

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18300146
 研究課題名 (和文) 機能的電気刺激 (FES) による麻痺肢動作再建での協調的残存運動制御
 研究課題名 (英文) Cooperative residual movement control in restoration of paralyzed limbs by functional electrical stimulation (FES)
 研究代表者
 渡邊 高志 (WATANABE TAKASHI)
 東北大学・大学院医工学研究科・准教授
 研究者番号：90250696

研究成果の概要：

運動機能麻痺者の FES による動作再建において、cycle-to-cycle 制御による歩行遊脚期の制御について、残存運動の影響がある場合も適用可能なフアジィ制御器を開発した。また、フィードバック誤差学習を用いた学習型制御では、残存運動等を模擬した外乱を加えて学習の進み方を検証し、さらに、学習の適切な進行に関する条件を一部明らかにした。また、マトリクス状表面電極刺激による移動感覚を用いた患者への情報提示法の開発を行い、皮膚電気刺激パラメータや提示感覚パターンの実験的に決定し、加えて、情報取得方式について検証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	7,500,000	2,250,000	9,750,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：機能的電気刺激, FES, 閉ループ制御, フィードバック誤差学習, 皮膚感覚, ユーザインターフェイス, 医療・福祉

1. 研究開始当初の背景

脊髄損傷や脳卒中などにより運動機能が麻痺した患者に対して、機能的電気刺激 (FES) により麻痺肢の動作再建を行う方法がある。FES による動作の再建は、その有効性が臨床的に確認されてきたが、現在のシステムでは、患者が自身の残存する運動機能を活用して、実際に再建された動作を補正することで実用性を維持しているといえる。これは、制御対象である筋骨格系が、複雑な非線形特性と著しい時変特性を有しているため、

FES で再建動作を常に同一に制御することが難しいことが一因である。

これまでの FES 制御方式は開ループ制御が一般的であったため、患者に依存しながら、上述のような視覚フィードバックを利用した残存運動による補正が可能であった。しかし、学習制御や閉ループ制御を含めた FES 制御の自動化を推進する場合には、患者自身の残存運動と FES 制御との協調が困難となったり、残存運動による再建動作の修正により制御システムが不安定な状態に陥ったりする

危険性がある。特に、麻痺患者で下肢の動作を再建する場合には転倒の危険性を有することから、学習制御や閉ループ制御等による自動制御においては重大な問題となる。

2. 研究の目的

我々は、これまでに、冗長性を有する制御対象の多チャネル閉ループ制御アルゴリズムや、cycle-to-cycle 制御を用いた歩行遊脚期の多関節制御法の開発、フィードバック誤差学習のFES制御への適用などの研究を行ってきた。このような自動的な制御方式を臨床的に使用していくためには、患者の状態を常に把握し、再建動作及び制御システムを安定に維持することが不可欠である。しかし、患者の意思や状態を完全に把握することは困難であり、逆に、制御されている四肢の状態や制御システムの状態を患者が把握できないことは、自動的な制御システムを臨床応用していく上で問題を引き起こすことになる。

そこで本研究では、学習制御や閉ループ制御を適用した自動的なFES制御法の臨床応用を推進するために、患者が自身の残存する運動機能を協調的に制御しながらFESによる動作の再建を行えるようにするための技術を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) FES 制御に対する残存運動の影響の検討

本研究では、自動的なFES制御法について、残存運動機能による患者の随意動作が制御に与える影響や問題点を検討し、残存運動の影響が生じ得る場合でも適切な制御を行えるFES制御器を実現するための検討を行った。

まず、自動的なFES制御法として、これまでに開発してきた歩行遊脚期の cycle-to-cycle 制御のためのファジィ制御器について、床反力の影響を含めた検討を行えるように、計算機シミュレーションのためのモデルの構築を行った。次に、歩行が1歩ごとに変動する場合を想定した計算機シミュレーションにより、ファジィ制御器の構成を検討した。そして、計算機シミュレーションで確認した制御器の実験的検証を、健常被験者での膝関節角度の制御により実施した。

また、閉ループFES制御法として開発したPID制御器と、それを用いたフィードバック誤差学習法のFES制御への適用について検討した。ここでは、残存運動や計測装置の雑音を想定した外乱を制御時に加えることで、学習経過に与える影響を検証した。さらに、フィードバック誤差学習法をFES制御に適用する方法そのものにも問題があることから、学習型FES制御器の実現について検討した。

(2) 患者への情報提示手法の開発

使用者である患者が、制御された筋骨格系

の状態や制御システムの現在の状況を、視覚に頼らずに直感的に把握できるようにするための情報提示法として、皮膚電気刺激を用いた情報提示に着目し、マトリクス状電極を用いた表面電気刺激による移動感覚により情報を提示する方法の開発を実施した。本研究では、電極装着部位として、手軽に装着できて、作業の邪魔にならない部位であると考えられる前腕部を選択した。

まず、電気刺激による受容感覚の安定化を図るため、皮膚電気刺激パラメータの検討を行った。最初に、電気刺激パルスの極性、周波数について、提示パターンの認識結果の違いを調べることで、適切な刺激パラメータを決定した。そして、その結果をもとに、静的なパターン提示法と移動感覚による動的なパターン提示法でのパターン認識の比較を行った。また、電極を装着する前腕部位での効果的な移動パターンについて、神経線維の分布を考慮し、感覚の移動方向の観点から検証した。

次に、パルス幅の小さい電気刺激は、神経の選択的活性化による認識率の改善の可能性と、刺激電圧変動の抑制の効果が期待されたことから、電気刺激パラメータとして、80 μs と 200 μs の2種類のパルス幅について、パターン認識能力の差異を検討した。

(3) 実用的システムへの展開のための検討

本研究で開発を目指すFES制御での情報提示による残存運動の協調的制御として、具体的に歩行制御を対象とし、運動情報の取得と提示方法について検討した。運動を計測するために、FES制御で利用可能な実用的な小型センサを検討し、1歩ごとの歩幅計測と、それに関連する歩行期検出について検討を行った。

一方、FES制御中の情報フィードバックの有効性を検討するため、トレーニングなどの作業中に皮膚感覚フィードバックにより情報を提示することを想定した実験的検討を行った。リハビリテーションなどでは、鏡を用いて動作の視覚的なフィードバックを行うことがあるので、作業中に皮膚刺激を与えることで、鏡と同等の情報提示が可能かどうか、実験的検証を行った。ここでは、座位で手軽に情報提示可能な振動刺激を使用し、滑らかな移動感覚を実現するために仮現運動の発生条件を検討し、そして、作業補助における有効性を健常被験者で検証した。

4. 研究成果

(1) FES 制御に対する残存運動の影響の検討

① cycle-to-cycle 制御による歩行遊脚期の閉ループFES制御

cycle-to-cycle 制御による歩行遊脚期の閉ループFES制御を検討するため、床反力を含

めた歩行制御モデルを構築した。これを用いた計算機シミュレーションにより、表面電極刺激のみでの歩行遊脚期制御の実現、健常者の筋活動に類似した制御の実現の可能性を示した。また、制御開始時の下肢関節角度が1歩毎に変動する条件での計算機シミュレーションを行い、概ね適切な制御を達成可能であることを確認した。これには、制御器の入力に1歩前の誤差と制御開始時の必要角度量の2つを用いる2入力1出力制御器の一部に用いたこと、ならびに、筋の電気刺激応答特性(感度)に応じて出力メンバシップ関数を調整する機能が有効に作用したことが関係していることを計算機シミュレーションでの比較により確認した。

次に、上記の計算機シミュレーション結果をもとに、被験者での実験的検討を行うため、制御誤差と筋の電気刺激応答特性に応じて出力メンバシップ関数を自動的に調整する機能を有し、1歩前の誤差と制御開始時の必要角度量の2つを入力とする2入力1出力制御器の実験システムを構築した。この制御器を用いて、健常者の膝関節伸展制御について実験的検討を行い、出力メンバシップ関数の自動調整と2入力1出力制御の2点の効果により比較的安定な制御が可能になることを確認し、本方式の実現可能性を示した。また、制御角度を検出する方法が臨床試験を実施する上で問題となる場合があることが確認されたので、その改良を行った。そして、上記の制御結果から、異なる筋特性の様々な患者に適用するために、制御器パラメータ値の設定方針を整理した。

cycle-to-cycle 制御による歩行遊脚期の制御では、残存運動の影響がある場合でも、おおむね妥当な制御を行えるファジィFES制御器を開発できた。今後は、麻痺を有する患者での制御や、他の関節を含めた歩行全体の多関節制御の実験的検証が望まれる。

(2) 学習型 FES 制御での検討

フィードバック誤差学習(FEL)を用いた学習型FES制御の計算機シミュレーションのために、パラメータ調整やデータ管理を容易にするアプリケーションプログラムを開発した。これを用いて、FELによるFES制御の手関節2自由度運動への適用を検証し、逆動特性モデルだけでフィードフォワード制御器(IDM)を構成した場合には学習が進まない場合があることを確認した。そこで、FES制御において逆静特性モデルを含めるための簡便な学習方法を提案し、これにより、学習初期から制御の安定性が改善され、学習の進行もやや改善することを示唆した。

また、フィードバック誤差学習によるIDMの学習時の外乱の影響に関する基礎的な計算機シミュレーションを実施した結果、特定

方向への角度変化を制限した場合には、制限を受けた筋へのIDMの刺激出力が増大する傾向が見られ、一部の拮抗する作用の筋では、IDM出力が減少する場合もあった。計測装置の雑音を模擬して白色性の雑音を制御出力に印加した場合には、雑音の増加に伴ってIDM出力が増加する結果となった。

一方、フィードバック誤差学習法によりFES制御器の学習が適切に進むようにするための条件について、計算機シミュレーションにより検討した。2筋の電気刺激による手関節屈曲・伸展制御において、IDM出力が小さい場合にPID制御器の出力が負になるとき、IDM出力が大きい場合にPID制御器の出力が正になるときは、学習が適切に進まない傾向が観察された。これに対して、そのような場合には学習時の制限を付加することで、FES制御器の学習が大幅に改善する結果が得られた。また、この方法を4筋刺激による手関節2自由度運動へ展開するための検討を行ったが、運動速度、運動方向がさらに学習に影響することが確認され、それらを適切に設定することで、学習が効果的に進むことが示唆された。

フィードバック誤差学習法のFES制御への適用については、制御器の学習が適切に進まない原因の一部を明らかにし、さらに、学習に影響する要因を確認した。また、残存運動等を想定した外乱を加えた場合の学習については、外乱が一時的な場合、あるいは、外乱が大きくない場合には、外乱の大きさによって筋出力に差は生じるが、学習には大きな影響が無いことが示唆された。これらの結果から、学習方法や外乱の影響について、さらに詳細な検討が必要ではあるが、フィードバック誤差学習法のFES制御への適用がさらに現実的なものになったといえる。

(3) 患者への情報提示手法の開発

まず、マトリクス状電極を用いた表面電気刺激による移動感覚により情報を提示するための実験システムを構築した。この実験システムを用いて、電気刺激による受容感覚の安定化を図るための電気刺激パラメータを検討した。刺激パルスの極性と周波数の違いによる認識能力の差を比較した結果、本刺激電極での移動パターンにおいては、負性パルス、50Hzまたは100Hzの刺激周波数が適していることが確認された。次に、静的なパターン提示と移動感覚による動的なパターン提示とを比較する基礎実験を行った結果、両方の提示方法の間で大きな差は見られなかった。

また、電気刺激パラメータとして、先の実験で用いていた200 μ sに加え、80 μ sの場合について検討した。2種類のパルス幅で、パターン認識能力の差異を検討した結果、本手

法においては差が見られず、期待された2つの効果が得られないことが示唆された。さらに被験者数を増やした追加実験を行ったが、被験者の電気刺激の経験等を考慮しても違いは認められず、むしろ、訓練手法の開発の必要性が明らかとなった。

一方、本実験で用いた7種類の提示パターンの正答率から、電極を前腕部に装着した場合、前腕の長さ方向へのパターンの移動よりも、前腕の長さ方向に直交する移動パターンの方が認識しやすい傾向がみられた。前腕の長さ方向への移動パターンを用いることがパターン認識において有用であることが確認された。

(4) 実用的システムへの展開のための検討

歩行のFES制御を対象とした実用的システムへの展開を進めるため、FES制御で利用可能な運動情報の取得を検討した。ここでは、FES制御と残存運動機能の協調制御が可能になるように、歩行のタイミング(歩行期)の検出と1歩ごとの歩幅計測について、ジャイロセンサと加速度センサを用いたセンサシステムの検討を行った。まず、ジャイロセンサと加速度センサの両方の信号を用いることで1歩ごとの歩幅を計測する方法を構築した。健常者の歩行計測の結果から、被験者間、あるいは、測定試行間でばらつきが生じたが、5~10%以下の比較的良好な精度で計測可能になることが示唆された。また、歩行期については、ジャイロセンサの出力パターンから、その特徴的な点を用いて踵離床、爪先離床、踵接地、爪先接地を検出する条件を検討し、健常者の歩行では、オフライン処理であれば、全被験者での平均絶対誤差はほぼ30ms以下で各歩行期と対応することが確認され、比較的良好な検出が可能になることが示唆された。

上記の情報取得の検討と並行して、被験者の負担を考慮し、座位で手軽に情報提示可能な振動刺激を使用して、複数パターンの情報提示による作業補助の可能性を検討した。まず、仮現運動の発生条件を検討することで、滑らかな移動感覚の提示と複雑なパターン提示の可能性を検討したが、仮現運動の発生条件に個人差があり、簡便な提示システムでは仮現運動の発生に制約が生じ得ることが示唆された。そこで、提示部位を1箇所、3箇所、5箇所とすることで、生じる感覚の強さを変えて異なる情報を提示することとし、鏡を用いた机上作業時の補助を健常被験者で検討した。その結果、皮膚触覚刺激による情報提示が有効に機能するためには、ある程度の訓練が必要であることが確認されたが、訓練を行うことで、鏡の情報提示に近づける可能性があることを示唆することができた。

運動のセンシングと情報提示とは関連さ

せながらシステム化を進める必要がある。ここでの結果では、計測と提示を統合するまでには至らなかったが、片麻痺者がFESで歩行を再建する場合に、左右の違いや健常者の歩行との違いを教示するシステムの基本設計を進めることができた。また、何らかの作業中に情報を提示する場合には、本システムを使用するための訓練が必要になるが、有効に機能する可能性があることも確認された。単純な情報提示であれば、比較的容易に使用可能になると推測され、刺激提示部位の違いや刺激の強さの違いを用いた情報提示から導入する方が良いと考えられる。

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13件)

- 1) T.Watanabe, T.Masuko and A.Arifin, Preliminary Tests of a Practical Fuzzy FES Controller Based on Cycle-to-Cycle Control in the Knee Flexion and Extension Control, IEICE Trans. Information and Systems, E92-D(7) (2009)(印刷中) 査読有り.
- 2) Y.Minegishi, T.Watanabe and M.Yoshizawa, A Basic Study on Stimulation Pulse Width Determination for Dynamic Presentation of Electrocutaneous Sensation Patterns, IEICE Trans. Information and Systems, E92-D(6) (2009)(印刷中) 査読有り.
- 3) T.Watanabe, K.Kurosawa and M.Yoshizawa, An Effective Method on Applying Feedback Error Learning Scheme to Functional Electrical Stimulation Controller, IEICE Trans. Information and Systems, E92-D(2), 342-345 (2009) 査読有り.
- 4) A.Arifin, H.Saito and T.Watanabe, An Error Reduction Method of Portable, Low-Cost Joint Angle Sensor System for Human Movement Measurement and Control, 電子情報通信学会技術研究報告, 108(314), 31-34 (2008) 査読無し.
- 5) T.Watanabe, T.Masuko, A.Arifin and M.Yoshizawa, A Feasibility Study of Fuzzy FES Controller Based on Cycle-to-Cycle Control: An Experimental Test of Knee Extension Control, IEICE Trans. Information and Systems, E91-D(3), 865-868 (2008) 査読有り.
- 6) 増子知也, 渡邊高志, A.Arifin, 吉澤 誠, Cycle-to-Cycle制御法に基づくファジィFES制御器による膝関節制御の実験的検討, 生体医工学, 45(4), 313-318 (2007) 査読有り.
- 7) 加茂井敏晃, 渡邊高志, アリフィン アハ

- マド, 吉澤 誠, 片麻痺者の歩行遊脚期の cycle-to-cycle制御に基づくFES制御の検討 ～初期角度変化時のモデルシミュレーション～, 電子情報通信学会技術研究報告, 107(351), 17-20 (2007) 査読無し.
- 8) 渡邊高志, 杉 義宏, 黒沢健至, 吉澤 誠, フィードバック誤差学習を用いたFES制御におけるISMの効果の検討 ー手関節2自由度運動制御の計算機シミュレーションー, 電子情報通信学会技術研究報告, 107(248), 5-8 (2007) 査読無し.
 - 9) Y.Minegishi, T.Watanabe and M.Yoshizawa, Basic Experiments of Physiological Properties for Information Presenting Method Using Dynamic Electro-cutaneous Sensation Patterns, International Journal of Bioelectromagnetism, 9(1), 30-31 (2007) 査読有り.
 - 10) 佐藤由規, 渡邊高志, 吉澤 誠, 星宮 望, 表面電気刺激による動的感覚パターン提示を用いた情報伝達の実現可能性, バイオメカニズム学会誌, 31(1), 30-35 (2007) 査読有り.
 - 11) 柴田 聡, 渡邊高志, A.Arifin, 吉澤 誠, 星宮 望, 片麻痺者の歩行遊脚期の cycle-to-cycle制御に基づくFES制御法: 床反力を考慮したモデルシミュレーション, 生体医工学, 44(4), 687-695 (2006) 査読有り.
 - 12) 古瀬則夫, 渡邊高志, 圧電式ジャイロ스코ープによる歩行中の股・膝・足関節角度の測定, 電子情報通信学会技術研究報告, 106(370), 49-52 (2006) 査読無し.
 - 13) 渡邊高志, 柴田 聡, Achmad Arifin, 吉澤 誠, 星宮 望, 片麻痺者の歩行遊脚期の cycle-to-cycle制御に基づくFES制御法ーモデルシミュレーションによる表面電気刺激用データの検討ー, 電子情報通信学会技術研究報告, 106(330), 25-28 (2006) 査読無し.
- [学会発表] (計33件)
- 1) 福島啓介, 計算機シミュレーションによるFES制御器の開発のための筋骨格モデルの改良に関する検討, 第42回日本生体医工学会東北支部大会 (2008 12/13, 仙台)
 - 2) 福島啓介, むだ時間の大きな筋骨格モデルでのフィードバック誤差学習を用いた手関節2自由度運動のFES制御に関する基礎的検討, 第15回日本FES研究会学術講演会 (2008 12/6, 仙台)
 - 3) 杉本 賢, 無線型表面FESシステムの試作と膝関節制御の基礎的検討, 第15回日本FES研究会学術講演会 (2008 12/6, 仙台)
 - 4) O.D.Pena Cabra, A Basic Study on an Application of Center of Mass Information for Sit-to-Stand Balance Control, 第29回バイオメカニズム学術講演会 (2008 10/25, 東広島)
 - 5) 峯岸由佳, 圧電式ジャイロ스코ープを用いた足底接地期の検出に関する基礎的検討, 第29回バイオメカニズム学術講演会 (2008 10/25, 東広島)
 - 6) Y.Minegishi, A Basic Experiment of Different Pulse Width Stimulation for Information Presenting Method Using Dynamic Electro-cutaneous Sensation Patterns, International Symposium on Nano-Biomedical Engineering (2008 10/17, 台南, 台湾)
 - 7) T.Watanabe, A Preliminary Test of Modified Applying Methods of Feedback Error Learning for FES Control, the 13th Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society (2008 9/22, Freiburg, Germany)
 - 8) 渡邊高志, 機能的電気刺激 (FES) による運動機能麻痺者の支援 ー臨床普及への課題と期待ー, 福祉工学シンポジウム2008 (2008 9/17, 宇都)
 - 9) 杉本 賢, 圧電振動ジャイロを用いた無線型センシングシステムに関する基礎的検討, 第47回日本生体医工学会大会, (2008 5/10, 神戸)
 - 10) 峯岸由佳, 電気刺激を用いた感覚フィードバックのための動的パターン呈示に関する基礎的検討, 第47回日本生体医工学会大会, (2008 5/9, 神戸)
 - 11) 渡邊高志, Cycle-to-Cycle制御に基づく歩行遊脚期のFES制御の検討: ファジィ制御器による健常者の膝関節制御, 第47回日本生体医工学会大会, (2008 5/8, 神戸)
 - 12) T.Watanabe, Functional Electrical Stimulation (FES) for Motor Disabled Patients, 3rd International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, pp.35-42, (2008 3/5, 仙台)
 - 13) A.Arifin, Application of Knowledge Engineering and Fuzzy System in Realizing Cycle-to-Cycle Control Method for Swing Phase of FES-induced Gait, 3rd International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics (2008 3/5, 仙台)
 - 14) 加茂井敏晃, 片麻痺者の歩行遊脚期の cycle-to-cycle制御に基づくFES制御法の開発 ー制御器パラメータ調整器の検討ー, 第6回情報シナジー研究会 (2008 2/22, 仙台)
 - 15) 増子知也, FES歩行のための Cycle-to-Cycle 制御法による膝関節伸展制御の検討, 第14回日本FES研究会学術講演会 (2007 12/2, 岡山)
 - 16) 杉本 賢, FES制御のための無線型センシ

- ングシステムに関する基礎的検討, 第 41 回日本生体医工学会東北支部大会, (2007 12/1, 秋田)
- 17) 増子知也, Cycle-to-Cycle 制御法に基づくファジィ FES 制御器による膝関節制御の実験的検討, 生体医工学シンポジウム 2007 (2007 9/21, 札幌)
- 18) T.Watanabe, An Experimental Test of Fuzzy Controller Based on Cycle-to-Cycle Control for FES-induced Gait: Knee Joint Control with Neurologically Intact Subjects, the 11th Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing (2007 6/28, Ljubljana, Slovenia)
- 19) N.Furuse, A Study on Sensing System of Lower Limb Condition with Piezoelectric Gyroscopes: Measurements of Joint Angles and Gait Phases, the 11th Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing (2007 6/26, Ljubljana, Slovenia)
- 20) 渡邊高志, 下肢麻痺者の歩行再学習・支援システムのためのセンシングと FES 制御方式の検討, 第 46 回日本生体医工学会大会 (2007 4/27, 仙台)
- 21) 増子知也, FES による歩行再建のための cycle-to-cycle 制御に基づく膝関節制御の実験的検討, 第 46 回日本生体医工学会大会(2007 4/26, 仙台)
- 22) 加茂井敏晃, cycle-to-cycle 制御による片麻痺者の FES 歩行遊脚期制御のための刺激スケジュールの検討: 異なる筋力での床反力を考慮した計算機シミュレーション, 第 46 回日本生体医工学会大会 (2007 4/26, 仙台)
- 23) A.Arifin, Knowledge Engineering Approach in Developing Framework of the Cycle-to-Cycle Control for Swing Phase of Hemiplegic Gait Induced by FES, 第 13 回日本 FES 研究会学術講演会 (2006 12/2, 久留米)
- 24) 加茂井敏晃, cycle-to-cycle 制御による片麻痺者の FES 歩行遊脚期制御のための刺激スケジュール評価の基礎的検討, 第 40 回日本生体医工学会東北支部大会 (2006 11/25, 仙台)
- 25) 杉 義宏, 手関節 2 自由度運動の FES 制御におけるフィードバック誤差学習法による逆モデルの学習に関する検討, 第 21 回生体・生理工学シンポジウム(2006 11/17, 鹿児島)
- 26) 渡邊高志, 片麻痺者の歩行遊脚期の cycle-to-cycle 制御に基づく FES 制御法: 筋電図に基づく刺激データの検討, 第 27 回バイオメカニズム学術講演会 (2006 10/29, 神戸)
- 27) 渡邊高志, 片麻痺者の歩行遊脚期の cycle-to-cycle 制御に基づく FES 制御法: 床反力を考慮したモデルシミュレーション, 生体医工学シンポジウム 2006 (2006 9/24, 新潟)
- 28) Y.Sugi, A basic study on upper limb control by FES using feedback error learning with IDM and ISM, the 11th Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society (2006 9/14, Miyagi-Zao, Japan)
- 29) T.Masuko, A Basic Study of Fuzzy Controller for Cycle-to-Cycle Control of Knee Joint Movements of FES Swing: First Experimental test with a Normal Subject, the 11th Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society (2006 9/14, Miyagi-Zao, Japan)
- 30) Y.Sugi, Development of computer simulation system for study on FES controller of the upper limb, 平成 18 年度 電気関係学会東北支部連合大会 (2006 9/1, 秋田)
- 31) 渡邊高志, 情報技術の麻痺肢機能再建への応用, 第 45 回日本生体医工学会大会 (2006 5/17, 福岡)
- 32) 佐藤由規, 電気刺激による皮膚感覚を用いたパターン提示のための電気刺激パラメータに関する検討, 第 45 回日本生体医工学会大会(2006 5/16, 福岡)
- 33) 帖佐征一, フィードバック誤差学習を用いた FES 制御の臨床応用のための実験的検討, 第 45 回日本生体医工学会大会 (2006 5/15, 福岡)

6. 研究組織

(1)研究代表者

渡邊 高志 (WATANABE TAKASHI)
 東北大学・大学院医工学研究科・准教授
 研究者番号: 90250696

(2)研究分担者

古瀬 則夫 (FURUSE NORIO)
 宮城工業高等専門学校・准教授
 研究者番号: 30249734