ISSN 0286-813X

山形県工業技術センター報告

REPORTS OF YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

No. 49 (2017)

山形県工業技術センター

YAMAGATA RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY

目 次

論 文

- 切削加工の計測・シミュレーション技術の現状と有用性に関する調査 ・・・・・・・・・・ 1 江端潔 松田丈 五十嵐裕基
- 高硬度金型鋼の楕円振動切削における合金成分の工具摩耗に及ぼす影響 ・・・・・・・・・ 10 齊藤寛史 鄭弘鎭 社本英二
- カーボンナノチューブ複合電着ワイヤーによる単結晶シリコン切断面の加工ダメージ低減 ・・・・・ 15 村岡潤一 鈴木庸久
- 被加工物の厚さの変化がワイヤーカット放電加工面の形状精度に及ぼす影響 ・・・・・ 20 五十嵐裕基 鈴木庸久 江端潔
- 高速並列処理モジュールの開発によるOCTシステムの構築 ・・・・・・・・・・・・・ 25 今野俊介 橋本智明 高橋義行
- マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の大型部材への適用 ······ 29 松木俊朗 中野正博 藤野知樹 鈴木剛 小林庸幸 村岡潤一 後藤仁 小川聖志 齋藤壱実 岡田大樹 髙橋俊祐 村上周平 渡辺利隆 山田享 長瀬真一 渡辺隆介 麻生節夫 後藤育壮
- A1-Mg 系合金鋳物の機械的性質に及ぼす鋳造条件の影響 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・. 34 齋藤壱実 藤野知樹 髙橋俊祐 中野正博 鈴木剛 松木俊朗 後藤仁 小川聖志 村上周平

- 動物行動的手法を用いた味覚評価技法 ······ 53 後藤猛仁 河合崇行 日下部裕子
- トリアセテートの改質による省エネ型染色加工技術の開発 ······ 56 齋藤洋 数馬杏子 向俊弘

CONTENTS

Papers

Research on Current Technologies and their Availabilities for Cutting Process Measurement and Simulation	1
Kiyoshi EBATA Takeshi MATSUDA Yuki IGARASHI	
The Simple Evaluation Method of the Lubricity of Spray - type Lubricants	4
Effect of Alloying Elements on Tool Wear in Elliptical Vibration Cutting of Hardened Die Steel 1 Hiroshi SAITO Hongjin JUN Eiji SHAMOTO	_0
Reduction of Subsurface Damage on Mono Crystal Silicon by Slicing using Electroplated Diamond Wires with Carbon Nanotube Composite Coatings 1 Jun-ichi MURAOKA Tsunehisa SUZUKI	_5
Influence of Variation in Thickness of the Workpiece on Form Accuracy of Work SurfaceMachined by Wire-EDM2Yuki IGARASHITsunehisa SUZUKIKiyoshiEBATA	20
Development of Fast Parallel Processing Module used for OCT System	25
 Application of Martensitic Spheroidal Graphite Cast Iron to Large Parts	29
Influence of Casting Conditions on Mechanical Properties of Al-Mg Alloy Castings · · · · · · · 3 Kazumi SAITO Tomoki FUJINO Shunsuke TAKAHASHI Masahiro NAKANO	34

Kazumi SAITO Tomoki FUJINO Shunsuke TAKAHASHI Masahiro NAKANO Takeshi SUZUKI Toshiro MATSUKI Hitoshi GOTO Satoshi OGAWA Shuhei MURAKAMI

- Improvement of Epoxy Resin Coating Curability at Low-temperature
 40

 Yoshikazu OHTSUKA Kenich EBE Kiichi GOTO

- Taste Evaluation Method Using Animal Behavioral Method · · · · · · · · 53 Takehito GOTO Takayuki KAWAI Yuko KUSAKABE
- Development of an Energy-Saving Dyeing Processing Technology by Reforming of a Triacetate 56 Hiroshi SAITO Kyoko KAZUMA Toshihiro MUKAI

切削加工の計測・シミュレーション技術の現状と有用性に関する調査

江端潔 松田丈 五十嵐裕基

Research on Current Technologies and their Availabilities for Cutting Process Measurement and Simulation

Kiyoshi EBATA Takeshi MATSUDA Yuki IGARASHI

1 緒 言

各種の部品や金型等の切削加工では、最適加工 条件の探索が重要となる。しかし、そのための切 削試験が多すぎると、かえってコスト高と工程立 上げの遅れを招く。また、医療機器に代表される 成長期待分野では、素材の難削材化や形状の微細 化等が進み、最適な切削条件や工具の探索が困難 となってきた。そのため、温度や振動といった切 削現象を計測して加工条件を検討することが注目 されており¹⁾, シミュレーションについても, 公 設試験研究機関等から活用事例が報告され始めた 2)。筆者らの山形県工業技術センター(以下,当セ ンターという。)においても、切削分野における技 術支援を強化していくうえで、これらの技術の充 実が望まれる。本調査では、今後の技術支援の方 向性を検討する際の基本データとして、切削現象 の計測・シミュレーション技術の現状と企業ニー ズを調査し、主要な技術については実証試験を行 って、当センターの技術支援における有用性を考 察した。

2 調査方法

切削現象の計測・シミュレーション技術は,事 後解析(工具摩耗観察や残留応力測定等),モニタ リング,シミュレーションの3つに大別すること ができるが,事後解析については当センターです でに対応できる技術が多いため,他の2つを調査 対象とし,製品化または実用化されている技術を 文献等から調べ,その詳細を調査した。選んだ技 術とその調査方法を**表1**に示す。

3 実験結果および考察

3.1 高速度ビデオ型赤外線サーモグラフィ

高速回転するエンドミルの高精度熱画像の取得 に適するとされる高速度ビデオ型の赤外線サーモ グラフィで、当センターの NC フライス盤(東芝 機械(株) F-MACH442)を用いた鋼板の乾式切 削を撮像したところ、エンドミルと切りくずの表 面温度分布を高精度にモニタリングできることが 確認された。ただし、湿式切削には対応できない ため、生産現場での技術支援では、基礎実験に用 途が限定されると考えられる。

技術名または装置名	計測対象	調查方法	装 置 型 式
高速度ビデオ型 赤外線サーモグラフィ	熱画像, 高速度カメラ画像	当センターの工作機械を用いて,実 証試験を行った。	FLIR 社A6751SC
無線式温度計測回路 内蔵ツールホルダ	切削温度	装置メーカを訪問して聞き取り調 査を行った。	(株)山本金属製作所 MULTI INTELLIGENCE
工具·被削材熱電対法	切削温度	この技術に精通した大学を訪問し, 指導を受けた。	特定の装置なし。対象ごと に,計測回路を構成する。
高速度ビデオ型 デジタルマイクロスコープ	高速度カメラ画像	当センターの工作機械を用いて,実 証試験を行った。	(株)キーエンス VW-9000
加速度センサ	振動	当センターに装置があり、計測技術	PCB PIEZOTRONICS 社
切削動力計	切削抵抗	か確立されているため, 詳細な調査 の対象外とした。	KISTLER社9256C1 他
切削現象シミュレーション ソフトウェア	温度分布, 切削抵抗, 切りくず, バリ 等	当センターの工作機械で実切削を 行い,シミュレーションと照合し た。	THIRD WAVE SYSTEMS 社 AdvantEdge FEM

表1 対象とした切削現象のモニタリング・シミュレーション技術と調査方法

【平成 27~28 年度 自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】

3.2 無線式温度計測回路内蔵ツールホルダ

この装置はフライス盤用のツールホルダに計測 回路を内蔵したもので、熱電対で得られた温度デ ータは無線で外部に送信される。モニタリングす るのは工具内部温度で、湿式切削にも対応できる ため、切削油剤の選定に有用である。ただし、エ ンドミルやドリルに熱電対を挿入する穴を底刃近 傍まで加工するため、小径工具には対応できない。

また,当センターが多くの企業に持参して活用 するには,ツールシャンク形式の異なる複数の同 装置を準備する必要があり,導入費用が高くなっ てしまうという欠点がある。

3.3 工具-被削材熱電対法

工具・被削材熱電対法は,異なる2種類の導電体 である工具と被削材との接点に熱起電力が発生す ることを利用した温度計測法である。図1に模式 図を示す。モニタリングするのはすくい面と切り くずとの摩擦面の平均温度で,切削点温度に近く, 研究用のデータに適している。

工具と被削材を工作機械に絶縁するように取り 付けるとともに、工具と被削材の組み合わせごと に熱電対としての校正を実施するなど、準備が複 雑で簡便性に劣るためにこの方法は普及していな いが、湿式切削と小径工具のいずれにも対応可能 といった利点がある。



図1 工具-被削材熱電対法の模式図

3.4 高速度ビデオ型デジタルマイクロスコー プ

当センターの複合加工機((株) ナガセインテグ レックス N²C-53US4N4)を用いたアルミニウム 合金 A5052 の単結晶ダイヤモンドバイトでのシ ェーパ加工を撮像したところ,切りくずの生成過 程を高倍率でモニタリングできることが確認され た。図2に静止画を示す。このとき,切削油剤は 事前に塗布し,切削時は供給しなかった。 高倍率で撮像できるため,温度計測を必要とし ない高速度ビデオ観察には,前述の高速度ビデオ 型赤外線サーモグラフィより有用であることがわ かった。



図2 シェーパ加工の高速度カメラ画像

3.5 シミュレーション

Ni基耐熱合金Inconel718に対するφ4mmコー テッド超硬合金ドリルでの穴加工をシミュレーシ ョンソフトウェアで計算するとともに、NCフラ イス盤(旧日立精機(株)VM40)を用いて実加 工を行い、6 通りの切削条件についてシミュレー ション(切削抵抗,温度分布,切りくず)と実加 工のデータ(切削抵抗,工具摩耗,工具寿命,切 りくず)を照合したところ、傾向の一致が確認さ れた。シミュレーションの例を図3に示す。穴内 部のように、実験では計測できない切削現象を解 析できることは、シミュレーションの大きな利点 である。また、専用工具の設計に有用である。有 限要素法の専門知識は不要で、メッシュは自動で 生成される。

しかし,計算時間が長いため,目的を明確にして効率的に利用することが重要である。



図3 切削現象シミュレーション

- 2 -

4 結 言 (今後の展開)

約70社の山形県内企業を訪問し、切削加工に関 するニーズを調査した。最も多かったニーズは、 工具寿命や加工精度に影響を及ぼす温度の計測で ある。複数の企業が高速度カメラ型赤外線サーモ グラフィに関心を示したが、ほとんどの企業では 湿式で切削しているため、工具・被削材熱電対法の 修得を最優先とすることにした。次に多かったニ ーズは、切りくずとバリの挙動観察である。これ には、高速度カメラ型デジタルマイクロスコープ が有用であり、継続して検討していく。

シミュレーションについては、企業の関心は高 かったものの、計算時間が長いこと、ならびにシ ミュレーションが得意とする専用工具設計のニー ズがなかったことから、当センターの企業支援に おける有用性は、現時点では高くないと考えられ る。しかし、近年はソフトウェアの改良と PC の 性能向上が早いため、今後とも継続して計算速度 等の情報を収集していく。

文 献

- 1) 廣垣俊樹,小倉一朗他:特集切削加工の可視 化技術,砥粒加工学誌,61,2(2017)75-90.
- 2) 須貝裕之:インコネル718 に対するボールエド ミル加工の切削シミュレーション(第2報), 新潟県工業技術総合研究所工業技術研究報告 書,41(H23)31-36

謝 辞

本調査における実証試験は、株式会社チノー、 株式会社キーエンス、伊藤忠テクノソリューショ ンズ株式会社の協力のもとに実施した。記して感 謝する。

スプレー型潤滑剤の潤滑性の簡易評価試験法

後藤仁 柴田圭* 山口健* 堀切川一男*

The Simple Evaluation Method of the Lubricity of Spray - type Lubricants

Hitoshi GOTO Kei SHIBATA Takeshi YAMAGUCHI Kazuo HOKKIRIGAWA

1 緒 言

生産設備等の装置には、必ず金属同士の接触に より摩擦が発生している部位があり、一般的に潤 滑油やグリース等による潤滑が行われる。ただし、 少量の使用で良い場合や、直接塗布が難しい箇所 等はスプレー型潤滑剤が用いられる場合がある。 過酷な条件下において、鳴きや振動が発生した場 合に、それを抑制するためにスプレー型潤滑剤が 使用されることが多い。

近年,スプレー型潤滑剤の要求が多いことから, 多くの種類のスプレー型潤滑剤が市場に出回ってい る。しかしながら,メーカーは大手から中小企業ま であり,潤滑油専用の四球式摩擦試験,チムケン試 験等を用い,各社多様な潤滑性の評価ならびにその 評価方法を行っている。そのため,消費者には選択 が難しいのが現状である。そこで,汎用的な摩擦摩 耗試験機を用いて簡易的に潤滑性が評価できる方法 を確立するとともに,市販品の潤滑性の比較調査を 行った。

2 実験方法

実験に用いた試験片の材質を, Table1 に示す。 各材料を幅 80×長さ 120×厚さ 10mm のサイズ で購入し,切削面あるいは鋳肌面である物は,所 内にて研削加工を行った。全てのプレート材の試 験面は研削加工面とした。ボール材は,直径 8mm の SUJ2 焼入れ研磨球(Hv:697)とした。

実験に用いたスプレー型潤滑剤を Table2, Table 3, Table 4 に示す。潤滑剤の選定については、メ ーカー,成分,特徴から適当に行い,計 22 種類を 用意した。Table2, Table3, Table4 は、リキッド 型、グリース型、ドライ型に分類した物である。

試験実施前は、ボール、プレート材ともアセト ンを染み込ませた脱脂綿で良く洗浄しコンタミ層 を除去後、プレート材に潤滑剤を塗布することと した。また、スプレー毎に吐出量が異なるため、

【平成28年度 高度技術者育成支援事業】

* 東北大学大学院工学研究科

潤滑剤を塗布後、プロワイプを使用し薄く伸ばし、 3 分以内に試験を実施した。ドライタイプのスプ レー型潤滑剤については、取扱い説明に従い、乾 燥時間が必要な物は、正規の乾燥時間を経てから 試験を行った。

 Table1
 Materials of the test pieces

Ball		Plate		
Material	Hardness	Material	Hardness	
φ8mmSUJ2		S50C	Hv:222	
hardened	Hw:607	HardenedS50C	Hv:617	
polishing	110.037	Brass(C2801P)	HBW:84	
ball		Aluminum(A5052)	HBW:55	

Table2 Spray-type lubricants(liquid type)

		Spray by	pe iubileante (inquia type)
	Maker	Product name	Characteristic
1		AL-1	防錆,潤滑剤
2	А	AL-2	耐熱,耐圧,潤滑性 特殊添加剤とPTFE
3		AL-3	浸透性,防錆,潤滑性 防錆新成分SPA配合
4	В	BL-1	さび止め, さび取り最適 PTFE配合
5	С	CL-1	塩素フリー超極圧潤滑剤
6		DL-1	極圧剤・防錆剤配合
7	D	DL-2	極圧潤滑性 有機モリブデン配合
8	Е	EL-1	二硫化モリブデン配合
9	F	FL-1	浸透,潤滑,防錆剤 ナノカーボンと有機モリブデン 配合
10	G	GL-1	潤滑,防錆,防湿,浸透性 超極圧潤滑剤
11	Н	HL-1	潤滑,防錆,防湿,浸透性 超極圧潤滑剤

Table3 Spray-type lubricants(grease type)

	Maker	Product name	Characteristic
1	Δ	AG-1	耐水性, 耐熱性 潤滑剤(MCA)とPTFE
2	А	AG-2	焼付き,カジリ防止,潤滑性 モリブデン配合
3	D	DG-1	耐圧性,耐摩耗性,焼付き,カ ジリ防止,長期潤滑 Liグリス二硫化モリブデン
4	Е	EG-1	超高温用焼付き防止剤 銅, ビスマス添加

- 4 -

	Maker	Product	Characteristic
	maner	name	Characteristic
1	А	AD-1	速乾性潤滑剤 PTFE配合
2		AD-2	—
3		ED-1	PTFE乾燥粉
4		ED-2	二硫化モリブデン高濃度配合
5	Е	ED-3	モリブデン/グラファイト配合
6	_	ED-4	PTFE+有機モリブデン配合
7		ED-5	高温用潤滑剤 合成油+グラファイト

Table4 Spray-type lubricants(dry type)

試験条件を Table5 に示す。試験条件は、使用される過酷な条件下を想定し低速、高荷重という油 膜が切れやすい厳しい条件とした。設定荷重については、予備試験を行い、無潤滑下の場合、プレート材によらず最初の1サイクルで、摩擦係数が 急激に上昇する凝着(カジリ)が発生する荷重とした。摩擦係数は、ボールとプレートの摩擦力を 装置の歪ゲージで測定し、荷重で除すことにより 算出した。

試験装置を Fig.1 に示す。試験機は、研修先で ある東北大学大学院工学研究科堀切川研究室にて 最も高荷重を加える事ができる新東科学(株) 製 荷重変動型摩擦摩耗試験機:HHS3000 を使用し た。この装置は、荷重を変動させることも可能で あるが、今回は一定荷重で試験を行った。一回の 移動距離は、装置の最大距離 50mm、繰返し数は 200 回、総移動距離 10m で評価を行った。

Load (N)	Mean contact pressure of hertz(GPa)	Velocity (mm/s)	One movement distance(mm)	Repetition number (cycle)
	1.65			
0.0	1.65	10	50	200
30	1.05		50	200
	1.26			

Table5Test conditions



Fig.1 Test equipment:HHS3000

なお、今回の試験については、スティックスリ ップが発生する物もあり、平均ではなく1回当た りの最大摩擦係数で評価することとした。

3 実験結果および考察

3.1 S50C における評価

Fig.2 にリキッド型潤滑剤の摩擦試験の結果を 示す。リキッド型では,超極圧剤添加品の2種類 (GL-1,HL-1)が,安定してµ=0.12程度の低 い摩擦係数を示した。これは,初期なじみの早さ から他の極圧剤に比べ金属と反応する温度が低く, 比較的早いタイミングで金属と化合物を生成し, 摩擦係数を低減しているためと推測される¹⁾。他 の潤滑剤も,µ=0.15以下の低い摩擦係数を示し たが,極圧剤が入っていないと思われる BL-1 と DL-2 が,繰返し数 140回以降で徐々に摩擦係数 が上昇する傾向を示した。

Fig.3 にグリース型潤滑剤の摩擦試験結果を示 す。銅,ビスマス添加品(EG-1)は、安定して低 い摩擦係数(μ=0.12 程度)を示した。他のグリ ース型潤滑剤は、初期はμ=0.12~0.14 程度の低 い摩擦係数を示したものの、40 回以降潤滑剤が切 れたためか、急激に上昇した。



Fig.2 Changes in maximum friction coefficient of liquid type on S50C



coefficient of grease type on S50C

Fig.4 にドライ型潤滑剤の摩擦試験結果を示す。 二硫化モリブデン/グラファイト添加品(ED-3) は極めて低い摩擦係数 μ = 0.06を示したものの, 徐々に上昇し μ = 0.14 程度となった。AD-2, ED-5 を除く他の物は、初期は μ = 0.15 程度の低い摩擦 係数を示すものの、持続性に乏しく急激な摩擦係 数の上昇を示した。ドライ型については、金属表 面に形成された固体潤滑膜のみで、摺動している ため、持続効果が乏しいと考えられる。



coefficient of dry type on S50C

3.2 S50C 焼入れ材における評価

Fig.5 にリキッド型潤滑剤の摩擦試験結果を示 す。リキッド型では、超極圧剤添加品の2 種類 (GL-1, HL-1)が安定して極めて低い摩擦係数 (μ= 0.12 程度)を示した。他の極圧剤添加品3 種類(AL-2, CL-1, DL-1)も、徐々に摩擦係数 が低下しμ=0.13 程度の極めて低い摩擦係数を示 した。この違いは、添加されている極圧剤の種類 によって、摺動面のなじみ進行度合いに差があっ たためと考えられる。極圧剤が添加されているか 明記がないものは、初期は比較的低い摩擦係数を 示すものの、徐々に上昇しμ=0.15 以上を示した。

Fig.6 にグリース型潤滑剤の摩擦試験結果を示 す。銅,ビスマス添加品(EG-1)は、安定して極 めて低い μ =0.10程度の摩擦係数を示した。二硫 化モリブデン添加品の2種類(AG-2, DG-1)は、 μ =0.13程度で安定していたが、繰返し数100回 以降で急激に摩擦係数が上昇した。この要因とし ては、繰返しの中で、油膜が切れ凝着が発生した ためと、考えられる。

Fig.7 にドライ型潤滑剤の摩擦試験結果を示す。 二硫化モリブデン/グラファイト添加品(ED-3), 有機モリブデン/PTFE 添加品(ED-4)は,繰返 し数 200 回はクリアしたものの,摩擦係数は常に 上昇傾向を示した。一方, AD-2, ED-3 は初期に おいては, μ=0.1 以下の極めて低い摩擦係数を示 した。

いずれのタイプの潤滑剤においても、初期の摩 擦係数は生材に比較して高い摩擦係数となってい た。これは、プレート材の硬度が高く、実際の接 触圧力は S50C(生材)よりもかなり高い接触圧 力になっていたためと考えられる。



coefficient of liquid type on hardened S50C



Fig.6 Changes in maximum friction coefficient of grease type on hardened S50C





3.3 真鍮における評価

Fig.8 にリキッド型潤滑剤の摩擦試験結果を示 す。極圧剤添加品の5種類と,他の潤滑剤では明 確に差が見られた。極圧剤添加品の5種類(AL-2, CL-1, DL-1, GL-1, HL-1)は、μ=0.15 以下の 低い摩擦係数を示した。有機モリブデン添加品 (DL-2, FL-1)は、初期から摩擦係数がμ=0.2

(DL2, FL1) は、初期から摩擦床数がμ=0.2 以上と高く, 更に途中から上昇する傾向を示した。 他のリキッド型潤滑剤は, μ=0.2 程度の高い摩擦 係数を示した。

真鍮においては、この高面圧条件下では塑性変 形しており、固体潤滑剤による潤滑膜は摩擦初期 に破壊されてしまうためと考えられる。それに対 して、反応性の高い極圧剤は、途切れる事なく反 応膜を生成するため、低摩擦を維持することが出 来たと考えられる。

Fig.9 にグリース型潤滑剤の摩擦試験結果を示 す。PTFE/特殊潤滑剤添加品 (AG-1) は, μ=0.13 程度で安定していたが,繰返し数 80 回以降で急激 な摩擦係数の上昇を示した。他のグリース型潤滑 剤は摩擦係数の上昇、低下を繰返す不安定な挙動 を示した。また,S50C,S50C 焼入れ材では効果 が見られた銅、ビスマス添加品 (EG-1) は,真鍮 材では効果がみられなかった。これは、ボール側 に添加剤の銅が膜を生成し同種材摩擦となり摩擦 係数が上昇し、その膜が剥がれる事により低摩擦 と不安定な挙動を示したものと考えられる。

Fig.10 にドライ型潤滑剤の摩擦試験結果を示す。 二硫化モリブデン/グラファイト添加品(ED-3) は、 μ =0.07 程度の極めて低く安定した摩擦係数 を示した。**PTFE**/有機モリブデン添加品(ED-4) は、初期に μ =0.3 程度まで上昇したものの、その 後低下し μ =0.14 程度の低い摩擦係数を示した。



Fig.8 Changes in maximum friction coefficient of liquid type on Brass



3.4 アルミにおける評価

Fig.11 にリキッド型潤滑剤の摩擦試験結果を示 す。有機モリブデン添加品 (DL・2) は、試験開始 直後より徐々に摩擦係数が上昇する傾向を示した。 極圧剤添加品の多くは、これまでと違いµ=0.15 程度で不安定な挙動を示したが、極圧剤/PTFE 添 加品 (AL・2) は、徐々に摩擦係数が低下しµ=0.09 程度の低い摩擦係数を示した。これは、材料が柔 らかく徐々に接触面積が増え、面圧が下がり、極 圧剤の効果が期待できなくなった後に、PTFE が それを補完して作用したためと考えられる。



Fig.11 Changes in maximum friction coefficient of liquid type on Aluminum

Fig.12 にグリース型潤滑剤の摩擦試験結果を示 す。銅、ビスマス添加品(EG-1)は、µ=0.10 程 度と極めて低い摩擦係数を示した。他のグリース 型潤滑剤はµ=0.13 程度で安定していたが、繰返 し数 80 回以降で急激に摩擦係数が上昇した。

Fig.13 にドライ型潤滑剤の摩擦試験結果を示す。 PTFE 粉末添加品 (ED-1),二硫化モリブデン添 加品 (ED-2),二硫化モリブデン/グラファイト添 加品 (ED-3) はµ=0.1 以下の摩擦係数を示した が,耐久性に乏しく,急激な摩擦係数の上昇を示 した。











S50C, S50C 焼入れ材, 真鍮, アルミの試験結 果を比較して, リキッド型潤滑剤に比ベグリース 型潤滑剤は, 耐久性がないように考えられた。し かし, 試験状況を観察した結果, リキッド型, グ リース型ともに, 摺動痕上に潤滑剤が流れていた。 低速, 高面圧, 潤滑剤を薄く塗布という試験条件 から, 摺動面への補給作用は考えていなかったが, 補給作用による違いも考えられた。その場合, 粘 度の高いグリース型潤滑剤には不利であるため, 耐久性がなかった物に対して, グリース型潤滑剤 の塗布量を増やし、再試験を行った。

Fig.14 に S50C における再試験の結果を示す。 塗布量を増やした結果,摩擦係数はµ=0.13 程度 の低い摩擦係数を示した。いずれも繰返し数 160 回以降徐々に上昇する傾向を示した。

Fig.15 に S50C 焼入れ材における再試験の結果 を示す。いずれも、μ=0.11 程度と安定して低い 摩擦係数を示した。

Fig.16 に真鍮における再試験の結果を示す。銅, ビスマス添加品 (EG-1) は、徐々に摩擦係数が上 昇し、μ=0.2 程度の高い摩擦係数を示した。これ は、EG-1 から出来る被膜が銅とビスマスによる ものであり、一種の同種材摩擦状態になり、摩擦 係数が高くなったためと考えられる。

その他の潤滑剤については, μ= 0.10 ~ 0.12 程度の低く安定した摩擦係数を示した。

Fig.17 にアルミにおける再試験の結果を示す。 二硫化モリブデン添加品 (AG-2, DG-1) は, 一 時的にµ= 0.1 以下の極めて低い摩擦係数を示し たものの, 徐々に上昇する傾向を示した。









8



Fig.16 Changes in maximum friction coefficient on Brass



Fig.17 Changes in maximum friction coefficient on Aluminum

4 結 言

本研究は、平成 28 年度高度技術者育成支援事 業にて東北大学で研修を行ったものである。

「スプレー型潤滑剤の潤滑性の簡易評価試験法」 に関する実験を通して、以下の知見を得た。

- 今回の評価法により、スプレー型潤滑剤の潤 滑性の違いが明確に見られ、専用の摩擦試験機 を用いず、汎用的な摩擦摩耗試験機を用いて簡 易的に潤滑性の評価が可能であることが分かった。
- リキッド型潤滑剤(特に極圧剤添加品)は、鉄 系、非鉄系いずれにおいても少量で摩擦低減効 果があることが分かった。
- 3) グリース型潤滑剤(固体潤滑剤添加品)は、摺 動面に補給され易い環境下では優れた摩擦低 減効果があることが分かった。
- 4)ドライ型潤滑剤(固体潤滑剤添加品)は、摩擦 低減効果の持続性に乏しいものの、初期の摩擦 低減には効果的であることが分かった。

謝 辞

研修を受け入れていただいた東北大学堀切川研 究室の皆様に深謝いたします。

文 献

1) 倉知祥晃:潤滑,第28巻,第2号,(1983), P131.

高硬度金型鋼の楕円振動切削における合金成分の工具摩耗に及ぼす影響

齊藤寛史 鄭弘鎭* 社本英二*

Effect of Alloying Elements on Tool Wear in Elliptical Vibration Cutting of Hardened Die Steel

Hiroshi SAITO Hongjin JUN* Eiji SHAMOTO*

1 緒 言

自動車や家電等の部品は、製造コストや納期の 面から、金型による射出成形やプレス加工で量産 されるのが一般的である。金型の精度や製造コス ト、耐久性は、最終製品の品質や価格に影響を与 えることとなる。昨今は海外での金型製造技術が 向上しており、国内の金型産業は厳しい競争にさ らされている。従って、海外との差別化を図るた め、より高精度な金型を低コストに製造する技術 が強く求められている。

金型による量産工程は、素材の流動性を利用し て形状を創生する工程になるため、成形する素材 の硬さや金型の温度によって、金型に求められる 特性も変化する。金属のプレス加工や、ガラスフ ィラー入りの樹脂を射出成形する場合は、耐摩耗 性の高い金型が必要となり、ロックウエル硬さ 60 HRC を超える高硬度な金型鋼が用いられる。

この様な金型を鏡面に仕上げるためには、仕上 げ工程の手磨きが必要となり、金型製造コストの 上昇や、形状精度の低下が問題となる。この磨き 工程を削減するため、磨きレス鏡面加工に係る研 究が多くなされてきた。切削で鏡面を得る場合は、 単結晶ダイヤモンド工具を用いるのが有効である が、通常の切削加工では、熱化学的な激しい摩耗 が生じるため、鋼材を直接鏡面に仕上げることが 困難である^{1,2}。

楕円振動切削は、この激しい工具摩耗を抑制し、 ステンレス鋼等の磨きレス鏡面加工を実現した加 工技術の1つであるが³⁾、ダイス鋼やハイス鋼等 の高硬度金型鋼に対しては、摩耗やチッピングが 多く発生することが著者らの先行研究で明らかと なった⁴⁾。本研究では、高硬度金型鋼の合金成分 が単結晶ダイヤモンド工具の摩耗に及ぼす影響を 調べ、鏡面切削に適した高硬度金型鋼について検 討した。

2 実験方法

2.1 楕円振動切削加工法

楕円振動切削の概略図を図1に示す。振動子の 先端に工具を取り付け,円または楕円形状の軌跡 で工具を振動させながら切削する。従来の超音波 振動切削は,1方向(通常は切削方向)に工具を 振動させるのに対し,楕円振動切削では,切削方 向に加えて,切込み方向にも振動させるのが特徴 である。この2方向の振動によって,工具は円形 状に振動し,すくい面で切りくずを引き上げなが ら切削することとなる。結果として,切削抵抗(特 に背分力)の低減,工具摩耗の抑制等の効果が得 られ,単結晶ダイヤモンド工具によるステンレス 鋼等の鏡面加工が実現している。



2.2 平削り加工実験

被削材として,高硬度金型鋼 6 種類と,これら に合金成分として含まれる純金属 4 種類を使用し, 単結晶ダイヤモンド工具による楕円振動切削実験 を行った。実験装置の写真を図 2 に示す。不二越 製の超精密加工機 NANO APPHER ASP01UPX(名古屋大学所有)に多賀電気製の楕円 振動装置 EL-50Σを取り付け,表1に示す加工条 件で平削りを行った。楕円振動の条件は,周波数 約 40 kHz,振幅 4 μm_{pp}の円形状(切削方向と切 込み方向の振動の位相差が 90°)である。



図2 加工実験装置の写真

表1	加工条件
工具	単結晶ダイヤモンド工具
	ノーズ半径 1 mm
加工条件	
切込み量 [µm]	10
送り量 [µm]	10
切削速度 [m/min]	1
切削距離 [m]	108
加工液	Bluebe LB-10 (ミスト)
楕円振動条件	
周波数 [kHz]	約 40
振幅 [µmp-p]	4
位相シフト [deg.]	90 (軌跡 : 円形状)

2.3 高硬度金型鋼と合金成分純金属の加工

被削材の高硬度金型鋼の硬さと合金成分量の実 測値を表2に示す。いずれも焼き入れ・焼き戻し によりロックウエル硬さ 60 HRC 以上(5 点実測 した平均値を表2に示す)に調製した材料を実験 に供した。冷間工具鋼 (ダイス鋼) SKD11 の改良 鋼である DC53 は、本実験で使用した鋼材の中で 最も多い 8.23%のクロムを含有し、タングステン は含有しない鋼材である。YXR7 は、炭化物量を 低減したマトリックスハイスと呼ばれる高速度工 具鋼(ハイス鋼)で、靭性を向上させた鋼材であ る。SKH51 は、モリブデン系のハイス鋼で、約 5%のモリブデンと約6%のタングステンを含有す る。SKH51と同様な合金成分を含有する ASP23 は、本実験で使用した中で唯一粉末冶金により製 造されたハイス鋼である。SKH2とSKH4は、タ ングステン系のハイス鋼で,約18%のタングステ ンを含有する。両者の主な違いは、コバルトの有 無である。各鋼材の組織を観察した結果を図3に 示す。白く見える粒子は、ナイタル液でエッチン グされずに残った炭化物と考えられる。鋼材によ って炭化物の大きさや量に違いがあることが確認 できる。

表2	高硬度金型鋼の硬さ	と合金成分量
----	-----------	--------

		合金成分, mass%						
鋼材	硬さ [HRC]	С	Mn	\mathbf{Cr}	V	Mo	W	Со
DC53 (大同特殊鋼)	62.2	0.98	0.52	8.23	0.22	1.99	-	0.01
YXR7 (日立金属)	62.7	0.77	0.57	5.00	1.15	5.66	1.18	0.18
SKH51	63.9	0.89	0.34	4.39	2.00	5.08	6.02	0.23
ASP23 (ウッデホルム)	63.1	1.27	0.30	4.29	3.13	5.14	6.13	0.38
SKH2	62.1	0.80	0.36	4.24	1.06	0.23	17.59	0.09
SKH4	65.2	0.80	0.23	4.06	1.03	0.61	18.47	10.88



図3 高硬度金型鋼の金属組織観察結果

これらの高硬度金型鋼の合金成分の中から,ク ロム,モリブデン,タングステン,バナジウムの 4 種類の純金属を準備し,同様に楕円振動切削実 験を行った。クロムの場合は,厚さ 0.2 mm のめ っき被膜を被削材として使用し,それ以外は,厚 さ 0.5 mm の板材を被削材として使用した。純金 属の硬さを 5 点測定した平均値を表 3 に示す。ク ロムの硬さが最も高く,ビッカース硬さ 708 HV である。ロックウエル硬さに換算すると,約 60 HRC に相当する。逆に最も硬さが低いのはバナジ ウムで,ビッカース硬さ 136 HV である。

表3 被削材に使用した	純金属の硬さ
-------------	--------

材質	硬さ [HV]
クロム (Cr)	708
モリブデン (Mo)	276
タングステン (W)	530
バナジウム (V)	136

2.4 工具摩耗量の評価

粉末ハイス ASP23 を加工した工具の電子顕微 鏡写真を図4に示す。加工後の切れ刃には、チッ ピングと摩耗が確認された。本研究では摩耗量と 合金成分の関係を調べるため、最も摩耗量が大き い付近の切れ刃を zygo 製の非接触表面形状測定 機 NewView7300 で測定し、すくい面と逃げ面そ れぞれの法線を含む断面から、切れ刃の摩耗量を 面積として求めた。



図4 金型鋼 ASP23 を切削後の工具 SEM 画像(左図)と 摩耗した切れ刃の断面形状(右図)

3 実験結果および考察

3.1 工具摩耗量測定結果

図5は、切削距離108mまで加工した後の工具 摩耗量である。YXR7の実験では、装置の不具合 により切削距離77mで停止したため、約29%切 削距離が短い結果を示す。SKH2とSKH4におけ る摩耗量は、約6.5 µm²と高硬度金型鋼の中で最 も大きいのに対し, DC53 では最も小さい 1.6 μm² であった。純金属を加工した工具摩耗量を比較す ると, タングステンとバナジウムではそれぞれ 8.9, 255 μm² と大きいのに対し, クロムの場合が最も 小さく 3 μm² であった。硬さとの関係を見ると, 摩耗が少ないクロムの硬さが 708 HV と高く,逆 に激しく工具を摩耗させたバナジウムは 136 HV と硬さが低い。すなわち,純金属の実験では,工 具摩耗は硬さに依存しないことがわかった。



図5 切削距離108m加工後の工具摩耗量

3.2 工具摩耗量と合金成分の関係

高硬度金型鋼に含まれる合金成分の中から,工 具摩耗に関係する元素を調べるため,表2の各合 金成分量と工具摩耗量との関係を図6に示す。両 者の間に明確な相関が見られたのは、タングステ ンの場合と、タングステンとバナジウムを合わせ た場合である。バナジウム単体の結果でも、タン グステンを多量に含むSKH2とSKH4を除くと、 増加傾向が確認できる。

ダイヤモンド工具でアルミニウムを切削した際 の刃先温度を計測した上田らの研究 かから,刃先 の温度は、切削状態の変動に対し、高速に追従す ることが示されている。楕円振動切削は、図1に 示す通り、被削材と工具が接触するのは1周期の 半分以下の時間であり、残りの時間は工具が切り くずから離れて切削開始点に戻る動作となる。工 具はこの間に冷却され、通常の切削よりも切れ刃 の温度が低くなることが予想される。

摩耗のメカニズムについては更に検討する必要 があるものの、本実験結果から、切削点の温度が 低くても、タングステンとバナジウムが合金成分 として存在することにより、単結晶ダイヤモンド 工具の熱化学的な摩耗が促進されたと考えられる。



図6 高硬度金型鋼の合金成分量と工具摩耗量の関係 (o: YXR7 の結果は切削距離が 29%短い)

以上の結果から、単結晶ダイヤモンド工具によ る楕円振動切削では、合金成分のタングステンと バナジウムが少ない鋼材の方が、摩耗が抑制され ることが示唆された。図7は、タングステンを含 有せず、バナジウムの含有量が少ないダイス鋼 DC53を表1の条件で加工した写真である。60× 40 mm の範囲に対し、最大高さ PV 0.05 µm の鏡 面が得られた。



図7 ダイス鋼DC53の鏡面加工サンプル

4 結 言

高硬度金型鋼の楕円振動切削における単結晶ダ イヤモンド工具の摩耗と合金成分の関係を調べた 結果,以下の知見が得られた。

- 切削距離 108 m まで加工実験を行った結果, 鋼材によって摩耗量が 1.6 から 6.5 µm²まで異 なる結果となった。純金属の場合でも,材質に より 3 から 255 µm²まで大幅に異なる結果と なった。
- タングステン及びバナジウムは、単結晶ダイヤ モンド工具の摩耗に作用する合金成分である ことが示唆された。
- タングステンとバナジウムの含有量が少ない ダイス鋼 DC53 で、最大高さ PV 0.05 µm の鏡 面加工が実現した。

謝 辞

本研究は知の拠点あいち重点研究プロジェクト の助成で行われた。関係各位に深謝する。

文 献

- S. Shimada, H. Tanaka, M. Higuchi, T. Yamaguchi, S. Honda, K. Obata: Thermo-Chemical Wear Mechanism of Diamond Tool in Machining of Ferrous Metals, CIRP Annals, 53(1)(2004)57-60.
- E. Brinksmeier, R. Gläbe, J. Osmer: Ultra-Precision Diamond Cutting of Steel Molds, CIRP Annals, 55(1)(2006)551-554.
- E. Shamoto, T. Moriwaki: Ultraprecision diamond cutting of hardened steel by applying elliptical vibration cutting, CIRP Annals, 48(1)(1999)441-444.
- ・ 齊藤 寛史,鄭 弘鎭,社本 英二,呉 宗哲, 節 瑞廷:単結晶ダイヤモンド工具による高 硬度焼入れ鋼の楕円振動切削,2015 年度精 密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 2015,195-196.
- T. Ueda, M. Sato, K. Nakayama: The Temperature of a Single Crystal Diamond Tool in Turning, CIRP Annals, 47(1)(1998)41–44.

カーボンナノチューブ複合電着ワイヤーによる 単結晶シリコン切断面の加エダメージ低減

村岡潤一 鈴木庸久

Reduction of Subsurface Damage on Mono Crystal Silicon by Slicing using Electroplated Diamond Wires with Carbon Nanotube Composite Coatings

Jun-ichi MURAOKA Tsunehisa SUZUKI

1 緒 言

単結晶シリコンなどのインゴットからウェハーを切り 出す工程では、ソーワイヤーが用いられている。電 着ワイヤーはソーワイヤーの一種であり、レジンボン ドワイヤーと比較して砥粒保持力に優れるとともに、 チップポケットが大きく切れ味が良いため、高能率 加工や難削材加工に用いられている。

近年,ウェハーのさらなる薄型化や大面積化が求 められており,切断面の加工ダメージの低減が課 題となっている。電着ワイヤーは、ダイヤモンド砥粒 をめっき被膜によりピアノ線上に単層で保持した構 造である。砥粒が脱落した場合,有効切れ刃数の 減少により加工抵抗が大きくなり,加工ダメージが 生じる要因のひとつとなる。したがって,砥粒保持 力を強化し,砥粒脱落を抑制することで,加工ダメ ージを低減することが可能となる。

筆者らは,砥粒を保持するめっき被膜の最表面 に硬質で摩擦係数の小さいカーボンナノチューブ (CNT) 複合ニッケルめっき被膜 1⁾²⁾を配置すること で,砥粒保持層の機械的強度を強化するととも に, 砥粒保持層の損耗による砥粒保持力の低下を 防ぐことで,砥粒脱落を抑制する方法を提案して いる。これまでに、有限要素法(FEM)を用いた応 力解析によって CNT 複合化及び膜厚の効果を検 討するとともに,単粒の保持力を評価するためにシ ェア試験²⁾を行い,同じ厚さの Ni 被膜と比較して 約1.5倍の砥粒保持力を持つことを確認した³⁾⁴⁾。 さらに、CNT 複合ニッケルめっき被膜を用いた電 着ワイヤー(Ni-CNT 電着ワイヤー)を試作し,工 具寿命を評価した。Ni-CNT 電着ワイヤーは、通 常の Ni を用いた電着ワイヤー(Ni 電着ワイヤー) と比較して、表面粗さの良い加工ができる距離が 10倍以上長くなることを確認した 5)。

本報告では,通常のNi電着ワイヤーとNi-CNT 電着ワイヤーで切断加工を行った単結晶 Si の加 工ダメージを評価した。切断によって生じる加工ダ メージの指標として,アモルファス化した Si(a-Si) 層の厚さと表面の欠けに着目し,それぞれラマン分 光分析および表面観察及び表面粗さにより評価し た。

2 実験方法

2.1 電着ワイヤーの構成

図 1 に実験に用いた電着ワイヤーの模式図を, 表 1 に電着ワイヤーの構成を示す。電着ワイヤー は, 直径 0.1 mm のピアノ線を芯線として, 粒径



図 1 Ni-CNT 及び Ni 電着ワイヤーの模式図

双 电イン1 (の) 件成					
	Ni-CNT 電着ワイヤー	Ni 電着ワイヤー			
仕上げめっき層	Ni-CNT 複合	Ni めっき			
	めっき	厚さ 2 µm			
	厚さ 2 µm				
下地めっき層	Ni めっき 厚さ	4 μm			
砥粒	Ni 被覆ダイヤモンド砥粒				
	粒径 10-20 μm,Ni 55wt%				
芯線	ピアノ線ワイヤー				
	直径 0.1 mm				

表1 電着ワイヤーの構成

10-20 μ m の Ni 被覆ダイヤモンド砥粒(トーメイダ イヤ製 IRM-NP:Ni 55 wt%)を,厚さ約 4 μ m の 下地めっき層と,厚さ2 μ m の仕上げめっき層で保 持する構造とした。今回の実験では,仕上げめっき 層が Ni-CNT めっき被膜と,通常の Ni めっき被膜 の 2 種類とした。Ni, Ni-CNT めっき被膜は,CNT (Nanocyl 製 NC7000)を無添加及び 1 g/L 添加 したスルファミン酸ニッケル浴(Ni(NH₂SO₃)・ 4H₂O:500 g/L,NiCl₂・6H₂O:4 g/L,H₃BO₃:33 g/L)により,電流密度 15 A/dm²,浴温度 45℃, めっき時間 40sec の条件で製膜した。

2.2 切断加工試験

図2に切断加工試験の模式図を,表2に切断加 工条件を示す。張力 5.0N をかけた電着ワイヤー を,図2のワイヤー往復方向に,平均速度 V=13.5 m/min,幅 140 mm で往復運動させながら,図2 の切断方向に切断速度0.06 mm/minで加工を行 った。切断後の観察を容易にするため,ワークであ る単結晶 Si は,10 mm 幅に切断した厚さ0.4 mm の Si ウェハーを積層したものを用いた。

2.3 加工ダメージの評価

図3にSi切断面のダメージ層の模式図を示す。 ダメージ層はa-Si層とクラックからなる。電着ワイヤ ーの有効切れ刃数が多く、砥粒の切れ味が良い場 合、切断面の表層はa-Si層となる⁶⁾。a-Si層の生 成には加工時の圧力が関係しているため、砥粒一 個当たりの加工抵抗が低い状態で加工できている 場合,a-Si層は薄くなる⁷⁾。加工ダメージが大きく なり、クラックの数が増加すると、クラック同士が繋が り欠けを生じる。

欠けは、表面観察及び表面粗さにより評価した。 表面観察は、環境制御型電子顕微鏡(FEI 製 Quanta400)を用いた。表面粗さ測定は、三次元 表面解析顕微鏡(Zygo 製 NewView 7300)を用 い、ワイヤー送り方向 70 μm、切断方向 50 μm の 範囲の PV 値を測定した。

a-Si 層の厚さは、ラマン分光光度計(日本分光 (株)製 NRS-3100, 波長 532nm)により評価し た。図 4 に典型的なラマンスペクトル測定例を示 す。切断面のラマンスペクトルを測定すると、521 cm⁻¹付近の急峻な結晶 Si(c-Si)ピークと、470 cm⁻¹付近の緩やかな a-Si ピークが現れる。これら のピークの強度比rから、以下の式(1)でa-Si層厚 さ daを計算できることが実験的に示されている⁷⁾。



図2 切断加工試験の模式図

表2	切断加丁条件
12 2	

研削速度 V	13.5 m/min (平均)
切断速度 Vc	0.06 mm/min
ワイヤー張力 T	5.0 N
ワーク	単結晶 Si 切断幅 10 mm





— 16 —

 $d_a = 33.3 \times \ln \left\{ \frac{8.84 + 15r}{8.84 + 0.167r} \right\} \qquad \cdots \cdots (1)$

この評価方法における測定範囲は 10 ~150 nm である。特に 20~140nm の範囲はほぼ線形 であり、精度よく測定できるとされている ⁷⁾。ただし、 レーザーで照射した範囲のラマン分散光を検出す る仕組みであるため、スポット径内で a-Si 層厚さが 極端に変化する場合、例えば欠け等の要因により c-Si が露出している場合などは正確な測定が困難 となる。

3 実験結果

3.1 表面観察及び表面粗さ

図5に、切断距離に対する単結晶Si切断面の 表面粗さの変化を示す。Ni-CNT 電着ワイヤーに よる表面粗さは、切断距離 0.1 mm において約 2.0 μmPV, 切断距離 0.2 mm において約 1.6 μmPV, 切断距離 0.3 mm において約 1.5 μmPV と切断の進行とともに粗さが良くなる。これは,加工 初期は砥粒が Ni に覆われており切れ味が悪く, 切 断が進行すると Ni が除去されて砥粒が露出し切 れ味が良くなるためであると考えられる。図 6(a), (b)に, Ni-CNT 電着ワイヤーにより加工した切断 距離 0.1 mm, 0.2 mm における単結晶 Si 切断面 の電子顕微鏡写真を示す。それぞれ,図の左右が ワイヤー往復方向であり,図の上から下にかけて切 断が進行する。図6(a)より, Ni-CNT 電着ワイヤー による切断面は、切断距離 0.1 mm において平滑 な面であり欠けが少ない。図 6(b)より、切断距離 0.2 mm でも同じく平滑で欠けの少ない面が継続し ており、表面粗さと同様の傾向であった。

ー方, Ni 電着ワイヤーによる表面粗さは, 図5よ り, 切断距離 0.1 mm では,約 1.8 µmPV と Ni-CNT 電着ワイヤーとほぼ同等であるが,切断 距離 0.2 mm では約 3.3 µmPV, 切断距離 0.3 mm では約 2.9 µmPV と非常に大きくなった。図 7(a), (b)に, Ni 電着ワイヤーにより加工した切断距 離 0.1 mm, 0.2 mm における単結晶 Si 切断面の 電子顕微鏡写真を示す。図 7(a)より, Ni 電着ワイ ヤーによる切断面は,切断距離 0.1 mm では,欠 けと平滑な面が混在する面であった。図 7(b)より, 切断距離 0.2 mm では,欠けが多く見られる粗い 面となった。欠けは,クラックの増加により生じると 考えられるため,より大きい加工ダメージが生じて いると考えられる。







(a) 切断距離 0.1mm



(b) 切断距離 0.2mm

図6Ni-CNT 電着ワイヤーにより加工した 単結晶Si切断面の電子顕微鏡写真

3.2 アモルファス層厚さ

図 8(a), (b)に, それぞれ Ni-CNT 電着ワイヤー 及び Ni 電着ワイヤーで加工した単結晶 Si 切断面 におけるラマンピークを示す。縦軸は強度であり, c-Si ピークの最大強度を 1 として規格化している。 横軸はラマンシフトである。また, 521 cm⁻¹ 付近に ある急峻なピークが c-Si, 470 cm⁻¹にある緩やかな ピークが a-Si である。a-Si ピークに着目すると, 図 8(a)より, Ni-CNT 電着ワイヤーの切断面は, 切断 距離 0.1 mm から 0.2 mm でピークが低下してい る。この結果は, 0.1 mm に比べ 0.2 mm は a-Si 層が薄くなっていることを示唆している。一方, 図 8(b)より, Ni 電着ワイヤーの切断面は, 切断距離 0.1 mm において, Ni-CNT 電着ワイヤーの同距 離よりもピーク強度が高いが, 0.2 mm において, ピ



(a) 切断距離 0.1mm



(b) 切断距離 0.2mm

図7Ni電着ワイヤーにより加工した 単結晶Si切断面の電子顕微鏡写真 ークがほとんど検出できなくなる。

図 9 に、図 8(a), (b)のピーク強度から求めた a-Si 層厚さを示す。Ni-CNT 電着ワイヤーの切断 面は、切断距離 0.1 mm において厚さ約 43 nm で あるが、切断距離 0.2 mm において厚さ約 32 nm とやや薄くなる。この傾向は表面粗さと同様であり、 a-Si 層厚さの観点からも切れ刃を覆っていた Niの



図8単結晶 Si 切断面におけるラマンピーク (切断距離 0.1 mm 及び 0.2 mm)



図9単結晶Si切断面におけるa-Si層厚さ (切断距離 0.1 mm 及び 0.2 mm)

— 18 —

除去による砥粒の切れ味の向上が伺える。

一方, Ni 電着ワイヤーの切断面は, 切断距離 0.1 mm において厚さ約 58 nm と, Ni-CNT 電着 ワイヤーに比べ厚く, 加工ダメージが大きい。 切断 距離 0.2 mm では, 厚さ 20 nm 以下と極端に薄く 見える。 しかし, 図 7(b)の電子顕微鏡写真より, 加 工ダメージにより表面に欠けが生じ, c-Si が表面に 露出することで, a-Si 層厚さが正確に計算できてい ないと考えられる。

以上の結果より、Ni-CNT 電着ワイヤーは、Ni 電着ワイヤーと比較して、加工ダメージが小さい。こ れは、砥粒の脱落を抑制することにより有効切れ刃 数が維持され、砥粒一個当たりの加工抵抗が低い 状態で維持されたため、加工ダメージが抑えられた と考えられる。

4 結 言

Ni および Ni-CNT 電着ワイヤーによる単結晶 Si 切断面について,表面観察,表面粗さ測定及び ラマン分光分析による a-Si 層厚さ測定により,加工 品位を評価し,以下のことが明らかになった。

- Ni-CNT 電着ワイヤーによる切断面の表面粗さは、評価した範囲において、切断の進行とともに小さくなる。a-Si 層厚さについても同様の傾向であった。これは、加工の進行とともに砥粒表面の Ni が除去されるため、砥粒の切れ味が良くなるためであると考えられる。
- 2) Ni 電着ワイヤーによる切断面の表面粗さは,加

工初期はNi-CNT電着ワイヤーと同等であるが, 加工が進行すると非常に大きくなる。a-Si 層厚 さは,加工初期においてNi-CNT電着ワイヤー に比べ厚く,加工が進行すると加工ダメージが 大きくなり評価不能となる。これは,砥粒の脱 落によって有効切れ刃数が減少し,加工抵抗 が大きくなることで,脆性破壊による欠けを生じ たためであると考えられる。

3) Ni-CNT 電着ワイヤーは, Ni 電着ワイヤーと比 較して, 加工ダメージが少なく, 高品位な切断 面が加工できる。

文 献

- Tsunehisa SUZUKI et al., Precision Engineering, Vol. 38, (2014) pp. 659–665.
- Tsunehisa SUZUKI et al., Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, Vol. 5, No. 8, (2011) pp. 386-396
- 村岡潤一他,2015 年度精密工学会秋季大会 学術講演会講演論文集,(2015)pp.491-492
- 4) 村岡潤一他、山形県工業技術センター報告 No.48, (2016) pp. 7-10
- 5) 村岡潤一他, 2016 年度精密工学会春季大会 学術講演会講演論文集, (2016)pp. 625-626
- 6) 柴田隆行他, 精密工学会誌 Vol.65, No.7, (1999) pp. 992-996
- J.Yan et al., Engineering, Vol. 32, (2008) pp.186–195.

被加工物の厚さの変化がワイヤーカット放電加工面の 形状精度に及ぼす影響

五十嵐裕基 鈴木庸久 江端潔

Influence of Variation in Thickness of the Workpiece on Form Accuracy of Work Surface Machined by Wire-EDM

Yuki IGARASHI Tsunehisa SUZUKI Kiyoshi EBATA

1 緒 言

ワイヤーカット放電加工の形状精度は,ワイ ヤーの自励振動やたわみの影響を受ける。自励 振動やたわみの要因となるワイヤーに作用する 力は,放電反力,静電気力,電磁力,噴流圧力 などがある。これらは,例えば,カット数や電 流値,オン時間,オフ時間などの電気条件,ワ イヤー張力やワイヤー径などの加工条件,被加 工物の厚みによって変化する。

図1に示すような,加工中に作用するワイヤ ー長さ,つまり被加工物の厚さ(以下,加工厚 さという)が急激に変化する被加工物の場合, 同じ電気条件で加工すると,加工厚さが変化す る前後で,自励振動やたわみの状態が変化し, ワイヤーに沿った筋目(以下,段差という)が 加工面に発生する。

本研究では、この加工面の段差を小さくし、 形状精度を改善することを目的とし、ワイヤー カット放電加工の電気条件と加工厚さの変化量 が段差の形成に及ぼす影響について評価した。

2 実験方法

図1に1stカット後の被加工物の形状と加工 方向を示す。1stカットで切断した被加工物の 片側の加工面を,仕上げ加工条件(2ndカット, 3rdカット)で加工し,得られた放電加工面を 被評価面とした。なお,予備試験では,図1と 逆方向に加工を行い,加工方向と段差の形成と はほぼ無関係であることを確認している。被加 工物は,加工厚さが20mmから60mmに変化 する加工厚さ変化量40mmのαと,加工厚さが 40mmから60mmに変化する加工厚さ変化量



(a) 被加工物 α
 (b) 被加工物 β
 厚さ変化量:40 mm
 厚さ変化量:20 mm
 図1 1st カット後の被加工物形状
 および加工方向

20 mmのβの2種類とした。

加工はワイヤーカット放電加工機(ファナッ ク(株) ROBOCUT α-0C)を使用し、イオン交 換水中で、線径 0.2 mm のノンパラフィンの真 鍮線(日立金属(株) HBZ-U)で行った。被加工 物の材質は S50C とした。

表1に加工条件を示す。条件 A',B',C',D'は 2nd カットの条件であり,その前加工である1stカ ットはすべて同じ条件で行っている。条件 A,B,C,D の 3rd カットは,それぞれ条件 A',B',C',D'での2nd カット後に実施した。各条 件は,加工機メーカーの推奨条件を参考に設定 した。

3rd カットと **2nd** カットのオン時間は推奨条 件から,加工厚さに関わらず,それぞれ Ton, Ton'一定とした。

オフ時間は、単位長さあたりの放電回数(以下,放電頻度という)を考慮して設定した。3rd カットのオフ時間は、条件 A, D では最大加工 厚さ(60 mm)に合わせて ToFF とし、条件 B

【平成28年度 金型・精密加工技術研究会】

	А	В	С	D	A'	B'	C'	D'
カット	3rd				2nd			
加工厚さ変化量(mm)	40	40	40	20	40	40	40	20
オン時間	T _{ON}					To	on'	
オフ時間	Toff	3Toff	3Toff ⇒Toff	Toff	3Toff'	5Toff'	5T _{OFF} '⇒ 3T _{OFF} '	3Toff'
オフセット量(µm)	111	106	106	111	126	111	111	126
ワイヤー	φ 0.2 mm 真鍮線(ノンパラフィン)							
被加工物	S50C							
加工液	イオン交換水							

表1 放電加工条件

では最小加工厚さ (20 mm) に合わせて 3ToFF とした。これは、加工厚さ 20 mm の場合、加 工厚さが 3 分の 1 となるため、オフ時間を 3 倍 にすることで、放電頻度を加工厚さ 60 mm の 場合とほぼ同じにすることを狙ったものであ る。条件 C では、加工厚さの変化に合わせて加 工中にオフ時間を ToFF から 3ToFF に変更した。

2nd カットのオフ時間は,3rd カットの場合 と同じ考え方で設定した。条件 A',B',D'のオフ 時間は,それぞれ 3ToFF',5ToFF',3ToFF'とし, 条件 C'では,加工厚さの変化に合わせて加工中 に5ToFF'から3ToFF'に変更した。加工厚さ3分 の1に対して,オフ時間を単純に3倍にしてい ないのは,推奨条件に従ったためである。

ワイヤーカット放電加工機は,放電状態をセ ンシングして,加工速度にフィードバックする 機能を有している。1st カットでは,このフィ ードバック機能が有効に作用して,加工速度が 調整された。一方,2ndカットと3rdカットで は,加工厚さが変化しても,ほぼ一定速度で加 工が進んだ。したがって,本実験における2nd カットと3rdカットにおいては,放電頻度はオ フ時間と加工厚さだけで決定できると考えた。

オフセット量は, 推奨条件に従って設定した。3rd カットは, 条件 A, D では最大加工厚さ (60 mm) に合わせて 111 µm とし, 条件 B,C では最小加工厚さ(20 mm)に合わせて 106 µm とした。2nd カットも同様に, 条件 A', D'では, 最大加工厚さ(60 mm) に合わせて 126 µm と し, 条件 B',C'では, 最小加工厚さ(20 mm) に合わせて 111 µm とした。

図2に放電加工面の断面曲線の測定箇所を示

す。断面曲線は、3次元表面構造解析顕微鏡 (Zygo 社 NewView 7300)により、図2の測 定点1と測定点2の2ヶ所で矢印の方向に測定 した。測定点1は加工厚さ変化前の上面から0.3 mm下とし、測定点2は底面から0.3 mm上と した。加工厚さ20 mmまたは40 mmの領域の 平均高さを基準としたとき、加工厚さ60 mm の領域のほうが低いという結果が得られたが、 その最も低い場所との高低差を段差ho、加工厚 さが変化する位置から離れた領域(以下、定常 状態という)との高低差を段差h1と定義した。



3 実験結果および考察

3.1 加工厚さが変化したときのワイヤーの 挙動

図 3 に条件 A'および A の断面曲線を,図 4 に条件 C'および C の断面曲線を示す。断面曲線 は大まかに,加工厚さが 20 mm から 60 mm に 変わったときに最大段差 ho が発生し,その後は 高低差が徐々に減少し,定常状態になると段差 h1 でほぼ一定となるような挙動を示した。図 3(a),(b)および図 4 (a),(b)の全ての断面曲線で,



3rd カット条件 A の断面曲線 (測定点 1)

加工厚さ 20 mm の領域のほうが加工厚さ 60 mm の領域より高くなっている。このことから, 加工厚さ 20 mm の領域と比べ,加工厚さ 60 mm の領域では,ワイヤーが被加工物寄りに位置し,加工が行われていると考えられる。

図4(b)では図中に矢印で示したように,段差 hoが発生する前にも小さい谷が見られた。オフ 時間を変更しているタイミングが厚み変化のタ イミングと完全には一致していなかったため, このような小さい谷が発生したと考えられる。

3.2 加工面の測定点1と測定点2の比較

図5に,条件A~DおよびA'~D'の加工面に 生じた段差の結果を示す。全ての加工条件にお いて,測定点1と測定点2で段差hoを比較する と,測定点1のほうで段差hoが大きくなってい た。ワイヤーの1次モードの自励振動やワイヤ ーのたわみは,ほとんどの場合,ワイヤーの中 央付近で最大となる。このため,測定点1のほ うが,加工厚さの変化がワイヤー自励振動やた わみに及ぼす影響が大きく,大きな段差になっ たものと考えられる。



図 4 2nd カット条件 C'および 3rd カット条件 C の断面曲線 (測定点 1)



※D'の測定点2では表面粗さと段差の判別ができなかった。
 図5 3rd カット加工条件 A~D および
 2nd カット加工条件 A'~D'の段差 ho

3.3 被加工物厚さの変化量の影響

厚さ変化量がそれぞれ 40 mm, 20 mm の条 件 A と D の段差 h_0 を比較すると、厚さ変化量 が小さい条件 D は条件 A の約半分程度の数値 となった。これより、厚さ変化量が小さければ、 ワイヤー自励振動やたわみの変化も小さくなる



図6 加工中のワイヤーたわみの概念図

と考えられる。

3.4 2nd カットと 3rd カットの比較

2nd カットと 3rd カットの段差 hoを比較する と, 3rd カット条件 A,B,D はそれぞれ 2nd カッ ト条件 A',B',D'とほぼ変わらない値となった。 これは,条件 A,B,D では 2nd カットで生じた 段差をなぞるように 3rd カットが進行している ため,段差を小さくできなかったと考えられる。

3.5 電気条件(オフ時間)の違いの影響

厚さ変化量が等しい 3rd カット条件 A,B,C を 比較すると、厚さの変化する位置でオフ時間を 変更し、放電頻度の差を小さくした条件 C にお いて、加工面に生じた段差 ho が最も小さくなっ た。前加工である 2nd カット条件 A',B',C'では、 測定点 1 の段差 ho に大きな差はない。このこと から、厚さの変化する位置でオフ時間を調整す ることが段差 ho の低減に有効であると言える。

次に、放電頻度の差が大きい図3(b)と、電気 条件を変更し放電頻度の差を小さくした図4 (b)より、定常状態の段差h1を比較する。図3(b) と図4(b)の段差h1は、それぞれ約15µm、5µm であり、どちらも厚さ60mmの領域が厚さ20 mmの領域より低い。この結果より、段差ho と同様に、加工厚さに応じてオフ時間を変更し、 放電頻度の差を小さくすることで、定常状態の 段差h1を小さくすることができることがわか った。オフ時間を変更し、放電頻度の差を小さ くした図4(b)における、約5µmのh1はたわみ の影響が小さく、ワイヤーの振動振幅の差を反 映した結果であると考えられる。また,この約 5 μ mの段差 h_1 は,加工厚さに応じた推奨条件 から設定した加工条件A(オフセット量111 μ m)と加工条件C(オフセット量106 μ m)の オフセット量の差に一致する。加工中にオフ時 間とオフセット量を同時に変更していれば,厚 さ20 mmの領域と厚さ60 mmの領域で,定常 状態の段差 h_1 はほぼなくなると予想される。

図 4(b)で段差 ho より前に発生した小さい谷 について、原因は前述のように、オフ時間変更 のタイミングと厚さ変化のタイミングが完全に は一致していなかったためであると考えた。加 工厚さ 20 mm から 60 mm の領域に加工が進行 する前に、矢印部分でオフ時間を短くしたため、 一時的に放電頻度が高くなり、ワイヤーの振動 振幅が大きくなったことで、被加工物に切り込 む挙動をしたものと考えられる。

3.6 ワイヤーたわみによる段差形成機構に 関する考察

図 6(a),(b)に、それぞれ本実験の加工厚さ 20 mm、60 mm における加工中のワイヤーたわみの概念図を示す。小原らは、放電頻度が減少すると爆発による放電反力が減少するため、静電気力が優勢になると述べている²⁾。加工厚さ20 mm の場合、下側の固定端付近のワイヤーのみが加工に作用しており、放電頻度が高いことで放電反力が大きくなっているため、図 6(a)のようにワイヤーが大きくたわんでいると考えられる。一方で、加工厚さ60 mm の場合はワイ



図7 ワイヤーのたわみと振動による段差形成の概念図

ヤー全体が加工に作用しており,放電頻度の減少により静電引力がより支配的となったため, 図6(b)のようにワイヤーたわみが小さく,相対的に被加工物側に寄ったと考えられる。

3.7 ワイヤー振動による段差形成機構に関 する考察

市井らによると、ワイヤーの自励振動は基本 モード(一次モード)の弦振動が支配的である と述べている³⁾。つまり図6(b)のように、ワイ ヤーの全体が加工に作用している場合の振動は 一次モードと見なしてよく、ワイヤー中央部で 最も振動振幅が大きくなると考えられる。一方、 図6(a)のように、片側の固定端付近のワイヤー のみが加工に作用している場合は、ワイヤーの 中央部で放電反力等の力が加わらないため、振 動振幅が小さくなると考えられる。また、高次 モードが発生する可能性もあり、その場合も振 動振幅は小さくなる。

図7に、本実験の加工厚さ20 mm,60 mm における加工中のワイヤー振動の概念図を示 す。図7のaおよびa'は振動振幅、gは放電ギ ャップを示す。電気条件が一定の場合、放電ギ ャップgは一定である。前述のとおり、図7の ような加工厚さ20 mmのワイヤー振動振幅 a は、加工厚さ60 mmのワイヤー振動振幅 a'よ りも小さいと考えられる。そのため、ワイヤー たわみを考慮しない場合、振動振幅の大きい加 工厚さ60 mmの領域では、より被加工物に近 い位置で加工が行われているといえる。

以上より,加工厚さ 60 mm の領域が加工厚 さ 20 mm の領域より加工面の高さが低い理由 は,1)ワイヤーの振動振幅が大きく,2)ワイヤ ーたわみの影響で,ワイヤーが被加工物に相対 的に近づくためであると考えられる。

4 結 言

本研究では、 ϕ 0.2 mm の真鍮ワイヤーを用い て、20 mm と 40 mm の厚さ変化量をもつ被加 工物を加工し、加工面に形成される段差に厚さ 変化量と放電加工条件が及ぼす影響を調べ、以 下の結果を得た。

- 1) 加工面の中央部と下端部では、中央部のほう が加工面に形成される段差が大きい。
- 2) 厚さ変化量が大きいほうが、放電頻度の変化 が大きいため、段差は大きくなる。
- 放電頻度を一定にするため、加工物の厚さが 変化するときオフ時間を変更することで、段 差を小さくできる。
- 4) 放電頻度の差を小さくしたときの定常状態の加工面の高低差には、ワイヤーの振動振幅の差が反映されていると考えられる。
- 5)オフ時間を一定にして加工する場合,加工厚 さが変わることでワイヤーの振動とたわみ の挙動が変化し,段差形成に影響を及ぼすと 考えられる。

文 献

- 三菱電機(株):放電加工のしくみと100%活 用法,技術評論社,1979,178頁
- 小原,大住,正橋,宮西,羽多野:ワイヤ放 電加工の加工精度に関する基礎的研究(第6 報),電気加工学会誌, Vol.36 No.81(2002), 15頁
- 市井,岡田,岡本:高速度観察による微細ワ イヤ放電加工のワイヤ挙動評価,2012 年度 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 355 頁

- 24 -

高速並列処理モジュールの開発によるOCTシステムの構築

今野俊介 橋本智明 高橋義行

Development of Fast Parallel Processing Module used for OCT System

Shunsuke KONNO Tomoaki HASHIMOTO Yoshiyuki TAKAHASHI

1 緒 言

本研究は、非接触三次元断層計測である光断層 画像化法(OCT: Optical Coherence Tomography) の性能改善により応用可能性を広げ、製品品質の 改善に寄与する計測技術の確立を目的としている。 OCT は光の干渉現象を応用した計測技術であり、 光が届く範囲であれば非接触で三次元の形状計測 や断層計測が実現できる。特に、高速・高精度な 計測が行えるスペクトルドメイン型 OCT(SD-OCT: Spectral Domain OCT)に対する 計測ニーズは多くあり、当センターでは機械加工 製品の形状計測や塗装膜解析などの技術シーズを 開発してきた¹⁾。この際, SD-OCT の課題は干渉 波形の解析処理が膨大で,計測の実現には性能の 高い演算器が必須となることである。しかし、解 析処理の演算間に依存が無いため、多数の演算器 を用いて並列化することで高速に処理を実現でき る可能性がある。そこで,本研究では GPU(Graphics Processing Unit)やマルチコア型 の FPGA(Field Programmable Gate Array)等を 用いた並列処理モジュールを採用することで市場 ニーズに応えられる処理性能を実現した。

2 システム構成

2.1 PC ベース OCT システム

三次元の形状解析を詳細に行うことを目的とした PC ベースの OCT システムの概要を図1に示す。この計測では、計測エリアに対して約25万点以上という非常に多くの計測点に対して1点毎のスペクトル干渉解析のための FFT(Fast Fourier Transform)処理をする必要がある。その実現のために並列処理モジュールとして GPU(Graphics Processing Unit)を実装している。GPU は本来、



図1 PC ベース OCT システム概要



図2 組込みベース OCT システム概要

描画演算機能を目的とするハードウェアであるが, その高い演算能力を干渉波形解析処理に GPGPU(General Purpose Computing on Graphics Processing Unit)として実装することで 高速な並列演算処理を実現した。

2.2 組込みベース OCT システム

一方、厚さ計測や段差計測などの点計測アプリ ケーションでは、1 点若しくは数点の OCT 計測で 済むことから、演算処理の負荷はそれほど高くな い。しかし、小型化や低コスト化の市場要求は高 く、一方で FFT などの高度な演算処理機能も求め られる。こうした用途向けには組込みベースの OCT システムを構築した。概要を図2に示す。並 列処理モジュールは、FPGA(Field Programmable Gate Array)上に演算処理ロジッ クとして実装した。なお、今回採用した FPGA は



図3 PC ベース OCT システムのタイミングチャート



図4 ラインセンサ制御回路

マイクロコンピュータをハードウェアとして搭載 した SoC-FPGA(System on chip FPGA)と呼ばれ る半導体デバイスであり,干渉波形解析に求めら れる高速な並列演算処理と比較的複雑なペリフェ ラル管理や UI(User Interface)などの処理をワン チップで実現することができる。また,本計測用 途に適した 2048 画素 Si 型ラインセンサデバイス を選定し,その出力である干渉波形を演算処理部 にデジタル信号として取り込むためのオリジナル のラインセンサ制御回路を開発することで,小型 化及び低コスト化を図った。

3 開発内容

3.1 PC ベース OCT システムの開発

PCベースOCTシステムの動作タイミングを図 3 に示す。本システムでは業界最速のラインセン サカメラ(NED 社製 XCM2080SAT4)を採用し, ラインレート 125kHz での OCT 計測を実現した。 256 ラインの干渉波形を取得するのに約 4ms 要し, 従来の CPU(Central Processing Unit)による順 次処理では約 31ms の処理時間が必要であり,リ アルタイムで干渉波形解析を行うことはできなか った。一方,今回新たに開発した GPU を用いた 並列処理モジュールでは約 1.2ms で処理を実現で きたことから,撮影処理のバックグラウンドでリ アルタイムに干渉波形解析処理を実現できた。

3.2 組込みベース OCT システムの開発

組込みベース OCT システムの干渉波形を取り 込むオリジナルのラインセンサ制御回路を図4に 示す。市販の CMOS ラインセンサ(浜松ホトニク ス社製 S11639)を組込みシステム基板に搭載した FPGA から制御し,外部で信号振幅を所定のレベ ルまで増幅後, AD コンバータによりデジタル信 号に変換して FPGA 内に取り込む回路となって

ファミリ名	デバイスコア	メーカー	処理時間, ms
ZYNQ7	ARM Cortex A9	Xilinx	1.728
SuperH	SH4 7750R	Renesas	8.270
RX	RX62N	Renesas	16.460
RX	RX210	Renesas	88.500
STM32	ARM Cortex M3	STmicro	176.200
Sterallis	ARM Cortex M3	TI	183.000

表1 デバイスのベンチマーク結果

いる。今回用いた CMOS ラインセンサは 10MHz のクロック周期であり,信号増幅回路には高速な 応答が可能な高性能オペアンプ (Linear Technology 社製 LT1819)を選定し,回路シミュレ ータ(Linear Technology 社製 LTSpice)により回 路定数を決定した。

また、本システムの処理性能を最適化するため に、演算処理を担う部分のキーデバイスについて 比較検討を行った。対象としたのは、比較的低コ ストで入手性の高い6種のデバイスで、そのデバ イスに並列処理モジュールを実装し、処理時間を ベンチマークテストした。1024 点の FFT 処理と ピーク検出処理についてのベンチマークの結果を **表1**に示す。この結果を受けて、処理速度が最も 速かった ZYNQ7 シリーズ (Xilinx 社製 SoC-FPGA)を本システムの演算器として採用し た。この SoC-FPGA の内部ブロック図を図5示 す。初段で、制御回路により CMOS ラインセン サから干渉波形をメモリ内に取り込む。その後, CPU によりメモリ内のデータを使って干渉波形 解析を行う。ZYNQ7 シリーズには CPU が 2 つ搭 載されているため、一方の CPU では光軸をスキ ャンするためのミラーの制御と干渉波形解析処理 を行い、もう一方の CPU ではスイッチ制御や液 晶画像表示などの GUI(Graphical UI)制御を行っ

ている。この結果, CPU による並列処理の実装に より 1.3 倍の高速化を実現することができた。

さらに、組込みベース OCT システムについて は小型化も進め、メンテナンス性を考慮しながら 図6に示すように各種制御基板や小型干渉計を配 置し、約7.4Lの容積に抑えることができた。これ は従来の PC ベースと比較して約1/5の小型化と なり、装置の使いやすさの向上を実現した。

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- PC ベース OCT システムに並列処理モジュー ルとして GPGPU を実装した。処理性能を評 価したところ、約 1.2ms であり、順次処理で ある CPU との性能比 30 倍の高速化を達成し た。
- 2) 組込みベース OCT システムに SoC-FPGA を 用いた並列処理モジュールを実装した。100 ポ



MCU ARM-CortexA9 ラインセンサ ラインセンサ 制御回路

図5 SoC-FPGA の内部ブロック図

図6 組込みベース OCT システムの内部レイアウト

イントの断層計測において処理時間が 640ms であり、シングルスレッドによる CPU での処 1) 高橋義行他:山形県工業技術センター報告、 理と比較して1.3倍高速化できた。

3) ラインセンサ制御回路の内製化と演算処理を SoC-FPGA で実現したことにより、従来の PC ベースのシステムと比較して約 1/5 の小型化 を実現した。

文 献

No.38 (2006) 37.

マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の大型部材への適用

松木俊朗 中野正博 藤野知樹 鈴木剛 小林庸幸 村岡潤一 後藤仁 小川聖志 齋藤壱実 岡田大樹 髙橋俊祐 村上周平 渡辺利隆* 山田享** 長瀬真一*** 渡辺隆介**** 麻生節夫***** 後藤育壮****

Application of Martensitic Spheroidal Graphite Cast Iron to Large Parts

Toshiro MATSUKI Masahiro NAKANO Tomoki FUJINO Takeshi SUZUKI Tsuneyuki KOBAYASHI Jun-ichi MURAOKA Hitoshi GOTO Satoshi OGAWA Kazumi SAITO Hiroki OKADA Shunsuke TAKAHASHI Shuhei MURAKAMI Toshitaka WATANABE* Toru YAMADA** Shin-ichi NAGASE*** Ryusuke WATANABE**** Setsuo ASO***** Ikuzo GOTO*****

1 緒 言

エレベータ用シーブ(綱車)や金属成形用の金 型などの大型部材では,装置の高速化や高機能化 に伴い耐摩耗性の向上が必要とされており,より 硬い材料が求められている。有限会社渡辺鋳造所 と当センターが共同で開発したマルテンサイト球 状黒鉛鋳鉄¹⁻³は,焼入れすることなく氷点下に冷 やすサブゼロ処理だけで硬くなる材料であり,厚 肉品でも芯部まで硬くできる特長を有する。また, 通常の焼入れ鋼材と同様に焼戻しによる硬さの調 整も可能である。これまでも本材料を直径 200mm 程度の小物部材へ応用してきたが,直径 1m 級のエレベータ用シーブや金型へ展開するに あたり,組織や硬さ制御等の製造技術,化学分析 や耐摩耗性等の品質評価技術について,より詳細 な検討が必要となった。

そこで、マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄を大型部 材に適用するための技術開発に取り組み、実験室 での基礎的な検討とともに、現場での試作を行っ た。本研究は、戦略的基盤技術高度化支援事業と して、有限会社渡辺鋳造所及び公益財団法人山形 県産業技術振興機構が事業管理機関となり、民間 企業3社、大学・公設試2機関の研究実施機関の 他、アドバイザとして川下ユーザ企業も参画する 産学官連携により実施した。 本報告では,事業の一部について成果の概要を 紹介する。

2 成 果

2.1 マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の硬さに及 ぼす熱処理の影響

マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄は、先述のとおり 焼戻し処理により硬さを調整するが、大型部材を 焼戻しする場合には、温度の均一化を図るために 長時間の加熱保持が必要となる。その際、同条件 で実施した小型部材より硬さが低くなる傾向が見 られたため、その原因を実験室で調査した。

図1に直径25mm 丸棒試料を400℃,500℃及び600℃で焼戻しした際の時間経過に伴う硬さ変



図1 硬さに及ぼす焼戻し温度及び時間の影響

【平成26~28年度 戦略的基盤技術高度化支援事業】 *有限会社渡辺鋳造所 **(元)有限会社渡辺鋳造所 ***株式会社ナガセ ****ワタナベ・コア有限会社 *****秋田大学大学院理工学研究科

— 29 —

松木 中野 藤野 鈴木 小林 村岡 後藤(仁) 小川 齋藤 岡田 髙橋 村上 渡辺(利) 山田 長瀬 渡辺(隆) 麻生 後藤(育): マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の大型部材への適用



(a) 焼戻し温度 400℃,光学顕微鏡



(b) 焼戻し温度 600℃,光学顕微鏡



(c) 焼戻し温度 600℃, 電子顕微鏡



化を示す。一般鋼材と同様に焼戻し温度が高いほ ど硬さは低い。また,500℃及び600℃で焼戻しを 行った場合は、時間経過に伴い硬さが低下する。

図2に400℃及び600℃で48h焼戻しした試料 の光学顕微鏡及び電子顕微鏡写真を示す。いずれ も焼戻しマルテンサイト組織であるが、600℃で 焼戻しした試料は組織が粗いのに加え、微細な黒 鉛が見られる。400℃焼戻しでは微細黒鉛が認め られないこと、600℃焼戻しは400℃と比較して時







間の増加に伴う硬さの低下が大きいことなどから, 微細黒鉛の析出が硬さ低下の原因と推察される。 そのため,この現象を考慮した大型部材向けの熱 処理条件を新たに定めた。

2.2 マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の切削加工 性

エレベータ用シーブでは、旋盤による外周及び 溝加工が必要となるが、マルテンサイト球状黒鉛 鋳鉄の機械加工の知見が無く、適切な加工条件の 確立が求められた。そこで、実験室の NC 旋盤及 び切削動力計を用いて、加工抵抗に及ぼす加工条 件(切削速度、切込量等)の影響を調べた。なお、 工具材種はコーティング超硬 K 種とした。

大 ら す ら す か 観 一 断 面 一 1mm

止端割れ、ビード下割れ

(a) 半自動溶接



(b) TIG溶接図5 ビードオンプレート試験後の外観及び断面

図3に加工抵抗に及ぼす切削速度の影響を示す。 マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄(硬さ420HBW)と 従来材料(FCD700相当,硬さ270HBW)を比 較すると、マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の切削速 度を100m/minに下げることによってFCD700 と同等の切削抵抗となる。図4にマルテンサイト 球状黒鉛鋳鉄の加工抵抗に及ぼす切込量の影響を 示す。切込量が最も大きい2.0mmでは加工抵抗 の変化が小さく、除去体積180×10³mm³での加 工抵抗が他の条件とほぼ等しい。本材料には一部 に残留オーステナイトが存在するため、切込量が 過小な場合はオーステナイト系ステンレス鋼材と 同様に加工硬化の影響が大きくなると考えられる。

以上の結果より、マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の加工では切削速度を下げ、切込量を大きく設定することが有効であることを明らかにした。また、現場のNC 旋盤でも加工試験を行い、これらの条件が適用できることを確認した。

2.3 マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄への補修,肉 盛り溶接

マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄を金型として応用 するうえで、補修や形状変更のための溶接に対応



図6 黒鉛晶出に及ぼす試料形状の影響

表1 分析値のばらつき(元素,分析法の比較)

						(r	nass%
形状	С	Si		Ni		Mn	
	QV	QV	XRF	QV	XRF	QV	XRF
きのこ状	0.11	0.12	0.13	0.26	0.06	0.026	0.031
ディスク状	0.06	0.09	0.08	0.12	0.05	0.015	0.019
※ QV∶発光分光分析, XRF∶蛍光X線分析							

できることも重要となる。特に,鋳鉄には黒鉛が 存在するため,溶接時の炭化物晶出による加工性 の悪化や割れの発生を抑制する必要がある。そこ で,ビードオンプレート試験等により本材料の溶 接性を検証した。

図5に試験後の外観及び断面写真を示す。なお, 半自動溶接はオーステナイト系ステンレス鋼製ワ イヤを,TIG溶接は市販の金型補修用溶接棒を使 用した。また,いずれも予熱及び後熱を行った。 図より,半自動溶接では止端割れから続くビード 下割れが見られるが,TIG溶接では割れが認めら れない。TIG溶接は,半自動溶接と比較して小電 流での溶接が可能であり,入熱の管理が容易なた め,母材への熱影響が小さい。加えて,共金系の 溶解材を利用可能なため,割れにつながる元素の 混入を防ぐこともできる。これらの理由により, TIG溶接で割れが生じなかったと考えられる。

以上の検討により,適切な市販の溶接棒を選定 し,予熱,後熱を行うことで,割れや異常組織の ない健全な溶接が可能であることを明らかにした。

2.4 化学成分の現場分析技術

マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の硬さには化学組

- 31 -


図7 ころがり摩耗試験後の摩耗痕の外観及び断面形状

成が大きく影響するため,鋳造現場での管理が重 要となる。一方,ニッケル(Ni)等の合金元素を 多量に含むため,既存の分析方法では精度に課題 があった。そこで,分析対象となる複数の元素に ついて,固体発光分析及び蛍光 X 線分析を行い, 分析精度の向上を目指した。併せて,試料の採取 方法も検討した。

図6に形状を変えて採取した分析試料の外観及 び断面組織写真を示す。きのこ状試料では微細な 黒鉛が多数見られるのに対し、ディスク試料では 黒鉛が少ない。表1にそれぞれの試料を発光分光 分析及び蛍光X線分析で分析した際のばらつきを 示す。試料形状については、いずれもディスク試 料のばらつきが小さい。特に、発光分光分析では ディスク試料で黒鉛の晶出が少なく放電状態が良 いため、ばらつきが低減したと考えられる。また、 分析方法を比較すると、ニッケル(Ni)では蛍光 X線分析のばらつきが小さい。これらの結果より、 マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄を現場で分析する手 順として、ディスク試料を採用すること、元素に より固体発光分析と蛍光X線分析を使い分けるこ とを定めた。

2.5 マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の耐摩耗性

エレベータ用シーブでは,相手材であるロープ に対する耐摩耗性が要求される。これを実験室で 迅速に評価するため,シーブとロープの接触で生 じる摩耗形態を考察するとともに,摩耗試験方法 を検討し、マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄と従来材 料の耐摩耗性を比較した。

摩耗試験方法については、シーブとロープの滑 り速度が小さいこと、比較的高い荷重が断続的に 負荷されることから,ボールオンディスク摩擦摩 耗試験機によるころがり摩耗試験を実施すること とした。図7にマルテンサイト球状黒鉛鋳鉄と従 来材料(FCD700)について,試験後の外観及び 断面形状を示す。なお、試験は相手材は直径 4.76mm のベアリングボール、摩擦条件は乾式、 荷重 60N, 回転速度 0.5m/s, 回転半径 10mm, 回転数 5000 回で実施した。マルテンサイト球状 黒鉛鋳鉄は FCD700 と比較して摩耗痕の幅が狭 く、凹凸も小さい。ころがり接触では、内部を起 点としたき裂が進展してはく離することで摩耗が 進行するとされているが、マルテンサイト球状黒 鉛鋳鉄では残留オーステナイトの加工硬化等によ りき裂の進展が抑制されるため、耐摩耗性が従来 材料より高いと考えられる。

以上の結果より、マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄 の耐摩耗性が良好であることを確認した。

2.6 マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄製エレベー タ用大型シーブ及び金型の試作

以上の研究成果をもとに、図8に示す直径1m 級のエレベータ用大型シーブ及び金型を試作した。 また,試作品を用いて現場での熱処理実験を行い, 狙いの硬さに調整できることを確認した。



(a) エレベータ用大型シーブ



(b) 配管内蔵金型

図8 試作したマルテンサイト球状黒鉛鋳鉄製 エレベータ用大型シーブ及び配管内蔵金型

3 結 言

本事業では、マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄を大 型部材へ適用するため製造技術及び評価技術につ いて検討し、以下の知見を得た。

- マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の熱処理では、焼 戻し時間の増加に伴い微細黒鉛が析出して硬 さが低下する。
- マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄の加工では、切削 速度を低く、切込量を大きくすることが有効で ある。
- 3) マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄は、市販の溶接棒 を用いた TIG 溶接が可能である。
- 4) マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄を現場で高精度 に分析するためには、ディスク状の試料を用い、 固体発光分析及び蛍光X線分析を併用する。
- 5) マルテンサイト球状黒鉛鋳鉄は、ころがり摩耗 において優れた耐摩耗性を示す。

以上の結果をもとに、マルテンサイト球状黒鉛 鋳鉄製エレベータ用大型シーブ及び金型を試作し た。今後は、事業化に向けた取り組みを推進する。

文 献

- 渡辺利隆,石井和夫,渋谷宇一郎,山田享,佐 藤昇,中野哲,晴山巧,高橋裕和:公開特許公 報,2006-104573 (2006)
- 2) 石井和夫, 渋谷宇一郎, 渡辺利隆, 晴山巧, 山 田享: 鋳造工学, 77(11)(2005)769
- 3) 渡辺利隆,石井和夫,山田享,佐藤昇,中野 哲:鋳造工学,82(12)(2010)794

AI-Mg 系合金鋳物の機械的性質に及ぼす鋳造条件の影響

齋藤壱実 藤野知樹 髙橋俊祐 中野正博 鈴木剛 松木俊朗 後藤仁 小川聖志 村上周平

Influence of Casting Conditions on Mechanical Properties of Al-Mg Alloy Castings

Kazumi SAITO Tomoki FUJINO Shunsuke TAKAHASHI Masahiro NAKANO Takeshi SUZUKI Toshiro MATSUKI Hitoshi GOTO Satoshi OGAWA Shuhei MURAKAMI

1 緒 言

鋳造用アルミニウム合金の中で AC7A (Al-Mg 系合金鋳物) は耐食性や鋳放しでの機械的特性が 優れるとされるが,鋳造性が劣るため,ひけ等の 鋳造欠陥が実体特性に及ぼす影響が大きい。一般 的に,鋳造品の品質を改善するには溶湯処理によ る金属組織微細化が有効とされ,純アルミニウム やAC4C(Al-Si-Mg 系合金鋳物)においては,Ti-B 系微細化剤による結晶粒微細化の効果が報告され ている^{1),2)}。

これまで当センターでは、Ti-B系結晶粒微細化剤 添加が AC7A の組織に与える影響について調査し てきた。その結果、肉厚に関わらず組織を微細化及 び均一化できること、繰り返し溶解及び長時間溶湯 保持を行っても微細化の効果がほぼ維持できること を確認した³。

本研究では、結晶粒微細化剤の添加を含む鋳造 条件の違いが、引張強さや伸び等の機械的性質に 及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2 実験方法

2.1 鋳塊及び鋳造条件

抵抗式電気炉及び#15 黒鉛るつぼを用いて表 1 に示す AC7A 鋳塊を溶解した。鋳造条件として, Ti-B 系結晶粒微細化剤の添加あり(目標 Ti 量: 0.1%),添加なしの2水準,鋳込温度は720℃と 750℃の2水準,脱ガス処理あり(N₂ガスで 10min),処理なしの2水準にそれぞれ設定した。

また, 鋳型は図1に示すY形供試材(JISG 5502, 砂型)を用い, 鋳込温度 720°CについてはB号, 鋳 込温度 750°CについてはB号及びC号をそれぞれ 用いた。実験手順は, 鋳塊及び微細化剤を完全に 溶解した後に溶湯処理としてフラックス添加によ る除滓処理を行い, N_2 ガスで脱ガス処理を行った

【平成27~28年度 技術開発・改善事業】

後,所定の鋳込温度に達するまで溶湯を沈静させ てから注湯した。

表 1	溶解材料の化学組成	mass%
1X I		111000/0

	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni
AC7A 鋳塊	0.00	0.04	5.1	0.00	0.12	0.5	0.01
Al-5%Ti-1%B	-	0.14	-	-	0.18	-	-
JIS H5202 (参考) AC7A	0.1 以下	0.20 以下	3.5 ~ 5.5	0.15 以下	0.30 以下	0.6 以下	0.05 以下
	Ti	Pb	Sn	Cr	В	Al	
AC7A 鋳塊	0.01	0.00	0.00	0.00	-	残部	
Al-5%Ti-1%B	5.0	-	-	-	1.0	残部	
JIS H5202	0.20	0.05	0.05	0.15	-	残部	



図1 Y形供試材の形状及び寸法

2.2 評価方法

Y 形供試材の引張試験片採取位置近傍より切り 出した試料について研磨,5%HF 溶液によるエッ チング後,光学顕微鏡で断面組織を観察した。結 晶粒径は組織写真上に直線を引き,その直線と粒 界とが交わる交点数から算出する切片法により求 めた。また,組織観察試料と同等の位置から採取 した試料を用いてブリネル硬さ試験(単位: HBW10/500)及び ICP 発光分光分析を行った。 さらに,同供試材の引張試験片採取位置より平行 部直径 10mm,平行部長さ 60mm を有する 14A 号試験片(JIS Z 2241)を切り出し,引張強さ, 0.2%耐力及び伸びを測定した。引張試験後に,破 断面を走査型電子顕微鏡で観察した。 また、鋳込温度 750℃で Y 形供試材 B 号を鋳型 として用いた 4 水準の試料については、サブミク ロンフォーカスエックス線 CT 装置(マース東研 X 線検査株式会社製 TUX-3200N+CT ユニット) により引張試験前の試験片平行部において ϕ 10mm×L10mmの視野で内部欠陥観察を行っ た。さらに、付属の解析用ソフトウェア(株式会 社アイケダ製 TomoShop)を用いて観察視野内の 6.5mm×6.5mm×6.5mmの解析範囲で欠陥体積 率計算を行った。

3 実験結果及び考察

3.1 金属組織及び内部欠陥評価

表2に各条件で作製したY型供試材のICP発光 分光分析結果を示す。いずれの条件で作製した試 料も JIS 規格範囲内であり, 微細化剤添加ありに おいては, Ti 量の目標値である 0.1%に概ね近い値 で調整できた。図2に各条件で作製した金属組織 を,図3に金属組織写真より測定した結晶粒径を 示す。鋳込温度, 鋳型の寸法及び脱ガス処理の有 無が結晶粒径に与える影響はさほどみられず, 微 細化剤の添加により結晶粒径が小さくなった。ま た, 微細化剤添加ありの金属組織においてはいず れも結晶粒中心付近に花弁状の組織が見られ, 微 細化剤が有効に作用したものと考えられる³。

図4に、サブミクロンフォーカスX線CTにより観察した鋳込温度750℃,B号引張試験片の平行部CT断層像を、同試料の3D像を図5に示す。脱ガス処理の有無、微細化剤添加の有無に関わらず、いずれの像にも黒色で示された無数のボイドが確認

表2	各試料の化学組成	mass%
		mabb/

(溶湯処理はA:脱ガス処理なし、微細化剤添加なし、B:脱ガス処理あり、微細化剤添加なし、C:脱ガス処理なし、微細化剤添加あり、D:脱ガス処理あり、微細化剤添加ありの4水準をそれぞれ示す。)

鋳込条件	溶湯処理	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	В	Al
	А	< 0.01	0.037	5.24	< 0.01	0.060	0.40	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.001	残部
750℃鋳込	В	< 0.01	0.033	5.21	< 0.01	0.061	0.45	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.001	残部
B 号	С	< 0.01	0.039	5.09	< 0.01	0.061	0.39	< 0.01	0.11	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.015	残部
	D	< 0.01	0.040	5.13	< 0.01	0.064	0.39	< 0.01	0.09	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.005	残部
	А	< 0.01	0.027	4.37	< 0.01	0.050	0.30	< 0.01	0.011	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.001	残部
750℃鋳込	В	< 0.01	0.029	4.41	< 0.01	0.052	0.33	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.001	残部
C 号	С	< 0.01	0.031	4.36	< 0.01	0.070	0.36	< 0.01	0.13	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.0018	残部
	D	< 0.01	0.030	4.43	< 0.01	0.067	0.36	< 0.01	0.13	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.0018	残部
	А	< 0.01	0.035	4.59	< 0.01	0.096	0.40	< 0.01	0.013	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	残部
720°C鋳込	В	< 0.01	0.036	4.61	< 0.01	0.097	0.40	< 0.01	0.012	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	残部
B号	С	< 0.01	0.037	4.64	< 0.01	0.11	0.39	< 0.01	0.10	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.015	残部
	D	< 0.01	0.039	4.61	< 0.01	0.12	0.39	< 0.01	0.08	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	残部



図2金属組織 (脱ガス及び微細化剤添加は、処理を行ったものを〇, 行っていないものを×で表示)

できる。ボイドの発生箇所に位置的な偏りはほとんど 見られず、観察視野全域にわたって分散している状 況であった。ボイドはその形態から凝固収縮に伴う 引け巣であると考えられる。また、図6にサブミクロン フォーカスX線CTの再構成像を元に計算した欠陥 体積率結果を示す。いずれも1%以内で推移する結 果となった。



図3 結晶粒径

(脱ガス及び微細化剤添加は、処理を行ったものを〇, 行っていないものを×で表示)



図4 750℃鋳込, B 号試験片のサブミクロンフォーカスエックス線 CT の断層像
 ((a) 脱ガスなし・微細化なし, (b) 脱ガスなし・微細化あり,
 (c) 脱ガスあり・微細化なし, (d) 脱ガスあり・微細化あり)



図5 750℃鋳込, B 号試験片のサブミクロンフォーカスエックス線 CT の 3D 像 ((a) 脱ガスなし・微細化なし, (b) 脱ガスなし・微細化あり, (c) 脱ガスあり・微細化なし, (d) 脱ガスあり・微細化あり)



図6 750℃鋳込, B 号試験片のサブミクロン フォーカスエックス線 CT により算出した 欠陥体積率

3.2 機械的性質の評価

表3に各試料におけるブリネル硬さ試験結果を示 す。いずれの水準においても硬さ値に大きな違いは ないことから、本実験においては鋳込温度、鋳型寸 法、脱ガス処理及び微細化剤添加の有無が硬さに 及ぼす影響は大きくないと考えられる。図7 に引張 試験結果を示す。本実験で行った12 水準間で比較 すると、0.2%耐力ではいずれも大きな差はなく、引

表3 各試料のブリネル硬さ, HBW 10/500 (脱ガス及び微細化剤添加は, 処理を行った ものを○, 実施していないものを×で表示)

	脱ガス	×	0	×	0
	微細化剤	×	×	0	0
	750℃ B号	54	53	55	53
鋳込温度 及び	750℃ C号	51	54	54	54
鋳型寸法	720℃ B 号	55	56	57	57

張強さ及び伸びでは差が見られた。引張強さ及び伸 びが最大となったものは、鋳込温度 720℃、脱ガス 処理あり、微細化剤添加ありであった。一方、引張強 さ及び伸びが最小となったものは、鋳込温度 720℃、 脱ガス処理なし微細化剤添加なしであった。また、 鋳込温度 750℃では、鋳型寸法の違いによらず脱ガ ス処理あり、微細化剤添加ありで引張強さが高い。脱 ガス処理及び微細化剤添加処理を各々単独で行っ た場合でも、機械的性質のうち特に引張強さの向上 に寄与していたが、複合した処理を行うことでより効 果的であると考えられる。

図8に鋳込温度750℃,B号試験片におけるサブ

ミクロンフォーカスX線CTより算出した欠陥体積率と 機械的性質との関係を示す。欠陥体積率と引張強さ との決定係数(R²)及び、欠陥体積率と引張強さとの 決定係数はいずれも低い値を示しており、欠陥体積 率と機械的性質との間には相関が見られない。この ことから、脱ガス処理や微細化剤添加の有無により 欠陥体積率に差は見られるものの、本実験で見られ た範囲内では機械的性質に及ぼす影響は大きくな いと考えられる。

図 9 に各実験水準における引張試験後の破断面 の二次電子像を示す。低倍率像ではいずれの水準 でも矢印で示すデンドライト状の凝固収縮に伴う引 け巣が観察される。鋳込温度 750℃, B 号試験片及 び C 号試験片の各水準,並びに鋳込温度 720℃, B 号試験片の脱ガスありの高倍率像よりディンプル破 面が観察される。このことからこれらの試料では延性 破壊が支配的であると考えられる。一方,鋳込温度 720℃,脱ガスありの高倍率像では、粒界破面が観 察されたことから脆性破壊が支配的であると考えられ, この結果は引張試験における伸び及び引張強さの 値と良い一致を示した。また、鋳込温度 720℃,脱ガ スなしにおいて脆性破面が観察された要因としては、 溶解時に空気中の水分を吸収した影響で水素ガス が溶存し、水素が固溶状態で存在したことによる水 素脆化であると推測されるが 4,さらなる調査が必要 である。



図7 各試料の引張試験結果 (脱ガス及び微細化剤添加は、処理を行ったものを〇,行っていないものを×で表示)



図8 鋳込温度 750℃, B 号試験片におけるサブミクロンフォーカス X 線 CT に より算出した欠陥体積率と機械的性質((a)引張強さ, (b)伸び)との関係

山形県工業技術センター報告 No.49(2017)



図9 引張試験後の破断面の二次電子像 (脱ガス及び微細化剤添加は,処理を行ったものを〇,行っていないものを×で表示)

4 結 言

AC7A (Al-Mg 系合金鋳物)を種々の条件で鋳造し,金属組織,内部欠陥,及び機械的性質を評価し以下のことが分かった。

- 1) 微細化剤の添加により結晶粒が微細化する。
- 2) 鋳込温度, 鋳型寸法, 脱ガス処理が結晶粒径に 与える影響は大きくない。
- 3) 脱ガス処理や微細化剤添加の条件を変えても 無数の引け巣が見られる。
- 4) いずれの鋳造条件においても硬さに大きな変 化は見られない。
- 5) 鋳込温度, 鋳型寸法によらず, 脱ガス処理と微

細化剤添加を複合して行うことで引張強さ及び伸びが向上する。

文 献

- 1) 茂木徹一, 大野篤美: 軽金属, 31(6) (1980) 415.
- 3) 齋藤壱実,藤野知樹,松木俊朗:山形県工業技 術センター報告, No.47(2015) 43.
- 4) 大西忠一: 軽金属, Vol.39, No.3(1989) 241.

エポキシ樹脂系塗料の低温硬化性向上

大津加慎教 江部憲一 後藤喜一

Improvement of Epoxy Resin Coating Curability at Low-temperature

Yoshikazu OHTSUKA

Kenich EBE Kiichi GOTO

1 緒 言

本県では,設備機器や農業用機械等の大型製品 の塗装が多く行われている。これらにはエポキシ 樹脂系塗料が広く用いられているが,気温が低い 寒冷期には硬化が著しく遅くなるという特性が ある。塗装現場では暖房設備を備えることが困難 である場合が殆どである。ヒーターでの加温によ り硬化を促進する場合もあるが,異物付着,結露 による外観不良や二酸化炭素による硬化阻害の 問題が起こる。冬季の硬化には7日間以上を要す るものもあり,外観不良の低減と納期の短縮が併 せて求められている。そこで,高額な付帯設備の 導入が不要でかつ簡便に実施可能な硬化促進剤 の添加によって低温硬化性に優れかつ塗膜性能 を良好にする技術開発を行った。

2 実験方法

2.1 塗料

試験用の塗料には市販の2液混合型のエポキシ 樹脂系塗料を用いた。硬化剤種は広く用いられて いるポリアミドアミン系と変成脂肪族ポリアミン 系の2種とした。

2.2 硬化促進剂

塩基性および酸性のものを用いた。略称および 化学構造式を表1に示す。

2.3 配合

エポキシ主剤と硬化促進剤を添加したアミン系 硬化剤とを指定の重量比で配合し、専用シンナー を用いて固形分が 45w%となるように希釈した。 硬化促進剤は硬化剤成分に対して phr 単位で添加 した。

2.4 5℃での硬化性評価

JIS K 5600-1-4:2004に規定のぶりき板(STPE, 100×200×0.5mm)に wet 膜厚が 125µm となる ようにブレードコーターで塗料を塗布した。5℃の

【平成27~28年度 環境・エネルギー関連技術研究開発事業】

恒温槽内で静置して所定時間で取り出し,23℃の 恒温室に10分間放置したものを試験片とし,JIS K 5600-5-4:1999 での引っかき硬度(手かき法)に より評価した。鉛筆は三菱鉛筆(株)製 Hi-uni を用 いた。

2.5 密着性評価

上記と同じ試験片に対して JIS K 5600-5-6 :1999に規定の 2mm 角 25 マスでのクロスカット 法により評価した。感圧付着テープはニチバン (株)製の CT405-AP18(付着強さ 3.94N/10mm)を 用いた。

2.6 耐摩耗性評価

上記と同じ条件で塗布した試験片に対して JIS K 5600-5-9:1999 に規定のテーバー摩耗試験機に より評価した。摩耗輪 CS-18 を用いた 9.8N 荷重 条件で 1000 回転での比較を行った。

式

略称	化学構造式
DMP	$HO \xrightarrow{CH_2N(CH_3)_2} -CH_2N(CH_3)_2$ $HO \xrightarrow{CH_2N(CH_3)_2} -CH_2N(CH_3)_2$
DBU	
EP :n=2 PTBT:n=4 PTAP:n=5	HO-C _n H _{2n+1}
SA	но
PR	но

2.7 エポキシ基の反応率評価

DSC用の測定アルミパンに塗料約 10mgを採取 した。5℃および 23℃で静置したものを所定時間 後に 10℃/分の速度で昇温し単位重量当たりの発 熱量を測定した。反応率は式(1)で計算した¹⁾。装 置は(株)Perkin-Elmer 製の DSC-8500 を用いた。

反応率(%) = { $(H_0 - H_t) / H_0$ } × 100 … 式(1)

H₀: 混合後の単位重量当たりの発熱量

H_t: 所定時間硬化後の単位重量当たりの発熱量

2.8 活性化エネルギー評価

DSC用の測定アルミパンに塗料約10mgを採取 し、減圧して揮発成分を除去後 5℃/分,10℃/分お よび 20℃/分の速度で昇温して発熱ピーク値を観 察した。昇温速度の対数と発熱ピーク値の逆数を プロットしたグラフの傾きから活性化エネルギー を求めた²⁰。

2.9 耐水白化性評価

JIS K 5600-1-4:2004に規定のぶりき板(STPE, 100×200×0.5mm)に wet 膜厚が 125µm となる ようにブレードコーターで塗料を塗布した。5℃の 煮沸済みの蒸留水を所定時間後に塗膜上に滴下し, 自然乾燥後の塗膜の色相の変化を目視で評価した。

2.10 耐塩水噴霧性評価

JIS K 5600-1-4:2004 に規定のダル仕上げ冷間 圧延鋼板(SPCC, 50×150×0.8mm)を脱脂後に No.240 のサンドペーパーで研磨処理し, No.75 の バーコーターで塗料を 2 回塗布した。所定条件で 硬化した塗膜にカッターで垂直方向にスクラッチ を入れ JIS K 5600-7-1:1999 に準じて 72 時間試 験を行った。

3 実験結果および考察

3.1 硬化促進剤未添加系の硬化性評価結果

硬化促進剤を使用しない系の5℃および23℃での経時の鉛筆硬度を図1に示す。ポリアミドアミン系および変成脂肪族ポリアミン系の両硬化系共に、5℃では硬化が遅くなっている。5℃で168時間経過した際の塗膜硬度は4BからBないし2B程度であり、23℃で硬化した際の硬度と比べても24時間未満時程度の硬度にしか達していないことが判る。また、ポリアミドアミン系が変成脂肪族ポリアミン系よりも硬化が遅くなっている。こ

れはアミノ基の求核性の差異にも起因していると 考えられる。

3.2 硬化促進剤添加系の硬化性評価結果

表1に示した硬化促進剤をポリアミドアミン硬 化剤に対して 3phr 添加した塗料系の 5℃での硬 化性を評価した結果を図2に示す。促進効果が最 も高いのは DMP であった。強塩基である DBU は未添加系と同じ硬度しか得られなかった。フェ ノール性酸性化合物 EP, PTBP, PTAP および PR は水酸基当量が小さいほど促進効果が高くな った。SA は 168 時間で未添加系よりも硬度が低 い結果となった。SA のカルボキシル基が硬化剤中 のアミンと塩を形成したために、硬化活性が低下 したためとも考えられる。

DMP および PR の添加量を 10phr まで変化さ せた系での試験結果を図3に示す。DMP 系では 添加量が増えるに従い硬化促進効果が大きくなっ ていく傾向が観察された。



図1 硬化促進剤未添加系の硬化性評価結果
 ●:5℃ポリアミドアミン系,○:23℃ポリア
 ミドアミン系,▲:5℃変成脂肪族ポリアミン系,
 △:23℃変成脂肪族ポリアミン系





- 41 -



DMP を 5phr 以上添加した系では, 168 時間 で HB まで硬度が上昇した。PR 系でも添加量の 影響は認められたが, 168 時間でも硬度は 2B な いし 3B 程度までしか上昇しなかった。

DMP5phr と PR2phr とを併用した際の評価結 果を図 4 に示す。120 時間で HB, 168 時間で F まで硬度が上昇した。DMP10phr を単独で使用し た際よりも少ない添加量で高い促進効果が確認さ れた。







硬化促進剤を使用した場合の遷移状態予想図を 図5に示す。塩基性のジメチルアミノ基をもつ硬 化促進剤を使用した場合には、窒素の非共有電子 対とオキシラン環炭素との相互作用、酸性の水酸 基をもつ硬化促進剤を使用した場合には、水素と オキシラン環酸素との相互作用が介在して開環反 応が進行すると考えられる。塩基性と酸性の硬化 促進剤を併用することで、相加的に促進効果が働 いたためと推測される。



図5 硬化促進剤併用時の遷移状態予想図

3.3 密着性評価結果

変成脂肪族ポリアミン系硬化剤に DMP5phr, PR3phr ならびに DMP5phr と PR2phr とを併用 した系について,経時で 2mm 角 25 マスのクロス カット法で評価した際の密着残数を表 2 に示す。 DMP5phr と PR2phr とを併用した系では 5℃で 72 時間硬化時でもまったく損傷がなく,硬化促進 剤をそれぞれ単独で使用した際よりも密着性の向 上が確認された。架橋反応が促進されたことで塗 膜の強度も向上したためと考えられる。

PR を用いた系では, 72 時間以降では硬化促進 剤を無添加で 23℃で硬化した際よりも密着性が 向上している。これは PR がタッキファイヤ様の 作用をしたものと推測される。ポリアミドアミン 系でも同様に評価を行ったが, 72 時間以降はいず れの系においても密着残数は 25 マスと密着性は 良好であった。

	23°C	5° C				
硬化時間 h	無添加	無添加	DMP	PR 2mhr	DMP 5phr +	
			ophr	3phr	PR 2phr	
24	24	-	-	-	-	
72	21	0	9	23	25	
120	17	0	8	25	25	
168	20	0	22	25	25	

表2 密着性評価結果

2mm 角 25 マスでの密着残数。-: 未評価。

3.4 耐摩耗性評価

ポリアミドアミン系硬化剤に硬化促進剤を無添 加で 23℃および 5℃で硬化した系ならびに DMP5phr と PR2phr とを併用して添加し 5℃で 硬化させた系での 72 時間, 120 時間および 168 時間でのテーバー摩耗試験による重量減少量を図 6に示す。硬化促進剤を添加せずに 5℃で硬化した 系では, 168 時間硬化したものでも 1000 回転で は素地が露出するまで塗膜が減耗した。硬化促進 剤を添加した系では 72 時間では素地が露出する まで塗膜が減耗したが, 120 時間以降では硬化促 進剤が無添加で 23℃硬化した系とほぼ同等の重 量減少量を示した。





3.5 エポキシ基の反応率評価

ポリアミドアミン系および変成脂肪族ポリアミ ン系の 5°Cおよび 23°Cならびにそれぞれ DMP5phr と PR2phr とを併用した系について DSC で反応率を評価した結果を図7に示す。ポリ アミドアミン系は 5°Cでは 24 時間で 25%程度の 反応率であり、徐々に反応が進行するのが確認で きた。DMP5phr と PR2phr とを併用すると、23°C で硬化した系とほぼ同等の反応率となった。 変成脂肪族ポリアミン系の 5℃での反応率は, DMP5phrとPR2phrとを併用すると10から20% 程度高くなった。



図7 エポキシ基の反応率評価

(a) ポリアミドアミン系, (b) 変成脂肪族ポリア ミン系

●:23℃ 未添加,〇:5℃ 未添加,□:5℃ DMP 5phr + PR 2phr

3.6 活性化エネルギー評価

DSC にて昇温速度を 5℃/分,10℃/分および 20℃/分とした際の発熱特性を取得した。ポリアミ ドアミン系では複数の発熱ピークが確認され、反 応形態が単一ではないことが確認された。発熱特 性プロファイルから最初、中間ならびに最後で現 れる発熱ピークの温度を読み取った。各反応での ピーク温度に対応する素反応状態は等しいと仮定 して一般化時間と見なし、非定温での等速加熱時 の積分指数関数の近似式から1次関数を得た。こ の関数を元に昇温速度の対数と発熱ピーク値の絶 対温度の逆数をプロットした傾きから素反応の活 性化エネルギーを算出した。昇温速度と発熱ピー クの関係をプロットしたグラフを図8に示す。



(a) 未添加, (b) DMP 5phr + PR 2phr

●:最初のピーク,○:中間ピーク,□:最後のピ
 ーク

硬化促進剤を添加したことで活性化エネルギー は初期のピークで 32.8kJ/mol から 20.8 kJ/mol, 中間ピークでは 48.5 kJ/mol から 39.1 kJ/mol, 最 後のピークでは 72.2 kJ/mol から 68.4 kJ/mol へ と低下した。反応の後期のピークほど活性化エネ ルギーの低下率が小さくなっているのは,初期の ピークに対応する反応は比較的に立体障害が小さ い1級アミノ基が関与し,反応の後期ピークの反 応はより立体障害の大きな 2 級アミノ基の反応が 主となるためと思われる。

3.7 耐水白化性評価

ポリアミドアミン系について硬化促進剤を使用 しないで 5℃および 23℃で硬化した系ならびに 5℃で DMP5phr と PR2phr とを併用した系につ いて,経時での水白化の度合いを図9に示す。5℃ で硬化促進剤が未添加の系では、72時間から 168 時間硬化したものでほぼ差異はなく水白化が観察 されたが,硬化促進剤を添加した系では水白化は 小さくなり、168時間では 23℃で硬化したものと ほぼ同等となった。



3.8 耐塩水噴霧性評価

硬化促進剤未添加のものを 23℃で 168 時間, 5℃で 120 時間および DMP5phr と PR2phr とを 併用したものを 5℃で 120 時間硬化した試験片に ついて,塗面に垂直にスクラッチを入れ連続条件 で 72 時間の塩水噴霧試験を行った。試験後の写真 を図 10 に示す。5℃で硬化した硬化促進剤未添加 のもの(b)はスクラッチ近傍に 2mm 程度のふくれ が観察された。DMP5phr と PR2phr とを併用し 5℃で 120 時間硬化したもの(c)ではふくれの大き さは 1mm 未満であった。硬化促進剤の添加効果 によって反応率が上昇し塗膜性能が向上している ことに加え,密着性が向上した効果によってはが れの進展が抑制されたものと推測される。また, スクラッチ部以外の塗膜外観については異常は観 察されなかった。





- (a) 硬化促進剤未添加, 23℃168 時間硬化
- (b) 硬化促進剤未添加, 5℃120 時間硬化
- (c) DMP5phr+PR2phr 添加, 5℃120 時間硬化

- 44 -

4 結 言

エポキシ樹脂系塗料に対して DMP と PR とを 併用することで、それぞれ単独で使用したものよ りも低温での硬化性と塗膜特性が向上すること が確認された。ポリアミドアミン系については、 硬化促進剤を使用しないで 5℃で硬化した際には 120 時間で 4B、168 時間で 5B の硬度しか得られ なかったものが、硬化促進剤として DMP5phr と PR2phr とを併用すると 120 時間で HB、168 時 間で F まで硬度が上昇した。DSC での反応率評価 でも 23℃で硬化した際と同等の値が得られた。テ ーバー摩耗試験では 120 時間硬化後には 23℃で 硬化したものと同等の耐摩耗性が得られた。耐水 自化性ならびに耐塩水噴霧性も 23℃硬化条件の ものと同等以上の性能が得られた。

文 献

- JIS K 7148-1 プラスチック-エポキシ樹脂-示 差走査熱量測定(DSC)による硬化度の測定法 (2015) (ISO 14322 : 2012).
- 2) 小澤丈夫 : 熱測定, No.31, 2004, p152.

新型水質測定機器におけるデザイン手法の適用

木川喜裕 羽生田光雄 月本久美子 大場智博 大石拓也* 岡田裕樹* 磯部学* 森岡洋介*

Application of Design Method for New Water Quality Measurement Equipment

Yoshihiro KIKAWA Mitsuo HANYUDA Kumiko TSUKIMOTO Tomohiro OHBA Takuya OOISHI* Hiroki OKADA* Manabu ISOBE* Yosuke MORIOKA*

1 緒 言

現在,河川で採取した環境水等は,施設に持ち 帰り測定を行っている。採取してから測定までに 時間がかかると取り扱いが難しくなるため,現場 ですぐに測定したいという潜在的なニーズが考え られる。

テクノ・モリオカ株式会社は水関連測定機器を 開発・製造しており、新しい技術開発により水質 測定の指標の一つである TOC (全有機炭素) につ いて、水質測定時間の短縮と測定機器のコンパク ト化を実現した。この技術により、可搬型の新型 TOC 計(図1)を開発することで、ユーザーに対 して新しい使い方が提案でき、新しい市場を開拓 できると考えた。

製品開発を行う上で一番の課題としていたのは, 自社内に製品化に向けたデザイン手法のノウハウ が不足していたことであった。そこで,平成 29 年度中の製品化と製品開発におけるデザイン手法 を習得する目的で,当センターの共同研究事業を 活用し,TOC計の機器本体と操作系機器の開発に 取り組んだ。

なお,ここでいう「デザイン」とは,モノの色 や形だけでなく,課題解決のために計画を立て,



図1 デザイン手法を適用する前の試作品 (本体・操作系機器)

いろいろと創意工夫をする行為のことである。

2 開発方法

本開発では、製品開発におけるデザイン手法と して、1.作業計画、2.基本デザイン、3.実施デザイ ンの順に開発を推進した。各工程において、様々 な手法を活用したラピッドプロトタイピング、ビ ジュアル化を重視し、開発メンバー内での情報の 共有、課題の早期発見等の効果を実証しながら行 った。

3 開発内容

3.1 作業計画

作業計画とは、製品化に向けた課題解決のため に、開発前に立てる計画のことである。目標とす る発売時期に向けて、逆算した開発スケジュール を立て、いつまでにどのような課題を解決したら 良いのかを作業計画書としてまとめた。顔を合わ せて情報共有や課題解決を行う検討会は毎月一回 行い、作業計画と進捗状況を確認しながら進めた。 また作業計画とともに、訴求すべき製品特徴や、 環境水を現場で採取する際の手順、製品に内蔵す る部品や機能等の現状確認を行い、開発メンバー 内で共有した。

3.2 基本デザイン

基本デザインでは、市場やユーザーを想定し、 開発を目指している製品のコンセプトを決めた。 これまで開発し製品化してきた自社ブランド Sensing eye シリーズと製品イメージの統一性を 図りながら、製品コンセプトの検討を行った。決 定された製品コンセプトの中心である「シンプル &クリーン」は、周りの機器や環境と調和する製 品仕様を目指したものである。初めて使う方でも 操作しやすいシンプルな操作性や,水質を計測す る機器として清潔で安全に使用するための配慮等, 製品コンセプトに基づいた開発キーワードを創出 し開発を進めた。

3.3 実施デザイン(本体)

この「シンプル&クリーン」の製品コンセプト を基に、スケッチによるアイデア展開を行った。 また、創出されたアイデアを立体物として確認す るために、ラピッドプロトタイピング技術を活用 し、スチレンボードを使用した原寸大の簡易モデ ルを製作し検討を行った(図2)。原寸大の簡易モ デルを製作することで、検討会の場で使い勝手を 検証することや、図面やスケッチでは気付けなか ったところを開発メンバーが直感的に感じ取るこ とができた(図3)。例えば、思ったよりもネジが 多く、製造時の組み立て工数がかかることや、模 擬操作による消耗品交換時の使い易さである。改 善策では、組み立てがし易いようにネジを極力少 なくし、消耗品が取り換え易い部品構成にした方 が良い等の検討を行った。

これまでに行ってきた製品開発では,製品に近 い材料や仕上がりで試作品を製作していたため, これらの気付きを得るまで開発時間と試作コスト がかかっていた。簡易モデルを製作することで, 開発時間と試作コストを大幅に削減できたほか, 課題の早期発見や開発メンバー内で製品イメージ を共有しながら開発を進めることができた。

3.4 実施デザイン(操作系機器)

操作系機器とは、TOC 計本体を操作するもので ある。ユーザーが手持ちのノート PC やタブレッ トに専用アプリをインストールし、TOC 計本体の 操作を行う。このアプリ開発でも製品コンセプト に基づき、初めて使う人でも操作しやすいシンプ ルな操作性を目指し、文字だけではなくアイコン も表示することで、直感的に操作ができるように 配慮した。このアイコンの意匠は、市場にあるア イコンの調査・分析を行った上で、操作の意味を シンプルに表現するものを作成した。開発では、 デモ用タブレットに作成中の操作画面を表示させ て操作性を検討すると共に、想定している画面の 最小サイズである8インチ画面でも操作がしやす い視認性を確保した操作画面に仕上げた。

3.5 製品仕様・ユーザーインターフェースの確 定

本開発の結果,デザイン手法により TOC 計の 新たな使い方を提案できる製品仕様とユーザーイ ンターフェースを確定することができた(図 4)。 続いて試作品によるユーザー評価を実施し,試用 者からは「操作が簡単でとても使いやすい」と高 い評価を得ることができた。評価結果を踏まえ, 平成 29 年 6 月から自社ブランド Sensing eye シ リーズ製品として販売を開始した。



図2 原寸大の簡易モデル2例



図3 検討会の様子



図4 デザイン手法による開発後の製品仕様 (本体・操作系機器)

3.6 デザイン手法まとめ

本開発で行った新規の市場や顧客を想定したデ ザイン手法を以下にまとめる(図5)。

①課題設定と仮説

新製品開発を行う上で,現在の市場や顧客に対 しての課題を設定し,新たな市場はどういったと ころか等の仮説を立てる。

②作業計画書の作成

目標とする発売時期に向けて、いつまでにどの

ような製品化に向けての課題を解決したら良いの かを作業計画書としてまとめる。

③開発要件の共有

訴求すべき新製品の特徴や課題を整理し、開発 メンバー内で共有する。

④製品コンセプトの立案

これまで開発を終えた自社製品と製品イメージ の統一性を図りながら,新たな市場やユーザーを 想定した製品のコンセプトを決める。

⑤開発キーワードの創出

製品開発を行う際の具体的なキーワード(テーマ)を決める。

⑥アイデア展開

製品コンセプトや開発キーワードを基に,スケ ッチ等の可視化により新製品のアイデア展開を行 う。

⑦簡易モデルの作成

創出されたアイデアを立体物として確認するた めに、ラピッドプロトタイピング技術を活用し、 原寸大の簡易モデルを作成する。

⑧有効性の検証

簡易モデルを使用し, ユーザーになりきり有効

性を検証する。(一般的に「ペルソナ手法」と呼ば れている。)⑦と⑧を迅速に繰り返し行うことで課 題を解決し,製品仕様を磨き上げていく。(一般的 に「アジャイル型開発」と呼ばれている。)

新しい市場や顧客を想定した新製品開発では, ①~⑧の順に開発を進め,製品仕様を決定する。 決定された製品仕様で,動作が可能な試作品を製 作し,想定しているユーザーに対して評価を実施 する。ユーザー評価で高評価を得た場合は,製品 化に向けての詳細設計へと進むが,評価が悪かっ た場合は,その要因を明らかにする必要がある。

従来は、想定しているユーザーの顕在的なニー ズに対して技術開発を行い、新製品開発を行うこ とが多かったが、これからは新たな市場を自ら創 り出していく必要がある。しかしながら、自社に 強みもない市場に踏み込むのは、リスクが大きく すべきではない。自社の強み(シーズ)を活かし て、ユーザーの潜在的なニーズを浮かび出すため には、現在の市場や顧客に対しての課題を設定し、 新たな市場に対しての仮説を立てる必要がある。 このような仮説を迅速に検証するために、本開発 で行ったデザイン手法による開発が適切である。

4 結 言

本開発では、以下の成果を得ることができた。

- 新型水質測定機器の製品仕様を確定し、短期間 での製品化に結び付いた。
- 新規の市場や顧客を想定したデザイン手法が 新製品開発に有効であることを確認した。



図5 新規の市場や顧客を想定したデザイン手法の概念図

麹菌を利用した大豆発酵食品の開発

飛塚幸喜 対馬里美 城祥子

Development of Soybean Foods Using Koji

Koki TOBITSUKA Satomi TSUSHIMA Sachiko SHIRO

1 緒 言

日本では古くから様々な発酵食品が造られてき たが、その独特の深みある味わいや健康機能性な どが再評価され、近年注目度が高まっている。

日頃, 馴染み深い多くの伝統的発酵食品(味噌, 醤油, 清酒, 焼酎, 穀物酢, 味醂など)の製造に は麹菌が利用されている。これらのうち味噌, 醤 油では麹菌が生産するタンパク質分解酵素が大豆 タンパク質に作用して,うま味の基となる遊離ア ミノ酸やペプチドが生成する。味噌や醤油はタン パク質が多く含まれ栄養的に優れた食品であるも のの高塩分なため,その用途や摂取量が限られる。 そこで我々は食塩を添加せずに大豆に麹菌の酵素 を作用させた食品の開発を試みいくつかの試験を 行った。

本報告では、米麹を加熱処理した際の微生物数 と酵素活性の変化ならびに大豆(エダマメ)と米 麹を原料に用いて製造したペースト状食品の性状 について、いくつかの基礎的なデータを紹介する。

2 実験方法

2.1 米麹の加熱処理

市販の米麹をガラスシャーレ(直径 90mm)に 30g採取し,送風式乾燥機で 40℃,2時間乾燥さ せた後,80,90または 100℃で 1~3時間加熱し た。

2.2 微生物数の測定

日水製薬株式会社製コンパクトドライ「ニッス イ」TC, YM および EC を使用して得られた値を, 一般生菌数,カビ・酵母数,大腸菌群数,大腸菌 数とした。

2.3 酸性カルボキシペプチダーゼ活性測定

キッコーマンバイオケミファ株式会社製の酸性 カルボキシペプチダーゼ測定キットを用いた。

2.4 窒素分解率

納豆試験法1)に従い、試料に含まれる全窒素

【平成 26~28 年度 やまがたフードセンシング活用事業】

(ケルダール法による)に対するホルモール窒素 の割合(%)を窒素分解率とした。

2.5 栄養成分分析

栄養五成分の分析は常法に従い,水分には 130℃常圧加熱・直接法,タンパク質にはケルダ ール法,脂質にはクロロホルム-メタノール混液 抽出法を適用した。

3 実験結果および考察

3.1 米麹の加熱と微生物数および酵素活性の 変化

本研究では主な原材料の1つとして米麹を用い るが、製造工程ならびに最終製品の微生物的安定 性を考慮すると、これに含まれる微生物は少ない ことが望ましい。試みに県内企業に製造委託した 米麹と市販の米麹を分析したところ、ともに1g 中に10⁷オーダーの一般生菌が検出されたため、 米麹の加熱処理による減菌の可能性を探ることと した。そこで種々の条件で米麹を加熱した際の微 生物数の変化ならびに酵素活性の残存率について 検討を行った。なお麹菌が生産するタンパク質分 解酵素の一つである酸性カルボキシペプチダーゼ

(以下 ACP)を酵素活性の指標とした。

種々の条件で加熱した米麹に含まれる一般生菌 数を表1に、ACP活性を表2に示した。なお加熱 処理前の米麹の一般生菌数は 1.6×10⁷ CFU/g、 ACP活性は6350 U/gであった。80℃では2時間、 90℃では1時間の加熱で米麹の一般生菌数は1 g あたり 10³オーダーとなり加熱前の約1万分の1 に減少した。この時の米麹単位重量あたりのACP 活性は80℃、2時間の加熱で加熱前の約72%、 90℃、1時間の加熱では加熱前の約99%であった。 100℃、1時間の加熱では加熱前の約99%であった。 100℃、1時間の加熱では加熱前の約99%であった。 した。ACP活性の残存率には、米麹の乾燥(=重 量の減少)による見かけの増加分も含まれるが、 米麹を適当な条件で加熱処理することで酵素活性 を大きく損なうことなく微生物数を大きく低減で きることがわかった。なお米麹の減菌処理による 製品品質への影響(保存性の向上など)について は今後の検討課題としたい。

3.2 エダマメと米麹を原料とした食品の試作

本研究ではエダマメ,米麹,水をペースト状に して酵素反応させた食品を考案して試作した(図 1)。そのまま食べるか,または牛乳などで割って スープ状にして食べることを想定している。酵素 反応は比較的穏やかな条件下で行うため,温度条 件によっては反応中に微生物が増殖する可能性が ある。そこで 50,55 または 60℃で 1~5 時間酵 素反応させた際の主な微生物数の変化を調べた

(表 3)。

一般生菌数については、50℃では 1~3 時間の
 反応で一桁減少するものの5時間後には大きく増加、55℃では 1~3 時間の反応で二桁減少するも

表1 各種条件で加熱した米麹の一般生菌数*

	1h	2h	3h
80°C	9.7×10^{4}	3.5×10^3	1.8×10^{3}
90°C	2.3×10^{3}	< 300	< 300
100°C	< 300	< 300	< 300

* CFU/g

表3 反応温度と微生物数*の変化

		0h	1h	3h	5h
	一般生菌	4.4×10^{6}	4.0×10^{5}	8.0×10^{5}	$> 10^{7}$
FO°C	カビ・酵母	2.9×10^{5}	4.0×10^{2}	2.0×10^{2}	N.D.
50 C	大腸菌群	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	大腸菌	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	一般生菌	1.1×10^{6}	7.2×10^4	6.6×10^4	1.3×10^{5}
EE°C	カビ・酵母	5.0×10^4	N.D.	N.D.	N.D.
99 C	大腸菌群	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	大腸菌	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	一般生菌	2.0×10^{6}	8.1×10^{4}	8.8×10^{4}	N.D.
co°C	カビ・酵母	6.0×10^4	N.D.	N.D.	N.D.
60 C	大腸菌群	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	大腸菌	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

* CFU/g

表2 各種条件で加熱した米麹の ACP 活性*

	1h	2h	3h
0000	4700	4580	4390
80 C	(74%**)	(72%)	(69%)
0000	6280	3350	3920
90 C	(99%)	(53%)	(62%)
100%	4800	2470	1900
100°C	(76%)	(39%)	(30%)

* U/g

**加熱前の活性に対する割合



図1 試作した食品

表4 試作食品の栄養成分*

水分	61.4			
タンパク質	5.8			
脂質	6.0			
炭水化物	26.2			
灰 分	0.6			
*g/100g				



図2 試作食品の遊離アミノ酸量 (酵素反応前後の比較,相対量)

表5 黒麹をフレンドした試作食品の性状

	酸度*	pН	酸味
黄麹 100%	0.25	6.1	ほとんど無し
黄麹 50% + 黒麹 50%	0.77	4.7	やや強い
黒麹 100%	1.11	4.3	かなり強い

*g/100g(クエン酸換算)

のの5時間後にはやや増加に転じ,60℃では1~3 時間の反応で二桁減少し5時間後には不検出となった。カビ,酵母については、全ての温度で時間 の経過と共に減少し、50℃では5時間、55および 60℃では1時間以降は不検出となった。大腸菌お よび大腸菌群については全ての試験区で不検出で あった。以上の結果から、反応中の微生物的安定 性の面からは、概ね55℃以上の反応温度が適当と 思われた。

試作食品の主な栄養成分を表4に示した。試作 食品の三大栄養素含量はタンパク質が5.8%,炭 水化物が26.2%,脂質が6.0%で,牛乳と比べて タンパク質が約1.8倍,炭水化物が約5.5倍含ま れる栄養豊富なものとなった。100gあたりのエ ネルギーは182kcalである。これを官能評価した ところ,エダマメの香味と米麹由来の甘味があり 好ましいものであった。

試作食品の窒素分解率は酵素反応させることに より反応前の約 1.7 倍に上昇し,多くの遊離アミ ノ酸が数倍程度に増加した(図 2)。これは米麹由 来のタンパク質分解酵素で大豆タンパク質が加水 分解されたことによるもので,消化吸収性が向上 したと捉えることもできる。またタンパク質分解 酵素の働きで生成する遊離アミノ酸やペプチドは, 試作食品の旨味にも寄与しているものと考えられ る。大豆成分を麹の酵素で分解した類似の食品は 少なく,本研究はユニークな食品開発に結びつく と考えている。

次に麹菌の種類を変えることによる酸味のコン トロールについて検討した。清酒,味噌,醤油お よび甘酒などに使われる黄麹菌とは異なり,焼酎 などに使われる黒麹菌は多量のクエン酸を生産す る性質がある。そこで黒麹菌で調製した米麹をブ レンドすることにより酸味の付与を試みた。黄麹 菌の米麹のみで製造した試作食品では酸度が約 0.25 (g/100 g,クエン酸換算),pH 6.1 だったの に対して,黒麹菌の米麹を 50 %ブレンドしたもの では酸度が約 0.77,pH 4.7,黒麹菌の米麹 100 % で製造したものでは酸度が約 1.11,pH 4.3 となっ た(**表**5)。以上のことから,黒麹菌で調製した米 麹をブレンドすることにより酸味料を添加するこ となく酸味をコントロールできることがわかった。

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 米麹を80~100℃で1~2時間加熱することに より、単位重量あたりのACP活性を大きく低 下させることなく一般生菌数を1万分の1程度 に低減することができた。
- 2) エダマメ,米麹および水を均質化して酵素反応 させたペースト状食品を試作した。試作品はタ

ンパク質が 5.8%, 炭水化物が 26.2%, 脂質が 6.0%含まれ栄養豊富なものであった。

- 3) 試作食品の窒素分解率は酵素反応後,約1.7倍 1) 納豆試験法研究会:納豆試験法,光琳,1994, に上昇し,多くの遊離アミノ酸濃度も数倍程度 に増加した。
- 4) 試作食品の米麹(黄麹菌使用)を黒麹菌で調製 した米麹に置き換えることで、酸度をおよそ 0.25~1.11 (g/100 g, クエン酸換算)の範囲 でコントロール可能であった。

文 献

22-24頁

動物行動的手法を用いた味覚評価技法

後藤猛仁 河合崇行* 日下部裕子*

Taste Evaluation Method Using Animal Behavioral Method

Takehito GOTO Takayuki KAWAI* Yuko KUSAKABE*

1 緒 言

日本では醤油の香りが、ヨーロッパではベーコ ンやイワシなどの香りが塩味増強効果を持つと報 告されている。しかし、フランス人を対象に行っ た実験では、醤油の香りに若干の塩味増強効果が あるものの、試験液を口に含んだ際の塩味は、ベ ーコンやイワシなどの香りに比べて非常に弱く評 価されている。このため、香りによる塩味想起や 塩味感覚の強弱は、食経験の影響により生じてい ると考えられた。そこで、動物行動学実験により 甘味増強効果が報告されているバニラと、塩味増 強効果が報告されているベーコン、醤油、味噌の 香りが甘味、塩味と結びつき学習される過程を検 討した。

2 実験方法

2.1 動物飼育

5週齢のC57BL/6系統マウスを購入し、1週間 予備飼育した後実験に供した。ナトリウム制限中 には、ナトリウムを極力含まない餌として、オリ エンタル酵母社製 AIN-93 配合飼料の塩化ナトリ ウムを除いた粉餌を作成し、それに利尿薬スピロ ノラクトンを 300mg/kg となるように添加したも のをナトリウム制限食として与えた。飼養水には 脱イオン水を用いた。マウスは、15×25×10cm の金属性ケージ内で4匹ずつ群飼いにし、庫内温 度 23±1℃,湿度45±5%、6~18時暗期、18~6 時明期の24時間明暗サイクルの飼育倉庫内で維 持した(図1)。純パルプ製の床敷を用い、2~3日 に一度交換した。予備飼育中およびナトリウム制 限準備期間には、水を自由に摂取させた。

2.2 マウスのリックトレーニング

3時間以上絶水させたマウスを 4×15mm の穴 を開けた 12×20×10cm の不透明ポリカーボネー ト製ケージに移して、リック測定装置にセットし た。金属製の玉付吸い口のついた容器に 5% (w/w) スクロース溶液を入れて穴の先から提示し、穴か ら舌を突き出して溶液を飲めるように訓練した。1 ~3日目は舐め始めてから 15分間提示した。4~6 日目は 2% (w/w) スクロース溶液を舐め始めてか ら 30秒提示するセッションを 10回連続で行った。 7日目以降は水と 4% (w/w) スクロース溶液と 0.05mmol/L キニーネ塩酸塩溶液を順に提示し、 味質による摂取の違いが安定して見られるまで繰 り返した。



図1 マウスの飼育管理

2.3 香りと味の結びつき学習

6週齢の C57BL/6 系統マウス 32 匹を 4 群に分け,前者 2 群には味噌香料を,後者 2 群にはバニ ラ香料を添加した 2% (w/w) スクロース水溶液を 定期的に提示した。同時に,各群それぞれにバニ ラ,ベーコン,醤油,味噌の香料を添加した 30mmol/L 食塩水を 3 週間提示して飼育した(表 1)。

表1 各群と提示した香り

群	甘味提示	塩味提示
А	味噌	バニラ
В	味噌	ベーコン
С	バニラ	醤油
D	バニラ	味噌

2.4 リック試験(甘味強度測定)

全てのリック試験(マウスがサンプル溶液を舐める回数を計測する試験)は、図2に示すリック 測定装置を用いて行った。香りによる甘味想起の ための試験には、前日にマウスの餌を抜き、絶食 させて甘味要求性の高い状態にした。リック試験 は、2%(w/w)スクロース水溶液に各群それぞれ 提示した2種類の香料を添加し、提示溶液をマウ スが舐め始めてから10秒間の舐めた回数(リック 数)を測定した。直前に摂取した溶液の影響を小さ くするため、各溶液の間に脱イオン水を提示して 測定した。



図2 リック測定装置

2.5 リック試験(塩味強度測定)

香りによる塩味想起のための試験には、ナトリ ウム制限食を3週間与えながら飼育することで、 塩味要求性の高い状態にした。また、試験前日に マウスに与えていた水を抜き,絶水させた。リッ ク試験は,濃度を変えた食塩水(0, 15, 30, 45, 60mmol/L)と,各群に塩味として学習させた香料 を添加した 30mmol/L 食塩水を用いて 10 秒間行 った。

3 実験結果および考察

図3に、各群それぞれに学習させた2種類の香料を添加した2%(w/w)スクロース水溶液のリック数を示す。全ての群において、甘味と結び付けを試みた香料を添加した2%(w/w)スクロース水溶液の方が、他方よりリック数が多い傾向が見られた。この結果から、A、B群では味噌の香りが、C、D群ではバニラの香りが甘味と結び付いたと考えられる。



(結果は平均±標準偏差で示した)

図4に、A~D 群の香料を添加しない食塩水の リック数と、塩味と結び付けを試みた香料を添加 した食塩水のリック数をそれぞれ示す。塩味とし てバニラ香を学習したA群ではバニラ香を、ベー コン香を添加したB群ではベーコン香を、醤油香 を学習したC群では醤油香を、味噌香を学習した D群では味噌香を添加した食塩水のリック数が、 香料の入っていない食塩水のリック数から得られ た近似線より大きい値を示した。これらの結果か ら、各群それぞれに学習させた香りが塩味と結び つく可能性が示唆された。



4 結 言

本件研修で得られた結果から,マウスを幼少期 から学習させることにより,香りと甘味,香りと 塩味が結びつく可能性があることが示された。さ らに,香りを学習することにより甘味,塩味の増 強する可能性が示された。

トリアセテートの改質による省エネ型染色加工技術の開発

齋藤洋 数馬杏子 向俊弘

Development of an Energy-Saving Dyeing Processing Technology by Reforming of a Triacetate

Hiroshi SAITO Kyoko KAZUMA Toshihiro MUKAI

1 緒 言

米沢織物産地は、トリアセテートを用いた交織布 の生産が多い。その色の選定は、最新の流行色情報 を参考にするため、製織後に染色する後染めとなる ケースが多い。その後染め工程では高温高圧染色が 不可欠となっており、通常の染色よりもエネルギー を多く必要とすることや、経糸と緯糸で2回の染色 工程が必要なこと、さらに、交織する素材が限定さ れるという課題がある。そのため、燃料費や人件費 等のコストアップによる収益圧迫が顕著で、省エネ 省力化を目的とした新しい染色技術が求められてい る。そこでその課題を解決するため、トリアセテー トを改質し、これまで困難であったシルクやウール の交織素材の使用を可能とし、染色工程を1回の低 温常圧染色で完了する染色技術を確立した。

2 実験方法

トリアセテートは、セルロースの3つのOH基を 酢酸基(アセチル基CH₃COO-)に置換しているた めに疎水性の繊維で結晶化度は高い。そのため、染 色は疎水性染料(分散染料)を使用し、高温高圧で染 色する。ここで、高温高圧とは 100℃以上で大気圧 より高いことを示している。トリアセテート交織布 で交織素材が疎水性繊維であるポリエステルならば、 疎水性染料、高温高圧の1回の染色で可能であるが、 交織素材が綿、麻、ナイロン等の親水性繊維の場合 は親水性染料による染色が必要で2回染色を行わな ければならない。

本研究では、親水性繊維(シルク)との交織にお いて、親水性染料のみで染色できるようにトリアセ テートを改質し、親水性染料による1回の低温常圧 染色を可能とする省エネ型染色技術を確立する。具 体的には、図1に示すようにトリアセテートを部分 けん化し、それと逐次にカチオン基を付与、親水性 染料の染料アニオンとの結合を促進させる技術であ る。市販のアセテート(ジアセテート)の酢化度は 約55%となっていることから、市販品の品質を下回 らないように、その値を目標に加工条件を検討した。

酢化度とは、セルロースがどの程度アセテート化 しているかの指標であり、JISL 1013 に規定されて いる方法で測定できる。酢化度によって、ジアセテ ート(一般にはアセテート)、トリアセテートの分類 が定義されている。



図1 トリアセテートの改質加工方法と染着機構

2.1 改質加工(カチオン化加工)

改質加工条件を表1に示す。加工剤の濃度は固定 とし、加工温度及び時間は、加工剤メーカー推奨条 件をベースとしてそれぞれ4水準で行った。

表1 改質加工条件

試料	トリアセテート生地
加工剤	けん化剤 NaOH 15g/l
(混合液)	カチオン化剤 カチオノンKCN 100g/l
温度 (℃)	80, 90, 95, 100
時間 (min)	30, 60, 90, 120

2.2 酢化度の測定

改質加工後の酢化度の測定は、JISL 1013 化学繊 維フィラメント糸試験方法に準拠して行った。

2.3 改質度の測定

改質度, つまりカチオン化の程度は, アセテート 繊維には染着性を示さない親水性染料(酸性染料) を用い, その染着濃度で評価した。染着濃度は, コ ニカミノルタ(株)製分光測色計(CM-3700d)を使用 し, その分光反射率から K/S 値(360~740nm)を求 めた。酸性染料は高い染色堅牢度が要求されること から, 1 分子染料のミリング型と 2 分子染料の 1:2 含金型とし, 色相は C.I. Green 40 (2%owf), 染色 温度はアセテートの上限温度 80℃, 染色時間は 1 時 間, ソーピングは 50℃10 分とした。

2.4 染色堅牢度試験

改質度を測定した試料について,洗濯堅牢度試験 (JISL0844),汗堅牢度試験(JISL0848),摩擦 堅牢度試験(JISL0849)を行った。

2.5 シルク/改質トリアセテート交織布の試作

シルク/改質トリアセテート交織布の製織仕様を 表2に示す。織り組織は、改質トリアセテート繊維 が表に現れ、改質度が目視確認できるように緯朱子 とした。

表2 シルク/改質トリアセテート交織布仕様

	経糸 (シルク)	緯糸 (改質トリアセテート)
繊度(d)	21×4(諸糸)	100×1(無撚)
密度(本/cm)	46	35
織り組織		
4枚緯朱子		

2.6 シルク/改質トリアセテート交織布の染色

シルク/改質トリアセテート交織布の染色処方を **表3**に示す。染料は、染着性の大きい2分子染料の 1:2 含金型とした。シルクと改質トリアセテートの 同色性の観点から、シルクへの染着を抑える必要が あり、染色温度はアセテートの適正染色温度の最低 値70℃とした。また、シルクの促染剤である酸助剤 は不添加とし、非イオン活性剤の均染剤のみ添加し た。

2.7 改質トリアセテートの物理的特性

改質加工前後の物理的特性の変化を比較するため、 初期引張抵抗度試験(JISL1013)を行った。

表3 シルク/改質トリアセテート交織布の 染色処方

染料	2分子染料(1:2含金型)
(色相)	C.I.Red/C.I.Yellow/C.I.Blue 318/161/127
(%owf)	2
均染剤	非イオン活性剤
(%owf)	2
温度 (℃)	70
時間 (min)	60

3 実験結果および考察

3.1 改質加工による酢化度の変化

改質加工温度及び時間と酢化度の関係をそれぞれ 図2,図3に示す。温度上昇及び時間経過に伴いア セチル基が加水分解され、酢化度は減少している。 市販のアセテートの酢化度55%に近似する適正な加 工温度と加工時間は、95℃,90分と考えられる。



図2 改質加工温度と酢化度の関係



3.2 改質度の測定

改質加工温度及び時間と染着濃度の関係をそれぞ れ図4及び図5に示す。未加工に対し9~11倍の染 着濃度差があり、1分子染料と2分子染料では約20% の染着濃度差が認められた。また、前述したように 加工温度の上昇に伴い酢化度は減少するため、改質 が進むものと考えられたが染着濃度は減少した。こ れは、一旦結合したカチオン基が温度上昇により切 断するものと推察した。

従って、改質度から得られた適正加工温度と加工 時間は、80℃、120分と考えられる。



3.3 染色堅牢度試験

2 分子染料(1:2 含金型),80℃,120 分の改質加 工生地の染色堅牢度試験の結果,ドライクリーニン グ,汗,摩擦,いずれの堅牢度も外中衣類の品質基 準(JISL 4107)をクリアーできた(**表 4**)。

3.4 シルク/改質トリアセテート交織布の染色

図6にシルク/改質トリアセテート交織布の染色 布を示す。緯糸の改質トリアセテートはシルク用酸 性染料で染色されているが、未改質のトリアセテー トは染色されていないことがわかる。 シルク/改質トリアセテート交織布の染着機構は, 図7に示すように,図中の染料¹⁾が持つスルホン基

表4 染色堅牢度試験結果

試験項目		変退色	汚染	
			アセテート	綿
ドライ:	クリーニング	4-5 (4)	5 (3-4)	4-5 (3-4)
汗	酸	4 (4)	4-5 (3)	4 (3)
	アルカリ	4 (4)	4-5 (3)	3 (3)
摩擦	乾燥	4-5 (3-4)		
	湿潤		2-3 (2-3)	

()内は品質基準



図6 シルク/改質トリアセテート 交織布の染色布



図7 シルク/改質トリアセテート交織布の 染着機構

- 58 -

と, 改質アセテートに付加したカチオン化剤が持つ アンモニウム基およびシルクのアミノ基が結合する ことにより染着すると考えられる。

3.5 改質トリアセテートの物理的特性

表5に改質加工前後の初期引張抵抗度を示す。初 期引張抵抗度は、ヤング率と同様に糸の硬さを表し ており、加工後は若干柔らかめになることがわかっ た。

表 5	初期引	張抵抗度試驗結果
10		

	初期引張抵抗度 (N/tex)
未加工糸	5.47
加工糸	5.31

4 結 言

トリアセテートの改質による省エネ型染色加工技 術について検討したところ,以下の知見と成果が得 られた。

 トリアセテートのアルカリ加水分解と改質加工 (カチオン化加工)は逐次反応することが分か った。

- 市販アセテートの酢化度 55%に近似する適正改 質加工温度と加工時間は,95℃,90分であった。
- 3) 改質度から得られた適正加工温度と加工時間は、 80℃,120分であったが、90分との差はわずか であり、省エネ重視の観点から加工時間は90分 が妥当である。
- 4) 2 分子染料 (1:2 含金型), 80℃, 120 分の改質
 加工生地の染色堅牢度試験結果は、外中衣類の
 品質基準 (JIS L 4107) をクリアーした。
- 5) 改質トリアセテートは、僅かに柔軟になること が分かった。
- 6)トリアセテートを改質することにより、シルクやウールなどの親水性繊維との交織布の後染めにおいて、親水性染料による1回の低温常圧染色が可能となった。

文 献

 The Society of Dyers and Colourists / The American Association of Textile Chemists and Colorists : Colour Index Second Edition , 3(1956) 3495.

抄録 / 論文発表

Optical Properties of HDPE in Injection Molding and Injection Press Molding for IR System Lenses. Part II : Mold Temperature and Surface Roughness Effects on Injection Molding

R.Kaneda T.Takahashi M.Takiguchi*

M.Hijikata* H.Ito**

International Polymer Processing Vol.32, No.2, pp.237-244 (2017)

An experimental investigation of injection molding was conducted to assess the high infrared radiation (IR) transmittance with an opaque state (low visibility ray (VR) transmittance) necessary for IR system lenses as a target high-density polyethylene (HDPE) IR transmission material. Using a 0.5-mm-thick mold cavity with disk shapes having different surface roughness, an injection molding experiment was conducted while changing only the mold temperature. Results show that when the mold surface roughness became high, the surface roughness of molded parts became high, too. Thereby the IR and VR transmittance were decreased. However. when the mold temperature was high, the influences of the so-called skin-core structure and crystallinity were stronger than the influence of the surface roughness of molded parts. The IR transmittance increased because of the decrease of the skin layer. Furthermore, the VR transmittance decreased because of a simultaneous rise of the crystallinity.

* CHINO Corporation, ** Yamagata University

赤外線透過レンズ用 HDPE 射出成形品 の光学特性 —成形条件と金型表面粗さ の影響—

金田亮 高橋俊広 滝口正康* 土方元治* 伊 藤浩志** 成形加工,第29巻,第3号, pp.90-92 (2017) 赤外線(IR)システムの高密度ポリエチレン (HDPE) 製レンズに要求される,高いIR透 過率と低い可視光線(VR)透過率を同時に得る ことを目的に,成形条件および金型表面粗さを 変化させた射出成形を行い,成形品の表面粗さ, 厚さ,結晶化度および内部構造から透過率を評 価した結果,IR 透過率はスキン層が薄い場合 に上昇し,VR 透過率は結晶化度が高い場合に 低下した。これらの透過率は,金型温度を高く 設定することで同時に得ることができ,表面粗 さの影響は小さくなることが確認できた。 *㈱チノー山形事業所,**山形大学

高性能めっき技術を利用した電着ダイ ヤモンドワイヤーの開発

鈴木庸久 村岡潤一

精密工学会誌83巻09号, pp820-824 (2017) 高性能めっき被膜であるNi-CNT めっき被膜 を用いて,ダイヤモンド電着ワイヤーの高性能 化,長寿命化を目指した取り組みの一部を紹介 した。Ni-CNT めっき被膜の基本特性を示した 後,Ni-CNT めっき被膜を電着ワイヤーの最表 面に配置したNi-CNT 電着ワイヤーによる単結 晶 Si の切断性能を示した。

Deposition of TiC layers on Ni-based composite coatings by pulsed electrical discharging in oil (油中 パルス放電によるニッケル複合めっき 被膜への炭化チタン層の形成) ^{鈴木庸久}

Proceedings of ICPE 2016, C202-8225

油中パルス放電によるTiC被膜の形成において、ニッケル基板の特性が成膜機構に及ぼす影響を明らかにするため、無電解 Ni-P めっき被膜(Ni-P)および電解 Ni めっき被膜(Ni)を被加工物としてTiC 被膜を形成し、処理時間による表面高さ、表面粗さ、膜厚、被膜組成、硬さを評価した。さらに成膜プロセスを考察した。

カーボンナノチューブ複合化による高 温軟化現象を利用した微細金型の形状 創成

鈴木庸久

FORM TECH REVIEW 2016, Vol. 26, pp132-137

Ni-CNT 被膜のナノインプリントによる高温 軟化特性および塑性加工による転写性を示すと ともに,その高温軟化メカニズムを明らかにす るために,CNT 複合化による高温時の硬さ,結 晶構造の変化を示した。

エアブローエ程の空気圧管理へのカン チレバー型ひずみセンサの適用

岩松新之輔 多田伸吾 今野俊介 阿部泰 矢 作徹 加藤睦人

電気学会論文誌E, Vol. 137, No.3, pp84-88 (2017)

圧縮空気は,製造現場において生産設備の制 御・駆動の他,洗浄・乾燥工程など,多岐にわ たる用途で用いられている。一般に圧縮空気の 供給圧は,レギュレータにより一定に管理され るが,開放空間へ吐出させ被加工物へ吹き付け て使用する場合,レギュレータの設定値から任 意の位置での風速や風圧の推定が困難な場合が ある。本研究では,圧縮空気を用いた洗浄・乾 燥工程において,被加工物に印加される圧力を 管理することを目的として,カンチレバー型ひ ずみセンサを用いて,ブロアやエアガンから吐 出する圧縮空気の圧力を直接測定する手法を検 討した。

高感度 a-InGaZnO TFT pH センサのドリ フト制御と Vgs 出力応答

岩松新之輔 阿部泰 今野俊介 加藤睦人 竹 知和重* 田邉浩*

電気学会論文誌E, Vol. 137, No.3, pp89-94 (2017)

アモルファス-インジウム-ガリウム-亜鉛酸 化物(a-InGaZnO)は、スパッタリングにより 室温成膜が可能で、フッ素系ガスへの高い耐性 を示すことから、MEMS プロセスとの親和性が 高く、センサデバイスや MEMS 構造体への応 用が進められている。我々は、a-InGaZnOを活 性層に用いた薄膜トランジスタ(a-InGaZnO TFT)が、従来より LCD 製品に広く用いられ ているアモルファスシリコン TFT に比べて、顕 著なトップゲート効果を示すことを見出し、こ のトップゲート効果を活用した高感度 pH セン サの開発を進めている。本研究では、 a-InGaZnO TFT pH センサを用いて 0.01 以下 の微小 pH 変化を検出することを目的として、 間欠駆動によるドレイン電流のドリフト抑制に ついて検討するとともに、Vgsを出力とした pH 測定手法を確立した。

*Tianma Japan株式会社

混練型WPCの表面劣化における屋外暴露 試験と促進耐候性試験の相関

江部憲一 関野登*

木材保存, Vol. 43, No.4, pp182-195 (2017) 木粉とプラスチックの複合材料である混練 型 WPC (以下, WPC) に対して, 促進耐候性 試験(キセノンランプ法)を実施し、表面劣化 における,屋外暴露試験に対する促進耐候性試 験の促進性および相関性を検討した。促進性お よび相関性は、表面のチョーキング量を指標と し評価した。その結果,促進耐候性試験後に蒸 留水で WPC を超音波洗浄すると、屋外暴露試 験におけるチョーキング量と比較的近い値をと ることが明らかとなった。また促進倍率は、約 7~9であった。さらに、促進耐候性試験片およ び屋外暴露試験片表面劣化層の機器分析結果も 類似しており、キセノンランプ法により屋外で の表面劣化をある程度再現できることが確かめ られた。

*岩手大学農学部

混練型WPCの耐候性と耐候性評価手法 ^{江部憲一}

木材保存, Vol. 43, No.5, pp244-249 (2017)
混練型 WPC (木材・プラスチック成形複合
材) (以下, WPC) は、木粉と熱可塑性樹脂を
溶融混練し、主に押出成形することにより得ら
れる木質材料である。WPC は主に、エクステ
リア部材 (デッキ等) に使用される。エクステ

リア部材には,耐候性に高いレベルが求められ るが,WPC の耐候性に関する報告数は,これ まで少ないのが現状である。そこで本稿では, これまでのWPC の耐候性研究について我々の 研究結果もまじえながら振り返り,表面変色や チョーキング現象,WPC 表面劣化における屋 外暴露試験と促進耐候性試験の相関について解 説した。また,今後の課題についても解説した。

ラッカセイ胚芽の機能性食材として利 用・展望

菅原哲也 五十嵐喜治*

日本生物工学会誌別冊(地域生物資源産業化事 例集), pp.35-37 (2016.11.5)

ラッカセイ(Arachis hypogaea)は、マメ亜 科ラッカセイ属の一年草であり、種子を食用と し、日本では主に豆菓子やチョコレート菓子と して利用されている。ラッカセイ種子は、子葉 と胚芽に大別される。近年、穀類や豆類の胚芽 には種々の生理活性成分が含まれることが報告 されているが、ラッカセイ胚芽に関しては、ほ とんど研究事例がない。また、山形県内企業に おいて、豆菓子製造時に大量のラッカセイ胚芽 が排出されているが、そのほとんどが廃棄され ている。

本研究では、 ラッカセイ胚芽について、メ タボローム解析により、機能性成分および呈味 成分の網羅的な解析を行うとともに、焙煎加工 や麹を利用した発酵処理による代謝物の変動を 解析した。また、 疾患モデル動物による機能評 価を実施し、その生理活性の一部を明らかにし た。さらに、ラッカセイ胚芽を利用した菓子類 等を試作開発し、胚芽ブロックチョコレートは 試験販売されるに至った。

*山形大学農学部

山形県高香気性酵母の開発

長俊広 村岡義之 工藤晋平 石垣浩佳 食品の試験と研究, No.51, pp.52 (2016)

カプロン酸エチルを高生成し、かつ、酢酸エ チルの生成量が少ないバランスの良い山形県 産高香気性酵母の開発に取り組んだ。山形県産 酵母(NF-KA)をエチルメタンスルフォネイ ト(EMS)で変異させ、セルレニン含有 YPD 培地に塗布し、セルレニン耐性酵母 85 株取得 した。取得したセルレニン耐性株を用いて、発 酵試験および a 米を用いた小仕込み試験を実 施した。試験の結果、カプロン酸エチルを高生 産し、かつ、発酵力の高い酵母1株を取得する ことができた。取得した酵母を用いて試験醸造 を実施し、生成酒のきき酒を行ったところ、吟 醸香が高く、香味のバランスがとれた酒質であ った。

セイヨウナシの最適加工条件の開発 - 加工条件による香気成分の変化 -^{対馬里美 飛塚幸喜}

食品の試験と研究, No.51, pp.53 (2016)

ラ・フランスの消費拡大を図るため,フレッ シュな風味や色調を出来るだけ損なわない加工 技術が求められている。そこで新たな加工技術 として,減圧粉砕加工による果実成分の酸化抑 制技術の開発を目指して試験を行った。

ラ・フランスを粉砕した後,加熱殺菌すると 酢酸エステル類やアルコール類などの香気成分 が減少し,アルデヒド類が増加する。これらの 成分変化が香りの劣化要因と推察されるが,減 圧粉砕加工後に加熱すると香気成分の変化が抑 制された。また果実の加工では一般に褐変防止 のため酸化防止剤(ビタミンCなど)を添加す ることが多いが,ラ・フランスを減圧下で加工す る事により酸化防止剤を添加したものと同程度 に褐変が抑制された。

マロラクティック発酵を活用する純米 酒(MLF純米酒)の開発と今後の展望 ^{石垣浩佳}

日本醸造協会誌,第12号,pp.800-806 (2017) マロラクティック発酵 (MLF)とは,ワイン 醸造では一般的な乳酸発酵の技術である。リン ゴ酸が乳酸に代謝されることで味がまろやかに なり,同時に生成する副産物により複雑な香味 がプラスされる。この技術を日本酒の製造工程 に応用し,チーズ料理や洋食にも合う純米酒の 開発を目指した。研究では,製造工程での MLF の簡便性,ジアセチルの抑制,最終的な日本酒 としての風味に重点を置き,最適と思われる酵母と乳酸菌との組み合わせを基に製造方法の検討を行った。小仕込試験から現場レベルでの試験醸造を繰り返した結果,MLFの効果(風味)とジアセチルの低減,純米酒らしい旨味と酸味が再現できる製造方法が確立された。

スラックマーセル化リネンを素材とす るニット製品の試作

平田充弘

繊維機械学会誌, Vol.69, No.10, pp.635-637 (2016)

無緊張下で高濃度アルカリ液に浸漬処理す るスラックマーセル化加工について、リネンの 綛糸とスライバーを用いて取り組み、ニット製 品の試作に取り組んだ。綛糸のスラックマーセ ル化では、番手変動は加工温度に大きく依存し た。マーセル化により、結晶構造はセルロース I型からII型にほぼ移行した。スライバーのマ ーセル化加工は連続処理が必要であり、脱液操 作にパッダーなどで行った。スラックマーセル 化リネン糸の 12 ゲージ1本取り平編生地は、 コース方向の斜行が 4.1%に低減し(未加工 7.9%)、q-max(冷温感評価値)も0.072 W/m² (未加工 0.0068 W/m²)と微増した。

抄録 / 口頭発表

高密度ポリエチレンの射出プレス成形

金田亮 高橋俊広 滝口正康* 土方元治* 伊藤浩志**

プラスチック成形加工学会(2016.10.17)

赤外線透過用高密度ポリエチレン(HDPE) レンズに要求される,高い赤外線(IR)透過率 と低い可視光線(VR)透過率を同時に得ること を目的に,型開き量および遅延時間を変化させ た射出プレス成形を行い,透過率および厚さへ の影響を調査した結果,次の結論を得た。1)透 過率は,成形品表面粗さ Raの影響を受けない。 さらに,プレス条件の違いは,VR 透過率に影 響を及ぼす。2) Raの大きい金型を用いること で,成形品の厚さは均一化される。さらに,型 開き量が一定の場合,遅延時間を長く設定する ことで,厚い成形品が得られる。

*㈱チノー山形事業所, **山形大学

赤外線透過レンズ用 HDPE 薄肉射出成形 品の光学特性

金田亮 高橋俊広 滝口正康* 土方元治* 伊藤浩志**

精密工学会(2017.3.14)

プラスチック成形加工学会(2017.6.15)

赤外線透過用 HDPE レンズに要求される,高 い IR 透過率と低い VR 透過率を同時に得るこ とを目的に、MFR の異なる HDPE を用いた薄 肉射出成形を行った。成形条件,成形品の表面 粗さ、厚さ、結晶化度及び内部構造が IR およ び VR 透過率に及ぼす影響について調査し、得 られた結果は次の通りである。1) MFR が5の 成形品では、金型温度を高く、冷却時間を長く 設定することで、高い IR 透過率と低い VR 透 過率が同時に得られる。2) MFR の異なる HDPE を用いて、同一条件で成形を行った場 合, MFR が最も大きい時に, 分子配向が小さ くなり VR 透過率は減少したが、厚くなったこ とで IR 透過率は減少した。3) 本実験で得られ た表面粗さおよび結晶化度の範囲では、透過率 への影響は確認できなかった。

*㈱チノー山形事業所, **山形大学

レーザープレーティングにおけるめっ き液への添加物の効果

鈴木庸久 村岡潤一

2017年度精密工学会春季大会学術講演会 (2017.3.15)

無電解ニッケルめっきを用いたレーザープ レーティングにおいて、レーザーの波長の影響, さらに、めっき液へのカーボンナノチューブ (CNT)の添加の効果について示した。また、 レーザープレーティングにより局所的な CNT 複合化めっきが可能なことを示した。

狭ピッチコアピン金型用銅タングステン電極の粒径と組成が超音波楕円振動 切削特性に及ぼす影響

小林庸幸 鈴木庸久 齊藤寬史

プラスチック成形加工学会(2016.10.27)

通電焼結法により作製した銅タングステン 電極材料を、単結晶ダイヤモンド切削工具を用 い,超音波楕円振動切削により加工した。楕円 振動の有無、タングステンの粒子径及び組成の 違いが切削特性に及ぼす影響について調べた。 その結果,楕円振動を付与することにより、工 具摩耗が少なく、平滑な加工面および溝の谷部 で明瞭な角隅が得られた。添加元素が同じであ れば、硬さが切削抵抗値(背分力)に最も影響 を与えることがわかった。

電磁型シリコンMEMSレゾネータにおけ る振動特性

渡部善幸 加藤睦人 矢作徹 村上穣 阿部泰 第64回応用物理学会春季学術講演会

 $(2017.3.14 \cdot 17)$

渡部善幸 矢作徹 阿部泰 村山裕紀 第78回応用物理学会秋季学術講演会

(2017.9.5-8)

物理,化学量を目的に応じて選択検出可能な マルチモーダルセンサの実現を目指し,その基 本要素である電磁駆動,誘導検出型シリコン捩 りレゾネータを作製した。デバイスは,シリコ ンチップ,プリント基板,永久磁石の3層構造 で、ガス感応膜を想定した円板がトーションビ ームで周辺に固定されている。円板上の半円弧 状のコイルへの AC 通電で電磁力により振動を 発生させ、別の半円弧状コイルに誘起した誘導 起電力で振動状態を検出した。振動特性をネッ トワークアナライザで評価したところ、共振周 波数が感応膜の除去前後で大きくシフトするこ とから、ガスや温度などの検出が可能であるこ とを示唆することができた。

高感度a-InGaZn0 TFT pHセンサを用いた 微小pH変化の検出

岩松新之輔 竹知和重* 阿部泰 今野俊介 矢作徹 村上穣 加藤睦人 田邉浩* 渡部善 幸

応用物理学会春季学術講演会(2017.3.14)

我々は、インジウム-ガリウム-亜鉛酸化物薄 膜トランジスタ (a-InGaZnO TFT)の pH セン サへの応用を進めている。a-InGaZnO TFT 特 有の現象であるトップゲート効果を活用するこ とで、ネルンスト電位 59 mV/pH を超える高感 度測定を実現し、0.1 ステップの連続的な pH 変化をドレイン電流出力で検出できることを明 らかにしている。また、間欠駆動によるドリフ ト低減に成功し,専用に設計した駆動回路を組 み込んだ pH 測定システムを構築している。一 方で, 0.01 程度の微小 pH 変化への応答につい ては、TFT の高いインピーダンスに起因するノ イズの影響で、精度良い測定が実現できていな い。本研究では、TFT の低インピーダンス化と 検出感度の向上による S/N 比の改善と微小 pH 変化の検出に取り組んだ。

*Tianma Japan 株式会社

MEMS技術を用いた極微細金型作成技術の検討

矢作徹 阿部泰 村上穣 岩松新之輔 加藤睦 人 渡部善幸 小林誠也

プラスチック成形加工学会第 24 回秋季大会成 形加工シンポジア '16 (2016.10.26-27)

自然界には蓮の葉の撥水性や,モルフォ蝶の 青色発色など,微細構造を利用した様々な機能 が存在し,これらを参考にして工業材料の表面 構造による高機能化が求められている。本研究 では、微細加工技術である MEMS プロセスを 金型加工に応用して、機能性を付与する微細金 型の作製と、樹脂への形状転写について検討し た。微細金型は、フォトリソグラフィと反応性 イオンエッチング(D-RIE)を用いて、Si 基板ま たは SiO2 基板を加工することにより作製した。 微細加工した Si 型または SiO2 型を用いて、熱 インプリントにより樹脂フィルムに微細構造を 転写した。転写した樹脂成形品については、形 状の転写性、及び微細構造による撥水性や反射 強度等の機能性を評価した。

インクジェット印刷による微細構造樹 脂基板への金属配線形成(第1報,第2 報)

矢作徹 阿部泰 村上穣 加藤睦人 渡部善幸
表面技術協会第 135 回講演大会 (2017.3.9-10)
矢作徹 村山裕紀 阿部泰 渡部善幸
表面技術協会第 136 回講演大会 (2017.9.14-15)

近年、印刷技術を用いた電子デバイス作製技 術であるプリンテッドエレクトロニクスへの関 心が高まっており、様々な印刷方法を用いた金 属配線形成及びセンサ作製技術について報告さ れている。中でもインクジェット印刷は、印刷 用版を必要としないため、比較的簡便に研究開 発やデバイス試作に取り掛かることができる。 本研究ではインクジェット塗布装置を用いて, Ag ナノインクによる樹脂基板上への金属配線 形成を行った。形状精度のよい配線形成のため には、インクジェットの塗布条件に加えて、被 印刷物である樹脂基板の特性が重要な要素とな る。本研究では、樹脂基板の表面に微細構造を 形成することにより,液滴の広がりを抑制し, 印刷形状精度を改善できることを確認した。さ らに、微細パタンの深さを変えて形成した樹脂 基板への印刷により、形状精度に対するパタン 深さの影響について評価した。

酸化銅を感応膜とする半導体式 CO₂ガス センサ

阿部泰 村上穣 矢作徹 岩松新之輔 加藤睦 人 小林誠也 センサ・マイクロマシンと応用システムシンポ ジウム (2016.10.24)

低コストな CO₂ ガスセンサを実現するため に、CuO を感応膜とする半導体式ガスセンサに ついて研究した。スパッタリング成膜法による CuO 感応膜の形成時に SrTiO₃を同時にスパッ タ成膜して混入することでガス感度が向上する ことを明らかにし、その原因は SrTiO₃の混入 により感応膜中の CuO 粒子が微細化すること であると考察した。

箱型成形品の平面度向上に対する冷却 促進効果

後藤喜一 大津加慎教 江部憲一 プラスチック成形加工学会(2016.10.26)

射出成形は,複雑な形状を大量に短時間で製造できる効率的な製造方法である。また,製品によっては,形状精度も求められる。本研究では,非晶性樹脂であるポリスチレン樹脂を用いた箱形成形品底面の形状精度に関して,平面度及び肉厚を測定し,冷却促進効果が成形品形状に及ぼす影響について検討した。その結果,冷却促進効果で,平面度が約2.5倍向上した。

ポリスチレン射出成形品の形状・寸法への成形条件の影響

後藤喜一 大津加慎教 江部憲一 中野哲 小林誠也 栗山卓*

プラスチック成形加工学会(2017.6.15)

樹脂射出成形では,成形品偏肉形状,充填材 配向,冷却固化不均一などの要因により,ヒケ やソリなどが顕著に現れ,狙った形状を得られ ないことがある。箱形成形品形状に関して,生 産性に関わる保圧時間や冷却時間が成形品形状 に及ぼす影響と金型冷却効果が異なる場合の成 形品形状に及ぼす影響を成形品のたわみ量を測 定評価して検討した。その結果,金型冷却の影 響は,保圧時間や冷却時間の影響によりも大き く,その差は5倍程度であった。

*山形大学大学院理工学研究科

混練型 WPC の破壊挙動の温度依存性

(ポスター発表)

江部憲一 諸星貴也* 栗山卓*

第67回日本木材学会大会(2017.3.18)

混練型 WPC (以下,WPC)は、木材とプラ スチック双方の特性を併せ持つ材料である。し かし、WPC の破壊についての検討例は多くな い。そこで我々は、WPC の破壊挙動の温度依 存性について検討した。その結果、曲げ破壊は 低温下で脆性せん断破壊モード、高温下で延性 引張破壊モードであることが明らかとなった。 同時に、WPC 中の木質繊維凝集粒子は流動方 向に伸長し、かつ板厚方向に偏平に配向してい ることが示唆された。

*山形大学大学院理工学研究科

屋外暴露木材表面色経年変化シミュレ ーションのための地域別予測

新井崇博*1 窪田裕介*2 森谷友昭*2 高橋時 市郎*2 木口実*3 片岡厚*3 石川敦子*3 山本 幸一*3 伊佐治信一*4 江部憲一 村井まどか *5 山本健*6 三井幸成*7 福田健一*8 山口 秋生*9 今村祐嗣*10

日本木材保存協会第33回年次大会(2017.5.23) 屋外暴露された木材表面の変色を定量的に 予測することは、これまで困難とされてきた。 そこで本研究では、屋外暴露された木材の表面 変色をコンピュータグラフィックスで再現す る、シミュレーションシステムの開発に取り組 んだ。このシステムに用いられる表面変色予測 式を確立するため、全国6か所での屋外暴露試 験を実施し、表面変色と各種気象因子との相関 関係を分析した。その結果、再現性のある予測 式を確立することができた。

*1 東京医療保健大学,*2 東京電機大学,*3 国 立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研 究所,*4 北海道立総合研究機構林産試験場,*5 東 京都立産業技術研究センター,*6 広島県立総合技 術研究所東部工業技術センター,*7 熊本県農林水 産部森林局林業振興課,*8 大阪ガスケミカル株式 会社,*9 越井木材工業株式会社,*10 日本木材保 存協会・京都大学名誉教授 ラッカセイ胚芽の生理機能と加工利用 菅原哲也 若山正隆* 五十嵐喜治** 加藤守 匡*** 鈴木規男****

平成 28 年度全国食品技術研究会(2016.11.1) 平成 28 年度農研機構食品研究部門研究成果展 示会(2016.11.2)

近年,穀類や豆類の胚芽には種々の生理活性 成分が含まれることが報告されているものの, ラッカセイ胚芽に関しては,ほとんど研究され ていない。本研究では,ラッカセイ胚芽につい て,メタボローム解析を行い,機能性成分およ び呈味成分の網羅的な解析を行うとともに,動 物実験,ヒト試験による機能評価を行った。

さらに、ラッカセイ胚芽の苦味マスキング技 術を検討し、胚芽を利用した加工品開発を実施 した。特に胚芽を利用したブロックチョコレー トは、試験販売に至った。

*慶應義塾大学先端生命科学研究所, **山形大学 農学部, ***米沢栄養大学, ****株式会社で ん六

山形県地域農産資源の生理活性成分に 特化した加工品開発

菅原哲也

青い森の研究会セミナー(2017.3.6)

これまで、山形県を代表する地域農産物につ いて、ポリフェノールを中心に生理活性成分の 単離・精製、構造解析を行い、動物実験等によ り健康機能性を評価してきた。また、農産物の 風味や特徴を活かした加工技術を開発し、本県 企業の新たな商品開発に寄与してきた。その中 から、食用ギク、オウトウ、庄内柿、ラッカセ イ胚芽に関する研究成果について報告した。

マッシュルームの紫外線照射による成 分変動

菅原哲也 若山正隆* 長澤大輔**

日本食品工学会第18回大会(2017.8.7)

マッシュルーム(2種)に紫外線を照射し (Handy UV Lamp, 定格電力 9.0W×0.15A, FL 6W, 1時間照射), エルゴステロール, ビ タミン D 濃度を測定するとともに, 極性成分の 変動をメタボローム解析により, 網羅的に解析 した。

紫外線照射したマッシュルーム試料は,ブラ ウン種,ホワイト種ともにビタミン D2 が検出 された。メタボローム解析の結果,紫外線照射 により,ブラウン種,ホワイト種ともに代謝物 濃度の増減が認められ,ブラウン種では多数の 遊離型アミノ酸が,紫外線照射により低値を示 した。主要な糖類であるマンノースやマニトー ルは,ブラウン種,ホワイト種ともに紫外線照 射により増加する傾向を示した。

*慶應義塾大学先端生命科学研究所, **有限会社 舟形マッシュルーム

長期熟成生ハムの呈味成分解析・味セン シングによる熟成期間の検討

菅原哲也 杉本昌弘* 带谷伸一**

日本食品科学工学会第64回大会(2017.8.30)

近年,日本でも熟成生ハムが製造されるよう になっているが,熟成期間中の呈味性や呈味成 分変化について,詳細な検討は行われていない。 本研究では,熟成生ハム各部位の呈味性や呈味 成分を解析するとともに,熟成期間中の遊離型 アミノ酸,呈味性を解析し,最適な熟成期間に ついて考察した。

熟成生ハム各部位試料を CE-MS にて解析し た結果, ランプ部位のみが他部位と異なる成分 特性を示し,味覚センサーによる分析でも旨味 (後味)が他部位より顕著に低値を示した。

また,熟成期間中の成分変化として,グルタ ミン酸やアスパラギン酸をはじめとする遊離型 アミノ酸濃度が,熟成の進行とともに顕著に増 加し,味覚センサーによる旨味値も同様の傾向 を示した。また,熟成期間400日から,水分の 減少が緩やかになり,ナトリウムや脂質濃度は, 緩やかに増加する傾向を示した。

*慶應義塾大学先端生命科学研究所, **株式会社 東北ハム

地域農産物の機能性評価と加工利用に 関する研究

菅原哲也

日本食品科学工学会第64回大会(2017.8.28) これまで、山形県を代表する地域農産物につ
いて,ポリフェノールを中心に生理活性成分の 単離・精製,構造解析を行い,動物実験等によ り健康機能性を評価してきた。また,農産物の 風味や特徴を活かした加工技術を開発し,本県 企業の新たな商品開発に寄与してきた。

その中から,食用ギク,オウトウ, 庄内柿に 関する研究成果について報告した。

青苧の分繊化と精練絹との混合による 複合素材への応用

平田充弘 野崎健* 後藤喜一 プラスチック成形加工学会(2016.10.27)

ラミースライバーをマーセル化加工により 改質したところ,未加工ラミーに対し,単繊維 の伸度が2倍以上に向上した。得られたマーセ ル化ラミースライバーにシルクスライバーを 50%混ぜて紡績加工を行い1/60糸を作成した。 このシルクラミー混紡糸を用い,横編機にて18 ゲージ2本取りで平編生地を作成したところ, 斜行(布目曲がり)が低減した。

*株式会社東北イノアック

研究成果広報委員

小	林	誠	也	境			修
江	端		潔	渡	部	善	幸
=	井	俊	明	飛	塚	幸	喜
加	藤	睦	人	中	野		哲

山形県工業技術センター報告 No.49(2017)

2018年(平成 30年)2月

発行
山形県工業技術センター
〒990-2473
山形市松栄二丁目2番1号
Tel.(023)644-3222

印 刷 寒河江印刷株式会社