

Title	マイクロ波を用いた新しい動作計測システムの提案と能楽を対象とした検証
Sub Title	Proposition of motion measurement system using microwave and evaluation of its performance by Nohgaku
Author	森田, 寿郎(Morita, Toshio) 植田, 一博(Ueda, Kazuhiro) 土井, 靖生(Doi, Yasuo)
Publisher	
Publication year	2016
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2015. )
JaLC DOI	
Abstract	<p>実時間で3次元測位を行えるマイクロ波を用いた動作計測システムを開発し, 最大距離100m程度, 測位精度1mmの計測が可能であることを明らかにした。また, 能楽のハコビのスキル分析を行い, 歩数と歩幅による調整およびタメの技があることを見出した。これらの技をリズムとテンポの生成に用いて, 序破急のハコビが生み出されている可能性を発見した。さらに伝統芸能の第一線の実演家を対象にして, 基本的な技法と達人の技法について言語化を試みた結果, 3つの特徴を発見できた。以上から能楽における身体技法の可視化・言語化に関わる基盤技術と技の伝授の難しさの解消に貢献する知見を得ることに成功した。</p> <p>A real-time three-dimensional motion measurement system using microwave has been developed. Its performances were maximum distance 100m and measured position accuracy 1mm approximately. A skill analysis of HAKOBI of Nohgaku was conducted, and we found adjustment skill by the steps, the stride and TAME. Then, it was clarified that these skills were utilized for generation of rhythm and tempo in JOHAKYU. Verbalizing was tried about basic technique and master's technique of traditional performance performers, and three features could be found. From above, this study succeeded to get the knowledge which contributes to cancellation of difficulty of the visualization of a body technique and the initiation in Nohgaku.</p>
Notes	研究種目 : 基盤研究(B)(一般) 研究期間 : 2013 ~ 2015 課題番号 : 25280065 研究分野 : ロボット工学
Genre	Research Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_25280065seika">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_25280065seika</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280065

研究課題名(和文) マイクロ波を用いた新しい動作計測システムの提案と能楽を対象とした検証

研究課題名(英文) Proposition of motion measurement system using microwave and evaluation of its performance by Nohgaku

研究代表者

森田 寿郎 (Morita, Toshio)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：30329081

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：実時間で3次元測位を行えるマイクロ波を用いた動作計測システムを開発し、最大距離100m程度、測位精度1mmの計測が可能であることを明らかにした。また、能楽のハコビのスキル分析を行い、歩数と歩幅による調整およびタメの技があることを見出した。これらの技をリズムとテンポの生成に用いて、序破急のハコビが生み出されている可能性を発見した。さらに伝統芸能の第一線の実演家を対象にして、基本的な技法と達人の技法について言語化を試みた結果、3つの特徴を発見できた。以上から能楽における身体技法の可視化・言語化に関わる基盤技術と技の伝授の難しさの解消に貢献する知見を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文)：A real-time three-dimensional motion measurement system using microwave has been developed. Its performances were maximum distance 100m and measured position accuracy 1mm approximately. A skill analysis of HAKOBI of Nohgaku was conducted, and we found adjustment skill by the steps, the stride and TAME. Then, it was clarified that these skills were utilized for generation of rhythm and tempo in JOHAKYU. Verbalizing was tried about basic technique and master's technique of traditional performance performers, and three features could be found. From above, this study succeeded to get the knowledge which contributes to cancellation of difficulty of the visualization of a body technique and the initiation in Nohgaku.

研究分野：ロボット工学

キーワード：情報システム 人間情報学 人間計測 動作計測

## 1. 研究開始当初の背景

情報技術を用いて、絵画や装束のような静物さらには舞踊のような動作までをアーカイブし、デジタルコンテンツ化やデジタルミュージアムの構築を目指す、芸術と科学の融合領域における研究や実践が盛んになされている。特に動作のデジタルアーカイブに関しては、西洋のバレエやスポーツのみならず、日本が世界に誇るべき文化である能楽や文楽等における動きをターゲットにした研究も現れている。

例えば、光学式モーションキャプチャ装置を用いて日本舞踊の動作解析を行った吉村他(2004)、取得した動作データや装束等のアーカイブデータに基づいてCGコンテンツを作成したChoi et al. (2008)等が挙げられる。これらの研究は、デジタルアーカイブやデジタルミュージアムの実現を通して、日本の伝統芸能の完全保存とその普及に貢献することを目指した研究だと言える。

しかし、能楽師の山階彌右衛門氏によれば、「能楽では技やそれを生む身体運用の良し悪し=コツを言語化するのが難しく、先達から経験も身体も異なる後進への技の伝授が効率的でないで、その獲得にあまりに長い年月を要する」。すなわち、身体運用における技の可視化・言語化が十分でないことが、技の伝授の難しさという能楽における大きな問題を生じさせていると言える。

## 2. 研究の目的

能楽を対象に、芸術家集団が抱える問題の解決に直接貢献するための人体動作計測システムの技術的な基盤を確立する。具体的には、能楽における動作を対象とし、着衣した状態での複数演者の動作計測を正確に行うためのマイクロ波を用いた新たな人体動作計測システムを提案・構築することによって、能楽の身体運用における技の可視化・言語化を行い、技の伝授の難しさという問題の解消に貢献することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本申請研究では、舞踊の要素を含み、日本の古典芸能の一つである能楽を対象に、装束を着衣した状態の能楽師の動きを、提案する動作計測システムと従来の光学式モーションキャプチャ装置とで計測して比較し、提案する動作計測システムの長所と改善点を明らかにする。先行研究でも、そのような解析は試みられてきた。具体的には、光学式モーションキャプチャ装置あるいは磁気式モーションキャプチャ装置によって動作を取得し、その動作データに対して解析を行うのが一般的である。しかし光学式モーションキャプチャ装

置では、装束上のマーカは落下や隠れることも多いため着衣した状態での動作計測が困難なこと、磁気式モーションキャプチャ装置では正確に測定可能な範囲が非常に狭いことが計測上の致命的な問題であった。というのも、能楽の演者は着衣した装束の摩擦を利用して動作を作り出すと同時に、鑑賞者は演者の動作と同時に装束の動きからも情報を得ているため、装束なしでの動作は本来の動作とは異なるためである。

実際、人間国宝級の多くの演者は装束なしでは計測に応じられないとおっしゃるため、後述するスキルの分析を行う上で、着衣した状態での演者の身体と装束の動きの同時計測を実現することが必要不可欠である。

そこで本研究では、マイクロ波を用いて着衣した状態での動作計測をある程度の精度で可能にする新たなシステムを提案する。

システムの基本的な仕様は以下の通りである(研究課題1)。

- 1) 被験者の体の各測定点に、パッチアンテナ+発振器+スペクトラム拡散器+ボタン電池を一体化した発信機をつける。
- 2) 各発信機からマイクロ波を、パッチアンテナを通して送信する。
- 3) 被験者の周囲の複数個所に受信アンテナを置き、受信時間差から空間の絶対位置測定を行う。
- 4) 測定周波数 100Hz, 測定点 100 点以上(一人当たり 16 点とすれば、同時に 6 人以上計測可能)、測定範囲 5~6m 四方(但し、より広範囲での測定も可能にする)、位置測定精度 1mm 以下を目指す。

本システムを用いれば複数演者の動作の同時計測も可能なため、舞台上で実際に演者が演じる際の動作計測が可能となり、取得したデータの生態学的な妥当性を高めることもできる。

さらに身体運用における「技」の特徴を、トップレベルの実演家を対象にして明確にする(研究課題2)。これにより、身体運用における技の可視化・言語化を目指す。

## 4. 研究成果

### (1) 研究課題1

特許申請準備中のため、概略のみ報告する。実時間で3次元測位を行えるマイクロ波を用いた動作計測システムの開発を、東京大学とその協力企業である(株)R&Kとの連携の下、次の手順で行った。

ステップ1:

10GHz 発信素子としては、位相雑音の小さい高精度の素子が求められるが、一方で実用

目的からは小型・安価・低消費電力等の特性が求められる。そこで複数の素子を比較・検討し、発信素子の選定を行った。また選定した発信素子に PN 符号拡散機能を追加した、発信システムの製作を行った。

汎用の電子素子を用いた回路を組む事で、大きさ 10cm×6cm×2cm のケースに回路・電源を含む発信機の全体を収めた小型・可搬の発信機の製作に成功した。

製作した送信機を既存の発信機と組み合わせ、PN 符号拡散を掛けない CW 発振状態での性能実証を行った。この受信機は、関連科研費である挑戦的萌芽課題番号 24656251「マイクロ波高精度多点測位技術の開発」にて開発を行ったものである。この科研費では、この受信器に市販の汎用受信機からの 10GHz 搬送波を受信させ、測位性能実証を行った。

今回は専用の小型・可搬発信機を用い、受信機と組み合わせた測位試験により、これまでと同様に、1mm の測位精度、10kHz 程度までの高周波測位（送信 1 チャンネルの場合）の開発仕様を十分に満たす性能を確認した。

ステップ 2：

専用受信器に対する PN 符号逆拡散機能の追加を実施した。同時に実用上の観点等を考慮し、受信器にオートゲインコントロール機能、PN 符号位相ロック機能、位相角デジタル演算機能の追加を行った。製作した受信器により、昨年度製作した小型送信機からの PN 符号拡散を施した送信波の選択的な受信・復調を行えることを確認した。

これにより高精度な多点同時測位という、本研究項目の根幹を為す機能実証の準備が整ったため、同等の機能を持つ受信器を 2 台製作し、2 台の受信器計 8 本の受信アンテナにより、リアルタイムでの 3 次元測位を行えるハードウェアを構成した。

ステップ 3：

実際の環境下では人体の表面に取り付けた送信機からの電波が人体に遮蔽される効果があるため、多数のアンテナで測定空間を囲む必要がある。そこで開発済みの受信機 2 台それぞれについて受信アンテナ 8 本、合計 16 本のアンテナ接続を可能とするハードウェア設計を行った。

その結果、送受信アンテナ間距離最大 24m までの信号検出を確認した。これは送受信機的设计と合致する値であり、更に受信機バンド幅等の調整により、最大 100m 程度までの信号検出が十分可能であることが示された。この測定機器環境のもとで計測実験を行い、測位精度 1mm の位置決定が可能であることを実験的に示した。

以上の 3 段階の開発手順により、マイクロ波を用いた高精度な 3 次元測位を実現するという本研究の当初の目的を達成した。

## (2) 研究課題 2

トップレベルの実演家を対象にした身体運用における技の可視化・言語化を、慶応義塾大学と NPO 法人日本伝統芸能教育普及協会の連携の下、次の 2 ステップで行った。

ステップ 1：

能楽のハコビのスキル分析を行った。速度変化の調節を行うステップは、加速では 2 または 3 歩目、減速ではラストステップであると特定できた。調整の技としては、空間的条件を調整するのに歩数のみならず歩幅で調整する技があること、2 または 3 歩目に足の踏み出しを遅らせる「タメ」の技があることを見出した。これらの技をリズムとテンポの生成に用いて、序破急のハコビが生み出されており、特に序破急のうち序から破への展開は、自然対数に則った規則性を持つ一連の流れのある運動である可能性を発見した。この内容を査読付論文②（2014 年 11 月掲載）とした。

物理的共通指標を用いて、Howorth が定義する基本動的姿勢における下肢の比較分析を行い、物理的共通指標間の関係の構造化によって、ヒトの下肢における基本動的姿勢の設計手順を明らかにした。実験により各運動種目での基本動的姿勢の測定を行い、物理的共通指標値の計算、およびウォード法によるクラスター分析を用いて各運動種目の比較と分析を行った。その結果、舞踊、武術、運動競技の分野横断的な分類に成功した。この内容を査読付論文①（2015 年 3 月掲載）とした。

ステップ 2：

調査対象を次に示す伝統芸能の第一線の実演家とし、聞き取り調査によって基本的な身体技法と達人の技について言語化を試みた。

能楽シテ方 2 名（観世流顧問含む）、狂言方 1 名（人間国宝）、囃子方 1 名（小鼓方大倉流宗家）、文楽大夫 1 名、三味線 1 名、人形遣い 1 名、日本舞踊より歌舞伎舞踊 2 名（人間国宝含む）、地唄舞 1 名（堀派神崎流家元）、組踊 2 名（人間国宝含む）、琉球舞踊 2 名（国指定重要無形文化財「琉球舞踊」指定者含む）

言語化された達人の技の要点をまとめる。

### ①能楽/シテ方

- ・ 身体の芯のみがしなやかに固定され、余分な力が一切抜けたような身体になってゆく。
- ・ 細分化された身体づかいになってゆく。動かさない部分と動かす部分の切り替えが細くなる。
- ・ なるべく動かない身体を志向してゆく。

### ②能楽/狂言方

- ・ ハコビの序破急にリズムが整っている。
- ・ 最大の力を 10 とすると 7 ぐらいの力で演じる。

- ③能楽/囃子方
- ・最大の力を10とすると、4あるいは1の力で演奏し、残りをお客様に想像させる。
- ④文楽/大夫
- ・大切なのは力を抜くこと。膝頭や足の先など、どこか身体の一カ所だけに神経を集中させて、肩を始めとしたその他の身体部位の力は抜く。
- ⑤文楽/三味線
- ・演奏中は手首から指先以外の身体を動かさない。
- ⑥文楽/人形
- ・胴串を持つ手を少なくし、最終的には小指1本でも胴串を支えられるようになり、最小限の力での操作テクニックが身に付くと、表現出来る世界が広がる。
- ⑦日本舞踊/歌舞伎舞踊
- ・身体の芯はしっかりしているが、しなやかになり、余分な力は抜けて力みがない。
  - ・音楽のテンポやリズムである間を活かしてお客様に心地良さを感じさせる。
- ⑧日本舞踊/地唄舞
- ・動かない(振りがゆっくり、動く部分が少ない)ことを飽きさせない。
  - ・目線を殺す、肩甲骨を下げる、常に中腰である。
- ⑨組踊
- ・芯の強さと女性的な柔らかさを合わせもつ。
  - ・歩みがしっかりしている。腰を落とした歩み。
  - ・目線づかい(目ぢち)、ガマク(腰の回転)、こなしと呼ばれる振りと振りをつなぐ動き。
- ⑩琉球舞踊
- ・なるべく動かないことで美しさを表現する。そぎ落としていった重要な部分だけを残す。

上記の結果から、(a)なるべく動かない身体を目指す、(b)体を細分化させて動かす部分と動かさない部分、力を入れる部位と力を抜く部位とを細かく使い分ける技を持つ、(c)体の軸はしなやかさを保ちながらも、ぶれない強さを合わせ持つ、という3技法を抽出した。

また計測システムによって今後可視化が可能と考えられる技と測定項目を次のとおり明確にできた。

測定項目 1：身体の芯を固定して余分な力を抜く技法(能楽/シテ方、日本舞踊/歌舞伎舞踊、組踊)

→測定内容(身体の芯の固定)：筋骨格の位置から特定する。

→測定内容(余分な力が抜けている)：骨格位置と筋放電それぞれを衣装の形状との関係か

らも調べる。

測定項目 2：細分化された身体づかいに関する技法(能楽/シテ方)

→測定内容：細分化の分化部分を明らかにする。

測定項目 3：文楽人形の胴串を持つ手の本数を減らす技法(文楽/人形遣い)

→測定内容：胴串をもつ指の本数の変化による人形の細かな揺れとの関係、および可動域の相違を明らかにする。

特に注目すべき結果は、「身体の芯や軸をしなやかに固定しながら、余分な力を抜く、ぶれない強さをもつ」という身体技法ならびに測定項目が明確になったことである。この技は日本の芸能のみならず、海外の芸能の身体にも共通することが予想される。このような「身体の芯や軸」と表現される技を実際の筋骨格のレベルから明らかにする測定装置の開発が進めば、芸能のみならずスポーツの世界においても活用される可能性があり、発展性が期待される。

以上より、身体技法の可視化・言語化に関わる基盤技術と技の伝授の難しさの解消に貢献する知見を得ることに成功した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

①篠崎 裕毅, 森田 ゆい, 森田 寿郎, 各種構え姿勢分析に基づく下肢の運動設計手法, 比較舞踊研究, 査読あり, 21, 10-22, 2015/03.

② MORITA YUI, ODA HITOMI, MORITA TOSHIO, Characteristics of actions for sliding walk technique in Japanese traditional performing art, International Journal of Human Culture Studies, peer-reviewed, 24, 204-216, 2014/11.

[産業財産権]

○出願状況(計1件)

出願準備中

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

森田 寿郎 (MORITA, Toshio)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：30329081

(2)研究分担者

植田 一博 (UEDA, Kazuhiro)

東京大学・総合文化研究科・教授

研究者番号：60262101

土井 靖生 (DOI, Yasuo)

東京大学・総合文化研究科・助教

研究者番号：70292844