

平成21年 4月30日現在

研究種目：基盤研究(A)	
研究期間：2006～2008	
課題番号：18200038	
研究課題名（和文）	機能的電気刺激と併用する歩行アシスト，歩行リハビリテーションロボットの開発
研究課題名（英文）	Development of walking assist and rehabilitation robots with functional electrical stimulation
研究代表者	
大日方 五郎(OBINATA GORO)	
名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授	
研究者番号：50111315	

研究成果の概要： 高齢者や障害者の歩行動作を支援し，通常の歩行を再建するための電動モーターによるパワーアシストと機能的電気刺激を用いたロボットシステムの開発を行った．筋力の推定や筋制御機能に関する基礎的な研究に基づきロボットシステムを設計製作した．製作したロボットによって実験を実施しその歩行アシスト効果を検証した．電気刺激との併用によって，機能回復のトレーニング効果が期待できるほか状況に適応した歩行支援が行えることを確認した．

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	18,800,000	5,640,000	24,440,000
2007年度	10,800,000	3,240,000	14,040,000
2008年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
総計	36,300,000	10,890,000	47,190,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：健康・福祉工学，生活不活発病の予防，歩行支援，アシストロボット

## 1. 研究開始当初の背景

人間が，筋を収縮させる神経信号は，脊髄にある運動ニューロンが作り出しているが，高齢になると脊髄運動ニューロンの減少もあり，自分の意思では活動できない筋線維の比率が多くなる．そのため，高齢者や障害による車いす生活者は，1次障害を克服し下肢の筋萎縮，筋力低下，関節拘縮，末梢循環不全など廃用症候群と呼ばれる2次障害を予防するため，病院や老人介護施設におけるリハビリテーション室で平行棒を用いた起立歩行訓練などの運動療法を行っている．しか

し，脊髄損傷や脳卒中などによる下肢麻痺者の場合は，筋の随意的な収縮活動がなければ末梢循環不全や内臓障害の十分な予防にはつながらず，下肢の麻痺改善や筋萎縮の防止も難しいことから，新しい考えに基づく歩行再建，歩行リハビリ機器が求められている．

## 2. 研究の目的

近年，ロボットの技術を応用して，下肢障害者の歩行をアシストする装置の開発が注目を集めている．一方では，筋を随意的に収縮活動させる方法として機能的電気刺激

(FES)が注目され、最近では機能の再建だけでなく健康維持のためのトレーニング機器などへの適用が検討されている。本研究グループは、機能的電気刺激技術に関して長年の治療実績を有する。本研究では、高齢者、下肢麻痺者を対象とした歩行訓練や歩行再建を目指し、FES技術と歩行ロボット技術を統合的に取り込むことによって、健康維持と歩行のアシストやトレーニング、歩行再建を効率的に行う人間支援型のアクティブ制御歩行支援システムの設計開発を行うものである。

### 3. 研究の方法

(1) 運動アシストのための筋機能の解析：筋疲労のモデルの提案や筋の制御機能の解析を通して、歩行支援の方法やトレーニングプログラムに関する基礎を確立した。

(2) 運動の推定・評価：筋電位や加速度計からの情報に基づいて、運動を推定・評価する技術を提案し、歩行の状態推定や手先に発生している力の推定が行えることを示した。

(3) リハビリテーション・トレーニング機器の開発：ロボットマニピュレータを運動アシストに適用する際のロバスト制御法について提案し、シミュレーションと実験により、実用の際の問題点を明らかにした。また、FESを用いたトレーニング装置を開発し、FESを用いた運動支援技術の適用性について検討した。

(4) 歩行シミュレーション技術とそれを用いたアシストロボットのコントローラ設計：3次元筋骨格モデルと神経振動子コントローラを組み合わせた歩行シミュレーションを行った。神経振動子コントローラのロバスト性を向上させるために関節座標系における主成分に着目したフィードバックコントローラを新たに提案し、その有効性をシミュレーションにより確認した。

(5) FESとパワーアシストの併用：長下肢装具の股関節と膝関節の運動をパワーアシストすることができる支援ロボットを試作した。図1にその写真を示す。



図1 試作した歩行支援ロボット

下肢筋をFESを用いて運動させることと試作した歩行ロボットにより、股関節と膝関節の運動をアシストすることを同時に行う実験を実施して試作システムの有効性を検証した。この研究では、上述した(1)から(3)までの研究を基盤に支援における仕様を決定した。

(6) 神経振動子コントローラのアシストロボットへの適用：(4)で提案した神経振動子コントローラとロバストフィードバックコントローラを試作ロボットに実装し、歩行支援の実験を行い、制御方法の特長を活かした歩行支援が行えることを確認した。

### 4. 研究成果

(1) 運動アシストのための筋機能の解析：動力装具を装着した場合に、装着者が装具との間での力の相互作用をどの程度感じるかを明らかにするために、上肢で操作端を操作する場合の操作ゲインと操作対象のインピーダンス特性変化の運動受容器の感度の関係を調べた。結果を図2と図3に示す。

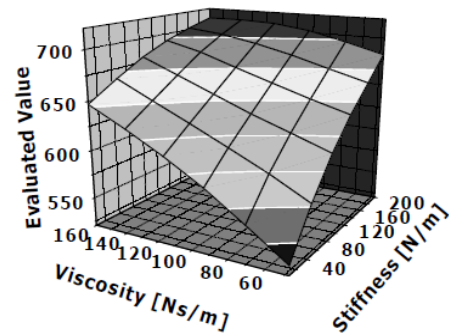


図2 様々なインピーダンス条件での操作ゲイン

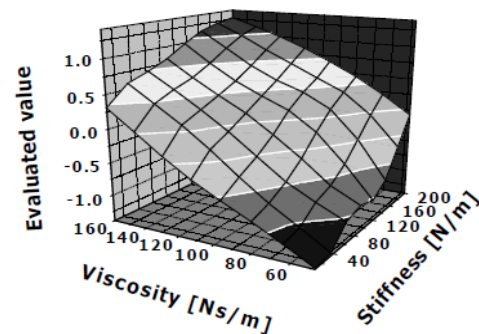


図3 様々なインピーダンス条件での受容器感度

操作ゲインと受容器の感度はインピーダンス条件の変更に対してほぼ同様な傾向で変化することが明らかとなった。これは人がある目的を持って運動を行うときには、その操作ゲインを上げると受容器からの力情報の知覚感度も同じ程度上がることを示しており、パワーアシスト装置の装着部設計の基礎を与える。

(2) 運動の推定・評価： 下肢に小型の加速度計と角速度計を取り付け、矢状面内3次元の情報を取り、その信号に基づいて実時間で歩行の状態を推定する研究を行った。ニューラルネットワークを学習させることによって、歩行の4フェーズの状態推定が可能であることが示された。図4に推定例を示す。状態推移のタイミングで精度を見ると0.05秒以内の誤差で推定が行える。

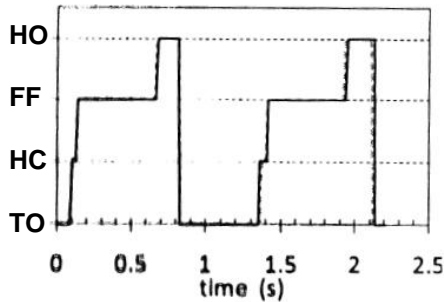


図4 歩行の状態推定例

この方法によって、ロボットアシスト歩行時の状態を推定することによって、パワーアシストやFESパターンのタイミングを使用者の意図に合わせることができる。

(3) リハビリテーション・トレーニング機器の開発： 麻痺の患者を対象にしたローイングマシンや松葉杖のスウィングスルー歩行をFESを適用して、FESの実用性に関する検討を行った。これらの研究からFESを歩行支援機器として用いることが可能であることがわかった。また、電気刺激パターンや刺激周波数、装置が満たすべき電気的仕様が明らかとなり、歩行アシスト装置とFESを併用するための基盤技術が形成された。

(4) 歩行シミュレーション技術とそれを用いたアシストロボットのコントローラ設計： 保有する3次元の筋骨格系の歩行シミュレーション技術を用いて、歩行におけるロボスタ安定性を向上させるフィードバック制御器の設計法を提案した。制御器全体の構造を図5に示す。

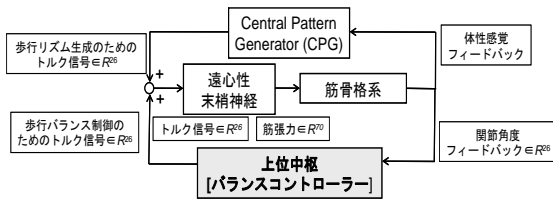


図5 歩行制御器の構造

非線形振動における引き込み現象を利用した神経振動子コントローラと神経振動子が筋骨格系との引き込みのよりつくりだす関節角度空間上のリミットサイクルを基準軌道としたフィードバックバックコントローラを前庭器官や視覚情報を用いた歩行中の

姿勢安定化効果としてモデル化した。関節角度空間は26次元であるため制御器を構成することは容易ではないので、この空間に主成分分析を適用して低次元化し、この低次元空間上でリミットサイクルを基準軌道として、そこに引き込まれるようなベクトル場を形成した。外乱等により基準軌道から離れるとこのベクトル場は基準軌道へ戻すような制御力を生成する。低次元空間上で生成された制御力は主成分抽出時の逆の手順により元の次元に復元される。以上の手順をブロック線図として表したものが図6である。

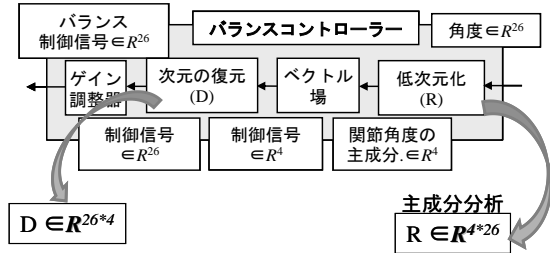


図6 姿勢バランスフィードバックコントローラ

このロボスタ制御の効果は、様々な条件で確かめられた。不整地上の歩行や外力下の歩行である。例として進行方向横から外力を受けた場合の歩行シミュレーションの結果ステイック図によって示したものが、図7である。

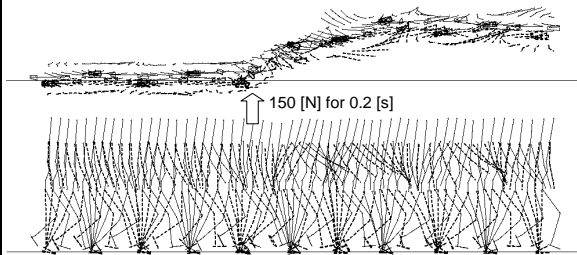


図7 外力下での歩行シミュレーション

上下の図は、それぞれ水平面、矢状面の様子であり、外力存在下で転倒せずに歩行が続けられている様子がわかる。実験結果との比較でも人の歩行中の姿勢安定化の働きをよく表現していることが示された。

(5) FESとパワーアシストの併用： 試作した歩行アシストロボットを用いて、FESとの併用を可能とする制御系の構成として図8に示しものを検討し、FESとの併用の効果を実

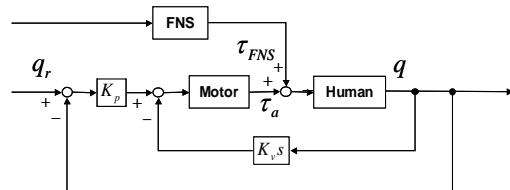
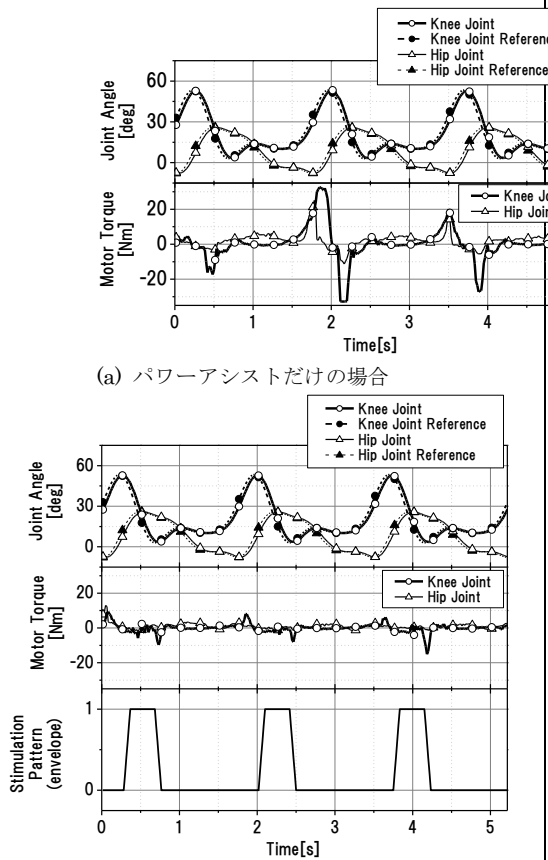


図8 FESとの併用のための制御系構成

験的に検証した。健常者による実験結果を図

9 に示す。(a)がパワーアシストだけの場合、(b)が FES を併用した場合である。(b)のばあには、モータトルクが明らかに減少しており併用の効果が大きいことがわかる。



(a) パワーアシストだけの場合  
(b) FES を併用した場合  
図 9 FES を併用した歩行アシスト

(6) 神経振動子コントローラのアシストロボットへの適用： シミュレーション技術を活用して設計した神経振動子コントローラを実際の歩行アシストに適用した。実験の様子を図 10 に示す。実験の結果、被験者の歩行



図 10  
歩行アシスト  
実験の様子

状態に同調することや適切なアシスト力が発生することが確かめられた。

## 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 4 件)

- ① 大西圭一、長谷和徳、大日方五郎、等尺性収縮時におけるヒトの力制御能力の解析、日本機械学会論文集(C編)、74 巻 742 号、163-170、(2008)、査読有
- ② Kazuto Miyawaki, Takehiro Iwami, Goro Obinata, Yoichi Shimada, Estimate of floor reaction force vector using foot-pressure sensor, Journal of System Design and Dynamics, Vol.74, No.739, 749-751, (2008), 査読有
- ③ 小島聡太、長谷和徳、大日方五郎、中山淳、センサ付き自動車エルゴメータと筋骨格モデルによる下肢運動評価システムの開発、人間工学、44 巻 4 号、193-201、(2008)、査読有
- ④ 宮脇和人、巖見武裕、大日方五郎、島田洋一、松永俊樹、佐藤峰善、竹島正晃、機能的電気刺激を用いたローイングマシンの開発、日本機械学会論文集(C編)、74 巻 739 号、254-256、(2008)、査読有

〔学会発表〕(計 11 件)

- ① 小島聡太、大日方五郎、長谷和徳、中枢性・末梢性因子を考慮した筋疲労モデルの開発とその検証、日本機械学会バイオエンジニアリング講演会、2009 年 1 月 24 日、札幌
- ② Keiichi Onishi, Seiji Naito, Goro Obinata, Kazunori Hase, Relationship between adaptation of motor control and cognition of environmental dynamics, IEEE EMBS Conference, August 23, 2008, Vancouver
- ③ 平手庸介、大日方五郎、長谷和徳、中山淳、独立成分分析による表面筋電位からの手の動作推定、バイオメカニズム学会、2007 年 11 月 11 日、岐阜
- ④ 荻巣拓磨、大日方五郎、元田英一、長谷和徳、金泳佑、ウェアラブルセンサとニューラルネットワークを用いた機能的電気刺激のための歩行状態推定、バイオメカニズム学会、2008 年 10 月 26 日、東広島
- ⑤ Kazuto Miyawaki, Takehiro Iwami, Goro Obinata, Yoichi Shimada, Toshiki Matsunaga, Mineyoshi Sato, Development of FES-rowing machine. IEEE EMBS Conference, August 24, 2007, Lyon
- ⑥ 裴艶玲、金泳佑、大日方五郎、長谷和徳、バックステッピングに基づいた非線形適応型上肢トレーニングシステムの開発、自動制御連合講演会、2008 年 11 月 23 日、

- 米沢
- ⑦ Shunro Fukada, Goro Obinata, Kazunori Hase, Atsushi Nakayama, Yoichi Shimada, Toshiki Matsunaga, Takehiro Iwami, Kazuto Miyawaki, Masako Tsuneto, Development of a hybrid power assist orthosis with FES, International FES Society Conference, September 14, 2006, Zao, Japan
- ⑧ 溝口祐司、大日方五郎、長谷和徳、島田洋一、松永俊樹、巖見武裕、宮脇和人、中山淳、深田俊郎、機能的電気刺激を併用するパワーアシスト装具による歩行実験、自動制御連合講演会、2007年11月25日、横浜
- ⑨ Goro Obinata, Shunro Fukada, Toshiki Matsunaga, Takehiro Iwami, Yoichi Shimada, Kazuto Miyawaki, Kazunori Hase, Atsushi Nakayama, Hybrid control of powered orthosis and functional neuromuscular stimulation for restoring gait, IEEE EMBS Conference, August 25, 2007, Lyon
- ⑩ 大日方五郎、田川雄介、長谷和徳、CPGに基づく3次元神経骨格歩行モデル歩行シミュレータにおけるロボストローラの設計、自動制御連合講演会、2008年11月23日、米沢
- ⑪ 溝口祐司、大日方五郎、長谷和徳、田川雄介、下肢障害者用パワーアシスト装具への適用を目的としたCPG歩行モデルによるシミュレーション、日本機械学会バイオエンジニアリング講演会、2009年1月24日、札幌

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計1件)

名称：生体運動支援装置

発明者：大日方五郎、長谷和徳、深田俊郎、島田洋一、松永俊樹、中山淳、巖見武裕、宮脇和人

権利者：名古屋大学、秋田大学

種類：特許出願

番号：特願2007-210481

出願年月日：2007年8月10日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ：

<http://www.esi.nagoya-u.ac.jp/staff/index.php>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大日方 五郎 (OBINATA GORO)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授  
研究者番号：50111315

### (2) 研究分担者

長谷 和徳 (HASE KAZUNORI)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：01035777

松本光太郎 (MATSUMOTO KOTARO)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・講師  
研究者番号：60420361

中山淳 (NAKAYAMA ATSUSHI)

一関工業高等専門学校・制御情報工学科・准教授  
研究者番号：70270212

巖見武裕 (IWAMI TAKEHIRO)

秋田大学・工学資源学部・講師  
研究者番号：10259806

松永俊樹 (MATSUNAGA TOSHIKI)

秋田大学・医学部附属病院・助教  
研究者番号：50312715

佐々木実 (SASAKI MINORU)

岐阜大学・工学部・教授  
研究者番号：20183379

島田洋一 (SHIMADA YOICHI)

秋田大学・医学部附属病院・教授  
研究者番号：20162685

金泳佑 (KIM YOUNG WOO)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・助教  
研究者番号：70387851