

〔論 文〕

臥床患者の活動計測システムの開発

松尾 重明^{*1}, 中村 英智^{*2}, 有馬 忠寛^{*3}, 足立 潤哉^{*1}
岩元誠一郎^{*1}, 山本 直輔^{*4}, 伊藤 憲一^{*5}, 松瀬 博夫^{*6}
橋田 竜騎^{*6}, 田川 善彦^{*4}, 志波 直人^{*6}

Study on the development of an activity-monitoring system for patients

Shigeaki MATSUO^{*1}, Hidetomo NAKAMURA^{*2}, Tadahiro ARIMA^{*3}, Junya ADACHI^{*1},
Seiichiro IWAMOTO^{*1}, Naosuke YAMAMOTO^{*4}, Kenichi ITO^{*5}, Hiroo MATSUSE^{*6},
Ryuki HASHIDA^{*6}, Yoshihiko TAGAWA^{*4}, Naoto SHIBA^{*6}

Abstract

Japan is one of the countries with high aging population; this is further worsened by its declining birthrates. If the situation does not improve, Japan will experience a severe labor shortage that will seriously impact their welfare and nursing care systems. We conducted this research to address the key problems. An activity-monitoring system can automatically monitor a patient's activities. The system can record the patient's action and sound an alarm with the aid of an original software package. This software package works by comparing the moving distance and moving speed, revealing big differences. This system will be used for various medical treatments. It will also be used for the surveillance of sleeping conditions and in ICUs.

Key Words : bedded patients, activity measurement, load cell

1. 緒 言

我国は世界でもトップクラスの長寿国である。また同時に少子化が著しく「少子高齢社会」となっている。2014年現在、高齢者1人を2.2人で支えているのに対し、2025年には高齢者1人を1.8人で支えることになる試算されている。このままでは労働力の減少から社会保障だけでなく、福祉や介護も十分に受けることが出来なくなる可能性が高い。これに対し厚生労働省は外国人労働者受け入れを促進し、様々な場所への適用を広めている¹⁾。

地域医療の現場である病院施設や福祉施設においても、この少子化による労働力不足は深刻さを増していく一方である。特に看護師の労働条件は昼夜を問わず過酷であることは言うまでもなく、ベッド床数が多くなるにつれてそれは増大する。この問題を軽減することを目的とした研究が工学的分野に求められている²⁾。

2. 目 的

上述した諸問題に対し、工業技術を用いて介護および福祉労働現場の過酷さ軽減が必要と考える。ここでは高次脳機能障害患者の看護現場に就く職員から、夜間徘徊や落下防止の一助となるような機器が有用であるとの声から、それらを実現するシステムの設計開発を行った。これまで既存ベッドの背角度調整用リンク取り付け部分にセンサを取り付けて患者行動を推定する研究も行われているが、単に起き上がりを感じ取るのみのシステムである³⁾。また、ベッドそのものにデジタルスケール機能を備えたものもあるが、行動を細かな行動監視をするものではない⁴⁾。本研究では、ベッドを4つのロードセルで支持してベッド上患者の活動および患者の体重心を計測し、行動パターンを解析するためのシステム開発を目的とした。体重心に注目することで、ベッド上の患者の行動の様子を監視することができ、さらにその動きのパターンを解析することで離床や落下につながる行動を判断して、これまでよりも正確な警報システムを構築で

^{*1} 機械システム工学科, ^{*2} 筑後市立病院, ^{*3} 九州医療専門学校, ^{*4} 久留米大学医療センター, ^{*5} 大牟田吉野病院, ^{*6} 久留米大学医学部
平成29年11月30日受理

きると考えられる。

3. 計測システム

3・1 計測システムおよび原理

計測システムの全体像を図1に示す。計測原理は、ベッド下に設置したロードセルによる鉛直(Z)方向荷重を式(1)、(2)により体重心(COG: Center of gravity)を求める方法である。ロードセル(LC-100KF, KYOWA, Japan)からの情報を歪アンプ(DPM-310A, DPM-220A, KYOWA, Japan)にて増幅し、そのアナログデータをNI USB-6210(National Instruments, USA)にてAD変換した後にノートPCに取り込んだ。取り込んだデータはLabVIEW(National Instruments, USA)によるオリジナルのソフトウェアにて処理を行い体重心位置をリアルタイム表示した。(Fig. 1)。

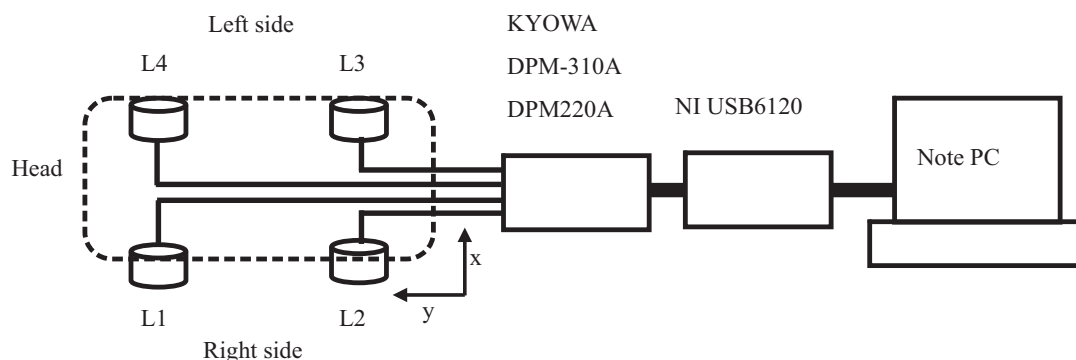


Fig. 1 Whole view of measurement systems

$$COG(x) = \frac{(L_{1x} \times F_{1z}) + (L_{2x} \times F_{2z}) + (L_{3x} \times F_{3z}) + (L_{4x} \times F_{4z})}{(L_{1x} + L_{2x} + L_{3x} + L_{4x})} \quad (1)$$

$$COG(y) = \frac{(L_{1y} \times F_{1z}) + (L_{2y} \times F_{2z}) + (L_{3y} \times F_{3z}) + (L_{4y} \times F_{4z})}{(L_{1y} + L_{2y} + L_{3y} + L_{4y})} \quad (2)$$

L_{1x} : ロードセル1の位置 (x 方向)	F_{1z} : ロードセル1の計測値
L_{2x} : ロードセル2の位置 (x 方向)	F_{2z} : ロードセル2の計測値
L_{3x} : ロードセル3の位置 (x 方向)	F_{3z} : ロードセル3の計測値
L_{4x} : ロードセル4の位置 (x 方向)	F_{4z} : ロードセル4の計測値
L_{1y} : ロードセル1の位置 (y 方向)	
L_{2y} : ロードセル2の位置 (y 方向)	
L_{3y} : ロードセル3の位置 (y 方向)	
L_{4y} : ロードセル4の位置 (y 方向)	

3・2 計測プログラム

荷重データ取り込みタイミングを任意に変更でき (今回の計測は2 [Hz]), リアルタイム処理で体重心をモニタリング可能なシステムを作成した (Fig. 2)。計測中, 任意に定めたベッドの範囲外に重心が移動すると, 画面上の警告アラームが点灯する特色機能をもつ。また, 同時に日付・時間, 各ロードセルの荷重, そして患者の体重がPCのハードディスクに記録される。処理プログラムのフローチャートを Fig. 3に示す

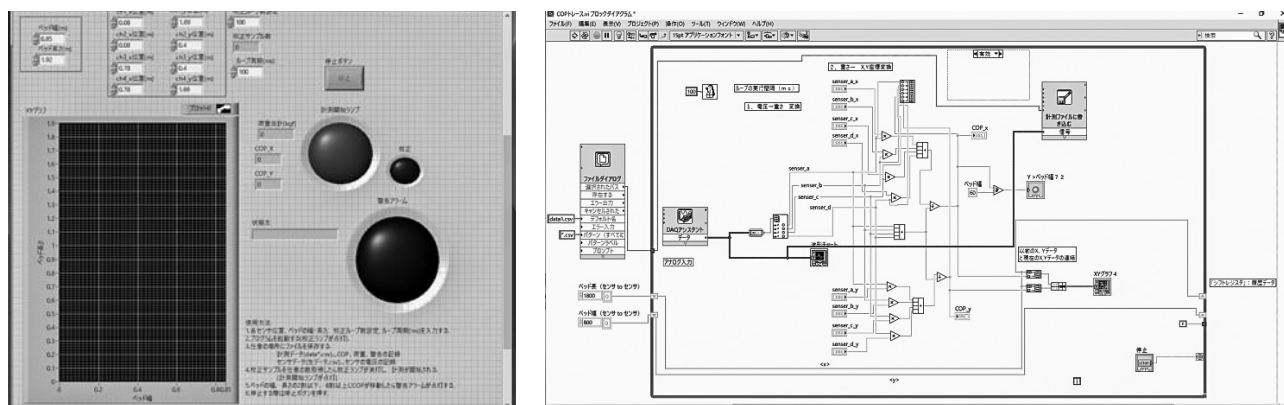


Fig. 2 Operation panel and block diagram for measurement system

3・3 フローチャート

計測プログラムのフローチャートを Fig. 3 に示す。

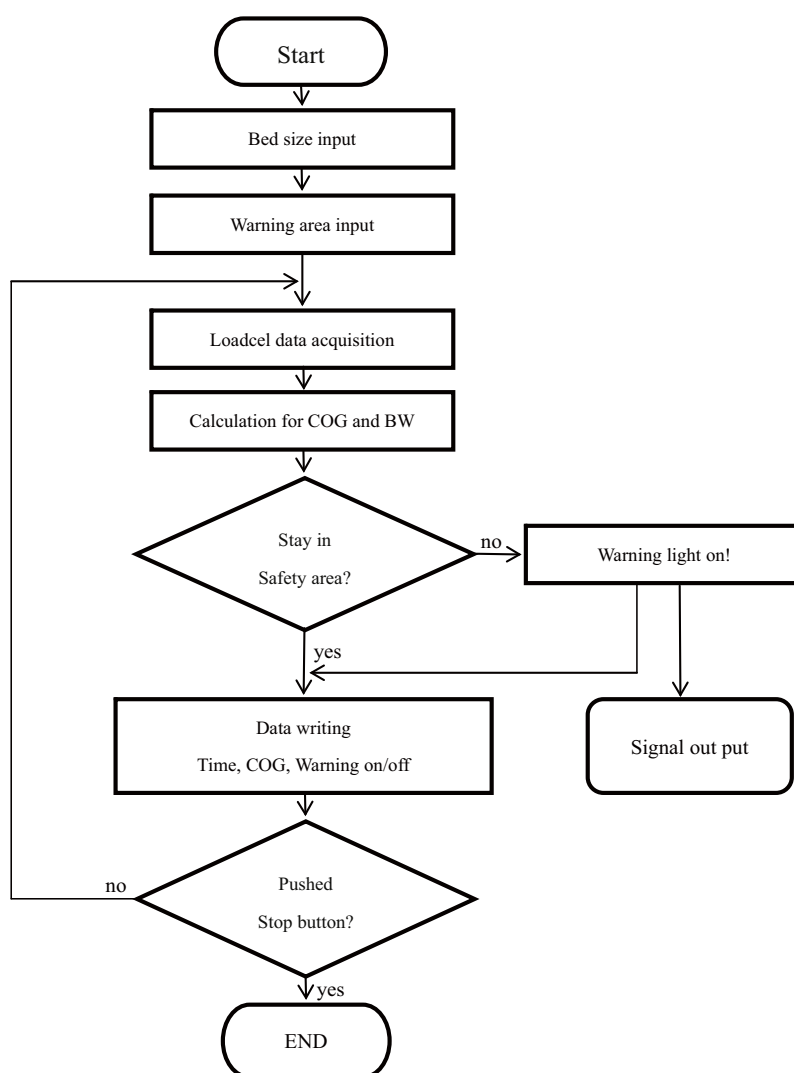


Fig. 3 Algorithm for measurement system

3・4 校正実験

計測に先立ち、それぞれのロードセル単体の校正実験をおこない、そのヒステリシスがメーカー保証の値であることを確認して、計測性能が均一であることを確認した (Fig. 4)。そのうえで患者が利用している同タイプのベッドを用いて荷重に対する検証実験を行った。

ベッド上面に格子状目盛り (100 [mm] 四方) を設置し、その上に重錘を積み重ね結果を求めた。その結果、寸法は ± 10 [mm] 以内、重量は ± 1.0 [N] 以内の誤差に収まった。

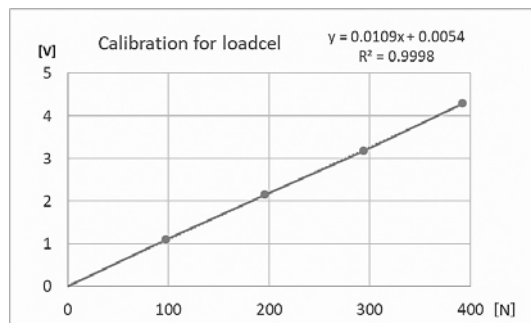


Fig. 4 Calibration experiment

3・5 設置上の配慮

測定を行う病室は水平に建設されているが、個々のベッドは製品の強度や個体差からセンサをフレームに設置すると若干傾くものがあった。ベッドの傾きは計測値の不正確さだけでなく、患者の潜在的な不安要素につながり、安全性の欠如や正常な計測を期待できない。そのため、容易に無段階昇降調整可能 (約100 [mm]) な治具を製作してベッドの水平維持を実現した。(Fig. 5)



Fig. 5 Adjustable mount

4. 実 験

4・1 実験対象

対象は労災病院入院中の高次脳機能障害の診断を受けた高齢被験者3名とした。いずれの被験者もCO中毒による身体機能の長期経過および加齢による影響があると診断を受けている。実験に先立ち被験者に実験内容など説明を行ったが、高次脳機能障害の影響から理解困難であることが想定されたため、親族に対しても実験に対する十分な説明を行った後、実験実施の承諾を受けた。また、本実験は久留米大学医学部の倫理委員会の承諾を受けて実施した。

5. 結 果

完成した計測システムを用いて、上記患者に対して計測した結果の例を Fig. 6～8 に示す。

5・1 体重心の移動軌跡

計測システムにより、患者の動きについて詳しく見る事が出来た。患者の使用しているベッドは患者が仰臥位状態で長手（頭部から足部）方向1.9 [m]，左右方向0.9 [m] である。この図は患者を鉛直上方向から見ている。左側に頭部、右方向に足部がある。その時のサンプリングレートは2 [Hz] とした。

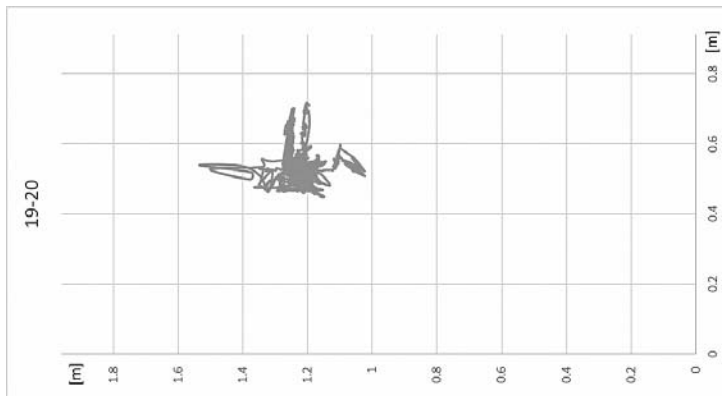


Fig. 6 Locus of COG [during 19-21h]

Fig. 6 は19時～20時の患者の行動の様子を表す。この図から、左右の動きも多いが長手方向の移動が多いことが分かる。この時の状況として、介護者がベッド右側に位置し会話をなど行っている状況と思われた。

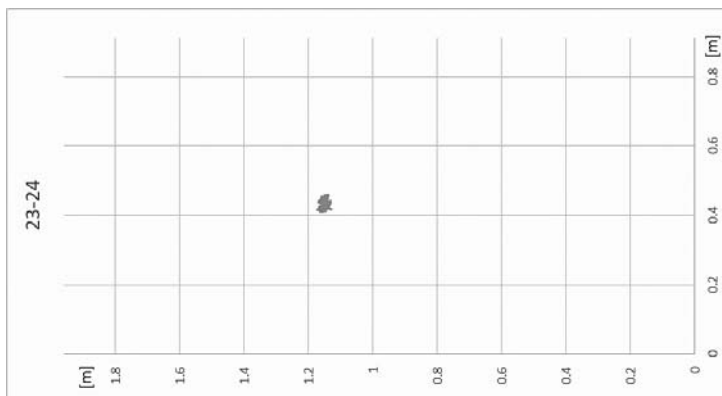


Fig. 7 Locus of COG [during 23-24h]

Fig. 7 は23時～24時の患者の様子を表す。この図からほとんど動きがなく、熟睡しているものと思われた。

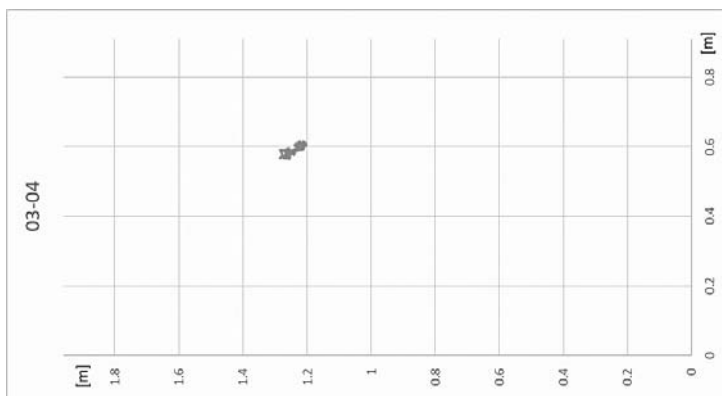


Fig. 8 Locus of COG [during 03-04h]

Fig. 8 は03時～04時の患者の様子を表す。上図とおなじく、動きがないことが確認できるが、位置が左側に移動していた。

これらのように患者のベッド上での行動を観察することが可能となる。計測・計算された重心が設定した範囲よりも外れると警告アラーム（今回はランプ）が点灯する。

今回、計測した患者全員の傾向をまとめたものを Fig. 9 に示す。

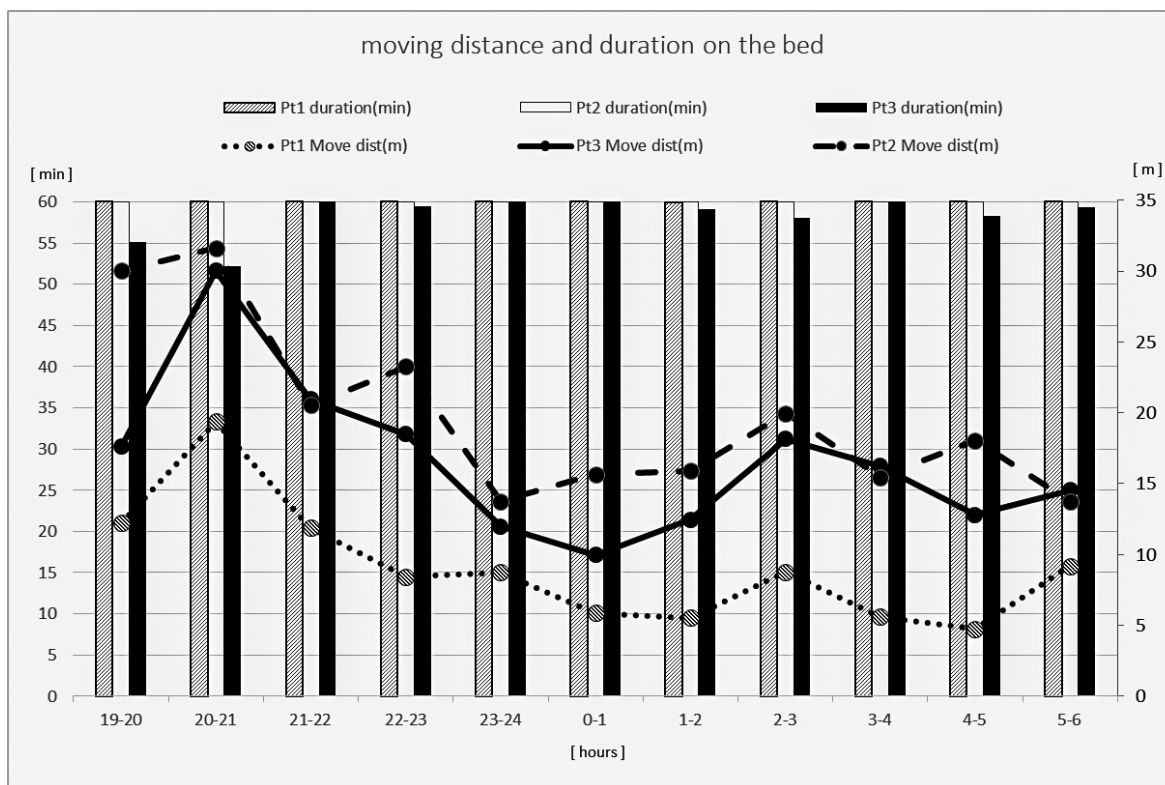


Fig. 9 Moving distance and duration on the bed

このグラフから患者のベッド上の滞在時間およびベッド上の移動距離を見ることが出来る。21時までは移動距離が大きく、同時にベッド上の滞在時間も減少している。これは食事や就寝前の歯磨き、そして排泄などによる行動で離床することもあったため滞在時間が安眠中に比べ減少している。21時～22時の時間帯に就寝態勢に入り、徐々にベッド上の移動距離が減少していく。22時～23時までのベッド上の滞在時間が減少している理由として排泄が考えられる。その理由として Fig. 10 に表されるようにベッド左端へ移動している様子が見える。23時～02時までは移動距離はほとんど無く、特に安定している。02時～03時に一旦移動距離が大きくなるが、これは Fig. 10 と同様な様子であることから夜中の排泄のためだと思われた (Fig. 11)。03時～05時にかけて再び移動距離が小さくなった。

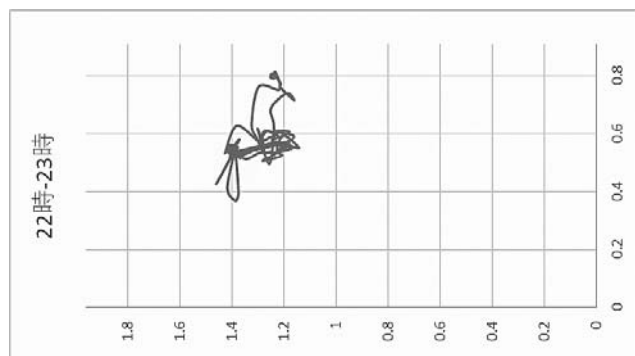


Fig. 10 Locus of COG [during 22-23h]

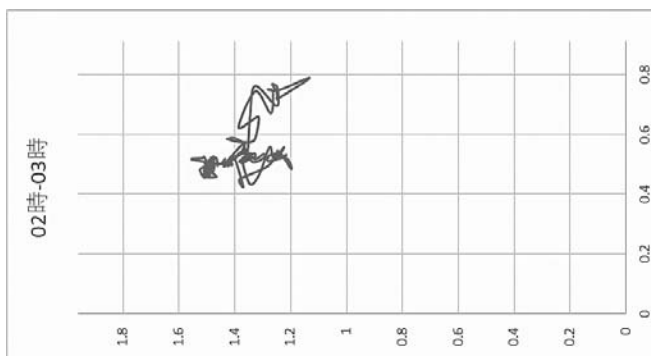


Fig. 11 Locus of COG [during 02-03h]

5・2 動作速度

寝返りや離床などの判断基準として、動作速度を比較した。すなわち単位時間当たりの移動距離を求めることで、その動作が「寝返り動作」なのか、あるいは「離床にむけた動作」なのか判断基準になるのではないかと考えた。Fig. 12 および Fig. 13にその例を示す。Fig. 12は1患者の最も移動距離が少ない23-24時までの状況を示す。最も速く動いた場合でも0.002 [m/sec] 以下であったのに対し、Fig. 13では最も速く動いた場合、0.01 [m/sec] 程度であった。

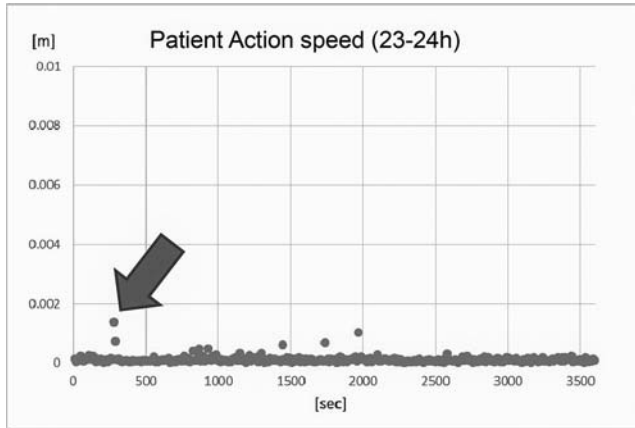


Fig. 12 minimum speed of patient's action

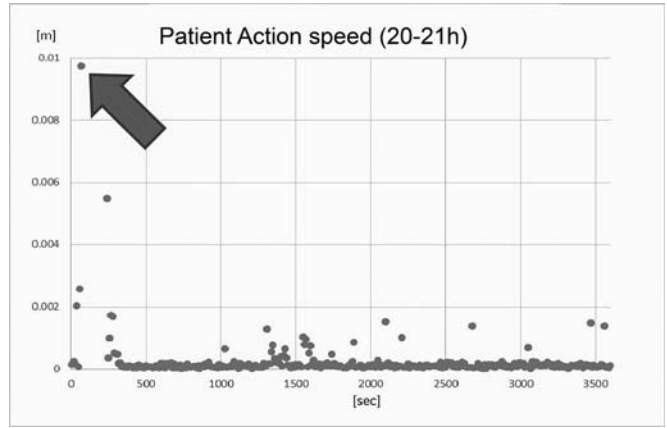


Fig. 13 maximum speed of patient's action

6. 考 察

看護師や医師など、日頃から身近に患者を観察している者たちは、ベッドからの落下や夜間徘徊をする患者について“何かの雰囲気”を感じている。その雰囲気は“動き”を見ることで感じられるとのことから、その判断材料として重心（COG：Center of Gravity）を計測および解析することで数値的に判断可能であるとの予測をたて、臥床患者活動の様子を計測可能なシステムを製作・完成させた。本計測システムを用いることで患者の離床や寝返りの状況を把握可能となった。リアルタイムなモニタリング計測を行うことで、ベッド上の滞在時間と移動距離を把握可能になり患者の行動を凡そ読み取ることが可能であることを実証した。

しかしながら、Fig. 7およびFig. 8の計測結果のように、一定箇所安定していても、寝返りをして横向きで安定しているのか？体全体が移動し、仰向けの状態で安定しているのか？までは判定は出来ない。さらに移動距離がある程度大きい場合、それは単なる寝返りを繰り返しているのか？上体を起こして動いているのか？など患者の細かい状況を理解することは難しい。そのため、デバイスの追加と高齢者の身体部分の慣性特性⁵⁾の検討が必要と思われた。

その一方で、動作速度を比較することで、安静時および移動距離が大きい時間帯では単位時間当たりの速度の違いが顕著であることが分かった。この特性をさらに細かく分析することで、ベッド淵に座るのか？離床するのか？それともベッドから落下するのか？が判断できるのではないかと考える。

今回計測を行った患者には、いずれも24時間の介助人がおり、徘徊や落下などは発生しない。本システムの最終的な目的はそれらを感知し、自動的に警告アラーム信号を送ることである。これを実現するためには、今後も引き続き、より多くのデータ計測を行い、健常者と患者の行動を細かく比較検討することが必要である。多くのデータを取得することで行動予測解析および、その判断が可能になると確信する。

今後の展開として、より多くのデータ計測を行い、患者の行動パターンから正確な離床を予測してナースステーションや介護者へ自動的に連絡するシステムを完成させる。また、集中治療室で行われる日々の体重測定のように患者及び医療スタッフに大きな労力が強いられる場面でも、本システムを利用することでそれら労力が不要かつ詳細なデータを得ることが可能となる。

さらに精神内科から診ると、高次脳機能障害と睡眠との関係は深く、睡眠行動障害による異常行動にならないためには早期の覚醒を促す必要があると言われており、現在ではRBDスクリーニング問診票における診断の他、レム睡眠関連呼吸異常や年齢など複合的な判断が必要であると言われている⁶⁾。その判断のひとつとして今回のシステムで睡眠時のモニタリングを行い、導き出される関係性から診断や治療の一助となると期待される。

これまで多くの研究者やメーカーが様々なデバイスの研究や発売をしてきた⁷⁾。が、一方で問題も発生していた。感

圧式センサータイプであれば単純に感知すると警告アラームを鳴らしてくれるという容易さがあったが、患者が無意識に移動させてしまい反応できなかった。超音波式の部屋全体を監視するものでは、患者以外のものを感知して警告アラームを鳴らすなど、誤作動でナースや介護者へ無駄な労力を求めることがあった。今回開発したロードセル型であれば、ベッドのキャスター取り付け部に部品として組み込み可能な小型のものがあがり、自然な様子で計測することが可能である。今後は本システムを完成させ社会貢献の一助となるようさらなる開発を進める。

7. 謝 辞

本研究は平成28年度および平成29年度労災疾病臨床研究事業費補助金（150501-01）により助成を受けたことを記す。なお、テンプレートファイルの作成に際しては、日本機械学会論文集投稿用テンプレートファイルを参考とした。

文 献

- (1) 平成28年度厚生労働省白書
- (2) 2005年看護職員実態調査，日本看護協会政策企画部，日本看護協会調査研究報告<No. 75>，2006
- (3) ベッド上の患者行動を推定・通知するシステム「離床 CATCH」の提案，初雁ら，労働科学88巻3号，pp94-102，2012
- (4) パラマウントベッド株式会社，KA-85000，<http://www.paramount.co.jp/>
- (5) 岡田英孝，阿江通良，藤井範久，森丘保典，日本人高齢者の身体部分慣性特性，バイオメカニズム13，pp125-139，1996
- (6) 宮本智之，レム睡眠行動障害，高齢者の睡眠とその障害，長寿科学振興財団，pp141-149，2016
- (7) 山崎信寿，森伊織，原田恵，体格・仰促臥位対応マットレス，バイオメカニズム19，2008，pp. 255-266