

平成 16 年度戦略的基盤技術力強化事業

研究開発成果報告概要

事業管理法人名 (代表者氏名)	財団法人埼玉県中小企業振興公社 (小坂 孝)	所在地	〒330-0854 埼玉県さいたま市大宮区桜木町一丁目 7 番地 5 (Tel: 048-262-7751)		
技術分野	ロボット部品分野	技術区分	センサ開発技術	研究開発課題	低コスト化技術 / 信頼性・耐久性向上技術
テーマ名	6 軸力覚センサに関する研究開発			研究開発期間	平成 16 年 4 月 1 日から 平成 17 年 2 月 28 日

1. 委託業務の概要

最近のヒューマンロイドロボット開発の高まりから、高精度・高信頼性・低価格の 6 軸力覚センサが市場から求められ始めている。従来の多軸力センサは、ほとんどが歪ゲージ式のため、低感度、起歪体の構造が複雑、過負荷対策なし等の問題があった。最近になり、株式会社ワコー等によって静電容量型 3 軸力覚センサが開発され、パソコンや携帯電話などの入力装置(ポインター)として使われつつあるものの、本センサのロボット分野における研究開発の余地はまだまだ大きいものと考えられる。したがって、そのために低価格化・高精度化・高信頼化を目的として高感度型、低感度型 6 軸力覚センサを研究開発する。

2. 技術目標値

力覚センサの技術目標値は以下の通りである。

	型式(検出原理)	検出方向(軸数)	定格荷重		感度	
			力	モーメント	力	モーメント
高感度型 6 軸力検出	静電容量	3 軸力 & 3 軸モーメント	0 ~ ±120N	0 ~ ±12 N・m	±16.67m V / N	±166.7m V / N・m
低感度型 6 軸力検出	静電容量	3 軸力 & 3 軸モーメント	0 ~ ±1,000 N	0 ~ ±1,000 N・m	±2m V / N	±2m V / N・m

	オフセット電圧	分解能	直線性	周波数応答(±3dB)	他軸感度	電源電圧	消費電流	作動温度範囲	サイズ(信号処理回路込み)	過負荷制御	過負荷信号
高感度型 6 軸力検出	1 / 2 Vcc	定格の 1 / 2,000	±0.5%	DC ~ 500Hz	±1%	+3V ~ +6V	10mA 以下(電源 +5.0V 時)	-10 ~ +70	30 × 20mm	定格荷重の 2 倍	定格荷重
150 × 20mm											

信号処理部の出力は PCI、USB。検出部出力はアナログ、PWM とする。

また、本年度はスキルアシストの実機に組み込んで作業環境下でそのノイズを観測・評価し、問題点を把握するとともに、それらの原因を究明する。さらに、問題点に対する対策を立案する。

3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法

本6軸力覚センサの性能は検出部の構成要素である検出機構部で決まる項目と電子回路的(ソフトも含む)に補正できる項目がある。

検出機構部で決まる性能は応答周波数、サイズ、過負荷制御、過負荷信号であり、その他の性能は全て電子回路的に補正できる項目である。

検出機構部で決まる性能

定格荷重

定格荷重は検出機構部の剛性で決まる。定格荷重を検出機構部に負荷したときのヒステリシスが1%以下になるようにする必要がある。検出機構部の剛性を高めれば、ヒステリシスは小さくなるものの、感度の低下や過負荷制御・過負荷信号の性能が得られにくくなる等の問題が発生する。定格荷重と感度及び過負荷制御・過負荷信号の性能とはトレードオフの関係であり、設計上十分注意する必要がある。感度は回路的に補正できるので問題にはなりにくいと思われているが、過負荷制御・過負荷信号の性能は共に検出機構部で決まるために、十分に検出機構部のFEM解析を行い、定格負荷と過負荷制御・過負荷信号との関係を見極め、最適な構造を決める。

応答周波数

応答周波数は検出機構部の剛性で決まる。その為、定格荷重と同様に応答周波数は感度と過負荷制御・過負荷信号の性能とトレードオフの関係であり、設計上十分注意する必要があるが、感度は回路的に補正できるので問題にはなりにくいと思われている。ここで重要なのは応答周波数と過負荷制御・過負荷信号との関係である。検出機構部の剛性を高め、応答周波数を上げれば、過負荷制御・過負荷信号の性能が得られにくくなる。この点に関し、十分にFEM解析を行い、応答周波数と過負荷制御・過負荷信号との関係を見極め、最適な構造を決める。

サイズ

サイズは荷重の割合から考えると、力検出部の小型化が要求されている。力検出部には検出機構部と電子回路が内蔵され、これらを含め、上記のサイズを満たす必要がある。検出機構部と電子回路の構造を工夫する必要がある。電子回路は最終的にはIC化するために、小型化が可能であるが、更に小型化するために、携帯電話に使われた技術を利用し、パッケージの小型化(例えば、BCC)や実装法による小型化(例えば、ボールボンダ)を図る必要がある。

過負荷制御・過負荷信号

過負荷制御・過負荷信号の機能については、定格荷重と応答周波数の項目で述べたとおりである。十分にFEM解析を行い、定格荷重及び応答周波数と過負荷制御・過負荷信号との関係を見極め、過負荷制御・過負荷信号の機能が発揮できる構造を決める必要がある。

電子回路で決まる性能

感度

感度は検出機構部の剛性で決まるが、検出機構部の剛性は上述の様に、定格感度、応答周波数そして過負荷制御・過負荷信号の性能の複雑に関係している。その為、感度は出来るだけ増幅回路のゲインを調整することで対応する予定である。感度と感度温度特性の調整はE²PROMにその特性データを書き込み、逆演算をすることによって補償する事を考えている。E²PROMは力検出部の内部に配置される信号処理ICに内蔵される。

オフセット電圧

オフセット電圧は力検出のための静電容量素子や浮遊容量で決まる値であり、電気的に調整可能である。この性能は他との関係が少なく比較的容易に調整することができる。オフセット電圧とその温度特性の調整は上記と同様に、E²PROMにその特性データを書き込み、逆演算をすることによって補償する事を考えている。E²PROMは力検出部の内部に配置される信号処理ICに内蔵される。

分解能

一般に静電容量の変化で物理量を検出するセンサは他の検出原理(例えば、ピエゾ抵抗効果や圧電効果)と比べ、分解能が高いことが知られている。ここで要求されている分解能1/2000は問題ない範囲と考えられる。ちなみに株式会社ワコーで開発し、地震検出用(P波検出用)に用いられている静電容量型加速度センサの分解能は1/10000である。

直線性

静電容量型のセンサにとって、直線性0.5%はその検出原理($C = S/d$)から考えて、電気的補正無しでは困難と思われる。そこで、信号処理部に内蔵されたMPUによって補正する予定である。

他軸感度

既に開発した静電容量型 3 軸力覚センサの性能から考え、他軸感度 1 % はセンサの出力そのままでは困難な値である。これも、直線性と同様に信号処理部に内蔵された MPU によって補正する予定である。

電源電圧

電源電圧は電子回路の仕様で決まる。電源電圧の 3 ~ 6 V は問題の無い範囲と考える。

消費電流

消費電流は電源電圧と共に、電子回路の仕様で決まる。IC の構成を CMOS にすることで、この件については容易に解決できると考える。

動作温度範囲

力検出部は主に検出機構部と電子回路から構成され、信号処理部は電子回路から構成される。電子回路の動作温度範囲 (-10 ~ 70) は問題ない。検出機構部自身の動作温度範囲 (-10 ~ 70) は問題ないが、低温時に於ける、電極への結露が重要な問題である。これに対し、電極間にシリコンゲルを充填し結露を防ぐことができる。また、電極間にシリコンゲルを充填することで、ゴミの侵入を防いだり、感度が 2 倍程度向上 (比誘電率が 2) などの副次的効果も予想される。

外乱対策

実装試験に基づいて把握される問題点に対する原因の追究、および外乱モデルの構築を行った。平成 15 年度の実機テストで設置方法 (アースのとり方等) の違いでノイズの発生が大きく変わる等の課題が指摘された。これが、電力系のノイズが信号系に影響したためと考えられることから、センサ自体、センサのケーブル、信号測定装置および電圧供給装置、スキルアシストで区分して原因を究明し、電子回路 2 の設計と筐体の作成に反映させる。

4 . 当該年度における技術目標値の達成状況と意義

力検出部については、パワーアシスト用の人の操作力を検出するための高感度型 6 軸力覚センサとワークの荷重を検出するための低感度型 6 軸力覚センサを開発した。FEM 解析の結果より設計し作製した検出機構部とノイズ対策を施した電子回路について基本特性を測定した。

その結果、本年度の目標値を概ね満足する結果が得られた。

感度 : 高感度型 (目標:20mV/N, 166.7mV/Nm、実績:20mV/N, 500mV/Nm)

低感度型 (目標:2mV/N, 3.3mV/Nm、実績:0.75mV/N, 30mV/Nm)

直線性 : 高感度型 (目標:3%、実績:3%)

低感度型 (目標:3%、実績:1%)

他軸感度 : 高感度型 (目標: ± 3%、実績: ± 3%)

低感度型 (目標: ± 3%、実績: ± 3%)

サイズ : 高感度型 (目標: 40 × 30mm、実績: 42 × 25mm)

低感度型 (目標: 180 × 40mm、実績: 180 × 40mm)

但し、高感度型、低感度型ともにモーメントの定格を満たしていなが、FEM の解析の結果、検出機構部の剛性を上げ、増幅回路のゲインを上げることで達成することが出来ることが分かった。しかし、平成 17 年度目標は物理的に困難と思われる点もあり見直しをする必要があると考える。この件については平成 17 年 1 月 12 日に開催された中間評価ヒアリングで報告した。

信号処理部については、6 軸に対応した USB 通信ボードと PC 上で動作するデータ保存アプリケーションを使って、試作センサのデータを PC に取り込むことができた。

外乱対策については、安定電源の使用、アイソレータの挿入: 1/3、伝送線路のシールド: 1/2、接地ラインの低インピーダンス化: 1/2.4、センサ出力の差動化: 1/7.4、フィルターの挿入: 1/3.6 等によって、ノイズが大幅に低減することが分かった。

5．事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

産業用ロボットの安全に関する規格 ISO10218 が年度内にまとまる見通しとなり、その中で人間共存型ロボットに用いられる電気電子機器の高信頼化・高カテゴリ化が求められるようになってきており、機能安全の重要性がいよいよ実社会で認識されることになった。平成 17 年度からの保険事業見直しによる要介護 / 要支援に至らない高齢者向け健康福祉機器のインテリジェント化に対する強い要請が今後予想される。