

ISSN 1882-8566

岐阜県情報技術研究所研究報告

第19号 平成29年度

岐阜県情報技術研究所

Gifu Prefectural Research Institute of Information Technology

目 次

IoT 技術を活用した予防保全に関する研究開発(第 1 報)……………	1
—工作機主軸モータの電流データによる状態監視—	
(技術ノート)	
オープンソースソフトウェアを活用した工作機械の状態可視化手法について……………	4
深層学習を用いたクラウド型画像分類システムの開発……………	6
インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第 3 報)……………	10
—スマート金型システムの機能拡張—	
インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第 4 報)……………	14
安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発(第 10 報)……………	18
—センサシステムの電動車いすへの実装—	
情報通信機器による知的障がい者のための協働支援システムの開発研究(第 4 報)……………	23
福祉事業所へのレジ支援アプリ導入支援……………	25
豚肉色評価装置の開発(第 3 報)……………	29
灰色かび病警報装置の開発(第 1 報)……………	33
—マイコンを使用した温湿度記録装置の試作—	
照度差ステレオ法による外観検査システムの研究開発……………	36
Kinect を用いた作業分析システムの開発……………	41
予防・健康増進に資するパーソナル・バランスケア技術に関する研究……………	47
—昇段動作を対象とした床反力時系列情報の解析と股関節機能低下因子に関する考察—	
レーザーポインタを用いたカメラ位置姿勢推定技術の研究開発……………	51
重負荷作業を解消する直感操作型運搬補助システムの開発(第 2 報)……………	57

IoT技術を活用した予防保全に関する研究開発(第1報)

—工作機主軸モータの電流データによる状態監視—

横山 哲也 成瀬 哲哉 棚橋 英樹

Development of Preventive Maintenance using IoT Technology (1st Report)

—State Monitoring by Spindle Motor Current Data—

Tetsuya YOKOYAMA Tetsuya NARUSE Hideki TANAHASHI

あらまし 工作機械など設備機器の状態を監視することで、機器が正常に動作しているか判断ができる。また状態の時系列変化を検出することで、故障を未然に防ぐことが可能となり、予防保全での活用が期待できる。本研究では平面研削盤の状態監視を行うため、平面研削盤の主軸モータ電流を計測し、稼働状態を推定できるか検討した。本報ではその内容について報告する。

キーワード 予防保全, 稼働状態, 平面研削

1. はじめに

工作機械など設備機器の状態を監視することで、機器が正常に動作しているか判断できる。また、状態の時系列変化を検出することで、故障を未然に防ぐことができ、予防保全での活用が期待できる。

工作機械の負荷状態などを監視するにあたり、対象とする工作機械の物理量を計測する必要がある。また物理量だけでなく、工作機械の加工・停止といった稼働状態も把握することで、データに付加情報を付け足し、解析を効率的に行うことができる。しかし、物理量は連続量であり、加工・停止を表す信号ではないため、稼働状態を求めるためには、物理量に何らかの処理を施す必要がある。

状態を監視するにあたり、計測センサの利用が前提となる。工場で稼働している工作機械には、センサが内蔵されているものもあれば、そうでない古い加工機もある。そのような加工機にセンサを後付けする場合、装置の改造なしで取付けできるセンサが望まれる。

そこで本研究では平面研削盤の状態を監視するため、容易に取付けできるクランプ式電流センサを用いて、平面研削盤の主軸モータ電流から加工負荷に対応する電流を求め、稼働状態を推定できるか検討した。

2. 計測システムの構成

本研究で使用する計測システムはIEEE1888を参考に構築したデータ収集・蓄積システム¹⁾である。システムは図1に示すように、センサノード、ゲートウェイ、スト

レージ、アプリケーションの要素で構成される。センサノードにはクランプ型の電流センサが接続されている。電流センサを主軸インバータの1次側ケーブルにクランプし、瞬時値を計測する。センサノードで実効値を計算し、ゲートウェイに送信する。ゲートウェイで受信したデータはEthernet通信でストレージへ送信され、ストレージに蓄積される。アプリケーションではストレージに蓄積されたデータを用いて処理を行う。本システムでは、工場内の配線を少なくするため、センサノードとゲートウェイ間の通信は無線を用いた。

本研究ではセンサで測定した瞬時値を、実効値に変換しサーバに集約する。瞬時値を変換せず、サーバに集約する方法もあるが、複数のセンサで継続的に計測する場合には、データ量が多くなりストレージ側の処理に時間がかかる。そのため、センサノードで特微量に置き換え、情報量を削減している。

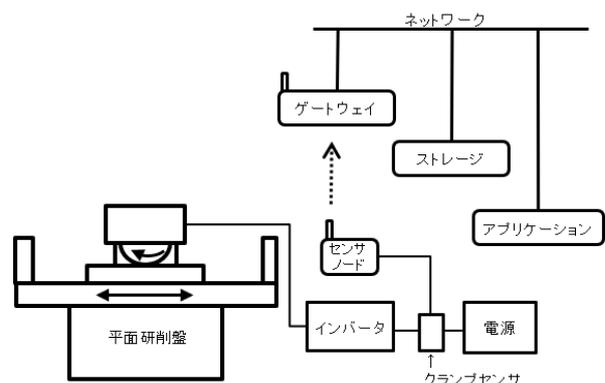


図1 計測システム

3. 稼動状態の推定

本研究で取り扱う稼動状態は、停止、待機、加工の3状態である。停止は主軸モータが停止している状態、待機は主軸モータが回転しているが被削材を加工していない状態、加工は主軸モータが回転して被削材を加工している状態とする。

加工時には被削材からの反力が、主軸モータに加工負荷としてかかることから、本研究では、主軸モータ電流から加工負荷にかかる電流を見つけ出すことで、稼動状態を推定する。

3. 1 電流と加工負荷の関係

研削加工において、砥石と被削材の接触部に研削抵抗が働く。ここでは主軸モータに取り付けられた砥石の接線方向に働く接線研削抵抗 F_t と、主軸モータに流れる電流 I の関係を考える。

接線研削抵抗 F_t は、式(1)で与えられる¹⁾。

$$F_t = K_s b t v / V \quad (1)$$

ここで、 K_s は比研削抵抗、 b は研削幅、 t は切込み深さ、 v は被削材の送り速度、 V は砥石の周速度になる。

主軸モータにかかる負荷トルク T は、

$$T = F_t R + T_0 \quad (2)$$

になる。ここで R は砥石半径、 T_0 は非加工時に主軸モータを回転させるのに必要なトルクである。

主軸モータのトルク T は、モータに電流 I が流れることによって発生する。トルク増加分と電流増加分の関係を比例とみなした場合、非加工時の回転に要する電流 I_0 を基準とした電流増加分 $\Delta I (= I - I_0)$ と、接線研削抵抗 F_t が働くことでモータに生じるトルク増加分との間にも比例関係がある。

$$F_t R \propto \Delta I \quad (3)$$

これより、電流 ΔI を求めることで、研削加工における加工負荷が把握できる。

図2に平面研削盤での加工時の電流を示す。平面研削盤は、砥石を取り付けた主軸が回転し、被削材が固定されたテーブルが左右に動く。砥石が被削材に接触し、被削材を削りだす際に研削抵抗が生じるため、電流値が増加する。砥石が被削材に接していないときは、主軸の回転に要する電流のみが流れる。電流波形が振動しているのは、

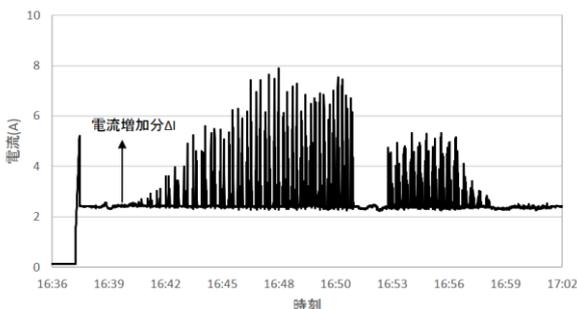


図2 研削時の電流時系列データ

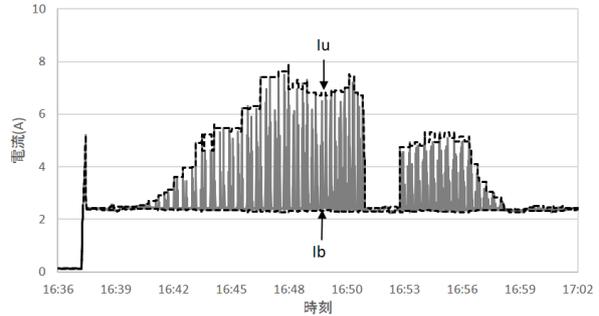


図3 時系列データの包絡線 I_u, I_b

砥石と被削材の接触が断続的に発生しているためである。このように、電流データから平面研削盤の負荷状態を把握することができる。

3. 2 稼動状態の推定方法

本研究では、電流 ΔI の閾値判定で稼動状態を推定する。しかし、電流 ΔI は図2に示すように振動波形であることから、そのまま閾値判定を行うと稼動状態の切り替わりが多数発生する。そのためここでは、電流 ΔI の振動波形の包絡線を用いて閾値判定を行う。ここで用いる包絡線は、振動波形の頂点を覆う上側包絡線 I_u と下側包絡線 I_d である(図3)。

上側包絡線 I_u を構成する時刻 t の値は、時刻 t の直前の計測データの最大値と、時刻 t の直後の計測データの最大値のどちらか小さい値とする。下側包絡線 I_b を構成する時刻 t の値は、時刻 t の直前の計測データの最小値と、時刻 t の直後の計測データの最小値のどちらか大きい値とする。このときの計測データの窓サイズは $wsize/2(sec)$ である。これより電流増加分 ΔI を、次式で近似する。

$$\Delta I = I_u - I_b \quad (4)$$

包絡線を用いた稼動状態の推定方法は以下のとおりである。ここでの I_{th1}, I_{th2} は閾値である。

- 1) $I_b < I_{th1}$ であれば、停止
- 2) 1)以外で、 $\Delta I > I_{th2}$ であれば、加工
- 3) 上記以外であれば、待機

上記の推定方法のうち1)は、モータが停止状態であれば、センサで計測する電流はインバータ本体が消費する電流だけであることを指す。

4. 推定結果と考察

工作機械の稼動状態を撮影して加工の有無を調べ、推定結果と比較した。撮影中における、加工機での作業の流れは以下のとおりである。

- ① ゼロ点を出すため、被削材に砥石を当てる
- ② ドレス
- ③ 1回目の加工
- ④ ドレス
- ⑤ 2回目の加工

なお撮影動画からの加工有無の判定基準は、研削液の供

給ありなしとした。

結果を表1, 2に示す。表1は撮影動画から判定した加工時の時間帯であり、表中の空白行は研削液の供給のない加工していない時間帯を指す。また、表1の時刻は10秒単位である。表2は3.2節の手順に従い推定した結果であり、表中の終了時間は、次の状態の開始時間に合わせてある。このときのパラメータは $I_{th1}=1.0(A)$, $I_{th2}=0.5(A)$, $wsz=60(sec)$ であり、時系列データを観察して決定した。

表1 撮影動画から判定した稼働状態

状態, 作業	開始時間	終了時間
①②		
加工 ③	16:39:40	16:52:00
④		
加工 ⑤	16:53:20	16:58:50

表2 推定した稼働状態

状態, 作業	開始時間	終了時間
停止	16:34:46	16:37:41
待機	16:37:41	16:37:46
加工 ①	16:37:46	16:37:53
待機 ②	16:37:53	16:41:30
加工 ③	16:41:30	16:51:47
待機 ④	16:51:47	16:53:33
加工 ⑤	16:53:33	16:58:15
待機	16:58:15	17:06:22

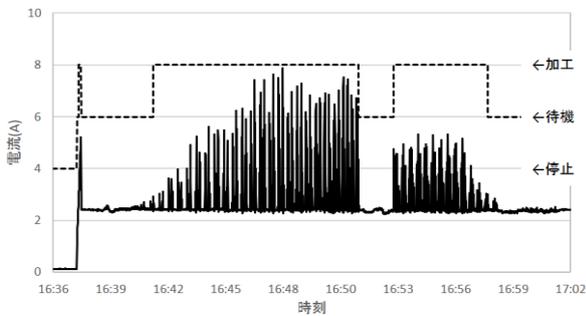


図4 時系列データと稼働状態

図4は、電流の時系列データと稼働状態をグラフで表した。

表2の推定結果を見ると、作業の流れに応じて稼働状態が切り替わっていることが分かる。ただし、推定結果の加工③の開始時間は、撮影結果の時間に対して遅れている。これは、被削材の取り代にばらつきがあり、砥石が被削材に部分的にしか接触せず、その結果モータに流れる電流が小さく、 ΔI が閾値 I_{th2} を越すのに時間を要したと考えられる。

5. まとめ

本研究では、容易に取付けができるクランプ式電流センサを用いて、平面研削盤の主軸モータ電流を計測し、加工負荷に応じた電流をもとに生成した包絡線を用いて、平面研削盤の稼働状態、停止・待機・加工の3状態を推定した。推定結果を実加工と照らし合わせたところ、作業の流れに応じて稼働状態が切り替わっていることが分かった。

今後は稼働状態の情報を活用して、予防保全に関する研究開発を行う予定である。

文献

- [1] 横山哲也, 窪田直樹, ”設備機器のデータ収集・蓄積システムの開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号, pp.58-59, 2016.
- [2] 奥山繁樹, ”若手研究者のための研削工学 (第五回) 研削抵抗とその変化”, 砥粒加工学会誌, Vol.59, No.6, pp.355-358, 2016.

(技術ノート)

オープンソースソフトウェアを活用した工作機械の状態可視化について

成瀬 哲哉 横山 哲也 棚橋 英樹

Data Visualization of Machine State with Open Source Software

Tetsuya NARUSE Tetsuya YOKOYAMA Hideki TANAHASHI

あらまし 工作機械の稼働状態の可視化は、工場内における機器異常の検出や稼働状態の見直しによるコスト削減等、有益な手段と考えられている。当研究所では、機器設備の改修が不要で簡易にデータを収集・蓄積する計測システムの開発を実施してきた^[1]。本年度は昨年度に開発した計測システムを用いて推定した工作機械の稼働状態を、オープンソースソフトウェアを活用し可視化することを試みた。本報ではその内容について報告する。

キーワード IoT, データ可視化, オープンソースソフトウェア(OSS)

1. はじめに

工作機械の稼働状態収集システム・可視化システムの導入は、工場内における機器異常の検出や稼働状態の見直しによるコスト削減等、有益な手段と考えられている。しかし、これらのシステムの導入には、既存機器の改修や新規導入を伴うことから初期コストが大きく、県内中小企業への導入が進んでいないのが現状である。

また、データの可視化部分は、システム導入後の製造ライン変更や工作機械追加などへの対応が必要なことから、利用者が運用・カスタマイズが出来るなど、使いやすさが求められている。

当研究所では、これら県内中小企業の課題を克服するため、機器設備の改修が不要な稼働状態計測システムの開発を実施してきた。しかし、可視化システムのカスタマイズ性に関しては、利用者へ高度なプログラミング技術を必要としており技術移転において課題となっている。

そこで、可視化システムのカスタマイズ性を確保すべく、オープンソースソフトウェア(以下OSS)の活用を試みた。OSSの多くは無償で配布されており、また、無償であっても商用ソフトウェアに引けを取らない高機能備えるソフトもあることから、初期導入コストが低く抑えることが出来、商用ソフト並みの機能を使用することができるといったメリットがある。

本研究では、昨年度に開発した計測システムを用いて収集したデータを、OSSを活用し可視化することを試みたので報告する。

2. 計測システムの概要

本研究で用いた計測システムの概要を図1に、クランプセンサとセンサノードを図2に示す^[2]。

計測システムは、センサノード、ゲートウェイ、ストレージ、アプリケーションで構成される。電流センサには工作機械の商用電源への取り付けが容易となるようクランプセンサを用いている。計測システムのアプリケーションではストレージに蓄積されたデータを取得し、データ表示や、CSVファイル出力を行っている。

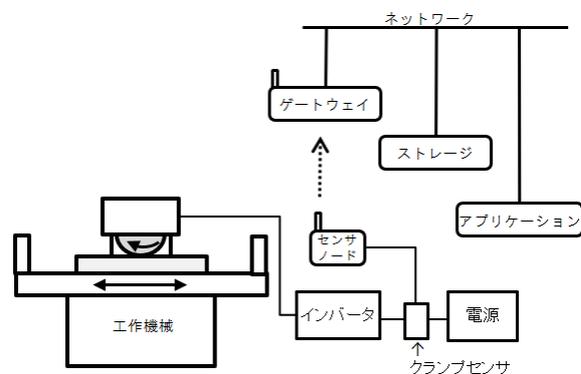


図1 計測システム



図2 クランプセンサ(左)とセンサノード(右)

3. 稼働状態データの可視化

3. 1 オープンソースソフトウェア(OSS)の活用

本研究ではデータの可視化においてOSSを活用した。OSSは、ユーザーが商用および非商用の目的を問わず利用可能なソフトウェアで、商用ソフトウェアと同等の機

能を有するソフトウェアもあり、機能を理解して活用することで初期投資を下げる等、メリットが大きい。

本研究で使用したOSSを以下に示す。いずれもオランダ・アムステルダムに本社を置くElastic社^[3]が中心になって開発が進めているOSSで、Apache License 2.0に基づきユーザーが使用することが出来る。

(1) Elasticsearch

構造型から非構造型、地理情報、メトリックなど、多様なタイプの検索に対応する分散型RESTful検索/分析エンジン。

(2) Logstash

異なるデータソースの各種データを収集し、用途にあったデータフォーマットに変換しElasticsearchに集約する動的なデータ収集パイプライン。

(3) Kibana

Elasticsearch内のデータを解析/可視化するツール。時系列データの分析に向けたソフトウェアで、インターフェースが使いやすく、データをグラフや表で視覚的に表示できる。

3. 2 工作機械の状態データの可視化

本報では2台の工作機械の3日間の稼働状態（停止，待機，加工）^[2]の可視化を試みた。これらの稼働状態データをCSV形式でLogstashに読み込ませ、Elasticsearchに転送し、PC上のブラウザからKibanaを操作することで、データの可視化を実現している。データ可視化の構成図を図3に示す。

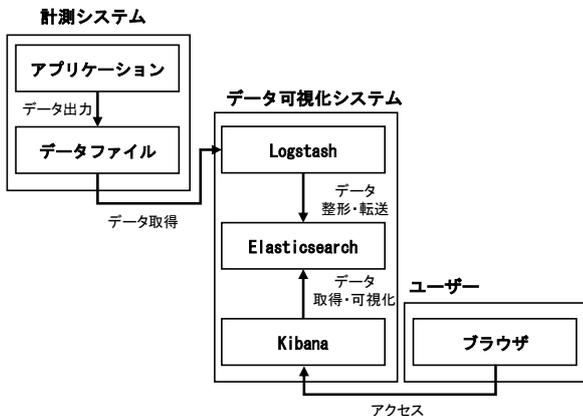


図3 データ可視化の構成図

Kibanaで作成した工作機械(m01)の稼働状態を図4に示す。工作機械が停止している場合を赤色、待機している状態を黄色、稼働している状態を緑色としている。この作成したグラフはGUI操作により、任意の日時をクローズアップすることが出来るなど、操作性が高い。同様に作成した工作機械(m01)の稼働割合と稼働時間の積算を図5に示す。このグラフもマウス操作により、特定の期間や任意の時間の割合や積算時間を変更することが出来る。

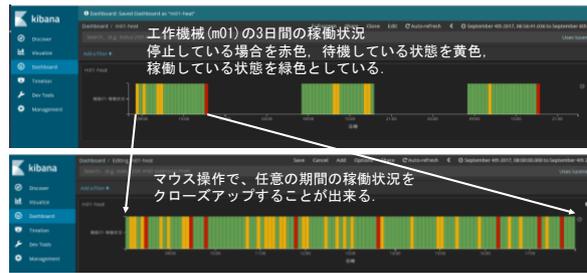


図4 稼働状態(ガントチャート)



図5 稼働割合(左)と稼働時間の積算(右)

次にKibanaのダッシュボード機能を使い、2台の工作機械(m01, m02)の比較画面を作成した。GUI操作で複数のグラフデータをレイアウトすることで、グラフの比較が容易にでき、複数の工作機械の稼働状態を把握することが出来る。また、機械の追加やラインの変更により表示するデータに変更があった場合にも柔軟に対応することが出来る。ダッシュボードの例を図6に示す。

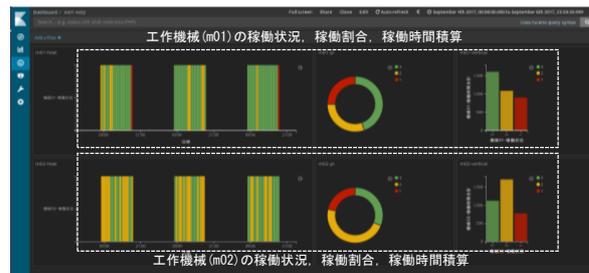


図6 ダッシュボード(各種データグラフ)

4. まとめ

本研究では、計測システムを用いて収集した工作機械の稼働データを、生産現場で活用できるようオープンソースソフトウェア(OSS)を活用し可視化を試みた。

本研究で活用したOSSは、基本的な操作がGUIで可能なこと、データの蓄積から可視化まで十分な機能を有していることなどから、生産現場での活用・運用に向けた技術移転において有用であると考えられる。今後は、計測システムのデータベースと連携し、計測システム・可視化システム一体での運用と、技術移転を進めていく。

文 献

[1] 横山ら, ”設備機器のデータ収集・蓄積システムの開発”,岐阜県情報技術研究所第18号, pp.7-8, 2017.
 [2] 横山ら, ”IoT技術を活用した予防保全に関する研究開発(第1報)”,岐阜県情報技術研究所第19号, pp.1-3, 2018.
 [3] Elastic社 <https://www.elastic.co/jp/>

深層学習を用いたクラウド型画像分類システムの開発

渡辺 博己 岩田 靖三* 生駒 晃大 棚橋 英樹

Development of Cloud-Based Image Classification System using Deep Learning

Hiroki WATANABE Seizo IWATA* Akihiro IKOMA Hideki TANAHASHI

あらまし 深層学習 (Deep Learning) が注目され、クラウドサービスにより手軽に利用できるデータ分析環境も整いつつあるが、中小企業での活用には至っていない。本研究では、深層学習、特に畳み込みニューラルネットワーク (CNN, Convolutional Neural Network) を用いた画像認識技術に対する理解の促進と中小企業への導入支援を目的として、専門的な知識がなくても、容易にCNNを用いた画像分類技術を利用することが可能なシステムを構築した。本稿では、システムで利用可能なCNNについて述べるとともに、画像分類実験の結果を報告する。また、開発システムの概要について紹介する。

キーワード 人工知能, 深層学習, 畳み込みニューラルネットワーク, 画像分類, クラウド

1. はじめに

近年、人工知能 (AI, Artificial Intelligence) 分野の一つの技術である深層学習 (Deep Learning) が注目を集めている^[1]。深層学習は、ニューラルネットワークの一種で、既に、画像認識の分野では、畳み込みニューラルネットワーク (CNN, Convolutional Neural Network) を用いることがデファクトスタンダードとなり^[2]、その高い認識精度から外観検査や自動運転等、産業界での活用が期待されている。

一方、インターネット等のネットワークを通じて、コンピュータに関する様々なサービスを利用できるクラウドコンピューティングが多くの企業で導入されている。深層学習の利用が可能なSaaS (Software as a Service) やPaaS (Platform as a Service) を提供する企業が増加し^[3]、今後、深層学習を活用する企業も増加していくと予想される。

これらの新技術を中小企業が活用するにあたっては、2017年4月に公表された中小企業白書^[4]の第2-3-42図 (新技術の活用における課題) によると、「技術・ノウハウを持った人材が不足している (45.1%)」、「自社の事業への活用イメージがわからない (38.5%)」、「新技術について理解していない (30.2%)」等の課題があることが示されている。また、同第2-3-43図 (新技術の活用における課題別に見た、期待する公的支援) によると、これらの課題に対して、約4割の中小企業が「専門家等による助言、技術的支援の提供」を求めているとされている。

そこで、本研究では、深層学習、特にCNNを用いた画像

認識技術についての理解促進と、中小企業への導入支援を目的として、専門的な知識がなくても、独自に用意したラベル付きの画像データから学習モデルが構築でき、画像分類結果を簡単に取得することが可能なシステムを構築した。具体的には、クライアント端末からサーバにWebブラウザでアクセスし、認識性能を確認したい画像データをクラス別にアップロードすることにより、クラウド上のコンピュータリソースを用いてCNNによる学習・分類を実行し、分類結果をクライアント端末で確認できるシステムと、これらを実行するWebアプリケーションを開発した。以下、システムで利用可能なCNNの構造、認識精度について報告するとともに、開発したWebアプリケーションについて紹介する。

2. 畳み込みニューラルネットワーク^[1]

畳み込みニューラルネットワーク (CNN) は、図1に示すとおり、入力層、畳み込み層、プーリング層、全結合層、及び出力層から構成されるのが一般的であり、畳み込み層とプーリング層を交互に接続した構造を持つことに特徴がある。

畳み込み層は、重みフィルタに応じた特徴抽出を行う層である。図1の例では、 3×3 画素分の領域を持つフィルタを1画素ずつ移動させながら、入力に対する重みフィルタの内積を計算し、チャンネルと呼ばれる単位の出力画像を新たに生成する。この時、 N チャンネルから構成される畳み込み層は、 N 個の重みフィルタを用いて生成された出力画像を持つ層となる。なお、畳み込み層で生成される出力画像

* 岐阜県セラミックス研究所



図1 畳み込みニューラルネットワークの構成

のサイズは、元の画像よりフィルタサイズに応じて小さくなるが、出力画像の周囲にパディングと呼ばれる処理を行うことにより、同一サイズとすることが可能である。

プーリング層は、畳み込み層で生成された出力画像を縮小する層である。図1の例では、 2×2 画素分の注目領域に対して、領域が重ならないよう移動させながら、最大値、または平均値等を計算し、新たな出力画像を生成する。この時、出力画像のサイズは、元の画像サイズの縦横1/2倍となる。なお、チャンネルについては、チャンネル毎に独立して処理を行うのが一般的であるため、畳み込み層の出力チャンネル数とプーリング層の出力チャンネル数は一致する。

CNNの認識精度は、年々向上しているが、層が深くなる傾向にある。そのため、本研究で事前に用意したCNNについては、層の深さの比較ができるよう、単純な4層CNNと、AlexNet^[5]を参考にした8層CNN、及びVGGNet^[6]を参考にした12層CNNの3種類を構築した。図2に各CNNの構成図を示す。各CNNにおいては、入力層で 32×32 にリサイズ処理したグレースケール画像を生成した後、畳み込み層とプーリング層を数回繰返しながら特徴量を抽出することにより、全結合層で特徴量に基づき分類し、出力層で各クラスに分類される確率に変換した結果を生成する。なお、本研究においては、畳み込み層と全結合層の数をCNNの層数として数え、出力層も全結合層に含めている。

3. 画像分類実験

前章で構築した各CNNの画像分類性能を評価するため、

実験用に撮影した画像データを用いて、種類（クラス）別に分類する実験を行った。また、CNNとの比較のため、他手法による画像分類実験も行った。

3. 1 実験概要

実験に用いる画像データは、陶器の裏面にある焼印を対象として、画像ファイルを連続して記録することができるAndroidアプリケーション（岐阜県セラミックス研究所が開発）により取得した。なお、分類対象とする焼印は5種類とした。

画像データの取得にあたっては、撮影対象を等速回転させ、JPEG形式によりファイルに記録した。撮影では、各種類200枚の画像データを1セットとして、照明や、カメラと対象との距離、及び角度を変更し、8000枚（各種類1600枚）の画像データを取得した。また、別途取得した画像データ500枚（各種類100枚）について、画像位置を水平方向に移動させたり、サイズを変更したりして、画像データを加工し、2000枚（各種類400枚）の画像データを用意した。

実験では、これらの10000枚の画像データについて、交互にサンプリングし、一方を学習用、他方を評価用として利用した。さらに、別途評価用として、撮影条件の異なる2000枚（各種類400枚）の画像データを取得し、実験を行った。実験では、先に取得した評価用の画像データをTest-A、別途取得した評価データをTest-Bとして、画像分類精度の差を評価した。実験に用いた画像データにおける各画像のラベル（クラス名）と学習データの例を図3に示す。

画像分類性能の評価にあたっては、前章で述べたCNNの構成に基づき、5クラスに分類する出力層を持つCNNを構築した。また、CNNの分類精度との比較のために、昨年度開発したシステム^[7]で利用したBag-of-Features (BoF)により特徴量を抽出し、Support Vector Machine (SVM)により分類処理を行う方法^[8] (BoF+SVM)についても分類精度を求めることにした。

各CNNでは、入力画像のサイズを 32×32 としていること

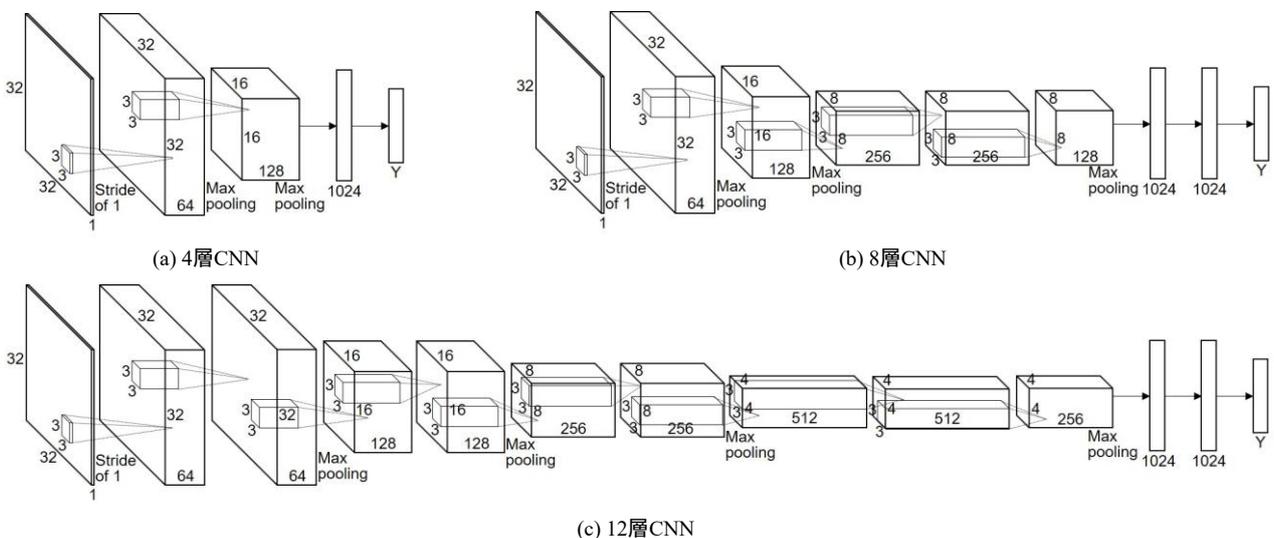


図2 構築した各畳み込みニューラルネットワークの構成図



(a) 分類対象画像のラベル (クラス名)



(b) 学習に使用した画像例 (Class-3)

図3 実験に使用した画像データ

から、BoF+SVMにおいても入力画像のサイズをCNNと同一とした。しかし、このサイズで特徴量抽出を実行すると、昨年度の実験で使用した局所特徴量の中には、十分な数のキーポイント(特徴量が記述された画像上の特徴点)が得られない局所特徴量もあったため、最も多くのキーポイントが得られたSIFT⁹⁾を特徴量抽出に使用した。また、Visual Word (クラスタリングされた特徴量の代表)数は1000として、コードブック (Visual Wordから構成される辞書)を生成した。

3. 2 実験結果

実験結果を表1, 2に示す。なお、表1の分類率については、キーポイントが得られなかった画像データを不正解として全画像数で除した場合の値であり、括弧内は、キーポイントが得られた画像数で正しく分類された画像数を除した場合の値である。

表1, 2を比較することより、CNNの分類性能の高さがよく分かる。本実験では、入力画像サイズを32×32としたため、BoF+SVMにとっては、厳しい条件ではあったが、それにもかかわらずCNNは高い分類率を達成することができた。このことから、CNNを画像検査等に利用することにより、検査精度の向上が期待できると考えられる。

また、表2のTest-Aに対する結果より、同一条件で取得した画像データであれば、CNNを利用することにより、未学習データであっても高い精度で分類可能であることが分かる。しかし、取得条件が異なるTest-Bの分類結果については、高い精度で分類することが可能ではあるものの、12層CNNについては、他のCNNと比較して低い分類率となった。一般的に、層が深くなれば分類性能が向上すると思われるが、どのような画像データを何クラスに分類するかにより、適した層の深さがあると考えられ、設定したパラメータや、学習に利用した画像データ数等についても検討する必要があると考えられる。

これらの結果から、本実験で対象とした画像分類問題に対しては、4層から8層のCNNを構成すれば、十分な精度で分類可能であることが分かる。勿論、層が深くなるにつれて処理時間を要するため、どのような条件でCNNを利用するかも踏まえてCNNを構築し、画像検査装置等のシステムに実装する必要がある。

表1 BOF+SVMによる画像分類率 (単位: %)

クラス名	Test-A	Test-B
Class-1	71.50 (96.75)	77.50 (95.98)
Class-2	89.80 (99.89)	94.00 (94.00)
Class-3	80.10 (96.27)	83.75 (83.75)
Class-4	89.20 (94.99)	82.25 (82.66)
Class-5	89.40 (99.55)	99.25 (99.50)
計	84.00 (97.52)	87.35 (90.99)

表2 CNNによる画像分類率 (単位: %)

クラス名	4層CNN		8層CNN		12層CNN	
	Test-A	Test-B	Test-A	Test-B	Test-A	Test-B
Class-1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Class-2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.75
Class-3	100.00	99.50	100.00	99.50	100.00	100.00
Class-4	100.00	96.25	100.00	99.50	99.90	96.00
Class-5	100.00	98.50	99.90	100.00	100.00	91.00
計	100.00	98.85	99.98	99.80	99.98	97.35

4. クラウド型画像分類システム

一般的に、CNNによる画像分類プログラムの開発においては、ネットワークの構築やパラメータの設定にノウハウを必要とされるが、中小企業においては、どのようなデータを、どのような手順で入力したらいいかといった前処理の段階で、戸惑うケースが少なくない。書籍やWeb等に掲載されているCNNに関する情報は、ネットワークやサンプルプログラムに関する情報が殆どであり、サンプルプログラムにおいては、既にパッケージ化された入力データが使われている。そのため、利用者自身が用意した画像データについて、それらの入力方法に関する情報にたどり着けず、CNNの利用に至らないことがある。

そこで、本研究では、クライアント端末からサーバ上のコンピュータリソースを用いて、CNNによる画像データの学習・分類が可能なクラウド型の画像分類システムを構築するとともに、サーバ上で画像分類処理を実行するために必要な操作を、クライアント端末から簡単にできるWebアプリケーションを開発した。開発したアプリケーション画面を図4に示す。本アプリケーションは、4つの機能から構成されており、データセット/クラスの作成、画像ファイルのアップロード、CNNによる学習モデルの作成、CNNによる画像ファイルの分類が可能となっている。

入力データを準備する際には、画像データとそれらの保存先のファイルパス、ラベルが記述されたCSV形式のドキュメントファイルを用意することが一般的であるが、多くの入力データを用いる場合は、手間のかかる作業となる。そこで、本アプリケーションでは、この作業を省略することができるように、データセット/クラス作成機能により画像データの保存先を作成し、画像ファイルアップロード機能により保存先毎にデータを管理することで、データ構成



図4 開発したWebアプリケーション画面

を読み取り、画像データとクラスとの対応関係を自動生成する仕様とした。なお、データセットは課題別に、クラスは各課題における対象別に画像データを管理することを目的としている。

CNNにより画像进行分类するためには、予め学習モデルを生成しておく必要がある。CNN学習モデル作成機能では、データセット、CNNの種類を選択した後、学習を繰り返す回数（エポック数）を入力し、学習ボタンをクリックすることで学習モデルを生成する仕様とした。学習モデルの生成に要する時間は、入力する画像サイズ、CNNの種類、エポック数等により異なるが、3章の実験における4層CNNの学習モデル作成時間は1分弱であった。なお、エポック数に到達する前に、識別精度が1（学習データの分類率が100%）となるエポックが5回に達すると、過学習と呼ばれる学習データに特化したモデルが生成されることを防止するため、自動的に学習を終了する。

CNN画像分類機能では、選択した学習モデルを使って、送信した画像ファイルをクラス毎に分類する。分類結果については、クラス毎に集計して出力する仕様としているため、複数ファイルを同時に送信しても、CNNによる分類性能の把握が容易となっている。

5. まとめ

本研究では、CNNを用いた画像認識技術に対する理解の促進と中小企業への導入の支援を目的として、簡単にCNNを用いた画像分類技術を利用することが可能なシステムを構築した。システムの構築にあたっては、層の深さの異なる3種類のCNNを構成し、分類性能の差を評価した。本システムを使用することで、CNNを利用した画像分類処理を容易に試行できるため、深層学習の導入の検討に有用である。

今後は、CNNだけでなく、他用途を対象としたDNN（Deep Neural Network）についても検討し、システムへの実装を目指す。

文献

- [1] 麻生秀樹, 安田宗樹, 前田新一, 岡野原大輔, 岡谷貴之, 久保陽太郎, ボレガラ・ダヌシカ, “深層学習—Deep Learning—”, 近代科学社, 2015.
- [2] 内田祐介, 山下隆義, “畳み込みニューラルネットワークの研究動向”, 信学技報, Vol.117, No.362, PRMU2017-105, pp.25-38, 2017.
- [3] 内山育海, “ソフト基盤でAIが身近に, 開発支援サービスはこう選ぶ”, 日経エレクトロニクス, 2017年6月号, pp.61-69, 2017.
- [4] 中小企業庁, “2017年版中小企業白書”, <http://www.chusho.meti.go.jp/pamphlet/hakusyo/index.html>, 2017.
- [5] A. Krizhevsky, I. Sutskever and G. E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks”, In Proc. of NIPS, pp.1097-1105, 2012.
- [6] K. Simonyan and A. Zisserman, “Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition”, In Proc. of ICLR, 2015.
- [7] 渡辺博己, 曾賀野健一, 松原早苗, 棚橋英樹, “機械学習を用いた作業時間推定システムの開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, No.18, pp.15-21, 2017.
- [8] G. Csurka, C. Dance, L. Fan, J. Willamowski and C. Bray, “Visual Categorization with Bags of Keypoints”, In Proc. of ECCV Workshop on Statistical Learning in Computer Vision, pp.59-74, 2004.
- [9] D.G. Lowe, “Object Recognition from Local Scale-Invariant Features”, In Proc. of ICCV, pp.1150-1157, 1999.

インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第3報)

－ スマート金型システムの機能拡張 －

山田 俊郎 坂東 直行 浅井 博次
成瀬 哲哉 生駒 晃大 多田 憲生*

A study on a smart mold for insert injection molding (3rd Report)

- Enhancement of Smart Mold System -

Toshio YAMADA Naoyuki BANDO Hirotsugu ASAI
Tetsuya NARUSE Akihiro IKOMA Norio TADA*

あらまし プラスチック射出成形の高品質化・効率化を達成する技術として、スマート金型の開発を進めている。スマート金型は、金型にセンサを組み込み、成形時の型内状態を監視・記録するとともに、成形の良否を判断する機能を搭載した金型である。本年度の研究開発では、スマート金型の機能を拡張するセンサ技術の開発と、現場で利便性向上に関するソフトウェア開発をおこなった。渦電流式センサを用いた型開き検出と、極細熱電対を用いたガスベント検出の機能を組み込んだ試験金型を試作するとともに、成形現場でのデータのみえる化に対応するため、リアルタイム簡易モニタおよび成形機パネルへのスマート金型データの表示機能を開発し、実装した。

キーワード スマート金型、インサート成形、渦電流式センサ

1. はじめに

自動車産業をはじめとする機械産業では、製品の軽量化・低コスト化を目的に、金属部品をプラスチックに置き換える流れが進んでおり、射出成形の高度化が求められている。シリンダヘッドカバーなどのエンジン部品では、高温にも耐える成形が困難な樹脂材料が使われるが、アルミダイキャストと変わらない精度が求められる。また、金属部品を溶接して製造していた部品のステー部分を射出成形で一体成形する型内接合成形では、金属部分と樹脂の接合強度が求められる。このような高度な樹脂部品の製造には、安定した射出成形が必要であるが、樹脂材料の不均一性や環境温度などの外的要因によって、成形の状況を一定させることは困難である。そのため、成形中の金型内の状態を監視し、突発的な不良品の発見および、適切な成形条件へのフィードバックが求められている。

このような背景のもと、プラスチック射出成形の生産立ち上げの効率化や成形不良の発見を目的に、成形中の金型内の圧力や温度を監視するスマート金型の開発を進めている^{[1][4]}。昨年までの研究において、金型に搭載して圧力・温度・振動を記録する小型測定モジュールを開

発し、そのデータ解析からスマート金型の有用性を示すことができた。また、型内接合の監視を目的として、インサート成形品のインサート金物の変位を検出する基礎技術の開発を行ってきた。

本年度は、スマート金型の機能を拡張するセンサ技術の開発と、現場で利便性向上に関するソフトウェア開発をおこなった。センサ技術の開発では、昨年度に開発したインサート金物の変位検出技術を応用して、射出圧によるミクロン単位の型開きを検出する技術を開発した。また、射出による型内のガスの抜け状況を検出するガスベントセンサの開発もおこなった。ソフトウェア開発では、これまでオフラインでしか確認できなかった圧力・温度の波形をスマート金型に接続したPCに表示するソフトウェアを開発した。さらに、スマート金型の測定・分析結果を射出成形機にフィードバックすることも検討しており、その端緒としてスマート金型の計測データを射出成形機の操作モニタに表示するシステムを開発した。

2. スマート金型の機能拡張

2. 1 型開き検出センサの開発

スマート金型システムのセンサ情報を増やし、成形状態をより詳細に測定するため、先行して研究開発を行っ

* 株式会社 岐阜多田精機

ていた金型内のインサート金物の変位計測技術^[4]を基に、インサートを用いない成形においても金型の開きを検出できるセンサの検討をおこなった。

先行研究においては、金型を模擬した鉄ブロックの中に渦電流式の変位センサを取り付けて変位検出をおこない、周囲の金属の影響は受けるものの、 50μ 程度の分解能で変位の検出が可能であることがわかった。この実験では、変位の検出対象をインサート金物の薄板としているが、検出対象が対向する金型であっても同様の結果が得られ、型開きの検出が可能であると考えられる。しかし、汎用のセンサヘッドは、使用温度上限が 60°C であり金型の温度に耐えられないこと、ストレート形状で金型への取り付けが困難であることが課題となった。

金型への取り付けについては、センサの形状を型内圧力センサや型表面温度センサと同様の段付き形状とし、センサの背面からスリーブで押さえて固定する形状を設計した。耐熱温度の向上については、センサ内部の樹脂を耐熱樹脂とした仕様とし、センサメーカーであるセンテックに製作を依頼してセンサヘッドを作成した。耐熱温度が 120°C であるため、高温のエンブラでの利用はできないが、汎用的なPPやPA66などでは使用が可能である。

また、これに合わせて、スマート金型システムに変位センサのデータを取り込むための追加基板を設計した。この基板は既存のスマート金型センサ基板と互換性を持たせてあるため、圧力センサ基板や温度センサ基板と置

き換えてメインのマイコン基板に接続することができる。計測データはI2Cバスでマイコン基板に送られ、他のセンサと時間同期してSDカードに記録される。

今回製作した耐熱型の渦電流変位センサおよびスマート金型に組み込む電子回路を用い、昨年度の基礎検討と同様の実験環境で金型間の距離検出の検証をおこなった結果を図1に示す。距離に応じて変換器の出力値が変化しており、距離が一定の際の測定値の標準偏差(静止時の計測ノイズに相当)は300程度であった。このことから、数 μm 単位の分解能で型間距離の検出が可能であることが確認できた。しかし、昨年度の検証では型間距離に応じて単調に値が変化していたが、今回の検証では、 $275\mu\text{m}$ をピークに値が減少している。これは、センサおよび電子回路の特性によるものと考えられるが、数100Nの締め付け力で閉じている型が $200\mu\text{m}$ 以上開くことは現実的ではないため、 $200\mu\text{m}$ 以下を検出範囲として使用することとする。

また、渦電流式変位センサは、その構造上温度によって特性が変化することが知られている。金型内で使用する際に、温度によって出力がどの程度変化するのか検証した。先の検証の上型を取り外し、型の両面に温度センサを取り付け、 75°C の温度環境下に置いて変化を観察した結果を図2に示す。右上がりの濃色の線が温度変化(両面の温度センサの平均値)を示し、波打ちながら右下がりとなっている淡色の線が変換器の出力を示す。温度の上昇に伴って、出力値が下がっていることが確認でき、おおむね 50°C の温度上昇に対して25,000の減少となっている。この量は、型開きにおける $150\mu\text{m}$ の出力変化量に相当するが、射出時(数秒間)の変化量を見るため、温度変化の影響は少ないと考えてよい。しかし、測定値は非常にノイズの多いものとなっており、先の検証では静止時出力の標準偏差が300程度であったのに対し、今回は温度一定時(2,000秒~2,500秒)においても出力の標準偏差が3,700ほどとなり、金型間の距離検出検証時の標準偏差に対して12倍も大きな値となっていた。これは、恒温槽代わりに使用したFDM 3Dプリンタのコンプレッサーの振動および電気ノイズの影響が考えられる。金型で使用する場合には、ケーブルや電子回路のノイズ対策を施すとともに、成形機や工場内の環境による影響を検証する必要がある。

2. 2 ガスベントセンサの開発

スマート金型システムのセンサ情報を増やし、成形状態をより詳細に測定するため、ガスベントの状態を検出する技術の検討を行った。金型内に樹脂が射出されると、樹脂が充填される空隙にあった空気は型設計において制御された排出路から型の隙間を通して排出される。この排出ガスには、空気のみでなく気化した樹脂も含まれており、成形を繰り返すうちにタール化した樹脂によって排出抵抗が増える傾向になる。また、樹脂充填の状況によっても、ガスの排出状態が異なる可能性もある。これ

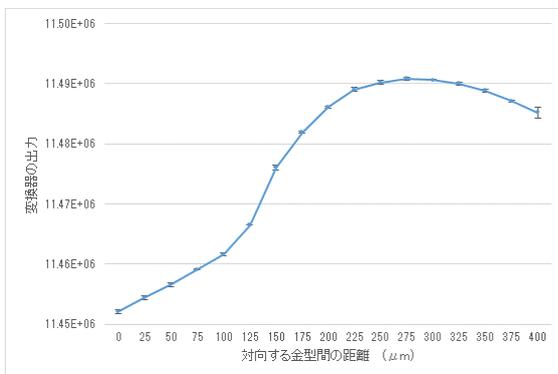


図1 型開き距離と変換器出力

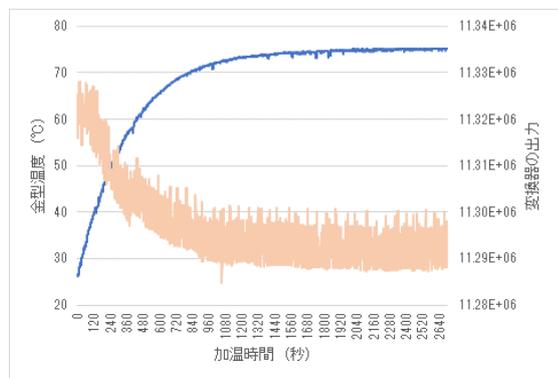


図2 温度による変換器出力の変化

らのことより、ガスの排出状態をセンシングすることで、成形状態を知ることが可能であると考えられる。

ガスの流れを検出するには、一般に流量センサが用いられるが、金型内に設置することは困難である。そのため、流量そのものを検出するのではなく、簡易な方法で流れの状態を検出する方法を検討した。型内の空気は、樹脂の射出によって圧縮されるため、温度が型温よりも高くなると考えられる。熱応答の良い温度センサをガスの排出路に設置することで、ガスの流れによる温度変化を感知し、排出状態をセンシングできるのではないかと考えた。この考えのもと、熱容量が小さいΦ0.1の熱電対を検出部とする先端径4.0mmの小型センサを考案した(図3)。

このセンサは、軽く息を吹きかけた程度で反応するため、ガスベント状態の検出が可能であると考えられる。また、センサ自体は熱電対であるため、スマート金型システムでは、既存の型表面温度センサのチャンネルに接続して測定することができる。

2. 3 試験金型の試作

前記の渦電流式変位センサによる型開き検出機能、極細熱電対によるガスベント検出機能を組み込んだ試験金型を岐阜多田精機で製作した(図4)。試作品の形状は結束バンド形状とし、バンド側のPL面にガスベントセンサ(図中では極細熱電対と表記)を取り付け、ロック側のPL面に型開きセンサ(図中ではセンテックセンサ)を取り付けた。試験型には、これらのセンサのほかに、型表面圧力センサをゲート直近と充填中間点の2点に、型表面温度センサ

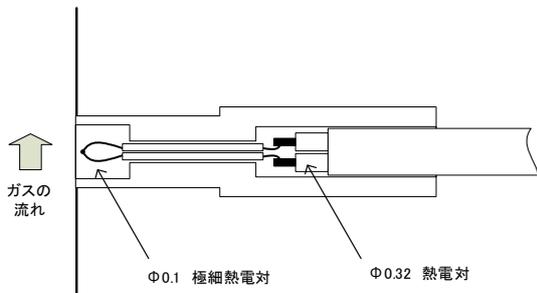
をランナと充填末端の3点に組み込み、さらにガスベント状態のセンシングのため、熱流センサも組み込んである。なお、この型を用いたデータ取得実験は今後行い、型開きセンサ、ガスベントセンサの有効性を検証する予定である。

3. 現場向け見える化ソフトウェアの開発

3. 1 リアルタイム波形ビューアの開発

これまでのスマート金型開発では、詳細な測定データはデバイス内蔵のSDカードに記録し、接続したパソコンでは測定の状態と代表的な測定データの数値を見ることしかできなかった。圧力や温度の波形観察には、SDカードのデータを抜き出して、パソコン上のデータ解析アプリケーションでの描画が必要であった。デバイスの開発段階では、SDカードにデータが保存されていることが確認でき、波形観察等の分析はオフラインでおこなっても問題はなかったが、成形実験で用いるには現場で波形を確認する必要があった。

SDカードには、最大で1ショット約2Mbyteのデータ(16bit×32チャンネル×1kHzサンプリング×30秒間)が蓄積される。このデータをそのままショットごとにPCに送ると、通信に時間がかかり、次のショットのデータ取得ができなくなる。成形現場では波形全体の概形が分かればよいので、PCの1画面に表示する程度のデータ量に間引いてデータを送信することとした。1kHzサンプリング、30秒間では、時間方向に30,000点のデータが取得で



(a) ガスベントセンサの構造



(b) センサ外観
図3 ガスベントセンサ

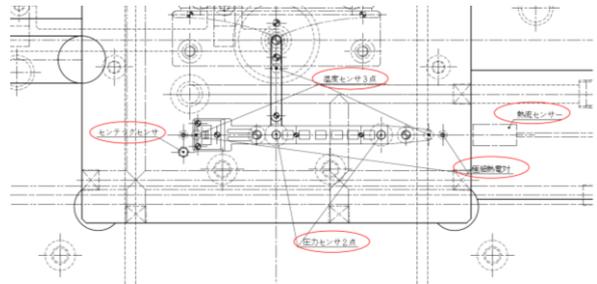


図4 試験金型の正面図

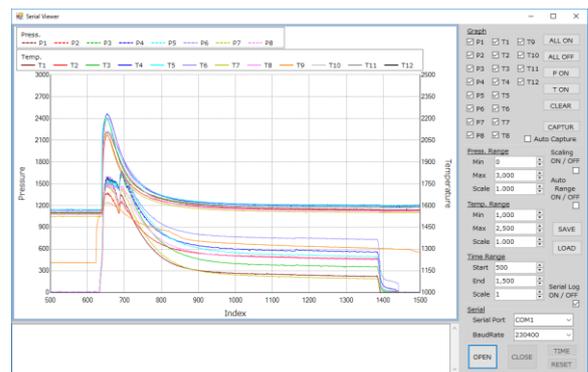


図5 リアルタイム波形ビューア

きるが、画面の解像度を考慮して、時間方向に1/50、600点のデータを送ることとした。すなわち、200Hzサンプリング相当の時間解像度となっている。

図5に開発した簡易モニタの表示例を示す。センサごとにグラフの表示/非表示の切替や、計測値からMPa, °Cへの単位換算、表示範囲の設定ができる。波形の更新はSDカードへの書き込みと同時にされるため、ショットが終わってから(設定された測定時間が経過したから)となっている。

3. 2 成形機操作パネルへの測定値表示

将来的には、スマート金型の測定データから成形条件を自動的に判定し、成形機を制御するシステムを目指している。スマート金型と成形機間の通信を用いたアプリケーションの第1段階として、スマート金型の測定データを成形機(住友重機械工業 CL7000)の操作パネル上に表示させる機能を実現した(図6)。

成形機とスマート金型の通信は、成形機既存の通信インタフェースであるRS-232Cを通しておこない、通信プロトコルも成形機既存のプロトコルを拡張して対応した。成形機の既存プロトコルは、成形条件のダウンロードや成形後のピーク値の記録など、小容量のデータが想定されているため、通信内容はASCIIコードであり、1つの設定項目ごとに通信確認を行っている。この方法では大容量のデータを送るには時間がかかりすぎるため、表示内容は成形状態の特徴を最も示す、各センサのピーク値およびピークが出た時間のみに限定した。

成形機側は、通信プロトコルの拡張に加えて、操作パネルに新たな表示画面(スマート金型タブ)を追加し、さらに表示値のロギング機能も追加した。スマート金型デバイス側では、成形機向けの通信プロトコルに対応するとともに、データ送信先をPC、成形機、両方に切り替えられるよう、スイッチ機能を追加した。成形機との通信では通信確認が入るため、接続されていないと確認待ちで通信がブロックする。また、スマート金型のマイコンの性能上、ロギングとデータ通信が同時に行えないため、通信に時間がかかると、短いサイクルタイムの成形

に対応ができない。スマート金型の利用シーンに柔軟に対応するため、通信先の切替機能を盛り込んだ。

4. まとめ

スマート金型でより多様な測定をおこなうため、型開きセンサとガスベントセンサを提案した。型開き検出センサは、10 μ m程度の分解能を持つことが確認できた反面、環境のノイズの影響を受けやすいことが分かった。

また、作業現場での利便性を向上させるため、スマート金型とPCを接続して、ショットごとにセンサ波形を確認できるビューアを開発した。さらに、スマート金型と射出成形機を接続して、成形機の操作パネル上でも測定結果を簡潔に表示できる監視画面を開発した。

今年度は、新たなセンサを組み込んだ試験型の設計・製作まではおこなったものの、成形実験まで行うことができなかった。今後は早急に成形実験を行い、センサの有効性を確認するとともに、成形データを蓄積し、データ分析を進める予定である。

文 献

- [1] 山田, 坂東, 平湯, 棚橋, 丹羽, 窪田, 多田, “生産性向上に資する射出成形スマート金型の開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第15号, pp. 21-29, 2014
- [2] 山田, 坂東, 平湯, 棚橋, 丹羽, 窪田, 多田, “生産性向上に資する射出成形スマート金型の開発(第3報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp. 1-4, 2015
- [3] 山田, 坂東, 浅井, 久富, 多田, “生産性向上に資する射出成形スマート金型の開発(第5報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号, pp. 16-19, 2016
- [4] 山田, 坂東, 浅井, 久富, 棚橋, 多田, “インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第1報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp. 1-4, 2017



図6 成形機操作パネルへのスマート金型測定値表示

インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第4報)

坂東 直行 山田 俊郎 浅井 博次 成瀬 哲哉 生駒 晃大

A study on a smart mold for insert injection molding (4th Report)

- Simulation of Core Shift in Injection Molding -

Naoyuki Bando Toshio Yamada Hirotsugu Asai Tetsuya Naruse Ikoma Akihiro

あらまし 細長いコアやインサート金物の倒れの傾向を把握するため、シミュレーションによって評価した。コア倒れの原因がコアの初期傾き角度にある場合を想定し、各設計パラメータと結果を比較した。その結果、コア長さがある程度長くなると顕著にコア倒れが起こること、肉厚が薄いとコア倒れが生じやすいこと、充填速度とコア倒れの間には比例関係があることが分かった。ここで得た傾向を基に設計初期段階でトラブルが起こりにくい形状で設計し、具体的な形状が決まった際にはその形状でシミュレーションを行い、流動現象を確認することで効率的に設計が進められると期待される。

キーワード 射出成形, インサート成形, コア倒れ

1. はじめに

プラスチック製品の形は射出成形によって作られることが多い。射出成形で成形したプラスチック部品は、金属のように複数の工程を経ることなくほぼ完成品が得られるため、工数削減を狙って金属部品を射出成形部品に置き換える傾向がある。このトレンドに対応するため射出成形の技術は、単一部品に多くの機能を持たせるための形状複雑化や、金属の特性をプラスチックに持たせるインサート成形技術の高品質化が進められている。

射出成形は熔融樹脂を金型に押し込み充填させ、冷やし固めて金型の形を転写させる成形加工技術である。このとき、充填速度が遅いと金型キャビティの端部に到達する前に流動樹脂先端が固化してしまい充填不良を起こす。正常に充填するには充填速度が速いほど有利であるが、樹脂を金型へ押し込む力が大きくなるため、大型機械が必要になったり高圧の樹脂が金型にダメージを与えてしまうなどの問題を起こす。このトレードオフの関係に対し、現場では目的に見合うポイントを試行錯誤で探すことで対応している。金型内の樹脂の流動状態を現場で視覚的に確認することは事実上不可能であるため、オペレータは頭のなかで流動現象を思い浮かべながら適切な成形条件を設定する必要がある。そのため成形条件の探索は、知見と経験を駆使して解決がなされる課題となっている。

一方、射出成形で複雑部品を成形するには、複雑な形状の金型が必要になる。成形品に穴あきや中空部分がある場合、空洞となる部分にはコア金型が挿入される。こ

こで、キャビティ金型に細くて長いコア金型を挿入する場合、樹脂の充填中にコアが歪んでしまい品質不良となってしまうことがある。射出成形部品に金属の導電性や強度を付加するために、金属部品を金型内に置いて樹脂でまわりを固めて取り出すインサート成形においても、インサート金物が細長い場合には同様のトラブルが起こる。この歪みは、流動樹脂の圧力、コア・インサート金物のサイズ、成形品の肉厚などによって変化するため、次に生かす経験へと昇華することが難しい問題となっている。そのため、不具合に直面した時に、場当たり的に対応しているのが現状である。

具体的な成形品の形状と成形条件が決まっているのであれば、シミュレーションによって樹脂の流動現象を解析し、その結果から対策を練る方法もある。しかし、生産現場の段取りが完了している段階で、成形条件を探索するためにシミュレーションを行うのでは、結果が出るまで生産が停止することになり非効率である。また、金型設計が悪く、成形条件の調整では解消しない場合も考えられる。よって、コアやインサート金物が歪まない成形のためには、よく練られた設計が必要になる。

成形品の形状を決めてシミュレーションを行えば、成形プロセスにおける課題を具体的に検討することができる。しかし、ここで不都合が生じた場合、形状の再編集のため設計工程が逆戻りすることになるので、繰り返すには限界がある。

こうした状況を改善するには、トラブルなく成形できる金型を設計するために参考となるデータを用意しておくことが有効と考える。そこで、インサート金物や金型

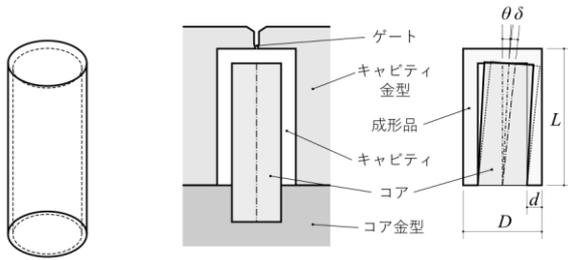


図1 成形品イメージと金型構成
および寸法パラメータ

コアの変形を軽減させるための設計の一助とするため、シミュレーションによって変形量と各種成形条件の関係を評価したので報告する。

2. 解析モデル

コアやインサート金物の具体的な変形量は個別具体的な形状や樹脂フロー、成形プロセスに依存する。これを逐一評価するのは難しい。そこで本報では抽象化・単純化したモデルで変形量の傾向を把握することにした。

ここでは図1に示す円筒形状の成形を取り上げる。これは一方の端面は閉じ他方の端面は開いている円筒で、閉じている端面中央に直接ゲートが接続されている形状で

表1 解析モデルのパラメータ

記号	パラメータ	単位	値
D	円筒直径	mm	10
L	円筒高さ	mm	63, 80, 100
d	肉厚	mm	0.8, 1.6
θ	コアの初期傾き角度	degree	0, 1.0, 1.6
t	充填時間	sec	0.1, 0.16, 0.25, 0.4

表2 シミュレーションの設定

設定項目	設定内容
メッシュサイズ	肉厚 × 0.4
樹脂材料	PP
コア材質	鋼
樹脂温度	220°C
金型表面温度	50°C

ある。円筒形状は、円柱キャビティに円柱コアを挿入することで得られる。このときコア倒れがおこる原因としては、キャビティに対してコアが傾いている場合が考えられる。コアの傾きは、金型製作時の加工精度や組み立

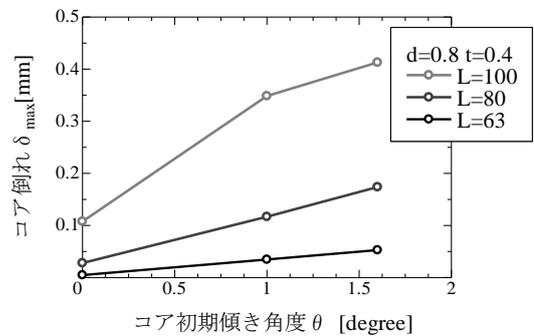
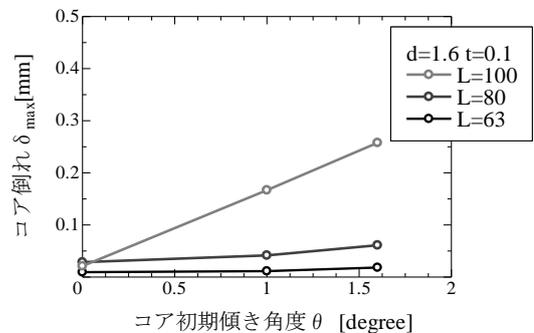
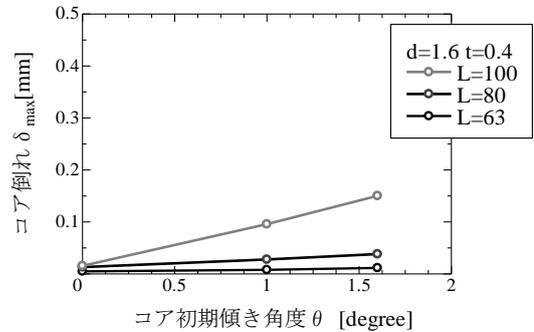


図2 傾き角度 θ とコア倒れ δ

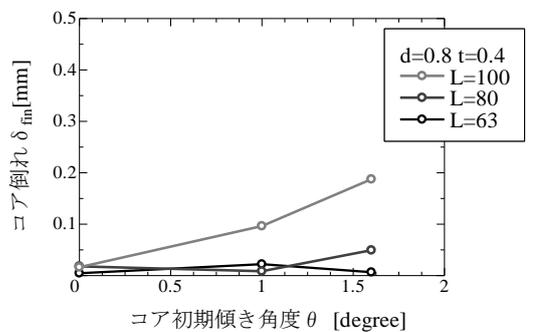


図3 傾き角度 θ と充填完了時のコア倒れ δ

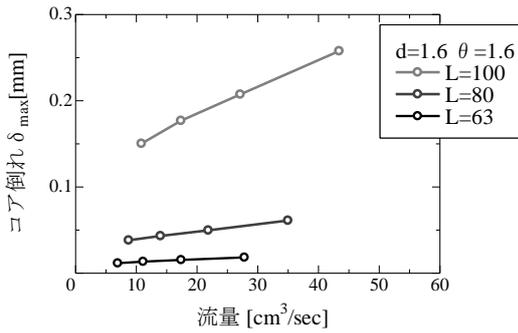


図4 流量とコア倒れ δ

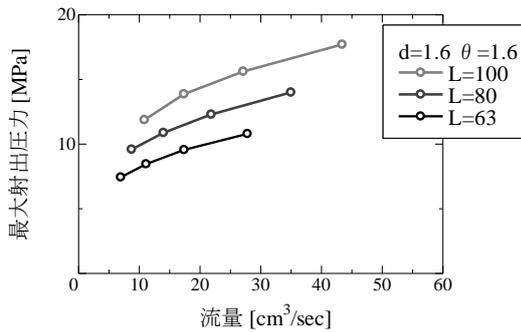


図5 流量と射出圧力

ての精度，装置への型取り付けの精度，繰り返されるショットによるコア金型のダメージ，インサート成形に置き換えた場合はインサート金物の歪みや固定のゆるみなどにより生じるものであり，完全になくすことは難しく，予めその影響を考慮しておく必要がある．そこでシミュレーションでコアの初期傾き角度 θ を変化させたときのコアの倒れ量 δ を評価することとした．

解析モデルのパラメータに与えた値を表1に示す．その他，シミュレーションにおける各種設定を表2に示す．なお，シミュレーションにはAutodesk Moldflowを用いた．

3. 結果と考察

図2に初期のコア傾き角度 θ とコア倒れ δ の関係をコア長さ L 毎に示す．ここで，コア倒れ δ は充填プロセス中の最大値を示している．ここから，コア長さ L がある程度長くなると顕著にコア倒れが生じることがわかる．また，初期のコア傾き角度 θ が大きいほど，コア倒れ δ も大きくなる．今回設定した微小角度の範囲内では，傾き角度 θ と倒れ量 δ の間にはほぼ比例関係がみられる．

図3には，同じく傾き角度 θ とコア倒れ δ の関係をコア長さ L 毎に示すが，ここでコア倒れは充填プロセス完了時の値である．ここから，コアが短い場合，充填プロセス中に生じたコア倒れは充填プロセス完了時には，元形状に戻っていることがわかる．対して，コアが長い場合

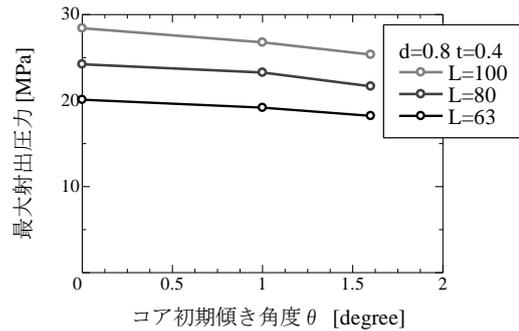
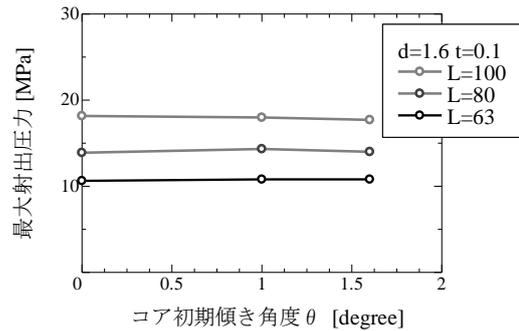
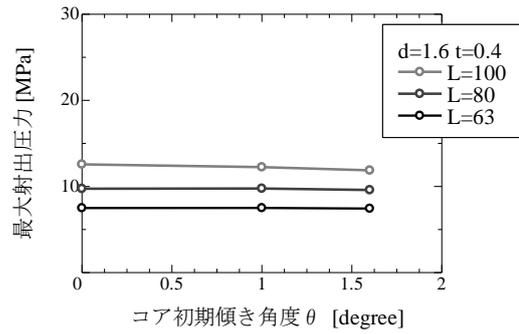


図6 傾き角度 θ と射出圧力

は元に戻らない．これは，コアが元形状に戻ろうとする復元力が，流動樹脂が外部からの力に対して抗う流動抵抗よりも小さくなったためと考えられる．一般に射出成形では充填プロセス中に樹脂の固化は始まり，充填プロセスに続く保圧・冷却プロセスで固化を完了させる．充填プロセス完了時に倒れたコアが元形状に戻るためには，その時点で樹脂が十分に高温で流動性を持っていないければならず，それには金型温度を高く設定する必要がある．

生産性を上げたり，ショートショットを避け形状転写性を良くするには，時間当たりの充填される樹脂体積である流量を上げることが有効である．図4に，流量とコア倒れ δ の関係を示す．ここから，シミュレーションの設定範囲においては，流量とコア倒れ δ には比例関係があることがわかる．また，流量の増分に対するコア倒れ δ の増分の割合はコア長さ L が長くなるほど大きくなる．

図5に，流量と充填プロセス中の最大射出圧力を示す．

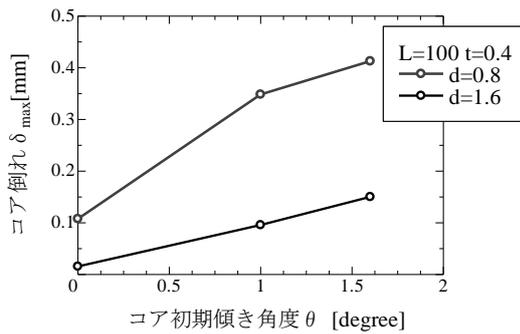


図7 傾き角度 θ とコア倒れ δ の肉厚との関係

ここで最大射出圧力は、充填プロセスにおいて樹脂を充填させるためにスクリーを押し込む方法を速度制御から圧力制御へ切り替えるポイントであるVP切り替え時に最大となり、傾き角度 θ との関係は図6のとおりである。ここから、流量が高いほど最大射出圧力は大きくなると分かる。また、流量が同じであってもコア長さ L が長くなるほど最大射出圧力は大きくなる。

図7には、充填時間0.4secにおけるコアの初期傾き角度 θ とコア倒れの量 δ の関係を示す。ここから、肉厚 d が薄くなるほど倒れ量は大きくなることがわかる。これは肉厚 d を厚くすればコア倒れは抑えられることを示唆している。

以上の結果は、金型設計の参考にすることができるほ

か、成形時にコア倒れが生じた場合の対策としても利用できる。コアに初期の傾きがないかを確認し、流量を低く、金型温度は高く設定するのが有効といえる。

4. まとめ

細長いコアやインサート金物の倒れの傾向を把握するため、シミュレーションによって評価した。

コア倒れの原因がコアの初期傾き角度にある場合を想定し、各設計パラメータと結果を比較した。その結果、コア長さがある程度長くなると顕著にコア倒れが起こること、肉厚が薄いとコア倒れが生じやすいこと、充填速度とコア倒れの間には比例関係があることが分かった。

本研究では単純な形状を取り上げている。実際の成形品は複雑な形状であることが多くそのまま活用できるものではないが、複雑形状といっても単純な形状の組み合わせであるため、成形品の該当部分においては示唆を得ることができると思われる。ここで得た傾向を基に設計初期段階でトラブルが起こりにくい形状で設計し、具体的な形状が決まった際はその形状でシミュレーションを行い、流動現象を確認することで効率的に設計が進められると期待される。

安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発(第10報)

— センサシステムの電動車いすへの搭載 —

久富 茂樹 藤井 勝敏 窪田 直樹

Development of Sensors for a Safety Driving System of Electric Senior Vehicles (10th Report)

- Attachment of sensors -

Shigeki KUDOMI Katsutoshi FUJII Naoki KUBOTA

あらまし 高齢者の生活を支えるツールの一つである電動車いすに対して、事故の危険を検知する安全装置を開発している。これまでに、障害物を検出する超音波フェーズドアレイソナー、車線逸脱を検出するイメージセンサ、車の接近を検出する音センサをそれぞれ開発してきた。本年度は、これらの3種類のセンサシステムを電動車いすに搭載し、個々のセンサの動作検証を行った。超音波フェーズドアレイソナーでは、ガラス製自動ドアを検出して電動ビークルを停止する動作が実現できることを確認した。イメージセンサでは、Raspberry Pi3およびカメラモジュールによるシステムを構築し、電動ビークルへの搭載場所の検討を行った。音センサでは、ガソリン車の接近とクラクション音の検出ができることを確認するとともに、ハイブリッド車や電気自動車に搭載されている車両接近通報装置の音を検出することにより、電気モータ走行モードで接近してくるハイブリッド車を検知できた。

キーワード 電動車いす, 安全装置, 超音波フェーズドアレイソナー, カメラ, 音センサ

1. はじめに

高齢者の生活を支えるツールとして電動車いすは広く利用されつつあるが、認知機能低下による操作ミスが原因で、障害物との衝突、歩行者や車との接触などの事故が問題となっている。当研究所では、電動車いすを安全に運転するため、障害物や危険箇所をセンサで検知し、安全な走行を実現する安全装置を開発している。この安全装置は、将来的に、共同研究先である県内企業で開発された電動車いすへ、オプション装備として搭載することを目指している。なお、本研究では、開発する安全装置付きの電動車いすを“電動ビークル”と記述する。

電動ビークルの安全装置としては、既報のとおり、超音波フェーズドアレイソナー（以降、超音波PAソナーと記述）、イメージセンサ、音センサの3種類のセンサシステムを開発している。超音波PAソナーは、複数の超音波素子を制御し、任意の方向に強い超音波を送信する。障害物からの反射波を検出することで、正面だけでなく左右の広範囲に渡って障害物を検出することが可能である。カメラなどの光学系のセンサでは検出困難なガラス扉などの透明な障害物の検出も可能である。これまでに、送信系としては、音響管アレイの設計を行い送信強度の向

上を進めてきた。受信系としては、二値振幅偏変調されたBarker符号を送信し、送信信号と受信信号との相関処理を行うことで、障害物の検出能力を高めてきた^[1]。イメージセンサは、電動車いすの走行車線逸脱を検出するためのもので、カメラによって取得される路面のビデオ映像を時系列で蓄積した時系列断面画像から、衝突や転落の兆候の捕捉を検討してきた^[2]。音センサは、電動ビークルに接近する車のクラクション音、エンジン音、ロードノイズなどをマイクロホンで検出し運転者に注意喚起する装置である。特に問題となる後方からの車の接近を早く検出するためのマイクロホンアレイの設計、車の接近を判定するための評価値の検討、電動ビークル走行時に発生するノイズによる誤判定の低減手法について検討してきた^[3,4]。

本年度は、これまで開発してきた安全装置のセンサを電動車いすに搭載し動作確認を行った。超音波PAソナーについては、障害物を検出して、電動ビークルを停止させる一連の動作について検証を行った。イメージセンサについては、取り付け位置の検討を行った。音センサについては、電動車いすに搭載した状態での車接近検出の確認を行った。特にこれまで未確認であった電気モータ走行モードでのハイブリッド車の接近検出確認を行った

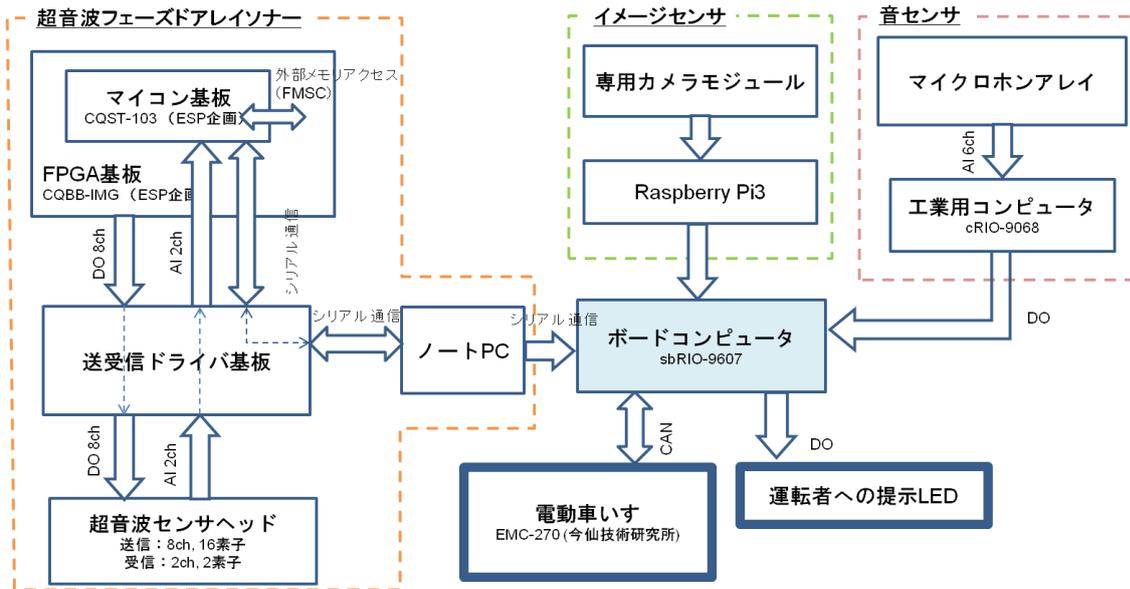


図1 システム構成

ので報告する。

2. 電動車いすへの搭載

図1に電動ビークルのシステム構成を示す。それぞれのセンサシステムの情報をボードコンピュータに集約し、電動ビークル本体のコントローラとはCANプロトコルによって通信する構成にした。各センサシステムは、将来的には、組み込みマイコンなどを使用してシステムを小型化する予定であるが、現状では、データ記録や制御のために、ノートPCや工業用コンピュータを使用したシステム構成となっている。これらのコンピュータやアンブ回路ボックスなどを電動車いすに搭載するために、図2に示すように、電動車いす (EMC-270 : 今仙技術研究所) の背面にコンテナを設置した。



図2 電動ビークル

3. 超音波PAソナー

図3に示すように、送信部と受信部が一体となったセンサヘッド部を電動ビークルのテーブル部に設置した。制御装置は後方に設置したコンテナ内に収納した。一定値以上の強度の反射波が検出された場合に障害物であると判定し、CAN通信によって電動ビークルのコントローラに非常停止の信号を送信するようにした。本センサの特徴でもあるガラス製の障害物検出を確認するため、図4に示すガラス製の自動ドアに向かって電動ビークルを走行し動作確認を行った。超音波PAソナーを、正面を0度とした場合に、-60度から+60度まで10度間隔で走査させ実験を行った。図5(a)に閉じた状態の自動ドアに接近したときの反射波強度イメージを示す。図の軸方向は、送信波と反射波の時間差から求めた超音波PAソナーと障害物との距離を示しており、その時の反射波強度に応じ



図3 超音波PAソナー

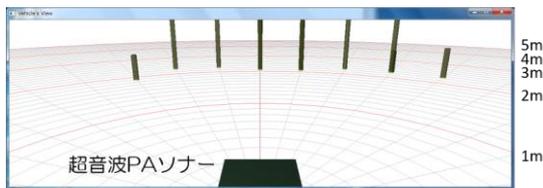
て棒の長さを表示している。この実験例では、-30度から+40度の角度において、超音波PAソナーから約2mの位置に障害物が検出された。この時点で、電動ビークルは非常停止した。超音波PAソナーと自動ドアとの距離をメジャーで実測した値とほぼ等しく、自動ドアの検出により、電動ビークルが非常停止することを確認した。図5(b)に自動ドアを開けた場合の反射波強度イメージを示す。この場合は、障害物が検出されず、電動ビークルも停止することなく通過できた。

次に、電動ビークルを2.5km/hで走行させ、自動ドアを検出したときと、電動ビークルが停止したときの距離を調べた。5回試行した結果を図6に示す。自動ドア検出時の距離が2.2mから3.5mとバラツキが大きくなった。これは、自動ドアへの接近するときの進路や角度の違いによって生じたと考えている。自動ドア検出時の距離と電動ビークル停止時の距離の差である制動距離は、5回の施行の平均で0.4mであった。

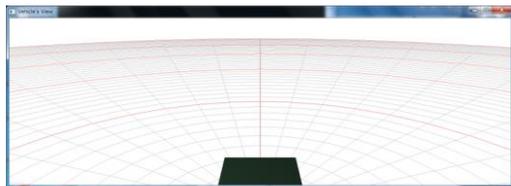
今回の実験では、障害物を検出した際、電動ビークル



図4 検出対象のガラス製自動ドア



(a) 閉状態



(b) 開状態

図5 反射波強度イメージ

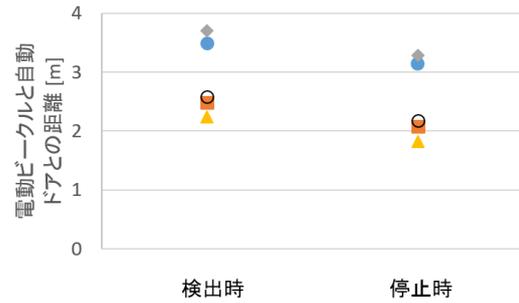


図6 電動ビークルと自動ドアとの距離

は非常停止する制御であったが、非常停止を行うことが適切であるとは言えないため、今後、どのような動作制御を行うと安全であるか検討したい。

4. イメージセンサ

イメージセンサによる安全装置サブシステムは、カメラモジュールで路面の映像を撮影し、画像処理用マイコンボードで解析した結果を信号出力する機能で構成する予定である。試作するシステムでは、マイコンボードに Raspberry Pi3(OS:Raspbian Jessie)、カメラモジュールには Raspberry Piカメラモジュール(Rev1.3)を使用した。

使用したカメラモジュールは約25mm角の基板に取り付けられており、厚さ10mm弱と小型である。また長さ2mまでのフラットケーブルで引き回しが可能であることから、電動ビークル上ではマイコンボードの設置場所に制約されずに配置が可能である。

そこで今回、路面が撮影可能で電動ビークル上の出来るだけ前方かつ搭乗者の視界に入らない場所として、操縦ボックスの裏側に取り付けた(図7)。このカメラでの撮影画像の一例を図8に示す。

イメージセンサに期待する役割は、操縦者の不注意による車線逸脱の警告や、超音波センサで検知できない路面の凹部のような障害の検知である。そのため、その入力装置であるカメラの取り付け方は、図8のように、電動ビークルの進行方向の路面を広く撮影できるように調整している。

5. 音センサ

5. 1 車の接近音検出とクラクション音検出

図9に示すように、マイクロホンアレイ部を電動ビークル背面パーに取り付けた。コントローラとして使用している工業用コンピュータはコンテナ内に収納した。車の接近音検出とクラクション音検出の確認を行った。どちらかの音が検出された場合、電動ビークルの操作レバー付近に取り付けたLEDが点滅するようにした。隣接する車道を通行する車が接近してくると、接近音を検出して



図7 イメージセンサ



図8 撮影画像例

て、車両接近通報装置を搭載したHVにおける電気モータ走行モード時の通報音を検出できるか実験を行った。図10(a)に示すように、電動ビークルの後方に約10m離れた位置から、HVが電気モータ走行モードで通報音を出しながら、停止している電動ビークルに向かって0.6m/sのゆっくりとしたスピードで接近した。図10(b)に示すように、電動ビークルの手前約5mの位置で停止するまでの車接近評価値を測定した。評価指標値は、既報で検討したように、0.1秒間のデータの1kHzから3kHzのパワースペクトルの合計値として求めた^[3]。また、パルス状のノイズを除去するための処理を行った^[4]。ただし、アンプのゲインを調整したため、評価値の大きさは既報の時とは異なっており、それに合わせて判定閾値も再調整した。図11にHVの接近検出結果を示す。時間0sの時にスタートし、HVが電動ビークルに接近するにつれて評価値は高くな

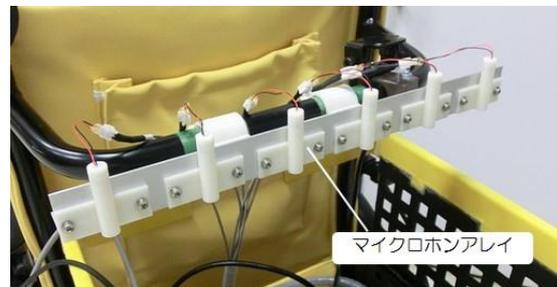


図9 マイクロホンアレイ

LEDが点滅し、運転者に車の接近を知らせることができた。また、約10m後方からクラクションを鳴らすと、その音に反応してLEDが点滅することを確認した。しかしながら、完全には車の接近を検出することができておらず、また、電動ビークル走行によるノイズによって、車の接近と誤検出することもあった。判定プログラムの見直しにより検出精度を高めたい。

5. 2 ハイブリッド車の接近検出

近年、環境問題、エネルギー問題への関心が高まり、日本での乗用車保有台数を見ると、ハイブリッド車（以降、HVと記述）、電気自動車（以降、EVと記述）の割合は1割を超えている^[5]。EVは当然のこと、HVも電気モータだけで走行するモードの場合は、エンジン音がなく静かに走行可能である。その反面、歩行者等がこれらの車の接近に気づくのが遅れるという危険性もある。そのため、国土交通省では、HVやEV等に歩行者等に自動車の接近を音で知らせる車両接近通報装置の装備を義務付けるよう省令を改正した（新型車の場合の適応時期：平成30年3月8日）。自動車メーカ各社ではこれまでも車両接近通報装置をHVやEVに装備しているが、今後は、当該装置の作動を停止できないようになることから、電気モータだけで走行する場合には、確実に通報装置の音がすることになる。

そこで、これまでの車両接近検出アルゴリズムについ

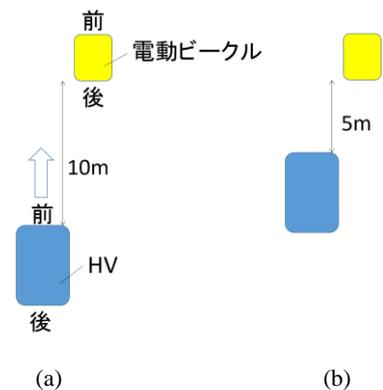


図10 電動ビークルと自動ドアとの距離

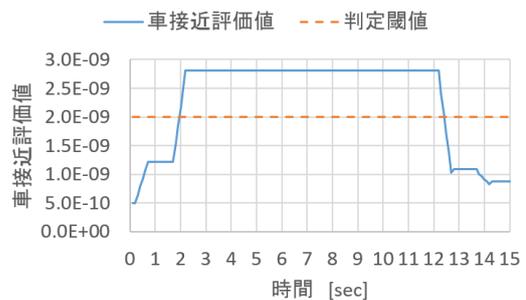


図11 HVの接近検出

り、2s後には評価値が判定閾値を超えてHVの接近を検出できた。この時のHVと電動ビークルとの距離は約8mであった。その後も検出状態はHVが停止するまで続いた。車両接近通報装置は車が停止している時は音が出ないため、車が完全に停止すると評価値も急激に低下している。今回は1車種のみでしか確認していないが、他の車種についても、車両接近音通報装置の通報音は人が聞き取りやすい周波数の音を使用して設計される。本研究で評価値として使用している周波数帯域である1kHz～3kHzの範囲に入ると考えられるため、他車種でも検出可能であると考えている。

6. まとめ

これまで開発してきた安全装置のセンサを電動車いすに搭載し、動作検証を行った。障害物を検出する超音波PAソナーでは、ガラス製自動ドアを検出して電動ビークルを停止する動作を確認した。車線逸脱を検出するイメージセンサでは、Raspberry Pi3およびカメラモジュールによるシステムを構築し、電動ビークルへの搭載場所の検討を行った。音センサでは、電動ビークルに搭載した状態で、ガソリン車の接近とクラクション音の検出ができることを確認した。また、HVやEVに搭載されている車両接近通報装置の音を検出することにより、電気モータ走行モードで接近してくるハイブリッド車の検出も可能であった。

今後、センサシステムで使用しているハードウェアの共有化を図りシステムを小型化するとともに、実証試験を進めて、各センサシステムの検出精度向上のためのソフトウェア改良、パラメータ調整を実施する予定である。

謝 辞

本研究で試作した部品の一部は、公益財団法人JKAの補助事業で導入した三次元造形機で製作した。

文 献

- [1] 田畑克彦, 久富茂樹, 藤井勝敏, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第8報) —超音波フェーズドアレイソナー—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp.37-40, 2017.
- [2] 藤井勝敏, 田畑克彦, 久富茂樹, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第7報) —イメージセンサ—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp.34-36, 2017.
- [3] 久富茂樹, 平湯秀和, 田畑克彦, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第3報) —音センサ—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第16号, pp.21-24, 2015.
- [4] 久富茂樹, 平湯秀和, 田畑克彦, “安全性を考慮した高齢者用電動ビークルの開発 (第6報) —音センサ—”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号, pp.12-15, 2016.
- [5] 一般財団法人自動車検査登録情報協会 統計情報 <https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>

情報通信機器による知的障がい者のための 協働支援システムの開発研究(第4報)

藤井 勝敏 窪田 直樹 成瀬 哲哉

Development of Education Apps for Special Support Schools

Katsutoshi FUJII Naoki KUBOTA

あらまし 特別支援学校の生徒らによる作業学習の現場で、情報通信機器を積極的に活用することで、教育効果を高めようとする取り組みを支援すべく、タブレットPCアプリ、Webカメラ、バーコードリーダを活用したシステムの研究開発を行った。本報では、今年新たに開発した成果として、作業学習の時間を通じて撮影した動画の中から、特定シーンの頭出しを容易にする「映像振り返り支援アプリ」と、縫製作業学習での材料管理や製品在庫の管理を行うための「在庫管理支援アプリ」について報告する。

キーワード 振り返り学習, 在庫管理

1. はじめに

岐阜県内の特別支援学校のうち、岐阜本巣特別支援学校(岐阜市秋沢, 以下本巣), 郡上特別支援学校(郡上市那比, 以下郡上)に加え、本年度開校した岐阜清流高等特別支援学校(岐阜市芥見, 以下清流)において、本研究所が開発した喫茶接客学習支援システム^[1]が利用されている。これは知的障がい者の生徒が、学習を始めるきっかけ、あるいは支援機器として有効に活用されており、接客学習を通じてコミュニケーション能力を育む一助になっている。

またこの3校では、作業学習中のビデオ映像を撮影し、フロアに出ていない生徒とのコミュニケーション支援に、または振り返り学習での教材として、効果的に活用しようとして取り組んでいる。

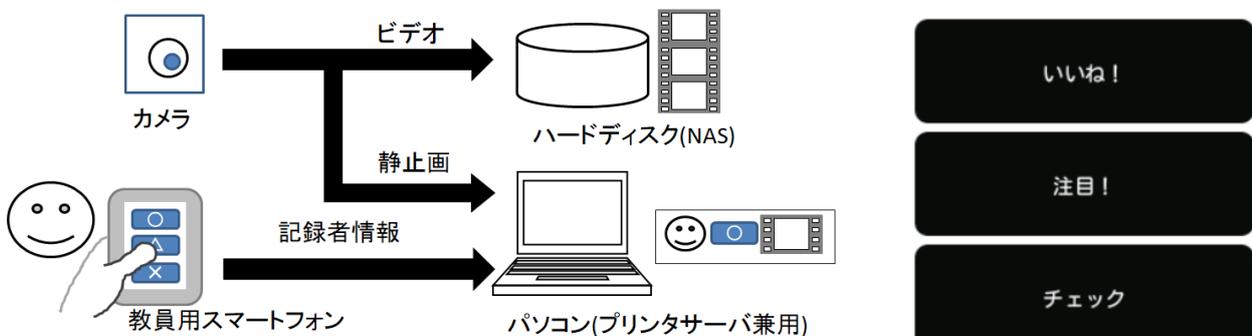
郡上特別支援学校では、接客だけでなく縫製作業の学習においても情報通信機器を活用しようと模索しており、

製品や材料の在庫管理を行いたいとの要望があったため、接客支援システムに用いた機材やソフトウェアを出来るだけ流用してこのニーズに対応することにした。

本報では、これらの今年度新規に開発した特別支援学校向け支援システムについて報告する。

2. 映像振り返り支援アプリ

上記の3校ではいずれも営業時間中のフロアの様子をWebカメラ(アイ・オー・データ機器製 Q-watchシリーズ)で撮影している。撮影した映像の利用目的は様々で、本巣では喫茶室の構造上、厨房とフロアが分断しているため、厨房内で飲み物等の準備を担当する生徒が映像を通じてフロアの様子を共有するために使用しており、録画はしていない。清流では映像をネットワーク接続のハードディスク(NAS, 同社製 Lan Disk)に録画し、営業後の振り返り学習の際にパソコンやタブレットPCで再生している。郡上はその両方の目的に使用している。



(a) システム構成

(b) アプリの画面

図1 振り返り学習支援アプリ



(a)バーコード管理の保管庫



(b)端末画面



(c)管理画面

図2 在庫管理支援アプリ

振り返り学習とは、その日の営業中に起きたアクシデントへの対応や、学習前に立てた目標の達成状況を反省することが目的で、営業終了後すぐに行うことが多い。このとき録画映像は、教員と参加した全ての生徒の間で振り返るべき場面を思い出し、共有する上で非常に有効である。しかし、営業時間中連続録画した映像の中から、記憶を頼りに特定のシーンをすぐに探し当てるのは容易ではなく、限られた振り返りの時間が映像探索操作に費やすことや、映像を編集してから後日振り返りを行うのでは効果が低下してしまうことが課題であった。

そこで、実習時間中に教員が何か気づいたとき、その時刻とカメラの映像を記録するためのスマートフォンアプリを開発した(図1(a))。このアプリの画面には図1(b)に示す3つのボタンがあり、それをタップすると、そのときの時刻、教員名、ボタン名、Webカメラの静止画像がまとめてパソコンに保存される。スマートフォンは現場の複数の教員が持っているが、記録は1台のパソコンに集約される。振り返りの時には、この記録と静止画像に映っている時刻を手掛かりに、NASのビデオファイルから映像の頭出しをし、繰り返し鑑賞して使われている。

3. 在庫管理支援アプリ

郡上特別支援学校高等部の縫製班は、「組み紐」や「巾着袋」などの手工芸品製作実習をする作業学習グループである。縫製の技能を習得することが主題であるが、製造に必要な材料を管理することや、製品の在庫数を確認して必要な生産計画を立てることを、生徒の自主性に委ねたいとのニーズがあった。そこで、無線LAN環境下のノートPCとバーコードリーダを接続したタブレットPCを連携させて、材料と製品の在庫管理をするアプリを試作した。

このアプリの使い方は、事前に教員がノートPC側に取り扱い品目の名前、コード、基準在庫数を記載したリストを作成しておき、日々の操作は生徒がタブレットPCを

使って行う。生徒は、材料ストックや製品保管庫(図2(a))に貼り付けてある品目別バーコードを読み取り、増減数をタップ入力して送信する(図2(b))。その操作に応じてノートPCの画面(図2(c))に表示された在庫数が変化し、基準在庫数を下回った場合には警告音とポップアップ表示で知らせ、画面上の商品リストを赤字で示す仕組みになっている。このように極めてシンプルな受払管理システムであるが、生徒はこのシステムの表示を確認して、不足する材料の補充や、生産すべき品目を考えることができる。

4. まとめ

情報通信機器や技術を使って、特別支援学校が行う作業学習の効果を高めることを目的に支援システムの開発研究を行うプロジェクトの一環として、振り返り学習でのビデオ検索を容易にする教員向け支援アプリと、バーコードを利用した在庫数管理アプリを新たに開発し、実証実験を行った。いずれとも既報の接客学習支援アプリのように、画面上に接客手順を表示して生徒を案内する直接的な支援方法とは異なり、学習環境の情報化を推し進めることで、生徒の意欲と学習効果の向上を期待した間接的支援策である。今のところ目論見通りの機能を果たしており、今後も学校での利用状況からフィードバックを受け、機能の充実や使い勝手の改善を進める予定である。

文献

[1] 藤井勝敏, 窪田直樹, “情報通信機器による知的障がい者のための協働支援システムの開発研究(第3報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp.45-48, 2017.

福祉事業所へのレジ支援アプリ導入支援

藤井 勝敏 窪田 直樹

Introduction of Cash Register Application into Welfare Offices

Katsutoshi FUJII Naoki KUBOTA

あらまし タブレットPC等の情報機器を活用して特別支援学校での職業訓練や作業学習を支援する研究開発事業の一環として開発中のレジ支援アプリを、障がい者らの就労支援を行っている社会福祉法人およびNPO法人の業務で使用し、現場の状況および利用者のニーズに合わせた改良を行った。本稿では、特別支援学校の接客学習支援用に開発したシステムをベースに、各事業所で扱う商品構成や会計手順の特徴、利用者の支援ニーズ内容を調査し、使用現場の電源確保や通信環境等への配慮や工夫、アプリ内の表現内容の調整を行ったことを中心に報告する。

キーワード レジ支援アプリ、就労支援

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレットPCに象徴される情報通信機器が普及し、我々の日常生活の多くの場面で便利に活用されてきている。筆者らは、このような機器は、知的障がい者や身体障がい者の学習や就労、訓練の支援用途にも有望であると考えており、これまでに、県内の特別支援学校が行う喫茶接客サービスの作業学習における“困りごと”を解決してきた^[1]。

その一つとして、レジ会計における現金の取り扱いを間違えないように、預り金および釣銭の金額を紙幣と硬貨の画像で表示することを特徴とするレジ支援アプリ(図1)を開発した。特別支援学校においては、このアプリは生徒らがレジ担当業務の流れを理解し、現金授受の経験を積む目的で利用されてきたが、釣銭の計算を絵合わせで行う支援方法は、知的障がい者を雇用、または就労移行支援を行う事業者からも問い合わせがあった。

そこで本年度は、岐阜県内で知的障がい者等の支援を行っている2つの法人と共同で、レジ支援アプリを営業の中で使用する事業化に取り組みながら、課題の抽出と解決を行ったので、その内容を報告する。



図1 レジ支援アプリ

2. 事例1：レストランme,too

特定非営利活動法人me,too(以下、me,too)は、揖斐郡池田町社会福祉法人「ふれ愛の家」利用者(以下、利用者)とボランティア(以下、支援者)によって、定期的にレストランを営業するグループである。主な商品は事前予約制ランチビュッフェで、一人千円の先払い方式であるが、店舗内の客席などに縫製品や加工食品、農産物が置いてあり、同じレジで精算がなされる(図2)。従来、これらの販売に関わる売上や釣銭の管理が課題となっていた。



(a) レストラン外観



(b) 来店者受付レジ

図2 レストランme, too

表1 レジ支援アプリ構成機器の最適化

機器名	接客学習支援システム(学校用)	レジ支援アプリ
アクセスポイント	市販のWi-Fiルーターを使用【電源必要】	Wi-Fiモジュール(ESP-WROOM-02) キャッシュドローアに内蔵
ノートPC	市販のWindows搭載PCを使用【電源必要】	同左
レシートプリンタ	市販のレシートプリンタを使用【電源必要】	同左
キャッシュドローア	市販のキャッシュドローアを使用	市販品にWi-Fi&給電機能を内蔵.
タブレットPC	接客アプリ用, レジアプリ用 事前に充電して使用する.	レジ用1台(複数台も可能) キャッシュドローアから受電可能.

2.1 導入の経緯

レジ支援アプリの導入を検討する前からレジ精算業務は利用者が担当していた。レジの現金は手提げ金庫から直接收受する取り扱いで、予約者受付の名簿チェックと、前払い金について、釣銭が発生しない容易な場合の受け取りは、支援者の助けがなくても行っていた。

しかしながら、物販品に関しては50円単位で値付けがされており、販売時に複数の小銭の授受が発生することから、手の空いている支援者、あるいは客の善意に頼る場面が少なからずあったと考えられる。そのため、レジ装置の導入検討の段階で、一般的なキャッシュレジスターではなく、小銭の個数を画像で表すタブレットPC用レジ支援アプリが選択された。

2.2 カスタマイズの内容

学校用に開発したレジ支援アプリをme,tooに導入するにあたり、事前説明会での試用や実店舗内での運用の状況を見て、いくつかのカスタマイズを行った。

① 構成装置数の最適化

学校用のシステムは、喫茶ホール系のオーダー伝票印刷システムを流用しているため、レジ用タブレットPCと金庫、レシートプリンタのほかに、無線LANアクセスポイントとWindowsパソコンが必要である。このそれぞれに電源が必要であるが、レンタルスペースで営業しているme,tooは機器を常設することができないため、毎回の設置、撤去作業が煩雑である。

そこで、金庫の駆動装置内にアクセスポイント機能とタブレットPC向けの給電口を組み合わせることで、パソコン、プリンタ、金庫駆動装置の3電源で使用できる構成に改良した(表1)。

② 現金表示方法の改善

me,tooではランチャー人千円の取り扱いが中心であるために、複数の千円札や高額紙幣を取り扱う場合が多い。従来のアプリでは、紙幣については画面レイアウトの都合上、紙幣を重ねて表示していたが、この方法では分かり辛いとの指摘を受け、図4(b)のように改良した。

③ 同一商品複数打ち込み方法の追加

ランチメニューの客は、10名前後のグループで来店することが多く、例えばランチ代金を10人分まとめて受領した場合、「ランチ」ボタンを10回押して登録する方法で

は打ち間違い、数え間違いが発生しやすい。そこで、商品ボタンを長押ししたとき、20個までの個数入力できる画面を増設した(図5)。なお、同数入力の最大値は画面レイアウト上の都合で20としたが、レストランの収容人数や物販の在庫数を考慮すると、me,tooにおいては必要十分な設定である。



(a) 従来の表示



(b) 改良後の表示

図4 現金表示レイアウトの改善

ホットコーヒーが、いくつ？

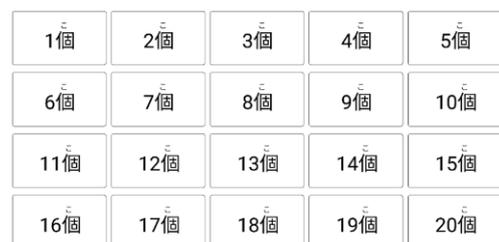


図5 同一商品複数入力画面

3. 事例2：ぼぶらの家

社会福祉法人郡上市社会福祉協議会ぼぶらの家(以下、ぼぶらの家)は、地域と連携して焼き菓子製品等を製造しサービスエリア等で販売委託しているほか、バザーでの自主販売を行っている(図6)。

これまでは、ぼぶらの家利用者が菓子の製造を行い、販売に関わる金銭管理はスタッフが対応してきたが、「地域とのコミュニケーションをより深めるためには、自分が作ったお菓子を、直接お客様に売りたい」という利用者ニーズに応えることが課題であった。



図6 ぼぶらの家によるバザー出店
(たかすふるさと祭り：10月15日)

3.1 試用、評価の方法

ぼぶらの家は、レジ支援アプリの導入は検討段階であり、本年度は春と秋に開催されるバザーでの2回の利用に限定して試用、評価を行った。その際は、以下の段取りで関係者と調整しながら進めた。

- (1) 機器の事前説明と試用
- (2) 試用時に明らかになった課題への調整と、商品登録準備
- (3) バザー当日の設置と運用
- (4) 事後に、利用者スタッフへの聞き取り調査



図7 事前説明会の様子

えん あず
1000円、お預かりいたします。
えん かえ
900円のお返しでございます。

(a) 標準形式(学校教育向け)

えん あず
1000円、お預かりします。
えん かえ
900円のお返しです。

(b) 簡易表現形式

せん えん、おあずかりします
きゅうひゃく えんの、おかえしです

(c) ひらがな表記式

図8 言葉遣いの変更

3.2 試用結果

事前説明会で初めてレジアプリの練習をした際に、接客の言葉遣いに戸惑う様子が見られた。学校用アプリでは指導要領に基づき「お預かりいたします」「お返しでございます」と表示していたところがスムーズに言えなかったため、この部分を「お預かりします」「お返しです」など平易な言葉に変更できるようにした。さらに、ある利用者に限って、釣銭や預り金の3桁、4桁の数値の読み上げが難しいとの指摘を受け、金額をすべて平仮名表記とするモード切り替え機能も実装した(図8)。その結果、ゆっくりでも正しい金額を口頭で伝えながらレジ業務が達成できるようになり、利用者から、仕事に自信を持つことができたとの効果が得られた。

また、本アプリは予備のタブレットPCを使って並行作業でサブレジを打てるシステムである。バザー当日、時間帯や人の流れによってレジが非常に混雑し始めたときには、支援者がサブレジを扱い、メインレジ担当者は慌てず丁寧なレジ接客を続けることができたことも、好評であった。



図9 混雑時のサブレジ対応

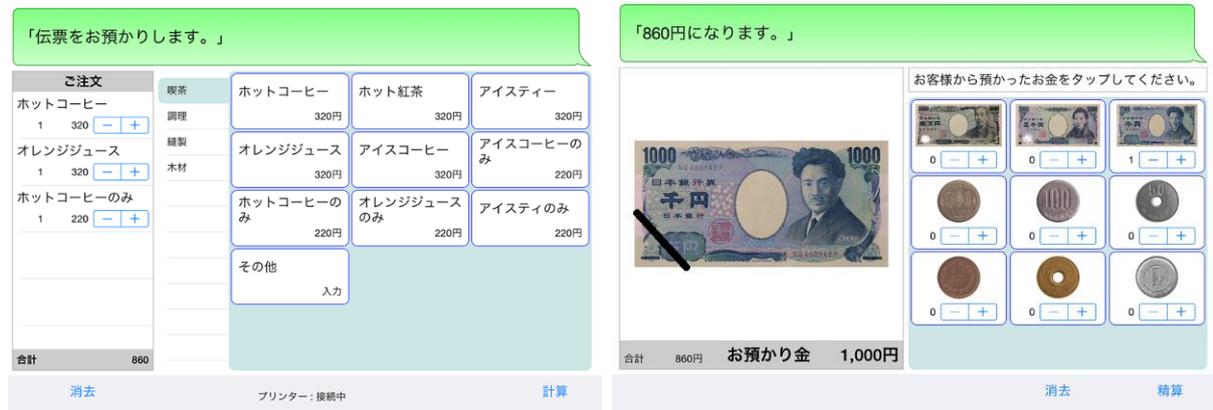


図10 iPad用レジ支援アプリ

3.3 課題と対応

利用者にとってレジ支援アプリのシステムは大変好評であったが、レジを設置する支援者側からは、表1で示した最適化システムよりさらにコンパクトなシステム構成を要望されている。本アプリは前節に示したとおり、教育機関向けシステムの派生ソフトであるために、複数の生徒が同時に学習できるよう、注文やレジ接客を生徒がタブレットPCで、商品データ管理および売上集計を教師がノートパソコンで行う構成になっている。Windows10搭載パソコンから印刷することで、どこのメーカー製レシートプリンタであっても、容易にプリンタドライバーが導入できる利点もある。

しかしながら、バザーでのレジ用途に限ると機器構成が冗長であるため、このような事業所で導入しやすいように、タブレット端末(iPad mini 2)とレシートプリンタ(現在のところ、セイコーエプソン(株)製の一部機種に限る)のみで構成したiPad用レジ支援アプリを開発した(図10)。現金を画像で表現するなどの支援機能は、これまでのレジ支援アプリと同様で、インターネットを通じた一般公開している。

4. まとめ

特別支援学校における作業学習を支援する目的で研究開発しているシステムの一部であるレジ支援アプリについて、岐阜県内の2か所の社会福祉法人関係で事業化を進めた。

いずれとも、知的障がい者等の就労を支援する当初の目的を達成でき、個別の特別な要望に応えることで、より広い利用対象者ニーズに応えられるシステムへの改良が捗った。

その一方で、これらの法人がレジ支援アプリを構築するシステム一式を導入しようとした場合、機種選定や調達先に関する情報不足、導入費用や維持管理方法の障壁など課題が明らかになった。例えば現金を保管するキャッシュドロアの機種には寸法、重量だけでなく紙幣の収納方式の違い、硬貨保管トレイの容積に様々なバリエーションがあり、片手で現金を取り扱う利用者には、今回用意した機種では苦勞する場面が見られた。このような利用者ニーズに応えるためには、既製品の調査や、3Dプリンタで試作品を作ることなどを検討している。

そして今後も本研究成果を新たな福祉事業所等への導入支援を行い、より多くの障がい者が活躍する助力になりたいと考えている。

謝辞

本研究にご協力いただいた特定非営利活動法人me, too 國枝様、西脇様、ふれ愛の家 中村様、ぼぷらの家 西村様、特定非営利法人バーチャルメディア工房ぎふ 篠田様、郡上特別支援学校 伊藤様に深く感謝いたします。

文献

[1] 藤井勝敏, 窪田直樹, “情報通信機器による知的障がい者のための協働支援システムの開発研究(第3報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp.45-48, 2017.

豚肉色評価装置の開発(第3報)

浅井 博次 吉岡 豪*

Development of Pork-Color Digitization Device (3rd Report)

Hirotsugu ASAI Go YOSHIOKA*

あらまし 肉質を評価する重要な指標の一つである肉色は人による感性評価に基づいて評価されているが、個人差や体調等による評価の変動が課題となっている。そこで、客観的で再現性のある肉色評価を目指し、デジタルカメラを用いた豚肉用携帯型肉色評価装置の開発を進めてきた。本研究では、豚赤身領域の色が分布する領域を囲むように設定した複数の色の色票（基準色票）を撮影した画像を色補正に使用することで、再現性に配慮した色推定方法を採用した。本年度、基準色の再設定等により、豚赤身領域の客観的的肉色評価が可能となった。本報では、主に開発した装置による色推定精度の検証結果について報告する。

キーワード 豚肉, 肉色, 客観評価, デジタルカメラ

1. はじめに

食肉の肉質評価において、見た目は非常に重要な指標の一つである。消費者が購入する際はもちろん、格付けや育種検討においても、肉質を判断する主要な指標として利用されている。見た目の中で評価される項目には、赤身や脂肪の色、脂肪の量、さしの入り方などがある。本研究では、その中でも色に着目する。

色は一般的に人による感性評価に基づいて評価されている。色は“見る”という単純な行為により誰もが評価することが可能である。一方、格付け員など特別な技術を有する人と一般消費者では評価能力に大きな違いがある。また、感性評価は人のあいまいで複雑な感性を定量的・定性的に評価するための手法であるが、個人差や体調などによる変動を排除することができない。そのため、高い評価能力を有する人の評価であっても、評価水準を一定に保つことは非常に困難であり、色評価の大きな課題となっている。

そこで、本研究では撮影条件を一定に保つことで再現性高く肉画像を撮影し、撮影した画像から肉色を客観的に定量化することが可能な携帯型装置の開発を進めている。本

年度、昨年度問題の発覚した基準色設定を再検討し、再設定することで豚赤身領域の客観的的肉色評価が可能となった。本報では、主に、開発した装置による色推定精度の検証結果について報告する。

2. 携帯型肉色評価装置

2. 1 装置概要

本装置はハンガーに吊り下げられた豚枝肉のロース芯の色を計測することを主目的とした携帯型の肉色撮影装置である。豚赤身領域について、撮影した画像1ピクセル毎の色評価が可能であり、D65光源下での色で肉色を定量化する。図1に開発した装置の外観を示す。

内部にカメラ、反射鏡、照明（太陽光に近いスペクトルを有する高演色COB型LED）、照明用定電流回路基板を実装し、装置底面に撮影用の開口部がある。これにより、環境光の影響を受けず、一定の条件下で対象の肉の正面画像を撮影できる。枝肉の切断部に本装置を差し込み、切断面に密着させて撮影することで、被写体との距離・角度の変動を抑えた安定した肉画像が取得できる。また、電源供給を腰部に保持する大容量モバイルバッテリーから行うことでコンセントなど固定された電源との接続を不要とし、現場での自由な撮影を可能としている。撮影する画像は装置上部のタブレットで確認、シャッター操作は装置外部に配置したボタンで行う。

2. 2 色推定手法

再現性の良い色推定を可能とする手段として、豚赤身領域の色が分布する領域を囲むように設定した複数の色の色票（以下、基準色票という）を撮影した画像を色補正に使用する手法を採用した。基準色票の画像は撮影用開口部

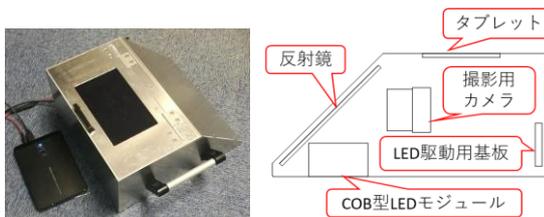


図1 携帯型肉色評価装置

* 岐阜県畜産研究所

の全領域に基準色票が映り込むように撮影する。

色推定の手順を以下に示す。

1. 校正用白色板、及び、基準色票を撮影する
2. 白色板画像により、基準色票画像および豚肉画像の光強度ムラを補正する
3. 基準色票画像と豚肉画像の対応する画素値を用い、線形補間により対象画素の色を推定する

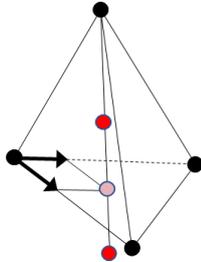


図2 4面体による線形補間のイメージ

ステップ3では、基準色で囲まれる領域 (=基準色色空間) を、基準色を頂点とする4面体領域に分割し、推定対象の点が内包される (面上を含む) 4面体領域を導出し、内挿による線形補間 (図2参照) を実施する。

推定対象の点が基準色色空間の外にある場合は、近傍4面体からの線形性に基づいた外挿法により、対象点の色を推定する。ただし、大きく離れた色は推定精度の低下が懸念されるため、当該四面体からの距離に閾値を設け、色推定を行う対象を制限している。

昨年度問題が発覚した基準色設定については、豚赤身色領域を内包する基準色色空間の設定を目指し、第2報¹⁾で述べた豚肉ロース芯の分光画像計測結果と本年度実施した色評価検討の結果に基づき、改めて11色を選定した。作成できない色があったことから、「濃く暗い赤色」など一部の豚赤身色が基準色色空間の外となってしまったが、それらの色については、前述の外挿法により色を推定する。

2. 3 色推定精度の検証

精度検証用として用意した色票24枚を計測し、本装置の色推定精度の検証を行った。以下、分光色彩計によるグリッド状12点計測による平均値を当該色票の真値とみなし検討を進めた。本研究で使用した色票の空間的な色のばらつきは、上記分光色彩計によるグリッド状12点計測において標準偏差0.5以下であった。色推定精度の評価は、ロース芯を撮像する領域として想定している画像中心部分の約120mm×100mmの矩形領域Aと、一回り大きな150mm×120mmの矩形領域Bに対して行い、当該領域内の全ピクセルに対して推定された色の平均値の精度 (真値との色差) 及び標準偏差を求めた。

内挿による線形補間で色推定が行われる基準色色空間の中にある7色の推定結果を図3に示す。精度・ばらつき共、領域A・B間で大きな差は見られない。また、色の精度は真値との色差が最大2.3 (平均1.5)、推定値のばらつきは色差1前後であり、安定した色推定が実現できている。

次に、外挿法により色推定が行われる基準色色空間の外

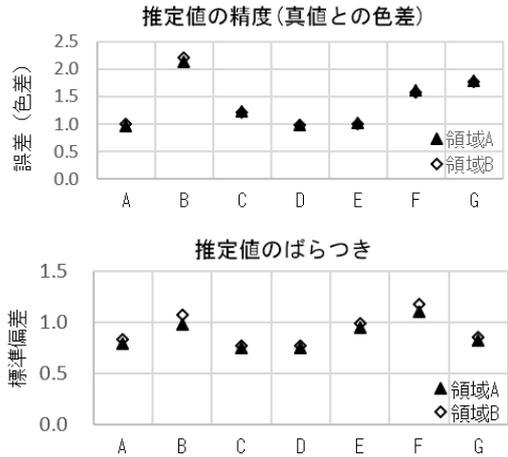


図3 推定値の精度とばらつき (内挿)

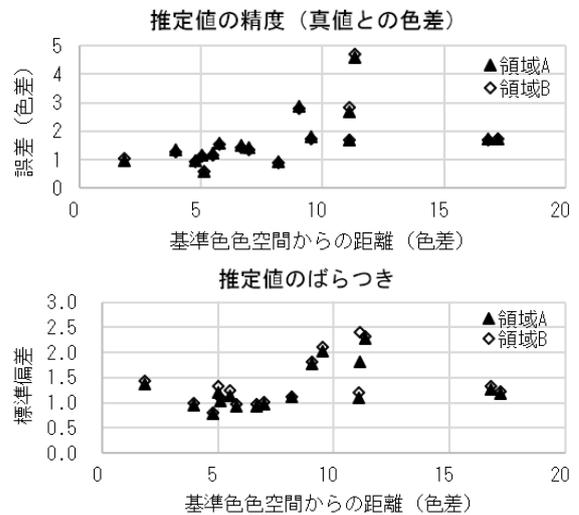


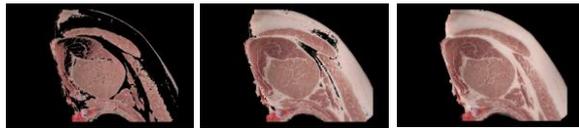
図4 推定値の精度とばらつき (外挿)

にある17色の推定結果を図4に示す。横軸は基準色色空間から対象色までの色差、縦軸はばらつき (=標準偏差) である。図4では、精度・ばらつき共、横軸=8あたりを境に、大きな違いが見られる。横軸=8以下では、色の精度は誤差真値との色差が2以下、ばらつきが1.5以下と安定した色推定が実現できている。一方、横軸=8以上では、真値との色差が4以上のものや、ばらつきが色差2以上のものが見られるなど、不安定である。

上記の結果から、基準色色空間内、および、基準色色空間からの色差が8以下の領域内の色については、一定の精度で安定した色の推定が可能であることが確認できた。

この安定した色推定が可能な領域がどの程度の豚赤身領域をカバーしているかを確認するため、外挿法による色補正を行う対象を基準色色空間からの色差に上限閾値を設け制限して生成した色補正画像例を図5示す。

基準色色空間からの色差を8以下に制限した場合 (=色差閾値8.0) の色補正画像から、赤身のほとんどの領域を安定した精度で色推定できることがわかる。色推定精度の低下が懸念される色差閾値8.0で色推定できていない赤身領



色差閾値=8.0 色差閾値=20.0 色差閾値=30.0
色差閾値：外挿法による色補正を行う場合の基準色空間からの色差上限

図5 色補正画像生成例

域は、閾値をあげて生成した補正画像から「濃く暗い赤」の領域であることがわかる。「濃く暗い赤」は良好ではない肉色にあたる。現在は肉質改良が進み、肉色については良好な色の中での最良を目指している段階である。良好ではない肉色の色推定精度低下が育種改良等へ大きな影響を及ぼすことはないと思われることから、育種改良のための肉色評価装置として、本装置は十分な性能を実現できたものと考えている。

本研究で採用している色推定方法は基準色票が空間的に一定の色であることを前提としている。そのため、基準色票の空間的な色のばらつきは上記の閾値を決定する主要な要因の一つだと思われる。閾値をあげることができれば、より広い色領域の高精度な色推定が可能となることから、基準色票の空間的な色のばらつきと色推定性能の関係について調査した。

まず、基準色票自体が開発装置内でどのように評価されているかを確認する。本研究ではA4サイズの基準色票11枚を使用している。分光色彩計でそれぞれグリッド状に12点計測を行った計測値の標準偏差は平均0.22，最大0.47であった。図6は開発装置で撮影した基準色票の光強度ムラ補正画像の空間的な色のばらつきを示したものであり、縦軸はL*a*b*空間での標準偏差、横軸は基準色票番号である。図7は基準色票を分光色彩計で計測した値(=真値)のばらつきと図6で示した開発装置による光強度ムラ補正画像の色

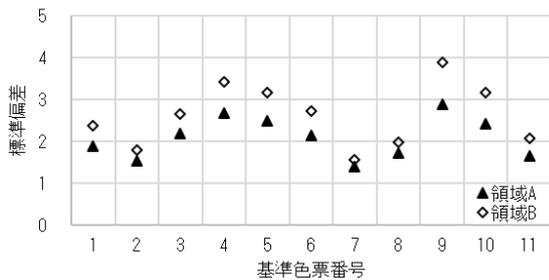


図6 基準色票光強度ムラ補正画像の色のばらつき

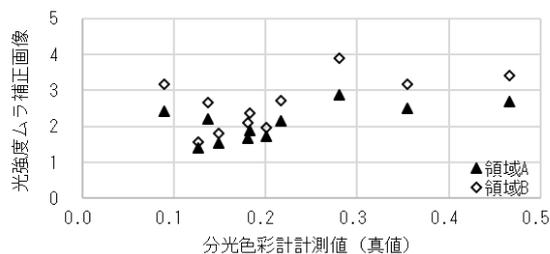


図7 基準色票の色のばらつき 真値vs計測値

(=計測値)のばらつきの関係を示したものである。縦軸は計測値の標準偏差、横軸は真値の標準偏差である。

図6から、基準色票の光強度ムラ補正画像の色のばらつきが真値のばらつきの10倍程度に拡大していることが分かる。また、計測値のばらつきの大きさも色によって大きく異なっている。一方、図7からは、真値のばらつきと計測値のばらつきとの間には、予想していたような明確な相関は見られない。

次に、基準色空間の外にある色の色推定について、基準色票の空間的な色のばらつきと色推定性能との関係について調査した。図8に結果を示す。

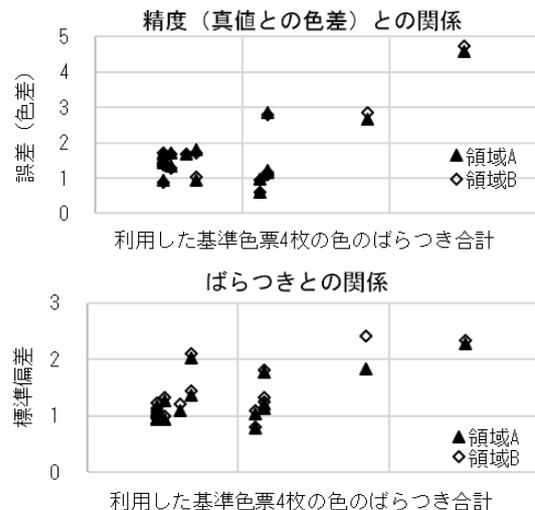


図8 色推定性能と基準色票の色のばらつきとの関係

本装置では基準色を頂点とする4面体による線形補間(図2)により色を推定するため、「色推定に使用する4面体領域を構成する基準色4色の色票の空間的な色のばらつきの合計」を横軸とした。

図8より、基準色票の空間的な色のばらつきと色推定精度および色推定結果のばらつきとの間に正の相関があることが確認できる。この結果から、基準色票の空間的な色のばらつきを抑えることで、基準色空間外の色推定精度の向上を図れることがわかる。

本研究では、当初設定した基準色の何色かが製作できない色に該当したことから、基準色空間が豚肉の赤身色領域をできる限りカバーできるように、一部の基準色で製作可能なギリギリの色を採用している。それが基準色票の空間的な色のばらつきの増加を招き、結果として、色推定性能の引き下げ要因となっている可能性は否定できない。次回の基準色票作成にあたっては、作り易い色を基準色に設定することで基準色票の空間的な色のばらつきを抑制するなど、「色基準色空間を広くとること」と「基準色票の色の空間的なばらつきを抑制すること」の両方に配慮し、豚赤身領域全体の色推定精度向上を図る予定である。

3. 豚枝肉の評価

食肉格付における肉色評価では、1つの枝肉に対しこれはPCS〇〇、というように1つの評価値を与えている。これに対し、開発した肉色評価装置では、最小で1ピクセル毎の色推定が可能であり、非常に詳細な色の評価が可能となる。一方、これまで述べてきたように、推定した色の値にも誤差やばらつきが含まれている。対象の肉自体にも、色のばらつきが存在している。これら複数の要素を内包するデータから有効な肉色評価指標を選定する方法は、まだ確定されていない。

そこで、その答えを導き出すためのツールとして、指定した画像領域に対する色の分布や平均値を表示する機能を有する肉色解析支援ツールを用意している。このツールでは、RGB、及びL*a*b*の要素毎のヒストグラム、及び平均値の可視化が可能である。第2報^[1]で報告したように、主成分分析による豚肉赤身色の色分布調査の結果、豚肉赤身色分布がL*a*b*色空間において平面状に分布していることが確認できている。そこで、豚肉色平均値を原点とし、推定値を各主成分軸に落とした値PC1,PC2,PC3についても、同様に要素毎のヒストグラム、及び平均値を可視化する機能を実装した。豚肉赤身の色の指標化として有望と思われる第1主成分軸に落とした値PC1と第2主成分軸に落とした値PC2とのプロットも表示可能である。

食肉の赤身部分には、脂肪部分が複雑に交じり合った「さし」と呼ばれる領域があり、どこまでを脂肪領域とするかによって評価結果が変わる。そのため、赤身領域と脂肪領域とを分離するための閾値を任意に設定できるようにしている。

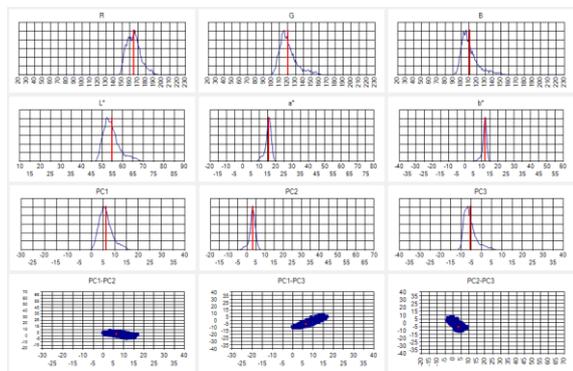


図9 豚肉色評価例

にしている。

図9に豚肉色評価の例を示す。上左から1段目がR値, G値, B値, 2段目がL*値, a*値, b*値, 3段目がPC1 値, PC2 値, PC3値, 4段目がPC1 vs PC2プロット, PC1 vs PC3プロット, PC2 vs PC3プロットである。第1～3段目のグラフにより、指定領域の色とばらつきの傾向を把握することができる。4段目、特に左端のPC1 vs PC2プロットは、指定領域の色の判断に利用できると考えている。

育種等で肉質を評価する場合、評価対象である肉のデータベース化は不可欠である。特に、情報量が多く、直観的

な情報である画像は非常に重要である。本装置は、色評価用標準光源として規定されているD65光源下の画像を生成することができることから、常に同じ条件での画像記録が可能であり、データベース用の画像記録の点でも活用が期待できる。データベース用画像では脂肪部分も含めた画像が必要になるが、図5に示すように、基準色色空間からの色差閾値を大きくとることで脂肪領域も含めた色補正画像の生成が可能である。

本装置では、光源に太陽光スペクトルに近づけたスペクトル強度を有する特殊な光源を使用している。そのため、本装置による光強度ムラ補正画像は色評価用光源を照射して撮影した画像に相当するものと考えられる。しかしながら、本装置による基準色票の光強度ムラ補正画像を評価したところ、真値との間には7～14と大きな色差が見られた。このことから、脂肪領域など色差閾値を大きくとったことで色補正が可能となった領域の色推定精度が低くなってしまふ可能性が懸念されるものの、本装置により生成される色補正画像は、色評価用光源照射により撮影される画像と同等以上の色精度を有する画像記録であると考えられる。

4. まとめ

豚赤身領域の色が分布する領域を囲むように設定した複数の色の色票（基準色票）を撮影した画像を色補正に使用することで、豚肉色を客観的に定量化する事が可能な携帯型肉色評価装置を開発した。検証を行った結果、本装置が豚赤身領域の色を安定した精度で推定することができることを確認した。

本装置は1ピクセル毎の色推定が可能であり、従来不可能であった空間的な色のばらつき評価など、詳細な肉色解析を可能とするものである。また、一定条件下での肉画像生成が可能であることから、育種等における肉質データベース用記録装置としても活用が期待できる。

今後、本装置による肉色評価を継続実施していくことで、現状に即した適切な豚肉色指標の策定につなげていく予定である。

謝 辞

開発した装置の性能検証実験において、ご協力をいただきました中濃ミート協同組合の皆様へ深く感謝致します。

文 献

- [1] 浅井博次, 吉岡豪, “豚肉色評価装置の開発(第2報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第18号, pp.30-33, 2017.

灰色かび病警報装置の開発(第1報)

— マイコンを使用した温湿度記録装置の試作 —

久富 茂樹 藤井 勝敏 渡辺 秀樹*

Development of Alarm Device for Gray Mold

- Prototype of Temperature and Humidity Recording Device using Microcomputer -

Shigeki KUDOMI Katsutoshi FUJII Hideki Watanabe*

あらまし トマトの生産において、深刻な問題を引き起こす地上部病害の一つである「灰色かび病」について、ハウス施設内の環境をセンシングすることにより、灰色かび病発生の危険度を把握できる装置を開発する。本年度は、マイコンを使用して、温度、湿度などを測定、記録する装置を試作した。ハウス施設での試験運転で、温度、湿度を測定し、記録できることを確認した。また、温湿度センサの特性差を補正する方法について検討した。

キーワード 清流の国ぎふ・農畜産物ナンバーワンプロジェクト、トマト、灰色かび病

1. はじめに

岐阜県では、海外も視野に入れた販路拡大を目指し、本県の世界にも誇れる農畜産物（トマト、飛騨牛、鮎）について、全国ナンバーワンブランドの構築を目指す「清流の国ぎふ・農畜産物ナンバーワンプロジェクト」を実施している。岐阜県産トマトの産出額は、県内園芸品目の中で最も多く^[1]、岐阜県の重要な園芸品目であるが、病害の発生による生産の不安定化が問題となっている。地上部病害の一つである灰色かび病は、不完全菌に属する一種のカビによって引き起こされる病害で、ハウス病害の中では、葉かび病と並んで恐ろしい病害である^[2]。咲き終わってしぼんだ花卉や枯れた葉に灰色のかびが付きはじめ、病斑が拡大すると、図1に示すように、茎や果実もかびで覆われて枯れてしまう。この病害の対策としては、栽培環境の改善とあわせて殺菌剤による予防防除が行われるが、この病原菌は薬剤の耐性菌が発達しやすいため、同一系統の薬剤の多用は防除効果が低下するという課題がある。本病は、施設内に蔓延すると薬剤の防除効果が著しく低下するため、早期に防除することが重要である。

灰色かび病の発生には、施設内の温度、湿度環境が大きく影響する。そこで、本研究では、ハウス施設内の環境をセンシングし、温度や湿度等が一定の条件を満たし



図1 トマト灰色かび病

た場合に灰色かび病発生の警報を出力することで、本病の危険度を把握できる装置を開発する。本年度は、マイコンを使用して、温度、湿度などを測定、記録する装置を試作したので報告する。

2. 温湿度記録装置の試作

試作した記録装置の構成と外観を図2に、使用した温湿度センサの仕様を表1にそれぞれ示す。マイコンには、mbed LPC1768 ((NXPセミコンダクターズ))を使用した。マイコンと温湿度センサ間は、シリアル単線通信を行い、マイコン側からデータ要求信号をセンサ側に送信すると、センサ側から、温度と湿度の値がデジタル出力される。マイコンの入出力ピン数の制限から接続できる温湿度センサ数を3とした。10分間隔でサンプリングを行い、温度

* 岐阜県農業技術センター

と湿度の測定値を、マイコンに接続したSDカードに記録できるようにした。LCDモニタを接続すれば、最新の測定値をモニタできる構成にした。また、今後、灰色かび病発生の危険度を生産者に提示するための表示灯を取り付けた。

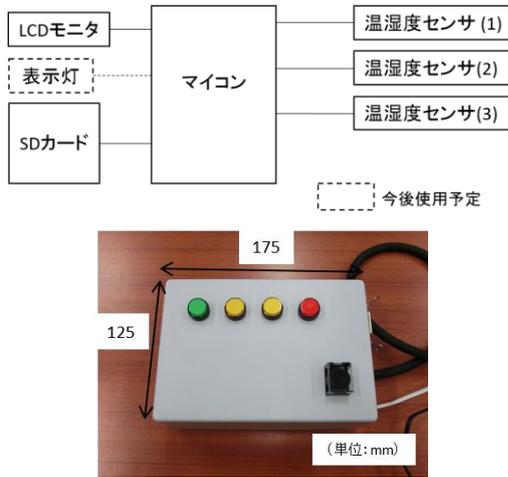


図2 試作した記録装置

表1 温湿度センサの仕様

温湿度センサ	AM2320 (AOSONG)
湿度測定範囲	0~99.9%RH
湿度測定精度	±3%RH (@25°C)
温度測定範囲	-40~+80°C
温度測定精度	±0.5°C

3. 温湿度センサの補正

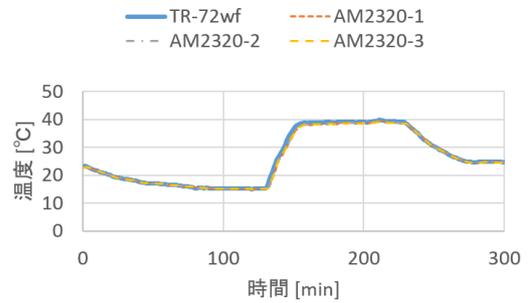
ハウス施設内の温湿度は一律ではないため、実際の運用では複数の測定点を設けることが必要である。そのため、生産者が導入しやすいように、今回は安価なセンサを選定した。センサの個体差による測定値のバラツキと別の温湿度センサの測定値との差異を確認するために、植物インキュベータを使用して、温度と湿度を変化させたときのインキュベータ内の温度と湿度を測定した。表1のセンサを3個と、温湿度データロガー (TR-72wf: ティアンドディ) も同じ環境において測定した。

図3(a) に温度、図3(b) に湿度の測定結果をそれぞれ示す。温度に関しては、15°C~40°Cの範囲において、±0.5°C程度のばらつき内で測定できており、良好な測定結果が得られた。一方、湿度に関しては、センサによる差が大きく、TR-72wf とAM2320では最大で30%の差が生じる場合があった。また、同じ種類のセンサ (AM2320) でも個体差により最大で10%の差が生じる場合があった。図3(a) と図3(b) を照合すると、湿度値の差は温度にも依存しており、低温状態で差が大きくなる傾向が見られた。

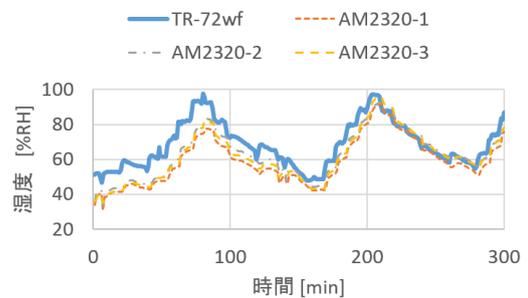
そこで、重回帰分析により湿度測定値を補正することを試みた。TR-72wfの湿度測定値を目的変数、AM2320の温度と湿度の測定値を説明変数として重回帰分析を行い、補正係数を求めた。図4に補正した結果を示す。補正前では、TR-72wf とAM2320とで最大30%の差が生じていたが、補正によって、15%以下の差に抑えることができた。また、AM2320の個体差についても、補正前は10%の差があったが、補正することにより概ね2%の差に抑えることができた。

4. ハウス施設内での試験運転

試作した温湿度記録装置をハウス施設内に設置し試験運転した。コントローラは、ハウス施設入り口付近に設



(a) 温度



(b) 湿度

図3 植物インキュベータでの温湿度測定

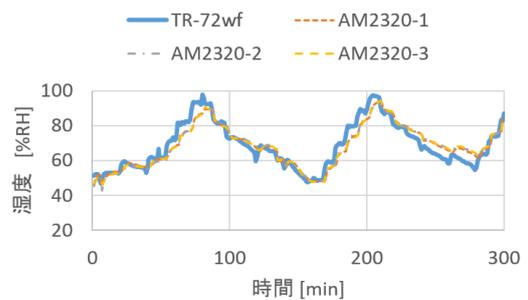


図4 湿度補正

置した。ハウスの梁に沿ってケーブルを延長し、ハウス中央付近のトマトの株の合間に温湿度センサを設置した。3個の温湿度センサ（AM2320）の内の2個を、図5に示す風洞内に設置した。風洞は、150mm×150mm×300mmの筒状で、材質は発泡スチロールである。表面にはアルミ箔を巻いて日光を反射している。筒の上部にはファン（定格入力：6.24W、風量：2.9m³/min）が取り付けられており、内部の空気を循環できる。基準値参照用として、TR-72wfのセンサ部も同じ風洞内に1個設置した。また、直射日光を遮り、内部の空気がこもらないように空気が抜ける隙間を設けたカバー（送風機構なし）を3Dプリンタで製作した。その内部に残る1個の温湿度センサを取り付けた。

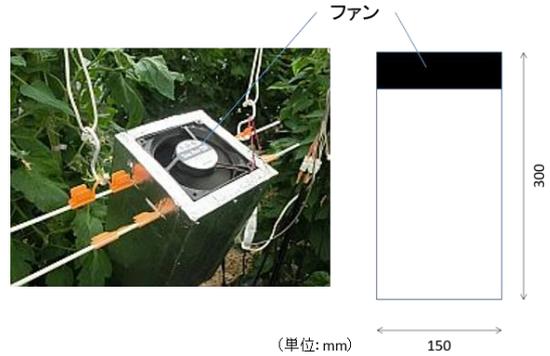


図5 センサ用風洞（送風機構あり）

図7に測定結果の一例を示す。ハウス施設内は12℃を下回らないように暖房運転が行われている。風洞内に設置したセンサの湿度値は、補正を行うことで、基準値に概ね一致した測定結果が得られた。また、温湿度センサの設置条件の違いにより、日中の温湿度測定値で大きく差が生じた。送風機構なしのセンサは、送風機構ありのセンサに比べて、温度が最大で約10℃高く、湿度が最大で約20%RH低く測定される結果となった。なお、試験運転を実施した3か月の間に、2個の温湿度センサが故障した。今後、故障原因を究明し、センサの選定、設置方法のほか、危険度判定に用いる指標についても再考が必要である。

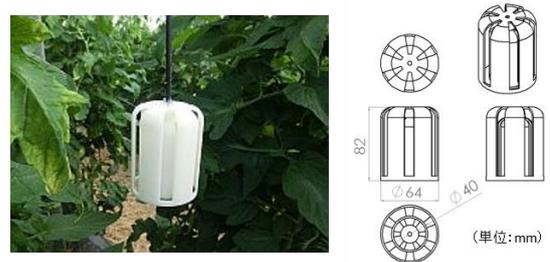


図6 センサカバー（送風機構なし）

謝 辞

本研究で試作した部品の一部は、公益財団法人JKAの補助事業で導入した三次元造形機で製作した。

5. まとめ

灰色かび病発生の危険度を把握できる装置開発において、今年度は、マイコンを使用して温湿度を記録する装置を試作した。また、センサの補正方法の検討を行い、センサ間の測定値のバラツキを軽減できた。今後、センサの設置方法、危険度の判定式の検討を行う予定である。

文 献

- [1] “63次東海農林水産統計年報（平成27～28年）”，pp.238-239.
- [2] “原色野菜病害虫百科トマト・ナス・ピーマン他”，（社）農山漁村文化協会，pp.59-63.

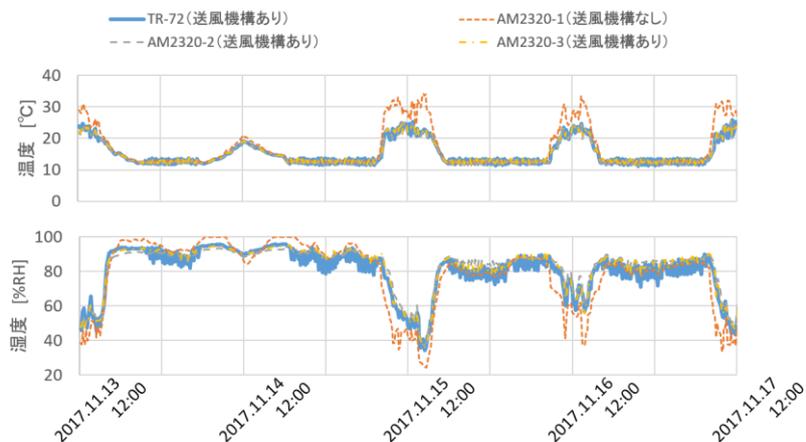


図7 温湿度測定の一例

照度差ステレオ法による外観検査システムの研究開発

窪田 直樹 渡辺 博己

Research of Visual Inspection System by Photometric Stereo

Naoki KUBOTA Hiroki WATANABE

あらまし 岐阜県は古くから製造業が盛んであり、大小様々な製品や、それら最終製品に至る途中の各種部品が生産されている。これらの製品・部品を製造・輸送する上で、部品の表面に細かい傷・打痕等が発生すると、意匠を損ねたり、塗装の劣化が生じたりするなど、後工程で問題となる。そのため、次の工程に進む前の検査でこれらを発見することは非常に重要である。一方、これらの傷・打痕は光の当たり方によっては発見しづらく、検査に熟練を要することがある。本研究では、熟練検査者の作業軽減を図るため、照度差ステレオ法によって傷や打痕を検出する技術を開発する。今年度は、照度差ステレオ法による画像データの取得について報告する。

キーワード 照度差ステレオ, 外観検査, 画像処理

1. はじめに

岐阜県の製造業において、自動車・航空機関連をはじめとする輸送機械器具製造業・金属製造業は、製品出荷額・従業員数とも1/4を超えており、重要な位置を占めている^[1]。このような製造業においては、各種製品・部品は、ある程度まとまった数(ロット)ごとに製造・出荷されるが、一部の部品に欠陥があれば、その部品を含むロット全てが欠陥扱いになることがあり、大きな損失になる。そのため、出荷前の検査は非常に重要である。このような欠陥検査項目の一つに、傷などの有無を調べる外観検査がある。傷のある部品は、意匠を損ねたり、塗装の劣化を招いたりすることがある。

現在、部品の外観検査には、カメラとコンピューターを用いた画像処理による方法と、検査者の目視による方法とがある。画像処理による外観検査は、電子部品をはじめとする小型部品の製造分野においては主流になっており、配置ズレや欠損、傷などの検出に威力を発揮している。一方、自動車関連部品のように大きな曲面を持った部品の検査は、電子部品用の画像処理をそのまま適用させることができない。そのため、ある程度大きな部品の検査は目視で行うことが主流となっている。しかし、目視による検査は、熟練を要することが多く、長時間の集中力が必要であり、疲労に伴う見落としが発生するという問題がある。このような問題の改善のためには、画像処理による外観検査の適用範囲を広くし、検査者の負荷を減少させる必要がある。

本研究では、検査対象物に向けて異なる位置から順に照明を当て、それぞれの照明下での画像をカメラで撮影、

画像処理することで、対象物表面の法線ベクトルを算出し、照度差ステレオ法を利用することで、検査対象物表面の法線ベクトルの変化から傷や打痕を検出する技術を開発する。今年度は、照度差ステレオ法による画像データの取得について、精度向上のためのアルゴリズム改良、金属部品の照度差ステレオ画像取得処理、発見できる傷の大きさの検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

既報^[2]のとおり、照度差ステレオ画像撮影システムは、1台のカメラと平行光を照射する複数の照明によって構成されている。昨年度は3台の照明で照度差ステレオ画像の取得を行ったが、今年度は、金属製品の照度差ステレオ画像を取得するため、4台の照明を配置した(図1)。

本研究では、照明を1灯ずつ点灯させた状態で連続20枚対象物を撮影し、その20枚の平均画像を作成した。これは、撮影系の時間方向の微細なノイズを低減するためである。以降の画像処理では、この平均画像を使用した。

2. 1 光源ベクトル推定アルゴリズムの改良

照度差ステレオ法では、物体表面から光源へ向かう光源ベクトルの向きが重要である。既報では、カメラの前に設置した球体に平行光を照射したときの画像を撮影し、そこからランバート反射の式を用いることで光源ベクトルを算出した。しかし、照射光にムラがあること(図2)や、球体に鏡面反射成分があることなどから、原理的に正しい光源ベクトルを推定することができなかった。

そこで今回は、球体に平行光を照射したときの陰に着目し、撮影画像を2値化した画像と、任意の光源ベクトル

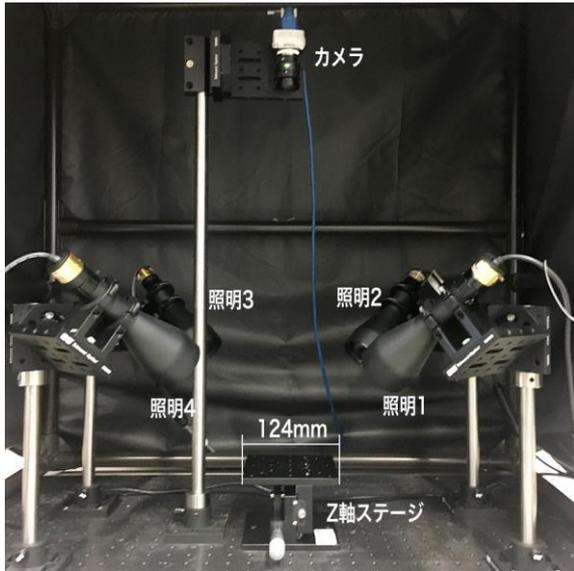


図1 照射光のムラ画像(白色グレースケールを撮影)

を想定して作成した球体の2値化画像とを比較し、その差分が最小となる光源ベクトルを探すことで、撮影状態に最も近い光源ベクトルを算出することにした。なお、光源の輝度は、同照明下で白色グレースケール(x-rite製)を撮影した画像中の最高輝度値とした。

2. 2 照度差ステレオ画像から3次元画像の作成

照度差ステレオ画像は、対象物表面の法線ベクトルを表しており、そこから傷や凹みを検出することができる。しかし、対象物の形状を表しているわけではないので視認性に乏しい。そこで、照度差ステレオ画像から3次元画像を作成するプログラムを作成した。アルゴリズムを以下に示す。

まず、点 (x, y) における法線ベクトルを $nx(x, y)$, $ny(x, y)$, $nz(x, y)$, 面の高さを $z(x, y)$ と表し、原点の面の高さ $z(0, 0)=0$ と定義する。

続いて、X軸およびY軸上の点について、次のように高さを計算する。

$$z(x + 1, 0) = z(x, 0) + nx(x + 1, 0) / nz(x + 1, 0)$$

$$z(0, y + 1) = z(0, y) + ny(0, y + 1) / nz(0, y + 1)$$

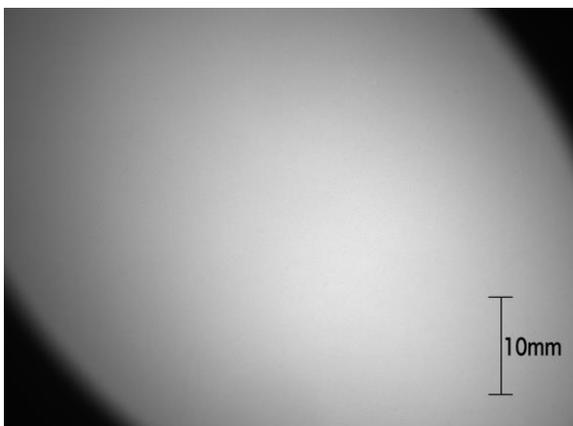


図2 照射光のムラ画像(白色グレースケールを撮影)

それ以外の点については、次のように高さを求める。

$$z(x + 1, y + 1) = \{z(x, y + 1) + nx(x + 1, y + 1) / nz(x + 1, y + 1) + z(x + 1, y) + ny(x + 1, y + 1) / nz(x + 1, y + 1)\} / 2$$

これを画面全体に繰り返すことで、対象物の3次元画像を作成した。なお、実際の処理では、原点を画像の中心に設定することで、画像周辺の減光などの影響を低減している。

2. 3 鏡面反射のある対象物の撮影

照度差ステレオ法は、物体表面のランバート反射を使用しているため、金属部品のように鏡面反射(金属光沢)が強い場合は法線ベクトルを取得することができない。そこで本研究では4台の照明を使い、画像内のすべての点において、画素値が飽和していない(鏡面反射成分を取得していない)3枚の画像を組み合わせることで、1枚の照度差ステレオ画像を作成することにした。ここで、鏡面反射には入射角と反射角が等しくなるという性質があるため、各照明光を同じ方向から照射しない限り、同時に2枚以上の画像に鏡面反射成分が写り込むことはない。

本研究では、同じ対象物を撮影した4枚の入力画像のうち、任意の3枚から作成した照度差ステレオ画像が、同じ法線ベクトルを取得できているかを確認し、その後4枚の入力画像から照度差ステレオ画像を作成する。

2. 4 傷の検出精度

照度差ステレオ法は、対象物の法線の変化から、明確な境界がなく緩やかな変化を持つ凹みを発見することが可能である。しかし、発見可能な傷の大きさや計測精度が明らかとなっていない。そこで、ポンチで傷をつけたプリント基板(銅箔)に対して、照度差ステレオ法で作成した画像とレーザー顕微鏡で撮影した画像とを比較した。

3. 結果と考察

本研究で使用した照明は、図2に示すとおり照射光にムラがある。そこで、対象物をカメラに正対するように設置して撮影した画像を、あらかじめ同条件で撮影した白色グレースケール画像で除することで、ムラの少ない画像を作成した。ここで、対象物と白色グレースケールで同様な照射条件にする必要があるため、対象物は平板状の物に限定され、そうでないものは平面から離れるにつれ光源ムラの影響を受けることになる。

なお、カメラからの入力画像は、周辺部が照明の照射範囲外となっているため、以降の照度差ステレオ画像は入力画像(2560×1920ピクセル)の中央1024ピクセル×1024ピクセル(約22.9mm四方)を切り出して使用している。

3. 1 光源ベクトル推定アルゴリズムの改良

図3に球体を撮影した入力画像、図4に推定した光源ベクトルを基に作成した球体画像を示す。昨年度開発したアルゴリズムでは、光源にムラがなく、輝度値が飽和しないことが必要であったが、今回開発したアルゴリズムでは、ムラのある光源や輝度値の飽和があっても光源ベ

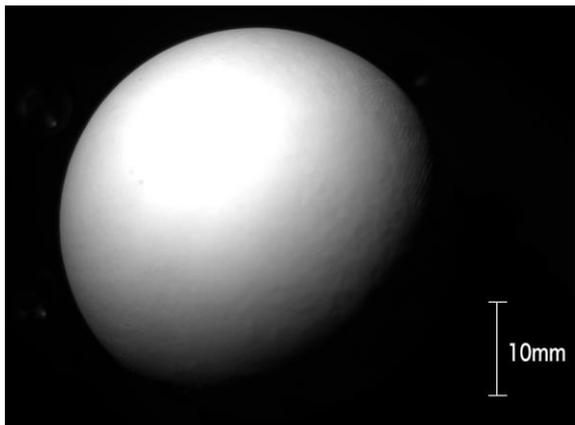


図3 球体を撮影した入力画像

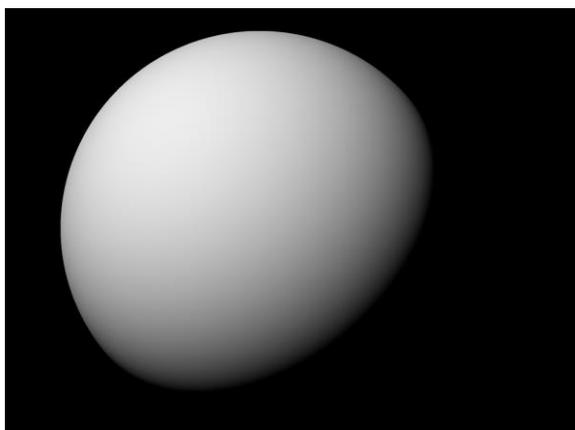


図4 推定した光源ベクトルから作成した画像

クトルを推定することができる。

3. 2 照度差ステレオ画像から3次元画像の作成

図5に、傷と汚れを持つ石膏平板の画像を示す。傷は画像中央のやや左上にあり、長さは約4mmである。図6に、石膏平板の照度差ステレオ画像を示す。通常、照度差ステレオ画像は法線の向きをカラースペクトルで表すが、本稿では、対象物の法線ベクトルとZ軸(カメラの光軸)とがなす角度が0度に近いほど白く、90度に近いほど黒いグレースケール画像で表現している。傷の周辺部分が灰色であることから、その領域はカメラに正対しておらず、傷の中央部分は白色であることからカメラに正対していることがわかる。一方で、画像右下にあった汚れは照度差ステレオ画像には影響がないことがわかる。

図7に、照度差ステレオ画像を基に作成した石膏平板の3次元画像を示す。この3次元画像は、各点の座標を、縦横高さの比率を変えることなくCloudCompare(EDF製)で読み込み、透視投影法で表示した画像をキャプチャした。

3. 3 鏡面反射成分のある対象物

同じ対象物を撮影した4枚の入力画像のうち、任意の3枚から作成した照度差ステレオ画像が、同じ法線ベクトルを取得できているかを確認する。まず、灰色グレースケールを4台の照明下で撮影した。続いて、照明1-2-3、2-3-4、3-4-1、4-1-2の各組み合わせで作った照度差ステレ

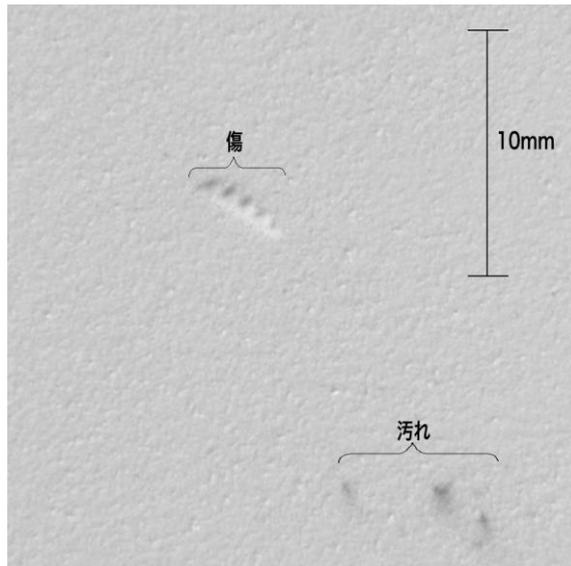


図5 石膏平板の画像

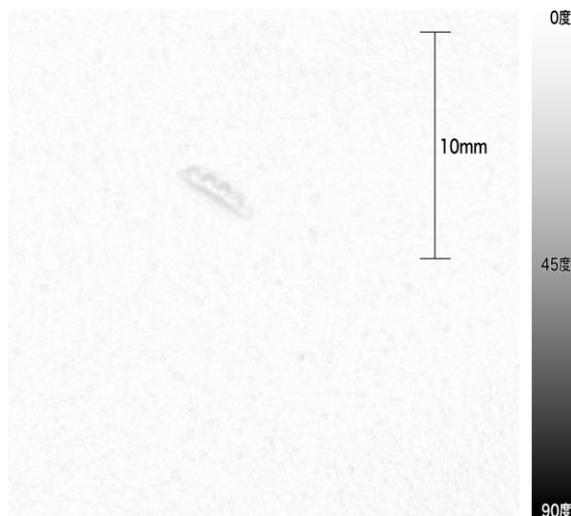


図6 石膏平板の照度差ステレオ画像

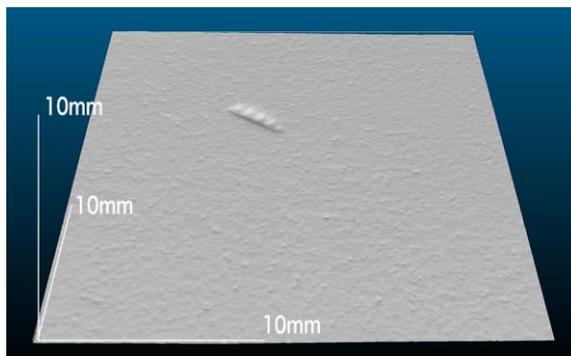


図7 石膏平板の3次元画像

表1 平均法線ベクトルとZ軸との間の角度

照明の組み合わせ	Z軸との間の角度(度)
1-2-3	2.46
2-3-4	2.35
3-4-1	1.76
4-1-2	2.03

オ画像の平均法線ベクトルとZ軸との間の角度を求めた。表1に結果を示す。それぞれのZ軸との間の角度は1度から2度に収まっており、大きな誤差はないと考える。

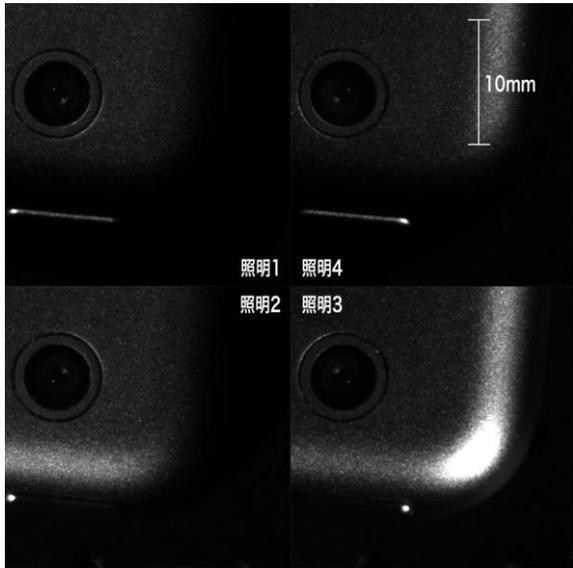


図8 金属製品を撮影した画像

図8に、曲面のある金属製品(タブレット端末)の端の部分、各照明下で撮影した画像を示す。曲面の部分で鏡面反射が発生しており、特に照明3の画像では製品の右下部分の光量が飽和している。図9に、照明2-3-4の下で撮影した画像を使用して作成した照度差ステレオ画像を示す。部品の曲面の部分や、円形状(カメラのレンズ)の一部で法線ベクトルを取得することができなかった(図中黒色の部分)。そのため、この照度差ステレオ画像だけでは適切な3次元画像を作成することはできない。図10に、照明2-3-4から作成した3次元画像を示す。法線ベクトルを取得できなかった曲面部分や円形状の部分で、形状が大きく歪んでいる。

図11に、4枚の照明画像から作成した照度差ステレオ画像を示す。円形状の内部等に法線ベクトルを算出できなかった部分があるが、概ね法線ベクトルを算出することができた。図12に、同画像から作成した3次元画像を示す。図10に比べ、歪みが小さくなっている。ただし、カメラの光軸に対し法線が垂直に近い部分は、照明が当たりにくいこと、3次元画像の作成の際に蓄積する誤差が大きいことから、正しい3次元画像を作成することはできない。

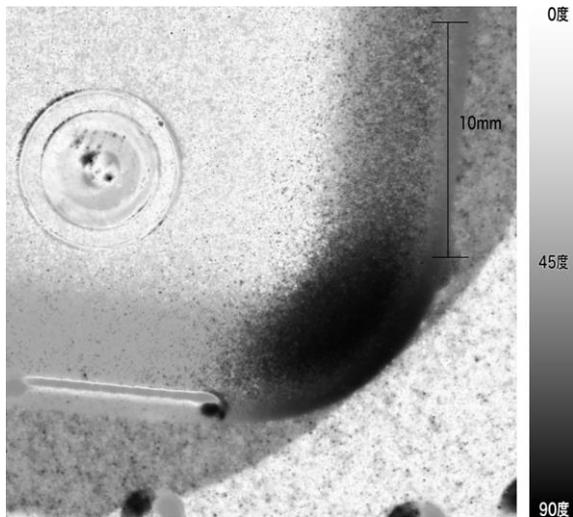


図9 金属製品の照度差ステレオ画像(照明2-3-4)

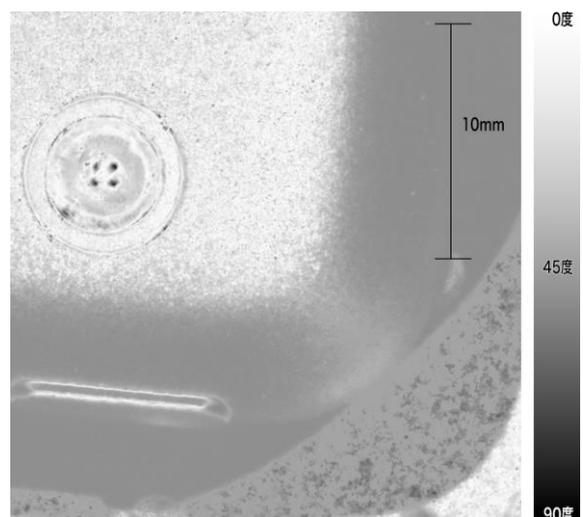


図11 金属製品の照度差ステレオ画像(照明1-2-3-4)

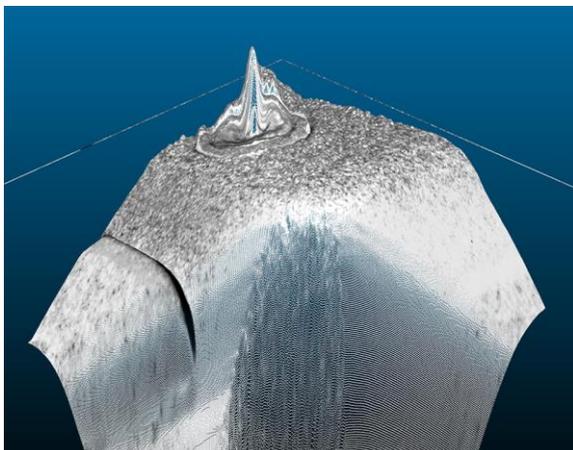


図10 金属製品の3次元画像(照明2-3-4)

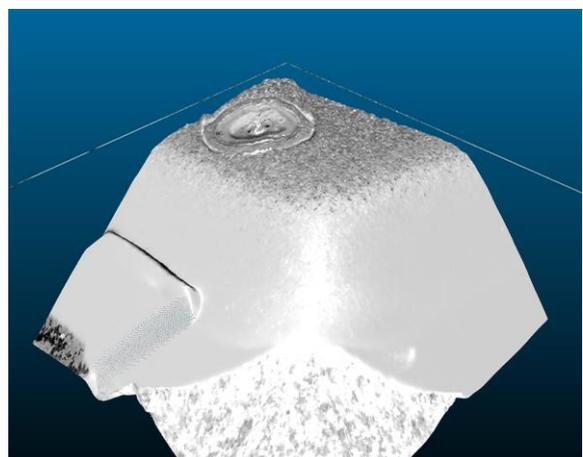


図12 金属製品の3次元画像(照明1-2-3-4)

3. 4 傷の検出精度

図13は、ポンチで凹みをつけたプリント基板(銅箔)の照度差ステレオ画像である。矢印で示す7カ所に凹みがある。また、図13左下部の拡大図は、7カ所のくぼみのうち最も小さい凹みAの拡大図である。大きさは約400 μm 、深さは約25 μm であった。

図14に、レーザー顕微鏡で撮影した凹みAの写真を示す。凹みAの大きさは約415 μm 、深さは約35 μm であった。

以上のことから、本システムでは、大きさ400 μm 、深さ40 μm 程度の凹みであれば、発見することができる(本稿では入力画像の中央22.9mm四方を切り出しているが、最大40mm四方程度まで観測可能)。その一方で、深さ方向の精度は不十分であった。

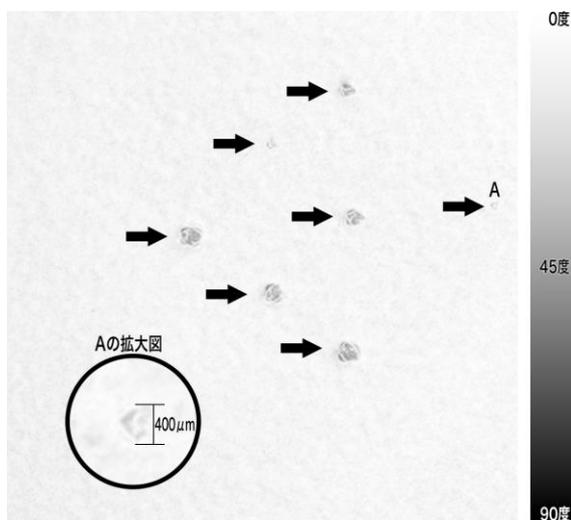


図13 凹みをつけたプリント基板の照度差ステレオ画像

4. まとめ

照度差ステレオ法を用いて物体表面の傷・打痕等の検出を行うために、1台のカメラと4台の平行光源を照射する照明を利用したシステムを構築し、撮影画像の保存まで自動で行うことができる環境を整えた。

このシステムを用いて撮影した球体、白色グレースケ

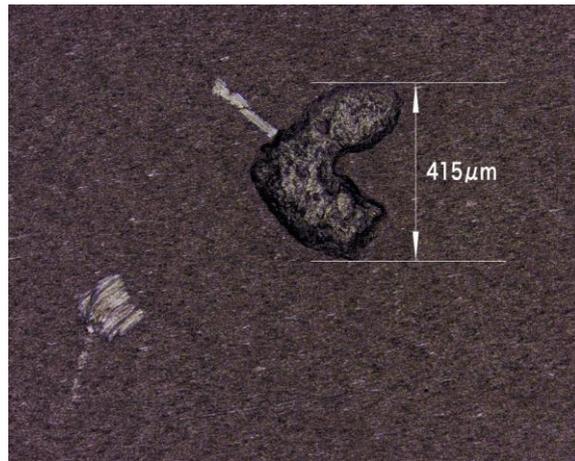


図14 凹みAのレーザー顕微鏡写真

ールの画像から、画像処理によって光源ベクトルおよび光源の輝度の推定を行うことができた。また、3光源では困難であった、金属部品のように鏡面反射成分(金属光沢)のある対象物の照度差ステレオ画像を取得することができた。レーザー顕微鏡との比較実験では、大きさ400 μm の凹みも発見することができることを確認した。

本研究は、対象物表面の法線ベクトルの変化を使用し、打痕のように、明確なエッジのないなだらかな変化を持つ傷を発見することを目的としていた。しかし、研究を進めていくうちに、3次元画像を高い精度で作成することが要求されるようになってきた。今後は、照度差ステレオ法の使用の可否を含め、検討していく。

文 献

- [1] 平成26年工業統計調査, 岐阜県環境生活統計課.
- [2] 窪田直樹, 渡辺博己, 棚橋英樹, “金属部品の外観検査システムの研究開発 -照度差ステレオ法による検査システムの構築-”, 岐阜県情報技術研究所研究報告第18号, pp.9-14, 2017.

Kinectを用いた作業分析システムの開発

渡辺 博己 生駒 晃大 棚橋 英樹

Development of Working Motion Analysis System using Kinect

Hiroki WATANABE Akihiro IKOMA Hideki TANAHASHI

あらまし カイゼン活動における作業時間計測を支援するために、Kinectを用いた作業分析システムの構築を目指している。本研究では、昨年度開発した作業分析システムにおける適用作業の拡張を目的として、リスト型再帰性反射マーカを使用したロバストなマーカ領域検出技術を開発し、安定した作業分析が可能なシステムを開発した。マーカ領域検出技術においては、再帰性反射材の特徴を利用したマーカ領域の抽出技術と、マーカ色の判定技術を併用することで、マーカ領域と他領域とを区別する技術を開発した。また、作業分析システムにおいては、単なる作業分析ツールとしてだけでなく、トレーニング用途としても利用できるよう機能を拡張した。

キーワード カイゼン, 作業分析, Kinect, 再帰性反射材, マーカ検出

1. はじめに

1. 1 研究の背景

製造業の作業現場では、生産性向上のために積極的に作業カイゼンに取り組み、生産工程の効率化を図っている。作業カイゼンの手法には、IE (Industrial Engineering) [1] と呼ばれる工学的手法があるが、IEを活用した作業カイゼンにおいて、最初に取り組まなければならないのが現状分析である。カイゼン担当者は、ストップウォッチやビデオカメラを持って作業現場に張り付き、作業者の作業状況を観察し、各作業にどの程度の時間を要しているのかを調査する。しかし、この調査には、膨大な時間と手間を要し、計測ノウハウを有する人材の育成や人件費等の問題から、現状分析に至る前にカイゼン活動が停滞することも少なくない[2]。

こうした中、我々は、作業カイゼンにおける作業時間の自動計測を支援するために、画像処理技術を用いた作業分析技術の研究開発に取り組んでいる。本研究では、作業空間中の身体部位位置を特定することにより、作業を構成する動作の所要時間の取得を目的として、Microsoft社のKinect v2 (以下、Kinect) を用いた身体部位の検出技術を開発している[3]。

昨年度は、組立工程における両手作業を想定して、距離画像から手部の形状特徴を抽出することにより、両手の位置を検出する技術を開発した。また、右手、左手それぞれに通過判定エリアを設定し、前エリアの通過時間から現エリアを通過するまでの時間を作業動作時間として計測するシステム (以下、既システム) を開発した。

1. 2 適用作業拡張の検討

通常、画像処理により身体部位を検出するためには、得られた画像中の領域を人物領域と非人物領域に分離し、人

物領域から各身体部位を検出する方法が一般的となっている。既システムにおいては、Kinectから得られる距離画像を利用することにより、カラー画像による検出方法に比べて、照明変動に強く、作業者の服装の変化にも影響を受けにくい身体部位の検出技術を実装している。しかし、作業現場への身体部位検出技術の適用において、2つの技術的な課題と、1つの運用上の問題があった。

1つ目の技術的課題は、人物領域の検出方法である。検出処理では、距離画像における背景差分法を用いて、作業者がいない状態で作業セルの背景画像を予め取得しておき、作業中の距離画像との差分から変化領域を検出し、最も大きな領域を人物領域とした。この方法を実際の組立作業等に適用すると、非人物領域が変化した場合、その領域が人物領域と重なると、同一領域として検出される。そのため、既システムを適用できるシーンは、非人物領域が変化領域として検出されない作業に制限する必要がある。

2つ目は、手部領域の検出方法である。手部は、身体部位における端点であることを利用し、RRC[4]におけるリーチ長により、距離画像を用いた端点モデルを構築することで、人物領域より手部領域を得ていた。しかしながら、この方法を実際の組立作業等に適用すると、肘関節を屈曲すると屈曲部が端点として検出されたり、電動ドライバー等の工具を把持すると工具の両端が端点として検出されたりする。そのため、既システムを適用できるシーンは、手部領域が必ず端点となるような作業に制限する必要がある。

既システムの性能評価のための実験環境では、Kinectを作業者の頭部上方に設置した。この時、左右の手の判定は可能であったが、実際の作業現場では、必ずしも実験環境と同様な位置にKinectを設置することはできない。そのため、既システムの実作業を対象とした検証実験においては、

頭部位置が固定される座位作業を対象に、左右の手は交差せず、左右の手は隠れない作業条件となる作業を対象として、画像中の右側の端点は右手として、左側の端点は左手とみなしていた。

これらの制限にとらわれない画像処理方法として検討したのが、マーカの利用である。マーカを検出することで、座位・立位作業の制限だけでなく、身体の回転、頭部の移動、手部の交差・隠れ等の作業動作に対する制限、及び作業セル上の物の移動、部品の形状変化等の作業環境に対する制限等を排除できるため、適用作業の範囲を大きく拡張することが可能である。ただし、単純なカラーマーカを使用したのでは、照明変動に対するロバスト性が低くなる。そこで、Kinectで距離画像を取得するために使用されるのが赤外線カメラであることに着目し、モーションキャプチャで使用される赤外線マーカを使用することにした。

本稿では、マーカ領域検出技術を開発し、これらの制限のもとに行われる作業への適用を図った。また、開発したマーカ領域検出技術をシステムに実装し、作業動作時間の計測や動作状況等を分析するシステムを開発した。

1. 3 対象作業の概要

実験の対象とした作業は、産業用機器における放熱板の組立作業で、図1に作業セルの様子を示す。作業セルには多くの部品が配置され、作業はこれらの部品を図中央付近の放熱板に組み付ける立位作業であり、一連の作業は多数の左右の手の動作により構成されている。作業指示書の画面表示例を図2に示す。作業指示書は、今後、変更される計画であるが、現在11枚から構成され、多能工スキルの必要な作業内容となっている。図1, 2に示すとおり、作業では、放熱板を立てたり、倒したり、回転したりしながら部品が組み付けられ、作業環境だけでなく、組み付け時の身体方向、及び頭部位置も頻繁に変化する。

システムの開発にあたっては、事前にプロトタイプモデルを試作し、必要な機能を調査した上で開発を進めた。調査の結果、システムに要求される機能としては、分析ツールとしての機能は勿論、トレーニング用途としても利用できるよう、作業者の熟練度に応じた評価項目の設定機能が必要であることが分かった。また、作業指示画面の切り替えにおいて、現状ではマウスのクリック操作が必要となり、作業が中断する。そのため、手を止めずに一連の作業が完遂できるよう、作業指示画面の自動切り替え機能が必要であることが分かった。本稿では、これらの要望を踏まえ、必要となる機能をシステムに実装した。

2. マーカ領域検出技術の開発

2. 1 マーカ候補領域の抽出

マーカには、金属の薄板が中に入った巻き付け型のものを使用し、色の異なる再帰性反射テープを貼付する。再帰性反射材は、赤外線カメラで撮影した場合、高輝度領域として取得することが可能である。Kinectには、距離画像を



図1 対象作業における作業セルの様子

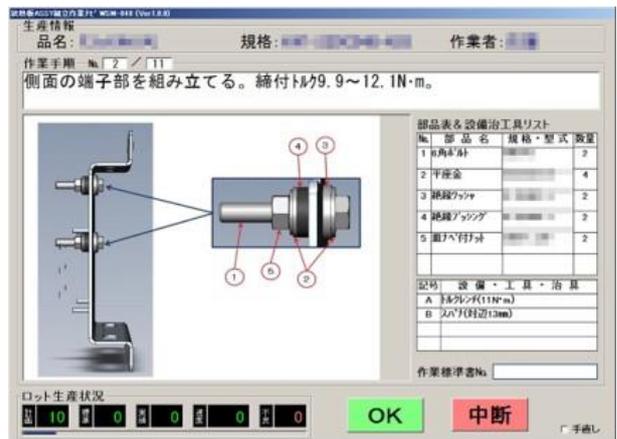


図2 作業指示書の画面表示例

取得するための赤外線カメラが装備されており、本研究では、赤外線画像からマーカ領域を取得することにより、マーカ抽出のロバスト性を高めている。また、巻き付け型のマーカを利用することで、マーカを手首に装着した場合、手首が回転してもほぼ同一の形状として抽出することが可能である。

図3にマーカ撮影時のカラー画像と赤外線画像を示す。図3(b)のK, Lがマーカ領域である。マーカ以外の高輝度領域について、画像上部の領域(A~H)は、金属部品が反射したものであり、上部中央の領域(I, J)は、カメラからの距離が近い領域である。また、画像下部の小さな領域(M)は、服に縫い込まれた反射材である。なお、図3は、取得画像の元の解像度が、カラー画像は1920×1080、赤外線画像は512×424であるため、表示のために解像度、及び画像サイズを調整している。

2. 2 マーカ領域の検出

抽出したマーカ候補領域からマーカ領域を検出するため、まず、候補領域の輪郭線を抽出し、直線近似可能な輪郭線を求め、輪郭線数が4となる矩形領域を選別した。図4に、図3(b)における輪郭線の抽出結果を示す。A~C, G, Lが候補領域として選出され、残りの領域については、輪郭線数が4以外であった。なお、Cは領域が小さいため、4以外となる場合がある。ここで、画像処理にはOpenCVを利用しているが、輪郭線の長辺と短辺の差が大きい矩形については、直線近似で設定したパラメータにより、輪郭線数が4とにならないことが実験により得られている。



(a) カラー画像



(b) 赤外線画像 (A~Mは高輝度領域)
図3 マーカ撮影時の取得画像



図4 マーカ候補領域における輪郭線の抽出結果

次に、輪郭線数が4となる矩形領域について、領域の色を判定するため、領域の中心位置に対応するカラー画像の画素位置を求めた。Kinectにおいては、赤外線画像における画素とカラー画像における画素の対応関係については、距離画像のDepth値に基づいて算出される。しかし、図5に示すとおり、輝度値の高い画素については、距離画像におけるDepth値が求められないため、画素の位置をカラー画像上に再現することができない。そこで、図6に示すように、矩形領域において長辺と短辺を求め、矩形領域の中心点から長辺と垂直となる2つの方向に、短辺の長さの定数倍の長さとなる位置に参照点を求め、2つの参照点それぞれについて、カラー画像における対応画素位置を取得し、それらの中心画素を矩形領域のカラー画像における対応点とす



図5 マーカを撮影した時の距離画像

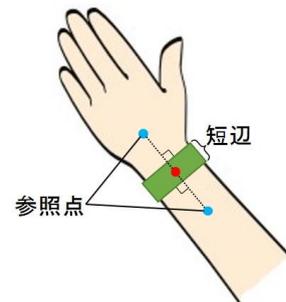


図6 参照点の抽出方法

ることとした。図7に赤外線画像における参照点の抽出例を示す。なお、この処理については、リスト型マーカを手首（腕）に取り付けることを想定しており、長辺側に参照点を求めることにより、参照点がマーカ領域と連続した領域となる手部、若しくは腕部上に存在することを前提としている。

最後に、矩形領域の中心付近の色に基づいてマーカ領域の検出を行った。マーカ領域色の判定においては、カラー画像における対応点を中心とした7×7の領域内の画素値をHSV表色系に変換し、色相値（H）のみを用いて基準色と比較した。比較処理では、領域内の画素の8割以上が基準色のしきい値内であれば該当マーカの領域色であると判定した。図8に、色の異なるマーカを両手首に装着した時のマーカ領域の検出結果を示す。検出結果では、マーカ領域色と同系色の円領域をマーカ領域の中心点として示しているが、マーカ領域の位置を正確に表示していることが分かる。なお、図8は、距離画像におけるDepth値から再構成したカラー画像である。また、基準色については、事前にマーカの色相値の分布を求め、上限値、及び下限値をしきい値として決定する。

3. 作業分析システムの開発

3. 1 作業分析システムの概要

作業分析システムの開発にあたっては、既システムと同様に、両手（マーカ）位置を検出する通過判定エリアを映像中に複数配置し、エリア間の通過時間差を動作時間として分析する構成とした。ただし、既システムでは、作業指



図7 赤外線画像における参照点の抽出例



図8 マーカ領域の検出結果

示書が1枚から構成される比較的簡単な作業が対象であったのに対し、本システムでは、複数の作業指示書から構成される組立作業を対象としている。そのため、作業指示書に応じた通過判定エリアを自動的に切り替える機能をシステムに付加するとともに、多数の通過判定エリアの設定が容易に行える機能等を付加したシステムを開発した。

図9に開発したシステムの作業分析時の表示画面を示す。映像中の矩形枠が通過判定エリアであり、マーカが通過判定エリアに侵入することにより、検出マーカの状況を判定し、判定結果に基づいて右側のツリービューにおける最下層ノードの選択状態が下に遷移する。また、それと同時に、映像中には新たな通過判定エリアを表示し、次のエリアへの侵入を待機する。

開発システムにおける作業分析機能以外の機能としては、マーカ領域色の設定機能、エリア通過時の評価項目を含む通過判定エリア設定機能、及び作業分析結果の表示機能から構成されている。以下、各機能について述べる。

3. 2 マーカ領域色設定機能の開発

2. 2節で述べたとおり、マーカ領域の検出には色を利用している。しかし、色は環境光に左右されやすいため、環境に応じた設定が必要であることが知られている。そこで、作業現場で簡単にマーカ領域色を設定できるように、マウス操作のみで設定が可能な機能をシステムに実装した。

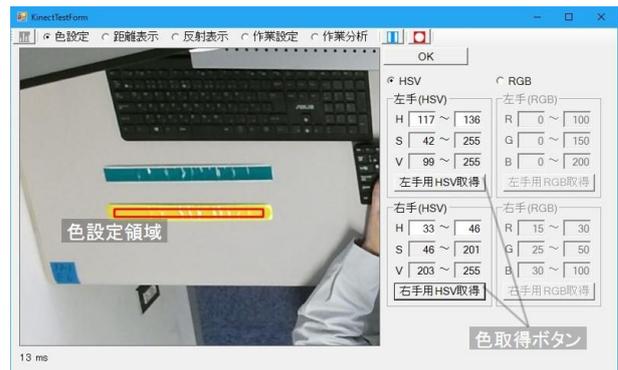
図10にマーカ領域色の設定画面を示す。マーカ領域色を設定するためには、まず、設定するマーカ領域を拡大表示



図9 開発した作業分析システムの表示画面



(a) 拡大表示領域の決定



(b) 色設定領域の決定

図10 マーカ領域色の設定画面

する領域を決定する(図10(a))。拡大表示可能な領域の大きさは固定であるが、領域枠内をドラッグすることで領域の位置を自由に変更することが可能である。拡大表示領域の位置が決まれば、色設定ボタンをクリックし、色設定領域を決定する(図10(b))。色設定領域については、領域右下をドラッグすることで大きさの変更が可能であり、領域枠内をドラッグすることで位置の変更も可能である。色設定領域の大きさ、位置が決まれば、右手、若しくは左手用の色取得ボタンをクリックし、検出対象マーカ色を決定する。OKボタンをクリックすると、マーカ色の設定値がシステムに記憶されると同時にファイルに書き込まれ、次回システム起動時にも設定値が読み込まれる。なお、マーカ色の設定値については、HSV表色系、あるいはRGB表色系を選択することが可能であり、RGB表色系を選択した場合は、3つの値を評価してマーカ領域を検出する。

3. 3 通過判定エリア設定機能の開発

通過判定エリア設定画面を図11に示す。画面は、作業指示書における作業内容に応じた通過判定エリアを設定する映像表示部と、設定エリアを管理するツリービューから構成される。

通過判定エリアの設定は、映像表示部において、3. 3節の色設定領域と同様に、エリア右下をドラッグすることでエリアの大きさを、エリア内をドラッグすることでエリアの位置を設定することが可能である。なお、通過判定エリアは、細線の矩形枠で囲った検出対象領域内のみ設定することが可能である。

ツリービューにおいて、トップノードでは、作業種別、あるいは作業者の熟練度別に設定項目を管理できるようにした。これは、同一システムを使用した作業分析を行うことで、異なる作業間における作業時間等の定量的な評価を可能にするとともに、トレーニング用途としてシステムを用いた場合、熟練度に応じて設定内容を変更することで、作業者のスキル評価を可能にするためである。セカンドノードでは、作業指示書毎に設定項目を管理できるようにした。これにより、各作業指示書における作業動作終了のタイミングの取得が容易となるため、作業指示画面の自動切り替えを実現することが可能である。最下層のラストノードでは、作業指示書内の各作業動作を管理できるようにした。作業動作としては、通過判定エリアと判定時の評価項目を管理している。

マーカのエリア通過時の状況を判定する評価項目の設定画面を図12に示す。区分では、右手、左手、どちらか、両手の設定が可能であり、エリアに侵入したマーカ色を判定する。ファイル名は、エリア通過時の音を設定することが可能であり、作業者にエリア内を正常に通過したことを知らせる機能を付加するものである。

また、本研究では、図13に示すように、1つの動作には、作業品質を保証するために必要な動作時間が存在するはずであり、熟練度合いに応じて可変な動作時間と合わせて、1つの動作に要する時間を形成し、これらが連続することにより作業指示書における作業時間を構成していると定義した。滞留時間、及び制限時間については、各動作の必要動作時間、及び可変動作時間をそれぞれ滞留時間、制限時間として設定することにより、エリア内で滞留すべき時間や次のエリアへ遷移するまでの制限時間を評価し、通過判定エリア内における動作を判定可能にした。例えば、部品を取るだけの動作であれば、滞留時間は0に設定し、制限時間のみ設定すれば、部品付近に設定した通過判定エリアにマーカが侵入すると、即座に次のエリアに通過判定を遷移させ、次のエリアではマーカの侵入を待機させることができる。また、部品のネジ締め等の組付け動作であれば、滞留時間を数秒に設定すれば、組付け動作付近に設定した通過判定エリアでは、滞留時間内はマーカの存在を評価し続け、滞留時間経過後、次のエリアに通過判定を遷移させることができる。



図11 対象とする組立作業における作業セルの様子



図12 通過判定評価項目の設定画面

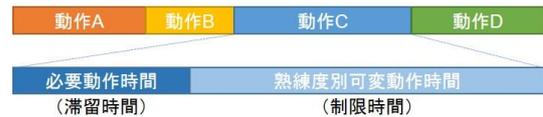


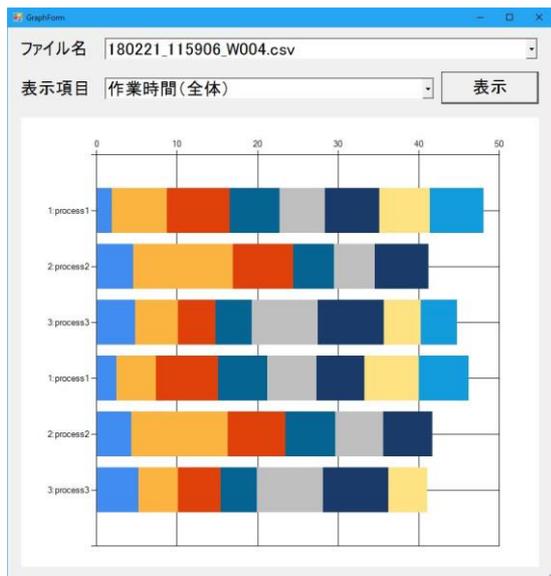
図13 作業時間の構成

なお、本システムでは、制限時間を超過すると通過判定エリアを点減させると同時に、超過した回数を記録することにより、トレーニング用途として利用できるようにしている。また、各ノードにおいて設定内容のコピー機能を付加することで、熟練度別の設定等を容易にしている。

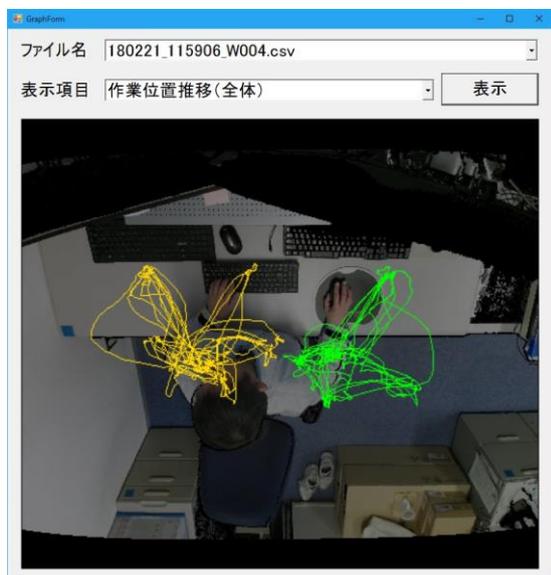
3. 4 作業分析結果表示機能の開発

作業分析結果としては、既システムと同様に、作業指示書毎の動作時間をグラフ表示することが可能である。しかし、グラフ表示は、通過判定エリア内におけるマーカの検出時間を可視化するだけで、通過判定エリア外の動作状況は分からない。そのため、検出対象領域内のマーカの全ての検出位置、時間を記録することにより、マーカの位置推移、位置分布を表示可能にした。

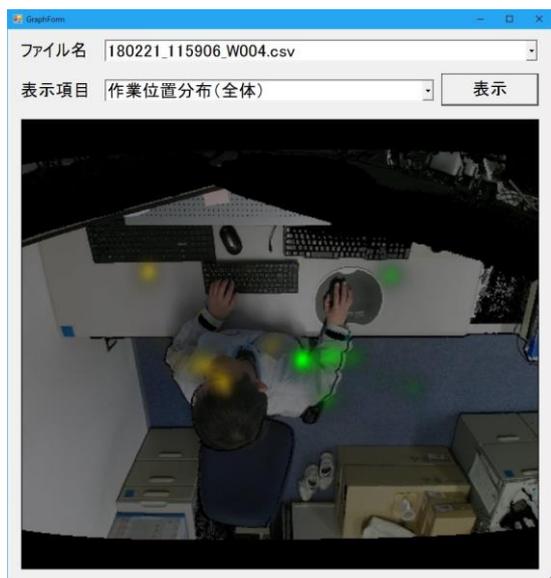
図14に、作業時間グラフ、位置推移、及び位置分布の表示例を示す。図については、約270秒の動作を30fpsのサンプリングレートで取得した映像の分析結果であり、マーカの検出率は、全フレームに対して左が約75%、右が約81%であった。得られた検出率は平均値であるが、1秒あたり22.5フレーム以上の画像でマーカを検出していることになるため、理論上約45msの時間分解能があると考えられる。IEにおける動作要素の時間分析手法であるPTS法の一つにMTM法があるが、MTM法で使用される時間単位が36msであることから^[2]、時間差は僅かであると考えられ、良好な結果であると言える。なお、図14(b)では全ての検出位置を



(a) 作業時間グラフ



(b) 位置推移



(c) 位置分布

図14 分析結果の表示例

描画しているが、左右の軌跡が交差していないこと、独立した位置に直線で軌跡が描画されていないことから、検出ミスについては、左右の判定ミスも含めて0であったことが分かる。

4. まとめ

本研究では、作業カイゼンにおける作業時間計測を支援するために、Kinectを用いて作業の様子を撮影し、得られた映像から両手に装着したマーカを検出することで、作業時間を分析するシステムを開発した。

マーカ検出においては、マーカに再帰性反射材を使用するとともに、マーカの色を判別することで、ロバストな検出技術を開発した。実験環境においてマーカの検出率を求め、時間分解能として換算したところ、45msという良好な結果が得られた。なお、検出ミスについては、左右の判定ミスも含めて0であった。

また、作業分析では、取得した映像中にマーカの通過を判定するエリアを複数設定することで、エリア通過時間を作業の動作時間として計測する技術を開発した。動作時間については、必要動作時間と可変動作時間から構成されると定義することで、エリア内での滞留時間と次のエリアに遷移するまでの制限時間を設定可能にし、トレーニング用途としても利用できる技術を開発した。

今後は、作業現場でシステムの検証実験、計測結果の評価実験を行い、システムの有効性を検証する予定である。また、他の作業に対しても実験を行い、開発システムの汎用性を高めることを検討する。なお、Kinectについては、Microsoft社より生産を終了することが発表されており、代替センサについて検討する必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、開発システムの試行実験にご理解とご協力、さらにはシステムの機能開発にご助言をいただきましたレシップエスエルピー株式会社の皆様に深く感謝の意を表します。

文献

- [1] 鈴木準, “IEを活用した現場改善のススメ”, ロジスティクス・ビジネス, Vol.9, pp.20-23, 2005.
- [2] 藤田彰久, “IEの基礎”, 建帛社, 1997.
- [3] 松原早苗, 渡辺博己, 曾賀野健一, 棚橋英樹, “距離画像を用いた両手作業の動作解析システムの開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, No.18, pp.24-29, 2017.
- [4] 佐藤雄隆, 金子俊一, 丹羽義典, 山本和彦, “Radial Reach Filter (RRF) によるロバストな物体検出”, 信学論 (D-II), Vol.J86-D-II, No.5, pp.616-624, 2003.

予防・健康増進に資するパーソナル・バランスケア技術に関する研究

ー 昇段動作を対象とした床反力時系列情報の解析と股関節機能低下因子に関する考察 ー

曾賀野 健一 青木 隆明* 竹原 正矩
渡辺 博己 成瀬 哲哉 棚橋 英樹

A Study on Personal balance care technology for Prevention and Health promotion

Kenichi SOGANO Takaaki AOKI* Masanori TAKEHARA
Hiroki WATANABE Tetsuya NARUSE Hideki TANAHASHI

あらまし 要介護・要支援の要因として大きな割合を占める股関節症例を対象とし、股関節症例にみられる現象から股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的としている。今年度は、静的立位姿勢及び移動動作にみられる臨床的所見に基づいて、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした計測、解析、データの様相について考察を行ったので報告する。

キーワード 予防、健康増進、股関節機能、昇段動作、床反力、COP

1. はじめに

運動器疾患（転倒・骨折、関節疾患）は、要介護・要支援の要因として全体の20%以上を占める^[1]。運動器疾患は、筋肉や関節等の運動器機能が衰弱し、よろめくなどの症状が現れることをいい、ロコモティブシンドローム（locomotive syndrome；以下、ロコモという。）と呼ばれる^[2]。ロコモの症状が進行すると、更衣、階段の昇り降り等の日常生活動作が制限され、つまづく、転倒等の事故を引き起こし、骨折から要介護・要支援に至るリスクが高まる。運動器機能の低下は、高齢者に限られることはなく、近年は若い世代も含めてロコモ予備軍が増えているといわれている。日本整形外科学会の調査では、ロコモの人口は予備軍を含めると4,700万人と試算されている^[2]。

ロコモの症状が出てからケアするのではなく、若い頃からも意識し、発症前にその兆候を捉えて早期に介入する「予防」の必要性が社会的にも高まっているが、ロコモの兆候は如何なる方法で説明できるのか、これまでに明確な指標は存在しなかった。そこで当研究所では、要介護・要支援に至る要因の一つである股関節症例を対象に、症例の発症につながると考えられる情報支援を目的として、股関節機能の安定性に関わる情報を自分自身で手軽に計測・蓄積し、股関節機能の安定性を定量的に説

明可能な技術に関して研究を進めている^[3]。今年度は、動的な動作計測・評価に関して、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした床反力時系列情報の解析と股関節機能低下因子に関する考察を行ったので報告する。

2. 臨床的所見と計測の構成

股関節症例の臨床的所見では、動的な移動動作の一つである歩行動作において、二峰性の平坦化と動揺がみられる。二峰性は、足底の着床時期から離床時期までに生じる床反力の時間変化（床反力波形）を観察した場合に、足底の着床時期と離床時期のそれぞれの時期に床反力の峰（ピーク）を呈する様相を説明する際に用いられる。二峰性の平坦化や動揺がみられる場合には、転倒のリスクを高める要因として臨床的所見において重要視されるランドマークとなる。動的な移動動作である段昇降動作の臨床的所見では、昇段動作において足底の着床時期にあらわれる床反力の峰が平坦化し、動揺が大きくなるとされており、歩行動作における所見に類似すると考えられている。

静的な姿勢保持の臨床的所見では、例えば、片脚立位姿勢の保持を行う際に、墜落的な動揺が観察される。墜落的な動揺は、患側（股関節症例を有する側）の脚で全体重を支持することが困難である場合に、転倒を回避するために、床平面に対して鉛直方向に荷重の変化が大きく現れる現象のことをいう。

* 国立大学法人岐阜大学医学部附属病院

このような股関節症例にみられる現象から股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的として、計測対象とする姿勢と動作、計測方法を定めた。本稿では、股関節症例の特徴である移動動作時における床反力の峰の平坦化、動揺、静的姿勢時に生じる墜落的な動揺は、床反力の時間変化に作用すると考え、床反力情報を取得するための装置としてBalance Wii Board (任天堂社製:以下WBという)を用いた床反力情報取得・解析システムを試作した(図1)。



図1 床反力情報取得・解析システム

当研究所が独自に開発したプログラムを用いることでWBに配置された4箇所フォースセンサの情報をBluetoothを利用してパソコンに受信し、取得した各フォースセンサの情報からサンプリング時間ごとに床反力情報の変化等を参照し諸種の特徴量を抽出することが可能である。床反力の計測対象とする姿勢・動作の種類及びWBを用いた計測方法を表1に示す。段昇降は、昇段時における足底の着床時から離床時まで生じる床反力の時間変化に注目することにより、歩行時における床反力の峰及び動揺の評価に類似する評価を行えるのではないかと考えた。静的姿勢・移動動作とWBを用いた床反力情報取得方法を表1に示す。

表1 静的姿勢・移動動作とWBを用いた床反力情報取得方法

静的姿勢 移動動作		床反力情報取得方法
静的 姿勢	両脚 立位 姿勢	WBに両下肢を接し、眼の高さで約3m離れた正面の指標を注視し10秒間静止姿勢を保持する。
	片脚 立位 姿勢	WBに片脚で立位し、眼の高さで約3m離れた正面の指標を注視し10秒間静止姿勢を保持する。
移動 動作	段昇降	前方のWB(段差:約5cm)に昇段し、WBから後方に降段する移動を行う。 (例) 右脚から昇段する場合 右昇段→左昇段→右降段→左降段
	歩行	3歩程度歩いた後、WBに片脚でのり前方へ移動する。WBとの段差が生じない歩路を整備した。

※すべての姿勢・移動動作について、計測時は開眼で靴を脱いだ状態(靴下の着用は許可)で行った。

3. 床反力時系列情報の様相と解析

股関節機能に衰弱がみられる場合の特徴的な傾向には、機能低下の兆候を知る上で重要な情報が含まれると考えられる。特徴的な傾向とは、移動動作に観察される床反力波形の峰の平坦化や動揺、片脚立位姿勢の保持に観察される墜落的な動揺のことをさす。本稿では、これらの臨床的所見に観察される特徴をふまえて、特に移動動作に関して、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした床反力時系列情報の様相と解析について考察を行った。

非症例の床反力波形は、図2(a)に示すように足底の着床時期(時刻 t_1)に峰(ピーク)を呈する様相がみられる。これは、単脚支持期(片側の脚で上体を支える時期)初期に荷重をかけて昇段動作を行うことができていることを示している。一方、股関節症例の患側における床反力波形をみると図2(b)の足底の着床時期(時刻 t_1)にみられるように床反力変化が小さい様相を示す。これは、患側の単脚支持期(片側の脚で上体を支える時期)初期において患側に荷重をかけることが困難であることから、非患側(健側)に働かせる推進力を低減し患側の荷重負担を軽減する影響が考えられる。

図3(a)は、非症例のCOP軌跡を示している。COPは足圧中心(Center of foot Pressure)のことをいい、身体の動揺を観察する場合に用いられる。図3(b)は、股関節症例の患側におけるCOP軌跡を示している。単脚支持期初期(時刻 t_1)から単脚支持期終期(時刻 t_3)までの区間におけるCOP軌跡の変化をみると、股関節症例は、非症例と比較して動揺が大きい様相を確認できる。これは、患側の単脚支持期において、片側の脚で上体を支えることが困難である影響がCOP軌跡に作用していると考えられる。

本稿では、昇段動作において床反力の峰の強さをあらわす特徴量として、足底の着床時期(図2(a),(b)時刻 t_1)にあらわれる峰のピークから、その直後(図2(a),(b)時刻 t_2)にあらわれる谷までのサンプリング時間ごとに示す床反力の変化値(絶対値)の積分値を特徴量に用いることとした。これを衝撃値 TdZ とし、(式1)で定義する。この特徴量が低値を示す場合に、峰の平坦化が疑われる。

$$TdZ = \frac{1}{t_2 - t_1} \frac{1}{w} \int_{t_1}^{t_2} |Z_{t+1} - Z_t| dt \quad (式1)$$

(w: 被験者体重, Z: 床反力値)

昇段動作時の動揺をあらわす特徴量として、単脚支持期におけるCOPの進行方向及びCOP軌跡長に注目した。サンプリング時間ごとのCOPの進行角度から単脚支持期におけるCOPの進行角度の平均値を求め、これを基準進行角度とした。この基準進行角度に対して、サンプリング時間ごとのCOPの進行角度が閾値 $\pm 30^\circ$ を超える場合に動揺と判断し、動揺と判断されたCOPの総軌跡長を特徴量として

抽出した。この場合のCOP総軌跡長は、図3に示すXY座標系を用いて算出し、静的立位姿勢においてCOP総軌跡長の算出に用いるXY座標系と同じである。閾値±30°は、非症例別に単脚支持期におけるサンプリング時間ごとのCOPの進行角度に対しヒストグラムを求め、平均値の95%信頼区間にあたるCOPの進行角度を取得し非症例群の平均値を算出することにより設定した。なお、歩行におけるCOP総軌跡長の算出についても、段昇降と同様の方法とした。

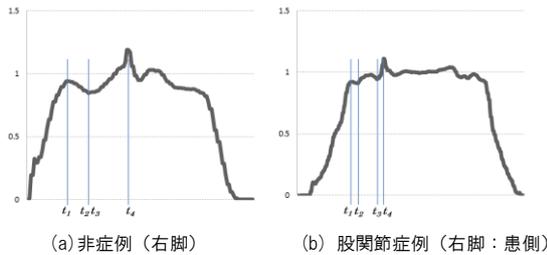


図2 段昇降時の床反力波形
(横軸：時刻，縦軸：床反力値を被験者体重値で正規化)

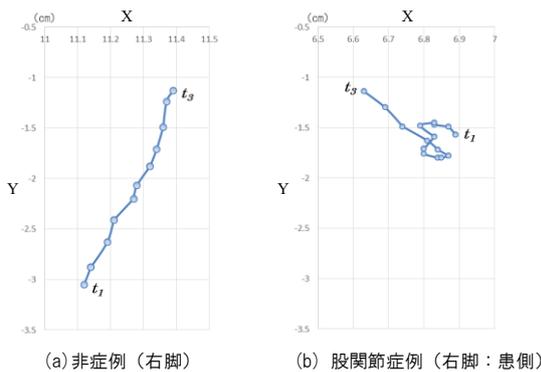


図3 昇段動作時のCOP軌跡

4 実験

3の解析方法に基づいて、昇段動作の床反力時系列情報から特徴量を抽出する機能を開発した。この機能を加えた床反力情報取得・解析システムを用いて、股関節症例と非症例を対象としたデータの分布傾向を確認するため、実験を行った。床反力情報取得実験により収集したサンプル数は股関節症患者52名、非症例455名の計507名である。股関節症例のサンプルは岐阜大学医学部附属病院リハビリテーション部に通院する患者とし、事前に実験参加の安全性や個人情報の秘密保持等を十分に説明した。股関節症例の実験にあたっては、岐阜大学大学院医学系研究科の医学研究等倫理審査委員会の承認を受けて実施した。また、実験に際して被験者にアンケートの記入を依頼し、人物属性情報（年齢等）、運動習慣（運動の頻度、運動の内容等）、表2に示すロコチェック（片脚立ちで靴下がはけない、階段を上するのに手すりが必要である等、7項目のチェック項目⁴⁾、症状（股関節疼痛等）に関する情報を取得した。

表2 ロコチェック項目と内容

項目	内容
LC1	片脚立ちで靴下がはけない
LC2	家の中でつまづいたり滑ったりする
LC3	階段を上するのに手すりが必要
LC4	横断歩道を青信号で渡りきれない
LC5	15分くらい続けて歩けない
LC6	2kg程度の買い物をして持ち帰るのが困難
LC7	家のやや重い仕事が困難（布団の上げ下ろし等）

5 考察

股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的とし、股関節症例群と非症例群の分布傾向を分析した。分析に用いた主な特徴量と内容を表3に示す。なお、非症例群については、実験時に採取したアンケートの情報に基づいて良群を抽出した。良群は、6ヶ月以上の運動習慣を有し、ロコチェックや症状に該当がないサンプル群とした。

表3 主な特徴量と内容

特徴量	内容
MX, MY	COP最大振幅（側方，前後方）
TdX, TdY	COP総軌跡長（側方，前後方）
SDX, SDY	COP位置の標準偏差（側方，前後方）
RMS	Root Mean Square；COP位置の二乗平均平方根
RX, RY	荷重割合（側方，前後方）
TdZ, MdZ	床反力の総変化量，最大変化量（被験者の体重で正規化） (※) 静的姿勢時における床反力の総変化量は立位保持中のサンプリング時間ごとに示す床反力の変化値（絶対値）の積分値である。最大変化量は床反力の最大値と最小値の差分値である。

特徴量に対して因子分析を行い、股関節症例群に影響を与えている因子を調査した。因子分析に用いた特徴量は、非症例群の平均値を用いて標準化した値を用いた。因子分析にはJUSE-StatWorks/V4.0を用い、最尤因子法による主因子解法を適用した。因子数は累積寄与率が60%以上となる数とした。因子負荷は、因子軸のバリマックス回転を考慮し、各因子に対して因子負荷量の大きさが0.6以上になるものを採用した。分析の結果、各因子に対し影響度の大きい因子負荷を以下に示す。

TdX（両）、RX（両）、TdZ（片）、TdZ（段）、TdX（段）
TdZ（歩）、TdX（歩）

（両：両脚立位，片：片脚立位，段：段昇降，歩：歩行）

次に、因子分析の結果、各因子に対し影響度の大きい各因子負荷について、群の分布傾向を確認した。群は、股関節症例群と非症例群を対象としたが、非症例群については、実験時に採取したアンケートの情報に基づいて良群と股関節機能の衰弱が疑われる群（衰弱群）の2群に分類した。2群の分類にあたっては、アンケートの情報及び特徴量を用いた相関分析により順位相関係数（spearman；non parametric）を求め検討した。相関分析の結果を図4に示す。ただし、特徴量については、因子分析の結果、各因子に対

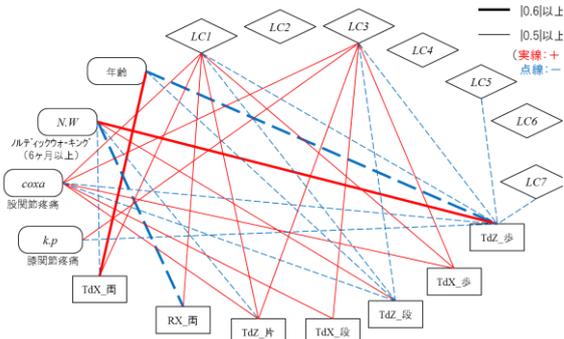


図4 アンケートの情報と特徴量の相関
(両：両脚立位，片：片脚立位，段：段昇降，歩：歩行)

し影響度の大きい因子負荷を採用した。

股関節疼痛との相関がみられる情報として、ロコチェックではLC1とLC3が0.5以上の正の相関を示し、股関節疼痛、LC1、LC3は特定の特徴量との相関がみられる。本稿では、運動習慣がなくロコチェック（LC1、LC3）を有するサンプル群を衰弱群とした。

股関節症例群、良群、衰弱群の3群について、2群の組み合わせを対象とし、それぞれ母平均の差の検定を行った。検定の結果を図5に示す。

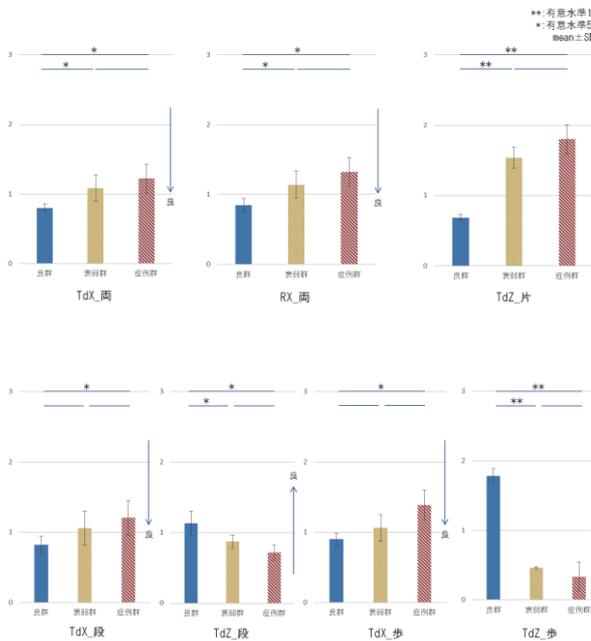


図5 群分布の傾向
(縦軸：非症例群の平均値で正規化)

股関節症例群と良群は、すべての因子負荷について、平均値の95%信頼区間において有意水準1%または5%で有意という結果となった。股関節症例群と衰弱群は、すべての因子負荷について、平均値の95%信頼区間において有意水準5%で有意ではない結果となり、このことは、股関節症例

群の分布と衰弱群の分布に同等性を有することを示している。従って、図5に示す因子負荷の数値をみることにより、股関節機能の衰弱を捉えることが可能と考えられる。また、昇段動作に関わる因子負荷（TdX、TdZ）について、股関節症例群の分布と良群の分布に差異がみられることから、歩行動作に代わり昇段動作に関わる因子負荷を用いて股関節機能の衰弱を説明できる可能性を有することを示している。

6 まとめ

股関節症例にみられる現象から股関節機能の安定性を定量的に説明することを目的として、自宅等での狭いスペースにおいても計測・評価を可能とする技術を開発するため、昇段動作を対象とした計測、解析、データの様相について考察を行った。昇段動作における床反力時系列情報に関して、臨床的知見に基づいて床反力波形の峰の強さ及びCOP軌跡の動揺に注目した解析を行い、特徴量を抽出する機能を加えた。昇段動作を含めた静的姿勢・動的動作を対象に抽出した諸種の特徴量に対して因子分析を行い、股関節症例群に影響を与えている因子を調査した結果、7種類の因子負荷が導かれた。この中には、昇段動作に関わる因子負荷が2種類含まれている。各因子負荷について、股関節症例群、非症例群（良群、衰弱群）に分類し、2群の組み合わせに対し母平均の差の検定を行った結果、股関節機能の衰弱が疑われるサンプル群の分布は、昇段動作に関わる因子負荷を含むすべての因子負荷に関して股関節症例の分布と同等性を示すことを確認した。

謝辞

本研究の一部は、平成29年度戦略的情報通信研究開発推進事業（総務省）を受けて実施しました。

岐阜大学医学部附属病院リハビリテーション部の皆様、床反力情報取得実験にご協力いただいた皆様に深く感謝します。

文献

- [1]厚生労働省，“平成28年国民生活基礎調査”，2016.
- [2]日本整形外科学会，“ロコモティブシンドローム”，<http://www.joa.or.jp/jp/public/locomo/>(2018.3現在)
- [3]曾賀野健一，青木隆明，渡辺博己，松原早苗，竹原正矩，棚橋英樹，“予防，健康増進に資するパーソナル・バランスケア技術に関する研究”，岐阜県情報技術研究所研究報告第18号，pp.49-53，2016.
- [4]日本整形外科学会，“ロコモチャレンジ”，<https://locomo-joa.jp/check/lococheck/>(2018.3現在)

レーザーポインタを用いたカメラ位置姿勢推定技術の研究開発

生駒 晃大 渡辺 博己 浅井 博次 棚橋 英樹

鈴木 真宏* 林 忍* 加藤 光章* 江口 真澄* 原田 宣男*

Development of Camera Position and Orientation Estimation Techniques using Multiple Laser Pointers

Akihiro IKOMA Hiroki WATANABE Hirotsugu ASAI Hideki TANAHASHI

Masahiro SUZUMURA* Shinobu HAYASHI* Mitsuaki KATO* Masumi EGUCHI* Nobuo HARATA*

あらまし 老朽化が進行する社会インフラ構造物の維持管理手法が様々検討される中、我々は橋梁等のコンクリート構造物の点検業務を支援するため、カメラを用いた点検システムの開発に取り組んでいる。本研究では、点検業務にカメラを用いた場合に生じる課題解決に向け、カメラと複数のレーザーポインタを組み合わせた撮影装置を製作し、撮影した画像からカメラの位置姿勢を推定可能な技術の開発を行った。本稿では、提案するカメラ位置姿勢推定技術について述べるとともに、製作した検証用装置による実験結果について報告する。

キーワード 社会インフラ、点検システム、レーザーポインタ、カメラ位置姿勢推定

1. はじめに

道路や橋梁、トンネル等の社会インフラ全体において、老朽化の進行に伴う構造物の維持管理への対応が問題となっている。社会インフラの維持管理にかかる費用や工数は年々増大していく一方、熟練技術者の退職や若手人材の不足等により、維持管理に必要な人員を確保することは困難となってきた。また、平成26年7月の道路法施行規則の改正では、橋長2m以上の橋梁やトンネル等の道路構造物が5年に1回の頻度で近接目視による点検を行うことが義務化された。岐阜県の場合、県が管理する橋長2m以上の橋梁は4343橋（2016年4月1日現在）であり、毎年約860橋の橋梁点検が実施されている^[1]。

このような背景から、現状の限られた予算や人員の中においても、構造物の劣化状況を的確に把握し、戦略的な維持管理を行うための技術や仕組みが必要とされている。そこで我々は、橋梁をはじめとするコンクリート構造物の点検業務において、壁面に発生するひび割れや剥離等の損傷を、カメラを用いて計測可能な点検システムの開発に向けた研究に取り組んでいる。

カメラを活用した社会インフラ構造物の点検手法やシステムの開発は従来から様々な方法で行われており、近年ではドローンに搭載されたカメラを用いた点検システム等も提案されている^[2]。しかし、このようなシステム

を利用する場合、システムを扱うための高度な技量が必要となることや、システム自体がとて高価となることなどが問題となる。そのため、我々は、誰でも容易に扱うことができ、比較的安価な構成での点検システムの開発を目指している。

2. 点検システムの検討

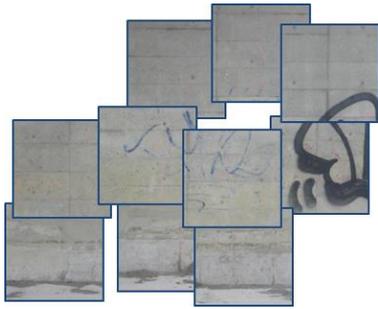
2. 1 点検作業の現状

橋梁等のコンクリート構造物の点検業務における一般的な作業工程は下記の手順となる。

1. 調査準備（点検箇所への足場の設置等）
2. 構造物の形状寸法測定と全体マップ作成
3. 目視による損傷の確認
4. 構造物へのマーキング
5. 損傷形状の計測（ひび割れの幅や長さの計測）
6. 損傷位置を全体マップへ写実（スケッチ）
7. 写実の計測結果の図面データ化
8. 図面より損傷の集計
9. 点検結果報告書の作成

1～6は現場での作業であり、劣悪な現場環境で長時間の点検を行うため、多くの労力を要する作業である。また、高所等の点検では、作業者の安全性の確保にも注意が必要となる。7～9は事務所での作業となるが、7の作業では、手書きスケッチをすべて読み取り、電子データ化しなければならないため、特に時間を要する作業となる。

* 株式会社 市川工務店



(a) 分割して撮影された壁面画像



(b) 画像統合による展開画像の生成

図1 カメラによる点検作業のイメージ

2. 2 カメラを活用した点検作業とその課題

2.1節の作業工程において、カメラを用いた点検システムを導入することにより、構造物の壁面状態を画像として記録することができるため、現場や事務所での作業を大きく省力化することが可能となる。また、ズーム機能による目視できない範囲の遠方からの計測も可能となるため、作業者の安全性も向上される。さらに、作業者ごとの主観的な損傷の判断ではなく、画像から計測を行うことより、点検データの信頼性も向上する。

実際にカメラを用いて点検業務を行う場合、構造物の壁面全体を一度に撮影すると、カメラ画素数の関係上、ひび割れ等の微細な損傷を画像から捉えることはできなくなる。そのため、使用するカメラの性能に合わせて、壁面全体を細かな領域に分割し、分割した領域ごとに撮影を行うのが一般的である(図1(a))。

分割して撮影された画像は、その後の統合処理により壁面全体の展開画像として合成される(図1(b))。しかし、通常撮影される画像は、壁面に対して様々な角度や距離から撮影されたものであり、同一平面であっても撮影時のカメラの位置や姿勢により見え方が変化する。そのため、撮影した画像をそのまま合成しただけでは、壁面全体の状態を正確に再現した展開画像を取得することは困難となる場合が多い。

このような場合の対策として、壁面を撮影する際には、撮影距離を常に一定とし、壁面に対して正対した状態を保つことで、簡単な処理で画像統合を行うことが可能な画像のみを撮影するといった方法が利用される。三脚等の補助器具を用いることで、ある程度の位置姿勢を保った撮影も可能となる。しかし、三脚等を設置できない現

場環境においては、人手によって位置姿勢を変更しながら撮影を行わなければならない場合も多いため、そのような状況で撮影された画像であっても正確な画像統合を行うことが課題となる。

2. 3 提案システムの構成

本研究で開発するカメラを用いた点検システムは、橋梁等のコンクリート構造物の壁面の点検を対象としており、橋梁としては橋長15m未満の比較的小規模な構造物をターゲットとしている。そのため、特殊な計測装置や点検車両が用いられる大規模な点検システムではなく、人手でも持ち運びや撮影ができるシステム構成とすることが望ましい。

そこで本研究では、システムの規模を抑えつつ、2.2節で述べた画像統合処理の際の課題に対応するために、カメラと複数のレーザーポイントを一体的に固定可能な構造を持つ点検システムを構築し、レーザーポイントを利用したカメラの位置姿勢推定技術の開発を行った。提案システムを用いて撮影された画像から、壁面に対するカメラの位置姿勢を推定することで、その推定結果をもとに、壁面に対して正対した状態で撮影したような正面画像へと変換することが可能となり、画像統合の際の課題を解決するための手段となる。

3. カメラ位置姿勢推定手法

3. 1 提案手法の原理

提案システムによる点検の対象となる橋梁等のコンクリート壁面は、歪曲の少ない平面であると仮定することができる。そのため、画像中にどのように平面が写っているのかを推定することができれば、その壁面に対するカメラの位置姿勢も推定することが可能となる。平面推定には、同一平面上に存在する点が少なくとも3点必要となるため、本システムを実現するためには、3個以上のレーザーポイントが必要となる。

また、本システムでは、カメラとレーザーポイントが一体的に固定されているため、カメラの位置姿勢が変化した際には、レーザーポイントもカメラと同様の変化をすることになる。つまり、カメラに対してレーザーポイントは常に同じ位置からレーザーを照射することになる。そのため、カメラの光軸とレーザーポイントの光線が平行だと仮定した場合、壁面に対して同じ位置姿勢で撮影された画像同士では、レーザーポイントの照射点の座標位置は同じとなる。

これらのことから、壁面に対してカメラが正対している状態を基準とした場合、正対した状態で撮影した画像中の各レーザーポイントの照射点の座標位置に対して、カメラの位置姿勢が未知な状態で撮影した画像中の各レーザーポイントの照射点の座標位置がどのように変化したかを捉えることで、カメラの位置姿勢を推定することが可能となる。

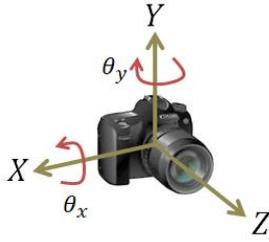


図2 座標系の定義

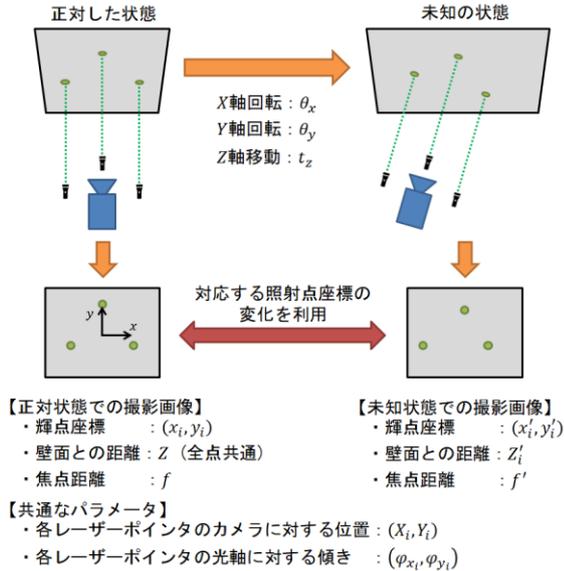


図3 位置姿勢推定手法のイメージ

3. 2 推定対象となるパラメータ

図2に示すカメラを中心とした座標系を定義し、カメラが壁面に対して正対した状態を基準とすると、正面画像への変換を行う際に必要となる位置姿勢のパラメータとして、正対した状態からのカメラの鉛直方向(X軸)の回転角度 θ_x と、水平方向(Y軸)の回転角度 θ_y を推定する必要がある。カメラの光軸方向(Z軸)での回転も考えられるが、光軸方向への回転は、壁面に対してカメラが回転するだけで、傾くことはないため、推定の対象としない。

また、基準の状態におけるカメラと壁面との距離を Z と定義すると、この状態からの距離の変化量 t_z は撮影距離の違いによる画像中のスケールの変化を捉えるために推定する必要がある。なお、移動量 t_z はカメラ回転後の座標系における壁面との距離の変化量とする。

3. 3 推定処理の流れ

提案するカメラ位置姿勢推定手法の処理の流れについて、図3に示すイメージ図で定義する記号を用いて説明する。

まず始めに、壁面に対してカメラを正対させ、基準とする距離 Z だけ離れた状態で画像を撮影した場合に、各レーザーポイントの照射点が画像中でどの座標位置に写るのかを計測する。各照射点の座標値 (x_i, y_i) と壁面との位置関係は式(1)のように表される。カメラが壁面に正対している状態なので、壁面との距離 Z はどのレーザーポイントでも共通の値となる。

$$(x_i, y_i) = \left(\frac{X_i + Z \tan \varphi_{y_i}}{Z} f, \frac{Y_i + Z \tan \varphi_{x_i}}{Z} f \right) \quad (1)$$

式(1)の $(\varphi_{x_i}, \varphi_{y_i})$ は、各レーザーポイントのカメラ光軸に対する傾きを表している。レーザーポイントはカメラの光軸と平行となるように設置するのが好ましいが、厳密な平行を保つことは困難である。そのため、レーザーポイントのキャリブレーションを行い、各レーザーポイントの光軸に対する微細な傾きを求めることで、カメラ位置姿勢の推定精度への影響を抑えることができる。

次に、推定の対象となる未知な位置姿勢で撮影された画像に対して、画像中の各レーザーポイントの照射点の座標位置を抽出する。式(1)と同様に、座標値 (x'_i, y'_i) と壁面との位置関係は式(2)のようになる。位置姿勢が未知のため、各レーザーポイントと壁面との距離 Z'_i も未知であり、カメラの姿勢変化により、レーザーポイントごとに異なった値となる。

$$(x'_i, y'_i) = \left(\frac{X_i + Z'_i \tan \varphi_{y_i}}{Z'_i} f', \frac{Y_i + Z'_i \tan \varphi_{x_i}}{Z'_i} f' \right) \quad (2)$$

式(1), (2)を用いることにより、正対した状態と位置姿勢変化後の座標位置の関係から、壁面との距離 Z'_i に関する式(3)が導出される。

$$Z'_i = P_i Z \quad (3)$$

$$P_i = \frac{f'(x_i - f \tan \varphi_{y_i})}{f(x'_i - f' \tan \varphi_{y_i})} = \frac{f'(y_i - f \tan \varphi_{x_i})}{f(y'_i - f' \tan \varphi_{x_i})}$$

次に、カメラの壁面に対する回転と移動による距離の変化について考えると、壁面との距離 Z'_i に関する式(4)が導出される。

$$Z'_i = \frac{Z}{\cos \theta_x \cos \theta_y} + (X_i + Z'_i \tan \varphi_{y_i}) \tan \theta_y + (Y_i + Z'_i \tan \varphi_{x_i}) \tan \theta_x + t_z \quad (4)$$

最後に、式(1), (3), (4)を用いることで、式(5)が導出される。

$$\begin{aligned} & (1 - \tan \varphi_{x_i} \tan \theta_x - \tan \varphi_{y_i} \tan \theta_y) P_i \\ &= \frac{1}{\cos \theta_x \cos \theta_y} + \left(\frac{x_i}{f} - \tan \varphi_{y_i} \right) \tan \theta_y \\ & \quad + \left(\frac{y_i}{f} - \tan \varphi_{x_i} \right) \tan \theta_x + \frac{t_z}{Z} \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)より、下記に示すパラメータが既知であれば、回転角度 θ_x と θ_y 、移動距離 t_z を求めることができる。

- (x_i, y_i) と (x'_i, y'_i) の座標値のペアが3点以上
- 各レーザーポイントの微細な傾き $(\varphi_{x_i}, \varphi_{y_i})$
- 正対した基準状態でのカメラと壁面との距離 Z
- 撮影時のカメラの焦点距離 f と f'

よって、装置のキャリブレーションや、正対した状態での画像の撮影と距離の計測を予め行っておけば、未知状態の画像を撮影し、レーザーポイントの照射点の座標値を抽出することでカメラの位置姿勢を算出可能である。



(a) 正面 (b) 背面

図4 検証用撮影装置

4. 検証用装置の開発

提案手法によるカメラ位置姿勢推定精度の検証を行うために、カメラとレーザーポインタを用いた検証用の撮影装置を開発した(図4)。装置の製作にあたり、撮影装置を構成するカメラやレーザーポインタのスペック等について検討した内容を説明する。

4.1 カメラのスペック

本システムで利用するカメラは、一般的なデジタルカメラ等で問題なく、カメラ画素数や最大ズーム倍率等は任意のものでよい。しかし、点検システムとして壁面の状態を正確にとらえた画像を撮影するためには、撮影した画像の画素分解能[mm/pix] (1画素あたりの実サイズ)が重要となるため、構造物の大きさや、計測したい損傷の種類に合わせて適切なものを選択する必要がある。

先行研究^[3]によると、コンクリート構造物の壁面の微細なひび割れを対象とする場合、画素分解能の5割程度の幅のひび割れであれば検出可能であることが報告されている。そのため、例えば、0.1mmの幅のひび割れを捉えたい場合、0.2mm/pix程度の分解能が最低でも必要となる。

4.2 レーザーポインタのスペック

レーザーポインタのスペックに関して、レーザー光の出力は利用する現場環境にも左右されるが、概ね1mW程度の出力のもので問題なく、色は視認性に優れた緑色が好ましい。照射点の形状は、真円かつ中心から正規分布に従うような輝度分布であれば、画像から照射点の中心座標を抽出しやすくなるため、高精度なレーザーポインタであるほど、位置姿勢推定の精度は高くなる。

4.3 カメラとレーザーポインタの配置

カメラとレーザーポインタを固定するにあたり、その配置関係も検討する必要がある。提案手法では、画像中の3点以上のレーザーポインタの照射点位置から平面推定を行う形で位置姿勢を推定するため、画像中の狭い範囲に照射点が集まるような場合、位置姿勢推定精度は悪化する可能性がある。そのため、撮影した画像の広い範囲に照射点が分布するように、レーザーポインタを配置するのが理想となる。

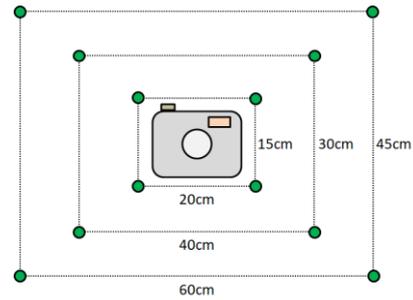


図5 レーザーポインタの配置

4.4 試作した検証装置

これらの検討内容をもとに、試作した検証用装置について説明する。使用したカメラはSONYのCyber-shot DSC-RX10M4で、解像度は5472×3648となる。このカメラを用いて画素分解能0.2mm/pixで撮影する場合、一度に撮影可能な範囲は最大で110cm×70cmとなる。また、その際の撮影距離はズームなしの状態で約70cmとなる。

本システムの原理上、レーザーポインタは最低3個あればカメラの位置姿勢を推定可能だが、今回試作した装置では、12個のレーザーポインタをカメラ光軸となるべく平行になるよう設置した。4個以上のレーザーポインタを使用する場合、その中から3個のレーザーポインタを選ぶ組み合わせが複数存在するようになるため、各組合せでの推定値を用いることで、3個1通りの場合よりも推定精度を高めることができる。

また、レーザーポインタは、図5に示すように、カメラを囲うように縦横比3:4の長方形が3つできるように配置した。これにより、レーザーポインタの配置の違いによる位置姿勢推定精度の検証が行えるようにした。

5. 実験

製作した検証用の撮影装置を用いて、実際のコンクリート壁面を撮影した際のカメラ位置姿勢推定精度の検証実験の結果を述べる。

5.1 姿勢変化による実験

本実験では、壁面に対する装置の位置は固定とし、装置の回転により姿勢が変化した場合について検証を行った。なお、12個あるレーザーポインタの内、本実験では真ん中の長方形上に配置された4個のみ使用した。

図6は装置を壁面に対して正対させた基準となる状態で撮影した画像である。カメラと壁面との距離Zは1175mmであり、キャリブレーションや後の検証のために、格子パターンを壁面に貼り付け撮影を行った。なお、各レーザーポインタの光軸に対する傾きは、本実験ではないもの($\varphi_{xi} = \varphi_{yi} = 0$)として推定処理を行った。

図7は装置の回転により姿勢を変化させて撮影した画像の一例である。この画像は図6の状態から装置を水平方向に回転させて撮影した画像であり、実際にカメラの回転角度を計測したところ約23度であった。

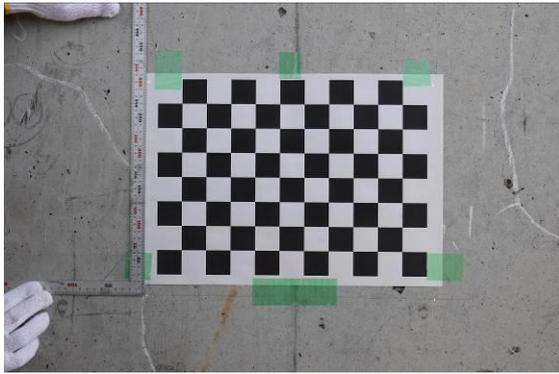


図6 正対状態での撮影画像



図7 図6の状態から装置を左に回転させて撮影した画像



図8 推定結果をもとに正面画像へ補正した結果

表1 姿勢変化による実験の推定結果

項目		鉛直回転[度]	水平回転[度]	移動距離[mm]
1	実測	-5.7	0	0
	推定	-4.4	0	-27
2	実測	-14.8	0	0
	推定	-11.1	0.2	-33
3	実測	0	-6.7	0
	推定	1.0	-7.0	-19
4	実測	0	-23.3	0
	推定	2.0	-22.5	-8
5	実測	-5.4	-42.2	0
	推定	-4.7	-42.4	-25

図7の画像に対して、画像中の照射点の座標情報からカメラの姿勢を推定したところ、回転角度は22.5度と推定された。また、この推定結果をもとに図7の画像を正面画像へ変換した結果を図8に示す。図7、図8の画像中の格子パターンの変形の様子より、提案手法により推定された結果を用いた場合でも、正面から撮影したような画像へ

と正しく変換可能であることが確認できる。

表1に本実験の結果をまとめる。5つのパターンの回転による姿勢変化について、実際の計測による実測値と提案手法による推定値を比較したものであり、項目4が図7の画像に対しての結果である。数値の符号は、回転であれば回転の方向を表し、距離であればマイナスは壁面に対して近づく移動、プラスであれば離れる移動を表している。

表1より、回転角度の推定結果については、実測値と比較して誤差は約1~3度となった。また、移動距離の結果については、本実験では装置の位置は固定のため、移動距離は全てゼロとなることが理想だが、数cmの距離変化を含む結果となった。これらの推定誤差について、本システムの目的は完全な正面画像への変換ではないため、この程度の誤差であれば、画像の統合へ向けた正面画像への変換の場合には問題ない結果と考えられる。

5. 2 距離変化を含む実験

回転による姿勢変化に加え、壁面との距離も変化させた場合の検証を行った。また、本実験では12個すべてのレーザーポインタを使用し、配置による推定精度の比較も行った。

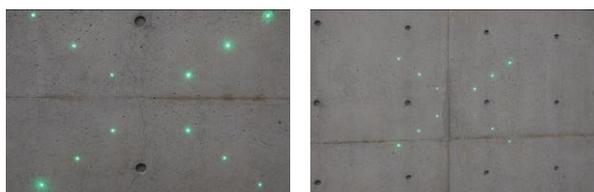
図9が基準となる正対した状態の画像であり、壁面との距離Zは1675mmとした。本実験では、この正対した状態から壁面に対して装置を500mmずつ前後に移動させることで距離を変化させた。また、各レーザーポインタの光軸に対する傾き(ϕ_{xi} , ϕ_{yi})は、予めキャリブレーションにより求めた数値を利用した。

表2に本実験の結果をまとめる。項目1が装置を壁面に対して近づけて撮影した図10(a)の画像に対しての結果であり、項目2が遠ざけた図10(b)の画像に対しての結果である。推定結果の(大), (中), (小)は、図5で示したレーザーポインタの配置における3つの長方形の大きさを表しており、(大)であれば一番外側の大きな長方形上に配置された4個のレーザーポインタのみを使用した推定結果となる。

表2より、移動距離の推定結果については、実測値と比較して約20~80mmの誤差となった。また、レーザーポインタの配置の違いによる精度の差はそれほど見られない結果となった。一方、回転角度の推定結果に関しては、一番外側の大きな長方形での推定結果が最も実測値に近い値となり、小さな配置になるにつれて誤差も大きくなることが確認できた。特に一番小さな配置では、他の2つの配置と比較して大きく異なる推定結果となった。これは、画像全体の大きさに対してレーザーポインタの照射範囲が狭いため、カメラ位置姿勢変化による照射点の座標位置の変化量に対して、レーザーポインタの微細な傾きなどの誤差要因による座標変化の占める割合が大きくなってしまったためだと考えられる。

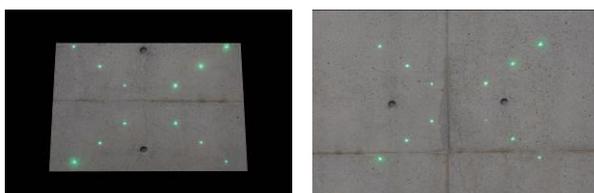


図9 正対状態での撮影画像



(a) 近づけた場合 (b) 遠ざけた場合

図10 図9の状態からカメラの位置姿勢を変化



(a) 近づけた場合 (b) 遠ざけた場合

図11 スケールも含めた正面画像への補正結果

表2 距離変化を含む実験の推定結果

項目	鉛直回転 [度]	水平回転 [度]	移動距離 [mm]	
1	実測	-9.9	0	-500
	推定(大)	-8.4	-0.3	-579
	推定(中)	-6.9	2	-574
	推定(小)	-2.5	9.1	-585
2	実測	0	21.6	500
	推定(大)	1.7	20.5	472
	推定(中)	1.4	20	482
	推定(小)	5.1	15.3	518

図11は一番大きな配置での推定結果を利用してそれぞれ正面画像への変化を行った結果である。姿勢だけでなく、壁面との距離も変化しているため、変換後の画像スケールを統一するために、移動距離に応じて拡大・縮小が行われている。画像統合により壁面全体の状態を正確に再現した展開画像を構築するには、画像のスケールを統一させることも重要となるため、移動距離の推定精度についてはさらに向上させる必要がある。

6. まとめ

本研究では、橋梁等のコンクリート構造物の壁面を対象とした点検業務において、従来の手作業による点検に代わり、カメラを用いた点検が可能なシステムの開発に向け技術検討を行った。カメラによる点検での課題を解決するために、カメラと複数のレーザーポイントを一体的に固定可能な撮影装置を製作し、コンクリート構造物の壁面を撮影した画像から、壁面に対するカメラの位置姿勢を推定可能な技術を開発した。本装置を用いた場合での位置姿勢推定精度の検証を行い、実際の測定値との誤差やレーザーポイントの配置による精度の違いを確認した。また、推定したカメラの位置姿勢から、壁面を正面から撮影したような正面画像へと変換可能であることを確認した。

今後は、位置姿勢推定により変換した正面画像の統合による壁面全体の展開画像の生成や、展開画像からひび割れ等の損傷を計測するための仕組みを開発し、点検システムとしての有効性を検証していく。また、撮影装置に関しては、今回試作したのは検証用装置のため、サイズも大きく、撮影の際の取り扱いも簡単ではないため、今回の検証結果を踏まえ、推定精度を保ちつつ小型化するための仕組みを検討する必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、検証用装置の製作にご協力いただきましたTMDテクノジャパン株式会社の皆様に深く感謝致します。また、本研究の一部は、岐阜市の産官学連携事業の補助を受けたものである。

文 献

- [1] 岐阜県県土整備部道路維持課，“岐阜県橋梁長寿命化修繕計画”，2017.
- [2] 国土交通省，“コンクリートのひび割れを遠方より検出できる技術”，2014.
- [3] 庄野昭，齋藤涼 “コンクリート表面のひび割れ評価方法”，ハザマ研究年報，2009.

重負荷作業を解消する直感操作型運搬補助システムの開発(第2報)

坂東 直行 久富 茂樹

Development of an intuitive operation type transport assist system for eliminating heavy load work

Naoyuki BANDO Shigeki KUDOMI

あらまし 身体的負担なく荷揚げ・荷下げ作業できるシステムの実現を目指し、人の直感的な操作感覚を確保しつつ、電動モータにより重量物を昇降する装置の開発状況を報告した。

今年度の試作では、機械機構では昨年度の試作で問題となった騒音が軽減した。ハンドコントローラは無線方式を採用することで、揚げ下げする荷物の大きさによらず操作でき、安全装置としても利用できるスタイルを提案した。駆動回路においては、緩やかに加速・減速できる制御系を構成することで、繊細な操作を可能とした。

今後は、ハンドコントローラの小型化、駆動回路の動作特性の改善を図る予定である。

キーワード ホイスト、不思議遊星歯車、薄膜式ポテンシオメータ、制御系設計

1. はじめに

1. 1 背景

多くの産業には、荷揚げ・荷下げ作業を労働者自身の力で行う状況が残されている。このような作業が頻繁にある仕事は身体的負担が大きいため、労働者は男性が大半を占めてきた。しかし、高齢化する社会への対応や、女性が活躍する場を広げるうえで、このような状況は改善されるべきといえる。

そこで当研究所では昨年度から、身体的負担なく荷揚げ・荷下げ作業ができる装置の開発を行っている^[1]。

本稿では、これまでの開発状況について報告する。

1. 2 開発のねらい

荷揚げ・荷下げ作業を行う装置は、持ち上げる力・下ろす際に荷物を支える力の発揮を、装置が担うものと人と装置で分担するものに分けられる。前者はホイストが該当し、後者にはバランスアームやパワーアシストスーツが挙げられる。

パワーアシストスーツは、アシスト力を発揮するための動力を有するものと、伸び縮みする材質の弾性特性を利用するものに分けられる。パワーアシストスーツの利点は作業者自身が装着することで作業環境を選ばず利用できることにある。しかし前者タイプの場合、装着が面倒、装置の存在が作業の邪魔になる、装置自体の重さがネックとなり長時間作業すると逆に身体的負担が増える、人の動作と装置の動作に不整合がある場合逆に負担を増大させるなど課題も残されている。後者の場合、材質の特性を利用しているため、作業者の姿勢維持が主たる目

的となり、荷揚げ・荷下げへの力軽減の面では効果は望めない。

一方、バランスアームは作業環境に設置し、リンクとカウンターバランスによりシーソーの原理で荷揚げ・荷下げする対象物の重さを相殺することで作業者の負担を軽減する装置である。カウンターバランスの選び方によって人手で運ぶには重いものにも対応でき、荷揚げ・荷下げのみでなく荷の横移動も可能であるが、装置の構造上比較的広い作業環境を必要とし、適用できる作業の種類は多くない。

ホイストはモータによって吊り下げワイヤーやチェーンを巻取りもしくは繰り出し、荷揚げ・荷下げする装置である。モータの出力を選ぶことで、様々な対象物に適用できる。現在のところ人の手では持ち上げることが困難な重量物を運ぶシーンで主に利用されている。

ホイストはその構造から人手で持ち上げることが可能な程度の比較的軽いものであっても利用できるものである。しかし実際は、そういった荷の揚げ下げは人手に依ることが多い。これは、現在のホイストの動作特性と使い勝手に都合の悪い面があり、ホイストを利用することによる作業の負荷軽減よりも自らの身体を使うことによる身体感覚と作業フィードバックが結びついた状況のほうが好ましいとユーザが判断するためと考える。

本来ホイストを利用できるにもかかわらずユーザが利用しない状況は、動作特性や使い勝手を改善することで解消できると思われる。そこで本開発ではホイストのモータで荷物を持ち上げるという発想はそのままに、より使いやすくするために、駆動装置とコントローラを作る。

2. 装置の構造と特徴

本研究で開発している装置は本体装置とハンドコントローラで構成され、本体装置は機械機構と駆動回路で構成される。以下に、それぞれの構造と特徴について述べる。

2. 1 本体装置（機械機構）

図1に本年度開発した本体装置を示す。これは動力源であるモータと減速機、荷を吊り下げるチェーンとそれを巻き上げるホイールで構成される機械機構と駆動回路によって構成される。同様の機構は電動ホイスに見られるが、そこでは静止中に自重によって荷物が下がらないように電磁ブレーキが備え付けられている。対して本装置では、ブレーキ機能を電磁ブレーキのように部品で構成するのではなく、減速機として用いる歯車機構の特性で実現することで省スペース、省部品化、軽量化を図っている。

歯車機構によるブレーキ機能は、ある種の歯車機構が持つセルフロック特性を利用している。セルフロック特性を持つ歯車機構としては、ねじ歯車とそれと対となるウォームホイールで構成されるウォーム歯車機構があるが、この機構の場合、ねじ歯車の回転軸に対しウォームホイールの回転軸が一致しないため、省スペース化を図るうえで不利である。また、ウォーム歯車機構のセルフロック特性は歯車の歯面の摩擦特性と関連するため、確実な動作を保証するのが難しい。そこで本装置では、同じくセルフロック特性をもつ歯車機構として知られている不思議遊星歯車機構を採用している。不思議遊星歯車機構は遊星歯車機構の一種で、太陽歯車と遊星歯車および歯数の異なる2つの内歯車によって構成される。内歯車のひとつを固定し、太陽歯車を回転させると、他方の内歯車が回転する。逆に内歯車から太陽歯車を回転させようとした場合は、これを妨げる力が歯車に働きセルフロックが起こる。

昨年度は、NC切削による簡易な加工方法で歯車を製作したため加工精度が低く、駆動時の騒音が問題となっていた。また、小型の歯車を製作することが難しく、歯車機構のサイズが大きくなってしまった。そこで今年の試作では加工方法を検討することで歯車の精度を上げるとともに、ダウンサイジングを試みた。その結果、騒音は一般的なホイスの駆動音と同等まで軽減した。サイズも前年比で4.2%の小型化に成功した。

チェーンの巻き上げ機構は、昨年度は簡易なドラム巻取り式を採用していたが、チェーンにはなじまない方式であったため、チェーンの形に彫った穴を側面にもつチェーンホイールで荷重を支持しつつ、巻取り・繰り出しをおこなう方式に変更した。これによりドラムが不要となりサイズダウンにつながるとともに、チェーンの長さ制限がなくなった。

完成した本体装置のサイズは、幅300mm、奥行き

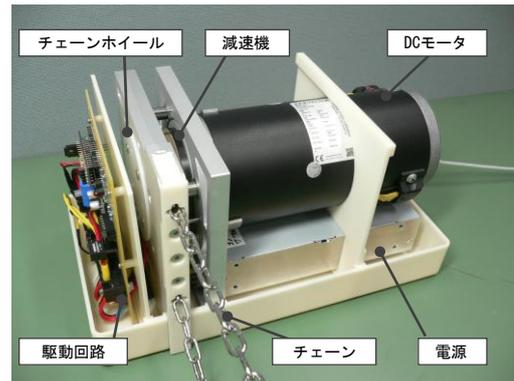


図1 本体装置

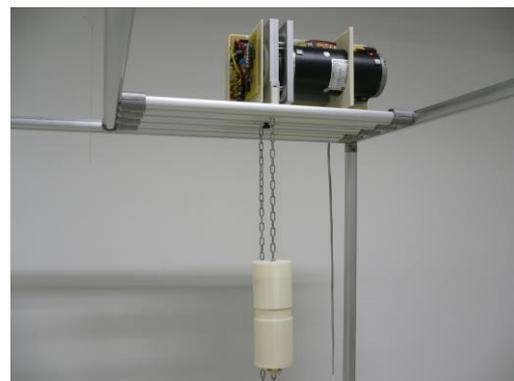
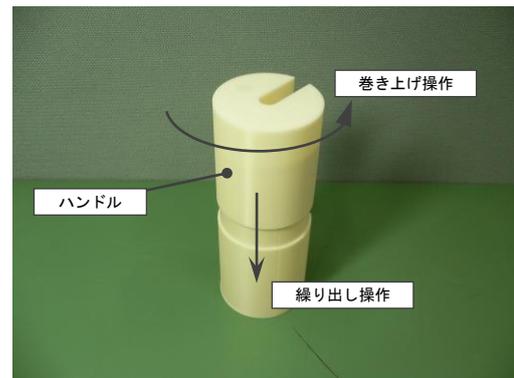


図2 ハンドコントローラ

160mm、高さ160mm、重量は7.5kgとなった。

2. 2 ハンドコントローラ

ユーザが装置を操作するハンドコントローラは、人の直感的な操作をサポートしつつ、安全確実に動作するスタイルを探索している。

本年度は初期試作として、図2に示す形状を試作した。コントローラは、円筒形状の本体に、同じく円筒形状のハンドル部がかぶさる形となっており、ハンドル操作は円筒軸状をスライドさせる方向と、軸回りに捻る方向に可能となっている。また、円筒中央部には空間が設けられており、ここにチェーンを通して固定できる。コントローラはチェーンから脱着可能なように、中央部から側面に向かいスリットを設けている。

本研究において直感的な操作とは、荷を上げ下げする

際の人の自然な動作によって装置が動くこととしている。よってハンドルの操作は、荷を上上げたいときは上にハンドルをスライドさせ、下に下げたいときは下にハンドルをスライドさせるのが直感的である。この動きを実現するには、コントローラにはハンドルから手をはなした際に中立位置に戻る機構が必要となる。それにはバネを使うのがシンプルであるが、中立位置から離れた位置でハンドルから手を離してしまうと、バネの特性によりハンドルが中立点付近で振動的に動いてしまうことが懸念される。そこで今回の試作では、そのような振動が生じないように、荷の上昇と下降の操作を、円筒ハンドルの回転とスライドというモードの異なる操作に割り当てたコントローラを試してみることにした。

なお、コントローラは本体装置からは独立しており、操作信号は無線により本体装置に送られる。これにより、持ち上げるものが大きくチェーンまで手が届かない場合にも操作可能にしている。また、コントローラの数は容易に増やすことができる。ここで仮にチェーンに固定したコントローラとは別のコントローラによってチェーンが巻き上げた場合、チェーンに固定されたコントローラが本体装置等に触れた際にはチェーンを繰り出す信号が送られるため、安全装置としても機能する。

本試作ではハンドルの回転操作に違和感がないようチェーンを回転中心とした。しかしハンドルの回転中心にはチェーンを通すための空間が設けられているため回転式センサを配置することができない。そこで、コントローラの円筒部内側に薄膜式のポテンショメータを貼り付け回転位置に相当する抵抗を測定することで、回転位置を得る構造とした。図3に、コントローラ内部を示す。

試作したコントローラは、センサを内部に収めるためのサイズが必要であったため人が片手で操作するには、サイズが大きくなってしまった。また、微妙な位置決めをするために巻き上げと繰り出しを連続して行う際、ハンドル操作のモードが異なるため不自然な操作感覚となり、慣れでは解消しなかった。

今後は、サイズダウンを検討するとともに、ハンドル操作を軸方向スライドのみとしつつ確実に動作する構造を考案する必要がある。

2. 3 本体装置（駆動回路）

ユーザがハンドコントローラに対して行った操作は、無線によって本体装置の駆動回路に送られる。駆動回路は受信した信号に基づいてモータを駆動する。

一般的なホイストは速度が一定でオン・オフするものであり、スイッチを押すと瞬く間にその速度になる。また離すと同時に電磁ブレーキが作用し、回転体が瞬時に止まる。この動作により、動作開始時と停止時に大きな加速度が生じる。何度もボタン操作を繰り返しパルス状の加速度が生じるとモータの慣性により、ホイストを設置している構造体を揺らす。このため繊細な操作には向かず、荷にも衝撃的な力に屈しない剛性が必要となる。

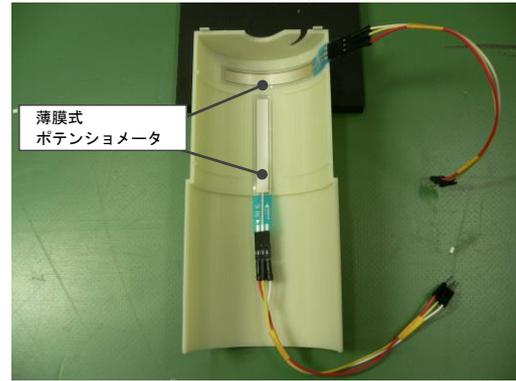


図3 コントローラ内部

また、巻き上げ・繰り出し速度が一定で、比較的是やく設定されているため、細かな位置に調整することが難しい。これらがホイストの適用範囲を狭めている原因のひとつと考えている。

そこで、本研究では駆動回路にマイコンを組み込み、緩やかに加速・減速する制御系を構成している。

本年度の試作では、ハンドコントローラのセンサ信号をそのままモータの制御信号に変換する単純な制御系を構成し動作を検証した。その結果、無線通信操作による僅かな時間遅れや、主軸の慣性により駆動・停止する際の反応が悪いなど、無駄時間と応答性の低さが見られた。このため細かな位置決めをする操作は可能であるが難しく、狙った使い勝手を得られていない。

今後は、本システムに組み込み可能な補償制御を検討し、動作特性の改善する必要がある。

3. まとめ

身体的負担なく荷揚げ・荷下げ作業できるシステムの実現を目指し、人の直感的な操作感覚を確保しつつ、電動モータにより重量物を昇降する装置の開発状況を報告した。

今年度の試作では、機械機構では昨年度の試作で問題となった騒音が軽減した。ハンドコントローラは無線方式を採用することで、揚げ下げする荷物の大きさによらず操作でき、安全装置としても利用できるスタイルを提案した。駆動回路においては、緩やかに加速・減速できる制御系を構成することで、繊細な操作を可能とした。

今後は、ハンドコントローラの小型化、駆動回路の動作特性の改善を図る予定である。

文 献

- [1] 坂東直行, 久富茂樹, “重負荷作業を解消する直感操作型運搬補助システムの開発 (第1報)”, 岐阜県情報技術研究所研究報告, pp.54-55, 2017.

岐阜県情報技術研究所研究報告 第 19 号 平成 29 年度

発行 平成 30 年 7 月 27 日

編集発行所 岐阜県情報技術研究所

岐阜県各務原市テクノプラザ 1-21

TEL: 058-379-3300

FAX: 058-379-3301

<http://www.imit.rd.pref.gifu.lg.jp>
