重心検出による随意型移動支援機器の開発

田中 陽平^a 阿部 あすか^b 田村 和輝^c 宍戸 道明^{a,*}

Development of Voluntary Mobile Support Equipment by Centroid Detection

Yohei Tanaka^a, Asuka Abe^b, Kazuki Tamura^c, Michiaki Shishido^{a,*}

(Received March 14, 2019; revised April 24, 2019; accepted May 20, 2019)

Abstract

In recent years, an increasing number of care recipients and a shortage of caregivers, by acceleration of declining birthrate and aging, are getting worse. From such social background, the application of the mechatronics technology was expected to reduce the burden on caregivers and the independence of the people requiring nursing care. Therefore, omni-directional moving system that operates intuitively by moving the centroid was developed by this research group. In this study, evaluated, the transient response characteristics and centroid acquisition accuracy of the centroid detection-type movement equipment were evaluated. In addition, the cancellation condition of the boarding standby state for safe boarding was considered. Assuming a load of 60 kg on this equipment, the servo system can be accurately controlled in the range of 2538 to 6345 rpm. At 60 kg load condition, the maximum error distance was only 49 mm. Therefore, the omni-directional mobile system can operate accurately. As the cancellation condition of the boarding standby state, the rest time is necessary to set to 2 sec or more. Moreover, when targeting senior citizens which have low dynamic balance, the rest time is necessary to set still time longer.

キーワード：介護ロボット，直感的操作，重心検出，全方向移動

Keywords: Care-robots, Intuitive operation, Centroid detection, Omni-directional.

1. 緒言

昨今の日本社会では、少子高齢化の加速による被介護者の増加および介護者の不足が深刻化している。被介護者は、日常生活における身体的動作（随意運動）に制限を持つ場合が多く、生活の質（Quality of Life: QOL）の維持・向上の課題が顕在化している。とくに、自立した生活への障害や自己の存在感・生きがいの喪失などは自殺に繋がる社会問題となっており、日本の高齢者自殺数は世界2位という高い水準に達している⁽¹⁾。また、長期的

な介護は介護者を拘束する時間が長く、日常生活への負担が大きい。とりわけ、介護による精神的および肉体的ストレスにより健康を害するリスクも高く⁽²⁾、職場・職種によっては自身の仕事と介護の両立が困難となり離職するケースも多い⁽³⁾。

Fig. 1 に要介護認定者数および介護施設数の推移を示す。要介護認定者数は10年間で約1.4倍に増加している。一方、介護施設数は、緩やかな増加傾向を示しているにも拘わらず、現在の急速な需要に対する供給が追いついていない⁽⁴⁻⁵⁾。加えて、要介護者の中には経済的な理由から介護施設に入居できない人も多く、居宅介護サービス受給者数は施設サービス受給者数の4.3倍となっている⁽⁵⁾。居宅介護を支援するホームヘルパーの需要も高まる一方で、過酷な労働条件かつ低賃金による人員の供給不足が課題となっており⁽²⁾、高齢者による居宅介護が増加している⁽¹⁾。

このような社会的背景を受け、高齢者や身体障害者などの要介護者を介護するためには、介護技術に応用したメカトロニクス技術が期待されている⁽⁶⁾。しかしながら、多くの介護ロボットは使用者のニーズに対して操作が複

* Corresponding author. E-mail: m-shishido@tsuruoka-nct.ac.jp

a 鶴岡工業高等専門学校

〒997-8511 山形県鶴岡市井岡字沢田 104
National Institute of Technology, Tsuruoka College
104 Sawada, Inooka, Tsuruoka, Yamagata, Japan 997-8511

b 本田技研工業株式会社

〒107-8556 東京都港区南青山 2-1-1
Honda Motor Co., Ltd.
2-1-1 Minami-Aoyama, Minato-ku, Tokyo, Japan 107-8556

c 浜松医科大学

〒431-3192 静岡県浜松市東区半田山一丁目 20-1
Hamamatsu University School of Medicine
1-20-1 Handayama, Higashi-ku, Hamamatsu, Shizuoka, Japan
431-3192

Fig. 1. Transition of the number of people who have certification of long-term care and the number of long-term care facilities.

雑であり、機器の操作には長時間の操作訓練が必要となる。加えて、介護現場で働く介護者からロボット開発者へのフィードバックは困難である。すなわち、自立支援と介護負担の軽減を図り、被介護者および介護者のQOL向上に資する改善を図るためには、ユーザビリティの高い介護ロボット開発が不可欠となる。とりわけ、被介護者の移動性向上による主体的な活動の促進は、寝たきり状態の予防や身体機能の維持・回復によって、生活不活発発病の発病リスク軽減が期待される。

そこで本研究グループでは、移動用介護ロボットに着目し、搭乗者の体重移動のみを入力信号とした直感的随意操作を可能とする全方向移動システムを開発した。本システムは、負荷荷重から重心位置を検出して自動的に移動方向を指定するため、搭乗者には複雑な操作が伴わない。本機器の使用によって被介護者の主体的な活動を促進し、介護者の負荷軽減を実現することで、両者のQOL向上が期待される。また、機器操作には特別なコントローラを用いないことから、両手の自由な状態を維持しつつ、誤操作による意図しない駆動の抑制が可能である。

本研究では、全方向移動システムを実装した重心検知式移動機器の移動支援機器への利用を目指し、過渡応答特性と重心取得精度を評価した。

2. 重心検知式移動機器

Fig. 2 に重心検知式移動機器の概観を示す。本機器は後述する全方向移動システムを搭載しており、搭乗者は機器上面にある円盤状の座面に着座した操縦者の体重移動によって操作される。機器寸法は $540(w) \times 540(d) \times 210(t)$ mm であり、搭乗部の円盤は直径 540 mm である。

Fig. 3 に重心検知式移動機器の構成を示す。本機器は

Fig. 2. Overview of the centroid detection-type movement equipment.

Fig. 3. Structure of the centroid detection-type movement equipment.

上部から「搭乗部」、「重心取得部」および「移動機構部」にて構成される。重心取得部には 2 つの正三角形フレームが設置され、その各頂点にロードセル (LMA-A-1KN, KYOWA) が挟まれて設置されている。1 点に 90 kg の負荷が集中することを考慮し、定格容量 1 kN のロードセルを使用した。フレーム下部の移動機構部には、全方向移動を可能とするオムニホイールを用いた 3 つのサーボシステムを搭載している。

2.1 全方向移動システム

本システムは、重心検知式移動機器における搭乗部の円盤に搭乗した操縦者の重心位置から移動ベクトルを算出し、移動機構部を駆動させて任意の指示方向への移動を実現する。

Fig. 4 に全方向移動システムの動作フローを示す。まず、システム起動直後にロードセルのキャリブレーションが開始される。キャリブレーションが完了するとシステムは操縦者の搭乗待機状態に移行する。操縦者が機器に搭乗すると、各ロードセルの測定値から重心を算出し、駆動閾値の条件を満たしたとき駆動する。操縦者が機器から降りると、システムは再び操縦者の搭乗待機状態に移行する。

Fig. 4. Movement flow of omni-directional moving system.

2.2 サーボシステム

重心検知式移動機器の移動機構部は、DC モータを搭載した 3 セットのサーボシステムにより構成されている。そのため、任意な 3 自由度の速度を発生できるホロノミック性と、あらゆる方向に移動・旋回可能な全方向性を有したホロノミック全方向移動⁷⁾を実現する。

Fig. 5 にサーボシステムの概観を示す。サーボシステムは、回転数と回転方向の信号を入力信号としてアクチュエータをフィードバック制御し、指示された速度でタイヤを回転させる。アクチュエータには、バッテリーによる駆動を考慮して DC モータ (RE40, MAXON) を採用した。また、ホロノミック全方向移動を実現するため、移動用ホイールにはホイール円周上に自由に回転する樽型車輪を有したオムニホイール (TYPE2530-4HXU, FUJI MFG) を採用した。

Fig. 6 にサーボシステムの概要を示す。図中の破線部は、DC モータ駆動用の強電 (24 V) 回路を示し、それ以外は弱電 (5 V) 回路である。各サーボシステムの制御装置は独立しており、システムを制御するマイクロコンピュータ (ATmega328, Atmel Corporation) (以下、マイコン) は、1 組のシステムに対して 1 個ずつ搭載されている。

Table 1 に本機器に使用するバッテリーの仕様を示す。3 個の DC モータを同時に駆動させるには、30 A の電源供給が必要となる。また、機器への搭載を考慮して小型化・軽量化を図るため、バッテリーにはリチウムポリマーバッテリーを使用した⁽⁸⁾。強電回路には直列に接続した 2 個

Fig. 5. Overview of the servo system.

Fig. 6. Outline of the servo system.

Table 1. Specification of battery used for this equipment.

	High voltage	Low voltage
Maker	enRoute	IP
Model	enLipo	LiPo Flight Pack
Rated voltage [V]	11.1	11.1
Rated capacity [mAh]	1800	850
Discharge allowance [C]	20	25

の強電用バッテリー、弱電回路には 1 個の弱電用バッテリーを使用した。

2.3 重心位置算出

重心位置は、重心検知式移動機器の重心算出部におけるロードセルの測定値から算出した。

Fig. 7 に重心位置算出に用いるパラメータを示す。正三角形は機器の三角形フレームを表し、ロードセルは三角形の各頂点に設置されている。ロードセルの出力信号は、計装アンプ (AD623, Analog Devices, Inc.) にて増幅され、マイコンの A/D 変換によってデジタル信号 F_i に変

Fig. 7. Parameters used for calculating the centroid position.

換される。3点のロードセルにかかる荷重をそれぞれ F_1 , F_2 , F_3 , 操縦者の総質量を m , 重心を G , 正三角形の各辺に対する垂線の長さをそれぞれ h_1 , h_2 , h_3 とする。このとき, F_i と h_i の関係を以下に示す。

$$mgh_i = F_i H \quad (1)$$

ここで, mg は操縦者の総重量であり, F_1 , F_2 , F_3 の合計から求められる。

$$mg = F_1 + F_2 + F_3 = \sum_{i=1}^3 F_i \quad (2)$$

式(1), 式(2)より, 各荷重と総重量から h_i が算出される。

$$h_i = \frac{F_i}{\sum_{k=1}^3 F_k} H \quad (3)$$

ここで, 重心座標を求めるため, F_1 を原点とした xy 座標を考える。重心の x 座標を Gx , y 座標を Gy としたとき,

$$\begin{aligned} Gx \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + h_2 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \\ = Gy \begin{pmatrix} \cos(\pi/3) \\ \sin(\pi/3) \end{pmatrix} + h_3 \begin{pmatrix} \cos(-\pi/6) \\ \sin(-\pi/6) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

となり, 各値を代入すると,

$$Gx = \sqrt{3} \frac{h_2 + 2h_3}{3} \quad (5)$$

となる。以上より, 重心座標は次式で示される。

$$G \left(\sqrt{3} \frac{h_2 + 2h_3}{3}, h_2 \right) \quad (6)$$

3. 実験方法

3.1 過渡応答特性評価

重心検知式移動機器の移動機構部であるサーボシステムについて, DC モータの回転数を経時的に記録し, 任意の荷重負荷による過渡応答特性を評価した。

DC モータの回転数は, サーボシステムに速度指令をステップ入力したときのエンコーダパルスから算出した。測定時間は 2000 msec とし, 測定間隔は 1 msec である。サーボシステムへの速度指令は, 正回転 64 ステップ (0~63) と逆回転 64 ステップ (0~63) に区分される。DC モータの最大回転数は 8000 rpm であり, 1 ステップは $8000/63 \div 126.9$ rpm である。指定する速度指令は, “10” ($10 \times 126.9 = 1269$ rpm) から “60” ($60 \times 126.9 = 7614$ rpm) の 10 ステップ間隔とし, 各速度指令における正回転の回転数を測定した。荷重の負荷条件は, 無負荷状態と負荷状態の 2 種類とした。無負荷状態はオムニホイールを地面から離すアイドル状態, 負荷状態はシステム上に 60 kg の操縦者を搭乗させた状態とした。

3.2 重心取得精度評価

重心検知式移動機器に重心取得精度測定用荷重 (2 kg: 水で満たしたペットボトル, 60 kg: 人) を負荷し, 負荷位置座標と重心算出部により算出される重心位置座標の関係から, 全方向移動システムの重心取得精度を評価した。

Fig. 8 に重心取得精度測定用マトリックスを示す。図中の円は搭乗部の円盤, 円内接三角形は機器の三角形フレームに対応している。円心を重心座標の原点 ($x=0, y=0$) とし, 三角形内を $50 \times 50 \text{ mm}^2$ のマトリックスに分割し, その各交点を測定点とした。

Fig. 9 に測定装置の概観を示す。各測定点には円柱 (材質: 鉄, 直径: 42 mm, 高さ: 63 mm) を設置し, その上に各荷重を負荷した。円柱の重量は各負荷荷重に含まれる。

Fig. 8. Matrix for measuring centroid accuracy.

Fig. 9. Overview of measuring equipment.

重心取得精度は，測定点座標 (x, y) と算出座標 (x', y') との距離である誤差距離 e_w の値によって評価される。誤差距離の算出式を次式に示す。

$$e_w = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (7)$$

誤差距離が低値であるほどシステムの重心取得精度は高精度となる。また，測定点に設置される円柱の半径は 21 mm であるため，21 mm の誤差距離は評価実験上発生する。

4. 実験結果および考察

4.1 過渡応答特性評価

重心検知式移動機器の移動機構部であるサーボシステムについて，無負荷と 60 kg の荷重を負荷した 2 種類の負荷条件状態により，システムの過渡応答特性を評価した。

Fig. 10 に各負荷状態におけるサーボシステムの過渡応答特性を示す。無負荷状態(a)では，速度指令“60”を除くすべての速度指令において，オーバーシュートが確認された。オーバーシュート後，回転数はハンチングを経て各速度指令の回転数へ収束した。いかなる回転数においても 1500 msec 後に目標の回転数付近で安定した。

負荷状態(b)では，すべての速度指令においてオムニホイールのスリップが確認され，回転数は目標値付近にてハンチングした。また，ハンチングが比較的安定した 1500 msec 付近における回転数の高低差は，最小 330 rpm（速度指令“60”入力時），最大 1540 rpm（速度指令“40”入力時）であった。1500 msec から 2000 msec の範囲において，速度指令“50”以下における目標回転数と測定値の差は最大 190 rpm 程度であり，システムはおおむね追

(a) No load condition.

(b) Load condition

Fig. 10. Transient response characteristics of the servo system in each load conditions.

従している。一方、速度指令“60”における目標回転数と測定値の差は約 850 rpm であり、システムの追従が確認されなかった。以上の結果より、60 kg の積載物を想定した場合、システムは速度指令“50”，すなわち 6345 rpm 以下において正確に制御することが可能である。

Fig. 11 に各負荷状態における立ち上がり時間と速度指令の関係を示す。ここで、立ち上がり時間は、速度指令による目標値の 10% から 90% に達するまでの経過時間である。無負荷状態では、各速度指令においておおむねフラットな特性を示している。一方、負荷状態における立ち上がり時間は、各速度指令に対するばらつきが大きく、無負荷状態と比較して遅い傾向を示した。とくに、速度指令“10”および“60”における立ち上がり時間は無負荷状態の 3~4 倍であり、グラフはバスタブ曲線を示した。

Fig. 11. Relationship between rise time and command speed in each load state.

Fig. 12. Relationship between overshoot rate and command speed in each load state.

Fig. 12 に各負荷状態におけるオーバーシュート率と速度指令の関係を示す。ここで、オーバーシュート率は、速度指令による目標回転数と測定した最大回転数の比によって表される。無負荷状態では、立ち上がり時間と同様に速度指令による傾向は確認されない。一方、負荷状態においては、速度指令が高くなると単調に減少する傾向が確認された。

以上より、無負荷状態におけるサーボシステムでは、速度指令に対する正確な回転が確認された。また、60 kg の負荷状態では、目標回転数が極端に遅速であるとき、とくに速度指令“60”とした場合は目標回転数に到達しないため、システムの正確な制御は不可能である。そのため、システムの動作範囲は速度指令“20” (2538 rpm) ~速度指令“50” (6345 rpm) の間である。さらに、システムはこの動作範囲内において 100 msec 以下で応答可能であるため、台形制御の適用により安定した動作が可能となる。

4.2 重心取得精度評価

重心検知式移動機器に重心取得精度評価用荷重 (2 kg, 60 kg) を負荷し、全方向移動システムの重心取得精度を評価した。

Fig. 13 に各負荷荷重による誤差距離と誤差の生じた方向を示す。縦軸は垂直軸、横軸は水平軸を示す。ただし、斜線部は下部にオムニホイールが位置する構造上、正確な測定ができない「測定不能領域」である。荷重 2 kg 負荷時では、上側の測定点における誤差距離は大きく、下側は比較的小さくなった。また、すべての測定点における誤差距離は 21 mm (円柱半径) 未満であるため、重心取得の誤差は小さかった。また、誤差の生じた方向は中央後方に集中した。一方、荷重 60 kg における誤差距離は、いくつかの交点において 21 mm 以上となった。とくに、円盤の中心から遠い交点において、誤差距離は大きい傾向となった。これは、荷重負荷点がロードセルの設置位置に接近すると、荷重負荷点と反対側に設置されたロードセルにおいて浮きが発生するため、適切な荷重が負荷されないことが一因と考えられる。

機器使用上において想定される重心領域である中央部では誤差距離は小さいため、許容可能な誤差距離である。また、誤差の生じた方向は後方に集中した。これは、荷重負荷である搭乗者の乗り方に起因するものだと考えられる。

最大誤差距離は 60 kg 負荷時の測定点 (X=-1, Y=2) における 49 mm であった。この測定点は測定不能領域に隣接しているため、システム運用上は無視できる。また、各測定点において誤差を含んでいるため、測定点間距離である 50 mm 未満の誤差距離は、許容可能であると考えられる。

(a) 2 kg

(b) 60 kg

Fig. 13. Error distance and error direction at each load conditions.

5. 搭乗待機システム

上記実験の遂行にあたり，機器運用上の課題を観取した。

全方向移動システムは体重移動を入力信号として扱う特性上，重心が大きく偏る乗降動作において意図せず動作する課題を含む。そのため，搭乗時の動作停止による安全性確保を目的とした搭乗待機システムの実装が不可欠である。

そこで，搭乗時の安全性確保を目的とした搭乗待機システムの実装に向けた最適なシーケンス条件のうち，搭乗待機状態の解除条件について検討した。

5.1 システム概要

重心検知式移動機器は，搭乗部に搭乗した操縦者の重心移動によって操縦される。一方，直感的な随意操作を可能とする特徴を有する反面，重心が著しく変動する搭乗動作において安全性の課題を含む。とりわけ，機器使用を想定している被介護者の多くは高齢者であるため，搭乗完了までに多くの時間を要する。搭乗中の意図しない機器駆動を抑制するには，搭乗が完了するまで機器駆動を停止させるシステムの導入が不可欠である。そこで，搭乗時の安全性向上を目指して，操縦者の搭乗完了を検知する安全システム「搭乗待機システム」を開発した。

Fig. 14 に搭乗待機システムの動作フローを示す。ここ

Fig. 14. Control flow of boarding standby system.

で、図中の用語を以下に定義する。

搭乗動作 (Boarding movement) :

搭乗部への搭乗，着座，静止からなる一連の動作

静止状態 (Quiescent state) :

搭乗中に重心変動が発生しない状態

静止時間 (Quiescent time) :

静止状態を継続する任意に設定した時間

搭乗待機状態 (Boarding standby state) :

機器駆動を停止させている状態

本システムは，搭乗中における移動機構部の駆動を停止し，安全な搭乗を補助する。機器はキャリブレーション完了後に搭乗待機システムを開始し，搭乗待機状態に移行する。操縦者が搭乗部に搭乗すると，重心位置算出に基づいて重心座標を継続的に取得する。静止状態が静止時間まで継続すると，本システムは搭乗動作が完了したと判断し，搭乗待機状態を解除する。本システム終了後，機器は駆動状態へ移行する。

5.2 実験方法

重心検知式移動機器における搭乗時の安全性確保を目的とした搭乗待機システムの実装に向け，搭乗待機状態の最適な解除条件について評価し，その静止時間を検討した。

搭乗動作における搭乗開始から着座完了（静止開始）

までを搭乗中，一定時間の静止を静止中とした。搭乗中と静止中に各タスクを設け，搭乗中および静止中における静止状態の継続時間をシステムの解除条件として設定した。

評価項目として，搭乗中における「搭乗タスク」と静止中における「静止タスク」を設け，搭乗中に静止時間の静止状態が発生しない状態を「搭乗タスクの成功」，静止中に静止時間の静止状態が継続している状態を「静止タスクの成功」と定義した。各タスクにおける静止時間が1～4 sec（1 sec 間隔）である場合のタスク成功率を評価した。被験者の搭乗動作（機器搭乗部への搭乗，着座，静止の動作）によって発生する重心変動は，本機器と接続した PC とのシリアル通信のログを用いて経時的に記録した。また，着座姿勢には安座あるいは正座を指示し，約 5 sec 間の静止状態を維持させた。なお，着座完了（静止開始）のタイミングは被験者の申告によって判断し，ストップウォッチにて搭乗開始から申告までの経過時間を計測した。申告直前の静止状態は，既に静止しているとみなし，搭乗タスクには含まない。測定回数は一人あたり 10 回とした。被験者は，健康な学生 6 名（20.1 歳 ± 0.52）とし，事前に実験の趣旨と方法について説明して十分な理解を得た。

5.3 実験結果

重心検知式移動機器における搭乗待機システムの実装に向け，搭乗から静止に要する時間と重心変動を記録し，搭乗タスクと静止タスクの成功率から最適な静止時間を検討した。

Fig. 15 にタスク成功率を示す。平均搭乗タスク成功率は，いずれの静止時間においても 80 % 以上となった。とくに，静止時間が 2 sec 以上のとき，静止が確認されずタスク成功率は 100 % となった。これは，設定する静止時間の増加にともない，意図しない静止判定が起こらない

Fig. 15. Task success rate.

ためであると考えられる。平均静止タスク成功率は、静止時間の増加にともなって緩やかな低下傾向を示した。しかし、いずれの静止時間においても平均タスク成功率は 80 % 以上であった。

Fig. 16 に被験者 A, B および C における重心変動を示す。図中の破線は被験者が着座完了（静止開始）を申告した時間であり、左側は機器への搭乗開始から着座まで

の重心変動、右側は着座による静止中における重心変動を示す。各被験者とも着座後では大きな重心変動は見られず、静止状態であることが確認できる。また、被験者 A および被験者 B については、どちらも着座から約 2 sec 後に x 軸において微小な重心変動が発生した。搭乗待機システムは静止状態を機器駆動開始のトリガーとするため、誤作動防止の観点から静止時間は可能な限り長く設

(a) Participant A

(b) Participant B

(c) Participant C

Fig. 16. Centroid fluctuation

定することが好ましい。しかしながら、被験者 A, B において静止中に微小な重心変動が確認されたことより、一切の重心変動を起こさないことは困難である。そのため、搭乗完了を判断するためには微小な重心変動を許容する必要があると考えられる。

被験者 C の搭乗中における重心変動に着目すると、網掛け範囲において 1 sec 以上の静止状態が確認された。このとき、x 軸と y 軸の重心位置は正側において最大となった。これより、この静止状態は被験者が右足を乗せて機器に搭乗し、前傾姿勢のままバランスをとるため、一時的に静止しているタイミングにて発生したことが分かる。したがって、静止時間を 1 sec 以下に設定した場合、誤動作を引き起こす可能性があるため、静止時間は両タスクの成功率がともに高くなった 2 sec 以上が最適であると考えられる。また、高齢の要支援者において動的バランスの低下が認められており⁽⁹⁾、搭乗から着座に要する時間は長くなると考えられる。すなわち、高齢者を対象とした場合、搭乗中の静止状態が頻発する可能性が高くなるため、静止時間はさらに長く設定する必要がある。

6. 結言

本研究では、全方向移動システムを実装した重心検知式移動機器の過渡応答特性と重心取得精度を評価した。さらに、搭乗時の安全性確保を目的とした搭乗待機システムの実装に向けた最適なシーケンス条件のうち、搭乗待機状態の解除条件について検討した。実験より得られた結果の要約を以下に示す。

- (1) 本機器に 60 kg の積載物を想定した場合、サーボシステムは速度指令“20”(2538 rpm)～速度指令“50”(6345 rpm)の間において正確に制御可能である。また、この動作範囲において、台形制御の適用により安定した動作が可能である。
- (2) 高負荷時における重心算出の最大誤差距離は 49 mm であった。しかし、これはシステムにおいて大きな誤差でないため、許容可能であると考えられる。
- (3) 本機器への安全な搭乗を補助する搭乗待機システムの静止時間は 2 sec 以上に設定する必要がある。また、静止中においても重心変動が発生するため、微小な変動は許容する必要がある。

文 献

- (1) 野川とも江：「介護福祉の QOL」，中央法規出版，pp. 2-5 25-28，2005
- (2) 藍尚禮ほか：「日本大百科全書」，小学館
- (3) 厚生労働省：「平成 24 年度仕事と介護の両立に関する実態把握のための調査研究事業報告書」，2013

- (4) たとえば，厚生労働省：「平成 28 年介護サービス施設・事業所調査の概況」，2017
- (5) たとえば，厚生労働省：「平成 27 年介護保険事業状況報告（年報）」，2016
- (6) 橋野賢：「生活介護ロボット」，日本ロボット学会誌，14，5，pp. 614-618，1996
- (7) 和田正義，森俊二：「ホロノミック全方向移動ロボットの開発」，日本ロボット学会誌，15，8，pp. 1139-1146，1997
- (8) 大越健介，道信剛志，重原淳孝：「二次電池とエネルギー問題 特にリチウムイオンバッテリーを中心として」，化学と教育，56，3，pp. 110-113，2008
- (9) 長澤伸江，古田なつみ，諏訪部早紀，仲澤慎子，平林美輝，松本晃裕，池川繁樹：「介護予防教室参加者の身体機能の検討—要介護移行防止の視点から要介護認定者との比較—」，Bulletin of Jumonji University，vol.46，pp.117-126，(2015)

田中 陽平

2017 年 3 月鶴岡工業高等専門学校 制御情報工学科卒業。同年 4 月鶴岡工業高等専門学校 生産システム工学専攻入学 機械・制御コース，現在に至る。多孔質材料の力学解析に従事。

阿部 あすか

2018 年 3 月鶴岡工業高等専門学校 制御情報工学科卒業。同年 4 月本田技研工業株式会社入社，現在に至る。

田村 和輝

2019 年 3 月千葉大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2018 年 3 月より浜松医科大学 光先端医学教育センター 助教，現在に至る。超音波医用計測の研究に従事。IEEE，日本音響学会，日本超音波医学会会員。工学博士

宍戸 道明

2008 年 3 月山形大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月鶴岡工業高等専門学校助教，2016 年 4 月教授，現在に至る。エンジニアリングデザイン関連研究に従事。技術士（機械部門・総合技術監理部門）