

# 岐阜県生産情報研究所研究報告

第8号 平成18年度

岐阜県生産情報研究所

Gifu Prefectural Research Institute of Manufacturing Information Technology

# 目 次

|  |    |
|--|----|
| 1. 建築設計支援向け簡易型大画面VRシステムの開発                                       | 1  |
| 2. 診療映像における自動イベント検出の検討（文部科学省知的クラスター創成事業）                         | 4  |
| 3. 人物検出技術の高度化に関する研究 —生活活動を見守る知的空間の構築に関する研究—                      | 9  |
| 4. 分散視覚情報に基づいた人物追跡技術に関する研究<br>—生活活動を見守る知的空間の構築に関する研究—            | 15 |
| 5. 触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究   | 20 |
| 6. ダンボール製品の強度設計技術に関する研究  | 24 |
| 7. 電子タグを用いた蔵書管理システムの実証実験   | 26 |
| 8. センサネットワークを利用した監視システムの開発                                       | 29 |
| 9. フレキシブル基板を用いた静電容量型屈曲センサの開発                                     | 32 |
| 10. アグリロボット要素技術の研究（第2報） — 圃場におけるロボットを利用した除草実験—                   | 36 |
| 11. 案内ロボットの開発（第3報）   | 40 |
| 12. 情報収集（被災者捜索）ロボットの遠隔操縦インターフェースに関する研究                           | 44 |
| 13. 身体障害者の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<br>—基本設計と試作—           | 48 |
| 14. 身体障害者の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<br>—操作検証用マニピュレータの設計製作— | 51 |
| 15. 身体障害者の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<br>—多機能指示端末の設計製作—      | 57 |

# 建築設計支援向け簡易型大画面VRシステムの開発

山田 俊郎      平湯 秀和

## Development of Easy VR System for Architecture Design

Toshio YAMADA    Hidekazu HIRAYU

**あらまし** 一般的なオフィススペースに設置が可能な簡易型立体映像表示システムを開発した。本システムは、幅3m×高さ1.2mのアーチ形スクリーンに、2台のPCで横長の立体映像を投影する。PC間のデータ同期はネットワークを通して行い、これまで用いてきた大型の没入型立体映像表示装置COSMOSとのソフトウェア互換性を確保できるように、UNIXの共有メモリに似たネットワーク共有メモリライブラリを構築した。また、建築用CADデータから表示用データに変換する手順を確立し、設計事務所内の日常業務で使いやすいシステムとした。

**キーワード** 没入型プロジェクション技術(IPT)、バーチャルプロトタイピング、PCクラスタ

### 1. はじめに

工業製品や建築物を作る前に、三次元データの立体映像を基に形状や機能を検討する技術は、デジタルモックアップやバーチャルプロトタイピング(VP)と呼ばれ、コンピュータグラフィックス(CG)の発達とともに実務面でも利用が進んでいる。VPを用いることで、工業分野においては試作品を作るコストが削減でき、試行の繰り返しが簡単にできる。また、建築分野においては、実物大の立体映像を用いることで空間の広がりや体感を、従来の平面図や縮小模型ではわからなかった空間把握が容易となる[1]。筆者らはこれまでに大型の没入型立体映像表示装置”COSMOS”を用いて、VPの研究、実証実験を行ってきた[2, 3]。COSMOSは図1に示すような3m立方の箱型ディスプレイであり、全ての壁面と床、天井に立体映像が投影され、非常に没入感の高いバーチャルリアリティ(VR)映像提示装置である。

特に、建築分野では、COSMOSをバーチャルモデルルームのように利用し、建築前に建物の説明を施主に行い、

説明の判りやすさの点で非常に高い評価を得ている(図2)。しかし、COSMOSの利用には、施主にCOSMOSがある設備まで出向いてもらう必要があり、設計検討中に頻繁に用いることは困難であった。評価と設計変更を繰り返すことで、設計の完成度が高くなり、ひいては施主の満足につながるため、設計事務所に設置できる程度の簡易なVRディスプレイの開発が求められていた。

また同時に、表示用データの作成においても簡易な製作手法が求められている。COSMOSの利用時には、CG作成用の3次元CADでデータを作成しているが、このデータは映像表示のためだけに作成することになり、建築用図面は別途作成する必要があった。設計事務所において、VRによるプレゼンテーションは施主へのサービスであり、CGを作ることが目的ではないため、この作業にかかる工数の削減も求められていた。

本報告では、マルチプロジェクションとPCクラスタを用いて開発した簡易型VRディスプレイと、建築設計CADからVR表示用データへの簡易な変換手法を開発したので、報告する。



図1 COSMOSの概観



図2 COSMOSにおける建築設計検討

## 2. システム構成

システムの利用目的が建築物の評価であるため、建物の実寸大表示ができることと、奥行き感などの空間の広がりを感じることができることをシステムへの要求仕様とし、図3に示すワイドスクリーンを製作した。スクリーンを大きく開いて視野を広げれば、それだけ臨場感が増すが、オフィスの打ち合わせスペース程度の部屋に設置することを前提としたため、幅3m×高さ1.2m、R=4.8mのアーチ型スクリーンとした。このスクリーン上に4台のプロジェクタによる偏光立体視方式の立体映像を投影した。全体のシステム構成を図4に示す。

本システムは、ネットワークで接続された2台のPCでクラスタを構成し、それぞれがステレオ画像の左右に対応する横長の画像(2画面分)の描画を行った。PCクラスタによる多画面映像の生成では、複数のPCで連続した一つの映像を作り上げるため、PC間の同期が重要なポイントとなる。同期のレベルには、ソフトウェア的なものからハードウェア的なものの順に、①データの同期、②描画更新の同期、③映像信号の同期のレベルがある。①の同期



図3 ワイドスクリーン立体映像ディスプレイ

は連続画像生成のためには必須の同期であり、これが実現されないとそれぞれのPCがまったく繋がらない映像を表示することになってしまう。一方、②の同期が取れていなくても、最大で1フレーム以内のずれであり、映像品質を大きく損なうものではない。また、③の同期は液晶シャッターメガネを用いた時分割立体視方式では必須の同期であるが、偏光式立体視では問題にならない。そのため、今回の開発で実現する同期は①のみとした。

一般にPCクラスタのデータ同期にはMessage Passing Interface(MPI)が用いられているが、これは数値シミュレーション等の大型計算を高速に行うために開発されたものであり、データ同期の信頼性は高いもののオーバーヘッドが大きく、VRのような高速性を要求されるアプリケーションには向いていない。本開発では、既存のワークステーション用アプリケーションのコード変更を極力なくすため、UNIXの共有メモリ機能に似たNetwork Shared Memory APIを開発し、Windows上に実装した(図5)。これによって、これまでにCOSMOSで開発したソフトウェアをWindows上に容易に移植ができる。

ネットワーク通信にはUDPプロトコルを用い、ブロードキャストと合わせて高速性を追求した。UDPではパケットの到達が保証されないため、PC間のデータ同期を保証す

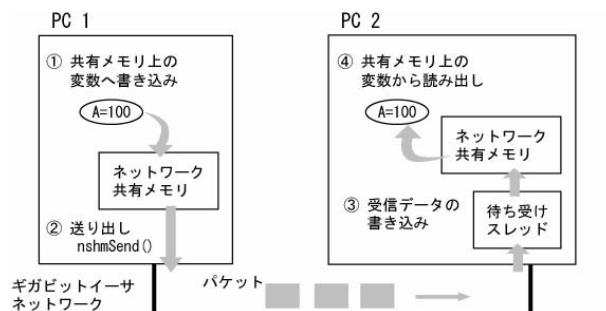


図5 ネットワーク共有メモリ

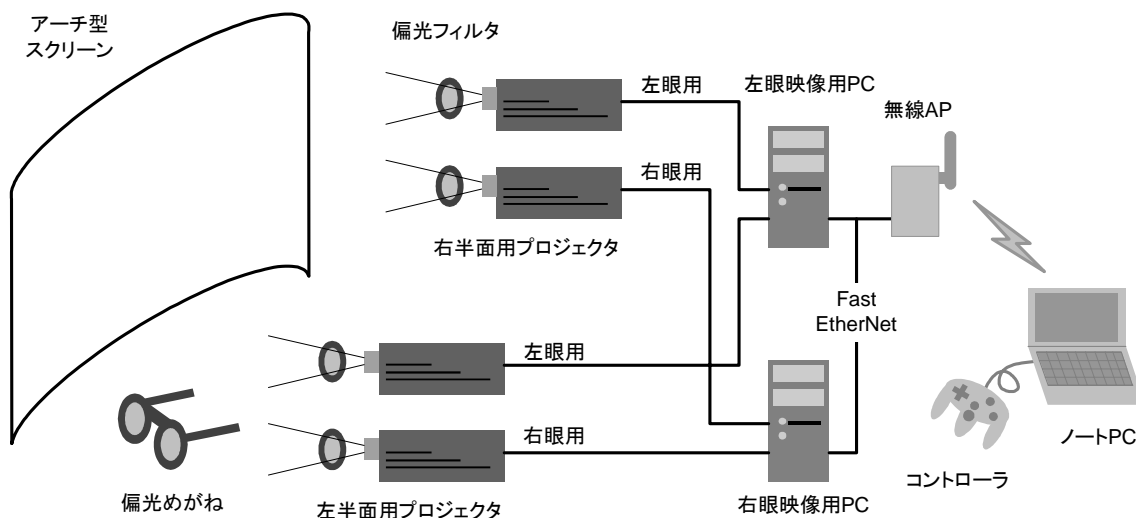


図4 システム構成

ることはできないが、VRアプリケーションは随時データの更新が行われるため、元になるデータの計算をマスターPCで行い、描画に関する情報だけを随時描画用PCに送ることで、たとえパケットの欠落があったとしても次のデータ更新で回復が可能であり、影響が後に残ることはない。

### 3. データ変換手順

CADデータはリアルタイムで動画表示することを考慮されていないため、複雑なデータ構造となっており、リアルタイム性を重視するVRアプリケーションで表示するためには高速描画に適したポリゴンデータへの変換が必要となる。一般にこのようなデータ変換ではポリゴンの欠落や裏返りによる形状の崩れや、質感の属性が損なわれるトラブルが発生するため、変換後にこれらの修正を手作業で行う必要があった。VRシステムを実務で利用するためには、これらの手作業を排除し、表示するデータを簡便に作成する手法が必要である。そこで、これらのトラブルが少ない変換手法を模索し、図6の変換手順を確立した。

建築向け意匠設計3次元CAD(Revit)で製作されたデータをCG向けのCAD(3D Studio MAX:以下MAX)で読み込み、CADシステム内のライブラリから参照される部品形状やマテリアル(質感)のデータをライブラリからインポートし、ライブラリに依存しないデータを作成する。次に、

モデルデータ変換ソフト(Deep Exploration:以下DeepE)を用いて、MAXのデータからVR表示用のobj形式のポリゴンデータに変換を行うが、この変換により、本来透明でないはずのポリゴン面に透明のマテリアル属性が付けられる問題が発生した。これを解決するため、データ書式修正プログラムを作成し、変換後のobj形式のデータのマテリアル属性から透明度を削除する修正を行い、再びDeepEを用いて透明な部分の属性を設定しなおすこととした。さらに、DeepEが出力するobj形式データには一部映像表示アプリケーションが対応していない機能が含まれているため、書式変換プログラムでこれらの機能を置き換えまたは削除し、本VRシステムで表示可能な機能のみを持ったobj形式ファイルに変換する。これと並列に、テクスチャデータのサイズやフォーマットの変換を行う必要があるが、建物の設計で用いられるテクスチャの種類は限られているため、毎回この変換を行う必要はない。このような作業で比較的簡単に建築向け意匠設計3次元CADからVR表示用データへの変換フローを確立した。

### 4. まとめ

本開発では、一般的なオフィススペースに設置が可能な簡易型VRディスプレイを開発し、広い視野を覆い臨場感の高い立体映像を安価なPCを用いて表示した。本システムは設計事務所へ施主に対するプレゼンテーション業務で使用されており、従来の平面図やパース図と比較して格段にわかりやすいとの評価を得ている。また、建築用CADデータからVR用データに容易に変換する手順を確立することで、VR用のデータ作成の作業負荷もほとんどなく、日常業務の中に組み込まれている。

今後は、本システムを基に建築設計以外の分野にも応用範囲を広げ、各種3次元データを利用した実務的な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]山田俊郎ほか, "完全没入型6面ディスプレイCOSMOSの開発と空間ナビゲーションにおける効果", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.4 No.3, pp. 531-538, 1999.
- [3] 山田俊郎ほか, "没入型ディスプレイCOSMOSの開発とアプリケーション", 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集 TC1-5, p.2, 2005.
- [4] 山田俊郎ほか, "PCクラスタを用いた大画面VRシステムと設計支援システムへの応用", 日本機械学会第16回設計工学・システム部門講演会・システム部門講演会論文集, pp.327-328, 2006.

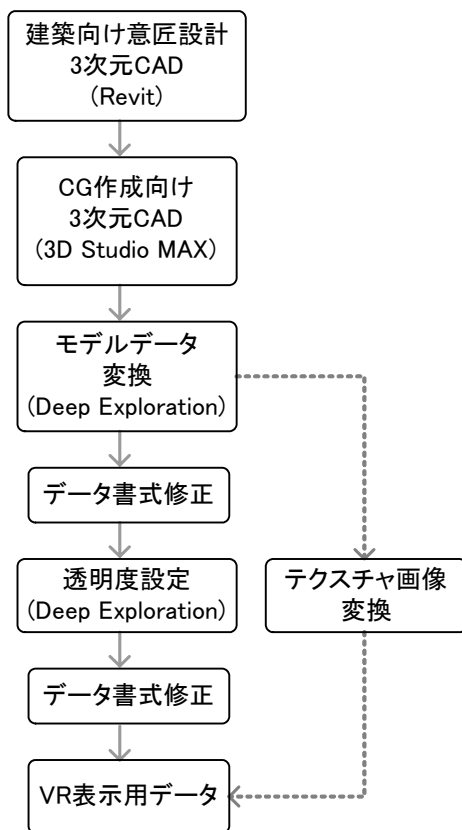


図6 データ変換のフロー

# 診療映像における自動イベント検出の検討

浅井 博次 田中 等幸

## Investigation of Automatic Event Detection in Intervention Video

Hirotsugu ASAI Tomoyuki TANAKA

**あらまし** 動画による診療記録は事実をありのまま記録することができるため、医療行為の透明性確保や信頼性、医療技術の向上に有効である。しかし、動画の内容確認や見たい箇所の検索に時間がかかり、気軽に活用することが困難である。撮影されている映像内容などのメタデータを動画データに付加し、メタデータを基にデータ検索を行う手法が多数検討されているが、メタデータ入力の手間が問題となっている。本研究では、イベント（医療行為）を一つのメタデータとして自動的に付加することを目指し、イベント検出手法の検討を行う。具体的には映像情報を基にした手法と超音波三次元タグを用いた三次元位置情報に基づく手法の二つのイベント検出手法について検討したので報告する。

**キーワード** 救急医療、診療記録、動画、イベント検出、三次元位置情報

### 1. はじめに

本研究では、動画を用いた診療記録により、従来に比べより詳細な記録を残すことで医療の透明性の確保や医療技術の向上に寄与することを目指している。

一般的な診療記録であるカルテでは、実施した行為や所見の要約がテキストベースで記録されており、短時間で患者情報を把握することが可能である。しかし、記録内容が記録者の主観に依存してしまうため、記録の量・質・信頼性を確保することが困難であるという問題点がある。医療の現場で実際に何がどのように行われたのかわからないため、下された判断・実施された処置が妥当であったかどうかをカルテ情報だけでは判断できない。

特に、手術や救急処置など重要な医療行為では、患者の容態、処置のタイミング、処置のやり方などが複雑に影響するため、事後検証や処置データベースなどへの活用には客観的かつ詳細な事実の記録が必要となる。動画を用いた診療記録では、診療の様子をありのまま記録することが可能であるため、これらの要求を満たす有効な手段であると言える。しかしながら、動画記録の運用には主に2つの課題が存在する。1つは、必要な部分の映像を的確に撮影することである。撮影すべき対象は時々刻々と変化し、時に医療器具や医師、看護師等により遮蔽されてしまうため、有効な映像を常に記録することが困難である。もう1つは、動画の内容確認に時間がかかり、手軽な活用ができないことである。前者に対しては、複数カメラの使用により多様なアングルから対象を撮影することが考えられるが、多数のカメラを状況に応じて適切に制御するのは容易なことではない。後者に対して

は、処置イベントなどのメタデータを豊富に付加し、内容要約の作成や、見たい場所へのアクセスを容易にするための補助機能などを提供することで容易な動画記録活用を可能にすることが重要である。しかし、メタデータを付加する作業は映像内容確認作業以上に手間のかかる作業であり、実行することが困難である。そこで我々は、標準的な治療手順などを規定した標準的治療ガイドラインを活用したカメラ制御・処置内容記述機能により、カメラ制御・メタデータ付加双方における作業コスト（手間）を抑えたプロトタイプシステムの開発を進めてきた。昨年度までは、人による操作を前提として作業コスト削減を検討した<sup>[1]</sup>。本年度は映像やセンサ情報から処置などのイベントを検出しメタデータとして自動付加することによる更なる作業コスト削減を目指し、映像情報を基にしたイベント検出手法と超音波三次元タグを用いた三次元位置情報に基づくイベント検出手法について検討したので報告する。

### 2. 映像によるイベント検出

#### 2.1 はじめに

診療の様子を動画で記録することが前提であることから、まず、映像情報からの処置イベント検出を検討した。

一般的に何らかのイベントを検出するためには、誰が、何（何処）に対して、どの道具を用いて、どんな行為（動き）をするか、を理解する必要がある。つまり、人や医療機器など特定の対象を識別し、その位置や動きによって処置を定義しなければならない。しかし、映像中の対象サイズの変化や光源変動により、対象を精度良く識別

することは容易ではない。実利用を想定した場合、安定したイベント検出性能が重要であることから、対象識別を必要としない手法が望ましい。一方、医療行為では、患者のどの部分に対する処置であるかが重要な意味を持つことから、特定の場所における動き情報の識別を処置イベント検出に活用できると思われる。そこで、本研究では、対象識別を必要とせず、特定領域の動き情報のみを用いたイベント検出手法を胸骨圧迫心臓マッサージ（以下、心臓マッサージ）に適用し検討した<sup>[1]</sup>。本手法は対象識別を必要としないため、安定したイベント検出が期待できる。

## 2. 2 心臓マッサージ

心臓マッサージは救命措置における心肺蘇生法（CPR）の中で実施される処置であり、心停止状態の患者に対し、患者胸部側面に立ち、一定のリズムで継続的に患者の胸部を押す・休止という単純反復動作を行うものである。1分間に100回のペースで心臓マッサージを実施すること、心臓マッサージと換気を30：2の割合で実施すること、CPR中の心臓マッサージ中断時間をできる限り少なくすること、などとガイドライン<sup>[2]</sup>により詳細に実施方法が規定されており、これらの規定情報を心臓マッサージ検出に利用することができる。更に、心臓マッサージのように周期性のある特徴的な動きを伴う処置が他に見られないことから、処置映像から抽出した動き情報の周波数解析を行うことで心臓マッサージを実施している時間領域（以下、心臓マッサージ実施区間）を検出する。

胸部を押すという処置内容から、多くの処置は心臓マッサージを実施していない時にしか行うことができない。そのため、標準的治療ガイドラインと関連付けることにより、心臓マッサージ実施区間を検出するだけでCPRの処置の流れをおおまかに記述した処置映像要約が可能となる。心臓マッサージ実施区間の検出は、心臓マッサージ中断区間情報を基にしたCPRの評価にも活用することが可能である。

## 2. 3 検出方法

図1に検出フローを示す。

始めに、患者の位置を基準として心臓マッサージを実施している画像領域を設定する。本研究では手入力で領域指定を行った。

次に、指定した領域の動き情報を抽出する。動き情報

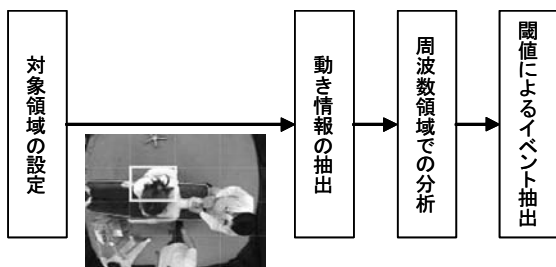


図1 検出フロー

の抽出には、指定した映像領域内における前後フレーム間の輝度に関するSAD(Sum of Absolute Difference)を採用した。図2に示すように、心臓マッサージ実施区間ではSADの値が大きく変化しており、非実施区間とは明確な違いが見られる。また、実施区間では顕著な周期性が見て取れる。

周期性を利用し、本研究ではSADデータに対し短時間フーリエ変換（STFT）を実行し、動き情報の周波数解析を行うことで、精度良く実施区間の検出を行った。STFTは一定の大きさの窓関数を少しずつずらしながら信号を切り出し、切り出した信号をフーリエ変換してスペクトルを計算する手法である。得られるスペクトル列から周波数領域での信号の時間的変化を解析することが可能である。

図3に横軸を分単位の周波数に変換した心臓マッサージ実施区間と非実施区間のスペクトル例を示す。図3(a)に示す通り、心臓マッサージ実施区間のスペクトルには、ガイドラインに規定してある100回/分付近に鋭いピーク

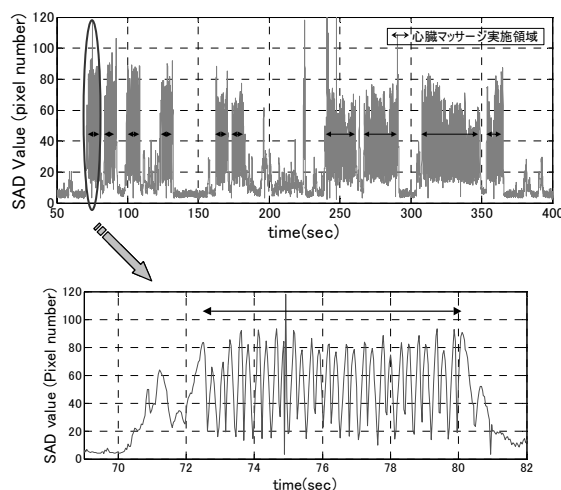


図2 SADによる動き情報の時間推移

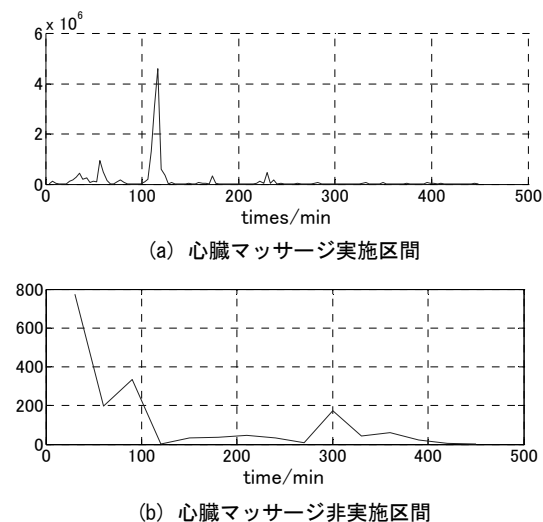


図3 スペクトル例

が見られ、心臓マッサージによる運動の周期性がよく抽出できていることがわかる。一方、非実施区間のスペクトルは全体的に明確なピーク値が見られず、ピークの値も非常に小さい。検出対象である心臓マッサージ以外に同様の反復動作を伴う処置がCPRにないことから、スペクトルのピーク周波数値を基に、ガイドラインに規定される周波数付近で一定時間以上継続してピークが見られる区間を心臓マッサージ実施区間として抽出する。

### 2. 3 実験

シミュレーション人形を用いた心肺蘇生講習会において、処置を真上から撮影した一次救命処置 (BSL) の映像を用いて本手法の有効性を検証した。使用した映像は160×120ピクセル、30fpsの非圧縮AVIファイルである。同じ位置から撮影した映像でも処置者の身長・体格などの身体的特徴により画像における処置者の占める領域が大きく異なる。また、処置者の技術レベルの差などから処置時の動きも異なる。これらの影響を考慮し、本研究では患者であるシミュレーション人形の位置を基に対象とする映像領域のサイズを大小2種類設定した。また、STFTの窓関数に矩形窓を採用し、異なる3種類の窓サイズを用いて実験を行い、窓サイズの影響を検討した。図4(a)に対象領域を、図4(b)と図4(c)に異なる処置者の画像例を示す。図4(a)の黒枠及び白枠領域が設定した対象領域である。

表1、表2に実験結果を示す。表1では、実際に行われた心臓マッサージ実施数のうちの提案手法による検出数を示す。表2では、実際に心臓マッサージが行われた時間を積算し、正しく検出された時間の割合を示す。DATA1～3はそれぞれ異なる処置者による処置映像である。DATA1は小柄な処置者、DATA3は背の高い処置者である。表1から対象領域サイズによって検出数が大きく異なっていることが分かる。対象領域サイズが大きいDATA1のケースでは対象領域に占める処置者領域の比率が低いことから、処置者以外の領域の動きの影響を受けるのが原因と思われる。一方、対象領域サイズが小さいDATA3のケースでは背中部分など処置者の一部しか対象領域に含まれていないため、処置者の動き情報を十分に抽出できていないことが原因と考えられる。対象領域のサイズの違いによる検出精度の低下は表2では更に顕著に現れており、処置者に合わせて対象領域を適切に設定することが非常に重要であることがわかった。

窓サイズによる影響は検出数にはあまり現れていないが、検出時間には特定の傾向が見られる。対象領域設定



(a) 対象映像領域 (b) 画像例 (DATA1) (c) 画像例 (DATA3)

図4 対象領域、及び画像例

の影響を排除し、窓サイズの検出性能への影響について検討するため、それぞれのデータについて検出精度が良い方の対象領域の検出結果に着目すると、窓サイズの拡大に伴い検出率が低下している。これは、窓サイズの拡大に伴うイベント検出の時間分解能低下に起因していると考えられる。また、対象とするデータの時間領域が広がることで、1つのスペクトルの中に異なる複数の動き情報が入り込む可能性が高まり、心臓マッサージの動きを抽出することが困難になることも考えられる。計算コストと検出精度を考慮すると、心臓マッサージの動きを抽出できるだけの小さい窓サイズが最もよい。今回の実験では、最小設定の1.06秒の窓サイズでも精度良く心臓マッサージイベントの検出ができることが確認できた。

検出時間による評価が低いDATA3について、心臓マッサージイベント毎に検出結果と実際の実施区間とを詳細に比較した結果、最も精度の良い設定(窓サイズ1.06sec, 対象領域:大)で、実際に実施した時間と検出した心臓マッサージイベントの開始・終了時間との間に1秒前後のズレがある場合が多数あり、その積み上げが検出時間による検出率を押し下げていることが確認できた。ガイドラインでは心臓マッサージを1分間に100回という非常に早いリズムで実施するように規定しているが、当該の処置者は、開始・終了時にリズムが緩くなる傾向が見られ、これが検出時間における1秒前後のズレの原因と思われる。本実験では、心臓マッサージのための動作をはじめた時間を開始時間、動きがとまった時間

表1 検出結果 (検出数による評価)

|       | STFT<br>窓サイズ<br>(sec) | 対象映像領域サイズ |      |       |      |
|-------|-----------------------|-----------|------|-------|------|
|       |                       | 小         |      | 大     |      |
|       |                       | 検出数       | 誤検出数 | 検出数   | 誤検出数 |
| DATA1 | 1.06                  | 10/10     | 0    | 6/10  | 3    |
|       | 2.13                  | 10/10     | 0    | 6/10  | 1    |
|       | 4.27                  | 10/10     | 0    | 4/10  | 0    |
| DATA2 | 1.06                  | 9/11      | 0    | 10/11 | 0    |
|       | 2.13                  | 10/11     | 0    | 10/11 | 0    |
|       | 4.27                  | 10/11     | 0    | 10/11 | 0    |
| DATA3 | 1.06                  | 13/33     | 0    | 30/33 | 0    |
|       | 2.13                  | 27/33     | 0    | 29/33 | 0    |
|       | 4.27                  | 23/33     | 0    | 27/33 | 0    |

表2 検出結果 (検出時間による評価)

|       | STFT<br>窓サイズ<br>(sec) | 対象映像領域サイズ |       |        |       |
|-------|-----------------------|-----------|-------|--------|-------|
|       |                       | 小         |       | 大      |       |
|       |                       | 検出率       | 誤検出率  | 検出率    | 誤検出率  |
| DATA1 | 1.06                  | 89.84%    | 0.18% | 35.11% | 9.78% |
|       | 2.13                  | 87.78%    | 0.67% | 38.46% | 4.20% |
|       | 4.27                  | 78.45%    | 4.65% | 34.38% | 0.47% |
| DATA2 | 1.06                  | 74.67%    | 0.38% | 92.75% | 0.38% |
|       | 2.13                  | 87.97%    | 0.27% | 86.53% | 0.27% |
|       | 4.27                  | 80.65%    | 2.35% | 81.65% | 3.16% |
| DATA3 | 1.06                  | 28.44%    | 0.13% | 72.33% | 0.61% |
|       | 2.13                  | 60.60%    | 1.67% | 66.22% | 2.47% |
|       | 4.27                  | 46.50%    | 8.14% | 52.00% | 7.64% |



を終了時間と規定しているため、このズレに妥当な結果であると言える。

本実験により、対象領域サイズ、および STFT の窓サイズの検出性能への影響を確認することができた。対象領域の設定は検出性能への影響が大きく、処置者に応じた適切な設定が重要であることがわかった。本実験では手動で対象領域の設定を行っているが、画像認識技術などの活用により自動化することで安定した検出性能を実現できると思われる。また、STFT の適切な窓サイズ (1.06sec) が判明した。今回の実験について、精度のよい方の対象領域サイズ、且つ適切な窓サイズである 1.06sec の実験結果のみに着目すると、検出件数による評価では、全てのデータにおいて約 90% の精度を、検出時間による評価でも 70% 以上の検出性能が得られており、提案手法により精度良く心臓マッサージイベントを検出することが可能であることが確認できた。今後、画像認識による対象領域設定の自動化でどの程度適切な設定が可能であるかを検証していく予定である。

### 3. 位置情報によるイベント検出

#### 3. 1 位置情報活用の必要性

2章では映像から動き情報を分析しイベントを検出する手法を示した。映像を基にイベントを検出する手法の問題点として、照明環境の変動、適切な撮影範囲の決定、人や物による遮蔽などが原因となり、イベント検出が困難な場合がある。そこで、本章では映像を用いず、上述した問題を克服するためにセンサ情報を利用し、イベント検出を行う手法について述べる。具体的には、三次元の位置情報を取得できるセンサを医療機器や処置者に装着し、取得された時系列の位置情報とそれぞれの振る舞いを関連付けることでイベントを検出する。

#### 3. 2 超音波三次元位置測定システム

映像以外に位置情報を得る方式としては、電波、赤外

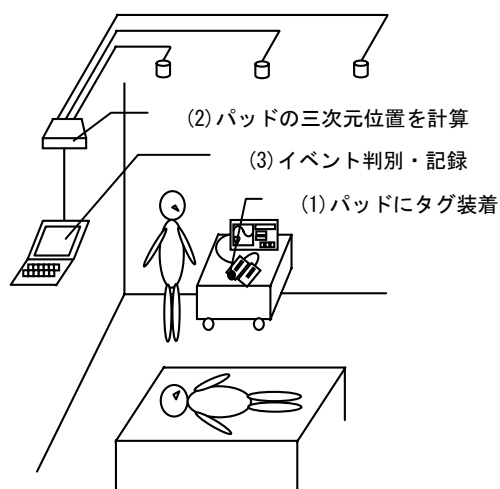


図5 検出フロー

線、磁気などの電磁波を利用して、送受信器で三次元位置情報を取得する方法がある。その中で、電波や赤外線による方式ではゾーン検出が主な利用目的として使用され、その検出精度はおよそメートル単位のオーダーである。磁気方式はミリ単位オーダーの高い検出精度である一方で、付近に金属等の磁性体がある場合に、その影響によって安定した三次元位置情報を取得できない問題がある。我々が想定する環境は金属等の磁性体が多く存在し、それらの物体を排除することが不可能な救急治療室である。そこで、安価でかつセンチ単位のオーダーで安定的に対象物の空間的な位置を検出することが可能な超音波方式を採用する。

本研究では、超音波による空間位置センサとして超音波三次元位置測定システム (Zone Positioning System, 古河機械金属株式会社製) を使用する。実験環境は約4m×4m×2.7mの空間であり、その周辺は高さ1.9mの遮光パネルで囲まれている。天井には受信機 (以下、リーダ) がほぼ格子状に25箇所設置されている。発信源である超音波送信機 (以下、タグ) は50mm×50mm×15mmで30g (電池装着時) と小型かつ軽量なものであり、発信源を上面と側面の2箇所に搭載することで、タグの向きに対するロバスト性が改善されている。また、リーダ、タグ共に100°の円錐状で広がる指向性特性をもっている。

#### 3. 3 検出対象

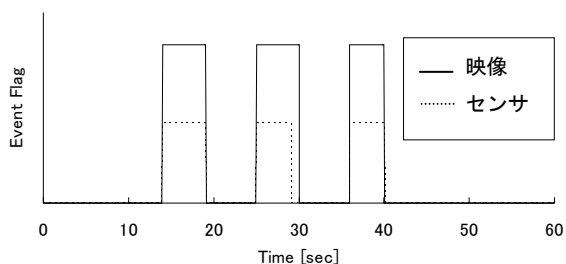
検出するイベントとして除細動を対象とする。除細動は心停止の状態に対して、電気的なショックを与え生還に導くきわめて重要な処置であり、このイベントを検出することは事後検証の注目箇所として利用されることが期待される。

#### 3. 4 検出方法

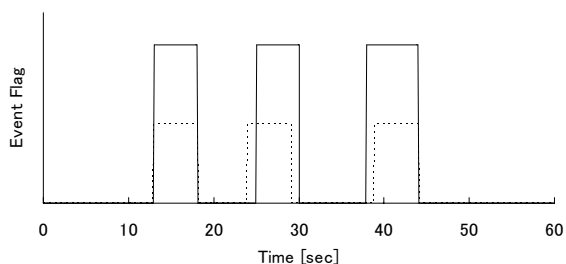
本研究では、除細動器のパッドの三次元位置と動作時間がある閾値以上であれば、除細動器によって除細動が行われていると仮定し、2つのパッドに装着したタグから計測される位置情報に基づいてイベントを検出する。具体的には、ベッドに横たわる患者の胸部空間領域と除細動器の停留時間を予め設定し、除細動器の空間的軌道が設定領域と設定停留時間の条件を満たせばイベントの開始時刻を、条件からはずれれば終了時刻を記録する。除細動検出フローを図5に示す。



図6 除細動を実施している様子



(a)動作パターン1



(b)動作パターン2

図7 実験結果

### 3. 5 実験

本手法の有効性を示すため、除細動の処置動作を模倣し、センサ情報による除細動検出の可能性を検証するために実験を行った。図6に除細動の様子を示す。除細動器の場所や処置者の姿勢に関係なくイベントが検出できることを確認するため、実際の治療現場で想定される動作、つまり(a)処置者は患者の右側から直立した姿勢で処置する場合と、(b)処置者は患者の左側から覆い被さった姿勢で処置する場合の2通りの動作パターンについて3回の除細動を行った。また、映像を目視で判断した除細動実施区間と本手法で得た検出結果が一致しているかを評価するために、天井に設置したカメラから処置者の様子を撮影した。

実験結果を図7に示す。横軸は時間、縦方向はイベントフラグを示す。つまり除細動が行われていない区間をOFF、除細動が行われている区間をONとする。いずれの動作パターンも3回の除細動を検出しており、本手法によりイベントを有効に検出していることが確認できる。また、三次元位置情報を利用したイベント検出結果と実際にイベントが行われた時間との間に1秒程度のズレが認められるが、映像を目視によって除細動実施区間を判断する際の誤差によるものと考えられる。

### 4. まとめ

本研究では映像によるイベント検出として、心臓マッサージのイベントをCPR映像から自動的に検出する手法に関する検討を行った。また、映像情報を用いず、超音波三次元タグを用いて除細動のイベントを検出する手法に関しても同様に検討を行った。その結果、二つの手

法ともほぼ正しくイベント検出できることがわかった。しかしながら、映像によるイベント検出においては、対象領域設定の問題が残されている。今後は、現在手動で行っている対象領域の設定を、画像認識技術などの活用により自動化することを検討する。また、救急救命処置で行われる各種の処置行為と三次元位置の関係の検討を進め、リアルタイムに医療行為を大別することを検討する予定である。それぞれの利点を活かし、二つの手法を同時に用いることで精度良くイベント検出を行う手法等についても検討を行いたい。

### 謝 辞

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。本研究を遂行するにあたりシステム評価の場を提供いただいたACLS岐阜の方々、多くの有益な助言をいただいた岐阜大学工学部速水研究室、岐阜大学大学院医学系研究科救急・災害医学分野及び三洋電機株式会社の方々に深く感謝する。

### 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, No.7,pp.5-7,2006.
- [2] AHA心肺蘇生と救急心治療のためのガイドライン2005, ISBN4-521-67701-0
- [3] 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

# 人物検出技術の高度化に関する研究

## —生活活動を見守る知的空間の構築に関する研究—

渡辺 博己      田中 靖哲\*      長谷部 斉志\*      菊池 春秀\*  
 下中 智\*      川合 亘\*      橋本 周司\*\*      富永 将史\*\*  
                  清水 早苗\*\*\*      飛谷 謙介\*\*\*

### Study on an Advanced Method of Human Detection

#### - Construction of Smart Environment for Supporting Human Activities -

Hiroki WATANABE    Yasunori TANAKA\*    Hitoshi HASEBE\*    Haruhide KIKUCHI\*  
 Satoshi SHIMONAKA\*    Wataru KAWAI\*    Shuji HASHIMOTO\*\*    Masafumi TOMINAGA\*\*  
                                  Sanae SHIMIZU\*\*\*    Kensuke TOBITANI\*\*\*

**あらまし** 近年、監視カメラシステムには、映像を的確に捉え、状況を分析・判断できる機能を具備したインテリジェント化が求められている。そこで、本研究では、監視カメラとして用いられるネットワークカメラの映像を対象に、出現した物体が人であるか判断するための前処理として重要となる物体の検出精度の向上について検討する。また、検出した物体の動き情報を用いることで、人であるか判断する手法について検討する。

**キーワード** 監視カメラシステム、インテリジェント化、物体検出、人物判定

#### 1. はじめに

近年、監視カメラシステムには、映像を撮り続けるシステムから、映像を的確に捉え、状況を分析・判断できるシステムへのインテリジェント化が求められている。そのため、不審者や物体の動きの把握、管理者負担の低減などの機能を向上させることは、次世代監視カメラシステムとしての市場優位性の確保に大きく貢献すると考えられる。

そのような中で、監視対象となる画像内に現れた物体が人であるか判断する機能は、監視カメラシステムにおいて高い有用性を持つ。例えば、人が荷物を運んで置いたシーンでの人と荷物とを識別する技術、あるいは、人が静止したまま動かないシーンでの人を検知する技術などは、様々なアプリケーションに応用できるため、次世代監視カメラシステムにおいて重要な要素技術と成り得る。

現在の監視カメラシステムには、人であるか判断する

技術に類似した機能として、モーション検知がある。しかしながら、モーション検知機能は対象となる画像内で、色の变化や動きで判断するため、前述のような人と荷物との識別や静止した人の検知は困難である。

そこで本研究では、近年、監視カメラとして注目されているネットワークカメラの映像を対象に、出現した物体が人であるか判断するための前処理として重要となる物体の検出精度の向上について検討する。また、検出した物体の動き情報を用いることで、人であるか判断する手法について検討する。

#### 2. 物体検出精度の向上

監視カメラシステムにおいて、監視対象となるエリアに侵入した物体が人であるか判断するためには、画像中から出現物体のみを精度よく検出および分離することが重要である。しかしながら、想定するカメラがネットワークカメラである場合、取得される画像はJPEG圧縮された画像であるため、ブロックノイズやモスキートノイズが発生し、通常の画像パターン検出では精度よく出現物体を検出することが困難である。

一方、我々はこれまで、背景から分離するための画像

\* 株式会社電算システム

\*\* 早稲田大学総合研究機構WABOT-HOUSE研究所

\*\*\* 財団法人ソフトピアジャパン IT研究センター

パターン検出技術としてRadial Reach Filter<sup>[1]</sup>(以下, RRF)を用いてきた. 従来の背景差分法<sup>[2]</sup>やフレーム間差分法<sup>[3]</sup>など画像の明度差に基づく手法では, 演算量が少ないというメリットを持つ反面, 照明条件の変化の影響を受けやすく, 更に物体表面の明度と背景の明度とが近い部位は検出できず, 検出領域にいわゆる「虫食い」が生ずるなどの問題があった. RRFは, 明度変動の影響を抑えながら, ピクセル単位の分解能で局所的なテクスチャを評価するため, 物体表面の明度分布, あるいは対象シーンの明度変化に鈍感でありながらも出現物体をロバストに抽出することが可能であり, 次の二つの特徴的な要素で構成されている.

- ・ 着目点から放射状 (8 方向) にしきい値 ( $T_p$ ) 以上の明度差を持つ点を探索し, ペア (8 組) を組む.
- ・ 各ペアにおける明度の大小関係 (差分の正負) を二値符号 (8 組分=計 8bit) とし, 着目画素の評価値とする.

しかしながら, RRFもJPEG画像中のノイズに対しては影響を受けるため, 一定以上の明度差を持つように明度差のしきい値 $T_p$ を決定しなければノイズに対する耐性を高めることができない.

そこで, 本章では, JPEG画像中のノイズを低減した物体検出を実現するために, RRF画像の生成時における明度差しきい値 $T_p$ の決定方法について検討するとともに, 画像ノイズの影響を抑えた物体検出手法について検討する. また, 影や照明変動による誤検出の問題や, システムの実装時に必要となる背景更新の問題についても検討する.

### 2. 1 明度差しきい値の決定

明度差のしきい値 $T_p$ の目的<sup>[1]</sup>は, ペアを結ぶ条件として一定以上の明度差を持つことを規定することで, ノイズに対する耐性を高めることである. 一方で, 必要以上に大きな $T_p$ は, 大きなリーチを生み出す可能性があり, 空間解像度の低下が起きる可能性がある.

図1は, 実際に $T_p$ の値を変化させたRRF画像である.  $T_p$ の値が小さい図1(c), 図1(d)はノイズの影響を強く受けて誤検出が発生していることがわかる. 一方, 図1(e)ではテクスチャの状況によって適切なリーチ長が設定されることで, 頑健なペアが形成され, テクスチャの弱い面においてもノイズの影響を受けにくくなっていることがわかる. これに対し, 図1(f)は大きなリーチが生み出されたことにより, 空間解像度が低下し, 未検出領域が発生していることがわかる. そのため,  $T_p$ は撮像系のノイズ特性を測定することにより予め合理的に決定する必要がある. 通常は, 測定されたノイズ分布の $2\sigma$ 程度に $T_p$ を設定することで, ノイズ成分の大部分に影響されない最小の $T_p$ を決定することができる.

本研究では, 適切なリーチ長を設定するために, 監視対象となるシーンにおいて, 物体を出現させずに撮影した二枚の画像の差を取るという簡易的な方法で, 撮像系

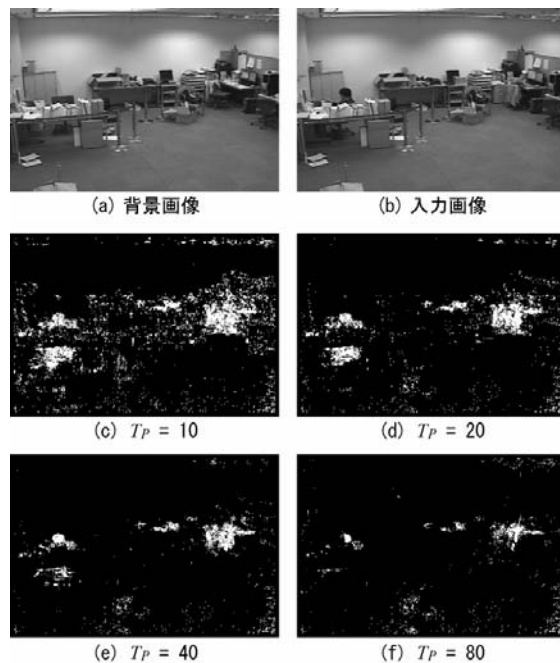


図1 明度差しきい値の違いによるRRF画像の生成例

のノイズ分布の標準偏差 $\sigma=22.27$ を得た. 約 $2\sigma$ となる図1(e)の例では, ノイズの大部分の影響を受けない出現物体の検出ができていことがわかる. システムに実装する場合は, 背景画像を取得する際, 連続して同一背景画像を複数枚読み込み, ノイズ分布を測定することで明度差しきい値 $T_p$ を決定する構成とすることが必要である.

### 2. 2 画像ノイズの低減

JPEG圧縮ではブロック単位で変換するため, 圧縮率を上げるとブロックの境界にブロックノイズと呼ばれるノイズが生じる. また, 色の境界など急激な変化をする部分にはモスキートノイズと呼ばれるノイズが生じる.

そこで, これらのノイズを低減するために, 取得した画像にガウシアンフィルタ処理を加える. ガウシアンフィルタは, ガウス関数にしたがって画素値を平均化することにより, もとの画像より輪郭がぼやけた画像が生成できる. そのため, ガウス関数を適用する範囲が大きくなるほど全体がぼやけた画像となる.

図2は図1の背景画像, 入力画像に対し, ガウス関数の適用範囲の大きさを $3\times 3$ ,  $5\times 5$ ,  $7\times 7$ と変化させてガウシアンフィルタを施した場合のRRF画像の生成例である. 図1(e)に比べ図2(b), 図2(d), 図2(f)はノイズの影響が減少し, 出現物体が精度よく検出できていることがわかる. 適用範囲の大きさは状況に応じて使い分ける必要があるが, 図2(e)のようにかなりぼやけた画像に対しても適切に物体を検出することが可能である. なお, 明度差しきい値 $T_p$ は上述と同様に, 予め測定したノイズ分布より $\sigma$ を求め, 約 $2\sigma$ となるように設定した. ガウス関数の変数 $\sigma$ は

$$\sigma = (n/2 - 1) * 0.3 + 0.8 \dots\dots\dots (1)$$

により与えられ,  $n$ は適用範囲の大きさである<sup>[4]</sup>.

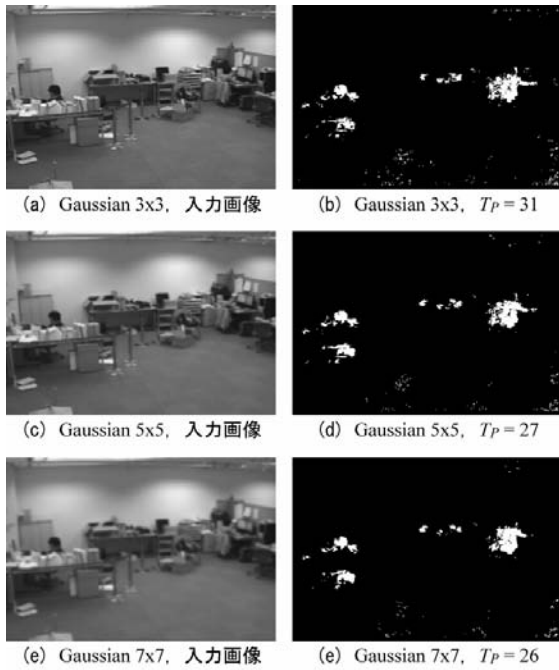


図2 ガウシアンフィルタ違いによるRRF画像の生成例

### 2. 3 誤検出の低減

前節で述べたとおり，RRFは局所的なテクスチャを評価することにより物体表面の明度分布，あるいは対象シーンの明度変化に鈍感でありながら出現物体をロバストに検出することが可能である．しかし，テクスチャの少ない領域が撮像サイズに対して大きな割合を占める（例えば，壁，天井，床面等）場合は，着目点に対し明度の大小関係を計算する点（評価点）の位置が遠くなる可能性が高く，局所的なテクスチャを評価することが困難である．そのため，このような領域に対して明度変化（例えば，日中屋外の太陽光の変化，移動物体による影，移動する人工照明の照射，出現物体からの反射等）が生じた場合，評価値の正負が反転することがあり，結果として図3，4に示すような誤検出が生まれやすくなる．そこで，相関係数により出現物体として検出された領域が誤検出であるか判定する．

相関係数とは二つのデータ列間の相関（類似性の度合い）を示す統計的指標であり，

$$\rho = \cos \theta = \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \dots\dots\dots (2)$$

により表される．画像における相関係数を考える場合， $\vec{x}$  は出現物体として検出された領域における画素全ての明度値を成分とするベクトルで， $\vec{y}$  は背景画像内の同領域の明度値を成分とするベクトルである．また， $\theta$  はベクトル空間内で $\vec{x}$ ， $\vec{y}$  ベクトルがなす角度である．

計算された相関係数は二つのベクトルの大きさの積で割っているため，検出領域内の画素全てに同程度の明度変化が加わる場合は背景画像の同領域と高い相関値を示



図3 明るさの変化による誤検出例

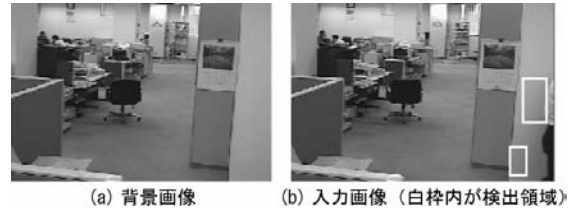


図4 人の影による誤検出例

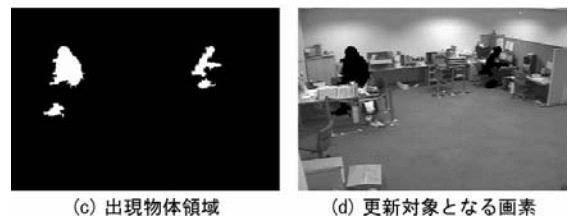


図5 背景の更新例

す．そのため，図3に示す明るさの変化による検出領域や，図4に示す人の影による検出領域は，誤検出領域として判断することが可能である．実験では，相関係数が0.98以上のものを誤検出領域として判定することにより，図3，4における誤検出を防ぐことができた．

### 2. 4 背景の更新

頻繁に自動車が横行する道路や人通りが多い繁華街などでは，出現物体を含まない背景画像を取得することが困難である．仮に，車や歩行人を含んだ画像を背景画像としても誤検出の要因となり，安定して物体を検出することができない．そのため，常に出現物体を含んだ画像から背景画像を推定および生成する処理が必要となる．

そこで，あらかじめ取得した背景画像（図5(a)）に対して，現在の入力画像（図5(b)）と比較し，出現物体領域（図5(c)）を抽出する．その後，出現物体領域以外の画素値全て（図5(d)の黒抜き以外）を背景画像における同座標の画素値と置き換え，これを順次繰り返すことにより背景画像を更新する．

### 3. 人物の判定

前章では、RRFを用いた物体検出手法に、ノイズの影響を低減する前処理と誤検出を低減する後処理を加えた高精度な物体検出処理について述べた。これにより検出された物体領域には、監視対象エリアに入ってきた人と、その人が持ち込んだ物とが含まれており、この二つを区別することが必要である。

本研究では、物体領域を人と物とに区別するため、動き情報を用いたアプローチをとる。まず、動きのある領域を人、静止している領域を物とした場合、静止している人を物と判定してしまう問題がある。そこで、人は自律的に動き、物は人により動かされ自律的に動かないと仮定し、物体領域を動きのある「動人物」と、かつて動いていたが静止している「静人物」、そして静止している「物体」の三つに区別する。

#### 3. 1 「動人物」の判定

「動人物」はフレーム間差分で動きのある領域(以下、動領域)を検出することにより判定する。まず、物体領域のうち、フレーム間差分により動領域を検出する。ここで、フレーム間差分は現時刻の入力画像と一つ前の入力画像より求める。このとき、一つ前の入力画像の物体領域が動領域として検出されるが、背景差分との積を求めることにより、現時刻の動領域のみを求めることが可能である。次に、検出した動領域が背景差分で検出した物体領域と重なりがあるか判定し、物体領域が動領域を含んでいれば「動人物」とする。図6に「動人物」と判定される例を示す。

これに対し、物体領域において動領域がない場合、その領域は「静人物」、または「物体」の二つの可能性がある。これらの判定には、オプティカルフローを利用することにする。

#### 3. 2 「静人物」の判定

「静人物」領域は、「動人物」領域にオプティカルフローを計算するためのフロー点を配置することにより判定する。ここで、オプティカルフローの計算にはLucas & Kanadeの手法<sup>[5]</sup>を用いる。

「動人物」が前フレームから引き続き動いている場合、前フレームの「動人物」と判定された領域の周辺に動領域が検出されるため、フロー点はその動領域に移動する。ここで、検出された動領域にフロー点の移動が検出された時、その領域を引き続き「動人物」と判断し、前フレームのフロー点を消去した後、新たに検出された「動人物」領域にフロー点を配置する。

「動人物」領域の周辺に動領域が検出されない場合、フロー点は移動する動領域がなく、その場に留まる。この物体領域のうち動領域がなくフロー点が留まっている領域を「静人物」と判定する。図7に「動人物」が静止し「静人物」となるシーンの判定例を示す。時刻 $t=1, 2$ においては、人が動いているため、フレーム間差分により

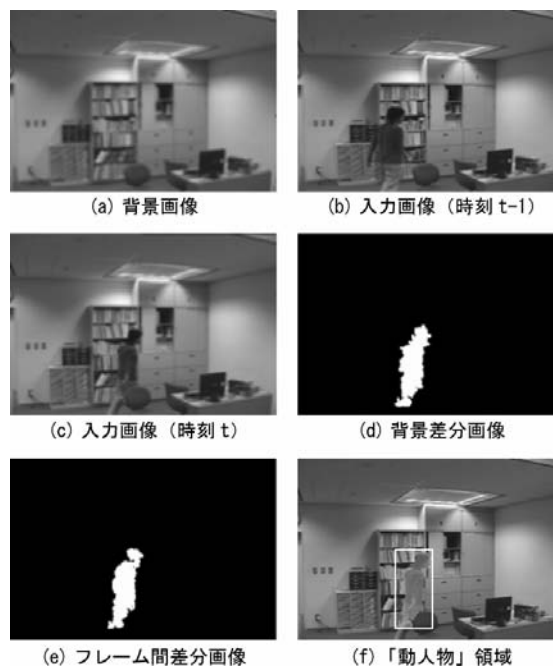


図6 「動人物」領域の判定例

動領域が検出されており、フロー点もその領域へ移動する。時刻 $t=3$ において人が静止したため、周囲に動領域が検出されずフロー点が留まり、「静人物」と判定されている。

#### 3. 3 「物体」の判定

本研究では、物は人により動かされると仮定しているため、人と一緒に動いている物は「動人物」領域に含まれる。しかし、人が物から離れると同時に静止状態の「物体」となる。

そこで、人が物を置いて離れる時の人の動きに注目する。つまり、物体領域が人と物とに分裂する際、動いている領域を「動人物」、動きのない領域を「物体」と判定する。図8に人が物の位置を変え、離れるシーンにおいて、物が「物体」と判定される例を示す。 $t=1, 2$ までは、人と物は共に動いており「動人物」と判定されている。 $t=3$ において領域が分裂する際、動きのある領域は「動人物」、動きのない領域は「物体」と判定されている。フロー点が移動する動領域がある場合、前フレームでのフロー点を消去して、新たに検出された動領域にフロー点を配置するため、フロー点は動領域に移り、「静人物」とはならず、「物体」と判定することができる。

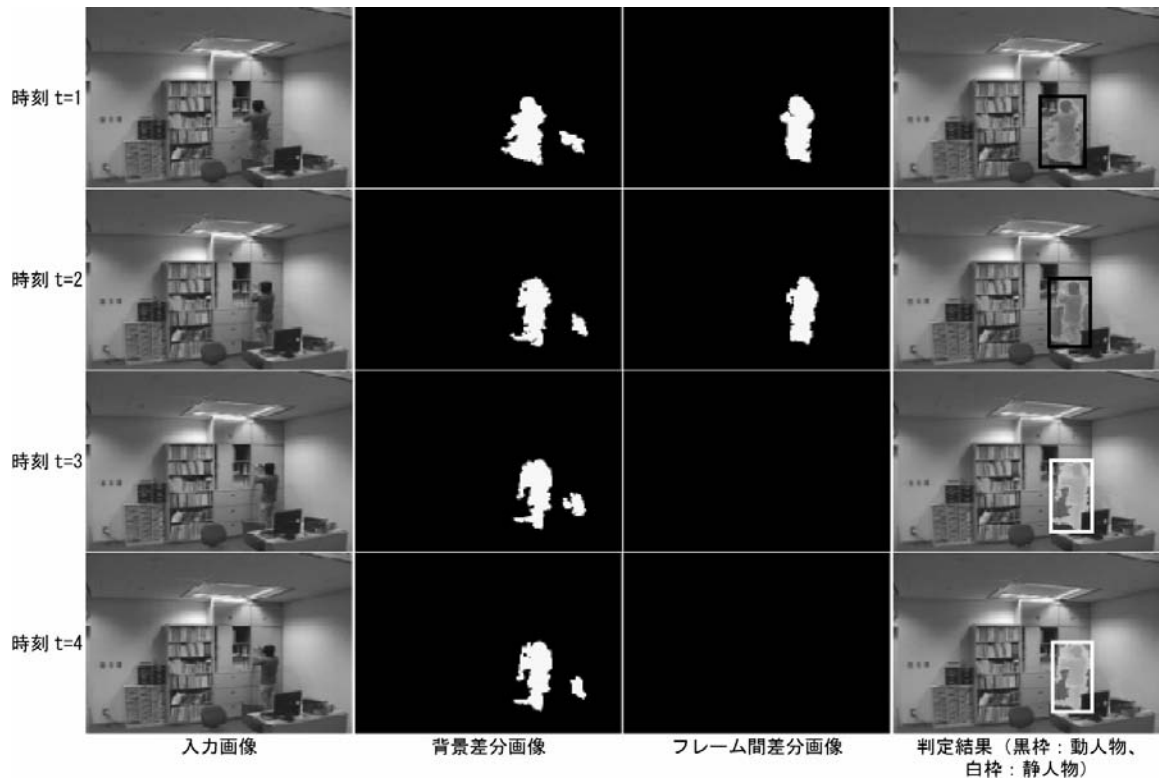


図7 「静人物」領域の判定例

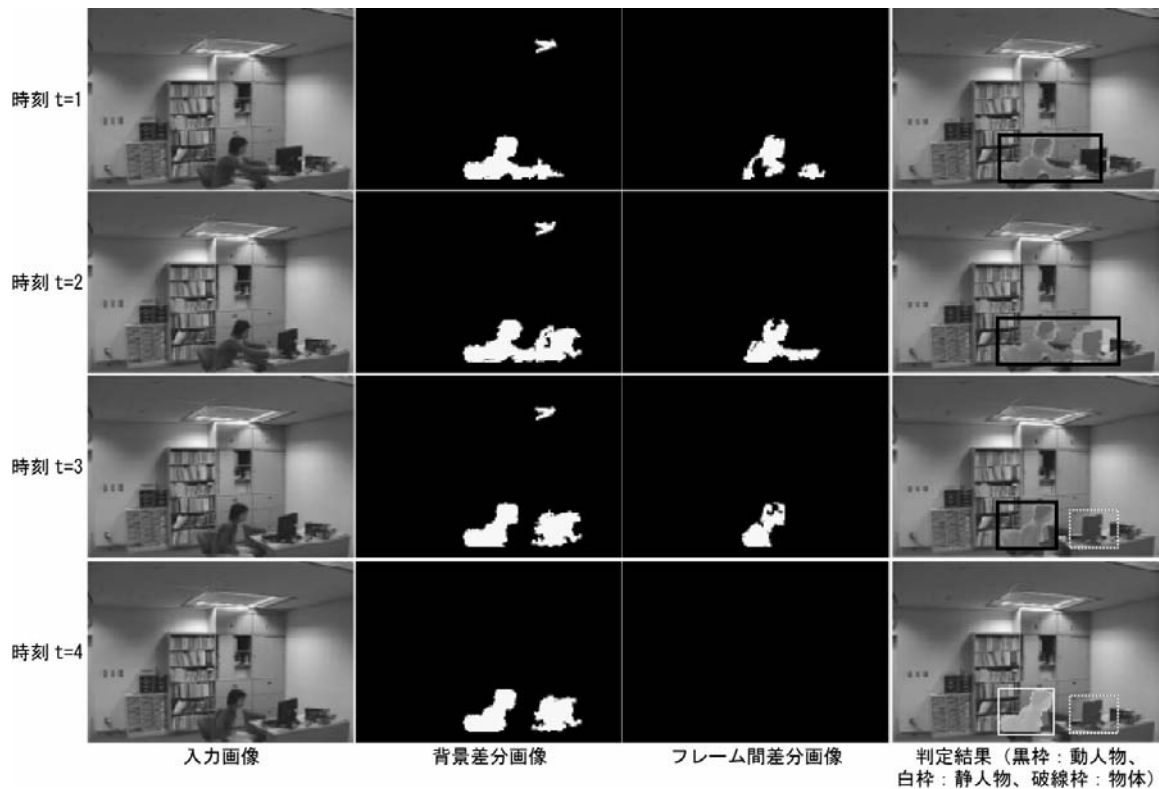


図8 「物体」領域の判定例

## 4. まとめ

ネットワークカメラを用いた監視カメラシステムにおける人と物との判定機能を実現するために、物体の検出精度を向上させ、誤検出を低減することが人と物とを精度よく判定するための出発点になるとの考えから、高精度な物体検出手法について検討した。さらに、精度よく検出された物体に対し動き情報を用いることで、人と物とを判定する手法を提案した。これにより、人と人が運んだ（動かした）物とを区別することや、静止した人を検出することが可能となった。

本研究では、人と物を、人は自律的に動き、物は人により動かされ、通常は動かないと仮定した。そのため、ボールやカーテンなど監視対象エリア内で動いている物は人と判定される。このようなシーンにおいても人と物とを判定するためには、人らしい動き、形状などについて検討する必要がある。

## 謝 辞

本研究は財団法人ソフトピアジャパン「平成18年度共同研究開発事業(共同研究制度)」の一環としてなされた。ここに記して謝辞とする。

## 文 献

- [1] 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.
- [2] 山田浩正, 伊藤渡, 上田博唯, “背景差分法における波の誤検出抑制法の検討”, 信学技報, PRMU98-109, 1998.
- [3] 影広達彦, 太田友一, “動画像からの背景画像の自動生成と適応的更新”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU'94)講演論文集II, pp.263-270, 1994.
- [4] Intel Corporation, “Open Source Computer Vision Library Reference Manuals.”
- [5] Bruce D. Lucas and Takeo Kanade, “An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision,” Proc. of 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), pp.674-679.



# 分散視覚情報に基づいた人物追跡技術に関する研究 —生活活動を見守る知的空間の構築に関する研究—

渡辺 博己      棚橋 英樹      田中 等幸  
赤塚 久修      窪田 直樹\*      清水 早苗\*

## Study on Distributed Visual Information for Human Tracking - Construction of Smart Environment for Supporting Human Activities -

Hiroki WATANABE    Hideki TANAHASHI    Tomoyuki TANAKA  
Hisanobu AKATSUKA    Naoki KUBOTA\*    Sanae SHIMIZU\*

**あらまし** 治安の悪化や高齢社会の進展に伴い、ユビキタスコンピューティングを中心とした知的空間構築技術を用いて生活の安全性、快適性、利便性を向上させることが重要な課題となっている。そこで本研究では、知的空間を構築する上で重要となる人物追跡技術に着目し、複数の分散視覚システムから得られた映像に基づいて人物を追跡する手法について検討する。また、人物を追跡することにより得られた情報から、動作の種別を判定する方法についても検討する。

**キーワード** 知的空間, 分散視覚, 視体積交差法, 人物追跡, 動作推定

### 1. はじめに

治安の悪化や高齢社会の進展に伴い、個人生活の安全性、快適性、利便性向上を支援するサービスの需要が増加している。また、コンピュータやセンシング・通信機器の高機能化・小型化により、日常生活のあらゆる場所で利用者の状況に応じた情報支援が受けられるユビキタスコンピューティング技術への期待と要望が年々高まっている。

そのような中で、家庭にユビキタスコンピューティング技術を取り入れ、家庭環境を知的化することにより、安心、安全、快適な生活空間を構築する研究が数多く行われている<sup>[1]~[6]</sup>。例えば、米国ジョージア工科大学のAware Homeでは、センサとコンピュータによって家族の状況を把握してくれる家と、その機能を利用したアプリケーションが研究されている<sup>[1]</sup>。また、(独)情報通信機構のユビキタスホームでは、家電製品だけでなく様々な機器の相互接続性の実証実験、家全体のロボット化、その中で人の行動把握とそれに基づく新たなサービスが研究されている<sup>[4]</sup>。

様々な生活シーンにおいて、状況に応じたサービスを人に提供するためには、人とその周りの環境とを同時に

センシングし状況を把握することで、その人の要望を理解する技術が重要であり、画像センシング技術は解決すべき課題の一つである。画像センシング技術は、人にセンサを装着させる必要が無いため、日常生活を束縛することなく生活行動を取得できると共に、人とその周りの環境の状況を同時に取得できるため、人と人、人と物とのインタラクションの理解などに有効である。しかし、画像センシング技術を用いた人の状況把握には、カメラの前に立つなどの制約を与えない限り、常に人の位置と姿勢を取得する必要がある。

そこで本研究では、連続的に入力される時系列画像間で人の位置と姿勢の計測を繰り返す人物追跡技術について検討する。また、得られた追跡情報から動作種別の判定を試みる。

### 2. システムの構築

人物追跡技術は、人の位置と姿勢を取得することにより、人の動線や行動パターンを取得できるため、不審者の検出・監視だけでなく、居住者の動作推定などに有効である。一般に、人物追跡で動線を取得するだけであれば、画像上の二次元平面で人の位置を取得することにより、移動軌跡を求めることが可能である。しかし、三次元で変化する人の姿勢を推定するためには、三次元空間

\*財団法人ソフトピアジャパン IT研究センター



図1 ステレオユニット



図2 1/8球型全方向ステレオシステム

上で人を追跡する必要がある。

三次元空間上で人を追跡するためのカメラシステムとして、マルチカメラ（対象物を囲むように何台ものカメラを配置し撮影するカメラシステム。多視点カメラとも称す。）とステレオカメラがある。検出した領域をボリュームデータとして処理することで、画像上で人と人が重なり合っている場合でも、精度よく分離することができるため、個々の行動パターンを容易に取得することが可能となる。

そこで本研究では、図1に示すステレオカメラをベー

スとしたステレオユニットにより、図2のような分散ステレオ視覚システム（マルチカメラが一点を集中して撮影するのに対して、分散視覚は多数台のカメラの視野を補うように配置する<sup>[7]</sup>。本稿でいう分散ステレオ視覚とは分散視覚で使用するカメラをステレオカメラで構成したカメラシステムを意味する。）を構成し、それを複数利用することでマルチカメラのように配置した撮像系を用いる。使用した分散ステレオ視覚システムは1/8球型全方向ステレオシステム<sup>[8]</sup>（以下、1/8-SOS）である。図3に人物追跡のために構築したプロトタイプシステム（以下、システム）の構成を示す。本システムでは、空間の一辺が480cmとなるようにパーティションで区切り、その天井の四隅それぞれに1/8-SOSを設置した。天井までの高さは270cmである。

各1/8-SOSからは3枚のカラー画像と6枚のモノクロ画像が取得され、これらの画像は光変換機能を有するデータ処理ユニットに転送される。データ処理ユニットは四つの1/8-SOSから転送された36枚の画像データを統合し、光ケーブルにより1.2Gbps×2の光信号として画像データ制御部へ出力する。画像データ制御部は高速シリアル信号として送られてきた光信号を画像データに復調し、システム制御部のメモリへ高速に転送する。システム制御部では、ステレオユニット毎にキャリブレーションデータを管理し、ステレオビジョンソフトウェアライブラリ<sup>[9]</sup>を用いて、補正画像、距離画像を生成し表示する。1/8-SOSの補正には一つの基準座標系を用いて導出した回転、並進パラメータを利用する。1/8-SOS上のステレオユニットは高い精度で組み付け加工されており、この配置パラメータをステレオユニット間のキャリブレーションに利用する。個々のステレオユニットに関しても、それぞれユニット単位でキャリブレーションを行っており、レンズ歪み及びカメラ間のアライメントずれの影響をソフトウェアによって除去する。

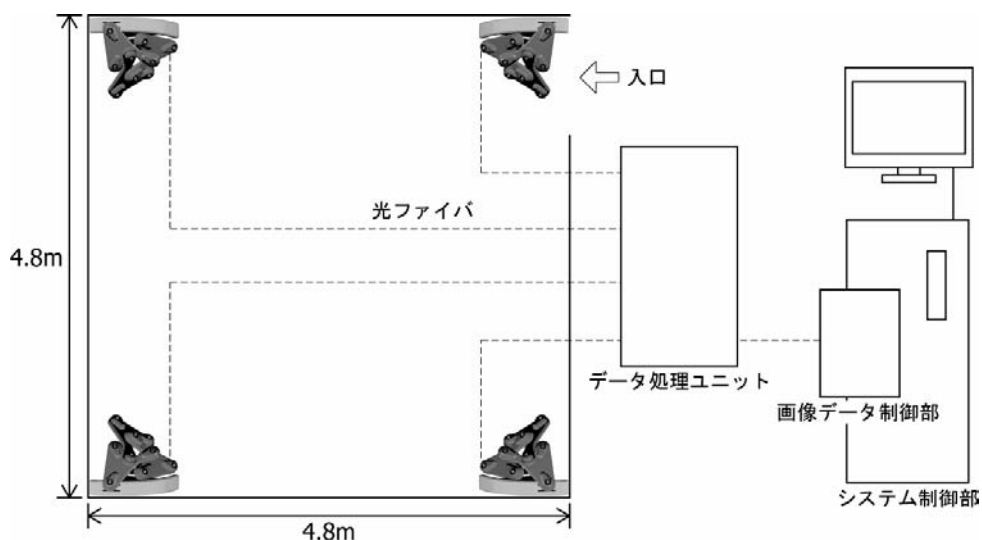


図3 プロトタイプシステムの構成

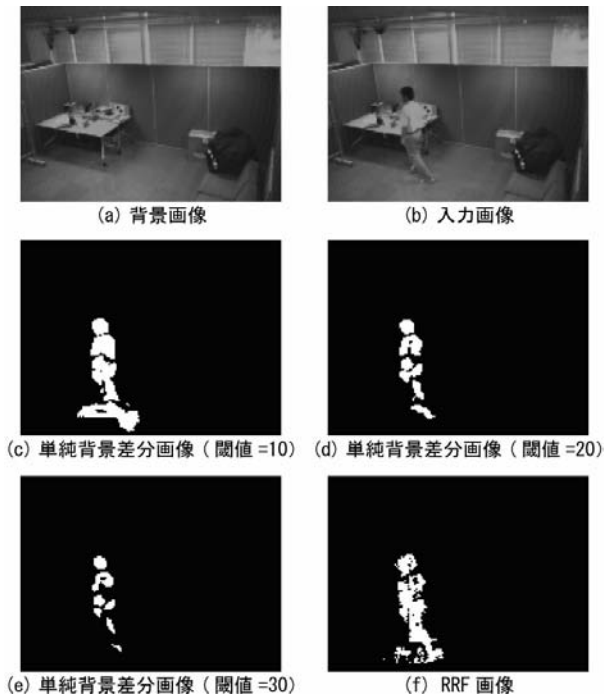


図4 前景領域の抽出例

### 3. 人物の追跡

室内で人物を追跡するために、複数の1/8-SOSで同時刻に取得したカラー画像からシルエット画像を生成し、視体積交差法により人物領域を協調して検出する。1/8-SOSからはカラー画像だけでなく距離画像も取得できるが、本研究では、環境に存在する人の数を一人として追跡処理を実行するため、カラー画像のみを使用する。以下、それぞれの処理について詳細を述べる。

#### 3. 1 シルエット画像の生成

シルエット画像は、各ステレオユニットのセンタカメラから得られたカラー画像に濃淡処理を行い、Radial Reach Filter<sup>[10]</sup>（以下、RRF）により前景領域を抽出し、膨張・収縮処理を加えて生成する。

単純背景差分を用いる場合、出現物体の明度分布と背景の明度が近い領域において未検出が生じるだけでなく、影などの明度変化による過検出の影響も大きい。また、カメラを設置した環境により、閾値を手動で設定する必要がある。一方、RRFは濃淡情報をベースに、ピクセル単位の分解能で局所的なテクスチャを評価し、変化領域の明度分布に依存せず、しかも影などの明度変化の影響を低減したロバストな検出が可能である。また、RRFで用いる閾値は統計的に決定することが可能であるため、複数の画像を与えるだけで自動的に設定することが可能である。図4に単純背景差分とRRFによる前景領域の抽出例を示す。

#### 3. 2 人物領域の検出

得られたシルエット画像とキャリブレーションデータに基づいて、視体積交差法により投票を行うことで、ボ

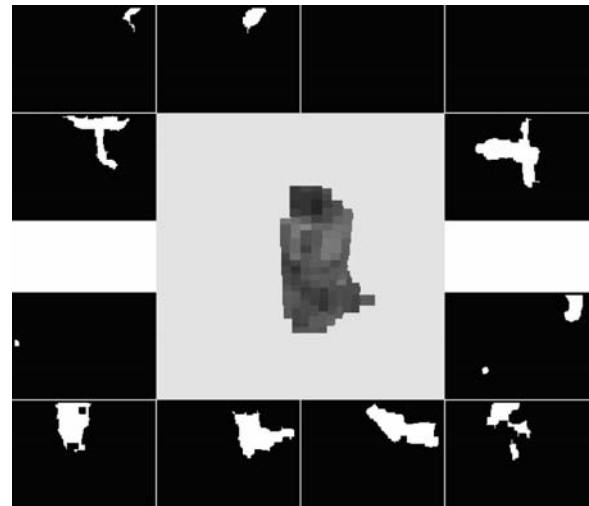


図5 ボクセル領域の投票結果例（空間分解能:10cm）

クセル空間上で人物領域を検出する<sup>[11]</sup>。

視体積交差法では、カメラ位置とシルエット画像の各画素とを結ぶ直線上でボクセル投票を行い、各カメラからの投票が重なる部分をボクセル領域として取得する。通常、視体積交差法は3次元形状復元に多く用いられ、形状復元の精度を高めるために、高い空間分解能をもつボクセル空間を用いている。しかし、高分解能のボクセル空間への投票は処理速度の低下を招き、人物検出処理の負担となる。本研究では、人物検出を目的としているため、形状の精度はあまり重要ではない。そこで、ボクセル空間の分解能を低く設定することにより、処理の高速化を図る。図5にボクセル空間解像度を10cmに設定した投票結果の例を示す。なお、各シルエット画像の解像度は160×120pixelである。

#### 3. 3 人物領域の追跡と動作の推定

視体積交差法を用いることで、床面上の位置だけでなく、人物の三次元的な像が検出できるため、簡単な動作の推定が可能である。

人物領域の追跡を実現するためには、各フレームで人物の空間上の位置を検出する必要がある。そこで、人物の床面上の位置は、床面を基準として高さ方向のボクセル数を加算することにより三次元ヒストグラムを生成し、最もボクセル数が多い位置を人物位置とする。また、人物の高さは、ボクセル領域内で最も高い位置に存在するボクセルの高さとする。

次に、人物領域を追跡することにより得られた床面上の位置と領域の高さ情報から動作の推定を行う。推定する動作は「歩く」、「止まる」、「座る」の基本的な3種類の動作である。「歩く」、「止まる」の動作は、床面上の位置の変化の大きさから推定する。「座る」の動作は、人物が歩いているときの高さ情報を基準に、人物の高さが75%以下となる止まった状態として推定する。図6に追跡結果と動作の推定例を示す。図中の白線は人物の移動軌跡を表している。

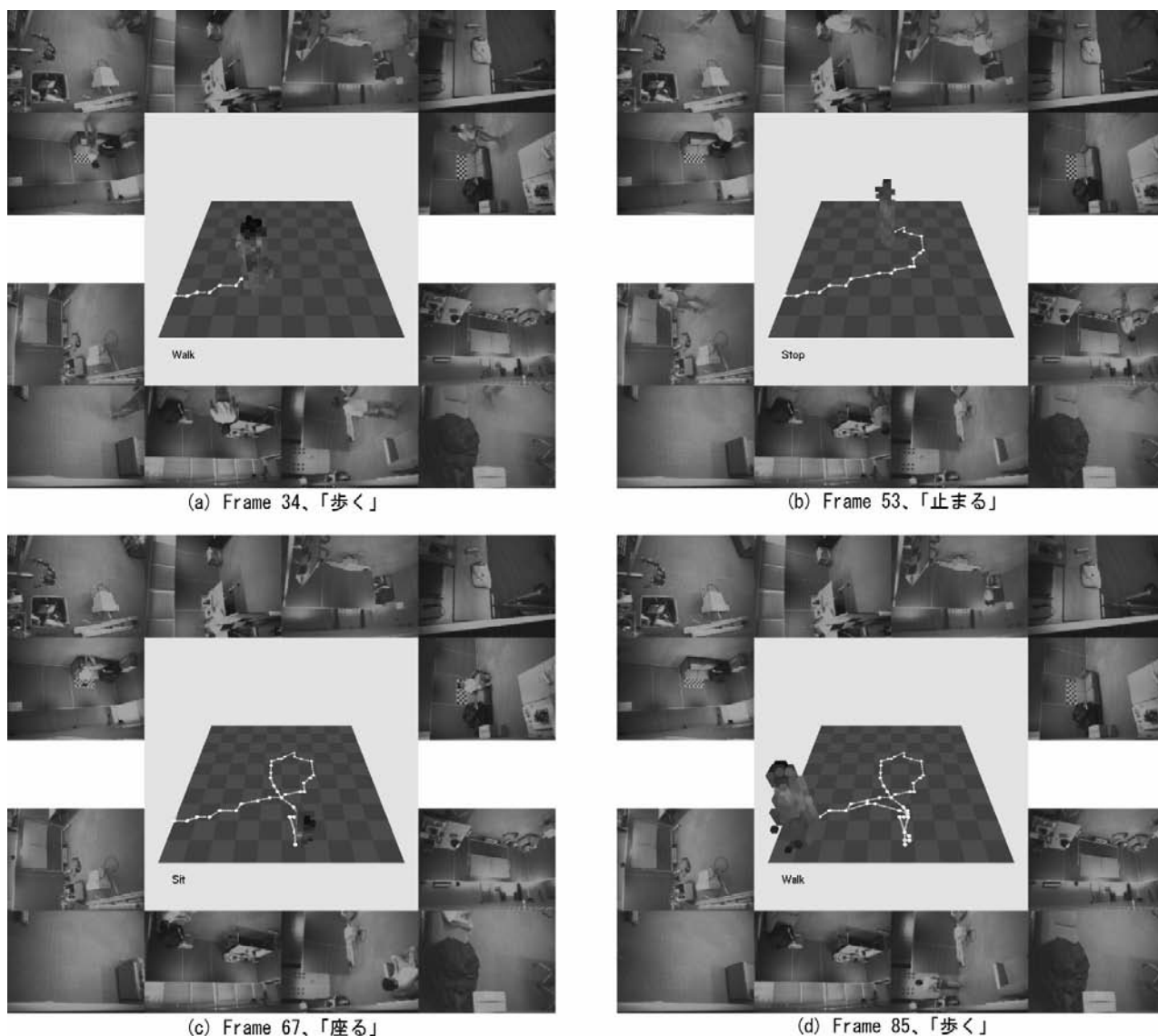


図6 人物領域の追跡と動作の推定例

#### 4. まとめ

安心、安全、快適な生活環境を実現する知的空間を構築するために、日常生活を束縛することなく生活行動を取得できる画像センシング技術に着目し、特に人物の動線や行動パターンを取得できる人物追跡技術について検討した。天井の四隅に1/8球範囲の視野を持つ1/8-SOSを設置し、それらの映像から視体積交差法により環境内の人物像を復元することで、分散視覚システムとマルチカメラシステムとを統合した人物追跡を行った。

人物追跡では、三次元空間上で人物領域のボリュームを求めることで、位置と姿勢の推定が可能となり、「歩く」、「止まる」、「座る」の三つの動作に分類することができた。これらの動作に環境内の物体の情報を付加することにより、より多くの動作について推定が可能になると考えられる。

構築したプロトタイプシステムでは、一人に対して追跡、動作推定を行ったが、今後は複数人に対して稼動するようアルゴリズムを検討していく予定である。そのためには、前報告で行った視体積交差法とステレオ法とを利用したハイブリッド処理<sup>[8]</sup>による人物追跡を実現すると共に、プログラムの高速化によるリアルタイムシステムを構築する必要がある。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、1/8球型全方向ステレオシステムを貸与して頂いた(財)ソフピアジャパンIT研究センターの丹羽義典センター長をはじめ、関係者の皆様に感謝する。また、有益な助言を頂いた岐阜大学工学部の山本和彦教授、早稲田大学総合研究機構WABOT-HOUSE研究所の富永将史氏に感謝する。

## 文 献

- [1] Aware Home, <http://www.awarehome.gatech.edu/>
- [2] Easy Living, <http://research.microsoft.com/easyliving/>
- [3] Smart Rooms,  
<http://vismod.media.mit.edu/vismod/demos/smartroom/>
- [4] ユビキタスホーム,  
[http://www2.nict.go.jp/x/x164/past\\_pj/disco/research/ubiq  
uitous\\_home.html](http://www2.nict.go.jp/x/x164/past_pj/disco/research/ubiq<br/>uitous_home.html)
- [5] 人を見守るデジタルヒューマン,  
<http://www.dh.aist.go.jp/research/enabling/>
- [6] T. Mori, H. Noguchi, A. Takada, T. Sato, “*Sensing Room: Distributed Sensor Environment for Measurement of Human Daily Behavior,*” First International Workshop on Networked Sensing Systems (INSS2004), pp.40-43, 2004.
- [7] 富田文明, “3次元視覚システムの技術動向と展望”, 人間主体の知的情報技術に関する調査研究V, (財)日本情報処理開発協会先端情報技術研究所編, pp.218-228, 2002.
- [8] 渡辺博己, 棚橋英樹, 浅井博次, 平湯秀和, 清水早苗, 山本和彦, “協調3次元センシング技術を用いた人物検出手法に関する研究—生活活動を見守る知的空間の構築に関する研究—”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告, 第7号, pp.8-13, 2006.
- [9] Point Gray Research Inc., “User’s Guide and Command Reference - TRICLOPS Stereo Vision Software Development Kit (SDK).”
- [10] 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.
- [11] 富永将史, 本郷仁志, 興水大和, 丹羽義典, 山本和彦, “人物行動把握のための複数人物追跡システムの構築”, 動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA2004), pp.79-84, 2004.

# 触覚センサを用いた触行動の識別に関する研究

平湯 秀和 向井 利春\*

## Discrimination of human touching behaviors with tactile sensor

Hidekazu HIRAYU Toshiharu MUKAI\*

**あらまし** 人とロボット間のコミュニケーションの一つに触行動がある。人の触行動を識別することは、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、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を模倣した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「たたく」「つねる」「なでる」「押す」の4動作の識別を行う。具体的には、面状触覚センサから得られた時系列データから複数の特徴量を抽出し、線形判別分析を行うことで触行動の識別を行った。

**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

近年の少子高齢化社会は、労働力不足や家庭における要介護者の増加など多くの問題を抱えている。その解決策として、各種サービスを提供するロボットの開発と実用化の期待が高まっている。その中でも特に人と接触しながらサービスを提供可能な人間共存ロボットが期待され、その開発が進んでいる。このようなロボットにとって、ロボットに対する人の触行動を識別することは非常に重要となる。

例えば、人がロボットを「たたく」「押す」という状況は、人にとってロボットの位置や行動が好ましくない状況といえるため、ロボットは素早く移動等をする必要がある。一方、人がロボットを「なでる」という状況は、上記と全く状況が異なるといえる。従って、ロボットにとって、人の触行動を識別することは必要不可欠な機能の一つであるため、ロボットにつける触覚センサは重要なインタフェースとなる。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、未だに確立された手法がない<sup>[1~3]</sup>。その理由としては、現状のセンサデバイスは時間分解能が低いため、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。

現在、ロボットの触覚センサとして感圧導電性ゴム<sup>[4]</sup>やインクを用いたフィルム状センサやPVDF（ポリフッ化ビニリデン）フィルムを用いたセンサ<sup>[5]</sup>などが開発されているが、ロボット上腕等の曲面状表面への装着が困難、耐久性や柔軟性が不十分、空間解像度や測定分解能が低い等の問題がある。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<sup>[6]</sup>。

そこで、本研究では、理化学研究所が開発した面状触覚センサを用いて、「たたく」「つねる」「なでる」「押す」という4つの触行動で得られる時系列データを基に、各触行動の識別手法を検討すると共に実験によってその有効性を示す。なお、これらの触行動を選択した理由は、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おり<sup>[7]</sup>、そのなかで、人がロボットに対して頻繁にとると予想される行動の典型であるからである。

### 2. 面状触覚センサ

理化学研究所が開発した面状触覚センサは、半導体圧力センサを感圧素子としている。感圧素子は、樹脂製の圧力センサFPBS-04Aである。この圧力センサは直径5.8mmの超小型半導体圧力センサで、-58.7~333.4kPaまで測定可能である。この圧力センサを8×8のアレイ状

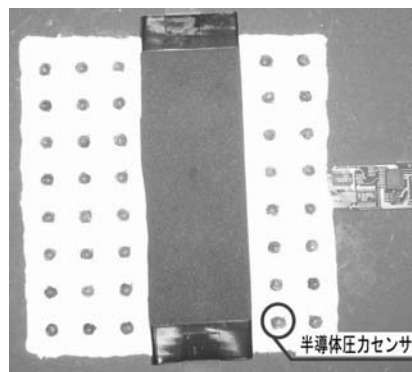


図1 フレキシブル基板

\* 独立行政法人 理化学研究所

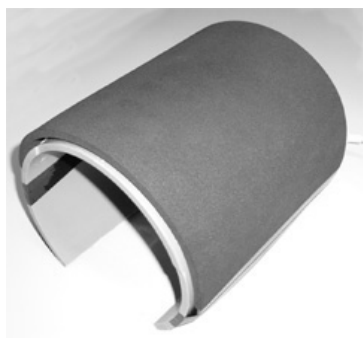


図2 柔軟な面状触覚センサ

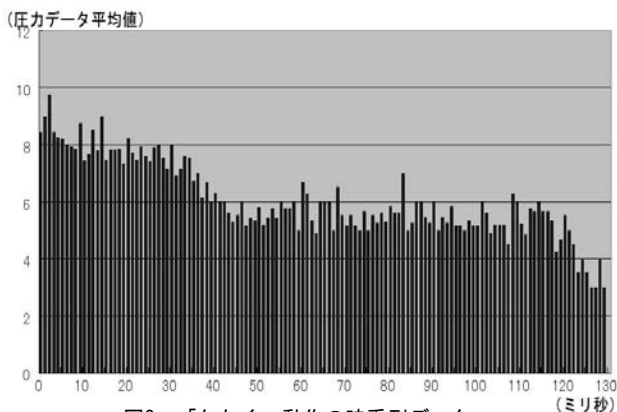


図3 「たたく」動作の時系列データ

に並べ、弾性体に埋め込むことで面状触覚センサを実現している(図1)。また、面状触覚センサの素子から読み出しを行う配線数を減らすために、感圧素子の抵抗ブリッジの半分のみを用い、スイッチングにより行と列を選択可能となっている。

人間の皮膚は、表皮が真皮より硬く、それぞれの皮膚組織が複雑な形状を有することで、触覚受容器に応力が集中する構造となっている。そこで、面状触覚センサはフレキシブル基板を弾性体に埋め込む構造とし、表面から「硬い弾性体」「柔らかい弾性体」「硬いもしくは柔らかい弾性体」の順に組み合わせることで、センサ表面の圧力が感圧素子のダイヤフラムに集中する構造になっている。これにより、面状触覚センサ全体の厚さは約8.5mm、圧力素子のピッチは10mm、測定レンジは256階調、1ミリ秒のサンプリング間隔を実現している。なお、この面状触覚センサは理化学研究所が開発したロボットRI-MANの上腕部分等に使用するため、本研究では、このフレキシブル基板を筒状の塩化ビニル管に沿って曲げた形状で実験を行った(図2)。

実際に面状触覚センサを手でたたいた場合の、たたき始めから終了までの各時刻における圧力データ平均値(64個の圧力データの合計値を圧力のかかったセンサ個数で除算)の時系列データを図3に示す。なお、グラフの横軸は時刻を、縦軸は圧力データのAD平均値を示す。

### 3. 触行動の識別

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間と終了時間を推定し、その区間(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、それらの特徴量を基に線形判別分析を行うことで触行動の識別を行う。

#### 3. 1 特徴量の抽出

4種類の触行動に関して、面状触覚センサの圧力分布や時系列データには、それぞれ以下の特徴がある。

<たたく>

- ・触行動時間が他の触行動と比較して短い。
- ・触行動開始直後の圧力は他の触行動より大きい。

<つまむ>

- ・つまむ行為により、2つの圧力分布が発生する。
- ・圧力のかかる領域面積が他の触行動よりも小さい。

<なでる>

- ・圧力がかかる位置に関して重心移動が他の触行動よりも大きい。

<押す>

- ・圧力がかかる位置に関して重心移動がほとんどない。
- ・押す行為により、1つの圧力分布のみが発生する。

本研究では、これらの特徴を基にして、触覚センサから得られる時系列データ、圧力位置や領域面積の変化量、圧力量の時間的変化量に着目し、下記の9個の特徴量を抽出した。図4に時系列データ(実線)とそれぞれの特徴量(番号)を示す。

<時系列データ>

- ①触行動時間
- ②最大の圧力がかかるまでの時間

<圧力位置・領域面積変化>

- ③触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各フレームで求めた重心位置との距離平均
- ④触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各フレームで求めた重心位置との距離の分散
- ⑤各フレームにおいて、圧力のかかった領域面積に対する平均値

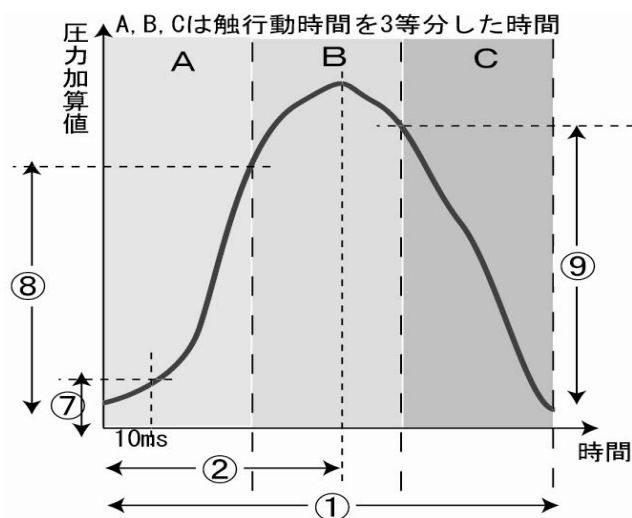


図4 識別に用いる特徴量

- ⑥各フレームにおいて、圧力のかかった領域（グループ）の個数に対する平均値

<圧力の時間的変化>

- ⑦動作開始後、10m s 時点における圧力データ
- ⑧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）
- ⑨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）

### 3. 2 触行動の識別

前節で抽出した特徴量を用いて、線形判別分析により得た判別空間で距離が最小となるクラスを識別結果とするアピアランススペースの手法を用いる。

線形判別分析は、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特徴空間を生成する写像行列を求める。つまり、学習パターンを識別するのに最適な判別空間を生成する。本手法では、複数の特徴量を入力として、線形判別分析で得た写像行列を用いて判別空間へ投影し、標本と各クラス（たたく、つねる、なでる、押す）のマハラノビス距離を調べ、距離が最小となるクラスを識別結果とする。

## 4. 実験

本手法の有効性を示すため、実験を行った。トレーニングデータとして、被験者13名（男女比11:2、年齢25～45歳）が「たたく」「つまむ」「なでる」「押す」の4つの動作をそれぞれ2回実施（計26データ/触行動）し、各触行動に対して前節の特徴量を抽出した。これらの特徴量から最適な判別空間を生成した。

また、提案手法を評価するため、テストデータとして、同被験者13名が4動作を1回ずつ行い（計13データ/触行動）、識別実験を行った。

時系列データにはノイズが多く含まれるため、トレーニングデータ・テストデータ共に特徴量（触行動時間を除く）抽出前にノイズ除去の目的でガウシアンフィルタをかけた。

表1にトレーニングデータにおける識別結果を、表2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すべて100%で、判別空間が良好に生成されていることがわかる。一方、テストデータによる識別結果は、「たたく」、「つねる」、「なでる」の3つの触行動の識別率は100%であったが、押す動作は92.3%で誤識別された触行動は「つまむ」と判別された。

誤識別となった被験者の「押す」動作に関して、押す様子と同時刻で得られた面状触覚センサの出力データ（8×8の計64個のアレイ状に設置）を図5と図6に示す。図6の複数の正方形は圧力センサの位置とその位置の圧力の強さを示す。圧力が強ければ正方形は大きくなる。

表1 トレーニングデータによる触行動識別結果

|     | データ数 | 正解数 | 識別率  |
|-----|------|-----|------|
| たたく | 26   | 26  | 100% |
| つねる | 26   | 26  | 100% |
| なでる | 26   | 26  | 100% |
| 押す  | 26   | 26  | 100% |

表2 テストデータによる触行動識別結果

|     | データ数 | 正解数 | 識別率   |
|-----|------|-----|-------|
| たたく | 13   | 13  | 100%  |
| つねる | 13   | 13  | 100%  |
| なでる | 13   | 13  | 100%  |
| 押す  | 13   | 12  | 92.3% |

図5の押す行為を行った際、丸枠で囲まれた2つの領域部分に圧力がかかっているのがわかる。枠Aは押す行為により直接圧力がかかった部分であるが、強く筒状の塩化ビニル管が押されることで、瞬間的に塩化ビニル管が楕円状に変形し、筒の反対側にも枠Bの領域として圧力がかかっている。3.1節で述べたように、「つまむ」行為は「2つの圧力分布が発生する」という仮定を基に特徴量を抽出しているため、図5の「押す」行為は「つまむ」と誤識別されたと思われる。

## 5. 各特徴量の寄与率

各特徴量から判別空間を生成したが、これらの特徴量



図5 誤識別された被験者の押す動作

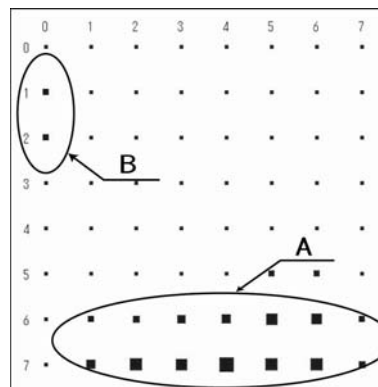


図6 押す動作の圧力センサの出力データ



が判別に対して、有意に寄与しているかどうかの検定を行った<sup>[8]</sup>。本研究では、9個の特微量を用いて4つのクラスがどの程度判別されるかを表す一つの指標である Wilks の  $\Lambda$  統計量を用いた。

いま、 $q$  個の変数  $x^*$  が  $g$  群の判別に用いられているとする。 $x^*$  に含まれていない変数  $x_j$  を追加したときの判別力の増加を、 $\Lambda$  統計量を用いて

$$\Lambda(x_j|x^*) = \frac{\Lambda(x^*, x_j)}{\Lambda(x^*)} \dots \dots \dots (1)$$

で測ることができる。右辺の分子は変数  $x^*$  と  $x_j$  を両方用いたときの  $\Lambda$  を、分母は変数  $x^*$  のみを用いたときの  $\Lambda$  を表し、 $\Lambda(x_j|x^*)$  は偏  $\Lambda$  統計量と呼ばれる。このとき、

$$F = \frac{n-g-q+1}{g-1} \cdot \frac{1-\Lambda(x_j|x^*)}{\Lambda(x_j|x^*)} \dots \dots \dots (2)$$

は新しく加えた変数  $x_j$  が判別に寄与しないという仮説のもとで、自由度 ( $g-1, n-g-q+1$ ) の  $F$  分布に従うことが知られている。

9個の特微量に関して  $F$  特微量を求めた結果を表3に示す。

本研究では4クラス(たたく、つねる、なでる、押す)、9変数、104パターン(被験者13名、4動作を2回実施)を用いて判別空間を生成したため、自由度(3, 92)の  $F$  分布に従う。ここで、 $F_{.92}(0.05)$  は2.70である(5%水準で有意である)。表3の  $F$  検定結果が、2.70よりも大きい値であれば、その特微量は判別に有意に寄与しているといえる。従って、表3からは9個の特微量の中で1つを除き、他の特微量はすべて判別に有意に寄与していることがわかる。

## 6. まとめ

(独)理化学研究所が開発した面状触覚センサから得られる時系列データから、9個の特微量を抽出し、それを基に線形判別分析を行うことで、4つの触行動の識別を行った。実験により、誤識別のあった触行動でも識別率が92.3%と高く、本手法の有効性を確認した。また、各特微量が判別に対して、有意に寄与しているかどうかの検定も行い、ほとんどの特微量が触行動識別に寄与していることを確認した。

今後の課題としては、実用に即した触行動の種類を増やすこと、そして、より高精度に分類可能な特微量の検出があげられる。

## 文 献

[1] 田近太一, 宮下敬宏, 石黒浩, “ヒューマノイドロボットの触覚を用いた人間の触行動の認識”, *SICE SI2004 講演論文集*, pp.539-540, 2004.

表3 9個の特微量に関する  $F$  特微量

|   | 特微量  | F検定結果 |
|---|--|-------|
| ① | 触行動時間  | 10.85 |
| ② | 最大の圧力がかかるまでの時間                               | 2.19  |
| ③ | 触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各フレームで求めた重心位置との距離平均  | 37.77 |
| ④ | 触行動時間全体における圧力のかかった重心位置と、各フレームで求めた重心位置との距離の分散 | 3.43  |
| ⑤ | 各フレームにおいて、圧力のかかった領域面積に対する平均値                 | 54.85 |
| ⑥ | 各フレームにおいて、圧力のかかった領域(グループ)の個数に対する平均値          | 22.63 |
| ⑦ | 動作開始後、10m s 時点における圧力データ                      | 12.45 |
| ⑧ | 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)        | 12.20 |
| ⑨ | 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)        | 14.20 |

[2] 納谷太, 篠沢一彦, 大和淳司, 小暮潔, “圧力分布センサによる人の触行動の実時間識別とその個人適応手法”, *信学論(D-II)*, Vol.J85-D-II, no.4, pp.613-621, Apr. 2002.

[3] 保坂紗智子, 木村吉幸, 長久保晶彦, 國吉康夫, “全身触覚をもつ赤ちゃんロボットの開発”, 第24回日本ロボット学会学術講演会論文集, 2006.

[4] 長久保晶彦, 國吉康夫, “逆運動解析にもとづく触覚分布センサ:原理”, 第24回日本ロボット学会学術講演会論文集, 2006.

[5] 藤本勲, 山田陽滋, 前野隆司, 森園哲也, 梅谷陽二, “PVDFフィルムを用いたヒトの指に学ぶ静摩擦覚を有するフィンガスキンの開発”, *日本ロボット学会論文誌*, Vol.22, No.6, pp.806-814, 2004.

[6] 向井利春, “人間共存ロボットのための柔軟な面状触覚センサの開発”, *SICE SI2002 講演論文集*, pp.53-54, 2002.

[7] 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.

[8] 管民郎, “すべてがわかるアンケートデータの分析”, 現代数学社, 1998.

# ダンボール製品の強度設計技術に関する研究

川島 義隆 棚橋 英樹 伊田 徹士\* 原田 匡人\*

梅津 康義\* 松井 和己\*\* 手塚 明\*\*\*

## Structural analysis for corrugated fiberboard products

Yoshitaka KAWASHIMA Hideki TANAHASHI Tetsuji IDA\* Masahito HARADA\*  
Yasuyoshi UMEZU\* Kazumi MATSUI\*\* Akira TEZUKA\*\*\*

あらまし 電気製品や機械部品の包装材料には発泡スチロールなどのプラスチック製品が使用されてきたが、リサイクル性の点から段ボール製品が広く使用されており、緩衝材への利用も多くなっている。本研究では、段ボールシートの垂直圧縮強さ及び平面強さ試験より、シートの材料定数及び圧縮強度特性を求め、段ボール緩衝材の静的圧縮強度特性の検討を行ったので、これらの結果について報告する。

キーワード 段ボール, 緩衝材, 圧縮試験

### 1. 緒言

電気製品や機械製品などの包装材料には発泡スチロールなどのプラスチック製品が使用されてきたが、最近ではリサイクルの点から紙製品が使用されており、緩衝材への利用も多くなっている。そのため、近年では、段ボール箱の圧縮特性解析や折り曲げ状緩衝材の強度解析<sup>[1-2]</sup>の研究が行われている。

本報告では、段ボールシートを一般的な平板とみなし、段ボール緩衝材の圧縮強度特性に関する検討を行う。2章では、段ボールシートの垂直圧縮及び平面圧縮強さ試験より、シートの材料特性を求め、3章では、それらを用いて、段ボール緩衝材の静的圧縮強さ特性の検討を行ったので、これらの結果について報告する。

さ 60mm) に対して、縦方向、横方向の2方向の圧縮強さ試験を試験片が座屈するまで行った。図1にひずみ-応力特性を示す。

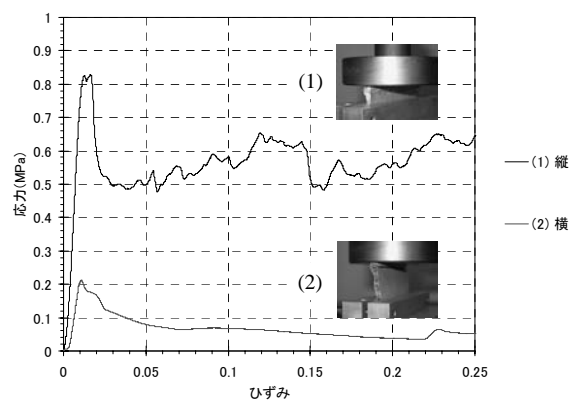


図1 段ボールシートの垂直圧縮強さ試験

### 2. 段ボールシートの強度特性

#### 2.1 段ボールシートの垂直圧縮強さ特性

段ボールシートの圧縮強度特性を測定するため、オートグラフ((株)島津製作所 AG-20kNI)を用い、段ボールシートの垂直圧縮強さ試験<sup>[3]</sup>(JIS Z 0403-2, 試験片:幅 90mm, 高さ 60mm)を行った。圧縮速度は 10mm/min とし、表ライナー(公称坪量 170 g/m<sup>2</sup>), 中芯(公称坪量 120 g/m<sup>2</sup>)及び裏ライナー(公称坪量 170 g/m<sup>2</sup>)で構成された外装用両面段ボール(A段, 厚み 5.35mm)の試験片(幅 90mm, 高

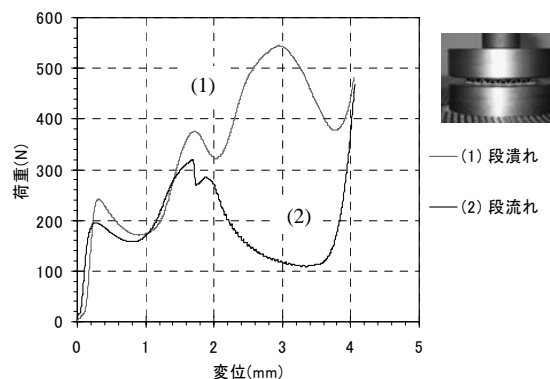


図2 段ボールシートの平面圧縮強さ特性

\* 株式会社日本総合研究所

\*\* 横浜国立大学

\*\*\* 独立行政法人 産業技術総合研究所

## 2. 2 段ボールシートの平面圧縮強さ特性

段ボールシートの厚み方向の圧縮強度特性を測定するため、平面圧縮強さ試験<sup>[3]</sup> (JIS Z 0403-1) を行った。

試験片は 2.1 項の段ボールシートを用い、圧縮試験速度は 10mm/min とした。図 2 に段潰れ<sup>[3]</sup>の場合と段流れの場合のひずみ-応力特性を示す。

## 3 段ボール緩衝材の圧縮強度特性

### 3. 1 圧縮強さ試験と強度解析

段ボール緩衝材の圧縮強さ試験を行った。図 3 に示すように、圧縮試験を行う緩衝材は段ボールシートを 6 層に重ねたものとする。試験片の大きさは長さ 62.3mm、幅 62.3mm、高さ 32.1mm である。圧縮試験速度は 10mm/min であり、試験片が座屈するまで行った。

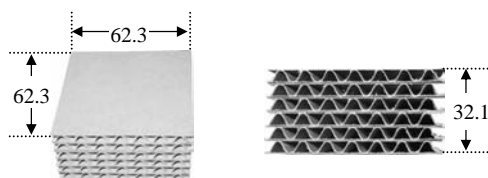


図 3 段ボール緩衝材

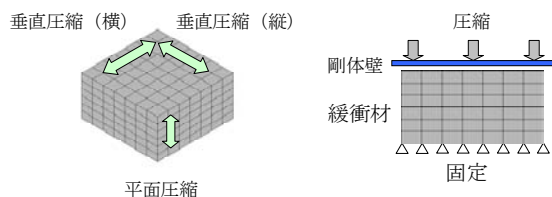


図 4 段ボール緩衝材の圧縮解析モデルと境界条件

緩衝材の解析モデルを図 4 に示す。要素タイプは 8 節点 Solid 要素を用い、境界条件は底面の節点固定で上面は剛体壁による強制変位圧縮とする。

材料モデルは異方性破壊ハニカムモデル<sup>[4]</sup>を用い、その材料特性は、縦方向に垂直圧縮強さ特性 (縦)、横方向に垂直圧縮強さ試験特性 (横) 及び厚み方向に平面圧縮強さ特性を用いる。そして、厚み方向の材料特性として、次の 2 種類の強さ特性を用いる。平面圧縮強さ試験の段潰れ (中芯が完全に座屈) の強度特性を用いた場合、段流れの強度特性を用いた場合である。材料定数は圧縮強さ試験からヤング率を求め、ポアソン比は 0.1 とした。

### 3. 2 結果

緩衝材の圧縮試験結果及び緩衝材全段を段潰れ強度特性とした場合と緩衝材全段を段流れ強度特性とした場合の強度解析の結果を図 5 に示す。

図 5 の圧縮後の緩衝材は、緩衝材の段が全て段流れをしており、そのため、段流れ強度特性を用いた解析が実際の緩衝材の圧縮強度特性を表している。

図 6 にひずみ 0.779 の時の Mises 応力分布を示す。段流れ強度特性は段潰れ強度特性に比べ応力は小さく、段が流れることにより緩衝性が生じている。

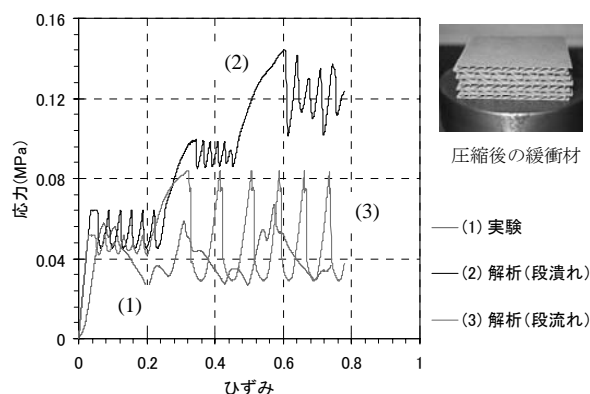


図 5 緩衝材の圧縮強度特性 (ひずみ-応力)

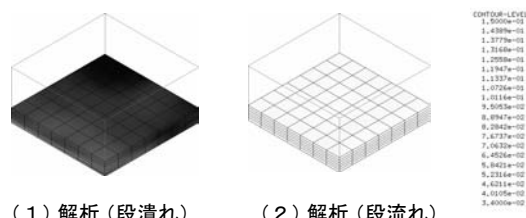


図 6 緩衝材の圧縮強度特性 (Mises 応力分布)

## 4. まとめ

段ボール緩衝材の圧縮強度特性に関する検討を行うため、段ボールシートの垂直圧縮強度、平面強度試験及び緩衝材の圧縮強度試験を行った。そして、段ボールシートを一般的な平板とみなし、異方性破壊ハニカムモデルにより、段ボール緩衝材の圧縮強度解析を行った。その結果、段ボール緩衝材の圧縮強度試験より、その強度特性は 1 層段ボールのような段潰れでなく、各段が段流れを起こすことにより緩衝材としての緩衝特性が生じている。そのため、緩衝材の厚み方向の強度特性に段潰れ強度特性より段流れ強度特性を用いた解析の方が、緩衝材の強度特性を示すことがわかった。

## 文献

- [1] 中川幸臣, 丹羽一邦, 筒井喜平, "段ボールの強度解析シミュレーション", 包装技術, 41-3, pp217-220, 2003.
- [2] 丹羽一邦, "ダンボール衝撃解析のための実験とシミュレーション方法", LS-DYNA Users Conference 2001 講演論文集, pp.17-2-15-9, 2001.
- [3] 日本規格協会, "JISハンドブック 紙・パルプ", 2005.
- [4] (株) 日本総合研究所, "LS-DYNA Ver970 User's Manual Volume II", 2003.

# 電子タグを用いた蔵書管理システムの実証実験

山田 俊郎

## Demonstration of Library Management System by using RFID

Toshio YAMADA

**あらまし** 図書館の蔵書管理業務の効率化を目的とした電子タグ応用システムを試作し、実証実験を行った。システムの開発にあたっては、図書館に利用できる電子タグについて検討を行い、2.45GHz帯のマイクロ波通信型のタグを採用することで、書棚に並んだ状態で書籍に貼り付けられた複数の電子タグ情報を同時に読み込むことができるシステムとした。このシステムの効果を科学技術図書館において検証し、導入の効果や現状の問題点について検討を行った。

**キーワード** 電子タグ(RFID)、蔵書管理

### 1. はじめに

近年、電源を持たない小型のICチップから無線通信によって情報を読み取る、電子タグの利用に関心が高まっており、物流管理をはじめとした各方面で実証実験が行われている。図書館においては電子タグの利用としては、従来のバーコード管理に変わるシステムとして、一部電子タグの導入が行われているところもあり、

- ・ 貸出業務の効率化
- ・ 蔵書点検の効率化
- ・ 無断持ち出しの検出

などの効果が期待されている。実際に電子タグの導入を行った図書館では、利用者自身が自動貸出機で貸出手続きをおこなうことで、カウンターでの待ち時間が減少し、利用者の利便性が向上している。<sup>[1]</sup>

このように、図書館において電子タグを導入することには多くの利点が考えられ、今回岐阜県科学技術図書館の依頼を受けて電子タグを用いた図書館管理の実証実験を行った。電子タグは無線通信を用いることから、利用環境や使用するタグの種類によって通信状態の変動が大きく、導入に先立って実際に利用する場面に応じた実験を行うことが必要である。

科学技術図書館における現状の業務について聴取を行ったところ、図書の貸出に関する問題は軽微であり、蔵書の管理点検に労力を要しているとのことであった。そこで、蔵書点検の効率化を主眼として、書棚に並んだ状態の書籍から情報を読み取ることのできるシステムを選定し、検証を行った。無断持ち出しの検出については、現在許容されている電波出力では実現が難しいため、今回の検討の対象外とした。

本報告では、図書館利用電子タグの選定、試作した実証実験システムについて報告する。

### 2. 電子タグ・タグリーダの選定

現在、システムベンダーが提案している図書館管理システムでは、一般的に13.56MHz帯のタグが使用されている。この周波数帯は入退室管理等で多く使われており、ISO等の標準仕様が策定されていることから、システムへの採用が多いものと考えられる。しかし、この周波数帯のタグの技術動向は、電子マネー等の大容量化やセキュリティ強化の方向に進んでおり、ID番号のみを必要とする図書館管理にはオーバースペックになっていると考えられる。また、電磁結合方式で電源の供給と情報通信を行うため、図1に示すようにループ状のアンテナの法線方向から電波を照射、受信する必要がある。従って、表紙の裏側などに貼り付けた場合、背表紙側からの読み取りが困難である。

これらの理由から、方向依存が少ない小型のアンテナで通信が可能なマイクロ波方式で通信を行い、16進数で32桁のID番号のみを提供する、低価格の2.45GHz帯の電子タグ(日立製ミューチップ)を採用することとした。13.56MHz帯の一般的なタグに比べて、ミューチップの利点は次のとおりである。

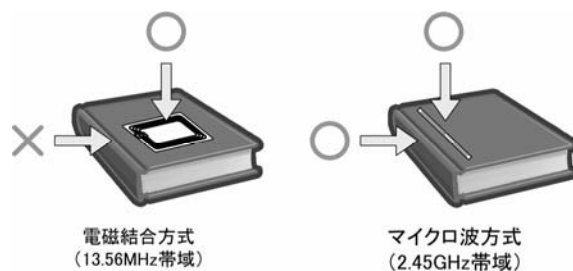


図1 タグの種類と読み取り可能方向

- ・ タグのアンテナ形状が小さい (タグサイズ50×3mm程度)
- ・ 棒状のアンテナを軸とする周囲の全方向から読み取りが可能 (13.56MHz帯のものは2方向)
- ・ 低価格 (1000枚の最小ロット時で1枚80円程度)
- ・ 8cm角程度のサイズのリーダアンテナで読み取りが可能 (13.56MHzでは直径20cm程度のアンテナが必要)

複数の書籍が並んだ状態で特定のタグの情報を読み取るため、当初は指向性の高いアンテナを用いて電波を照射する範囲を限定し、1冊ずつ読み取りを検討した。しかし、実験の結果、アンテナの向きが左右に傾いた場合や、本の厚さが薄い場合には隣の本のタグと電波干渉を起し、読み取ることができなかった。このことから、多数の書籍が並んだ状態で情報を読み取るには複数のタグが同時に反応しても読み取りが制御(輻輳制御)できるタグおよびリーダが必要であることがわかり、輻輳制御対応型のタグおよびリーダを採用することとした。

## 2. 読み取り距離の検証

図2のように、タグの上にID番号および書籍名を表示したシールを貼り付けたプラスチックシートを書籍の裏表紙の奥に挟み込み、背表紙側からアンテナをかざして読み取り距離を検証した(本棚に並べてある状態で読み取ることを想定)。本が1冊のみの場合は、10cm程度離れた位置から読み取ることが可能であったが、複数の本を並べて一括読み取りを行う場合は5cm程度まで近づけないとすべてを読み取ることができなかった。これは、タグの個体差や輻輳制御に起因するものと考えられるが、実用上は問題の無い距離である。

しかし、複数の本が並んだ状態で1冊のみ他の本よりも奥に入った状態にある場合(背表紙が同じ奥行きに並んでいない場合は、読み取りが困難になることが確認された。本の厚さによっても異なるが、厚さ10mm(約150ページ)の本の場合では、他の本よりも約15mm奥に入ると読み取りができなくなった。このことから、書棚から一括読み取りを行う場合は本の背が同じ位置に整列していることが条件となる。



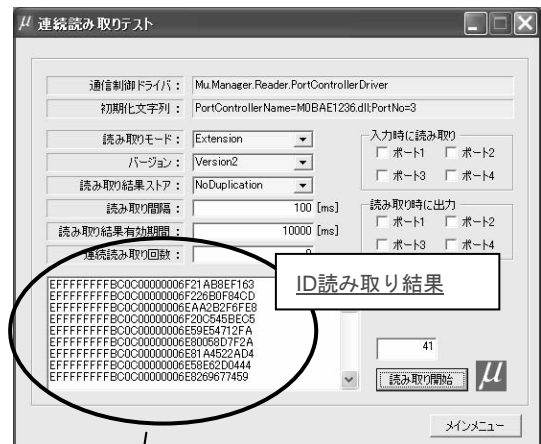
図2 電子タグの実装

## 3. 実証実験用アプリケーション

今回採用した、輻輳制御に対応したタグリーダは、有償の開発ライブラリを用いないとリーダを制御できないため、実験では付属の読み取り確認アプリケーションでタグIDを取得し、研究所で作成した蔵書データ照合アプリケーションに読み取り結果をコピー&ペーストで渡して蔵書管理の実験を行うこととした(図3)。利用シーンとして蔵書点検を行うことを想定しており、即座に書籍の情報を得る必要が無いため、このような2段階にわたる手順であっても実用上の問題は無いと考える。

読み取り確認アプリケーションでは、多重読み取り排除の設定をして同じタグIDが複数回出現することを防止し、電子音によって新たなタグが検出されたことを操作者に伝える。操作者は棚に並んだ書籍の横でアンテナを書籍に沿って移動させ、電子音が鳴らなくなったことですべての書籍のIDを読み取ったことが確認できる。

蔵書データ照合アプリケーションでは、タグID、書籍名、蔵書状態(開架、貸出中などを仮に設定)を記述したCSVファイルを読み込み、読み取り確認アプリケーションで得られたタグIDとの整合性をチェックできるものとした。これによって不整合のあるもの(開架扱いなのに書棚に無いものや、貸し出し中扱いなのに書棚にあるものな



読み取り確認アプリケーション

コピー&ペースト



蔵書データ照会アプリケーション

図3 実験用アプリケーション

ど)が自動的に検出できる。

#### 4. 科学技術図書館での実証実験

実験用に50冊の書籍に図2のように電子タグ装着し、システムの有効性を科学技術図書館で検証した(図4)。図書館の司書および管理者の方からは、

- ・ 従来、1冊ずつ書棚から取り出してバーコードを読み取っていたため時間がかかっていたものが一瞬で完了でき、有効性が高い。
- ・ こまめに蔵書の確認ができる。(従来は年に1回)
- ・ 科学技術の啓蒙を目的とした図書館であるため、先端的なシステムを取り入れることで、科学技術図書館のイメージアップにつながる。

という意見をいただいた。さらに、書棚にリーダアンテナを内蔵して書籍の状態を常時監視するシステムや、無断持ち出しの検出ができないかなど、システムの導入にむけた意見も出された。

#### 5. まとめ

本開発では、図書管理に利用できる電子タグについて検討を行い、実証実験用のシステムを作成した。科学技術図書館において開発したシステムの検証を行ったところ、従来の業務の効率化には十分役に立つことが確認されたものの、導入のコストや従来業務以上のサービスの提供への応用などが課題として残されている。

また、図書業界の最近の動向として、書籍の流通段階での実証実験が行われており、将来的にすべての書籍に出版段階で電子タグが装着されることが考えられる。このような状態になったときには書籍業界標準のシステムを用いるほうが有利であるため、独自の検討を行うとともに業界の動向にも注意を向ける必要がある。

今回の研究では、電子タグの応用分野として図書管理向けのアプリケーションを開発したが、電子タグは汎用的な技術であるため、様々な用途への展開が考えられ

る。今後は工程管理や自動化機械等、製造業に向けたアプリケーションの提案を行う予定である。

#### 文 献

- [1] “図書の自動貸し出し機や自動倉庫でサービス向上”，日経RFIDテクノロジー，No. 21 p7, 2006
- [2] “ポイント図解式RFID教科書”，ASCII, 2005



図4 科学技術図書館における実証実験の様子

# センサネットワークを利用した監視システムの開発

田中 泰斗      山田 俊郎      棚橋 英樹      曾賀野 健一

## Development of Sensor Network System for Monitoring use

Taito TANAKA    Toshio YAMADA    Hideki TANAHASHI    Kenichi SOGANO

**あらまし** コスト競争の激しい中小企業にとって、生産工程を監視し生産に伴う諸コストを低減する必要性が高まっている。一方、設備の稼働状況を監視するためには、既存設備の入れ替えまたはシステムの更新を伴うことが考えられ、導入コスト、一時的な生産の停滞などの問題が考えられる。本研究では、これらの問題を軽減するため、既存設備のハード・ソフト両面の変更を伴わない、外付け型の設備監視システムの開発を目指している。本報告では、開発する端末に付与する基本機能の検討とこれに基づき試作したセンサ端末の概要について報告する。また、センサ端末の動作設定を行うため開発した管理ソフトウェアについて報告する。

**キーワード** センサネットワーク, 監視

### 1. はじめに

近年のグローバル化に伴い、海外製品と国内製品とのコスト競争が激化している。県内企業の中には、各種機械メーカーが販売する生産設備を用いた製品製造を主体としている企業もあり、国内外を問わず設備面では企業間の差が殆ど無い場合もある。従って、コスト面で対抗するためには、装置の稼働率を高めると共に、装置の稼働・運用に要する作業の省力化・効率化に取り組む必要がある。このためには、生産設備をネットワークで接続し、稼働状況の管理を一元化することが有効であると考えられるが、既存設備の改造または新規の設備導入を伴うことから、導入コストや一時的な生産の停滞などが問題となり、中小企業にとって導入の負担が大きい。

一方でセンサのネットワーク化という観点からは、RFIDタグや、組み込み用途を前提とした特定省電力無線、ZigBee、無線LAN、有線LANなどに対応した通信モジュールが市販されている<sup>[1]</sup>。また、有線LANにおいては、電力線搬送通信(PLC)の使用が一部認められたことや、PoE(Power over Ethernet)機器が販売されていることなど、通信環境整備のための労力も大幅に軽減されつつある。

本研究では、製造現場にある既存の生産設備のハード・ソフト両面の変更を伴わない、外付け型の監視システムの開発を目指している。本年度は、センサ端末に必要な機能と通信方式を検討するとともに、市販のシリアル-Ethernet変換デバイスを利用した回路を試作した。また、端末の保守管理および運用形態を想定し、センサ端末の動作設定を行うための基礎的管理ソフトウェアを開発したので報告する。

### 2. センサ端末の検討

開発するセンサ端末は、工場内に複数設置されることを想定しており、用途に応じて必要なセンサを取り付け、個々の動作を設定する必要がある。従って、センサ端末の開発にあたっては、各種のセンサに対応できる汎用性を確保し、設置、保守の容易さに配慮する必要がある。

#### 2. 1 基本機能

センサ端末の活用場面は様々であるため、幅広く応用が利くように機能を設定した。センサ端末に付与する主な機能を以下に記す。

- ① さまざまなセンサに対応できること（温度、圧力、振動等）
- ② ネットワーク経由で端末の動作変更が可能であること
- ③ データ処理能力を有すること
- ④ 通信の信頼性が高いこと
- ⑤ バッテリー駆動が可能で、電源管理機能を有すること
- ⑥ 端末設置に伴う通信環境整備が容易であること
- ⑦ 時間管理（時計）が可能であること

ネットワーク経由での端末の動作変更機能に関しては、センサ端末の保守を簡単に行うため付与することとした。センサ端末の入出力機能としては、デジタル入出力と、AD変換機能を想定している。データ処理能力に関しては、複数のセンサから得られる情報を端末内部で処理し、必要な結果のみを通知する用途を想定している。バッテリー駆動に関しては、設置の容易さと電源が取れない場面での使用を想定し付与することとした。時間管理に関し

では、通信が確立できなかった際に、各種ログを保持するために必要である。利用形態により、これら全ての条件を満たす端末を開発することは難しいが、極力条件を満たすセンサ端末を開発することを目標とする。

### 2. 2 試作するセンサ端末の特徴

センサ端末の構成としては、マイコンと組込用通信デバイスの利用を基本とする。このような構成により機器を監視する端末は開発されているが、多くは機能が限定されている。開発するセンサ端末では、ネットワーク経由でのマイコンのプログラム書き換えに対応することを基本機能の1つとしており、プログラムの書き換えの度に端末を取り外す必要が無くなることから、センサの増設に伴って入出力機能を変更する場合や複数のセンサ端末動作を一括変更する場合など、各種保守作業を容易に行うことが可能になる。また、マイコンの提供する豊富な機能を自由に利用できることから、利用形態にあわせて各種処理機能を端末に付与することが可能となる。

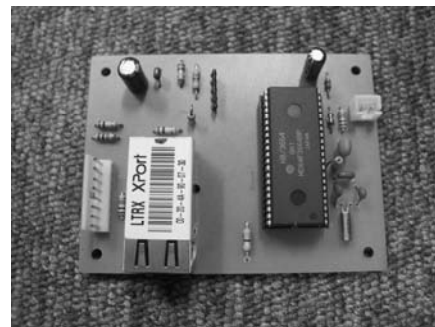
### 2. 3 通信方式の検討

通信デバイスは、デバイス固有の通信規格とRS-232C通信を相互に変換する機能を有し、1:Nの通信に対応可能なものとする。

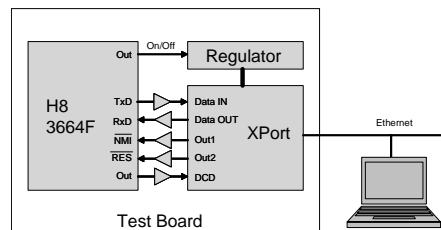
センサ端末の利用場面、利用方法によっては、通信の信頼性の面から有線接続が望ましい場合が想定される。有線接続による通信では、通信線の敷設および電源の確保の問題が考えられる。通信線の敷設は避けることができない問題であるが、有線LANとPoE対応の機器を組み合わせることで、電源確保の問題が解決可能であるため、本年度は、有線LANに対応したシリアル変換通信端末を活用することとした。PoEとは、通常の有線LANで使用するUTPケーブルにより電力供給を行う技術であり、データ通信に使う通信線で電力を供給する方法とデータ通信に使わない通信線で電力を供給する2種類の方法がある。定格電圧は48[V]であり、15.4[W](44[V]×350[mA])の電力供給を連続的に行うことが可能である<sup>[2]</sup>。定格電圧が48[V]と高いため、マイコン等に直接電力供給を行うことは難しいが、PoE受電用電源モジュールや市販の受電アダプタを活用すれば、PoEによるマイコンへの電力供給が可能となる。なお、センサ端末の設置および通信環境の整備の面からは、無線による通信が望ましい場合もあり、各種無線通信に対応した通信デバイスも販売されている。無線に対応したセンサ端末の開発に関しては今後の課題としたい。

## 3. 有線LANセンサ端末の試作

開発する端末に関する基礎的知見を得ることを目的として、シリアルーEthernet変換デバイス(LANTRONIX社製XPort03)<sup>[3]</sup>とマイコン(ルネサステクノロジ社製H8/3664F)<sup>[4]</sup>を使用したセンサ端末を試作した。各種マイコンにより、TCP/IP等の通信機能を実装することも可能であるが、通信にCPU能力を消費すること、ネットワー



a) 試作回路



b) 回路構成の概要

図1 試作回路とその構成

表1 試作センサ端末の仕様

|         |   |
|---------|---|
| CPU     | H8/3664F(HD64F3664)                           |
| クロック    | 16MHz   |
| 消費電流*   | 低消費電力状態：800uA程度<br>通常動作時：250mA程度              |
| 通信プロトコル | TCP,UDP                                       |
| 汎用入出力   | 入出力：23点<br>入力：4点                              |
| AD変換    | 4点 (汎用入力と兼用)                                  |
| 通信速度    | RS232C: 38400bps(基板内部)<br>Ethernet:10/100Mbps |

\*電源電圧により変動。DC4.0Vにおける実測値

ク経由でのプログラム書き換えへの対応が難しいなどの問題がある。

XPortには動作設定可能な汎用入出力が3端子あり、TCP、UDP通信に対応している。最大消費電流は約270[mA]で、常時動作させた場合、バッテリーによる長時間駆動には不向きである。なお、Ethernet経由の通信に関する全ての処理は、XPortが行うため、周辺機器はシリアル通信機能を実装するのみで良い。

H8マイコンは、センサ端末にデジタル入出力機能およびAD変換機能を持たせること、並びに各種データ処理能力を付与することを目的として使用する。この他にも小型のマイコンは多数あるが、次の理由からH8/3664Fマイコンを利用することとした。

- シリアル通信によるオンボードプログラム書き換えに対応していること
- 時計用タイムベース機能を活用することにより時間の管理が可能であること
- 低消費電力モードに移行することにより電力消費を軽減できること

試作回路と回路構成の概要を図1に示す。表1に試作



したセンサ端末の基本仕様を示す。試作回路では、バッテリーによる長時間駆動に対応するため、H8マイコンからXPortへの電力供給を制御可能な構成としている。また、H8マイコンの動作プログラムの書き換えに関しては、XPortの汎用出力とシリアル通信機能を併用することにより実現している。試作した回路を実際に使用する場合、用途に合わせた周辺回路およびセンサの接続が必要となるが、現段階では、時間管理、電源遮断、低消費電力モードへの移行、端末の通信などの基本動作のみ実装した。なお、表1の低消費電力状態とは、H8マイコンの動作を低消費電力モードにすると共に、XPortへの電力供給を遮断した状態のことを指す。低消費電力状態での消費電流の殆どは、抵抗による損失であるため、回路構成を見直すことにより更なる消費電流の低減が期待できる。

#### 4. センサ端末管理ソフトウェアの開発

センサ端末の管理を行うための基礎的ソフトウェアを開発した。開発したソフトウェアを活用することにより、ネットワークに接続されたセンサ端末を検出、設定することが可能である。

##### 4. 1 センサ端末の検出と通信設定

センサ端末を検出する手法としては、ネットワーク内に存在するXPortを検出することにより行う。通常、XPortの検出、設定には付属の専用ソフトウェアを使用するが、より簡便にセンサ端末の動作設定を行うため、XPortの仕様に基づく独自プログラムを開発し、必要な機能を実現した。図2に管理ソフトウェアの画面を示す。図では管理ソフトウェアが2つのセンサ端末を検出しており、センサ端末のIPアドレスと、MACアドレスが表示されている。従って、DHCP機能を利用している場合でも、MACアドレスから、センサ端末を特定することが可能である。

##### 4. 2 センサ端末への動作プログラムの書き込み

センサ端末上に実装されたH8マイコンの動作をネットワーク経由で変更するための機能を実装し、正常にプログラムの書き込みが行えることを確認した。図3にセンサ端末管理ソフトウェアにおける書き込みフローを示す。

書き込みは、管理ソフトウェアで検出されたセンサ端末をリストから選択し、ポップアップメニューに従い操作するだけで自動的に開始、終了する。なお、プログラム書き込み時には、管理ソフトウェアからセンサ端末に接続を行うため、あらかじめXPortがサーバとして動作するように設定しておく必要がある。

#### 5. まとめ

製造現場にある既存生産設備のハード・ソフト両面の変更を伴わない、外付け型の監視システムの開発するため、市販のシリアル-Ethernet変換デバイスとマイコンを使用した有線LAN接続可能なセンサ端末を試作した。また、試作したセンサ端末の各種動作を設定するための管理ソフトウェアを開発し、端末の通信設定およびマイコ

ンへのプログラム書き込みがネットワーク経由で行えることを確認した。使用した、シリアル-Ethernet変換デバイスの各種設定方法は同社が製造している無線LAN対応の通信ユニットと酷似しており、今回試作した端末を無線LANへ対応させることも比較的容易であると考えられる。今後は、試作端末の回路構成の見直しや周辺回路の追加などを検討すると共に、無線通信へ対応したセンサ端末の試作を行う。また、装置稼働状態を監視するための管理、監視ソフトウェアを開発し、実際の製造現場におけるセンサ端末の動作を確認する。

#### 文 献

- [1] 総務省ユビキタスネットワーク技術に関する調査研究会, "ユビキタスネットワークの実現に向けて最終報告", 2004.7
- [2] 例えば, <http://telec.org/feature/feature10.html>など
- [3] LANTRONIX Inc, XPort™ User Guide, 2006
- [4] ルネサステクノロジ, "H8/3664グループハードウェアマニュアル", 2006.3

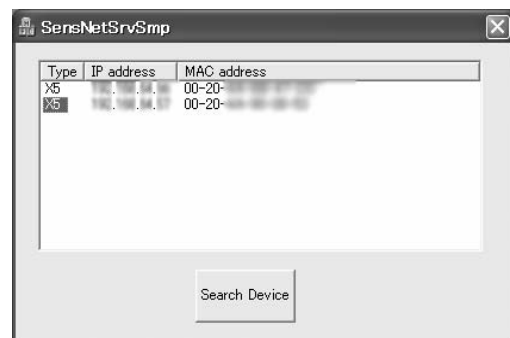


図2 センサ端末を検出した様子

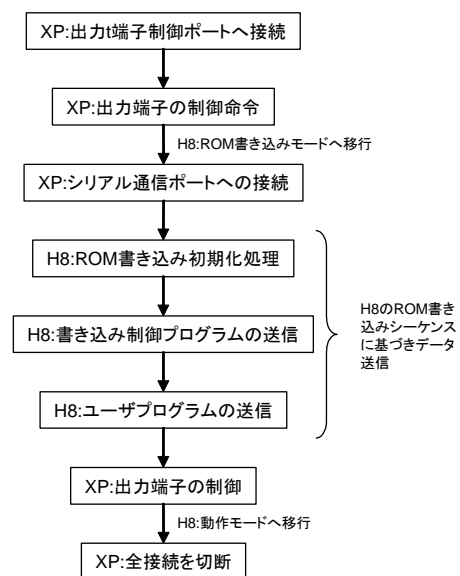


図3 動作プログラムの書き込みの流れ

# フレキシブル基板を用いた静電容量型屈曲センサの開発

西嶋 隆 山本晃生\* 樋口俊郎\* 稲葉昭夫

## A Capacitance type Bending Sensor using Flexible Printed Circuit Film

Takashi NISHIJIMA Akio YAMAMOTO Toshiro HIGUCHI Akio INABA

**あらまし** FPC (Flexible Printed Circuit) フィルムを用いた薄型・軽量の静電容量型の屈曲センサを開発した。屈曲センサは厚さ約100 $\mu\text{m}$ の一对のFPCフィルムで構成し、FPCフィルム内部には電極幅60 $\mu\text{m}$ の三相結線した平行電極が160 $\mu\text{m}$ ピッチで埋め込んである。本センサはこの一对のFPCフィルムからなる6端子間の静電容量が屈曲によって変化し、それを検出することでセンサ全体の屈曲を計測する。本報では、開発した屈曲センサの動作原理、製作方法及び、性能評価実験について述べる。今回試作した屈曲センサでは、屈曲範囲 $\pm 0.66\text{rad}$ の範囲において、最大誤差0.069radの性能を得た。

**キーワード** 静電容量, 屈曲センサ, FPCフィルム

### 1. 緒言

屈曲センサは、人の関節などのように、屈曲の中心軸が機械的に取り出すことが困難な場合において有効である。例えば、人間工学における人体の腕関節や足関節などの関節角度の検出やVR分野における入力デバイス等に用いられ、商品化されているものもある<sup>[1,2]</sup>。

これらの従来の屈曲センサに用いられる基本原理は、歪ゲージ式による電気抵抗変化、導電性ゴムの抵抗変化、圧電フィルムの圧電効果、光ファイバの光減衰等を応用したものが知られている。

本報では、静電フィルムモータ<sup>[3]</sup>と同様の電極構造を有するFPCフィルムを用いた、非常に軽量・薄型な特徴を有する、静電容量型の屈曲センサを開発したので、その基本原理と製作方法及びプロトタイプを用いた実験について報告する。

### 2. 原理

#### 2. 1 基本構成

図1に本センサに用いるFPC(Flexible Printed Circuit) フィルムの写真を示す。基本構成はこのフィルムを2枚用い、互いに重ね合わせたものである。2枚のFPCフィルム内部には、三相結線された帯状の平行電極が配置されている。電極幅は60 $\mu\text{m}$ 、電極ピッチ $p$ は160 $\mu\text{m}$ 、寸法は長さ120mm、幅20mm、厚さ約100 $\mu\text{m}$ である。フィルム素材はポリイミド、電極は銅であり、薄型、柔軟である。

一对のフィルムは片方の端面で接着されており、もう一方の端面は拘束せず自由となっている。図2にセンサを平坦な状態から屈曲させた時のフィルム断面の模式図を

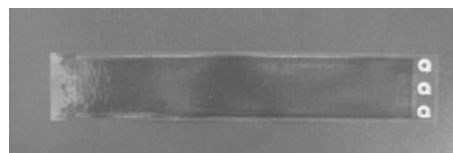


図1 屈曲センサに用いるFPCフィルム

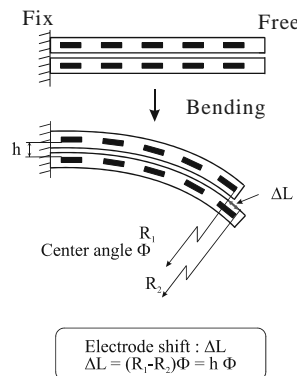


図2 センサを屈曲させた時の模式図

示す。同図のように、2枚のFPC基板の曲率半径が異なるため、端面では長さ $h\phi$ の相対的な電極のずれ（以降、電極シフトとする）が生じる。ここで、 $h$ は電極表面間の距離、 $\phi$ は曲げ角度（外側のフィルムの中心角）である。本センサは、このように曲げに応じてフィルム全体にわたる電極シフトが生じ、その結果生じる2対のFPCフィルムで構成される6端子間の容量係数の変動から、センサの中心角を検出する。

#### 2. 2 FPCフィルムの6端子間容量係数行列

##### 2. 2. 1 平坦な状態の容量係数行列

2枚のFPCフィルムを対向させ重ね合わせた初期状態及び、片方の基板を電極長さ方向の垂直方向に $x$ 移動した

\* 東京大学大学院工学系研究科

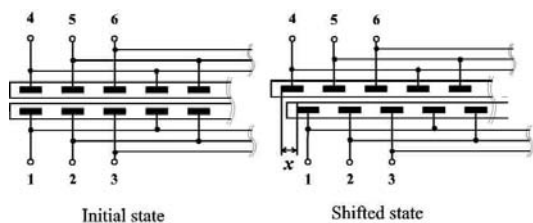


図3 センサを屈曲させた時の模式図

状態のFPCフィルムの断面模式図を図3に示す。2枚のFPC基板の6端子からなる静電容量行列は、片方のFPC基板の移動量*x*に関して次式のように表される<sup>[4]</sup>。

$$C(\theta_e) = \begin{bmatrix} C_{st}(\theta_e) & C_t(\theta_e) & C_t(\theta_e) \\ C_t(\theta_e) & C_{st}(\theta_e) & C_t(\theta_e) \\ C_t(\theta_e) & C_t(\theta_e) & C_{st}(\theta_e) \\ C_m(\theta_e) & C_m(\theta_e - 2\pi/3) & C_m(\theta_e + 2\pi/3) \\ C_m(\theta_e + 2\pi/3) & C_m(\theta_e) & C_m(\theta_e - 2\pi/3) \\ C_m(\theta_e - 2\pi/3) & C_m(\theta_e + 2\pi/3) & C_m(\theta_e) \\ C_m(\theta_e) & C_m(\theta_e + 2\pi/3) & C_m(\theta_e - 2\pi/3) \\ C_m(\theta_e - 2\pi/3) & C_m(\theta_e) & C_m(\theta_e + 2\pi/3) \\ C_m(\theta_e + 2\pi/3) & C_m(\theta_e - 2\pi/3) & C_m(\theta_e) \\ C_{sl}(\theta_e) & C_l(\theta_e) & C_l(\theta_e) \\ C_l(\theta_e) & C_{sl}(\theta_e) & C_l(\theta_e) \\ C_l(\theta_e) & C_l(\theta_e) & C_{sl}(\theta_e) \end{bmatrix} \quad (1)$$

容量係数は電極配置の対象性から、*x*が3ピッチ移動する毎に同じ相対位置となる。このことから、式(1)では*x*の電極3ピッチ分の移動を1周期とする電気角 $\theta_e$ を用いて表記している。すなわち*x*と $\theta_e$ の関係は、

$$\theta_e = \frac{2\pi}{3p} x \quad (2)$$

である。なお、 $C_{st}$ 、 $C_{sl}$ 、 $C_t$ 、 $C_l$ は、電極の構造上 $\theta_e$ の1次、2次の周期性を除外できると考えられ、各成分を次のように記述する。

$$\begin{aligned} C_{st}(\theta_e) &= C_{st0} + C_{st3} \cos(3\theta_e) \\ C_{sl}(\theta_e) &= C_{sl0} + C_{sl3} \cos(3\theta_e) \\ C_t(\theta_e) &= -C_{t0} - C_{t3} \cos(3\theta_e) \\ C_l(\theta_e) &= -C_{l0} - C_{l3} \cos(3\theta_e) \\ C_m(\theta_e) &= -C_{m0} - C_{m1} \cos(\theta_e) - C_{m2} \cos(2\theta_e) - C_{m3} \cos(3\theta_e) \end{aligned} \quad (3)$$

### 2. 2. 2 一定曲率で曲がった状態の容量係数行列

センサ両端を被測定物に固定して曲げ角を計測する場合、センサは複雑な形状に曲げられることはなく、おおよそ一定の曲率で曲げられると仮定し、ここでは一定曲率で曲げられた状態の容量係数行列を求める。

図4に曲げたセンサの電極シフトを示す模式図を示す。ここで、センサを曲げたときにセンサ端面に生じる電極シフトを電気角で表した量を $\theta_\phi$ と定義する。すなわち、

$$\theta_e = \frac{2\pi}{3p} h\Phi \quad (4)$$

である。いま図4のように、曲げたセンサを*N*分割して考えると、一定曲率で曲げられているため電極シフトは1次関数的に増加し、第*j*番目の位置での電極シフト $\theta_j$ は、

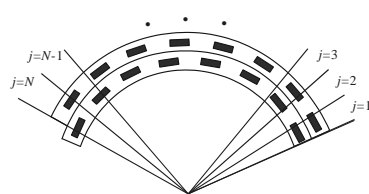


図4 曲げたセンサの電極シフトを示す模式図

$$\theta_j = \frac{j}{N} \theta_\phi \quad (5)$$

となる。*N*を十分に大きくすれば、微小部分の各要素の形状は平坦であると仮定でき、微小部分の静電容量モデル $C_j(\theta_e)$ は平坦な状態の静電容量モデル $C(\theta_e)$ を用いて、次式となる。

$$C_j(\theta_e, \theta_\phi) = \frac{1}{N} C(\theta_e + \frac{j}{N} \theta_\phi) \quad (6)$$

上式は、平坦な状態の静電容量行列における電極位置 $\theta_e$ に、曲げることで生じる移動子の移動量 $\theta$ を加算したものである。全体の静電容量モデル $C_b(\theta_e, \theta_\phi)$ は、*j*=1から*N*までの総和で表すことができ、積分形式で示すと

$$C_b(\theta_e, \theta_\phi) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C(\theta_e + \frac{j}{N} \theta_\phi) = \frac{1}{\theta_\phi} \int_0^{\theta_\phi} C(\theta_e + \eta) d\eta \quad (7)$$

となる。上式が一定曲率で曲げた状態の容量係数行列である。

### 2. 3 センサ信号の検出方法

片方のFPCフィルムの端子1~3に振幅 $v_s$ 、各周波数 $\omega_s$ の三相正弦波のセンサ信号を入力し、もう一方の端子4~5はすべて接地しているとする、センサ入力信号の印加電圧ベクトル $v_s$ は次式となる。

$$v_s = v[\cos(\omega_s t), \cos(\omega_s t - 2\pi/3), \cos(\omega_s t + 2\pi/3), 0, 0, 0]^T \quad (8)$$

各端子に流れる電流を電流ベクトル $i_s$ とすると、 $i_s$ 、 $v_s$ 、 $C_b$ の関係より

$$i_s = \frac{d}{dt} (C_b v_s) \quad (9)$$

が成立する。これを解くと各端子に流れる電流 $i_s = [i_{s1}, i_{s2}, i_{s3}, i_{s4}, i_{s5}, i_{s6}]^T$ を得ることができる。

$i_{s4}$ 、 $i_{s5}$ 、 $i_{s6}$ を求めると三相对称( $i_{s4} + i_{s5} + i_{s6} = 0$ )となり、2枚のフィルムは端面で固定されているため、移動量 $\theta_e = 0$ を代入し、 $i_{s4}$ について示すと

$$i_{s4} = -\frac{3v_s \omega_s}{\theta_\phi} \sin\left(\frac{\theta_\phi}{2}\right) \left( C_{m1} \cos(\omega_s t - \frac{\theta_\phi}{2}) + C_{m2} \cos\left(\frac{\theta_\phi}{2}\right) \cos(\omega_s t - \theta_\phi) \right) \quad (10)$$

となる。また、電流 $i_{s4}$ の位相とセンサ入力信号 $v_{s1}$ の位相差 $\phi$ は、

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{C_{m1} \sin(-\frac{\theta_\phi}{2}) + C_{m2} \cos(\frac{\theta_\phi}{2}) \sin(-\theta_\phi)}{C_{m1} \cos(-\frac{\theta_\phi}{2}) + C_{m2} \cos(\frac{\theta_\phi}{2}) \cos(-\theta_\phi)} \right) \quad (11)$$

となる。

上式の位相差 $\phi$ はセンサ曲げ角度 $\Phi$ に依存しており、この位相差から曲げ角度 $\Phi$ を求めることができる。

## 2. 4 容量係数の同定

式11を評価するため、式3の容量係数を同定した。計測方法は2枚のFPCフィルムの相対位置を16μm毎に移動させ、その時の容量係数を測定した。結果を以下に示す。単位はpFである。

$$\begin{cases} C_{st0} = 326.4 \\ C_{st3} = 1.2 \\ C_{sl0} = 407.3 \\ C_{sl3} = 1.2 \\ C_{t0} = 102.7 \\ C_{t3} = 2.1 \end{cases} \begin{cases} C_{l0} = 144.0 \\ C_{l3} = 2.0 \\ C_{m0} = 36.4 \\ C_{m1} = 29.2 \\ C_{m2} = 4.0 \\ C_{m3} = 2.3 \end{cases} \quad (12)$$

## 3. 原理に基づくセンサの精度

式11をもとに、センサの曲げによる電極シフト $\theta_\phi$ とセンサ出力 $\phi$  (位相差) を計算した結果を図5に示す。

下横軸はセンサの曲げによる電極シフト $\theta_\phi$ を電気角で示している。縦軸はセンサ出力電流 $i_{s4}$ の位相とセンサ入力信号 $v_{s1}$ の位相差 $\phi$ を示す。グラフ上横軸は、電極ピッチ $p=160\mu\text{m}$ 、電極表面間距離 $h=100\mu\text{m}$ とした場合における、センサの曲げ角度 $\Phi$ を示している。解析によればセンサ出力 (位相差 $\phi$ ) は曲げ角 $\Phi$ に対し若干の非線形性をもつことがわかる。

センサ出力はここで求められた曲線をもとに校正すればよいが、この非線形性はセンサの寸法や形状等に依存するため実装上問題であり、センサ出力はセンサの曲げ角度 $\Phi$ に線形であるとして信号処理を行うことが便利である。このように線形な信号処理を行った場合では図6に示すような直線をもとに、センサ出力の位相差 $\phi$ からセンサの曲げ角度 $\Phi$ を計算することになる。この場合、例えば図6のように、センサのフルスケールを中心角 $-2.4[\text{rad}]$ から $+2.4[\text{rad}]$ の範囲とすれば、最大で約 $0.117[\text{rad}]$ の位相差出力の誤差が生じる。この誤差は電極ピッチ $p=160\mu\text{m}$ 、電極表面間距離 $h=100\mu\text{m}$ としたセンサの場合では、中心角として約 $10.5$ 度になると計算できる。しかし、例えば図7のように曲げ角度 $\Phi$ のフルスケールを中心角 $\Phi$ を $\pm 0.8[\text{rad}]$ とすれば、線形にフィッティングしても位相差出力の誤差は約 $0.023[\text{rad}]$ 、中心角にして約 $2.05$ 度となる。

## 4. センサシステムの製作

### 4. 1 センサの製作

図8にセンサの組み立て方法を示す。各FPC基板の一端は接着固定し、もう一端は自由とする。この2枚のフィルムをその外側から潤滑用のテフロンテープを挟み、外部からラミネートフィルムで密着させる。図9に試作した、センサの外観を示す。

### 4. 2 センサ信号検出回路

図10に検出回路のブロック図を示す。三相正弦波 (基

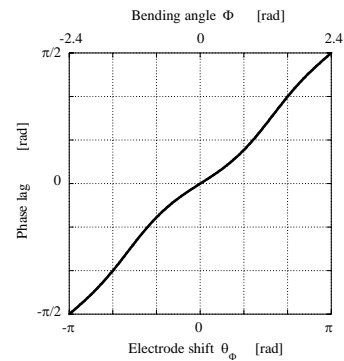


図5 曲げたセンサの電極シフトを示す模式図

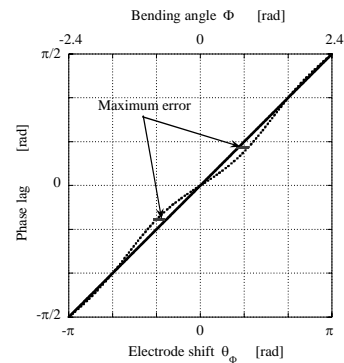


図6 センサ出力の線形化に伴う誤差 (フルスケールをセンサ中心角 $\pm 2.4[\text{rad}]$ とした時)

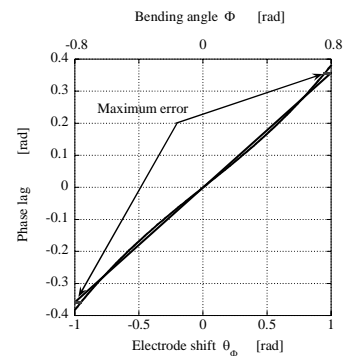


図7 センサ出力の線形化に伴う誤差 (フルスケールをセンサ中心角 $\pm 1[\text{rad}]$ とした時)

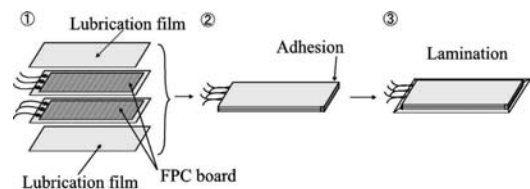


図8 センサの組み立て方法

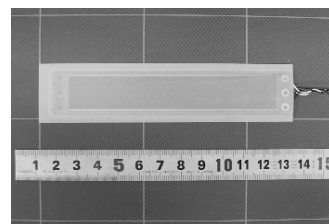


図9 試作したセンサの写真

準信号)の電圧振幅は $5V_{p-p}$ 、周波数は320kHzとした。センサ信号として端子4の電流を電圧信号に変換し検出した。基準信号とセンサ信号は位相比較器に入力し、その出力をマイコン(H83664F)へ送る。位相比較器の出力は2つあり、一つは基準信号とセンサ信号の位相 $4\pi$ を周期とする0~5Vの三角波のアナログ電圧であり、もう一方は、三角波の傾きの正、負を判別する0or5Vのデジタル信号である。この二つの繰り返し信号をマイコンで処理することで、連続的な位相変化情報を得る。

## 5. 実験

### 5. 1 精度試験

試作した屈曲センサの曲げ角度に対するセンサ出力を測定した。測定では、曲げ角度を正負の両方に振ることが可能な実験装置を用意し、曲げ角度 $\phi$ が約 $\pm 0.66[\text{rad}]$ の範囲において実際の曲げ角度とセンサ出力を比較した。図11は曲げ角度の設定方法の模式図であり、曲げ角 $\phi$ はセンサが一定曲率であるとすれば次式で計算できる。

$$\phi = 2 \tan^{-1} \left( \frac{L}{R-h} \right) \quad (13)$$

測定結果を図12に示す。実験は、まずセンサを一方向(+方向)に撓ませ(プロット1)、次に逆方向(-方向)に撓ませ(プロット2)、初期状態へ戻した(プロット3)。

出力の直線性は認められるが、本試作機では、最大 $0.069[\text{rad}]$ の誤差が確認された。特にセンサを一旦屈曲させ、平坦な形状に戻すときに大きな誤差が認められる。これらは、平坦な形状に戻すときに2枚のFPCフィルム間の摩擦により、FPCフィルムがスムーズに動かず、部分的に生じるフィルム間の隙間や撓みが原因であると考えられる。センサの直線性を向上させるためには、フィルム間の潤滑を向上させるための組み立て方法の更なる検討が必要であると考えられる。

## 6. まとめ

FPCフィルムを用いた新しい静電容量型屈曲センサを開発し、その原理を明らかにした。センサシステム(屈曲センサと信号検出回路)を試作し、実験を行った結果、精度は曲げ角 $\phi \pm 0.66[\text{rad}]$ の範囲において、最大誤差は約 $0.069[\text{rad}] (=3.9^\circ)$ であり、直線性の向上にはセンサの組み立て方法、FPC基板の潤滑方法が必要であるという知見を得た。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、機械設備購入のために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。

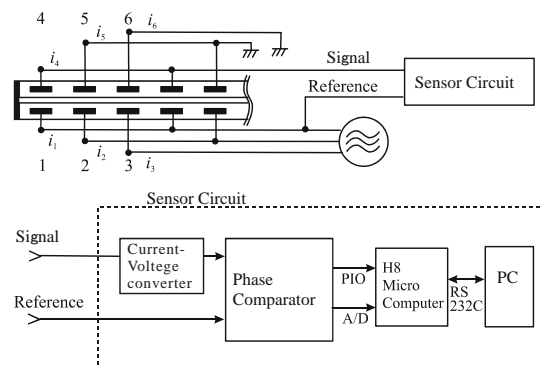


図10 検出回路のブロック図

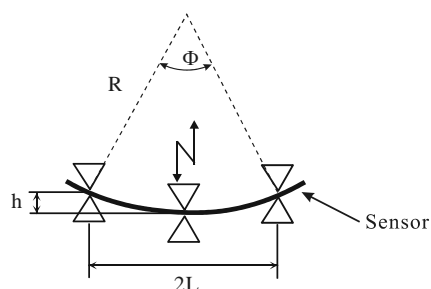


図11 計測方法

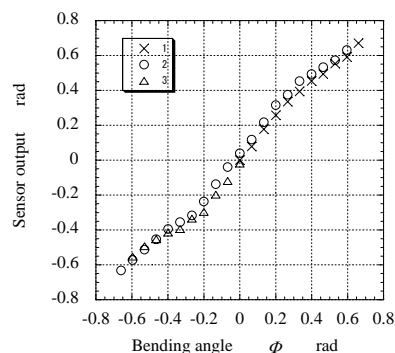


図12 精度試験結果

## 文 献

- [1] Flexible Goniometer System 製品カタログ : Biometrics Ltd [Http://www.biometricsltd.com/bonio.htm](http://www.biometricsltd.com/bonio.htm)
- [2] CyberGloveThe Virtual Technology Inc. [Http://www.Vrealities.com/dg5glove.html](http://www.Vrealities.com/dg5glove.html)
- [3] 新野俊樹, 樋口俊郎, 柄川素: 交流駆動両電極形静電モータ, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.1, pp.97-102, (1997)
- [4] 西嶋隆, 山本晃生, 樋口俊郎, 稲葉昭夫: 柔軟な構造を有する静電フィルムアクチュエータの開発 - 推力特性評価 -, 精密工学会誌, Vol.69, No.3, pp.443-447 (2003)

# アグリロボット要素技術の研究(第2報)

## — 圃場におけるロボットを利用した除草実験 —

光井 輝彰    小林 孝浩\*    鍵谷 俊樹\*\*    横山 哲也    稲葉 昭夫

### Development of Basic Technologies for Agricultural Robots (2<sup>nd</sup> report) - Field Experiment Using Robot for Weeding (H18) -

Teruaki MITSUI    Takahiro KOBAYASHI\*    Toshiki KAGIYA\*\*    Tetsuya YOKOYAMA    Akio INABA

**あらまし** 本研究は農作業の補助や農産物の高品質化など、将来的に農業分野でロボット技術を活用するために必要となる要素技術について調査・研究を行う。これまでに、県内に多い中山間地等の比較的小規模な圃場への導入を想定した小型ロボットの移動機構について開発を行ってきた。本報では、このロボットを利用した水田内除草作業の有効性を圃場実験の結果を踏まえて述べ、農業分野におけるロボット活用の一例を示す。

**キーワード** ロボット, 農業, 除草, 水田, 水稻有機栽培

#### 1. はじめに

日本の農業を巡る情勢は、食料自給率が依然と低い水準にあることや、農業従事者の高齢化が著しいなど深刻な状態にある。また、食の安全や環境問題に関する意識の高まりの中で、環境保全型農業<sup>[1]</sup>やクリーン農業<sup>[2]</sup>を推進する動きが高まっている。水稻栽培についても同様であり、有機栽培をはじめとして各種の環境に配慮したクリーン農法が試みられている。しかし、ここで大きな問題となるのが雑草対策である。例えば、農林水産省の統計情報<sup>[3]</sup>では、環境保全型有機栽培農家の生産労働時間の1/4以上を除草作業が占めており、全作業の中で最大となっている。本報ではこの除草作業を、これまでに開発したロボットの要素技術<sup>[4]</sup>を利用して行い、農業分野におけるロボット利用の有効性を示す。実験は田植え後の水田で実際に行い、ロボットによる除草作業の結果を残草調査により調べた。さらに、稲の収穫期まで調査を継続し、除草作業終了後の残存雑草等の影響について稲の収量から考察した。

る。つまり、ここでの除草作業は水田内を走行するだけである。除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<sup>[5]</sup>

等により得られると推測している。雑草を直接取り除くというよりも、雑草を弱らせて繁殖を抑制することが、結果的に除草作業につながる。ロボットは水田内の稲を跨いで走行するため、稲が生長して背丈が伸びてくると、

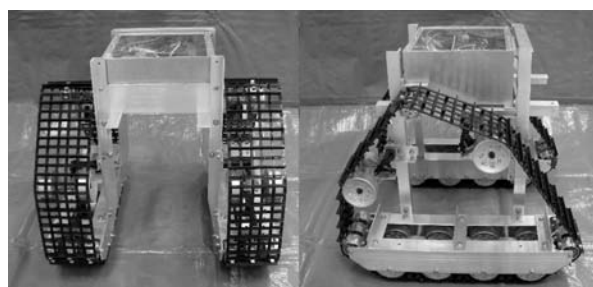


図1 移動機構

#### 2. ロボットによる除草作業

ロボットはクローラ部分で稲条を跨いで水田内を走行する。図1にクローラユニットの形状を、緒元を表1に示す。ロボットは除草のための専用の機構を持たないが、このクローラによる水田内の走行が、除草効果を発揮す

表1 ロボット諸元

|       | 実験1               | 実験2    |
|-------|-------------------|--------|
| 全長    | 400mm             | 1000mm |
| 全幅    | 400mm(200mm)      |        |
| 高さ    | 370mm(280mm)      |        |
| 全備重量  | 5000g             | 5600g  |
| モーター型 | 380               |        |
| ギア比   | 59.77             |        |
| バッテリー | Ni-MH3300mAh 7.2V |        |
| クローラ幅 | 90mm              |        |

( ): クローラベルト内側

\* 情報科学芸術大学院大学

\*\* 岐阜県中山間農業研究所

水田内を走行することは困難になる。しかし、稲がある程度成長してしまえば、稲の生育に影響するような雑草害はほとんど問題にならないと考えられる。そのため、田植え後の稲を跨げなくなるまでの数週間に除草作業を実施することを想定する。このロボットによる除草作業の有効性を確認するために、実際の田植え後の水田でロボットによる除草作業を行い、走行条件の違いによる除草効果について調べる。

### 3. ロボットによる除草実験 1

実験圃場は岐阜県中山間農業研究所（飛騨市古川町）の研究圃場を使用した。耕種概要は表2（実験1）の地域慣行に近い作型とした。表3（実験1）のとおり移植後の10日間にロボットによる除草作業を実施して、残草調査を行った。この実験結果は、次の長期実験（除草実験2）におけるロボットの走行条件設定の参考とする。

#### 3. 1 実験用ロボットと走行条件の比較 1

ロボットは防水性を考慮して制御基盤やモータ等の電装部品を高い位置に設置しているため重心が高く、路面

表2 耕種概要

|      | 実験1                              | 実験2                              |
|------|----------------------------------|----------------------------------|
| 代かき  | 2006.5.11                        | 2006.5.31                        |
| 移植   | 2006.5.17                        | 2006.6.1                         |
| 移植方法 | 手植え                              | 手植え                              |
| 苗/株  | 4本                               | 4本                               |
| 品種   | コシヒカリ                            | ひだほまれ                            |
| 施肥   | 基肥なし 追肥(ナタレット0.4kg/a)            |                                  |
| 栽植密度 | 22.2 株/m <sup>2</sup><br>30x15cm | 22.2 株/m <sup>2</sup><br>30x15cm |

表3 雑草調査方法

|        | 実験1                  | 実験2                   |
|--------|----------------------|-----------------------|
| 除草作業期間 | 2006.5.22-31<br>10日間 | 2006.6.8-7.19<br>42日間 |
| 残草調査   | 2006.6.1             | 2006.7.20             |
| 移植後日数  | 15日                  | 49日                   |
| 優占雑草   | ホタルイ<br>ノビエ          | ホタルイ<br>コナギ           |

表4 除草作業の比較条件（実験1）

| 試験区 | 作業日時        | 作業回数    |
|-----|-------------|---------|
| N1  | 無処理         |         |
| C7  | 10時         | 1往復/日   |
| C14 | 10時, 14時    | 2往復/日   |
| N2  | 無処理         |         |
| W1  | 10時(月曜)     | 1.5往復/週 |
| W2  | 10時(月曜, 木曜) | 3往復/週   |

表5 雑草調査結果（実験1）

| 試験区 | ホタルイ(本/m <sup>2</sup> ) | ノビエ(本/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-------------------------|------------------------|
| N1  | 256 (±122) b            | 12 (±4)                |
| C7  | 39 (±24) a              | 3 (±2)                 |
| C14 | 45 (±43) a              | 7 (±12)                |
| N2  | 240 (±14) b             | 12 (±8)                |
| W1  | 20 (±16) a              | 3 (±5)                 |
| W2  | 53 (±27) a              | 0                      |

a,b : Tukey-Kramer Test (5%)

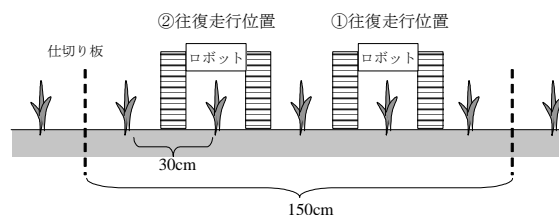
の凹凸でバランスを崩しやすい。そのため、図2に示すように2台のクローラユニットを連結して用いる。除草効果の比較をロボットの走行回数と走行位置について行うため、実験圃場は図3のように6区画に分ける。各区には攪拌した土壌の影響が隣接区に及ばないように仕切り板を入れ、苗4本を1株とする稲列5mを5列づつ手で植える。除草作業はロボットが苗の条間を確実に走行するようにマニュアル操作で行い、走行による除草効果を均一に保つため、旋回動作は行わずに前進と後進のみで行う。走行速度は約35cm/sに設定する。各区の走行（除草）条件を表4に示す。また、条間走行（Area C）と全面走行（Area W）のイメージを図4に示す。



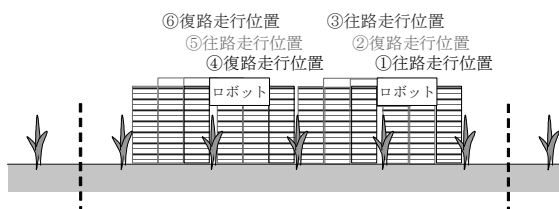
図2 除草作業中のロボット（実験1）



図3 試験圃場



試験区C: 稲の条間の中央部分を除草作業（走行）する試験区



試験区W: 稲の条間全面を除草作業（走行）する試験区

図4 ロボットの除草作業イメージ



図5 水抜き後の試験圃場の土壌状態 (実験1)

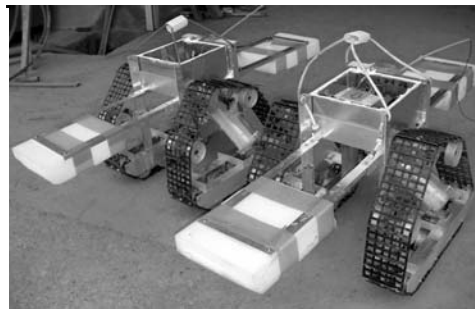


図6 除草実験用ロボット (実験2)

表6 除草作業の比較条件 (実験2)

| 試験区 | 作業日         | 作業回数    |
|-----|-------------|---------|
| N1  | 無処理         |         |
| C2  | 月曜, 木曜      | 2往復/週   |
| C4  | 月, 火, 木, 金曜 | 4往復/週   |
| N2  | 無処理         |         |
| W1  | 月曜          | 1.5往復/週 |
| W2  | 月曜, 木曜      | 3往復/週   |

表7 雑草調査結果 (実験2)

| 試験区 | ホタルイ[本/m <sup>2</sup> ] | コナギ[本/m <sup>2</sup> ] |
|-----|-------------------------|------------------------|
| N1  | 300 (±118) a            | 588 (±118) a           |
| C2  | 28 (±15) b              | 72 (±8) b              |
| C4  | 42 (±8) b               | 143 (±40) b            |
| N2  | 340 (±84) a             | 711 (±214) a           |
| W1  | 9 (±12) b               | 41 (±36) b             |
| W2  | 7 (±3) b                | 4 (±2) b               |

a,b : Tukey-Kramer Test (5%)

### 3. 2 除草実験1の結果

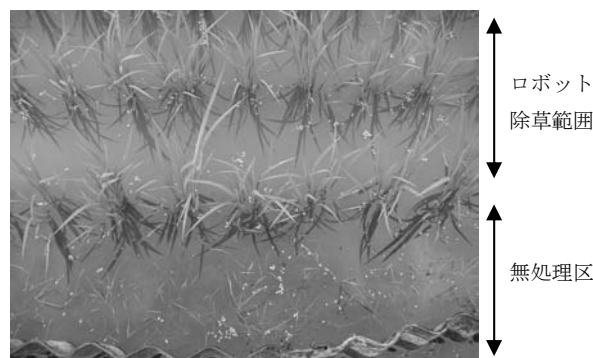
表5に残草調査の結果を示す。優占している雑草は、ホタルイとノビエであった。ホタルイでは条間走行区 (C7, C14) と全面走行区 (W1, W2) 共に無処理区 (N1, N2) と比較して有意な除草効果が認められた。また、走行 (作業) 条件の違いによる除草効果に関しては有意な差が認められなかった。一方、ノビエについては相対的に本数が少なく、統計的有意差は認められなかった。図5に水抜き後の圃場内土壌の様子を示す。条間の走行部分の土壌が株間部分に堆積している様子が確認できる。これによって、直接クローラで踏んでいない部分についても、初期雑草の繁殖が抑制されることが考えられる。

## 4. ロボットによる除草実験2

除草実験1の終了後、全面走行の比較区 (N2, W1, W2) は欠株部分に苗 (コシヒカリ) を植え直し、条間走行の比較区 (N1, C7, C14) については代掻きの後、表2 (実験2) の耕種概要で実験圃場を再設定した。表3 (実験2) のとおり移植後の42日間にロボットによる除草作業を実施した後、残草調査を行った。その後は、手を加えずに収穫期まで放置して、経過状況を調査した。

### 4. 1 実験用ロボットと走行条件の比較2

除草実験2に使用したロボットの外観を図6に、緒元を表1に示す。連結したクローラユニットではロボットが重く取り扱いが大変なため、実験2ではクローラユニットを1台として前後に転倒防止用のアシストバーを設けて使用する。クローラによる走行回数が半減することになるが、走行条件による除草効果の違いが確認されていないため、条間走行区 (C2, C4) の走行頻度を実験1よりも減らして、週2回と4回に設定する (表6)。除草作業は実験1と同様に前進と後進動作のみをマニュアル操作で行い、走行速度は約45cm/sに設定する。



(1) 試験区C4 (2006.6.30)



(2) 試験区C4 (2006.7.7)



(3) 試験区N1 (2006.7.19)

(4) 試験区C4 (2006.7.19)

図7 ロボットによる除草作業の効果





図8 除草実験後の試験圃場の様子 (2006.8.18)

#### 4. 2 除草実験2の結果

表7に残草調査の結果を示す。今回の優占雑草はホタルイ、コナギであった。各雑草について、条間走行区 (C2, C4) と全面走行区 (W1, W2) 共に、無処理区 (N1, N2) と比較して有意な除草効果が認められた。一方、実験1よりもクローラの走行頻度を減らしたものの、走行条件の違いによる除草効果に関しては有意な差は認められなかった。図7に試験区C4のロボットによる除草作業の経過状況を示す。

#### 4. 3 除草実験後の調査 (収穫期まで)

実験からはロボットの走行による除草効果を確認することが出来た。ただし、この除草作業により水田内の全ての雑草が無くなる訳ではなく、クローラで踏んでいない株間等の部分では雑草が残る割合が多い。これらの部分は、図7の(1)(2)で確認できるように、ある程度は雑草の繁殖が抑制されている。これはロボットの除草作業による水中照度の低下や拡散した土壌の堆積による抑草効果が、株間の雑草にまで及んでいるためと考えられる。しかし、繁殖が抑制されたとはいえ、クローラで直接踏んだ部分は雑草がほとんど無くなるのに対して、小さな雑草は残っており、除草作業終了後はこれらの残存雑草が生長してくる。これらの残存雑草の影響を調べるために、除草実験後は雑草に手を加えず放置して、その後の状況を観測した。図8に経過状況を示す。無処理区 (N1, N2) は除草実験終了時にすでに雑草が生い茂っていたが、8月になるとさらに雑草の勢いが増して、稲の間からあふれ出てきた。条間走行区 (C2) の稲を掻き分けてみると、株間に残った雑草が伸びていることが確認できる。ただし、無処理区と比較するとその量が少ない事が分かる。その後は10月初旬の稲刈りまでの間に、残存雑草は多少増えるものの量的には大きな変化は無かった。稲の生育状況は虫害や病害も無く順調であり、処理区 (C2, C4, W1, W2) では残存雑草による影響も無いようであった。稲刈り後の収量調査の結果を表8に示す。ロボットで除草した処理区は無処理区 (N1, N2) と比較すると明らかに増収し、ロボットによる除草作業の有無が収量に影響していることが分かる。条間走行区 (C2, C4) と比較して全面走行区 (W1, W2) の収量が少ないのは、除草作業中に一部の苗や分けつを踏んだことで、茎数が少ない株や欠株が生じたことが原因と考えられる。条間

表8 収量の比較 (実験2)

| 品種    | 試験区 | 穂数/株          | 収量[kg/a] |
|-------|-----|---------------|----------|
| ひだほまれ | N1  | 8.7 (±1.6) a  | 26.1     |
|       | C2  | 12.9 (±2.8) b | 49.6     |
|       | C4  | 12.3 (±3.3) b | 45.9     |
| コシヒカリ | N2  | 8.0 (±1.4) a  | 23.9     |
|       | W1  | 11.1 (±3.0) b | 42.7     |
|       | W2  | 13.2 (±3.4) b | 36.5     |

a,b : Tukey-Kramer Test (5%)

走行区 (C2, C4) の収量は、慣行栽培と比較すると減収となるが、有機栽培としては許容範囲にあると考える。今後は施肥管理を検討して増収を図りたい。

#### 5. まとめ

田植え後の水稻の有機栽培圃場でロボットを走行させて、その除草効果について調べた。このロボットによる除草作業の効果は無処理区と比較して有意であった。走行条件の違いによる有意差は得られておらず、さらに走行頻度を減らしても除草効果が期待できる。ただし、この除草作業では雑草を完全に無くすわけではなく、株間などに多少の雑草が残る。実験ではこの残存雑草を放置しても、有機栽培米としては適当な収量が獲られた。今後は、除草効果の有効性をより詳細に検証する予定である。同時に、ロボットを活用した水稻のクリーン農業体系を考慮して、ロボットの高機能化を進める予定である。

#### 文 献

- [1] “環境保全型農業”, [http://www.maff.go.jp/soshiki/kambou/joutai/onepoint/public/kan\\_m.html](http://www.maff.go.jp/soshiki/kambou/joutai/onepoint/public/kan_m.html)
- [2] “ぎふクリーン農業”, <http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11435/clean/index.html>
- [3] “環境保全型農業 (稲作) 推進農家の経営分析調査報告H15”, <http://www.tdb.maff.go.jp/toukei/a02smenu?TouID=E023>
- [4] 光井輝彰, 小林孝浩, 田畑克彦, “アグリロボット要素技術の研究”, 岐阜県生産情報研究所研究報告第7号, pp.60-65, 2006
- [5] 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

## 案内ロボットの開発(第3報)

藤井 勝敏      西嶋 隆      棚橋 英樹

山田 俊郎      田中 泰斗      千原 健司      稲葉 昭夫

### Development of a Guide Robot (3<sup>rd</sup> report)

Katsutoshi FUJII    Takashi NISHIJIMA    Hideki TANAHASHI  
Toshio YAMADA    Taito TANAKA    Kenji CHIHARA    Akio INABA

**あらまし** 岐阜県先端科学技術体験センター(サイエンスワールド)に展示する案内ロボットを開発した。本年度は前2報における設計を基に、案内ロボット実機の開発と、行事案内や教育番組等を提供するプレゼンテーション機能にロボットの動作を同調させる管理システムの開発を並行して行った。そして平成18年11月より現地での一般公開を開始した。本報ではこれら一連の経緯および一般公開により得られた知見について報告する。

**キーワード** 案内ロボット, 安全対策, ロボットシミュレータ

#### 1. はじめに

本事業は、人と共存し、人の役に立つロボットの実現を目的に、当研究所における過去のロボット開発経験(二足歩行ロボット”ながらー3”など)を踏まえて、研究成果の実証事例として、一般および学校団体向けの科学技術体験施設である岐阜県先端科学技術体験センター(サイエンスワールド:瑞浪市)で、来館者に対してロボットそのものを展示する目的に加え、来館者とコミュニケーションをとることができるロボットの、企画、設計、製作を一貫して行ってきたものである。

平成16年には、商業施設内を巡回しながら店舗の前で音声による案内をする自走型案内ロボットを開発した。

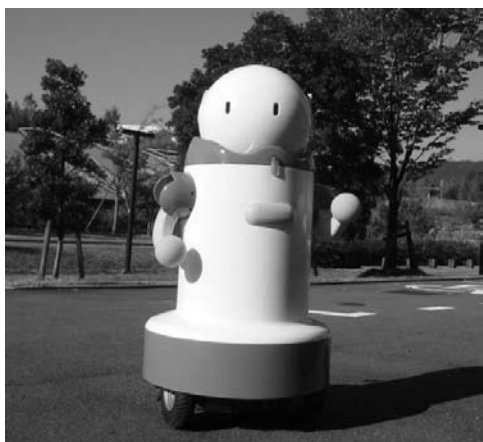


図1 サイエンスワールド案内ロボット

このロボットはJR岐阜駅ACTIVE-G内で10日間の運用実験を行い、開発に必要なプロセス管理・技術と合わせて、一般公開にかかわる安全面・運用面での知見を得た<sup>[1]</sup>。

平成17年には、2005年日本国際博覧会(愛・地球博)会場において133日間21万人の来場者に対して、入場券に組み込まれた無線ICタグの固有番号に対応した画像と音声による岐阜県の観光案内を行い、長期間に渡って、不特定多数の利用者に対して安定的にサービスを提供するための知見を得た<sup>[2]</sup>。

また、同じ平成17年度よりサイエンスワールドでの展示を目的とした案内ロボットの仕様検討を開始し、来館者の年齢層と施設の趣旨・人員配置を鑑みてロボットの機能、外装デザインおよびシステム設計を開始した<sup>[3]</sup>。

今年度はその設計をもとに、実際にロボットを製作し、サイエンスワールドで一般公開を行った。開発に際しては特に安全面に配慮して一般公開に備えた。また、その製作と並行しロボットの設置目的の一つであるロボット技術の解説や行事案内等のサービスを行う管理システムのプログラム開発を行った。本報では、今回開発したロボットの概要と一般公開より得られた知見を報告する。

#### 2. 案内ロボット概要

開発した案内ロボットの外観を図1に、諸元を表1に示す。サイエンスワールドでは、来館者の約6割が小中学生である。そのため、小学生低学年の児童にとって親しみが持てるように寸法(高さ)は95cmとし、全体的に丸みを帯びた形状とした。外装は主にナイロン樹脂製で、素手による打撃程度の衝撃には十分耐えうる強度を確保

表1 案内ロボット諸元

|      |  |
|------|--|
| 寸法   | 95cm   |
| 重量   | 28kg (バッテリー, 外部電源含まず)  |
| 電源   | DC24V (鉛蓄電池または外部電源)  |
| 台車   | Pioneer3 DX(リバスト)<br>ラジオコントロール, TCP/IP制御                           |
| 駆動部  | 6軸(頭部2軸, 腕2軸×2本)   |
| 表示部  | フルカラーLED×10灯<br>(マイコン制御, RS-232C)                                  |
| 音声出力 | 内蔵スピーカ<br>SMARTTALK(沖電気)   |
| センサ類 | レーザー式測域センサ(北陽電気)<br>CCDカメラ×2(モスウェル)<br>RFIDタグリーダ(Alien Technology) |

表2 安全対策

| 対策項目       | 内容  |
|------------|---|
| 注意告知       | 事故防止のための注意事項をロボットの近くに掲示, および定期的に画面に表示                                 |
| 圧迫事故防止     | モータの可動範囲を制限し, 関節の動作時に指を圧迫しない程度の隙間を設定. また鋭角部分に指等が入らないよう発泡素材の充填やゴム等で被覆. |
| 接近検知       | 測域センサが一定距離以下に遮蔽物を検知した場合, サーボ停止  |
| 出力制限と過負荷検知 | モータの出力を必要最小限に設定し, 過電流を検知した場合, サーボ停止.                                  |

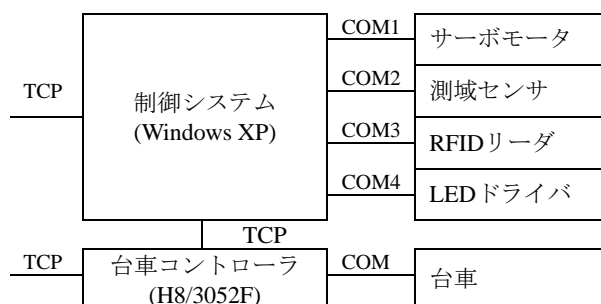


図2 案内ロボットシステム構成

している。一方で、特に小児が触れようとする傾向がある手先にはスポンジボールを使用することにより、駆動部先端が衝突した場合の衝撃を吸収するとともに、親近感を高める効果が期待できる。

案内ロボット本体は、センサやサーボモータドライバなどを独立して制御するマイコンボード群を、Windows XPをインストールした制御システムにより集中的に管理する構成となっている(図2)。制御システムは、電源を投入するだけで自動的に内部の制御プログラムが起動し、初期診断動作およびロボット単体で応答するサービスが作動する。次に、TCP/IPによるネットワーク接続サービスが開始して後述の展示管理システムからの制御に備える。

### 2. 1 安全対策

安全対策においては、昨年度の仕様検討時から以下の事項が問題となっていた。一般に小学生低学年を対象としたロボット展示においては、常時、職員をロボットの周辺に配置するか、ロボットの周囲に柵を設置する方法が取られている。しかしながら、前報<sup>3)</sup>で報告したように展示側の要求事項として、運用に際し職員を常時配置し、ロボットを常時操作するようなシステムは実用的でないことが挙げられている。また、柵などの物理的な方法では、ロボットと来館者との親和性が損なわれ、サイエンスワールドの設置目的である“科学技術に触れる”という趣旨に沿わない。そこで表2に示す多重の安全対策を施した。

この安全対策のうち、接近検知はロボットに内蔵した

レーザー式測域センサからの距離情報を利用して、ロボットの可動範囲内に遮蔽物を検知した場合、ロボット可動部のサーボモータを停止するもので、柵に相当するものである。しかしながら、物理的な柵とは違い、来館者からは目には見えない論理的な柵であるため、親和性を損なうことなく安全性を保つことができると考えられる。また、この接近検知がうまく作動せず、指を挟みこんだ場合においても、サーボへの過電流を検知し、サーボを停止することで、指に深刻な怪我を負うような事故を防ぐことができる。

また、来館者に対する安全対策とは異なるが開発担当者会議において、子供による飲み物などの水分がロボットに掛けられる恐れがあるとの指摘があった。そのため、流入した液体を集積しドレインホースから排出する機構を駆動系、電装系と干渉しないように配置することで、ロボットの故障及び漏電に対する対策を施した。

### 2. 2 展示管理システム

今回の展示では、45インチの液晶パネル型ディスプレイを案内ロボットと併設し、来館者に対して画像や文字による情報提供を行う。そのため、提供する情報の管理や情報提供のタイミング、利用者からの要求を受け付けて応答するための管理システムを開発した。このシステムはノート型PC上で動作させ、サイエンスワールドの運営状況の入力の後、案内ロボットとネットワーク接続して来館者に対するサービスを開始する。

提供する情報は、公開当初の時点で付録に示す構成になっており、来館者がRFIDタグ内蔵のパッドをロボット頭部に当てることや、測域センサの感知する領域内に遮蔽物(来館者の足)を検知することを契機に、あらかじめ用意した番組を開始する。この番組では、画面上で画像や文字による解説、案内のみならず、例えばロボットに搭載したフルカラーLEDを使用して、光の加算合成を解説する場面や、相槌を入れるようにロボットの頭部を駆動するなど、画面とロボット本体を連動させる内容で構成した。

なお、本システムが提供する番組の内容は、専用規格

表3 設計変更項目

| 要素名  | 当初予定                         | 問題点・懸案事項   | 変更・対策  |
|------|------------------------------|--|--|
| 音声認識 | 番号, 単語程度の指示を来館者の声で入力できるようにする | 不特定話者(特に子供)認識が困難である。体内は雑音が多いため、マイクをロボット外に取り付ける必要があるが、破損しやすい。 | 廃止。代わりにRFIDパッドや測域センサによる体験要素を含む指示方法を採用した。               |
| 台車   | ロボットを自走させる                   | 転倒や接触事故の恐れがあるため、随伴する監視員が常時必要になる。                             | 通常展示では固定(転倒防止処置)。但しステージショーのように、スタッフ監視の下では走行を伴うデモも可能にする |
| 画像認識 | 来館者の顔を認識し、その方向を見て挨拶する        | 照明条件の影響を受けやすく、現地での調整が必要となる。特に現地は西日が差し込む環境ため、安定性に疑問           | 画像処理による人物認識の代わりに、測域センサで位置を推定し、その方向を向くようにした             |

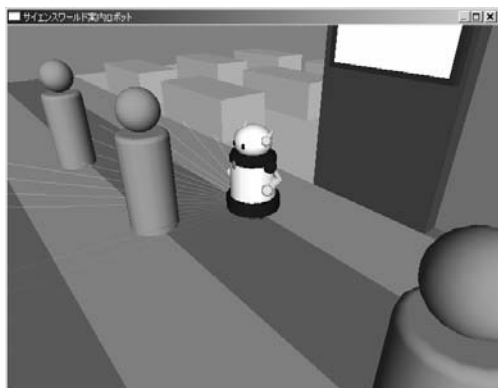


図3 案内ロボットシミュレータ

のスク립ト言語(テキストファイル)で記述することができるため、行事予定の追加, 更新など, 永続的な番組内容の保守作業を, 施設の担当者が容易に行えるように配慮した。また, 番組内容の急な変更においても数行程度のスク립ト言語を追記, 変更することで簡単に対応が可能である。

### 2. 3 ロボットシミュレータ

今回の開発では, 管理システムとロボット内の制御プログラムと一部のマイコン用ファームウェアを除き, 過去の研究開発で仕様実績のあるロボット要素技術を集結することで, 限られた開発期間内で高機能なロボットを完成させることにした。しかしながら, 研究段階では問題なかった要素技術の一部が, 担当者会議において, 一般公開の際に安全性・安定性に関して不安視されたため, 表3に示すように仕様変更あるいは廃止を決めた。

また, 一般公開まで日程的に余裕がなかったため, 実装するに至った要素技術については, ハードの開発とそれらを統括する管理システムの開発を同時に進める必要があった。そのため, 各装置の制御プロトコルを早期に確定し, 設置場所を模した仮想空間中に案内ロボットシミュレータ(図3)を構築して開発中のテストに使用した。特に, 提供番組の制作が佳境となる開発終盤においては, 広報活動に伴う分解・運搬のほか, 断線等突発的なトラブルが発生し実機でのテストができない状況が発生したが, シミュレータ上での内容確認や動作テストにより代替することができた。

### 3. 一般公開後の反応

案内ロボットは, 平成18年11月19日より, サイエンスワールドのエンタランスで一般公開を行っている。公開してから, 約半年が経過しているが, 特に大きな問題もなく, 多くの来館者が立ち寄る人気展示物として好評を得ている。また, 開発段階において心配された安全性の面に関しても, これまで問題は生じていない。

特に学校が休みとなる土・日曜日は, 来館者が途切れることがなくロボットを訪れており, ほぼ常時稼働している。しかし, 小学校低学年や幼児は, ロボットの動きの方に興味があり, 画面に注目が薄い。また, 画面の表示スピードが速いことや漢字表現により, 説明が理解できないようである。現在のところ, 保護者のサポートに期待しているが, 小さな子が一人でも楽しめる内容が要望されており, 今後の課題として改善していきたい。また, ロボットの公開時に人が殺到し, 接近検知によりロボットの安全機構が解除できない問題が生じた。そのため, 安全機構が解除される距離を明示するため, 床に赤テープを張ることやロボットからの音声による喚起を行ったが, 今度は赤テープの外から体を伸ばしてRFIDのパッドをあてようとする来館者が出てくることも見受けられ, 検討を要する。

小学校低学年や幼児にとっては, ロボットに直接触れ



図4 公開展示の様子

ることができることが魅力であり、今後はロボットの発話を増やすことやパッド操作によるロボット動作の多様性の確保を図っていきたいと考えている。

#### 4. まとめ

本事業では、「案内ロボット」と称して店舗案内、観光案内、施設・行事案内を行うロボットを開発してきた。開発に際しては、研究室の外で運用させることに伴う安全面、安定性、運用手順に比重を置いた研究開発を進めてきた。特に運用面に関しては、日々の操作について専門技術者ではない担当者に委任することに配慮する必要がある点において、従来のロボット研究とは一線を画す内容であるといえる。

また、本事業ではロボット本体の開発が最終目標ではなく、一般客に対してサービスを提供した上で発生する事案に対処すべく知見を得ることであるため、限られた開発期間の効率的利用や、集客のための広報計画の実行など、単に技術面に限らないノウハウの蓄積・活用が不可欠であった。

本事業は今年度で完了となるが、開発した案内ロボットが今後も永くサイエンスワールドで活躍することを期待し、結びの言葉とする。

#### 謝 辞

案内ロボットの企画、機能などについて共に議論して下さい、また展示スペースの確保や運用について配慮して下さいました、岐阜県先端科学技術体験センター日比野館長、青山副館長、田中課長補佐に感謝いたします。また、今回の案内ロボットに「サイマル」という愛称を付けて下さいました渡辺千陽さん(7歳)をはじめ、愛称募集に応募して下さいました多くの皆様に深く感謝いたします。

#### 文 献

- [1] 西嶋ほか，“案内ロボットの開発”，生産研報告第6号，pp.51-55, 2005.
- [2] 山田ほか，“入場券を利用した案内ロボットの実演”，生産研報告第7号，pp.54-55, 2006.
- [3] 西嶋ほか，“案内ロボットの開発(第2報)”，生産研報告第7号，pp.51-53, 2006.

#### 付 録

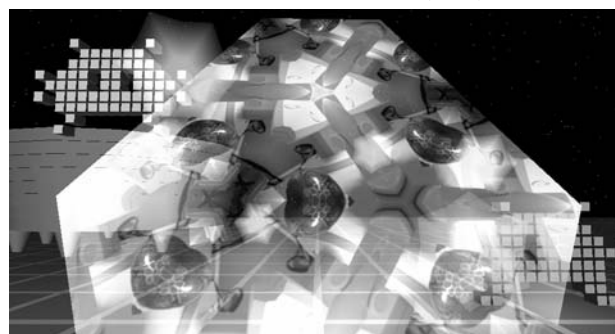
##### 管理システムが提供する番組(公開当初)

###### 案内モード

- 施設案内
- ステージショー等の案内
- 開発元(当研究所)の紹介

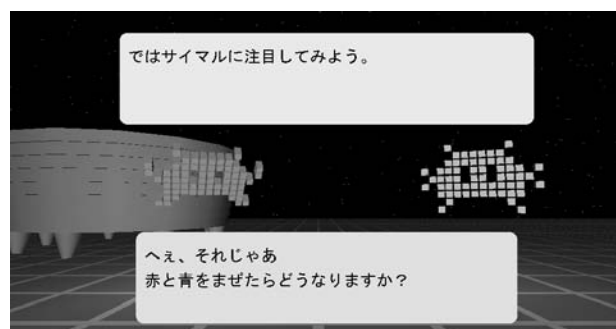
###### 待機中

- 注意事項の告知
- 行事予定時刻表
- ロボットダンスと仮想ピアノ体験(下図)



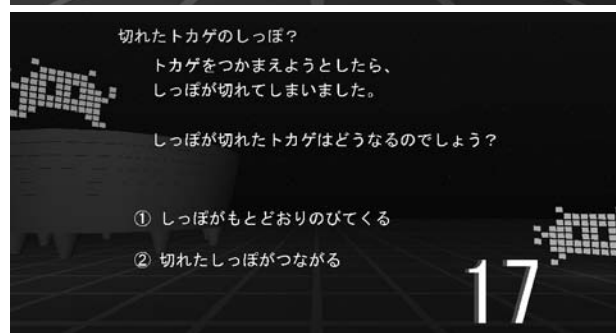
###### レクチャーモード

- レーザー測域センサのしくみ
- LEDによる光の合成実験(下図)
- CCDカメラのしくみ
- 音声合成のしくみ



###### クイズモード

多数決による多人数同時参加可能な科学クイズ



# 情報収集(被災者捜索)ロボットの 遠隔操縦インターフェースに関する研究

横山 哲也      稲葉 昭夫      天野 久徳\*

## Study on Tele-operating Interface of Mobile Robot to Gather Information for Relief Activities

Tetsuya YOKOYAMA    Akio INABA    Hisanori AMANO\*

**あらまし** 大規模災害直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CUBIC-R2の開発課題の1つである遠隔操縦において、接地センサ等の情報を取り込んだ遠隔操縦インターフェースを試作し、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, 遠隔操縦インターフェース, 接地センサ

### 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。情報収集ロボットは、崩壊した建造物の瓦礫上や瓦礫内部を移動が必須となるため、高い不整地移動能力が必要となる。

筆者らはこのような情報収集ロボットの移動機構に関して、その活動範囲を半壊した建物や地下街を対象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<sup>[1][2]</sup>(表1に諸元を示す)。CUBIC-R2は変形機構を介してクローラユニットを十字形に連結したロボットで、その特徴は次のとおりである。

- ・ 瓦礫、階段、段差などの様々な不整地路面に併せて、ロボットの骨格となるプラットフォームの形状を変化させ、不整地を踏破する(図1)。
- ・ ロボット全体の旋回運動を伴わず、その進行方向を変更することができる。



図1 CUBIC-R2の不整地走行

このCUBIC-R2は、移動機構としての開発は終了しているが、直接目視できない環境を対象とした遠隔操縦インターフェースの開発が残されている。そこで本研究では、この遠隔操縦インターフェースについて検討する。

### 2. 遠隔操縦インターフェース

CUBIC-R2は不整地に応じてプラットフォームを変形させ、クローラを接地させることにより不整地を踏破する。現在、操作者は目視によりプラットフォームの変形操作を行っている。この操作を観察すると、操作者は進行方向の不整地形状に応じて、CUBIC-R2が転倒しないようにプラットフォームを変形させ、クローラを瓦礫等に接地させることにより、CUBIC-R2の推進力を得るようにしている。このことから、遠隔操縦をするためには次に示す情報を、操縦インターフェースで提示する必要があると考えられる。

表1 CUBIC-R2の諸元

|        |               |
|--------|---------------|
| 全重量    | 30.0Kg        |
| ロボット寸法 |               |
| 格納時    | 420×420×332mm |
| 展開時    | 840×840×190mm |
| 自由度    | 19            |

\* 消防庁消防大学校消防研究センター

- 1) CUBIC-R2の進行方向の不整地状況
- 2) CUBIC-R2のプラットフォーム形状及び姿勢
- 3) 各クローラユニットの接地の有無

本研究では1)を搭載カメラにより、2)を傾斜センサやエンコーダ等の内界センサにより取得することとし、3)については、新たな接地センサを開発することとした。

### 3. 接地センサの開発

#### 3.1 接地センサの要件

2章で述べたCUBIC-R2の遠隔操縦インターフェースに必要な接地センサについて検討する。

先で述べた人が目視で行う操作を観察すると、どのクローラが接地したかが重要であり、クローラのどの箇所が接地しているかまでは必ずしも必要でないと考えられる。このことから、CUBIC-R2の接地センサに求められる要件として、

- ・CUBIC-R2に容易に装着可能
- ・装着したセンサが走行の妨げとならない
- ・クローラ接地面積内の接地有無を検出

が挙げられる。

従来の接地センサとして、2足歩行ロボットの足裏等に使われるマイクロスイッチがある。マイクロスイッチは実装が簡単であるが、スイッチの一部がクローラ筐体の外にでるため、走行を妨げる可能性がある。森村らはクローラを有するレスキューロボットの接地検出を、モータ電流値の変化により検出した<sup>[3]</sup>。しかし、CUBIC-R2はモータギア比が高いため電流変化の検出が難しいことから適用は困難である。井上らはクローラの接地箇所を特定できる有益な接地センサとして、分布触覚センサ<sup>[4]</sup>を開発した。しかしクローラシュー毎に光学装置を設ける必要があるなどの制約があり、CUBIC-R2に装着することは困難である。さらに当センサの能力までは必要としていない。以上のことから、従来の接地センサをCUBIC-R2に使用することは困難であり、新たにセンサを開発する必要がある。

#### 3.2 CUBIC-R2接地センサ

前節での議論を踏まえ、本研究ではCUBIC-R2における各クローラユニットの接地状態を、プラットフォームがクローラユニットから受ける反力に着目して検出することとした。図2に示すとおり、CUBIC-R2のプラットフォームとクローラユニットを、隙間が発生する仕組みで締結し、この間に感圧抵抗素子<sup>[5]</sup>を装着する構造とした。この構造により、非接地のときはクローラの自重で隙間が生じ、接地のときは反力により隙間が埋まる。隙間が埋まることで感圧抵抗素子に圧力が働き、素子の抵抗値が変化する。素子にかかる電圧値を測定し、閾値を基準に比較することで接地の有無を判定する。

感圧抵抗素子は平面形状で厚みが薄く、結合部の取り

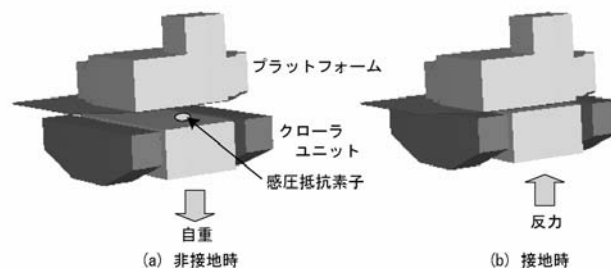


図2 接地センサ構造と取得原理

付けに適しており、容易に取り付け可能である。またクローラユニットの筐体内に取り付けるため走行の妨げとならない。その上、結合部に位置するため、接地センサを分布させることなくクローラの接地面積内の接地が感知できる。

#### 3.3 接地センサの機能確認

実装した接地センサの出力を確認するため、段差踏破の予備実験を行った。図3に示す手順で段差踏破を行った際のCUBIC-R2のピッチ角度を図4に、接地センサ出力（接地有:1、接地無:0）を図5に示す。接地センサはCUBIC-R2の各面(ロボットの前、中央、後)に取り付けた。またピッチ角度は中央面の姿勢センサで検出する。なお、段差サイズは高さ160mm、奥行き380mmである。

図4のピッチ角度から図3の接地パターン(1)~(5)を推定し、図5に接地パターンを記載する。図5より接地センサの出力は時間遅れがあるものの、(1)~(5)の接地パターンに応じた接地状態を出力しており、接地状態を推定できている。

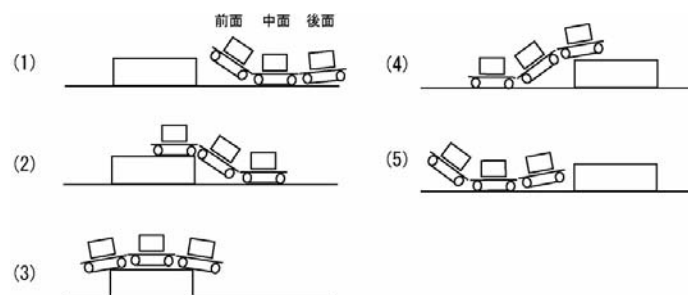


図3 段差踏破のプロセス

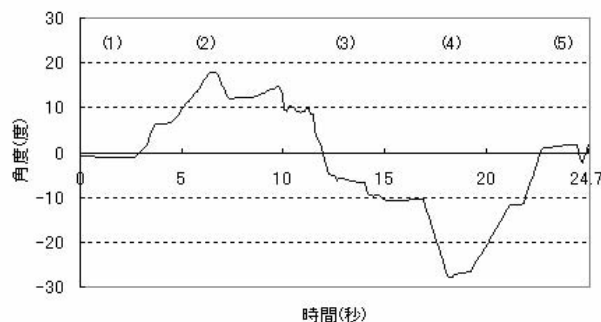


図4 段差踏破時のピッチ角

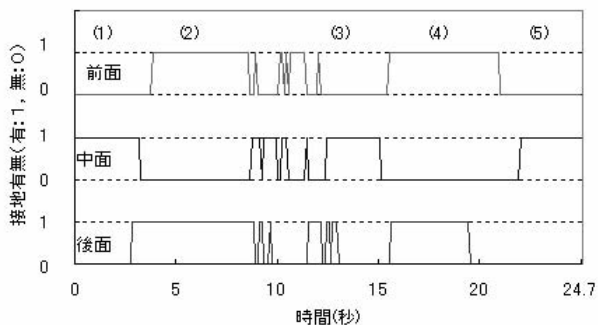


図5 段差踏破時の接地状態

#### 4. 遠隔操縦インターフェースの実装

2章で検討した遠隔操縦に必要な情報を用いて操作が可能か否か確認するため、具体的なインターフェースを試作した。図6にそのインターフェース画面を示す。

CUBIC-R2の進行方向の不整地状況に関しては、ロボットの頭上に魚眼レンズ（ソニー(株) カメレオンアイ）を取り付け、その映像を提示することとした。魚眼レンズを用いた理由は、CUBIC-R2と周辺環境との位置関係および不整地の状況が容易に提示できるからである。しかし、魚眼レンズを比較的高いところに接地する必要があるため、CUBIC-R2が狭部に進入するときの障害になる恐れがあり、さらなる検討が必要である。

CUBIC-R2のプラットフォーム形状及び姿勢については、エンコーダ出力からプラットフォームの変形を、傾斜センサ出力からロボットの姿勢を検出し、CUBIC-R2のコンピュータグラフィックス(以下、CG)を用いて操作者に提示した。提示画像に関しては、より姿勢が理解しやすくなるように、俯瞰視点と側面視点のCG画像を提示することとした。

接地状態に関しては接地センサの出力を用いて、CG上に接地しているプラットフォームの色を変化させることにより提示することとした。

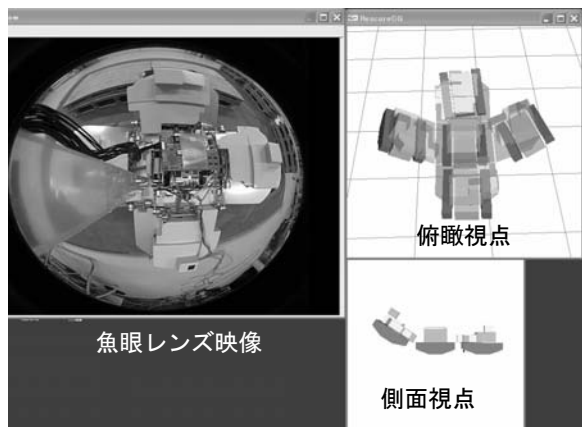


図6 遠隔操縦インターフェース

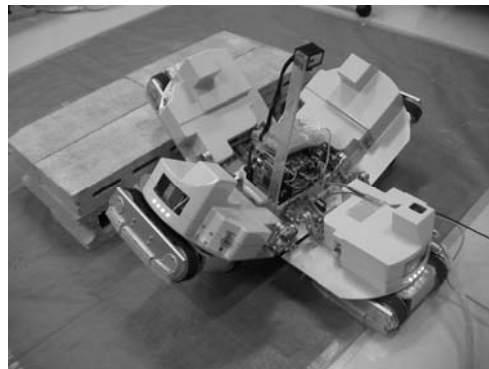


図7 段差踏破の実験環境

#### 5. 遠隔操縦実験および考察

試作した遠隔操縦インターフェースを用いて遠隔操縦が可能か否か確認するため、不整地踏破に関して最も基本的なタスクである段差踏破を対象とした実験(図7、段差高さ160mm、奥行き380mm)を行った。この結果、遠隔操縦できることを確認した。

次に遠隔操縦インターフェースを構成する情報提示の効果を把握するため、CUBIC-R2のプラットフォーム形状、姿勢および接地状態を提示するCG有り無しで段差踏破を行った。図8にCG有りで段差踏破を行った際の、CUBIC-R2のピッチ角度およびその角速度(数値微分)を示す。ピッチ角度の推移より滑らかに段差踏破をしていることが確認できる。次にCG無しで操縦したときの、CUBIC-R2のピッチ角度およびその角速度(数値微分)を図9に示す。ピッチ角度の推移を見ると図8に比べ動きが激しいことが確認できる。さらに角速度に2つの鋭いピークが現れている。これは段差を登った直後および段差を降りる直前に、CUBIC-R2が段差ブロックのエッジを支点に大きく回転したと推定される。このことより、操作

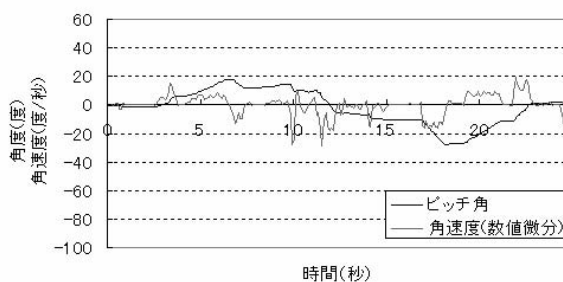


図8 ピッチ角及びその角速度(CG有)

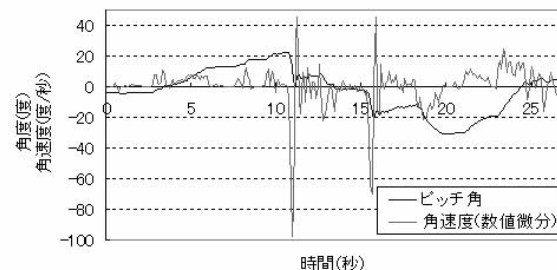


図9 ピッチ角及びその角速度(CG無)



者は遠隔操縦インターフェースのCGで接地状態を確認し、プラットフォームを適切に変形することで、急激な姿勢変化を低減していると考えられる。

急激な姿勢の変化は、ロボットの転倒可能性を高める。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。接地状態を参考にCUBIC-R2の形状を変形させることで、その危険性は避けられる。ただし、接地の情報提示が有ると操作が慎重になり、操作時間を費やす可能性がある。そのため、一連の操作時間も含めた評価を別途行う必要がある。

## 6. まとめ

本研究では遠隔操縦に必要となる情報を検討し、その中で重要な情報である接地状態を検出する接地センサを開発した。さらに検討した情報を取り込んだ遠隔操縦インターフェースを試作し、最も基本的な段差の踏破実験により遠隔操縦が可能であることを確認した。さらに提示情報の比較実験により、CUBIC-R2のプラットフォーム形状、姿勢および接地状態の提示は、ロボットを滑らかに操作する上で重要な情報であることが確認できた。

今後は接地センサ有無による操作時間の測定と評価、搭載カメラの取り付け位置等について検討する。さらに半自律でCUBIC-R2が不整地を踏破できるよう遠隔操縦インターフェースの改良も取り組む予定である。

## 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 Vo.41, No.12, pp.998-1004, 2005.
- [2] 田畑克彦 他, 情報収集(被災者捜索)ロボットの移動機構に関する研究(第4報)”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告 第7号, pp.40-46, 2006.
- [3] 森村章一, 大野和則, 田所諭, “未知段差の半自律踏破のためのクローラ型レスキューロボットの制御即の提案”, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
- [4] 井上大輔, 昆陽雅司, 田所諭, “クローラ型ロボットのための分布触覚センサの開発”, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
- [5] <http://www.interlinksensors.com/products/forcesensingresistors/index.html>

# 身体障害者の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

## － 基本設計と試作 －

稲葉 昭夫      千原 健司      藤井 勝敏      棚橋 英樹

### - Basic Design and a Trial Product -

Akio INABA    Kenji CHIHARA    Katsutoshi FUJII    Hideki TANAHASHI

あらまし 岐阜県では、福祉の充実を図るために、岐阜県障害者支援プランを策定し、これに基づいて障害者の支援を実施している。少子高齢化社会を迎える中で、障害者に対する人的な支援には限界があり、これを支援する器具や機器の開発は不可欠である。本研究では、このような機器として、日本の住居で使用することを考慮した安価で実用的なマンピュレータ付高機能電動車いすを新たに開発する。本報では、開発する高機能車いすの基本仕様を定め、それに基づいて試作したプロトタイプに関して動作試験を行い、基本機能を確認した。

キーワード 高機能電動車いす, 軽量マンピュレータ, 多機能指示端末

## 1. はじめに

岐阜県では、福祉の充実を図るために、岐阜県障害者支援プラン<sup>[1]</sup>を策定し、これに基づいて障害者の支援を実施している。これによると、県内の障害者の内訳は、重度障害者の構成比率が高く、更に年を重ねるにつれ重度化している。障害部位に関しては、肢体不自由者の構成比率が高い。今後、少子高齢化社会を迎える中で、人的な支援には限界があり、これらの障害者の更なる支援のためには、これらの方を支援する器具や機器の開発が不可欠である。

これまでの取組において、重度の肢体不自由者を支援する機器として、様々な機器がこれまで開発されている。この代表的なものが、環境制御装置（以下、ECS）<sup>[2]</sup>である。これは、ベッド、テレビ、エアコン、電話など日常生活に必要な家電製品のリモコン操作を行う装置である。ECSは、環境に既に組み込まれている装置のみを対象としており、日常生活において刻々と変わる環境に対して、障害者が物理的な作用をすることを支援できない。

物理的な操作を支援する機器や器具もいくつか開発されている。マジックハンドは、車いすから床に落ちたものなどを拾うことができる道具であるが、その利用は、上肢の自由がきく障害者に限られる。マイスプーン<sup>[3]</sup>は、四肢障害者の食事を支援する装置である。しかし、その用途は食事のみに限定される。欧米を中心に、ExactDynamics社の「ARM」<sup>[4]</sup>、米Rehabilitation Technologies社の「Raptor」<sup>[5]</sup>、英Bath大学「Weston」<sup>[6]</sup>等、車いすに

搭載可能なマンピュレータも開発されている。しかし、高価であるため、福祉制度が充実しているオランダ以外の国では普及していない。さらに、これらを手いすに搭載した場合、欧米の広い住居にあわせて設計されているため、日本の住居で使用するには、廊下の移動が困難である等、その使用が著しく制限されることが予想される。

上述したように、日本の重度の肢体不自由者にとって、物理的な作業を十分に支援する器具・機器は存在しない。このため、どんな些細な物理的な作業に関しても、介助者に頼むか、諦めるしかないのが現状である。このような状況を踏まえ、本研究では、日本の住居で使用することを考慮した安価で実用的なマンピュレータ付高機能電動車いすを新たに開発する。

## 2. 基本仕様

高機能電動車いすの基本仕様を、平成17年度に実施した四肢障害者への調査結果<sup>[7]</sup>に基づいて定めた。この調査において、障害者が高機能電動車いすで実現したい主な作業は次のとおりであった。数字は回答者のうち、該当する作業を希望する割合を示す。

|                |     |
|----------------|-----|
| ①棚や床のものをとる     | 86% |
| ②部屋の開き戸を開ける    | 79% |
| ③体や顔をかく        | 75% |
| ④冷蔵庫を開けて食べ物をとる | 75% |
| ⑤部屋の引き戸を開ける    | 71% |
| ⑥本を取ってめくる      | 71% |
| ⑦テレビやVTRの操作    | 64% |
| ⑧物にペンなどで書く     | 64% |

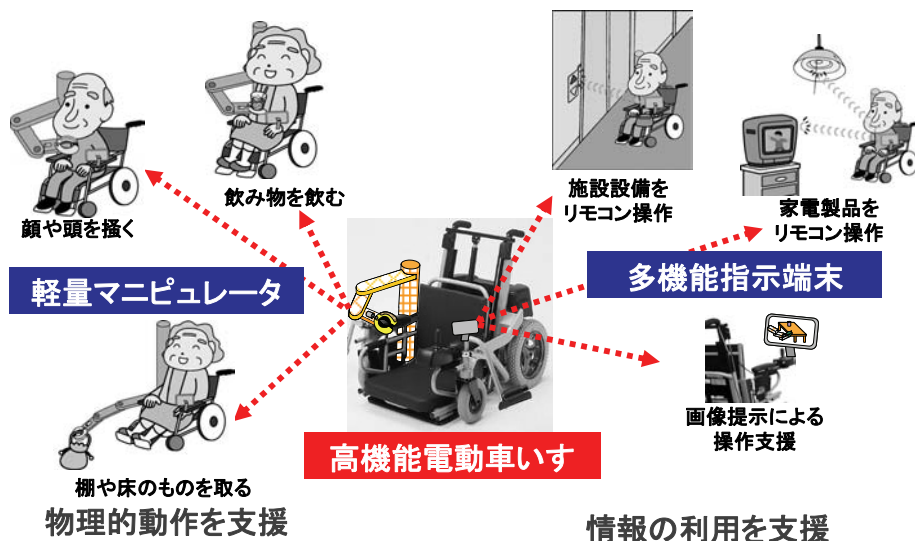


図1 活用イメージ

- ⑨物を顔元に持ってくる 6.1%
- ⑩電話を取る 6.1%
- ⑪部屋のスイッチを押す 5.7%

この結果と装置価格の低減を図ることを考慮し、本研究で開発する車いすの基本仕様を次のように定めた。図1に本仕様に基づく高機能車いすの活用イメージを示す。

●基本仕様

高機能車いすで、以下の作業を実現する。

- マニピュレータで実現する機能
    - ①③⑤⑨⑪の作業
  - 多機能指示端末で実現する機能（将来的に実現）
    - ②⑥⑦⑧⑩の作業
- 各作業の実現方法
- ②は自動ドアに端末から動作命令を送る
  - ⑥は電子ブック／インターネットを活用する
  - ⑦は学習型赤外線リモコンにより操作する
  - ⑧はワープロ／メール／プリンタを活用する
  - ⑩はIP電話を活用する

この仕様においては、いくつかの作業を多機能支持端末で補完することにより、マニピュレータで実行する作業を単純化し、マニピュレータの構造の簡素化を図ることにより、装置価格の低減を目指している。

3. 試作および動作試験

前章で定めた基本仕様に従って、操作検証を目的としたマニピュレータを装着した高機能車いすのプロトタイプを試作した（詳細は、文献 [8] [9] を参照）。

この試作機の基本機能を確認するため、マニピュレータ装着時の基本的な安定性の確認試験（静的安定性試験）と基本動作に関する動作試験を行った。

3.1 静的安定性試験

静的安定性試験は、前後左右にそれぞれ傾けた斜面に、

マニピュレータを装着した電動車いすを置き、約70kgの操作者が乗って安定であることを確認する試験である。本研究では、電動車いすメーカーである（株）今仙技術研究所の基準に準拠し、車いすをのせる斜面の角度を前後方向に関しては20°、左右方向に関しては15°とした。試作機に関して当該試験を実施した（図2）。この結果、車輪が床から浮くといった状況は確認できず、静的安定性に問題がないことを確認した。



図2 静的安定性試験の様子

3.2 動作試験

試作機を用いて、次に示すいくつかの基本作業を対象に動作試験を行った。

- ① 電動車いすで窓際まで移動し、カーテンを開ける。
  - ② 電動車いすでテーブルまで移動し、ジュースの入った紙パックを取り、飲んだ後にゴミ箱に捨てる。
  - ③ 床に落ちてしまったリモコンを拾い、手元まで戻す。
- この動作試験の様子を図3～5に示す。この結果、いずれの作業も達成でき、基本仕様で想定した基本作業のいくつかは達成可能であることを確認した。

4. まとめ

本報では、日本の住居で使用することを考慮した安価で実用的なマニピュレータ付高機能電動車いすの基本設計を行い、それに基づいてプロトタイプを試作した。さ

らに、試作機を用いて、マニピュレータ搭載時の車いす全体の静的安定性を確認するとともに、基本的な作業を対象に動作試験を実施し、当該作業が可能であることを確認した。本報で試作したマニピュレータに関する部品の製作費用は、50万円弱であり、コスト的には十分に実現性があると考えられる。しかしながら、体や顔をかくといった作業を達成するには、更なる安全の検討が必要であり、各種の作業を行うための操作インターフェースに関しても障害の程度を考慮する等更なる検討が必要である。今後は、対象ユーザーによる実証試験を行いながら、実用化に向けた課題を更に明らかにし、さらなる改良を重ねていく予定である。

## 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ならびに(株)今仙技術研究所の関係各位に深く感謝する。また、有効なご助言を多く下さいましたNPO法人パーチャルメディア工房ぎふ上村数洋理事長ならびに岐阜県福祉事業団の関係各位に深く感謝する。

## 文 献

- [1] 岐阜県健康福祉環境部障害福祉課, 平成17年3月策定 <http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11226/sienplan/index.htm>
- [2] 横田恒一, 数藤康雄 “環境制御装置に関するアンケート調査”, 第12回リハ工学カンファレンス講演論文集 Vol.12, pp.463-466, 1997
- [3] <http://www.secom.co.jp/service/medical/myspoon.html>
- [4] <http://www.exactdynamics.nl/nihongo/index.html>
- [5] <http://www.appliedresource.com/RTD/rtindex.html>
- [6] Michael Hillman, Karen Hagan, Sean Hagan, Jill Jepson, Roger Orpwood, “The Weston Wheelchair Mounted Assistive Robot - The Design Story“, Robotica (2002) Vol.20, pp. 125-132, 2002
- [7] 今井智彦, 千原健司, 稲葉昭夫, 久富茂樹, 飯田佳弘 “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.
- [8] 千原健司, 藤井勝敏, 稲葉昭夫, 西嶋隆 “身体障害者の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—操作検証用マニピュレータの設計製作—”, 岐阜県生産情報研究所研究報告 第8号, pp.51-56, 2007.
- [9] 藤井勝敏, 千原健司, 稲葉昭夫 “身体障害者の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.



図3 基本動作の確認 (カーテンを開ける)



図4 基本動作の確認 (ドリンクを取って飲んで捨てる)



図5 基本動作の確認 (落ちたリモコンを取る)

# 身体障害者の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

## ー 操作検証用マニピュレータの設計製作 ー

千原 健司      藤井 勝敏      稲葉 昭夫      西嶋 隆

### Design and Production of Manipulator for Operation Verification

Kenji CHIHARA    Katsutoshi FUJII    Akio INABA    Takashi NISHIJIMA

あらまし 本研究所では、本年度より3ヵ年計画で早稲田大学および榊今仙技術研究所と共同し、身体障害者の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た。この電動車いすは、身体障害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有することを特徴とする。本報告では操作検証用として、電動車いすに搭載可能な、コスト面で実現性のあるマニピュレータを試作したので報告する。

キーワード 軽量マニピュレータ, 電動車いす

#### 1. はじめに

技術戦略マップ2006<sup>[1]</sup>において、我が国の工業分野で使用される産業用マニピュレータは成熟期であるのに対し、人がいる環境でも使用可能な、軽量で安全なマニピュレータが、次世代のロボット技術の一つとして必要であることが示唆されている。特に人に対する安全の確保に対し、技術的にも制度的にも更なる検討が必要とされ、そのロードマップによると、技術確立の達成目標は2010年頃となっている。そのため、福祉分野で安全・安価なマニピュレータが必要とされているにも関わらず、このようなマニピュレータは現地点ではほとんど販売されない。研究用として(株)AAIジャパン<sup>[2]</sup>などから販売されているが、実用目的ではなく価格も高価である。

また、欧米では車いす搭載用マニピュレータとして蘭ExactDynamics社の「ARM」<sup>[3]</sup>や米RehabilitationTechnologies社の「Raptor」<sup>[4]</sup>等がこれまで先行して開発されているが、介護現場に普及するには至っていない。これは、価格やサイズあるいは操作性などについて、ユーザーや装置導入者のニーズに合致していないことが原因と考えられる。

そこで我々は開発当初から対象ユーザーおよび福祉支援従事者らを開発に参画していただき、意見を設計に反映させるとともに、価格・重量・サイズ・操作性という点において、従来開発品との差別化を図ることとした。

本報では、機構の基本動作を確認するための0号機、および0号機を改良し電動車いすに搭載可能な1号機の2台を試作したので、それぞれ報告する。

#### 2. 基本設計

##### 2. 1 指針および手法

前章で述べたように低価格、軽量化、コンパクト、高い操作性を追求し、合わせて、安全に十分に配慮した設計を行う。具体的にはそれぞれ以下の手法を採る。

##### ○低価格

- ・ある程度の用途を限定し、マニピュレータの自由度(関節数)を最小限に配置する。ニーズ調査に基づく用途の限定については、調査報告<sup>[5]</sup>を参照にされたい。
- ・コストパフォーマンスの高い標準部品を使用する(ホビーロボット用サーボモータ、標準機械部品等)。

##### ○軽量化

- ・3DCADによる設計と並行して、強度計算を十分に行い、必要最小限の材料を適所に配置する。

##### ○コンパクト

- ・車いすメーカーと共同開発し、車いすを含む設計データを共有することにより、マニピュレータをコンパクトに配置する。

##### ○高い操作性

- ・ユーザーが使い慣れた電動車いす用の標準的なジョイスティックから操作可能とする。
- ・操作中に把持力を設定可能とし、柔らかいものから固いものまで、使用者が特に注意することなく把持可能とする。

##### ○安全性

- ・自重を構造が支える機構(スカラ型)とし、電源遮断時でも状態を維持可能とする。

- ・低出力のアクチュエータを使用する.
- ・モータゲインを抑制し, 最大トルクを制限する.
- ・粘弾性をもつ被膜で各部品を覆い, 衝突による衝撃を吸収する.
- ・挟み込みに配慮した機構とする.

### 2. 2 目標価格および仕様

目標価格はメーカーの意見から, 電動車いすのオプションとして販売可能と考えられる50万円程度と設定し, 試作機では材料費と加工費で50万円以内に収めることを目標とした.

重量は健常者が無理なく持ち運べる7kg以内とし, 寸法は狭い日本家屋内での移動を想定し, マニピュレータ収納時に電動車いすに対し前後左右にはみ出ない大きさとする. また目標タスクを調査報告<sup>[5]</sup>に基づき, ①棚にあるペットボトル等を取って顔の近くまで運ぶ, ②床に落ちたリモコン等を取る, ③カーテンを開ける, の3つに設定し, これを達成可能とする目標仕様を表1に記す.

### 3. 0号機の設計製作

安価な構成部品を使用して, 目標とする機能が実現可能か確認するため, 0号機の設計製作を行った.

#### 3. 1 機構設計

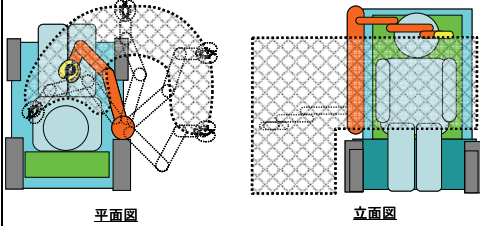
##### 3. 1. 1 リンク構成

リンク構成を図1に示す. 上下直動1軸, ヨー3軸, ハンド開閉1軸の計5軸の構成とした. これは, 手先のピッチ・ロール方向は水平に固定されるが, 位置とヨー方向を任意に指定できる最小の軸構成である. 垂直駆動軸の減速にウォームギアを使用し, 水平方向は構成部品で支持することにより, 電源遮断時でも位置が保たれ安全である. また小さい電力で駆動が可能である.

##### 3. 1. 2 アームの設計

設計は, 3DCAD (SolidWorks2005) を用い, 各構成部品の組付けをモデルで確認しながら, 機械的干渉や総重量を検査した. 強度設計に関しては構造解析ソフト (COSMOSWorks) を使用した. 図2に組立モデルを, 図3にアーム部分の強度解析の一例を示す. 先端に1kgの荷重を掛けたときに先端最大変位が2mm以内, 安全率4以上になるように設計した. 構成部品は, 部品コスト削減と設計の効率化のために, CADデータが公開されている標準部品(株)ミスミ製)を積極的に採用した. 構造で配慮した点は, 断面2次モーメントが断面積に対し効果的に高くなる中空角材を各リンクに採用した点, 応力が集中する各軸は鉄系材料をその他は軽量化のためアルミ系材料を採用した点, 先端に近いアームの横部分は応力が比較的低いので軽量化のため円状に切り欠いた点, 各アームの軸受としてラジアル方向とスラスト方向の力を同時に受けることが可能な溝の深い玉軸受けを採用した点, アーム上下動のための電力を軽減するためにカウンタウェイトを支柱内に配置した点等である.

表1 目標仕様

|       |  |  |
|-------|--|--|
| 可搬重量  | 500[g]   |  |
| 最大速度  | 20[cm/sec] (ハンド先端部分, 設定可能とする)  |  |
| 最大作用力 | 10[N] (ハンド先端が水平方向に及ぼす力)  |  |
| 可動範囲  | <p>上下: 床面 ~ 顔の付近<br/>                 左右: アーム取付方向50cm~反対方向の顔の側面<br/>                 前後: 車いす先端より10cm ~ 顔の付近</p>  <p>棚に置かれた物や壁のスイッチなどは, 主に車いす側面で扱うことを想定</p> |  |
| ハンド   | 把持力  | 10~30[N]程度まで, 操作中に3段階程度に制御可能とする              |
|       | 想定対象物  | リモコン, ペン, ペットボトル飲料, プッシュスイッチ, カーテン等を扱える形状とする |

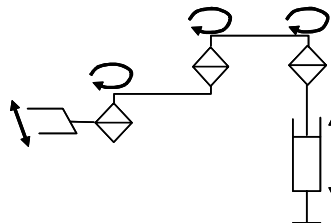


図1 マニピュレータのリンク構成

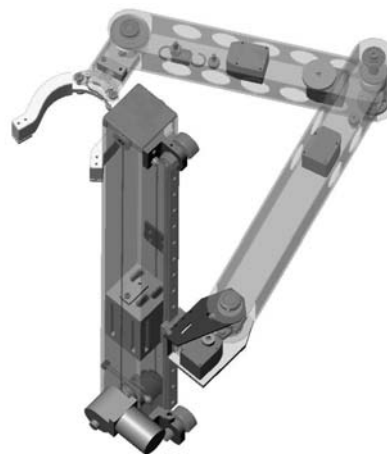


図2 0号機の組立モデル



図3 アームの強度解析の一例 (応力分布)

### 3. 1. 3 ハンドの設計

ハンドは、できるだけ少ない構成部品で様々な形状の物を扱えることを目標に設計した。図4に組立モデルを示す。サーボモータ出力が、2段の歯車を介して2つの双対するアルミ製ハンドに伝達され、開閉する。ハンドは根元から、くの字に曲がった部分とその先の平らな部分とからなり、くの字の部分で円筒状の物など大きいものを、平らな部分で小さい物を把持する。また、くの字の中央部分に円状の切欠を設け、板バネ要素とし、サーボモータの位置制御により手先の把持力を制御することを可能とした。図5にハンド単体の強度解析の一例を示す。先端の平らな部分に5kgfの荷重が生じた場合に約2mmたわむように設計した。なお、応力は切欠部分で最大であるが、その安全率は1.6程度であり、通常で使用すれば塑性変形はしない。

### 3. 2 電装設計

電装部品はトルク等の要求仕様を満たし、なおかつ安価であることを基準とし選択した。水平3軸およびハンドを駆動するアクチュエータには、ホビーロボット等で使用されているサーボモータ（近藤科学㈱，KRS-4014HV）を採用した。本モータは小型軽量、コントローラとメタルギアを内蔵、サーボ特性が軽便に変更可能といった特徴を有する。また垂直方向のアクチュエータはゲーム機の昇降装置等に使用されているウォームギアドモータ（ツカサ電気㈱，TG-85B-WM）をモータドライバ（同社製，TCP-S30）と合わせて採用した。

全体を制御する基板は、㈱ESP企画のIF6-SH2を採用した。これは㈱ルネサステクノロジーのマイクロプロセッサSH7144Fに周辺部品を実装した基板であり、最大48MHz

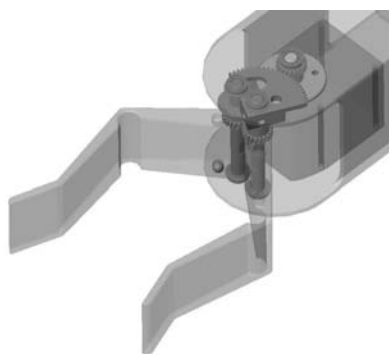


図4 ハンドの組立モデル



図5 ハンド単体の強度解析の一例（応力分布）

（周辺機器は24MHz）で動作し、ADコンバータ、PWM出力、SCI通信、I/Oポート数など制御に必要な機能を備えている。

回路ブロック図を図6に示す。図中の電流検出回路は、ハンドを駆動するサーボモータの電源線に流れる電流を検出し、把持力を制御するために使用する。

### 3. 3 制御プログラム

図7に制御フロー図を示す。制御タスクはメインタスク、受信タスク、リアルタイムタスクで構成する。メインタスクは初期化処理を行った後、受信フラグ成立時にコマンドを解釈し、各軸軌跡のパッファ書き込み処理等を行う。受信タスクは、指示を与えるホストPCからの受信割り込み処理であり、コマンドを蓄積する。リアルタイムタスクは、7msec間隔で発生する割り込み処理であり、軌跡パッファに蓄積された角度に応じたモータ制御信号をPWMで各軸に指令する。割り込み処理開始時からのタスク優先度は、受信タスクを最優先とし、リアルタイムタスク、メインタスクの順にした。

表2に制御コマンドの一覧を記す(1号機での拡張部分を含む)。電動車いすを操作する標準的なジョイスティックを用いて操作ができることを念頭に置きコマンドを定めた。基本的には、外部からコマンドを与えるマイコン等（以下、ホストPCという）で逆運動学計算等の計算をすることなく操作可能とするため、水平面での前後左右移動のほか、手首、ハンド、垂直方向の単独駆動コマンド、指定位置への移動コマンド等を実装した。更に、ホストPCにより外部との機械的な干渉を回避したり、逆運動学計算により各関節軌道を与えたりする場合を想定して、各軸の角度指定コマンドも実装した。

なお水平面移動での逆運動学計算については、1号機について次章述べることとし、0号機では省略する。

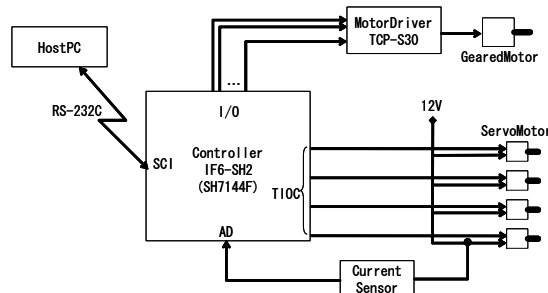


図6 回路ブロック図

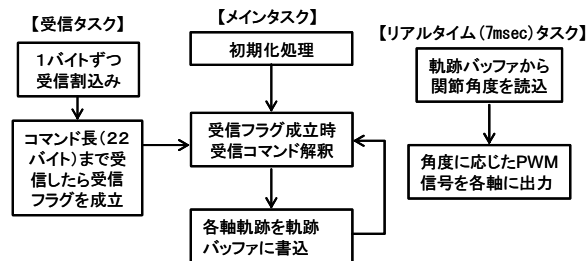


図7 制御フロー図



表2 コマンド一覧

| 動作内容        | 受信間隔                |       |
|-------------|---------------------|-------|
| 水平面の移動      | 50[msec]毎に<br>繰返し受信 |       |
|             |                     | 左     |
|             |                     | 右     |
| 奥           |                     |       |
|             |                     | 手前    |
| 手首のみ駆動      |                     |       |
|             |                     | 左向    |
| ハンドのみ駆動     |                     |       |
|             |                     | つかむ   |
| はなす         |                     |       |
|             | 各軸の角度指定動作           |       |
| 垂直方向の移動     | 1回だけ受信              |       |
|             |                     | 上     |
|             |                     | 下     |
| 目標へ         |                     |       |
| 把持力の変更      |                     |       |
|             |                     | 弱     |
|             |                     | 中     |
| 指定位置へ移動     |                     |       |
|             |                     | 横エリア  |
|             |                     | 前方エリア |
| 正面エリア       |                     |       |
| 収納          |                     |       |
| 停止          |                     |       |
| 各軸の角度指定動作   |                     |       |
| DCモータの目標値設定 |                     |       |
| 各軸角度の取得     |                     |       |



図8 0号機

### 3. 4 基本動作の確認

図8に製作した0号機の写真を示す。重量は約8.1kgで目標よりやや重い。アームを一直線にして先端に1kgの重りを載せた場合の先端での変位は1.16mmであり事前のシミュレーション結果0.45mmと比較して2.5倍程度大きい。これはシミュレーションモデルで省略したベアリングやネジ部分での変位が加わったものと推測されるが、その値は目標範囲内であり、剛性は十分に高いと言える。また、1kgの重りを先端に載せて各関節を動かしたが、各関節ともスムーズに可動し、各機械構成部品が十分使用に耐えうることを確認した。

次に動作確認として、約500gのペットボトルをつかみ上下左右前後に移動させることを試みた。事前に把持力を設定することにより、ハンドの開閉具合を操作者が調整することなくペットボトルを把持することが可能なことを確認した。また、ペットボトルを上下左右前後に運ぶことが可能であることを確認した。この時の消費電力は、駆動時最大12W程度、待機時は3W程度と省電力であり、スカラ型軸構成の利点を確認した。また、材料費は約25万円、加工費は約20万円となり目標内に収まった。なお、最大速度、水平方向作用力、ハンド把持力の確認については、1号機について次章で述べることであり、



図9 1号機の組立モデル(左:側面図, 右:上面図)

0号機では省略する。

課題としては、挟み込みが生じそうな部位があること、軸の固定方法に問題があり滑りが生じる軸があること、依然として重量感(威圧感)があることが残された。

## 4. 1号機の設計製作

0号機に残された問題点を踏まえ、電動車いすに搭載可能とした1号機について述べる。

### 4. 1 改良時の留意点

以下の点に留意し0号機を改良し、1号機を製作する。

- ① ノーマル型の電動車いすに搭載可能とし、かつ床に落ちている物も取れるような構造とする。
- ② マニピュレータがコンパクトに収まるようにする
- ③ 挟み込みが生じそうな部位を改良する。
- ④ 滑る軸があるので軸の固定方法を改良する。
- ⑤ 部品点数を減らし、総重量を減らす。
- ⑥ デザインに配慮する。
- ⑦ 目視で行っていた上下移動を半自動化する。

具体的に行った方策について、機構と電装に分け、以降に述べる。

### 4. 2 機構設計

図9に1号機の組立モデルを示す。留意点①に対し、支柱を前輪と後輪の間を斜めに通してマウントすることにより、関節数を増やすことなく床のものを取ることを可能にした。また留意点②に対し、収納時に上下左右前後に車いすから大きくはみ出ないように配置した。いずれも、車いすのCADデータをメーカーと共有して設計することによりコンパクト性が図られた。

留意点③に対し、アームは全て上下方向にオフセットを持たせ連結し、約30mm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から、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)の両方を満たす要件として決定しており、このことにより安全性を確保している。このほか安全に関しては、事故によりアームに重い荷重がかかることを想定し、10kgfまで耐える(塑性変形しない)ように構造の見直しを図った。



留意点④に対し、軸を固定するネジ径を変更し、防止を図った。留意点⑤に対し、カウンタウェイトの削除などにより部品点数を減らし軽量化を図った（ネジなど小物を除く部品点数 91 点→75 点，重量 8.4kg→5.5kg）。留意点⑥に対し、黒を基調とした外装を設計し、デザイン性に配慮した。

その他、側面から見た場合、支柱とアーム付根部分との間にユーザーが座ることになり、それに対し前方での作業が想定されるため、アーム付根を前方へ張り出したほか、中空ジョイント・中空軸を採用しアーム内に配線できるようにした。

#### 4. 3 電装設計

1号機の回路ブロック図を図10に示す。留意点⑦に対し、ギアドモータに連結したポテンショメータを追加しアームの上下位置を取得するほか、アームの上下先端にリミットスイッチを取り付けた。これらのセンサは全自動のために利用するのではなく、手動で操作する前に常にセンサ値を確認してから駆動する目的で利用する。これにより半自動的な操作となるが、万一センサが故障した場合でも操作を中断すればアームが止まるため安全である。

その他、サーボモータへの信号伝送方式を、各モータへPWM信号を個別に送信する方式からシリアル通信によるマルチキャスト方式へと変更した。これにより信号線が1本となり、配線がシンプルになるほか、本サーボモータの機能を使用することでサーボゲインなどのパラメータを駆動中に変更可能となる。このサーボゲインを変更することにより、力を制御する仕様に変更した。

#### 4. 4 制御プログラム

センサ情報の処理部分を追加し、サーボモータへの命令方法を変更したほか、リンクの長さを変えたので逆運動学計算部分を変更した。ここでは、前章で省略した水平面移動時の逆運動学計算について述べる。

リンク構成とパラメータ定義を図11に示す。水平面移動時には、手首根元部分 P(X,Y)の位置を、操作者に対して手首の角度を一定に保つように手首角度 $\theta_3$ を補償しながら、前後左右に移動させる。ここでアーム  $L_1$ の根元を原点 0 とし図のように座標系を設定すると、P(X,Y)は

$$\begin{cases} X = -L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ Y = L_1 \sin \theta_1 - L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (1)$$

となる。式(1)をそれぞれ時間で微分すると

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = -L_1 \sin \theta_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} - L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \cdot \left( \frac{d\theta_1}{dt} + \frac{d\theta_2}{dt} \right) \\ \frac{dY}{dt} = L_1 \cos \theta_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} - L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \cdot \left( \frac{d\theta_1}{dt} + \frac{d\theta_2}{dt} \right) \end{cases} \quad (2)$$

ここで微小時間に進む距離を $\Delta l$ とすると、前後に移動する場合は、 $dX/dt = 0$ ,  $dY/dt = \Delta l$ を、左右に移動する場合は、 $dX/dt = \Delta l$ ,  $dY/dt = 0$ を式(2)に代入し、それぞれ  $d\theta_1/dt$ ,  $d\theta_2/dt$  について解けば、微小時間での $\theta_1$ ,  $\theta_2$ の命令角度が計算できる。手首角度 $\theta_3$ はの時間微分は、

$$d\theta_3/dt = -d\theta_1/dt - d\theta_2/dt \quad (3)$$

となる。なお、計算結果については省略するが、sinとcosだけの簡単な式となり高速な計算が期待できる。

#### 4. 5 基本動作の確認

図12に製作した1号機の写真(外装無し)を示す。写真右はアーム本体、左は制御ボックスである。制御ボックスの寸法は200 mm×170 mm×50 mmとし、車いすの座席下に収納可能な寸法とした。重量はアームが約5.5kg, 制御ボックスが約0.7kgで、両方合わせて約6.2kgであり目標

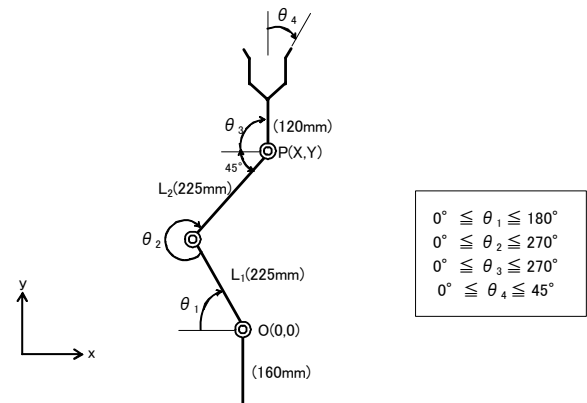


図11 リンク構成およびパラメータ定義

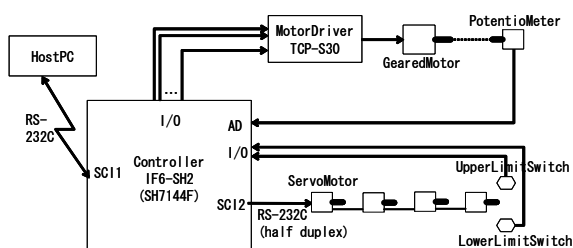


図10 回路ブロック図

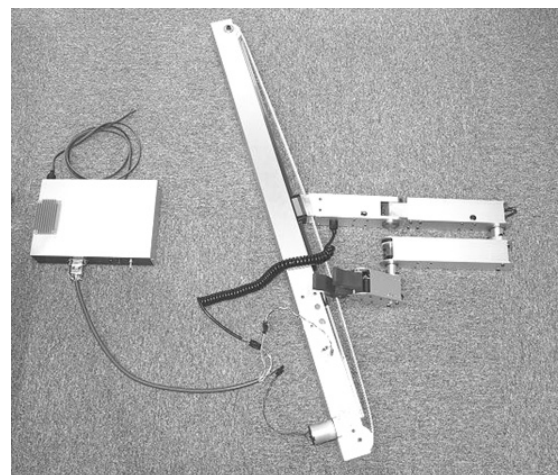


図12 1号機 (外装無し)



図13 車いすに装着した1号機（左：収納時，右：作業時）

内である。材料費は約23万円，加工費（外装除く）は約22万円で目標内である。図13に外装を取り付け電動車いすに装着した1号機の写真を示す。アーム関節部の外装はナイロン粉体造形により製作した。アーム周辺は市販の亚克力・ウレタン・ゴムの共重合発泡体（反発弾性率0.1%以下）で覆うことにより，人と衝突した場合の衝撃を緩和可能である。関節部のナイロン粉体造形費用は，50万円程度と高価であるが，将来的には金型樹脂成型で製作する予定である。

次に，ハンド先端部分の移動速度，水平面での作用力，およびハンドの把持力を測定した。ハンド先端の移動速度は，車いすの真横から前方に移動させる際にかかる時間を計測することで測定した。その結果は約40cm/secであり，表1の目標を大幅に上回ることを確認した。水平面での作用力は，バネばかりによる引っ張り試験で測定した。結果を図14に示す。図左は横位置での，図右は前方位置での測定結果をベクトル表示したものである。アーム位置および作用方向によって作用可能な力の大きさが変わることが分かる。目標タスクであるカーテンを開ける作業は，カーテンの重さによってアーム位置と作用方向を適切に選ぶことが必要であるが，作業は可能であるといえる。

ハンドの把持力は，重量はかりの基台と受皿部分にそれぞれ治具を固定し，ハンド先端でその治具を挟むことにより測定した。その結果，10N，14N，18Nと3段階に把持力を変更できることを確認した。

目標タスクの実現確認として，約500gのペットボトルをつかみ移動させる実験を試みた。基本的には問題なく把持して移動させることが可能であったが，高速（約40cm/sec）で移動させた場合には，慣性力による過負荷によりタイミングベルトに滑りが生じた。実験結果より，速度を20cm/sec程度に制限する必要があると結論付けた。床に落ちたりモコンを拾い上げる実験もマンピュレータの機構上，問題なく達成が可能であることを確認した。また消費電力は，駆動時最大22W程度，待機時は7W程度であった。0号機に対して増加した原因は，DC/DCコンバータとレギュレータにより24V電源を12Vと5Vに降圧した際のエネルギー損失と，支柱内のカウンタウエイト

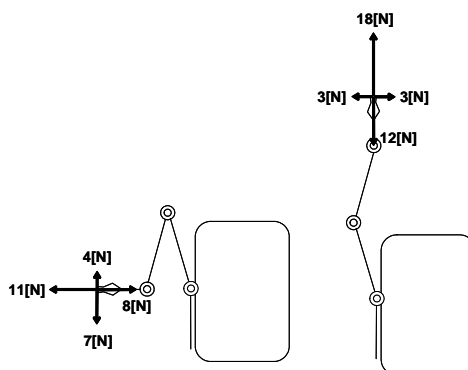


図14 水平面での作用力測定結果

を軽量化のため取り除いたことが原因と考えられる。

今後は，対象ユーザーによる実証試験を行い，操作性向上を目指した機構の改良を進める予定である。

## 5. まとめ

今回，操作検証用として，電動車いすに搭載可能であり，軽量コンパクトで，特にコスト面で実現性のあるマンピュレータを設計・試作した。結果，目標仕様および目標価格をほぼ達成できたといえる。電動車いすと合わせた動作試験の結果については，報告「身体障害者の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 - 基本設計と試作 -」<sup>[6]</sup>を参照にされたい。

## 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ならびに(株)今仙技術研究所の関係者皆様に深く感謝します。また，有効なご助言を多く下さいましたNPO法人バーチャルメディア工房さぶ上村数洋理事長ならびに岐阜県福祉事業団の関係者皆様に深く感謝します。

## 文 献

- [1] 経済産業省,平成18年4月策定
- [2] <http://www.AAI.jp>
- [3] <http://www.exactdynamics.nl/nihongo/index.html>
- [4] <http://www.appliedresource.com/RTD/rtdindex.html>
- [5] 今井智彦，千原健司，稲葉昭夫，久富茂樹，飯田佳弘，“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.
- [6] 稲葉昭夫，千原健司，藤井勝敏，棚橋英樹，“身体障害者の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 - 基本設計と試作 -”，岐阜県生産情報研究所研究報告 第8号，pp.48-50，2007.

# 身体障害者の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

## — 多機能指示端末の設計製作 —

藤井 勝敏      千原 健司      稲葉 昭夫

### Research on Manipulation Systems for Electric Wheelchairs

Katsutoshi FUJII    Kenji CHIHARA    Akio INABA

**あらまし** 電動車いすを常用する生活者向けに、そのQOL(生活の質)を向上するために有効な追加装備とその実装方法および操作方法などについて検討する。本研究では電動車いすにマニピュレータを搭載するが、その操作にはユーザが使い慣れている既存の電動車いす操縦用の入力インタフェースを活用する。また、その操作を補助するためや、電動車いすの走行を補助するための装備として、複数のカメラからなるモニタリングシステムを搭載し、その取り付け位置についても考察する。

**キーワード** 電動車いす, マニピュレータ, カメラ・モニタシステム

#### 1. はじめに

電動車いすは、自立歩行あるいは手動車いすのリムハンドル操作が困難な生活者が自らの意思で移動することを可能にする福祉用具である。近年、公共施設などのバリアフリー化が進んだことによって、電動車いすの利用者も、歩行者と同様な目的地へ自由に移動できる社会環境が整ってきている。

自らの意思で移動できるということは、社会生活において最も重要な自由のうちの一つであるが、その次の要求として、本人の意思で、外界に対する物理的な力作用を発揮することが求められている。事前に行ったアンケート調査によれば、落ちていた物を拾い上げることや、飲食物の運搬、ドアやカーテンの開閉などへの要望が特に多い<sup>[1]</sup>。

そこで、本研究では電動車いすの利用者が使用できる車載用マニピュレータを開発し、そのマニピュレータを効果的に利用できるようにするための取り組みを中心に行う。このうち、マニピュレータ本体の開発については別報<sup>[2]</sup>で述べ、本報ではその操作を指示する入力装置について述べる。

また、電動車いす自体の高機能化に向けた取り組みとして、様々な情報を提示可能な表示装置を搭載することも検討している。今回は、それをマニピュレータでの作業を補助するためのモニタ画面として活用しているが、そのためのカメラの設置位置の検討方法についても言及する。

#### 2. マニピュレータ操作システム

本研究で開発している電動車いす搭載用マニピュレータは、図1に示すように単一の昇降機構と、三つの回転軸および手先の開閉機構で構成される。手先部分は地面に接触する高さまで移動が可能で、機械的自由度は5である。主に、手先部分で小物を持ち上げ、別の場所や、操作者自身の手元まで運搬することが目的になるため、手先の位置決め調整が最も中心的な操作になる。

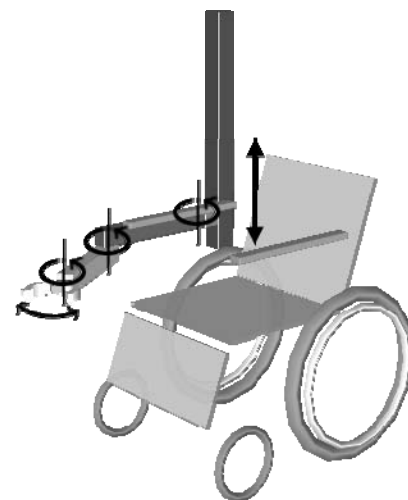


図1 マニピュレータの自由度

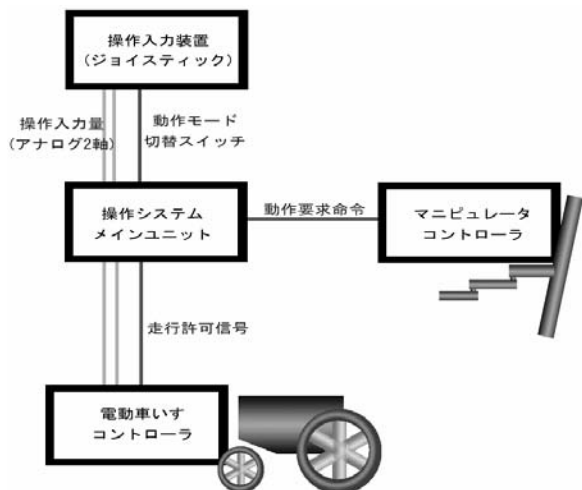


図2 操作系ブロック図

### 2. 1 操作システムの設計要件

このマニピュレータの機械的な運動に関しては、マニピュレータコントローラの管理下で実時間制御が行われているため、操作システムメインユニットは利用者からの入力があった時点で操作内容を解釈し、非同期に動作要求命令を送信すればよい。図2にマニピュレータを搭載した電動車いすの操作系ブロック図を示す。

マニピュレータコントローラが受け付ける動作要求命令のうち、主要なものは、

- 位置(6方向)、左右回転
- 手先の開閉、把持力制御(3段階)
- 作業エリア切り替え(3箇所)、収納
- 停止命令

である。ユーザはこれらの基本動作を組み合わせ、マニピュレータに所望の動作をさせることになるため、的確に動作要求命令を選択できるようにすることが、入力インタフェースの設計要件である。

### 2. 2 入力インタフェース

本研究で想定するマニピュレータの操作者は、今回は日常的に電動車いすを自分で走行している人を対象とす

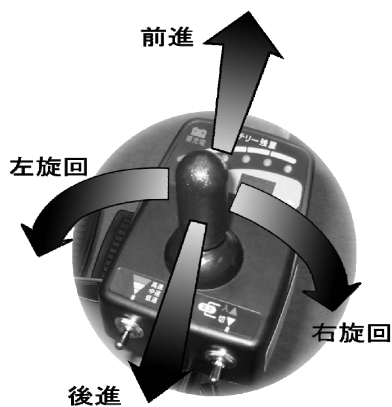


図3 電動車いすの運転方法

る。それにより、その操作装置であるジョイスティック類の取り扱いには十分慣れていることを前提とする。図3に本研究で実装対象とする電動車いすを通常の用途、すなわち走行させる場合の操作方法を示す。この電動車いすはジョイスティックの傾斜角度により多段階の走行速度が指示できるため、この機能を活用できている利用者は、半倒し状態を維持することが身体能力的にも操作技術的にも可能と考えられる。

そこでジョイスティックの入力を、図4のマニピュレータ制御命令に対応させる操作方法を実装した。ジョイスティックを半倒し状態で維持すると、手先部分が現在の方向を維持したまま水平面上で4方向に移動する。ジョイスティックを限界まで倒した場合は、警報音を発してからそれぞれ固有の動作を開始する。中立状態から限界に倒した時の動作を選択するときは一時的に半倒し部分を経由する必要があるため、誤動作を防ぐため、この部分の動作開始までに若干の無効時間を設定している。

この操作方式では、把持作業に使う手先の移動方向と中間領域に割り当てた4方向が一致しているため、一定の範囲内であれば、位置あわせ操作は直感的に行える。ただしその範囲を超える場合、円弧運動の組み合わせで先端部分の直線的な運動を実現している機構上、連続的に移動し続けられない状況が発生する。

このような場合、あらかじめ基本姿勢が登録されている3種類の作業領域から目的とする位置に最も近い作業領域に切り替えることで、その付近での作業に適した状態に整えることが可能である。ただしその切り替えに伴う移行中の動作軌跡はマニピュレータコントローラが自動的に生成するため、思わぬ動きをして作業対象物以外の物に接触する恐れなどがある。本操作システムでは、このような事故を利用者が予見した場合、ジョイスティックから手を離すなどにより中立位置に復帰すれば動作を停止するようにしている。またこの場合に限らず、通常的位置決めの際にも、アーム部分が接触しないように、手先部分だけではなくマニピュレータ全体の挙動についても、操作者は十分に把握する必要がある。

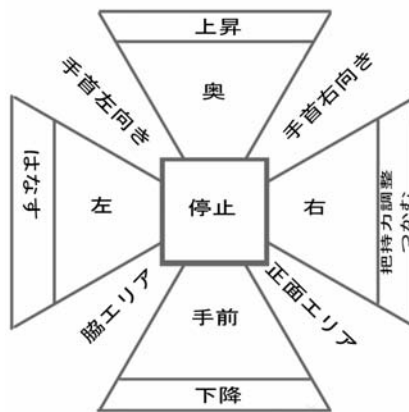


図4 マニピュレータの操作方法

### 3. カメラ・モニタシステム

電動車いすにマニピュレータを取り付けたことによって、その到達範囲にあるものなら床に落としたものでも拾うことができるようになる。しかし車いすに座ると、車体や自分自身の陰に隠れ、その領域全体を目視できないことがある。また車いすの真下付近に落し物が入った場合は、作業可能な位置まで車いすを移動する必要があるが、その際に落し物を電動車いすで踏みつけてしまうことが危惧される。こうした問題から、本研究では車いすの各所に小型ビデオカメラを取り付け、車いす前面にモニタ画面を設置して操作の補助として使うことも検討した。



図5 有効視界測定の様子



図6 カメラ・モニタシステム

#### 3. 1 有効視界の測定

図5は、電動車いす利用者が目視可能な範囲を測定する様子である。通常の走行時と同様に着座し、落下防止用ベルトを着用するが、首での見回しは多少可能である。この条件で被測定者は、マニピュレータの到達可能範囲(黒線)の中で目視できる小石をレーザーポインタで指し、測定者がその小石を取り除くことで記録する。この測定方法によって、体格による個人差がある死角を客観的に明らかにすることができる。カメラ・モニタシステムはこの結果を踏まえて、顕在化した死角領域のうちマニピュレータの操作および電動車いすの運転に必要な領域を撮影するように設置・調整すればよい。

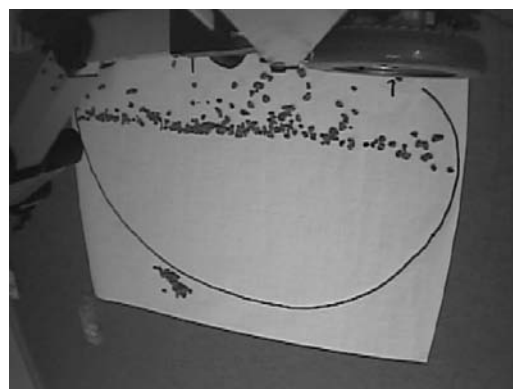
#### 3. 2 カメラとモニタ画面の搭載

電動車いすにカメラとモニタ画面を搭載した状態を図6に示す。現段階では3台の小型カメラで撮影した映像のうちの1つを切り替えスイッチで選択して液晶モニタに表示するシステムとなっており、マニピュレータの操作系とは独立している。

カメラの取り付け位置は、

1. 車いす側面: 床方向作業領域を撮影
2. 車いす底面: 作業領域側の駆動輪周辺を撮影
3. 車いす背面

に仮設置したが、実際には利用目的や利用者の体格、身体能力に応じて調整すべきと考えられる。モニタは、見



(a) 側面用カメラ



(b) 車いす直下カメラ

図7 モニタ画面の映像

易さとマニピュレータの動作範囲に干渉しないように配慮してジョイスティックの先に固定した。

図7に、設置したカメラから撮影した映像を示す。車いすの直近に残る死角(小石の残っている部分)が補完できている。モニターで見る映像は立体的ではないため、絶対的な奥行きを把握するためには、カメラを増やし、他視点からの映像と切り替えて総合的に判断する方法で対応することになる。しかし一般的な生活において物体を持ち運ぶ作業で求められる位置決め精度はそれほど高くなく、慣れた操縦者ならば映像で手先と対象物との相対的な位置関係が把握できる程度で事足りる場合もある。この点に関しては、次年度予定する実証実験の結果を踏まえて、改めて検討する予定である。

また背面カメラはマニピュレータの利用には直接的には関係しないが、後方確認には非常に有用である。電動車いす利用者の多くは、真後ろを振り返って後退することが困難であるため、その場で旋回し基本的に前進で移動することが多い。しかし、エレベータ内のような限られた空間では旋回できないことがあるため、後方の安全を確認する手段としても、このカメラ・モニタシステムが必要とされる可能性がある。

これらの視点切り替えは、現段階ではスイッチを押しての操作となっているが、利便性を考えた上でマニピュレータの操作システムと統合する予定である。

#### 4. まとめ

電動車いす利用者の自立を支援するために開発している車載用マニピュレータの操作方法について検討し、操作システムを設計、開発した。また、このマニピュレータの操作補助および電動車いすの移動自体を支援する目的でカメラ・モニタシステムを開発し、取り付け位置の調整方法について検討を行った。

マニピュレータの操作は、電動車いす利用者が既に習熟しているジョイスティックを使用することで、特に指示入力端末を増やすことなく直感的に作業が達成できるように工夫した。次年度からは、この試作した電動車いすを使い、生活空間における実証実験を行う予定である。

また、今回開発した指示入力方法をテレビや照明器具などの家電製品に応用することも予定している。このような製品は付属のリモコンを使って制御できるが、電動車いすの利用者にとっては扱いにくいとの意見があることから、使い慣れている電動車いす用ジョイスティックで家電も操作できるシステムが望まれている。その他に



図8 スキャン方式操作ボックス

も、電動車いすに搭載したモニター画面を情報端末化するなどの研究を行い、総合的に利用者のQOL向上に寄与するように研究開発を進める所存である。

さらには、より重度の身体障害を持つ場合でも本研究の成果が享受できるよう、ジョイスティック以外の形態をした入力装置でもマニピュレータ等を操作する方法を研究する計画である。一例として図8のようなスキャン方式の操作ボックスなどを検討中であるが、効率的な作業性を実現することが課題であると考えている。

#### 謝 辞

本研究に対して、ユーザとしての立場から研究開発の方針に至るまで貴重なご意見、ご提案を下さいましたバーチャルメディア工房 ぎふ上村数洋理事長に深く感謝いたします。

#### 文 献

- [1] 今井ほか，“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.
- [2] 千原ほか，“身体障害者のQOL(生活の質)を大幅に向上する高機能電動車いすの研究開発 - 操作検証用マニピュレータの設計製作 -”，岐阜県生産情報研究所研究報告 第8号，pp.51-56, 2007.

---

---

岐阜県生産情報研究所研究報告 第8号 平成18年度

発行 平成19年5月

編集発行所 岐阜県生産情報研究所

岐阜県各務原市須衛町4-179-19

TEL: 058-379-3300

FAX: 058-379-3301

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

---

---