

高齢者サービスにおける動作計測のためのセンサ利用技術

栗野 晃希, 前田 大輔, 中島 康博, 橋場 参生

Utilizing Method of Sensors for Motion Measurement at Eldercare Service

Kouki KUWANO, Yasuhiro NAKAJIMA, Daisuke MAEDA, Mitsuo HASHIBA

キーワード：高齢者，センサ，動作計測

1. はじめに

介護保険や高齢者福祉の制度では、高齢者が住み慣れた地域で安心して日常生活を営めるよう、心身の状況や介護度に応じて、介護サービスや生活支援、介護予防教室などのサービス（以下、高齢者サービスと称する）が提供されている。高齢者サービスでは、比較的心身状態が良好で自立した高齢者や介護度の低い高齢者に対して、身体機能の維持を目的に、運動器の訓練や転倒予防教室などのプログラムが実施されている。こうしたプログラムでは、高齢者の健康状態、体力水準などを把握するため、3ヶ月ごとを目安に、問診や図1のような体力測定が実施されている¹⁾。

体力測定では、様々な測定項目に対し、ミスのない計測と、動作の観察に加えて、安全に配慮する必要がある²⁾。例えば、図1下のTUG（Timed Up & Go）テストでは、椅子から立ち上がり、3m先に置かれたコーンをまわって再び着座するまでの時間を測定するが、その際、下記の注意事項が示されている。

- 走らないように指示する。走ったと判断した場合は口頭で注意して、再度測定する。
- コーンを回るときは、転倒しないように注意させる。
- 再び座るときには、椅子の位置を確認させるとともに、後方や左右に転倒しないように注意させる。



片足立ち
時間測定

SS-5
(立ち座り回数)

ファンクショナルリーチ
(手先を伸ばした距離)



TUG (Time Up and Go)
(椅子立ち上がりー歩行ー着座時間)

図1 体力測定例

体力測定に携わるスタッフは、これらの注意事項に配慮しながら、同時に測定も行うため負担が大きい。実際、介護サービス事業者や介護予防教室の担当者から、体力測定業務におけるスタッフの負担軽減を求める要望が寄せられていた。

そこで、本研究では高齢者の体力測定において、これまで人手で行っていた測定を、各種センサを用いて自動化することで介添えや動作観察、記録を行うスタッフの負担を軽減できると考え、測定ツールの開発に取り組んだ。

2. 体力測定ツールの構成検討

2.1 設計方針と測定物理量

体力測定の項目は一般に握力、片足立ち時間、TUG、5m歩行時間（通常時・最大時）等が推奨されており、さらに事業所の規模や高齢者の特性に応じて、測定項目が追加、選択されている。これらの項目をセンサを利用して、人に代わって自動測定するツールの開発にあたり、事業者と意見交換した。その結果、以下のことが重要であることが分かった。

事業名：経常研究

課題名：高齢者向けサービスを支援する運動計測技術の開発

- (1) これまでの測定業務にスムーズに導入できること
- (2) スタッフ（測定者）の個人差が影響しない測定結果が得られること
- (3) 開発コストがかからないよう配慮すること

(1)については、ツール導入時の混乱を避けるとともに、導入前の測定データと比較可能にするため、被測定者（高齢者）にはこれまでと同様の動作で測定が進むようなツール構成にすることとした。(2)は測定が被測定者側の動作とともに開始され、ツール側のタイマやセンサ入力信号で測定が終了する仕様にするすることで、測定者のスキルや被測定者の反応などの個人差の影響を受けないようにした。また、(3)については、測定項目ごとにツールを開発するのではなく、測定する物理量ごとにグループ化することで、同じ物理量の測定に対しては、同様の要素技術を適用することで開発コストが抑えられると考えた。このことを踏まえ、測定項目と測定物理量をまとめた結果、表1のように4つの物理量（時間、回数、距離、力）で分類できることがわかった。

表1 測定項目と物理量

測定項目	物理量
片足立ち時間	時間
TUG(Timed Up & Go)	
5m歩行時間	
ステッピングテスト	回数
SS-5(椅子立ち座り回数)	
ファンクショナルリーチ	距離
3分歩行距離	
長座位体前屈	
握力	力

2.2 開発対象とする測定項目

表1に示した各物理量ごとのグループから、それぞれ代表的な測定項目についてツールを試作することとした。

まず、「時間」の測定項目については、片足立ち時間、TUGテスト、5m歩行時間がある中で、特に測定作業が煩雑で、事業者からの改善要望が高いTUGテストを対象とした。

次に、「回数」の測定項目については、ステッピングテストやSS-5（椅子からの立ち上がり、着座回数）がある中で、時間当たりのカウント数が比較的多く、また注意集中した計数が求められるステッピングテストを対象とした。

「距離」の測定項目については、指先の位置を測定するために、専用で大掛かりな機材が必要だったり、メジャーで慎重に測定する必要がある、ファンクショナルリーチを対象とした。

4つ目の物理量、「力」については、基本的に握力計を用いた「最大握力」を測定することが多い。これは握力が、特に上肢筋力を代表する数値とされていることによる。しかし、

握力値が最大値に達した後も必要以上に握力計を握り続けてしまう高齢者も多く、その一方で、最大値に達するまでの十分な時間も必要であるため、終了の合図を安易に出すことによる、測定のやり直しも発生していた。そこで、「握力」に関しては、測定中の握力値の変化をリアルタイムに可視化し、最大値に達したことが直観的にわかる、測定を支援するツールを開発することとした。

2.3 測定項目に対するマイコン要件とセンサの選定

ツールの構成イメージを図2に示す。センサや握力計の信号をマイコンで取得し、無線でタブレットやスマートフォンに送信したデータを表示し記録する。図中のマイコンとセンサの選定にあたり、センサ出力信号を取得するマイコンに必要な入力ポート（マイコンのインタフェース部）要件を検討した。

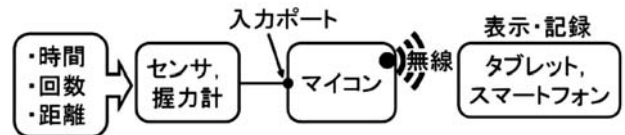


図2 ツールの構成イメージとマイコン

TUGテストでは椅子への着座の有無を検出する。この信号は「有（High）／無（Low）」の2値情報であるため、1チャンネルのデジタル入力ポートで対応できる。センサとしては、被測定者が装着したり把持したりする必要が無く、また動作の邪魔にならないよう、椅子に取り付けた光学式の通過センサで着座と起立を検出する方式とした。

ステッピングテストでは左右脚の足踏み回数の合計をカウントするため、脚の「上／下」の2値情報を左右独立して取得できる2チャンネルのデジタル入力ポートが必要となる。足の僅かな離床でも確実に捉えるために、本開発ではマット型のセンサで検出する方法とした。

一方、ファンクショナルリーチでは取得する情報が増えるため、上記とは異なるインタフェースが必要となる。近年では、距離、重量、角度などを測定するセンサにI²C（アイ・スクウェアード・シー、あるいはアイ・ツー・シー）と呼ばれる、2本の信号線でセンサ信号をシリアルデータとして送信するための通信規格が数多く採用されており、マイコン側もこの規格に対応した製品が市販されている。そこで、ファンクショナルリーチ測定ツールについては、このI²Cポートを備えた光学式距離センサを利用することで、比較的容易にツールを構成できると考えた。

握力測定支援ツールに関しては、握力値をリアルタイムで可視化するために、市販の握力計の中から、握力値を電圧値として出力する機能を備えた製品を選定し、ツールの開発に利用することにした。この電圧値をマイコンで取得するため

には、1チャンネルのアナログ入力ポートが必要となる。

以上の検討結果をまとめると、表2のようになる。マイコンに求められるポートの要件は下記の、3種類となった。

- (1) デジタル入力2チャンネル
- (2) I²Cポート
- (3) アナログ入力1チャンネル

表2 測定項目とセンサ、マイコン要件

測定項目	物理量	マイコン要件	センサ
TUG(Timed Up & Go)	時間	デジタル1チャンネル	光学式通過センサ
5m歩行時間	時間	デジタル1チャンネル	光学式通過センサ
SS-5(椅子立ち座り回数)	回数	デジタル2チャンネル	マット型センサ
片足立ち時間	時間	デジタル2チャンネル	マット型センサ
ステップングテスト	回数	デジタル2チャンネル	マット型センサ
ファンクショナルリーチ	距離	I ² Cポート	光学式距離センサ
3分歩行距離	距離	I ² Cポート	光学式距離センサ
長座位体前屈	距離	I ² Cポート	光学式距離センサ
握力	力	アナログ1チャンネル	握力計

これらのポート要件を満たすマイコンとして、以降のツールの試作では、図3に示すモノワイヤレス(柵製の無線マイコン「TWELITE DIP (トワイライトディップ)」)を使用することとした。ただし、現在市販されているマイコンにこれらのポートは標準で備わっている場合が多く、他のマイコンでも十分に実現可能である。



図3 ツールに利用したマイコン

3. 体力測定ツールの試作

3.1 TUGテスト測定ツール

前章までの検討に基づき、光学式の通過センサを利用して開発したTUGテストツールを図4に示す。図のa)のようなU型のフレームの一端に発光素子(赤外光LED: OptoSupply製OSI3CA511A)を、もう一端に受光素子(フォトIC: 浜松ホトニクス製S6809)を配置している。この装置をb)のように椅子に装着することで、人の着座の有無を受光素子の励起状態から検出することができる。この変化をマイコンで取得し、時間間隔を記録する。これにより、これまでの測定方法をそのままに、c)のようにTUGテストにおける離座から着座までの「時間」を自動的に測定することが可能になった。



図4 TUGテスト測定ツール(時間の測定)

3.2 ステッピングテスト測定ツール

ステッピングテスト測定ツールを図5に示す。足踏みの検出には、高齢者の「見守り」向けに柵セーコーから販売されている、徘徊検知用の導電繊維マットを用いた。マットには2本の導電繊維が絶縁された状態で編み込まれており、ここに導電体を接触させると2本の繊維が導通する。図左下ののようにアルミテープを足カバーの裏に導電体として貼り付け、このマットの上で足踏みをする時、導通状態が変化し、この変化をマイコンの入力端子から計数すれば、ステップ回数を測定できる仕組みである。図右はタブレット画面に表示した測定結果である。設定時間(5秒間)内における左右のステップ回数がそれぞれ7回と8回で、計15回であったことを示している。また、図右のタブレット画面に矢印で示した矩形は、1ステップごとの左右足の離床時間を表しており、足が確実に離床していることがわかる。



アルミテープを足カバー裏に貼付

図5 ステッピングテスト測定ツール
(回数の測定)

3.3 ファンクショナルリーチ測定ツール

本ツールでは図6のように、壁に設置した光学式のセンサ (Garmin製 Lidar-LiteV3) に手をかざすことで距離を測定する。図の下の波形は腰を曲げて手を差し出した際のセンサとの距離変化をとらえている様子を示している。測定前と測定後の距離の差が測定値となる。このツールでは、センサを人に向けて扱うが、万が一一人の目に入射しても影響のない強度と波長の光を利用した製品を採用した。また、前述のI²Cポートを備えているため、距離をマイコンで容易に取得できる。このように、これまでの測定台やメジャーを用いていた方法を、図のように簡素化することができた。

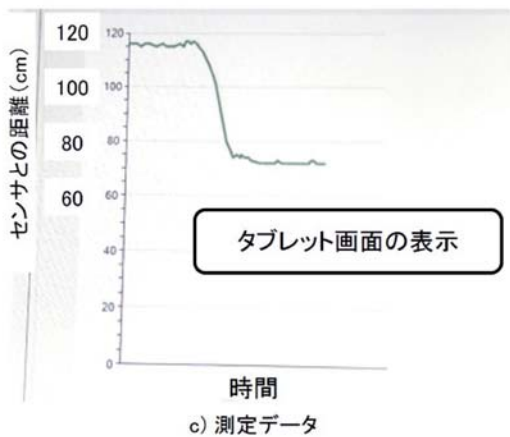
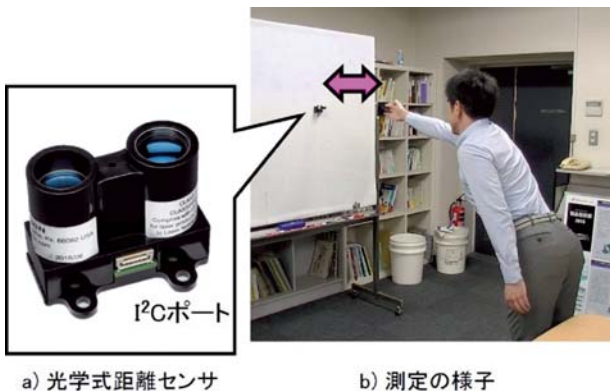


図6 ファンクショナルリーチ測定ツール (距離の測定)

3.4 握力測定支援ツール

図7は握力測定支援ツールを用いて、握力値をタブレット画面にリアルタイムで波形表示している。図のように、波形の頂点が観測できることで、握力計本体の表示を見ることがなく、最大握力値に達したことを測定者、被測定者の両者が一見して把握できる。



図7 握力変化のリアルタイム可視化ツール

4. 体力測定業務への試験導入

試作した各種ツールを利用した事業者の意見を聞いたところ、すべてのツールに対して測定業務における利便性と負担軽減への期待を感じて頂いた。ただし、一度にすべてのツールを導入することには、不安があるとのことから、はじめにステップングテスト測定ツールを実際の体力測定業務に使用することとなった。図8は従来の目視による計数方法と、ツールによる方法の一人当たりの測定にかかる所要時間を示したグラフである。平均所要時間としては、ツールを利用した場合の方が大きい傾向となったが、標準偏差は小さくなっている。ツールを利用することで平均所要時間が大きくなったのは、目視による従来方法にタブレットを操作する時間が加わったためと考えられる。標準偏差が小さくなったことについては、測定した高齢者が5名で、十分なサンプル数ではないため考察の限界があるものの、ツールを利用することによって、測定作業が安定化した可能性がある。

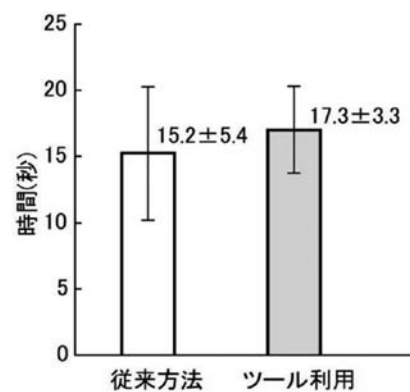


図8 ステッピングテスト1回あたりの所要時間 (N=5)

さらに、ツールを業務の中で使用したスタッフの意見は下記の通りであった。

- (1) 測定をする上で使いやすい。
- (2) 心理的負担は軽い。
- (3) 充電や測定器の準備に、少し手間はかかる。
- (4) しかし、正確性を考えると手間は問題ない。
- (5) 総括として、継続して使い続けるメリットは大きい。

以上のように、おおむね良好な結果であった。(3)については、センサマットとマイコンに電力を供給するバッテリーと、測定結果を記録するタブレットをそれぞれ充電しなければならないことが一因であった。これは、マイコン周辺回路に測定結果を表示する液晶を搭載し、単一のツールとして構成することで、充電の手間が省けると考えられる。(4)については、この感想を聞いたスタッフ以外のスタッフが使用しても、いつでも正確な値が得られることのメリットが大きいとのことであった。結果として、事業者から継続的な使用を求める意向を得ることができた。今後は、長期的な使用による課題やメリットについて調査を継続する予定である。

5. まとめ

高齢者サービスで行われる体力測定に関わるサービススタッフの負担軽減を目的に、各種センサを利用した身体動作の自動計測ツールの開発に取り組んだ。体力測定項目が4種類の物理量の測定で広くカバーできることに着目し、センサとマイコンの要件を整理し、タブレットを用いた可視化と測定値の記録が可能な各種計測ツールを試作した。このうち、ステップングテスト測定ツールをサービス現場に導入し、心理的負担の軽減や、正確な値が得られることのメリットを確認し、継続的な使用を望む意向が得られた。

今後は、改良点の抽出や、他のツールの追加導入の可能性を検討するとともに、センサやIT機器を利用し、一般に人手作業に拠るところが大きいとされる、高齢者サービス内の業務の省力化を図るシステム開発に展開していく予定である。

謝辞

(株)ルシファおよび札幌市東区地域包括支援センターには、高齢者サービスが提供されている現場の見学や測定ツールの開発に対するアドバイスなど、ご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 介護予防マニュアル(改訂版), 厚生労働省, (2012)
- 2) 運動器の機能向上マニュアル(改訂版), 厚生労働省
運動器の機能向上マニュアル検討委員会, (2009)