

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K21941

研究課題名（和文）身体装着型ロボティック・モニタリング装置による運動時の筋骨格・臓器系の動力学解析

研究課題名（英文）Dynamics analysis of musculoskeletal and organ systems during exercise by body-mounted robotic monitoring device

研究代表者

小泉 憲裕 (Koizumi, Norihiro)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：10396765

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：呼吸等によって、互いに相互作用しながら変形をともなって運動する体内臓器の抽出・追従・モニタリング技術、体外および体内モーションキャプチャの情報を連携・統合する技術、臓器が呼吸に応じて変位・変形・回転する場合や肋骨などの遮蔽により、体内で運動する臓器が超音波画像上で一部欠損した場合にも、時系列超音波動画像を合成することで、臓器の動態をモニタリングすることが可能なアルゴリズム技術および上記遮蔽のロボティックな回避動作による診断画像適正化アルゴリズム技術、獲得した画像の適正度をプローブの接触状態や臓器の輪郭から評価するアルゴリズム技術の開発において顕著な成果があった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、これまで不可能であった人体の筋骨格系および体内臓器系の統一・統合的な動力学的解析・理解を可能とする、全く新しいロボット運動学の分野を開拓することが可能となり、人体の鏡像としてのロボットの基盤になりうるものと期待している。

研究成果の概要（英文）：Extracting / tracking and following / monitoring technology for internal organs that move with deformation while interacting with each other by breathing, technology for linking / integrating information from external and internal motion capture, organs are displaced / deformed / rotated according to breathing It is possible to monitor the dynamics of organs by synthesizing time-series ultrasound images even if the organs that move in the body are partially deleted on the ultrasound image due to the case of swelling or shielding such as ribs. There have been remarkable achievements in the development of the algorithm technology, the diagnostic image optimization algorithm technology by the above-mentioned robotic avoidance operation of shielding, and the algorithm technology for evaluating the appropriateness of the acquired image from the contact state of the probe and the contour of the organ.

研究分野：医療ロボティクス

キーワード：医療技能のデジタル化 医デジ化 Me-DigiIT Medical Digitalization 超音波ロボット Robotic Ultrasound 体内モーションキャプチャ 体外モーションキャプチャ

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人の筋・骨格系の運動については、光学あるいは慣性センサ(加速度・ジャイロセンサ)を用いたモーションキャプチャの技術がすでに商用化、ツールとして提供されており、これに基づく運動中の筋・骨格系の動力学的理解・解析が可能になりつつある。しかしながらその際に、呼吸および拍動等によって、互いに相互作用しながら変形をともなって運動する体内臓器の挙動(変位・変形・回転をともなう運動)をも観察可能とする動力学的解析手法とその理解についての研究は我々の知る限りまだ存在しない。

2. 研究の目的

上記を踏まえて本研究では従来型の人体の筋骨格系のモーションキャプチャに加えて、超音波技術および人工知能・IoT・ロボット技術の融合により、把持・歩行運動中の体内臓器系の挙動をも体表を傷つけることなく非侵襲的に観察する、言わば『体内臓器系のモーションキャプチャ・システム』の構築法を確立することを目的とする。

これにより、これまででは不可能であった人体の筋骨格系および体内臓器系の統合的な動力学的解析・理解を可能とする、全く新しいロボット運動学の分野を開拓することが可能となり、人体の鏡像としてのロボット学の基盤になりうるものと期待している。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、以下の技術開発を順次開発する。

- (1) 体内臓器系のモーションキャプチャ基盤技術
- (2) 体外および体内モーションキャプチャの統合基盤技術
- (3) 肋骨による遮蔽により、一部欠損した運動臓器のモニタリング技術
- (4) 獲得した画像の適正度を評価する技術
- (5) ロボティックに肋骨による遮蔽の影響を最小化するアルゴリズム技術

(1)については、腹部臓器を対象に体内臓器系のモーションキャプチャに関する基盤技術を開発する。

(2)については、体外および体内モーションキャプチャの情報を連携・統合する技術を開発する。具体的に、以下の2つのシステムを連携・統合する:(システム1)体表上を走査する超音波プローブの運動軌道(位置・姿勢)および体表との接触状態を同定する体外モーションキャプチャ・システム(光学センサおよび超音波プローブ)、(システム2)臓器の運動を抽出・追従・モニタリングする体内モーションキャプチャ・システム(超音波プローブ)。

(3)については、呼吸に応じて変形をともなって運動する体内臓器を観察するうえで、肋骨による遮蔽は大きな課題である。これを踏まえて、画像合成技術を用いて、肋骨による遮蔽により、一部欠損した運動臓器をモニタリングする技術を開発する。

(4)については、獲得した画像が適正であるかどうかを評価するフレームを開発する。具体的に、プローブと体表の接触状態、音響陰影の有無、断面の適正度を臓器の長軸径、短軸径、断面積から評価する技術を開発する。

(5)については、肋骨による遮蔽の影響を最小化することを目的として、臓器と音響陰影の重なり具合を評価し、重なりを最小化するようにプローブをロボティックに動作させる技術を開発する。

4. 研究成果

体内臓器系の挙動を観察する医療・バイオ用ロボットビジョン技術については近年、深層学習をはじめとする機械学習による画像処理の分野で画期的なブレークスルーがあった。これを踏まえてわれわれの研究グループも深層学習を援用した医療・バイオ用ロボットビジョン技術に関する研究に着手、その成果もきわめて順調に積み重ねている。

具体的に、呼吸等によって、互いに相互作用しながら変形をともなって運動する体内臓器(肝臓・腎臓等)の抽出・追従・モニタリング技術(臓器の長軸径、短軸径、断面積の抽出・維持・適正化)、体外および体内モーションキャプチャの情報を連携・統合する技術、臓器が呼吸に応じて変位・変形・回転する場合や肋骨などの遮蔽により、体内で運動する臓器が超音波画像上で一部欠損した場合にも、時系列超音波動画像を合成することで、臓器の動態をモニタリングすることが可能なアルゴリズム技術および上記遮蔽のロボティックな回避動作による診断画像適正化アルゴリズム技術、獲得した画像の適正度をプローブの接触状態や臓器の輪郭から評価するアルゴリズム技術の開発において顕著な成果があった。

特筆すべき成果として泌尿器画像診断・治療技術研究会(JSURT)最優秀演題賞受賞、第25回ロボティクスシンポジウム(RS)学生奨励賞受賞、第93回および94回日本超音波医学会奨励賞受賞(JSUM2020、JSUM2021)、医学および工学分野のトップジャーナル等への掲載(International Journal of Hyperthermia、ROBOMECH Journal、International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery: IJCARS)、医療ロボティクスのトップカンファレンス等への採択(CARS、

CBS)、国際ロボット展(iREX)、Medtec Japan(医療機器の設計・製造に関する展示会)への出展、日経新聞、日刊工業新聞への掲載など、体内臓器の挙動を観察する医療・バイオ用ロボットビジョン技術のパイオニアかつ中核的な存在として国内外からきわめて高い注目を集めてきている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Mariko Kumagawa, Naoki Matsumoto, Katsuhiko Miura, Masahiro Ogawa, Hiromichi Takahashi, Yoshihiro Hatta, Ryosuke Kondo, Norihiro Koizumi, Masami Takei, Mitsuhiko Moriyama	4. 巻 2021
2. 論文標題 Correlation between alterations in blood flow of malignant lymphomas after induction chemotherapies and clinical outcomes: a pilot study utilising contrast-enhanced ultrasonography for early interim evaluation of lymphoma treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Clinical Radiology	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.crad.2021.02.007	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 Feiqian Wang, Kazushi Numata, Makoto Chuma, Hiromi Nihonmatsu, Satoshi Moriya, Akito Nozaki, Katsuaki Ogushi, Hiroyuki Fukuda, Masahiro Okada, Litao Ruan, Wen Luo, Norihiro Koizumi, Masayuki Nakano, Masako Otani, Yoshiaki Inayama, Shin Maeda	4. 巻 2021
2. 論文標題 The value of hepatobiliary phase in EOB-MRI in predicting hypervascularization outcome of non-hypervascular hypointense lesions in high-risk patients for hepatocellular carcinoma	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Abdom Radiology	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00261-020-02881-0	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 Shiho Yagasaki, Norihiro Koizumi, Yu Nishiyama, Ryosuke Kondo, Tsubasa Imaizumi, Naoki Matsumoto, Masahiro Ogawa, Kazushi Numata	4. 巻 5
2. 論文標題 Estimating 3-dimensional liver motion using deep learning and 2-dimensional ultrasound images	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery	6. 最初と最後の頁 1989-1995
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11548-020-02265-1	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 五十嵐 立樹, 富田 恭平, 西山 悠, 小泉 憲裕	4. 巻 56
2. 論文標題 CNNを用いた高速な超音波画像上の臓器検出手法の比較・検証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 560-569
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/sicetr.56.560	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 Riki Igarashi, Norihiro Koizumi, Yu Nishiyama, Kyohei Tomita, Yuka Shigenari, Sunao Shoji	4. 巻 7
2. 論文標題 Sagittal alignment in an MR-TRUS fusion biopsy using only the prostate contour in the axial image	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-020-0155-9	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 Katsuyuki Sanga, Kazushi Numata, Hiromi Nihonmatsu, Katsuaki Ogushi, Hiroyuki Fukuda, Makoto Chuma, Hiroshi Hashimoto, Norihiro Koizumi, Shin Maeda	4. 巻 37
2. 論文標題 Use of intra-procedural fusion imaging combining contrast-enhanced ultrasound using a perflubutane-based contrast agent and auto sweep three-dimensional ultrasound for guiding radiofrequency ablation and evaluating its efficacy in patients with hepatocellular carcinomaInternational	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hyperthermia (IJH)	6. 最初と最後の頁 202-211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02656736.2020.1729422	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 小泉憲裕, 西山 悠, 江浦史生, 今泉飛翔, 大塚研秀, 佐々木雄大, 重成佑香, 五十嵐立樹, 草原健太, 小林賢人, 月原弘之, 松本直樹, 小川真広	4. 巻 85
2. 論文標題 医デジ化の手法・効果と社会的インパクト	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 749-752
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.85.749	査読の有無 無
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 Sunao Shoji, Yuka Shigenari, Izumi Hanada, Tatsuya Otaki, Takahiro Ogawa, Masayoshi Kawakami, Hakushi Kim, Masanori Hasegawa, Yoshiaki Kawamura, Norihiro Koizumi, Akira Miyajima	4. 巻 203
2. 論文標題 Usefulness of computer-aided diagnosis system in evaluating severity of benign prostatic hyperplasia, using a super-ellipse model to characterize changes in prostate contours	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Urology	6. 最初と最後の頁 e605-e606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/JU.0000000000000891.07	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 Yudai Sasaki, Fumio Eura, Kento Kobayashi, Ryosuke Kondo, Kyohei Tomita, Yu Nishiyama, Hiroyuki Tsukihara, Naoki Matsumoto, and Norihiro Koizumi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Automatic Diagnosis by Compact Portable Ultrasound Robot : State Estimation of Internal Organs with Steady-State Kalman Filter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 2019 IEEE Healthcare Innovations and Point of Care Technologies Conference (HI-POCT)	6. 最初と最後の頁 29-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/HI-POCT45284.2019.8962758	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 -

[学会発表] 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 S. Yagasaki, N. Koizumi, Y. Nishiyama, R. Kondo, T. Imaizumi, N. Matsumoto, M. Ogawa, K. Numata
2. 発表標題 Estimating 3-dimensional liver motion using deep learning and 2-dimensional ultrasound images
3. 学会等名 34th International Congress and Exhibition on computer assisted radiology and surgery (CARS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kobayashi, N. Koizumi, Y. Sasaki, T. Kobayashi, Y. Watanabe, J. Zhou, A. Otsuka, Y. Nishiyama, H. Tsukihara, N. Matsumoto, H. Miyazaki, K. Numata, H. Nagaoka, T. Iwai, H. Iijima
2. 発表標題 Contact state adjustment method to enhance organ motion compensation performance for a bed-type ultrasound diagnostic and therapeutic robot
3. 学会等名 34th International Congress and Exhibition on computer assisted radiology and surgery (CARS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Kusahara, N. Koizumi, Y. Nishiyama, T. Imaizumi, R. Saito, S. Yagasaki, N. Matsumoto, M. Ogawa
2. 発表標題 Classification of hepatic hemangiomas and blood vessels from ultrasonography by deep learning
3. 学会等名 34th International Congress and Exhibition on computer assisted radiology and surgery (CARS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jiayi Zhou, Kento Kobayashi, Yusuke Watanabe, Takumi Fujibayashi, Momoko Matsuyama, Miyu Yamada, Hiroyuki Tsukihara, Yu Nishiyama, Norihiro Koizumi
2. 発表標題 Development of Ultrasound Robot for Automatic Acquisition of Ultrasound Images
3. 学会等名 16th Annual Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Watanabe, Norihiro Koizumi, Yudai Sasaki, Kento Kobayashi, Takahiro Kobayashi, Zhou Jiayi, Yu Nishiyama, Hiroyuki Tsukihara, Kazushi Numata, Hideyuki Iijima, Toshiyuki Iwai, Hidetoshi Nagaoka
2. 発表標題 Study on automatic acquisition of diagnostic images by ultrasound diagnostic robot
3. 学会等名 16th Annual Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryosuke Saito, Norihiro Koizumi, Yu Nishiyama, Tsubasa Imaizumi, Kenta Kusahara, Shiho Yagasaki, Masahiro Ogawa, Naoki Matsumoto, Development of Ultrasound Robot for Automatic Acquisition of Ultrasound Images
2. 発表標題 Development of Ultrasound Robot for Automatic Acquisition of Ultrasound Images
3. 学会等名 16th Annual Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kento Kobayashi, Yusuke Watanabe, Jiayi Zhou, Takumi Fujibayashi, Momoko Matsuyama, Miyu Yamada, Hiroyuki Tsukihara, Hideyuki Iijima, Norihiro Koizumi
2. 発表標題 A contact state adjustment method to enhance organ motion compensation performance for a bed-type ultrasound diagnostic and therapeutic robot
3. 学会等名 16th Annual Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Tsubasa Imaizumi, Ryosuke Kondo, Kenta Kusahara, Yu Nishiyama, Hiroyuki Tsukihara, Naoki Matsumoto, Kazushi Numata, Norihiro Koizumi
2 . 発表標題 Deep Learning Based 3-Dimensional Liver Motion Estimation Using 2-Dimensional Ultrasound Images
3 . 学会等名 2019 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Riki Igarashi, Kyohei Tomita, Yu Nishiyama, Yuka Shigenari, Norihiro Koizumi
2 . 発表標題 Lesion Tracking Method Using CNN in Non-Invasive Ultrasound Diagnostic Treatment Integrated System
3 . 学会等名 2019 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kento Kobayashi, Yudai Sasaki, Fumio Eura, Ryosuke Kondo, Kyohei Tomita, Takahiro Kobayashi, Yusuke Watanabe, Akihide Otsuka, Hiroyuki Tsukihara, Naoki Matsumoto, Kazushi Numata, Hidetoshi Nagaoka, Toshiyuki Iwai, Hideyuki Iijima, Yu Nishiyama, Norihiro Koizumi
2 . 発表標題 Development of Bed-Type Ultrasound Diagnosis and Therapeutic Robot
3 . 学会等名 2019 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Riki Igarashi, Norihiro Koizumi, Yu Nishiyama, Kyohei Tomita, Yuka Shigenari, Sunao Shoji
2 . 発表標題 Matching axial images of magnetic resonance imaging and transrectal ultrasound based on deep learning
3 . 学会等名 33rd International Congress and Exhibition on computer assisted radiology and surgery (CARS 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Imaizumi, Norihiro Koizumi, Yu Nishiyama, Naoki Matsumoto, Masahiro Ogawa
2. 発表標題 Segmentation of liver parenchyma in ultrasound images for automatic diagnosis of liver cirrhosis
3. 学会等名 33rd International Congress and Exhibition on computer assisted radiology and surgery (CARS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 超音波治療診断方法、プログラムおよび患部追従評価方法	発明者 小泉憲裕, 大塚研秀, 西山 悠, 月原弘之, ほか3名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-069893	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>小泉 憲裕の研究ブログ http://blog2009nkoizumi.japanprize.jp/ 電気通信大学 小泉憲裕研究室 http://www.medigit.mi.uec.ac.jp/ 電気通信大学 小泉憲裕研究室 http://www.medigit.mi.uec.ac.jp 小泉憲裕の研究ブログ http://blog2009nkoizumi.japanprize.jp</p>
--

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	岡田 英孝 (Okada Hidetaka) (20303018)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授 (12612)	
研究分担者	東郷 俊太 (Togo Syunta) (30751523)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・准教授 (12612)	

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