

研究報告書

「福祉機器安全設計のためのマルチモーダル評価情報の統合基盤構築」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成23年10月～平成27年3月

研究者: 硯川 潤

1. 研究のねらい

福祉機器はその高度化・情報化が進む一方で、症状や残存機能が一様でない障害者・高齢者をターゲットユーザとするため、「安全・安心」を設計・評価することが極めて難しく、統一的なアプローチが存在しない。心理・情緒的な要素を考慮する必要がある安全性を評価するためには、量的計測データに加えて主観的・質的な評価情報をも含んだ包括的なアプローチが必要である。福祉機器は、多様な身体・認知特性を有する障害者や高齢者に使用される。使用するのは当事者だけではなく、家族・介護従事者・医療専門職といった中間ユーザが存在する。使用環境も病院・施設・家庭と多岐にわたる。これらの状況をすべて考慮し、適切な評価プロトコルを策定することは、例え「福祉工学」の専門家であっても極めて難しい。まして、専門外の工学系研究者・企業開発者が、実験模擬環境で取得する評価測定データは、質・量ともに不十分である場合が多い。

そこで本研究では、福祉機器開発の各プロセスにおける様々な評価情報の長期的な収集・蓄積と、その統合的な処理・解釈を支援することで、機器の安全設計・評価を促進するための基礎的指針を構築する。質的アプローチによる生活状況やニーズの深い理解と、実使用環境から収集される測定データの定量性・客観性とを有機的に統合させることができれば、安全・安心という極めてあいまいな概念を評価するための強力なツールになると考える。

以上の目的を達成するために、本研究では以下の項目の達成を目指した。

【研究テーマ A】: ライフログプラットフォームを用いた実環境での臨床評価データ収集手法の構築

多様な福祉機器に加速度センサなどのプローブを複数実装し、利用動態を網羅的に計測する「ライフログ」を臨床評価に導入することを試みる。臨床評価のエンドポイントをあらかじめ設定せず、網羅的に取得したライフログの対照群との比較から、新機器導入におけるアウトカムをボトムアップ的に同定することで、生活の質の変化など既存指標で測定しにくいアウトカムの定量化を目指す。

【研究テーマ B】: 専門職による福祉機器適合プロセスの定量解析

福祉機器の適切な評価のためには、リハビリテーションに関わる医療・福祉専門職がどのような視点で機器と人との適合を実現しているかを解明する必要がある。そこで、専門職による機器の適合プロセスを記録・分析し、多職種連携の数値的特徴から、適合プロセスのあり方を議論する。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究課題では、福祉機器の安全設計を支援するための臨床評価手法の構築を目的とし

て、A) ライフログプラットフォームを用いた実環境での臨床評価データ収集手法の構築、B) 専門職による福祉機器適合プロセスの定量解析、の2つのテーマにとり組んだ。

テーマ A では、まず電動車椅子を対象としたライフログシステム WELL-SphERE (Wheelchair Everyday Life-Logging with a Smartphone based Electronic Recording Equipment) を開発した。同システムは、複数のセンサユニットを接続可能なスマートフォンベースのデータロガーであり、電動車椅子の利用動態を日常生活環境から継続的に収集できる。同システムは、3D プリンタによる治具製作と組み合わせることで、シニアカーなど他の福祉機器にも実装可能であり、汎用的な臨床評価データ収集のプラットフォームとしての有用性が示されている。

また、収集したライフログデータの分析・解釈手法と、そこから得られるエンドポイントの特徴分析を行った。特に、電動車椅子へのセンサ実装に着目し、センサの取り付け誤差や、センサ出力のノイズ成分を相殺・補正する手法を導入することで、ジョイスティック操作ログを簡易に記録可能となった。さらに、ジョイスティック操作を加味した走行動態の評価から、操作者の心理的状态や路面の危険性などを多面的に評価できることを示した。

テーマ B では、福祉機器の処方・適合に従事する専門職による模擬的な適合プロセスの分析から、多職種連携の特徴を抽出することを試みた。行動・発話分析と content analysis の手法を組み合わせることで、1,000 を超える評価項目を同定した。さらに、それぞれの項目の属性をバイナリベクトルで記述することで、適合プロセスの統計的な特徴を抽出した。その結果、医師を中心とした対象者からの評価情報収集プロセスが明らかになり、各職種の専門職が収集する独自の評価項目が、医師に集約されていく様子を定量的に把握できた。

(2) 詳細

【研究テーマ A】

■ライフログプラットフォームの構築

図 1 に、本開発システム WELL-SphERE の概要を示す。本システムはセンサの入力部である A/D コンバータ部と計測データを取り扱うスマートフォンとデータサーバで構成される。取り込まれた信号は、USB を介してスマートフォンに接続され、通信回線を利用してデータサーバ上に保存される。システム一式を電動車椅子に実装することで、ジョイスティック操作ログを含む操作・走行動態を計測できることを確認した。電気的な改造なしにジョイスティック操作ログを取得可能なシステムは、世界的に見ても類が無く、多面的なモビリティ支援機器の実環境評価が可能になったと考える。

図 2 には、同システムを種類の異なるハンドル型電動車椅子に実装した様子を示す。センサモジュールの装着治具を製作することで、ハンドル・アクセル操作を精度よく推定可能であ



図 1 WELL-SphERE システムの概要



図2 シニアカーに実装したWELL-SphERE システム a) 全体図, b) 操作ログ取得モジュール固定位置

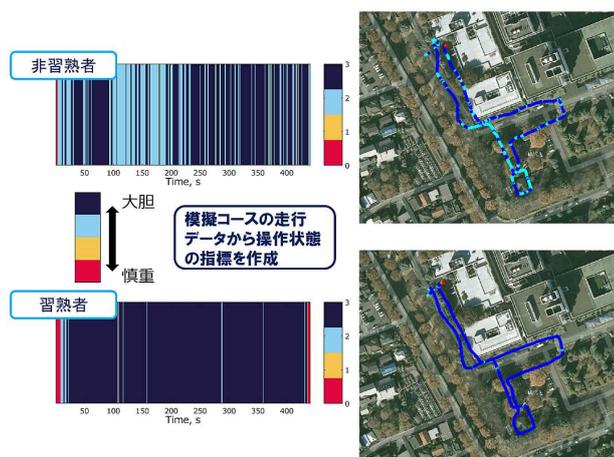


図3 電動車椅子の操作ログから推定した操作の慎重さ

り、例えばハンドル操作角度誤差は 0.0 ± 0.6 deg という高い精度を達成できていた。以上より、開発したシステムは多様なモビリティ支援機器に汎用的に適用可能であることが分かった。

■ライフログの解釈と得られる情報

本ライフログシステムでは臨床現場で簡易に実装可能であることを最優先してセンサユニットを設計しており、ログの精度を向上させる手法が必要となる。そこで、電動車椅子のジョイスティック操作角度を中心に、可能な限り有用な情報を抽出するためのアルゴリズムを開発し、検証実験を通してそれを最適化した。その結果、3種類の補正手法を提案でき、各手法のパラメータを最適化したところ、有意な精度向上を確認できた。さらに、電動車椅子走行中の多次元センサ情報を縮約し、走行状態・操作状態に関する複数の状態推定を実現するためのデータ解釈手法を構築した。例えば、路面の段差や粗さを、加速度センサやジャイロセンサの出力値を組み合わせることで、統計的に判別できた。また、図3に示したように、標準コースの走行ログから作成した基準値にもとづき、操作者の慎重さを定量化することにも成功した。

このように、ライフログから網羅的に評価情報を抽出することで、従来は主観的な指標に頼ることが多かった福祉機器の臨床評価に、汎用性のある定量アプローチを導入できたことは意義深く、先端的な福祉機器実用化に資する技術を構築できたと考える。

【研究テーマB】

リハビリテーション専門職による福祉機器適合プロセスを記録し、内容分析の手法を用いてプロセス分析を行い、複数セッティング間での特徴比較を行った。協力を依頼した更生相談所において、仮想の相談者を対象とした電動車椅子の模擬的な処方業務を、動画にて記録した。模擬処方には各更生相談所の実スタッフが参加し、実際の業務フローにもとづいた処方プロセスを再現した。仮想相談者として、車椅子の実ユーザである障害当事者（頸髄損傷・C4）に協力を依頼し、全ての事例で同一の相談者への処方作業を記録した。

分析時には、記録した動画から、仮想相談者とスタッフ間の会話を抽出し、意味のある最小単位を切片として区切った。各切片には、その評価内容に応じて以下の5カテゴリから成る特徴ベクトルを付した。

i) 話者 (社会福祉士:SW, 理学療法士:PT, 相談者:CL, 販売業者:PV, 医師:DR, 看護師:NS, リハエンジニア:EG)

ii) ICF 区分 (心身機能, 身体構造, 活動・参加, 環境因子, 個人因子)

iii) 質的分析で定義したカテゴリコード 2) (基本情報, 機器へのニーズ, 現在の車椅子の情報, 生活機能, 生活環境, 身体への調整, 適合, 書式への記録, 制度, 使用の支援)

iv) 時間区分 (過去, 現在, 未来)

v) 情報の入出力関係 (処方者への入力, 相談者への出力)

特徴ベクトルの各要素は2値として、同一カテゴリ中では最もあてはまる一項目のみが1となるように定義した。

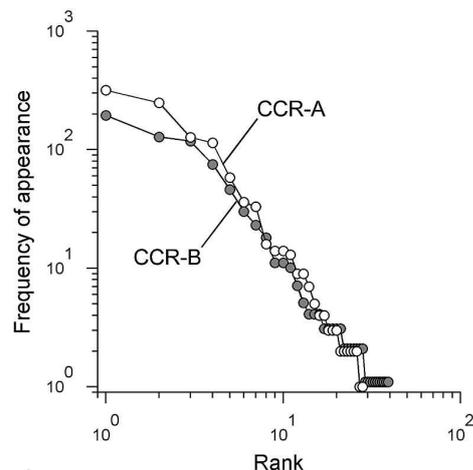


図4 特徴ベクトルグループの頻度順位分布

以上の分析から、専門職による福祉機器の適合プロセスには以下のような特徴がみられることが分かった。

- ・特徴ベクトルグループの頻度順位分布はべき乗則に従い(図4)、環境因子, 活動・参加, 心身機能の現状を把握するための切片の出現頻度が支配的である。これは、専門職間で共通した項目に言及している一方で、取得する情報の種類に職種ごとの分担が存在していることを示唆している。

- ・時系列的に近接した領域では、同質の情報が異なる専門職によって反復して確認される。特に、±4項目程度までは同種の項目が出現する確率が高くなる。適合プロセスにおいて、微視的には同種の話者が話者を変えて反復される傾向にあることが示唆された。

- ・プロセス全体を見ると、取得される情報に重複はなく、新種の評価情報が偏りなく分散されているが、医師の診察では他のスタッフに取得された情報の再確認が主となる。多職種連携の核として医師が存在し、多様な職種からの情報が集約されていく様子を、定量的にも確認できたと考える。

このような知見は、質的な分析で指摘されていたものと一致しており、定量性を加え、異なる組織間での共通点を抽出することで、より確度の高い分析を実現できたと考える。

3. 今後の展開

本研究で構築したライフログプラットフォームは、今後福祉機器の臨床評価の支援基盤として国立障害者リハビリテーションセンター研究所内にて継続的に運用する予定である。近年、ロボ

ット技術を活用した支援機器の開発が盛んであるが、本研究で得られた成果を導入することで、適切な効果の計測が可能になると考える。特に、QOL の改善や安心・安全といった心理的効果など、従来の評価手法では見過ごされがちだったアウトカムを定量的に評価できる点で、ユーザビリティの高い機器開発に寄与できる。

また、専門職による適合プロセスの定量分析手法は、リハビリテーションの臨床現場における高度な暗黙知を形式知化するナレッジマネジメント研究として、今後も様々な場面に展開可能である。専門職の臨床経験に裏打ちされた知見を一般化できれば、リハビリテーションや機器適合の均霑化を促進でき、人材育成などにも活用できる。学術的には、リハビリテーションのプロセス分析に質的・量的の融合的アプローチを導入できたことが重要な成果であると考えており、今後もナレッジマネジメント手法として発展させていく。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

障害者のリハビリテーションに特化した国立研究機関の職員として、現場における課題解決に速やかに反映可能な技術構築を心掛けた。福祉機器の臨床評価に関しては、研究開始時から今日に至るまで、開発プロセスのボトルネックの一つとして認識されており、汎用的な定量アプローチを提案・試用・検証できた意義は大きいと考える。また、専門職の適合プロセス分析については、3年半という比較的長期の研究期間を活かし、複雑な臨床現場の現象を緻密に紐解き、独創的な分析結果を得られた。いずれの成果も、リハビリテーション研究を担うナショナルセンターのミッションとしても重要な課題に先鞭をつけることができ、リハビリテーションの質向上に資するものであると考える。

一方で、現実的な課題解決に焦点を当てるあまり、学術的な展開については一部に課題を残した。例えば、ライフログの解釈手法や精度向上のアルゴリズムなどについては、より一般的な応用を志向した研究の進め方も考えられたはずであり、今後の課題としたい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

本研究は、福祉機器の安全・安心に関わる評価方法を、量的評価と質的評価の双方を含むものとして確立する試みである。福祉機器は、技術シンポにより高機能化が可能となる一方で、様々な身体的・心理的状況にある障害者や高齢者をユーザとするため、ユーザビリティの評価が重要であるが、確立された方法はなかった。そこで本研究では、長期にわたる観測を実現するために、電動車椅子を対象としたライフログシステムを開発している。また、リハビリテーション専門職による福祉機器の適合プロセスを記録し、専門職が収集する評価項目が集約されていく様子を明らかにしている。こうした研究を進める基礎が採択時に備わっていたとは必ずしも言えないが、自らが車椅子利用者であることによる一人称的視点と、工学者としての客観的視点の双方を持ち、妥協なく福祉機器のあるべき姿に迫ろうとした研究姿勢は評価できる。福祉機器は今後もさらに必要性が高まる分野である。研究を継続し、我が国の福祉機器のレベルを、欧米を凌ぐものに高めていくことを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. Suzurikawa J, Iwata K, Matsumoto O, Inoue T, "Feasibility Test and Characterization of Wheelchair Everyday Life Log with a Smartphone-Based Electronic Recording Equipment.", Proceedings of 2014 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 502-507, 2014.
2. Suzurikawa J, Kinoshita T, Inoue T, Kamo M, Iida N, Iwamoto K, Matsumoto O, "Evaluation of Changes in Power Wheelchair Maneuver Induced by a Downhill Turning Prevention Control on Cross Sloped Surfaces.", IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng., 7, pp. S184-S186, 2012.
3. 硯川潤, 木下崇史, 加茂光広, 飯田教和, 岩田拓也, 松本治, 井上剛伸, "簡易形電動車いすのための片流れ検知・軽減走行技術による操作量変化の予測モデル構築.", ライフサポート, 24, pp. 128-134, 2012.
4. 崎山美和, 硯川潤, 中村美緒, 久米洋平, 河上日出生, 井上剛伸, 新規性の高い福祉機器のリハビリテーション専門職による初期試用評価の特徴分析, 日本生活支援工学会誌, in press.

(2)特許出願

研究期間累積件数: 1件

1.

発 明 者: 硯川潤

発明の名称: 操作状態計測システム、操作状態計測方法、及びプログラム

出 願 人: 国立障害者リハビリテーションセンター

出 願 日: 2012/10/26

出 願 番 号: 特願 2012-236589

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

【査読付きプロシーディング】

Komoto K, Suzurikawa J, "Feasibility Test and Characterization of Wheelchair Everyday Life Log with a Smartphone-Based Electronic Recording Equipment.", Proceedings of 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp. 176-181, 2012.

Komoto K, Suzurikawa J, "Estimation Method of Wheelchair State during Joystick Operation Using WELL-SphERE.", Proceedings of the 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 2499-2502, 2013.

【招待講演】

硯川潤, "小さな親切? 大きなお世話? -車いす研究者の福祉機器開発よもやま話-", 日本機械学会イブニングセミナー(第148回), 2012-4-25, 東京.

硯川潤, "福祉機器の開発・評価支援手法.", かながわロボットミーティング I「介護・医療ロボット」フォーラム, 2013-10-23, 海老名, 神奈川県.

硯川潤, “ユーザー視点から構想する技術開発のあり方ー福祉機器開発の場合.”, コミュニティ工学フォーラム 2013, 2014-02-08, 名古屋.

【書籍】

硯川潤, “3.1.2 生活支援機器.”, ヒトの運動機能と移動のための次世代技術開発～使用者に寄り添う支援機器の普及へ向けて～, 株式会社エヌ・ティー・エス, pp. 281-288, 2014.