

福祉機器の高機能化に関する研究

安 英徳*, 平野 聡*,
大城 靖彦*, 若生 進一*

1. 緒言

高齢化社会の進展に伴い、病院や福祉の現場で高齢者や女性の作業従事者が増える中、現在の福祉機器は、機器操作者にとって十分使い易いものとはいえない。操作の主流はスイッチによる ON・OFF 動作であり、動きも予め決められた設定速度によるものがほとんどである。

このような背景から、開発が求められている高機能福祉機器（作業・介護支援機器）は、操作が簡単で分かり易いインタフェースを備え、人の操作感覚に合わせた動作をする機能を持つ機器である。また県内中小企業は使い易さを向上させた福祉機器開発を望んでいる。

本研究は、平成 13～15 年度の 3 年計画で、介護リフトを対象に、介護者・被介護者ともに快適に使えるデバイスを開発し、県内中小企業がすぐに使える技術シーズの確立を目指す。具体的には、人が握りながら操作を行う機器付属のインタフェースを接触型インタフェースと名付けて、これを人が使い易くするためのセンサ技術開発、センサや制御系に対し外乱となる振動の影響を軽減する技術、インタフェースからの入力信号を高速に処理し、アクチュエータを制御するリアルタイム処理技術、福祉機器に限らず重要な安全装置をハードウェア的に構成する FPGA 回路技術の 4 要素開発からなる。これらの技術は、最終年度にインタフェースシステムとしてまとめる予定である。本年度は、3 年計画の初年度であり各要素それぞれについて基本的な技術の検討を行ったので報告する。

2. 介護リフトの高機能化

研究開発目標である高機能化デバイスを用いた介護リフトの構成を図 1 に示す。高機能化デバイスは、既存の介護リフトに付加するインタフェースシステムであり、(1)接触型インタフェース、(2)振動計測、(3)リアルタイム処理、(4)FPGA 回路の 4 つの部分から構成される。(1)接触型インタフェースは、介護者の操作意志や操作力などの操作信号を検出する部分、(2)振動計測は、操作信号に重畳するノイズや被介護者へ不快感を与える原因となる振動を計測する部分、(3)リアルタイム処理は、操作信号を高速に処理しアクチュエータを制御する部分、(4)FPGA 回路は、インタフェースシステムの安全装置となる部分である。

それぞれの項目について基本技術の検討を行ったので以下に述べる。

2.1 接触型インタフェース

介護リフトに適用しようとする接触型インタフェースは、図 2 に示す既存リフトの被介護者を吊り上げる吊り具上部に配置する。介護リフトの基本動作は、接触型インタフェースを介護者が握って上下操作することにより、リフトアームを上下動作させることを想定して開発する。

この接触型インタフェースについては、次年度に開発する予定である。

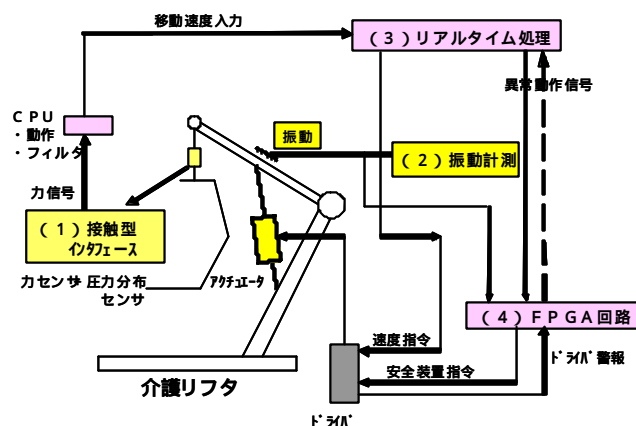


図 1 介護リフト高機能化デバイス構成

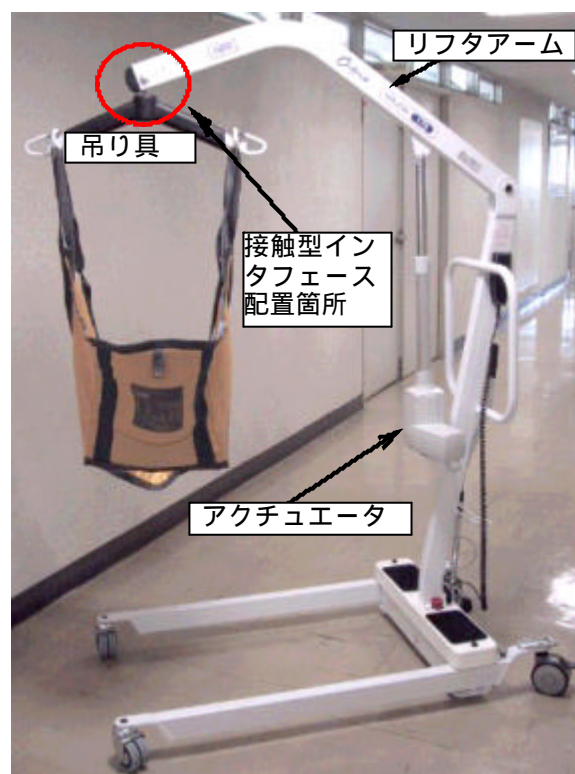


図 2 介護リフト

その構成は、図 3 に示すようにパワーアシスト移載実験装置¹⁾に採用した人の力の検出部をベースにして、握り部分に円筒状の感圧導電性ゴムからなる圧力分布センサを配置したものである。

介護者が吊り具を上下する操作力（入力信号）のセンシングは、握り部と支持棒の間に配した繋ぎ部材に発生する曲げモーメントを歪みゲージにより検出することにより行う。リフトアームを上下するアクチュエータ速度調整などの操作意志は、握りの圧力分布状況から判断及

び処理を行うマルチスイッチ¹⁾と同様の検出方法を採用する予定である。

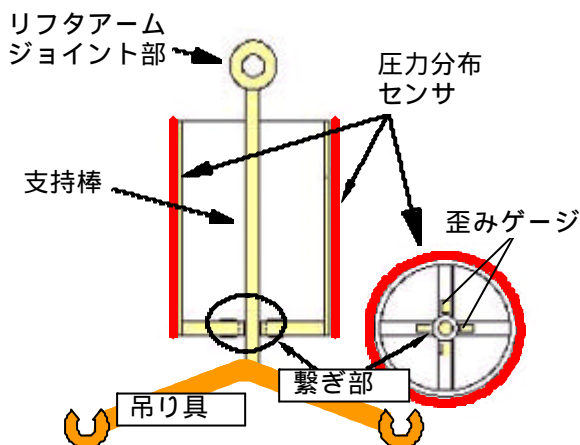


図3 接触型インタフェース

しかし、マルチスイッチには、感圧導電性ゴムが持つヒステリシス特性により、センサ出力にヒステリシスが混入する問題がある。また、マトリクス状電極による圧力検出方法では、感圧導電性ゴムシートとフレキシブル基板の電極との接触状況が、各点でばらつく問題²⁾もある。そこで、これらの問題の改善を検討するために以下の評価実験を行った。

材料特性評価実験は、材質や表面の状態が異なる数種類のゴムシート材について、加える圧力に応じて変化する抵抗値の大きさを電圧値に変換して記録計に取り込む方法で行った。実験条件は、感圧導電性ゴムの変形速度及び繰り返しをパラメータとした。

実験は現在も継続中であり、結果については次年度に報告する。ただしその傾向を検討したところ、感圧導電性ゴムを接触型インタフェースに適用する際には、圧力分布の重心位置を計測する方法が適していることが分かってきた。この計測回路の原理は、独立行政法人産業技術総合研究所で開発された単純情報型触覚センサ³⁾の技術シーズであり、次年度のインタフェース部分の開発に、この技術シーズを導入していく予定である。

2.2振動計測

接触型インタフェースを用いたリフタを対象として考えた場合、振動はセンシング時のノイズとなったり、被介護者へ不快感を与える原因となる。このことから、固有振動数を知るためにモード解析を行うことは、高機能福祉機器開発に必要な事項である。そこで、モード解析を理解するために、予備実験として、鋼製の平板を用いて実験モード解析を行った。

図4に実験装置の構成を示す。ノート型パソコン、計測データ入力装置、インパルスハンマー、1軸加速度計、計測ソフトウェア（キャテック製 CAT-System）、モード解析ソフトウェア（Vibrant Technology 社製 ME'ScopeVES）で構成される。計測は、図5に示すようなスポンジの上に置かれた鋼板に加速度計を装着して、インパルスハンマーで加振して行った。

実験を行うにあたり、まず、計測する鋼板の打撃ポイントを決め、そのポイントに合わせて図6に示す3Dモデルを作成した。

加振実験は加振点移動法により行った。具体的には、図6の1番Z軸方向に加速度センサを装着し、1番から10番までの10ポイントをZ軸方向に加振し、10回の伝達関数データの計測を行う方法である。計測条件は解析周波数 1,000Hz、解析サンプリング点数 2,048点である。

10回計測した伝達関数の中の、4番Z軸方向に加振した伝達関数の測定例を図7に示す。

図7より、約 240Hz、300Hz、610Hz の計3つの共振周波数と思われるピークを見出すことができる。計測した10回の伝達関数データについて、モード特性を算出するために、200Hz から 700Hz までの周波数についてカーブフィットを行い、3次までのモードを同定した。

また、カーブフィットで算出された固有ベクトルをもとにアニメーションを作成した。図8から図10に1次モードから3次モードのアニメーション軌跡を示す。

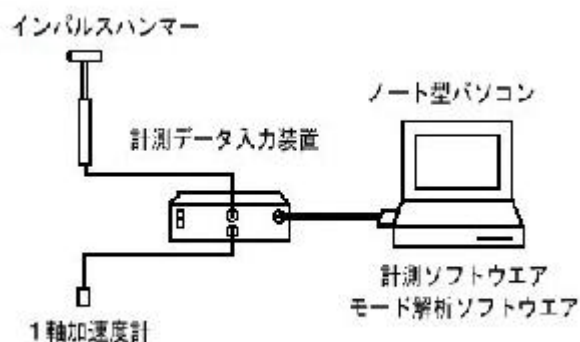


図4 実験装置の構成

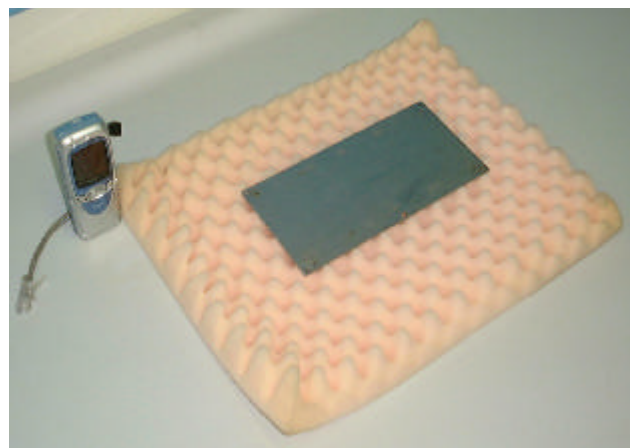


図5 実験に用いた鋼板

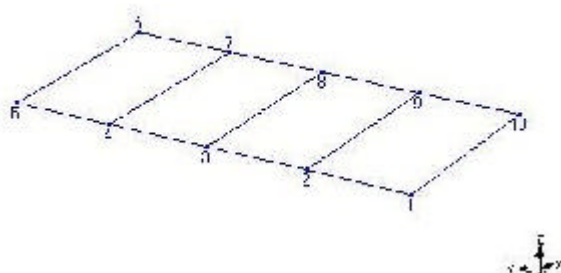


図6 3Dモデル

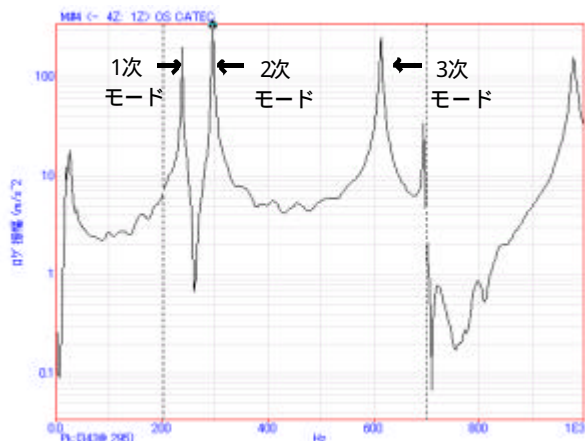


図7 伝達関数データ（4番Z軸方向）

表1には、モード特性の同定結果を示す。これらより、1次モードは約240Hzで長辺方向の曲げ振動、2次モードは約300Hzでねじり振動、3次モードは約610Hzの長辺方向の曲げとねじり振動であることが分かった。

表1 モード特性の同定結果

シェパ ^o	周波数	周波数 単位	減衰比(Hz)	減衰比(%)
1	238	Hz	0.606	0.255
2	296	Hz	0.411	0.139
3	614	Hz	1.25	0.203

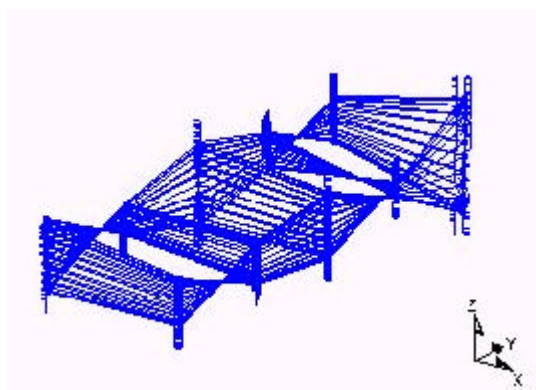


図8 1次モード

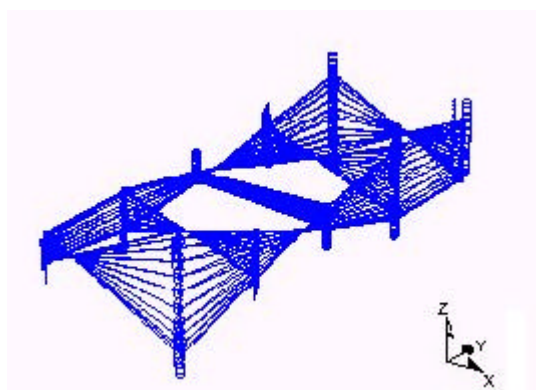


図9 2次モード

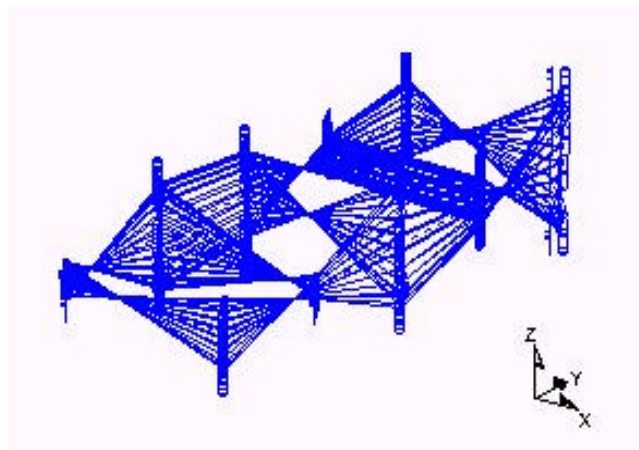


図10 3次モード

2.3リアルタイム処理

福祉機器を高機能化する福祉機器用デバイスには、インタフェースからの入力を高速に計算処理し、的確にアクチュエータを動作させる高速信号処理技術が必要になる。しかし、福祉機器用デバイスは、インタフェースからの入力データが多量になると計算処理に時間を要し、処理時間の遅延によりデバイスの動作に問題が生ずる可能性が高い。そこで、信号処理技術について検討した結果、逐次処理方式では高速化に限界があるので、実時間による信号処理方式であるリアルタイム処理を用いて開発を進めていくことにした。

次年度以降の開発プロセスでは、最初に制御設計ツールである Matlab を用いて図11に示すようなブロック線図による制御設計を行う。ここで図11は、介護リフト用DCモータの制御モデルを示すブロック線図の一例である。つづいて数値計算シミュレーションによりシステムの制御パラメータが同定され、リアルタイム処理に必要なパラメータである処理時間も計算出来る。次に、パソコン上の制御シミュレータで動作実験を行い、制御の安定性及び処理時間の検証を行う。最後に制御システムをマイクロコンピュータに実装し福祉機器用デバイスとしての性能確認を行う予定である。

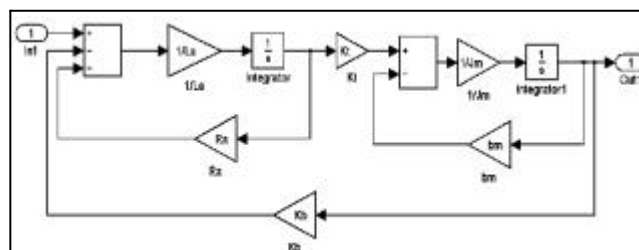


図11 ブロック線図の一例

2.4FPGA回路

FPGAはFieldProgrammableGateArrayの略称であり、従来、ロジックICを組み合わせることで開発していた論理回路をハードウェア記述言語（HDL）と呼ばれるプログラム言語を用いることにより、PC上での開発を可能としたデバイスである。

このデバイスのメリットは論理回路を1チップで実現できる点にあり、高速且つ省スペース化が重要視されるデジタル信号処理の分野では非常に重要な技術となっている。また、FPGAはデバイス上での論理回路の書き換

えが可能であるため、試行錯誤を繰り返す試作開発に適している。このような特長から FPGA 回路は、試作開発に適しており、ハードウェアのみで構成されていることから動作の信頼度が高いと考えらる。以上のことから本研究においては、安全装置へ適用する。

今年度は、FPGA 回路開発技術の基礎として、簡易な実験回路を設計し、FPGA 回路を搭載したボードを使って設計どおりの信号処理が出来るか動作確認を行った。

実験の手順は以下のとおりである。

- 1) 実験回路設計
- 2) シミュレーション
- 3) 動作実験

図 1 2 が設計した回路図の出力部である。押しボタンによる入力信号をエンコードし、どのボタンが押されたかを 7 セグメント LED 上に履歴表示として出力する回路である。

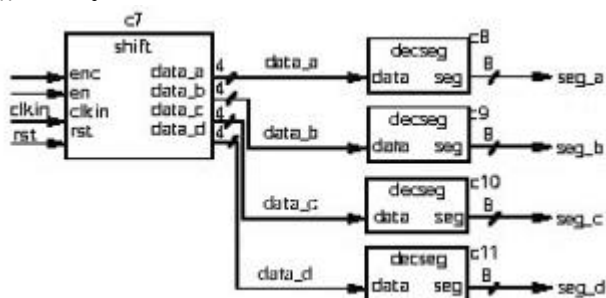


図 1 2 実験回路図

図 1 3 にシミュレーション結果を示す。入力から出力までの遅延時間が 2ns 前後と、標準的なロジック IC に比べ高速に信号処理が行われている。

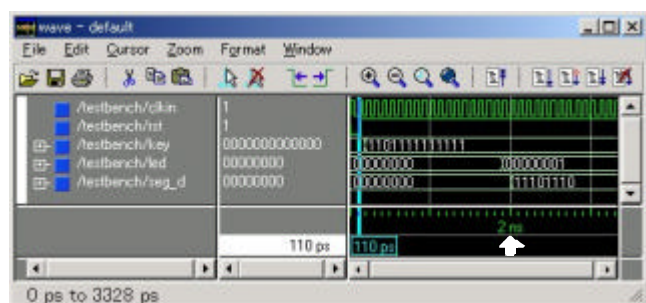


図 1 3 シミュレーション結果

次に動作実験として、設計した回路のプログラムをボード上の FPGA に書き込んで実験回路を構成し、入力信号を実測した。図 1 4 にボード上での信号測定結果を示す。測定結果を検討したところ、押しボタンの入力に対する履歴表示として、入力がある毎に LED 上の出力は矢印で示すように順に左へシフトして、確実に動作していることが確認された。

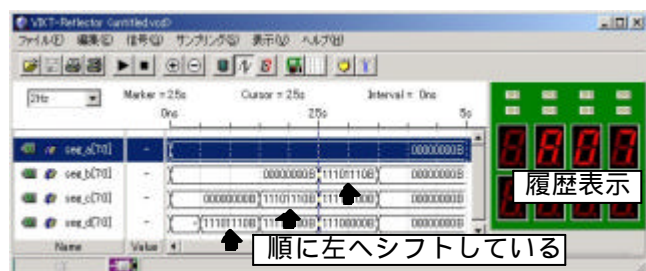


図 1 4 信号測定結果

以上の結果をふまえて、次年度は FPGA 回路を適用した安全装置を試作する予定である。

3. 結言

本年度は、介護リフタ用高機能化デバイスの各要素について基本技術の検討を行った。その結果を以下にまとめる。

- (1) 感圧導電性ゴムを接触型インタフェースに適用するには、圧力分布荷重の重心位置を計測する方法が適していることが分かった。
- (2) 振動計測は、予備実験として鋼製の平板を用いて実験モード解析を行った。
- (3) 福祉機器用デバイスに必要な高速信号処理には、逐次処理方式では高速化に限界があるので、実時間による信号処理方式のリアルタイム処理を用いて開発を進めて行く。
- (4) FPGA 回路は、試作開発に適しており、次年度には FPGA 回路を適用した安全装置を試作予定である。

4. 今後の課題

今後は、各要素をインタフェースシステムとしてまとめ、最終年度のデバイス開発に向けて研究を進めていく予定である。ここで各要素の課題について以下列記する。

接触型インタフェースの最終目標は、福祉機器の操作を人が握って動かすだけで出来るような、機械操作を簡便で直感的なものにすることである。今後、製作する接触型インタフェースを介護リフタに適用し、操作性の評価を行っていく予定である。感圧導電性ゴム材の材料特性評価実験についても引き続き行っていく。

振動計測は、既存の介護リフタを対象に実験モード解析を行っていく予定である。今後は、実験モード解析を行うとともに振動を抑制する方法も検討していきたい。

高機能化デバイスに求められる制御系の検討を行うとともに、制御シミュレータを用いて数値計算によるシミュレーションと実際の制御入出力データの比較検討から、高機能化デバイスへ実装する際の様々な課題についても合わせて検討していく。

FPGA 回路については、安全装置の仕様を検討し、その仕様に合った入出力回路の設計開発を行っていく。

参考文献

- 1) 佐川, 平野若生, パワーアシスト積載運搬台車の研究開発(第 2 報) 茨城県工業技術センター研究報, Vol.28, 27-29 (2000)
- 2) 平野若生, 佐川, 感圧導電性ゴムのロバスト性評価 - 圧力分布センサの開発 -, 精密工学会 2001 年度春期大会学術講演会講演論文集, 482 (2001)
- 3) 石川, 下条, 感圧導電性ゴムを用いた 2 次元分布荷重の中心位置の測定方法, 計測自動制御学, Vol.18, No.7, 730-735 (1982)