

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：37115

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500665

研究課題名(和文) 軽量かつインテリジェントなりハ支援装具の研究開発

研究課題名(英文) Research and development of lightweight-intelligent rehabilitation support equipment

研究代表者

松田 鶴夫 (Matsuda, Tsuruo)

久留米工業大学・工学部・教授

研究者番号：60258598

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高齢社会を迎えて増加が危惧される脳梗塞等や脊髄損傷等に使用する「モジュール型リハ訓練装具開発」を行った。その結果、小型、軽量の装具駆動用ギアの試作により、今後につながる重要な幾つかの問題点を確認した。また、本装置駆動用の各種制御系装置も試作し、いち早く、幾つかの応用(筋運動に呼応したON-OFF動作によるゲーム機へのインターフェース開発、筋運動導出のための小型軽量かつ安価に実現可能な装置製作等)を試みる事ができた。また、リハ支援装具に必要なモーター駆動部や制御部等もメドがついており、今後の駆動用ギアのブラッシュアップを待つに至った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have developed a "Modular typed rehabilitation training equipment". As a result, we have developed a small and light weight multilayer planetary gear, and find a several problem leading to the future. Some interface and control unit had also developed by ourself to using muscle movement with low cost. By using these interface, we have developed a commercial game controller interface by using of muscle movement. These materials are to be effective in rehabilitation assistance. Control unit such as the motor drive unit necessary to support rehabilitation brace was almost complete. This has led to wait for a brush-up of the drive gear of the future.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学

キーワード：リハ支援 遊星ギア

## 1. 研究開始当初の背景

### ① 研究の学術的背景

交通事故や高所からの落下あるいは脳梗塞などの各種疾患により10万人以上の脊損者がおり、毎年5,000人以上が新たに脊髄損傷を負っている。近年、受傷・回復術直後のリハビリ施行が回復に顕著な効果を挙げることが知られており、理学療法士(P.T.)や作業療法士(O.T.)の元でのリハビリテーションの重要性が増している。実際には、PT等によるストレッチ運動を、不完全脊髄損傷や脳卒中による下肢の対(片)麻痺の患者に与えることで、有効な歩行能力等回復訓練として知られているが、訓練初期の段階では患者1人に対して3~4名の作業療法士あるいは介助者が必要となる。また、トレッドミルなどの機器を用いた訓練においても、専ら手技によって患者の体を吊り上げて歩行再現を実施しているのが現状であり、患者に必要な毎日の訓練は人的・物理的・時間的に不足している。また、人的負担軽減のためにアームタイプロボット等で下肢部を固定把持して行うものもあるが、高価であり導入数に制限がある。

近年、これらの問題に対して下肢回復訓練にも適応可能と謳う身体に装着するロボットスーツ等に類するものが開発されているが、運用における価格が高価であり、また、下肢倍力には巨大なモータ・ギアが使用されているために大型・高重量なものや、患者の実生活における装着感や使用感を軽減して生活の質(QOL)を確保しているとは考えにくいものが多数を占める。

我々は、上述する問題を克服し、当面の課題を患者の日常的・自律的なリハビリに用途を制限することで実現可能な軽量・安価なインテリジェント型下肢装具の実現を行っている(図1)。

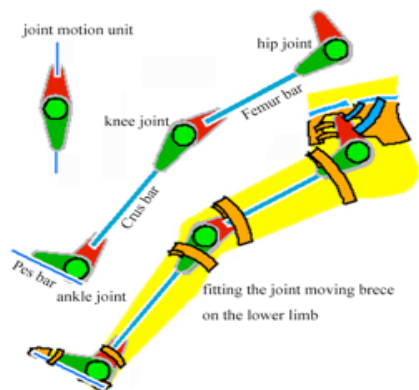


図1 現在開発中の装具模式

まず装具機構としては、装着や運用における患者の操作等の簡便さを失わないような小型軽量薄型の関節部分の実現が必要である。我々はすでに2層式の遊星歯車減速装置(マルチレイヤ・プラネタリギア)を着想(特許出願中)し、薄型関節高減速駆動機構を考案・試作した(図2)。

これは大小2種の遊星歯車装置をサンドウィッチ構造にしたものであり、これにより従来までの物よりも薄型・軽量化を可能としてきた。また、この装置そのものが既に関節をなすので、図1のように駆動装置そのものを関節モジュールとし、複数モジュールの間をバーで連結するだけで、装具を形成できるものである。

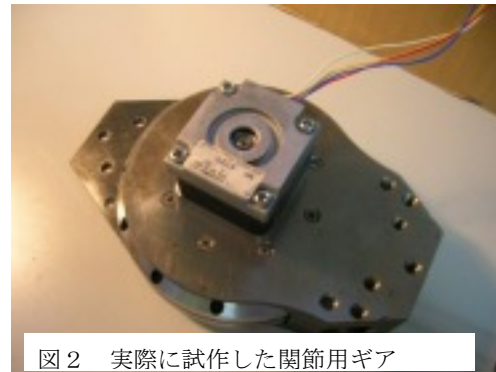


図2 実際に試作した関節用ギア

また、本関節駆動装置を駆動・制御するためのウェアラブルコンピューティングシステムを図3に示す。本システムは人が装着することを前提とするため、小型軽量を追求し、かつ、必要な機能をすべて満たす必要がある。

これまでの研究・開発では各種必要な機能をハードウェアモジュール単位に分割し、必要に応じて追加あるいは削除可能な構成を考案し、これをウェアラブルコンピューティングシステムとして使用できるように構想し準備を行ってきた。使用モジュールは現在、筋電導出部、数値演算部、モーター制御部、状態記憶部等を考案しており、一部の機能を既に実現している。これらはI2Cプロトコルで結ばれている。また、本システムを運用するためのOSに相当する部分は現在開発・検討中である(補助金の有無により自主開発による労力削減のために、フリーで利用可能なマルチタスクOS等の搭載も検討している)。

上述する各種開発と並行して、当面はP.T.や介護者の負担軽減に活用できるようなアシスト装具としての実現を目的としてきているが、途上でさまざまな課題が明らかになってきた。それらの課題解決の結果を試行するためにも、本研究では実地テストを視野に入れた、臨床現場におけるCPMへの適用を目的とする。CPMは最終的には介護支援用アシスト装置としての役割だけではなく、患者一人でも運用可能なストレッチなどの運動の自動化と、電気・磁気刺激を組み合わせたリハビリテーションのための患者、介助者にとっても便利な装具に発展させる。

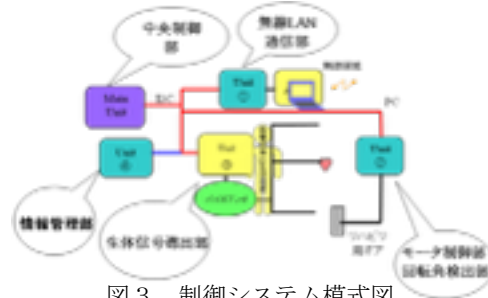


図3 制御システム模式図

## 2. 研究の目的

本研究では、高齢社会を迎えて増加が危惧される脳梗塞等や脊髄損傷等に使用する「モジュール型リハ訓練装具開発」を行う。さらに、本研究開発の有用性を早急に確認する為に、臨床現場において試験運用可能なCPM(Continuous Passive Motion、持続的関節他動訓練器)への適用を検討する。これらを通して各種装具の最適化設計・検討と、任意な機能拡張性をもつシステム構成に注力する。将来的には、個人毎に異なる病状の変化に対応可能(電気・磁気刺激を併用可能)かつ、小型・軽量・安価で柔軟な機能拡張性を

持つ下肢装具開発の基礎となる事を目的とする。

### 3. 研究の方法

ギア部計画としては、現在使用中の部材や設計の再検討を行い、軽量・薄型の検討に入る。中でも駆動ユニットの強度設計と検討は軽量薄型化の要であり、設計初期値の回転モーメントはこれまでの結果から最低70Nmを用いる事としている。本指針に基づき設計の結果を図面に起こし、プロトタイプ部品用材料の調達と製作の外注を行う。

さらに、P.T.の動きを素早くトレースし、制御部へ伝えるためには、現在常時かみ合った状態にあるギアをフリーにできるようにクラッチ機構に類するものを追加する必要がある。これらについて基礎的な検討と幾つかの試作を行う。尚、減速装置部品の試作過程において、歯車とベアリング類は市販品を使う(将来的な低価格化・標準化を視野)予定であり、製作依頼先も確保済みである。

制御環境計画として、基本的な関節毎のマニュアル制御は完了している。これを臨床等の現場に導入する場合には、あらかじめ記録した動作パターンに追従する場合と手動制御が考えられ、これは既に満たしている。しかしながら装着者の筋疲労などの状態に伴う動作負荷の変化や、治療行為の評価手法は不十分な状態にある。一方において、被験者の筋電図を導出し、これをFFT処理することで筋疲労評価の指針にする研究が佐藤(随意筋収縮および電気刺激による筋疲労の筋電図解析2006)や蘭(表面筋電図のパワースペクトラムから見た筋疲労回復過程1986)等にあるように古くから幾つかの考察がなされている。そこでこれらの評価法を本システムにモジュールとして組み込み可能な筋電図導出ならびにFFT解析可能な装置を開発する。

### 4. 研究成果

メカ部について

開発当初は、減速機構主体の開発を行い、第一近似的積層減速機構は1/535減速を達成した。層間歯数差を最小の1として外側の内歯車の層間差動を最小にする原理を用いた。両層間の遊星車を一体形としたため、噛み合い効率を30%以上にする事は困難であった。この克服のため、新積層式遊星歯車機構を設計した。①遊星車数を増し、層間で一体とせず共通キャリアの表裏に配置し、層厚を3mmを目指した。両層太陽歯車直径は大きくし、これを一体形とした。層間差は直径差とした。これを微少差とするためモジュールは自由に選んだ。②2層内歯車の外縁に2個、両層合計で4個のクラッチを挿入付加し、固定と駆動(開放)の入れ替えが、同時相反的できる機構とし、モーターは一定回転でも関節の正転逆転、つまり屈伸を可能とした。③2種3層から2種2層の積層に構造変更し、歯車全てにピッチ円円盤を抱き合わせ、これを転がり接触させて軸受け省略を図った。これらにより図4Aのようなプロトタイプを試作した。

中間報告以降は高効率化・軽量化改善を目的に、遊星歯車数を増し、中間層を削除し、共通キャリアの表裏に遊星歯車を配置し、層厚を3mmを目指す新規設計を行った。あわせて2層内歯車最外縁にV突起をもつ形状を同じ直径位置におき、円筒の内側とV溝のある円弧状外側シューと内側の円弧状平型シューで挟み込むクラッチ機構を付加した。積層構造を2種3層から2層に変更し、歯車全てに

ピッチ円円盤を抱き合わせ、これを転がり接触させて軸受けの省略を図り薄さと軽さを追った。加工は業者に委託した。減速機構は積層変更によりベアリング数が削減でき、厚さと重量を改善した(中間報告までの重量1.7kgfを0.7kgfへ、厚さを30mmから17mmへ、直径が100mmから73mmへ改善された)。図5に示すように、駆動試験は数Wのマブチモーターを用いて行ったが、回転は滑らかではなく、トルクが大きくなると回転が止まった。理由は太陽歯車がベルト駆動である点と、ピッチ円ディスクと歯先の傷の干渉にあった。解決法として、歯先の歯幅やディスク側の歯先挿入側の面取り、太陽歯車の積層間の余裕寸法の拡大等が必要である。ブレーキ機構については、4個のブレーキシュー外観は十分な加工精度で完成し、個別にブレーキ機構を作用させ、フレームの回転方向を変化できることを確認したが、相反作用機構の作動状態の確認には至っていない。これはカム軸とレバーの加工精度の不足に起因する。

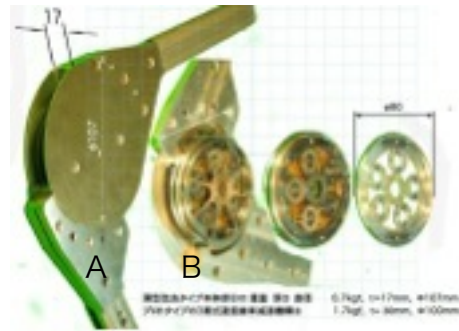


図4 ギア開発の流れ

A:中間報告まで、B:現状に置ける改良状態



図5 最終試作ギア

マブチモーター搭載による駆動テスト写真

制御部について

開始当初はモジュールとして組み込み可能な筋電図導出装置ならびにFFT解析可能な装置の開発に重点を置いてきた。図6に示すような筋電図導出装置は作動増幅ならびに逆相信号発生機能を持つアンプを作成した。中点電位作成回路を利用した乾電池駆動を可能と



した。また、本機再現性についても試作機を6台作成し、学生が組み立てを行っても所定の性能を發揮できる物を作り上げた。FFT解析装置に関しては、dsPIC30F3013を中核に、バイアス点調整ならびにプリゲイン獲得のためのアンプを組み合わせて、音声帯域におけるFFTアナライザを試作した。現在は装置のサンプリング速度等を調整し、およそ5Hzステップで5-50Hz範囲のFFTを計測可能な装置として図7に示すものを完了した。

中間報告以降はギア部制御の準備として、筋電導出部を利用した各種アプリケーション作成を行った。まずは図8に示すような筋電強度変化に追従して角度を変えるサーボモータを搭載した、リハ用起き上がり小法師を作成した。また、図9に示すような、閾値をVRより任意に変更可能な機能を追加し、把持運動より生じる筋電位変化をON-OFFの2値に変換し、市販ゲーム機Wiiを制御可能なコントローラを試作し、市販アプリ『太鼓の達人』を操作した。また、これらの機能とKinectを組み合わせる事で、筋運動と体の動きという2つのパラメタを組み合わせた制御環境に着手した。

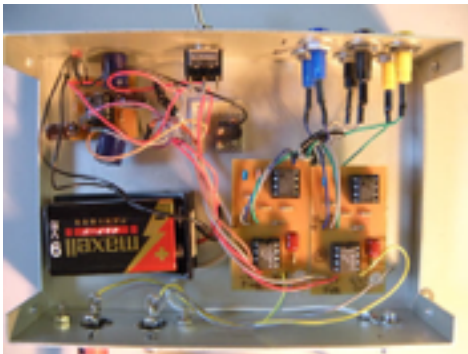


図6 製作した2chバイオアンプと付属回路

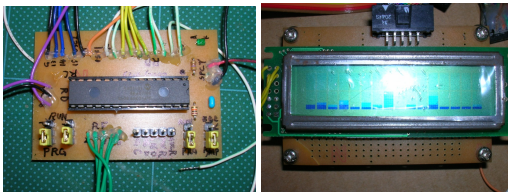


図7 製作したFFTアナライザ

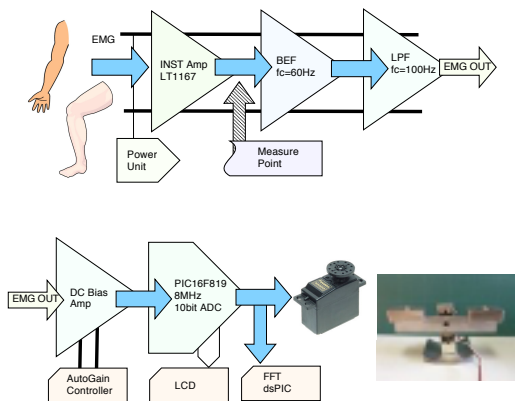


図8 リハ用起き上がり小法師

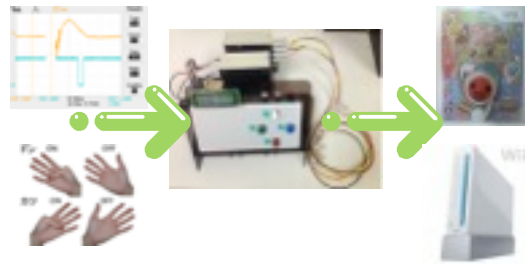


図9 EMGによる市販ゲーム機コントローラ

最終的には、ギアの進捗が思うように行かなかったため、制御システムとの組み合わせによる評価用プロトタイプ運用試験までは至っていない。しかしながら、必要な要素技術については十分に検討でき、今後の研究開発に資する結果を獲得したと考える。

### 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1件)

松田鶴夫、益本広久 久留米工業大学研究報告、査読有、Vol. 36, 2013, pp. 79-84

〔学会発表〕 (計 3 件 (1 件予定))

①松田鶴夫、 益本広久 筋電図を使用した機器制御システム構成に関する検討、生体医工学シンポジウム、九州大学、9/21/2013

②松田鶴夫、 益本広久 EMGによる市販ゲーム機の制御とリハ活用について、電気関係九州支部、熊本大学、9/25/2013

③Kouji L, Yamamoto, Tsuruo Matsuda, Shunji Hirokawa, Compact Power Orthosis for the Lower Limb using Planetary Gear Articulator, Accepted as Entry #3307 MRS-J, International Union of Material Science- The IURMS International Conference in Asia 8/24-28/2014

〔図書〕 (計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：

番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等  
<http://rally.is.kurume-it.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松田鶴夫 (MATSUDA, Tsuruo)  
久留米工業大学・工学部・教授  
研究者番号：60258598

(2) 研究分担者

林佳彦 (HAYASHI, Yoshihiko)  
久留米工業大学・工学部・準教授  
研究者番号：20164973

平野貞三 (HIRANO, Teizou)  
久留米工業大学・工学部・教授  
研究者番号：20104622

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：