

令和6年度

研究報告

大分県産業科学技術センター

令和7年7月発行

目次

【経常研究】

伝統産業を対象とした手加工技術のデジタルアーカイブ化研究（第2報）	1
3Dプリンタの造形品質と強度の向上（第2報）	3
AIおよび無線信号を活用した物体認識技術に関する研究（第2報）	9
労働環境の整備に寄与する技術開発研究（第1報）	14
MALDI-MSを中心とした食品異変の究明体制の構築と 保有微生物の利活用に関する研究	20

伝統産業を対象とした手加工技術のデジタルアーカイブ化研究（第2報）

—主に竹編組技術と椅子張り技術を対象として—

佐藤幸志郎

製品開発支援担当

Research on digital archiving of hand processing techniques for traditional industries (2nd Report)

—Mainly for bamboo weaving techniques and upholstery techniques—

Koushirou SATOU

Product Design and Development Section

要 旨

大分県のものづくり産業・観光産業振興のため、当県を特徴づける伝統産業である竹編組技術⁽¹⁾と椅子張り技術等の手加工技術について、動画コンテンツ等を活用したデジタルマニュアルを作成する。研究2年度は初年度の竹製品制作現場の予備取材で得られた知見に基づく本取材と、初年度に作成した技術マニュアル素案についての制作現場からの評価を反映して改善を試みた技術マニュアルの試作を行った。

1. はじめに

本研究が対象とする木竹製品の手加工技術は、大分県を代表する伝統的のものづくり産業の基盤技術である。特に竹製品製造については、未経験者に2年間で職業訓練を実施する県立の教育施設が設置され、県外からの移住者を含め、毎年新たな竹製品制作者を生み出している。

しかしこのような昔ながらの手加工のものづくりの将来は全国的に見るととても厳しい状況であり、「伝統的工芸品産業の自立化に向けたガイドブック（経済産業省／令和4年5月）」によると平成の20年間で伝統工芸の全国生産額は1/3に、就業者数は1/2となり、「工業統計（経済産業省）」では、全国の主要木工家具産地の製造品出荷額も平成の期間中に軒並み右肩下がりとなっている。

3カ年で取り組む本研究では県内の木竹製品産業の就業者数の改善を目的に、以下の内容を実施している。

- ・制作現場を対象とした取材等フィールドワーク
- ・動画等を活用した効果的な技術マニュアルの作成

2. 方法

2.1 制作現場を対象とした取材等フィールドワーク

昨年度の予備取材に続き、本年度は竹製品制作技術の本取材を実施した。本取材は大分県立竹工芸訓練センターを対象として、指導員が実施する1年生を対象とした実技指導に、令和5年4月から令和6年3月までの一年

間同席させていただいた。

2.2 動画等を活用した技術マニュアルの作成

技術マニュアルは、昨年度に素案を試作した多視点同時表示(Fig.1)での作成を予定していたが、指導員に試作した技術マニュアルを確認していただいたところ低い評価となった。

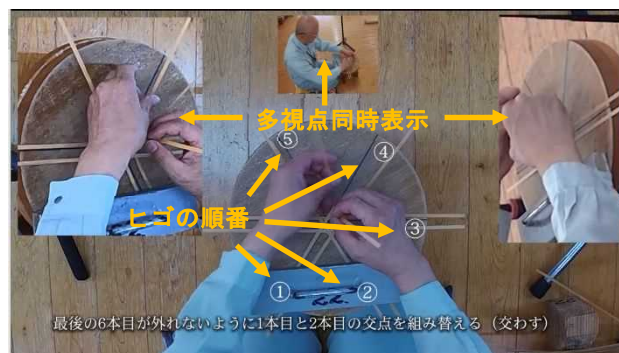


Fig.1 昨年度作成した技術マニュアル素案

低い評価の理由として、竹製品制作作業中に辞書的に使う座右のマニュアルとしては画面が複雑で必要な情報が分かり難く見難い等の理由によるものであった。更に両手を使用する竹製品の制作作業中、パソコンやスマートフォンの操作は材料や道具から手を離すこととなり作業を中断させるため、操作インターフェイスに改善の必

要があることが認識された。

本年度は、一視点表示を基本レイアウトとして、「視点の切り替え」「再生スピードの切り替え」「任意の再生位置へのジャンプ」等の操作をハンズフリーで実現することで竹製品制作の現場ニーズに応えられるとの仮説に基づき技術マニュアルの改善を試みた。

3. 結果

3.1 制作現場を対象とした取材等フィールドワーク

一年間の指導は刃物砥ぎ等の共通制作技術と、8つの課題製品の個別制作技術について行われた。Fig. 2に、一年間の取材対象の制作技術合計129件を、道具管理、材料加工、編組、仕上げ他の4つに分類して整理した。

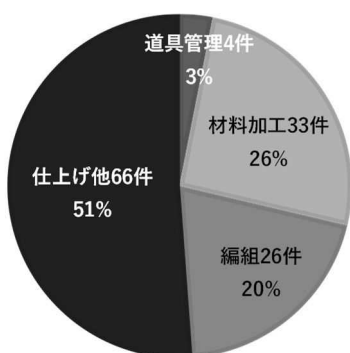


Fig. 2 取材対象となった制作技術合計129件の分類

材料加工は1/4、編組は1/5程度と少なく、仕上げ他の周辺技術が半分以上を占めていることがわかった。この中には塗装や染色などの表面処理等は含まれていないため授業全体に対する周辺技術の割合は更に大きくなる。

撮影は、実技指導中に複数の固定カメラを使用して多視点から同時に撮影を行うと共に、手持ちカメラで指導者の手元のアップなどを必要に応じて撮影した。また指導員が研修生に対して説明する技術ノウハウを指向性マイクロホンで雑音をできるだけ排除して記録した。

3.2 動画等を活用した技術マニュアルの作成

当初、現時点で現場ニーズを実現するには、普及しつつある音声認識技術等を導入し、大画面1視点表示をハンズフリーで操作することが最も近い解決策ではないかと考えた。

音声認識はMicrosoft社OSのWindows標準の機能を使いその操作性を確認したが、使用できる音声コマンドが限定されていることや、発話環境によって音声の認識率が大きく変化することが確認できた。現時点では現場ニーズを満足させるレベルでの技術マニュアルでの音声認識の利用は困難であるとの印象であった。

情報端末に対して音声以外のハンズフリーを実現する

ツールとして、楽器演奏の現場でタブレット端末に表示される楽譜のページめくりを使用される足踏み操作による入力デバイスが存在する。それを参考に、複数ペダルの足踏みスイッチをWindowsPCに接続し、視点の切り替え、動画の一時停止、再生が可能な大画面1視点表示をハンズフリーで操作する動画再生システムを試作した(Fig. 3)。



Fig. 3 1視点表示+視点切替の技術マニュアル試作

4. 考察

大画面1視点表示を足踏みスイッチによりハンズフリーで操作する動画再生システムの試作品を取材現場の指導員の評価をいただいたところ、昨年度の多視点同時表示の提案より好評価であった。現状の音声認識システムと比較して現実的な解決策の候補の一つと考えている。

次年度も引き続き医療・福祉や音楽演奏等、他分野の入力デバイスの調査等を参考に技術マニュアルの試作品を作成し現場で評価していただく予定である。

評価をマニュアルの改善にフィードバックして、試作アプリケーションの完成度を高め、技術マニュアルの研修現場での実用化を目指したい。

また、手加工技術の継承の難しさは伝統工芸のみの課題では無く、工業的手法による生産も含め全国的に顕在化している課題であると考えられる。本研究のアプローチが有効であることが実証されれば、手加工技術教育のモデルケースとして幅広い産業分野の手加工技術の継承に役立つのではないだろうか。

例えば自動化が進む金属加工や樹脂加工等においても、きさげ、やすり、磨き等は熟練の職人がハンドツールを使用して加工機械を超える精度や品質を達成しており、熟練職人による手加工技術の継承は本県のみならず日本のものづくり産業の他国に対する競争力の維持・向上にとって重要課題である。手加工技術の継承ニーズがある様々な産業分野に本研究の成果の適用を広げていくことが将来的な目標であると考えている。

参考文献

- (1) 大分県別府産業工芸試験所:竹編組技術資料 基礎技術編 (1991)

3Dプリンタの造形品質と強度の向上（第2報）

－基本性能の把握－

兵頭敬一郎・疋田武士・佐藤寿喜・佐藤幸志郎
製品開発支援担当

Improvement of 3D Printer Modeling Quality and Strength (2nd Report)

－Understanding basic performance－

Keiichiro HYODO・Takeshi HIKIDA・Hisaki SATO・Koshiro SATO
Product Design and Development Section

要 旨

令和4年度に3Dプリンタ「Markforged社製 X7™」が導入され、企業を対象とした3Dプリンタ利用サービスを提供するにあたり必要となる基本的な造形技術及び造形物の機械的性質について蓄積を行う。令和6年度は、樹脂材料での造形物、樹脂材料と長繊維のカーボンファイバー（以下、CFと略記する）との複合造形物の精度と強度の再現性ととも、CFの量や配置、角度等、造形時の各種設定を検討する他、ねじり性能、セルフタッピング、インサートナットによる接合、接着接合等の性能を確認した。また部品分割によるCF複合造形により引張強度の向上を確認した。造形品質と強度の向上についての実施データを積み重ね、活用方法も併せて整備してマニュアル化し、利用サービスの向上を図る。

1. はじめに

令和4年度に導入した3Dプリンタ「Markforged社製 X7™」の造形物の造形品質と強度の向上についての実施データを積み重ね、活用方法も併せて整備してマニュアル化し、利用サービスの向上を図る。

2. 方法

研究には、樹脂材料としてナイロン樹脂に短繊維CFを混合したOnyx™を用い、長繊維材料としてCFを用いた。

第1報の、樹脂材料による造形物と、樹脂材料とCFの複合造形による造形物の精度と機械的性質の再現性ととも、CFの量や配置、角度等、造形時の各種設定による精度と強度を確認した。

また、ねじり性能、セルフタッピング、インサートナットによる接合、接着接合、部品分割によるCF複合造形の強度について確認した。

2.1 造形精度

第1報と同様に、JIS K 7139:2009 プラスチック-試験片に基づくダンベル型引張試験片（タイプA1形状、平行部幅10mm、厚さ4mm）を造形し、測定した。

寸法誤差は、実測値を設計値（全長170mm、幅10mm、厚み4mm）で除した値とした。

2.2 引張試験

第1報と同様に、JIS K 7161:2014に基づき、Table 1に示すとおり引張試験を行った。（Fig. 1）

Table 1 引張試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B	C
樹脂材料	Onyx™		
長繊維材料	—	—	CF
積層ピッチ (mm)	0.1	0.05, 0.1 , 0.125, 0.2, 0.25	0.125
内部形状	Solid Fill		
造形方向	平置き	平置き 横置き 縦置き	平置き
試験片本数	6	5×3	6
引張試験機	島津製作所:AGS-J型試験システム		
試験片	JIS K 7139 タイプA1		
つかみ具間距離	115mm		
標点間距離	50mm		
試験速度	1mm/min		

また、Table 2 に示すとおり、CF の量や配置、角度を設定して造形した場合の引張試験を行った。

なお、樹脂材料、長繊維材料、内部形状は Table 1 と同様とした。

Table 2 引張試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B	C	D	E
積層ピッチ(mm)	0.125				
造形方向	平置き				
CF 位置と レイヤー数	上4 下4	分散 8	中央 24		
CF 角度 (°)	0, 45, 90, 135			0	45, 135
試験片本数	6	6	6	6	6

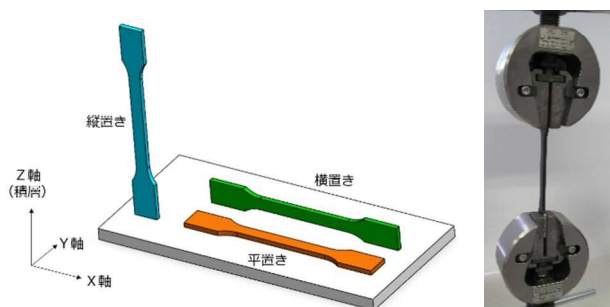


Fig. 1 ダンベル型引張試験片の造形方法と試験機

2.3 曲げ試験

第1報と同様に、JIS K 7171:2016 プラスチック-曲げ特性の求め方に基づき Table 3 に示すとおり試験片を造形し曲げ試験を行った。(Fig. 2)

Table 3 曲げ試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B	C	D
樹脂材料	Onyx™			
長繊維材料	—	—	CF	
積層ピッチ(mm)	0.1	0.2	0.125	
CF 積層(L) 数	—	—	24	4, 8, 12, 16, , 20, 24
内部形状	Solid Fill			
造形方向	平置き			
試験片本数	6	6	6	1×6
曲げ試験機	島津製作所:AGS-J 型試験システム			
試験片	JIS K 7171 推奨試験片			
支点間距離	64mm			
試験速度	2mm/min			

また、Table 4 に示すとおり、CF の量や配置、角度を設定して造形した場合の曲げ試験を行った。

なお、樹脂材料、長繊維材料、内部形状は Table 3 と同様とした。

Table 4 曲げ試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B	C	D	E	F	G
積層ピッチ(mm)	0.125						
造形方向	平置き						
CF 位置と レイヤー数	上4 下4	中央 8	上 8	下 8	中央 24		
CF 角度 (°)	0, 45, 90, 135					0	45, 135
試験片本数	6	6	6	6	6	6	6

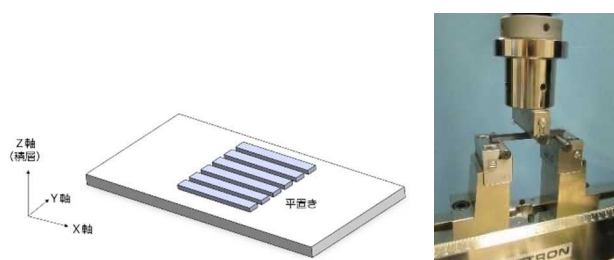


Fig. 2 曲げ試験片の造形方法と試験機

2.4 ねじり試験

CF の有無でのねじり特性を確認するため、Fig. 3 に示す図面、Table 5 に示す造形条件 A, B のとおり試験片を造形し、デジタルトルクレンチ SDT3-030 によりねじりトルクを測定した。

Table 5 ねじり試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B
樹脂材料	Onyx™	
長繊維材料	—	CF
積層ピッチ (mm)	0.1	0.125
内部形状	Solid Fill	
造形方向	平置き	
試験片本数	6	6
曲げ試験機	デジタルトルクレンチ SDT3-030	

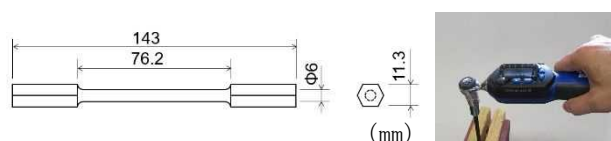


Fig. 3 ねじり試験片の造形寸法と試験方法

2.5 セルフタッピング引張試験

製品の樹脂筐体の締結を想定し、セルフタッピングによる金属のタッピングネジをボス穴にねじ込み、真鍮製治具で引張試験を行った。(Table 6, Fig. 4)

Table 6 セルフタッピング試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B
樹脂材料	Onyx™	
長繊維材料	—	—
積層ピッチ(mm)	0.1	0.2
内部形状	Solid Fill	
造形方向	縦置き	
試験片個数	6	6
曲げ試験機	島津製作所:AGS-J型試験システム	
試験速度	2mm/min	

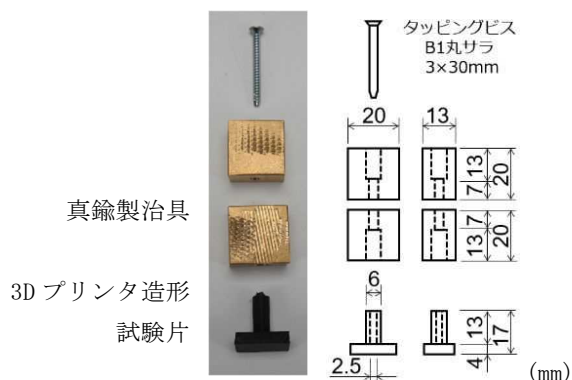


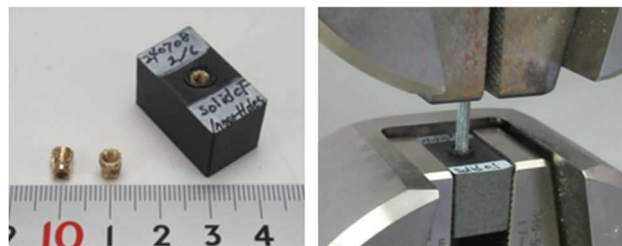
Fig. 4 セルフタッピング試験片

2.6 インサートナット引張試験

製品の樹脂筐体の締結を想定し、3Dプリンタ造形物に、金属製のインサートナットをはんだごてで加熱圧入し引張試験を行った。(Table 7, Fig. 5)

Table 7 引張試験片の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B	C
樹脂材料	Onyx™		
長繊維材料	—	—	CF
積層ピッチ(mm)	0.1	0.2	0.125
内部形状	Solid Fill		
造形方向	平置き	平置き	平置き
試験片本数	6	6	6
引張試験機	島津製作所:AGS-J型試験システム		
試験片	W25mm×D14mm×H15mm		
インサートナット	型番 UD-43001		
試験速度	2mm/min		



インサートナットと試験片 試験方法
Fig. 5 インサートナットと試験片及び試験方法

2.7 接着接合による引張試験

スケールモデル等で最大造形サイズより大きな造形物の場合には、分割して造形し、分割面を接着材等で接合して一体化する方法がある。

樹脂材料同士を接着する際に Table 8 に示すとおり JIS K 6850 引張せん断接着強さ試験に基づき、下記3種の接着材で接着し引張試験を行った。(Fig. 6)

・接着材の種類

- A : エポキシ樹脂系 (二液) (セメダイン EP001N)
- B : シリコン樹脂系 (一液) (セメダイン SUPER X HYPER)
- C : シアノアクリレート系 (コシアロンアルファゼリー状)

Table 8 接着試験の造形条件及び試験条件

造形条件	A	B	C
樹脂材料	Onyx™		
長繊維材料	—		
積層ピッチ(mm)	0.2		
内部形状	Solid Fill		
造形方向	平置き	平置き	平置き
試験片本数	6	6	6
引張試験機	島津製作所:AGS-J型試験システム		
試験片	引張せん断接着強さ試験 (JIS K 6850)		
接着剤	エポキシ樹脂系 (二液)	シリコン樹脂系 (一液)	シアノアクリレート系
試験速度	2mm/min		

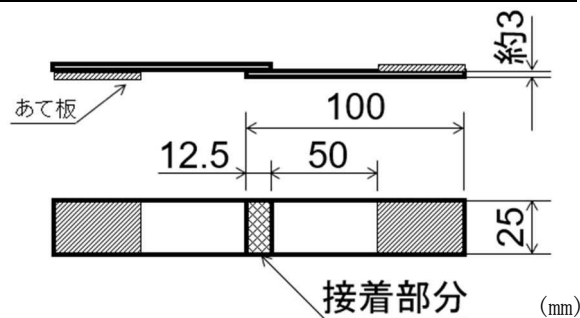
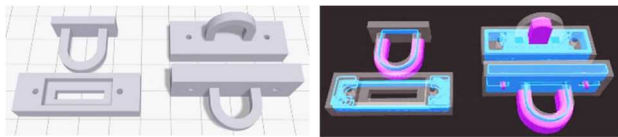


Fig. 6 引張せん断接着強さ試験片

2.8 部品分割によるCF 複合造形

Fig. 7 に示すとおり、基板にU型リングが接合された吊具を樹脂材料とCFの複合造形を行った。

平置きと横置きで、基板とリングを一体造形する場合と、リングを横置き、基板を平置きで分割造形後に組立てる場合の、引張強度の違いを確認した。



PART画面 XRAY画面

Fig. 7 吊具の造形設定画面

3. 結果

3.1 造形精度の再現性

3.1.1 造形条件 A 積層ピッチ 0.1mm

Fig. 8 は、積層ピッチ 0.1mm の実測値と寸法誤差を示す。全長、幅、厚みの実測値の平均は全て設計値より大きく造形された。寸法誤差については、厚みの値が最も大きく、平置きでの造形であるため、Z軸（積層）方向の寸法誤差が最も大きいことがわかった。

造形精度は、第1報と同様の傾向が見られ再現性が確認できた。

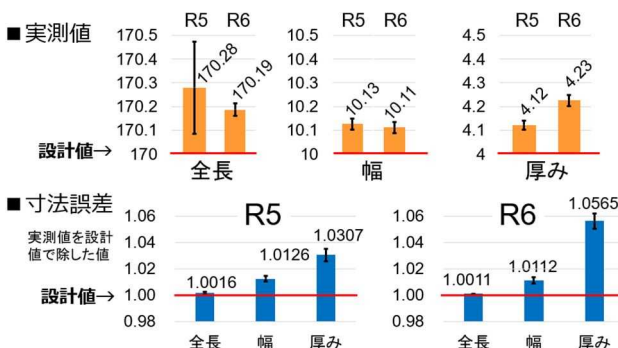


Fig. 8 積層ピッチ 0.1mm の実測値と寸法誤差

3.1.2 造形条件 B 積層ピッチ 0.05~0.25mm

Fig. 9 は積層ピッチ 0.05mm~0.25mm の実測値と寸法誤差を示す。Fig. 10 は積層ピッチ 0.05mm~0.25mm の軸方向ごとの寸法誤差を示す。

造形精度は、第1報と同様の傾向が見られ再現性が確認できた。

3.2 引張試験

Fig. 11 は、樹脂材料 Onyx™ を積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm でそれぞれ平置き、縦置き、横置きで造形した引張試験の荷重-変位線図を示す。

Fig. 12 は、樹脂材料とCFを平置きで複合造形した引張試験の荷重-変位線図を示す。

張試験の荷重-変位線図を示す。

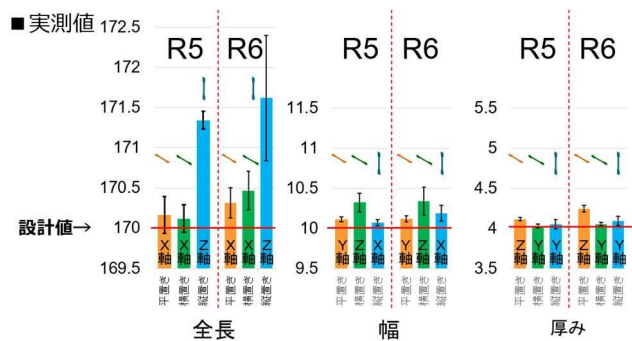


Fig. 9 積層ピッチ 0.05mm~0.25mm の実測値

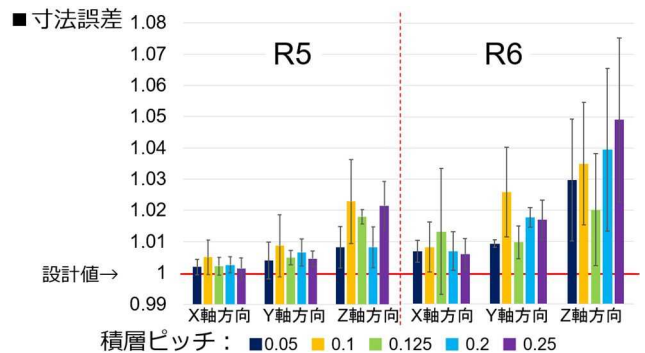


Fig. 10 積層ピッチ 0.05mm~0.25mm の寸法誤差

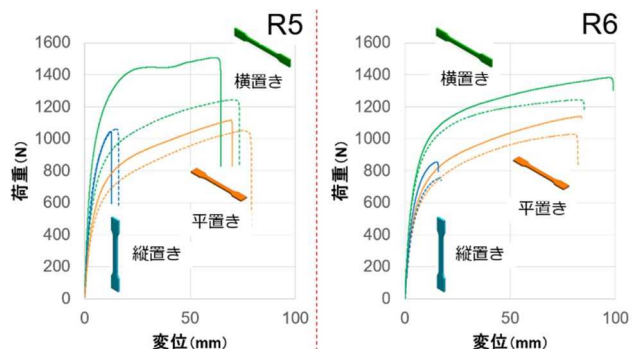


Fig. 11 積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm, 3タイプの造形方向で造形した引張試験の荷重-変位線図

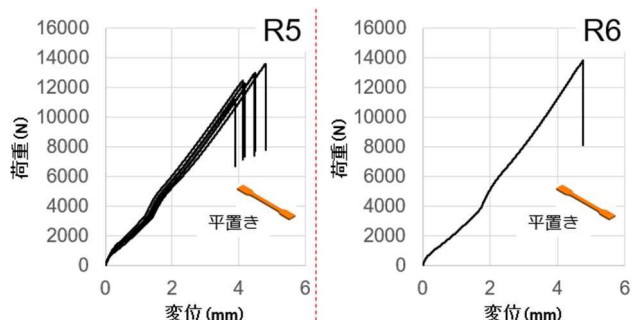


Fig. 12 樹脂材料にCFで複合造形した引張試験の荷重-変位線図

3.3 曲げ試験

Fig. 13は、樹脂材料を積層ピッチ0.1mmと0.2mmで造形した試験片と、樹脂材料とCF24層で複合造形した試験片とを比較した第1報と本報の実験結果の荷重-変位線図を示す。

積層ピッチ0.1mm, 0.2mm, CF24層ともに第1報と同様の傾向が見られ再現性が確認できた。

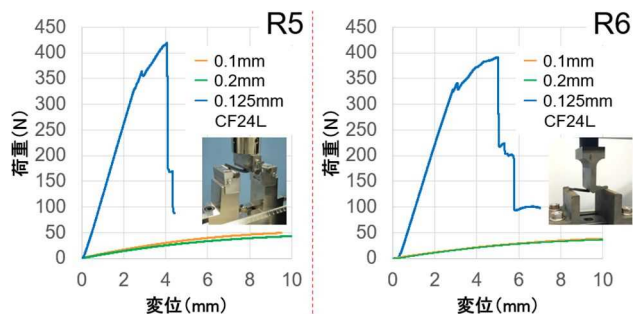


Fig. 13 樹脂材料0.1mmと0.2mm, 樹脂材料とCFの複合造形による3点曲げ試験の荷重-変位線図

Fig. 14は、CFの積層(L)数の違いによる、曲げ試験の荷重-変位線図を示す。CFの積層数が増えるとともに最大荷重は大きくなるとともに変位は小さくなり、第1報と同様の傾向が見られ再現性を確認できた。

なお、20Lと24Lの違いは確認出来なかった。

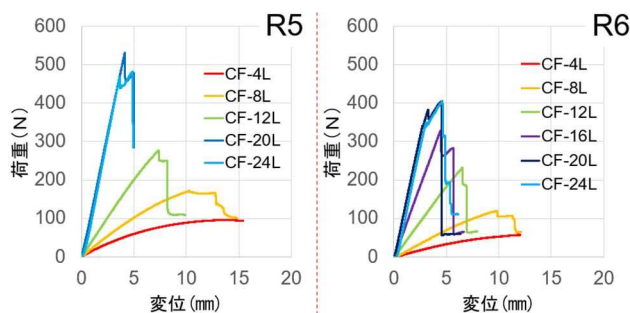


Fig. 14 CF積層数の違いによるCF複合造形曲げ試験の荷重-変位線図

3.4 ねじり試験

Fig. 15は、樹脂材料0.1mmと樹脂材料とCFの複合造形によるねじり試験の最大トルクを示す。

樹脂材料にCFを複合造形することでねじりトルクが向上した。樹脂材料は、大きく変形後に破壊したが、CF複合造形では、大きな変形はなく通直状態で破壊した。

3.5 セルフタッピング引張試験

Fig. 16は、樹脂材料の積層ピッチ0.1mmと0.2mmのセルフタッピング試験片の引張試験の荷重-変位線図を示す。

す。

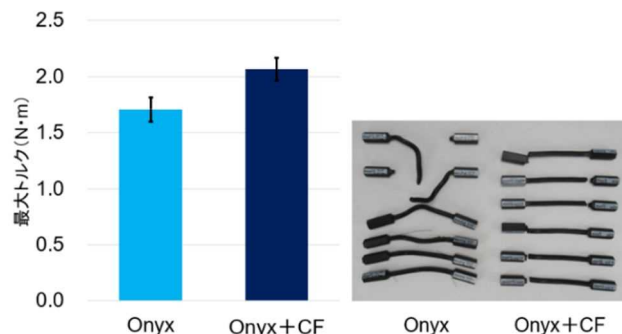


Fig. 15 ねじり試験の最大トルクと試験片

積層ピッチ0.2mmに比べ、0.1mmの最大荷重が大きい傾向であることが確認できた。

これは、造形時の樹脂材料の使用量が、積層ピッチ0.2mmは1.52 cm³に対して、積層ピッチ0.1mmは1.61 cm³と多いため造形物の密度が関係していると考えられる。

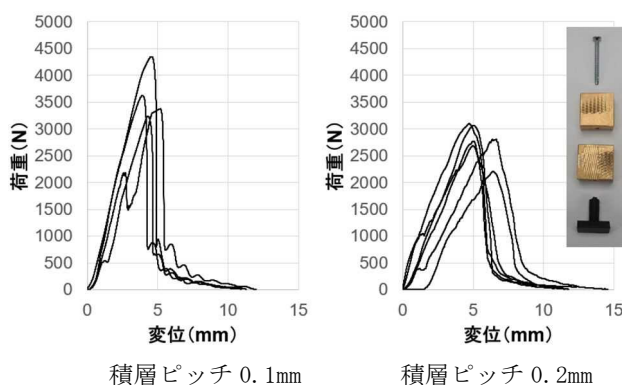


Fig. 16 セルフタッピング引張試験の荷重-変位線図

3.6 インサートナット引張試験

Fig. 17は、試験片を樹脂材料0.2mmと樹脂材料+CFで造形したインサートナット引張試験の荷重-変位線図を示す。樹脂材料0.2mmに比べ、CFとの複合造形により引張強度が向上することが確認できた。

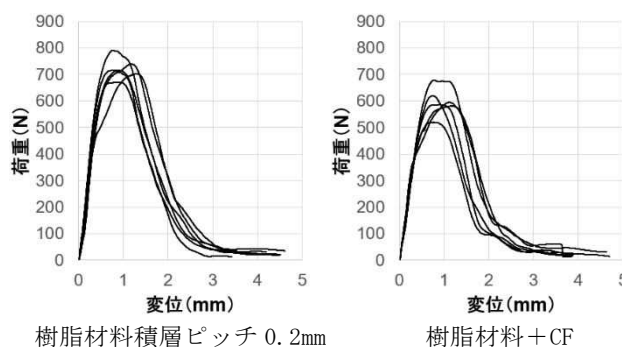


Fig. 17 インサートナット引張試験の荷重-変位線図

3.7 部品分割によるCF複合造形

Fig. 18 は、樹脂材料 0.2mm と樹脂材料+CF の一体造形と分割造形の引張試験の荷重-変位線図を示す。

異方性があるため、平置きでの引張強度は低いが、横置きにすることで引張強度が向上した。

また、基板を平置き、リング部を横置きで分割造形後に組立てる方法により CF 複合造形の引張強度が向上した。本実験では、基板に一定の厚みがあり横置きでも基板に CF が配合されたが、基板の厚みが薄く横置きでは CF が配合されない厚みの場合は、分割造形の強度向上が顕著になると考えられる。

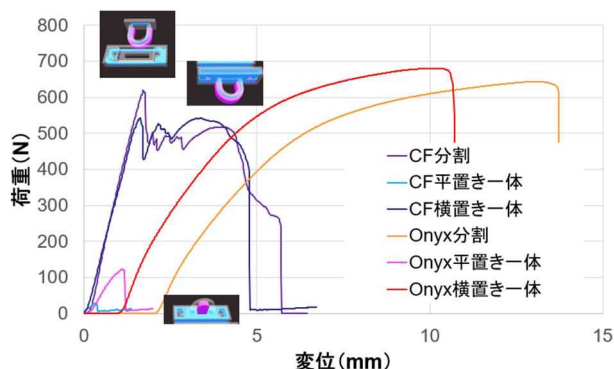


Fig. 18 樹脂材料 0.2mm と樹脂材料+CF の一体造形と分割造形の引張試験の荷重-変位線図

4. 考察

造形精度と引張試験、曲げ試験の結果については、第1報と同様の傾向が見られ、再現性を確認できた。

ねじり試験、インサートナット引張試験では、樹脂材料 と CF との複合造形により最大荷重が向上した。

部品分割によるCF複合造形では、基板を平置き、リング部を横置きで分割造形後に組立てる方法により CF 複合造形の引張強度が向上した。

参考文献

- (1) 佐藤幸志郎:3D プリンタ活用における造形技術等の研究, 大分県産業科学技術センター研究報告書(2013)
- (2) 船田昌:3D プリンタによる造形品質の向上(第2報), 大分県産業科学技術センター研究報告書(2016)
- (3) 疋田武士他:3次元技術を利用した3Dプリンタ出力物の比較強度試験(第1報), 大分県産業科学技術センター研究報告書(2020)
- (4) 兵頭敬一郎他:3Dプリンタの造形品質と強度の向上(第1報), 大分県産業科学技術センター研究報告書(2024)

AI および無線信号を活用した物体認識技術に関する研究（第2報）

竹中智哉
電子・情報担当

Research on Object Recognition Technology Utilizing AI and Radio Signals(2nd Report)

Tomoya TAKENAKA
Electronics and Information Section

要 旨

県内における Wi-Fi を活用したセンシング（Wi-Fi センシング）技術への関心の高まりを受け、昨年度より技術調査を兼ねた研究開発に取り組んできた。本年度は、居室内における人物検知アルゴリズムの改良を行い、昨年度の課題であった立位静止人物の検知を可能にした。さらに、本技術の社会実装を推進するため、IEEE 802.11ac/ax 規格に対応した既設デバイスを活用し、センシングに必要なデータを収集できる環境を構築した。加えて、新たな応用展開を視野に、先行研究をもとに CNN(Convolutional Neural Network)による姿勢推定の精度を検証し、時系列と顔座標の相関を活用した後処理により、さらなる精度向上を達成した。

1. はじめに

近年、高速無線通信の発展により、無線デバイスの普及と低価格化が進んでいる。この結果、RGB カメラや LiDAR、赤外線センサと比べて秘匿性や適用範囲の面で優れる無線センシング技術が広まりつつある。特に、既存インフラの活用が見込まれる Wi-Fi センシングは、2025 年 6 月に無線 LAN 規格 IEEE 802.11bf として標準化が予定され、様々な分野での応用が期待されている。こうした動向を受け、複数の県内企業が Wi-Fi センシングに関心を寄せており、昨年度から技術調査と技術基盤の蓄積を進めている。

本年度は、Wi-Fi センシングの実用化に向けた技術検証を行い、居室内における人物検知アルゴリズムの改良に取り組んだ。特に、昨年度の課題であった立位静止人物の検知を可能にするとともに、IEEE 802.11ac/ax 規格に対応した既設デバイスを活用し、センシング環境を構築した。また、新たな応用展開を視野に、先行研究をもとに CNN による姿勢推定の精度を検証し、時系列と顔座標の相関を活用した後処理により、さらなる精度向上を検討した。以下に、詳細について述べる。

2. 居室内の人物検知

昨年度の検証^[1]では、動きの検知によって居室内の人物を識別し、動作中の人物は検知できたものの、静止時の検知精度は低かった。

検証結果の分析により、アンテナと人物の位置関係および無線データ CSI (Channel State Information: 伝搬チャネル状態情報) の取得タイミングによっては、人物を検知できることが確認された。そこで、Cython を活用して、CSI 取得から動きの特徴量の抽出、可視化までの処理を最適化することでリアルタイム処理を実現し、最適なアンテナ配置や CSI の取得タイミングと人物検知の関係を探索可能とした。さらに検証を進めた結果、SVD(Singular Value Decomposition: 特異値分解)による次元削減を適用し、CSI から抽出した特異ベクトルの時間変化を一定期間観測することで、人物検知が可能であることを明らかにした。この知見をもとに、従来 SVM を用いていた動きの検知手法を、スライディングウィンドウ (SW) 内での閾値判定へと変更した。

改良した人物検知アルゴリズムの性能を評価するため、昨年度と同様の実験環境で検証を行った。実験環境のレイアウトは Fig.1 に示し、図中には静止した人物の立ち

位置を記している。被験者は昨年度と同じ1名とし、アクセスポイント (AP) 1台と受信デバイス (RX) 1台を用いた3×3のMIMO通信 (IEEE 802.11n, 中心周波数5GHz帯, 帯域幅20MHz, サブキャリア数30)の環境下で, Linux 802.11n CSI Tool[2]を用いて10ms周期でCSIを取得した。なお, 送受信デバイスのアンテナ間隔はともに9.5cmとした。

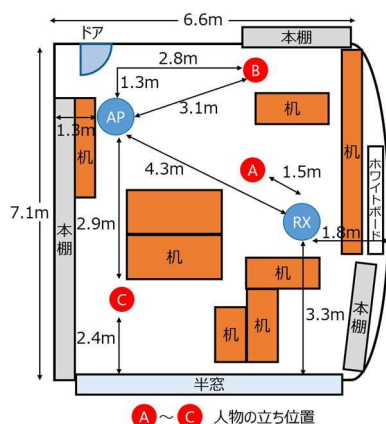
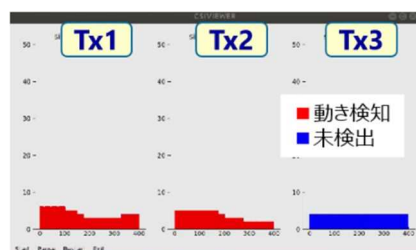


Fig. 1 人物検知 実験環境のレイアウト図

SWの時間幅を30秒として評価した結果, Fig. 2に示すように, 昨年度は検知精度が低かった位置Bを含め, 位置A~Cのすべてで人物の検知が可能となった。また, アンテナの配置やSVDの時間窓を適切に調整することで, SWの時間幅を短縮できる可能性が示唆された。



(a) 抽出した特異ベクトルの時間変化



(b) 実験風景

Fig. 2 人物の検知例 (位置B 立位静止)

3. 11ac/ax 規格機器からのデータ取得

IEEE 802.11bf規格が標準化されれば, 市販のWi-Fi機器でCSIを取得できるようになると期待される。しか

し, 令和7年3月現在ではCSIの取得方法が限られており, 特定のデバイスやファームウェアの変更が必要となる。そこで, 研究成果を市販のWi-Fiデバイスに適用することを考慮し, オープンソースを活用して, 現在の主流規格であるIEEE 802.11ac/ax対応のデバイスからCSIに相当するデータを収集する環境を構築した (Fig. 3)。

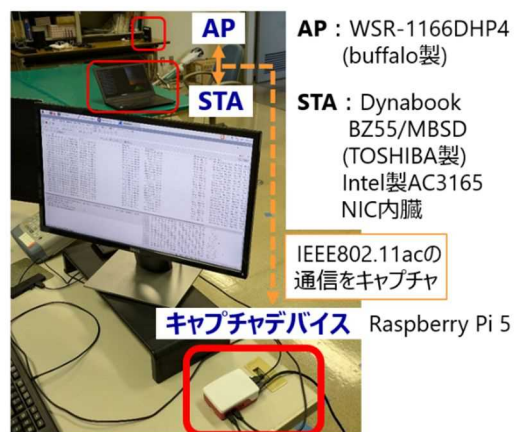


Fig. 3 11ac/ax 規格機器からのデータ取得環境

IEEE 802.11ac/axに準拠する多くのデバイスは, CSIを圧縮した形式であるVHT Compressed Beamforming Report (CBR)をAPに送信する。CBRはCSIをもとに算出された情報であり, 復元した電波伝搬情報をセンシングへ応用できることが報告されている[3]。

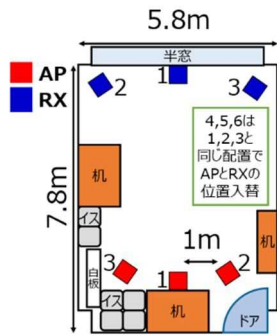
CBRの取得には, センシングを行うAPやSTA(APに接続された端末)に変更を加える必要がなく, 近傍に配置したWi-Fiインターフェイスを搭載したデバイスをモニターモードで運用し, パケットをキャプチャする方法がある。そこで, Raspberry Pi 5にNexmon[4]によるファームウェアパッチを適用し, モニターモードでの動作を可能にした。さらに, Wiresharkを用いてパケットキャプチャを実施し, WiPiCap[5]をインストールすることで, CBRから電波伝搬情報であるV行列を復元できることを確認した。

4. AIを活用した姿勢推定

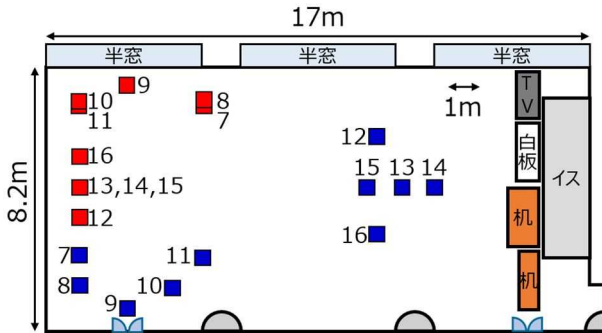
CSIを利用した姿勢推定手法として, 深層学習を用いる方法が検討されている[6]。深層学習の分野では, Transformerなどの新たなモデルが各領域で革新をもたらしている一方で, CSIを用いたタスクにおいては, 性能と計算コストのバランスの観点から, 従来手法であるCNNの有用性が引き続き示されている[7]。そこで, 新たな応用展開を見据え, 先行研究を踏まえてCNNを用いた姿勢推定の精度を検証するとともに, 時系列と顔座標の相関を活用した精度向上手法の評価を行った。

4.1 システム構成

従来手法として、ResNet18 ベースの WiSPPN モデルを適用し、同様の機材とシナリオで検証を行った[6]. Fig. 4 に示す 2 部屋 16 シーンにおいて、人物検知時と同じ送信機 (3×3MIMO, アンテナ間隔 9.5cm, サブキャリア数 30, 帯域幅 20MHz, 中心周波数 5GHz 帯) を設置し、8 名の被験者が 1 人ずつ入室して、日常生活を想定したランダムな動作を行った. 動作中の CSI データは、Linux 802.11n CSI Tool を用いて 10ms 間隔で取得した. また、送信アンテナ近傍に設置した web カメラで撮影した映像を AlphaPose[8] で処理し、教師データとして 18 の信頼度付き関節点を 20fps で取得した. さらに、CSI データと教師データの時系列を対応させるため、CSI の取得データ 5 回分 (50ms 相当) を 1 セットとして同期をとったデータセットを作成した.



(a) 部屋 A



(b) 部屋 B

Fig. 4 姿勢推定 実験環境のレイアウト図
(番号はシーン No., 計 16 シーン 各シーン 8 名)

4.2 提案手法

WiSPPN モデルは、汎化能力を高めるために、関節点の座標と信頼度に加えて、関節点間の変位と信頼度を埋め込んだ pose adjacent 行列(PAM)を回帰により求める仕組みとなっている. PAM は、式(1)によって生成される $3 \times 18 \times 18$ の行列であり、 x' , y' および c' から構成される.

$$x'_{i,j} = \begin{cases} x_i - x_j, & i \neq j \\ x_i, & i = j \end{cases} \quad c'_{i,j} = \begin{cases} c_i \times c_j, & i \neq j \\ c_i, & i = j \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 x_i , x_j は各関節点の x 座標、 c_i , c_j は各関節点の信頼度、 $i, j \in \{1, 2, \dots, 18\}$ を表す. y' は、 x' の生成方法と同様に生成される. Fig. 5 に示すとおり、関節点の順序付け規則により、鼻座標は、他の顔座標から離れた順序となっており、同行列においても隣接しないことから、CNN のカーネルサイズでは十分に対応できず、検出精度の低下に繋がる恐れがある. そこで、推論の結果、近似的な上肢の長さ (右肩から左腰までの距離) の 0.5 倍よりも鼻から目までの距離が長い場合には、誤検出の可能性が高いと判断し、両目の中間点にあたる位置に鼻座標を補正する後処理を行う. また、本データが時系列である特徴を活かして、移動体の自己位置推定で用いられるカルマンフィルタにより平滑化を行う. これらの後処理は、カルマンフィルタから鼻座標の補正の順に適用する.

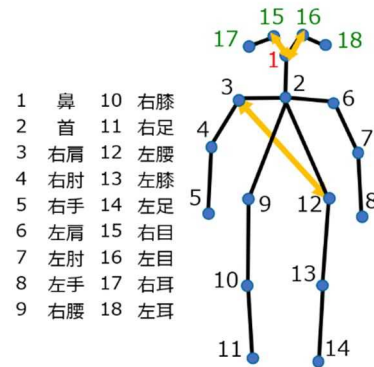


Fig. 5 AlphaPose によって作成される関節点

4.3 評価結果

学習には 102,400 件、検証には 30,634 件のデータを使用した. 類似姿勢の学習の有無による精度の違いを評価するため 2 種類の方法を採用した. 評価方法 a では、全データ 252,451 件のうち、前半 80% にあたる 201,343 件のデータから学習データをランダムに抽出した. 評価方法 b では、全データから、学習データをランダムに抽出した. 検証データは、後半 20% にあたる 51,108 件のデータから、学習に使用したものを除いてランダムに選定し、評価方法 a, b ともに同じデータを用いて検証を行った. 評価指標には、式(2)に示す推定座標と正解座標の距離が閾値以下となる割合を表す PCK@0.5 を用いた.

$$PCK_i@0.5 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I \left(\frac{\|p_{a_i} - g_{t_i}\|_2}{\sqrt{(rh_x - lh_x)^2 + (rh_y - lh_y)^2}} \leq 0.5 \right) \quad (2)$$

ここで、 α は閾値、 N はテストフレームの総数、 p_{a_i} は推定座標、 g_{t_i} は真値座標、 rh は右肩の座標、 lh は左腰の座標を表す. 閾値 0.5 は、右肩から左腰までの距離を基準に設定した. Table 1(1), Fig. 6(a) に示すように、従来手

Table 1 PCK 評価結果

No.	関節点	従来手法 評価方法 a (1)	従来手法 評価方法 b (2)	提案手法 評価方法 b (3)
1	鼻	0.48	0.70	0.80
2	首	0.55	0.78	0.80
3	右肩	0.53	0.79	0.80
4	右肘	0.38	0.71	0.73
5	右手	0.27	0.59	0.62
6	左肩	0.56	0.82	0.84
7	左肘	0.41	0.75	0.78
8	左手	0.30	0.62	0.65
9	右腰	0.62	0.85	0.86
10	右膝	0.63	0.85	0.86
11	右足	0.59	0.81	0.83
12	左腰	0.62	0.85	0.86
13	左膝	0.63	0.85	0.86
14	左足	0.58	0.81	0.83
15	右目	0.50	0.79	0.81
16	左目	0.49	0.78	0.80
17	右耳	0.49	0.77	0.79
18	左耳	0.47	0.73	0.75
	平均	0.51	0.77	0.79



(a) 従来手法 Table1 (1)



(b) 従来手法 Table1 (2)



(c) 提案手法 Table1 (3)

Fig.6 姿勢推定例

法の未学習データに対する全関節点の平均 PCK は 0.51 であり、人物位置は推定できたが、姿勢推定の精度は低かった。一方で、評価方法 b に変更した結果、PCK は 0.77 に改善した (Table 1, Fig.6(b))。これは、従来手法で学習と検証のデータに、同一の部屋や人物、類似の姿勢を含めることで精度向上が見込めることを示唆している。さらに、学習データの変更に加えて提案手法を適用した結果、PCK は 0.82 まで向上し、後処理の有用性が確認された (Table 1, Fig.6(c))。なお、鼻座標は顔の中で最も精度が低く、補正により鼻座標の PCK が 0.70 から 0.80 へ改善した。また、鼻座標を除く 17 関節点の平均 PCK は約 0.02 改善しており、カルマンフィルタによる精度向上の効果も確認できた (Table 1)。

5. まとめ

本研究では、Wi-Fi センシングの実用化に向けた技術検証を行い、居室内における人物検知アルゴリズムの改良に取り組んだ。リアルタイムでの検知を実現し、動きの検知手法を SW 内での閾値判定に変更した結果、昨年度の課題であった立位静止人物の検知が可能となった。さらに、IEEE 802.11ac/ax 規格に対応した既設デバイスを活用したセンシング環境を構築できた。また、新たな応用展開を見据え、CNN による姿勢推定の精度検証を行い、時系列情報と顔座標の相関を活用した後処理の有効性を確認した。

これらの成果により、Wi-Fi センシングの精度向上と応用可能性が示され、今後の実用化に向けた重要な知見を得ることができた。今後は県内企業や社会のニーズを踏まえ、さらなるアルゴリズムの改良や、異なる環境・条件下での検証を進めることで実用性向上の可能性を探る。

謝 辞

IEEE 802.11ac/ax 規格に対応した既設デバイスを活用したセンシング環境を構築するにあたり、九州大学 牟田修教授には、貴重なご助言を賜りました。また、同研究室の学生の皆様にも多大なご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

[1] T. Takenaka and R. Hamano, “AI および無線信号を活用した物体認識技術に関する研究 (第 1 報),” 大分県産業科学技術センター令和 5 年度研究報告書, p. 9-12, 2024.

[2] D. Halperin, W. Hu, A. Sheth, and D. Wetherall, “Tool Release:Gathering 802.11n Traces with

Channel State Information,” ACM SIGCOMM CCR, p. 53, 2011.

[3] O. Muta, K. Takata, K. Noguchi, T. Murakami, and S. Otsuki, “Device-free WLAN based indoor localization scheme with spatially concatenated CSI and distributed antennas,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, p. 852-865, 2023.

[4] M. Schulz, D. Wegemer, and M. Hollick, “Nexmon: The c-based firmware patching framework,” <https://nexmon.org>, 2017.

[5] S. Kato, T. Murakami, T. Fujihashi, T. Watanabe, and S. Saruwatari, “{CBR-ACE}: Counting Human Exercise using {Wi-Fi} Beamforming Reports,” Journal of Information Processing, p. 66-74, 2022.

[6] F. Wang, S. Panev, Z. Dai, J. Han, and D. Huang, “Can WiFi estimate person pose?,” arXiv preprint arXiv:1904.00277, 2019.

[7] J. Yang, X. Chen, H. Zou, CX. Lu, D. Wang, S. Sun, and L. Xie, “SenseFi: A library and benchmark on deep-learning-empowered WiFi human sensing,” arXiv preprint arXiv:2207.07859v3, 2023.

[8] H. Fang, S. Xie, Y. Tai, and C. Lu, “RMPE: Regional Multi-person Pose Estimation,” IEEE ICCV, p. 2334-2343, 2017.

労働環境の整備に寄与する技術開発研究（第1報）

－騒音環境の改善に向けて－

阿部衣吹*・橋口智和*・重光和夫*・水江宏*・
疋田武士**・佐藤寿喜**・兵頭敬一郎**・佐藤幸志郎**

*機械担当・**製品開発支援担当

Research for technology development that contributes to the improvement of the working environment (1st Report)

－To improve the noise environment－

Ibuki ABE*・Tomokazu HASHIGUCHI*・Kazuo SHIGEMITSU*・Hiroshi MIZUE*
Takeshi HIKIDA**・Hisaki SATO**・Keiichiro HYODO**・Koshiro SATO**

*Machinery Section・**Product Design and Development Section

要 旨

大分県では、障がい者活躍日本一の実現に向けて、障がい者が心豊かに暮らし働ける社会づくりに向けて取り組みを進めている。令和6年4月から事業者による障がい者への合理的配慮の提供が義務化されたが、労働環境等の整備が不十分で障がい者の雇用に課題があり、中でも衝撃音や機械音などの騒音が労働者に影響があるため労働現場での騒音対策が必要である。

これらの背景から、労働環境から生ずる騒音の改善につながる騒音対策物の研究開発を目的に、今年度はまず音に関する各種調査及び検討を行った。

1. はじめに

令和4年の大分県の障がい者雇用率は2.61%と全国第7位で、身体障がい者の雇用率は1.67%と全国1位を維持しているものの、知的障がい者は0.57%、精神障がい者は0.37%であり、知的・精神障がい者の企業での一般就労は依然として厳しい状況にある¹⁾。

さらに、令和6年4月から、民間企業の法定雇用率が2.5%へ引き上げられ、対象企業も従業員40人以上へ拡大されたこと²⁾から、一層の障がい者雇用への理解と浸透が重要になっている。特に、知的・精神障がいの方は感覚刺激に敏感であり、中でも発達障がいの方は、聴覚過敏を持つ割合が高く、特定の音域の音に対して激しい苦痛を感じており、日常生活や社会生活に支障をきたしている。障害者雇用促進法では、事業者は障がいのある人に対して「合理的配慮」を提供しなければならないとされている。

一方で、製造業では労働環境中に機械音やモーター音など様々な音量・音域の「騒音」が生じやすく、聴覚過

敏を持つ障がい者に対する配慮が必要であるが、対策は十分ではない。

これらの背景から、労働環境から生ずる騒音の改善につながる騒音対策物の研究開発を目的に、今年度はまず音に関する各種調査及び検討を行った。

2. 各種調査及び検討

2.1 騒音等に関する課題解決手法

まず、障がい者の労働環境について実際の労働現場の状況把握を行うため、本研究ではオムロン太陽株式会社にて聴覚障がい者を対象、社会福祉法人太陽の家別府工場にて聴覚過敏の症状がある方を対象に、聴覚過敏に関するアンケートおよび聞き取り調査を実施し、本研究のペルソナ設定を行った。

また、実際の労働環境における騒音測定として、精密騒音計(リオン製 NL-52)を用い、作業現場の騒音レベル測定を行った。測定箇所は作業現場である工場内3つのエリアで行い、騒音のターゲット領域となる周波数帯を

定めた。測定条件を Table 1 に示す。

Table 1 測定条件

測定時間	30 (s)
サンプリング周期	20.83 (μ s)
騒音計設置高さ	1000 (mm)
周波数重み付け特性	A 特性
時間重み付け特性	F (Fast)

2.1.1 アンケート及び聞き取り調査

聴覚過敏に関するアンケートは、「発達障害に伴う聴覚過敏と音環境に関する実態調査³⁾」を参考に作成した。

回答者は、平均年齢 31.5 才 (27~38 才) の男性 4 名 (工場の製造現場作業員 2 名, 部品取り揃え作業員 2 名) で、発達障害などに関する医師の診断を受けていた。

聴覚過敏症についての質問を 11 項目、聴覚過敏症を引き起こす音についての質問を 6 項目とし、各項目の回答内容確認時に対面で聞き取りを行った。

まず、聴覚過敏症の質問について、内容は日常生活や仕事で、周囲の音に対する感じ方や、集中力、ストレスなどについて「いつもある」~「全くない」の 5 段階で回答を得た。

聞き取りの際に、身の回りで気になる音について、「するどい音」「高い音」「声が高い方のしゃべり声」「大きい音 (花火, 太鼓, 雷など)」、職場で気になる音について「機械音」「空調の立ち上げの音」など、症状や生活環境、職場環境によって様々であることがわかった。

症状は、「作事中に聞こえる音全てを理解しようとして混乱する」「頭が真っ白になる」「商業施設や駅で音が全部入ってきて、わーってなった」など、混乱やパニックになる場合もあることがわかった。また、ヒアリングの結果、触覚や視覚に対する過敏を伴う場合もあるようで、聴覚過敏の症状は、体調や時間帯、外部環境の影響を受けて変化することもわかった。

次に、聴覚過敏症を引き起こす音についての内容は、音を過敏に感じる場所を「室内」「屋外」「施設」「学校や仕事場など」の中から選択してもらい、その音をどのように感じたかを「特に過敏に感じる」~「全く過敏に感じない」の 4 段階で回答を得た。

「学校や仕事場など」を選んだ方は、「職場の集塵機の音」が特に過敏に感じ、ヘッドフォンなどで耳を塞いで遮音する対策をしていた。

また、過敏に感じる音として、「特定の人の声」が挙げられ、その対策については「イヤーマフを使ってみたが頭を締め付ける感じが不快で、あまり効果がなかった」との回答があった。このことから、身体に接触して遮音

する方法が不快と感じる場合があることがわかった。

聴覚過敏を引き起こす音は「人の声」「機械の音」「電車の音」「商業施設の音」など、音の質や大きさ、周囲の環境も様々であるが、特に防音する周波数は、高周波域を対象とし、症状や環境に応じて調節して遮音することが有効な対応策と考えられる。

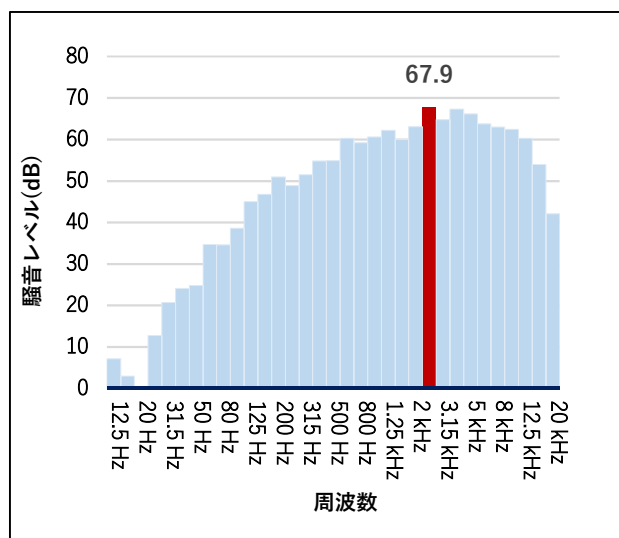
以上の調査を踏まえ、ペルソナは、聴覚過敏症の他に触覚過敏症を併せ持ち、製造現場の機械の音などの高周波域に過敏で時間帯や外部環境により症状が変化する 30 代の男性と設定した。

2.1.2 労働環境の騒音測定

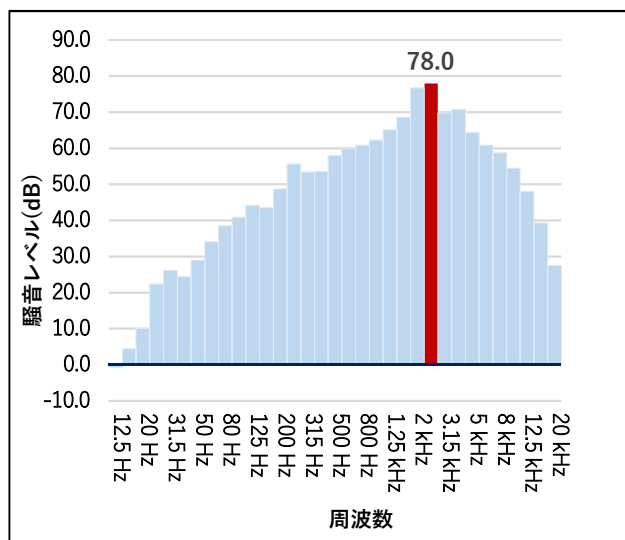
実際の作業現場の 3 つのエリア (A, B, C) で騒音を測り、1/3 オクターブバンド分析した結果を Fig. 1 に示す。

この分析結果から、測定エリア A と B では 2.5kHz 帯において最大の騒音レベル値 (A: 約 68dB, B: 約 78dB) となり、測定エリア C では 2.0kHz 帯と 8.0kHz 帯において最大の騒音レベル (約 71dB) であった。今回測定した工場では、金属同士の衝突や圧縮空気の吹き出しによる音が多く、このことから比較的高周波の音圧が大きいことがわかる。これは、一般的な製造業でも同様な傾向であると考えられる。以上より、本研究でターゲットとする防音音域の周波数範囲は 2.0kHz~8.0kHz と定めた。

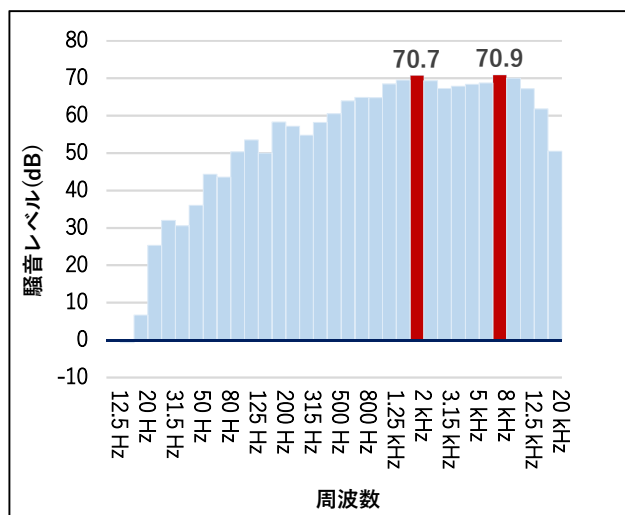
また、騒音対策の音圧目標値については、人が騒音と感じるといわれているのは 70dB 以上であるが、感じ方は各個人で異なり、本研究で対象としている聴覚過敏者はより敏感で人の会話レベルも気になるときがあるという背景も踏まえ、環境省に掲載されている騒音の目安についての資料⁴⁾を参考に、50dB~今回の現場測定で得られた最大騒音レベルの約 80dB の音を対象とし、50dB 以下まで軽減することを目標とした。



エリア A



エリア B



エリア C

Fig. 1 各エリアの1/3オクターブバンド分析結果

2.2 音の測定に関する調査・検討(防音性の評価方法)

今回想定している防音対策物は、音源と作業者の間に設置することを想定していることから、作業側側の音を測定する必要がある。したがって、防音対策物の試作品の性能評価方法として、試作品を透過する音を簡易的に評価する装置を作製した。

Fig. 2 に簡易評価装置の3D 図面を示す。密閉型のスピーカー箱の上に蓋付きの箱が乗っており、蓋の部分には100mm 角の穴を開け、穴部に防音対象物を載せて、精密騒音計(リオン製 NL-52)にて外側から防音対象物を透過してくる騒音レベルを測定するというものである。

完成した装置を用いて、Table 2 に示す条件で測定を行った。

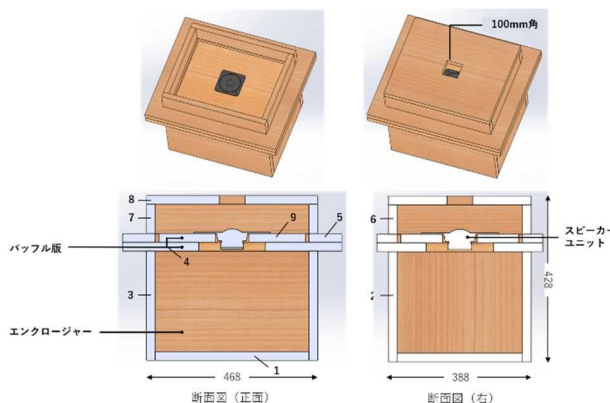


Fig. 2 簡易評価装置の図面

Table 2 簡易評価試験における測定条件

音源	ホワイトノイズ, 5(V)
測定時間	20~30(s)
騒音計の位置	試作品試料直上
騒音計と試作品試料の距離	100(mm)
周波数重み付け特性	A 特性
時間重み付け特性	F(Fast)

2.2.1 簡易評価装置の作製と性能評価

Fig. 3 (a)~(c)に簡易評価装置の完成図を示す。材質は厚み 24mm の合板で、幅 468mm×長さ 340mm×高さ 300mm の密閉型エンクロージャーにスピーカー(Fostex 製 P1000K)を設置し、天面の蓋には試作品を評価するための 100mm×100mm の穴を空けた構造となっている。エンクロージャー内での音の干渉や反響を防ぐため、装置内部の空間には高密度ポリエステル製の吸音材を敷き詰めた(Fig. 3(c))。

スピーカー箱の性能を確認するため、スピーカーからホワイトノイズを発生させ1/3オクターブバンド分析した結果をFig. 4に示す。周波数重み付けA特性を用いた測定では、一般的に低周波数帯になるほど騒音レベルが緩やかに減少していくが、80~200Hz帯で騒音レベルが盛り上がる形で大きくなっている(Fig. 4 箱上部あり)ことから、装置に依存する周波数帯があることがわかった。この要因を突き止めるために、蓋のない状態(Fig. 4 蓋なし)とスピーカーから上部の筐体である箱上部を外した状態(Fig. 4 箱上部なし)で測定したところ、箱上部がある場合のみ、約80~200Hz帯で騒音レベルが大きくなっている。このことから、箱上部に依存した音が装置の外側に出ていると示唆された。更に、箱が振動しているかを確認するために、ホワイトノイズ発生時の装置の振動状況をレーザードップラ振動計(ポリテックジャパン製 VibroFlex)で測定した。測定箇所は、装置の一

番上の蓋部分である。

Fig. 5 はレーザードップラ振動計で測定した変位量 (図中の青線) と FFT 分析 (図中赤線) の結果である。この結果から、低周波数帯にて箱の蓋部分が振動していることが確認できた。以上より、約 80~600Hz 前後においては、測定結果に装置由来の振動の影響が出ることが分かった。

今回ターゲットとした音域調節の周波数範囲 2~8kHz では影響が軽微と考えられるため、この装置を使い防音対策物の試作品の評価を行うこととした。

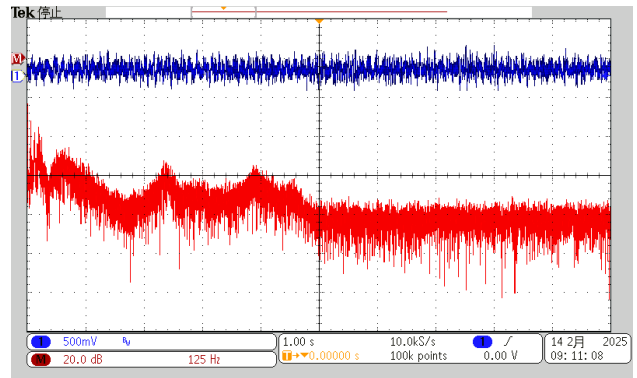
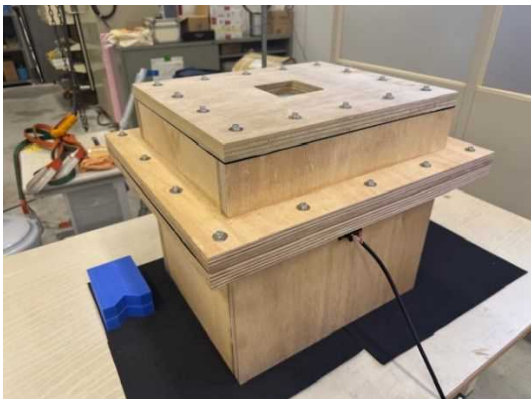


Fig. 5 レーザードップラ振動計による測定結果



(a)装置全体



(b) 蓋を取外した様子

(c) 吸音材

Fig. 3 完成した簡易評価装置

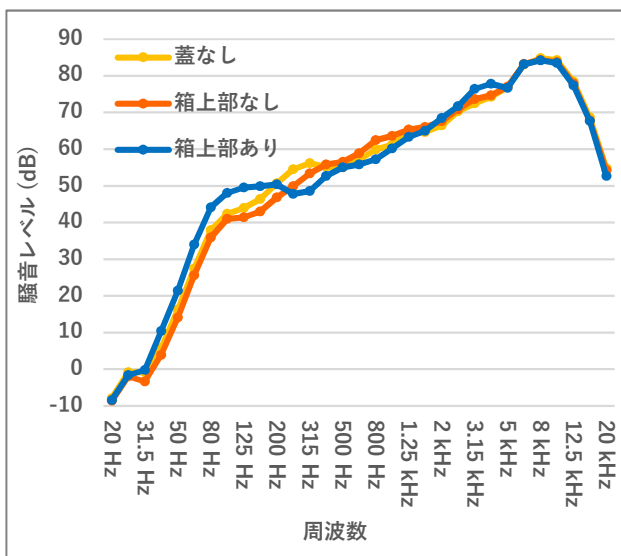


Fig. 4 簡易評価装置の 1/3 オクターブバンド分析結果

2. 3 音域調節技術の調査・検討

防音する音域を作業現場の状況に応じて調節する手法の検討では、文献調査から音を吸音する仕組みの1つであるヘルムホルツ共鳴器の原理を用いることで、ターゲットとなる周波数帯を比較的容易にコントロールできるとの想定から、この原理をベースとして用いることとした。ヘルムホルツ共鳴器の原理は、Fig. 6 に示すように、音が入射すると音波に押された空洞部の空気が圧縮と膨張を繰り返してバネとして働き、ある特定の周波数で開口部の空気が激しく振動 (共鳴) し、ネック長部分での摩擦損失によって空気の振動が減衰するというものである。ここで、 c は音速 m/s 、 S は開口面積 m^2 、 V は体積 m^3 、 L はネック長 m 、 D はネック部直径 m 、 ΔL は開口端補正值 m である。このとき、共鳴器により減衰する周波数 f (Hz) は次式で表される⁵⁾。

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(L + \Delta L)}} \quad (1)$$

一般的には、ネック部の開口端補正值 ΔL を考慮し、以下の式を用いることが多い。

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{V(L + 0.8D)}} \quad (2)$$

本研究でもこの(2)式を採用して、減衰する周波数を求めた。この原理で吸音効果が得られることを実証するため、まずヘルムホルツ共鳴器の基本形状であるフラスコ型の空間を複数設けた試作品を作製し、その吸音効果を評価した。

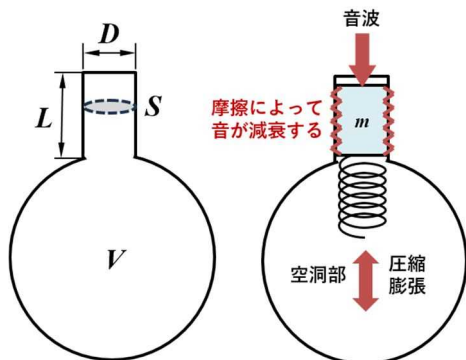


Fig. 6 ヘルムホルツ共鳴器の原理

加えて、CAE による解析でこの周波数を得ることができれば、3D データから周波数を直接求めることができる。そこで、CAE による音響解析結果と (2)式を用いて計算した結果との比較も行った。解析には、Ansys2024R2 を用いた。

2.3.1 共鳴器の基本モデルの作製と CAE 解析について

1191.5Hz の周波数を吸収するよう設計し、3D プリントにて作製した。設計図と作成した共鳴器を Fig.7 および Fig. 8 に示す。

Table 3 に、CAE による音響解析結果の値と (2)式にて計算した値の比較を示す。解析結果は計算値よりも約 160Hz 高い周波数の値を示した。これは、今回行った音響解析では開口端補正 $\Delta L = 0.8 \times D$ を考慮していないため、ネック部直径 D が大きいと結果に開口端補正の影響が大きくなることになる。具体的には、ネック部直径 D が大きいほど、開口端補正による補正 ΔL は大きくなるが、逆に D が小さければ、補正は小さくなる。今回作成した共鳴器は、ネック部直径 D が比較的大きいためこのような結果になったと考えられる。

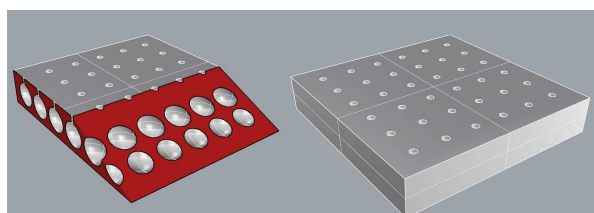


Fig. 7 共鳴器モデル設計図

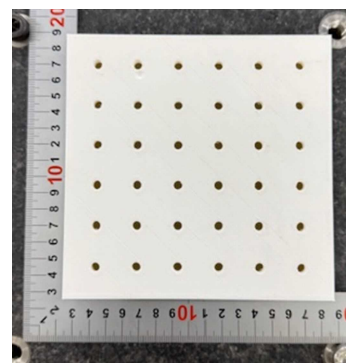


Fig. 8 共鳴器モデル試作品

Table 3 解析結果と計算した値との比較

解析結果 (Hz)		計算値 (Hz)
1	1351.2	1191.5
2	11014	

2.3.2 共鳴器の基本モデルでの吸音効果について

Fig.9 に実験の様子を示す。作製した約 1200Hz の共鳴器を装置に置き、共鳴器の垂直方向約 100mm のところに騒音計を設置した。それぞれ共鳴器を置いていないときと置いたときで 1/3 オクターブバンド分析を行い、得られた分析結果の差分を取ることで簡易的な透過損失の評価とした。その結果を Fig. 10 に示す。吸音の効果が出ていれば、ある特定の周波数帯で際立った減音効果が確認できると考えていたが、吸音の効果を捉えているようには見えず、この測定では吸音しているかの判断が難しいことが分かった。そこで、吸音されていれば、反射音側が特定の周波数帯の音だけ小さくなると仮定し、共鳴器と騒音計の設置方法を Fig. 11 のように 45 度傾けて、共鳴器の反射音を測定してみることにした。まず、スピーカーからの反射音をできるだけ多く拾うために、ほぼ剛体とみなせる鉄板を置いて測定し、その後、共鳴器を置いて測定した。得られた鉄板と共鳴器の測定結果を 1/3 オクターブ分析した後、両者を差分した結果を Fig. 12 に示す。計算値である約 1200Hz 帯で大きく差が出ており、このことから共鳴器が吸音効果を有していることを確認できた。

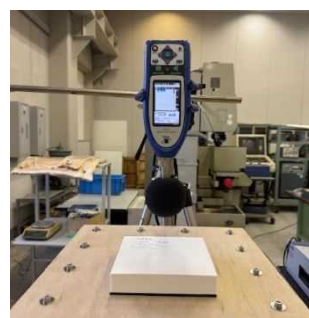


Fig. 9 透過音測定時およびマイクの設置方法

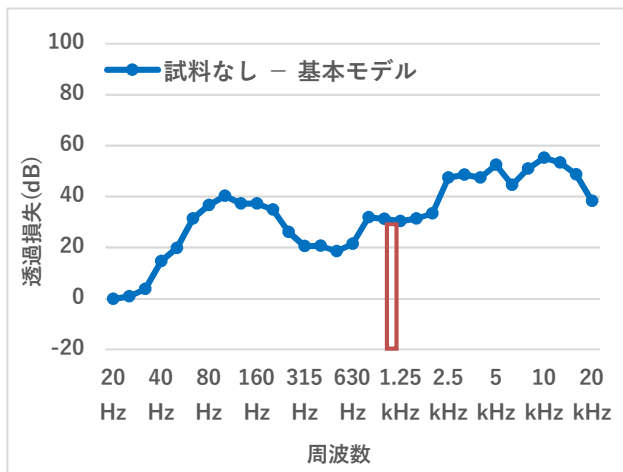
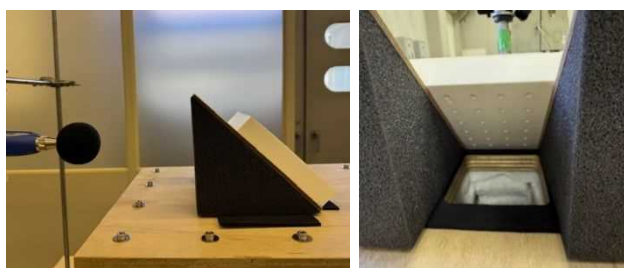
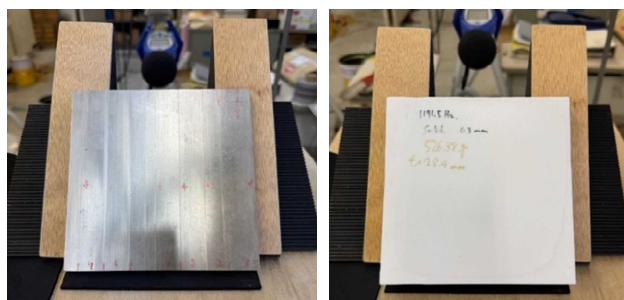


Fig. 10 共鳴器の透過損失(赤線:共鳴周波数)



(a) 共鳴器と騒音計の設置方法



(b) 鉄板

(c) 基本モデル

Fig. 11 反射音測定時の設置方法

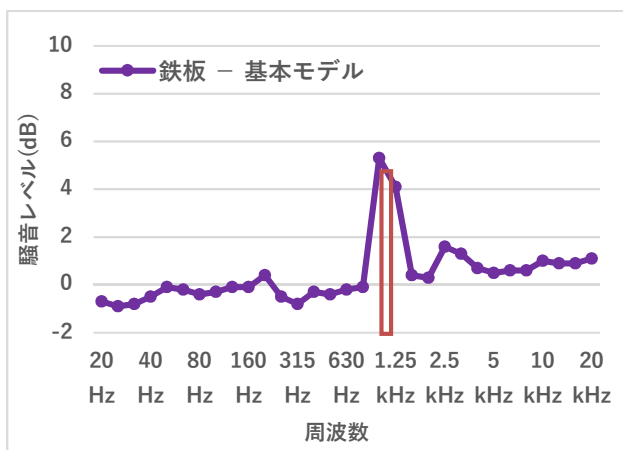


Fig. 12 共鳴器の吸音効果(赤線:共鳴周波数)

3. まとめ

労働環境から生ずる騒音の改善につながる騒音対策物の研究開発を目的に、今年度はまず音に関する各種調査及び検討を行い、以下の結果を得た。

- ① 騒音等に関する課題解決手法では、労働環境での騒音測定を行い、2～8kHz 帯で騒音レベルが大きく発生していることがわかった。
- ② 音の測定については、簡易評価装置作製し、性能を確認した結果、約 80～600Hz 前後の周波数帯では、箱上部が振動していることが確認でき、その周波数帯の測定結果にも影響が出ることが分かった。一方で、今回ターゲットとしている周波数範囲 2～8kHz においては問題なく測定できることがわかった。
- ③ 音域調節技術については、ヘルムホルツ共鳴器による吸音効果の評価を透過損失の測定で行うことは難しいことが分かった。一方、反射音を測定することで、吸音効果の評価ができることがわかり、今後の測定方法の目途がついた。

今年度得られた結果を基に、次年度は本格的な防音対策物の作製および評価を行う予定である。

謝辞

本研究において、労働環境の測定およびアンケートや聞き取り調査にご協力いただきましたオムロン太陽株式会社ならびに社会福祉法人太陽の家別府工場の皆様には、貴重なお時間を割いていただき、心より感謝申し上げます。皆様のご協力により、本研究において有益な知見を得ることができました。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大分県商工観光労働部. おおいた産業活力創造戦略 2023 ～事業者の「元気」創出、産業の「未来創造」～
- 2) 大分県. 令和6年度県政重点方針, 2023
- 3) 松井温子: 発達障害に伴う聴覚過敏と音環境に関する実態調査, 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 2018 年度修士論文
- 4) 「騒音の目安について」
<https://www.env.go.jp/air/ippan/meyasu.pdf>
- 5) 坂上公博. 建築音響. コロナ社, 2019

MALDI-MS を中心とした食品異変の究明体制の構築と

保有微生物の利活用に関する研究

— 第1報 —

松田みゆき・後藤優治

食品産業担当

Investigation into the causes of food accidents and the categorization of useful microorganisms for the manufacturing of food products and beverages in our collection using the MALDI-MS technique.

—First Report—

Miyuki Matsuda・Yuji Goto

Food Industry Section, Oita Industrial Research Institute

要 旨

食品の変敗（微生物が関与すると思われるもの）のうち、清酒を変質させる乳酸菌（以下、火落菌）に着目し、火落菌検出培地として用いられる半流動培地からの微生物の回収と同定、データベース化を試みた。結果、ろ過により寒天と分離することで再現性よくスペクトルを得ることができた。

1. はじめに

従前より臨床現場において感染性微生物の迅速簡易同定装置として活用されていた MALDI-MS を食品産業の分野でも利活用する試みが増えてきた。MALDI-MS は高分子化合物の分析を得意とする質量分析装置で、生物学の分野では主にタンパク質がその分析対象となることが多い。例えば、細胞内のタンパク質合成に関与している Ribosomal Protein を主な対象とした菌の同定¹⁻²⁾や、毛髪を構成しているケラチンを対象とした獣毛の鑑別(JIS L10030-2, 2023)等に利用されている。

弊所ではこれら産業界の動向を鑑み、県内食品産業の振興に資するべく令和4年度に Bruker 社の MALDI-MS を導入した。

そこで本研究では本機器を利用して①食品の異変（変敗・異物）に対する原因究明が円滑に行えるように技術的な支援体制を整えること、②弊所で保有する未利用微生物を解析し、食品等の製造に利活用できないかを探ることで今後、新規有用微生物の探索等のニーズがあった際に対応できる体制を整えることの2つを目標とした。

今年度は、食品の異変のうち変敗（微生物が関与すると思われるもの）に着目し、火落菌を例に微生物同定の際に必要なであろう条件検討とデータベース化を試みたので報告する。

火落菌は清酒中で増殖可能な乳酸菌で、製造過程で混入・増殖すると白濁、不快臭を発生させるなど清酒の著しい品質低下を招く。火落菌の検出には半流動培地である火落菌検出培地（以下、SI 培地）が用いられており、検液の白濁、沈殿、液内集落の形成によって火落菌の存在を判別している。

アルコール耐性の高い火落菌（真性火落菌・火落性乳酸菌）以外にも、普通培地にもよく増殖し、アルコール耐性の比較的低い腐造性乳酸菌も品質管理上、制御すべき対象であり、火落菌と同様に SI 培地において検液の白濁、沈殿、液内集落の形成を認めるため、先の培養で陽性と判断された検体からアルコール濃度を上げた培地に再度接種し、追加培養することで判別している。このため火落菌と腐造性乳酸菌の判別には培養期間が2週間程度必要となるが、MALDI-MS で微生物を同定することにより、この期間を短縮できないかと考えた。

MALDI-MS で微生物を同定する際は通常、検出しようとする菌の生育に適した寒天培地で培養したコロニーを供するが、火落菌の場合、SI 培地で作製した平板では火落菌の種類や培養条件によって生育しない場合があると SI 培地の添付文書に記載があり、まずは SI 培地（半流動培地）で火落菌の有無を確認することが定石になると考えられる。よって、培養後の SI 培地から直接、再現性

のよいスペクトルデータを得ることを今回の目的とした。

2. 材料と方法

2.1 試料および培養液

独立行政法人酒類総合研究所が保有する火落菌・腐造乳酸菌株を譲受した。これらを清酒に接種して、実験的に腐造酒を作製し、腐造酒 1ml をアルコール 10% 添加 SI 培地（(公財) 日本醸造協会）9ml に接種した。30℃ で白濁、沈殿、液内集落の形成が認められるまで培養したものを試験に供する培養液とした。また以下の検討試験において 9104 (*Lactobacillus casei*), 9120 (*Lactobacillus fructivorans*), 9151 (*Lactobacillus homohiochii*) の 3 種を代表株として用いた。

2.2 平板培養による検討

MALDI-MS で微生物同定を行う場合、通常、平板上にコロニーを形成させ、試験に用いる。この方法でコロニーを得るまでに、どの程度日数が必要となるかを明らかにするために、SI 培地に最終濃度 1.5% となるように寒天を追加し、平板としたもの (SI 寒天培地) に上記の培養液 100 μ l を塗抹し、30℃ で培養した。

2.3 菌体回収に関する検討

SI 培地は半流動培地であり、菌液から菌体を回収する目的で遠心分離を行うと寒天も沈降するため、後の抽出操作に影響を及ぼす恐れがある。このため、寒天と菌液を分離する目的で、ろ過を行うこととした。ろ過の方法として、操作が簡便で特殊な機器を必要としないこと、ディスプレイで 1 回あたりの資材が比較的安価であることを条件に、フィルター付きストマッカー用バッグでろ過する方法とプラスチックシリンジの外筒に脱脂綿を 1 cm 程度詰めたものに培養液を加え内筒で押し出す方法の 2 つを比較した。

2.4 抽出および MALDI-MS による測定

前項のろ過処理後、遠心 (15,000 \times g) して得られたペレットに蒸留水 1ml を添加し、攪拌、遠心して再度上清を除去する操作を 2 回繰り返すことで残存する水溶性の培地成分を除去した。得られたペレットに対して、蒸留水を加え再懸濁した。

測定に供する菌量の目安を調べる目的で、吸光度計 (ヤマト科学 PiCOEXPLORER) を用いてこの再懸濁液を濁度 0.02, 0.1, 0.5 に調製し、それぞれ 300 μ l をエタノール・ギ酸抽出法で抽出し、MALDI-MS (Bruker Biotyper Sirius RUO) での測定に用いた。マトリックス剤として α -シアノ-4-ヒドロキシけい皮酸を用いた。

2.5 培地・培養法の違いによるスペクトルの変化

先に述べたように MALDI-MS に登録されている微生物は原則、寒天培地で生育させたコロニーを用いて測定し

たデータで構成されている。そこで培地や培養法の違いがどの程度スペクトルに影響をあたえるのかを把握する目的で 9104 を一般細菌の培養に用いられる標準寒天培地と乳酸菌の培地として一般的に用いられる MRS 寒天培地、SI 寒天培地にそれぞれ植菌し、得られたスペクトルの比較を行った。

3. 結果

3.1 平板培養による検討

SI 寒天培地で培養したところ、コロニーを得るまで 9104 では 3 日、9120 は 5 日、9151 は 10 日以上を要した。

3.2 菌体回収に関する検討

SI 培地からの菌体の回収について、一般的な 400ml 容のバッグ (フィルター孔: <20 μ m, <60 μ m, <350 μ m) に培養液 5ml を入れ、圧力をかけると、どのフィルターも寒天が多く流出し、ろ過の効果は薄かった。次に培養液を加える部分の袋の容量が少なくなるようにヒートシーラーで熱圧着し、数分静置ろ過を行ったところ、<350 μ m 孔のバッグでは多量の寒天の流入を認めたが、<60 μ m 孔のバッグでは無濾過の場合の半量以上、<20 μ m 孔のバッグではその殆どを除去することができた。しかしながら、バッグの形状が不安定でろ過条件を一定にすることが難しく、除去できる寒天の量が安定しなかったため、実際に検体を処理するには不向きであった。

対して、プラスチックシリンジに脱脂綿を詰めた棉栓ろ過では、肉眼で見る限りほぼすべての寒天を安定して除去することができた (Fig. 1)。

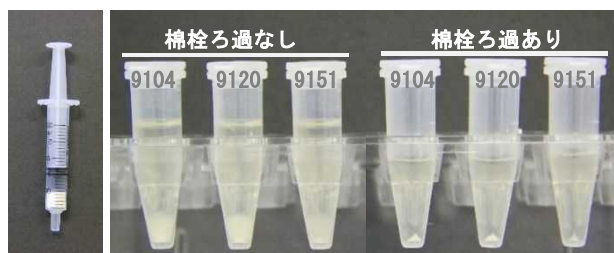


Fig. 1 棉栓ろ過器 (左) と遠心後の沈殿物の様子 (右)

ろ過により寒天を除去して得られたペレットを蒸留水で濁度 0.02, 0.1, 0.5 になるように再懸濁した液 300 μ l をそれぞれエタノール・ギ酸抽出法で抽出したところ、どの検体も濁度 0.1, 0.5 に調製した懸濁液で良好なスペクトルが得られた。対して、濁度 0.02 に調製した懸濁液では、ピーク強度が低く、同定に用いることは困難であった。

3.3 培地・培養法の違いによるスペクトルの変化

それぞれの培地に接種した菌株から得られたスペクトルを以下に示す (Fig. 2)。なお SI 培地のスペクトルは棉

栓ろ過で得られた菌体を用いた。

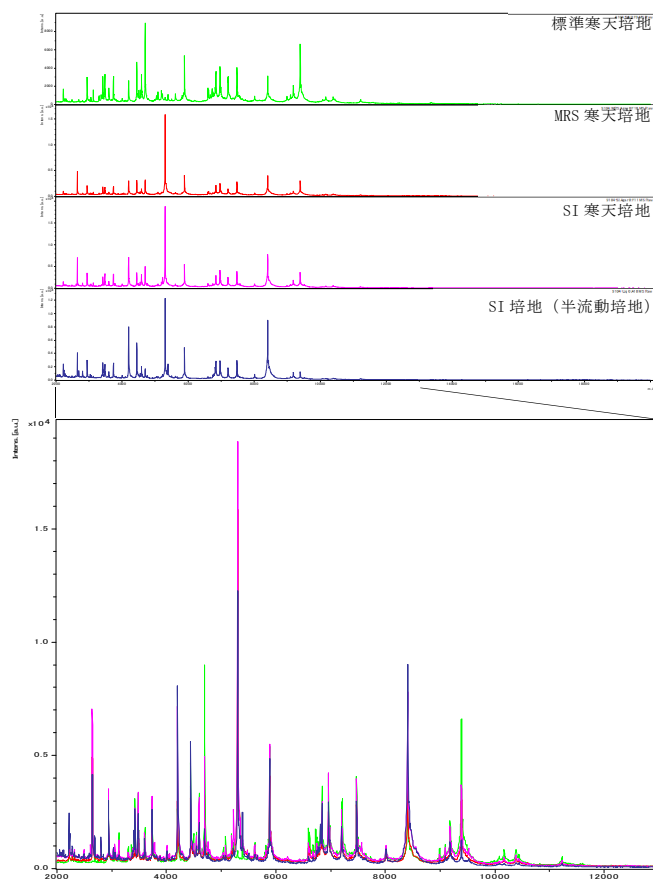


Fig.2 各種培地において9104株を生育させた場合のスペクトルの様子
(下図は上図のスペクトルを重ねたもの)

この図から分かるとおり、SI培地から棉栓ろ過によって得られた菌体でも良好なスペクトルが得られることが分かった。なお、それぞれのスペクトルからS/N比が高い順に上位20ピークのm/zを比較したところ、10ピークが全ての検体で一致し、MRS寒天培地とSI培地のみの比較では、さらに5ピークが一致した。既存のデータベースと照合したところ、いずれのスペクトルも*Lactobacillus paracasei*と非常に高い相同性 (Score Value 2.0以上)を示した。

4. 考察

SI培地から棉栓ろ過によって寒天を除去することで、再現性のよいスペクトルを得ることができた。MALDI-MSで菌の同定を試みる場合、通常、平板上に生育したコロニーを供するのが一般的であるが、本法によりSI培地からの直接集菌、同定に供することが可能となるため、改めてSI培地から寒天培地に植菌・培養する操作が不要となり、同定までの期間短縮が期待された。

また、先述のとおり半流動培地では生育するが、寒天培地では生育が難しい火落菌や腐造性乳酸菌に対して、同定できる可能性が示唆された。

実際の火落菌検査によって白濁、沈殿、液内集落の形成が認められた検体を用いて試験を実施した際に、今回の結果を基に新たに構築したデータベースと従来使用しているデータベースを比較した場合、マッチングスコアが向上するかどうかについては今後の課題である。

参考文献

- (1) Analytical Chemistry, 75(15), pp.3187-22(2003)
- (2) Rapid Commun Mass Spectrom, 20(24), pp.3789-98(2006)
- (3) 分析化学, 53(6), pp.603-608(2004)

令和7年7月発行
編集 大分県産業科学技術センター

〒870-1117 大分市高江西1丁目4361-10
TEL: 097-596-7101
FAX: 097-596-7110
URL: <https://www.oita-ri.jp/>
E-mail: info@oita-ri.jp