

1 受託研究進捗状況

モーションパラメータ臨床技術開発

中村 豪 福井克也 大森清博
安藤 悠 福元正伸 本田雄一郎 相良二郎 陳 隆明

1 はじめに

本研究では、様々な計測技術やAI技術を活用し、モーション、視線、筋電信号、音声などの様々な生体信号に基づく機器やデジタル空間でのシミュレーションに基づいたアプリケーションや支援機器などの開発を行っている（図1）。例えば筋を収縮した際に計測される筋電信号によって制御される筋電義手の開発¹⁾やVirtual Reality（以下、VR）技術を活用したトレーニング装置²⁾など様々な機器を開発してきている。そして、平成30年からは、身体機能が低下した高齢者（以下、フレイル）対策や介護支援のための技術・機器開発に力を注いでいる。

本研究ではこれまでの3年間に、臨床・介護現場との密な連携を通して培ったノウハウを活かし、臨床・介護現場において簡単かつ短時間に莫大なデータを収集するための数々の計測システムを実現した。そして、研究所に隣接する中央病院や、通所リハビリ施設、行政の健康教室などのフィールドを活かし、ビッグデータを構築してきた。本報告では、得られたビッグデータ分析の結果に基づいて高齢者の衰えを早期に発見することが可能な運動能力評価システムBody-KIN[®]（ボディ筋）、嚥下評価システム、認知評価システムなどフレイル対策のための健康評価システムやリハビリのための体操を構築した（2章）。また、様々な体格の人体モデルや支援機器モデルなどをデジタル空間に再現し、機器活用の効果や適切な機器の設定値を推定するための実験やシステム開発を行ってきた（3章）。本研究で開発してきたフレイル対策のための健康評価システムなどは、通所リハビリテーション施設（以下、通所リハ）や兵庫県内の市町が実施している健康教室などで活用されている。これらの成果をさらに広めていくための今後の展望について紹介する（4章）。

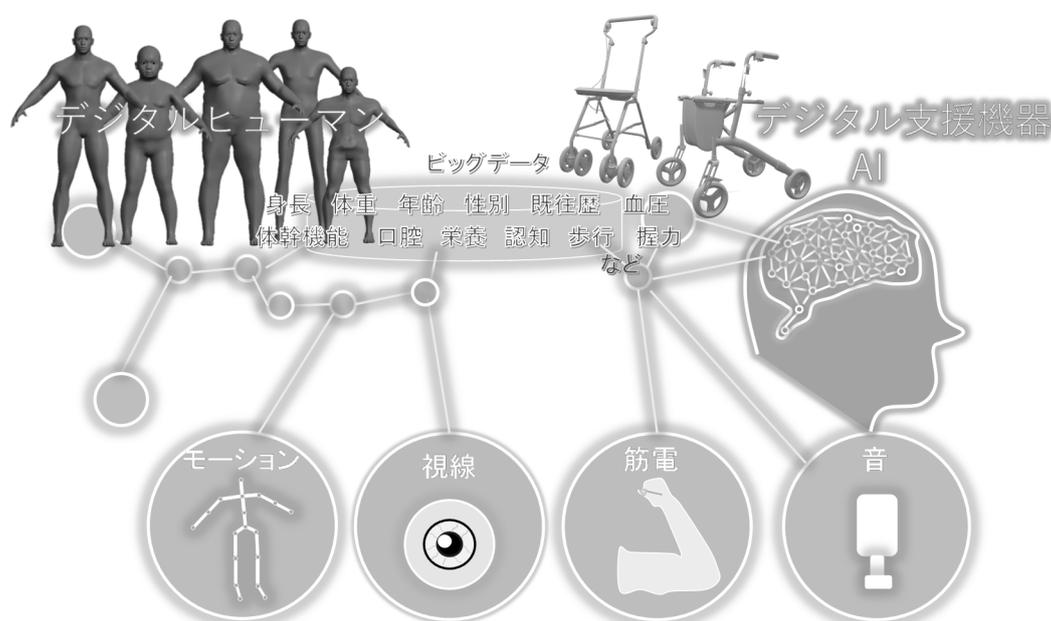


図1 本研究で取り扱っている生体信号とデジタル空間

2 フレイル対策のための健康評価システム（Body-KIN[®]：商標登録第6138421号）

2.1 開発の目的と背景

高齢化が進む国々では、介護を要する高齢者が増加することが予想される。そこで、身体機能が低下した高齢者（フレイル）を早期発見し、適切なタイミングでリハビリ介入を行うことが重要となる。本研究

では、日常生活動作中の運動能力を定量的に評価できるシステム Body-KIN[®]（「運動能力評価システム」：特許第 6535778、「運動器作動力推定システム」：特願 2017-168336）をはじめとして、嚥下能力の評価システム（「嚥下能力評価システム」：特許第 6727595）、認知能力の評価システム³⁾を開発した（図 2）。これらの開発では、特に以下の点を考慮して進めた。

- 1) 簡便操作：計測の場において様々な職種の方が簡単な操作で間違いなく機器操作可能
- 2) 可搬性：対象者の近くの計測可能場所へ訪問して測定可能
- 3) 短時間準備：準備に要する手間・時間が少なく測定可能
- 4) 短時間測定：被験者に負担が少ない簡単な日常生活動作のみで測定可能
- 5) 短時間評価：測定後すぐに評価が完了し、被験者に結果を提示可能

本稿では、フレイル対策のための健康評価システムのうち、特に活用実績が多い運動能力評価システム Body-KIN[®]について主に紹介する。フレイル対策において、評価のみでは不十分であり、評価した後どのような介入（トレーニング）を行うかまで一貫した仕組みが必要である。同システムの測定会においても、評価結果に対してどのような体操やリハビリを行うべきか、といった質問を受けることが多かったため、RoboWELL 体操という新たな体操の構築も行ってきた（2.4 章）。

健康評価（フレイル評価）

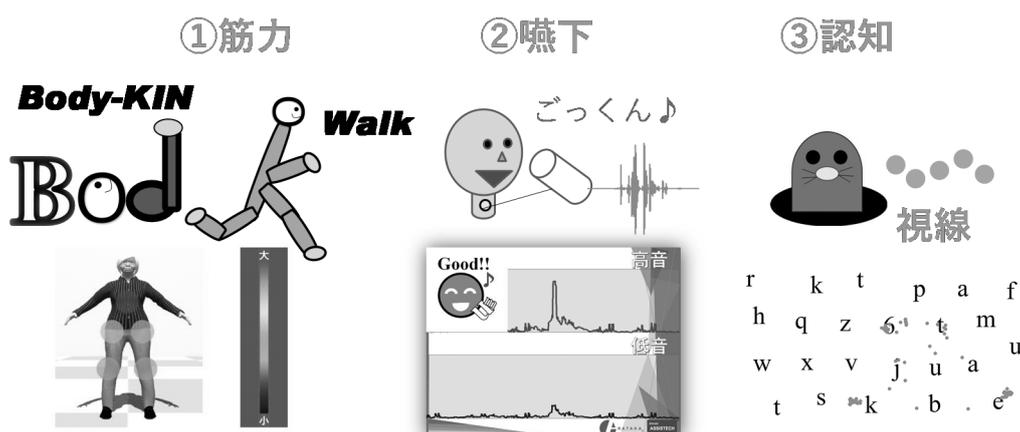


図 2 フレイル予防を目的とした健康評価システム

2.2 運動能力評価システム Body-KIN[®]

Body-KIN[®]の特徴は類似の計測システムと異なり、被験者の身体にセンサを装着したり、光学マーカを貼り付ける必要がない点にある（図 3）。被験者に深度カメラの前で動いてもらうだけで、身体能力を推定し、高齢者の身体能力を簡便に評価できる。本システムに関して特許取得および審査請求中である^{5,6)}。

また Body-KIN[®]の得点と自立生活能力との関係性、リハビリ訓練との関係性などが分かってきており、通所リハ施設や兵庫県内の市町が実施している健康教室や高齢者大学などで活用されている。様々な場所での活用を通して、現段階で 700 名以上の高齢者の動作データが集まっている。これまでに得られたデータから得られた知見などについて紹介する。



図 3 Body-KIN[®]を用いた計測の様子

2.2.1 運動能力の測定と評価方法

Body-KIN[®]の測定では、図3に示すように椅子の前に置かれた深度カメラの前で立ち上がるのみで測定可能である。被験者の立ち上がる動きは、深度カメラによって3次元的に記録される。記録された被験者の各関節の位置姿勢のデータを用いて、物理演算を行い、各関節に生じた力を推定する。推定された各関節の力の値から身体能力の点数を算出する。

Body-KIN[®]では、各関節の力の値から若年者と高齢者の動作パターンの違いを可視化し、効率の良い動作が行えているかを評価することで点数付けする(図4)。高齢者の動作においては、左右差、上半身と下半身の協調性が低下するなど非効率な動作パターンとなり、若年者とパターンが異なってくる。図4のように発揮した力の大きさを色分けして表示することが計測完了直後に可能である。

Body-KIN[®]では、椅子からの立ち上がりに限らず、歩行など日常生活で行う自然な動作で、被験者が普段から行っている慣れた動きで計測評価が行うことが可能であり、変形性膝関節症を患っている方や片麻痺の方などを対象とした歩行分析にも活用でき、歩行のデータベースも構築することができた。

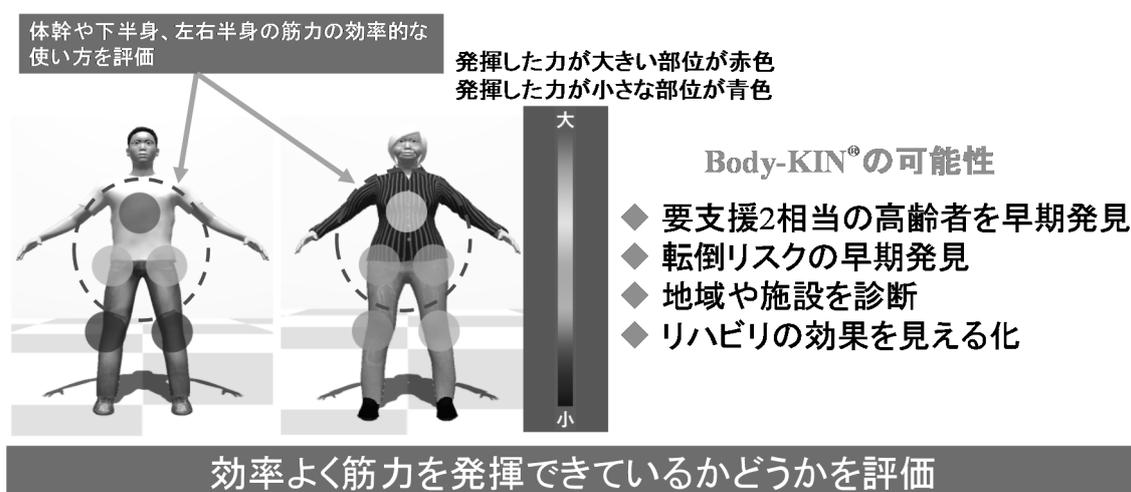


図4 Body-KIN[®]の評価と活用方法

2.3 通所リハ施設、兵庫県モデル市町、高齢者大学などでの測定から得られた知見

2.3.1 高齢者を対象とした Body-KIN[®]の得点と自立生活能力の関係性

高齢者大学や地域の健康教室などに通う支援が不要な高齢者、通所リハ施設に通う要支援1相当の方、要支援2相当の方の3群に分け、Body-KIN[®]の得点が80点以下の点数となる方の比率を算出した。その結果、高齢者大学や地域の健康教室などに通う支援が不要な高齢者においては1~2割、通所リハに通う要支援1相当の高齢者群では3割程度、要支援2相当の高齢者群では5割程度の方が80点以下の点数となることを確認した(表1)。表1に示すように身体能力が異なる高齢者群ごとにBody-KIN[®]の得点が80点以下となる比率についておおそ傾向を確認した。さらに、要支援1、2相当の方のBody-KIN[®]の得点の分布が統計的に分かれることを確認した。また、従来の歩行能力の評価手法であるTimed Up & Go Test(以下、TUG)と組み合わせることで、転倒リスクを予想できる可能性も確認しつつある。

2.3.2 Body-KIN[®]の得点とリハビリの訓練効果の関係性

通所リハ施設において、3か月に1回程度の頻度で継続的にBody-KIN[®]の測定を1年間継続した結果、リハビリ訓練の効果を定量的に可視化できる可能性を確認した。図5(a)は、通所リハ施設に通う高齢者の中で、初回のBody-KIN[®]の測定の得点が80点以下(不合格)であった高齢者8名の1年間の経年変化の結果を示したグラフである。グラフは8名の得点の平均値を示している。初回測定で80点以下(不合格)であった8名中7名の方(改善率88%)が3カ月後に80点より高い得点に達し、その後も低下することな

く維持できる傾向を確認した。図 5 (b) は、初回の Body-KIN®の得点が 80 点より上（合格）であった高齢者 73 名の 1 年間の経年変化の結果を示したグラフである。グラフは 73 名の得点の平均値を示している。初回 80 点より上（合格）であった 73 名中 11 名の方（脱落率 15%）が 80 点以下（不合格）へと移行した。図 5 の結果が示すように Body-KIN®の得点によって、リハビリの効果を確認できる傾向を確認した。さらに、表 2 に示すように、週に 1、2 回の頻度で通所リハに通う高齢者群と、月に 1 回程度地域の健康教室に通う高齢者群を比較すると、前者の方が改善率と脱落率の結果が良い傾向が確認された。以上の結果から、リハビリ介入の頻度や訓練の効果に応じて Body-KIN®の得点が連動する可能性があり、今後、さらに詳細な調査を進めリハビリの効果を見える化を進めていく予定である。

表 1 高齢者による Body-KIN®の得点と自立生活能力との関係性

	支援が不要	要支援 1 (通所リハ通い)	要支援 2 (通所リハ通い)
80 点以下の割合	1～2 割程度	3 割程度	5 割程度

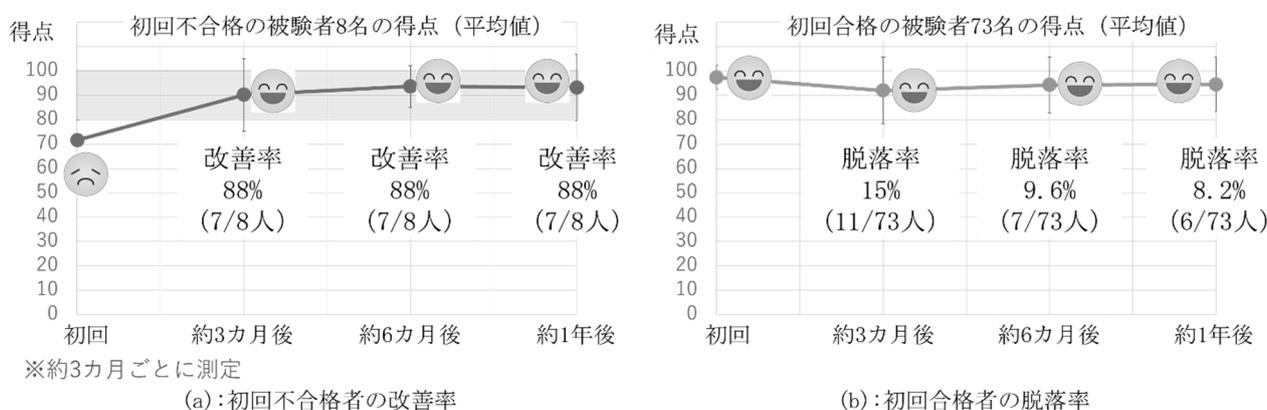


図 5 Body-KIN®によるリハビリ効果の定量化の一例

表 2 リハビリ介入頻度と Body-KIN®の得点の改善率と脱落率の関係性

	通所リハ施設 (週に 1、2 回の介入)	地域の健康教室 (月に 1 回程度の介入)
改善率	9 割程度	8 割程度
脱落率	1 割程度	2 割程度

2.4 体操の効果の定量評価と新たな体操の提案 (RoboWELL 体操)

Body-KIN®によって高齢者の身体能力の低下を発見できるようになり、今後は発見した後にいかにして高齢者の身体能力を向上させるかが重要となってきた。そこで、高齢者の身体能力を確実に向上させるための体操を提案するため、ウェアラブル呼吸代謝計測システム (K5、COSMED 社製) を用いて、体操中の運動強度や酸素摂取量などを測定するとともに、モーションキャプチャによる動作分析などによって定量的な分析を進めてきた。そして、RoboWELL 体操という「準備運動」、「ストレッチ」、「筋力」、「バランス」、「認知」、「上肢」といった項目によって構成される 15 分程度で手軽に行える体操を製作した。今後は、本研究で開発した健康評価システムと RoboWELL 体操をセットで運用しながら、一連のフレイル対策の仕組みを構築していく予定である。

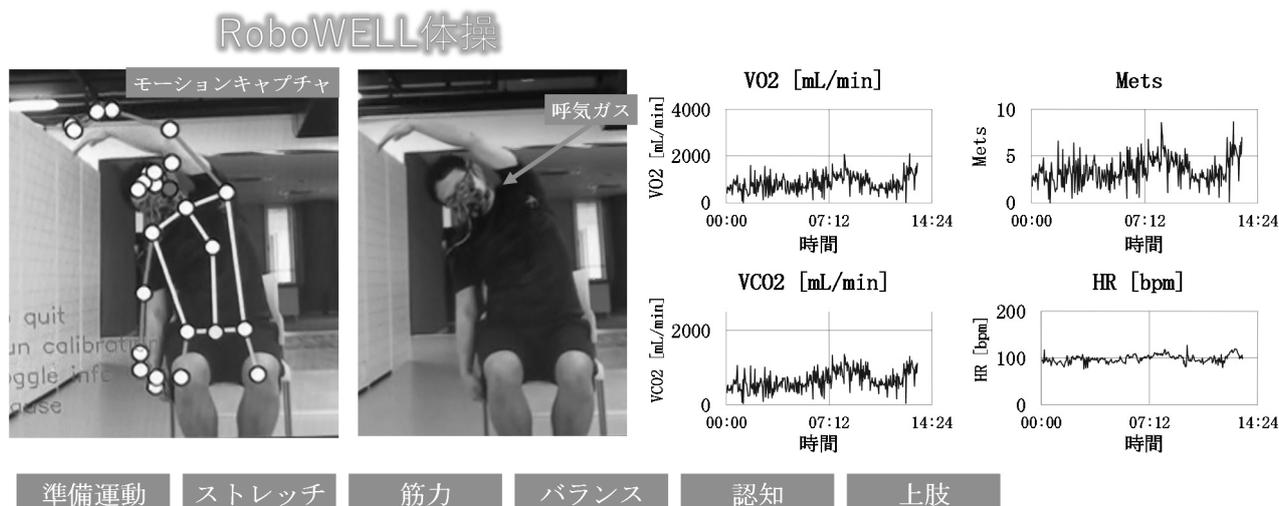


図6 RoboWELL体操と呼気ガス測定やモーションキャプチャを用いた定量評価の様子

3 支援機器・用具の有効活用と普及促進を目的としたデジタル空間とデータベース

3.1 開発の目的と背景

近年、ロボット技術を活用した支援機器などの開発が積極的に行われてきている。しかしながら、ロボット技術を用いた支援機器において、利用者に合わせた機器の適合方法（適切なアシスト量など）や導入効果についての知見やマニュアルの構築が遅れており、機器の普及に至っていない。そこで、支援機器・用具のアシスト量などの個人に合わせた適合方法や、その導入効果について調査を進めた。

3.2 デジタルヒューマンモデルとデジタル支援機器モデルの構築と支援機器・用具の設定方法と効果検証

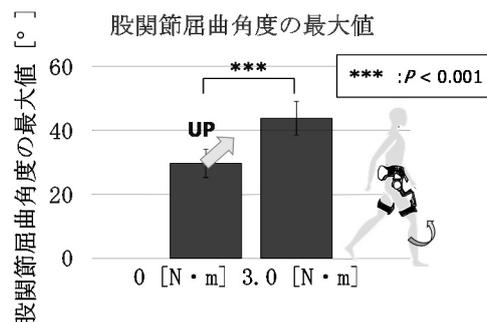
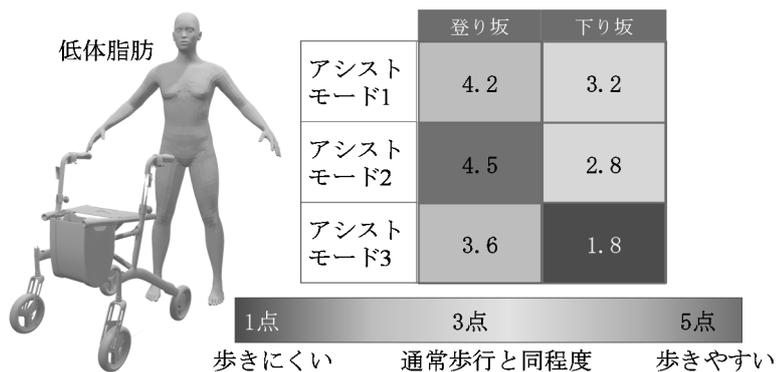
3.2.1 高齢者の身体特性と支援機器・用具の設定方法^{4, 5)}

データベースを構築するために、自立生活可能な高齢者12名を対象に調査を行った。歩行支援機器（電動アシスト歩行器や装着型のアシスト装置）や歩行支援用具（歩行器、シルバーカー、杖）を対象とした。各高齢者の身体特徴を反映したデジタルヒューマンモデルを構築するために、体組成計（インナースキャン50V BC-622、TANITA社製）を用いて身体各部位の筋肉量（除脂肪量）や脂肪率の測定を行った。また、歩行能力、バランス能力、握力を測定した。そして、各機器の設定条件（歩行器や杖の持ち手の高さやアシスト量）を変化させた場合の歩数、歩行速度やユーザーの歩きやすさに関するアンケートおよび専門職の主観評価により、適切な設定方法に関するデータを得た。

図7(a)は電動アシスト歩行器のアシスト量と高齢者の歩きやすさに関する主観評価結果の一例である。主観評価のアンケートでは、普段の歩行と同程度の歩きやすさを3点とし、最高点（歩きやすい）を5点、最低点（歩きにくい）を1点として、5段階評価を行った結果である。図7(a)のように登り坂と下り坂においてどのアシスト量において高齢者が歩きやすいかの調査を行った⁴⁾。

3.2.2 支援機器・用具による効果検証

図7(b)は装着型歩行アシスト装置の効果を検証した結果の一例である。装着型歩行アシスト装置のアシスト量を0[N・m]に設定（アシストなし）の場合とアシスト量を3.0[N・m]に設定した場合の股関節の屈曲角度の最大値を比較した。股関節の屈曲角度は、装着型歩行アシスト装置に内蔵された角度センサの値を用いた。図7(b)の結果に示すようにアシストによって、股関節の屈曲角度の最大値が有意に増大することを確認した⁵⁾。



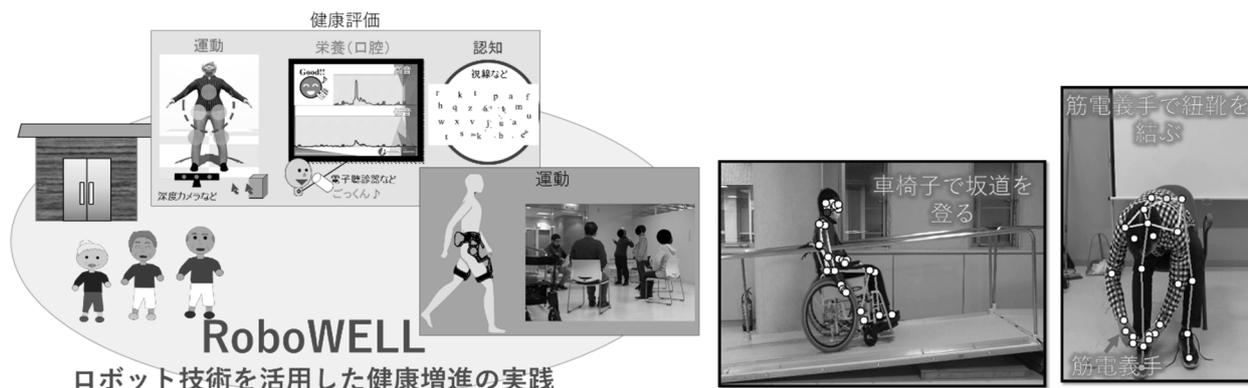
(a): 電動アシスト歩行器の各アシストに対するユーザーの主観評価

(b): 装着型歩行アシスト装置の効果

図7 支援機器の設定方法と効果検証

4 社会実装と最先端 AI 技術を活用した今後の展望

2章で紹介した健康評価システムやRoboWELL体操、3章の最先端のロボット機器の設定方法や活用した効果検証の結果やノウハウを組み合わせ、ロボット技術を活用した健康増進の仕組みである「RoboWELL」を社会実装していく予定である(図8(a))。また、AI技術に基づいた通常のビデオカメラで撮影された映像からモーションキャプチャや健康評価をできるシステムを開発した(図8(b))。コロナの状況によって、遠隔リハビリがより重要となっており、今後、これまでに開発したシステムのリモート測定を目指す。また、これまでに蓄積したビッグデータを活用して、新たなサービスを創出する予定である。



(a): 高齢者の健康増進のための仕組み「RoboWELL」を社会実装

(b): AI技術を活用したビデオカメラ映像の分析

図8 研究成果の今後の展開

参考文献

- 1) Akira Furui et al.: A 3D-printed Myoelectric Prosthetic Hand with Muscle Synergy-based Motion Determination and Impedance Model-based Biomimetic Control, Science Robotics, Vol. 4, No. 31, DOI: 10.1126/scirobotics.eaaw6339, 2019
- 2) Go Nakamura et al.: A Virtual Myoelectric Prosthesis Training System Capable of Providing Instructions on Hand Operations, International Journal of Advanced Robotic Systems (IJARS), Vol. 14, No. 5, DOI: 10.1177/1729881417728452, 2017
- 3) Go Nakamura et al.: Development of a Higher-Brain Functions Assessment System Using a Gaze Measurement System, The 14th International Convention on Rehabilitation Engineering and Technology (i-CREATE 2020), Taipei, Taiwan, 5-7 December 2020.
- 4) Go Nakamura et al.: Developing Preliminary System for Smart Welfare Interactive Service, The 7th International Conference on Serviceology (ICServ2020), Osaka, Japan, 13-15 March, 2020
- 5) Go Nakamura et al.: The Effects of the Wearable Walking Support Device, The 14th International Convention on Rehabilitation Engineering and Technology (i-CREATE 2020), Taipei, Taiwan, 5-7 December 2020.