

研 究 報 告

第 23 号

令和 3 年 3 月



Journal of
Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute

Vol.23

地方独立行政法人
岩手県工業技術センター



地方独立行政法人岩手県工業技術センター

〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-25

電 話 : 019-635-1115

F A X : 019-635-0311

ホームページ : <http://www2.pref.iwate.jp/~kiri/>

電子メール : CD0002@pref.iwate.jp

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告

第 23 号

目 次

◆ 電子情報システム部

- 1 岩手県工業技術センター「EMC 評価ラボ」における電磁妨害波測定の不確かさ評価
(研究事業名：平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ)
野村 翼・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

- 2 画像処理を用いた製造ライン監視システムの開発
(研究事業名：令和元年度いわてものづくりイノベーション推進事業)
菊池 貴、長谷川 辰雄、大和田 功、寒川 陽美・・・・・・・・ 8

- 3 人物の移動予測システムに関する実用可能性調査
(研究事業名：平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ)
長谷川 辰雄・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 12

- 4 玉ねぎ裸種子対応播種機の性能向上
(研究事業名：令和元年度いわてものづくりイノベーション推進事業)
箱崎 義英、堀田 昌宏、佐々木 崇人・・・・・・・・・・・・ 15

- 5 トマト授粉ロボット開発のための実現可能性調査
(研究事業名：平成 30 年度岩手県農業研究センター委託業務)
長谷川 辰雄、紺野 亮・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19

◆ 機能材料技術部

- 6 リサイクル炭素繊維を利用した樹脂系複合材料の開発
(研究事業名：平成 30、31 年度経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業)
村上 総一郎、鈴木 一孝・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 23

- 7 広葉樹パルプを活用した生分解性プラスチック積層型複合材料の開発
(研究事業名：平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ)
樋澤 健太、村上 総一郎、桑嶋 孝幸・・・・・・・・・・・・ 26

◆ 素形材プロセス技術部

- 8 デジタルシボ技術を活用した南部鉄器の作製
(研究事業名：令和元年度いわてものづくりイノベーション推進事業)
和合 健、生内 智、及川 春樹・・・・・・・・・・・・・・・・ 30

9	レーザ干渉計を利用した大型構造体の高精度寸法計測技術の構築 (研究事業名：平成 31 年度公益財団法人 JKA 機械振興補助事業公設工業試験研究所等共同研究)	
	和合 健、竹原 英樹、辺見 誠雄	35
◆ 産業デザイン部		
10	デザイン思考による商品開発支援ツールの開発 (第 1 報) (研究事業名：平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ)	
	長嶋 宏之、内藤 廉二、小林 正信	41
11	県内中小企業におけるデザイン活用に関する調査 (研究事業名：平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ、 平成 31 年度公立大学法人岩手県立大学地域政策研究センター地域 共同研究 (ステージ I))	
	高橋 正明、菊池 仁、近藤 信一	48
◆ 醸造技術部		
12	セルレニン耐性を有する清酒酵母から尿素非生産性株の取得 (研究事業名：平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ)	
	玉川 英幸、米倉 裕一	57
◆ 食品技術部		
13	うるち米デンプン老化の迅速評価の検討 (I) (研究事業名：平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ)	
	武山 進一	64
14	うるち米デンプン老化の迅速評価の検討 (II) (研究事業名：平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ)	
	武山 進一	68
15	三陸産イサダを原料とした高付加価値素材の効率的生産体系の構築 (研究事業名：革新的技術開発・緊急展開事業 (うち経営体強化プロジェクト))	
	高橋 亨	71

岩手県工業技術センター「EMC 評価ラボ」における 電磁妨害波測定の不確かさ評価*

野村 翼**

岩手県工業技術センターに設置されている EMC 評価ラボにおける伝導および放射妨害波測定の不確かさを評価した。その結果、いずれの不確かさの値も、国際規格である CISPR16-4-2 に示された参考値より小さく、測定値は VCCI-CISPR32:2016 技術基準への適合判定に有効であることを確認した。

キーワード：EMC、不確かさ、電磁妨害波測定

Uncertainty Evaluation of Electromagnetic Interference Wave Measurement in EMC Evaluation Lab. of Iwate Industrial Research Institute

NOMURA Tsubasa

Key words : EMC, Uncertainty, Electro-Magnetic Interference measurement

1 緒 言

岩手県工業技術センター（以下「当センター」という。）に設置されている EMC 評価ラボには、伝導妨害波（以下「伝導EMI (Electro-Magnetic Interference)」という。）を測定できる EMI シールド室と、測定距離 10m で放射妨害波（以下「放射EMI」という。）を測定できる大型電波暗室があり、2018年4月より運用している。

EMI シールド室および大型電波暗室は、日本国内において情報処理装置、電気通信機器等からの妨害波がもたらす障害を自主的に規制している一般財団法人 VCCI 協会（以下、「VCCI 協会」という。）に測定設備を登録しており、当センターで測定した結果を用いて適合確認届出を提出することができるようになっている。

VCCI 協会が定める国内自主規制規格は、国際規格として CISPR (国際電気標準会議) が定める CISPR32¹⁾ に準じて改訂を行っているが、2016年に発行され 2019年より完全適用とされた VCCI-CISPR32:2016^{2),3)}により、測定結果に”測定装置の不確かさ”を考慮することが求められている。

当センターの EMC 評価ラボが VCCI-CISPR32 : 2016 に対応することが県内ユーザから強く求められていることから、EMI 測定における測定の不確かさを算出した。

2 測定の不確かさ要因

測定装置の不確かさは、国際規格である CISPR16-4-2 に従って計算することが求められており^{4)~6)}、その要因は以下のとおりである。

2-1 伝導 EMI 測定の不確かさ要因

標記のために考慮すべきことを以下に示す。

- (1) 受信機の読み
- (2) 疑似電源回路網 (Artificial Mains Network : 以下、「AMN」という。)と受信機間の減衰
- (3) AMN の電圧分割係数 (以下、「VDF」という。)
- (4) 受信機の正弦波電圧
- (5) 受信機のパルス振幅応答
- (6) 受信機のパルス繰り返し周波数応答
- (7) 受信機のノイズフロアの影響
- (8) AMN VDF 周波数補間
- (9) AMN と受信機間のインピーダンス不整合
- (10) AMN インピーダンス
- (11) 電源側からの妨害波の影響
- (12) 環境の影響

2-2 放射 EMI 測定 (30MHz~1GHz) の不確かさ要因

標記のために考慮すべきことを以下に示す。

- (1) 受信機の読み
- (2) アンテナと受信機間の減衰
- (3) アンテナ係数
- (4) 受信機の正弦波電圧
- (5) 受信機のパルス振幅応答
- (6) 受信機のパルス繰り返し周波数応答
- (7) 受信機のパルス繰り返し周波数の影響
- (8) アンテナと受信機間のインピーダンス不整合
- (9) アンテナ係数周波数補間
- (10) 高さによるアンテナ係数変動
- (11) アンテナ指向性
- (12) アンテナ位相中心位置

* 平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ

** 電子情報システム部

- (13) アンテナ交差偏波
- (14) アンテナ平衡
- (15) テストサイトの不完全さ
- (16) 供試装置と測定アンテナ間の距離
- (17) 供試装置を支持するテーブルの材質による影響
- (18) 供試装置を支持するテーブルの高さ

3 不確かさの評価

不確かさのそれぞれの要因について、“Guide to the Uncertainty in Measurement (GUM)” で説明されている数値処理方法⁷⁾およびVCCI協会主催のセミナー「EMI測定装置の不確かさ」での配布資料⁸⁾を参考に評価した。

3-1 伝導 EMI 測定の不確かさの評価

当センターEMIシールド室における伝導 EMI 測定の測定系を図1に示す。2-1で示した不確かさの各要因について、評価の概要を以下に述べる。

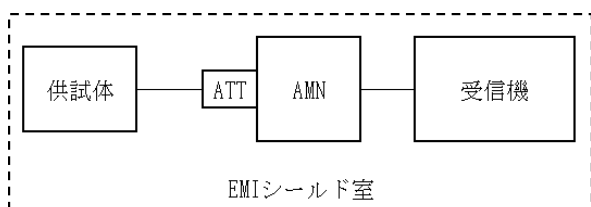


図 1 伝導 EMI 測定の測定系 (EMI シールド室)

3-1-1 受信機に起因する不確かさ

2-1(1)の受信機の読み値の不確かさは、使用しているEMI測定ソフトウェアでは測定値の小数点第2位の桁を四捨五入して読み取るため、読み値に対し±0.05dBの範囲で値が一樣に分布、すなわち矩形分布となっている。

また、伝導 EMI 測定に使用している EMI テストレシーバ(Rohde&Schwarz 製 ESW8)は外部委託で ISO17025 認定校正を実施しているため、2-1の(4)～(7)については校正成績書に記載されている不確かさの値を引用した。

3-1-2 AMN と受信機間の減衰

2-1(2)の AMN と受信機間のケーブルおよびアッテネータによる減衰量は、ISO17025 認定校正を実施したシグナルジェネレータ(以下、「SG」という。)、およびEMIテストレシーバを用いて測定している。減衰量の不確かさは減衰量を測定する測定の不確かさになることから、これらの測定器の不確かさを校正成績書から引用し、合成不確かさを算出して採用した。

3-1-3 AMN に起因する不確かさ

使用している AMN(NARDA PMM 製 L2-16B)は、ISO17025 認定校正を実施しているため、2-1(3)のVDFについては校正成績書よりVDFの校正不確かさ値を採用した。

2-1(8)のVDF周波数補間は、校正データが利用できる周波数の間を補間法で計算するときその変換係数に関連して生じる不確かさである。CISPR16-4-2では、変換係数に関する不確かさは±0.3dBの幅を持つ矩形分布と

定義されており、この値を採用した。

2-1(10)の AMN インピーダンスについては、CISPR16-1-2で定義されている EUT(Equipment under Test)ポートのインピーダンス許容値(偏差±20%以内、位相角±11.5°以内)を満たすことを校正により確認していることから、CISPR16-4-2で定義されている不確かさの値を採用した。

3-1-4 その他の不確かさ要因

2-1(9)AMN と受信機間のインピーダンス不整合に起因する不確かさは、次の式により求められる。

$$u(x) = \frac{20 \log(1 \pm \Gamma_e * \Gamma_r)}{\sqrt{2}}$$

ここで、 Γ_e は信号源側の反射係数、 Γ_r は負荷側の反射係数である。AMN と受信機それぞれの反射係数を校正成績書から引用し計算した。

2-1(11)および2-1(12)については、外部からの影響がないようEMIシールド室にノイズフィルタやCVCF(定電圧定周波数装置)が設置されており、影響はほとんど無視できる。

3-1-5 伝導 EMI 測定の合成不確かさ

以上による伝導 EMI 測定の不確かさを計算するための見積表(バジェットシート)を表1に示す。信頼区間95%となる拡張不確かさは3.4dBとなり、CISPR16-4-2で示された参考値と一致した。

3-2 放射 EMI 測定(30MHz～1GHz)の不確かさの評価

当センター大型電波暗室における放射 EMI 測定(30MHz～1GHz)の測定系を図2に示す。2-2で示した不確かさの各要因について、評価の概要を以下に述べる。

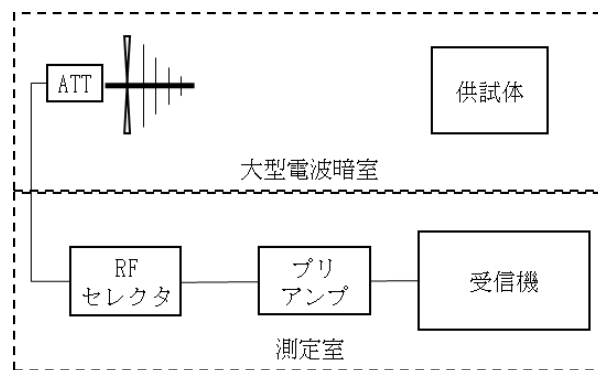


図 2 放射 EMI 測定の測定系 (大型電波暗室)

3-2-1 受信機に起因する不確かさ

受信機に起因する不確かさは、伝導 EMI 測定の場合と同様に、2-2(1)は±0.05dBの矩形分布、2-2の(4)～(7)については大型電波暗室で使用している EMI テストレシーバ(Rohde&Schwarz 製 ESW44)の校正成績書より値を引用した。

3-2-2 測定経路における減衰、不整合

3-2-2-1 アンテナと受信機間の減衰

2-2(2)のアンテナと受信機間の減衰についても、伝導

EMI 測定と同様に ISO17025 認定校正を受けた SG (発振器) と EMI テストレシーバを用いて測定している。不確かさはこれらの測定器の不確かさを校正成績書から引用し、合成不確かさを算出して採用した。

3-2-2-2 アンテナと受信機間のインピーダンス不整合

2-2(8)の不整合については、測定経路上にある各要素間の不整合による不確かさを計算により求める必要がある。考慮すべき不整合は、当センター大型電波暗室の場合、アンテナ～高周波 (以下、「RF」という。) スイッチ間、RF スイッチ～プリアンプ間、RF スイッチ～測定器間についてである。各区分間における不整合による不確かさは、それぞれ機器の入出力端における反射係数(カタログ値)を用い、3-1-4 と同様の方法にて計算した。

3-2-3 アンテナに起因する不確かさ

3-2-3-1 アンテナ係数

10m 法での放射 EMI 測定において、当センターでは通常ハイブリッドアンテナ(Schwarzbeck 製 VULB9168)を使用している。本アンテナは ISO17025 認定校正を実施しアンテナ係数を取得している。2-2(3)アンテナ係数の不確かさは、校正成績書に記載されている校正の不確かさ値を採用した。

3-2-3-2 アンテナ特性

2-2(9)～(14)については、アンテナ特性に起因する不確かさ要因である。これらの要因のうち(9)～(11)、(13)、(14)による不確かさ値は、VCCI 協会では規格からの引用を推奨しているため⁸⁾、CISPR16-4-2 より不確かさ値を引用した。なお、水平偏波と垂直偏波では大地面との分離距離が異なること等から、不確かさ値が異なることに注意が必要である。

(12)のアンテナ位相中心位置については、アンテナの構造上、動作周波数により共振するエレメント位置が変化することから、採用しているアンテナの構造から算出する必要がある。測定距離による電界強度補正(δE)は以下の式で算出する。

$$\delta E = 20 \times \log \left(\frac{EUT \sim \text{アンテナ共振点の距離}}{EUT \sim \text{アンテナ中心の距離}} \right)$$

当センターで使用している VULB9168 の場合、30MHz 測定時の共振点はアンテナ中心から 40 cm 後方、1GHz 測定時の共振点はアンテナ中心から 40cm 前方とし、EUT～アンテナ中心の距離は 10m とし算出した。

3-2-4 測定場所の特性に起因する不確かさ

2-2(15)はテストサイトを評価する正規化サイトアッテネーション(Normalized Site Attenuation :以下、「NSA」という。)による不確かさである。放射 EMI 測定設備について定めた CISPR16-1-4 では理論値に対し ± 4 dB 以内が許容値とされており、その不確かさは、値が中央に集まることが期待される三角分布として算出することとなっている²⁾。NSA の測定は VCCI 協会への設備登録の周期(3 年)毎に外部委託にて実施しており、当セン

ター大型電波暗室の NSA 実測値(30MHz-1GHz)における正負の最大値は +2.20dB、-2.91dB である。

2-2(16)は測定距離に関する影響である。当センターでの大型電波暗室での放射 EMI 測定では、運用上測定距離はレーザー測距器により ± 1 cm 以内に調整していることから、測定距離による補正式を用いて不確かさを計算した。

2-2(17)、(18)は測定テーブルの材質および高さ影響である。使用しているテーブルの材質および高さは CISPR16-4-2 と同様と考え、記載されている参考値を採用した。

3-2-5 放射 EMI 測定(30MHz～1GHz)の合成不確かさ

以上による放射 EMI 測定(30MHz～1GHz)の不確かさのバジェットシートを、表 2、表 3 に示す。拡張不確かさは水平偏波が 5.0dB、垂直偏波が 4.9dB となり、CISPR16-4-2 で示された参考値(6.3dB)より小さい値となった。

4 結 言

当センターの EMC 評価ラボにおいて、EMI シールド室での伝導 EMI 測定、大型電波暗室での放射 EMI 測定(30MHz～1GHz)について測定の不確かさを評価した。また、EMC 評価ラボにおける伝導および放射 EMI 測定の全条件について不確かさの評価を行い、表 4 にまとめた。

得られた不確かさの値は、いずれも CISPR16-4-2 に示された参考値と同等もしくは小さく、測定値は VCCI-CISPR32:2016 技術基準への適合判定に有効であることを確認した。

VCCI32:2016 では、測定を実施した試験サイトの不確かさを適合確認届出に明記することが新たに求められているため、必要に応じて利用者に公開している。また、現在のところ VCCI-CISPR32 では適合の決定のために不確かさを考慮することは求めていないが、国際規格である CISPR32 では測定値に対し測定の不確かさを考慮した上で適合判定を行うこととなっていることから、将来的には VCCI 技術基準でも適合判定に不確かさを考慮する方向になると思われる。

不確かさは設備の経年劣化や校正の状況によって変化するため、今後も設備校正の周期に合わせて定期的に再評価を行う予定である。

文 献

- 1) CISPR32 Edition2.0 (2015). Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements
- 2) VCCI-CISPR32:2016 技術基準, 一般財団法人 VCCI 協会規程集
- 3) VCCI 32-1-3 : 2016 測定装置の不確かさ, 一般社団法人 VCCI 協会規程集
- 4) CISPR16-4-2 Edition2.0 (2011). Specification for radio disturbance and immunity measuring

- apparatus and methods – part 4-2 Uncertainties, statistics and limit modelling – Measurement
- 5) CISPR16-4-2 Edition2.0 AMENDMENT1 (2014).
modelling – Measurement instrumentation uncertainty
- 6) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – part 4-2 Uncertainties, statistics and limit modelling – Measurement instrumentation uncertainty
- 7) CISPR16-4-2 Edition2.0 AMENDMENT2 (2018).
Specification for radio disturbance and

- immunity measuring apparatus and methods – part 4-2 Uncertainties, statistics and limit modelling – Measurement instrumentation uncertainty
- 8) Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), 1995
- 9) VCCI-VE012/2018 : EMI 測定装置の不確かさ, 一般財団法人 VCCI 協会 教育研修専門委員会
- 10) 軽部俊幸, 寺島潤一: 電磁波妨害測定の不確かさ評価, 長野県工業技術総合センター 精密・電子技術部門研究報告 No. 6, p61-65 (2011)

表1 伝導 EMI 測定 (EMI シールド室、電源ポート) の不確かさバジェットシート

入力量	Xi	値		確率分布k	除数	標準不確かさ u(xi)		備考
		+dB	-dB			+dB	-dB	
測定用受信機の読み	V _r	0.05	-0.05	長方形	√3	0.03	-0.03	測定ソフトウェアEP9CEは小数点第2位を四捨五入しているため±0.05
減衰量: AMN-測定用受信機間	a _c	0.23	-0.23	k=1	1	0.12	-0.12	SGとEMIレシーバにて測定、校正証明書よりSG:0.18,Rcv:0.43の合成不確かさを算出し採用
AMNの電圧分割係数	F _{AMN}	0.45	-0.45	k=2	2	0.23	-0.23	校正証明書よりVDFの校正不確かさ値を参照
測定用受信機の補正:								
正弦波電圧	ΔV _{SW}	0.51	-0.51	k=2	2	0.26	-0.26	ESW DataSheetよりPreselection=ON、ATT=10dBの値を参照
パルス振幅応答	ΔV _{pa}	1.50	-1.50	長方形	√3	0.87	-0.87	CISPRの値を採用
パルス繰り返し数応答	ΔV _{pr}	1.50	-1.50	長方形	√3	0.87	-0.87	CISPRの値を採用
雑音フロア近接	ΔV _{nf}	0.00	0.00	長方形	√3	0.00	0.00	VCCI-B(QP)限度値とノイズフロアの差=36dB程度確保できている。
AMN VDF周波数補完	ΔF _{AMNF}	0.10	-0.10	長方形	√3	0.06	-0.06	CISPRの値を採用
不整合、AMN-受信機	ΔM	0.01	-0.01	U字形	√2	0.01	-0.01	AMNとレシーバそれぞれの反射係数(校正証明書引用)より計算、中間経路は無視
AMNインピーダンス	ΔZ _{AMN}	2.60	-2.70	三角形	√6	1.06	-1.10	CISPRの値を採用
電源供給側からの妨害波の影響	ΔD _{main}	0.00	0.00	長方形	√3	0.00	0.00	CISPRの値を採用
環境の影響	ΔV _{env}	0.00	0.00	長方形	√3	0.00	0.00	CISPRの値を採用
合成不確かさ						1.66	1.69	
拡張不確かさ (k=2)						3.32	3.38	
U _{lab}						3.4 dB		
U _{CISPR}						3.4 dB		

表2 放射 EMI 測定 (大型電波暗室、30MHz ~ 1GHz、水平偏波) の不確かさバジェットシート

入力量	Xi	値		確率分布k	除数	標準不確かさ u(xi)		備考
		+dB	-dB			+dB	-dB	
測定用受信機の読み	V _r	0.05	-0.05	長方形	√3	0.03	-0.03	測定ソフトウェアEP7REは小数点第2位を四捨五入しているため±0.05
減衰量: アンテナ-測定用受信機間	a _c	0.23	-0.23	k=1	1	0.23	-0.23	SGとEMIレシーバにて測定、校正証明書よりSG:0.18,Rcv:0.43の合成不確かさを算出し採用
アンテナ係数 (Hybrid)	F _a	0.62	-0.62	k=2	2	0.31	-0.31	AF補正を前提とし、校正証明書より校正の不確かさ値を参照
プリアンプゲイン	G _p	0.18	-0.18	k=2	2	0.09	-0.09	SONOMA 310N校正証明書より校正の不確かさ値を参照
測定用受信機の補正:								
正弦波電圧	ΔV _{SW}	0.43	-0.43	k=2	2	0.22	-0.22	ESW DataSheetよりPreselection=OFF、ATT=10dBの値を参照
パルス振幅応答	ΔV _{pa}	1.50	-1.50	長方形	√3	0.87	-0.87	CISPRの値を採用
パルス繰り返し数応答	ΔV _{pr}	1.50	-1.50	長方形	√3	0.87	-0.87	CISPRの値を採用
雑音フロア近接	ΔV _{nf}	2.70	0.00	長方形	√3	1.56	0.00	ノイズフロアとVCCI-B限度値との差の最小値: 6.3dB(uV/m)からCISPR16-4-2の表で換算
前置増幅器利得の不安定さ	ΔG _p	0.50	-0.50	長方形	√3	0.29	-0.29	データシートよりGain Flatnessの値を採用
不整合、測定経路	ΔM							
Hybrid(PAD)→RF Switch		0.04	-0.04	U字型	√2	0.03	-0.03	経路内の各要素から計算
RF Switch→プリアンプ		0.24	-0.25	U字型	√2	0.17	-0.17	経路内の各要素から計算
プリアンプ→RF Switch		0.24	-0.25	U字型	√2	0.17	-0.17	経路内の各要素から計算
RF Switch→EMIレシーバ		0.13	-0.13	U字型	√2	0.09	-0.09	経路内の各要素から計算
アンテナ補正值 (Hybrid):								
AF周波数内挿	ΔF _{af}	0.30	-0.30	長方形	√3	0.17	-0.17	CISPRの値を採用
AF高き偏差	ΔF _{ah}	1.00	-1.00	長方形	√3	0.58	-0.58	CISPR16-4-2 D12より、水平時の双円錐アンテナ/LPDAの悪いほうを採用
指向性差	ΔF _{adir}	0.20	-0.20	長方形	√3	0.12	-0.12	CISPR16-4-2 D12より、水平時の双円錐アンテナ/LPDAの悪いほうを採用
位相中心位置	ΔF _{aph}	0.34	-0.35	長方形	√3	0.20	-0.20	測定距離10m、30MHzが0.4m後方、1000MHzが0.4m前方として計算
干渉偏波	ΔF _{acp}	0.90	-0.90	長方形	√3	0.52	-0.52	CISPR16-4-2 D12より、水平時の双円錐アンテナ/LPDAの悪いほうを採用
平衡 (天地逆)	ΔF _{abal}	0.30	-0.30	長方形	√3	0.17	-0.17	CISPRの値を採用 (校正証明書/DataSheet記載なし)
現場補正值:								
サイトの不完全さ	ΔA _N	2.56	-2.56	三角形	√6	1.05	-1.05	NSA実測値(30-1000MHz)+2.20,-2.91(10m/H)より±2.56として計算
装置テーブル材料の影響	ΔA _{NT}	0.50	-0.50	長方形	√3	0.29	-0.29	CISPRの値を採用 (CISPR16-4-2 D10)
分離距離	Δd	0.01	-0.01	長方形	√3	0.01	-0.01	レーザー測距器を使用し±1cm以内に調整している。距離10mとして計算
テーブル高さ	Δh	0.10	-0.10	k=2	2	0.05	-0.05	CISPRの値を参照(±0.01m未満)
(OATSの場合の周囲影響)	ΔE _{amb}							
合成不確かさ						2.49	1.94	
拡張不確かさ (k=2)						4.97	3.87	
U _{lab}						5.0 dB		
U _{CISPR}						6.3 dB		

表3 放射 EMI 測定(大型電波暗室、30MHz~1GHz、垂直偏波)の不確かさバジェットシート

入力量	Xi	値		確率分布k	除数	標準不確かさ u(x _i)		VCCI講習会より 値の根拠	備考
		+dB	-dB			+dB	-dB		
測定用受信機の読み	V _r	0.05	-0.05	長方形	√3	0.03	-0.03	実測	測定ソフトウェアEP7REは小数点第2位を四捨五入しているため±0.05
減衰量：アンテナ-測定用受信機間	a _c	0.23	-0.23	k=1	1	0.23	-0.23	校正証明書or実測	SGとEMIレシーバにて測定、校正証明書よりSG:0.18, Rcv:0.43の合成不確かさを算出し採用
アンテナ係数 (Hybrid)	F _a	0.62	-0.62	k=2	2	0.31	-0.31	校正証明書	AF補正を前提とし、校正証明書より校正の不確かさ値を参照
ブリアンプゲイン	G _D	0.18	-0.18	k=2	2	0.09	-0.09	校正証明書	SONOMA 310N校正証明書より校正の不確かさ値を参照
測定用受信機の補正：									
正弦波電圧	ΔV _{SW}	0.43	-0.43	k=2	2	0.22	-0.22	校正証明書	ESW DataSheetよりPreselection=OFF、ATT=10dBの値を参照
パルス振幅応答	ΔV _{pa}	1.50	-1.50	長方形	√3	0.87	-0.87	CISPR	CISPRの値を採用
パルス繰り返し数応答	ΔV _{pr}	1.50	-1.50	長方形	√3	0.87	-0.87	CISPR	CISPRの値を採用
雑音フロア近接	ΔV _{nf}	2.70	0.00	長方形	√3	1.56	0.00	CISPR16-4-2の表から導く	ノイズフロアとVCCI-B限度値との差の最小値：6.3dB(uV/m)からCISPR16-4-2の表で換算
前置増幅器利得の不安定さ	ΔG _a	0.50	-0.50	長方形	√3	0.29	-0.29	カタログ値or実測	データシートよりGain Flatnessの値を採用
不整合、測定経路	ΔM								
Hybrid(PAD)→RF Switch		0.04	-0.04	U字型	√2	0.03	-0.03	計算	経路内の各要素から計算
RF Switch→ブリアンプ		0.24	-0.25	U字型	√2	0.17	-0.17	計算	経路内の各要素から計算
ブリアンプ→RF Switch		0.24	-0.25	U字型	√2	0.17	-0.17	計算	経路内の各要素から計算
RF Switch→EMIレシーバ		0.13	-0.13	U字型	√2	0.09	-0.09	計算	経路内の各要素から計算
アンテナ補正值 (Hybrid)：									
AF周波数内挿	ΔF _{af}	0.30	-0.30	長方形	√3	0.17	-0.17	CISPR	CISPRの値を採用
AF高さ偏差	ΔF _{ah}	0.30	-0.30	長方形	√3	0.17	-0.17	CISPR	CISPR16-4-2 D12より、水平時の双円錐アンテナ/LPDAの悪いほうを採用
指向性差	ΔF _{adir}	0.50	-0.50	長方形	√3	0.29	-0.29	CISPR	CISPR16-4-2 D12より、水平時の双円錐アンテナ/LPDAの悪いほうを採用
位相中心位置	ΔF _{aph}	0.34	-0.35	長方形	√3	0.20	-0.20	計算	測定距離10m、30MHzが0.4m後方、1000MHzが0.4m前方として計算
干渉偏波	ΔF _{acp}	0.90	-0.90	長方形	√3	0.52	-0.52	校正証明書orカタログ	CISPR16-4-2 D12より、水平時の双円錐アンテナ/LPDAの悪いほうを採用
平衡 (天地逆)	ΔF _{abal}	0.90	-0.90	長方形	√3	0.52	-0.52	カタログ値or実測	CISPRの値を採用 (校正証明書/DataSheet記載なし)
現場補正值：									
サイトの不完全さ	ΔA _N	2.47	-2.47	三角形	√6	1.01	-1.01	NSA測定結果から計算	NSA実測値(30-1000MHz)+2.20,-2.91(10m/H)より±2.56として計算
装置テーブル材料の影響	ΔA _{NT}	0.50	-0.50	長方形	√3	0.29	-0.29	実測or無視	CISPRの値を採用 (CISPR16-4-2 D10)
分離距離	Δd	0.01	-0.01	長方形	√3	0.01	-0.01	偏差から計算	レーザー測距器を使用し±1cm以内に調整している。距離10mとして計算
テーブル高さ	Δh	0.10	-0.10	k=2	2	0.05	-0.05	偏差から計算orCISPR基準採用	CISPRの値を参照(±0.01m未満)
(OATSの場合の周囲影響)	ΔE _{amb}							なし	

合成不確かさ	2.47	1.92
拡張不確かさ (k=2)	4.94	3.84
U_{lab}	4.9 dB	
U _{CISPR}	6.3 dB	

表4 EMC評価ラボ 放射/伝導 EMI 測定の不確かさ

試験室	項目	条件	U _{lab} (不確かさ値)	U _{CISPR} (参考値)
大型電波暗室	放射EMI測定	30~200MHz 水平偏波 距離10m バイコニカルアンテナ使用	4.0 dB	6.3 dB
		30~200MHz 垂直偏波 距離10m バイコニカルアンテナ使用	4.0 dB	6.3 dB
		200~1000MHz 水平偏波 距離10m ログペリアンテナ使用	4.0 dB	6.3 dB
		200~1000MHz 垂直偏波 距離10m ログペリアンテナ使用	4.0 dB	6.3 dB
		30~1000MHz 水平偏波 距離10m ハイブリッドアンテナ使用	5.0 dB	6.3 dB
		30~1000MHz 垂直偏波 距離10m ハイブリッドアンテナ使用	4.9 dB	6.3 dB
		1GHz~6GHz 水平偏波 距離3m	4.7 dB	5.18 dB
		1GHz~6GHz 垂直偏波 距離3m	4.7 dB	5.18 dB
大型電波暗室	伝導EMI測定	電源ポート 単相AMN使用	3.4 dB	3.4 dB
		通信ポート 通信AAN(Cat.3)	4.2 dB	5.0dB
		通信ポート 通信AAN(Cat.5)	4.6 dB	5.0dB
		通信ポート 通信AAN(Cat.6)	3.4 dB	5.0dB
EMIシールド室	伝導EMI測定	電源ポート 単相AMN使用	3.4 dB	3.4 dB
		通信ポート 通信AAN(Cat.3)	4.2 dB	5.0dB
		通信ポート 通信AAN(Cat.5)	4.6 dB	5.0dB
		通信ポート 通信AAN(Cat.6)	3.4 dB	5.0dB

U_{CISPR}(参考値) : VCCI32-1-3:2016 より引用

画像処理を用いた製造ライン監視システムの開発*

菊池 貴**、長谷川 辰雄**、大和田 功***、寒川 陽美***

製造現場における IoT を活用した生産性向上への取り組みとして、これまで光センサを用いて製造ラインの稼働状況を監視するシステムを開発してきた。しかし、従来システムは安価で簡易な構成であるが、稼働と停止に対応した光源の監視に留まっており、適用範囲が限定されていた。そこで、製造ラインの画像から稼働状態の判別と停止原因に関する情報を同時に取得するシステムを開発した。

キーワード：画像処理、IoT、センサネットワーク、装置監視、スマート工場

Development of monitoring system using image processing for production line

KIKUCHI Takashi, HASEGAWA Tatsuo, OWADA Isao and SANGAWA Harumi

Key words: Image Processing, IoT, Sensor Network, Equipment monitoring, Smart Factory

1 緒 言

第4次産業革命を背景とした技術革新や情報社会が進展しており、製造業ではIoT (Internet of Things) を活用した生産性の高い工場の実現が期待されている^{1)~3)}。これまで岩手県工業技術センターは有限会社イグノスと共同で、工場の生産設備の監視を目的とした安価で簡易な製造ライン監視システムの開発^{4),5)}を行ってきた。平成30年度は試作システムを用いて鋳造工場における製造ラインの稼働状態の可視化⁶⁾や電子基板製造工場やワイヤ製造工場の製造ライン監視の実証実験を行ってきた。

従来システムは、製造ラインのパトランプやスイッチランプなどの光源の明滅を光センサで取得し稼働状況を監視していた。しかし、この方式では稼働/停止に対応する光源が無いラインには適用できない。さらにセンサ値だけではラインの停止は検出できるが、停止原因が把握できないことも課題となっていた。

筆者らは、この課題を解決するためには、製造ライン

の稼働状態に関する情報を「画像」として取得し、画像処理技術を用いて検知する手法が有効と考えた。そこで製造ラインの画像を自動的に取得し、画像処理によって稼働状況と停止原因に関する情報を取得するシステムを開発し、恒温恒湿槽を用いた実証実験を行った。以下に、その結果を報告する。

2 製造ライン監視システムの開発

2-1 監視システムの概要

図1に本研究で開発した製造ライン監視システムのブロック図を示す。本システムは画像撮影装置と稼働監視サーバーの2つから構成されている。画像撮影装置では、カメラによる撮影、画像取得、サーバーへの無線通信を行う。また稼働監視サーバーでは、画像の受信、画像処理、稼働/停止の判別、グラフ表示、記録を行う。

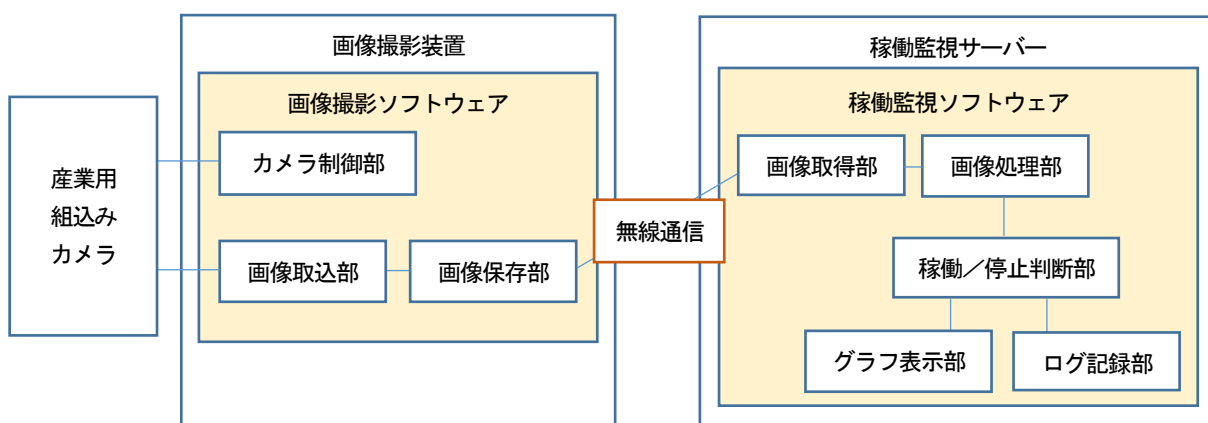


図1 装置監視システムのブロック図

* 令和元年度いわてものづくりイノベーション推進事業

** 電子情報システム部

*** 有限会社イグノス

表1 画像撮影装置の主な構成部品と仕様

構成部品	仕様
Windows10 IoT シングルボード コンピュータ	CPU: Intel Cherry trail Z8350 クアッドコア 1.8GHz プロセッサ RAM: 4GB DDR3 ストレージ: 64GB eMMC OS: Windows10 Enterprise 2016 LTSC Wi-Fi: 802.11n 2.4GHz
産業用組込みカメラ	撮像素子: 1/4 インチ CMOS カラーセンサ ローリングシャッター 解像度: 640×480 pixels フレームレート: 30fps 出力信号形式: USB2.0 (YUV/MJPEG)



図2 画像撮影装置の試作機

2-2 画像撮影装置の開発

画像撮影装置には Windows10 IoT シングルボードコンピュータを採用し、Windows10 の OS で、カメラ制御、画像の保存、無線通信の各機能を容易に可能にしている。カメラには、UVC (USB Video Class) インタフェースに対応した産業用組込みカメラを採用しており、専用のドライバや画像取込みソフトが不要である。

本システムでは、稼働監視サーバー1 台に対して、画像撮影装置は 4 台まで設置可能である。画像撮影装置が複数の場合、パケット衝突を避けるため、画像は一旦画像撮影装置に保存する。そして必要に応じて稼働監視サーバーが各画像撮影装置に問い合わせを行い、画像ファイルを取得する。画像撮影装置の主な仕様を表1に、試作機を図2に示す。

2-3 画像処理機能の開発

画像を用いた装置監視では、装置の停止や異常に関する情報を取得するために、従来の稼働/停止の判別に加えて、数値の読み取りや特徴点の位置検出が行える様にしている。本システムでは、以下の5つの基本機能を開発した。

(1) 文字認識と数値の読み取り

画像内の任意の位置を指定し、その範囲内に対して



図3 卓上の実験環境

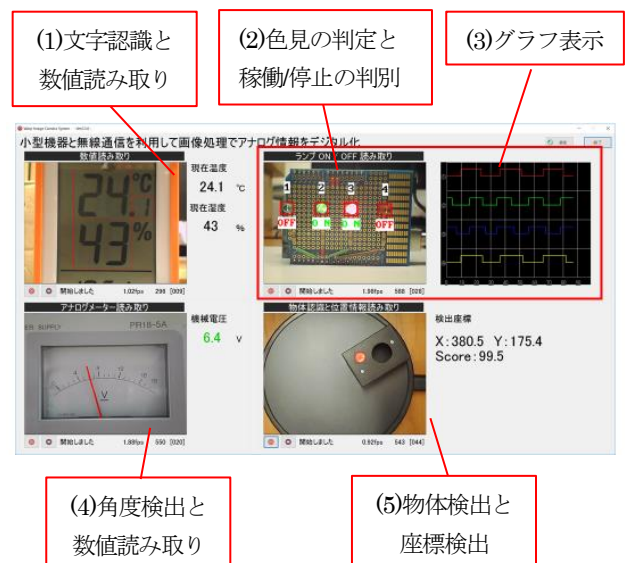


図4 卓上実験における監視画面の例

OCR (Optical character recognition) を適用し、文字を認識する。ここで得られた文字から必要な数字だけを抽出し数値データを取得する。

(2) 色味の判別と稼働/停止の判別

画像内の任意の位置を指定し、その範囲内の画素値の RGB 値を抽出する。抽出した RGB 値に対し予め登録した稼働/停止に対応するランプや操作液晶パネルの RGB 値を照合し、装置の稼働/停止を判別する。

(3) グラフ表示

(1) で得られた稼働/停止データについて、折れ線グラフを作成し、表示する。

(4) 角度検出と数値読み取り

撮影画像に対してアナログメーターの針の長さや移動範囲を指定し、針の位置から角度を検出する。予め登録したアナログメーターの最小値と最大値と針の角度を比較し、アナログメーターの数値を算出する。

(5) 物体検出と座標検出

検出対象とする物体の画像を予め登録し、撮影した



(a) 停止中 (緑色) (b) 稼働中 (赤色)

図5 監視対象となる操作液晶パネルの稼働/停止ボタン



図6 実証実験における監視ソフトウェアの画面の例

画像に対しパターンマッチングを行う。マッチング結果から物体の座標とマッチングの適合率を算出する。上記の機能について、図3に示す簡易な卓上実験環境を用いて動作検証を行い、正常に動作していることを確認した。図4に実験中のソフトウェア画面の例を示す。

3 実証実験

3-1 実験条件および実験手順

ライン監視システムを模擬して試作した装置監視システムを用い、恒温恒湿槽 (Eyn-4HA-7 IMV 社) の監視実験を行った。監視のため取得する画像は同装置の操作液晶パネルとした。

実験では、撮影した画像ファイルに対して画像処理を行い、稼働/停止の操作ボタンのON/OFFを判別し、結果をファイルへ出力させた。稼働/停止の操作ボタンは図5の赤丸で示すように、停止中は緑色、稼働中は赤色で表示されるため、本実験では色味判定の機能を用いた。

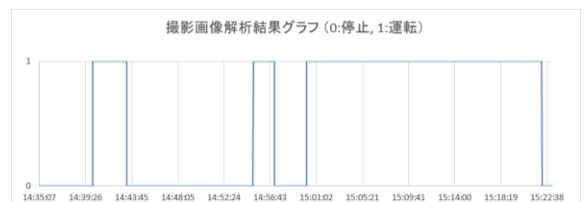
実験では、最初に恒温恒湿槽の操作液晶パネルをカメラで撮影し、その後、表2に示す手順に従い手作業で稼働と停止を切り替える。本実験では、室内環境の光量変化による影響についても評価するため、室内照明が全灯および全消灯の2種類について実施した。監視ソフトウェアの画面を図6に示す。稼働/停止の判別結果は、図6の下部に示す稼働/停止ログを参照し、表2の手順と

表2 実証実験における操作手順

時間	操作液晶パネル	室内照明
14:35	停止	点灯
14:36	停止	消灯
14:40	稼働	消灯
14:43	停止	消灯
14:45	停止	点灯
14:55	稼働	点灯
14:57	停止	点灯
15:00	稼働	点灯
15:02	稼働	点灯
15:04	稼働	消灯
15:10	稼働	点灯
15:21	稼働	消灯
15:22	停止	消灯

表3 実証実験における撮影条件

実験日時	2020年1月8日 14:35~15:23
実験場所	岩手県工業技術センター共同研究室
撮影対象	恒温恒湿槽 (Eyn-4HA-7 IMV) 操作液晶パネル
PC (稼働監視サーバー)	Surface Pro 4 (OS Windows10)
撮影間隔	1.0fps
カメラ露光時間	3300 μ s (マニュアル設定)
カメラホワイトバランス	自動



(a) 稼働/停止判別結果



(b) 実際の稼働/停止状態



(c) 室内照明の状態

図7 実験結果のグラフ

比較して ON/OFF の判別が行われているかを確認した。撮影条件を表3に示す。

3-2 実験結果と考察

恒温恒湿槽の監視実験の結果を図7に示す。図7(a)は本監視システムによる稼働/停止の判別結果、図7(b)は表2に示した実際の稼働/停止の状態、図7(c)は同じく表2に示した室内照明の状況を示している。

図7(a)と図7(b)の比較から正しく稼働/停止が判別されていることを確認した。また図7(c)に示すように室内照明を変化させたが、今回の実験においては、室内照明による影響は確認されなかった。

しかし稼働/停止の切り替え作業において、稼働/停止ランプと作業者の手が重なることで、一時的に稼働状態を停止状態と判断される場合があることを確認した。

稼働と停止の切り替え作業中の画像を図8に示す。本実験では、切り替え作業の時間が短かったためログデータへ反映される前に誤認識状態が解消されたが、作業者の手が長時間映り込む場合の対策として、稼働と停止以外に「作業中」などの状態を追加する必要がある。

またカメラの露光時間の設定にあたり、マニュアル設定と自動設定の双方の取得画像の比較を行った。比較画像を図9に示す。マニュアル設定の場合、点灯時と消灯時の稼働/停止ボタン差異は小さいことを確認した。一方の自動設定の場合は、画像全体に白みがかっており、操作液晶パネルにおける赤ランプ部分でハレーションが発生するなどのノイズを確認した。この結果から、画像処理による認識率の低下を避けるために、特に露光時間の設定は重要であり、求める画像に合わせた調整が必要であることがわかった。

4 結 言

本研究では、画像を用いた製造ライン監視システムを実現するため、シングルボードコンピュータを用いた画像撮影装置および稼働状態を取得するための画像処理機能の開発と恒温恒湿槽による実証実験を行い、以下の成果を得た。

- ① 画像撮影装置の開発では、Windows10 IoT シングルボードコンピュータと産業用組込みカメラを用いて、画像取得、画像保存、無線通信の各機能を実現した。
- ② 画像処理機能の開発では、色味の判定を利用した稼働/停止の判別、文字認識による数値の読み取り、角度検出によるアナログメーターの数値の読み取り、物体検出による対象物の座標の特定を実装し、卓上実験において正しく動作することを確認した。
- ③ 実証実験では、恒温恒湿槽の稼働状態を監視し、操作液晶パネルの色味から稼働/停止状態を判別できることを確認した。また露光時間について、環境に合わせて設定することで画像のノイズを抑えられることを確認した。

今後は製造現場への試験的な導入を行い、長期運用時の認識率および信頼性について検証する予定である。ま



(a) 稼働/停止ボタン操作 (b) ポップアップメニュー操作
図8 稼働/停止の切り替え作業



照明点灯時 照明消灯時
(a) マニュアル設定



照明点灯時 照明消灯時
(b) 自動設定

図9 室内照明の点灯時、および消灯時の比較

た有限会社イグノスでは、本研究の成果を基に「Warp Image Camera System」として製品化を進めており、本センターもそれに向けた支援を行っていききたい。

文 献

- 1) 安部純一：ビッグデータを活用したものづくり現場のイノベーションを支援する「最強工場」、FUJITSU. 66、4、p62-68 (2015)
- 2) 久保田真、福田茂紀、野村佳秀、阿比留健一：IoTデータの処理・利活用を促進するダイナミックリソースコントローラー技術、FUJITSU. 67、2、p42-51 (2016)
- 3) 向殿政男：IoT時代におけるものづくり安全の動向、情報通信学会誌 vol. 34、1、p41-46、(2016)
- 4) 菊池貴、野村翼、千田麗誉：画像情報とセンサデータを組み合わせたハイブリッド環境測定システム、岩手県工業技術センター研究報告 第18号、7(2015)
- 5) 菊池貴、浪崎安治：IoTを用いた伝統工芸品の製造工程の改善支援、岩手県工業技術センター研究報告 第19号 (2016)
- 6) 菊池貴、高川貫仁、大和田功、寒川陽美：IoTを活用した製造ライン監視システムの開発、岩手県工業技術センター研究報告 第22号 (2019)

人物の移動予測システムに関する実用可能性調査*

長谷川 辰雄**

車載カメラを用いて歩行者を検知し、ドライバーに注意喚起する事故防止システムが実用化されているが、歩行者の進行方向を予測して衝突を防止するシステムは開発の途上にある。停止している歩行者がどの方向に進むかの予測は、未来の位置の観測値が得られないため経路予測を難しくさせている。本研究では、カメラ画像から人物の関節を抽出し、その関節座標の時系列変化から進行方向を予測する実用可能性について調査した。

キーワード：人物移動予測、関節抽出

Feasibility study of human movement prediction system

HASEGAWA Tatsuo

Key words : Human movement prediction, Human joint extraction

1 緒 言

カメラ動画から歩行者が未来の時刻にどの場所に移動するかは、その現時点での未来の位置の観測値が得られないため、予測を難しくさせている。また、監視カメラに使われる固定カメラや車載カメラのように移動するカメラなどは、カメラの用途ごとに画像処理の方法が異なり複雑化している。そのため、歩行者のみの情報だけでなく、建物や道路などの歩行者の周りに存在する環境画像と歩行者の姿勢推定を組み合わせる方法が提案されている¹⁻³⁾。ここでは歩行者のみの情報に着目し、歩行者のひざ関節の位置情報のみを使用して、左右方向への移動についての予測の可能性を調査した。

過去の人物姿勢推定は、人物を頭部、胴体、腕、足などのパーツに分け、画像内で各パーツのテンプレートをマッチングする方法で行われていたが、精度向上に課題があった。2017年に公開されたオープンソースソフトウェアのOpenPose⁴⁾は、ニューラルネットワークを用いた関節推定で精度を飛躍的に向上させた。

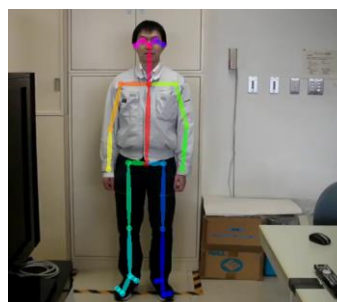
本研究では、関節の動きを用いた人物の移動予測の可能性を検証するための基礎データの取得を目的に、固定カメラとOpenPoseを用いて、人物関節座標の変化から左右移動方向の予測の可能性を調査した。

2 実験方法

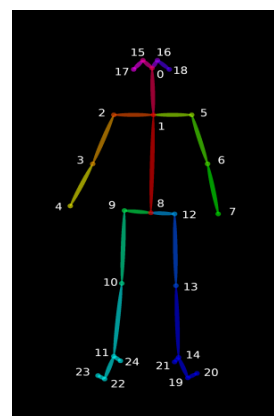
2-1 人物の姿勢推定方法

画像から人物の移動方向を予測するには、各関節の位置を推定し、その移動方向を把握する方法がある。本研究では、歩行の際に大きく変化すると予想されるひざの座標に着目し、OpenPoseを使用して歩行者の動画画像からひざの関節座標の変化を観察した。カメラ画像から人物の関節を推定する方法は幾つか提案されている。

OpenPoseはBottom-up手法と呼ばれ、画面全体の中から最初に関節箇所を全て推定した後に、その関節がどの関節なのかの関係性を決定する方法である。人が密集したシーンでも推定が可能であり、人物の動作の推定精度が良いとの報告⁵⁾があるため、今回採用した。



(a) OpenPoseの関節推定結果



(b) OpenPoseの関節番号

図1 OpenPoseによる関節位置推定

2-2 OpenPose

OpenPose法は人物関節座標を画像から推定する方法である。図1(b)に示す通り肩や肘など18~25カ所の関節座標を推定できる特長がある。OpenPoseのニューラル

* 平成31年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ

** 電子情報システム部

ネットワークの構造は、VGG-19⁹⁾の畳み込み層16と全結合層3の全19層で構成されている。また、人物の関節がどのあたりに分布しているかを示す信頼度マップを、画像の特徴量を用いて関節の位置が特定できるような出力として得られることが特徴である。

図1(a)はOpenPoseによる25カ所の関節推定の結果であり、図1(b)は関節番号と各関節の接続を色別で表している。実験では、歩行する際のひざの位置(図1(b)の10番と13番)に着目し、これら左右のひざの座標位置を計測した。

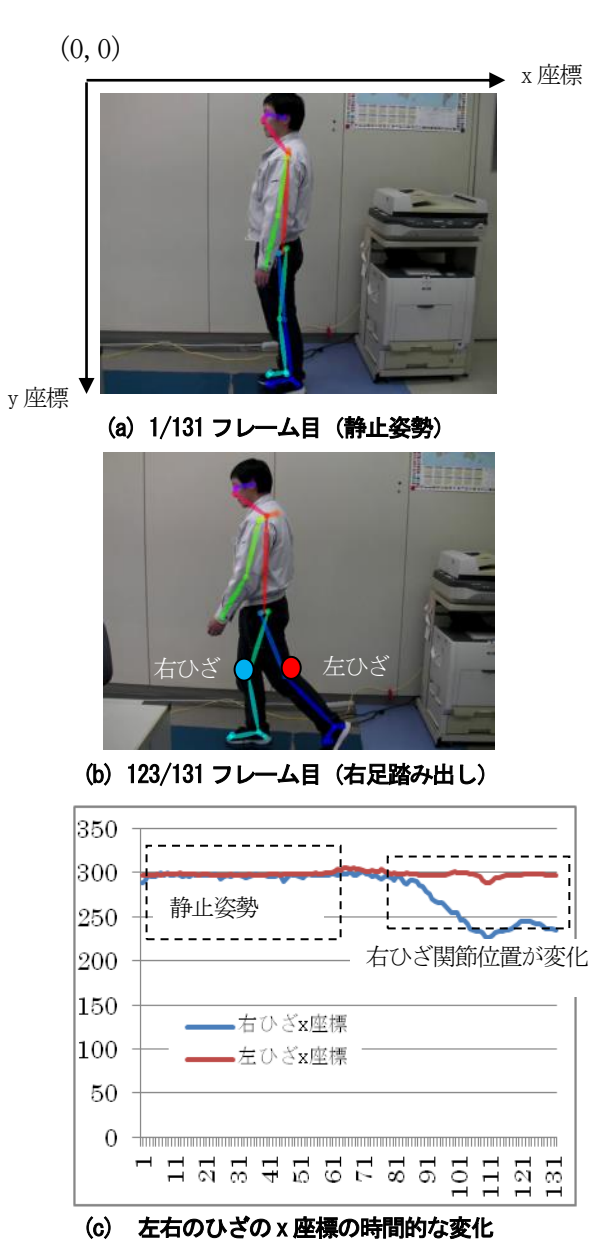


図2 右向き姿勢で右足を踏み出した関節位置の変化

3 実験結果

歩行の際に大きな変化が予想されるひざの位置について、静止状態から一步踏み出した際のひざ関節座標を取得し、歩行者の進行方向が推定可能かを調査した。

人物の左右のそれぞれの静止姿勢から、足を一步踏み出した動画を撮影し、左右のひざ関節座標のグラフ化を行った。図2(a)は右向きの静止姿勢を示しており、図2(b)は右足を一步踏み出した両ひざの座標位置を示している。また、図2(c)は左右のひざの x 座標値の時間的な変化を表しており、右ひざの x 座標が負の方向に増加していることが分かった。同様に図3(a)~(c)は左向きの静止姿勢から左足を一步踏み出した時の左右のひざの座標位置を示しており、左ひざの x 座標が正の方向に増加していることが分かった。

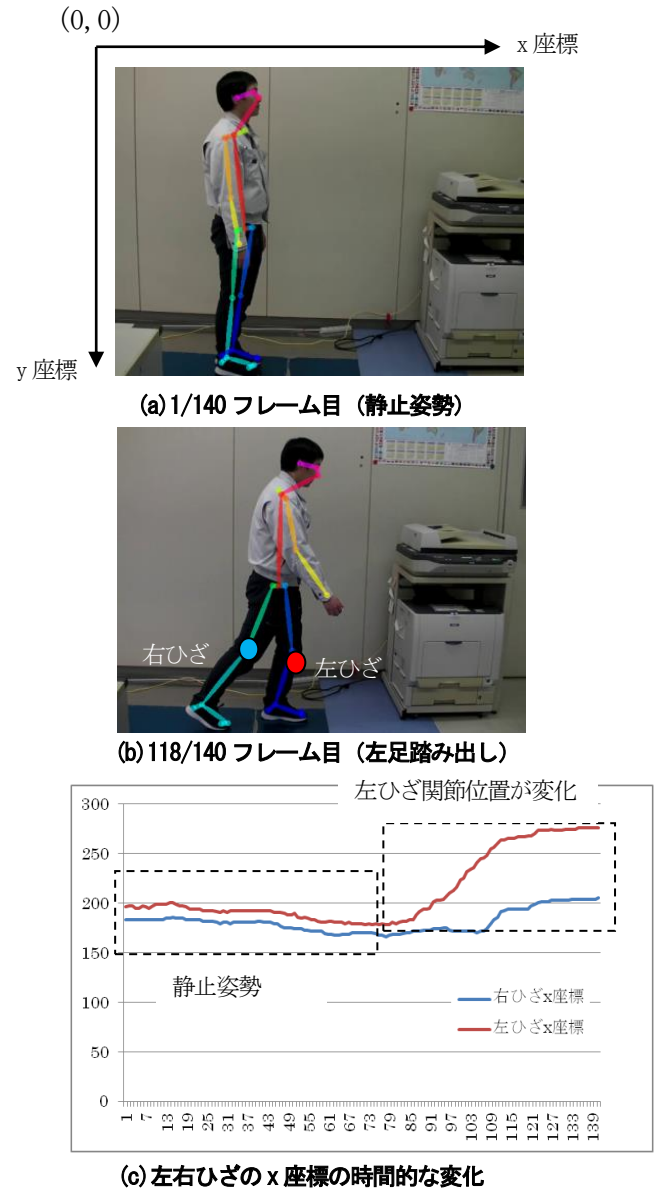


図3 左向き姿勢で左足を踏出した関節位置の変化

4 考察

固定カメラと OpenPose 法を使用して、人物の左右ひざの関節位置を取得し、両ひざ関節の x 座標の正負方向の増減を測ることで、左右の進行方向の推定が可能であることが分かった。しかし、実際には斜め方向や後ろ方向に進む場合など、さらに細かく進行方向を分類して

関節データを取得し解析する必要がある。

また、少数であるが数フレームで関節データが欠損する問題が発生した。データ欠損は画像ノイズが主な原因であり、OpenPose の AI 学習用のデータを網羅的に準備して精度を向上させる方法もあるが、多様な人物の関節を全て網羅することは不可能である。現実的には数フレームの欠損を補正するために、カルマンフィルタのような過去のデータで欠損値を補完する方法が必要である。今回の実験では基礎的な姿勢のため、データ欠損が少なくデータ補完は実施しなかった。

OpenPose 法を商用利用する場合、年間約 280 万円(2018 年時点)のライセンス使用料が発生するため、中小企業の導入が容易ではない問題がある。今回は性能の良さから OpenPose 法を選択したが、無償で商用利用が可能な PoseNet や deep-high-resolution-net を使用することで開発コストを減らすことが可能と考えられる。しかし、これらのソフトウェアは OpenPose 法に比べて、使い方が難しく、開発時間がかかるデメリットがある。

以上の調査の結果、開発コストを抑えて実用化をする場合は、PoseNet や deep-high-resolution-net の使い方習得及びその性能評価のための時間が必要と考える。

5 結 言

人物の行動予測の可能性調査として、歩行者の進行方向を OpenPose 法の関節座標取得で検証した結果、人物の右向き、左向きの基本姿勢に限って推定可能であることが分かった。今回は人物関節を検出し易い左右の姿勢で検証したが、カメラが捉える実際の姿勢は斜め方向や後ろ向きなど様々ある。また、カメラが移動する場合の調査も不足しており、現実的な人物の行動予測は本検証だけでは不十分である。過去の提案では、背景シーンと人物進行方向の抽出を組み合わせる手法が一般的となっており、リアルタイムの行動予測には人物以外の情報量が必要となることが分かった。

現状の人物の行動予測は、現時刻から未来の姿勢を予測するものではなく、移動している人物の時系列画像が継続すると仮定して、その数秒先の位置を予測するものである。これまで、このような人物の経路予測には再帰型ニューラルネットワーク RNN (Recurrent neural network) を用いた方法⁷⁾や、長期短期記憶素子 LSTM

(Long short-term memory) を使った方法⁸⁾が提案されている。しかし、これらは難易度が高いため挑戦的な課題となっている。これらの方法では 4~5 秒先の人物の行動位置を予測しており、先端的な予測手法を使っても数秒先の予測が現状となっている。

文 献

- 1) K. M. Kitani, B. D. Ziebart, J. A. Bagnell, and M. Hebert, "Activity forecasting," European Conference on Computer Vision, pp. 201-214, 2012.
- 2) S. Huang, X. Li, Z. Zhang, Z. He, F. Wu, W. Liu, J. Tang, and Y. Zhuang, "Deep learning driven visual path prediction from a single image," IEEE Trans. Image Process., vol. 25, no. 12, pp. 5892-5904, 2016.
- 3) A. Alahi, K. Goel, V. Ramanathan, A. Robicquet, L. Fei-Fei, and S. Savarese, "Social LSTM: Human trajectory prediction in crowded spaces," Comput. Vis. Pattern Recognit., pp. 961-971, 2016.
- 4) Z. Cao, T. Simon, S-E Wei, Y. Sheikh, "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", <https://arxiv.org/abs/1611.08050>, 2016.
- 5) 高崎智香子, 竹房あつ子, 中田 秀基, 小口 正人, "姿勢推定ライブラリ OpenPose を用いた 機械学習による動作識別手法の検討", DEIM Forum 2019
- 6) K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional net-works for large-scale image recognition," in *ICLR*, 2015.
- 7) S. Yi, H. Li and X. Wang, "Pedestrian Behavior Understanding and Prediction with Deep Neural Networks", Proc. of the 14th European Conference on Computer Vision (ECCV2016), pp. 263-279, 2016
- 8) A. Alahi, K. Goel, V. Ramanathan, A. Robicquet, L. Fei-Fei and S. Savarese, "Social LSTM: Human Trajectory Prediction in Crowded Spaces", Proc. of the 29th IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR2016), pp. 961-971, 2016

玉ねぎ裸種子対応播種機の性能向上*

箱崎 義英**、堀田 昌宏**、佐々木 崇人***

玉ねぎの増産に向け、農林水産省規格の汎用セルトレイや裸種子を利用可能とする玉ねぎ用播種機の開発を行ってきた。このたび、課題であった種子供給におけるシャッター機構での種子の挟み込み防止と播種スライド板への一定量の種子供給を達成した。また、1セル1粒播種の実現に向け、画像処理による種子の個数を認識させる種子認識モジュールを試作した。

キーワード：ロボット技術、播種、育苗、タマネギ

Performance improvement of seeding machine for non-coat onion seeds

HAKOZAKI Yoshihide, HOTTA Masahiro and SASAKI Takato

Key words : Robot technology, Seeding, Non-coat Seeds, Onion

1 緒 言

全国的に少子高齢化、生産年齢人口の減少による一次産業衰退の課題をかかえ、その解決のため、国・県はスマート農業を提唱し、ロボット技術や ICT (Information and Communication Technology) による生産性向上に向けた省力化、効率化を進めている¹⁾。

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構では、加工用玉ねぎの7~8月の端境期出荷を可能にする春まき栽培技術の確立を目指して、「東北・北陸地域における新作型開発によるタマネギの端境期生産体系の確立」の研究を行い、収益増加に向けた新たな経営品目の導入を推進している²⁾。また、岩手県では農業振興策として玉ねぎの田畑転換を推奨しており、育苗技術開発・大規模化・高収益化への取り組みが進められている。

玉ねぎの生産における収益向上のためには丈夫で均一な品質の苗を育てることが重要であり、セルトレイを用いた専用ハウスでの育苗が行われている。セルトレイへの玉ねぎの播種作業は、専用自動播種機を使用している。しかし、既存の自動播種機は、耕地面積が5ha以上の大規模経営体向けの大型装置であり、複数名の作業人員を要し、かつ高価である。岩手県は中山間地が多く農家の7割は耕地面積が2ha以下となっており、岩手の現状に合う中山間地域向けの播種機の開発が望まれている。

上記ニーズを踏まえ株式会社小林精機と共同でロボット技術を活用し、裸種子に対応した玉ねぎ用播種機の開発を行ってきたが、これまで試作した播種機では、播種スライド板への種子の供給が課題となっていた。

本研究では、一定量の種子を供給するために種子を一時貯蔵するストッカー形状の改良を実施した。また、1セルに1粒を確実に播種するため、画像処理による種子の個数を認識させる種子認識モジュールを試作した。

2 播種機の概要

既存の自動播種機では、扱いやすさから、図1に示すような不定形な裸種子を珪藻土等の造粒素材で丸粒状に成形した高価なコート種子を用いている。また、そのため播種機専用のトレイを利用しなければならず、生産コストの低減に課題がある。そこで筆者らは、図2に示す農林水産省規格の汎用セルトレイと裸種子が利用できる播種機の開発を行ってきた。



図1 種子(タマネギ)のタイプ

* 令和元年度いわてものづくりイノベーション推進事業

** 電子情報システム部

*** 株式会社小林精機

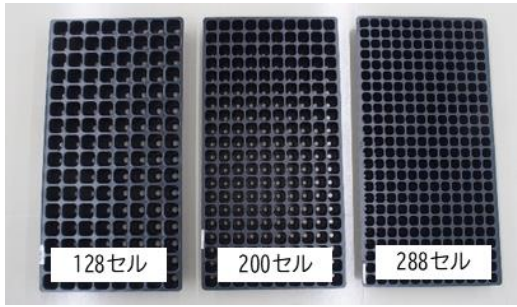


図2 農林水産省規格のセルトレイ



図5 播種スライド板とシューター

2-1 播種機構

図3に播種機構、図4に播種スライド板の種子保持部及び種子のピックアップの原理を示す。

播種スライド板は、ベース板上を同図A-B方向にスライドしながら種子をピックアップするものである。ピックアップされた種子は、シューターから落下し、セルトレイに播種される。

播種スライド板の種子保持部は、図4に示す様に窪みを設けた特徴ある形状をしている。種子保持部前方に集められた種子群を通過しながら1粒を保持し、トレイ短辺のポット個数分のみ取り出せるようになっている。

農林水産省規格のセルトレイを図2に示すが、128セル、200セル、288セルの3種ある。筆者らは、これらの短辺のポット数である8、10、12に対応する播種スライド板とシューターを開発した。これを図5に示す。播種スライド板とシューターが対になって3種類のセルトレイに対応できるようになっている。

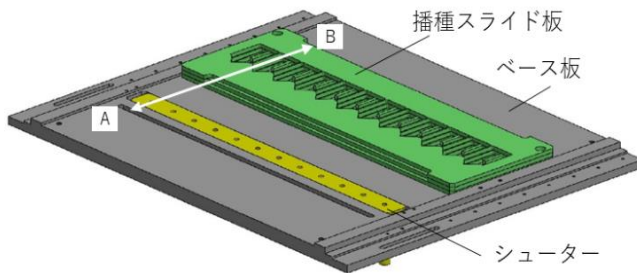


図3 播種機構

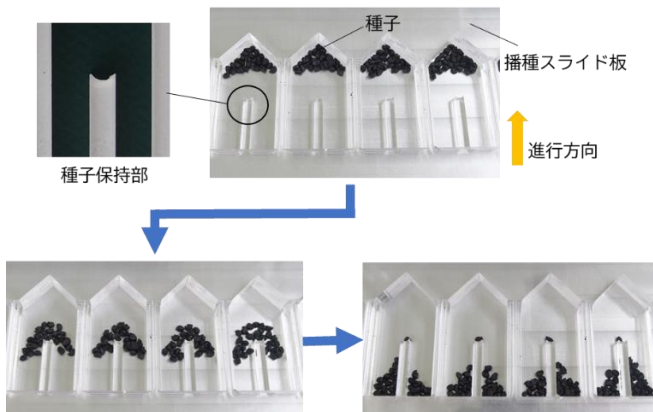


図4 裸種子のピックアップ原理

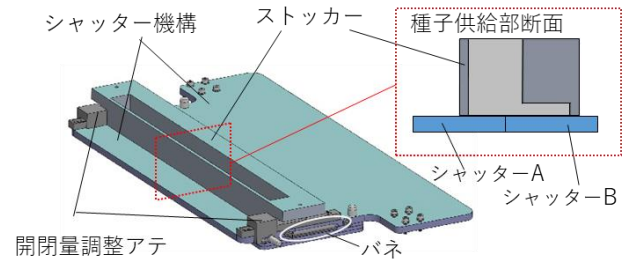


図6 種子供給機構

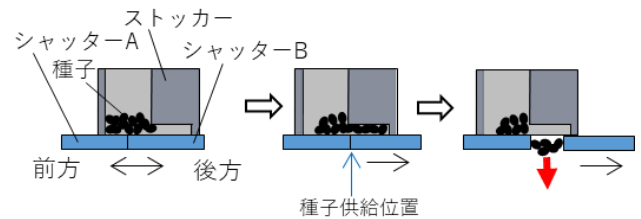


図7 種子の供給方法

2-2 種子供給機構

図6に種子供給機構を示す。種子供給部は播種スライド板へ種子を供給するものであり、シャッター機構及びストッカーで構成されている。またシャッター機構はシャッター-A とシャッター-B の二枚の板により構成され、バネによりシャッターは閉じた状態を維持しながらスライド動作が可能となっている。

図7に種子の供給方法を示す。ストッカー断面はL字型形状であり、シャッター機構の往復動作によりストッカー後方部へ種子を集める構造となっている。種子供給位置でシャッター-A は動作が固定され、シャッター-B がさらに後方に動作することでシャッターが開き、種子が落下して播種スライド板へ供給される。シャッター-A を固定する位置を変更することによりシャッター開閉量を変え、種子の供給量を調整することができる。

3 種子供給の改良

3-1 従来の課題

昨年度の研究で試作した播種機の動作検証を行ったところ、種子供給機構について、2枚のシャッター板の

間に種子の挟み込みが発生した。図8に示すように、本機構ではシャッター開閉量を調整するアテが左右同時にストッカーに接触し、シャッターを開閉する必要がある。しかし左右のアテの調整不足等により、シャッターが斜め状態で閉じる場合があり、これが原因と考えられる。また、播種スライド板の種子保持部の各区画は 1.1mm の壁を設けて区分けしているため、その壁上部に種子が落下せず留まることも原因の一つと考えられる。

播種スライド板の種子の供給は 1 区画につき 30 粒程度を目標にしていたが、各区画での供給量にバラツキが大きく、50 粒以上が供給される個所もあった。図9に種子を一時貯蔵するストッカーの下部形状を示す。図に示すようにストッカーには各区分けに対する仕切りがないため、バラツキが発生すると同時に、想定した供給量より多く供給されるものと考えられる。

これら、シャッター機構への種子の挟み込み防止と播種スライド板への一定量の種子供給については、ストッカー内への仕切りを設けることで対応することにした。

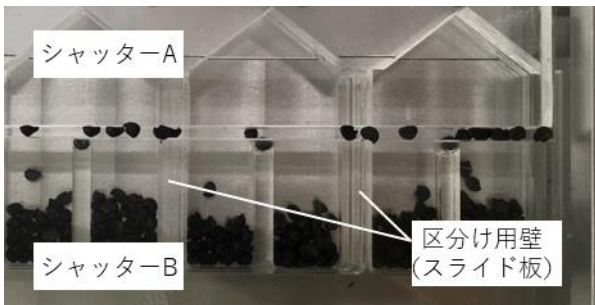


図8 種子の挟み込み



図9 ストッカー (下部形状)

3-2 ストッカー形状の改良及び検証

玉ねぎの裸種子の体積を 1 粒当たり 6mm^3 ($2\text{mm} \times 3\text{mm} \times 1\text{mm}$)、供給量に必要な体積を 200mm^3 (シャッター開閉量を 4mm) として、ストッカー内に仕切り壁を設けた。図10に改良したストッカー形状を示す。

種子のシャッターへの挟み込みについて検証を行ったところ、ストッカーに仕切り壁を設けることにより、スライド板の壁上部に種子が留まることが無くなり、挟み込みを防止できることを確認した。また、表1にシャッター開閉量に対する種子の供給量を示す。

シャッター開閉量を 4mm として種子供給量の体積を算出したが、ストッカー内部の指定領域に不定形な種子が密な状態に入るのではなく、隙間が存在して流れ込むため、種子供給量が想定した 30 粒とは大きく異なった。しかし、シャッターの開閉量を調整することで指定量の種子を供給できることが分かった。

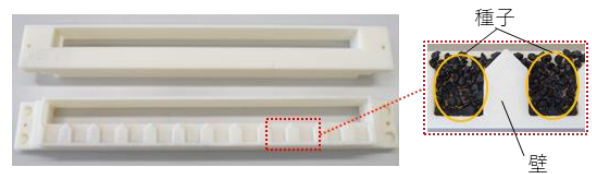


図10 改良したストッカー形状

表1 シャッターの開閉量に対する種子供給量

シャッター開閉量	1 区画への供給量 (平均)
4 mm	12 粒
5 mm	24 粒
6 mm	33 粒
7 mm	41 粒

4 種子認識モジュール

4-1 画像処理による種子の認識

播種スライド板の移動速度を調整にすることで 90% 以上の確率で 1 粒播種が可能であるが、一方、種子の抜けや 2 粒播種等の播種エラーも発生する。

昨年度の研究において、安価な Web カメラを活用し画像処理センシングにより種子の有無の認識が可能であることを確認した。しかし、玉ねぎのセルトレイ育苗では 1 粒播種が求められているが、2 粒以上となる場合の認識も必要となる。ここでは、取得した画像より種子のピクセルをカウントし個数を判別した。

図11に認識した結果を示す。1 粒以外の種子の認識が可能であり、画像処理によるセンシングで 1 粒播種を実現することができる。

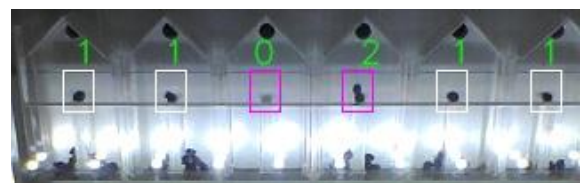


図11 種子の個数の認識結果

4-2 種子認識モジュール

種子認識モジュールは、播種作業時に種子をシューターからセルトレイへ落下供給する前に種子の判別を行って、エラー時にはスライドを停止させ、播種作業をリトライさせる機能である。

種子認識の画像処理はシングルボードコンピューターの Raspberry Pi を活用した。播種装置の制御はワンボードマイコンの Arduino で行っており、種子保持部が種子をトレイに供給するシューターの穴位置から 12mm 手前の位置でシングルボードコンピューターに指令して、画像処理を開始する。画像を取得してからスライド板の

種子保持部で保持している種子の個数を判別するまでの処理時間は 65ms である。試作した播種機の播種作業工程において画像処理の指令を出力してからシューター穴位置までスライドが移動する時間は約 120ms である。Raspberry Pi を1台で2つのカメラを利用して認識処理する場合には 130ms の処理時間が必要となる。この場合、種子をシューターからセルトレイへ落下供給する前にスライドを停止させることが不可能となるため、Raspberry Pi を2台活用し、同時に認識処理をさせることにした。図12に種子認識モジュールのブロックダイアグラムを示す。

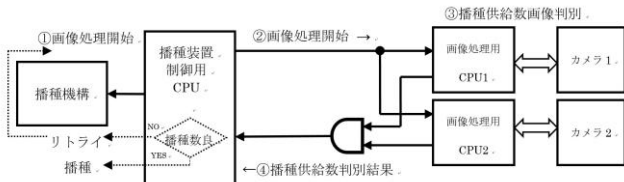


図12 ブロックダイアグラム

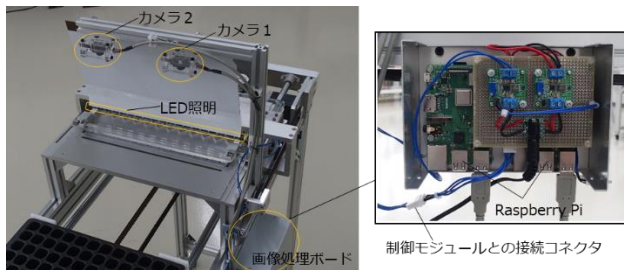


図13 種子認識モジュール

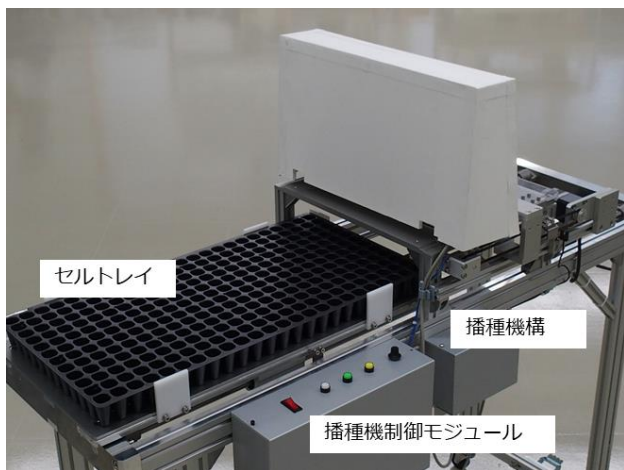


図14 播種機と種子認識モジュール

図13に種子認識モジュールを示す。種子認識モジュールと播種機の制御モジュールはコネクタケーブルで接続されており、容易に種子認識モジュールの取り外しが可能となっている。照明や外光等の外乱により種子認識

の精度が低下するため、種子認識モジュールはカバーで覆い、種子はLEDを用いて間接的に照明して認識を行う。

図14に種子認識モジュールを搭載した播種機を示す。播種作業工程における種子認識モジュールの動作検証を行ったところ、シューターからセルトレイへ種子を落下供給する前に確実に停止し、播種作業をリトライさせることができることを確認した。

しかし、播種スライド板は1回のスライドに対して、同時に12か所で種子を保持する構造であるため、1か所でも播種エラーとなる場合には、すべての保持部がリトライとなる。そのため、12か所すべてを1粒播種とするには複数回のリトライが必要となり、1トレイが完了するまでに時間が掛かるものとなった。1トレイ当たりの処理時間を1分以内としていたが、2分以上必要となる場合もあった。

種子保持部がすべて1粒播種となる確率を調査したところ、約35%であった。

種子認識モジュールを活用することで1粒播種は可能である。しかし種子保持部がすべて1粒播種となる確率を向上させるためには、種子保持部の形状の最適化やスライド動作速度の最適化などの検討が必要である。

また播種作業のリトライには種子認識モジュールは利用せず、1粒播種ではないセル位置を提示することへの利用も考えられる。

5 結 言

本研究では、玉ねぎの裸種子対応播種機において播種スライド板への一定量の種子の供給や、1粒播種の実現に向け、種子のセンシングについて検討し、改良を行った。

種子を一時貯蔵するストッカーへ仕切りを設けることにより一定量の種子の供給や、シャッター機構への種子の挟み込みを防止することが可能となった。

カメラを用いたセンシングにより種子の個数を判別することを確認し、種子認識モジュールを試作した。種子認識モジュールを活用し、1粒播種の実現が可能であることが分かった。しかし、1粒播種とするには播種作業のリトライが必要となるため、1トレイが完了するまで時間が掛かるものとなった。

本研究の成果は、農業振興の上でセル育苗の作業標準化や、省力化・自動化による生産性向上につながると期待される。今後、農業分野において広く周知を図ってきたい。

文 献

- 1) 農林水産省：スマート農業の実現に向けた取組と今後の展開方向について、(2016)
- 2) 農研機構：東北・北陸地域におけるタマネギの春まき栽培技術 技術解説編、(2016)

トマト授粉ロボット開発のための実現可能性調査*

長谷川 辰雄**、紺野 亮**

施設トマト栽培における授粉作業ロボットの開発を目指して、トマト花卉を自動認識し、花卉までの距離測定を行う方法について調査した。トマト花卉の自動認識は、色の特徴を捉えるためカラーカメラを用いた画像処理で行い、距離計測は、2つのカラーカメラで距離を計測するカラーステレオカメラと、1台のカラーカメラで近赤外線光の発光と受光までの時間を計測して距離を測るカラーTOFカメラの2種類を用いて行った。

キーワード：トマト花卉、距離計測

Feasibility study for tomato pollination robot

HASEGAWA Tatsuo and KONNO Ryo

Key words : Tomato petals, Distance measurement

1 緒 言

施設トマト栽培での受粉処理の自動化を想定した作業ロボットの開発を目標に、栽培環境下での花卉の認識と位置情報の取得方法について検討した。

トマトの収穫ロボットに関する研究¹⁻⁵⁾の多くは、トマトの認識にモノクロステレオカメラや3Dカメラ、赤外線カメラなどが用いられている。しかし、モノクロステレオカメラでは色認識と距離測定を同時に行うことが出来ない。そこで本研究では、色認識と距離測定を同時に行うことができるカラーステレオカメラとカラーTOF (Time Of Flight) カメラの2種類をセンサとして選定し、性能を評価した。

カラーステレオカメラは、2台のカラーカメラを使用して、三角測量の原理で距離を推定するものである。これには左右画像の対応点の特定を画像処理で行う必要がある。この対応点が決めれば、物体領域 (面積) の距離を取得することが出来る。カラーTOFカメラは、近赤外線光の照射とその受光カメラを用い、照射から反射までの時間を計測することで距離を測るものである。

この2種類のセンサを使用して、トマト花卉の自動認識精度と距離精度を検証した。

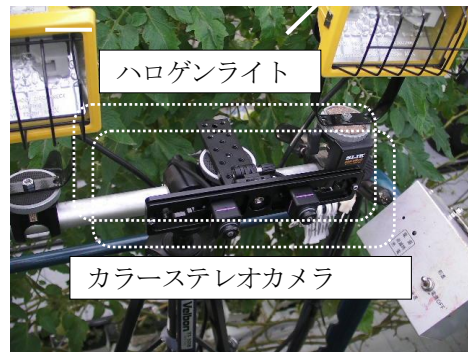
2 実験方法

2-1 花卉認識センサの選定

トマトの花卉を認識させるセンサとして、ステレオ計測が可能なカラーステレオシステム(アイエスエス(株))と、カラーTOFカメラ(パナソニックフォトライティング(株))の2台を選定した。なお、カラーTOFカメラの画像センサ(CCD)は、可視光波長と近赤外線波長をRGBフォーマットで取得できる特長がある。

実験では、図1に示す通り、カラーステレオカメラと

カラーTOFカメラを三脚に固定し、それをレール走行式作業台車に設置して計測を行った。この作業台を移動させながらトマト花卉が開いている場所に停止し、花卉の画像撮影とその距離計測を行った。夜間での作業を想定し、ハロゲンライト2台を三脚に固定している。実験は岩手県農業研究センターのトマト栽培圃場で実施した。



(a) カラーステレオカメラ



(b) カラーTOFカメラ

図1 センサの取り付け方法

* 平成30年度授粉作業ロボット開発のための実現可能性調査業務 岩手県農業研究センター委託業務

** 電子情報システム部

2-2 トマト花卉認識のための HSV 範囲設定

カラー画像からトマト花卉の黄色を抽出するには、色空間 (RGB、HSV、Lab、YUV 等) を選択する必要がある。一般的にカメラから得られる画像は RGB で構成されているが、人の色彩感覚で特定色 (黄色) を抽出するには、直観的で特定しやすい HSV 表色系が適している。HSV 表色系は、色の違いを表す色相 (Hue)、色の鮮やかさを表す彩度 (Saturation)、色の明るさを表す明度 (Value) の 3 つの値で表される。本実験では HSV 表色系でトマト花卉の黄色の抽出を行った。

トマト花卉の色抽出には、画像処理ツールの Matlab を使用した。カラーステレオカメラ及びカラーTOF カメラで撮影したトマト花卉画像について、カメラ画像の RGB を HSV に変換し、目視で花卉のみが抽出できるように、HSV 値の最大値・最小値の範囲指定を手作業で設定した。

トマト花卉抽出に使用した画像枚数を、表 1 に示す。また、カラーステレオカメラとカラーTOF カメラのそれぞれについて、Matlab ツールにより HSV 範囲の平均値を求めた。これを図 3 に示す。

表 1 トマト花卉色の HSV 平均値算出に使用した画像枚数

装置名	画像枚数 (日中)	画像枚数 (夜間)
カラーステレオカメラ	20 枚	7 枚
カラーTOFカメラ	16 枚	7 枚

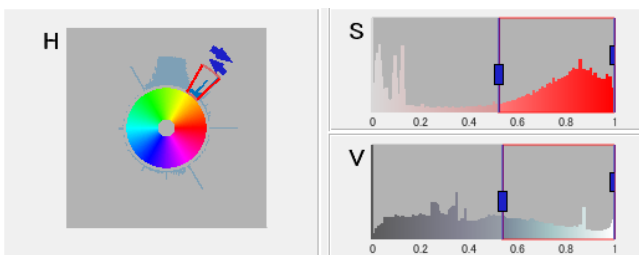


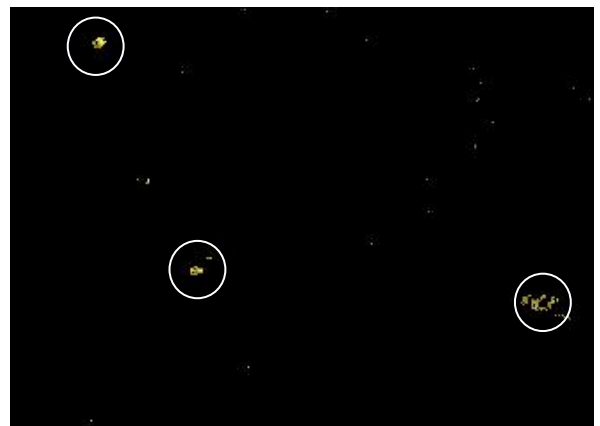
図 2 HSV の最小値・最大値の範囲設定画面

2-3 トマト花卉認識実験

トマト花卉の認識実験は、図 4(a) に示すトマト花卉の原画像に HSV 範囲指定処理を行った、同図 (b) の抽出画像について、図 5 に示すように 10 画素以上連結した集合体を花卉と定義して、実施した。また、10 画素未満の集合体はノイズと定義し、測定対象外とした。



(a) トマト原画像 (3 か所に花卉)



(b) HSV 範囲指定による花卉抽出

図 3 HSV による色抽出

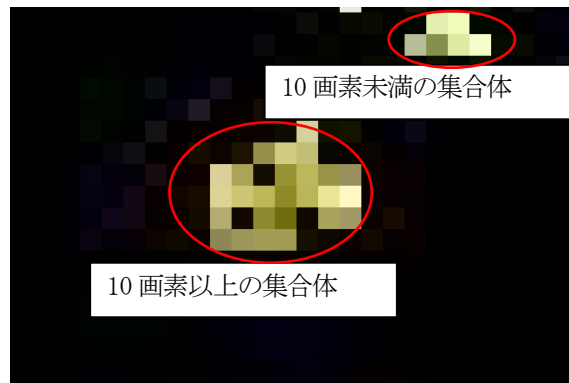


図 4 10 画素以上の集合体を花卉と定義

2-4 トマト花卉の距離測定

2-4-1 カラーステレオカメラによる距離測定

カラーステレオカメラによる距離測定は、図 6 に示すモニタ画面に表示されたトマト花卉をマウスクリックすると、その指定位置までの距離が画面に表示される。それを 3 回測定した平均値を実験値として記録した。



図5 カラーステレオカメラによる距離測定



(1) カラー画像

2-4-2 カラーTOFカメラによる距離測定

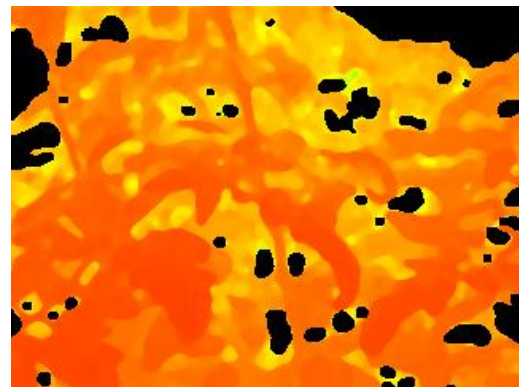
カラーTOFカメラによる距離測定では、測定したい距離の間隔や制限値などのパラメータを指定する必要がある。今回の実験での各種パラメータの設定を、表2に示す。図7は、カラーTOFカメラが出力する画像を示している。(1)カラー画像、(2)近赤外線画像、(3)距離画像の3種類が出力される。

表2 カラーTOFカメラのパラメータ

最小撮影距離(mm)	300
最大撮影距離(mm)	2000
距離制限(mm)	2000
オフセット値(mm)	0



(2) 近赤外線画像



(3) 距離画像

図6 カラーTOFカメラが出力する画像

3 実験結果

3-1 トマト花卉認識実験結果

表3は、トマト花卉の認識結果である。カラーステレオカメラの花卉認識率は、昼間85%、夜間100%であり、カラーTOFカメラの花卉認識率は、昼間44%、夜間0%であった。実験結果からカラーステレオカメラの認識率が高いことが分かった。ただし、誤認識数(昼間)はカラーステレオカメラで2.5個/画像、カラーTOFカメラで0.5個/画像となり、カラーTOFカメラの誤認識数が少なかった。誤認識とは、葉などを誤って花卉と認識したことを意味する。両装置とも評価したデータ数が少ない(16~20画像)ため、認識率の確からしさは低いと考えらえる。カラーTOFカメラの夜間認識ではハロゲン照明が強く、花と葉が同一色化したため、花の色が識別出来なかった。

表3 トマト花卉の認識結果

装置名 画素数	昼間		夜間	
	花卉 認識率 (%)	誤認識数 (個)	花卉 認識率 (%)	誤認識数 (個)
カラーステレオ カメラ97万画素	85	2.5	100	4.4
TOFカメラ 34万画素	44	0.5	0	—

3-2 トマト花卉の距離測定結果

カラーステレオカメラ及びカラーTOFカメラを使用した距離測定の結果を、表4に示す。表4の距離計測誤差とは、検出評価機の実出力値と巻き尺による測定値の差の平均値である。オフセット調整後とは、計測値から検出評価機の誤差平均値を差し引いて、距離計測の基準点を一定の値にシフト調整したものである。この結果、オフセット調整後のカラーステレオカメラの距離誤差は、昼間3.4cm、夜間3.1cm、カラーTOFカメラの距離誤差は、昼間1.4cm、夜間1.2cmとなった。両カメラとも昼と夜の差は無かったが、カラーTOFカメラの距離精度の方が良いことが分かった。

表4 検出評価機からトマト花卉までの距離測定結果

装置名	昼間		夜間	
	距離計測誤差 (cm)	オフセット調整後 (cm)	距離計測誤差 (cm)	オフセット調整後 (cm)
カラーステレオカメラ	4.4	3.4	4.3	3.1
カラーTOFカメラ	9.4	1.4	9.4	1.2

4 考 察

授粉ロボットが稼働する施設の作業空間の狭さを考慮し、センサはレール走行式作業車に搭載できる小型の装置を選定して、花卉認識と距離測定の検証実験を行った。カラーステレオカメラとカラーTOFカメラの両方とも、レール走行式作業車に設置して実験したことから、レール走行式の作業ロボットに搭載可能である。

今回は基礎的な評価であったため、実験データ数が16~20画像と少ないことから、実用的な性能を評価するにはさらにデータ数を増やして評価する必要がある。

また、カラーTOFカメラの花弁認識率が低かった原因は、解像度の不足の他に、自動露光や照明器具の影響があったと考えられる。このため、カラーTOFカメラの適切なパラメータ調整と、適切な照明器具の選択により認識率は向上すると思われる。

今回は夜間照明に照度の高いハロゲン照明を使用した。調光が可能なLED照明を使用すると、照度と露光時間の調整が可能になり、認識率の向上も期待できる。

5 結 言

カラーステレオカメラとカラーTOFカメラの2種類による花卉認識と距離測定の可能性を検証した。花卉認識では、解像度が97万画素のカラーステレオカメラで認識率85%の結果が得られた。一般的に、色認識では解像度

の高いカメラの認識性能が向上する。一方、解像度が34万画素のカラーTOFカメラの画像は、照度が低くなると画質が悪くなり、認識率が低下した。距離測定では、カラーTOFカメラの誤差とバラツキが小さく、安定した計測値を得ることが出来た。一方、カラーステレオカメラではバラツキが生じた。

トマト花卉の1輪の直径は約3cmである。2~3輪が1グループの集まりで咲くと考えると、1グループの大きさは5cm以上になる。そのため、花卉認識センサの選定については、距離誤差が3.4cmであることを許容すると、花卉の昼夜間の認識率の高いカラーステレオカメラが有効である。

文 献

- 1) 長谷川 英大, 内藤 健太, 須崎 健一, ”画像処理によるトマト果実の熟度判定”, 電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 2011.
- 2) 矢口裕明, 長谷川貴巨, 長濱虎太郎, 稲葉雅幸, ”収穫装置と視覚認識に着目したトマト自動収穫ロボットの構成法”, 日本ロボット学会誌, Vol. 36 No. 10, pp. 693-702, 2018.
- 3) 松本巧, 中村 効智, 友田 佳維, ”トマト収穫ロボットのエンドエフェクター及び画像処理システムの検証”, JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Fukushima, Japan, May 10-13, 2017.
- 4) 太田 智彦, 林 茂彦, 久保田 興太郎, 安食 恵治, 米田 隆志, 大塚 庄一郎, ”鏡面反射を利用したトマト果実の検出システム”, 農業機械学会誌, 67 巻, 6 号, p. 95-104, 2005.
- 5) 上垣 俊平, 荒木 秀和, 戸島 亮, 新崎 誠, 上田 大介, 山崎 龍次, ”環境認識にAIを用いたトマト収穫ロボット”, パナソニック技報, 64(1), 54-59, 2018.

リサイクル炭素繊維を利用した樹脂系複合材料の開発*

村上 総一郎**、鈴木 一孝**

炭素繊維強化プラスチック廃材から単離回収されたリサイクル炭素繊維の用途開発として、その特性評価および樹脂複合材料としての適用について検討した。その結果、リサイクル炭素繊維(RCF)は、樹脂との界面接着性に寄与する酸性官能基に富み、バージン炭素繊維と同等の結晶化度を有することを明らかとした。また、RCF表面を分子接合処理したRCFとポリアミド樹脂(ナイロン66)との複合材料は、未処理RCFのものと比較し、引張強度が1.4倍向上することを明らかとした。

キーワード : CFRP、リサイクル炭素繊維、分子接合技術

Development of Resin based Composite using Recycled Carbon Fiber

MURAKAMI Soichiro and SUZUKI Kazunori

Key words : CFRP, Recycle Carbon Fiber, Molecular Bonding Treatment

1 緒言

炭素繊維を補強材とする炭素繊維強化プラスチック(CFRP : Carbon Fiber Reinforced Plastics)は、軽量で高強度という特徴を有するため、鋼材に代わる軽量基幹材料として輸送機器を中心に幅広い分野で適用が進められている。特に航空機分野では、燃費および航続距離の向上を理由に、急速に需要が拡大しており、現在は構造質量の約50%がCFRPであると言われている。これに伴いCFRP廃材の排出量も年々増加しているが、通常の焼却炉での処理が難しいため、殆どが埋立て処理されている現状があり、CFRPのリサイクル技術の実用化が喫緊の課題であると言える。

CFRP廃材から炭素繊維を単離回収するリサイクル炭素繊維(RCF : Recycle Carbon Fiber)の製法について、多くの研究報告がなされている。例えば、熱分解法はCFRPのマトリックス樹脂を加熱分解させ炭素繊維を回収する製法であり、最も実用化に近いプロセスである。その反面、高温処理によるRCFの劣化、樹脂残渣が課題として挙げられ、用途が制限される可能性がある。これに対し、アイカーボン(株)が開発中の電気分解と酸アルカリ処理を組み合わせた製法(以下、酸アルカリ処理法と略す)は、それらの課題解決、原価低減、表面官能基の導入による界面接着性向上が期待される¹⁾。

我々はアイカーボン(株)との共同研究において、RCFの特性評価および好適な用途の開発を推進してきた。様々な原料との複合化に際しては、RCFの炭素と樹脂の接着性を高めるためのサイジング処理が必要となる。そこで、その処理技術として森らが開発した分子接合技術に着目し、その効果についても検討を行っている²⁾。分子接合

技術とは、図1(b)のように材料Aと材料Bとそれぞれ化学的に反応する官能基を持つ2官能性化合物X(分子接合剤)を用いて共有結合により平滑面同士を強固に接合するものであり、同種あるいは異種材接合技術として様々な工業分野への展開が図られている。本研究においては、RCFとマトリックス樹脂との界面接着性向上に伴う複合体強度向上への効果を期待するものである。

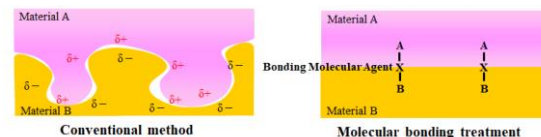


Figure 1. Schematic diagram of bonding mechanism

本研究では、①酸アルカリ処理法により製造されたRCFの特性評価として表面官能基分析や結晶構造解析、②RCFのサイジング処理としての分子接合処理(MBT : Molecular Bonding Treatment)を適用し、マトリックス樹脂として6,6-ナイロン樹脂(PA66)を用い、分子接合処理したRCF複合化による引張強度に及ぼす効果について検討したので報告する。

2 実験方法

2-1 供試材

樹脂材料は、ポリアミド樹脂(旭化成(株)、PA66、レオナTM1300S)を用いた。炭素繊維は、酸アルカリ処理法により製造されたRCF(アイカーボン(株)、ポリアクリロニトリル(PAN)系リサイクル炭素繊維、繊維長約2~5mm)、および比較材としてバージン炭素繊維CF-a、b、c(東レ(株))を用いた。なお、aは中弾性、b、cは高弾性グレード

* 平成30年度~平成31年度経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業

** 機能材料技術部

である。RCF 表面のサイジング処理には、分子接合剤(株)いおう化学研究所製、0.1%MB1015 水溶液)を用いた。

2-2 RCF の各種評価

RCF の表面官能基分析には、X線光電子分光分析(XPS)装置(KRATOS、AXIS-NOVA)を用い、X線源には単色化 Al α 線($h\nu = 1486.6 \text{ eV}$)を使用し、出力 15 kV-5 mA として分析した。RCF の結晶構造解析には、ラマン分光装置(Thermo Fisher Scientific、Nicolet Almega XR)を使用し、各試料 5 か所を測定し、その N5 平均スペクトルについて解析した。RCF 複合材料の引張試験には、50 kN 万能試験機(Instron、5982 型)を使用し、クロスヘッド移動速度 10 mm/min で試験した。RCF とマトリックス樹脂との界面接着性評価には、走査型電子顕微鏡(SEM: 日本電子(株)、JCM-600)を使用し、引張試験後の試験片破断面を観察した。

2-3 RCF 表面のサイジング処理

RCF 表面へのサイジング処理は分子接合剤に浸漬後乾燥し、水洗とした。RCF 表面への分子接合剤の導入は XPS 表面分析により確認した。

2-4 RCF 複合樹脂ペレットおよび試験片の作製

二軸押出機(株)テクノベル、KZW25-50MG)を使用し、260 °C、30 rpm で溶融混練し、複合樹脂ペレットを得た。なお、原料配合比は PA66/RCF = 95/5 (w / w%)とした。作製した複合樹脂ペレットは、インライン射出成形機(東芝機械(株)、IS100EN)を使用し、成形温度 260 °C、射出圧力 60 MPa にて、引張試験用に JIS K 7162 ダンベル 1A 形試験片(ゲージ部長さ 50 mm、幅 10 mm、厚さ 5 mm)を作製した。

3 結果および考察

表1は RCF およびバージン炭素繊維の C1s XPS スペクトルにおける表面官能基の解析結果を示す。いずれもグラファイト(B. E. = 284.5 eV)の他、酸性官能基として、C-OH (B. E. = 286.3 eV)、C=O (B. E. = 287.7 eV)、COOH (B. E. = 288.8 eV)が存在することが確認された。また、RCF はバージン炭素繊維に比べ COOH 量が増加していることから、分子接合剤との反応性向上、すなわち、樹脂との複合化における界面接着性に大きく寄与するものと思われる。

Table 1. Atomic concentration of RCF obtained from XPS

S/N	Atomic concentration ^a (a.c.%)			
	Graphite	C-OH	C=O	COOH
RCF	54.9	30.5	3.0	11.6
CF-b	35.4	37.6	26.8	0.2
CF-c	46.3	40.3	9.2	4.1

^a Estimated by peak separation of C1s spectrum for XPS analysis.

図2は RCF 表面のラマンスペクトルを示す。1350 cm^{-1} と 1580 cm^{-1} に、それぞれ、Dバンド、Gバンドに起因する

ピークが観測された。Dバンドは結晶構造の欠陥に、Gバンドは炭素電子の六員環の面内振動に帰属され、そのエリア面積比は炭素繊維の強度に影響されるため、黒鉛構造の欠陥(劣化)の程度がわかる。すなわち、相対的に Dバンドのエリア面積が大きいほど、構造欠陥が大きいことを意味する。そこで、バージン炭素繊維についても同様に2つのバンドが観測されたため、結晶性評価として G/D 比を算出し比較したが、試料間で有意差は認められなかった。一方、1480 cm^{-1} の Gバンドと Dバンドの間の谷部のピーク高さ (I_v) にわずかながら差が認められた。

Gバンドのピーク高さ (I_g) と I_v との比 (I_v / I_g) の比較

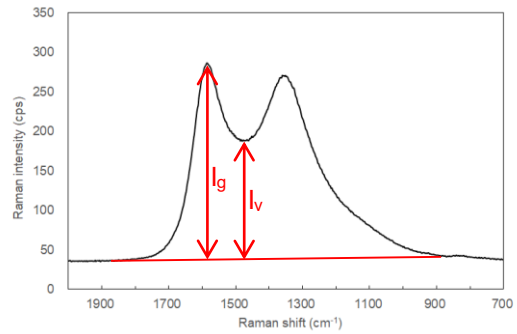


Figure 2. Raman spectrum of RCF

結果を図3に示す。RCF とその原料であることが予想される CF-c は、ほぼ同等の I_v / I_g を示したことから、RCF の酸アルカリ処理による繊維構造の欠陥はほぼないものと思われる。また、 I_v / I_g と繊維単糸の破断応力 σ (メーカーカタログより転記) との間には相関関係があることが確認された。すなわち、 I_v / I_g は単糸強度(≒結晶化度)を示すパラメータとして定義することが可能である。

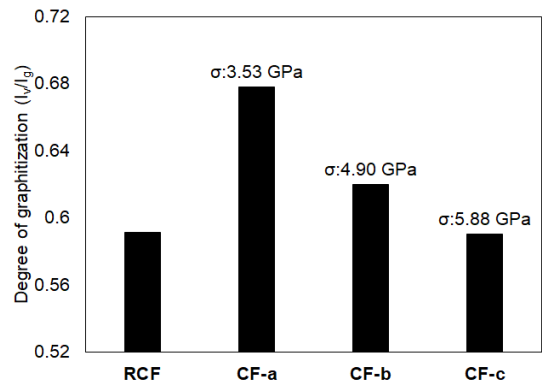


Figure 3. Degree of graphitization of RCF

RCF 断面における径方向の結晶性の分布評価として、断面中心から表層にかけて I_v / I_g を測定した。なお、RCF の直径はおおよそ 8 μm 程度であるのに対し、ラマン分光装置の空間分解能は最小で数 μm であるため、測定点が少なく測定精度に欠ける。そこで、図4に示すように試料断面を斜め切削法で長手方向の直径を 33 μm とし、見かけ上の空間分解能を上げて測定することとした。

図5は RCF の傾斜断面における断面中心から表層にかけて 1 μm 間隔で I_v / I_g を測定した結果を示す。表層に

かけて I_v / I_g は徐々に増加傾向にあることが確認されたことから、繊維中心から表層にかけて若干だが結晶化度が低下しているものと思われる。

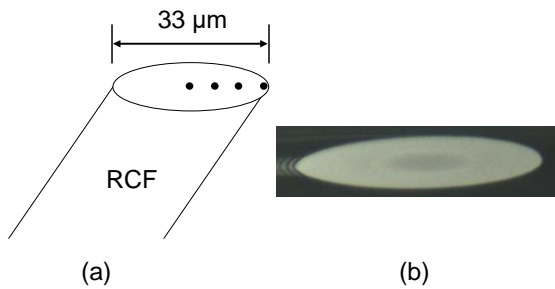


Figure 4. Preparation of sloped RCF in the radial direction (a) and the photograph

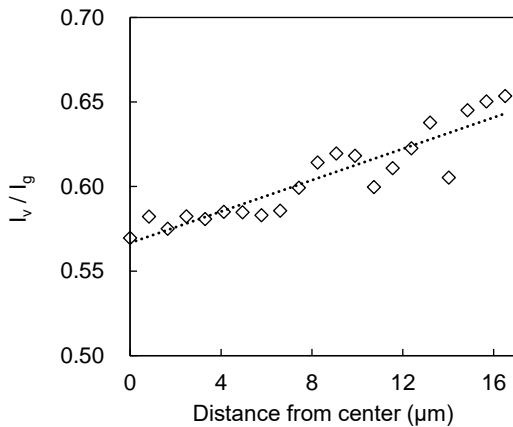


Figure 5. Graphitization of RCF in the radial-direction

RCF 複合化による引張強度への効果

図6は RCF を複合化した PA66 複合材料 (RCF/PA66) の引張試験の結果を示す。

PA66 の引張強度は 77.6 MPa であるのに対し、RCF を質

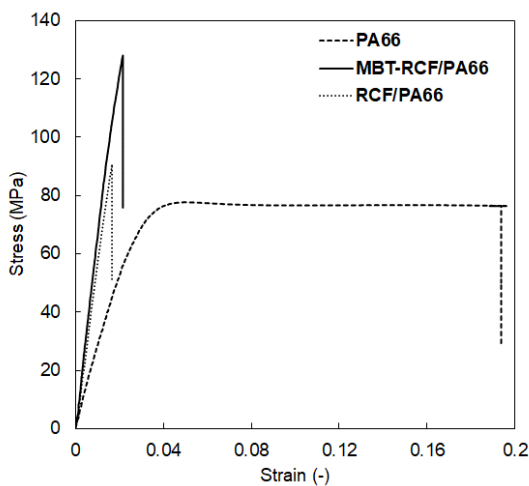
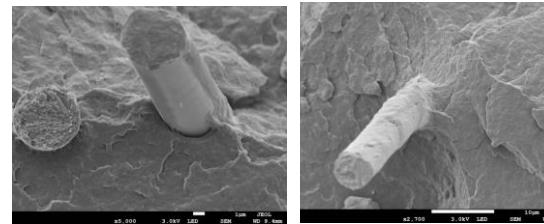


Figure 6. Stress-Strain curves of RCF composites

量比で 5% 配合した RCF/PA66 は 90.7 MPa の強度が得られた。さらに分子接合処理した RCF を用いた PA66 複合材料 (MBT-RCF/PA66) の引張強度は 127.9 MPa であり、PA66 に

対し 1.4 倍以上の強度向上が認められた。

図7は RCF/PA66 および MBT-RCF/PA66 における引張試験後の破断面の SEM 画像を示す。RCF/PA66 の場合は、RCF が PA66 から引き抜かれた跡とともに、繊維表面に付着している PA66 が少なく、繊維-樹脂界面の剥離が著しいことが観察できた。これに対して、強度が高かった MBT-RCF/PA66 は、繊維表面に樹脂がよく付着している様子が確認できた。以上のことより、分子接合処理が繊維と樹脂の界面強度の向上に大きく寄与し、その結果、界面剥離が抑制され、強度と破断ひずみが大きくなったと考えられる。



(a) RCF/PA66 (b) MBT-RCF/PA66

Figure 7. SEM image of fracture surfaces of RCF/PA66 (a) and MBT-RCF/PA66 (b)

4 結 言

RCF の表面官能基分析や結晶構造解析における特性評価および PA66 との熔融混練による複合化について検討し、以下の知見が得られた。

- (1) RCF 表面からは酸性官能基として、C-OH、C=O、COOH 基が観測され、バージン炭素繊維に比べ COOH 基に富むことが確認された。
- (2) RCF とその原料であることが予想される CF-c は、ほぼ同等の結晶化度を示したことから、RCF の製造過程における繊維構造への影響はほぼないものと思われる。
- (3) RCF の傾斜断面における径方向の結晶性の分布評価において、繊維中心から表層にかけて結晶化度が低下傾向にあることがわかった。
- (4) MBT-RCF/PA66 は、サイジング処理なし RCF/PA66 に対し、引張強度で 1.4 倍向上した。
- (5) MBT-RCF/PA66 の引張試験後の破断面観察から、表面に樹脂がよく付着している様子が確認され、分子接合処理が RCF 表面と樹脂の界面強度の向上に大きく寄与することがわかった。

謝 辞

本研究の一部は、経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業(平成 30 年度~平成 31 年度)の支援を受けて行われたものであり、ここに謝意を表す。

文 献

- 1) プラスチックス 7 月号, 32 (2018).
- 2) 八甫谷明彦, 森邦夫, エレクトロニクス実装学会誌, 23, No. 1, 2 (2020)

広葉樹パルプを活用した生分解性プラスチック積層型複合材料の開発*

樋澤 健太**、村上 総一郎**、桑嶋 孝幸***

岩手県産広葉樹パルプの新規用途開発として、岩手県産広葉樹パルプとポリ乳酸の積層型複合材料を作製し、複合材料の引張強度に及ぼすパルプの各種表面処理の影響について調査した。パルプの高圧ホモジナイザーによる物理的表面処理および分子接合処理による化学的表面処理については、複合材料の引張強度向上の効果が見られなかった。パルプのポリ乳酸溶液浸漬処理により、複合材料の引張強度はパルプ無添加のポリ乳酸と比べ約 1.2 倍増加した。

キーワード：パルプ、生分解性プラスチック、積層型複合材料

Development of biodegradable plastic laminated composite material from hardwood pulp

TOISAWA Kenta, MURAKAMI Soichiro and KUWASHIMA Takayuki

Key words : Pulp, Biodegradable plastic, Laminated composite material

1 緒言

木材は日本に数多く存在する植物資源であり、木材から作られるパルプは古くから印刷・情報用紙や家庭紙の原料として用いられてきた。しかしながら、近年のペーパーレス化に伴う紙媒体の需要低減から、製紙業界では新たな活用方法の提案が求められている。

一方で近年、地球温暖化や海洋プラスチック汚染等の環境問題の深刻化から、石油由来のプラスチックの代わりに植物由来または生分解性を有するプラスチック（バイオプラスチック）を活用する動きが盛んになっている。また、竹やケナフなどの繊維を強化材、バイオプラスチックを母材とする環境に優しい複合材料に関する研究が報告されている¹⁻³⁾。しかしながら、広葉樹由来のパルプを強化材とした報告は多くない。また、パルプを構成するセルロースは親水性であり一般的に疎水性のプラスチックとの接着性が低いため、複合化による補強効果を高めるには繊維表面を物理的または化学的に改質する等の方策が必要となる。

そこで本研究では、岩手県産広葉樹パルプを強化材、植物由来でかつ生分解性を有するポリ乳酸（以下、PLA という）を母材とした積層型複合材料の開発を行うこととした。本研究では、繊維表面のアンカー効果を期待したパルプの物理的表面処理や樹脂との界面接着性向上のための分子接合剤による化学的表面処理、さらには樹脂の含浸性向上のための樹脂浸漬処理を行い、各種処理が複合材料の機械的特性に及ぼす影響について調査した結果を報告する。

2 実験方法

2-1 供試材料

パルプには広葉樹由来の高漂白品（岩手県内製紙メーカー提供品、厚さ約 1 mm のシート状）を、PLA フィルムにはエコロジー（三菱ケミカル株製 SC302、厚さ 100 μm ）を用いた。表面処理剤として、分子接合剤（株いおう化学研究所製 MB1015 0.1 %水溶液、以下 MB 剤という）を用いた。PLA 溶液浸漬処理のための溶媒にはテトラヒドロフラン（富士フィルム和光純薬株製、純度 97.0 %、以下、THF という）を用いた。

2-2 複合材料の作製

2-2-1 パルプの離解処理

繊維の凝集を解すため、約 5 mm 角に切断したパルプを蒸留水中に 1.0 mass%添加し、ミキサー（株テスコム製 TM845、回転数 10,000 rpm）を用いて 10 min 撹拌した。

2-2-2 パルプの物理的表面処理

パルプ繊維のフィブリル化によるアンカー効果の発現を目的とし、以下の手順で物理的表面処理を行った。蒸留水中にパルプを 0.5~2.0 mass%添加し、離解処理を行った後、高圧ホモジナイザー（IKA 社製ウルトラタラックス T25）を用い回転数 20,000 rpm として 5 min 撹拌した。得られたパルプ水分散液を手抄きにより厚さ約 50 μm のフィルム状に加工した。

2-2-3 パルプの化学的表面処理

パルプ繊維と PLA との界面接着性の向上を目的とし、以下の手順で化学的表面処理を行った。離解処理後の

* 平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ

** 機能材料技術部

** 素形材プロセス技術部

1.0 mass%パルプ水分散液中に、MB 剤をパルプ固形分に対し 1.0~10 wt%となるよう滴下し、マグネティックスターラーにより 10 min 攪拌した。パルプ表面への MB 剤の付着量の評価は、X 線光電子分光分析装置 (株式会社島津製作所製 AXIS-NOVA、以下、XPS という) による表面分析から窒素元素の組成比を算出することで行った。

2-2-4 パルプの PLA 溶液浸漬処理

パルプ繊維表面への PLA の含浸性向上を目的とし、以下の手順で PLA 溶液浸漬処理を行った。離解処理後の 1.0 mass%パルプ水分散液を手抄きにより厚さ約 50 μm のフィルム状に加工した。次に、PLA フィルムを THF 溶媒中に PLA 濃度が 0.5~3.0 mass%となるよう溶解させ、得られた溶液中にフィルム状パルプを 3 min 浸漬させた後、オープン中 60°C で 30 min 乾燥させた。なお、MB 剤による表面処理後のパルプに対しても PLA 濃度を 0.5 mass% として同様に浸漬処理を行った。

2-2-5 パルプと PLA の複合化

パルプ/PLA 積層型複合材料は、各種表面処理を行ったフィルム状パルプを PLA フィルム 2 枚で挟み、小型ホットプレス機 (アズワン株式会社製 HC300) を用いて作製した。金型温度を 180°C とし、金型表面に PLA フィルムが接した状態で 1 min 保持した後に 0.1 MPa の加圧力で 3 min 保持し、その後冷却水により約 8.0°C/min で常温まで冷却し、厚さ約 200 μm の複合材料を得た。

2-3 複合材料の強度試験

作製した複合材料は、JIS K 7127 に規定されている試験片タイプ 5 の形状 (ゲージ長 25 mm、幅 6 mm のダンベル形状) の型を用いて打ち抜き加工し、引張試験機 (Instron 社製 5982 型) の試験速度を 10 mm/min とし引張試験を行った。また、走査型電子顕微鏡 (日本電子株式会社製 JSM-7100F、以下、SEM という) を用い、引張試験後の試験片破断面の観察を行った。

3 結果及び考察

3-1 物理的表面処理

図 1 に異なるパルプ固形分濃度で物理的表面処理を行ったパルプの SEM 像を示す。いずれの処理条件においても繊維表面の毛羽立ち (フィブリル化) の進行が確認された。また、フィブリル化度合いに関する定量的な評価として、パルプ水分散液の粒度分布測定および粘度測定を試みたが、いずれも固形分濃度による差異は確認できなかった。

図 2 に異なるパルプ固形分濃度で物理的表面処理を行ったパルプと PLA の積層型複合材料の引張試験の結果を示す。引張強度は、表面処理時のパルプ固形分濃度に依存しないことが分かった。図 3 には複合材料の引張試験後の破断面の SEM 像を示した。破断は軸方向と垂直に起きていた。また、繊維表面への PLA の付着があまり見られなかったことから、繊維への樹脂の含浸性が不十分なため、期待していたアンカー効果が発現しなかったと考

えられる。

複合材料中の天然繊維のフィブリル化度と複合材料の機械的特性との関係について、田中らは竹繊維のフィブリル化度の増加により PLA との複合材料の曲げ強度が増加することを報告している。一方、過度のフィブリル化は繊維自体の強度低下を招き、複合材料の強度が低下することも報告している⁴⁾。アンカー効果に起因する繊維と樹脂間の界面接着性の向上という観点では、引張強度においても曲げ強度の場合と同様の補強機構と考えられる。本実験では処理時間を 5 min としたが、処理時間の影響についても今後検証が必要と考えられる。

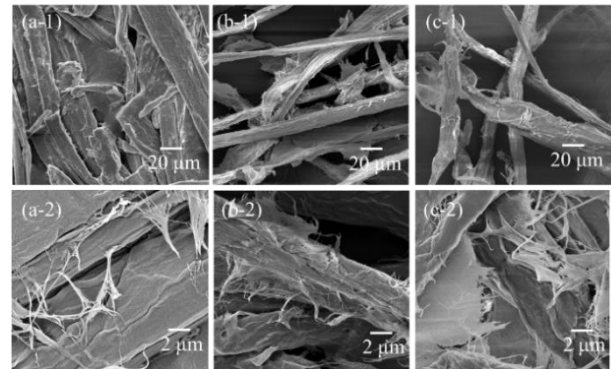


図 1 異なるパルプ固形分濃度で物理的表面処理を行ったパルプの SEM 像 (a) 0.5 mass%, (b) 1.0 mass%, (c) 2.0 mass%

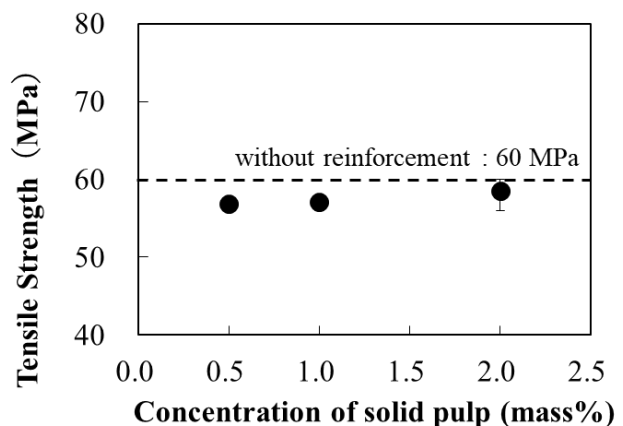


図 2 パルプ/PLA 積層型複合材料の引張強度と物理的表面処理時のパルプ固形分濃度との関係

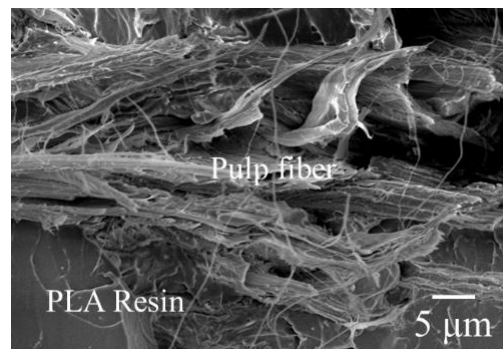


図 3 固形分濃度 1.0 mass% で物理的表面処理を行ったパルプと PLA の積層型複合材料の引張試験片破断面の SEM 像

3-2 PLA 溶液浸漬処理

図4に異なる PLA 濃度で PLA 溶液浸漬処理を行ったパルプの SEM 像を示す。いずれの処理条件でも繊維表面が PLA の皮膜で覆われている様子が確認された。

図5に PLA 溶液浸漬処理を行ったパルプと PLA の積層型複合材料の引張試験の結果を示す。PLA 濃度を 0.5 mass% として浸漬処理を行ったパルプを複合化させた場合に約 72 MPa の引張強度を示し、パルプ無添加の PLA と比べ引張強度が約 1.2 倍増加することが分かった。また、PLA 濃度を 1.0, 3.0 mass% として浸漬処理を行ったパルプを複合化させた場合は、0.5 mass% の場合と同程度の引張強度を示した。PLA 濃度の増加に伴い浸漬溶液の粘度が増大する様子が確認されたことから、PLA 濃度を増加させても溶液粘度の増大によりパルプ繊維表面への PLA の含浸性が向上せず、引張強度も増加しなかったと考えられる。

図6には未処理パルプおよび異なる PLA 濃度で浸漬処理を行ったパルプと PLA の積層型複合材料の引張試験後の破断面の SEM 像を示した。破断はいずれの試験片も軸方向と垂直に起きていた。また、PLA 溶液浸漬処理を行ったパルプを複合化させた場合は、未処理と比べパルプ繊維表面に PLA が多く残存していることから、繊維表面への樹脂の含浸性が向上することで繊維/樹脂間の界面接着性が向上し、引張強度の向上に寄与したと考えられる。

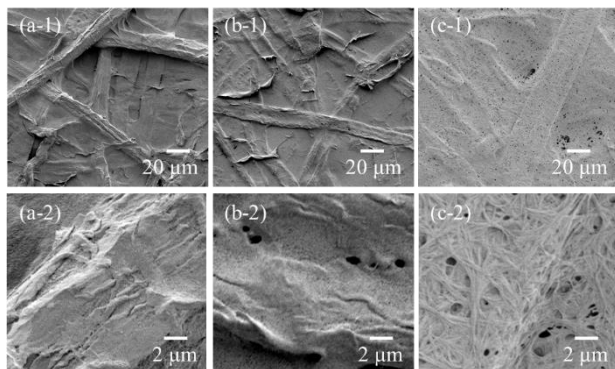


図4 異なる PLA 濃度で浸漬処理を行ったパルプの SEM 像
(a) 0.5 mass%, (b) 1.0 mass%, (c) 3.0 mass%

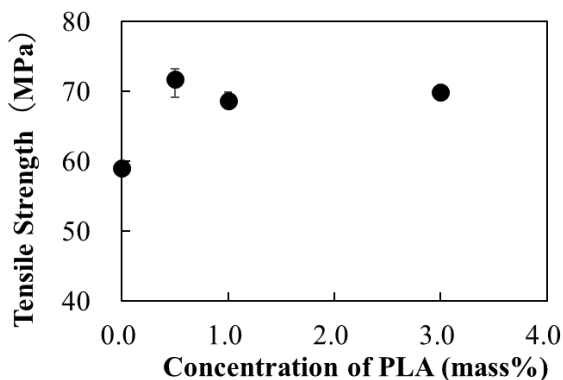


図5 PLA 溶液浸漬処理を行ったパルプと PLA の積層型複合材

料の引張強度と浸漬溶液中 PLA 濃度との関係

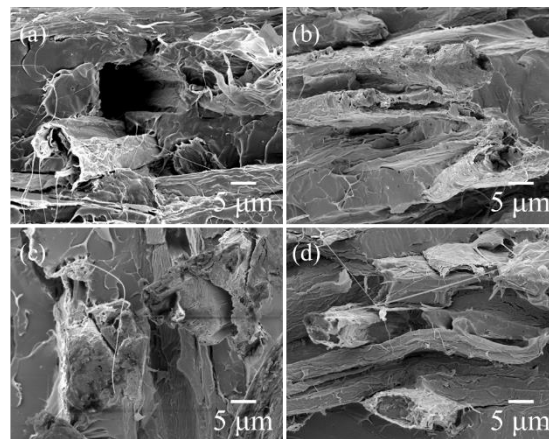


図6 未処理および異なる PLA 濃度で浸漬処理を行ったパルプと PLA の積層型複合材料の引張試験片破断面の SEM 像
(a) 未処理, (b) 0.5 mass%, (c) 1.0 mass%, (d) 3.0 mass%

3-3 化学的表面処理

MB 剤の添加量を変化させて表面処理を行ったパルプ表面の XPS による測定した MB 剤の付着量、MB 剤による表面処理および PLA 濃度 0.5 mass% での浸漬処理を行ったパルプと PLA の積層型複合材料の引張強度との関係を示す。MB 剤の添加量の増加とともに、窒素元素の組成比が増加しており、MB 剤の付着量が増加する傾向が見られた。

MB 剤は構造中にシラノール基および樹脂との反応性官能基を有している。MB 剤のシラノール基がパルプ繊維の水酸基と反応し、樹脂との反応性官能基が PLA のエステル結合と反応することによる界面接着性の向上を狙っていたが、MB 剤を添加せず PLA 溶液浸漬処理のみしたパルプを用いた場合が最も高い引張強度 (約 72 MPa) を示し、パルプの MB 剤による表面処理の効果は確認されなかった。

図8に MB 剤による表面処理および PLA 濃度 0.5 mass% での PLA 溶液浸漬処理を行ったパルプを用いた複合材料の引張試験後の破断面 SEM 像を示す。破断はいずれの試験片も軸方向と垂直に起きていた。また、MB 剤の添加量 1.0, 10 mass% のいずれの場合でも、表面に PLA が多く残存しているパルプ繊維が見られたが、一方で PLA の付着が少ない繊維も確認された。

繊維の化学的表面処理による複合材料の機械的特性について、福田らはシランカップリング剤を用いた竹繊維の表面処理により繊維と PLA の界面接着性が向上し、複合材料の曲げ強度が向上することを報告している⁵⁾。シランカップリング剤も MB 剤と同様に構造中にシラノール基および樹脂との反応性官能基を有しており、MB 剤と同様の反応機構が推測される。MB 剤を用いたパルプの表面処理により複合材料の引張強度が向上しなかった要因として、パルプ繊維への MB 剤の表面処理の不均一性や、MB 剤と PLA の反応性不足が考えられる。今後、MB 剤

による処理条件や、PLA 側への反応性官能基の導入等についての検討が必要と考えられる。

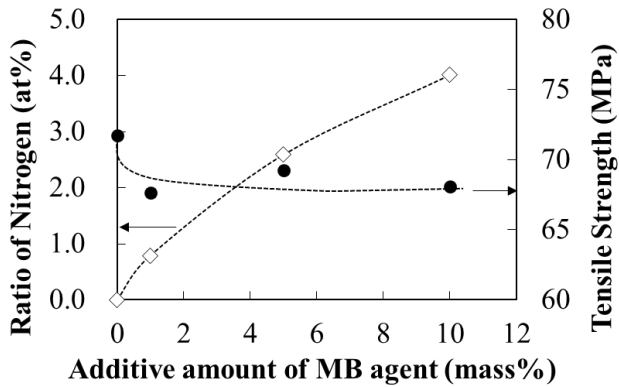


図7 MB剤の添加量とXPSによるパルプ表面のMB剤の付着量、MB剤による表面処理およびPLA濃度0.5 mass%として浸漬処理を行ったパルプとPLAの積層型複合材料の引張強度との関係

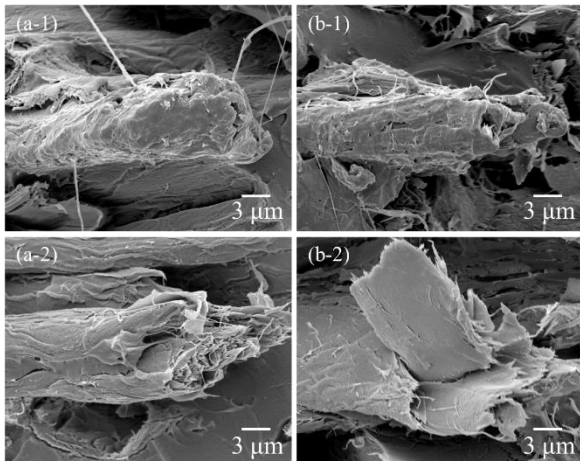


図8 MB剤による表面処理およびPLA濃度0.5 mass%として浸漬処理を行ったパルプとPLAの積層型複合材料の引張試験片破断面のSEM像

(a)MB剤の添加量1.0 mass%, (b)10 mass%

4 結 言

岩手県産広葉樹パルプとポリ乳酸の積層型複合材料を作製し、複合材料の引張強度に及ぼすパルプの各種表面処理の影響について調査した。その結果を以下にまとめた。

- (1) パルプの物理的的表面処理により繊維表面のフィブリル化は確認されたが、フィブリル化によるアンカー効果は見られず、複合材料の強度向上作用は見られなかった。
- (2) パルプのPLA溶液浸漬処理により、複合材料の引張強度はPLAと比べ約1.2倍増加した。
- (3) パルプの分子接合処理は、複合材料の引張強度向上に寄与しなかった。分子接合剤の処理条件等について、今後詳細な検討が必要である。

文 献

- 1) 井上和彦, 芹澤慎, 位地正年: NEC技報, Vol. 57, No. 1, p77-80 (2004)
- 2) 神山真一, 河瀬剛, 佐藤幸泰, 杉野秀明: 岐阜県産業技術センター研究報告, No. 7, p39-41 (2013)
- 3) 村田拓哉, 山本智昭, 吉田晋一: 鳥取県産業技術センター研究報告, No. 20, p33-38 (2017)
- 4) 田中千晶, 大窪和也, 藤井透: Journal of Material Science, Vol.No. 58, No. 5, p368-373 (2009)
- 5) 福田徳生, 伊藤寛明, 高橋勤子, 門川泰子, 山口知宏: 愛知県産業技術研究所研究報告, Vol. 10, p40-41 (2011)

デジタルシボ技術を活用した南部鉄器の作製*

和合 健**、生内 智**、及川 春樹***

南部鉄器の一連の工程を内製化するため、南部鉄瓶を対象に立体形状全域へのデジタルシボ適用と従来品と同等以上の品質での作製を要点に、意匠、加工、鑄造の3工程で試作実験を行った。原型の意匠は現代的で新鮮さを意識し、ゆず肌シボを下地に直線を規則的に配置した幾何学シボを組み合わせた。切削加工後の原型をカメラ撮影型デジタルタイザで測定した結果、設計値に対する形状誤差は原型上側で $\pm 0.24\text{mm}$ 、下側で $\pm 0.12\text{mm}$ となり目標値 $\pm 0.3\text{mm}$ を満足した。また、試作した鉄瓶は従来品の規定公差 $\pm 0.5\text{mm}$ を満足することを確認した。

キーワード：デジタルシボ、原型、南部鉄瓶、3D製品、直線模様意匠

Product of Nanbu Ironware using digit shibo

WAGO Takeshi, OBONAI Tomo and OIKAWA Haruki

Key words : Digit shibo, Master model, Nanbu iron kettle, 3D solid product, Straight line pattern design

1 緒言

南部鉄器の製造は図面作製、原型作製、小種作製、プレート型作製、鑄造試作の順で行われる。県内鑄造企業の場合、図面作製と鑄造試作は社内で行えるが、中間に位置する原型製作、小種製作、プレート型製作の3工程は外注で対応する必要がある。現在、原型及びプレート製作者は後継者も含め人材不足が顕著になっている。また、古くからある型は当時の図面や小種等が無く、型が壊れた場合等は再生産の手立てが無くなる可能性が高く、その解決策が望まれている。デジタルシボはエッチングシボに代わる内製化技術として有用であり、デジタル化による型データ保存のアーカイブ化も可能となる¹⁾。

ここではデジタルシボ技術を南部鉄器の製造、特に意匠と型データのアーカイブ化に活用するために、対象を立体形状の南部鉄瓶とし、意匠から鑄造までの一連の工程の内製化について検討したので報告する。

2 シボ模様の意匠作製

2-1 意匠作製の流れ

デジタルシボの意匠設計とソフトウェア処理の工程は、以下の流れで行った。

①鉄瓶の3D測定・3Dデータ化

デジタルシボを付加する無地肌の土台3Dデータを作製するためにカメラ撮影型デジタルタイザ(型式:COMET6_16M、メーカー:Carl Zeiss)を使用して、既存の鉄瓶の本体上部、下部、蓋、計3点を3D測定しポリゴンデータで保存した。鑄造時の収縮を考慮して金型を作製するため、既存のマッチプレート金型の測定も行い、既存の鉄瓶とマッチプレート金型から収縮率を求めた。土台3Dデータのポリゴン編集ではリバースエンジニアリン

グソフトウェア(型式:spScan、メーカー:アルモニコス)を使用し、収縮率の算出では形状検査ソフトウェア(型式:spGauge、メーカー:アルモニコス)を使用した。作製した土台3Dデータを図1に示す。

②図案設計・画像化

ここでの意匠設計の主題は、今までの鉄瓶には見られない模様での新鮮さによる差別化を図ることとし、カバンや手提げ袋に多く見られる直線で構成された幾何学模様(以下、直線幾何学シボという)とした。直線幾何学シボの下地には一般的な鉄瓶に見られるゆず肌とした。これらシボ模様の作製方法を以下に説明する。

デジタルシボ模様はボクセルモデリングソフト(型式:Giomagic Freeform Plus、メーカー:3D Systems)を使用してグレースケール画像を指定した視点方向から、3Dモデルに投影し画像の階調情報から凹凸を生成した。直線幾何学シボは、鉄瓶の意匠デッサンを基に図案を図2のとおり作製した。図案は鉄瓶の形状に沿ってほぼ一定の間隔で意図する位置に線状の模様を施せるように、3DCAD(型式:SOLIDWORKS、メーカー:ダッソーシステムズ)で図3に示すとおり、鉄瓶の垂直断面を基に指定する視点方向から見た時の線形状幅と間隔を算出した。この値を基に図案編集ソフトウェア(型式:Illustrator、メーカー:アドビシステムズ)で直線幾何学シボの図案を作製した。

図4、5のとおり直線幾何学シボのグラデーションの凹凸深さを調整することで、線状模様が緩やかに凹凸変化するデザインになり、さらに砂型作製時に型抜けを阻害する線状模様のオーバーハングが回避できる。また鉉を取り付ける鑲付部、注ぎ口取り付け部、蓋のつまみ部には意図した位置での線形状終端処理、シボ模様を付与さ

* 令和元年度いわてものづくりイノベーション推進事業

** 素形材プロセス技術部

*** 有限会社及春鑄造所

せない処理を 3DCAD で行った。また、本体底の平面部は側面と同様のゆず肌とした。

③デジタルシボの付加と切削加工用形状の作製

デジタルシボを付加する土台 3D データをボクセルモデリングソフト（型式：Giomagic Freeform Plus、メーカー：3D Systems）に取り込み、ポリゴンデータをボクセルモデルに変換して、②で作製した画像からエンボス処理を行った。この処理は、画像をモデルに投影して、その階調情報から指定した基準深さを基に凹凸を表現する機能である。エンボス処理後、底部のゆず肌と側面の鋳肌（ゆず肌）を自然に同化させる等、細部の形状編集を図 6 のとおり行った。

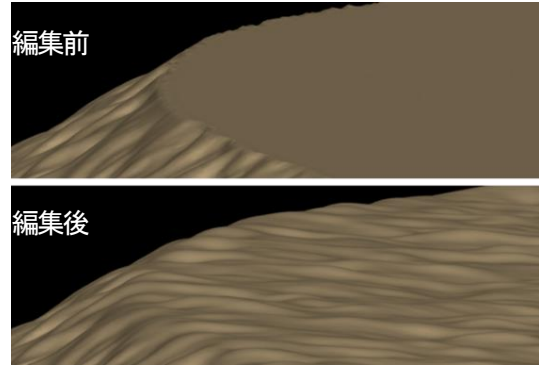


図 6 底面デジタルシボと形状編集の前後

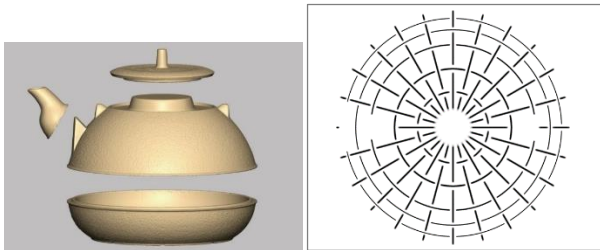


図 1 土台 3D データ

図 2 図案

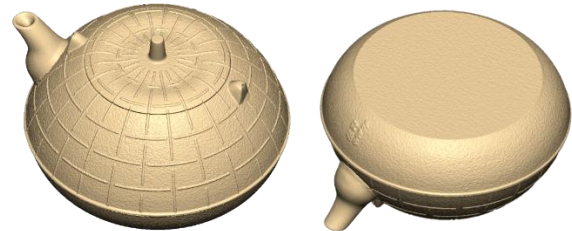


図 7 デジタルシボを付加した 3D データ
(左：上部、右：下部)

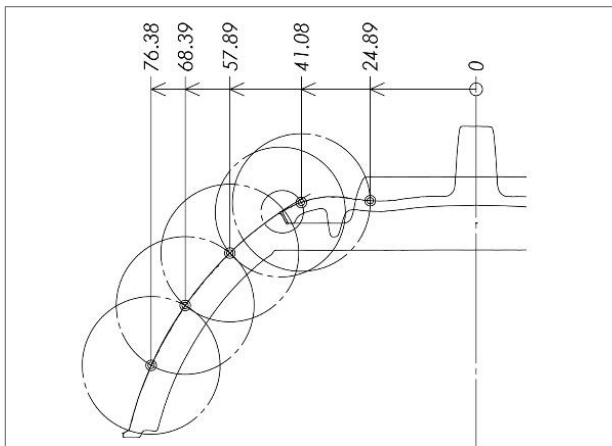


図 3 CAD による間隔値の算出

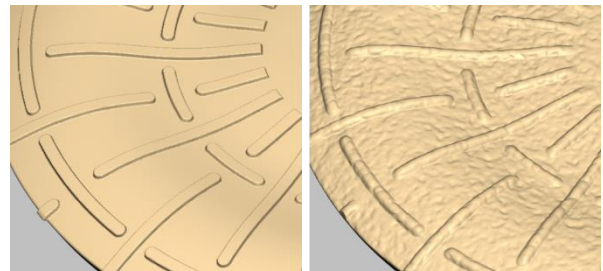


図 8 デジタルシボデータの比較（左：直線幾何学シボのみ、右：直線幾何学シボ+ゆず肌）

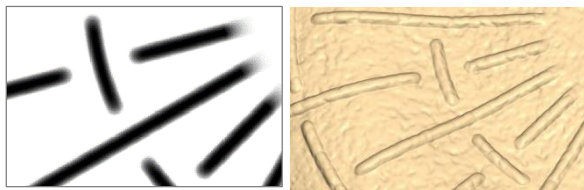


図 4 図案のグラデーション
(蓋部分拡大)

図 5 デジタルシボ
(蓋部分拡大)

2-2 完成した STL 形式モデル

図 7 には、デジタルシボを付加し、複数の 3D モデルを組み付けたボクセルデータを示す。また、図 8 には直線幾何学シボのみの場合と、ゆず肌状鋳肌と直線幾何学シボを組み合わせた意匠を示す。図 8 左に示したグラデーションの無い白黒 2 階調で作製した直線幾何学シボのみの意匠と比較し、図 8 右の直線幾何学シボとゆず肌を組み合わせた意匠はデジタルシボの表現性がより豊かになった。グラデーションによる凹凸の表現は、2 階調で表現する線形状に比較して立体的なため、二次元の図案では同じ幅であっても細く感じる。そのため立体化したシボを確認しながら意匠イメージに近い形状となるよう、画像の線幅やグラデーションの設定を調整する必要がある。この調整はラスタ形式の画像編集ソフト（商品名：Photoshop）より、形状を数値データとして管理できるベクタ形式の図案編集ソフト（商品名：Illustrator）の方が作業性が良かった。

3 ミーリングによる原型加工

3-1 加工方針

図 9 に意匠作製された鉄瓶の STL 形式原型モデルを示す。このモデルはマッチプレート金型で使用することとして構造設計し、オーバーハング部分のシボ模様は意匠

の段階で取り除かれているため、3軸マシニングセンタで加工対応できる。

マッチプレート金型は図10に示すとおり、プレート平板を中間に介して上面に原型上側、下面に原型下側を配置したものとなる。マッチプレート金型の作製にあたり、原型の上側と下側は切削加工によるアルミニウム合金(A5052)材の削り出しとし、蓋については樹脂3Dプリンタで作製し原型とした。

3-2 切削加工

3-2-1 固定治具

図11に固定治具の図面を示す。ここでの原型の切削加工は底面を除く全面加工となるため、バイスで掴む固定方法は適さず固定治具の機構設計が要点となった。固定治具によるブロック材の保持方法は、原型上側及び下側のプレート平板嵌合部をφ50mmの円筒とし、その円筒受けを固定治具に与えた。この固定治具により、最初に原型を下向きとした姿勢で円筒嵌合部を削り出し、次に固定治具にねじ止めして原型を上向き姿勢でバイスに固定してシボ模様の削り出す加工順序が決定された。

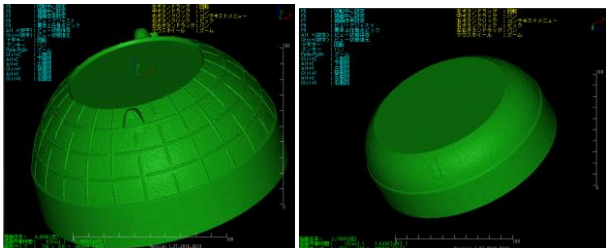


図9 STL形式原型モデル(左:上側、右:下側)



図10 マッチプレート金型の例(左:上側、右:下側)

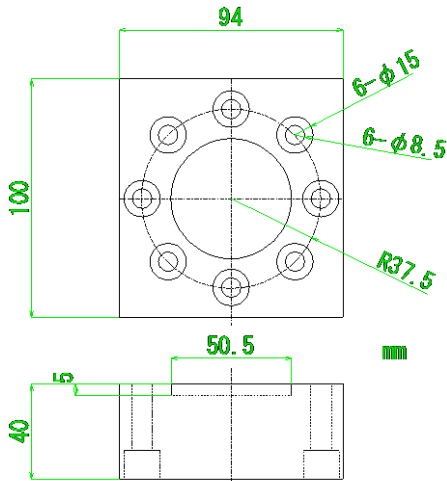


図11 固定治具



図12 原型上側の加工(左:中荒、右:完了後)



図13 原型下側の加工(左:荒、右:完了後)

3-2-2 切削加工

図12、13に加工の様子を示す。固定治具の保持はバイスを利用し、複数の工程を経て原型上側及び下側を削り出した。STL形式原型モデル原点と加工原点を合わせるための配置修正はリバースエンジニアリングソフトウェア(型式:Geomagic DesignX、メーカー:3D Systems)、CAMはSTL対応3軸ミーリングCAM(型式:CraftMill、メーカー:C&Gシステムズ)を使用した。加工機械は原型上側がリニアモータ駆動式高速型マシニングセンタ(型式:HSC55linear、メーカー:DMG/MORI)を使用した。原型下側は、ボールネジ案内式汎用マシニングセンタ(型式:VS3A、メーカー:三井精機工業)を利用した。

3-2-3 加工条件

表1、2に使用した工具を示す。ここでエンドミルは原型上側で5本、下側で4本使用し、最終仕上げはφ2mmのボールエンドミルとした。加工条件は上側、下側とも等高線パスで荒取り加工を行った後に、走査線パスで仕上げ加工を行ってシボ模様を削り出した。当初は、最終仕上げ加工にφ1mmのボールエンドミルを利用する予定であったが、φ1mmボールエンドミルで加工すると、表面の素朴さが失われるため、敢えてφ2mmボールエンドミルで仕上げた。

表3、4に加工時間を示す。原型上側の仕上げ時間が約25時間に対し、原型下側の仕上げ時間は約96時間となった。これは使用したマシニングセンタの性能によるものである。加工した原型上側、下側及びプレート平板を組み付けて図14、15のマッチプレート金型が完成した。

表1 原型上側で使用したエンドミル

Top	
Number	Feature, diameter
T1	FEM12
T2	FEM10
T3	FEM6
T4	BEM6
T5	BEM2

FEM: Flat mill, BEM: Ball mill

表2 原型下側で使用したエンドミル

Bottom	
Number	Feature, diameter
T1	FEM10
T2	FEM6
T3	BEM6
T4	BEM2

FEM: Flat mill, BEM: Ball mill

表3 原型上側での加工時間

Top			
工程	切削距離(m)	加工予測時間 (h:m:s)	加工実時間 (h:m:s)
1	220.27	2:44:40	不明
2	5.78	0:03:04	4m
3	18.76	0:10:23	9m
4	206.91	1:15:02	2h19m
5	1511.57	16:18:17	約25h

表4 原型下側での加工時間

Bottom			
工程	切削距離(m)	加工予測時間 (h:m:s)	加工実時間 (h:m:s)
1	16.83	0:10:21	39m
2	32.61	1:48:39	1h55m
3	230.03	3:05:04	不明
4	751.32	5:53:14	約96h

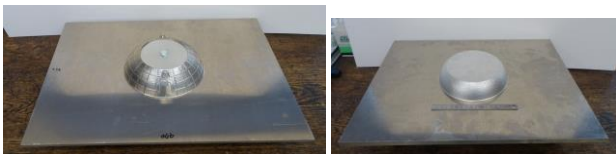


図14 原型組付け後のマッチプレート金型 (左: 上側、右: 下側)

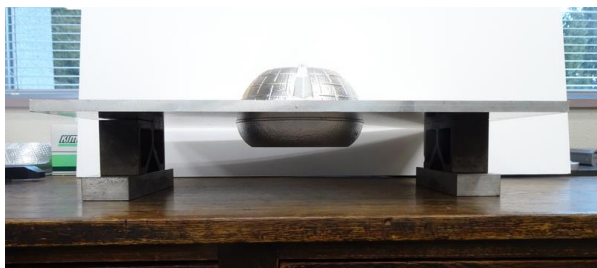


図15 マッチプレート金型 (正面から)

3-3 設計照合検査

表5、図16、17に設計値照合検査結果を示す。測定条件は設計値をFreeformで作製したSTL形式モデルとし、位置合わせ方法は3-2-1位置合わせ後にベストフィット、測定機はカメラ撮影型デジタイザ、使用レンズは測定範囲が $\square 400\text{mm}$ 、点間ピッチ 0.078mm となるカメラ400とした。検査方法は設計値照合検査ソフトウェア(型式: spGauge2019、メーカー: アルモニコス)を使用して、形状誤差は設計値照合により設計値モデルの法線方向で測定値モデルとの差を形状誤差として算出した。表5より標準偏差 σ は原型上側で 0.889mm 、下側で 0.080mm となった。上側で $\sigma 0.889\text{mm}$ と算出された原因は、設計値モデルが余分な削り代を与えられ、青色の部分が多く算出されたためである。

表5 設計値照合結果

	mm	
	上側	下側
平均誤差	0.578	0.023
最小誤差	-4.912	-1.111
最大誤差	4.739	0.643
標準偏差	0.889	0.080

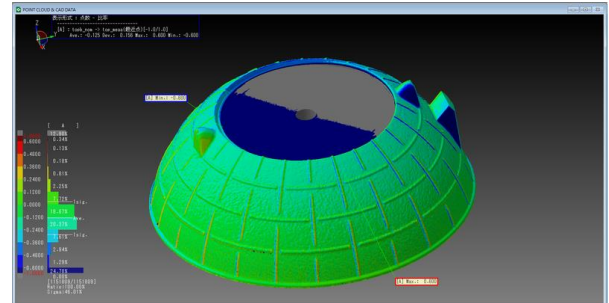


図16 上側の誤差マップ (範囲 $\pm 0.6\text{mm}$)

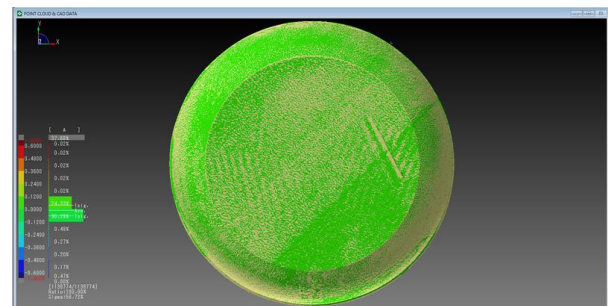


図17 下側の誤差マップ (範囲 $\pm 0.6\text{mm}$)

一方、誤差マップから、上側及び下側との誤差スケール $\pm 0.6\text{mm}$ としたヒストグラムで10分割とした目盛りと比較したところ、上側で4目盛りの $\pm 0.24\text{mm}$ の範囲が多くを占め、下側では2目盛りの $\pm 0.12\text{mm}$ が多くを占めた。この結果、原型上側及び下側の形状誤差は目標値である設計値の $\pm 0.3\text{mm}$ を満足した。

4 作製したマッチングプレート金型による鋳造加工

4-1 鋳込み試験

図18にF-1造型機と造型枠、図19に型バラし後の試作品(本体)を示す。砂型の造型にはF-1造型機を使用し $300 \times 300\text{mm}$ のT-100の枠を使用して砂型を作製し、中子は既存のものを流用した。ここで作製した砂型に小型溶解炉(1.0トン/h)で溶解した、片状黒鉛鋳鉄(FC150相当)の溶湯を鋳込み、鉄瓶を試作した。

4-2 検査

図20に示すように、試作した鉄瓶の肉厚測定を行った結果、全体の肉厚は 3.3mm 程度で肉厚の偏りはなく従来品で規定される公差 $\pm 0.5\text{mm}$ を満足した。なお、図21には最終仕上げ加工を行った試作品を示す。鉸は既存製品を流用し、本体と蓋はデジタルシボ技術を用いてオリジナル意匠を付与した鉄瓶として内製化することができた。



図18 F-1 造型機と造型枠



図19 型バラし後の
試作品（本体）

図20 試作品の肉厚測定



図21 本研究成果による試作品（横から）
※鉈は既存製品を流用

5 結 言

南部鉄器の一連の工程を内製化するため、南部鉄瓶を対象に立体形状全域へのデジタルシボを適用し、意匠、加工、鑄造の3工程について検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 直線幾何学シボとゆず肌を組み合わせた意匠は、グラデーションのない白黒2階調で作製した直線幾何学シボのみの意匠と比較し、デジタルシボの表現性がより豊かになった。
- (2) 直線状幾何学シボを鉄瓶の形状に沿ってほぼ一定間隔で配置させる方法は、3DCAD (SOLIDWORKS) を利用して鉄瓶の垂直断面から線形状幅と間隔を算出する方法が適する。
- (3) カメラ撮影型デジタイザで切削加工により作製した原型を測定した結果、誤差マップでの設計値に対する形状誤差は原型上側で $\pm 0.24\text{mm}$ 、下側で $\pm 0.12\text{mm}$ が多くを占め目標値 $\pm 0.3\text{mm}$ を満足した。
- (4) デジタルシボで作製した原型を用い、通常の鑄造方法で試作した鉄瓶は、従来品の規定公差 $\pm 0.5\text{mm}$ を満足することを確認した。

文 献

- 1) 和合 健、浅沼拓雄、飯村崇：共焦点顕微鏡を利用したデジタルシボの形状検査、岩手県工業技術センター研究報告第19号、(2017)

レーザ干渉計を利用した大型構造体の高精度寸法計測技術の構築* —プローブの開発とプロービング誤差—

和合 健**、竹原 英樹***、辺見 誠雄***

測定長さ 3000mm に対して、公差 $\pm 0.2\text{mm}$ の要求に対応できる可搬式長大寸法測定器の開発を行った。測定器の構成は、筐体をアングル材、案内ガイドを光学レールによる摩擦滑り式、目盛りをレーザ干渉計として、プローブは手動トリガプローブ、歪ゲージ式プローブ、電気接点式プローブの3種類を作製した。改良を加えた最終的な同一位置へのプロービング時の繰り返し誤差は、標準偏差で $\sigma 0.003\text{mm}$ を達成した。

キーワード：長大寸法、寸法測定器、一次元、可搬式、高精度

Study of High Precision Long Size Measuring Instrument using Laser Interferometer

-Development of probe systems and probing deviation-

WAGO Takeshi, TAKEHARA Hideki and HENMI Nobuo

Key words : Long size, Size measuring instrument, 1 direction, Portability, High precision

1 結 言

装置製作を本業とする共同研究企業では、卓上型から数メートルに及ぶ大型の自動機械を製造している。半導体製造や液晶関連製造分野では、エネルギー集約や低コスト化を達成するために、大口径化の進歩が著しく製造装置も大型化の傾向にある。この状況下において大型装置及び部品製造後の寸法計測が大きな課題であり、精度保証に苦慮している。これら製品群の寸法指示値は3000mmの寸法で公差 $\pm 0.2\text{mm}$ の要求であり、この精度保証を達成する必要がある。通常、大物製品の寸法測定は大型ガントリー型座標測定機が使用されるが、高額のため中小企業での導入は難しく、生産現場において簡便かつ短時間で寸法検査できる測定器が望まれている。長大寸法を測定するためには、大きな目盛りの物差しをどのような方法で実現するかが要点となり、光学的トラッカー方式、リニアスケール方式、光波干渉方式、光コム方式など多くの方式が挙げられる²⁾。この中でコスト、利便性及び実用性を考慮した場合、光波干渉方式は従来から多く利用され測定原理が明確のため目盛り部の研究要素が省け、かつ安価で携帯性が高いことからここでの活用目的に適している。

そこで今回、光波干渉方式の一つであるレーザ干渉計を用い、実際の製品図面で指示されている測定長さ3000mmに対して、公差 $\pm 0.2\text{mm}$ の要求に対応できる長大寸法測定器の開発に取り組んだ。ここでは、特に寸法起点を決定するために重要となるプロービングシステム

開発について報告する。

2 実験方法

2-1 装置概要

長大寸法測定器の概要を図1、詳細を図2に示す。図1のとおり案内ガイドをキャリッジが移動し、その移動距離で測定物の寸法を測定する。測定器の目盛りは図2のとおり、レーザ干渉計（型式：XL-80、メーカー：レニシヨウ）を利用し干渉ミラーが固定部、反射ミラーが稼働部となり、可動部キャリッジに反射ミラーとプローブを搭載する。案内ガイド方式は、市販されている長大寸法測定に用いるガントリー型三次元測定機では、LMガイドや空気軸受けが使用されているが、測定器本体の可搬性

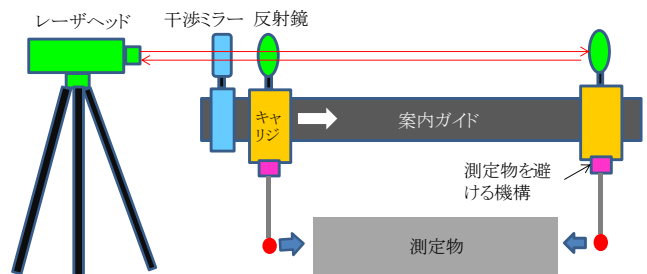


図1 長大寸法測定器の概要

* 平成 31 年度公益財団法人 JKA 機械振興補助事業 公設工業試験研究所等共同研究

** 素形材プロセス技術部

*** 鈴木機械株式会社

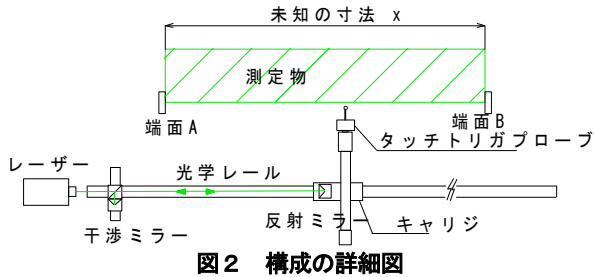


図 2 構成の詳細図

が損なわれる。可搬性を優先するには梁の撓みに強い断面設計されたレールを用い、その案内面をベアリングまたは摩擦滑りで走行するキャリジが適すると考えた。寸法測定での起点位置を定めるためのトリガ方法は機械式、電気式など多様であり実験を通して精度と操作容易性により決定する。

2-2 手動トリガプローブ

測定物の両端面間距離を測定するためには両端の起点を決定する必要があり、ここでは起点が明確に定義できる接触式プローブとした。精度、コスト、利便性など多くの状況に対応するために多種のプローブを用意した。図 3 に手動トリガプローブを示す。三爪チャックにチップ径 $\phi 5\text{mm}$ のスタイラスを取り付けた構成で、三爪チャックのシャンクをプローブホルダで保持する。手動トリガプローブは作業者が感覚的にスタイラスを測定物の端面に押し当てる方法である。トリガ発生方法はスタイラスを測定物端面に押し当てた状態で、一方の面の時に制御ソフトウェアの F1 ファンクションキー、もう一方の面で F2 のファンクションキーを押す方式とした。



図 3 手動トリガプローブ

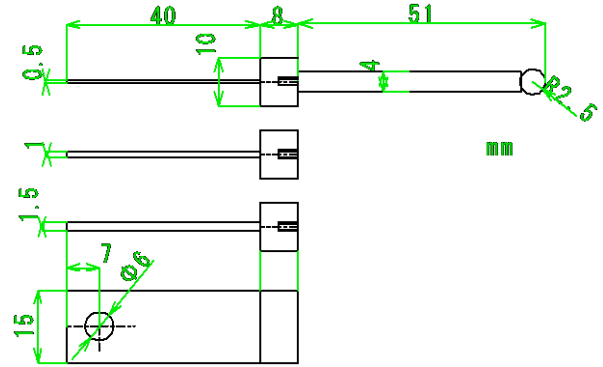


図 4 歪ゲージ式プローブの図面

2-3 歪ゲージ式プローブ

2-3-1 原理

図 4 に歪ゲージ式プローブの図面を示す。板バネがプローブ部となりこの面の両側に歪みゲージを貼る。板バネ部の厚さは 3 水準で $t0.5\text{mm}$ 、 $t1.0\text{mm}$ 、 $t1.5\text{mm}$ である。使用した歪ゲージ (型式: KFGS-5-120-C1-11_L5M2R、メーカー: KYOWA) はゲージ長が 5mm で鋼材の歪測定に適する。図 5 に歪みゲージ式プローブの外観を示す。プローブは板バネ部の $\phi 6\text{mm}$ の貫通穴で治具にねじ留め固定した。図 6 に回路図を示す。歪ゲージを板バネの両側に貼るため歪ゲージは 2 枚必要になり、ブリッジボックスの接続はアクティブダミー法 (2 ゲージ法) とした。図 7 に歪ゲージ測定器 (型式: WGA-670B、メーカー: KYOWA) と絶縁型デジタル入出力ターミナル (型式: DIO-0808TY-USB、メーカー: コンテック) を示す。歪ゲージ測定器はプローブの板バネの曲げ方向に対してプラス方向とマイナス方向でトリガの閾値を設定して、閾値を超えた場合にトリガが出力される。歪ゲージ測定器からのトリガ出力は、絶縁型デジタル入出力ターミナルを経由して、パソコンに取り込んだ。

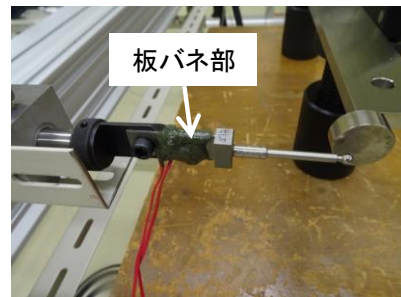


図 5 歪ゲージ式プローブ

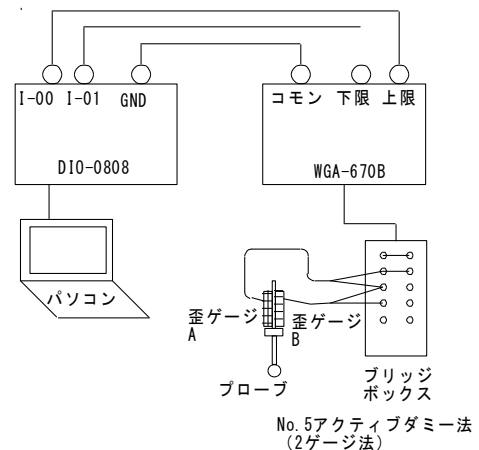


図 6 回路図

2.3.2 プロービング誤差の評価方法

歪ゲージ式プローブのプロービング誤差は、図 8、9 に示した定盤上に治工具や測定機器を配置した評価ベンチで求めた。この装置の標準値は、 8.5mm のブロックゲージを二つのジョウで挟んで作成した。案内ガイドは

直定規を利用し、プローブの板バネ部をバイスで挟み、バイスの側面と直定規を接触させて走行させた。バイスの移動距離は、歪ゲージ式変位変換器 (型式: TCL-10M、メーカー: TEAC) からの電圧信号をシグナルコンディショナ (型式: TC-11、メーカー: TEAC) で増幅しその電圧値をアナログ入力器 (型式: NI9215、メーカー: National Instruments) でパソコンに取り込んだ。制御ソフトウ

エアは、LABVIEW2019（メーカー：National Instruments）を使用して図 10 のとおり端面 A と端面 B でトリガを発生させて寸法測定を行うアルゴリズムとした。

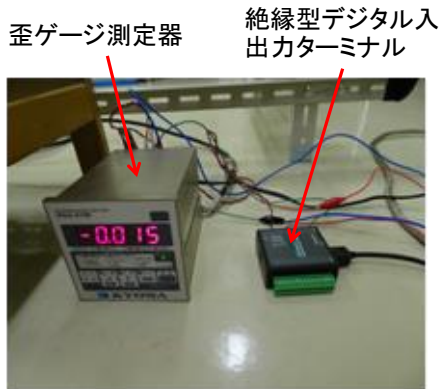


図7 歪ゲージ測定器

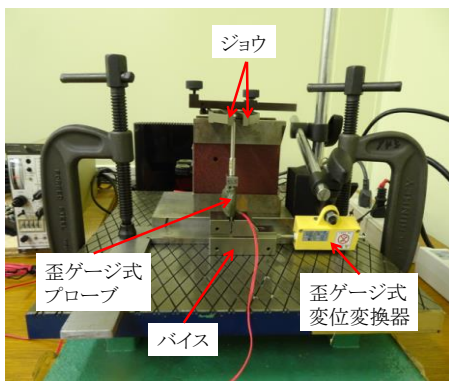


図8 歪ゲージ式プローブの誤差評価ベンチ

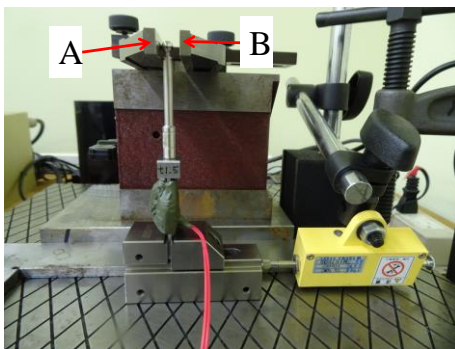


図9 標準値の与え方

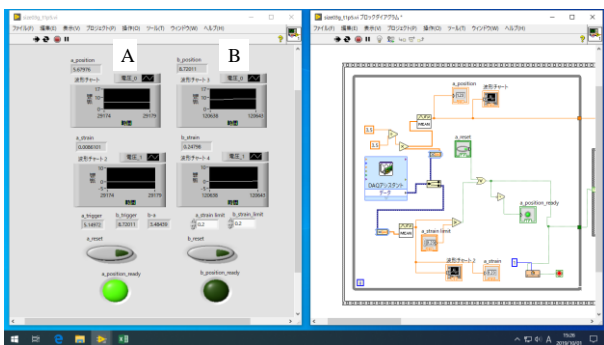


図10 制御ソフトウェア (LABVIEW2019)

図 11 に長大寸法測定器に取り付けて使用する電気接点式プローブ（型式：TP1、メーカー：レニショー）を示す。これは 120° 分割 3 接点配置にて、接点が離れた時にトリガが発生する B 接点方式によるもので、主な仕様を表 1 に示す。このプローブは手動式利用として設計されたもので、触圧 0.15N は通常の CNC 式三次元測定機で汎用的なプローブ TP200 の触圧 X, Y 方向 0.02N と比較して大きい。触圧が鈍感であるためオーバートラベル量は Z 方向 8.5mm と大きく、手動測定時の間違っただけでプローブの損傷を回避できる。

2-4-2 制御ソフトウェア

電気接点式プローブを制御するソフトウェアを二つ用意した。一つは、レニショーがレーザ干渉計 XL-80 を制御するために提供している汎用アプリケーション CARTO、もう一つはプログラム言語 VisualBasic6.0 により独自作成したソフトウェアである。以下、それぞれの制御ソフトウェアを CARTO 及び VB6 と表記する。

(1) CARTO の場合

図 12 にレーザヘッドにトリガ信号を取り込むための外部コネクタ、図 13 に制御画面、図 14 に回路図を示す。CARTO での測定方法は、予めターゲットに基準長さを入力し、2 点間の測定後に基準長さから差分して測定値を求める。CARTO でプローブを利用する場合は回路図のとおり XL-80 のレーザヘッドの外部接続コネクタ 14 ピンと 17 ピンを利用して電気接点式プローブインターフェース（型式：PI200-3、メーカー：レニショー）と接続した。

(2) VB6 の場合

図 15 に制御画面を示す。VB6 では Position1 と Position2 が各端面位置となり、端面間距離は Position1 と Position2 の差分で算出される。測定物の線膨張係数による温度補正機能が利用でき、プロービング方法はプロービング前に Trigger_ready ボタンを押し、その後端面へのプロービングを行う。図 16 に電気接点式プローブインターフェースとの接続、図 17 に回路図、図 18 にフローチャートを示す。VB6 でのプローブのトリガ取り込み方法は、XL-80 の外部コネクタを利用せずパソコンに直接、絶縁型デジタル入出力ターミナルにより、トリガ信号を取り込んだ。

表1 TP1の主な仕様

触圧	0.15N
繰返精度(2σ)	0.5μm
XY・2D方向性	±2.0μm
オーバートラベル	Z方向 8.5mm 横方向 ±19.5°

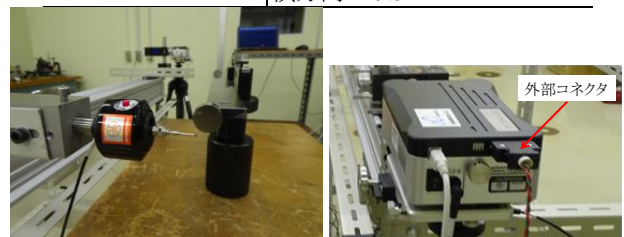


図11 電気接点式プローブ

図12 外部コネクタ

2-4 電気接点式プローブ

2-4-1 原理

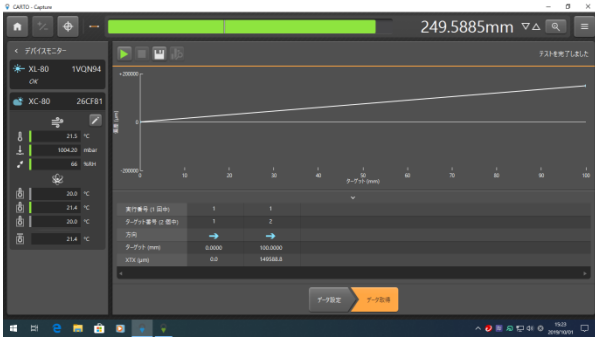


図13 CARTOの制御画面

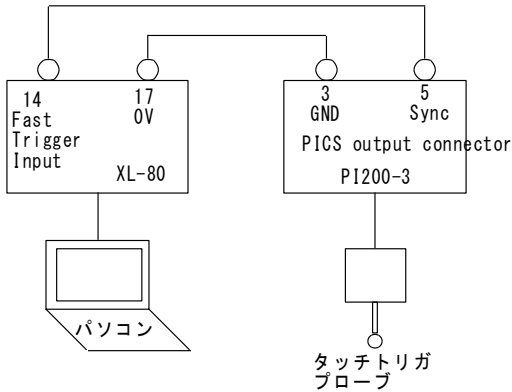


図14 回路図

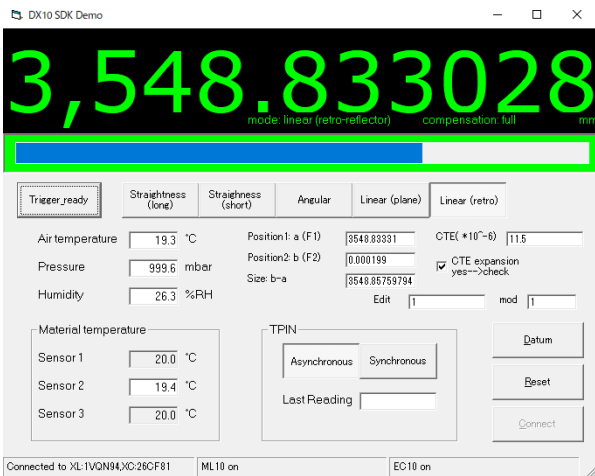


図15 VB6の画面

絶縁型デジタル
入出力ターミナル

電気接点式プローブ
インターフェース



図16 電気接点式プローブインターフェース

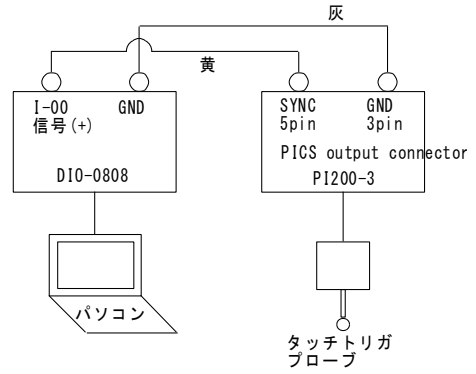


図17 回路図

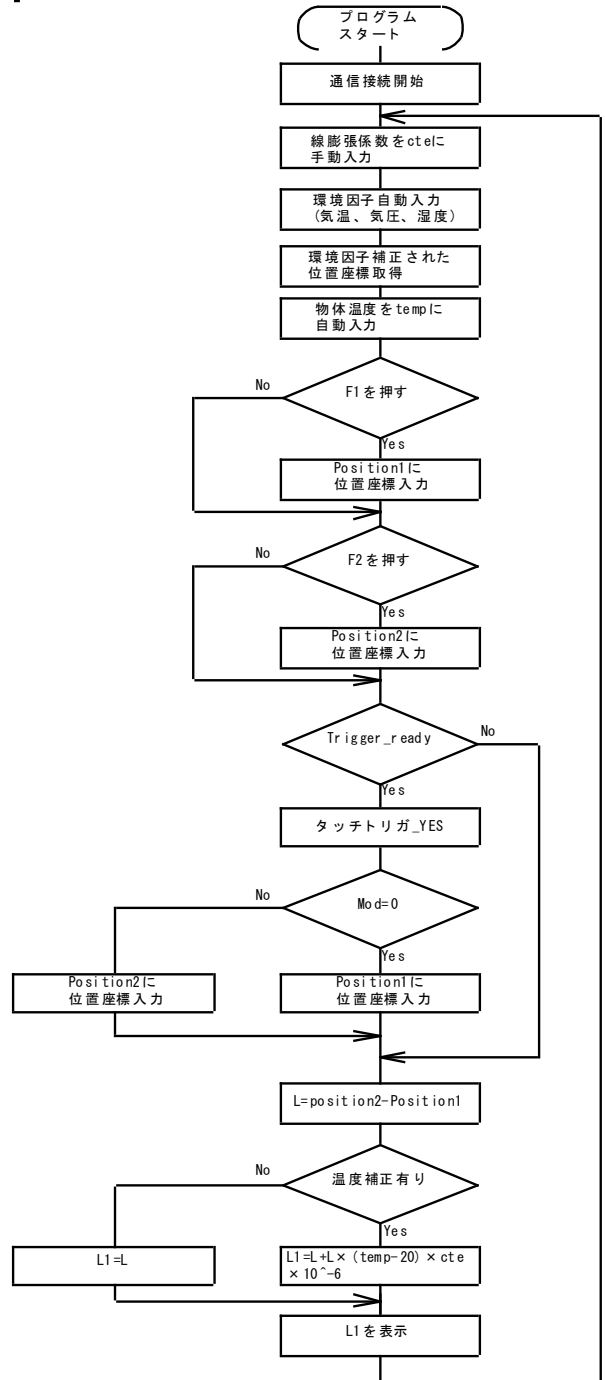


図18 VB6のフローチャート

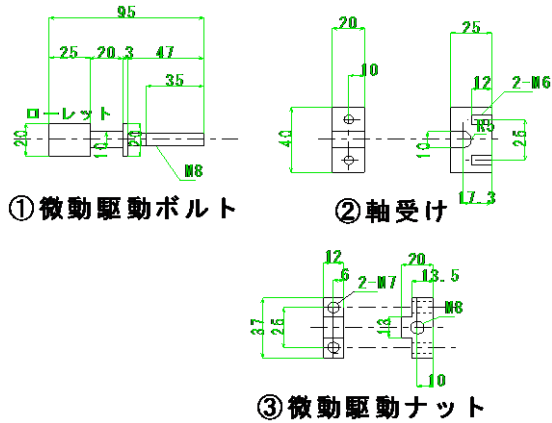


図23 微動治具の図面

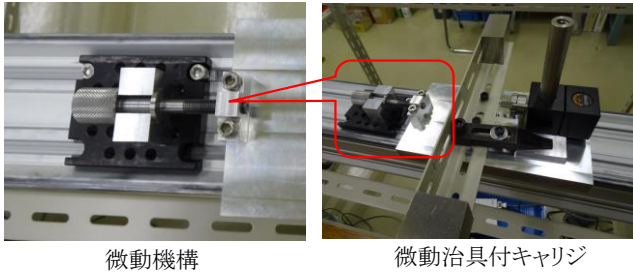


図24 微動治具の適用

3-5 加力機構の付与

胴長キャリジの案内ガイドと光学レールの案内ガイドは、常に接触している必要があり、この両面が離れることでヨーイングが生じて長さ測定誤差になる。そこで図25、図26に示す加力機構を付与して、両面が自動的に常に接触している状態を作り出した。

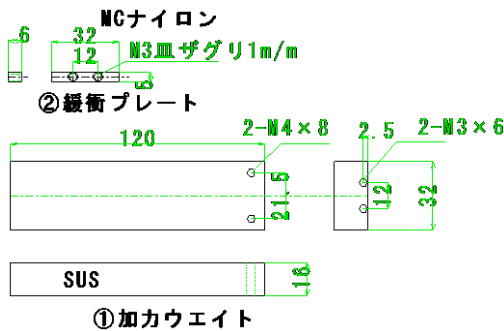


図25 加力機構の図面

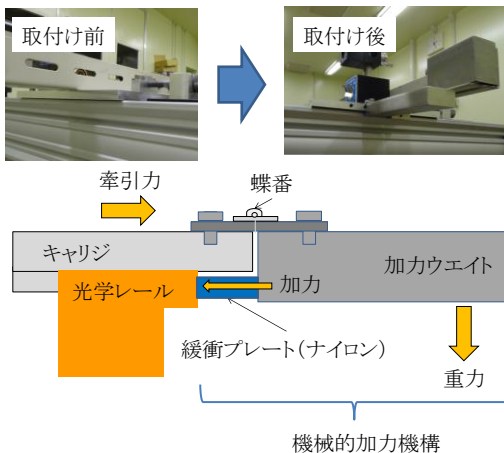


図26 加力機構の改良前との比較

3-6 改良後の測定誤差

長寸法測定器の電気接点式プローブの場合で各種改良後の測定誤差を求めるために、同一位置に繰り返し回数 5~10 回の繰り返し測定を行い、 σ を算出した結果を図 27 に示す。3 種類の改良治具を付与した結果、改良以前の A (カタログ品キャリジ+手動) が σ 0.706mm であったのに対し、胴長キャリジ+微動治具+加力機構を導入した E では σ 0.003mm に改善された。

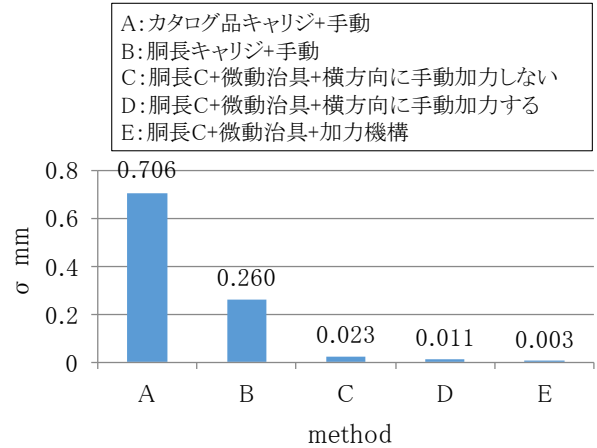


図27 改良後の測定誤差

4 結 言

可搬式かつ製品図面での測定長さ 3000mm に対して公差 ± 0.2 mm の要求に対応できる長寸法測定器の開発を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 筐体をアングル材、案内ガイドを光学レールによる摩擦滑り式、目盛りをレーザ干渉計とした構成としてキャリジ上に搭載したプローブで端面間の寸法測定を行う長寸法測定器を試作した。
- (2) プローブは手動トリガプローブ、歪ゲージ式プローブ、電気接点式プローブの 3 種類を作製した。制御ソフトウェアはレーザ干渉計メーカーが提供する CARTO と汎用プログラム言語 VisualBasic6.0 で独自作成したプログラムの二つが利用可能であった。
- (3) キャリジの胴長化、微動機構、加力機構を加えた改良を行った結果、同一位置へのプロービング時の繰り返し誤差は標準偏差で σ 0.003mm であった。

謝 辞

本研究は、公益財団法人 JKA の機械振興補助事業公設工業試験研究所等共同研究で実施された。本事業に関わられた関係者の方々に感謝を表す。

文 献

- 1) 青木保雄:改訂精密測定(1)、コロナ社、p63、p209 (1995)

デザイン思考による商品開発支援ツールの開発（第1報）*

長嶋 宏之**、内藤 廉二**、小林 正信**

岩手県内企業の商品開発力向上を目指し、デザイン思考による商品開発支援ツールを提案することとした。公的機関などでの先行事例の調査を行い、デザイナーの商品開発方法を応用した岩手県内向けの商品開発支援ツールの設計を試みて、商品開発支援ツールのプロトタイプを設計した。

キーワード：商品開発、デザイン思考、支援ツール

Support Tools for Product Development by *Design Thinking*

NAGASHIMA Hiroyuki, NAITO Yasuji and KOBAYASHI Masanobu

Key words : Product Development, Design Thinking, Support Tools

1 緒言

社会の価値観の多様化、複雑化に伴い、ただ商品を作っても売れない時代になっている。企業の商品開発は今までのような性能追求ではなく、その商品独自の価値を求められるようになった。そのため、ユーザー・エクスペリエンス (UX)、モノからコトへ、デザインドリブンなど、様々な概念が提唱されている。そのうちの一つに「デザイン思考 (Design Thinking)」がある。これは、デザイナーが普段行っている課題解決の思考過程が他のビジネスシーンでも適用可能とする提唱である。

本センターでは岩手県内の製造業に向け、商品価値創造をデザイナー視点のアプローチ (=デザイン思考) で進めることができる商品開発支援ツールの創出を目指して、その研究開発を進めている。それにより、県内製造業の商品開発力と商品価値付加力の向上、「デザイン思考」や「デザイン・マインド」の醸成などが期待される。

ここでは第一報として、開発する支援ツールの構成要素を検討した結果を報告する。

2 方法

本研究で開発を目指しているのは「商品開発支援ツール (以下、支援ツール)」である。その構成要素を「要素ツール」とする。

2-1 先行事例調査

まず、国・都道府県や公設試などの公的機関におけるデザイン支援の先行事例について調査した。各機関等で公開している商品開発マニュアル、手法、事例などをピックアップし、訪問や情報交換会への参加などでヒアリングを行って、商品開発で使用されている手法、発想法や思考ツールなどについて事例を収集した。

2-2 プロトタイプ設計

2-2-1 支援ツールのコンセプト設定

先行事例の調査結果を踏まえつつ、既存の商品開発手法も参考に、支援ツールの設計コンセプトを設定した。

2-2-2 プロトタイプの設計

支援ツール全体を設計するため、ツール全体を表現する「ツールイメージ」を作成した。調査の結果で得たデザイン開発マニュアルや商品開発のワークフローを参考に、上述した設計コンセプトに基づいて作成した。常に見直しや修正を行い、短期間に改良を繰り返すことで、精度をあげることにした。

作成した「ツールイメージ」を基に各要素ツールを設計し、「ツールイメージ」と同様に改良を繰り返した。

3 結果と考察

3-1 先行事例調査

調査で得られた各機関等の商品開発支援のマニュアル、および、ツールを、表1に示す。

マニュアルについては、デザイン開発や商品開発における手順をウォーターフォール型のワークフローで示して、各手順における解説を記しているものが多く見られた。なかには、デザイナー活用方法や、海外展開を前提として、その一環としての商品開発ワークフローを示しているものもあった。

青森県産業技術センターの商品企画支援ツール「V-Cup」は、マニュアル型ではなく、設問への回答を何度も繰り返し行うことで気づきや自己分析を行い、商品の開発改良が進むシステムであった。

収集した商品開発マニュアルなどで使用されている手法を表2にまとめて示す。調査では、企業や団体独自が開発した手法なども多く見受けられたが、本支援ツールでは、できるだけよく知られた汎用的な手法を選んでまとめることにした。

* 平成31年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ

** 産業デザイン部

表1 公的機関などによる商品開発のマニュアル/ツール (一部)

タイトル	発行/開発者	発行/発表年
地域ブランドづくりのためのデザイン・IT活用ガイド	北海道	2002
商品企画支援ツール V-Cup	青森県産業技術センター 弘前工業研究所	2011
支援機関指導員のためのDESIGN支援ハンドブック	中小企業基盤整備機構	2013
中小企業デザイン開発思考	大阪産業デザインセンター	2015
デザイン活用ガイド	東京都 東京都中小企業振興公社	2015
海外展示会ハンドブック	中小企業基盤整備機構	2018
デザイナー・中小企業のためのデザイン契約のポイント	近畿経済産業局	2019
デザインのチカラ、活かし方	近畿経済産業局	2020
サービスデザインを始める前に	経済産業省	2020

表2 主な商品開発に関わる手法

手法	種類	内容
インタビュー	気づき	ヒアリング、グループインタビュー
フィールドワーク	気づき	環境観察
エスノグラフィー	気づき	行動観察
マインドマップ	気づき	言語と図案による思考・発想法
SWOT分析	気づき	自社分析
3C分析	気づき	顧客・自社・競合分析
デザインブレインマッピング	気づき	チーム思考共有、環境分析
ブレインストーミング	アイデア展開	
KJ法	アイデア展開	アイデアの収束
ペルソナ	アイデア展開	仮説ユーザーの設定
5W2H	アイデア展開	商品の状況・環境の仮説設定
各アイデア発想法	アイデア展開	チェックリスト発想法、強制発想法、など
アイデアスケッチ	アイデア展開	スケッチ
ポジショニングマップ	アイデア展開	4象限マトリクス
カスタマージャーニーマップ	アイデア展開	商品認知から購買までの接点を明確にし、顧客の思考、行動を時系列に整理
ストーリーテリング	アイデア展開	商品の利用場面を想像する
ビジョンマップ	コンセプト	組織の理念について、方向や位置付けも含め可視化したもの
イメージボード	コンセプト	視覚的表現の方向を示すための画像カラーージュ
ストーリーボード	コンセプト	
レンダリングスケッチ	試作	完成予想図
モックアップモデル	試作	静的試作
プロトタイピング	試作	動的試作
ユーザービリティテスト	評価	ユーザービリティ実験、プロトコル分析
生理・心理計測	評価	身体の負担を定量的に観察。人間工学的手法。
官能検査	評価	
売上目標	検証	業績評価指標 (KPI) など
実証実験	検証	
テストマーケティング	検証	商品を実際に利用してもらいフィードバックを得る。

3-2 プロトタイプ設計

3-2-1 プロトタイプのコンセプト

今回の支援ツールに関しては、県内企業の商品開発の担当者が有効に使用できるように、前述した調査結果から、以下のようなコンセプトを設定した。

- 1) 1人でも商品開発が行える。
 - 商品開発フローの全体像と現在位置がわかる。
 - 開発状況が可視化できる。
 - 今行うべき必要な行動がわかる。
- 2) 「気づき」を得ることができる。
- 3) 「モノありき」ではなく「コトありき」の開発ができる。

ここで、1)については、県内中小企業の多くが、商品の企画を経営者、製造責任者、営業担当などが兼任しており、1人で開発に行き詰まり、当センターに相談される事例が多いことから設定した。

2)については、今回の支援ツールを使用することにより、顧客インサイトの発見やビジネスビジョンのヒントなどについて、使用者自らが「気づき」が得られるように設定した。

3)については、技術や製品そのものを自社シーズとする、いわゆるプロダクトアウトの傾向が強い県内企業が、マーケットインの思考を行えるように設定した。

また、商品開発中の進捗状況や現状の必要な手法（やること）を示す方法として、「すごろく」などのボードゲームのイメージを取り入れることとした。

3-2-2 ツールイメージ

上述のコンセプトをもとにツールイメージを検討した。その推移を、図1に示す。

先ず同図Aの様に、一般的なウォーターフォール型商品開発フローとして各開発段階を設定し、それぞれに必要な各手法を併記して、各手法を繋ぎながら商品化を目指すイメージを作成した。

しかし、これではデザイン開発で必須であるフィードバックを表現できないと考え、同図Bの様に、開発の段階を「導入・分析」、「コンセプトワーク」、「試作・評価」の3つに分け、後者の2エリア内では「コンセプトワーク」と「試作・評価」のサイクルを回すものとした。それぞれで十分に検討を重ねたと判断できたら、次のサイクルに移る形にした。

さらに同図Cの様に、両サイクルでの「スパイラルアップ」を視覚的に表現することにした。

3-2-3 ナビボード

上述のツールイメージを作成し、支援ツールの全体像が完成したところで、開発フローの全体像を提示して、現在の開発段階、進捗状況が表示できる「ナビボード」の設計を行った。設計したナビボードを、図2に示す。

開発フローを、イメージ通りに「導入・分析」、「コンセプトワーク」、「試作・評価」の3エリアに分け、それ

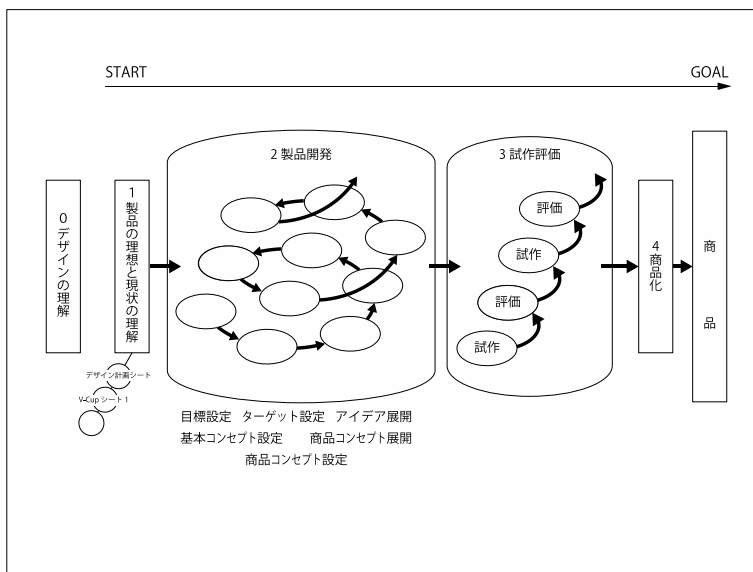
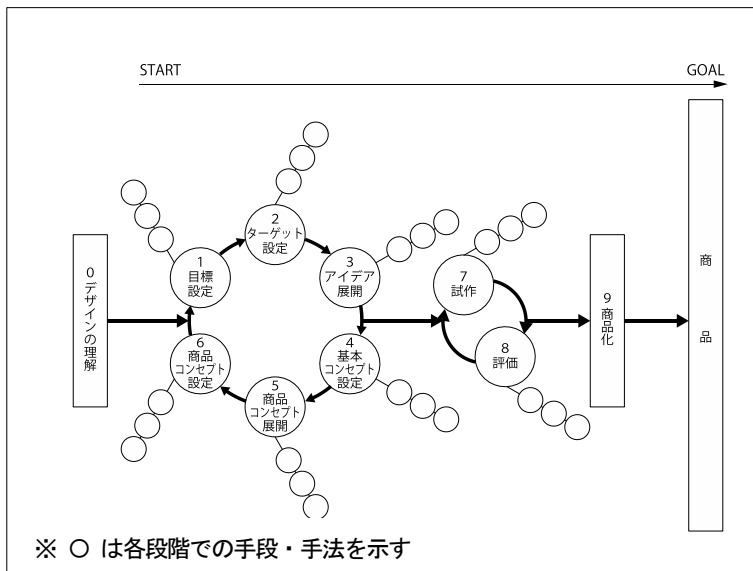
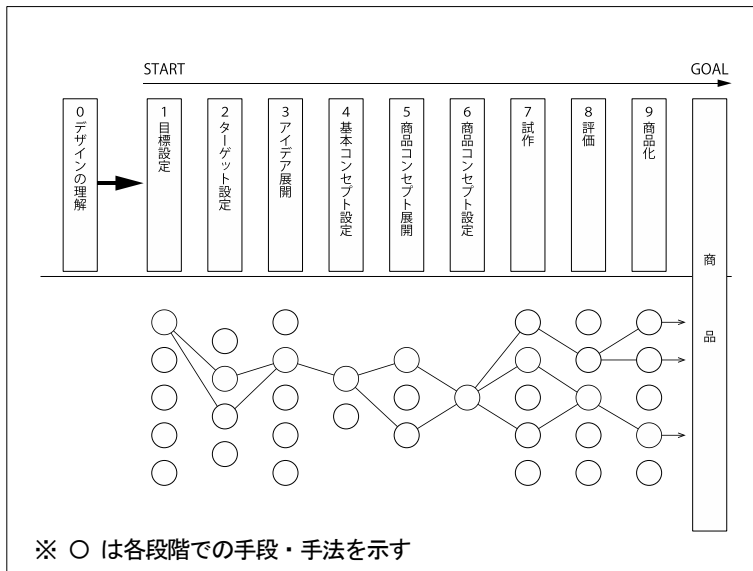


図1 ツールイメージの推移

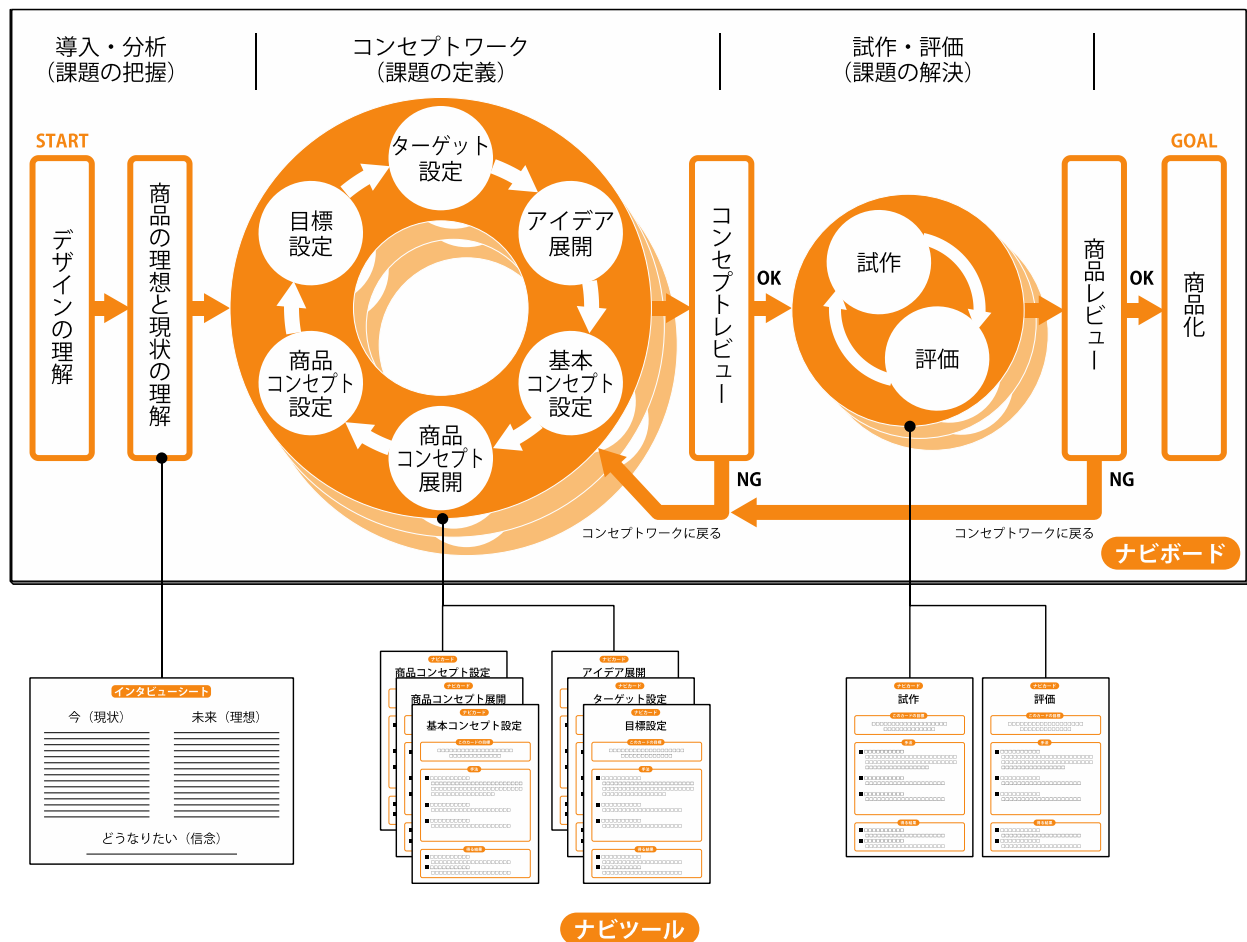


図2 ナビボードとナビツール

それぞれについて以下に述べる通りの開発段階を設定した。

1) 「導入・分析」エリア

商品開発プロジェクトを進める前に、開発者や他の利害関係者との間で以下の点の認識を共有する。

- デザインの理解
支援ツールにおける「デザイン」および「デザイン行為」を定義付けし、開発者が理解し共有する。
- 商品の理想と現状の理解
開発者として目指す姿、提供する商品・サービスの現状と理想を分析し、認識を共有する。

2) 「コンセプトワーク」エリア

具体的な開発行為の段階になるため、スタート地点は固定せず、そのプロジェクトに合わせて決めることし、以下の事項についてチェックする。

- 目標設定
何を成功とするか、商品開発プロジェクトの目標を定義する。
- ターゲット設定
開発する商品・サービスのユーザーを具体的に設定する。
- アイデア展開

商品・プロジェクトの内容、利用方法、イメージ、広告や販売方法など、開発する商品・サービスに関わる様々なアイデアを発案し収集する。

- 基本コンセプト設定
上記アイデアの絞り込みと抽出を行い、開発するプロジェクトの方針やコンセプトを設定する。
- 商品コンセプト展開
上記コンセプトを実現するための、商品・サービスのアイデアを発案し収集する。
- 商品コンセプト設定
上記アイデアの絞り込みと抽出を行い、商品・サービスの具体的な仕様を設定する。

これらを1周回った時点でレビューを行い、内容をチェックする。要求を満たす提案に達していないと判断すれば、もう1周回してチェックする。これを繰り返すことで商品の精度を上げていく。

3) 「試作・評価」エリア

コンセプトワークで提案された商品・サービスについて具体化と検証を行う段階で、評価の結果によってはコンセプトワークに戻る場合もある。

インタビュースシート

商品デザイン質問シート

商品/サービスは何ですか (WHAT)

(e.g. アンパン)

1. この商品/サービスはどのようなモノですか (e.g. アンコの入ったパン)

材料は何ですか (e.g. 小麦、小豆、砂糖)

その材料はどこから入手しますか

その材料は誰が作りますか

その材料はどこで作られますか

その材料をなぜ使いますか

2. この商品/サービスは何が特徴ですか (e.g. おいしい)

その特徴はなぜ生まれますか (e.g. 材料の良さ、こだわりの製法)

その理由は?

その特徴は何か良いのですか (e.g. うれしい、楽しい、儲かる)

その特徴であなたはどのようになりますか (e.g. うれしい、楽しい、太る)

その特徴でお客様はどのようになりますか

3. この商品/サービスはどのようにやって作りますか

この商品/サービスは誰が作りますか (e.g. 私)

協力者はいますか。その協力者は何者ですか

作るのにどれくらい時間がかかりますか

ある期間でいくつ作れますか

4. この商品/サービスはいくらくらで売っていますか (e.g. 100円)

そのうち材料費はいくらか (e.g. 60円)

そのうち人件費はいくらか

そのうち光熱費はいくらか

そのうち営業・広告費はいくらか

そのうち外注費はいくらか

いくつ売れたら良いですか (e.g. 40円)

いくらく売れたら良いですか

どのように売っていますか

誰が売っていますか

どこで売っていますか

いつ売っていますか

この商品/サービスは何をするものですか (HOW)

(e.g. 食べる、お腹を満たす、気分転換、ストレス発散、お土産、etc.)

1. 誰が使うものですか (Who) (e.g. 〇〇〇〇さん)

使う人の年齢は

使う人の性別は

使う人の職業は

使う人の財布の中は (e.g. 現金〇〇円、クレジットカード、キャッシュレス、etc.)

使う人の好きなものは

使う人の趣味は

使う人の家族は

使う人の習慣・ルーチンワークは

2. その人は何のために使うのですか

目的は

効果は

利益 (ベネフィット) は

3. その人はいつ使いますか (When)

年/季節/月/週/曜日/日にち/時間帯

機会

状況

4. その人はどこで使いますか (Where)

5. その人はどうやって手に入れますか (e.g. 自分で買う、買ってもらう、お土産、お祝い、etc.)

誰が買いますか

使う人との関係は

買う人の年齢は

買う人の性別は

買う人の職業は

買う人の財布の中は (e.g. 現金〇〇円、クレジットカード、キャッシュレス、etc.)

買う人の好きなものは

買う人の趣味は

買う人の家族は

買う人の習慣・ルーチンワークは (e.g. スーパー、コンビニ、ネット通販、etc.)

買う人はどこで買いますか

買う人は何のために買うのですか

買う人はいつ買いますか (When)

年/季節/月/週/曜日/日にち/時間帯

機会

状況

買う人はいくらくらいたら買いますか

それは高い買い物ですが、安い買い物ですか

6. それでどうなりますか

お客様にはどのような良いコトがありますか

お客様には何か都合の悪いコトがありますか

7. 競合はありますか

ほかに同じ目的の自社商品/サービスはありますか

他社の同じ商品/サービスはありますか

他社に同じ目的の商品/サービスはありますか

あなたは「なぜ」これを作って売っていますか (WHY)

(e.g. お客様に新しい食の形を提案したい、子供の笑顔を作りたい、儲けたい、etc.)

図3 インタビュースシート



図4 ナビカード

○試作

商品のプロトタイプを作製する。

○評価

上記プロトタイプを評価する。

「すごろく系ボードゲーム」の盤面をイメージし、コマを置くマスの様に表現することとした。

3-2-4 ナビツール

ナビツールはナビボードで示した各開発段階において行うべき手法を提案する要素ツールとして設計した。

「導入・分析」エリアで「インタビューシート」、「コンセプトワーク」、「試作・評価」エリアでは「ナビカード」という要素ツールを設定した。

3-2-5 インタビューシート

インタビューシートは「導入・分析」エリアでの「商品の理想と現状の理解」用の要素ツールである。図3にこれを示す。

これは、支援ツールで検討する商品・サービスに関わるアンケートシートとした。例えば、現商品の仕様と価格、理想的な商品の仕様と価格、何のためにその商品をターゲットに提供するのかなどの質問を用意し、現状、理想、開発者のあるべき姿について開発者自身が再認識し、現状と理想のギャップを意識して、その阻害要因が何かを認識できるものとした。

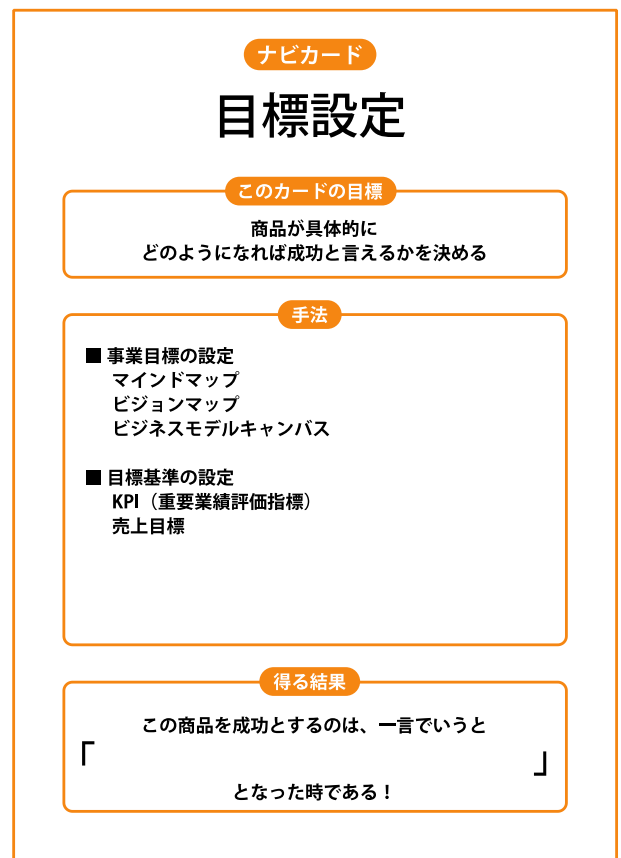


図5 ナビカードの例(目標設定)

3-2-6 ナビカード

ナビカードは、「コンセプトワーク」、「試作・評価」エリアでの、具体的な行動を提示する要素ツールである。カードは、図4に示す様に、ナビボードの「コンセプトワーク」で6種類、「試作・評価」で2種類作成した。

図5に示す「目標設定」ナビカードを例にすると、カード内は「このカードの目標」、「手法」、「得る結果」と3つの欄に分けた。「このカードの目標」では、この段階で何をすべきかを示し、「得る結果」はこの段階で最後に何を得たのかを簡潔に記すように設計した。「手法」欄には、それぞれの「得る結果」のための具体的な方法・手法をリストアップした。これらの手法は製品開発やマーケティングの手順としてすでに紹介されており、一般的に知られているものである。これらにはそれぞれ詳細なルールがあるため、ナビカードでは手法の提案にとどめ、具体的な実施は専門書などを参考に行うものとした。

3-3 考察

先行事例調査から、商品開発の初期で開発者自身による現状把握の実施と、その現状把握の必要性の理解が重要であることがわかった。インタビューシートは現状把握を促すための要素ツールである。

また提案した支援ツールにより、あまりにも拙速にアイデアや提案を絞ったり、ナビボード、ナビツールの各開発段階で初めから完全な回答や提案を支援ツールが求めたりすることがないように、スパイラルアップの繰り返しによって提案の精度を上げることを重視した。

今回の検討による支援ツールには、「○○アイデア」、「○○コンセプト」、または「○○マップ」など、同じような語が多く、製品開発やデザイン行為に不慣れな方には紛らわしい。今後、混乱や誤解がなく使えるような用語の選択が必要である。

この支援ツールはまだ概念的で、実ツールとして利用

するためには、細部の具現化がさらに必要である。今後は、今回作成した支援ツールを実践的に使用し、その有効性の検証を行いつつ、使い勝手の向上を目標に随時修正を行い、岩手県内製造業の商品開発力向上に資するツールの完成を目指す予定である。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、青森県産業技術センター弘前工業研究所、ならびに関係各位に大変お世話になった。厚く御礼を申し上げる。

文 献

- 1) サイモン・シネック：WHY から始めよ！, 日本経済新聞出版（2012）
- 2) 手塚明：デザインと機能設計の効果測定モデル及び現場立脚の課題解決アプローチ, 産業技術総合研究所（2015）
- 3) デザイナー・中小企業のためのデザイン契約のポイント 意匠制度によるデザイン保護と活用, 経済産業省近畿経済産業局 知的財産室（2018）
- 4) 産業競争力とデザインを考える研究会：「デザイン経営」宣言, 経済産業省・特許庁（2018）
- 5) ジェームス・W・ヤング：アイデアの作り方, CCCメディアハウス（1988）
- 6) 安西洋之、八重樫文：デザインの次に来るもの, クロスメディアパブリッシング（2017）
- 7) 延岡健太郎：MOT[技術経営]入門, 日本経済新聞出版社（2006）
- 8) イゴール・ハリシキビッチ：実戦デザインマネジメント創造的な組織デザインのためのツール・プラクティス, 東京電機大学出版局（2019）

県内中小企業におけるデザイン活用に関する調査*

高橋 正明**、菊池 仁***、近藤 信一****

企業がデザインを活用することにより、その取り組みが企業の産業競争力の向上に寄与するとされている。しかし、岩手県内の製造業がデザインをどのように捉え、活用しているかは明らかではないことから、アンケート調査を実施した。その結果、県内では自社ブランドの商品を有する企業は多いものの、デザインを狭義に捉えている企業が多く、またデザイン経営も導入されていない企業が多いことがわかった。

キーワード：デザイン、デザイン経営、商品開発

A survey on design utilization in small and medium-sized enterprises in Iwate prefecture

TAKAHASHI Masaaki, KIKUCHI Hitoshi and KONDO Shinichi

Key words : design, design management, product development

1 緒言

「デザイン」について、企業によっては、「ユーザー体験 (UX=User eXperience) を含む製品・サービス全体を対象にする」と広義に理解している場合と、「意匠 (製品やパッケージの装飾) やユーザーインターフェイスなど主に表層的な姿を対象にする」と狭義に理解している場合がある。経済産業省が平成 28 年度に実施した調査によると、前者と理解している企業の方が営業利益の増加率が高いと報告されている¹⁾

また、経済産業省と特許庁は、平成 30 年 5 月 23 日に『デザイン経営』宣言を公表した²⁾。その中では、企業がデザイン経営に取り組むことで、その企業のブランド力とイノベーション力が向上し、それにより産業競争力の向上に寄与することが記されている。

このような状況を踏まえ、当センターでは、平成 31 年 4 月に、市場において競争力のある魅力的な商品の開発を支援するためのデザイン支援拠点として IIRI DESIGN LAB (デザインラボ) を設置し、デザイン支援に取り組んでいる。しかし、県内製造業の中小企業がデザインをどのように捉え、活用しているかは明らかでない。

そこで、県内製造業の中小企業がデザインをどのように活用しているのかアンケート調査し、その調査結果を活用して、今後の当センターデザインラボにおけるデザイン支援の充実を図ることとした。

2 調査方法

2-1 アンケート調査の概要

アンケート調査は以下の要領で実施した。

- 1) 名称：県内中小企業におけるデザイン活用に関するアンケート調査
- 2) 調査対象：県内の法人格を有する中小企業 (製造業) 623 企業
- 3) 調査対象：アンケート用紙を郵送で、回答後返送
- 4) 調査期間：配布日 2019 年 8 月 20 日 (火)
回答期限 2019 年 9 月 20 日 (金)

2-2 調査対象の選定

調査対象は、岩手県内の業界団体に所属する企業又は

表 1 送付先の業種別の事業者数

業種	企業数 (単位：者)	割合 (単位：%)
食料品製造業	172	27.6
繊維工業	76	12.2
金属製品製造業	52	8.3
印刷・同関連業	44	7.1
鉄鋼業	33	5.3
その他	246	39.5
計	623	100.0

当センターにおいて支援実績がある企業の中から、県内に活動拠点のある製造業者で、法人格を有する中小企業

* 平成 31 年度 技術シーズ創生研究事業 プロジェクトステージ、平成 31 年度公立大学法人岩手県立大学地域政策研究センター地域共同研究 (ステージ I)

** 産業デザイン部

*** 産業デザイン部 (現：企画支援部)

**** 岩手県立大学総合政策学部

とした。送付先の業種別企業数は表1の通りである。各企業の業種は、総務省の日本標準産業分類を基本に、事業内容を考慮して改めて筆者が分類し集計した。

2-3 アンケート内容

各設問は、現状把握が目的のため、企業活動においてデザインをどのように捉え、どの程度活用されているかを客観的に問うものとした。

設問の区分、設問数、設問項目は表2の通りである。

表2 アンケートの設問

区分	設問数	設問項目
事業所概要	6項目	①事業所名 ②回答者 ③業種 ④従業員数 ⑤年間売上高 ⑥令和元年度の売上予測
商品開発状況	9問	Q01. 自社ブランド商品の有無 Q02. 売上に占める各生産形態の割合 Q03. 製品の設計・開発担当の有無 Q04. 商品開発のデザイン担当の有無 Q05. 商品開発のディレクターの有無 Q06. デザイナーの商品開発への関わり方 Q07. 外部デザイナーの探し方 Q08. マーケティングの実施状況 Q09. 自社として高めていきたい能力
デザイン活用	10問	Q10. デザインの捉え方 Q11. デザインの経営資源としての活用 Q12. デザイン活用への期待 Q13. コーポレート・アイデンティティ(CI)の導入 Q14. 「デザイン経営」宣言の認知度 Q15. 「デザイン経営」の認知度 Q16. グッドデザイン賞の認知度 Q17. iF Design Awardsの認知度 Q18. 知的財産の管理状況 Q19. デザイン情報の入手方法
デザイン支援	3問	Q20. 岩手県工業技術センターのデザイン支援への期待 Q21. デザイン活用への自社の課題 Q22. 公的機関のデザイン支援への期待

なお、アンケートの調査票はA3判の二つ折りとし、A4判4ページとした。

3 結果及び考察

3-1 回答状況

アンケートの調査票は623者に送付したが、それに対し235者から回答があった。

業種別の企業数は表3の通りである。なお、回答率は37.7%であった。各企業の業種は、表2の設問中、「事業所概要③業種」の回答結果により集計した。

表3 回答の業種別の事業者数(事業所概要③業種)

業種	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
食料品製造業	69	29.4
金属製品製造業	28	11.9
繊維工業	19	8.1
印刷・同関連業	15	6.4
木材・木製品製造業(家具を除く)	14	5.9
その他	90	38.3
計	235	100.0

3-2 単純集計

各設問の回答を単純集計したものが表4~30の通りである。

なお、単一回答の設問においても複数回答した企業があることから、各設問の企業数の計は回答企業数の235企業を超えるものとなっている。ただし表4~30について、表中に記載した割合は235者に占める割合である。

(1) 事業所概要

回答のあった事業所の概要は以下の表4~8の通りである。

表4 事業所概要④従業員数(正社員及び非正規社員の計)

回答	企業数 (単位: 企業)	割合 (単位: %)
20人以下	94	40.0
21人以上100人以下	101	43.0
101人以上200人以下	23	9.8
201人以上300人以下	6	2.6
300人以上	5	2.1
無回答	6	2.6
計	235	

表5 事業所概要④従業員数(正社員と非正規社員の比)

回答	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
正社員が非正規社員よりも多い	193	82.1
正社員と非正規社員が同数	10	4.3
正社員が非正規社員よりも少ない	25	10.6
無回答欄あり	7	3.0
計	235	

表6 事業所概要④ 従業員数（男女の比）

回答	企業数 (単位:者)	割合 (単位:%)
男性が女性よりも多い	119	50.6
男性と女性が同数	15	6.4
女性が男性よりも多い	83	35.3
無回答欄あり	18	7.7
計	235	

表7 事業所概要⑤ 年間売上高

回答	H28 (単位:者)	H29 (単位:者)	H30 (単位:者)
10,000,000円未満	6	7	5
10,000,000円以上 100,000,000円未満	46	49	52
100,000,000円以上 1,000,000,000円未満	108	105	102
1,000,000,000円以上	40	43	45
無回答	35	31	31
計	235	235	235

表8 事業所概要⑥ 令和元年度の売上予測

選択肢	企業数 (単位:者)	割合 (単位:%)
平成30年度に比べ増加する	59	25.1
平成30年度とほぼ同額	90	38.3
平成30年度に比べ減少する	76	32.3
無回答	10	4.3
計	235	

(2) 商品開発状況

上述した事業所の商品開発状況は以下の表9～17の通りである。

表9 Q01. 自社ブランド商品の有無

選択肢	企業数 (単位:者)		割合 (単位:%)	
既に発売している	152	152	64.7	64.7
自社ブランドの商品を開発中である	9	30	3.8	12.8
商品開発までには至っていないが検討している	21		8.9	
開発予定はない(理由:_)	56	56	23.8	23.8
無回答	3	3	1.3	1.3
計	241	241		

自社ブランドの商品の有無については、表9に示す様に、「自社ブランドの商品を開発中である」と「商品開発までには至っていないが検討している」の回答数が少数

であり、選択肢の意味していることが近いことから、これらを合算して集計した。「開発予定はない」が56者もあり、これらからはその後の設問に無回答が多かった。

生産形態については、表10に示す様に、自社ブランド商品の生産が最も多い企業と、他社製品の生産が最も多い企業とが、ほぼ同数であった。また表11から、「設計・開発担当者がある」企業が約5割あり、表12に示す設問Q04の回答と比較すると、設計・開発担当者が内部にいる企業の多いことが分かった。

表10 Q02. 売上に占める各生産形態の割合

回答	企業数 (単位:者)		割合 (単位:%)	
「自社ブランド商品の生産」が最も多い	108	108	46.0	46.0
「他社製品の見込生産」が最も多い	9	107	3.8	45.5
「他社製品の受注生産」が最も多い	76		32.3	
「他社からの受注設計生産」が最も多い	22		9.4	
その他	11	11	4.7	4.7
無回答	17	17	7.2	7.2
計	243	243		

表11 Q03. 製品の設計・開発担当者の有無

(複数回答可)

選択肢	企業数 (単位:者)	割合 (単位:%)
設計・開発担当者がある	126	53.6
設計・開発担当の部門がある	61	26.0
設計・開発を外注している	27	11.5
設計・開発は行っていない	66	28.1
その他の回答	2	0.9
無回答	9	3.8
計	291	

表12 Q04. 商品開発のデザイン担当者の有無

(複数回答可)

選択肢	企業数 (単位:者)		割合 (単位:%)	
デザイナー職がある	16	92	6.8	39.1
商品開発のデザインの担当者(他の職と兼務)がいる	66		28.1	
商品開発のデザインの担当部門がある	10		4.3	
外部のデザイナーに外注している	70	70	29.8	29.8
デザイン担当者の採用を予定している	4	97	1.7	41.3
いない(理由:_)	93		39.6	
無回答	13	13	5.5	5.5
計	272	272		

デザイン担当者の有無については、表12に示す様に、「デザイナー職がある」、「商品開発のデザインの担当者（他の職と兼務）がいる」及び「商品開発のデザインの担当部門がある」を合算して、「内部にデザイン担当者がある」とし、また「デザイン担当者の採用を予定している」及び「いない」を合算して「いない」として、それぞれを集計している。

その結果、「内部にデザインの担当者がある企業」と「いない企業」の割合は、それぞれ約4割あり、ほぼ同数である。また、外部のデザイナーに外注している企業が約3割もあり、「いない」と回答している企業の理由の多くが「必要ない」と回答している。

また商品開発のディレクターの有無についても、表13に示す様に、「いない」と回答している企業の多くが「必要ない」と回答している。

表13 Q05. 商品開発のディレクターの有無

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
専任のディレクターがいる	24	10.2
他の職を兼任しているディレクターがいる	81	34.5
外部のディレクターに外注している	9	3.8
いない (理由: _____)	112	47.7
無回答	14	6.0
計	240	

表14 Q06. デザイナーの商品開発への関わり方

(複数回答可)

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
商品企画から関わっている	81	34.5
製品の意匠設計を行っている	40	17.0
商品パッケージの制作を行っている	67	28.5
販促物の制作を行っている	46	19.6
無回答	84	35.7
計	318	

さらに、表14に示す様に、デザイナーが「商品企画から関わっている」企業は4割に満たず、表15に示す様に、約5割の企業は知り合いの外部デザイナーを活用している。

表16は、マーケティング実施状況の回答結果であるが、「社内の担当者が行っている」と「外部に依頼している」を合算しても、マーケティングを行っている企業は4割に満たないことが分かる。

一方で、商品開発を行うにあたって、自社の「企画力」や「マーケティング力」を高めていきたいと考えている企業が多いことも、表17から分かる。

表15 Q07. 外部デザイナーの探し方

(複数回答可)

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
特定のデザイナーがいる	54	23.0
知り合いのデザイナーが複数いる	54	23.0
その都度、支援機関等に紹介してもらう	14	6.0
探したいが見つかる方法がわからない	7	3.0
外注することがない	72	30.6
無回答	53	22.6
計	254	

表16 Q08. マーケティングの実施状況

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
社内の担当者が行っている	82	34.9
外部に依頼している	8	3.4
行っていないが、行いたいと考えている	54	23.0
行っていない	66	28.1
無回答	31	13.2
計	241	

表17 Q09. 商品開発を行うにあたって自社として高めていきたい能力

(最大3つまで回答可)

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
マーケティング力	100	42.6
企画力	108	46.0
デザイン表現力	67	28.5
技術開発力	83	35.3
生産技術力	65	27.7
生産能力	44	18.7
その他 (_____)	6	2.6
無回答	45	19.1
計	518	

(3) デザイン活用

表18～27は、デザインの利用に関して整理した結果である。

表18はデザインについての捉え方で、「製品等の意匠やユーザーインターフェイスの設計」といった狭義のデザインの捉え方をしている企業が、県内中小企業では最も多いことが分かる。

表19は、デザインを経営資源として活用しているか、どうかであるが、「活用している」と答えた企業は約3割で、「活用していないが、活用したいと考えている」企業

も約3割あることが分かった。

さらに表 20 では、デザインを活用することへの期待感を尋ねているが、約5割の企業が「売上げの向上」を期待していることが分かる。

表 21 は、企業戦略としてコーポレート・アイデンティティを導入しているかを問うたものであるが、約1割の企業が「導入している」と答えている。

表 22 では、経済産業省と特許庁が平成 28 年に公表した「デザイン宣言」を知っているかを質問している。5割以上の企業が「知らない」と答えており、「よく知ってお

り、デザイン経営を導入している」と答えた企業は僅かであった。

表 23 は、さらに踏み込んで、デザイン思考という考え方を知っているかどうかを尋ねている。「デザイン経営」宣言と同様に、「知らない」と答えた企業は5割以上であり、「よく知っており、経営にデザイン思考を導入している」と答えた企業は僅かである。

一方、表 24 では、「グッドデザイン賞」を知っているかを尋ねた。認知度はとても高いものの、約7割は応募を考えていないことが分かった。さらに、「iF Design Awards」についても認知度を調べたが、表 25 に示す様に、グッドデザイン賞と比べて認知度が低く、殆どの企業は応募を考えていない。

表 18 Q10. デザインの捉え方

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
製品等の意匠やユーザーインターフェイスの設計 (狭義のデザイン)	94	40.0
上記に加え、ユーザー体験の設計や製品/サービスの全体設計まで (広義のデザイン)	51	21.7
上記に加え、ビジネスモデルやエコシステムの設計まで (経営のデザイン)	34	14.5
その他の回答	1	0.4
無回答	59	25.1
計	239	

表 21 Q13. コーポレート・アイデンティティ (CI) の導入

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
導入している	28	11.9
導入していないが、統一した自社のシンボルマークあるいはロゴがある。	113	48.1
導入していない (理由: _____)	63	26.8
無回答	31	13.2
計	235	

表 19 Q11. デザインの経営資源としての活用

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
活用している	68	28.9
活用していないが、活用したいと考えている	73	31.1
活用していない (理由: _____)	65	27.7
無回答	30	12.8
計	236	

表 22 Q14. 「デザイン経営」宣言の認知度

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
よく知っており、デザイン経営を導入している	5	2.1
知っているが、導入はしていない	9	3.8
ある程度知っている	22	9.4
聞いたことがある	49	20.9
知らない	128	54.5
無回答	22	9.4
計	235	

表 20 Q12. デザイン活用への期待

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
売上げの向上	113	48.1
新商品 (製品) / サービスの創出	58	24.7
他社との差別化	90	38.3
新規市場の開拓	42	17.9
従業員の満足度の向上	16	6.8
優秀な人材の確保	12	5.1
その他 (_____)	11	4.7
無回答	51	21.7
計	393	

表 23 Q15. 「デザイン思考」の認知度

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
よく知っており、経営にデザイン思考を導入している	7	3.0
知っているが、導入はしていない	7	3.0
ある程度知っている	25	10.6
聞いたことがある	51	21.7
知らない	123	52.3
無回答	22	9.4
計	235	

さらに、知的財産の管理状況やデザイン情報の入手方法についても尋ねた。表26および表27に示す様に、約4割の企業が知的財産の管理をしておらず、デザイン情報は、約5割がWEBで入手しており、約3割が雑誌で入手していることも明らかになった。

表24 Q16. グッドデザイン賞の認知度

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
応募し、受賞したことがある	14	6.0
応募したことがある	8	3.4
応募したいと考えている	9	3.8
知っているが応募は考えていない。	164	69.8
知らない	20	8.5
無回答	20	8.5
計	235	

表25 Q17. iF Design Awardsの認知度

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
応募し、受賞したことがある	1	0.4
応募したことがある	0	0.0
応募したいと考えている	5	2.1
知っているが応募は考えていない。	39	16.6
知らない	170	72.3
無回答	20	8.5
計	235	

表26 Q18. 知的財産の管理状況

(複数回答可)

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
特許を出願・登録している	59	25.1
実用新案を出願している	12	5.1
意匠を出願・登録している	24	10.2
商標を出願・登録している	87	37.0
その他の知的財産を登録している(登録内容:)	3	1.3
管理していない(理由:)	90	38.3
無回答	24	10.2
計	299	

表27 Q19. デザイン情報の入手方法

(複数回答可)

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
WEB	124	52.8
SNS	24	10.2
メールマガジン	16	6.8
産業支援機関等の広報紙	44	18.7
雑誌	78	33.2
新聞	44	18.7
書籍	45	19.1
その他()	26	11.1
無回答	50	21.3
計	451	

(4) デザイン支援

最後にデザイン支援が必要かを尋ねた結果が、表28～30である。

当センターに期待するデザイン支援としては、「デザインセミナーの開催」、「WEBやSNSでの情報発信」、「デザイン相談」の3つが特に多い。また、「デザイナーとのマッチング」も多いことがわかった。

表28 Q20. 岩手県工業技術センターのデザイン支援への期待

(最も期待する順に数字で1～3までの順位を記入)
(単位: 企業)

選択肢	1位	2位	3位	印※	計
デザインセミナーの開催	40	33	13	13	99
WEBやSNSでの情報発信	37	26	15	12	90
デザイン相談	43	17	28	15	103
デザイナーとのマッチング	9	26	24	11	70
専門家派遣(専門分野:)	6	9	10	7	32
各種デザイン賞への応募支援	5	4	11	2	22
その他()	11	0	3	1	15
無回答					51

※「○」や「✓」などの数字以外のものが記入されていたもの。

一方、デザインを活用する上での各社の課題については自由記述で回答を求めたが、表29の様に、「特になし」と記入したものと未記入を含めると、約7割が課題を挙げていなかった。記入されたものの中では費用の問題、人材不足、能力不足などの記述が見受けられる

また公的機関へのデザイン支援の期待については、これも自由記述で回答を求めたが、表30に示す様に、これについても「特になし」と記入されたものと未記入を含

めると、約7割が期待することを挙げていない。また記入されたものの中では、費用への支援をあげる企業が多く、他は多岐にわたっていた。

表 29 Q21. デザイン活用への自社の課題

(自由記述)

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
記入	93	39.6
記入のうち「特になし」等	(20)	(8.5)
未記入	142	60.4
計	235	

表 30 Q22. 公的機関のデザイン支援への期待

(自由記述)

選択肢	企業数 (単位: 者)	割合 (単位: %)
記入	79	33.6
記入のうち「特になし」等	(20)	(8.5)
未記入	156	66.4
計	235	

3-3 クロス集計

単純集計の結果から、次の点に絞ってクロス集計を行った。

まず、設問 Q12 (デザイン活用への期待) の回答として、「売上げの向上」を選択した企業が 48.1%と最も多かったことから、「令和元年度の売上予測」(事業所概要⑥) と他の設問との掛け合わせを主に行った。

「売上げ予測」と掛け合わせる設問は、まず、商品開発状況の区分の中からは、設問 Q01 (自社ブランド商品の有無) 及び設問 Q04 (商品開発のデザイン担当者の有無) とした。また、デザイン活用の区分の中からは、本アンケートの主旨であるデザインの捉え方に関する設問 (Q10) とデザインの活用に関する設問 (Q11) にした。

次に、設問 Q09 (商品開発を行うにあたって自社として高めていきたい能力) の回答として、「企画力」が 46.0%と最も多く、続いて「マーケティング力」が 42.6%と多かったことから、関連するものとして設問 Q08 (マーケティングの実施状況) との掛け合わせも行った。

さらに、事業所概要⑥との掛け合わせ以外のものとしては、設問 Q10 (デザインの捉え方) と設問 Q11 (デザインの経営資源としての活用) について掛け合わせを行った。

クロス集計を行った結果は以下の通りである。

(1) 「売上予測」(表 8) と「自社ブランド商品の有無」(表 9) について

表 31 に示す様に、自社ブランドの商品を「既に発売している」企業の方が、平成 30 年度の売上げと「ほぼ同額」としているところが最も多い。また、自社ブランドの「開発予定がない」企業は、売上げが「減少する」としているところが最も多いことがわかった。

表 31 クロス集計【事業所概要⑥】 - 【Q01】

		事業所概要⑥				計
		増加する	ほぼ同額	減少する	無回答	
Q01	既に発売している	43	62	42	5	152
	自社ブランドの商品を開発中又は検討している	13	11	8	0	32
	開発予定はない	18	18	27	3	66
	無回答	0	0	0	2	2
計		74	91	77	10	252

(2) 「売上予測」(表 8) と「商品開発のデザイン担当者の有無」(表 12) について

表 32 に示す様に、「内部にデザイン担当者がある」及び「外部のデザイナーに外注している」企業は、「平成 30 年度の売上げとほぼ同額」であるところが最も多い。また、デザインの担当者が内部にいない企業では、売上予測が「減少する」としている企業が最も多いのがわかる。

表 32 クロス集計【事業所概要⑥】 - 【Q04】

		事業所概要⑥				計
		増加する	ほぼ同額	減少する	無回答	
Q04	内部にデザイン担当者がある (選択肢1~3の合計)	28	35	26	3	92
	外部のデザイナーに外注している	23	32	12	3	70
	いない (予定しているを含む)	18	33	43	3	97
	無回答	1	8	2	2	13
計		69	100	81	9	259

表 33 クロス集計【事業所概要⑥】 - 【Q08】

		事業所概要⑥				計
		増加する	ほぼ同額	減少する	無回答	
Q08	行っている (社外に依頼も含む)	35	35	18	2	90
	行っていないが、行いたいと考えている	11	20	21	2	54
	行っていない	12	27	24	3	66
	無回答	4	11	13	3	31
計		62	93	76	10	241

(3)「売上予測」(表8)と「マーケティングの実施状況」(表16)について

表33に見るように、マーケティングを行っている企業の方が、売上予測が「増加する」又は「ほぼ同額」としている企業が多い。

(4)「売上予測」(表8)と「デザインの捉え方」(表18)について

表34に見られるように、デザインを「経営のデザイン」と捉えている企業では、売上予測が「増加する」又は「ほぼ同額」としている企業が多い。一方、「狭義のデザイン」と捉えている企業では、「ほぼ同額」又は「減少する」としている企業が多い。

表34 クロス集計【事業所概要⑥】－【Q10】

		事業所概要⑥				計
		増加する	ほぼ同額	減少する	無回答	
Q10	狭義のデザイン	24	34	33	3	94
	広義のデザイン	14	20	15	2	51
	経営のデザイン	12	13	8	1	34
	無回答(その他を含む)	9	25	22	4	60
計		59	92	78	10	239

(5)「売上予測」(表8)と「デザインの経営資源としての活用」(表19)について

表35からわかるように、デザインを経営資源として活用している企業の方が、売上予測が「増加する」又は「ほぼ同額」としている企業が多い。一方、活用していない企業では、「ほぼ同額」又は「減少する」としている企業が多い。

表35 クロス集計【事業所概要⑥】－【Q11】

		事業所概要⑥				計
		増加する	ほぼ同額	減少する	無回答	
Q11	活用している	24	24	16	4	68
	活用していないが、活用したいと考えている	18	31	23	1	73
	活用していない	11	25	28	1	65
	無回答	6	11	9	4	30
計		59	91	76	10	236

(6)「デザインの捉え方」(表18)と「デザインの経営資源としての活用」(表19)について

表36に示す様に、デザインを経営資源として活用している及び活用したいと考えている企業においても、デザインを「狭義のデザイン」と捉えている企業の多いこ

とがわかる。

表36 クロス集計【Q10】－【Q11】

		事業所概要⑥				計
		狭義のデザイン	広義のデザイン	経営のデザイン	無回答(その他を含む)	
Q04	活用している	33	21	13	2	69
	活用していないが、活用したいと考えている	34	23	15	4	76
	活用していない	27	6	6	26	65
	無回答	1	0	0	28	29
計		95	50	34	60	239

3-4 考察

(1) 企業におけるデザイン活用について

調査の結果、県内の企業では、自社ブランドの商品を有している企業は多いものの、デザインを狭義に捉えている企業が多く、またデザイン経営も導入されていない企業の多いことがわかった。

さらに、回答結果をクロス集計することにより、次の知見が得られた。

- ① デザインを経営資源として活用している企業では、売り上げの増加が見込まれると回答する傾向が見られる。
- ② デザイナーと協働して自社ブランドの商品を開発することにより、デザイン活用の意識が高まり、売り上げの増加が見込めるものと思われる。

これらのことから、県内製造業の中小企業へデザイン経営の導入を促し、デザイナーと協働して商品開発を行うための支援体制を整備することが必要であることがわかった。なおその支援は、IIRI DESIGN LAB(デザインラボ)の活動内容と一致することもわかった。

(2) 当センターにおけるデザイン支援について

表18(設問Q08)の結果から、商品開発を行うにあたり4割近い企業がマーケティングを行っていることがわかった。さらに、自社として高めてきたい能力では、企画力が最も多く、マーケティング力も同様に多かった。

また、当センターによるデザイン支援として期待しているものとしては、「デザインセミナーの開催」、「WEBやSNSでの情報発信」及び「デザイン相談」が多く、デザイン活用に係る情報を求めていることが伺えた。

これらのことから、IIRI DESIGN LAB(デザインラボ)の活動にあたっては、(1)で述べた商品開発支援と併せて、特に「企画力」と「マーケティング力」が向上するための支援の強化を図っていくこと必要であることが明らかになった。

4 結 言

本調査により、県内製造業の中小企業がデザインをど

のように捉え、企業活動においてどのように活用されているか明らかになった。さらに IIRI DESIGN LAB (デザインラボ) の活動として必要とされるものもわかった。これらの調査結果を今後の活動へ活かしていきたい。

謝 辞

アンケート調査にご協力いただいた県内の各中小企業に感謝申し上げます。

また、この調査は、公立大学法人岩手県立大学地域政策研究センターにおいて平成 31 年度地域協働研究とし

て行われた研究の一部として実施されたものである。関係各位に深く感謝申し上げたい。

文 献

- 1) 経済産業省 第 4 次産業革命クリエイティブ研究会-報告書：第 4 次産業革命におけるデザイン等のクリエイティブの重要性及び施策検討に係る調査研究報告書 (2017)
- 2) 経済産業省・特許庁 産業競争力とデザインを考える研究会-報告書：「デザイン経営」宣言 (2018)

セルレニン耐性を有する清酒酵母から尿素非生産性株の取得*

玉川 英幸**、米倉 裕一**

セルレニン耐性を有する岩手県の吟醸酵母「ジョバンニの調べ」F2株と「ゆうこの想い」P40株から自然変異によってアルギナーゼ欠損変異株を分離することを試みた。既報の条件では取得できなかったため、各種条件の検討を行い、計8条件、合計120枚のCA0培地から合計でP40株からは20株、F2株からは15株の推定*CARI*変異株を分離した。塗布する菌体量を 10^9 cells/plateとし、定法の100倍に増加させた方法が最も取得数が多く、30枚のCA0培地からP40株は14株、F2株は11株の推定*CARI*欠損株を取得することができた。これら候補株の中から親株とセルレニン耐性に変化がない株で、尿素生成量が大幅に減少した株それぞれ1株を選抜し、総米22kgにスケールアップした小仕込み試験を行い、親株とほぼ同等の発酵能、香气成分生成を示すことを確認した。

キーワード：アルギナーゼ、*CARI*、カプロン酸エチル

Isolation of non-urea-producing mutants from cerulenin-resistant sake yeasts

TAMAKAWA Hideyuki and YONEKURA Yuichi

Key words : Arginase, *CARI*, Ethyl caproate, Loss of heterozygosity

1 緒言

酒類を含む発酵食品中にはカルバミン酸エチルが含まれている事が知られている¹⁾。カルバミン酸エチルは、国際がん研究機関により、平成19年にグループ2A(おそらく発がん性がある)に分類された物質であるが、コーデックス委員会において規制値を定めるとの結論には至っておらず、日本国内においても食品衛生法上の規制値はない。しかし、酒類の安全性を担保する目的から古くから含有量を減らす取り組みが行われている。

清酒におけるカルバミン酸エチルは、酵母が生成する尿素とエタノールが化学的に反応して生成されることが明らかとなっている²⁾。カルバミン酸エチルの低減には清酒中の尿素濃度を低減させることや貯蔵温度を低く保つことが効果的であることが知られており、尿素を低減させる方法としては原料処理、ウレアーゼの使用、低尿素生産性酵母を利用する方法が報告されている³⁾。

北本らは、清酒酵母のアルギナーゼ遺伝子(*CARI*)を破壊することで尿素生産性が欠失すること⁴⁾、アルギニン、オルニチン、アルギニンアナログであるカナバニンが特定比率で含まれるCA0培地では*CARI*破壊株のみが特異的に増殖できること⁵⁾を見出し、清酒酵母から自然変異によって尿素非生産となった株を取得できることを報告した⁶⁾。関連の特許が切れてからは本手法を用いて、数多くの尿素非生産清酒酵母が育種されている⁷⁻¹⁰⁾。

ところで、吟醸香が高まった酵母を育種する方法として、セルレニン耐性株を取得するという手法がある¹¹⁾。

セルレニンは酵母の脂肪酸合成を阻害する薬剤であり、脂肪酸合成酵素遺伝子に変異が入ることで酵母はセルレニンに耐性を得る。こうしたセルレニン耐性酵母の培養液に含まれる脂肪酸組成は、親株と異なる場合があり、カプロン酸やカプリル酸などの中鎖脂肪酸が増加した株ではそのエステル体であるカプロン酸エチル(吟醸香の1種)が増加する。こうしたセルレニン耐性酵母では脂肪酸合成酵素複合体の・サブユニットをコードしている*FAS2*遺伝子に変異を持つことが多いとされており、例えば、酵母のセルレニン耐性化によってもたらされた*FAS2*遺伝子のG3748A(G1250S)の1塩基変異はカプロン酸エチルの高生産に寄与していることが知られている¹²⁻¹⁴⁾。

最近、Kuribayashiらは*FAS2*遺伝子にヘテロ変異を有する酵母を親株として自然変異で尿素非生産株を取得した場合に香气成分の生成が大きく変化する場合があることを報告している¹⁵⁾。尿素生産に関わる責任遺伝子である*CARI*は*FAS2*と同じ第16番染色体に位置しており、染色体上の距離は約230 kbほどしか離れていない。2倍体である清酒酵母が自然変異によって尿素非生産となるには相同染色体上に1つずつある*CARI*遺伝子を両方欠損する必要があるが、突然変異によって2コピーの*CARI*遺伝子が同時に欠損することは確率的には極めて低く、多くの場合はLoss of Heterozygosity (LOH)によるものとされている。すなわち、先に欠失した*CARI*遺伝子を含む染色体がLOHによって相同染色体に置き換わることによって2コピー存在する*CARI*が完全欠損する。*CARI*

* 平成31年度 技術シーズ創生研究事業 育成ステージ

** 醸造技術部

Chromosome XVI in *Saccharomyces cerevisiae*

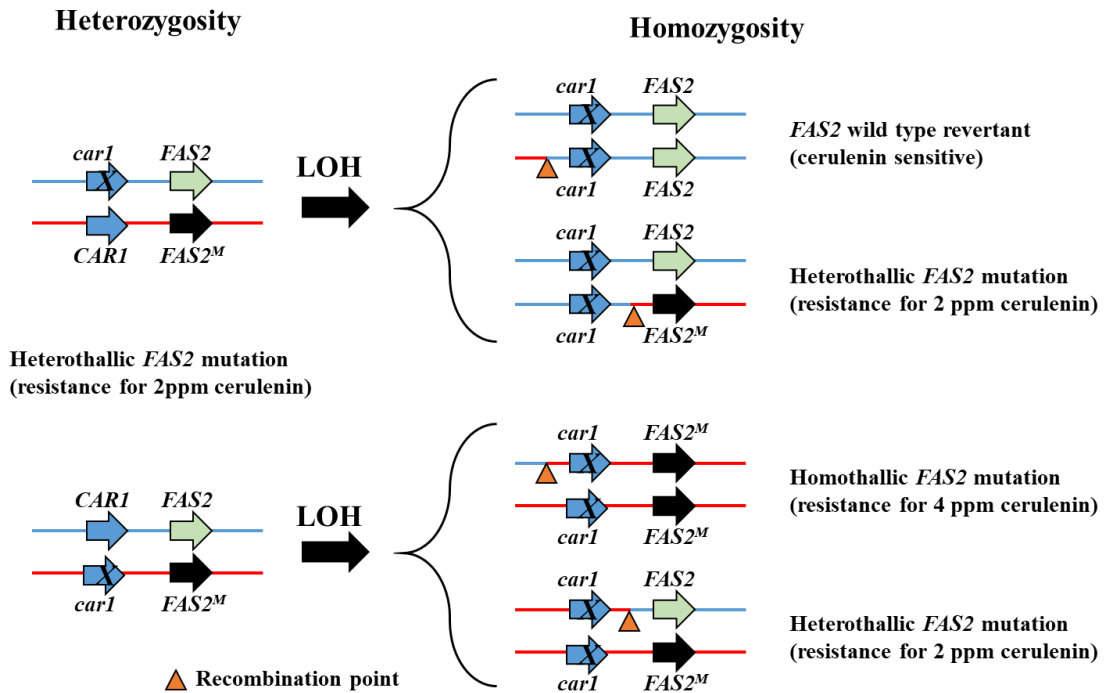


Figure 1 A predicted model for the loss of heterozygosity (LOH) in *car1* mutants containing heterozygous *FAS2* mutation.

The yeast strain with the heterothallic *FAS2* mutation acquired *car1* mutations when cultured on CAO medium. LOH in the *car1* mutants may occurred because of allelic crossover yielding *FAS2* homozygotes (homothallic *FAS2* mutation and wild-type revertant).

を含む領域の LOH によって香気成分が変化するのは、LOH の際に近傍遺伝子も同時に置き換わることに起因する。つまり *CAR1* 近傍に存在する変異を有する *FAS2* 遺伝子も同時に置き換わることによって変異を含む *FAS2* も同時に欠失したり、*FAS2* 変異がホモになってしまうことが有り得る (Figure 1)。したがって、*FAS2* 変異を有する酵母から尿素非生産変異株を取得する場合、LOH による組換え領域が *FAS2* と *CAR1* の間で起こった株を選抜しなければ香気成分が大きく変化してしまう可能性が高いと考えられる。

北本らはきょうかい 901 号を親株とした場合、10 枚の CAO 培地から自然変異によって 41 株の推定アルギナーゼ欠損株を取得することができたと報告している⁶⁾。一方、渡辺らは群馬 KAZE2 株を親株とした場合、400 枚の CAO 培地から自然変異によって得られた推定アルギナーゼ欠損株はわずか 4 株だったと報告しており¹⁰⁾、CAO 培地によるアルギナーゼ欠損株の取得は株によって取得頻度に大きな差があるものと考えられた。岩手県で使用されているセルレニン耐性を有する吟醸系酵母「ジョバンニの調べ」F2 株、「ゆうこの想い」P40 株も同様に CAO 培地でのアルギナーゼ欠損株の取得頻度が極めて低い部類に入ることが分かっており (未発表データ)、今回、我々はこれら 2 つの酵母株から自然変異株取得効率向上のための検討を行うとともに、取得された変異株の醸造適性

について解析を行ったので報告する。

2 実験方法

2-1 使用菌株

岩手吟醸酵母「ジョバンニの調べ」F2 株と「ゆうこの想い」P40 株を尿素非生産株分離の親株として使用した。対照として、岩手 2 号泡無し酵母 (Iw201) より得られた尿素非生産株 (FoxIw201)⁸⁾ を使用した。

2-2 使用培地

本研究で使用した培地は以下のとおりである。適宜 20 g/L の寒天を添加して使用した。

YPD2 培地 : 10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、
20 g/L グルコース

YPD10 培地 : 10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、
100 g/L グルコース

YPD30 培地 : 10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、
300 g/L グルコース

YPD2C2 培地 : 10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、
20 g/L グルコース、2 ppm セルレニン

YPD2C4 培地 : 10 g/L 酵母エキス、20 g/L ペプトン、
20 g/L グルコース 4 ppm セルレニン

CAO 培地: 1.7g/L Yeast nitrogen base w/o AA and AS (Difco)、

10 ppm カナバニン、5 mM オルニチン、
1 mM アルギニン、20 g/L グルコース

Arg 培地: 1.7g/L Yeast nitrogen base w/o AA and AS、
5 mM アルギニン、20 g/L グルコース

Orn 培地: 1.7g/L Yeast nitrogen base w/o AA and AS、
5 mM オルニチン、20 g/L グルコース

2-3 尿素非生産性株の取得方法

酵母菌株の前培養は YPD2 培地に接種し、30° C、100 rpm で振とうすることで行った。変異株取得のための本培養条件は Table 1 に示した。各条件から得られた本培養液から遠心分離によって菌体を回収、滅菌水で 1 回洗浄した後、 10^7 cells/plate もしくは 10^9 cells/plate で CAO 培地上に塗布した。30° C で培養を行い、生育してきたコロニーを再度 CAO 培地上にストリークし、十分な培養が確認できたクローンは YPD 培地にストリークした。得られたコロニーから菌体を採取して 1 mL の滅菌水に懸濁し、Arg 培地、Orn 培地上に $2 \mu\text{L}$ ずつスポットして 30° C で培養を行って増殖性の評価を行った。すなわち CAO 培地で増殖が確認された変異株のうち、Arg 培地で増殖せず、Orn 培地で増殖する株を推定 *CAR1* 欠損株と判定した。また、同じサンプルを YPD2C2 培地、YPD2C4 培地にスポットして同様に評価することで *FAS2* アレルの推定を行った。すなわち、YPD2C2 で増殖して YPD2C4 で増殖しない株は *FAS2* の変異がヘテロ、YPD2C2 と YPD2C4 の両方で増殖するものは *FAS2* 変異がホモ、両方で増殖しないものは *FAS2* 変異が消失していると判定した。

2-4 発酵試験

実験スケールでの発酵能確認は乾燥麹を用いて行った。

Table 1 Isolation condition of arginase-deficient mutants.

No.	Culture condition				Plating condition		Culture day on plate	The number of putative arginase-deficient mutant	
	Medium	Temperature	Culture day	Airation	cell number per plate	Plate number		from F2 strain	from P40 strain
1	YPD2	30°C	1	shake	10^7	30	21	0	1
2	YPD2	30°C	5	static	10^7	10	19	0	1
3	YPD10	30°C	5	static	10^7	10	19	0	1
4	YPD30	30°C	5	static	10^7	10	19	1	0
5	YPD2	8°C	20	static	10^7	10	18	0	2
6	YPD10	8°C	20	static	10^7	10	18	3	1
7	YPD30	8°C	20	static	10^7	10	18	0	0
8	YPD2	30°C	1	shake	10^9	30	5-12	11	14
Total						120		15	20

Table 2 Raw materials for sake brewing

	Syubo	Soe (1st)	Naka (2nd)	Tome (3rd)	Total
Amount of rice (kg)	1.5	3.4	7.2	10.4	22.5
Rice for steaming (kg)	1.0	2.4	6.0	8.6	18.0
Rice of koji (kg)	0.5	1.0	1.2	1.8	4.5
Water (L)	1.8	4.5	9.0	16.2	31.5

各種酵母は Brix5 に調整した麴エキス接種し、30° C、静置で前培養した。乾燥麹 4 g と 11 mL 麴エキス (Brix5)、前培養液 1 mL を 50 mL 滅菌チューブで混和し、15° C で 10 日間静置培養を行った。発酵終了後は遠心上清を回収し、香気成分等の分析を行った。なお、すべての試験は N=4 で行い、結果はその平均値として示した。

2-5 小仕込み試験

小仕込み試験は総米 22kg で行った。原料米は、平成 30 年産「吟ぎんが」精米歩合 55% を用い、岩手県オリジナル麴菌「黎明平泉」(株) 秋田今野商店製) を使用して製麹を行った。22kg の小仕込み試験の仕込み配合は Table 2 の通りとした。初添の温度を 13°C、留添 5.0°C、最高品温 11°C を目標とし、日本酒度-1 を目安に上槽した。

2-6 分析方法

発酵試験のグルコース、エタノール分析は Shi らの高速液体クロマトグラフィーによる方法を一部改変して行った¹⁶⁾。60° C で保持した IC Sep-ION-300 カラム (Tokyo Chemical Industry, Tokyo) を用い、溶媒として 0.01 N 硫酸 (流速 0.4 mL/min) を使用した。検出には示差屈折率検出器を用いた。尿素の測定は Urea Nitrogen Colorimetric Detection Kit (Thermo Fisher Scientific, San Jose, CA, USA) を用いた。製成酒の一般成分および香気成分は国税庁所定分析法に基づいて分析した。

3 結果

3-1 推定 *CAR1* 欠損変異株の取得

変異体選抜のために CAO 培地に菌体を塗布して培養を行うと大小多様なコロニーが形成された。小さいコロニーは再度 CAO 培地にストリークしても増殖しなかつ

Table 3 Urea and ethyl caproate production of putative arginase-deficient mutants.

Parent strain	Mutant number	Isolation condition ¹⁾	Growth on:					Glucose (g/L)	Ethanol (g/L)	Ethyl caproate (ppm)	Urea (mg/L)	
			Orn medium	Arg medium	YPD2 medium containing cerulenin							
					0 ppm	2 ppm	4 ppm					
FoxIw201	Control		+	-	+	-	-	15.0	135.7	0.84	N.D. ²⁾	
	F2	Parent	+	+	+	+	-	8.9	139.1	3.34	2.19	
		5-7	8	+	-	+	+	-	9.8	143.1	3.22	N.D. ²⁾
		3-1	6	+	-	+	-	-	20.8	130.5	1.03	
		3-3	6	+	-	+	-	-	13.7	136.4	1.70	
		5-4	8	+	-	+	-	-	16.3	132.2	1.01	
		5-6	8	+	-	+	-	-	11.6	133.4	0.99	
		5-8	8	+	-	+	-	-	7.7	143.0	0.87	
		5-10	8	+	-	+	-	-	12.6	141.8	0.93	
		5-12	8	+	-	+	-	-	9.8	139.6	0.82	
		3-4	6	+	-	+	-	-	30.4	128.2	0.81	
		2-35	4	+	-	+	+	+	39.6	117.9	3.48	
		5-9	8	+	-	+	+	+	15.4	138.8	4.21	
		5-11	8	+	-	+	+	+	17.9	136.6	4.02	
		5-13	8	+	-	+	+	+	17.8	135.4	3.63	
		5-14	8	+	-	+	+	+	22.0	133.0	4.17	
	P40	8-1	8	+	-	+	+	+	35.1	124.9	4.06	
Parent			+	+	+	+	-	7.1	140.8	2.40	2.61	
		3-1	5	+	-	+	+	-	18.8	133.6	2.63	N.D. ²⁾
		4-2	8	+	-	+	+	-	7.5	135.8	2.37	N.D. ²⁾
		5-12	8	+	-	+	+	-	8.4	144.9	2.68	2.37
		1-35	1	+	-	+	-	-	12.8	131.6	0.70	
		2-131	3	+	-	+	-	-	11.8	130.8	0.60	
		4-1	8	+	-	+	-	-	44.9	113.4	0.67	
		3-2	5	+	-	+	-	-	19.2	133.7	0.80	
		5-1	8	+	-	+	-	-	12.9	133.1	0.76	
		5-2	8	+	-	+	-	-	14.5	135.3	0.89	
		5-3	8	+	-	+	-	-	8.3	131.3	0.70	
		5-4	8	+	-	+	-	-	7.6	131.3	0.72	
		5-7	8	+	-	+	-	-	16.3	133.3	0.85	
		5-8	8	+	-	+	-	-	36.0	122.5	0.49	
		3-9	6	+	-	+	-	-	14.5	138.5	0.76	
		4-3	8	+/-	-	+	-	-	16.4	139.4	0.84	
	5-10	8	+	-	+	-	-	16.2	140.2	0.93		
	5-11	8	+	-	+	-	-	12.9	140.2	0.72		
	2-7	2	+	-	+	+	+	43.9	114.4	2.46		
	5-5	8	+	-	+	+	+	36.4	120.1	2.66		
	5-6	8	+	-	+	+	+	44.6	115.5	2.86		

Data are mean values from four independent fermentation experiments.

1) See Table 1.

2) Not detectable

たり、増殖しても速度が遅く、また Arg 培地でも増殖するものが多く、*CARI* 欠損株ではないものが多いと推定された。最終的に Arg 培地で増殖せず Orn 培地で増殖した *CARI* 欠損株と推定されたコロニーは、いずれも最初の CA0 培地培養でコロニーサイズが 5 mm 程度まで成長したものであった。

当初は定法⁶⁾にしたがい F2 株および P40 株を親株としてそれぞれ 10^7 cells/plate 塗布した 30 枚の CA0 培地を用いて *CARI* 欠損株の取得を試みたが、P40 由来の 1 株が取得できたのみで F2 由来の変異株は取得できなかった。さらに得られた P40 由来の変異株はセルレニン耐性が消失していたためカプロン酸エチルの生成量が大きく低下することが想定された。

今回のように *FAS2* 変異を有する株から香气成分生成量の変化が少ない尿素の非生産株を取得する場合は、*FAS2* 遺伝型が変わらない株を選抜する必要がある。そのためにはなるべく多くの *CARI* 欠損候補株を取得する必要がある。そこで塗布する菌体を培養する条件や塗布する菌体量の検討を行うことで取得の効率化条件を検討したところ、8 つの条件、合計 120 枚の CA0 培地から合計で P40 株からは 20 株、F2 株からは 15 株の推定 *CARI* 変異株を分離した (Table 1)。取得数に関しては、特に菌体を培養する温度やグルコース濃度を変えても大きな増加は確認されなかったものの、塗布する菌体量 10^9 cells/plate、定法の 100 倍に増加させることで取得数の大幅な増加が認められた。30 枚の CA0 培地から P40 株は 14 株、F2 株は 11 株の推定 *CARI* 欠損株を取得することができた。特に本条件が定法と大きく異なるのは取得に必要な培養日数である。CA0 培地を用いた *CARI* 欠損株の取得には通常 2-3 週間以上の日数が必要とされているが、 10^9 cells/plate を塗布する本手法では速いものはわずか 5 日の培養でコロニー形成が確認された。

得られた推定 *CARI* 欠損株のセルレニン耐性を確認したところ、P40 株から得られた 20 株のうち、14 株はセルレニン感受性に、3 株は 4 ppm のセルレニンにも耐性になっており、親株と同じ耐性を示すものは 3 株だった。また、F2 株から得られた 15 株では、8 株がセルレニン感受性に、6 株がセルレニン耐性の増加を示しており、親株と同じ耐性を示すのはわずか 1 株だった (Table 1)。また、分離条件と得られる *FAS2* の遺伝型には大きな関連性はないようだった。

3-2 推定 *CARI* 欠損株の発酵試験

推定された遺伝型と表現型の一致性を確認するために、小スケールで発酵試験を行ったところ、F2 由来の変異株および P40 由来の変異株に共通してセルレニン感受性となった変異株ではカプロン酸エチルの生成量が大きく低下し、セルレニン感受性の対照株である FoxIw201 株とほぼ同等であった (Table 3)。また、4 ppm のセルレニンに耐性となった変異株では親株と比較してやや増加する傾向が見られたが、親株と同じセルレニン耐性を示した株では親株とほぼ同等だった。これらの結果は、セルレニン感受性となった株で *FAS2* の変異が脱落していること、セルレニン耐性が向上した株では *FAS2* 変異がホモ化したことを示唆するものであり、カプロン酸エチル生成量とよく一致していた。

FAS2 アレルがヘテロ変異型と判定された株について尿素分析を行ったところ、P40 3-1 株、P40 4-2 株、F2 5-7 株および陰性対照の FoxIw201 では検出限界以下だったが、P40 親株では 2.61 mg/L、P40 5-12 では 2.37 mg/L、F2 親株は 2.19 mg/L の尿素が検出された (Table 3)。尿素非検出であった株のうち、発酵終了後のグルコース量が各親株に近い P40 4-2 株、F2 5-7 株を候補株として次の小仕込み試験を行うこととした。

3-3 総米 22 kg 小仕込み試験

総米 22 kg 小仕込みの成分分析結果を Table 4 に示す。分離した変異株の尿素生成量は、親株と比較して明らかに低減したものの、それ以外の一般成分および香气成分は親株とほぼ同等の値を示した。また、データには示さないが、発酵経過も親株と大きな差を生じておらず、今回得られた変異株は親株と同じ醗管理が可能であると考えられた。

4 考 察

清酒酵母からアルギナーゼ欠損株を取得する方法は古くから報告されており⁶⁾、また *FAS2* 変異を有する清酒酵母からのアルギナーゼ欠損株の取得に関しても報告されている¹⁵⁾。本稿における新規な点は、アルギナーゼ欠損株を取得されにくい株については 10^9 cells/plate という大量菌体を塗布することで候補株の取得数が向上すること、この条件では最短わずか 5 日の培養で変異株が取得できることを見出した点である。

Table 4 Analysis of sake fermented with putative arginase-deficient mutants.

Strain	General properties					Flavor components (ppm)						
	Alcohol (% (v/v))	Sake meter	Acidity (mL)	Amino acidity (mL)	Urea (mg/L)	Acet-aldehyde	Ethyl acetate	n-Propyl alcohol	Isobutyl alcohol	Isoamyl acetate	Isoamyl alcohol	Ethyl caproate
F2	17.2	-1	1.4	1.2	9.51	27.8	38.5	110.0	42.4	1.5	128.7	3.0
F2 5-7	17.1	-1	1.4	1.3	0.86	30.4	33.6	121.9	39.3	1.2	125.2	2.6
P40	16.7	-2	1.4	1.3	6.54	28.1	32.0	68.4	61.3	1.4	141.8	1.9
P40 4-2	16.9	-2	1.5	1.3	0.90	34.3	29.8	66.4	63.1	1.3	147.6	1.9

既報のアルギナーゼ欠損株の取得方法は、 10^6 - 10^7 cells/plate で菌体を塗布し、2-3 週間の培養を行うものである⁶⁾。この方法における大きな疑問の一つは、このとき *CARI* アレルへのヘテロ欠失変異と LOH による相同染色体の置き換えはいつ行われているのか、ということである。既報の方法で CAO 培地への菌体塗布を行った場合、最初の変異体選抜に非常に長い時間を要するものの、取得された変異体を再度 CAO 培地にストリークすると 3-4 日の培養で十分なコロニー形成が確認できる。また、北本らはアルギナーゼの完全欠損に LOH が必要ない 1 倍体の実験室酵母 X2180-1A 株を親株とした場合、3-7 日の培養で取得することができたと報告している⁶⁾。したがって、少なくとも LOH による相同染色体の置き換えは CAO 培地に塗布されてから行われていると考えるのが妥当である。2 倍体である清酒酵母からアルギナーゼ欠損株の取得に 2-3 週間という培養時間が必要なのは、LOH による相同染色体の置き換えに要する時間と考えられる。*CARI* アレルのヘテロ欠失変異は前培養の段階で生じている可能性もあるが、おそらく CAO 培地に塗布された後、わずかに起こる増殖の過程で LOH が生じ、*CARI* 変異がホモ化することで増殖性が高まり、変異株として CAO 培地で選抜されているものと考えられた。本稿で見出した 10^9 cells/plate の菌体を塗布する方法は、菌体量が極めて多いため塗布菌体にすでに *CARI* アレルのヘテロ欠失変異と LOH による欠失変異のホモ化が行われたものが含まれていたものと考えられる。その結果、北本らが報告した 1 倍体酵母と同じように CAO 培地に塗布後、わずか 5 日という短期間の培養でコロニーの形成が認められたものと思われる。

本研究で見出した方法を他の酵母にも転用できるか確認する目的で、きょうかい 901 号を用いて 10^9 cell/plate 塗布する方法で 30 枚の CAO 培地からアルギナーゼ欠損株の取得を試みたところ、バックグランド菌体が多く増殖し、大きなコロニーに成長したアルギナーゼ欠損候補株を全く取得することができなかつた。一方、 10^7 cells/plate 塗布する既報の方法⁶⁾を用いたところ、28 株の候補株を取得することができた。このように本稿で見出した方法は必ずしもすべての菌株に転用できるとは限らず、特にアルギナーゼ欠損株が取得しにくい株でのみ効果的な方法なのかもしれない。

そもそもアルギナーゼ欠損変異株を取得しやすい株とそうでない株がいるのは、何に起因しているのであろうか。Kuribayashi らは *FAS2* 変異を有する酵母を親株として自然変異によって 29 枚の CAO 培地から 101 株のアルギナーゼ欠損株を取得したと報告しており¹⁵⁾、*FAS2* 変異自体がアルギナーゼ欠損株の取得率を低下させる要因とは考えにくい。Kitamoto らは当初、遺伝子組換えの手法を用いてきょうかい 9 号の *car1/car1* 株を作出し、この *car1/car1* 株のみが増殖できる培地として CAO 培地の組成を決定した^{4, 5)}。つまり、CAO 培地とはきょうかい 9 号

からアルギナーゼ欠損株を取得するのに最適のように調整されたのであって、他の株においては必ずしも最適な組成ではないのかもしれない。無論、菌株間で変異導入頻度や LOH の頻度に差がある可能性も否定はできないため、解明にはさらなる検証が必要であろう。

5 結 言

本研究では、セルレニン耐性を有する岩手県の吟醸酵母ジョバンニの調べ F2 株とゆうこの想い P40 株から自然変異によってアルギナーゼ欠損変異株の分離を試みた。各種条件の検討を行ったところ、塗布する菌体量 10^9 cells/plate、定法の 100 倍に増加させた方法が最も多数の変異体を取得することができた。また、これら候補株の中からセルレニン耐性が親株と変化ない株で、尿素生成量が大幅に減少した株それぞれ 1 株を選抜し、総米 22kg にスケールアップした小仕込み試験を行った。得られた変異株は親株とほぼ同等の発酵能、香气成分生成を示すことを確認した。

本研究で新たに開発された変異酵母については今後も更なる評価試験を継続して行い、問題がなければ県内酒造メーカーに提供していく予定である。

文 献

- 1) Hasegawa Y, Nakamura Y, Tonogai Y, Terasawa S, Ito Y, Uchiyama M: Determination of ethyl carbamate in various fermented foods by selected ion monitoring, *Journal of Food Protection*, 53, 1058-1061 (1990)
- 2) 原昌道, 吉沢淑, 中村欽一: 尿素あるいはその関連物質を含みモデル酒中におけるカルバミン酸エチルの生成, *日本醸造協会誌*, 83, 57-63 (1988)
- 3) 吉沢淑, 高橋康次郎: 酒中のカルバミン酸エチルの生成に及ぼす温度と酒質の影響, *日本醸造協会誌*, 83, 69-73 (1988)
- 4) Kitamoto K, Oda K, Gomi K, Takahashi K: Genetic engineering of a Sake yeast producing no urea by successive disruption of arginase gene, *Applied and Environmental Microbiology*, 57, 301-306 (1990)
- 5) Kitamoto K, Oda-Miyazaki K, Gomi K, Kumagai C: Mutant isolation of non-urea producing sake yeast by positive selection, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 75, 359-363 (1993)
- 6) 北本勝ひこ, 宮崎佳緒子, 山岡洋, 五味勝也, 熊谷知栄子: 変異処理を行わないウレア非生産性清酒酵母の単離, *日本醸造協会誌*, 87, 598-601 (1992)
- 7) 宮岡俊輔, 森本聡: EK-1 酵母からのウレア非生産性変異株の分離, *愛媛県産業技術研究所報告*, 49, 6-9 (2011)

- 8) 佐藤稔英, 山下佑子, 中山繁喜, 米倉裕: Iw201号酵母からの尿素非生産性自然変異株の分離, 岩手県工業技術センター研究報告, 19, 54-57 (2017)
- 9) 谷本昌太, 藤井一嘉: 広島吟醸酵母の尿素低生産性株の育種, 愛媛大学教育学部紀要, 56, 69-276 (2009)
- 10) 渡辺貴志, 高橋仁恵, 増淵隆: 輸出用に適した群馬清酒酵母の育種に関する研究, 群馬県立産業技術センター研究報告, 11-14 (2016)
- 11) Ichikawa E, Hosokawa N, Hata Y, Abe Y, Suginami K, and Imayasu S: Breeding of a sake yeast with improved ethyl caproate productivity. *Agricultural and Biological Chemistry*, 55, 2153-2154 (1991)
- 12) Inokoshi J, Tomoda H, Hashimoto H, Watanabe A, Takeshima H and Omura, S: Cerulenin-resistant mutants of *Saccharomyces cerevisiae* with an altered fatty acid synthase gene, *Molecular and General Genetics MGG*, 244, 90-96 (1994)
- 13) Akada R, Matsuo K, Aritomi K, and Nishizawa Y: Construction of recombinant sake yeast containing a dominant *FAS2* mutation without extraneous sequences by a two-step gene replacement protocol. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 87, 43-48 (1999)
- 14) Nagai Y, Suzuki T, Yamashita S, Joh T, and Tasaki Y: A *Saccharomyces cerevisiae* strain encoding a novel *FAS2* mutation produces high levels of caprylic acid, *Mycoscience*, 57, 228-231 (2016)
- 15) Kuribayashi T, Sato K, Joh T, and Kaneoke M: Breeding of a non-urea-producing sake yeast carrying a *FAS2* mutation, *Mycoscience*, 58, 302-306 (2017)
- 16) Shi NQ, Cruz J, Sherman F, Jeffries TW, SHAM-sensitive alternative respiration in the xylose-metabolizing yeast *Pichia stipitis*, *Yeast*, 19, 1203-1220 (2002)

うるち米デンプン老化の迅速評価の検討(Ⅰ)*

武山 進一**

デンプンの老化による変化は、製品の品質管理面で問題視されることが多い。しかし、デンプンの老化現象の進行には長時間を要することが多く、原料段階での品質確認や配合検討の際には、より短時間での評価が求められている。今回、団子製品の原料評価の迅速化を目的として、短時間でデンプンを老化させるための温度条件の検討を実施し、明確な老化を6時間で再現するための評価法を考案した。

キーワード：デンプン、老化、迅速評価、熱分析、動的粘弾性測定

Rapid evaluation of starch retrogradation for non-glutinous rice(Ⅰ)

TAKEYAMA Shinichi

Keywords: starch, retrogradation, rapid evaluation, differential scanning calorimetry, dynamic viscoelasticity measurement

1 緒言

粳米を原料とする代表的な伝統食品である団子は、現在でも身近な食品であり、冷凍流通により賞味期限や販路を広げている。そして、品質を重視するメーカーにおいては団子本来の食感を重視し、昔ながらの胴搗製粉による上新粉を用い、各種添加物に頼らない商品も市場で受け入れられている。この様な冷凍団子製造において、原料米の生産時期や品種等の切り替えの際、その品質差により、解凍後の団子の硬さに問題が発生することがある。これは、デンプンの老化現象が通常より速く進行することによる品質変化であり、穀類を原料とする食品での製造および品質管理において問題視されるものである。デンプンの老化は、糊化したデンプンが元の結晶構造に戻ろうと(再結晶化)する過程において、不溶性が増すに伴い水分子を抱き込めなくなる状態のことで、一般的には硬化という物性的変化としてとらえられることが多い。このデンプン老化現象の進行は長時間(製品状態では数日間)を要することが多く、原料の品質確認においては、その迅速な評価手法が求められている。

デンプンの老化現象を迅速に評価する方法としては Yamazaki らが考案した凍結融解・動的粘弾性測定(DORFT法)¹⁾がある。これは、試料を濃度4~6%程度の糊液に調製しゲル状態にしたものを、短時間内に凍結~融解処理を3回繰り返すことで糊化澱粉の老化を加速させる試験法で、その際の貯蔵弾性率 G' 変化よりデンプン老化を迅速(0.5~1時間)に評価するものである。しかしながら、筆者が検討した米試料では評価があてはまらない事例が

見られた。糊液試料の凍結~融解過程で起きる変化を、酵素を用いた糊化度測定(BAP法)や、示差走査熱量計(DSC)による熱分析で調査したが、どの試料についても老化の進行を評価できなかった(データ未発表)。DORFT法では糊液濃度が老化評価に影響を及ぼすとの報告²⁾もあり、評価時の試料濃度の見直しも必要と思われる。

団子原料としての米粉を対象とする“デンプン老化のし易さ評価”は、製品に近い濃度(加水率50%)で老化させることが確実な評価に繋がると考えられる。そこで本研究では、モデル団子を調製し、短時間で老化させる条件を検討し、原料米粉の老化し易さをより迅速に評価する方法を検討した。

2 実験方法

2-1 米粉試料

試験用試料には、冷凍団子を製造する県内企業が原料として自社製粉している胴搗製粉によるうるち米の米粉(上新粉)を用いた。なお、通常の原料ロットとともに、解凍後の団子製品がかたくなり易くなったとされる原料ロットを比較対象とし、それぞれ前者をLOT.A、後者をLOT.Bと表記する。

2-2 モデル団子の調製

米粉5gに加水率50%に相当する水を添加し混合後、ラップに移し、更に全体を均一にして団子生地を作製した。これを2mm厚のシート状に成型し、蒸し布を敷いた蒸し器で15分蒸した後、直径2cmに型抜きしてモデル団子を作製した。なお、冷蔵試験に供する試料については、小

* 平成30年度 技術シーズ創成研究事業 育成ステージ

** 食品技術部

型のチャック付ポリ袋(ユニバック B-4、生産日本社製)に入れ、密封状態で冷蔵した。

2-3 モデル団子の冷蔵および冷凍処理によるデンプン老化条件

一定温度での冷蔵処理として、モデル団子を 0℃、及び 5℃に設定した低温インキュベーターにて、2、4、6、8、24時間冷蔵保存した。

また、緩慢冷蔵、緩慢冷凍、緩慢冷蔵・冷凍処理としては、モデル団子を動的粘弾性測定装置にセットした状態で、表1に示す条件で温度制御した。なお、試料台全体を発泡スチロールカバーで覆うことで、結露及び試料の乾燥対策を行った。

表1 緩慢冷蔵、緩慢冷凍の処理条件

	制御温度範囲	降温/昇温速度	反復回数
緩慢冷蔵処理	6 ~ -1℃	1℃/5分	3、又は 6回
緩慢冷凍処理	0 ~ -7℃		3回
緩慢冷蔵・冷凍処理	6 ~ -6℃	1℃/3分	3、又は 6回
		1℃/5分	3回

2-4 物性測定

モデル団子は、表2に示す測定条件で、貯蔵弾性率(以下、弾性率) G' 、損失弾性率(以下、粘性率) G'' を動的粘弾性測定装置 AR-G2 (TA Instruments 社製) を用いて測定し、それらから損失正接 $\tan \delta$ (=粘性率 G'' / 弾性率 G') を算出した。

表2 動的粘弾性測定条件

治具	20mm φ SUS製パラレルプレート
ギャップ	約2000μm
測定温度	20℃
歪率	0.5%
周波数	1Hz
法線応力	1.0N

なお、緩慢冷蔵、緩慢冷凍、緩慢冷蔵・緩慢冷凍処理品に関しては、2-3 に記した通り、試料を動的粘弾性測定装置のジオメトリ(治具)にセットし、その状態で試料台(ペルチェ素子内蔵)を温度制御して緩慢温調処理を加えた。その後、測定温度(20℃)に戻し、表2の条件で測定した。

2-5 熱分析用試料の調製

調製直後のモデル団子、および2-3での処理品を薬匙で碎きながら、10倍量の無水エタノールで3回、アセトン1回による脱水処理を行ない、その風乾後の粉末を熱分析用試料とした。

2-6 熱分析測定条件

2-5のモデル団子粉末試料約30mgに、加水率70%相当の水を添加混合後、その10mg程度をDSC用アルミ容器に精秤し、専用プレス機で密封してDSC測定試料とした。

これを示差走査熱量計 DSC204(ネッチゲレイテバウ社製)を用い、15℃で8分間保持後、毎分5℃で90℃迄昇温し、90℃で3分保持する加熱条件により、試料中のデンプン老化度合いに相当する、再糊化時の吸熱量(J/g)を測定した。

3 結果及び考察

3-1 冷蔵保存時の物性変化

モデル団子を 0℃で冷蔵保存した場合の動的粘弾性測定結果として、弾性率 G' 、粘性率 G'' 及び損失正接 $\tan \delta$ の経時変化を図1~3に示す。

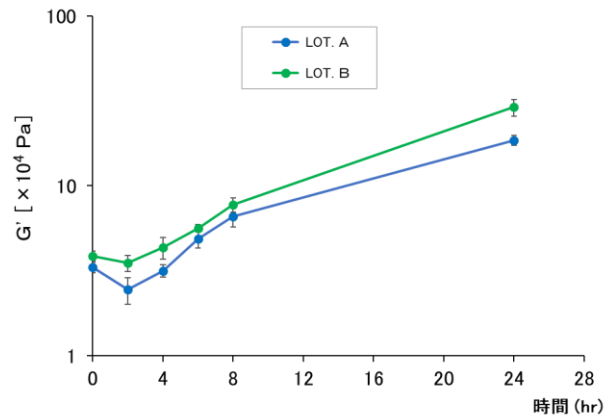


図1 0℃冷蔵保存時のモデル団子の弾性率 G' 変化 (n=3)

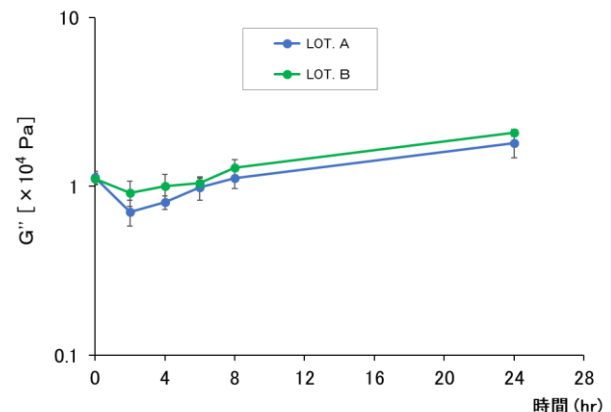


図2 0℃冷蔵保存時のモデル団子の粘性率 G'' 変化 (n=3)

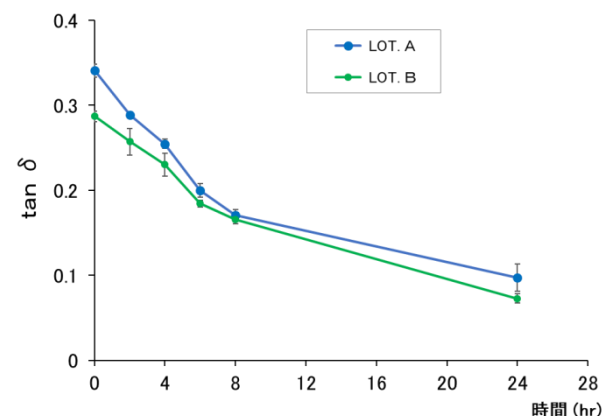


図3 0℃冷蔵保存時のモデル団子の $\tan \delta$ 変化 (n=3)

0°C保存による弾性率 G' の変化に関しては、2時間目以降上昇傾向にあり、LOT.A と LOT.B の比較では常にLOT.Bの方が高値で、老化の進行が G' の変化としてとらえられた。また、粘性率 G'' の変化もほぼ同じ傾向であった。

損失正接 $\tan \delta$ (粘性率 G'' を弾性率 G' で除した値) は、弾性要素と粘性要素の割合を示す³⁾。これに関しては、保存時間の経過に従い弾性率の上昇が粘性率の上昇より優位となることから $\tan \delta$ は減少する傾向にあり、デンプン老化の進行を示す指標となり得る。

LOT.A と LOT.B の比較では常にLOT.Bの方が低値であり、団子製品としてデンプン老化の進行度し易い原料であることが粘弾性の差としてとらえられている。

3-2 冷蔵保存時の米デンプンの老化

LOT.A のモデル団子を2、4、6、8、24時間0°Cで冷蔵

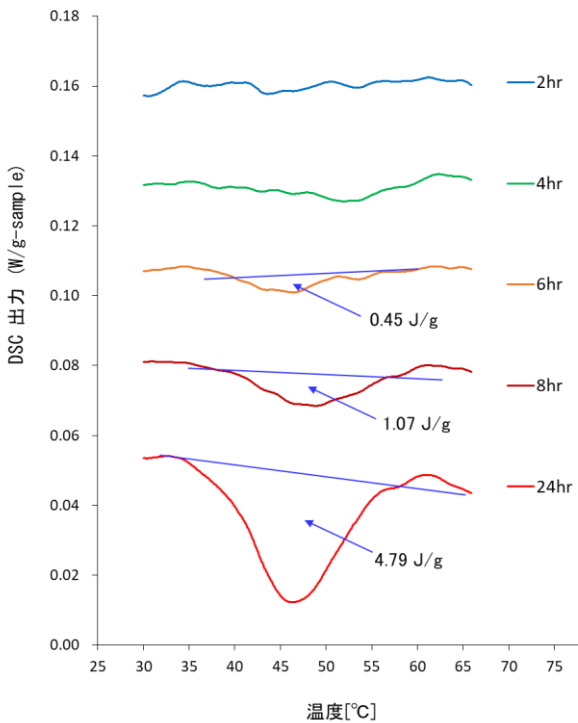


図4 0°C冷蔵保存品の再糊化時の吸熱量測定結果

保存した場合の再糊化時の吸熱量 (J/g) 測定結果を図4に、また同様に5°Cで冷蔵保存した場合の結果を図5に示す。

デンプンが老化することで再結晶化が進行し、再糊化に要する吸熱量が大きくなる。0°C、5°C保存ともに冷蔵6時間後から明確な吸熱ピークが確認された。吸熱量は0°C保存品の方が5°C保存品よりも吸熱量が大きいことから、5°C保存よりも0°C保存の方がデンプン老化の進行が速いと判断できる。

デンプンの老化は0~5°Cの温度帯で最も速く進行する⁴⁾とされているが、その間でもより低温側の方で老化が進むことが確認された。

3-3 熱分析によるデンプン老化評価と物性の関係

モデル団子 0°C冷蔵保存試料について、その再糊化に要する吸熱量と $\tan \delta$ の関係を図6に示す。

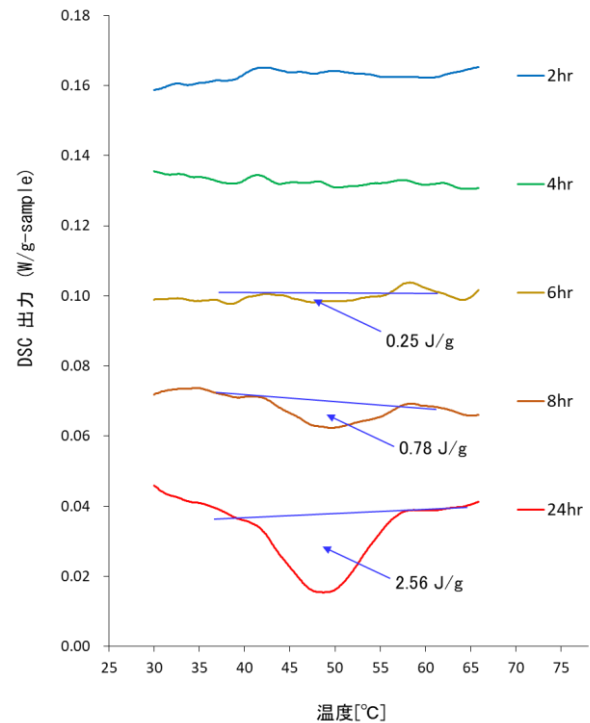


図5 5°C冷蔵保存品の再糊化時の吸熱量測定結果

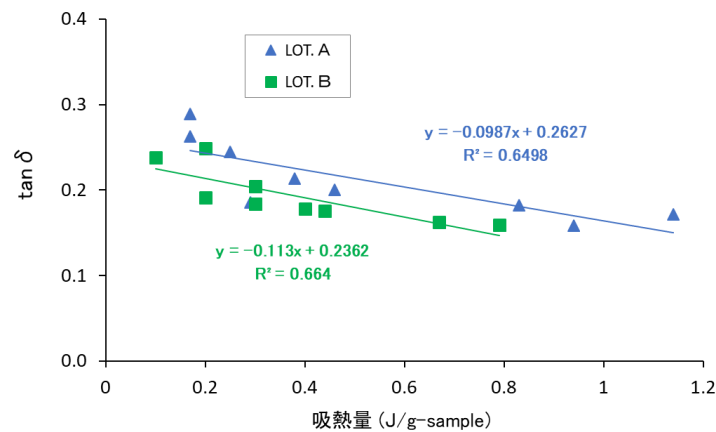


図6 モデル団子0°C冷蔵保存品のDSC吸熱量と $\tan \delta$ の関係

デンプンの老化の進行により再糊化時の吸熱量は増加し、 $\tan \delta$ 値が低下することから、両者は逆比例の関係にある。また LOT.A と、LOT.B の両者の近似式は一致しないことから、あくまで同一試料で成立する相関関係と解釈される。つまり、 $\tan \delta$ はデンプンの老化進行の目安とはなりうるが、異なる試料間での比較は出来ないということになる。 $\tan \delta$ は同一試料でのデンプン老化進行の簡易評価として使用し、異なる試料の比較も可能な定量的な判断は DSC 吸熱量測定で行う必要がある。

3-4 デンプン老化の迅速評価のための条件検討

LOT.A のモデル団子のデンプンの DSC 吸熱量測定による老化現象の明確な確認には、一定温度 0°C および 5°C での冷蔵処理の場合に 6 時間を要した (図 4)。製造現場においては、原料 (米粉) 品質の迅速な評価が求められる場合もあることから、より短時間で米デンプン老化の進行のための温度処理の検討を行った。

表 1 の条件の通り、冷凍食品がダメージを受け易いとされる最大氷結晶生成帯の温度範囲 $-1^{\circ}\text{C} \sim -5^{\circ}\text{C}$ 間を降温・昇温する緩慢冷蔵処理、ならびに一般的な冷蔵温度帯である $5 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 間を降温・昇温する緩慢冷蔵処理を、連続で繰り返した。また、冷蔵～冷凍の温度帯 ($6 \sim -6^{\circ}\text{C}$) の緩慢処理の繰り返し処理も試験した。

モデル団子を対象としたこれらの処理に要する時間と DSC 吸熱量の関係のプロットした結果を図 7 に示す。なお、対照として 0°C で 4、6、8 時間冷蔵保存した試料の吸熱量も併せて示した。

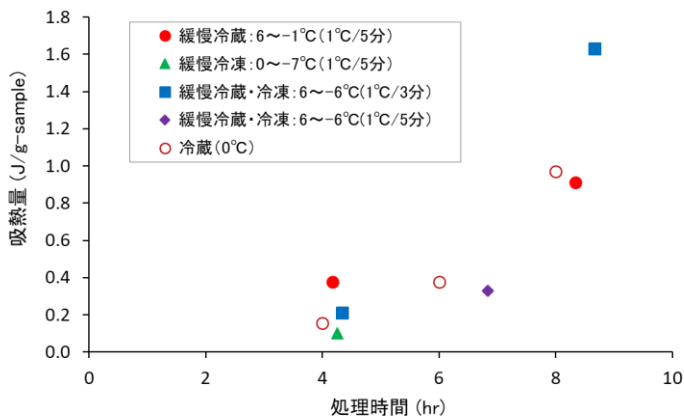


図7 モデル団子の緩慢冷蔵、緩慢冷凍処理品の DSC 吸熱量と所要時間の関係

緩慢冷蔵 ($6 \sim -1^{\circ}\text{C}$) の場合、約 4 時間の処理で吸熱量が約 0.4J/g に達し、他の処理条件よりも効率良く米デンプンを老化することが出来た。これは 0°C での 6 時間保存品に相当する吸熱量であり、明確な米デンプン老化に要する時間を約 2 時間短縮 (2/3 に相当) することが出来た。

4 結 言

団子等の米粉利用製品でのデンプン老化の迅速評価を目的として、実製品を想定したモデル団子 (加水率 50%) を調製し、そのデンプン老化を短時間で再現させる方法を検討することにより、以下の結果を得た。

- 1) デンプン老化にともなう物性変化を、動的粘弾性測定で評価し、粘弾性の指標である $\tan \delta$ 値で、老化進行の簡易評価が行えることを確認した。
- 2) 熱分析 (DSC) によるデンプン老化評価では、一定温度での冷蔵保存 (0°C 、 5°C) の場合、明らかなデンプンの老化の確認には 6 時間必要であった。
- 3) デンプンの老化評価法である熱分析 (DSC) での吸熱量と、粘弾性の指標である $\tan \delta$ 値は、同一試料において相関 (逆相関) があつた。
- 4) 緩慢冷蔵 ($6 \sim -1^{\circ}\text{C}$) の反復処理により約 4 時間でデンプンが明らかに老化していることを確認出来、一定温度 (0°C) 冷蔵保存の場合よりも短縮できる可能性が示唆された。

謝 辞

凍結融解・動的粘弾性測定 (DORFT 法) での検討にあたっては、考案者の三重県工業研究所 山崎栄次様に多大なるご協力をいただき、深謝する。

文 献

- 1) Yamazaki, E., Kubo, T., Umetani, K., Fujiwara, T., Kurita, O., Matsumura, Y. : Starch/Starke, 68, DOI10.1002/star.201600094 (2016)
- 2) 山崎栄次, 山岡千鶴, 丸山裕慎, 藤原孝之, 栗田修: 醸協, 114, p102-107 (2019)
- 3) 赤羽ひろ, 原田佐知子, 中浜信子: 家政誌, 36, p484-491 (1985)
- 4) 渋川祥子, 福場博保: 家政誌, 22, p232-237 (1971)

うるち米デンプン老化の迅速評価の検討(Ⅱ)*

武山 進一**

米粉のデンプン老化しやすさの迅速評価として、シート状モデル団子(加水率50%)を調製し、その冷蔵処理品の動的粘弾性測定ならびにDSC熱分析による評価の検討を行なっている。本報告では、評価対象をアミロース量の異なるうるち米8品種での検討を実施した。その結果、低～高アミロース米のデンプン老化に伴う特性を確認するとともに、4～6時間処理で老化程度の迅速評価が可能であることを確認した。

キーワード：デンプン、老化、うるち米、迅速評価、熱分析、動的粘弾性測定

Rapid evaluation of starch retrogradation for non-glutinous rice (Ⅱ)

TAKEYAMA Shinichi

Keywords: starch, retrogradation, non-glutinous rice, rapid evaluation, differential scanning calorimetry, dynamic viscoelasticity measurement

1 はじめに

前報において冷凍団子製品のデンプン老化に関する迅速評価の検討を行なった。方法としては、団子の老化現象を再現すべく実際の団子製品に近い加水量でモデル団子を調製し、物性変化を動的粘弾性測定で、老化に伴うデンプンの再結晶化をDSC熱分析により評価した。

その結果、DSC熱分析での明らかなデンプンの老化の確認には、一定温度(0℃、5℃)6時間冷蔵で評価可能であること、緩慢冷蔵(6～-1℃、3回反復)によりさらに時間短縮出来る可能性も報告し、またを動的粘弾性測定による $\tan \delta$ 評価も老化の指標となることも確認した。

うるち米のデンプンは直鎖状のアミロースと分岐鎖構造を持つアミロペクチンの2成分から構成されており、その構成成分の差により糊化・老化は影響を受ける。そこで本研究では、アミロース量が異なる複数のうるち米品種を対象とする検討を実施した。

2 実験方法

2-1 試料

評価用試料米として、アミロース量の異なる8品種を使用した。低アミロース米としては、スノーパール、ミルキークイーンの2品種、中アミロース米としては、岩手県内でも栽培されているひとめぼれ、あきたこまちと、岩手県外で栽培されている日本晴、こしひかりの計4品種、そして高アミロース米として、夢十色、ホシユタカの2品種を使用した。収穫年は夢十色のみ平成30年産で、それ以外はすべて令和元年産で、すべて直前1か月以内に精米された市販品を購入した。

2-2 米粉の調製

乾式気流粉碎機SPM-R200((株)西村機械製作所製)を用い周波数40Hzにて米粉に調製した。

2-3 米粉の品質調査

粒度は、レーザー回折式粒度分布測定装置Mastersizer S (Type MAM5005) (Malvern社製)を用い、湿式法(分散媒:エタノール)で粒度分布測定を行った。

損傷デンプン量とアミロース量の測定は、それぞれ損傷デンプン分析キット、アミロース/アミロペクチン分析キット(いずれもメガザイム社製)を用いて行った。

2-4 モデル団子の調製

米粉6gに加水率50%に相当する水を添加し混合後、ラップに移し更に全体を均一にして団子生地約12gとし、前報と同様にモデル団子を調製した。

2-5 モデル団子の冷蔵処理条件

緩慢冷蔵処理は、モデル団子を動的粘弾性測定装置にセットした状態で、6℃から-1℃の間を5分毎に1℃ずつ降温および昇温させる温度制御を3回繰り返した(所要時間4時間20分)。なお、試料台全体を発泡スチロールカバーで覆うことで、結露及び試料の乾燥対策を行った。

一定温度での冷蔵処理条件は、モデル団子を0℃に設定した低温インキュベーターで4、及び6時間冷蔵保存した。

2-6 物性測定

モデル団子は、動的粘弾性測定装置AR-G2(TA Instruments社製)を用い、前報と同様の条件で貯蔵弾性率(以下、弾性率) G' 、損失弾性率(以下、粘性率) G'' を測定し、それらから損失正接 $\tan \delta$ (=粘性率 G'')

* 平成31年度 技術シーズ創成研究事業 育成ステージ

** 食品技術部

／弾性率 G') を算出した。

2-7 熱分析測定条件

熱分析用のモデル団子粉末は前報と同様に調製した。調整した粉末試料約 30mg に、加水率 70% 相当の水を添加混合後、その 10mg 程度を DSC 用 3 気圧対応アルミ容器 (ネッチ社製) に精秤し、専用プレス機で密封して DSC 測定試料とした。これを示差走査熱量計 DSC204 (ネッチグレイテバウ社製) を用い、15°C で 8 分間保持後、毎分 5°C で 100°C 迄昇温し、100°C で 3 分保持する加熱条件により、試料中のデンプンの老化度合に相当する、老化デンプンの再糊化時の吸熱量 (J/g) を測定 (n=3) した。

3 結果及び考察

3-1 試料の調製と品質特性調査

製粉後の 8 品種の米粉のアミロース量、損傷デンプン量、平均粒径の測定結果を表 1 に示す。

老化の進行に影響を与える損傷デンプン量は、アミロース量に違いのある品種間でも大きな違いは無かった。粒径に関しては、高アミロース米 2 品種 (夢十色、ホシユタカ) の平均粒径が他より若干小さい傾向が確認され、米粒が他の品種よりも硬く脆い高アミロース米の特徴によると考えられた。

3-2 DSC 熱分析による迅速評価

緩慢冷蔵 (6~-1°C×3 回)、0°C 4 時間、および 0°C 6 時間冷蔵したモデル団子試料の DSC 熱分析測定結果を表 2 に示す。

8 品種の老化したデンプンの再糊化に要する吸熱量は、0°C 6 時間冷蔵処理で 0.35~1.25J/g の範囲で差が現れた。高アミロース米である夢十色、ホシユタカの吸熱量は 1J/g 前後の高値であったが、中アミロース米である日本晴、コシヒカリもそれらと同等の吸熱量であったこと、また低アミロース米であるミルキークイーンに関しても中アミロース米であるひとめぼれ、あきたこまちよりも吸熱量が高かったことは、意外な結果であった。うるち米デンプンの老化は、一般にアミロース量の影響を受けることが知られており¹⁾、今回の検討でも低アミロース米より高アミロース米が老化し易い傾向が見られたが、中アミロース米ではバラツキが見られた。デンプン老化にはアミロペクチン側鎖長が影響すると報告¹⁻²⁾されており、そちらの検討も必要であると思われた。

広範な品種の米粉を対象としたデンプン老化の迅速な評価には、明確な吸熱量 (概ね 0.3J/g 以上) が得られる 0°C 6 時間冷蔵が必要であり、高アミロース米等の吸熱量が大きい品種の場合は 0°C 4 時間冷蔵での評価も可能であると思われた。

DSC 熱分析によるデンプン老化の迅速評価では、前報にて緩慢冷蔵処理 (6~-1°C×3 回、所要時間約 4 時間) が 0°C 6 時間冷蔵と同等の老化促進効果が期待できたことを報告しているが、今回の 8 品種を対象とした検証では、この条件による効果は確認されず、更なる短縮には各々の試料による検討が必要と思われた。

表 1 調整した米粉試料の品質調査結果

品種	原産地	収穫年度	アミロース(%)	損傷澱粉(%)	平均粒径 (μm)
スノーパール	秋田県	R1	7.6	8.4	77.4
ミルキークイーン	新潟県	R1	8.7	8.1	74.8
ひとめぼれ	岩手県	R1	17.3	9.1	81.5
あきたこまち	秋田県	R1	17.5	8.9	81.8
コシヒカリ	新潟県	R1	15.7	8.2	76.4
日本晴	滋賀県	R1	19.3	8.3	77.4
夢十色	岡山県	H30	20.7	8.4	66.8
ホシユタカ	佐賀県	R1	23.3	9.5	66.5

表 2 DSC 熱分析測定結果

品種	(単位: J/g)		
	緩慢冷蔵	0°C・4時間	0°C・6時間
スノーパール	trace	trace	0.35
ミルキークイーン	trace	0.20	0.72
ひとめぼれ	0.19	0.16	0.49
あきたこまち	0.17	trace	0.35
コシヒカリ	0.17	0.47	1.01
日本晴	0.32	0.37	1.25
夢十色	0.39	0.86	1.08
ホシユタカ	0.49	0.54	0.91

* trace : < 0.15J/g

(n = 3)

3-3 動的粘弾性測定による迅速評価

8 品種のモデル団子を 0°C で冷蔵保存した場合の動的粘弾性測定結果として、損失正接 $\tan \delta$ (=粘性率 G'' ÷ 弾性率 G') の経時変化を図 1 に、またそれぞれの開始時点の $\tan \delta$ 値を基準 (100%) とした $\tan \delta$ 比 (%) の経時変化を図 2 に示す。

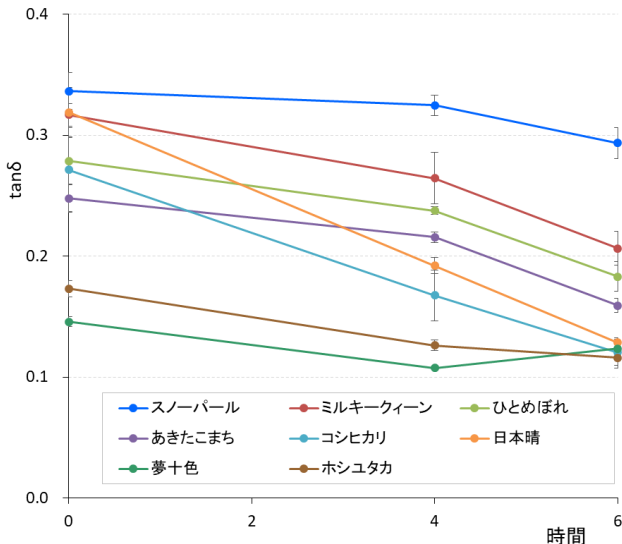


図 1 モデル団子 0°C 冷蔵処理品の $\tan \delta$ 測定結果 (n=3)

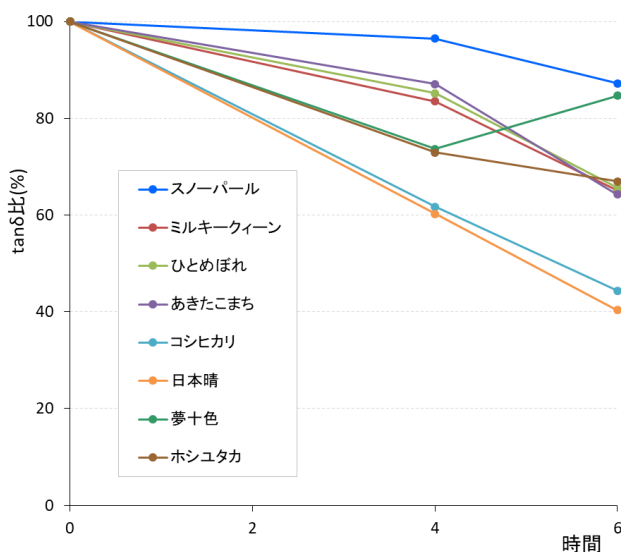


図 2 モデル団子 0°C 冷蔵処理品の $\tan \delta$ 比 (%)

前報では蒸し直後の $\tan \delta$ 値 0.3 前後から、0°C 6 時間保存で $\tan \delta$ 値 0.2 程度まで ($\tan \delta$ 比 66%) 低下し、デンプン老化に伴う物性変化は、 $\tan \delta$ の値の低下として現すことができた。今回の結果も、低アミロース米は 0°C 6 時間冷蔵後の $\tan \delta$ 値が、スノーパールでは 0.34→0.29 ($\tan \delta$ 比 87%) の低下に留まったが、ミルキークイーンでは、0.32→0.21 (同 65%) まで低下し、両者に違いが見られた。

また、中アミロース米の $\tan \delta$ 変化は、ひとめぼれでは 0.28→0.18 ($\tan \delta$ 比 66%)、あきたこまちでは 0.25→

0.16 (同 64%) の低下であったのに対し、コシヒカリは 0.27→0.12 (同 44%)、日本晴は 0.32→0.13 (同 40%) と大きくしかも直線的に低下したことから、違いがみられた。低アミロース米や、中アミロース米での品種間のこれらの違いは 0°C 6 時間冷蔵の DSC 吸熱量 (表 2) の増加傾向とほぼ一致するもので、 $\tan \delta$ の低下はデンプンの老化程度を反映していた。

高アミロース米である夢十色、ホシユタカの場合は、0°C 4 時間冷蔵後の $\tan \delta$ 変化がそれぞれ、0.15→0.11 ($\tan \delta$ 比 74%)、0.17→0.13 (同 73%) であったが、6 時間後の $\tan \delta$ は更に低下してはいなかった。DSC 吸熱量 (表 2) は両品種とも 4 時間後～6 時間後の間に増加していることを考えると、この間の $\tan \delta$ 変化はデンプン老化の進行を示すものでないと思われた。夢十色、ホシユタカの 0°C 6 時間後のモデル団子は、硬くなり過ぎ、今回の動的粘弾性測定条件での測定範囲から外れたものと考えられる。高アミロース米の場合、開始時 (蒸し直後) の $\tan \delta$ 値が既に充分低いことを考慮し、0°C 4 時間での評価にとどめるか、モデル団子調製時の加水率を上げる等の対策が必要と考えられた。

4 結 言

デンプン老化の迅速評価を目的とし、実製品を想定したモデル団子 (加水率 50%) 調製とその冷蔵保存処理での評価法について、アミロース量の異なるうるち米 8 品種による検討を行ない、以下の結果を得た。

(1) DSC 熱分析によるデンプン老化評価では、高アミロース米品種と一部の中アミロース米品種で 0°C 6 時間保存後の吸熱量が 1J/g 前後に達し、そのような品種においては 0°C 4 時間保存後での評価が可能であった。

なお、今回の緩慢冷蔵 (6～1°C×3 回) 条件では、0°C 4 時間冷蔵時の吸熱量との差が認められず、時間の短縮は出来なかった。

(2) 動的粘弾性測定によるデンプン老化評価では、品種毎に 0°C 冷蔵時の $\tan \delta$ 変化 (低下傾向) の違いを確認するとともに、低～高アミロース米いずれの品種においても老化進行の簡易評価が可能であることを確認した。

謝 辞

試料調製において、気流粉碎機 (乾式) による製粉処理を担当していただきました、府金製粉 (株) 府金 慶様に感謝いたします。

文 献

- 1) 不破英次, 小巻利章, 檜作進, 貝沼圭二編集: 澱粉科学の事典, p193, 朝倉書店 (2003)
- 2) K. Okamoto, K. Kobayashi, H. Hirasawa, T. Umemoto: *Plant Prod. Sci.*, **5**, p45-50 (2002)

三陸産イサダを原料とした高付加価値素材の効率的生産体系の構築*

高橋 亨**

イサダは三陸を代表する水産資源であり、EPA や DHA などを多く含むことから機能性素材としての活用が期待される。イサダの漁獲は春に限られるため、凍結保存により流通される。イサダに含まれるリン脂質、8-HEPE に着目し、凍結保存中の含有量の変化について検討したところ、保存温度が高いとリン脂質は減少し、8-HEPE は増加することが明らかになった。さらにイサダから調製される 8-HEPE 濃縮素材について、粉末化とその保存安定性について検討したところ、常温で 1 年以上安定な粉末を製造できる可能性が示された。

キーワード：イサダ、リン脂質、8-HEPE、冷凍保存、粉末化

Construction of efficient production system for high-value-added materials using *Euphausia pacifica* (Isada) of the Sanriku region

TAKAHASHI Tohru

Key words : *Euphausia pacifica* (Isada), phospholipids, 8-HEPE, frozen storage, powdered,

1 緒 言

イサダ (ツノナシオキアミ、*Euphausia pacifica*) は、三陸沿岸で春に漁獲される甲殻類で、三陸を代表する水産資源の一つである。年間約 1.5 万トンの漁獲があり、主な用途は釣りや養殖魚の餌である。一部は乾燥イサダ等として食用にされるが、食用としての利用率は低く新たな用途開発が必要である。

イサダにはエイコサペンタエン酸 (EPA) やドコサヘキサエン酸 (DHA) など豊富な脂質が含まれている。(公財) 岩手生物工学研究センター (生工研) では、イサダ抽出物に抗肥満成分を見出し¹⁾、抽出物中の 8-ヒドロキシエイコサペンタエン酸 (8-HEPE) が PPAR を活性化することを確認するなど²⁾、健康機能に寄与する成分が含まれることを明らかにしている。

そこで生工研を代表機関とし、他に、岩手県沿岸漁船漁業組合、(株) 國洋、(株) 川秀、京都先端科学大学、香川大学、岩手医科大学、(地独) 岩手県工業技術センターを加えた 8 団体で「三陸イサダ高付加価値化コンソーシアム」を設立し、イサダの全利用・高付加価値化を目的に研究開発を進めている。なかでも、8-HEPE などのイサダの脂質を、機能性を有する食品素材として高付加価値化することや、8-HEPE の新たな機能性の探索、脂質抽出残渣の有効活用などを目的に、以下の 6 課題に取り組んでいる。

1. イサダの漁獲と保存方法の開発
2. 油分、固形分、水溶液の分離・抽出体系の構築
3. イサダからの 8-HEPE 濃縮素材の製造工程の構築
4. 水溶性残渣活用技術の開発

5. 酸化安定性をもつ機能性脂質粉末化技術の開発

6. オキアミ由来の新規機能成分 8-HEPE 含有濃縮素材の機能性の評価

このうち、岩手県工業技術センターでは、課題 1 のうちの「イサダ原料の凍結保存技術開発」と、課題 5 のうちの「8-HEPE 粉末化技術開発」を担当している。

イサダの原料の凍結保存技術の開発では、イサダに含まれるリン脂質、8-HEPE に着目し、保存 1 年後のリン脂質、8-HEPE の含有量について調査した。イサダに含まれる 8-HEPE を濃縮したものは、粘性の高い液状となり変質しやすいため、サプリメント等に加工しやすいよう粉末化し、安定に保存できるように加工することが望ましい。このことから、8-HEPE 濃縮素材の乾燥粉末化と保存安定性について検討した。

以下に、これらの結果について報告する。

2 実験方法

2-1 イサダ原料の保存条件と脂質測定

① 保存条件と測定試料の調製

原料には平成 30 年産のイサダ 13.5kg を用い、水 1.5kg を加えて冷凍した。これを 1kg のブロックに裁断して、 -20°C ~ -80°C のフリーザーに 1 年間保存した。

この冷凍イサダを乳鉢で破碎し、Bligh-Dyer 法³⁾により抽出して 10 倍量のクロロホルムに溶解し、脂質測定試料とした。

② 脂質の測定

リン脂質量は、①で調製した脂質測定試料を、クロマトロッドを用いた薄層クロマトグラフィーを行い (クロロ

* 革新的技術開発・緊急展開事業 (うち経営体強化プロジェクト)

** 食品技術部

ホルム：メタノール：水=84：48：5で10分間展開後、ヘキサン：ジエチルエーテル=5：3で25分間展開)、TLC-FID (LSIメディエンス製イアトロスキャン)で測定した。

8-HEPEは、高速液体クロマトグラフィー質量分析(LC/MS:Waters製ACQUITY UPLC、AB SCIEX製3200QTRAP、カラム：Waters製XBridge BEH C18 2.5 μ m 2.1 \times 75mm、HPLC条件：移動相A 0.1%ギ酸10mMギ酸アンモニウム移動相B アセトニトリル 流速0.2mL/分 0 \rightarrow 20分 で%B 55 \rightarrow 95)で定量した。

冷凍イサダのリン脂質と8-HEPEの種々の保存温度での残存率は、-80 $^{\circ}$ Cで保存したときの値を100として評価した。

2-2 8-HEPE 粉末化条件の検討

イサダから抽出した8-HEPE濃縮素材は、エタノール溶液として生工研が調製したものを用い⁴⁾、以下の2つの方法で粉末を得た。

- ① 超純水100mLに γ -シクロデキストリン(WACKER製)10gを溶解し、8-HEPE濃縮素材を1ないし5mL加え攪拌後、スプレードライヤー(ヤマト科学製ADL310)を用いて、入口温度120 $^{\circ}$ C、出口温度65 $^{\circ}$ Cで噴霧乾燥して得る。
- ② ロータリーエバポレーター(日本ビュッヒ製R-215)を用いて8-HEPE濃縮素材に含まれるエタノールを除去した後、8-HEPE濃縮素材：水： γ -シクロデキストリン=1：7：10を乳鉢でよく攪拌し、品温が20 $^{\circ}$ Cで安定するまで、真空凍結乾燥機(共和真空技術製RLE-103)で乾燥して得る。

粉末化のための賦形剤には、 γ -シクロデキストリンを用いた。シクロデキストリンは、分子の空隙にほかの分子を包摂することで目的分子の安定化に寄与することが知られている。 α 、 β 、 γ の3種類あるが、機能性を有する食品素材としての活用のため、水溶性でヒトが消化できる γ -シクロデキストリンを採用した。

得られた粉末はアルミラミジップに入れて密封し、恒温恒湿器(東京理化器械製KCL-2000A)で30 $^{\circ}$ C、相対湿度50%の雰囲気下で1年間保存した。粉末に50倍量のメタノールを加えて8-HEPEを抽出し、上記2-1と同様にLC/MSで定量した。

8-HEPEの残存率は、1年保管した粉末に含まれる値を、粉末調製直後を100として評価した。

3 結果及び考察

3-1 イサダ原料の凍結保存による脂質含量変化

イサダ冷凍ブロックを-20 $^{\circ}$ C、-30 $^{\circ}$ C、-40 $^{\circ}$ Cで凍結保存した場合の、上記2-1で提示したリン脂質と8-HEPEのそれぞれの残存率を表1に示す。

リン脂質は保存温度が高いと減少するが、8-HEPEは増加している。山田らはイサダから抽出した粗タンパク質がEPAを8-HEPEに変換すること⁵⁾、イサダを20 $^{\circ}$ Cでインキュベートすることでリン脂質の一種であるフォスフ

ァチジルコリンが減少し、遊離脂肪酸が増加すること、しかしEPAは増加せず8-HEPEが増加すること、などを確認している⁴⁾。このことから、イサダ冷凍ブロックの保存中も酵素が働き、フォスファチジルコリンの分解に伴って生じるEPAから8-HEPEの生成が起こり、さらに増加すると考えられる。

イサダは、春に漁獲したものを冷凍保存して通年利用することが必要になる。8-HEPEは保存中に増加することが明らかとなり、保存中の損失を気にする必要はない。しかしリン脂質は保存中に分解する。リン脂質の利用を目的としたイサダの保存を考えると、-30 $^{\circ}$ Cでもおよそ2/3が失われるため、-40 $^{\circ}$ C以下で保存することが必要と考えられる。

表1 イサダ凍結保存温度とリン脂質、8-HEPEの残存率

保存温度 ($^{\circ}$ C)	リン脂質残存率 (%)	8-HEPE 残存率 (%)
-80	100.0	100.0
-40	85.2	116.4
-30	35.1	141.3
-20	14.6	168.5

3-2 8-HEPE 粉末の保存と安定性

8-HEPE含有粉末の保存1年後の残存率を表2に示す。

アルコールは、シクロデキストリンの目的分子の包摂を阻害するため、真空凍結乾燥ではエタノールを除去した8-HEPE濃縮素材を用いた。しかし噴霧乾燥では、工程の簡素化をはかるため、エタノールで溶解した8-HEPE濃縮素材をそのまま使用して試験をおこなった。

噴霧乾燥による粉末化で8-HEPEの安定性が真空凍結乾燥より低い傾向が見られたのは、エタノールの影響により8-HEPEが γ -シクロデキストリンに包摂されないまま粉末になり、安定性が劣った可能性が考えられる。

いずれの方法によっても、ばらつきは大きいものの、1年間経過後も平均75%以上の8-HEPEが残存し、8-HEPE濃縮素材粉末の実用化の可能性を示すことができた。

表2 8-HEPE含有粉末の1年後の8-HEPE残存率

	噴霧乾燥 (1mL)	噴霧乾燥 (5mL)	真空凍結乾燥
n数	7	3	4
平均	84.5	77.8	88.9
標準偏差	21.8	3.3	14.0

4 結 言

生工研を代表機関とするコンソーシアムにより進められた「三陸産イサダを全利用した高付加価値素材の効率的生産体系構築」の研究開発において、筆者らはイサダ凍結保存技術の開発と8-HEPE粉末化技術の開発を担当した。その結果、イサダ凍結保存技術の開発では、リン脂質の減少を防ぐのには-40 $^{\circ}$ C以下の低温で保存する必要があることを明らかにできた。また、8-HEPE粉末化

技術の開発では、1年間安定な8-HEPE含有粉末を製造できる可能性を示すこともできた。

コンソーシアム参加者である県内企業の(株) 國洋は、令和2年にイサダオイル工場を新設し(図1)、イサダオイル含有粉末「桜こあみパウダー(図2)」の事業化に向け取組を続けている。

令和2年のイサダの漁獲量は平年の約1/10の1,500トンと記録的な不漁であった。本事業の成果を活用するためイサダの安定した漁獲は必要不可欠であり、イサダ資源の回復が強く望まれる。



図1 (株) 國洋イサダオイル工場外観



図2 桜こあみパウダー試作品

謝 辞

この研究は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センターの「革新的技術開発・緊急展開事業(うち経営体強化プロジェクト)」の支援を受けて実施した。

コンソーシアム参加者から多大なご助言、ご協力いただきましたことを深謝する。

文 献

- 1) Y. Sadzuka, I. Sugiyama, M. Miyashita, T. Ueda, A. Kikuchi, E. Oshiro, A. Yano, H. Yamada. Beneficial Effects by Intake of *Euphausiacea pacifica* on High-Fat Diet-Induced Obesity. Biol. Pharm. Bull. 35 (4) 568-572 (2012)
- 2) H. Yamada, E. Oshiro, S. Kikuchi, M. Hakozaiki, H. Takahashi, Kenichi. Kimura, Hydroxyeicosapentaenoic acids from the Pacific krill show high ligand activities for PPARs. .LIPID. RESEACH. 55 895-904 (2014)
- 3) E G BLIGH, W J DYER. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Physiol. 1959 Aug;37(8):911-917
- 4) H. Yamada, K. Kumagai, A. Uemura, S. Yuki. *Euphausia pacifica* as a source of 8(*R*)-hydroxy-eicosapentaenoic acid (8*R*-HEPE), 8(*R*)-hydroxy-eicosatetraenoic acid (8*R*-HETE) And 10(*R*)-hydroxy-docosahexaenoic acid (10*R*-HDHA). Biosc. Biotec. Bioch., Vol. 84 455-462 (2020)
- 5) H. Yamada, Y. Yamazaki, S. Koike, M. Hakozaiki, N. Nagahora, S. Yuki, A. Yano, K. Tsurumi, T. Okumura, Lipids, fatty acids and hydroxyl-fatty acids of *Euphausia pacifica*. SCIENTIFIC REPORTS. 2017. 7. 9944

地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告

令和3年3月 第23号

Journal of Local Independent Administrative Agency
Iwate Industrial Research Institute
2021 March Vol.23

発行 令和3年3月26日

地方独立行政法人岩手県工業技術センター

〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡 2-4-25

電話 : 019-635-1115

FAX : 019-635-0311

ホームページ : <http://www2.pref.iwate.jp/~kiri/>

電子メール : CD0002@pref.iwate.jp