

第 89 回 研究・成果発表会

講演要旨集

2026 年 7 月 14 日



山形県工業技術センター

Yamagata Research Institute of Technology

第 89 回 研究・成果発表会講演要旨集 目次

———— 口頭発表 ————	ページ
1. 製麺工程や味噌仕込み条件改善による味噌の品質向上	1
【令和 6～7 年度ものづくり企業技術開発受託研究】 工業技術センター 地域資源開発支援部 ○城祥子 長俊広 村岡義之 工藤晋平	
2. アルカリ処理されたウール/キュプラ交織織物におけるウールの構造および特性の変化	3
【令和 6～8 年度経済産業省成長型中小企業等研究開発支援事業 (Go-Tech 事業)】 工業技術センター 地域資源開発支援部 ○平田充弘 山形大学工学部 小林央歩 松葉豪 東北整練株式会社 相田秀美 柴崎秀之	
3. 令和 7 年度トヨタ自動車東日本相互研鑽活動の成果報告	5
【トヨタ自動車東日本(株)ものづくり相互研鑽活動】 株式会社後藤精機 ○鈴木和仁 工業技術センター 新価値創出支援部 村上周平 置賜試験場 佐竹康史	
4. 「波トタン専用パール」の試作検討	7
【令和 7 年度トライアル共同研究】 株式会社ナカヤマ製作所 ○江口智徳 新野清一(個人) 工業技術センター 技術強化支援部 ○金田亮	
5. 赤外線レンズ用 HDPE 射出成形品の内部構造および光学特性の評価	8
キャビティ厚さおよび成形条件の影響 【平成 30 年度トライアル共同研究】 【平成 29 年度自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】 工業技術センター 技術強化支援部 ○金田亮 株式会社チノー 滝口正康 笠原祐弥 山形大学 伊藤浩志	
6. 令和 7 年度やまがた GX・CN 研究会試作研究会の活動報告	10
(プラスチックの材料リサイクル実習) 【令和 7 年度脱炭素経営加速化事業】 工業技術センター 新価値創出支援部 ○泉妻孝迪 松田裕史 佐藤大輝 後藤喜一	

7. 生成 AI と Python の活用による研究開発の効率化	12
【令和 7 年度トライアル共同研究】	
スズキハイテック株式会社 事業開発部 ○ペトルス・ヤサヤ・サモリ 倉兼春樹 工業技術センター 新価値創出支援部 山田直也 加藤睦人 吉田一樹	
8. 機械学習による光学フィルタ不良発生要因の推定	14
【令和 7 年度ものづくり企業技術開発共同研究】	
工業技術センター 技術強化支援部 ○村山裕紀 叶内剛広 新価値創出支援部 山田直也 吉田一樹 加藤睦人 置賜試験場 イノベーション連携部 奥山隆史 株式会社トーカイ 製造部 大沼剛 管理部 山科英昭	
9. 産業技術総合研究所東北センターの紹介(要旨なし)	
10. 表面活性化接合技術を利用した金型鋼材の常温接合	16
【令和 7 年度高度技術者育成支援事業】	
工業技術センター 庄内試験場 機電技術部 ○木村直樹	
11. 鋳鉄の金属組織制御による機能性付与に関する研究	18
【令和 6～7 年度技術開発・改善】	
工業技術センター 置賜試験場 イノベーション連携部 ○高橋裕和 技術支援部 小川仁史 技術強化支援部 後藤仁 熊倉和之 高橋俊祐 新価値創出支援部 佐々木雄悟 村上周平 研究企画部 鈴木剛 齋藤壱実 庄内試験場 機電技術部 小川聖志 産業労働部 産業技術イノベーション課 齊藤寛史	
12. デジタル技術を活用した日本酒製造条件管理技術の開発	20
【令和 5～7 年度デジタル活用事業】	
【国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)委託研究事業「データ利活用等のデジタル化の推進による社会課題・地域課題解決のための実証型研究開発」】	
工業技術センター 企業支援部 ○多田伸吾 下川浩太 企業支援部 デジタル・デザイン活用支援室 高野秀昭 今野俊介 中村信介 地域資源開発支援部 工藤晋平 置賜試験場 イノベーション連携部 奥山隆史	

- 13. 次世代自動車関連部品開発支援におけるシミュレーションの活用** 22
- 【令和5～6年度自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】
- 【令和7年度デジタル活用事業】
- 工業技術センター 企業支援部 デジタル・デザイン活用支援室 ○橋本智明
 新価値創出支援部 佐藤貴仁 山田直也
 技術強化支援部 村岡潤一 熊倉和之 高橋俊祐 村山裕紀
 置賜試験場 イノベーション連携部 数馬杏子
 庄内試験場 機電技術部 高橋翔平
- 14. 高解像度ディスプレイに対応した超高精細マイクロレンズアレイの研究開発** 24
- 【令和5～7年度経済産業省成長型中小企業等研究開発支援事業(Go-Tech 事業)】
- 株式会社 IMUZAK 先行開発部 ○澤村亮輔 澤村一実
 株式会社コシブ精密 荻原順治 荻原誠 高廉傑 中村裕伸
 株式会社ヒキフネ 国井勝己 谷口健太 宮下清史 梶原祥子
 工業技術センター 新価値創出支援部 佐々木雄悟 吉田一樹 加藤睦人
 技術強化支援部 金田亮 村岡潤一
 産業労働部 産業技術イノベーション課 齊藤寛史
 置賜試験場 高橋俊広
- 15. 三次元チップブレーカーと表面テクスチャリングによる PCD 工具の高性能化** 26
- 【令和5～7年度環境調和型ものづくり事業】
- 工業技術センター 新価値創出支援部 ○佐々木雄悟 佐藤貴仁 半田賢祐 小林庸幸
 技術強化支援部 金田亮 村岡潤一 五十嵐裕基
 企業支援部 デジタル・デザイン活用支援室 一刀弘真
- 16. 高圧水素用ステンレス鋼の機械加工技術の開発-第1報 旋削加工-** 28
- 【令和6～8年度環境調和型ものづくり(GX・CN)事業】
- 工業技術センター 新価値創出支援部 ○小林庸幸 半田賢祐 佐藤貴仁
 佐々木雄悟 村上周平
 置賜試験場 技術支援部 松田丈 小川仁史
 庄内試験場 機電技術部 小川聖志

製麴工程や味噌仕込み条件改善による味噌の品質向上

【令和 6～7 年度ものづくり企業技術開発受託研究】

工業技術センター 地域資源開発支援部 ○城祥子 長俊広 村岡義之 工藤晋平

1 緒 言

本研究は、バイオクラスター形成促進事業のシーズ探索型助成事業で、令和 6 年度と令和 7 年度に実施した研究である。本研究では、株式会社丸十大屋における企業製造味噌の特性を明らかにし、品評会で最高賞を狙えるような品質の味噌を開発することを目的に、企業製造米麴ならびに味噌の製造工程の温湿度経過の記録、製造した米麴や味噌の品質評価を通し、企業製造品の品質やロット差について検討した。また、企業の製造工程で実施した改善策による効果を検証したほか、小仕込み試験により糖化力の高い米麴を製造し、企業製造味噌の可能性について検討した。

2 実験方法

2.1 企業製造米麴の特性把握

企業の味噌製麴現場は夏季と冬季の温度差が大きく、製造量により製麴装置が 2 種あるため、夏季と冬季のそれぞれの作業時の温湿度を温湿度データロガーにて、品温を K 熱電対データロガーにて測定し、できた米麴ならびに味噌の品質評価（微生物試験、酵素力価測定、有機酸分析、測色分析、香り分析¹⁾²⁾³⁾）を行った。

2.2 改善策による米麴の品質評価

企業で実施した室での米麴仕込みにおいて、2.1 で明らかとなった課題を改善するため、作業工程の一部変更、設定温度の見直し、除湿機の導入を行い、製麴試験を行った。出麴後の米麴は 2.1 同様品質評価を行った。

2.3 種麴を変更した米麴での小仕込み試験

つや姫 10 kg ずつを使用し、企業で通常使用している種麴「通常」と、糖化力に優れた「A」ならびに味噌醸造推奨種麴「B」を等量使用し同様に製麴した。工業技術センターの製麴室内でプラスチックケースを用いて同時並行に小仕込みした。出麴後ただちに企業へ持参し味噌仕込み後、工業技術センター恒温庫にて温醸した。米麴、味噌それぞれについて品質評価を行った。

3 実験結果および考察

3.1 企業製造米麴の特性把握

夏季の自動製麴機仕込み、夏季の室仕込み、冬季の自動製麴機仕込み、冬季の室仕込みの品温ならびに環境温湿度の結果、夏季は製造条件によらず品温が高くなりすぎる傾向があり、目標通りに温湿度管理できていないことが明らかとなった（図 1 (a)）。一方、冬季は米麴品温が目標まで上がらずに経過し、40℃に至らずに出麴に至らない場合もあること（図 1 (b)）、湿度は夏季と変わらず高いまま経過していることがわかった。夏季は品温と湿度を低く抑えること、冬季は品温を高く保ち湿度を低く抑えることが課題であることが明らかとなった。

製麴後半の品温経過が高すぎた夏季の米麴の酵素力価は糖化系・タンパク質分解系ともに低く、良質であるとは言えない一方、冬季仕込みの米麴は夏季よりも酵素力価が高く、品質差が大きいことが分かった。

特に夏季の米麴の品質に改善の必要性が認められたことから、①品温を上げすぎないこと、②製麴工程後半の温湿度を下げることを目指した改善を進めることとした。

3.2 企業における室仕込み改善製麴試験

室内の温湿度を制御するため、作業工程の一部を見直し、高温にならないよう温度設定を変更した

り、室内に除湿機を導入したり、室内に空気の流れを作るといった改善策を施した上で製麴試験を行った。その結果、湿度を 80%以下にすることができ、製麴後半に発生していた結露も大きく改善した。品温は手入れ前に一度高温に達したものの、手入れの後は放冷機により 35℃が保たれた。

改善室仕込み米麴の酵素活性は、米麴の品質が良好であった冬季の米麴と同等の高い活性を示していた（図 2）。課題であった糖化力に大きな改善が見られ、夏季の仕込みにおいても冬季の品質並みの米麴を製造することができた。企業にて改善策を実施した米麴を使用した味噌の香りは、企業の味噌で検出されてきた主要な香り成分をこれまで通り保ちつつ、これまで検出されなかった微量成分が複数検出され、味噌の品質としても変化していることが示唆された。また、1 か月の熟成期間で 2 か月熟成したような色調の照りが見られ、有機酸量も増加した。

3.3 種麴を変更した米麴製麴試験

酵素活性は「通常」に比べ、「A」は顕著に糖化力が高く、企業で製麴試験したどの検体よりも高い活性を示した。「B」は「通常」と同等の糖化力であったが、タンパク質分解能が高かった。3 種の米麴を使用した味噌の香りは、A、B を使用した米麴の味噌は香りの強度や量において現状と異なることが分かった。味噌において熟成や華やかな香りに寄与するフラン系の香りの検出量も多かった。主要な香り成分に大きな違いはないものの、微量成分の検出量に違いがあることが分かった。

本研究より、種麴を変更し、改善策を実施した方法で室にて仕込んだ米麴を用い、現在使用しているオリジナル酵母を用いて仕込んだ味噌が良好な味噌となる可能性が示唆された。ただし、現状ロット差が生じることがあるため、今後も定期的にデータを取り続ける必要がある。

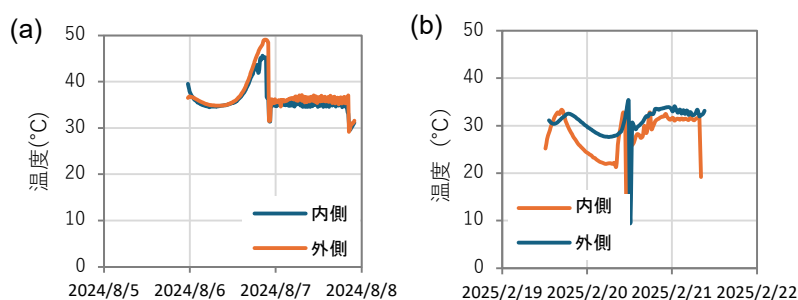


図 1 米麴品温経過 (a) 夏季 (b) 冬季

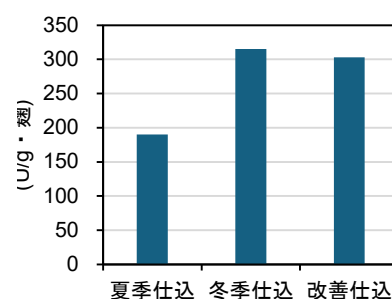


図 2 糖化力

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 企業の米麴は夏季と冬季で品質が大きく異なり、冬季は良好であることがわかった。
- 2) 米麴の品質改善のために温湿度管理対策を行った結果、夏季の仕込みでも品質改善が見られた。
- 3) 種麴を変更し、環境の温湿度を管理した室にて仕込むことで、高品質の米麴を作ることができ、味噌の香りも高くなることが示唆された。
- 4) 企業の米麴はまだロット差が生じることがあるため、今後も温湿度管理をしながら定期的に品質管理を行う必要がある。

文 献

- 1) 真部真里子：日本家政学会誌, Vol. 57 No.1 (2006) 21.
- 2) 菅原悦子, 保坂由貴子：日本家政学会誌, Vol. 60, No.6 (2009) 545.
- 3) 菅原ら：日本農芸学会誌, Vol. 64, No.2 (1990) 171.

アルカリ処理されたウール/キュプラ交織織物における ウールの構造および特性の変化

【令和 6～8 年度経済産業省成長型中小企業等研究開発支援事業 (Go-Tech 事業)】

工業技術センター 地域資源開発支援部 ○平田充弘

山形大学工学部 小林央歩 松葉豪

東北整練株式会社 相田秀美 柴崎秀之

1 緒 言

米沢産地の特徴の一つは、天然繊維や化学繊維の交織によるジャカード織であり、主力のキュプラやアセテートなどセルロース系素材は、春夏物の婦人服などに用いられている¹⁾。一方、秋冬物は、ウールなどがセルロース系素材との交織で同色性や防縮性に課題があることから、普及はあまり進んでない。これに対し、濃染化や防縮加工としてアルカリ処理が知られるが、ウールは加水分解等が生じ易く、容易に適用できないとされていた。こうした中、我々はアルカリ処理を短時間で行うことにより、同色性や防縮性などの課題解決を図る方法を提案している²⁾。本発表では、本法を用いてアルカリ処理した交織織物のウールがどのような構造や特性の変化を受けるかを述べる。

2 実験方法

2.1 アルカリ処理

交織織物は、経糸は 12.2 tex ベンベルグを 95 本/inch、緯糸は 13.9/2 tex 梳毛糸を 77 本/inch にて、1/1 平織組織で作製した。アルカリ処理は、進機械工業(有)、パドル染色機 NJ-100L を用い、常温にて所定濃度の水酸化カリウム溶液 80 L に浴比 1:120 にて所定時間、浸漬して行った。

2.2 染色処理

アルカリ処理した交織布の染色は、Werner Mathis 製、染色試験機 LABOMAT BFA を用い、浴比 1:30 にて、2%o.w.f.反応性黒色染料（日本化薬(株)製、Kayakalan Black）、15 g/L 炭酸ナトリウム、30 g/L 硫酸ナトリウムを添加し、80℃で 30 分間、浸漬して行った。

2.3 評価方法

外観は FEI Company 製、走査電子顕微鏡 Quanta400、寸法変化は Electrolux 社製、ウェスケーター洗濯機 FOM71CLS、構造評価はリガク製、X 線散乱装置 Nano-Viewer、Perkin Elmer 製、赤外分光光度計 Frontier Gold FTIR Spotlight400 を用いた。

3 実験結果および考察

キュプラ/ウール混紡布帛のアルカリ処理は、浴比 1:120 にて、水酸化カリウム水溶液の濃度を 4 水準（4.0, 6.8, 10.0, 13.4 wt%）、浸漬時間を 3 水準（40, 90, 180 秒）で行った。アルカリ処理されたウールの側面は、表皮のスケールは保持されていたが、しわが散見された（図 1）。繊維損傷度は、JIS L 1081 に基づき、アルカリ溶解度および UB（尿素・亜硫酸水素ナトリウム）溶解度を求めた（表 1）。アルカリ溶解度は損傷と共に増加し、UB 溶解度は減少する傾向にあるが、いずれも未処理に対し大きな変化は認められなかった。寸法変化は、洗濯機洗いの表示に求められる繰返し洗濯試験を行って求めた。よこ方向の寸法変化がフェルト収縮にあたるが、水酸化カリウム溶液の濃度が 13.4 wt%の時に基準の-3%以上となった。

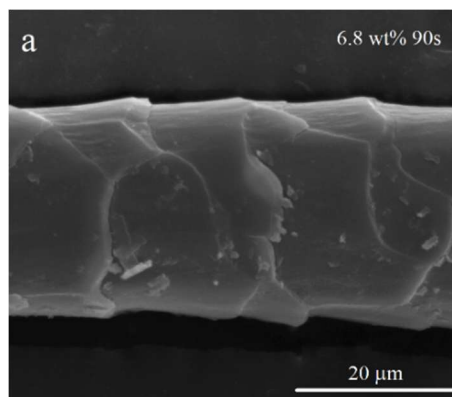


図 1 アルカリ処理羊毛の側面

表1 種々の濃度でアルカリ処理後、染色した交織布の羊毛の繊維損傷度と寸法変化

アルカリ濃度, wt%	繊維損傷度 ^{a)}		寸法変化 ^{b)}	
	アルカリ溶解度, %	UB溶解度, %	たて, %	よこ, %
未処理	7.1	2.1	13.7	41.3
4.0	7.5	1.5	13.3	42.7
6.8	8.9	0.2	5.6	34.5
10.0	9.8	1.2	3.1	27.1
13.4	10.5	0.4	0.9	0

^{a)} JIS L 1081, ^{b)} JIS L 1930: Procedure No.4G (single cycle) and No.4N (five cycle)

ウールの α -ヘリックス量とランダムコイル量、結晶化度は、それぞれ赤外分光スペクトルおよび広角 X 線散乱スペクトルをピーク分離して面積比から算出した。結晶化度は、未処理の 37% からアルカリ処理で最大 13% まで低下した。 α -ヘリックス量とランダムコイル量の相関では (図 2a), アルカリ処理後のプロットが未処理から遷移した。また、ランダムコイル量の増加と結晶度の低下には、一定の相関が認められた (図 2b)。これらのことから、 α -ヘリックスの崩壊によって、高次構造が消失し、無秩序な分子鎖が形成していると読み取れる。また、およそアルカリ濃度 (10.0, 13.4 wt%) に応じて、プロットの分布 (●, ○) が二つに分かれた。このことは、処理濃度によって構造変化の機構が異なることを示唆しており、10.0 wt% では構造緩和が優位なのに対し、13.4 wt% では広範な構造破壊と不規則化が支配的であると考えられる。

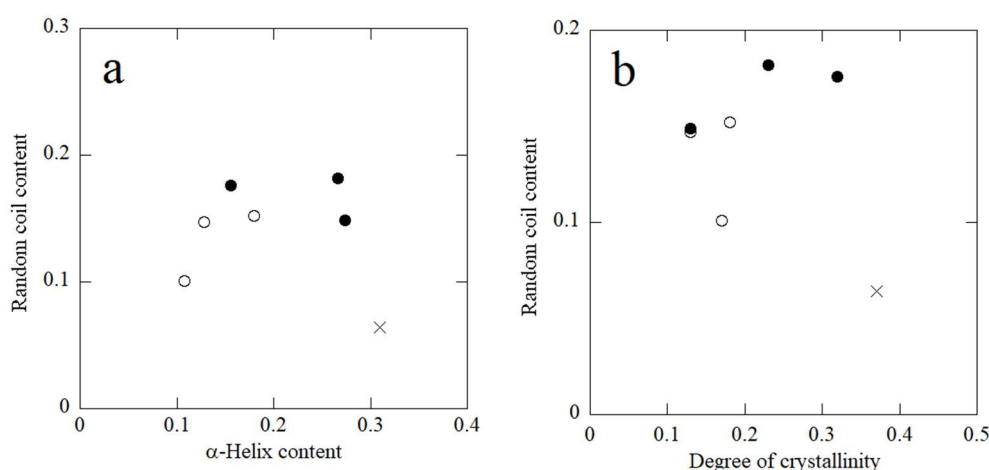


図 2 アルカリ処理した羊毛の構造変化: (a)ヘリックス量とランダムコイル量, (b)結晶化度とランダムコイル量: (×) 未処理, (●) 10.0 wt%, (○) 13.4 wt%

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 水酸化カリウム溶液 4.0–13.4 wt%, 180 秒浸漬では、繊維損傷度（アルカリ溶解度, UB 溶解度）の変化は少なく、13.4 wt%時にフェルト寸法変化が大きく低下した。
- 2) 羊毛のアルカリ処理は、10.0 wt%未満では構造緩和が優勢であるのに対し、10.0 wt%以上では広範な分子破壊とランチオニンの形成が支配的となる。

文 献

- 1) 平田充弘：繊維学会誌, 81(8)(2025)336.
- 2) 柴崎秀之, 相田秀美, 下島善一郎, 堤政昭, 平田充弘, 佐竹康史, 数馬杏子, 千葉一生：公開特許公報, 2024-109164(2024).

令和7年度トヨタ自動車東日本相互研鑽活動の成果報告

【トヨタ自動車東日本(株)ものづくり相互研鑽活動】

株式会社後藤精機 ○鈴木和仁

工業技術センター 新価値創出支援部 村上周平

置賜試験場 佐竹康史

1 諸 言

当社では、加工技術の向上だけでなく、日常業務における安全性や作業効率の改善にも継続して取り組んでいる。しかし、現場には自社だけでは解決が難しい課題も多く存在していた。そのような中、「ものづくり相互研鑽活動」に参加し、トヨタ自動車東日本(株)をはじめ、山形県工業技術センターや行政機関の皆様からご指導をいただきながら、現場改善活動を実施した。本稿では、その活動内容と成果について報告する。

2 研鑽活動の概要

本活動は、「ムダをなくして効率化を図り、生産性を向上させる」「安心・安全な業務と豊かな暮らしを目指す」という考え方を基本とし、危険予測・5S活動・困りごと改善の三つを柱として約1年間実施した。活動は2週間に1回のペースで合計22回開催し、研鑽活動メンバーだけでなく、現場の従業員とも連携しながら改善を進めた。また、改善内容については現場で実際に使用する人の意見を取り入れ、実用性を重視した

取り組みを心掛けた。5S活動では、上半期に工場中二階の整理整頓を実施し、不用品の撤去や棚の配置変更によって有効スペースを拡大した(図1)。その結果、物置としてだけでなく打ち合わせや事務作業にも活用できる空間へと改善された。下半期には材料置き場を対象とし、棚配置や区画線の見直し、遊休設備の撤去などを実施した。これにより、材料の探索時間短縮やフォークリフト通路の確保につながり、安全性と作業効率の向上を実現した(図2)。



図1 中二階の5S活動(左:活動前, 右:活動後)



図2 材料置き場の5S活動(左:活動前, 右:活動後)

3 困りごと改善への取り組み

活動開始時には全従業員を対象としたアンケートを実施し、日頃感じている困りごとを収集した。その結果、39件の改善案件が提出され、現場主体で対応可能なものは各部署で、難易度の高い案件については研鑽活動メンバーが中心となって改善を進めた。例えば、検査室への製品搬入時に引き戸レ

ールの段差で台車が揺れる問題については、スロープ設置や材質・板厚の検討を重ね、安全に搬入できる構造へ改善した。また、測定ゲージの持ち出し管理についても、貸出方法や管理方法を検討し、探す時間の削減につなげた。その中でも最も大きな取り組みとなったのが、重量物昇降用やぐらの製作である(図 3)。従来は重量物を脱着する際に作業者がリフト下へ入り込む必要があり、安全面で大きな課題となっていた。市販設備の導入も検討したが、コストや設置条件を考慮し、自社での製作に挑戦することとなった。製作にあたっては模型による検証を行い、構造や強度、安全性について何度も議論を重ねた。また、組立方法についてメンバー間で意見が分かれたが、「安全な設備を完成させる」という目的に立ち返り、双方の長所を取り入れた方法を採用した。その結果、市販品であれば約 80 万円かかる設備を約 7 万円で製作することができ、安全性の向上だけでなく市販クレーン設置よりも大幅なコスト削減を実現した。



図 3 やぐらの作製(左：組み立て風景，中：設置風景，右：構造シミュレーション)

4 活動成果と考察

研鑽活動を通じ、多くの困りごとが解決されただけでなく、「まず自分たちで改善できることは自分たちで取り組む」という意識が社内に浸透した。また、設備や環境の改善だけではなく、活動を進める中でリーダーとして判断する難しさや、多様な意見をまとめる重要性、目的に立ち返って意思決定することの大切さを学ぶことができた。改善活動は単にモノを変えるだけではなく、人の成長や組織力の向上にもつながる取り組みであり、継続することでさらに大きな成果が得られると実感した。

5 結 言

一年間の研鑽活動を通じて、5S による職場環境改善、困りごとの解決、安全性向上、コスト削減など、多くの成果を得ることができた。また、改善活動を通じて現場主体で課題解決に取り組む意識が醸成され、人材育成やチームワークの向上にもつながった。今後も研鑽活動で得た知識や考え方を現場改善活動へ展開し、継続的な改善を積み重ねることで、より安全で効率的な職場づくりを進めていきたい。

謝 辞

本活動を進めるにあたり、ご指導・ご支援を賜りましたトヨタ自動車東日本(株)、山形県工業技術センター、関係行政機関の皆様をはじめ、ご協力いただいたすべての皆様に心より感謝申し上げます。

「波トタン専用ボール」の試作検討

【令和7年度トライアル共同研究】

株式会社ナカヤマ製作所 ○江口智徳

新野清一(個人)

工業技術センター 技術強化支援部 ○金田亮

1 緒 言

株式会社ナカヤマ製作所では、各種省力化機械、半導体製造装置、医療機器そして光学機器等各メーカーからの要望に応じた製品製作を行っている。試作、製作、量産までを自社工場内で一貫して行うことにより、様々な材質、形状について単品製作から少量多品種まで短納期で対応している。新規の材質、形状の製品に関する問合せにも積極的に対応しており、今回試作検討を行ったボールも、当社の所在地である白鷹町の個人の方から問い合わせがあり、山形県工業技術センターの「トライアル共同研究」を活用して試作検討を行ったものである。「波トタン専用ボール」は、令和7年「実用新案登録第3249873号」として申請登録されており、「トライアル共同研究」では、登録された形状や寸法について改めて設計し、必要な構成部品を製作あるいは購入して組付けを行い、ボールを試作してその実用性を確認した。

2 実施内容

図1は、実用新案登録された「波トタン専用ボール」の形状である。申請登録時のボールの形状および寸法は、各部品を自作し組付け状態を手作業で確認して設定した状態で動作が難しい箇所もあったため、CADを用いて各部品の組付けや嵌合の寸法を改めて設定し、下記の「波型支持基板」と「釘抜き本体」を設計試作し、組付けを行ってボールを試作して実用性を確認した。

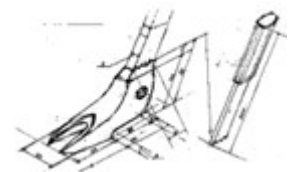
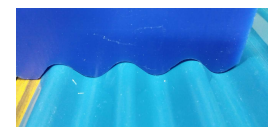
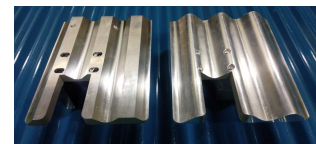


図1 実用新案「波トタン専用ボール」



ろう材への波形状加工
ピッチ：32mm



ピッチ：32mm、山部除去(左)

図2 波型形状の試作加工

2.1 波型支持基板

試作対象とした波トタンは、一般的に使用されている「鉄板小波 32 波」である。この波トタン形状(ピッチ(山と山の間隔)約32mm, 谷の深さ約9mm)をろう材に加工し、実際の波トタンに合わせた状態を図2に示した。33mmも同様に削り出して合わせたが、隙間が生じて安定しない状態だった。そこで、山部の半分程度を削ったところ、安定する状態を得た。

2.2 釘抜き本体

図3は、釘抜き本体について寸法を設定した図面である。この図面をもとに各部品を製作あるいは市販品を購入してボールを試作した。

2.3 ボールの実用性

図4に示した試作中のボールを用いて釘を抜いた際、釘頭にかかる爪部が変形したため、爪形状の変更と強度不足を改善する熱処理を行ったところ変形はなく釘を抜くことが可能になった。

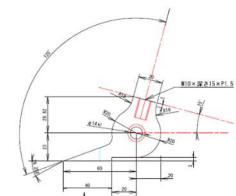


図3 各部の寸法設定

3 まとめ

波トタン専用ボールの試作検討を行い、実用できることを確認した。商標登録も行っており、商品化を目指して現在も試作検討中である。



図4 試作中のボール

赤外線レンズ用 HDPE 射出成形品の内部構造および光学特性の評価 キャビティ厚さおよび成形条件の影響

【平成 30 年度トライアル共同研究】

【平成 29 年度自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】

工業技術センター 技術強化支援部 ○金田亮
株式会社チノー 滝口正康 笠原祐弥
山形大学 伊藤浩志

1 緒 言

赤外線 (IR) システムのレンズには、ゲルマニウムやシリコンが用いられているが、高価であることから高密度ポリエチレン (HDPE) が代替材料として一部の IR システムに使用されている。HDPE は、厚さの増加と共に IR 透過率が低下するため、薄肉化する必要がある。一方、射出成形製 HDPE レンズは、薄肉化によって透明な状態となり IR システム装置内部の視認性の問題が生じる。白色状態 (低い可視光透過率) を維持して IR 透過率を得ることができれば、より高いレンズ性能が要求される IR システムにも使用することが可能になる。

本報告では、円盤形状の厚さの異なるキャビティを用いて、HDPE 製レンズの射出成形および射出プレス成形を行い、熔融樹脂が充填可能なキャビティ厚さを調査した。この結果を受けて設定したキャビティ厚さの金型を使用して、成形条件の違いが IR および可視光 (VIS) 透過率に及ぼす影響について、成形品の表面粗さ、厚さ、結晶化度および内部構造から評価した。

2 実験方法

2.1 使用樹脂

旭化成(株)製サンテック HD-J240 (MFR=5g/10min@190°C) を用いた。

2.2 金型

キャビティ寸法を図 1 に示す。透過率の評価に用いた平板部は $\phi 22.72\text{mm}$ 、厚さ (t) は可動側のコア高さをえることで変化させた。

実験に用いたキャビティの厚さは 0.3, 0.5, 1.0, 1.5 および 2.0mm である。成形面は固定 (キャビ) 側、可動側ともに鏡面仕上げを行った。この時の表面粗さは $Ra0.007\mu\text{m}$ である。なお、Ra の測定には、三次元表面構造解析顕微鏡 (ZYGO 社製 New View 7300) を用いた。

2.3 成形機および成形条件

使用した成形機は、電動式横型射出成形機 ((株) 日本製鋼所製 J110EL II) である。射出成形条件を表 1 に示す。射出プレス成形時の型開き量は 0.3mm で固定とした。

2.4 測定および評価

IR および VIS の透過率は、赤外分光光度計 FT-IR ((株) パーキンエルマー製 Frontier Gold FTIR) および紫外可視分光光度計 ((株) 島津製作所製 UV-2450) をそれぞれ用いて測定した。IR は $8\sim 12\mu\text{m}$ 、VIS は $380\sim 780\text{nm}$ を対象波長とし平均値で評価した。透過率に影響を及ぼすと考えられる表面粗さおよび厚さについて、それぞれ三次元表面構造解析顕微鏡 (ZYGO 社製 New View 7300) およびデジタルチャックインジケータ ((株) ミットヨ製 ID-C150B) を用いて測定した。成形品内部の断面観察を行うために、ミクロトーム (Leica 製 RM2235) を使用して成形品中央部から $60\mu\text{m}$ の薄板を切り出し、偏光顕微鏡 ((株) ニコン製 ECLIPSE LV100ND) を用いて観察した。内部構造は、成形品表層部

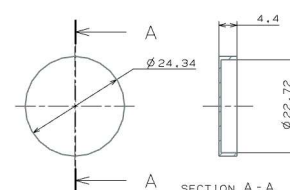


図 1 キャビティ寸法

表 1 成形条件

シリンダー温度 (°C)	200, 220, 240, 260
金型温度 (°C)	20, 40, 65, 80
冷却時間 (s)	15, 30, 45, 60
射出時間 (s)	0.1, 0.2, 0.3

からスキン層、せん断層およびコア層の 3 層として評価し各層の厚さを断面写真から測定した。さらに、示差走査熱量計((株)パーキンエルマー製 DSC8500)を用いて結晶化度を評価した。

3 実験結果および考察

図 2 は、シリンダー温度 200℃、金型温度 65℃、冷却時間 15s および射出時間 0.3s の設定により射出成形および射出プレス成形した成形品の IR 透過率である。キャビティ厚さの減少とともに増加し 0.5mm で約 65%, 0.3mm の場合には約 74.5%を得た。ただし 0.3mm の場合には樹脂の未充填部があったため IR 透過率の測定から除外した。0.3mm の射出プレス成形の場合には透明な状態、一方 1.0mm では IR 透過率が低いことから、以降の実験は 0.5mm 厚さのキャビティのみ使用して実験を行った。

金型温度を変化させた場合の透過率を図 3 に示す。金型温度の上昇とともに、IR 透過率は 1.8%増加、VIS 透過率は 8.7%減少した。金型温度 80℃ で冷却時間を変化させた(15s から 60s)場合、IR 透過率が 3.7%増加、VIS 透過率も 1.1%増加した。ここで得られた成形品の写真を図 4 に示す。高い金型温度と長い冷却時間の設定により不透明な状態になった。

シリンダー温度の影響を調査したが透過率への影響はみられなかった。せん断発熱に影響を及ぼす充填時間を変化させた場合も透過率に差はなく、透過率に影響を及ぼす主な成形条件は、金型温度および冷却時間であることが確認できた。

射出プレス成形(金型温度 65℃、冷却時間 15s、金型温度 80℃、冷却時間 30s)を行った場合 VIS 透過率が減少した。

金型温度を高くすることで、成形品の表面粗さ Ra は減少し(0.1μm から 0.02μm)、厚さに差はみられなかったが、結晶化度は高くなり、射出プレス成形を行うことでさらに高くなった。図 5 は成形品の断面写真である。図中に示した値は、コア層として判断した層の厚さおよび成形品の全厚さである。金型温度を高くし、さらに冷却時間を長くすることで、コア層厚さが増加した。

これらの結果から、コア層厚さの増加(スキン-せん断層の減少)によって IR 透過率は高くなり、結晶化度の増加によって VIS 透過率は低くなることが確認できた。

4 結 言

IR システムのレンズに要求される、高い IR 透過率と低い VIS 透過率を同時に得ることを目的に、HDPE の射出成形に関する実験的な調査を行った。条件を変化させた射出成形を行い、成形品の IR および VIS 透過率を測定した結果、透過率に影響を及ぼす主な成形条件は、金型温度および冷却時間であることが確認できた。金型温度を高く設定することで、結晶化度が上昇し VIS 透過率は減少した。さらに、冷却時間を長く設定することで、スキン-せん断層厚さの減少により IR 透過率の増加が確認できた。射出プレス成形は、結晶化度の上昇に効果があり VIS 透過率が減少することが確認できた。Ra 0.02μm から 0.1μm の範囲では、IR および VIS 透過率への影響はみられなかった。本実験で得られた最も高い IR 透過率および最も低い VIS 透過率は、金型温度 80℃、冷却時間 30s の設定により射出プレス成形を行った時で、それぞれ 65.4%および 6.4%だった。

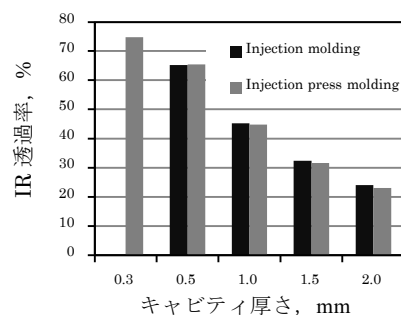


図 2 IR 透過率

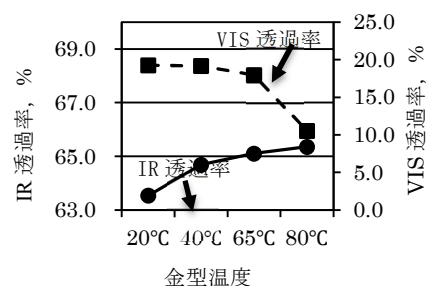
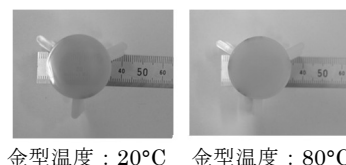
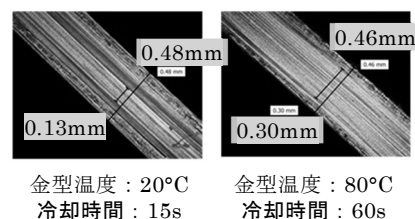


図 3 透過率



金型温度: 20℃ 金型温度: 80℃

図 4 成形品



金型温度: 20℃ 金型温度: 80℃
冷却時間: 15s 冷却時間: 60s

図 5 断面写真

令和7年度やまがたGX・CN研究会試作研究会の活動報告 (プラスチックのマテリアルリサイクル実習)

【令和7年度脱炭素経営加速化事業】

工業技術センター 新価値創出支援部 ○泉妻孝迪 松田裕史 佐藤大輝 後藤喜一

1 緒 言

近年、地球温暖化対策を背景として、カーボンニュートラル(CN)およびグリーントランスフォーメーション(GX)への対応が世界的に加速している。特に製造業においては、CO₂排出削減のみならず、資源循環を前提とした製品設計および材料利用が求められている。欧州においては、自動車分野で再生プラスチックの使用義務化が検討されるなど、サプライチェーン全体での対応が不可欠となっている。

国内においても、サーキュラーエコノミーの推進が政策的に位置付けられており、特にプラスチック産業においては再生材の利活用技術の確立が重要な課題となっている。

山形県では、県内企業の持続的発展および競争力強化を目的として、GX・CNに関する各種支援施策を展開している。その中でも特に技術的な支援の取り組みとして「やまがたGX・CN研究会」を設置した。本報では、プラスチックのマテリアルリサイクルに関する基礎的な技術習得を目的とし、県内企業と共同で実施した試作研究会活動について報告する。

2 試作研究会の活動概要

2.1 試作研究会の概要

本試作研究会は「講義」及び「実習」からなる3日間のカリキュラムで実施した。やまがたGX・CN研究会会員企業より参加者を募り「講義による基礎理解」「試験片の成形実習」「各種試験による特性の評価」「試験結果の総括」といった、マテリアルリサイクルの検討に有効な一連の流れを経験することに主眼を置き、10名程度の少人数制での講義及び実習を実施した。

2.2 講義の概要

講義は外部より2名の講師を招いて実施した。山形大学副学長卓越研究教授の伊藤浩志氏より「再生プラスチックの国内外の動向」について、株式会社日本製鋼所成形機事業部の原政樹氏より「プラスチック射出成形の基礎」について講義いただいた。

2.3 実習の概要

実習は当センターの職員を講師として実施した。初めに予め準備したリサイクル材料(粉碎材)を使用し、評価用試験片の成形実習を実施した。続いてリサイクル材料の「流動性」、評価用試験片を用いた「機械的特性(引張強さ及びシャルピー衝撃強さ)」「黄変度(色差)」「化学構造の変化(赤外分光分析)」について、材料の特性評価に関する実習を実施した。

3 試作研究会における実習内容及び評価結果

3.1 試料準備

試作研究会で使用するリサイクル粉碎材及び評価用試験片は当センターで予め準備した。成形材料はランダムPP(ノバテックPP(MG05ES)、日本ポリプロ株式会社製)を使用した。射出成形と粉碎を繰り返しリサイクル材100%での成形を実施した。この方法で得られたリサイクル粉碎材を使用し、評価サンプルを2系統作製した。1つ目は100%リサイクル材でリサイクル回数が異なる物(リサイクル0~5回:計6水準)。2つ目は100%リサイクル4回の粉碎品とバージンペレットを任意混合した物(混合割合0,30,50,70,100[wt%]:計5水準)。これらの試験片を「機械的特性(引張強さ及びシャルピー衝撃強さ)」「黄変度(色差)」「化学的構造の変化(赤外分光分析)」「流動性」の試験に

供した。

3.2 評価用試験片の成形実習

バージンペレットに対し 4 回リサイクル成形品の粉碎材料を 30,50,70[wt%]で混合し、成形実習を行った(図 1)。「JIS K 7139」に準じる多目的試験片タイプ A の 2 個取りの金型を使用し、電動射出成形機((株)日本製鋼所製 J110ELII)で成形した。

3.3 機械的特性(引張強さ及びシャルピー衝撃強さ)の評価

万能材料試験機((株)エー・アンド・デイ製 RTF-2410)及びシャルピー衝撃試験機(安田精機製作所(株)製 No.258-PC)を用い、「JIS K 7161-1:2014」,「JIS 7111-1」および「JIS K 6921-2」に準じて試験を実施した(図 2)。リサイクル回数や混合率に応じて多少の物性変化はするものの、いずれの試験片でもバージン材から大きく変動していないことが確認できた。

3.4 黄変度(色差)の評価

分光測色計(コニカミノルタ(株)製 CM-2600d)を用い、多目的試験片タイプ A1 の掴み部を試験に供した。「JIS K 7373」に準じて黄変度の評価を実施した。リサイクルを繰り返すことで徐々に黄変する傾向が確認できた。

3.5 化学的構造の変化(赤外分光分析)の評価

赤外分光分析装置((株)パーキンエルマージャパン製 Frontier Gold FTIR Spotlight400)を用い、ATR(Attenuated Total Reflection)法で化学的構造の変化について評価した。カルボニル基の有意な増加等は認められず、リサイクルによる化学的構造の有意な変化は確認できなかった。

3.6 流動性(MFR:メルトフローレート)の評価

メルトインデクサー((株)東洋精機製作所製 G-02 型)を用い、「JIS K 7210-1:2014」および「JIS K 6921-2」に準じて試験を実施した。評価試料としてバージンペレットやリサイクル 4 回成形品の粉碎材、及びそれらの混合物を試験に供した。リサイクルを繰り返すことで MFR が増加する傾向が見られた。



図 1 成形実習の様子



図 2 機械的特性評価実習の様子

4 まとめ

本試作研究会における活動について以下にまとめる。

- 1) 県内企業の技術者と共に,PPを題材としたマテリアルリサイクルの一連の評価に取り組んだ。
- 2) PPのマテリアルリサイクルにおいて、今回使用した材料と加工条件では、多少の黄変や流動性の増加が見られたものの、機械的特性や化学的構造の大幅な変化は確認できなかった。

謝 辞

本試作研究会の開催において、講師をお引受けいただきました山形大学副学長卓越研究教授の伊藤浩志様、株式会社日本製鋼所成形機事業部の原政樹様に深く御礼申し上げます。

生成 AI と Python の活用による研究開発の効率化

【令和 7 年度トライアル共同研究】

スズキハイテック株式会社 事業開発部 ○ペトルス・ヤサヤ・サモリ 倉兼春樹
工業技術センター 新価値創出支援部 山田直也 加藤睦人 吉田一樹

1 緒 言

フォトリソグラフィ技術による微細加工では多様なレーザー描画パターンの設計が行われるが、手作業でのデータ作成が困難または膨大な時間を要する場合がある。例として、表面特性制御を目的としたランダム配列の DXF 形式の 2DCAD データや、図 1 に示すようなビットマップ(BMP)階調データを要する 3 次元形状形成用のグレースケール露光データの設計があげられる。専用プログラムによる自動生成が有効であるものの、プログラミングスキルの習得が現場での内製化の障壁となっていた。そこで本研究では、生成 AI を活用した Python による設計・データ生成ツールの開発について検討した結果を報告する。

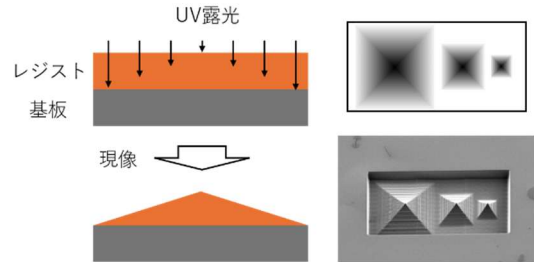


図 1 グレースケール露光の概略

2 実験方法

2.1 開発環境および手法

プログラム開発環境は Windows OS, エディタは Visual Studio Code を採用し、開発言語に Python (ver. 3.13)を用いた。開発効率最大化のためコード生成能力を有する生成 AI として主に Gemini 1.5 Flash を活用した。具体的には、自然言語による仕様定義、コードの自動生成、およびデバッグ過程における修正案の提示を生成 AI に行わせる対話型の開発プロセスを採用した。

2.2 プログラム開発

(1) ランダムパターン作成プログラム

指定領域内に円をランダム配置した DXF ファイルを出力するプログラムの構築を試みた。表 1 に示す「領域サイズ」「寸法・離間距離」「面積占有率」などの条件を生成 AI に提示し、DXF の作成が可能な Python ライブラリ「ezdxf」を使用したプログラムの雛形を出力させた。また設計データの妥当性を直感的に確認するため、配置結果を画像として描画し、実際の生成個数と計算された面積比率を自動表示する検証機能を実装した。開発時には出力画像を確認して配置ロジックの指摘や、エラーメッセージのフィードバックによるデバッグを繰り返し、プログラムの精度を高めた。

表 1 生成 AI に与えたプログラムの仕様定義

仕様カテゴリ	具体的な指示内容
プログラム	Python (ver. 3.13)
作図ルール	2mm角の正方形の領域内に円をランダムに配列する
	円の直径は30 μ m
	円同士は10 μ m以上隔離し、重ならない
	円の占める面積比率は約10%
図面確認機能	作成したDXFデータを画像で表示
	円の面積比率、個数を画像枠外に出力

(2) グレースケール露光用 BMP 画像作成プログラム

グレースケール露光用のデータ作成を目的として、3D モデルデータ(STL 形式)の Z 軸方向の高さ情報を画像の輝度(階調)へと変換し、ビットマップ形式の画像データを出力するプログラムの構築を試みた。「最大ピクセル解像度」「オーバーハングのない 3 次元形状」「Z 軸の高さと輝度(0 ~255 階調)の対応関係」などの仕様を初期条件として生成 AI に提示し、3D メッシュ処理ライブラリ「Trimesh」および画像処理ライブラリ「Pillow (PIL)」を用いたプログラムを出力させた。

3 実験結果および考察

生成 AI にライブラリ選定，全体構成の作成，エラー対策を支援させ，着想から開発までの期間を大幅に短縮した。コード作成時間が抑えられた結果，アルゴリズム構築や利便性向上といった本来検討すべき内容に注力でき，本手法が現場主導のツール開発において有効であると分かった。主な成果は次に示す通りである。

(1) ランダムパターン作成プログラム

2.2(1)で構築したプログラムを用い，表 1 の設計仕様(2 mm 四方，目標面積比 10%)に基づいてランダム配列パターンを自動生成した(図 2)。すべての円形パターンが外枠(2 mm 四方)の内部に収まり，かつ設定された最小離間距離を完全に維持して配置されていることが確認できた。また，画像内に自動表示された実際の生成個数は 566 個，計算された面積比率は 10.00%であり，目標値を満たす結果であった。手作業では膨大な時間を要する複雑なパターン設計が，本ツールにより短時間，かつ正確に完了することが確認された。

(2) グレースケール露光用 BMP 画像作成プログラム

構築したプログラムの検証として，国土地理院の基盤地図情報からダウンロードした富士山の 3 次元地形データ(STL 形式)をサンプルとして用い，グレースケール画像(BMP)の自動生成および評価を行った(図 3)。生成された画像では Z 軸の正方向(真上)から見た地形の起伏が，256 階調の輝度へと変換されていることを確認した。また，任意のピクセル座標における輝度値を検証したところ，指定した最大輝度値の範囲内で正確にスケールされており，レイキャスト法による高さ情報の取得と画像ピクセルへの補間処理が行われていることが確認された。本ツールを用いることで，複雑なフリーフォームの 3 次元形状であっても，手作業を一切介さずにグレースケール露光用の高精度なビットマップデータの一括生成が可能となった。

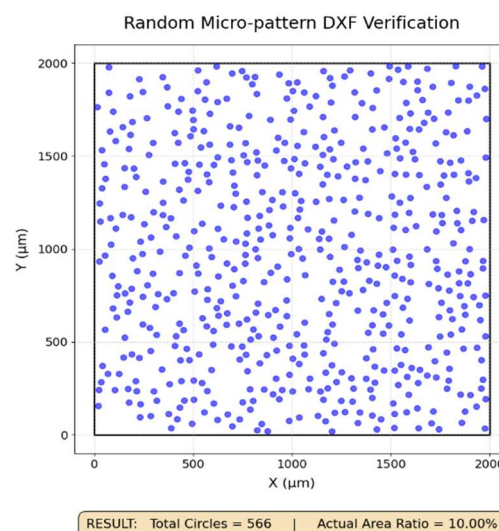


図 2 ランダムパターン作成結果

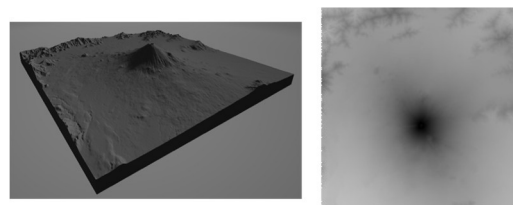


図 3 STL ファイルと変換後の BMP 画像

4 結 言

本研究では生成 AI を活用した現場主導のツール開発を行い，以下の知見を得た。

- 1) 生成 AI の支援により，本来多大なコストと専門スキルを要するツール開発において，着想から実用までの期間を大幅に短縮できた。
- 2) 指定した条件を満たし，ランダムパターンを配列した 2DCAD データを短時間で自動生成するツールを開発した。
- 3) STL データの高さ情報を 256 階調のビットマップ画像へマッピングするツールを構築した。地形データを用いた検証において，滑らかな 3 次元形状用の露光データを一括生成できる実用性を確認した。
- 4) 生成 AI が誤ったコードを提示する，特定の条件でプログラムが動かないなどの課題も散見された。プログラムの動作検証や適切なデバッグが不可欠であることがわかった。

機械学習による光学フィルタ不良発生要因の推定

【令和7年度ものづくり企業技術開発共同研究】

工業技術センター 技術強化支援部 ○村山裕紀 叶内剛広
新価値創出支援部 山田直也 吉田一樹 加藤睦人
置賜試験場 イノベーション連携部 奥山隆史
株式会社トーカイ 製造部 大沼剛
管理部 山科英昭

1 結 言

光学フィルタは、蒸着やスパッタリングにより基板上に数 nm～数百 nm の薄膜を積層して製造される。この成膜プロセスでは、多数の製造条件や装置特性が複雑に作用して品質を左右するため、不良要因の特定には多大な時間と労力を要する。そのため、従来の問題発生時には経験や試行錯誤に基づく試作評価が中心となり、効率的な原因究明や工程改善が困難であった。特に、不良モードの1つである、製膜した基板の表面に μm オーダーの異物が管理値を超えて発生するパーティクル不良については、明確な原因特定に至っておらず、効果的な対策の立案が課題となっていた。そこで本研究では、製造条件、装置ログ、および不具合検査結果のデータを用い、機械学習によるパーティクル不良の要因推定プロセスの構築およびその有効性の検証を行った。

2 実施内容

作業者日報、指示書、環境条件、装置から出力される圧力、電力などのログ情報を収集し、分析に用いるデータを作成した。ログ情報は、各物理量が層ごとの時系列データとなっているため膨大となる。製品は、図1のように2種類の材料が交互に成膜されているため、材料と成膜順を考慮してログ情報は平均化の方針とした。

機械学習手法には Explainable Boosting Machine¹⁾(以下、EBM) という手法を用いて、特徴量データからパーティクル数が予測可能か確認した。EBM は加法モデルと勾配ブースティングを組み合わせた解釈可能な手法であり、その構造は式(1)で表される。

$$particle = \sum f_i(x_i) + \sum f_{ij}(x_i, x_j) \quad \dots(1)$$

ここで、 x_i は特徴量、 $f_i(x_i)$ 、 $f_{ij}(x_i, x_j)$ は各特徴量の関数(形状関数)を表す。

本研究では、Microsoft Research が開発した機械学習ライブラリ「InterpretML」に収録されている EBM を用いてモデルの学習を行った。これにより、パーティクル数の予測精度を検証するとともに、予測に寄与する主要な特徴量の重要度(Global Importance)を抽出した。モデルの学習および評価には、k-分割交差検証法を用いた。本手法は、データ全体を k 個に分割し、そのうちの1つを評価用、残りを学習用としてモデルの評価を行うものである。この手続きを k 回繰り返して得られた評価結果を平均化することで、特定のデータ分割による影響を排除し、客観的かつ安定した汎化性能の評価を可能とした。

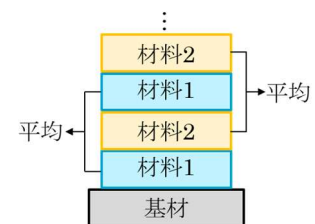


図1 平均化の方針

3 結果および考察

図2に作成した特徴量データの構造を示す。なお、図2はデータ構造を説明するための疑似データである。分析用データは、1ロット分の情報を1レコードとして横方向に保持し、縦方向には過去の全ロットを累積した行列構造とした。構築した特徴量データ(図2)を用いて EBM による学習を行い、実測値と予測値を比較した結果を図3に示す。図3より、モデルはパーティクル数の変動

を非常に高い精度で予測できていることが確認できる。また、実データのばらつきに対するモデルの説明力を示す決定係数(R^2 スコア)は 0.747 であり、適合度が高いことが示された。以上の結果から、今回抽出・構築した特徴量データの中に、パーティクル数の増減に対して影響を及ぼす可能性のあるデータが含まれていることが示唆された。

作業日報、指示書						環境情報					ログ情報				
蒸着機	基板厚さ	作業日報情報1	作業日報情報2	作業日報情報3	作業日報情報4	設計値1	設計値2	設計値3	温度	湿度	環境中の パーティクル数	材料1ログ1	材料2ログ1	材料1ログ2	材料2ログ2
装置2	B	13	13	4	10	39.95	88.67	1.47	0.8	56	3.07	1.01	1.02	1.03	1.05
装置1	A	14	14	5	11	39.95	88.76	1.47	-2	100	3.05	1.01	1.04	1.03	1.04
装置1	B	17	17	6	14	39.91	88.76	1.47	-2.2	100	3.39	1.01	1.02	1.03	1.08
装置1	A	18	18	6	15	39.91	88.76	1.47	-3.3	100	3.18	1.01	1.06	1.06	1.07
装置2	A	4	4	1	3	39.91	88.76	1.47	-2	100	3.15	1.02	1.02	1.01	1.04
装置1	A	5	5	1	4	39.91	88.84	1.47	-1.8	100	3.23	1.01	1.03	1.02	0.99
装置1	B	8	8	2	6	39.91	88.76	1.47	-3.3	100	3.36	1.02	1.02	1.02	1.03

図 2 特徴量データの構造

続いて、図 3 に示した予測を行うに当たり、モデルが予測時に重視した特徴量を明らかにするため、特徴量重要度を抽出した結果から上位 5 項目を図 4 に示す。EBM の特徴量重要度は、各特徴量が予測値の増減に与えた影響の大きさを表す「スコアの絶対平均値」に基づいて算出される。図 4 より、以下の 3 項目はパーティクル数の増減に対して特に高い影響力を持つと考えられるため、今後詳細な分析の足掛かりとすることとした。

- ① 材料 1 成膜時の圧力
- ② 材料 2 の設計値 1
- ③ RF 電力

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 製造工程で記録されているデータを基に、機械学習を用いてパーティクル数の推定を精度よく行うことができることが分かった。
- 2) 学習データの中で特に重要な特徴量を明確化することができた。

今回抽出した項目を中心に、パーティクル数が増加する要因の分析や減少させるための設計、製造方法を構築していく。

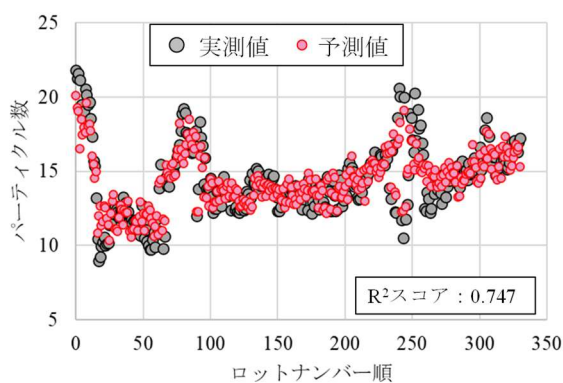


図 3 パーティクルの予測精度

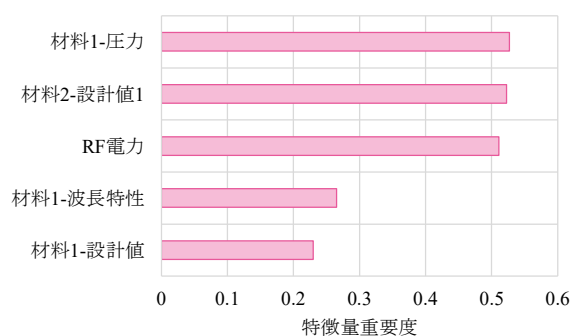


図 4 特徴量重要度

文 献

- 1) Yin Lou, Rich Caruana, Johannes Gehrke, Giles Hooker: Intelligible Models for Classification and Regression in Web Applications, KDD '13 (Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining), pp. 695–703, 2013.

表面活性化接合技術を利用した金型鋼材の常温接合

【令和7年度高度技術者育成支援事業】

工業技術センター 庄内試験場 機電技術部 ○木村直樹

1 緒 言

表面活性化接合技術は半導体・MEMS 分野で注目されている。金属表面上の酸化膜や有機物を物理エッチング等で除去し未結合手を形成することで、金属原子は新たな結合相手を求める表面活性化状態となり、強固な接合が可能となる。この技術は、耐酸化性がある Au 薄膜を接着層に用いて接合過程を大気雰囲気下で実現させる研究や、接合強度の差を利用し、接合後に任意の界面で剥離させることで平滑な金属薄膜を相手材表面に転写する平滑化技術など広く応用がなされている¹⁾。

また常温での接合も可能であるとされ、異種材の接合において熱膨張係数差による変形が発生しないため、新たな金属接合技術としても検討する価値があると考えている。本事業にて、Au 薄膜の表面活性化接合を用いて、機械加工を施した金型鋼材同士の常温接合実験を行ったので報告する。

2 実験方法

2.1 試験片の作製、および Au 薄膜の形成

20 mm×22 mm、厚み 1 mm のプラスチック成型用金型鋼材(ウッデホルム社製 STAVAX)に対し、平面研削盤((株)ナガセインテグレックス製 SGU-52HP2)を用いて、鏡面加工を施した。その後、試験片表面にスパッタ装置(CFS-4ESII 芝浦メカトロニクス)を用いて、Ti 薄膜(10 nm)と Au 薄膜(100 nm)を成膜した。以降、この試験片を“試験片①”と称す。

2.2 試験片上の Au 薄膜の平滑化実験

平滑化実験の概略図を図 1 に示す。Au 薄膜(100nm)のみを成膜した PI(ポリイミド)フィルム(ゼノマックスジャパン(株)製 XENOMAX, 表面粗さ Sq 0.1 μm 程度)を用意し、試験片①と共に高速原子ビームによる表面活性化を行った。試験片①と PI フィルムの Au 薄膜同士を向かい合わせ、大気中、150℃下で 10 分間、約 13MPa の加圧により接合を行った。接合実験後に、PI フィルムを剥離し、PI フィルム側の Au 薄膜を試験片側表面へ転写することで、平滑な Au 薄膜を有する試験片を作製した。以降、この試験片を“試験片②”と記載する。

2.3 接合実験および強度評価

試験片①と試験片②をそれぞれ用意し、Ti 薄膜(10 nm)と Au 薄膜(100 nm)を成膜した Si チップとの接合実験を行った。接合は、大気中、常温下で 10 分間、約 30 MPa の加圧により実施した。接合後は、ダイシェアブレード試験を行い、接合強度を評価した。

3 実験結果および考察

3.1 研削加工後および Au 薄膜成膜後の試験片の表面粗さ

研削加工後の試験片を白色干渉計((株)Zygo 製 NewView7300)で表面粗さを測定したところ Sq 13nm であった。その後、Au 薄膜成膜した試験片を、白色干渉計((株)Zygo 製 NexView)で表面粗さを測定したところ、Sq 16 nm であった。

3.2 平滑化実験後の試験片観察

平滑化実験後の試験片②および剥離した PI フィルムの様子を図 2 に示す。PI フィルムの中央部において、PI フィルムの地肌が露出している箇所が見られた。一方、試験片においては中央部に色ムラがみられ、PI フィルム側の地肌露出部と反転する形に形成されていた。これらは部分的に PI フィルム側の Au 薄膜が剥離し、試験片側の Au 薄膜へと転写されたため生じたものである。

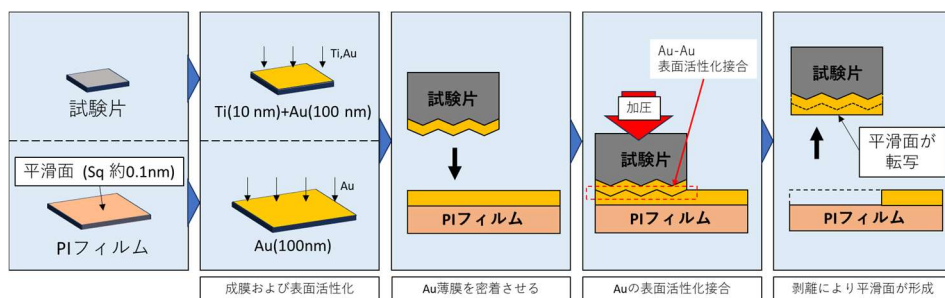


図 1 表面活性化接合を利用した試験片の平滑化

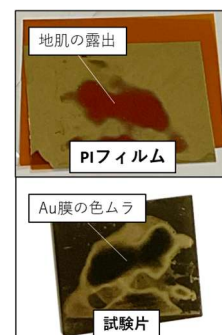


図 2 平滑化実験後の外観

この転写部境界付近について、観察結果および断面曲線を図 3 に示す。転写成功部から失敗部に向かって転写部の境界を横切る形で断面曲線を観察したところ、転写成功部の 0~2,000 μm 区間では表面粗さ R_q 8.9 μm 、転写失敗部の 4,000~6,000 μm 区間では表面粗さ R_q 21.9 μm であった。

3.3 接合実験および強度試験の実験結果

接合実験により、試験片①および試験片②は共に Si チップとの接合がなされた。なお試験片②の接合には、3.2 で得られた転写成功箇所にて接合実験を実施した。各実験後の試験片の表面粗さ、および強度試験により得られたそれぞれの接合強度を表 1 に示す。

試験片①では 1.99 MPa の接合強度が得られたが、試験片②では強度試験の途中で母材である Si チップの破壊が発生し、接合強度の算出には至らなかった。

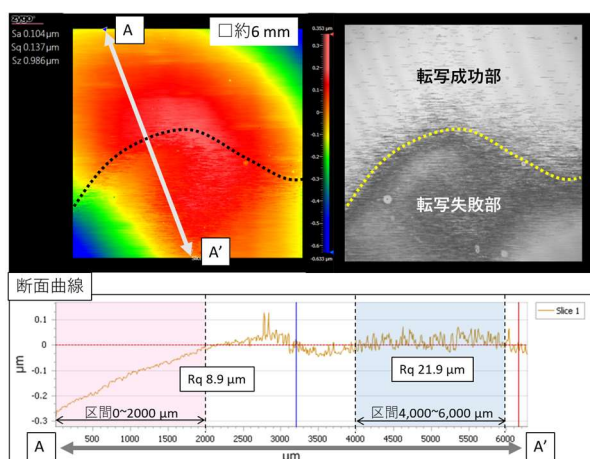


図 3 平滑化実験後の表面観察

表 1 各実験後の結果

	研削加工後 試験片	Au成膜後 試験片 (2.1)	平滑化実験後 試験片 (2.2)
表面粗さ (S_q)	13 nm	16 nm	11 nm
接合		接合可	接合可
接合強度		1.99 MPa	算出不可 (Si母材破壊)

3.4 考察

平滑化実験より、転写成功部においては、表面粗さが低減していることから Au 薄膜の平滑化がなされていると考えられる。また接合実験および強度評価より、より平滑な表面ほど高い接合強度を得やすいと判断でき、平滑化実験は有効であると考えられる。ただし、平滑化実験で Au 薄膜を全面に転写するためには、優れた平面度を持つ試験片の作製、試験片全面の表面活性化、試験片全面の均一な加圧が必要と考えられる。

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 金型鋼材 (Fe) と Si チップの異種材であっても Au 薄膜を介して表面活性化接合が可能である。
- 2) 金型鋼材においても、平滑化実験の実施により表面粗さの低減が可能であり、接合面は平滑であるほど、高い接合強度を得やすい。

謝 辞

研修を受け入れていただきました東北大学 日暮教授、日暮研究室の皆様に深謝いたします。

文 献

- 1) Eiji Higurashi : Room-Temperature Bonding of Wafers with Smooth Au Thin Films in Ambient Air Using a Surface-Activated Bonding Method (2017).

鑄鉄の金属組織制御による機能性付与に関する研究

【令和 6～7 年度技術開発・改善】

工業技術センター 置賜試験場 イノベーション連携部 ○高橋裕和
技術支援部 小川仁史
技術強化支援部 後藤仁 熊倉和之 高橋俊祐
新価値創出支援部 佐々木雄悟 村上周平
研究企画部 鈴木剛 齋藤壱実
庄内試験場 機電技術部 小川聖志
産業労働部 産業技術イノベーション課 齊藤寛史

1 緒 言

鑄鉄の生産量の約 51%は自動車部品に使用されている。近年、カーボンニュートラルの取り組みを背景に、自動車分野でも石油を使用するエンジンから、二酸化炭素排出量の少ない電気自動車(EV)への移行が進んでいる。この潮流に伴い、エネルギー効率の向上を目的とした車体の軽量化は重要な課題であり、その一環として、従来鑄鉄で設計されてきた部品が、アルミニウムや樹脂などの軽量材料へと置換されつつある。一方で、鑄鉄は鑄造性に優れ、安価であることから、建設機械や一般機械などの構造材料として広く活用されている。中でも、ねずみ鑄鉄(FC)は、振動減衰性および耐摩耗性に優れた材料であり、これらの特性は金属組織中の片状黒鉛の存在に起因する¹⁾。しかしながら、FCの片状黒鉛以外の母相(基地組織)が材料の諸特性に与える影響を研究した報告は少ない。本研究では、FCの基地組織を熱処理により変質させて粒状セメンタイトを生成させることで、FCに新たな機械的特性を付与し、鑄鉄の用途拡大に資する知見を得たので報告する。

2 実験方法

供試材はFC200級とし、材料を高周波溶解炉で溶解した後、直径 30 mm の鑄型に注湯して丸棒を作製した。この丸棒から熱処理用試験片(直径 30 mm×高さ 15 mm)を切り出し、熱処理実験を行った。さらに、各種熱処理を施した丸棒から、引張試験用ダンベル型試験片(JIS Z 2201-4)、シャルピー衝撃試験片(JIS Z 2202-3)、摩擦摩耗試験片(直径 30 mm×高さ 8 mm)を切り出し、各種試験を実施した。

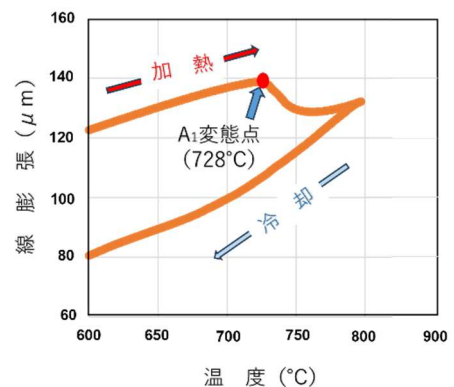


図 1 FC の線膨張測定結果

3 実験結果および考察

3.1 A1 変態点の調査

工具鋼の鍛造加工前に行われる応力除去では、セメンタイト球状化焼なましが行われている。この熱処理は鋼の相変態温度(A1 変態点)付近で実施されることから、FCの粒状化熱処理においても A1 変態点近傍で行った。熱機械分析装置(TMA-T60H 株式会社島津製作所製)を用いて FC の線膨張を測定した(図 1)。その結果、FC の A1 変態点は 728°Cであることがわかった。

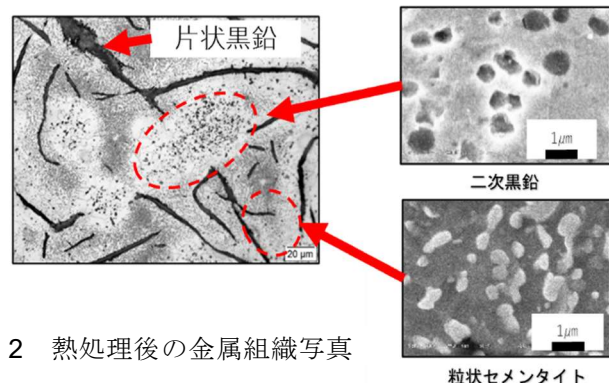


図 2 熱処理後の金属組織写真

3.2 熱処理と金属組織

セメンタイト粒状化熱処理の条件は、A1 変態温度以下で 2 時間保持とした。供試材は結晶微細化を狙い、鑄放しのパーライト組織に焼入れを施し、マルテンサイト組織に変化させた後、セメンタイト粒状化熱処理を行った。図 2 に、熱処理後の金属組織写真を示す。写真から、FC 特有の片状黒鉛が認められた。加えて、粒状セメンタイトと二次黒鉛が混在した金属組織が観察された。

3.3 振動減衰性能の測定

FFT アナライザ(DS-3000 株式会社小野測器)を用いて、a) S45C(焼きならし材)、b) FC(鑄放し材)および c) FC(粒状セメンタイト+二次黒鉛)の振動減衰性能を比較した。インパルスハンマにより試験片に自由振動を与え、振動振幅の収束時間を計測した。図 3 に各材料の応答波形を示す。S45C は 1.2 秒以上で収束し、共振波形も確認された。これに対し、FC(鑄放し材)は約 0.4 秒で収束し、わずかな共振波形が観察された。さらに、FC(粒状セメンタイト+二次黒鉛)は 0.2 秒以下で収束し、共振波形は認められなかった。これらの結果から、FC では基地組織が粒状セメンタイトの方が共振を抑制する効果が高いことがわかった。各々材料の振動減衰比を算出した結果、FC(粒状セメンタイト+二次黒鉛)は FC(鑄放し材)の約 3 倍の値を示した。これは、片状黒鉛に加えて二次黒鉛が相乗的に作用し、優れた振動減衰能を発現したためと推測できる。高い振動減衰能を有する材料は、「制振材料」として自動車部品や精密機器部品への応用が期待される。

3.4 機械的性質の調査

図 4 にこれらの材料の引張強さと振動減衰比の関係を示す。開発材料の機械的性質を把握するため、万能試験機(AG-100kNX 株式会社島津製作所製)を用いて引張強さを調査した。この結果、FC(鑄放し材)は 246MPa、FC(粒状化セメンタイト)は 206MPa、FC(粒状セメンタイト+二次黒鉛)は 156MPa であった。FC(鑄放し材)の引張強さを基準とした場合、FC(粒状化セメンタイト)は約 16%の強度低下、FC(粒状セメンタイト+二次黒鉛)は約 37%の強度低下を示した。

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 今回開発した、FC(粒状セメンタイト+二次黒鉛)は、FC(鑄放し材)と比較して引張強さが約 37%の強度低下を示したが、振動減衰比は約 3 倍向上した。
- 2) 開発した材料は高い振動減衰性能を有することから「制振材料」として新規材料として実用化が期待できる。

文 献

- 1) 日本鑄造工学会編：新版鑄鉄の材質, 日本鑄造工学会, 2012, 83 頁。

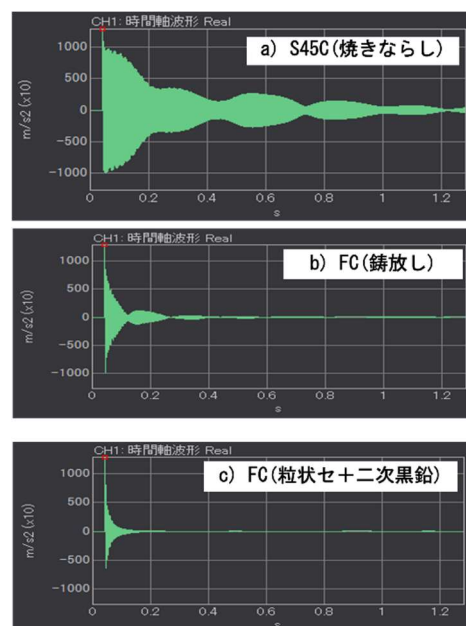


図 3 振動減衰性能の比較

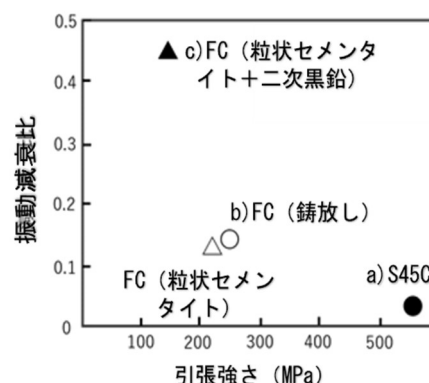


図 4 引張強さと減衰比の関係

デジタル技術を活用した日本酒製造条件管理技術の開発

【令和 5～7 年度デジタル活用事業】

【国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)委託研究事業「データ利活用等のデジタル化の推進による社会課題・地域課題解決のための実証型研究開発」】

工業技術センター 企業支援部 ○多田伸吾 下川浩太
企業支援部 デジタル・デザイン活用支援室 高野秀昭 今野俊介 中村信介
地域資源開発支援部 工藤晋平
置賜試験場 イノベーション連携部 奥山隆史

1 緒 言

山形県は古くから酒造りが盛んな地域であり、現在も県内 49 の酒蔵が各地域の特色を生かした酒造りを継承している。しかし、食文化の変化等により日本酒の消費量は減少傾向にあり¹⁾、酒蔵の経営環境は厳しさを増している。また、酒造りは杜氏の長年の経験と技能に支えられている一方で、冬季に集中する過酷な製造工程や人手不足、高齢化により、技術継承が喫緊の課題となっている。さらに、各酒蔵で確立された製造方法への依存が強く、工程改善やデジタル技術の導入も進みにくい状況にある。そこで、本研究では 3 社の酒蔵の協力を得て、デジタル技術活用に関する実証を行った。

2 研究開発内容

2.1 アルカリ崩壊試験法による醸造条件管理の確立

日本酒の主原料である酒米の状態を把握することは重要である。特に、酒米の溶解性は醸造条件を決定するうえで重要な要素である。当センターでは、アルカリ溶液に浸漬した酒米の崩壊過程を画像として記録し、画像処理により解析することで、酒米の溶解特性を定量的に評価する「アルカリ崩壊試験法」(図 1)を開発し、実用化している。品種・産地・収穫年等のデータを取得し、醸造条件管理のため比較検討を行った。

2.2 醪発酵工程管理手法の開発

醪発酵は、約 20 日間にわたりタンク内で進行する重要な工程であり、蒸米、麴、水が微生物の働きによって日本酒へと変化する。日本酒の醸造では、糖化とアルコール発酵が同一タンク内で同時に進行するため、内部の状態把握は難しく、管理は経験豊富な杜氏に依存している。そこで、本研究では、醸造技術の継承に向けて、デジタル技術を活用した醪発酵状態の把握に取り組んだ。

2.3 IoT による醸造条件モニタシステム構築

日本酒の製造工程では、微生物発酵を適切に制御し、目的とする品質に仕上げるため、各工程で状態の管理が行われている。特に温度管理は重要であるが、従来はアナログな温度計による手作業での測定と記録が中心であり、多くの労力を要していた。麴製造では、急激な温度変化を防ぐため夜通し監視を行う場合もある。そこで、製造現場の省力化や測定データの保存を目的として IoT システムを構築し、山形県内の酒蔵 3 社の協力を得て、2 か年にわたり有効性の検証を行った。

3 研究成果

3.1 アルカリ崩壊試験法による醸造条件管理の確立

過去 3 年間にわたり測定した酒米「出羽燦々」の年別平均値を図 2 に示す。数値が大きいほど溶けにくいことを示しており、近年は全体的に溶けにくい傾向が認められた。特に 2023 年産は、溶けにくい年であったことが数値として示された。酒造りに酒米の溶解特性を把握し、酒蔵へ情報提供することで、年ごとの醸造条件の調整が可能となり、品質の安定化に寄与できることが確認され

た。

3.2 醪発酵工程管理手法の開発

全面透明な容器でアルコール発酵（約 3 kg）を行い、カメラによるタイムラプス撮影（図 3）により醪発酵の状態を観察した。発酵の進行に伴い、固体状から液相や気層を含む複雑な状態へ変化する様子が確認された。さらに、取得画像を用いた AI 画像処理により仕込み日数の推定を行い、1 日目を確信度 97.0%，7 日目を 98.6%で識別できた。これらの結果から、温度管理や搾入れの適切なタイミングは、酵素液による液相の発生時期が一つの指標となる可能性が示唆された。

3.3 IoT による醸造条件モニタシステム構築

実証酒蔵に必要なセンサデバイスを調査し、酒造りにおいて基本となる温度管理に対応するため、醸造向けに 3 種のデバイスを開発した。システムには当センターで開発した IoT プラットフォームを用い、3 社の酒蔵に 50 台以上を設置してデータ収集を行った（図 4）。センサデバイスは 5 分間隔で測定し、1 台当たりの費用は 1～2 万円であった。さらに、現場に液晶モニターを設置するとともに、スマートフォンからもリアルタイムで測定データを閲覧できるようにし（図 5）、労働負荷の抑制や記録データの保持状況を確認した。

4 結 言

- 1) アルカリ崩壊試験法により酒米の溶解特性を数値で把握、品種・産地・収穫年等での比較を行い、当センターでの試験醸造、県内酒蔵醸造条件検討に役立てることができた。
- 2) 醪発酵工程を画像で記録し AI 画像処理等の技術を使い醪発酵の解析を行った。
- 3) 酒蔵 3 社にて、IoT システムの実証試験を行い、記録の自動化、リアルタイムモニタリング等の効果検証を行った。

謝 辞

本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT(エヌアイシーティー)）の委託研究「データ利活用等によるデジタル化推進による社会課題・地域課題解決のための実証型研究開発(第 2 回)」により得られたものである。また、実証には、男山酒造株式会社、千代寿虎屋株式会社、酒田酒造株式会社の 3 社の酒蔵に多大なる協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

文 献

- 1) 国税庁課税部酒税課酒税課酒類業振興・輸出促進室：令和 7 年 7 月 酒のしおり，国税庁課税部酒税課，2025，1-4 頁。

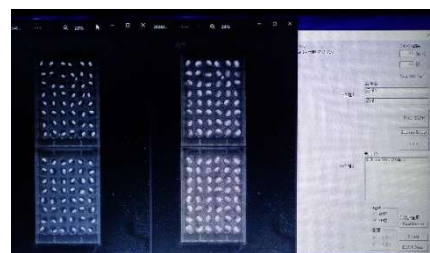


図 1 アルカリ崩壊試験



図 2 酒米溶解特性比較

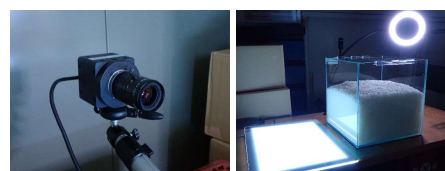


図 3 醪発酵のタイムラプス映像撮影環境



図 4 酒蔵へのセンサデバイス設置



図 5 測定データの見える化

次世代自動車関連部品開発支援におけるシミュレーションの活用

【令和5～6年度自動車キーテクノロジー支援研究開発事業】

【令和7年度デジタル活用事業】

工業技術センター 企業支援部 デジタル・デザイン活用支援室 ○橋本智明

新価値創出支援部 佐藤貴仁 山田直也

技術強化支援部 村岡潤一 熊倉和之 高橋俊祐 村山裕紀

置賜試験場 イノベーション連携部 数馬杏子

庄内試験場 機電技術部 高橋翔平

1 緒 言

次世代自動車関連部品では高度な設計・製造技術が必要とされ、その評価には試作などが伴い、非常に多くの時間やコストがかかる。自動車関連の大手企業では、シミュレーション技術を活用することで試作回数を削減し、開発効率の向上を実現している。中小企業においてもシミュレーション技術の活用は、開発期間の短縮やコスト圧縮ならびに大手企業との取引における技術的根拠の共有など、競争力強化に非常に有効な手段である。そこで当センターでは、県内中小企業の競争力を高めるため、シミュレーション技術の高度化と事例の蓄積及び事例公開を進めた。

2 研究概要

次世代自動車関連部品では、設計・製造技術の高度化に伴い、実際の現象に近い挙動を把握するために複数の物理現象を複合的に解析する連成解析の重要性が高まっている。このため、本研究において、構造・流体・熱などを組み合わせた連成解析手法を確立した。解析する物理現象は、次世代自動車関連部品でニーズの高い「樹脂成形技術」、「めっき技術」、「金属加工技術」の3分野に加え、企業からの相談案件や企業ニーズの高い課題にも広げ、解析手法の検討を行った。また、県内企業との共同研究を通じた解析手法の構築も進めた。さらに、県内中小企業への成果普及を目的に、解析事例集を作成・公開するとともに、普及セミナーも実施した。

3 企業との共同研究

本事業の一環で、県内企業3社と共同研究(トライアル共同研究も含む)を実施し、次のテーマについてシミュレーションを活用し解析に取り組んだ。それぞれの事例の詳細は、後述の事例集にも掲載している。

1. 「ヒーター最適配置の検討」(熱、流体の連成解析、生産用機械器具製造業A社)
2. 「磁石の磁化反転解析」(電磁界解析、はん用機械器具製造業B社)
3. 「バルブ部品の破損原因調査」(構造、流体の連成解析、生産用機械器具製造業C社)

4 解析事例

4.1 解析・検証

前項の事例も含め、事業期間内に63件のシミュレーション解析・検証を実施した。一般的な解析の流れは次のとおりである。

- ①対象とする部品や構造について、使用条件や評価目的を整理する。
- ②形状や材料特性をもとに、コンピュータ上でシミュレーションモデルを作成する。
- ③荷重や環境条件などの計算条件を設定し、シミュレーションを実行する。
- ④得られた計算結果を整理・分析し、性能評価や課題点の把握を行う。
- ⑤必要に応じて実験結果や既存の知見と比較し、結果の妥当性を確認する。

4.2 事例分類方法の検討

解析事例集に記載するにあたり分類方法について検討した。

当初、技術分野ごとの分類を検討したが、解析の目的に応じて整理した方が実用的で参考になると判断した。そのため、本事例集では内容を表 1 に示す 5 つの用途別に分類した。

次に、実施した解析の目的、難度、精度を理解しやすいように、解析精度レベルを定義した(表 2)。

表 1 用途の分類

用途	定義
初期評価	構想段階での実現性を確認する
設計検討	設計案を比較し、設計方針を検討する
性能評価	製品や部品の性能を評価する
原因究明	不具合や問題の原因を特定する
その他	いずれにも該当しないもの

表 2 用途の分類

		解析精度レベル		
		低	中	高
評価項目	境界条件	簡略化	主要条件を再現	実測データを反映
	材料モデル	線形モデル、線形領域	簡易的な非線形モデル	実測に合う非線形モデル
	解析タイプ	静解析(定常解析)、簡易的な動解析、線形解析	時刻歴解析(非定常解析)、非線形解析、一方向連成解析	双方向連成解析、マルチフィジックス解析
	計算負荷	数分/解析	数十分～1 時間以内/解析	数時間/解析
	解析検討期間	数時間～数日程度	1 週間～数週間程度	数か月～1 年程度
	精度目標	傾向把握レベル	設計判断に十分	実験値に近い

そのほか、構造・流体・熱などの解析の種類や使用ソフト、支援方法などを基本情報として掲載するとともに、解析モデルや解析結果を示した解析事例を図 1 の様式で作成した。

5 解析事例の普及

シミュレーション活用の普及・啓発を目的としてまとめた解析事例のうち、公開可能な 50 件を当センターホームページで公開した。

公開先 https://yrit.jp/wp-content/uploads/R7_CAE.pdf

また、令和 8 年 3 月 18 日に「ものづくりの未来を変えるシミュレーション活用セミナー」を開催し、外部講師として、シミュレーションメーカーの開発実務者からシミュレーション技術の現在と今後の方向性などについて講演いただいた。さらに、当センターが支援した企業 2 社よりシミュレーション活用事例について発表いただいた。あわせて、公開した事例集についても紹介した。セミナーには県内の 21 社・団体が参加した。

6 結 言

- 1) 事業期間内に県内企業 3 社とシミュレーションを活用した共同研究を実施した。
- 2) シミュレーションを活用し、「樹脂成形技術」、「めっき技術」、「金属加工技術」の 3 テーマの他に、企業から寄せられた相談や企業ニーズの高い課題にも対応し、計 63 件の解析・検証を行った。
- 3) 解析・検証を行った事例の中から公開可能な事例 50 件を、解析事例集として当センターホームページに公開した。
- 4) 令和 8 年 3 月 18 日に「ものづくりの未来を変えるシミュレーション活用セミナー」を当センター主催で実施し、シミュレーション活用の普及・啓発を行った。

初期評価	設計検討	性能評価	原因究明	その他
タイトル YRIT				
背景 1. 目的 2. 課題				
解析モデル 解析結果				
まとめ				
山形県工業技術センター「ものづくりの未来を変えるシミュレーション活用事例集」				

図 1 解析事例様式

高解像度ディスプレイに対応した超高精細マイクロレンズアレイの研究開発

【令和 5～7 年度経済産業省成長型中小企業等研究開発支援事業(Go-Tech 事業)】

株式会社 IMUZAK 先行開発部 ○澤村亮輔 澤村一実
株式会社コシブ精密 荻原順治 荻原誠 高廉傑 中村裕伸
株式会社ヒキフネ 国井勝己 谷口健太 宮下清史 梶原祥子
工業技術センター 新価値創出支援部 佐々木雄悟 吉田一樹 加藤睦人
技術強化支援部 金田亮 村岡潤一
産業労働部 産業技術イノベーション課 齊藤寛史
置賜試験場 高橋俊広

1 緒 言

昨今、オンライン上でのビジネスシーンの増加、車載インターフェイスの高機能化やデジタルサイネージ等において、より視覚的なインパクトを与えられる空中浮遊映像インターフェイスへの期待が高まっている。(株)IMUZAK では、マイクロレンズアレイ(以下 MLA と略記する)方式による特殊な眼鏡等を使用せず裸眼のままで奥行き感のある映像が得られる空中浮遊映像デバイス(図 1)の開発を進めてきた。MLA 方式は、複数の透明な MLA シートを重ね合わせて空中浮遊映像を実現するもので、その MLA シートは微細な金型による射出成形で作製される。金型には膨大な数のマイクロレンズを形成する必要があるため、従来の機械加工による金型作製法では加工面積、精度に限界が近づいている。しかし映像ディスプレイの高解像度化に伴い、立体浮遊映像の高精細化は必然であり、その光学設計及び製造プロセスの構築が急務となっている。本研究では、解像度 130 ppi, MTF(変調伝達関数) 0.5 cycle/mm, 視野角 45° を実現するための光学設計、フォトリソグラフィと電鍍技術及び精密金型加工技術による MLA 金型の製造方法を確立したので報告する。

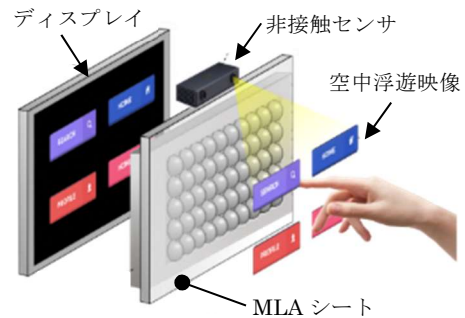


図 1 MLA 方式の空中浮遊映像概略

2 実施内容

2.1 工程設計

MLA 金型をフォトリソグラフィ及び電鍍によって作製する場合、フォトリソグラフィで作製する MLA 基板は最終的な射出成形用金型と同じ形状であるため、2 回の Ni 電鍍によって形状を転写する必要がある。図 2 に MLA 金型作製工程を示す。

2.2 映像品質の高度化

マイクロレンズアレイの基本的な性能: MTF 0.5, 視野角 45° を維持したまま、レンズ密度 130 ppi への高精細化を目指した。本研究では、実質的に肉眼に入射する光線のみで評価し、より現実的な性能をシミュレーションし、MLA の最適設計値を得た(図 3)。

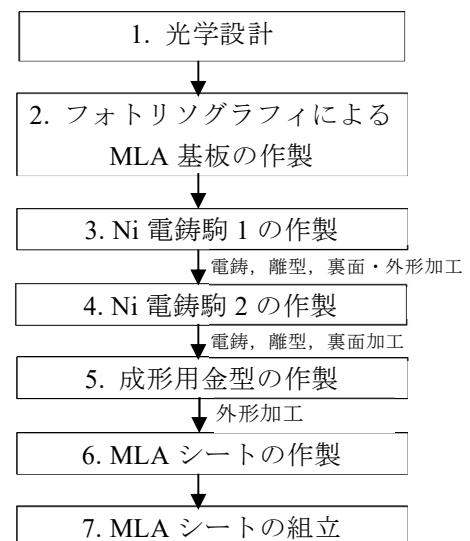


図 2 MLA 金型作製の工程フロー

2.3 3D フォトリソグラフィ技術による高精細 MLA 基板の形成

電鍍の原型となる MLA 基板は、フォトレジストにレーザー描画装置でパターンを描画し、現像、ベークすることで3次元形状を作製する。MLAシートは表裏対称のため、2枚の金型が必要となる。そのため、MLA 基板間での形状ばらつきを低減するため、現像条件の最適化とベーク装置の改良を行った。その結果、MLAの形状精度を100 nm 以下にすることができた(図4)。

2.4 精密厚肉電鍍による MLA 基板からの高精度転写技術の開発

MLA 基板の形状を高精度に転写した Ni 電鍍駒を得るために電鍍条件の検討を行った。その結果、MLA 基板の親水化処理、低温電鍍浴等を採用することとした。また、電鍍駒 1 から電鍍駒 2 への転写、裏面及び外周加工を経て最終的に金型に仕上げる際、各工程間で MLA が形成された面と裏面の平行度及び平面度を担保する必要がある。そこで、新たに精密電鍍離型装置と機械加工による高精度な電鍍治具(図 5)を設計・採用した結果、4.6 μm PV 以内の反り量に抑えることができた。

2.5 高精度貼合わせ治具(装置)の開発

立体浮遊映像を実現するため、MLAシートを複数枚貼り合わせる必要があることから、MLAシートどうしのレンズ位置を精度よく位置決めし、貼合わせする治具を開発した(図6)。その結果、2枚のMLAシートのXY方向のずれが10 μm 以下、Z方向の浮きが5 μm で貼り合わせることができた。

3 まとめ

光学設計をもとに、3Dフォトリソグラフィ技術と高精度電鍍転写技術により超高精細MLA用金型を作製した。従来の機械加工での金型作製では困難な精度、MLA数を実現することができた。

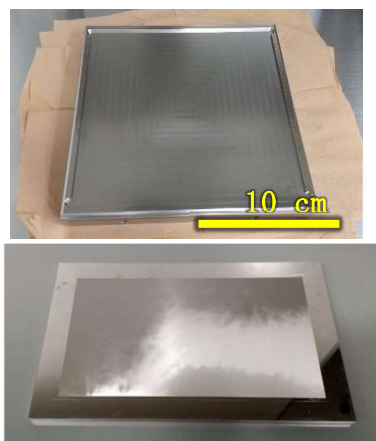


図 5 開発した 1 次電鍍治具(上)と仕上がった 2 次電鍍駒(下)

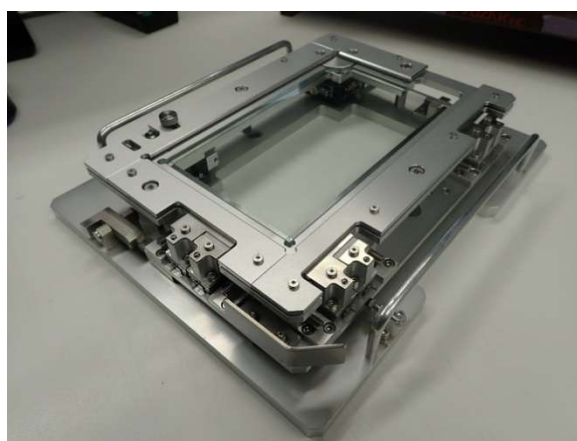


図 6 MLA シート高精度貼合わせ治具

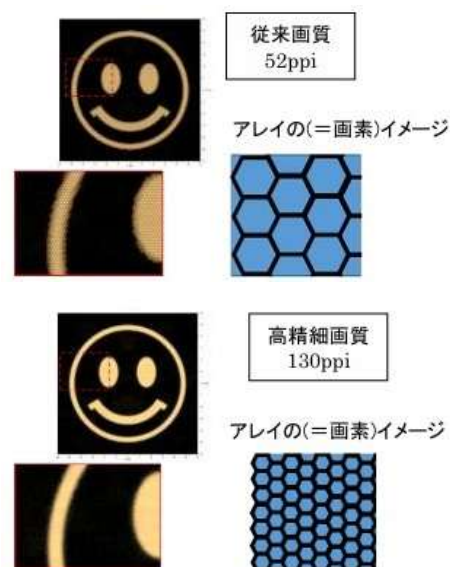


図 3 従来 MLA の高精細 MLA の比較
(光学シミュレーション結果)

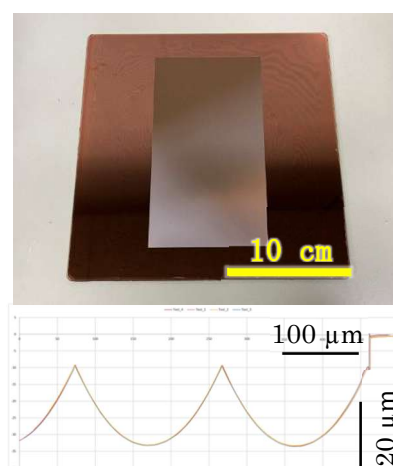


図 4 完成した MLA 基板(上: MLA 基板外観, 下: 4 基板の形状測定結果)

三次元チップブレードと表面テクスチャリングによる PCD 工具の高性能化

【令和 5～7 年度環境調和型ものづくり事業】

工業技術センター 新価値創出支援部 ○佐々木雄悟 佐藤貴仁 半田賢祐 小林庸幸
技術強化支援部 金田亮 村岡潤一 五十嵐裕基
企業支援部 デジタル・デザイン活用支援室 一刀弘真

1 緒 言

自動車や航空機産業では、燃費向上に向けた部品の軽量化としてアルミ合金への代替が進んでおり、従来の切削工具よりも耐摩耗性に優れる PCD (Poly-crystalline Diamond, 多結晶ダイヤモンド) 工具の需要が増加している。延性材料であるアルミ合金では切りくずが長くなるため、切りくずの巻き付きによるチョコ停が発生しやすい。そのため、切りくずを分断することが、設備の時間稼働率を高め省エネへの貢献につながる。切りくずの分断手法として、三次元チップブレードが挙げられるが、チップブレード内に凝着物が付着することで切りくずの分断効果が低下する課題がある。そこで本研究では、表面テクスチャリングによって耐凝着性の改善を行い、三次元チップブレードの効果の持続性向上を目指した。

2 実験方法

2.1 三次元チップブレードの効果検証

切りくず分断性を評価するため、NC 旋盤(旧日立精機株式会社, NR-15)にて、アルミ合金 A5052 と水溶性切削油(株式会社ユシロ, AP-EX-E1)を使用し外丸削りを実施した。工具は、標準工具(住友電気工業株式会社, NF-DCMT11T304N-DA1000)と三次元チップブレード付工具(住友電気工業株式会社, NF-DCMT11T304N-DA1000-GD)を使用した。推奨加工条件(切込み量 $a=0.1\sim1.0\text{mm}$, 1 回転当たり送り量 $f=0.1\sim0.3\text{mm/rev}$, 切削速度 $vc=500\text{m/min}$)における切りくず形状を一覧にまとめた切りくず比較表を作成し、切りくず分断性を評価した。また、各条件における加工時間を測定し、切りくず巻き付きによるチョコ停の防止効果を確認することで、設備の時間稼働率を評価した。

2.2 超短パルスレーザを用いた表面テクスチャリング加工技術の獲得

岩手県工業技術センター所有の超短パルスレーザ(株式会社ラステック, LPF-2)を使用し、PCD 工具に μm オーダーのテクスチャ(ディンプル形状)と nm オーダーのテクスチャ(LIPSS : Laser-Induced Periodic Surface Structure)を有した複合テクスチャを形成した。また、LIPSS の効果を確認するため、純水を用いた濡れ性評価を実施した。

2.3 表面テクスチャリングによる耐凝着性評価

標準工具、及び三次元チップブレード付工具に表面テクスチャリングを形成したテクスチャ工具の耐凝着性を評価するため、アルミ合金 A6061 を用いて外丸削り($a=0.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$, $vc=300\text{m/min}$)を行った。切削距離 3km(標準工具), 6km(三次元チップブレード付工具)における工具すくい面をマイクロスコープ(株式会社ハイロックス, KH-8700)にて観察し、凝着状態を確認した。

3 実験結果および考察

図 1 に切りくず比較表を示す。標準工具では、 $a=1.0\text{mm}$, $f=0.2\sim0.3\text{mm/rev}$ の限定的な領域のみで切りくずが分断された。一方、三次元チップブレード付工具では、 $a=0.1\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$ 以外の広範囲で切りくずの分断が確認された。また、中仕上げ想定加工条件($a=0.5\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$, $vc=500\text{m/min}$)における加工時間は、標準工具 25s/pass, 三次元チップブレード付工具 20s/pass と

なった。標準工具では、切りくずが分断しないため切りくずの巻き付きが発生し、加工時間に加えて切りくず除去作業 5s/pass が追加が必要となった。つまり、加工機の時間稼働率は、三次元チップブレイカー付工具によって 20%改善した。

図 2 に、超短パルスレーザで加工したディンプル形状の SEM 画像と非接触三次元測定機(三鷹光器株式会社, NH-3SP)で測定した断面図を示す。図 2 より、直径 50 μm 、深さ 50 μm のディンプルの内部に LIPSS が形成されており、超短パルスレーザで、複合テクスチャを形成できることが示された。図 3 に LIPSS の濡れ性を評価した液滴画像を示す。図 3 より、LIPSS が PCD 表面の濡れ性を親水側に改質することを確認した。このことから、LIPSS は、ディンプルによるマイクロ・プール効果をより増強させる効果が期待できる。

図 4 に、外丸削りにて切削距離 3km 加工した標準工具とテクスチャ工具の画像を示す。赤破線内が切りくずと工具が接触した箇所であり、標準工具よりもテクスチャ工具の凝着物が減少していることがわかる。これは表面テクスチャリングによって、凝着を抑制するマイクロ・プール効果と凝着物の成長を抑制するマイクロ・カッター効果が発現したためと思われる。図 5 に、三次元チップブレイカー付工具に表面テクスチャリングを施した耐凝着性評価の結果を示す。切削距離 6km 時点で、テクスチャなし工具はでチップブレイカーの溝を埋める凝着物が付着していたが、テクスチャありの工具では確認されなかった。このことから、三次元チップブレイカー内に表面テクスチャリングを形成することで、チップブレイカー内部に付着する凝着物を抑制できることが示唆された。

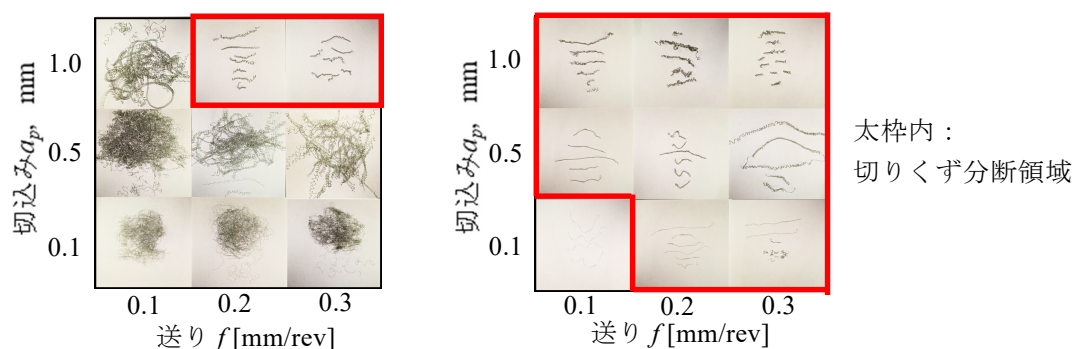


図 1 切りくず比較表(左: 標準工具 右: 三次元チップブレイカー付工具)

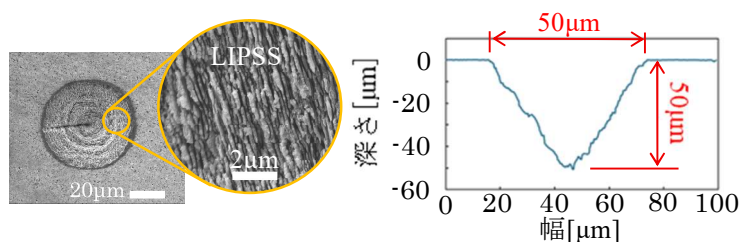


図 2 ディンプルの SEM 画像と断面形状

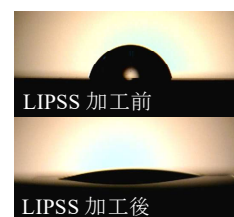


図 3 濡れ性評価

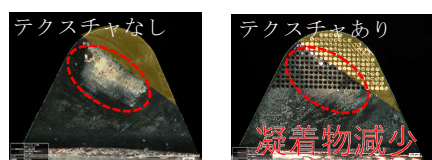


図 4 テクスチャ工具の耐凝着評価



図 5 チップブレイカー内の耐凝着評価

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 三次元チップブレイカーによる切りくずの分断により、加工機の時間稼働率が 20%改善した。
- 2) 超短パルスレーザにより、 $\mu\text{m} \cdot \text{nm}$ オーダーの複合テクスチャを形成できた。
- 3) 複合テクスチャによって耐凝着性が改善し、三次元チップブレイカーの効果の持続性向上が示唆された。

高圧水素用ステンレス鋼の機械加工技術の開発

-第 1 報 旋削加工-

【令和 6～8 年度環境調和型ものづくり (GX・CN) 事業】

工業技術センター 新価値創出支援部 ○小林庸幸 半田賢祐 佐藤貴仁 佐々木雄悟 村上周平
置賜試験場 技術支援部 松田丈 小川仁史
庄内試験場 機電技術部 小川聖志

1 緒 言

2050 年までに二酸化炭素の排出量を実質ゼロにするカーボンニュートラルの実現に向け、水素ステーションの設置や水素燃料電池車の普及が進められている。水素は地球上で最も軽い気体であり、標準状態でエネルギー密度が低いため、貯蔵や運搬の際は数十 MPa に圧縮、又は-253℃以下で液化する場合が多い。

一方で、水素には金属を脆くする“水素脆性”という性質があるため、特に 1MPa 以上の高圧水素環境下において、水素ステーションに用いられる配管継手等の部材に使用可能な材料(以下、高圧水素材)が限定される¹⁾。高圧水素材は難削材として知られているが、切削加工性に関する研究は少ない^{2,3)}。そこで本研究では、高圧水素材である日本製鉄(株)製 HRX19[®]⁴⁾を含む複数の材料を被削材とし、材料試験及び旋盤による切削加工実験を行い、切削加工性に影響する材料特性及び基礎的な切削加工性を調べたので報告する。

2 実験方法

2.1 材料試験

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304、高圧水素材である HRX19[®]及び XM-19 の各材料を用いた。表 1 に各材料の Fe を除く成分を示す。各材料の金属組織観察、精密万能試験機による圧縮試験後の硬さ測定、及び切削加工実験後の硬さ測定を行い、材料特性を把握した。

2.2 旋盤による切削加工実験

図 1 に実験装置の外観を、表 2 に実験条件を示す。NC 旋盤を用いて円柱状被削材の外丸削りを各条件で 1 パス行い、被削材及びコーティングの違いによる切削性を比較した。各切削工具のチップブレードは可能な限り同一形状とした。切削性の評価は、加工中の切削抵抗、及び加工後の切削

表 1 各材料の Fe を除く成分

名称	引用元	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	N	Nb
SUS304	JIS G 4303	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	18.00-20.00	8.00-10.50	-	-	-	-
HRX19 [®]	ミルシート	0.009	0.39	5.44	0.019	0.000	22.29	13.20	2.12	0.18	0.31	0.21
XM-19	ミルシート	0.043	0.50	5.22	0.03	0.001	21.78	11.80	2.09	0.12	0.266	0.123

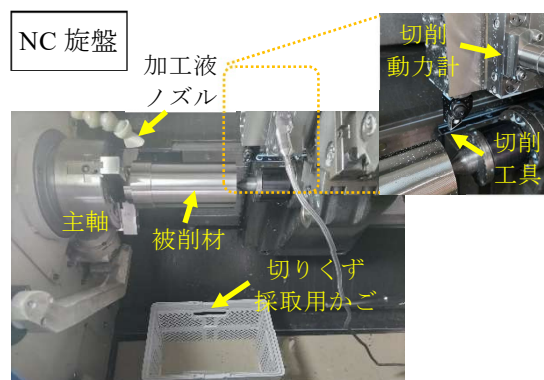
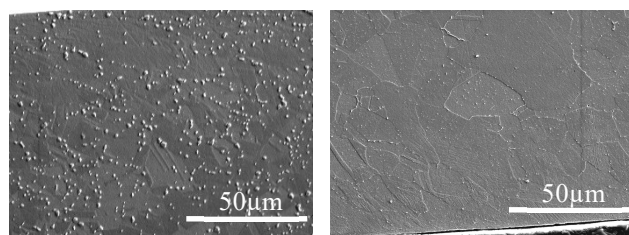


図 1 切削加工実験装置外観

表 2 実験条件

加工機 加工形態	NC旋盤 旧日立精機(株) NR-15, 外丸削り
加工液	水溶性切削液 (株)ユシロ AP-EX-A1
給油方法	常圧, 外部給油
切削工具	コーティング超硬 55°菱形ネガ コーナ半径 $r=0.8\text{mm}$ コーティングA～H 8種類
切削動力計	小型多成分動力計 キスラー 9119AA2
径方向切込み深さ a , mm	0.5(半径)
1回転あたり送り量 f , mm/rev	0.4
理論表面粗さ R_z , μm	25
切削速度 v_c , m/min	100, 150, 200, 250, 300, 350 (最大6水準)
回転数 n , min^{-1}	436～1921(被削材直径, 切削速度に合わせて変化)



a) HRX19® b) XM-19

図 2 EPMA による金属組織観察
王水腐食

工具の逃げ面摩耗により行った。

3 実験結果および考察

3.1 材料試験

図 2 に電子プローブマイクロアナライザ EPMA による金属組織二次電子像を示す。HRX19®及び XM-19 は ASME SA-479 及び SA-312 と同一規格の材料であるが、金属組織に違いがみられた。図 3 に圧縮試験後、図 4 に切削加工後のビッカース硬さ測定結果をそれぞれ示す。これらの結果から、いずれの被削材でも加工硬化が発生していることがわかった。

3.2 旋盤による切削加工実験

図 5 に被削材ごとの切削速度に対する切削抵抗背分力の変化を示す。HRX19®及び XM-19 は SUS304 と異なり、切削速度の増加に伴い切削抵抗が増加する傾向にある。被削材の温度軟化よりひずみ速度硬化が支配的であると考えられる。

図 6 に被削材を HRX19®としたときのコーティングによる逃げ面摩耗の違いを示す。 $v_c = 100 \sim 300 \text{ m/min}$ においてコーティング D の逃げ面摩耗が小さく、HRX19®の加工に適すと考えられる。

4 結 言

本研究で得られた知見は以下のとおり。

- 1) 各被削材で加工硬化が発生した。
- 2) HRX19®及び XM-19 の旋削加工ではひずみ速度硬化が支配的であり、HRX19®の加工にはコーティング D が適すと考えられる。

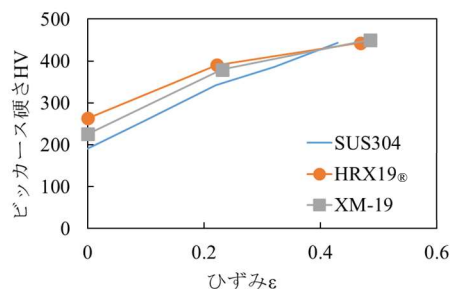


図 3 被削材圧縮試験後の
歪みと硬さの関係

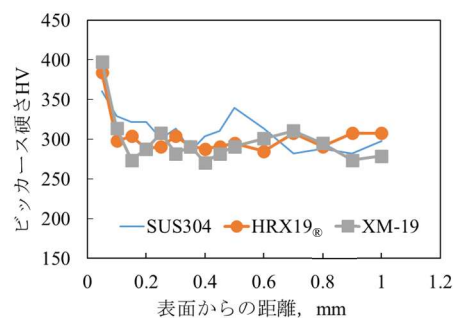


図 4 切削加工後の被削材の
深さ方向硬さ分布

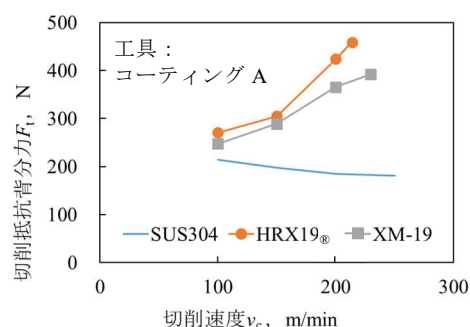


図 5 切削速度と切削抵抗背分力の関係
被削材違い

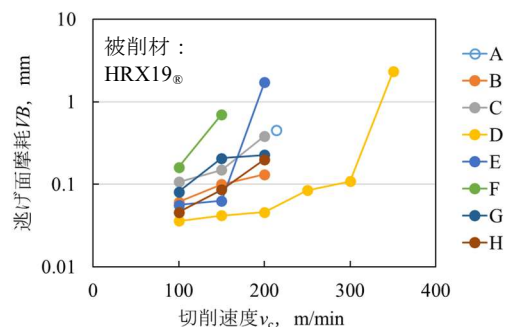


図 6 切削速度と逃げ面摩耗の関係
コーティング違い

文 献

- 1) 一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について 改正 20251031 保局第 1 号 令和 7 年 11 月 11 日 別添 一般高圧ガス保安規則関係例示基準 9. ガス設備等に使用する材料
- 2) 岡村弘太, 植竹大輔, 曾田将来: 栃木県産業技術センター研究報告 No.21 (2024)55
- 3) 渡邊義典, 窪田和正: 愛知製鋼技報 Vol.42(2026)42
- 4) 中村潤 他: まてりあ, 57(2)(2018)69

第 89 回 研究・成果発表会講演要旨集（2026. 7 月）

編集発行 山形県工業技術センター 研究企画部

〒990-2473 山形市松栄 2 丁目 2 番 1 号

TEL (023) 644-3222

FAX (023) 644-3228
