

車いす最適設計を目的とした順動力学シミュレーション Direct Dynamics Simulation for Optimal Wheelchair Design

○松田 敬子*, 佐々木 誠*, 長谷 和徳**, 山口 昌樹*

○Keiko Matsuda*, Makoto Sasaki*, Kazunori Hase**, Masaki Yamaguchi*

*岩手大学, **首都大学東京

*Iwate University, **Tokyo Metropolitan University

キーワード: 車いす (wheelchair), レバー駆動 (lever propulsion), 最適設計 (optimal design),
順動力学シミュレーション (direct dynamics simulation)

連絡先: 〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学 工学部 機械システム工学科
佐々木 誠, Tel & Fax: (019) 621-6385, E-mail: makotosa@iwate-u.ac.jp

1. はじめに

来るべき 21 世紀を豊かな長寿社会とし、高度な福祉社会とすることが望まれている。この目的のために科学技術の果たすべき役割は大きい。将来の高福祉社会で要求される様々な生活支援においては、操作の安全性や機械自体の柔軟性などを含めて人間親和性の高い機器開発が必要となっている。機械と人間との親和性は、機械的接触、知能的接触、心理的接触などのレベルに分けられる。この中でも人間との機械的親和性は、人間の基本的な生活、余暇活動に必須の条件であり、高齢者や障害者など、ユーザーの特性を十分に考慮した機器設計 (人間中心設計) が求められている。そのために、与えられた機械に人間が合わせるのではなく、機械が人間に適合するように、形状や特性を柔軟に変化させること、そして、そのような概念を設計に反映

することが重要と考えられる。

人間との親和性が求められる生活支援機器の一つとして、車いすがあげられる。一般に車いすは、使用者の残存機能や体型、生活環境などに合うように、医師や療法士などの判断により処方される。しかし、車いすと使用者の適合性は、処方の経験や技量、聞き取り調査などによって大きな差が生じる問題がある。また、これまでの研究においても、個々人に適した車いすを設計する方法や駆動効率を改善する方法などの有用な指標を示した研究は少ない。

本研究では、使用者と車いすの適合性や駆動効率を最適化するシミュレータ技術の開発を目的とする。ここでは、その全体構想の説明と、動力学シミュレーションを用いて生成した車いす駆動動作の結果について報告する。

2. レバー式車いす

車いすとは、一般にハンドリム式車いすを指す場合が多い。これに対して、近年では、レバーの往復操作によって移動を獲得するレバー式の車いすも開発されている。

レバー式車いすでは、ハンドリムの半径よりも長いレバーを使用するため、ハンドリム式よりも小さな力で移動できることが知られている。また、レバーの長さ、グリップの位置・角度、駆動輪の設置位置など、設計パラメータが豊富であり、これらを適切に設計することで、使用者に最適な車いすを処方できると考えられる。動力学シミュレーションを想定した場合でも、手とグリップが駆動途中で離れないことから、計算条件が容易になるというメリットもある。

3. 駆動シミュレーション

3.1 全体構想

本シミュレータの全体構想を図1に示す。まず、個人の身体寸法や残存筋力、関節可動域などの身体パラメータに基づいて、車いすの設計パラメータを初期化する。次に、順動力学計算により、駆動動作を生成し、適合性を評価する。その後、身体負荷の少ない、効率の良い駆動条件を決定するために、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を用いて、レバー長さ、グリップ位置・角度、駆動輪の設置位置などの最適化を図り、個人に最適な車いすを決定する。



図1 車いす最適設計のための全体構想

3.2 車いす着座姿勢のモデル化

本シミュレーションで用いる身体力学モデルは、20リンク、29自由度を持つ全身の3次元モデルである(図2)。車いす駆動に必要な上肢の自由度は、肩に5自由度(胸部・鎖骨モデル間に2自由度、鎖骨モデル・上腕関節間に回転3自由度)、肘関節に1自由度、手首関節に3自由度である。

身体各節の質量や慣性モーメントなどの身体パラメータの値は、一般的な成人男性を想定し、文献などを参照して決定した。また、各関節には非線形の弾性特性と粘性特性を表す受動抵抗モーメントが作用するようにした。なお、本モデルは、関節モーメントによって駆動されるようになっており、筋の付着位置などの筋骨格系のモデル化は行っていない。



図2 身体力学モデル

3.3 駆動生成

身体運動を記述する慣性座標系における身体特徴点位置の目標位置を定め、これに到達するように身体モデルを駆動させた。身体特徴点位置の移動軌跡の時間変化は、躍度最小軌道によって定めた。身体各部の関節運動は、身体力学系の逆モデルと順モデルの両方を含むポテンシャル場理論に基づき、躍度最小軌道との誤差と関節モーメントの総和で表される身体力学負担の両方を最小化するように定めた。

3.4 駆動評価

駆動評価には、関節が成した仕事 J_h と車いすが成した仕事 J_w の比である駆動効率 E を用いる。

$$E = \frac{J_w}{J_h} \quad (1)$$

$$J_h = \sum_{i=1}^n |\tau_i \dot{\theta}_i| dt \quad (2)$$

$$J_w = \sum_{j=1}^2 |\tau_j \dot{\theta}_j| dt \quad (3)$$

ここで、 n は関節数、 τ_i は i 番目の関節トルク、 $\dot{\theta}_i$ は i 番目の関節角速度、 τ_j は車軸まわりのトルク、 $\dot{\theta}_j$ は車軸の角速度を表す。

3.5 遺伝的アルゴリズムを用いた最適化

駆動効率が高く、身体負荷が小さいレバー長さ、グリップ位置・角度、駆動輪の設置位置などを、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を用いて探索する。ただし、現時点では、遺伝的アルゴリズムをプログラムに組み込んでいない。

3.6 シミュレーション条件

駆動中のレバーの可動域が十分に小さいことから、手先の軌道を厳密な円弧運動ではなく、直線近似で与えた。また、車いすのシートやレバーからの反力は一定値を与えるものとした。なお、本シミュレーションでは、車いす駆動の1周期のイベントを、座位の安定化、駆動期、回復期の3つに区切り、各イベントごとに身体特徴点位置の目標位置を設定した。

4. 結果と考察

図3には順動力学シミュレーションにより生成されたレバー駆動の様子を示す。図中の緑色は身体、黄色は車いす、青色は車いすと身体との間の反力ベクトルを表す。これにより、駆動期ではレバーを前に倒して推進力を生成し、回復期ではレバーを元の位置に戻す

という、レバー式車いすの基本的な運動を生成できていることが確認された。

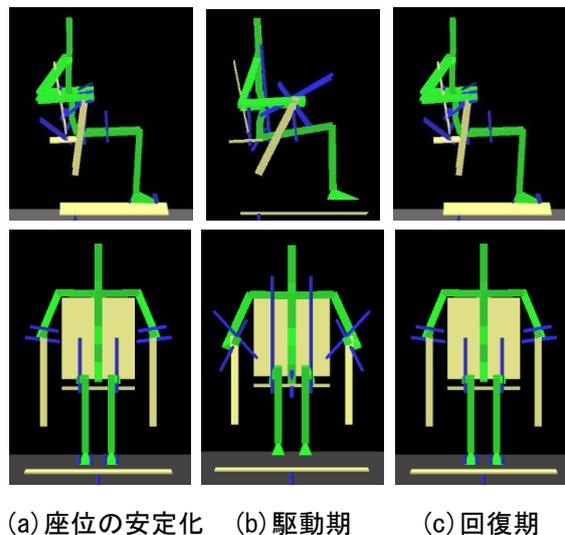


図3 シミュレーション結果

5. まとめ

本研究では、個人に最適な車いす設計を目的とし、レバー式車いすの駆動動作を、順動力学シミュレーションによって生成した。

今後は、遺伝的アルゴリズムを用いた最適化計算や、実測データとの比較を行うことで、本提案手法の有効性について検討する予定である。

なお、本研究の一部は、公益財団法人立石科学技術振興財団平成23年度研究助成の支援を受けて実施された。

参考文献

- (1) 植村隆太郎, 竹原昭一郎, 長谷和徳, 運動姿勢評価のための車両・人体・筋骨格の統合的動力学モデルの構築, 日本機械学会 2011 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, J102043, 2011
- (2) 張哲, 長谷和徳, 竹原昭一郎, 3次元全身モデルによる身体運動生成システムの構築, 日本機械学会 2011 年度年次大会 DVD-ROM 論文集, J102022, 2011