

# Impedance and Power Factor in Motion Control

September 2014

Takahiro Mizoguchi

## 主 論 文 要 旨

報告番号	甲	第	号	氏 名	溝口 貴弘
主論文題目： <b>Impedance and Power Factor in Motion Control</b> (モーションコントロールにおけるインピーダンスと力率)					
(内容の要旨) DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) Robotics Challenge に見るように、近年ロボット技術に大きな注目と期待が集まっている。これまで産業界において大量生産を目的として発展してきたロボットはその歴史的背景から非構造環境に対する柔軟性に欠けるといふ大きな問題を抱えていた。ロボットが本来必要とされている極限環境においては想定外の事象が起こる事が容易に想像でき非常に高い適応性が必要とされる。特に周辺環境と相互に干渉し合う接触動作においては自身および環境のインピーダンスの変動やエネルギーのやり取りが発生するため、これらの情報取得は高度なモーションコントロールにおいて必要不可欠なものとなる。さらに、取得した情報を拡張し人間に提供する方法論は作業の安全性の向上や高効率化に繋がる技術であるため、その確立が望まれている。本研究では動作において、ロボットと環境相互のインピーダンス特性の変化およびそれに起因するエネルギーの流れの変化を力率として定量化し解析することを目的としている。 第1章では本研究の目的、先行研究に関して解説している。 第2章ではモーションコントロールの基礎技術である外乱オブザーバを用いた加速度制御について説明している。 第3章ではロボットおよび環境の物理特性であるインピーダンスについて詳しく述べている。また、インピーダンスを遠隔地において再現する手法であるバイラテラル制御について概説している。バイラテラル制御系を操作者が感じるインピーダンスの観点から設計する手法を提案し、2種類の新規の制御系を例として提案、実験により設計の有用性を実証している。 第4章ではロボット・環境間でのエネルギー伝達の様子を示す力率を機械系において定義し、計測方法を提案している。電気系において力率は電源から負荷へのエネルギーの伝達特性を示す指標として用いられてきた。機械系においても同様に力率を定義することでロボットと環境の相互作用を定量化し解析することができる。電気系の基本入力と同様に単相正弦波を機械系での入力とし、解析を通して提案の理論を述べている。また、同手法を拡張し、機械系の様々な形態の入力および人間動作において力率を観測する手法を提案、実験によってその有用性を示している。さらに、短時間フーリエ変換を用いて力率の瞬時値を求め、力率の時間変動を計測している。提案手法の有用性は実験により実証、運動におけるインピーダンス特性の時間変動と力率の時間変動は同意義であることを示し、位相特性の変化として定量的に評価している。 第5章ではインピーダンスおよび力率の概念を利用し動作教示における評価指標として提案している。熟練者と練習者を比較し、動作評価を誤差に流入するエネルギーの観点から定量化する手法を提案、実験から実証している。 第6章では本研究の成果を要約し、今後の展望について言及している。					
以上					

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	First name Surname Takahiro Mizoguchi
Title <p style="text-align: center; margin: 0;">Impedance and Power Factor in Motion Control</p>		
Abstract <p>As DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) Robotics Challenge demonstrated to world, recent robotics technology attracts attentions and anticipations of society. Robots have been developed based on the factory automation; therefore their technology is highly specialized for mass production and is less flexible against unstructured environments. However in future, robots are hoped to work in ultimate environments where events beyond the assumption are likely to happen. It is obvious that adaptability is going to be a key technology in future robotics. In particular, contact motion involves interaction between robot and environments; impedance characteristic transition and energy transmission are expected to occur. Observations of such information are indispensable for advanced motion control. In addition, extension of human sense by augmented information is required for increasing safety and efficiency of the motion. The research in this dissertation focuses on observing interaction of robots and environments from the aspects of; impedance characteristic transition and energy transmission behavior as power factor.</p> <p>Chapter 1 explains the aim, motivation of dissertation and recent researches about the topic.</p> <p>Chapter 2 describes the essential technology of the research; acceleration control based on disturbance observer.</p> <p>Chapter 3 features on physical characteristic of the environment; impedance. In addition bilateral control is explained in the chapter. Bilateral control is a method to reproduce impedance characteristic over a distance. Human sensation of reproduced impedance can be designed from proposed design methods in the chapter. Two examples are shown and the effectiveness of the design criteria is shown through experimental results.</p> <p>Chapter 4 defines power factor in mechanical system. Power factor is originally an index to evaluate the energy efficiency of the circuit in electrical system. The proposed concept brings the idea into mechanical system to evaluate the environment interaction to the motion. At first in the chapter, single-phase sinusoidal input is given to the system in order to realize similar situation as electrical system, The power factor concept is demonstrated through analytical study. Then the concept is extended to arbitrary input in mechanical system, since the input in mechanical system takes numerous forms; ramp, non-periodical, human input, etc. Experimental results show the evidence that power factor analysis can be applied for non-periodic signals in mechanical system. In addition, power factor derivation method specialized for mechanical system is proposed. The proposed method employs short time discrete Fourier transformation in order to achieve calculated power factor to follow the chronological change of impedance characteristic. Experimental results are presented to show the validity of the proposal. The results explained in chapter 4 suggest that observation of power factor along the motion is equivalent to deriving the chronological transition of impedance characteristic. The characteristic is evaluated quantitatively as a phase.</p> <p>Chapter 5 represents the integration of two aforementioned concepts, impedance and power. An error of trainee motion from the expert is evaluated quantitatively from energy aspect. Experiments are carried out to validate the proposal.</p> <p>Chapter 6 concludes the dissertation and explains future aspects of the research results.</p>		