

**O3-5**

**メカニカルブレーキ式転倒防止装置を搭載した歩行支援機の開発**

**(ブレーキ機構の実験的検討)**

**Development of a Walking Support Machine**

**with a Mechanical Brake to Prevent Patient's Falling.**

**(Experimental Study on the Brake Mechanism)**

○ 吉家 貴洋(東海大院)      甲斐 義弘(東海大)

Takahiro YOSHIIE, Tokai University, 4-1-1 Kitakaname, Hiratsuka, Kanagawa  
Yoshihiro KAI, Tokai University,

**Abstract :** Along with the steadily rising elderly population in Japan, the number of aged persons with difficulties in walking is increasing. We have developed a walking support machine for assisting the gait exercises of the patients in hospitals. The walking support machine has a device to unload patient's body weight and a device to prevent patient's falling. These devices consist of only mechanical components without actuators, controllers and batteries. In the device to prevent patient's falling, a brake mechanism is used. In this paper, first, we analyze the brake mechanism. Second, we design and develop a new device to prevent patient's falling on the basis of the analysis results. Third, we experiment by using the device. Finally, from the experimental results, we examine the usefulness of the device to prevent patient's falling.

**Key Words :** Walking support machine, Rehabilitation, Gait exercise

**1. 緒言**

近年、高齢化社会の進行に伴い、歩行機能に障害を持つ患者が増加している。医療現場では患者の歩行訓練を促進し、介助者の負担を軽減する歩行支援機の開発が望まれている。これまでに、歩行支援機について数多くの研究が行われているが<sup>(1), (2)</sup>、その多くはアクチュエータ駆動式のものであり、実際の医療現場で多く使用されるためには安全性やメンテナンス、重量等の問題がある。

本研究では、アクチュエータやバッテリー等を用いず、ばねやダンパーなどの機械要素のみを用いて、患者の転倒を早期に検知し防止する「患者転倒防止装置」と患者の体重を免荷する「体重免荷装置」を搭載した歩行支援機をこれまでに提案してきている<sup>(3), (4)</sup>。転倒防止装置ではブレーキ機構を使用している。

本報告では、ブレーキ機構の力学的解析を行い、その解析結果に基づき転倒防止装置を設計・製作する。製作した転倒防止装置を用いて実験を行い、実験結果よりブレーキ機構の力学的解析に基づいた転倒防止装置の設計手法の有効性を検討する。

**2. 歩行支援機**

**2-1 歩行支援機の構造**

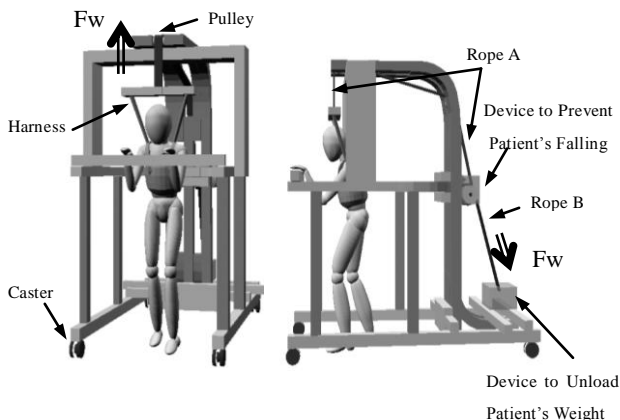


Fig.1 Walking Support Machine

図1に本研究で取り扱う歩行支援機を示す。本研究で提案する歩行支援機は、後部に転倒防止装置・体重免荷装置を搭載した患者吊り下げ式歩行支援機である。歩行訓練時に患者は歩行支援機内に入りハーネスを装着する。ハーネスは歩行支援機上部のロープ A に接続される。ロープ A のもう一端は転倒防止装置に接続され、ロープ B を介して体重免荷装置に接続される。

転倒防止装置では患者の転倒時に発生するロープ A の速度に着目し、あらかじめ設定した値 (以下、設定速度) を超えると装置が検知しメカニカルなブレーキが作動する。患者が立ち上がることでブレーキは解除される。

体重免荷装置は患者の歩行訓練時や患者が転倒を防止された後立ち上がろうとするときに体重を支える。

**2-2 体重免荷装置**

体重免荷装置には、ストロークによらず一定の荷重を発生する定荷重ばねを用いている。定荷重ばねにより発生した力はロープ B ・ 転倒防止装置 ・ ロープ A を介して患者に伝わり、患者の体重を常時免荷する。定荷重ばねは取替え可能で免荷力  $F_w$  (1~20[kgf]) が発生できるようになっている。

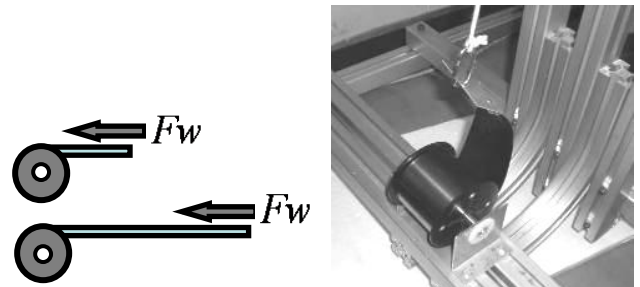


Fig.2 Device to Unload Patient's Weight

**2-3 速度に基づく転倒防止装置の構造**

転倒防止装置の構造を図3に示す。本装置は、ブレーキドラム、ブレーキシュー、ギア A、ギア B、ギア C、ばね A(ねじりばね)、ばね B、ストッパー、ダンパー、回転軸、ドラム A、ドラム B、固定板からなる。患者に装着されたロープ

AはドラムAに、ドラムBに接続されているロープBは体重免荷装置に取り付けられている。ドラムA・B、アーム、固定板は回転軸と一体となって回転する。ギアAはばねAを介して固定板(回転軸)に拘束されている。2つのブレーキシューに取り付けられた4つのガイドバーはギアAに設けられた長方形型の4つのガイドホールに挿入される。2つのブレーキシューは、通常、回転軸に取り付けられたアームによってドラムブレーキ内を回転する。さらに、回転軸の回転はギアBを介してギアCに伝達される。ギアCにはダンパー本体が取り付けられている。ダンパーの出力軸にはストッパーが取り付けられている。ストッパーにはばねBの一端が取り付けられており、ばねBの他端はフレームに取り付けられている。

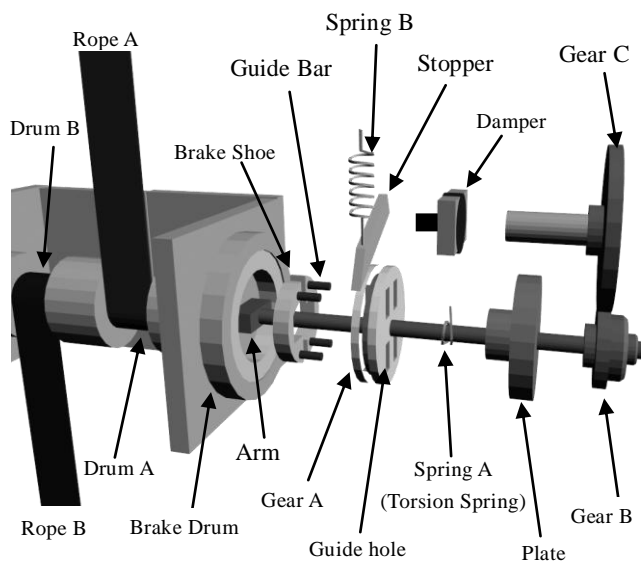


Fig.3 Device to Prevent Patient's Falling

2-4 速度に基づく転倒防止の動作順序

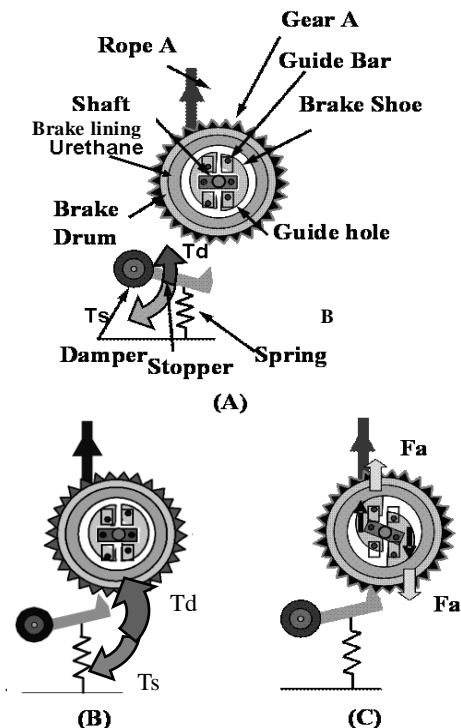


Fig.4 Mechanism of Device to Prevent Patient's Falling

ブレーキ部のメカニズムを図4に示す。ロープAが設定速度よりも小さい場合は、ダンパーによる制動トルクがばねBによるスプリングトルクよりも小さいため、ストッパーは同図(A)のようにギアAと接触しない。ロープAが設定速度よりも大きいときは、ダンパーの制動トルク(Td)がばねBのスプリングトルク(Ts)よりも大きくなり、同図(B)のように動作し、ギアAはストッパーと噛み合い停止しようとする。しかし、回転軸及びアームは回転し続けようとするので、アームの回転により、ブレーキシューはギアAに設けられたガイドホールに沿ってスライドし、ブレーキ材に押しつけられ、ブレーキが作用する(同図(C)参照)。

ブレーキが掛かった後、回転軸は減速しダンパーによる制動トルクが減少するので、ストッパーはばねBによって元の位置に戻る。しかし、ロープAには患者の体重等によって張力が作用し、その張力は回転軸に取り付けられたアームを介して2つのブレーキシューに作用するため(同図(C)におけるFa)、ブレーキは掛かり続ける。患者が立ち上がろうとするとロープAの張力は減少し、体重免荷装置による免荷力によって軸が反転する。軸が反転することによってブレーキシューは元の位置に戻り、ブレーキが解除される。

なお、設定速度は、ストッパーに取り付けたばねBのばね力を変化させることにより設定変更可能である。

3. ブレーキ機構の解析

転倒防止装置のブレーキ作動時のブレーキ内部における力学モデルを図5に示す。ロープAに作用する力により、シャフトおよびアームにモーメントMが発生する。このアームのモーメントMから、ブレーキシューがブレーキ材と接触し、ブレーキ材に力faが作用する。アームの長さをrとして、モーメントMとブレーキシューがブレーキ材を押し付ける力faの関係は次式で表すことができる。

$$f_a = \frac{M}{2r} \quad \dots (1)$$

次に、ブレーキ材内径の半径をb、ブレーキ材の摩擦係数をμとすると、次の式が成り立つ時、ブレーキにより回転軸が停止する。

$$2\mu f_a b \geq M \quad \dots (2)$$

式(1)を式(2)に代入しμに関して整理すると、ブレーキにより回転軸が停止するための摩擦係数μ(以下、必要摩擦係数)を求める式は以下ようになる。

$$\mu \geq \frac{r}{b} \quad \dots (3)$$

式(3)より摩擦係数の大きい素材をブレーキ材に使用すると回転軸は停止し、この値より小さい値のブレーキ材を使用すると、ブレーキが作用しつつ回転軸は回転し続ける。

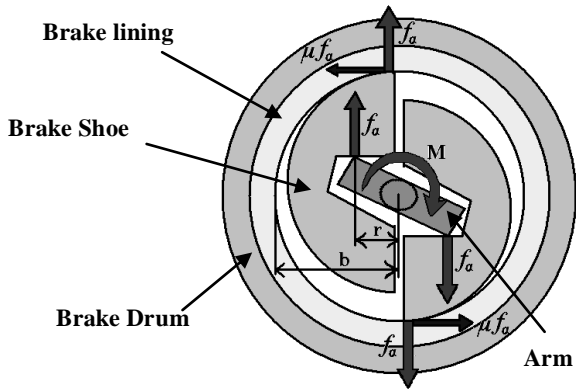


Fig.5 Mechanism of Brake

#### 4. 転倒防止装置の設計・製作

転倒防止装置の設計を行った (図 6 参照). まず, 本研究では, 一例として, 必要摩擦係数が  $\mu = 0.244$  となるように式 (3) に基づきアームの長さ  $r$  およびブレーキ材内径  $b$  を決定した (図 7 参照). 次に, 必要摩擦係数以上の摩擦係数を有するブレーキ材を選定した. そして, 決定した寸法およびブレーキ材より転倒防止装置の詳細設計を行い, それを基に製作した. 製作した転倒防止装置の寸法等を表 1 に示す.

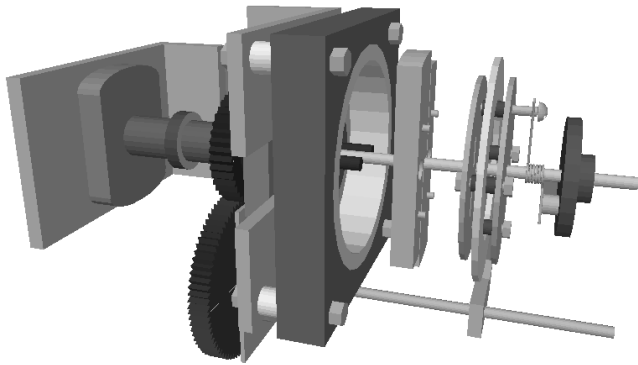


Fig.6 Design of Device to Prevent Patient's Falling

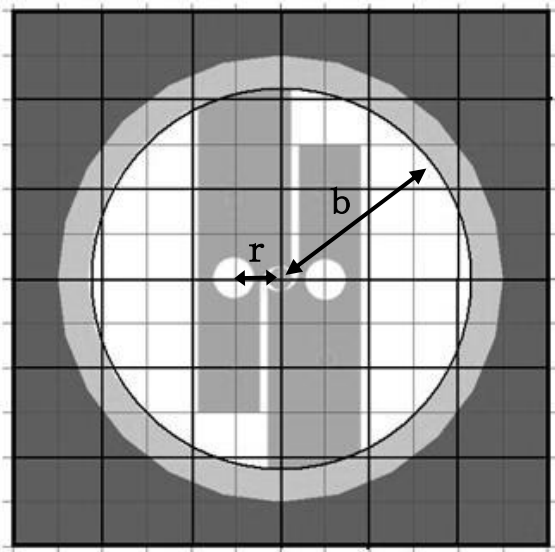


Fig.7 Drum Brake

Table 1 Parameters

Parameters	Units	Device to Prevent Patient's Falling
Size	mm	W210 *H170 *D100
Mass	kg	4.3
b	mm	43.0
r	mm	10.5
Required coefficient of friction ( $\mu$ )	/	0.244
Brake lining	/	Urethane
Brake lining's coefficient of friction	/	0.318

#### 5. 製作した転倒防止装置及び歩行支援機

本研究で実際に作成した転倒防止装置を図 8, および歩行支援機を図 9 に示す. 転倒防止装置のダンパーには MISUMI のロータリーダンパー(MRDY-W)を用いている.

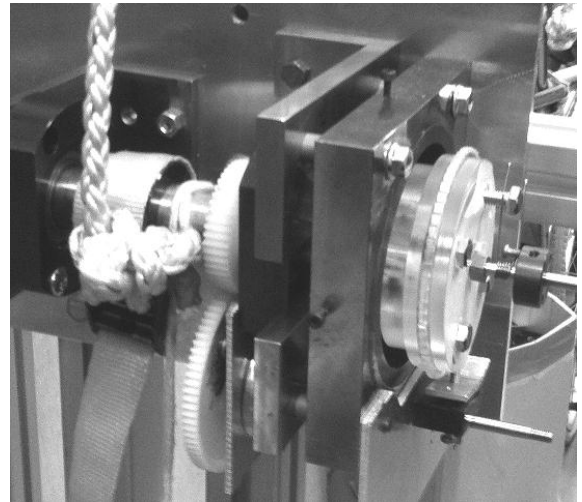


Fig.8 Developed Device to Prevent Patient's Falling

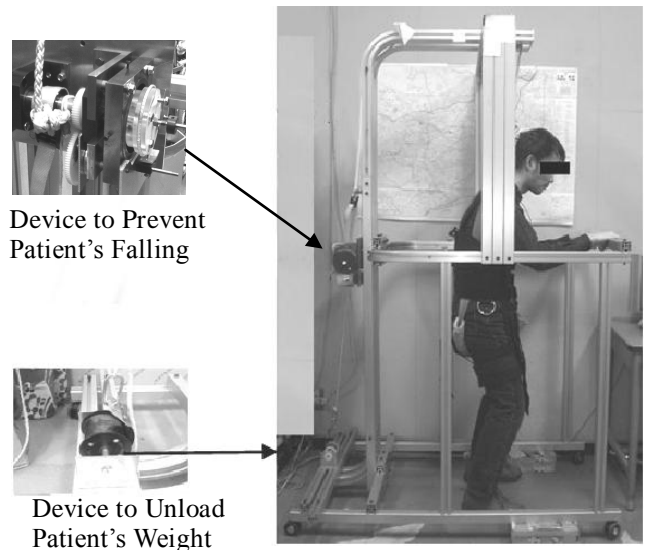


Fig.9 A Mechanical Walking Support Machine

6. 転倒防止実験

6-1 実験方法

図 10 に示すように、本研究で製作した歩行支援機を用いて、人が転倒しかけた際に、転倒が防止されるか否かについての実験を行った。体重免荷装置の免荷力は被験者の体重の 10%程度に設定した。転倒防止装置の設定速度は  $19.1 \pm 3.7$  [rad/s] ( $\pm 3.7$  はダンパーのトルク伝達で生じる誤差 20%) とした。転倒防止装置のストッパー・回転軸にはマーカーを取り付け、転倒防止装置作動時の各マーカーの動きを高速度カメラにより計測した。実験は健常者 6 名 (男性, 年齢 22 ~ 25 歳) を対象に各 10 回行った。

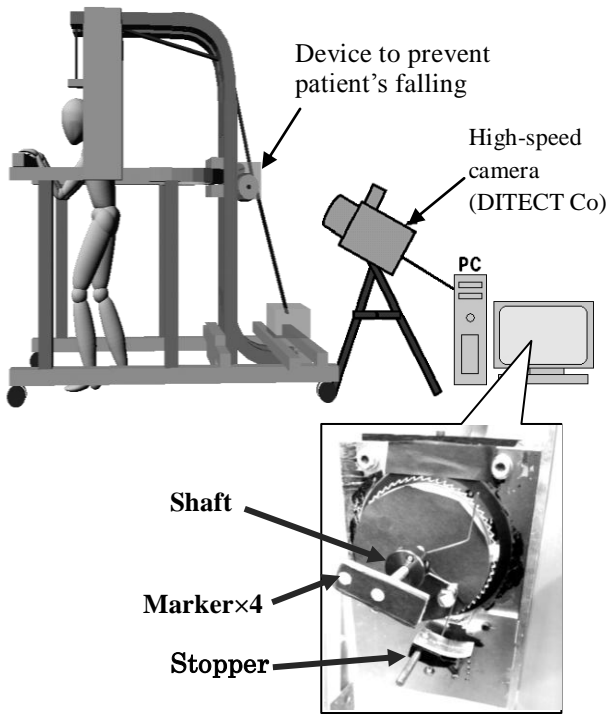


Fig. 10 Experimental Setup

6-2 実験結果と考察

実験の結果の代表例を図 11 に示す。図の縦軸は回転軸の角速度、横軸は時間を示している。また、グラフ内の矢印はブレーキが掛かり始める時刻における回転軸の角速度を示している。

図 11 より、本転倒防止装置の回転軸が約 20 [rad/s] に達した後、ブレーキが掛り始め、若干の振動は見られるものの回転軸の速度がほぼゼロになっている (すなわち停止している) ことが分かる。

本実験で行ったすべての実験データより、本転倒防止装置の回転軸にブレーキが掛り始める時の回転軸の速度 (以下、実験検知速度) の平均値・最大値・最小値を求めた結果を表 2 に示す。表 2 より、実験検知速度と設定速度には若干の誤差は見られるが、ダンパーのトルク伝達誤差 20% ( $\pm 3.7$  [rad/s]) を考慮すると、おおよそ実験検知速度と設定速度の誤差はダンパーの誤差程度あることが分かる。したがって、ブレーキ機構の力学的解析を基に設計・製作した本転倒防止装置は、ほぼ目的通り動作しており、その設計手法は有効であると考えられる。

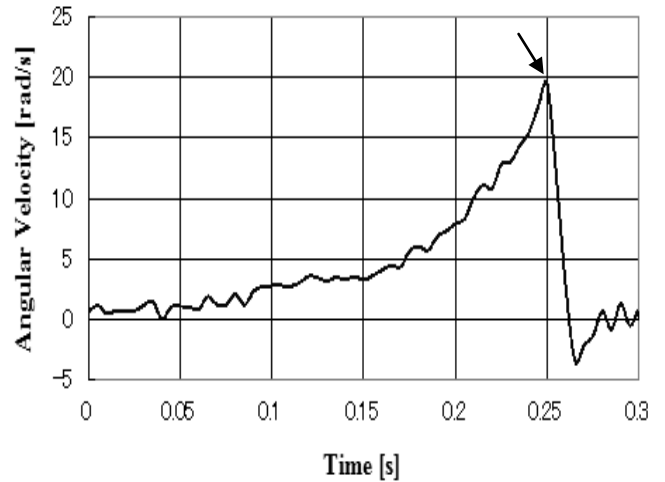


Fig. 11 Experimental Result

Table 2 Angular Velocity

Average [rad/s]	Maximum [rad/s]	Minimum [rad/s]
18.1	25.2	15.5

7. 結言

本報告では、

- (1) 転倒防止装置で使用しているブレーキ機構の力学的解析を基に転倒防止装置の設計・製作を行った。
- (2) 製作した転倒防止装置を用いて実験を行い、実験結果よりブレーキ機構の力学的解析に基づいた転倒防止装置の設計手法の有効性を検討した。

参考文献

- (1) Ju-Jang Lee, Choon-Young Lee, Development of Walking Assistance Robot System and Experiment with the Disabled, Proceeding of SICE/ICASE Workshop, pp219-224, 2001
- (2) 宮脇・巖見・大日方・近藤・沓澤・小笠原・西村, 「電動歩行機を用いた高齢者歩行の評価」, 日本機械学会論文集(C編), Vol65, No640, pp4759-4766, 1999
- (3) Yoshihiro Kai, Development of a Walking Support Machine with Mechanical Safety Devices, Proceedings of The 4th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, pp99-100, 2011
- (4) 吉家・甲斐, メカニカル歩行支援機の開発 (患者転倒防止のためのメカニカルブレーキ) 日本機械学会機素潤滑設計部門講演会講演論文集, Vol.10th, pp161-164, 2010