

平成21年5月12日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18560259  
 研究課題名（和文） 高齢者の運動能力を維持・増進する電動車制御系設計に関する研究  
 研究課題名（英文） Study on the Design of Electric Cart Control System for Maintaining/Improving Motor Functions of the Elderly  
 研究代表者  
 余 錦華 (Jin-Hua She)  
 東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・准教授  
 研究者番号：10257264

## 研究成果の概要：

本研究は、高齢者が楽しく行動すると共に自然に運動能力が維持・増進できることを目指し、トレーニング機能を備えた電動車の制御システムを設計することを目的に進めてきた。主に、人間操作感覚のモデル化、日本人高齢者の特徴を加味した最大ペダリング負荷の決定法、およびこれらに基づく負荷オートチューニング手法の開発、路面摩擦などの影響に対する安全確保のための等価入力外乱手法の提案、高性能電動車制御システムを目指すためのロバスト制御理論の開発などの面において、様々な研究成果が得られた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	570,000	3,970,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：電動車制御，高齢者，最適負荷，安全性

## 1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者の移動支援のために、様々な電動車が開発され商品化されている。しかし、市販されている電動車は、高齢者の移動補助を主眼におき、前進・後退スイッチとハンドル操作で簡単に運転できるように設計されているが、運転者の運動能力の維持・増進に関する考慮が欠如している。そのため、長期間にわたる電動車の使用は体力の弱体化につながり、高齢者の生活自立を妨げかねない。

## 2. 研究の目的

申請者らは、高齢者が楽しく行動すると共に自然に運動能力が維持・増進できることを目指し、移手段とトレーニング機能を融合した新しいコンセプトの電動車の開発に取り組み、特に運動機能の維持・増進へのペダリング効果を高齢者の立場から調べ、それをもとに、人間工学的知見に基づき、回転型ペダルを電動車に取り付け、走行実験によりその有効性を確認した。本研究では、それまで得られた成果をもとに、トレーニング機能を

備えた電動車の制御システムを設計することを目的としている。

### 3. 研究の方法

研究目的を達成するために、本研究は以下のように進めた：

- (1) 操作感覚モデルの提案：従来の電動車と違い、本研究で開発する電動車は運動能力の維持・増進を目指すため、人間の操作感覚が定量的に評価できるように、新たに操作感覚モデルを提案し、それをもとにペダルに印加する負荷を定めた。
- (2) 最大ペダリング負荷決定法の開発：本研究を行った当時、高齢者を対象とするペダル負荷の選定法が存在していなかった。本研究では、高齢者の身体能力を加味し、主観的運動強度とカルボーネン法に基づき、負荷モードに対応するペダル最大踏力決定法を提案した。
- (3) 負荷オートチューニングシステムの開発：心拍数により人間の身体状況・疲労状態を計測し、操作感覚モデルを参考に無理なトレーニングをせずに最適なペダル負荷を運転者に印加するアルゴリズムを提案した。
- (4) 電動車の安全確保技術の提案：タイヤと路面との摩擦係数は天候により大きく変化する。本研究では、等価入力外乱という新しい概念を提案し、それに基づき摩擦係数の推定手法を考案し、タイヤの空転および車体のスリップが生じそうな状況を瞬時にキャッチし、リアルタイムで適切な措置を施し、運転者の安全を確保した。
- (5) トレーニング機能を備えた電動車制御システムの設計と実装：本研究で得られた個々の成果を融合し、道路状況・運転者の身体状況などに応じて常に安全を確保し安心して運転できかつ運転性能を保証するように、ロバスト制御理論、ファジー制御理論と線形不等式設計手法を融合した制御システム設計法を提案し、制御システムを設計・実装し、様々な環境下において走行実験を行いその有効性を検証した。

### 4. 研究成果

本研究では、以下の研究成果が得られた：

- (1) 操作感覚モデル：本研究では、はじめて人間の操作感覚について定量化し数式モデルを用いてそれを表現した。本操作感覚モデルを用いて、運転者の感じるペダル負荷を簡単にチューニングできることは大きな特徴であり、

バイオニクス分野への制御的アプローチの一つを示すものである。

- (2) 最大ペダリング負荷決定法：本研究では、高齢者の身体能力を考慮した上、心拍数に基づき、主観的運動強度とカルボーネン法を用いて、ペダリング負荷の選定法を提案した。現在、高齢者向けの負荷選定法が存在せず、おもに現場の医師・指導員の経験に任せているのは現状である。本選定法は、高齢者およびリハビリ関係者の負荷設定にも役に立つ。
- (3) 負荷オートチューニング技術：本技術は、従来の数式モデルに基づくオートチューニングと違い、数式化できない様々な要因もルールモデルを用いて表現したインテリジェント手法である。本技術は、人間・機械システムのような複雑系の制御に関する研究に寄与する。
- (4) 等価入力外乱手法：本研究では等価入力外乱という新しい概念を提案し、それに基づく新しいサーボ系の構造を提案した。この制御系は従来のサーボ系では達成できない高精度・高性能が容易に実現できるという特徴を持っている。
- (5) 安全確保技術：摩擦係数の推定アルゴリズムは、著者らの提案した等価入力外乱という新しい概念に基づくものである。本手法は、出力測定値の微分情報および推定パラメータに関する先験的情報を必要としない、不安定なゼロ極消去は生じない、推定機構の構造が非常にシンプルであり、制御系と推定系が分離できる、など従来の推定手法では見られない特徴がある。
- (6) ロバスト電動車制御システム：本研究では、線形不等式手法を用い安全と運転性能に関するいろいろの設計仕様をバランスよく満たすシステム設計手法を示し、ロバスト制御理論の有用性を実証した。また、本研究で提案する制御システムのフレームワークは、従来のものに比べ、制御仕様の指定は直接で簡単であるため、人間・機械システムの設計に適している。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- [1] 余錦華, 石井将太, 横田祥, 佐久間裕司, 大山恭弘, ペダリング負荷選定法と電動カートペダル負荷無段調整システムの設計, 電気学会論文誌 D, Vol. 129, pp. 519-525,

- 2009, 査読あり
- [2] Ming-Xing Fang, Min Wu, and She Jin-Hua, Active Structural Control Based on the Concept of Equivalent-Input-Disturbance, *International Journal of Factory Automation, Robotics and Soft Computing*, Vol. 1, pp. 11-16, 2009, 査読あり
  - [3] Yong He, Min Wu, Guo-Ping Liu, and Jin-Hua She, Output Feedback Stabilization for Discrete-Time Systems with A Time-Varying Delay, *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 53, pp. 2372-2377, 2008, 査読あり
  - [4] Jin-Hua She, Mingxing Fang, Yasuhiro Ohyama, Hiroshi Hashimoto, and Min Wu, Improving Disturbance Rejection Performance Based on an Equivalent-Input-Disturbance Approach, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 55, pp. 380-389, 2008, 査読あり
  - [5] Jin-Hua She, Xin Xin, and Yasuhiro Ohyama, Estimation of Equivalent Input Disturbance Improves Vehicular Steering Control, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 56, pp. 3722-3731, 2007, 査読あり
  - [6] Min Wu, Bei He and Jin-Hua She, A Fast LDL-factorization Approach for Large Sparse Positive Definite System and Its Application to One-to-one Marketing Optimization Computation, *International Journal of Automation and Computing*, Vol. 4, pp. 88-94, 2007, 査読あり
  - [7] Jin-Hua She, Yasuhiro Ohyama and Hiroyuki Kobayashi, Master-Slave Electric Cart Control System for Maintaining/Improving Physical Strength, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 22, pp. 481-490, 2006, 査読あり
  - [8] Min Wu, Yong He and Jin-Hua She, Delay-dependent stabilization for systems with multiple unknown time-varying delays, *International Journal of Control, Automation, and Systems*, Vol. 4, pp. 682-688, 2006, 査読あり

[学会発表] (計13件)

- [1] Jin-Hua She, Sayaka Hashimoto, Tomio Yamaura, and Min Wu, Equivalent-Input-Disturbance-Based High-Precision Positioning Control of Dual-Stage Feed Drive, *The 2009 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (IEEE ICNSC'09)*, pp. 398-403, 2009, 査読あり
- [2] Ming-Xing Fang, Min Wu, and Jin-Hua She, Structural Active Control Based on the

- Concept of Equivalent-Input-Disturbance Considering Actuator Saturation, *The 2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA2009)*, pp. 882-885, 2009, 査読あり
- [3] Mingxing Fang, Min Wu, and Jin-Hua She, High-Precision Speed Control Based on the Compensation of Equivalent Input Disturbance, *The 27th Chinese Control Conference*, pp. 700-704, 2008, 査読あり
- [4] Sho Yokota, Yasuhiro Ohyama, Hiroshi Hashimoto, and Jin-Hua She, The Electric Wheelchair Controlled by Human Body Motion - Design of the Prototype and Basic Experiment, *The 17 International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (IEEE RO-MAN 2008)*, pp. 303-308, 2008, 査読あり
- [5] Jin-Hua She, Shota Ishii, Yuji Sakuma, Sho Yokota, Yasuhiro Ohyama, and Hiroshi Hashimoto, Electric Cart Control System for Adjustable Pedal Load Using Dynamic-Parallel-Distributed-Compensation Method, *2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 937-941, 査読あり
- [6] Jin-Hua She, Xin Xin, Equivalent-Input-Disturbance Method Improves Disturbance Rejection Performance: The MIMO Case, *The 26th Chinese Control Conference (CCC2007)*, pp. 642-647, 2007, 査読あり
- [7] Hiroshi Hashimoto, Toshio Matsunaga, Toshinori Tsuboi, Yasuhiro Ohyama, Jin-Hua She, Naoki Amano, Sho Yokota, and Hiroyuki Kobayashi, Comfortable Life Space for Elderly --using supporting systems based on technology--, *The International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology (SICE2007)*, pp. 3037-3042, 2007, 査読あり
- [8] Xianming Zhang, Min Wu, Jin-Hua She, and Yong He, Further Results on Robust Stability/Stabilization of Uncertain Linear Delayed Systems, *The 26th Chinese Control Conference (CCC2007)*, pp. 84-88, 2007, 査読あり
- [9] Jin-Hua She, Xin Xin, and Tomio Yamaura, Analysis and Design of Control System with Equivalent-Input-Disturbance Estimation, *The 2006 IEEE International Conference on Control Applications*, pp. 1463-1469, 2006, 査読あり
- [10] Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Ohyama, Naoki Amano, Toshio, Matsunaga, Toshinori Tsuboi, Jin-Hua She, and

Hiroyuki Kobayashi, Support Apparatuses Based on Technology for Active Life of Elderly, *The 32nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON-2006)*, pp. 4504-4509, 2006, 査読あり

- [11] Hiroshi Hashimoto, Yasuhiro Ohyama, Jin-Hue She, Toshio Tsuboi, Toshio Matsunaga, Naoki Amano, Hiroyuki Kobayashi, Development of Support Apparatuses for Elderly to Keep Vital Life, *SICE-ICCAS International Joint Conference 2006*, pp. 1500-1503, 2006, 査読あり
- [12] Hiroyuki Kobayashi, Yasuhiro Ohyama, Hiroshi Hashimoto, and Jin-Hua She, Manipulation of Human Behavior by Distorted Dynamics Vision, *SICE-ICCAS International Joint Conference 2006*, pp. 4446-4450, 2006, 査読あり
- [13] Hiroyuki Kobayashi, Mitsunori Hosaka, Yasuhiro Ohyama, Hiroshi Hashimoto and Jin-Hua She, A Study on Compensator to Educate Potential Human Skill, *IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control (MIC2006)*, pp. 473-477, 2006, 査読あり

[図書] (計 3 件)

- [1] Salvatore Pennacchio Ed., Control Systems, Robotics and Automation. (Ming-Xing Fang, Min Wu, and Jin-Hua She, Active Structural Control Based on the Concept of Equivalent-Input-Disturbance, pp. 84-89), 2009
- [2] Jie Chen, Zhi-Hong Peng, Jin-Hua She, and Min Wu Ed. Proceedings of the Sixth China-Japan International Workshop on Internet Technology and Control Applications, pp. 1- 140, Beijing Institute of Technology Press, 2007
- [3] Chunlin Shen Ed., Proceedings of the 7th Asia-Pacific Conference on Control & Measurement (APCCM2006). (Jin-Hua She and Yasuhiro Ohyama, Design of Electric Cart with Function of Maintaining/Improving the Physical Strength of the Elderly, pp. 205-211), China Aviation Industry Press (ISBN 7-80183-737-1), 2006

[その他]

- [1] 松永俊雄, 坪井利憲, 河西宏之, 上田裕巳, 橋本洋志, 三田地成幸, 大山恭弘, 余錦華, 天野直紀: 高齢者快適生活ネットワーク空間創成技術に関する研究, 東京工科大学研究報告, No. 3, pp. 65-75, 2008 (ISSN 1880-5752).
- [2] 児玉甲子郎, 余錦華, 横田祥, 大山恭弘:

電動カートペダル負荷の選定と検証, 平成 20 年電気学会産業応用部門大会ヤングエンジニアポスターコンペティション講演論文集, pp. Y-96, 2008

- [3] 小川雄貴, 余錦華, 横田祥, 大山恭弘: 等価入力外乱手法による電動カートの路面摩擦係数の推定, 平成 20 年電気学会産業応用部門大会ヤングエンジニアポスターコンペティション講演論文集, pp. Y-98, 2008
- [4] 石井将太, 余錦華, 大山恭弘, 横田祥: 心拍数を用いたリハビリテーション用電動カートの負荷選定, 第 8 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 1186-1187, 2007
- [5] Shota Ishii, Jin-Hua She, Sho Yokota, Yasuhiro Ohyama: Heart-rate based pedal load selection for electric cart for rehabilitation, Proceedings of the Sixth China-Japan International Workshop on Internet Technology and Control Applications, pp. 65-70, 2007
- [6] 余錦華, 石井将太, 横田祥, 大山恭弘, 佐久間裕司: 高齢者の健康を維持・増進する新型電動車, 第 19 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, pp. 331-333, 2007
- [7] 竹田大祐, 橋本洋志, 大山恭弘, 余錦華, 山浦富雄, 木村幸男: 人間動作を利用したロボット移動による人間の生活行動支援作業, 東京工科大学研究報告, No. 2, pp. 83-92, 2007 (ISSN 1880-5752).
- [8] 石井将太, 余錦華, 大山恭弘, 横田祥, 佐久間裕司: リハビリテーション用電動カートの負荷チューニング, 第 7 回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 1249-1250, 2006
- [9] 石井将太, 余錦華, 大山恭弘, 横田祥: ファジー制御によるリハビリテーション用電動カートの負荷調整, 電気学会リアドライブ研究会, LD-06-48~68, pp. 43-48, 2006

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

余 錦華 (Jin-Hua She)  
東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・准教授  
研究者番号: 10257264

### (2) 研究分担者

橋本 洋志 (Hiroshi Hashimoto)  
産業技術大学院大学・創造技術専攻・教授  
研究者番号: 60208460

### (3) 連携研究者