

令和5年度

研究報告

大分県産業科学技術センター

令和6年8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1報）	1
3Dプリンタの造形品質と強度の向上（第1報）	4
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）	9
野菜の物性評価に関する研究	14

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1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 (1st 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。研究初年度は産地技術を把握しマニュアル作成方法を検討するため、竹製品制作現場の取材に基づきマニュアルの素案を作成し、撮影・ヒアリング・編集等のマニュアル制作作業について、改善や手法変更が必要な知見が得られた。

1. はじめに

1.1 大分県におけるこれまでの取り組み

竹製品製造技術の大分県公式資料として、平成2～3年度に旧・別府産業工芸試験所が制作した製造技術マニュアル「竹編組技術資料 基礎技術編」、「〃 応用技術編」が限定部数発行された。現在は産地の生産者団体である別府竹製品協同組合が、後継者育成を目的として大分県から印刷・配布の許可を受けて、基礎技術編と応用技術編を合本した印刷物を発行し版を重ねている。

脚物家具については、生産者団体である協同組合日田家具工業会が「家具製作(いす張り作業)」という厚生労働省の技能検定試験に向けた技術研修を、大分県農林水産研究指導センター林業研究部の支援の元に令和元年度に開始し、3年度には大分県日田市において、県内はじめての技能検定「家具製作(いす張り作業)」を開催した。5年度には2回目が開催され、今後も2年毎の開催を予定している。技能検定という全国共通技術による産地としての後継者育成に取り組みはじめたばかりであり、産地における脚物家具製造のための技術資料はこれまで制作されていない。

1.2 研究概要と本年度の取り組み

本研究の目的は手加工技術のデジタルアーカイブによる再マニュアル化であり、そのための具体的取組は制作現場を対象とした取材・撮影等のフィールドワークと、

フィールドワーク結果をコンテンツとしたわかりやすいデジタルマニュアルを制作することである。

初年度は手加工技術中の対象技術を明確とするために、技術資料がある程度整備され、古くから教育システムが継続的に機能している、竹製品製造技術を中心に予備的なフィールドワークを行う。

マニュアル化する竹製品製造技術の対象は、前出の「竹編組技術資料 基礎技術編」、「〃 応用技術編」に掲載されている、大分県が整理・分類した、「編組竹材の材料加工」「基本編組パターン 65種類（胴編み 47種類、底編み 18種類）」「平面から立体への加工技術 25種類」「縁巻き加工技術 17種類」「籐巻き加工技術 13種類」「手・柄の加工技術 7種類」とする。(Fig. 1)



Fig. 1 竹製品製造技術

最初の取り組みとして、全ての竹製品製造作業の出発点となる「編組竹材の材料加工」と、前出の「竹編組技術資料 基礎技術編」の「基本編組パターン」中で工程写真が掲載されている「六つ目編み」の2つの作業を選定し、制作現場の撮影やヒアリングを行う予備取材と、予備取材の撮影データ等を使用してデジタルマニュアルの素案を作成し、動画データの提供方法を検討する。

2. 方法

2.1 制作現場を対象とした予備取材

本年度は、次年度実施する取材に先立ち、収集すべき加工技術、撮影仕様（撮影対象、撮影範囲、選定撮影機材、データ形式や解像度等）、ヒアリング仕様（作業のコツ、力加減、映像に映り難い作業、選定録音機材、データ形式や録音CH数等）を把握し、今後の取材計画の参考とするために予備取材を実施した。

県内竹製品産地の教育機関として後継者育成の中心機関として業務を行っている大分県立竹工芸訓練センターに依頼し、勤務年数が長く指導実績の豊富な技術指導者（管理訓練課の専門員）に、「材料加工」と「六つ目編み」の加工作業を行うことと並行して技術ノウハウを語っていただきながらヒアリングと撮影を行った。

「材料加工」は以下の作業工程を実演していただき、「六つ目編み」は「竹編組技術資料 基礎技術編」掲載の2周目までの工程から更に1周増やした3周目までの工程を実演していただいた。（Fig. 2）

材料加工

①丸竹の切断 ②節まわし ③割りこみ用すみつけ ④割りこみ ⑤丸竹半割 ⑥荒割 ⑦内節落とし ⑧荒剥ぎ ⑨中割 ⑩薄剥ぎ ⑪幅取り ⑫裏すき ⑬面取り

六つ目編み

①ヒゴ1~6本目（1周目）、②7~12本目（2周目）、③13~18本目（3周目）

Fig. 2 「材料加工」と「六つ目編み」の作業工程

調査員はあらかじめ技術指導者に対して、竹製品製造の初学者に教える際の学びのポイント等を語りながら作業を進めるように依頼しており、特に力加減等の映像には残しにくい作業のコツ等についても説明しながら作業を進めていただいた。調査員が気になる作業については作業中に随時、ヒアリングを行った。

予備撮影は、様々な技術マニュアル動画で用いられる多視点同時表示のデジタルマニュアルを作成することを

前提に、4台のビデオカメラを技術指導者の周囲の様々な画角にセットして、取材中は常に録画状態のまま停止せず、画角は固定したままで行った。（Fig. 3）

技術指導者の説明やヒアリング内容等の技術情報は、撮影データ中の音声として記録・蓄積した。

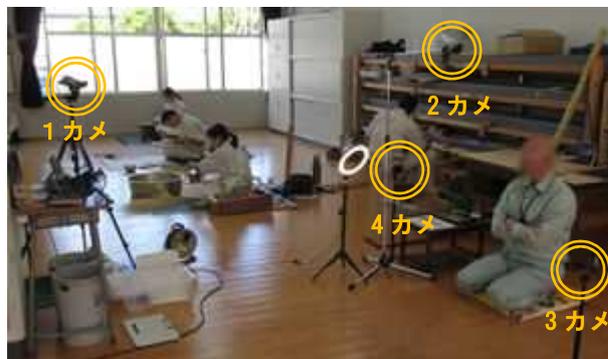


Fig. 3 予備撮影の4台のビデオカメラの配置

2.2 デジタルマニュアルの素案の作成

予備取材の撮影データやヒアリング内容を使用して、動画コンテンツを中心としたデジタルマニュアルの素案を作成し、デジタルアーカイブの提供方法を検討する。その際の中核となる編集手法として、多視点同時表示の画面構成の効果を確認することとした。これは様々な技術情報を提供するテレビ番組やネット上の技術マニュアル動画等で良く用いられる手法であり、死角の少ない情報提供が可能となる。学習者が知りたい作業中の手元や体の姿勢等について様々な角度や距離からの視野を提供し、立体的な情報提供が可能となる。

また撮影された動画だけでは分かりにくい工程*については、グラフィックやアニメーションを撮影動画に重ねて表示し、テキスト等も追加して補足説明**する。それにより学習者の理解を深めることが可能となるかを確認する。（Fig. 4）（Fig. 5）



Fig. 4 デジタルマニュアル「材料加工」素案

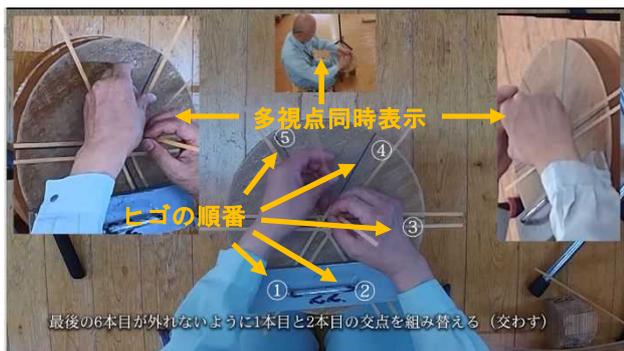


Fig.5 デジタルマニュアル「六つ目編み」素案

※材料加工はヒゴの最終目標の幅と厚みから逆算して、丸竹を割るところから計画的に複数回の割り剥ぎの作業を行うが、映像では映像中で作業の段階と寸法が分かりにくい。六つ目編みでは、60度ずつ回転させながらヒゴを足していくが、映像では回転中心や次に足すヒゴと他のヒゴとの上下関係が分かりにくい。

※※材料加工の映像には、左上に現作業での目標加工寸法を表示し、また各作業工程の開始時に、丸竹から現作業までに終了した割り剥ぎをアニメーションで表示する。六つ目編みの映像には、回転中心と1本目から入れてきたヒゴの順番を数字で表示する。

3. 結果

3.1 制作現場を対象とした予備取材

本年度は、次年度実施する取材の参考とするためにヒアリング・撮影等の予備取材を実施し、以下の課題を把握することができた。

- ・4台のカメラを取材対象の周囲（対象上方，対象右斜め前方，対象左斜め前方，対象全身斜め前方）に固定置きで撮影したが、作業によっては手加工の動きが死角になる場面があることや、もっと拡大して指先の微妙な動きを見たい場合がある。
- ・編みの撮影で材料のヒゴが白いために上下関係が分かり難い。
- ・技術指導者の説明やヒアリング内容等の技術情報はカメラの撮影データ中の音声として記録・蓄積したが、共同作業場での撮影では、撮影対象者以外の作業音が同時に録音されるため、説明が聞き取りにくくなる場面があった。

3.2 デジタルマニュアルの素案の作成

本年度は、次年度に作成するデジタルマニュアルの参考とするために素案を作成し、技術指導者と学習者に評価を受けたところ、以下の課題を把握することができた。

- ・画面に表示される補足説明のテキストの表示時間が短く、読み直すために巻き戻して再生が必要であった。文字表示のタイミングは学習者視点で再検討を要する。
- ・材料加工の動画において刃物を材料に入れる瞬間や、割り剥ぎの最中の刃物や手指、足指の微妙な動きがわからない。
- ・見せたい作業部分、撮影視野については技術指導者から作業毎に確認し、それを参考にカメラや照明の位置や数を検討した方がよい。
- ・撮影で指摘されたとおり六つ目編みのヒゴが白いために上下関係が分かり難い。
- ・単独の作業映像だけではその必要性や全工程の中で現在の作業の位置づけや、製品全体のどの部分を製作しているかというポジショニングをグラフィックやアニメーションで明示するとわかりやすい。

4. 考察

仮の動画編集作業を行うことで、あらためて取材中の撮影・録音で作成される映像・音声の素材データの露出、焦点、解像度、ノイズなどは、編集でリカバリーすることは困難であることを確認できた。取材時に素材データの品質を可能な限り高品質にしておくことは編集作業の自由度を高め、様々なアイデアにチャレンジすることが可能と考えている。予備取材同様に本番取材も一発撮りで行う可能性が高いため、素材データの品質を下げた後悔することの無いよう、撮影と録音の機材の理解を深めスキル向上に努めたい。

竹製品制作のデジタルマニュアル素案を作成後に、先進事例調査として金沢美術工芸大学の工芸技術記録映像を見ることで撮影や編集の技術について比較することができ、様々な気づきを得ることができた。

特に手加工作業における手元クローズアップ映像の視野と品質の差は明らかであり、予備取材の固定カメラ撮影+編集クローズアップでは学習者ニーズに対応した映像作成には限界があることが実感された。

また本年度の予備取材により、材料加工と編組作業における技術者の動きの基礎資料が得られたので、シナリオや絵コンテといった映像作品制作におけるクリエイターのツールを活用して撮影・録音計画を準備し、本番取材における学習者目線に対応した高品質な素材データの作成につなげたい。

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・応用技術編

3D プリンタの造形品質と強度の向上（第1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 (1st Report)

－Understanding basic performance－

Keiichiro HYODO・Takeshi HIKIDA・Hisaki SATOU・Koushirou SATOU
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。本年度は、3Dプリンタ造形物の造形精度の確認、樹脂材料での造形物、樹脂材料に繊維材料を補強材とした複合造形物の強度を確認した。造形品質と強度の向上についての実施データを測定し、活用方法も併せて整備してマニュアル化し、利用サービスを向上させる。

1. はじめに

令和4年度に導入した3Dプリンタ「Markforged社製 X7」は、FFF（フィラメント溶解製法）方式の積層造形装置で、ナイロン樹脂に短繊維 Carbon Fiber（以下、CFと略記する）を混合した樹脂材料 Onyx™を中心に、PLA等の樹脂を使用した造形と、樹脂材料をベースにCFやFiber Grass等の繊維材料と複合造形を行うことができる。プリントヘッドには、樹脂材料と繊維材料それぞれの専用ノズルがあり、樹脂材料に繊維材料を連続的に積層する複合造形により、金属並みの強度が期待できる。（Table 1）

本研究では、3Dプリンタ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測定し、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、繊維材料としてCFを用いた。

本機器独自の樹脂材料と繊維材料の複合造形は、専用ノズルから材料が押し出され、繊維材料を骨組みとし、樹脂材料を外側に被覆することで高強度な造形が可能となる。樹脂材料のみでの造形物と、樹脂材料と繊維材料の複合材料による造形物の機械的性質を確認するため、造形精度を確認後、引張試験と曲げ試験を行う。

2.1 造形精度

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、全長の他、平行部の幅と厚さについては中心部と中心部から左右にそれぞれ25mmの3箇所を測定した。（Fig.1）

寸法誤差については、ノギスとマイクロメーターにて計測した実測値を設計値（全長170mm、幅10mm、厚み4mm）で除した値とした。

Table 1 3Dプリンタの仕様

造形方式	FFF（フィラメント溶解製法） 方式
ノズル本数	樹脂材料用1，繊維材料用1
最大造形サイズ	W330mm×D270mm×H200mm
積層ピッチ	0.05mm，0.1mm，0.125mm， 0.2mm，0.25mm
樹脂材料	Onyx，OnyxFR，OnyxFR-A， Nylon white，OnyxESD， Precise PLA，Smooth TPU 95A
繊維材料	Carbon Fiber，Fiber Grass， HSHT Fiber Grass，Kevlar
スライサーソフト	Eiger

2.2 引張試験

樹脂材料の積層ピッチの違いや繊維材料の有無による引張強度の比較, 造形方向による異方性を確認するため, JIS K 7161:2014 プラスチック-引張特性の求め方に基づき Table 2 に示すとおり引張試験を行った。

試験片は, Fig. 1 に示すとおり JIS K 7139 タイプ 1A の寸法に基づき造形した。

造形条件 A は, 基本性能を確認するため, 積層ピッチ 0.1mm, 造形方向を平置きで 6 本造形した。

造形条件 B は, 積層ピッチと造形方向による異方性を確認するため, 積層ピッチ 0.05mm, 0.1mm, 0.125mm, 0.2mm, 0.25mm の 5 条件, 造形方向を Fig. 2 に示すとおり平置き, 横置き, 縦置きの 3 条件, 合わせて 15 本のダンベル型引張試験片を造形した。

造形条件 C は, 繊維材料の有無での強度を確認するため, 積層ピッチ 0.125mm, CF を 24 層で 6 本造形した。

引張試験は, インストロン社:5969 型試験システムを使用し, ロードセル容量 50kn, 標点間距離 80mm, つかみ具間距離 115mm, 試験速度 1mm/min で評価した。

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
樹脂材料	Onyx		
繊維材料	—	—	Carbon Fiber
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	15	6
引張試験機	インストロン社:5969 型試験システム		
試験片	JIS K 7139 タイプ 1A		
つかみ具間距離	115mm		
標点間距離	80mm		
試験速度	1mm/min		

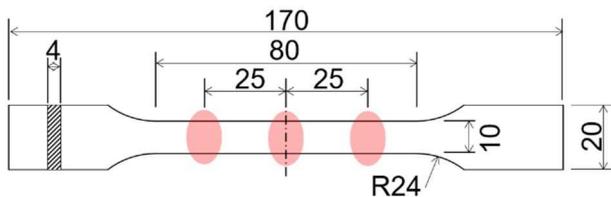


Fig. 1 ダンベル型引張試験片の寸法

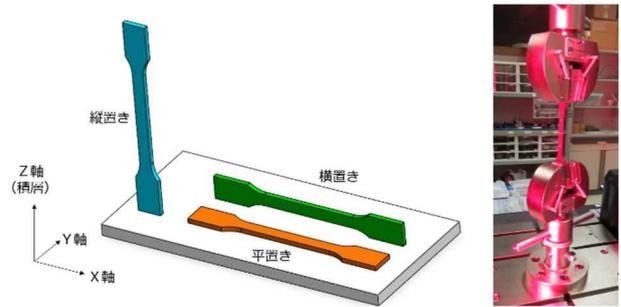


Fig. 2 ダンベル型引張試験片の造形方法と試験機

2.3 曲げ試験

樹脂材料の積層ピッチの違いや繊維材料の有無による曲げ強度を確認するため, JIS K 7171:2016 プラスチック-曲げ特性の求め方に基づき Table 3 に示すとおり曲げ試験を行った。

試験片は, Fig. 3, Fig. 4 に示すとおり JIS K 7171 の推奨試験片の寸法に基づき平置きで造形した。

造形条件 A, B は, 樹脂材料の積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm の違いを確認するため各 6 本造形した。

造形条件 C は, 樹脂材料のみの造形と樹脂材料と繊維材料の複合造形との違いを確認するため, 機器指定条件の積層ピッチ 0.125mm で 6 本造形した。

造形条件 D は, 樹脂材料と繊維材料の複合造形における繊維材料の積層数の違いを確認するため 4, 8, 12, 16, 20, 24 層を積層ピッチ 0.125mm で各 1 本造形した。

曲げ試験は, インストロン社:5969 型試験システムを使用し, ロードセル容量 50kn, 支点間距離 64mm, 試験速度 2mm/min で評価した。

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			
繊維材料	—	—	Carbon Fiber	
積層ピッチ (mm)	0.1	0.2	0.125	
繊維材料積層(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	各 1
曲げ試験機	インストロン社:5969 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			

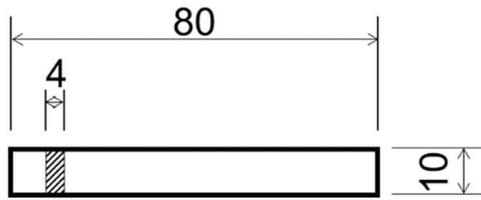


Fig. 3 曲げ試験片の寸法

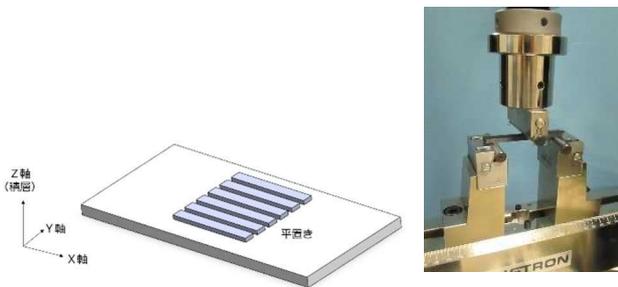


Fig. 4 曲げ試験片の造形方法と試験機

2.4 造形サンプルの試作

Markforged 社が提供している造形サンプルを参考に、樹脂材料、繊維材料、積層ピッチ、内部構造、内部構造断面、球の一部を配置し幅 14mm、長さ 70mm、厚み 4.5mm で造形サンプルを試作した。

2.5 造形物断面の撮影

引張試験による破断の状態を確認するため日本電子(株)製 JSM-IT800SHL にて造形物の破断面を撮影した。

3. 結果

3.1 造形精度

3.1.1 造形条件 A 積層ピッチ 0.1mm

Fig. 5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。

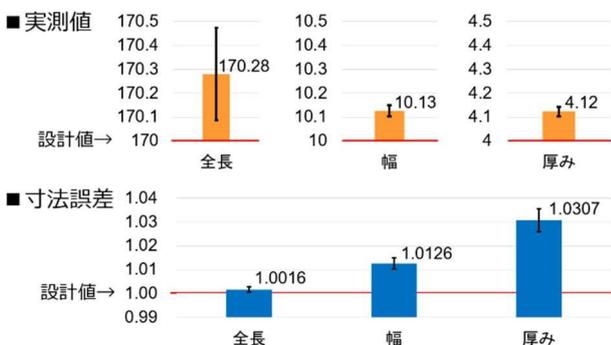


Fig. 5 積層ピッチ 0.1mmの実測値と寸法誤差

3.1.2 造形条件 B 積層ピッチ 0.05~0.25mm

Fig. 6は積層ピッチ 0.05mm~0.25mmの実測値と寸法

誤差を示す。

全長、幅、厚みの実測値は全て設計値より大きく、X軸、Y軸方向に比べZ軸（積層）方向がより大きく造形された。

寸法誤差で確認すると、全ての積層ピッチにおいてZ軸（積層）方向の寸法誤差が大きいことがわかった。

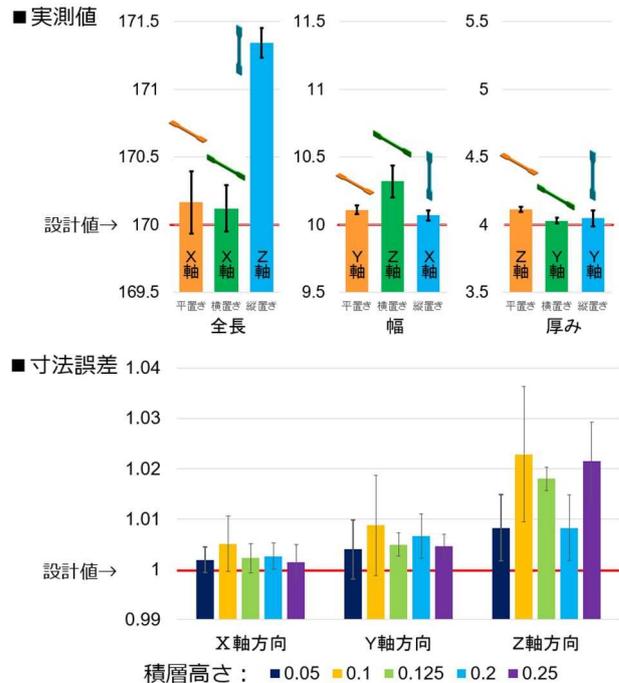


Fig. 6 積層ピッチ 0.05mm~0.25mmの実測値と寸法誤差

3.2 引張試験

Fig. 7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片の応力-ひずみ線図を示す。

横置きと平置きは、破壊までほぼ同じ傾向を示しているが、縦置きはひずみが小さく、積層面から破壊され、異方性を持つことが確認できた。これは、Fig. 8 に示すとおり縦置きの試験片がほとんど伸びずに積層面で破壊されていることから確認できる。

Fig. 9は、樹脂材料 Onyx を積層ピッチ 0.2mm で造形した引張試験片の応力-ひずみ線図である。

Fig. 10は、樹脂材料 Onyx を積層ピッチ 0.125mm、繊維材料 CF を 24 層で造形した引張試験片の応力-ひずみ線図である。応力は、実測した平行部の寸法より算出した。

0.2mmOnyx 試験片及び 0.125mmOnyxCF 試験片はどちらも最大応力を過ぎるまでほぼ同じ傾向を示しており、最大応力後は、試験片の破壊状況により差異が生じている。

0.2mmOnyx 試験片は塑性変形後に最大応力で破断しているため、非線形部分があるが、0.125mmOnyxCF 試験片の線図には、非線形部分はほぼなく、CFの有無で試験片

の破壊プロセスに大きな差異があることがわかった。

Fig. 11 は降伏点応力について, Fig. 12 は引張弾性率について Onyx のみで造形した試験片と Onyx と CF を 24 層で複合造形した試験片とを比較した。

Onyx に CF を複合造形することで降伏点応力, 引張弾性率ともに大きく向上した。

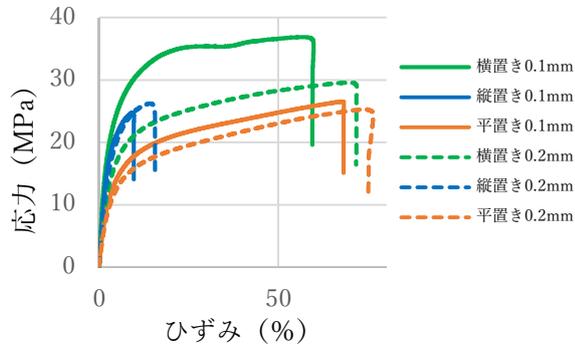


Fig. 7 積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm, 3 タイプの造形方向で造形した引張試験片の応力-ひずみ線図



Fig. 8 積層ピッチ 0.1mm, 3 タイプの造形方向で造形した引張試験片

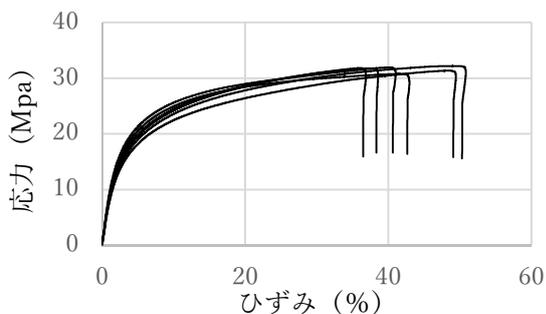


Fig. 9 Onyx を平置き 0.2mm で造形した引張試験片の応力-ひずみ線図

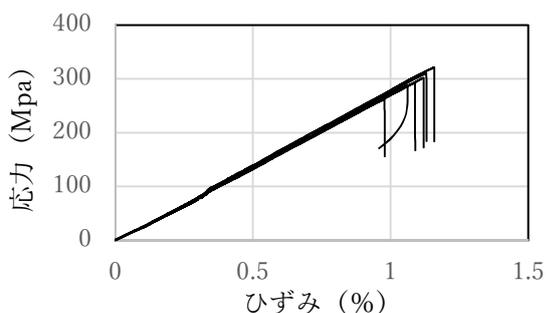


Fig. 10 Onyx に CF を平置き 0.125mm で複合造形した引張試験片の応力-ひずみ線図

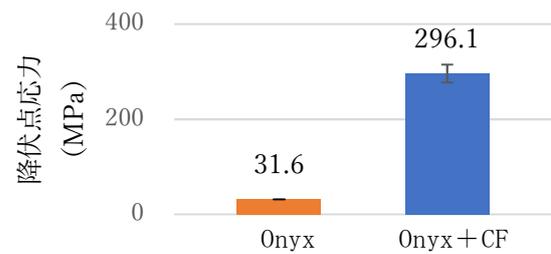


Fig. 11 Onyx 平置き 0.2mm と Onyx に CF を平置き 0.125mm で複合造形した引張試験片の降伏点応力の比較

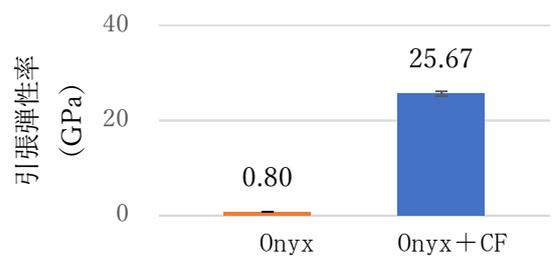


Fig. 12 Onyx 平置き 0.2mm と Onyx に CF を平置き 0.125mm で複合造形した引張試験片の引張弾性率の比較

3.3 曲げ試験

Fig. 13 は, 樹脂材料 Onyx を積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm で造形した試験片と, 樹脂材料 Onyx と繊維材料 CF24 層による複合造形の試験片とを比較した曲げ試験の代表的な実験結果の荷重-たわみ線図を示す。

Onyx で造形した試験片は積層ピッチ 0.1mm と 0.2mm 共に同じような傾向で大きな違いは見られなかったが, Onyx と CF との複合造形による試験片は最大荷重が 400N 以上と大きく異なり, その際の変位は約 4mm と小さい。

Fig. 14 は, CF の積層(L)数の違いによる, たわみと荷重の関係を示す. CF の積層数が 4L から 24L と増えるに従い最大荷重が大きくなるとともに変位は小さくなった。

Fig. 15 に示すとおり曲げ試験後の試験片の状態を確認すると, CF4L の湾曲はほとんどなく, CF20L と CF24L は湾曲部の外側に亀裂が入っていることが確認できた。

これらのことから, CF の積層数を変化させることで造形物の剛性をコントロールすることが期待できる。

3.4 造形サンプルの試作

Fig. 16 は, 試作した造形サンプルの設計図と造形サンプルを示す。

内部構造断面は, 積層途中で一時停止後にマスキングし, 造形完了後にマスキングを剥がすことで内部構造が見えるようにした. また, 樹脂材料, 積層ピッチ, 内部構造, 繊維材料の種類を表す文字を立体的に造形した。

球の一部を造形することで, 積層ピッチの違いによる造形物の表面の状態を確認することができた。

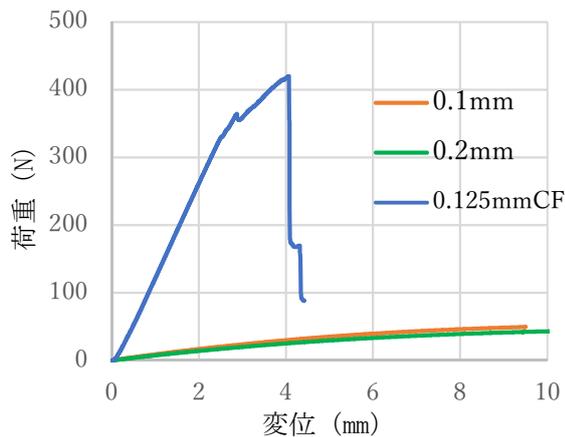


Fig. 13 Onyx0.1mm と 0.2mm, Onyx と CF の複合造形による 3 点曲げ試験の荷重－変位線図

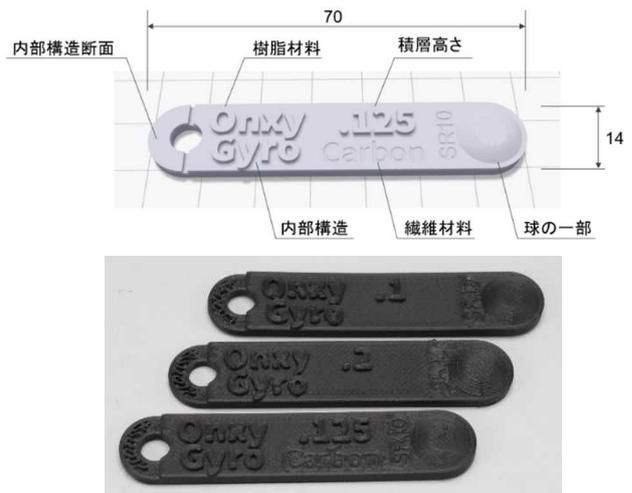


Fig. 16 造形サンプルの設計図と造形サンプル

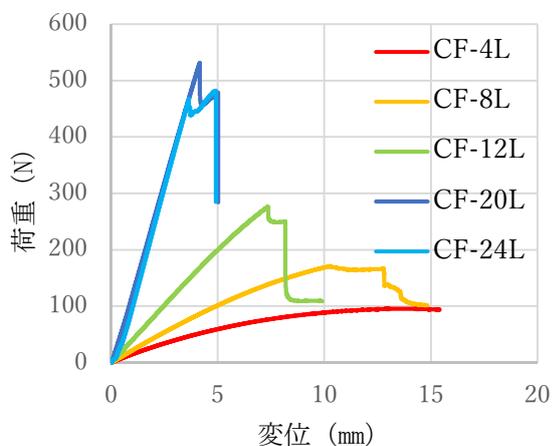


Fig. 14 Onyx 平置き 0.125mm 繊維材料 CF の積層 (L) 数の違いによる 3 点曲げ試験の荷重－変位線図



Fig. 15 Onyx0.125mm 繊維材料 CF の積層 (L) 数の違いによる 3 点曲げ試験片

3.5 造形物断面の撮影

Fig. 17 は、引張試験による破断の状態を確認するため FE-SEM にて造形物の破断面を撮影したものである。

引張試験片のモデル内部の充填率が 100%になるよう Solid で造形しているため隙間はほとんどみられず、0.2mm の積層ピッチの精度や造形パスの角度、破断の様子が確認できた。

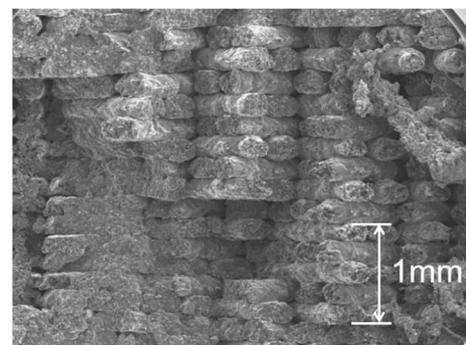


Fig. 17 樹脂材料 Onyx 積層ピッチ 0.2mm の破断面

4. 考察

造形精度については、Z 軸（積層）方向の寸法誤差が大きいため、造形の際には精度が必要な部分が X 軸か Y 軸方向になるよう造形方向を考慮する必要がある。

引張試験の結果、造形方向による異方性があることから強度が必要な造形物の造形方向に工夫が必要であることと、CF との複合造形により引張強度が大きく向上することが確認できた。

曲げ試験の結果、CF との複合造形により最大荷重が大きく向上した。また、CF の積層数が最大荷重に関係する可能性があることから、CF の積層数を変化させることで、造形物の剛性をコントロールすることが期待できる。

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)

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）

竹中智哉・浜野遼太郎
電子・情報担当

Research on Object Recognition Technology Utilizing AI and Radio Signals(1st Report)

Tomoya TAKENAKA・Ryotaro HAMANO
Electronics and Information Section

要 旨

2024年3月現在、無線デバイスによって人の動きや空間状況を把握する無線センシング技術が広まりつつある。中でも、既設デバイスを利用でき、導入コストの削減が見込まれる等の利点から Wi-Fi を活用したセンシング（Wi-Fi センシング）が、注目を集めている。2025年6月には、IEEE 802.11bf として規格の策定が予定され、県内企業も高い関心を示していることから、技術調査を兼ねて Wi-Fi センシングを用いた代表的なタスクである居室内の人物検出について検証した。検証では、社会実装を踏まえ、学習および推論コストの低い2つの手法（機械学習アルゴリズムの1つである SVM と FFT を用いた検出法）を用いた。検証の結果、静止状態にある人物を検出するためには、工夫が必要であることを明らかにした。

1. はじめに

近年、高速無線通信などの情報通信技術の発展に伴い、無線デバイスが普及し、低価格化・コモディティ化が進んでいる。こうした背景による導入コストの削減に加え、RGB カメラや LiDAR、赤外線センサに比べて秘匿性の確保や適用範囲の拡大につながる等の利点があり、無線デバイスを人の動きや空間状況を把握するセンシング用途として活用する無線センシング技術が広まりつつある。また、急速に発展する機械学習の活用によりセンシング技術の向上が期待されている。中でも普及が進み、既設デバイスの利用も見込まれる Wi-Fi を活用したセンシング（Wi-Fi センシング）が、注目を集めている。Wi-Fi センシングは、2025年6月に IEEE 802.11bf として Wi-Fi 規格の策定が予定され、複数の県内企業が医療・福祉や産業機械、サービス分野での適用に関心を示している。このような動向を踏まえ、Wi-Fi センシングを用いた代表的なタスクである居室内の人物検出について、技術調査を兼ねた検証を行い、ノウハウを蓄積することとした。検証では、社会実装を踏まえ、学習および推論コストの

低い2つの手法（機械学習アルゴリズムの1つである SVM と FFT を用いた検出法）を検討した。

2. 実証環境の構築

Wi-Fi による物体認識では、主に RSSI(Received Signal Strength Indicator: 受信電波強度)と CSI(Channel State Information: 伝搬チャネル状態情報)を利用する方式の研究開発が行われている。CSI は1つのパケットから多次元のデータとして取得でき、各送受信アンテナで得られた各サブキャリアの振幅と位相の情報を含んだデータで、RSSI に比べて詳細な環境の情報が得られることから、CSI の取得環境を構築することとした。

IEEE 802.11bf 規格が策定されれば、市販の Wi-Fi 機器にて CSI の取得が可能になる見込みだが、令和6年3月現在では取得方法が限られている。そこで、多くの先行研究で CSI 取得のために用いられている Linux 802.11n CSI Tool^[1]や Atheros CSI Tool^[2]、ESP32 CSI toolkit^[3]を用いて実証環境を構築した。本稿では、Linux

802.11n CSI Tool を用いて CSI を取得後、python にて前処理および解析を行った検討結果を示す。

実験環境のレイアウトは Fig.1 のとおりで、図中に以降の検証で用いるデータの人物位置を示す。部屋は 6.6m × 7.1m で、室内に机や椅子、本棚が配置されている。アクセスポイント (AP) 1 台に受信デバイス (RX) 1 台が接続する環境で実験を行った。また、環境構築に際して、CSI の取得状況を可視化して確認した。一例として、正規化などの前処理後に CSI をヒートマップにて視覚化した事例を Fig.2 に示す。

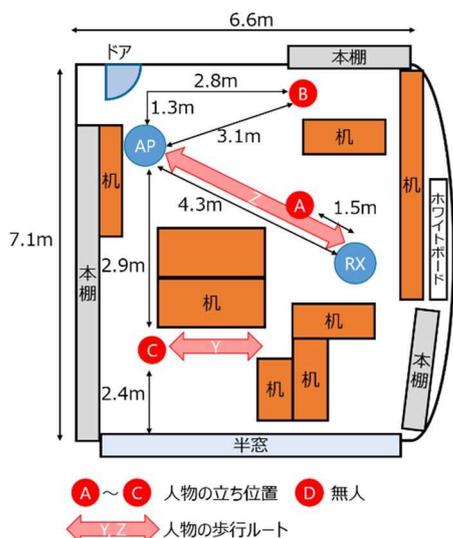


Fig.1 実験環境のレイアウト図

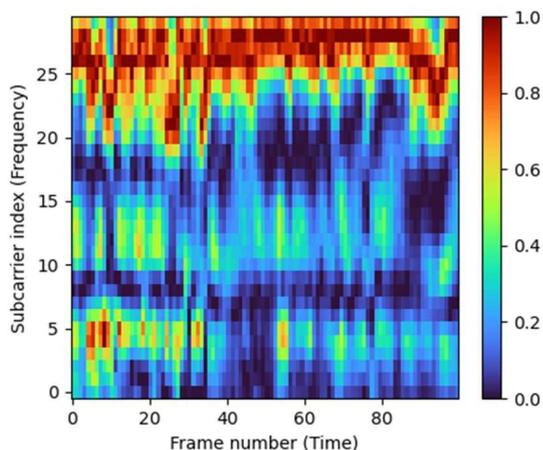


Fig.2 CSI のヒートマップ (位置 Z 歩行時)

3. 居室内の人物検出に関する検討

3.1 人の動き検出による人物検出

まず、先行文献[4]を参考に、一般的な機械学習アルゴリズムの1つである SVM を用いて人の動きが検出できるかを確認した。取得したデータセットの条件を Table 1 に示す。

SVM の適用にあたり、前処理として SVD (Singular

Value Decomposition: 特異値分解) による次元削減を行い、特徴量を抽出した。Fig.3 のとおり、無人では第2特異ベクトル成分以降がほぼ 0 の値になるのに対して、人の動きがある場合には同成分以降に数値が出力される。これにより、人の動きを検知する特徴量抽出法として、SVD が有用であることを確認した。

Table 1 人の動き検出用データセット

測定条件	被験者1名
クラス数 (位置:状態)	4 (D:無人, A:立位, Y:歩行, Z:歩行)
データ数	各クラスTrain:200, Test:200
時間窓長	1sec (サンプリング周期10ms×100Frame)

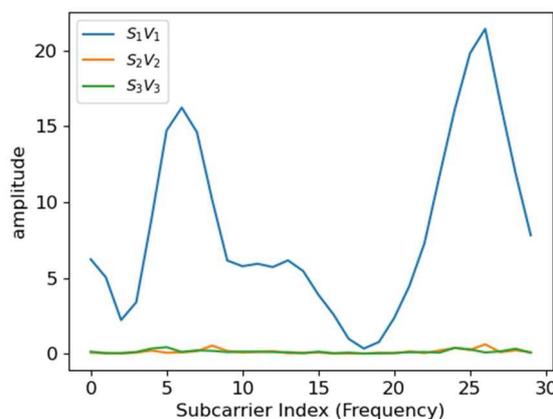


Fig.3 CSI の SVD 解析 (上:無人, 下:位置 Z 歩行時)

そこで、SVD にて得られた特異値を入力データとして学習した 2 次の SVM モデルを評価したところ、Table 1 のデータセットに対する精度は 94%であった。テストデータに対する混同行列 Fig.4 から、実験室内で人が動いている (位置 Y および Z での歩行状態 (walk)) クラスと室内が無人 (none) であるクラスは 100%の精度で分類できたことが分かる。また、Y と Z のクラス判別結果から

動作位置も99%と高い精度で分類ができた。一方で、人が室内で静止しているクラス（位置Aにて立位での静止状態(Standing)）と無人のクラスの判別は89%程度の精度となり、検出精度が明らかに低い。

人の動きを検出する本モデルで、静止状態にある人を

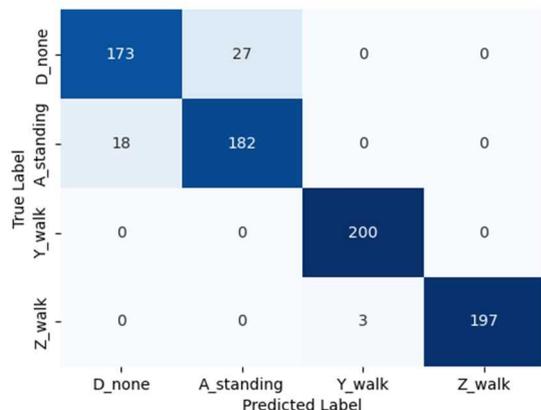


Fig. 4 SVMモデルの評価結果

検出できるかを検証するため、追加で2パターンのデータセットを用意した。パターン1は、立位の状態で、位置A～Cに静止した場合と無人の4クラスを用意した。パターン2では、位置Aで、立位の他に、床上での仰臥位(lie)やプラスチック製の椅子に着座した座位(sit)の3通りの静止姿勢と無人の4クラスを用意した。クラスの内容を除き、条件はTable 1と同様とした。

評価の結果として、テストデータに対する混同行列を

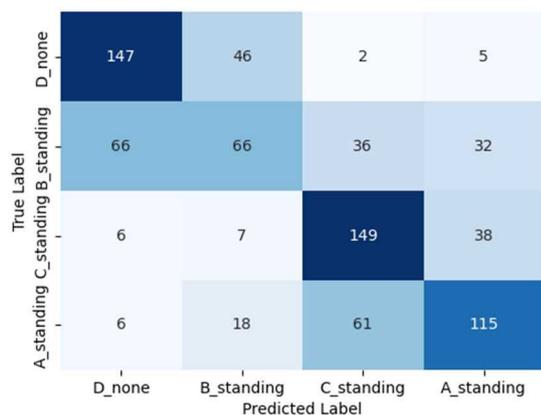


Fig. 5 SVMモデルの評価結果(パターン1)

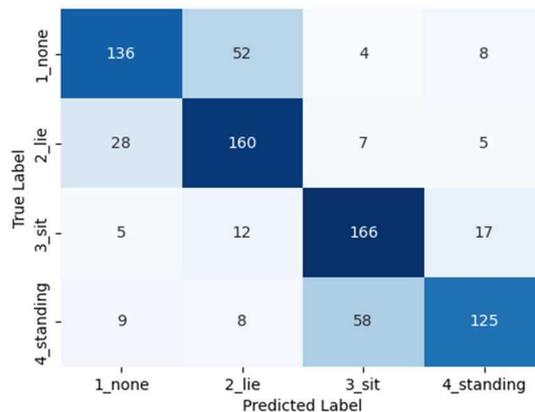


Fig. 6 SVMモデルの評価結果(パターン2)

Fig. 5 と Fig. 6 に示す。パターン1と2のデータセットに対する精度は60%と73%で、本モデルによる静止状態にある人の検出精度は低いことがわかった。クラス間の結果を確認すると、Fig. 5 から位置AとCは、位置Bに比べて無人との判別精度が高く、立ち位置によって無人との判別精度が変わることが分かった。よって、本モデルを変更することなく、アンテナを含めAPとRXの配置を最適化することで検出精度の向上が見込める。また、Fig. 6 のとおり、静止状態の中でも仰臥位と無人の判別精度が特に低く、床上での仰臥位は人の検出が難しい姿勢であることが分かった。

3.2 呼吸数の検出による人物検出

人の動き検出による人物検出では、静止状態にある人の検出が難しいため、別のアルゴリズムとして呼吸数の検出による人物検出を検討した。呼吸数の検出は、医療や福祉分野への応用が期待されるため、研究開発が盛んに行われている。本稿では、FFTによるピーク検出によって、呼吸数の検出を行った検討結果を示す。

呼吸数の検出では0.1Hz付近の周波数成分を算出する必要があることから、時間窓長30sのCSIデータを取得した。そして、3.1で検討した人の動き検出法との併用も考えられることから、CSIデータのサンプリング周期を10msとした。しかし、呼吸周波数に対しては、サンプリング周期が高分解能であるため、ダウンサンプリングおよびフィルタリングの前処理を行った。データから検出された呼吸数は、19～24回/分との計算結果となり、標準的な成人の呼吸頻度^[5]とほぼ一致し、呼吸数検出アルゴリズムの妥当性を確認した。

本手法により、呼吸数が算出できた場合は有人とし、算出できなかった場合は無人として人物検出を行った。テストデータに対する評価結果をTable 2に示す。ここで、歩行動作のルートは、YまたはZのいずれかである。そして、静止状態時および定位置でのジョギング、定位

置での不規則な動きの立ち位置は、位置 A~C のいずれかである。不規則な動きでは、腕の上げ下げや捻り、足

の向上に向けた検討を進める。また、県内企業や社会のニーズ沿った用途への適用を目指した研究開発を行う。

Table 2 呼吸数検知による人物検知の評価結果

状態	詳細	呼吸検知回数	観測回数	TPF(%)
無人	none	0	16	100
無人→有人	入室(In)	6	6	100
有人 (static)	仰臥位(lie)	0	4	0
	座位(sit)	6	14	43
	立位(standing)	17	24	71
有人 (move)	定位置でジョギング (jogging on the spot)	7	9	78
	定位置で不規則な動き (random movements on the spot)	5	6	83
	歩行(walk)	17	17	100

の屈伸などの動作を不規則に行いながら、データを取得した。入室の動作では、1名の被験者が1度だけ入室して室内に留まったデータを取得した。また、歩行の動作のルートは、YまたはZのいずれかである。

検証の結果、本手法では、静止状態時の検出精度が低く、特に床上での仰臥位については検出できなかった。一方で、無人や入室の動作は、100%の精度で検出でき、動作状態の検出精度も78%以上と静止状態に比べて高かった。

呼吸数検知については、人物検知の他に体調管理や睡眠状態の把握などの応用用途が見込めるため、仰臥位や座位での精度を向上する必要がある。データ取得数を増やしつつ、今後も検出方法の見直しを進めていく。

4. まとめ

無線センシング技術の中で注目を集めているWi-Fiセンシングについて、実証環境の構築を行い、代表的なタスクである居室内の人物検出について検証を行った。検証では、社会実装を踏まえ、学習および推論コストの低い2つの手法を検討した。まず、SVDで得られた特徴量からSVMで人の動きを検出する手法を評価し、居室内で動作状態にある人を検出できることを確かめた。一方で、人が静止状態にある場合の検出精度が低いことが分かった。静止状態の人物を検出するため、別の手法としてFFTを用いた呼吸数の検出から人物を検出する手法を評価した。評価の結果、計算アルゴリズムの妥当性は確認できたが、静止状態にある人物の検出精度は低く、特に床上での仰臥位では、検出することができなかった。

技術調査および検討の中で、人物検出および呼吸数の検出は、無線センシングにおける代表的なタスクであり、適用が期待される応用用途の幅も広いことが分かった。加えて、他タスクにも共通する基盤となる前処理や機械学習アルゴリズムが関係しているため、今後も検出精度

参考文献

- [1] 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.
- [2] Y. Xie, Z. Li, and M. Li, "Precise Power Delay Profiling with Commodity WiFi," Proceedings of the 21st Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, p. 53-64, 2015.
- [3] S. M. Hernandez and E. Bulut, "Lightweight and Standalone IoT Based WiFi Sensing for Active Repositioning and Mobility," Proceedings of IEEE 21st Int. Symp. World Wireless, Mobile Multimedia Netw. (WoWMoM), p. 277-286, 2020
- [4] Interface2022年9月号, CQ出版社, p. 39-47, 2022
- [5] エビデンスに基づく症状別看護ケア関連図 第3版, 中央法規出版, p. 18, 2023

野菜の物性評価に関する研究

神崎悠梨・坂本誠毅・後藤雅昭・徳田正樹
食品産業担当

Study of Evaluating Physical Properties of Vegetables

Yuri KANZAKI・Masaki SAKAMOTO・Masaaki GOTO・Masaki TOKUDA
Food Industry Section

要 旨

ピーマンの食感を評価することを目的として、クリープメーターで測定した物性値と官能評価との関連を調査した。張りのあるピーマンとしなびたピーマンを用いると、食感と関連が強い物性値は、10%歪率荷重、破断荷重、もろさ荷重であった。

1. はじめに

野菜の食感は、おいしさや加工特性など品質を特徴づける重要な項目である。一般的に食感の測定は、機器による分析と官能評価が行われる。食感を機器により客観的に数値で評価し、官能評価との関連を明確にすることができれば、品目の特性や調理・加工適性の評価などに役立つと考えられる。

そこで、大分県内で多く生産されるピーマンを対象に、クリープメーターを使用し、鮮度に関係する食感の測定方法を検討した。さらに、官能評価との関連についても検討した。

2. 方法

2.1 物性の測定

測定には大分市内の小売店および大分県農業協同組合で購入したピーマンを用いた。物性の測定には果実の中央部を縦2cm横1cmの大きさに切断したものを使用した。測定条件は、クリープメーター (RE2-33005C, (株)山電) を使用し、円柱型プランジヤー (直径3mm), 速度1mm/s, 圧縮率99%とし、ピーマンの外皮側からプランジヤーを貫入させ荷重を測定した。

2.2 官能評価

物性の測定と同様の方法で調整した試料を使用し、官能評価を行った。評価項目は、鮮度に関係する食感として、前歯で噛んだ時のパリッと感と口の中に入れた時の変形しにくさに設定し、5点満点で評価した。評価は3名で、34点の試料を4回に分けて行った。

3. 結果と考察

3.1 破断特性

ピーマンの測定例を Fig.1 に示す。ピーマンがプランジヤーで圧縮されるにつれ荷重は増加し、ピークに達した後、降下し、再度増加するというパターンが観察された。荷重の最大のピークを破断荷重、ピーク時の歪率を破断歪率、ピークから下がりきるまでの荷重をもろさ荷重とした。

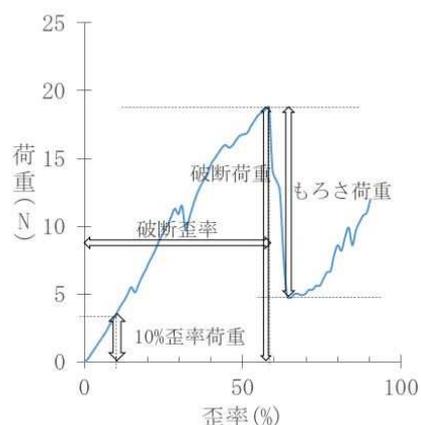


Fig.1 荷重の測定例

次に食感が異なる、張りのあるピーマンとしなびたピーマンの物性を測定した。その結果、張りのあるピーマンは、しなびたピーマンと比較して10%歪率荷重、破断歪率、もろさ荷重 (Table 1) が明らかに大きかった。これらの項目が噛んだ時の食感と関連しているのではないかと推察された。

貯蔵日数による変化を確認するため、ポリエチレン包装したピーマンと包装していないピーマンを8℃で貯蔵し、1日目、3日目、10日目、14日目の物性値を測定した。無包装のピーマンは包装したものと比べると、貯蔵日数が経つにつれて10%歪率荷重ともろさ荷重が低下し、破断歪率は増加する傾向が見られた(Fig. 2)。

Table 1 ピーマンの物性値

	10%歪率荷重	破断歪率	もろさ荷重	破断荷重
	N	%	N	N
張りのあるもの	1.67	52.6	8.9	15.3
しなびたもの	0.64	75.8	4.6	20.7
t検定	**	**	**	n. s.

1個につき4~8回測定し、5個の平均値を使用した。

n. s. :有意差なし, **:p<0.01

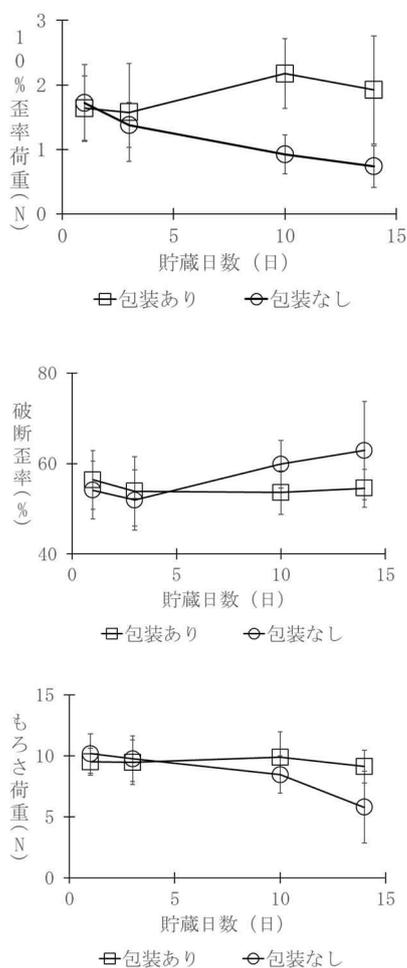


Fig. 2 貯蔵による物性値の変化

上：10%歪率荷重 中：破断歪率 下：もろさ荷重

40~60g/個程度の大きさのものを1個につき2回測定し10個の平均値を使用, エラーバーは標準偏差

3.3 官能評価と物性値との関連づけ

官能評価の評価値と物性値の相関を Table 2 に示す。

パリッと感は、10%歪率荷重、破断歪率、もろさ荷重との相関が認められた。変形しにくさは、10%歪率荷重ともろさ荷重と相関があった。10%歪率荷重は噛みはじめの荷重、破断歪率ともろさ荷重は噛み切る時の荷重に関する値であることから、変形しにくさとパリッと感は、噛みはじめから噛み切るときに感じられることが示唆された。

Table 2 物性値と官能評価との相関係数

	パリッと感	変形しにくさ
10%歪率荷重	0.70 **	0.73 **
破断歪率	-0.34 *	-0.27
もろさ荷重	0.81 **	0.73 **

スピアマンの順位相関

n=34, *:p<0.05, **:p<0.01

4. まとめ

ピーマンを噛んだ時のパリッと感をクリープメーターで測定した。官能評価の評価値と10%歪率、破断歪率、もろさ荷重には相関があり、物性値を食感の目安として利用できると考えられた。

令和6年8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