

# 新方式リニア駆動ユニットの立ち上がり補助座椅子への適用

貞広恵輔\* 新堀正博\* 村尾良男\*\* 中辻 武\*\*\*

## Application to the Assistant Chair Use for Standing up of New Type Linear Drive Unit

Keisuke SADAHIRO\* Masahiro SHINBORI\* Yoshio MURAO\*\* Takeshi NAKATUJI\*\*\*

### ABSTRACT

We developed a new type linear drive unit having two steps operation system, which filled the necessity for energy saving and the demand of an equipment miniaturization. This equipment can remarkably reduce energy consumption comparing with air cylinder as the same specification.

Taking notice of these points, we tried to apply new type linear drive unit having some useful merit to the assistant chair use for standing up. In the result, we were fully convinced of being able to use as the assistant chair use for standing up. This report mainly describes design and usefulness of the assistant chair.

**Key Words** : application of new type linear drive unit, assistant chair use for standing up, its design, its usefulness

### 1. はじめに

現代日本は高齢化が進んでおり、体の不自由な高齢者も増えている。現状、種々の介護支援機器が製作され、介護認定度の高い体の不自由な高齢者を補助している。また、比較的軽度な介護認定を受けている人にはリハビリで完治し自立を目指していただくことも重要であると考えている。

著者らが開発中の本立ち上がり補助座椅子は、自立支援を最大の目標として、ゆっくりと座面を上昇させることで立ち上がりを補助し、少しでも自力で腰を浮かせることができれば、速い速度で腰の動きに追従し、座面をおしりにフィットさせながら、立ち上がりを補助する機能を持つものである。本報では、このような立ち上がり補助座椅子の基本原則と主に設計時の重要点および使用時の有用性や改良点について報告する。有用性についての設計や改良は、モニタリングや専門家の意見を聞くなどして行った。

### 2. 新方式リニア駆動ユニットの基本原則

図1にリニア駆動ユニットの構造・原理を示す。新方式リニア駆動機構は、構造として雄ネジよりも径が大きい雌ネジおよび雄ネジ、バネ、ベアリング、出力ロッド（ケース）、駆動モータから構成されている。原理としては、負荷が作用していないときは、皿バネ

が玉軸受の外輪を軽く押し、それを受け玉と内輪・雌ネジが押し出され出力ロッドと固定されることになる。したがって雄ネジ（左ネジ）が右回転すると、出力ロッドは左方向に進む通常のネジ運動を行い、ネジのピッチと回転数の積で雌ネジを含む出力ロッドが高速移動する。このときの雌ネジの進み距離 $L_f$ は、以下の式(1)のように表される。なお、式(1)から(9)は参考文献2)の導出過程を参照した。

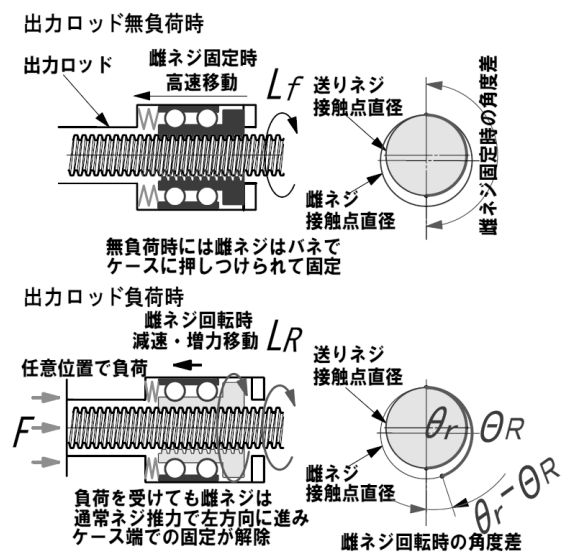


図1 新方式リニア駆動ユニットの構造・原理

\* 専攻科 機械システム工学専攻

\*\* サイエнтиフィックテクノロジーズ有限公司

\*\*\* 機械工学科 教授

$$L_f = \frac{\theta_r}{2\pi} p \quad \dots (1)$$

ここで、 $L_f$ は無負荷時の雌ネジ進み距離[mm]、 $\theta_r$ は雄ネジ回転角度、 $p$ はネジピッチ[mm]である。一方、出力ロッドに負荷が加わると、皿バネは外輪を強く押し、それを受け雌ネジと雄ネジがロックされ、雌ネジは出力ロッドから開放されることになり、雌ネジおよび雄ネジは径の違いで式(2)のように差動回転するようになる。

$$L_R = \frac{\theta_r - \Theta_R}{2\pi} p \quad \dots (2)$$

ここで、 $L_R$ は負荷時の雌ネジ進み距離[mm]、 $\Theta_R$ は雌ねじ回転角度である。 $r$ を雄ネジ接触点半径、 $R$ を雌ネジ接触点半径とすれば、差動回転時には接触点移動距離は等しいので

$$r \cdot \theta_r = R \cdot \Theta_R \quad \dots (3)$$

となり、以上から減速比 $\gamma$ は

$$\gamma = \frac{L_f}{L_R} = \frac{R}{R-r} \quad \dots (4)$$

で表すことができ、差動回転時には出力ロッドが無負荷動作時の約 $1/\gamma$ の速度で低速移動するようになる。

モータ出力によって回転する雄ネジのネジ面を押す力 $F'$ は次式で表される。

$$F' = \frac{F}{\cos \beta} \quad \dots (5)$$

ここで、 $F'$ はネジ面を押す力[N]、 $F$ はネジ推力[N]、 $\beta$ はネジ山半角である。このとき、摩擦係数 $\mu$ をもちいて摩擦抵抗 $\mu F'$ は次式で表される。

$$\mu F' = \frac{\mu}{\cos \beta} F = \mu' F \quad \dots (6)$$

ここで、 $\mu'$ は相当摩擦係数である。また相当摩擦係数 $\mu' = \mu / \cos \beta$ に対して、 $\phi' = \tan^{-1}(\mu')$ なる変数 $\phi'$ を導入すると、締付力 $f$ [N]は次式で表される。

$$\begin{aligned} f &= F \cdot \tan(\alpha + \phi') \\ &= F \frac{\tan \alpha + \frac{\mu}{\cos \beta}}{1 - \tan \alpha \frac{\mu}{\cos \beta}} \quad \dots (7) \end{aligned}$$

ここで、 $\alpha$ はネジリード角である。そして、入力トルク $T$ は次式で表される。

$$T = fr = Fr \frac{\tan \alpha + \frac{\mu}{\cos \beta}}{1 - \tan \alpha \frac{\mu}{\cos \beta}} \quad \dots (8)$$

ここで、 $T$ は入力トルク[N・mm]、 $r$ はネジ接触点の半径[mm]である。よって、ネジ推力 $F$ と入力トルク $T$ の関係は次式となる。

$$F = T \frac{1 - \tan \alpha \frac{\mu}{\cos \beta}}{r \left( \frac{\mu}{\cos \beta} + \tan \alpha \right)} \quad \dots (9)$$

新方式リニア駆動機構の負荷時の推力増加の要因は、一定のモータ動力のもとにおける減速によるが、直線的負荷を主とするクランプ機構に適用した場合 {Tr20×4雄ネジとTr22×4雌ネジの組合せ<sup>1)</sup>、その減速は、ネジ伝達が高速のすべりから約1/10減速 {式(4)において数値解析の結果求めた雌ネジと雄ネジの接触点半径はそれぞれ $R=9\text{mm}$ 、 $r=8.13\text{mm}$ となることから $1/\gamma$ は約1/10となる}の差動転がり伝達へ移行することによる。一方、負荷時の入力トルク $T$ と出力推力 $F$ を特性試験機で実測し、式(9)よりネジ面摩擦係数 $\mu$  { $\beta=15^\circ$ 、 $\tan \alpha=0.008$ のもと}を求めると約0.015であり、無負荷時のネジ面すべり摩擦係数0.1~0.2 {雄ネジおよび雌ネジはS45Cで潤滑剤は二硫化モリブデン入りVG32グリースで境界潤滑されている}の約1/10に減少していることがわかる。これはすべり摩擦から転がり摩擦に転じていることを意味している。以上のことより、本リニア駆動機構の負荷時の推力増加の要因は、雄ネジと雌ネジの接触がすべり摩擦から点接触転がり摩擦へと転じ、雌ネジの進み速度を減速することによる推力増加によってもたらされていることが分かる。

### 3. 立ち上がり補助座椅子の設計と製作

#### 3.1 立ち上がり補助座椅子の試作品

図2に、リニア駆動ユニットの基本原理を応用した、推力1960N、雄ネジTr20×4、雌ネジTr24×4における差動ネジ機構を用いた立ち上がり補助座椅子の試作品を示す。前述のクランプ機構と異なり、補助座椅子の場合は支柱上部と下部でネジを支え、支柱中央部でたわみが大きくなる両端支持はりとなっているので、雄ネジと雌ネジの山と谷部での干渉を避けるために、Tr20とTr24の組合せとした。この場合、雌ネジと雄ネジの接触点半径は、支柱上部・下部と中央部で若干変化する。したがって、正確な接触点半径Rとrは求めることができなかった。しかしながら、減速比 $1/\gamma$ は約1/10となっていることの確認が必要であり、これは実際の無負荷時の雌ネジ移動速度と1960N負荷時の雌ネジ移動速度をストップウォッチとスケールで測定することにより確認した。その結果、モータの回転数を1600rpmとした場合、無負荷時に座椅子に連結された雌ネジは107mm/sで移動し、負荷時にはネジ下部・中央部・上部で平均約10mm/s{速度変化±0.5mm/s程度}で移動していることがわかった。またこの組み合わせ駆動ユニットは、別途、100万回以上の負荷耐久試験に耐え、寿命は保証されていることを確認している。したがって、前述のTr20とTr22の組合せの場合と差動機構はほとんど変わらないように仕上げる事ができたと考えられる。

この試作品で実用試験を試みたところ、立ち上がれない時ゆっくりと座面を上昇させる動きや、速い速度で腰の動きに追従し座面をおしりにフィットさせながら、立ち上がりを補助する機能は実際に使用することで確認できた。ただ、負荷時の移動速度約10mm/sは遅く感じることや、カバーやガイド部での振動や騒音が不快に感じる程大きくなっていった。



図2 立ち上がり補助座椅子の試作品

#### 3.2 立ち上がり補助座椅子の改良設計

試作品の振動や騒音を抑えるべく、次の観点で設計変更を行った。モータの回転速度と使用台形ネジは以下のように変更した。

回転体の危険速度は一般に、次式<sup>2)</sup>で示される。

$$N_c = (30/\pi) \cdot (g/\delta)^{1/2} \cdot \dots \quad (10)$$

ただし、 $N_c$ =危険速度[rpm]、 $g$ =重力の加速度980cm/s<sup>2</sup>、 $\delta$ =ネジ棒とガイドの合成たわみ[cm]である。

Tr20×4雄ネジとTr24×4雌ネジの組合せにおいて使用したモータの回転速度1600rpmを危険速度とし、式(10)よりたわみ $\delta$ を逆算すると、 $\delta = 0.035$ cmとなる。約0.35mmのたわみ量である。このたわみは、雄ネジのたわみと雌ネジを支えるガイドの合成たわみである。

ここで、まずモータの回転速度1200rpmとし、危険速度1600rpmより下げ、振動や騒音を低下させることを試みた。また同時に、たわみ $\delta$ を小さくし、ネジの危険速度を1600rpmより増加させるために、ネジの直径を大きくすることを試みた。さらに、負荷時の移動速度約10mm/s{無負荷時の1/10減速}は約24mm/s{無負荷時の1/5減速}とより速くした。したがって、最大負荷推力は1960Nの50%、約980Nと見積もる。この値は、体重980Nの人を持ち上げる大きさである。

ここで、ネジ部だけを考慮するので概算ではあるが、たわみ $\delta$ と危険速度を推算してみる。本機構では、雄ネジの両端を支持する両端支持はりと考えられるので、ネジ長等の仕様により、 $\delta$ は次式(11)で示される。

$$\delta = 0.021WL^3 / (E I) \cdot \dots \quad (11)$$

ただし、 $W$ =雄ネジ部に垂直にかかる荷重、 $L$ =ネジのスペン、 $E$ =ヤング率、 $I$ =ネジ部の断面2次モーメント( $\pi/64) \cdot d^4$ である。

ここで、Tr20とTr24のネジ組合せからTr33とTr42のネジ組合せに変更すると、式(11)より $\delta$ は0.35mmから0.047mmに変わり、式(10)より危険速度 $N_c$ は、1600rpmから約4360rpmまで上昇させられることになる。したがって、モータの回転数を1200rpmとすると、危険速度から十分遠ざけて運転することができるようになると思われる。

### 3.3 3DCADによる立ち上がり補助座椅子の改良設計と製作

3.1, 3.2の開発・改良を踏まえて、3DCADを用いてさらなる改良を実施した。実施前に、3.1と3.2の結果を踏まえて、福祉の専門化である社会福祉労務士、社会福祉主事も交えて確立した設計コンセプトおよび改良設計と製作の方針の確認結果について(1)と(2)に記載する。(3)は3DCADによるさらなる改良について記載した。

#### (1) 改良方針

この改良は専門家の意見を取り入れて、次のようなコンセプトで実施した。

- a) 介護支援に利用することを目的に、福祉用具として認定されている“独立宣言エコライト”なる椅子製品<sup>3)</sup>を採用する。そして、そのリハビリ機能を強化する。
- b) 「リハビリや立ち上がり補助に便利です。腰やひざへの負担を軽減します。車椅子への移乗も楽に行えます。」という“独立宣言エコライト”なる椅子製品が、福祉・介護貸与品としてすでに製品化されているが、本立ち上がり補助座椅子も同様な機能は実現できている。しかしながら、このようなレンタル製品と根本的に違う点は、体重を感知したときはゆっくりと上昇し、少しでも立ち上がりかけたら早い速度でおしりに追従して座面が上昇する点にある。したがって、腰やひざの状態に応じて座面が自動的に速い遅いを繰り返す、一連の立ち上がり動作の中であまり苦痛を伴わないでそれを補助してくれる。すなわち、電気スイッチを一端入れれば、スイッチのオンオフ動作を必要としないで、自動的に座席上昇速度をコントロールする点にある。このように本座椅子の機構上の特性から、立ち上がりのリハビリ用としての使用を最大の目標とする。
- c) 独立宣言エコライトは、180W モータ使用、仕様書等に記述されていないので詳細は記載できないが、プラスチックメートルネジを使用、面の上昇・下降速度は960N負荷時15~20mm/sの間で一定、それに対して本補助座椅子は、180W モータ使用、無負荷時座面上昇・下降速度は120mm/s、960N負荷時座面上昇・下降速度は約24mm/sとなっており、すべて低速度で上昇・下降させた場合、両者の消費エネルギーはほとんど同じであるが、同仕様の空気圧シリンダに比較して約95%のエネルギー削減<sup>1)</sup>を実現する。
- d) ボールネジを使用したリニア駆動機構と比較して、電気スイッチのオフにより安全に停止位置を確保できる構造になっているので、テーブル・化粧台・システムキッチン・洗濯機に対する座面の高さ調整すなわ

ち食事支援、整容支援、炊事支援、洗濯支援等に利用できることを目指す。

- e) 座面は床から150mmから600mmまで上昇するように設計し、かなり低位置から高位置まで可動させ、例えば、自力でズボンを履く等の動作に適用できることを目指す。

#### (2) 改良設計と製作

3.1, 3.2を踏まえ表1のように設計変更を行った。

表1 立ち上がり補助座椅子の設計

|        | 仮設計(試作品)                          | 本設計(改善後)                          |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| モータ回転数 | 1600rpm                           | 1200rpm                           |
| 減速比    | 1/10                              | 1/5                               |
| ネジピッチ  | 4                                 | 6                                 |
| ネジ径    | Tr20 Tr24                         | Tr33 Tr42                         |
| 荷重     | 台形ネジ<br>無負荷時 196N<br>負荷時 1960N    | 台形ネジ<br>無負荷時 196N<br>負荷時 980N     |
| 速度     | 無負荷時<br>107mm/s<br>負荷時約<br>10mm/s | 無負荷時<br>120mm/s<br>負荷時約<br>24mm/s |

以上のように試作品と比較して、雄ネジ雌ネジ共に径を大きくすることで不快に感じない程度の騒音レベルにもっていく工夫をする。また、モータの回転数を落とすことにより振動を減らし、モータ自体の騒音も試作品より下げる工夫をする。さらに、ネジのピッチを上げることにより回転数を落としても試作品より速い速度で動くように設計する。すなわち、危険速度を上げ、実際の回転数を低下させるようにする。

#### (3) 立ち上がり補助座椅子の3DCADによる設計

ネジ径や回転数等の変更点を考慮し、3DCADによりさらなる改良を行った。試作品よりもパーツを減らすことにより簡略で組み立てやすく、コンパクトになるような設計を行った。使用ソフトはSolidWorks 2009である。

図3に3DCADによる立ち上がり補助座椅子の設計図を、図4に立ち上がり補助座椅子折りたたみ状態を示す。図5に立ち上がり補助座椅子の主要部の構造を示す。負荷がかかることにより、雄ネジと雌ネジがロックされる。荷重を感知して皿バネが圧縮され、バネの圧縮により雌ネジとブレーキ板の間に隙間が生まれる。これにより雌ネジは外枠からはずれず、雄ネジと差動回転を行うことにより減速運動をおこなう。ボールネ

ジ等を使用していないので、停電時には、雄ネジと雌ネジがロックされ、座席位置を保持でき安全である。

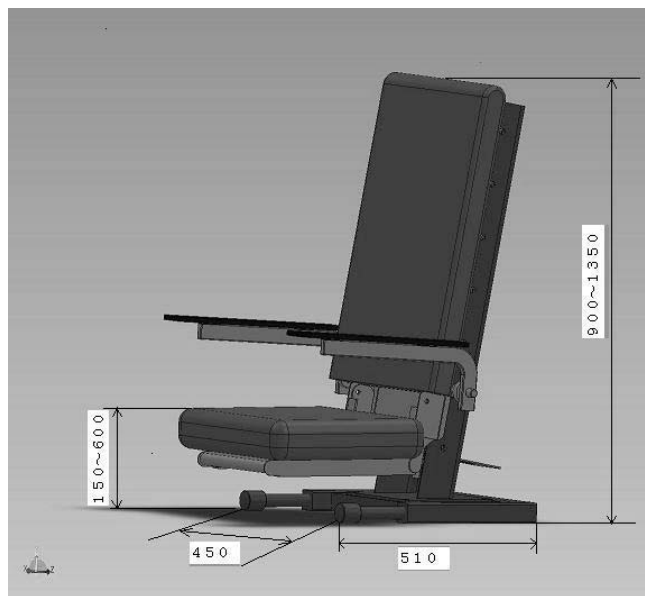


図3 3DCADによる立ち上がり補助座椅子の設計図

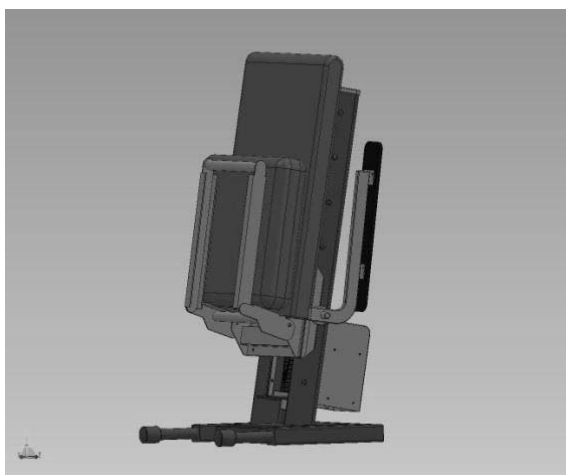


図4 立ち上がり補助座椅子折りたたみ状態(3DCAD)

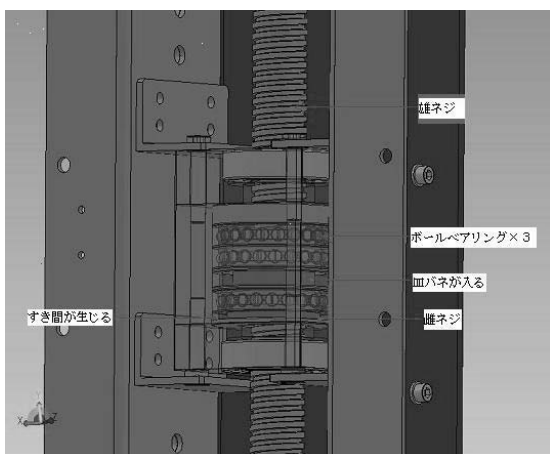


図5 立ち上がり補助座椅子の主要部の構造(3DCAD)

#### (4)立ち上がり補助座椅子の製作および評価

設計の変更後、3DCADで設計したパーツを発注し、実際に改善品を製作した。図6に立ち上がり補助座椅子の改善品を示す。総重量は588Nであり、座面の床からの可動範囲は、図3の設計図どおり150mm~600mmになっていた。



図6 立ち上がり補助座椅子の改善品(総重量588N)

立ち上がり補助座椅子の改善品を試運転し、動き、リハビリ機能、ADL(食事支援・更衣支援・整容支援)、IADL(炊事支援・洗濯支援)、騒音等を調べた。980N負荷時に約24mm/sの速度が出ているかについてはストップウォッチとスケールで確認した。10回の測定の平均は24mm/sであった。リハビリ機能については、本校の数人の学生以外に、体重588Nの腰の悪い男性高齢者に被験者となっていたと確認した。この場合、負荷は980Nから588Nに減少したが、雌ネジと雄ネジの接触半径Rとrはほとんど変化していないと考えられ、座面の移動速度は約24mm/sであった。また、無負荷時には120mm/sの速度となっていた。これらの値による立ち上がりのリハビリ支援性について確認したところ「このような座椅子を早く市販化してください」との返答をいただいた。ADLとIADLについては、種々の用途の高さ位置に移動・固定できることから、実現できていることを確認した。またとくに更衣に関連してズボンが履けるかどうかについても同被験者に実際にやっていただき実現できることを確認した。騒音に関しては、椅子の半径1m内で測定した結果、約60dB(A)であった。この値は試作品の90dB(A)に比較して低く、一般に不快に感じると言われている70dB<sup>4)</sup>を下回っていた。

#### 4. モニタリングの結果による有用性と改良点の考察

国際フロンティア産業メッセ 2010 (9月9日, 9月10日, 場所: 神戸国際展示場) におけるモニタリング結果を踏まえて, 本補助座椅子の使用時の有用性と改良点について考察した.

##### (1) 有用性

- a) 椅子が非常に低い位置まで下降するので, 足を内股にしたおばあちゃん座りができるところが魅力である. 本指摘は我々が考えもしなかった点である.
- b) 立ち上がり補助だけではなく色々な高さで止められるところも有意点ではないか. この点は, 本設計のコンセプトの一つでもある.
- c) この椅子の売りは何か. 通常のモーターで変速すればよいのでは. 「同仕様として独立宣言エコライトが市販化されているが, 負荷時の座面の上昇・下降速度は15mm/s~20mm/sと一定であり, エコライトには付いていないが, リハビリ機能を向上させようとするれば, 無負荷時に速度を変える操作が必要となることである. それに対して, この椅子の特長は, 負荷時により速い約24mm/sの速度で上昇・下降するとともに少しでも立ち上がりかけたら, 椅子が速い速度(120mm/s)で自動的におしりにフィットしながら追従してくれるところにある. したがって, とくにリハビリ用に使用していただきたいと考えている.」の説明で納得していただけた.

##### (2) 改良点

- a) モーター音をさらに小さくする工夫が必要である.
- b) 座椅子の下に車を付けて動かせるようにすればよい.
- c) アルミ材でフレームを作ればもっと軽くなるのではないか

#### 5. おわりに

荷重をバネによって自動感知し, 通常のネジ運動から転がり運動に変える差動ネジ機構を有する, リニア駆動ユニットを立ち上がり補助座椅子へと適用し, 主に設計時の重要点および使用時の有用性について検討した. その結果,

- (1) ネジの径やモーターの回転数等, 主に立ち上がりのリハビリ用という本座椅子の使用目的に近い条件を得ることができた.
- (2) 1人の人間が独立して行える食事支援・更衣支援・整容支援等のADLや炊事支援・洗濯支援等のIADLに適用できることが分かった.
- (3) とくに(1)のリハビリ支援機能については, 今後, 社労士や社会福祉主事の協力を得て, 病院や介護施設で多くのモニタリングやアンケートを実施することにより, さらなる改善を目指したい.

#### 謝 辞

本論文を作成するにあたり, 社会福祉労務士当間瑞代様と社会福祉主事・社会福祉用具専門委員・ヘルパー・住環境コーディネータ 中辻和美様より助言をいただきました. また本研究は, 平成21年度科研費(基盤研究(C)(21560156)の助成を受けたものである. 各位に厚く御礼申し上げます.

#### 参考文献

- 1) M. SHINBRI, K. SADAHIRO, Y. MURAO and T. NAKATSUJI, Proceedings of CJICHTMD-2010, p. 20, Jiaozuo, CHINA, 2010.
- 2) 吉沢武男: 大学演習機械要素設計, 裳華房, p. 150, 1991.
- 3) 福祉用具レンタル・販売カタログ, Vol. 17 (株式会社トーカイ) p. 58, 2010.
- 4) 守田 栄, 松浦 尚: 騒音・振動入門, オーム社, pp. 2-3, 1977.