

平成 15 年 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	財団法人 埼玉県中小企業 振興公社	代表者名	理事 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
-------------	-------------------------	------	------------	-----	-------------------------------------------------------------

管理番号 15R-1 技術分野：ロボット部品分野
技術区分：センサ開発技術
技術開発課題：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 15 年 8 月 5 日から平成 16 年 2 月 27 日

1. 委託事業実施の背景と委託事業の概要
最近のヒューマノイドロボットの開発の高まりから、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、殆どが歪ゲージ式の為、低感度、起歪体の構造が複雑、過付加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、低感度 6 軸力覚センサを研究開発する。

2. 委託事業全体の内容と目標
(1) 技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性
技術の内容
株式会社ワコーが持つ静電容量型 3 軸力覚センサの技術を利用し、パワーアシストに使われる操作力検出用の高感度 6 軸力センサとワークの荷重を検出する低感度 6 軸力覚センサの 2 種類のセンサを開発することを目的とするものである。本センサは力検出部と信号処理部から構成され、力に応じた信号を出力する。EEPROM 付き C/V 変換回路は静電容量を電圧変換するとともに、特性を補正し、アナログ信号 / PWM 信号を出力する。信号処理部は力検出部からのアナログ信号をデジタル処理してパワーアシストに伝達する。信号処理部には MPU が内蔵され力検出部からのデータを演算処理し、更に精度を高め出力する。
技術の新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性(新規性・独創性)
株式会社ワコーは、力、加速度、角速度などの物理量を 3 次元的に捉え、それを各軸成分に分離して検出する 3 軸センサの開発に創業以前から取組み、既に 20 有余年経過し、この分野では日本、米国、欧州で特許的に独占し、優位性を保っている。ロボット用の静電容量型 3 軸力覚センサには製品化の実績があり、既に製品化し販売している。更に、ニッタ株式会社においてストレインゲージを利用した 6 軸力覚センサを開発した実績がある。本研究開発では、この静電容量型 3 軸力覚センサとストレインゲージ型 6 軸力覚センサにおける技術を基礎とし、静電容量型 6 軸力覚センサを開発するものであり、独創性がある。株式会社ワコーは世界的に見ても、静電容量型 6 軸力覚センサを事業化できる唯一の企業と言える。

(2) 技術目標値 暫定仕様値

	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 × 20m m	定格荷重の 2 倍	定格荷重
低感度型 6 軸力検出									150 × 20m m		

信号処理部の出力は PCI、USB。検出部出力はアナログ、PWM を予定する。

3. 委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

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予想しているが、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予想している。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、ボールボンド）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、電氣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、電氣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。電源電圧は3～6V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、電極間にシリコングルを充填し結露を防ぐことができる。また、電極間にシリコング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。シリコングルの充填による効果は静電容量型3軸力覚センサを使って、既に検証済みである。

4. 当該年度における技術目標値の達成の状況と意義(実績)

パワーアシスト用に高感度型6軸力覚センサと低感度型6軸力覚センサを開発した。高感度型6軸力センサは人の操作力を検出する為に、また、低感度型6軸力覚センサはワークの荷重を検出する為に使われる。6軸力覚センサを設計するに当たり、両センサともFEMによる解析を実施し、概略の変位体構造を決めた。それに基づき、変位体を含む検出機構部と静電容量を電圧に変換する電子回路を作成し、基本特性を測定した。

その結果、ほぼFEM解析の計算値を反映する測定データが得られ、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:50mV/N,500mV/Nm、実績:15～50mV/N,400～500mV/Nm)
低感度型(目標:5mV/N,200mV/Nm、結果:0.3～0.5mV/N,17～18mV/Nm)
直線性 : 高感度型(目標:15%、実績:1～15%)、低感度型(目標:15%、結果:1%)
他軸感度 : 高感度型(目標:15%、実績:10～70%)、低感度型(目標:15%、結果:10～14%)
サイズ : 高感度型(目標:50×40、実績:50×50×37)
低感度型(目標:200×50、結果:160×34)

一部の性能(低感度品:検出感度が低い、高感度品:Mzの感度が低い)に目標仕様を満足していないものがあるが、回路的処理が構造的工夫で解決できるものとする。また、6軸のUSB接続(3軸は開発済)、評価用測定機(低感度品)などの一部未達成な開発項目もあるが、平成16年度早々には完成できるものと思われる。

また、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。センサの開発時では問題となるノイズは発生していなかったことから、電力系のノイズが信号系に影響したためと考えられる。平成16年度の開発にノイズ対策の項目を追加して、本質的解決を図っていく予定である。

結論的には両センサとも実機組込み評価を行い、センサ出力に従いパワーアシストが動作することを確認したことは意義深いと考える。

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

平成15年度の開発期間中に6軸力覚センサに関する問い合わせがあった。いずれの場合もロボット分野での応用と思われ、その際に、「従来のストレインゲージ型6軸力覚センサは価格に問題点がある。」という指摘があった。本静電容量型6軸力覚センサはこれら問題点を解決するものであり、ロボット分野に於けるニーズは更に高まっているものと思われる。

また、現在、第三者による静電容量型力覚センサの商品化の報告はない。これは構成メンバーの所有する基本特許によるものと思われる。静電容量型6軸力覚センサが商品化されれば、低価格、高信頼性という特徴を生かし、ロボット分野以外の分野にも事業展開が可能になることは変わりない。