

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：82727

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K16328

研究課題名(和文) 身体運動の挙動曲面設計論の確立とスキルレベル評価への適用と検証

研究課題名(英文) Investigation of Motion Curved Surface Design and Skill Level Estimation

研究代表者

三橋 郁 (MITSUHASHI, Kaoru)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能力開発院、基盤整備センター)・能力開発院・助教

研究者番号：60553211

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：身体運動は複数の関節が動くため、その全軌道を一度で視認することは非常に難しく、運動のスキルレベル評価は熟練者に頼らざるを得ない。本研究は、身体運動時の複数の関節軌道を曲面化し、力学的要素を埋め込むことで、運動における身体姿勢および力・リズム・タイミングを一度で視認できる挙動曲面の設計論を確立することを目的とする。挙動曲面に埋め込む方策、および複数の挙動曲面と被験者のスキルレベルとの相関性を見出すスキルレベルの新たな評価法を検証した。速度曲面・加速度曲面・推進作用力曲面を提案した。その後、熟練者と初心者の挙動曲面を比較して、挙動曲面を総合的に表現し、スキルレベルと挙動曲面の相関性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The skill teaching/succession method is not quantitative but qualitative, which is abstract oral or gesture expression. Quantitative teaching is difficult for teacher/instructor. In previous research, Expert and beginner perform the sports and entertainment motion, and the character of the motion curved surface is analysed using Microsoft Kinect (RGBD camera). The character is the maximum curvature and surface area. However, the usage of characters is uncertain. In this research, we investigate the correlation of maximum curvature and surface area from motion curved surface in before and after training. Therefore, we visualize the different correlation of experts and beginners from the characters and the transition of the skill training.

研究分野：3D-CAD, ヴァーチャルリアリティ, マンマシンインターフェース, 教育工学

キーワード：技能伝承 スキルレベル 挙動曲面 Microsoft Kinect

## 1. 研究開始当初の背景

工業技術・芸術・スポーツ等の身体動作は試行錯誤によって習得することが多く、その身体運動を定量的に指導・学習することは難しいと言われてきた。力加減や速度感覚を習得させることは熟練者になるために必要な指導であると言われていたが、その運動学習における技能指導・継承方法は、動作に必要な力の強弱や筋の緊張状態をオノマトペ（擬態語・擬音語）や比喩表現等による口頭伝達やビデオ視聴による定性的な伝達指導が多く有効であると言われている。これは複雑な動作内容を微妙なニュアンスで表現できること、印象強く残るといふ長所がある。しかし、定性的伝達方法のみでは曖昧な表現であり、熟練者の身体動作を不完全にコピーしてしまうため、定量的伝達方法も付加する必要があると言われている。力加減を測定するためには、加速度センサや筋電位センサを搭載する必要があり、画像処理のみでは力の加減を解析することは困難とされている。しかし、筋電位センサ・加速度センサのみでは、局所的な測定しかできず、視覚的かつ直感的に理解させて指導することは難しい。

過去の研究にて、申請者はダーツの投げ挙動のように、Microsoft Kinect を用いて、人間の複数関節座標の軌跡を曲面で表現し、その曲面形状の解析により、熟練者と初心者のスキルレベルの違いを視覚化した実績がある。曲面形状の特徴は、面積、曲率、外観形状等である。さらに、実体化した熟練者の挙動曲面を用いたトレーニング実験（運動指導実験）にて、熟練者に近い身体動作を得ることに成功している。しかし、過去のデータケースが少ないことや、身体動作の分析や最終出力結果の確認が不十分である課題が残り、挙動曲面の設計論の確立が未完成である。タイミングやリズムの把握、および腕力・脚力等の推進作用力の変化を曲面に反映させることができている。そこで、挙動曲面の他種として、速度曲面・加速度曲面・推進作用力曲面を提案し、その有効性を明らかにする。挙動曲面の各関節には座標・時間データが格納されているため、時間微分により速度・加速度を明らかにできる。さらに、加速度曲面に対して各座標に質量を積算して、推進作用力曲面として身体の推進作用力の表現も可能である。速度や加速度を RGB カラーグラデーション分布で表すことにより、スキルレベルを一度で視認できると考えている。

## 2. 研究の目的

本研究では、複数の関節動作全体を人間が一度に視認できる表現法を確立する。これを用いて、複数関節を動かすスキルレベルの判定の可能性の検証を行う。そこで、視認しやすい挙動曲面の構成と提示と、速度曲面・加速度曲面・推進作用力曲面を提案することにより、身体運動時の挙動曲面の設計論を確立し、熟練者と初心者の挙動曲面を比較して、

挙動曲面を総合的に表現することにより、スキルレベルと挙動曲面の相関性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

従来までの挙動曲面は関節の軌跡を関節方向  $u$ 、時間方向  $v$  に曲面近似したものであり、曲面の表面の曲率を RGB カラーグラデーションで表示してきた。しかし、軌跡や曲率表示だけでは、力や速度の強弱やタイミング、リズムを表示することはできなかった。そこで、微分幾何学を用いて挙動曲面（速度挙動曲面や加速度挙動曲面）を新たに提案した。Microsoft Kinect は関節の位置だけでなく、時間（時刻）もデータに確保できる。そのため、各関節座標を時間微分することにより、速度や加速度を表現することができる。各関節の軌跡を表した座標  $\mathbf{P}_{u,v}$  と時間（時刻） $t_{u,v}$  が格納されているとき、座標  $\mathbf{P}_{u,v}$  での速度  $S_{u,v}$  は式(1)のように表すことができる。

ただし、 $S_{u,v}$  の方向は既に確定しているた

$$S_{u,v} = \frac{|\mathbf{P}_{u,v} - \mathbf{P}_{u,v-1}|}{t_{u,v} - t_{u,v-1}} \quad (1)$$

め絶対値で表す。 $u$  方向は関節方向であるため、 $u$  方向の差分は取らない。さらに、加速度  $A_{u,v}$  は式(2)のように表すことができる。

ここで、 $A_{u,v}$  は正負の値を持つことになる。

$$A_{u,v} = \frac{S_{u,v} - S_{u,v-1}}{t_{u,v} - t_{u,v-1}} \quad (2)$$

さらに、加速度曲面に対して各座標に質量を積算して、推進作用力曲面として身体の推進作用力の表現も可能である。

次に、速度および加速度を表示させるために、RGB カラーグラデーション分布を用いる。速度  $S_{u,v}$  ( $S_{\min} < S_{u,v} < S_{\max}$ ) のとき、RGB カラーグラデーション配色は、速度の最大値を  $S_{\max}$ 、最小値を  $S_{\min}$  とすると、式(3)のように表す。

$$(r, g, b) \begin{cases} (255, 0, 0) & (S = S_{\max}) \\ (255, \text{temp}, 0) & (S - S_{\min} \geq 0.75(S_{\max} - S_{\min})) \\ (\text{temp}, 255, 0) & (S - S_{\min} \geq 0.50(S_{\max} - S_{\min})) \\ (0, 255, \text{temp}) & (S - S_{\min} \geq 0.25(S_{\max} - S_{\min})) \\ (0, \text{temp}, 255) & (S \geq S_{\min}) \\ (0, 0, 255) & (S = S_{\min}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{temp} = 0.5 \times \left( 1 - \cos\left(4\pi \left( \frac{S_{u,v} - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \right) \right) \right) \times 255$$

ここで、 $r$ 、 $g$ 、 $b$  はカラーの強度を表す。 $S_{\max}$  が赤色で表し、 $S_{\min}$  は青色、 $S_{\max} + S_{\min}/2$  は緑色で表される。加速度の表示も速度と同様である。これにより、動作の強弱やリズム、タイミング等のスキルレベルを一度で視認できる。次章にて、過去の研究にて表現した挙動曲面に対して、速度曲面および加速度曲

面にて表現する. 使用する開発環境は Visual Studio Express 2015 for Windows Desktop, プログラム言語は C++, ライブラリーは OpenGL, Kinect SDK である. さらに, 以前の研究にて被験者のスケルトンモデルのアニメーションを表示でき, 曲面と同時に表示することができる. 関節は青い球, bone は灰色で表している. 曲面化の方法は, 以前と同様に Approximation を用いている.

#### 4. 研究成果

前章の計算方法を用いて, ダーツの投げの動作を挙動速度曲面と挙動加速度曲面を用いて表現した. 調べる動作は以前の研究にて調査したダーツの投げ, 水泳のクロール, および新たに空手の受け動作である.

(a) 速度曲面・加速度曲面・推進作用力曲面の検証評価

図 1 にダーツの投げ動作における熟練者と初心者の右手, 右肘, 右肩の挙動曲面を示す. 表 1 に最大速度, 最小速度, 最大加速度, 最小加速度および加速のタイミング位置 (最大

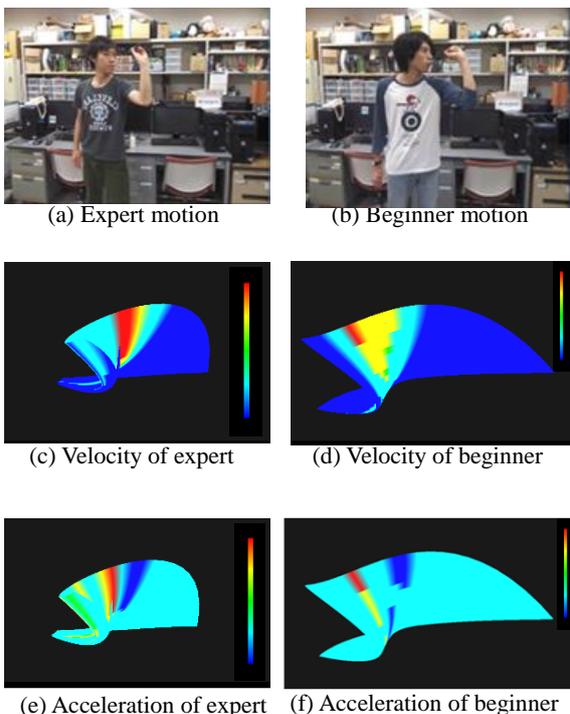


Figure 1: Motion velocity/acceleration curved surface in darts throw

Table 1: Maximum/minimum velocity/acceleration, timing in darts throw

	Expert	Beginner
$S_{max}$	3.30	2.43
$S_{min}$	0.00	0.00
$A_{max}$	27.98	29.60
$A_{min}$	-19.13	-9.84
Position	Release	Start

加速位置 or 速度速度位置) を示す. 図 1 には, 曲面の側に速度または加速度の range を記す. その結果, 以前の研究では形状, 曲率, 面積に差があったが, (今回は) 速度や加速・減速タイミング位置等が見えるようになった. 図 1 より, 熟練者はダーツの release 直前のときが最も早く, その速度は初心者よりも早い. 加速度も同様であることから, release のときのみ力を入れていることがわ

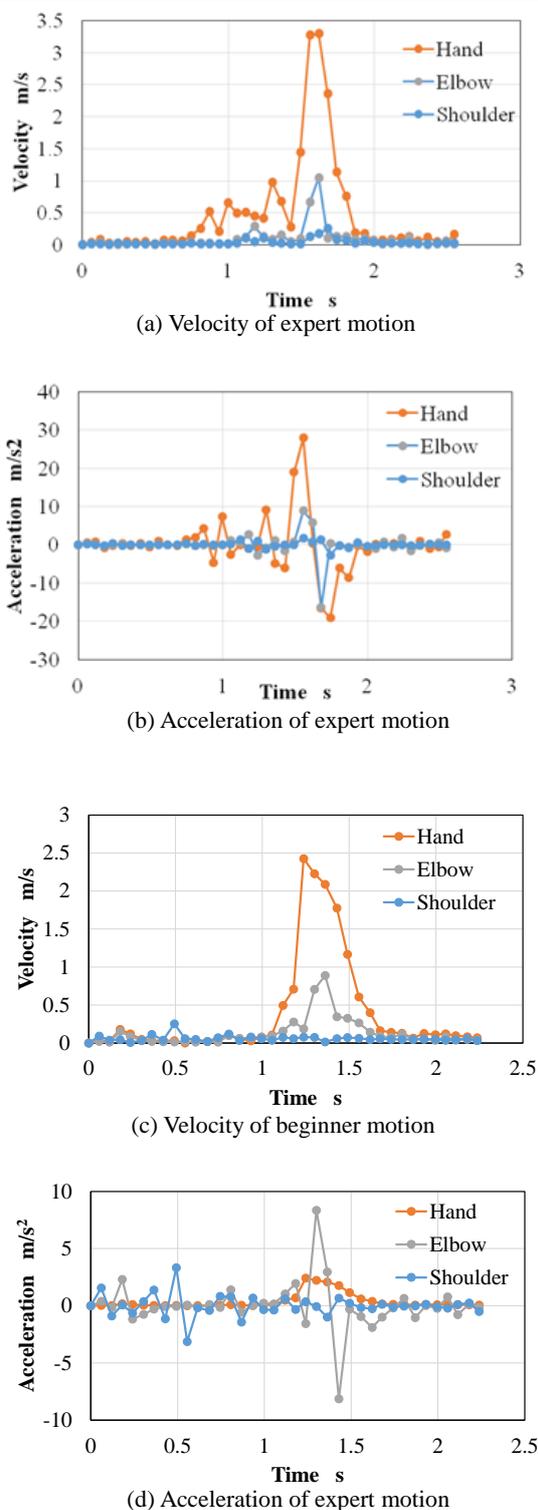


Figure 2: Numerical analysis of velocity/acceleration

かる。その一方、初心者は投げ始めのときが最も早い。これは、ダーツ release 時では既に一定速度になっており、release のタイミングが曖昧であることがわかった。熟練者の意見では、release する瞬間に手首にスナップを効かせる必要があると述べている。すなわち、release の瞬間に力を入れる必要があると言える。この動作の違いを実証するために、数値的に解析した。図 2 に熟練者と初心者の右手、右肘、右肩の速度と加速度を示す。図 2 より、熟練者はダーツ release 時、初心者は腕の振り開始時が最も速度と加速度が早いことがわかった。

図 3 に水泳クロール動作における熟練者と初心者の右手、右肘、右肩の挙動曲面を示す。クロールの動作は上半身のみである。表 2 に最大速度、最小速度、最大加速度、最小加速度および加速のタイミング位置（最大加速位置 or 速度速度位置）を示す。図 3 より、腕の最大速度・最大加速度は熟練者の方が早い。さらに、熟練者は腕の振り下げ時（入水時）のときが最も早く、初心者は腕の振り上げ時（離水時）が最も早い。腕に力を入れるタイ

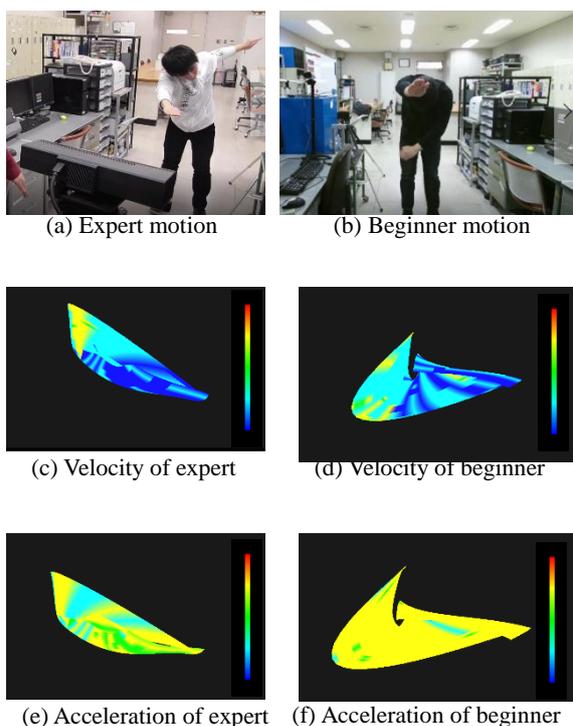


Figure 3: Motion velocity/acceleration curved surface in swimming crawl

Table 2: Maximum/minimum velocity/acceleration, timing in swimming crawl

	Expert	Beginner
$S_{max}$	6.02	5.73
$S_{min}$	0.00	0.00
$A_{max}$	64.96	47.85
$A_{min}$	-68.40	-85.52
Position	Downswing	Upswing

ミングが異なっていることがわかった。熟練者の意見では、水を押すように手を入れる必要があると述べている。すなわち、入水時に最も素早くまたは力を入れる必要があると言える。

図 4 に Karate の Defend 時における熟練者と初心者の右手、右肘、右肩の挙動曲面を示す。表 3 に最大速度、最小速度、最大加速度、最小加速度および加速のタイミング位置（最大加速位置 or 最大速度位置）を示す。図 4 より、腕の最大速度・最大加速度は初心者の方が早い。さらに、熟練者は腕の振り上げ時（Defend）のときが最も早く、初心者は腕の振り下げ時（Defense 解除時）が最も早い。これも腕に力を入れるタイミングが異なっていることがわかった。熟練者の意見では、腕を上げる軌道は短く、腕を止める瞬間に力を入れる必要があると述べている。すなわち、腕の振り上げ時のときに加速している必要があると言える。

(b) スキルレベルの挙動曲面との相関性検証  
初心者が熟練者の挙動に近づく技能伝承

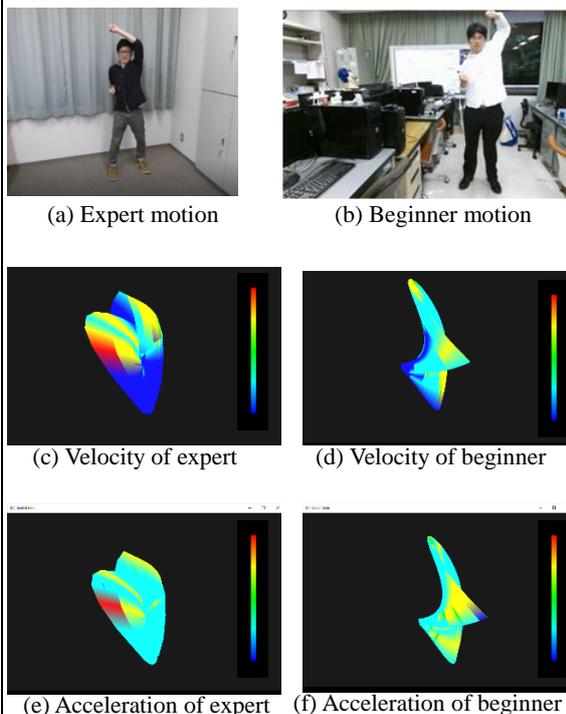


Figure 4: Motion velocity/acceleration curved surface in karate defense

Table 3: Maximum/minimum velocity/acceleration, timing in karate defense

	Expert	Beginner
$S_{max}$	1.42	4.02
$S_{min}$	0.00	0.00
$A_{max}$	4.12	22.06
$A_{min}$	-3.30	-24.45
Position	Upswing	Downswing

方法として、Microsoft Kinect にて計測した挙動を曲面化し、速度曲面や加速度曲面等を明らかにした。ただし、被験者の数が少なかったため、熟練者の正しい挙動曲面が確立されていなかった課題が残っていた。熟練者（指導者）にとって、挙動曲面の可視化のみでは、どの曲面が模範的な挙動であるのかわからず、どのように評価すれば良いのかわからない。そのため、初心者の挙動傾向を知るには、多くの被験者の測定すること、数値的な傾向も評価に加えることが必要である。そこで、前手法を用いて、熟練者と初心者の挙動曲面を多数作成し、挙動曲面の特徴である最大曲率と表面積の相関関係を調べる。曲面の面積や曲率の相関図を表示し、熟練者と初心者の挙動の違いを抽出する。さらに、初心者に対して挙動曲面を用いたトレーニングを実施して、挙動の熟練度・学習効果を数値的に評価した。

サッカーのインサイドの初心者の練習前後の測定を行い、熟練者と初心者の練習後、初心者の練習前後を比較した。サッカーの技能伝承方法は、ダーツの投げと同じく、従来の方法のビデオ学習、インサイドパス用に実物曲面での練習を初心者1名に対し、いずれかの伝承方法を適用させる。測定したサッカー熟練者パスの挙動の中で、熟練者の挙動曲面を目標とし練習をした。この挙動曲面の最大曲率は  $0.08[\text{rad}/\text{mm}]$ 、面積は  $0.52[\text{m}^2]$  である。ビデオ学習では、熟練者の挙動の測定と同様に撮影した。そのときの曲率と面積の関係を図5に示す

実物曲面は熟練者の足と膝の動きが確保できれば尻の動きも自然に確保できる点と、インサイドパスなのでつま先の妨げがない方がよい点の2つの意見を参考に、初心者の練習前の挙動を測定した後、5分間練習を行い、練習後を測定した。サッカーの伝承実験では練習方法に初心者2名、計4名を測定した。ビデオ学習の初心者2名の練習前の挙動曲面を図6に、練習後の挙動を図7、8に示す。挙動曲面では両者も熟練者のような扇状の曲面に近付いた。この曲面の変化もビデオ学習と同様に熟練者の扇状の曲面に近付いた。各練習方法の初心者の練習後を比較すると、実物曲面での伝承では、共に近い曲面が測定された。実物曲面では足の動き始めと終わりが確保しやすいためだと考えられる。熟練者

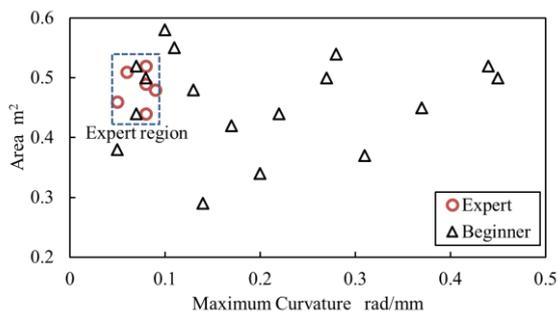
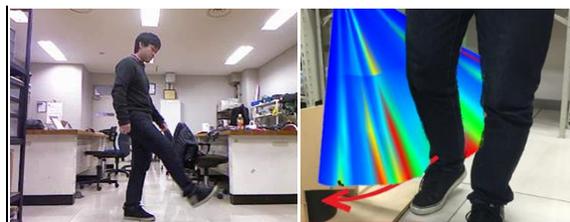


Figure 5: Correlation of motion surface character



(a) Only watching movie (b) Motion with surface  
Figure 6: Training the inside kicking motion in soccer

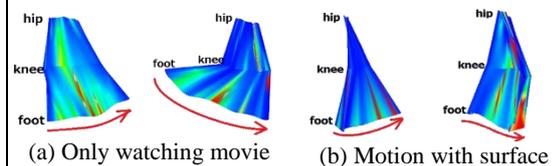


Figure 7: Motion curved surface of before training

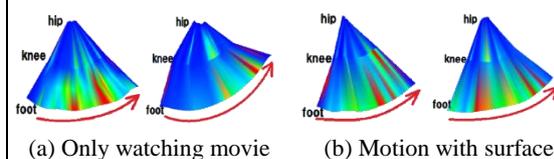


Figure 8: Motion curved surface of after training

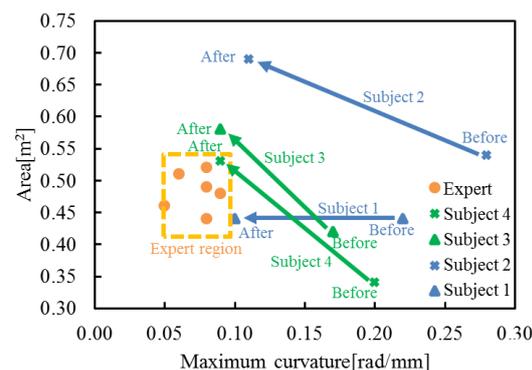


Figure 9: Correlation of motion curved surface character in before and after training

と初心者の各数値を、縦軸を面積、横軸を最大曲率としたプロットしたものを図9に示す。練習者と初心者を似ている動作をしても、最大曲率、面積には違いがあることがわかった。伝承方法の検証では初心者の判断に委ねられるビデオ学習より、挙動の始まりと終わりが確保できる実物曲面での練習の方が熟練者に近付くことが検証された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

- [1] Kaoru MITSUHASHI, Hiroshi HASHIMOTO and Yasuhiro OHYAMA, "Skill Level Evaluation of Motion Curved Surface Character", 13th International Conference on

Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2016), July 29-31, Lisbon, Portugal, 2016, pp.499-504

- [2] Kaoru MITSUHASHI, Mizuho Nakamura, Masanobu Chiba and Hiroshi HASHIMOTO, “Suggestion of Motion Velocity/Acceleration Curved Surface”, 14th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2017), July 26-28, Madrid, Spain, 2017, pp.489-493
- [3] Kaoru MITSUHASHI, Yasuhiro OHYAMA, “Suggestion and Verification of the Modular Robot Education”, The 11th ASIAN CONTROL CONFERENCE (ASCC2017), Dec 17-20, Gold Coast, Australia, 2017, pp.1379-1383
- [4] Kaoru MITSUHASHI, Yasuhiro OHYAMA, “Triaxial Movement of Modular Robot by 3D printing”, 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Dec 11-14, Taipei, Taiwan, 2017, pp.698-703

〔図書〕（計 1 件）

- [1] 村上輝康, 新井民夫, 三橋郁, 他多数, “サービスソロジーへの招待 価値共創によるサービス・イノベーション”, 東京大学出版会, 2017/6/21, (第 6 章担当), pp. 124-130.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

三橋 郁 (MITSUHASHI, Kaoru)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構 職業能力開発総合大学校（能力開発院, 基盤整備センター）能力開発院・助教

研究者番号：60553211