

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	人体の最小力学パラメータ同定手法の開発と評価
Title(English)	Development and Evaluation of an Identification Method for Minimal Set of Inertial Parameters of a Human Body
著者(和文)	本間貴大
Author(English)	Takahiro Homma
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第263号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山浦 弘,岩附 信行,武田 行生,中島 求,小竹 元基
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第263号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	本間貴大		審査員主査： Chief Examiner 山浦弘

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「Development and Evaluation of an Identification Method for Minimal Set of Inertial Parameters of a Human Body」(人体の最小力学パラメータ同定手法の開発と評価)と題し、以下の6章からなる。 第1章「Introduction」(序論)では、本論文の研究背景と目的を述べる。すなわちまず、人体の動力学シミュレーションを高精度に実施するためには、体節の長さや体節の慣性特性(質量、重心、慣性テンソル)から構成されるマルチボディダイナミクスモデル(以下、MBDモデル)を表現するのに必要最小限の動的パラメータである最小力学パラメータ(以下、MSIP)を高精度に同定することが必要不可欠である。そして既存のMBDの手法を人体に適用し、3次元すべてのMSIPを高精度に同定するには、同定するパラメータ数が多く複雑な動作を必要となるが、同定に適切な動作を定めて、その運動を実施することは困難である。そして本研究の目的は、短い計測時間で高精度に単体の慣性特性の同定を可能とした自由振動を用いた慣性特性同定手法を応用、拡張することで人体を対象とした新しい非侵襲的MSIP同定手法を開発し、同定結果を評価することである。 第2章「Theory of an Identification Method for Minimal Set of Inertial Parameters」(最小力学パラメータ同定手法の理論)では、本研究で提案する同定手法の理論について説明する。提案する同定手法は2段階のプロセスで構成されており、第一段階では、複数の静止姿勢で全身の慣性特性を同定して、MSIPの一部を取得し、第二段階において体節間の単純な相対運動を計測することで、非侵襲的に人体の3次元すべてのMSIPを同定可能であることを示した。 第3章「Evaluation of the Developed Identification Method by Mock-human Two-body System Identification」(2体節人体模型同定による開発した同定手法の評価)では、総質量80kgの2体節人体模型を用いた、シミュレーションと同定実験による開発した同定手法の評価について説明する。計測誤差を考慮したシミュレーション結果から、重心位置に関するMSIPは総質量で正規化した場合、1.5mm以内の分散で同定可能なことが示された。さらに慣性テンソルに関するMSIPは、全身の主慣性モーメントの最大値で正規化した場合、1%以内の分散で同定可能なことを示した。これらの結果から提案手法は単体の慣性特性同定精度に近い精度で同定可能であることを示した。この結果は同定実験によって裏付けられ、重心位置に関するMSIPは総質量で正規化した場合1mm以内で、慣性テンソルに関するMSIPは全身の主慣性モーメントの最大値で正規化した場合0.5%以内の精度で同定できたことを示した。 第4章「Evaluation of the Developed Identification Method by Human Body Identification」(人体同定を通じた開発した同定手法の評価)では、開発した同定手法を人体に適用して評価した結果について説明する。まず、人体同定に適用するために実験条件に関する考察を行い、固定具の作成や人体計測手順の構築を行った。2人の成人男性参加者を対象に実験を行い、同定結果が妥当な範囲で得られていることを示した。また、計測結果から筋肉や臓器の柔軟性を刺激することなく同定が行われていることを示した。 第5章「Evaluation of Effect of Uncertainty in Minimal Set of Inertial Parameters on Dynamics Simulation and Evaluation of Dynamics Simulation using Identification Results by Ground Reaction Forces」(動力学シミュレーションへの最小力学パラメータの不確実性の影響の評価と床反力による同定結果を使用した動力学シミュレーションの評価)では、高加速度動作に焦点をあてて、モンテカルロシミュレーションにより動力学シミュレーションへのMSIPの不確実性の影響の評価し、その後同定したMSIPを用いた動力学シミュレーションの床反力推定精度の評価を行った。ここではまず、MSIPの不確実性は高加速度動作における逆動力学シミュレーションの関節力、関節トルク、床反力計算結果に無視できない影響を与えることを示した。次に、70kgの体重の参加者の様々な動作において、同定結果を使用した床反力計算結果は、従来手法で利用されるMSIPを利用した床反力計算結果と比較して、実測値との平均2乗誤差の平方根を減少させることができ、特に跳躍動作では356Nから208Nへと約40%減少させたことから、提案手法の有効性を示した。 第6章「Conclusions」(結論)では、本研究で得られた結果を総括し、今後の展望について述べている。
--

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	本間貴大		審査員主査： Chief Examiner	山浦弘	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This dissertation is titled "Development and Evaluation of an Identification Method for the Minimal Set of Inertial Parameters of a Human Body." Accurate identification of the minimal set of inertial parameters (MSIP) is essential for achieving highly reliable biomechanical simulations. MSIP consist of the minimum dynamic parameters necessary to represent the multibody dynamics model. They include segment length, mass, center of mass and inertia tensors. However, existing methods face the challenge of requiring complicated movements to identify a large number of parameters in all three dimensions, making it difficult to both design and execute such movements. Therefore, the objective of this research is to develop and evaluate a new non-invasive identification method by applying and extending the identification method based on free vibration measurement that can determine the inertial properties of single body with high accuracy in a short measurement time. This approach enables efficient and precise identification of the MSIP without the need for overly complex motions.

The proposed method involves a two-step process. First is identifying the whole-body inertial properties in multiple postures to determine a subset of the MSIP. Second is measuring the relative motion between links to identify the remaining parameters. This approach eliminates the need for complex excitation motions or direct measurement of joint torques by determining a subset of the MSIP in advance. The practical identification methodology based on the proposed method was established and evaluated through the identification of a mock-human two-body system and actual human body. Furthermore, the MSIP identified by the proposed method improved the accuracy of inverse dynamics simulations for several high-acceleration motions, as confirmed by comparisons with measured ground reaction forces. The proposed identification method has enabled more accurate three-dimensional dynamic simulations. This work makes an important contribution to engineering.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).