

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01269

研究課題名(和文)動物の前腕ロック機構から切り拓く四脚ロボットの四肢多自由度化

研究課題名(英文)Understanding of interlocking mechanism in forearm of mammals for design of versatile quadrupedal robot

研究代表者

福原 洸 (Fukuhara, Akira)

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号：10827611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、クマなどの食肉目哺乳類の前腕にみられる回内・回外運動の不動化現象の理解と、前腕不動化現象が旋回歩行動作に及ぼす影響について明らかにすることを目的とし、動物解剖、運動計測、ロボット実験に取り組んだ。解剖計測の結果、前腕の不動化現象は長掌筋や手根屈筋などの屈筋群を介した運動性によって引き起こされていることが明らかとなった。また、レッサーパンダを用いた運動計測では、旋回歩行時における四肢の接地期間が増加することが明らかとなった。また、ロボットの旋回歩行では、脚負荷や体幹の移動速度に基づくセンサフィードバック則によって、旋回するタイミングやロボットの形態に応じた旋回歩行の生成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

四肢の筋骨格ネットワークを介することで矢状面上の関節が運動し、体重指示などの機能を発現することは、ウマなどの走行性哺乳類や、ワニなどの爬虫類、走行性の鳥類の事例が報告されていた。本研究で明らかになった前腕不動化機構では、肘や手首、指関節といった矢状面上の関節の運動だけでなく、手首のねじりを生み出す橈尺関節にまで運動が及び、体重指示に伴う屈筋群の張力の増加が前腕の回外運動を阻害するものである。こうした負荷状況に応じた3次元的な運動メカニズムは、マニピュレーションなどに活用可能な前脚抹消を多自由度にしつつ、運動制御を簡易化する基盤技術として大いに資することが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study found locking phenomenon in the forearms of carnivorous mammals depending on body supporting weight. To understand the forelimb locking mechanism and to clarify the effects of the forearm locking phenomenon on the turning gait motion, this study conducted animal dissection, locomotion measurement, and robot experiments. The results of anatomical measurements revealed that the immobilization phenomenon of the forearm is caused by the linkage through flexor muscles such as palmaris longus and carpometacarpal flexor muscles. In addition, the gait analysis of a red panda walking turn revealed that the duty factor of the hind-inside limb increased during the turning gait. In addition, a sensor feedback law based on leg load and trunk movement speed was successfully used to generate a turning gait of the robot according to the timing of turning and the robot's morphology.

研究分野：ロボティクス

キーワード：前腕不動化現象 旋回歩行の運動計測 旋回歩行の運動制御 反射バランス制御

### 1. 研究開始当初の背景

実世界を動き回り、見回り点検や警備等のタスクを担う存在として四脚ロボットの研究開発は盛んに行われている。四脚ロボットにロボットアームを追加することで移動タスクと把持操作タスクを同時に行う **mobile manipulator** の取り組みが多い[1]。脚部を移動運動だけでなく把持操作タスクにも活用することができれば、ロボットの搭載モジュール数や搭載重量の削減に繋がるため、限られた資源において多様なタスクを求められる自律移動ロボットにとって重要な基盤技術となることが期待される。しかしながら、現状の四脚ロボットは肘から先が1つの剛体として設計されており(図1上)、実行可能タスクを拡張化する脚部自由度の増加は、ロボットの機構設計や運動制御を複雑にするという課題がある。

一方で、クマやネコなどの食肉目哺乳類は、肘関節に加えて、手首関節、指関節、そして手のひらをねじる運動を実現する橈尺関節を有しており(図1下)、それらを巧みに協調することで、歩行運動だけでなく、木登りや営巣、獲物を捕まえる動作を実現している。本研究では研究開始の前段階として、食肉目哺乳類の解剖を通して前腕の体重支持などの負荷に対する応答を検討した。その結果、手先が接地し前肢が体重を支える状態では前腕の回外運動は阻害されるという「前腕不動化現象」を発見した。前腕不動化現象のメカニズムを明らかにすることができれば、ロボットの脚部の運動自由度を拡張しつつ、運動制御を簡易化することが期待できる。しかしながら、解剖学の分野では、前腕の関節可動域や筋肉量などの計測が行われているものの、前腕不動化現象については明らかではない。

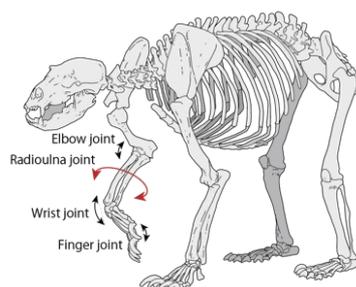


図1. 四脚ロボット(図上, BostonDynamics製 Spot)と食肉目哺乳類(図下, クマ)の身体構造の差異。

### 2. 研究の目的

本研究では、食肉目哺乳類の前腕不動化現象のメカニズムを明らかにし、前腕を活用した即時適応的な振る舞いを生み出す機構系・制御系のエッセンスを明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

研究目的を達成するために、解剖学者である郡司芽久助教(東洋大学)とロボット工学者である増田容一(大阪大学)と連携し、動物の解剖・計測と数理モデル、ロボット実機実験から前腕不動化現象の原理解明とロボット設計・制御への展開を試みた。具体的に本研究では、①解剖サンプルを用いたねじり剛性計測、②回転時の動物の運動計測、および③運動制御の構築検証の3つの研究項目に取り組んだ。

### 4. 研究成果

#### 4. 1. クマ前腕の剛性計測と不動化機構[2, 3, 4]

前腕不動化現象のメカニズムを明らかにするための本研究では、解剖サンプルであるツキノワグマを用いた不動化の定量評価と現象を引き起こす解剖要素の特定を行った。不動化現象の計測装置を開発し(図2左)、足部に与えたねじりの変位  $\Delta \theta$  に対する復元トルク  $\tau$  を計測することで前腕のねじり剛性を推定する。計測の結果、体重支持に相当する垂直荷重を増加させるこ

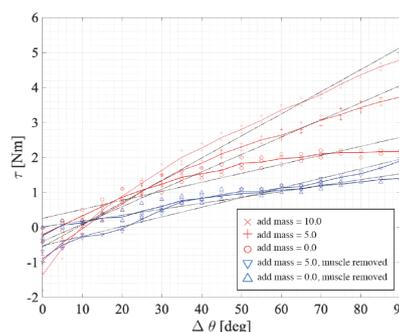
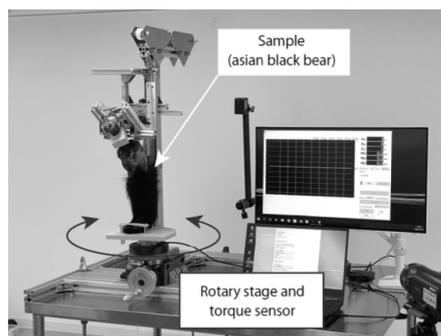


図2. 前腕のねじり剛性計測と不動化機構の理解。(図左) 開発した不動化現象計測装置。(図中央) 前腕のねじり剛性と垂直荷重依存性。(図右) 前腕不動化機構脚部モデル。

とで前腕のねじり剛性が高まること、そして、屈筋群を含む筋肉を切除することで、前腕ねじり剛性の垂直荷重依存性が弱まることが明らかとなった(図2中央)[2]。

計測結果の知見に基づき不動化現象を説明する数理モデルおよび脚機構を構築した(図2右)[3,4]。長掌筋や手根屈筋などの屈筋を介することで、矢状面上の体重支持による屈筋の張力の増加が、肘周りに回内方向への合力を生み出し、回外運動を阻害するように作用することで不動化現象は発現すると考えられる。筋腱ネットワークによる矢状面上の連動機構はこれまで様々な動物種やロボット実装が報告されているが、本研究で発見・提案する前腕のねじり運動を含む3次元的な連動機構は、手先自由度を拡張しつつ状況依存的な連動性によるロボット制御を簡易化することが期待される。

#### 4. 2. 動物の旋回歩行計測[5]

柔軟な前腕が運動中のどのように活用するか調べるために、東武動物公園の協力のもと、レッサーパンダの旋回歩行計測を行った。直線コース・90度旋回コース上に圧力センサシートを配置し、レッサーパンダにシート上を歩行してもらうことで、脚の接地位置や圧力中心等を計測した。計測の結果、進行方向に応じて前足部の姿勢が変化していることが確認された(図3)。また、180度旋回する際には、旋回内側の後脚が接地する期間が増加することも新たに明らかとなった[5]。

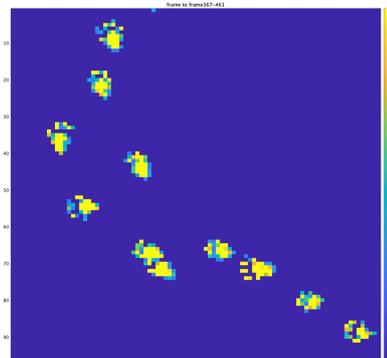


図3. 動物の旋回運動計測

#### 4. 3. 適応的な旋回歩行制御[6,7,8]

動物の行動観察の知見に基づき、動物の歩行運動制御の構築と検証を行った。

ウマやサルなど重心位置が異なる動物は、重心位置の近い前脚か後脚で旋回に必要な横力を発生させる。こうした形態的特徴に対して適応的な旋回運動の制御メカニズムを明らかにするために本研究では、床反力の大きさに基づいた脚の協調制御則を提案した[6]。ロボット実機を用いた検証実験の結果、ロボットの重心位置に応じて効果的に旋回を生み出す脚の協調パターンの生成に成功した。この成果は、動物の運動制御原理の理解のみならず、搬送タスクにおける四脚ロボットの重心位置に対する適応性を向上させることが期待できる。

また、直進運動から旋回運動への遷移現象に着目して構築した旋回制御モデルでは、上位中枢神経系に相当する制御モジュールからの旋回シグナルと、体幹部の横移動感覚に基づくセンサフィードバックメカニズムによって、外側脚から旋回するステップターンと内側脚から旋回するスピントーンに応じて、脚部の外転・内転運動を自己組織的に調整することに成功した[7]。

また、より俊敏なタスクにおいて提案機構・制御メカニズムを検証するために、反射に基づくバランスメカニズムの開発にも取り組んだ。バランスを崩した際に検出される脚部の外転内転の変位を反映させた反射運動により、ロボットがよるめきながら姿勢の安定化を図ることができる[8]。

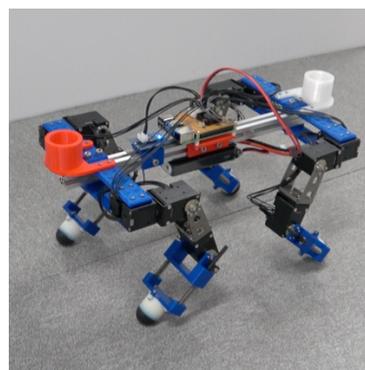


図4. 適応的な旋回を実現する四脚ロボット

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、帯広畜産大学の佐々木基樹教授には多くの助言を賜った。また、東武レジャー企画株式会社東武動物公園の小澤賢一氏、東美緒氏には、動物の運動計測に多大なる助力を賜った。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

1. H.Chai, et al., Biomimetic Intelligence and Robotics, 2(1), 100029, 2022.
2. 福原ら, ROBOMECH2023, 1A1-E21, 2023.
3. 福原ら, RSJ2023, 1B1-03, 2023.
4. 福原ら, ROBOMECH2024, 2A1-M08, 2024
5. 津島ら, 日本動物学会第93回早稲田大会 2022, 3H30-1345, 2022.
6. H. Amaike et al., JRM, 35(5), 1290-1299. <https://doi.org/10.20965/jrm.2023.p1290>, 2023.
7. H. Amaike et al., AR, accepted, 2024.
8. 石橋ら, ROBOMECH2023, 1P1-I21, 2023

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fukuhara Akira, Gunji Megu, Masuda Yoichi	4. 巻 36
2. 論文標題 Comparative anatomy of quadruped robots and animals: a review	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 612 ~ 630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2022.2086018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sellers William Irvin, Cross Charlotte Francesca, Fukuhara Akira, Ishiguro Akio, Hirasaki Eishi	4. 巻 10
2. 論文標題 Producing non-steady-state gaits (starting, stopping, and turning) in a biologically realistic quadrupedal simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fevo.2022.954838	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Fukuhara Akira	4. 巻 41
2. 論文標題 Tracing Feline Shoulder toward Adaptive Legged Robots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 247 ~ 252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.41.247	査読の有無 無
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 Amaike Hayato, Fukuhara Akira, Kano Takeshi, Ishiguro Akio	4. 巻 35
2. 論文標題 Decentralized Control Mechanism Underlying Morphology-Dependent Quadruped Turning	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1290 ~ 1299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2023.p1290	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Amaike Hayato, Fukuhara Akira, Kano Takeshi, Ishiguro Akio	4. 巻 nan
2. 論文標題 Decentralized control mechanism for limb steering in quadruped	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Robotics, Accepted	6. 最初と最後の頁 nan
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35件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 津島 知世, 天池 隼斗, 谷中 由妃, 小澤 賢一, 増田 容一, 福原 洸, 郡司 芽久
2. 発表標題 レッサーパンダを対象とした旋回 時の歩容特性解析
3. 学会等名 日本動物学会第93回早稲田大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福原洸, 天池隼斗, 郡司芽久, 増田容一, 多田隈建二郎, 石黒章夫
2. 発表標題 食肉目哺乳類の多義的な前肢に備わる前腕不動化現象の理解に向けて
3. 学会等名 第35回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田龍矢, 宮下和大, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 高橋佑治, 大村一, 多田隈建二郎, 石川将人
2. 発表標題 ウマ後肢の筋腱構造を再現したロボットによるトロット歩容の解析
3. 学会等名 第35回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石橋昇, 増田容一, 福原洸
2. 発表標題 バルブで作るロボットの神経基盤 第五報: バランス戦略と脚口コモーションを両立する無脳よろめき制御
3. 学会等名 第35回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林有恒, 宮下和大, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 高橋佑治, 大村一, 多田隈建二郎(, 石川将人
2. 発表標題 解剖学的ウマ型ロボットのwalk 歩容における筋腱弾性エネルギーの解析
3. 学会等名 第35回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akira Fukuhara
2. 発表標題 Biomimetic robots exploring design principles underlying animal body for field deployable soft robotics
3. 学会等名 Workshop of Field Deployable Soft Robotics: Challenges and Opportunities [W5b] in ROBOSOFT2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoe Maeta, Hayato Amaike, Akira Fukuhara, Takeshi Kano, Akio Ishiguro
2. 発表標題 On the role of the leading limb in quadrupedal turning
3. 学会等名 The 11th international symposium on adaptive motion of animals and machines (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoichi Masuda, Kazuhiro Miyashita, Aritsune Kobayashi, Tatsuya Yoshida, Megu Gunji, Akira Fukuhara, Yuji Takahashi, Ohmura Hajime, Kenjiro Tadakuma, Masato Ishikawa
2. 発表標題 Comprehensive Robot Model Based on Horse Anatomy: Towards Understanding the Passive Dynamics of Limbs
3. 学会等名 The 11th international symposium on adaptive motion of animals and machines (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田龍矢, 宮下和大, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 高橋佑治, 大村一, 多田隈建二郎, 石川将人
2. 発表標題 ウマ後肢の筋・腱構造を再現した解剖学的ロボットモデルにおける ウォーク・トロット歩容の創発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福原洸, 天池隼斗, 郡司芽久, 増田容一, 多田隈建二郎, 石黒章夫
2. 発表標題 食肉目哺乳類の多義的な前肢の筋腱連動メカニズムの検討
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田友絵, 天池隼斗, 福原洸, 加納剛史, 石黒章夫
2. 発表標題 四脚動物のリード脚の挙動に着目した高速旋回メカニズムに関する一考察
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 増田容一, 福原洸, 郡司芽久
2. 発表標題 筋腱構造から創発されるネコ型ロボットの走行運動
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石橋昇, 増田容一, 福原洸
2. 発表標題 押してもコケない無脳よめきロボット
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 増田容一, 郡司芽久, 福原洸
2. 発表標題 工学者のための解剖レシピ: ロボット実験室でできる省スペースの解剖法
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akira Fukuhara
2. 発表標題 Polysemantic body in animal's versatile behaviors guiding flexible robot design
3. 学会等名 IROS 2021 Workshop on New Advances in Soft Robots Modeling and Control (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 洸
2. 発表標題 しなやかな動きと創発システム
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 自律分散システム部会 創発システム勉強会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福原 洸
2. 発表標題 ロボット屋が知らない解剖の世界2：肩の構造と柔軟な身体
3. 学会等名 SICE Tohoku x 多義的メカニクス研究会オンライン講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下和太, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 多田隈建二郎, 石川将人
2. 発表標題 ウマ前肢の筋・腱構造による体重支持機能の創発
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 若本稜生, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 多田隈建二郎, 石川将人
2. 発表標題 マイコンレスで歩行運動を創発するネコ後肢型ロボットの開発
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 天池隼斗, 福原洸, 郡司芽久, 増田容一, 多田隈建二郎, 加納剛史, 石黒章夫
2. 発表標題 旋回実現のための前腕の活用 -遠位部から姿勢を変える-
3. 学会等名 第34回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石橋昇, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 石川将人
2. 発表標題 よるめきを活用した無能二脚バランス制御
3. 学会等名 第34回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮下和太, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 多田隈建二郎, 石川将人
2. 発表標題 ウマ前肢の筋・腱構造による歩行運動の創発
3. 学会等名 第34回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林有恒, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 多田隈建二郎, 石川将人
2. 発表標題 ウマ後肢の筋・腱を模倣した歩行ロボットのロバスト性調査
3. 学会等名 第34回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石浦寛文, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 石川将人
2. 発表標題 神経反射モデルを用いた二脚ロボットのよろめき運動の創発
3. 学会等名 第34回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮下和太, 小林有恒, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 多田隈建二郎, 石川将人
2. 発表標題 四肢の解剖とロボット再現によるウマの歩行メカニズム解明に向けて
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田容一, 郡司芽久, 福原洸
2. 発表標題 柔軟素材の癒着と剥離を活用したソフトロボットの造形法
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石橋昇, 石浦寛文, 増田容一, 郡司芽久, 福原洸, 石川将人
2. 発表標題 蹴ってもコケない無能よろめきロボットの実現に向けて
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 増田容一, 郡司芽久, 福原洸
2. 発表標題 ロボット表面に馴染む平面型マッキベン式人工筋肉の簡単な製造法
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akira Fukuhara
2. 発表標題 Exploring Design Principle Underlying Polysemantic Forelimb of Carnivoran Mammals
3. 学会等名 The 11th international symposium on adaptive motion of animals and machines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福原洸, 天池隼斗, 郡司芽久, 増田容一, 多田隈建二郎, 石黒章夫
2. 発表標題 食肉目哺乳類の多義的な前肢の運動理解にむけた多自由度脚機構の提案
3. 学会等名 第41回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福原洸
2. 発表標題 開かれたシステムの設計論を目指して:生物模倣ロボットから多義的身体へのアプローチ
3. 学会等名 身体性認知科学と実世界応用に関する若手研究会 (第19回ECSRA研究会) (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福原洸, 郡司芽久, 増田容一, 多田隈建二郎, 石黒章夫
2. 発表標題 食肉目哺乳類の多義的な前肢にみられる前腕不動化機構
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 福原洸, 郡司芽久, 増田容一, 多田隈建二郎, 石黒章夫
2. 発表標題 四脚ロボットの肩部ハンモック可変剛性機構
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Akira Fukuhara, Hayato Amaike, Megu Gunji, Yoichi Masuda, Kenjiro Tadakuma, Akio Ishiguro
2. 発表標題 Body-support-dependency of the torsional stiffness in the forearm of Asian black bear ( <i>Ursus thibetanus</i> )
3. 学会等名 International Congress of Vertebrate Morphology ICVM 2022 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Akira Fukuhara, Hayato Amaike, Megu Gunji, Yoichi Masuda, Kenjiro Tadakuma, Akio Ishiguro
2. 発表標題 Quadruped robots toward decoding functionality of carnivorous mammal's anatomical structures; flexible shoulder and polysemantic forearm
3. 学会等名 The 11th international symposium on adaptive motion of animals and machines (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

多義的メカニクス研究会  
<https://polysemanticrobotics.wixsite.com/tagimech>

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	増田 容一  (Masuda Yoichi)  (70849760)	大阪大学・大学院工学研究科・助教   (14401)	
研究分担者	郡司 芽久  (Gunji Megu)  (80833839)	東洋大学・生命科学部・助教   (32663)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 Organized Session: Comprehensive biomimetics - decoding functionality of animal body by collaboration between anatomy and robotics, AMAM2023	開催年 2023年～2023年
--	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
英国	The University of Manchester		