

# 傾斜配置したロードセルによる3軸荷重センサと ベッドセンシングシステムへの応用

岸 啓補<sup>†</sup> 小幡 光一<sup>†</sup> 小黒 久史<sup>†</sup> 形岡 博史<sup>‡</sup> 杉江 和馬<sup>‡</sup> 中里 正行<sup>†</sup>  
 凸版印刷株式会社<sup>†</sup> 奈良県立医科大学<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

医療・介護現場では、体調の急変、転倒・転落、徘徊、排せつ等、様々な見守り業務が大きな負担になっている。それらは人手による対応には限界があるため、センサを使った製品が販売されている。しかし既存のセンサでは対応できない状況や、環境や患者の都合によってセンサを導入できない状況が発生している。

プライバシーの保護が必要な空間や夜間の暗所環境ではカメラの利用は難しく、この状況に配慮した患者の状況検知にはロードセルやシート状の圧力センサによって荷重情報が用いられている<sup>[1]</sup>。ロードセルによる手法は求めたベッド上の重心位置の変化によって患者の挙動を推定するが、検知できる情報の種別が少なく、またシート状の圧力センサによる手法は分布が取得するために様々な情報が取得できるが、設置コストの高さといった課題がある。

重心を推定するためのロードセルに3軸のセンサを用いることで、荷重をかけている接触点や力の3次元情報の取得と動作種類の判別が可能となるため<sup>[2]</sup>、ベッドの各脚に3軸ロードセルを設置した3次元センシングシステムを試作し、患者の姿勢推定・荷重検知の可能性を検証した。

## 2. 傾斜配置したロードセルによる3軸荷重センサ

3軸のロードセルは1軸のロードセルに比べて導入コストが高いのが現状である。そこで図1の様にコストが低い1軸のロードセルを傾斜配置することで、3軸の荷重情報を取得するセンサを構築した。

1軸ロードセルはセンサの主軸方向の力を検知するものであり、傾斜荷重がかかったときの



図1 ロードセルを傾斜配置した3軸荷重センサ

センサ値は荷重と主軸方向との内積の形となるため、3つの1軸ロードセルを図2の様に傾斜配置するときのセンサ値はそれぞれの主軸方向 $N_1 \sim N_3$ を要素とした3x3行列と荷重ベクトルの積で表すことができる。

$$L_n = k_n F \cdot N_n \quad \begin{matrix} L_n: \text{ロードセル}n\text{の計測値} \\ k_n: \text{ロードセル}n\text{の係数} \\ \text{(単位変換・校正係数の合成)} \end{matrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} k_1 N_{1x} & k_1 N_{1y} & k_1 N_{1z} \\ k_2 N_{2x} & k_2 N_{2y} & k_2 N_{2z} \\ k_3 N_{3x} & k_3 N_{3y} & k_3 N_{3z} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{pmatrix} \quad \therefore F = M^{-1}L$$

図2 荷重ベクトル推定

また組付け精度や個体差、経年劣化に対応するため、高精度ロードセンサを真値としたキャリブレーションを行った。具体的には高精度ロードセンサと構築した3軸荷重センサに同時に荷重をかけ、荷重ベクトルを求める際にロードセルの計測値を乗じる3x3の行列をRANSACによって求めた。約1.5kgの荷重をかけたキャリブレーションにおける真値と推定値の平均二乗誤差は56.2gとなった。結果の一例として、かける荷重の方向を任意に変化させた時の推定値と真値のx成分を図3に示す。

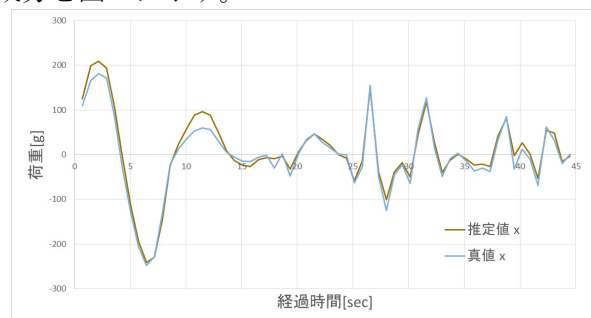


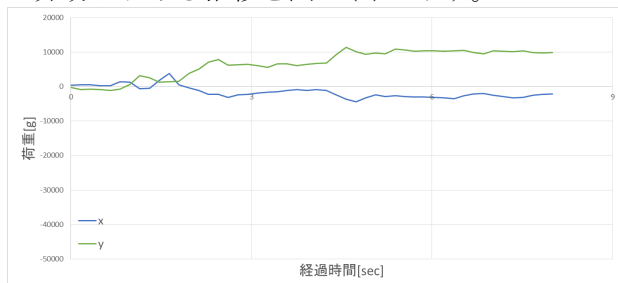
図3 キャリブレーション結果

A three-axis load sensor with tilted load cells and its application to bed sensing system  
<sup>†</sup>Keisuke Kishi, <sup>†</sup>Koichi Obata, <sup>†</sup>Hisashi Oguro, <sup>†</sup>Masayuki Nakazato, Toppan Printing Co., Ltd.  
<sup>‡</sup>Hiroshi Kataoka, <sup>‡</sup>Kazuma Sugie, Nara Medical University

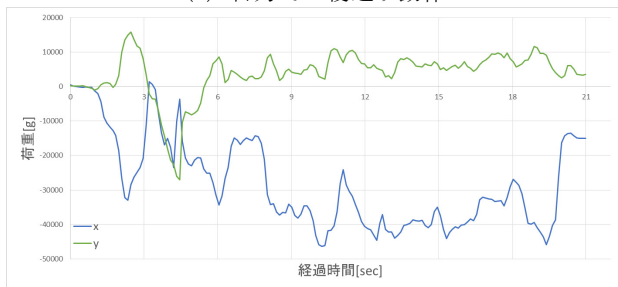
### 3. 医療用ベッドを用いた予備実験

実際の医療現場における実験に先んじて医療用ベッドを用いた予備実験を実施した。ここでは被験者にかかった外力を検証するために、上記の3軸ロードセンサを各脚に取り付けたベッドに被験者（健常者）を寝かせ、被験者が自力での体位変換を行った際の荷重変化と、理学療法士によって介助された体位変換の際の荷重変化を取得した。

図4に右回りの寝返り動作において各ロードセンサの総和を荷重情報とした時系列変化を示した。介助において検知する水平方向の荷重情報の変化を見るために静止時の荷重ベクトルを基準とし、自力での動作における経過時間による荷重 $x, y$ 成分の推移を図4(a)に、理学療法士の介助における推移を図4(b)に示す。



(a) 自力での寝返り動作



(b) 介助による寝返り動作

図4 荷重ベクトルの時系列変化

### 4. ベッドセンシングシステム

見守り業務を行っているスタッフへセンシングした患者の姿勢や荷重の状態を提供するシステムのプロトタイプを構築した。この通信にはLPWAであるZETAを用いることで施設内の電波干渉を防ぎ、診療や看護に支障をきたさない無線通信を可能とした。

荷重情報をクラウドに送信するシステムの構成を図5に示す。このシステムの稼働実験を奈良県立医科大学附属病院において行い、データ取得実験および実際に介護現場で業務を行っているスタッフへのヒアリングを実施した。

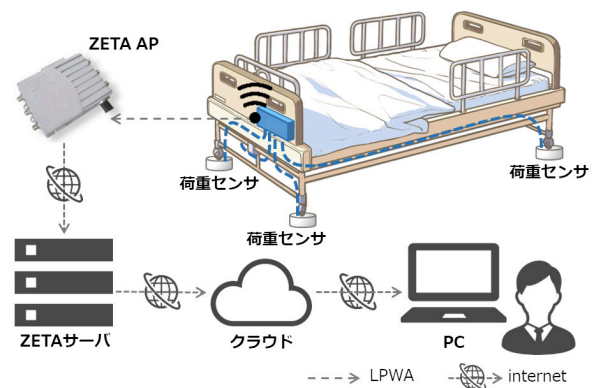


図5 ベッドセンシングシステム構成図

### 5. 結果と考察

複数のロードセルを傾斜配置することにより、3軸の荷重情報を得るロードセンサを構築した。これをベッドの各脚に取り付けて取得した寝返り動作の荷重ベクトルの比較において、挙動によって水平方向のベクトルに特徴が表れることを確認した。

奈良県立医科大学附属病院におけるベッド上の荷重情報をZETAによって送信する実験では、正常にデータがクラウドに蓄積されていることを確認した。また介護現場に実施したヒアリングでは、ベッド自体を病院内で移動する運用があることから、システム使用時の安全性について意見が得られた。

今後は3軸ロードセンサで得られた荷重情報から患者の挙動や姿勢を分類する解析手法の確立を進める。またロードセンサのケーブルが安全上の妨げになる恐れがあるとの意見からロードセンサのワイヤレス化を検討する。

### 謝辞

本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究により得られたものです。

### 参考文献

- [1] 荒木 大地, 長田 拓也, 中内 靖, 川口 孝泰, ベッド上からの転倒・転落予防に向けた体動変化解析手法の提案, 日本機械学会論文集, 2017, 83 巻, 856 号, p. 17-00210
- [2] Yoshida, T., Shen, X., Yoshino, K., Nakagaki, K., & Ishii, H. (2019, October). SCALE: Enhancing Force-based Interaction by Processing Load Data from Load Sensitive Modules. In *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 901-911).