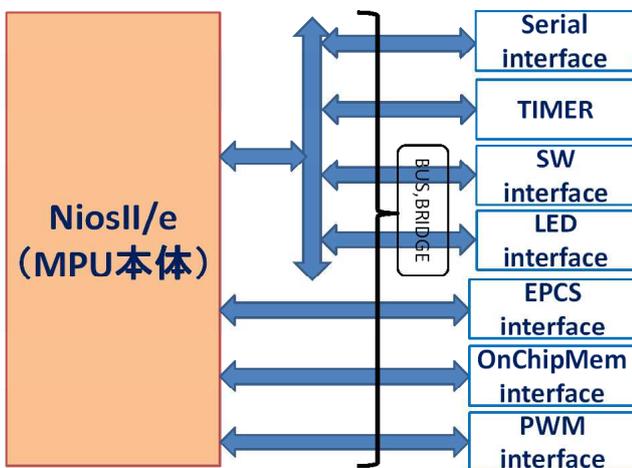


図3 MPUブロック詳細

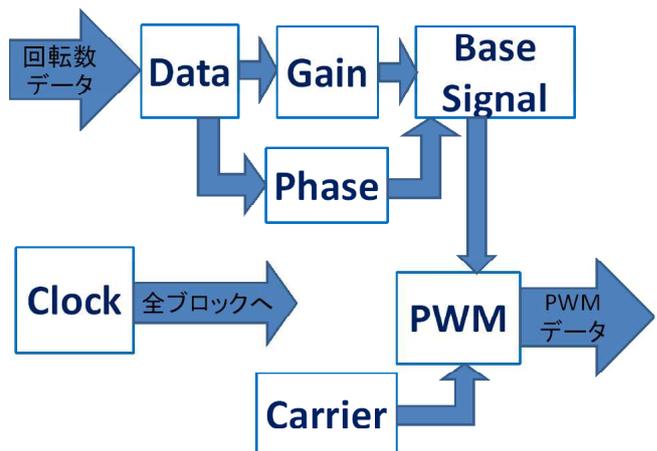


図4 PWMブロック詳細

3. 基本ソフトウェア開発

モータの回転制御を行うために、リアルタイム OS として μ ITRON 仕様の TOPPERS/JSP を導入した。TOPPERS/JSP を使い、回転制御用のソフトウェアを制御値入力タスクと PWM 回路用パルス変換タスクとして構築した。入力タスクで制御値を入力し、入力された値をパルス変換タスクで制御用パルスに変換するという構造になる。制御値は以下の通りとした。

制御値入力画面を図 5 に示す。

1. モータの立上り回転数 (rpm/s)
2. モータの立下り回転数 (rpm/s)
3. 最高回転数 (rpm)
4. 回転回数 (回)
5. 回転方向 (CW/CCW)

PWM 回路用パルス変換タスクでは、モータの立上り→最高回転保持→モータの立下りの各状態の保持時間をパルス数に変換する。通常、モータ制御では正確な回転数が必要になるため、回転数をモニタフィードバックするが、簡単のためフィードバック制御などの安定化制御は割愛した。

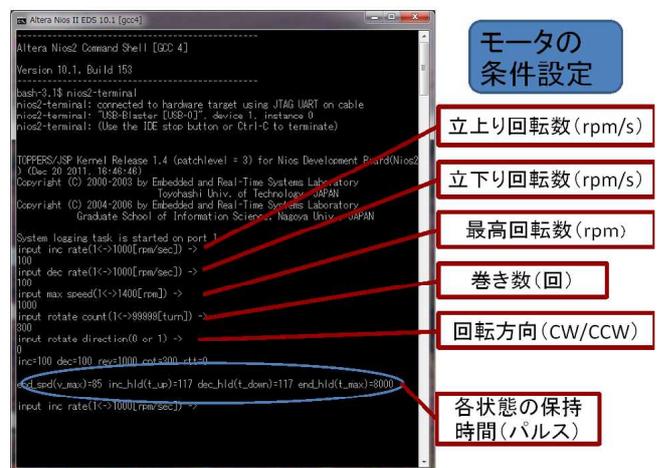


図5 TOPPERS/JSP入力画面

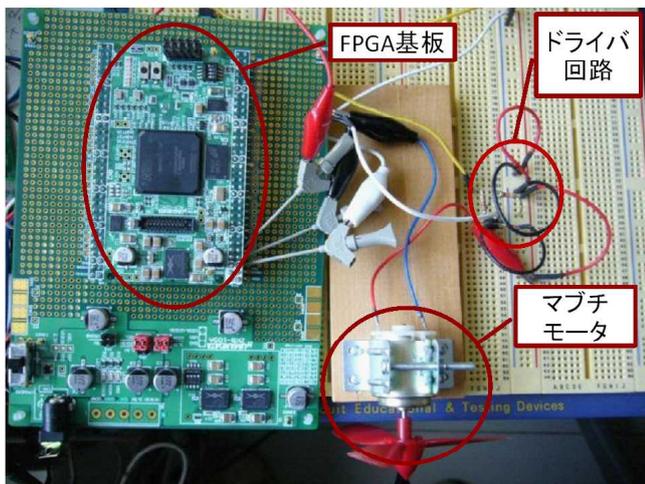


図6 PWM回路動作実験

組込みソフトウェアの開発において、通常 MPU が変更されるとほとんど最初からソフトウェアの開発を行わなくてはならない。しかし、TOPPERS/JSP は各種 MPU に対する移植がなされているため、余分な移植作業やシステム固有の記述変更がほとんど必要なく、動作記述を行うだけでよい。したがって、大幅な開発時間短縮を図ることが可能となる。

4. システム検証

構築した SoC システムの動作を確認するために、図 6 に示す簡易な実験装置を構築してシステム検証を行った。

本研究では、最終的に産業機械の三相交流モータの駆動を想定しているが、PWM 回路の動作確認も含めホビー用の小型 DC モータを駆動させる実験を行った。

FPGA に構築した SoC システムと、ブレッドボード上に配置した小型 DC モータおよびモータドライバ回路を接続し、PC を入出力機器として動作を確認した。PC は SoC システムにシリアル接続した。PC 上で入力用ターミナルソフトを起動すると自動的にソフ

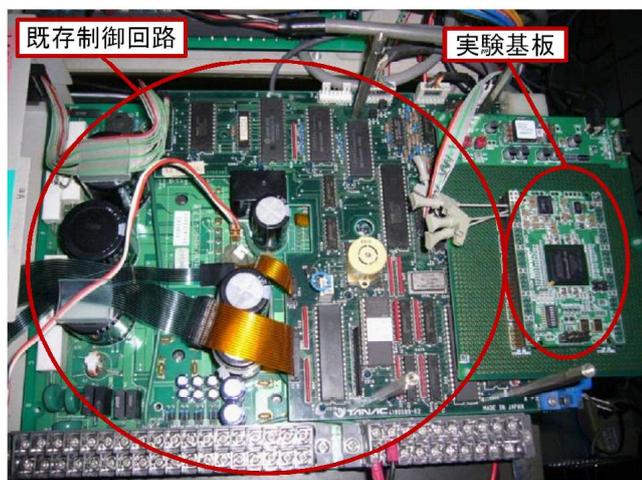


図7 ボードサイズ比較

トウェアが起動し入力待ちになる。図 5 で示した通り、制御値を入力するとモータが回転する。この時、オシロスコープで PWM 信号が所定のとおり出力されていることを同時に確認した。なお、SoC システムからは三相で信号を出力しているが、DC モータへはそのうちの一相の半波分を接続しているため動作はぎこちない。しかし、立上り、一定回転、立下りの動作は確認できた。

既存制御回路基板と SoC システムを搭載した汎用 FPGA 基板を図 7 に示す。SoC システムのサイズは 54mm × 86mm である。開発に用いる汎用 FPGA 基板サイズによるが、ほとんどの汎用 FPGA 基板がこの程度の大きさである。既存制御回路基板は 240mm × 300mm なので、面積比で 15 分の 1 になり、大幅に小型化が実現できた。なお、既存制御回路基板のすべての機能を SoC システムに実装しているわけではないが、SoC システムを構築してもなお FPGA の使用率は 50 %程度である。したがって、FPGA に既存基板の残りの機能を実装することは可能である。

5. 結言

三相交流モータで駆動される産業機械の制御基板の小型化や開発効率の向上を狙い、FPGA 上に MPU と PWM 回路を搭載し SoC システムを構築した。

その結果、今回構築した SoC システムとターゲットとした産業機械の既存基板を比較すると、面積で 1/15 程度にすることができた。また、通常ハードウェアの配線変更などで 1 ~ 2 週間かかる変更も数分~数時間で可能であった。さらに、ソフトウェア開発においては、移植作業など MPU を考慮して開発をすることなく動作記述のみを行うことが実現できた。

本研究の成果は、制御システムを必要とする企業に留まらず、電子回路を利用する全ての製品開発に対応する事が可能である。具体的には、県内で製造される製品・産業機械としてプリンタ、自動巻線機、バッテリー試験機などはほんの一例としてあげることができる。

参考文献

- 1)熊谷あき：“SoC 時代のシステム設計の現状”、CQ 出版、Interface、2005/6
- 2)尾形直秀他：“組込み応用製品の高機能化・高信頼性に関する研究”、平成 19 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告、pp.13-16、2008
- 3)TOPPERS プロジェクト：<http://www.toppers.jp>

浅部地中熱利用システムの開発

Development of Shallow Ground Thermal Energy System

技術開発部工業材料科 五十嵐雄大 小柴佳子
技術開発部生産・加工科 野村 隆 平山和弘 吉田英一
日本大学工学部 伊藤耕祐
有限会社住環境設計室 影山千秋

地中熱は太陽エネルギーを起源とした地表面の熱であり、再生可能エネルギーのひとつである。浅部地中熱利用は、地表から10mより浅い層の熱を利用するもので、従来の地中熱利用よりも低コストでの熱利用が期待できる。そこで、冷暖房・給湯システムをはじめとする浅部地中熱利用システムの実用化が求められている。浅部地中熱利用システムの開発に必要な技術要素を評価するため、浅部地中熱利用ミニモデルを作製し、温度モニタリングが可能な採熱温度測定システムを構築した。

Key words : 浅部地中熱、再生可能エネルギー

1. 緒言

化石燃料の大量消費による環境問題が顕在化し、クリーンエネルギーの利用促進が求められてきた。また、福島第一原子力発電所事故以降、原子力エネルギーの代替となるエネルギー源の利用が求められ、クリーンで安全な再生可能エネルギーの導入実現が急務となっている。地中熱は、太陽エネルギーを起源とした地表面の熱であり、昼夜を問わず年間を通して安定した熱が得られる再生可能エネルギーとして注目されている。

現在の地中熱利用は、1～2本の熱交換井を地表から50～150mの深さまで埋設し、ヒートポンプを介して地中熱を利用する方法が一般的である。熱交換井とは、地中と熱のやりとりをするための熱交換器であり、U字型の採熱管を地中に埋設するものが一般的である。採熱管内には地中とヒートポンプ間の循環液として冷媒が充填されている。図1に冷暖房に地中熱を利用する場合の模式図を示す。夏は室内の暖かい空気を地中に放熱することで冷房に利用し、冬は地中から採熱して暖房に利用する。しかし、こうした地中熱利

用では、専用機による大がかりな施工によって熱交換井を地中深くまで埋設するため、導入コストが高く、普及が進まないのが現状である。

浅部地中熱利用は、複数本の熱交換井を地表から10m程度埋設し、従来の地中熱利用よりも浅い層(=浅部)の地中熱を利用する方法である。熱交換井の埋設深さが浅く、施工が容易となるため、導入コストを低くでき、再生可能エネルギー利用方法として普及拡大が期待できる。

地中温度は、地表から10mより深い層では外気温度の影響を受けにくく恒温である¹⁾のに対し、浅部では季節によって変動し、地表面付近の温度ほど外気温度に近づいている。地中温度と外気温度の差が小さい浅部の地中熱を有効に利用するには、熱交換効率の高いシステムが必要となる。そこで本研究では、導入コストが低く、熱交換効率の高いヒートポンプシステムを持つ浅部地中熱利用システムの開発を目的とした。

ハイテクプラザでは、熱交換井の材質や循環液の種類などの条件を変更できる浅部地中熱利用システムのミニモデルを作製し、熱交換井の配置などを变化させた場合の地中の温度分布や採熱量を測定し、熱交換効率の高い条件を見出す事を目指した。日本大学工学部には住宅用小型地中熱ヒートポンプシステムの開発、有限会社住環境設計室にはヒートポンプ用浅部地中熱採熱システムの開発を委託した。

2. 実験および実験結果

2. 1. 浅部地中熱利用ミニモデルの作製

図2に浅部地中熱利用ミニモデルの構成図を示す。ミニモデルの寸法は日本大学の浅部地中熱利用実験施設の約1/10にした。

地中のモデルとして、FRP容器に土を充填し、底部に地中温度調節装置を配した。熱交換井のモデルとして、ポリエチレンU字管を鋼管に挿入し地中に埋

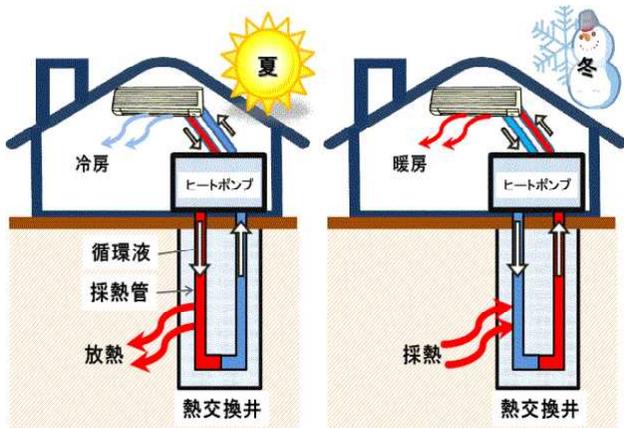


図1 地中熱利用例の模式図

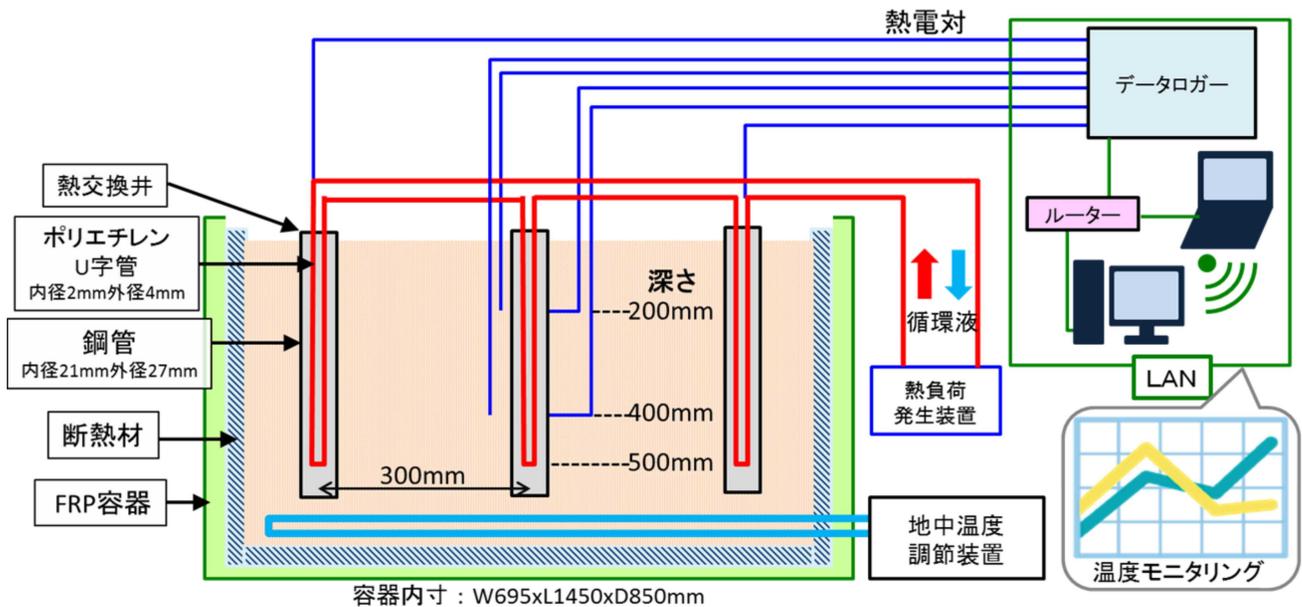


図2 浅部地中熱利用ミニモデル構成図

設した。U字管内の循環液および鋼管内の充填材には水を使用した。地中熱利用時の循環液温度を再現し、地中への入口温度を一定に保つために、U字管に恒温槽などを使用した熱負荷発生装置を接続した。

地中および熱交換井内の温度分布測定を行うために、地表から 200mm と 400mm の位置の地中と鋼管内に熱電対を配した。採熱量測定を行うために、U字管の地中への入口および出口側に熱電対を挿入した。各熱電対はデータロガーへ接続し、連続的に温度測定ができる構成とした。

2. 2. 採熱温度測定システムの構築

浅部地中熱利用ミニモデル内の温度モニタリングのため、通信機器用の監視ソフトウェア「Cacti」²⁾を活用して採熱温度測定システムを構築した。汎用のソフトウェアを用いることで、異種複数のデータロガーに

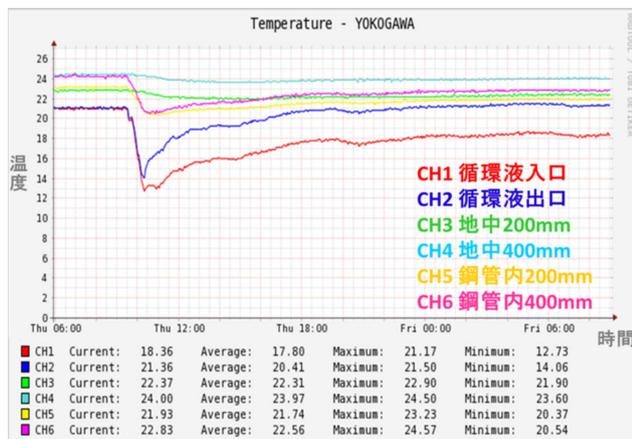


図3 温度モニタリングの例

対応し、温度測定点の増設も可能なシステムにした。

各温度測定点のデータを1分間隔で約1年間蓄積し、LANにより外部のPCからオンデマンドにグラフ表示するほか、蓄積したデータを定期的にcsv形式で保存する構成にした。図3に温度モニタリングの例を示す。循環液の入口温度と出口温度に差が見られ、地中との熱交換が行われていることを確認した。

3. 結言

再生可能エネルギーの一つである地中熱の利用促進をするために、導入コストが低く、熱交換効率の高いヒートポンプシステムを有する浅部地中熱利用システムの開発を目指した。平成23年度は、浅部地中熱利用ミニモデルを作製し、採熱温度測定システムを構築した。

今後は浅部地中熱利用ミニモデルの熱交換井の配置、循環液の種類、地中温度および循環液温度などの各種条件を変更した場合の地中の温度分布や採熱量を測定し、高効率な熱交換を行うための条件を検討していく。

参考文献

- 1) 北海道大学地中熱利用システム工学講座著：地中熱ヒートポンプシステム、2009
- 2) Cacti : <http://www.cacti.net/>

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

技術開発部生産・加工科 高樋 昌 有賀真一

農作業における乗用トラクタでの転倒・転落事故を予防するために、後付で使用する簡易型の転倒・転落警報装置の開発を行った。本年度は、条件を田畑の出入り口付近での低速移動に絞り、角度検出のみで警報装置を構築することを試みた。その結果、3軸加速度センサを用いて角度検出する場合、歩行速度程度のゆっくりした移動ではある程度角度を検出できるものの、小走り程度の速度では振動の影響などが大きく、角度検出ができないことが分かった。

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

1. 緒言

福島県における農作業時の死亡事故をしてみると、乗用トラクタによる事故が48%を占め最も多くなっている。そのうち転落・転倒が78%を占める(H10～H19年度：福島県農林水産部農業担い手課調べ)¹⁾。

また、鹿児島県による農作業時の事故調査²⁾によると、農道・公道での転落・転倒、水田や畑の出入り口での転落・転倒が多いとの結果が出ている。

これらのことから、危険な状況を検知し転落・転倒を防止する警告装置を開発することは、農作業死亡事故の減少に対する効果が大きいと考えられる³⁾。

また、「農業機械による農作業は、1人で行うことが多く、事故発生から発見までの時間は、発生直後が最も多いが、発生から2～3時間まで発見されている場合も多く、場合によっては5時間以上経てから」という鹿児島県の報告があった。事故が発生した場合、できるだけ早く発見されるべきなので、農作業事故発生から発見までの時間短縮も考慮の余地がある。したがって、最終的に第三者に報告する装置を併せて開発する事も検討する。

本年度は、乗用トラクタの転倒を検知するために角度検出装置を構築し、設定角度で警報が適切に出せるかどうかを検討した。なお、本年度は圃場の出入り口及び圃場内移動時の転倒防止を想定した。一般的にこの区域では農業機械の移動速度が比較的遅い(2～12km/h程度)ため、転倒防止システムの構築は、動的な角度変化を考慮せず角度検出のみで可能と考えられる。また、製品化に伴う低価格化を考慮すると、角度検出のみで装置が構築できればセンサの数量を減らすことも可能となる。

2. 実験装置の構築

通常、移動体の姿勢検出は複数のセンサを組み合わせて実現することが多い。これは、姿勢検出の目的が動的な情報を取り込み移動体の姿勢制御を行うからである。本年度は圃場の出入り口での移動(低速)あるいは圃場内での移動(高速)を想定しており、また姿勢制御は行わない。そのため、農業機械の移動速度が

遅い状態において、転倒警報に対する設定角度を超えたかどうかを検出することに条件を絞り込むことができる。

実験装置は、角度検出に3軸加速度センサを用い、市販のマイコンで角度を算出したのち設定角度を超えた場合警告用LEDを点灯させた。角度検出方向は4方向(前後左右)とした。角度検出は図1のとおりである。

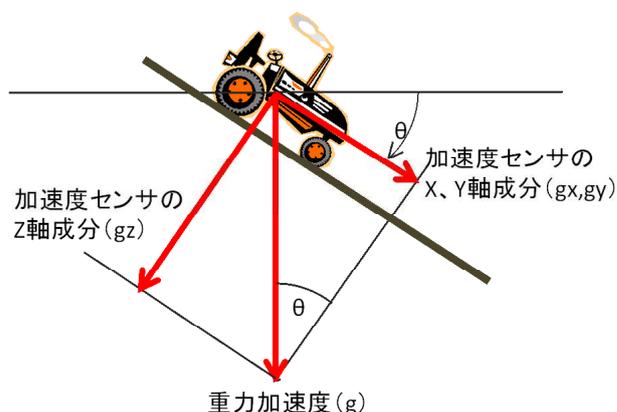


図1 角度検出方法

Christopherによれば、3軸加速度センサは、重力加速度を直交する3軸の傾斜角に合った成分として電圧値を出力する。例えば、センサを水平に設置し水平にある2軸をそれぞれx軸、y軸、その2軸に直交する軸をz軸とし、重力加速度をgとする。この場合、鉛直下向きの成分はg、その他2軸はゼロになる。また、y軸をx軸周りに30度傾けるとx軸方向の成分はゼロ、y軸方向の成分は0.5g、z軸方向の成分はとなる⁴⁾。本研究において必要 $\sqrt{3}/2g$ な角度は水平面の傾き角である。従って、角度計測は前後左右4方向で行った。角度算出は次式による。

$$x \text{ 軸: } \theta_x = \arctan(g_x/g_z)$$

$$y \text{ 軸: } \theta_y = \arctan(g_y/g_z)$$

3. 実験

図2に本研究で使用した実験装置を示す。マイコン

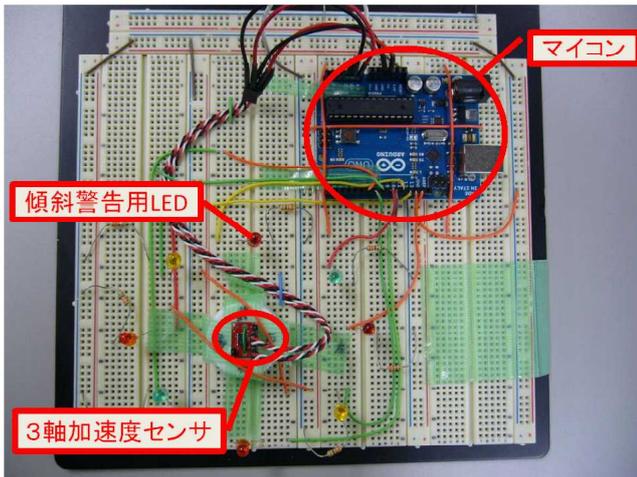


図2 角度検出装置

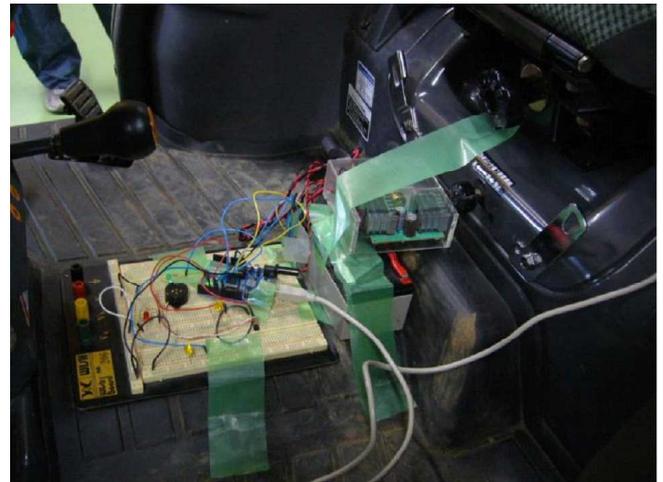


図4 実験装置装着位置

は Smart Project が製造する Arduino UNO⁵⁾を用いた。3 軸加速度センサは浅草ギ研社製 AS-3ACC-3 モジュール⁶⁾を用いた。ブレッドボード上に傾斜警告用 LED と 3 軸加速度センサを配線し、同ボード上に固定したマイコンに接続した。

実験は以下の条件に従った。

- (1) 試験地 農業総合センター内 傾斜路 (4 度)
- (2) 実験装置等

トラクタ：K 社セミローキャビン付 (図 3)

センサ：3 軸加速度センサ AS-3ACC-3 (浅草ギ研社)

- (3) 試験方法

傾斜 4 度の傾斜路を利用して、下記の試験条件でトラクタを走行させ角度情報を収集する。

- (4) 試験条件

試験 1

走行条件：低速 3.6 km/h、下りと上り

センサの設置方向：

- ・進行方向が x 軸方向 (前後方向の評価)
- ・進行方向が y 軸方向 (90 度回転, 左右方向評価)

試験 2

走行条件：高速 12 km/h、下りと上り

センサの設置方向：

- ・進行方向が x 軸方向 (前後方向の評価)
- ・進行方向が y 軸方向 (90 度回転, 左右方向評価)

図 4 に示すとおり、乗用トラクタに装着して 4 度の傾斜のついた舗装路を往復走行して角度検出実験を行った。実験路の角度はおおよそ 4 度 (1 度未満の誤差がある) であるため、警報角を 3 度に設定した。また、センサの設置位置については、メータ周りに設置するとメータの材質が走行中振動するため、材質のしっかりしている場所である床面を選択した。

前後方向および左右方向の角度検出の状態をそれぞれ図 5、図 6 に示す。

マイコンへの角度データの取り込みは 20msec ごとに行い、ローパスフィルタ効果を狙い 10 点の移動平均処理を施した。

角度検出の状態を見てみると、低速移動では前後方向、左右方向とも上り方向、下り方向である程度角度を検出できていることがわかる。しかし、一部 5 度以上の角度を検出しており、安定した角度検出ができていないとは言えない。また、高速移動では大きく角度が振れてしまい、正しく角度検出ができていないことが



図3 実験用トラクタ

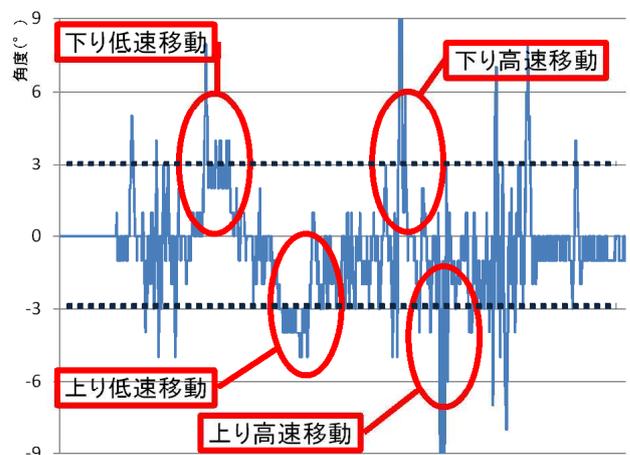


図5 試験1：前後方向の角度検出

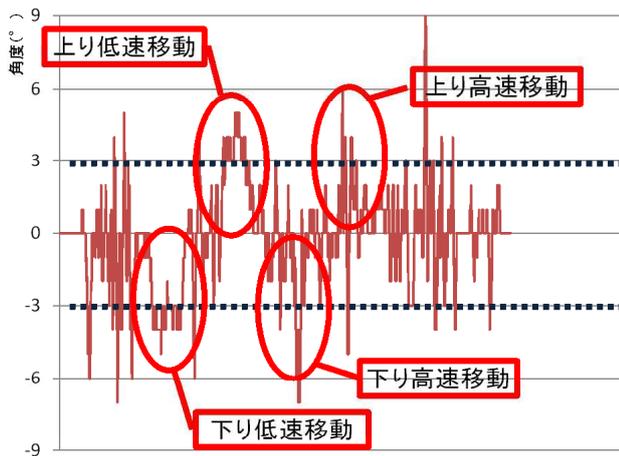


図6 試験2：左右方向の角度検出

わかる。この時同時に、LED の点灯状況を目視で確認したが、低速移動において坂道区間は点灯していたため、グラフの結果では角度検出は比較的正しく行われていた部分もあると判断できる。しかし、高速移動では LED が点灯し続ける状態だったものの、グラフの結果では角度検出は正しく行われていなかった。

4. 結言

乗用トラクタの転倒を検知するために角度検出装置を構築し、設定角度で警報が適切に出せるかどうかを検討した。その結果、3 軸加速度センサを用い角度検出を行う手法では、圃場出入り口付近での移動を想定した低速走行においてある程度角度判定が可能であるものの、圃場内移動を想定した高速走行では非常に大きな検出誤差を含んでしまい、角度検出はほぼ不可能な状態であった。これはセンサが加速度をとらえるものであるため、エンジン振動や路面凹凸による走行振動が影響したものと考えられる。これらの振動の影響は想定されていたが、卓上実験では大きな影響は見られず、また、圃場という地盤が軟らかい場所での使用を想定していたため、路面振動は無視できるものとして実験を進めた。しかし、実際の走行実験では土壌路面を利用することができずこのような結果になってしまった。エンジン振動については周波数が限定されるのでフィルタで取り除くことが可能である。また、必要な角度変化は静的角度変化となるためフィルタリングによる不要加速度の除去は妥当な手法と考えられ、今後積極的に取り入れる予定である。なお、角度算出は純粋に一軸の角度傾斜のみを取り扱ったが、立体的な角度傾斜を考慮する必要があるため、計算方法の変更も必要となる。

また、今回センサの数を減らすことを念頭に 3 軸加速度センサのみを用いたが、角度検出手法では静的角度変化を加速度センサで行い、動的な角度変化の補正を

ジャイロセンサで行うハイブリッド型の角度検出手法が主流である。そこで、次年度以降ジャイロセンサも取り入れた慣性計測装置 (IMU) での角度検出も試み、検出角度の高精度化、安定化を図る予定である。

参考文献

- 1) 福島県農林水産部農業担い手課ホームページ：
<http://wwwcms.pref.fukushima.jp/>
- 2) 鹿児島県/農作業安全の手引き（農業機械による死亡事故の特徴）
<http://www.pref.kagoshima.jp/ag05/sangyo-rodo/nogyo/gizyutu/enzen/jiko2.html>
- 3) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 農作業安全情報センターホームページ：
<http://www.naro.affrc.go.jp/org/brain/enzenweb/index.html>
- 4) Christopher J. Fisher：“加速度センサーによる傾きの検出”、アナログデバイセス AN-1057 アプリケーションノート、p5、2010
- 5) Arduino ホームページ：<http://www.arduino.cc/>
- 6) 浅草ギ研ホームページ：<http://www.robotsfx.com/>

地場水産資源由来グリコサミノグリカン・機能性ペプチドの開発

Development of the Glycosaminoglycan and the Functional Peptide Derived from Local Fishery Resources

技術開発部生産・加工科 大野正博

未利用・低利用の深海魚に着目し魚体中の生理機能性物質量を測定したところ、フジクジラにおいて硫酸化グリコサミノグリカン量が高く、フジクジラ、イラコアナゴ、カンテンゲンゲ、ナガヅカ、サケビクニン、アバチャンにおいて血圧上昇抑制活性の指標となるアンギオテンシン変換酵素阻害活性が高かった。イラコアナゴは生理機能性ペプチドの製造原料として有望であると考えられたため、製造条件を検討した。

Key words : 深海魚、グリコサミノグリカン、コンドロイチン硫酸、血圧上昇抑制活性、ペプチド、酵素

1. 緒言

底引き網漁業により捕獲される魚には、一定量以上網に掛かるにもかかわらず知名度が低い、見た目が悪い、食味が劣る等の理由で水揚げされず、市場に流通しないものが多く存在する。このうち、フジクジラ(カラスザメ科)、イラコアナゴ(ホラアナゴ科)、カンテンゲンゲ(ゲンゲ科)、ナガヅカ(タウエガジ科)、サケビクニン(クサウオ科)、アバチャン(クサウオ科)といった深海魚(図1)は、福島県沖合だけで年間数百トン混獲されていると推定され、従来から漁業者による食用としての実績があるものの、ほとんどは利用されることはない。

これらの魚に存在する生理機能性物質に関する報告はほとんどなく、生理機能性物質製造原料としての利用価値は不明である。そこで本研究では、これら未利用・低利用の魚に関して生理機能性物質製造原料としての利用価値を評価するために、生理機能性物質の存在量を評価した。本研究において目的とする生理機能性物質は、関節潤滑物質として知られ健康食品素材と

して市場が拡大している¹⁾グリコサミノグリカン、および血圧上昇を抑制するペプチドとした。

グリコサミノグリカンは動物の細胞間物質として普遍的に存在し²⁾、グリコサミノグリカンのうちコンドロイチン硫酸は結合組織中に広く見られ³⁾、硫酸化グリコサミノグリカンの大部分を占める。このコンドロイチン硫酸は組織の柔軟性保持機能を持つことから、健康食品素材としてだけでなく医薬品として関節痛や腰痛治療、眼科治療などに用いられている。現在、コンドロイチン硫酸は主にサメの軟骨から抽出製造されているが、本研究においては未利用・低利用の水産資源からコンドロイチン硫酸を生産することを将来的な目標とし、図1に示した魚体中の硫酸化グリコサミノグリカン量を調べた。

水産物由来の血圧上昇抑制ペプチドに関して、イワシ⁴⁾やサケ⁵⁾、かつお節⁶⁾の酵素分解物やホッケの発酵物⁷⁾などについて報告がある。すでにイワシ由来やかつお節由来の血圧上昇抑制ペプチドが上市されているが、これらのペプチドはアミノ酸が2あるいは3個



図1 太平洋東日本沖で底引き網に掛かる深海魚の例

結合した短鎖のペプチドにおいて活性が高い。このような短鎖のペプチド部分自体は多くの魚のタンパク質中に広く存在していると考えられるものの、目的ペプチドの生成効率は加水分解時の条件に大きく左右される⁸⁾。そこで本研究では、未利用・低利用水産資源から血圧上昇抑制ペプチドを生産する条件についても検討した。

また本研究では、福島県での水揚げ量が多いアンコウ（別名キアンコウ）、メヒカリ（別名アオメエソ）、ドンコ（別名エゾイソアイナメ）も試験対象とした。

2. 材料と方法

2. 1. 魚及び魚体処理方法

フジクジラ、イラコアナゴ、カンテンゲンゲ、ナガヅカ、サケビクニン、アバチャンは太平洋岩手県沖において底引き網漁により捕獲された魚を用いた。アンコウ、メヒカリ、ドンコはそれぞれ、山形県産、千葉県産、北海道産の魚を用いた。魚は試験に用いるまで冷凍保存し、試験直前に解凍して使用した。

アバチャンとメヒカリ以外の魚は頭部を取り除き、残りの魚体全てをフードミル（日立家電社製、VA-70J）で破碎しペースト状にした。アバチャンおよびメヒカリは頭部も含めて魚体全部をペースト状にした。

2. 2. 硫酸化グリコサミノグリカンの定量

ペースト状にした試料を用いて、DMMB 法により硫酸化グリコサミノグリカンを定量した。

測定試料は適宜蒸留水で懸濁し、アクチナーゼを 6 mg/ml となるよう添加して 55°C で 20 時間酵素反応させ組織を分解した後、1,9-Dimethylmethylene Blue (DMMB) を利用した比色定量法により 530 nm の吸光度を測定した。硫酸化グリコサミノグリカンの標準試料は 1,000 µg/mL サメ軟骨由来硫酸化グリコサミノグリカン（生化学工業社製）を使用した。

2. 3. 血圧上昇抑制活性の評価

血圧上昇抑制活性の指標とされているアンギオテンシン変換酵素（ACE）阻害活性の測定は Lam らの方法⁹⁾に従い、同人化学研究所社製の ACE Kit-WST を用いて行った。

測定試料は適宜蒸留水に懸濁し、タンパク質分解酵素を 55°C で 20 時間反応させ組織を分解した後、ACE 阻害活性を測定した。また、比較のため、イワシ由来のペプチドを使用し錠剤化した特定保健用食品（小林製薬社製「背青魚のチカラ」、以後イワシペプチドタブレットと略記）を供試した。

ACE 阻害活性は ACE の活性を 50% 阻害するのに必要な量、すなわち IC₅₀ で表した。

2. 4. 水分の測定

魚ペースト試料を常圧下、105°C で 5 時間乾燥して乾燥重量を測定し、水分を求めた。

2. 5. 微生物数の測定

イラコアナゴペースト試料 5 g に対して滅菌水 10 mL を加えて懸濁液を調製した。この懸濁液を 40°C または 50°C、70°C で 24 時間インキュベートし、インキュベート前後での微生物数の変化を平板培養法により測定した。測定試料は滅菌したリン酸緩衝生理食塩水で適宜希釈し、ペトリ皿中で標準寒天培地と混釈して 35°C で 48 時間培養し、形成された微生物コロニー数から一般生菌数を算出した。

3. 結果と考察

3. 1. 魚ペーストの水分

フジクジラ、イラコアナゴ、カンテンゲンゲ、ナガヅカ、サケビクニン、アバチャン、アンコウ、メヒカリ、ドンコの水分は表 1 のとおりだった。最も水分の低かったのはイラコアナゴで、68.5% だった。一方、最も水分が高かったのはカンテンゲンゲで 87.0% であり、魚種により水分に大きな差があることが明らかとなった。

3. 2. 魚体中の硫酸化グリコサミノグリカン量

硫酸化グリコサミノグリカン量を測定したところ、フジクジラにおいて最も高く、湿重量当たり約 0.30%

表 1 魚ペーストの水分

	水分 (%)
フジクジラ	71.4
イラコアナゴ	68.5
カンテンゲンゲ	87.0
ナガヅカ	74.8
サケビクニン	83.4
アバチャン	84.7
アンコウ	83.9
メヒカリ	79.8
ドンコ	76.5
イワシペプチドタブレット	3.3

だった（図 2）。また、次いで高かったのはアンコウで、湿重量当たり約 0.23% だった。メヒカリの硫酸化グリコサミノグリカン量は低く、検出できなかった。結合組織中に多く含まれる硫酸化グリコサミノグリカンは、魚種により存在量に大きな差があった。

現在、国内でコンドロイチン硫酸の原料として最も多く利用されているのはサメのひれ軟骨と背骨軟骨であり、組織中には乾燥重量当たり約 10% 前後のコンドロイチン硫酸が存在している¹⁰⁾。フジクジラにおける乾燥重量当たりの硫酸化グリコサミノグリカン量は 1.05% であり、サメ組織中のコンドロイチン硫酸含量と比較して低かった。しかし、本研究ではフジクジラの魚体全部を試料としており、筋肉（魚肉）部分を取り除き硫酸化グリコサミノグリカン含量が高い部位を原料とすることでその含量を高めることは可能であると考えられる。

3. 3. 魚体中の血圧上昇抑制活性

特定保健用食品として市販されているイワシペプチドタブレットの IC₅₀ 値を測定したところ、0.04 mg-wet/mL だった（表 2）。一方、各魚体中の IC₅₀ 値は 0.46 から 3.65 mg-wet/mL の範囲であり、イワシペプチドタブレットよりも ACE 阻害活性は低かった。しかし、各魚体中の IC₅₀ 値は乾燥も精製もしていない状態での値であり、乾燥処理や精製処理を行った場合にはさらに IC₅₀ 値が低くなり、ACE 阻害活性が高くなるのが推測される。今回の魚体試料と同様にタンパク質分解酵素で処理したイワシについては IC₅₀ 値が 0.26 mg protein/mL だったという報告¹¹⁾もあり、それと比較してもフジクジラ、イラコアナゴ、カンテンゲンゲ、ナガヅカ、サケビクニン、アバチャンは大きな遜色はなかった。アンコウ、メヒカリ、ドンコの

表 2 魚体中の ACE 阻害活性

	IC ₅₀ (mg-wet / mL)
フジクジラ	0.52
イラコアナゴ	0.47
カンテンゲンゲ	0.68
ナガヅカ	0.46
サケビクニン	0.75
アバチャン	0.60
アンコウ	1.83
メヒカリ	3.65
ドンコ	2.18
イワシペプチドタブレット	0.04

表 3 イラコアナゴペーストの一般生菌数の変化

インキュベート温度および時間	cfu / g
0 時間	7.0 × 10 ³
40°C, 24 時間後	1.0 × 10 ⁸
50°C, 24 時間後	1.4 × 10 ⁴
70°C, 24 時間後	2.0 × 10 ²

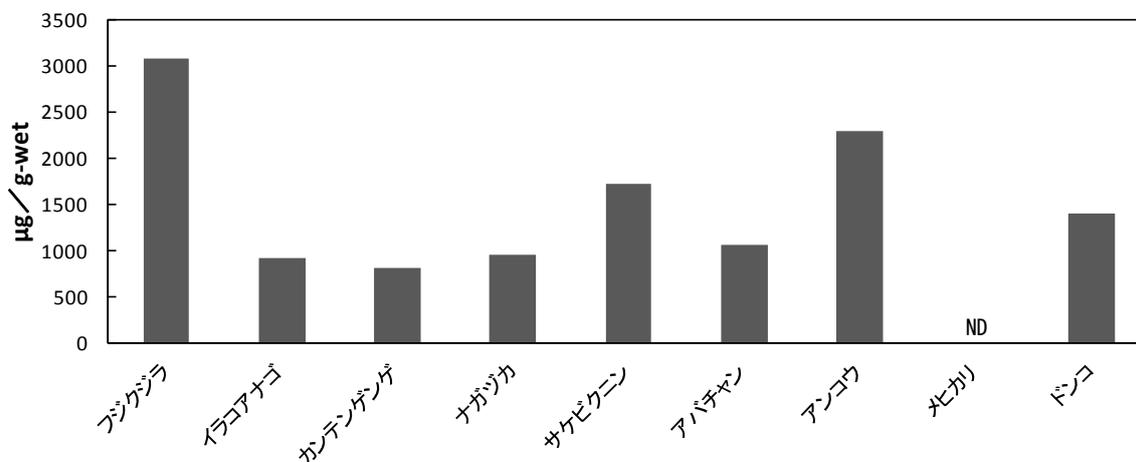


図 2 魚体中の硫酸化グリコサミノグリカン量
ND, 検出せず

ACE 阻害活性は比較的低かったが、一方フジクジラ、イラコアナゴ、カンテンゲンゲ、ナガヅカ、サケビクニン、アバチャンは血圧上昇抑制活性を持つペプチドの製造原料として有望であると考えられる。

3. 4. インキュベート条件による微生物制御

イラコアナゴは底引き網で比較的多く捕獲される魚種であり ACE 阻害活性も高かった。そこで、イラコアナゴを原料とする生理機能性ペプチドの製造条件について検討した。

食品用ペプチドを製造するには、タンパク質原料に分解酵素を作用させて加水分解反応を進行させるが、一般的な食品工業用タンパク質分解酵素は 50℃ 前後で作用させる場合がほとんどである。しかし、以前著者らが開発した耐熱性タンパク質分解酵素は、70℃ から 80℃ の領域に至適温度を持つ^{12, 13)}。一般に化学反応は温度が高いほど反応速度が上昇するが、酵素反応の場合、酵素の失活が律速条件となるため適用可能な温度条件に制限がある。しかし、耐熱性の酵素を用いれば、高い反応速度でペプチドを生産できることが期待できる。さらに、高い温度条件で酵素反応を行えば汚染微生物の増殖を抑制することも期待できる。そこで、温度条件を変えてイラコアナゴペーストをインキュベートしたときの微生物数の変化を調べた。

イラコアナゴペースト 5 g と滅菌水 10 mL から調製した懸濁液の微生物数を表 3 に示す。インキュベート前に 1 g 当たり 7.0×10^3 cfu だった微生物数は、40℃ で 24 時間インキュベートした後には 1.0×10^8 cfu と腐敗レベルまで増加した。また、一般的な食品工業用酵素の適用温度領域である 50℃ で 24 時間インキュベートした後には 1.4×10^4 cfu とやや増加した。しかしながら、著者らが開発した酵素の適用温度領域である 70℃ において 24 時間インキュベートした場合、微生物数は 2.0×10^2 cfu へと減少した。

よって、70℃ 温度条件下でのペプチド生産は反応効率の面だけでなく、微生物制御の面からも有益であることが確かめられた。

4. 結言

フジクジラは硫酸化グリコサミノグリカン含量が高く、コンドロイチン硫酸の製造原料として有望である。また、フジクジラ、イラコアナゴ、カンテンゲンゲ、ナガヅカ、サケビクニン、アバチャンは血圧上昇抑制活性を持つペプチドを製造するための原料として期待できる。特に、イラコアナゴは漁獲量の面からも生理機能性ペプチドの原料として大いに期待できる。

また、高温領域で酵素反応を実施できる耐熱性酵素は反応効率の面からだけでなく、ペプチド製造工程に

おける微生物制御の面からも利用価値が高い。

謝辞

本研究を実施するに当たり、試料を提供していただいた岩手県水産技術センターの方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 食品と開発、UBM メディア、**45**(3)、p.39、2010
- 2) 山田修平：日本農芸化学会誌、**78**、p.851-855、2004
- 3) Tamura, J., and Tokuyoshi, M., *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **68**, p.2436-2443 (2004)
- 4) Matsui, T., Matsufuji, H., Seki, E., Osajima, Y., *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **57**, p.922-925 (1993)
- 5) 小浜恵子ら：岩手県工業技術センター研究報告、**2**、p.85-88、1995
- 6) Yokoyama, K., Chiba, H., and Yoshikawa, M., *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **56**, p.1541-1545 (1992)
- 7) 金山ら：日本食品科学工学会誌、**54**、p.160-166、2007
- 8) 有原圭三監修：機能性ペプチドの最新応用技術、シーエムシー出版、1999
- 9) Lam Le H., Shimamura T., Sakaguchi K., Noguchi K., Ishiyama M., Fujimura Y., Ukeda H., *Anal. Biochem.*, **364** (2), p.104-111 (2007)
- 10) 西川正純：日本水産学会誌、**68**、p.723-728、2002
- 11) Matsui, T., Matsufuji, H., Seki, E., Osajima, Y., *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, **57**, p.922-925 (1993)
- 12) 大野正博ら：“好熱性コラーゲン分解酵素生産菌 *Thermobifida* sp. 4-2-1 株の分離とキャラクター化”、環境バイオテクノロジー学会誌、**80**、p.99-103、2008
- 13) 大野正博ら、福島県ハイテクプラザ試験研究報告書 平成 20 年度、p.24-27、(2009)

スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信の研究開発（第1報）

A research and development of inter-vehicle communications which exchanges road condition sensing and local information with Smartphone (1st Report)

技術開発部プロジェクト研究科

技術開発部生産・加工科

福島コンピューターシステム株式会社

いわき明星大学

浜尾和秀

高橋 昌

石川泰弘 橋本健一 宗像友男 石山修司

櫻井俊明

本報は、車載したスマートフォンで対向車渋滞、凍結路等のセンシングを行い、Bluetooth の車車間通信により、その局所的交通事故情報を交換しあうシステムの研究開発である。車車間通信で取得した情報を適切なタイミングで運転者に提示するため心づもり度合い指標を考案した。併せて運転者の運転負荷状態を検知するための各種センシングを行った。またスマートフォン内蔵センサ値から車の挙動を取得し、車両のつぶやきとして利用することを可能とした。

Key words: 車車間通信、すれちがい通信、Bluetooth、局所交通事故、スマートフォン、心づもり、運転負荷、つぶやき

1. 緒言

政府の IT 新改革戦略で取り上げられた世界一安全な道路交通社会¹⁾の施策により、地方でも高速道路での ITS（高度道路交通システム）路車間通信の DSRC 路側機が設置され始めたが、地方の一般道路での路側機の設置はない。一方 VICS（道路交通情報通信システム）は FM 多重放送および光ビーコンによる情報提供が一部市街地幹線道路で行われている状況ではあるものの、通勤等に利用する多くの道路に対して運転者に十分な情報提供が行えている状況とはまだいい難い。また、総務省²⁾と国土交通省³⁾では、自動車にさまざまな先端技術を用い車両そのものが運転を支援するための先進安全自動車（以下、ASV と言う。）の技術開発をすすめ、装置を取り付けた市販車の販売が始められている。

このような状況から、路車間・車車間の情報通信による道路・交通政策との連携⁴⁾は今後さらに推進されるものと考えられる。しかしながら、ITS が地方の隅々にまでいきわたるには路側機等のインフラの整備及び車両への車載器導入が必要となるため、普及に至るには ITS 無線システムの普及予測グラフ⁵⁾からも、もう少し時間が必要であろう。

本研究開発は、対向車線の渋滞、凍結路面、工事、津波、冠水などの道路事象をスマートフォンで検知し、車車間通信でその情報を交換することを目的とする。検知する道路事象場面は、運転者がこれから走行する先の局所的交通事故とし、そこを走行してきた対向車から情報を得るものである。急速に普及が進むスマートフォンを利用した車車間通信の実現により、路車間通信では得られない局所的な最新情報を交換できることを期待している。

以下、2. 車車間すれちがい通信、3. 対向車の渋滞状況検知、4. 交通事故情報の提示タイミング、5.

運転負荷を考慮した官能評価、6. つぶやきと道路との紐付け情報の順に取り組み内容を報告する。

2. 車車間すれちがい通信

Bluetooth によるすれちがい通信（非 IP 通信）を実現するため、Android 携帯電話（GALAXY S II SC-02C）、iPhone4、USB Bluetooth ドングル（A320s）を用いた Windows PC に、独自開発したすれちがい通信プログラムをそれぞれに実装した。

Windows PC は図 1 上に示すように dongle を車窓に貼付け、Android 携帯電話は図 1 下に示すように車両に設置して実験⁶⁾を行った。iPhone4 については割愛する。

車車間通信で多くの時間を要する相手発見からセッション確率までの時間（以下、応答時間と言う。）を WindowsPC で評価した。なお、相手探索は片側車両だけとした。図 2 に相対速度とすれちがい通信の応答時間を示す。最大応答時間は、初めて相手機器と通信する際に生じた応答時間が最大であった。初回の通信時は、相手機器を発見しセッション確立準備に 2 回目以降の通信よりも時間がかかることが分った。



図1 Bluetoothドングル及び携帯電話の設置

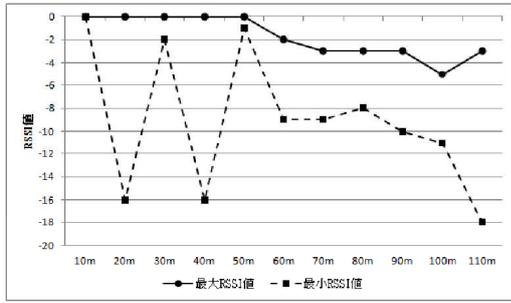


図2 すれちがい相対速度と応答時間

次に Android 携帯電話で、相対速度 20km/h、40km/h、60km/h、80km/h ですれちがい通信を実施した。結果は、相対速度 20km/h だけがすれちがい通信可能で、他の速度では相手機器発見は行えているが、セッション確立までに至らなかった。WindowsPC 用と Android 携帯電話用プログラムとは一部仕様異なる部分があるためと考えられる。

3. 対向車の渋滞状況検知

スマートフォンから得た道路画像に対し、対向車線の渋滞検知の確立を目指し、次の2手法を検討した。

3. 1. ヒストグラム画像解析

WindowsPC 及び iPhone4 にヒストグラムによる画像解析プログラムを実装した。図3に渋滞の正常判定と誤判定結果例を示す。



渋滞と判定できた場面

隣接車線ではないため判定できなかった場面

ときどき渋滞と誤判定した場面

図3 渋滞の正常判定と不良判定結果例

3. 2. Joint HOGとReal AdaBoost

文献 7)のソースコードを解析し、関心領域(以下、ROI と略記。)を指定する修正を加え WindowsPC に実装した。多数の検出対象と非検出対象サンプルから2段階 Real AdaBoost 機械学習をさせ、道路画像にROIを指定して検知エリアを絞る方法とした。図4にROIを指定した車両検出結果を示す。なお、ROI指定なしで2分、指定ありで2.1秒で車両を検出でき、処

理コスト圧縮にはROI指定が有効である。



赤枠でROIを指定

検出車両を赤枠で表示

図4 Joint HOGとReal AdaBoostによる車両検出結果

4. 交換事象情報の提示タイミング

車車間通信で交換する情報は、運転者の運転負荷(心理的ストレス)軽減を考慮したタイミングで提示する。具体的には、走行先の混雑状況や凍結状況などの交通事象を、その事象に至る迄に運転者に対して適切な距離で情報を提示するものである。

提示タイミングを定義するため、自車と事象場所までの距離に応じ次の4つの局面に区切る。(1)事象の潜在化ステージ、(2)緩いブレーキステージ、(3)事象の顕在化ステージ、(4)急ブレーキステージ。図5に運転者が走行先の交通事象に対する心構えを事前に持てる「心づもり度合い」指標を新たに考案した。

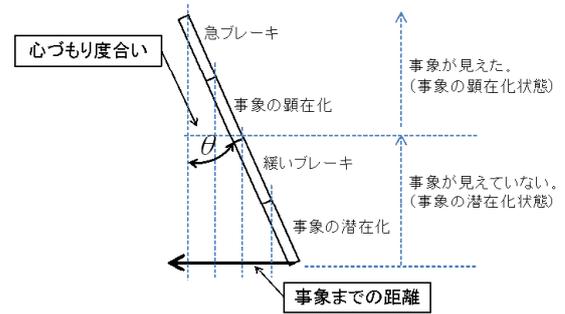


図5 心づもり度合指標

心づもり度合いは人間の感覚に対する尺度であるため、リスク認知に関する指標の中で K_{ab} (接近離間状態指標)⁸⁾、RF(Risk Feeling)⁸⁾に着目し情報提示タイミングに利用することにした。表1に K_{ab} 及び RF の4つのステージ区分を示す。なお、心づもり度合い θ は次のように定義した。運転者のブレーキ操作開始点は文献 9)から $K_{ab}=36$ (dB)ライン、文献 10)から $RF=2.0$ (1/s)ラインである。このことから速度に応じ

表1 ステージ区分

ステージ	K_{ab} (dB)	RF (1/s)
(1) 事象の顕在化	15~20	~0.5
(2) 緩いブレーキ	20~25	0.5~1.0
(3) 事象の顕在化	25~30	1.0~1.5
(4) 急ブレーキ	30~36	1.5~2.0

た K_{dB} 、RF 曲線とラインの交差する点における接線とその対応する距離の鉛直線とのなす角度をそれぞれ θ_{KdB} 、 θ_{RF} として、 $\tan^{-1} \theta_{KdB}(\text{deg})$ 、 $\tan^{-1} \theta_{RF}(\text{deg})$ を心づもり度合いと定義した。

実際の自車速度による心づもり度合い角度を表 2 に示す。心づもり度合いは、自車速度が高い程角度が大きくなる。つまり、速度が高い程事前の心づもりが必要な運転者心理を表していると考えられる。

表2 心づもり度合い

		17(m/s)	14(m/s)	10(m/s)
K_{dB}	$\tan^{-1} \theta_{KdB}$	76.6(deg)	75.4(deg)	73.8(deg)
RF	$\tan^{-1} \theta_{RF}$	87.1(deg)	86.5(deg)	85.0(deg)

5. 運転負荷を考慮した官能評価

運転者の運転負荷軽減には、運転者の通常の運転状態を把握することが重要である。台上試験の一つであるドライビングシミュレータを利用し、運転者の(1)座圧分布、(2)目の動き、(3)皮膚電位、(4)車両の挙動に注目してセンシングを実施¹¹⁾した。併せて事前に運転者が求める情報をアンケート調査¹¹⁾した。

種々条件下でセンシングした運転者の様子から運転負荷モデルの構築を行い、運転負荷状態を考慮した「4. 交通事象の提示タイミング」にフィードバックすることを想定している。

瞬きの回数及び頭の下がった時間との関係を図 6 に示す。4 種類のセンシングの中では、特に瞬き回数と首振り回数に顕著な変化が見られた。

事前アンケート調査結果を緊急度で整理した結果を表 3 に示す。これにより、車車間通信で提示される情報の優先順位の必要性が裏付けられた。

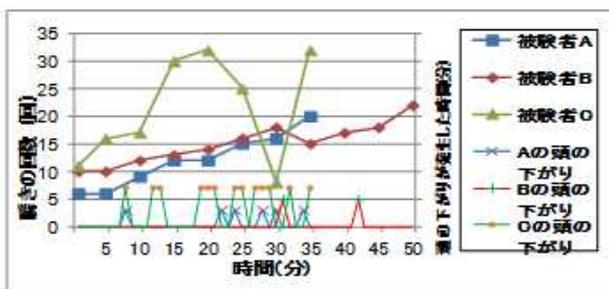


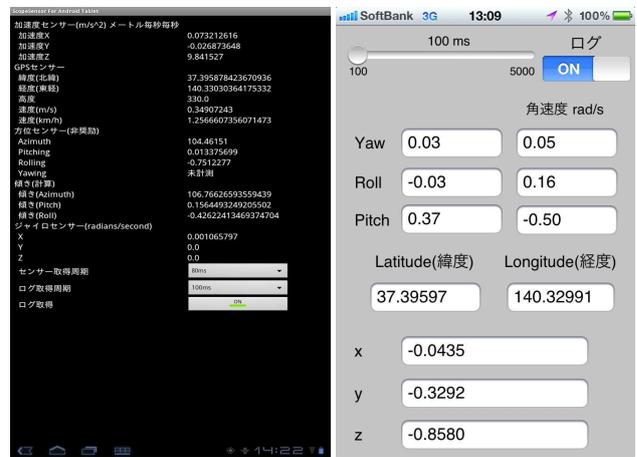
図6 運転者の瞬きの回数及び頭の下がった時間

表3 緊急度の区別(アンケート調査結果)

緊急度・高 地震、津波等の災害情報 死角から来る車両等の危険予測情報	↑ 高い
緊急度・中 渋滞、路面状況等の道路交通情報	
緊急度・低 周辺の店舗、イベント等の娯楽情報	

6. つぶやきと道路との紐付け情報

各スマートフォンには、3軸ジャイロセンサ、3軸加速度センサ、GPS センサ、方位センサ等が搭載されている。スマートフォンのセンサが車両の挙動をとらえ、車両のつぶやき情報として利用するために、各情報を取得・表示・ログへ記録するプログラムを開発した。図 7 に Andoid 携帯電話、iPhone4 の画面を示す。ログの取得は 10msec ~ 10sec 間隔でファイルに保存できるよう実装した。センサのログはミリ秒オーダーで定期的にログを取得し保存することが可能で、車両の微動をとらえることが可能である。また加速度センサ値をトリガーとして静止画を取得し、ファイルに保存する機能を付加した。図 8 に車両の挙動をトリガーとした静止画取得を示す。車両の挙動(センサ値)をトリガーとして車両のつぶやき情報を伝播することが可能である。



Android 携帯電話版

iPhone4 版

図7 スマートフォンからの各種センサ値取得



加速度センサをトリガーとして静止画を取得

図8 車両の挙動をトリガーとした静止画取得

7. 結言

車に搭載したスマートフォンで対向車線の渋滞、凍結路面、工事、津波、冠水などの道路事象を検知し、車車間通信でその情報を交換するシステムを開発するため、平成 23 年度は次の研究開発を行った。

(1) 車車間すれちがい通信

Bluetooth による車車間通信を実現するため WindowsPC 用、Android 携帯電話用及び iPhone4 用車車間すれちがい通信プログラムを試作した。WindowsPC、Android 携帯電話ですれちがい通信の評価を行い、WindowsPC では条件付きながら自車 40km/h 同士のすれちがい通信を確認できた。次年度は、すれちがい通信時のタイミングを最適化させ、すれちがい通信可能な限界車両速度について検証を行う。

(2) 対向車の渋滞状況検知

対向車線の渋滞検知のため、ヒストグラム解析及び Joint HOG と Real AdaBoost による評価を行った。ヒストグラム解析は対向車線の渋滞を判定できたが、誤判定をする場面があることが判明した。Joint HOG と Real AdaBoost では、対向車線の検知領域を絞ることで処理コストの削減ができた。次年度はスマートフォンへの組み込みを検証し、リアルタイム検知の確立を目指す。

(3) 交通事象情報の提示タイミング

運転者の運転負荷軽減のため、交通事象の事前提示タイミングにかかる「心づもり指標」を考案し、「心づもり度合い」を定義した。心づもり指標のタイミングは、次年度ドライビングシミュレータによる官能評価で検証を行う。

(4) 運転負荷を考慮した官能評価

運転者の運転負荷軽減のため、運転時の各センサ値（座圧分布、目の動き、皮膚電位、車両の挙動）から運転者の負荷状態モデルの構築に用いるセンサ候補を選別した。次年度は、脳波、シートベルトによる運転者挙動のデータも取り入れ、信頼度の高い運転負荷状態モデルの構築を実現していく。

(5) つぶやきと道路との紐付け情報

スマートフォンに搭載されている各センサ値（3 軸加速度、3 軸ジャイロ、GPS、方位）から、車両の挙動をつぶやき情報として取得するシステムを試作した。次年度は、運転者の声のつぶやきも取得し、車両のつぶやき情報とともに、その時の道路画像と紐付けしたソーシャルネットワーク (SNS) を構築する。

以上の研究開発成果を基に、次年度は目標とするシステムの実現を目指し、本研究開発が急速に進むスマートフォンの普及で有効に活用される取り組みをさらに進める。

謝辞

本研究開発は、平成 23 年度総務省 SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発によるものである。関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) IT 戦略本部：“IT 新改革戦略”、pp.19-20、Jan.2007
- 2) 電波部移動通信課：“総務省の安全運転支援システムへの取組状況”、Dec.2010
- 3) 国土交通省自動車交通局先進安全自動車推進検討会：“先進安全自動車 (A S V) 推進計画 報告書—第 4 期 A S V 計画における活動成果について—”、Jun.2011
- 4) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部：“新たな情報通信技術戦略工程表”、pp.60-62、Aug.2011
- 5) 総務省：“ITS 無線システムの高度化に関する研究会 報告書”、pp.66、Jun 2010
- 6) 浜尾和秀、石川泰弘、橋本健一、高樋昌、宗像友男、石山修司、櫻井俊明：“スマートフォンを活用した道路状況センシングとその局所的情報交換のための車車間通信の研究開発”、信学技報、vol.112、no.72、ITS2012-4、pp.19-24、2012 年 5 月
- 7) 藤吉弘亘：“局所特徴量の関連性に着目した Joint 特徴による物体検出”、情報処理学会研究報告 CVIM 166、2009
- 8) 北島創、丸茂喜高、平岡敏洋、伊藤誠：“リスク認知に関する評価指標の比較検討—先行車に対する追突リスクの認知—”、自動車技術会学術講演会前刷集、No.5-08、pp.1-6、2008
- 9) 津留直彦、伊佐治和美、金子弘、土居俊一：“運転者の視覚認知機能の解明とモデル化の研究”、デンソーテクニカルレビュー、Vol.12、No.1、pp.130-136、2007
- 10) Takayuki KONDOH, Tomohiro YAMAMURA, Satoshi KITAZAKI, Nobuyuki KUGE and Erwin Roeland BOER：“Identification of Visual Cues and Quantification of Drivers' Perception of Proximity Risk to the Lead Vehicle in Car-Following Situations”、Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol. 1, No. 2 (2008)、pp.170-180.
- 11) 松本雅宏、渋谷浩平、櫻井俊明：“車車間通信の情報伝達に関する基礎的研究”、日本機械学会東北学生会第 42 回卒業研究発表会講演論文集、pp.266-267、2012-3

材料科学的なアプローチによる厚板鍛造の 高度シミュレーション技術の確立

Establishment of the Advanced Simulation Technology of Plate Forging
by Material Science Approach

技術開発部工業材料科 工藤弘行 五十嵐雄大 栗花信介
林精器製造株式会社 大沼 孝 池浦清一 佐藤幸伸
国立大学法人茨城大学 鈴木徹也 永野隆敏 岩瀬謙二

川下企業からの短納期・低コストの要求を実現する手段の一つに、サーボプレスによる板鍛造加工への工法転換がある。この際にボトルネックとなる熟練工の暗黙知に大きく依存した多数回の試行錯誤が必要となるものづくりからの脱却を図るため、材料科学的アプローチとして金属組織情報や塑性変形特性などを有効活用する高度シミュレーション利用技術の確立を行う。23年度は、成形性試験、金属組織観察、塑性加工 CAE による可視化、シミュレーションモデルの検討などを行った。

Key words: CAE、板鍛造、サーボプレス、マルチスケール

1. 緒言

近年、塑性加工分野で注目される技術のひとつに、サーボプレスによる板鍛造加工がある。サーボプレスは、任意のスライド速度、モーションで加工できる特徴があり、成形性向上や生産性向上が期待されることから、近年、その利用が急速に広まっている。板鍛造は、薄板を素材とする板成形加工を基本としながらも、部分的に鍛造加工を融合した技術である。板厚変化の少ない板成形に対し、厚板鍛造は塑性流動をコントロールして板厚を積極的に変化させることが特徴であり、他の加工からの工法転換による低コスト化が期待される。板鍛造は、一般に板厚 2 mm から 6 mm 程度の素材を対象とすることから、そのメリットを十分に活かすには、位置精度が高く制御の自由度の高いサーボプレスの利用が必須と見られている。

塑性加工に対して機能を特化させた専用のシミュレーションソフト（以下、塑性加工 CAE）が利用され始めて、十数年が経過し、その利用は自動車業界を中心に一般化しているが、板成形を対象にした利用が大多数で、板鍛造に関する有効な活用手法は確立されていない。また、サーボプレスはスライド速度を変化させることが可能であることから、材料の塑性変形特性のひずみ速度依存性を活かした加工と説明されることも多いが不明な点も多く、塑性加工 CAE を利用したサーボプレスの高度化には、未だに多くの課題を残した状況である。このため、板鍛造に対するサーボプレスの適用に関しては、熟練工の暗黙知に頼った多回数の試行錯誤が必要な手法となり、低コスト・短納期化の実現は困難なものとなっている。

このような現状に対し、経済産業省が掲げる「特定ものづくり基盤技術の高度化に関する指針」では、金属プレス、鍛造分野での技術の高度化の方向性として、「サーボプレスの利用技術の高度化」、「加工に関する

技術、技能の科学的な解明とデータベース化」、「成形シミュレーションを活用した成形不良予測や工程設計の最適化」が挙げられている。

現在主流の塑性加工 CAE は、有限要素法（以下、FEM）を用いる。有限要素法は連続体力学に基づくもので、材料を均質体として扱う特徴がある。金属材料は、ミクロスケールでは結晶構造など不均質な構造を持つが、これらの情報は無視される。あえて言うと、試験が必要となるマクロな機械的特性を通して、間接的に反映されているとも言えるが、この点が高速・大変形の加工では、解析の精度を落とす大きな要因になっていることは間違いない。

材料科学分野では、近年、中性子回折や EBSD（電子線後方散乱回折）など分析技術の向上や、フェーズフィールド法、結晶塑性解析、均質化法などシミュレーション技術の進歩、コンピュータの計算能力の向上により、ナノ、ミクロレベルの挙動・特性がマクロ的な特性に密接にかかわる状況を、より定量的に把握できる報告が多数なされ、複数のスケールの情報を相互に結び付ける「マルチスケール材料モデリング技術」によるブレークスルーへの期待が高まっている。本研究開発の対象となる製品群は、高級品であるが故に、多数回の焼きなましを許されるが、焼きなましによる金属組織の変化は、変形特性に密接に関わるため、材料科学的なアプローチの適用の妥当性が高いと見込まれる。

以上から、本研究では材料科学的アプローチを特徴とするシミュレーション技術を確立することで、高精度な成形限界予測に基づく工程設計、サーボプレスによる成形限界向上を実現し、製品開発期間の短縮、低コスト化に寄与することを目的とする。

研究開発の対象となる製品は、アルミ、チタンの金属管体部品である。アルミ材に関しては、割れ、しわ、

チタン材については、焼き付き、かじりを中心に着目して成形限界を評価する。

本研究は戦略的基盤技術高度化支援事業によるもので、実施年度は23～25年度である。

2. 試験方法および評価手法

2. 1. ヒアリングと不良現象の把握

工程内の不良発生や工程設計に関わるヒアリングを行い、割れ、しわ、焼き付き、かじりなどの現象や発生に関する情報を収集した。

2. 2. 引張試験

塑性加工は、塑性変形を利用する加工であるため、塑性変形を表現する「応力-ひずみ曲線」が重要である。成形性試験と同一の素材から採取した試験片を対象に引張試験を実施した。〈ハイテクプラザ担当〉

2. 3. 成形性試験

塑性加工分野では、材料の成形性の良し悪しを評価する試験として、成形性試験が行われる。実製品を代表する変形様式として、図1に示すような、リング試験片を対象とし、その内径周辺のみを据込む「部分据込み試験」を採用した。



図1 部分据込み試験サンプル

2. 4. 金属組織観察

金属材料のマイクロ情報を得るための組織観察や結晶構造解析手法について検討した。〈茨城大学担当〉

2. 5. 塑性加工シミュレーション

本研究開発では、ソルバーとして動的陽解法ソフト「LS-DYNA」を採用した塑性加工シミュレーション・システムを導入し、弾塑性有限要素解析を行い、鍛造品内部のマクロスケールの可視化を行った。ここで、マクロスケールとは成形品の表面と内部の違い、複雑形状部と平坦部など製品形状の特徴点の違いを反映するスケールを指す。また、鍛造加工に対して、弾塑性有限要素解析を適用する際に、重要となる課題点の抽出を行った。〈ハイテクプラザ担当〉

2. 6. シミュレーション・モデルの検討

塑性加工分野で実績のある CAE は有限要素解析であり、マクロな機械的特性により変形挙動を表現するため、金属のマイクロ組織の情報を直接反映することは困難である。金属組織のマイクロ構造に関わるミクロス

ケールのシミュレーション技術の利用、両者の技術を結びつけるマルチスケール材料モデリングについて検討を行った。〈茨城大学・ハイテクプラザ担当〉

2. 7. 各不良現象に対する成形限界予測

成形性を左右する各種不良現象について、塑性加工 CAE を用いて成形限界を評価する手法を検討した。〈ハイテクプラザ担当〉

3. 試験結果と考察

本報告では、ハイテクプラザが担当した部分から、塑性加工 CAE 利用に関する部分を中心に記載する。

3. 1. マクロスケールの可視化

引張試験で得られた特性を用いて、成形性試験と同様の変形の有限要素解析を実施した。解析は、二次元軸対称モデルで実施した。金型は剛体として、接触部周辺のみをモデル化した。摩擦係数は、標準的な条件として0.05とした。

図2は「部分据込み試験」の解析例で、板厚5mmの製品に対し、プレス量を2mmとした場合の板厚方向（y方向：紙面上下方向）の変位量の例である。

(a) は実際の成形性試験サンプル、以降は時間経過の順に、(b) プレス量1mm、(c) プレス量2mm、(d) 加工終了時の時点での分布図を示したものである。内径側で据え込まれる様子、外径側で盛り上がる様子、内径側で摩擦の影響により「たる状変形」が生じる様子などを確認でき、形状変化を定量的に可視化することが可能となる。外周側で、実加工と大きく形状が異なる部分は、金型を剛体として扱ったことが理由であり、高精度の解析には、金型の弾性変形やその構造も含めた解析が必要であることが分かる。

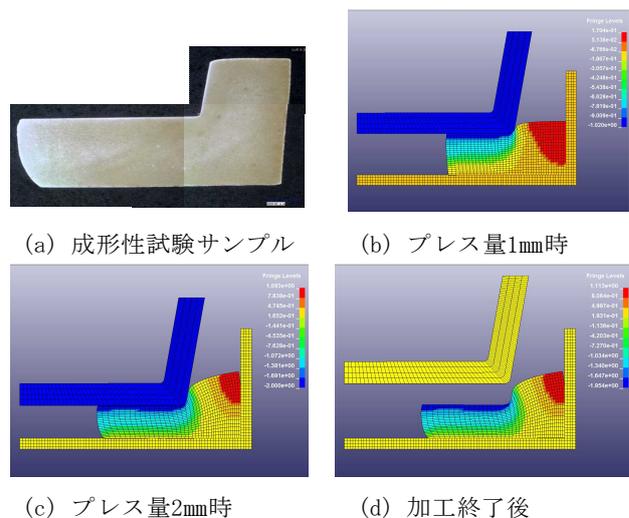
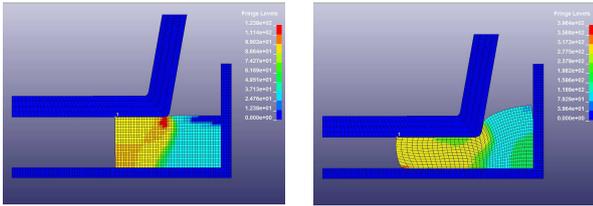
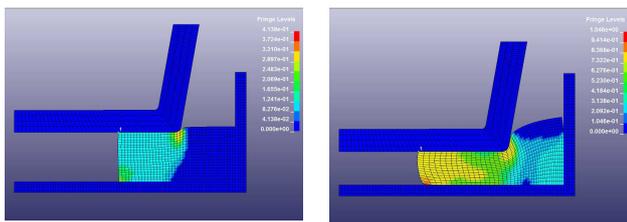


図2 変位形量分布

変位があくまでも移動量を表すものであるのに対し、不良発生に直結すると思われるのが変形挙動を表現するパラメータである「応力」「ひずみ」である。図3は応力分布結果、図4は塑性ひずみ分布結果である。応力、ひずみ分布をみると変形の程度は一樣ではなく、角部など形状特徴点で高くなる様子が分かる。



(左) プレス量0.1mm時点、最大応力124MPa
(右) プレス量2.0mm時点、最大応力396MPa
図3 応力分布図



(左) プレス量0.5mm時点、最大ひずみ0.41
(右) プレス量2.0mm時点、最大ひずみ1.05
図4 塑性ひずみ分布図

本研究で実施する解析は動解析と呼ばれ、時間経過に伴い、順次、各時刻における計算を行うことに特徴がある。図5は被加工材の特定の点に注目し、板厚方向変位の時間変化を表したグラフで、縦軸が変位、横軸が時間である。NODE1 (グラフ中A) は内径縁、NODE 20 (C) はパンチ角と接する点、NODE10 (B) はその中間点である。図6に示すように、最大変位からの戻りは、いわゆる「スプリングバック」である。「スプリングバック」量を定量的に把握できるのが、剛塑性解析に対する弾塑性解析の優位点である。

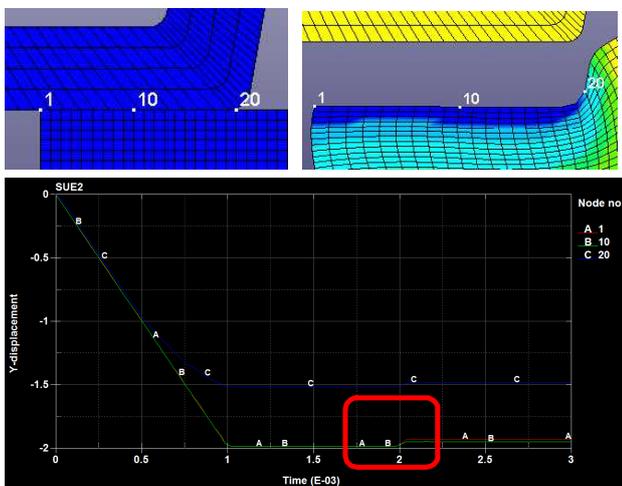


図5 製品表面の移動板厚方向変位の時間変化
(上:着目点、下:時間変化)



図6 スプリングバック時の拡大図

CAE 解析では、計算結果を表示するポスト処理ソフトにより可視化を行うが、いかに工程設計者に分かりやすい形で可視化を行うかがポイントになる。図7は、変形開始時の代表9点の軌跡を表示することにより、板鍛造で重要な「塑性流動の可視化」を行った例である。

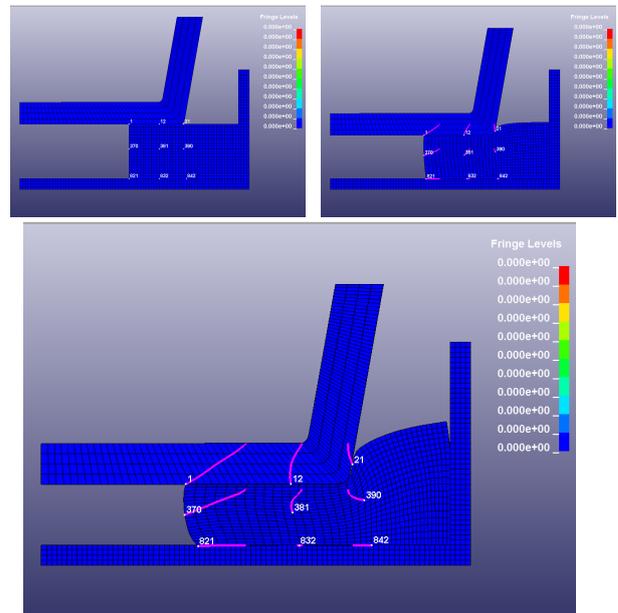


図7 製品代表点の軌跡による塑性流動の可視化
(上段左・右・下段) 加工直前、プレス量1mm時、2mm時

4. その他の検討事項

その他、研究手法の絞り込みを行い、平成 24 年度計画へ反映する。

4. 1. 材料の塑性変形特性の重要性

塑性加工 CAE では、塑性変形特性は解析結果に直結するため、高精度の解析を行うには、高精度な材料特性把握試験が必須である。変形特性取得は、通常、引張試験で行われるが、試験途中に試験片にくびれが生じる。本研究の引張試験では、くびれ発生ひずみを意味する一様伸びは 0.1 ~ 0.2、破断伸びが 0.2 ~ 0.3 程度である。これに対し、CAE 解析によると成形性試験における最大のひずみは、真ひずみ表現で 1 を

超え、引張試験におけるひずみに対し非常に大きい。CAE 解析ソフトでは、くびれ以後の材料特性は、直前の特性からの外挿により計算されるため、大ひずみ領域での信頼性は低いことが懸念される。

鍛造加工は非常に短い時間で大きな変形、すなわち大きなひずみ速度による加工であるが、このような場合の変形特性は、静荷重による引張試験で得られた材料特性とは異なることが知られている。この特徴は、材料特性の「ひずみ速度依存性」と呼ばれる。また、塑性加工では大きな発熱を伴うが、材料特性は温度によっても変動することが知られている。この特徴を「温度依存性」と呼ぶ。

以上より、鍛造加工に関して、高精度の CAE 解析を実現するには、大ひずみ領域、ひずみ速度依存性、温度依存性を考慮する必要がある。一般にこれらの特性を把握するには、特殊な試験機が必要であるが、本研究では、任意の速度で動作できるサーボプレス機を、一種の材料試験機として扱い、据込試験による材料特性取得を行う。

4. 2. 熱伝導一構造連成解析の利用

チタン成形品で問題となる「焼き付き」、「かじり」は、金型と被加工材の接触部で起こる現象であり、その発生は、応力、温度、潤滑、金属組織状態、材料の表面状態に左右されることが知られている。両者は、類似・重複する現象であると思われ、力学的作用と熱的作用が両方関与する現象であることは間違いないと思われる。

LS-DYNA では、塑性発熱とその後の型一被加工材間の熱伝導を考慮できる「熱伝導一構造連成解析」を行うことが可能であり、接触部の温度分布、面圧分布など、接触部の可視化により、焼き付き・かじり発生限界との関係を調べることが可能とみられる。

4. 3. 延性破壊条件式の利用

既知の知見より、塑性加工における「割れ」に関しては、ボイド合体型の延性破壊であることが知られている。これは、大変形により材料の内部にマイクロボイドが発生し、これらが成長、合体を繰り返し、最終的に破壊に結びつくという考え方である。

この考えに基づく破壊条件式が複数提案されているが、いずれも、最大主応力や平均応力などに着目し、ひずみ経路に沿って積分した値が限界値に達した時に破壊するという形式は共通である。動解析では、各時刻における、応力・ひずみを計算するため、これらの式の利用に適している。

4. 4. シミュレーションモデル

塑性加工において、有限要素解析が一般化していることから、ミクروسケールの分析・解析やシミュレー

ションの結果やパラメータを元に、マクروسケールの材料特性値を調整する形で反映する手法が最適と判断した。このため、中間的なスケールを表現する材料モデルの利用が適切であると考えられる。

具体的には、金属組織観察、結晶方位解析との整合性が高い「多結晶体モデル」、延性破壊条件式との整合性が高い「ボイドモデル」を、鍛造加工のシミュレーションに利用する手法について検討を行う。

5. 結言

板鍛造におけるマクروسケールの可視化手法を検討し、以下のことが明らかになった。併せて研究の方針に関わる検討を行い、平成 24 年度以降の計画へ反映する。

- (1) 変位、応力、ひずみによる表現、塑性流動の可視化を行い、これらの情報を工程設計者に受け渡すことの有効性を確認した。
- (2) 時刻歴表示により、通常は可視化、測定が不可能であるスプリングバックの定量化が可能となった。
- (3) 塑性変形特性の重要性、引張試験の限界が認知されたため、サーボプレスを利用した据込み試験により、材料特性取得を行い、ひずみ速度依存性、温度依存性を把握する手法を実施する。
- (4) 塑性変形による発熱の影響が無視できないことが明らかになったため、熱伝導一構造連成解析を行う。
- (5) 割れについては延性破壊条件式を、焼き付き・かじりに関しては、接触部の温度、面圧による可視化を適用する。
- (6) 中間的なスケールを表現する材料モデルとして、「多結晶体モデル」、「ボイドモデル」を利用する。

ネットワークオンチップ構成における高位合成に関する研究

Research for high level synthesis of network on chip structure

技術開発部生産・加工科
会津大学

吉田英一
齋藤 寛 方波見英基 山口 亮

会津大学との共同研究により、ネットワークオンチップ(NoC)システムのFPGA実装とリアルタイムOSの移植を行い、NoCプラットフォームを構築した。また、SimulinkのPID制御モデルから自動生成したC言語プログラムを高位合成技術によりタスク分割して実装し、プラットフォーム上で正常に動作することを確認した。本研究は(独)科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業に採択された「ディペンダブルネットワークオンチッププラットフォームの構築」における会津大学グループの研究課題の1つとして実施した。

Key words: NoC、高位合成

1. 緒言

集積システムの微細化・大規模化が進むにつれて、さまざまなアプリケーション製品の高機能化が図られ、VLSI内コア数が急速に増加することになり、伝送速度の低下や伝送障害、配置間干渉などの問題が生じている。これらの問題を解決するためにネットワークオンチップ(NoC)方式¹⁾が研究されているが、本研究では多数のコアが適応的に協調動作して多様なタスクを効率よく実行できるプラットフォームを考え、NoCシステムとして実現する。

マイコンを搭載した車載コンピュータ(ECU)は現行の自動車一台当たり数十個使用されているが、ハイブリッド車や電気自動車などの次世代自動車ではECU数がさらに増加しており、ソフトウェアやハードウェアの実装方法が課題となっている。これらの問題の有力な解決策として図1に示すようなNoCプラットフォームの活用を提案する。

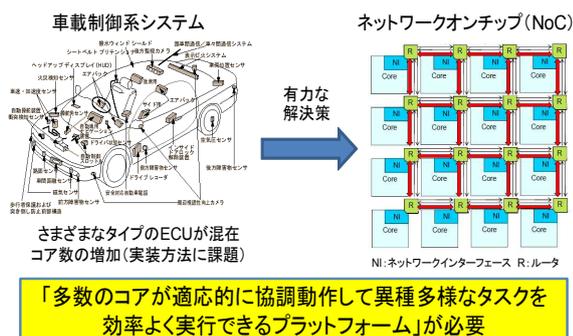


図1 NoCプラットフォームの活用

本研究は(独)科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業に採択された「ディペンダブルネットワークオンチッププラットフォームの構築」(研究代表:国立情報学研究所)における会津大学グループの研究課題の1つとして、会津大学とハイテクプラザの共同研究により実施した。

会津大学グループは、評価用NoCプラットフォーム

の実装や高位合成技術によるタスク分割手法の開発等の研究を担当し、ハイテクプラザはNoCシステムへのリアルタイムOS移植とアプリケーションプログラムの実装を担当した。

2. NoCプラットフォームの構築

2.1. NoCシステムのFPGA実装

半導体の高集積化に伴って、プロセッサとともにメモリ、バスインターフェース、入出力インターフェースやアプリケーション回路など、多くの構成要素が1チップに搭載されるようになった。また、数個のプロセッサを1チップに搭載したマルチコアシステムが実用化されているが、従来のバスインターフェース方式で数十~数百個のプロセッサを接続すると性能が極端に低下することが知られている。そのため、コア間の通信を共通バス方式ではなく、簡易ネットワークによるパケット転送で実現するNoCが研究されている。

本研究ではアプリケーションソフトウェアを動作させる基盤となるリアルタイムOSやミドルウェアなどのシステムソフトウェアをNoCハードウェアに搭載したNoCプラットフォームを構築し、高位合成技術によりタスク分割して実装されたアプリケーションプログラムをプラットフォーム上で動作させて、システムの評価を行う。

今年度はFPGAをターゲットとして、コアを4個搭載した2次元メッシュネットワーク型NoCシステム²⁾の実装とリアルタイムOSの移植を行った。FPGA上に構築した2x2NoCシステムを図2に示す。CPUコアはアルテラのNiosIIプロセッサを使用した。NoCシステムは各CPUコアとネットワークインターフェース(NI)を介して接続されたルータ(R)、およびルータとバスによる簡易ネットワークから構成されており、会津大学の研究グループが設計、開発とFPGAへの実装を行った。

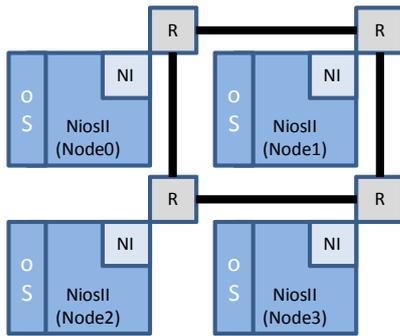


図2 2×2 NoCシステム

NoC システムの動作確認には、アルテラ社の CycloneIII FPGA 開発キットを使用した。FPGA ボードの外観を図 3 に示す。本ボードは CycloneIII (EP3C120F780) デバイス、256M バイト DDR2 SDRAM、8M バイト SRAM、64M バイトフラッシュ・メモリを搭載している。



図3 CycloneIIIボード

2. 2. リアルタイムOSの移植

2×2 NoC システムをターゲットにリアルタイム OS の移植を行った。構築した NoC システムは、図 2 に示すように 4 個のプロセッサノードを持っており、NiosII プロセッサとシリアル入出力回路、タイマ、オンチップメモリ、ネットワークインターフェースブリッジ回路が avalon バスで接続された構成となっている。プロセッサノード内の構成を図 4 に示す。ブリッジ回路は、avalon バスとネットワークインターフェースとの中継を行う回路で、会津大学チームが開発した。

各ノード内のシステムは、アルテラの SOPC ビルダを使って構築し、リアルタイム OS やアプリケーションプログラムなどのソフトウェアはオンチップメモリ内に格納した。

リアルタイム OS は、TOPPERS プロジェクトからオープンソースソフトウェアとして無償公開されている μ ITRON4.0 仕様の TOPPERS/JSP 1.4.3 を使用した。TOPPERS/JSP は NiosII プロセッサでの動作実績がある。そのため、プロセッサに依存するソースコードはそのまま利用し、システムに依存するベースアドレスやリンカスクリプトなどのソースコードを修正し、

NoC システムへ移植した。

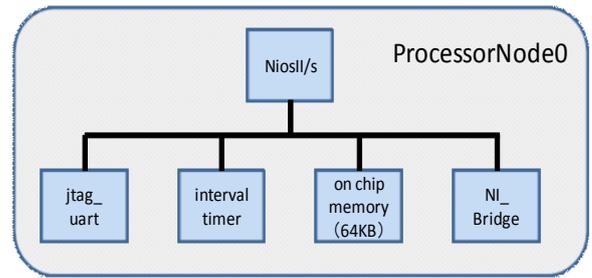


図4 プロセッサノード

2. 3. アプリケーションプログラムの実装

NoC プラットフォームの性能評価を行うため、アプリケーションプログラムの実装を行った。The Mathworks 社のモデリング・シミュレーションツール Simlink の PID 制御モデルから自動生成した C 言語プログラムを TOPPERS/JSP のタスクとして実装し、NoC プラットフォーム上で動作させた。リアルタイム OS と PID 制御プログラムは、オンチップメモリに格納した。

PID 制御プログラムは、PID 制御モデルで並列に処理されている箇所を各プロセッサノードで並列処理するように実装し、NoC のネットワークを介して各ノード間のデータ通信を行うように実装した。

Simlink の PID 制御モデルで処理した結果と PID 制御プログラムで処理した結果が一致し、プログラムが正常に動作していることを確認した。

3. 結言

本年度は FPGA に実装した NoC システムに、 μ ITRON4.0 仕様リアルタイム OS (TOPPERS/JSP) の移植を行い、NoC プラットフォームを構築した。また、PID 制御プログラムをプラットフォーム上に実装し、正常に動作することを確認した。今後は、デバッグを活用して処理時間やメモリ消費量の実測を行い、プラットフォームの評価を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 松本敦ほか：“非同期式ネットワークオンチップの回路レベル検証技術の構築”、情報科学技術フォーラム講演論文集 8(1)、pp.519-520、2009
- 2) 松谷：“Network-on-Chip 最前線 ～研究の始め方から最新動向まで～”、
http://casfukuoka.is.env.kitakyu-u.ac.jp/files/matsutani_kyushu2008.pdf

コーティング処理技術の開発

ー木製インテリア製品の開発ー

Development of wood coating technology

-Development of wooden interior products-

会津若松技術支援センター産業工芸科 橋本春夫 遠藤知里 宇野秀隆

強化塗料への着色剤の添加によるカラーコーティング処理技術の検討を行った。その結果、従来の不織布を用いてのカラフルな処理技術が得られた。この処理材の耐光性では、黄色の顔料系着色剤を添加したものが最も良好な結果が得られた。その退色は、顔料系着色剤の退色より、スギ材自体の退色が大きく影響したものと思われた。更に、強化塗料への紫外線吸収剤の添加による効果の検討を行った。その結果、色差の減少傾向は見られたが、色差値が大きく効果的な処理方法でなかった。よって、今後において紫外線吸収剤の種類や強化塗料の改良などの検討が必要である。

Key words: 表面処理方法、表面改質、表面硬化、樹脂処理、木工塗装

1. 緒言

木質資源の有効利用と共に地球温暖化防止の観点から、プレカット端材や森林整備によって生じる地域材（間伐材）を積極的に活用した製品開発を行う必要があることから、福島県郡山地区木材木工工業団地組合を実施主体として、「木育教材」の開発、ならびに地域材を用いた「インテリア製品」の開発を行うことになった。

そこで、「コーティング処理技術の開発」を研究課題として、郡山地区木材木工工業団地組合と共同研究契約を締結して研究開発を行った。

本研究は、県有特許の「木質材料の表面強化方法」を応用して、顔料系着色剤の添加によるカラーコーティング処理技術の開発、および耐光剤（紫外線吸収剤）の添加率における耐光性の検討を行った。更に、模様付き和紙を用いたカラーコーティング処理技術の検討を行った。その結果を基にインテリア製品の部材開発を行った。

2. 実験方法

2. 1. 供試材料

供試材料は、県産のスギ板目材をプレーナー加工、サンドペーパー（＃180）で研磨した（T12×W95×L600mm）板材を用いた。

2. 2. 樹脂コーティング処理の条件

スギ板材の木表面に予め透明な塗料を塗布し乾燥後、顔料系着色剤（無添加、白、黒、青、黄、赤、ブラウン）を1～2%添加した水系強化塗料を用い、カラーコーティング処理（図1に示す）を施した。そのコーティング処理板材を室内に7日間程度放置した供試材から採取した試験体を用い、耐温水性及び表面硬さ、耐光性を検討した。



図1 7種類のカラーコーティング処理材

また、予め透明な水系強化塗料を塗布し乾燥後、水系強化塗料に紫外線吸収剤（高分子系エマルジョンタイプ）を0、10、25、50%の割合で混合し、コーティング処理した供試材から採取した試験体を用い、耐光性を検討した。

2. 3. 物性の評価

耐温水性の検討は、前記試験体から（T12×W95×L70mm）採取し、裏面をアルミ粉混合のポリウレタン塗料でシールし、木口面及び側面をエポキシ系接着剤でシールしたものとし、しないものを用いた。その試験体を温度70℃恒温水槽中に4時間浸漬した後、塗膜の剥がれなどを評価した。

表面硬さは、鉛筆引っ掻き硬度試験機を用い、重り1.0kgを載せ、スギ表面に鉄筆をセット（図2）し、引っ掻き傷を付け、スギ早材部における傷の深さを表面形状測定機（（株）東京精密社製サーフコム1400D-64）で3カ所測定し、凹み量で評価した。

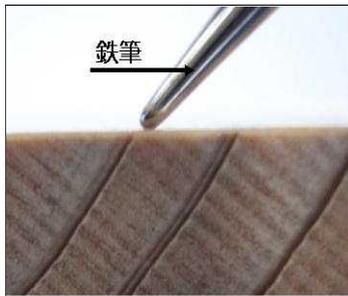


図2 鉄筆による引っ掻き試験方法

耐光性は、耐候試験機で光だけを300hrまで照射し、色の変化を色差計で測定して退色度合いを色差 ΔE^*ab 値で評価した。

3. 結果及び考察

3. 2. 耐温水性

木口面及び側面をシールしていない温水試験においては、図3に示すように木質面とコーティング膜面とは離が四隅で少々発生したが、塗膜の白化などは見られなかった。また、木口面及び側面をエポキシ系接着剤でシールしたものの温水試験では、図4に示すように離や白化が見られず良好な結果が得られた。



図3 木口面等シール無し

図4 木口面等シール有り

3. 2. 表面硬さ

スギ早材部の表面硬さ試験の結果は、鉄筆での押し込み傷の凹み量の平均値を表1に示す。また、その平均値に近い断面形状のものを図5に示す。その結果、鉛筆硬度のB程度の凹み量の結果が得られた。

今回は、表面硬さを必要としない内装材などの処理方法としては、凹みによる塗膜の割れもなく効果的手法と考えられる。

表1 鉄筆による凹み量測定結果（ μm ）

平均値	標準偏差
-25.43	4.89

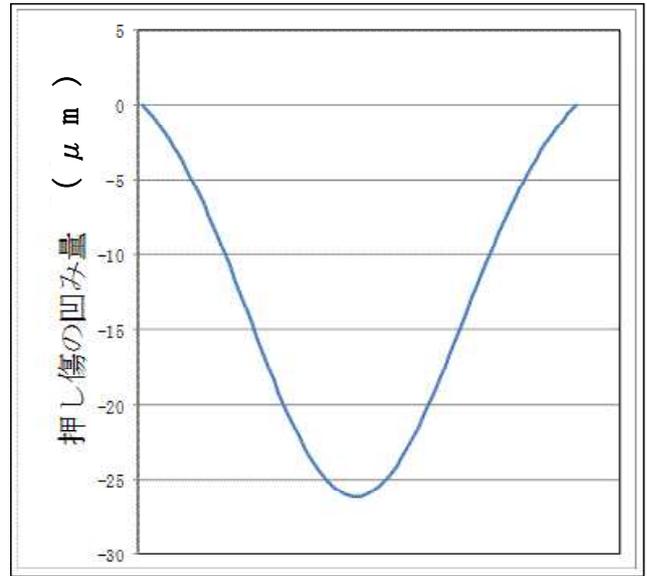


図5 鉄筆による凹み量の断面形状

3. 2. カラーコーティング処理材の耐光性

カラーコーティング処理材における照射300hr後の色差測定結果を図6に示す。その結果から黄1%添加した塗料が最も変化が少なかった。次が黒1%添加した塗料であった。また、透明、赤、ブラウンの処理材は変色が大きく、オレンジ系統の方向に変色し、スギ材の材色変化が影響したものであると考えられる。

このことから、カラーコーティング処理板材の耐光性を向上させるためには、スギ材自体の材色変化を抑える技術開発が必要となる。今後更にスギ材の材色変化を考慮に入れた加工方法の検討を行う予定である。

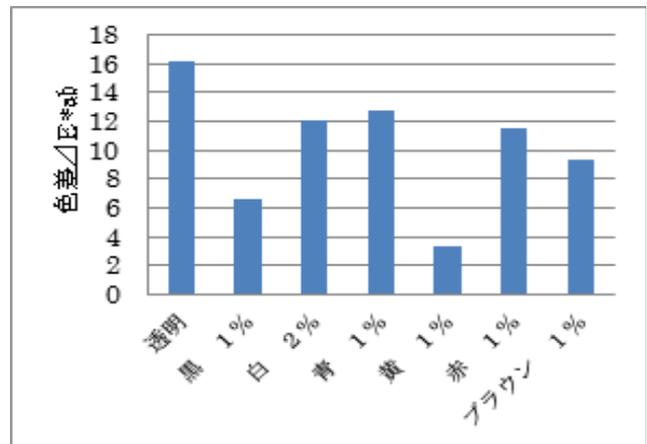


図6 カラーコーティング処理材の色差（照射300時間後の色差 ΔE^*ab ）

3. 3. 紫外線吸収剤添加による耐光性

紫外線吸収剤の(高分子系エマルジョンタイプを0、10、25、50%)添加率と透明コーティング処理における照射300hr後の色差測定結果を図7に示す。その結果から紫外線吸収剤の増加とともに色差の減少傾向は見られたが、効果的な値まで至らなかった。

今後は、強化塗料と紫外線吸収剤との相性や他社の紫外線吸収剤の検討、並びに強化塗料の改良などによる再評価を行う予定でいる。

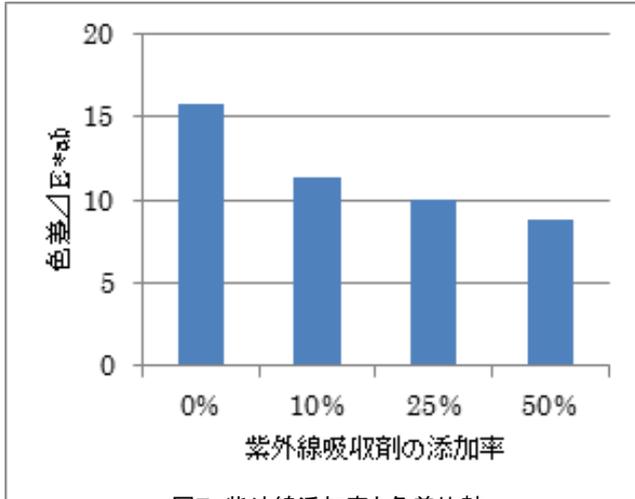


図7 紫外線添加率と色差比較
(照射300時間後の色差 ΔE^*ab)

3. 4. インテリア製品の開発

カラーコーティング処理方法を応用した製品の開発を目指し、製品形状における処理方法の検討及び効果の確認を行った。その結果、カラフルな「パーティション」(図8)及び「ツリー」(図9)の試作品を作成した。



図8 カラフルな「パーティション」の試作品



図9 カラフルな「ツリー」の試作品

4. 結言

強化塗料への着色剤の添加によるカラーコーティング処理技術の検討を行った。その結果、従来の不織布を用いたカラフルな処理技術が得られた。この処理材の耐光性では、黄色の顔料系着色剤を添加したものが最も良好な結果が得られた。その退色は、顔料系着色剤の退色より、スギ材自体の退色が大きく影響したものと考察された。

更に、強化塗料への紫外線吸収剤の添加による効果の検討を行った。その結果、色差の減少傾向は見られたが、十分な結果を得るには至らず、今後の課題が残った。

謝辞

本研究の遂行に当たり、プリカット端材などの材料の提供をしてくださった郡山地区木材木工工業団地協同組合、インテリア製品の開発に携わっていただいた郡山女子大学、耐光性の評価やアドバイスをくださった(独)産業総合研究所中部センターに感謝いたします。

参考文献

- 1) 橋本春夫：“樹脂コーティング処理による機能性付与技術の開発(1)”，平成15年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告，pp. 31-34、2004
- 2) 橋本春夫：“樹脂コーティング処理による機能性付与技術の開発(2)”，平成16年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告，pp. 33-36、2005
- 3) 橋本春夫：“樹脂コーティング処理による機能性付与技術の開発(3)”，平成17年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告，pp. 29-32、2006

石炭灰を加工したショットピーニング材の用途拡大

Expansion of use fields of shot peening materials made of Fry-Ash

技術開発部工業材料科

光井 啓 小柴佳子 渡部一博

相馬環境サービス株式会社

熊谷祐一 管野 栄

火力発電所が多数立地する本県では産業廃棄物として年間約130万トンの石炭灰が排出されている。本研究グループでは、平成 22 年度に石炭灰をショットピーニング加工用のショット材（石炭灰ショット材）として再生利用する研究を行い、石炭灰の再生ショット材の製造方法を確立している。本研究では、再生石炭灰ショット材の利用分野の拡大を目的として、再生石炭灰ショット加工が被加工材表面に及ぼす影響を調査した。

Key words : 石炭灰、フライアッシュ、ショットブラスト、ショットピーニング

1. 緒言

火力発電所では石炭を燃焼させ、そのエネルギーを電気に変えている。この燃焼によって熔融状態になった灰の粒子は、ボイラ底部に凝集し多孔質な塊となってクリンカホッパに落下堆積するもの（クリンカアッシュ）と、高温の燃焼ガス中を浮遊し、ボイラ出口で温度の低下にともない、球形微細粒子となって電気集じん器に捕集されるもの（フライアッシュ）とに分かれる。本県では産業廃棄物として年間約130万トンの石炭灰が排出されている。排出される石炭灰のうちクリンカアッシュが1割程度であるのに対し、フライアッシュは8割以上を占める。クリンカアッシュは軽石状のものであることから、農業用資材として十分な需要がある一方、フライアッシュは、その排出量に比してリサイクル材料としての需要は少なく、県内では30万トン以上が最終処分場で埋立処分されているのが現状である。

これを受けて本研究グループでは、平成 22 年度にフライアッシュの再生利用化に関する研究¹⁾を行い、図 1(a)に示すような再生石炭灰ショット材の製造方法を確立した。フライアッシュをそのまま使用すると、

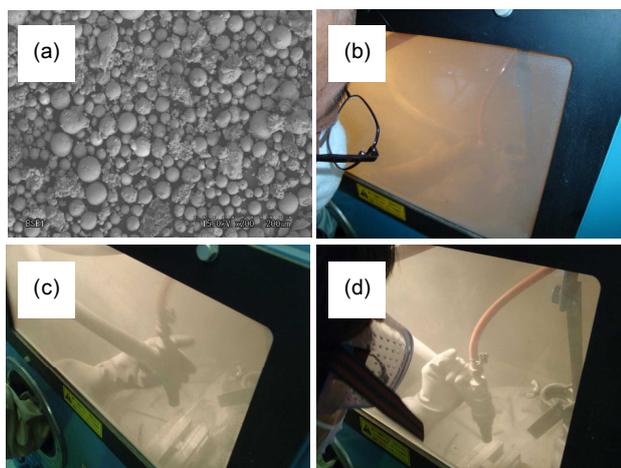


図1 (a)再生石炭灰ショット材のSEM像、及び(b)フライアッシュ、(c)再生石炭灰ショット材及び(d)市販ショット材を用いたショット加工風景

超微粒子が多く含まれているため、それがチャンバー内に舞い上がり手元がほとんど見えず、作業性に著しい支障が出るが、再生石炭灰ショット材は図 1(c)に示すように、市販材と同等程度の作業性を有している。また、同条件でショット加工を行って、市販材と同程度の圧縮残留応力を付与できることを確認している。

本研究では、再生石炭灰ショット材の利用分野を拡大することを目的として、再生石炭灰ショット加工が被加工材表面に及ぼす影響を調査した。特に、ショット加工ユーザーが再生石炭灰ショット材を使用した加工法の適用を検討する上でポイントとなる特徴に着目し実験を行った。

2. 実験方法及び結果

2. 1. 再生石炭灰ショット加工による減肉量

再生石炭灰ショット材は図 1(a)に示すように、ほぼ球形を呈しているものの天然生成物であるため不定形粒子も多く含まれる。これにより、市販の真球粒子ショット材とは異なり、被加工材表面を削りながら塑性変形効果（ピーニング効果）を与えることができる。

SKD61（20mm 角× t5mm、52HRC）の一部をマスクし、投射時間、投射距離を統一して所定の投射圧力で加工した時の減肉量を求めた。マスクを除去後、断面形状測定を行い、減肉部分の断面積から深さ方向の変化量を平均化し減肉量とした。図 2 にショット加工（0.3MPa）を行った SKD61 の断面形状測定結果及び投射圧力と減肉量の関係を示す。

SKD61 における石炭灰ショット加工（投射時間：1 分間）による製品の減肉量 D （ μm ）は投射圧力 P （MPa）に対し、次のような関係がある。

$$\log D = 3.3P - 0.0355$$

$$D = 10^{3.3P - 0.0355}$$

上式は 52HRC 程度の硬度を持つ製品に対して適用が可能である。

製品によってはショット加工における減肉量に制限があるため、同様に、より高硬度あるいは低硬度の製品・数水準の減肉量と投射圧力の関係を求めてお

くことにより、さまざまな製品において減肉量の制御すなわち投射圧力・処理時間の適正化を行うことができる。減肉量の制御が可能になると、例えば一般に脆いとされている放電加工層を除去する場合に必要な最低限の処理を行うことが可能となり、寸法精度を必要とする精密な部品に対して有効である。

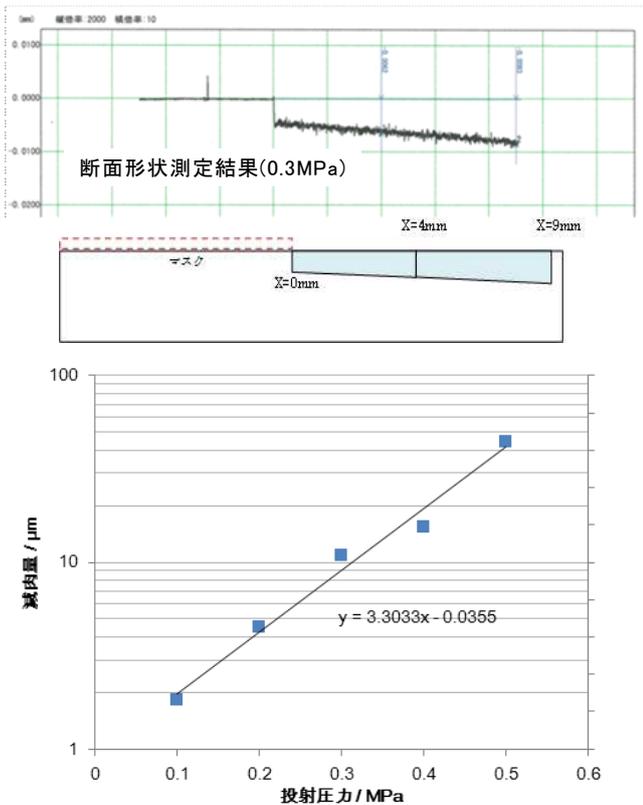


図2 ショット加工(0.3MPa)を行ったSKD61の断面形状測定結果及び投射圧力と減肉量の関係

2. 2. 再生石炭灰ショット加工による動摩擦抵抗の減少

一般に、表面粗さを調整することにより動摩擦抵抗を小さくできることが知られており、マイクロショットピーニング加工の効果の一つと言われている。そこで、再生石炭灰ショット加工による動摩擦抵抗の減少効果について調査を行った。実験は、ボールオンディスク型摩擦摩耗試験機を用い、荷重 1N における SUJ2 ボールに対する動摩擦抵抗を測定した。0 ~ 1 (lap) 及び 2 ~ 5 (lap) よりそれぞれバージン材表面及び繰り返し摺動面の動摩擦係数を求めた。ただし、測定スタート直後は静摩擦抵抗の影響があるため、バージン材表面の動摩擦係数は 0.1 ~ 1 (lap) の平均値とした。

図 3 に示すように、SKD61 の動摩擦係数は石炭灰ショット加工を行うことにより小さくなるのがわかる。さらに、繰り返し摺動摩擦に対しても、石炭灰ショット加工は摩擦係数上昇の抑制効果があると考えられる。

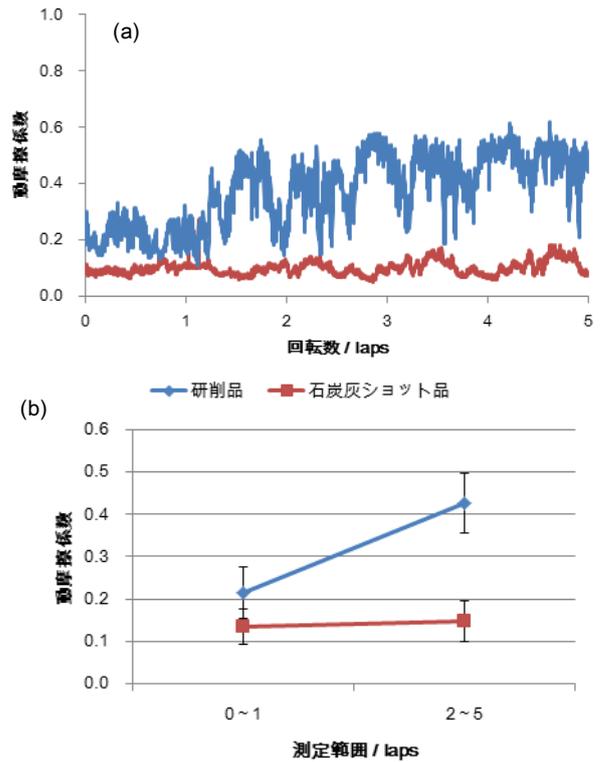


図3 研削品及びショット加工(0.3MPa)を行ったSKD61の(a)動摩擦抵抗測定結果及び(b)繰り返し摺動による動摩擦係数の変化

3. 結言

本研究では、以下のような知見を得た。

- ① 石炭灰ショット加工による減肉量の対数は投射圧力と次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \log(\text{製品の減肉量 } D(\mu\text{ m})) \\ = A \times (\text{投射圧力 } P(\text{MPa})) + B \end{aligned}$$

特に、SKD61 (52HRC) において投射時間 1 分間とした時、以下の関係があることがわかった。

$$\log D = 3.3P - 0.0355$$

$$D = 10^{3.3P - 0.0355}$$

- ② 石炭灰ショット加工を施すことにより製品表面の動摩擦抵抗は減少する。さらに、繰り返し摺動摩擦においても、摩擦係数上昇に対する抑制効果があることがわかった。

参考文献

- 1) 光井啓、渡部一博、熊谷祐一、菅野栄：“石炭灰の再利用推進”、平成 22 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告書、pp.1-4、2011

石炭灰を配合した陶芸用材料の開発

Development of the material for ceramic art which utilized coal ash .

会津若松技術支援センター産業工芸科 山崎智史

相馬環境サービス株式会社

熊谷祐一 管野 栄

火力発電所から排出される石炭灰を活用して陶板の開発を試みた。3通りの作製方法を検討し、いずれの場合においても個性的な陶板が安定して作製可能であることがわかった。

Key words: 石炭灰、フライアッシュバルーン、陶板、タイル

1. 緒言

原子力発電所の稼働率低下の影響を受け、石炭火力発電所はフル稼働に近づきつつあり、石炭灰の発生量も増え続けている。火力発電所による電力の安定供給のためにも、石炭灰の新たな用途開発を行うことが急務となっている。

石炭灰は、中空の球形をしており、風船状の微細なガラス粒子である。このため、一般にフライアッシュバルーン或いはフライアッシュとも呼ばれる。

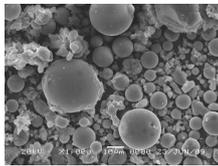


図1 石炭灰の拡大写真

風船状の石炭灰は、一般的な陶芸材料と比べて非常に軽量で断熱性があるため、軽量陶器や断熱性建材の原料として既に実用化されている。

陶芸用粘土の配合物としてフライアッシュ(石炭灰)を用いた時、乾燥及び焼成時の収縮は小さくなることわがわっている。このことから、陶板やタイルなどの作製に当たり、石炭灰を添加することによって、割れや変形が最小限に抑えられる事が期待される。

今回は、フライアッシュ(石炭灰)を用いた陶板製作の可能性について検討を加えた。

2. 試験方法

石炭灰の特徴を生かした陶板を開発するため、今回は、次の3通りの作製方法について検討を行った。

- ① 陶芸用粘土と配合して成形焼成する方法
- ② バインダーで成形し、焼成する方法
- ③ 粉末のまま焼成する方法

3. 結果と考察

3. 1. 陶芸用粘土と配合して成形焼成する方法

図2に示す工程にて陶板の作製を試みた。陶芸用の粘土(坯土)と石炭灰を配合した後に陶板状に成形している。図3は焼成した陶板の例を示す。

石炭灰を添加した効果が現れ、焼成による収縮が小さく抑えられている。このため、本焼後の変形も小さく抑えることできた。また、焼成後の陶板は、使用し

た石炭灰特有の呈色を示すなど、特有の風合いを演出している。

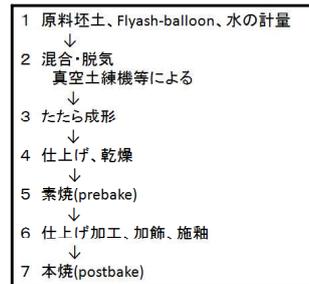


図2 粘土との配合による工程

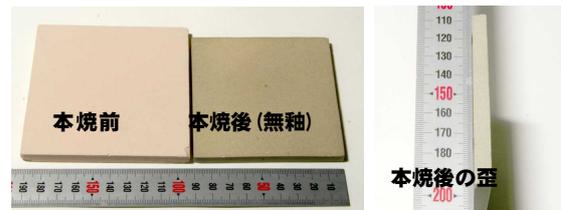


図3 粘土と配合し、陶板に焼成した石炭灰

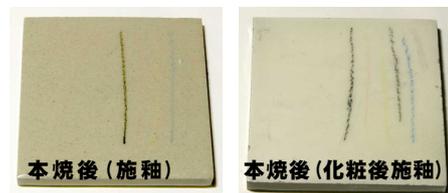


図4 釉薬を乗せた陶板

また、この陶板へは、絵付けなどの加飾も可能である。この場合、一般の陶芸用釉薬や、下絵具、クレヨンも用いることができる。

絵付けを行う陶板の表面は、白く化粧してあったほうが絵の具の発色が鮮やかになると考えられる。このため、配合に用いた坯土を化粧土として用いることとした。その結果、絵付けの下地が白く焼き上がり、より鮮やかな絵具等の発色を楽しめることがわかった。

3. 2. バインダーで成形し、焼成する方法

図5に示す工程にて陶板の製作を試みた。この工程では、水溶性バインダーにより石炭灰に可塑性を加えて成形し、焼成している。粘土等は含まず、バインダーは焼失した石炭灰のみの陶板となる。石炭灰のみの陶板は、軽量で多孔質である。屋内(室内)装飾用と

しての用途開発が期待される。



図6 焼き上がった陶板

図5 バインダーを用いた工程

3. 3. 粉末のまま焼成する方法

図7に示す工程にて陶板の試作を行った。ここでは、粉末のまま型枠に入れてそのまま焼成を行う。密度や形状を安定させるため、重石で固定して焼成する。

この工程では、バインダーを含めて石炭灰以外の添加物は用いていない。工程が単純で燃焼ガスの発生などが無いのが特徴である。

密度や形状を安定させるため、焼成時には重石で固定している。

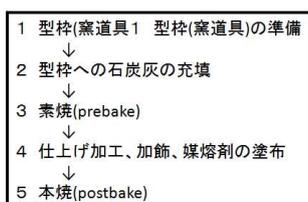


図8 窯詰の方法



図9 焼き上がった陶板

3. 4. 表層の加飾(素焼陶板の表面処理)

石炭灰のみの陶板表面に、ガラス層の形成を試みた。ガラス層によって吸水を抑え、汚れにくくする効果が期待できる。

一般的な陶磁器の場合、釉薬によって耐水性や防汚性の他、特有の個性を演出している。

陶磁器用の釉薬が使えない今回は、石炭灰の陶板表面をを熔融させて、平滑なガラス層を形成することにした。表層を熔融させるため、素焼きの陶板に「媒溶剤」を塗布し「本焼」を行った。この方法では、表層に新たなガラス層を被せるのではなく、陶板そのものの表面のみを熔融しようとするものである。



図10 媒溶剤を用いたガラス層形成のイメージ

図11は、表面をガラス層で加飾した陶板である。

この方法では、焼成温度等の条件によって、風合いが大きく変化をみせた。用いた石炭灰や媒溶剤の個性

を演出できることもわかった。

また、陶磁器も同様に、「絵の具」や「クレヨン」等で施した下絵(ガラス層の下に描かれた絵)を保護することができる。

今回用いた方法により、一般的な陶磁器と同等の個性を演出できることがわかった。

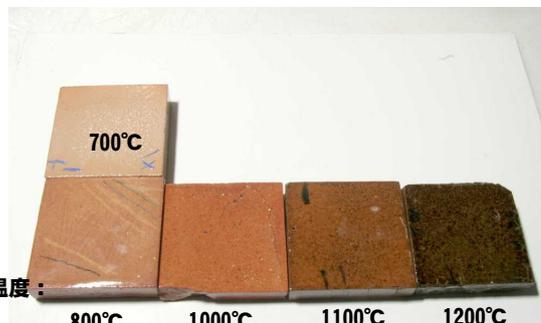


図11 表面をガラス層で加飾した陶板

3. 5. 成形体への機械加工

石炭灰の焼結体は、ポーラスな為に、機械加工等ができるメリットがある。媒溶剤で加飾した表面のガラス層は加工できないが、素焼後、本焼後ともにドリル加工等は容易である。

建築内装用部材等への応用を図る上で、大きなメリットになると期待される。



図12 陶板への機械加工

4. 結言

3種類の方法で陶板を試作し、以下の結論を得た。

- (1) 陶芸用粘土と配合して、陶板とすることにより、寸法の安定した陶板の作製が可能であることがわかった。
- (2) バインダーを用いて成形し、石炭灰のみで陶板を焼成できることがわかった。
- (3) 成形しない石炭灰のままでも、型枠に入れて焼成することにより、陶板の形態に焼成できることがわかった。
- (4) 石炭灰のみで焼成した陶板にも、媒溶剤で表面を熔融することで釉薬と似たガラス層を形成できることがわかった。
- (5) 石炭灰のみで低温焼成した陶板には、一般のドリル等で加工が可能であることがわかった。

蓄電池集電部用溶接システムの開発

Development of the welding system for current collectors of alkaline storage battery

いわき技術支援センター機械・材料科 佐藤善久
本多電機株式会社 伊藤雅人

被災した企業の製品開発を支援するため、一軸テーブルに固定治具を搭載した専用の位置決め装置や溶接ロボットで構成される溶接システムを開発した。固定治具にガイドを設けて、蓄電池部品の組立を容易にした。レーザ変位計を用いて、停止位置のばらつきを評価したところ±0.1mm以下であり、位置決め装置は再現性の高い位置決めができることがわかった。品質を検証するため、本溶接システムを用いて溶接実験を実施し、溶接箇所が良好な外観と1mm以上の溶け込み深さを有することがわかった。

Key words: アルカリ蓄電池、集電部、TIG スポット溶接、溶接システム

1. 緒言

昨年度、溶接装置を製作して、アルカリ蓄電池（以下「蓄電池」）の集電部における溶接の自動化を検討した¹⁾。その結果、正確な位置決めを行い、溶接時間と移動速度を適正にすることで、高速かつ高品質なTIG スポット溶接が可能であることがわかった。今年度は、それらの成果を導入して、溶接構造を有する新型の蓄電池の量産を開始する予定であった。しかし、応募企業は震災で生産設備に損傷を受けた。更に、同じ被害を受けた顧客への対応を優先したため、量産に必要な固定治具や、位置決め装置と連動しながら溶接ロボットを運転するためのプログラムの開発等ができなかった。

そこで今回は、被災した企業の製品開発を支援するため、一軸テーブルに固定治具を搭載した専用の位置決め装置や溶接ロボットで構成される溶接システムを開発した。固定治具は、蓄電池部品の組立・固定の工数を小さくするため、ガイドを有する構造にした。適正な位置を溶接できることを確認するため、レーザ変位計を用いて位置決め装置の動作のばらつきを評価した。また、溶接品質を検証するため、溶接実験を実施して溶接部を観察し、一応の知見を得たので報告する。

2. 溶接システム

2. 1. 構成と動作

本システムは図1に示すように、蓄電池の部品であるストラップ板と複数の極板で構成される集電部を溶接するため、図2に示す構成になっている。固定治具に蓄電池の部品を設置した後、位置決め装置制御盤上のスイッチ

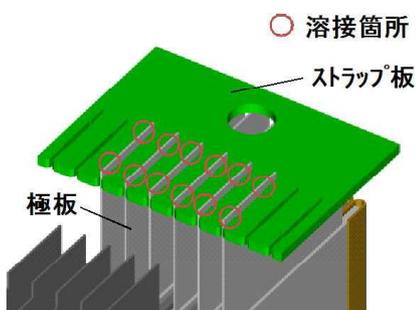


図1 集電部のイメージ

からの入力で、次の3つの動作を連続して自動で行う。

- (1) 溶接ロボットの作業範囲外にある蓄電池を溶接できる位置に搬送する。 (位置決め)
- (2) 位置決めが終了すると、溶接ロボットが電極毎に2カ所ある溶接部を溶接する。 (溶接)
- (3) 溶接終了と同時に、蓄電池を作業範囲外に搬出する。 (復帰)

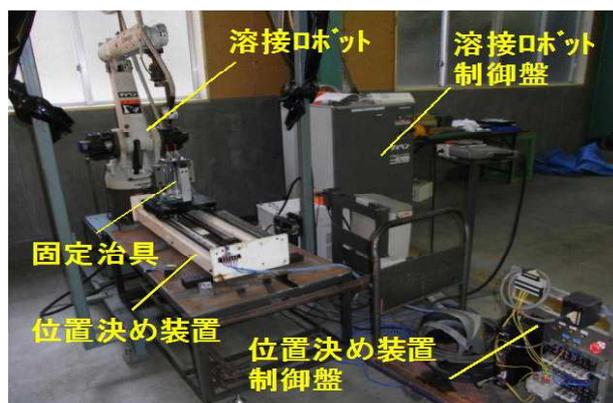


図2 蓄電池集電部用溶接システム

2. 2. 位置決め装置

集電部は極板にストラップ板を設置する組み立てを行ってから、各極板あたり2カ所を溶接する構造になっている。極板を設置するため、プレス加工で製作されたストラップ板には極板の厚さと同等で幅0.6mmの狭小なスリットが設けられている。極板は薄くて剛性が低いので、運搬や治具への設置等の際に生ずるわずかな外力で反りや曲がり等の変形が生じやすい。更に、複数の極板を束ねて使用するので、極板の間隔を本来の寸法に保つことが難しい。ストラップ板の狭小なスリットに、間隔が不揃いな複数の極板を同時に設置することは困難な作業であるから、量産に向けて改善が必要である。そこで、固定治具には、組み立てを容易にするため、図3に示すガイドを設けた。ガイドは、当センターの炭酸ガスレーザー加工装置で製作した

ので、ストラップ板と同等の狭小なスリットを設けることができた。更にガイドのスリットは、先端部を広げているので、極板を矯正しながら容易にガイド板に設置できる。また、固定

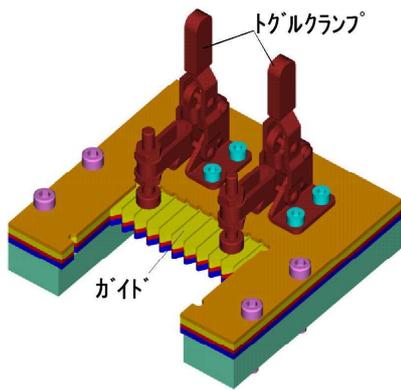


図3 固定治具のガイドとトグルクランプ

治具には、ストラップ板を拘束することによって、搬送中に発生しやすい位置ずれや部品の浮き等を防止するため、軽量で操作性に優れた2台のトグルクランプも設置した。

一軸テーブルは、台形ねじとサーボモータによって駆動され、最大で 3,000mm/min の速度で動作する。固定治具の接近を検出する近接センサが設置されているので、停止の前に減速してから停止できる。レーザ変位計を用いて固定治具の位置を測定し、停止の前に減速した速度と停止位置との関係を計測した結果を図4に示す。速度毎に停止位置を5回計測した結果、速度が大きいくほど停止位置が大きくなる傾向はあるが、各速度において、ばらつきは± 0.1mm 以下であった。この結果から、設計・製作した位置決め装置は再現性の高い位置決めができることがわかった。

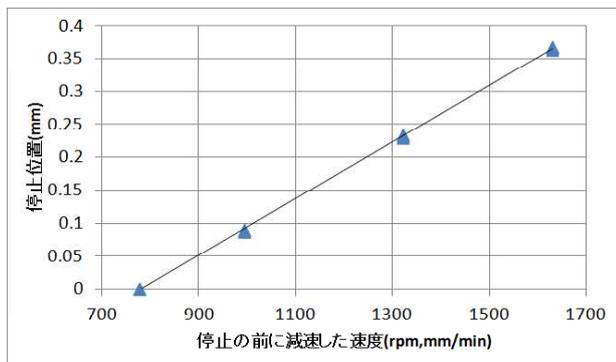
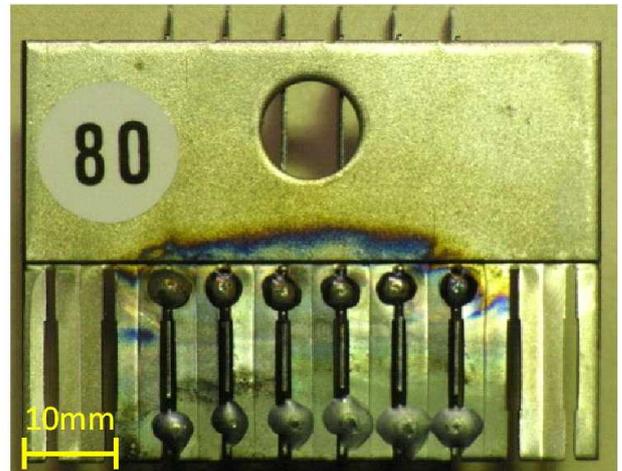


図4 停止位置の精度

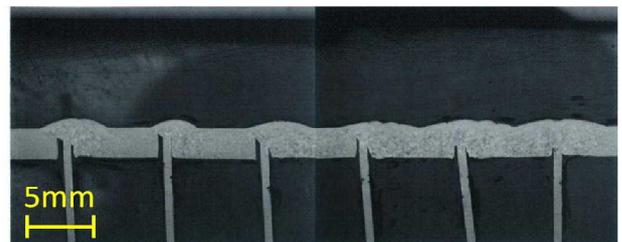
2. 4. 溶接実験

溶接電流 80A、溶接時間 1sec、溶接箇所間の移動速度 10mm/sec で溶接実験を行った試験片を図5に示す。外観から、ストラップ板と電極が融合していることがわかる。また、断面から、溶け込み深さも 1mm 以上あることも確認できる。いくつかの溶接箇所、溶け込み深さのばらつきや狙いズレが原因と考えられる溶接金属の位置ズレも見られる。これらは、狙いやアーク長を 0.1mm 程度の単位で更に適正にすることで改

善できる。溶接ロボットで 0.1mm 単位の調整を行うことは細かい作業なので、現場での目視による作業としては難しいものではある。しかし、一定の板厚の金属板を用いたアーク長の調整や、極板の方向とトーチや電極を一致させて狙い位置の精度を向上させる等の方法を用いることで、溶接条件を最適化することは可能である。



(外観)



(断面)

図5 溶接部の観察

3. 結言

被災した企業の製品開発を支援するため、一軸テーブルに固定治具を搭載した専用の位置決め装置や溶接ロボットで構成される溶接システムを開発した。固定治具にガイドを設けて、蓄電池部品の組立を容易にした。レーザ変位計を用いて停止位置のばらつきを評価したところ± 0.1mm 以下であり、位置決め装置は再現性の高い位置決めができることがわかった。品質を検証するため、本溶接システムを用いて溶接実験を実施し、溶接箇所が良好な外観と 1mm 以上の溶け込み深さを有することがわかった。

参考文献

- 1) 佐藤善久、伊藤雅人：“蓄電池集電部用高速溶接装置の開発”、平成 22 年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告、pp.68-69、2011

羅布麻／絹繊維製品の漂白加工技術の開発

Development of processing technology of textile bleaching silk / hemp fiber products

福島技術支援センター 繊維・材料科
齋藤産業有限会社

伊藤哲司
齋藤捷一 佐藤正晴

羅布麻／絹繊維製品の漂白加工において、絹（タンパク質系）繊維にダメージを与えず、羅布麻繊維（セルロース系）のみを脱色する漂白条件を確立できた。これにより羅布麻原糸の不良による製品の品質低下を防ぐことができるとともに、品質の安定した商品の販売が可能となった。

Key words : 絹、羅布麻、漂白加工

1. 目的と目標

1. 1. 目的

中国より輸入している羅布麻／絹繊維製品用の羅布麻原糸の品質が低下（着色や夾雑物）しており、製品の品質に大きな影響を及ぼすこととなった。このような場合、製織前に原糸の漂白加工を行い、夾雑物の除去や変色の改善を行うのが一般的であるが、外注加工となってしまう。当該製品については提案企業より内製の要望があり、製品での漂白加工を試みることにした。当該製品は絹との交織と生成^{*1}を特徴としており、保温性などの機能性ととも染色ではない自然の色味が人気となっている。そこで本研究では漂白による強度低下を防ぐとともに、漂白加工による色調の調整を行うことを目的とする。

1. 2. 目標

漂白加工後の製品が、2010年輸入糸で製造された製品（後述A1）と比較し、以下の目標を挙げる。

- ①色調：色差（ $\Delta E^*(ab)$ ）0.5以内（変退色グレースケール4～5級の色差）
- ②強度：強度差90%以内
- ③工程：精練と同時加工

2. 実験

2. 1. 試験布

依頼企業で製織した試験布については、緯糸によりA（2010年度輸入糸の従来品）とB（2011年度輸入糸の品質低下品）の2種類の平織りの織物を使用した。

2. 2. 漂白剤

漂白剤はその漂白作用により酸化漂白剤と還元漂白剤に大別できる。酸化漂白剤の漂白力は強いが、繊維にダメージを与えてしまう恐れがある。一方、還元漂白剤の漂白力は酸化漂白剤に比べて劣るが繊維にダメージを与えることは少ない。そのためアルカリ耐性の強いセルロース系繊維では酸化漂白剤を、アルカリ耐

性の低いタンパク質系繊維では還元漂白剤が使用されるのが一般的である。そこで、この試験布を酸化漂白剤である過酸化水素で漂白加工を行ったところ、白度が大きくなり目標とする色調の調整が困難になると同時に絹繊維の劣化が懸念された。また、還元漂白剤のハイドロサルファイトを使用し漂白加工を行ったところ、羅布麻繊維は漂白されず十分な白度が得られなかった。そこで、セルロース系繊維にも使用される還元漂白剤を使用し漂白加工試験を行ったところ、ハイドロサルファイトに比べ白度が得られることを確認したのでこの薬剤を使用することにした。

2. 3. 加工条件

表1に加工条件を示す。

試料Aについては精練加工のみ（A1）を、試料Bについては精練漂白同時加工（B2～B4条件）、精練後漂白（B5）を行った。また、精練加工および精練・漂白同時加工については95℃で30分間、漂白加工については70℃、20分間処理した。

2. 4. 引張強さ、引裂き強さ、測色および表面観察

引張り強さは万能抗張力試験機（（株）島津製作所製AGS-10kNG）を使用し、JIS L1096 8.14.1 JIS法（つかみ間隔 200mm、引張り速度 150mm/min）で測定した。引裂き強さはJIS L1096 8.17.4 D法（ペンデュラム法）で測定した。また、練減り率を測定するために加工前後の重量変化率を絶乾状態で測定した。測色は分光色差計（日本電色工業（株）製NF-999）を用い、光源はD65、視野を10度で測色し、 $L^*a^*b^*$ 表色系で測色を行った。また、加工後の繊維表面を観察するために、走査型電子顕微鏡観察（日本電子（株）製JSM-5800LV、金蒸着使用）を行った。

3. 結果と考察

3. 1. 引張強さと引裂き強さ

表2に引張り強さ、引裂き強さの結果を示す。引張

り強さは精練・漂白同時加工では漂白剤の濃度に関係なく数値に大きな変化はなかった。また、引裂き強さは漂白剤の濃度が上がると緯方向（絹糸方向）に若干の低下が見られた。漂白剤を10 g/Lで加工した試料の緯方向引裂き強さは80%程度となったが、他の試料では目標とした強度差90%を超えた。

精練後に漂白加工を行ったB5においては引張り強さ、引裂き強さともに大きな変化はなかった。

3. 2. 測色

表3に測色結果を示す。目標としている色A1を基準とした。漂白剤濃度が大きくなるとL*が大きくなり、明るくなって白度が増しているが、目標とした $\Delta E^*(ab) < 0.5$ 以内となっているのはB3であった。

3. 3. 加工後の表面観察と練減り率^{※2}

表4に練減り率の試験結果を示す。漂白剤の濃度が

高くなると、練減り率が小さくセリシンが除去されにくくなるのがわかる。

図1に加工後の経糸（絹）の電子顕微鏡写真である。漂白剤により絹糸表面に大きな損傷は見られないが、漂白剤の濃度が高いB4では表面に付着物が見られる。これはセリシンが残留していることがわかった。

4. 結言

品質の悪い2011年輸入糸を使用した製品を、B3条件で精練漂白加工することで、問題のなかった2010年輸入糸を使用した製品とほぼ同等色となり、強度も95%程度を維持し、目標以内の数値となった。また、B5のように通常の精練加工を行った後の製品でも漂白剤濃度を検討することで、繊維の強度低下がなくこれまでの製品と同等色の加工が可能であることがわかった。

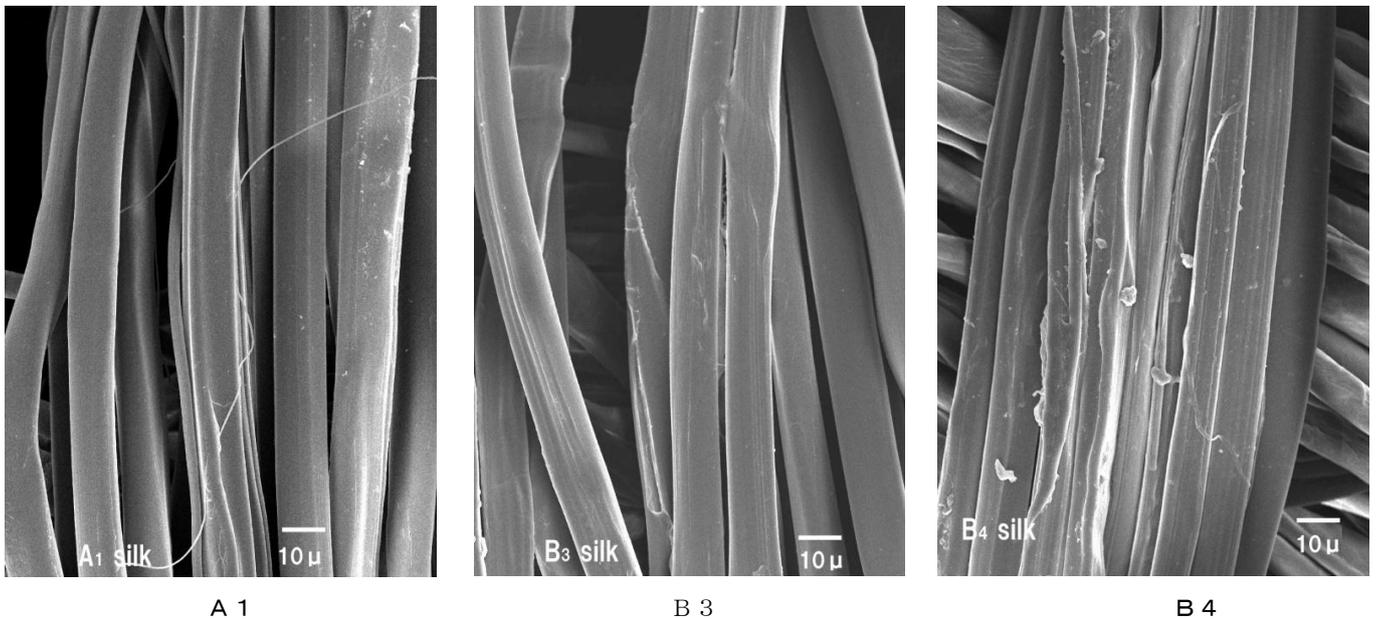


図1 加工後の経糸（絹）の電子顕微鏡写真

表1 加工条件

加工条件	炭酸ナトリウム (g/L)	非イオン界面活性剤 (g/L)	還元漂白剤 (g/L)	原料	加工工程
A1	2.5	1.0	0	'10年輸入糸	精練加工のみ
B2	2.5	1.0	2.5	'11年輸入糸	精練・漂白同時加工
B3	2.5	1.0	5.0	"	"
B4	2.5	1.0	10.0	"	"
B5	2.5	1.0	5.0	'11年輸入糸	精練加工後漂白加工

表2 引張りと引裂き強さ

試料名		引張り強さ		引裂き強さ	
		測定値 (N)	A 1 で規格化 (%)	測定値 (N)	A 1 で規格化 (%)
A 1	経	63.0	100	9.8	100
	緯	87.1	100	14.5	100
B 2	経	62.0	98.4	9.1	92.9
	緯	94.3	108.3	14.2	97.9
B 3	経	62.9	99.8	10.0	102.0
	緯	85.3	97.9	13.7	94.4
B 4	経	61.8	98.1	9.9	101.0
	緯	84.0	96.4	11.6	80.0
B 5	経	67.3	106.8	10.8	110.2
	緯	80.3	92.2	14.7	101.4

表3 測色結果

試料名	測色結果			
	L*	a*	b*	$\Delta E^*(ab)$
A 1	85.57	0.21	7.10	0.00
B 2	84.71	0.54	7.00	0.92
B 3	85.85	0.38	7.41	0.44
B 4	87.54	0.87	9.36	3.07
B 5	89.96	1.02	10.26	5.47

表4 練減り率

試料名	練減り率 (%)
A 1	10.7
B 2	11.1
B 3	10.4
B 4	5.0
B 5	A 1 と同じ

- ※1 生成(きなり)：精練加工のみの色調でオフホワイトやベージュ系の色
- ※2 練減り率：絹(生糸)精練時におけるセリシンの脱落量。通常の生糸の場合セリシン量は25%前後である。この試料の場合、羅布麻との交織なので11%位となった。(A1)

微小部品のバリ取り技術の開発

Development of Deburring Technology for Micro parts

いわき技術支援センター機械・材料科 緑川祐二

東洋シャフト株式会社

奥田要一 三瓶 敦 緑川健太

微小な形状の部品に発生した微細なバリを除去するために、細いワイヤを用いたバリ取り方法を検討した。さらに、ガイドなどを試作してワイヤの研削性や耐久性などの条件を試行した結果、短時間でバリおよびかえりを完全に除去することができた。

Key words : バリ取り、エッジ仕上げ、微小部品、ワイヤ

1. 緒言

近年の精密機器部品は、高機能・高性能が求められ、複雑な形状で微小化・微細化部品が多くなっている。一方で、安全性が重要視されてきており、高い品質基準をクリアしなければならない。例えば、精密な加工や位置決めなどの工程で使用されるリニアスライダも、小型化および高品質が要求されている。これらの部品などは、バリの有無や面取り寸法の精度が大きく性能に影響してくる。このため、通常は砥石、ブラシ、やすりなどの工具を使用してバリを除去している。しかし、微小な部品をバリ取りする場合、工具自体が大きくバ리를完全に除去することが困難な状況にある。

そこで、本研究では微小な部品に発生したバ리를、短時間で確実にバリ取りができる技術を開発することを目指した。

2. 実験方法

2. 1. 試験片

試験片は、図 1 に示す小型リニアスライダのスライダ部品である。このスライダ内側に溝が加工されている。その溝の中をボールが回転することで、スライダはガイドシャフト軸方向（左右）へ滑らかに往復運動することができる。

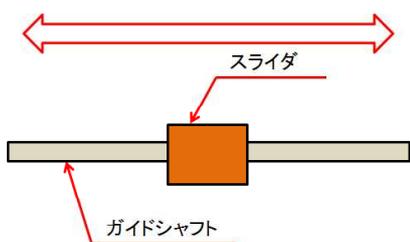


図1 リニアスライダ概略図

2. 2. 現状の問題点の解析

図 2-(a) の写真に示すとおり、スライダ部品の内側の溝は 1 mm 程度の微小な寸法で、複雑な形状に加工されている。これを加工する際、微細なバリが多数発生してしまう。さらに、この断面の輪郭形状を (b) に示すが、端面部にも 9.7 μm のバリが発生している。これは、組み立て後の寸法公差に影響してしまう。このため、これらのバ리를砥石などにより、除去して仕上っている。しかし、図 3 に示すようにバリ取り後で

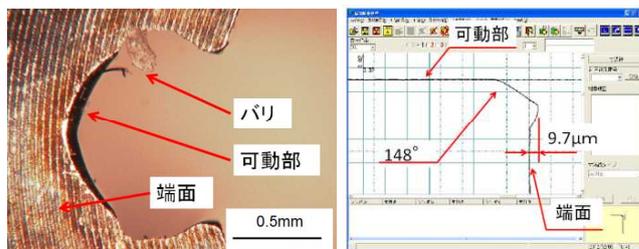
も、微細なバリは完全に除去することが困難である。このような部品を組み立てても、滑らかに動作しない。

また、バリ取りした部品を解析した結果、不具合を発生させる要因があることがわかった。

第一は図 4-(a) に示すとおり、面取り角が小さい場合 (145°)、ボールの可動部に 3.8 μm の微小なバリが発生している。このバリは、ボールの移動の抵抗になると考えられる。

第二は図 4-(b) に示すとおり、面取り角が大きい場合 (160°)、可動部にはバリが発生していないが、面取り寸法が 183 μm と大きくなってしまふ。この寸法が大きい場合、ボールの移動する軌道は、ばらついてしまうと思われる。

以上のように、バリ取りした箇所や可動部に発生したバリおよび大きな面取り寸法が、不具合の要因であると考えられる。そのため、可動部への 2 次的なバ리를発生させず、さらに面取り寸法が拡大しないバリ取り方法を検討しなければならない。



(a) 写真 (b) 輪郭形状
図2 スライダ部品の溝部

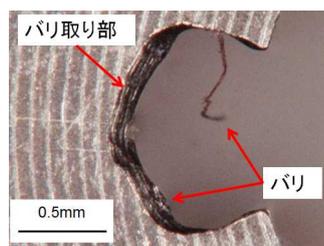
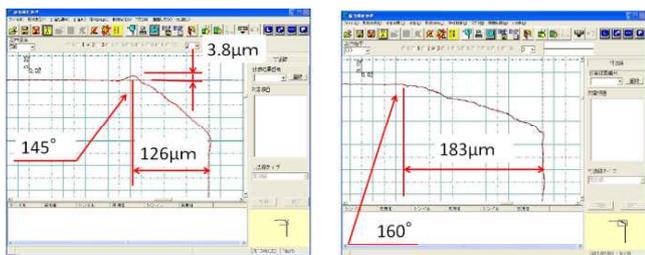


図3 バリ取り後写真



(a) 小さい面取り角 (b) 大きい面取り角
図4 スライダ部品の溝部の輪郭形状

2. 3. 実験方法

微小な箇所でもバリ取りができるように、細いワイヤを用いたバリ取り方法を検討した。図5に示すとおり、砥粒が固定されているワイヤをバリ取りしたい箇所に押し付けた状態で、エッジ部の輪郭に沿って往復移動させてバリを除去する。その際、部品内面を傷つけないように、ワイヤ用のガイドを試作して実験した。今回使用したワイヤの種類を表1に示す。

また、このワイヤで、スライダ部品のバリが発生していないエッジ部を図5の方法で面取りし、ワイヤの研削性および耐久性を確認した。その結果、図6に示すように面取り寸法が大きく研削力が高いワイヤは、No.1、No.2、No.3の順番であった。なおNo.2は、実験の途中で破断してしまい耐久性がなかった。このため、No.1は研削性および耐久性があり、バリ取りに適していることがわかった。

バリの有無の観察はデジタルマイクロスコープ((株)ハイロックSKH-7700)で、バリの寸法は輪郭形状測定機((株)東京精密サーフコム2000DX)で測定した。

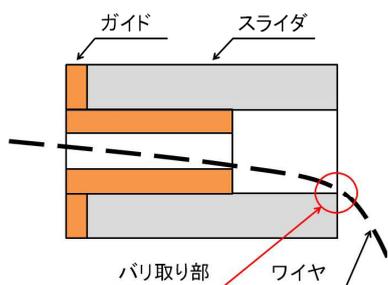


図5 バリ取り方法

表1 ワイヤの種類

No	線材	線径	砥粒	粒度
1	金属	φ0.25mm	ダイヤ	#800
2	SiC繊維	φ0.35mm	アルミナ	#300
3	ナイロン	φ0.30mm	アルミナ	#600

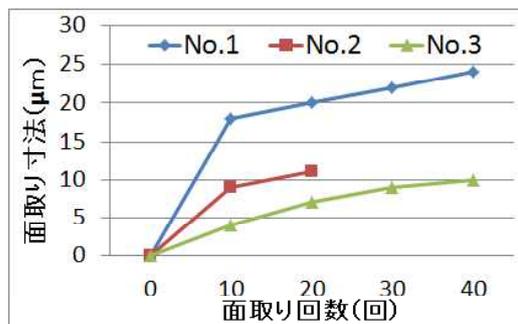


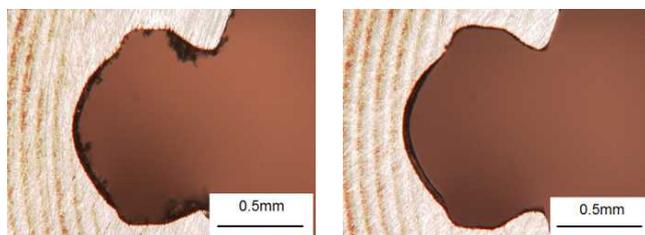
図6 ワイヤの研削性の比較

3. 実験結果及び考察

3. 1. バリ取り実験

初めに、スライダ部品の端面にあるバリを、#400の研磨布を用いて手作業により、10秒間程度で除去した。図7-(a)に示すように、端面部のバリは除去できたが、バリおよびかえりがエッジ部に発生した。

次にこれらを除去するために、今回検討した方法により、No.1のワイヤでエッジ部を5回、往復移動させてバリ取りを行った。バリ取り後は付着物などを除去するため、アセトン溶液に浸漬させて、5分間の超音波洗浄を実施した。その結果、図7-(b)に示すとおり、バリおよびかえりをきれいに除去することができた。さらに、面取り寸法も拡大せずエッジ形状を損ねることもなかった。



(a) 端面のバリ取り後 (b) ワイヤでのバリ取り後

図7 バリ取り後の写真

3. 2. 動作確認

バリ取りした部品を組み立てて動作の確認を行ったところ、ほとんどの部品が合格した。その結果、従来の方法と比較して格段に合格率が向上した。このため、時間短縮とコストダウンにつながると考えられる。

4. 結言

- (1) 微小部品に発生したバリを、ワイヤを用いたバリ取り方法で除去することができた。
- (2) バリ取り後は、バリおよびかえりを完全に除去することができた。
- (3) 従来のバリ取り方法と比較して、大幅に合格率が向上した。

除染テープの開発

Development of "Jyosen Tape"

("jyosen" means radioactive decontamination)

いわき技術支援センター機械・材料科 三瓶義之
古藤工業株式会社 根本慎一

簡便な除染用品として、除染テープの開発を行いました。粘着材により放射性物質を除去する除染機構の有効性について検証を行い、用いるテープ基材や粘着材について最適化を行いました。また、古藤工業株式会社において製作された試作品について評価を行って除染性能を検証し、実使用に耐える性能を持っていることが確認できました。

この除染テープについては、平成23年12月に提案企業より市販化されました。

Key words: 除染、放射能汚染、粘着剤

1. 緒言

平成23年3月13日以降の福島第一原子力発電所事故により、福島県内外の広い地域に放射性物質が放出された。その除去（除染）に際し、一般家庭で使用できる簡便な除染用品への要求は非常に強いものがある。

そこで、本研究では高圧洗浄などの除染手法が使用できない環境でも除染がおこなえる簡便な除染手法および用品として、粘着材により除染を行う「除染テープ」について開発を行った。

2. 実験結果および考察

2. 1. 除染機構について

原発事故により環境中に放出された放射性物質については、ダストに付着して飛散や付着、再飛散をしているものが多いと予測されている。したがって、放射性物質の付着（放射能汚染）はダストが降り積もった状態にたとえることが出来、粘着テープを用いて汚染された表面からテープ粘着面へとダスト（放射性物質）を移行させることが出来れば、テープの貼付と剥離といった作業で汚染された表面から放射性物質を除去（除染）出来ると考えられる。

この除染機構の有効性について確認を行うため、汚染された表面をサンプルとして、古藤工業株式会社製の数種のテープを用いて除染を行い、除染前後の表面からの放射線量について比較を行った。

使用するテープには「ブチルテープ」（ブチルゴム系粘着材）、「白養生テープ」（アクリル系粘着材）、「布テープ」（天然ゴム系粘着材）、市販カーペットクリーナーの4種を用いた。測定箇所はハイテクプラザいわき技術支援センターのホール内にあるスチールロッカーの上面をテープごとに5箇所ずつ、測定は日立アロカメディカル製GMサーベイメータTGS-146Bを用い、時定数は10秒に設定、測定箇所から1cm以内に検出器を保持し30秒後の数値を読み取ることにより行った。

それぞれのテープについて読み取ったcpm (count per minuits) の平均値について表1に、放射

性物質の残留率（除染前後の数値からバックグラウンドを差し引き、除染前の数値で規格化した値）についてテープごとに比較したものを図1に示す。

表1 テープごとの除染前後の放射線量値 (cpm)

	除染前	1回除染	2回除染
ブチルテープ	164	101	83
白養生テープ	143	85	70
布テープ	138	109	93
カーペットクリーナー	125	83	76
空間線量		71	

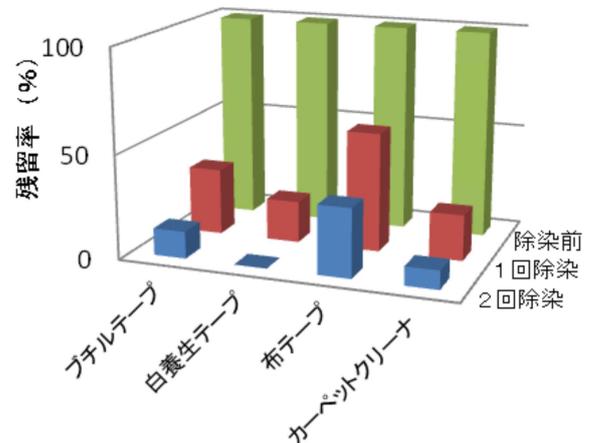


図1 テープごとの除染前後の放射性物質の残留率

これらの結果より、今回実験を行った4種のテープではいずれも放射性物質を除去できることが確認できた。しかし、布テープは凹凸への追従性が劣るために白養生テープに比べ残留率が劣り、ブチルテープではテープから粘着材が脱離するいわゆる”糊残り”が発生することが確認された。市販のカーペットクリーナーについては転がす作業上、効果を比較することは難しいが、作業が簡便に行えるという点で有利な点を確認された。

2. 2. テープの厚みによる除染効果への影響

実際に除染を行う面には凹凸やダストが存在するた

め、そのような面における粘着テープの基材・粘着材の厚みを変化させた際の除染効果への影響について確認を行った。

使用するテープには基材・粘着材の厚みの変更が容易な布テープ（天然ゴム系粘着材）を用い、基材・粘着材厚が異なる7種の布テープを用いて実験を行った。実験は凹凸やホコリの影響が大きいハイテクプラザいわき技術支援センターの屋上にて行った。測定はコンクリート床面を各テープごとに3箇所ずつ設定し、テープにより5回除染を行い、前回と同じ機器・手法を用いて測定を行った。それぞれのテープについて得られたcpmの数値、および残留率について表2に示す。

表2 テープの厚みによる除染効果への影響

除染箇所 テープ	1		2		3		平均 残留率	基材・ 粘着材	除染 効果
	前	後	前	後	前	後			
1	359	129	444	160	572	116	30	薄い ↓ 厚い	高 ↑
2	313	127	475	131	481	203	36		
3	372	97	466	166	376	119	32		
4	314	152	459	206	284	142	47		低 ↓
5	332	126	369	164	357	178	44		
6	293	86	335	105	340	125	33		
7	405	121	403	62	355	66	22		

テープ1～6は現行品、7は今回試作したもの

この結果より、基材・粘着材の厚さが薄いあるいは厚いものが除染効果に優れており、中庸なものは劣るという結果が得られた。これは基材や粘着材が薄いものはテープ自体が表面の凹凸に追従しやすく、厚いものは粘着材の厚みで表面の微細な凹凸を吸収するために密着性が上がり、除染効果が高くなったものと考えられる。

2. 3. 試作テープの性能評価

これまでの実験結果をもとに、古藤工業株式会社では「除染テープ」を製品化することを決定し、発売に向けて試作品を作製した。試作品の製作にあたってはこれまでの試験結果に基づき、室内用および屋外用の二種を製作し、それぞれ基材・粘着材の厚みを最適化させた。さらにテープ背面に塗布する剥離剤の工夫により手袋装着時での作業性にも配慮している。この試作品の除染効果について評価を行った。

2. 3. 1. 試作室内用除染テープの性能評価

室内用では、平滑面で効果の高いアクリル系の粘着材と薄めの基材・粘着材を採用した。これを用いて、ハイテクプラザいわき技術支援センターのホール内にあるスチールロッカーの上面の10箇所について前回と同じ測定機器・手法によって測定を行った。図2に

除染回数ごとの測定値の平均値の変化について示す。

図2の結果より、試作された室内用除染テープでは2回の除染でほぼ空間線量のレベルまで表面の汚染を除去できることが確認された。

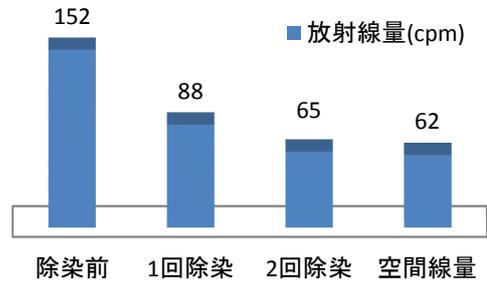


図2 室内用テープの除染効果

2. 3. 2. 試作屋外用除染テープの性能評価

屋外用では、凹凸やダストの影響に強い天然ゴム系の粘着材と、厚めの基材・粘着材を採用した。これを用いて、ハイテクプラザいわき技術支援センターの屋上コンクリート床においてほこりや砂などが乗ったままの状態の30箇所について前回と同じ測定機器・手法によって測定を行った。図3に除染回数ごとの測定値の平均値の変化について示す。図3の結果より、試作された屋外用テープでも、除染回数を重ねることにより確実に除染効果が得られることが確認できた。

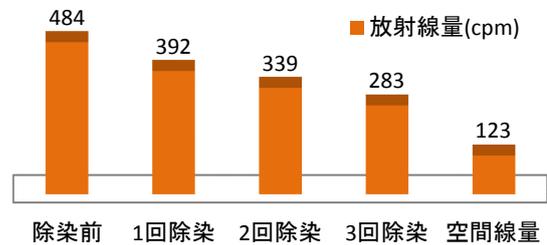


図3 屋外用テープの除染効果

3. 結言

一般家庭で使用できる簡便な除染手法および用品の開発として、除染テープの開発を行った。粘着材で放射性物質を捕捉する除染機構について検証を行い、テープの構成の最適化を行った。それらを踏まえて作製された試作品について性能評価を行い、実使用に耐える性能を持っていることを確認した。

この結果を受け、古藤工業株式会社はハイテクプラザの名称使用申請の上、平成23年12月19日に「除染テープ「室内用」」および「除染テープ「屋外用」」として発売した。

この商品については12月20日の福島民報および福島民友の朝刊上で紹介され、福島テレビ、TBSでのTV放送内でも紹介された。

パーフェクトシルクを活用した寝装寝具の開発

Study on Heat Conduction Properties and Structural performance of Perfect-silk fabric

技術開発部プロジェクト研究科 東瀬 慎
福島技術支援センター繊維・材料科 菅野陽一 佐々木ふさ子
株式会社東北寝装開発センター 後藤英三郎

絹素材の利点である吸湿性の高さは、夏場の寝具としては快適性に優れるが、特に寒冷期の寝具としては、肌に接触した時のヒンヤリ感が使用者を不快なものにしている。そこでパーフェクトシルク素材（経編立毛編地）を活用し、既存寝具の抱える課題解決に取り組んだ結果、ヒンヤリ感は従来比約60%減となるシルク素材を得ることが出来た。

Key words: 接触温冷感、寝具、シルク

1. 緒言

パーフェクトシルク（商標 5402148）は、県保有の特許技術（特許 3190314）と福井産地の経編技術を組み合わせたシルク素材である。伸びの少ない絹糸に伸縮性を付与した絹特殊加工糸（中空シルク）により、長年課題であった糸切れや針折れ等の編成上の問題点が解決可能である。そこで絹特殊加工糸をダブルラッセルで編成し、編み地断面を二枚にセンターカットしたのが経編立毛編地（パーフェクトシルク）である。



図1 パーフェクトシルク編地（経編立毛編地）

本開発ではこの素材を活用し、既存寝具の抱える以下、①②の課題解決に取り組み、③の新規性に着目した新商品の開発に取り組んだ。

- ①絹素材の利点である吸湿性の高さは、夏場の寝具としては快適性に優れるが、特に寒冷期の寝具としては、肌に接触した時のヒンヤリ感が使用者に不快感を与えている。
- ②絹編織物は表面が平滑で光沢感に優れているが、表面の繊維が手足に引っ掛かりやすく、品質低下や取扱いを難しくする原因の一つである。
- ③既存寝具に使用される絹編織物は、セリシンを除去したフィブロインのみの繊維が主流であり、セリシンの優れた特性が活用された寝具は市場に見当たらない。

2. 従来技術と課題

一般的な編織物は糸の側面が生地表面に表れるため、接触面積を編織組織で調整することには限界があった。したがってヒンヤリ感の指標となる接触温冷感

（Q-max 値）を小さく保つ方法としては、編織物表面に微細な起毛加工を施す方法、編織物自体を多重組織化し表面に凹凸を形成し接触面積を減らす方法、あるいは接触面のみに吸湿性の低い合成繊維を用いた多重組織の編織物にする方法等が知られている。しかしこれらの方法は、製造コストが高くなる等の問題があり従来取り組まれなかった。また絹素材を用いた寝具は、光沢感や風合いを重視することから、図2に示す朱子組織やパイル組織が使われることが多く、表面の極細の絹繊維が手足の微少な突起に引っ掛かり易いこと課題であった。

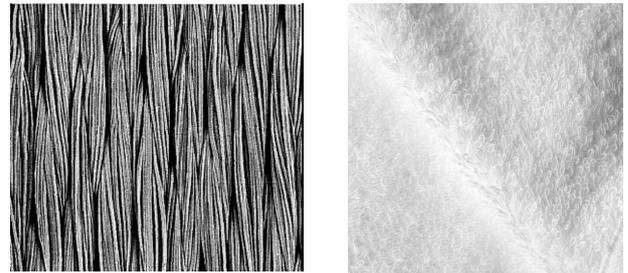


図2 朱子組織（左）とパイル組織（右）

一方、新規性③では、生糸表面のセリシンが膠状で硬く絹独特の光沢感、風合い、ドレープ性を得るため精練工程でその大部分を廃棄している。

しかし、セリシンは水溶性タンパク質の一種であり、人の肌に含まれる成分に極めて近い組成を持ち、保湿作用、放湿作用、メラニン色素合成阻害作用、紫外線吸収作用等の優れた性質から食品、医薬品、化粧品などへの応用も盛んであることから、その機能性を活かした寝具が期待されている。

3. 実験方法・結果

3. 1. 絹特殊加工糸の構造と仕様

図3、表1に絹特殊加工糸の構造と仕様を示す。左側の通常のパーフェクトシルクは、芯鞘構造の加工糸を作成して経編地を編成した後、アルカリ精練で完全にセリシン除去していたのに対し、本開発では芯部に水溶性繊維と生糸を引き揃え、かつ鞘部を生糸から練

糸（セリシン除去済み）へ変更し経編地を編成後、アルカリ精練を経ずに温水洗浄を行う。これにより芯部にセリシン、鞆部には風合い、光沢に優れるフィブロインを共存した経編地の作成が可能となる。この方法と手順により編成後のセリシン除去が不要かつ精練工程が簡素化し、品質の安定化及び量産対応に有利であると考える。

3. 2. 接触面積を低減させる繊維構造

次に接触面積を低減させる繊維構造を表1右、図4に示す。具体的には表1左に示す絹特殊加工糸を使い、表1右に示すダブルラッセル編地を編成後、編地断面の中央を図4に示す点線箇所まで2枚にセンターカットし切り開く。これにより編地表面は図4右に示すような立毛状態となり、面から点の肌への接触となるため、接触面積が減少すると考えられる。またカットされたパイル糸は全方向で引っ掛かりが無いため品質低下、取り扱いが改善する一方で、パイル糸の抜けや経時変化によるパイル糸の潰れ対策の必要性が今後予想される。

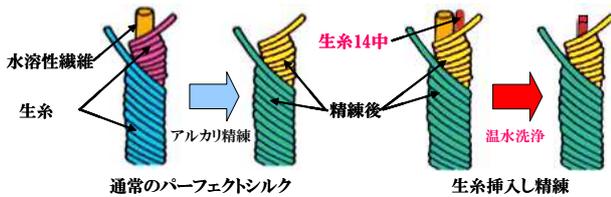


図3 絹特殊加工糸の構造

表1 左：絹特殊加工糸仕様と右：ダブルラッセル仕様

		絹特殊加工糸		ダブルラッセル	
糸構成	芯糸①	水溶性繊維ピロニン 62T/15F		ゲージ	28
	芯糸②	生糸 14 中×1 本		パイル糸	絹特殊加工糸
	鞆糸 S	練糸 21 中×2 本、		グラント糸	ナイロン加工糸 78T24F
	鞆糸 Z	練糸 21 中×2 本、		密度	コース /inch 39 ウェール /inch 28
カバーリング	S 方向	600		パイル長	mm 2
	Z 方向	500		編み幅	inch 75
織度 d	131		生機目付	g/cm ² 259.8	

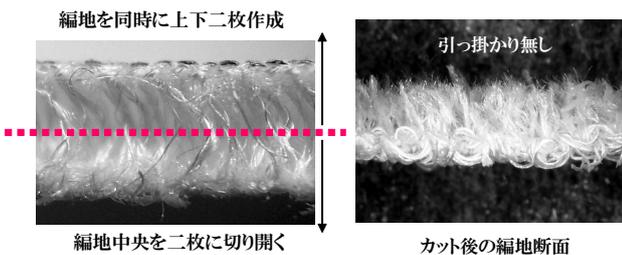


図4 左：ダブルラッセル断面と右：カット後の断面

3. 3. 接触温冷感 (Q-max値)

ヒンヤリ感の指標となる接触温冷感とは、精密迅速熱物性測定装置(カトーテック(株)製のサーモラボ 2型測定機)を用いて求められる Q-max 値を示す。Q-max 値とは面積 9cm²、質量 9.79g の純銅板(熱容量:0.41855J/°C)に熱を蓄え、これが試料表面に接触した直後に、蓄えられた熱量が低温側の試料物体に移動する際の熱量のピーク値を測定したものである。これにより人体の皮膚が物体に接触した時に感じる温冷感に関する熱移動量を擬似的に想定している。

測定方法は試験環境 20 °C、65%相対湿度(RH)の条件下で BT-Box (熱源板)の温度を室温+10 °Cに設定し、T-Box (温度検出及び貯熱板 質量 90g)の検知部を試料生地接触させた時の値を読み取り接触温冷感(Q-max 値)とした。図5に本開発の絹立毛編地と一般的な毛織物(毛 100%)、絹羽二重織物(絹 100%)の Q-max 値の測定結果を示す。結果よりヒンヤリ感は、従来の絹羽二重と比較して約6割低減させることが可能となった。

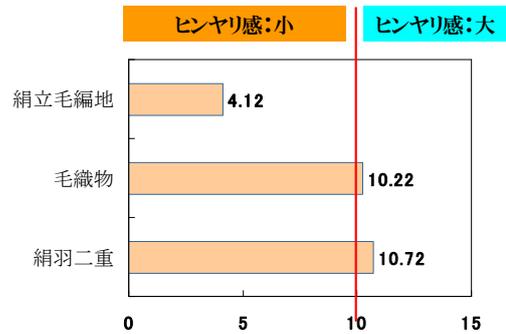


図5 接触温冷感Q-max値 × 10⁻² (W/cm²)の比較結果

3. 4. 吸放湿能力 (ΔMR値)

従来の経編立毛編地(ポリエステル 100%)、毛織物(毛 100%)、絹羽二重織物(絹 100%)に対し吸放湿能力 Δ MR 値の測定を行った。試験方法は 25cm × 25cm をサンプリングし、絶乾状態の重量 d(g)を測定し(105 °C × 2hr)、雰囲気 X (20 °C、65%RH)及び雰囲気 Y (30 °C、90%RH)で 24 時間放置した後の編地重量 X0(g)、Y0(g)を測定した。雰囲気 X での吸湿率 X (%)を(1)式で、雰囲気 Y での吸湿率 Y (%)を(2)式で求め、吸放湿能力 Δ MR (%)を(3)式で求めた。

$$X = (X_0 - d) / d \times 100 \dots (1)$$

$$Y = (Y_0 - d) / d \times 100 \dots (2)$$

$$\Delta MR = Y - X \dots (3)$$

表 2 吸放湿能力 ΔMR の比較試験

	雰囲気 X(%)	雰囲気 Y(%)	ΔMR (%)
絹経編立毛編地 (絹 40%ナイロン 60%)	8.0%	12.4%	4.4%
経編立毛編地 (ポリエステル 100%)	0.5%	0.6%	0.0%
毛織物 (毛 100%)	17.3%	21.1%	3.8%
絹羽二重 (絹 100%)	12.1%	16.3%	4.2%

吸放湿能力 ΔMR は値が大きいほど吸湿量が多く、使用時の快適性に優れている。一般的に天然繊維（綿 100%）の編織物の吸放湿能力 ΔMR は 4.0%前後であり、合成繊維（ポリエステル 100%）の編織物は 1.0%未満であることが知られている。表 2 より絹経編立毛編地は、綿素材の吸放湿能力 $\Delta MR \geq 4.0\%$ を示すことから、寝具内に滞留する水蒸気の除湿や外部への放湿性に優れ、蒸れにくく爽やかな寝具素材となることが分かった。一方でグランド部分にはナイロン加工糸を使用しているため、ドライ感と速乾性を併せ持った快適性に優れた寝具素材として期待される。

3. 5. 製品試作

本開発素材を使用したシルク掛け布団、シルクケット、シルク敷きパッドを(株)東北寝装開発センターで試作を行った。



図 6 試作したシルク掛け布団



図 7 試作したシルクケット



図 8 試作したシルク敷きパッド

4. 結言

- ①絹特殊加工糸により光沢、風合いに優れたフィブロンと保湿、放湿作用等の機能が期待されるセリシンを共存させた寝具用素材の試作を行った。
 - ②経編技術（ダブルラッセル、センターカット技術）と絹特殊加工糸を組み合わせ接触温冷感 $Q\text{-max}$ 値 $4.2 \times 10^{-2} \text{W/cm}^2$ （従来比 60%減）の寝具用素材を得ることが出来た。
 - ③試作した絹立毛編地は $\Delta MR \geq 4.0\%$ を示し毛、綿素材に比べ吸放湿能力が高く除湿効果、ムレ防止に有効である。
- 今後(株)東北寝装開発センターでは、試作品の外部評価（メーカー提案、展示会出品）を進めると共に、既存寝具の課題を解決した新商品開発、販路開拓を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 福島県縫製品工業組合：商標 5402148、“パーフェクトシルク”
- 2) 菅野、伊藤：特許 3190314、“絹加工糸、その製造方法および絹織物の製造方法”
- 3) 加藤弘：“絹繊維の加工技術とその応用”、繊維研究社、1987
- 4) 間和夫：“わかりやすい絹の科学”、文化出版局、1990
- 5) シルクサイエンス研究会：“シルクの科学”、朝倉書店、1994
- 6) 菅野陽一、伊藤哲司：“新規テキスタイルの開発”、平成 13 年度福島県ハイテクプラザ研究報告書
- 7) 長沢浩 他：“新規シルク意匠糸の開発”、平成 19 年度福島県ハイテクプラザ調査研究

会津身不知柿の冷凍技術を活用した一次加工食材の開発

Development of the primary processing foods of the Aizu-mishirazu persimmon fruits
by practical use of freezing technology

会津若松技術支援センター醸造・食品科 一条晶恵 大島健司 鈴木賢二
株式会社河京 佐藤富次郎

冷凍・解凍後も会津身不知柿の食感を保ち、通年で利用可能な冷凍した柿の開発を目指すため、冷凍による硬度の低下を抑える方法について検討した。その結果、短期脱渋処理された会津身不知柿を、30%スクロース+0.2%増粘多糖類+0.5%L-アスコルビン酸の糖液に浸漬後急速凍結または同糖液を浸漬・乾燥後に急速凍結を行うことにより、凍結・解凍後の柿の硬度の低下を抑えることができた。

Key words: 会津身不知柿、カキ、冷凍、解凍

1. 緒言

会津地域の特産品のひとつである会津身不知柿は、滑らかな食感と上品な甘みが特徴であり、贈答品等、生鮮での販売が行われている一方、加熱後の渋戻りを抑制した柿ペーストの開発¹⁾により、新たな加工品が販売されており、柿を活用した一次加工食材のさらなるバリエーションが求められている。

そこで、解凍後も柿の食感を保ち、通年で利用可能な一次加工品の開発を目指すため、前年度当所において研究した冷凍技術²⁾を踏まえ、浸漬用糖液及び乾燥の検討を行った。

本研究は、喜多方市の株式会社河京により、ものづくり復興支援事業技術開発事業に応募、採択されたものである。

2. 実験方法

2. 1. 供試試料及び前処理

供試した試料は、あいづ農業協同組合より平成23年度産の会津身不知柿の短期脱渋果及びアルコール脱渋果を購入・使用した。

前処理として水道水で洗浄後、半割。果皮と芯部を除去した後、繊維方向と平行に1.5cm厚さにスライスして試験に供した。

2. 2. 糖液浸漬後冷凍について

前処理した柿を表1の浸漬用糖液に18時間浸漬し、ポリエチレンの袋に包装して急速凍結を行った。分析まで-30℃で保存し、分析時に、氷水に包装のまま浸漬し解凍した。

急速凍結の方法は、前年度実施の方法³⁾と同じアルコールブライン法を用いた。つまり、60%wtエチルアルコールを2L容ステンレス製容器に入れ、-80℃の超低温フリーザー（CLN-51UW：日本フリーザー（株））にて-50℃以下まで冷却したものを、容器内のブラインに30分浸漬させて凍結を行った。

分析は、前処理したものと及び凍結解凍後について重量及び果実硬度計（FMH-1 富士平工業（株））により果実硬度を測定した。

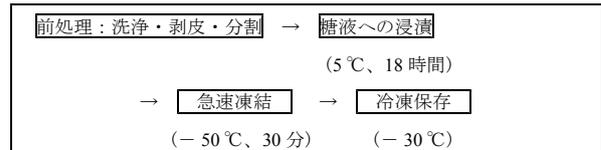


図1 糖液浸漬後冷凍の工程

表1 浸漬用糖液組成

	(W/W%)			
	i	ii	iii	iv
スクロース	30.0	30.0	30.0	0.0
水あめ	0.0	0.0	0.0	100.0
ペクチン	0.0	1.0	0.0	0.0
増粘多糖類	0.0	0.0	0.2	0.0
L-アスコルビン酸	0.5	0.5	0.5	0.5

水あめはハローデックス（（株）林原製）、ペクチンはUNIPECTINE OF327C（カーギル社製）、増粘多糖類はイナゲル B-110K（伊那食品工業（株）製）L-アスコルビン酸は食品添加物（関東科学（株）製）を使用した。

2. 3. 糖液浸漬・乾燥後冷凍について

前処理した柿を表1の浸漬用糖液に18時間浸漬、熱風循環式定温乾燥器（SF-2214S（株）いすゞ製作所製）にて50℃で乾燥し、重量を測定した。乾燥後、ポリエチレンの袋に包装して前述の糖液浸漬後冷凍と同様の方法で急速凍結を行った。分析まで-30℃で保存し、分析時に、氷水に包装のまま浸漬し解凍した。

分析は、前処理したものと及び凍結解凍後について重量及び果実硬度計により果実硬度を測定した。また、解凍後5℃で保存し色の変化を目視で確認した。

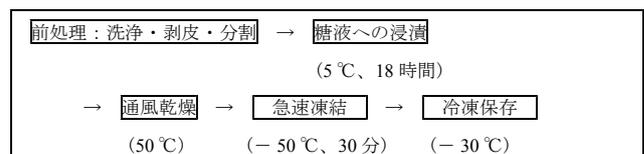


図2 糖液浸漬・乾燥後冷凍の工程

2. 4. 工程中の微生物検査について

アルコール脱渋果を用いて各加工工程および解凍後3日までの一般生菌数および大腸菌群を計測した。培地は、一般生菌数は標準寒天培地（日水製薬(株)製）、大腸菌群はデソキシコレート寒天培地（日水製薬(株)製）を用いた。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 糖液浸漬後冷凍について

各区における解凍後の歩留および解凍後の硬度を、それぞれ図3および図4に示す。

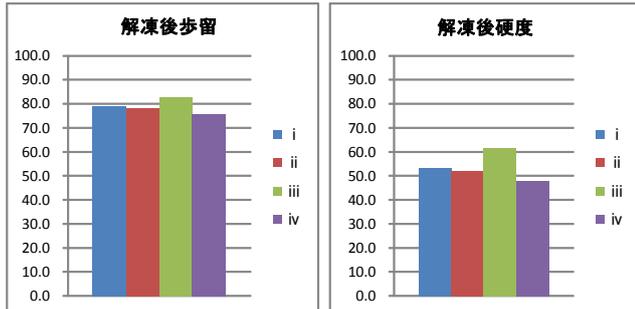


図3 短期脱渋果の糖液組成による解凍後歩留および硬度（前処理した柿を100とした場合）

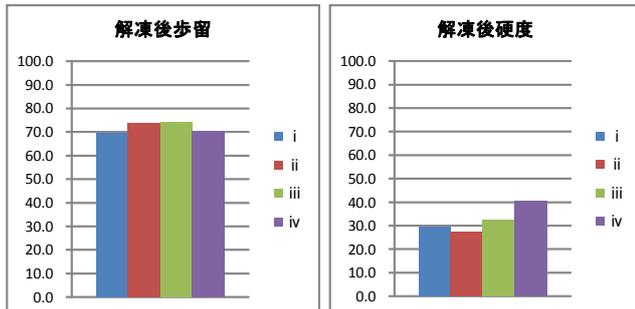


図4 アルコール脱渋果の糖液組成による解凍後歩留および硬度（前処理した柿を100とした場合）

短期脱渋果では、増粘多糖類を添加したiii区が、解凍後の歩留が最も高く、解凍後の硬度も同様に最も高くなった。

アルコール脱渋果で解凍後の歩留が最も高かったのは、ペクチン使用のii区および増粘多糖類使用のiii区であった。一方、解凍後硬度については、水あめ使用のiv区が最も高かった。

短期脱渋果とアルコール脱渋果と比較すると、解凍後歩留及び硬度ともに短期脱渋果の方が良好であり、冷凍の際には短期脱渋果を用いた方が良かった。また、柿の脱渋方法または目的に応じて、浸漬糖液の組成を変える必要があることが分かった。

3. 2. 糖液浸漬・乾燥後冷凍について

各区における解凍後歩留および解凍後硬度を図5、6に示す。

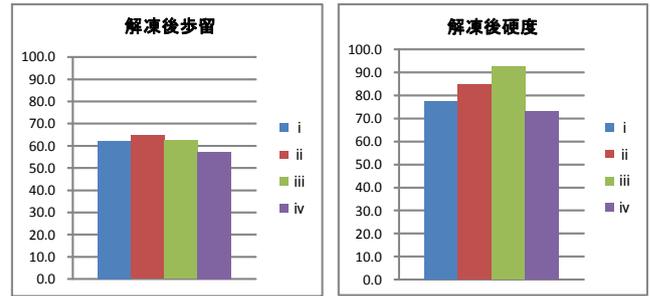


図5 短期脱渋果の糖液組成による解凍後歩留および硬度（前処理した柿を100とした場合）

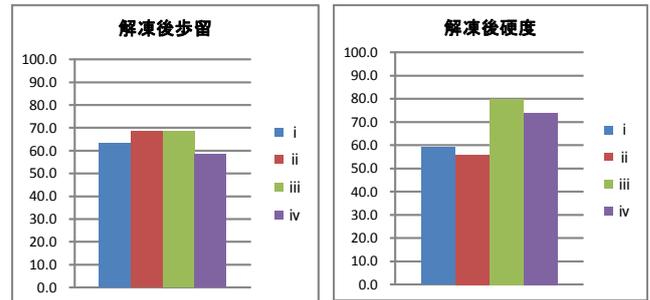


図6 アルコール脱渋果の糖液組成による解凍後歩留および硬度（前処理した柿を100とした場合）

短期脱渋果およびアルコール脱渋果における解凍後歩留については、図5,6のとおり。なお、乾燥後と解凍後と比較すると乾燥により水分が減少しているためか、解凍の際にドリップはほとんどみられず、各区に大きな差はなかった。（データ非掲載）

解凍後の硬度は、短期脱渋果及びアルコール脱渋果ともに、増粘多糖類使用のiii区が最も硬くなった。

解凍後の色の変化については、L-アスコルビン酸0.5%の添加により、解凍後5℃で1日およびガスバリア袋（ポリフレックスバック飛竜、旭化成パックス(株)製）に脱気包装し5℃で保存したところ、3日後まで大きな色の変化がみられなかった（図7）。



図7 iii区解凍後5℃6時間後(左)、5℃1日後(中)および5℃3日後(右)様子

3. 3. 工程中の微生物試験について

一般生菌数は全ての工程において確認され、全工程をとおして菌数は300cfu/gを下回っていた。（表2）

大腸菌群は糖液浸漬後の4サンプル中2サンプル、乾燥後で4サンプル中1サンプルから検出された。非

加熱で喫食する冷凍食品について、大腸菌群は陰性でなければならぬため、何らかの殺菌が必要であると考えられる。(表3)

い傾向を示した。

(3) 柿の一次加工品においても、大腸菌群が少ない確率ながらも検出され繁殖する可能性もあることから、何らかの殺菌が必要と考えられた。

4. 結言

- (1) 短期脱渋果とアルコール脱渋果では、糖液浸漬後冷凍区及び糖液浸漬・乾燥後冷凍区のどちらにおいても、短期脱渋果を用いた方が解凍後の硬度が高い結果となった。
- (2) 浸漬に用いる糖液の配合としては、「30 %スクロース+ 0.2 %増粘多糖類+ 0.5 % L-アスコルビン酸」が、他の配合と比較し解凍後の硬度が高

参考文献

- 1) 渡部修ら：平成 20 年度ハイテクプラザ試験研究報告、2009
- 2)、3) 一条晶恵ら：平成 22 年度ハイテクプラザ試験研究報告、2011

表2 糖液浸漬後冷凍及び糖液浸漬・乾燥後冷凍の加工工程中の一般生菌数

	糖液浸漬後冷凍					糖液浸漬・乾燥後冷凍				
	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
前処理後	20	60	10	10	25	10	110	0	10	32.5
糖液浸漬後	10	20	10	0	10	0	110	10	30	37.5
乾燥後						20	20	0	10	12.5
1晩保存	0	10	10	0	5	0	60	10	0	17.5
2晩保存	0	10	10	0	5	0	10	0	10	5
3晩保存	0	10	10	10	7.5	10	30	10	20	17.5

単位は cfu/g

表3 糖液浸漬後冷凍及び糖液浸漬・乾燥後冷凍の加工工程中の大腸菌群

	糖液浸漬後冷凍				糖液浸漬・乾燥後冷凍			
	1回目	2回目	3回目	4回目	1回目	2回目	3回目	4回目
前処理後	-	-	-	-	-	-	-	-
糖液浸漬後	+	+	-	-	-	-	-	-
乾燥後					-	+	-	-
1晩保存	-	-	-	-	-	-	-	-
2晩保存	-	-	-	-	-	-	-	-
3晩保存	-	-	-	-	-	-	-	-

+:陽性 -:陰性

石炭灰フィルターの成形方法の確立と 吸着可能な有害物質または有価物質の特定

Study of Forming Method of the Filter made of Fly Ash and
Identification of the adsorbable Toxic Substance (or Valuable Substance)

いわき技術支援センター機械・材料科 吉田正尚
相馬環境サービス株式会社 菅野 栄

火力発電所で排出された石炭灰の新しい利用法として有害物質の浄化特性の検討を行った。今回は東日本大震災の津波によって海底から河川に運ばれたヒ素化合物の浄化を目指し、石炭灰のヒ素浄化能を検討した。その結果石炭灰にはヒ素浄化能が有り、成分中のヘマタイトが有効であることがわかった。しかしながら成形後は粉体時より性能が低下することがわかった。

Key words: 石炭灰、ヒ素浄化、ヘマタイト、ゾル-ゲル法

1. 緒言

火力発電所で燃焼させる石炭は、燃焼後に発生する大量の石炭灰を現在有償で処理している。従来これらはセメント原料等への再利用、若しくは有償で廃棄していたが、今後は石炭灰の新しい再利用方法を開発することにより石炭灰の再資源化及び有価物質化をはかりたい要望がある。高付加価値用途としては、先に中部電力が石炭灰よりヒ素浄化用資材を開発販売している例がある。

本県においても昨年発生した東日本大震災による津波によりいわき沖合の海底土壌に元来含有していた鉍山由来のヒ素がいわき市内の河川(藤原川等)に運ばれ、環境規制値以上のヒ素が検出されており、一刻も早い浄化が切望されている。

本県火力発電所より排出された石炭灰においても、ヒ素浄化用途が期待されるが、石炭灰は各火力発電所で組成が異なっており当該石炭灰での検証が必要である。そこで本研究では本県の石炭灰がヒ素浄化材料としての再利用は可能かどうか検討を行った。

2. 実験方法及び結果

2. 1. 石炭灰の組成

今回使用した石炭灰 P-11 の組成を蛍光 X 線(波長分散型)で半定量分析した結果を図 1 に示す。これを見ると石炭灰は様々な酸化物の混合物(図 1)であった。

2. 2. 石炭灰のヒ素浄化力

この石炭灰自体(原灰)のヒ素浄化効果があるのかを検討した。濃度 20mg/L のヒ素水溶液 100ml 中に石炭灰 1g を投入し、1 時間攪拌した後、どの程度ヒ素濃度が低下しているかを ICP にてヒ素の定量(測定波長 188.980nm)を行った(以下ヒ素浄化実験と言う)。その結果、ヒ素濃度が 20mg/L から 17.3mg/L に若干低下(図 1)し、些少ながら石炭灰自体にもヒ素浄化力があることがわかった。

石炭灰成分	重量%
シリカ	55.2
アルミナ	23.1
酸化鉄	11.2
酸化カルシウム	2.58
酸化カリウム	2.53
酸化チタン	2.5
その他	2.89

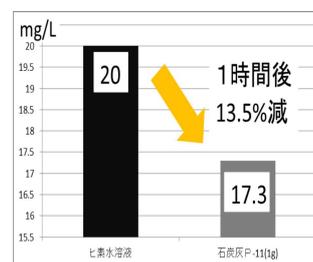


図 1 石炭灰成分(左)と原灰 P-11 のヒ素浄化力(右)

石炭灰成分	mg/L
ヒ素水溶液(原液)	20
シリカ	19.4
アルミナ	19.5
酸化鉄	0.35
酸化チタン	4.9
酸化ジルコニウム	1.3
酸化ニッケル	18.1

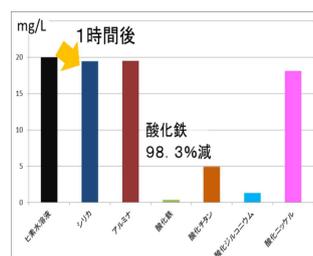


図 2 石炭灰各成分のヒ素浄化力

2. 3. 石炭灰各成分によるヒ素浄化実験

次に石炭灰の成分のヒ素浄化への寄与について検証した。石炭灰に含有する各成分の粉末をそれぞれ 1 g 吸着材としてヒ素浄化実験を行った。その結果、石炭灰成分中で酸化鉄が 98 %以上のヒ素を浄化し最もヒ素浄化力があることが判明した。

2. 4. 各種酸化鉄とヒ素浄化実験

酸化鉄の種類によるヒ素浄化力に違いがあるのかを検討した。2 種類の酸化鉄(ヘマタイト(赤鉄鉱、Fe₂O₃)、マグネタイト(磁鉄鉱、Fe₃O₄))を用いてヒ素浄化実験を行った。その結果、マグネタイトに比べヘマタイトの方がヒ素浄化力が高いことが判明した(図 3)。実際にヒ素浄化力があった石炭灰 P-11 の X 線回折測定を行うとヘマタイトを含有していることがわかる(図 4)。

酸化鉄種類	mg/L
ヒ素水溶液(原液)	20
ヘマタイト	0.35
マグネタイト	6.5

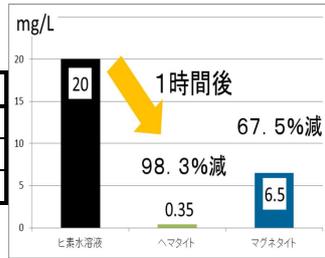


図3 ヘマタイトとマグネタイトのヒ素浄化力の違い

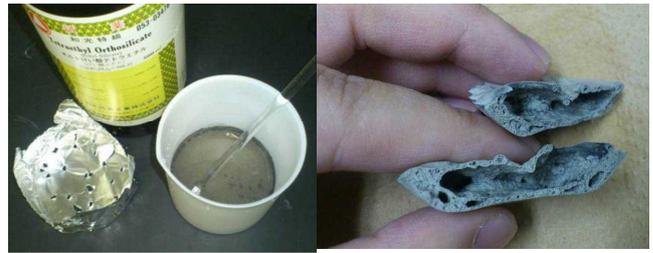


図6 ゴールゲル法による成形

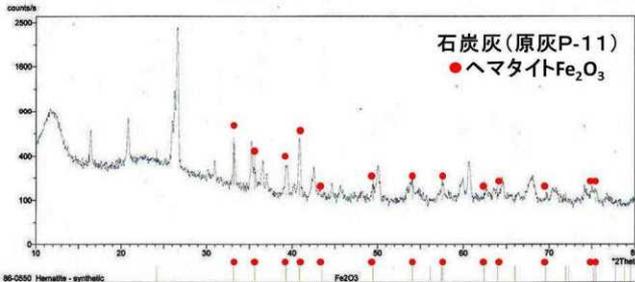


図4 石炭灰(原灰)P-11のX線回折

第3族元素	mg/L
ヒ素水溶液(原液)	20
酸化セリウム	0.25
酸化イットリウム	13.5
Y2O3コート石炭灰	12.9

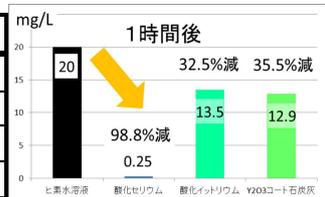


図5 添加剤によるヒ素浄化実験

2. 5. 添加剤の検討

石炭灰のヒ素浄化力を向上させるため、添加剤としてヒ素浄化能力が高いと言われているセリウム化合物と同族のイットリウム化合物のヒ素浄化実験を行った。酸化セリウム(CeO₂)、酸化イットリウム(Y₂O₃)の単体について、前述と同様ヒ素浄化実験を行った。その結果、酸化セリウムは高いヒ素浄化性能を示したのに対し、酸化イットリウムは十分な性能が得られなかった(図5)。

2. 6. 石炭灰の成形

石炭灰は微粉末であり扱いづらいため、ある程度の成形体に固化させる必要がある。そこで石炭灰の成形としてゾル-ゲル法による成形を検討した。即ち石炭灰微粉末をシリカで固化成形することを試みた。シリカ源としてのテトラエトキシシランとエタノール及び水をモル比で 1 : 1 : 10 の組成にしたゾル液 20ml に石炭灰 20g を投入し、50℃で約 12 時間保持し、加水分解重合反応を促進させ、最後に 80℃で乾燥させた。これにより得られた乾燥固化体を図6に示すように活断すると内部には空孔が存在する石炭灰の多孔質体を得ることができた。

この石炭灰成形体 1g を分取しヒ素浄化実験を行った。その結果、石炭灰成形体と石炭灰を含まないブランク成形体とではヒ素浄化率がそれぞれ 6.5%と 4%で

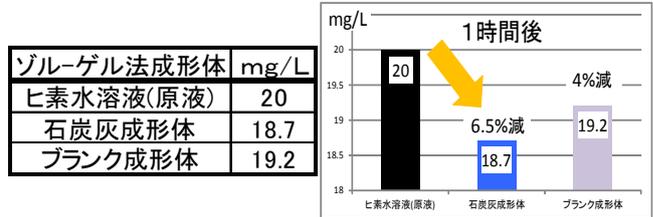


図7 ゴールゲル法成形体のヒ素浄化実験

あまり差が無く、前述 2.2 の石炭灰単独によるヒ素浄化率 13.5%には及ばないヒ素浄化力であった。この原因としては成形体になると微粉末に比べて表面積が低下するためと、ゾル-ゲル法由来のシリカ成分が石炭灰の最表面のヒ素吸着部を被覆してしまうため液相中のヒ素を固定出来なくなるものと思われる。

3. 結言

本研究により以下のことが判明した。

- (1) 今回提供された石炭灰自体にもヒ素浄化力が認められた。
- (2) 石炭灰成分のうち酸化鉄が最もヒ素浄化能があることがわかった。
- (3) 結晶構造の違い(ヘマタイト(赤鉄鉱 Fe₂O₃)とマグネタイト(磁鉄鉱 Fe₃O₄))によりヒ素浄化力に差が見られ、ヘマタイトのヒ素浄化力が高かった。
- (4) 酸化セリウムと酸化イットリウムのヒ素浄化力を比べ酸化セリウムに高い浄化力が見られた。
- (5) 石炭灰の微粉末をゾル-ゲル法により成形体を作製した。しかし微粉末に比べて表面積が低下すること、ゾル-ゲル法由来のシリカが石炭灰表面のヒ素吸着部を被覆するためヒ素浄化力は低下した。

これより石炭灰の成形には課題は残るものの、ヘマタイトや酸化セリウムを添加剤に用いることによりヒ素浄化材料として利用できるとと思われる。(尚、現在中部電力では経営的事情により石炭灰を用いたヒ素浄化用資材の生産・販売から撤退している。)

参考文献

- 1) 平成19年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告

洋ナシの冷凍技術を活用した一次加工食材の開発

Development of the primary processing foods of the pear by practical use of freezing technology

会津若松技術支援センター醸造・食品科 一条晶恵 大島健司 鈴木賢二
株式会社白亜館 佐原智恵

冷凍・解凍後も洋ナシの食感を保ち、通年で利用可能な冷凍洋ナシの開発を目的として、冷凍による硬度の低下を抑える方法や褐変を抑制する方法について検討した。その結果、糖液浸漬後冷凍における多糖類の添加は、凍結・解凍後の歩留や硬度の改善に与える影響はほとんど見られなかった。褐変を抑制する方法については、糖液浸漬後冷凍では解凍後5時間まで褐変を抑制することが可能であった。さらに糖液浸漬・乾燥後冷凍では風味を保ったまま3日間まで褐変を抑制することが可能であった。

Key words: 洋ナシ、冷凍、解凍

1. 緒言

会津地域において生産されている西洋ナシ（以下、洋ナシ）は、生産量は少ないものの高品質のため、主に贈答品として販売されている。

洋ナシは「追熟」が必要である上、追熟後の果実の軟化が速やかであるため可食適期の見極めが難しい。また、生菓子等への利用には缶詰に加工されたものが主流である。

そこで、可食適期の洋ナシについて、冷凍により生の風味と食感を保ち、通年で利用可能な一次加工品である冷凍洋ナシの開発を行うため、前年度当所において研究した冷凍技術¹⁾を活用し、試験を行った。

本研究は、会津若松市内で洋菓子等の製造販売を行う株式会社白亜館により、ものづくり復興支援事業技術開発事業に応募、採択されたものである。

2. 実験方法

2. 1. 供試試料

供試した果実は、平成 23 年産の洋ナシ（ラフランス：喜多方市産）を用い、5℃で7日間予冷後、15℃で追熟を行った。なお、洋ナシは果実硬度計（FMH-1 富士平工業(株)）で硬度 1 kgf / cm²前後のものを使用した。

2. 2. 試験内容

応募企業より①生の風味の洋ナシと②半乾燥させた洋ナシを用途に応じて使用したいと要望があった。このことから、生の風味の冷凍洋ナシを作製するため糖液に浸漬し脱水させた後に冷凍する方法（糖液浸漬後冷凍）と、半乾燥させた冷凍洋ナシを作製するため糖液に浸漬した後に乾燥し冷凍する方法（糖液浸漬・乾燥後冷凍）について、硬さや風味など食味の変化と褐変を抑制する方法について試験した。

2. 2. 1. 糖の種類についての検討

浸漬用の糖液に使用する糖の種類を決定するため試験を行った。使用した糖液の組成は表1のとおりである。スクロースは日清製糖(株)、水あめはハローデッ

クス（(株)林原製）、液糖はハイスイート L-70-80（砂糖 20 %混合ぶどう糖果糖液糖、三菱化学フーズ(株)製）を使用した。

また、褐変を抑制するため抗酸化作用のある L-アスコルビン酸と、同じく抗酸化作用のあるフェルラ酸含有の酸化防止剤を使用した。L-アスコルビン酸は関東化学(株)製、酸化防止剤は BN-FE（(株)セイワテクニクス製）を使用した。なお、使用濃度は、L-アスコルビン酸の酸味や酸化防止剤の風味を抑えるため事前に官能検査を行い決定した。

表 1 浸漬用糖液組成（その1）

	(w/w%)		
	i	ii	iii
スクロース	30.0	0.0	0.0
水あめ	0.0	100.0	0.0
液糖	0.0	0.0	100.0
L-アスコルビン酸	0.5	0.5	0.5
酸化防止剤	2.0	2.0	2.0

試料は水道水で洗浄、剥皮、除芯後 12 分割し、表 1 の浸漬用糖液に 18 時間浸漬し、ポリエチレンの袋に包装して急速凍結を行った。分析に供するまで-30℃で保存し、分析時に、氷水に包装のまま浸漬し解凍した。（図 1）急速凍結の方法は前年度実施の方法²⁾と同じアルコールブライン法を用いた。つまり、60 % wt エチルアルコールを 2L 容ステンレス製容器に入れ、-80℃の超低温フリーザー（CLN-51UW：日本フリーザー(株)）にて-50℃以下まで冷却し、容器内のブラインに 30 分浸漬させて凍結を行った。

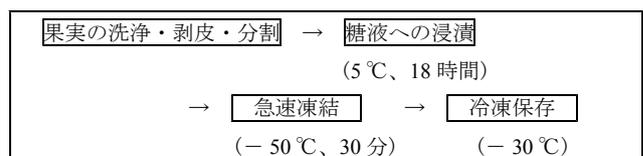


図 1 糖液浸漬後冷凍の加工工程

分析は、分割後及び凍結・解凍後について重量及び

果実硬度計により硬度を測定した。また、凍結・解凍後に官能評価を行った。官能評価は当所職員4名（職員男性2名、女性2名）で行った。

各区における解凍後歩留および解凍後硬度を図2に示す。解凍後の歩留は使用する糖類によって異なり、スクロース30%のi区が最も高かった。解凍後の硬度が最も高かったのは、液糖を使用したiii区であった。しかし、官能評価においてはiii区は果実の風味を損ねるとの結果となった。（データ非掲載）

このことから、以下の試験ではスクロースを使用することとした。

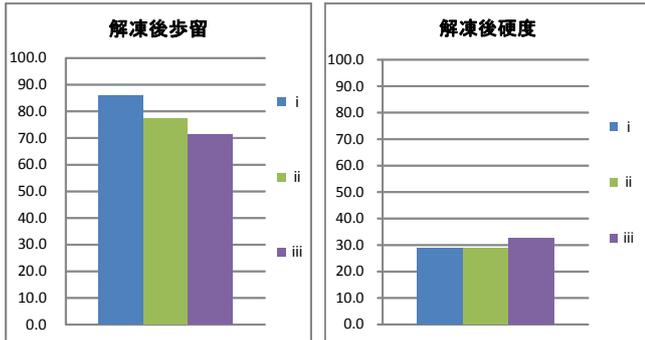


図2 使用糖類による解凍後の歩留および硬度
(糖液浸漬前を100とする)

2. 2. 2. 糖液浸漬後冷凍におけるドリップ防止試験

ドリップを防止し歩留と硬度を保つため、多糖類の添加による影響を調査した。上記の糖液を基本として、多糖類であるペクチン、増粘多糖類、デキストリンについて添加したものを表2のとおり設定した。添加濃度は、各社がドリップの防止に効果があるとする濃度を添加した。

処理は2. 2. 1と同様に行った。分析は、分割後及び凍結解凍後について重量及び果実硬度計により硬度を測定した。また、凍結・解凍後に5℃で保存し、褐変の状況を目視で確認した。

表2 浸漬用糖液組成 (その2)

	(w/w%)			
	i	ii	iii	iv
スクロース	30.0	30.0	30.0	30.0
ペクチン	0.0	1.0	0.0	0.0
増粘多糖類	0.0	0.0	0.2	0.0
デキストリン	0.0	0.0	0.0	10.0
L-アスコルビン酸	0.5	0.5	0.5	0.5
酸化防止剤	2.0	2.0	2.0	2.0

ペクチンは UNIPLECTINE OF327C (カーギル社製)、増粘多糖類はイナゲル B-110K (伊那食品工業(株)製) デキストリンはマックス 1000 (松谷化学工業(株)製) を使用した。

2. 3. 糖液浸漬・乾燥後冷凍について

2. 3. 1. 褐変抑制及び乾燥条件の検討

事前の検討により、洋ナシの水分が少ない場合、酸化防止剤の効果は水分が高い場合よりも効果があった。また、L-アスコルビン酸の酸味は乾燥し水分を低くすると抑えられた。（データ非掲載）

このことから、L-アスコルビン酸濃度が褐変の抑制に与える効果と、L-アスコルビン酸濃度と乾燥の程度が食味に与える影響について試験を行った。

なお、スクロースの濃度については洋ナシの Brix 度と同程度である 15% に設定した。

表3 浸漬用糖液組成 (その3)

	(W/W%)			
	i	ii	iii	iv
スクロース	15.0	15.0	15.0	15.0
L-アスコルビン酸	1.0	1.5	2.0	3.0
酸化防止剤	1.0	1.0	1.0	1.0

試料は水道水で洗浄後、半割。果皮と芯部を除去した後、繊維方向と平行に 1.5 cm 厚さにスライスして試験に供した。

表3の浸漬用糖液に18時間浸漬し、熱風循環式定温乾燥器 (SF-2214S (株)いすゞ製作所製) にて 50℃で乾燥し、1時間おきに重量を測定し、浸漬前の重量との割合を歩留で示した。その後、ポリエチレンの袋に包装して2. 2. 1と同様に急速凍結を行った。分析に供するまで-30℃で保存し、分析時に、氷水に包装のまま浸漬し解凍した。

分析は、解凍後は5℃で保存し、褐変の状況を目視で確認したほか、官能評価を行った。官能評価は当所職員4名（男性2名、女性2名）で行った。

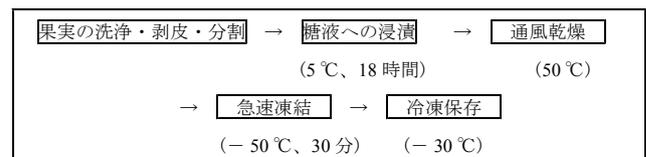


図3 糖液浸漬・乾燥後冷凍の加工工程

2. 4. 各工程中の微生物試験

糖液浸漬後冷凍における各加工工程および解凍後3日までの一般生菌数および大腸菌群を計測した。培地は一般生菌数は標準寒天培地 (日水製薬(株)製)、大腸菌群はデソキシコレート寒天培地 (日水製薬(株)製) を用いた。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 糖液浸漬後冷凍におけるドリップ防止試験

各区における解凍後歩留および解凍後硬度を図4に示す。

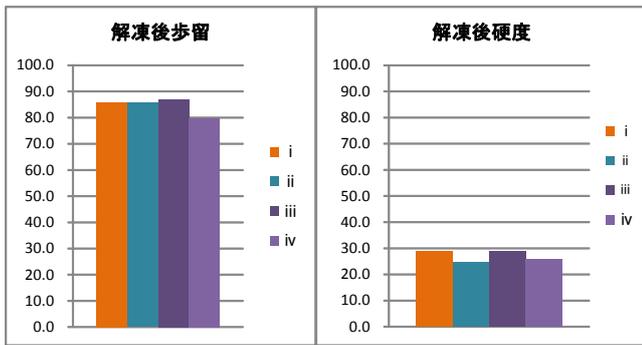


図4 糖液への多糖類添加による解凍後の歩留および硬度の変化 (糖液浸漬後を100とする)

解凍後の歩留は、デキストリン添加のiv区がやや低い値を示したものの、他の区においては大きな差はみられなかった。解凍後の硬度についても、歩留と同様に大きな差は見られなかった。

以上のことから、今回使用した多糖類について各添加濃度では解凍後の歩留及び硬度に対する影響に差はなかった。

褐変の状況については、解凍後5時間まで大きな褐変は見られなかった。しかし、1晩経過すると明らかな変色がみられた。(図5)



図5 解凍後の褐変の状況 (左:解凍5時間後 右:解凍後1晩放置し変色)

3. 2. 糖液浸漬・乾燥後冷凍について

3. 2. 1. 褐変抑制及び乾燥条件の検討

解凍後、5℃で6時間保存し、それ以降はラップ剤で被覆し保存したが、3日経過まで大きな色の変化は見られなかった(図6)。

つまり、解凍後3日までであれば、L-アスコルビン酸1.0%と酸化防止剤1.0%で十分に褐変の抑制に効果があることが確認された。

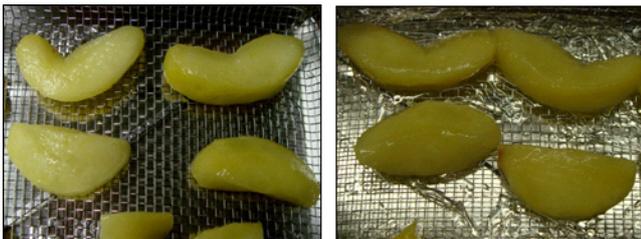


図6 解凍後5℃6時間後(左)およびラップ被覆後5℃3日後(右)の様子

また、各区における歩留及び官能評価の結果を表4に示す。

甘味・酸味・風味・食感すべて良好なものはi区の歩留61.5%、ii区の歩留57.3%、iii区の歩留59.3%、iv区62.6%であった。このことから、L-アスコルビン酸濃度と食味に関連が見られず、歩留が60%付近のものが官能評価で良くなると考えられた。

表4 糖液浸漬・乾燥後冷凍の官能評価

区	歩留 (%)	官能評価				
		甘味	酸味	風味	食感	総合
i	41.4	強い	強い	悪い	生と同程度	
	53.6	強い	強い	悪い	生と同程度	
	61.5	ちょうど良い	ちょうど良い	生と同程度	生と同程度	○
ii	53.7	強い	強い	悪い	生と同程度	
	57.3	ちょうど良い	ちょうど良い	生と同程度	生と同程度	○
	61.5	少し強い	少し強い	悪い	生と同程度	
iii	59.3	ちょうど良い	ちょうど良い	生と同程度	生と同程度	○
	59.7	少し強い	少し強い	悪い	生と同程度	
	65.0	ちょうど良い	ちょうど良い	生と同程度	柔らかすぎる	
iv	58.0	強い	強い	悪い	生と同程度	
	62.6	ちょうど良い	ちょうど良い	生と同程度	生と同程度	○
	65.8	ちょうど良い	ちょうど良い	生と同程度	柔らかすぎる	

歩留=乾燥後の重量÷乾燥前の重量

甘味、酸味、風味、食感がすべて良いものを総合の欄に「○」をつけた。

3. 3. 各工程中の微生物試験

一般生菌は全ての加工工程において検出され、解凍後は検出割合が高くなったが、全工程をとおして菌数は300cfu/gを下回っていた(表5)。

大腸菌群は糖液浸漬後の6サンプル中1サンプルのみから検出された。非加熱で喫食する冷凍食品については大腸菌群は陰性である必要があるため、何らかの殺菌が必要であると考えられる。(表6)

表5 加工工程および解凍後における一般生菌数

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	平均
洗浄・剥皮・分割後	10	0	10	10	0	5	5.8
糖液浸漬後	60	0	0	5	0	0	10.8
解凍後 1日保存	5	10	10	0			6.3
2日保存	5	20	15	0			10.0
3日保存	2.5	1					1.8

単位は cfu/g

表6 加工工程および解凍後における大腸菌群

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
洗浄・剥皮・分割後	-	-	-	-	-	-
糖液浸漬後	+	-	-	-	-	-
解凍後 1日保存	-	-	-	-	-	-
2日保存	-	-	-	-	-	-
3日保存	-	-	-	-	-	-

+陽性 -陰性

4. 結言

(1) 糖液浸漬後冷凍で浸漬に使用する30%スクロース糖液にドリップ防止のため1.0%ペクチン、0.2%増粘多糖類、10%デキストリンを添加したが、凍結・解凍後の歩留や硬度にほとんど差は見られなかった。

(2) 褐変抑制の効果について

- a 糖液浸漬後冷凍においては、糖液に L-アスコルビン酸 1.0%+酸化防止剤 2.0%を添加することで解凍後 5 時間まで褐変を抑制することが可能であった。
- b 糖液浸漬・乾燥後冷凍においては、15%スクロース糖液に L-アスコルビン酸 1.0 %+酸化防止剤 1.0 %を添加することで、解凍後 5℃でラップ剤で被覆し保存すれば、3 日経過まで褐変を抑制することができた。なお、乾燥前と比較して歩留を 60 %程度にすれば食味の面で良くなることがわかった。

(3) 大腸菌群が少ない確率ながらも検出され繁殖する可能性もあることから、なんらかの殺菌が必要であることがわかった。

なお、今回のデータに掲載していないが、洋ナシは追熟を経て、特有のメルティング質や芳香が現れるため、加工時には果実硬度が 1 kgf / cm²前後が適していると考えられる。追熟が十分でない果実を加工すると、ジューシー感に欠け、風味の乏しい加工品となってしまうため、注意が必要である。

参考文献

1)、2) 一条晶恵ら：平成 22 年度ハイテクプラザ試験研究報告、2011

ナツハゼを活用した一次加工食材の加工技術開発

Study for development of the primary processing foods which utilized Natuhaze(*Vaccinium oldhamii* Miq.)

会津若松技術支援センター醸造・食品科 後藤裕子 大島健司
株式会社白亜館 佐原智恵

和製ブルーベリーともいわれるナツハゼ(*Vaccinium oldhamii* Miq.) 果実を用いた製菓材料等の一次加工品を開発、商品化するために、加工や保存によるアントシアニン濃度への影響を調べるとともに、微生物検査等によって保存性の確認を行った。その結果、冷凍原料の解凍方法としては、氷水解凍が適していることが明らかになった。また、シロップ煮等の一次加工品は25℃で5ヶ月間以上の保存が可能であることが確認された。

Key words: ナツハゼ、アントシアニン、保存性

1. 緒言

ナツハゼ(ツツジ科スノキ属)の果実中には、ブルーベリーよりも多くのアントシアニンが含まれること¹⁾、抗ウイルス活性が確認されていること²⁾等から、福島県内での栽培が普及し始めている。その食品素材化については、既報³⁾でも検討されているが、本研究では、特に菓子材料等としての一次加工品を開発、商品化することを目指し、より具体的な加工技術の開発、検討を行った。

2. 実験方法

2. 1. 供試材料

冷凍原料の解凍試験および果汁の試作には、2011年に猪苗代町で収穫され、冷凍保存されていた果実を使用した。シロップ煮等の一次加工品は、2011年に喜多方市で収穫された果実を用いて(株)白亜館にて試作したものを分析や保存試験に供した。

2. 2. 冷凍原料の解凍試験

冷凍原料を100gずつポリエチレン製袋に入れ、①5℃恒温庫に静置、②氷水中に浸漬、③25℃恒温庫に静置、④電子レンジ(700W)加熱、の各方法で解凍した。解凍後、ドリップの重量とアントシアニン濃度を測定した。

2. 3. 果汁の試作および保存試験

既報³⁾に従って果汁を試作し、瓶詰め後の加熱殺菌は中心温度90℃1分間とした。殺菌、冷却後、5℃恒温庫に保存して保存試験に供し、1ヶ月ごとにアントシアニンの測定、微生物検査(一般生菌数、大腸菌群)を実施した。

2. 4. 一次加工品(シロップ煮等)の保存試験

シロップ煮、ジャム、ソースの試作品(いずれも瓶詰め後、加熱殺菌したもの)を25℃恒温庫に保存して保存試験に供し、前項と同様にアントシアニンの測定、微生物検査を実施した。アントシアニン濃度の対照と

しては4℃保存のものを用いた(内容物の外観を図1に示す)。



図1 試作品の内容物
(左から、シロップ煮、ソース、ジャム)

2. 5. アントシアニンの測定

既報¹⁾に従って測定し、Cyanidin-3-glucoside換算値で示した。

3. 実験結果および考察

3. 1. 解凍方法による影響

各方法で解凍後、ドリップ量とアントシアニン濃度を測定した結果を図2に示す。氷水中に浸漬したものがドリップ量が最も少なく、アントシアニン濃度が最も高く、果実の崩れもほとんどなかったことから、冷凍原料の解凍方法としては、氷水中に浸漬する方法が適していると考えられる。

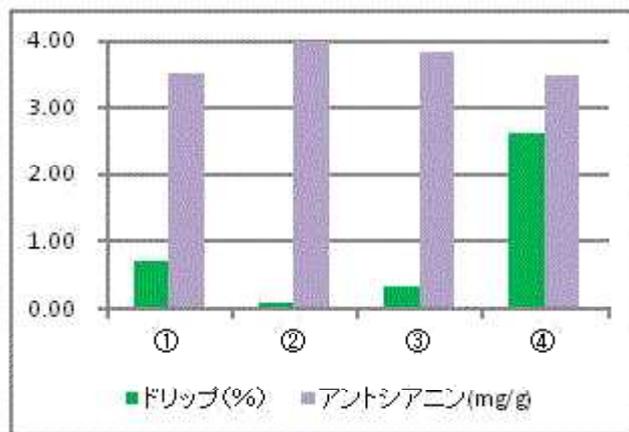


図2 解凍方法による影響

①5℃恒温庫 ②氷水に浸漬
③25℃恒温庫 ④電子レンジ(750W)

3. 2. 果汁の保存試験

初発から5ヶ月後まで一般生菌数、大腸菌群ともに検出されず、官能的にも問題はなかった。以上のことから、試作した果汁は5℃において5ヶ月間以上の保存が可能であることが明らかになった。また、5ヶ月後までアントシアニン濃度はほとんど変化しなかった(図3)。

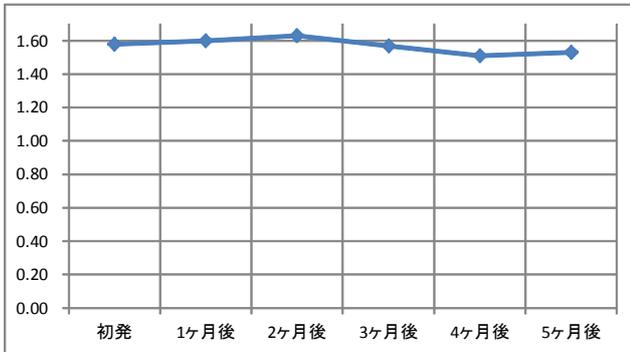


図3 果汁5℃保存におけるアントシアニン (Cy-3-Glu換算,mg/g)

3. 3. 一次加工品(シロップ煮等)の保存試験

初発から5ヶ月後まで一般生菌数、大腸菌群ともに検出されず、官能的にも問題はなかった。以上のことから、試作した一次加工品は25℃において5ヶ月間以上の保存が可能であることが明らかになった。アントシアニン濃度については、25℃に比べて4℃保存の方が減少が少なかった(図4-1~3)。このことから、アントシアニン濃度を保持するためには、低温保存が望ましいことが確認された。

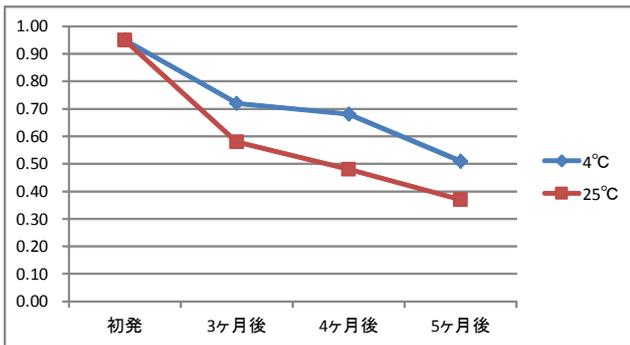


図4-1 シロップ煮のアントシアニン(Cy-3-Glu換算,mg/g)

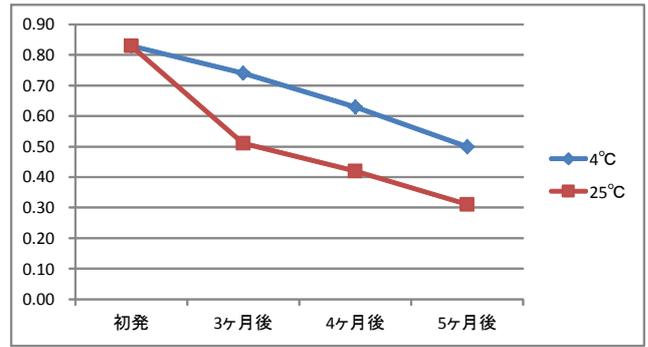


図4-2 ソースのアントシアニン(Cy-3-Glu換算,mg/g)

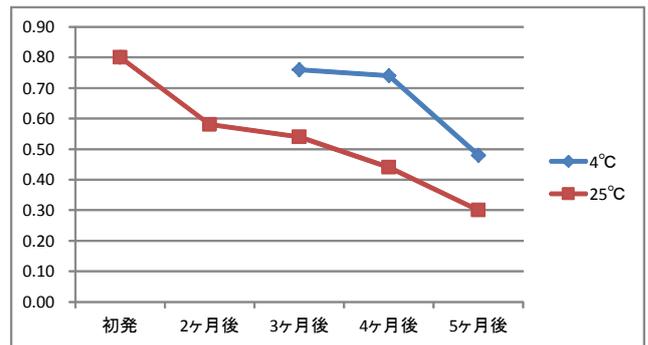


図4-3 ジャムのアントシアニン(Cy-3-Glu換算,mg/g)

4. 結言

本研究では、アントシアニンを豊富に含むナツハゼ果実の一次加工品を開発、商品化するために、冷凍原料の解凍方法や試作した一次加工品の保存性について検討した。これらの一次加工品が商品化されることにより、菓子類等への二次加工が容易になり、新たな商品開発につながることを期待される。

参考文献

- 1) 関澤ら：“地域特産資源を活用したふるさとブランド機能性食品の開発(第1報)”、平成18年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告、pp. 29-32、2007
- 2) 錫谷ら：“ブルーベリーとキノコの感染症予防効果の検討”、福島・山形・新潟三県共同研究開発事業研究報告書、pp. 26-31、2009
- 3) 関澤ら：“地域特産資源を活用したふるさとブランド機能性食品の開発(第2報)”、平成19年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告、pp. 21-24、2008

野の花マットの容器開発

The design of a container of "No No Hana Mat"

会津若松技術支援センター 遠藤知里 橋本春夫
有限会社仲田種苗園 仲田茂司

野草ガーデニング製品「野の花マット」の容器として使われているプラスチック製育成トレーに代わる、木製容器の開発を行った。「自然に生えている野草のイメージを壊さないが、簡易的になり過ぎない、シンプルで魅力的なデザイン」をコンセプトとし、デザイン開発を行った。その結果、福島における風評被害を払拭し、「福島其自然」のイメージを向上させる製品を開発することができた。

Key words : 野草、容器、デザイン

1. 緒言

野の花マットは、日本に生育する野草をプラスチック製育成トレーに植え付けたガーデニング製品である。主に業務用として広く全国に販売されていたが、近年個人向けの販売が増え、よりデザイン性に優れた容器の野の花マットを望む消費者の声が多くなったことから、個人用の新しい容器を開発することが提案された。

開発を行う上で、栽培されている野草の規格を基準として寸法を作成することを条件とし、さらに、ガーデニング製品として一定の使用を満たすための耐久性を持つこと、消費者のニーズに合ったデザインを踏まえて開発を行うこと等を条件とした。また、容器のデザインは、機能性・装飾性・生産コスト等、複数の側面から考察するものとした。

2. 開発

2. 1. マーケティングとコンセプト策定

類似製品やガーデニング製品の市場調査を行い、その結果を図1に示した。市場調査の結果、販売されている野草類は大きく2つに分けることができた。1つは簡易プラスチック製容器の植え替えを前提とした製品であり、従来の野の花マットはこれに分類される。もう1つはインテリアとして陶器の器など個性的に植え付けられた製品である。



a.プラスチック製容器製品 b.インテリア指向の高い製品
図1 市場調査

市場調査を踏まえ、提案者と協議を行った結果から、他の製品との差別化を図るため、どちらにも分類されない「自然に生えている野草のイメージを壊さないが、

簡易的になり過ぎない、シンプルで魅力的なデザイン」をコンセプトにデザインを開発することとした。

2. 2. アイディアスケッチの制作

策定したコンセプトをもとにアイディアスケッチを行った。その結果を図2に示した。製品開発における条件や対象ユーザーを検討しつつ、製品の形状やデザインにおけるアイディアを出した。複数のスケッチの中から11個のアイディアを選定し、提案者との協議の末、2個のアイディアを具体的にデザインすることとなった。



図2 アイディアスケッチ例

2. 3. 図面・試作模型制作とデザインの決定

アイディアスケッチをより具体的なデザインとするため図面および試作模型(実物大)を制作した。サイズを検討する等の改良も行った。



持ち運ぶプランター 手の入れる隙間のあるプランター
図3 試作模型例

制作した図面・試作模型(図3)をもとに、最終デザインを決定した。1つは「持ち運ぶプランター」という取っ手がついているデザインであり、もう1つは「手の入れる隙間のあるプランター」という指を差し

入れることができる隙間があり、ネームプレートがついているデザインである。双方とも持ち運びという機能性を備え、シンプルでありながら暖かみがあり、野草を活かす形状となっている。

2. 4. 塗料の検討

屋外への設置が予想される製品のため、防虫防腐塗料塗装の検討を行った。杉材・ヒノキ材を試験材料とし、オールナット・チーク等 8 種類の防虫防腐塗料を使用した。塗料検討例は、図 4 のとおりである。

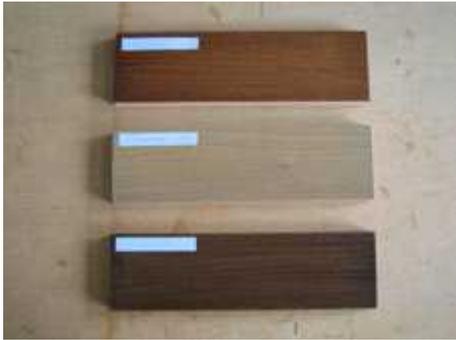


図4 塗料検討例
(上からオールナット、ライトオーク、チーク)

「木材の木目や色味を損なわない」「木材の色によって野草の魅力が損なわれない」等の点を考慮した結果、クリア・ライトオーク等の色味を抑えた塗料を用いることとした。

2. 5. 強度試験

ガーデニング製品としての使用を満たし、一定の使用を満たすため強度試験を行った。

2. 5. 1. 底部強度試験

従来の野の花マットは、内容量が 1 個当たり 6 ~ 8kg であることから、8kg の重量を支えられるよう安全性を考慮し、10 倍荷重である 80kg/個の重量に耐えうる構造を目指した。底板 9mm と底板 12mm の容器を試験材料とし、破壊試験を行った。試験方法を図 5 に、試験結果を図 6 に示した。



図5 底部強度試験方法

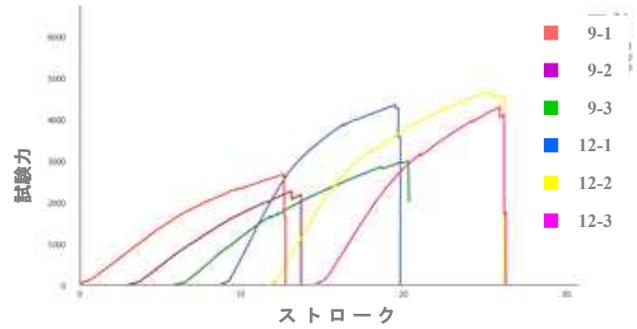


図6 底部強度試験結果

この試験において、底板 9mm・底板 12mm の容器どちらも 80kg 重とされる 800N の数値を超えていることから、底板における強度は条件を満たしていることが判明した。この結果より、安全率から底板 9mm 以上(無節)であれば、制作した容器は 8kg の重量に耐えうると考えられる。

2. 5. 2. 取っ手部分強度試験

取っ手部分の横方向からの衝撃を想定し、強度試験を行った。試験材料として、取っ手幅 13mm・19mm・25mm の側面の板を使用し、破壊試験を行った。試験方法を図 7 に、試験結果を図 8 に示した。

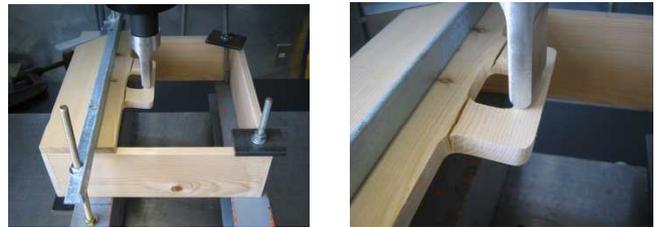


図7 取っ手強度試験方法

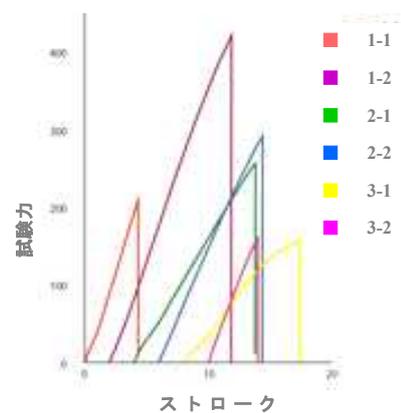


図8 取っ手強度試験結果

試験結果により、無節の材木の場合、取っ手幅が広がる程、強度が増すという結果が得られた。

3. 結言

この開発により、開発した野の花マットの特徴は以下のとおりである。

- (1) 「自然に生えている野草のイメージを壊さないが、簡易的になり過ぎない、シンプルで魅力的なデザイン」というコンセプトに沿ったデザインである。
- (2) 大・中・小とサイズが3種類あり、用途によって選択することが可能である。
- (3) 大・中・小のデザインは、上部から見た面積が1:2:4 となっているため、組み合わせて整理することが可能である。
- (4) 「持ち運ぶプランター」は、バッグをモチーフとした取っ手部分があるデザインとなっている。
- (5) 「持ち運ぶプランター」は、排水のため壁面の高さを2mm ずらし空間をつくっている。
- (6) 「手を入れる隙間のあるプランター」は、一部が曲線で切断されているため、持ち運ぶ際の手を入れる隙間があり、その隙間は排水のための水の通り道にもなっている。
- (7) 「手を入れる隙間のあるプランター」は、金属プレートが取り付けられており、社名や品名、植物の名前等を記すことができる。
- (8) 材料となる木材は、製品の使用状況や製造状況を考慮し、ヒバ材を使用する。
- (9) 底板に、排水のための穴を開けるとする。
- (10) 製品(大)の内辺の寸法は 250mm × 250mm を基準とし、栽培されている野草の規格に沿ったものとする。
- (11) 使用する釘は、外見を考慮し、細く目立たない形のものを使用する。



図9 開発した木製容器

この開発により、図9に示したとおり新たな野の花マットの容器を開発することができた。

紫黒米の色素を活用した味噌の開発

Promotion of the Miso Branding by Establishment of Stable Supply Technology

会津若松技術支援センター醸造・食品科 菊地伸広 小野和広
有限会社グリーンタフ工業 鈴木二三子

紫黒米の特徴である紫色の色調を生かした味噌を開発するため、紫黒米玄米に適した製麹方法や、味噌の仕込み方法について検討を行った。その結果、製麹については、紫黒米の場合、白米よりも吸水歩合を低くし、併せて蒸きょう時間を短縮することで、製麹工程での作業性がよく、白米と遜色ない酵素力価の麹を製麹することが可能となった。また、味噌の仕込み方法については、発酵型味噌の場合、タンパク分解率や糖分解率は大差なかったものの、紫黒米麹の割合が高まるほど色調が悪くなり、官能評価が低くなった。一方で分解型味噌の場合、白米麹を用いて熟成させた白色系の味噌に、紫黒米色素抽出液を添加・混合することで、紫黒米の特徴である紫色の色調が生かされ、かつ官能評価の高い味噌を製造可能であることがわかった。

Key words: 紫黒米、麹、色調、分解型味噌

1. 緒言

紫黒米玄米の果皮には紫色のアントシアニン系色素が含まれているが、精白すると色素は失われてしまう。そのため、紫色の色調を生かした味噌を製造するためには、玄米での加工が必要となる。しかしながら、玄米では果皮が存在するために麹菌が繁殖しにくく、精白米に比べ製麹が困難とされている。また、東北地方で一般的な赤色系辛口味噌では、紫黒米の色素が、かえって製品の外観を損ね、商品価値を下げてしまう。そこで、本研究では、紫黒米玄米に適した製麹方法や味噌の仕込み方法を検討し、紫黒米の特徴である紫色の色調を生かした味噌の開発を行った。

2. 実験方法

2. 1. 供試材料

コメは、2011年に西会津町で生産されたコシヒカリおよび糯系紫黒米の紫黒大福を、またダイズは、2010年に福島県内で生産されたスズユタカを供試した。

2. 2. 製麹方法

5℃で一定時間浸漬吸水させた白米および紫黒米（玄米、精米）を、無圧で35分～50分間蒸きょうした。種麹は、発酵型味噌用には「白麹雪こまち」、分解型味噌用には「淡色糖化用」（いずれも（株）秋田今野商店）を用い、製麹は、小型簡易通風製麹機（15-III-D型、池田機械工業（株））で行った。

2. 3. 味噌の仕込みと熟成方法

（1）発酵型味噌の仕込み

大豆は一晚浸漬し、半煮半蒸法により処理した。冷却後、5つの試験区分で白米麹と紫黒米麹を混合し、発酵型味噌の仕込みを行った。仕込み時に酵母を添加し、30℃で60日間熟成させた。

（2）分解型味噌の仕込み

大豆は脱皮機（原田産業（株））で脱皮後、一晚浸

漬し、半煮半蒸法により処理した。蒸煮後、大豆が熱いうちに配合割合等を変えた複数の試験区で分解型味噌を仕込み、赤色系は50℃で7日間熟成させた。同様に、白色系は50℃で10時間、高温消化させた後、35℃で7日間熟成させた。

2. 4. 分析方法

試作味噌の一般成分は基準みそ分析法¹⁾に準じて分析した。麹の酵素力価は、糖化力分別定量キット（キッコーマンバイオケミファ（株））を用いて糖化酵素力価を測定した。抗酸化能は木村等²⁾の方法に準じ、有色の安定ラジカルであるDPPH（1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl）の退色を測定した。アントシアニンは、0.5%トリフルオロ酢酸溶液を用いて抽出し、530nmの吸光度から求めた³⁾。官能評価は、（有）グリーンタフ工業の鈴木氏および当所の職員18名（男性9名、女性9名）のパネルにより、色、香り、味、組成、総合の5項目について、5段階評価（-2～2点）し、平均評点を求めた。

3. 実験結果及び考察

3. 1. 紫黒米の製麹

表1に白米および紫黒米を原料として製麹した麹の酵素（糖化酵素）力価を示した。

表1 製麹原料の異なる麹の酵素力価

製麹原料	糖化力 (U/g麹)	グルコアミラーゼ (U/g麹)	α-グルコシダーゼ (U/g麹)
白米	2.90	2.45	0.19
紫黒米玄米	2.23	1.88	0.15
紫黒米99%精白	1.99	1.67	0.13

白米麹には及ばなかったが、紫黒米を用いた麹でも、製麹前の吸水および蒸きょう時間を調整することにより、糖化酵素力価の高い麹を製麹することができた。紫黒米では、吸水歩合を白米と同様（25～28

%)に調整した場合、製麴工程中に気化熱によって品温が上昇せず、麴菌の生育が遅れることから、蒸きょう時間を短縮させるとともに、吸水歩合も、白米よりも低くする必要があったと考えられた。

3. 2. 味噌の仕込み

味噌の醸造方法は、大きく発酵型と分解型とに分けられ、東北地方では発酵型の赤色系辛口米味噌が主流となっている。東北地方で主流の発酵型の赤色系辛口味噌では紫黒米の色調の特徴が十分に生かせないと考えられたため、今回、分解型味噌の醸造方法について併せて検討した。

3. 2. 1. 発酵型味噌

図1に試作した発酵型味噌の外観を、また表2-1に測色値、表2-2にその他の成分値、表2-3に官能評価の結果を示した。



図1 発酵型味噌の外観（左から試験区1、試験区4）

表2-1 発酵型味噌の測色値

試験区	CIE			JIS Z 8701		
	Y	x	y	L*	a*	b*
1	15.86	0.46	0.40	46.78	14.97	37.57
2	12.58	0.45	0.40	42.12	12.71	32.31
3	11.22	0.45	0.40	39.94	11.80	29.32
4	9.27	0.44	0.39	36.50	10.32	25.70
5	10.46	0.45	0.40	38.65	11.11	29.35

発酵型味噌の色調は、紫黒米麴の割合が高まるほど、Y値が低下し（色調が暗くなり）、赤みも減少した（試験区1から4までは、数値が大きいほど紫黒米麴の配合割合が高い。）。一方、タンパク溶解率および分解率、糖分解率は、いずれの試験区も大差なく、このことから、紫黒米を原料とした麴は白米と遜色ない酵素力価を有すると考えられた。また、DPPHラジカル消去活性は紫黒米麴の割合が高まるほど増加した。

発酵型味噌の官能評価は、紫黒米麴の割合が高まるほど、各項目の評価が低くなった。特に紫黒米独特の香りについては、製麴によるマスキング効果を期待したが、ほとんど効果は認められなかった。また味の項目についても、タンパク溶解率および分解率、糖分解率の値は大差なかったにもかかわらず、他の項目と同

様、紫黒米麴の割合が高まるほど、評価が低くなった。これは紫黒米の果皮由来の成分によるものと考えられる。一方、各パネルのコメントにおいて、試験区2の味噌では、香りがよいという評価もあり、紫黒米麴への少量の置き換えは可能であると考えられた。

表2-2 発酵型味噌の成分

試験区	TN (%)	SN (%)	たんぱく質分解率 (%)	FN (%)	たんぱく質分解率 (%)	全糖 (%)	直糖 (%)	糖分解率 (%)	DPPH消去活性 (μmol L ⁻¹ min ⁻¹ g ⁻¹ D.W.)	アントシアニン (mg/g Cr-3-adv換算)
1	1.71	0.91	52.8	0.31	18.0	18.69	12.54	67.1	2.06	
2	1.74	0.93	53.7	0.31	17.7	19.35	13.35	69.0	2.75	5.0
3	1.85	1.06	57.5	0.37	20.1	17.86	11.59	64.9	3.07	13.2
4	1.80	1.07	59.2	0.35	19.4	19.28	12.63	65.5	3.94	18.1
5	1.63	0.91	55.6	0.30	18.2	22.57	13.51	59.9	2.20	8.4

表2-3 発酵型味噌の官能評価

試験区	色	香り	味	組成	総合
1	1.78	1.17	1.11	1.17	1.44
2	1.06	0.83	0.44	0.72	0.61
3	0.28	0.22	0.06	0.39	0.17
4	-0.28	-0.17	-0.06	-0.22	-0.22
5	0.67	0.61	0.72	0.28	0.72

3. 2. 2. 分解型味噌

図2に試作した分解型味噌（白色系）の外観を、表3-1に測色値、表3-2にその他の成分値、表3-3に官能評価の結果を示した。



図2 分解型味噌の外観（左から試験区7、試験区13）

紫黒米麴を用いた試験区の色調は、白米麴の試験区1、6に比べ、全般的にY値が小さくなり、暗い色調となった。また赤みの冴えも小さくなった。赤色系分解型味噌においては、いずれの試験区も着色が進み、紫黒米の紫色の特徴が十分には出ず、全般的に暗い色調となった。一方、白色系の試験区においては、試験区11および、紫黒米色素抽出液を混合した試験区13では、赤みが強く（a*値が高く）、紫黒米の特徴が出ていた。

成分値は、赤色系および白色系のいずれも、タンパク溶解率および分解率は白米麴よりも高く、糖分解率は低かった。これは、紫黒米麴を製麴した際、白米に比べ製麴工程中の温度経過が低かったことから、タンパク質分解酵素の産生に傾いていたためと推察される。なお、紫黒米玄米麴は、果皮により麴菌の菌糸が表面には繁殖できず、米内部に破精こんでおり、短期

表3-1 分解型味噌の測色値

試験区	CIE			JIS Z 8701		
	Y	x	y	L*	a*	b*
赤色系						
1	9.53	0.50	0.41	36.99	16.67	38.48
2	6.12	0.40	0.37	29.70	7.50	15.49
3	2.98	0.45	0.38	19.95	9.91	16.40
4	8.64	0.48	0.40	35.28	15.95	32.89
5	4.89	0.44	0.37	26.40	11.38	17.91
白色系						
6	29.19	0.42	0.38	50.11	6.07	24.95
7	7.97	0.36	0.34	31.59	7.36	8.17
8	5.43	0.38	0.36	38.67	8.81	16.58
9	22.69	0.41	0.37	45.00	7.78	20.65
10	6.41	0.36	0.34	29.51	8.48	8.14
11	5.64	0.39	0.34	34.23	12.14	12.17
12	12.93	0.36	0.35	40.60	8.48	15.88
13	9.89	0.39	0.31	37.88	12.14	15.77

間の分解では酵素が作用しにくいと考えられた。そこで、分解促進を期待し、試験区 10 では粉碎した紫黒米玄米麴を用いた。しかしながら、タンパク溶解率および分解率、糖分解率は、紫黒米玄米麴をそのまま用いた試験区 7 と大差なかった。また DPPH 消去活性は、紫黒米麴を配合した試験区 (2、3、7、8、10) は高い傾向を示した。一方、試験区 12、13 は、アントシアニン量はほぼ同等かそれ以上であるにもかかわらず、紫黒米麴の試験区よりも低かった。これは、DPPH 消去活性に対し、アントシアニン以外に、紫黒米麴由来の別成分も寄与しているためと推察される。

表3-2 分解型味噌の成分

試験区	TN (%)	SN (%)	クハク溶解率 (%)	FN (%)	クハク分解率 (%)	全糖 (%)	直糖 (%)	糖分解率 (%)	DPPH消去活性 (μmol Trolox/g DW)	アントシアニン (mg/g 乾燥)
赤色系										
1	1.55	0.91	58.4	0.32	20.8	34.01	26.59	78.2	2.88	
2	1.58	1.01	63.9	0.41	25.7	29.90	12.13	40.6	4.81	40.6
3	1.57	1.02	64.9	0.37	23.8	28.26	18.03	63.8	4.81	76.9
4	1.57	0.83	52.7	0.29	18.3	34.30	26.08	76.0	3.07	4.0
5	1.13	0.62	55.1	0.23	20.0	36.20	26.04	71.9	3.11	0.5
白色系										
6	1.62	0.78	48.4	0.27	16.6	34.51	23.90	69.3	1.28	
7	1.63	0.98	59.9	0.43	26.3	28.87	12.03	41.7	3.94	75.2
8	1.65	0.98	59.1	0.42	25.5	29.27	18.99	64.9	3.89	94.0
9	1.60	0.76	47.4	0.28	17.3	34.32	25.00	72.9	1.51	4.9
10	1.62	1.02	62.7	0.43	26.7	30.60	12.30	40.2	4.12	90.8
11	1.13	0.51	45.4	0.16	14.0	38.46	29.37	76.4	2.43	40.5
12	1.42	0.69	48.8	0.25	17.9	31.43	19.41	61.8	2.15	72.0
13	1.48	0.69	46.7	0.26	17.3	31.98	19.89	62.2	2.11	114.9

官能評価は、赤色系の場合、仕込みの際に紫黒米色素抽出液を添加した試験区 4 が、試験区 1 (白米麴) と並んで最も評価が高く、次いで、試験区 5 の評価が高かった。紫黒米麴を用いた試験区は、いずれも評価が低かった。また、直糖や糖分解率が高い試験区の味噌は評価が高まる傾向があった。一方白色系では、試験区 6 (白米麴) 以外では、試験区 13 の評価 (総合) が最も高く、次いで、仕込みの際に紫黒米色素抽出液を添加した試験区 9、精米歩合 99 %の紫黒米麴を用いた試験区 8 の順だった。ただし、紫黒米麴を用いた試験区 (7、8、10) は、いずれも、色、香りの項

目の評価が低かった。また、赤色系においては、直糖や糖分解率が高い試験区の味噌は評価が高まる傾向があったが、白色系では必ずしも同様の傾向は認められなかった。以上の結果、紫黒米色素抽出液を混合した試験区は、紫黒米の特徴である紫色の色調がよく生かされており、総合的にも評価が高いことがわかった。

表3-3 分解型味噌の官能評価

試験区	色	香り	味	組成	総合
赤色系					
1	1.67	1.17	1.39	0.83	1.33
2	-0.83	-0.72	-0.50	-1.33	-0.94
3	0.11	0.44	0.22	0.28	0.28
4	1.44	1.00	1.44	1.00	1.33
5	0.61	0.67	1.39	0.50	1.06
白色系					
6	1.44	0.50	1.33	1.11	1.22
7	-1.17	-0.67	-0.50	-1.33	-1.17
8	-0.28	-0.33	0.67	0.06	0.39
9	0.61	0.17	0.72	0.72	0.56
10	-1.00	-0.39	-0.44	-1.06	-0.89
11	0.39	-0.11	0.56	-0.17	0.17
12	0.00	0.33	0.50	0.61	0.28
13	1.28	0.44	0.72	0.61	0.83

4. 結言

紫黒米の特徴である紫色の色調を生かした味噌を開発するため、紫黒米玄米に適した製麴方法や、味噌の仕込み方法について検討した。その結果、製麴については、紫黒米の場合、白米よりも吸水歩合を低くし、併せて蒸きょう時間を短縮することで、製麴工程での作業性がよく、白米と遜色ない酵素力価の麴を製麴することが可能となった。

また、味噌の仕込み方法について検討した結果、発酵型味噌の場合、タンパク分解率や糖分解率は大差なかったものの、紫黒米麴の割合が高まるほど色調や官能評価が低くなった。一方、分解型味噌の場合、白米麴を用いて熟成させた白色系の味噌に、紫黒米色素抽出液を添加・混合することで、紫黒米の特徴である紫色の色調が生かされ、かつ官能評価の高い味噌を製造可能であることがわかった。

なお、本研究では、申請者の希望により、内容を一部非公表とした。

参考文献

- 1) 基準みそ分析法：全国味噌技術会、1995
- 2) 木村俊之、山岸賢治、鈴木雅博、新本洋士：“農産物のラジカル消去能の検索”、食科工、49、p.257～266、2002
- 3) 澤井祐典、菅原晃美、沖智之、西場洋一、氏原邦博、須田郁夫：“紫黒米・黒大豆のアントシアニン分析における HPLC と pH differential 法との比較”、食科工、59、p.104～108、2012

CFRPサンドイッチパネルの開発

Prototyping of CFRP Sandwich Panels for Jig

技術開発部工業材料科 菊地時雄
丸隆工業株式会社 宮田智弘

製造コスト削減には加工時間短縮が重要であるため、軽量・高剛性の治具が必要不可欠となる。そこで切削加工の生産効率向上のため、コア材に比重 0.32 の発泡炭素材料を用い、CFRP をスキン材としたサンドイッチパネルからなる治具を試作した。この治具を従来の鋼材治具と比較したところ、重量で 1/10 に軽減し、生産/作業性は 1.5 倍に向上した。

Key words: CFRP、発泡炭素材料、サンドイッチ材、治具

1. 緒言

切削加工で製品を製造する際、直接チャッキングできないことが多い。その場合は治具で被削物を固定し、治具をチャッキングして回転させて切削加工することになる。

被削物を固定する治具は、非対称な形状であることが多く、またその重量のために回転速度を上げることが難しく、加工時間が長くなる。また重量が増えると、治具の取り外しや被削物を固定するといった段取り時間も長くなってしまふ。つまりコスト削減のためには、段取り時間短縮と加工時間短縮が図られる治具の開発が必要不可欠となる。

そこで今回、コア材に発泡炭素材料とスキン材に CFRP を用いた、軽量かつ高剛性のサンドイッチパネルを用いた治具の試作を行い、従来品との比較を行ったので報告する。

2. 治具の製作

2. 1. 材料

発泡コアのサンドイッチ構造体は優れた比曲げ剛性を有することから、航空機の二次構造、船舶、土木構造に多く適用¹⁾されている。今回の試作においてもコア材に発泡炭素材料とスキン材に CFRP を用いたサンドイッチ構造を採用した。

コア材の発泡炭素材料は株式会社ミクニにより CFOAM の名称で輸入販売²⁾されているもので、物性値を表 1 に示す。構造は図 1 に示したように、直径 500 μ m 前後の気泡が存在する空隙率約 8 割の材料である。

スキン材には、東レ株式会社製炭素繊維トレカ T-700 の 3 k 平織クロスプリプレグ³⁾を用いた。表 2 に示したように引張強度および引張弾性率を材料密度で徐した値、つまり比強度および比剛性で比較すると軽くて高剛性の構造材料を設計するにあたり、炭素繊維は極めて魅力的な材料⁴⁾であることがわかる。しかしながら CFRP にした場合体積の約半分は樹脂であり、

表 1 CFOAMの物性値

密度	[g/cm ³]	0.32
圧縮強度	[MPa]	8.3
圧縮弾性率	[MPa]	620
引張強度	[MPa]	2.2
引張弾性率	[MPa]	500
せん断強度	[MPa]	250
線膨張係数	[ppm/°C]	5

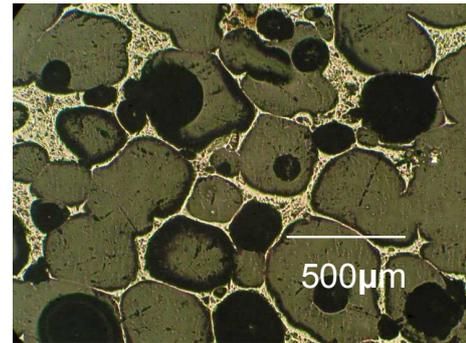


図 1 CFOAMの顕微鏡写真

表 2 比強度および比剛性の比較

		炭素繊維 T-700	鋼材 S45C	アルミ 2024
比強度	$\sigma / \rho \cdot 10^3$ [m]	270	7.4	16
比剛性	$E / \rho \cdot 10^6$ [m]	12.7	2.7	2.7

今回平織クロスを用いて疑似等方性としたため、材料特性は炭素繊維の 1/4 以下となりアルミ材と同等になる。

2. 2. 成形方法

CFOAM は、切削加工したものをコア材とした。このコア材に CFRP を加圧・加熱接着し、治具の部品を製作した。図 2 は試作した治具である。形状が複雑であるため、接着面を均一に加圧することが困難であり、部材の形状により以下の 3 種類の加圧方法を用いた。

①プレス成形

板材の上面と下面にプリプレグを 9ply、130 °C -90 分、成形品の面圧 0.2MPa で成形した。

②テーピング加圧成形

円周部分は、プリプレグを 9ply.したのち延伸 PET テープを巻きつけ、オーブン中で 130 °C-90 分加熱硬化させた。



(a) 表面



(b) 裏面



(c) 旋盤に取り付けて被削物を固定したところ

図2 試作治具

③真空バック成形

テーパーがついている箇所やプレスで対応できない箇所、および全体の接着は、真空バックにより加圧し、オープン中で 130 °C-90 分加熱硬化させた。真空バックは PA6 のフィルムと耐熱シーラントで作成した。この中に成形品を入れたのち真空ポンプで減圧することにより 0.1MPa の圧力をすべての面に均一にかけることができる。

3. 結言

試作治具を、東北 6 県トヨタ本社展示会に出品したところ高評価を得、多くの質問とともに搬送用ロボットへの応用の提案も受けた。

試作品は従来品と同じ形状で作成したため、サンドイッチ材に加工する際スキン材を張り合わせる工程で苦勞した。材料特性を生かしてなおかつ成形しやすいような形状にデザインを変更すればもっと良いものができるものと思われる。

なお本開発における治具は試作品であるため、詳しい成形方法およびサンドイッチ材の物性値については、省略した。

参考文献

- 1) 横関智弘：日本複合材料学会誌、38 (3)、pp.93、2012
- 2) (株) ミクニ製品カタログ：
<http://www.mikuni-sc.jp/>
- 3) 東レ (株) 製品カタログ：
<http://www.torayca.com./lineup/product/>
- 4) 高橋淳：成形加工学会誌、20 (6)、pp.318、2008

繰り返し荷重試験による疲労特性評価

Fatigue Strength Evaluation by Repetition Loading Test

技術開発部工業材料科 工藤弘行
東北ネヂ製造株式会社 関口龍一郎

工業製品の疲労強度を短時間で簡易的に評価する手法についてより汎用的に手法を検討した。振動試験機による負荷と、その後の荷重試験による負荷を組み合わる手法で、応力集中部を持たない平滑部に対しても適用でき、短時間、低コストでも強度信頼性を確保する手法を提案することができた。この手法は、亀裂の発生と進展、最終破断など複数のプロセスを経るという疲労破壊のメカニズムに合致する。

Key words: CAE、疲労特性評価、局所ひずみ、マルチスケール

1. 緒言

長期間の強度が要求される機械構造製品で最も問題となる不具合現象は疲労破壊であることが多いため、実製品を対象とした疲労試験を短時間で実施し、製品の安全を確認したいというニーズは多い。しかし、一般的な疲労試験機は標準試験片を対象とし、材料自体の特性評価であるため、製品自体の性能評価という目的を達することはできない。大型プラント分野など信頼性への要求が高い製品群や、自動車分野など大量生産する製品群では、莫大な試験費用を投じて、製品に対する疲労試験に実施されることはあるが、一般的な構造部品に実施されることは稀である。

また、一般的な疲労試験においても、最大で 10^7 回の繰り返し負荷を必要とすることから、1本の試験に対しても長時間を要する上に、標準的な特性表現であるS-N曲線の取得には、十数本の試験を要するため、多大な試験時間、コストがかかる。このため、現在は、材料データベースを利用した強度設計手法が主流である。しかし、工業製品は複雑な形状を有するため、応力把握は困難であることや、加工履歴の影響によるデータベースと製品特性との違いのいたため、従来の設計手法の精度は十分に高いとは言えず、疲労破壊は、依然として、製品強度上大きな課題であり続けている。

上記のような疲労特性評価の問題点を解決するため、当所では、これまでの研究で、①振動試験機を利用し短時間で高サイクル数を負荷する手法と、②単一サンプルに荷重を漸増して荷重を負荷する手法を適用し有効性を確認している。

しかし、従来研究の評価対象が溶接部であったのに対し、本研究で対象となるのは平滑部であることから、荷重の増加に伴い、最大応力部が移動し、疲労破壊で重要な疲労亀裂が形成されなかったため、従来手法をそのまま適用することは不可能である。

以上より、本研究では、平滑試験片でも疲労破壊評価が可能となる、より汎用的な試験方法の確立を行った。対象としては、標準試験片として丸棒の引張試験

とした。試験条件の探索・決定には、CAE解析を利用する他、強度設計手法としては局所ひずみによるアプローチを適用した。荷重レベル設定のため、マルチスケール材料モデリング技術を利用した。

2. 試験方法および評価手法

2. 1. 試験方法の検討

疲労破壊のメカニズムを踏まえ、より短時間で疲労特性評価が可能な荷重試験機と振動試験機を併用する試験方法を検討した。

2. 2. CAE解析による試験片形状寸法決定

振動試験機を利用した疲労試験では、荷重試験ほど自由に荷重を負荷できないため、共振現象を利用する必要があり、振動特性に関わる試験片形状寸法が重要となる。疲労試験としては、周波数が高いほど、変形が大きいほど、好ましいことから、CAE解析により、最適な試験片形状寸法の探索を行った。

2. 3. 振動試験機による実証試験

上記CAE解析で見出された条件の妥当性を確認するため、類似形状寸法の試験片を対象に振動試験を実施し、共振振動特性の測定、ひずみ測定を行った。

2. 4. マルチスケール材料モデリングの利用

疲労特性で特に重要なのは、疲労破壊を起こす下限の負荷応力レベルを示す疲労限度であり、疲労限度の試験に特化するメリットが大きい。本研究では、マルチスケール材料モデリングの利用による最適な負荷レベル設定手法を検討する。

3. 試験結果と考察

3. 1. 試験方法の検討

既知の知見から、疲労破壊は、(1)疲労亀裂の発生→(2)亀裂の成長→(3)最終破壊と、複数のプロセスを経ることが知られている。ここで重要なのは、(1)疲労亀裂の発生は、繰り返し荷重によって結晶のすべり

変形が蓄積し、表面の凸凹が形成されることをきっかけとする点である。よって、(1)疲労亀裂の発生 に対する試験は、振動試験機による同一レベルの荷重負荷を選択する。

次に、(2)亀裂の成長(3)最終破壊では、亀裂長さを把握可能な長さとして表現できるため、破壊力学による取扱いが可能である。よって、荷重範囲の自由度が高い荷重試験機による負荷を選択する。

全体としては、振動試験機による負荷と、その後の荷重試験による負荷を組み合わせる手法となる。

3. 2. 変形様式、固定方法の検討

標準試験片を対象とする試験を検討した結果、荷重のアンバランスが生じないこと、別途、錘を必要としない点、全体として軽量化が狙えることを重視し、両端はり曲げ変形が最適と判断した。

3. 3. CAE解析による試験片形状寸法設計

CAE 解析として、共振周波数を調べる固有値解析と、9.8m/s² (1G) 負荷時の変形の程度を調べる静解析を実施した。

両解析の結果から、径が細くなるほど、または、突出し長さが長くなるほど、共振周波数は低下し、変形量は増大するトレードオフの関係性が確認された。このため、複数の組み合わせの計算を行い、直径 14 mm で平行部 60 mm、把持部 100 mm とすれば、共振周波数が 448Hz で、変形量が 1G あたり 6.6 με となり、バランスが良いと判断した。図 1 は 9.8m/s² (1G) 負荷時はひずみ分布図である。解析は対称性を考慮し 4 分の 1 モデルとした。

本研究で使用した振動試験機は加振力 2.5 トン機であり、想定する試験片、治具重量を考慮するとこの 50 倍の最大 490m/s² (50G) 程度まで負荷が可能である。この場合、330 με の変形が予想される。さらに、共振を利用することで数倍から数十倍の負荷を付与できる可能性がある。

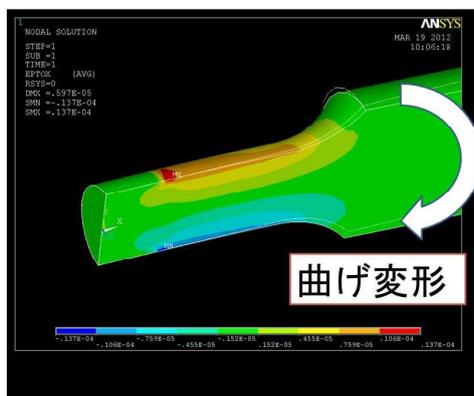


図1 1G負荷時ひずみ分布図

3. 4. 振動試験機による実証試験

図 2 に示すように、類似形状寸法 (M20 ねじ、突出し距離 110 mm) の試験片を対象に共振振動特性測定、ひずみ測定を行った。加速度測定は、試験片先端と 1/2 位置で、ひずみ測定ははり根元の表裏 2 か所で行った。ひずみ測定位置と最大応力位置のズレの影響を抑えるため、ひずみゲージ長は、長めの 5 mm とし、平均的なひずみ測定を行った。

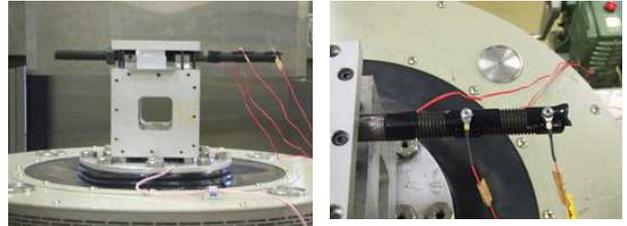


図2 振動試験写真とセンサ取り付け位置

図 3 は、振動試験結果で、入力加速度 25m/s² に対し、共振周波数 379Hz で出力加速度 1403m/s² となり、56 倍の大きな共振倍率を確認した。

図 4 は同時に測定したひずみ測定結果で、最大のひずみ振幅は 130 με である。また、2 箇所ひずみは逆位相、同振幅で狙い通りの両振りの曲げ変形が生じていることが確認できる。

対象の鋼材での疲労限度はひずみ振幅表現で 2000~3000 με 程度と見られ、平均的なひずみ測定をしていること、加速度の余裕、形状の最適化も考えると、本研究で提案する手法で、疲労限度までの負荷が十分可能である。

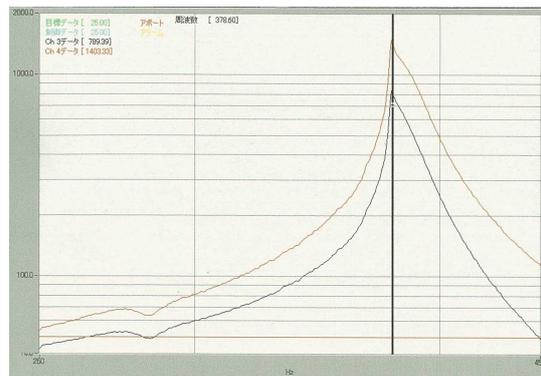


図3 振動試験機による共振特性評価

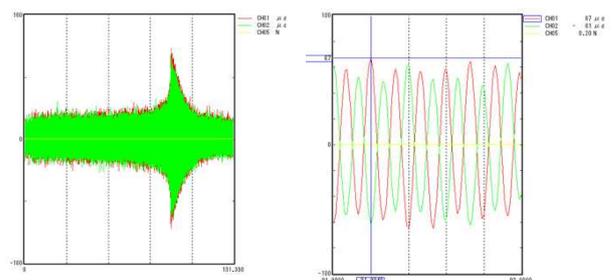


図4 振動試験時のひずみ測定(全体図と共振時拡大図)

3. 5. マルチスケール材料モデリングの利用

図5は金属表面周辺の結晶粒、結晶方位の模式図である。実在の金属材料は、多数の結晶粒の集合体であり、各々の結晶粒は通常ランダムな結晶方位を持っている。疲労破壊では、最大応力部周辺の結晶粒の内、すべり方向と最大せん断応力方向が特定の組み合わせとなる結晶粒で優先して疲労亀裂につながる表面の凸凹が形成されることが知られている。

近年、金属材料における結晶方位や結晶粒径などミクロスケールの構造・挙動とマクロ的な機械的特性の相互作用の影響を定量的に捉えるマルチスケール材料モデリング技術が発展している。

最新の研究から、多結晶からなる実在金属材料では、各々の結晶は別々の変形をしており、それは結晶方位に依存すること、マクロな降伏はミクロな降伏を生じた結晶の割合が100%に近づいてから生じることが報告されている。さらに、図6に模式図を示すように両者の降伏の周辺の挙動と疲労限度との関係が深いことが分かっている。

以上より、本研究では、引張試験で得られる実使用材料の耐力の70-90%と設定して試験を行うことが有効であると判断する。また、製品形状の試験の場合、最大応力部の局所ひずみを基準とし、挙動の複雑さを踏まえ、やや広めの範囲設定が望ましいと思われる。

疲労破壊は、ミクロスケールの変形の発生からマクロスケールへの変形の移り変わりと密接にかかわるため、マルチスケール材料モデリングの適用が優先して必要と思われる現象のひとつである。

4. 結言

疲労破壊のメカニズムを踏まえ、より短時間で疲労特性評価が可能な荷重試験機と振動試験機を併用する試験方法を検討し、以下のことが明らかになった。

- (1) 引張試験片を対象とする試験としては、中央固定の両端はり曲げ変形が最適と判断した。CAE解析を利用して、複数の試験片形状を検討を行い、直径14mmで平行部60mm、把持部100mmの試験片がバランスが良い。
- (2) 類似形状の振動試験にて、共振周波数379Hzで56倍の大きな共振倍率を確認した。入力加速度 25m/s^2 に対するひずみ振幅は $130\ \mu\epsilon$ であり、加振力2.5トンの振動試験機でも疲労破壊までの負荷が可能とみられる。
- (3) 亀裂発生に関する負荷レベルに関しては、最大応力部の局所ひずみを基準とし、使用材料の耐力の70-90%と設定して試験を行うことが有効である。

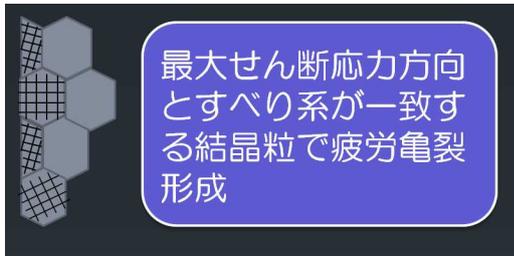


図5 疲労亀裂発生に及ぼす、結晶方位の影響

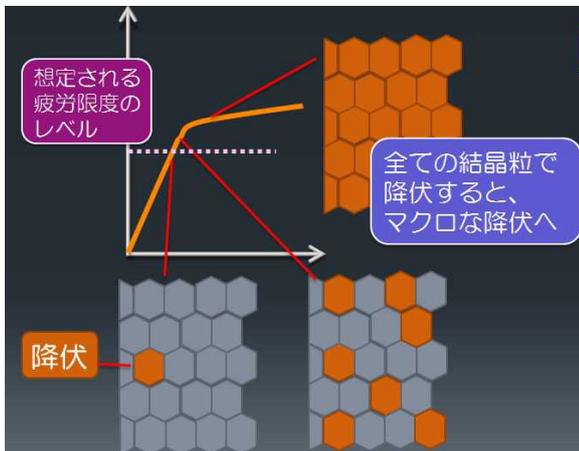


図6 ミクロな降伏とマクロな降伏の関係

福島県ハイテクプラザ試験研究報告

平成23年度（2011年度）

平成24年9月発行

福島県ハイテクプラザ

〒963-0215 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
フ ァ ク シ ミ リ	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
織 維 ・ 材 料 科	024-593-1122
フ ァ ク シ ミ リ	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
フ ァ ク シ ミ リ	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）
フ ァ ク シ ミ リ	0246-43-6958

編集

福島県ハイテクプラザ 企画管理科

URL <http://www4.pref.fukushima.jp/hightech/>

E-mail hightech-info@pref.fukushima.lg.jp