

希少糖の食品加工特性評価（第一報）

—希少糖含有シロップを使用した醤油加工品の味質改善効果—

三好 美玖, 稲津 忠雄, 竹歳 麻耶, 木村 功

希少糖含有シロップが醤油加工品の味覚に及ぼす効果を検討した。味認識装置による分析結果及び官能評価結果より、希少糖含有シロップを配合した醤油加工品は、醤油の使用量を2割減らしても、上白糖を使用した通常の醤油加工品と同程度のうま味コクを有し、希少糖含有シロップ配合により風味が保持され、かつ、嗜好性が高い減塩した醤油加工品が製造できることが示された。

1 緒言

日本人の食塩摂取量は令和元年国民健康栄養調査¹⁾によると、平均10.1gとなっているが、国の推奨する1日当たりの食塩摂取量²⁾は男性7.5g未満、女性6.5g未満であり、食塩を過剰に摂取している状況である。また、食塩の食品群別栄養素摂取量¹⁾をみると、調味料から約60%が摂取されている。そのため、調味料からの摂取量を抑えることで、食塩摂取量を低減化できると考えられる。

香川県は醤油の出荷数が全国5位³⁾であり、県内の製造品出荷額の9割近く⁴⁾が小豆島で占められている。醤油は利用範囲が広い調味料であるが、その消費量は年々減少しており、1世帯当たりの年間支出金額が20年前の69%に減少している⁵⁾。一方、醤油加工品であるつゆやたれは、146%に増加しており、今後も消費が見込まれる調味料である。調味料からの食塩摂取量を抑制するには、醤油の使用量を減らすことが最も有効であるが、風味が従来品よりも劣ることから、様々な加工素材が選択されてきた。

一般的に醤油加工品には調味加工のため、甘味料が用いられており、甘味の付与や香味に効果を及ぼしている⁶⁾。甘味素材の一つである、希少糖含有シロップ(RSS, Rare Sugar Syrup)は、血糖値上昇抑制作用⁷⁾を有する機能性表示食品として届出が完了した甘味料⁸⁾である。また、RSS中の希少糖を関与成分とした機能性表示食品に必要なエビデンスも整っていることから、RSSを適量用いることで健康に配慮した食品の製造が可能となる。また、RSSには食品に利用した際、フレーバーリリース向上や風味付与等の効果があり^{9), 10)}、醤油加工品にRSSを用いることで、減塩した際の風味を引き立たせることも期待できる。

そこで本研究では、調味料に由来する塩分の過剰摂取を抑制するため、減塩した醤油加工品にRSSを利用し、味認識装置及び官能評価を用いて従来品と比較することにより、醤油加工品の風味に及ぼすRSSの効果について検討した。

2 実験方法

2.1 原料

RSS(松谷化学工業株式会社製)、砂糖(商品名:上白糖:三井製糖株式会社製)、醤油(商品名:特選丸大豆

しょうゆ:盛田株式会社製)及び粉末鰹節(商品名:ほんだし:味の素食品株式会社製)は市販品を購入した。

2.2 醤油加工品の調製

醤油6g及び粉末鰹節6gを混合し、上白糖を加え最終Brix濃度が7°になるように水で調製した(最終液量100ml)。本調味液を基本配合とし、上白糖のBrix当たり0, 2, 5, 10割にRSSを代替したもの、醤油を重量当たり2割減じて同様に糖を代替したもの、計8種の醤油加工品を調製した。

2.3 味認識装置による味の評価

味認識装置 SA402B(株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー)を用いて調製した醤油加工品を測定した。味覚の分析には、5つのセンサー、AAE(先味:うま味, 後味:うま味コク), CTO(先味:塩味), CA0(先味:酸味), C00(先味:苦味雑味, 後味:苦味), AE1(先味:渋味刺激, 後味:渋味)を使用した。

2.4 官能評価

3点識別嗜好試験法¹¹⁾及び順位法¹¹⁾により、醤油加工品の官能評価を実施した。

3点識別試験では、2種類の味の異なる試料のうちどちらか一方の試料を2個、他の試料を1個選び、合計3個からなる試料の組をランダムに設定した。被験者が3試料から2つの同じ試料を正しく指摘した数を求め、この数を基に3点識別検定表による検定を行った。さらに3点嗜好試験として、3点識別試験で正しく指摘した回答の中から、うま味コクが最も強く感じると答えた数を2種類の試料で比較し、この数を基に3点嗜好検定表による検定を行った。

順位法では、3点識別試験法にて有意差がみられなかったものに対して実施した。試料について好ましい方から順位を付けさせ、この順位和を基に、Kramerの検定表により検定を行った。

3 結果および考察

3.1 味認識装置による醤油加工品の評価

図1に今回調製した醤油加工品の味認識装置による分析の結果を示す。

先味の塩味、苦味雑味及びうま味、後味のうま味コクにおいては通常の醤油加工品と、減塩した醤油加工品では評価が異なっていた。うま味については醤油を2割減らすことで、いずれの醤油加工品においてもセ

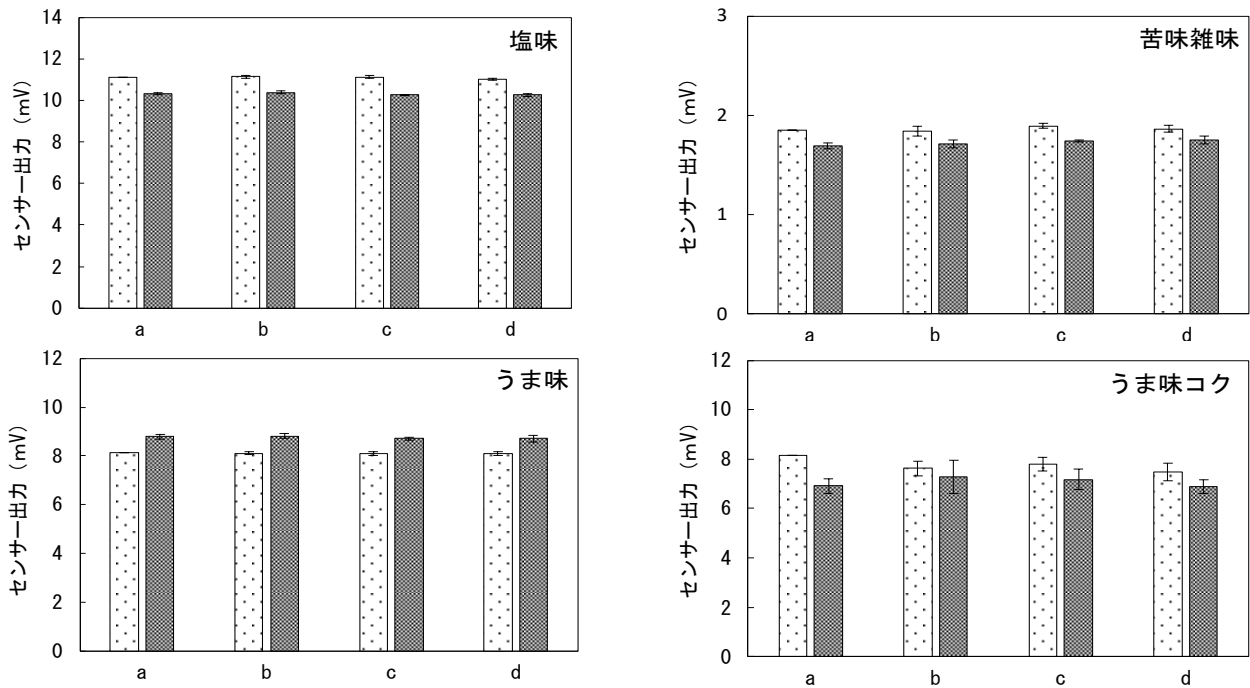


図1 味覚センサーによる醤油加工品における味評価
 醤油通常, □; 醤油2割減, ■.

a, 上白糖のみ; b, 上白糖 8割+RSS 2割; c, 上白糖 5割+RSS 5割; d, RSSのみ.

表1 3点識別嗜好試験によるうま味ココにおける各醤油加工品の官能評価

n (人)	3点識別試験		正解者による嗜好 (3点嗜好試験)		
	正解(人)	検定	上白糖のみ/醤油通常(人)	上白糖のみ/醤油2割減(人)	検定
30	19	P<0.01	11	8	P<0.05
n (人)	3点識別試験		正解者による嗜好 (3点嗜好試験)		
	正解(人)	検定	上白糖のみ/醤油通常(人)	上白糖 8割+RSS 2割/醤油2割減(人)	検定
30	9	N.S.	-	-	-
n (人)	3点識別試験		正解者による嗜好 (3点嗜好試験)		
	正解(人)	検定	上白糖のみ/醤油通常(人)	上白糖 5割+RSS 2割/醤油5割減(人)	検定
30	14	N.S.	-	-	-
n (人)	3点識別試験		正解者による嗜好 (3点嗜好試験)		
	正解(人)	検定	上白糖のみ/醤油通常(人)	RSSのみ/醤油2割減(人)	検定
30	13	N.S.	-	-	-

N.S., Not Significant difference (有意差なし). ; -, 評価実施せず.

センサー出力が高くなっていた。一方、塩味、苦味雑味及びうま味ココについては醤油を2割減らすことで、いずれの醤油加工品においてもセンサー出力が低下していた。

また、うま味ココについても、醤油を2割減らすことにより、センサー出力が低下していたが、上白糖をRSSに置き替えることで、上白糖のみを使用した場合に比べて、うま味ココのセンサー出力値の低下を抑制していた。岡崎ら¹²⁾は、全国醤油品評会で入賞した醤油はうま味ココが高いと報告しており、本研究においてもうま味ココが高い醤油加工品は嗜好性が高くなると考えられる。これらの結果より、通常の醤油加工品を減塩することにより生じるうま味ココの減少を抑制した醤油加工品が、RSSを使用することで製造できる

可能性が示唆された。先味の酸味および渋味刺激、後味の渋味、苦味についてはセンサー出力値が1以下であることから、無味であると考えた。

3. 2 うま味ココにおける各醤油加工品の官能評価

次に、味認識装置で得られた特徴を確認するため、3点識別嗜好試験法による官能評価を実施し、RSSを使用し醤油を2割減らした場合のうま味ココの差について評価した(表1)。

上白糖を使用した通常の醤油加工品と、上白糖を使用し醤油を2割減らした醤油加工品と比較すると、うま味ココが有意に識別できており(p<0.01)、醤油を2割減じない通常の醤油加工品が、うま味ココを強く感じるという結果が得られた(p<0.05)。つまり、醤油を2割減らすことで通常の醤油加工品と識別できて、う

表2 順位法による醤油加工品間での嗜好性

試料		n	順位計	検定
糖	醤油			
上白糖のみ	通常	16	46	N. S.
上白糖 8割+RSS 2割	2割減	16	35	N. S.
上白糖 5割+RSS 5割	2割減	16	40	N. S.
RSSのみ	2割減	16	39	N. S.

N. S., Not Significant difference (有意差なし).

まみコクを感じにくくなることが分かった。

一方、RSS で上白糖を置換し醤油を2割減らした醤油加工品と上白糖を使用し醤油を減らしていない通常品を比較すると、上白糖に対するRSSの置き換える割合を変えても有意に識別できなかった。すなわち、RSSを醤油加工品に用いることで、醤油を2割減らしても通常品と同程度のうま味コクを有する(うま味コクの低下を抑える)と示唆された。

3. 3 嗜好性における各醤油加工品の官能評価

3点識別嗜好試験法により、うま味コクにおける有意差がなかった醤油加工品4試料について、嗜好性における順位法による官能評価を実施した。表2に示すように、醤油加工品4点間で有意差はみられなかったものの、上白糖を使用した通常品に比べて、RSSを使用し醤油を2割減らした加工品が順位計の値が高くなり、RSSを使用することで、嗜好性が高くなる傾向が認められた。特に、上白糖の2割をRSSに代替し、醤油を2割減らしたものが順位計の値が最も低く、より好まれる味であると考えられた。

RSSを食品へ利用した際、砂糖を用いた場合より甘味の切れが早く、すっきりとした甘みをもつことが知られており¹⁰⁾、素材の後味を感じやすくさせる効果がある。本研究の官能評価において、RSSを用いて醤油を2割減らしたサンプルについて、「甘味を感じつつ、だし感も味わうことができる」との、コメントもあり、RSSを用いることで醤油を2割減らしても醤油加工品の風味が改善することが分かった。

現在、食品中の砂糖使用量の3割から7割をRSSに代替することで、希少糖を関与成分とした、「砂糖の吸収を抑制する」という機能性表示食品を届け出すことが可能となっている。本研究により、RSSを醤油加工品に用いることで、減塩し、かつ、砂糖の吸収を抑制するという、健康に配慮をしつつ、嗜好性が高い商品を製造できる可能性が明らかとなった。

4 結言

RSSが減塩した醤油加工品の味覚に及ぼす効果を調べたところ、味認識装置の評価項目であるうま味コクが減塩により低下したが、原材料の上白糖をRSSで置き換えることにより、うま味コクの低下抑えることができ、かつ、嗜好性の高い減塩した醤油加工品が調製できることが分かった。

謝辞

本報告をまとめるにあたり、貴重なご助言、ご指導を賜りました、香川大学農学部 田村 啓敏 教授に感謝申し上げます。また、官能評価にご協力いただいた方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 厚生労働省:令和元年国民健康・栄養調査(2020).
- 2) 厚生労働省:日本人の食事摂取基準(2020年版)(2019).
- 3) 醤油情報センター:醤油の統計資料(2019年実績)(2020).
- 4) 香川県商工労働部:平成24年香川県特定地場産品調査結果報告書(2012).
- 5) 総務省統計局:家計調査家計支出編総世帯品目分類(2020年改定)(2021).
- 6) 独立行政法人農畜産業振興機構 HP. しょうゆ業界におけるめんつゆ・たれ類の動向等:
(<https://sugar.alic.go.jp/japan/user/user0810a.htm>) (取得日:2021年2月26日)
- 7) 山田貴子, 新谷知也, 飯田哲郎, 岸本由香, 大隈一裕:ヒトにおける希少糖含有シロップ摂取による血糖応答に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌, **70**, 271-278 (2017).
- 8) レアシュガースウィートの機能性表示食品:
(<https://www.fld.caa.go.jp/caaks/cssc02/?recordSeq=42011160110401>) (取得日:2021年2月26日)
- 9) 一般社団法人希少糖普及協会 HP:
(<https://www.rare-sugar.org/case/>) (取得日:2021年2月26日)
- 10) 内山明子:希少糖含有シロップの味質改善効果. 月刊フードケミカル, **7**, 61-66 (2020).
- 11) 財団法人日本醤油研究所:しょうゆ試験法, pp. 109-124 (1985).
- 12) 岡崎賢志, 大谷尚美:味覚センサーによる濃口醤油の品質評価. 香川県産業技術センター研究報告, **16**, 61-63 (2015).

希少糖含有シロップを使用した佃煮製造のモデル試験（第一報）

竹歳 麻耶, 三好 美玖, 稲津 忠雄, 木村 功

希少糖の食品加工適性を評価するため、佃煮製造に用いる調味液を上白糖と希少糖含有シロップを用いてそれぞれ調製し、煮詰めを想定した加熱調理（100℃）のモデル試験を行った。調味液の着色度、pH、Brix の測定結果から、佃煮製造において 40 分までの加熱であれば、希少糖含有シロップは上白糖と同様に用いることができ、さらに、食品のおいしさを示す色、香りを短時間で効率的に付与できることが示唆された。

1 緒言

希少糖 D-アルロース（ブシコース）は様々な機能が解明され、2020 年 3 月 27 日の食品表示基準改定により 0 kcal 表示ができるようになった¹⁾。これを含む希少糖含有シロップは、食材の風味を引き立たせるなど、様々な食品への効果があることからお菓子や惣菜、調味料に甘味料として広く利用されている²⁾。

香川県の佃煮は製造品出荷額が 40 億円近くあり³⁾、小豆島地区の基幹産業となっている。佃煮製造においては、長時間加熱を行うため、食品中のメイラード反応によって糖が熱や pH の影響を受けて変化することが考えられる。希少糖含有シロップ中の 4 種の希少糖（ソルボース、アロース、タガトースおよびアルロース）は、糖の組成等が食品調理過程で熱や pH の影響を受け変化することが知られているが⁴⁾、佃煮製造における希少糖含有シロップの調理特性は報告されていない。

そこで本研究では、佃煮製造時の希少糖の調理特性を評価するため、実際の現場で使用されている調味液等を用いて、上白糖及び希少糖含有シロップを使用したモデル試験を行ったので報告する。

2 試験方法

2.1 試料

希少糖含有シロップ；松谷化学工業株式会社製，砂糖（商品名：上白糖）；三井製糖株式会社製，醤油（商品名：特選丸大豆しょうゆ）；盛田株式会社製は市販品を購入し、アミノ酸調味液（商品名：ダイヤモンドアミノ酸液-低塩 NK-12）は播州調味料株式会社製を実験に用いた。

2.2 佃煮製造のモデル試験

希少糖含有シロップおよび上白糖を用いたモデル試験は以下の方法で行った。佃煮調味液は、青山ら⁵⁾の方法に基づいて調製した。すなわち、しょうゆ 30 g、アミノ酸調味液 8 g、希少糖含有シロップもしくは上白糖を加え、最終濃度が Brix18 %になるように超純水で 100 g に調製した。その調味液 2.5 ml を 4 ml の開放型反応容器に分注し、ヒートブロック上でサンプル液温が 100℃になるよう加熱した。一定時間ごとに反応容器を採取し放冷した後、適宜希釈を行い、着色度、pH および Brix を測定した。本モデル実験は同様の実験を 3 回繰返し、さらに加熱によって生じる香りの経時変化を調べた。

調味液の Brix は、デジタル糖度計 IPR201（株式会社アタゴ製）を用いて測定した。着色度は、分光光度計 U-

2001 型（株式会社日立製作所製）を用い、420 nm の吸光度を着色度とした。また、同液の pH はコンパクト pH メーター B-212 型（株式会社堀場製作所製）を用いて測定した。

3 結果および考察

調味液の着色度は加熱時間とともに増大し、加熱後 60 分経過では、希少糖含有シロップは開始時の約 4 倍、上白糖は約 1.3 倍であり、希少糖含有シロップの方が着色していた（図 1）。pH 値は、上白糖は初発値から変化は見られず、希少糖含有シロップは加熱時間とともに緩やかに低下した（図 2）。

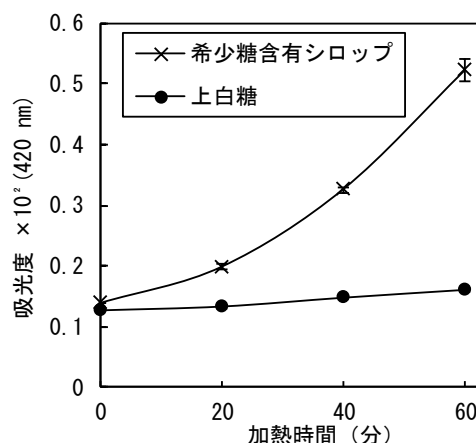


図 1 調味液の吸光度変化

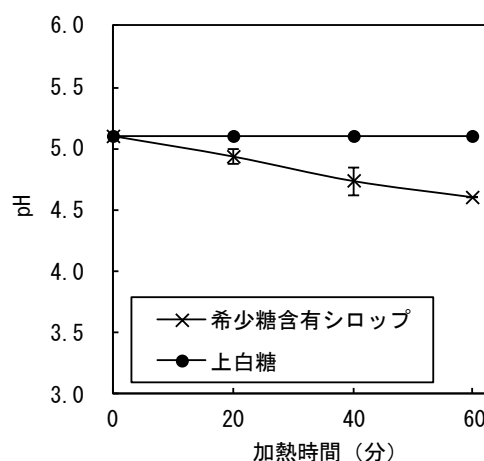


図 2 調味液の pH 変化

この糖の種類による差は、上白糖は主成分であるショ糖が加水分解によりグルコースとフルクトースに分解されたのちメイラード反応が起こるのに対して、希少糖含有シロップは主に単糖から構成されているため、メイラード反応がより早く進行して、褐色物質であるメラノイジンが多く生成し、着色度(図1), pHの変化(図2)に影響を与えたためと考えられた。

一方、Brix値は希少糖含有シロップ、上白糖ともに直線的に増加し、糖の種類によるBrix値の差はみられなかった(図3)。青山らの報告によると佃煮の煮熟処理後のBrix値は、48~62%が適正值であることから⁵⁾、今回のモデル試験では40分前後の加熱が佃煮製造に適していることが分かった。

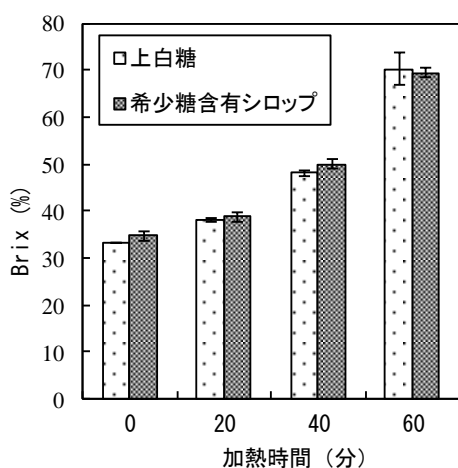


図3 調味液のBrix変化

次に、佃煮調味液の加熱時間による香りの変化を表1に示した。佃煮にとって好ましく感じる、せんべいのような香ばしい香りは、希少糖含有シロップは上白糖と比較して、短い加熱時間で強く感じることができた。また、加熱時間が40分を越えたあたりから焦げた香りが段々と強く感じられた。これは、メイラード反応が早く進み、焦げ臭の成分を生成し始めたと考えられた。

今後、実際に佃煮を製造する場合の加熱温度、時間、原材料の配合などへの影響を調べるために、糖、アミノ酸等の定量分析、匂いの経時変化を詳細に検討する予定である。

表1 加熱による香りの経時変化

		0~20分	20~40分	40~60分
醤油の香り	①	++		
	②	+		
カラメル の香り	①	++		
	②	+		
せんべい の香り	①		+	+
	②	+	++	
焦げの香 り	①			+
	②			++

①, 上白糖 ; ②, 希少糖含有シロップ

4 結言

希少糖含有シロップの佃煮への加工適性を評価するため、佃煮調味液に加える糖の種類を変えて液温100℃の加熱条件におけるモデル試験を行なった。希少糖含有シロップを用いた佃煮調味液を加熱した場合は、着色度, pH, Brixの結果から、佃煮製造においては40分までの加熱であれば、上白糖と同様に用いることができ、さらに、食品のおいしさを示す色、香りを短時間で効率的に付与できると考えられた。

参考文献

- 1) 消費者庁：食品表示基準の改正 第19次改正(令和2年3月27日消食表第87号)
- 2) 一般社団法人希少糖普及協会：希少糖商品開発事例, (<https://raresugar.org/case/index.html>) (2021年2月19日に利用)
- 3) 香川県経営支援課：平成24年香川県特定地場産品調査結果報告書, (<https://www.pref.kagawa.lg.jp/keiei/jibasangyo/jibasan.html>) (2021年1月26日に利用)
- 4) Miku Miyoshi, Isao Kimura, Tadao Inazu, Ken Izumori: High sensitivity analysis and food processing stability of rare sugars, Food Science and Technology Research, **25**, 891-901 (2019).
- 5) 青山康司, 岡崎尚, 米田達雄: 昆布佃煮の変敗に及ぼす水分活性 初発酵母菌数及び貯蔵温度の影響, 広島県立食品工業技術センター研究報告, **22**, 7-12 (2000).

ロボットの最適配置に関する検討

—特異点、関節の可動範囲および干渉を考慮した評価指標—

福本 靖彦, 高原 茂幸, 坂東 慎之介, 長谷見 健太郎, 多田 幸弘, 吉村 祥一

産業用ロボットを使うとき、ロボット自身やワークの配置を適切に決める必要がある。この問題を考えるにあたり、可操作度と呼ばれる指標が存在する。これは特異点と呼ばれる不適切な姿勢を避けるのには有用であるが、そのほか関節の可動範囲や干渉についても考慮する必要がある。本研究ではこれらをすべて考慮した新たな評価指標を検討した。

1 緒言

現在、我が国の製造業では生産年齢人口の減少に伴う人手不足への対応が課題となっており、本県では香川県産業成長戦略¹⁾においてロボットの活用をその対策として挙げている。

これまでヒトが行っていた現場に導入するロボットとして、協働ロボットと呼ばれるタイプのロボットが注目を浴びている。これは何かに衝突すると安全に停止するような機能が付与されたロボットであり、従来は必須であった安全柵を設置しなくても良いことが特徴となっている。これにより、必要な時だけロボットを設置して使う、といった使い方を考えられるようになり、更には自律移動ロボットに搭載してヒトのいる空間を移動して作業させるということも可能になった²⁾。このようにロボットを移動させることを考えると、ロボットの移動先をどこにするのが適切かという問題が浮上する。本研究ではこれを決める前段階として、まず評価指標について検討した。

ロボットをティーチングする際、ワークの位置やロボットの配置が悪いと、特異点、関節の動作範囲オーバー、干渉という3つの問題に直面し、ティーチングが難しくなる場合がある。特異点はある特定の状況にあるロボットの姿勢のことを指し、ロボットが特異点と呼ばれる姿勢に近づくと、ロボットの一部の関節が高速に回転して不自然な挙動を見せる。そして特異点に到達すると、手先を動かさない方向ができ、適切な軌道を作れなくなる場合がある。特異点を避けるための評価指標は既によく知られたものがあり、可操作度³⁾と呼ばれるものがある。関節の動作範囲や干渉については関節の動作範囲の余裕を考えたり、ロボットと外界（あるいはロボット自身の別のリンク）との距離を考えたりすることでそれぞれ評価可能と考えられる。しかしながら、これら3つの指標のバランスをどう考えるかという課題が残る。本研究では、これを統一的に扱う指標として Distance to Dead End (DDE) を提案する。これは特異点、関節の動作範囲の限界となる姿勢、干渉姿勢の手先位置をいずれもロボットの動作が制限される姿勢として統一的に捉え、これらからの距離を評価しようとするものである。

本稿では、DDE の定義を示し、2リンクマニピュレータにおいて DDE を計算した例を示す。なお2リンクマ

ニピュレータを選んだのは最も単純な構造であるので解析が容易であることが理由であるが、2リンクマニピュレータはスカラ型ロボットを上から見たものと考えられることもでき、実用上も有用な解析である。

2 既存研究

特異点への近さを表す指標に可操作度³⁾がある。可操作度 w は以下で定義される。

$$w = \sqrt{\det J(q)J^T(q)}. \quad (1)$$

ここで、 $q = [q_1, \dots, q_n]$ はロボットの関節角を表すベクトルである。 $J(q)$ はヤコビ行列と呼ばれる行列で、ロボットの手先の位置 r を関節角 q を用いて $r = f(q)$ と書くとき、 $J(q) = \partial f(q)/\partial q$ として表される。ヤコビ行列を用いると、

$$\delta r \approx J(q)\delta q, \quad (2)$$

と書けることから、可操作度は関節角を微小に動かした時に手先がどれだけ動くかを表したものであるというイメージで理解すればよい。つまり、可操作度が0に近づくとき、少しの位置の変位を作るために大きな角度の変位を必要とする。可操作度が0になると、ある方向に位置の変位を与えることができない。可操作度を評価指標としてロボットの配置などを最適化した研究は多く存在し、例えば末光らは可操作度を評価指標として、ロボットと周辺機器の配置を最適化している⁴⁾。永谷らは可操作度を評価指標として自律移動ロボットにアーム型ロボットを搭載したものについて、その最適な停車位置を求めた⁵⁾。しかし、どちらも関節角の可動範囲や干渉については考慮しておらず、本当に得られた姿勢をとることができるかは不明である。

河辺らは可操作度を拡張し、特異点と関節の可動範囲を考慮した評価指標を提案している⁶⁾。関節の可動範囲を $q_i \in [q_{i,min}, q_{i,max}]$ とすると、河辺らの指標 w_{ex} は以下で定義される。

$$w_{ex} = w \prod_{i=1}^n \exp\left[-\left(q_i - \frac{q_{i,min} + q_{i,max}}{2}\right)^2\right]. \quad (3)$$

これは可操作度にガウス関数を掛け合わせたものであり、関節角がその上下限の真ん中であれば可操作度に1をかけ、関節角の余裕がなくなるにつれて掛け合わせる値は0に近づく。一定合理的に可操作度と関節の

可動範囲を合わせて評価することができるが、関節の可動範囲の限界位置にある場合の評価値が関節によって異なる場合があり、しかも可動範囲の限界に近い姿勢では関節角が少し動いても w_{ex} の値の変化があまり得られず、可動範囲の限界に近い領域では使いにくい指標となっている。また、干渉については扱っていない。

3 Distance to Dead End (DDE) の定義

三次元位置 $f(q)$ を $f(\tilde{q})$ へ移す同次変換について、その並進操作を表すベクトルを $d_t(q, \tilde{q})$ とし、回転操作を回転ベクトル表記で表したものを $d_r(q, \tilde{q})$ と書くことにする。また、 $d(q, \tilde{q}) = [d_t(q, \tilde{q}), d_r(q, \tilde{q})]^T$ とする。このとき Distance to Dead End (DDE) の値 $\phi(q)$ を以下のように定義する。

$$\phi(q) = \min_{\tilde{q} \in Q(q)} \|d(q, \tilde{q})\|. \quad (4)$$

なお、 $Q(q)$ は以下により与えられるとする。

$$Q(q) = Q_1 \cap Q_2(q). \quad (5)$$

ここで、 Q_1 はロボットが特異点、関節角の可動範囲および干渉により動作が制限された姿勢となる関節角ベクトルの集合とし、 $Q_2(q)$ は以下で表される集合とする。

$$Q_2(q) = \{q^* \mid \|q^* - q\| \leq \|\tilde{q} - q\|, \forall \tilde{q} \in Q_{inv}(f(q^*))\}. \quad (6)$$

ここで、 $Q_{inv}(r)$ は手先位置 r に対する逆運動学の解の集合である。

DDE は作業空間において手先があとどれだけ動くか動作が制限されるかを示したものである。これにより特異点、関節の可動範囲、干渉という異質な現象を、作業空間の距離という統一的な尺度ですべて評価することができる。したがって、河辺らの拡張可操作度⁶⁾のように、関節角の可動限界付近での挙動が不適切になることもない。

本定義では $Q(q)$ の定義がやや複雑である。一般に逆運動学の解は複数あるが、式 (5)、式 (6) による $Q(q)$ の定義では、現在の関節角 q から最も近い逆運動学解のみを考慮して評価するものとしている。これは現在の関節角に最も近いものを選ぶのが最も素直な動作であるという考えの基で定めたものであるが、想定するモーションプランニング手法によって別の定義が望ましい場合もあるかもしれない。なお、単純に $Q(q) = Q_1$ と定義したならば計算は容易になるが、自然な感覚と合わない事象が生じ得る。このことは次節の数値例の中で示す。また、作業空間ではなく関節角空間での距離で DDE を定義しても逆運動学解が複数生じる問題を回避することができる。しかしながら実際に作業が行われるのは作業空間なので、作業空間で評価した方が適切と考える。

もし、三次元ではなく二次元での運動を問題にする場合や、手先の位置のみで手先の向きについては問題にしない場合には $d_t(q, \tilde{q})$ や $d_r(q, \tilde{q})$ を二次元の並進操作や回転操作に対応したベクトルやスカラーとし、 $d(q, \tilde{q}) = d_t(q, \tilde{q})$ としたりすれば良い。

ここで、DDE の性質を考察する。回転関節しか持たな

い垂直多関節ロボットを考えると、 $d_t(q, \tilde{q})$ は以下を満たす。

$$\sup_{q, \tilde{q}} \|d_t(q, \tilde{q})\| = 2 \left(\sum_{i=1}^n l_i \right). \quad (7)$$

ここで、 l_i は第 i リンクのリンク長で、 n はロボットの持つリンク数とする。一方、 $d_r(q, \tilde{q})$ は以下を満たす。

$$\sup_{q, \tilde{q}} \|d_r(q, \tilde{q})\| = \pi. \quad (8)$$

以上により DDE は以下の上界を持つことが言える。

$$\sup_q \phi(q) = 2 \left(\sum_{i=1}^n l_i \right) + \pi. \quad (9)$$

この値はロボットの機構情報からのみ決まるものである。つまりロボットの姿勢によらずに決まり、またロボットごとに別の値となる。

4 2 リンクマニピュレータにおける数値例

ここでは図 1 のような 2 本の線分で表される 2 リンクマニピュレータと、障害物を考え、その DDE を計算する。リンク長は $l_1 = 0.225$, $l_2 = 0.175$ とし、関節角 q_1, q_2 の可動範囲は以下の通りとする。

$$-145^\circ \leq q_1 \leq 145^\circ. \quad (10)$$

$$-140^\circ \leq q_2 \leq 140^\circ. \quad (11)$$

以上のリンク長と可動範囲は Dyadic Systems 社のスカラ型協働ロボット DSR02-400 のパラメータに一致するものである。 $y \leq 0$ の領域は障害物とし、ロボット自身の自己干渉はないものとする。ここでは二次元空間内の位置のみを問題として考え、手先の向きについては問題としないこととする。

このロボットの可操作度 w は $w = l_1 l_2 |\sin(q_2)|$ で計算されることが知られており³⁾、以下が特異点となる条件である。

$$q_2 = 0^\circ. \quad (12)$$

そして、このロボットの肘関節（リンク 2 の根元）が障害物と干渉するのは以下の場合であり、

$$q_1 \leq 0^\circ, \quad (13)$$

手先が障害物と干渉するのは以下を満たす場合である。

$$l_1 \sin(q_1) + l_2 \sin(q_1 + q_2) \leq 0. \quad (14)$$

これら式 (10) ~ (14) がロボットの動きが制限される条件であり、これを関節角空間に示したものが図

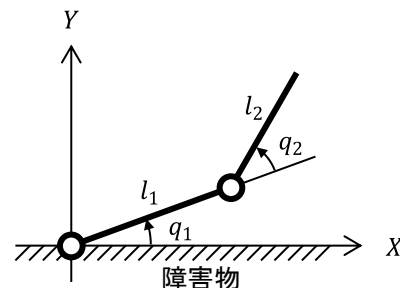


図 1 2 リンクマニピュレータと障害物（斜線部）

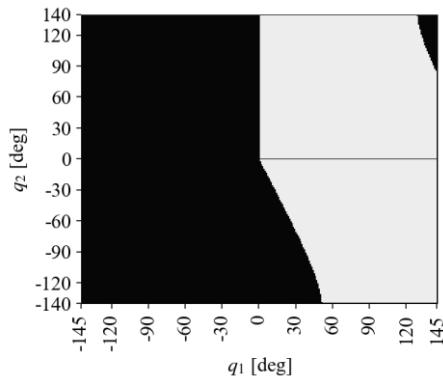


図2 ロボットの動作が制限される領域（黒領域）

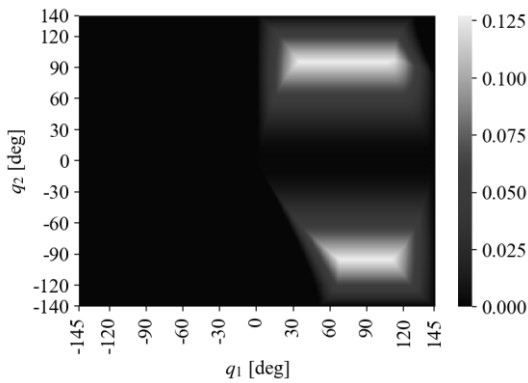


図3 DDE

2である。

関節角空間において 1° 刻みで DDE の値を計算してヒートマップの形で示したものを図3に示す。

DDE が最大値をとるのは、 $68^\circ \leq q_1 \leq 110^\circ$ で $q_2 = -95^\circ$ のときと、 $35^\circ \leq q_1 \leq 107^\circ$ で $q_2 = 95^\circ$ のときで、その値は 0.127 であった。最大値を取る関節角が点ではなく、線状に分布していることには違和感を抱くかもしれない。そこでこの状況を詳しく解析する。まず、 $q = [68^\circ, -95^\circ]^T$ のときは図4 (a) の姿勢にある。この手先から、図示した特異姿勢の手先、同 q_2 の動作限界姿勢の手先、同干渉姿勢の手先がすべて 0.127 の等距離にある。ここから q_2 の値を変動させると、この 0.127 の距離が保てなくなる。 q_1 については値を小さくすると干渉姿勢の手先との距離が 0.127 を下回るが、大きくした場合には 0.127 の距離が保たれたままとなる。図4 (b) に q_1 を 90° まで増加させたときの様子を示す。このとき q_1 の変化に応じてその手先から最も近い特異点と動作限界姿勢は変わっているが、それらの手先からの距離は 0.127 が保たれている。一方、 q_2 を動かすとやはりその距離は 0.127 を下回ってしまう。 q_1 をさらに大きくして 110° まで増加させると図4 (c) の姿勢となる。このとき、 q_1 が動作限界となる姿勢の手先との距離が 0.127 となり、これ以上 q_1 を大きくするとその距離が 0.127 を下回ることになる。つまり以上で見たように、動作が制限された姿勢の手先からの距離を 0.127 に保ったまま手先を動かせる自由度があるため、最大値が点ではなく線状の領域として存在しているものである。

また図5に示すように、図4 (a) の $q =$

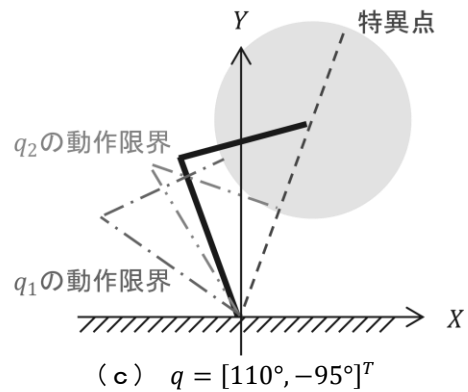
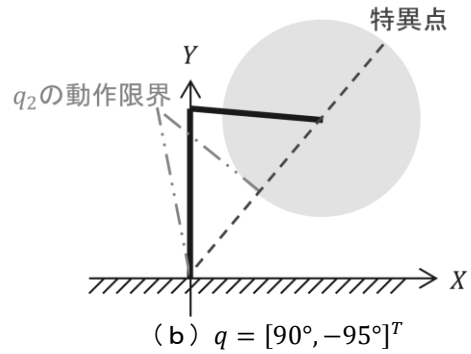
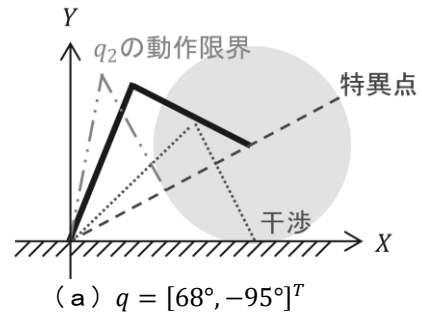


図4 $q = [68^\circ, -95^\circ]^T \sim [110^\circ, -95^\circ]^T$ のロボット（実線）と、その手先から半径 0.127 の領域（円）、また特異点にある中でその手先が各関節角のロボットの手先に最も近いもの（破線）、同 q_1 が動作限界にあるもの（一点鎖線）、同 q_2 が動作限界にあるもの（二点鎖線）、同干渉のもの（点線）

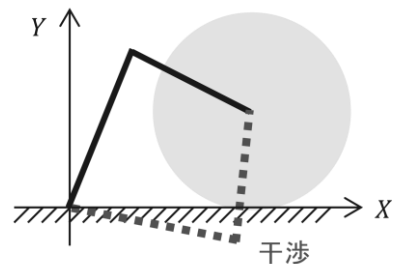


図5 $q = [68^\circ, -95^\circ]^T$ （実線）のロボット、その手先から半径 0.127 の領域（円）、 $q = [-11^\circ, 95^\circ]^T$ のロボット（点線）

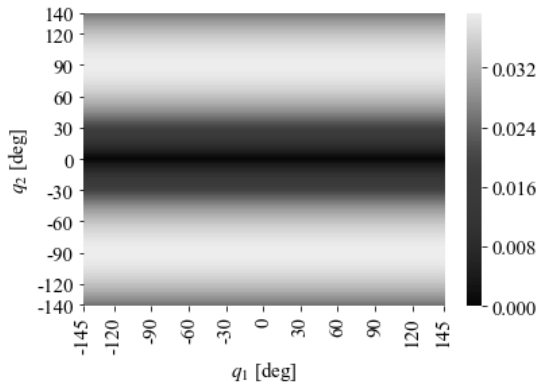


図6 可操作度

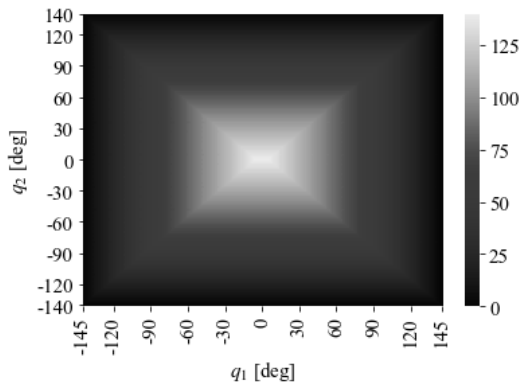


図7 関節角の余裕度

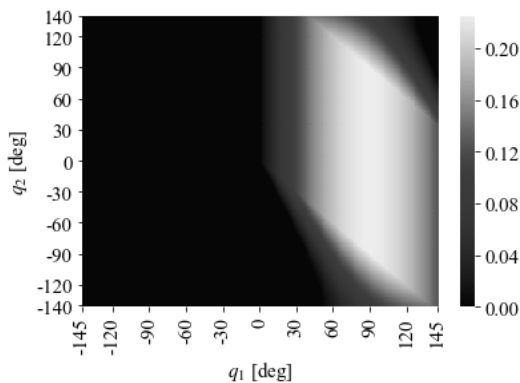


図8 ロボットと物体の間の最小距離

$[68^\circ, -95^\circ]^T$ は $q = [-11^\circ, 95^\circ]^T$ と手先位置が一致，すなわち距離 0 の位置にあるが， $q = [-11^\circ, 95^\circ]^T$ は明らかに障害物と干渉している．DDE の定義では逆運動学で複数の解がある場合には近い方の解を採用することとしているので， $q = [68^\circ, -95^\circ]^T$ のときの DDE は 0.127 であり， $q = [-11^\circ, 95^\circ]^T$ のときの DDE は 0 である．つまり同じ手先位置でも関節角の値が異なれば DDE の値も異なる．ここで，もしも $Q(q)$ を Q_1 として定義していたならば，どちらの場合も DDE は 0 となり， $q = [68^\circ, -95^\circ]^T$ の姿勢が完全に不適な姿勢となるが，この姿勢が不適であるということは自然な感覚と合わないのので，そのような定義は望ましくない．続いて，比較対象として可操作度，関節角の余裕度，ロボットと物体の間の距離の最小値をそれぞれ図

6～8に示す．なお，関節角の余裕度は

$$\min_i (\min\{q_{i,max} - q_i, q_i - q_{i,min}\}) \quad (15)$$

とした．ロボットと物体の間の距離の最小値は，リンク 1 の先端と障害物の距離と，リンク 2 の先端と障害物との距離のうち，より小さい方を選んだ．なおリンクが障害物に干渉した場合は 0 とした．

以上三つの指標における最良点は，可操作度では $q_2 = \pm 90^\circ$ のときで，関節の余裕度は $q_1 = q_2 = 0^\circ$ のときで，物体間の最小距離は $q_1 = 90^\circ$ ， $-90^\circ \leq q_2 \leq 90^\circ$ のときであり，最良点は一致していない．特に，関節角の余裕度が最大となる $q_1 = q_2 = 0^\circ$ は特異点であり干渉も生じている．このような状況でどの姿勢が最良であるかは自明ではない．これに対して DDE では，前述の通り $68^\circ \leq q_1 \leq 110^\circ$ で $q_2 = -95^\circ$ のときと， $35^\circ \leq q_1 \leq 107^\circ$ で $q_2 = 95^\circ$ のときに最大値を取っている．これは可操作度や物体間の最小距離で最適に近く，関節角に一定の余裕が残されているような状態である．すなわち，特異点，関節の可動範囲および干渉について一定のバランスを取った姿勢が最大となっているものと言える．

5 結論

本稿では特異点，関節の可動範囲および干渉を避けるための新たな指標 Distance to Dead End (DDE) を提案した．さらに，2リンクマニピュレータで DDE を実際に計算可能であることを示した．特に，可操作度，関節角の余裕，ロボットと物体の間の距離の最小値ではそれぞれ異なった姿勢が最適と得られるが，DDE ではそれらが一定バランスした姿勢を最適と選んでいることが観測された．

今後の課題は，一般の 6 自由度の垂直多関節ロボットでの検証である．本研究では 2 次元空間上の位置しか検証されていないが，一般の垂直多関節ロボットでは 3 次元空間での位置と向きを考慮する必要がある．また $Q(q)$ の計算がより複雑になることが見込まれる．

参考文献

- 1) 香川県 商工労働部 産業政策課：香川県産業成長戦略～力強く着実に成長していく香川の経済社会を目指して～（平成 30 年 3 月改訂）（2018）．
- 2) 進藤：自走し始めたロボットアーム，活躍の場は向上の外へ 人との協働空間でピッキングと搬送を 1 台でこなす，日経ロボティクス，No. 41，pp. 5-13（2018）．
- 3) 吉川：ロボット制御基礎論，コロナ社（1988）．
- 4) 末光ら：ロボットによる組立工程のレイアウト最適設計支援，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp. 673-674（2011）．
- 5) 永谷ら：操作性を保つ移動マニピュレータの作業場所計画，ロボティクスシンポジウム予稿集，pp. 329-334（2002）．
- 6) 河辺，青村：マニピュレータの有効動作空間を用いた協調作業計画に関する研究，精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp. 1293-1294（2004）．

スマート工場環境の活用と導入・現場実証（第2報）

—所内 IoT 化システムの整備・拡充—

福本 靖彦, 高原 茂幸, 長谷見 健太郎, 多田 幸弘, 坂東 慎之介, 吉村 祥一

県内の製造業における生産工程の省力化・省人化や高効率化支援を目的として、産業技術センター内に構築した所内 IoT 化システム（疑似的スマート工場環境）において、最新のロボット及びセンサの有効活用技術検証を行うとともにシステム拡充を実施した。特に、生産工程全体の最適化・省力化を目的とした「自律移動ロボット」による搬送作業の自動化についての技術検証を実施するとともに、効率的な運用を可能とする遠隔制御・遠隔監視システムを構築した。

1 緒言

香川県産業技術センターでは、昨年度から「スマートファクトリー活用等事業」として、工場のスマート化に資する最新技術の導入効果を検証するため、産業技術センター内に構築していた所内 IoT 化システム^{1), 2)}を整備・拡充し、最新のロボット技術や IoT 技術などの導入支援に取り組んでいる。図 1 に拡充した IoT 化システムの機器構成図を示す。

その取り組みの中で、生産工程全体の最適化・省力化を目的として、「自律移動ロボット」による工程間の搬送作業の自動化についての技術検証を実施した。また、このロボットの効率的な運用を可能とするために所内 IoT 化システムに組み込んだ遠隔制御・遠隔監視システムの構築を行った。本稿ではこれらの取り組みについて報告する。

2 自律移動ロボットによる搬送作業の自動化

2.1 背景および目的

従来、作業単位での最適化だけではなく、生産工程全体の最適化・省力化を目的として各工程に必要なワークや部品、製品を効率的に供給するための搬送システムとして無人搬送車（Automatic Guided Vehicle: AGV）が活用されてきた。従来の AGV を用いたシステムでは、床面に磁気テープ等を敷設し、決められた経路を磁気センサ等により誘導されて移動するものであった。衝突防止のための近接センサ等の安全装置³⁾を備えるものもあるが、基本的にはロボットが主となる無人環境下でのシステムであり、生産ラインやレイアウトの変更に柔軟に対応できるものではなかった。

しかしながらここ数年、生産現場における人の作業の効率化、作業の削減・負担軽減のために、人とロボッ



図 1 所内 IoT 化システムの機器構成

トの協調作業を可能とするための仕組み作りが求められている。そこで、カメラやレーザーセンサなどを用いて人間を認識して回避する人間との協調機能と、エンコーダやジャイロスコープ等を用いて地図作成と自己位置推定を行う機能を備えた、環境に柔軟に対応できる自律移動ロボット (Autonomous Mobile Robot: AMR) が登場し、製造業における工場内や物流倉庫内における有人環境下での搬送システム⁴⁾としての導入検討が進められている。

以上の状況の中、今後導入が進むと考えられる自律移動ロボットによる搬送作業の自動化を目的として、台車の搬送作業を例として導入技術検証を実施した。

2. 2 搬送作業

今回検証作業として取り上げたのは台車の搬送作業である。これを実現するためには、台車と自律移動ロボットとを連結するためのモジュールを台車のタイプに合わせて用意する必要がある。台車の搬送作業として考えられる方法として、

- ・ 潜り込み方式
- ・ けん引方式

がある。潜り込み方式は Amazon の物流拠点で採用されていることで知られている⁵⁾。ロボットのフットプリントを小さくできるため小回りが利く点で有用であるが、この方式では台車の下に潜り込むためのスペースを持つ特別な台車を用いる必要がある。今回は、市販されている一般的な平台車を搬送するシーンを想定し、けん引方式での検証を実施した。なお、搬送中の旋回を行いやすくするため、用いる台車は4輪すべてが360度旋回する自在車となっているものとした。

2. 3 システムの構成

図1に示したシステムの機器構成図にあるように、検証に用いた自律移動ロボットはモバイルインダストリアルロボット社製の MiR100 である。台車と自律移動ロボットを連結するための機構として、自律移動ロボット側後部に電磁ホルダ (カネテック KE-4B) を4つ装着し、台車側にスチール製のアタッチメントを装着することで、電磁ホルダの ON/OFF により連結、切り離しを切り替えられるようにしている。外部デバイスの制御は無線接続のデジタル I/O モジュール (Advantech WISE-4060-AE) を介して行っている。

自律移動ロボットの活用において問題となるのがその位置決め精度である。一般的に自律移動ロボットの位置決め精度はそれほど高くはなく、今回用いた MiR100 の仕様では±50 mm であり、毎回、台車とロボットが適切に接触できるとは限らない。そのため、その

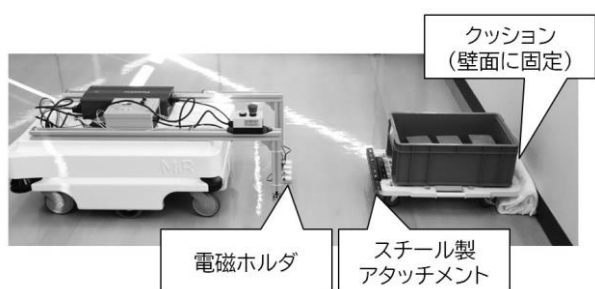


図2 各ステーションでのシステム構成

誤差を補うための仕組みが必要となる。今回は、台車の連結・切り離しを行うステーションにおいて、位置誤差を吸収するための緩衝材を壁面に設置し、自律移動ロボットが台車を緩衝材に押し付けた状態で連結・切り離しを行うことで進行方向の補正を可能とした。また、台車のスチール製アタッチメントの長さを十分長く取ることによって進行方向に直交する方向の位置ずれへの対応も可能とした。台車を管理する各ステーションにおいて検証のために用いた簡易的なシステム構成を図2に示す。

また、今回の台車のけん引作業では、自律移動ロボット本体だけではなく、けん引作業中の台車を連結した状態での自己認識が衝突防止、障害物回避のために必要である。MiR100 では、あらかじめフットプリントとして台車を含めた形状と含めない形状を登録しておく、随時その設定を切り替えることで対応可能である。

2. 4 検証作業内容

今回検証した自律移動ロボットが行う作業内容を図3に示す。自律移動ロボットは待機エリアで呼び出されるまで待機しており、ステーション1からステーション2に台車を移動させる作業 (ミッション①) とステーション2からステーション3に台車を移動させる作業 (ミッション②) の2つのミッションが用意されており、作業が終わると待機エリアまで戻る。ステーション1には床に印がつけられており、作業者がその印に合うよう目視で台車位置を合わせて台車が置かれる。ステーション2にはミッション①により自律移動ロボットが持ち込んだ台車が置かれる。台車には6つのレンガを入れた箱を載せており、台車と積載物を合わせた全体の重量は20.42 kg である。

自律移動ロボットを移動させるステーション1、ステーション2、ステーション3の各位置はあらかじめマニュアル操作によりオペレータが台車を置く作業を行って位置を登録している。これらの条件の下、作業者と自律移動ロボットが協調して搬送作業が可能であるかどうか今回の検証内容である。

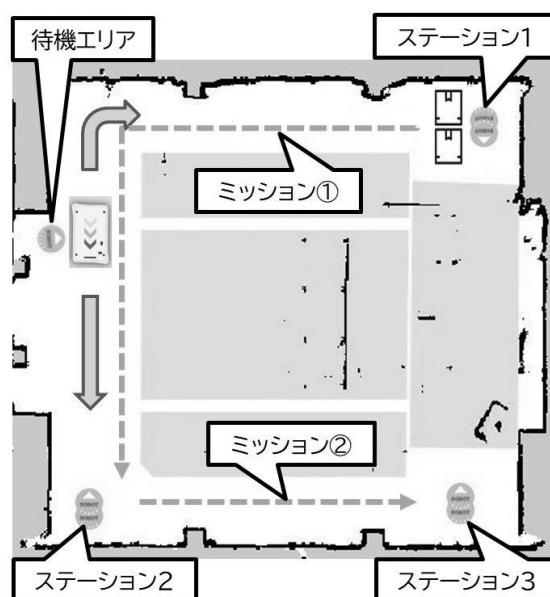


図3 台車搬送に関する検証作業内容

2. 5 検証結果

ミッション①による台車の搬送およびミッション②による台車の搬送を一連の作業とし、50回検証作業を行った。自律移動ロボットの最大速度は1.0m/sとした。

50回の動作にはおよそ3時間45分を要した。すなわちこの検証は約半日休みなく稼働させた場合の検証に相当すると言える。

作業の成否については、成功：45回、ステーション2において自律移動ロボットが持ち込んだ台車をミッション②で連結し損なう失敗：3回、ミッション①のコーナーで台車が切り離されてしまう失敗：2回、となった。この検証結果から、自律移動ロボットによる工程間の搬送作業の自動化に向けた取り組みを進めることが十分可能であることが確認できた。

ただこの検証により、けん引方式での搬送作業を安定稼働するためには以下の3点に注意する必要があることも明らかになった。

- ・ 旋回動作
- ・ ステーションの設置場所
- ・ 連結状態

最初の旋回動作については、搬送作業の際には自律移動ロボットの後部に台車を連結する形態となるため、どうしても全長が長くなってしまふ。旋回をする場合、ロボットを中心として回ろうとするため、後部の台車部分の速度が大きくなりやすい。今回の作業では、各ステーションで台車の連結、切り離しを行う位置まで自律移動ロボットは後退して接近するようにしたため、特にステーション2での台車の切り離し前には大きく旋回する動作を取るようになった。そのため、けん引作業中のコーナー部分や各ステーション周辺など旋回動作が必要とされるエリアでは、十分なスペースを確保する必要があるとともに、その時の旋回速度にも注意する必要がある。2点目のステーションの設置場所についてであるが、今回の検証では位置誤差を補正できるように緩衝材を設ける必要があるため、壁際に設置した。このように、ステーションの設置場所については制約を受ける。そして最後の連結状態についてであるが、今回のシステム構成では連結状態を確認できるような仕組みは取り入れていないが、実運用においてはリミットスイッチや近接センサ等で状態を確認し、作業者に搬送作業状況を通知できるような仕組みや、ステーションでの連結に失敗した場合には何度かリトライするように仕組みが必要であろう。

3 遠隔制御・遠隔監視システムの構築

3. 1 システム構築の背景および目的

自律移動ロボットを有効に活用するために、必要な時に各作業現場からの呼び出しが可能となるシステム構築が必要である。

これに対応するため、図1に示したように、自律移動ロボットを所内IoT化システムに組み込み、遠隔制御・遠隔監視が可能となるシステム構築を行った。

3. 2 システムの構成

自律移動ロボットに搭載された無線LAN機能を用いて、遠隔地にある監視サーバによる自律移動ロボットの位置情報モニタリングを可能とした。また、作業エリアの各

所にアクセスポイントを用意し、自律移動ロボットがフロア内のどこにいても常時接続監視が可能となるシステムとした。ここではL2ローミングを採用した。

また、作業者がタブレット等の遠隔制御端末により自律移動ロボットを遠隔制御するために図4に示すような遠隔制御用のUIを用意した。この画面では、現在の自律移動ロボットの位置情報がモニタリング可能なことと併せて、行わせたい作業が割り当てられたミッションボタンが用意されている。ミッションボタンは想定するミッションの数だけ配置する。そして、現在実行中のミッションや予約されたミッションをリアルタイムにモニタリングできるミッションキューも表示している。

このシステムにより、フロア内の様々な作業者がそれぞれの持ち場から自律移動ロボットを利用することが可能となる。

3. 3 システム検証

本システムを検証するために、まず作業員1があるミッションを自律移動ロボットに与え、自律移動ロボットがそのミッションを行っている最中に、別の部屋にいる作業員2が別のミッションを与えて自律移動ロボットを自分の元に呼ぼうとした場合の自律移動ロボットの制御、遠隔監視状況について確認を行った。検証のイメージを図5に示す。この図で示すように、フロア内で離れた部屋で2か所作業場があり、常時接続可能とするためにアクセスポイントを2か所用意し、作業員1、作業員2ともに遠隔制御用端末を持ち、状況が確認できるようにした。

作業員2は遠隔制御用UIのミッションボタンによって必要な時にミッションを与えられた。このミッションはキューとして与えられるので、作業員1に与えられたミッションを終えるまでは、その作業を行い、終わったところで作業員2に与えられたミッションを実行された。その様子は遠隔制御用UIのミッションキューに反映された。

以上により、作業員やロボットがどこにいても必要な時にロボットを呼ぶことができ、ロボットはそれを順番



図4 遠隔制御用UI

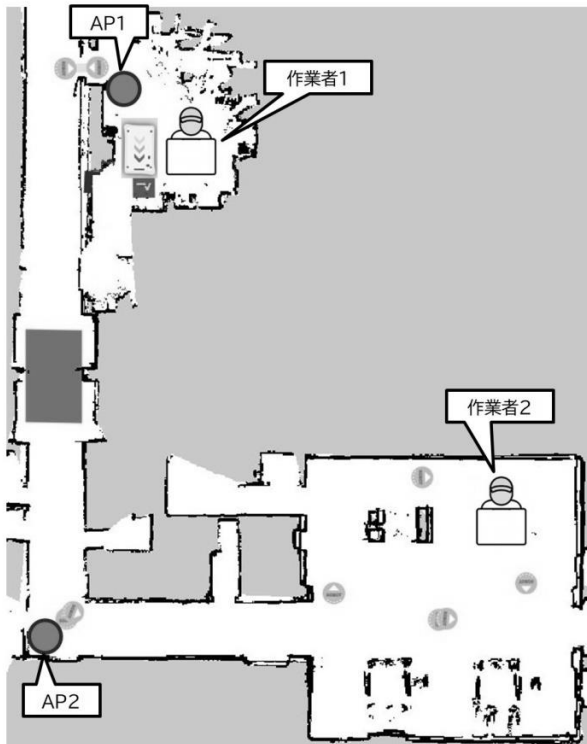


図5 遠隔制御・遠隔監視システムの検証イメージ図

にこなすことができることを確認できた。ただ、自律移動ロボットが移動中で、アクセスポイントを切り替える時に数秒のタイムラグが生じ、完全にリアルタイムに遠

隔監視ができていない状態が生じた。この点についてはローミング時の認証方法等について再検討が必要である。

4 結言

産業技術センター内に構築した所内 IoT 化システム（疑似的スマート工場環境）において、最新のロボット技術の導入検証のための自律移動ロボットによる工程間の搬送作業の自動化や遠隔制御・遠隔監視システムの構築について報告した。引き続きこのシステムを用い、県内企業において生産現場のロボット導入やIoT化において課題となっている問題点を取り上げ、課題解決に向けた取り組みを進める予定である。

参考文献

- 1) 長谷見ほか：高度要素技術の生産工程効率化システムへの導入・現場実証，香川県産業技術センター研究報告，No.19，pp. 11-14（2018）。
- 2) 多田ほか：スマート工場環境の活用と導入・現場実証，香川県産業技術センター研究報告，No. 20，pp. 9-12（2019）。
- 3) JIS D 6802 無人搬送車システム - 安全通則。
- 4) 前川：工場内搬送および物流倉庫向け自律移動ロボット，システム/制御/情報，Vol. 64，No. 5，pp. 177-181（2020）。
- 5) 長場：Amazon が日本の物流センターに初めてロボット導入，川崎拠点で数百台が稼働，日経ロボティクス，No. 27，pp. 18-21（2017）。

DLP 式光造形法により作製したアルミナ造形焼結体の特性

横田 耕三, 片岡 良孝

下面照射型 DLP 式光造形法により作製したセラミックス造形体が実用に供するものかを検証するため、種々造形条件により作製したアルミナ造形焼結体の特性を評価した。積層ピッチに見合う必要最低照射エネルギーの約 2 倍以上においては、アルミナ焼結体は概ね緻密化した。焼結体の強度は、積層方向 (z 軸) に平行方向の荷重においては市販アルミナと同程度の強度を示したが、垂直方向の強度は大きく低下した。垂直方向の強度低下の主原因は、積層端面近傍の端面段差と考えられ、破壊の臨界亀裂長さより積層ピッチを小さくすることで、効率的な強度改善が可能であることが示唆された。

1 緒言

3D 積層造形技術 (Additive manufacturing, AM) は、従来の除去加工や金型を用いた成形では作製が困難であった高付加価値な立体複雑造形物を創製することが可能であり、オーダーメイドによる高機能形状の製品実体化や、リードタイム短縮による製造工程の省力化が期待できるなど次世代ものづくり技術として注目されている¹⁾。特に、セラミックスは、硬質、脆性、難削材料であるため、最終形状あるいはニアネット形状のセラミックスの形状付与技術が望まれており、AM に対する期待は大きい²⁾。

我々はこれまで、下面照射型 DLP (Digital light processing) 式光造形法によるセラミックスの造形技術について報告してきたところであるが³⁾⁻⁵⁾、当該技術をセラミックス製造技術として普及させるためには、造形焼結体の物性が実用に供するものか明らかにする必要がある。本研究は、下面照射型 DLP 式光造形法を用いたアルミナ造形体の作製において、種々造形条件が、焼結体の微構造および機械的特性等の特性に及ぼす影響を検証した⁶⁾。

2 実験方法

2.1 原料および光硬化性スラリーの調製

出発原料には、高純度アルミナ粉末 (純度 99.99%, 平均粒子径 d_{50} 0.61 μm) および焼結助剤として高純度酸化マグネシウム粉末 (純度 99.98%, 平均粒子径 d_{50} 0.05 μm) を用いた。造形用樹脂は、ラジカル重合系アクリルベースモノマー、単官能希釈モノマー、重合開始剤等を適量加えて調製した。これに、分散剤であるカルボキシル基含有の変性ポリマーをアルミナ粉末に対して 0.3mass% 添加して溶解後、固形分濃度 35vol% となるように、アルミナ粉末および酸化マグネシウム粉末 (アルミナ粉末に対して 500ppm 添加) を加え、遊星攪拌装置を用いて混合スラリーを調製した。

スラリーの粘性特性は E 型粘度計を用いて評価した。また、スラリーの光硬化特性を評価するため、既報³⁾同様に、光源波長 405nm の光照射による単層硬化試験を行い、照射エネルギーと硬化深さの関係を調べた。

2.2 造形体の作製および物性評価

造形試験は、光源波長 405nm の下面照射型 DLP 式光造形装置 (武藤工業製, ML-48) を用いた。造形体の形状は約 2.5 \times 2.5 \times 30mm の直方体とし、積層ピッチを 25, 100 μm 、照射エネルギーを 5~90mJ/cm²、造形体の長

辺が、積層方向 (z 軸) に対して平行方向と垂直方向になるようにそれぞれ積層させた。造形体の焼成は、大気雰囲気にて 1700 $^{\circ}\text{C}$ 1 時間保持にて行った。焼結体の密度をアルキメデス法にて測定するとともに、微構造を FE-SEM (日本電子製, JSM-7001F) にて観察した。また、曲げ強さを JIS に準じた 3 点曲げ試験にて評価した。

3 実験結果および考察

3.1 光硬化性アルミナスラリーの特性

調製した光硬化性アルミナスラリーの見かけ粘度は、0.5~3 Pa \cdot s を示し、ずり速度が大きくなるとともに粘度が低下するチクソ性を示した。

図 1 に、光硬化性アルミナスラリーの照射エネルギーと硬化深さの関係を示す。両者に相関関係が認められ、既報³⁾同様式 (1) に示す Beer-Lambert 則⁷⁾に従っている。

$$Cd = Dp \cdot \ln(E \cdot Ec^{-1}) \quad (1)$$

ここで、 Cd 硬化深さ、 E 照射エネルギー、 Ec 臨界照射エネルギー、 Dp 光硬化感度を示す。これにより計算したアルミナスラリーの Ec は 2.1mJ/cm²、 Dp は 49.5 μm であった。図 1 より、積層ピッチの設定を 25 および

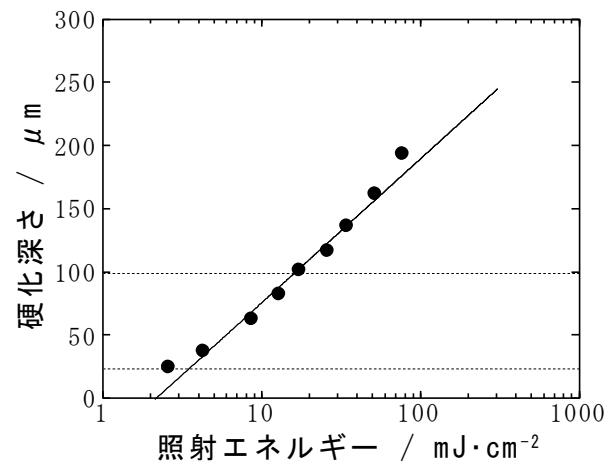


図 1 光硬化性アルミナスラリーの硬化深さと照射エネルギーの関係

100 μm としたとき、その厚みに相当する必要最低照射エネルギーは、それぞれ、約 3.5mJ/cm²、約 15.8mJ/cm² となり、積層造形させるには、それ以上の照射エネルギーが必要であると考えられる。

3. 2 アルミナ造形焼結体の特性

図 2 に、アルミナ造形焼結体の相対密度を示す。ここで照射エネルギーは、それぞれの積層ピッチに見合う必要最低照射エネルギーの約 2 倍としている。いずれも相対密度は 95% 以上を示しており、概ね緻密化している。後述する積層端面段差の表面粗度の影響などにより、造形体の長辺が z 軸に対して平行方向の焼結体の密度が若干低い傾向が認められる。なお、図には示さないが、必要最低照射エネルギー近傍の照射条件においては、焼結体にデラミネーション(層間剥離)が一部観察され、密度の低下が認められた。

図 3 に、アルミナ造形焼結体の曲げ試験結果を示す。積層ピッチ 100 μm の焼結体において、積層方向(z 軸)に平行方向の荷重においては、約 400MPa の強度を示し、一般的な市販アルミナの強度と同程度である。しかし、積層方向(z 軸)に垂直方向の荷重においては、約 200MPa であり、強度が大きく低下している。一方、積層ピッチ 25 μm の焼結体においては、積層方向(z 軸)に平行方向の荷重では約 400MPa の強度を示し、垂直方向の荷重では、若干強度低下はあるものの約 350MPa を示している。

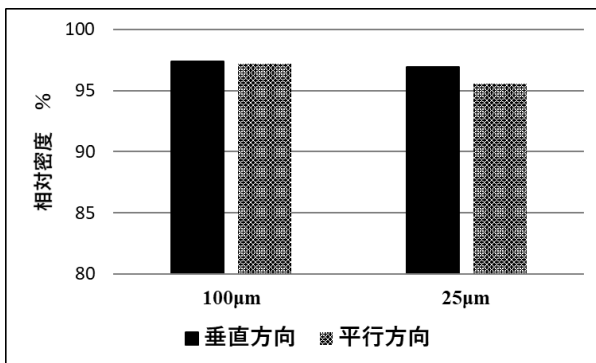


図 2 アルミナ造形焼結体の相対密度
積層ピッチ 100 μm 、25 μm 、造形体長辺が積層方向(z 軸)に垂直方向と平行方向

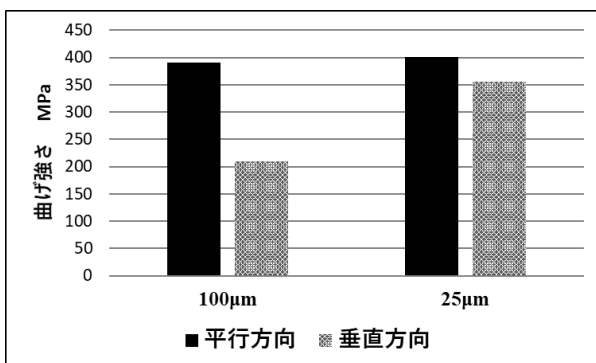


図 3 アルミナ造形焼結体の曲げ強さ
積層ピッチ 100 μm 、25 μm 、荷重方向が積層方向(z 軸)に平行方向と垂直方向

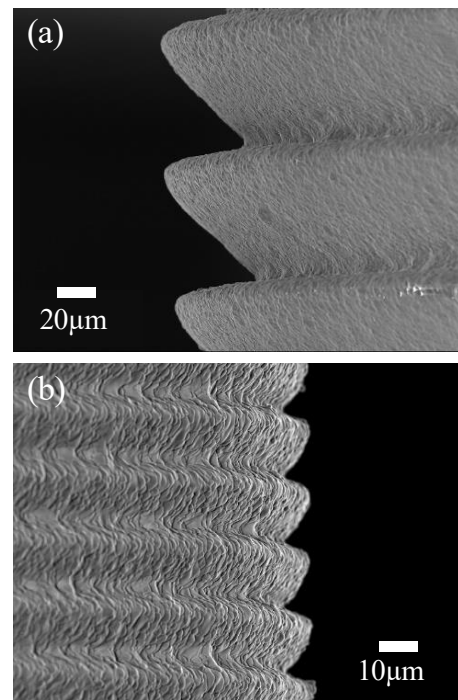


図 4 アルミナ造形焼結体の端面の微構造
造形時の積層ピッチ (a) 100 μm 、(b) 25 μm

積層方向(z 軸)に垂直方向の荷重における造形焼結体の強度低下の原因を調査するため、焼結体内部の積層界面付近の微構造を観察したが、デラミネーション等の積層界面の接合不良を示す欠陥は認められず、十分接合していることがわかった。

一方、図 4 に、アルミナ造形焼結体の端面の微構造を示す。いずれも端面はノッチ状の段差になっているが、積層ピッチ 100 μm の方がより大きくなっている。これら段差は、既報³⁾でも説明したように、同一層内における照射時間の差に依るものである。すなわち、透明テフロンシートを介して下面からスラリーに光を照射する際、透明テフロンシートに近いほど同一層内における照射時間が長くなることに起因したものであり、面露光の DLP 式 3D 積層造形特有のものである。

セラミックスのような脆性材料は、破壊源のサイズにより強度が支配されることが知られおり、これら端面段差が破壊源となり、積層方向(z 軸)に垂直方向の強度低下の主な原因となったものと推察される。また、曲げ強さの実測値から、破壊源となる臨界亀裂長さを計算したところ、端面段差の最大サイズに近くなったことから、積層ピッチの違いによる端面段差の大きさが、造形焼結体の強度に影響するものと考えられる。

積層ピッチ 25 μm の焼結体においては、積層方向(z 軸)に垂直方向の荷重においても強度低下が少なく、大きく改善している。したがって、例えば本研究のアルミナについて言えば、積層ピッチと端面段差の角度から判断して、積層ピッチを 10~15 μm 以下にすることで、破壊源である端面段差が臨界亀裂長さより小さくなり、積層界面に対して垂直方向に荷重をかけた曲げ強さと同程度の概ね 400MPa を有する焼結体が得られるものと推察される。

一方で、過度に積層ピッチを小さくしても、造形時間の

増大やスラリーの安定性低下が懸念される。使用するセラミック材料の臨界亀裂長さ等の機械的特性を把握したうえで、効率的な積層条件を設定することが必要であると考えられる。

4 結言

下面照射型 DLP 式光造形法を用いたアルミナ造形体の作製において、種々造形条件が、焼結体の微構造および機械的特性等の特性に及ぼす影響を検証した。

積層ピッチに見合う必要最低照射エネルギーの約 2 倍以上においては、アルミナ焼結体は概ね緻密化した。積層ピッチ 100 μm の焼結体は、積層方向 (z 軸) に平行方向の荷重においては、市販アルミナと同等の約 400MPa の強度を示したが、垂直方向の強度は約半分に大きく低下した。一方、積層ピッチ 25 μm の焼結体は、垂直方向の強度低下は少なく、約 350MPa を示した。垂直方向の強度低下の主原因は積層端面近傍の端面段差と考えられ、臨界亀裂長さより積層ピッチを小さくすることで、強度改善が可能であることが示唆された。

参考文献

1) 早野 誠治: 付加製造 (AM) 技術とその最新動向, 粉

体工学会誌, 53, 548-563 (2016)

2) J. Deckers, J. Vleugels and J.-P. Kruth : Additive manufacturing of ceramics: A review, J. Ceram. Sci. Tech., 05, 245-260 (2014)

3) 横田耕三, 高原茂幸: DLP 式光造形法によるアルミナ 3 次元積層造形緻密体の作製, 粉体工学会誌, 53, 492-498 (2016)

4) 横田耕三: 光造形法によるセラミックスの 3 次元積層造形技術の開発, Proceeding of the 86th Laser Materials Proceeding Conference, Japan Okayama, (2016) p177-180

5) 横田耕三, 片岡良孝: DLP 式光造形法による 3 次元積層造形 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-TiO}_2$ セラミックスの作製, 粉体工学会誌, 56, 261-266 (2019)

6) K. Yokota, Y. Kataoka : Influence of Molding Conditions on Characteristics of Alumina Sintered Bodies Fabricated by Digital Light Processing Vat Photopolymerization, J. Soc. Inorg. Mater., Japan, in press.

7) P.F. Jacobs: Rapid Prototyping & Manufacturing Fundamentals of Stereolithography, Society of Manufacturing Engineers, (1992) p. 29-33.

レーザー積層造形により作製した SiC 粒子分散 Al-10%Si-0.4%Mg 合金基複合材の組織と機械的特性

宮内 創, 柳瀬 裕太^{*1}, 松本 洋明^{*1}, 横田 耕三

レーザー積層造形法をアルミニウム合金基 SiC 粒子分散型複合材の製造へと応用するため、Al-10%Si-0.4%Mg (AlSi10Mg) 合金粉末に SiC 粒子を混合した粉末の造形実験を行った。種々造形条件が造形体の密度、結晶相、金属組織および硬さに及ぼす影響を実験的に調べた結果、AlSi10Mg 粉末の緻密化条件よりも投入エネルギーが 3 倍以上大きい条件を設定することで、相対密度 98%以上の造形体が得られることがわかった。造形体の金属組織は、Al-Si 共晶と SiC および造形プロセス中に反応生成した Al_4C_3 から構成されているとみられ、投入エネルギーを増加させるほど、残存 SiC 粒子が減少し、 Al_4C_3 が増加した。SiC 粒子を含まない生地組織の硬さは、AlSi10Mg 粉末の造形体よりも顕著に高い値を示した。

1 緒言

金属基複合材料 (MMC: Metal Matrix Composite) は、金属のみでは実現できない高い強度や剛性、耐摩耗性などの長を有し、航空宇宙や自動車などの分野への応用が試みられてきた。しかしながら、従来 MMC の主な製法であった鋳造や粉末冶金法では複雑形状の付与が困難であり、二次加工も容易でないことから、MMC の本格的な実用化は進んでいない。一方、現在用途開発が盛んになっている選択的レーザー溶融法 (SLM: Selective Laser Melting) は、金属粉末を材料とする積層造形法 (AM: Additive Manufacturing) の一つであり、既存工法では困難な複雑形状品や難成形材料などを直接的に造形できることから、MMC の製造への応用が期待されている¹⁾。そこで本研究では、剛性や耐摩耗性、熱伝導性に優れる、アルミニウム合金基 SiC 粒子分散型 MMC に注目し、SLM 法による造形体の製造プロセス確立と高機能化を目的とした。SLM 法に適した合金とされる Al-10%Si-0.4%Mg 合金を基材とし、SiC 粒子を混合した粉末の積層造形を試み、造形体の密度や金属組織、硬さおよび、それらが造形条件に及ぼされる影響を実験的に調べた。

2 実験方法

材料粉末として、Al-10%Si-0.4%Mg を主成分とする合金粉末 (LPW 社製 AlSi10Mg, 平均粒径 $41\mu\text{m}$) および SiC 粉末 (フジミインコーポレーテッド社製, 平均粒径 $32\mu\text{m}$) を用いた。これらを体積比 9:1 に調製し、ボールミルで $300\text{rpm}\times 3\text{h}$ 混合して供試材料とした。本研究で採用する SLM 法では、造形用基板上に材料粉末を敷き、目的形状の二次元スライスデータに基づいてレーザーを走査し、1 層ずつ選択的に溶融凝固させる工程を繰り返すことで造形体が作製される。実験には、ファイバレーザー (最大出力 500W, 波長 $1070\mu\text{m}$, 連続波) を搭載した同方式の金属積層造形装置 (赤澤機械株式会社製) を用いた。造形体の設計形状は $X10\text{mm}\times Y10\text{mm}$ の直方体とし、アルミニウム合金製基板上に高さ 6mm まで積層させた。ビーム走査パターンは矩形とし、1 層毎に走査方向を 90° 回転させた。雰囲気ガスにはアル

ゴンを用い、造形中のチャンバ内酸素濃度を 0.1%以下に保持した。造形条件は、表 1 に示すとおり、積層ピッチを一定とし、レーザー出力、走査速度、走査ピッチを変化させた。作製した造形体に対し、かさ密度 (真密度を $2.71\text{g}/\text{cm}^3$ とした相対密度) をアルキメデス法により測定した。金属組織の観察は、積層方向に平行な断面を鏡面まで機械研磨した後、フッ酸-硝酸-塩酸水溶液 (Keller 試薬) にてエッチングし、光学顕微鏡観察ならびに走査型電子顕微鏡を用いて行った。組織観察と同じ断面上において、構成相の同定のため X 線回折 (XRD) を行い、硬さをビッカース硬さ計 (HV0.3) で測定した。

表 1 造形条件

レーザー出力 P	300~400 W
XY 走査速度 v	133~2667 mm/sec
XY 走査ピッチ s	0.05~0.2 mm
積層ピッチ t	0.03 mm
投入エネルギー密度 $E=P/(v\cdot s\cdot t)$	50~500 J/mm ³

3 実験結果および考察

3.1 造形体の密度に及ぼす造形条件の影響

走査速度と走査ピッチを変化させたときの、造形体の相対密度との関係を図 1 に示す。(a) はレーザー出力を 300W, (b) は 400W とした場合の結果であり、横軸を、表 1 に示した式で表される投入エネルギー密度として整理している。相対密度は投入エネルギー密度の増加 (走査速度の低下) とともに上昇し、極大となった後は若干低下する傾向を示した。走査ピッチは、その値が 0.15mm のときに最も相対密度が上昇し、それよりも狭ピッチ側および広ピッチ側では密度が低下した。レーザー出力は、300W の場合よりも 400W に増加させた方が、高い相対密度が得られた。本研究では、レーザー出力 400W, 走査ピッチ 0.15mm , 投入エネルギー密度 $250\text{J}/\text{mm}^3$ の条件において、最も高い相対密度 98.7% が得られたが、SiC を混合しない AlSi10Mg 粉末が最も緻密化する条件^{2,3)}であるエネルギー密度 $50\sim 80\text{J}/\text{mm}^3$ と比較すると、3 倍以上の入熱を必要とした。これは、基材の Al と比較して SiC の融点が遥かに高いことが主因と考えられる。

^{*1} 香川大学創造工学部

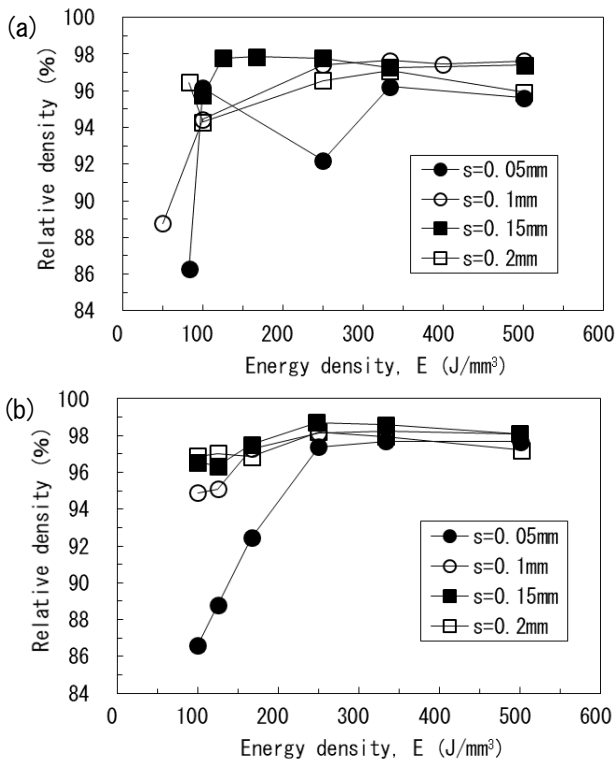


図1 レーザ出力(a)300W および(b)400W の場合、造形体の相対密度と走査ピッチ、投入エネルギー密度との関係

3. 2 造形体の構成相と組織

レーザ出力を400W、走査ピッチを0.15mmとし、異なる投入エネルギー密度（走査速度）で作製した造形体のX線回折パターンの比較を図2に示す。低エネルギー（速い走査速度）の条件では、平衡相であるAl、Siおよび添加したSiCのピークが認められた。なおAl相は、急凝固によりAl-Si系過飽和固溶体を形成しているとみられる。高エネルギー条件（遅い走査速度）での造形体では、SiCのピーク強度が低下した一方、Siのピーク強度が上昇するとともにAl₄C₃のピークが明瞭になった。これは、造形プロセス中の入熱の増加および冷却速度の低下に伴い、4Al+3SiC→Al₄C₃+3Siの反応が顕著になったものと考えられる。

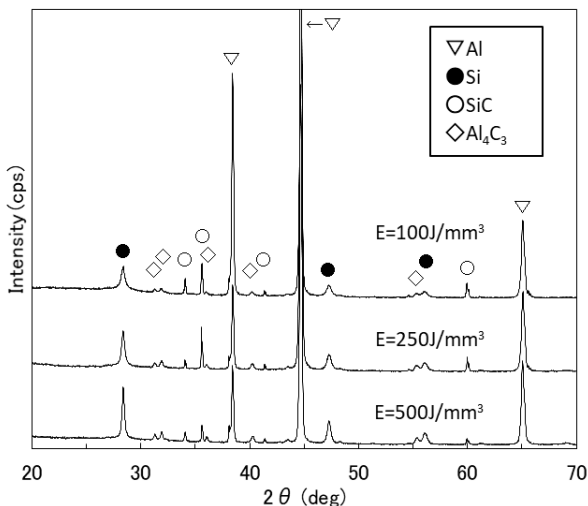


図2 異なる投入エネルギー密度で作製された造形体のX線回折パターンの比較

造形体断面の光学顕微鏡写真を図3に示す。レーザ走査による鱗状の熔融凝固痕が重なり合っている様相と、投入エネルギー密度の増加とともに残存SiC粒子が減少する傾向が確認された。SiC粒子の分布状態には若干の凝集傾向が疑われるが、積層方向および水平方向への分布の偏りは認められなかった。SiC粒子の近傍を拡大観察した電子顕微鏡写真を図4に示す。生地組織はAl濃度の高い相（色の濃い部分）とSi濃度の高い相（白色部）からなるサブミクロンサイズの微細な共晶組織とみられ、比較的粗大な針状組織が偏在していた。この針状組織は、高入熱条件での造形体には顕著に存在し、低入熱での造形体には少なかったことから、反応生成したAl₄C₃であるとみられ、その周辺では高Si相の面積比率が高くなっていった。針状組織の偏在領域と残存SiC粒子および熔融凝固痕との位置関係は不規則であったことから、針状組織の生成は、反応消失したSiC粒子に由来している可能性が考えられる。

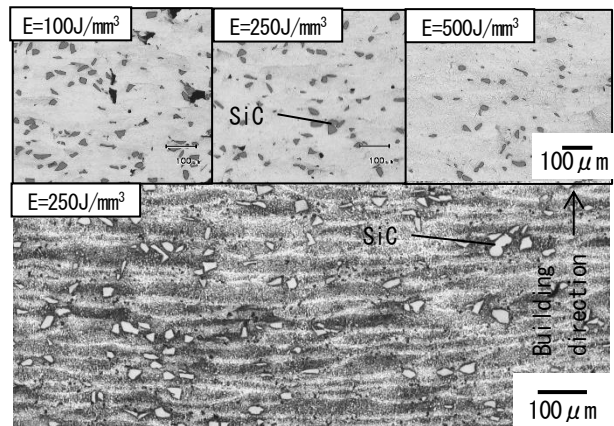


図3 造形体断面の光学顕微鏡写真（上段はノーエッチ）

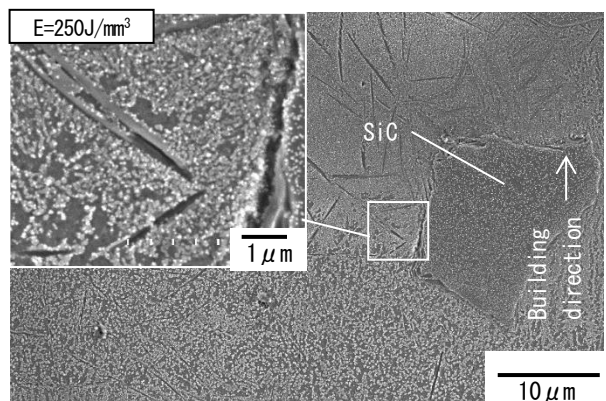


図4 造形体断面の電子顕微鏡組織写真

3. 3 造形体の硬さ

3.2と同じ条件にて作製した造形体の断面硬さ測定結果を図5に示す。図中には同じレーザ出力と走査ピッチにて作製したAlSi10Mg造形体の硬さを併せて示したが、これと比較してSiC混合粉末造形体の硬さは平均値で50HV程度高いことがわかる。硬さの測定はSiC粒子を避けて生地組織の領域で行ったため、硬さの上昇の主因は反応生成したAl₄C₃の影響と考えられる。硬さ値のばらつきが非常に大きいことは、粗大な針状Al₄C₃が偏在しているためと考えられるが、針状組

織のみられない領域においても硬さは高かったため、微細な反応生成物や、成分元素の固溶が影響している可能性があり、さらなる検討を要する。

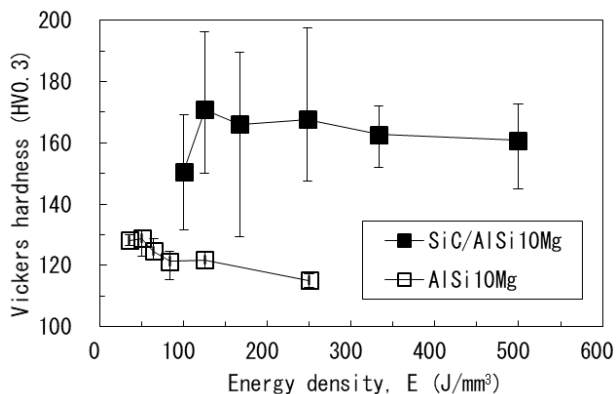


図5 造形体の硬さ測定結果

4 結言

Al-10%Si-0.4%Mg合金とSiC粒子を混合した粉末のレーザ積層造形を試み、造形条件が造形体の密度や金属組織、硬さに及ぼす影響を調べた。その結果、以下の知見を得た。

- 1) AlSi10Mg粉末の緻密化条件よりも投入エネルギーが3倍以上大きい造形条件を設定することで、相対

密度98%以上の造形体を得られた。

- 2) 投入エネルギーを増加させるほど、造形体内部の残存SiC粒子が減少し、反応生成した Al_4C_3 が増加した。
- 3) SiC粒子を含まない生地組織の硬さは、AlSi10Mg粉末の造形体よりも顕著に高い値を示した。

参考文献

- 1) P. Wang et al. : A heat treatable $TiB_2/Al-3.5Cu-1.5Mg-1Si$ composite fabricated by selective laser melting: Microstructure, heat treatment and mechanical properties, *Composites Part B*, 147, 162-168 (2018).
- 2) 木村貴広, 中本貴之 : 金属粉末レーザ積層造形法により作製した Al10Si0.4Mg 合金の組織と機械的性質, 粉体および粉末冶金, 61, 531-537 (2014).
- 3) 宮内創, 柳瀬裕太, 横田耕三, 松本洋明 : AlSi10Mg 合金粉末のレーザ積層造形における造形条件の影響, 香川県産業技術センター研究報告, No. 20, 17-19 (2020).

(日本塑性加工学会 第71回塑性加工連合講演会にて発表)

ものづくり基盤技術高度化支援プロジェクト

—令和2年度の活動—

大北 一也, 山下 雅弘, 熱田 俊文, 宮内 創, 松島 康晴, 新名 楓

ものづくり基盤技術関連企業の成長分野等への進出を促進するため、「機械加工技術」、「溶接技術」等の基盤技術の高度化を支援するための技術支援・研究開発を実施した。具体的には、ものづくり基盤技術高度化分科会の開催、各専門分野のアドバイザーによる巡回技術指導、分科会のワーキンググループにおける勉強会の実施、溶接技量訓練装置を用いた人材育成支援等の活動を行った。さらに、基盤技術の高度化を支援するための研究開発や個別の技術支援も実施した。

1 緒言

当センターでは、平成29年度から「ものづくり基盤技術高度化支援事業」を開始した^{1)~3)}。この事業は、ものづくり基盤技術関連企業の成長分野等(健康医療分野、航空宇宙分野、自動車関連分野など)への進出を促進するため、各基盤技術における共通課題を抽出し、その解決のための技術支援・研究開発を実施することで、コア技術をより一層強化することを目的としている。

具体的な内容として、平成29年度に基盤技術である「機械加工技術」および「溶接技術」の高度化を支援するための分科会を立ち上げ、2つのワーキンググループ(機械加工技術の高度化WG、溶接人材育成WG)を設置した。今年度も、この分科会での活動を中心として、各WGにおける勉強会・練習会の開催、技術アドバイザー巡回による現場の課題改善、溶接マイスターによる現地実技セミナー、溶接技量訓練装置を用いた人材育成支援等を実施し、県内企業の基盤技術の高度化を支援した。また、機械加工技術・溶接技術の高度化に資する研究開発の実施や個別の高度化支援等も実施した。本報ではこの事業の4年目の活動内容について報告する。

2 ものづくり基盤技術高度化分科会

分科会の構成員は、企業28社(加工15社、溶接19社、重複含む)と業界1団体、当センターである。この分科会において、各WGでの勉強会・練習会の開催、技術アドバイザー(機械加工・溶接等、計4名を委嘱)による巡回指導、加工事例・人材育成・技能伝承等に関する会員相互の情報交換を行った。

2.1 開催

今年度は2回の分科会を開催した。それぞれの概要を以下に示す。

○第1回

日時：令和2年6月18日(木)

議事：(1)今年度の実施計画
(2)今年度のアドバイザー紹介

○第2回

日時：令和3年3月5日(金)

議事：(1)今年度の活動実績と次年度の実施計画
(2)産業技術センターからの情報提供
「デジタルツールを活用した技能伝承(加

工・溶接)」産業技術センター 山下、熱田

(3)会員企業からの情報提供

「低ガスコスト・低スパッタ新溶接法(パルスガスMAG溶接法)の開発」

川田工業(株) 四国工場 藤原 康平 氏
(4)意見交換

第1回分科会は、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から、電子メールでの書面開催とし、今年度の実施計画やアドバイザー紹介等の報告を行った。

第2回分科会はweb開催とし、今年度の活動実績の報告やデジタルツールを活用した技能伝承に関する話題提供(産業技術センター職員から2件)などを行った。また、会員企業である川田工業(株)の藤原氏から、同社が開発した「パルスガスMAG溶接法」と呼ばれるガスコストを抑えた低スパッタ新溶接法についての紹介があった。この溶接法ではスパッタの発生量が炭酸ガスアーク溶接の1/10未満、MAG溶接の1/2未満に抑えられるとのことで、参加者からも、従来溶接システムへの後付けの可否や適用可能範囲についての質問などが多く寄せられ、興味深い内容であった。

2.2 アドバイザー

今年度は各専門分野のアドバイザーとして、機械加工技術分野：香川県職業能力開発協会 佃 昭 氏、東京電機大学 松村 隆 氏、溶接技術分野：香川高等専門学校 正箱 信一郎 氏、徳島県鉄骨構造協同組合 奈須 善彦 氏をそれぞれ委嘱した。各アドバイザーは、会員企業を訪問し、現場の課題改善のための指導や情報交換等を行った。図1にアドバイザーの巡回指導の様子を示す。今年度は延べ15社を訪問し、機械加工技術分野では、IoT・スマート工場関連、工場の5S、CAD/CAMを用いたデジタルものづくり、研削による精密加工などについて、溶接技術分野では、溶接施工手順のマニュアル化、溶接時に発生するひずみのマニュアル化、作業者が正しい溶接姿勢をとりやすい環境づくりなどについての指導を実施した。

2.3 ワーキンググループ(WG)

今年度のWGは、以下のとおり計13回開催した。

○機械加工技術の高度化WG①

日時：令和2年11月5日(木) 13:30~16:30
場所：香川県産業技術センター 3階 研修室



図1 アドバイザーの指導事例



図2 機械加工技術の高度化WG



図3 溶接人材育成WG

タイトル：「ワイヤー放電加工機 出張加工塾」

講師：三菱電機(株)名古屋製作所 安井 紀哉 氏
 三菱電機カトロエクスゾシア(株)西日本支社 森田千恵子 氏
 三菱電機カトロエクスゾシア(株)西日本支社 田伏 昇道 氏
 三菱電機カトロエクスソフトウェア(株) 渡辺浩太郎 氏

参加者：16名

○機械加工技術の高度化WG②

日時：令和2年12月15日(火) 14:00～16:00

場所：香川県産業技術センター 3階 研修室

タイトル：「機械図面の読み方の基礎講座」

講師：香川高等専門学校 機械工学科 徳田 太郎 氏

参加者：28名

○機械加工技術の高度化WG③

日時：令和2年12月15日(火) 14:00～16:00

場所：web 開催 タイトル：「切削工具の基礎」

講師：(株)タンガロイ 西部支店 阿部 東甫 氏

参加者：23名

○溶接人材育成WG①

日時：令和2年8月2日, 9月2日, 10月4日,
 10月18日, 11月8日, 11月29日, 12月
 13日, 令和3年1月27日, 2月14日

各日曜日, 9:00～13:00

場所：産業技術センター実験棟 表面改質試験室

タイトル：「溶接マイスター指導による溶接技量訓練装置を使った個別練習会」

講師：(株)タダノ 大澤 兼治 氏

参加者：延べ61名

○溶接人材育成WG②

日時：令和3年3月13日(土) 8:50～13:00

場所：ポリテクセンター香川(高松市)

タイトル：「溶接技術コンクール事前講習会」

実技講師 8名, 座学講師 1名

参加者：23名(座学21名, 実技23名)

機械加工技術の高度化WG(図2)では、ワイヤー放電加工、機械図面の読み方および切削工具に関する勉強会を開催した。「ワイヤー放電加工機 出張加工塾」では、三菱電機(株)を講師として、現場で役立つ加工ノウハウ、稼働率向上やメンテナンス方法、他工法からの転換による加工精度や生産性向上などについて実例を交えて紹介した。「機械図面の読み方の基礎講座」では、香川高等専門学校 徳田氏を講師として、図面の基本的な様式や

ルールなどについての説明、図面から立体図に変換する演習などを行った。図面に苦手意識のあった参加者からも、このWGで学んだ図面を読み解くための手順に沿って進めることで、苦手克服につながると好評であった。「切削工具の基礎」では、(株)タンガロイを講師として、超硬工具による鋼・ステンレス鋼の旋削・フライス・穴あけ加工を中心に、適切な加工方法や工具の選定方法などについて詳しく説明した。

また、溶接人材育成WG(図3)では、平成29年度に導入した溶接技量訓練装置を用いて9回の個別練習会を開催した。個別練習会は、溶接マイスター四国である(株)タダノの大澤氏を指導者として、各企業ごとに溶接動作や適切な溶接条件などに関する個別指導を行った。溶接の初心者からJIS検定合格や熟練工を目指す参加者などのそれぞれの技量・目的に応じた指導内容で好評であった。事前講習会では、初めて溶接技術コンクールに参加する人向けに、課題内容や溶接手順、減点ポイントなどについて座学で説明した。また実技では、溶接マイスター四国の認定者や指導経験豊富な溶接技術者を講師として個別に実技指導を行った。

3 高度化支援

基盤技術の高度化を支援するための研究開発や個別支援を実施した。これらについては、別途報告を行う。

4 結言

今年度は、ものづくり基盤技術高度化分科会において、2回の分科会を開催し、延べ15社のアドバイザー巡回指導を実施した。また、各ワーキンググループにおいて、ワイヤー放電加工や機械図面の読み方、切削工具に関する勉強会、溶接技能向上を目的とした練習会などを開催した。併せて、基盤技術の高度化を支援するための研究開発や個別の技術支援も実施した。

令和3年度も引き続き、今年度と同様の活動を実施し、機械加工技術および溶接技術を中心とした県内企業の基盤技術の高度化を支援していく予定である。

参考文献

- 1) 山下雅弘, 熱田俊文, 松島康晴, 中原理栄: ものづくり基盤技術高度化支援事業, 香川県産業技術センター研究報告, No. 18, pp. 45-47 (2017).
- 2) 山下雅弘, 熱田俊文, 松島康晴, 中原理栄: ものづくり基盤技術高度化支援プロジェクトー平成30年度の活動ー, 香川県産業技術センター研究報告, No. 19, pp. 27-29 (2018).
- 3) 山下雅弘, 熱田俊文, 松島康晴, 新名 楓, 中原理栄: ものづくり基盤技術高度化支援プロジェクトー令和元年度の活動ー, 香川県産業技術センター研究報告, No. 20, pp. 23-24 (2019).