

〈一般研究課題〉 高齢・障害者の自立的な生活環境を支援するための
排泄自動収納器に関する研究

助成研究者 大同大学 大澤 文明



高齢・障害者の自立的な生活環境を支援するための 排泄自動収納器に関する研究

大澤 文明
(大同大学)

Study on Excretion Care System to Support Elderly and Upper-limb Disabled in Daily Life Environment

Fumiaki Osawa
(Daido University)

Abstract :

Dropping birth rates and the aging of society are expected to lead to the increasing practical use of robots in the home to in family care. It is an important problem that elderly and persons with disabilities being able to excrete independently for maintenance of one's human dignity and reduction in the care burden. We have developed an excretion care system for persons with upper-limb disabilities and elderly people, which can be support the wiping and clearing away excreta. This paper proposes a mechanism for grasping toilet paper and automatically wiping buttocks. Experimental results showed that the proposed system is expected to reduce the physical burden of the caregiver during excretion care.

1. はじめに

排泄行為を自立して行えることは、人間としての尊厳を維持する上から重要な課題である。また、要介護高齢者の排泄介護は、入浴介護と並んで最も負荷の大きい介護作業であることから、介護の負担軽減の面からも重要な課題である[1]。しかしながら、加齢による身体機能の低下や筋ジストロフィー症患者、頸髄損傷者など、四肢麻痺等の重度障害・上肢の障害等により、トイレへの移動や排便・排尿後の後始末が困難になった人は、やむを得ずオムツを着用することが多い。例えば社会的な指導者の立場にあった人でも、加齢によるオムツ着用により、人が変わったように自己実

現の意欲が低下し、痴呆状態を招くことも知られている。オムツを着用するまでの時期を少しでも遅らせることができれば、当人の尊厳維持ばかりでなく、介護に費やすさまざまな資源が節約になることから、社会的意義が極めて大きい。このような背景から、本研究では自身の力で何とか、便座に座ることができる(数メートルの歩行ができる)高齢者・障害者の自立的な排泄行為の支援を目的とし、排泄支援システムの開発を目指す。

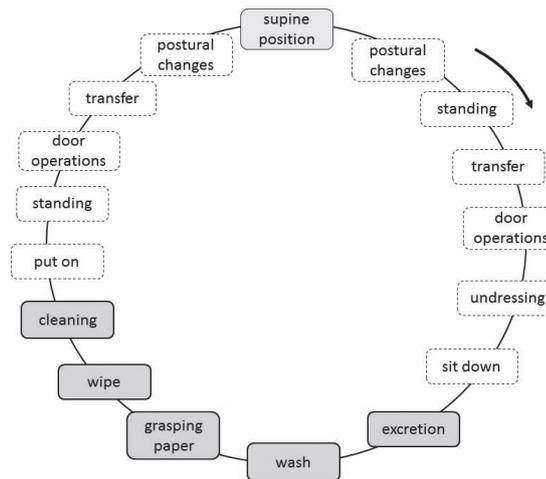


図1 排泄動作

寝たきり高齢者の自動排泄物回収装置やポータブルトイレは多くが商品化されている。しかし、いずれも、排泄を行う部屋へのトイレ機器の持ち運びや身体への器具装着、汚物処理など過大な介護が昼夜を問わず介在する。これまでに、国家プロジェクトとして排泄自立支援の研究が実施されてきた。経済産業省の産業科学技術開発制度医療福祉機器技術開発—福祉機器—(1993年～1998年)において、移乗移載装置内蔵多機能ベット、移動支援装置、多機能ポータブルトイレの開発が行われた[2]。一般家庭に普及させるには、操作性の向上、小型化、軽量化、低価格化などの課題が残された。NEDOの人間支援型ロボット実用化基盤技術開発事業(2005～2007年)において、高齢者の排泄介護を総合的に支援するロボット「トイレアシスト」の開発が行われた[3][4][5][6][7]。車いすと便座の移乗支援、被介護者の姿勢保持支援、臀部洗浄装置が開発され、特別養護老人ホームで実証実験が行われた。その結果、介護負担の軽減は達成され、安全性と利便性の工夫が課題であると報告した。また、衣服の脱着支援についても報告されている[8]。

本論文では、要介護者の自立的な排泄支援を目的とし、排泄自動処理システムを試作した。清拭は、温水洗浄が一般的であるが、ウォーターレスによる清拭を試みた。汚水がでないため、汚物が少なく、回収も容易になる。また、水の管理や汚物容器の洗浄も不要になる。トイレットペーパーを回転ローラに巻き付けて把持し、臀部に押しあてながらマニピュレータの動作により排泄物を自動的に清拭する動作を実現した。また、力覚センサにより人体への手先力を監視した。清拭後にトイレットペーパーを切断する機構を考案した。トイレットペーパーを初回にのみセットすれば、紙がなくなるまで動作の継続が可能である。臀部モデルを用いた清拭実験により、基本動作を確認した。

2. 問題設定

排泄の作業動作を図1に示す。各動作のいずれか一つでも困難な動作があれば一人で排泄をすることができない。本研究では、排泄介護の作業動作の中で要介護者に精神的な配慮が特に必要な排泄後の清拭支援を試みる。片手に麻痺がありトイレットペーパーをうまく切れない、麻痺や痛みがあり清拭が十分できない等の要介護度3および生活自立度B程度の高齢者・上肢障害者を対象とし、「平坦な床を数メートル程度、手すりを使って何とか歩行できる」、「ベッドおよび車いすから手す

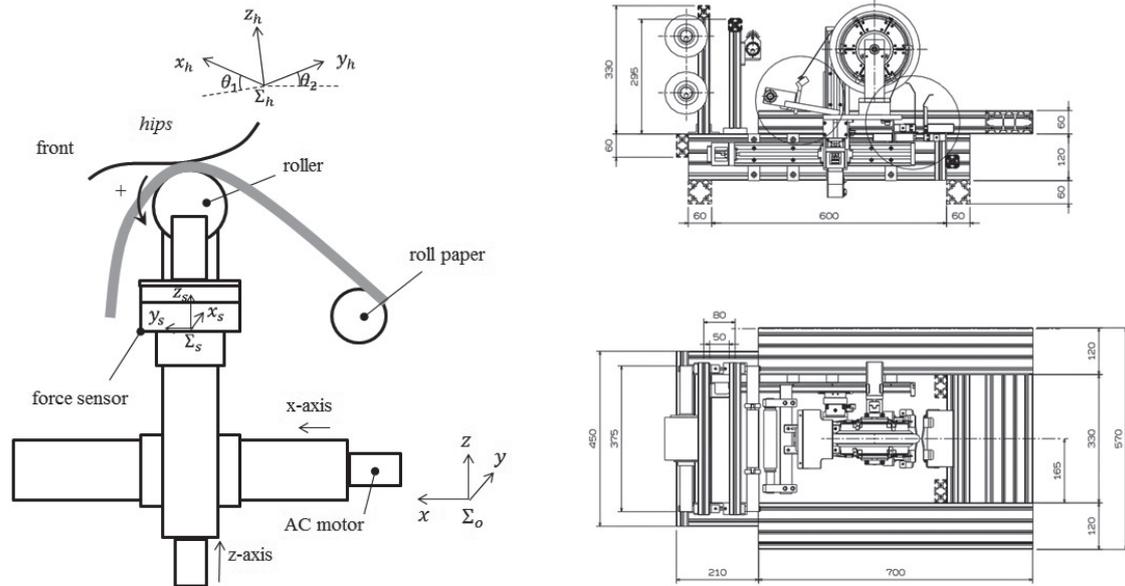


図2 システム概要

りを使用している型の収納器に座ることができる」, 「下着を一人で着脱できる」ことを前提とする。

3. システム概要

システムの概要を図2に示す。トイレットペーパーを回転ローラ(R軸)に巻き付けて把持し、臀部に押しあてながらマニピュレータの動作により排泄物を自動的に清拭する。清拭後は、ローラを回転させて汚物が付着した紙を排出して切除する。本システムは、トイレットペーパーを初回にのみセットすれば、紙がなくなるまで動作の継続が可能である。清拭時の手先力を力覚センサにより取得することができる。

x軸, z軸の直動送りは、ACサーボモータ(50[W])によりボールねじ(ピッチ x軸5[mm], z軸2[mm])を駆動して行う。R軸は減速比1/50のハーモニックギヤ付きACサーボモータ(30[W])により回転駆動する。回転ローラの下には6軸力覚センサ(定格荷重200[N])が取り付けられており、清拭時の力とモーメントを測定する。x軸, z軸の位置はロータリーエンコーダの出力信号をカウンタボードを介してコンピュータに取り込み、D/A変換ボードからサーボドライバにトルク指令を送り制御する。R軸の回転角は、コンピュータからのパルス指令により制御する。力覚センサの信号はUSBを介して分解能14bit, サンプリング周波数6.9kspsでコンピュータに取り込む。

4. 機構

4.1 把持機構

回転ローラの爪でトイレットペーパーを把持した様子を図3(a)に示す。2本のトイレットペーパーをペーパー案内板を通してローラ側に送る。ローラの直径は $\phi 232$ [mm], 幅100[mm], 重量3.8[kg]であり、周囲には $\phi 24$ [mm], 硬度20のウレタンゴムが巻かれている。トイレットペーパーは、 $\pi/3$ [rad]の間隔でローラ両端に配置された長さ40[mm]の爪(透明アクリル板)に挟まれて把持される。ローラの内部機構を図3(b)に示す。図3(c)の平面溝カムにより図3(b)の従動節が上下に駆動され、ローラの両側にある12本の爪が開閉する。爪が図3(c)の位置Yにあるときにトイレットペーパーを把持し、

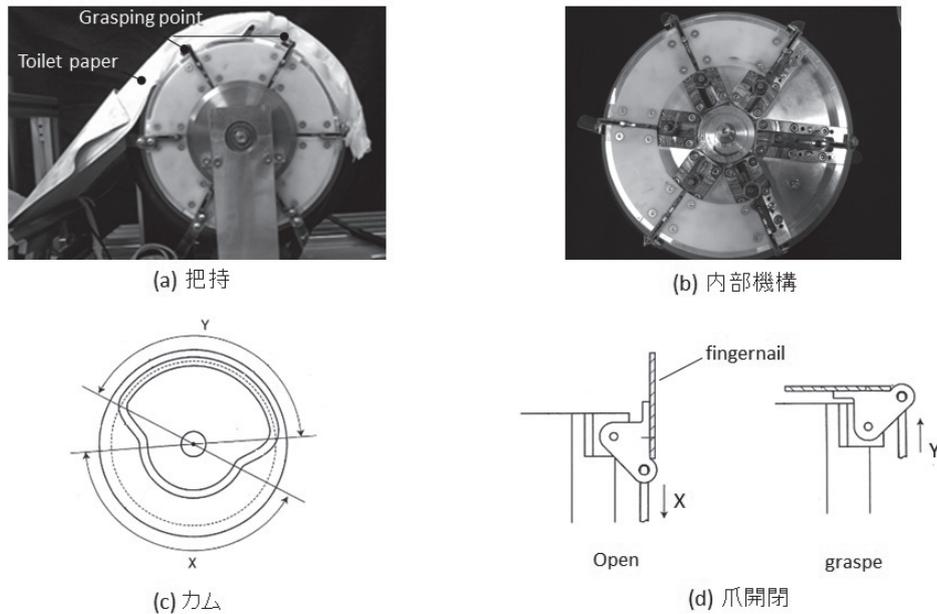


図3 把持機構

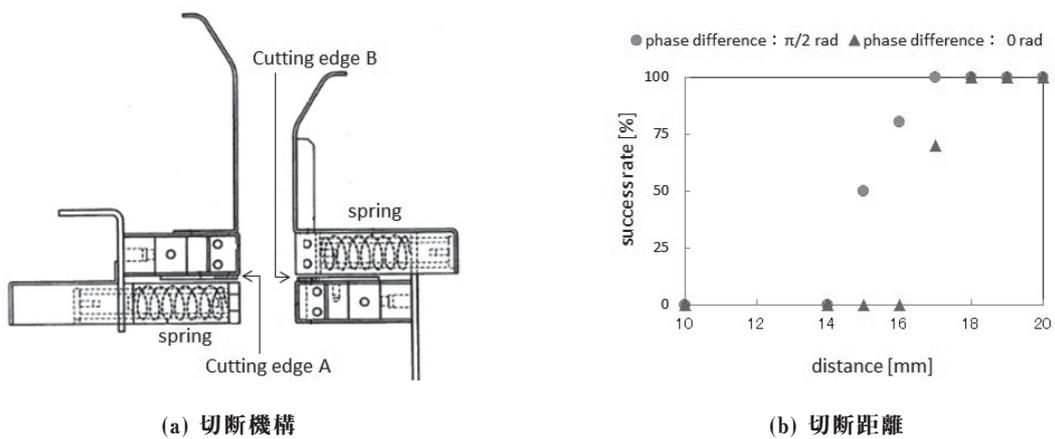


図4 刃位相差と切断距離

ローラとトイレットペーパー間の滑りを抑える。清拭後にローラを $2/3 \pi$ [rad]回転させて汚物が付着した紙の部分を外側に排出する。

4.2 切断機構

トイレットペーパーの切断機構を図4(a)に示す。2枚の刃先を紙の両側に押し当て、せん断により切断する。刃先はのこぎり形状であり、ピッチ幅5[mm]、刃角 60° 、板厚2[mm]、横幅150[mm]である。トイレットペーパーの上下を圧縮バネ(バネ定数 $k_1=0.25$ [N/mm]、 $k_2=1.17$ [N/mm])で押さえて固定し、刃Aを押し込み切断する。

刃先の移動距離と切断率の関係を図4(b)に示す。刃が紙に接触後、移動距離18[mm]で2枚のトイレットペーパー(紙厚0.25[mm])を確実に切断できた。2枚の刃先を横にずらして逆位相にすることで切断距離が短縮された。ここで、刃の隙間 $\delta=1.5$ [mm]、刃Aの移動速度 $V=50$ [mm/s]とした。

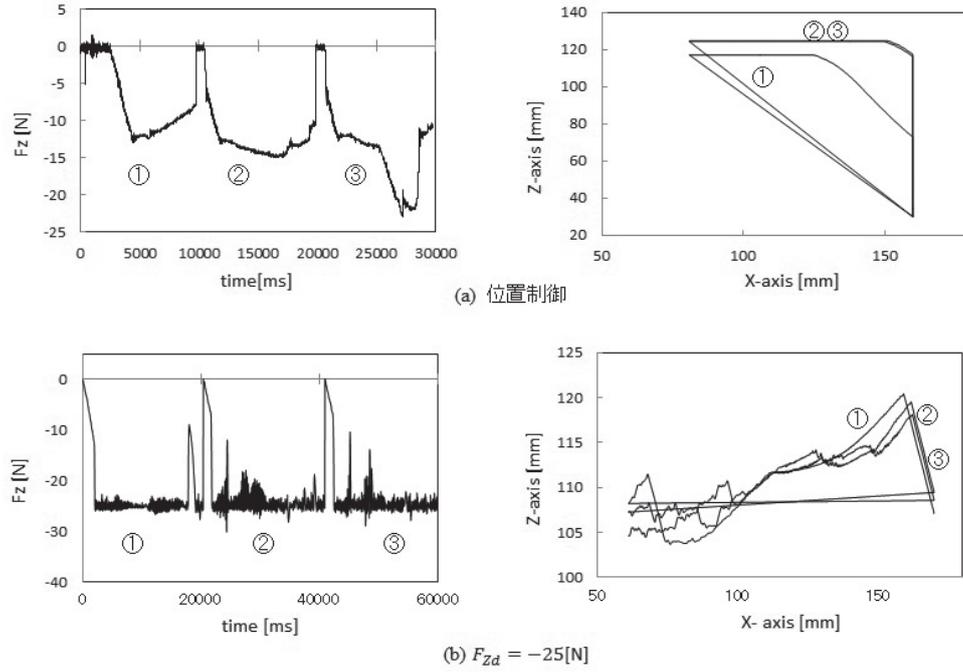


図5 手先軌跡と手先力

5. 動作実験

位置と力のハイブリット制御により簡単な動作実験を行った。臀部モデルには、装着型摘便シミュレータ(坂本モデル社)を使用した。

臀部側面に平行な x_h 軸方向を位置制御による一定速 f_d でローラを移動させ、臀部側面に垂直な z_h 軸方向には手先力 F が一定値 F_d となるように力制御する。制御則を次式に示す。

$$f = \begin{bmatrix} f_x \\ f_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$f = MJ^{-1}(I - S)F_p^* + J^T S F_f^* + g \quad (2)$$

ただし、 f_x 、 f_z は x 、 z 軸の駆動力、 M は x 、 z 軸の慣性行列、 J は xz 座標と $x_h z_h$ 座標の変換行列、 g は重力項、 S は力制御モードの選択行列で $S = \text{diag}(s_1, s_2)$ である。ここでは、 $s = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ とする。作業座標 Σ_h における手先位置と目標値を $r = [x, z]^T$ 、 $r_d = [x_d, z_d]^T$ 、手先力と目標値を $F = [F_x, F_z]^T$ 、 $F_d = [F_{xd}, F_{zd}]^T$ 、ゲインを $K_p = \text{diag}[K_{p1}, K_{p2}]$ 、 $K_v = \text{diag}[K_{v1}, K_{v2}]$ 、 $K_{fp} = \text{diag}[K_{fp1}, K_{fp2}]$ 、 $K_{fi} = \text{diag}[K_{fi1}, K_{fi2}]$ とし、位置制御モードの指令値 F_p^* と力制御モードの指令値 F_f^* を求める。

$$F_p^* = K_p(r_d - r) - K_v(\dot{r}_d - \dot{r}) \quad (3)$$

$$F_f^* = F_d + K_{fp}(F_d - {}^c T_H F) + K_{fi} \int_0^t (F_d - {}^c T_H F) dt \quad (4)$$

${}^c T_H$ は Σ_c から Σ_h の変換行列である。ローラは低速のため加速度やコリオリ力は考慮しない。

ローラが臀部モデルに接触後、水平方向に移動させた場合と手先力の目標値 $F_{zd} = -25$ [N]で清拭したときの手先軌跡と力 F_z を図5に示す。前者は清拭位置により手先力が変動している。後者は臀部の形状に沿って手先が移動し、一定力 $F_z = -25$ [N]で清拭している。臀部モデルに味噌3[g]を付着させた結果、試行回数 $n=3$ 、手先目標力 $F_{zd} = -25$ [N]のときに約80%を清拭できた。

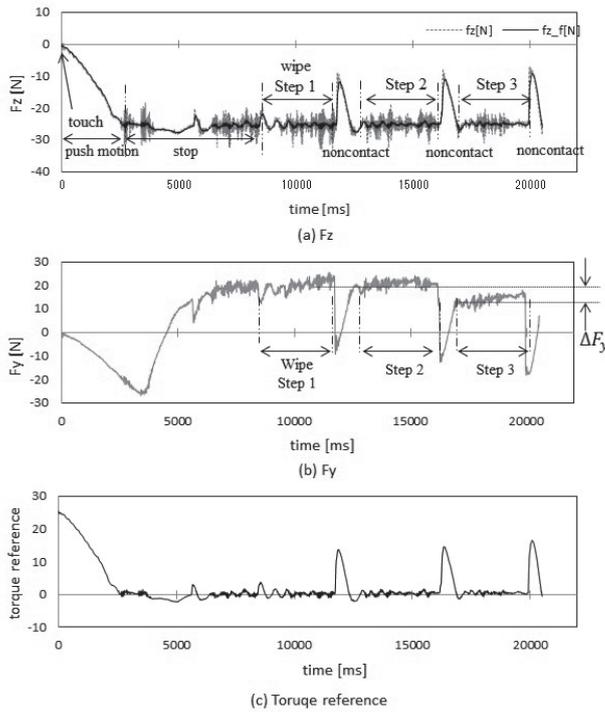


図6 状態遷移

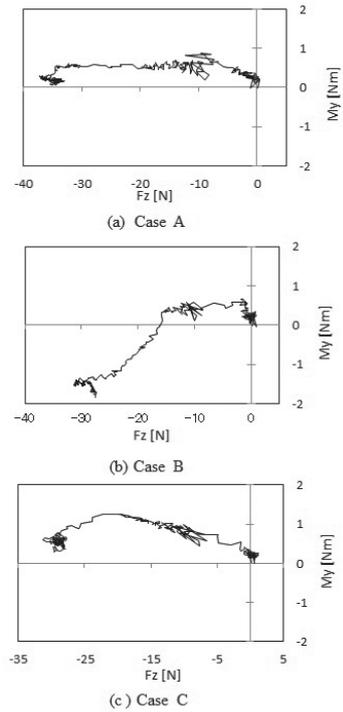


図7 モーメント

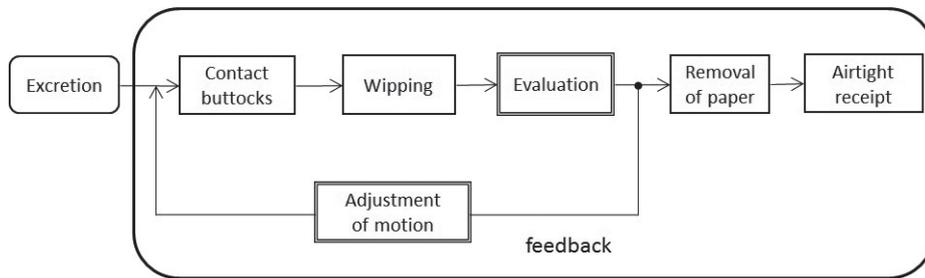


図8 動作計画

6. 状態遷移

力覚情報から状態遷移を考察した。目標手先力 $F_{zd} = -25[N]$ 、 X 軸方向の移動量 $x_d = 110[mm]$ 、速度 $v_x = 5[mm/s]$ 、試行回数 $n = 3$ の結果を図6に示す。ビデオ撮影と力覚情報の照合結果を以下に示す。

【S₁】ローラ・臀部の接触開始，【S₁−S₂】接触移動/ F_z 、 F_y 、 M_x 増加，【S₂−S₃】接触停止/ $F_z = \text{一定}$ ，【S₃−S₄】清拭/ $F_z \cong F_{z_ref}$ ，【S₄−S₅】退避/ F_z 減少，以下、S₃−S₅を繰り返す。

また、Step3の F_y の低下は、ローラと臀部間の滑りに起因するものである。接触時のモーメントを図7に示す。接触位置が臀部中央のときは $M_y \leq 0.5[Nm]$ 、 y_a 軸方向に $\pm 10[mm]$ の位置のときは正負に大きく変化した。

動作計画を図8に示す。清拭の評価を次の動作にフィードバックすることで効率的な拭き取りが期待できる。力覚情報やトイレトペーパーへの汚物の付着状態などから評価方法を導出することが今後の課題である。

まとめ

要介護者の自立的な排泄行為の支援を目的とし、排泄自動処理システムを試作した。本研究では、汚物処理の容易さを考慮して水を使わずに機械的な接触により清拭する手法を試みた。トイレットペーパーを回転ローラに巻き付けて把持し、臀部に押しあてながらマニピュレータの動作により自動的に清拭する動作を実現した。トイレットペーパーの切断機構を提案した。臀部モデルを用いた簡単な動作実験を行い清拭時の力覚情報を確認した。

参考文献

- [1] 熊谷信二 他：“高齢者介護施設における介護労働者の腰部負担”，産業衛生学雑誌，vol.47，no.4，pp.131-138，2005.
- [2] 医療福祉機器技術研究開発(福祉機器)「排泄自立支援システム」最終評価報告書，産業技術審議会評価部会 医療福祉機器技術研究開発(福祉機器)評価委員会，平成11年12月.
- [3] 新エネルギー・産業技術総合開発機構：人間支援型ロボット実用化基盤技術開発「介護動作支援ロボット及び実用化技術の開発」（排泄介護総合支援ロボット「トイレアシスト」の開発）に関する研究 平成17年度～平成19年度成果報告書，2008.
- [4] 山田陽滋：“トイレアシストロボットの開発”，日本ロボット学会誌，Vol.26，No.8，pp.883-884，2008.
- [5] 本間啓子他：“排泄介護総合支援ロボット「トイレアシスト」の研究開発”，バイオメカニズム学会誌，Vol.32,No.4,2008.
- [6] K.Homma, Y.Yamada, E.Ono,S.Lee, M.Horimoto, T.Suzuki, N.Kanehira, T.Suzuki, S.Shiozawa: ” A Proposal of Reduce Buren of Excretion Care Using Robot Technology ” ,Proc. Of IEEE Int. Conf. on Rehabilitation Robotics,pp.23-26,2009.
- [7] 本間啓子他：“介護支援ロボットの検証試験における倫理審査と被験者保護について---排泄介護総合支援ロボット「トイレアシスト」の事例報告”，日本ロボット学会誌，Vol.28，No.2，pp.181-190，2010.
- [8] 萩原義裕他：“トイレにおける衣服脱着支援システム開発の試み”，バイオメカニズム学会誌，Vol.32,No.4,2008.

