

令和6年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業
(高齢者関連製品の誤使用等事故対策検討事業) 調査報告書

令和7年3月14日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

目次

1. 事業目的と概要	1
1.1 事業の目的	1
1.2 事業の内容と実施方法	1
2. 高齢者の身体関連データの計測	2
2.1 身体関連データの計測内容の検討	3
2.2 身体関連データの計測装置.....	5
2.2.1 姿勢保持計測用テーブルおよび段差計測装置の製作.....	5
2.2.2 計測環境の記録用カメラの概要	9
2.2.3 脳波取得用の機器概要.....	10
2.2.4 グローブセンサの機器概要.....	11
2.3 身体関連データの計測.....	12
2.3.1 計測の方法	12
2.3.2 計測協力者の基礎情報.....	13
2.4 身体関連の計測データの分析と結果	13
2.4.1 カセンサによる身体保持特性のデータ分析.....	13
2.4.2 高さの異なる端部突起に対する身体保持力の結果	18
2.4.3 段差昇降に対する身体保持力の結果	22
2.4.4 身体保持環境に対する内的変化の解析.....	28
2.5 まとめ	34
3. 製品の誤使用・不注意による事故への対策案の検証	35
3.1 事故リスク低減策に関するワークショップと結果に対する製品の評価	37
3.1.1 事故リスク低減策に関するワークショップ	37
3.1.2 センサによる人の位置検知による対策	42
3.1.3 まとめ	50
3.2 除雪機の取り扱いや操作等に関する実態調査	51
3.2.1 除雪機操作の実態調査.....	51
3.2.2 除雪機に関するアンケート・インタビュー	56
3.2.3 考察.....	61
4. 高齢者行動ライブラリの活用促進	62
4.1 活動内容.....	63
4.2 活動成果.....	64
4.3 ライブラリ運営に関する現状の課題と対策案	64
5. 今後の展望	65
5.1 高齢者に関わる製品安全分野の規格・基準の整備	65

5.2 今後の課題	67
-----------------	----

1. 事業目的と概要

1.1 事業の目的

超高齢社会である我が国において、高齢者の製品事故対策は喫緊の課題となっている。重大製品事故の発生原因を分析すると、高齢者では誤使用・不注意に起因する事故の比率が他の年齢層より高く、これは加齢による身体・認知機能の低下が事故の発生に影響していると考えられる。製品設計側で意図していない使用について、同様の事例が多い場合には、単に高齢者側の「誤使用・不注意」と割り切るのではなく、「想定される使用」と捉え、製品開発・設計の局面での対応を検討することが求められている。一方、事業者によっては、高齢者の製品使用状況に関する調査・研究等を進めているところもあるものの、高齢者の日常生活の様子を把握するためには、多くの対象者の協力が必要不可欠であり、人材の確保や動画撮影への同意など難しい側面も存在している。

本事業では、高齢者の使用により製品で発生する重大製品事故の減少に寄与する仕様の反映や将来的な規格策定を念頭に、差し当たっては令和元年度に策定した「高齢者の生活機能変化に配慮した安全に関するユニバーサルデザインの実現に向けて」の中で取り上げられた重点的な対策が必要な個別製品群（介護ベッド、車いす、手すり、椅子、脚立）及び除雪機（以下、「重点品目」とする）について、高齢者の行動特性が十分に配慮された仕様の構築や規格が整備されるよう、その基礎となる高齢者の身体関連データを取得・整備することを目的とする。

1.2 事業の内容と実施方法

① 高齢者の身体関連データの計測

高齢者の行動特性を十分に配慮した規格の策定を念頭に置き、本事業では、高齢者における身体保持特性に焦点を当て、必要な計測内容を検討した。

下肢筋力が低下している高齢者は、立ち座り等では、身体保持を行うため無意識のうちにテーブル等を支えとして利用することが、高齢者行動ライブラリに記録されていることから、安全に立ち座りできるようなテーブルデザインの基礎データとして、手をつくエリアの摩擦の異なる素材での立ち座り動作、段差の昇り降り時に姿勢保持補助具の違いによる移動先での重心動揺等のデータ等を取得することにした。前者の計測では、昨年度事業「令和5年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（高齢者向け製品の安全性規格等検討事業）」で利用した成果物を改良した上で流用し、後者は新規製作した。

② 除雪機における事故リスク低減の取組み

高齢者における除雪機の事故は、事故の程度に関わらず毎年発生しており、中でも死亡事故については、不注意や誤使用が要因とも指摘されている。「令和4年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（高齢者向け製品の安全性規格等検討事業）」におい

て、除雪機に関するアンケートを実施し、過去にヒヤリハット体験をした方は53%と半数以上にのぼった。また、作業の効率性の向上を図る目的で誤使用をしている可能性が示唆されていた。このような結果を受けて、更なる調査を実施した。

③ 高齢者行動ライブラリの活用促進

高齢者行動ライブラリでは、身体機能や認知機能の低下といった高齢者の特徴的な行動特性を知ることができる。令和元年度産業保安等技術基準策定研究開発等事業（高齢者行動データライブラリを活用したセイフティ・バイ・デザイン促進事業）にて高齢者行動ライブラリのインタフェースの改良等を実施し一定の評価を得てきた。企業・団体等の登録件数も昨年度までで問い合わせが180件以上あり、登録企業は100件以上¹となっている。本年度は、当該ライブラリをさらに活用してもらう取組みとして、広報活動を実施した。ここでは、広報活動について報告する。

2. 高齢者の身体関連データの計測

高齢者は、下肢筋力の低下等から自身が思うように足が前に出ないことや、瞬間的にバランスを取ることが難しいことがあり、転倒に繋がる可能性がある。そのため、躓いたりバランスを崩さないために、身の回りの製品を「支え」に利用することで身体を保持することが多いと考えられる。実際、高齢者行動ライブラリにおいても、高齢者施設でのベッド周辺行動では、多くの高齢者がベッド柵（ベッドサイドレール）を「支え」に歩行を行っていることが確認できている。

近年、高齢者の要介護状態に陥る前の虚弱な状態、かつ健康な状態への可逆性を持った「フレイル²」と呼ばれる状態への移行を予防する取り組みが進められている。高齢者自身でも健康体操や筋力トレーニング等を実施することで、フレイル予防の効果はあるとされるが、本人の意思にかかわらず、フレイルになっても安全な生活を送ることが可能な環境デザインを施すという方法が提案され、その必要性が指摘されている³。生活環境の物体形状のデザインを少し工夫することで、高齢者の身体保持性を向上させることが可能であれば、過度な介入や転倒を防止するための環境づくりの導入障壁を低減できるのではないと思われる。

ここでは、日常的に利用する製品の小さな形状変化が、高齢者の姿勢保持にどのような影響があるかという「高齢者の身体保持特性」に焦点を当てて、計測内容の検討、計測用機材の製作、計測の結果及びデータ分析等について報告する。

¹ 一つの企業内でアカウントを共有している企業もあるため、閲覧者数は登録企業数より多い。

² フレイル（虚弱）とは、健常から要介護に移行する段階の期間のことで、心や体の活力などが低下していく状態を言う。生活習慣改善や身体機能・認知機能の低下の予防、社会との交流等によって健常からフレイルにならないようにする、また、フレイルから健常に戻すといった研究が進められている。

³ 産業技術総合研究所, "高齢者の生活機能変化に配慮した安全に関するユニバーサルデザインの実現に向けて", 2020

2.1 身体関連データの計測内容の検討

「令和 5 年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（高齢者向け製品の安全性規格等検討事業）調査」にて、立ち上がり動作に関わる姿勢保持用テーブルを製作し、手すり状のデザイン、手掛かり状のデザイン、前方に窪みがあるデザイン等の複数の種類の立ち上がり保持具についての基礎データを収集した。データ分析から、立ち上がり時には、床方向への荷重以外に、テーブルから計測協力者の方向にも荷重がかかっていることがわかった。つまり、立ち上がる動作をする場合、手前に引く力も発生していることがわかった。このような分析結果を知見として、東京都健康長寿医療センター研究所の介護予防・フレイル予防の専門家に実際の計測を想定した観点から、倫理面、安全面、実験に参加する高齢者の肉体的負担などの要素を総合的に勘案した助言を頂き、高さのある面（椅子等）からの立ち上り動作や段差の昇り降りなどの動作による計測を実施することにした。

計測協力者の参加条件としては、重度サルコペニアまたはそれに近い方とした。サルコペニアには、筋力や身体機能、骨格筋量の評価による明確な定義があるが、今回、高齢者施設のデイスサービス等を利用している方も対象とするため、その診断が難しい。そのため、下肢筋力が低下している方、杖を利用されている方、歩行器を利用されている方の何れかに当てはまる方を対象とした。また、計測時間は、肉体的負担を配慮して 30～40 分程度になる計測内容とした。具体的には、以下の 3 種類の動作を実施し、その時の力や重心動揺の計測を実施した。

- （1）手を着く場所の素材を変えた計測
 - ・ 4 種類の素材を変えながら、テーブルに加わる力を計測
- （2）テーブルのエッジ部に突起物を設置した計測
 - ・ 3 種類のプレート上の突起物を変えながら、テーブルに加わる力を計測
 - ・ テーブルから横に 1 歩足を出したときの重心動揺を計測
- （3）段差環境における重心動揺計測、姿勢保持具の種類を変えた計測
 - ・ 20cm の踏台を用意し、踏台から降りる動作を行い、降りた先での重心動揺と 4 種類の壁の姿勢保持具を変えながら、そこに加わる指の力を計測
 - ・ 20cm の踏台を用意し、踏台に昇る動作を行い、昇った先での重心動揺と 4 種類の壁の姿勢保持具を変えながら、そこに加わる指の力を計測

表 1 に計測内容を示す。それぞれの目的は、次の通りである。（1）立ち上がり時に、テーブルで身体保持をする場合、テーブル面の素材によって身体保持し易くなる効果があるかを評価することを目的とする。加齢により皮膚の保湿成分（皮脂、天然保湿因子、角質細胞間脂質）の分泌が減少することで皮脂膜が薄くなり、角質に保持できる水分が減少することで乾燥肌になると言われており、手先や手のひらも乾燥することから、テーブル面と手が滑りやすくなり、姿勢保持をしにくくなるため、テーブル面の素材の違いによる

効果を確認する。（２）テーブルのエッジに出っ張り（突起物）をつけることで、身体保持をしやすくなる効果があるかを評価することを目的とする。（３）段差の上り下り時に、壁に突起があることで身体保持しやすくなる効果があるかを評価することを目的とする。戸建ての玄関かまちななどの段差に若い時から手すりを設置している家庭は少ない。後付けも可能ではあるが、設置が難しい場合や、手すりがないと上り下りができないほどまで身体機能が低下しないと設置しない人、手すりを設置すること自体が気恥ずかしいと捉えている人も存在する。このような背景から、手すりの代替となり、身体機能が低下する前からでも取り入れやすい環境デザインを検討するために基礎データとして取得する。また、段差利用時のバランス（重心動揺）も計測する。

表 1 高齢者の身体保持計測内容

	計測項目	試行回数
計測 1	テーブルに手をついて立ち上がる動作（素材を変える）	
	1-1. 通常のテーブル素材	1
	1-2. ゴム製樹脂素材（シリコン素材）	1
	1-3. 塩化ビニール素材	1
	1-4. 横溝がある素材	1
計測 2	テーブルのエッジの突起物を触れて立ち上がる動作、及び一歩横に出てセンサーに乗りバランス計測	
	2-1. 3mmの突起物	1
	2-2. 5mmの突起物	1
	2-3. 7mmの突起物	1
計測 3	段差昇降時の姿勢保持具の違いによる支え易さ・力の計測、及び昇降動作の移動先でのバランス計測	
	3-1. 段差を降りる / 保持具：手すり	1
	3-2. 段差を降りる / 保持具：3mmの突起物	1
	3-3. 段差を降りる / 保持具：5mmの突起物	1
	3-4. 段差を降りる / 保持具：7mmの突起物	1
	3-5. 段差を昇る / 保持具：手すり	1
	3-6. 段差を昇る / 保持具：3mmの突起物	1
	3-7. 段差を昇る / 保持具：5mmの突起物	1
	3-8. 段差を昇る / 保持具：7mmの突起物	1

今回、製品の安全に関する身体保持特性という観点での計測ではあるが、計測内容の検討

段階で、「安全」以外の製品への価値として、「安心感」という観点も必要ではないかという提案がなされた。不安定な製品や使用中にストレスを感じる製品等は、不安を感じてしまう可能性があり、インシデントに繋がる可能性がある。安心感の計測方法は様々あるが、調査の結果、脳波（血流量）を計測可能な装置として導入し、安心感を評価することとした。

また、立ち上がり時のテーブルへの手のつき方による評価についてはグローブセンサを利用して計測することとした

2.2 身体関連データの計測装置

身体保持における力学的データ取得のため、計測用テーブルの製作を実施した。製作するにあたり、今回の計測では、「令和5年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（高齢者向け製品の安全性規格等検討事業）」の製作したテーブルの一部を改良することで利用可能との判断から、再利用することにした。段差の計測に関しては、新規の装置を製作することにした。

2.2.1 姿勢保持計測用テーブルおよび段差計測装置の製作

「令和5年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（高齢者向け製品の安全性規格等検討事業）」は、高齢者が立ち座り動作をする際にテーブルにあると有用なデザインを検討し、その基礎データを収集した。その結果、多くの方から、手すり状や手掛かり状の保持具が立ちやすいとの回答を得た。一方で、これらの保持具は、自身の胸元あたりにあるため、日常的な食事などに支障がでてしまう。今回、昨年度の結果も踏まえながら、普段使いでも問題なく利用できる保持機能テーブルという観点から、天板の素材や支えになる可能性がある出っ張り（突起物）等の機能を評価した。

図1は、昨年度製作したテーブルと修繕したテーブルである。

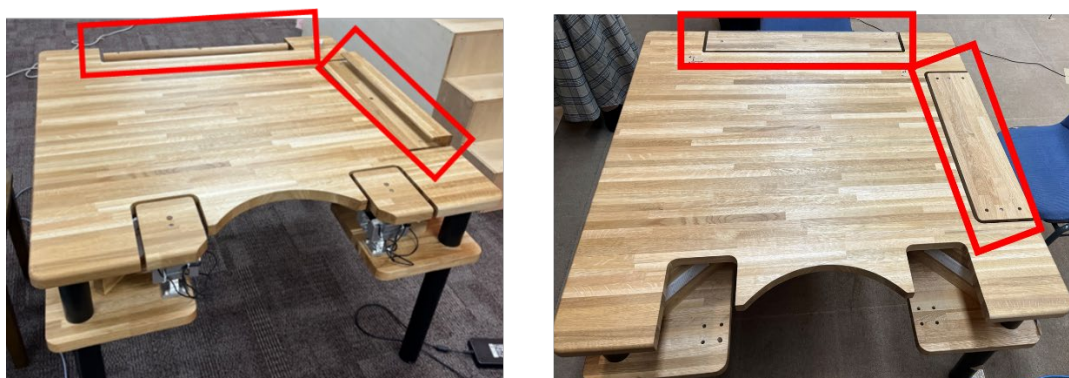


図1 昨年度製作テーブル（左）と修繕したテーブル（右）

図2は、計測1（テーブルに手をついて立ち上がる）の装置部分である。手をついて立

ち上がる時に天板の素材の違いによる立ちやすさを評価するため、㉗から㉕の4つの異なる板木を準備し、それぞれの素材を入れ替えて評価を実施した。㉗は一般的な木で製作された素材、㉘は塩化ビニール素材を貼付した板木、㉙はゴム製樹脂素材を貼付した板木、㉕は一定間隔に溝が彫られた板木である。

図3は、計測2（テーブルのエッジの突起物を触れて立ち上がる動作、及び一步横に出てセンサに乗り重心動揺計測）の装置部分である。テーブルのエッジ部にスリットを製作し、そのスリットに天板から3mm（㉘）、5mm（㉙）、7mm（㉕）の線状の突起となるような構造物を製作・挿入し、それぞれの突起長で評価を行った。また、立ち上がった後、テーブル横に出て一步踏み出す部分に足圧センサ（住友理工株式会社製のSR ソフトビジョン 足圧版）を設置し、両足が乗った直後からの重心動揺の収束計測も実施した。図4は、重心動揺計測用の足圧センサのおおよその設置位置事例である。



図2 計測1のエリア（左）と交換治具（右）

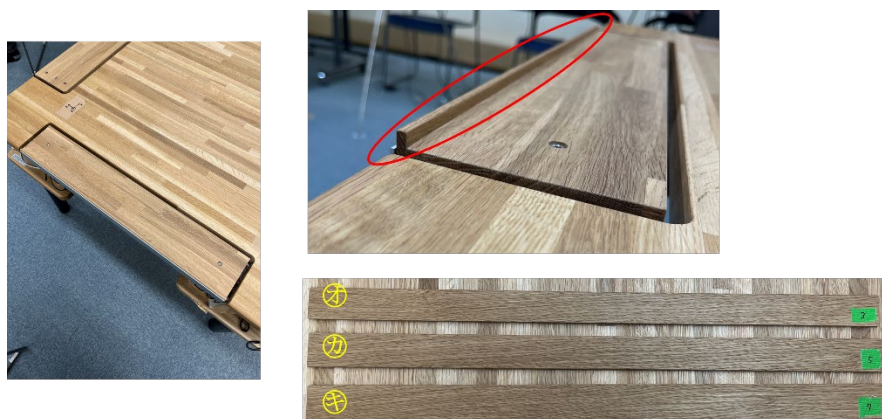


図3 計測2のエリア（左）と交換治具等（右）



図 4 計測 2 における重心動揺センサの設置位置

計測 1 及び計測 2 の天板部分の下部には、昨年度開発した姿勢保持計測用荷重センサ（以下、力センサ）を設置しており、このセンサで 3 軸方向の力を計測する。図 5 に力センサと設置事例を示す。

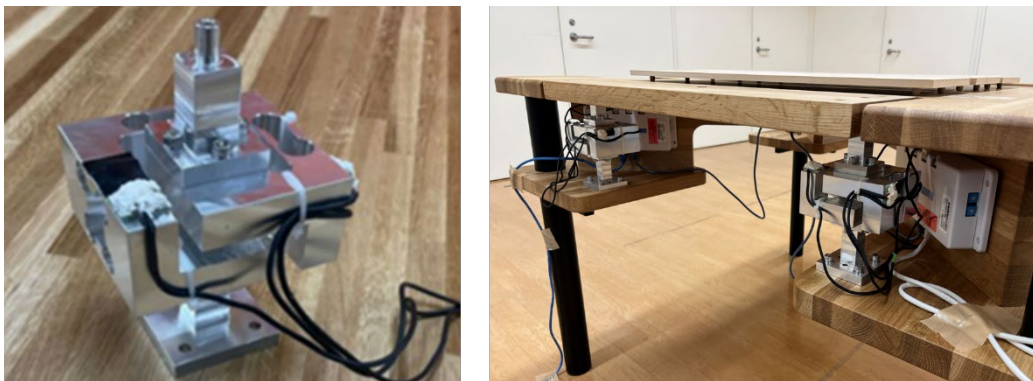


図 5 姿勢保持計測用力センサと設置事例

図 6 に示すように、力センサは力センサコントロール装置などを通して計算機でデータを取得する構成となっている。また、力センサのゼロ点補正やサンプリング時間の設定、データ収集開始・停止などの基本的な設定は、制御計算機からコマンドラインで設定できる機能を有している。制御計算機上で動作するソフトウェアを開発し、計測開始・終了の制御を行い、取得データをリアルタイムにグラフで可視化して確認できるようにしている。

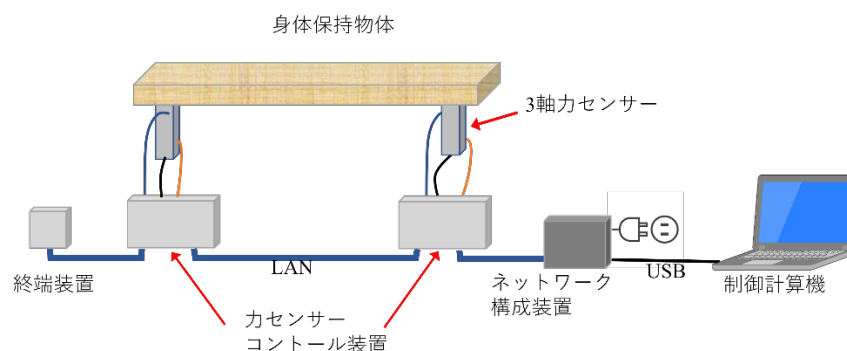


図 6 カセンサの全体システム構成概要図例

図 7 は、カセンサの動作確認データである。意図的に X 軸、Y 軸、Z 軸のそれぞれの方に荷重を加え、グラフで可視化した例である。グラフの青色は X 軸方向（床と平行方向で上がプラス（押す）方向、下がマイナス（引く）方向）に荷重を掛けている様子であり、以下同様にオレンジ色は Y 軸方向（床と平行方向で上がプラス（左）方向、下がマイナス（右）方向）、グレー色は Z 軸方向（床と垂直方向で上がプラス（上に引く）方向、下がマイナス（下に押す）方向）にそれぞれ 1 回ずつ荷重を掛けて得られたデータであり、3 軸ともに適切に計測できていることが確認できた。

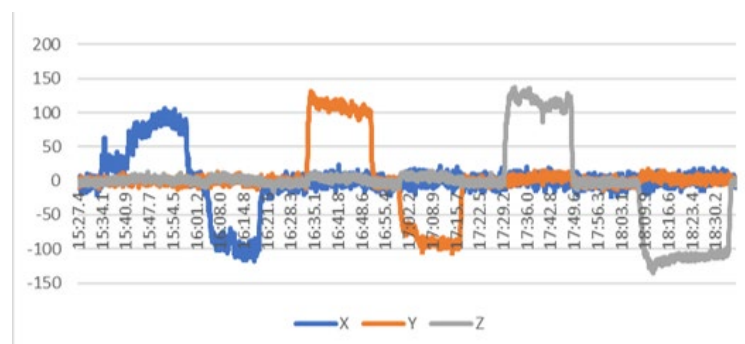


図 7 カセンサ取得データの確認用サンプル

計測 3（段差昇降時の姿勢保持具の違いによる支え易さ・力の計測、及び昇降動作の移動先でのバランス計測）で利用する装置は、新規で製作した。図 8 は、計測 3 で利用する装置イメージである。中心の可動パネルは計測協力者の身長に応じて高さが変えられる仕様となっており、パネルフックにより 10cm 単位で調整可能である。可動パネルには、一般的な手すりの他に、奥行きが 3mm、5mm、7mm の線状突起物の保持具を配置してある。線状突起部物については、一般家庭で手すりの後付けが難しい環境の場合でも、何らかの保持具があることにより、身体保持の利用可能性を探る目的の基礎データとして、取得・評価を実施した。



図8 計測3の装置イメージ(左)と可動パネル(右)

図9に計測3の設置事例を示す。左図が段差を降る動作時の設置事例であり、移動後の重心動揺を計測する。右図が段差を昇る動作時の設置事例であり、移動後の重心動揺を計測する。



図9 計測3の装置設置事例

2.2.2 計測環境の記録用カメラの概要

記録用のカメラはマイクロソフト社製の Azure Kinect を使用し、高齢者の動作中の姿勢データ（関節の3次元位置）を取得できる（図10）。当該カメラは、通常のカラー動画をフルハイビジョン（解像度：3840×2160）で撮影可能であり、かつ深度センサ（解

像度：640×576、フレーム数 30fps）を用いて、環境の 3 次元形状データと人の姿勢データを同時に取得できる。データ記録には、これまでに開発したソフトウェア（「平成 29 年度 ビンテージソサエティの実現に向けた高齢者等の行動データ収集事業」で開発済）を利用することで、画像データと姿勢データを同時に記録する。姿勢データは、手、足、顔などの関節や特徴的な位置 32 か所の 3 次元位置データである。図 11 に Azure Kinect カメラの仕様、及び姿勢データで取得可能な 32 か所を示す。



図 10 Azure Kinect カメラ例

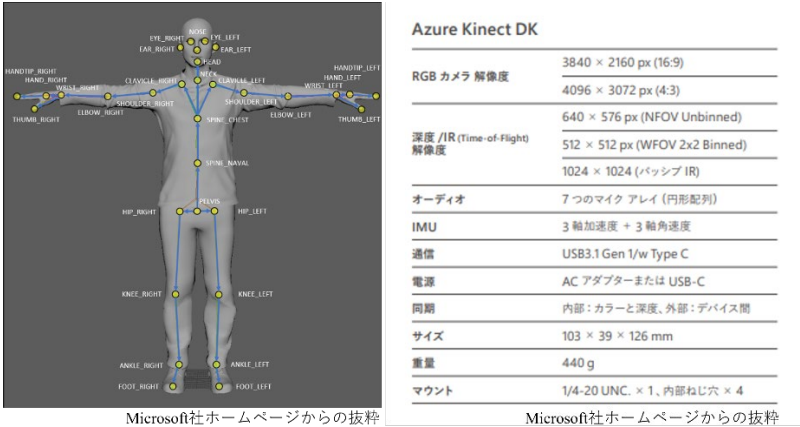


図 11 Azure Kinect の仕様等

2. 2. 3 脳波取得用の機器概要

高齢者が、日常的に利用する製品の安全という観点で計測を実施するとともに、製品の安心感という観点でもデータの取得を行うこととした。ストレスを計測する手法はいくつか存在するが、高齢者の利用、既成品、軽量、機器着脱の容易性、データ取得の容易性、取得データの操作性等といったキーワードを条件として検討し、調査した結果、株式会社 NeU 製の携帯型脳活動計測装置（HOT-2000）という脳波計を利用することにした。この装置は、NIRS⁴センサによってリアルタイムに脳活動に関連する血流変化を計測できるものである。図 12 に HOT-2000 の外観を示す。

⁴ NIRS（光トポグラフィ技術/近赤外分光法）：微弱な近赤外光を用いて大脳皮質部分を計測し、脳活動を見える化する技術

なお、当該装置は、頭部の上下動があると正確に測定できないとされているため、段差昇降の計測は利用しないこととした。



図 12 HOT-2000

2.2.4 グローブセンサの機器概要

椅子からの立上り時のテーブルへの手のつき方や段差時の姿勢保持物体の手のつき方によって、科学的な分析が可能となる。

計測 2 で使用したセンサは、Manus 社（オランダ）のグローブ型 VR デバイス Prime3 Haptics XR である。このセンサ搭載型グローブは、フィンガートラッキングに対応しており、手指の動きをデータ化できる製品である。図 13 に製品と実際の装着事例を示す。



図 13 グローブ型 VR デバイス（左）と利用事例（右）

また、計測 3 ではワイヤレス触覚測定システム「Finger TPS」を利用して、段差昇降時の手指に掛かる荷重の計測を行った。当該製品は、指先及び手のひら部分にセンサが装着されており、物をつかむ等で加わった力を計測する機器である。図 14 に Finger TPS の装着事例を示す。



図 14 Finger TPS (左) と実際の計測事例 (右)

2.3 身体関連データの計測

60～90 代の高齢者 59 名を対象に、身体保持動作に関する計測を行った。計測協力者については、東京都健康長寿医療センター研究所の「お達者クラブ」ご利用者の中から 27 名、及び神奈川県川崎市の以下の 5 個所の高齢者施設にご協力頂いた。

- 1 社会福祉法人「和楽会」特別養護老人ホーム 夢見ヶ崎 (5 名)
- 2 社会福祉法人「子の神福祉会」特別養護老人ホーム 富士見プラザ (4 名)
- 3 社会福祉法人「セイワ」高齢者福祉施設すえなが (10 名)
- 4 社会福祉法人「一廣会」かないばら苑 (2 名)
- 5 社会福祉法人「照陽会」特別養護老人ホーム みんなと暮らす町 (11 名)

特別養護老人ホーム 夢見ヶ崎は、施設に入居している利用者に、残りの 4 施設については、通所（デイサービス利用者）の方にご協力頂いた。

2.3.1 計測の方法

計測に先立ち、当該計測の目的や計測内容、個人情報保護などの説明を行い、同意を取得したのち、計測ごとに説明を行いながら、計測従事者の指示に従うように促し、表 1 に示す 3 つの計測 (15 条件) について、各動作を取った際の荷重計測や記録用カメラによる RGBD データ及び姿勢データ等の記録を行った。計測では、それぞれ種類の異なる素材や突起高を複数利用するが、その順番は計測協力者毎にランダムに振り分け、順番による影響を軽減するようにした。

今回は、日ごろから杖や歩行器等を利用されている方を中心に計測を実施したため、下肢筋力が低下していたり、関節に持病を持たれた方等が複数おられ、段差等の高さのある移動に関して不安を持たれている方がいた。手すりは全員が実施できたものの、線状突起物は、奥行き長さによっては、身体を保持することが難しい方もいたため、安全を第一

に考え、身体的に計測可能な方のみ実施することにした。

また、各計測前は、素材の違いや保持物の長さ等の違いに関して特段触れず、計測後に使いやすさや持ちやすさ等の聞き取りを行った。

計測時間は 40 分前後であり、少し疲れたと言った方もおられたが、肉体的には概ね問題ない時間であった。

2.3.2 計測協力者の基礎情報

協力頂いた方の抽出条件としては、下肢筋力が低下されている方、日常生活で杖や歩行器を利用されている方、椅子からの立上りや歩行がほぼ自立されている方、第三者と単独でコミュニケーションが取れる方等とした。

男女比は対等が望ましいと思われるが、協力者や家族の理解及び同意が必要な点、施設側の負担を極力軽減する等の観点から、各施設独自に優先順位をつけて依頼してもらったため、結果的に女性の割合が多くなった。女性が多くなった背景には、一般的にデイサービスの利用者は、女性が 8 割を占めるとも言われている。介護スタッフに女性が多いことから、このような傾向になるともいわれている。図 15 に計測に参加した方の男女別比と年齢構成を示す。男性 16 名（27%）、女性 43 名（73%）であり、最年少は 65 歳、最年長は 98 歳。年齢構成比として最も多い年代は、80 歳～89 歳が 25 名（42%）であった。

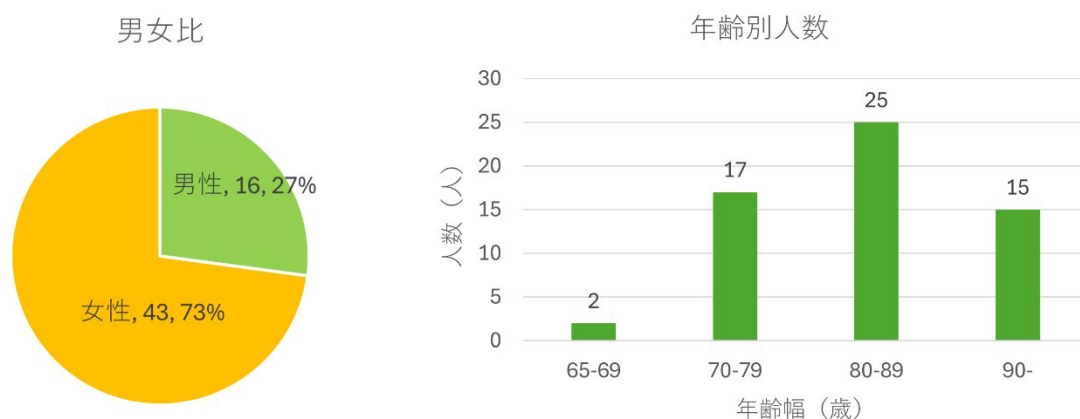


図 15 男女別比（左）と年齢構成（右）

2.4 身体関連の計測データの分析と結果

2.4.1 カセンサによる身体保持特性のデータ分析

ここでは、テーブル面の素材の違いによる評価（計測 1）について報告する。

両手をテーブルについて立ち上がる動作を行った際、テーブルに加わる力をカセンサで取得した。テーブルの素材は 4 種類で、一般的な木で製作されたテーブル素材、塩化ビニール素材を貼付した板木、ゴム製樹脂素材を貼付した板木、一定間隔に溝が彫られ

た板木である。

取得したデータは、ローパスフィルタでノイズを除去した後、3 軸方向の各方向にかけられた力の最大値と最小値を取得した。各素材によっては、摩擦力の向上や指を掛けられるといった効果が期待されたため、ここではテーブルを手前に引く方向の力に着目した。また、計測協力者毎に結果の傾向があることが確認されたため、k-means 法を使用してクラスタリングを行い、それぞれのクラスタの特徴について計測協力者の基本情報や姿勢の面から分析を行った。

図 16 に力センサで取得した力データの事例（左）と各軸の方向を示す。軸の矢印方向がプラスである。Z 軸方向に 4 回の波形ピークが見られるのは、座った状態で 3 回テーブルに両手をついて立つ予備動作を行った後、4 回目に立ち上がっているため、計 4 回のピークが検出されている。

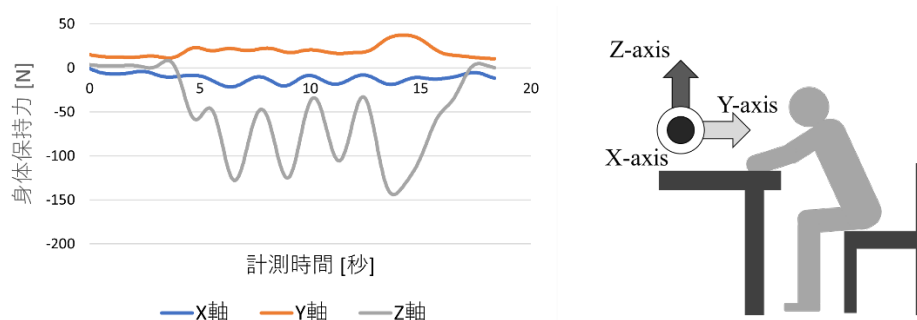


図 16 力センサ波形式例（左）と各軸の方向

テーブルの表面素材の変化による影響が、手前に引く方向に表れやすいと考えたため、Y 軸方向の力の最大値について素材による違いの比較を行った。まず一例として、2 名の計測協力者について、Y 軸方向にかけた力の最大値の結果を図 17 に示す。

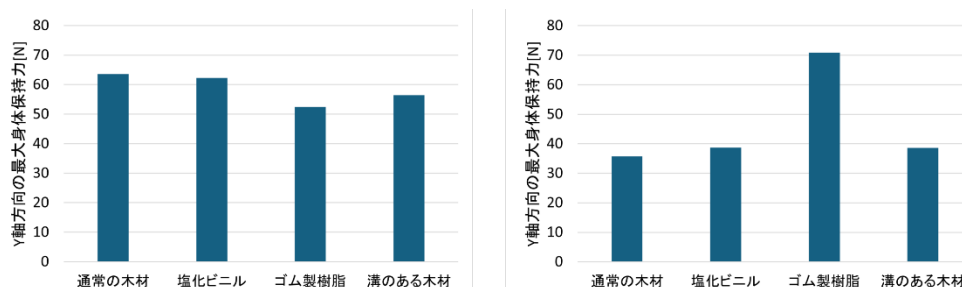


図 17 Y 軸方向にかけた力の最大値

通常のテーブルと他のテーブル素材で、あまり差が見られない結果や、ゴム製樹脂素材で Y 軸方向に大きな力がかかる結果、といったように、素材の違いによる力の掛かり方の傾向は、個人差が見られた。

以上のことを踏まえ、個人ごとのテーブル素材に対する Y 軸方向の力の差が表れる理由を考察するため、通常のテーブルに掛けた力に対し、素材ごとにかけた力の大小を算出し、クラスタリングを行った。クラスタリングの際、力データを各計測協力者の体重で割って正規化した。クラスタリングに用いたデータは、具体的には、通常のテーブルと塩化ビニール素材のテーブル、通常のテーブルとゴム製樹脂素材のテーブル、通常のテーブルと溝素材のテーブルという、3つの組み合わせについて力の最大値の差をそれぞれ計算し、これら3つの特徴量に対して k-means 法を用いてクラスタに分割した。図 18 に3つのクラスタに分割した結果を、主成分分析によって2軸上に投影した図として示す。また、クラスタごとに、通常のテーブルとその他の素材のテーブルに掛けた力の最大値の差の平均をとった結果を図 19 に示す。

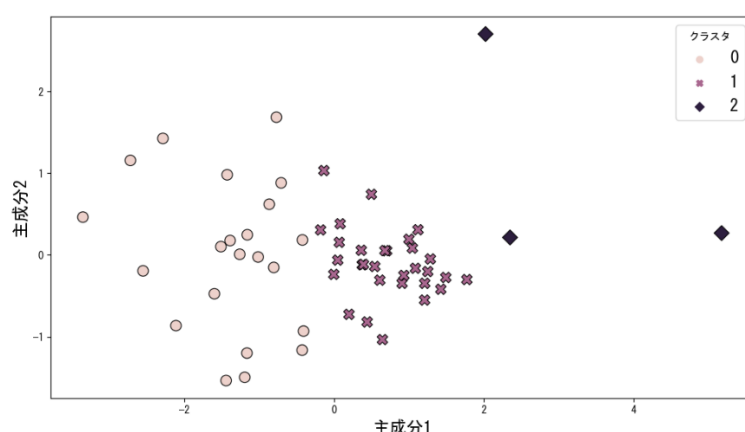


図 18 素材の組合せによるクラスタ分析

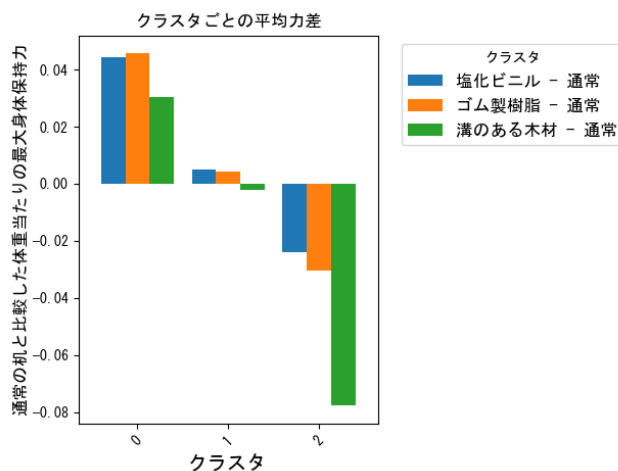


図 19 クラスタごとの平均力差

図 19 から、3つのクラスタの特徴は、通常のテーブルと比べて、手前方向に大きな力をかけていたグループ（左）、あまり差がないグループ（中央）、やや小さな力がかかったグループ（右）であることが分かった。

これらの傾向が生じる原因を調べるため、まず体重、身長、年齢といった基本情報を用いて、ランダムフォレストにより特徴量重要度を計算した。図 20 に結果を示す。この結果から、かけられる力の傾向には、年齢よりも身長や体重、そして BMI といった体形の影響が大きいという結果となった。

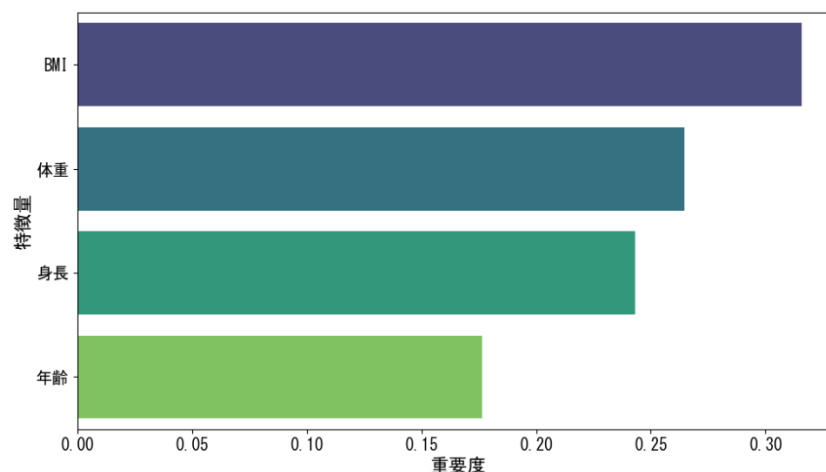
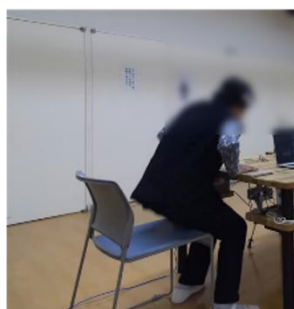


図 20 特徴量重要度

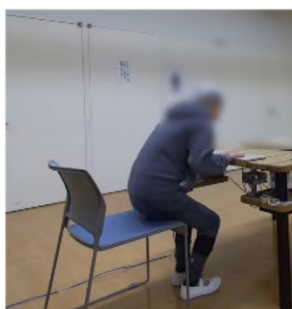
また、各クラスタの重心に最も近いデータについて、撮影した動画の確認を行った（図 21）。テーブル素材によって通常のテーブルよりも身体保持力が大きくなっていたグループ（クラスタ 0）では、頭を前に移動させて上体を前方に倒しながら、腰を浮かして、立

ち上がる、という立ち上がり方をしているため、重心がある腰部分を手で支えながら前方に重心を移動させるため、テーブルに後方への力が大きく掛かっていたと考えられる。テーブル素材による身体保持力の差がほとんど見られなかったグループ（クラスタ1）と、やや小さな力がかかったグループ（クラスタ2）とでは、動画からは明確な違いは見られなかったが、足を膝よりも後方に移動させてから、あまり上体を前に倒さずに立ち上がっており、前後への重心移動があまりないため、テーブルに後方への力があまり掛かっていなかったと考えられる。

一般に、クラスタ0のように、上体を前方に倒しながら立ち上がる方が、楽に安定して立上がることができ、下肢筋力の低下などによって、クラスタ1や2のような立ち上がり方になると言われている。今回の実験では、通常の立ち上がり方をして頂いたことから、このような結果となったが、クラスタ1や2のような立ち上がり方をしている方に、クラスタ0のような立ち上がり方をして頂いた場合に、テーブルによって身体保持力が高まることで、安心して立ち上がるができる可能性があると考えられる。



クラスタ0



クラスタ1



クラスタ2

図 21 画像による立ち上がり分析例

最後に、「テーブルの材質による立ち上がりやすさ」についてのアンケート結果を図 22 示す。25%の方が「変化あり」と回答した。変化があった方を対象に「立ち上がりやすい材質を順に教えてください」という質問に対しての平均順位を算出した結果、ゴム系素材（1.47 位）、溝構造（1.87 位）、塩化ビニール（2.13 位）、なし（2.4 位）という結果だった。一番立ち上がりやすいと回答したゴム素材に対する理由は、「滑りにくい」「触り心地が良い」という意見が多く寄せられた。一方で、摩擦を感じるため逆に立ち上がりにくいという意見もあった。

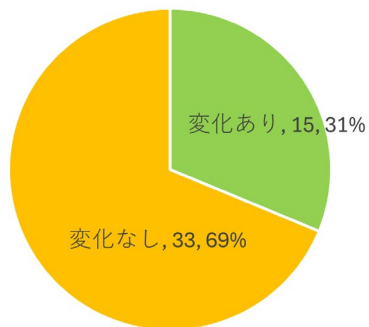


図 22 材質の違いによる立ちやすさの変化

2.4.2 高さの異なる端部突起に対する身体保持力の結果

ここでは、計測 2 のデータ分析を報告する。計測 2 でも体重で割った正規化を施しているが、突起のない通常の机を基準として Y 軸方向の身体保持力の差をとり、クラスタリングを行った。図 23 が k-means 法を用いたクラスタリング結果を主成分分析によって 2 軸上に投影した図、図 24 は各クラスターの重心に最も近い、手前に引く方向の力を体重に対する比として示した結果を示している。

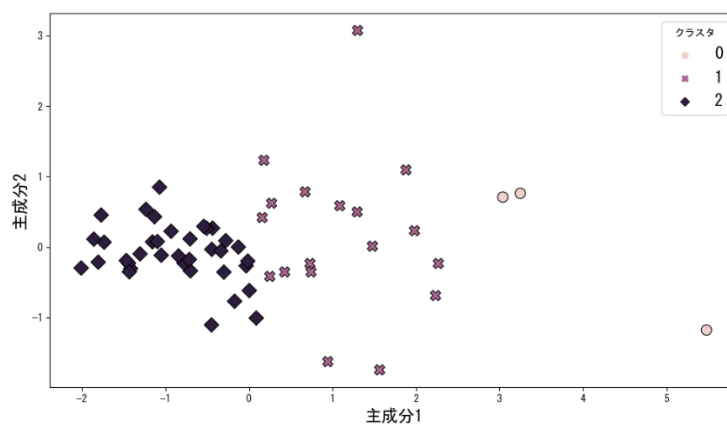


図 23 先端突起別のクラスタ分析

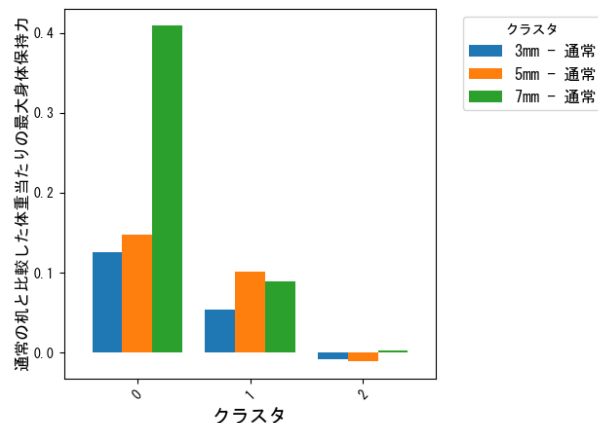


図 24 クラスごとの平均力差

クラスタリングの結果、図 24 のグラフ左側から、3mm、5mm、7mm の端部突起の高さに比例して身体保持力の変化が大きくなるグループ、端部突起で保持力が増加するが 5mm の効果が大きなグループ、ほとんど差がないグループに分類された。また、計測協力者のうち 3mm、5mm、7mm の端部突起がある場合には、それぞれ 60～70%程度で通常のテーブルよりも手前方向（Y 軸方向）への身体保持力が大きいという結果となった。

計測 2 では、立ち上がった後に横に 1 歩移動してもらい、計測協力者のふらつきにどのように影響があるかを調査するため、足圧センサを利用して重心動揺の変化も計測した。取得した足圧センサデータから、重心移動の収束までに要した時間や重心軌跡の矩形面積を計算し、個人ごとに身体保持形状によってどのような差異があるのかを考察した。ここで、重心の収束については、重心の移動が 0.1 秒当たり 1mm 未満という状態が 0.5 秒間継続した状態として設定し、足がセンサ上に乗ってから重心が収束したと判定されるまでの時間を計算し、取得した時間内で収束の条件を満たさなかった場合には収束しなかったと判定した。また、重心軌跡の矩形面積については、足圧を計測した最大面積の 8 割を超える範囲に圧力がかけられたタイミングを両足が乗ったと判定することで、両足がセンサ上に載ってから 5 秒後までの区間で、x 軸方向と y 軸方向それぞれの最大値と最小値の差をとり、その積で算出した。

まず、3mm、5mm、7mm と端部突起が大きくなるにつれて重心動揺の収束が早まった計測協力者の一部について、重心動揺の収束までの時間を表 2 に示す。端部突起の高さが高くなるにつれて、収束しなかった重心動揺が収束するようになるなど、椅子から立ち上がり、横に移動する際に突起が高ければ高いほど有効に身体保持ができている高齢者がいることが明らかになった。

表 2 重心動揺の収束に効果が確認された計測結果

	重心収束までの時間 (秒)		
	3mmの端部突起	5mmの端部突起	7mmの端部突起
計測協力者A	収束しなかった	収束しなかった	8.25
計測協力者B	収束しなかった	22.45	17.4
計測協力者C	収束しなかった	13.25	10.05
計測協力者D	5.2	4.8	2.8
計測協力者E	8.45	4.9	3.6

一方で、収束しなかった方もいた。動画を分析した結果、身長が高い高齢者では、立ち上がり、移動する前にテーブルから手を離してしまっているがスムーズにセンサ上に移動している様子が確認できた。以上のことから、端部突起にそもそも手をついていない高齢者の場合には効果がないものの、端部突起に手を当てる場合には効果がある被験者がいることが示唆された。

計測 2 では、手のモーションキャプチャーができる手袋を着用することで、手のつかみ方に関する計測も行った。この装置は、片方の手につき、手のひらには 1 点、親指には 4 点、親指以外の指にそれぞれ 5 点の計 25 点の計測点がある。この 25 点の計測点において X 軸、Y 軸、Z 軸の 3 軸で回転角を取得した。手で突起のあるテーブルを保持し、立ち上がるまでの手の動きを両手 50 点の 3 軸の回転角の時系列データを取得し、動的時間伸縮法 (Dynamic Time Warping: 以下, DTW) を用いて計測協力者の時系列データ同士の類似度を計算し、それを用いて階層的クラスタリングを行った。尚、計測 2 では、計測する突起高の順番は計測協力者毎にランダムに振り分けているため、最後の 1 回の突起高が計測協力者毎に異なる。また、突起物の握み方等に指定は設けず、計測協力者が保持しやすい方法で行った。

まず、「突起による立ちやすさの変化」についてのアンケート結果を図 25 に示す。アンケートは計 50 名に協力頂けた。「変化あり」は 48%であり半数近くが突起の有効性を感じたことになる。

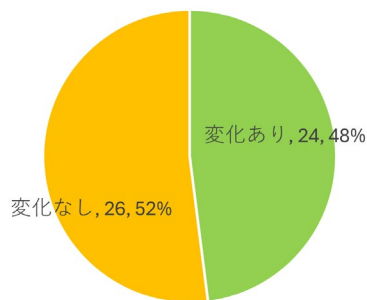


図 25 突起による立ちやすさの変化

手のモーションデータを計測できた 49 名のデータに対し、階層的クラスタリングを行った結果を図 26 に示す。クラスタリンググループは、①手のひら全体を机の上につけて突起を「手の平にあてる」、②突起に「指をかける」の 2 つのグループとなった。突起を手の平にあてる動作をしていたのは 37 名、指をかけていたのは 12 名であった。

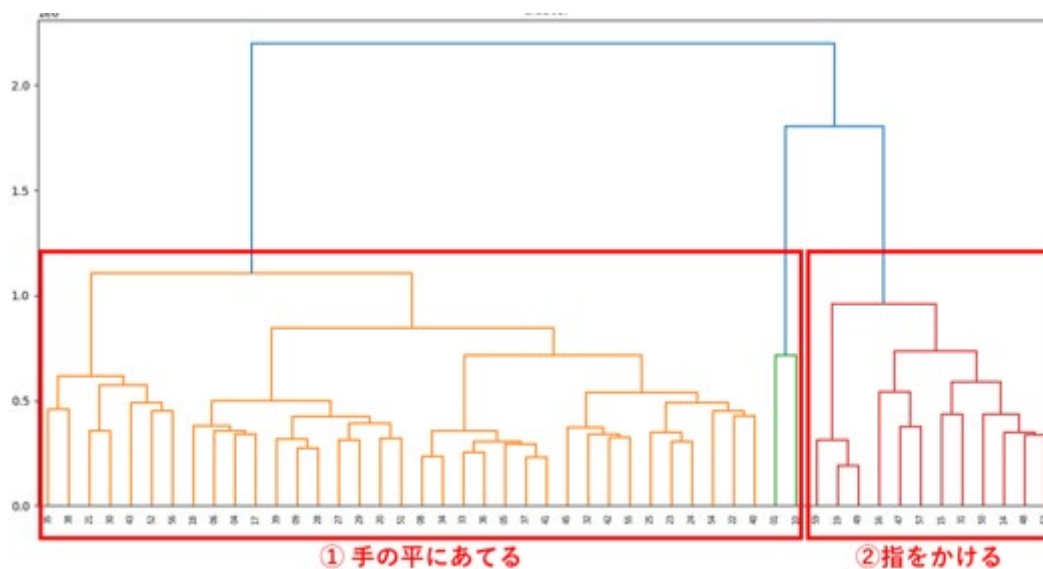


図 26 モーションキャプチャーデータによる階層的クラスタリング

アンケート回答者及び手のモーションキャプチャー実施者の 43 名に対し、クラスタリングされたグループ毎にアンケート結果に変化が見られるのかを調査した（指をかける群：12 名、手の平にあてる群：31 名）。指をかける群、手の平にあてる群、及び全体の結果について比較したところ、「指をかける」群では、立ち上がりやすさに「変化あり」と答えた人の割合が約 58%、「手の平にあてる」群で「変化あり」と答える割合が約 38%

であった。いずれでも突起の効果を感じる高齢者がいることが確認できたが、「手の平をあてる」群と比較すると「指をかける」群は、突起の効果を感じる方の割合が高かった。

「指をかける」群では、突起に指をかける、握る等、持ち手とするような持ち方をするため、効果を感じやすかったと推察される。

クラスタリングを用いて握り方を分類したそれぞれのグループに対し、「立ち上がりやすい突起の高さ」の回答の順位平均を群で比較した結果を図 27 に示す。この結果は、「突起があることによる立ちやすさの変化」に対し「変化あり」と回答した人のうち、手のモーションキャプチャデータを計測できた 43 名について算出したものである。青色が突起を「手の平にあてる」群、オレンジ色が突起に「指をかける」群、緑色が全体のデータ（立ち上がりやすい突起の高さを聞いた 50 名が対象）であり、「3」「5」「7」にそれぞれ 3mm, 5mm, 7mm の順位平均を載せた。「手のひらにあてる」群は 5mm に対して最も評価しており、「指をかける」群は 7mm に対して最も評価していた。「指をかける」群は、突起が大きいほど握りやすいため高く評価しており、「手の平にあてる」群は、突起が大きいと痛く感じたり邪魔に感じたりする傾向があることが示唆される。

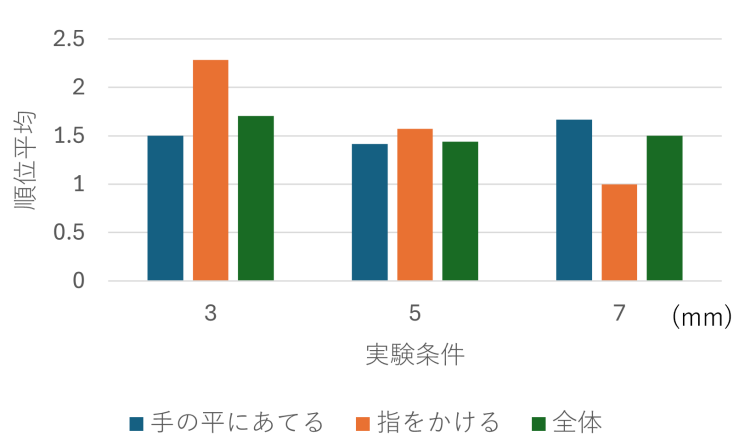


図 27 階層的クラスタリングを用いた突起の高さの好みに関する分析結果

2.4.3 段差昇降に対する身体保持力の結果

ここでは、壁面を模した装置に手すりおよび 3mm、5mm、7mm の突起を取り付け、計測協力者がそれらの壁面に手をついて身体保持をしながら段差を一段降りる、一段昇るという動作を行ってもらい、その時の移動先での重心動揺や身体保持時の手指に加わる力を計測した。

まず、足圧センサを利用した重心動揺について分析した。重心収束については、計測 2 と同様に、重心の移動が 0.1 秒当たり 1mm 未満という状態が 0.5 秒間継続した状態として設定し、足がセンサ上に乗ってから重心が収束したと判定されるまでの時間を計算し、取得した時間内で収束の条件を満たさなかった場合には収束しなかったと判定した。また、重心軌跡の矩形面積については、足圧を計測した最大面積の 8 割を超える範囲に圧力がか

けられたタイミングを両足が乗ったと判定することで、両足がセンサ上に載ってから5秒後までの区間で、X軸方向とY軸方向それぞれの最大値と最小値の差をとり、その積で算出した。図28に実際の計測している様子を示す。

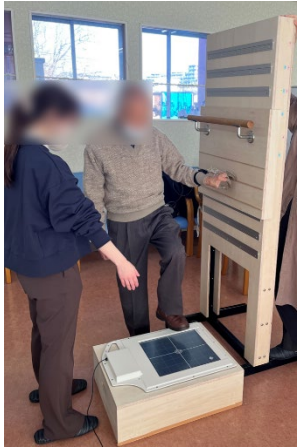


図 28 実際の計測風景事例

壁面に設置された数 mm の突起や手すりで身体を保持しながら、段差の下降や上昇をする動作について、足圧センサでの計測結果を示す。まず段差下降について 3mm の突起に手をついた場合を基準として、5mm、7mm、手すりの場合それぞれの重心収束までの時間や重心移動距離、及び重心軌跡の矩形面積を比較し、その増減の傾向によって3グループに分けたものを図29に示す。各値は、全体人数に対する割合（％）で示している。3mm の突起に比べて 5mm や 7mm、手すりがある場合には、重心収束までの時間や重心の移動が抑制されており、よりバランスを保ったまま段差の下降が実施できた被験者が確認された。

3mm突起に対する各値の増減傾向	重心収束までの時間			重心移動距離			重心移動矩形面積		
	5mm	7mm	手すり	5mm	7mm	手すり	5mm	7mm	手すり
増加した	34.8	45.7	30.4	37.0	37.0	43.5	34.8	37.0	43.5
変わらない	19.6	21.7	15.2	15.2	10.9	0.0	15.2	10.9	0.0
減少した	45.7	32.6	54.3	47.8	52.2	56.5	50.0	52.2	56.5

図 29 段差下降時の 3mm 突起での結果に対する変化グループごとの人数の割合

突起の持ち方について個人差があるが、段差の下降の際に突起に人差し指から薬指にかけて段差に指先を当てる形で身体を保持している方は、突起が大きくなるほど指先を当てられる面積が大きくなるため、突起が大きくなるほど重心動揺が抑えられたと考えることができる。計測協力者の中には、手のひらを突起に押し当てるようにしている様子も確認

できたが、このような場合には、突起の高さが体のバランスを支えるのにあまり関与しないことが考えられる。

同様の壁面を使用して段差を昇る動作についての分析データの結果を図 30 に示す。上昇動作においても、3mm の突起を保持した場合よりも大きな突起や手すりを保持することによって重心の収束までの時間の短縮や重心の軌跡の移動が抑えられる等、バランスを保ったまま昇る動作ができる計測協力者が多いことが確認できた。

3mm突起に対する各値の増減傾向	重心収束までの時間			重心移動距離			重心移動矩形面積		
	5mm	7mm	手すり	5mm	7mm	手すり	5mm	7mm	手すり
増加した	29.5	25.0	34.1	29.5	31.8	36.4	25.0	34.1	34.1
変わらない	25.0	25.0	18.2	13.6	9.1	0.0	13.6	9.1	0.0
減少した	45.5	50.0	47.7	56.8	59.1	63.6	61.4	56.8	65.9

図 30 段差上昇時の 3mm 突起での結果に対する変化グループごとの人数の割合

以上の結果から、段差昇降動作において壁面に突起を設置することにより、突起に指をかけるようにして身体を保持することで、バランス保持効果があることが示唆された。

次に、壁面の突起物に手をついて身体保持しながら段差を昇降してもらい、その時の左手の各指にかかる力を Finger TPS を用いて計測した。3mm、5mm、7mm の 3 種類の大きさの突起に対して、段差の「昇り動作」と「降り動作」それぞれにおける力の時系列データを取得した。各条件で取得した各指の力の時系列データから、5 本指の合計値の時系列データを算出し、さらに各指および合計値の時系列データから最大荷重を求めた。最大荷重は各人の体重で割り正規化を行った。

計測協力者全体を対象に、各指および 5 本指合計の最大荷重（正規化後）の平均値を図 31 に示す。突起のある壁を保持しながら段差昇降を行うと、5 本の指にかかる力の平均値は体重の約 4% 程度となることが分かった。また、5 本の指のうち薬指に最も大きな力がかかる傾向が見られた。さらに、突起の幅が大きいほど最大荷重も大きくなる傾向が確認でき、突起の幅が大きい方が手で身体を保持しながら昇降できることが分かった。

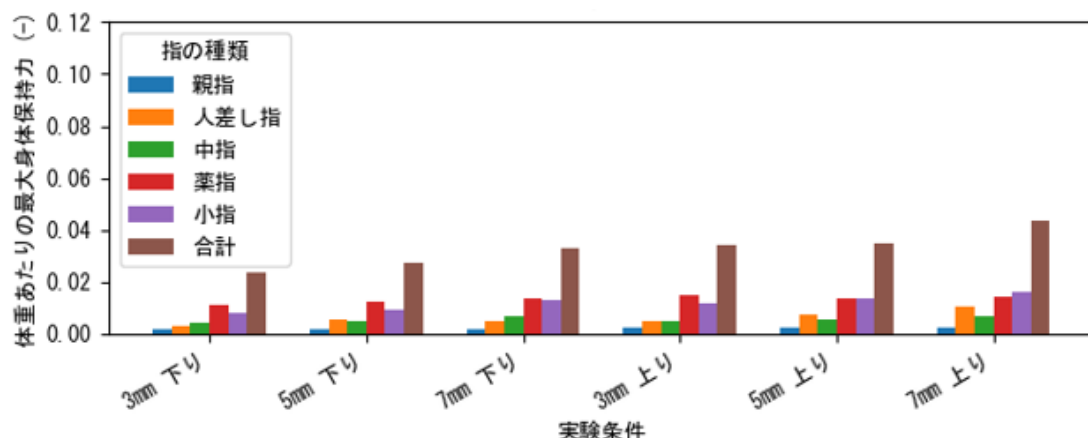


図 31 各指および 5 本指合計の最大荷重の平均値

さらに詳細な傾向を把握するために、各計測条件における各指および 5 本指合計の最大荷重を k-means 法によるクラスタリングを行った。クラスタは 3 つのグループに分けられた。図 32、図 33、図 34 がクラスタごとの各指および 5 本指合計の最大荷重の平均値を示している。クラスタの人数は、クラスタ 0 が 10 名、クラスタ 1 が 25 名、クラスタ 2 が 2 名であった。

クラスタ 0 は、人差し指・薬指・小指に高い力がかかる傾向があり、5 本指合計の最大荷重も全体平均より大きい。そのため 5 本の指をバランスよく使用して体重を支えていると考えられる。また、計測協力者全体で見られた「突起の幅が大きいほど最大荷重が大きくなる」傾向は、特に段差の上り動作時に顕著であった。

一方、クラスタ 1 は 25 名と全計測協力者の約 3 分の 2 を占めるが、5 本指合計の最大荷重は、最も高い場合でも体重の約 2% 程度であり、全体平均の半分ほどの値にとどまった。つまり、クラスタ 1 は突起には大きな力は掛けずに、軽く支えるような使い方をしてる群であることが分かる。

最後に、クラスタ 2 は 2 名しか含まれず、補助的な役割が強いと考えられる小指の最大荷重が他指より高い数値を示した。小指で大きな力を掛けるという突起の使い方は、他には見られない傾向であり、今回のデータでは 2 名しかいないため、傾向などを解釈することはできなかった。

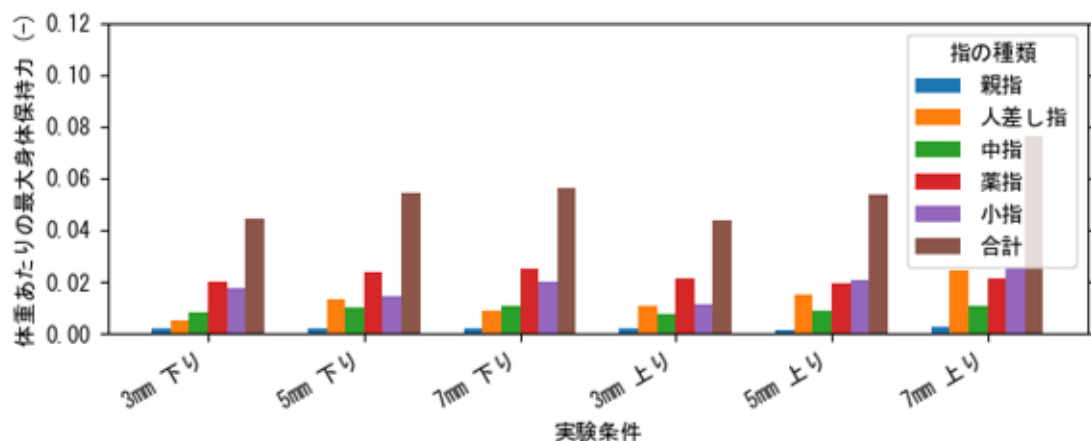


図 32 クラスタ 0 の各指および 5 本指合計の最大荷重の平均値

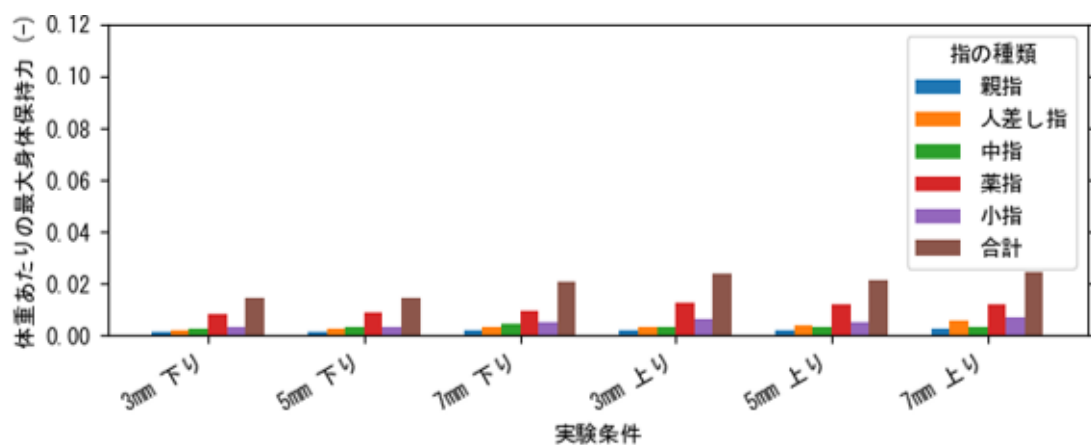


図 33 クラスタ 1 の各指および 5 本指合計の最大荷重の平均値

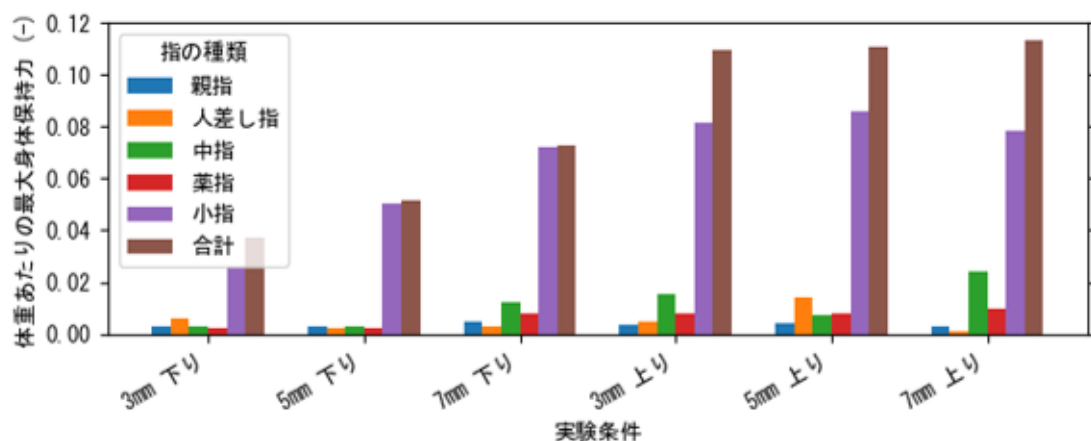


図 34 クラスタ 2 の各指および 5 本指合計の最大荷重の平均値

突起の幅による最大荷重の差異を調べるため、それぞれの条件間で測定した最大荷重を正規化し比較した。正規化については、具体的には、たとえば段差を降りる動作時における 3mm と 5mm の突起を比較する場合、同じ計測協力者が 7mm の突起で段差を降りる動作を行った際の最大荷重で割ることで、それぞれを正規化した。昇り降りで 3 種類 (3 mm、5 mm、7 mm) の条件で計測しているため計 6 種類の比較を行ない、有意差検定を行った。図 35 に結果を箱ひげ図で示す。結果として、3mm と 7mm の下り動作、および 5mm と 7mm の上り動作で有意な差が認められた。このことから昇りも降りも、7mm の突起があることが特に身体保持性が高まる傾向があることが示唆された。

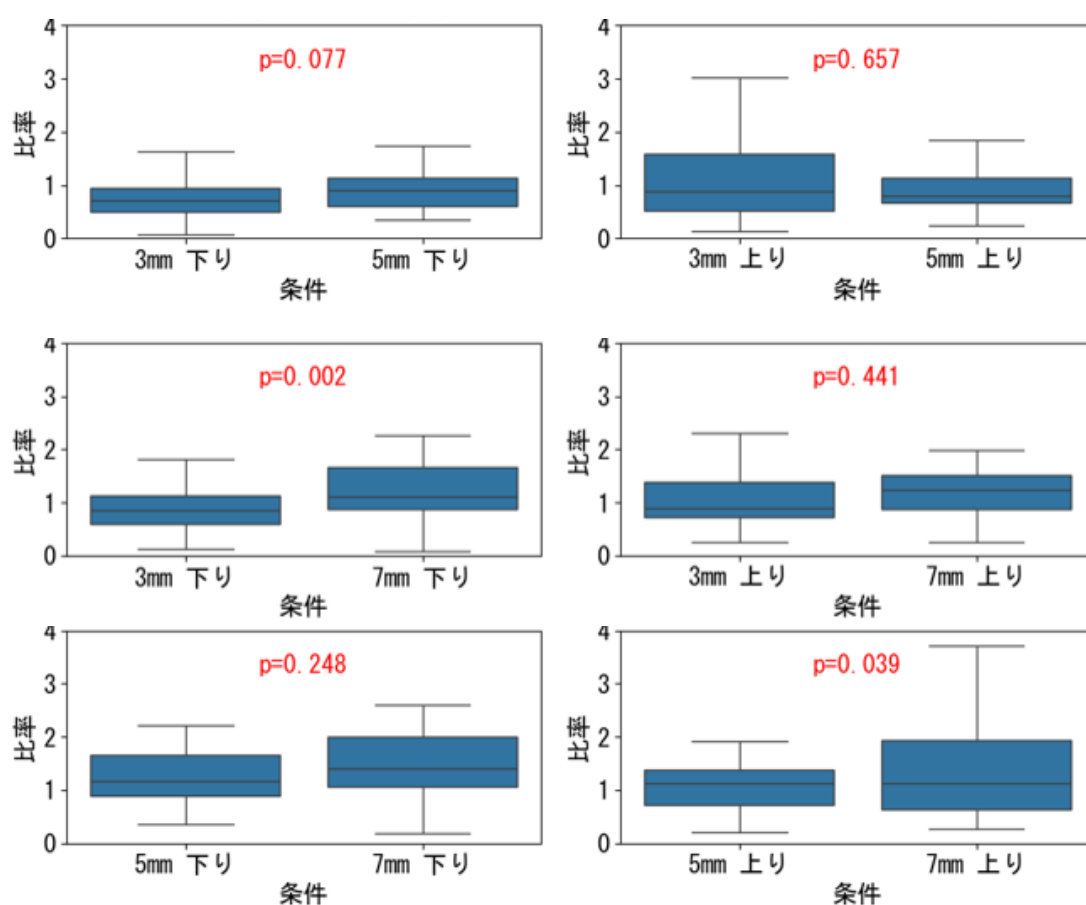


図 35 有意差比較結果

最後に、「突起のある壁は段差昇降の支えになるか」に関するアンケート結果を図 36 に示す。71%の方が「支えになる」と回答した。「支えになる」と答えた人の中での突起の高さについての順位を回答してもらい、その平均順位を算出した結果、7mm (1.13 位) 5mm (1.74 位)、3mm (2.54 位) となった。このことから、主観評価としても突起の高さが高い方が支えとして有効であると捉えていることが分かった。

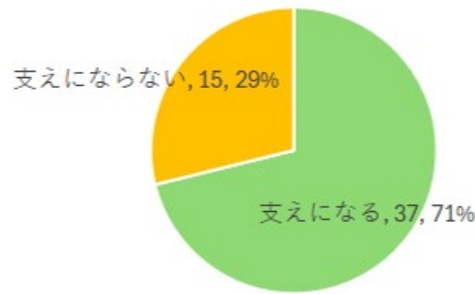


図 36 突起が支えになるかの有無

2.4.4 身体保持環境に対する内的変化の解析

ここでは、計測 1、計測 2 に関して、製品利用に関する安心感を脳波計で評価した結果を報告する。

脳血流量の測定にあたっては、2ch ウェアラブル携帯型脳活動計測装置 HOT-2000 を用いた。本機器は、微弱な近赤外線分光法（以下 NIRS）を用いることで、脳血流量を評価することが可能となっている。従来の NIRS と比較してチャンネル数が限定されている一方、重量が約 129g とコンパクトであるため、環境を問わず簡便に使用できるという特徴がある。装着の際には、脳波電極の取り付け位置を示した国際 10-20 法⁵に基づき、両側の背外側前頭前野領域にセンサが位置するように設定した。脳血流量は、各課題の前後 30 秒間取得した後に、安定した 25 秒間を抽出し解析区間とした。得られた脳血流量データについては、フィルタリング処理によりノイズを除去した。

機器に備わっている受光センサは、光の照射位置からそれぞれ 3cm と 1cm に設置されている。脳内の深部血流量は、3cm の電極の値から 1cm の値を除することで算出することができる。当該機器で計測したデータ事例を図 37 に示す。

左右の脳血流量内の総ヘモグロビン量は、解析対象となる 25 秒間のデータについて右側を $\Delta total (R)$ 、左側を $\Delta total (L)$ と定義した。Ishikawa W, 2014 年⁶の先行研究を参考に、左右の脳血流量の対称性を示す Laterality Index（以下 LI）を算出した（数式 1）。数式内の n は 1 から 250（25 秒間のデータである 250 フレーム）までの値を示す。また、 min は、25 秒間のデータの最小値を示し、左右のデータを最小値が 0 になるように正規化した。

$$Laterality Index = \frac{\{\Delta total R(n) - \Delta total R(min)\} - \{\Delta total L(n) - \Delta total L(min)\}}{\{\Delta total R(n) - \Delta total R(min)\} + \{\Delta total L(n) - \Delta total L(min)\}}$$

数式 1 Laterality Index の算出式

⁵ 国際 10-20 法：脳活動の計測にあたり、国際臨床神経生理学学会連合が国際標準として推奨する電極配置法。

⁶ Ishikawa W, Sato M, Fukuda Y, Matsumoto T, et al. Correlation between asymmetry of spontaneous oscillation of hemodynamic changes in the prefrontal cortex and anxiety levels: a near-infrared spectroscopy study. Journal of Biomedical Optics. Vol. 19, No.2, 027005 (2014).



図 37 HOT-2000 にて測定した脳血流量データ事例

LI の計算値は $(R-L)/(R+L)$ の値で示されることから、正方向の変化量は右脳の活動が増加していること、負方向の変化量は左脳の活動が増加していることを示す。先行研究においては、精神的ストレスを感じる場面において右脳の活動量が増加すると報告されている。上記を踏まえると製品に対して不安感を感じている場合には、右脳の活動量が増加し、結果として LI が正の方向に変化すると考えられる。しかし、これまでの研究では LI のどのような変化を評価すれば、「不安感」や「不快感」の評価につながるかが明確ではない。そこで、LI については、①変化の方向性（正負）、②変化量の 2 つのパラメータを評価し、計測協力者の感想と照らし合わせることで、製品への感じ方を定量的に評価する方策を検討した。

今回は、59 名の計測協力者のうち、26 名において計測前後の脳血流量を測定した。このうち、データに対して体動などのノイズの影響が少なかった 13 名を解析対象とした。NIRS を用いた利用者の内的変化の評価は初めての試みであることから、統計学的解析は行わずに、ケーススタディを通して慎重に評価した。以下において、脳血流量データを測定したうち、条件によって立ち上がりやすさの違いを感じた計測協力者と、感じなかった計測協力者を 1 名ずつ比較した結果及び、まとめを示す。

(1) 条件間で立ち上がりやすさに差を感じた計測協力の例

まず、各課題の条件間において、立ち上がりやすさに差を感じた対象者の基本情報および、各課題における発言を表 3 に示す。また、課題における LI の変化量についてのグラフを図 38 示す。

表 3 条件間にて立ち上がりやすさに差を感じた対象者の情報

基本情報	74 歳、男性、歩行時には杖や歩行器を使用。脊柱管狭窄症の既往歴あり。
計測 1 の感想	「ゴムが一番滑りにくくてよい。」 「塩ビはつるつる滑る感じがする。」
計測 2 の感想	「突起はある方がいい。3mm と 5mm が良い。」 「7mm は（当たり方が）強い感じがする。」

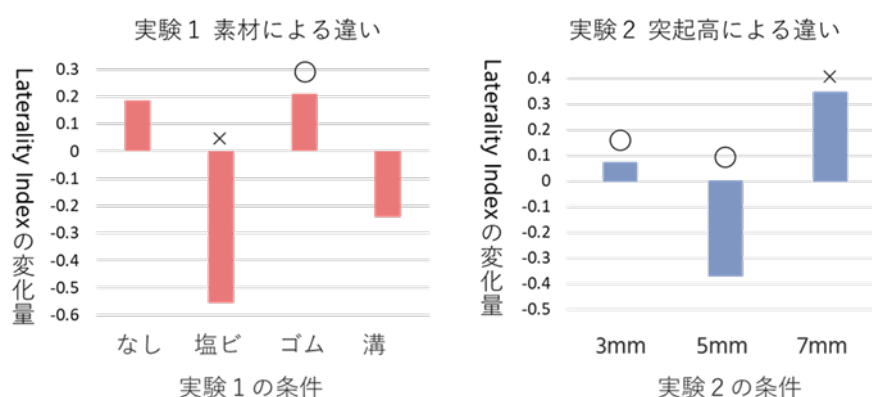


図 38 素材による違いを感じた対象者の Laterality Index の変化量

計測 1 において、最も立ち上がりやすいと感じていたゴム系樹脂素材の条件については、LI 変化量は正の値を示していたことから、右脳の活動が増加していたものと予想される。一方で、最も低評価の回答が得られた塩化ビニール系素材の条件については、LI は大きく負の方向に変化していた。

計測 2 では、最も上がりやすいと答えた 3mm 条件では小さく正の方向に、5mm 条件では LI は大きく負の方向に変化していた。一方で、低評価であった 7mm 条件では、LI は大きく正の方向に変化していた。

(2) 条件間で立ち上がりやすさに差を感じなかった対象者の例

次に、各課題の条件間において、立ち上がりやすさに差を感じなかった対象者の基本情報および、各課題における発言を表 4 に示す。また、課題における LI の変化量についてのグラフ図 39 示す。

表 4 条件間にて立ち上がりやすさに差を感じなかった対象者の情報

基本情報	89 歳、男性。
計測 1 の感想	「立ちやすさに違いはない」 「触り心地に違いはない」
計測 2 の感想	「(7mm は)邪魔かも」 「(3mm は)邪魔じゃない。握りやすくはない。 普通の机のほうがよい」

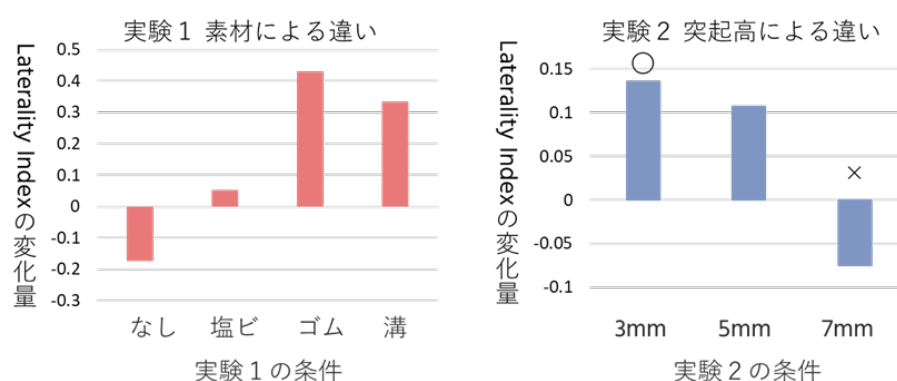


図 39 素材による違いを感じなかった対象者の Laterality Index の変化量

計測 1 においては、LI は通常の机を使用した「なし」条件において負の方向へ、その他の条件においては正の方向へ変化していた。

計測 2 においては、低評価の回答が得られた 7mm 条件では、LI は大きく負の方向へ変化していた。それ以外の条件では、わずかに正の方向への変化が観察された。

(3) 両者の結果を踏まえたまとめ

① LI 変化量の方向について

以下に、条件間で立ち上がりやすさに差があると回答した対象者と、差がないと回答した対象者の 2 名の条件の違いを表 5 示す。先行研究を基とした仮説では、『LI の正方向の変化がストレスである』と考え、高評価の条件において LI は負の方向へ変化すると予測していた。しかし、同じ対象者であったとしても、高評価の条件にて、LI は正と負の両方へ変化する可能性が示唆された。低評価の条件についても同様に、正と負の両方向への変化が観察された。このように、評価の回答と脳血流量変化の方向の関係性に関しては、統一した見解が見られなかった。

② LI 変化量の絶対値について

一方で、LI 変化量を絶対値にて比較した場合、低評価条件では他条件と比較して数値が大きい傾向がある可能性が観察された。

表 5 条件間で差がある・差がないと回答した計測協力者の LI データの比較

		条件間で差があると回答した対象者1			条件間で差がないと回答した対象者2		
		評価	LI変化量の方向	LI変化量の絶対値	評価	LI変化量の方向	LI変化量の絶対値
計測 1 素材 による 違い	なし	-	正	0.186	-	負	0.327
	塩ビ	×	負	0.554	-	正	0.382
	ゴム	◎	正	0.212	-	正	0.045
	溝	-	負	0.241	-	正	0.274
計測 2 突起高 による 違い	3mm	○	正	0.071	-	正	0.037
	5mm	○	負	0.369	-	正	0.089
	7mm	×	正	0.345	×	負	0.597

解析対象の 13 名の内、実験 1 において条件間に差を感じた 10 名（高評価と低評価の両方を回答した者は 7 名、高評価のみを回答した者は 2 名、低評価のみを回答した者は 1 名）であった。また、3 名については、条件間に違いが感じられなかった、あるいは明確な回答が得られなかった。実験 2 においても、同様に条件間に差を感じた 10 名（高評価と低評価の両方を回答した者は 7 名、高評価のみを回答した者は 2 名、低評価のみを回答した者は 1 名）であり、明確な回答が得られなかった者は 3 名であった。

計測 1 と計測 2 の両方において、条件間に差を感じたと回答した 10 名分の回答をもとに、LI の絶対変化量を図 40 示す。さらに、高評価および低評価の条件の内訳を図 41 に示す。

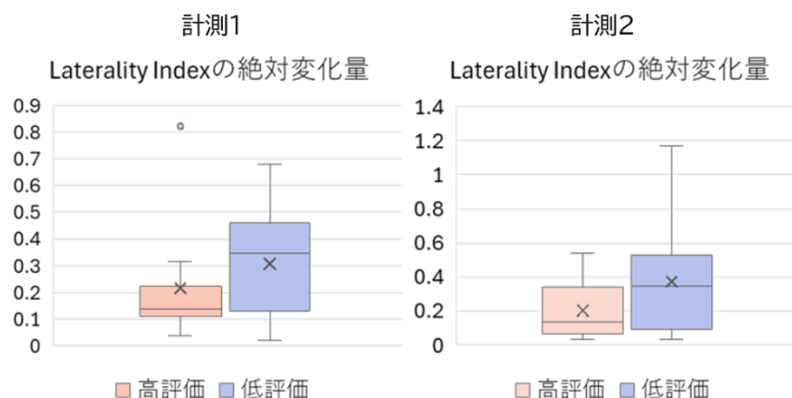


図 40 各計測における Laterality Index の絶対変化量

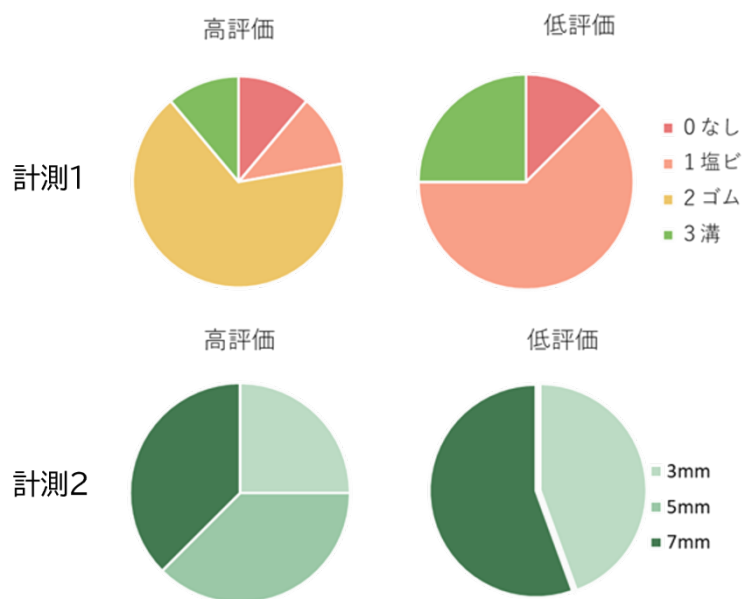


図 41 脳活動解析対象者の高評価・低評価の条件の内訳

図 40 から、統計学的有意差はないものの計測 1 と計測 2 の両方において、LI の絶対変化量は高評価群においては低値を示し、低評価群においては高値を示す傾向があることが判明した。また、図 41 で、計測 1 ではゴム系樹脂素材の条件が高評価、塩化ビニール素材の条件が低評価を占める割合が高かった。一方で、計測 2 では突起の高さと回答は一定の傾向を示さず、低い方が良いと回答した者と、高い方が良いと回答した者が半数程度いた。

これらの結果から、製品の素材については、計測協力者が「すべりやすい」などの感覚を受けた際に、その後の動作の危険予測の一貫として脳血流量が大きく変化する可能性がある。また、テーブルに貼付した突起の高さについては、使用者の身体状況などにより好む形状に違いはあるものの、高評価あるいは低評価の条件に対する脳活動には一定の傾向がみられる可能性が示唆された。具体的には、高評価条件では LI (左右の脳血流量の差) の変化量が少なく、低評価条件では LI の変化量が多いといった傾向である。

本分析の結果より、脳血流量を用いた LI 解析によって、利用者が製品から受ける内的感覚を評価できる可能性が示唆された。高齢者が使用する製品に対してデザインを付加する場合、利用者が安心して使用できる製品は脳活動変化が少ない一方で、利用者にとって不快感を与える形状は過剰な脳活動変化を引き起こし、その後の動作にも影響を及ぼすと考えられる。したがって、利用者の機能や好みを把握しながらその適応を図る必要がある。

2.5 まとめ

59 名の高齢者を対象として、テーブルや壁面に対して、小さな形状変化が身体保持特性に与える影響を評価した。

計測 1 として、テーブルの素材を変更した場合には、制作時の想定通りにテーブルにかける身体保持力、その中でも特に手前に引く方向の力が大きくなっているグループが確認できた。このことから、テーブル素材を木製ではなくゴム製樹脂膜を貼り付けるといった小さな工夫であっても身体保持をしやすくできることが確認できた。特に姿勢の面では、立ち上がる際の肘の使い方や、テーブルと膝との相対位置などから、テーブルを無意識に手前に引くように力をかけているグループにとって、表面のデザインは有効であることが示唆された。一方で、体形や腕の使い方といった違いによって特に有用ではなかったり、逆に身体保持力が低下したりするグループも確認できた。さらに計測協力者の一部からは、「普段はもう少し小さい椅子とテーブルを使っている」というような回答もあった。このことから、今回は使用したテーブルの高さを標準的な 70cm のもので固定し、椅子の位置などは計測協力者が立ちやすい位置に調節して行ったが、今後、これらのパラメータを変更することで、個人に適した位置関係であればテーブル素材の影響があるのかを明らかにする必要がある。

計測 2 の端部突起を設置した場合についても、端部突起があることによって立ちやすくなったという回答が得られた。一方で、その適切な高さについては、聞き取り調査から、3mm と 7mm の突起高さではそれぞれ不便だと感じる被験者もいた。実際に端部突起が 5mm の場合に最も身体保持力が大きくなっていたグループ（クラスタ 2）が確認でき、このグループでは 3mm だと小さいと感じるが、7mm ほどの高さがあると掴みづらいと感じることが示唆された。一方で、同じくクラスタ 1 の平均値では、端部突起が 7mm の場合と 5mm の場合とでは、3mm の場合と 5mm の場合との差に比べて身体保持力が 3N ほどの違いがあることも確認できた。以上のことから 3mm、5mm の端部突起と比べて 7mm の高さがあれば身体保持力が大きく増加し、7mm の端部突起が非常に効果的な働きをした高齢者がいるということが確認できた。計測協力者ごとに突起の掴み方にも差があったため、今後はこの点も考慮した解析をする必要がある。

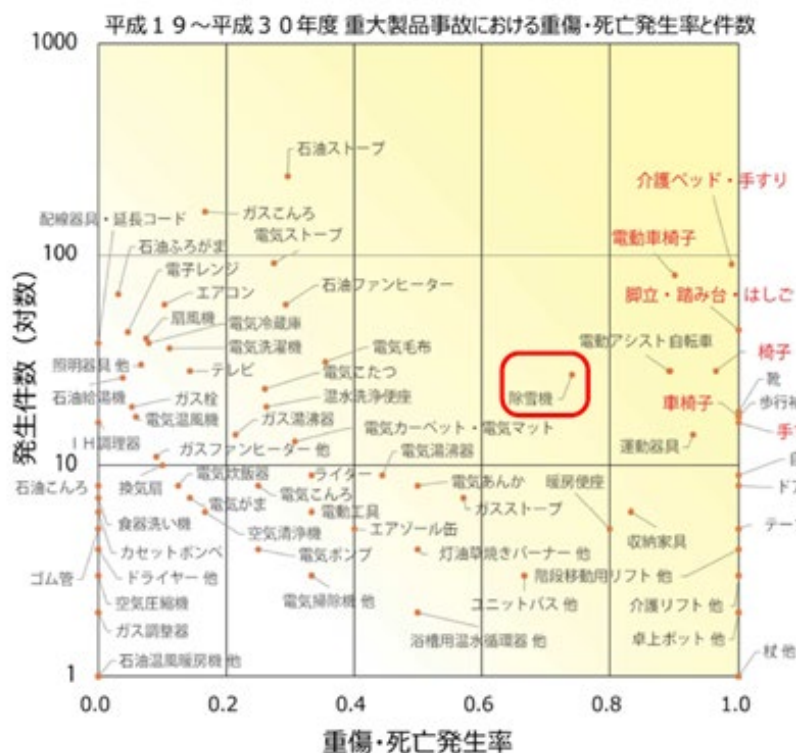
また、手にセンサを装着し評価した結果、個人差はあるものの、小さな突起が姿勢保持として有効であると感じた高齢者が多いことが分かった。身体保持具としては、掴む・握ることができる手すりが安全と思われるが、テーブルのような食事をする場所等にテーブルの機能を損なわずに手すりを付けることは難しいため、それに代わる一つのアイデアとして、テーブル面への工夫は検討する価値があると思われる。また、段差通過時等においては、手すりが最善ではあるが、環境的に手すりの装着が難しい家庭等でも、数ミリの突起物等の補助具があるだけでも、それを支えとして身体保持ができることで安心に繋がることが示唆された。

以上のことから、材質や突起を設置するデザインによって、身体保持力を高め、立ち上がりやすくしたり、段差の昇降をしやすくなる効果が確認できた。しかし、全ての高齢者に効果が認められるものではなかった。その要因は、身体機能、立ち上がり方、突起などの使い方などによる影響があると考えられる。また、いずれのデザインも、通常のテーブルや壁とは異なる、初めて体験するものであったため、立ち上がりや段差の昇降をしやすくなる使い方ができていなかった、という慣れによる影響も考えられる。このことから、個人の身体機能などの特性に合わせて適切なデザインを選択できる必要性や身体機能が低下する前から日常的に使うことで慣れておく必要性などが示唆された。

3. 製品の誤使用・不注意による事故への対策案の検証

製品の誤使用・不注意による事故として、ここ 9 年連続で 1 人以上の死亡事故が発生している除雪機を取り上げ、対策案の検討・検証を実施した。

図 42 は、65 歳以上の高齢者における重大製品事故の発生件数と重傷・死亡発生率を示しており、歩行型ロータリ除雪機（以下、「除雪機」という。）では、重大製品事故の件数が多いことがわかる。また、図 43 は、2014 年から 10 年間の被害状況別、及び原因区別の事故の発生件数である。38 件のうち 25 件が死亡事故であり、32 件が使用者の誤使用・不注意によるものである。また、表 6 は、事故事象別の事故発生状況である。死亡・重症ともに、安全装置を無効化等した事象が特に多いことがわかる。



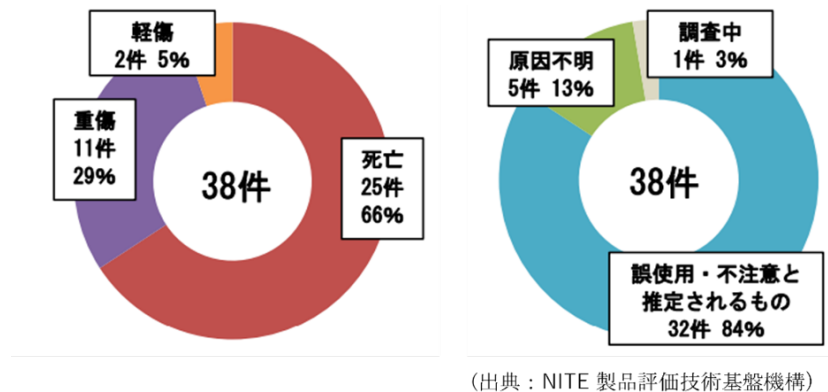


図 43 被害状況別（左）と原因区分別（右）の事故発生件数

表 6 事故事象別の事故発生件数

事 故 事 象	死 亡		重 傷		軽 傷		総計
	安全機能 無効化など	それ以外	安全機能 無効化など	それ以外	安全機能 無効化など	それ以外	
除雪機の下敷きになった	12	3	0	0	0	0	15
除雪機に巻き込まれた	6	0	0	1	0	0	7
壁などに挟まれた	0	2	0	0	0	1	3
一酸化炭素中毒になった	0	2	0	0	0	0	2
エンジンを掛けたままの除雪機内部に手を入れ負傷した	0	0	8	2	0	0	10
除雪機を焼損する火災が発生し、やけどした	0	0	0	0	0	1	1
総 計	18	7	8	3	0	2	38

(出典：NITE 製品評価技術基盤機構)

「令和 4 年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（高齢者向け製品の安全性規格等検討事業）」において、除雪機に関するアンケートを実施し、過去にヒヤリハット体験をした方は 53%と半数以上にのぼった。また、作業効率の向上を図る目的で、安全装置を無効化し、除雪機を自走させ、除雪しきれなかった雪をスコップ等で集めてオーガ前方に投雪するというのを見聞きしたという話を聞いたことから、誤使用をしている可能性が示唆される。

安全装置の無効化などによる誤使用によって、死亡・重症事故が多く発生しているため、注意喚起のみならず、製品開発事業者と連携し、誤使用によるものも含めた事故リスクを低減させる具体的な検討が必要である。そこで、除雪機の使用実態を把握するための実態調査と、従来の除雪機的设计にとらわれない製品による事故リスクの低減対策を検討するためのワークショップを行った。

ワークショップの目的は、除雪機メーカー以外の観点も含めて、幅広く事故リスクの低減対策アイデアを提案することで、これまでにないリスク対策の可能性を検討することであ

る。また、検討を通して、深掘りすべき事項・収集すべきデータ等のアイデア・提案を共有し、具体的なリスク対策の初期検証を行うことで実現性を示し、リスク対策を取り入れた製品開発の検討に繋げることとした。

製品開発事業者とのワークショップでは、誤使用や不注意によるものを含めた事故リスクを低減させるためには、どのような安全装置があると有用か、同じ安全装置でもデザインで安全に寄与できないか等の様々なアイデアを持ち寄り、ブレインストーミングを実施した。最終的に実現可能性、対策の有効性、対策による予防可能範囲の広さなどを元にアイデアを1つに絞り、試作・基礎評価を行うというプロセスで実施した。

除雪機の取り扱いや操作等に関する実態調査については、実際の除雪機による除雪作業の実態を知る目的として、同意を得られた一般家庭に固定カメラを設置し、除雪方法や操縦者の動作などを記録した。また、パネルのレバー類の操作方法を知るために、一部の操縦者にアクションカメラを装着してもらい、記録することにした。また、過去にヒヤリハット体験に遭遇した方などを対象にアンケート・インタビューを実施した。

3.1 事故リスク低減策に関するワークショップと結果に対する製品の評価

3.1.1 事故リスク低減策に関するワークショップ

除雪機の事故に関わる注意喚起は、毎年、業界団体や関連団体、除雪機メーカーが啓発活動として実施しており一定の成果は出ていると推察されるが、それでも毎年のように死亡事故が発生しており、経済産業省としても、重大事故件数の低減の取組みが喫緊の課題となっている。

今回、除雪機メーカーとの連携を図るため、除雪機安全協議会（以下、除安協）の協力を得て、除安協から除雪機メーカーに声掛けを頂き、当該の取組みに賛同頂いたメーカーと個別の意見交換を実施し、様々な観点から総合的に判断して最終的にフジイコーポレーション株式会社（以下、フジイコーポレーション）と連携することとなった。フジイコーポレーションは、除雪機開発メーカーであると同時に、新潟県という土地柄、除雪機のヘビーユーザでもあるため、製品開発とユーザという両側面から、ブレインストーミング後にも意見を頂いた。

除雪機メーカーと連携した事故リスク低減策に関わるワークショップを開催した。具体的には、現状の事故分析を行い、それぞれの事故リスクを低減させるためのアイデアに関してブレインストーミングを実施し、最終的にアイデアを1つに絞り、そのアイデアをプロトタイプとして試作し、実現可能性の評価を行った。このワークショップでは、除雪機的设计にとらわれずに幅広くアイデアを出すために、日本インダストリアルデザイン協会（JIDA）とも連携してワークショップを実施した。

除雪機において、防止したい事故を大きく分けると、「除雪機にひかれる」、「除雪機に挟まれる」、「除雪機に巻き込まれる」、「（シュータ部やオーガ内等に）手を突っ込む」の4種類である。これらの事故を予防するための対策案を検討した。対策案をオーガ

部への巻き込まれ、シュータ部に手を突っ込む、後進作業時の挟まれ・ひかれ、デッドマ
ンクラッチの無効化の課題、事故全般という 5 つのカテゴリに分けて整理した。

以下、5 つのカテゴリ毎にアイデアを示す。

(1) オーガ部への巻き込まれ

オーガ周辺部では、「巻き込まれる」事故が多い。図 44 は、オーガ周辺部の傷害予防
のアイデアであり、そのうちの一部についての対策イメージを図 45 に示す。

	事故リスク低減のアイデア	概要・備考等	対象となる事故
1	オーガ中心部に縦鉄棒を入れる	オーガの中心部に縦に鉄棒等を設置することで巻き込みリスクを低減	・巻き込まれ
2	オーガ部の材質、形状の変更	・オーガ構造ではなく、ブロック塊ごと取り込み、移動できるような構造 ・深刻な事故に至らないような素材（ブラシ、ゴム・・・）	・巻き込まれ
3	オーガ周辺の人検知システム	オーガ周辺に人を検知したらエンジン停止する機能	・巻き込まれ
4	オーガ部カバーによる安全担保 (巻き込まれ防止)	・オーガに大型カバーをつけてオーガに手や身体が届かないようにする ・バーや大型バンパーなどの設置	・巻き込まれ
5	オーガの小型化	雪が少なくなってきたという現状を捉え、オーガ部分の小型化により、 そもそも巻き込まれない対策	・巻き込まれ

図 44 オーガ部への巻き込まれの傷害予防のアイデア

1 オーガカバーを設置



- ・人体が巻き込まれにくいガードを付ける
- ・邪魔な時は上げることできる
- ・走行停止機能も追加できると良い

3 オーガ周辺の人感知システム



- ・センサーにより、危険エリアに人が
入ったことを知らせる回転灯

4 大型カバーを設置



- ・大型バンパー等を設置しオーガ
内に手が届かないようにする
- ・必要に応じて跳ね上げ可能

図 45 オーガによる巻き込まれのアイデアデザイン事例

図 45 の 3 つのアイデアについて、「オーガカバー」はカバー部の縦の鉄バーの本数が
少ないと予防効果が低く、本数が多いと雪の塊がオーガに取り込めなかったり、詰まりの
原因となるため、実現可能性としては低いという検討結果となった。

「人感知システム」では、センサが降雪の影響で反応しにくくなる可能性がある点、厚
手の防寒着などの場合は表面の温度が低く、身体の一部だけでは反応がしにくくなる可
能性がある点などの課題があり、実用性は低いという検討結果となった。

「大型カバー」は、除雪機旋回時にカバー側面部周辺に積雪があると雪が障壁となり旋
回しにくくなるといった理由で実用性としては低いという検討結果となった。

(2) シュータ部に手を突っ込む

図 46 は、シュータ部への手の突っ込みに関するアイデアであるが、自動除雪機能については、シュータ径サイズ内に物理的機械等を装着することは難しいという指摘があった。最近の除雪機には、シュータガードがエンジンと連動している機種も出ており、ガードを開くとエンジンが停止する等の安全機能を備えている。また、これらの機能が未搭載な機種でも、雪が詰まりにくくなる素材を使用した製品をシュータ内に設置できるオプションや、スプレー式の潤滑剤等があり、現状としては、これらで対応するのが現実的ではないか、という意見もあった。

	事故リスク低減のアイデア	概要・備考等	対象となる事故
1	シュータ内自動除雪機能	シュータ内部の雪の状況もしくはスイッチによって、シュータ内部で機械的に雪を崩して詰まりを解消する機能	・手を突っ込む
2	スコップ（雪かき棒）との連携	除雪機を使用中、スコップ（雪かき棒）を使用し危険な状況になった時に、除雪機が止まる仕組み	・手を突っ込む

図 46 シュータ部への手の突っ込み等の傷害予防のアイデア

(3) 後進作業時の挟まれ・ひかれ

後進作業時は、転倒した際にクローラー部でひかれたり、除雪機と壁などの間に挟まれる事故が起きている。クローラー部でひかれる事故は、転倒時にデッドマンクラッチを握ったままであったり、デッドマンクラッチを無効化している状態で発生する。後進時非常停止レバーなどの安全装置もあるが、装備していない機種であったり、不便さから取り外して事故が発生したケースもある。

図 47 は、除雪機の後進時の挟まれとひかれる事故を防止するアイデアである。挟まれを予防するアイデアの「ハンドルを少し長くする」というのは、角型デッドマンクラッチのタイプのみを対象にしたものであるが、後進時に壁等に挟まれる場面となった場合でも、ハンドル長が長いことで、ハンドル自身が突っ張り棒的な役割を果たし、一人が滞在できる空間が生まれ、除雪機に押しつぶされにくくするというアイデアである。後方障害物が頑丈な面となっている壁などであれば有用であると考えられるが、フェンス等のように隙間があるものなどの場合は、ハンドル部が突っ張り棒として機能せず、対策とはならないのではないかといった意見があった。

また、「ハンドル端にセンサをつけて一定距離で停止」は、後方に壁等の障害物を検知して停止するというアイデアである。ハンドルの持ち方によっては、先端を手袋等で塞いでしまったり、センサ部が雪で覆われてしまうなど、適切に機能しない可能性があることが指摘された。

クローラー部分によるひかれ事故については、クローラー部にカバー等をつけて、転倒した人の上に乗り上げないようにするアイデアである。カバーとクローラー部の間に雪が詰まってしまったり、地面の状態によっては隙間ができてしまい、有効に機能しない可能

性がある、といった意見が挙がった。

	事故リスク低減のアイデア	概要・備考等	対象となる事故
1	(小型機、バック時) 緊急停止センサー	バック時の対応。ハンドルを少し長くし、人のスペースを確保しつつ、ハンドル端にセンサをつけて一定距離で停止	・挟まれ
2	クローラー部への伸縮カバー	クローラー部の後ろに伸縮するカバーをつけて、ひかれないようにする	・ひかれ

図 47 後進時の挟まれる傷害予防のアイデア

(4) デッドマンクラッチの無効化

図 48 は、デッドマンクラッチ (DC) の固定化問題を解決するためのアイデアである。図 49 には、そのアイデアのデザイン事例を示す。椅子に座って操作するアイデアについては、椅子に荷重センサを搭載しておき、一定荷重以上で安全装置が解除され、エンジンやオーガなどを稼働するという仕組みであり、後進時は椅子に搭載されたセンサで後方の障害物を検知するというものである。下肢筋力等が低下している高齢者にとっては良い機能と思われるが、雪壁等に突っ込んで行く場合や不安定な雪面での除雪では、除雪機自体が大きく傾くため、椅子に座った状態では難しい操縦であり、危険性が高いという検討結果になった。

ハンドル・クラッチへ熱を供給するアイデアは、手を温める機能を持たせることで、デッドマンクラッチを固定せずに、手で保持したいという心理的抑止を狙ったものであるが、除雪の際は、厚手のグローブ等を装着するため熱の伝わりに疑問が残る点や根本的な対策になりにくい等の意見があった。

デッドマンクラッチの形状を変更するアイデアも出た。現状のデッドマンクラッチは握るタイプのものであり、固定がしやすいという課題がある。それに対し、バイクハンドルのように、ハンドルを回す仕組みにすることで固定をしにくくする対策である。当該アイデアに対しては、面白いという意見がある一方、回した状態で持ち続けることの負担感があるのではないかという意見やハンドルを回した状態で固定されないようにする機構の工夫は検討する必要があるといった意見が出された。

	事故リスク低減のアイデア	概要・備考等	対象となる事故
1	椅子に座って操作	重量有無でDCをオン/オフする機能でDC固定を抑止する 椅子にセンサを設置し、後方障害物を検出	・巻き込まれ ・ひかれ
2	ハンドル・クラッチへの熱供給	ハンドル等を温かくすることにより、握み続けたいようにしてDC固定を抑止する (心理的抑止)	・巻き込まれ ・ひかれ
3	DCの形状変更	バイクハンドルのように、回してDCをオンさせるような機構により、DCを固定化しにくくする	・巻き込まれ ・ひかれ

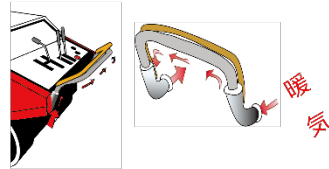
図 48 デッドマンクラッチの固定問題解決アイデア

1 椅子に座って操作



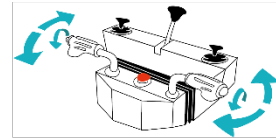
- ・指定重量以上で安全装置解除
- ・椅子後方にセンサ設置で後方検知

2 ハンドル・クラッチ部に熱供給



- ・握り続けたいような心理的抑止
- ・排ガス熱を利用

3 デッドマンクラッチの形状変更



- ・ハンドルが回転式でロックの解除

図 49 デッドマンクラッチの固定化問題解決のアイデアデザイン事例

(5) 事故全般

除雪機での事故の多くは、除雪機を操縦している作業者が事故に遭うケースがほとんどである。後進時の挟まれ・ひかれなどによる事故を除くと、作業者が操縦位置から離れて何らかの行動を取った際に事故が起きることが多い。そのため、事故につながる操縦位置から離れることを検知したり、重大事故につながる前の状況を早めに検知することを目的としたアイデアも出された。図 50 は、人の声や位置を検知することで除雪機を停止させるというものである。

命綱の設置については、緊急停止クリップのように、除雪機と作業者をクリップでつなぎ、操縦位置から離れるとコードが外れて、操縦位置から離れたことを検知するものがあるが、安全対策以外の観点でユーザのメリットがないため、使用されにくいという課題があった。それに対し、除雪機から暖気を放出するパイプを、専用の防寒着などと接続することで暖房として機能しつつ、操縦位置から離れた場合にパイプが外れて検知できる、というアイデアである。これについては足元が滑った際にパイプが適切に外れない状況になると、除雪機によって引きずり倒されるといった危険を生む可能性がある、といった意見が出た。

声を検知するセンサについては、転倒したり、滑るなどの危険な状況が起きた際に発する声に反応して、オーガやエンジンを停止するというアイデアである。これについては、発した声が、除雪機のエンジン音にかき消されてしまったり、咄嗟に声が出ない場合もあるため、実現可能性が低いという意見があった。

カメラによる人検知も有力とされたが、吹雪等によるカメラへの着雪で反応しなくなる可能性が高いとの指摘があった。カメラハウジングを回転等させて着雪を防止するなどのアイデアも出たが、水滴等への対応やハウジング構造によっては、ハウジング内に結露が発生する可能性等、課題が多いという検討結果となった。

センサによる人の位置検知については、センサで除雪作業中に作業者が操縦位置から離れたことを検知し、除雪機を停止させたり、エンジンを切るといったアイデアである。こ

れによって、デッドマンクラッチを固定して操縦位置からの離れることを防止できる。図 51 に通信デバイスによる人検知のイメージを示す。センサで人の位置を検知するアイデアは、操縦位置から離れることを検知する安全面の対策としてだけでなく、少し離れた位置から安全に遠隔操作する、といった新たな展開も期待できる。また、構造的な変更が不要であることから、既存製品にも後付けの対策が可能であるのではないかとの意見も出された。今回出されたアイデアの中では、多くの賛同を得られ、実現性としてはかなり高いとの検討結果であった

	事故リスク低減のアイデア	概要・備考等	対象となる事故
1	センサによる人の位置検知	操作者（発信）と本体（受信）とをセンサ機器で通信させて、人の位置によってエンジン制御等をする	・全般
2	命綱の設置	除雪機の排熱を利用し暖房として防寒着に送るフレキシブルパイプを作り、そのパイプの接続が切れるとエンジンが止まる	・全般
3	声による制御	大声に反応するセンサーの搭載	・全般
4	全方位型カメラ搭載	カメラにより人の位置を把握し、適切な除雪機制御を行う	・全般
5	センサとカメラのダブル監視	上記 1 と 4 の 2 つの機能の連携	・全般

図 50 安全装置としての新たなアイデア



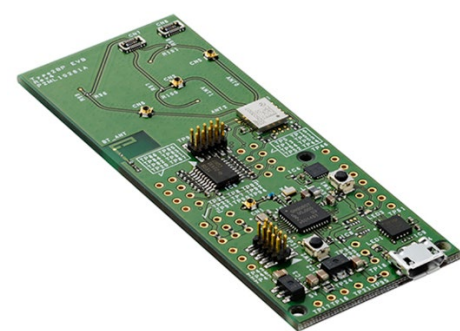
図 51 通信デバイスによる人検知のイメージ

ワークショップで出されたアイデアを、実現可能性、対策の有効性、対策による予防可能範囲などの観点で精査をした結果、センサによる人の位置検知のアイデアについて基礎的な検証をする対象として選定した。

3.1.2 センサによる人の位置検知による対策

センサによる人の位置検知を実現する方法は様々あるが、大掛かりな装置が不要で、後付けもしやすい方法として、電波を利用した位置検知を対象とした。一般には、Bluetooth デバイスが広く普及しているが、他の Bluetooth デバイスとの干渉や遮蔽物の影響を受けるため、精度が安定せず、不十分である。そのため、今回は、UWB デバイス（Ultra-Wide Band：超広域帯無線）を採用した。UWB デバイスは、技術としては 60 年ほどの歴史があるものの、軍用レーダーなどでの活用が主で、一般には普及していなかった

が、スマートフォンへの UWB 搭載がきっかけで、近年は利用用途が広がりつつある。今回は、村田製作所の UWB モジュールである TYPE-2BP という評価キットを利用した。図 52 に利用した UWB デバイスを示す。



出典：村田製作所ホームページから抜粋

図 52 村田製作所の UWB モジュール（評価キット）

UWB モジュールの外形寸法は、 $81 \times 32 \times 6.36$ (mm) である。USB 端子から給電、及びソフトウェアの転送が可能となっている。当該評価キットは、様々なデモンストレーションソフトウェアが用意されており、そのソフトウェアを入れ替えることにより、PnP モード（Plug&Play：PC から UWB モジュールを制御するモード）、Standalone モード（UWB 単体として動作するモード）などでの計測が可能となっている。基本的な計測機能としては、測距、仰角、方位角である。UWB デバイスの通信構成としては、Initiator（始動側）と Responder（応答側）を基本として、様々な組み合わせの通信ができる。最終的な想定は、Initiator をスマートフォンの UWB 機能を利用し、除雪機に複数の Responder を搭載することで、Initiator と複数の Responder 間の複数の距離を計測し、それらから位置を算出することで、除雪機と作業者の位置関係を把握し、様々な除雪機機能を制御する対策である。

除雪機での評価を前に、机上にて PnP モード・Standalone モードの各種の基本的な動作確認を行い、今回の評価に相応しいデバイス構成等を検討していく中で課題も見えてきた。図 53 は、机上での動作確認時の PnP モードの評価構成イメージ例である。



図 53 PnP モードの机上評価構成のイメージ例

様々な机上デバッグを実施した結果、以下が課題として挙がった。

(1) 当該デバイスは、仰角、及び方位角が計測できるが、Initiator 側で角度を計測しているため、Initiator の傾きや向きが変わると角度が変化してしまうため、UWB デバイスだけではこれらの角度を正確に計測することは難しい。別途、IMU⁷センサなどでデバイス自体の姿勢を計測して補正する、といった方法を検討する必要がある。

(2) 鉄板などは電波を反射するため、距離を正確に計測することが難しくなり、位置の精度が低下する。そのため、除雪機に導入する場合には、設置位置や設置方法、設置する台数、ノイズ除去の仕組みを使用するなど、目的に合わせて検討する必要がある。

(1) については、UWB デバイスの角度情報は使用せず、距離情報を用いて、三角測量の原理⁸を利用して位置を算出した。(2) については、目的や組み込み位置によって影響を受けるため、今回は除雪機のエンジンルームの外側に設置して検証を行った。

今回の除雪機周辺の人を検知するという使い方としては、Initiator を除雪機操縦者が保持し、除雪機に Responder を装着する想定として、Initiator 1 台に対して、Responder 複数台（評価時は 4 台）として評価を行なった。

実際の除雪機で評価するために、Initiator 及び Responder には、Standalone 版のソフトウェアをインストールし、Initiator はスマートフォンの代わりにノート PC で制御を行なう方法とした。

フジイコーポレーションの協力を得て、実機に UWB デバイスを設置して評価を行った。図 54 に Responder を設置した写真と拡大写真を示す。各 Responder には、給電用にモバイルバッテリーを接続し、それぞれを除雪機カバーに磁石で固定した。Responder の設置場所は、除雪機操作パネルの近傍に 2 個、遠方に 2 個を設置した。

三角測量法を利用して Initiator と各 Responder の距離から位置を算出するため、原点を定義し、そこから各 Responder の 3 次元位置を記録した。図 55 は、除雪機を上から見た写真であり、左下の赤印が原点である。今回は、操作者 (Initiator) の位置を設定し、その位置に操作者 (Initiator) がいた場合に、計測した距離情報から算出した位置情報と設定した位置を比較して検証を行った。右図のパネル下の数値は、設定した Initiator の計測位置である。

⁷ 慣性計測ユニット (Inertial Measurement Unit) : 3 次元の慣性運動 (直行 3 軸方向の並進運動および回転運動) を検出する装置。

⁸ Initiator と各 Responder との距離を半径とした球をそれぞれ描くと、Initiator が各球の交点になることから、各 Responder の位置がわかる。

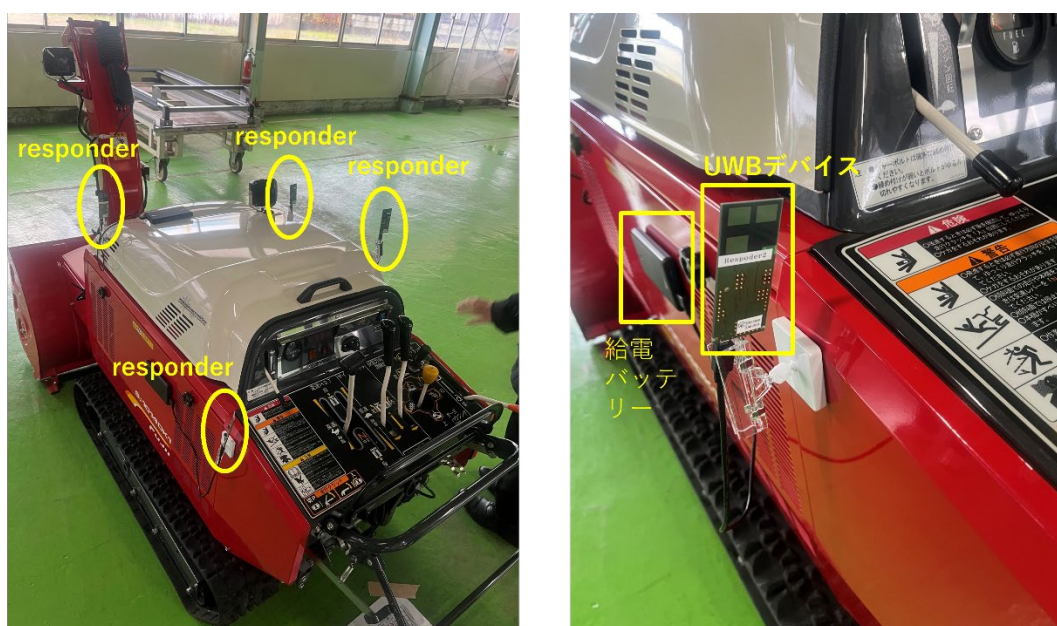


図 54 除雪機に UWB デバイスを設置した写真 (左) と拡大写真 (右)

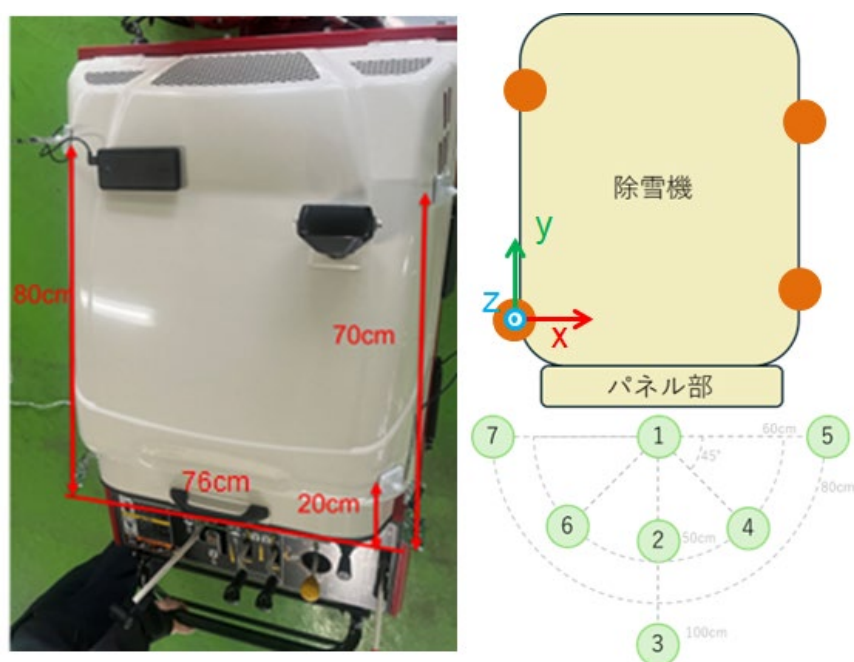


図 55 除雪機の上からの写真 (左) と評価位置の図 (右)

具体的な位置の定義については、表 7 に示す。①を通常の操作位置として、②～⑦の離れた位置での計測を行った。

表 7 Initiator での計測位置

番号	意味
①	通常の操作位置
②	操作位置から後方に50cm離れた位置
③	操作位置から後方に100cm離れた位置
④	操作位置から右45度後方に60cm離れた位置
⑤	操作位置から右45度後方に80cm離れた位置
⑥	操作位置から左45度後方に60cm離れた位置
⑦	操作位置から左45度後方に80cm離れた位置

まず、エンジン停止状態で各位置での計測を実施した結果を示す。図 56 から図 62 が、それぞれの位置での 3 次元位置及び 2 次元位置（鉛直方向以外）の結果である。図内の赤印が設定した Initiator の位置、黄色印が Responder の位置、緑印が複数回の計測した距離情報から算出した位置を示す。今回の検証では、ノイズ処理などは行っておらず、生データから算出した結果を示している。

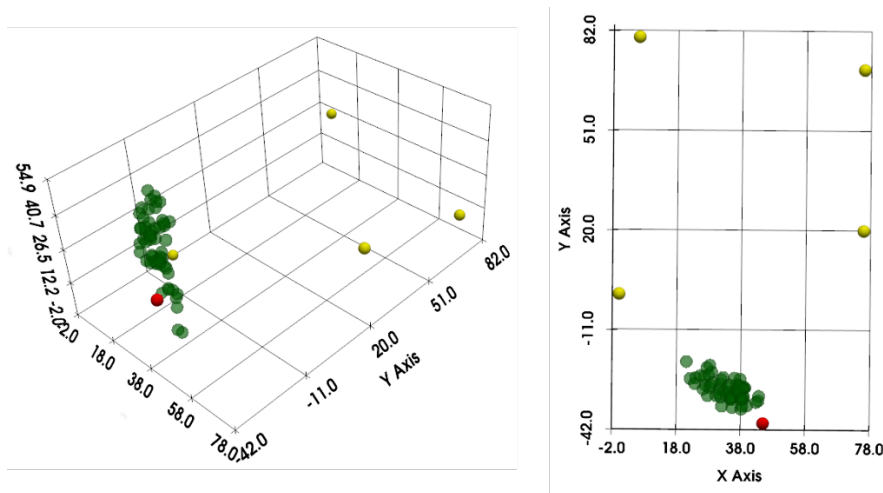


図 56 ①操作位置での計測結果

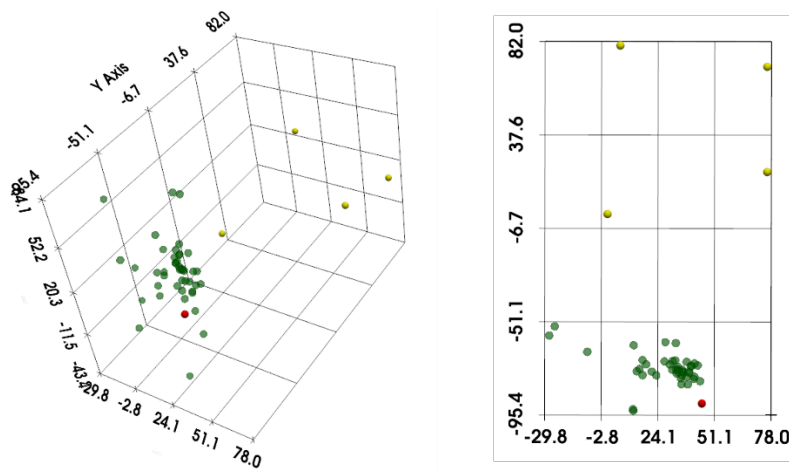


図 57 ②操作位置から後方 50cm 離れた位置の計測結果

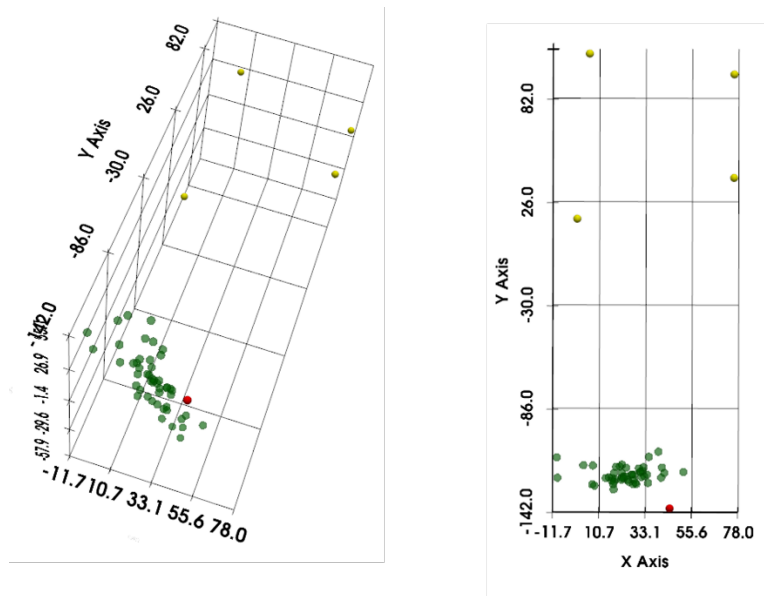


図 58 ③操作位置から後方 100cm 離れた位置の計測結果

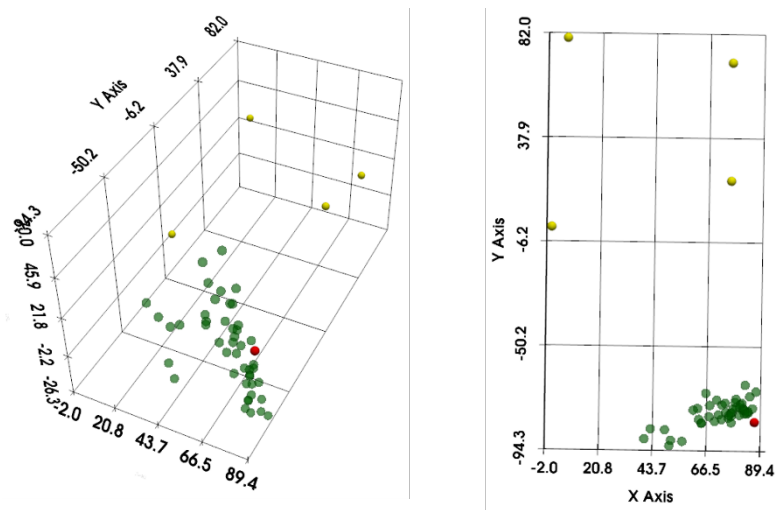


図 59 ④操作位置から右 45° 後方 60cm 離れた位置の計測結果

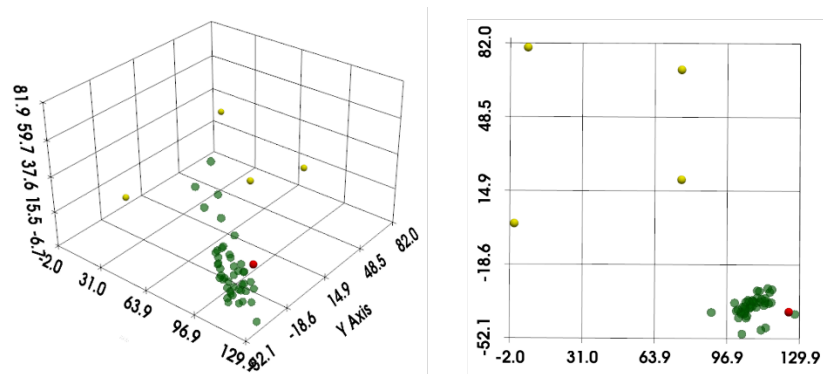


図 60 ⑤操作位置から右 45° 後方 80cm 離れた位置の計測結果

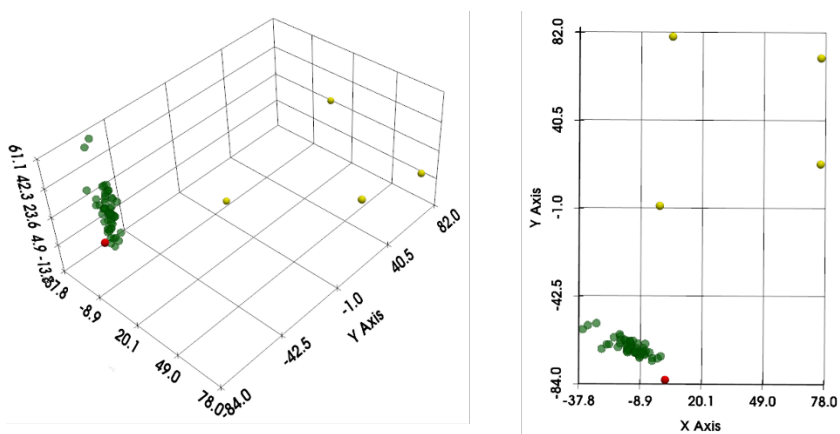


図 61 ⑥操作位置から左 45° 後方 60cm 離れた位置の計測結果

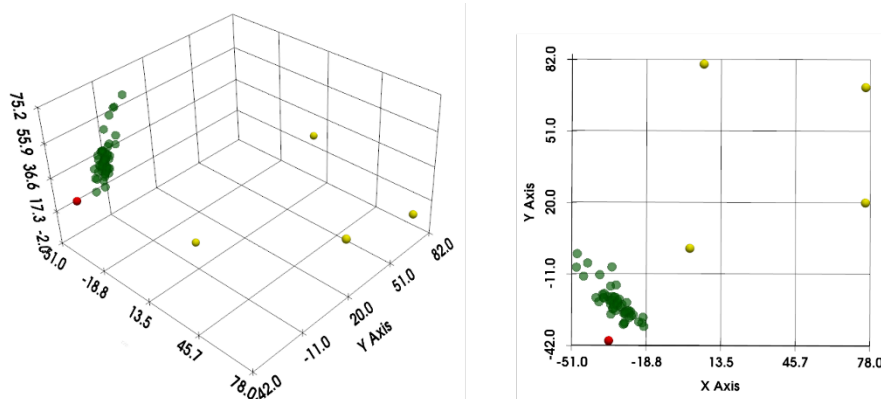


図 62 ⑦操作位置から左 45° 後方 80cm 離れた位置の計測結果

表 8 に、各条件での 3 次元位置と 2 次元位置での平均誤差・最大誤差を示す。いずれの条件でも、3 次元位置よりも 2 次元位置の方が、誤差が小さくなっていることが分かる。つまり、鉛直方向での誤差が大きい。このことは、計測結果の図からも、鉛直方向のバラつきが大きいことを確認できる。原因としては、**Responder** の配置が平面方向には十分に広がっているが、鉛直方向には十分には広がっていなかったことが考えられる。鉛直方向にも広く配置しようとする、除雪機の上面よりも高い位置に設置するための構造を検討したり、除雪機の上面よりも低い位置に設置した場合には、隠れの影響で正しく距離を計測できない **Responder** が出てくるため、精度が十分な距離情報を選定するアルゴリズムなどが必要となる。また、精度を向上させる方法として、ノイズ除去アルゴリズムを適用したり、**Responder** の数を増やす、といったことが考えられる。

今回のような無線デバイスを利用した計測では、誤差が発生することは知られており、誤差が許容範囲かは、データの使用方法や目的で決まる。仮に操作位置から離れたことを検知する目的で使用する場合、雪上の歩行速度や操作位置からリスクが高いとされるオーガやシュータ部までの距離を考慮すると、一歩分程度の誤差が生じて、危険性が大きくは変化しないことから、成人の肩幅や成人の 1 歩程度である 40cm～50cm 程度の誤差であれば許容されるところとした。表 8 から 3 次元位置でも 2 次元位置でも平均誤差は、許容誤差の範囲に収まっていることが分かる。最大誤差は許容誤差の範囲から外れている条件もあるが、最大誤差が生じるデータは一部であることから、ノイズ除去アルゴリズムなどで許容誤差の範囲まで誤差を低減可能であると考えられる。

表 8 各位置での平均・最大誤差

位置	三次元位置での 平均誤差	三次元位置での 最大誤差	二次元位置での 平均誤差	二次元位置での 最大誤差
①	21	36	16	31
②	32	98	25	79
③	40	90	27	60
④	29	56	16	47
⑤	27	54	17	35
⑥	24	59	23	46
⑦	25	54	18	40

(cm)

次に、エンジンを稼働させた状態で計測を実施した。この目的は、エンジンの振動などがデバイスに与える影響を確認するためである。結果は、停止時と同程度の位置計測が可能であることを確認できた。最後に、UWB デバイスを除雪機のエンジンルームに設置して計測を行ったところ、エンジン回りの素材が鉄類であることから、反射による影響があり、精度が低下する結果となった。

評価結果に関しては、操縦エリアから誤使用の危険リスクが高いとされるオーガ周辺までの距離に対して、平均誤差が 40cm 程度であることから、事故リスク低減につながる安全対策として活用できる可能性が示唆された。検証後の意見交換では、単に操作エリア周辺での人検知のみであれば、今回 4 ヶ所に UWB デバイスを設置したが、パネルの上部と下部の 2 ヶ所で判定ができるのではないかといった意見や、課題としては、UWB デバイスの設置場所の最適化や UWB デバイスの防水等の保護手段など、設計段階での工夫の必要性が挙げられた。測距精度が落ちる結果となったエンジン内でも、熱排気口の形状などをヒントとして、小さな穴をあけたエリア内に UWB デバイスを設置することで対応が可能ではないかといった意見も出された。これらの意見や課題などについては、活用方法や目的を含めて更なる検討が必要である。

評価時の Initiator はノートパソコンを利用したが、将来的な製品化を想定する場合は、スマートフォンや専用の小型端末が最適であると考ええる。スマートフォン等には、UWB デバイスが既に搭載されている機種が多いため、Responder と通信を行うための基本機能や測距機能のソフトウェア開発は必須となるが、搭載するソフトウェアアプリケーションの機能次第では、家族への通報、除雪機本体のアラートの発報、消耗品やメンテナンス等におけるメーカーとの共有、譲渡時のトレーサビリティ等、利用者やメーカーにとって利便性の高いツールとなる可能性がある。

3.1.3 まとめ

除雪機メーカーとのワークショップという新しい形での除雪機事故リスク低減へのアプロ

一チを試みた。除雪機的设计に関わった経験がない参加者も含めた事故リスク低減対策の検討を行ない、様々な発想の対策が生まれ、有意義であった。しかし、積雪量や雪質などの様々な条件下での使用や現在の性能の維持、機能的制約などの部分で課題が見られたものもあった。それらを考慮した対策のブラッシュアップをすることで解決できるアイデアもあると考えられるため、今回検証に至らなかったアイデアについても掲載した。

今回、アイデアの中から具体的に検証を行った UWB デバイスは、基礎評価としては、一定の実現可能性を示す結果となった。除雪機での UWB デバイス利用においては、使用環境が過酷ということもあり、今回実施した評価以外にも、様々な条件下での評価が必要であると考えられる。しかし、事故リスクを低減する解決策のツールの 1 つになりえるため、除雪機の安全装置としての実現を期待したい。

現在、除雪機の安全装置としては、デッドマンクラッチが主流となっているが、この機能を無効化して使用してしまう実態がある。これまで通り、安全装置を無効化しない注意喚起を継続していくことも重要で、それによって事故がなくなることが理想的ではあるが、安全装置を使用する不便さや負担から、無効化してしまう実態があるため、利用者への注意喚起のみに委ねる対策だけでは予防が難しくなっている。安全装置を使いやすくしたり、安全装置による負荷などの課題を解決したり、対策された状態を保ちたくなる安全装置にする、といった人の特性を考慮したデザインの観点も必要であると考えられる。特に、高齢者は身体機能や認知機能の変化から、そのような特性が生じやすいため、高齢者の特性を包含した製品開発が重要になると考えられる。

3.2 除雪機の取り扱いや操作等に関する実態調査

除雪機の事故状況としては、「除雪機に引かれる」、「除雪機に巻き込まれる」が多いとされるが、実際の事故発生時の具体的状況はわかっていない。事故発生時の状況を第三者が目撃したり、防犯カメラ等で記録されていることは稀で、事故発生後の状況や事故発生前後の情報などから事故状況や原因を推測することしかできず、実際の状況は分からない。実際の事故発生時の状況ではなくても、通常の除雪機の使用状況でも、ヒヤリハットや事故状況と類似した状況が発生していると考えられるため、通常の除雪機の使用状況を把握することは、事故直前の行動や状況を知ることにつながり、対策の考案にも繋がると考えられる。

このような背景から、今回、事故発生要因の検討につなげるために、除雪機利用者が日常で除雪機を操作している様子を記録することで、事故に繋がり得る特徴的な行動などを調査・分析することにした。また、過去にインシデント等に遭遇した方等に、そのときの状況、除雪機の操作性などに関してアンケート・インタビューも併せて実施した。

3.2.1 除雪機操作の実態調査

当該調査は、山形県のカイノ電器に協力依頼をし、一般家庭 4 軒で調査を行った。エリ

アは、山形県内の比較的積雪が多いとされる地域を選択した。

調査方法は、まず、当該調査の同意を協力者に得た上で、普段除雪する自宅回りに定点カメラを設置するための設置場所の検討、事前に協力者の除雪時間帯などをヒアリングした。後日、スケジューリング可能な固定カメラに撮影時間帯を登録し、設置工事を実施。撮影期間は7日～10日間とし、除雪作業の有無に関わらず、設定した時間帯で撮影することとした。また、一部の方には、チェストハーネスを胸部前方に装着してもらい、アクションカメラと呼ばれる小型カメラで除雪機のパネル操作を記録した。図63に固定カメラの設置例を示す。



図 63 除雪機作業記録用の固定カメラ設置例

以下、撮影した動画の分析について述べる。4名中3名は男性、1名は女性であった。

まず、女性の方は、誤使用等はせず基本に忠実な操作を行っていた。降雪が多い地域ではあるが、女性ということで小型機を利用している。後進から前進操作に移る過程で、除雪機が身体に接触している状況が確認できた。具体的には、図64のように後進（左図）動作中に右手を離し（中央）、前進レバーを操作（右図）する場合、右手を離した段階で既に除雪機が自身に迫っており、右図の段階で除雪機が腹部に接触している。同様な過程が図65でも見られ、同図の右図では、危険を察知して、反射的に右足を半歩ほど引いているようにも見える。操作に迷ってしまい、前進レバーの操作が遅れると除雪機に引かれてしまうリスクが生じる可能性がある。



図 64 後進から前進操作 1



図 65 後進から前進操作 2

図 66 は、自身で除雪機を押し込んでいる様子である。自走式とはいえ小型機なのでパワーが小さいため、膝上高の除雪をする場合は、自身で腰を入れて押し込まないと進まないと話していた。この作業は女性にとっては重労働で、小型でもパワーがある除雪機を望んでいた。



図 66 前方に押し込んで除雪する様子

次に、アクションカメラを使って操作パネルの操作状況をモニタリングした。以下は、ビニールハウス（以下、ハウスと呼ぶ）農家での除雪である。使用除雪機は大型機であ

る。こちらでは、デッドマンクラッチを無効化した使い方をしている様子を撮影することができた。ハウスは、側面からの圧雪により倒壊するため、側面の除雪が重要であるとの話が聞けた。除雪はハウスの側面近傍に沿って行うため、オーガ操作、シュータ操作、速度操作の細かな操作を慎重に行うことが要求され、また、自宅周辺の除雪に追加してハウス周辺を行うため、作業効率も求められる。そのため、デッドマンクラッチを無効にして両手でパネル操作を行っているとのことだった。ハウスに沿って除雪を行うため、除雪機1台分のスペースは確保できるが、その外側は雪壁となるため、特にハウスのコーナー部等では、旋回エリアが限られるため、大型機での旋回操作は難しいと思われる。

図 67 の右図は、右側面が雪壁で旋回のための人のスペースが確保できないため、除雪機脇で操作（後進から前進操作、及び除雪機方向の調整）している事例である。切り返しを複数回実施するため、効率性を上げるため、デッドマンクラッチを無効化して操作する様子が見られた。周囲に何も無い場合は、左図のようにデッドマンクラッチを握っての適切な操作をしている様子が見られた。



図 67 デッドマンクラッチ利用と無効化事例（右図が無効化）

図 68 は、ハウス側面（左側がハウス）の除雪状況の例であるが、ハウスに積もった雪が崩れ、除雪機が雪に覆われた様子である。この状況になると操作レバーが見えなくなるため、レバーを握ったままの操作となるため、緊急停止を行う場合等はデッドマンクラッチが稼働しない。



図 68 ビニールハウス横の除雪事例

3人目の調査では、安全装置がデッドマンクラッチではなく、ロープ状の片方が除雪機に設置され、逆側にクリック状の固定物があり、このクリップを作業者の腰等に固定する非常停止スイッチという機構が搭載された除雪機である。図 69 に非常停止スイッチを未装着して作業する事例を示す（図の赤丸内に垂れ下がっているものが非常停止スイッチ用のロープ状物体）。この機構は、作業者が転倒したり、操縦位置を離れることによってロープが引っ張られ、除雪機側の設置部分が解放され、その信号により除雪機が停止するものと推察されるが、クリップを作業者自身が取り付けなくても除雪機自体は動作する。そのため、デッドマンクラッチの無効化と同様に除雪機を自走させることができる。

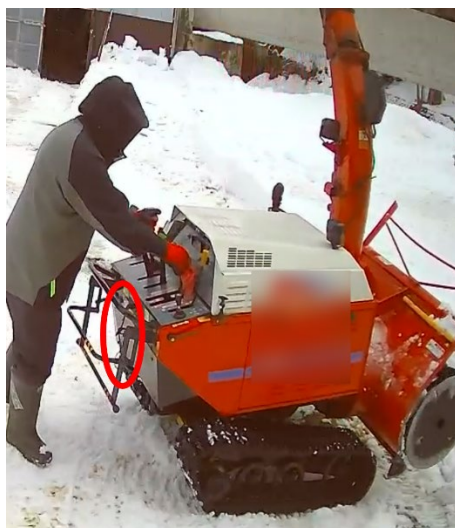


図 69 非常停止スイッチ未装着

敷地が広いので、前進と後進の作業を何度も実施している動画が撮影されているが、後進時は、除雪機を自走させながら作業者自身は先回りして、少し休憩するような場面が何度かあった（図 70）。後進速度が、自身の歩行より遅いため先回りしていると推察され

る。除雪機が近づくと、ハンドルバーを握り次の作業に移っていた。



図 70 先回りして少し休憩する風景

最後の 4 人目は、昨年秋に除雪機を新調し、今シーズン使い始めたが、まだ数回の利用にとどまっているとのことであった。そのためか、まだ操作に慣れていないようで慎重に操作をしていた。この方は、正常な使い方をしていた（図 71）。



図 71 正常な除雪操作（2 階から撮影）

3.2.2 除雪機に関するアンケート・インタビュー

除雪機による除雪作業時のヒヤリハット体験や除雪機の操作・使い方、誤使用有無などについてアンケート及び、インタビューを実施した。

ヒヤリハットの情報は、個人的に些細な危険であったり、誤使用が原因である等、積極的に発信する情報ではないとして、事故対策情報として収集されることは少ないと思われる。しかしながら、このような些細な情報収集の積み重ねが、将来的には事故予防に繋がると考え、実際に体験したヒヤリハットを調査することにした。

アンケート・インタビューに応じた方は、69 歳～84 歳（平均 77 歳）までの男性 10 名

で、現在使用している除雪機の平均利用年数は6.6年（最短1年、最長10年）であった。

過去に事故やヒヤリハット経験した方の割合は4割であった（事故は無し）。また、現在使用している除雪機の買い替え予定については、買い替え予定無しが8割であり、その理由は、まだ十分使えるからであった。

除雪機の死亡事故が毎年発生していることは、全員が知っていた。どのような事故が起きているかについては、除雪機に引かれる事故は9割の方が知っており、続いて、オーガ回転部に手を入れる、除雪機に挟まれる事故が6割だった（図72左）。また、事故情報をどのような媒体から入手しているかの質問に対する回答（複数回答）は、ニュース・TV、新聞を全員が選択した（図72右）。スマートフォンは持っているが、「自治体などのホームページを閲覧することはない」と話していた。

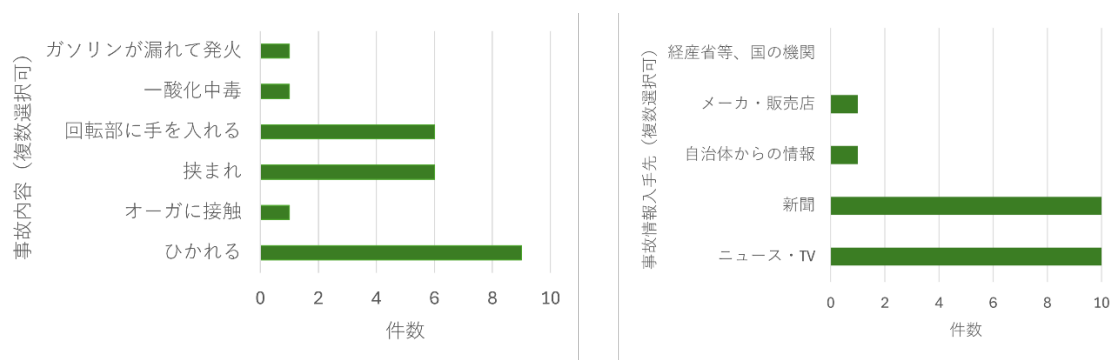


図72 知っている事故内容（左）と事故情報入手先（右）

現在の除雪機利用年数は平均で6.6年となっているが、「買い替えたいと思うに足りる理由は何か」について複数回答可として回答してもらったところ、自動運転が6名、操作しやすい除雪機が5名、安価な除雪機が2名であった（図73左）。

定期点検については、毎年実施しているは全体の4割、数年に1回程度が2割、実施したことはない・自分でやっているが3割、やったりやらなかったりが1割（図73右）という結果であった。農家の方は、除雪機が農機具の機構と類似していることから、メンテナンス等は自身で行う方が多く、消耗品等はすぐに購入して交換でき、そのほうが早いということであった。

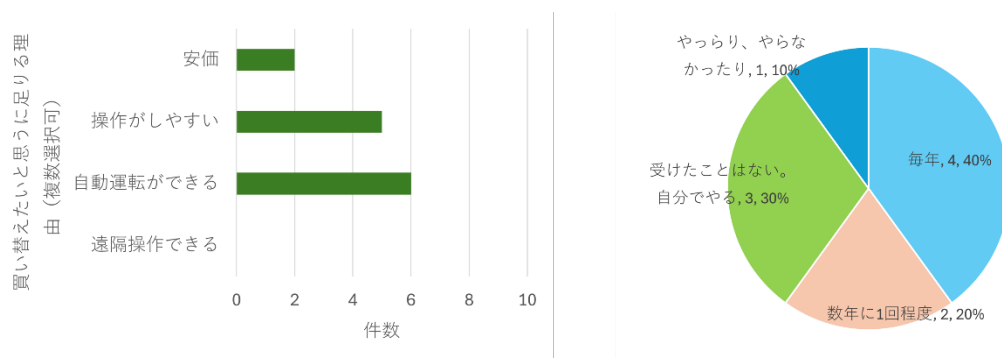


図 73 買い替えたいと思うに足りる理由 (左) と定期点検実施有無 (右)

除雪機安全基準である SSS マークの認知度は、知っているが 3 割であった。また、安全装置の誤使用が事故原因であることを知っていた方は、8 割であった。

最後に、将来的に身体機能の低下等によって自身で除雪機を使った除雪が困難になった場合の除雪作業の対応について自由回答で尋ねたところ、「同居している（近くに住んで）息子にやってもらう」という方が 6 名（ただし、現時点で除雪機操作は未経験）、「地下水で融雪する工事等を検討する」が 1 名、「この場所で生きていけない」が 2 名、「行政と連携するなどして、除雪する協力隊を各地区で構成できるような仕組みを作りたい」が 1 名、「地区毎に協力隊のようなものがあり、ボランティアで手伝う仕組みがあるので、その方たちに依頼する」が 1 名だった。

アンケート・インタビューと合わせて、実際に使用している除雪機を見せてもらった。

山形県内でもエリアによって降雪量が異なり、また、除雪場所等によって排気量の異なる様々な機種を使っている事がわかった。農家や果樹栽培をしている方は、中型・大型サイズの除雪機を所有しており、ラッセル付トラクタ（以下、トラクタと呼ぶ）と除雪機の 2 台持ちの方もいた。住宅地では、自宅の前の道路程度ということで小型除雪機を利用している方、住宅地でも敷地が広い宅では、中型サイズ等、様々であった。

今回、トラクタ所有者は 1 名のみであったが、ほとんどの除雪はトラクタで実施し、トラクタでの除雪が難しいエリアは除雪機を使うという利用方法であり、除雪機の利用頻度は多くないこと、また、まだ使えるという理由で 20 年以上前のデッドマンクラッチ無しの除雪機を継続利用していた。利用頻度の問題からすぐ買い替えという意識は低いが、より安全で自分が納得する機能があれば、買い替える理由にはなると話していた。

オーガによって指を切断する事故について、貴重な話を聞くことができた（10 年使用している輸入品）。メーカーや機種、製造年月、安全機構等の差はあるが、実体験では、除雪中にオーガに雪塊が詰まり、オーガは自動停止した状態であったが、雪塊を棒で取り除いた瞬間にオーガが数回転した、というものである。オーガ回転軸にはトルクがかかった状態であったと推察され、雪を除去した瞬間に惰性でオーガが回転したのではないかという

話が聞けた。オーガは一定のトルクが掛かると自動停止する機構の機種であったようであるが、自動停止した際にクラッチが切れるなどして、フリーで回転するといった機構ではなかったようである。雪詰まりになった場合、付属の雪かき棒で雪を取り除くことが推奨されているが、ユーザからすると、停止したのであれば、手で雪塊を取っても良いと考える可能性も考えられるため、惰性回転をさせないような機構やそれに対応した安全基準等は必要であると考えられる。

シュータ（ブロワー部）に手を入れる行為では、雪が詰まることが原因であるが、その理由として、一般には、気温が低い場合、水分を含んだ雪となり、除雪時に詰まるというものが多い。それ以外に、地下水を庭等に流しているため、雪が水分を含む状態となり、重くなった雪を除雪せざるを得なく、ブロワー部が水分の多い雪で詰まる状況が起きるとのことであった。当該者はホースの水圧で詰まりを取り除いているとのことだが、ホースを持った手を入れることで、危険性が高まる。小型機等では、シュータ部のカバーを開けた際にブロワーが停止するといった安全機能が備わっていない機種が多く、ブロワー動作中も手指を入れることが可能であり、投雪口とブロワー部が近接しているため、リスクがある。基本的にはデッドマンクラッチが搭載されていれば、手を放した際にブロワーなども停止するため、危険性は低くなるが、デッドマンクラッチを固定することも考えられるため、二重の安全対策として、シュータ部の安全機構を全サイズの除雪機に搭載することも検討する必要があると考えられる。

除雪機の下敷きになる事故については、後進時の後進時非常停止バーを無効化して作業を行う方もいるようで、安全装置が正常に動作せずに巻き込まれるのではないかという話が聞けた。実際の事故事例としても、非常停止バーを取り外していた、というものが報告されている。

後進時に壁等に挟まる事故については、デッドマンクラッチを離せば止まるということは理解していても、パニックになると離せずに握り続けてしまうという経験談⁹が過去にあり、危険を感じた時に、握っている物を離さなければならない、というユーザの操作に頼った対策となっている、という課題がある。また、実際に事故事例として、操作者が後方の障害物にぶつかり、上体が除雪機上に乗り上げ、デッドマンクラッチを押し下げて機能しなかったことがある。このことから、デッドマンクラッチのようにユーザの操作や事故発生時の状況に依存しない対策が必要である。現在では、非常停止バーなどの対策が設置されているものがあるが、前述の通り、無効化するなどしているケースもあるため、なぜ無効化するのかも含めた検討を行う必要があると考えられる。

使い勝手に関する意見としては、操作するレバーが沢山あるのに両手が使えないことで不自由であるという意見が多く聞かれた。特に、周辺環境の配慮を気にしている方（走行中の車、歩行者、隣接地など）で雪堆積場所が限られる方などは シュータレバーは常に

⁹ 令和4年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業（高齢者向け製品の安全性規格等検討事業）

触っているが、速度調整や路面に応じたオーガ角度調整も同時に行う場合があるため、デッドマンクラッチを固定して、両手を使っているという率直な意見が聞かれた。図 74 に両手で操作する作業事例を示す。デッドマンクラッチを固定してしまう他の要因としては、高齢者にとっては、1 時間以上も握り続けること自体が、きついという意見が複数あった。加齢に伴い、骨格筋の量が低下し、筋力や身体機能が低下することがわかっている。成人男子（20～59 歳）の平均握力が凡そ 46Kg であるのに対し、高齢者（65～79 歳）では平均 37Kg と明らかに低下¹⁰するため、高齢者の身体能力への配慮が必要と思われる。

また、地面が凹凸であり、さらに砂利面であると頻繁にオーガのレバー操作を行う必要があり、砂利が飛んだ時、止めれば良いのだが、パニックになりシュータの向きを変えてしまい、窓ガラスを割ってしまったという話も聞いた。高齢者は、身体機能の低下と共に認知機能も低下していくため、危険を感じたり、パニックな状態等になると平時の作業・動作が難しくなる可能性が示唆される。身体機能の配慮と同様に認知機能の低下に対する配慮も必要とると考えられる。



図 74 両手で操作する作業事例（停車中）

中型サイズ以上の場合、操作するボタンやレバーの数が多くなり、雪壁等を除雪する場合などは操作が複雑になるため、1つのレバー等で複数の操作が可能となるような多機能レバーなどがあると良いという意見も聞いた。

小型除雪機での使い勝手は、左右旋回がボタン式の機種の場合、何度も押す必要があるため、指が痛くなり、疲れてくると押しても力が入らず、旋回できないといった意見もあった。こちらも、身体機能の低下にも配慮した設計・開発が必要と思われる。

また、屋根からの落雪や自治体が除雪した雪は重いため、小型ではパワーが足りず、シ

¹⁰ 長寿科学振興財団 (<https://www.tyojyu.or.jp/net/kenkou-tyoju/tairyoku-kiki/akuryoku.html>) から引用

ュータから排出される雪が思った場所に飛んでくれないという意見もあった。小型でもパワーがある除雪機を開発して欲しいという要望があった。

インタビューの後半は、除雪機のパワーに関する話題が多く、買い替え時は、現在使っている除雪パワーのワンランク上にする（したい）傾向があることもわかってきた。ただし、除雪パワーを変えたり、同じ除雪パワーでもメーカーを変えると操作パネルが変わることが多く、慣れるまで結構時間がかかるため、自動車と同じように基本操作レバー等のレイアウトは同じにしてもらいたいという話が聞けた。

3.2.3 考察

除雪機の実態調査として、除雪機の操作実態の記録を4軒、アンケート・インタビューを10軒で実施した。

今回の調査で、デッドマンクラッチを無効化して作業を行う理由の一端が明らかとなってきた。アンケート調査でも、除雪機に引かれる事故、挟まれる事故、オーガ等に手を入れる事故など、見聞きしたことがある人は6割以上であるため、「こういうことをすると事故に遭遇する」ことを理解しているものの、周辺状況や路面状等によっては、操作レバーを頻繁に操作する必要がある、デッドマンクラッチを無効化せざるを得ない状況があることが分かった。誤使用はいけないことは十分理解しているが、「オーガ周辺やシュータ付近には近寄らず、操縦に徹している最中は、安全に注意すれば大丈夫だろう」という意識で誤使用をしていると思われる。また、必要に応じて、除雪で飛ばした雪溜まりを更に別の場所に飛ばす作業も発生することがあり、この場合は、雪溜まりに突っ込んで除雪するため、前後進作業が頻繁に発生するため、作業効率を上げるためにもデッドマンクラッチを無効化して作業することがあるとのことだった。このような背景から、デッドマンクラッチを無効化して作業を行う理由は、豪雪地帯ならではの理由もあるように思われる。オーガ・シュータに手を入れる、オーガに引かれる事故については、操縦場所を離れることが前提であるため、今回のワークショップで実施した評価内容を踏まえた製品の開発等によって、事故リスクの低減に寄与できる可能性がある。

除雪機の後進については、多くの方が危険な作業という認識を持たれていた。安全装置を無効にして後進するのは明らかに誤使用であるが、次の操作に移る時に、操作レバーの選択に時間がかかり、雪壁との間に直立のまま挟まれる場合もあるとのことであった。雪壁は2mも積もれば、下層は氷のように固くなり、雪壁を押し込んでも容易にへこんだりはしないとのことであった。デッドマンクラッチを放せば停止するが、ユーザの行動に依存した対策であり、別の対策も検討が必要であると思われる。また、後進時安全装置は、小型機にはあまり装備されていないが、小型機であっても事故リスクはあるため、オプションで装着できるような構造にしておく等の工夫も必要ではないかと思われる。

除雪機の性能・使い勝手については、操作パネルの配置の統一、デッドマンクラッチの長時間握りによる疲労、小型でも除雪パワーがある除雪機等、様々な要望があった。操作

パネルの配置の統一は、業界として取組む必要がある課題と思われるが、加齢に伴って認知機能が低下していく高齢者にとっては、メーカーが変わっても操作レバーが同じ配置であることは、負担や操作ミスを低減するのに有用であると考えられる。また、デッドマンクラッチの長時間握りによる疲労についても、高齢者の特徴である身体機能の低下により、想像以上に疲労が発生している可能性がある。買い替える理由の条件として、「操作がしやすい」という項目が5割となっており、肉体的疲労の低減も含まれると考えられるため、デッドマンクラッチ機構の見直し等も検討すべきではないかと思われる。

インタビューを実施してわかったことは、除雪機事故等については、新聞・ニュース等で知ることができるが、最新型の除雪機の安全装備がどのようなものかを知る機会がほとんどないということである。定期的にメンテナンスを行っている方は、メンテナンス業者から新しい除雪機を紹介されることはあるかもしれないが、自分でメンテナンスを行う方などは、そのような機会がない。アンケートでは、操作がしやすい除雪機が買い替え理由の1つになるという結果が出ていることから、例えば、2、3年に1回程度、最新機種の除雪機について知ってもらう取り組みなどを実施することも必要ではないかと考えられる。

インタビュー中、「安全第一は理解できるが、除雪するユーザの立場で製品を開発して欲しい」という言葉は印象的であった。安全は重要であるが、操作性、機能性、効率性を阻害しない対策となることで、さらに効果的な安全対策となるため、除雪機メーカーにはさらなる安全対策が装備された製品の開発に期待したい。

将来的に、高齢化に伴う除雪作業は課題である。身体機能の低下等を理由に除雪機を利用した除雪が難しい場合、インタビューでの回答にもあった、地下水を利用した消雪パイプでの除雪を行う手法がある。しかし、新潟県（上越市、妙高、長岡など）等では、消雪パイプ設置の増加に伴い地下水の利用が増え、地盤沈下の可能性が指摘されており、利用を控える措置を取っている自治体などもある。どこでも利用可能な方法ではないため、現状の除雪機を利用する以外の除雪方法を、一企業で検討するだけでなく、自治体・国とも連携した協議を進める必要もあると考えられる。

4. 高齢者行動ライブラリの活用促進

高齢者行動ライブラリ¹¹は、平成29年度に整備された高齢者の行動に関するサイトで、介護施設に入居している高齢者や一般家庭で生活している高齢者を対象に、行動データ（映像データ及び姿勢データ）を収集・公開している。行動データは、身体・認知機能、行動種別、行動に関わった製品などの情報と関連づけているため、目的に応じて観たい場面の検索が可能であり、現状、100を超える事業者が閲覧登録している。事業者が高齢者

¹¹ 高齢者の行動特性の理解をサポートするものとして構築した、動画を含むライブラリです。高齢者施設や一般家庭の60～100歳代までの様々な身体機能と認知機能の高齢者を対象に、日常生活行動を記録・収集し、高齢者の年齢、性別、身体・認知機能、使用している製品や環境の情報等と紐づけてデータベースとして構築しており、これらの情報が検索できるシステムを平成29年度にウェブ上で公開しています。

の行動特性や製品の使い方等を把握することにより、安全性の高い製品や高齢者の生活を支援する製品の開発への活用が期待できる。

今回、高齢者行動ライブラリ内の情報を活用した製品開発等をさらに促すため、事業者等に向けた周知・広報活動を行なった。

4.1 活動内容

周知・広報活動としては、「高齢者行動ライブラリ」を知ってもらうことが大事であるため、ウェブ上でどのようなことができるのか、また、過去に企業等が実施した製品改善の紹介等、セミナーや勉強会、学会などで紹介し、普及・啓発を図ることにした。一部のセミナー等では、企業が高齢者行動ライブラリでの気づき・学びから、自社製品を改良した取組み状況や過去の研究成果を交えながら、高齢者の特徴や行動特性等の知見をレクチャする等、幅広い話題提供も行った。

高齢者行動ライブラリの閲覧者は、原則、製品開発事業者としているが、今回、幅広く周知することも視野にいられていることから、製品をデザインする方にも紹介するため、日本インダストリアルデザイン協会（JIDA）に協力を求め、承諾を得ることができた。JIDAでは、様々な研究会があり、定期的に勉強会等を実施しており、その勉強会の中で紹介する許可を得た。また、参加規模等の大小はあるが、各種セミナーや学会・委員会などに参加し、高齢者行動ライブラリの普及・啓発活動を実施した。また、一般社団法人日本福祉用具・生活支援用具協会（以下、JASPA と呼ぶ）の協力も得て、JASPA 主催のセミナーや講演会等でも紹介活動を行った。表 9 に今回参加したイベント等の一覧を示す。

当該事業期間中の 2024 年 4 月以降、2024 年 12 月の間に計 12 回のイベント等に参加した。

表 9 実施したセミナー、学会、委員会等

No	開催日	PR活動の名称（セミナー、学会、勉強会など）
1	2024.5.16	東京都中小企業振興公社セミナー(100人規模)
2	2024.7.25	JIDA社会課題研究会 DhaibaWorksセミナー(20人規模)
3	2024.8.3	日本セーフティプロモーション学会・日本市民安全学会(50人)
4	2024.8.25	日本在宅ケア学会(300人)
5	2024.8.30	JASPA 安全安心部会(40人)
6	2024.9.24	産総研・人工知能セミナー(100人)
7	2024.9.24	消費者問題マスター講座(企業、消費者支援、100人規模)
8	2024.10.2	HCR・JASPAセミナー(40人規模)
9	2024.11.23	第 44回 医療情報学連合大会シンポジウム (50人規模)
10	2024.11.25	JIDAからJIDA会員に向けた当該ウェブの紹介案内メール送付
11	2024.11.26	JASPAセミナー(100人規模)
12	2024.11.26	川崎市セミナー (50人規模)
13	2024.11.29	JIDA素材加工委員会 (20人規模)
14	2024.12.12	JIDAプロフェッション委員会 (20人規模)

4.2 活動成果

当該ウェブサイトは、平成 29 年度に公開し、これまでに 120 件以上の企業・団体等の閲覧登録が済んでいる。本年度、当該活動期間中の閲覧登録は、28 件（審査中 22 件¹²）となった。図 75 に月別の登録件数の推移を示す。10 月から 12 月にかけて登録者が増加しているが、これは、この期間に実施した JASPA や JIDA、及び川崎市のセミナーで、工業製品デザイナーや福祉製品に携わる方々への周知活動を推進したことで、全体として当該ウェブサイトの閲覧登録数を押し上げたことが分かった。

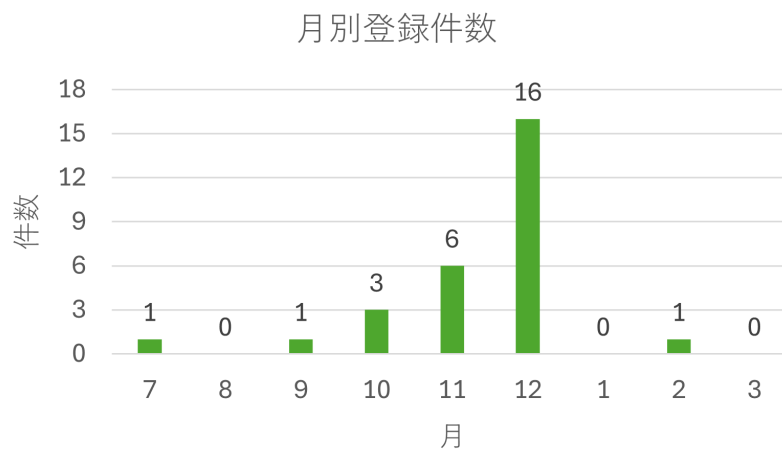


図 75 2024 年度（2024/7～2025/3）の登録件数推移

過去には、一般企業や団体を対象にした広報活動を実施していたが、製品開発事業者等の上流（製品デザイン）や下流（施設等の現場）にも目を向けることで、閲覧希望者が多く存在することが発見できた。これを知見として、製品デザインを学び・研究する学生や高齢者施設での新人教材等としての活用、介護用品レンタル事業者等、様々な分野での利用が期待されるため、当該ウェブサイトの活用促進としての広報活動を今後も進めていきたいと考えている。

4.3 ライブラリ運営に関する現状の課題と対策案

これまでに、高齢者施設や一般家庭に固定カメラを設置し、様々な日常生活の行動等を収集してきているが、主に階段やキッチン、リビング等といった場所単位でのデータ収集であり、特定の製品に対する使い方を把握するという観点でのデータ収集にはなっていない。また、過去には、当該ライブラリの閲覧登録をされた企業等にアンケート調査を実施してきたが、企業の製品開発分野が多岐に渡るため、企業ニーズに対する動画が網羅できていない。このような課題に対しては、企業の製品開発における課題を明確化し、それに

¹² 登録に際しての覚書の締結中。

特化したデータを集中的に収集するといったことが考えられる。一方で、家電製品の操作や特定製品の細かな動作状況の記録要望（リモコン操作、スマートフォン操作など）の場合、一般家庭内でその操作を行う場所が特定されないため、固定カメラ等では記録は難しい。この対策としては、例えば、「製品をつかむ、つまむ、回す、引く」等の動作を一般家庭ではなく、例えば、コホート研究等を実施している施設等と連携することで、その研究に参加している高齢者等を対象に、対象製品の使い方などの動作をしてもらう、という方法が考えられる。このとき、普段の自宅ではない環境での使い慣れたものではない製品に対する動作になるため、普段の動作とは異なる可能性もあることは注意する必要がある。

過去のアンケート調査では、公共場所（駅のロータリ、駅の階段）での歩行や動作、車やバス等の乗り降り動作、エレベータの乗り降り行動、トイレ・風呂など自宅で1人になる場所などの動画収集の要望があったが、不特定多数の場所やプライバシー空間などにおける製品の取扱い操作や動作などの記録は難しい。固定カメラでの撮影は難しいため、企業ニーズにもよるが、例えば、エレベータの場合、撮影同意を得た方にエレベータの乗り降り動作をしてもらう等は可能かと思われる。また、トイレ等はズボンを履いた上で模擬的な動作を撮影することは可能ではないかと思われる。この場合でも、普段と異なる環境になるため、自然な動作と異なる可能性もあることは注意する必要がある。

ウェブページの継続的なアクセスやデータの活用を促進するには、新しい情報の追加など、継続的にアクセスするメリットを持たせる必要がある。具体的には、定期的にページを更新しつつ使いやすくする、新たな情報を追加する等である。当該ウェブサイトは、基本的には、企業向けに高齢者の行動・動作に関する情報を掲載しており、気づきや学びを得た上で、自社の製品開発に繋げてもらうことを目的として立ち上げたサイトであるが、それだけに留まらず、事故データの分析結果などの課題に関するデータを提示し、課題を認識してもらう情報発信も重要であると考えられる。課題を認識することで、製品開発・改善を促し、行動ライブラリの活用につなげる、取り組みが必要であると考えられる。また、行動ライブラリの動画だけでは、製品開発に必要な知見やデータが不足していることも考えられるため、高齢者に関するデータや論文などの知見とも紐づけて情報を得られるような取り組みも重要であると考えられる。また、現状の行動ライブラリの動画は、あらゆる製品をカバーしている状況ではないため、拡充も重要である。一方で、高齢者の日常生活行動の中での実際の使い方を記録するためには、一般家庭等の協力（同意）を得る必要があり、データを拡充するハードルが高い。データを取得する側も協力頂く高齢者側にとっても負担を少なくする仕組みやデータ取得方法を検討する必要がある。

5. 今後の展望

5.1 高齢者に関わる製品安全分野の規格・基準の整備

高齢化が進む我が国において、高齢者の身体・認知機能の変化に対応した安全性は重要

な課題である。現状では高齢者の身体・認知機能の変化による想定とは異なる製品の使い方による事故は、誤使用による事故として一括りになっている。しかし、高齢者の身体・認知機能の変化によって生じている場合には、注意喚起だけでは事故を防ぐことは難しく、製品がその変化の特性を考慮した安全性を持った機能や構造となる必要がある。そのような考え方を普及させていく必要がある。

個別の製品としての安全性を高めるアプローチだけでなく、製品群や製品分野で共通的に安全性を確保するアプローチも重要である。このような製品単体や製品群としての製品安全は、階層的構造の基準体系が必要である。子どもの製品安全分野・機械の安全分野では、製品の安全性を十分に確保するために、「基本的指針」、「複数製品に共通する原則」、「個別製品規格」といった階層的構造による基準体系の整備が進んでいるが、高齢者に関わる製品安全分野では、データにもとづく高齢者の理解が十分に進んでいないため、データを反映した共通規格等が十分に整備されていない。福祉機器などの一部製品ではJIS規格の改訂が実施されているが、個別製品の規格・基準に留まっている場合が多い。そのため、同種のリスクを持つ他の製品では安全基準がなかったり、不十分なままになっている。このような体系的な基準・規格整備のためには、高齢者の生活安全に関する課題を明らかにするとともに、高齢者に配慮した製品開発を支援するための高齢者の特性データや評価法を整備することも重要である。

しかし、基準や規格作りは、メーカーや業界団体との連携が必要であるが、高齢者の身体機能や認知機能の変化に配慮した製品はまだ多くないため、連携体制を構築することが難しい。そのため、そのような製品開発にメーカーが取り組む土壌の形成も重要であり、身体機能や認知機能の変化による事故の課題を広く普及していくことも重要である。また、そのような製品が適切に評価され、社会に普及していくことを支援する仕組みづくりも重要である。それらを通して、連携体制を構築しながら、基準や規格作りへとつなげていく必要がある。

高齢者の身体機能や認知機能の変化に配慮した製品の評価方法や基準値は、明確なものがない場合が多く、作り上げていく必要がある。評価方法や基準値を作り上げることは、メーカーだけでは難しく、支援する体制や仕組みづくりが必要である。しかしながら、汎用的な評価法や基準値をトップダウンに作ることは難しいため、具体的な製品に関して評価方法や基準値を作り、事例を積み上げながら、ボトムアップに作り上げていく必要がある。また、一般的な安全基準とは異なり、高齢者の身体機能や認知機能の変化やそれによって生じる行動などを含めて、評価法を検討する必要があるため、行動ライブラリのように実態を把握可能なデータは有用である。

高齢者の身体機能や認知機能の変化に配慮した製品の開発を促進し、高齢者の事故を防ぐためには、出発点となる事故の課題を把握するためのデータを収集する仕組みが不足している。まずは各機関で保有している事故に関するデータを連携して活用可能にしたり、オープンになっていないデータについて個人情報を取り除くなどした上で活用可能にす

る、といった仕組みづくりも必要であると考えられる。

5.2 今後の課題

今年度は、JIS 規格を将来的に策定することを念頭に、高齢者の行動特性が十分に配慮された規格の整備に不可欠な高齢者の身体関連データを取得するための整備を進めた。具体的には、高齢者による立ち上がり時や段差の昇降時の身体保持計測を行い、身体保持に関するデータを取得した。データ分析から、身体保持に有用なデザインの方向性が明らかになってきたが、実際に製品化するためには、設計に必要な高齢者の特性データなどが不足している。例えば、高齢者が掴みやすい形状やサイズに関するデータは十分になく、製品化を考えたときに特定のデザインによって高齢者のどの程度をカバー可能なのか、といったことが検討できない。

除雪機については、一般家庭の協力を得て実際の除雪作業を実施してもらい、除雪作業の実態が明らかになってきた。デッドマンクラッチを無効化して作業することは、誤使用とされるが、今回、アンケート・インタビューを含めた調査結果から、除雪するエリアの地面環境や積雪量、肉体的負担などから、「やむを得ず」デッドマンクラッチを無効化して作業しているという実態が見えてきた。このことは、誤使用としてとらえて啓発だけで予防を目指すアプローチは限界があることを示している。誤使用とされている使い方になってしまう理由や背景を把握できることで、製品開発・改善につながる可能性があるが、このような実態を把握するためのデータや仕組みがないことも課題であると考えられる。着実に事故件数が減少している交通事故では、警察が現場検証を行ったデータを元に課題を把握したり、対策を検討し、対策を実施した場合にはその効果評価を行える仕組みとなっている。日常生活で使用する製品についても、詳細な状況が把握できるデータが必要である。

また、除雪機に関する取り組みでは、誤使用を防止するためのセンサについて検討をしたが、不便さや実際の使用時の課題が解消されない限り、別の方法で防止策を無効化することになると考えられる。検討したセンサは、安全を確保した上で、作業効率を上げたり、作業をしやすくしたりする活用方法も考えられるため、誤使用を予防するという観点だけでなく、自然に安全に使用するための新たな機能といったイノベーションによる安全対策も必要であると考えられる。

以上のように、高齢者に配慮した製品開発が促進されるように、データを整備したり、適切に評価可能な方法を整備することが重要である。また、それらを通して、実態に即した評価基準や基準値を検討し、基準や規格作りへとつなげていく必要がある。

高齢者行動ライブラリは、公開してから7年余り経っており、様々な企業で利用されているが、現状のコンテンツに捉われず、高齢者が扱う製品や福祉分野等で利用される製品の製品開発において、必要と考えられるコンテンツ等に関して、今後、企業や団体等と連携することで、ニーズやシーズを掘り起こしていく必要がある。製品開発事業者のみなら

ず、介護・福祉関連施設やレンタル事業者等に寄与できる新たな情報等も整備していくことも必要であると考えられる。また、他の高齢者事業の成果を当該ライブラリにコンテンツとして登録や公開等が可能な仕組み作りも検討し、当該ウェブサイトが高齢者に関わる製品開発の基礎データ発信サイトになるような検討も進めていくことも考えられる。