

排泄介護支援ロボット「トイレアシスト」の開発

Development of a robot "Toilet Assistance System" to support excretion care

鈴木 利明
Toshiaki SUZUKI

川田工業(株)機械システム事業部
ロボティクス部設計課

大澤 忠明
Tadaaki OHSAWA

川田工業(株)機械システム事業部
ロボティクス部設計課

森 孝高
Yoshitaka MORI

川田工業(株)機械システム事業部
ロボティクス部設計課

本研究は平成 17 年度から 3 年間、新エネルギー産業開発機構の委託プログラム「人間支援型ロボット実用化基盤技術開発」の「介護動作支援ロボット及び実用化技術の開発」を受け、TOTO 株式会社、独立行政法人産業総合研究所と共に行ったものである。トイレ技術とロボット技術を統合することで、介護施設において介護者の負担の大きい排泄介護を支援し、介護者の負担を軽減する、統合的な介護支援ロボット「トイレアシスト」を開発した。

本研究には、最終目標として、①実証試験を通じて使用者（介護者）の 50%以上について介護動作の負担が軽減されること。② 50%以上の介護者が支援に有効であると認定できること。③ 80%以上が、トイレアシストの操作性が容易であると認定すること。が課せられている。本研究では、多くの介護施設に御協力いただきながら、最終的に特別養護老人ホーム「筑波園」にて実証試験を行い、上記目標を達成した。キーワード：ロボット、トイレ、介護者支援、排泄介護、自律移動

1. はじめに

少子高齢化に伴い要支援、要介護者数は年々増加しており、生活リハビリや自立のための施策強化が行われている。

しかしながら、介護施設においては、実際に身体的負担が大きい介護に対して、具体的な負担軽減のための方策が進んでいないのが現状である。

中でも、排泄介護は、入浴介護と並んで最も負担の大きい介護作業であると知られている。なぜなら、排泄介護においては、被介護者をベッドや車いすから便器へ移乗（起居・回転動作）させるだけでも身体的負担が大きい上に、加えて着脱衣動作が行われ、さらには排泄後の清拭という精神的負担も加わるためである。これらの負担のために介護施設によってはオムツに切り替えてしまうところもあるが、これは、被介護者の尊厳を傷つけることとなる。

そこで著者らは、TOTO 株式会社（以下 TOTO と称す）、（独）産業技術総合研究所（以下産総研と称す）と共に、トイレ技術とロボット技術を統合することによって、排泄介護を行う介護者の負担軽減を目的とした統合的な介護支援ロボット「トイレアシスト」を開発した。

本研究は平成 17 年度から 3 年間、NEDO（新エネルギー産業開発機構）の委託プログラム「人間支援型ロボッ

ト実用化基盤技術開発」を受け行ったもので、最終目標として、

- ①実証試験を通じて使用者（介護者）の 50%以上について介護動作の負担が軽減されること。
 - ② 50%以上の介護者が支援に有効であると認定できること。
 - ③ 80%以上が、トイレアシストの操作性が容易であると認定すること。
- が課せられている。

2. 介護施設における排泄介護動作の分析と課題の抽出

排泄介護の現状を知るために、介護者や有識者のヒヤリングおよび介護施設での研修等を通じて介護動作の分析を行い、課題の抽出を行った。表 1 に介護動作分析と現状の課題を示す。排泄介護において介護者にかかる負担の大きいものは

- ①被介護者を車いすから便座、もしくは便座から車いすに移乗するときの肉体的負担
 - ②被介護者を脱衣・着衣させるときの肉体的負担
 - ③排泄時の転落、転倒を防止するため、注視していなければならない精神的な負担
 - ④被介護者の排泄後の清拭を行うときの肉体的負担と精神的な負担
- であることがわかった。

また、介護用のトイレにおいて、適切な手すりの位置や、便座の高さなどは、使用する被介護者の身長や体重、体の麻痺の状態により異なる。しかしながら、介護施設では、様々な身体的特徴をもつ被介護者が共用トイレを使用するので、適切な場所にそれらが配置されていない状態になる場合があり、このときは介護者、被介護者ともに負担が増すことになる。

そこで、トイレアシストでは、介護者に対する負担を軽減するために、移乗動作支援、被介護者の姿勢保持支援、洗浄・清拭動作に対する支援、そして、介護施設に入居する被介護者それぞれの身体特徴に合わせて手すりの位置や便座の高さをカスタマイズする個人別設定を行うこととした。

表1 介護動作の分析と課題の抽出

	介護動作	現状の課題
1	車いすをトイレ脇に移動	時間がかかる
2	車椅子から抱きかかえ	腰を痛める 被介護者が片麻痺の場合あっていないと負担が増える
3	抱きかかえから立位	腰を痛める、膝を痛める
4	立位保持	他のことができない 腰を痛める
5	脱衣	全身に負担がかかる 二人介護が必要となることもある
6	回転	腰を痛める
7	座位をとらせる	腰を痛める、膝を痛める 落とす感じになり精神的に負担 座りなおしをさせなくてはならない
8	排泄	他のことができない (精神的な負担)
9	洗浄	ウォシュレットで洗えないので非効率
10	清拭	拭けない(精神的な負担)
11	座位から抱きかかえ	腰を痛める
12	立位保持	他のことができない 腰を痛める
13	着衣	全身に負担がかかる 二人介護が必要となることもある
14	回転	腰を痛める
15	立位から車椅子に座らせる	腰を痛める、膝を痛める 落とす感じになり精神的に負担 座りなおしをさせなくてはならない
16	汚物処理	汚物を捨てたり、タンクを洗浄する時間がかかる
17	トイレから退室	

3. 排泄介護ロボットの機能

課題抽出から得られた『移乗支援』、『姿勢保持支援』、『洗浄・清拭動作支援』を実現するために、トイレアシストに必要な機能を分析した。その結果、表2に示す機能が必要であることがわかった。

そこで、トイレアシストには、手すりを上下、前後に移動可能な『手すり可動機構』、車いすと便器を入れ

替えるための『車いす移動機構』と『便器移動機構』、便座を上下および傾斜させる『便座昇降機構』、『広範囲臀部洗浄機構』、清拭時に被験者の後方から臀部へアクセスするための『便座スライド機構』を搭載することとした。

表2 トイレアシストに必要な機能

支援項目	必要な機能	効果
移乗支援	可動手すり機能	被介護者を立たせる際、被介護者が立ちやすい位置に体を誘導する
	便器・車いす入替え機能	車いすから便器、もしくはその逆に移乗する際の回転(ひねり)動作をなくす
	手すり昇降機能	被介護者の抱え上げを補助する
	便座昇降機能	被介護者の抱え上げ、抱き下ろしを補助する
姿勢保持支援	手すり位置調整機能	脱衣・着衣をする際の被介護者の立位保持を補助する 排泄する際の座位の姿勢安定を補助する
	便座高さ調整機能	排泄する際の座位の姿勢安定を補助する
洗浄・清拭動作支援	臀部洗浄機能	臀部の広い範囲を洗浄する
	臀部アクセス機能	被介護者を抱えあげなくても清拭を可能にする

4. トイレアシスト

トイレアシストは主に写真1に示す『トイレアシスト本体』、写真2に示す『昇降前方ボード』、『車いすシャトル台車』の3つで構成される。著者らは、このトイレアシスト本体の製作及び全体システムの統合、操作インタフェースを担当した。トイレアシスト本体搭載のウォシュレットと昇降前方ボードはTOTOが担当した。このウォシュレットは便座内の臀部全体を洗うことが出来る広範囲臀部洗浄機能を備える。昇降前方ボードは被介護者の立位保持支援や立ち座りの支援を行うものである。車いすシャトル台車は産総研が担当した。これは、



写真1 トイレアシスト本体



写真2 前方昇降ボードと車いすシャトル台車

車いすから便座に移乗するときは車いすを退避させ、便座から車いすに移乗するときは車いすを差し入れる、車いす搬送用の台車である。

以下に、著者らが製作したトイレアシスト本体に搭載された支援機構と全体システム統合、操作インターフェースについて述べる。

(1) トイレアシスト本体

トイレアシスト本体の諸元を表3に示す。トイレルームに搬入できるように、幅は740mmと通常のドアの幅以下である。また、重量は120kgと重い、これは便座を上げての着座時にも安定性を保つためである。

入力装置として、上面にタッチパネルと左右両面にスライドスイッチを備える。また、センサとして、前後左右にバンパスイッチ計4個、前方および左右にレーザーレンジセンサ（URG-04LX：北陽電気(株)製）計3個、便座前側の左右、および後側の左右に便座面力センサ計4個を備える。

バンパスイッチは、本体が移動中に障害物と接触した場合に反応し、車輪を停止させる。レーザーレンジセンサは、半導体レーザーを周囲240°の物体に照射し、その反射波の位相差を検知することによってセンサと物体との距離と角度を計測するもので、3方に配置することで死角なく全周囲を検出することが出来る。このセンサにより部屋の壁を認識する。便座面力センサは、着座した被介護者の体重や重心位置を計測する。

表3 主要諸元

主要寸法 [mm]	幅 740, 奥行き 941, 高さ 939	
総重量 [kg]	120	
移動性能 [mm/s]	400 (max)	
便座昇降 [mm]	300 ~ 600 (床面からの高さ)	
便座チルト [°]	0 ~ 30	
便座スライド [mm]	0 ~ 100 (前方ヘスライド)	
耐荷重 [kg]	80	
可動軸数	車輪	4軸 (4輪独立)
	便座	昇降 1軸
	便器	チルト 2軸 (協調)
		スライド 1軸
	昇降 1軸	
メインコンピュータ	タブブック CF-19 (Panasonic)	
入力装置	タッチパネル	
	上昇スイッチ：2	
	降下スイッチ：2	
	入替スイッチ：2	
	スライドスイッチ：4	
センサ	バンパスイッチ：4	
	便座力センサ：4	
	レーザーレンジセンサ：3	

(2) 移動機構

移動機構は、本体と車いすを入れ替える動作を行うときに使用される。この動作により被介護者は立って座るだけで便器に座ることが出来るので、介護者の被介護者を抱えてのひねり動作を無くすことが出来る。また、被介護者にとっても足の踏み換え動作がなくなるので、体への負担が軽減する。

写真3に移動機構の写真を示す。移動機構にはオムニホイール（TYPE2581：(株)土佐電子製）を採用した。このオムニホイールを対角4辺に配置することで、姿勢角を保ったまま、つまり前方を向いたまま前後左右、自在に移動することが出来る。これにより、どのような位置からでも切り返しを行わずに目標地点にアクセスできるた

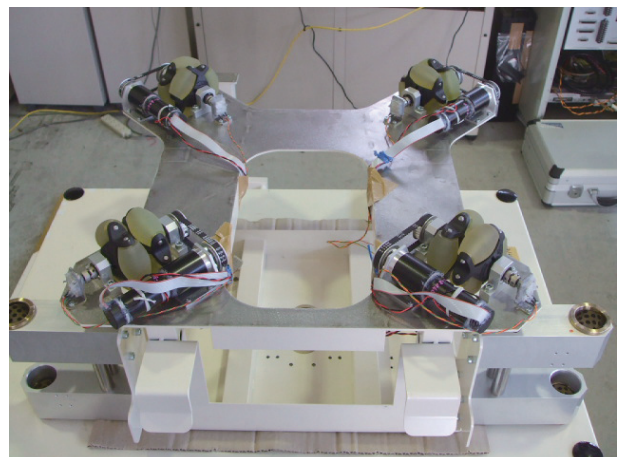


写真3 移動機構

め、入替動作の時間を短縮することが可能となり、15秒以内での入替動作を達成した。

この移動機構を用いた入れ替え動作は次のようにして行われる。車いすと便器を入れ替える場合、車いすシャトル台車による車いすの退避が完了すると、台車からトイレアシスト本体に動作完了フラグが送信される。本体は、そのフラグを受信すると、レーザレンジセンサで部屋の壁を認識し、その情報とあらかじめ登録された目標地点での壁の情報とをパターンマッチングを用いて比較し、目標地点と自分の現在の位置の差を計算する¹⁾。そして、その差から移動速度を計算し、車輪アクチュエータに指令を送り移動を開始する。このパターンマッチングは0.1sごとに行われ、本体の位置が目標地点から±30mm以内、姿勢角±6°以内になると車輪が停止、格納され移動が終了する。

(3) 便座昇降機構

昇降機構は、被介護者を便座から抱え上げる動作と、便座に下ろす動作（移乗）を支援し、かつ排泄時の姿勢保持を支援する。便座昇降機構はリフト軸とチルト軸を持ち、それぞれ独立に動作することが出来る。可動範囲はリフト軸が床から300mm～600mm、チルト軸は0°～30°である。通常の便座の高さは400mm程度であるが、被介護者の中には体の小さな方も多く400mmでは足が浮いてしまい体を安定して支えることが出来ない。そこで、便座を最低300mmまで下げることによって、排泄時の姿勢を安定させる。

写真4に便座昇降機構の写真を示す。リフト軸は、便座後方に伸ばしたフレームと、その先に設置したモーメントを支えるためのスライドガイドと、便座後方に設置したアクチュエータにより構成される。アクチュエータは、そのフレームを、スライドガイドに沿って動作させ、便座を昇降させる。チルト軸は、便座の前後の midpoint を、リフト機構で動作するフレームに、ピボット軸を介して取付け、その便座後方をアクチュエータで押すことによ

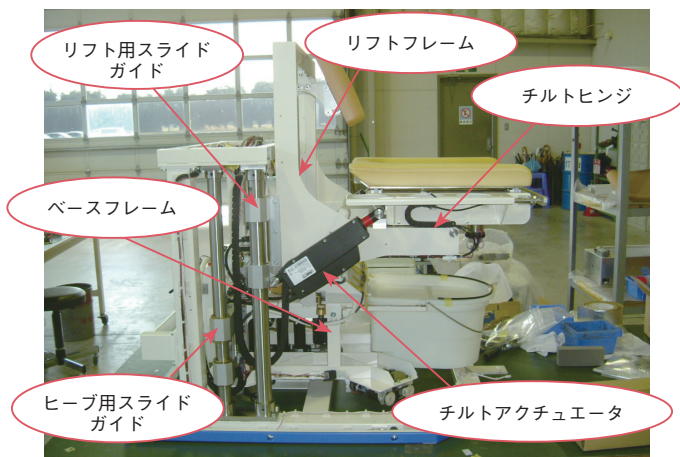


写真4 便座昇降機構と便器昇降機構

り、便座を傾ける。このアクチュエータはリフトフレームに取り付けることで、リフトの動作に関係なく角度を変えることを可能とした。またチルト動作は左右2本のアクチュエータを同調動作することにより制御する。

(4) 便器昇降（ヒープ）機構

身長の高い被介護者にも安定して座ることができるように便座の最低高さをさげた結果、体格差による排泄時の便座高さの違いが大きくなり、便座と便器の間隙が問題となった。便器昇降機構は、便座の高さにあわせて便座の位置を昇降し排泄物が便器の外に漏れることを防止するために使用される。

ヒープ軸は、便器、ウォシュレット、車輪を搭載したベースフレームとスライドガイド、そして便座後方に設置したアクチュエータにより構成される。（写真4参照）アクチュエータは、そのフレームを、スライドガイドに沿って動作させ、ベースプレートを昇降させる。これにより、便器の高さを調節するとともに、ウォシュレットの高さも調節する。また、移動時にはこのフレームを下げることによって車輪を接地させ、移動完了後は車輪を格納する役目も担っている。ストローク量は150mmで、300mm～420mmまでの便座高さに対応する。

(5) 便座スライド機構

便座スライド機構は、移乗時に便座を適した位置に移動させるとき、および清拭時に便座を、被介護者を乗せたまま前方にスライドさせ、被介護者の後方から臀部にアクセスする空間を作るために使用される。後方からのアクセスをしやすいするため、便座は後方が切り欠かれたU字型になっている。移乗時の動作は、あらかじめ設定された被介護者に対応した位置に自動的に移動し、清拭時は、本体に搭載するスライドスイッチを押している間移動する。この機構により、被介護者を抱えなくても臀部にアクセスできるため、介護者の負担は軽減される。

スライド軸は便座面の右下のリフトフレームに取り付けられたアクチュエータにより動作し、移動量は最大100mm、速度は最大20mm/sである。

(6) 全体システム

図1にトイレアシストのシステムブロック図を示す。トイレアシストは、『トイレアシスト本体（本体）』、『昇降前方ボード（前方ボード）』、『車いすシャトル台車（台車）』により、構成される。本体と前方ボードは移乗支援を行う際、各被介護者の状態に合わせた協調動作を行う。本体とシャトル台車は、入れ替え動作のフラグを送受信し、移動はお互いが自律で行う。以上のことから、前手すりは有線のCAN通信による高速通信を用いて本体側で管理を行い、本体とシャトル台車は無線LANでフラグの授受を行うシステムを構築した。

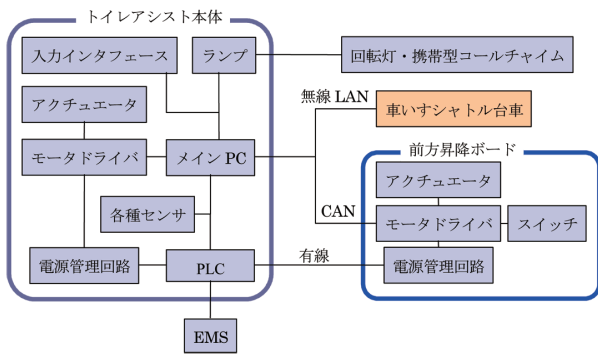


図1 システムブロック図

トイレアシストはメインPCにより制御される。しかしながら、バンパススイッチやエマージェンシースイッチ（EMS）などの入力があった場合には、主制御を通さずに電源回路がモータの駆動電源をカットする。また、PLC（GuardPLC1800:Rockwell Automation社製）が各種センサやメインPCのエラーを監視しエラーがあった場合にはそれぞれの保護回路を動作させる、階層型の安全制御システムを構築した。GuardPLC1800は内部に異種多重PLC（Programmable Logic Controller）を搭載した安全装置としての認証を得たコントローラである。

指令の入力装置は、本体に搭載された入力インタフェースであるタッチパネルとスライドスイッチ、そして前方ボードのスイッチパネルに搭載された上昇（青）、降下（黄）、入替（赤）スイッチである。このスイッチは左右どちらからの介護にも対応できるように前方ボードの左右に取り付けられている（写真2参照）

アクチュエータはメインPCからの指令を受け、モータドライバが制御する。メインPCとモータドライバはCAN通信で接続され、その通信速度は40kHzである。

ランプ、回転灯、携帯型コールチャイムは、内部でエラーが発生した場合に点灯し、介護者およびその周囲に異変を通知する。

(7) 操作インタフェース

操作インタフェースの基本思想は以下の3点である

- ①介護動作中、介護者によるロボットの微調整はしない。細かい部分は介護者の方がロボットに合わせる。
- ②ロボットの状態を介護者に示す機能をつける。
- ③介護者の何らかの動作が、ロボットの各アクションの開始トリガとなるようにする。

また、介護者にとって使いやすい機器とするには

- ①直感的に操作ができること。
- ②誤操作をさせない、もしくは誤操作をしてもロボットが保護すること。
- ③入力エラー（指令を入れたが反応しない、または指

令を入れていないが動作する）をおこさないことが必要である。

表4に介護者の動作とトイレアシストの動作を示す。ここで初期位置は、便座は平面、手すりは上に上がった状態である。介護者のトイレアシストに対する操作は左の列に示す13の操作で、いずれもボタンを押す、またはタッチパネルに触れる動作である。また、上昇、降下、入替スイッチについては、動作の直前に点灯し、動作終了時には消灯することで、介護動作の誘導、動作完了の通知、誤操作の防止を行う。また、それぞれの操作スイッチはその動作が可能な場合以外には押されても反応しない。さらに選択された名前や、動作状態を音声により介護者に通知することで、誤操作の防止と入力エラーの確認を行う。

表4 介護者の動作とトイレアシストの動作

操作	介護者の動作	トイレアシストの動作
	トイレに入室	初期位置で待機
		タッチパネルに被介護者の名前を列挙
1	被介護者を選択	被介護者のデータ呼び出し
	車いすをシャトル台車にのせる	降下ボタン点灯
	被介護者の足を下ろす	
2	降下ボタンを押す	車いすの前まで手すり降下
	被介護者を手すりにつかまらせる	
3	降下ボタンを押す	手すりが前方へスライド、被介護者を引き出す
		上昇ボタン点灯
4	上昇ボタンを押す	手すりを上昇・便座を上昇
	起立、立位保持	入替ボタン点灯
5	入替ボタンを押す	車いすと本体の入替
	脱衣	降下ボタン点灯
	便座に着座させる	
6	降下ボタンを押す	便座と手すりが協調して降下
	排泄が終わったかの確認	タッチパネル上の排泄完了ボタンの使用を許可する
7	排泄完了ボタンを押す	上昇ボタン点灯、スライドスイッチを有効にする
8	ウォシュレットのスイッチを押す	臀部を洗浄する
9	スライドスイッチを押す	スイッチが押されている間、便座が前方にスライド
	清拭	
10	上昇ボタンを押す	便座と手すりが協調して上昇
	立位保持	入替ボタン点灯
11	入替ボタンを押す	本体と車いすの入替
	着衣	
	車椅子に座らせる	降下ボタン点灯
12	降下ボタンを押す	手すりを降下・便座を降下
	被介護者の座りなおしをさせる	上昇ボタン点灯
13	上昇ボタンを押す	手すりを初期位置まで上昇
	被介護者の足をフットレストに乗せる	
	退室	

5. 実証試験と結果

実証試験は、特別養護老人ホーム「筑波園」において行った。実証試験を行うにあたっては、被験者にインフォームドコンセントを行うこと、被験者の安全を十分に担保すること、研究による利益がリスクより高いと判断されること、そして個人情報保護をすることが必要である²⁾。そこで、被験者となる介護者、そして被介護者とそのご家族に試験内容を説明し同意書を得、また、各社での倫理審査委員会、介護施設での倫理委員会において事前に審査を行い、承認を得た。

試験は筑波園の居室を一室お借りし、その室内に2.9m×3.3mの模擬トイレルームをつくり、その中にトイレアシストを設置して行った。期間は2007年12月～2008年2月の3ヶ月間、被験者は介護職員11名（男性2名、女性9名）である。被介護者は筑波園に入居されている高齢者2名（男女各1名）にご協力いただいたほか、体を動きにくくする高齢者シミュレータを着用した男女各1名で行った。その結果、最終目標に対して

- ① 86%以上の介護者が介護動作の負担が軽減されると判断した。（目標は50%以上）
 - ② 90%以上の介護者が支援に有効であると認定した。（目標は50%以上）
 - ③ 89%以上の介護者がトイレアシストの操作性が容易であると認定した。（目標は80%以上）
- を得ることが出来た。

6. まとめ

介護施設において、排泄介護を行う介護者の負担を軽減するために、車いすから便座、もしくは便座から車いすへ座らせる移乗動作支援、被介護者の姿勢保持支援および介護者の行う洗浄・清拭動作に対する支援を行う排泄介護支援ロボット「トイレアシスト」を開発した。

この開発において、著者らは、トイレアシスト本体とシステムの全体統合、操作インタフェースを担当し、本体には、本体移動機能、便座昇降機能、便座スライド機能および、介護施設に入居する被介護者それぞれの体格など身体特徴に合わせてカスタマイズできる機能を搭載した。

また、タッチパネルや照光式ボタン、音声によるコールバックを用いることで、介護者にとって使いやすい操作インタフェースを構築した。

「トイレアシスト」を用いて、特別養護老人ホームにて実証試験を行い、下記の具体的な目標を達成した。

- ① 86%以上の介護者が介護動作の負担が軽減されると判断した。（目標は50%以上）
- ② 90%以上の介護者が支援に有効であると認定した。

（目標は50%以上）

- ③ 89%以上の介護者がトイレアシストの操作性が容易であると認定した。（目標は80%以上）

最後に、本研究に際して多大なるご支援とご協力をいただきました（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構、（独）産業技術総合研究所、TOTO株式会社、特別養護老人ホーム「筑波園」ほか関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 前田宏樹, 秋元俊成, 松元明弘: レーザレンジセンサを用いた移動ロボットの自己位置推定, 日本機械学会関東支部埼玉ブロック大会, pp.45-46, 2006.
- 2) 鈴木利明, 大澤忠明, 金平徳之: 臨床研究における倫理審査について, 川田技報 Vol.27, pp.114-115, 2008.