

## 立位・座位姿勢遷移を支援する受動型外骨格機構を有する立位姿勢移動機器の開発

Standing Mobility Vehicle with Passive Exoskeleton Mechanism for Assisting Sit-to-Stand Motion

○江口洋丞(筑波大) 門根秀樹(筑波大) 鈴木健嗣(筑波大/JST)

Yosuke EGUCHI, University of Tsukuba

Hideki KADONE, University of Tsukuba

Kenji SUZUKI, University of Tsukuba/JST

**Abstract:** We develop a personal mobility vehicle to support and assist people with disabled lower limbs. It has a mobile platform that can be controlled by torso posture of a user, and also has a passive exoskeleton that allows the user to sit down on chairs or beds, and stand up by easy operation. We focused on transformation of loaded moments around the ankle and knee joints while sit-to-stand motion, and realize assistance system with a passive mechanism (PAL: Passively Assistive Limb) for the motion by compensating the loaded moment using gas springs. In this paper, assisting functions for sit-to-stand motion and upright locomotion are investigated using a prototype of the developed personal mobility vehicle.

**Key Words:** Sit-to-stand motion, Upright Locomotion, Life Support, Welfare Equipment

## 1. はじめに

日本では10万人以上が脊髄損傷で不自由な日常生活を強いられている。その受傷原因の4割は交通事故によるもので、年齢別では20代と50代が多くみられる<sup>(1)</sup>。脊髄損傷後に社会復帰する際、社会生活に必要な起立着席動作や立位移動を支援する方法は極めて限られる。移動機能を補う手段として車椅子があるが、乗車時は常に座位姿勢からの視点となり、立位視点を前提として整備された社会環境においては生活が不便になる。また、健常者らとコミュニケーションを図る場面においては、視点や上体高の違いから身振り手振りを交えた会話をする際の障壁となっている<sup>(2)</sup>。さらに、車椅子で移動する際には手動や電動を問わず少なくとも片手を操作に用いるため、歩行移動のように両手を自由に使うことができない。これまで、立位姿勢をとることによる骨代謝や循環器系等における医学的な効果<sup>(3)</sup>や自立性の向上に注目し立位姿勢をとることが可能な電動車椅子LEVO(LEVO AG)などが開発されているが、一般にこうした機器は大型となる。

一方、自転車や自動車に代表される既存の移動機器に加えSegway PT(Segway Inc.)などの高い機動性を有する小型移動機器が開発されているが、そのほとんどは自立可能な健常者を想定して設計されている。そこで本研究では、下肢機能の支援により大幅な自立性の向上が期待される上肢上体が健常な下肢障害者を想定し、日常的な社会生活を支援する新たな支援機器を提案する。

## 2. 提案手法

Fig.1に提案する試作機の使用概略図を示す。これは、電動車輪と外骨格部から構成される。電動車輪により移動に伴う乗員の肉体的な疲労の軽減を図り、外骨格部は立位姿勢、座位姿勢間の姿勢遷移と両姿勢の維持を支援するとともに、乗員の胴体姿勢から移動意思を推定するインタフェースとして機能する。外骨格部の足関節、膝関節、胴体を支持する左右1組の外骨格の姿勢を4器のポテンシオメータにより取得し、乗員の推定姿勢とそれに基づく電動車輪制御をマイクロコンピュータにより行う。

## 2-1 姿勢支援

自身での起立・着座動作、及び立位姿勢の維持が困難な下肢に障害がある乗員には、姿勢遷移支援が必要である。

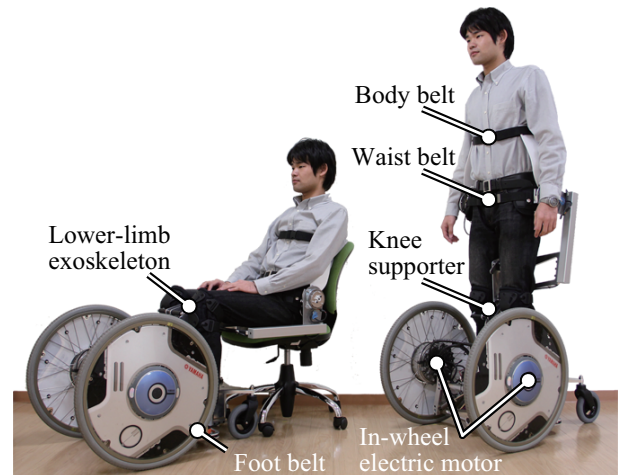


Fig. 1 Overview usage of the developed prototype

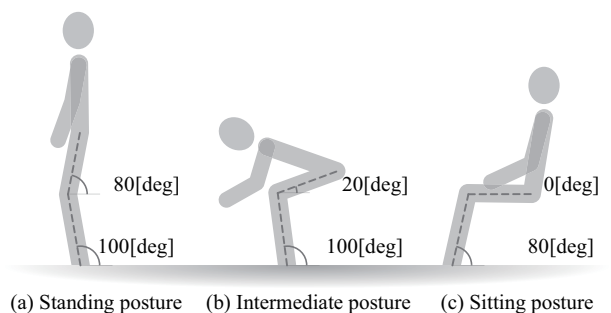


Fig. 2 Inter-postural transition model

そこで本研究では、体重に占める胴の質量比が成人男女ともに約48%<sup>(4)</sup>と非常に大きいことに着目し、上体の動きによる重心位置変化を利用して姿勢遷移動作を乗員自身が制御し、かつ可能な限り自然な遷移動作を小型軽量な外骨格機構で実現するために、ガススプリングによる受動機構(PAL: Passively Assistive Limb)を提案する。

まず、Fig.2に示す姿勢遷移モデルを実験的に定め、座位姿勢(c)から足関節を背屈させて中間姿勢(b)に移行、その後膝関節を伸展させて立位姿勢(a)に到達する起立動作とその逆を辿る着席動作を設定する。次に、人体を矢状

面上で近似した4リンクモデルを用い、姿勢遷移中に上体を前傾させた場合と垂直とした場合とで足関節と膝関節に負荷されるモーメントを計算する。そして、上体前傾姿勢により負荷される比較的小さな両関節の負荷モーメント、及び鉛直姿勢による比較的大きな同モーメントとの間にガスプリングが発揮する関節モーメントが収まるよう設計する。起立動作初期相の座位姿勢においては、動作開始の明確な意思確認を行うため、乗員が手で座面を押し出さないと動作が開始しないよう配慮する。また、姿勢遷移後に外骨格の姿勢を固定し乗員姿勢を維持するため、伸縮固定機能付きガスプリングにより両関節を駆動する。

## 2-2 立位姿勢での移動支援

多くの電動車椅子はジョイスティックコントローラなど、上肢の操作を必要とするインターフェースを有する。しかし、上肢は物体の把持操作や対人コミュニケーションにおいて大きな役割を担っているため、日常生活支援という観点から考えると、移動機器の操作に手を用いないようにすることが望ましい。

そこで本研究では、前述の電動車輪と外骨格部を利用した移動手法を提案する。具体的にはFig.1の胴体帯により胴体の動きに追従する外骨格の姿勢から胴体前後方向及び左右ねじり方向の姿勢を推定し、これに基づき電動車輪を制御して前後及び旋回移動を実現する。電動車輪には、電動車椅子駆動ユニットJWX-1(Yamaha Motor Co.,Ltd.)を用いる。これは、ジョイスティックを通じた前後左右の速度指令入力を基に左右1組のインホイールモータを制御することで前後進と左右旋回を実現している。ここでは、ジョイスティックへの操作入力信号を生成する回路を構築し、胴体姿勢に基づいたフィードフォワード制御を行う。

## 3. 評価実験

まず、姿勢支援における提案手法の有効性を検証するため、被験者に開発機を装着し外骨格部の支援による起立・着席動作を行いその動作を確認する。健常被験者4名(男性3名、女性1名)について特別な訓練を施さずに起立・着席動作が可能であることが確認された。動作の概略をFig.3に示す。立位姿勢においては、主に膝サポータと腰ベルトによって乗員の姿勢が保持され、脚に負担なく立位姿勢の維持が可能であることが確認された。

さらに、健常男性被験者1名について、本実験での姿勢遷移動作を三次元動作解析装置(Motion Analysis社製Mac3D System)で計測する。乗員の姿勢計測結果をFig.4に示す。この図より、上体の前後動作に伴い姿勢遷移動作が制御されていることが確認された。

次に、乗員の胴体姿勢に基づく移動制御の動作検証を行う。健常男性被験者1名について、胴体姿勢に基づく立位移動の動作を確認する。三次元動作解析装置で乗員の胴体前後姿勢及び機体並進速度を計測した結果をFig.5に示す。機体は初期状態においては停止しており、乗員の胴体前傾に合わせて加速した後、後傾に伴って停止させることが可能であることが確認された。

## 4. まとめ

本研究では、日常生活における基本的な動作である立位、座位間の姿勢遷移および立位姿勢の維持を支援し、乗員の胴体姿勢を読み取る受動型外骨格機構と、胴体姿勢に基づき制御される電動車輪からなり立位移動を可能とする新しい移動支援機器を提案し、試作することでその実現可能性を示した。開発した機器を使用することにより特別に訓練



(a) Motion to stand up (b) Motion to sit down

Fig. 3 Motion of inter-postural transition using exoskeleton assistance system

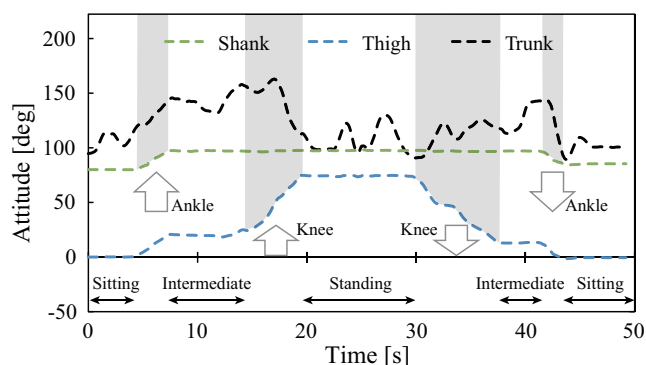


Fig. 4 Attitude of trunk and joint moment during inter-postural transition

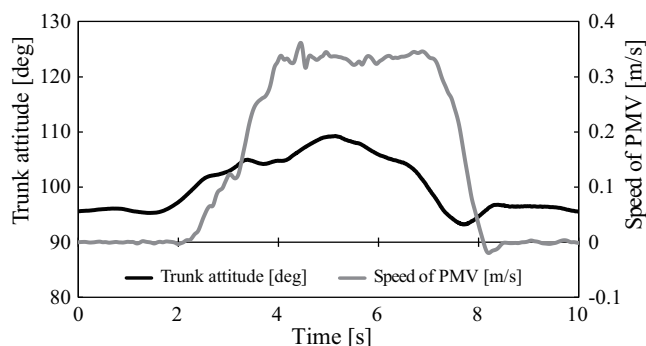


Fig. 5 Relationship between attitude of trunk and speed of the vehicle

せずに起立着席動作が可能であること、外骨格からの支持により立位姿勢維持のために乗員の脚負担がないこと、そして立位姿勢において胴体姿勢に基づいた移動制御が可能であることが示された。今後は、異なる体型に対応するための調整機構の構築や屋内外での走行実験を通じた機体の安定性確保に向けた検証を進めたい。

## 参考文献

- (1) 新宮彦助, 日本における脊髄損傷疫学調査第3報(1990-1992), 日本パラプレジア医学会雑誌, vol. 8, no. 1, p.p. 26-27, 1995.
- (2) Nancy Mairs, 車椅子の高さで, 晶文社, 1999.
- (3) 伊藤倫之ら, 歩行のための訓練・体力づくり, Journal of Clinical Rehabilitation, vol. 11, no. 3, pp. 204-211, 2002.
- (4) 松井秀治, 運動と身体の重心, 杏林社, 1958.