

エアバッグ内蔵転倒予防機器の開発

分担研究者 吉村拓巳 東京都立産業技術高等専門学校・助教授

研究要旨 本研究では、エアバッグにより容易に装着可能で、万が一転倒・転落が発生した場合に、外傷を軽減するシステムの開発を行った。今年度は加速度センサを用い、エアバッグの作動に必要な転倒検出方法の検討と、トリガ信号によりエアバッグを膨らませる機構の試作を行い、動作の検証を行った。16名の健常成人を対象にのべ144回の模擬転倒を行い転倒中の加速度波形を計測した。加速度波形より、簡便なアルゴリズムを用いて、すべての転倒の予兆を検出可能であった。また、試作したエアバッグ機構を用い、300 msで供給可能なガスの容量を計測した結果2.4 L程度であることが明らかとなった。

A. 研究目的

近年の食生活や生活環境の変化、医療技術の進歩などにより日本人の平均寿命は増加し、先進国でも高い水準を維持している。これに伴い、今後日本の高齢者人口はさらに増加し、2025年には日本の人口の30%弱が高齢者になるとの予想されている[1]。また高齢者の中でも後期高齢者といわれる75歳以上の人口は、2025年には人口の約17%になると予想されている。このような状況の中、今後は高齢者が長生きするだけでなく、健康に長寿を全うする社会を実現するために、高齢者のQOLを向上させることが重要な課題であると考えられる。高齢者のQOLを向上させる一つの方策として、「ねたきり」の防止があげられる。厚生労働省の調査によると「ねたきり」の原因として転倒は脳卒中に次いで多いとされている[2]。また、その他の研究[3][4]においても、脳卒中に次いで転倒とそれに伴う骨折などの外傷が主要な「ねたきり」原因の一つであるとの報告されている。さらに、転倒を経験することにより、転倒に恐怖感を抱き、身体活動が消極的になることで、「ねたきり」につながるなどの「転倒後症候群」の問題も指摘されている[5][6]。このことより、転

倒時に発生する骨折などの外傷を防止することは「ねたきり」を減少させ、高齢者のQOLを向上させる有効な手段であると考えられる。

従来、転倒やベッドなどからの転落による事故を防止する機器として、センサなどを用いて、転倒の危険性が高い行動を事前に検出し、看護師や介助者に通報することで、転倒を防止するものが市販されている[7]。これらの機器として、マット型のセンサを用いる方法や[8][9]、画像センサを用いる方法[10]などがある。マット型のセンサはベッドの中やベッドの下に設置し、対象者が離床したことをナースコールなどで知らせるものである。介護保険施設などに入所している高齢者の場合、夜間にトイレに行く場合や朝、意識レベルが低い状態でベッドから転落・転倒する事故が問題となっている。これらの事故を防止するのにマットセンサは有効な方法であるが、これらの機器は就寝中の使用しかできず、その他の日常生活中に使用するには有効ではない。また、転倒防止を行うには介護者が常に待機する必要があるため、独居高齢者などでは転倒を防止することは困難である。画像センサを用いる方法は、CCDカメラの差分情報のみを用い動作を判断すること

で、プライバシーの問題を解決しつつ、広範囲の行動を検出可能である。しかし、センサを居室内の天井に設置する必要があるため、外出時などの検出は困難である。

上述したように、現在市販されている転倒防止機器は完全に転倒を防止することは困難である。このため万が一、転倒が発生した場合に速やかに対処可能な機器が必要である。これまでに、加速度センサや傾斜センサなどを用いて身体の姿勢情報を計測することで、転倒の有無を検出する研究が行われている[11-15]。しかし、これらの機器は転倒発生の有無を転倒後に知らせるものであり、転倒の外傷を防止することは困難である。

転倒発生時に外傷を防止するものとしては、ヒッププロテクタが市販されている。これは、スパッツ内に発泡スチロールなどの衝撃吸収材を装着し、大腿部頸部を保護するようにしたものである。これらの装具を用いて行った研究[16, 17]では、常時装着することにより転倒による外傷を防止する効果があることが報告されている。しかし、これらの装具は、ずれないようにきつく装着する必要があり、高齢者が装着するには煩わしさがある。また、大腿部頸部骨折を防止する目的で開発されているため、その他の部位の外傷を防止することは困難である。本研究では、これらの問題点を解決するため、エアバッグにより容易に装着可能で、万が一転倒・転落が発生した場合に、外傷を軽減するシステムの開発を行った。エアバッグを用いることで、装着が容易で広範囲の部位を保護することが可能となる。ここでは加速度センサを用い、エアバッグの作動に必要な転倒検出方法の検討と、トリガ信号によりエアバッグを膨らませる機構の試作を行い、動作の検証を行った。

B. 研究方法

1. 転倒検出アルゴリズムの検討

従来転倒を検出する研究としては、加速度センサや角速度センサを用いて転倒を検出する研究が行

われている[11-15]。われわれはこれまで、転倒の発生原因を明らかにし、転倒防止に役立てる目的で、転倒モニタの開発を行っている[18]。開発した転倒モニタは3軸の加速度センサにより転倒前後の姿勢変化と転倒の衝撃が発生した場合に転倒前後の加速度波形を記録する構成となっている。また清水らは、加速度センサを用いて鉛直方向の変位を検出することで転倒を検出し、外部へ通報するシステム[19]を開発している。これらの研究は転倒が発生した後に転倒したことを記録または知らせるもので、転倒の衝撃が発生する前に転倒の予兆を検出することはできない。転倒の予兆を検出する方法としては、足裏の加重センサを用いる方法[20]や、光学式のセンサを用いる方法[21]がある。加重センサを用いる方法は、足裏に加重センサを複数装着し、加重の移動パターンから転倒の予兆を予測するものである。この方法は、身体の姿勢情報がないため、転倒と日常行動の弁別が困難であるという問題がある。また、光学式センサを用いる方法は、身体の腰部と背中との2カ所に光学式の距離センサを装着し、床面との距離の差を計測することで転倒の予兆を検出する方法である。この方法は前後、左右の4方向にセンサを装着する必要があるため、被験者の負担になる。また、屋内では壁や柱が存在するため、常に床面からの距離を測定するのは困難である。本研究では、身体の姿勢や運動の状態を計測可能な加速度センサを用いて転倒の予兆の検出を試みた。通常の日常生活では足裏や体の一部が床などに接地しているため、身体には鉛直方向に重力加速度が加わっている。従って、被験者に加速度センサを装着した場合、加速度センサは重力加速度を検出可能である。しかし、転倒や転落の場合は、短時間では自由落下に近い動作をしていると考えられ、加速度センサは3軸すべての出力が 0 m/s^2 付近になると予測される。これらの予測にもとづき、自由落下の状

態が転倒による衝撃発生の前に検出可能なのか、またどれぐらいの時間で検出可能なのかを検討した。さらに、日常行動の動作を行い、自由落下の波形が発生するのか、発生するとすれば転倒と区別することが可能なのかを検討した。

1. 1 模擬転倒の計測

模擬転倒の実験を行い、加速度波形から自由落下による転倒の検出と転倒検出時間の検討を行った。健康成人男性 16 名(年齢 22.1 ± 5.4 歳, 体重 55.5 ± 6.0 kg, 身長 166.8 ± 5.6 cm)を対象に模擬転倒の実験を行った。実験の際には模擬転倒による傷害を防止するため、マットレス上に自ら倒れるように依頼した。転倒は直立の状態から前方、後方、側方に倒れる動作をそれぞれ各 3 回行った。計測した波形より自由落下判定を行う加速度の閾値を決定し、さらに衝撃加速度が発生するまでの時間を計測した。

1. 2 日常行動の計測

日常行動の動作は、お辞儀、椅子の着席と立席、10 秒間ジャンプ、着座姿勢から後方の倒れ込みの動作を各 3 回行った。計測した波形から各動作でどれだけの誤検出が発生するか、また誤検出をキャンセルするにはどのようなアルゴリズムを用いるべきかの検討を行った。

加速度波形の計測には 3 軸加速度センサ (GYROCUBE3A, ONI-23503, 0-NAVI) を用いた。センサの外形寸法は $1.5 \times 1.25 \times 0.6$ cm で、8.2g と軽量であるため、装着の負担が少ない。Fig. 1 にセンサの外観を示す。また、Fig. 2 にセンサの装着図を示す。センサは、被験者の腰部に専用のベルトを用いて装着した。計測は 16 Bit A/D コンバータ (CB-68LP, NATIONAL INSTRUMENTS) を用い、サンプリング速度 1 kHz で計測を行った。本実験で用いた 3 軸加速度センサは重力加速度を計測可能であるため、姿勢変化による直流成分のオフセット変化と転倒による衝撃加速度が得られる。身体の姿勢変化

による直流成分の出力は以下に述べるように設定した。

1) 上下方向の出力は身体が立位の場合 9.8 m/s^2 が出力される

2) 身体が水平に傾いた場合は、傾斜方向に関係なく 0 m/s^2 が出力される

3) 前後方向、左右方向の出力は、立位状態を 0 m/s^2 とし、前後方向は前方に傾斜した場合をプラス、後方に傾斜した場合をマイナスと定義

4) 左右方向は右に傾斜した場合をプラス、左に傾斜した場合をマイナスと定義

このように設定した場合、身体が静止状態では姿勢の状態がどのようになっているとも必ず加速度が出力される。一方、自由落下時にはセンサのすべての出力から 0 m/s^2 が出力される。

2. 転倒エアバッグの開発

2. 1 転倒エアバッグの概要

模擬転倒の結果から、転倒の衝撃が加わる 100~300 ms 前に特徴的な波形が検出されることが明らかとなった。この波形をトリガとしてエアバッグを膨らませる機構を試作した。Fig. 5 にエアバッグの概念図を示す。被験者がバランスを崩した際に、トリガ信号からエアバッグの膨張を開始する。転倒を開始してから転倒の衝撃が加わる間にエアバッグを膨らませる構成とする。Fig. 6 に転倒エアバッグのブロック図を Fig. 7 に試作したエアバッグの外観を示す。試作した装置はセンサ部、ガスボンベ、レギュレータ、電磁弁、エアバッグより構成されている。センサ部には 16 ビット CPU (H8 3048 Renesas Technology) を用いた。加速度センサの出力を CPU 内蔵の 10 bit A/D 変換器でデジタルデータに変換し、すべての加速度が $\pm 3 \text{ m/s}^2$ 以下になった場合に電磁弁にトリガを出力する構成とした。ガスボンベにはガスによる火災を防止するため、 CO_2 ガス (グリーンガス, サンプロ) を用いた。ガスボンベのガスはそのままでは圧力が高すぎ危険なため、レギュレ

ータ(可変レギュレータ, サンプロ)により減圧される。減圧されたガスは電磁弁(VZ312-9HS-M5, SMC)によりトリガ信号が発生した場合にエアバッグにガスを供給する。エアバッグには市販の非観血血圧測定用のカフ(YP-914P, 日本光電)を用いた。

2. 2 実験

Fig. 6 の装置を用い、1 秒間あたりエアバッグにどれだけの容量のガスを供給できるかを、供給圧力を可変させて計測した。CO₂ ガスの代わりに、圧縮空気を電磁弁に供給し、エアバッグに供給したガスの量を水上置換法により測定した。CO₂ ガスの代わりに圧縮空気をを用いた理由として、水上置換で供給量を計測する際に、水に CO₂ が溶け込むことで誤差になることを防ぐためである。

さらに開発した装置を用い、センサを 1 m の高さから落下させた場合に、エアバッグが膨張するかの検証実験を行った。装置内の加速度センサの出力とトリガ信号、エアバッグ内の圧力を計測し、パーソナルコンピュータに RS-232C 経由で転送した。

(倫理面への配慮)

実験に際し、千葉大学工学部倫理委員会の承認を得た後、被験者には実験内容を十分説明し、書面にて同意を得て行った。転倒などの実験の際には、被験者の既往症状などを質問し、症状を悪化させるおそれのある場合には実験を中止した。また実験で得られた被験者の情報は個人が特定されないよう配慮をし、個人名で管理をしないこととした。

C. 研究結果

1. 転倒検出アルゴリズムの検討

1. 1 模擬転倒の計測

前方に転倒した場合の加速度波形の例を Fig. 3(a)に、側方に転倒した場合の波形の例を(b)に後方に転倒した場合の波形の例を(c)に示す。(a)において、転倒前は被験者が直立しているため、上下方向に 9.8 m/s² の加速度が発生している。計測開始から約 1.3 s 後に発生している振幅の大きな波形は転倒による衝撃加速度である。計測開始約 0.5

s 後から上下方向の加速度波形が減少している、これは、身体の傾きにより、上下方向の加速度が減少していることを示している。さらに、転倒の直前には 3 軸の出力が 0 m/s² 付近になる波形が発生していた。転倒後には身体が前方に倒れているため前後方向の出力が発生している。側方、後方に転倒した場合も同様の波形が出力されているが、転倒後の前後方向、左右方向の出力が、転倒方向に応じて変化している事がわかる。

1. 2 日常行動の計測

日常行動の加速度波形の例を Fig. 4 に示す。(a)がお辞儀の波形、(b)が椅子の着席と立席、(c)が 10 秒間ジャンプ、(d)が着座姿勢から後方の倒れ込みの波形である。お辞儀と椅子の着席と立席は身体の傾きに応じてセンサの出力も変化しているが、3 軸の出力がすべて 0 m/s² 付近になることはなかった。10 秒間ジャンプはジャンプの上下動により加速度の出力も変化している。また、ジャンプにより空中に浮いている時間帯は 3 軸すべての出力が 0 m/s² 付近になっていることがわかる。着座姿勢から後方の倒れ込みは、高齢者が畳の上に着座した状態から、後ろに倒れ込んだ場合を想定している。このため、エアバッグは動作しないことが望まれる。計測波形を見ると身体の傾きに応じて加速度が変化しているのがわかる。また、センサのずれなどによる加速度のピーク波形が見られる。

2. 転倒エアバッグの開発

Fig. 8 にエアバッグの実験の結果を示す。横軸が電磁弁の供給圧力、縦軸が 1 秒間あたりのガス供給量である。この結果より、エアバッグのガス供給量は、電磁弁の供給圧力に比例することがわかった。また Fig. 9 にエアバッグの落下実験の結果を示す。横軸が時間、縦軸が加速度とエアバッグ内の圧力である。結果より、装置内で落下による信号を検出し、エアバッグが膨張していることがわかる。

D. 考察

1. 転倒検出アルゴリズムの検討

1. 1 模擬転倒の計測

16名の被験者に前方、側方、後方の各3回の、計144回の模擬転倒を行った結果、すべての計測においてFig.3のような波形が生じた。しかし、転倒直前の加速度波形が完全に 0 m/s^2 になることはなかった。これは転倒の際に足を支点に転倒しているため、自由落下にはならず、オフセットが生じたためであると考えられる。このため、本実験では、3軸の加速度波形が $\pm 3\text{ m/s}^2$ 以下になる点を、自由落下であると定義した。この定義に従い、計測結果を解析した結果、144回すべての転倒波形において3軸の加速度波形が $\pm 3\text{ m/s}^2$ 以下になる点が生じていた。またその点は転倒による衝撃発生時刻より $203 \pm 51\text{ ms}$ 前で発生しており、最大で 378 ms 最小で 111 ms であった。Table.1に転倒方向ごとの転倒検出時間の平均を示す。転倒方向により検出時間の大きな違いはなかった。このことより、閾値を設定して自由落下を検出することで、転倒の予兆を検出可能であることが明らかとなった。

1. 2 日常行動の計測

日常行動の計測結果より、3軸の加速度波形が $\pm 3\text{ m/s}^2$ 以下になる点を解析した結果、ジャンプではすべての計測で自由落下の波形が生じていた。また着座姿勢から後方の倒れ込みの場合には13%のデータで自由落下の波形が生じていた。一方、お辞儀と椅子の着席と立席は自由落下の波形は生じなかった。ジャンプにおいて自由落下の波形が生じているのは、実際にジャンプにより身体が地面から離れ放物運動をしていることから、当然の結果であると考えられる。また、着座姿勢から後方の倒れ込みの場合には本来、自由落下の波形は生じないはずであるが、センサのずれや、衣服と接触した際の振動によるピーク波形により瞬間的に自由落下の状態が生じており、その期間は 10 ms 以下であった。ジャンプにより自由落下の波形が発生しているが、この波形はジャンプだけでなく走った場合など、足が

地面から離れる際には必ず生じると考えられる。従って、このような場合は転倒として判定しないようにする必要がある。身体の一部が地面から離れる場合を考えると、重力と反対方向に重力加速度以上の加速度が生じる必要がある。従って、加速度センサで計測した場合には、重力加速度の2倍以上の加速度が生じているはずである。これより、上下方向の加速度が 20 m/s 以上の場合に、その後生じる自由落下の信号をキャンセルすることとした。この結果、ジャンプの波形で自由落下を検出する割合が100%から22%に減少した。また、転倒時には事前に 20 m/s 以上の波形が発生することはないので、転倒検出精度に影響を与えることはない。着座姿勢から後方の倒れ込みの場合に発生する自由落下波形は、センサのずれや、衣服と接触した際の振動によるピーク波形であると考えられるため、装着方法や装着部位を検討する必要がある。さらに今後は、ジャイロセンサなどと組み合わせることで、日常行動中の誤検出をさらに減少させる方法を検討する必要があると考えられる。

2. 転倒エアバッグの開発

実験結果より、ガスの供給圧力とエアバッグに供給されるガスの量は比例することがわかった。一般に市販されている電磁弁の最高圧力は 1 MPa であるため、転倒の予兆を検出してから転倒までの $100 \sim 300\text{ ms}$ の間に、 $0.8\text{ L} \sim 2.4\text{ L}$ のガスを供給可能であることが明らかとなった。転倒エアバッグの実用化にあたり、現在市販されている部品を用いて、エアバッグの試作を行った。高齢者に使用することを考慮すると、エアバッグを軽量化することが必要である。今回試作に用いた部品の重量は、電磁弁 40 g 、ガスボンベ 300 g 、レギュレータ 300 g である。今後電磁弁とレギュレータを一体化させることで、重量の軽減をはかる必要がある。また現在のガスボンベは直径 40 mm 全長 140 mm で、標準状態で 37.6 L のガスが内蔵されているが、小型のボンベを用いることで、軽量化を図ることが可能であると考えられ

る。

現在エアバッグにはガスボンベ内の圧力(6 MPa)をレギュレータで1 MPa程度に減圧して供給している。今回の実験より、エアバッグを速やかに膨張させるには電磁弁の供給圧力をあげた方が良いことが明らかとなった。このことより、ガスボンベ内の圧力を直接電磁弁に供給することを検討する必要がある。また減圧する必要がなければレギュレータの機構が不要になるために、さらに軽量化を図ることが可能である。ガスボンベの圧力を直接電磁弁に供給する場合、高耐圧で小型の電磁弁は現在市販されていないため、今後専用の電磁弁を開発する必要がある。今後は衝撃を吸収するのに有効なエアバッグの形状と容量を検討し、膨張時間をなるべく短くする事が必要である。

開発した装置を用いて、落下実験を行った結果より、衝撃の加速度が生じる前にエアバッグが膨張していることがわかる、このことより、衝撃が十分に吸収できると考えられる。今回は自由落下を検出してから電磁弁を解放する信号を200 ms固定で出力したが、被験者の転倒実験でもあきらかになったように、被験者によって検出時間に100~300 ms程度の開きがあった。一般に、転倒までの時間が長いほど、衝撃は大きくなると予想させるため、エアバッグの膨張量も増加させる必要がある。そこで、解放時間を固定にせず、衝撃が発生するまでエアバッグを膨張させることで、適切に衝撃を吸収できると考えられる。

E. 結論

本研究では、エアバッグにより容易に装着可能で、万が一転倒・転落が発生した場合に、外傷を軽減するシステムの開発を行った。加速度センサを用い、エアバッグの作動に必要な転倒検出方法の検討と、トリガ信号によりエアバッグを膨らませる機構の試作を行い、動作の検証を行った。

16名の被験者を対象に144回の模擬転倒実験の結果、転倒の衝撃が発生する100~300 ms前に自由落下を示す波形が検出されることが明らかとなった。また、この期間にエアバッグに供給できるCO₂ガスの容積は、約0.8 L~2.4 L程度であることが明らかとなった。さらに、お辞儀、椅子の着席と立席、10秒間ジャンプ、着座姿勢から後方の倒れ込みの動作を行い、計測を行った結果、ジャンプと着座姿勢から後方の倒れ込みの動作で、自由落下を示す波形が出力されたが、20 m/s²以上の信号が発生した直後の信号をキャンセルすることで、誤検出を減少させることができた。今後角速度センサを用い、誤検出を減少させると共に、エアバッグをさらに小型化することで、転倒時の外傷を有効に軽減可能であることが示唆された。

<参考文献>

- [1] 平成18年版 高齢社会白書、内閣府高齢社会対策ホームページ
<http://www8.cao.go.jp/kourei/index.html>
- [2] 厚生省監修:平成12年度版厚生白書, (株)ぎょうせい, pp74, 2000.
- [3] 長谷川浩子:横浜市における寝たきり患者初回訪問状況と事例紹介, 保健婦雑誌, 42, 912-921, 1986.
- [4] 安村誠司, 他:地域における最終臥床期間に関する調査研究. 日本公衛誌. 3, 851-860, 1990.
- [5] 眞野行生, 中根理江:高齢者の歩行障害と転倒の要因. Journal of Clinical Rehabilitation. 7(3): 243-247, 1998.
- [6] 中馬孝容:転倒後症候群の予防. 月刊総合ケア. 15(9), 20-23, 2005.
- [7] 吉村拓巳, 田村俊世:徘徊・転倒防止機器. Geriatric Medicine, 42(1), 93-99, 2004.
- [8] エクセルエンジニアリングホームページ:離床センサ.

(http://www.excel-jpn.com/index_jp.html)

[accessed July 25, 2006]

[9]竹中エンジニアリングホームページ:ワイヤレス起き上がりくん HS-W3 ベッド起き上がりお知らせセット.

(<http://www.takex-eng.co.jp/top/top.php>)

[accessed July 25, 2006]

[10] 古川聡, 松田啓史, 萩尾健一, 谷口良, 筒井譲二, 田中 智幸:「ケアモニタ」向けセンサの検知技術. 松下電工技報. 73, 16-22, 2001

[11] HWANG J. Y., JANG Y. W., KIM H. C.: Development of Novel Algorithm and real-time Monitoring Ambulatory System Using Bluetooth Module for Fall Detection in the Eldery. Proc Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 26(3), 2204-2207, 2004.

[12] DIAZ A., PRADO M., ROA L. M., REINA-TOSINA J., SANCHEZ G.: Preliminary evaluation of a full-time falling monitor for the elderly. Proc Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 26(3), 2180-2183, 2004.

[13] PRADO Manuel, ROA Laura M., REINA-TOSINA J, ROVAYO Manuel: Wearable human movement monitoring device aimed at providing personalized support in healthcare. Proc SPIE Int Soc Opt Eng. 5836, 570-578, 2005.

[14] 品川佳満, 谷川智宏, 太田茂: 加速度センサを用いた人間の歩行・転倒の検出. 川崎医療福祉学会誌. 9(2), 243-250, 1999.

[15] LINDEMANN U., BECKER C., HOCK A., STUBER M., KECK W.: Evaluation of a fall detector based on accelerometers: a pilot study. Med Biol Eng Comput. 43(5), 548-551, 2005.

[16] 原田敦: 高齢者の転倒による損傷とその予防. Geriatric Medicine. 37: 863-867, 1999.

[17] 原田敦: 転倒の予防とヒッププロテクターによる骨折の予防. Medical Practice. 21(10), 1741-1745, 2004.

[18] 吉村拓巳, 長屋政博, 千原國宏, 田村俊世: 高齢者用転倒記録システムの開発とその評価. 日本生活支援工学会誌. 2(1), 38-44, 2002.

[19] 清水雅年: 高齢者のための転倒検出システムの開発. R&D News kansai. 425, 4-5, 2005.

[20] 鈴木宣生, 山崎信男: 特開 2003-236002, 2003.

[21] 焼本数利, 篠原廣繁: 特開 2000-317002, 2000.

F. 研究発表

1. 論文発表

- 吉村拓巳, 山本弘毅, 関根正樹, 田村俊世. 転倒エアバッグ開発のための転倒検出方法の検討. 第21回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp523-524, 2006.

2. 学会発表

- 吉村拓巳, 関根正樹, 田村俊世, 加速度センサを用いた転倒防止用エアバッグの開発. 第45回日本生体医工学学会大会, 福岡, p706, 2006.
- 吉村拓巳, 山本弘毅, 関根正樹, 田村俊世, 転倒防止用エアバックの開発と評価. 生体医工学シンポジウム2006, 新潟, CD-R, 2006.

H. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

- 該当無し

2. 実用新案登録

- 現在、転倒エアバッグについて実用新案登録を出願中

3. その他

- 該当無し

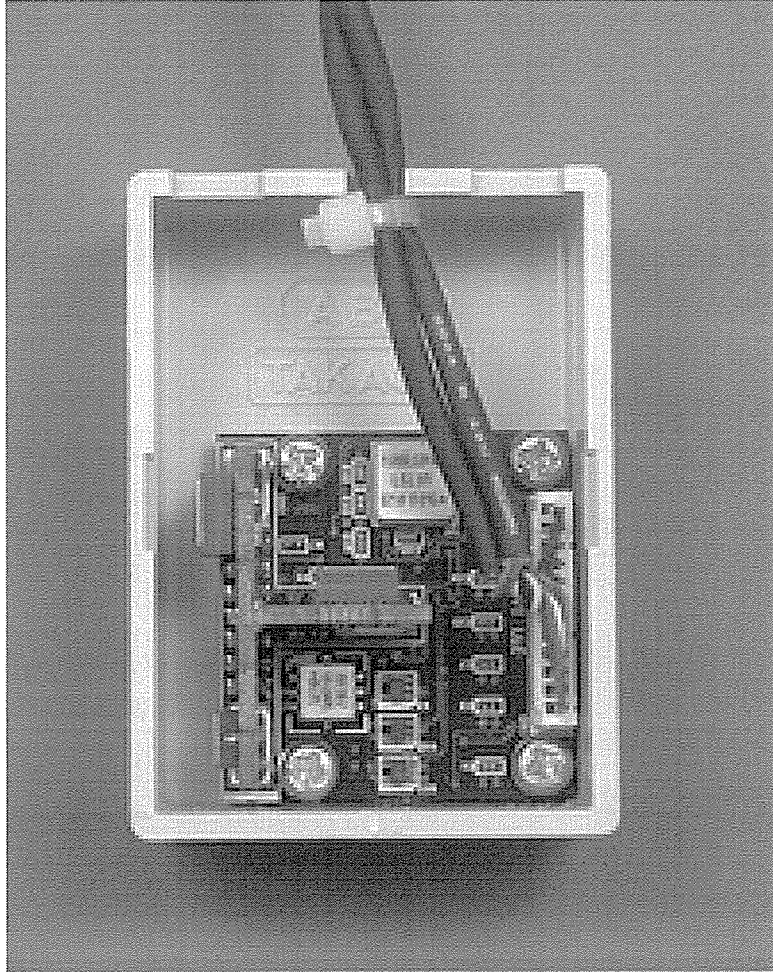


図1 加速度センサの外観



図2加速度センサの装着図

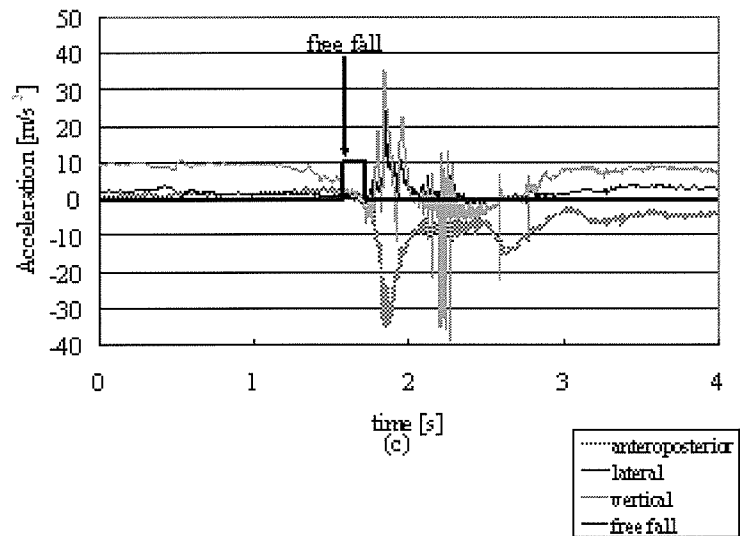
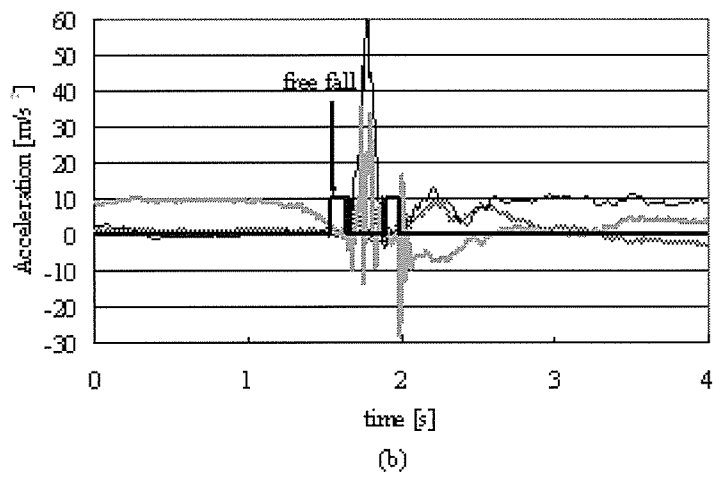
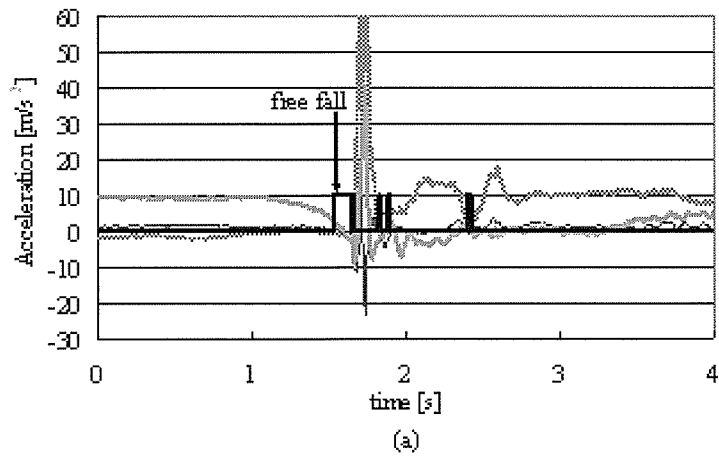


図3 模擬転倒の加速度波形 (a) 前方転倒
(b) 側方転倒 (c) 後方転倒

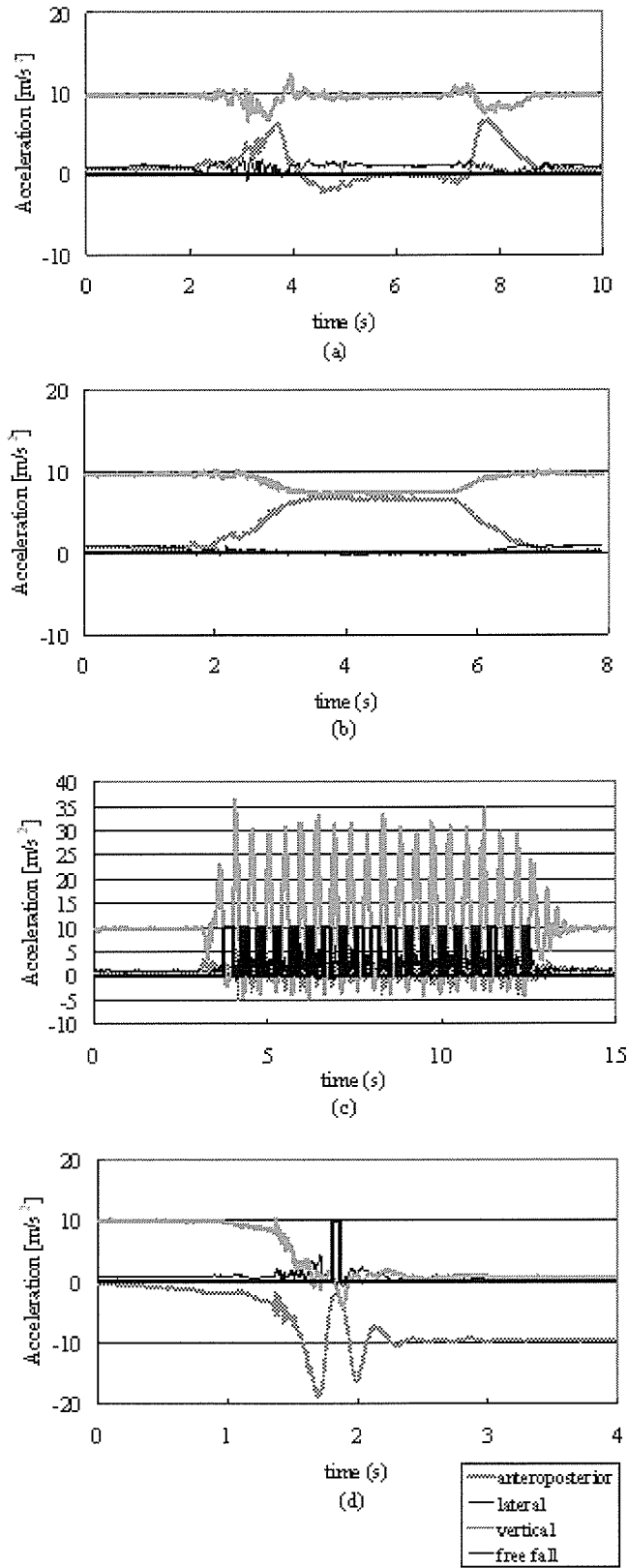


図4 日常行動の加速度波形 (a) お辞儀 (b) 椅子の

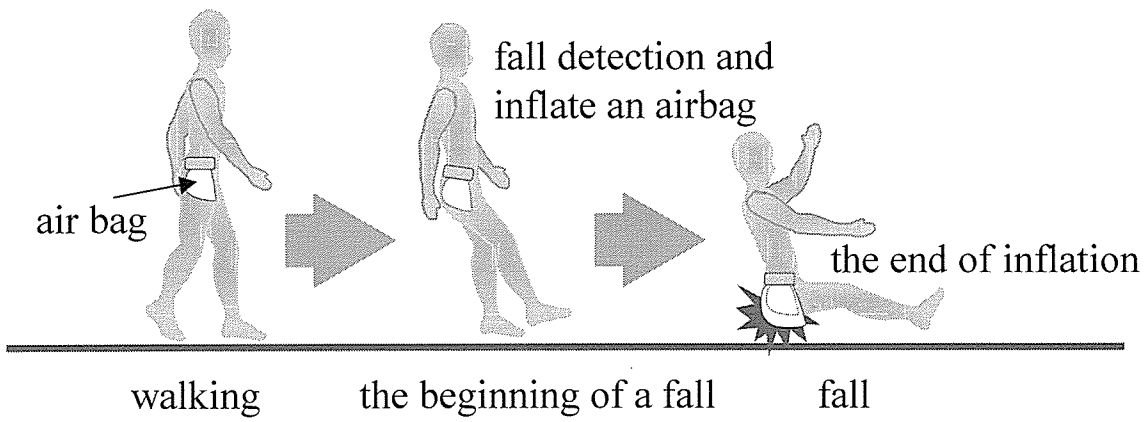


図5 エアバッグの概念図

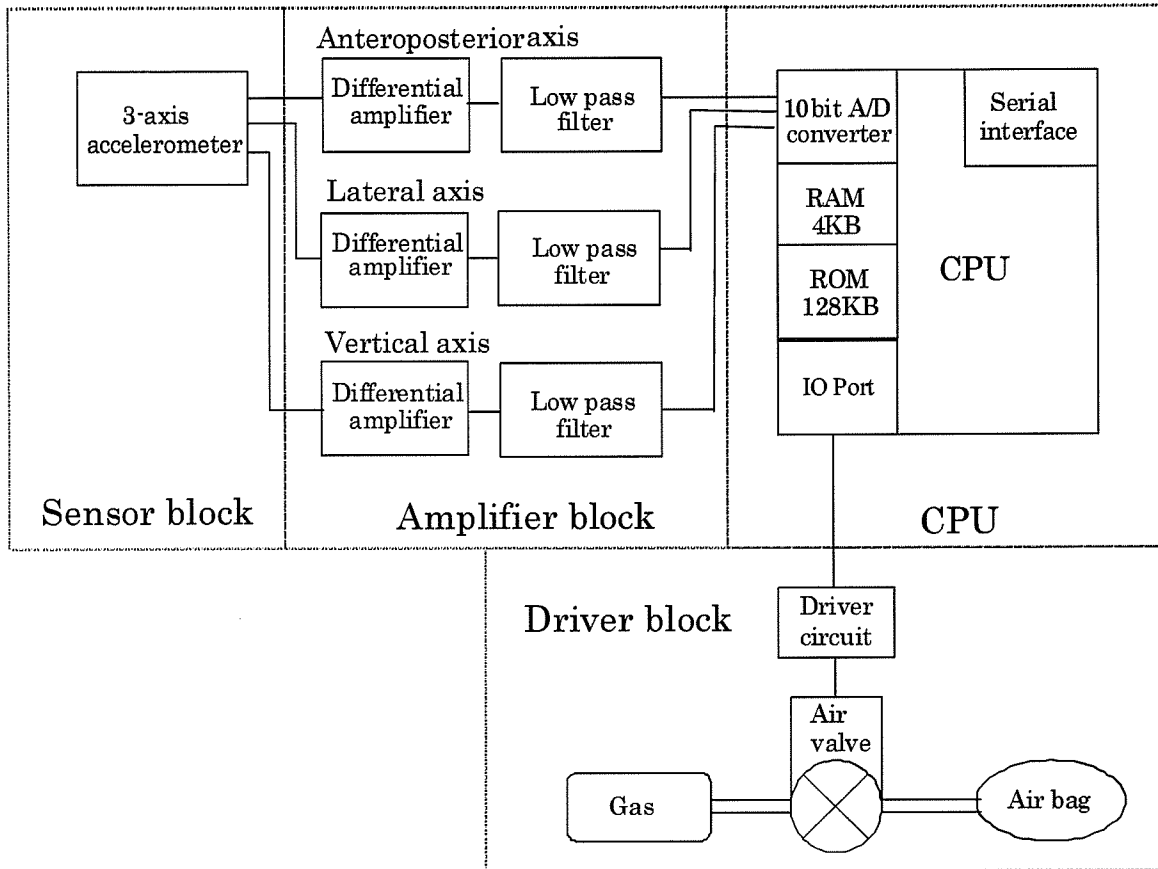


図6 エアバッグのブロック図

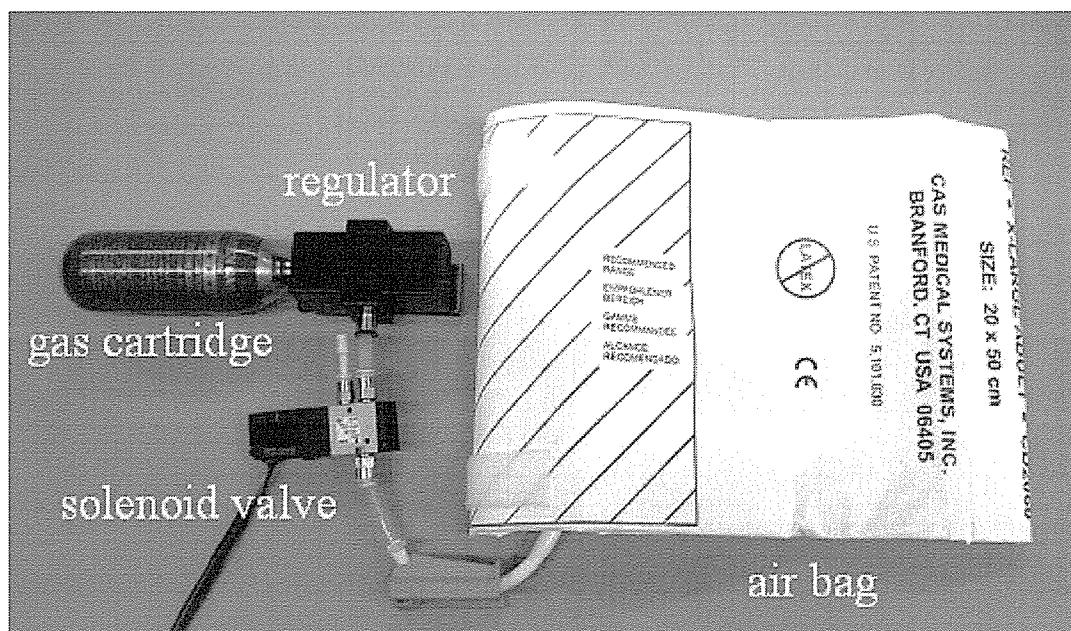


図7 エアバッグの外観

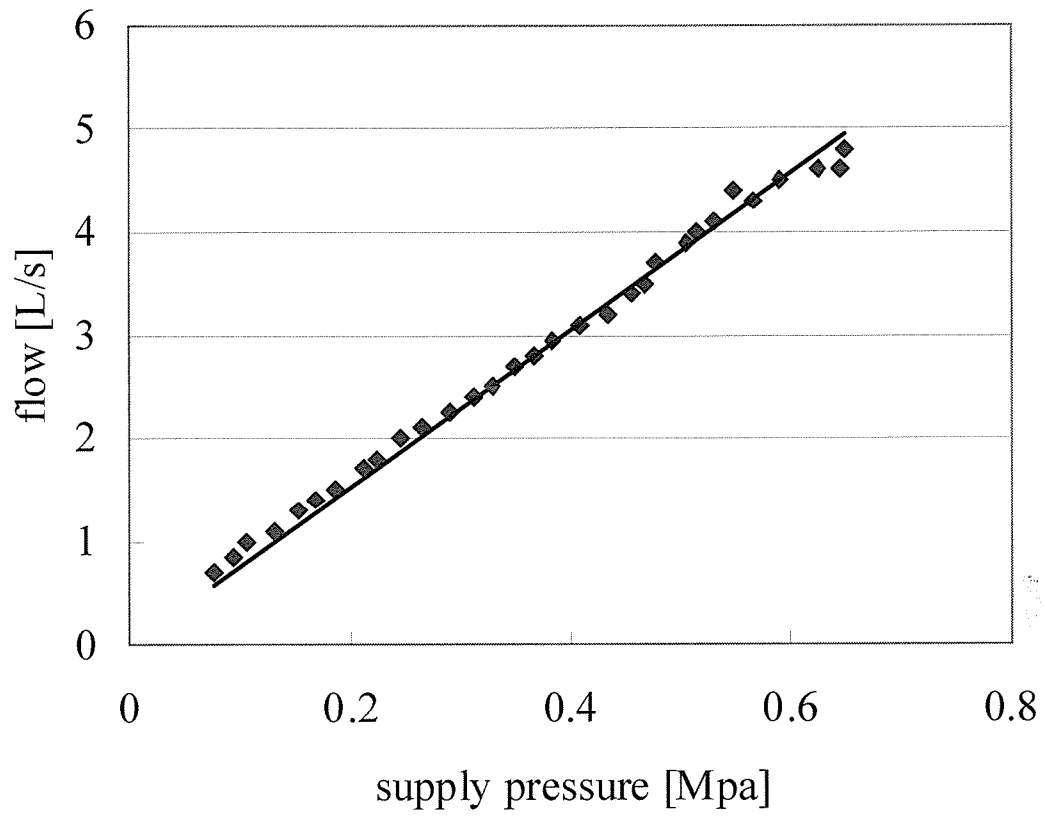


図8 ガス圧力とエアバッグ供給量

表1 転倒方向と転倒検出時間


subjects	front	side	back
A	281	231	140
B	175	189	192
C	154	249	126
D	221	190	238
E	194	219	245
F	157	276	308
G	166	179	244
H	175	209	231
I	188	225	190
J	162	154	185
K	188	177	198
L	340	242	214
M	200	190	211
N	162	161	171
O	184	227	173
P	206	199	173
average	197	207	202

各被験者の値は3回の転倒の平均を示す

従来の転倒予防装置

- 転倒を予防する機器
 - センサなどを用い起き上がりや行動を検出して介護者に通報する機器
- 完全に転倒を防止することは困難
- 転倒時の外傷を防止する機器
 - クッションなどにより転倒時の衝撃を吸収する物
 - きつく装着するため装着の煩わしさがある

装着が容易で確実に衝撃を軽減可能なシステムを開発



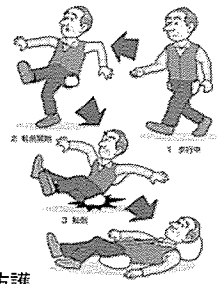
開発の概要

一転倒エアバッグー

- 転倒検出センサ
- 小型ガスボンベ
- インフレーター
- エアバッグ

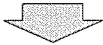
より構成されている

- 転倒を感知して衝撃前にエアバッグにて頭部・大腿部を防護



転倒検出アルゴリズム

- 3軸加速度センサを用い転倒を検出
 - 転倒中は身体の支えがなくなり自由落下に近い状態
- 3軸加速度計のすべての出力が0[m/s²]付近になる

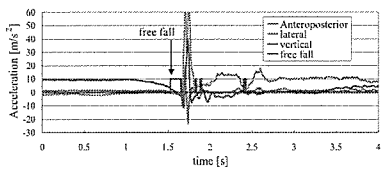


転倒検出の模擬実験

- 健常成人16名(年齢22.1±5.4歳, 体重55.5±6.0 kg, 身長166.8±5.6 cm)を対象にマットレス上に模擬転倒する際の波形を計測
- 直立の状態から前方、後方、側方の転倒動作を各被験者3回でのべ144回の計測を行った

実験結果

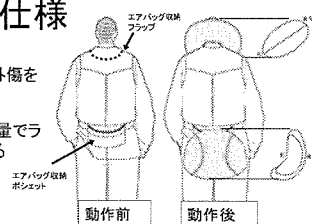
- 転倒の直前に自由落下を示す波形を検出
- 144回のすべての転倒で3 [m/s²]以下になる波形が発生



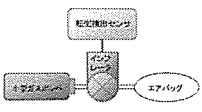
転倒時の加速度波形例

製品の要求仕様

- エアバッグを用い装着が容易で外傷を確実に軽減するシステム
- 高齢者を対象にするため小型軽量でランニングコストを抑える仕様とする



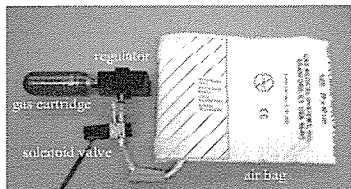
- システム総重量: 700g以下
- 電源: 単三電池2本
- 電池寿命: 10日間以上
- インフレーター: 電磁弁式を開発 0.1秒で15[L]を供給
- センサの外形寸法7×4×1.5cm、質量約50g以下



転倒エアバッグブロック図

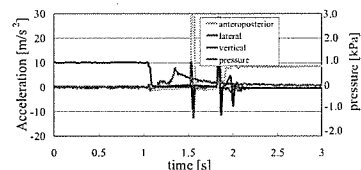
● ● ● 転倒エアバッグの試作

- 電磁弁を採用しインフレーターを再利用可能とする
- ポンプを交換可能とすることでランニングコストを抑える



● ● ● 実験

- センサを1 mの高さから落下させた場合に、エアバッグが膨張するかを検証実験を行った。
- センサにより落下を検出しエアバッグが膨張



● ● ● まとめ

- エアバッグにより外傷を軽減するシステムの開発を行った
- 転倒の衝撃が発生する100~300 ms前に自由落下を示す波形を検出可能
- エアバッグをさらに小型化することで、転倒時の外傷を有効に軽減可能であることが示唆された。

水平外乱刺激時姿勢応答からの動的バランス評価の検討

分担研究者 村田 淳 千葉大学附属病院・助教授

研究要旨 高齢者のバランス機能を検査する機器の開発のため、弱い後方向への水平外乱を与えたときの接地面積の変化から、外乱負荷時の動的バランス評価指標を検討した。その結果から、弱い外乱での接地面積の最小値の平均値、RMS値の標準偏差が、バランス機能の評価指標になりえることを示せた。

A. 研究目的

加齢に伴うバランス機能の低下は転倒の原因となり、高齢者では「ねたきり」などの重い症状につながることも多い。そのため転倒予防に対する社会的関心は高い。転倒予防にはバランス機能向上のための転倒予防教室やリハビリテーション訓練があるが、転倒予防対策を講じるためにバランス機能を評価することが重要であると考えられる。バランス機能は姿勢制御機能の観点から「静的姿勢保持」、「外乱負荷応答」、「随意運動」に分類できるが、本研究では躓きやすべりといった転倒の原因となる外乱負荷応答時の動的バランス機能に着目した。

我々は外乱が負荷された場合、その大きさによって足関節方略、股関節方略、ステップング方略といった組織化された姿勢制御方略を用いて姿勢を立て直そうとする。外乱刺激でも、

- ・3つの姿勢制御方略を容易に発生
- ・歩行中の転倒では前後方向の動揺が重要
- ・装置立てが比較的容易

などの利点から、支持基底面を前後方向に水平移動させる外乱を用いた研究が数多く報告されている[1]～[3]。ステップング方略は転倒を防止する最後の姿勢制御方略であるため、外乱負荷時に適切な動的バランス評価指標は、ステップング方略を発生させる外乱の強さだと考えられる。しかしこの方略に関しての動作分析研究は少ない上に、高齢者でのス

テッピング方略を誘発する実験は転倒などの危険を伴う可能性が高い。そこで本研究では、弱い後方向への水平外乱を与えたときの反応からステップング方略を発生させる外乱の強さを予測できる指標を検討することを目的とした。

B. 研究方法

1) 水平外乱刺激発生装置の開発

ステップング方略を発生する外乱を対象者の後方向への急激な動きで与えることとした。その外乱時に支持基底面積、つまり足裏接地面積の減少が考えられる。そこで本研究では両足裏接地面積を計測項目に選定した。そのために後方向に外乱を発生する水平外乱刺激装置を開発した。

テーブルを水平後方に移動させる水平外乱刺激発生装置の構成図を Fig. 1 に示す。

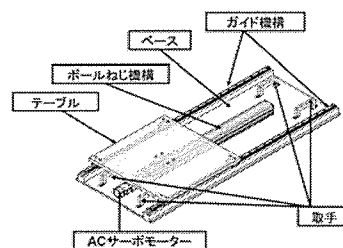


Fig. 1 水平外乱刺激発生装置の構成図