

福祉機器の高機能化に関する研究 第2報

平野 聡*, 高島 伸欣*,
若生 進一*, 佐川 克雄*

1. 緒言

高齢社会の進展に伴い、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必ずしも使い易いものとはいえない。機器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（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と、人の操作感覚に合わせて動作する機能を併せ持つ機器である。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、介護者と被介護者が共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ものである。本年度は、3 年計画の 2 年目として、初年度に行った基本的な技術の検討を基に、各要素それぞれについて実験及び制御シミュレーション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)リアルタイム処理、(3)FPGA 回路の 3 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)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、(3)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。

は、握り形状をした操作部の把持位置と把持力変化を検出する必要があることが分かった。そこで、今年度は、握り部面に加えられる荷重分布の中心位置と荷重の合計を、面状の感圧導電性ゴムを用いた荷重中心位置センサにより計測をした。そして、接触型インタフェースの観点から、人の把持による分布荷重の中心位置の測定結果を評価検討した。¹⁾

本センサは、図 2 に示すように、感圧導電性ゴムと面状抵抗体、電極から構成され、感圧導電性ゴムを面状抵抗体でサンドイッチ状に挟み、電極を面状抵抗体の両端に面接触させて固定させたものである。また、センサ表面を保護する目的で厚さ 100 μm の PET 材カバーフィルムを取り付けている。感圧導電性ゴムは、加わる荷重に応じて抵抗値が変化する性質を持ち、面状抵抗体は、面方向に均一な抵抗膜となった導電性ポリマーシートである。

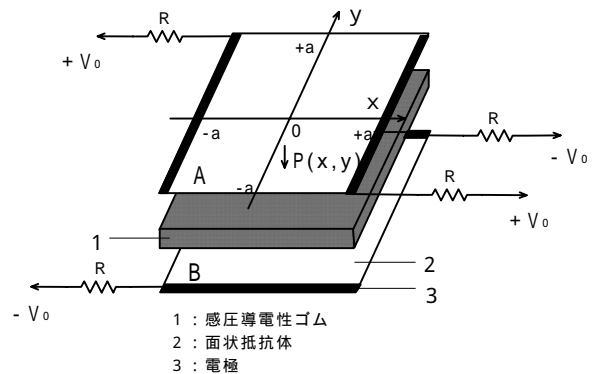


図 2 センサの構成

本センサの計測原理は、センサ面に加わる荷重分布により感圧導電性ゴムの抵抗値が変化することを利用して、抵抗値分布を用いて荷重分布から電流分布に変換している。センサ検出回路の計測原理は、アナログ演算回路を用いたものであり、電流分布の中心位置 (x, y) を電圧に置き換えることにより荷重分布の中心位置が求められ、全電流は荷重に比例する。²⁾

特性評価実験には、荷重計測面が 8cm 正方形で厚さ 3mm のアクリル板状に構成した平面型センサを用いた。実験は、センサ面に 10mm 間隔で 7 × 7 の荷重印加点を設定し、直径 2mm の金具を用いて各点に設定荷重 (0.1kgf 及び 0.5kgf) を加え、X 位置をパラメータとし Y 位置に対するセンサからの出力を記録した。また、設定荷重の印加は、ロードセルに金具を取り付けてセンサ面に垂直に押し当て、設定荷重で 4sec 保持した後センサ面から離すこととした。なお、測定の流れを 3 回とした。

実験結果を図 3 に示す。Y 位置変化に対するセンサ出力の測定結果は、X の位置ごとに多少のばらつきが見られた。また、このばらつき具合は、設定荷重が 0.1kgf

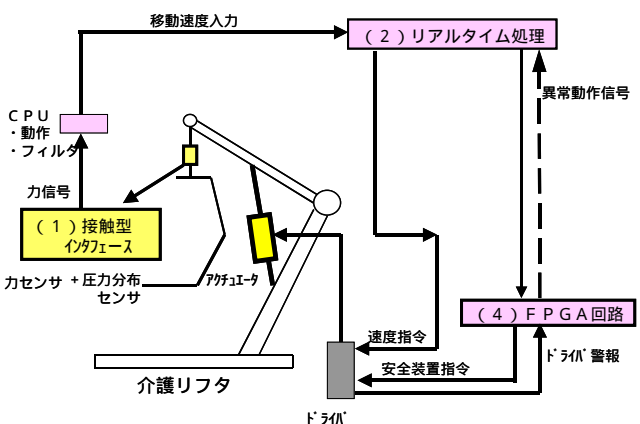


図 1 介護リフト高機能化デバイス

2.1 接触型インタフェース

平成 13 年度に基本的な技術を検討した結果、マルチスイッチとして接触型インタフェースを使用する場合に

*システム応用部

の場合でも同じ傾向が得られた。そこで、図 3 に示す 1 次近似式から、センサ出力の位置 Y を求めて、荷重印加位置との Y 方向誤差を検討した。図 4 に各点での Y 方向誤差を計算した結果を示す。

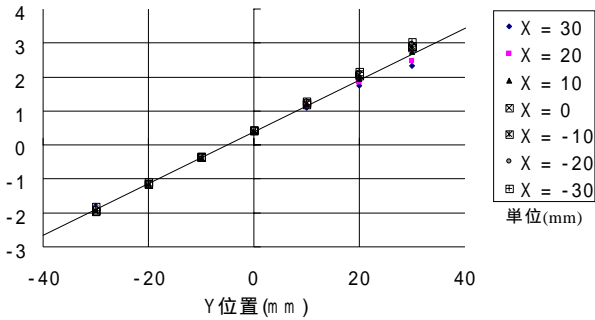


図 3 センサ出力測定結果 (設定荷重 : 0.5kgf)

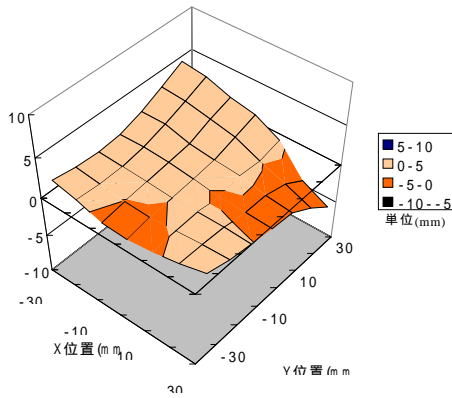


図 4 センサ出力の Y 方向誤差分布 (設定荷重 : 0.5kgf)

図 4 より、全印加点で Y 方向誤差は $\pm 5\text{mm}$ 以内となっている。誤差がとりわけ大きい部分は、点 (30, 30) 及び点 (-30, 30) 近辺であり、それ以外の領域での誤差は $\pm 3\text{mm}$ 以下にとどまっている。

次に、試作した本センサを接触型インタフェースに適用する方法について検討を行った。図 5 に示すように、ON・OFF 操作は、 Y 位置ごとに OFF 範囲と ON 範囲を設定し、把持面に加わる荷重の中心位置を Y 方向に移動させながら、中心位置がそれぞれの範囲内にある時に一定荷重以上を加えると ON・OFF が切り替わり状態を保持するフリップフロップ動作をするものとする。ここで、ON・OFF 範囲が隣接していると、頻繁に ON・OFF が切り替わるハンチングが発生し、操作しづらくなる。そこで、操作のしやすさを考慮し、ON・OFF に切り替わらない範囲を設けることとした。また、本センサの Y 方向誤差が最大で $\pm 5\text{mm}$ あるので、センサ出力の位置マージン及び ON・OFF 範囲とも 5mm 程度必要となる。

以上のことから、本センサは、ON・OFF が切り替わらない範囲を幅 10mm とした場合に、幅 20mm 程度の不感帯を設けることで、把持面の切り替え操作信号を確実に検出できるようになり、接触型インタフェースに適用可能であることが示された。

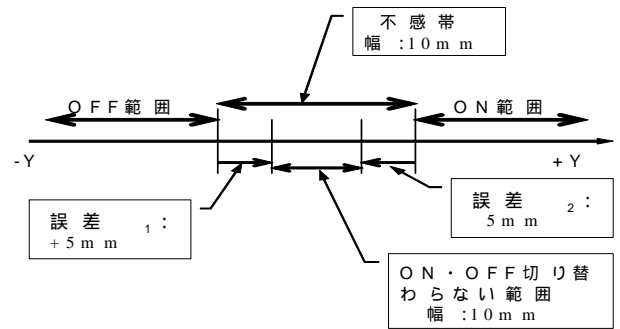


図 5 接触型インタフェースへの適用法

2.2 リアルタイム処理

平成 13 年度の基本的な検討結果は、制御用シミュレータ (MATLAB, Simulink, dSPACE, MicroAutoBox) を用いることで、アクチュエータを制御できることを示した。

今年度は、モータとボールねじから構成された 1 軸テーブルを用いて、速度指令値に対する追従性と安定性の確認を行った。

対象システムのモデル化にあたっては、対象システムの動特性を物理則から直接求める方法を用いて、ラプラス変換し、MATLAB の ToolBox の 1 つである Simulink により、ブロック線図とした。ブロック線図を図 6、ステップ応答を図 7 に示す。

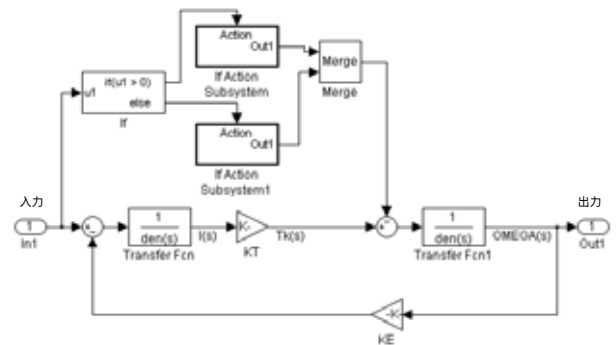


図 6 ブロック線図

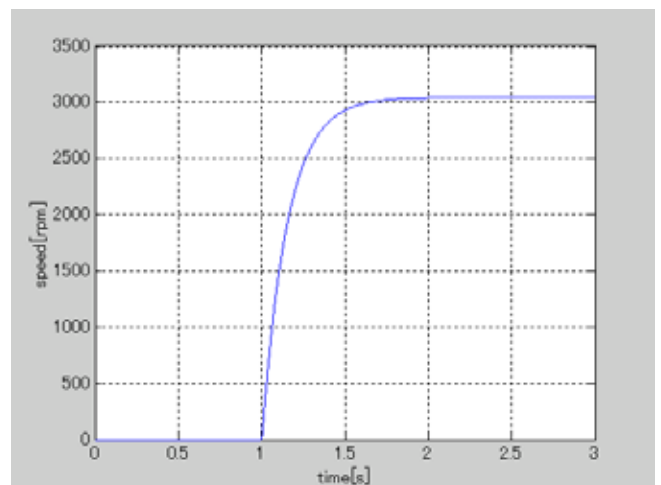


図 7 ステップ応答

このシステムの伝達関数は、MATLAB の linmod 機能により、以下のような 2 次遅れ系となる。

$$(s \pm 4.504 \pm j0.005) / (s^2 + 548.5s + 3543)$$

2 次遅れ系の標準形³⁾より、
 $y(s) = P(s)u(s)$

$$(s \pm K \omega^n) / (s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2)$$

$P(s)$: 制御対象の伝達関数, $y(s)$: 制御量,

$u(s)$: 操作量, K : 定常値, ζ : 減衰係数,

ω_n : 固有角周波数

=4.6 となるため、このシステムの過渡特性は振動がなく、オーバーシュートも生じない過制動状態である。

コントローラの設計は PID 制御により行った。また、PID 制御の各パラメータの決定にあたっては、周波数制御の観点から、位相余裕 P_M を 60 [deg] 程度持たせることにした。PID 制御によるボード線図を図 8 に、感度関数 $S(s)$ のゲインを図 9 に、相補感度関数 $T(s)$ のゲインを図 10 に示す。

図 8 より位相余裕 P_M を 60.357 [deg] としたことに伴いシステムの安定性が確保されている。また、図 9 より低周波領域で $|S(s)|$ が小となるため、感度特性が改善され、図 10 より高周波領域で $|T(s)|$ が小となるため、観測雑音除去特性が改善されていることが分かる。

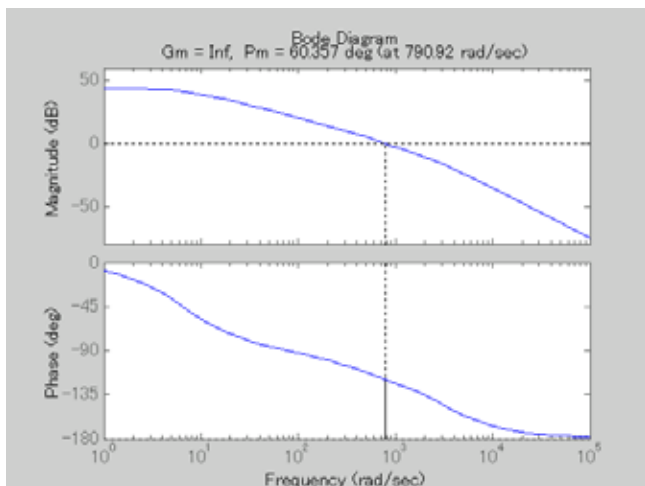


図 8 ボード線図 (PID 制御)

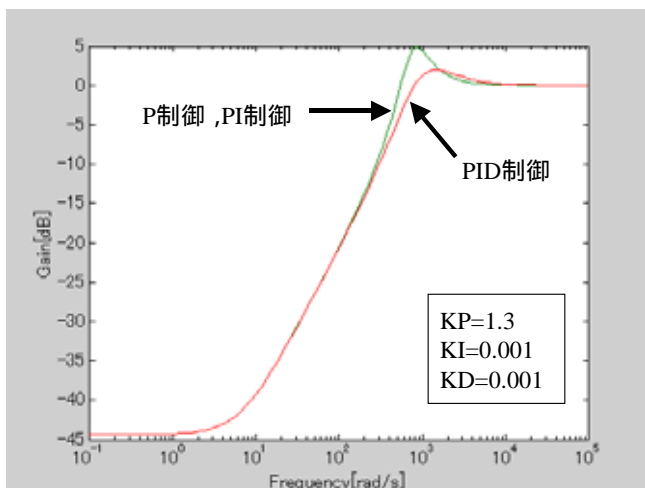


図 9 感度関数 $S(s)$ のゲイン

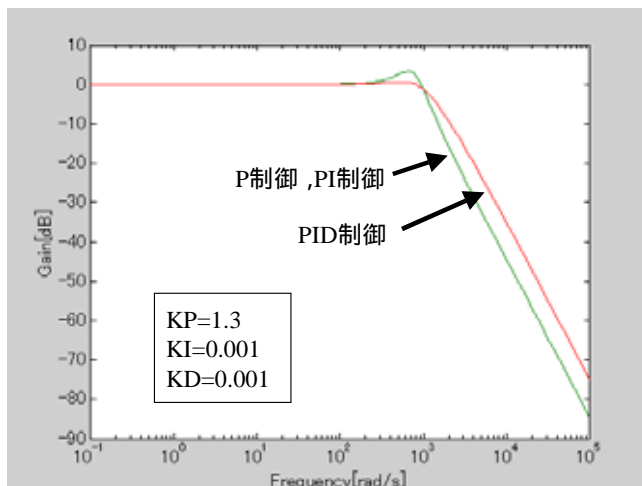


図 10 相補感度関数 $T(s)$ のゲイン

次に、上記により決定された PID 制御パラメータを用いたシステムに、下記に示す sin 波を入力した場合の応答を図 11 に示す。

$$r(t) = A \sin \omega t$$

$r(t)$: 目標値, A : 振幅 (=1), ω : 周波数 (=1 [Hz])

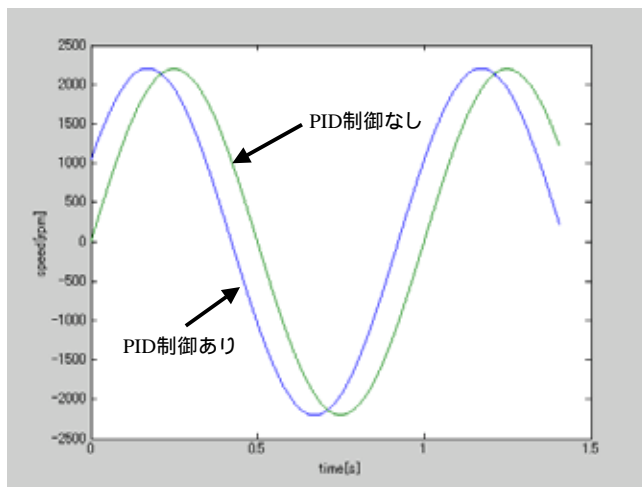


図 11 sin 波による応答

図 11 より、速応性の指標である立ち上がり時間が短縮され、速度指令値に対する追従性が確認された。

2.3 FPGA 回路

平成 13 年度の基本的な技術の検討結果から、FPGA 回路は論理回路を 1 チップで実現でき、高速かつ省スペース化が実現できる。また、デバイス上で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に適していることを示した。

今年度は、アナログ信号である接触型インタフェースの信号をパルス波として制御回路に入力する際のノイズ除去を目的にシュミットトリガ回路の製作を FPGA を用いて行った。

シュミットトリガ回路は、図 13 に示すように入力信号のレベルを High レベルと Low レベルに分け、それぞ

れのレベル付近での信号の小幅な変化に対しては出力信号に反映させない信号整形回路である。

シュミットトリガ回路の構成図を図 14 に示す。アナログ信号である操作信号を A/D 回路によりデジタル信号に変換し、FPGA 回路内に製作したシュミットトリガ回路により整形を行い、D/A 回路を透して再びアナログ信号を出力する。

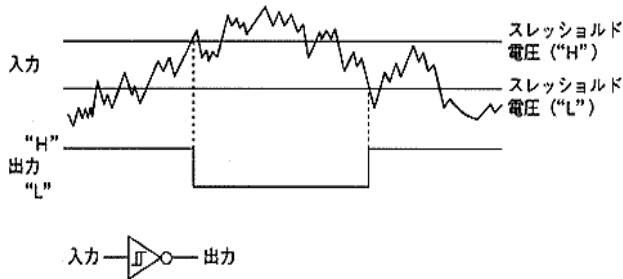


図 13 シュミットトリガ回路

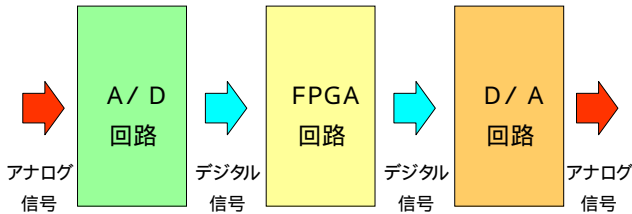


図 14 回路構成図

FPGA 回路内の動作フローを図 15 に示す。入力信号が High レベルを超えた場合はその後の信号が Low レベルを下回るまで出力信号を "H" の状態に固定し、Low レベルを下回った場合はその後の信号が High レベルを超えるまで "L" の状態を維持する。

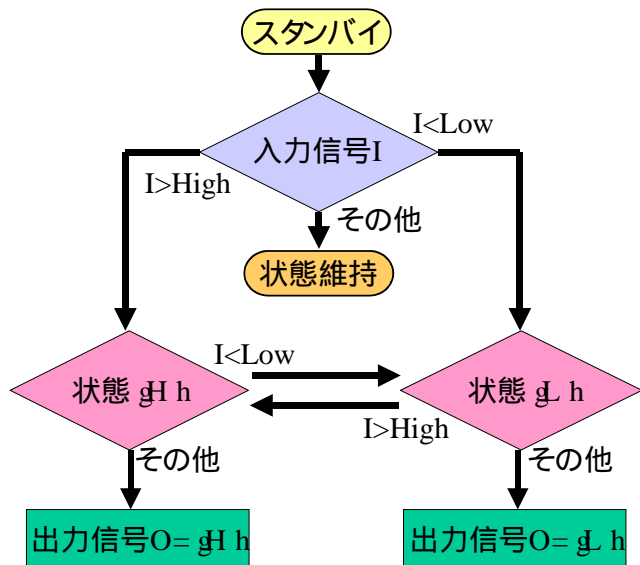


図 15 動作フロー図

そこで、図 15 に示す動作を行う回路を作製し、接触型インタフェースからの信号をパルス信号に整形することができることを確認した。図 16 に作製した信号波形整形回路を示す。

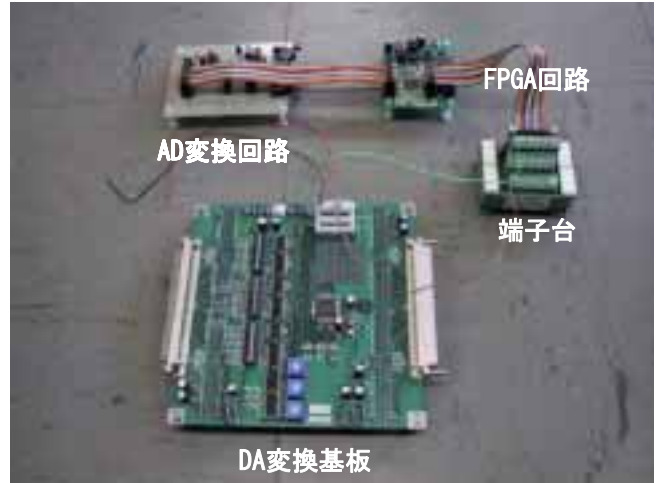


図 16 信号波形整形回路

3. 結言

本年度は、初年度に行った基本的な技術の検討を基に、アクチュエータとインタフェースの各要素について実験及び制御シミュレーションを行った。その結果を以下に示す。

- (1) 感圧導電性ゴムを利用した荷重中心位置を計測するセンサを開発し、その特性を評価した。その結果、本センサは、人の把持による操作信号を確実に検出でき、接触型インタフェースに適用可能なことが分かった。
- (2) リアルタイム処理は、モータとボールねじから構成された 1 軸テーブルを対象システムとして、PID 制御により速度指令値に対する追従性と安定性の確認を行った。
- (3) 接触型インタフェースからの操作信号のノイズは、FPGA を用いてシュミットトリガ回路を作製することで、ノイズのないパルス信号に整形できた。

4. 今後の展開

平成 15 年度には、接触型インタフェース及びリアルタイム処理、FPGA 回路をインタフェースシステムとしてまとめ、実際の介護リフトに適用して性能確認を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 平野, 佐川, 高島, 若生, 握り部用操作インタフェースの研究, 2003 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, N17 (2003)
- 2) 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)
- 3) 川田昌克, 西岡勝博, MATLAB / Simulink によるわかりやすい制御工学, 森北出版, 21(2001)