

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)	社団法人 日本ロボット工業会 (会長 稲葉 善治)		所在地	〒105-0011 東京都港区芝公園三丁目 5 番 8 号 (Tel:03-3434-2919)	
技術分野	ロボット部品分野	技術区分	アクチュエータ関連技術	研究開発課題	小型、軽量化、低コスト化、ユニット化技術
テーマ名	RT ネットワークプラグインアクチュエータの開発			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

生活支援分野等のロボットを事業として大きく発展させるには、広範で多様な要求を満たすソリューション型のロボットシステムが必要とされる。これらの基盤となるロボットを“何時でも、誰でも、何処でも、そして、安く”提供可能とするために、RT のオープン化やミドルウェアのモジュール化が推進されている。これらの思想を具体的に実現する手段を提供することは、上記事業化の緊急の課題である。特に、ロボットコストの大半を占めるアクチュエータの実装設計・組み立ての省人化(アンプ・モータ小型化、一体化、省配線化、プラグイン化)は、ロボット設計の革新をもたらし、ロボット事業の爆発的立ち上げに寄与する要である。そのために 小型化、低価格、高信頼性、ネットワーク結合のアクチュエータ実現を目的として研究開発する。

2. 技術目標値

平成 15 年度 (実績)	平成 16 年度 (実績)	平成 17 年度 (最終目標)
<p>1) プラグイン小型アクチュエータの開発</p> <p>実施項目 減速機要素開発</p> <p>< 小型高精度タイプ減速機の開発 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハーモニックドライブ減速機を使ったベルト駆動減速機ユニット 3 種の試作と低価格構造の直結型減速機ユニットの検討を行った。 <p>< 低コストタイプ減速機の開発 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・価格: <p>目標実現のための製造方法として、コスト、製作精度から射出成型が最適であるとの結論を得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サイズ: <p>従来品の 2 倍程度 (定格トルク 2Nm、サイズ 62mm 角のフレックスインターナル減速機を試作)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バックラッシ: <p>0.7 ~ 1.5deg</p> <p>実施項目 モータ要素開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・5W 及び 20W クラスのコア付きブラシレス DC モータの試作と低価格化技術としてのコアレスモータの部品試作を行った。 <p>実施項目 ドライバ要素開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・50W 以下のブラシレス DC モータに適合するブロック形状の DC48V 電源ドライバの試作を行った。 <p>実施項目 センサ要素開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小型低価格化のためのエンコーダ用小型フォトICを試作し、評価し 	<p>1) プラグイン小型アクチュエータの開発</p> <p>実施項目 減速機開発・試作</p> <p>< 小型高精度タイプ減速機の開発 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・15 年度実績より低価格な減速機ユニットの実現に向け、遊星減速機を使った直結型減速機ユニットの開発試作を行った。 <p>< 低コストタイプ減速機の開発 ></p> <ul style="list-style-type: none"> ・価格: <p>樹脂減速機部品を射出成型で製作したときのコスト評価を行った。 1000 個ロット以上で 4,000 円/個と目標達成の目処を得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サイズ: <p>外径 38.9×22.5mm、定格トルク 0.4Nm の樹脂製フレックスインターナル減速機を試作。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・バックラッシ: <p>1.2deg 程度</p> <p>実施項目 モータ開発・試作</p> <ul style="list-style-type: none"> ・15 年度実績より低価格なモータの実現に向け、コアレスモータの製作技術確立のため 5W クラスのコアレスモータ試作を行った。 <p>実施項目 ドライバ開発・試作</p> <ul style="list-style-type: none"> ・15 年度の実績をベースに、瞬時最大電流の拡大と 100W 未満モータへの適合を目的に出力電流容量を拡大したドライバの試作を行った。 <p>実施項目 センサ開発・試作</p> <ul style="list-style-type: none"> ・15 年度の実績をベースに、小型レゾルバを試作し、モータに組み込 	<p>1) プラグイン小型アクチュエータの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アクチュエータ性能: 従来アクチュエータと同等 ・形状: モータ、アンプ、センサあわせの体積が従来比 1/2 以下 (例: 30W モータ&ドライバの場合 1400 cm³ 300 cm³) ・価格: 従来以下 (ただし、相当量のロット個数の場合) (例: 30W モータ&ドライバの場合 13万円 8万円) ・ネットワーク接続: 例として USB2 などには接続 ・出力シリーズ化: 5W、30W

<p>た。またレゾルバの実現性及びセンサインタフェースの検討のため、評価回路を試作し、評価した。</p> <p>2) プラグイン中型アクチュエータの開発</p> <p>実施項目 減速機要素開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 各種減速機の性能を調査し、RT ネットワークプラグインアクチュエータへの適用可否を検討すると共に、小型・低価格減速器の要素開発、性能確認を行った。 <p>実施項目 モータ要素開発</p> <ul style="list-style-type: none"> モータの最適化のため、マグネット等の要素部品検討、AC・DC サーボ方式の適用を検討すると共に、小型高効率、低価格モータの要素開発を調査結果に基づいて実施した。 <p>実施項目 ドライバ要素開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ワンチップマイコン制御アルゴリズムの検討、及び通信機能内蔵のためのFA用通信プロトコルの市場調査から、その方式の絞込みを行う。また、専用ワンチップマイコンの制御アルゴリズムと通信機能の要素開発を行った。 <p>センサ要素開発</p> <ul style="list-style-type: none"> レゾルバと、そのセンサインタフェース ASIC 及び多回転検出モジュール ASIC の検討並びに要素開発を行った。 	<p>んで評価した。また、をフォト IC を組み込んだ小型エンコーダを試作した。</p> <p>2) プラグイン中型アクチュエータの開発</p> <p>減速機開発・試作</p> <ul style="list-style-type: none"> 小型・低価格減速機として、価格優先で低価格な遊星タイプの減速機を開発・試作した。 <p>モータ開発・試作</p> <ul style="list-style-type: none"> 100W、200W クラスのモータとして制御基板の制約から 60 ベースでの開発・試作を行った。また、センサは信頼性の高いレゾルバ方式を採用した。 <p>ドライバ開発・試作</p> <ul style="list-style-type: none"> センサをレゾルバとすることから R/D 変換器、多回転モジュールを搭載したモータ側面配置型、また、電源は 100W、200W クラスは DC48V、400W、750W は AC200V (但し、整流回路が大きく一体型には不向きであり外部整流で DC280V 入力検討) に対応することを想定したものと し、通信は CAN-BUS タイプの一体型ドライバの開発・試作した。 <p>センサ開発・試作</p> <p>耐熱型小型レゾルバの開発・試作、及び、小型レゾルバ用の各種評価装置の開発・試作を実施した。小型レゾルバでは、常温・高温での基本特</p>	<p>2) プラグイン中型アクチュエータの開発</p> <p>アクチュエータ性能：従来アクチュエータと同等</p> <ul style="list-style-type: none"> 形状：モータ、アンプ、センサあわせた体積が従来比 1/2 以下 <p>(例：200W モータ&ドライバの場合 1400 cm³ 600 cm³)</p> <ul style="list-style-type: none"> 価格：従来以下 (ただし、相当量のロット個数の場合) <p>(例：200W モータ&ドライバの場合 15 万円 10 万円)</p> <ul style="list-style-type: none"> ネットワーク接続：例として USB2 などに接続 出力シリーズ化：100W、200W、400W、750W
---	--	---

<p>3)開発アクチュエータの実用性検証</p> <p>実施項目 高効率駆動方式の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高効率駆動法 <ul style="list-style-type: none"> 低発熱駆動法提示 ICN 概念提示 	<p>性評価を実施し、目標仕様を満足していることを確認できた。センサインタフェース ASIC 及び多回転モジュール ASIC では、ASIC 単体の評価を実施し基本動作の確認を行った。併せて ASIC 専用評価試験機及び ASIC 専用評価ボードの製作を行った。</p> <p>3)開発アクチュエータの実用性検証</p> <p>高効率駆動方式の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発アクチュエータの通信信頼性、発熱に対する信頼性について、試作機ベースの検討を実施した。 ・高効率駆動法 <ol style="list-style-type: none"> 1)パワー回路の発熱評価 2)試作モータ評価 3)インテリジェントコネクタ (ICN)仕様検討を実施し、パワー回路のシミュレータの実現、試作モータの定性的特性の取得、ICN のコンセプトが確立した。 <p>減速機の機能検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・試作した減速機の基本性能の確認試験を実施した。 ・効率；約 60% (定格出力；0.4Nm、入力回転数；1000rpm で運転時の効率) ・バックラッシ；1.2deg 程度 <p>ドライバー体型モータの機能検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各々の試作したセンサ、モータ、ドライバを組み合わせ、基本性能・機能検討を行った。また、生産性・コストについての検討をす 	<p>3)開発アクチュエータの実用性検証</p> <p>高効率駆動方式の研究</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高効率駆動法 <ul style="list-style-type: none"> 低発熱駆動回路設計法 ICN 仕様公開 <p>4)アクチュエータ評価</p> <p>開発アクチュエータを組み込んだ関節モジュールを製作し、プラグイン接続がもたらずロボットシステムとしてのコストダウン効果を検証する。</p>
---	---	--

すめ、製品化検討が終了した。

4)事業化の目標、方向、方針

- ・プラグイン小型アクチュエータの開発においては、小型高精度タイプ減速機として遊星タイプの小型減速機を一部樹脂部品化して性能を達成できる見通しをつけた。この技術をもとにして低コスト構造の採用や組立工法の工夫を適用する事により低コスト化して、実用化したい。低コストタイプ減速機の開発については、既存ロボットアクチュエータに使用されている減速機仕様及び寿命を目標とし、低コスト化を念頭に置いた開発を進めており、ほぼ目標を達成できた。今後バックラッシの低減と寿命達成の見通しを得て、事業化を進めて行く。また、アンケート結果から現在の開発目標仕様に対して「許容入力回転数向上」なる消費者ニーズが多いが、強度向上を狙った材料の改良という大きな課題があるため、将来の開発課題と考える。モータについては、コアレスの5W品を試作して、小型エンコーダを組み込む事により、性能を達成できる見通しをつけた。小型レゾルバについては電気誤差が目標値(±2.5°以下)に対して、試作品は±4°と大きくなっており(目標値に対して160%)課題も残っている。
- ・プラグイン中型アクチュエータの開発においては、該当年度では100W、200W品を試作することができ、製品化に向けた基盤作りがで

	<p>きた。今後の評価において完成度を高めると共に、400W、750W モータへの展開を図って行く。</p>	
--	--	--

3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法

1) プラグイン小型アクチュエータの開発

目標値	解決策と具体的方法
モータ搭載センサの小型軽量化とコスト低減	<p>センサの IC 化とマイクロレゾルバ開発</p> <p>小型軽量化・低価格化を実現するセンサ素子の IC 化、アクチュエータの高負荷運転による熱対策として、耐熱性に優れた小型レゾルバの開発を実施する。</p>
制御ドライバの小型軽量化とコスト低減	<p>必須制御機能の集約と一体構造化</p> <p>電流制御、速度制御、位置制御の各必須制御要素をワンチップマイコンに集積するための制御アルゴリズム開発およびモータセンサにおけるインタフェースの超小型化に向けた ASIC 開発によりモータと一体構造が可能な制御機能を実現する。</p> <p>ドライバ(アンプ)小型化による発熱対策として、パワー素子の特性を生かした低発熱ドライブ、ロボットの運動特性(過負荷サイクル)に着目した蓄・吸熱法を開発する。</p> <p>通信チップ搭載</p> <p>通信チップ搭載型の制御用ワンチップマイコン等を用い、適切な通信アルゴリズムのソフトウェア開発を行うことで制御ドライバのネットワーク対応を実現する。</p>
モータドライバー一体構造化に適応するモータ構造	<p>放熱構造の最適化</p> <p>コンピュータシミュレーションによる FEM 放熱熱解析を行い、最適な放熱構造の実現する。</p>
<p>< 小型高精度タイプ減速機の開発 ></p> <p>減速機の小型化とコスト低減</p> <p>< 低コストタイプ減速機の開発 ></p> <p>コスト低減</p> <p>小型化</p> <p>バックラッシの低減</p>	<p>軸受け改良と複雑形状品のダイカスト化</p> <p>減速機の容積の半分を占める軸受け部分の改良により、小型化と低価格化を図る。また、部品のダイカスト化により部品点数削減・軽量化・低価格化を図る。</p> <p>射出成型による製造コストを低減する。</p> <p>材料選定による歯面強度向上や発熱を抑える潤滑の改善などによる減速機構造の小型化を図る。</p> <p>・噛合い歯数を多くとることで、バックラッシの低減と歯面での発生応力低減を狙ったフレックスインターナル減速機構を採用する。</p> <p>・バックラッシ発生部位として考えられる出力軸部分の改善</p>

	(入出力軸の両持化など)やフレックス歯車の噛合せ部分の改善によるバックラッシを低減する。
--	--

2) プラグイン中型アクチュエータの開発

課 題	解決方法
ドライバー一体型に於けるモータ構造の最適化	放熱構造の最適化を図る。 コンポジット熱伝導を適合したモータ構造の導入により、最適な放熱構造を実現させる。
レゾルバ搭載によるモータ制御技術の確立	R/D 変換器 (レゾルバ信号 / デジタル変換器)、多回転モジュールを搭載した制御回路を開発する。 ASIC 化した R/D 変換器と多回転モジュール ASIC を搭載することで、小型、高性能、低コストなドライバを開発する。
耐熱型小型レゾルバの開発	耐熱用コア絶縁物 (絶縁キャップ) を新規開発し、アクチュエータの高負荷運転による耐熱特性のある小型レゾルバを開発する。

4.当該年度における技術目標値の達成状況と意義

下記のとおり委託業務実施計画書により計画した実施内容を遂行することができました。

(1)技術目標値の達成状況

1)サブテーマ A:プラグイン小型アクチュエータの開発

実施項目名：減速機開発・試作

< 小型高精度タイプ減速機の開発 >

高精度のものについては、遊星減速機を使った20Wクラス用バックラッシュ10分以下の直結型減速機を作成した。(添付資料1)

< 低コストタイプ減速機の開発・試作 >

1.減速機的设计

下記の目標仕様(表1参照)に対してフレックスインターナル減速機を設計し、減速機の部品材料として高温・高強度で耐摩耗性に優れる樹脂材料及び潤滑材を選定した。(添付資料9)

表1 低コストタイプ減速機の開発目標仕様

項目	目標仕様
寸法形状(mm)	38.9×22.5
減速比	約1/50
定格出力(Nm)	0.4
入力回転数(rpm)	1000
効率(%)	70
バックラッシ(deg)	0.3
寿命	2500時間以上

2.減速機の試作

本年度は切削加工により歯車部品を製作し減速機を試作した。試作した減速機の性能確認を行い、効率、バックラッシの計測結果から歯車部品に必要な成型精度を検証し、金型設計に反映する。(添付資料9)

実施項目名：モータ開発・試作

直径20、5Wクラスのコアレスモータを試作し小型レゾルバと組み合わせて性能評価を実施した。(添付資料2)

実施項目名：ドライバ開発・試作

レゾルバ I/F タイプとエンコーダ I/F タイプの 100W 未満のモータを駆動できるドライバを作成し性能評価を実施した。(添付資料3)

実施項目名：センサ開発・試作

直径20 のモータに組み込めるサイズの小型エンコーダと小型レゾルバを試作し、モータに組み込んで性能評価を実施した。(添付資料4)

2)サブテーマB:プラグイン中型アクチュエータの開発

実施項目名：減速機開発・試作

小型・低価格減速機として、(株)ハーモニック・エイディにて価格優先で低価格な遊星タイプの減速機を開発・試作した。(添付資料5)

実施項目名：モータ開発・試作

100W、200Wクラスのモータとして制御基板の制約から 60 ベースでの開発・試作を行った。また、センサは信頼性の高いレゾルバ方式を採用した。(添付資料6)

実施項目名：ドライバ開発・試作

センサをレゾルバとすることから R/D 変換器、多回転モジュールを搭載したモータ側面配置型、電源は 100W、200W につき DC48V に対応し、通信は CAN-BUS タイプの一体型ドライバのドライバを開発・試作した。(添付資料7)

実施項目名：センサ開発・試作

耐熱型小型レゾルバの開発・試作、及び、小型レゾルバ用の各種評価装置の開発・試作を実施した。小型レゾルバでは、常温・高温での基本特性評価を実施し、目標仕様を満足していることを確認できた。センサインタフェース ASIC 及び多回転モジュール ASIC では、ASIC 単体の評価を実施し基本動作の確認を行った。併せて ASIC 専用評価試験機及び ASIC 専用評価ボードの製作を行った。(添付資料8)

3)サブテーマC:開発アクチュエータの実用性検証

実施項目名：高効率駆動方式の研究

以下について、計画通りの成果を得た。

・パワー回路の発熱評価

回路の力学モデルを作成し、電気系、機械系の複合シミュレーションツールを活用し、計算と実験値に良好な一致性を検証し、パワー回路のシミュレータの実現できることを示した。(添付資料10)

・試作モータ評価

試作モータの定性的特性の取得し、想定した性能が得られることが検証できた。(添付資料11)

・インテリジェントコネクタ(ICN)仕様検討

ICN のコンセプトの基に、簡易基盤を設計し、コンセプトが実現可能なことを示した。(添付資料12)

実施項目名：減速機の機能検証

< 小型高精度タイプ減速機の開発 >

内歯車を除く 2 段減速の全てに樹脂歯車を使用したものでバックラッシ約 20 分、前段遊星歯車とピニオンギアを樹脂化したもの及び前段遊星歯車のみを樹脂化したものでバックラッシ約 5 分の結果が得られた。(添付資料 1)

< 低コストタイプ減速機の機能検証 >

減速機の基本性能確認試験を実施し、効率及びバックラッシを確認した。

- ・ 効率：約60% (定格出力 ; 0.4Nm , 入力回転数 ; 1000rpm で運転時の効率)
- ・ バックラッシ : 1.2deg 程度 (添付資料9)

< 中型アクチュエータ用減速機 >

60、100W、200W 用に減速比 1/5、1/21 の遊星減速機の性能を検証した。100W 用減速比 1/5 の減速機精度は 0.3 分、減速比 1/21 では 1.4 分となった。また、200W 用減速比 1/21 の減速機精度は 2.5 分となり、初期の目標の 3 分以下をクリアーすることが出来た。(添付資料5)

実施項目名：ドライバー体型モータの機能検証

各々の試作したセンサ、モータ、ドライバを組み合わせ、基本性能・機能検討を行うとともに、生産性・コストについての検討を行った結果、製品化の方針を明確化した。

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

< 事業化の目標 >

本プロジェクトの成果を産業用アクチュエータ市場（産業用ロボットを含む）だけでなく、非産業用アクチュエータ市場への本格的な事業展開につなげる事を事業化の目標とする。

小型化・低コスト化・ネットワークプラグインを特長として、ロボットのサイズやパワーに応じて小型から中型までのアクチュエータをシリーズ化して開発する事により、生活支援分野やコミュニケーション型ロボットに適合するアクチュエータとして、市場の拡大を実現できるものとする。以下に事業化の概念図を示す。

また、事業化の規模としては 20 年度 4 万台（12 億円）、21 年度 6 万台（18 億円）、22 年度 10 万台（27 億円）を想定する。