



# Analytical Method for Synergy Based Motion Control Supported by Joint Energy and Coordination Measure Toward Rehabilitation and Robotics

著者	Nath Tripathi Gyanendra
発行年	2016-03-25
その他のタイトル	身体支援ロボット工学の基盤となるシナジー解析と関節トルク積算エネルギーの相補的活用による運動軌道解析法に関する研究
学位授与番号	17104甲生工第265号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10228/5664">http://hdl.handle.net/10228/5664</a>

氏名・(本籍)	Tripathi Gyanendra Nath ( インド )		
学位の種類	博 士 ( 工 学 )		
学位記番号	生工博甲第265号		
学位授与の日付	平成28年3月25日		
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	<b>Analytical Method for Synergy Based Motion Control Supported by Joint Energy and Coordination Measure Toward Rehabilitation and Robotics</b> (身体支援ロボット工学の基盤となるシナジー解析と関節トルク 積算エネルギーの相補的活用による運動軌道解析法に関する 研究)		
論文審査委員会	委員長	教授	石井 和男
		〃	森江 隆
		〃	古川 徹生
		〃	夏目 季代久
		〃	田中 啓文

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、時系列データ解析に用いられる主成分解析が、動作セグメント・身体セグメントを考慮した身体制御のシナジー解析に単純適用できないことに注目し、Via-Point 法を用いて段階的に精緻化する4種の改良型主成分解析を提案したもので、主成分解析が身体の運動学的背景を考慮しないことを注視し、運動力学モデルを導入し関節トルク積算エネルギーの観点から最適化する相補的解析方法の妥当性を示したものである。

学位論文は、序論として、研究概要、研究背景・目的から、本研究で注目する Synergy 概念を、脳神経系-末梢神経系（筋骨格系を含む）の場合とロボット制御に拡張する場合の考え方を比較し、リハビリテーション臨床においてヒト動作と協調して動作するロボット技術に求められる要件を課題として取り上げている。仮説として本研究の中心課題である Synergy 概念が、主成分分析（PCA）や力学モデルによるダイナミクス解析を相補的に用いることで、有効な分析方法となると述べられている。論文構成は、第2章として PCA を用いた Synergy 概念の定式化、第3章としてヒト型ロボット用拡張 PCA 分析方法の提案および数理解析、第4章として人立ち上がり動作の4リンク数理解析モデルを設計し、人計測データとの整合性を検証している。解析方法として人工軌道生成法、3種 Cubic Polynomial、Quintic Polynomial、Linear Segments with Parabolic Blends (LSPB)を実データと比較し、各方法に共通する妥当な結節点 (Via-Point) の

個数を算出できるとする議論が、続章で述べられ、最後に、提案された分析手法の整理と展望について、第7章でまとめられている。

第3章では、**Time by part Synergy calculation** として、中枢神経系が支配する限定した拘束条件として、身体のある部位(ジョイント)が抽出できるとした、**Critical Point** の定義が示され、それによって、時間区間または身体区域(適応的)分割を実現する **Via-point** の妥当な決定が可能であると示されている。第4章では、ヒト身体の分析方法について述べ、三次元リアルタイム動作解析システム(モーションキャプチャー・システム)による身体計測データを元に、前後上下方向の動作に注目した簡易4節リンク数理モデルに計測データを投射できる方法を構築できることを述べている。同4リンクモデルに、関節トルク積算エネルギー(各関節の動作中のトルク積分)を導入し、動作の最適性を議論し、ヒト計測データをそのものの時系列を含め、**Cubic Polynomial**、**Quintic Polynomial**、**LSPB** による近似解の4種を比較し、**Via-point** 分割の妥当性を解析できることを示すに至った。

本研究では、時系列データ解析に用いられる主成分解析に注目し、人の四肢動作に有効に適用できる **Via-Point** 法を用い段階的精緻化する拡張型 **PCA** 解析を提案し、その過程で **Critical Point** を新たに定義したことに意義が認められ、運動力学モデルを導入し関節トルク積算エネルギーの観点から最適化する相補的解析方法の妥当性が示されている。

本研究の解析手法は、人と協調するロボット動作機構を設計する際の指針として、脳身体の知見から得られたシナジー概念を導入することで、リハビリテーションに向けたロボット設計における数理分析法を提案し、その基本的有効性を示したといえる。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、調査委員から拡張 **PCA** における **Critical Point** の決定において直接関節トルク積算エネルギーを用いることができるか、動作再現のための **PCA** 誤差の評価に **Normalized Mean Square Error(NMSE)**、**Normalized Root Mean Squared Error(NRMSE)** のどちらが妥当といえるかなどについて質問がなされたが、いずれも著者から明確な回答が得られた。

また、公聴会においても、十分な出席者があり、当該理論を身体動作計測しながらリアルタイム処理でも用いることができるかなどなど、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士(工学)の学位に十分値するものであると判断した。