

機関番号：57103

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500500

研究課題名（和文） リハビリ作業支援システムの開発

研究課題名（英文） Development of the rehabilitation support system

研究代表者

日高 康展 (HITAKA YASUNOBU)

北九州工業高等専門学校・制御情報工学科・講師

研究者番号：80413871

研究成果の概要（和文）：本研究では手首部の麻痺に対するリハビリ作業支援システムの開発を行なった。システムは理学療法士に代わってリハビリを行う力覚提示部とその動作を集中管理する作業支援システムで構成される。本研究では空気圧アクチュエータで駆動するパラレルリンク機構を応用することで人にやさしい力覚提示装置を開発した。また、遠隔操作におけるモニタとして人工現実感(VR)を適用したリハビリ装置のリアルタイム3次元表示を実現した。さらに、双方向通信によるリハビリ装置の遠隔操作を実現した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of our study is development of a rehabilitation support system for wrist paralysis. For this purpose, we developed the force display equipment based on the pneumatic Stewart type parallel mechanism in order to generate friendly and soft force for human. We also developed a 3D-CG model drawing system which shows the synchronized movement with the equipment. It plays a role of a monitor for the remote control. And then, we achieved the remote control for this system by TCP/IP connection.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	900,000	270,000	1170,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	2000,000	600,000	2600,000

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：福祉用具，支援機器，力制御

## 1. 研究開始当初の背景

食生活の変化による生活習慣病、交通事故、高齢化社会などによる身体の麻痺者の増大に対する社会生活自立のためのリハビリ作業支援技術の必要性が望まれているが、理学療法士に依存しているのが現状である。患者の症状によってリハビリ動作が異なるため、理学療法士が個々にケアする必要がある。しかし、理学療法士の絶対数が不足しており、この補助として機械やロボット等による支援が期待されている。例として手首部が麻痺した患者をリハビリする場合、患者の様々な

麻痺状態に対応するためには多自由度の運動動作を支援する必要がある。従来の作業用ロボット等で周知されているシリアルマニピュレータを用いた機構でこれを実現するためには、装置自体が複雑で大きかりなものとなる。これに対して、本研究で提案するパラレルマニピュレータは小型コンパクトな機構であり、高剛性、高速、高精度な6自由度運動ができるため、卓上型の身近なりハビリ機器に应用が可能となる。

国内外における多自由度運動機構としてのパラレルマニピュレータの应用に関しては、

工作機械等への研究開発が盛んに行われてきている。しかし、機構・ロボット単体で動作するものがほとんどで、人と協調した双方向通信で作業するものはない。パラレルマニピュレータの力感覚をともなう遠隔操作制御技術は、リハビリ作業支援のみにとどまらず、人が操作する新分野(医療器械や福祉・介護ロボット)へ応用展開するための基礎技術を確立するものになる。

## 2. 研究の目的

本研究では、不足している理学療法士の補助として、麻痺した人の手首や腕に複雑な運動のリハビリ作業をサポートすることを目的とし、手首部麻痺者のリハビリ機器と、その動作を集中管理する作業支援システムを開発する。作業支援システムには安全性を備えた機器と人による遠隔操作、適切なモニタが必要になる。このためには、

(1)人にやさしい空気圧を用いた Stewart 型パラレルリンクメカニズムを応用した力覚提示装置の開発

(2)人工現実感(VR)を適用したリハビリ装置のリアルタイム3次元表示

(3)双方向通信によるリハビリ装置の遠隔操作の実現

が重要である。本研究ではこれらの要素技術の研究開発を行ない、最終的にリハビリ作業支援システムとして一つに集約した形を示す。

## 3. 研究の方法

研究の目的で述べたように本研究は以下の3つの項目に大別できる。

(1)人にやさしい空気圧を用いた Stewart 型パラレルリンクメカニズムを応用した力覚提示装置の開発

(2)人工現実感(VR)を適用したリハビリ装置のリアルタイム3次元表示

(3)双方向通信によるリハビリ装置の遠隔操作の実現

それぞれについて以下に研究の方法を述べる。

(1)については、Stewart 型パラレルリンクメカニズムの運動学解析を行い、数値シミュレーションによってこの機構の動作範囲の確認を行った。シミュレーションの結果を踏まえて力覚提示装置の設計パラメータを決定し、3D-CAD で機構の設計を行い、装置の試作を行った。図1に試作した力覚提示装置を示す。

装置の駆動に関しては、安全性を考慮して空気圧アクチュエータを用いた。試作した機構はアクチュエータを6つ有し、各アクチュエータの発生する合力が提示力となる。一本のアクチュエータつき三方電磁弁を2個用い、PWM 制御によってアクチュエータの押し側、

引き側両方向に任意の力を発生できるようにした。



図1. 卓上力覚提示装置

各アクチュエータが任意の力を生成できることを確認した上で、制御用PCから任意の力指令を与えると、力覚提示部(図1のグリップ)にその力を提示させるシステムを開発した。これは、力指令から6本の空気圧アクチュエータそれぞれに割り当てられる分力を計算し、その結果を用いて各アクチュエータを力制御するものである。開発したシステムについて動作実験を行い、力が理論値通りに発生しているか検証した。力の測定はひずみゲージを取り付けた片持ちはりによる力センサ(0~100N)を用い、垂直方向について押し引き方向の力の測定を行った。図2の検証実験の様子を示す。測定の結果、力覚提示装置は理論値通りに力の提示を行っていたことを確認することができた。



図2. 実験装置

(2)については、仮想空間上に試作した卓上力覚提示装置と連動するCGモデルを描画するシステムを開発した。描画の方法としては、装置の各シリンダ長をポテンショメータで測定し、シリンダ長から順運動学方程式を解くことで装置のプラットフォーム(上部円盤)の6自由度姿勢を計算する。パラレルメカニズムでは順運動学方程式を解析的に解

くことは困難であるため、Newton-Raphson 法を用いて数値的に近似解を求める。計算したプラットフォームの姿勢を基に装置全体を描画する。描画には OpenGL を用いた。図 3 に卓上力覚提示装置に連動する CG モデルの様子を示す。

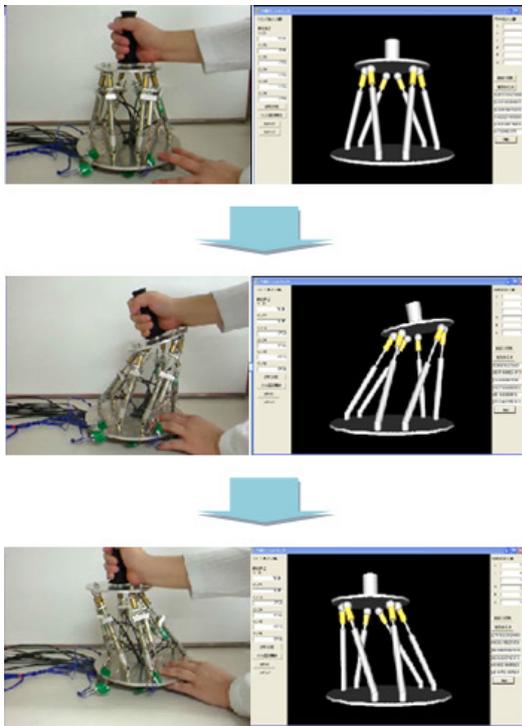


図 3. 装置と連動する 3DCG モデル

さらに、作成した CG 描画システムに対し、力覚提示装置が出力する力を CG モデル描画部に表示させる機能を付加した。これは、単に数値を表示するだけでなく、矢印を描画して力覚提示部に発生する力の向きや大きさを視覚的に認識しやすいようにするものである。図 4 は CG 描画システムに力の表示機能を付加したものである。

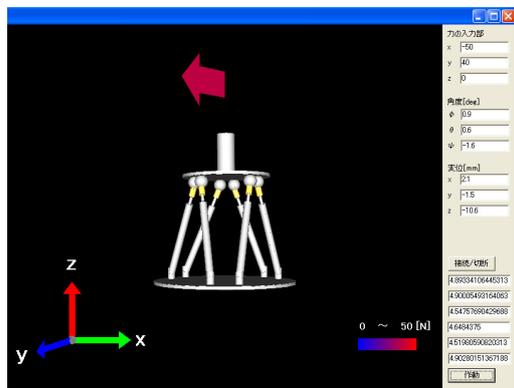


図 4. 力の表示

(3)に関しては、通信手段として、広範囲で利用可能かつ安定した通信方法として知ら

れている TCP/IP 通信を用いた。本研究で構成した遠隔操作システムとしては、遠隔操作 PC をサーバ、卓上力覚提示装置と直接接続した PC をクライアントとして双方を TCP/IP 通信で接続する。サーバ側では力指令を入力することができ、その命令をクライアント側へ送る。クライアント側では受け取った力指令からアクチュエータの入力を計算し、力覚提示装置を駆動する。このとき、クライアント側では 6 本のシリンダ長をポテンシオメータで測定し、そのデータをサーバへ渡す。クライアントよりシリンダ長を受け取ったサーバはそのデータより CG モデルを描画する。これにより、サーバ側では遠隔地にある卓上力覚提示装置の動作を CG モデルによって確認することができる。このシステムについて、通信遅延がどのくらい生じるか測定実験を行った。測定方法としては、卓上力覚提示装置と直に接続する PC からシリンダ長データをもう一台の PC へ送り、その PC からそのままデータを送り主へ返してもらい、そのデータで CG を描画させて実機の動作に対しどの程度遅延が生じるかを測定した。データを返す PC は、①同じ部屋②違う建屋 (LAN は同じ)、③外部 (10 km 離れた民家) に設置して実験を行った。結果、①、②では遅延は見られず、③では 0.3~0.4 秒程度描画が遅れる結果となった。以上で述べた (1)、(2)、(3) を統合し、リハビリ作業支援システムとして一つに集約した。図 5 は統合したシステムを稼働した際の写真である。左上の図はサーバの表示する画面であり、右上の図はクライアントに接続する力覚提示装置である。これに 50N の垂直上向きの力を発生させるよう力指令を与えると図の下左右のような結果となり、実機の動作と CG の描画が正しく行われていることを確認することができた。

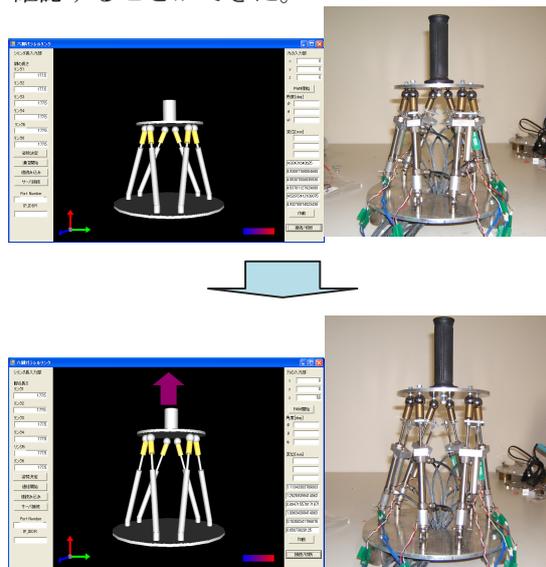


図 5. 集約したシステム動作実験

#### 4. 研究成果

本研究で得られた研究成果を以下に示す。

(1) リハビリ作業支援システムとして、空気圧を用いた Stewart 型パラレルリンクメカニズムを応用した力覚提示装置を開発した。

(2) リハビリ装置のリアルタイム 3 次元表示を可能とした。また、力の大きさ、向きを視覚的に認識しやすいものとした。

(3) TCP/IP 通信を用いた双方向通信によるリハビリ装置の遠隔操作を実現した。

最終的に、(1)、(2)、(3)を集約し、リハビリ作業支援システムとして一つのシステムに集約することができた。

これらの研究成果は、国内外の会議等で発表し広く意見を求めた。また、国内外のジャーナルへ投稿した。

今後の展望としては、パラレルメカニズムを平行移動、回転動作させた場合の力の測定や、TCP/IP 通信で発生する通信遅延の改善などが挙げられる。

#### 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 5 件)

- ① Yasunobu HITAKA, Yoshito TANAKA, Yutaka TANAKA, Junko ISHII, Yin YAOLAO, Development of Pneumatic Parallel Force Feedback, International Journal of Automation Technology, Refereed, Vol.4, No.4, 2010, pp.380-387
- ② Yasunobu HITAKA, Yoshito TANAKA, Yutaka TANAKA, Ken ICHIRYU, Motion analysis of a tripod parallel mechanism, Artificial Life and Robotics, Not Refereed, Vol.14, No.4, 2009, pp.494-497
- ③ Yoshito TANAKA, Isao YOKOMICHI, 3-D Visualization on Workspace of Parallel Manipulators, JSME : Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Refereed, Vol.3, No.1, 2009, pp.58-68
- ④ 田中 義人, 石井 純子, 光学方式による多次元変位計測に関する研究、北九州工業高等専門学校研究報告、査読有、No.42、2009、pp.57-62
- ⑤ Yoshito TANAKA, Isao YOKOMICHI, Junko ISHII, Evaluation of Workspace for Parallel Manipulators, 北九州工業高等専門学校研究報告、査読有、No.42、2009、pp.51-56

[学会発表] (計 12 件)

- ① Yasunobu HITAKA, Development of 6-DOF force feedback system for

rehabilitation of wrist paralysis, The 16th International Symposium on Artificial Life and Robotics, January 27, 2011, B-Con Plaza, Beppu, Oita, JAPAN

- ② 中尾 進之介、三脚パラレルメカニズムの解析と位置決め制御、計測自動制御学会 第 29 回九州支部学術講演会、2010 年 12 月 4 日、宮崎大学
- ③ 島津 雄馬、脚パラレルメカニズムの作業空間の探索、計測自動制御学会 第 29 回九州支部学術講演会、2010 年 12 月 4 日、宮崎大学
- ④ Yasunobu HITAKA, Development of Pneumatic Parallel System for Rehabilitation of Wrist Paralysis, ICMT2010 - 14th International Conference on Model Transformation, November 24, 2010, Osaka University
- ⑤ Yasunobu HITAKA, Development of 6DOF Force Feedback System with Pneumatic Parallel Mechanism, Proceedings of the Fifteenth International Symposium on ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS 2010, February 7, 2010, B-Con Plaza, Oita, Japan
- ⑥ Yasunobu HITAKA, Development of Force Feedback System with Pneumatic Parallel Mechanism, 13th International Conference on Model Transformation, October 22, 2009, Waterfront Hotel, Lahug, Cebu City, Philippines
- ⑦ Yasunobu HITAKA, Development of Tripod Parallel Mechanism, The 2009 JSME-IIP/ASME-ISIS Joint Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment, June 18, 2009, Tsukuba International Congress Center, Ibaraki, Japan
- ⑧ Yasunobu HITAKA, Motion Analysis of Tripod Parallel Mechanism, The 14th International Symposium on Artificial Life and Robotics, February 7, 2009, B-Con Plaza, Beppu, Oita, JAPAN
- ⑨ 日高 康展, 三脚パラレルメカニズムの動作解析、2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会、2008 年 9 月 17 日、東北大学
- ⑩ 牧野 俊昭、産学連携による共同研究を通じての若手研究者の人材育成、日本工学会教育協会第 56 会年次大会講演会、2008 年 8 月 3 日、神戸大学
- ⑪ Isao YOKOMICHI, Particle Damping with granular materials for Multi-body System, The 15th International Congress on Sound and Vibration, July 6, 2008, Daejeon, Korea

- ⑫ Yoshito TANAKA, Study of Force-Driven Pneumatic Joystick, The 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 25, 2008, Chongqing, P. R. China

## 6. 研究組織

2008 年度

### (1) 研究代表者

田中 義人 (TANAKA YOSHITO)

北九州工業高等専門学校・制御情報工学科・教授

研究者番号：20332091

### (2) 研究分担者

日高 康展 (HITAKA YASUNOBU)

北九州工業高等専門学校・制御情報工学科・助教

研究者番号：80413871

横道 勲 (YOKOMICHI ISAO)

北九州工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：20044399

2009 年度～2010 年度

### (1) 研究代表者

日高 康展 (HITAKA YASUNOBU)

北九州工業高等専門学校・制御情報工学科・講師

研究者番号：80413871