

## システムインテグレーションを活用した活動支援システム

### Human Support System Using System Integration

横田 祥\* 橋本洋志\*\* 大山恭弘\*\*\* 中後大輔\*\*\*\*

#### 1. はじめに

人の活動は様々であるが、ここでは日常生活を営む上で欠くことのできない移動という活動を考える。現在、移動のための支援機器は、自転車、車いす、自動車、航空機、鉄道等、多種多様なものが利用可能である。中でも、近年は個人用の近距離移動システムである、電動車いすやシニアカーを含むパーソナルモビリティの開発や実用化が盛んである。このような個人用の移動システムの特徴は、鉄道や航空機等の大規模な移動システムと比較すると、ユーザが個別かつ直接、移動システムを操縦し移動する点にある。したがって、個人用の移動機器の設計においては、簡単かつ負担の少ない操作をユーザに提供することが重要である。このためには、人が使いやすいような人体構造や動作範囲の考慮、少ない力で操作可能とするための力学設計、さらには直観的に操作できるインタフェースの考慮が要求される。これらの要求に応えるために、ソフトウェアやハードウェアの多数の要素を、支援内容の要求を満たすように統合し支援システムを構築する。このような、要素を統合しシステムを設計する手法は、一般的に、システムインテグレーションと呼ばれており、その代表的な例としてロボットシステムが挙げられる。

本稿では、システムインテグレーションによる活動支援システムとして、移動支援システムを考え、電動車いすのスムーズな操作を可能とする身体動作インタフェースと、手動車いすの段差乗越えを容易にするキャスタユニットの2つの事例を紹介する。

#### 2. 身体動作インタフェース<sup>1)</sup>

一般的な電動車いすの操作インタフェースは、ジョイスティックであり、ユーザは車いすの動作を予測し、意識的に手首の動作を組み合わせ、それを操作する必要がある。したがって、予測と動作の組合せという意識的動作が必要であるため、ジョイスティック操作は直感的とは言い難い。また、ジョイスティックは手首の小さな動きに反応するため、その操作は、手首の複雑な動作を必要とする。手首の複雑な動作は、加齢とともに難化するという報告があり、このことは、操作ミスを生じ、車

いす走行時の事故要因の1つとなることが考えられる。

一方、人の動きには、随意運動に伴う姿勢変化を抑えるための無意識の身体動作が存在する。例えば、自動車を運転し、カーブを曲がる場面で、ユーザが無意識にカーブの方向に上体を倒す動作が観察される。このような身体動作の特性をインタフェースに利用すれば、直感的な操作を可能することができると考え、我々はこのようなインタフェースを身体動作インタフェースと称し、電動車いすのインタフェースとして利用することを考えた。図1は操作の様子である。

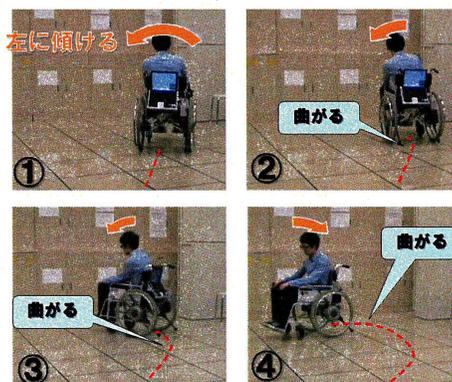


図1 身体動作インタフェースによる電動車いすの操作

#### 2. 1 システム構成

この操作インタフェースを実現するための要求仕様は次の3つである。

- ① 無拘束に上体の身体動作を計測する。
- ② 既存の電動車いすシステムを利用する。
- ③ 曖昧な動作を含む身体動作から操作意図を抽出し操作に反映させる。

①は計測システム、②はハードウェア、③は情報処理の各要素に対する要求仕様である。これらの要素を設計・統合し直観的な操作を可能とする身体動作インタフェースを構成する。

#### 2. 2 身体動作の計測

車いす利用時には、ユーザと椅子は常に接触しており、さらにユーザの上体の姿勢が変化すると、その接触状態

\*理工学部 機械工学科, \*\*産業技術大学院大学

\*\*\*東京工科大学, \*\*\*\*関西学院大学

も変化する。本システムはこのことに着目した。このため、実験を通して、背もたれと座面のどちらの圧力分布(図2)がより顕著に身体動作を表すかを調べた。その結果、背もたれの圧力分布が座面の圧力分布と比較し、より顕著に上体の動作を表すことが分かった。このことから、本システムは背もたれの圧力分布情報を用いて、身体動作を計測した。

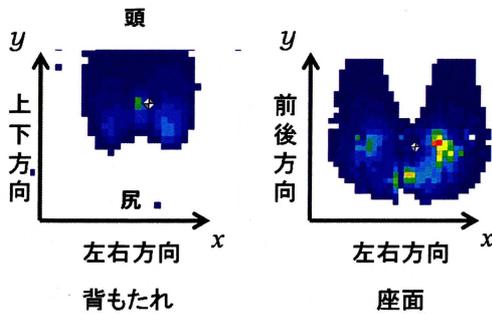


図2 背もたれと座面の圧力分布の例

### 2.3 電動ユニットとの統合

既存の電動車いすの電動ユニット(YAMAHA製 JW-1)と計測システムを図3のように構成した。身体動作を計測する圧力センサを車いすの背もたれに設置し、PCを用いてその情報を取得する。そして情報に基づき電動ユニットへ指令し車いすを動作させる(詳細は次節で述べる)。電動ユニットの指令値の受け取り方法は、車いすの前進速度と回転速度を表す2つのアナログ電圧であるため、PCと電動ユニットの間にDA(デジタル-アナログ)変換のインタフェース回路を設置し、PCからの命令を電動ユニットが解釈できるアナログ電圧に変換し、電動ユニットへ命令する。

### 2.4 身体動作から操作意図の抽出

身体動作は精密さに欠けるため、その動作は曖昧である。そのため、例えば、ユーザが前進を意図し前へ上体を傾けた後、停止を意図し上体を元の位置に戻したとしても、厳密に同じ位置に上体を戻すことは困難である。そのため、上体の動きに直結して車いすの指令値を生成すると、その操作は困難なものとなる。したがって、曖昧な動作を吸収し車いすへの指令値を生成する方法を見出す必要があり、ここでは、大きな情報量を分類するための学習手法の1つである自己組織化マップを用いて、身体動作の分類を行った。身体動作を操作意図に関連する7つに分類し、これに基づき、電動ユニットの指令値を生成した(図4)。

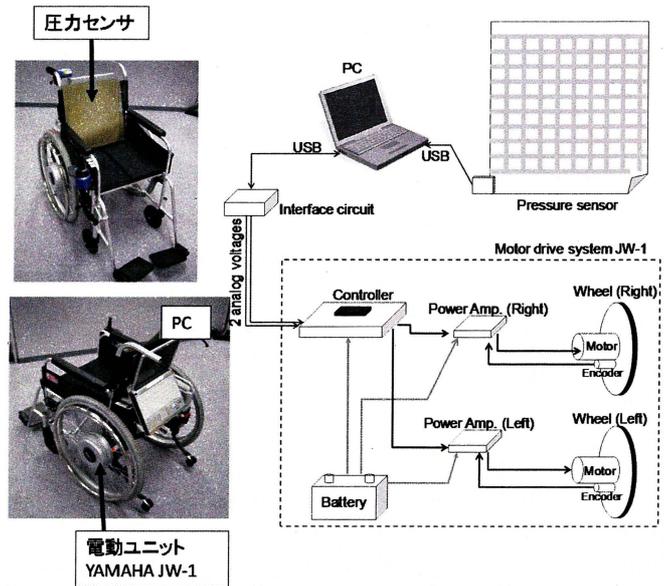


図3 システム構成図とシステムの外観

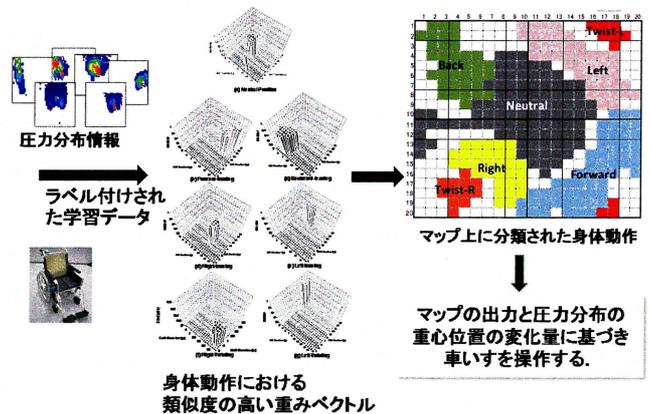


図4 自己組織化マップによる身体動作の分類

### 2.5 走行実験と評価

本インタフェースの操作感を評価するために主観的評価の1つであるSD(Semantic Differential)法と因子分析を用いた走行実験を行った。実験では、被験者に、5分間の自由走行の後、アンケートに回答するよう依頼した。得られたアンケート結果を因子分析した結果、被験者の本システムの操作感に対する印象として“素直”、“簡単・直観的”という2つの因子が抽出され、その2つの因子空間に被験者の回答をプロットした(図5)。

この結果から、本インタフェースに対する操作感は、直感的または素直であるということが分かり、身体動作インタフェースは、簡単な操作感をユーザに提供し移動支援を実現できることが分かった。

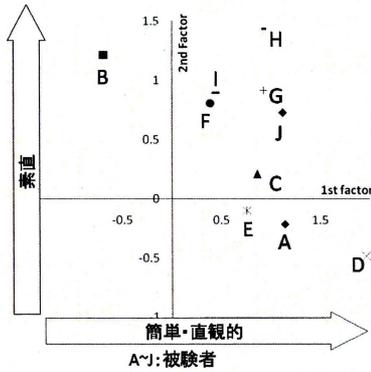


図5 本インタフェースに対する被験者の感覚

### 3. 段差乗り越え補助キャスタ<sup>2)</sup>

近年、バリアフリーの促進により、車いすユーザの移動を容易にするための、スロープ、リフトの装置や段差を解消する動きがみられる。しかし一方で、歩道と車道の段差のようなちょっとした段差は、整備されずに残されていることが多い。手動車いすで、段差乗り越えを行う際は、腕の大きな力が必要となり、特に、斜めから段差を乗り越える場合には、さらに大きな力が要求される。手動車いすユーザの移動を支援するためには、可能な限り小さな力で、かつ余分な動作をせずに段差乗り越えを実現することが望まれる。そこで、我々は、車いすのキャスタ部分を改良することで、小さな力で正面からも斜めからも段差を乗り越えられるキャスタユニットを開発した。

#### 3.1 段差乗り越えの問題点と解決する機能

車椅子の段差乗り越えにおける問題点は次の2点である。

- ① キャスタ車輪直径による物理的な段差乗り越え高さに限界がある。
- ② キャスタ特性(首ふり)により段差の斜め進入時に腕の駆動力が分散される(図6)。

この2つの問題点を解決するために、我々は、「補助プレート」「ロック機構」という2つの機能を従来のキャスタに付加したキャスタユニットを開発した(図7)。

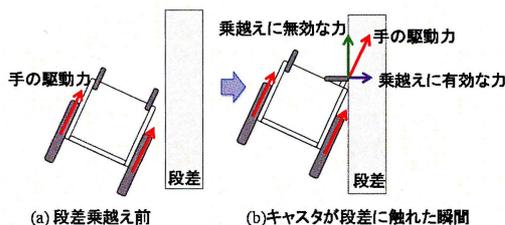


図6 段差乗り越え時のキャスタ首ふりによる駆動力の分解

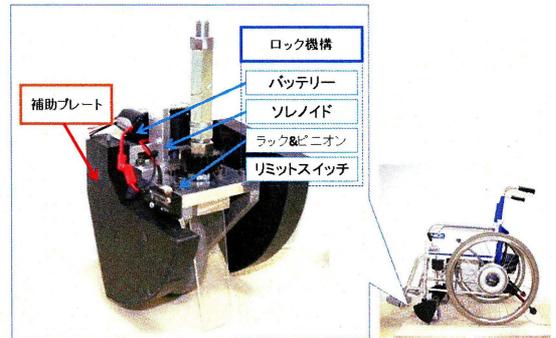


図7 開発したキャスタユニットの外観

補助プレートは、車いすの前輪部分の限られた空間で仮想的に大きな車輪と同等の半径の車輪の機能を提供するもので、これにより通常のキャスタと比較し、小さな力で段差を乗り越えることが可能となる(図8)。

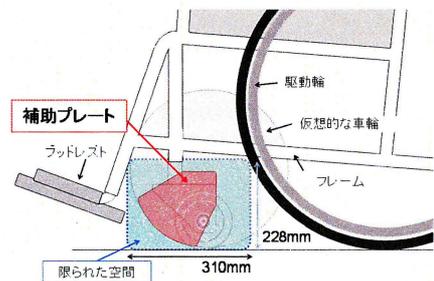


図8 仮想的に大きな車輪と同等な補助プレート

ロック機構は、段差乗り越え時のキャスタの首ふりを機械的に固定し、手の駆動力を有効に利用するためのものである。この機構は、リミットスイッチ、ソレノイド、ラック&ピニオンギアから構成される(図9)。

段差乗り越えによる補助プレートの回転を感知するリミットスイッチが、段差乗り越え時にONとなり、ソレノイドが駆動する。ソレノイドは、ラックギアを引き上げ、キャスタの取り付け軸に固定されているピニオンギアとかみ合い、キャスタの首ふりが固定される(図10)。

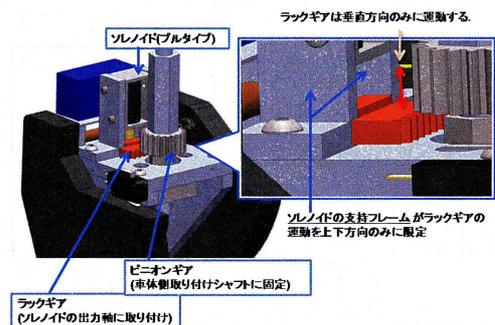


図9 ロック機構の構造

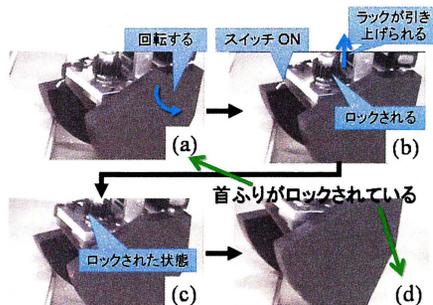


図10 ロック機構と補助プレートの動き

### 3. 2 実験による評価

開発したキャスタユニットの性能を評価するために、車いすのハンドリムと駆動輪の間にロードセルを取り付け(図11)、そのひずみの値を腕の駆動力とみなし、段差乗越え実験を行った。



図11 ロードセルの取り付け位置

まず、補助プレートの機能を確認するために、正面からの段差乗越えを補助プレートの有無の2つの場合で、段差高を20, 30, 40[mm]に変化させ、実験した。結果は、表1に示すように、全ての段差高で、補助プレートを用いた場合がロードセルのひずみが小さく、手の駆動力を低減できている。さらに、補助プレートにより通常乗越えが不可能な段差高(40mm)も乗り越え可能であることが確認された。

表1 正面からの段差乗越え：最大ひずみ[10<sup>-6</sup>]

段差高[mm]	補助プレート有	補助プレート無
20	54.1	73.9
30	58.3	102.8
40	59.9	乗越え失敗

次に、ロック機構の効果を確認するために、斜め45度からの段差乗越えを、補助プレートを付けた状態で、ロック機構の有無の2つの場合で実験した。結果は表2に示すように、全ての段差高で、ロック機構によりひずみが小さくなり、通常的首ふりのある場合と比較し、乗越えにかかる力を低減できていることが確認できた。

表2 斜め45°からの段差乗越え：最大ひずみ[10<sup>-6</sup>]

段差高[mm]	補助プレート有 ロック機構有	補助プレート有 ロック機構無
20	34.9	36.3
30	46.2	56.4
40	54.3	61.3

以上、2つの実験結果から、開発したキャスタユニットは、正面、斜めの両方の段差乗越えにおいて、従来の車いすキャスタを用いた場合と比較し、手の駆動力を低減でき、手動車いすユーザの移動の一部を支援できることが確認できた。

### 4. おわりに

本稿では、システムインテグレーションの例として、移動支援システムを取り上げ、身体動作インタフェースと段差乗越え補助キャスタを紹介した。身体動作インタフェースの事例では、身体動作の計測、電動ユニットとの統合、曖昧な身体動作からの操作意図の抽出という要求を満たすようにシステムを設計した。キャスタの事例では、手動車いすの段差乗越え時の問題点とそれを解決する要素機能を整理し、少ない力での段差乗越えを補助するキャスタユニットを設計した。

今後は、多様な人の活動を柔軟に個人に適合する形で支援するために、ハードウェアとソフトウェアの融合のみならず、人の心理状態も“システムインテグレーション”した支援システムを考察する予定である。

### 謝辞

本研究の一部は、科研費2170022の助成を受けたものである。

### 参考文献

- 1) Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Ohyama, Jinhua She, "Electric Wheelchair Controlled by Human Body Motion - Classification of Body Motion and Improvement of Control Method -", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.22 No.4, pp. 439-446, (Augst 2010)
- 2) Sho Yokota, Hiroshi Hashimoto, Daisuke Chugo, Kuniaki Kawabata, "Improvement of Assistive Wheelchair Caster Unit for Step Climbing", Proceedings of the 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication Ro-Man 2012, pp. 240-244, (2012.9)