

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：55503

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760211

研究課題名（和文） 褥瘡軽減ベッド用超音波リニアモータの開発

研究課題名（英文） Development of Ultrasonic Linear Motor for Use in Bedsore Prevention Bed

研究代表者

鈴木 厚行 (SUZUKI ATSUYUKI)

徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・助教

研究者番号：40450142

研究成果の概要（和文）：超音波リニアモータを複数個設置し、体圧の掛かった箇所を凹ませる方式の褥瘡（床ずれ）軽減ベッドを提案し、褥瘡軽減ベッド用超音波リニアモータの開発を試みた。2本の振動子をL型のコネクタで結合し複合振動を得る。最初に試作した超音波リニアモータは駆動周波数が振動子の共振周波数と一致しないことや剛性が低いことなどから損失が大きかった。共振周波数をほぼ一致させ、かつ剛性を高めることで性能が向上し、最大推力 40 N・最大上昇速度 267 mm/s が得られた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed an ultrasonic linear motor that incorporates two transducers at an acute angle. We focus on developing actuators for use in a bedsore prevention bed. The first fabricated motor had a flaw in that the driving frequency of the motor was not synchronous with the resonant frequency of the transducers. Furthermore, the rigidity of the structure was low. Therefore, the motor did not generate large power. By solving these problems, a maximum thrust of 40 N and a no-load speed of 267 mm/s were obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 機械力学・制御

キーワード：褥瘡・床ずれ・超音波モータ・リニアモータ・体圧分散・振動特性・負荷特性

## 1. 研究開始当初の背景

皮膚等の組織が長時間圧力を受けて壊死してしまう褥瘡（床ずれ）は高齢者の7～10人に1人の割合で発症すると予測されており、難治性で感染症を引き起こす可能性が極めて高く、患者の大きな苦痛となっている。また2時間おきの体位変換が必要で介護者の負担も大きい。本研究の最終目標は静粛で自力体位変換がしやすく、電磁波を発生せず、蒸れにくい褥瘡軽減ベッドを開発し、高齢化社会においても豊かな生活ができるようにすることである。褥瘡の軽減は、患者の生活

の質を向上させ、自立支援することにもつながり、ライフサイエンス分野の重要な研究開発課題となる。

褥瘡の予防には体圧を低く保つために、体圧を分散させる必要がある。体圧を分散させる方法はマットレスの材質や形状による受動的な方法とエアや水等の流体を利用した能動的な方法が一般的である。体圧分散方法については国内外で研究され、市販されている褥瘡軽減ベッドもある。しかし、問題点も残っており、より高性能な褥瘡軽減ベッドが望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は高推力を発生する超音波リニアモータを開発し、褥瘡軽減ベッドに適用することである。想定している褥瘡軽減ベッドは超音波リニアモータを複数個基盤目状に配置し、圧力の掛かった箇所を凹ませて体圧を分散させる方式である。

褥瘡を軽減するベッドとしてエアーや水等の流体を利用したベッドが市販されている。しかし、これらはポンプを駆動するときに騒音が発生し、流体の浮遊感のため不快感を与える場合があり、通気性も悪く、また自力体位変換時に必要な支持力が得にくい（安定感がない）等の問題点がある。一方、低速で高推力を発生し、ギアが不要であるため静粛であり、自己保持が可能（電力の供給を止めるとスライダが強い保持力を有したまま固まるため、安定感があり、かつ停止時に電力を消費しない）、電磁波を発生しない、通気性を確保しやすい等の特長を有しており、褥瘡軽減ベッドに適している。電磁型モータでは同じ機能を実現することができない。

超音波モータによる体位変換機能やマッサージ機能の追加による更なる発展も期待できる。褥瘡軽減用ベッドだけでなく、自在曲面装置として様々な形の物体に対応した保持器やゴルフ練習用コースなどへも応用できるであろう。超音波モータは、カメラ制御の駆動に多用されているが、更に高出力が必要とされる用途にはまだほとんど実用化されていない。超音波モータの高出力化が進むと、超音波モータの用途は拡大すると推測している。

本研究では従来の超音波モータ以上の出力を得るため、一般的な進行波型超音波モータが用いているタイプの振動子ではなく、ボルト締めランジュバン型振動子 (BLT) と呼ばれる、大きな出力を発生する振動子を用いた。そして新しく考案した振動子配置によって、高推力・高効率な超音波モータの実現を図った。

## 3. 研究の方法

### (1) 超音波リニアモータの構成

図1に想定している褥瘡軽減ベッドの概略図を示す。基盤目状に配置した複数の超音波リニアモータを圧力センサーの出力に応じて上下させ、体圧を分散させる。褥瘡軽減ベッド用として実際に試作した超音波リニアモータを図2に示す。レ型複合振動子をステータとしてスライダに押しつけ、アクリル板を上下に駆動する。レ型振動子とスライダ間の接触圧力はコイルばねを介して印加し、ナットの締め付けによって調整する。スライダのストロークは約 60 mm である。スライダ駆動面には一般的に使われているような摩

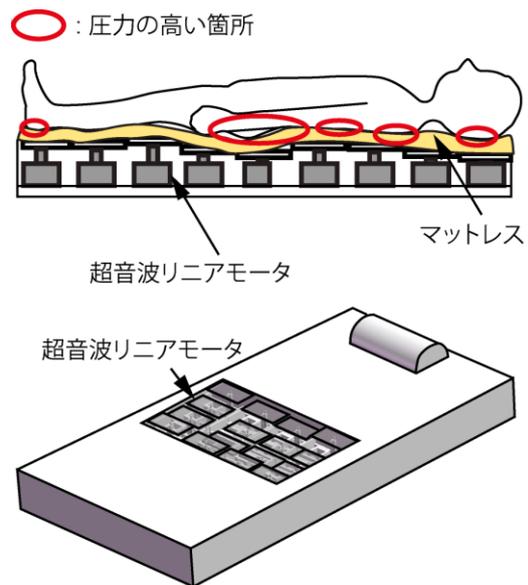


図1. 超音波リニアモータを用いた褥瘡軽減ベッド

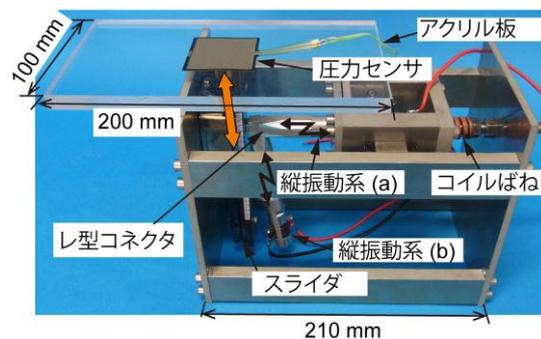


図2. 試作した超音波リニアモータ

擦材を用いず、直接駆動した。

初めに試作した超音波リニアモータは剛性が低く、スライダの上下によってステータが若干動いてしまう問題があった。剛性を高めるため、レ型複合振動子を2本のスライダガイドに設置し、かつ筐体自体の剛性を高めた。

図3はレ型複合振動子の概略図である。図3(a)は初めに試作したレ型複合振動子であるが、縦振動系(a)と縦振動系(b)の共振周波数がずれ、かつBLTの共振周波数ともずれていたため、大きな出力が得られなかった。設計時に使用した音速の値が実際の音速と異なることおよび縦振動系(a)と縦振動系(b)の長さが異なることが大きな原因であった。そこで、実際の音速を求めて再設計し、かつ縦振動系(a)と縦振動系(b)の両方にスペーサを挿入して長さを一致させた。また、コネクタ部をコンカルホーンの形状に近づけた。図3(b)は改良後のレ型複合振動子である。

試作したレ型複合振動子は共振周波数 60 kHz・直径 15 mm のボルト締めランジュバン型振動子 2 本 {BLT (a) および (b)} をレ型コネクタで結合した構造であり、BLT とレ型コネクタ間には固定用のフランジ付きスペーサを挿入している。BLT (a) 側の縦振動系を縦振動系 (a)、BLT (b) 側の縦振動系を縦振動系 (b) とする。

従来技術には L 型のコネクタで結合した複合振動子があるが、スライダに接触させる駆動面を大きくすることが難しい。本研究では高出力が得られる超音波リニアモータを開発するため、それぞれの BLT が鋭角に配置されるレ型のコネクタにし、縦振動系の側面を使うことで駆動面を大きくした。また、電極等とスライダが干渉しないようにした。さらにコネクタがホーンとしての役割も果たす。

レ型コネクタやスペーサは旋盤・フライス盤等を用いて製作し、各接触面は #3000 程度の砥粒でラップ加工した。入力波形の位相を調整することにより、振動軌跡を変化させ、上下にスライダを動かすことができる。

### (2) 振動特性の測定

インピーダンスアナライザ等を用いて、各振動系のアドミタンス特性を測定し、共振周波数・動アドミタンス・Q 等を求めた。また、レーザドップラ振動計等を用いて振動分布および振動軌跡を測定した。振動振幅は振動速度から換算して求めた。

### (3) 負荷特性の測定

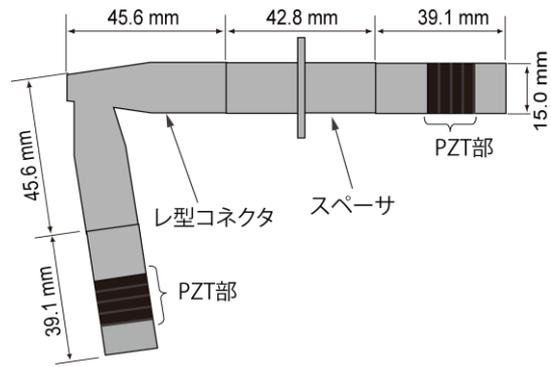
スライダに設置したアクリル板に載せる錘の量を変化させて、負荷特性を測定した。機械的出力パワーを推力および速度から求め、効率を算出した。

## 4. 研究成果

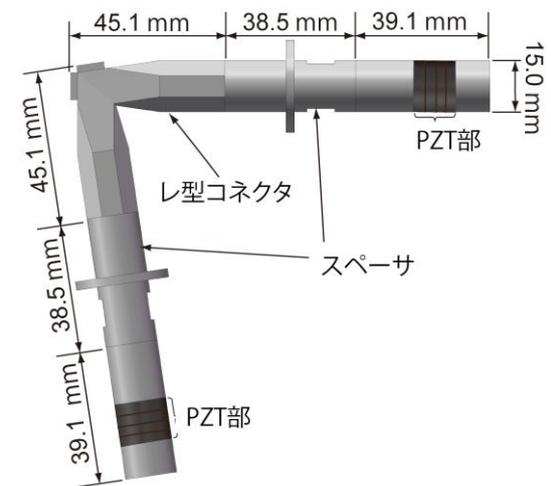
高出力超音波リニアモータの実現を目標に、レ型複合振動子を用いた超音波リニアモータを試作し、振動特性・負荷特性等について検討した。以下にレ型複合振動子を改良した後の成果を示す。

### (1) アドミタンスループ

レ型複合振動子のアドミタンスループを無負荷の状態でも測定した。縦振動系 (a) および (b) の共振周波数はそれぞれ 60.1 kHz および 60.2 kHz であり、BLT の共振周波数 (60 kHz) にほぼ一致させることができた。しかし、縦振動系 (b) に比べ縦振動系 (a) の動アドミタンスは小さく、なんらかの原因で振動が阻害されているようである。駆動面の様子を確認したところ、縦振動系 (a) 側のスペーサと BLT 間の圧力分布に若干の偏りが見られた。工作・組立精度を高める必要がある。



(a) 改良前



(b) 改良後

図 3. レ型複合振動子の構成

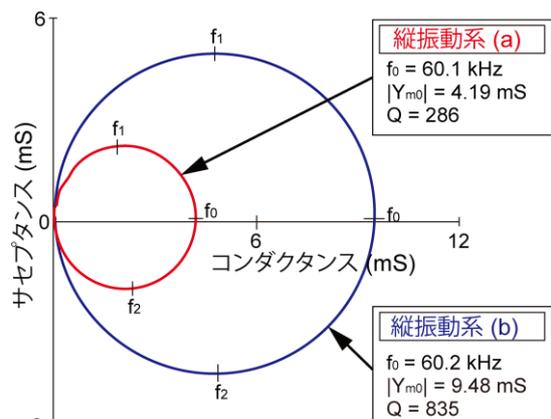


図 4. アドミタンスループ

### (2) 振動分布

縦振動系 (a) および (b) に沿って測定した径方向振動分布を図 5 に示す。実際に超音波リニアモータが動く周波数で駆動して測定した。振動ループおよびノードの位置に若干のずれがあるものの、ほぼ設計通りに 1.5 波長の径方向振動が励振された。つまり 1.5 波長の軸方向縦振動も励振された。

### (3) 振動軌跡

無負荷の状態 で測定したスライダ駆動面の振動軌跡を図6に示す。それぞれの縦振動系はスライダが上昇する位相差  $60^\circ$  で駆動した。駆動面の先端部および下端部ともにスライダの移動方向に回転する軌跡ではあるが、傾きには違いがある。駆動面の振動分布は一様であることが望ましいため、駆動面の大きさや形状は再度検討する必要がある。また測定された振動軌跡は直線的であったが、短径がより大きい振動軌跡にするとさらに大きな出力が得られる可能性がある。また、縦振動系 (a) によって励振された振動が弱いため、縦振動系 (a) の改良によって、スライダを押し上げる力が増大し、推力が増大すると考える。

### (4) 負荷特性

それぞれの縦振動系を位相差  $60^\circ$  , 周波数 60 kHz で駆動したときの負荷特性を図7に示す。最大推力 40 N・最大上昇速度 267 mm/s が得られた。共振周波数をほぼ一致させ、かつ剛性を高めることで性能が向上した。しかし、最大効率は 1.7% であり、まだ非常に小さい。今後は工作・組立精度を高め、駆動面の大きさ・形状を再検討して超音波リニアモータの高出力化を図りたい。また、コネクタ形状を更に改良することや駆動面に摩擦材を用いることなども検討する予定である。

## 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) Atsuyuki Suzuki, Masaki Tsunoji, and Jiromaru Tsujino, Characteristics of Ultrasonic Linear Motor that Incorporates Two Transducers at an Acute Angle, Japanese Journal of Applied Physics, 査読有, 52 巻, 2013 (掲載予定)

[学会発表] (計2件)

(1) Atsuyuki Suzuki, Configuration of an Ultrasonic Linear Motor for Use in a Medical Bed, Symposium on Ultrasonic Electronics, 2012 年 11 月 13 日, 千葉大学

(2) 鈴木厚行、褥瘡軽減ベッド用超音波リニアモータの駆動特性、日本音響学会、2012 年 3 月 13 日, 神奈川大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.tokuyama.ac.jp/profiles/a-suzuki.html>

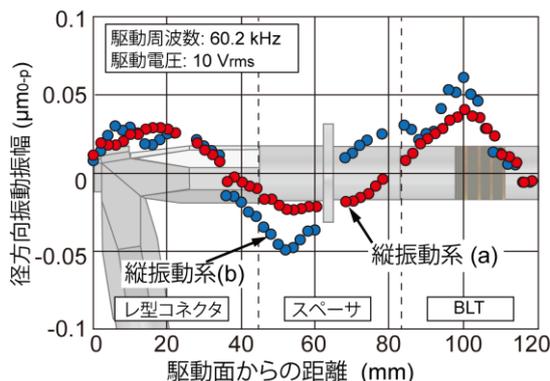


図5. 振動子の径方向振動分布

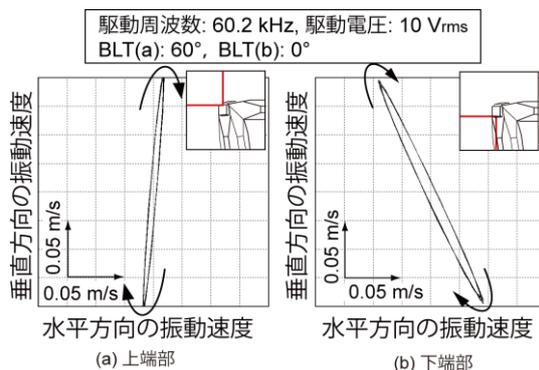


図6. 駆動面の振動軌跡

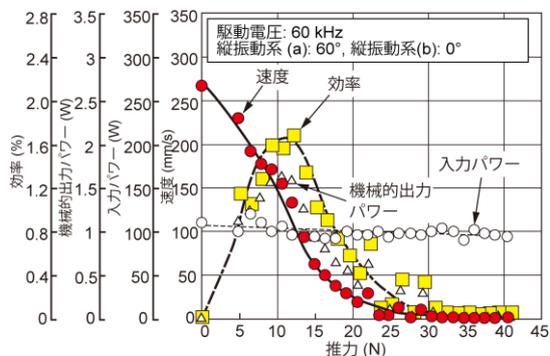


図7. 超音波リニアモータの負荷特性

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 厚行 (SUZUKI ATSUYUKI)

徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・助教

研究者番号：40450142

### (2) 研究分担者

該当者無し

### (3) 連携研究者

該当者無し