

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H06291

研究課題名（和文）アンビエントノイズを用いた聴覚による前庭感覚代償と高齢者の平衡感覚支援

研究課題名（英文）Auditory Ambient Noise Control Compensating Vestibular Sensation and Supporting the Sense of Equilibrium for the Elderly

研究代表者

中村 仁彦（Nakamura, Yoshihiko）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号：20159073

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、前提感覚の衰えによる平衡感覚の低下を音響情報を能動的に聴覚に与えることで補填できなかつたという問題に着目した。当初、環境雑音を変調する効果を狙った。音響で行動変化を生じさせる場合、音を意識せずに行動変化を誘発する方法と、変化すべき方向や大きさを意識させて行動変化を生じさせる方法がある。後者は学習効果が期待でき積極的なQOLの維持につながる。本研究では音響情報を意識させる方向を選択した。研究は高齢者の歩行様態と空間識との関係の調査などにも向かった。基礎研究として疲労の代謝シミュレーション技術や、運動の様態から拮抗筋の使い方の個人差を推定する方法についても研究成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者では多様な原因から身体機能が衰えることによってQOLが低下する。筋量、感覚・運動神経系、中枢神経系の漸次的な変化だけではなく、転倒などによる突然の生活の変化も大きな影響を与える。センシングデバイスや情報機器によって身体機能の衰えを補填するだけでなく、機能を維持するための学習効果のある支援ができれば、健康社会を実現するうえで社会的意義も大きい。本研究の学術的意義は、センサーや運動計測に基づいて聴覚を通して運動介入を行うことで平衡感覚の強化による安定な歩容を誘発できる可能性を示したことである。また一般的な運動学習に対する介入方法の基礎的な知見を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：This study started from an idea to compensate the decline of vestibular sensation due to aging by active acoustic modulation. The original plan was to modulate the ambient noise. There are two distinct methods to induce the behavioral change, namely to induce it unconsciously following the sound, and to make a change consciously following the magnitude or direction that the sound means. The latter may be more appropriate if the learning effect actively maintains the QOL. We chose the conscious model of acoustic modulation. We also investigated the relationship between the walking modality of the elderly and the spatial perception. As the basic studies, we developed a computational model of motion fatigue of the whole-body and a method to estimate individual differences of co-contracting muscles.

研究分野：ロボティクス

キーワード：スマートセンサー情報システム 人間生活環境 パーチャルリアリティ リハビリテーション 知能ロボティクス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、ロボティクスの運動学・動力学・制御の研究で開発した計算アルゴリズムをより複雑な人間の筋骨格系のシミュレーションに応用する研究を行ってきた。モーションキャプチャ、床反力計、無線筋電計の情報から力学モデルを用いて大規模な拘束条件付き二次計画問題を解くことで、ワイヤーでモデル化した全身の筋の活動と張力を推定する技術を開発した。さらに、30FPSでリアルタイム計算し運動中の被験者のビデオ画像にオーバーレイして可視化する「マジックミラー」と呼ぶ技術を開発した。この技術はこれまでに様々な身体技能を持つ人の筋活動の解析に使われ、何人かのオリンピック選手もこの中に含まれている。一方で、より深く詳細な身体情報のシミュレーションを目指して、2011-2015年度にはスパコン「京」を用いて、約千本の筋をそれぞれ粘弾性連続体とし、骨格を剛体系として表した全身筋骨格モデルを有限要素法で計算することに取り組んだ。研究代表者らが整備してきた大規模リンク系の運動学・動力学シミュレーション用ソフトウェア・リサーチツール(sDIMS、K-Body)も開発した。sDIMSは人間の全身筋骨格モデルを備えている。sDIMSを元にスパコン「京」用に開発したK-Bodyは、有限要素法筋モデルと全身の筋を支配するモータニューロン・プールとセンサニューロン・プールのモデルを備えている。

2. 研究の目的

視覚、体性感覚(筋腱などの深部感覚)、前庭感覚の感覚器からの信号が中枢神経系で統合され空間識、眼球運動、姿勢制御、運動制御などを構成している。加齢とともにこれらの感覚器が変性し、さらに中枢神経系や運動器の変性もあって高齢者のさまざまな運動障害が表れる。末梢前庭系において、前庭神経1次ニューロン数は30歳から60歳で20%減少するといわれる。70歳以上では外側半規管膨大部稜の有毛細胞は40%、平衡斑の感覚有毛細胞は25%減少しているとされる。前庭感覚は前庭動眼反射(VOR)を通じて視覚系にも影響を与える。高齢者のめまいや平衡感覚の低下はこれらが複合的にかかわった結果と考えられている。高齢者の平衡感覚の低下による転倒のリスクは加齢とともに徐々に増加する。特に後期高齢者の転倒は骨折などの重篤なけがに直結することが多く、その後のQOLを著しく低下させてしまう。前期高齢者においても平衡感覚の低下は、社会生活の活動を低下させる要因になっている。本研究は、自然で負担の少ない聴覚刺激によって空間識や姿勢制御のための前庭感覚の代償を可能にするための基盤を研究し、それを応用することで高齢者の平衡感覚を支援する技術、そのトレーニング法、評価法を開発する。さらに、前庭感覚の代償に至る機序を実証実験と人間の神経筋骨格モデルを用いたシミュレーションで探る方法論を構築する。

3. 研究の方法

- (1) アンビエントノイズの前庭感覚変調を行う聴覚提示デバイスの開発
- (2) 前庭感覚の衰弱を代償するアンビエントノイズ変調法の開発
- (3) 聴覚による前庭感覚代償を用いた姿勢安定化のトレーニング法の構築
- (4) 全身神経筋骨格シミュレーションによる姿勢安定化再建の機序の解析
- (5) 姿勢安定化支援と高齢者の転倒リスクの評価

本研究は、前庭感覚が衰えることによって生じる高齢者の運動障害を、自然な聴覚刺激によって代償支援する技術の開発と、それを高齢者がトレーニングによって自身の身体状況に応じた形で利用するための支援方法を開発することを目指すものである。高齢者の空間識や姿勢制御などに介入するデバイスの開発と、それをを用いた前庭感覚代償を高齢者にトレーニングによって獲得させる支援技術の開発は、ゼロからスタートする挑戦的な研究テーマである。

4. 研究成果

平成29年度は、各研究項目について以下のような研究成果を得た。

(1)アンビエントノイズの前提感覚変調を行う聴覚提示デバイスの開発:マイクロフォンアレイによる空間音場計測の基礎実験を行った。聴覚情報の計測と信号処理のソフトウェア開発が進展した。ヘッドフォン型の聴覚提示デバイスの仕様設計を行った。

(2)前庭感覚の衰弱を代償するアンビエントノイズ変調法の開発:小型マイコンMini Genuinoのジャイロ加速度センサーを用いたIMU情報の計算とそれをを用いたヒトの運動情報の計測、BluetoothによるiPhoneとの通信、WEBへのデータアップロードなどの、前庭感覚を補完する計測基盤ソフトウェアを開発した。

(3)聴覚による前提感覚代償を用いた姿勢安定化のトレーニング法の構築:音響を用いて身体運動のトレーニング支援を行うことについて基礎的な研究を開始した。運動のシーケンス

(Kinematic Sequence) を音で提示することで動作の把握が直観的にできることが分かった。

(4) 全身神経系骨格シミュレーションによる姿勢安定化債権の機序の解析：姿勢安定制御の神経的な機序をシミュレーションするために、脊髄反射に重要な脊椎におけるインターニューロンのモデル化を行った。四肢の主要な筋のインターニューロンの配置を行った。

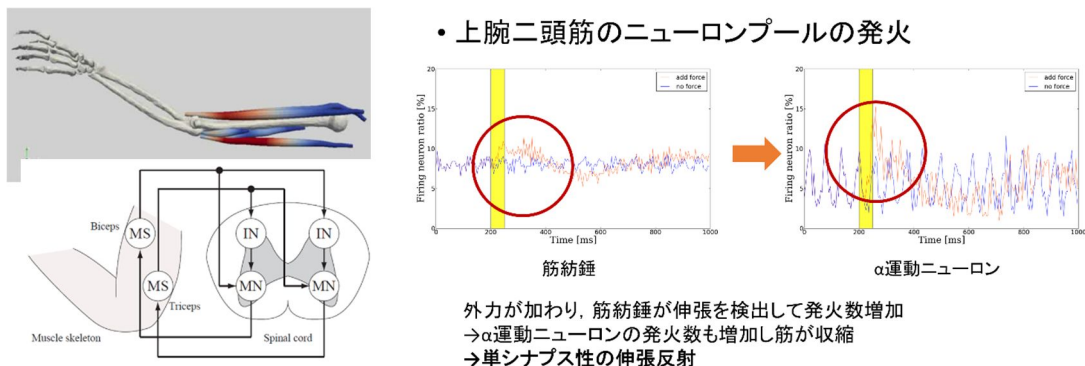


図1. 介在ニューロンを含む脊髄神経系における全身多シナプス性反射回路のモデリング

(5) 姿勢安定化支援と高齢者の転倒リスクの評価：高齢者の身体運動の特徴とその評価計測の方法についての研究を行った。フレイルリティと呼ばれる虚弱性が現れる高齢者の歩行様態を計測しその評価法を開発した。

平成30年度は、以下の3点の研究成果があった。

(1) 高齢者の転倒リスクを評価するための計測法としてビデオ映像を用いたモーションキャプチャ技術を採用した。この技術は科研費 基盤研究 (A) で平成29年度に代表者らが開発したものである。生活空間での日常におけるデータを取得する環境を整備した。姿勢安定化と転倒に関わる高齢者の内発的な変化としての奥行知覚能力の変化に着目した研究を行ない、奥行知覚能力を簡便に評価する方法として錯視課題を用いる方法を提案した。この研究によって、高齢者へのフィードバックには単なる計測情報の提示ではなく、空間知覚能力の変化を考慮した情報提示が必要なが分かった点が重要な成果である。

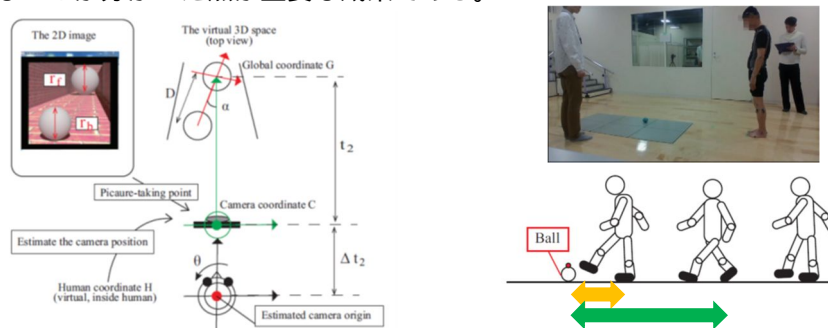


図2. 錯視課題を用いて奥行知覚能力を調べ、高齢者の歩容の特徴との相関を調査

(2) 聴覚提示による姿勢安定化に関するものでは、運動中にシーケンスとしての動作系列が存在する場合に動作系列のタイミングの精度評価を音響情報で直感的に提示する方法の研究を行った。これはゴルフスイングのトレーニングから始めた研究であるが、音響情報で運動情報を直感的に提示できるか、どのような広義の変調が有効かに関係しており、高齢者の動作や姿勢安定化への展開を進めている。音響情報の提示について、人間が差を知覚しやすい音響的特徴、提示する情報量と音響情報の複雑さの関係についての理解が深まった。この成果は研究代表者らが発明者となり、東京大学を出願人として令和元年5月に出願を行った。



図3. キネマティックシーケンスの誤差を音響情報で提示するトレーニング法

(3) 前提感覚情報の取得に関して、平成29年度に続いて IMU センサ情報の処理に取り組んだ。IMU センサの精度検証と、ジャイロ信号、加速度信号のカルマンフィルタリングで動的非干渉化する方法、ドリフトの少ない積分法の開発を行った。全身筋骨格シミュレーションでは中枢神経系と筋をつなぐ神経系のモデルを作成し、皮質反射を含めたシミュレーションが可能になった。

令和元年度の研究成果は以下の4点である。

(1) 高齢者の歩行とフレイリティについての研究成果がまとまった。高齢者の転倒のリスクが高まる原因の一つに奥行き空間識が衰えることが原因ではないかとの仮説を立てて調査する研究が進展し国際会議 IEEE-RAS IROS 2019 で発表した。また、高齢者の歩行データと転倒リスクを統計的に評価する方法も国際会議 IFToMM World Congress 2019 で発表した。これらの研究は東京大学高齢社会総合研究機構との共同研究として展開し、模擬住居における高齢者の動作をビデオモーションキャプチャーで解析する研究へと発展している。

(2) 聴覚情報と前提感覚代償に関しては、不意の姿勢の揺らぎに応じて音響情報を提示することで揺らぎの影響を小さく抑えた安定な歩行を誘導するかどうかの基礎実験を行い日本ロボット学会で発表した。また、音響情報を用いてゴルフの練習に介入する方法について提案を行い実証実験を行った。これに関する特許出願を行った。

(3) スポーツにおける膝十字靭帯の外傷予測因子として注目されている、Drop Vertical Jump (DVJ) のテスト結果を収集することを行なった。さらに、姿勢安定化に関して段差から落ちたり踏み間違えたりする動作との関係に注目して、DVJ テストにおいて膝や股関節で事前に設定する内力の個人差が重要であるとの観点から、バイオメカニカル解析によって落下直後の動作から落下直前の内力を推定する方法を提案し、ロボティクスシンポジウムで発表した。

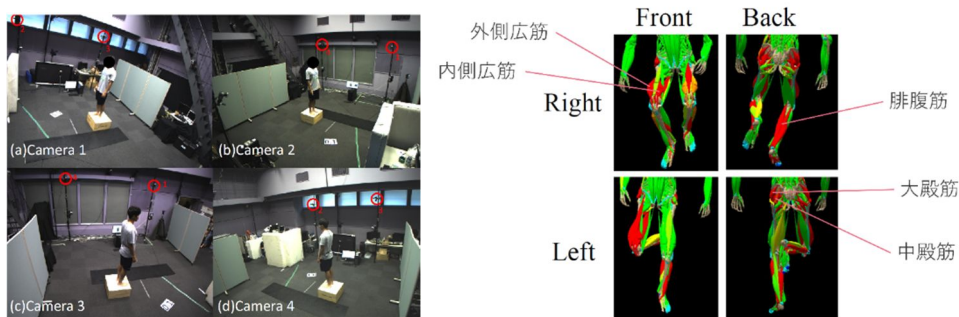


図4 . DVJ テストのバイオメカニカル解析から拮抗筋間の内力を推定する方法を提案

(4) 全身のバイオメカニカル解析から筋活動を連続的に推定した結果に基づいて、各筋が集まった全身の血流と筋の関係から、ATP/ADP、乳酸、糖、酸素などの代謝をシミュレーションして疲労と回復を計算によって可視化する方法を開発中である。これに関して特許出願を行った。

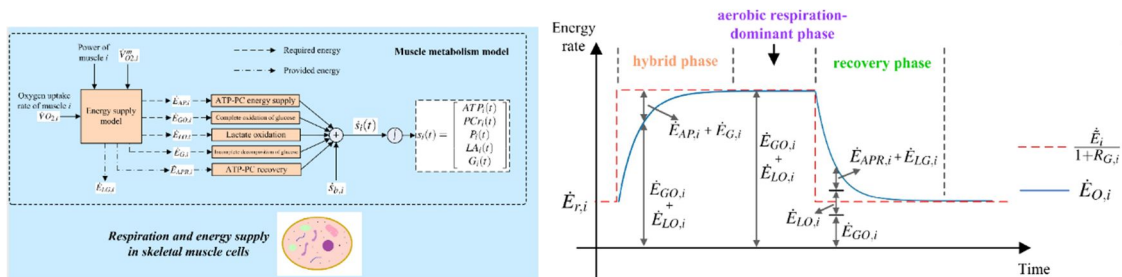


図5 . 全身運動から筋の代謝をシミュレーションして疲労と回復の時間変化を可視化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ko Yamamoto, Shinsaku Kuwada, Yoshihiko Nakamura	4. 巻 34(6)
2. 論文標題 Modeling, Prediction, and Anomaly Detection of Manned-Vehicle Behavior in Open Field Based on Velocity Vector and Variance Tensor Fields	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 343-357
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi:10.1080/01691864.2019.1709895	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tianwei Zhang, Yoshihiko Nakamura	4. 巻 -
2. 論文標題 PoseFusion: RGB-D SLAM in Dynamic Human Environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of International Symposium on Experimental Robotics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 E. Uchiyama, T. Mino, T. Tanaka, Y. Ikegami, W. Takano, Y. Nakamura, and K. Iijima
2. 発表標題 Study on stumble risk assessment from the motion data of the elderly
3. 学会等名 15th IFToMM World Congress on Mechanism and Machine Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Emiko Uchiyama, Toshihiro Mino, Hiroki Obara, Tomoki Tanaka, Wataru Takano, Yoshihiko Nakamura, Katsuya Iijima
2. 発表標題 Study on Stumbles of the Elderly from a Depth Perception Dependency Test
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木比奈子, 池上洋介, 内山瑛美子, 山本江, 山田文香, 中村仁彦, 水谷有里, 川口航平, 武富修治
2. 発表標題 Drop Vertical Jumpのバイオメカニカル解析に基づく膝前十字靭帯損傷リスク評価の研究
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内山瑛美子, 中村仁彦, 高野渉
2. 発表標題 高齢者の大規模調査データからの虚弱指標の探索
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井彬光, 池上洋介, 山田文香, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 運動解析結果を音響情報に変換して介入するスポーツトレーニング法の開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内山瑛美子, 高野渉, 中村仁彦, 孫輔卿, 今枝秀二郎, 田中友規, 飯島勝矢, 松原全宏
2. 発表標題 質問紙調査票の統計的正規化による転倒リスク識別器の構築
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井彬光, 内山瑛美子, 柳瀬諒, 池上洋介, 山本江, Milutin Nikolic, 中村仁彦
2. 発表標題 姿勢変動の音場フィードバックによる高齢者の歩行安定化
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Human Motion Innovation from Modeling and Computation in Robotics
3. 学会等名 International Symposium of Robotics Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 ロボティクスとAIが開くスポーツ・バイオメカニクスの最先
3. 学会等名 グレート東大塾, UTSSI, 東京大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 人の運動のデータサイエンスに向けて
3. 学会等名 新しい運動機能研究会, 日立中央研究所 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中玲至, 池上洋介, 山田文香, 山本江, 中村仁彦
2. 発表標題 ゴルフスイングにおける運動技能の評価法とそれを用いた介入型トレーニング
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲吉翔, 池上洋介, 中村仁彦
2. 発表標題 中枢神経系モデルと筋骨格系モデルの統合シミュレーション法
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 都築敬, 高野涉, 中村仁彦
2. 発表標題 記号化された運動と大規模言語データベースを用いた人間の運動の言語的理解
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内山瑛美子, 小原大輝, 田中友規, 中村仁彦, 高野涉, 飯島勝矢
2. 発表標題 錯視課題を用いた奥行き方向の知覚能力の推定
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内山瑛美子, 小原大輝, 味野俊裕, 田中友規, 中村仁彦, 高野渉, 飯島勝矢
2. 発表標題 射影画像の提示による奥行知覚能力の評価
3. 学会等名 第24回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内山瑛美子, 田中友規, 高野渉, 中村仁彦, 飯島勝矢
2. 発表標題 脳活動情報及び身体運動情報からの特徴量抽出による認知的フレイル評価に関する検討
3. 学会等名 第35回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内山瑛美子, 味野俊裕, 田中友規, 飯島勝矢, 高野渉, 中村仁彦
2. 発表標題 高齢者のロコモティブシンドローム評価指標と実動作計測による身体機能評価の比較
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内山瑛美子, 味野俊裕, 田中友規, 飯島勝矢, 高野渉, 中村仁彦
2. 発表標題 フレイルのマルチモーダル情報に基づく段階評価法の研究
3. 学会等名 第23回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Human Biorobotics: from Motion Analysis to Motion Training
3. 学会等名 Workshop on Assistive Robotics, IEEE-RAS International Conference on Robotics and Automation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Unveiling Fullbody Dynamics in Athletic Motions for Sports Advising
3. 学会等名 3rd International Workshop on Neurorobotics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 スポーツ社会 サービス・プラットフォームの構想
3. 学会等名 UTSSI-Society5.0 シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 魔法の鏡と水晶玉に映すわたしのからだ ~リアルタイム動作計測と行動予測の未来像~
3. 学会等名 第28回科学技術交流フォーラム「動きを創る」~日常生活をサポートする技術~ (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Distance between Language and Action
3. 学会等名 4th Workshop of the Anthropomorphic Action Factory, Wording Robotics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 A Perspective on Biomechanics Horizon in the Light of Robotics Computation
3. 学会等名 International Symposium of Robotics Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshihiko Nakamura
2. 発表標題 Robotic computation of language and action for machine intelligence of human behavior
3. 学会等名 2nd UTokyo-TUM Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村仁彦
2. 発表標題 生物の力学的戦略：人体の複雑性に宿る知能の単純性
3. 学会等名 日本学術会議応用力学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 味野俊裕, 池上洋介, 山田文香, 内山瑛美子, 中村仁彦
2. 発表標題 介在ニューロンを含む脊髄神経系と有限要素筋モデルによる上腕反射系のモデリング
3. 学会等名 第23回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 トレーニング支援方法及び装置	発明者 中村仁彦 山本江 池上洋介 田中玲至 櫻井彬光 山田文香	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-101841	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 筋疲労推定方法及び装置	発明者 中村仁彦 池上洋介 黄岩	権利者 東京大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-199766	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

http://www.ynl.u-tokyo.ac.jp/wp/research 研究：UTSSI東京大学スポーツ先端科学研究拠点 http://utssi.c.u-tokyo.ac.jp/research.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山本 江 (Yamamoto Ko) (20641880)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	池上 洋介 (Ikegami Yosuke) (90774414)	東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教 (12601)	
研究 協力者	高野 渉 (Takano Wataru) (30512090)	大阪大学・数理・データ科学教育研究センター・特任教授 (14401)	
研究 協力者	黄 岩 (Huang Yan)	北京理工大学・機械工学科・Assistant Professor	