

機関番号：13301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560129

研究課題名（和文） 転倒予防のための運動能力が測定可能な  
装着型パラレルワイヤ駆動機構の研究研究課題名（英文） A study of parallel wire-driven mechanisms  
for measuring human physical capabilities to prevent a fall

研究代表者

立矢 宏（TACHIYA HIROSHI）

金沢大学・機械工学系・教授

研究者番号：10216989

研究成果の概要（和文）：本研究では、転倒に対する、座位および立位でのヒトのバランス維持能力測定装置を開発した。同装置はパラレルワイヤ駆動機構を用い、その出力部で身体の傾斜方向を誘導する。また、ヒトがバランスを維持できなくなった場合は、同出力部で身体を速やかに支持する。したがって、ヒトの転倒瞬間の挙動を安全かつ再現性高く測定できる。同装置を用い、転倒が生じる瞬間の重心位置や身体傾斜角度を測定し、ヒトのバランス維持能力の個人差、身体傾斜方向による特徴などを明らかにできることを確認した。

研究成果の概要（英文）：This study develops devices to measure the balance maintenance ability of human against falls in sitting and standing positions. The devices are composed of parallel wire-driven mechanisms. The mechanism supports human body by its output part and leads human body to the specified direction of tilt. Furthermore, the mechanism can hold the body when the fall occurs. Thus the devices can measure the fall behavior of human reproducibility and safely. The study measured the center of pressure, tilt angle and so on of human at a fall by the developed devices and confirmed the obtained data can denote the individual differences, features about the tilt direction and so on.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：医療工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械機能要素

キーワード：医療・福祉，転倒，パラレルワイヤ駆動機構，バランス維持能力，座位，立位

## 1. 研究開始当初の背景

健常者には容易であっても、障害者にとって転倒を生じやすい動作は日常多々あり、いったん転倒を生じてしまうと、その後の危険回避や起き上がりなどは非常に困難になる。また、高齢者にとって転倒は骨折を招く危険性が高い。高齢者の転倒による骨折は、老衰に次ぐ寝たきりとなる主要因である。

そこで、転倒に対するヒトのバランス維持能力をあらかじめ測定・評価し、転倒予防のための訓練や、注意を促すことが重要である。しかし、転倒に関する実験時には、被験者が実際に転倒し負傷してしまうことは絶対に避けなければならない。そこで、臨床現場では被験者を実際に転倒させることはせず、立位に関しては人体の重心のふらつきと転倒

経験の相関に関する調査結果などを評価資料としたり、座位に関しては両臀部、両足部で支持する荷重変化で評価したりすることを試みており、実際の転倒に関するバランス維持能力を直接、定量的に測定することは行われていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、転倒に対するヒトのバランス維持能力を定量的に測定する装置および方法の開発を目的とした。測定対象は、座位および立位状態において、体幹を徐々に傾斜させるなどしてバランスを崩し転倒する瞬間までのヒトの重心移動、傾斜角度などである。これらを、安全かつ再現性高く測定し、ヒトのバランス維持能力の評価に用い、転倒の予防と訓練に利用可能とすることを検討した。

## 3. 研究の方法

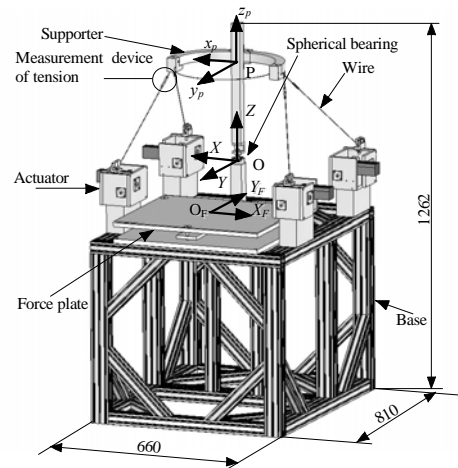
ヒトの転倒にいたるまでのバランス維持能力を安全かつ再現性高く測定する装置を、本研究では平行ワイヤ駆動機構を用いて開発した。平行ワイヤ駆動機構は複数のワイヤで、その出力部を制御する装置であり、多自由度な運動が可能である。また、同機構はワイヤで構成されることから軽量かつ柔軟性が高い。したがって、ヒトの身体への装着が容易に行える。

本研究では、まず、座位におけるバランス維持能力測定装置として、座面上にフォースプレートを設置し、同面上に座る被験者の上体を平行ワイヤ駆動機構で誘導および支持する装置を設計製作した。同装置を用いて、座位で転倒が生じやすい足組状態における転倒挙動を測定した。次に、立位におけるバランス維持能力測定装置を、座位の場合と同様に、接地面にフォースプレートを配置し、同プレート上で立位姿勢をとる被験者の体幹を平行ワイヤ駆動機構で誘導および支持する装置を設計製作した。さらに、同装置を用いて、種々の姿勢、傾斜方向に対する転倒に至るまでのバランス維持能力を座位の場合と同様に測定し評価した。

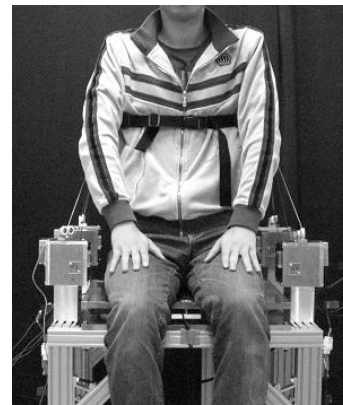
## 4. 研究成果

まず、座位を対象としたバランス維持能力測定装置の開発を行った。座位での転倒は健常者にとっては生じにくいと考えられるが、健常者以外にとっては、支持面が大きく、比較的安定した座位状態においても、足を組む動作時などにバランスを崩し転倒することが多々あり、その予防と訓練は重要である。

測定対象とするヒトの上体動作は、腰部を中心とした前後屈、回旋、側屈の3自由度の回転運動とした。これらの回転運動を実現するため、提案する測定装置には4本のワイヤを用いる空間3自由度平行ワイヤ駆動機



(a) Outline of the device [mm]



(b) Experimental situation  
Fig. 1 Measuring equipment for sitting position

構を用いた。

製作した上体機能測定装置の概略を図1に示す。装置はアルミフレームで構成したベース部の上面にフォースプレートを設置し、被験者の座面とする。同じく、ベース上面には、ワイヤを駆動するモータを配置するとともに、球対偶を介して支柱を連結し、その上部に身体を装着する出力部を取り付けている。出力部は、ベース上のモータとワイヤで連結している。ワイヤにはひずみゲージによる張力測定部が設けられ、モータで伸縮することにより出力部の位置決めを行う。

実験時には、ベース部に配置したフォースプレートから被験者の圧力中心の計測、張力測定部に設置した歪ゲージからワイヤ張力の計測、また、サポート部フレームに固定された角度センサからサポート部の姿勢の計測が可能である。なお、図1において、ベース上に設定された静止座標系を  $O-XYZ$  とし、出力節の姿勢は  $X, Y, Z$  軸周りの順に回転する出力節の角変位  $\alpha, \beta, \gamma$  で表す。初期姿勢は出力節上に設定した動座標系と静止座標系の各軸方向が一致する場合とする。

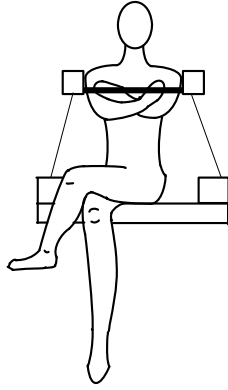


Fig. 2 Sitting posture with legs crossed (Left leg over the right leg)

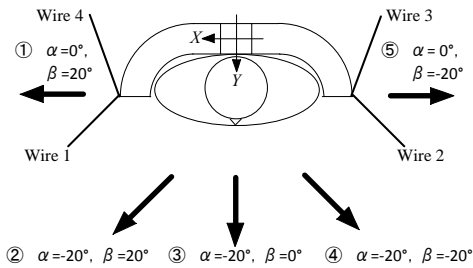
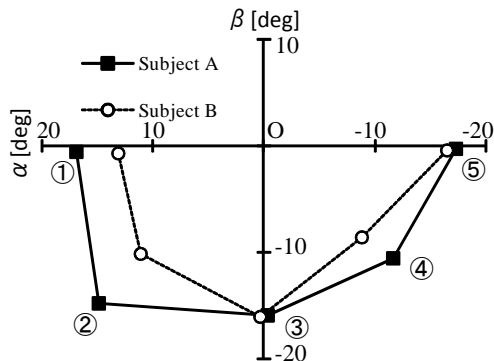
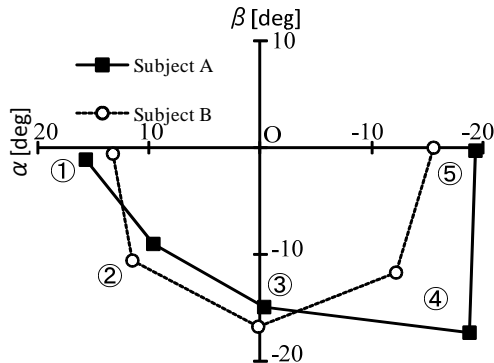


Fig. 3 Directions of tilt



(a) Left leg over the right leg



(b) Right leg over the left leg

Fig. 4 Measured tilt angles of the device at fall

以下、実験結果について述べる。なお、対象は健常な成人男子とし、先述のとおり、座位時における足組みでの転倒について測定した。

実験時の被験者の姿勢は、両足底部を接地せず、体幹前方で腕を組み、図2に示すような膝窩部での足組み姿勢状態とした。被験者には同姿勢でサポート部に負荷をかけないよう限界を超えるまで装置の動作に追従してもらい、転倒時の重心位置と装置角度を測定した。なお、転倒時に被験者はサポート部に寄りかかりワイヤ張力は急増する。そこで、転倒はワイヤ張力が急変した瞬間に生じたとした。動作方向は足組みによる影響が生じやすいと考えられる図3に示す体幹前面の①～⑤の方向とした。

測定結果を図4に示す。被験者は健常な成人男性A、Bの2人とした。図4(a)は図2のように左足を右足の上に重ねた足組み姿勢での、図4(b)は右足を左足の上に重ねた足組み姿勢での転倒瞬間時における装置の傾斜角度を示している。■および○は、それぞれ被験者AおよびBの結果である。なお、各方向への変化がわかりやすいように実線で結んでいる。

まず、被験者Aに注目すれば、転倒は足の上に組んだ方向に生じやすいことがわかる。特に、方向②と④における装置の傾斜角(X軸周回転角)を比較すれば、図4(a)、(b)いずれにおいても、足を上組んだ方向に対し、そうでない方向の転倒までの傾斜角度は1.5倍程度となっている。次に、被験者Bの結果に注目すれば、Aと同様に足を上組んだ方向へ転倒しやすいことがわかる。しかし、被験者Aと比較すれば、転倒が生じる装置角度の左右の偏りはかなり小さく、また、全般的に転倒を生じやすいことがわかる。

このように、本装置の測定結果より、転倒のしやすさの評価や、各個人の転倒しやすさの比較が可能である。さらに、詳細な測定結果は略すが、以上の実験における、フォースプレートによる重心位置と平行ワイヤ駆動機構による装置傾斜角度の測定結果を転倒評価値として比較した結果、装置の傾斜角度の方がより明確に転倒瞬間の特徴、個人差を表していた。

座位姿勢における不安定な状態では体幹や頸部の屈曲を生じさせて姿勢の安定を保つことから、ヒトは重心位置を変化させず体幹の姿勢を変化させることができる。したがって、転倒瞬間においても重心位置は大きく変動しない場合がある。よって、本実験では装置傾斜角度がより明確に転倒瞬間を表したと考えられる。また、このことから、簡易的にはフォースプレートを設置せず、平行ワイヤ駆動機構のみで人体の支持、誘導と転倒の測定を行なうことも可能である。

以上のように図1の装置は座位におけるヒトの転倒瞬間の測定結果はバランス維持能力の評価に有用であることが確認された。

次に、立位での転倒に関するバランス維持能力の測定を検討した。立位状態では身体の支持面積が小さく、また、運動をとまうことが多いためバランスを崩し転倒しやすい。

提案した実験装置を図5(a)に示す。装置の主要部分は、座位の装置と同じく3自由度の平行ワイヤ駆動機構である。同機構で3自由度の球対偶で支持した出力軸を4本のワイヤの伸縮で任意軸周りに回転させる。出力軸には図5に示すように身体のサポート部を設け、図5(b)に示すように被験者の胸部周りに装着して姿勢の制御・保持を行う。

サポート部の姿勢を表すため、図5(a)に示すように球対偶の中心を原点Oとし、Z軸を鉛直上向き方向、Y軸を装置前面方向とする右手直交絶対座標系O-XYZを設定する。サポート部の姿勢は、X、YおよびZ軸周りに順に回転する角変位 $\alpha$ 、 $\beta$ および $\gamma$ で表す。これらの回転運動により、被験者の前後傾斜、回

旋、側方傾斜の運動を制御する。なお、出力軸がZ軸に一致し、各ワイヤ長が同一となる時を $\alpha$ 、 $\beta$ および $\gamma$ がいずれも零である初期姿勢とする。実験時には、装置の初期状態で被験者が静止直立状態となるようにサポート部を装着する。

なお、図5(b)に示すように、サポート部はベルト式であり、幅や高さを被験者にあわせて調整できる。転倒と同時に身体はサポート部で保持されるため、被験者が大きな衝撃を受けるなどの危険を被ることはない。

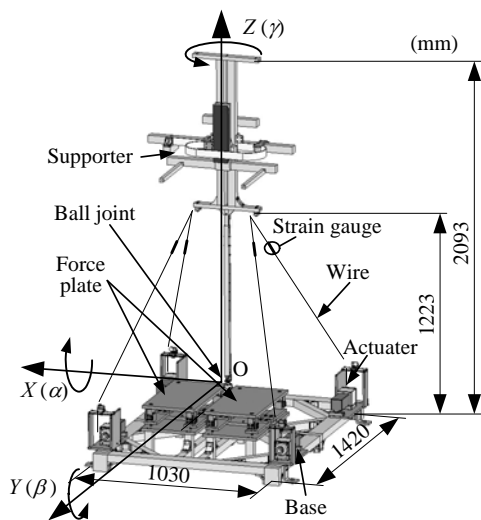
各ワイヤには、ひずみゲージを貼り付けた金属製のプレートを連結してあり、それぞれのワイヤの張力を測定することができる。各ワイヤの張力と長さから、原点O周りのモーメントが求められる。さらに、足部に作用する直交3軸方向の荷重を測定し、重心位置を求めるためのフォースプレートをベースに設置している。

以上の装置を用い、被験者が姿勢を変化させ転倒に至るまでの、モーメント、重心位置、床反力の変化などを測定した。まず、サポート部の傾斜方向を設定し、ついで、胸部をサポート部で囲んだ被験者に、静止直立状態から装置に負荷を与えないように、サポート部の移動に追従して、転倒するまで身体を徐々に傾斜させてもらった。なお、出力軸の運動は等速回転運動(1.0deg/s)とした。

被験者の転倒は、座位の場合と同じく、ワイヤ張力の急増に基づき判定した。図6に、ワイヤ張力から求めたサポート部支点まわりのモーメントの変化の例を一点鎖線で示す。比較のため、重心位置のXおよびY方向の変化を実線および破線で示す。横軸は測定時間、右側縦軸はモーメントの大きさ、左側縦軸は重心位置のXおよびY座標を表している。なお、装置の動作開始時刻は測定開始から10s後であり、被験者を静止直立静止状態から、サポート部の目標傾斜角を $(\alpha, \beta, \gamma) = (-10^\circ, -10^\circ, 0^\circ)$ として身体を傾斜させた。

図6に示すように、身体の傾斜とともに重心位置はほぼ線形に変化し、測定開始から約24秒後に急変している。同時刻が転倒瞬間である。このとき、モーメントの値は、ほぼ零から急増し、その変化は重心位置の変化よりも明確であり、同値を転倒瞬間の判定に用いることの妥当性が確認される。

測定結果の例として、図7に両足支持状態で複数の方向へ身体を傾斜させた2名の健康な成人男性A、Bについての結果を示す。転倒実験は図7中に示す①～⑥の6方向で行った。なお、座位の場合は、装置の傾斜角で転倒に対するバランス維持能力の比較を行った。立位の場合も同様な評価が可能であるが、座位に比べ、バランス維持への各関節発生力の寄与などが複雑であるため、重心移動などにも注目した。そこで、図7には実験時の各



(a) Outline of the device [mm]



(b) Experimental situation

Fig. 5 Measuring equipment for standing position [mm]

被験者の立ち位置を足型で示すとともに、重心位置の推移および転倒瞬間の重心位置を●および■で示した。

図7より両足支持状態からの転倒では、2名の被験者とも身体支持面である足部のふち付近で転倒していることが確認できる。また、同じ被験者における片足支持状態での転倒実験でも同様な結果を得た。

静止立位状態の被験者の姿勢は、下腿の筋力などが十分であっても、静力学的な力の釣り合い条件より、重心位置は足の支持面を超えて移動することはできない。よって、図7のように重心が足部のふちに達した場合には転倒が生じてしまう。したがって、以上の

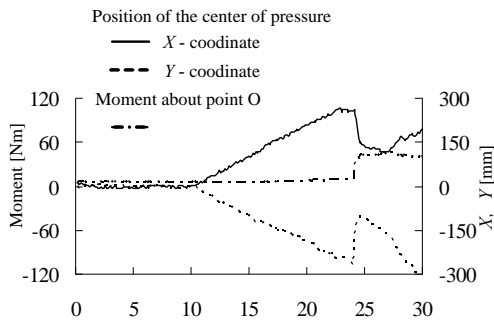
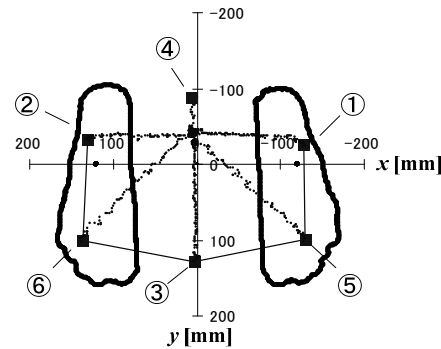
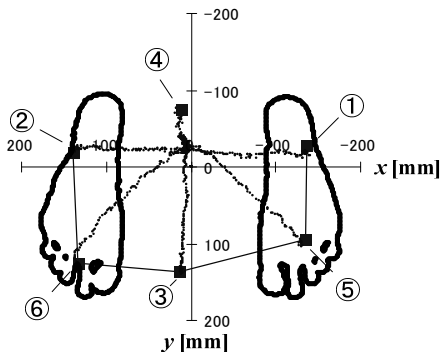


Fig. 6 Changes of moment about point O and position of the center of pressure



(a) Subject A



(b) Subject A

Fig. 7 Position of the center of pressure  
( $\alpha$ ,  $\beta$ ): ① ( $0^\circ$ ,  $-13^\circ$ ) ② ( $0^\circ$ ,  $13^\circ$ ) ③ ( $-13^\circ$ ,  $0^\circ$ ),  
④ ( $10^\circ$ ,  $0^\circ$ ), ⑤ ( $-10^\circ$ ,  $-10^\circ$ ), ⑥ ( $-10^\circ$ ,  $10^\circ$ )

実験で発生した被験者の転倒は、筋力ではなく静力学的な釣り合い条件によると考えられる。

転倒の原因として、以上のような力の釣り合い条件だけでなく、下腿の筋力の発生限界などにより転倒することも考えられる。そこで筋力の影響による転倒の発生を検討するため、被験者におもりを装着させた状態で転倒実験を行った。

図8に、294Nおよび196Nのおもりを着用した片足支持状態での、前方方向へ姿勢を傾斜させた場合における実験結果を示す。上側が294N、下側が196Nの結果である。図8より294Nのおもり着用時では196N場合に比べ、転倒が早く生じ、足のふちに重心位置が移動する前に被験者は立位姿勢を保てなくなることが確認できる。また、他の被験者でも一定以上の負荷をかけることで転倒までの重心移動距離が短くなることを確認した。

以上の結果より、図8での転倒は、図7での転倒と異なり、足の指による支持力が負荷に耐えられなくなったときに生じたと推測される。これまで、身体支持には主に足関節モーメントの影響が注目されているが、足の指の支持力も大きく影響している可能性がある。よって、高齢化、何らかの障害により、足関節、さらに、足指関節に発生可能なモーメントが減少した場合、転倒に対する身体のバランス維持能力が低下する可能性がある。

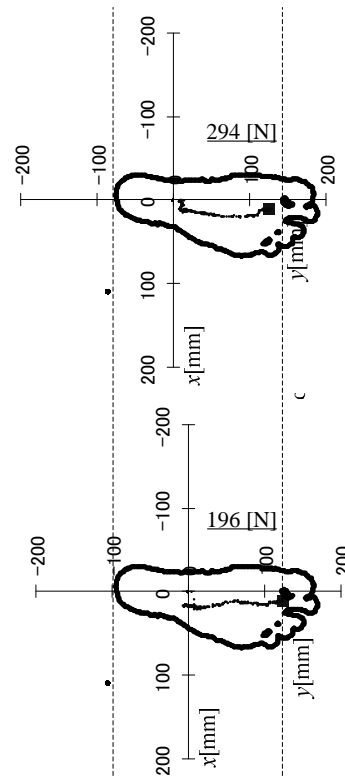


Fig. 8 Position of the center of pressure  
(Results of the weight jacket wearing)

以上のように、開発した実験装置を用いれば、種々の条件において再現性の高い転倒挙動の測定が安全かつ容易に行え、その結果から転倒に対するバランス維持能力の評価が可能である。今後は、さらに、測定対象者を増やし、本装置で得られる結果と、転倒の生じやすさの相関を明らかにしていく。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 立矢 宏, 荒井優樹, 奥野公輔, 宮崎祐介, 西村誠次, パラレルワイヤ駆動機構を用いた人体の転倒実験装置—座位での転倒評価の検討—, 日本機械学会論文集 C 編, 76-770 (2010), 2621-2627, 査読有

[学会発表] (計2件)

- ① 内島大作, 藤田圭伍, 立矢 宏, 宮崎祐介, 西村誠次, パラレルワイヤ駆動機構による立位転倒挙動測定装置, 日本機械学会北陸信越支部 第48期総会・講演会, 2011年3月5日, 信州大学繊維学部 (長野県)
- ② 荒井優樹, 立矢 宏, 宮崎祐介, 西村誠次, パラレルワイヤ駆動機構を利用した人体の転倒機能評価装置, 日本機械学会2008年次大会, 2008年8月4日, 横浜国立大学 (神奈川県)

[その他]

ホームページ等

- ① <http://www.ms.t.kanazawa-u.ac.jp/~design/html/research/robotics.html>
- ② <http://www.nst.kanazawa-u.ac.jp/video/tatiya.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

立矢 宏 (TACHIYA HIROSHI)  
金沢大学・機械工学系・教授  
研究者番号: 10216989

### (2) 研究分担者

西村 誠次 (NISHIMURA SEIJI)  
金沢大学・保健学系・准教授  
研究者番号: 70251965

宮崎 祐介 (MIYAZAKI YUSUKE)  
金沢大学・機械工学系・助教  
研究者番号: 70432135