

ISSN 1882-8566

岐阜県情報技術研究所研究報告

第9号 平成19年度

岐阜県情報技術研究所

Gifu Prefectural Research Institute of Information Technology

目 次

| | |
|---|----|
| カメラ映像を用いた作業解析技術の研究と作業ミス検出への応用 | 1 |
| カメラを用いたセキュリティ技術の研究 | 5 |
| 画像を用いた食品評価に関する研究 | 8 |
| 見守りハウスシステムの開発 | 11 |
| 診療映像におけるシーン分割手法の検討 | 15 |
| 三次元位置に基づく救急医療処置の自動分割 | 18 |
| PCクラスタを用いた没入型立体表示システムによる3次元シミュレーション結果の表示手法 について | 23 |
| 触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究（第2報） | 26 |
| 水稲クリーン農業を支援するロボット（アイガモロボット）の実証研究 | 29 |
| 身体障がい者のQOL（生活の質）を大幅に向上させる高機能電動車いすの研究開発 - 意見収集とマニピュレータの改良設計 - | 33 |
| 身体障がい者のQOL（生活の質）を大幅に向上させる高機能電動車いすの研究開発 - 多機能指示入力装置の評価と改良 - | 35 |
| 情報収集ロボットへの全方向ステレオシステムSOSの搭載 | 39 |
| 自動切削加工機および加工事例 | 43 |
| 樹脂材料の適正な切削条件に関する研究 | 45 |

カメラ映像を用いた作業解析技術の研究と作業ミス検出への応用

清水 早苗 平湯 秀和 浅井 博次

Research of Motion Analysis using Camera and Application for Human error Detection

Sanae SHIMIZU Hidekazu HIRAYU Hirotsugu ASAI

あらまし 製造分野の組立作業工程において、ヒューマンエラーの検出は製品の品質・生産性向上のために重要な課題である。本研究では、組立作業を行う作業者の動作に着目し映像を用いて作業を解析する手法を提案し、作業の正否判定を行うことで、作業ミスを検出する。具体的には、動作特徴量として局所的動きベクトルの統計量を用い、その時系列データの変化から動作単位に映像を分割し、動作の分類を行う。これにより得られる動作の種類と順序の情報である動作列データと、標準化された動作列データと比較することで、作業の正否を判定する。また、実際の組立作業に対して実験を行い、本手法の有効性について検討を行った。

キーワード Industrial Engineering, 動作分析, 作業分析, 異常検知, 映像分割

1. はじめに

製造現場において自動化により品質と生産効率の均一化が進められてきた。しかし、特に組立工程においては、いまだ自動化の難しい複雑・繊細な作業工程が存在することや、近年急増している多品種少量生産に対応するための十分な設備投資が難しいことから、人の介入が必要な工程が多く存在する。人が介する作業においては、「作業間違い」や「作業忘れ」といったヒューマンエラーによる品質不具合が発生する。この不良品が市場へ流出した場合、利用者からの信頼を失うことはもちろん、例え、検査で市場流出を防ぐことができたとしても、ライン停止、後戻り工数の発生や廃棄等の大きな損害が生じるなど多大な影響を及ぼす。そのため、製造現場においてヒューマンエラー防止策は最大の課題とされている^[1]。

従来、作業ミスを検出するための方法として、部品の機能検査があるが、部品が完成するまでミスの発見が難しいという問題がある。また、取り付け部品の有無を確認する外観検査があるが、作業の正否までは評価できないため、工具や治具の器具信号の計数により作業の有無や正否を評価する方法が取られている。しかし、この器具信号による計数は実作業と整合が取れない場合があり、信頼性に課題がある。

そこで、本研究では、作業者の動作に着目し映像を用いて作業を解析する手法を研究開発することで、作業の正否判定を可能とする手法を提案する。本手法では、まず、組立作業における定型作業を対象として、定められた部品に「手を伸ばす」、「手を戻す」等の動作単位に映像を分割し、その動作の種類とその順序の情報である動作列データを獲得する。この動作列データから作業の分

類や作業の評価を行う。本研究において用いる動作特徴量は、従来の画像中から顔や手などの注目する点や領域を用いる手法^[2,3]に対して、作業現場のような複雑な環境に対してもロバストな局所的動きベクトルの統計量を用いる。

本稿では、具体的な作業として、自動車部品の組立工程において最も重要かつ基本的な作業のひとつであるネジの締め付け作業を対象とし、「締め付け忘れ」の作業ミスを検出する方法について述べる。さらに、映像に加え、工具の器具信号を併用することで、信頼性を向上させる方法についても述べる。また、実際の自動車部品の組立工場にて撮影したネジの締め付け作業の映像に対する実験により、本提案手法の有効性を示す。

2. 作業解析手法の概要

本研究では、作業映像を2つの層（作業層、動作層）に分けて作業の解析を行う。映像は、複数の連続するフレームから構成されるが、ここで、作業層は、「ひとつのネジを締め付ける」等、個々の作業を意味する区間に分割する層、動作層は「ネジに手を伸ばす」、「トルクレンチをまわす」等の意味ある最小単位の動作に分割する層である。作業映像と作業の階層構造の対応関係を図1に示す。

次に、映像から動き情報を用いて動作列データを獲得する処理手順について述べる。まず、映像の各フレームに対して作業者の動きを表す動作特徴量を抽出する。次に、この動作特徴量の時系列データの変化から動作単位に映像分割し、動作列データを獲得する（図1：動作層）。作業は、複数の動作の集合であり、動作の種類とその順

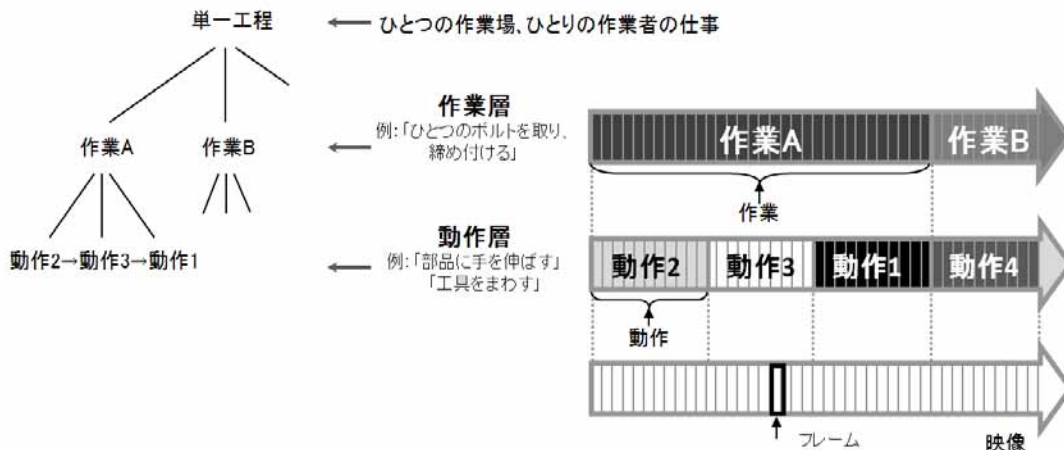


図1 作業と映像の階層構造の対応関係

序の情報である動作列データで表現されることから、あらかじめ作業ごとに定められた動作列データと獲得された動作列データの類似性を評価し、作業を分類、検出する。図1は、動作2 動作3 動作1の動作列データが作業Aに対応し、分類した例である。

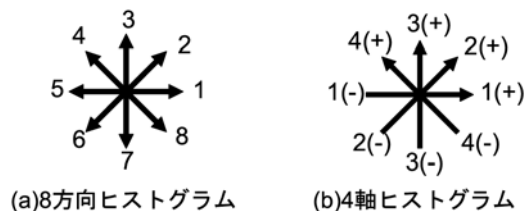


図2 動き方向ヒストグラム

3. ネジ締め作業の解析

ネジの締め付け作業は、最初に部品を治具に固定し、複数のネジに対応する箇所到手締めする。次に、規定トルクに達するまでトルクレンチを「締める方向に回転させる」「戻す」の動作を繰り返す締め付け作業を行う。ここで、締め付ける箇所は複数であるため、途中、締め付け作業を忘れるミスが発生することがある。現在、現場では、トルクレンチが規定トルクに達した時に発するロック信号をカウントし、その数が締め付けるべきネジ数より小さい場合、「締め付け忘れ」が発生したと検出している。しかし、このシステムでは、同一箇所、同一ネジに対して2度締めした場合、2つのネジを締め付けたと判断され、それ以降にネジを一つ締め付け忘れてもロック信号数とネジ数は一致し、「締め付け忘れ」を検出できない問題がある。これは、ロック信号では、2度締めと通常の締め付け作業とを区別できないためである。

これに対し、本研究で提案する作業者の動作に着目した手法の場合、正しい締め付け作業は、規定トルクに達するまでに「締める」「戻す」の動作が繰り返されるのに対し、2度締めは一度締め付けがなされているため、動作を繰り返さないという違いから、この2つの作業を区別することが可能である。そこで、「締める」「戻す」の動作が繰り返される締め付け作業のみを正しいと判定し、検出することで、信頼性の高い「締め付け忘れ」検出を行う。

本章では、まず、「締める」や「戻す」等の動作単位に映像を分割する手法、そして分割された動作の並びから正しい締め付け作業を検出する手法について述べる。

3.1 動作単位の映像分割

映像を動作単位に分割するために、動作と動作の切り替わりの点であるカット点を検出する。

従来、複数の映像が編集によりつなぎ合わされた映像のカット点を検出することを目的として、輝度や色などの画像情報の隣接フレーム間の差分を特徴として用いる手法^[4,5]があるが、環境が薄暗い場合や背景が似ている場合などで、カット点を見逃す問題があった。また、動きベクトルの大きさを利用する手法は、映像中の物体の大きな動きをカット点として誤検出してしまいう問題がある。この問題を解決することを目的として、映像の切り替わりと映像中の大きな動きを区別するため、動きベクトルの方向分布の変化に着目し、特徴として動き方向ヒストグラムを用い、隣接フレーム間の方向別ヒストグラムの絶対差分和によりカット点を検出する手法^[6]が提案されている。

本研究では、作業における動作は始点と終点とを結ぶ無駄のない動きであるという条件を満たすものとする。そうすることで、ひとつの動作中は動きの方向が変化しないが、動作の切り替わりでは動き方向が変化することに注目し、動きベクトルの方向ヒストグラムの変化から動作のカット点を検出する。動き方向ヒストグラムを求める処理として、まず、時刻 t での画像中の複数の点に対して算出した個々の動きベクトルを、その方向の最も近い分割方向へ分類する。図2(a)に示すように方向分割数を8とした場合、 $i(i = 0, \dots, 7)$ 番目の方向 d_i に属する動きベクトルの大きさの和をそれぞれ算出することで、動き

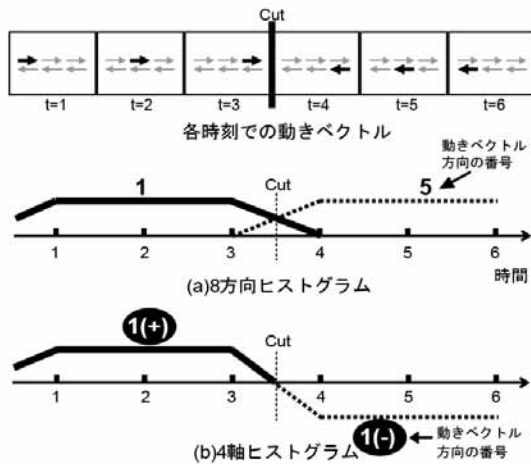


図3 動き方向ヒストグラムの変化からのカット点検出 (単一方向の動作の場合)

方向ヒストグラム $h_8(d_i, t)$ を求める。この動きヒストグラムの隣接フレーム間の絶対値差分和は式(1)で表される。

$$SAD_8(t) = \sum_{i=0}^7 |h_8(d_i, t) - h_8(d_i, t-1)| \quad (1)$$

この動き方向ヒストグラムの絶対値差分和を評価値として用いた場合、図3に示すように、ひとつの動作中に方向変化がない動作においては動作単位に分割できることがわかる(図3(a))。一方、図4に示すようにひとつの動作中であっても、徐々に隣接方向ベクトルへ移行する場合、このような隣接方向への変化に対してもカット点として検出される(図4(a))。そのため、「ねじ締め」作業のような隣接方向への変化はひとつの動作とする場合は、分割された区間を統合する処理を行うか、隣接方向への変化はカット点として検出しない評価値を用いる必要がある。ここでは、動き方向ベクトルの方向変化でも、隣接方向への変化と反転する方向への変化を区別し、反転変化のみをカット点として検出する方法について述べる。

図2(b)に示すように、8方向のヒストグラムを正負の符号をもつ4軸のヒストグラム $H_4(d_i, t) (i = 0, \dots, 3)$ に式(2)により変換した特徴を用いる。

$$H_4(d_i, t) = h_8(d_i, t) - h_8(d_i + 4, t) \quad (2)$$

動作が切り替わる点では、図3(b)や図4(b)に示すように各軸のヒストグラム値の符号が反転する。同時に4軸の値が0に近づくことから、4軸のヒストグラム値の絶対値和を評価値とし、極小をとる点をカット点として検出する。4軸のヒストグラム値の絶対値和を式(3)に示す。

$$SAD_4(t) = \sum_{i=0}^3 |H_4(d_i, t) - H_4(d_i, t-1)| \quad (3)$$

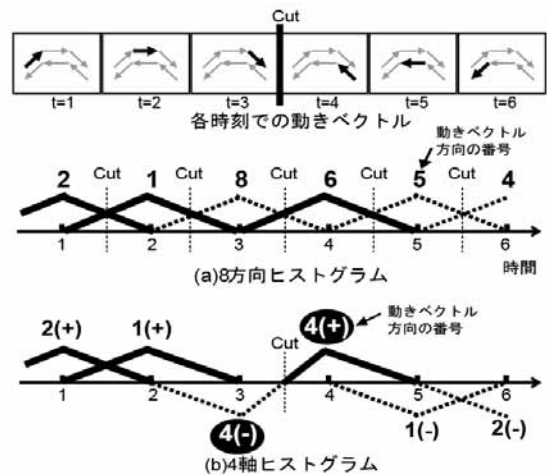


図4 動き方向ヒストグラムの変化からのカット点検出 (隣接方向への方向変化を含む動作の場合)

3.2 ネジ締め作業の検出

ネジの締め付け作業は、「締める」「戻す」という一連の動作を繰り返す作業である。そこで、この一連の動作の連続回数が閾値以上の場合、その連続区間を締め付け作業として検出する。ここで、一連の動作が連続か否かの判定は、2つの動作区間の動作特徴量の2乗差分和を類似度とし、その類似度に対する閾値処理により行う。動作区間の動作特徴量は、その動作を構成する全フレームの動作特徴量を積算し、正規化したものとする。

締め付け作業は、ひとつのネジ毎に検出される必要がある。締め付け作業の開始は、同一動作の連続回数が閾値以上となった場合、そのカウントが始まった時刻とする。締め付け作業の終了は、以下の3つの条件のうち少なくとも1つを満たす場合とする。

(1) 動作特徴の類似性

同一ネジを締め付ける動作は、ネジを締め付ける回転軸が一致しているため、「締める」動作同士、「戻す」動作同士はほぼ同一の動作特徴量をもつ。そこで、現動作とその2つ前の動作に対して前述の類似度を算出し、閾値以下の場合、他の動作に移ったとして終了とする。

(2) 動作の大きさ

通常、締め付け作業間には、次のネジに移り、トルクレンチをネジにセットする動作が入る。トルクレンチをセットする動作は、微調整であり動きが小さいため、動きベクトルの大きさに対して閾値処理をすることで検出し、終了とする。

(3) 動作時間長の変化

締め付け始めは負荷が小さく、「締める」動作の時間が短い。締め付けを繰り返すに従い、負荷が大きくなるため動作区間の時間が長くなることに着目し、隣接する動作区間の時間が小さく変化する場合を終了とする。

また、締め付け作業は、トルクレンチが規定トルクに達することにより終了する。このとき出力されるロック信号を併用して評価することでさらに信頼性を向上でき



図5 取得画像例

と考えられる。このことについて、次章にて述べる。

4. 実験

実際の組立工場におけるネジ締め作業の映像に対して、締め付け作業の検出を行った実験結果を示す。

4.1 実験の設定

締め付けネジ数10本のA部品、ネジ数4本のB部品の2種類の組立作業に対して、それぞれ、10個、4個、つまり計16の締め付け作業の映像を用い、本手法の有効性を検証した。映像データは、フレームレートは30fps、サイズは160pixel×120pixelのグレースケール画像である。カメラは作業者から見て右上方の位置に固定した。取得された画像例を図5に示す。

4.2 ネジ締め付け作業の検出結果

2度締めと区別し、「締める」「戻す」を繰り返す正しいネジの締め付け作業のみをカウントすることで「締め付け作業忘れ」を検出することが目的である。そこで、ここでは、式(4)に示すように、検出すべき作業数(=ネジ数)に対して、提案手法により検出された正解作業数の割合を評価する。検出された正解締め付け作業数は、作業の開始から終了まで正しく検出されているか否かを目視により判定し、カウントした。

$$\text{正解検出率} = \frac{\text{検出された正解作業数}}{\text{検出されるべき作業数}} \quad (4)$$

締め付け作業として検出する同一動作の連続回数の閾値は3回、また、同一動作を判定する類似度の閾値は0.2とした。

検出すべき締め付け作業数は16、提案手法により検出された正解締め付け作業数は13であり、正解検出率は97.4%であった。高い確率で締め付け作業が検出できることがわかる。そして、トルクレンチのロック信号では区別が困難であった2度締めの映像に対してもネジ締め作業の検出処理を行った。2度締め作業数16に対して、正しいネジ締め作業と判断された作業数は0であり、誤検出されなかったことを確認した。

正しく検出ができなかった3つのネジの締め付け作業の状況は、締め付け作業中にトルクレンチがすべり、繰り返し動作が途切れた場合であった。作業が途切れた場合、ひとつのネジに対して2回締め付け作業を行うこととなるため、正確な作業数をカウントできない。そこで、

映像による動作の連続性と、作業の終了を正確に得られるトルクレンチのロック信号を併用することとした。ロック信号間はひとつのネジに対する締め付け作業と判断できる。同一動作の連続回数がすべりにより途切れた場合でも、ロック信号間はリセットすることなくカウントし、その数が3回以上の場合には、ひとつのネジに対して正しく締め付け作業が行われたと判定し、検出する。同一の作業映像に対して、この処理を行った結果、検出すべき締め付け作業数16に対して、検出された正解締め付け作業数は16となり、正解検出率は100%であった。この結果から、映像による動作評価とトルクレンチのロック信号を併用することで、作業検出の信頼性が大きく向上したことがわかる。

5. まとめと今後の課題

製造業の組立工程における品質・生産効率の向上を目的として、カメラ映像を用い、作業者の動作列データを獲得することで、ヒューマンエラーを検出する手法を提案した。本稿では、ネジ締め作業を対象として、作業映像を動作単位に分割する手法、動作の繰り返しパターンから締め付け作業を検出する処理について述べた。また、映像による動作の連続性とトルクレンチのロック信号とを併用することでネジの締め付け作業に対する正否判定の信頼性を高めた。実際の組立工場における作業映像に対して評価実験を行い、有効性を示した。

今後は、実証実験により個人差の影響に対するロバスト性評価を行っていく。

文献

- [1] “平成17年度自動車のリコール届出内容の分析結果について”，国土交通省自動車交通局，2006。
- [2] M. Brand, N. Oliver and A. Pentland, “Coupled hidden Markov models for complex action recognition”, Proc.CVPR, pp.949-999, 1997.
- [3] 三浦宏一, 高野求, 浜田玲子, 井手一郎, 坂井修一, 田中英彦, “料理映像の構造解析による調理手順との対応付け”, 信学論(D-II), Vol.J86-D-II, No.11, pp.1647-1656, 2003.
- [4] J.S. Boreczky and L.A. Rowe, “Comparison of video shot boundary detection techniques”, Proc.SPIE, vol.2664, pp.170-179, 1996.
- [5] 中島康之, 氏原清乃, 米山暁夫, “部分複合を用いたMPEGデータからのカット点検出”, 信学論(DII), Vol.J81-D-II, No.7, pp.1564-1575, 1998.
- [6] 鈴木賢一郎, 中嶋正臣, 坂野鋭, 三部靖夫, 大塚作一, “動き方向ヒストグラム特徴を用いた映像データからのカット点検出法”, 信学論(D-II), Vol.J86-D-II, No.4, pp.468-478, 2003.

カメラを用いたセキュリティ技術の研究

清水 早苗 平湯 秀和

Development of Image Processing Technology for Video Surveillance

Sanae SHIMIZU Hidekazu HIRAYU

あらまし セキュリティ対策として、様々な施設で監視カメラシステムが使用されているが、モニタリングする監視員数が限られることから事件、事故の早期発見、未然防止が困難であり、十分な効果をあげているとはいえない。そのため、監視カメラシステムの高機能化のニーズは高く、不審人物や不審行動を検出するために、人の動作パターンを獲得し、分析する技術の開発が求められている。そこで本研究では、カメラ映像から人の動き情報を抽出し、人の動作の種類とその順序、時間等についての情報を獲得する手法を検討したので報告する。

キーワード 監視システム、異常検知、セキュリティ

1. はじめに

近年、セキュリティ対策としてカメラによる監視システムへの期待は大きく、大量のカメラが様々な場所に設置されている。しかし、カメラ映像を常に人が監視することはコストの問題から難しく、単に録画を行うだけで事後の確認・検証を目的とした利用が多い。大規模な施設の場合、多数のカメラ映像を集中させ、少数の監視員によりモニタリングを行うケースもあるが、多数のカメラ映像を、同時に集中力を保ちながら監視することは困難である。本来監視カメラシステムには、事故や犯罪を事後に確認することでなく、直後に早急な対処を行うこと、さらには事前に察知し、未然に防止することが求められる。そのため、リアルタイムに不審人物や不審行動の検出を可能とする高度な監視カメラシステムのニーズは高く、多くの研究や技術開発が行われている^[1]。

その一つに、立ち入り禁止エリアに侵入した人物を検知する課題がある^[2]。この場合、平常時には人物が存在しないことが仮定されていることから、侵入行動はすべて不審行動と見なすことができた。

しかし、上記のような特殊な環境のみならず、不特定多数の人物が出入りする環境においても不審人物の検出が求められている。この場合、善良な人物の中に混在する不審者を発見することが求められるため、細かな動作認識技術が重要となる^[1]。そのための技術として、人物の歩行軌跡に着目した技術^[3]や人物の動作に着目した技術^[4-6]がある。前者は、人物を追跡し歩行軌跡を獲得し、非直線的移動や特定方向への移動など特定の移動を不審者として検出している^[3]。後者の手法としては、エレベータかご内で発生する暴力犯罪の検知を目的に、オプティカルフローを用いて激しく暴れる人物を検出する手法^[4]や、動きと形を同時一様に扱うことが可能な立体高次

自己相関特徴を用いて、異常動作を通常動作の逸脱と定義し、検出する手法^[5]がある。また、銀行のATMでの携帯電話による暗証番号盗撮やゴミ箱からの明細持ち去りなどの非定常動作の検出を対象とし、人物領域のシルエット画像に対して非定常度を推定する手法が提案されている^[6]。これらの手法は、特定動作の検出や動作が異常か否かを判定する技術であり、不審者が明確な非定常動作をとる場面において利用されている。これらの場面对し、店舗内の不審者である窃盗犯など高度な不審行動を対象とした場合、明確な非定常動作はなく、通常客の動作と区別することが困難である。

そこで、本研究では、単一動作に対する異常判定だけでなく、動作の順序や頻度、時間間隔等の時間関係を考慮することで、より詳細に行動を理解し、異常動作を検出することを目的として、映像から動作の種類と順序、時間についての情報である動作パターンを獲得する手法を提案する。この動作パターンを獲得する手順として、まず、監視カメラの映像から動作特徴量を抽出する。次に、その特徴量の時間変化から「商品に手を伸ばす」、「移動する」等の動作単位に映像を分割し、その動作を分類することで動作パターンを求める。本稿では、店舗内の行動を想定した映像に対して実験を行い、異常動作の検出について検討する。

2. 動作パターンの獲得

本研究では、「手を伸ばす」、「移動する」等の人物の動作単位に映像を分割し、その分割区間に対して動作の特徴を表す記号を付加することで、動作パターンを記号列として獲得する。

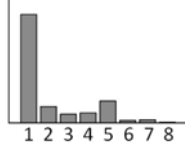
まず、映像を動作単位に分割するために、動作と動作が切り替わる点であるカット点を検出する。本研究では、



(a) 取得画像とそのオプティカルフローの例



(b) 方向の8分割



(c) 方向別ヒストグラム

図1 方向別ヒストグラムの例

ひとつの動作は、「静止状態から速度を上げ、やがて速度が減少し、静止する」という動きの大きさに関する性質と、「動作の開始から終了までの間は、動きの方向変化が小さい」という動きの方向に関する性質を持つことに着目し、映像の動き情報を用いて、動きの方向が大きく変化し、かつ動きの大きさが減少から増加へ変わる点をカット点として検出する。

ここでは、動作特徴として、従来の顔や手などの注目する点や領域の動きを用いる手法に対して、実環境においてもロバストな抽出が可能な動きベクトルの統計量である大きさの総和と方向別ヒストグラムを用いる。方向別ヒストグラムの算出は、まず、図1(a)に示すように、画像中の注目画素の前時刻に対する移動量（大きさと同方向）である動きベクトル（以降、ベクトルと呼ぶ）を抽出する。図1(a)では、ベクトルの大きさに対してしきい値処理を行い、動きのある点のベクトルのみを表示している。次に、求めたベクトルを方向別に分類する。本稿では、方向分割数を8とし、図1(b)の通り、8方向に等分割する。図1(c)に図1(a)のベクトルを8方向に分類し、そ

の方向別にベクトルの大きさの和をとって得られる方向別ヒストグラムを示す。図1(a)では、左から右方向に水平な動きベクトルが多く、得られるヒストグラム（図1(c)）も1が大きい値となっている。

次に、ベクトルの大きさの総和と、方向別ヒストグラムの時間変化から映像を動作単位に分割する。図2(a)に、「静止状態」「手を伸ばす」「手を戻す」というシーケンスの例を示す。そして、このシーケンスから抽出した全ベクトルの大きさの総和（太線）と方向別ヒストグラムの時間変化を図2(b)に示す。大きさの総和は、動作の開始とともに動きが大きくなり、動作の切り替わり時点で小さくなることからわかる。また、方向別ヒストグラムについては、ひとつの動作においてヒストグラム値が最大となる方向は変化がないか、図2(b)左部分に示すように3、2、1と隣接する方向への変化である。そのため、ここでは、全ベクトルの大きさの総和が極小をとる点、または、方向別ヒストグラムの最大をとる方向が隣接方向以外に変化した点をカット点として検出する。

最後に、映像の分割処理により得られる分割区間に対して、動作の特徴を表す記号を付加する。ここでは、分割区間を構成する各フレームの方向別ヒストグラムを同じく方向別に積算し、その値が最大をとる方向の番号を記号として付加する。全ベクトルの大きさの総和が小さく、動きがないと判断された区間は、記号0とする。図2(c)は、図2(b)の分割結果と方向別ヒストグラムの時間変化から、得られる記号列である。

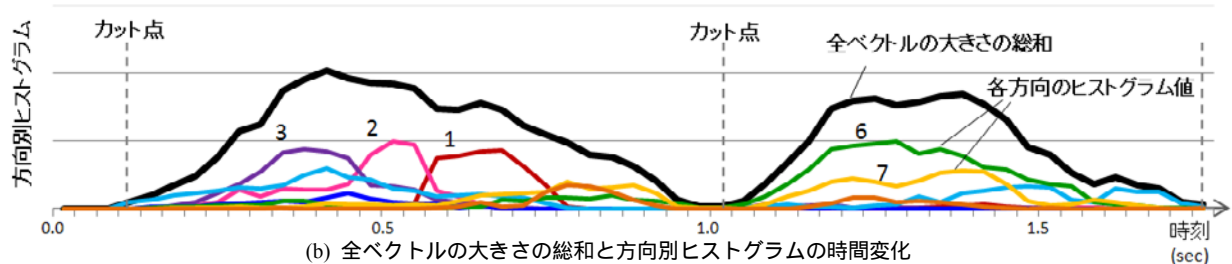
3. 実験

店舗内の行動を想定した映像に対して、動作パターンを獲得する実験を行い、その結果を示す。

ドラッグストアやホームセンター等の大型店舗では、高額商品の転売を狙った窃盗犯による被害が問題となっ



(a) シーケンス（「静止」→「手を伸ばす」→「手を戻す」）



(b) 全ベクトルの大きさの総和と方向別ヒストグラムの時間変化



(c) 記号列（動作パターン）

図2 映像の分割と分類

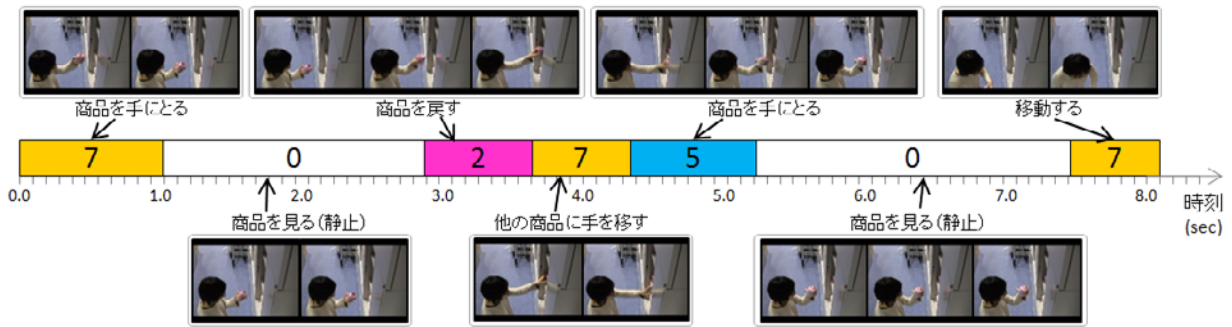


図3 通常客映像に対する動作パターン結果

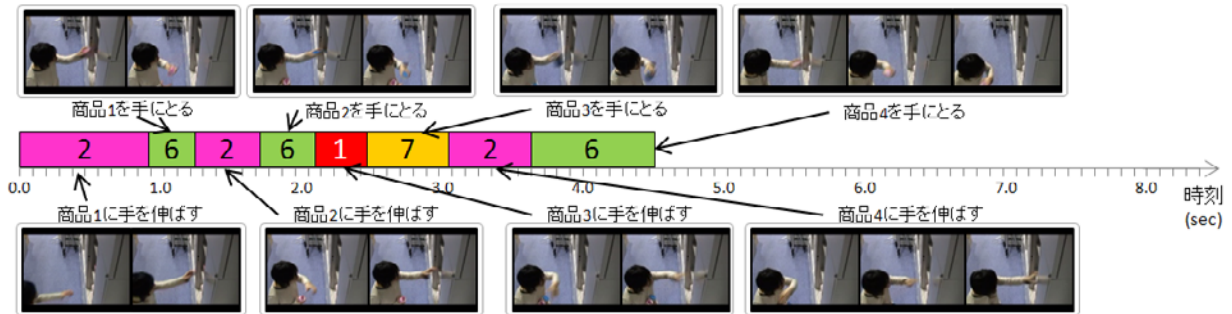


図4 窃盗犯の映像に対する動作パターン結果

ている。窃盗犯の行動についての報告や監視カメラ映像を基に、通常客と窃盗犯の行動をそれぞれ演じ、撮影した映像に対して処理を行った。

通常客の行動は、棚から商品を手にとり、商品を見て、その商品を棚に戻し、別の商品を手にとり、商品を見て、その商品を持ち帰るといったシナリオとした。図3にこの通常客の映像の一部と、その処理結果である動作パターンを示す。映像が、「商品を手にとる」「商品を見る(静止)」「棚に商品に戻す」「他の商品に手を伸ばす」「商品を手にとる」「商品を見る(静止)」「移動する」の動作ごとに分割されていることを確認した。

次に、窃盗犯の行動は、その特徴のひとつとして素早く目当ての商品を一度に多数持ち去る特徴があることから、ここでは、目当ての商品の前に現れ、商品に手を伸ばし、手にとる動作を4回繰り返すシナリオとした。図4にこの窃盗犯の映像の一部と、その処理結果である動作パターンを示す。映像が、「商品1に手を伸ばす」「商品1を手にとる」「商品2に手を伸ばす」「商品2を手にとる」「商品3に手を伸ばす」「商品3を手にとる」「商品4に手を伸ばす」「商品4を手にとる」と動作ごとに分割されていることを確認した。

分割区間に対して付加された記号に、「商品に手を伸ばす」「商品を手にとる」という意味づけはされていないが、「手を伸ばす」動作は記号2(右上方向)、記号1(右方向)となる傾向が強いことがわかる。従って、この記号列の情報から商品を手にとる頻度や速度を読み取ることができ、不審行動の検出に有益な動作パターンの情報となりえることがわかる。

4. まとめ

本研究では、動作の順序や頻度、時間間隔等の時間関係に注目して、詳細に行動を理解することを目的として、映像を用いて動作パターンを獲得する手法を提案した。動作特徴量として、動きベクトルの大きさと方向別ヒストグラムを用い、その時間変化から映像を動作単位に分割し、動作の分類を行うことで、動作パターンの獲得を行った。そして、店舗内の行動を想定した映像に対して実験を行い、動作パターンが獲得できることを確認した。今後は、分割精度の評価と動作パターンを用いた異常検知の手法について検討する。

文献

- [1] 橋本学, “監視カメラ画像処理技術の展開”, 第11回画像センシングシンポジウムSSII05, pp.35-40, 2005.
- [2] 羽下哲司, 鷲見和彦, 八木康史, “変化領域内の独活気の時空間特徴に着目した野外情景における歩行者の検出”, 信学論, vol.J87-D2, no.5, pp.1104-1111, 2004.
- [3] 佐藤和也, 熊野真, “不審者検知技術”, 三菱電機技報, vol.78, no.8, pp.43-46, 2004.
- [4] 関真規人, 林健太郎, 谷口博康, 橋本学, 笹川耕一, “リアルタイム人物暴れ検出システム”, 第10回画像センシングシンポジウムSSII04, pp.273-278, 2004.
- [5] 南里卓也, 大津展之, “複数人動画からの異常動作検出”, 情報処理学会論文誌, vol.46, no.SIG15, 2005.
- [6] 数藤恭子, 大澤達哉, 若林佳織, 安野貴之, “映像時空間内での変化領域を特徴量とする監視映像からの非定常度推定”, 信学技報PRMU2006-28, pp.49-54, 2006.

画像を用いた食品評価に関する研究

曾賀野 健一 平湯 秀和

Research of Food Valuation with Image Analysis

Ken-ichi SOGANO Hidekazu HIRAYU

あらまし 牛肉等の食品に含まれる成分の中で、食味性（口溶け等）に影響を与えるとされる不飽和脂肪酸に着目し、不飽和脂肪酸の割合を非破壊かつ客観的に定量評価する手法として、近赤外光を用いた分光画像に対して画像解析技術を用い、光強度から不飽和脂肪酸の割合を推定するアルゴリズムを考案した。本報告では、光強度と不飽和脂肪酸の割合の関係性を把握するため、不飽和脂肪酸の割合が異なる2種類のサンプル(牛抽出脂肪)を用いて分光画像撮影実験を行い、得られた分光画像データから各波長における光強度特性を示した。

キーワード 不飽和脂肪酸, 非破壊, 分光法, 牛抽出脂肪, 分光画像

1. はじめに

近年、食材の食味に関して、客観的な評価指標を確立し、安定した食品の品質を供給する要望が高まっている。

従来、牛肉等の肉質評価は、社団法人日本食肉格付協会が農林水産省畜産局長の承認を得て制定した「牛枝肉取引規格」に基づいて、格付職員の目視（主観的判断）により決定される^[1]。しかし、破壊試験で行う食味に関わる成分の分析は、分析時間が非常にかかることから全ての牛肉に対して行うことが困難なことから格付値の決定に反映されていない状況である。格付の結果は、取引価格に直結する一方で、食味の情報が含まれず、格付値と食味の関係は、ブランドの信頼性と牛肉流通全体に関わる問題として、現場が抱える大きな課題となっている。

このため、食味に関わる特徴を、科学的解析手法を用いて、非破壊・迅速・簡単に評価が可能な客観的指標の確立が期待されている。

また、岐阜県が誇るブランド肉牛である飛騨牛も例外ではなく、飛騨牛の特色ある食味に関して、客観的指標を確立することは、飛騨牛の育種改良・ブランド振興に向けて、大きな拍車となると考えられる。

2. 目的

牛肉等に含まれる成分の中で、食味に影響を与える成分として、不飽和脂肪酸があげられる。これは、総脂肪酸に対して不飽和脂肪酸の割合が高いほど、脂肪融点が低くなり、食味性（口溶け）がよいとされるためである^[2]。

そこで、本報告では不飽和脂肪酸に着目し、不飽和脂肪酸の割合を、科学的解析手法により、非破壊・迅速・簡単に推定することを行う。これにより、従来の肉質評価では困難であった食味に関する有力な情報として、客観的な指

標を示すことができるのではないかと考えた。

3. 方法

3.1 分光法

成分の定量を非破壊的に行う科学的手法として、分光法の利用が考えられる。分光法は、光と物質の相互作用によって生じる光強度やエネルギーの変化を捉えて、成分の分析結果を数値的に求める科学的手法であり、物質が光を吸収する際の振動数が、物質の種類や構造に関して固有の値を示す特性を利用する。分光法は、光を利用した測定であるため、非破壊・迅速・簡単に成分の定量を行える点で有力な手法と考えられる。

3.2 近赤外光

測定対象物ごとに、分光法を適用する観測波長帯域を考慮する必要があるが、今回の測定対象物となる牛肉等には、水分が比較的多く含まれるため、水分の影響を極力軽減することが望ましい。ここで、近赤外光は、一般に800～2,500nmの電磁波を指すが、特に短波長域では水の光吸収感度が極めて微弱となることが知られている^[3]。さらに、近赤外の短波長域は、エネルギーが比較的低い電磁波であるため、牛肉等の水分含有試料を非破壊的に扱う場合の分析に適しているとされている。

3.3 不飽和脂肪酸の吸光特性

観測波長帯域として、近赤外の短波長域を採用する場合には、その帯域における不飽和脂肪酸の光吸収特性を、事前に把握しておく必要がある。

飛騨牛等の牛肉に含まれる不飽和脂肪酸のうち、主要な構成物質がオレイン酸である^[4]。予備調査として、オレイン酸の標準試薬（純度99%）に関して、波長800～1,100nmの範囲における分光スペクトル特性を確認したところ、波長914nmに光吸収ピークの存在を確認した。

光吸収バンドの帰属を考慮し、観測波長帯域を選択することは、検量モデルを合理的に作成することができることも、理論的な根拠をもつことになる^[5]ため、本報告では、波長914nmを中心とした帯域を観測波長帯域として採用することとした。

3.4 画像の利用

分光測定に関しては、光ファイバを用いる方法も提案されているが、ポイント測定となり、また、十分なサンプル数が得られないため、サンプルの測定点と理化学分析値との間に不整合が生じる問題点がある。そこで本報告では、ポイント測定から2次元画像測定への拡張を考案し、より精度の高い検量モデルの構築を目指す。

3.5 分光画像

分光画像は、分光器を取り付けたCCDカメラにより、一つ一つのサンプル(牛肉)に対して、891nm~938nmまで、1nm毎に波長を変えて取得した。ただし、標準板に対する相対的な光強度を画素単位で算出することで、測定環境の影響の低減を図った。(図1参照)

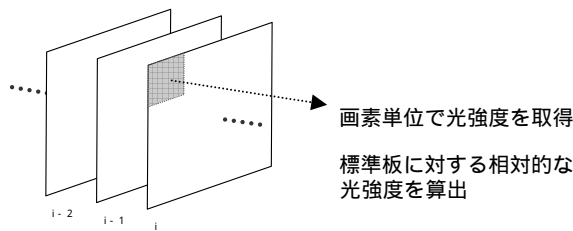


図1 分光画像データの取得

3.6 データ解析

3.5節で算出した各画素の光強度に対応する不飽和脂肪酸の割合を求めるため、任意の波長において、(1)式が成り立つ。

$$\sum_{i=1}^n k_i \cdot u(r_i) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot U \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

k_i : 光強度 r_i の画素数

$u(r_i)$: 光強度 r_i に対応する不飽和脂肪酸の割合(%)

U : 不飽和脂肪酸の割合(%) (理化学分析値)

n : 光強度の階調値

全サンプルの(1)式に関して、連立方程式を解くことにより、任意の波長における光強度と不飽和脂肪酸の割合の対応値が求まる。他の波長についても同様の計算を行い、光強度と不飽和脂肪酸の割合の相関が最も高くなる波長を選択する。

解析フローを図2に示す。

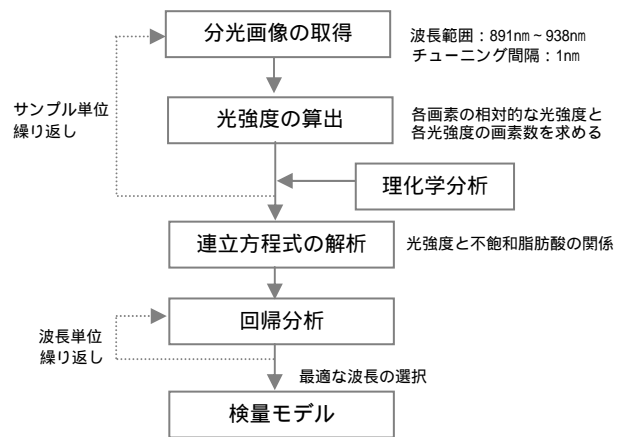


図2 解析フロー

4. 実験

4.1 実験装置

図3に分光画像の撮影装置を示す。検出器は、高階調(16bit)の冷却CCDカメラ(Alta U260, Apogee社)を使用した。冷却CCDカメラは、最大で512×512pixelの分光画像を、画素単位で65,535階調の高精細なデータを取得することが可能である。分光器は、波長チューナブル液晶フィルター(VariSpec NIR, CRi社)を使用した。波長チューナブル液晶フィルターは、冷却CCDカメラとレンズを介して接続し、PC上の操作により、冷却CCDカメラと波長チューナブル液晶フィルターを連携制御することで、近赤外の任意の帯域における分光画像を連続して撮影することが可能である。

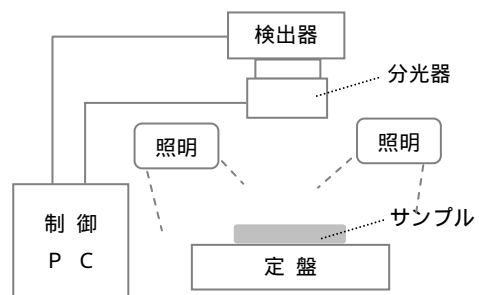


図3 分光画像の撮影装置

4.2 実験環境

分光画像の撮影場所は、岐阜県畜産研究所内の恒温室で行った。恒温室は、室温を常に一定に保ち、外光の影響を受けない暗室である。本実験では、室温を4℃に固定した。

4.3 サンプル

不飽和脂肪酸の割合が異なるサンプルの場合、その光強度が、観測する波長に応じて、どのような変化(傾向)を示すのか把握しておくことが重要



図4 牛抽出脂肪

と考え、あらかじめ、不飽和脂肪酸の割合が既知な脂肪成分のみを抽出したサンプル（図4参照）を2種類使用して、分光画像を取得することとした。

なお、牛抽出脂肪の厚さは5mmとした。

4.4 データの取得

冷却CCDカメラの冷却温度は、-5 に設定し、絞りは、F8とした。分光画像のサイズは、最大の512×512pixelとし、波長891～938nmにおいて、1nm間隔で標準板および各サンプルの分光画像を取得した。

画素単位で取得した標準板と各サンプルのデータを用いて、見かけの（相対的な）光強度を算出した。

分光画像取得後、恒温室と同じ場所に設置されている液体クロマトグラフィ（SPD-10AV他 島津製作所）を用いて、理化学分析値を測定したところ、2つのサンプルの不飽和脂肪酸の割合は、それぞれ50.18%と59.28%であった。

5. 結果と考察

各サンプルの光強度特性を図5に示す。

実際には、3.6節で述べたとおり、適切なサンプル数を確保した上で、光強度分布（ばらつき）を考慮した解析を行うことになるが、今回は、2種類のサンプルに関して、波長による光強度変化（傾向）の違いを確認する。図5に光強度の平均値を用いて比較した結果を示す。

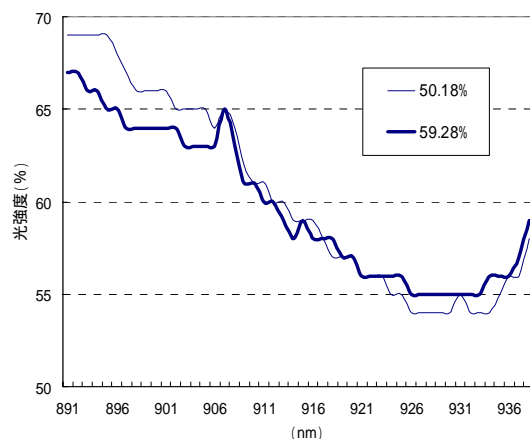


図5 各サンプルの光強度特性

不飽和脂肪酸の割合の多いサンプル（太線）は、不飽和脂肪酸の割合の少ないサンプル（細線）と比較して、波長906nm以下で光強度が低いが、波長924nm以上では反対に光強度が高い傾向を示す結果となった。

今回の2種類のサンプルに関していえば、波長906nm以下において、不飽和脂肪酸の割合を光強度で最もよく説明できる波長が存在する可能性を示している。

6. まとめ

本研究では、分光法の原理と画像解析技術を組み合わせることにより、光強度から不飽和脂肪酸の割合を非破壊かつ客観的に推定する科学的解析アルゴリズムを考案した。

不飽和脂肪酸の割合が異なる2種類のサンプル（牛抽出脂肪）の分光画像撮影実験を行い、得られた分光画像データから、観測する波長によって、各サンプルの光強度（平均値）に差が生じることを確認した。

今後は、さらに牛抽出脂肪のサンプル数を増やし、実際の光強度分布を考慮した数値解析を行うことで、不飽和脂肪酸の割合と光強度の関係を最もよく説明できる波長を選択し、より精度の高い検量モデルの構築と評価を行う予定である。

謝 辞

本研究の分光画像撮影等に関わり、助言を頂きました岐阜大学工学部山本和彦研究室の皆様にご感謝いたします。

また、本研究の予備調査に関わり、成分の分光特性資料を提供くださいました岐阜女子大学家政学部小川宣子教授にご感謝いたします。

文 献

- [1] “社団法人 日本食肉格付協会 取引規格の説明”，
<http://www.jmga.or.jp/>
- [2] “市場牛肉質性状の実態調査”，畜産試験場年報，No.25，
pp.151-162，1987.
- [3] 尾崎幸洋，河田聡，“近赤外分光法”，株式会社学会出版センター，pp.11-15，1996.
- [4] “文部科学省 五訂増補日本食品標準成分表”，
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/05031801.htm
- [5] 尾崎幸洋，河田聡，“近赤外分光法”，株式会社学会出版センター，pp.35，1996.
- [6] 岩本睦夫，河野澄夫，魚住純，“近赤外分光法入門”，株式会社幸書房，1994.
- [7] 河野澄夫（編者），“食品の非破壊計測ハンドブック”，株式会社サイエンスフォーラム，2003.

見守りハウスシステムの開発

窪田 直樹 平湯 秀和

Development of Safety House System

Naoki KUBOTA Hidekazu HIRAYU

あらまし 近年、転倒や浴室での溺死など、屋内事故に起因する死者の数が、交通事故による死者の数を上回っている。これらの事故の中には、早期に発見すれば死に至らなかったケースが多く含まれる。本研究は、一人暮らしの老人を対象に、様々なセンサで事故を早期に発見するシステム(見守りハウスシステム)の開発を目標としている。本報告では、目標としている見守りハウスシステムの概要と、本年度開発した画像を用いた見守りシステムについて報告する。

キーワード 見守りハウス、画像センシング、センサフュージョン、CHLAC、RRC

1. はじめに

近年、一人暮らしの老人が誰にも看取られること無く死亡する「孤独死」という言葉がマスコミに取り上げられるようになった。孤独死は、定義が曖昧であることや直接の死因(病死、事故等)では無いことから全国的な統計が取られていないが、阪神淡路大震災復興住宅では震災後10年間に600人余りが死後に発見されている。また、国内の死亡事故のうち、転倒や浴室での溺死など屋内事故による死者の数は、交通事故による死者の数を上回っている^[1]。これらの死亡事故の大半は、老人の一人暮らし、または家族や介護者が留守の間に発生しており、早期発見ができていれば死に至らなかったと思われるケースも多く含まれている。このような事態は、家族との同居や介護サービスの充実が進めば減少すると考えられるが、核家族化、少子高齢化が進む現状では難しいと言わざるを得ない。一方、一人暮らしでも炊事・洗濯などの日常生活には支障がない老人も多い。これらの老人に対しては、事故が起きたときだけ手助けがあれば致命的な事故を避けることができると考えられる。

そこで本研究では、一人暮らしの老人を対象に、様々なセンサで事故を早期に発見し、家族・介護者等に迅速に連絡することで、事故の深刻化を防ぐシステム(見守りハウスシステム)を提案し、開発する。

2. 見守りハウスシステム

既存の見守りシステムの多くは、家電製品の利用量や利用時刻、ドアの開閉時刻などを調べ、定時、および平

常時と異なっているときに家族・介護者等に連絡するようになっている。しかし、このようなシステムは、「電源を入れる」「ドアを開ける」など、住人が行動を起こさなければ状況を把握することができない。例えば、ガスの利用を調べるシステムの場合、朝・昼・夕食の前にガスを利用していれば、住人は通常の生活を送っていると判断できる。しかし、朝食後に足を滑らせ大けがをしたとき、それを知ることができるのは、昼食前にガスの利用が無いことが判明したときである。また、住人に携帯電話や通報装置を持たせ、事故発生時に住人自ら通報するシステムもあるが、突然意識を失ったときに通報できない、入浴時には装置を持っていないなどの欠点がある。

本研究が提案する見守りハウスシステムは、複数のセンサを室内に設置し、各センサから得られる情報を統合することで、住人の行動を検知する密度を高め、早期に事故の発生を通報するシステムである。図1に、見守りハウスシステムのイメージ図を示す。図中、様々なセンサが配置されているが、これは、それぞれの場所に適したセンサを利用することを例示している。例えば、画像系センサは得られる情報量も多く、事故が発生したときの映像を家族・介護者等に提示することができるが、トイレや浴室などに設置することはプライバシーの観点から適していない。一方、超音波センサは人・物の通過しかわからないが、プライバシーの問題はほとんどない。このように、それぞれのセンサが互いの欠点を補い合うことで、リアルタイムに事故を発見することができる。

今年度は、廊下や居室などで人の転倒を検知することを目的に、画像を用いた見守りシステムを開発したので、報告する。

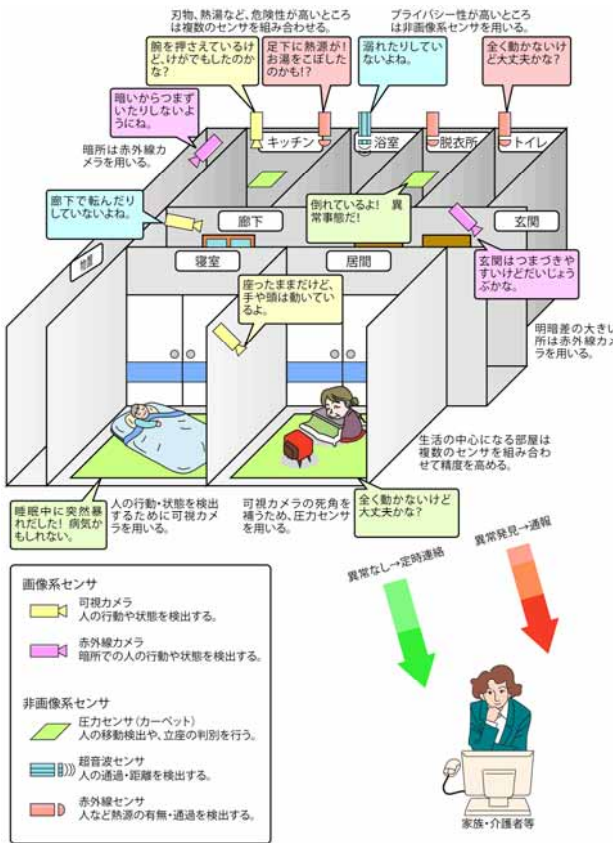


図1 見守りハウスシステムのイメージ図

3. 画像系見守りシステム

画像系センサは、秘匿性が低く、人の出入りが多い玄関・廊下の見守りに適している。このような場所で発生する事故としては、転倒があげられる。そこで、人の挙動判別および位置判別をすることで、転倒事故をリアルタイムに発見する手法を提案し、その手法を用いた画像系見守りシステムで実験を行った。

3.1 挙動判別

一般に、画像処理で人の動きを調べる場合、映像から人物領域を抽出し、その大きさと位置から姿勢や挙動を判別する方法が使われる。しかし、住居内にカメラを設置する場合、カメラの画角やカメラと住人との距離によっては、全身が写らない、奥行き方向への移動が多く住人の姿勢や挙動が判別できないなどの問題点がある。そこで、人物領域の抽出を行うことなく挙動を判別する手法を採用した。具体的には、入力映像(図2(a))のフレーム間差分をとり、さらに2値化処理を行った画像(図2(b))に対してCHLAC(立体高次局所自己相関)特徴^[2]を求め、挙動を判別する。

CHLAC特徴は、動きと形の情報を同時に表現できる特徴量であり、画像処理対象が画面のどこに写っているかを問わない位置普遍性がある。また、CHLAC特徴は局所変位の取り方により無数のバリエーションがあるが、本研究では独居老人の転倒検出に特化することから、動き情報のみを扱う限定CHLAC特徴を定義し使用すること

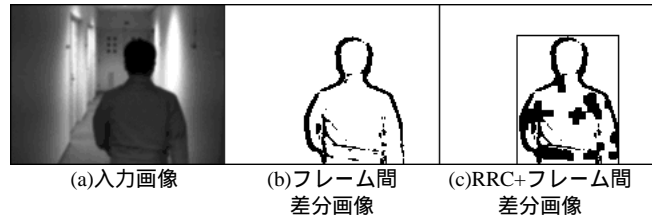


図2 処理中の画像

にした。限定CHLAC特徴は、次式のように表される。

$$x_n(t) = \sum_{x,y} f(t,x,y)f(t-1,x+\Delta x_n,y+\Delta y_n) \dots \dots (1)$$

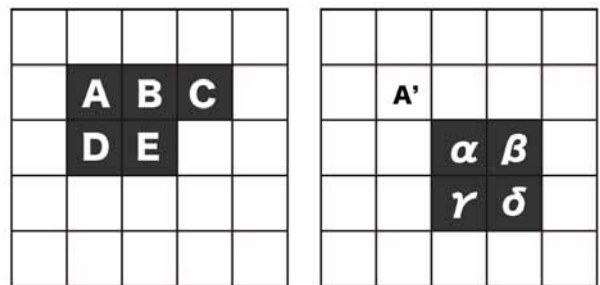
$$\begin{cases} \Delta x_n = n \bmod 3 - 1 \\ \Delta y_n = \lfloor \frac{n}{3} \rfloor - 1 \end{cases} \quad (n = 1, 2, \dots, 9)$$

$$f(t,x,y) = \begin{cases} 0 : \text{画像処理対象が写っていない} \\ 1 : \text{画像処理対象が写っている} \end{cases}$$

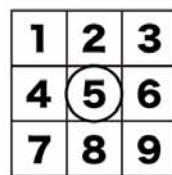
ここで、 x_n および y_n は座標 (x,y) を含む周辺9画素への局所変位を表す。 $f(t,x,y)$ は時刻 t 座標 (x,y) の画素値であり、図2(b)の場合、黒い画素では1、白い画素では0である。

図3(a),(b)に、画像全体を5画素×5画素、画像処理対象が映っている画素を黒で表した画像を、同図(c)に添字 n と局所変位の位置関係を、同図(d)に画素対応とCHLAC特徴を示す。また、同図(a)の黒画素をA,B,...,Eで、同図(b)の黒画素を $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ で表し、それぞれの座標は添字 x,y を用い (A_x,A_y) などと表す。

画素Aに注目すると、この画素は黒画素(画像処理対象)であるので $f(t,A_x,A_y)=1$ である。また、 $n=9$ のとき時刻 $t-1$ における座標 (A_x+x_9,A_y+y_9) は黒画素であり、 $f(t-1,A_x+x_9,A_y+y_9)$ の値は1になる。一方、 $n=1,2,\dots,8$ のときの時刻 $t-1$ における座標 (A_x+x_n,A_y+y_n) は白画素であり、 $f(t-1,A_x+x_n,A_y+y_n)$ の値は0になる。同様に画



(a) 時刻 t の画像 (b) 時刻 t-1 の画像



(c) n と局所変位

| | A | B | C | D | E | CHLAC特徴 |
|---|----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| 1 | | | | | | 0 |
| 2 | | | | | | 0 |
| 3 | | | | | | 0 |
| 4 | | | | | | 0 |
| 5 | | | | | α | 1 |
| 6 | | | | α | β | 2 |
| 7 | | | | α | γ | 2 |
| 8 | | α | β | | γ | 3 |
| 9 | α | β | | | δ | 3 |

(d) 画素対応と CHLAC 特徴

図3 限定CHLAC特徴

素Bに注目すると、 $f(t-1, B_x+ x_n, B_y+ y_n)$ の値は、 $n=8,9$ のとき黒画素、を示し1になる。これを、すべての画素に対して計算し局所変位ごとに和をとることで限定CHLAC特徴 $x_n(t)$ が得られる。なお、ここでは黒画素A,Bについて説明したが、白画素については $f(t,x,y)=0$ となり、積和も0となる。

この限定CHLAC特徴を図3(b)の局所変位と照らし合わせると、右下方向を表す $n=8,9$ のときの値 $x_8(t)=x_9(t)=3$ が大きく、左上方向を表す $n=1\sim 4$ のときの値が0であることから、時刻 t のときの画像処理対象は、右下方向から移動してきたと推測できる。

3.2 位置判別

3.1節で述べた挙動判別手法を用いれば人の移動方向を判別することができるが、この手法のみでは、人が転倒した位置を知ることができない。そこで、RRC^[3]を利用して人物の位置判別を行う。RRCは背景差分法的一种で、画像に含まれる模様(テクスチャ)を利用して背景画像と入力画像の差分を取るため、人物と背景の明度や色が似ている場合でも背景に模様があれば人物領域の抽出がしやすい、照明のオン・オフなどで画面全体の明度が変わったときにも対応しやすい等の特徴がある。

本位置判別手法では、あらかじめ撮影した背景画像と入力画像に対してRRC処理を行い、差分領域の外接矩形を求め(図2(c))、位置を判別する。なお、次章で述べる実証実験環境では、廊下の照明が天井埋め込み型のため場所によってかなり暗いことや、壁に殆ど模様がないことから、RRCを用いても背景差分をとれないことがあったため、RRC画像とフレーム間差分2値化画像との論理和を取ることで抽出性能を高めた。

ここで、実際の人物位置(3次元空間上の位置)は、カメラの画角や設置高および環境などの情報が必要となることから本手法では扱わず、外接矩形の座標をもって人の位置と定義する。この場合でも、ドアの前や棚の横といった場所を画像上の座標(2次元画像上の位置)に対応づ

けることで、どこで転倒したかを推測することができる。

4. 実証実験

前章で述べた挙動判別および位置判別手法を用いて、廊下での転倒を検出する実験を行った。カメラは、できるだけ広い範囲を撮影するため、廊下隅の天井付近に、長手方向やや下向きになるよう設置した。

図4に、廊下を手前から遠方へ向かって歩行している途中に転倒する映像での処理結果を示す。上から入力画像、目視による歩行・転倒の区別図、同時刻における9個の限定CHLAC特徴を正規化したグラフ、正規化した限定CHLAC特徴の分散、RRC画像の外接矩形の上端・下端位置である。限定CHLAC特徴は、対象の大きさによってその絶対量が変化することから、特徴量の二乗和が1になるよう正規化している。外接矩形の上端・下端グラフは、グラフ上端が画面上端を、グラフ下端が画面下端を表している。また、画像、グラフとも横軸が時間を表し、右が古く、左が新しくなっている。

正規化した限定CHLAC特徴およびその分散のグラフを見ると、歩行中は9個の特徴量に差が現れており、全体として分散も大きい。しかし、転倒中は9個の特徴量がほぼ同じ値になっており分散が小さい。転倒後は一時的にもとの状態に戻り、その後消える。これは、歩行中はフレーム間差分画像として人の輪郭周辺が抽出され(図5(a))、その抽出画素は総体として進行方向を持って進んでおり(人がフレームインした時は左から右へ、その後は下から上へ)、限定CHLAC特徴も進行方向を表す特徴量が多く、逆方向を表す特徴量が小さくなるためである。また、転倒中は、歩行中に比べて急激なフレーム間差分が生じるため、ほぼ全身の画素が抽出され(図5(b))、9つの特徴量すべてが同程度現れるためと思われる。転倒後は、対象が静止するためフレーム間差分が殆ど無くなる。外接矩形の上端は、歩行中は殆ど変化がない。これは、

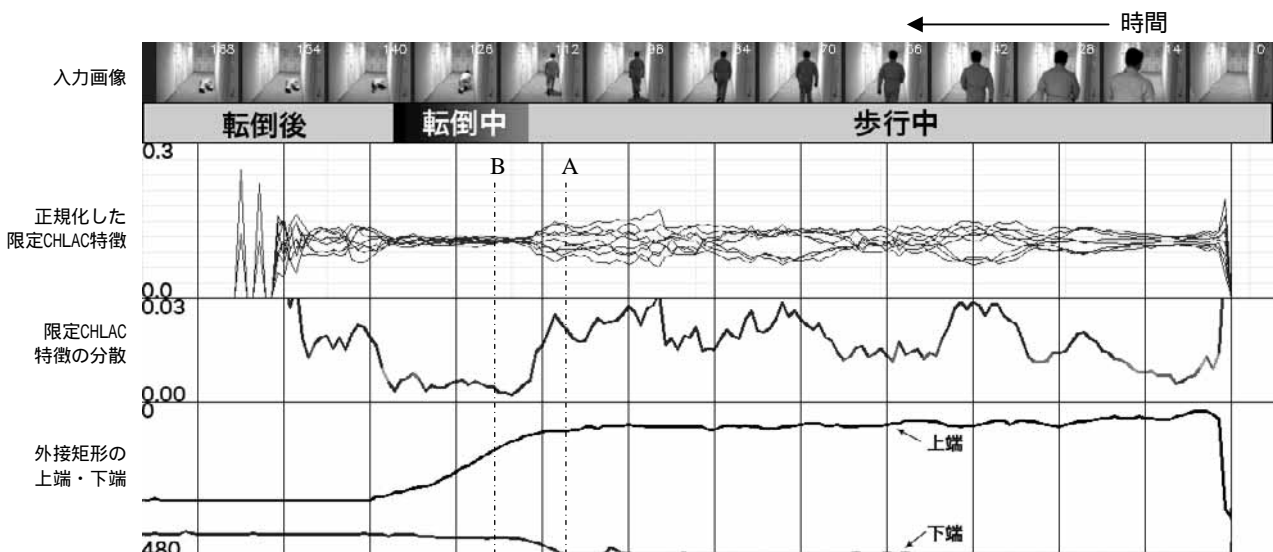


図4 転倒映像の処理結果



(a)歩行中(図4 Aに対応)



(b)転倒中(図4 Bに対応)

図5 入力画像とフレーム間差分画像

カメラの高さが頭の高さとほぼ同じ位置にあるためである。転倒中、上端は急激に低くなり、転倒後は同じ値を維持する。下端は、人がカメラの画角から外れている間、意味を持たないが、完全にカメラの画角内に入ってから、カメラからの距離に応じて変化するため、人の位置を算出することができる。転倒後は上端・下端とも変化が無いので、人に動きが無いことがわかる。

図6に、図4で使用したカメラとは設置位置の異なるカメラで撮影した映像での処理結果を示す。撮影対象は図4と同じ転倒の様子であり、図4で使用したカメラの左約70cmに設置したカメラで撮影した。限定CHLAC特徴、分散および外接矩形の上端・下端のグラフは、図4のグラフと類似していることから、本提案手法は、カメラを設置する水平位置に依存すること無く転倒を検出することができる。ことがわかる。

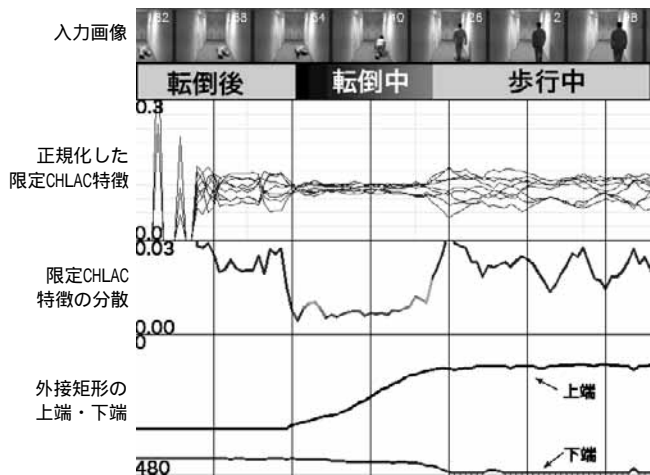


図6 図4と異なる位置で撮影した転倒映像の処理結果

図7に、遠方から手前に向かって歩いてくる途中に転倒する映像での処理結果を示す。図4.5と比較すると、転倒中の限定CHLAC特徴の分散がやや大きい、歩行中の値と比較すると小さく安定している。また、外接矩形の上端も図4.5と同様に高い位置から低い位置へと変化している。これらのことから、正規化した限定CHLAC特徴の分散と、RRC画像の外接矩形の変化を利用することで、

人の転倒の検出が可能であると思われる。なお、歩行中、外接矩形の上端の値が幾度か下がっている部分があるが、これは人がカメラから離れていることや、照明の直下にいるかどうかなどの条件により、正確な差分画像が得られなかったためである。このような状態でも、限定CHLAC特徴を組み合わせることで、転倒の検出が可能であると思われる。

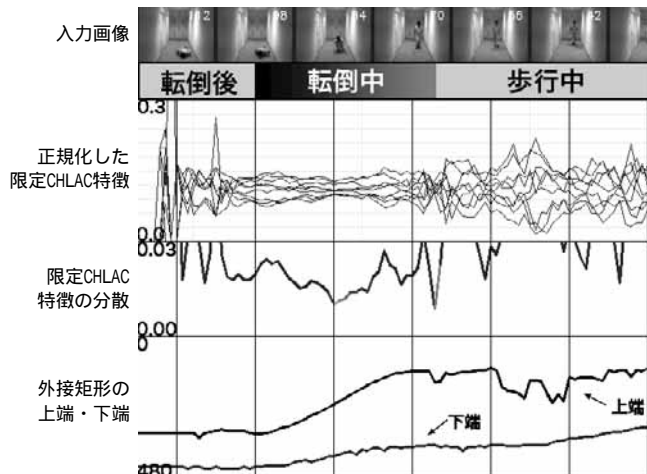


図7 手前に歩いてくるときの転倒映像の処理結果

以上のことから、本提案手法を用いることで、カメラの水平設置位置や人の移動方向によらない、人の転倒検出の見通しを得た。

5. まとめ

画像を用いた見守りシステムについて、人の転倒を検出する方法として限定CHLAC特徴と、RRCを利用した背景差分を組み合わせることで、廊下を歩いている最中に転倒する映像から、転倒を検出できる見通しを得た。

今後は、より実環境に近い環境において転倒の自動検出を含めた実証実験を行うほか、立ちくらみなどでゆっくり倒れ込むときの検出や、床に座る動作(日常動作)との判別などを行う。また、それと並行し、非画像系センサによる転倒検出を行い、適切なセンサの組み合わせと処理方法について開発を進める。

文献

- [1] 厚生労働省, “死因簡単分類別みた性別死亡率・死亡率” および “家庭内における主な不慮の事故の種類別みた年齢別死亡率・構成割合”, 平成18年人口動態統計(確定数)の概況, pp15-17, 2007.
- [2] 下島康幸, 大津展之, “立体高次局所自己相関特徴を用いた複数移動物体の同時認識”, 信学技報PRMU2006-104, pp.1-6, 2006.
- [3] 佐藤雄隆, 金子俊一, 丹羽義典, 山本和彦, “Radial Reach Filter(RRF)による口バスタな物体検出”, 信学論D-II, Vol.86-D-II, No.5, pp.616-624, 2003.

診療映像におけるシーン分割手法の検討

浅井 博次 田中 等幸 清水 早苗

Investigation of Automatic Segmentation of Intervention Video

Hirotsugu ASAI Tomoyuki TANAKA Sanae SHIMIZU

あらまし 近年、医療分野においても動画記録が急速に普及し、手術映像など膨大な動画記録が日々蓄積されている。しかしながら、その一覧性の悪さから効果的な活用がなされていない。本研究では、この膨大な動画記録をコンテンツとして利活用可能なものとするを目的に、画像から抽出した動き情報の統計量のみを用い、診療行為に関する知識を必要としないロバストなシーン分割手法について検討し、その有効性を確認した。

キーワード 救急医療、診療映像、シーン分割、オプティカルフロー

1. はじめに

近年の急速な技術発展に伴い、誰もが簡単に安く動画記録を行うことが可能となった。医療分野においても、多くの病院で手術や救急処置などを動画で記録できるようになっている。一方、蓄積される膨大な動画記録を利活用するには問題が残されている。その一つに、一覧性の悪さがある。動画を利活用するためには内容の確認を行う必要があるが、単純に記録しただけでは再生して確認する以外方法がなく、記録に要した時間とほぼ同等の時間が必要になってしまう。時間に追われている医療従事者にとって、この問題は致命的である。増加していく動画記録を有効に利活用するためには、複数の動画の中から所望の映像や所望のシーンを発見する検索機能、検索された映像の内容を簡単に一覧できる要約機能など、蓄積された動画を短時間で利活用できる枠組みが不可欠なのである。

我々は、この膨大な動画記録を眠れる財産と考え、一連の動作等に分割するシーン分割、分割した各シーンを記録されている内容に応じて分類するラベリングによって内容の要約や整理・検索を可能とし、容易に利活用可能なコンテンツとなすことを目指している。

昨年度までは、どんな動作を伴う処置なのか、処置を行うときに使用する道具（装置）があるか、患者のどの部分に対して行う処置なのか、などの検出対象に対する知識を利用し、画像情報からの特定処置イベントの検出を行った。具体的には、限定した対象画像領域（患者胸部領域）から抽出した動き情報を周波数解析することで心肺蘇生処置における心臓マッサージの検出を行った^[1,2]。このアプローチでは、対象とする処置イベントを精度よく検出することは可能であるが、処置毎に全く別の検出アルゴリズムを用意する必要があり、動画全体のシ

ーン分割を行うのは困難である。

そこで、本年度は、動画全体のシーン分割を実現するため、対象についての知識を必要とせず、画像から抽出した動き情報の統計量のみを用いたシーン分割手法について検討を行ったので報告する。

2. 診療映像のシーン分割

診療行為は通常、チームで行われるため、複数人によって複数の処置が同時並行で実施される。単独で行われる処置もあれば、複数人でしか行えない処置もある。また、同じ処置であっても、単独で行う場合や一人の処置者が複数人からサポートを受けながら行う場合があるなど、状況によって実施される処置行動が変化するため、画像処理で処理可能なように処置を一意に定義することが困難なケースが多い。

そのため、診療映像に含まれるすべての処置を正しく検出するのは至難である。そこで、まず映像全体のシーンを大まかに分割する。その上で、分割されたシーンの解析や個別処置イベント検出によりシーン分割の高度化や分割したシーンのラベリングを行うことが診療映像のシーン分割に有効であると思われる。また、診療行為は標準的な処置の手順や判断基準を定めた治療ガイドラインに則って行われるため、シーン分割結果と治療ガイドラインとを比較するなど、ガイドラインの情報を活用することで、より詳細なシーン分割やシーン分割の精度向上が期待できる。本年度は最初のステップである診療映像の大まかなシーン分割手法について検討を行った。

事前の知識を必要とせず、客観的に映像を大まかなシーンに分割するため、動きのある動的なシーンと動きのない静的なシーンに分割することを試みた。映像から動き情報を抽出し、閾値処理により動きの有無を判定し、

診療映像を動きあり区間と動きなし区間に分割する．動き情報は動きベクトル（オプティカルフロー）の大きさに対するヒストグラムを用いた統計量を用いることで，映像に含まれる一部の動きにあまり左右されずに，全体の情報から映像を大きく分類することが可能となる．

細かな動きに依らず，診療映像を大まかに分割するため，動きあり区間のインターバルが一定時間以内の場合は同一のシーンとみなして統合する．また，統合したシーンの長さが一定以下のシーンはノイズとみなし，削除する．

3．実験と考察

提案手法を救急処置で行われる心肺蘇生映像に適用し，有効性について検討した．対象映像として，患者が横たわるベッド真上から撮影した160×120ピクセル，30fpsの非圧縮AVIファイルを使用した．当該映像では，ベッド周辺での医者・看護師の動きを見てとることができる．

救急処置や手術などの医療行為では，複数の医師・看護師がチームを組み，それぞれ役割を分担しながら複数の作業を同時並行的に実施する．診療行為は患者中心に行われ，患者の身体部位に応じて実施される処置を限定することができることから，患者の部位に応じて映像中の対象領域を限定することで，これら同時並行的に実施される複数の処置行為の切り分けが期待できる．映像領域の切り分けによる効果についても検討するため，実験



頭部領域
胸部領域
脚部領域

図1 映像領域分割例

では，画像全体に加え，図1に示すように患者を基準として頭部領域，胸部領域，脚部領域の3つに映像を分割し，それぞれの領域に対して提案手法を適用した．

インターバル時間の閾値を1秒，ノイズ判定シーン長の閾値を1秒とした実験の結果を図2に示す．薄い色で囲まれた領域が提案手法により検出された動きあり区間，白い領域が動きなし区間である．グラフ縦軸に記載のある心臓マッサージ，除細動，気管挿管，意識・呼吸の確認，薬物投与は心肺蘇生において重要な処置であり，映像から手作業で抽出した「実際に当該処置を行っている区間」（理論値）を濃い色のバーで表示してある．

画像全体に対して適用した結果（図2（a））では，450秒の映像を54の動きあり区間，動きなし区間に分割できている．心臓マッサージの理論値と提案手法による分割結果を比較すると，心臓マッサージを実施している区間を包むように動きあり区間が分割されている．一方，除細動に着目すると，比較的大きな動きなし区間によく対応している．処置についての知識を全く与えていないに

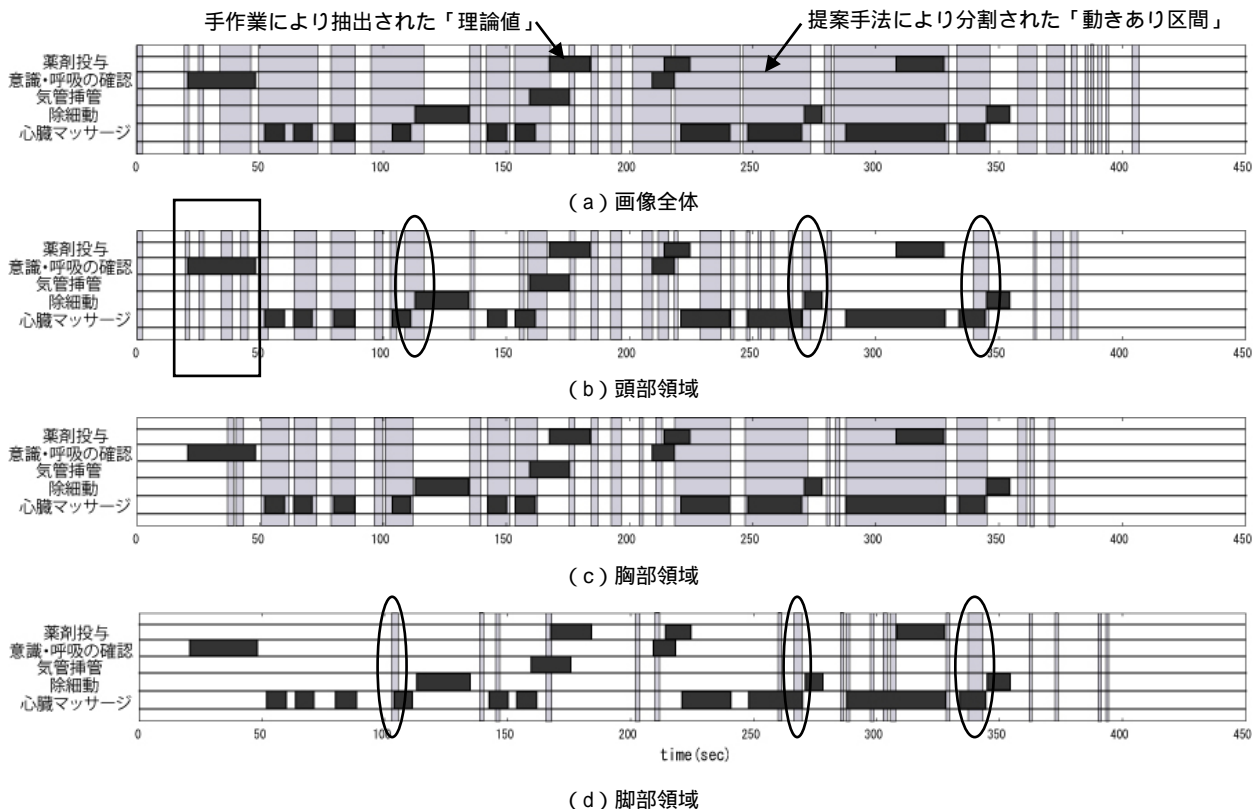


図2 心肺蘇生映像分割例

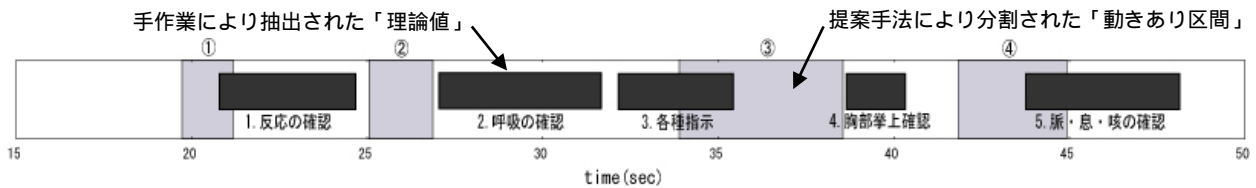


図3 呼吸・意識の確認動作分割例

も関わらず、手動抽出によるイベント区間に近い箇所でもうまく分割できており、映像の大まかな分割に提案手法が有効であることが確認できた。心肺蘇生では、絶え間ない心臓マッサージが非常に重要視されており、心臓マッサージの合間に意識の確認や除細動などの処置が行われるが、動きの大きな心臓マッサージ、すべての患者から離れないと処置のできない除細動など、重要な処置で動と静がきれいに分かれていることがこの結果に繋がっていると思われる。薬剤投与に対応した分割はできていないが、これは、薬剤投与が除細動以外のほとんどの処置と同時に進行することが可能であり、処置に伴う動作も小さいことに起因しているものと思われる。

映像領域を切り分けて行った実験の結果では、それぞれの部位毎で大きく結果が異なっている。胸部領域の結果(図2(c))では、心臓マッサージと除細動が精度よく分割できている。これは、胸部で実施されるこの2つの処置が同時に実施できない上、動きにおいて静動対照的であるからだと思う。

頭部領域の結果(図2(b))では、呼吸・意識の確認動作の詳細な動作が抽出できている。25~50sec付近で行われている確認動作(図中四角で囲んだ区間)を例にとって説明する。当該区間を詳細に見ると

1. 患者の両肩を軽く叩いて反応を確認
2. 患者の顔に顔を近づけ、呼気の有無、呼吸音の有無、胸部の上下動の有無から呼吸の有無を確認
3. 胸部挙上確認のため
4. バックバルブ換気による胸部挙上の有無を確認
5. 患者頸部に手を当てて脈の確認、及び、患者の顔に顔を近づけて息・咳の確認

という処置が行われている。図3は当該区間の結果を拡大したものであるが、分割された動きあり領域はそれぞれ、反応確認のため患者の両肩を触りに行く動作、呼吸確認のため患者の顔に顔を近づける動作、マスク換気、及び除細動モニタの手配動作、息・咳確認のため患者の顔に顔を近づける動作に対応しており、当該確認動作の処置や処置間の移行動作を適切に抽出できていることがわかる。また、図2(b)の で囲んだ部分を見ると、除細動実施直前に安全確保のためベッドから離れる動きが適切に抽出できていることがわかる。

脚部領域の結果(図2(d))では、動きあり区間の抽出が非常に少ない。これは、脚部領域で実施される動作が、除細動モニタの操作、除細動処置に付随する準備等の動

作、薬剤投与に限定されているからである。結果では、除細動実施前に除細動パッドを取り上げ、パッドにペーストを塗布する動作が適切に抽出できている。(図2(d)の で囲んだ部分)先述の通り、脚部領域でのイベントは限定されているため、治療ガイドライン情報を活用することで、抽出が困難な薬剤投与イベントの抽出が期待できる。

上記の通り、動きのあり・なしという非常に明快な指標によって、十分効果的な映像分割が可能であることが確認できた。また、対象映像の特定領域の映像に同様の手法を適用することで、詳細なシーン分割や精度のよいイベント抽出が可能であることが確認できた。

4. まとめ

本研究では、画像情報による診療映像のシーン分割手法として、画像から抽出した動き情報の統計量のみを用いたロバストなシーン分割手法を提案し、心肺蘇生映像に適用した実験により、適切に大まかなシーン分割が可能であることを確認した。また、領域分割による詳細・高精度なシーン分割の可能性についても実験により確認した。

今後は、より詳細な動き情報を取り扱うため、動き情報の特徴量に動きベクトルの方向別ヒストグラムを使用し、分割シーンの解析により、分割シーンの分類、分割シーン内のシーン分割をすすめていく予定である。

本研究は文部科学省知的クラスター創成事業の一環としてなされたものである。

文献

- [1] H. Asai, H. Tanahashi, et al., "The Cardiac Massage Detection in The Emergency Medical Care Video", Proc. of the Sixth IASTED International Conference on Visualization, Imaging, And Image Processing, pp.597-602, 2006.
- [2] 浅井博次, 田中等幸, "診療映像における自動イベント検出の検討", 岐阜県生産情報研究所研究報告第8号, pp.4-8, 2007.

三次元位置に基づく救急医療処置の自動分割

田中 等幸 浅井 博次 平湯 秀和

Automatic Segmentation for Emergency Medical Treatment Based on 3-D Position

Tomoyuki TANAKA Hirotugu ASAI Hidekazu HIRAYU

あらまし 救急医療処置を対象として、三次元位置に基づく医療処置の自動分割アルゴリズムについて報告する。提案する手法は、三次元位置の計測データに対して、固定長の窓をあてはめ、主成分分析によって得られる法線ベクトルを特徴量とし、隣接する窓から計算される特徴量の類似度から処置の分割点を判定するものである。予備実験では、センシングデバイスとして使用する超音波式位置測定装置の精度を明らかにし、次に医療処置の分割実験を行った。分割実験では、1次救命処置の模擬動作をセンシングし、提案手法によって処置を分割した。その結果、適正な窓サイズと閾値を設定することで、医療処置に関する事前知識を用いることなく、医療処置を自動的に分割できることを確認した。

キーワード 救急医療, 心肺蘇生術, 自動分割, 三次元位置, 主成分分析

1. はじめに

1.1 動機と目的

一刻を争う救急医療では、通常、医療処置の記録は事後入力であり、記録の正確性の欠如や医師の負担が大きいなどの問題がある。この問題に対する解決策の一助となるために、我々はリアルタイムにカルテ入力を可能にする診療記録システムを開発した^[1,3]。このシステムによって、診療記録の正確性の確保はもちろん、記録に要する医師や看護師の負担を軽減することが期待されるとともに、診療行為の一覧性の確保及び、キーワード検索による診療映像の表示を可能としている。しかしながら、医療従事者から、記録者は常時システムの前に居て操作する必要があること、要約した記録を付与するための労力が必要であること、また記録した要約情報自体に記録者の恣意性や主観性が含まれるなどの問題を指摘された。つまり、システムを利用する前提として、医療処置の様子を逐次観察し、記録する人が必要であるため、上述した問題を解決するためには医療処置の内容を自動的に要約することが要求された。この要求に応えるには、まず人間の振る舞いを経時的かつ大まかに分割することが極めて重要である。

これまでに我々は、医療処置を自動的に抽出する手法として、カメラなどのセンサを用いて、知識ベースでの認識手法について検討を行ってきた^[3]。しかし、この手法は現実的である一方で、対象とする処置に応じて、それに対応するプログラムを実装する必要がある。我々の最終目標は、医療処置で行われた全ての処置行為を要約することであるため、医療処置に関する知識を最初から用いず、まずは処置を経時的に自動分割することが必要であると考え、そこで本研究では、事前知識を用いることなく、三次元位

置を用いて医療処置者の処置行為を分割するアルゴリズムについて検討する。

1.2 研究のアプローチ

人間の行動を認識し理解することによって各種サービスを提供する研究が数多く行われている^[5-9]。これらの研究で使用されている手法の多くはカメラによる映像解析であるが、プライベートな空間を対象とする場合には、目的に応じたセンシングデバイスによって研究されている。また、行動識別のアプローチも目的やアプリケーションによって多様である。対象とする動作を限定することなく、人間の行動すべてを予測するチャレンジ的な研究、対象とする行動のみに限定してそれ以外の行動は異常検知として識別する研究、また観測対象を絞り認識率を向上させる現実的な研究があげられる。我々が扱う対象は、次のような特徴がある。

- (1) プライバシーに敏感である
- (2) 複数人が右往左往する現場である
- (3) 集中治療室などの限定された環境である
- (4) 医療処置は標準的ガイドライン^[4]によって定義されている

(1)を考慮すると、カメラ以外のセンシングデバイスが有効であると考えられる。(2)(3)においては、対象とする環境全体を観測し、複数人の振る舞いを区分する必要がある。(4)は観測対象を絞り識別率を向上させるものに該当する。以上から、本研究では環境埋め込み型の超音波式の位置センサを採用することとし、定義された処置を識別するアプローチをとる。

1.3 対象とする医療処置

医療従事者が行う救急救命処置は2次救命処置と呼ばれ、意識確認、人工呼吸、心臓マッサージ、換気、除細動、

点滴、薬物投与など高度な医療行為である。この一連の医療処置は心肺蘇生術に代表される医師の単独動作で行われる処置と、除細動に代表される医療機器を使用する処置の2つに大別される。後者においては、救命処置で使用する医療機器は決まっているため、予め医師と医療機器に発信器を取り付けることで、医療従事者と医療機器との相対的な位置関係から医療処置を判断することが可能である。そこで本研究では、処置者が単独に行う処置動作を対象として、1次救急救命処置の医療処置を自動的に分割する。

2. 提案手法

2.1 基本アイデア

一般に、1次救命処置の初期は次の手順で行われる^[4]。

- (1) 呼吸確認を行う。
- (2) 脈拍確認後、応援要請などの指示を行う。
- (3) 人工呼吸を行う。
- (4) 心臓マッサージを行う。
- (5) 意識の回復や反応を確認しながら(3)(4)を繰り返す。

この手順について処置者の姿勢を観察すると、処置中の処置者の姿勢は一定時間ほぼ同じ姿勢を維持することが確認された。そこで、処置者の身体の一部に発信器を装着し、次の仮定を設定する。

- a. 医療処置中の処置者の姿勢は一定時間維持されるため、発信器の軌跡の空間的ばらつきは小さい。
- b. 処置に移る際の処置者の姿勢は変化する。そのため、発信器の軌跡の空間的ばらつきは大きい。

2.2 分割アルゴリズム

計測装置によって取得した三次元位置データに対して Savitzky-Golay アルゴリズムによって前処置を行い、図1に示す手順で処置の分割を行う。時系列位置データから特徴量を抽出する方法はRaviらの固定長の窓をスライドする手法を用いた^[10,11]。窓は窓サイズの1/2間隔でスライドさせる。窓ごとに時系列位置データを主成分分析し、第1主成分、第2主成分及び第3主成分を求める。第3主成分は、第1主成分及び第2主成分のいずれにも直交する主軸平面の法線ベクトルを表しており、このベクトルを窓の特徴量とする。次に、窓ごとに計算された特徴ベクトルの類似度を判定するため、隣接する窓から計算される特徴ベクトルの内積を行い、分割の指標値とする。このとき、ベクトルの始点終点の違いによるベクトルの方向の違いは考慮せず、ベクトルの三次元空間上の傾きを扱うため、内積の絶対値を利用する。ここで、前節に示した仮定と本手法と関係づけると、同一の姿勢が継続するような安定した状態での法線ベクトルは大きくばらつかず、隣接するベクトルの類似度は1に近づく。しかし、姿勢が著しく変化するなどの不安定な状態での法線ベクトルは大きくばらつき、隣接する法線ベクトルの類似度は0に近づく。したがって、隣接するベクトルの類似度がある閾値より小さくなった時点を分割点とする。

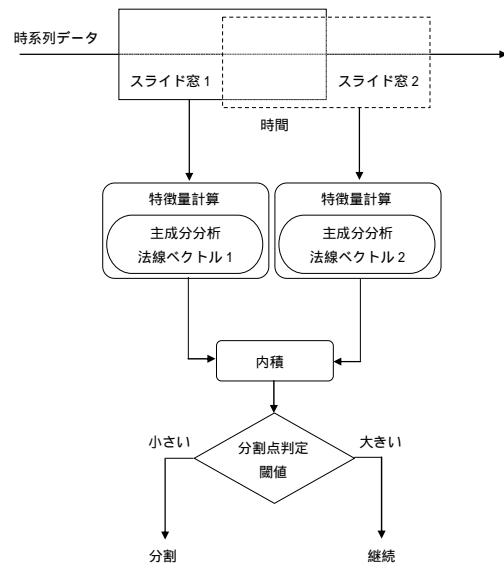


図1 処理の流れ

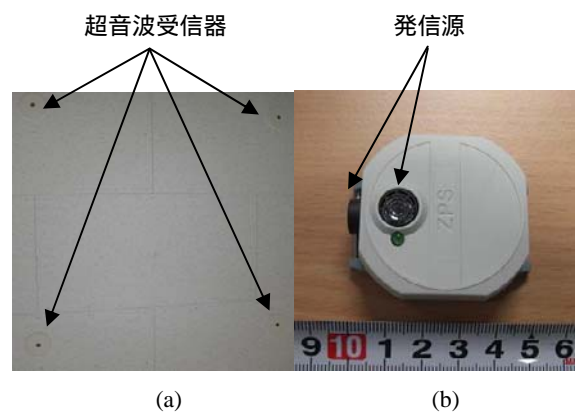


図3 実験環境 ((a)受信器 (一部) (b)発信器)

3. 実験方法

3.1 実験環境

本研究では、超音波方式による三次元位置測定装置(古河機械金属株式会社製、Zone Positioning System)を使用して、医療処置者の身体の一部に装着した発信器の三次元位置を計測する。測定装置の主な仕様を表1に示す。発信器から発信する超音波が受信器に到達するまでの時間から三次元位置を計算するが、このときの計算アルゴリズムは最小二乗法とロバスト推定法の2種類が用意されている^[12]。実験環境の大きさは4.0×4.0×2.7mであり、天井には受信器がほぼ格子状に25箇所設置されている(図3(a))。超音波送信器(図3(b))の大きさは50×50×15mmで30g(電池装着時)と小型かつ軽量なものであり、発信源は遮蔽による影響を回避するために、上面方向と側面方向の2箇所搭載されている。発信器は複数個使用することができ、対象物に取り付けた発信器のID情報とセ

ンサ信号がリンクすることで、時系列的に三次元位置の取得が可能となる。

本研究では、処置者の動きを拘束しないことを考慮し、1個の発信器を装着して実験を行う。

表1 製品仕様

| 項目 | 仕様 |
|-------------|-------------------|
| 超音波周波数 | 中心周波数40KHz |
| タグコントロール周波数 | 315MHz帯 |
| 計測精度 | 20-80mm |
| サンプリング周波数 | 50/n Hz (タグn個使用時) |
| 計算アルゴリズム | 最小二乗法, ロバスト推定法 |

4. 実験と考察

4.1 予備実験

4.1.1 計測点による誤差評価

測定装置の計算アルゴリズムによる精度を確認するために、部屋内の誤差評価を行った。評価方法は文献[12]を参考とした。予め実測した部屋内の座標値と計測装置によって出力値との差を誤差とした。1計測点につき鉛直方向の軸に対して90°に発信器の向きをかえて100サンプルを取得し、合計400サンプルの平均から誤差を求めた。床面(0mm)、腰位置(床面から1000mm)、及び肩位置(床面から1500mm)を想定した3平面を計測面とし、1平面につき25点を計測した。空間での計測点は75点である。図4は75点の誤差データを基に線形補完した誤差分布である。青色は誤差が小さく、赤色は誤差が大きいくことを示している。図4(a)-(c)は三次元位置計算アルゴリズムを最小二乗法として、床面からそれぞれ0,1000及び1500mmの高さでの誤差を示している。床面から1500mmの高さになると、発信器と受信器間の送受信環境が悪くなり、外れ値の混入によって誤差が大きくなることから分かる。図4(d)は計算アルゴリズムをロバスト推定法としたときの床面から1500mmにおける誤差を示している。ロバスト推定法における誤差は10-93mmであった。処置を要約する目的においては許容範囲内であり、三次元位置の計算アルゴリズムはロバスト推定法を採用する。

4.1.2 遮蔽による誤差評価

救急医療は複数人によって処置されるため、発信器の装着位置によっては遮蔽されることが想定される。そのため、遮蔽による誤差を評価する。発信器に遮蔽物(200×300×5mmの厚紙)を接近させ、遮蔽による影響を評価した。送受信環境が良好な部屋の中心から縦横方向に1000mm離れた8箇所の位置を計測点とし、発信器と遮蔽物との距離を250, 500, 1000, 1500及び2000mmの5通りについて計測した。空間的な計測点は40点である。図5は1計測点につき400サンプルの平均から誤差を求めプロットしたものである。横軸は遮蔽物と発信器間の距離を示し、縦軸は誤差を示している。発信器と遮蔽物との

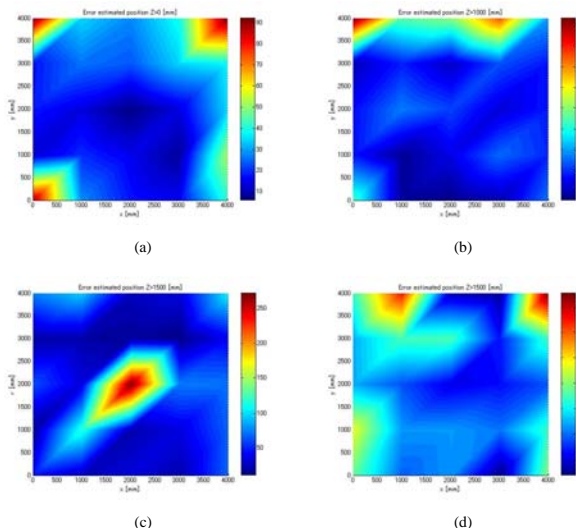


図4 計測点における誤差評価

- (a) 床面からの高さ0m 最小二乗法
- (b) 床面からの高さ1m 最小二乗法
- (c) 床面からの高さ1.5m 最小二乗法
- (d) 床面からの高さ1.5m ロバスト推定法

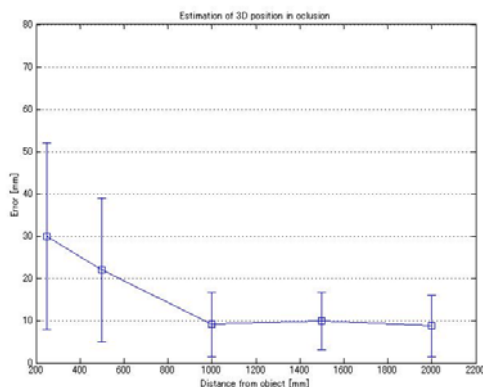


図5 遮蔽による誤差評価

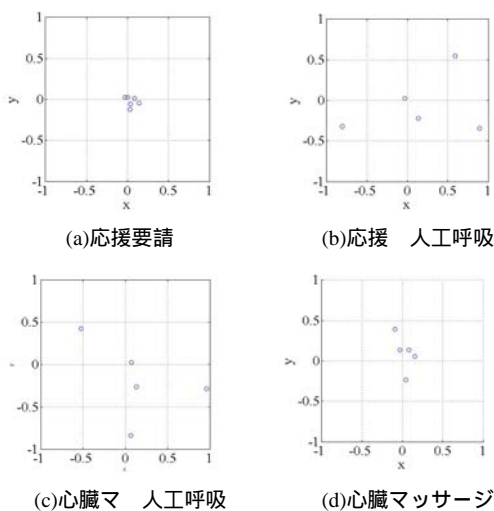


図6 法線ベクトルの分布

距離が1m程度接近するにしたがって誤差は著しく大きくなる事が分かる。これは遮蔽物による反射の影響が大きいと考えられるため、発信器の装着位置はできるだけ遮蔽が起りにくい場所に装着したほうが良いとの知見が得られた。しかし、250mmの距離でもセンチオダの誤差であることから、発信器が完全に遮蔽されることがなければ許容される誤差である。

4.2 分割実験

分割アルゴリズムの有効性について確認した。遮蔽による影響を少なくするために、発信器を処置者の背中に1個装着し、1次救命処置を模擬動作した。21.5Hzで取得した時系列位置データに対して、窓サイズ64サンプル(2.97秒)を設定し、窓を半分ずつ重複しスライドさせ特徴量を計算した。また、分割結果と映像を比較するために、模擬動作中の様子をビデオ記録した。

図6は窓サイズを64サンプルとした場合、法線ベクトルを二次元平面に投影したときの分布結果である。図6(a)は応援要請、図6(b)は応援要請から人工呼吸に移行する区間、図6(c)は心臓マッサージから人工呼吸への移行区間、図6(d)は心臓マッサージの処置区間のベクトルの分布を示している。いずれも連続する5窓分のベクトル座標をプロットしたものであり、約14.9秒間の分布である。この結果から処置中は法線ベクトルのちらばりは小さく、処置の移行区間は大きくちらばっている様子が分かる。図7は窓サイズを64サンプルとした場合の隣接するベクトルの類似度の推移を示したものである。なお、ビデオ映像を手動によって分割した結果を点線で示している。

分割判定の閾値を0.8-0.85に設定すると、処置の切り替わりをほぼ分割できることが確認できる。しかし、数箇所分割できていない区間や過分割されている区間も確認された。この区間について映像を確認した結果、人工呼吸時の過分割は1-2秒程度の深呼吸の影響によるものと考えられる。これは窓サイズを大きくすることで、この過分割を回避することができる。また、人工呼吸から心臓マッサージ(窓番号100-102)への移行区間において法線ベクトルの類似度は小さい。これは処置の切り替わり動作がゆるやかな動作であり、2.97秒の小さい窓サイズでは動作を包含できないためである。

窓サイズの大きさによる分割結果の違いを確認するため、窓サイズを16サンプル(0.74秒)、32サンプル(1.48秒)、128サンプル(5.95秒)及び256サンプル(11.90秒)に変化させ、前節で用いたデータに対して同様の実験を行った。図8は図7と同様の処置の流れに対して、窓サイズを16, 32, 64, 128及び256に変化させたときの処置の分割結果を示している。上段から16, 32, 64, 128及び256の窓サイズの違いによる結果であり、最下段はビデオ映像を示している。分割判定の閾値はいずれも0.8とした。窓サイズ64-128はビデオ映像で分割した数と近い結果であり、1次救命処置の模擬動作を分割するサイズとしては適当であると言える。窓サイズを大きく設定することによって、過分割や小さい窓では分割できなかった区間を分割することができるが、窓サイズ256に拡張すると複数の処置を包含してしまい分割できない。つまり、窓サイズを小さく設定すると、急激な動きに細分割し、逆に

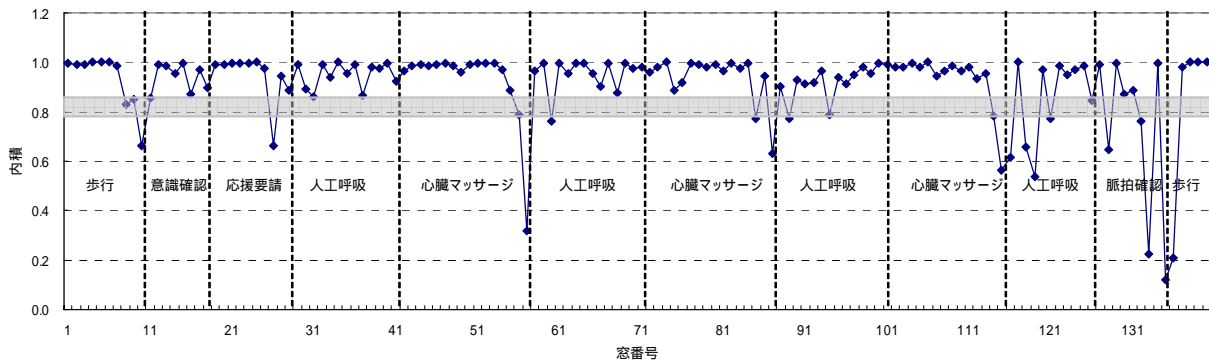


図7 ベクトルの類似度の推移 (窓サイズ64サンプル)

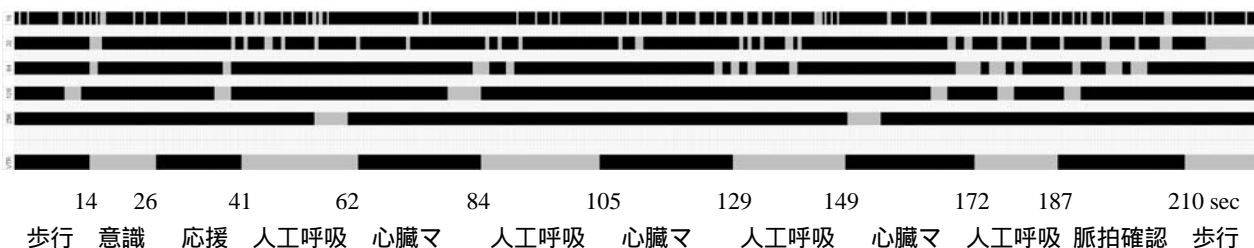


図8 処置の分割結果 (上段から16, 32, 64, 128, 256, VTR)

窓サイズを大きくするにしがたって、複合的な動作に分割する。しかしながら、処置の切り替わりを正確に分割しているとは言い難い。これは窓サイズが2の階乗であるため、窓サイズによる分割誤差があることや、医療処置全てを分割するためには窓サイズが必ずしも一意に決まらないこと、スライド方法を窓サイズの半分に固定していることなどがあげられる。

分割する対象や目的によって最適な窓サイズや閾値は異なる知見が得られたため、今後はデータを蓄積し、最適な窓サイズや閾値の決定方法とスライド方法について検討する。

5. まとめ

本研究では救急医療処置の自動要約を目的として、事前知識を用いることなく処置の切り替わりを自動的に分割するアルゴリズムについて提案した。予備実験として、実験環境に配置した超音波式位置測定装置の精度を評価し、自動分割実験に利用できることを確認した。次に、発信器を処置者に装着し、1次救命処置の模擬動作をセンシングし分割実験を行った。時系列位置データに対して窓をあてはめ、主成分分析から計算される法線ベクトルの傾きを特徴量とし、隣接する特徴ベクトルの類似度判定によって処置を分割した。その結果、窓サイズ64-128サンプル(2.97-5.95秒)、閾値0.8-0.85を設定することによって、処置を分割することが可能であることを示した。今後、分割精度を向上するアルゴリズムを検討し、実際の医療現場でのデータを蓄積することで、すべての医療処置に関する自動要約に発展させたいと考えている。

本研究は文部科学省知的クラスター創成事業の一環としてなされたものである。

文 献

- [1] 浅井博次, 棚橋英樹, 速水悟, “診療記録システムの開発”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告第7号, pp.5-7, 2006.
- [2] H. Asai, H. Tanahashi, et al., “The Cardiac Massage Detection in The Emergency Medical Care Video”, Proc. of the Sixth IASTED International Conference on Visualization, Imaging, And Image Processing, pp. 597-602, 2006.
- [3] 浅井博次, 田中等幸, “診療映像における自動イベント検出の検討”, 岐阜県生産情報研究所研究報告第8号, pp.4-8, 2007.
- [4] 岡田和夫他, “AHA心肺蘇生と救急心臓治療のためのガイドライン2005”, 中山書店, 2005.
- [5] 上田博唯, 山崎達也, “コピキタスホーム: 日常生活支援のための住環境知能化への試み”, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.4, pp.494-500, 2007
- [6] 橋本秀紀, “空間の知能化とシステムインテグレーション”, 計測と制御, Vol.44, No.8, pp.568-573, 2005.
- [7] 森武俊, 野口博史, 佐藤和正, “センシングルーム”, 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.6, pp.665-669, 2005.
- [8] 青木茂樹, 大西正輝, 小島篤博, 福永邦雄, “HMMによる行動パターンの認識”, Vol.J85-D-II, No.7, pp.1265-1270, 2002.
- [9] 樋口未来, 小島篤博, 北橋忠宏, 福永邦雄, “協調型ベイジアンネットワークを用いた動作と動作対象の統合的認識”, 情報処理学会研究報告CVIM-148, pp.117-124, 2005.
- [10] N. Ravi, Dandekar, P.Mysore, and M.L.Littman, “Activity recognition from accelerometer data”, American association for artificial intelligence, July 2005.
- [11] 田淵勝宏, 納谷太, 大村廉, 野間春生, 小暮潔, 岸野文郎, “無線加速度センサを用いた人の日常行動識別におけるデータ収集条件の影響評価”, Vol.12, No.1, pp.25-35, 2006.
- [12] 西田佳史, 相澤洋志, 北村光司, 堀俊夫, 柿倉正義, 溝口博, “センサルームを用いた人の日常活動の頑強な観察とその応用”, 情報処理学会研究報告HI-106, Vol.2003, No.111, pp.37-44, 2003.

PCクラスタを用いた没入型立体表示システムによる 3次元シミュレーション結果の表示手法について

平湯 秀和 藤井 勝敏

On the Display Method of Three-dimensional Simulation by VR System using the PC cluster

Hidekazu HIRAYU Katsutoshi FUJII

あらまし 自動車や航空機産業などのあらゆる「ものづくり」産業にかかる企業は、デジタルデータを利用して完成品を事前評価するバーチャルプロトタイプング技術の導入を積極的に進めている。そして、大規模な製品や設備の評価検討を行う場合は、対象物の3次元モデルをVRシステムで表示可能なデータに変換し、多人数で実寸大かつ臨場感のある立体モデルで表示し評価検討することが行われている。しかしながら、CADデータやシミュレーションデータをVRシステムに表示可能なデータに容易に変更できないといった問題点があった。そこで、当研究所で以前開発した、CADデータやシミュレーションデータを円滑にVRシステムで表示する手法を使って、PCクラスタを用いた没入型立体表示システムを開発したので報告する。

キーワード 没入型ディスプレイ、PCクラスタ、3次元シミュレーション

1. はじめに

あらゆる「ものづくり」産業に携わる企業では、デジタルデータを利用して完成品を事前評価するバーチャルプロトタイプング技術の導入を積極的に進めている。工業分野においては、バーチャルプロトタイプングを用いることで、試作から製造までの開発期間が短縮できるほか、試行の繰り返しが簡単にできるため、開発コストの削減が可能となる。更に、試作品を作ることなく、意匠デザインや製品の強度計算などの評価を行うことができるため、製造品質の向上を図ることが可能となる。

特に自動車や航空機産業においては、試作品の強度計算等のシミュレーションのみならず、製品を作るための製造ライン設計においても、産業用ロボットの制御シミュレーションや干渉チェック、製造ラインのタクトタイム計算、ワイヤーハーネスなどの作業者の組み立て作業性評価等を事前シミュレーションすることが重要である。そのため、DELMIA IGRIPのように産業用ロボットの制御シミュレーションを行うなどの市販シミュレーションが開発されている。しかし、部品取り付けなどの作業者の作業性を評価するには、数値計算のような定量的な評価よりも映像を見ながら定性的な評価をすることが一般的である。この場合、視野の限られたディスプレイを使うと対象物が実際の大きさと異なる等の問題があるため評価検討しにくい。そこで、実寸大かつ臨場感のある立

体モデルを表示し多人数で評価検討することが必要となる^[1]。

多人数で臨場感の高い画像を体験可能な没入型立体表示システムの一つであるCOSMOSは、ユーザの全方位を正方形ディスプレイで囲むため、フルスケールで表示されたモデルを全ての方向から確認することができる。COSMOSでは、Silicon Graphics社のOnyx2 Reality Monsterをグラフィックワークステーションとして用いているが10年前のシステムであるためメモリ容量やポリゴン描画速度が低いことから、大量のポリゴンデータを円滑に表示することが困難となり、利用者にとって使い勝手が悪いといった問題点があった。

また、製品の3次元CADデータや3次元シミュレーションデータ等の3次元モデルデータをVRシステムにて表示する場合、データが正確かつ簡単にデータ変換できない等の問題があり、より効率的なCADデータやシミュレーションデータのVRシステムへの表示手法が望まれている。

そこで、本報告では、近年、高性能化が進んでいるPCを複数台用いたPCクラスタによる没入型立体表示システムを開発したのでその概要について報告する。また、CADデータやシミュレーションデータを円滑にVRシステムで表示する手法を以前、当研究所で開発したがその手法やPCクラスタを用いた没入型立体表示システムにて行った実際の事例について紹介する。

2. システム構成

システム構成は図1に示すとおり、マスタPC1台と描画用スレーブPC6台を用いたPCクラスタ、Nintendo64コントローラ用インタフェースPC、Ultratrak用PC、12台のプロジェクタからなる。PCクラスタに関しては、1台のマスタPCと6台の描画用PCが高速なギガビット・イーサネットワークで結ばれている。COSMOSのスクリーン1面に対して描画用PC1台および2台のプロジェクタが対応し、それぞれのPCにて、対応するスクリーン面に対する左右の立体視データを描画させる。COSMOSと同様に、ユーザは液晶シャッター眼鏡をかけることでスクリーン上に写る立体映像を見ることが可能となる。また、入力デバイスとして、ユーザの視点位置や姿勢を計測するための磁気式位置センサ、仮想空間上のモデルを動かすようなインタラクションを行うためのコントローラがマスタPCとLANを介して接続されている。

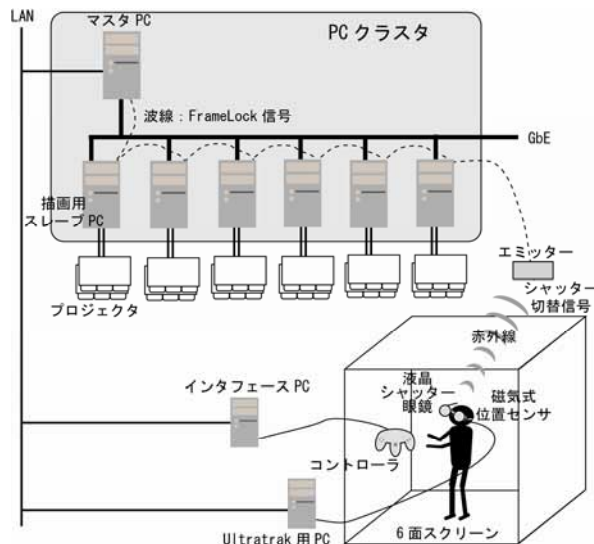


図1 システム構成

3次元モデルデータファイルおよび表示用実行ファイルをPCクラスタのマスタPC上に配置する。3次元モデルデータファイルはPCクラスタ内のギガビットネットワークを経由して、6台の描画用PC間で共有される。PCクラスタで用いられるPCにはグラフィックボードとしてNVIDIA Quadro FX3000Gを搭載し、Frame Lock機能を使用しているため、6画面間でフレームの同期が図られている。このグラフィックボード1枚のポリゴン描画性能は1億ポリゴン/秒であるため、描画用PC6台で計6億ポリゴン/秒の表示が可能である。一方、COSMOSで使用しているOnyx2 Reality Monsterは6画面で8千万ポリゴン/秒であるため、PCクラスタを用いた方がポリゴン描画速度は高速となる。また、PCクラスタの仕様はPentium4 2.4GHz 512MBである。

3. 3次元モデルデータの表示手法

当研究所にて以前、CADデータや市販のシミュレーションソフトによる3次元シミュレーション結果のデータを円滑にVRシステムにて表示する手法を開発した^[2]。この手法を用いて没入型立体表示システムにて3次元シミュレーション結果の実寸大かつ立体表示を行ったので、その手法に関して報告する。

現在、利用されている市販のCADソフトやシミュレーションソフトは、ディスプレイ上で描画する際、OpenGL APIを利用している例が多い。OpenGLはSilicon Graphics社が中心となって開発したグラフィックス処理のためのプログラミングインタフェースであり、同社のグラフィックスワークステーションのグラフィックスライブラリIRIS GLをベースにハードウェアやOSに依存しない形に改良したものである。本手法では、OpenGL APIを使用しているCADなどのWindowsアプリケーションとWindows OS間に介在して、アプリケーションから Windows OS

に対して送られるOpenGL APIの描画命令の履歴をキャプチャし、ファイルに保存する。

この方法を用いれば、CADやシミュレーションソフトの画面に表示されている製品やシミュレーション結果等の描画形状を、PCクラスタを用いた没入型立体表示システム上でも、OpenGLで保証されたハードウェア非依存性の範囲内で、同じ形状や質感を再現することが可能となる。本システムは、3次元モデルデータをファイルとして保存して利用するのみならず、CADやシミュレーションソフトからPCクラスタにネットワークを介したリモートディスプレイとして利用すれば、立体視に必要な3次元の表面形状情報を伝送することも可能である。

4. 3次元シミュレーションの表示結果例

3次元シミュレーションソフトを用いたシミュレーション結果を前章の手法にて、3次元モデルデータとして、ファイルデータに抜き出し、没入型立体表示システムで表示した例を2例示す。なお、それぞれのデータは、異なる企業が使用しているシミュレーションソフトを用いて、実務で作成したデータである。

1つめは、組立プロセス・プランニング定義および検証のための工程設計検証用シミュレーションソフトであるDELMIA DPM ASSEMBLYのシミュレーション結果を没入型立体表示システムで表示した例である。DELMIA DPM ASSEMBLY上での表示例および没入型立体表示システムで表示した例を図2、図3に示す。アニメーションのように動きのあるシミュレーション結果でも、本手法では動きを表現することが可能である。

2つめは、産業用ロボットのオフラインティーチング機能や干渉チェック機能等を有する汎用産業用ロボットのシミュレーションソフトである DELMIA IGRIP のシミ

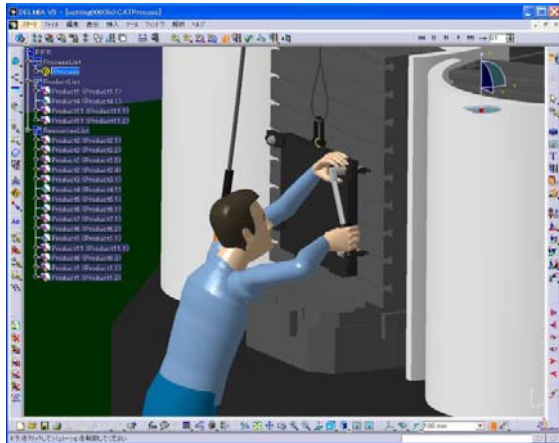


図2 DELMIA DPM ASSEMBLY上での表示例

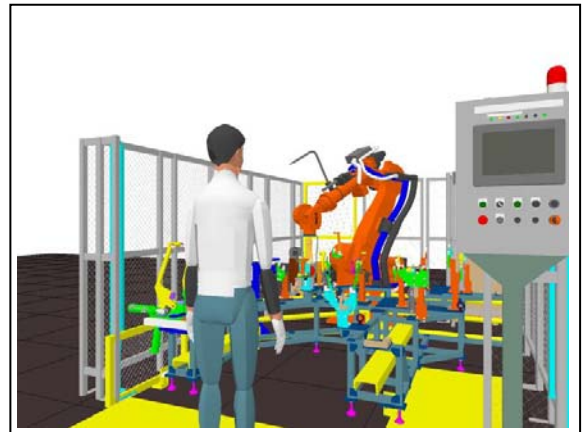


図4 DELMIA IGRIP上での表示例



図3 図2データを没入型立体表示システム上で表示した例



図5 図4データを没入型立体表示システム上で表示した例

ュレーション結果を没入型立体表示システムで表示した例である。DELMIA IGRIP上での表示例および没入型立体表示システムで表示した例を図4, 図5に示す。

COSMOSで使用しているOnyx2 Reality Monster とPCクラスタを用いた本システムにおいて、上記の2つの事例の3次元モデルデータファイルを読み込み、スクリーン上に表示するまでにかかった時間の結果を表1に示す。表1に示すとおり、PCクラスタを用いた本システムの方が、読み込み速度は従来のシステムよりも高速になった。更に、定量的な評価は行っていないが、描画速度も向上したため、利用者にとって利便性が高まったとの評価を受けている。

5. まとめ

円滑に、CADデータや3次元シミュレーション結果のデータをVRシステムで表示可能なデータに変換し、多人数で実寸大かつ臨場感のある立体モデルで表示し評価検討するために、PCクラスタによる没入型立体表示システムを開発した。

今後は、本システムを基に製造分野以外にも応用範囲を広げ、あらゆる「ものづくり」産業分野における3次元

表1 ファイル読み込みからスクリーン表示までの時間

| ソフトウェア名 | データ量 | Onyx2 | PCクラスタ |
|--------------|-----------------|-------|--------|
| DPM ASSEMBLY | 175MB (44コマ) | 約12分 | 約35秒 |
| IGRIP | 164MB (23コマ) | 約14分 | 約30秒 |

データを利用した業務用VRシステムの開発を検討している。

文献

- [1] F Zorriassatine, et al. , “ A Survey of Virtual Prototyping Techniques for Mechanical Product Development ”, Proc. Instn Mech. Engrs Vol.217 Part B , pp.513-530, 2003.
- [2] 藤井勝敏, 大野尚則, “ PC用CADデータのCOSMOS表示方法に関する考察 ”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告第6号, pp.1-4, 2005.

触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究(第2報)

平湯 秀和 向井 利春*

Discrimination of Touching Behaviors with Tactile Sensor (2nd report)

Hidekazu HIRAYU Toshiharu MUKAI*

あらまし 触行動は他者へ最も直接的に好意や親密さを伝えることができる行為であり、人とロボット間のコミュニケーション手段の一つである。人間と接触をしながらサービスを提供する人間共存ロボットにとって、人の触行動を識別することは重要な課題の一つである。本研究では、(独)理化学研究所バイオ・ミメティックコントロール研究センターが開発した人間の皮膚構造と同じ構造を持つ柔軟な面状触覚センサを用いて、ロボットと人が接触してコミュニケーションを行う上で基本的な触行動の識別を行う。本稿では、ロボットの上腕部のような曲面に搭載することが可能で、かつサンプルレートが1kHzでデータ取得可能な触覚センサを用いて、6種類の触行動を識別したので報告する。

キーワード 人間共存ロボット、面状触覚センサ、触行動識別

1. はじめに

日本における老年人口割合は2035年には約3人に1人と予想され、ますます、少子高齢者社会へと進んでいる。このような少子高齢化社会においては、労働者不足や被介護者の増加といった問題が予測されるが、その解決策として、人と接しながら各種サービスを提供可能な人間共存ロボットが期待され、その開発も進んでいる。その一つに、独立行政法人理化学研究所が開発した移乗介護支援ロボットRI-MANがある^[1]。RI-MANは左右前腕・上腕・胴体部分に触覚センサを搭載することで、安全に移乗介護を行うことが可能なロボットである。この触覚センサを通して、人がロボットに対して行った触行動を理解することができれば、ロボットと人のインタラクションはより良くなることが期待される。

従って、ロボットが触覚センサの情報から人の触行動を認識することは重要な研究課題であるが、未だに実用化された例は少ない。その理由としては、現在のセンサデバイスはサンプルレートが数十～100Hzと低いため、安定した触行動識別結果が得られない等の問題があるためである。この問題を解決するため、理化学研究所では半導体圧力センサを感圧素子として弾性体に埋め込む方法を基にした面状触覚センサを開発した。本研究では、昨年度、この面状触覚センサを用いて、「たたく」「つまむ」「なでる」「押す」の4種類の触行動の識別に関する研究を行った^[2]。その結果、4種類の触行動はほぼ識別できたので、より実用に即して識別すべき触行動数を増やす

ことが課題であった。サンプリング周期が短くなれば、センサに対して行った触行動の圧力データがより詳細に取得できるため、より多くの触行動が識別可能になると思われる。従って、今年度は、サンプルレートが1kHzでデータ取得ができるように改良されたセンサを用いて、さらに、「つかむ」「ひっかく」の計6種類の触行動を識別する研究を実施した。

2. 触覚センサの改良

人間共存ロボットRI-MANに搭載した触覚センサは、半導体圧力センサを感圧素子としている。感圧素子は、フジクラ製FPBS-04Aである。これは 5.8mmで、42.6～434.7kPaの絶対圧が測定可能な圧力センサである。この圧力センサを8×8の18mmピッチでアレイ状に配置し、弾性体に組み込むことで面状触覚センサを実現している。

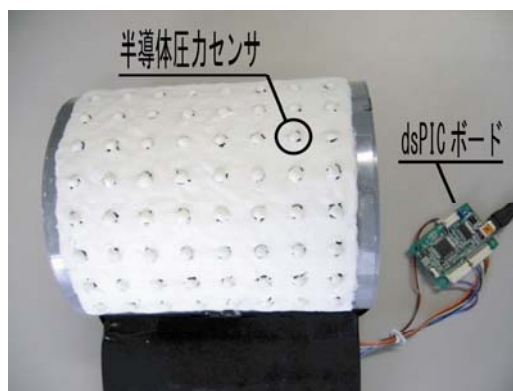


図1 面状触覚センサと汎用dsPICボード

* 独立行政法人 理化学研究所

今年度はセンサの測定回路を分圧回路からブリッジ回路に変更したため、昨年度より圧力の感度が高くなった。

更に、汎用のdsPICボードを新たに開発することで、サンプルレートが1kHzになった^[3]。図1に実験で使用した面状触覚センサおよび汎用dsPICボードを示す。

3. 触行動識別

3.1節では、本研究で対象とした触行動の選定方法や面状触覚センサから得られる時系列データを基にした特徴量抽出手法に関して述べる。更に、3.2節では得られた特徴量を基に触行動を識別する手法に関して述べる。

3.1 対象とする触行動

社会心理学において、人の接触行為に関する基本的な上肢動作は12種類に分類されることが知られている^[4]。本研究では、12種類の触行動の中で、「たたく」と「こつこつたたく」、および「押す」と「さわる」は、人がロボットに対して行う行動として、ほぼ同じであると見なし、「たたく」「押す」と定義する。そこで、10種類の触行動の中で、昨年度は、4種類（「たたく」「つまむ」「なでる」「押す」）の触行動の識別を行った。今年度は、より現実に即して、人がロボットに対して行う触行動として更に「ひっかく」「つかむ」を加えた6種類の触行動の識別に関する研究を実施した（表1）。

3.2 触行動識別のための特徴量および推定方法

本研究では、面状触覚センサから得られるデータから、人が面状触覚センサに触れて動作を開始した時刻とセンサから手が離れる終了時刻を推定し、その期間（触行動時間）の時系列データから複数の特徴量を抽出する。次に、それらの特徴量を線形判別分析することで触行動の識別を行う。

特徴量に関して、RI-MAN内部の超小型汎用コントローラに組み込むことを想定し、簡単な計算処理で得られ

る特徴量を用いる。そこで、触覚センサから得られる時系列データ、圧力位置や圧力のかかった領域面積の変化量、圧力の時間的変化量の3つの観点に着目し、昨年度と同様に9個の特徴量を選定した^[5]。

特徴量を基にした触行動推定手法に関しては、「たたく」「なでる」といった一つ一つをクラスとして定義し、クラス内分散を最小に、クラス間分散を最大にするような最適な判別空間を生成し識別する線形判別分析を行った。本手法では、9個の特徴量は線形判別分析で得た写像行列から判別空間上のある1点に投影されるので、各クラス（たたく、つまむ、つかむ、なでる、ひっかく、押す）の中心から投影点までの距離（マハラノビス距離）を求め、クラスと投影点間の距離が最小となる触行動を識別結果とする。

4. 実験と考察

本手法の有効性を検証するため、実験を行った。7人の被験者が「たたく」「つまむ」「つかむ」「なでる」「ひっかく」「押す」の6動作をそれぞれ2回実施（14データ/1つの触行動）した。集めたデータ量が少ないため、交差検証法を用いて、触行動識別の実験を行った。具体的には、一つの触行動に対して14個のデータがあるため、13個をトレーニングデータとして、各触行動に対して前章の特徴量を抽出した。これらの特徴量からクラス分けするのに最適な判別空間を生成し、残りの1個のデータをテストデータとして、触行動識別の実験をした。

表2にトレーニングデータにおける識別結果を、表3、表4にテストデータにおける識別結果を示す。

トレーニングデータによる触行動識別率は、「たたく」「つまむ」「押す」動作は90%以上で、判別空間がほぼ良好に生成されていることがわかる。しかし、「つかむ」「ひっかく」動作は良い識別結果が得られなかった。

一方、テストデータによる識別結果は、「たたく」「押す」動作の識別率は90%以上であるが、トレーニングデータで良好な判別空間が生成されなかった「つかむ」動作は約57%となり、この触行動に関しては、9個の特徴量は他のクラスとの識別には有意に寄与していないことがわかった。

表1 対象とする触行動

| | 社会心理学による分類 | 本研究による分類 | 昨年度実施 | 今年度実施 |
|----|------------|----------|-------|-------|
| 1 | たたく | たたく | | |
| 2 | こつこつたたく | | | |
| 3 | つまむ | つまむ | | |
| 4 | つかむ | つかむ | | |
| 5 | なでる | なでる | | |
| 6 | ひっかく | ひっかく | | |
| 7 | 押す | 押す | | |
| 8 | さわる | | | |
| 9 | 引っ張る | 引っ張る | | |
| 10 | 回転 | 回転 | | |
| 11 | 支える | 支える | | |
| 12 | 止める | 止める | | |

表2 トレーニングデータによる触行動識別結果

| 触行動 | データ数 (13 × 14) | 正解数 (13 × 14) | 識別率[%] |
|------|-------------------|------------------|--------|
| たたく | 182 | 182 | 100.0 |
| つまむ | 182 | 168 | 92.3 |
| つかむ | 182 | 130 | 71.4 |
| なでる | 182 | 155 | 85.2 |
| ひっかく | 182 | 135 | 74.2 |
| 押す | 182 | 172 | 94.5 |

表3 テストデータによる触行動識別結果

| 触行動 | データ数 | 正解数 | 識別率[%] |
|------|------|-----|--------|
| たたく | 14 | 14 | 100.0 |
| つまむ | 14 | 12 | 85.7 |
| つかむ | 14 | 8 | 57.1 |
| なでる | 14 | 12 | 85.7 |
| ひっかく | 14 | 10 | 71.4 |
| 押す | 14 | 13 | 92.9 |

表4 触行動別に分類したテストデータの識別結果

| 触行動 | 識別率[%] | | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|------|
| | たたく | つまむ | つかむ | なでる | ひっかく | 押す |
| たたく | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| つまむ | 0.0 | 85.8 | 7.1 | 7.1 | 0.0 | 0.0 |
| つかむ | 0.0 | 14.3 | 57.1 | 14.3 | 0.0 | 14.3 |
| なでる | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 85.7 | 14.3 | 0.0 |
| ひっかく | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 7.1 | 71.5 | 7.1 |
| 押す | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 92.9 |

「つかむ」という触行動は、面状触覚センサを手で包み込む動作となるため、親指とその他の指の部分に力が加わる。そのため、2つの圧力のかかる領域が存在するため、「つまむ」と誤識別した例があった。更に、親指とその他の指にかかる力加減によっては、センサ全体における力のかかる重心が移動してしまうため、「なでる」と誤識別した例もあった。また、「なでる」という触行動と「ひっかく」という触行動は、指に加える力加減は異なるが、共にセンサ上を移動させる行為であるため、両者間で誤識別する例もあった。

6個の触行動のクラス判別において、9個の特徴量の寄与率に関する検定を行った。本研究では、クラス判別を表す一つの指標である Wilks の 検定を用いた。9個の特徴量に関して F 検定を求めた結果を表5に示す。

本研究では6クラス、9変量、78パターン(1動作に対して13個のトレーニングデータを6動作分)を用いて判別空間を生成したため、自由度(5,64)の F 分布に従う。ここで、 $F_{64}^{5}(0.05)$ は2.36である(5%水準で有意である)。表5の F 値が、2.36よりも大きい値であれば、その特徴量は判別に有意に寄与しているといえる。従って、表5からは9個の特徴量の中で2つを除き、他の特徴量はすべて判別に有意に寄与していることがわかる。

5. まとめ

今年度、(独)理化学研究所がサンプルレートを高めることを目的に改良した面状触覚センサを用いて、センサから得られる時系列データを基に9個の特徴量を抽出し、これらを基に線形判別分析を行うことで、「たたく」「つ

表5 9個の特徴量に関するF検定結果

| | 特徴量 | F値 |
|--|--|-------|
| | 触行動時間 | 2.14 |
| | 最大の圧力がかかるまでの時間 | 4.12 |
| | 触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各サンプルで求めた重心位置との距離平均 | 3.50 |
| | 触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各サンプルで求めた重心位置との距離の分散 | 4.60 |
| | 各サンプルにおいて、圧力のかかった領域面積に対する平均値 | 1.24 |
| | 各サンプルにおいて、圧力のかかった領域(グループ)の個数に対する平均値 | 4.39 |
| | 動作開始後、10ms 時点における圧力データ | 5.67 |
| | 触行動時間を3等分し、1番目の時間帯(A領域)での圧力の(最大値 - 最小値) | 14.79 |
| | 触行動時間を3等分し、3番目の時間帯(C領域)での圧力の(最大値 - 最小値) | 16.38 |

まむ」「つかむ」「なでる」「ひっかく」「押す」の6種類の触行動の識別を行った。その結果、「たたく」「押す」といった触行動の識別は良好な結果を得たが、今回使用した9個の特徴量は「つまむ」と「つかむ」、「なでる」と「ひっかく」の触行動に対して、誤識別した例があった。

今後の課題としては、触行動を識別するのにより有効な特徴量の選定および実際にRI-MAN内部の超小型汎用コントローラへ組み込むことがあげられる。また、今回対象としなかった4種類の触行動(「引っ張る」「回転」「支える」「止める」)に関して、例えば、「引っ張る」動作に関してはせん断力を求める必要があり、本センサでは計測が困難なため、これらの触行動を識別するには異なるセンサの開発が必要である。

文 献

- [1] T. Odashima et al., "A Soft Human-Interactive Robot RI-MAN", IROS2006, Video ID: v018, 2006.
- [2] 平湯秀和, 向井利春, "触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究", SICE SI2006 講演論文集, pp.1172-1173, 2006.
- [3] 向井利春, 加藤陽, "ロボットに柔らかさを与える1ms柔軟面状触覚センサ", ROBOMECH2007 講演論文集, pp.53-54, 2007.
- [4] ペーター・E.ブル, 市河淳章ら(編訳), "姿勢としぐさの心理学", 北大路書房, 2001.
- [5] 平湯秀和, 向井利春, "触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究", 岐阜県生産情報研究所研究報告第8号, pp.20-23, 2007.

水稻のクリーン農業を支援するロボット(アイガモロボット)の実証研究

光井 輝彰 鍵谷 俊樹* 大場 伸也** 広瀬 貴士* 小林 孝浩*** 稲葉 昭夫

Experimental Study of a Weeding Robot “AIGAMO ROBOT” for Clean Agriculture of Paddy Fields

Teruaki MITSUI Toshiki KAGIYA* Shinya Ooba** Takashi HIROSE*
Takahiro KOBAYASHI*** Akio INABA

あらまし これまでに、農業分野でロボット技術を活用するための要素技術として、小型ロボットの移動機構について開発を行ってきた。また、これを利用した水田内除草作業について、圃場実験を通してその有効性を確認してきた。本研究では、県内の3箇所の試験圃場でアイガモロボットを利用した除草実験を行ない、環境の異なる圃場での除草効果や、長期経年的な除草効果について調べる。また、実用的な除草効果を得るためのロボットの運用方法や稲の栽培体系について検討を行い、除草効果向上のためのロボットの改良や、自動走行機能などのロボットの高性能化について検討を行う。

キーワード ロボット, 除草, クリーン農業, 水稻, クローラ

1. はじめに

食の安全や環境に関する意識の高まりの中で、慣行農業において多用されている化学農薬の削減が望まれている。行政でも、ぎふクリーン農業^[1]のように、それらの農業を推進する動きを進めており、水稻栽培でも有機農業などの安全で環境負荷の少ないクリーンな農業が行われつつある。ここでは、最も多用される農薬である除草剤の使用を控えるために様々な手法が試みられているが、有効な手段は無く、雑草対策が大きな課題となっている。

本研究では除草剤に代わる新たな除草手段として、水田用除草ロボットの開発を進めており^[2]、2006年には飛騨市古川町の中山間農業研究所で試作ロボットを用いた圃場実験を行い、その除草効果を確認した。2007年は高



図2 ロボットによる除草作業

冷地（飛騨市）以外に平野部（岐阜市）と中山間地（中津川市）を加え、環境の異なる県内3箇所の圃場でロボットの除草効果を調べた。

2. ロボットによる除草作業

図1に実験で利用した試作ロボットを、表1に緒元を示す。フレーム部品の改良とバッテリーの搭載位置の見直しにより、軽量化と低重心化を図った。除草作業は、ロボットが稲を跨いで走行するだけであり(図2)、除草(抑草)効果は水田内をロボットが走行する際の、

- ・クローラによる雑草の踏み潰し
- ・クローラによる表層土壌の攪拌、雑草の掻き出し
- ・土壌攪拌による水中照度の低下の他、濁水中に浮遊する粘土粒子の土壌表面と幼雑草への堆積^[3]

等により得られる。作業期間は田植後の苗が活着する約1週間後から、成長して雑草害がほとんど問題にならなくなる約7週間までの期間とする。

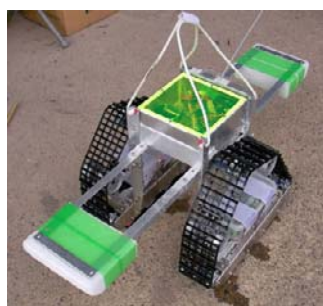


図1 試作ロボット

表1 緒元

| | |
|-----------------------|----------------------|
| Length | 400mm |
| Width | 400mm |
| Hight | 370mm |
| Width of Crawler Belt | 90mm |
| Weight | 4500g |
| Motor | 380motor |
| Gear Ratio | 59.77 |
| Battery | Ni-HM3300mAh 7.2V |

* 岐阜県中山間農業研究所

** 岐阜大学

*** 情報科学芸術大学院大学 (IAMAS)

3. ロボットによる除草実験

除草実験は、標高、気候、土質や雑草種など各種条件の異なる県内3箇所の圃場で行い、これらの違いが除草効果に影響するかを調査した。稲の作型はそれぞれ地域慣行に従い、表2に示す日程で実験を行った。各試験圃場は面積や形状などの諸条件が異なるため、ロボットの除草作業の条件は圃場毎に設定した。残草調査は各試験区から3箇所のサンプリングを行い、平米あたりの雑草本数と風乾重を計算した。収量調査では刈刈りの結果をアールあたりの収量に換算した。

3.1 平野部（岐阜市）の除草実験

平野部の実験では、除草作業を週1回、2回、3回の頻度で行う試験区を準備した。除草作業はロボットを単純に直進（前進、後進の往復）させるのではなく、細かく蛇行（往復）させることで、除草効果の向上を図った。

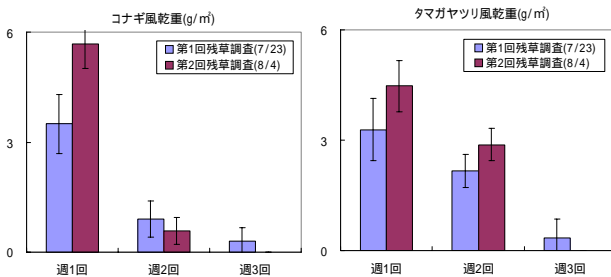


図3 残草調査結果（風乾重の平均値と標準誤差，岐阜市）



図4 良好な除草効果（週3回除草区 2007.7.18 岐阜市）

表3 収量調査結果（岐阜市）

| 試験区 | 稈長 [cm] | 穂数 [本/株] | 玄米収量 [kg/a] | 千粒重 [g] |
|-----|---------|----------|-------------|---------|
| 週1回 | 80.5 | 9.6 | 36.9 | 24.8 |
| 週2回 | 82.6 | 9.7 | 42.2 | 25.5 |
| 週3回 | 91.8 | 11.2 | 56.5 | 25.5 |
| 慣行区 | 93.6 | 11.7 | 50.3 | 26.0 |

表2 試験圃場と実験スケジュール

| 場所 | 実験圃場 | | | スケジュール | | | |
|------|------|--------|--------|--------|------|-------------|------------|
| | 圃場標高 | 平均気温 | 土壌 | 供試品種 | 代かき | 除草作業期間 | 残草調査日 |
| 岐阜市 | 10m | 16.4 ° | 灰色低地土 | ハツシモ | 6/7 | 6/19 - 8/3 | 7/23, 8/4 |
| 中津川市 | 390m | 14.3 ° | 多湿黒ボク土 | コシヒカリ | 5/18 | 5/29 - 7/10 | 6/28, 7/9 |
| 飛騨市 | 493m | 11 ° | 灰色低地土 | コシヒカリ | 5/16 | 5/31 - 7/12 | 6/29, 7/13 |

残草調査の結果を図3に示す。優占雑草はコナギとタマガヤツリであり、残草量はロボットの走行回数が多いほど減少する傾向がある。特に週3回除草作業を行った試験区では残草が少なく（図4）、第2回残草調査のサンプリング時点で残草が確認されなかった。収量は、ロボットの走行回数が多いほど増収している（表3）。週3回除草作業を行った試験区の収量は、除草剤を使用した慣行区にも劣っておらず、十分な除草効果が得られた。

3.2 中山間地（中津川市）の除草実験

中山間地の実験では、除草作業を週0.5回、1回、2回、3回、4回行う試験区を準備した。除草作業はロボットの直進（前進、後進の往復）のみに限定して行った。第2回残草調査の結果を図5に示す。優占雑草はコナギ、ホタルイであり、除草作業を行った試験区は無処理区と比較して残草が減少する傾向がある。ただし、全体的に雑草数が少なく、ロボットの走行回数による除草効果の違いはほとんど認められない。残草はクローラ走行跡にはほとんど残らず、クローラ走行跡以外に残っている。収量はこれらの残草を放置しても十分に得られた（表4）。

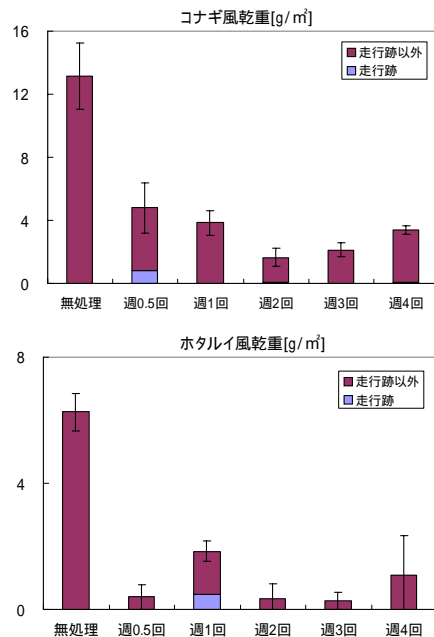


図5 残草調査結果（風乾重の平均値と標準誤差，中津川市）

表4 収量調査結果（中津川市）

| 試験区 | 稈長 [cm] | 穂数 [本/株] | 玄米収量 [kg/a] | 千粒重 [g] |
|-------|---------|----------|-------------|---------|
| 無処理 | 78.0 | 12.2 | 43.8 | 22.3 |
| 週0.5回 | 81.6 | 14.4 | 53.8 | 22.3 |
| 週2回 | 78.0 | 14.8 | 52.1 | 22.4 |
| 週4回 | 79.2 | 15.3 | 52.1 | 22.6 |
| 慣行区 | 78.7 | 11.4 | 53.7 | 22.4 |



図6 中耕除草機械(手動)

表5 収量調査結果(飛騨市)

| 試験区 | 稈長 [cm] | 穂数 [本/株] | 玄米収量 [kg/a] | 千粒重 [g] |
|--------|------------|-------------|----------------|------------|
| 無処理 | 59.1 | 8.3 | 32.1 | 20.2 |
| 機械除草 | 59.7 | 9.9 | 43.7 | 20.2 |
| ロボット除草 | 63.5 | 10.7 | 46.0 | 20.3 |

3.3 高冷地(飛騨市)の除草実験

2006年に引き続き,同試験区とその周辺で除草実験を行った。ロボットの除草作業は週1回と2回の片道走行および往復走行の4種類として,比較のため手動の除草機械(図6)を利用した機械除草区も準備した。

ロボットの除草区は,無処理区と比較すれば残草量が少ない傾向にあるが,最も作業頻度の高い試験区(週2回往復)でも残草の多い結果となった。他の試験圃場と比較して,元々雑草量が格段に多い圃場であるが,2006年の除草結果と比較しても明らかに残草量が多い。機械除草区に関しては,一般的な機械除草の方法に合わせて期間中に3回作業を行ったが,ここでも残草が多く,ロボット除草区(週2回往復)との間にほとんど差がなかった(図7)。米の収量に関しては,無処理区と比較すると増収しているものの,雑草が多いため稲の生育は悪く,収量も少なめであった(表5)。

3.4 除草実験考察

各試験区により雑草の絶対量に違いがあるが,全試験区でロボットの除草作業による残草量の減少が認められた。各種条件の違いによる影響は明らかではないが,平野部から高冷地まで環境の異なる3つの圃場において,ロボットの除草効果の有効性が示されたと言える。ただし,今年度の実験では走行跡以外に残草が目立ち,これを如何に減らすかが課題といえる。特に,飛騨市の実験ではロボットの走行跡以外に残草が目立ち(図8),同じ週2回のロボットによる除草作業の結果に,2006年との間で大きな開きが生じた(図9)。この原因には,除草開始時期の遅れが考えられ,代かきから除草作業開始までの日数が,2006年の7日に対し2007年は15日であり,その間に雑草は葉齢2~3程度にまで生長していた(図10)。クローラ走行跡以外は土壌攪拌により雑草の生長を抑制するが,土壌攪拌は雑草の発生初期から行い,幼雑草を大きく成長させないことが重要である。雑草がある程度大きくなるとその成長を抑えることは難しいと考えられる。飛騨市の実験は2年目であり,ロボットの除草作業を重ねることによる経年的な影響が生じるのかについては不明であるが,今後も継続して調査する予定である。

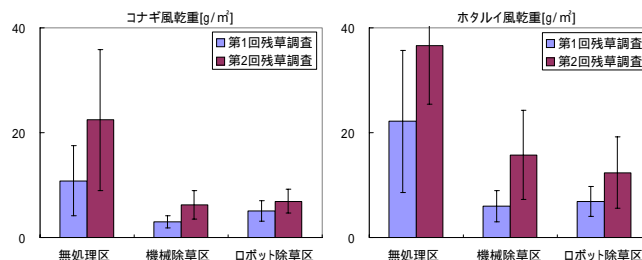


図7 残草調査結果(風乾重の平均値と標準誤差,飛騨市)



図8 クローラ走行跡以外の残草(2007.6.21 飛騨市)

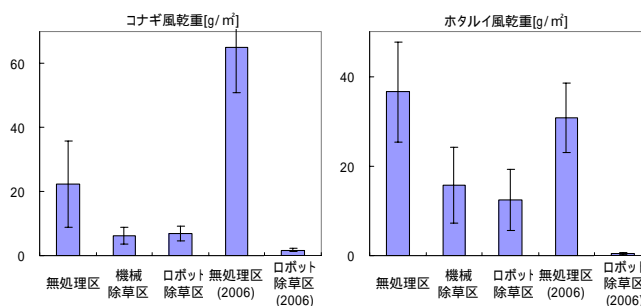


図9 2006年との残草量の比較(風乾重の平均値と標準誤差)

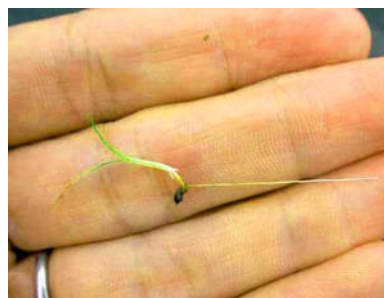


図10 除草作業開始時の雑草サイズ(2007.5.31 飛騨市)

4. ロボットの高性能化

水田内除草作業を自動化するためには,ロボットは直線状に植えられた稲の列に沿い,クローラでその間を走行する必要がある。除草剤の代替になるためには,安価なシステムでこれを実現する必要がある。今年度は,研究室に模擬稲を準備し,稲列の簡易な計測手法とロボットの走行制御について検討した。

4.1 稲列計測システム

検出対象となる模擬稲を図11に示す。実物の圃場条件に近づけるために,各稲はサイズや葉の広がり具合に個体差を持たせた。センサには,入手が容易で安価な測距センサ(SHARP GP2D12)を利用した。これを左右対

称に取り付け、斜め上の2箇所から稲を挟み込むように計測を行う(図12)。稲列の計測結果を図13に示す。出力波形の大きな5つの山は検出した稲に対応しており、その高さは稲までの距離と反比例の関係にある。クローラの中心を稲列が移動する場合は2つのセンサの計測波形がほぼ同じ形状なのに対し、クローラの中心からずれて稲列が移動する場合には、山の高さと位置が違うことが確認できる。

4.2 走行制御

ロボットの制御は、水田内稲列の若干の曲がりや、外乱等によるロボット自身の位置姿勢変化など、比較的緩やかで軽微な変化に対応して、ロボットが稲列の間から外れないように進行方向の修正を行えば良い。そこで、稲列計測システムの2つのセンサの計測値を平滑化して差分した値を最小にする(ロボットの中心と稲列を合わせる)ように制御を行う。制御周期は20msとして、5ms毎に取り込んだセンサの計測値20点を平滑化して用いた。図14にシステムの構成を示す。

走行実験は模擬稲を並べた約4mの稲列を用いて行った。ロボットの走行速度は除草作業で想定している速度(約0.5m/s)に設定した。走行中のロボットが稲列に沿ったコースを維持できるか確認するために、稲列を中間地点で曲げたところ、10°程度の曲がりには安定して対応可能であった(図15)。実際の圃場における稲列の曲りはこれほど大きくないので、実際の圃場においてもこの制御手法は利用可能であると考えられる。

4.3 今後の予定

室内で模擬稲を利用した実験により、ロボットの稲列に沿った走行制御を行ったが、実際の圃場では諸条件に様々な違いが考えられる。稲列検出システムは、刻々と変化する気象条件や、水や泥や塵などの飛散に対する耐環境性が必要である。また、計測対象の稲自体の生長によるサイズやボリュームの変化にも対応する必要がある。圃場での利用に向けて、使用するセンサの種類や数、センサの取り付け位置や計測手法等の検討が必要である。

5. まとめ

岐阜県県土の標高差を反映した3箇所の圃場で実験を行い、ロボットの除草作業による雑草量の減少を確認した。2箇所の圃場では、除草剤を使用した慣行区に劣らない十分な収量が得られた。しかし、ロボットの走行跡以外に残草が目立ち、出来るだけ早期に除草作業を開始する事の重要性が示唆された。今後は施肥体系や水管理についても合わせて検討する予定である。

ロボットの高性能化については、室内の稲列に沿った走行制御を行い良好な結果を得た。これを元に、できるだけ簡易なシステムで実圃場での自動走行の実現を目指す予定である。同時に、除草効果を向上させるロボットの機構改良や走行制御について開発を進める予定である。

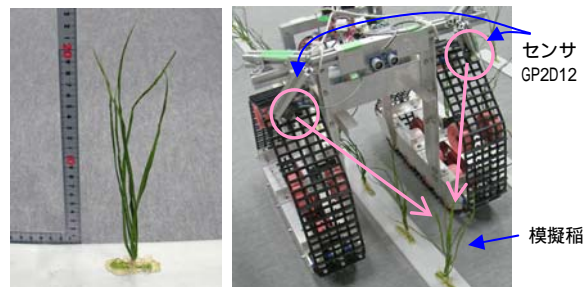
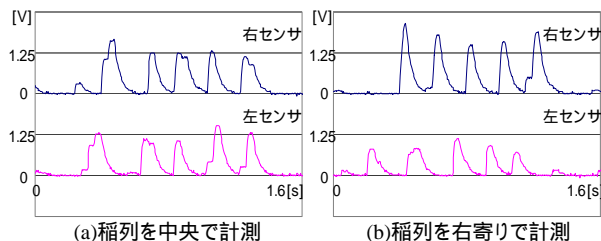


図11 模擬稲

図12 稲の計測



(a)稲列を中央で計測

(b)稲列を右寄りで計測

図13 稲列の計測例

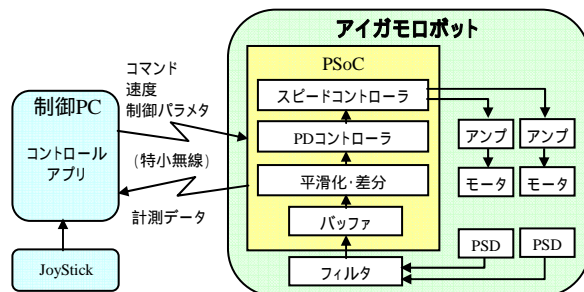


図14 システム構成

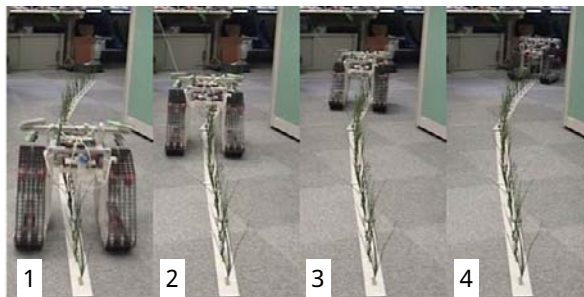


図15 稲列に沿った走行制御

謝辞

稲列計測システムの開発は、インターンシップ事業の一環として行いました。岐阜工業高等専門学校の齋場君、谷口君のご協力に感謝します。

文献

[1] “ぎふクリーン農業”
<http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11435/clean/index.html>

[2] 光井輝彰, 小林孝浩, 鍵谷俊樹, 稲葉昭夫, 大場伸也, “アイガモロボットの開発”, 日本ロボット工業会機関誌, ロボット177号, pp.20-25, 2007.

[3] 福島和敏, 保田謙太郎, 芝山秀次郎, “田面水の攪拌が雑草の発生に及ぼす影響”, 雑草研究, Vol.48(別), pp.224-225, 2003.

身体障がい者のQOLを大幅に向上させる高機能電動車いすの研究開発 - 意見収集とマニピュレータの改良設計 -

千原 健司 藤井 勝敏

Development of a High-Performance Electric Wheelchair - Hearing Opinions and Improvement of Manipulator -

Kenji CHIHARA Katsutoshi FUJII

あらまし 本研究所では、比較的狭い日本の住居で使用することを考慮した、コンパクトで安価なマニピュレータ付き高機能電動車いすの開発に着手している。本年度は、これまでに試作した高機能電動車いすを、対象者を中心に体験してもらい、様々な意見・要望等を収集すると共に、改良設計をした。本報では、マニピュレータに関する意見収集と改良を中心に報告する。

キーワード 軽量マニピュレータ、電動車いす

1. はじめに

岐阜県では、福祉の充実を図るために、岐阜県障がい者支援プランを策定し、これに基づいて障がい者の支援を実施している。少子高齢化社会を迎える中で、障がい者に対する人的な支援には限界があるため、自助努力で豊かな生活ができるように、補助となる器具や機器の開発は不可欠である。

そこで本研究所では、平成18年度より早稲田大学および(株)今仙技術研究所と共同し、身体障がい者のQOL(Quality Of Life:生活の質)を大幅に向上させる高機能電動車いすの研究開発に着手している。この電動車いすは、肢体不自由者の上肢による作業を支援するための軽量で安全なマニピュレータと、電動車いす・マニピュレータおよび家電製品などを統合的に扱う多機能指示端末を具備することを特徴としている。本年度は、平成18年度に試作した高機能電動車いすを、実際の対象者を中心に体験してもらい、様々な意見・要望等を収集・整理すると共に、改良設計をした。本報では、マニピュレータに関する意見収集と改良を中心に報告する。

2. 意見収集

2.1 意見収集方法

マニピュレータと電動車いすの兼用操作を可能とする操作端末とマニピュレータ本体を電動車いすに統合した試作機を用いて、開発者がデモンストレーション(ペットボトルを取る、床に落ちた物をとるなど)をし、要望があれば操作体験してもらった後に、口頭で意見・要望、感想等を聴取する方法で意見収集を実施した。表1に意

表1 意見を収集した機会

| 日時 | 会議名等 | 場所 |
|--------------|-----------------|-----------------|
| H19.3.13 | 高機能電動車いす開発推進会議 | 情報技術研究所 |
| H19.6.22 | 福祉ロボット研究会 | 情報技術研究所 |
| H19.8.7 | 高機能電動車いす体験会 | 身体障がい者療護施設「三光園」 |
| H19.8.23-25 | 第22回リハ工学カンファレンス | 名古屋国際会議場 |
| H19.8.24 | 福祉機器コンテスト2007 | 名古屋国際会議場 |
| H19.10.12-13 | ものづくり岐阜テクノフェア | 岐阜メモリアルセンター |

見収集を行った機会を示す。

2.2 意見収集結果

様々な機会による意見収集により、対象者となる肢体不自由者からだけでなく、そのご家族や医療関係者(作業療法士、理学療法士)、福祉施設関係者(社会福祉士、介護福祉士)、エンジニア、行政関係者など非常に多岐の立場の方から約120件の意見・要望等を得ることが出来た。

内容を整理すると、高機能電動車いす全体のコンセプトは、対象者となる重度肢体不自由者ならびに医療関係者らには好意的に受けとめられたとみられ、早期実用化を望む声が多く聞かれた。一方、障がい者のご家族や、福祉施設関係者等の機器を購入する立場の方からは価格設定に対し、厳しい意見が多く聞かれた。価格を抑えつつ、利用者からの要望の高い機能を拡充し、いかに実用的な機器にするかという点を、改良の基本方針に定めた。

表2にマニピュレータに関して多く聞かれた具体的な意見を示す。これに対して具体的な改良設計をした部分については、次章以降に述べる。

3. 改良設計

上記の基本方針を踏まえ、表2の通り整理した各意見・要望について以下の改良設計を実施した。

3.1 前輪とマニピュレータの干渉防止

意見1を受け、2通りの解決方法を検討した。1つはマニピュレータの取り付け位置を、電動車いすに対して横方向に大きくずらすことにより、前輪の向きにかかわらずマニピュレータとの干渉を防ぐ方法である。これは連結部品の軽微な設計変更で実現できるためコストアップせずにできるが、車幅が広がる欠点がある。

もう1つの方法は、電動車いす走行後に自動で前輪を前方へ戻す機能である前輪パワーステアリング機能（㈱今仙技術研究所製電動車いすの追加オプション）を装着することである。図1に試作機に装着した前輪のパワーステアリング部分の写真を示す。ステアリングユニットからシャフトが前輪支持部分に連結しており、電動車いすの走行後に、自動で前輪が前向きに戻る。これにより、マニピュレータを下方に駆動しても前輪と干渉しないことを確認した。

3.2 マニピュレータ本体の設計変更

図2に、マニピュレータ本体を設計変更した後の電動車いすの全体図を示す。

意見2を受け、試作機ではマニピュレータと座椅子部分の隙間が10mm程度しかなく、指等を挟む恐れがあるため、連結部品（図2中の1）を設計変更し、約35mmの間隔を確保した。この設定値は、福祉用具の安全に対する一般要求事項（「指の挟み込み防止(4mm未満もしくは25mm以上)」と「頭の挟み込み防止(60mm未満もしくは300mm以上)」の両方を満たしており安全である。

意見3と意見4を受け、マニピュレータの支柱部分を試作機より約240mm伸ばした（図2中の2）。これにより、高さ方向の可動範囲が、床面から約1000mm、座面から約530mmとなり、エレベータのボタンを押したり、持ち上げた飲料等を口元まで運ぶことが可能となる。

3.3 その他の改良

意見5、6を受け、要望を満たせるように、次年度以降に具体的なハンド部分（図2中の3）の検討を実施する予定である。

意見7を受け、利用者がベット等から移乗する際に、マニピュレータを自動的に下方の邪魔にならない位置に退避する自律動作を準備する予定である。

意見8に対しては、ピッチ軸関節の追加によりスカラ型マニピュレータの利点（構造が単純、駆動エネルギーが少ない等）を損なうため、現在のマニピュレータのコンセプトに合わない。共同研究機関の早稲田大学が、自重補償機構により駆動エネルギーが少ないことを特徴とするマニピュレータの開発を進めており、その要素技術の転用によりこの問題が解決されることを期待する。

4. まとめ

本報では、マニピュレータを中心に改良点について報告した。次年度は、積み残された改良設計を進め、改良

表2 マニピュレータに関する意見・要望

| 多く聞かれた意見・要望 | |
|-------------|--|
| 1 | 前輪とマニピュレータが干渉して床までハンドが下りないと困る |
| 2 | マニピュレータが近すぎて、挟み込みそうで怖い |
| 3 | 飲物を飲むなら、もっと上まであがる必要がある |
| 4 | エレベータのボタンを押したい |
| 5 | 床に落ちた紙を拾いたい |
| 6 | 机上の封筒や紙を動かす作業にも使いたい |
| 7 | マニピュレータが車いすへ移乗する際に邪魔にならないか、移乗はスライドボードやリフトで行うが、障がい者の生活様式を考えて検討してほしい |
| 8 | 手先にピッチ軸関節があったほうが、かこの物を取る時などは便利 |



図1 前輪パワーステアリング



図2 設計変更後の電動車いす全体図

マニピュレータを製作し、高性能電動車いすに搭載し、利用者による長期間の試験運用を行い、コストダウンも含め、実用化に向けた更なる改良を実施する予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、共にご検討下さいました早稲田大学菅野研究室（㈱今仙技術研究所 岐阜県立三光園、NPO法人バーチャルメディア工房ぎふの関係者皆様に深く感謝いたします。

本事業を遂行するにあたり、加工設備購入のための補助金を頂いた日本自転車振興会に深く感謝いたします。

身体障がい者のQOLを大幅に向上させる高機能電動車いすの研究開発 - 多機能指示入力装置の評価と改良 -

藤井 勝敏 千原 健司

Development of High-Performance Electric Wheelchair - Improving on Multifunction Input Device -

Katsutoshi FUJII Kenji CHIHARA

あらまし 電動車いすを常用する身体障がい者の自立を支援し、またその活動範囲を広げるために、本研究事業では軽量マニピュレータを筆頭に様々な電子機械装置類を電動車いすに搭載しようとしている。それに伴い、これらの装置を利用するユーザにとっての操作性および利便性に配慮した操作入力装置の設計が重要になる。本報告書では、昨年度開発した操作入力システムに関して障がい者支援施設における体験会等での評価結果を踏まえ、操作入力システムを改良、再設計した内容を中心に述べるとともに、電動車いすの高機能化の一例として実装した赤外線リモコンによる環境制御機能について述べる。

キーワード 入力システム、電動車いす、マニピュレータ、赤外線リモコン

1. はじめに

電動車いすは、自立歩行が困難な身体障がい者や高齢者が移動の自由を得る手段の一つとして手動車いすの延長上で利用されている器具であるが、機械・電子工学的な立場からは、大容量バッテリーを搭載した移動装置の一つとも言える。この特徴は、昨今の情報化社会の潮流において、特にコピキタスコンピューティング、ウェアラブルコンピューティングなどの実現において非常に有利な条件であると考え、身体障がい者らの社会活動への参加機会を大幅に広げる可能性を秘めている。そのため、電動車いすのような支援機器には、身体障がい者が自分の意志で様々な場所へ赴くだけに止まらず、

行った先で目的とする何らかの作業を円滑に達成できるよう支援する機能の実現が求められている。

そこで筆者らは、これまで移動支援専用装置として市販されていた電動車いすをベースに、ロボット・メカトロ技術を応用することで、物理的な力作用を発揮できる軽量マニピュレータを搭載し、しかも電動車いすのレバーをモード切替するだけで移動と操縦ができる兼用操作入力システムを開発した^[1]。本年度は研究者や企業向けの発表会だけではなく、実際に電動車いすを利用している身体障がい者からも意見・要望を聴取する機会を設け、そこから得られた様々な意見、要望を整理した結果を元に改良を行ったので順に報告する。

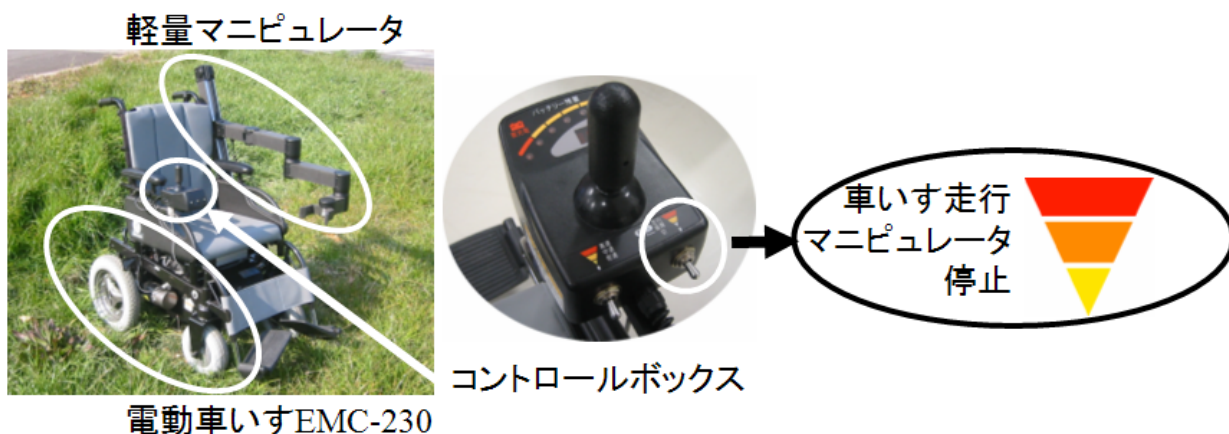


図1 軽量マニピュレータ付き電動車いす

2. 展示会・体験会での評価

昨年度開発した装置の構成を図1に示す。このシステムでは、電動車いす(EMC-230:今仙技術研究所製)のコントロールボックスにある電源スイッチの切り替えにより、本来の電動車いすの走行モードから、車載した軽量マニピュレータの操縦モードに切り替えることができる。後者のモードでは、電動車いす運転用に搭載されたレバーを兼用して、マニピュレータの操作に必要な動作指示命令を入力することができる。電動車いすを適切に操作できる身体能力があれば、同じ入力装置を使ってマニピュレータを完全に操縦することができるため、専門技能は特に必要としないことが特徴である。

入力方法の詳細を図2に示す。手に握ったレバーを前後左右斜め方向に倒し分け、前後左右については、その倒し方を力を入れて限界まで倒す方法と、中立点から軽く

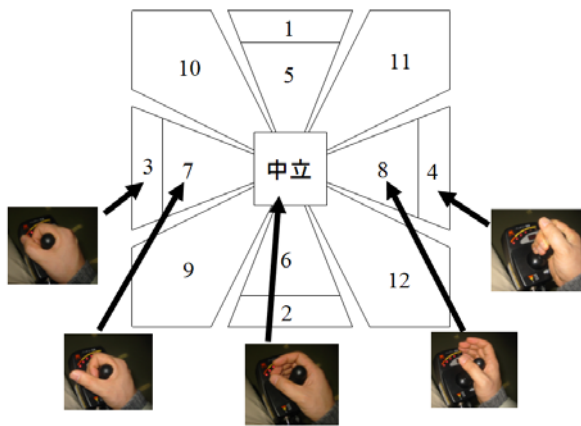


図2 操作入力方法

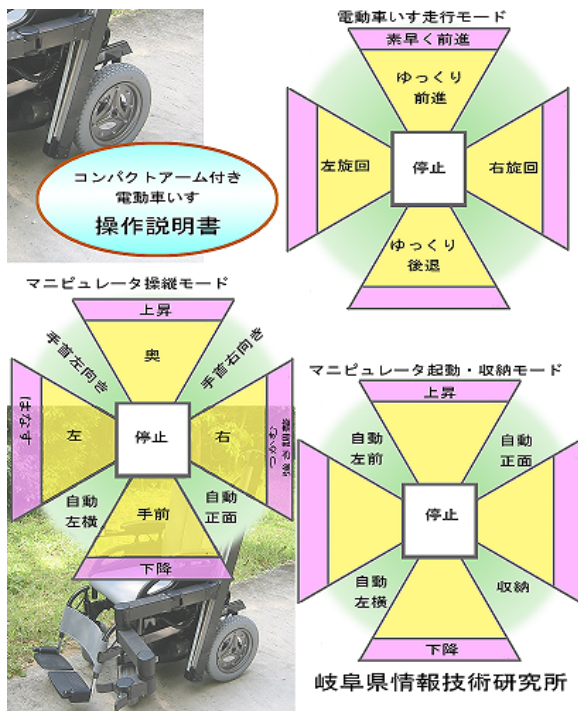


図3 操作説明書(展示会用)

倒す方法を使い分けることで12の機能のうちの一つを選択する。また、手に力を入れなければ、ばねの力で中心の中立点に復帰する。この入力領域ごとにシステム独自の機能を割り当てることができる。

2.1 展示会での評価

このように操作レバーを電動車いすと共通化した設計は、研究当初に筆者らが行ったアンケート結果から、機械の操作を初心者にも分かりやすくすべきであると考えて実現したものであるが^[2]、展示会(第22回八工学カンファレンス・名古屋)での反応も、機器を導入する度に入力装置が増えるのは物理的・空間的にも望まれてはならず、本入力システムが見せた共通化は、特に実際に電動車いすを利用しているユーザらに好評であった。

上記展示会では、来場者に図3の操作説明書を示して簡単な説明を行った後、マニピュレータを実際に操作して床に落としたハンカチやペットボトル等の小物を拾うなどの体験会を実施した。この機会での体験者は研究者や技術者が中心であったとみられ、短時間で操作を習得して特に問題なく操作できたように見受けられた。

2.2 体験会での評価

しかし、本システムを実際に利用する対象者は、普段から電動車いすを常用している身体障がい者であるため、身体障がい者療護施設岐阜県立三光園(山県市)において、理学療法士や専門スタッフ立会いの下、安全性に十分配慮した上で本システムの体験会を実施した。意見聴取できたのは本システムに興味を示し、安全に移乗(あるいは隣接)して操作できる条件が揃った参加者に限られるが、今年度の改良に特に関係する意見をまとめる。

(A) 筋力が弱い車いすユーザ

手指の自由が限られ、基本的に握りこぶしで電動車いすのレバーを操作されている方の場合、準備した標準型レバーでは硬すぎたため、可能な限りばねを柔らかく調整した。また、レバーを握るのではなく押して操作するため、手前方向には入力が困難であった。また、筋力があっても、手指に変形があるためにレバーを握ることができない場合も同様であった。

(B) 筋力が調整し難い車いすユーザ

硬直あるいは不随意とみられる運動があるため、前述のユーザの場合とは逆に、パネを硬めに設定したが、レバーの半倒しや斜めの正確な入力が困難であった。このユーザを含め、図3の平面的な機能配置を暗記することに抵抗があるユーザ層からは、ボタン式の操作入力装置を要望する声があった。

(C) 手先が器用な車いすユーザ

普段は手動の車いすを常用されている方にも体験していただいたところ、短時間で操作方法を習得し、自在にマニピュレータを操作できていた。このユーザの場合、上半身の身体能力がマニピュレータの機能より勝っており、現状では本システムは必要としないが、これなら簡単に操作できるとの感想であった。

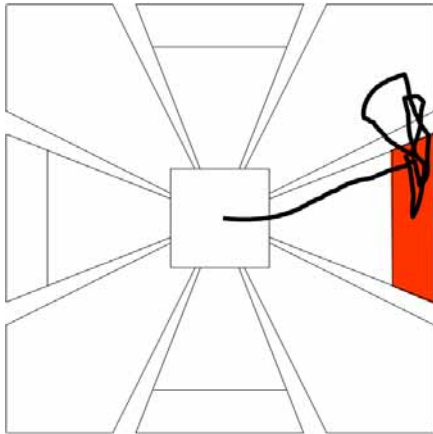


図4 操作入力の軌跡例と領域判定



図5 12ボタン式入力装置

3. 入力方法の改良

3.1 アルゴリズムの改良

筆者らの開発した入力方法では、レバーを前後左右そして斜めに力を加減しながら目的の機能が割り当てられた領域を指示する操作を要求している。寛容性を持たせかつ誤入力を抑えるために、それぞれの領域は可能な限り大きく確保する一方で、領域間には不感帯もしくは無効時間を設定している。

しかし実験の様子からは、筋力の調節ができないユーザの場合、特定の領域を指し示した状態で維持することが困難なために、不意に別のコマンドが割り当てられた領域を指してしまう様子がみられた。

そこで、レバーの入力から選択領域を判定する際のアルゴリズムを以下のように修正した。

- (1) 半倒し領域から全倒し領域(斜め方向を含む)に入った場合、最初の領域を有効とするようにした
- (2) 方向が異なる全倒し領域をポイントするためには、一旦中立点を通さなければならないようにした
- (3) 半倒し領域を選択する際は、通過中と区別するため必要最小限の無効時間を調節できるようにした

これらの修正により 図4に示すように一旦選択した外側領域の機能は力を入れている限り保持する。そして力を抜けばバネの力で中立点に復帰し、解除される。これにより多少の不随意運動があっても手が震えることがあっても、所望の機能が実行可能になった。

3.2 ボタン式入力装置

手指の状態によりレバーを握ることが困難なユーザや、筆者らの提案する操作方法が難しいと感じるユーザ用に、図5の通り12個のボタンに同じ機能を割り当てた入力装置を試作した。いずれかのボタンを押すことは、所定の領域を指示する行為と等価であり、操作対象を車いすにもコンピュータにも切り替えられる点も同様である。

ボタンの配置は、電動車いすの運転に使うことにも配慮しているが、それぞれのユーザの都合に合わせ、押しやすい配置と大きさに設計することが望ましいと考えて

いる。

4. 環境制御装置

快適な生活環境を整えるためには、照明器具やエアコンなどのほか、情報収集および娯楽のためのテレビなど家電機器が必需品である。このような機器の操作で、身体障がい者向けに入力方法が工夫されたものは、環境制御装置と呼ばれている^[3]。

4.1 家電用リモコン

例に挙げたような家電機器は、基本的に付属のリモコン装置で遠隔操作できるように作られている。このことは、一般の消費者にとって利便性が高いことは勿論、身体障がい者にとっても有益である。このような機器は、操作対象の家電機器の種類、メーカー、製造時期によって制御方法は異なるが、概ね赤外線LEDの点滅による信号をリモコンから機器に向けて放射し、機器側が受光する仕組みになっている。赤外線の点滅は、外乱の影響を避けるために38kHz程度で変調するデジタル通信が使われ、受信側は、通信内容や形式の整合性を見て、自分に向けられた信号か否かを判断し、必要に応じて機器の動作を制御する。

4.2 リモコン機能の実装

つまり、リモコン機能は既製の電動車いす等に使用されている制御用マイコンの空き出力ポート1つと赤外線LEDが少なくとも1つあれば実装できる。そこで今回、試験的に筆者らの電動車いす兼マニピュレータ操作入力装置に、テレビリモコン機能を搭載した(図6)。ユーザがこの機能を利用するためには、車いすコントローラに標準で付いている速度切り替えスイッチを、非走行状態で切り替えることで、テレビ操作モードになる。このモードでレバーを操作すると、赤外線LEDからテレビリモコン互換の信号が発せられる。

このときのレバーの入力方向とテレビの操作内容の対応を図7に示す。一般的な家庭用テレビであれば、少なくともチャンネルの変更(上下)、音量の変更(上下)と電源操



図6 テレビリモコン機能

作の5種類の信号が発信できれば通常用途に足りるため、入力ミスが少なくなるよう、微妙な力加減が必要な中間領域へは機能を配置しないように工夫した。

4.3 有効性に関する考察

電動車いすは、本来は移動を補助する目的の装置であるため、テレビ観賞のような行為を支援する必然性はない。必要ときに付属のリモコンなどを手に取り操作すれば用は足りる。しかしながら今回の改良の意義は、そのリモコンを取る手間や落とすリスクを解消したことにある。さらに、既製リモコンのボタンを上手く押すことが出来なくても、例えば電動車いすのレバーさえ操作できるよう訓練すれば、テレビの操作も可能になることも重要である。

このように、電動車いすから家電機器を操作できるようにすることには、単に付加価値が付くというだけでなく、身体障がい者の生活の質を底上げする意味が含まれていると考えている。今後もユーザからの要望に応じて、照明、ビデオ、エアコンのほか、PCなど情報機器も含めて検討を続けていく計画で、これらの機器を健常者と同じ方法とは限らずに、電動車いすユーザの特性を活かした方法で操作を可能にすることに意義があると考えている。

5. まとめ

電動車いすの標準的な操作入力装置であるレバーを兼用して軽量マニピュレータの操作を可能にした入力方式について、身体障がい者および一般向けに公開し、体験会の開催などを通して意見、要望の収集を行い、改良を行った。また、電動車いすの高機能化の一例としてテレビリモコン機能を実装した。

今後は、これらの改良について今年度同様、一般公開の機会を使ってユーザの反応やニーズの発掘を続けるとともに、より高機能で使い易い入力システムの研究開発と、軽量マニピュレータ付き電動車いすの早期実用化に向けた取り組みを進めていく計画である。

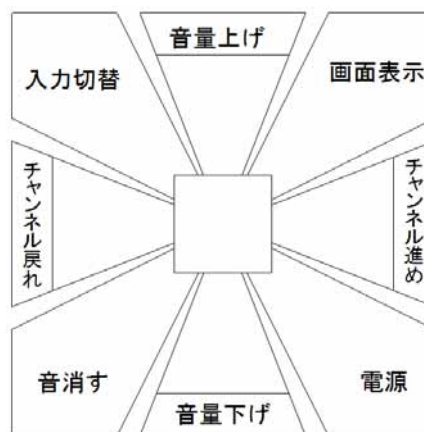


図7 テレビ操作機能配置

謝辞

本研究に関わり、試作機の評価をしてくださいました県立三光園の藤井次長、理学療法士の長尾様、スタッフならびに入居者の皆様に深く感謝いたします。

また本研究事業において、技術的、学術的交流ならびに協力を頂きました株式会社今仙技術研究所の長縄様以下スタッフの皆様、早稲田大学理工学部菅野研究室の皆様にご感謝いたします。

文献

- [1] 藤井, 千原, 稲葉 “ 身体障がい者のQOLを大幅に向上させる高機能電動車いすの研究開発～多機能指示端末の設計製作 ”, 岐阜県生産情報研究所研究報告第8号, pp.57-60, 2007.
- [2] 今井, 千原ほか “ 県内福祉施設で使用可能な支援機器の調査 ”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告第7号, pp.47-50, 2006.
- [3] 中邑賢龍, “ 介護のための小さなハイテク ”, こころリソースブック出版会, pp.32, 2003.

情報収集ロボットへの全方向ステレオシステムSOSの搭載

横山 哲也 平湯 秀和

Improvement of Mobile Robot to Gather Information using Stereo Omni-directional System

Tetsuya YOKOYAMA Hidekazu HIRAYU

あらまし 大震災等の大規模災害後の救助活動において、被災者やその周囲の情報を収集する情報収集ロボットの活用が期待されている。当研究所では、瓦礫や階段等の不整地の走行が可能なクローラ型の全方向移動ロボットCUBIC-R2を開発し、情報収集ロボットの活動範囲を拡大させた。本年度はロボットを遠隔で操作するにあたり、ロボット周辺環境の映像を操作者に提示するため、全方向ステレオシステムをロボットに搭載し、その機能を確認した。

キーワード 全方向移動ロボット、レスキュー、全方向ステレオシステム

1. はじめに

大規模災害直後の2次災害の回避や迅速な被災者の捜索のために、情報収集ロボットの運用が期待されている。情報収集ロボットには崩壊した建造物の瓦礫上や瓦礫内部を移動できる機能が必須となる。このような情報収集ロボットの移動機構に関して、当研究所では、半壊した建物や地下街を活動範囲とした新たな移動機構を提案し、そのプロトタイプCUBIC-R2を開発した^[1]。今後の課題としては、ロボットの遠隔操作が挙げられる。

ロボットを遠隔で操作するには、ロボットの周辺環境を操作者が理解する必要がある。周辺環境を把握するための各種センサが存在するが、人にとって理解しやすいのはカラー映像による視覚情報である。しかし、遠隔地の操作者がロボットの周辺環境の情報を得るためには、本ロボットの搭載カメラ（27万画素×4）では解像度が低く、また段差や障害物を回避しようとしてもロボットとの3次元的な位置情報が把握できないため、安全にロボットを操作できないといった問題点がある。その解決策として、カラー映像のほかに3次元情報である距離情報の取得可能なステレオカメラの搭載が考えられる。しかし、一般的なステレオカメラは画角が限られており、一度に収集できる情報量は限られている。このため、ロボット周辺部の環境を遠隔にいる操作者が理解するにはロボットを停止した後、旋回して見回すなどの動作が必要となり、周辺の状況を迅速に収集する目的には適さない。

そこで本研究では、ソフトピアジャパンにおいて開発された全方向ステレオシステム（Stereo Omni-directional System, 以下SOS）^[2]をロボットに搭載し、ロボット周辺環境の映像を操作者に提示する。SOS

はセンサを中心として全方向のカラー映像と3次元距離情報を死角無くリアルタイムに観測することができるため、これらの情報を基に遠隔にいる操作者にロボット周辺部の様子を広角な映像で提示することが可能となる。これにより、操作者はロボット周辺部の状況を容易に理解することができ、ロボットの操作性向上が期待できる。

2. ロボットへのSOS実装

図1にSOSの全景を示す。SOSは直径116mm、重量0.615kg、カメラ数36個（ステレオユニット12個）から構成されている。ステレオユニットは、L型に配置された3台のカメラから構成され、上下と左右の2つのステレオ画像ペアが得られる。SOSは12個のステレオユニットで全方向の視覚および位置情報を得ることができる。

図2に、SOSを情報収集ロボットCUBIC-R2に搭載した写真を示す。SOSはロボットの中央クローラユニットに取り付けられ、その重心高さは地面から650mmである。



図1 SOSの全景

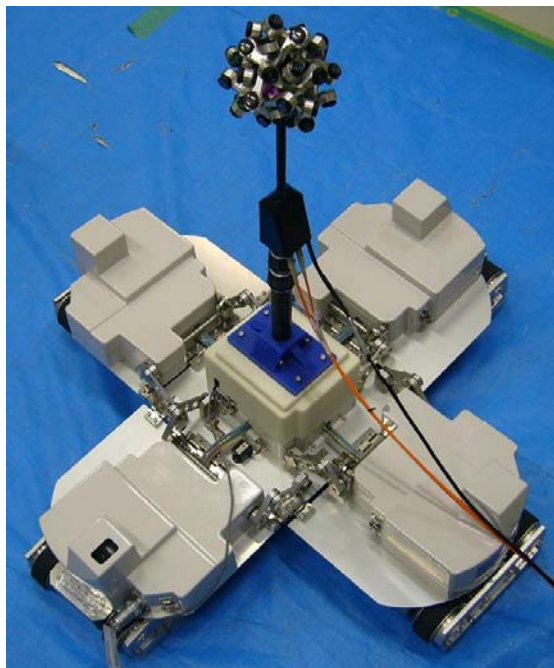


図2 SOS搭載の様子

SOSから得られる球面投影映像を図3に示す。画面の中央にロボットが写るように視点を設定することで、ロボット周辺の映像が指向性を有することなく提示できる。ロボットは全方位に移動できるため、映像に指向性がないことは、ロボットの操作に与える影響が小さいと考えられる。しかし、SOSは全方向の視野を持つため、カメラの姿勢変化に対して情報量が変化せず、映像からはロボットと地面の水平関係を知ることはできない。そこで、ロボットの加速度センサから得られる傾き情報を用いて、球面投影映像に地面に対する水平線、垂直線を描くことで、操作者にロボットの姿勢を提示した。

図4に、視点移動による球面投影映像を示す。SOSは全



図3 SOSから得られた球面投影映像

方向の視野を持つため、操作者はマウスを使って得たい方向の映像を球面投影図の中心に持ってくることで、映像から詳細な情報を得ることができる。

ロボットの全方位カメラとしてオムニカメラがある。オムニカメラは簡単な構造で、全方位の映像を得ることができるが、レンズの構造上、均一な解像度を得ることが難しい。SOSはカメラが球面上に複数配置されていることから、全方向に均一な映像を得ることができる。これより、災害現場の情報を迅速に収集するカメラシステムとしては、SOSが適していると判断できる。



図4 視点移動による球面投影映像

3. 重心投影点ビューアの実装

SOSをロボットに取り付けることで、ロボットの重心位置が高くなり、ロボットの転倒可能性が増加する。図5(a)(b)にロボットの重心投影を示す。ロボットの重心投影点が、ロボットの接地面で構成される支持多角形の中に存在する場合、ロボットの転倒可能性はないが、支持多角形の外に存在する場合は、ロボットの転倒可能性がある^[3]。仮に転倒した場合、元の状態に復帰させるために無駄な時間を費やすことから、転倒は避ける必要がある。そのため、重心位置を考慮したロボットの動作が必要となる。なお、支持多角形が水平面に対して傾きを有する場合は、支持多角形を水平面に投影した多角形で議論する必要がある。

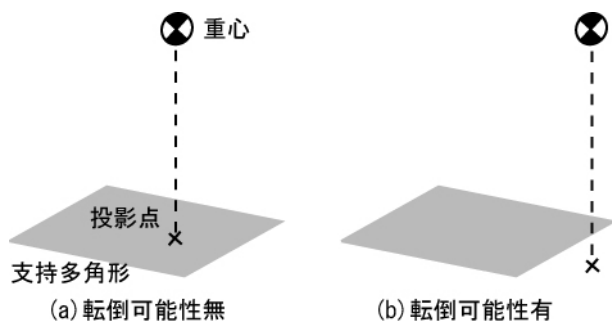


図5 ロボットの重心投影

ロボットの重心 X_0 を求めるにあたり, 図2に示すロボットを, 図6に示す簡易モデルに置き換えた. ロボットの各プラットフォームを質点重心(質量 m)に置き換え, 各質点間はモータを介して直結する構造とした. SOSも質点重心(質量 m_s)に置き換えた. 各面の質点重心とモータ間の距離は $L/2$, 面1重心とカメラ間の距離は L_s とする. 座標系の原点を, 面1重心 X_1 に置いた場合の各プラットフォームの重心 $X_i (i=1, \dots, 5) = (x_i, y_i, z_i)^T$ およびカメラ重心 $X_s = (x_s, y_s, z_s)^T$ は以下のとおり求まる.

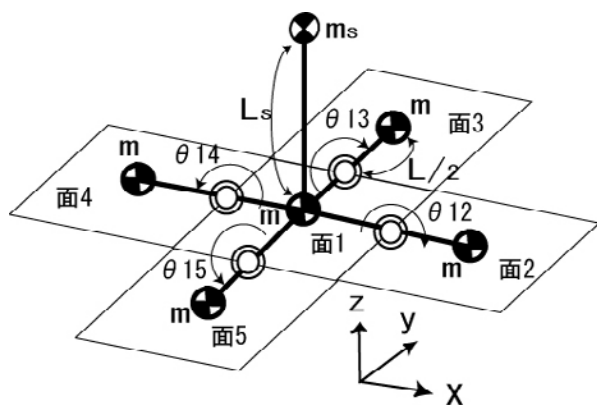


図6 ロボットの簡易モデル

$$x_1 = 0, \quad y_1 = 0, \quad z_1 = 0 \quad (1)$$

$$x_2 = \frac{L}{2} - \frac{L}{2} \cos \theta_{12}, \quad y_2 = 0, \quad z_2 = \frac{L}{2} \sin \theta_{12} \quad (2)$$

$$x_3 = 0, \quad y_3 = \frac{L}{2} - \frac{L}{2} \cos \theta_{13}, \quad z_3 = \frac{L}{2} \sin \theta_{13} \quad (3)$$

$$x_4 = -\frac{L}{2} + \frac{L}{2} \cos \theta_{14}, \quad y_4 = 0, \quad z_4 = \frac{L}{2} \sin \theta_{14} \quad (4)$$

$$x_5 = 0, \quad y_5 = -\frac{L}{2} + \frac{L}{2} \cos \theta_{15}, \quad z_5 = \frac{L}{2} \sin \theta_{15} \quad (5)$$

$$x_s = 0, \quad y_s = 0, \quad z_s = L_s \quad (6)$$

ロボット重心 $X_0 = (x_0 \ y_0 \ z_0)^T$ は, 式(1)~(6)の加重平均により以下のとおり求まる.

$$x_0 = \frac{Lm(\cos \theta_{14} - \cos \theta_{12})}{2(5m + m_s)} \quad (7)$$

$$y_0 = \frac{Lm(\cos \theta_{15} - \cos \theta_{13})}{2(5m + m_s)} \quad (8)$$

$$z_0 = \frac{Lm(\sin \theta_{12} + \sin \theta_{13} + \sin \theta_{14} + \sin \theta_{15}) + 2L_s m_s}{2(5m + m_s)} \quad (9)$$

水平面に対するロボット重心の投影点 $X'_0 = (x'_0 \ y'_0)^T$ を式(10)のとおり求める. ここで R は, ロボットが水平面に対して傾きを有している際の回転行列を示す.

$$X'_0 = \underbrace{\begin{pmatrix} r_{xx} & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yx} & r_{yy} & r_{yz} \end{pmatrix}}_R X_0 \quad (10)$$

図7に重心投影点ビューアを示す. 図中のロボットCGは, ロボットに搭載された各種センサ情報が反映されており, そのCG上に重心投影点 X'_0 を表示する. ロボットの接地面は, 接地センサ^[4]の情報を基に色の変化で提示する. 接地面で構成された凸形状が支持多角形に該当し, 操作者は重心投影点 X'_0 の位置に応じて, ロボットの動作を決めることが可能となる.

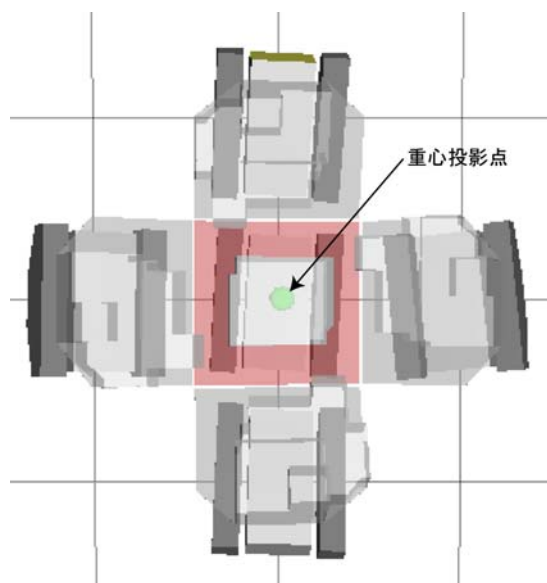


図7 重心投影点ビューア

4. まとめ

本研究では情報収集ロボットに全方向ステレオシステムを搭載し, ロボット周辺環境の映像を操作者に提示した. SOSは全方向のカラー映像を死角無くリアルタイムに観測することができるため, 遠隔にいる操作者はロボット周辺部の様子を広角な映像で把握することができる.

また、ロボットの転倒を防止するため、ロボットの重心位置を考慮できるよう、重心投影点をビューア上に描写した。これにより操作者は重心を意識してロボットの動作を決定でき、ロボットの操作性向上に期待ができる。

文 献

- [1] 田畑克彦, 稲葉昭夫, 天野久徳, “不整地走行用全方向移動システムの開発”, 計測自動制御学会論文集 Vol.41, No.12, pp.998-1004, 2005.
- [2] 山本和彦, 棚橋英樹, 桑島茂純, 丹羽義典, “実環境センシングのための全方向ステレオシステム”, 電気学会論文誌C 電子・情報・システム部門誌, Vol.121-C 5 2001, pp.876-881, Mar. 2001.
- [3] 日本ロボット学会編, “ロボット工学ハンドブック”, コロナ社, 2005.
- [4] 横山哲也, 稲葉昭夫, 天野久徳, “情報収集(被災者搜索)ロボットの遠隔操縦インターフェースに関する研究”, 岐阜県生産情報研究所研究報告 第8号, pp.44-47, 2007.

自動切削加工機および加工事例

横山 哲也 田中 等幸

Introduce of Modeling Machine and Processing Cases

Tetsuya YOKOYAMA Tomoyuki TANAKA

あらまし 今年度、財団法人日本自転車振興会（現：財団法人JKA）の自転車等機械工業振興補助事業を受けて、自動切削加工機を整備した。今後、情報技術研究所では自動切削加工機を活用して、研究部品の試作加工を行うとともに、県内中小企業へ技術支援を行う計画である。そこで本稿は自動切削加工機の概要および技術支援の加工事例を紹介する。

キーワード 自動切削加工機，試作加工，CAD，CAM

1. 緒言

岐阜県では中小企業の競争力向上のために、様々な施策を実施している。情報技術研究所においては、ロボット等の研究開発を通して習得される関連技術の普及、および試験機器の開放等を通じて、中小機械金属関連業界の振興に寄与することを目的に事業を進めている。

今年度、財団法人日本自転車振興会の自転車等機械工業振興補助事業^[1]を受け、自動切削加工機を整備した。自動切削加工機は所内の研究開発の効率をあげるとともに、県内企業のかねてからの要請に応えるべく導入した。来年度以降は、県内企業に開放する予定である。そこで本稿は自動切削加工機の概要、および今年度の技術支援を行った加工事例を紹介する。

2. 自動切削加工機の構成

自動切削加工機は、切削加工機 (moderling R 社 MDX-5000R)、CAM(CNC 社 Mastercam)、CAD(PTC 社 Pro/ENGINEER)、およびPCで構成されている。

図1に切削加工機の全体写真、表1に加工機のスペックを示す。同加工機は付属の回転軸を使用することで割り出し機能が可能となる。

表1. 加工機スペック

| | |
|------------|------------------------|
| 加工軸 | XYZ軸 |
| XYZ動作ストローク | 500mm,350mm,250mm(XYZ) |
| 主軸出力 | 490W |
| 主軸回転数 | 100～10,000rpm |
| 切削材料 | 樹脂，軽金属 |

図2に自動切削加工機の使用手順を示す。利用者はCADを用いてモデルを新規に作成、自作したモデルをIGES等の中間データを介して読み込んで編集することが可能である。さらにCAMを用いてモデルのツールパスを生成、NCデータ

を作成して加工機に渡す。加工機は、このNCデータを基に切削を行う。



図1 自動切削加工機

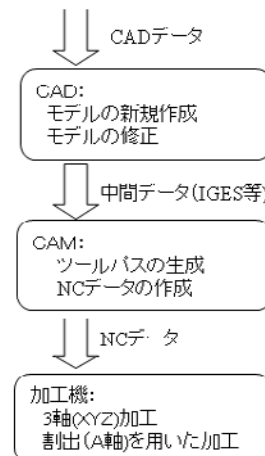


図2 自動切削加工機の使用手順

3. 加工事例

今年度、県内企業の緊急な課題に応えるべく試験的に実施した技術支援の加工事例を以下に示す。

3.1 事例1

モデリング業者と共同で、携帯電話ホルダーのモックアップを製作した。このモデリング業者は、従来から光造形や溶融型の試作加工機を利用していましたが、顧客から材料の経時変化や加工表面粗さを指摘され、切削型の試作加工を検討していた。

図3に加工した携帯電話ホルダーを掲載する。ホルダーサイズは幅70mm、奥行70mm、高さ40mmである。材料は経時変化のない合成木材を使用した。ホルダーの両面には意匠形状があり、表裏の厚みは2mmである。厚みが薄く、合成木材を使用しているため、加工最中の破壊が心配されたが、石膏で意匠面を覆い強度を維持することで、両面加工が可能となった。

本加工機は、一般的な試作材料を使用することができ、かつ切削型であるから表面粗さを小さくすることができる。これより、先に述べた問題を解決することができた。



表面形状

裏面形状

図3 携帯ホルダー

3.2 事例2

模型製作者と共同で、平面形状の模型部品を製作した。従来、平面形状部品はプレスの打ち抜きによって加工していた。しかし、模型部品の製作は、顧客ニーズの多様化に伴い多品種少量生産にシフトしており、小ロットで型製作費が捻出できない状況に向かいつつある。そのため、プレス型で加工していた部品は、コストの低い加工方法の切り替えに迫られている。そこで、今回は代替の加工方法として、自動切削加工機を用いた部品の削り出しの検討を行った。

材料は厚み1mmの真鍮平板を用いた。製品形状が2次元であるため、輪郭加工によって削り出しを行った。検討項目として、ブランク材レイアウトにおける材料歩留まりや加工時間を取りあげ、コスト低減に寄与できるか考慮した。

加工時間に関しては、CAMソフトの加工シミュレーション機能を用いることで計算できるため、エンドミルのツールパスの軌跡を調整することで短縮を図った。ブランク材のレイアウトに関しては、1回のツールパスで2つのブランク材を削り出すことで、歩留まりの向上を図った。

今回、コスト計算を行うことはできなかったが、模型製作者からは、プレス打ち抜き加工の代替方法の1つとなり得るとの回答を得た。

4. 結言

本稿では今年度整備した自動切削加工機の概要と技術支援を行った加工事例を紹介した。

自動切削加工機の整備により、試作加工を迅速に行うことができ、当研究所で行う研究開発事業の円滑な進捗が可能となった。

これまでに県内の中小企業から本加工機の利用の要望を受けていることから、次年度以降、自動切削加工機を県内企業へ開放し、技術支援を図る予定である。

謝辞

本設備は財団法人日本自転車振興会（現：財団法人JKA）の補助事業により整備しました。ここに感謝の意を表します。

文献

[1] 競輪補助事業ホームページ, <http://ringring-keirin.jp/>

樹脂材料の適正な切削条件に関する研究

田中 等幸 横山 哲也

Examination on Cutting Condition for Resin Material

Tomoyuki TANAKA Tetsuya YOKOYAMA

あらまし 本研究所は自動切削加工機（modeling R社製 MDX-5000R）を導入し、試験的に県内企業に開放したところ、利用者から切削条件に関する相談が複数寄せられた。そこで本研究では、樹脂材料の中でも比較的安価で、被削性が良いABS樹脂を対象とし、切削条件の違いによる表面粗さへの影響と、作業効率を考慮した適正な切削条件について検討を行った。具体的には、40×40×100mmのABS樹脂に対して 6mmエンドミルによる側面切削加工を行い、加工面の表面の測定・解析及び切屑の観察を行った。その結果、送り速度が表面粗さに強く影響を及ぼし、高回転・低送りの条件が加工面の表面粗さを良好にする知見が得られた。また、表面粗さと切削条件の関係を示す重回帰直線を導き、表面粗さ1μm未満を条件とする効率的な切削条件は、回転数8000rpm、送り速度2000mm/min、切込み幅1mm及び切込み量0.7mmであることを実験的に確認した。

キーワード ABS樹脂, 切削条件, 切削加工

1. はじめに

岐阜県では県内企業の支援策として、開発助成や補助金など資金的な支援を行っている。本研究所では、各種研修会やセミナーの開催や企業が抱かえる固有の問題などに対する技術相談や受託研究を実施し、技術的な側面から支援を行っている。県内企業においては、多種多様な顧客ニーズに対して、短時間で具現化するための効率的な技術開発が求められており、これに関連する技術相談や期待が寄せられていた。その支援策の一環として、本研究所では財団法人日本自動車振興会の自転車等機械工業振興補助事業を受け、新たに自動切削加工機（modeling R社製 MDX-5000R）を導入した。今年度、この切削加工機を試験的に開放し、利用頻度、加工時間及び使用材料などのデータの蓄積を図ったが、利用者から切削条件に関する相談が複数あった。一般に切削条件は材料、工具、加工機の剛性など多くの要因によって決定され、それは切削加工のノウハウとして一意に決定されるものではない。しかしながら、本切削加工機を開放試験機として広く利用されることを視野に入れた場合、樹脂材料ごとに切削条件と切削加工面の表面粗さの関係や効率的に切削するための条件を明らかにし、利便性の向上を図る必要がある。

そこで本研究では、樹脂材料の中でも比較的安価で、被削性が良いABS樹脂を対象とし、切削実験を行い、測定・解析によって切削条件による切削加工面の表面粗さへの影響を検討する。また、できるだけ切削時間を短縮するための適正な切削条件についても検討する。

2. 実験方法

実験に使用する材料、工具及び加工機を表1に示す。工具は日進工具社製樹脂用エンドミル（6mm、超硬ソリッド、2枚刃、ねじれ角30°）を使用した。切削方法は図1に示すように、側面の1パス加工とし、加工方向はY軸方向への一軸送りとした。表2に切削条件を示す。回転数[rpm]、送り速度[mm/min]、切込み速度[mm/min]、切込み幅[mm]及び切込み量[mm]はCAM（CNC社製 Mastercam）で設定可能なパラメータであり、これらの諸因子が切削加工面の仕上がりや加工時間に影響を及ぼす。また水準値はメーカ推奨値を含む上下限值とした。表2に示す条件の場合、4つの因子における各水準の組み合わせを全て作成すると16通りあるが、実験に要する時間を短縮するため、直交配列表に基づく実験計画法^[3]を利用

表1 実験材料・設備

| | |
|-------|------------------------|
| 材料 | ABS樹脂（40×40×100mm） |
| 加工機 | modeling R社製 MDX-5000R |
| 工具 | 日進工具社製 RSE230φ6mm |
| 潤滑・冷却 | エアブロー |

表2 切削条件

| 因子 | | 水準1 | 水準2 |
|----|--------------|------|------|
| A | 回転数 [rpm] | 8000 | 4000 |
| B | 送速度 [mm/min] | 2500 | 1250 |
| C | 切込み幅 [mm] | 3.0 | 1.5 |
| D | 切込み量 [mm] | 0.5 | 0.25 |

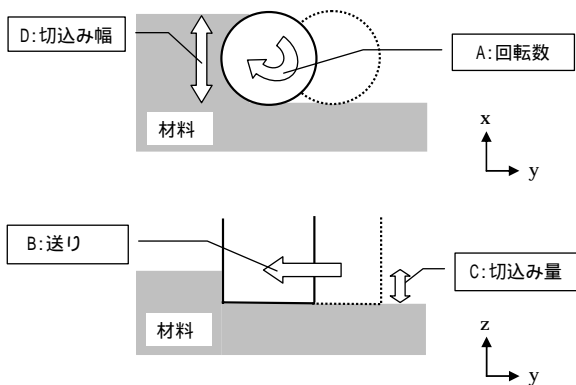


図1 切削機構図（上段：上面図 下段：側面図）

表3 実験リスト

| 実験番号 | 回転数 [rpm] | 送り速度 [mm/min] | 切込み幅 [mm] | 切込み量 [mm] |
|------|-----------|---------------|-----------|-----------|
| 1 | 8000 | 2500 | 3.0 | 0.50 |
| 2 | 8000 | 2500 | 1.5 | 0.25 |
| 3 | 8000 | 1250 | 3.0 | 0.25 |
| 4 | 8000 | 1250 | 1.5 | 0.50 |
| 5 | 4000 | 2500 | 3.0 | 0.25 |
| 6 | 4000 | 2500 | 1.5 | 0.50 |
| 7 | 4000 | 1250 | 3.0 | 0.50 |
| 8 | 4000 | 1250 | 1.5 | 0.25 |

し、表3に示す8通りの実験リストを作成した。なお、切込み速度はメーカーの推奨値である1440mm/minとした。

実験後は表面粗さ測定機（Taylor Hobson社製）を用いて、算術平均表面粗さ（以下、Ra）を測定した（JIS規格カットオフ0.8mm，評価の長さ4mm）。測定箇所は切削片の中央付近の4箇所とし、測定方向は工具の送り方向とした。また、電子顕微鏡による切屑の観察を行い、マイクロメータで厚みを測定した。

3. 結果及び考察

3.1 切削加工面の表面粗さ

図2は実験ごとに4箇所の表面粗さの平均と分散をプロットしたものである。実験3、実験4、実験7及び実験8の順にRaが良好な粗さとなった。これらの条件に共通することは、いずれも送り速度が1250mm/minであることから、表面粗さは送り速度に起因しているものと予想される。図3は横軸に送り速度 縦軸に表面粗さの平均値としてプロットしたものである。工具回転数が4000rpm、8000rpmともに送り速度が小さい（1250mm/min）と表面粗さが良好となる傾向にあるが、この傾向は8000rpmで顕著であり交互作用が確認された。これは実験による誤差によるものであるかを調べるため、回転数と送り速度の交互作用を含めた分散分析を行った。表4の結果から送り速度と交互作用が有意水準1%で有意となり、表面粗さは送り速度の影響を強く受けるが、その影響は特定の回転数で著し

表4 分散分析表

| 要因 | 平方和 | 自由度 | 不偏分散 | 分散比 | 判定 |
|------|-------|-----|-------|-------|----|
| 回転数 | 0.000 | 1 | 0.000 | 0.0 | |
| 送り速度 | 2.385 | 1 | 2.385 | 111.0 | ** |
| 切込み幅 | 0.026 | 1 | 0.026 | 1.2 | |
| 切込み量 | 0.028 | 1 | 0.028 | 1.3 | |
| 交互作用 | 0.274 | 1 | 0.274 | 12.7 | ** |
| 誤差 | 0.559 | 26 | 0.021 | | |
| 計 | 3.272 | 31 | | | |

**有意水準1%

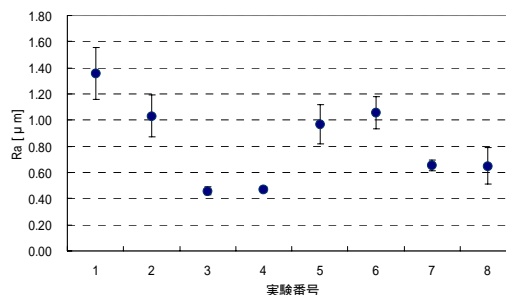


図2 切削加工面の表面粗さ

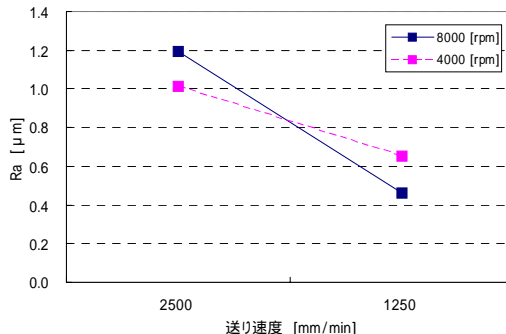


図3 回転数・送り速度別の表面粗さ

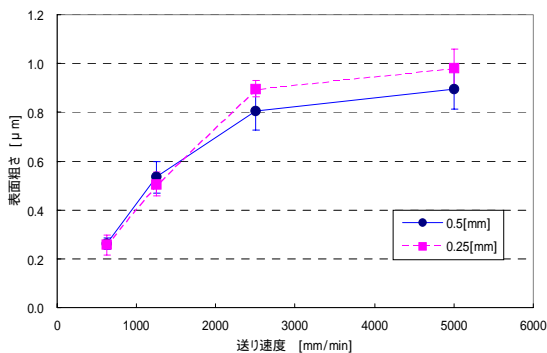


図4 表面粗さと送り速度

い現象であると言える。次に、表面粗さが最も小さかった実験3と、最も大きかった実験1の切削条件を対象として、送り速度の違いによるRaを測定した。なお、実験1と実験3の条件の違いは切込み量である。図4は送り速度を625, 1250, 2500,及び5000 mm/minに変化させたときの表面粗さと送り速度との関係を示している。送り速度を小さくするに従ってRaは良好になるが、1250mm/minより小さくすると切削条件による差はなかった。

3.2 切屑の形態観察

一般に、切削状態の診断には切屑の形態を調べることが有効であることが知られている^[1,2]。形態は表面がなめらかで連続した流れ形、周期的に深いクラックがある激しい形態の剪断形及び、バラバラな小片に分断した亀裂形の3種類に大別される。図5は切屑を電子顕微鏡によって撮影したものである。大きさの違いは単位時間当たりの切削体積（送り速度×切込み幅×切込み量）が作用したものであると考えられるが、いずれの切屑もカールした流れ形であり、形態から切削の状0態を判断するのは難しい。また、幅方向のひろがりを見れば、切削比は切削の良否の指標であり、厚さhの部分で削ってきた切屑の厚さをhcとすると、切削比Chは式(1)で定義される。

この式はChの値が小さいほど、切屑は大きなひずみを受けており、切削抵抗が大きいことを示している。マイクロメータを使用して切屑10片の厚みを測定し、平均値と切込み量から切削比を求めた。表5の結果から、切屑の厚みと切込み量から推測される関係は認められず、むしろ回転数と送り速度との組み合わせが切屑の厚みと関係があると予想された。つまり、高回転・低送りの条件である実験3,4の切削条件のとき、切削比は大きい値を示し、逆に低回転・高送りの条件である実験5,6の時、切削比は小さい値を示す傾向にあると言える。

$$C_h = \frac{h}{h_c} \tag{1}$$

表5 切削比

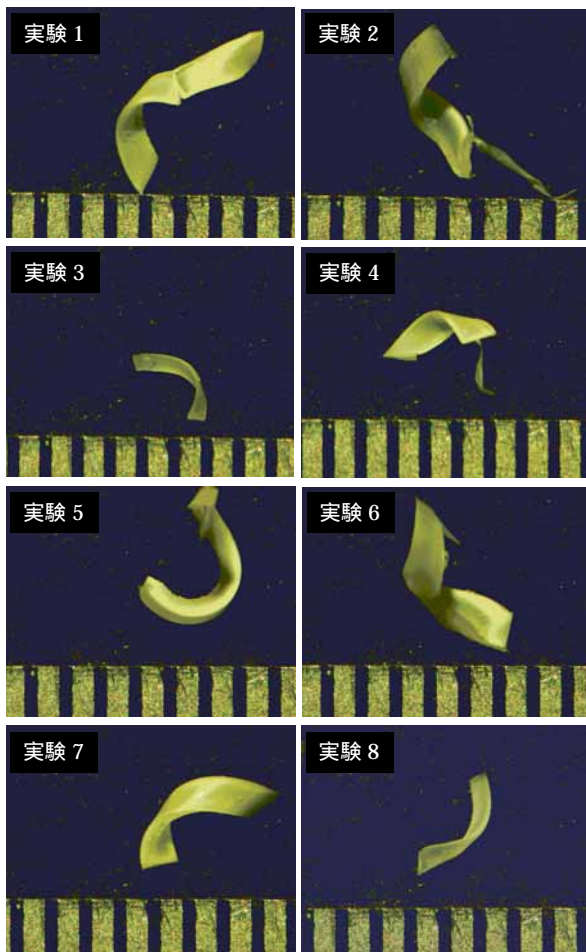
| 実番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 切削比 | 3.01 | 1.11 | 2.16 | 3.97 | 0.71 | 1.15 | 1.85 | 1.61 |

3.3 切削条件の最適化

Raと回転数、送り速度、切込み幅及び切込み量の4つの条件因子との関係を式(2)に示す1次式で近似する。なお、RをRa、Aを回転数、Bを送り速度、Cを切込み幅そしてDを切込み量とし、a、b、c、d及びeを未知係数とする。

$$R = aA + bB + cC + dD + e \tag{2}$$

図2で示した実験結果から最小二乗法によって回帰式を求めた(式(4))。表6は偏回帰係数を標準化偏回帰係数として示したものである。この係数からも、Raに関しては送り速度が著しく影響することが分る。これまでの解析によって、送り速度を小さく設定するとRaは良好になる知見が得られたが、実際の作業においては、目標とするRaの値以下に抑え、可能な限り効率良く加工することが求められる。そのため、式(4)の制約条件の下で、式(3)に示す単位時間当たりの切削体積を目的関数とする最適な切削条件を求める。式(4)は式(2)に回帰係数を当てはめたRaと切削条件の関係式、及びそれぞれの条件の使用範囲を示している。したがって、指定されたRを満足し、単位時間当たりの切削体積Zを最大化するときの切削条件が最適解となる。最適解の計算は、回転数は1000-8000rpmまでの1000rpm刻み、送り速度は1000-5000 mm/minまでの1000 mm/min刻み、切込み幅と切込み量は0.1-1.0 mmまでの0.1mm刻みとしてRaが1 μm未満を満足するときの切削条件の組み合わせを総当り方式で求めた。その結果、単位時間当たりの切削体積を1400mm³/minとする8通りの最適解が求められたが、高回転・低送り最もRaが良好であることを考慮すると、6mmエンドミル使用時のABS樹脂の側面加工における最も効率的な切



スケールサイズ0.5mm

図5 切屑の形態

削条件は、回転数8000rpm、送り速度2000mm/min、切込み幅1.0mm及び切込み量0.7mmが最適な切削条件であると考えられる。求めた最適条件によるRaの誤差を確認するため、実際に側面切削加工を行い、表面粗さを測定した。その結果、推定値と実測値とのRaの誤差平均（n=6）は0.248 μm、誤差分散0.00467 μm²となり、回帰式が実験値とほぼ一致することを確認した。

目的関数：

$$Z = B \times C \times D \quad (3)$$

制約条件：

$$\begin{cases} R = -5.16 \times 10^{-7} A + 0.000437 B + 0.0382 C + 0.427 D - 0.232 \\ 1000 \leq A \leq 8000 \\ 1000 \leq B \leq 5000 \\ 0.1 \leq C \leq 1.0 \\ 0.1 \leq D \leq 1.0 \end{cases} \quad (4)$$

表6 標準化偏回帰係数

| 変数名 | 係数 |
|--------|--------|
| 回転数 A | -0.003 |
| 送り速度 B | 0.909 |
| 切込み幅 C | 0.095 |
| 切込み量 D | 0.178 |

4. まとめ

ABS樹脂を対象とし、切削実験を行い、測定・解析によって切削条件による切削加工面の表面粗さへの影響と作業効率を考慮した適正な切削条件について検討を行った。具体的には、直交配列表に基づく実験計画法によって実験リストを作成し、6mmエンドミルを用いて側面切削加工を行い、表面粗さを測定した。測定データの統計的解析と切屑の観察から、加工表面に影響を及ぼす要因について検討した。その結果、送り速度が仕上がり面の表面粗さに最も影響を及ぼし、高回転・低送りの条件が表面粗さを良好にするとの知見が得られた。次に、重回帰分析によって切削条件と表面粗さとの関係式を導き、Raが1 μm未満で最も作業効率的の良い切削条件は回転数8000rpm、送り速度2000mm/min、切込み幅1.0mm及び切込み量0.7mmであることが推定された（6mmエンドミル使用時）。この切削条件を用いて実際に切削加工したところ、推定値が実験値とほぼ同様な結果が得られることを確認した。

今後はさらに切削条件とRaとの関係式の精度を高めるとともに、他の樹脂材料やエンドミルの違いによる適正な切削条件を蓄積し、自動切削加工機の利便性を図ることで、企業の試作加工の一助となることを考えている。

謝 辞

本研究の表面粗さ測定は岐阜県機械材料研究所で行いました。測定器の準備と測定中の多大なる協力に深く感謝いたします。

文 献

- [1] 嵯峨常生, 中西佑二他, “機械工作2”, 実教出版, pp.23-47, 2003.
- [2] 本田巨範, “旋盤加工マニュアル”, 大河出版, pp.62-79, 2003.
- [3] 森口繁一, “統計的方法”, 日本規格協会, pp.179-198, 1993.
- [4] 赤羽輝夫, 柏崎親彦, 大橋利仙, “難削材の高速切削加工技術”, 栃木県産業技術センター 研究報告, No.4, pp.105-109, 2007.
- [5] 米山陽, 石黒輝雄, 寺澤章裕, “高硬度材料の切削加工に関する研究(第2報)”, 山梨県工業技術センター 研究報告, No.21, pp.79-83, 2007.
- [6] 吉村千秋, 西村通喜, 岩崎智彦, 藤原和徳, 中西廣行, “ABS樹脂の適正旋削加工条件の確立”, 山梨県工業技術センター 研究報告, No.15, pp.123-125, 2001.

岐阜県情報技術研究所研究報告 第9号 平成19年度

発行 平成20年5月

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.gifu-irtc.go.jp>
