

平成26年度

宮城県産業技術総合センター研究報告

The Annual Research Report of Industrial Technology Institute, MIYAGI Prefectural Government

No.12 (2014)

目次

1. マシンビジョン・画像処理分野のハードウェア・ソフトウェア企業連携による地域産学官
研究開発と事業化促進 1
2. 被災農地で栽培された米と酒造米新品種の酒造適性評価 11
3. 宮城の新商品開発事業(味香り評価装置活用) 15
4. 微粒子異物検出システムの開発 18

【平成24～26年度 県単研究】

マシンビジョン・画像処理分野のハードウェア・ソフトウェア企業連携による 地域産学官研究開発と事業化促進

～3次元画像処理技術の高度化と産業応用の推進～

太田 晋一，荒木 武，小野 仁
機械電子情報技術部

マシンビジョン・画像処理技術は、工業製品の位置決め、外観・寸法検査、監視カメラ、自動車やロボットの視覚センサーなど、様々な分野で用いられている。近年、ステレオビジョンや近赤外線投影などを用いることで、リアルタイムに3次元画像情報を取得可能なセンサーが急速に普及してきている。それに伴い、今後、それらの3次元画像情報の処理技術が重要となっていくことが考えられる。そこで、本研究では3次元画像処理技術の高度化及び産学官連携による産業応用の推進を行った。

キーワード： マシンビジョン，3次元画像処理，ステレオビジョン，TOF (Time of Flight)，PCL (Point Cloud Library)，レジストレーション処理，セグメンテーション処理，フィルタ処理

1. 緒言

マシンビジョン・画像処理技術は、工業製品の位置決め、外観・寸法検査、監視カメラ、自動車やロボットの視覚センサーなど、様々な分野で用いられている¹⁾。これらの分野では、従来、2次元画像情報の活用が中心であり、3次元画像情報を用いるには、非常に高価な装置が必要であった²⁾。しかしながら、近年、ステレオビジョンや近赤外線投影などの技術が進展し、小型・低価格な画像センサーにて、リアルタイムに3次元画像を取得可能となってきている。それに伴い、それらの各種センサーから得られた3次元画像情報の処理技術が非常に重要となっている。

そこで、本研究では、各種3次元情報取得装置及び3次元画像処理ライブラリの調査、高速・小型・低価格な全周囲3次元計測への応用検討を行った。また、画像処理分野の地域産学官連携による産業応用事例も紹介する。

2. 3次元情報取得装置

各種3次元情報取得装置の特徴を示し、今回の実験に用いた赤外線飛行時間計測方式カメラの精度評価の結果を示す。

2-1. 各種3次元情報取得装置の特徴

リアルタイム3次元情報を取得できる装置は、代表的なもので以下のような装置が挙げられる。

- (a) ステレオビジョン方式^{3), 4), 5)}
- (b) 赤外線飛行時間計測方式

(TOF:TimeOfFlight)⁶⁾

(c) 赤外線ランダムパターン投影方式⁷⁾

(d) 空間コード化法 (3次元デジタイザ)⁸⁾

空間コード化法は、原理的にリアルタイム測定は難しいが、精度評価などの比較用に用いているため記載する。図1～4に、各カメラの外観と測定例を示す。表1～4に、型番や特徴を示す。

産業応用の際には、これらの特徴を踏まえて、最適な3次元情報取得装置を選択する必要がある。今回、自動車シートの全周囲3次元測定の実験には、テクスチャが無い工業用製品でも安定的に測定できること、測定精度が明記してあり、防塵・防水仕様IP67対応など産業用途に対応していることなどから、(b)の赤外線飛行時間計測方式のSR4000を用いた。



図1 ステレオビジョン方式カメラと測定例

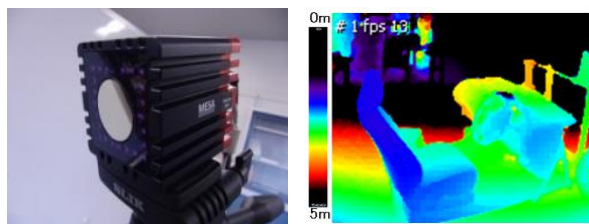


図2 TOF方式カメラと測定例



図3 赤外線パターン投影方式カメラと測定例



図4 3次元デジタイザと測定例

表1 ステレオビジョンカメラの特徴

方式	ステレオビジョン方式
型番	Scorpion SCOR14SOM(PointGreyReserch社)
画素数	1280×960 pixel(約140万画素)
測定範囲	カメラ間ベースラインに依存
測定精度	画像マッチング精度・キャリブレーション精度に依存
補足	環境光のみで測定可能なため屋外使用が可能。 テクスチャの無い対象物は測定不可能。
価格帯	約80万円程度(但し、研究開発品のため、ソフトウェア開発費は含まれていない。)

表2 TOFカメラの特徴

方式	赤外線飛行時間計測方式 (TOF:TimeOfFlight方式)
型番	SR4000(Mesa社)
画素数	176×144 pixel(25344画素)
測定範囲	0.3~5.0 m
測定精度	±10.0 mm
補足	画素数は少ないが、1画素毎に測定可能。産業用途対応。最新機種では屋外使用にも対応。赤外線反射強度画像(モノクロ画像)。
価格帯	約60万円程度

表3 赤外線パターン方式カメラの特徴

方式	赤外線ランダムパターン投影方式
型番	Kinect for Windows(Microsoft社)
画素数	640×480 pixel(約30万画素)
測定範囲	0.8~4.0 m(通常モード), 0.4~3.0 m(Nearモード)
測定精度	—
補足	KinectFusion, ハンドジェスチャーなどSDK機能が充実。RGBカラー画像も同時に取得可能。
価格帯	約2.5万円程度

表4 3次元デジタイザの特徴

方式	空間コード化法
型番	Comet5(100/200/400/800) (Steinbichler社)
画素数	640×480 pixel(約30万画素)
測定範囲	100:80X80X60, 200:190X190X140, 400:380X380X250, 800:760X760X500
測定精度	100:0.008 mm, 200:0.012 mm 400:0.025 mm, 800:0.040 mm
補足	1ショットで十数枚の画像を撮影するため約5秒必要(リアルタイム測定は不可能)。 鏡面/透過面/黒色面はパウダー状スプレー塗布が必要。 主に、以下の用途に使用。 ①設計3次元CADデータとの形状比較検査, ②CADデータ生成(リバースエンジニアリング) 近年、低価格化が進み、ハンディタイプも登場している。
価格帯	約3000万円程度

2-2. SR4000の精度評価

SR4000は、測定距離範囲0.3~5.0m、画素数176×144、フレームレート13fps(最大50fps)の3次元動画像を取得可能な装置である。平面状の白板を、距離をずらしながら測定することにより、測定精度評価の実験を行った。図5に、測定の様子を示す。測定点群に平面をフィッティングし、RMS(Root Mean Square)誤差を計算した。図6に、測定距離2mでの白板の測定点群を示す。測定距離2mでは、RMS誤差は1.19mmであった。図7に、測定距離0.3~4.8mでのRMS誤差を示す。測定距離が0.5~2.5mの範囲で、誤差が約1mm程度であるため、この範囲で以後の全周囲計測の実験に用いることとした。

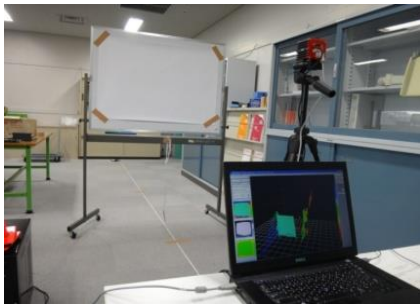


図5 測定精度評価の実験の様子

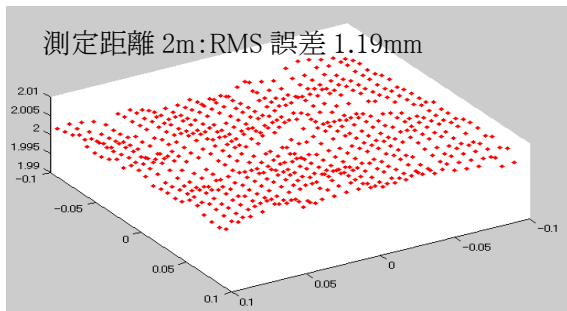


図6 測定距離2mでの白板の測定点群

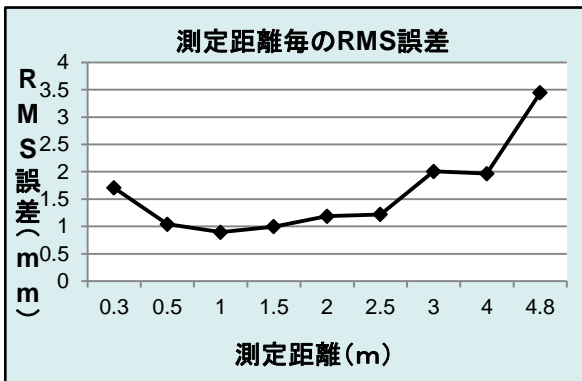


図7 測定距離毎のRMS誤差 (0.3m～4.8m)

3. 3次元画像処理ライブラリ

ソフトウェア開発環境は、VisualStudio2010C++及び3次元画像処理ライブラリPCL(Point Cloud Library) Version1.5.1及び1.7を用いた。PCLの概要と処理例及びPCLの3次元画像のデータ形式について説明する。

3-1. PCLの概要

PCLは、オープンソースライブラリであり、世界中で開発が行われている⁹⁾。図8に、機能一覧を示す¹⁰⁾。表5に、主な処理を示す¹¹⁾、¹²⁾。フィルタリング、特徴量記述、特徴点検出、位置合わせ、データ構造、分割処理、ロバスト推定、メッシュ生成、デプスマップ

生成、入出力、可視化など機能が豊富である。これらの機能を組み合わせることで、高度な3次元画像処理を実現することができるが、PCLを使いこなすためには、高度な前提知識を必要としており、日本語の資料や情報も少ないため、容易に使える状態とは言い難い。最新のバージョンを使いたい場合には、開発環境の構築も容易ではない。

オープンソースの2次元画像処理ライブラリとしては、OpenCV (Open Source Computer Vision) が代表的である¹³⁾。OpenCVは、約10年前は、現在のPCLのように情報が少なく、使いこなすのが容易ではなかったが、現在は、日本語の書籍も充実し、多くの研究者・技術者が気軽に使用している。PCLも、約10年前のOpenCVの状況と大変よく似ており、今後、3次元情報取得装置の普及に伴い、急速に普及していくことが予想される。

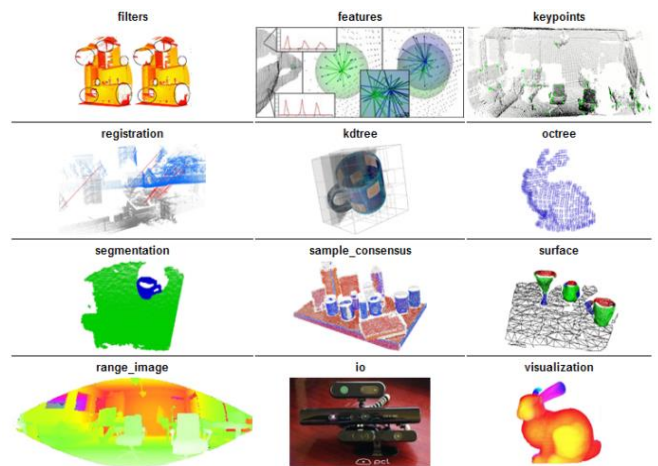


図8 PCLの機能一覧

表5 PCLの主な処理例

機能名称	主な処理例
Filter	フィルタリング
Features	特徴量記述
Keypoints	特徴点検出
Registration	位置合わせ
Kdtree/Octree	データ構造
Segmentation	分割処理
Sample_consensus	ロバスト推定
Surface	メッシュ生成
Range_image	デプスマップ生成
Io	入出力
Visualizaion	可視化

3-2. PCLのデータ形式

3次元画像のデータ形式は、3次元情報取得装置や画像処理ライブラリやCGやCAD毎に対応しているデータ形式が異なる。代表的なものとして、STL形式やOBJ形式などがある。2次元画像のデータ形式のBMP/JPEG/TIFF/PNGなどとは異なり、3次元画像のデータ形式は互換性が低い状況にある。

PCLでは、独自のPCD (PointCloudData) 形式を採用している。図9に、PCD形式の例を示す。PCD形式では、XYZ (3次元座標のみ)、XYZI (3次元座標と輝度情報)、XYZRGB (3次元座標と色情報)、XYZRGBA (3次元座標と色情報と透過率)、XYZRGBNormal (3次元座標と色情報と法線方向) などに対応している。

一方、SR4000から得られる3次元画像は独自のDAT形式である。図10に、DAT形式の例を示す。

SR4000から得られる3次元画像に対して、PCLを用いた処理を行うために、DAT形式をPCD形式に変換するプログラムを作成し用いている。

```
# .PCD v.7 - Point Cloud Data file format
VERSION .7
FIELDS x y z rgb
SIZE 4 4 4 4
TYPE F F F F
COUNT 1 1 1 1
WIDTH 213
HEIGHT 1
VIEWPOINT 0 0 0 1 0 0 0
POINTS 213
DATA ascii
0.93773 0.33763 0 4.2108e+06
0.90805 0.35641 0 4.2108e+06
0.81915 0.32 0 4.2108e+06
```

図9 PCDのデータ形式(*.pcd)

```
% Calibrated Distance (Z座標)
% Calibrated xVector (X座標)
% Calibrated yVector (Y座標)
% Amplitude (輝度 (赤外線反射強度))
% Confidence map (信頼性)
% additional data / time stamp [ms]
(その他情報, タイムスタンプ)
```

図10 SR4000のデータ形式(*.dat)

4. 全周囲3次元計測への活用

これまで説明してきた、赤外線飛行時間計測方式のTOFセンサーであるSR4000及び3次元画像処理ライブラリPCLを用いて、自動車用シートの全周囲3次元計測の検討を行った。今回は、全周囲3次元計測に必要な基礎検討として、異なる角度から撮影した2枚の3次元画像の位置合わせの実験を行った。

4-1. 測定対象物

測定対象物は、自動車用シートとした。自動車用シートのような大型対象物は、3次元デジタイザを用いて測定する手法が一般的であるが、測定装置が高額であり、測定に時間がかかるため、全数測定は難しい。そこで、SR4000とPCLを用いることで、高速・小型・低価格な全周囲3次元測定を検討した。図11に、測定の様子を示す。自動車用シートは、回転テーブル上に配置した。回転しながら、3次元画像を動画画像として取得した。図12に、測定結果を示す。



図11 自動車用シートの3次元測定の様子

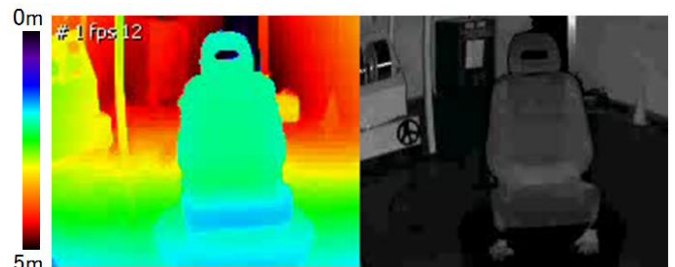


図12 測定結果(動画像)
(左: 距離カラーマップ, 右: 赤外線反射強度)

4-2. 処理フロー

自動車用シートの全周囲3次元計測に必要な異なる角度から撮影した2枚の3次元画像の位置合わせの実験を行った。図13に、2枚の入力3次元画像を示す。上段をSource画像, 下段をTarget画像とする。

図14に、処理フローを示す。2枚の3次元画像に対して、Step1フィルタ処理、Step2セグメンテーション処理、Step3レジストレーション処理を行うことにより、3次元画像の位置合わせを行った。

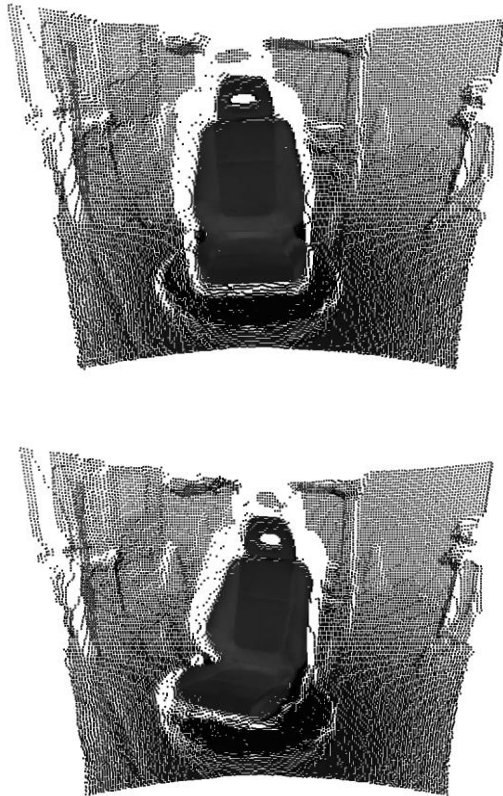


図13 2枚の入力3次元画像
(上:Source画像, 下:Target画像)

Step1のフィルタ処理と、Step2のセグメンテーション処理により、撮影した3次元画像から、自動的にシート部分の検出を行った。Step3のレジストレーション処理により、2枚の3次元画像の位置合わせを行った。

以下にて、Step1～Step3の詳細について説明する。尚、フィルタ処理及びセグメンテーション処理は、Source画像に対する処理結果のみ記載しているが、Target3次元画像に対しても同様の処理を行っている。

Step1: フィルタ処理

フィルタ処理では、ノイズ除去及び平面検出・除去を行った。

入力3次元画像に対して、X、Y、Zの各方向のPass Throughフィルタ処理を行い、椅子以外の領域の大きな除去を行った。次に、外れ値Outlierの統計的除

去のフィルタ処理を行い、飛び点などの不連続なノイズ除去を行った。その後、最大面積の平面部分として床面の検出を行い、除去を行った¹⁴⁾。フィルタ処理後のSource画像の点数は7602点である。図15に、ノイズ除去後と床面除去後の3次元画像を示す。

Step2: セグメンテーション処理

セグメンテーション処理では、領域の分割を行い、シート部分の抽出を行った。

フィルタ処理後の3次元画像に対して、領域毎の分割のために、ユークリッド距離によるKdTreeデータ構造を計算することで、クラスタリング処理を行った¹⁵⁾。分割された最大領域をシート部分として抽出した。図16に、セグメンテーションの処理結果を示す。

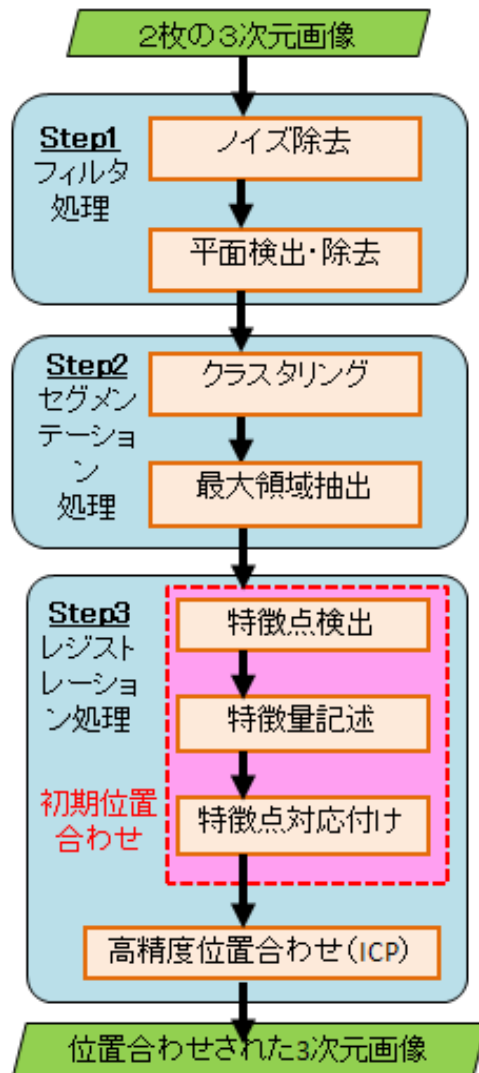


図14 3次元画像処理のフロー

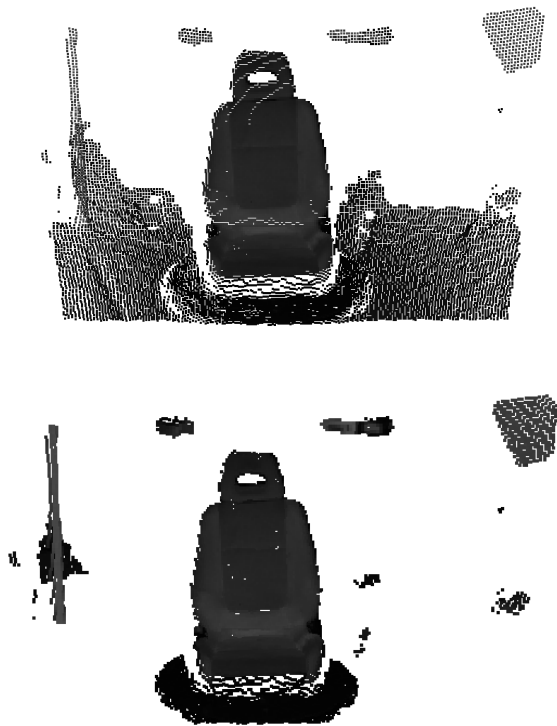


図15 フィルタ処理後(Step1)
(上:ノイズ除去後, 下:床面検出・除去後)

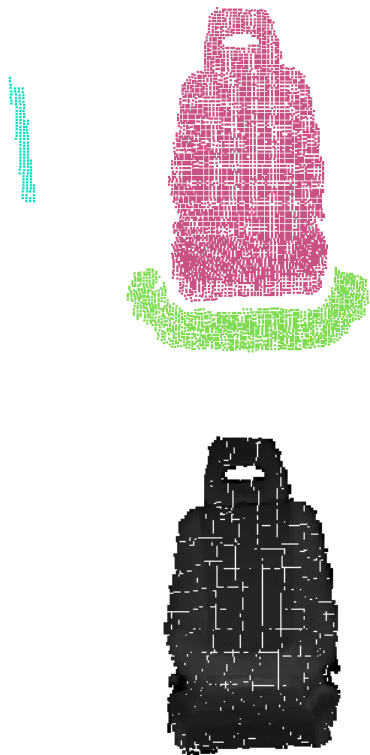


図16 セグメンテーション処理後(Step2)
(上:クラスタリング後, 下:最大領域抽出後)

Step3: レジストレーション処理

レジストレーション処理では、初期位置合わせ手法と高精度位置合わせ手法を用いて、Target画像に対して、Source画像の位置合わせを行った。

高精度位置合わせ手法のみを用いた場合、大きく位置ずれしている3次元画像同士の位置合わせが難しかった。そこで、初期位置合わせ手法を導入することで、安定的な位置合わせを実現している。

Step3-1: 初期位置合わせ

初期位置合わせは、特徴点検出、特徴量記述及び特徴点同士の対応づけにより行った。

特徴点検出は、不変特徴点検出手法である3DSift (3-Dimensional Scale-invariant feature transform)を用いた¹⁶⁾・¹⁷⁾。図17に、位置合わせ前の3次元画像を示す。位置合わせ前(セグメンテーション処理後)の点数は、Source画像は4727点、Target画像は4895点である。図18に、特徴点検出結果を示す。検出された特徴点の数は、Source画像は273点、Target画像は278点である。特徴量記述は、FPFH (Fast Point Feature Histograms) 手法により行った。特徴点同士の対応づけは、ランダムサンプリングによるパラメータのロバスト推定手法であるRANSAC (Random Sample Consensus) を用いた¹⁷⁾。図19に、初期位置合わせの結果を示す。

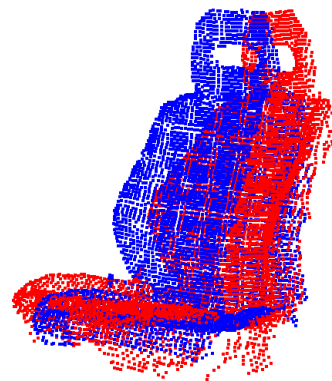


図17 位置合わせ前

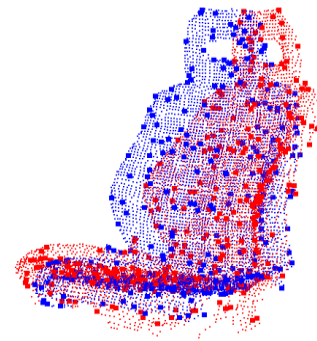


図18 特徴点検出結果

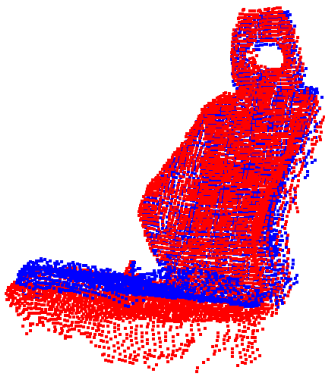


図19 初期位置合わせ後(Step3-1)

Step3-2: 高精度位置合わせ

高精度位置合わせは、初期位置合わせの結果を初期値として、ICP (Iterative Closest Point) により行った¹⁷⁾、¹⁸⁾。図20に、高精度位置合わせの結果を示す。

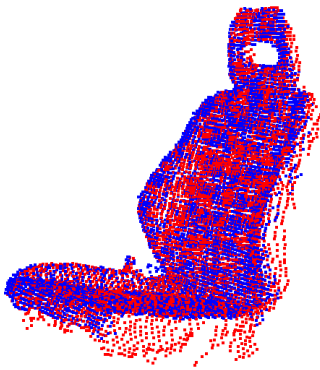


図20 高精度位置合わせ後(Step3-2)

4-3. 評価結果

4-3-1. 計算時間評価

異なる角度から撮影した2枚の3次元画像の位置合わせにおける、各ステップ毎の計算時間の評価を行った。

表6に、計算時間評価の実験に用いたハードウェア及びソフトウェアの開発環境を示す。表7に、各ステップ毎の計算時間評価の実験結果を示す。Step1, Step2は、1枚のSource画像に対して、フィルタ処理、セグメンテーション処理を行った際の計算時間であり、Step3-1, Step3-2は、Target画像に対してSource画像の位置合わせを行った際の計算時間である。

Step1, Step2のフィルタ処理とセグメンテーション処理に対して、Step3のレジストレーション処理は、計算時間が大きいことが分かる。特に、高精度位置合わせは、ICPの繰り返し回数と探索距離範囲と収束

値のパラメータによって、計算時間が大きく異なった。初期位置合わせの精度を高めることで、高精度位置合わせの計算時間を短くすることが可能であると考えられる。

表6 実験に用いた開発環境

ハードウェア	
PC	Dell Precision M4400
OS	Windows XP Pro SP3
CPU	Intel Core™2 Duo T9900
Memory	4GB
ソフトウェア	
PCL	Version1.5.1
VisualStudio	Visual Studio2010 C++

表7 各ステップの計算時間(単位:ms)

ステップ	処理名称	計算時間[ms]
Step1	フィルタ処理	226
Step2	セグメンテーション処理	73
Step3-1	初期位置合わせ	1275
Step3-2	高精度位置合わせ	3585

4-3-2. 精度評価

高精度位置合わせ後の3次元画像と3次元デジタルカメラでの測定データを比較することにより、実用化可能性の検証を行った。

図21に、3次元デジタルカメラでの測定の様子を示す。図22に、3次元デジタルカメラでの自動車用シートの測定結果を示す。3次元デジタルカメラにて、自動車用シートの測定を行う場合、回転テーブルでの全周囲測定と手動での3次元画像処理時間を含めて、約30分程度である。



図21 3次元デジタルカメラでの測定の様子



図22 3次元デジタル化での測定データ

図23に、高精度位置合わせ後の3次元画像と3次元デジタル化での測定データとのカラーマップ比較検査の結果を示す。図24に、誤差の点群割合分布を示す。測定機精度の±10.0mm以内に含まれる点群の割合68%である。自動車用シートの測定での実用化のためには、測定精度の向上や安定化が必要である。しかしながら、3次元情報取得装置が要求精度を満たす応用分野であれば、十分に活用できる可能性があると考えられる。

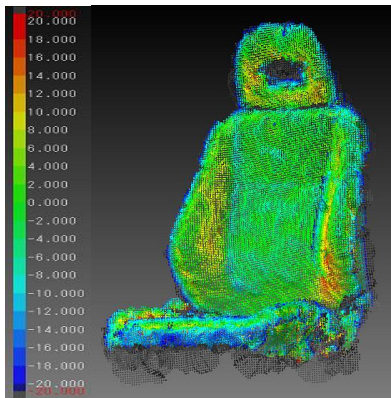


図23 カラーマップ比較検査の結果

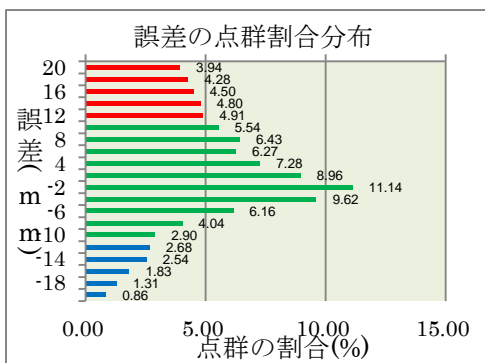


図24 誤差の点群割合分布

5. 産業応用への展開

宮城県産業技術総合センターでは、東北大学情報知能システム (IIS) 研究センター、マシンビジョン研究会 (事務局：東北経済産業局, ICR), マシンビジョン研究会 II (事務局：東北大学IISセンター, 仙台市), みやぎ組込み産業振興協議会の会員企業と連携し、画像処理分野の産学官連携活動の展開を行っている。

これまでの主な成果は、共同研究4件、受託研究2件、外部資金採択6件/申請11件である。地域企業との研究開発費獲得は53,600万円 (延べ14社・機関)、学会発表・論文掲載・雑誌掲載等は12件、新聞掲載は3件である。研究開発からの県内企業にて製品化を実現した事例は5件である。これらの中で、2つの事例の概要を紹介する。

5-1. 自動車外観画像検査ロボットの開発

(バイスリープロジェクト(株), (株)引地精工との共同研究)

戦略的基盤技術高度化支援事業に採択され実施したプロジェクトである¹⁹⁾。検査対象物に、スリット状の面光源を照射し、その歪みをカメラで撮像し、画像処理技術と組み合わせることで、塗装面や鏡面の自動車部品の微小な凸凹・ブツなどの不具合を高精度に検出する外観検査ロボットの開発を行った²⁰⁾。図25に、試作した外観検査ロボット、図26に、欠陥検出例を示す。



図25 試作した外観検査ロボット

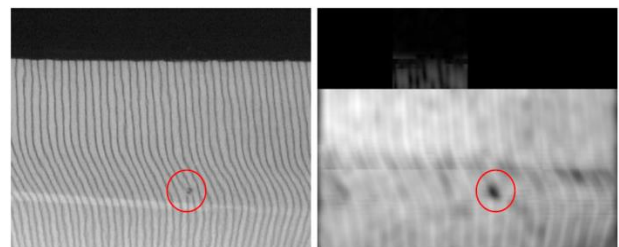


図26 複雑な曲面上の欠陥検出例

5-2. 3次元熱画像サーモフュージョンの開発

(東社シーテック(株), (株)山形チノー(現:(株)チノー山形事業所)との共同研究)

戦略的基盤技術高度化支援事業に採択され実施したプロジェクトである²¹⁾。可視光カメラと熱画像カメラを用いることで、3次元位置情報の分かる熱画像カメラの開発を行った。ダンボールのホットメルト塗布検査への応用を検討した。図27に、試作した3次元熱画像カメラ、図28に、ホットメルト塗布検査への応用例を示す。また、図29に、自動車エンジンの3次元熱画像検査への応用例を示す。ホットメルト塗布検査装置については、特許出願済である。



図27 試作した3次元熱画像カメラ

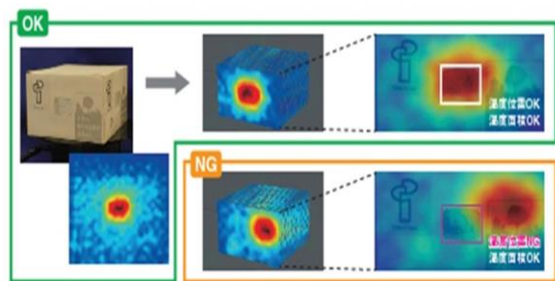


図28 ダンボールのホットメルト塗布検査への応用

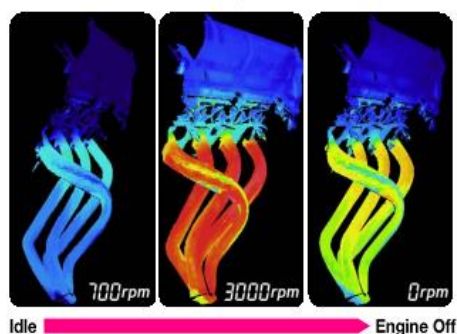


図29 自動車エンジンの3D熱画像検査への応用

6. 結言

3次元画像処理技術の確立及び産業応用を目的とし、赤外線飛行時間計測TOF画像センサー及び3次元画像処理ライブラリPCLを用いた小型・低価格な全周囲3次元計測の検討を行った。フィルタ処理、セグメンテーション処理、レジストレーション処理を組み合わせた3次元画像処理アルゴリズムにより、2枚の3次元画像から、自動的に、自動車用シート部分を検出し、位置合わせ可能であることを示した。今後は、全周囲位置合わせの実験及び評価を行う予定である。

また、当センターにおける画像処理分野の宮城県地域での産学官連携による産業応用事例についても紹介した。3次元画像処理技術は、これらを含めた宮城県内の多くの画像処理プロジェクトで必要とされている技術であり、今後、普及展開に向けた取り組みも進めていく予定である。

【謝辞】

東北大学青木孝文教授をはじめとした研究室の皆様、情報知能システム(IIS)研究センターのスタッフ、東北経済産業局、ICR、川下企業及び多くの県内企業各位に感謝を申し上げます。

本研究に用いたMatlab/Simulink及び非接触画像光学式3次元デジタイザはH18及びH21(財)JKA補助(RING!RING!プロジェクト)にて導入したものです。

<参考文献>

- [1] デジタル画像処理編集委員会監修, 「デジタル画像処理」, (財)画像情報教育振興協会, 2004年
- [2] 吉澤 徹: 「最新 光3次元計測」, 2007
- [3] 青木孝文, 伊藤康一, 柴原琢磨, 長嶋聖: “位相限定相関法に基づく高精度マシンビジョンーピクセル分解能の壁を越える画像センシング技術を目指してー”, IEICE Fundamentals Review, Vol. 1, No. 1, pp. 30-40, July 2007.
- [4] N. Uchida et al. : “3D face recognition using passive stereo vision,” Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, pp. II-950-II-953, September 2005.
- [5] 太田晋一, 柴原琢磨, 内田尚秀, 沼徳仁, 押野敬之, 青木孝文: “位相限定相関法に基づく高精度受動型3次元形状計測システムの開発”, 電子情報通信学会2006年総合大会, No. D-12-58, p.190, March 2006.
- [6] “SR4000の概要”, MesaImaging社 HP, <http://www.mesa-imaging.ch/index.php>

- [7] “Kinect for Windowsの概要”, Microsoft社 HP,
<http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
- [8] “Comet5 の概要”, STEINBICHLER VISION SYSTEMS 社
HP, <http://www.steinbichler.com/products/surface-scanning/3d-digitizing/comet-5.html>
- [9] “Point Cloud Library の概要”, PCL の HP,
<http://pointclouds.org/>
- [10] “Point Cloud Library のドキュメント”, PCL
Documentation の HP,
<http://pointclouds.org/documentation/>
- [11] Stefan Holzer, “ Segmentation. (Plane +
Euclidean Clustering).” 13th International
Confernce on Computer Vision (ICCV) 2011.
- [12] Micheal Dixon, “Keypoints and Feature
descriptors.” 13th International Confernce on
Computer Vision (ICCV) 2011.
- [13] “OpenCV の概要”, OpenCV の HP,
<http://opencv.or/>
- [14] Suat Gedikli, “Filtering.” IEEE/RSJ
International Conference on Intelligent Robots and
Systems (IROS) 2011.
- [15] Nico Blodow, “Segmentation.” IEEE/RSJ
International Conference on Intelligent Robots and
Systems (IROS) 2011.
- [16] Dirk Holz, “Initial Alignment. ” 13th
International Confernce on Computer Vision (ICCV)
2011.
- [17] Suat Gedikli, “Feature Detection and
Matching (Hands on) ” 13th International Confernce on
Computer Vision (ICCV) 2011.
- [18] Dirk Holz, “Registration.” IEEE/RSJ
International Conference on Intelligent Robots and
Systems (IROS) 2011.
- [19] “平成23年度 戦略的基盤技術高度化支援事業（平成
23年度第3次補正予算事業研究開発の前倒し事業）「外観
検査用産業用ロボットを高度化する画像処理組み込みソフ
トウェアの開発と事業化」研究開発成果等報告書.”, 2012
年1月, 中小企業庁
HP, [http://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/
portal/seika/2010/22120401011.pdf](http://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/portal/seika/2010/22120401011.pdf)
- [20] 菅野直: “鏡面塗装品の欠陥検出技術<「変曲線マッ
チング法」による新しい欠陥検出技術の開発>”, 月刊ブ
ラスチック , p22-25, 2013年7月号.
- [21] “平成22年度予備費事業 戦略的基盤技術高度化支援
事業「熱画像センサとステレオビジョンによる高度なホッ
- トメルト検査システムの開発」研究開発成果等報告書概要
版.”, 2012年12月, 中小企業庁
HP, [http://www.chusho.meti.go.jp/
keiei/sapoin/portal/seika/2010/22120401011.pdf](http://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/portal/seika/2010/22120401011.pdf).

被災農地で栽培された米の酒造適性評価

橋本 建哉¹, 小山 誠司¹, 中村 茂雄², 長谷部 幹³, 熊谷 千冬³, 成澤 嘉明³, 遠藤 貴司⁴, 酒井 球絵⁴
食品バイオ技術部¹, 宮城大学², 宮城県石巻農業改良普及センター³, 宮城県古川農業試験場⁴

平成23年に除塩を終えた農地で栽培された米試料について酒米統一分析法による評価を実施した。玄米整粒重, および精米特性については除塩田産米と対照との間には大きな差異は認められず, 蒸米吸水率は全般に高めで消化性もよく, もろみでの溶解性が充分なものとなることが示唆された。更に総米150gの小仕込試験を実施したが, 製成した清酒は各試料間に大きな差はなくいずれも問題のない品質であると判断された。以上により, 今回用いた除塩田産米の試料については酒造上問題のないことが示唆された。

キーワード: 被災農地, 除塩, 電気伝導度, 酒米, 酒造適性

1. 緒言

宮城県では, 東日本大震災に伴う津波で約14,300haの農地が浸水, 直後より農地の除塩に着手し平成25年度までにその約7割で米の作付けが再開された。近年, これだけの規模で津波による塩害を受けた事例は他になく, こうした除塩された農地で栽培された米の品質等についての記録を残すことには意義があるものと考えられる。

本研究では, 平成23年に除塩を終えた農地で栽培された米試料について酒米統一分析法による評価, および総米150g小仕込試験を実施, 酒造適性について検討したので報告する。

2. 実験方法と結果

2.1 試験に供した試料

図1に示す平成23年に除塩を終えた圃場にて栽培された玄米6点及び対照として津波被害を免れた隣接農地にて栽培された玄米1点を試料とした。

各圃場の除塩前後における電気伝導度の変化を表1に, 電気伝導度から換算式により求めた塩素濃度を表2に示した。各圃場はそれぞれ1回から4回の除塩操作を経て塩素濃度0.3%以下の栽培に問題のない水準まで除塩が進んでいたことを確認した。

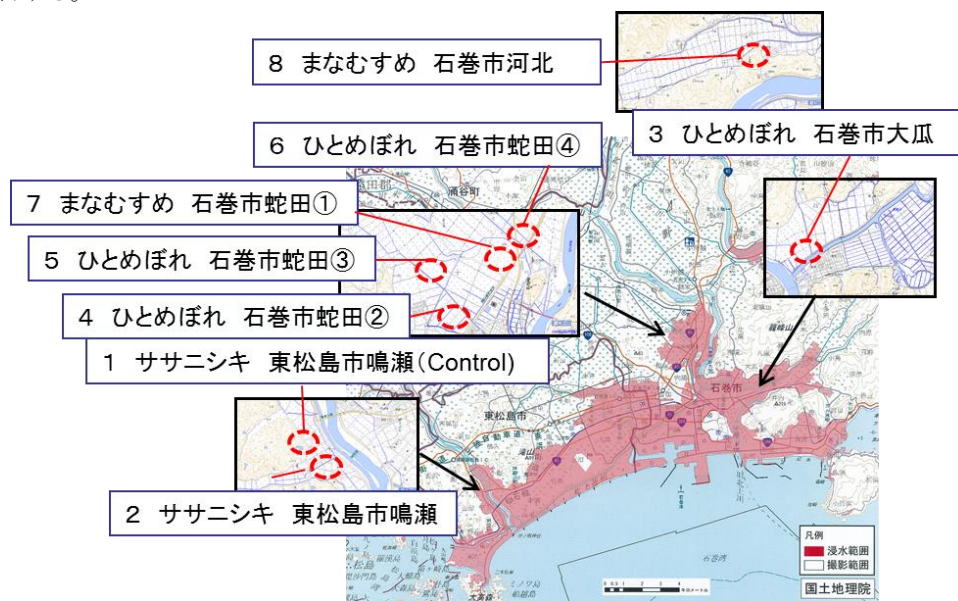


図1 米試料を採取した圃場(除塩田)

表1 各圃場の除塩による電気伝導度の変化

(単位:mS/cm)											
No.	品種	産地	4/21	5/2	5/9	5/12	5/16	5/23	5/30	7/11	除塩回数
1	ササニシキ	東松島市鳴瀬(control)							0.21	0.22	-
2	ササニシキ	東松島市鳴瀬							0.33	0.14	1
3	ひとめぼれ	石巻市大瓜	1.13		0.50		0.49			0.34	2
4	ひとめぼれ	石巻市蛇田②	0.97	0.33		0.10		0.09		0.09	3
7	まなむすめ	石巻市蛇田①	2.60	1.25		1.20		0.35		0.27	4
8	まなむすめ	石巻市河北			1.12			0.60	0.53	0.17	2

表2 各圃場の除塩による塩素濃度の変化

(単位:%)											
No.	品種	産地	4/21	5/2	5/9	5/12	5/16	5/23	5/30	7/11	除塩回数
1	ササニシキ	東松島市鳴瀬(control)							0.01	0.01	-
2	ササニシキ	東松島市鳴瀬							0.03	0.00	1
3	ひとめぼれ	石巻市大瓜	0.17		0.06		0.06			0.03	2
4	ひとめぼれ	石巻市蛇田②	0.14	0.03		0		0		0	3
7	まなむすめ	石巻市蛇田①	0.49	0.20		0.19		0.03		0.02	4
8	まなむすめ	石巻市河北			0.17			0.08	0.07	0	2
電気伝導度から以下の換算式により求めた値											
EC<2.0(Ms/cm)の場合 塩素濃度(%)=0.18×EC-0.03											
EC≥2.0(Ms/cm)の場合 塩素濃度(%)=0.25×EC-0.16											

2.2 全国酒米統一分析法による酒造適性評価

各試料について、全国酒米統一分析法による酒造適性評価を実施した。各試料は水分13.8%±0.2%に調整し、7日間密閉容器で保持した後、70%精米試験、プロテアーゼRアマノによる消化性試験、セミクロケルダール法による粗タンパク質濃度、及びICPを用いたカリウム濃度の各試験に供した。

玄米千粒重及び精米試験の結果を表3に示した。参考値として大崎市古川の圃場より得られたササニシキ及びひとめぼれの結果を並記したが、玄米千粒重についてはいずれの試料も大崎市古川の試料の結果と比較しても同等以上であり、十分登熟したものと判断された。

精米特性は、一部に碎米率の高い試料が見られたものの、無効精米も3.8%以下に収まっていることから概ね実用上問題のない精米が得られたと判断された。

消化性試験、粗タンパク質濃度(単位%)及びカリウム濃度(単位ppm)について表4に示した。粗タンパク質濃度は各圃場の窒素分に影響され、4.5~5.0%と若干の差があったものの、大崎市古川産と同等のレベルであった。もろみにおけるアミノ酸度を示唆するパラメータであるホルモール態窒素の値は粗タンパク質量とほぼ連動する形で上下した。もろみにおける米デンプンの溶けを示唆するBrix値はいずれも大崎市古川産を上回り、もろみで順調に溶けることが予想された。

表3 酒米統一分析法による分析値(1)

No.	試料 品種	産地	千粒重 調整後	玄米 水分	精米歩合			碎米率	
					見かけ	真	無効		
1	ササニシキ	東松島市鳴瀬(control)	21.8	13.7	70.6	71.5	0.9	2.3	
2	ササニシキ	東松島市鳴瀬	21.1	13.3	69.8	73.3	3.4	3.2	
3	ひとめぼれ	石巻市大瓜	21.6	14.4	70.9	71.0	0.1	0.8	
4	ひとめぼれ	石巻市蛇田②	21.9	13.0	70.6	72.8	2.2	0.9	
5	ひとめぼれ	石巻市蛇田③	22.0	14.0	69.2	71.9	2.7	16.3	
6	ひとめぼれ	石巻市蛇田④	22.2	13.9	70.1	70.7	0.6	8.2	
7	まなむすめ	石巻市蛇田①	23.9	12.8	70.4	74.1	3.8	2.1	
8	まなむすめ	石巻市河北	23.8	13.0	70.5	71.4	0.9	2.6	
(以下、参考データ)									
H23	ササニシキ	大崎市古川	1	21.0	15.6	70.0	73.3	3.3	2.0
H23	ひとめぼれ	大崎市古川	1	21.8	16.4	70.2	72.1	1.8	2.1

表4 酒米統一分析法による分析値(2)

No.	試料		蒸米		消化性			
	品種	産地	吸水率	Brix	F-N	粗蛋白	カリウム	カドミウム
1	ササニシキ	東松島市鳴瀬(control)	38.4	10.6	0.5	4.7	411	N.D.
2	ササニシキ	東松島市鳴瀬	36.9	10.8	0.8	4.8	417	N.D.
3	ひとめぼれ	石巻市大瓜	38.3	10.5	0.8	4.6	542	N.D.
4	ひとめぼれ	石巻市蛇田②	36.5	9.8	0.9	4.9	499	N.D.
5	ひとめぼれ	石巻市蛇田③	35.4	10.8	1.1	5.0	644	N.D.
6	ひとめぼれ	石巻市蛇田④	34.9	10.7	0.9	4.8	557	N.D.
7	まなむすめ	石巻市蛇田①	35.7	10.0	1.1	4.7	367	N.D.
8	まなむすめ	石巻市河北	36.2	10.7	0.8	4.5	428	N.D.
(以下、参考データ)								
H23	ササニシキ	大崎市古川	1	35.3	9.6	0.7	4.8	362
H23	ひとめぼれ	大崎市古川	1	36.0	9.8	0.6	4.8	375

カドミウムは、粉碎した白米5gに1N HCl 50mlを加えて抽出、ろ過したものをICPにて測定した。検出限界は0.1ppm

2.3 小仕込試験による酒造適性評価

各試料について、実際にもろみを仕込んで酒造適性を評価する目的で総米150gの小仕込試験を実施した。仕込配合を表5に示したが、酵母は宮城マイ酵母を麹汁培養の後、 2.8×10^8 /mlとして使用、仕込水は硬度34mg/l(Na9.8, Ca12.0, K1.7, Mg0.9)、麴は、平成23年宮城県産ひとめぼれを55%精米した同一の麴(グルコアミラーゼ力価152単位/g、 α -アミラーゼ918単位/g キッコーマン法による)をすべての試験区に使用した。蒸米は、各試料をサタケ株式会社製試験精米機にて見かけ70%±1.0%に精米、1ヶ月枯らしたものを、全国酒米統一分析法の消化性試験に準拠して蒸きょうして用いた。

仕込温度は発酵容器ごと漬けた水槽の温度を管理することで調節し、水麴を14℃、初添15℃、仲添10℃、留添8℃とした。最高品温は12℃(7~12日目)、一日0.5℃ずつ温度を下げ、18日めに8.5℃としたところで温度を保持した。もろみ期間を通じて重量を測定し、最も発酵の進んだ試料の重量減が45gをこえた20日目に遠心分離により上槽した。上槽された清酒の成分を表6に当センター技術者及び県酒造組合技術者の計3名による官能評価のコメントを表7に示したが、成分値、官能結果ともそれぞれに大きな差異は認められず、いずれの試料とも精米歩合70%の純米酒としては問題のない品質であると判断された。

表5 小仕込試験の仕込配合

	水麴	初添	仲添	留添	計
総米(g)	9	19	44	78	150
麴米(g)	9		11	12	32
蒸米(g)		19	33	66	118
汲水(ml)	36		60	100	196
乳酸(9%)(ml)	1.1				1.1
酵母(ml)	1.5				1.5

表6 小仕込試験 製成酒の成分値

No.	試料		日本酒度	アルコール度	総酸度	アミノ酸度
	品種	産地				
1	ササニシキ	東松島市鳴瀬(control)	-7.0	17.9	2.45	1.04
2	ササニシキ	東松島市鳴瀬	-4.0	17.8	2.45	0.96
3	ひとめぼれ	石巻市大瓜	-6.0	17.8	2.40	1.40
4	ひとめぼれ	石巻市蛇田②	-3.0	18.2	2.44	1.45
5	ひとめぼれ	石巻市蛇田③	-2.0	17.9	2.45	1.46
6	ひとめぼれ	石巻市蛇田④	-1.0	18.0	2.32	1.35
8	まなむすめ	石巻市河北	-2.0	18.1	2.32	1.30

表7 小仕込試験 製成酒の官能評価コメント

No.	試料		コメント
	品種	産地	
1	ササニシキ	東松島市鳴瀬(control)	やや華やかな酢酸エステル、少し酸味、適度な味幅、甘少なく、キレ、軽快
2	ササニシキ	東松島市鳴瀬	やや華やかな酢酸エステル、少し酸味、ややキレイ、甘少なく、キレ、少しシブ
3	ひとめぼれ	石巻市大瓜	やや華やかな酢酸エステル、少し酸味、適度な味幅、甘少なく、キレ、軽快
4	ひとめぼれ	石巻市蛇田②	やや華やかな酢酸エステル、少し酸味、適度な味幅、甘少なく、キレ、軽快
5	ひとめぼれ	石巻市蛇田③	やや華やかな酢酸エステル、少し酸味、適度な味幅、甘少なく、キレ、軽快
6	ひとめぼれ	石巻市蛇田④	やや華やかな酢酸エステル、少し酸味、適度な味幅、甘少なく、キレ、軽快
8	まなむすめ	石巻市河北	やや華やかな酢酸エステル、少し酸味、適度な味幅、ややふくらみ、キレ、まとなり

3. まとめ

平成23年に除塩を終えた農地で栽培された米試料について酒米統一分析法による評価を実施した。玄米整粒重、および精米特性については除塩田産米と対照との間には大きな差異は認められなかった。蒸米吸水率は全般に高めで消化性もよく、もろみでの溶解性が充分なものとなることが示唆された。

総米150g小仕込試験の結果、各試料間に大きな差はなく、いずれも問題のない品質であると判断された。

以上により、今回用いた除塩田産米の試料については酒造上問題のないことが示唆された。

宮城の新商品開発事業(味香り評価装置活用)

櫻井 晃治¹, 水上 浩一², 伊藤 淑恵³, 樋口 敦¹, 畑中 咲子¹, 千葉 直樹¹, 橋本 建哉¹, 毛利 哲⁴
食品バイオ技術部¹, 企画・事業推進部², 産業人材対策課³, 宮城大学⁴

本研究では、センターに設置された味評価装置及び香り評価装置を用いて、県産品の味・香りを数値的・視覚的に評価する手法の確立を目指し、最適な測定・分析条件や試料の調整方法等について検討した。

キーワード：味センサー，香りセンサー

1. 緒言

本研究は、震災で大きな打撃を受けた「食材王国みやぎ」の再構築をはかるため、味・香りに関する特徴や優位性を数値的・視覚的に訴える「味・香りの”見える化”」を可能にし、売れるものづくりを支援するものである。

2. 実験方法と結果

Alpha M.O.S α ASTREE (味評価装置), Alpha M.O.S α HERACLES (香り評価装置)を使用し、農林水産物、加工品等の測定を行い、前処理・測定方法や主成分分析等の評価方法について検討した。

2.1 標準液等の味評価

溶液濃度差の表現を確認するため、NaClは0.001M～0.6M(約0.006%～3.5%)の10段階、スクロースは0.001M～0.6M(約0.03%～20.5%)の10段階、濃口醤油は5倍希釈から100倍希釈の4段階について、味評価装置で測定した。1サンプル当たり、計6回測定を行い、うち後半の3回分のデータを用いて、装置に付属しているソフトウェア(AlfaSoft)にて主成分分析を行った(前半の3回分は、センサーコンディショニング用)。得られた主成分分析結果が図1～図3である。

各水溶液とも濃度差を示すことができたが、スクロースの場合はサンプル内の偏差が大きかった(図2)。また、0.001MのNaCl水溶液や醤油100倍希釈液など、きわめて低濃度の場合には、異なる傾向の場所にプロットされる例も見られた(図1, 図3)。

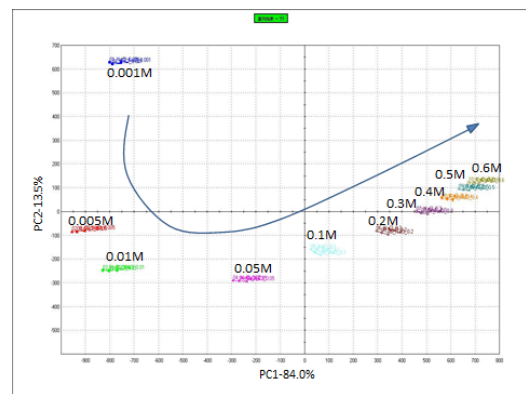


図1 NaCl水溶液の主成分分析結果

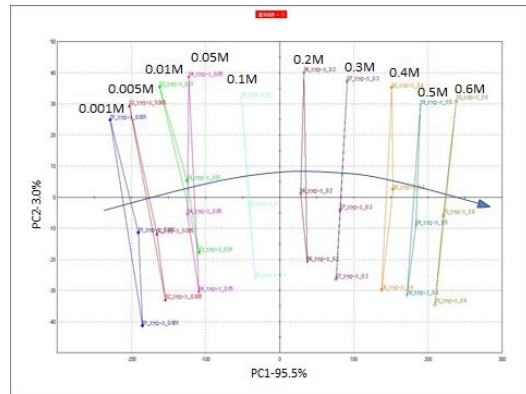


図2 スクロース水溶液の主成分分析結果

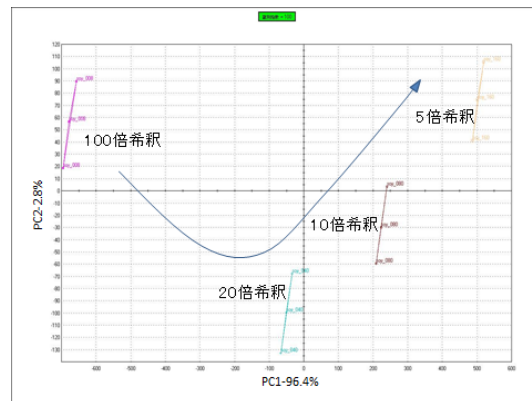


図3 醤油希釈水溶液の主成分分析結果

2.2 ほうれん草及びつぼみ菜の味評価

ほうれん草100gに蒸留水300gを加え、2分間茹でた後、ホモジナイザーで十分ミキシングした。固形分が含まれていると装置のセンサーにダメージを与えるため、茶こしで濾過後、遠心分離し、上清を供試試料とした。

Brix糖度、技術者による官能評価((株)渡辺採種場技術者による)、及び味評価装置による評価値(味スコア)の相関係数を求めた結果、官能評価_味スコア(0.6593)、官能評価_Brix糖度(0.2505)、Brix糖度_味スコア(0.1496)であった。このことは、味評価装置を利用して、商品の特徴を数値化して表現できる可能性を示唆している。

次に、縮みほうれん草(実線)と普通ほうれん草(点線)の味スコア(図4)を示す。一般に縮みほうれん草は甘いことが知られており、味スコアによって数値的に表現できることが示唆された。

つぼみ菜については、評価を行った3品種で大きな差は認められなかった(図5)が、官能評価結果((株)渡辺採種場技術者による)でも同様であり、味スコアは官能評価結果を支持するものであった。

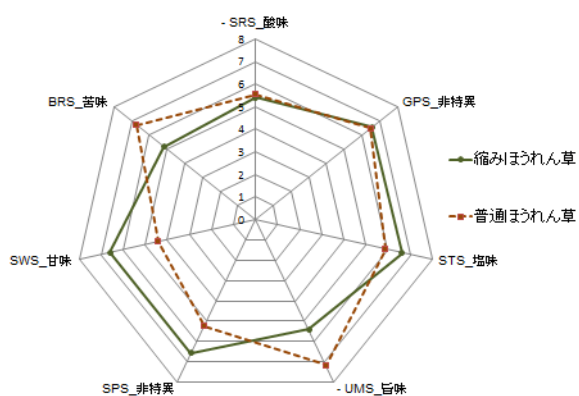


図4 ほうれん草レーダーチャート

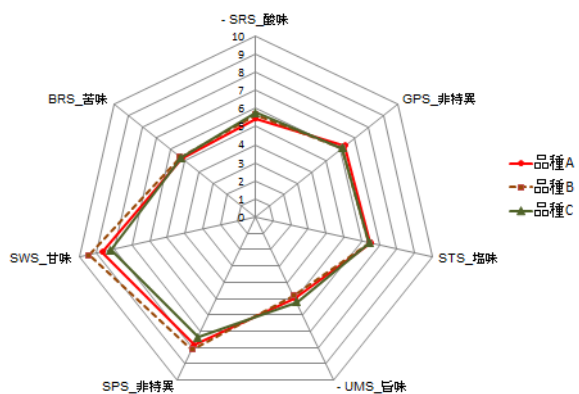


図5 つぼみ菜レーダーチャート

2.3 たまねぎの味評価

たまねぎ4品種について、みじん切りにしたたまねぎ100gに蒸留水300gを加え、ホモジナイザーで十分ミキシングし、茶こしで濾過した後、遠心分離(4,000rpm 10分)し、上清を供試試料とした。味を測定したところ、図6に示す味スコアが得られた。

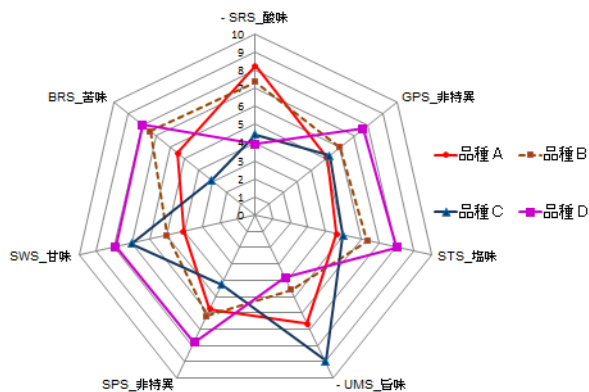


図6 たまねぎレーダーチャート

サンプル内のセンサー値偏差が大きいセンサーを含めて解析に使用すると、サンプル間の差違が判然としなくなる場合があり、今回はセンサー値偏差が小さかったセンサー(SRS, UMS, BRS)のみ使用し、主成分分析を行った(図7)。

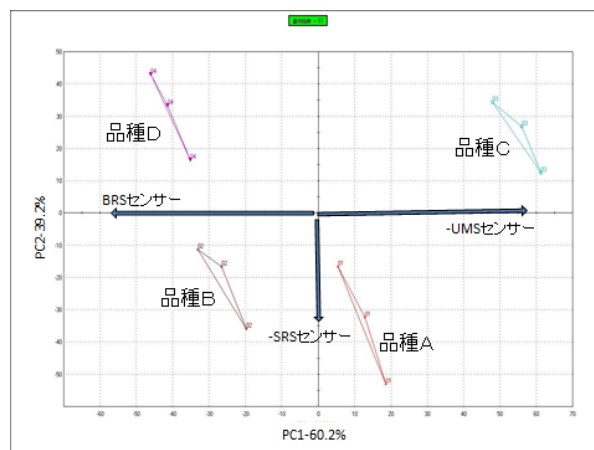


図7 たまねぎ主成分分析結果

品種Cは、辛みが少ない年内穫り用の品種で、他の品種との違いを示すことができた。

加熱後の状態で結果が異なるか確認するため、みじん切り100gに蒸留水300gを加えた後、湯煎にて20分間茹で同様に測定した結果、各品種の傾向は生の状態と同じ傾向であった(図表略)。

2.4 味噌

宮城県味噌醤油工業協同組合(以下、「組合」という。)の協力により、平成25年の全国味噌鑑評会で金賞を受けた味噌(以下、「全金味噌」という。)のうち、米味噌・辛口6点、米甘味噌1点、豆味噌1点、麦味噌2点、計10点の味香り評価を行った。サンプルは、味評価用は10倍希釈液とし、香り評価用は味噌をそのまま使用した。

味噌は、麴の原料によって大きく米味噌、麦味噌、豆味噌の3種に分けられるが、味香り評価で、それぞれを区別できた(図8)。

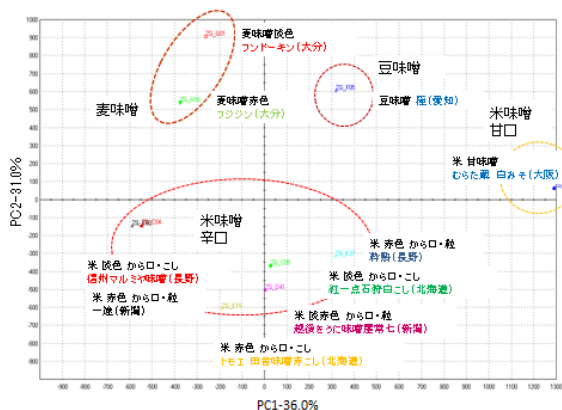


図8 味噌の味香り主成分分析結果

全金味噌の米味噌・辛口のうち赤色系3点と平成25年の本場仙台味噌醤油鑑評会(以下、「仙台味噌鑑評会」という。)に出品された味噌86点の味スコアを比較すると、甘味スコアに大きな差があることがわかった(図9)。特に、仙台味噌鑑評会の一次審査評価点上位の味噌の方が、全金味噌の甘味スコアとの差が大きくなった。

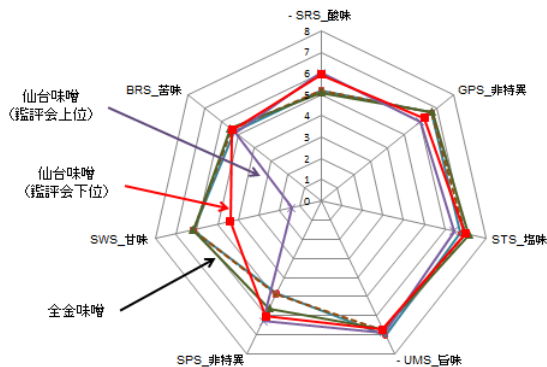


図9 味噌レーダーチャート

仙台味噌鑑評会では、仙台味噌らしさが評価されるが、それは麴歩合が低め、つまり甘味よりも旨味を

意識した作りをした味噌と考えられる。一方、近年麴歩合の多い甘い味噌が好まれる傾向があり、全金味噌と甘味で差が出た一因と考えられた。

仙台味噌鑑評会に出品された味噌のうち63点の香り分析結果を図10に示す。仙台味噌鑑評会の一次審査評価点の上位と下位との間に異なる傾向が認められ、鑑評会において香りが重要な評価要素であることが示された。

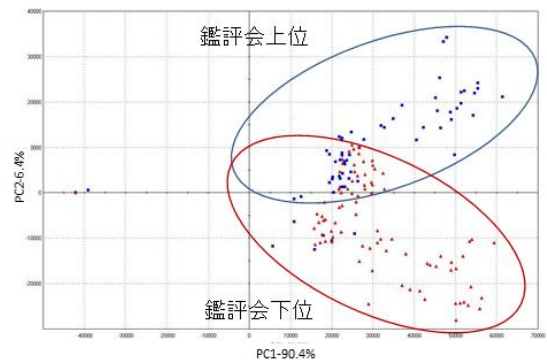


図10 仙台味噌の香り主成分分析結果

2.5 食品以外の応用事例(食品包装紙)

インクの種類が異なる食品包装紙を香り評価装置で測定した。サンプルは約3.3cm×約10cmに切り分け、印刷面が内側になるように丸めて20mLバイアルに入れ測定した。主成分分析を行った結果を図11に示す。製法や各色のにおいの違いを示すことができた。

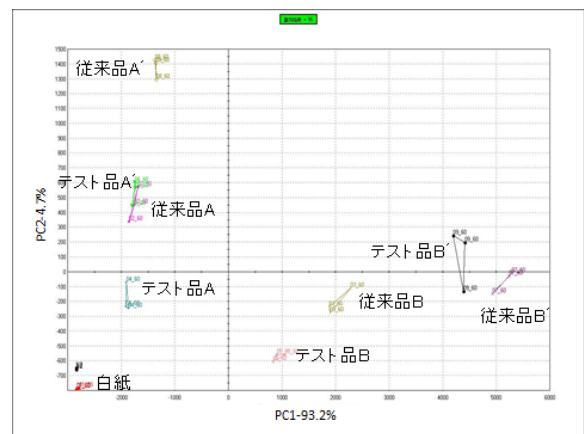


図11 包装紙の主成分分析結果

3. まとめ

味や香りの違いの数値化により、製品の特徴や差別化の表示が可能となったが、味・香りの主成分分析は、センサー値の偏差など考慮して解析を行う必要がある。主成分分析結果のグラフの説明には、官能評価を併せて行うことがより望ましい。

微粒子異物検出システムの開発

中居 倫夫
機械電子情報技術部

エネルギーの貯蔵デバイスとして普及が拡大しているリチウムイオン電池について、原材料への導電性異物の混入が原因とされる絶縁破壊、これに起因する電池の異常発熱の発生が問題となっている。本研究では、リチウムイオン電池の製造工程のより原材料に近い段階で、導電性異物の混入を検出し除去する装置の開発を目的に、数十マイクロメートルの微小異物を確実にセンシングできるシステムの研究開発を行ったので報告する。

キーワード： リチウムイオン電池、異物検出、薄膜GMIセンサ、法線方向磁場

1. 緒言

リチウムイオン電池のセパレータや医薬品、高純度セラミックスなど粒径数十マイクロメートルの微粒子が1個でも混入することが品質管理上問題となる製造物が増えている。本研究では、薄膜磁気センサとその周辺の空間に膜面法線方向の強い磁場を印加することで微粒子を磁化させ、これと同時に、高感度な薄膜磁気センサで微粒子の発生磁場を検出するという方法を提案して、システム開発を行っている。本手法は、センサが感知しない法線方向の磁場で微粒子を強く磁化させると同時に検出するため、残留磁束密度 B_r が小さく軟磁性的な磁化特性を持つ微粒子であっても高感度に検出可能というメリットを有する。また、薄膜磁気インピーダンスセンサの特徴であるセンサ素子への高周波通電により、電磁誘導の効果を利用することで、磁性体に限らず非磁性の導電体の検出も可能性がある。本研究では、センサ面に対し法線方向の強磁場を印加した検出方法について、有効性検証を行うとともに、これをシステム化する検討を行なった。

2. 検出方法のコンセプト

本研究では、微粒子異物の検出方法として、高感度な薄膜磁気インピーダンスセンサとセンサ面に垂直な法線方向に印加される強磁場を組み合わせる方法提案する。

図1に原材料の粉碎等に使われる工具鋼の微粒子の磁化曲線(B-H曲線)を示す。微粒子の大きさは、約200マイクロメートルである。本図から、微粒子磁性体の中には、残留磁束密度 B_r が小さくて閉じたヒステリシス曲線を有したものがあ

り、図1と同様の閉じたB-H曲線であることを確認している。微粒子磁性体の発生磁場は、磁化が一定の場合、微粒子の直径の3乗に比例して小さくなり、おおよそ距離の3乗に反比例して減弱するために、高感度なセンサでも微粒子とセンサの距離を近接させなければ検出できないことが良く知られている。磁気シールド室を用いて、環境磁場ノイズを遮蔽して感度を上げる方法もあるが、既存の生産装置への設置は、困難である。

本研究では、このような閉じたB-H曲線を有し、センサに近接させなければ検出が困難な微小粒子を、環境磁場ノイズの大きな工場環境で検出する方法として、図2に示す測定方法を提案した。すなわち、薄膜の面内方向に検出指向性を有した薄膜磁気センサを用いて、センサ素子を含めた検出領域全体に法線方向の強磁場を印加する方法である。

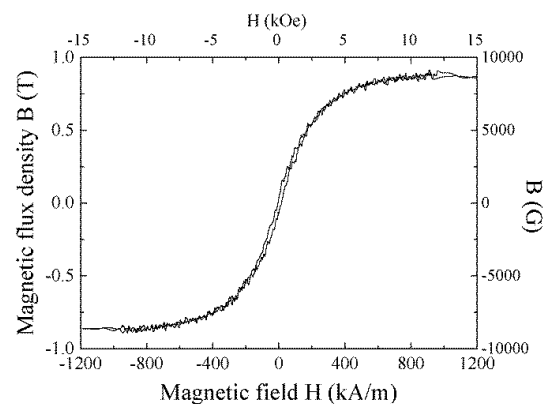


図1. 工具鋼微粒子(φ 200 μm)のB-H曲線

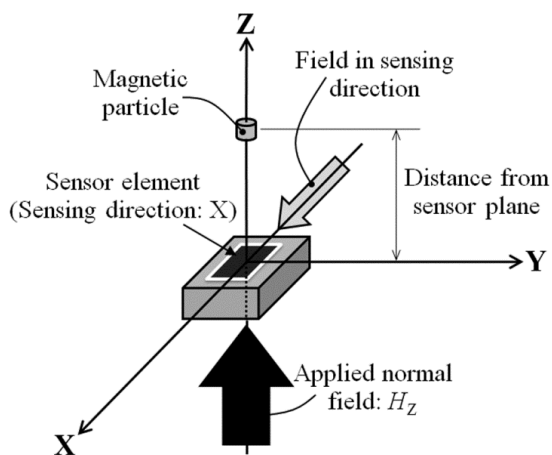


図 2. センサ面法線方向磁場を印加した測定方法

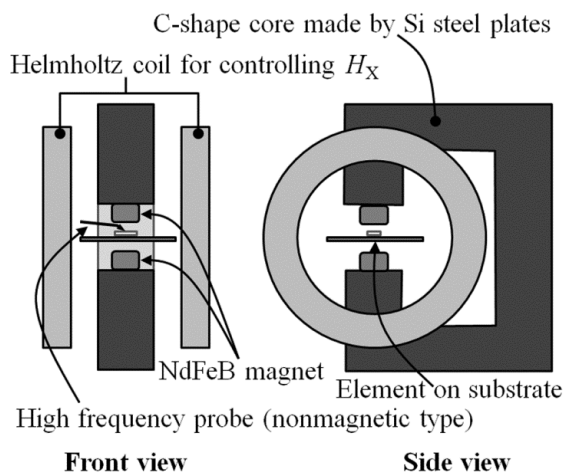


図 3. 法線磁場の印加構造

3. 実験方法

図3に、測定に用いた実験装置の概略図を示す。アモルファス $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ の薄膜で作製した磁気インピーダンスセンサに法線方向磁場を印加する構造として、ケイ素鋼板で作製したC形コアの先端部にNdFeB磁石をN極、S極を対向させる配置で吸着させ、この磁石の発生する磁場を垂直磁場として印加するようにセンサを配置した。法線磁場の強度は、磁石サイズと磁石間距離で制御し、最大で161 mTの法線磁場を発生することができる。この実験装置には、センサの特性評価に用いるためにセンサ膜面内の検出方向に最大1,600 A/m(真空中で2mTに相当)を印加する空芯コイル(ヘルムホルツコイル)を配置してある。

センサ素子は、検出磁場に応じて素子インピーダンスが変化するが、このインピーダンス変化の測定は、以下のように行われた。ガラス基板上に形成されたセンサ素子には、銅薄膜で形成された電極が一体化され

て、300 μm の電極パッドから外部への電気的接続を行うようになっている。センサ素子との電気的接続は、この電極パッドに高周波プローブを接触させることで行った。実験で実施した各種計測は、この高周波プローブに計測回路や計測装置を接続して行った。

4. 実験結果

本研究では、膜面法線磁場印加法を用いて微粒子異物を磁化すると同時に検出する方法を提案しているが、この駆動回路として高周波で駆動する回路を考案した。また、これを用いて、微粒子の検出特性の確認を行うとともに、最大検出感度の評価を行った。以下に、それを示す。

図4は、検出回路の概略図と差動センサ素子の写真である。回路構成は、差動させる2つのセンサ素子からの高周波信号の振幅と位相を調整した後に差動検波する構成となっている。新規な提案として、対数アンプというICチップで最終段の差動検波を行っており、400 MHzの高周波信号をそのレベルに応じた電圧信号として、容易に取り出せるメリットがある。

図5に直径200 μm の工具鋼微粒子を、センサ上1.5 mmで2次元走査した際の実出力マップを示す。センサと微粒子に印加している法線方向磁場は、74 mT(740 G)である。結果として、センサ上面において2 V近い出力電圧が得られており、本手法で良好な検出感度が得られることが示された。

図6は、センサに74 mTの膜面法線方向磁場を付加した状態で、センシング方向である膜面内方向に210 Hzの微小交流磁場を印加してセンサユニットの感度を評価した結果である。現状、素子、回路ともに特性の最適化を行っていない段階であるが、1.6 nT/Hz^{1/2}の検出感度が得られた。

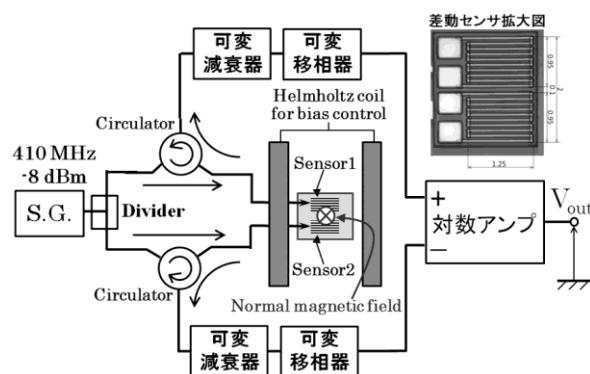


図 4. センサ駆動回路の概略図

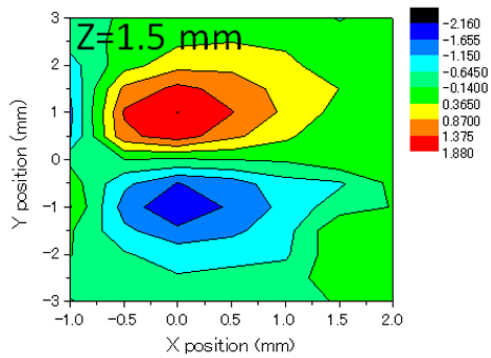


図 5. センサ上で微粒子を走査した場合の出力

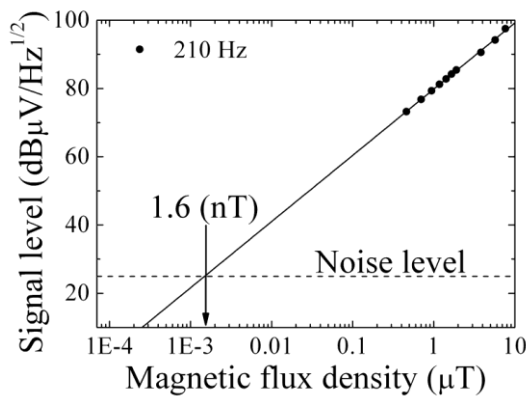


図 6. 法線方向磁場 740 G におけるセンサ感度

次に、微粒子の検出限界を理論的に解析して、システムの有効性を確認する。

図7は、磁気双極子モーメントが発生する磁場を示す方程式を基に解析した磁性微粒子の発生磁場である。横軸に、微粒子からの距離をパラメータとして示している。磁性微粒子から生じる磁場は、微粒子の磁化の強さと体積に影響されるが、図では、磁化 $I = 1\text{T}$ としたときに、微粒子直径を $20\ \mu\text{m}$ 、 $65\ \mu\text{m}$ 、 $200\ \mu\text{m}$ とした場合の結果を示す。図6に示したように本検出手法の感度は、 $1.6\ \text{nT}/\text{Hz}^{1/2}$ 程度であることから、図7より $20\ \mu\text{m}$ の微粒子を $5\ \text{mm}$ 程度の距離まで検出できる能力があることがわかる。設置場所の外乱ノイズの影響もあるが、シート状の被検査物であれば、センサから数mmの位置に機械機構を用いて誘導することは、技術的に困難では無い。センサ面がフラットな薄膜センサを使用していることから複数センサを配列して幅広な検査装置を構築することが容易であり、法線磁場に耐性がある薄膜センサを使うことが本システムの最大のポイントとなっている。

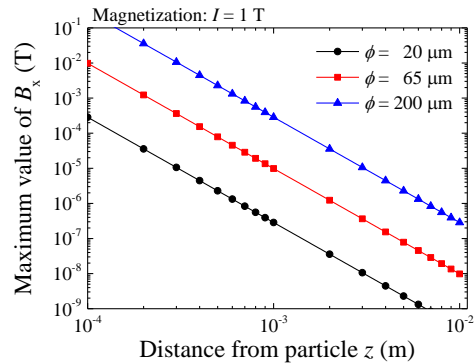


図 7. 磁化1Tで直径をパラメータにした場合の微粒子が発生する磁場

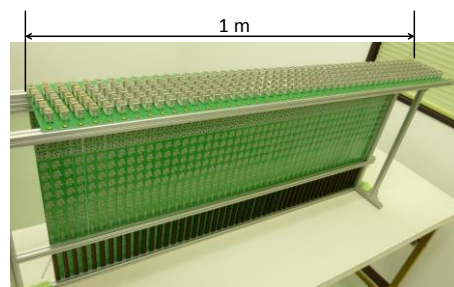


図 8. 幅 1m シート用の微粒子異物検査装置

図8は、共同開発した県内企業が試作した装置の写真である。Li-ion電池の製造工程を想定して、幅1mの異物検査装置を試作し、 $20\ \mu\text{m}$ の微粒子異物の検出を確認するところまで試作開発が進捗している現状である。今後、さらなるブラッシュアップを行うことで実用化を目指す予定である。

5. まとめ

センサを含む微粒子異物の検出領域に強い磁場を印加して微粒子を磁化させ、これと同時に磁気センサで高感度に検出する方法を提案し、これを実験で実証した。

安価な高周波用ICチップを応用した検出回路を構築して、薄膜磁気インピーダンスセンサを $410\ \text{MHz}$ の高周波で駆動し、 $74\ \text{mT}$ の磁場中で検出感度 nT オーダーを実現し、 $200\ \mu\text{m}$ の磁性微粒子の良好な検出特性を確認した。

更に、微粒子が発生する磁場を理論解析して、開発するシステムの検出限界を明らかにするとともに、センサ素子の不感領域の発生を回避する手法を提案した。(特許第5793734号)

平成26年度

宮城県産業技術総合センター研究報告 No.12(2014)

平成27年9月発行

発行所

宮城県産業技術総合センター

〒981-3206

宮城県仙台市泉区明通二丁目2番地

TEL 022-(377)-8700

FAX 022-(377)-8712
