

自宅で高齢者とともに生活するバルーンジャンプロボットの研究

Study on Balloon Jump Robot who lives with elderly person at home

○ 豊田希 (横浜国大) 西田麻美 (関東学院大)

朴権永 (横浜国大) 藪田哲郎 (横浜国大)

Nozomi TOYODA, Yokohama National University

Mami Nishida, Kanto Gakuin University

Kwonyoung PARK, Yokohama National University

Tetsuro Yabuta, Yokohama National University

Abstract: Nowadays, many kinds of communication robots have been developed for elderly people; they inescapably become large and heavy to enhance their performance. The huge size and weight are factors in providing users a feeling of fear (mental reason) and hindering users' daily life (physical reason). Hence, in order to spread of a life-supporting robot into standard Japanese home, we created a compact and light-weight balloon jump robot using buoyancy. The design concept is the function for elderly people to live independently by doing walking and spending every day together. Based on the result of questionnaire survey, we made the first robot composed of a balloon filled with helium and jumping mechanisms. In the first-step experiment using one actuator, it achieved a jump height of up to 25 cm.

Key Words: Life-supporting Robot, Balloon mobile robot, Buoyancy, Aged care, Soft body

1. はじめに

従来の介護ロボットは主に身体がほとんど動かない高齢者を対象として、パワーアシスト型のボディが頑強なロボットが研究開発されているが、一般家庭への投入にはロボットが重厚長大で人間と人との共存が難しいという課題がある。一方で、小型で柔らかいセラピーロボットの研究も盛んに行われている。例えば、産総研のメンタルコミットメントロボット「Paro」(長さ57cm, 重さ約2.7kg)は既に1,000台以上の販売実績があり、心理的効果, 生理的効果, 社会的効果があると実証され, 高齢者や障害児, 被災者のメンタルケアに利用されている。しかし, それらのセラピーロボットも触覚と静的な視覚によるセラピー効果を期待した利用にとどまっている。介護ロボットの研究動向を図1に示す。

在宅介護の場合は, 自力で行動できる被介護者に対しては極力自立して生活する環境作りが重要であり, 高齢者の生活機能の低下を遅らせるためにも自発的で継続的な運動は非常に有効な方策である。さらに, 独居老人と三世帯世帯で暮らす老人を比較すると, 他人との関わりの度合いが異なり, その結果, 生活スタイルは活発さという面で大きな違いが表れることから, 外界への興味関心, 物事に対する意欲が見かけ年齢を左右する大きな要因と考えられ, いかに生き生きと楽しく生活できるかが重要である。その観

点から, 軽度な要介護状態の高齢者の身体的なトレーニングを目的として, ロボットと一緒に行動することを想定した場合には, 認知機能が低下した利用者の視認性を高めるためにダイナミックな動きが重要と思われる。しかし, 現在, 小型で柔らかくダイナミックな運動ができるセラピーロボットの研究は進んでいない。

柔らかいロボットに関しては, 西田らは形状記憶合金を利用した二足歩行型の柔軟ロボットの研究が行われている。その発展形として, 2010年より柔軟アクチュエータに風船を付けたバルーン歩行ロボットの研究がスタートしている。

本研究では精神的にエンカレッジし, 身体的にトレーニングすることを利用目的としたバルーンジャンプロボットの研究を行う。先行研究では安全面を考慮して柔軟な部材のみで構成された低コストの軽量小型ロボットの研究をしているので, 本研究ではさらにジャンプ機能を付加することをポイントとし, ダイナミック運動により柔軟ロボットの可能性を広げたいと考えている。本論文では, バルーンジャンプロボットの設計コンセプトおよび基礎実験の結果に関して報告する。

2. 在宅介護用ロボットに求められる仕様

2-1 小型であること

介護施設での利用とは違い, 一般的な家庭は手狭であるために, ぬいぐるみサイズの適当と考えられる。これは, ロボットの普及状況からもわかり, 先行研究⁽¹⁾⁽²⁾でもロボットの高さは50cmから100cm程度が良いというアンケート結果が報告されている。

2-2 威圧感がないこと

高齢になるにつれて, ロボットへの馴染みが薄く, 硬いボディの大きなロボットには抵抗感がある。最近の介護ロボットの形状を見ても, 見た目が可愛らしく, 素材が柔らかいことが重要である。

2-3 手がかからないこと

介護ロボットの試験導入に関わった介護従事者からHALとParoの実用例を紹介するセミナーで, “どんなに素晴らしいロボットでも介護現場は常時人手不足なので, 調整などに手間がかかるようだと普及は難しいだろう”と聞



Fig. 1 Map of nursing care robot

いた。今回対象としている在宅介護、とくに老老介護の家庭においてはトイレに付き添う行為でさえ、回数が増すにつれて億劫になり、時として聞こえないふりをするという声を耳にし、非常に辛い現場であることを実感する。そこで、完全なバリアフリーになっていない家庭でも使えるように障害物回避を自的に行い、メンテナンス性の良いシンプルなロボットが必要とされている。

3. バルーンロボットの研究動向

これまであまり研究されてこなかったバルーンロボットだが、まずはその研究動向を分析したい。

3-1 バルーンロボットの例

3-1-1 ケーブル駆動バルーンロボット

災害時の上空からの情報取得を目的として開発されたケーブル駆動のバルーンロボット⁽³⁾⁽⁴⁾で、人間の居場所を測定する電磁波を利用した ESPAR アンテナを利用し、5mの誤差で探知できたと報告された。浮力はアンテナの浮上利用される。

3-1-2 バルーンロボット"InfoBalloon"⁽⁵⁾

火の見やぐらのように集落を見渡すことをイメージして開発された定置係留型の情報収集装置である。

3-1-3 人型バルーンの空圧による変形機構⁽⁶⁾

人型風船の内部にアクチュエータを挿入し、空圧でわきの下の蛇腹の角度を制御し、手を上下させ、ロボットに表現を与える。

3-1-4 壁面清掃ロボット⁽⁷⁾⁽⁸⁾

建物のガラスや壁面を清掃するロボットとして、頑強な壁面昇降ロボットの研究が行なわれているが、転落時の安全策に課題があり、安全性を高めてヘリウムガス風船に走行用のロボットを付けた。

3-1-5 バルーンによる手術支援⁽⁹⁾

子宮内での手術の際、胎児を支持したい位置にマニピュレータを挿入し、適切な位置でバルーンを膨らませ、胎児の支持を行い、風船の柔軟性を利用している。

3-1-6 触覚ディスプレイ⁽¹⁰⁾

遠隔手術時の触覚提示に利用を考え、風船型の空気アクチュエータを触覚ディスプレイとして最適設計したもの。8-10Hzで駆動すれば正解率が9割以上となることを示している。

3-2 バルーンロボットの研究動向のまとめ

前述の先行研究と比較して、本研究でターゲットとしているのは、形状不変で浮力を利用しつつ、医療介護分野で使える動的なロボットであり、これまで研究されてこなかった分野である。介護施設では、例えばバルーンというふわふわで丈夫なボールを使って、バレーボールをする遊びを取り入れており、柔らかい動きなので、誰にでもできるという気軽さから、みんなが夢中になって身体を動かしているという報告もある。また、料理や音楽、風船バレーなどの作業を高齢者に行なってもらった結果⁽¹¹⁾、認知症高齢者の QOL を測ったところ、半数以上の高齢者が風船バレーを好み、その要因は頭を使わずに楽にできるからということであり、バルーンの介護現場での有用性は高い。

4. バルーンジャンプロボットの特徴

4-1 設計コンセプトの概要

これまで、動的な高齢者のパートナーロボットほとんど行われておらず、本バルーンジャンプロボットのダイナミック運動の実現は、①ロボットとの協調運動による高齢者の運動機能低下に対する身体的なリハビリ効果の解明、②ロボットへの接触行為による精神的なセラピー効果の解明、③ロボット運動の視覚的なセラピー効果の解明、④高齢者

の外界への興味関心度を高めるための効果的な運動形態の解明につながり、今後のロボットによる介護の在り方の新たな分野の開拓につながると考えている。

4-2 ジャンプの効果

4-2-1 視認性の向上

つまずきによる転倒や交通事故の増加からもわかるように、高齢者は視野が狭く、認知能力が低下しているので、タイヤ駆動や二足歩行のロボットでは直線的な運動が一般的であり、ロボットの動きが捉えられないという懸念がある。そのためにも図2のようにジャンプを伴う移動により、ロボットの動きを拡大し、認識しやすくする必要がある。

4-2-2 ダイナミック運動のセラピー効果

介護従事者への聞き取り調査の結果、高齢者施設でなじみのある風船バレーにおける風船のリハビリ効果は高く評価されており、風船運動の加速度に効果があるのではないかと私の私見が得られた。一般的、上下にふわふわと跳ねることで楽しい、わくわくする印象があり、利用者のエンカレッジ性が高まる。また、自由落下時のゆったりとした優雅な動きにも癒し効果が期待できる。同時に、利用者の視線が上がり、歩行姿勢が良くなるのではないかと期待でき、目を頻りに動かすことで、目の健康維持にも外界への関心度の高まりにも効果があると考えている。さらに、柔らかいロボットなので、ジャンプ中にも接触可能であり、高齢者の接触によるリハビリ効果のみならず、ダイナミック運動の協調動作から得られるセラピー効果も期待できる。

4-2-3 活動エリアの高低差の克服

利用者の着座時にはロボットは机上で停留し、移動時には床に降りて一緒に行動することを想定すると、停止時と移動時とで活動エリアに高低差(テーブルと床)がある。本ロボットの利用目的上、自力でそれを克服する必要があり、本ロボットにはテーブルへのジャンプ機能が必須となる(図3)。また、本ロボットは落下による破損を心配する必要がないので、外乱によって机へのジャンプが失敗したとしても何度もトライできるというメリットを持っている。ジャンプ機能があることで、階段の昇降のリハビリのパートナーとしても利用でき、更に運動機能の高い高齢者にも利用可能である。また、完全にバリアフリー化していない住宅に対しては、多少の障害物は簡単に乗り越えられるの

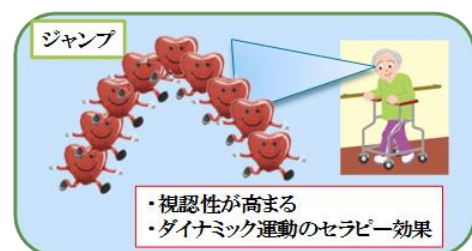


Fig. 2 Image of balloon jump robot

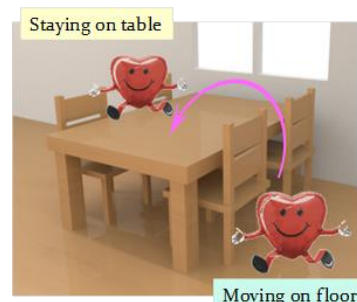


Fig. 3 Spread of working area

で、本ロボットにおいて必要性の高い主要機能である。

4-3 柔らかな支援方法

これまでの介護ロボットは主に四肢が動かない、または非常に動きづらい高齢者に対して、ハード面で行動をパワーアシストする、または出来ない作業を代行するということを目的として、研究開発が行われてきた。それゆえロボットは重厚長大で一般的な利用者には共存しにくいものであった。それに対して、本ロボットは、まだある程度動ける高齢者を対象に、心身共に支援するということを目的としている。ロボットは単独で移動できれば良いため、大きな力を必要としない非転倒型のロボットのため、非常に小型である。柔らかな支援で利用者の内なる力を発揮させ、能動的な動作の動機づけとなるロボットを目指している。

4-4 柔らかい構造

従来のロボットは転倒時の故障への対策として頑強な構造にせざるを得ないが、一般的に高齢者は硬い素材で作られたロボットには抵抗感を持っている。一方で、西田らの提案の本ロボットの構造は風船の浮力で姿勢を維持できるため、小型軽量のアクチュエータで動かせば、外見はほぼ風船そのものであり、柔らかいロボットとなる。風船は老若男女誰にとっても楽しめる、癒されるものであり、家庭内で使われるロボットの形状としては最適と考える。また、飛び上がり時とその後の自由運動の状態では速度が様々に変わり、緩急合わせた動きが利用者の目を引き、机上での停止時にも風に揺らめくので、アクチュエータ OFF でも癒し効果が出せるという魅力もある。

4-5 新たなセラピー効果

サポート方法としては、パワーアシストするのではなく、ダイナミックなロボットの動きを視覚的に与えることで精神的にやる気を出してもらいたいと考えており、動きの見せ方としては画面ではなく、実際のロボットと一緒に行動し、接触を図ることで、外界との協調意識が生まれ、精神的なセラピー効果となる。

本ロボットの動きは、アクチュエータにより床面から反力を受けて飛び上がり、その後は斜方投射に外乱(風)を受けたものとなり、不確実性が高い。これまでのロボットでは、確実に動くと言うことを重視してきたことから正反対の動きとなるが、この不確実性は揺らぎとなり、セラピー効果が期待でき、このようにダイナミックで、柔らかく、揺らぎを持つロボットはこれまで研究されていない。

5. 具体的な実現方法

5-1 ジャンプ機能

高齢者が動きを認識できる程度の上下運動が必要であり、床からテーブルまで自力で飛び上がるには最低でも 65cm 程度の高さが必要である。

その方法としては、ばねによる反力や柔軟材の復元力の利用などが考えられる。

(1) ばね式

ばねの一端に部材を付け、それをモータに接続したワイヤで引き上げる。モータ OFF 時にばねが反力を発生させる方式。z 軸方向のジャンプに加え、x 軸方向にも進む必要があり、反力を所望の方向に補正するためにもう一つモータが必要となる。

(2) 復元力式

不変形部材を支点として、プラスチック薄板の一端をモータにより引き上げ、モータ OFF 時に薄板の復元力により跳ね上がる方式で、構造によっては、xz 方向に反力を発生できるため 1 モータで 2 軸の方向制御ができる。

風船に取り付けるには、軽量でコンパクトな構造が求め



Fig. 4 Structure of balloon jump robot

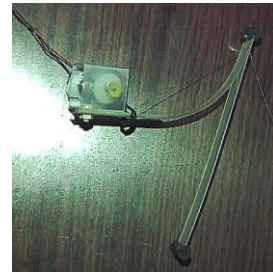


Fig. 5 Maximum deformation of balloon jump robot

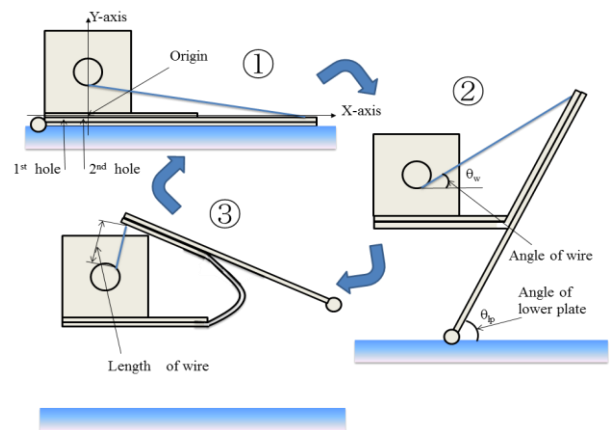


Fig. 6 Mechanism of balloon jump robot

られるので、復元力式でアクチュエータの一号機を設計、製作した。構造は図 4 のように超小型モータとプラスチック薄板、ワイヤ、ゴムで構成されている。写真は片足用であり、ロボット一機に対しては左右に同型を二つ取り付ける。現在のアクチュエータの質量は、二台で 14g である。モータによる上板変形時の様子を図 5 に示す。

図 6 に示すようにモータがワイヤを引っ張り、突っ張り板を支点として、上板が下板とともに変形する。この際、モータの引張力により薄板の変形の度合いは制御可能である。次にモータを OFF にすると下板の末端のゴムを支点に摩擦力が発生し、モータ部が浮き上がり、モータ部にかかる慣性力の影響でロボット全体がジャンプする。一連の動きは、支持部からの斜方投射と考えることができ、モータへの指令電圧の調整で、ロボットの軌道を制御可能である。

5-2 サイズ

日中、座っていることの多い利用者には、テーブルから目の高さ 20~40cm 程度が適当と考えられる。「Paro」もテーブルや膝に置いて触れ合って利用されるため同程度のサイズである。先行研究でも、ロボットの高さは 20cm, 50cm, 100cm が好ましいとアンケートの結果が得られており、それぞれの数値には下記のような意味があると考えられる。

20cm…テーブルに置いた時：机から目の高さ

50cm…床に置いた時：視界に入り、存在感がある

100cm…床に置いた時：座った利用者の目の高さ

本研究では、机上でのマスコットのロボットとしての

利用も考え、基準サイズを30cm~50cmとし、床に置いた時に利用者の目の高さまでジャンプすることで視認性を高める工夫をする。

5-3 構造

ヘリウムガスを充填した風船にアクチュエータを付ける構造にすることで、浮力により姿勢を常に維持できる。しかし、風船は姿勢維持には有効であるが、ジャンプする際の妨げとなる可能性が大きいので、外乱に対しては構造及び制御の面で強化する必要があり、実験的・解析的に検討を行う。

6. 基礎実験

本ロボットは浮力と重力、アクチュエータ発生力が複雑に絡み、メカニズムの解明が非常に難しいシステムになっている。そこで、第一段階として、簡易的な電子回路(可変抵抗とスイッチ, 9V 乾電池)を作製し、手動で ON/OFF 切り替えを行うことで、挙動を調査した。

アクチュエータの上板, 下板, モータ部の取り付け位置をチューニングしたところ, 図7のようにアクチュエータ1台装着時に約25cmの高さでジャンプさせることができた。ここでは浮力をアシストするためにバルーンを二つ利用しているが, 今後アクチュエータ部を軽量化することで, 一つのバルーンで動かせるようにする予定である。

本ロボットの利用目的は高齢者のガイドであるので, 家庭内で直進および方向転換ができ, 軽量でシンプルであるという必須の要件もあることから, 本研究では同型の2台のアクチュエータを用いて, 制御信号の調整により回転する方法を採用した。そこで, アクチュエータを2台にして実験したところ, 重量増加により極端にジャンプ高さが低下し, バルーン3つ取り付けたとこで, 約15cmのジャンプが得られた。

7. まとめ

次世代在宅介護ロボットとして, 精神的にエンカレッジし, 身体的にトレーニングすることを利用目的としたバルーンジャンプロボットの構想および基礎実験を行った。モータによりプラスチック板を変形し, 引張力解放時の復元力を利用した柔軟アクチュエータを作製した。実験の結果, 3つのバルーンを利用して, ジャンプ高さ約15cm得られた。最終目標はテーブル面へのジャンプであり, 65cm程度のジャンプ高さが必要であるため, アクチュエータの軽量化とともに, 今後は, 復元力式のみならず, 床面を蹴りあげる反力発生に最適な機構の検討を行っていく。また, 二つのアクチュエータによる直進安定性, コーナーでの方向転換やUターンも含めて, 単純な機構を制御により高機能化していこうと考えている。

バルーンロボットは多くのデメリットを有するが, 最大のメリットである浮力により, これまでに検討すらされて

こなかった柔軟機構の研究という新たな可能性を含んでいる。通常, 前後方向や上下運動では一方向に1つのモータを用いていた。本研究では前方斜め上方に飛び上がる運動が必要とされ, 一方では軽量化のためにより少ない構成要素にすることが重要であった。今回報告したように機構を工夫することで1つのモータで斜め方向の運動ベクトルを作り出すことができ, 非常に魅力的なメリットであると考えている。

介護というサービスにロボットが参入するには, 利用者のニーズをよく聞き, ニーズに合ったものづくりが必須であり, 今後は介護現場でのフィールド調査を並行して行い, 研究を進めていきたい。

謝辞

本論文の調査に際しては関東学院大学機械設計研究室の神保友美君の協力を得た。同君に感謝する。

参考文献

- (1) 神保友美, 西田麻美: 浮力を応用したバルーン歩行ロボットの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(Robomec 2011) 講演論文集, 2A1-H03, 2011.
- (2) 神保友美, 西田麻美, 女性や高齢者のための生活支援移動ロボットの設計
- (3) Development of the balloon-cable driven robot for information collection from sky and proposal of the search strategy at a major disaster, F. Takemura, S. Tadokoro, Proc. International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2005
- (4) F. Takemura, et al.: Development of the balloon-cable driven robot for information collection from sky and proposal of the search strategy at a major disaster
- (5) InfoBalloon: Informationally Supporting Balloon System for Sufferers in Wide Area Disaster. M. ONOSATO, Proceedings of the Annual Conference of the Institute of Systems, Control and Information Engineers, 1999
- (6) Balloon-Shaped structure driving apparatus and discharge/suction selector VALVE device used for the balloon-shaped structure driving apparatus, US patent 6,447,361 B1, 2002.
- (7) Elkmann, N., et al., Innovative service robot systems for facade cleaning of difficult-to-access areas, 756 - 762 vol.1, IROS 2002
- (8) Silva, Manuel F., and JA Tenreiro Machado. "A survey of technologies and applications for climbing robots locomotion and adhesion." Climbing and Walking Robots, Miripour, B. (Ed) (2010): 1-22.
- (9) Hongen Liao, Hirokazu Suzuki, Kiyoshi Matsumiya, Ken Masamune, Takeyoshi Dohi, Toshio Chiba: Fetus Support Manipulator with Flexible Balloon-based Stabilizer for Endoscopic Intrauterine Surgery, 9th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention -- MICCAI 2006, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 4190, pp.412-419, Copenhagen, Denmark, Oct. 2006.
- (10) King, C.H., Optimization of a Pneumatic Balloon Tactile Display for Robot-Assisted Surgery Based on Human Perception, Biomedical engineering vol55, no.11, 2008.
- (11) 認知症高齢者に対する作業の効果—作業別の主観的QOL比較—, 土屋景子, 川崎医療福祉学会, vol.20, No.1, 2010, 203-211

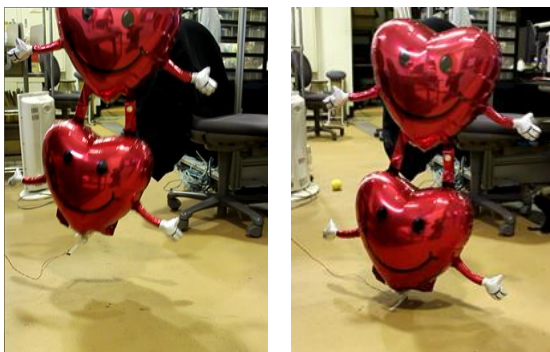


Fig. 7 Experiment of balloon jump robot with two balloons