

リハビリ支援ロボットの開発

酒井昌夫^{*1}、牧 俊一^{*1}、山本昌治^{*2}、石川和昌^{*3}、浅井 徹^{*4}、山本光男^{*3}

Development of a Rehabilitation Robot

Masao SAKAI^{*1}, Syunichi MAKI^{*1}, Masaharu YAMAMOTO^{*2}
Kazumasa ISHIKAWA^{*3}, Toru ASAI^{*4} and Mitsuo YAMAMOTO^{*3}

Research and Development Division, AITEC^{*1*2} Industrial Technology Division, AITEC^{*3*4}

患者に機械的な負荷をかけるリハビリテーション機器の代表に CPM(Continuous Passive Motion)装置がある。しかし、この装置は簡易な位置制御によるものが多く、患者に対するきめ細かな力の調整を行う機能をもたない。そのため、リハビリテーションを行う上で、理学療法士の負担と人手不足を軽減する方法として、より効果的な装置への発展が望まれている。この問題に対してロボット技術の導入により、使いやすさと高い自由度、柔軟なリハビリテーションを実現する装置の開発を目指し、本年度はその要素技術である多自由度を有する教示機構を開発し、これを多自由度ロボットへ搭載した。

1. はじめに

本研究では、リハビリテーション(以下リハビリという)の支援を行うロボットの研究を行う上で次のような要望に応えることを目標とした。

- (1) 理学療法士が普段行っている、患者に合わせた複雑な動きをロボットで再現する。そのため理学療法士が行う動作をそのまま教示し、それをロボットがリピートするシステム (ティーチング&プレイバック機能)。
- (2) リハビリ実施中に人体の柔軟性が改善されることにより、患者への負荷が低下することがリハビリの効率を低下させるため、安全な範囲で負荷の追加調整を行うシステム。

本研究では(1)を優先して開発を進め、人に対して実際にロボットが働きかける(2)については安全を確保しつつ最適な手法を求めるための基礎研究が必要なことから、今後の検討課題とした。

2. 試作ロボットの教示機構

2.1 目標とするロボットの機能

本研究では肘を対象とし、理学療法士の動作を再現するために次の機能の実現を目指した。

- (1) 理学療法士がリハビリ動作中の軌道と負荷を直接教示する機能。
- (2) 教示された軌道を再現するための複数のアクチュエータによる協調動作機能。
- (3) 患者の状況をモニタし、軌道と負荷を調節する機能。

これらの機能の実現のためのリハビリ支援ロボットのイメージを図1に示す。これまで2自由度のロボットを用いて研究してきたが¹⁾、ここではより高い自由度と柔軟性を実現するために6自由度のロボットを用いた。

このロボットの作業手順として、

- (1) 教示作業として、まず患者はロボットとの接続を前提とした装具を装着する。この装具にはリハビリ中の患者に働く負荷を計測するための6軸力覚センサが内蔵されている。この装具とロボットの間は装具とロボット手先の相対的な位置を計測するための位置計測機構で接続する。今回開発した位置計測機構は完全な固定と、リンクによる柔軟な接続の2方法を選択可能とし、教示時には柔軟な接続とする。



図1 リハビリ支援ロボットのイメージ

^{*1} 基盤技術部 ^{*2} 基盤技術部(現尾張繊維技術センター 開発技術室) ^{*3} 工業技術部 機械電子室(現基盤技術部)
^{*4} 工業技術部 機械電子室

この状態で理学療法士が通常のリハビリ動作を行うことにより位置計測機構による位置情報と力センサによる負荷情報を取得する。

- (2) 教示終了後、ロボットと患者の間を固定し、得られた情報を基にロボットがリハビリを行う。

2.2 ロボットの教示に用いる位置計測機構

今回開発した教示機構は、6自由度のロボットに軌道を教示することを目的としているので、教示機構も6自由度を実現する必要がある。なお、当所では教示機構として、パラレルリンク機構による機械式教示機構とカメラによる光学式教示機構の研究を実施しているが、本報告では機械式教示機構のみを取り上げる。

今回開発した機械式教示機構を図2に示す。ロボットに固定するロボット側プレートと、装具に固定する患者側プレート、その間を6本のワイヤーが独立して接続している構造のため、パラレルリンクと呼ばれる。本機構は、ロボット側プレートに6個のロータリーエンコーダを配置し、それぞれのエンコーダにプーリーを取り付け、プーリーからワイヤーを介して患者側プレートに接続している。図3に、患者側プレートを固定する装具の写真を示す。この装具は6軸力覚センサを内蔵し、患者の負荷を取得する。患者側プレートの移動に伴い伸縮する構造とし、ロータリーエンコーダで伸縮量をカウントし、伸縮量と移動および姿勢変化量の関係を逆ヤコビアン行列を利用し²⁾、ニュートンラプソン法による計算を繰り返して位置を算出した。また、患者への負荷は6軸力覚センサを患者側プレートに固定し、位置情報に同期して計測した。本機構の設計上の可動領域を表1に示す。本装置は、ワイヤーが干渉すると計測できないため、単独では計測領域が大きくとれない。これを補うためロボットの手に搭載して、位置検出機構に追従してロボットを動かし、ロボットの手先の位置情報と合計することで計測領域の拡大を目指した。

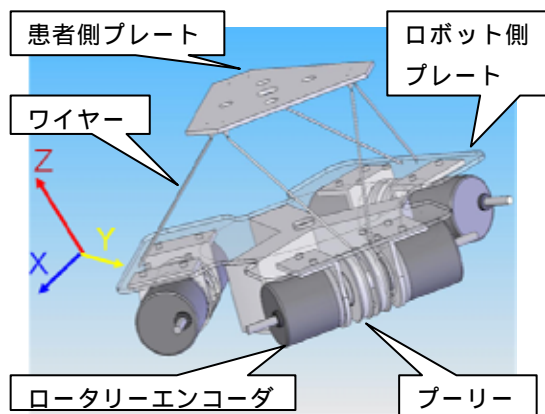


図2 機械(パラレルリンク)式位置検出機構

表1 機械式位置検出機構の仕様

可動領域(仕様値)	
X、Y、Z方向(mm)	200
X、Y、Z方向回転(deg)	±45
ワイヤー分解能(mm)	約0.05

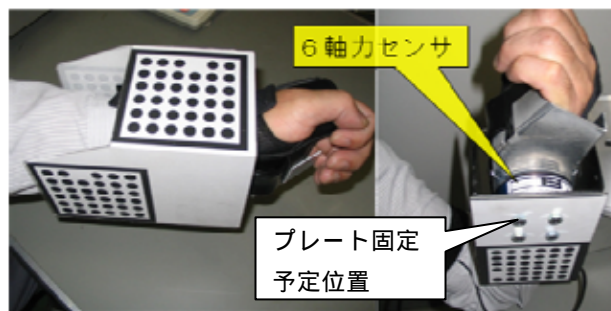


図3 患者用装具

2.3 パラレルリンク式計測機構による位置と速度の計測

教示機構の制御はパソコンで行った。患者用装具に固定されたプレートの運動は、ワイヤーを介してロボット側プレートに固定された6個のロータリーエンコーダの回転パルスとして検出しロボット側プレートの位置情報に変換する。

本機構の制御システムは、ロボットの運動用データとして速度情報も算出する必要があり、一定周期での計測(リアルタイム性を確保)が必要となる。そのため、制御用OSとしてリアルタイムOSであるRT-Linuxを採用した。その計測周期は、計測機構単体で利用する場合は5msec、後述する計測機構とロボットを一体化した場合は10msecとした。

2.4 機械式位置計測機構のロボットへの搭載

試作した機械式位置計測機構は前述したように、位置計測機構単体での可動領域は人の肘関節の可動領域より狭い。そのため、ロボットの手先に搭載し、患者の体格・体型などの要因に応じて最適な位置に位置計測機構を移動させて対応する必要がある。今回は小型ロボット(安川電機製 RT-Lab)を利用し、その手先に開発した位置計測機構を接続した。図4に実機の写真を示す。さらに、患者への負荷情報を収集するために、患者側プレートに6軸力覚センサを搭載した状態を図5に示す。

次に、このロボットと位置検出機構を組み合わせる制御ソフトウェアの全体構成を図6に示す。本システムは、前記した通りリアルタイム性の確保が必要であるため、OSをRT-Linuxとした。RT-Linux上でロボットと操作する者とのインターフェースは通常のLinuxソフトウェアと同様であるが、リアルタイム性を必要とするモーターの制御(0.5msec周期)、軌道(移動先)の決



図4 機械式位置計測機構を搭載したロボット

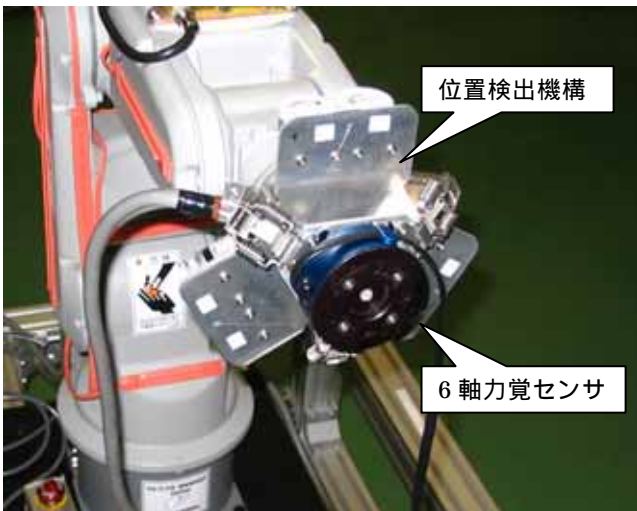


図5 6軸力覚センサを追加した位置検出機構

定(10msec周期)、位置計測機構による(パラリンク)計測(100msec周期)の3つは図6中のリアルタイム制御部として同時に作動し、相互に情報交換するプロセスとなっている。その手順は、パラリンク計測の結果から患者の位置情報を取得、その結果をロボットの軌道決定に反映、更に指示された目的位置に到着するまでモーター制御を行うようにした。2.3項で述べた機能は、全て図6中のパラリンク計測に組み込まれている。

また、通常、RT-Linuxによる制御システムでは、FIFO(First In First Out)方式によるデータの送受信が行われている。しかしこの方式はFIFOにデータを書き込む側と、読み出す側のタイミングのずれにより、メモリーがオーバーフローする可能性がある。本ロボットのよう、患者の位置と負荷情報を正確な周期と順序を維持しながら大量に送る場合には好ましくない。そのため、計測結果とりハビリ運転のデータはmbuffメモリ方式を利用し、予め確保した共有メモリに全情報を一時保存・一括転送することで運転中のデータの信頼性を確保した。

3. 試運転結果

3.1 教示機構による計測結果

位置計測機構をロボットに組み込むにあたり、機構単体での位置計測を実施した。テスト方法は患者側プレートをフライス盤のスピンドルに固定し、テーブルにロボット側プレートを固定する。このテーブルをX、Y、Zの3方向に0~40mmの範囲で独立に移動させ、この過

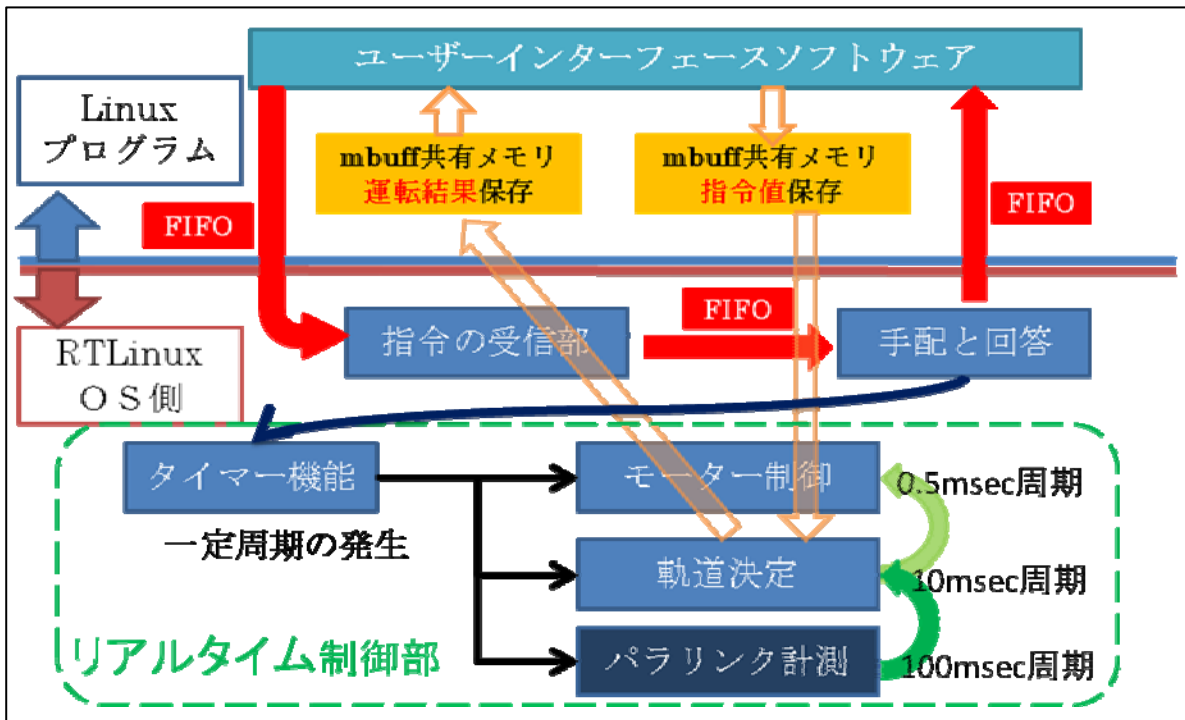


図6 機械式位置計測機構とロボットの制御システム

程を位置計測機構で計測し、患者側プレートとロボット側プレートとの間の移動量と、フライス盤のテーブルに与えた移動量とを比較した。得られた軌道を図7に、結果の一部を表2に示す。

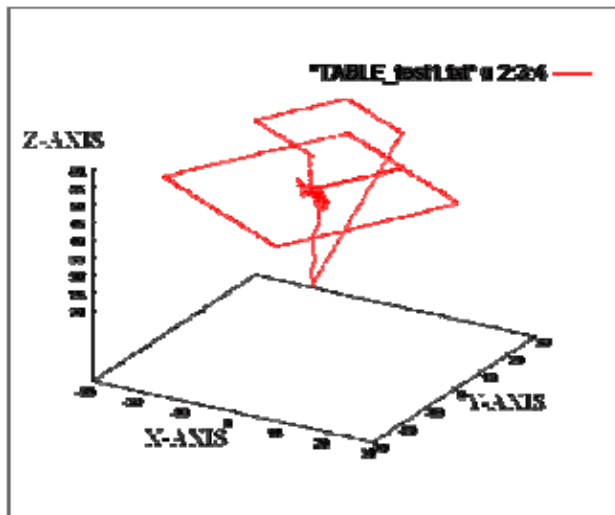


図7 位置計測機構による位置計測結果

表2 位置、角度誤差測定結果

移動量(mm)			交差角(deg)		
開発機	フライス	誤差(mm)	開発機	フライス	誤差(deg)
39.757	40.175	0.4178	90.347	90	0.347
39.873	40.46	0.587	89.989	90	0.011
39.637	40.12	0.4835	89.961	89.993	0.032
20.112	20.39	0.278	89.869	89.993	0.124
19.713	20.03	0.3168	89.131	89.971	0.841
19.82	20.08	0.2604	89.871	90.014	0.143

今回の計測結果では、位置決め誤差は最大で 0.6mm 程度、直交した軌道を与えた場合、最大で 0.8 度程度の角度誤差を生じた。この誤差要因として、ワイヤーのガイド穴の遊びや、一つのガイド穴から 2 本ワイヤーを出していることによるワイヤーの相互干渉などが考えられ

る。これらの課題については今後改良を行う。

3.2 教示機構を搭載したロボットの動作評価

位置計測機構、6 軸力覚センサ、ロボットを一体化し、図6に示した制御ソフトウェアを用いて作動させた様子を図8に示す。一般的に産業用ロボットに指示した軌道が正しく実現できたかの検証は難しく、ロボットと位置検出機構を一体化した本装置の精度も現時点では未評価である。これについては前記の位置検出機構で行った精度評価と同様に試験を実施し、精度評価を行う予定である。



図8 教示機構・ロボット一体化後の動作試験

4. 結び

パラレルリンク構造を有する機械式位置計測機構と 6 軸力覚センサを利用し、リハビリ時の軌道と負荷を計測する教示機構を開発し、基本的な位置精度の評価を行った。今後はこのシステムの機能を拡張し、人間の肘の可動領域全体をカバーする手法と、これを利用して理学療法士の自由なリハビリ動作をロボットで再現するシステムの開発を実施する。

文献

- 1) 酒井, 牧, 山本: 愛知県産業技術研究所研究報告, 5, 90 (2006)
- 2) LUNG WEN TSAI: ROBOT ANALYSIS, P223 (1999), JOHN WILEY & SONS inc