

非線形バネマットレスを用いた介護ベッドの開発

Development of a Care Bed using Non-linear Spring Mattress

○ 学 中野主翼（鈴鹿高専専攻科），
正 白井達也（鈴鹿高専），正 富岡 巧（鈴鹿高専）

Tsubasa NAKANO, Suzuka N.C.T.
Tatsuya SHIRAI, Suzuka N.C.T., shirai@mech.suzuka-ct.ac.jp
Takumi TOMIOKA, Suzuka N.C.T.

In this paper we had proposed a new care bed. The most significant characteristic is that the bed uses non-linear spring mattress. Most of cot cases cannot toss about in bed that a physically unimpaired person can naturally do. It is a main cause of bed sore that a cot case keeps the same posture in bed without tossing about. For preventing a bed sore, the most of cot cases are changed their posture by using caretaker's hand every two hours. The advanced care bed and the air mattress equipped with a postural change function begin to be used for reducing the stress of the caretakers. NLS mattress can adjust the hardness of bed surface partially. Furthermore, by applying the function, NLS mattress can help the postural change operation.

Key Words : Care bed, Non-Linear Spring, Stiffness adjustable tendon, Postural change operation

1. 緒言

1950年には総人口の5%に満たなかった日本の高齢者人口は、1994年に14%を超え、2015年には26.0%、つまり国民の約三人に一人が65歳以上の高齢化社会の到来が見込まれている[1][2]。高齢者の増加は寝たきりの要介護者数の増加と、その介護者人口の不足、さらに介護者の高齢化問題にもつながる。寝たきりの要介護者の多くは、健常者ならば就寝中であっても無意識に行う寝返り動作を自力で行えないため、長時間、同一の姿勢を続けることで褥瘡を生じる危険がある。褥瘡の発生を予防するには昼夜を問わず約二時間ごとの体位変換作業が必要である。多くの現場では人手に頼っているが、介護者の負担を減らすためにエアマットレスや体位変換機能を持つ多機能な介護ベッド[3]の普及も徐々に進んできた。寝たきり患者の介護を目的としたロボット技術の開発は、意思伝達を助けるための福祉機器の開発やベッドと車椅子の間の移乗を助けるロボット[4]やパワーアシストスーツに注目が集まっている。

本研究では今までに開発された介護ベッドとは構造が大きく異なる非線形スプリングマットレス（以下、NLS マットレス）を用いた介護ベッドを提案する。NLS マットレスはベッド表面の硬さを利用者の好みに合わせて調整可能であることに加え、体位変換を助ける機能も持つ。

2. NLS マットレスの提案

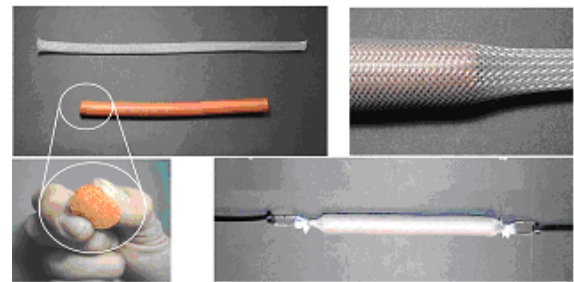
2.1. 非線形バネ SATの構造と特徴

NLS マットレスは非線形バネ要素 SAT (Stiffness Adjustable Tendon) の非線形バネ特性を利用したマットレスである。SAT は、図 1(a)に示すように網チューブで弾性素材のシリコンゴムスポンジ製の丸棒を覆い、両端をタイラップで封じたソーセージ状のシンプルな構造の全く新しい構造のバネ要素である。SAT は金属製の部品を用いないため水気に強く、伸縮の際にコイルスプリングのように素材の隙間に異物が挟まる危険性が無い。一般的な金属製のコイルスプリングと SAT の静的な力学的特性を比較した実験結果を図 1(b)に示す。横軸は荷重、縦軸はバネ係数である。理論的な線形バネと異なり、一般的な金属製コイルスプリングは荷重が増すにつれて剛性が低下し、弾性限界を超えると塑性変形してしまう。SAT はコイルスプリングとは逆に荷重が増すにつれてバネ係数が増加し、高剛性化する。伸び始めは柔らかく、大きな荷重に対しては頑強に受け止める非線形バネ特性は、ベッドマットレスとして快適なスプリング特性を得られると期待できる。

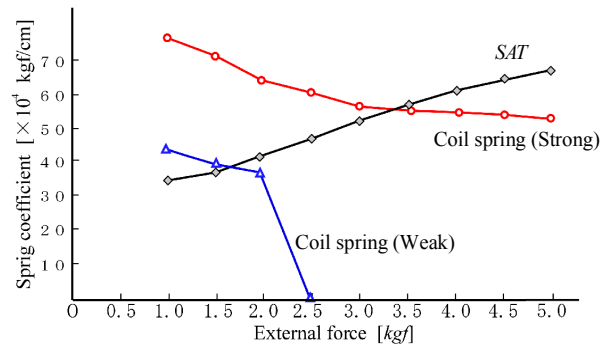
2.2. NLS マットレスの構造と原理

NLS マットレスは、図 2(a)に示すように SAT を格子状に設置したハンモック状の柔軟構造体である SAT ネット部をベッドフレームからワイヤを介し懸架した構造である。最外周に位置する SAT の端部ワイヤは直動アクチュエータに接続し、一定の初期張力を印加する。全アクチュエータでワイヤを強く引けばマットレス全面が硬くなり、緩めると柔らかくなる。

図 2(b)のように NLS マットレス右側の SAT の張力を弱めるとベッド右側の領域の剛性が低下して柔らかくなる。図 2(c)のように張力が均等な場合、マットレスは右左対称な特性を持つが、図 2(d)のように右側の領域を柔らかくすると、仰向けに寝た使用者の自重によってマットレスの右半分が凹む。この変位量が十分に大きいならば、介護者の介助なしに使用者の体位変換が自動的に行われる。もし、変位量が期待より小さく、重力によって自然に体位変換が生じなかったとしても、介護者は従来より小さな力で被介護者の体位変換が可能となる。

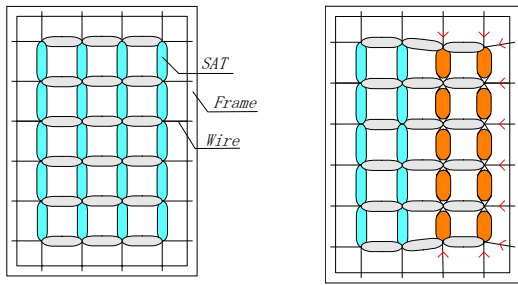


(a) Structure of SAT

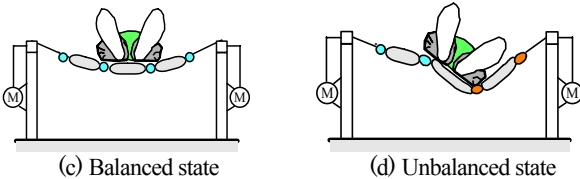


(b) Comparison of a spring coefficient

Fig.1 SAT (Stiffness Adjustable Tendon)



(a) Structure of NLS mattress (b) Loosen wire tension only right region



(c) Balanced state (d) Unbalanced state
Fig.2 Basic mechanism of the postural change by NLS mattress

2.3. 試作したNLSマットレス

試作した NLS マットレスを用いた介護ベッドの全景を図 3 に示す。NLS マットレスはメインフレーム、アクチュエータ部、プーリ部、SAT を格子状に配置した SAT ネット部からなる。フレーム外形寸法は幅 1050[mm]、長さ 1980[mm]、高さ 410[mm] である。SAT は無負荷状態でφ15、長さ 75[mm]のシリコンゴムスポンジ丸棒とφ10の網チューブを使用し、縦方向 5 列、横方向 13 列を格子状に組み合わせる。SAT 端部ワイヤは図 4(a)に示すプーリ部でワイヤ方向を垂直方向に曲げ、図 4(b)に示す直動アクチュエータ（コガネイ製、TP5）で牽引する。アクチュエータ部とプーリ部は合計十六組である。SAT ネットの張力は、パーソナルコンピュータにより各直動アクチュエータの位置を制御することで独立してコントロールできる。

3. 実験・結果

NLS マットレス表面の剛性が 2.2 節で予想したようにワイヤ張力を制御することで実際に変化するかを確かめる検証実験を行った。全十六本のワイヤの初期張力は 40[N]である。各実験条件下において、縦方向の SAT と横方向の SAT の交点（以下、交点）に 15[N]の荷重を重力方向に印加して地面から荷重点までの高さを計測し、無負荷状態時の地面との高さの差より、各交点の柔らかさを求める。

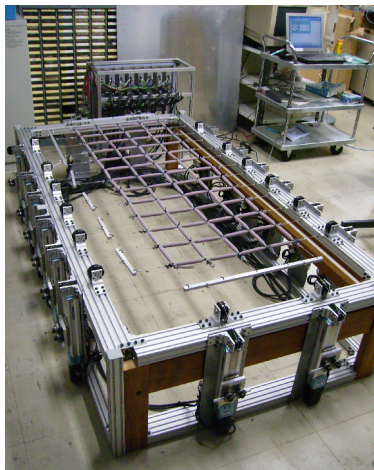
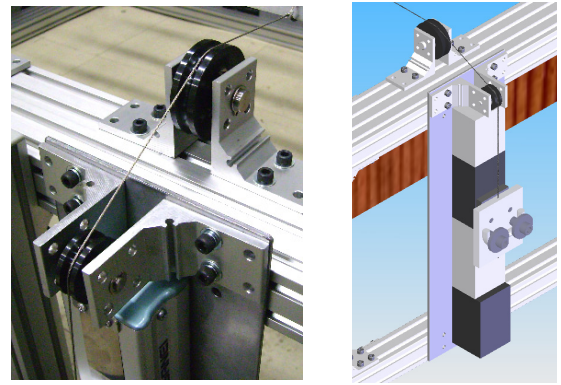


Fig.3 Overview of experimental equipment



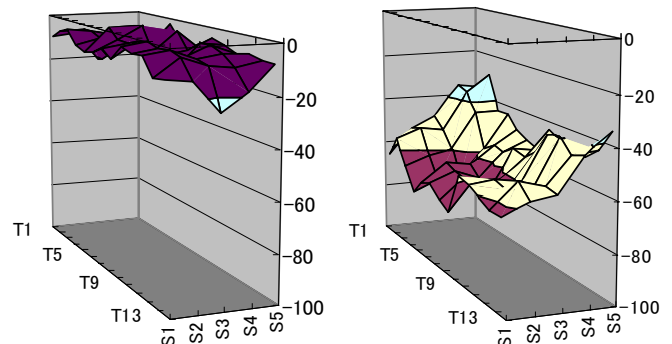
(a) Pulley unit (b) Linear actuator unit

Fig.4 Wire-driven system

図 2(a)に示すように全ワイヤに均一な張力を与えた状態と、図 2(b)に示すように NLS マットレスの片側の張力だけを小さくした状態における各交点の柔らかさを計測した。図 5 に実験結果のグラフを示す。グラフ中の記号 S1 から S5 は SAT ネット部の長手方向の SAT の列、T1 から T13 は S 列と直交方向の SAT の列を表す。利用者は T1 方向に頭部、T13 方向に脚部を向けて仰向きに寝ているものと仮定する。したがって、S1 から S3 列の領域を右半身領域、S3 から S5 列の領域を左半身領域と呼ぶこととする。領域は重複するが、便宜上、S2 から S4 列の領域を中央領域、S3 列を中心列と呼ぶ。

全ワイヤの張力が等しい状態における各交点の変移量を図 5(a)に示す。中心列は左右半身領域に比べて平均で 6[mm]ほど深く沈み込み、左右の特性はほぼ等しい。基本的に使用者はベッド中央領域に寝ることになるので、落下防止のための姿勢保持の観点から中央領域が柔らかい特性を示したことは好ましい。

右半身側のワイヤ（S1 列側）の張力を緩めた状態における各交点の変移量を図 5(b)に示す。ワイヤが繰り出されたことにより右半身領域だけではなく、マットレス全体が初期状態に比べて沈み込んでいるが、左半身側の S4 列の 13 点の変移量が平均で 46[mm]であるのに対して、右半身側の S2 列の 13 点の変移量の平均は 60[mm]である。グラフからも分かるように右半身領域の方が左半身領域に比べ、同じ応力を受けた場合に大きく沈み込むことが確認された。SAT ネット部は左右対称の構造をしているので、本実験とは反対の左半身側のワイヤを緩めれば、逆に左半身領域の面が柔らかくなると予想される。本実験結果より、NLS マットレスは SAT ネット部を懸架するワイヤの引っ張り量を調整することでマットレス表面の選択した領域の柔らかさを調整可能であること、すなわち使用者の体位変換を助ける機能を持つことが検証された。



(a) Balanced state (b) Unbalanced state

Fig.5 Experimental results

4 NLS マットレスの数値解析

実際の NLS マットレスには 5 列×13 列で合計 65 点の交点が存在する。NLS マットレス表面の物理特性を計測するために SAT マットレス部の懸架ワイヤの巻取り量を変化させ、その時の全交点の柔らかさを計 65 点において計測する作業は非常に多くの時間と手間を要する。さらに SAT は非線形バネ特性に加えてヒステリシス特性を持ち経時変化もあるため、同一の実験条件を再現するのは難しい。そこで各交点に外力が作用した際の NLS マットレスの表面形状の変化を数値解析するシミュレーションプログラムを作成した。

SAT ネット部は各 SAT が格子状に組み合わせられているため、一部の SAT の変形が他の SAT へ影響を与える。SAT の物理的特性は非線形である上に大変形するため、線形モデルの解析手法は用いることができない。そこで漸近的に静的な釣り合い状態を求める数値解析的手法を用いて、外力印加時に全交点の合力が静的つりあい条件を満たす変形状態を求めた。図 6 に解析結果の一例を示す。左上隅の一点に重力方向の外力を加えた時の SAT ネット部の各交点の変位を表している。最外周の点はベッドフレームに固定されており、残りの交点は三次元の自由度を持つ。図 6 の例では 1 点のみに外力を印加しているが、全ての交点に自由な三次元カベクトルを外力として印加可能である。

5. 結言

非線形バネ SAT の物理的な特徴を生かした新しい構造の介護ベッド用マットレス、NLS マットレスを提案した。実際に NLS マットレスを用いた介護ベッドを試作し、ベッド表面の硬さを右半身、左半身領域であれば選択的に調整可能であることを実験により確認した。NLS マットレスの物理的な特性を解析するための数値解析手法を確立し、シミュレーションソフトウェアを完成させた。

今後は、シミュレーションソフトウェアの解析結果と実機の実験結果を比較し、シミュレーションプログラムの信頼性を確認する。シミュレーションプログラムを用いて現在の格子状の SAT 構成以外の SAT マットレスの特性を解析し、試作した NLS マットレスよりも優れた特徴を持つ NLS マットレスの実現を目指す。

文 献

- [1] 総務省 統計局 人口推計 推計結果 月報, 平成 17 年度, 平成 18 年度, <http://www.stat.go.jp/data/jinsui/2.htm#01>
- [2] 厚生労働省ホームページ: 「介護・高齢者福祉」, <http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/index.html>
- [3] 阿部 裕司, 田口 賢治, 森川 雅司, 川上 日出生, 小川 淳, ” 体位変換介護ベッド「hist」, SANYO TECHNICAL REVIEW, Vol.35, No.2, pp.97-103, 2003.
- [4] 小田島 正, 大西 正輝, 田原 健二, 向井 利春, 平野 慎也, 羅 志偉, 細江 繁幸, ” 抱え上げ動作による移乗作業を目的とした介護支援ロボット研究用プラットフォーム ” RI-MAN” の開発と評価”, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.4, pp.70-81, 2007.

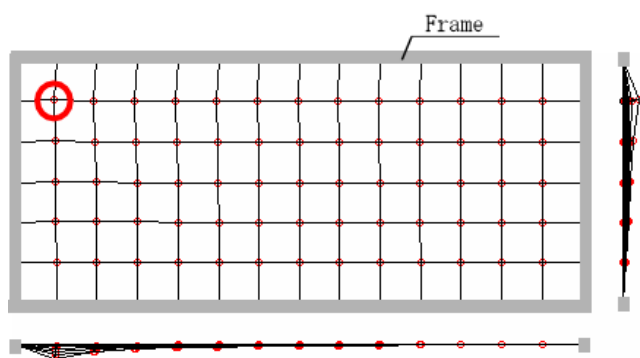


Fig.6 Example of simulation results