

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 本田雄一郎 高見響 中村秀正 陳隆明

1 はじめに

本ミッションでは、様々な計測技術を活用し、モーション、視線、筋電信号、音声などの様々な生体信号を計測し、得られた生体信号の情報を分析した結果に基づいたアプリケーションの開発を主に行っている。特に本年度からは、AI や IoT 技術を活用することで、これまでには成し得なかったリハビリ・介護の実現をするための技術・機器開発に力を注いでいる。近年では、AI 技術の進歩により、AI に対して非常に大きな関心が高まってきているが、現在の AI における非常に深刻な課題として、AI が学習するためのデータを効率良く収集する仕組みが全く検討されていない。特に生体信号などのデータはセンサやマーカを装着する手間や計測前のキャリブレーションなどの準備作業に莫大な時間を有するため、ビッグデータを蓄積することが非常に困難であり、AI の能力をほとんど活かすことができないという課題がある。

本ミッションでは、これまでに臨床・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、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ことを実現し、得られたビッグデータ分析の結果に基づいて高齢者の身体能力の衰えを早期に発見することが可能な身体能力スクリーニングシステム Body-KIN[®]（ボディ筋）について現状の知見を報告する。また、介護ロボットや自立支援機器・用具をより普及させることを目的として開発しているデータベースの内容について報告する。開発しているデータベースでは、様々な身体特徴を有する方の仮想人体モデル（以下、デジタルヒューマンモデル）と様々な自立支援機器・用具のモデル（デジタル支援機器・用具モデル）のデータを集約したデータベースを用意し、コンピュータ内に現実世界を再現した仮想空間（以下、サイバーフィジカル空間）と連携した情報の蓄積を行えるよう構築している。そして、サイバーフィジカル空間にて、様々なシミュレーションを行い、支援機器・用具の最適な設定方法や個々人の身体特徴を考慮した最適な支援機器・用具を推定することを目標に開発を進めてきた。データベースの一要素となる、電動アシスト歩行器のアシスト量と歩きやすさに関する実測結果について今年度分を報告する。

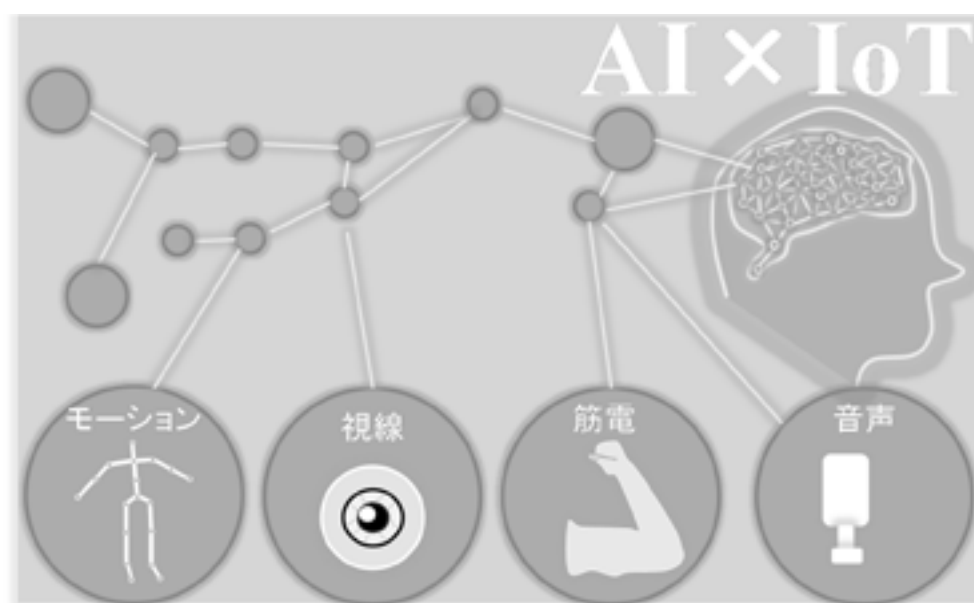


図1 ロボットテクノロジーミッションで取り扱っている生体信号

2 身体能力スクリーニングシステム (Body-KIN® : 登録第 6138421 号)

2.1 開発の目的と背景

近年、高齢化が進む国々では、高齢者の人口割合が増えてくるとともに、介護を要する高齢者が増加することが予想される。今後、介護を要する可能性がある要介護予備群が、要介護者となってしまうと、人的にも財政的にも対応が難しくなり、今の日本の社会システムが壊れてしまいかねない。そこで、身体能力が低下した高齢者を早期に発見して、適切なタイミングでリハビリ介入を行うことが重要である。

従来の高齢者の身体能力の評価方法としては、コンピュータ断層撮影 (CT スキャン) や磁気共鳴画像法 (MRI) による身体組成の測定や握力や歩行速度などが利用されてきた。しかしながら、従来の筋力測定では、単一部位のみの筋力の測定であることや日常生活動作とは解離した動作をもとに評価されることから、日常生活に必要な筋力を発揮できているかどうかを判断することが困難であった。

そこで、本研究では、日常生活動作中に発揮された関節を曲げ伸ばしする力を推定し、高齢者の身体能力を定量的に評価できるシステム Body-KIN®を開発した (図2)。

開発においては、大勢の方を対象とすることが予め想定されるため、以下の点を考慮して開発を行った。

- 1) 簡便操作：計測の場において様々な職種の方ができるだけ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計測可能
- 3) 短時間準備：準備に要する手間・時間が少なく計測にとりかかことが可能
- 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評価可能
- 5) 即時性：計測後すぐに評価結果を被験者に提示可能

2.2 Body-KIN®のしくみ



図2 Body-KIN®を用いた計測の様子

本システム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、光学マーカーを貼り付ける必要がない点にある。被験者に深度カメラの前で動いてもらうだけで、その動作を3次的に測定し、その時の体の動きを物理演算処理し、関節にどのくらいの力が生じたかを推定する方法を開発した。そのため、開発した装置は日常的な生活動作 (歩行や椅子から立ち上がるなど) の計測から身体能力を推定し、高齢者の身体能力を簡便に評価できるものと考えている。本システムに関して特許取得および出願中である (「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)。

2.2.1 身体能力の測定

Body-KIN®による測定風景を図2に示す。Body-KIN®の計測では、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、測定することが可能である。被験者の立ち上がる動きは、深度カメラによって3次的に計測される。計測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に関する値から身体能力の点数を算出する。計測された身体の動作情報や得点はコンピュータに記録され、経年的な身体動作の変化を確認することが可能である。

2.2.2 身体能力の評価と測定結果の表示

Body-KIN®では、各関節の力に関する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スコアリングする (図3)。高齢者の動作においては、左右差の表出、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、若年者と各関節の力に関す

る値のパターンが異なってくる。その結果を図3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える。また、身体に何も付けず定量的評価が行える同様の装置は簡便に身体能力を評価できるため介護現場や臨床現場において受け入れられやすい。この簡便な計測準備と手順により、通所リハ施設や高齢者大学での測定会の実施が可能となった。

次に本年度までに行った Body-KIN[®]の実証評価や測定会について報告する。



図3 Body-KIN[®]の評価と今後の可能性

2.3 通所リハ施設や高齢者大学での実証評価

本研究で開発した身体能力スクリーニングシステム Body-KIN[®]を介護予防運動の実施場所である通所リハ施設に導入させてもらい、本システムの使いやすさの実証評価を継続的に行うと共に、通所リハに通う高齢者の立ち上がり動作についてデータを収集している。また、高齢者大学にて測定会を開催し、データ収集箇所を拡大している。現段階でおよそ600名以上の高齢者の動作データが集まっている。

2.3.1 通所リハ施設での実証評価

平成30年4月から通所リハ施設に本システムを導入し、各利用者とも3か月に1回程度の測定を行い、継続的なデータとして360名分程度が集まってきている。その結果、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。さらに、今年は通所リハ施設の利用者について、1年間の経年変化のデータ蓄積ができ、Body-KIN[®]の得点の経年変化について現在、分析を進めている。

2.3.2 高齢者大学などでの測定会

これまでに展示会や2施設の高齢者大学にて測定会を実施し、多くの方にBody-KIN[®]による測定を体験していただいた。短時間に多数の方を測定できる利点を活かし、測定会では3台のBody-KIN[®]を用いて、1時間30分程度の時間で、約200名の方の測定を行うことが可能であった。今後、短時間に測定できる利点を活かしたデータ収集を加速させていく予定である。

2.3.3 高齢者を対象とした Body-KIN®の得点の関係性

通所リハ施設と高齢者大学の測定を通して、合計で 600 名程度の測定を行った。高齢者大学に通う支援が不要な高齢者と通所リハ施設に通う要支援 1 相当の方、要支援 2 相当の方に群分けをし、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よそ傾向を確認しつつある。

2.3.4 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 4 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（介入対象レンジ）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。初回測定で 80 点以下（介入対象レンジ）であった 8 名中 7 名の方が 3 カ月後には、80 点より高い得点に達し、その後は低下することなく維持できる傾向を確認した。そこで、今後は、従来より提案されている様々な体操やリハビリ訓練と Body-KIN®の得点の経年変化の関係性を調査し、より効果的な体操やリハビリ訓練を明らかにしていく予定である。

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	3 割程度	5 割程度

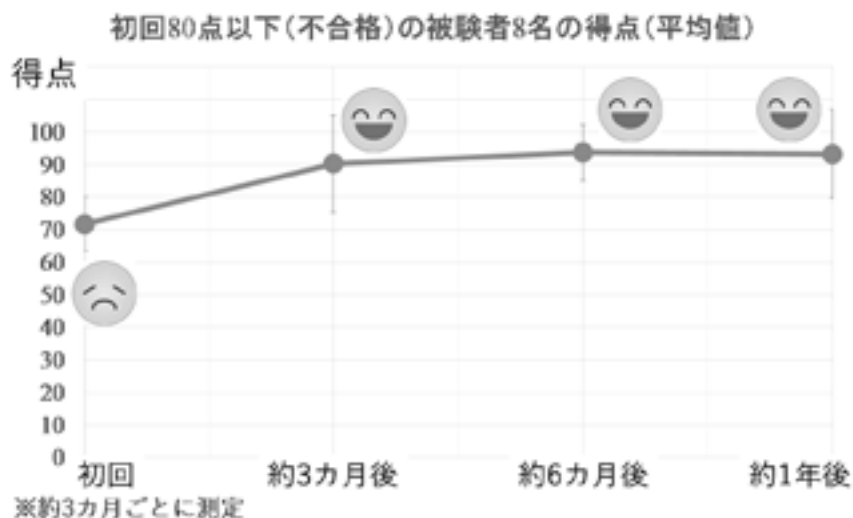


図 4 Body-KIN®によるリハビリ効果の定量化の一例

2.3.5 体操の効果の定量評価と新たな体操の提案

Body-KIN®によって、高齢者の身体能力の低下を発見することができるようになり、今後は発見した後如何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に、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し、定量的な分析を進めている。図 5（b）に、体操中に測定した、酸素摂取量（V02）、二酸化炭素産生量（VC02）、運動強度（Mets）、心拍数（HR）の時間変化を示したグラフである。図 5（b）のグラフによって、体操のどの動作の時に、呼吸数、運動強度（Mets）、心

拍数（HR）が高くなっているかなどを把握することができる。これらの指標に基づいて、より効果が高い体操を提案していく予定である。

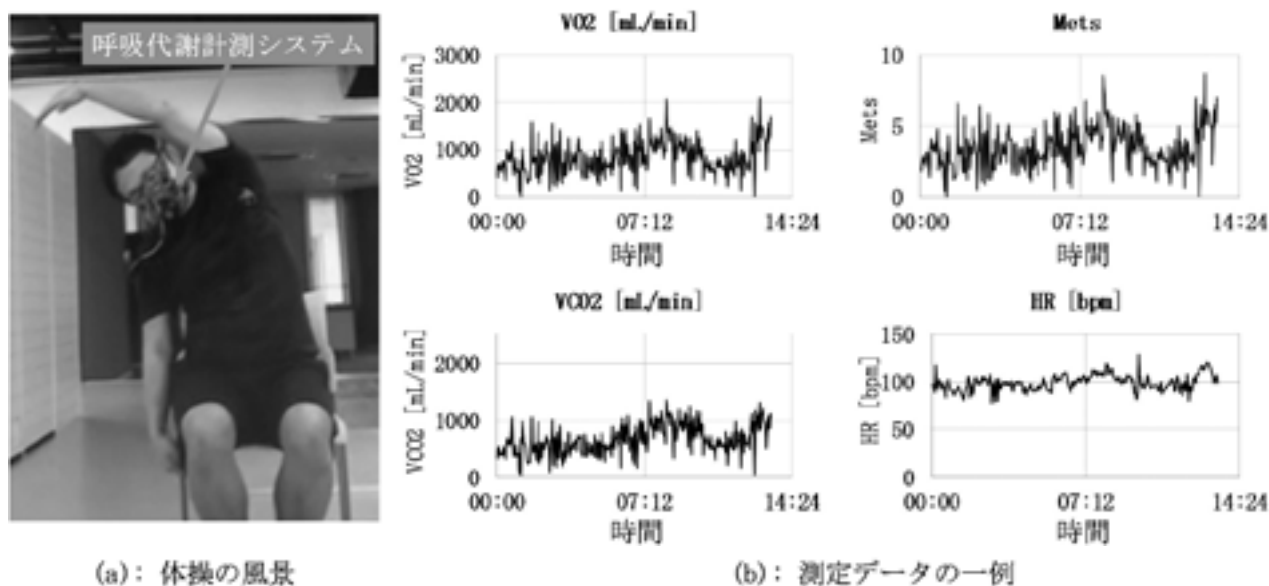


図5 呼吸ガスを用いた体操の定量評価の例

3 支援機器・用具の普及促進を目的としたデジタルヒューマンモデルとデータベース

3.1 開発の目的と背景

近年、高齢者や障害者の自立支援を目的として、ロボット技術を活用した介護ロボットや支援機器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（最適なアシスト量など）についての知見やマニュアルの構築が遅れており、機器本来の機能を十分に活かしきれていない現状がある。そのことがこれらの機器の普及を妨げているという課題がある。そこで、様々な身体特徴をもつ高齢者や障害者に対する身体・動作データベース（デジタルヒューマンモデル）と様々な支援機器・用具の機器データベースを統合し、支援機器・用具のアシスト量などを個々人に合わせた最適設定値の推定ができるデータベースの構築を進めた。

3.2 デジタルヒューマンモデルの構築と支援機器・用具の最適設定方法

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。今年度は、主に歩行支援機器（電動アシスト歩行器や装着型のアシスト機器）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）を用いた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（歩数、歩行速度など）、バランス能力（片脚立位保持時間など）、握力を測定し、各高齢者の身体能力のデータを収集した。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行パラメータ（歩数、歩行速度など）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（理学療法士や作業療法士）の主観評価により、最適設定方法に関するデータを得た。

図6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。体組成計による全身体脂肪率と主観評価のアンケートのデータを組み合わせて分析を行い、全身体脂肪率が36.0[%]付近を境界にして、アシスト量に対する主観評価の傾向が異なることを見出した。そこで、今回の被験者12名のうち、全身体脂

脂肪率が低い方から6名を低体脂肪群、残りの被験者6名を高体脂肪量群と群分けをして主観評価結果のスコアの平均値を算出した結果が図6に示すスコアである。この評価結果では、体脂肪率など身体特徴に応じて機器の設定値に対する主観評価の傾向が異なることを確認できた。このことから、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と支援機器・用具の最適設定値に関するデータベースができると、機器の適切な設定値を推定し提示できるため、機器の普及の妨げとなっている課題を解決できる可能性が高いと考えられる。今後は、歩行能力やバランス能力などの運動情報も組み合わせることで、最適な設定値を得られるよう、データ収集と、より詳細な分析を進める予定である。

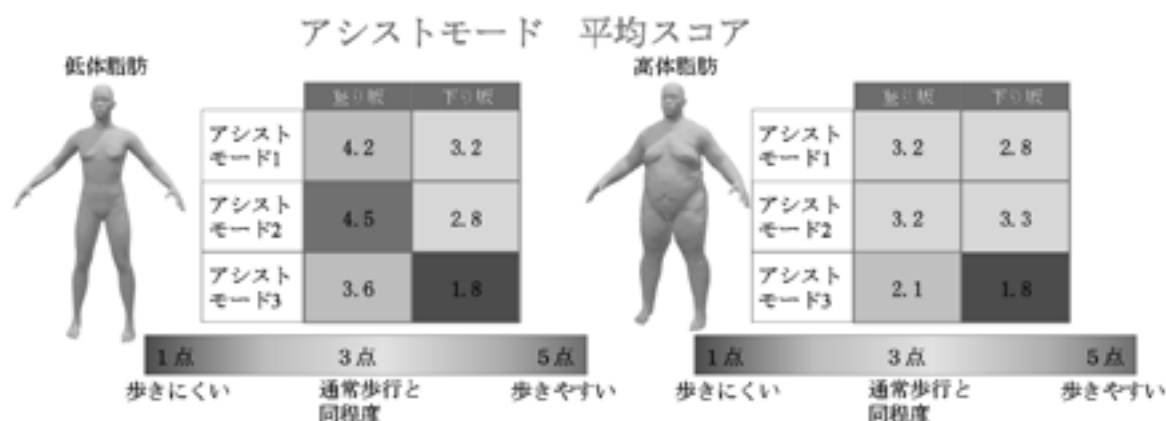


図6 電動アシスト歩行器の各アシストモードに対するユーザーの歩きやすさの主観評価結果の一例

4 最先端 AI 技術を活用したモーション計測と今後の展望

最先端の AI 技術（ディープラーニング）を活用し、マーカやセンサなどを身体に装着することなく、通常のビデオカメラのみで、スポーツにおける速い動作や複雑な日常生活動作などに対して計測可能なモーションキャプチャシステムの構築を進めている。従来のモーションキャプチャでは、車椅子での動作や物を持って作業している際の動作などに対しては、マーカやセンサを装着することなく画像や映像から動作計測を行うことが非常に困難であった。この課題に対して、画像や映像に対する高精度 AI 骨格検出システム開発ツール（VisionPose、ネクストシステム社製）を用いたモーションキャプチャシステムを構築した（図7）。今後は、障害者のスポーツ時の動作評価、健康的な自立生活を送りやすい住環境の設計のためのデータ収集、介護ロボットなどの支援機器を用いた動作など、幅広い分野の計測を行い、ビッグデータを構築していく予定である。そして、蓄積したビッグデータに対して、AI などの技術を活用したビッグデータ分析を行い、新たなサービスを創出していく予定である。

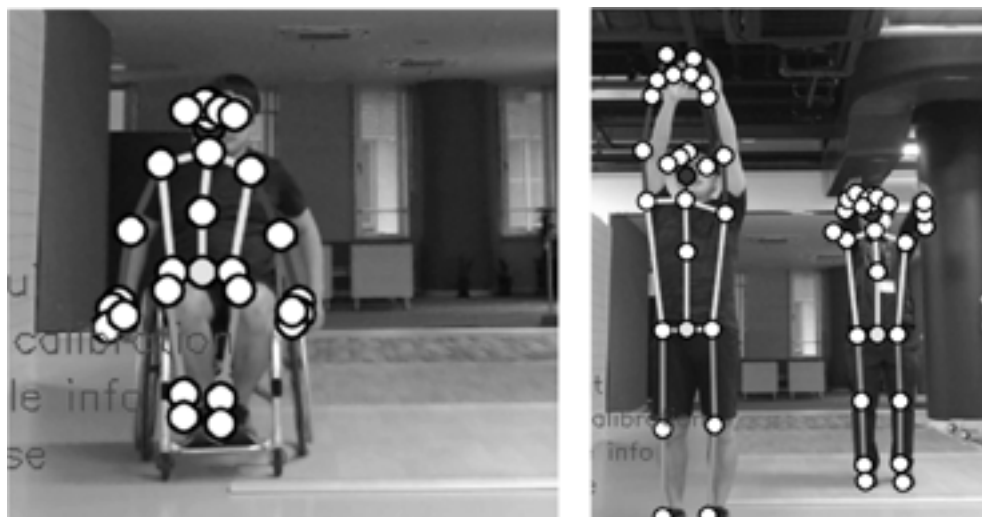


図7 最先端 AI 技術を活用したモーションキャプチャの様子