

成果報告書

支援機器等導入実証事業

自立支援機器を活用する就労支援プロジェクト

成果報告書

実施テーマ

「倉庫環境におけるモビリティ支援機器導入の効果に関する評価」

令和8年3月10日

WHILL 株式会社

目次

I. 事業概要	3
1. テーマ	3
2. モニター評価チーム	3
3. 製品概要	4
4. モニター評価の概要	5
II. 事業報告	6
1. 背景	6
2. 目的	6
3. 実施内容	7
(1) 評価デザイン	8
(2) 主要・副次評価項目	8
(3) 実験プロトコル	9
4. 実施結果	12
評価① 障害者の就業可能性：就業が可能になるかどうか等	13
評価② 電動モビリティの利用可能性：倉庫作業が可能になるか等	18
評価③ 電動モビリティの効果：利用により身体的負担が軽減したか等	27
5. 今後の予定	29
6. 謝辞	29

1. 事業概要

1. テーマ

本事業のテーマは、「倉庫環境におけるモビリティ支援機器導入の効果に関する評価」である。

2. モニター評価チーム

評価は、以下3者が役割を分担し、共同で実施した。

1. WHILL 株式会社（担当責任者：城代 志野）

- モビリティ支援機器の提供
- モニター評価計画の立案（機器の仕様や特性を踏まえた情報提供）
- 評価結果を示す動画の作成（日本通運株式会社と協力して実施）
- 報告書の作成

2. 東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻 二瓶研究室 （教授：二瓶 美里）

- モニター評価計画の立案
- モニター評価の実施主導
- モニター評価結果の取りまとめ

3. 日本通運株式会社

- モニター評価の場の提供
- モニター評価計画の立案（倉庫環境の実態を踏まえた情報提供）
- 評価結果を示す動画の作成（WHILL 株式会社と協力して実施）

3. 製品概要

WHILL Model C2 (図 1、以下「ウィル」) は、WHILL 株式会社が 2020 年に発売した電動車いすで、米国や欧州を含む世界各国で販売しているウィルの仕様を図 2 に、寸法を図 3 に示す。



図 1 WHILL Model C2

製品名称	WHILL Model C2/CK2
製造者名 / 製造者住所	WHILL 株式会社 〒140-0002 東京都品川区東品川 2 丁目 1 番 11 号
最大重量	115 kg (乗員・荷物含む)
移動方式	二輪駆動
速度切り換え	4 段階
ブレーキ方式	電磁ブレーキ
前輪タイプ	オムニホイール / 外径 257 mm
後輪タイプ	標準：ノンパンクタイヤ / 外径 265 mm
アーム	跳ね上げ式
最大許容傾斜	10°
航続距離	18 km
最大耐荷重	115 kg
テールライト	LED ランプ (赤)
充電時間	5 時間
使用環境	-15 ~ 40° C
ピボット幅	760 mm
コントローラーの操作力	1N
本体のノイズレベル	通知音を除き 65 dB 以下
バッテリー製造者名 / 製造者住所	WHILL 株式会社 〒140-0002 東京都品川区東品川 2 丁目 1 番 11 号
バッテリータイプ	リチウムイオン電池
公称電圧	25.3 V
定格容量 (5 時間率)	10.6 A

図 2 WHILL Model C2 の仕様

項目	最低値	最高値
全長（フットサポート含む）	-	985 mm
全幅	-	554 mm
本体質量	-	51.9 kg
分解時の最も重い部品（メインボディ）	-	19.4 kg
航続距離	-	18 km
障害物乗越高さ（前進時）	-	50 mm
最大前進速度	-	6 km/h
座面角度	-	5°
有効座面長さ	-	400 mm
有効座面幅	-	400 mm
座面前端の地上高	440 mm	520 mm
バックサポート角度	90°	100°
バックサポート高さ	745 mm	945 mm
フットサポートから座席までの高さ	313 mm	393 mm
座面と脚の角度	-	85°
アームレストから座面の距離	245 mm	305 mm
アームレストの前端位置	419 mm	463 mm
車軸の水平方向の位置	-	48 mm
最小回転半径	-	760 mm
シート重量	-	12.2 kg
メインボディ重量	-	19.4 kg
ドライブベース重量	-	17.6 kg
バッテリー重量	-	2.7 kg
最大制動距離	-	900 mm

図 3 WHILL Model C2 の寸法

4. モニター評価の概要

モニター評価は、令和7年10月から令和8年1月にかけて、計9名を対象として日本通運株式会社の倉庫2か所で行った。

II. 事業報告

1. 背景

これまで電動モビリティを開発・製造・販売するWHILL株式会社は、物流倉庫やビル警備など、業務上の必要から徒歩による身体的負担の大きい職場にモビリティ機器を導入することで、より多様な人材の就業が可能になると考え、「誰にもやさしい倉庫」を構想する日本通運株式会社と共に倉庫内の作業に特化した作業用モビリティを開発するなど、取り組みを進めてきた。

しかし、実際に倉庫環境にモビリティ機器を導入することの効果や要件については定量的なエビデンスに乏しく、今回、福祉機器の評価に詳しい東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻二瓶研究室と共同してモニター評価を実施することを計画した。

2. 目的

本評価の目的は、現在徒歩による作業が主であり、健康な健常者以外の就労が困難である倉庫内におけるピッキング業務に電動モビリティを導入することの効果や、以下の観点から明らかにすることである。

- 従来倉庫内のピッキング作業に従事することが不可能または著しく困難であった身体障害者が就業可能となること
- 倉庫内作業の身体的負担が軽減されること

また、電動モビリティを倉庫内で活用するための要件を、以下の観点から洗い出す。

- 電動モビリティを導入するための倉庫環境および作業の要件
- 電動モビリティに求められる機能的な要件
- 電動モビリティを効果的に活用するための施策や方策

3. 実施内容

モニター評価は、対象者を表 1 に示す 4 つのグループ（群）に分類し、各対象群に対して表 2 に示す内容を実施した。

表 1 モニター評価対象者と分類

分類	説明
A 群	健常者群
B 群	歩行困難者群（定義：杖の使用や、長距離歩行に困難を感じるが、車椅子は常用していない方。）
C 群	車椅子ユーザー群（定義：日常的に手動または電動車椅子を利用している方。）
D 群	車椅子ユーザー就労群（定義：日常的に手動または電動車椅子を利用している方で、既に日本通運でウィルを使用して就労している方。）

除外基準：座位が安定しない人、ジョイスティック操作が困難な人、上肢、手指での作業動作が困難な人

禁忌：褥瘡のある人、座位が不安定で転落の恐れがある人、うつ熱のある人

年齢・性別：成人（20 代～70 歳まで）・性別不問

表 2 実施した評価と対象群

評価	実施場所と日程	対象			
		A 群	B 群	C 群	D 群
評価①：障害者の就業可能性に関する評価	埼玉県加須市、以下「加須倉庫」 令和 7 年 10 月 21 日 令和 7 年 11 月 4 日 令和 8 年 1 月 23 日				✓
評価②：電動モビリティの利用可能性に関する評価	東京都大田区、以下「平和島倉庫」	✓	✓	✓	
評価③：電動モビリティの効果に関する評価	令和 7 年 11 月 17-18 日	✓	✓	✓	

本評価は、東京大学大学院情報理工学系研究科倫理委員会の承認を得て実施した（UT-IST-RE-250826_1）。

(1) 評価デザイン

参加者の身体的特性によって結果が大きく異なることが予想されるため、参加者を4つのグループ（群）に分けて評価を実施する（表1）。

各群において評価内容が異なるため、平和島倉庫での模擬ピッキング作業実験、加須倉庫で既に電動モビリティの倉庫作業を担う実施者を対象とする評価、健常者を対象とするモビリティを用いた身体的負担に関する走行評価実験を実施する。

(2) 主要・副次評価項目

評価① 障害者の就業可能性：就業が可能になるかどうか等

- ・ 電動モビリティを用いた倉庫作業経験者へのインタビュー
- ・ QOLに関する評価（PIADS, QUEST2.0(サービス項目除く)）
- ・ ワークエンゲージメント（UWES）

評価② 電動モビリティの利用可能性：倉庫作業が可能になるか等

- ・ ピッキング作業、ピッキング作業完了率等
- ・ 録画記録を用いた行動分析
 - 身体的負担がかかりそうな行動抽出
 - 安全性評価：ヒヤリハットの発生件数をビデオ解析により抽出
- ・ 主観評価
 - 主観的運動強度（RPE）：作業の「きつさ」を評価
 - 主観的疲労度（VAS）：作業前後の疲労度を評価
 - SUS：就労作業における電動モビリティの「使いやすさ」を評価

評価③ 電動モビリティの効果：利用により身体的負担が軽減したか等

- ・ 心拍変動（RRI）：身体的負担を評価
- ・ 総移動距離・時間：活動量を評価する

(3) 実験プロトコル

事前

- 参加者の募集・層別化
 - ・ 上記4群の基準に基づき参加者を募集し、各群に割り当てる。
 - ・ インフォームド・コンセント（説明と同意）を丁寧に行う。特に障害のある方には評価のリスクや注視の権利について時間をかけて説明する。
- 実験の準備
 - ・ 環境設定：評価②および③において、実際の倉庫環境を模した、安全が確保された実験フィールドを準備する。

評価

評価は個別、あるいは数名が同時に実施する。

評価①～③共通：A～D群

- 事前インタビュー（半構造化）：プロフィール、就労経験、電動車椅子操作経験、身体機能の自己評価などを確認する。

評価①：D群

- インタビュー調査：
 - ・ 電動モビリティを用いた倉庫作業経験者への半構造化インタビューを実施する。
- アンケート調査：
 - ・ QOLに関する評価（PIADS, QUEST2.0(サービス項目除く)
 - ・ ワークエンゲージメント（UWES）

評価②：A～C群

- 使用前評価：A・B・C群においては
 - ・ 実施時には、ウェアラブルデバイスを装着し、活動量、心拍、歩数、消費エネルギーなどを取得する。
 - ・ 実験の終わりに、主観的運動強度（RPE）、主観的疲労度（VAS）、就労意欲についてのアンケート調査を実施する。（調査項目が多い場合には、適宜分割して実施することも可とする）
 - ・ ヒヤリハットに関しては、適宜記録する。
 - ・ 実施時にはビデオカメラで撮像する（撮像対象は作業場面・作業動作・作業者の表情とする。）

- 電動モビリティ評価：電動モビリティを使用した状態で2日間模擬倉庫作業を行う。
 - ・十分な操作習得のための練習を行う。
 - ・実施時には、ウェアラブルデバイスを装着し、活動量、心拍、歩数、消費エネルギーなどを取得する。
 - ・一日の終わりに、主観的運動強度（RPE）、主観的疲労度（VAS）、就労意欲についてのアンケート調査を実施する。
 - ・ヒヤリハットに関しては、適宜記録する。
 - ・実施時にはビデオカメラで撮像する（撮像対象は作業場面・作業者の行動・表情とする。）
- 模擬作業環境：実際のピッキング作業環境を参考に、模擬作業環境を構築した。
 - ・図4に模擬環境の配置図、図5に外観を示す。柱と柱の中心間距離が10,000mmの正方形の内側に、4本×4列の計16本の計量ラックを設置した。1つの軽量ラックのサイズは幅1,800×高さ2,100mm×奥行600mmである。計量ラック当たり配置した置き場所（ロケーション）は、横3ロケ×縦5ロケの計15ロケーションである。通路幅は1,000mmと1,200mmの2通りとした。
 - ・図6にラックとロケーション、そこに配置された対象物を示す。

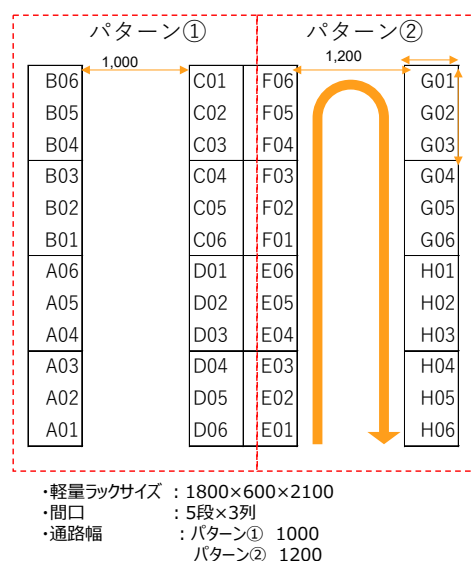


図4 模擬環境の配置図



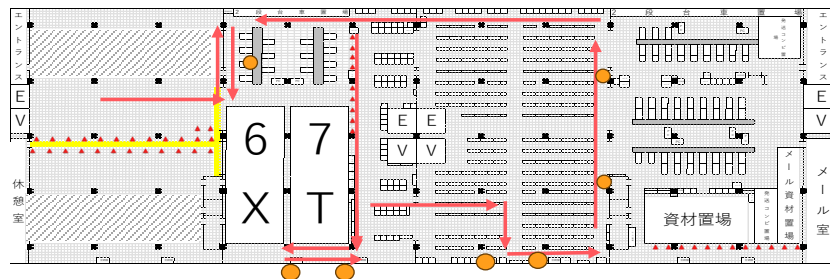
図 5 模擬環境のラックの配置



図 6 ロケーションと対象物

評価③：A・B・C群

- 電動モビリティを用いた図 7 に示す倉庫内巡回経路に設定された巡回点検作業を行い、歩行時と電動モビリティ利用時における比較を行う。
- ・実施時には、ウェアラブルデバイスを装着し、活動量、心拍、歩数、消費エネルギーなどを取得する。
- ・一日の終わりに、主観的運動強度（RPE）、主観的疲労度（VAS）、就労意欲についてのアンケート調査を実施する。



【作業内容】
 作業終了時の点検を想定し、エアコン、照明の電源確認。
 距離は約300mを移動。

図 7 倉庫内巡回経路図

データ分析

- 行動分析：模擬倉庫作業及び模擬点検作業実験の録画記録をもとに、時系列動画分析を行う。個人ごとの作業動作を分析することで、操作動作の負担や安全な動作が可能か等について時系列の分析を行う。これにより、各群に対する電動モビリティの効果を明らかにする。電動モビリティの有効性を、「誰にとって、どのような点で有効なのか」という観点でまとめる。

4. 実施結果

モニター評価への参加者を表 3 に示す。

表 3 平和島倉庫・加須倉庫における評価の参加者

平和島倉庫	A 群	参加者 A1(30 歳, 男性) 参加者 A2 (39 歳, 男性) 参加者 A3 (22 歳, 男性)	若年健常者、電動モビリティ利用経験なし 若年健常者、電動モビリティ利用経験なし 若年健常者、電動モビリティ利用経験なし
	B 群	参加者 B1 (51 歳, 女性)	先天性股関節不全・変形性股関節症 4 級 杖使用 (歩行 10 分程度) 物流倉庫でピッキング経験あり
		参加者 B2 (49 歳, 男性)	脳梗塞後遺症・右半身麻痺 2 級 杖使用 (15 分以上で必要) T 社半導体物流でピッキング経験あり
		参加者 B3 (59 歳, 女性)	両下肢先天性股関節脱臼 4 級 歩行は 10 分程度 (現在痛み無し) 電動モビリティ利用経験なし
C 群	参加者 C1 (60 歳, 男性)	下肢麻痺 (ポリオ) 2 級 電動車椅子 (ウィル使用 6 年) NPO 活動 18 年	
加須倉庫	D 群	参加者 D1 (26 歳, 女性)	軽度脳性麻痺・左上肢左下肢に動かしにくさがある。 普段は自立歩行 2024 年 9 月より就業時にウィル利用。倉庫内でピッキングや検品作業
		参加者 D2 (56 歳, 男性)	1 型糖尿病・左脚大腿切断 普段は自走式手動車椅子を使用 2025 年 10 月より就業時にウィル利用。倉庫内で主に検品作業

評価① 障害者の就業可能性：就業が可能になるかどうか等

1 電動モビリティを用いた倉庫作業経験者へのインタビュー

【D1 (26 歳, 女性)】

2024 年 9 月から勤務。勤務当初は検品作業が中心だったが、現在はピッキング（トータルピック）および検品を担当。

導入時：ジョイスティック操作は右手で行い、2 速から 3 速への切り替えもスムーズ。操作性・快適性共に満足している。アームサポートの上下機能が便利。

作業時の使用方法：座位でピッキング・検品作業を実施。かごを膝上に置きながら移動し、荷物がいっぱいになると交換。トータルピックは 1 時間当たり 30～100 点ほど。季節によっては商品がかさばって一度が運べる量が減るため効率が低下する。

環境工夫：検品台が高いため、クッションを 2 枚敷き作業。狭い場所は設備等に当たることがあり注意して操作している。走行音が周囲に気づかれないため、音が出たほうが安全に感じる。

電源面：バッテリー 50% 以下でライトが点灯しないことがある（再操作で解消）。

課題・期待以下の点：かごが不便で、荷物の扱いに工夫が必要。前輪部の段差対応がやや不安定で、バランスを崩すことがある。座面が高いとよい。静かすぎて周囲に気づかれない。

【D2 (56 歳, 男性)】

2025 年 10 月から勤務。主に検品を担当。

使用方法：自走式の車椅子で通勤し、入社後倉庫内でウィルに乗り換える。就労中は休憩時間も含めてずっとウィルに乗っている。座り心地が良い。フットプレートの上に立ち踏ん張ることができる。物を持ったまま移動することが可能。

環境：手動車椅子はハンドリム操作のために手を外側に出す必要があり幅が必要だったが、ウィルはコンパクトであるため、書庫などの狭い通路に入ることができるようになった。

2 QOL に関する評価

QUEST 2.0[1]は 12 項目からなる質問票で、利用者の補助器具（寸法、重量、調整の容易さ、安全性、耐久性、使いやすさ、快適性、効果）と関連サービス（配送、修理・メンテナンス、専門サービス、フォローアップサービス）に対する満足度を評価することを目

的とした評価尺度。回答者は12項目のそれぞれについて1から5の尺度で満足度を評価し、その後、最も重要と思われる3項目を選択する。本調査では、関連サービスについてはユーザー自身が対応しないため除外した。

図8にQUEST2.0の結果を示す。いずれのユーザーも満足度が高いことが示され、また、先行研究[2]と比較しても同等の満足度であった。

自由記述では「とても満足」「転倒の心配をしなくてもよい」「とても頑丈」「使いやすい」「フットレストが良い」とおおむね満足している一方で、「充電中などに少し押して動かしたい」「バッテリーが重い」「座面の高さを調整したい」「音が静かすぎて気づかれず危ないことがある」などのコメントが得られた。

加えて、それぞれのユーザーが重視している点として、D1は安全性、簡単に使えるか、使い心地のよさ、D2は大きさ、重さ、継続的なアフターサービスを重視していた。

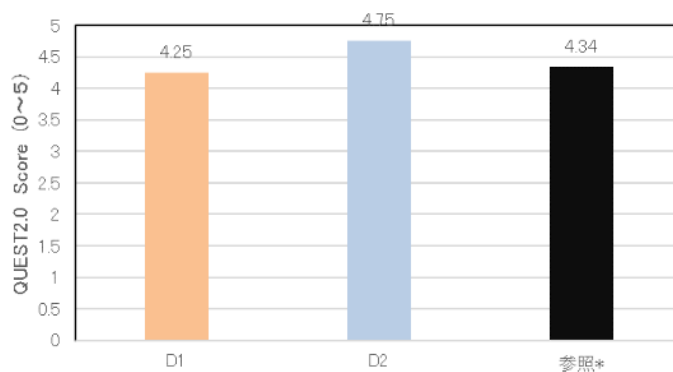


図8 QUEST2.0の結果

[1] Louise Demer, 井上剛伸、上村智子, QUEST 福祉用具満足度評価 第2版—福祉用具の効果測定—, 大学教育出版, 2008.

[2] Domingues, I., Pinheiro, J., Silveira, J., Francisco, P., Jutai, J., & Correia Martins, A. (2019). Psychosocial Impact of Powered Wheelchair, Users' Satisfaction and Their Relation to Social Participation. *Technologies*, 7(4), 73. <https://doi.org/10.3390/technologies7040073>

PIADS[3]は、26項目の自己申告式質問票であり、支援機器(AT, Assistive Technology)が機能的自立、幸福、および生活の質に及ぼす影響を評価する。PIADSは、効力感、積極的適応性、自尊感の3つのサブスケールで構成される。12項目で構成される効力感サブスケールは、ATがユーザーの能力、パフォーマンス、生産性に与える影響の認識に関連している。6項目の積極的適応性サブスケールは、新しいことに挑戦し、リスクを取る意欲、および機会を活用する能力を評価し、積極的に参加に関するATの促進的側面を評価する。8項目で構成される自尊感サブスケールは、ATが自信と感情的幸福に及

ぼす影響の認識を測定する。各項目には、-3（最大のマイナス影響）から+3（最大のプラス影響）までのスコアが付与される。中間点の0は、影響がないことを示す。各項目について、現在のAT（この研究では電動モビリティ（WHILL Model C2）の影響は、AT（WHILL Model C2）を全く使用していない場合の影響と比較される。

図9にPIADSの結果を示す。その結果、D1、D2 いずれも電動モビリティを用いることで、効力感、積極的適応性、自尊心が向上していることが示された。また、その度合いは先行研究[2]と比較して非常に高いことが分かった。これにより、就労場面で用いる電動モビリティにおいてユーザーの心理的に良い影響が与えられる可能性が示唆された。

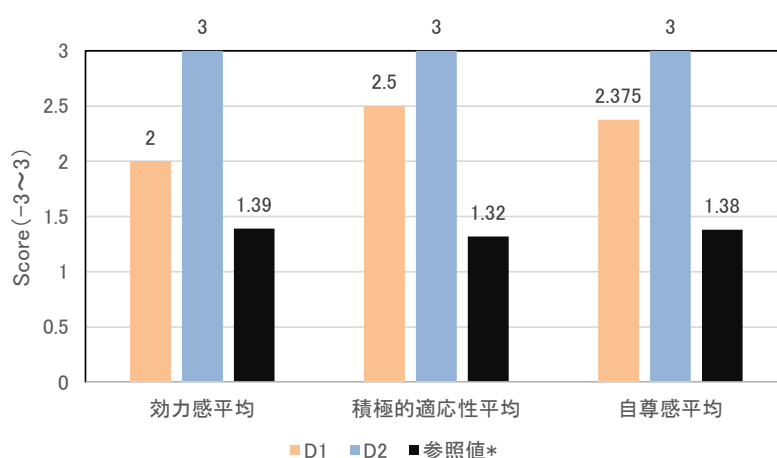


図9 PIADSの結果

[3] Gelderblom GJ, de Witte LP, Jutai J, Day H. Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale (PIADS). *Technology and Disability*. 2002;14(3):107-111. doi:10.3233/TAD-2002-14305

また、インタビューより得られた電動モビリティを用いることによる心理的・身体的な変化を下記に示す。

【D1】

心理的・身体的変化

- ・身体的：膝や足首への負担が軽減し、長時間の作業でも疲れにくくなった。
- ・心理的：楽で助かる、作業がしやすくなった
- ・社会的：他のスタッフとの連携もしやすくなり、お礼を言い合う、気遣いを意識するなど関係性にも良い影響が生じた。

【D2】

心理的・身体的変化

- ・身体的：自走式だと疲れるため、電動モビリティにより疲労が軽減した。それにより生活に余裕が生まれ、食生活に気を配れるようになった。コンビニ弁当ではなく、玄米の弁当を手作りするなど。これにより、糖尿病の数値が改善した（体調の改善）。これによって就労も実現した。

3 就労に関する評価

ユトレヒト・ワーク・エンゲイジメント尺度（UWES）9項目版[4]を用いて、調査を実施した。UWESは、仕事に積極的に向い活力を得ている状態を評価する尺度で、活力、熱意、没頭について評価することができる。各サブスケールには、それぞれ3項目で評価する。「活力」は、仕事をしていると、活力をみなぎるように感じること、「熱意」は仕事に熱心であること、没頭は、仕事にのめりこんでいること、を評価する。アンケートは、基本的には対象者が自力で回答を進めるが、設問の意図を質問された場合に適宜支援者がサポートした。

UWES調査の結果を図10に示す。この結果、D1、D2ともに日本の労働者の平均的な数値である3.0より非常に高いスコアであることが示された。

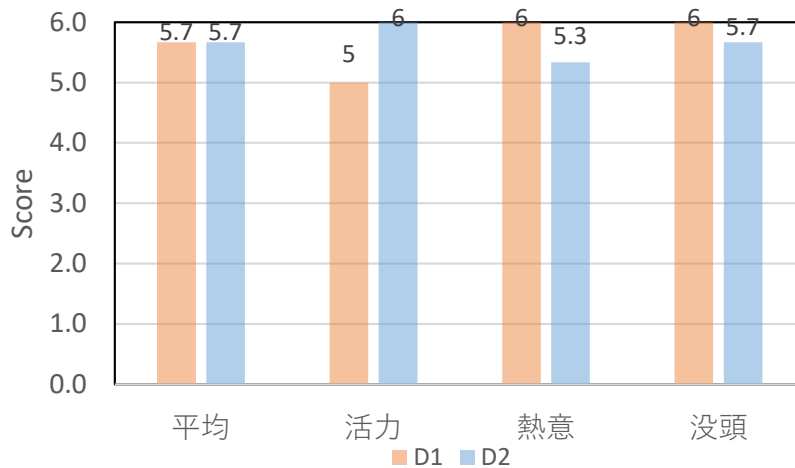


図 10 UWES の結果

[4] Shimazu, A., Schaufeli, W. B., Kosugi, S. et al. (2008). Work engagement in Japan: Validation of the Japanese version of Utrecht Work Engagement Scale. *Applied Psychology: An International Review*, 57, 510-523.

4 まとめ

2名の障害のある参加者への調査から、電動モビリティを活用して検品やピッキング作業などの倉庫作業を約1年間実現している実態が確認された。電動モビリティへの満足度も高く、電動モビリティの利用による心理的効果も確認された。また、体調の改善や他のスタッフとの連携など、身体的な効果や社会的な効果も得られる可能性が示された。さらに、就労への活力や姿勢に関しても非常に高いことが示された。

以下の作業用モビリティへの新たな要望が明らかになった。

- ・ 高さ調整機能をさらに充実してほしい
- ・ 前方の段差対応を改善し、体勢を安定させてほしい
- ・ かごの固定・操作性を向上させてほしい
- ・ 音による接近通知機能があると安心できる
- ・ スピード設定の幅を調整したい
- ・ テーブルがあると便利

評価② 電動モビリティの利用可能性：倉庫作業が可能になるか等

1 参加者の特徴

本実験に参加した身体障害者3名（異なる障害、心身機能特性）は、いずれも電動モビリティなしでは倉庫内ピッキング作業への従事が困難な状況にあった。

参加者 B1（51 歳、先天性股関節不全・変形性股関節症、4 級）は、杖を使用しており連続歩行は 10 分程度が限界である。倉庫内ピッキング作業は長時間の立位および歩行を要するため、歩行による移動では作業の継続が困難である。

参加者 B2（49 歳、脳梗塞後遺症・右半身麻痺、2 級）は、15 分以上の歩行時に杖を必要とする。片麻痺による動作制限および長時間歩行に伴う疲労の蓄積により、歩行ベースの倉庫作業への従事は困難である。

参加者 B3 は、練習期間中に電動モビリティ酔いが生じたため、実験を中止した。そのため、分析対象からは除外した。

参加者 C1（60 歳、下肢麻痺・ポリオ、2 級）は、日常的に電動車椅子を使用しており、ウィルの使用歴は 6 年である。歩行が困難なため、移動支援機器なしでは倉庫内での就業は不可能である。

1.1 ユーザビリティ

使いやすさの評価には、SUS（System Usability Scale）のユーザビリティスコアを用いた。SUS は 10 項目のアンケートで、満点は 100 点である。68 点（平均スコア）以上を一般的に良好、80 点以上を非常に高いユーザビリティであると評価する。評価はピッキング操作及び巡回操作課題を終了後に実施した。結果を図 11 に示す。健常者（2 名）は 96 点と非常に高く、後退時の旋回が若干難しく感じた（1 名）のみであった。B1、B2、C1 についても非常に高いユーザビリティであると評価した。

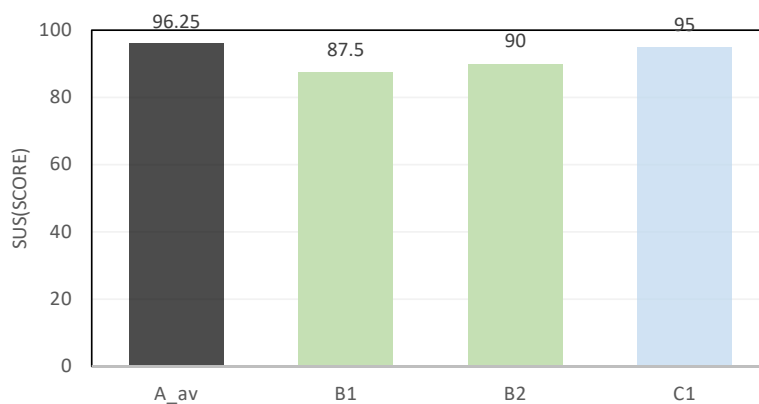


図 11 SUS の評価結果

1.2 基本走行練習・基本走行評価

一日目に、電動モビリティの操作方法を説明し、その後フィッティングを行ったうえで、走行練習を行った。

ある程度慣れたところで、走行評価を行った。操作能力を評価するために、基本走行評価及び応用走行評価を実施した。基本走行評価はI. 安全・準備段階（1. 基本理解（電源のオンオフ、速度調整の仕方、方向変換時の操作）、2. 環境と安全確認（1. 周囲の障害物確認、人の往来や段差の把握）、II. 基本操作段階（1. ジョイスティック操作（全身・後退の基本動作、停止位置の制御、左右旋回の操作と旋回半径の理解、速度調整の練習）2. 直線・曲線走行（直進維持、その場回転、円形、S字、8の字）、3. 狭い通路・障害物回避（狭路通過、障害物回避、後進での位置合わせ））、III. 応用操作・実生活動作段階は、生活環境での操作を想定し、ドア通過、テーブルへの接近・停止位置の調整、棚へのアプローチを含む。

走行練習及び評価の結果から、いずれの参加者も基本走行が可能であることを確認した。

2 就業可能性の判定基準

本評価では、倉庫内ピッキング作業への就業可能性を客観的に評価するため、以下の2つの基準を設定した。

基準1：作業完遂 … 1セットのピッキングを所定の手順に従って完了できることを要件とした。

基準2：成功率 … ピッキング成功率が100%であることを要件とした。この基準は、実験に参加した健常者の結果をもとに決定した。

2.1 タスクの成功率

本実験では、身体障害者3名（B1：股関節不全、B2：脳梗塞、C：ポリオ）および健常者3名（A1、A2、A3）を対象に、電動モビリティ（ウィル）を用いた倉庫内ピッキング作業の遂行可能性を検証した。なお、参加者B3（両下肢先天性股関節脱臼）は電動モビリティ酔いのため実験を中止し、分析から除外した。ピッキング成功数（全数）を表4、ピッキング成功率を図13に示す。

参加者A1、A2、A3においては、全条件下でピッキングの成功率が100%であったことから、電動モビリティを用いた就労が可能であることが示唆される。また、参加者B1は成功率100%であり、電動モビリティを用いることで倉庫内ピッキング作業への就業が可能であることが示唆された。一方、参加者B2は成功率が97%（32個中31個成功）であり、一か所最下段の棚が実行できなかった。成功率が最も低かった参

加者 C1 においては、は成功率 75% (32 個中 24 個成功) であった。これらの失敗の例はすべてロケーション番号の末尾が 01 (最下段の棚) であることがわかった。このことから電動モビリティの利用者の環境条件として、棚の最下層を除くことが有効であると考えられる。

本実験における棚 (図 5、図 6 参照) は、最下段の棚の高さは約 100 mm であることから、この高さ以上の棚が環境要件として挙げられる。

以上の結果から、電動モビリティを導入する倉庫環境の要件として、以下が導出される。

- ・ ピッキング対象の棚高さ：最下段 (床面から約 100 mm 以下) を除く 2 段目以上に商品を配置あるいは、電動モビリティ側を環境に適合させる方法がある。
- ・ 座面昇降機能付きモビリティの導入により最下段へのアクセスを改善

2.2 作業範囲の制限

録画した作業時の動画を基に動作分析を行い、作業範囲の制限を確認した。表 5 に、棚の各段へのアクセス状況と特徴的な動作を示す。最上段(5 段目) および最下段(1 段目)へのアクセスには、代替動作が観察された。最上段(5 段目)では立ち上がりや最大限の上肢挙上が見られた他、最下段(1 段目)では深い前屈や降車しての対応が見られた。

2.3 身体的負担の評価

動作分析の結果、電動モビリティ使用時に以下の身体的負担が確認された。

① 上段アクセス時の負担

座面高さが固定されているため、上段の棚にアクセスするには腕を最大限挙上し、体幹を回旋させる必要があった。参加者 C1 では、フットレストに足を置いたまま立ち上がり上段の商品を取る動作が観察された。この動作は転倒・転落のリスクが高く、下肢に障害がある人には不可能な場合もある。

- 観察された問題動作
 - 肩関節の最大挙上による肩・上腕部への負担
 - 体幹回旋と上肢挙上の複合動作による腰部負担
 - 頸部後屈による頸椎への負担
 - 安全面で推奨できない立ち上がり動作

② 下段アクセス時の負担

下段へのアクセスでは、深い前屈姿勢が必要となり、腰部への負担が極めて大きいことが観察された。特に参加者 B1 は股関節疾患を有しており、前屈+側屈

+回旋の複合動作が頻繁に観察された。

- 観察された問題動作
 - 極端な前屈姿勢による腰部への過負荷
 - 前屈+側屈の複合動作による転落リスク
 - 膝上のカゴが動作範囲を制限

③ 体幹回旋による負担

棚に対して電動モビリティが正対していない状態で作業を行う場面が多く観察された。この場合、通路中央から横方向に棚にアクセスするため、体幹の回旋が必要となる。

- 参加者 B2 の事例

右半身麻痺を有する参加者 B2 では、健側である左上肢に作業負荷が集中する傾向が見られた。体幹を左回旋させながら左上肢を挙上する動作が頻繁に観察され、健側への過度な負担による疲労・痛みのリスクが懸念された。

- 参加者 C1 の事例

ピッキングの際に、機体を棚に完全に横付けする代わりに体幹を回旋して対応していた。この動作は腰・背中への負担が大きく、繰り返しのひねり動作で腰痛リスクが高まると考えられる。

④ 乗降時の負担

座位での作業が困難な場合、参加者は降車して立位で作業を行う場面が観察された。しかし、乗降動作自体が身体的負担となっていた。

- 参加者 B1 の事例

座位からの立ち上がり時にふらつきが見られた。電動モビリティには乗降用の手すりがなく、座面の高さから立ち上がる際にバランスを崩しやすい。股関節に障害がある参加者 B1 にとって、立ち上がり動作自体が困難であった。

- 参加者 B2 の事例

右半身麻痺があるため、片麻痺の状態での乗車動作は健側への負担が集中する。周囲につかまる場所がないため、不安定な状態で体重移動を行う必要があった。

⑤ 主観評価（運動強度、疲労度）

作業による負担がどの程度であるかを、主観的運動強度（RPE）・ボルグスケールを用いて測定した。また、主観的疲労度（VAS）を取得し、疲れを全く感じない最良の感覚を 0、何もできないほど疲れ切った最悪の感覚を 100 に換算した。

運動強度の結果は、B1は9（やや楽である）、B2・C1は13（ややきつい）、疲労度の結果は、B1は19、B2は21、C1は7であった。その理由として、集中力が必要であった（B1）、下に置いてある物を取るときがきつい（B1、B2、C1）、高い所の物を取るときと、確認作業を行うときがきつい（C1）、かごが使いにくい（B1）、商品が重い（C1）、商品がつかみづらい（B2）、メモを見るのが大変（B2）などが挙げられた。

3 倉庫環境及び作業の要件

3.1 通路幅の要件

動作分析の結果から、通路幅による作業への影響は、通路幅と棚へのリーチのトレードオフによるものが大きいと判断できる。

表6に通路幅と作業への影響をまとめる。通路幅1,200mm以上では旋回が容易である一方で、両側の棚に上肢が届きにくい問題が発生した。一方で、通路幅1,000mmでは、旋回が困難である一方で、両側の棚に上肢がアクセスしやすい。図14、図15に通路幅1,000mmにおける旋回の様子を示す。

3.2 通路幅が狭い場合の運用ルール

通路幅が狭い（1,000mm）場合でも、以下の運用ルールにより安全かつ効率的な作業が可能となる。

(1) 一方通行ルールの導入

- ◇ 各通路に進行方向を指定
- ◇ 床面に矢印を表示
- ◇ すれ違いによる接触リスクを解消

(2) 棚の先端での転回

- ◇ 通路内での方向転換を禁止
- ◇ 棚の端部（広いスペース）まで進んでから転回

(3) 作業エリアのゾーニング

- ◇ 電動モビリティユーザー専用の作業エリアを設定
- ◇ 当該エリアは通路幅1,000mm以上を確保
- ◇ フォークリフト等との動線を分離

3.3 通路幅が広い場合の運用ルール

(1) 片側作業の原則

- ◇ 通路の片側のみを作業対象とし、反対側の棚へは次の通路からアクセスする。

- ◇ ピッキングリストを片側ずつまとめて作成し、無理なリーチを防止する。

(2) 棚配置の最適化

- ◇ 高頻度でピッキングされる商品は通路側の手前に配置する
- ◇ 奥行きが深い棚の使用を避け、アクセス距離を短縮する

3.4 棚の高さの要件

現行の電動モビリティ（座面高さ固定）を使用する場合、推奨される作業範囲は棚の2～4段目である。

(1) 環境整備の指針

- ◇ 電動モビリティユーザー専用エリアでは、1段目への商品配置を避ける。やむを得ず1段目を使用する場合は、引き出し式の棚や傾斜棚を導入する。5段目については、座面昇降機能付きモビリティの導入、または踏み台・昇降装置の併用を検討する

(2) 商品配置の優先順位

- ◇ 高頻度商品：3段目（最適高さ）
- ◇ 中頻度商品：2段目・4段目
- ◇ 低頻度商品：5段目（健常者が対応）
- ◇ 配置禁止：1段目

3.5 床面環境の要件

実験中、床面に敷設されたコード（電源ケーブル等）の上を通過する場面が複数回観察された。これにより以下のリスクが確認された。

- 走行の不安定化（振動・傾き）
 - ・コードの車輪への巻き込み
 - ・コード自体の損傷（漏電・火災リスク）
 - ・接続機器の落下・破損

これに対する推奨事項として、以下の点が挙げられる。

- 推奨事項
 - ・床面の配線は壁際または天井経由とする
 - ・走行経路上の障害物を排除
 - ・段差・スロープの角度を最小化

4 電動モビリティに求められる機能的要件

動作分析の結果から、倉庫ピッキング作業に使用する電動モビリティに求められる機能的要件を以下のように整理した。

4.1 座面昇降機能

i) 必要性の根拠

現行機器では座面高さが固定されているため、上段・下段へのアクセス時に無理な姿勢が必要となる。参加者 C1 では立ち上がって対応、参加者 B2・B2 では深い前屈や降車で対応する場面が観察された。これらの代替動作は転倒・転落リスクが高く、身体的負担も大きい。

ii) 要求仕様

● 座面昇降による効果の推定

本研究で観察された立ち上がり動作は、主に5段目（棚板高さ約1,440mm付近）へのアクセス時に発生した。座位から約1,400～1,600mmの高さに手を届かせる必要がある。WHILL Model C2の床からのシート高さは405, 425, 445, 465, 485mmのいずれかであり、中央値の445mmを基準とすると、座位での肩関節高さは約1,015mm（座面高445mm+座位肩峰高約570mmと仮定）と推定される。腕を安全な角度で挙上した場合でも、5段目（約1,440mm）への到達は困難であり、立ち上がり動作が発生した原因と考えられる。座面を150mm上昇させた場合、肩関節高さは約1,165mmとなり、安全な範囲での腕の挙上（約300～400mm）を組み合わせることで、5段目の商品（約1,440～1,600mm）へのアクセスが可能となる。同様に、1段目（棚板高さ約0～100mm、商品配置高さ約100～400mm）へのアクセスでは、現状の座面高で深い前屈姿勢が必要であった。座面を100mm下降させることで、無理のない姿勢でのアクセスが改善されることが考えられる。

以上より、座面昇降機能の要求仕様として、現行座面高から上方向に150mm以上、下方向に100mm以上の昇降範囲が必要と考えられる。

4.2 カゴ・テーブル取付機能

i) 必要性の根拠

現状では膝上にカゴやピッキングリストを置いて作業しており、以下の問題が発生していた。

- ・カゴが作業の邪魔になり、前屈時に動作範囲を制限
- ・リスト確認のたびに頸部を前屈させる必要があり、頸部負担が蓄積
- ・カゴの中身がこぼれる可能性

ii) 要求仕様

安定したカゴ固定機構（膝上ではなく機体側面または前方）を、視線を大きく動かさずに確認できる位置に取り付けることが求められる。

4.3 後方確認支援機能

i) 必要性の根拠

後退時に体幹を大きく回旋させて後方確認を行う必要があり、特に右半身麻痺の参加者 B2 では十分な後方視野を確保できなかった。実際に後退時に柵へ接触する事例が発生した。

ii) 要求仕様

- ・バックミラーまたはバックカメラの搭載
- ・後方障害物の警告機能（音声または振動）
- ・後退速度の自動制限

4.4 乗降支援機能

i) 必要性の根拠

乗降時にふらつきが観察され、特に下肢・体幹に障害がある参加者にとって転倒リスクが高かった。現行機器には乗降用の手すりがない。

ii) 要求仕様

- ・安定した手すり（乗降時に把持可能）
- ・アームレストの跳ね上げ機構
- ・乗降時の座面高さ調整

4.5 回転中心の最適化

i) 必要性の根拠

狭い通路（1,000mm）での方向転換時に、切り返しが多く発生し、柵への接触リスクが高まった。現行のウィルは後輪駆動であり、回転中心が車両後方にある。

ii) 要求仕様

- ・回転中心を車両の中心に配置（中輪駆動方式）
- ・これにより、狭い通路でもその場での旋回（スピントーン）が可能となる。

4.6 その他

適応範囲について述べる。本実験では、練習日にモビリティ酔いが生じた者が一名いた（B3）。これは、乗り物酔いをしやすい人に対しては導入時に確認する必要があることを示唆している。一方で、車両の機能改善として、さらに操作主体感の高いモビリティが期待される。

5 評価結果の総括

本評価により、以下の知見が得られた。

電動モビリティの導入により、従来は倉庫内ピッキング作業への従事が困難であった身体障害者の就業が可能となることが示唆された。参加者 B1（股関節不全）および参加者 B2（脳梗塞後遺症）は成功率 100%および 97%を達成し、就業可能と判定された。参加者 C1（ポリオ）については、最下段を除外した作業設計を行うことで就業可能となる見込みである。

また、電動モビリティを効果的に活用するためには、倉庫環境の整備が不可欠であることが明らかとなった。具体的には、通路幅 1,000mm 以上の確保、ピッキング対象の 2 段目以上への配置、床面配線の撤去などが要件として導出された。

さらに、現行の電動モビリティ（WHILL Model C2）には、倉庫作業に特化した機能が不足していることが判明した。座面昇降機能、カゴ・テーブル取付機能、後方確認支援機能などの追加により、作業範囲の拡大と安全性の向上が期待できる。

評価③ 電動モビリティの効果：利用により身体的負担が軽減したか等

1 巡回時に取得した生体指標の効果

本実証では、健常者3名を対象として、倉庫内巡回作業を、電動モビリティ（ウィル）を使用した条件および徒歩による条件の2条件で実施し、生体指標の計測を行った。

評価指標として、平均心拍数、平均歩数、平均消費カロリー、平均移動距離（徒歩条件）、ならびに心拍数から算出した拍間隔（R-R Interval：以下、RRI）を用いた。RRIについては、以下の式1により算出した。

$$\text{RRI(ms)} = \frac{60,000}{\text{心拍数 (HR)(bpm)}} \quad \dots \text{ (式1)}$$

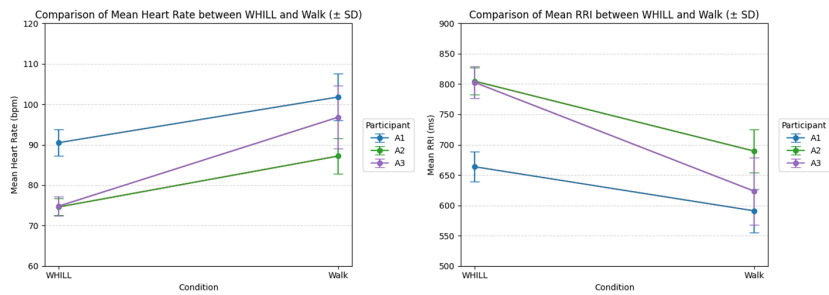
2 巡回条件間の比較結果

ウィル条件では、すべての参加者において平均歩数および平均移動距離は0であり、歩行を伴わない巡回が行われていたことが確認された。一方、徒歩条件では平均歩数および平均移動距離が計測され、巡回中に歩行が発生していた。

図12(a)に平均心拍数の結果を示す。平均心拍数については、3名すべての参加者において、徒歩条件の値がウィル条件の値を上回っていた。具体的には、参加者1では、ウィル条件で 90.5 ± 3.3 bpm、徒歩条件で 101.8 ± 5.8 bpm、参加者2では、ウィル条件で 74.6 ± 2.1 bpm、徒歩条件で 87.2 ± 4.3 bpm、参加者3では、ウィル条件で 74.8 ± 2.4 bpm、徒歩条件で 96.8 ± 7.8 bpmであった。

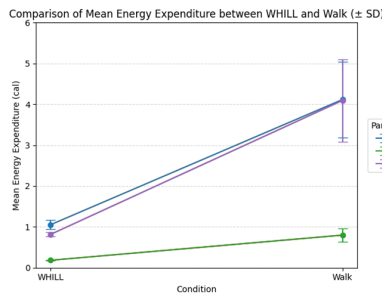
また、心拍数から算出したRRIについても、すべての参加者において、ウィル条件の値が徒歩条件より大きい値を示した。結果を図12(b)に示す。ウィル条件ではRRIがおおむね660~800msの範囲であったのに対し、徒歩条件では約590~690msの範囲となり、条件間で同様の傾向が確認された。

参考として消費カロリーについても確認した（図12(c)）。徒歩条件の方がウィル条件より大きいことが確認された。



(a) 心拍

(b) RRI



(c) 消費カロリー

図 12 電動モビリティ VS 歩行時の平均心拍数・RRI・消費カロリー

3 倉庫内巡回による主観評価

倉庫内巡回による主観評価として、運動強度 (RPE) および疲労度 (VAS) を測定した (評価② 2-3) v)と同様)。健常者 2 名に運動強度について調査したところ、徒歩条件では 11「楽である」、あるいは 13「ややきつい」であったのに対し、電動モビリティの条件では 7「非常に楽」との回答が得られた。また、主観的疲労度については、徒歩条件で 64、54、電動モビリティの条件では 0 であった (疲れを全く感じない最良の感覚を 0、何もできないほど疲れ切った最悪の感覚を 100)。

徒歩条件でのきつきについては、床が (コンクリートで) 硬いため足が痛くなった、歩くのが好きではない、(今回は一周だったが) 長く歩いたら疲れ始めるかも、との理由が挙げられた。

また、庫内巡回については B1、B2、C1 についても電動モビリティの条件のみ実施した。その結果、運動強度については、B1 は 7 (非常に楽である)、B2 は 13 (ややきつい)、C1 は 7 (非常に楽である) という回答が得られた。主観的疲労度については、B1 は 7、B2 および C1 は 0 であった。

電動モビリティでの巡回に関してはポジティブな意見が多く、3 周は行けそう (B1)、無限にできそう (B2、C1) とのことであった。途中で立ち座りの作業 (スイッチを押す等) があったが、特に負担はないようであった。また、走行中に (人がいないか) 声掛けをしているので、(通過を知らせるために) 音が鳴っているとよい、(右麻痺のため) 巡回

りの巡回の方が良い、などの要望があった。

4 まとめ

倉庫内巡回作業において、健常者における電動モビリティ（WHILL Model C2）使用時と徒歩時の身体的負担を比較した。客観指標ではウィル使用により全対象者の平均心拍数が低下し、心拍間隔（RRI）も拡大したことから、自律神経系への負担軽減が確認された。主観評価でも、徒歩時は「ややきつい」との回答があったのに対し、ウィルでは「非常に楽」となり疲労度（VAS）が改善した。障害者への評価でも、「無限に巡回できそう」といったポジティブな意見が多く、電動モビリティの活用は作業者の身体的・心理的負担を軽減する効果があることが示唆された。

5. 今後の予定

今回得られた結果を踏まえ、以下の活動を実施する予定である。

- ・ 倉庫等に電動モビリティ導入をすることで、より多様な人材に就労の機会を提供できる可能性についてひろく紹介し、導入の促進を図る。
- ・ 就労の現場における活用に適した仕様を支援機器に実装する改善を検討する。
- ・ 多様な人材が就労する現場における運用上の課題を解決する施策を検討する。

6. 謝辞

本評価を実施するにあたり、日本通運株式会社 サステナブル・ソリューション推進部の皆様、東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻 生活システム工学研究室 助教 中川聡 氏、学生 植田 氏、家門慶人 氏、佐藤颯真 氏、東京都立大学人間健康科学研究科 学生 根本清香 氏の協力を得た。ここに謝意を表す。

表 4 各参加者におけるピッキング成功率

M: モビリティ W: 徒歩		B1	C1	B2	A1		A2		A3	
成功数(32 個中)		M	M	M	M	W	M	W	M	W
ピックリストNo.	ロケーションNo.	32	24	31	32	32	32	32	32	32
No.1	7T-E-02-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-E-05-01	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-F-02-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-F-05-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-G-02-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-G-05-01	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-H-02-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-H-05-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
No.2	7T-E-01-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-H-04-01	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-E-04-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-H-01-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-F-01-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-G-04-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-F-04-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-G-01-01	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
No.3	7T-A-02-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-A-05-01	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-B-02-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-B-05-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-C-02-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-C-05-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-D-02-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-D-05-01	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
No.4	7T-A-01-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-D-04-01	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-A-04-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-D-01-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-B-01-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-C-04-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-B-04-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	7T-C-01-01	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



図 13 各参加者における成功率 (M: モビリティ、W: 徒歩)

表 5 棚の各段へのアクセス状況

棚の段	アクセス可否(◎/○/△)	動作
5 段目(最上段)	△	立ち上がり・最大級の上肢挙上
4 段目	○	上肢挙上・体幹回旋が必要な場合あり
3 段目	◎	自然な姿勢でアクセス可能
2 段目	○	前屈が必要な場合あり
1 段目(最下段)	△	深い前屈・降車

表 6 通路幅と作業への影響

通路幅(mm)	旋回可能性	棚へのリーチの可否
1200	旋回可能	両側の棚に届きにくい
1000	旋回困難	両側の棚に容易にアクセス



図 14 通路幅 1,000 mm における旋回(通路内)の様子 (B2)



図 15 通路幅 1,000 mm における旋回(通路外)の様子 (B1)

参加者 C1 に見られる課題

動画名	DJI_20251118110124_0133_D.MP4	
通路幅 (mm)	1,000	1,000
時刻	1:00 ごろ	2:49 ごろ
動作	座位のまま上半身を右方向に回旋させ、横の棚にアクセスしようとしている	ウィルをステップ台のように使い、フットレストに足を置いたまま立ち上がって上段の商品を取っている
図		
考えられる原因	ウィルの向きと棚の位置が平行のため、正面を向いたままでは棚に手が届かない。機体を完全に横付けする代わりに体をひねって対応している。ウィルの回転半径に対して通路幅が十分でなく、回転をあきらめた可能性や、バックする際に後方の確認が必要であった可能性などがある。	座位のままでは上段に届かないため、立ち上がることで対応している。座面昇降機能がないための代替行動
問題点	①腰・背中への負担が大きい ②ひねった状態での作業は不安定 ③繰り返しのひねり動作で腰痛リスク ④障害によっては体幹回旋が困難な場合もある。	①転倒・転落のリスクが高い②下肢に障害がある人には不可能な動作 ③安全面で推奨できない使用方法

動画名	DJI_20251118105540_0132_D.MP4	
通路幅 (mm)	1,000	1,000
時刻	3:20	1:08
動作	バインダーを棚の上に載せる動作	座位のまま首を後方に反らし、棚の上段を見上げて商品の位置を確認している
図		
考えられる原因	片手でのバインダー把持が難しい。筆記のためにバインダーを支えることが難しかったため、最も手の届きやすい三段目の棚において筆記を行ったと考えられる。	通路幅が狭く、上方のラベルを見る際に十分な距離がとれない。結果として、至近距離から見上げることになり、体をひねる動作となったと考えられる。
問題点	商品ですでにスペースがない棚では不可能な動作	①頸部（首）への負担が大きい ②繰り返しの見上げ動作で首の疲労・痛みのリスク ③視野が限られ商品を探しにくい ④バランスを崩しやすい姿勢

動画名	DJI_20251118105540_0132_D.MP4	DJI_20251118105540_0131_D.MP4
通路幅 (mm)	1,000	1,000
時刻	4:28	0:45
動作	棚の上段（4段目付近）に手を伸ばしている	座位から前屈姿勢をとり、床に近い1段目の商品を取ろうとしている。膝上のカゴを押さえながらの作業
図		
考えられる原因	座面高さが固定のため、上段の棚に届かせるには腕を最大限伸ばし、体幹を回旋させる必要があった。	座面の高さが固定されているため、最下段に手を届かせるには深く前屈するしかない
問題点	①肩・腕への負担が大きい姿勢 ②この高さが限界で、5段目には届かない可能性 ③繰り返し作業で疲労蓄積のリスク	①腰への負担が非常に大きい ②前方への転落リスク ③カゴの中身がこぼれる可能性 ④この姿勢を繰り返すと腰痛を引き起こす ⑤体幹機能に制限がある人には困難

動画名	DJI_20251118105540_0132_D.MP4
通路幅 (mm)	1,000
時刻	0:33
動作	座位のまま上半身を左にひねりつつ、同時に腕を上方に伸ばす複合動作
図	
考えられる原因	棚に対してウィルが正対しておらず、通路の中央から横方向にアクセスしている。棚への幅寄せ（横付け）をせずに作業している
問題点	①ひねり+伸展の複合動作で腰・肩への負担が大きい ②体が不安定になりやすい ③棚との距離があるため、より遠くに手を伸ばす必要がある ④効率が悪い（都度幅寄せすれば軽減できる）


参加者 B1 に見られる課題

動画名	DJI_20251118111125_0134_D.MP4	
通路幅 (mm)	1,200	1,200
時刻	3:57	2:07
動作	座位から前屈に加えて側屈（横に倒す）も組み合わせた姿勢で、床に近い位置の商品を取ろうとしている	座位から上半身を前方に倒し、棚の商品を確認または取り出している。頭が下がり、背中が丸まった姿勢
図		
考えられる原因	最下段へのアクセスには前屈が必要だが、さらに棚の奥や横にある商品を取るために体を斜めに倒している。座位における体幹の屈曲が難しい。電動車いすの手すりが邪魔をしている。	中段～下段の棚にアクセスするため前屈姿勢が必要。
問題点	①前屈+側屈の複合動作で腰への負担が極めて大きい ②重心が大きくずれ、転落リスクが高い ③この姿勢からの復帰にも負担がかかる ④体幹筋力が弱い人には危険な姿勢 ⑤繰り返し作業で腰痛発症の可能性が高い	①背中を丸めた姿勢が続くと腰・背部への負担 ②この姿勢では視野が狭くなる ③長時間のピッキング作業で疲労が蓄積しやすい ④膝上のリスト/カゴが作業の邪魔になる可能性

動画名	DJI_20251118111125_0134_D.MP4	
時刻	1:06	1:04
動作	座位での作業を諦め、立ち上がって降車し、立ったまま腰を曲げて下段の商品を取っている	座位から立ち上がる際に、ふらつきが見られる
図		
考えられる原因	座位からの下段アクセスが困難なため、降りた方が楽と判断した。座面昇降機能がないことへの代替行動	①ウィルには乗降用の手すりがない ②座面の高さから立ち上がる際にバランスを崩しやすい ③B1は股関節に障害があり、立ち上がり動作自体が困難 ④下肢の筋力・バランス機能の低下
問題点	①降車時にふらついた（観察情報）→転倒リスクが高い ②下肢に障害がある人にとって乗り降りは大きな負担 ③頻繁な乗降は作業効率を著しく低下させる ④立位での前屈姿勢も腰に負担 ⑤ウィルを使う意味がなくなる（本末転倒）	①転倒リスクが非常に高い ②周囲につかまる場所がない ③棚に手をつけて支えにすると棚が倒れる危険 ④毎回の乗降でこのリスクが発生する ⑤骨折等の重大事故につながる可能性

動画名	DJI_20251118111125_0134_D.MP4	DJI_20251118111808_0135_D.MP4
時刻	0:53	5:28
動作	座位から極端な前屈姿勢をとり、棚の下段または床に近い位置にアクセスしようとしている	座位から前屈+左への側屈+体幹の回旋を同時に行い、左側の棚の下段にある商品を取ろうとしている
図		
考えられる原因	座面の高さが固定のため、下段の在庫を目視で確認するには深く前屈して覗き込む必要がある	棚に正対せず通路の中央から横方向にアクセスしている。かつ下段のため、ひねり+前屈の複合動作が必要になっている
問題点	①腰への負担が極めて大きい（股関節疾患のある B1 には特に深刻） ②この姿勢の維持自体が辛い ③前屈からの復帰動作も負担 ④膝上のカゴが邪魔になり、さらに深く屈む必要がある ⑤繰り返して腰痛・股関節痛の悪化リスク	この動作では前屈、側屈、回旋の3方向への負荷が同時に生じており、腰部および股関節への負担が極めて大きいと考えられる。また、重心が座面から大きく外れるため、転落のリスクが高い状態である。特に B1 は股関節疾患を有しており、このような複合動作は症状悪化につながる可能性がある。さらに、左手で棚を把持し身体を支えており、上肢への負担も生じている。膝上に置いたカゴが動作範囲を制限していることも、無理な姿勢を助長する要因と考えられる。

動画名	DJI_20251118111808_0135_D.MP4	
時刻	4:17	1:46
動作	座位のまま右腕を頭上まで挙上し、上段の棚にある商品を取ろうとしている	座位から極端な側屈姿勢をとり、左側の棚に手を伸ばしている。頭部が棚の中に入り込むほど深く傾いている
図		
考えられる原因	座面の高さが固定されているため、上段の棚に手を届かせるには腕を最大限挙上する必要がある	棚に対してウィルを正対させず、通路の中央から横方向にアクセスしている。棚との距離があるため、体を大きく傾けて対応している
問題点	この動作では肩関節を最大可動域まで挙上しており、肩および上腕部への負担が大きい。座面の高さが不足しているため、腕を伸ばしても上段に十分に届いていない可能性がある。このような挙上動作を繰り返すことで、肩関節周囲の疲労や痛みが生じるリスクがある。また、上方を見上げながらの作業となるため、頸部への負担も同時に生じていると考えられる。	この姿勢では重心が座面から大きく逸脱しており、転落のリスクが極めて高い状態である。側屈による腰部への負担に加え、この姿勢を支えるために体幹筋への持続的な負荷がかかっている。股関節疾患を有する B1 にとって、このような非対称な姿勢は骨盤や股関節への悪影響が懸念される。さらに、この姿勢からの復帰動作にも相当の負担が生じると考えられる。

動画名	DJI_20251118111808_0135_D.MP4
時刻	1:12
動作	通路を走行中、床に敷設されたコードの上を通過している
図	
考えられる原因	倉庫内に電源ケーブルや通信ケーブル等が床面に露出した状態で配線されている。走行経路上に障害物があることに気づかない、または避けられない状況
問題点	コードを踏むことにより、以下のリスクが生じる。第一に、コードの段差によりウィルの走行が不安定になり、振動や傾きが発生する可能性がある。第二に、コードが車輪に巻き込まれた場合、走行不能や転倒につながる恐れがある。第三に、コード自体が損傷し、漏電や火災の原因となる危険性がある。第四に、コードが引っ張られることで接続機器の落下や破損が生じる可能性がある。

動画名	DJI_20251118113131_0137_D.MP4	
時刻	3:16	2:37
動作	狭いスペースでウィルを操作しながら、前屈姿勢で下段の商品を取ろうとしている	座位のまま左腕を最大限挙上しながら、同時に頸部を後屈させて棚の上段を見上げている。体幹も左側にやや傾いている
図		
考えられる原因	棚の端部や通路の交差部は構造上スペースが狭くなりやすい。この位置で作業を行うには、限られた空間内でウィルの位置調整と身体動作を同時に行う必要がある	座面の高さが固定されているため、上段の棚に手を届かせるには腕を最大限挙上し、かつ視線を上に向ける必要がある。左側の棚にアクセスするため、体幹の側屈も伴っている
問題点	狭いスペースでは棚や支柱との接触リスクが高まる。さらに、後退や方向転換が必要な場合に十分な操作空間が確保できず、作業効率の低下や衝突事故の原因となる可能性がある。	この動作では肩関節の最大挙上、頸部の後屈、体幹の側屈が同時に生じており、複数の部位に負担がかかっている。特に頸部を後屈させた状態での上肢作業は、頸椎への負担が大きく、頸部痛や肩こりの原因となりやすい。また、この姿勢では視野が限られ、商品の確認や把持が困難になる。股関節疾患を有する B1 にとって、このような複合的な姿勢の維持は全身への負担が大きいと考えられる。

参加者 B2 に見られる課題

動画名	DJI_20251118131444_0142_D.MP4	
時刻	15:04	14:08
動作	立位からウィルへの乗車動作の直前。座面の位置を確認しながら、体の向きを調整している	座位での作業を断念し、立ち上がって上段の棚にアクセスしている。
図		
考えられる原因	ウィルへの乗車には、立位から座面の高さまで腰を落とし、体重を移動させる動作が必要となる。座面の高さや位置を確認してから慎重に動作を行っている	座面の高さが固定されているため、上段の棚に座ったままでは届かない。立ち上がることで対応せざるを得ない状況
課題	ウィルへの乗車動作は、下肢および体幹の筋力を必要とする。B2 は脳梗塞による右半身麻痺があり、片麻痺の状態での乗車動作は健側（左側）への負担が集中する。座面が低い場合、深くしゃがむ動作が必要となり、麻痺側の下肢でバランスを取ることが困難である。また、乗車時に体を支える手すりやアームレストがないため、不安定な状態で体重移動を行う必要がある。	B2 は脳梗塞後の右半身麻痺を有しており、立位保持自体にリスクを伴う。麻痺側の下肢での荷重が不安定なため、転倒の危険性が極めて高い。また、立位で上肢を挙上する動作はバランスをさらに崩しやすく、特に麻痺側の上肢を使用する場合は把持力の低下により商品を落とす可能性もある。このような立位動作が必要となる状況は、電動モビリティを使用する本来の目的（安全で負担の少ない作業）と矛盾しており、本末転倒である。

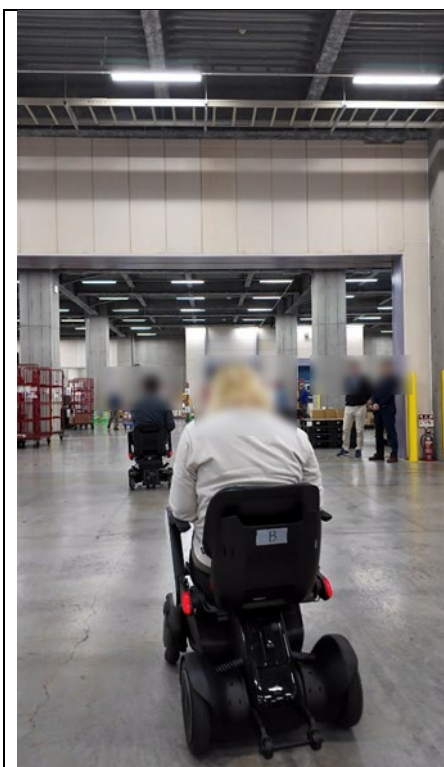
動画名	DJI_20251118134236_0144_D.MP4	DJI_20251118131444_0142_D.MP4
時刻	4:59	13:19
動作	通路を走行中、床に敷設されたコードの上を通過している	座位のまま体幹を左にひねりながら、左腕を斜め上方に挙上して上段の商品を取ろうとしている
図		
考えられる原因	B2は右半身麻痺により体幹の回旋が困難であり、後方確認に大きな負担を伴う。そのため後方を十分に確認せずに走行した結果、床面のコードに気づかず踏んでしまったと考えられる	座面の高さが固定されているため、上段の棚に届かせるには腕を最大限伸ばす必要がある。さらに左側の棚にアクセスするため、体幹の回旋も伴っている
課題	後方確認の困難さが、走行経路上の障害物の見落としにつながっている。コードを踏むことで走行が不安定になる、コードが車輪に巻き込まれる、コード自体が損傷するなどのリスクがある。後方確認が身体的に困難な利用者にとって、走行経路上の障害物は重大な安全上の問題となる。	この姿勢では体幹の左回旋と左上肢の最大挙上と同時に生じており、肩関節および腰部への負担が大きい。B2は右半身麻痺を有しているため、健側である左上肢に作業負荷が集中する傾向がある。健側への過度な負担が継続すると、左肩や左腰の疲労・痛みを引き起こすリスクがある。また、体幹を回旋させた状態での上肢挙上は座位バランスが不安定になりやすく、転落の危険性も伴う。

動画名	DJI_20251118131444_0142_D.MP4	
時刻	9:22	8:16
動作	座位のまま体幹を左に回旋させ、左腕を横方向に伸ばしている。	後退（バック）操作を行っていたところ、後方の棚に接触した
図		
考えられる原因	棚に対してウィルが十分に幅寄せできておらず、通路の中央付近から作業を行っている。そのため、棚との距離がある状態で上段の商品を取る必要が生じている	ウィルでの後退時は後方の視認が困難であり、棚との距離感がつかみにくい。特に狭い通路では、わずかな操作ミスでも棚に接触するリスクがある。また、B2は右半身麻痺があり、体幹を回旋させて後方確認を行うことが困難である可能性がある
課題	幅寄せが不十分なため、本来必要のない距離を腕を伸ばしてカバーしている。この結果、体幹の回旋と上肢の挙上が同時に必要となり、肩関節および腰部への負担が増大している。B2は右半身麻痺があるため健側の左上肢に作業負荷が集中しており、過用による疲労や痛みのリスクがある。幅寄せ操作が容易であれば、より楽な姿勢で作業が可能であったと考えられる。	後退時の衝突は、以下のリスクを伴う。第一に、棚の商品が落下し、利用者や周囲の作業者に当たる危険性がある。第二に、棚自体が不安定になり、転倒する可能性がある。第三に、衝突の衝撃により利用者の姿勢が崩れ、転落につながるリスクがある。第四に、ウィルや棚の破損が生じる可能性がある。後退操作はピッキング作業において頻繁に発生するため、この問題は作業全体の安全性に関わる重要な課題である。

動画名	DJI_20251118133122_0143_D.MP4	DJI_20251118131444_0142_D.MP4
時刻	6:55	2:04
動作	立位で左腕を最大限挙上し、上段の商品にアクセスしている	座位のまま頸部を前屈させ、膝上に置いたピッキングリストや商品を確認している
図		
考えられる原因	B2は右半身麻痺があり、麻痺側である右上肢の挙上が困難なため、健側の左手で作業を行っている。座位では上段に届かないため、降車して立位で対応している	ピッキングリストの確認や、カゴ内の商品確認を行うために下を向いている。リストやカゴが膝上という低い位置にあるため、覗き込む姿勢が必要となる
課題	右半身麻痺により右上肢の機能が制限されているため、上段へのアクセスには健側である左手を使用せざるを得ない。しかし、左手を挙上すると体を支える手段がなくなり、麻痺側の右下肢のみでバランスを保持する必要性が生じる。これにより立位が不安定となり、ふらつきが発生している。転倒した場合、棚やウィルとの接触により重大な怪我につながる危険性がある。	膝上にカゴやリストを置く現状では、確認のたびに頸部を前屈させる必要があるが、頸部への負担が蓄積する。ピッキング作業ではリストの確認を頻繁に行うため、この動作が繰り返されることで頸部痛や肩こりを引き起こすリスクがある。また、下を向いている間は周囲の状況が把握できず、他の作業や障害物との接触リスクが高まる。B2は右半身麻痺を有しており、頸部の可動域や筋力にも影響がある可能性があるため、この姿勢の負担はより大きいと考えられる。

動画名	DJI_20251118133122_0143_D.MP4	DJI_20251118134236_0144_D.MP4
時刻	8:58	1:43
動作	立位から腰を曲げて前屈し、下段の商品にアクセスしている	膝上にカゴを載せた状態でウィルに着席しようとしている
図		
考えられる原因	座位からでは下段に手が届かない、または届いても作業が困難なため、降車して対応している	カゴの固定機構がないため、乗降時も膝上にカゴを保持し続ける必要がある
課題	現状のウィルでは座位のままでも対応できる作業範囲が中段（2～4段目）に限定されていることを示している。B2は右半身麻痺を有しており、立位でのバランス保持が困難であるため、頻繁な乗降は転倒リスクを高める。また、乗降動作自体が身体的負担となり、作業効率の低下および疲労の蓄積を招く。電動モビリティを導入しても、結局降りて作業する場面が多ければ、その効果は限定的となる。	①乗降時に両手で体を支えたいが、カゴを片手で押さえる必要があり片手しか使えない ②片手での乗降は転倒リスクが高い ③特に下肢・体幹に障害がある人には危険

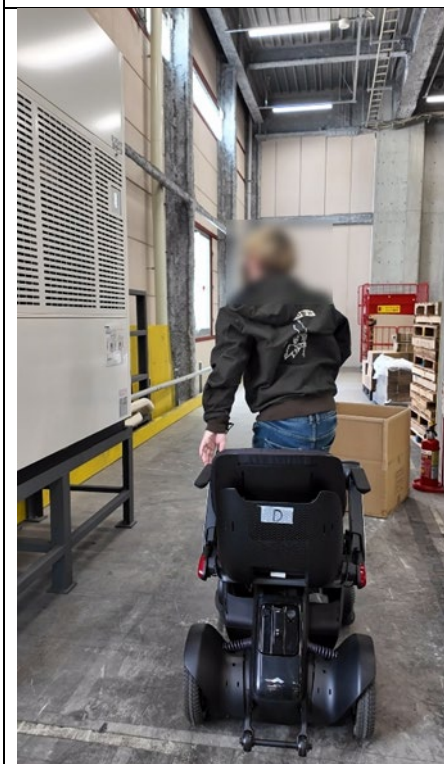
巡回時に見られた動作



前方確認 (B1)



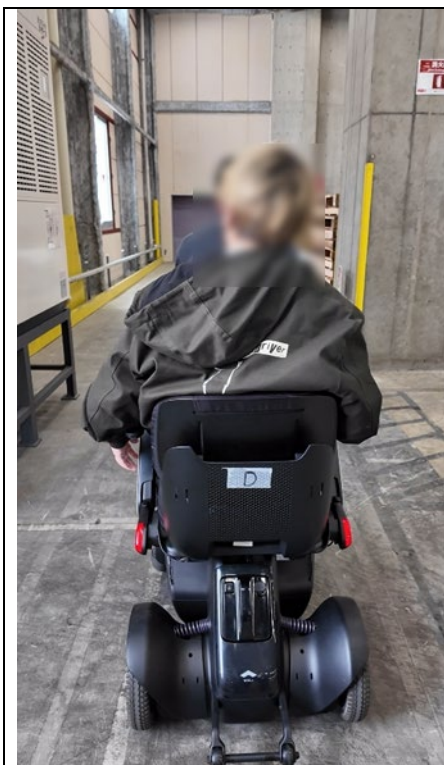
表示板を見るために立ち上がる (B2)



表示板を立てて確認 (B2)



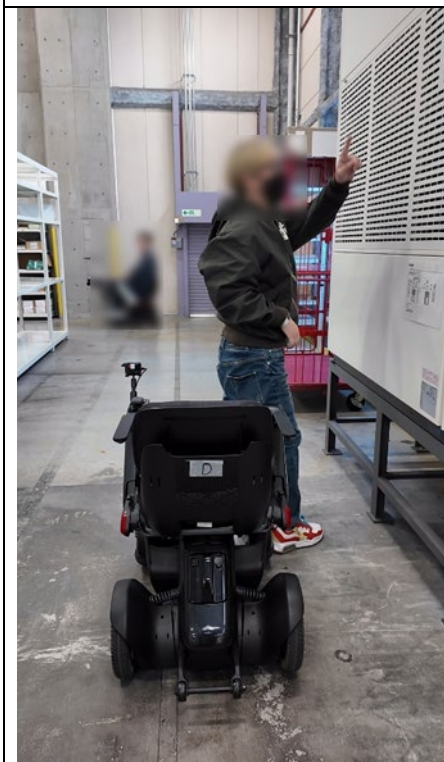
表示板を見上げる (B2)



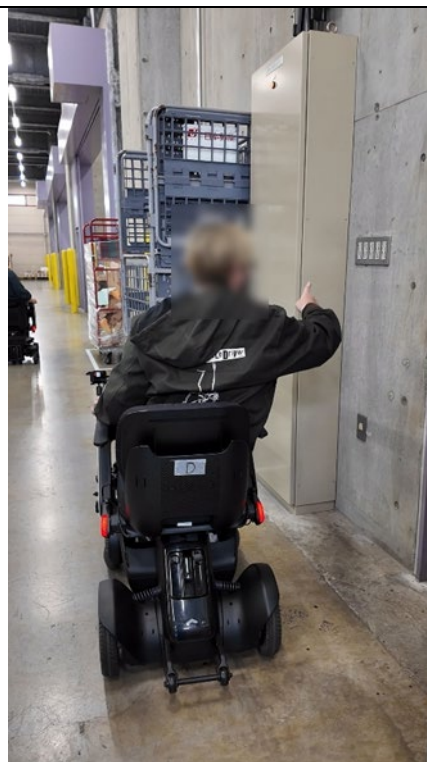
表示板を遠くから確認 (B2)



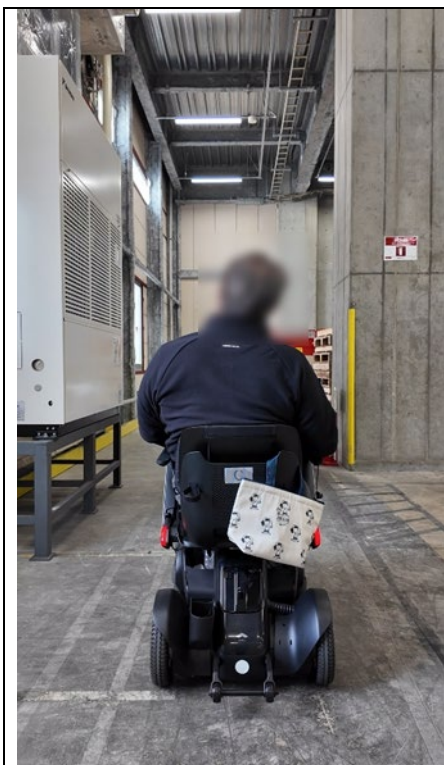
表示板を立て確認 (B2)



表示板を立て確認 (B2)



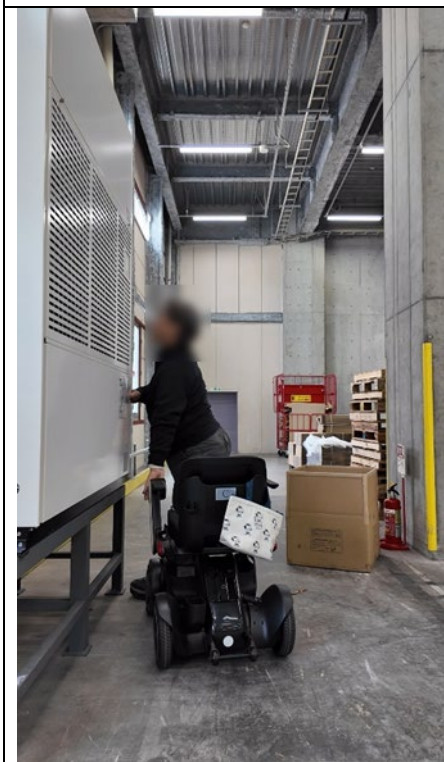
表示板を座って確認 (B2)



表示板を見上げて確認 (C1)



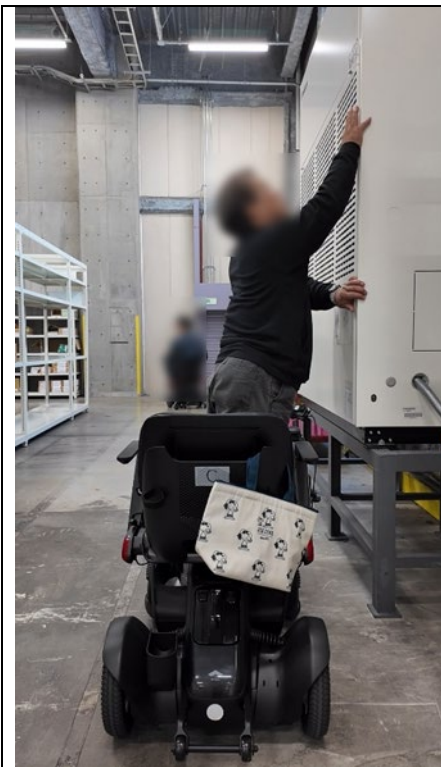
後方確認 (C1)



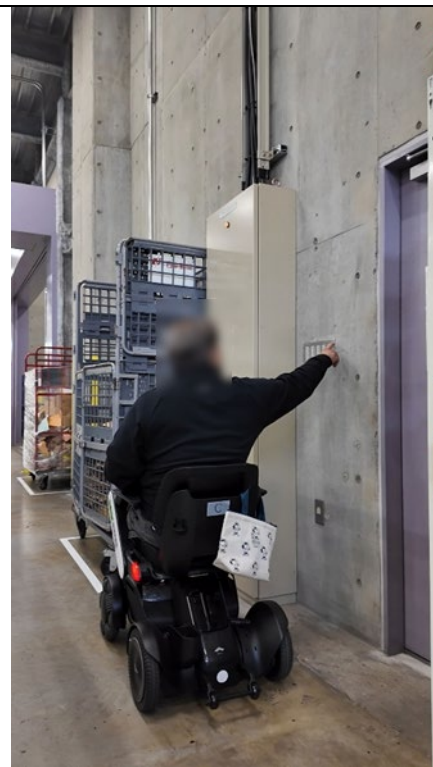
表示板を立てて確認 (C1)



表示板に手を伸ばして確認 (C1)



表示板に手を伸ばして確認



表示板に手を伸ばして確認