車いすの適合支援技術

Adaptation Technologies for Manual Wheelchair

執筆者プロフィール

佐々木 誠
Makoto SASAKI

■2000年秋田大学鉱山学部機械工学科卒業
2005年秋田大学大学院工学資源学研究科 生産・建設工学専攻博士課程修了
■主として行っている業務・研究
・身体運動メカニズム
・車いす適合支援システム
・人工関節運動シミュレータ
■所属学会および主な活動
日本機械学会, 計測自動制御学会, バイオメカニズム学会
■勤務先
正員, 佐賀大学大学院助教 工学系研究科 生体機能システム制御工学専攻
(〒840-8502 佐賀市本庄町1番地/
E-mail: sasaki@me.saga-u.ac.jp)

1. はじめに

車いすは、いすとしての身体保持要素と、車輪としての移動要素を兼ね備えた、最も身近な生活支援機器である。その種類と機能は、ユーザの身体機能、使用環境、使用目的に応じて多様化し、マラソン、テニス、バスケット、ゴルフ、海水浴など、さまざまなスポーツ、レジャーへの参加が可能になっている。また、最近では、ダウンヒルやドリフト、バックフリップ（後方宙返り）など、エクストリームスポーツに挑戦する車いすユーザも現れており、一見、肢体不自由者であることを忘れさせてしまうほど、見るものに大きなインパクトを与えている。

いっぽう、このようなエクストリー

ムスポーツを行う車いすユーザは、ごくわずかであり、実際には、日常生活で生じる、より現実的な問題を解決できるよう、さまざまな視点から車いす開発・適合に関する研究がなされている。そこで、本稿では、車いすユーザの抱える問題と、その工学的な改善方法をいくつか紹介し、人間と車いすの良い関係について考えていきたい。

2. 車いすの問題

バリアフリーという言葉の浸透とともに「車いすの問題イコール段差や斜面」と社会に広く認知されてきている。しかしながら、朝起きてから夜寝るまでのほとんどの時間を車いす上で生活し、かつ、その生活動作の大部分を上肢運動に頼っている車いすユーザにとって、車いす使用に伴う問題は、これら環境の問題だけではない。たとえば、体幹と骨盤を適切に保持し、安定した座位姿勢を実現できなければ、褥瘡^{そくそう}、拘縮^{けいしよく}、痙性^{けいせい}、内臓の機能障害などが生じ、また、身体寸法や残存機能に適したハンドリム位置・径を選択できなければ、頸痛^{けいしよく}、肩痛^{けんしよく}、腱鞘炎^{けんしよく}、手根管症候群など二次的障害が発症する恐れがある⁽¹⁾。とりわけ、車いす長期ユーザの半数以上が経験する後者の問題は、他の日常生活動作を妨げ、行動意欲の低下や寝たきりを助長する可能性があるため、残存した上肢機能での生活を余儀なくされている車いすユーザにとって、日常生活を脅かす深刻な問題となっている⁽²⁾。

3. 人間と車いすの適合評価

上肢の痛みや二次的障害の問題を改善するためには、個々人に適したシーティングとハンドリム位置・径の実現が不可欠である。著者らは、このハン

ドリムの適合という問題に対して、身体モデル解析に基づく車いすの適合評価を行っている。

車いす駆動をはじめとする人間の身体運動は、上位中枢からの神経指令により、筋が収縮、弛緩することによって発現される。筋の張力は、骨格のリンク機構を介して関節トルクに変換され、身体の運動と力を生成する。身体モデル解析とは、この身体運動と駆動力の計測値から、関節トルクや筋張力などの実測困難な生体内力を推定しようとするものである（図1）。

図1(a)は、駆動計測実験の様子である。車いすの駆動動作は、身体各部にはり付けた赤外線反射マーカを複数のカメラで撮影する、モーションキャプチャーシステムを用いて計測できる。また、ハンドリムに加えた駆動力（力とモーメント）は、ハンドリムと車輪を切り離し、その間に6軸力覚センサを組み込むことで計測できる。(b)では、身体運動を三次元剛体リンクモデルで記述し、計測した各関節の軌道と駆動力から、逆動力学計算を用いて関節トルクを算出する。(c)では、筋の付着位置や走行など、筋の幾何学的配置を表した筋骨格モデルを用いて、関節トルクの計算値から筋張力を推定する。この際、関節を駆動する筋の数よりも関節数が少ない不良設定問題となるため、各筋の最大筋張力（生理断面積）に応じて負荷が分散されるよう、最適化計算を用いて各筋の張力を推定する。

車いすの適合は、長い間、官能評価を中心とした試行錯誤的な繰り返しにより行われてきたが、関節トルクや筋張力を推定することで、生体負荷という客観的な視点から合理的に適合を行うことができる。また、理学療法士や作業療法士などの経験的な知識、勘に頼ってきた現状に対し、処方された適

図1 身体モデル解析

筋骨格モデルは、秋田大学工学資源学部機械工学科の巖見武裕らが開発したもの。X線CT画像から抽出した骨格形状と、MRI画像から取得した筋の付着位置、走行経路を三次元構築した詳細なモデル。

図2 車いすシミュレータ

(a) ハンドリム式 (b) レバー式の計測システム

図3 駆動力計測用ホイール

合の根拠と効果を科学的に評価し、適合現場へとフィードバックすることもできる。著者らは、このような身体モデル解析のほかにも、残存筋力（最大関節トルク）の実測値に基づく車いす操作性の評価⁽³⁾や最適駆動フォームの探索⁽⁴⁾など、さまざまな車いす適合に関する研究を行っている。興味のある読者は、文献などを参照されたい。

4. 車いすシミュレータの開発

生体計測や身体モデル解析、ロボット制御技術など、機械工学の計測・制御技術を用いて、多大な時間と労力を要する車いす適合を自動化できないだろうか？ そのような発想のもと、著者らは、車いすシミュレータの開発に着手している⁽⁵⁾。

本シミュレータは、ホイールベース長さ、トレッド幅、シート高さ、座面角度、背もたれ角度、駆動抵抗などをパソコンで自由に制御できるよう、各部にリニアアクチュエータ、リニアガ

イドウェイ、パウダブレーキなどを組み込んでいる（図2）。また、駆動部には、ハンドリム操作が困難な肢体不自由者の移動を支援できるよう、小さな手先力で操作可能なレバー式車いす（Wijit, Avant社）を装着することもできる（図3）。本シミュレータの開発は、まだ始めたばかりではあるが、「個々人に適した駆動方式とそのポジショニングを短時間で効率良く探索する適合システム」を近いうちに実現できると信じている。

5. おわりに

人間と車いすの良い関係を築くためには、医学的、臨床的な知識、技術だけでなく、生体計測技術、身体モデル解析技術、ロボット制御技術など、さまざまな工学技術が不可欠である。機械工学の発展を担う読者の中で、このような研究分野に興味を持つ学生が一人でも増えることを期待し、本記事を終えることにする。

文 献

- (1) Cooper, R. A., *Wheelchair Selection and Configuration*, (1998), Demos Medical Publishing.
- (2) Curtis, K. A. and Dillon, D.A., Survey of Wheelchair Athletic Injuries: Common Patterns and Prevention, *Para-plegia*, 23 (1985), 170-175.
- (3) 佐々木誠・巖見武裕・大日方五郎・ほか, 上肢運動特性に基づく車いす操作性と手先力パターンの解析, 日本機械学会論文集, 73-732, C (2007), 2279-2286.
- (4) 三浦弘樹・佐々木誠・大日方五郎・ほか, 車いす最適設計のための3次元上肢運動解析, バイオメカニズム, 18 (2006), 89-100.
- (5) Sasaki, M., Iwami, T., Obinata, G., ほか, Development of a New Adaptation System for a Manual Wheelchair Based on Human Body Function, *Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science*, (2007-6), 478-483.