

# トレイグジスタンスの研究(第 39 報)

## —TELESAR II マスタ・スレーブ フィンガーシステムの開発—

株式会社 テック・エキスパート ○川淵 一郎, 東京大学 梶本 裕之, 川上 直樹, 舘 暉

## Study on Telexistence (XXXIX)

### —TELESAR II : A development of a master-slave finger system—

○Ichiro Kawabuchi TechExperts, Inc.,

Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi The University of Tokyo

**Abstract:** We have proposed a new exoskeleton-type master controller of a slave humanoid that constitutes the telexistence system. For giving the controller abilities of widely adapting and following to an operator's motion, a new joint mechanism "circuitous joint" has been introduced. A practical master-slave system that transmits motion and force between the operator and humanoid fingers bilaterally has been constructed and validated by experiments.

### 1. はじめに

トレイグジスタンスのための人型ロボット(スレーブ)の遠隔操作装置(マスタ)として, 人間へ服や手袋のように装着する外骨格機構が有望である. 外骨格機構を用いることで, 内部の人間の運動を精密に測定すると共に, スレーブ操作に有用な力情報を人間へ提示することが可能となるからである. さらに, 外骨格機構は常時人体近傍においてそれと一緒に運動するから, 一般的な形状と作業領域を持つロボットアームに比べて, 人体周りの入り組みかつ変動する余裕空間への適応(追従)性がより高いと考えられる.

さて, 実用的なマスタ用外骨格機構の開発のためには, 人間の運動へ正確に追従するための運動能力, 十分な力を保持するための発生力と剛性, ならびに人体を侵襲しない構造の, 三つの特性を備える機構の設計が大きな課題の一つとなる. 本研究ではこの課題の解決を主眼として, 新しい機構システムを提案する. 具体例として, 小型化の必要性が強いため特に設計が困難な, 人間の手の指に対応するマスタを取り上げる. そして, 実用的な機構システムを開発し, 人間の指とロボットハンドの指との間でのバイラテラル制御の実験を行ったので報告する.

### 2. 迂回ジョイント

外骨格機構の機構面におけるキーデバイス是个々の関節機構である. そして, 一般的な軸とベアリングからなる回転機構を用いることでは, 上記した三つの特性が満足されない関節箇所が多く存在することが問題である. 一般的な回転機構は回転軸の周囲を構造部材が取り囲むため, 人体の関節と回転軸を一致させ, かつ大きな回転範囲(少なくとも 90 度以上)において人体と干渉しないための配置が限定されるからである. すなわち人体の関節の横に回転機構を配置しなくてはな

らず, 指のように関節の横側に他の人体部分が近接するために機構が配置できない関節箇所が多々存在する. そこで, それらへ適応するために, 構造部材が存在しない空中にバーチャルな回転軸を保持する新規な回転機構(以後, 迂回ジョイントと呼ぶ)を提案する.

迂回ジョイントの原理を Fig.1 に示す. 二つの節 A,B 間の相対回転角  $\theta$  に応じて両者の間の距離  $s$  も変化することにより, 人体関節と一致するバーチャルな回転軸を創生する. その原理的な構造を Fig.2 に示す. 回転かつ伸縮する運動を創生する機械要素として, 構造の単純さ, 運動の確実性, 剛性の高さの観点から, ラック&歯車機構を採用する. 歯車が二つの節の相対回転によりラックに対して回転し, それによって生ずる歯車中心軸の直線運動が, ラックが付いた節の伸縮運動となる. 両方の節がそれぞれ同時に伸縮しなくてはならないから, 二つのラック&歯車機構を逆向きに重ねて用いる. なお, あらゆる回転角  $\theta$  において人体と回転機構の回転軸を完全に一致させるためには,  $\theta$  と  $s$  の関係は非線形でなくてはならない. そこで, 単純な直線ラックと円弧歯車を用いても二つの回転軸が極力一致するために, 歯車のピッチ円半径を適切な値に設計するための方法論を構築した.

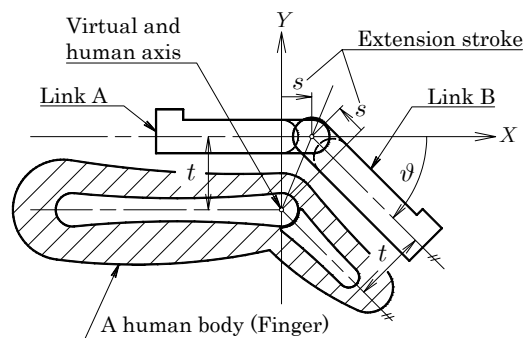


Fig.1 Principle of the circuitous joint

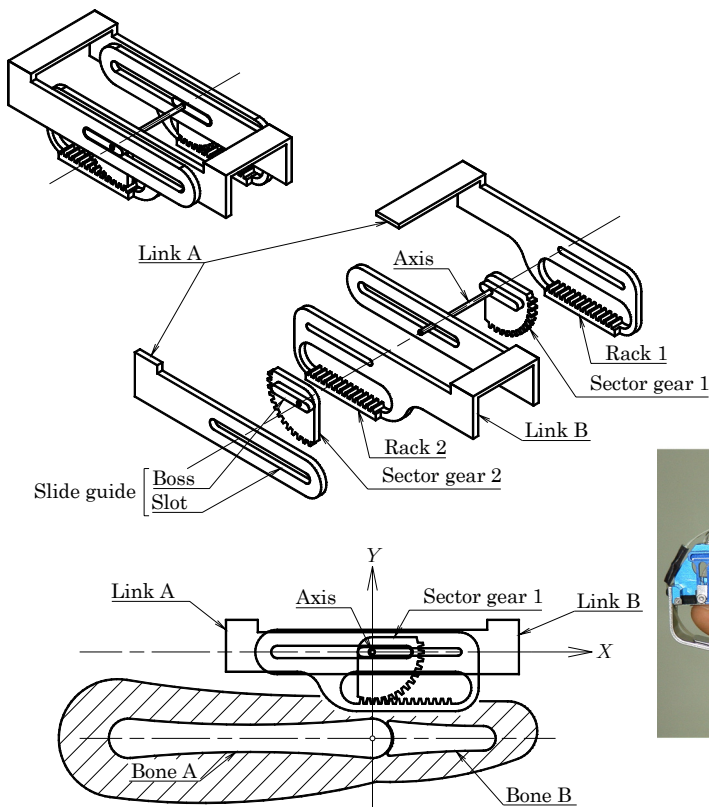


Fig.2 Fundamental mechanism of the joint

迂回ジョイントの駆動方法を Fig.3 に示す. 歯車中心軸上のプーリを経由して二つの節の間にワイヤロープを張り、それをモータで引くことにより回転角 $\theta$ が小さくなる方向に駆動する. ワイヤロープは押す方向の力が出せないため、回転角 $\theta$ が大きくなる方向の駆動力には、内蔵ばねの力を利用する. 本駆動方法には二つの大きな特長がある. まず、駆動用モータを関節から離れた適当な場所に設置することが容易である. さらに、複数の迂回ジョイントを直列に連結する場合、ある関節機構を駆動するワイヤロープを別の関節機構を経由して引きまわすことが容易である.

### 3. マスタ・スレーブ フィンガー システム

迂回ジョイントの特長を生かして、人間の手の指に適応するマスタを、三つのその連結により構築した. 右手の中指に装着した状態を Fig.4 に示す. 外骨格機構だから、指を軽く握り締める状態まで適応可能なことがわかる. 機構の先端に人間の指先の腹と接触する面(以後、接触子とよぶ)を設け、両者間の接触力を制御することで人間への力提示を行う. また、機構の根元に設置したエンコーダ付き小形モータ(Faulhaber 社製 1724SR)により三つの関節を連動させて駆動する. 機構の全幅は、人間の指と同じ約 19mm である.

本マスタとスレーブの指機構との間でバイラテラル制御を行うにあたり、力提示を遭遇型<sup>2)</sup>とした. すなわ

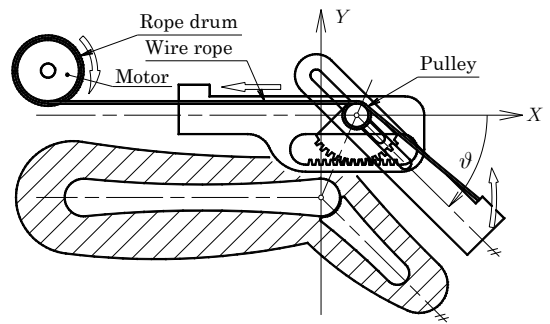


Fig.3 Driving method of the joint

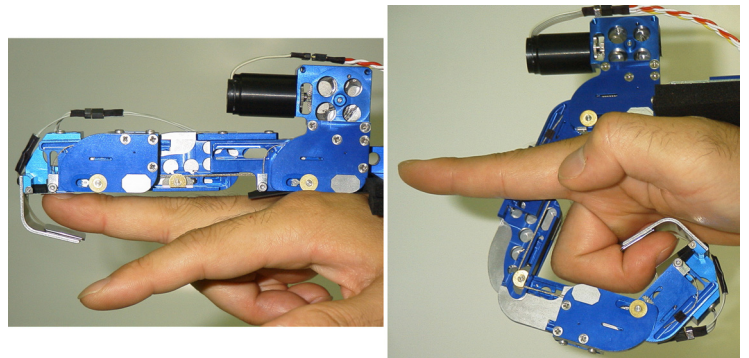


Fig.4 Overview of the master finger system

ち、スレーブの指先が外界から力を受ける状態では接触子と人間の指との間にその力と同じ接触力を生ずるようにマスタが運動し、力を受けない状態では両者間に一定の隙間を保ってマスタが運動する. 接触力制御のために、接触子とスレーブの指先に同種のフィルム状のカセンサ(ニッタ社製 FlexiForce)を貼り付けた. また非接触追従のために、マスタと人間の指先の相対的な変位を測定するための小さな光学式変位センサ(三洋電機社製 SPI-315-34)を付加した.

以上のシステムを用いて実験を行い、スレーブ機構における外界との接触の有無や接触力の大きさが人間の指先へ適切に提示されることを確認した.

### 4. むすび

今回は手の指に適応する機構を具体化したけど、同様の機構システムが腕や脚へ適応する機構にも適すると考える. また、親指を含めた手全体のマスタ・スレーブシステムを近く完成させる予定である. なお、本研究は科学技術振興事業団のCREST研究の一環として実施したものである.

#### 参考文献

- 1) 館, 川上, 梶本: “テレイグジスタンスの研究(第 35 報)”, SICE SI2003 講演論文集, 2003
- 2) 星野, 平田, 前田, 館: “仮想触空間における物体形状の実時間提示法”, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.6, 1997