

# 位置と力に基づくパワーアシストロボットの制御とその被験者評価による解析

関 弘和\*, 堀 洋一 (東京大学)

Control of Power Assist Robot Based on Position and Force  
and Its Analysis Using Trial Subjects Evaluation  
Hirokazu Seki, Yoichi Hori (University of Tokyo)

## 1 はじめに

パワーアシスト技術は、様々なケースにおいて高齢者を支援する可能性をもつ重要な要素の一つである。例えば、患者をベッドから抱き上げたりするような介護動作の補助、工場で働く高齢者が何か重いものを動かす場合に大変有用である。我々は高齢者支援に向けて期待されるパワーアシストロボットに注目し、その用途と制御手法に基づいて分類・整理を行った上で、このパワーアシストロボットの制御法として、位置制御をベースとするか力制御をベースとするかという点において議論し、それぞれについてアシスト比や安定性、力応答特性などを向上する新しい手法を提案、検討している [1]。本論文では、それらの手法を多くの被験者に使用してもらい、パワーアシスト動作で重要となる要求事項を基にしたいくつかの評価点においてアンケート形式で評価を行うとともに、各手法の特徴や優位性、さらには人間-機械協調系のあり方について考察していく。

## 2 パワーアシストロボットの形態と四つの要求事項

我々は、パワーアシスト形態を大きく三つに分類したが [1]、その中でも特に図 1 に示すように、人間、ロボット、環境が独立して動作し、二つの接触点で力を及ぼし合うような形態に注目する。環境とは、患者や重い物体など操作者にとっての負荷になるものであり、ロボットに力を加えられて動作をする。

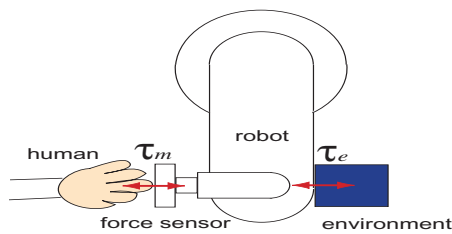


図 1: 人間 - ロボット - 環境の位置関係

パワーアシスト装置を考える場合の要求事項は以下の四つであると考えられる。二つ目までは従来も考えられてきたが、要求事項 3, 4 はこれまであまり考慮されておらず、本論文でも大いに注目していく項目である。

<要求事項 1 > : 力の増幅、動作の補助

パワーアシストそのものの実現であり、操作者の力を何倍増幅したいかという要求をある程度正確に実現する必要がある。

<要求事項 2 > : 安全性、安心感、操作性、使いやすさ

安定、安全であり、操作者に恐怖感など抱かせないことは言うまでもない。また、たとえ機器を介しても、操作者のこのように動かしたいという意志をそのまま実現するという意味で操作性は重要な項目である。

<要求事項 3 > : 操作者に環境の情報を感じさせること

重さ軽さ、あるいは環境の挙動、変動などの情報を操作者に返し、その感覚、感触を操作者にある程度感じさせることがより自

然なパワーアシスト動作につながる。例えば環境が介護される患者であれば、その人の動きを介護者に感じさせることは重要である。つまり、図 1 に示した三者が操作者から環境への一方向だけではなく、双方向に情報が伝わるような動作が望まれる。

<要求事項 4 > : 幅広く対応できること

パワーアシスト技術の福祉の応用を考えると、あらゆる場面や状況が存在する。ならば当然、操作者や環境も様々であり、ある一元的な手法だけでは対応できないことは目に見えている。明確な優位性をもつ様々な制御手法を生み出すと同時に、例えば制御系内の各パラメータなど多くの要素を自由に随時設定できる、多くの自由度をもつような手法を考えていくことも要求される。

## 3 位置か力か ~ パワーアシスト制御法の分類と各提案手法 ~

### 3.1 位置制御ベース法と力制御ベース法の定義

パワーアシスト制御では、操作者の入力する力と環境との作用力を力センサで測定し、制御に用いる。我々は外乱オブザーバによりそのどちらかをセンサレスで推定する方法を提案している [1]。それら二つの力情報から、ロボットの位置の規範値を生成する手法を位置制御ベース手法と定義し、環境に与える力の規範値を生成する手法を力制御ベース手法と定義している。以下に、それぞれにおける提案手法の構成と特徴について述べる。

### 3.2 双方向インピーダンス制御に基づくパワーアシスト法

位置制御ベース型手法の一つとして、操作者側と環境側から双方向にインピーダンス制御を行う「双方向インピーダンス制御」を提案している。その制御系構成を図 2 に示す。操作者側と環境側それぞれ独立のインピーダンス制御器をもち、特に環境側のインピーダンス制御器は、環境との安全な接触を実現すると同時に、操作者側へ環境の挙動や重さの情報を伝えるはたらきをする。

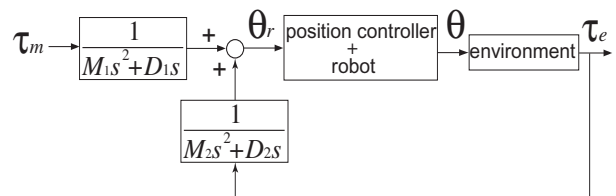


図 2: 双方向インピーダンス制御法の構成図

### 3.3 環境オブザーバを導入したパワーアシスト法

力制御ベース型パワーアシスト手法として、環境オブザーバを導入した手法を提案している。これは、環境変動にロバストな力制御系を構成することで、たとえ環境特性を知り得なくても操作者

の望みどおりの力を環境に与えられるものである。そのため、環境の変動にかかわらず、常に楽な動作が可能となる。これは要求事項 1 にあたる。その制御系構成を図 3 に示す。

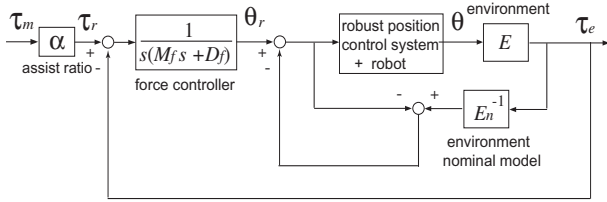


図 3: 環境オブザーバを導入した力制御ベース型手法

## 4 被験者を用いたアンケート実験によるパワーアシスト制御法の評価

### 4.1 パワーアシスト動作の評価方法

今回は 8 人の被験者を用意し、重い段ボールを押して運ぶパワーアシスト動作を行う。採用する制御手法のアルゴリズムや特徴などの知識は一切与えずに動作を行ってもらい。評価は+3(very good)から-3(very bad)の 7 段階の点数をつけることで行い、その点数の平均値と標準偏差も計算し、後に考察を加える。

### 4.2 環境オブザーバ導入の効果に関する評価

最初に、力制御ベース型パワーアシスト法として、環境オブザーバの有無がパワーアシスト動作の各要求事項にどのような影響をもたらし、操作者の感覚にどのような変化があるかを検討する。(A) 環境オブザーバをもたない力制御ベース型手法、(B) 環境オブザーバを導入した力制御ベース型手法、それぞれに対し、

評価点 1: 力の増幅・補助 (アシストされて楽になったか)

評価点 2: 安定性・安心感 (振動、脈動などないか)

評価点 3: 操作性・使いやすさ (自分の意志が伝わるか)

の三つの評価点において評価を行った。その結果を平均と偏差で表したグラフを図 4 に示す。

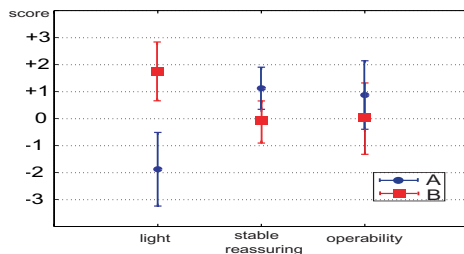


図 4: 環境オブザーバの導入に関する比較評価

評価点 1 から明らかなように、環境オブザーバの導入により、環境特性を知り得なくても常に楽な動作が実現されることがわかる。一方、評価点 2「安定性、安心感」と評価点 3「操作性、使いやすさ」において、環境オブザーバを導入した手法は大きなマイナスポイントではないが、導入しない手法にやや劣る結果が出ている。力応答特性を向上したために、実際のアンケート実験でも、やや振動・脈動が起こったり、操作者が思っていた停止位置を行き過ぎてしまったりするという意見や感想が聞かれた。そのため、手法 A のように力制御系のゲインがあまり大きくなく、比較的安定した位置応答を示す方を良い評価としたと考えられる。

### 4.3 位置制御ベース法と力制御ベース法の比較

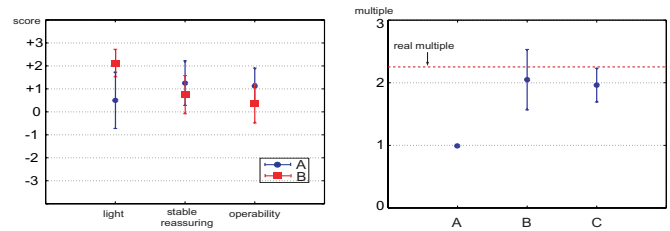
次に、位置制御ベース法と力制御ベース法の比較実験として、(A) 双方向インピーダンス制御、(B) 環境オブザーバを導入した力制御ベース型手法を、先と同じ三つの評価点で評価した。その平均と偏差を表したグラフを図 5(a) に示す。

評価点 1「力の増幅・補助」においては、双方向インピーダンス制御もプラスポイントの平均値を出しているが、力制御ベース法の評価が大きく上回っている。アシスト比を直接制御するという

手法の特徴とつじつまが合っている。評価点 2「安定性、安心感」については両者ともプラスポイントの良い評価が得られたが、若干、位置制御ベース法が上回っている。インピーダンス制御器により位置軌道を直接生成するという手法の現れと言える。評価点 3「操作性、使いやすさ」においても同様に、両者ともプラスポイントの評価が得られている。しかし「操作性、使いやすさ」の点で両者を比較してどちらを好むかは被験者それぞれで評価が分かれた。実験後の被験者の感想を聞くと、「ある程度力を入れた後は機械にまかせてしまいたい」という理由から、安定な位置軌道を生成する位置制御ベース法を好む人もいれば、「自分自身で主体的に細かい力加減なども行い、機械は少し補助するだけでいい」という理由で、力の増幅のみを行う力制御ベース法の方を好む人もいた。この評価点についてはおそらく操作者の意向やパワーアシスト動作の場面、状況に依存するであろうという見解が得られる。

### 4.4 環境変動の認知に関する評価

要求事項 3「環境変動の認知」について評価を行う。実験方法として、これまでと同様に段ボールを押していき、途中でもう一つの段ボールにぶつかり、そのまま二つを一緒に運んでいくこととした。環境との作用力の測定実験から、約 2.2 倍に重くなることがわかったが、当然被験者には伝えていない。パワーアシスト手法は、(A) 操作者側のみインピーダンス制御、(B) 双方向インピーダンス制御、(C) 環境オブザーバを導入した力制御ベース型手法である。被験者には、おおよそ何倍重くなったかを答えてもらった。その平均と偏差を表したグラフを図 5(b) に示す。



(a) 両手法の比較評価

(b) 環境変動の認知

図 5: パワーアシスト手法の比較評価

操作者側のみインピーダンス制御を行った手法は、環境側の情報を操作者側にフィードバックする機構がないため、重くなったことを認知できなかった。双方向インピーダンス制御と環境オブザーバを導入した力制御ベース型手法は、すべての被験者がその環境変動を認知できており、その変動の大きさも実際の変動とほぼ一致している。

## 5 まとめ

本論文では、位置制御と力制御それぞれをベースとしたパワーアシスト手法について、被験者による評価実験を通して両手法の特徴や優位性を明確にし、パワーアシストロボットの一つの設計指針を見出した。両手法とも、最初に定義した四つの要求事項を十分満足するが、どの項目で特に優れた特性を発揮するかが明らかになった。

人間と機械との「距離」の観点から考察を加えることもできる。言い換えると、機械まかせでパワーアシスト動作を実現するか、人間主体で実現するかである。被験者の感想でも聞かれたが、ある程度男女という性別によって、例えば女性は機械まかせにしたい人が多いなどの傾向があるかもしれない。福祉の現場では女性が機器の操作者になることが将来的に多くなることを考慮すれば、その制御系設計において本研究の成果を生かすことができる。実現したいパワーアシスト動作の特徴、環境となるものは何か、その動作で何を優先するべきかを考慮し、両手法を有効に使い分けことが重要となる。

## 参考文献

- [1] H. Seki, M. Iso and Y. Hori, "How to design force sensorless power assist robot considering environmental characteristics - position control based or force control based -", *Proc. of IECON'02*, pp.2255-2260 (2002).