

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02032

研究課題名（和文）筋骨格・骨のイメージベース力学解析の有機的連携構築と骨疾患の治療戦略抽出への展開

研究課題名（英文）Construction of link between musculoskeletal simulation and image-based mechanical analysis for development of treatment strategy of bone disease

研究代表者

田原 大輔 (Tawara, Daisuke)

龍谷大学・先端理工学部・教授

研究者番号：20447907

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,480,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、個別筋骨格解析と骨の有限要素解析（FEA）手法の開発、高速・高精度な骨のCT画像の新規セグメンテーション手法の確立を目的とし、深層学習モデル（U-net）とBoosting手法ベースのTextonboostによる新規のセグメンテーション技術を開発した。また、その有用性を検証するとともに、変形性股関節症患者の歩行中の筋力・関節反力の算出と、それらを荷重条件とした骨のFEAを行った。その結果、筋強度の変化に起因する股関節反力の変化が定量的に示された。また、セグメンテーションの開発手法は既存手法と同等の抽出精度を維持した上で、抽出時間の削減に有用であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

第一に、骨モデルに、患者固有の筋力、股関節反力を与える計算解析の枠組みを構築した。20年変化のない骨の荷重条件のモデル化方法に劇的な変化をもたらした。第二に、骨のイメージベース解析のネックを解消する新規の画像セグメンテーション法を開発した。骨モデルの高精度な構築を大幅な時間的短縮により実現し、今後の複数患者の解析、将来の巨大な患者データ解析への発想の転換を示唆した。第三に、変形性股関節症の経験的な診断・リハビリ方法に対し、力学的根拠のある治療戦略を示す足がかりを示し、高い社会貢献への可能性を示唆した。第四に、多様な計算と検証により、骨の力学的評価手法の高度化に貢献した。

研究成果の概要（英文）：In order to construct a link between musculoskeletal simulation and image-based mechanical analysis (FEA) of bone for development of treatment strategy of bone disease and establish new segmentation techniques for bone images, we developed a new segmentation technique using U-net and Textonboost, which was based on Boosting method, and verified its potency. We also performed subject-specific analysis of osteoarthritic gait, joint reaction forces, muscle forces and stress distribution in the bone around the hip using a workflow that derives forces from musculoskeletal simulation and imposes them on a FEA of bone. Then we found that joint reaction forces changed prominently with changes in individual muscle strength. In addition, we demonstrated that the developed new segmentation technique has the extraction accuracy as same as a traditional segmentation technique and needed less extraction time costs, suggesting potency of the new segmentation technique.

研究分野：生体力学

キーワード：バイオメカニクス 筋骨格シミュレーション 有限要素解析 セグメンテーション 変形性関節症 個別モデリング 歩行解析 歩容異常

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

骨の「イメージベース有限要素法解析 (FEA)」は、X線 CT 画像を基に患者の骨の形状と非均質な材料特性分布を反映した解析ができるが、その荷重条件は、仮定の下に抽象化されている。骨の荷重条件は、患者の身長、体重や動作、骨に付着する筋の力により変化するため、筋力も患者別に決定する「真の患者別解析」手法の確立が必要である。これに対し、筋骨格モデルとモーションキャプチャによる動作計測を基に、逆動力学と最適化手法による筋力・関節反力の推定手法とそのシミュレータ AnyBody Modeling System (AMS) の有用性と妥当性が近年認められつつある。この AMS 技術と骨の応力解析技術との融合により、長年未解決の「筋力を反映した骨の患者別応力解析」の確立に挑戦できるタイミングが来た。

また、CT 画像を用いた骨のイメージベースモデリングでは、画像から関心領域の抽出（セグメンテーション）が必要である。商用システムの関心領域候補の抽出精度は必ずしも高くなく、大幅な手作業を余儀なくされる。これに対し、研究分担者の小野は、進化的機械学習法を基にしたセグメンテーション法の開発を開始しており、エッジ抽出において有用性を示していた。

さらに、変形性股関節症 (HOA) は、診断・治療に筋力を反映した骨の応力解析を必要とする。股関節の形状異常、筋力低下から異常歩行を招く疾患において、重篤度と筋力の関係の解明に基づく効果的なリハビリ方法の提示は、挑戦が期待される。一方、臨床時間内でのすべての患者の解析は非現実的で、解析結果の統計的分析に基づく診断・治療戦略の抽出が期待される。高速・高精度なセグメンテーション技術による患者別解析を現実的な時間内で実施できれば、応力分布に影響を与え得る性差、年齢、身体的特徴、筋力、歩行姿勢・速度等の因子の影響を定量化でき、積極的に鍛えるべき筋の特定や運動方法の提案等の治療戦略を提示できる。

2. 研究の目的

- 1) 筋骨格シミュレーションから得られる各筋力、関節反力を荷重条件として、骨の FEA に適用する計算手法の基盤的枠組みを確立する。
- 2) 骨の CT 画像に対する機械学習 (Boosting 手法) と高次元特徴量 (Texton) を用いたセグメンテーション技術を開発し、高速・高精度な骨のイメージベース FEA が実現できることを明らかにする。
- 3) 1), 2) で確立する手法を OA 患者の歩行に適用し、筋力変化と骨の応力分布の変化の解明を行う。また、歩行改善に重要な因子を特定し、治療戦略を提示する。

3. 研究の方法

[1] 筋骨格シミュレーションと骨の FEA の連携フレームワークの構築と HOA 患者の歩行解析

筋骨格シミュレーションシステムとして AMS、骨のイメージベース有限要素モデリングに Mechanical Finder (MF)、ソルバとして大規模 FEA に対応した FrontISTR を使い、これらを連携するデータコンバータを開発した。これにより、患者の歩行動作のモーションキャプチャデータと骨の X 線 CT 画像を用意できれば、患者特有の歩行動作と骨形状をスケーリング技術、モーフィング技術により AMS の筋骨格シミュレーションに反映することが可能となった。また、AMS の筋骨格モデルから算出された各筋力、股関節反力を骨の有限要素モデル上に荷重ベクトルとして与え、骨内の非均質な材料特性分布を考慮して FrontISTR 上で解くことが可能となった。

次に、HOA 患者を対象とし、歩行動作、床反力を計測した。AMS 上で両腕を除いた全身筋骨格モデルを患者の身長、体重にスケーリングし、MF 上で構築済みの大腿骨形状をモーフィングすることにより、筋骨格モデルを作成した。その上で、逆動力学解析により、歩行 1 周期中の筋力・股関節反力を抽出した。さらに、それらを荷重条件として左右の大腿骨有限要素モデルに付与し、左右の大腿骨間で、歩行中の荷重条件の差異と応力解析結果を比較した。

[2] 骨形状と筋強度を個別化した HOA の筋骨格力学解析

[1] の検討で対象とした HOA 患者の歩行動作に対し、個体別の骨形状と筋強度（筋が発揮可能な最大筋力）の反映の有無により算出される筋力と骨の応力分布の変化を評価した。筋強度は、個々の筋の体積に比例して定義される。筋強度の定義のため、MF 上で CT 画像から筋の形状を抽出して体積と長さを測定した上で、平均の筋断面積を算出した。次に、筋骨格シミュレーションにて得られた筋力・関節反力ベクトルの骨形状上の付与位置に最も近い節点位置を有限要素モデル上で探索し、適用した。

以上をふまえ、標準の筋骨格モデルを個体の身長・体重に合わせてスケーリング後に患者の歩行動作のみを反映させたモデル（モデル A）を基準として、骨形状と筋強度のそれぞれの反映の有無で筋力と骨の応力分布を比較した。ここでは、結果の一例として、モデル A に筋断面積を基に筋強度を反映させたモデル B として示す。

[3] 高精度な適応的イメージセグメンテーション手法の開発とその有用性検証

(3-1) 医用画像セグメンテーション手法

画像セグメンテーション手法は、ピクセルごとの意味理解を深層学習や数理最適化手法など

を用いて実現するが、医用画像の場合、オープンデータセットの入手が難しく、学習データを効率的に作成する手法が必要である。本研究では、式(1)のように、数理最適化手法を用い、学習画像の作成を半自動で行う手法を提案した。式(1)において、 $p_k, p_k(x, y)$ はRGB情報、位置情報をそれぞれ表す。CT画像は、RGB値と骨の概形の M 種類のマーカーのRGB値(c_1, \dots, c_M)から成る。医用画像から領域抽出を行う手法にはU-Netを用い、作成した学習画像を用いた。

$$\begin{aligned}
 & n \leftarrow 1 \quad C_m = \emptyset, m = 1, \dots, M \\
 & \text{while } n \leq N \quad \text{if } p_k \text{ is } c_m \quad \text{Add } p_i = p_i(x, y) \in C_m \\
 & n = n + 1 \\
 & \min. \sum_{i \in C_m} \sum_{j \in C_m} d_{ij} x_{ij}, d_{ij} = |p_i - p_j| \\
 & \text{s.t. } \sum_{j=1}^{|C_m|} x_{ij} = 1 \quad (\forall i \in C_m), \\
 & \sum_{i=1}^{|C_m|} x_{ij} = 1 \quad (\forall j \in C_m), \sum_{i \in S} \sum_{j \in C_m \setminus S} x_{ij} \geq 1 \quad (\forall S \subset C_m, S \neq \emptyset), x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (\forall i, j \in C_m).
 \end{aligned} \tag{1}$$

(3-2) 試験片の作成

開発手法の有用性評価のため、模擬骨 (Sawbones, SAW1324) の第2腰椎を用い、椎体模擬骨の上下面を石膏で補填後、アクリル板にて固定した (図1)。また、椎体試験片側面の方、右側方、左側方の3点に3軸ひずみゲージを付した。

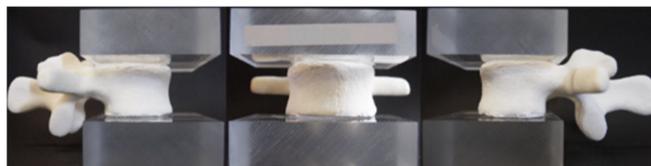


図1 模擬骨椎体試験片

(3-3) 圧縮負荷試験

試験片の静的圧縮負荷試験を行った。試験では、アクリル板上面に100Nまでの圧縮荷重を負荷していき、100Nに達した時点での圧縮主ひずみ値を測定した。同様の試験を5回行った。

(3-4) イメージベース FEA

試験片にひずみゲージを付す前に、臨床用CTにより試験片全体をスライス厚0.63mmで撮影した。次に、撮影から得られたDICOM画像に対し、MF上で外形状抽出を行った。その後、セグメンテーションの開発・既存両手法の外形状モデルに要素長1.26mmで有限要素モデル (図2) を作成し、材料特性を与え、実物の負荷試験と同様の荷重・拘束条件で解析を行った。

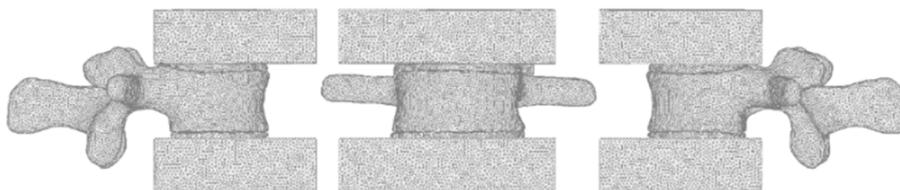


図2 模擬骨椎体試験片の有限要素モデル

4. 研究成果

[1] 筋骨格シミュレーションと骨のFEAの連携フレームワークの構築とHOA患者の歩行解析

AMSから得られた股関節反力の変化を図3に示す。股関節反力の妥当性は、公表されている実験的計測値との比較から確認した。股関節反力は、周期10%と60%付近においてピークを示したが、左右の大腿骨間で差が生じた。次に、FEAの結果の例として、周期10%と60%時の股関節反力、筋力を荷重条件として大腿骨に与えた際の最小主ひずみ分布を図4(a)に示す。図より、右大腿骨のひずみは大きく、足先から体幹までの十分な荷重伝達が行われているのに対し、左大腿骨のひずみは小さく、左右で非対称となった。これは、HOA患者が、患側(左足)への荷重作用を回避するように、歩行中の体重分散を行っていることを示唆している。さらに、左右間で差が大きい荷重条件を可視化して図4(b)に示す。左右で差が大きな荷重は、股関節と膝の反力に次ぎ、内閉鎖筋、大内転筋、中殿筋の筋力であった。中殿筋は、治療でも重要な筋として認識されているが、本フレームワークにより、疾患の重篤度の把握や疾患改善に重要な筋を新たに示すことができると考えられる。本フレームワークの対象を同一患者の術後に対しても拡張することで、疾患改善の予測、適切な治療戦略の抽出につながると考えられる。

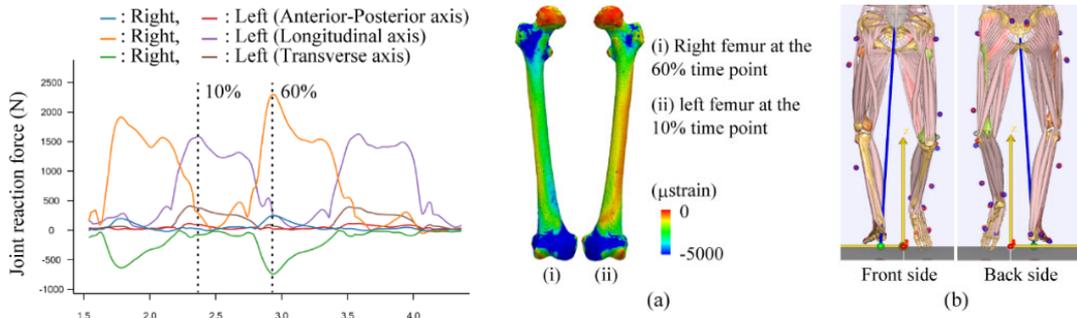


図3 一歩行周期の股関節反力の変化

図4 圧縮主ひずみ分布(a)と左右の大腿骨間で筋力の差が大きい筋 (b)

[2] 骨形状と筋強度を個別化した HOA の筋骨格力学解析

(2-1) 股関節反力の比較

モデル A, B の歩行一周期中における股関節反力の変化を図 5 に示す。一周期の股関節反力の変化は、全体的に健側（右側）に比べ、患側（左側）の筋力が低い。モデル B が実際の患者の状態により近いと考えると、モデル A の股関節反力が低いことは、標準モデルの身長・体重のスケーリングのみでは、特に疾患の進行した患者の股関節反力を過小評価する可能性があることを示唆している。また、筋強度の考慮により筋力が変化したことは、筋強度の考慮が患者の疾患の重篤度の反映に重要であることを意味している。

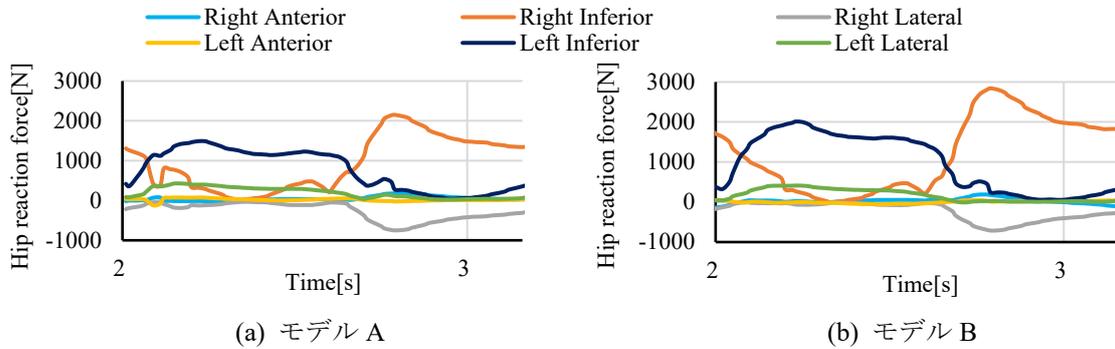
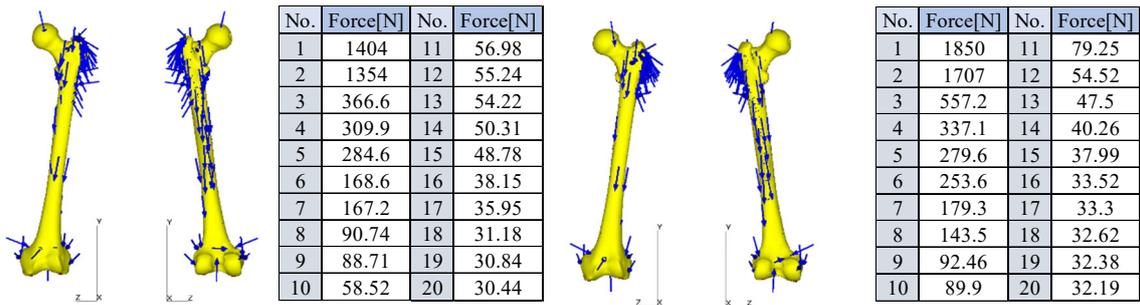


図5 股関節反力の比較

(2-2) モデル A, B の荷重分布と応力分布の比較

モデル A, B の左脚が床に触れる瞬間における左足大腿骨の荷重の付与点とその筋の名称、荷重ベクトル、応力分布の比較を図 6, 7 にそれぞれ示す。図 6 より、両モデル間で荷重の大きさの差が見られる。モデル B の筋力が大きいことは、疼痛緩和のために必要以上の筋力が使われている結果と捉えることができる。図 7 より、モデル B の大転子、外側上顆線分の主ひずみが大きい。これは、筋断面積の反映により、荷重値が上昇したことで、主ひずみが全体的に上昇したためと考えられる。歩行中における疾患側の大腿骨の応力分布の評価ができたことから、本計算手法は、骨の応力分布を指標にした症状の改善経過の把握などに有用であると考えられる。

(1) Hip reaction	(2) Knee reaction	(3) Gastrocnemius lateral	(4) Knee reaction	(5) Gastrocnemius lateral
(6) Gastrocnemius medialis	(7) Gastrocnemius medialis	(8) Vastus lateralis superior	(9) Vastus lateralis superior	(10) Vastus medius posterior
(11) Vastus medius posterior	(12) Vastus minimus anterior	(13) Vastus medius posterior	(14) Vastus medius posterior	(15) Vastus medius posterior
(16) Vastus medius posterior	(17) Gluteus minimus	(18) Vastus medius anterior	(19) Vastus medius anterior	(20) Vastus medius anterior



(a) モデル A

(b) モデル B

図6 モデル A と B の荷重条件となる筋とその筋力

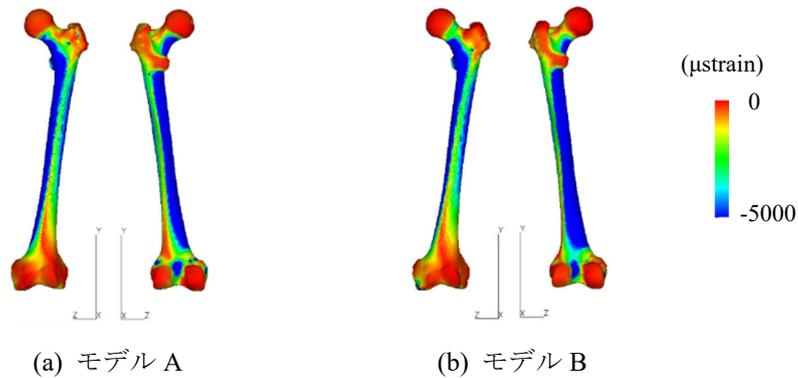


図7 モデル A と B の圧縮主ひずみ分布

[3] 高精度な適応的イメージセグメンテーション手法の開発とその有用性検証

セグメンテーションの開発・既存手法を用いたモデルの FEA の圧縮主ひずみの分布と各測定点におけるそのひずみ値の比較を図 8, 9 にそれぞれ示す. 図 9 の圧縮試験の結果は, 5 回の試験の平均を示しており, 試験の再現性が高いことが確認できる. 図 8 より, 開発・既存両手法の圧縮主ひずみの分布は, 椎体前方で一部異なるが, 側面全体として類似した分布となった. 図 9 より, 圧縮主ひずみについて FEA と圧縮試験の結果を比較すると, 測定点 C では FEA と圧縮試験で近いひずみ値を得た. しかし, 測定点 A では FEA のひずみ値が圧縮試験より大きくなり, 測定点 B では小さな値となった.

また, 外形状の抽出時間に関し, 解析システムの自動セグメンテーションに手動修正を加える既存手法では, 約 20 時間を要した. 一方, 数理最適化手法を用いて深層学習する開発手法では, 抽出目的の骨形状のみ DICOM 画像に残すため, 抽出を手動修正する時間は不要であった.

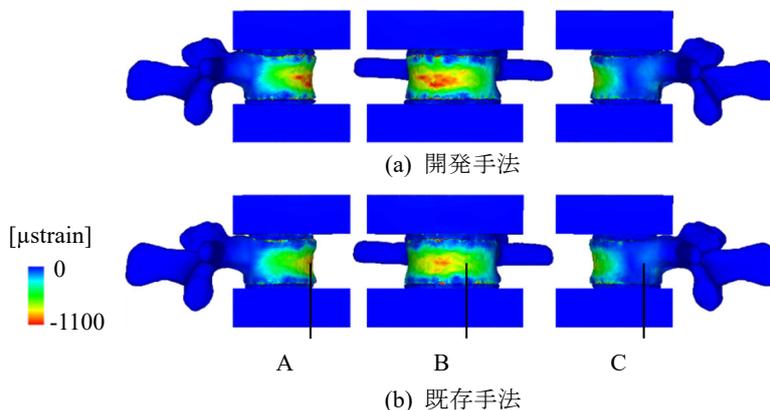


図8 FEA によるモデルの圧縮主ひずみ分布 (a: 開発手法, b: 既存手法)

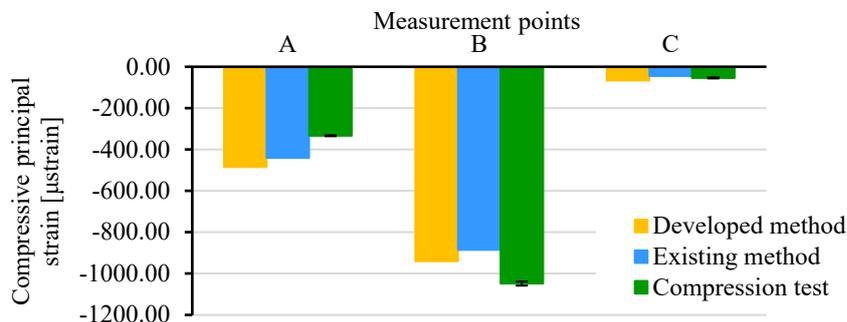


図9 椎体模擬骨試験片の FEA と圧縮負荷試験による測定点圧縮主ひずみ値の比較

開発手法を用いたモデルは, 既存手法を用いたモデルと類似した圧縮主ひずみを示したことから, 既存手法を用いた解析と同等の抽出精度を維持した上で, セグメンテーションの手動操作に要する時間の削減に有用であると考えられる. 現状の FEA と圧縮試験の圧縮主ひずみ値における測定点により見られたばらつきについては, 外形状のセグメンテーション精度と有限要素モデル作成時の要素長が考えられる. 今後の課題として, CT スライス厚に合わせた要素長の有限要素モデルを基に, 局所的な外形状の評価と学習画像の抽出精度向上の検討が必要である. モデル化する骨の外形状を詳細にすることで, 実挙動と同様の結果を FEA 上でさらに精度良く再現できると考えられる.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 田原大輔、崔賢民、佐伯拓也、池裕之、稲葉裕	4. 巻 42
2. 論文標題 個体別骨形状・筋強度を反映した変形性股関節症患者における歩行の筋骨格シミュレーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 199 ~ 205
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 -
1. 著者名 山川 蒼平、古我知 亮弥、小野 景子、榎原 絵里奈、矢口 瑛貴、田原 大輔	4. 巻 62
2. 論文標題 医用画像セグメンテーションのための画像水増し法の検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 同志社大学ハリス理化学研究報告 = The Harris science review of Doshisha University	6. 最初と最後の頁 213 ~ 218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14988/00028678	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 Keiko Ono, Erina Makihara, Yuya Maeda and Yuka Kawai	4. 巻 -
2. 論文標題 Adaptive Mutation based on Estimated Variance in Population in DE with an individual-dependent mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE 2020	6. 最初と最後の頁 852-857
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 -
1. 著者名 Ono Keiko, Hanada Yoshiko, Doshisha University 1-3 Tatara Miyakodani, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan, Kansai University 3-3-35 Yamate-cho, Suita, Osaka 564-8680, Japan	4. 巻 25
2. 論文標題 Self-Organized Subpopulation Based on Multiple Features in Genetic Programming on GPU	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 177 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jaciii.2021.p0177	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 Tawara Daisuke, Nagura Ken	4. 巻 11
2. 論文標題 Prediction of Bone Quality of Remodeling Trabeculae Using Multi-Scale Stress Analyses with a Homogenization Technique Reflecting Material Anisotropy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Mechanics	6. 最初と最後の頁 1950055 ~ 1950055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1758825119500558	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 Ono Keiko, Tawara Daisuke, Hanada Yoshiko	4. 巻 1
2. 論文標題 Textonboost based on differential evolution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO2019)	6. 最初と最後の頁 322-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3319619.3321896	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 Nishikawa Akari, Ono Keiko, Miki Mitsunori	4. 巻 132
2. 論文標題 User-friendly Interior Design Recommendation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SA '19 Posters: SIGGRAPH Asia 2019 Posters	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3355056.3364562	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 5件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 田原大輔、崔賢民、佐伯拓也、池裕之、稲葉裕
2. 発表標題 筋骨格シミュレーション・CT-FEM連携から初めて見える運動動作中の骨の個体別力学挙動
3. 学会等名 第47回日本骨折治療学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原大輔、崔賢民、佐伯拓也、池裕之、稲葉裕
2. 発表標題 DX時代の高精度個別診断・治療戦略決定を見据えた筋骨格シミュレーション・骨有限要素解析の統合解析)
3. 学会等名 第48回日本臨床バイオメカニクス学会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 薬師神翔馬、田原大輔、小野景子、山川蒼平
2. 発表標題 高精度な医用画像セグメンテーション手法を用いた骨のイメージベース有限要素解析の精度評価
3. 学会等名 日本機械学会第32回バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井なの葉、田原大輔、崔賢民、佐伯拓也、池裕之、稲葉裕
2. 発表標題 骨形状と筋強度を反映した個別別筋骨格モデルによる変形性股関節症歩行の筋力推定
3. 学会等名 日本機械学会第32回バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷祐貴、山川蒼平、槇原絵里奈、小野景子
2. 発表標題 自己組織化マップを用いたセマンティックセグメンテーションにおける差分進化を用いた特徴量の重み推定
3. 学会等名 第21回進化計算学会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 薬師神翔馬、田原大輔、小野景子、山川蒼平
2. 発表標題 高精度セグメンテーション手法を用いた骨のイメージベース有限要素解析の精度検証
3. 学会等名 MECHANICAL FINDERユーザー研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原大輔
2. 発表標題 筋骨格モデリングの応用(3)
3. 学会等名 2021年度日本機械学会講習会 筋骨格モデルによるバイオメカニクス解析入門
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中山知美, 佐藤華和子, 小野景子
2. 発表標題 擬似窓の映像と音の連動による快適性の検証
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大正歩夢, 久留壺沙美, 小野景子
2. 発表標題 類似家具画像抽出のための家具領域を考慮したResNet
3. 学会等名 情報処理学会第83回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 矢口瑛貴, 久留亜沙美, 横原絵里奈, 小野景子
2. 発表標題 BoVWを用いた室内における空間特徴量抽出法の提案
3. 学会等名 第48回知能システムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山川蒼平, 川合由夏, 横原絵里奈, 小野景子
2. 発表標題 セマンティックセグメンテーションのための差分進化を用いた画像フィルタの重み推定
3. 学会等名 第48回知能システムシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原大輔, 崔賢民, 佐伯拓也, 池裕之, 稲葉裕
2. 発表標題 個体別骨形状・筋強度を反映した筋骨格シミュレーションによる変形性股関節症患者の歩行動作解析
3. 学会等名 第47回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田原大輔
2. 発表標題 筋骨格モデリングの応用
3. 学会等名 日本機械学会講習会 筋骨格モデルによるバイオメカニクス解析入門
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 D. Tawara, J. Rasmussen, M.S. Andersen, Y. Inaba
2. 発表標題 Assessment of Osteoarthritic Gait Using Subject-Specific Musculoskeletal Simulation and Finite Element Analysis
3. 学会等名 25th Congress of the European Society of Biomechanics (ESB2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田原大輔, J. Rasmussen, M. S. Andersen, 稲葉裕
2. 発表標題 変形性股関節症歩行の患者別筋骨格シミュレーションと骨の有限要素解析のフレームワーク構築
3. 学会等名 日本機械学会第30回バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田原大輔, J. Rasmussen, M. S. Andersen, 稲葉裕
2. 発表標題 患者別筋骨格シミュレーション - 骨のFEM解析のフレームワーク構築と変形性股関節症の歩行解析への展開
3. 学会等名 AnyBodyフォーラム東京2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 箕浦悠人, 小野景子
2. 発表標題 画像のテクスチャ分類のための解の多様性を考慮した遺伝的プログラミング
3. 学会等名 2019年度情報処理学会関西支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本祐基, 小野景子
2. 発表標題 陰関数による形状推定に基づいた対応点探索
3. 学会等名 2019年度情報処理学会関西支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古賀大貴, 小野景子, 大西圭
2. 発表標題 動的グラフ上のランダムウォークに基づくモデルベース遺伝的プログラミングの提案
3. 学会等名 進化計算シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川畑忠宏, 小野景子
2. 発表標題 優良部分ルールを保存する文法進化
3. 学会等名 進化計算シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松尾健汰, 古川雄大, 小野景子
2. 発表標題 個体分布に基づく突然変異型差分進化法
3. 学会等名 進化計算シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田原大輔, 稲葉裕
2. 発表標題 変形性股関節症の個別別診断・治療を目指す筋骨格シミュレーション - 骨FEAの統合計算フレームワーク
3. 学会等名 日本機械学会第34回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 D. Tawara, H. Choe, T. Saeki, H. Ike, Y. Inaba T
2. 発表標題 Subject-specific musculoskeletal simulation of gait in patients with hip osteoarthritis reflecting bone shape and muscle strength
3. 学会等名 The 9th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sohei Yamakawa, Keiko Ono, Erina Makihara, Daisuke Tawara, Shoma Yakushiji, Naoya Ikushima
2. 発表標題 Textonmap Optimization for Spine Segmentation using Adaptive Differential Evolution", GECCO 2022 - The Genetic and Evolutionary Computation Conference
3. 学会等名 GECCO 2022 - The Genetic and Evolutionary Computation Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲葉裕, 東藤貢, 田原大輔
2. 発表標題 骨粗鬆症治療のバイオメカニクス
3. 学会等名 第49回日本臨床バイオメカニクス学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原大輔, 崔賢民, 佐伯拓也, 池裕之, 稲葉裕
2. 発表標題 変形性股関節症の筋骨格モデルによる歩容動作の力学解析 - 患者別の骨形状・筋強度が筋力推定に与える影響 -
3. 学会等名 第49回日本臨床バイオメカニクス学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酒井なの葉, 田原大輔, 崔賢民, 佐伯拓也, 池裕之, 稲葉裕
2. 発表標題 骨形状と筋強度を個別化した変形性股関節症の筋骨格力学解析
3. 学会等名 日本機械学会第33回バイオフロンティア講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	小野 景子 (Ono Keiko) (80550235)	同志社大学・理工学部・准教授 (34310)	
研究分担者	稲葉 裕 (Inaba Yutaka) (40336574)	横浜市立大学・医学研究科・教授 (22701)	

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0件

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
---------	---------