

氏 名（本 籍）	ところ　　こう　　し（岐阜県）
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	甲第 866 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	排泄ロボットと新型トイレシステムの開発

論 文 審 査 委 員	（主査）教授　小林　　宏
	教授　佐々木信也　　教授　加藤　清敬
	教授　溝口　　博　　教授　安部　　良
首都大学東京	システムデザイン研究科　教授　久保田直行

論文内容の要旨

宇宙開発の進歩により、宇宙の長期滞在が可能になったが、長期滞在に置いて「排泄」は不可欠である。現在、国際宇宙ステーション(ISS)や宇宙船で使用されているトイレは、地上のトイレの形を模倣した据え置き型の設備となっており、排泄物の尿は吸引し、便は気流でタンクに取り込んでいる。しかしながら、微小重力環境で使用するため、排泄物が落下せず皮膚に付着したままとなることや、トイレに取り込まれず遊離・浮遊してしまい、手作業で回収しなければならない、また、閉鎖空間である宇宙船内で、排泄時の臭いの問題や、臭いを排気するためのファンの音が騒音となる問題もある。以上のように、普段と異なり排泄が困難な状況・環境において、快適な排泄を実現するために解決すべき問題が存在する。そこで著者らは、排泄現場の問題に対応した新しい方式の排泄物処理装置(トイレシステム)の開発を目的とした研究を行っている。

また、特殊な状況・環境での排泄を対象とした新しいトイレの開発において、開発時に参考となり、機能を検討・検証するために、人間と同様な排泄動作を行なう排泄シミュレータ(排泄ロボット)が必要であると著者らは考え、開発を行なった。

一方で、わが国は超高齢社会に突入し、介護が必要な高齢者が増えるなか、介護現場が抱える問題の一つとして排泄介護があげられる。排泄介護では、介護者が被介護者を移乗するために身体の持ち上げるなどの身体的な負担があることに加え、介護者、被介護者双方が精神的負担を感じていることが報告されている。そのため、両者の負担を軽減するようなトイレシステムの開発は、超高齢社会に不可欠な要素であると著者らは考えている。排泄介護を支援するためのトイレやアシスト装置の研究や開発はいくつか行われており、介護者の負担軽減につながっているが、被介護者の自立を支援するものは少なく、長期間使用すると被介護者は廃用症候群を発症し、日常生活動作の低下につながる恐れがある。

本研究室では、寝たきりの人でも、体に装着し、体を持ち上げ、回転して直立させ、歩行を可能にする「自立生活サポートシステム」の開発も行っており、本研究では、このサポートシステムと連携して動作し、排泄介護を支援する新しい介護用トイレシステムの開発を行なった。これらの装置を利用することで、たとえばほとんど寝たきりの方でも、装置によって体を動かし、歩いてトイレに行けるようにすることを目指している。そして最終的には、生きている限り寝たきりになることなく、正しい姿勢で歩行をし、座って排泄ができることで、生活の質(QOL)を高め、人間の尊厳を維持できるようにすることを目的としている。

以上より、本論文では以下の3項目について取り扱う。

- 1) 人間の排泄機構を模擬した排泄シミュレータ・排泄ロボットの開発
- 2) 宇宙船での排泄問題を解決する宇宙用トイレシステムの開発
- 3) 排泄介護を支援する介護用トイレシステムの開発

本論文の内容を以下に概説する。

第1章では、まず本研究の経緯として、宇宙船内で実用性のある新しいトイレシステムの開発と、宇宙実験のデモ装置として排泄ロボットの開発から本テーマが始まり、現在は介護用のトイレシステムを行なっていることを述べた。その宇宙における排泄と介護現場における排泄の現状と問題点を説明し、また、現在販売や研究開発が行われている介護支援装置について説明した。そして、これらのことから本研究で扱う「排

排泄ロボット」,「宇宙用トイレシステム」そして「介護用トイレシステム」の開発についての目的を明らかにした。

第2章では、人間の排泄機構を模擬した排泄シミュレータである排泄ロボットの開発を行なった。本装置は人間の排便に関わる骨盤部周辺の器官やそれらの形状・動作を再現した原寸大の人体部分モデルである。まず人間の排泄機構について調査し、排泄に関係する器官や筋肉の構造や動作について確認した。そこから、排泄に大きく関わる器官として、肛門括約筋、恥骨直腸筋、直腸、そして腹圧の動作を機構により再現することで、便が漏れないようにする排便抑制動作と、便を排出する排便動作を排泄ロボットで行わせることにした。腹圧については、文献より人間が息んだ時の直腸内圧を参考に、排泄ロボットでも直腸内の圧力を測定し、7.35kPa 程度に調整した。排泄の動作は、4つの段階に分けて制御し、模擬便を使った動作実験で各機構の動作確認を行った。模擬便は4種類の硬さの異なるものを製作し、それぞれ排便動作で排出を行った。実験の結果、最も硬い便が排出されず、またその他の便についても、排出量が直腸内に入れた模擬便の量 200g に比べ、半分程度あるいは半分以下であり、十分に排出が行われなかった。そこで要因を調べるために、各動作機構をそれぞれ動かして動作の検証を行った。まず肛門括約筋と恥骨直腸筋の動作機構では、便の排出の抑制が行われ、動作の再現が出来ていたことが確認できた。しかし直腸と腹圧の動作機構については、どちらも動作時に直腸内の模擬便が、肛門側だけではなく、S 状結腸側である上方向にも移動しており、そのため大半が肛門から排出されず残っていることが分かった。その為、直腸の動作機構について、改良案を思案した。

第3章では、宇宙船内の排泄時の問題となっている、便が皮膚に付着したままとなることや臭いなどの問題から、それらを解決する機構・方法を提案し、新しいトイレシステムの開発と使用実験を行なった。まず装置を臀部に密着させる臭いの拡散を防止すること、そしてローラで袋を閉じ、付着した便を取り除く開閉機構を提案し、それらを取り入れた体に取り付けて使用する装着型トイレの製作、および検証実験を行った。また装置を臀部に取り付ける際、密着性を向上させることを目的に、吸引器を

使った吸着機構を提案し、装着型トイレ同様、検証実験を行った。検証実験により、開閉機構のローラが臀部に押され閉じなくなる、吸着機構では臀部に吸着した密着部分であるカップが体を動かすと外れてしまうなどの問題点が出てきた。そのため、臀部の形状を考慮する必要がある事がわかった。

そこで、3D スキャナを利用して、臀部の形状・動作の計測を行った。重力の影響を考慮して、座位、四つん這い、仰向けの 3 つの姿勢について計測を行い、それぞれ 3 次元的な形状・動作のデータを取得することで、各姿勢での特徴を知ることが出来た。息むことで臀部が押された時の動作範囲、動作形状は、姿勢に関係なく骨盤底の形状、尾骨と坐骨の配置に影響していることがわかった。そして押し出された量である変位量については、まず重力によって息む前から臀部が押し出されていると予想される座位状態と息んで腹膜を直腸に押し付けるのが難しい仰向け状態には、肛門部分のみ大きく変化し、その他も部分は変位量が小さくなっていた。四つん這い状態は、重力による変化がないため、息みによる変化が大きく出ていた。

第 4 章では、排泄介護を支援する新しい介護用トイレシステムの開発について述べた。本トイレシステムでは、利用者が便座に座った後、自動で排泄物を収容するトイレユニットを臀部に密着させることで、臭いが拡がることを防ぎ、確実に排泄物を回収できることに加え、排泄後は肛門の汚れを装置によって清拭することで、体が不自由な方にでも自立した排泄を行うことができる。肛門の位置を特定するため、肛門とその周りの温度差を利用して、赤外線サーモカメラを用いた肛門検出システムを開発し、その検出精度を確認する評価実験を行ったところ、誤差の最大は 5.2mm であった。これはカメラの画素の 1.2pixel 程度であり、また検出システムによって臀部に密着させる器具のサイズは 100~110mm×125~135mm であるため、十分に許容であると考えられる。この肛門検出システムと、トイレユニットを肛門位置まで運ぶ移動機構により、自動でトイレユニットを臀部に密着させることを可能にした。トイレユニットでは、臀部との密着部の形を、骨盤の形状の違いから男女別に製作し、また排泄物を入れる袋を熱による圧着で密閉出来るようにした。

次に、自動で肛門を洗浄する清拭機構を製作、おしり拭き用のウェットティッシュ

を押し付けることで肛門の汚れを拭き取れるようにした。さらに、泡を肛門に付着させることで、汚れを取れやすくなるなどの効果があると考え、泡生成機構を導入して排泄の前後に泡を付着出来るようにした。この清拭機構と泡を使った肛門の洗浄方法について、模擬臀部および模擬便を使用した清拭実験を行い、泡の有効性の評価を行った。清拭実験では、模擬臀部の肛門に模擬便による汚れを付着させ、清拭機構による清拭動作を行って汚れを拭き取らせた。そして、汚れを拭き取った清拭回数と模擬臀部に残った汚れの残留率を調べ、泡を使わない場合と泡を使った場合とで比較を行った。その結果、泡を使わなかった場合の清拭回数は平均 16.0 回、残留率が平均 4.12% となり、泡を使った場合の清拭回数は平均 6.4 回、残留率が平均 1.5% となった。したがって、泡を使った場合の方が、清拭回数と残留率がともに小さくなっており、少ない拭き取り回数でしっかりと汚れを拭き取っていることが分かった。これは泡によって、便が剥離しやすくなり、また水溶してウェットティッシュに吸着しやすくなったからだと推測される。

論文審査の結果の要旨

宇宙開発の進歩により、宇宙の長期滞在が可能になったが、長期滞在に置いて「排泄」は不可欠である。宇宙船での排泄は、微小重力環境で使用するため、排泄物が落下せず皮膚に付着したままとなることや、閉鎖空間であるため、排泄時の臭いの問題や、臭いを排気するためのファンの音が騒音となる問題もある。一方で、わが国は超高齢社会に突入し、介護が必要な高齢者が増えるなか、介護現場が抱える問題の一つとして排泄介護があげられる。排泄介護では、介護者が被介護者を移乗するために身体の持ち上げるなどの身体的な負担があることに加え、介護者、被介護者双方が精神的負担を感じていることが報告されている。以上のように、排泄時に様々な問題がある状況・環境において、快適な排泄を実現するために解決すべき問題が存在する。

このような背景のもと、本研究は、排泄現場の問題に対応した新しい方式の排泄物処理装置(トイレシステム)の開発を目的として研究が行われたものである。また、様々な状況・環境での排泄を対象とした新しいトイレの開発において、検討・検証をすることを目的とした、人間と同様な排泄動作を行なう排泄シミュレータ(排泄ロボット)の開発についても同様に研究が行っている。

以上より、本論文では以下の 3 項目について取り扱っている。

- 1) 人間の排泄機構を模擬した排泄シミュレータ・排泄ロボットの開発

2) 宇宙船での排泄問題を解決する宇宙用トイレシステムの開発

3) 排泄介護を支援する介護用トイレシステムの開発

本論文は全5章から構成されている。各章の内容を以下にまとめる。

第1章は序論であり、本研究の経緯や背景、関連した製品や研究の概略、そして本研究の意義と目的が述べられている。

第2章では、上記1)の項目を取り扱っており、人間の排泄機構を模擬した排泄シミュレータである排泄ロボットの開発が行われた。人間の排泄に関係する器官や筋肉の構造や動作について調査し、排泄に大きく関わる器官として、肛門括約筋、恥骨直腸筋、直腸、そして腹圧の動作を機構により再現することで、便が漏れないようにする排便抑制動作と、便を排出する排便動作を排泄ロボットで行い、模擬便を使った動作実験によって動作再現できることが示された。しかし、模擬便の排出が十分に行われない場合があり、その要因を調べ、動作機構の改良案が示されている。

第3章では、上記2)の項目を取り扱っており、宇宙船での排泄問題を解決する宇宙用トイレシステムの開発が行われた。ここでは、便が皮膚に付着したままとなることや臭い問題に対する解決案として、装置を臀部に密着させる臭いの拡散を防止すること、そしてローラで袋を閉じ、付着した便を取り除く開閉機構を提案し、それらを取り入れた装着型トイレの開発と検証実験が行われた。また装置と臀部の密着性を向上させることを目的とした、吸引器を使った吸着機構についても同様に検証実験が行われ、それらの結果、臀部の形状を考慮する必要がある事が示された。そこで3Dスキャナを利用した臀部の形状・動作の計測が行われ、形状データや排便時の臀部形状動作などの特徴が示された。

第4章では、上記3)の項目を取り扱っており、排泄介護を支援する新しい介護用トイレシステムの開発が行われた。本装置は、利用者が便座に座った後、自動で排泄物を回収する器具を臀部に密着させ、臭いの拡散を防ぎ、排泄後は肛門の汚れを装置によって自動で清拭することで、体が不自由な方にでも自立した排泄ができることを目的とし、開発が行われた。器具を臀部に密着させる際、肛門の位置を特定するため、赤外線サーモカメラを用いた肛門検出システムを開発し、評価実験により検出精度が十分に許容であることが示された。また自動で肛門を洗浄する清拭機構を開発し、泡を使った洗浄方法を提案して、その泡の有効性を検証実験により示された。

第5章は結論であり、得られた成果・地検の総括を行うとともに、今後の課題についてまとめられた。

本論文は、宇宙開発と介護問題という社会的に極めて重要な技術・案件に対して、その扱いが極めて繊細な排泄に焦点を当て、密着型のトイレシステムという新しい形態の問題解決方法を提案するもので、世界的にも独創的なものであると共に、広く社会に貢献するものであり、機械工学を駆使して生活の質の向上に寄与するところ極めて大である。

以上より、本論文が博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認める。