

体位変換機の開発

半田隆志* 高麗純*

Development of Postural Change Machine

HANDA Takashi*, KOMA Jun*

抄録

体位変換介護の負担を軽減するものとして、自動体位変換機が商品化されており、一定の役割を果たしている。しかしこれまでのものは、「ベッドの中央でまっすぐ仰向けに寝た姿勢」の被介護者に対してベッド面を傾斜等させるものが多く、被介護者の拘縮等を原因とする身体形状の違いや、就寝姿勢を考慮したものではなかった。本研究では、圧力センサと、開発したニューラルネットワークを用いた認識プログラムを組み合わせ「身体形状等を認識できるシステム」を開発し、さらにこのシステムを、試作した体位変換機に導入して、身体形状等に応じた体位変換動作を行う装置を開発した。

キーワード：体位変換，身体形状，就寝姿勢，ニューラルネットワーク，圧力センサ

1 はじめに

65歳を超える「高齢者」と呼ばれる人々は年々増加し、「高齢社会」は確実に進行している。その中で、「まったく寝たきり」又は「ほとんど寝たきり」という障害高齢者数も増加しており、2025年には230万人に達すると言われている¹⁾。

寝たきりの人のうち、自力で寝返りができない人に対しては、体位変換介護が必要とされているが、これは、被介護者に以下のような効果をもたらす²⁾。

- (1) 褥瘡予防効果
- (2) 内蔵機能維持効果
- (3) 循環障害予防効果
- (4) 肺炎予防効果
- (5) 心理的効果

このように体位変換は有益なものである。しかしこれは昼夜を問わず2時間ごとに行う必要があるものであり、介護者にとって負担は小さくない。

特に在宅介護の場合では、「介護者の介護疲れ」を引き起こす可能性のあるものである。

この体位変換介護の負担を軽減させるものとして自動体位変換機が数社から商品化されている。これは、一定時間ごとに、又は介護者等の指令によって就寝面が左右に傾斜等するものであり、介護保険貸与対象品となっていて、福祉の現場において一定の役割を果たしている。しかしこれらが対象としている被介護者の「身体形状等の状態」としては、「ベッドの中央でまっすぐ仰向けに寝た姿勢」を想定しているものが多く、そのため、必ずしもすべての人に対して常に適切に使用できるとは限らない。自動体位変換機を必要とする人は拘縮を伴って「まっすぐ仰向け」に寝られないことも多く、また就寝姿勢も、必ずしも「ベッドの中央」で寝ているとは限らないからである。そこで本研究では、被介護者の身体形状や就寝姿勢を認識でき、そしてその認識結果に応じて、それぞれに適した体位変換動作を行える自動体位変換機を開発を行うこととした。

* 福祉・デザイン部

2 研究方法

2.1 システム概要

上記の自動体位変換機開発における研究課題は大別して以下の3つである。

- (1) 被介護者の身体形状等を認識し、それに応じてアクチュエータを動作させる「身体形状等認識システム」の開発
- (2) 自動体位変換機の試作
- (3) 上記(1)、(2)のアセンブリと評価実験

それぞれの研究内容について、以下で詳述する。

2.2 身体形状等認識システムの開発

2.2.1 身体形状等認識システムの概要

まず身体形状等認識システムの全体像を決定した。その概念図を図1に示す。

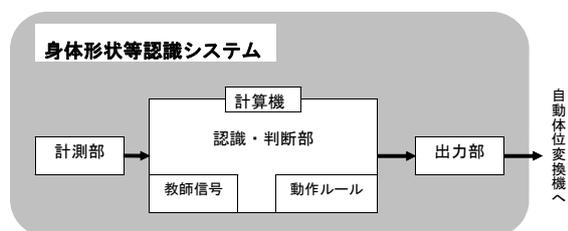


図1 身体形状等認識システムの概念図

「計測部」で被介護者の身体を計測し、その情報を計算機上の「認識・判断部」に渡す。「認識・判断部」では、あらかじめ学習（記憶）させておいた複数の「教師信号（参照情報）」と比較し、被介護者の身体形状等とはどのようなものであるか、を認識・判断して、それに応じた「身体形状等に応じたアクチュエータの動作ルール」を「出力部」に送る。そして「出力部」で、その情報を元に自動体位変換機のアクチュエータを動かす、というものである。

2.2.2 計測部の開発

被介護者の身体情報を読み取るにあたっては、センサによるセンシングや IC タグ等記録媒体を用いてデータを読む方法等があるが、本研究では使用時の簡便さ等の観点からセンサを用いることとした。またセンサも多種存在し、その設置方法も多数考えられるが、やはり使用時の簡便さ等を含めた総合的な観点から、「圧力センサを就寝面に配置し、被介護者の体圧分布を計測する」こと

とした。圧力センサは「Flexi Force A201-25」（ニッタ株）を使用し、これとオペアンプを組み合わせて圧力検出回路を作製した。この圧力検出回路について、荷重と出力電圧の関係を調べる実験を行った。結果を図2に示す。

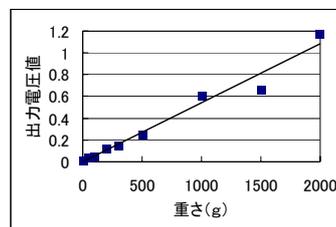


図2 圧力検出回路の荷重と出力電圧の関係

上記の圧力センサを、600mm × 910mm × 4mm の木板上にマトリックス状に配置し、それらを3枚並べて体圧分布計測面とすることにした。圧力センサの設置数は、総数で7個 × 7個 = 49個とした。作製した体圧分布計測面を図3に示す。

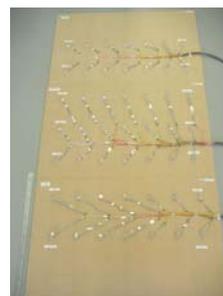


図3 体圧分布計測面（裏側）

回路部分は49個分を3枚の基板上をまとめ、作製した専用ボックスに格納して、これをA/D変換ボックスとした。ここからさらに、A/D変換DAQボード「PCI-6225」（日本ナショナルインスツルメンツ株）を通して、計測した体圧分布の情報を計算機に取り込めるようにした。作製したA/D変換ボックスの外観及び内部の様子を図4、図5に示す。



図4 ボックス外観



図5 ボックス内部

2.2.3 認識・判断部の開発

次に、計測部が計測した被介護者の体圧分布情報から身体形状等を認識して、それに応じた動作

指令を出力部へ渡す「認識・判断部」を計算機にて開発した。「計測部」は、人間に例えると「感覚器」にあたるが、「認識・判断部」は「頭脳」にあたるものである。この開発にあたっては、熟考した結果、ニューラルネットワークを用いることとした。

ニューラルネットワークとは人間の脳の構造を基に作られた情報処理機構であり、基本要素となるニューロンモデルを多数結合してネットワークを形成する^{3)~5)}。ニューロンのモデルを図6に示す。

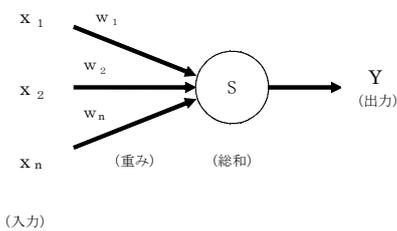


図6 ニューロンのモデル

ニューラルネットワークには、ニューロンを階層的に結合したものと相互結合したものがあるが、階層型は学習機能を持ち、しかもパターン認識のようなアナログデータ処理が得意であることから、本研究では「誤差逆伝播法を用いた3層の階層型ニューラルネットワーク」を構築することとした。プログラミング言語は C++を用いた。なおここでいう3層とは、「入力層」及び「出力層」と、「1層の中間層」を指す。

入力層のニューロン数は、計測部の49個の圧力センサからの出力値と1対1に対応をさせるべく、49個とした。ここでニューラルネットワークにおいては「1つのニューロンの状態」は0(非発火状態)か1(発火状態)の論理値を取るため、計測部からのアナログ値は2値のデジタル論理値に変換し情報を縮減しなくてはならないのだが、この問題を解決するため、東洋大学工学部の松本政之らが提案している「多値入力ニューロンモデル」^{6),7)}をさらに導入することとした。このモデルは、1つのニューロンが3つ以上の状態を取ることができるように拡張されたものであって、よりアナログ値に近いデータ処理ができるものである。そこで本研究では、特に4値(1つのニュー

ロンが、論理値0~3のいずれかの状態をとる)のモデルを構築することとした。

出力層のニューロン数は、学習させる「教師信号」の種類数によって決めるが、本研究ではこれを便宜的に15種類とすることとし、そのため2個のニューロンを配置(4値の2乗=最大16種類学習可能)することとした。以上で構築したニューラルネットワークのモデルを図7に示す。

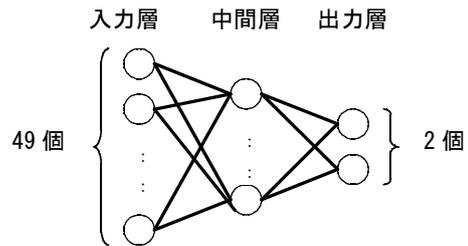


図7 構築したニューラルネットワークモデル

次に、構築したニューラルネットワークに教師信号を「学習」させた。まず学習させる「身体形状」として、「まっすぐ」や「右向きで足が屈曲」等の5種類を決め、また「就寝位置」として、「真ん中」「右斜め」「左斜め」の3種類を決めた。これを表1に示す。次に当センター職員に表1のそれぞれの状態で計測部の圧力分布計測面に寝てもらい、そのときの圧力センサからの出力値を論理値に変換して教師信号としてネットワークに学習させた。実際の計測の様子の一例を図8に示す。

表1 学習させる教師信号のタイプ

位置\形状	まっすぐ	屈曲右向き	屈曲左向き	強度屈曲右	強度屈曲左
真ん中	A-中タイプ	B1-中タイプ	B2-中タイプ	C1-中タイプ	C2-中タイプ
右斜め	A-右タイプ	B1-右タイプ	B2-右タイプ	C1-右タイプ	C2-右タイプ
左斜め	A-左タイプ	B1-左タイプ	B2-左タイプ	C1-左タイプ	C2-左タイプ



図8 計測の様子

教師信号を学習させた後、プログラムを動作させたところ、正しく動作することが確認できた。

出力画面を図9に示す。



図9 出力画面

次に、表1のそれぞれの状態について、体位変換の角度とタイミングについて「動作ルール」を決めた。例えば A-中タイプでは「就寝面の傾斜角度は 10° で、体位変換の間隔は2時間ごと」のように決め、それぞれについてプログラムした。またインターフェース部分も作製した。これらの作製には、グラフィカルプログラミング言語「LabVIEW8.0」(日本ナショナルインスツルメンツ株)を用いた。作製したインターフェース部分を図10に示す。

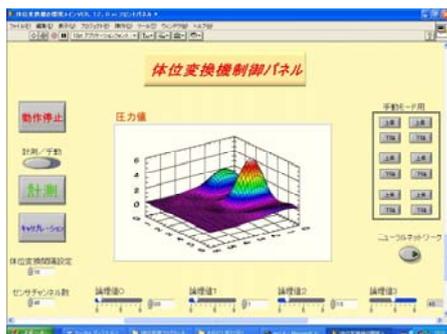


図10 作製したインターフェース部分

2.2.4 出力部の開発

体位変換を行わせるアクチュエータとして、検討の結果、電動モータ「TG-78-JM」(ツカサ電気株)を1/180に減速させたものを6個使用することとし、これを動作させる「出力部」を開発した。D/A変換ボード「PCI-6723」(日本ナショナルインスツルメンツ株)とリレーを用いることで、計算法からの指令によって電動モータの正逆回転を制御できるようにした。またこれらリレーや電動モータ用24V電源はまとめてボックスに収納して、D/A変換ボックスとした。D/A変換ボックスの外観及び内部の様子を図11、図12に示す。



図11 ボックス外観

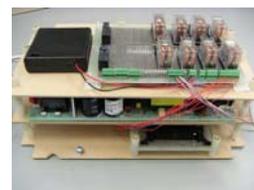


図12 ボックス内部

2.3 自動体位変換機の試作

次に自動体位変換機本体を試作した。スチール製のアングルを組み上げて外枠を作り、そこに木板を渡して床面とした。床面の上には、2.2.2で開発した体圧分布計測面を配置して就寝面とした。就寝面は、スチールワイヤによって床面上方に配置した電動モータの回転軸と接続し、これを巻き上げることで傾斜させられるようにした。さらに就寝面は縦方向に600mmずつ3分割してそれぞれが独立に動作できるようにし、より多様な体位変換動作を行えるようにした。試作した自動体位変換機を図13に示す。



図13 試作した自動体位変換機

3 結果及び考察

開発した「身体形状等認識システム」と「自動体位変換機」をアセンブリし、試作機を完成させた。そして「被介護者の身体形状や就寝姿勢を認識して、その認識結果に応じて、それぞれに適した体位変換動作を行えるかどうか」について評価実験を行った。評価にあたっては、当センター職員複数名を擬似被験者とし、表1に示す15種類のいずれかの状態で試作機に寝てもらったところで、装置がその状態を正しく認識できるかどうかを確認するという方法を取った。その結果、装置の身体形状等認識率(正当率)は約45%であった。これは開発初期段階としてはまずまずと思わ

れる結果であるが、実用化という観点からは改良が必要である。改良すべき点として、まず計測部の誤差低減が挙げられる。そのため圧力センサの出力特性の精査、回路設計やセンサ配置の工夫、木板上における荷重箇所と出力電圧値の関係の精査等を行う必要がある。また、ニューラルネットワークの、入力値に対する出力値の感度が必要以上に高かったことも改良の余地があるが、これは、ニューラルネットワークにファジイ理論を組み合わせた、ニューロファジイシステムを構築することによって解決できる可能性がある。

その他の改良すべき点として、ニューラルネットワークに学習させた教師信号及び「体位変換動作ルール」の設定の問題がある。本研究は、あくまで「工学的要素技術の確立」に注力することとして、これらの設定については任意に決めたが、今後は、実際の被介護者のデータを取り、また「介護の専門家」の意見を参考にして決定することにより実用化に近づけたい。

なお本研究において開発した身体形状等認識システムは、自動体位変換機以外の福祉用具へも応用可能なものであるから、それらを検討していくのも今後の課題である。

4 まとめ

自力で寝返りができない被介護者のための自動体位変換機において、拘縮等を原因とする身体形状の違いや就寝姿勢を考慮して、それぞれに適した体位変換動作を行うことのできる装置の開発を行った。圧力センサと、開発したニューラルネットワークを用いた認識プログラムを組み合わせることで「身体形状等を認識できるシステム」を開発することができ、さらにこのシステムを試作した自動体位変換機に導入したところ、身体形状等に応じた体位変換動作を行わせる装置を試作することができた。擬似被験者に本装置に様々な状態で寝てもらおうという方法で評価実験を行ったところ、約 45 %の確率で身体形状等を正しく認識できるようになったことがわかった。

謝辞

東洋大学工学部の松本政之先生には、ニューラルネットワークを用いた「認識・判断部」構築にあたって多大な御協力と御指導をいただき、さらには客員研究員として研究全般にわたって御指導をいただきました。深謝いたします。また、県内高齢者福祉施設の利用者及び職員の皆様には、大変お忙しいところ、現場調査に御協力いただきました。県内福祉機器製造業の技術担当の方、営業担当の方、また県内の福祉機器レンタル会社の担当の方、自動体位変換機製造業の営業担当の方には、本研究のバックグラウンドとなる貴重な情報の提供をいただきました。皆様に深謝いたします。

参考文献

- 1) 福祉用具普及研究会：福祉用具による大腿骨頸部骨折患者の ADL 向上と自立のための調査研究報告書，(2004)
- 2) 中条俊夫：どうして大切？ どうすれば上手くいく？ 体位変換， ケープハート， **14** (2002) 2-5
- 3) 中野馨：ニューロコンピュータの基礎， コロナ社，(2003)
- 4) 熊沢逸夫：学習とニューラルネットワーク， 森北出版，(2004)
- 5) 渡部恵輔：歩行特性を考慮したニューラルネットワークによる歩行支援装置の速度制御， 高知工科大学大学院修士論文，(2001)
- 6) 松本政之、植田佳典、船戸征一、佐々木哲雄：帰還形ニューロンモデルの提案とニューラルネットへの応用， 多値論理専門研究会， **27**， 8 (2004)， 1-5
- 7) 飯塚正樹、関本大裕、松本政之：多値入力ニューロンモデルを用いたパターン認識， 多値論理専門研究会， **19**， 17(1996) 1-6