研 究

介助用床走行式リフトに関する総合評価

井 野 秀 一* 泉 隆**
高 橋 誠** 伊福部 達**

An Evaluation of a Locomotive Lifter for the Disabled

Shuichi INO*, Takashi IZUMI**,

Makoto TAKAHASHI** and Tohru IFUKUBE**

***Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University, Sapporo

ABSTRACT

Recently, how to help bedridden people is becoming an urgent problem as the number of aged people is rapidly increasing in Japan. Especially, locomotive lifters and robots for the disabled are needed in order to transfer patients from a bed to a wheel chair, a bathtub, a lavatory and so on.

This paper describes an evaluation method of the locomotive lifters which can be applied to Japanese home and to the bodysize of Japanese people. A prototype lifter made in Denmark was reformed to adapt it to such Japanese circumstances. Next, mechanical stability and convenience in handling it were evaluated from the viewpoint of mechanical engineering and human engineering. Through this evaluation, it was found that the reformed lifter was useful in lifting and transferring Japanese patients inside hospitals.

Key Words

Aids for the disabled, Nursing systems, Lifter, Bedridden patients.

要 旨

現在、高齢化社会への急激な進展にともない、寝たきりの老年者や障害者に対する介助への関心が社会的に高まっている。しかし、これと同時に障害者の看護にあたる人々の問題も浮かび上がっている。このような背景から、寝たきりの障害者の自立や介助者の労力軽減化のために、ベッドから車椅子・入浴・トイレなどへの移乗

のための床走行式リフトや介助ロボットの社会的必要性は、ますます増大する傾向にある。

本稿では、日本の老人ホームなどの住宅事情や日本人の体型に適した床走行式リフトの評価方法について提案する。まず、デンマーク製のリフトを日本の住環境にあわせて改良し、小型電動式リフトを試作した。つぎに、試作したリフトの構造的な安定性と使いやすきなどを、力学的あるいは人間工学的観点から評価した。このような我々の提案した評価方法から、試作したリフトは、日本における病院や老人ホームなどでの介護に有効な移乗機器として使用可能で

*学生会員 北海道大学電子科学研究所 (旧 応用電気研究所)

**正 会 員 北海道大学電子科学研究所 (旧 応用電気研究所)
〒060 札幌市北区北12条西6丁目

あることがわかった。最後に試作した床走行式リフタに関する今後の課題を記した。

1. はじめに

現在、高齢化社会への急激な進展にともない、寝たきりの老年者や障害者に対する介助への関心が社会的に高まってきている。これと同時に障害者の看護にあたる人々の問題も浮かび上がっている。ベッドから車椅子・入浴・トイレなどへの移乗は日常生活において必要であるが、寝たきりの障害者自身では移乗を自立してできない場合が多く、これが介助者の負担となり腰痛などの問題をひきおこしている。さらに、在宅障害者の場合には、介助者が限定され、高齢な配偶者がこれを担うことも問題を大きくしている。このような背景のもとで、寝たきりの障害者の自立のため、あるいは、介助者の労力軽減化のためのトランスファー機器および介助用ロボット¹⁾の社会的必要性は、ますます増大する傾向にある。

以上の背景を踏まえて、我々は、これまでに、触覚に関するテレグジスタンスを福祉介助ロボットに应用するための「感覚フィードバック型ハンド」の研究^{2) 3)}や各種リハビリテーション機器や寝たきり障害者の介助機器用アクチュエータに関する研究⁴⁾などを生体工学的な観点から行ってきた。

本稿では、まず、移動スペース・格納スペースが大きいために、日本の住宅事情にそぐわないと思われていたデンマーク製の床走行式リフタを、各ベッド間の間隔や天井の高さなどの空間的余裕の十分でない日本の老人ホーム等の住宅環境や日本人の体型に適合したリフタに改良することを目的として試作した小型電動式リフタについて述べる。福祉機器においては、いろいろな観点から評価することが重要である。しかし、総合的に統一された評価法などは存在していないのが現状である^{5) 6)}。そこで、このようなリフタを客観的・総合的かつ簡易に評価する方法を新たに提案し、実際に、この評価方式を用いて試作器の評価も行った。最後に、試作した床走行式リフタに関する今後の課題を記した。

2. 小型床走行式リフタ

2.1 設計指針

床走行式リフタには天井走行式のような家屋改造の必要性はない。しかし、従来の床走行式リフタではベース部が大きく、使用環境が比較的整った老人ホームや病院のような施設でさえ、日本の場合には使用しにくいのが現状である。そこで、日本の施設環境や日本人の体型に適合した床走行式リフタの開発することを目的として、小型床走行式リフタを試作することにした。

具体的には、①短いベース部にすることにより、回転半径を小さくして、狭い空間でもリフタの方向転換を行えるようにする ②家屋の天井にリフタのアーム部が接触しないようにする ③アーム部の昇降とベース部の開閉を介助者にとって容易なものにするために、可動部の駆動方法は、手動式ではなく電動式とする。

以上の点に着目した基本設計を行い、併せて、安定性の評価のための重心位置・転倒条件の理論計算を行った。

2.2 基本構造

日本の施設や家屋で使用しやすい条件として、移動の際に小回りの効くようにベース部の長さを85cmとした。また、リフタの持込み場所に合わせて横幅を調節できるように、電動式の可変機構をベース部に取り入れた。これによって、横幅は62~87cmの範囲で伸縮できる。アーム部は、被介護者の膝がアクチュエータ部に接触して、不快感を生じないように100cmとした。アーム部をこのような長さにしても、アクチュエータ部のシリンダを最大に伸ばした場合のリフタ最高点は180cm程度の高さであり、日本の住宅環境における天井の高さは、210~230cm程度であるので、特に不都合は生じない。介助者のリフタを押す力が極力小さくて済むようにキャストは、直径の比較的大きな $\phi 100\text{mm}$ のものを用いた。

基本構造図とアクチュエータ部の伸縮に伴うアーム部の可動領域を図1に示す。また各部分の分解した状態を写真1に、組み立てた状態の写真を写真2に示す。

図1 離床器アーム部の可動範囲

3. 重心位置の計算

物体が倒れにくいかどうかという、転倒に対する安定度を考えるためには、重心の位置を求める必要がある。物体が倒れるかどうかの限界は重心を通る鉛直線が物体の下端を通るときである⁷⁾。リフトにおいてはベース部の前後端が、物体の下端に対応する。従って、被介助者をリフトした状態のリフトの重心が、ベース部でつくられる基底面内にあれば、通常の状態では安定である。そこで、まず、被介助者をリフトした状態でのリフトの重心位置を推定する計算をこの章で行う。

予め、試作したリフトの各部位の重心位置と重量を求めておく。リフトの総重量は47kgであり、被介助者の体重は60kgと仮定した。

重心の位置は、アーム部が上昇・下降するに従って移動する。そこで、ここでは、転倒に抗する安定条件から最も外れ易い状態である、「重心の位置が両ベース部でつくられる基底面の端

写真1 離床器を分解した状態

写真2 離床器の全景

に最も近づいた状態で、かつ、脚を最も閉じた状態…「状態A」と「被介助者が最も高くリフトされた状態で、かつ、脚を最も閉じた状態…「状態B」」に関して重心位置を求めることにした。また、脚の開閉による重心移動も併せて求めた。状態A・Bにおける詳しい各部位の重心位置・重量は、図2に示す。

3.1 状態Aの重心計算

重心 $M_G(X_G, Y_G, Z_G)$ は、以下の式から求められる。

$$X_G = \sum m_i x_i / \sum m_i \quad \cdots \quad ①$$

$$Y_G = \sum m_i y_i / \sum m_i \quad \cdots \quad ②$$

$$Z_G = \sum m_i z_i / \sum m_i \quad \cdots \quad ③$$

但し、 m_i はリフトの各部件の重量と被介助者の体重であり、 x_i 、 y_i 、 z_i は、各部件や被介助者の重心位置である。原点は、図2に示すようにベース部の右脚前端部とした。

ところで、最も安定条件から外れ易い状態である状態Aでは、アーム部の空間的位置は床面

図2 離床器各部および全体の重心位置

に対して平行になる。

そこで、式①～③を用いて計算した結果は、

$$M_{GA}(X_G, Y_G, Z_G) = (34.2, 22.7, 44.8)$$

単位：cm

である。

従って、この結果より、最も安定条件から外れ易い状態でも、試作したリフタの重心はベース部でつくられる基底面内にある。したがって、このリフタは、床面が水平である場所で被介助者を上昇・下降操作させても転倒することはない。

3.2 状態Bの重心計算

被介助者が最も高くリフトされた状態での重心を求める。この状態Bは、実際の使用場で占める割合の多いリフタの状態でもある。3.1と

同様に計算を行った結果を以下に示す。

$$M_{GB}(X_G, Y_G, Z_G) = (34.2, 36.2, 76.4)$$

単位：cm

この結果より、 X_G , Y_G が基底面内のほぼ中央にきているため、リフタを移動させる際に適した状態であることが分かった(X_G , Y_G が基底面内の中心に位置したときが、リフタの最も安定した状態である)。

3.3 ベース部の脚の開閉による重心移動

本リフタは電動脚開閉機構を装備しているので、脚の開閉による X_G の移動も生じる。その範囲は、以下の通りである。

$$34.2\text{cm} \leq X_G \leq 35.3\text{cm}$$

4. リフタの転倒条件

リフタを移動している際にベース部のキャスタが障害物に衝突して停止したり、被介助者が揺らいだ状態になったりすると、リフタが転倒するおそれがある。ここでは、試作したリフタを安全に操作するための指針として、各状況における転倒条件を求めた結果を示す。

4.1 前輪キャスタが障害物に衝突した場合の前方への転倒条件

介助者がこのような状態において、ハンドルを強い力 F_P で押し続けた場合に前方に転倒する可能性がある(図3-a)。そこで、この場合の転倒に要する力を計算する。

図3 離床器のいろいろな転倒条件

- (a) 離床器の前輪キャスタが障害物で動きを阻止された場合
- (b) 急激な縦方向の加速度が被介助者に加わった場合
- (c) 被介助者が有る初速度で前方に揺れた場合

まず、ハンドルを押す力と重心 M_G に働く引力に関する、ベース部前端的まわりのモーメントにおけるつりあいを考えると、

$$M_G \cdot g \cdot D = F_P \cdot H$$

したがって、転倒に要する力 F_P は、

$$F_P > M_G \cdot g \cdot (D/H) \dots \textcircled{4}$$

である。ただし、 g は重力加速度である。

そこで、3章の状態Aと状態Bにおける F_P の大きさを求めると、

$$\text{状態A} \cdots F_P > 21.7 \text{kgf}$$

$$\text{状態B} \cdots F_P > 34.6 \text{kgf}$$

である。この結果から上記の力でハンドルを押し続けると、不安定となり転倒する可能性がある。しかし、通常の水平な床面で使用している場合には、このような強い力でハンドルを押す可能性は少ないので、実際の使用状況では問題ないと考えられる。

4.2 被介助者が揺らいだ場合の前方への転倒条件

シートとそれを吊したハンガー部がブランコのように揺れて、被介助者がある角度 θ 以上傾いた場合に、重心 M_G が両ベース部でつくられる基底面外に出てしまう可能性がある(図3-b)。このようになると、リフタが前方に転倒するおそれがある。そこで、ここでは、転倒に至る臨界の角度 θ を計算する。ただし、リフタの状態は3章の状態Aとする。

まず、 M_G の重心位置ベクトルのうち $Y_G = 0$ となるときの、ハンガー部と被介助者を合わせた部分の重心の位置 Y_G' を求める。

$$Y_G' = -47.2 \text{cm}$$

そこで、臨界角度 θ をこの Y_G' を用いて計算すると、

$$\theta = \sin^{-1}(Y_G'/L) = 34.5^\circ$$

ただし、 L はハンガー部と被介助者を合わせた部分の重心の位置とアーム部の距離69.2cmである。

以上の結果より、34.5度以上傾くと転倒する可能性がある。しかし、通常の状況や被介助者が暴れて揺れたとしても、この角度に達することは考えられない。

そこで、強制的に急激な加速度 a を加えると

慣性力によって、臨界角度 θ 以上になることが予想される。具体的には、介助者が、急にリフタを引き戻す状況などである。

以下に、転倒の臨界角度 θ が34.5度となる加速度 a とそれを生じさせるためにリフタに作用させる力 F を計算する(図3-b)。

$$f = M_{Ph} \cdot a$$

であるので、

$$\tan \theta = M_{Ph} \cdot a / M_{Ph} \cdot g$$

$$\therefore a = g \cdot \tan \theta = 6.74 \text{m/s}^2$$

従って、力 F は、

$$F = M_G \cdot a = 721 \text{N} = 73.5 \text{kgf}$$

である。よって、このような加速度や外力をリフタに加えない限り、水平な床面では転倒しない。

さらに、一定速度 V_0 で進んでいたリフタの前輪のキャストが急激にロックした時のように、被介助者自身がある初速度 V_0 で揺れた場合に、転倒の臨界角度 θ が32.5度となる V_0 を求めてみる(図3-c)。

力学的エネルギー保存の法則により、

$$\left(\frac{1}{2}\right) \cdot M_G \cdot V_0^2 = M_G \cdot L \cdot (1 - \cos \theta)$$

が成り立つので、転倒に要する初速度 V_0 は、

$$V_0 = 1.54 \text{m/s}$$

となる。即ち、1.54m/s以上の初速度を被介助者に与えなければ転倒することはない。

4.3 ベース側方部のキャストが障害物に衝突した場合の横転条件

計算過程は、4.1節と同じである。状況設定は、図4-aに示す。側方へ押し付ける力を F_P とすると、横転のためには、

$$F_P > M_G \cdot g \cdot (D/H)$$

という条件式が成立する。そこで、以下の状況での横転に要する力は、

両脚間を最も閉じて右脚がロックされた状態
 $\cdots F_P > 32.7 \text{kgf}$

両脚間を最も開いて右脚がロックされた状態
 $\cdots F_P > 33.7 \text{kgf}$

両脚間を最も閉じて左脚がロックされた状態
 $\cdots F_P > 25.8 \text{kgf}$

両脚間を最も開いて左脚がロックされた状態
 $\cdots F_P > 45.8 \text{kgf}$

図4 離床器のいろいろな横転条件

- (a) 離床器のベース側方が障害物にあたった場合
- (b) 急激な横方向の加速度が被介助者に加わった場合
- (c) 被介助者がある初速度で側方に揺れた場合

である。

通常の使用状況で側方に、このような大きい力を加えることは、ほとんど考えられない。従って、実際の使用場面では問題はないと考えられる。

4.4 被介助者が揺らいだ場合の横転条件

横転条件の一例として、両脚間を最も閉じて右側に被介助者が揺れた場合に、転倒に至る臨界の角度 θ 、及びこのような傾きを生じさせる加速度 a ・作用力 F 、さらに初速度 V_0 をここで求める(図4-b, c)。計算手順は、4.2節の転倒条件に準じる。

$$\theta = \sin^{-1}(59.1/69.2) = 58.7^\circ$$

よって、加速度 a は、

$$a = g \cdot \tan \theta = 16.1 \text{ m/s}^2$$

従って、作用力 F は、

$$F = M_G \cdot a = 1725 \text{ N} = 176 \text{ kgf}$$

となる。また、初速度 V_0 は、

$$V_0 = 2.52 \text{ m/s}$$

である。

即ち、以上のような作用力や初速度を被介助者に与えなければ横転しない。また、通常の使用状況で側方に、このような大きい力や初速度

を与えることは、ほとんど考えられない。従って、実際の使用場面では問題はないと考えられる。

5 評価実験

前章では、重心位置や転倒条件の理論計算によって、試作したリフトの安定性や安全性を検討した。ここでは、実際の使用場면을想定した評価結果を示す。

5.1 安定性の評価

理論式による評価は4章で行い、基本設計に理論的問題のないことを示したので、ここでは理論的評価は省略する。そこで、試作したリフトに実際に乗った被介助者の内観報告などを記述する。

①身長180cm・体重60kgの男性1名がシートに包まれて吊された場合：「リフティングや移動の最中でも安定感に対する不安は感じられなかった」。また、他にも男性4名・女性1名がシートに乗ったが、リフトの不安定さを訴える者はいなかった。

②体重60kgの男性2名が同時にアーム部に吊り下がった場合：「転倒しそうな危険性は感

じられなかった」。

以上の内観報告や4章での理論的評価から、安定性に関しての問題はないと言える。

5.2 リフト機構の評価

アーム部の長さが不適切であると、被介助者を最高位置までリフトした際に、被介助者の膝がアクチュエータ部のシリングに接触し、被介助者に不快感を与えることがある。そこで、被介助者として身長180cmの男性を最高位置までリフトして調べてみた。

その結果、膝とシリングの干渉は全く生じず、膝とシリングの距離的余裕は、約150mmであり、リフト機構部に不都合のないことがわかった。

5.3 移動操作性の評価

試作器のキャストを $\phi 75\text{mm}$ の小型のものにすると、介助者がハンドル部を押してリフトを思った方向に移動させ難いと言う問題点が生じた。そこで、キャストの直径が $\phi 100\text{mm}$ と $\phi 75\text{mm}$ では、移動操作性がどの程度違うかを客観的にかつ簡便に評価する一方式を考案した。評価実験方法を以下に示す。

①リフトの進行方向とキャストの回転移動方向を一致させた場合（リフトを動かすのに最も力を必要としない状態）に、リフトの移動に必要な力 F_{min} を求める。

②次に、リフトの進行方向とキャストの回転移動方向を90度ずらした場合（リフトを動かすのに最も力を必要とする状態）に、リフトの移動に必要な力 F_{max} を求める。

③ F_{max} と F_{min} の差である F_{dif} を求める。これらの測定は、リフト支柱部のハンドル部と同じ高さの位置に力覚センサを取り付けて行った。

次に、これらの F_{max} 、 F_{min} 、 F_{dif} と移動操作性・安全性の関係について説明する。

① F_{min} が小さいほど、移動に要する力が小さくて済むことになるので、直進の移動性のよいリフトと言える。

② F_{max} が小さいほど、移動させたい方向にリフトを向けるのに小さな力で済むことになるので、操作性のよいリフトと言える。

③ F_{dif} が小さいほど、キャストの転がりに必

要な大きさ以上の力が、急激に、移動の際に加わり難くなるので、転倒の危険性は少なくなる。即ち、安全性の高いリフトと言える。

以上の①～③を測定した結果を図5に示す。図中の各値は、6回の測定値の平均である。この結果から、リフトに取り付けるキャストの違いによる移動操作性・安全性の比較検討を行う。

まず、移動性に関しては、どちらも F_{min} は3.5kgf程度であり、差異はほとんどないが、若干、 $\phi 100\text{mm}$ のほうが良好である。操作性に関しては、 $\phi 75\text{mm}$ で F_{max} は24.6kgf、 $\phi 100\text{mm}$ は8.67kgfある。従って、格段に $\phi 100\text{mm}$ のほうが良好である。さらに、安全性に関しても、 F_{dif} は、 $\phi 75\text{mm}$ で20.8kgf、 $\phi 100\text{mm}$ で5.05kgfである。従って、 $\phi 100\text{mm}$ の方が優れていると言える。

また、実際に操作したときの内観報告を介助役の被験者に行ってもらったところ、全員が $\phi 100\text{mm}$ の方が操作性に優れていると述べていた。従って、本評価方式は、介助者の感じるリフトの操作性に関する主観的評価とも一致しているといえる。

5.4 フィールド評価

床面が滑らかで、かつ、3mm程度の段差のあるフロアで、試作したリフトに被介助者を乗せて、自由に移動・回転させてみた結果、特に不都合な場面はなかった。

しかし、防火扉のように段差が10mm以上の場所やエレベータの乗り口では、その部分を持ち越えるのにかなりの力をリフトのハンドル部に与えなければならなかった（写真3）。ただし、リフトを180度方向転換させ、後向きにして移動させると、前者に比べて、若干ではあるが、乗り越え易くなった。

この問題点を克服するためには、ベース部の機構に、例えば、前輪のキャストを大きくて段差に対する食い付きのよいゴム製のものにする等の工夫を加える必要があると思われる。

一方で、移動の際にも不安定になりにくいように、被介助者の体型に合わせて、重心位置を最適な所に設定できるような調整機構として、アーム部のハンガー取り付けフックを数カ所設

図5 移動操作性の評価実験結果

①移動性 (F_{min}) ②操作性 (F_{max}) ③安全性 (F_{dif})

写真3 床面でのフィールド評価の様子

ける必要もあるであろう。さらに、これらの力学的問題点の改善に加えて、浴室やトイレなど水を使用する場所でも気軽に持ち込めるように、電動式リフトの場合は電気系統の防水加工を施す必要性もある。

6. ま と め

日本の住宅環境や日本人の体型に適合したリフトを開発することを目的として、デンマーク

製リフトを改良し、小型電動床走行式リフトを試作した。また、この形式のリフトを、安定性・移動操作性・安全性の観点から客観的かつ簡易に評価する方式を考案した。さらに、この評価方式を実際に適用して得られた結果と介助者のリフトの使い易さに対する内観報告とは、一致しており、この評価法の有効性も確認した。

今後は、さらに日本の住宅環境に適した小型電動床走行式リフトにするために、構造材の軽量化やアクチュエータ部の軽量・無騒音化のために水素吸蔵合金アクチュエータ⁴⁾の利用などの改善を行うとともに、ここで提案したリフトの評価方法を簡便なものから、より体系化したものとし、確かな福祉機器としての評価法に発展させていきたいと考えている。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、床走行式リフトを提供して下さったジャパンケアグループ代表 対馬徳昭氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 藤記, 土肥, 増澤: 介助用小型軽量マニピュレータの開発, エル・エス・ティ学会誌, 2-4: 219-335, 1989.
- 2) 伊福部達: 感覚フィードバック型ハンド, 日本ロボット学会誌, 7-5: 496-500, 1989.
- 3) 井野, 泉, 伊福部, 木村: チップコイルを用いた指関節角度センシングと多関節人工指の遠隔操作への応用, 計測自動制御学会論文誌, 26-10: 1186-1192, 1990.
- 4) 佐々木, 川島, 青山, 伊福部, 小川: 水素吸蔵合金を利用したアクチュエータの開発, 日本ロボット学会誌, 4-2: 119-122, 1986.
- 5) 市川洌: E側からみたりハビリテーション工学の対象範囲とその問題点, 医用電子と生体工学, 23-4: 257-270, 1985.
- 6) 数藤康雄: 福祉機器の評価, バイオメカニズム学会誌, 14-3: 145-150, 1990.
- 7) 渡辺久夫: 親切的な物理II, 正林書院, 1982.