

アシスト用直動アクチュエータユニットに関する 研究開発成果の概要と今後の展開

三宅徳久^{*1} 津屋和夫^{*2} 岡本浩幸^{*3}
橋本英昭^{*4} 浅間 一^{*5} 小菅一弘^{*6}

1. はじめに

2007年問題に代表されるように、我が国では高齢化が急速に進展しつつあり、社会問題となっている。高齢になるにつれ身体能力が低下してくるのはやむを得ないことではあるが、中でも加齢に伴う歩行機能の衰えは、歩行が日常生活に関する基本的な動作であることから大きな問題である。

このような観点から、離床・起立・着座等を含む歩行動作に着目した支援機器、自立生活をサポートする機器が望まれている。しかし、実用化や普及が進んでいるものは必ずしも多いとは言えず、新たな機器開発が急務である。

歩行に関連する動作を物理的に支援するためには人体に直接接触することが必要であり、人と機器との間に作用する力の計測、制御機能を備えたものが望まれる。そこで、このような動作を支援するアシストシステムの実現を目的として、力制御機能を備え、ロボット部品として拡張性、低コスト化にも配慮を加えた直動型アクチュエータユニット、ならびにこのユニットを用いてベッドからの立上り動作をアシストする離床支援システムを開発した。

2. 研究開発の概要と体制

人の動作をアシストするシステムへの適用を念頭に、ロボット基本要素部品として、

1) アクチュエータユニット、2) 力センサ・力制御モジュール、3) 統合コントローラを、またこれらの部品を統合したシステム例として、4) 離床支援システム、の研究開発を行った。

開発体制は、

- 1) アクチュエータユニット：自動車用等のアクチュエータ開発に実績のある特殊電装^(株)
- 2) 力センサ・力制御モジュール：支持体の弾性変形を利用して簡便に力計測が可能な E-Force センサ付きアクチュエータシステムの構想を持つ(㈱)ライテックス (研究開発開始時点は理化学研究所ベンチャー)
- 3) 統合コントローラ：オープンアーキテクチャ方式ロボット用制御装置の開発に注力する(株)東芝
- 4) 離床支援システム：福祉・介護機器の開発を一貫して行っているパラマウントベッド^(株)である。また、評価研究として、
- 5) ロボット部品要素とシステム評価：サービス工学の観点からロボット研究を行っている東京大学人工工学研究センタ(浅間研究室)、人とロボットとの協調、力制御技術等の研究を進めている東北大学(小菅研究室)

が加わるとともに、管理法人として(財)製造科学技術センターが参画する体制で研究開発を行った。

3. 研究開発目標

今回開発した要素部品ならびにシステムの各々に関する技術目標は次の通りである。

3.1 直動アクチュエータユニット

アクチュエータは家庭や施設内での利用のし易さから電動方式とし、立ち上がり動作支援の観点から直動型とした。また、次項に示すように、人と装置との間に作用する力を計測するためのセンサを一端に搭載可能とした。さらに、モータドライバおよび力センサの制御モジュールを本体に内蔵し、一体化したユニットとすることで、システム構築を容易に可能とした。性能に関しては、人の離床動作を支援する観点から、推力 1500[N]、直進速度 15[mm/s]、

*1 パラマウントベッド(株) *2 特殊電装(株)
*3 (㈱)ライテックス *4 (株)東芝
*5 東京大学 *6 東北大学

ストローク 250[mm] 以上と設定した。

3.2 カセンサ・制御モジュール

人と直接触れながら動作する機器装置においては、人と装置との間に作用する力の情報を用いることが安全性、使用者から見た使い易さの実現等に有効である。しかし、市販のカセンサは概して高精度ではあるものの高価であり、普及を目指す機器への採用には困難があると考えられる。このため、人と機器との間の作用力計測においては工業用製品レベルの精度は必要とされない、との前提を置き、弾性体の変形を利用した簡易型のカセンサ(E-Force センサと呼ぶ)を提案し、具体化を図った。目標性能は、最大荷重 3000[N]、力分解能 15[N]とした。また、制御モジュールについては、位置・速度・力の計測・制御を 1000[Hz]以上の周期で実行可能と設定した。

3.3 統合コントローラ

複数のアクチュエータを協調して動かすことは、離床支援システムに限らずさまざまなロボットシステムにおいて必要である。このような目的で、統合コントローラの開発を行った。ミドルウェアベースのオープンアーキテクチャ構成、分散オブジェクト技術を採用し、ハードウェア、ソフトウェア両面での拡張を容易とするよう考慮した。

3.4 離床支援システム

上記の各要素を搭載し、立上りおよび着座動作のアシストを行う離床支援システムを開発した。手や腕部をサポートする部材の動作により、力の支援と姿勢の誘導とを行うことで人の離床動作を支援するシステムである。性能に関しては、人の立上り動作支援の目的に対応して、動作速度 25[mm/s]、(推

力 1500[N]時) と設定した。

4. 開発成果¹⁾

4.1 直動アクチュエータユニット

使用部材や磁気回路の改良を行うことで高効率化を図り、既存の同等出力のアクチュエータに対して約 20% の小型化を達成した。また逆転防止クラッチを設け、安全性の確保を図ると共に、ノイズレベルの低減、防水性に考慮した構造等、製品化に向けた完成度の向上を図った。更に、図 1 に示すように、ドライバだけでなく次項に述べるカセンサならびにその制御モジュールまでを一体型ユニット化した。性能としては、推力 1500[N]、直進速度は目標を上回る 25[mm/s] を達成した。

4.2 カセンサ・制御モジュール²⁾

図 2 に示すように、弾性体の変形を利用し、人と機器との間の作用力を簡便に計測可能なカセンサ(E-Force センサ)を開発した。弾性体の変形は、ホール素子を用いて計測し、負荷が小さい時に高い力分解能が得られるように構造上の工夫を行った。この場合荷重が大きいほど力分解能が低くなるが、最大荷重 3000[N]における力分解能で目標を上回る 5.5[N]を達成した。

また制御モジュールについては、アクチュエータユニットに内蔵可能な小型ハードウェアを試作すると共に、位置・速度・力の計測・制御ソフトウェア(制御周期 1000[Hz])、ならびに次項に述べる統合コントローラとの通信機能を持つ API ソフトウェアを開発した。

4.3 統合コントローラ³⁾

複数アクチュエータを協調制御する機能を備えた

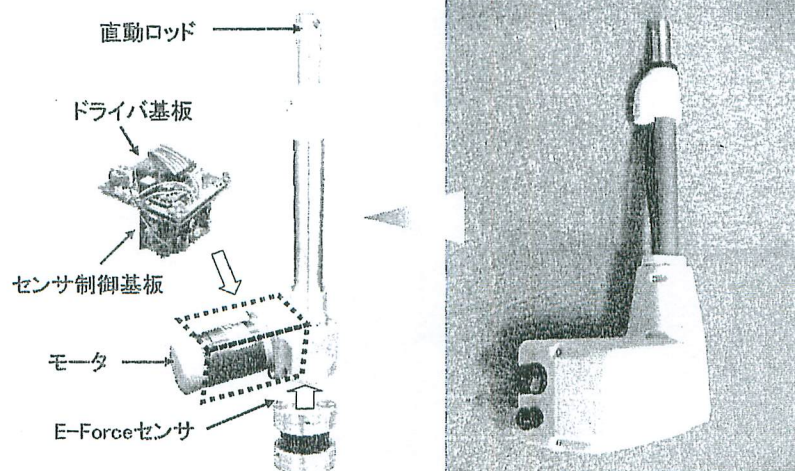


図 1 アシスト用直動アクチュエータユニット

統合コントローラを開発した。具体的には、図3に示す制御ボードを設計・開発するとともに、これを搭載した防水型の統合コントローラ・ハードウェア開発を行った。また、複数アクチュエータならびに入出力の制御に必要な操作機能を実現するGUIシステムを開発し、次に述べる離床支援システムの持つ2軸と介護用ベッドの上下軸との3軸協調動作が実現出来ることを確認した。

4.4 離床支援システム¹⁵⁾

上記の各開発要素を搭載した具体的なシステムとして、立ち上がり・着座動作をアシストする機能を備えた、図4に示す離床支援システムを開発した。このシステムでは、ベッドに端座位で着座した人がグリップを把持して操作スイッチを押すことで動作を開始する。利用者から見て前後、上下にグリップが動作するとともに、ベッドの上下が協調して動作することで立ち上がりの支援を行う。動作は、前傾姿勢、重心移動、起立の各々を順次誘導することにより、自然な立ち上がりが可能なよう配慮している。

また安全保護のために種々のセンサを用意すると共に、アクチュエータユニットに搭載の力センサを用いることで利用状態を推定し、危険な状況と判断された場合には動作を停止するなど、安全面に配慮を加えている。この他にも、力の情報を用いることで、立ち上がりのタイミングをとらえ動作パターンを人の動きに適應させたり、力に応じて動作速度を変化させる等のことにより、安全性と使い易さとの向上に工夫を行っている。

動作の誘導においては、使用者個人の体格や好みに合わせた動作とすることが重要であるため、人体を簡単なリンクモデルで近似し、各個人に合わせた動作パターンを生成している。また、このモデルを利用して動作支援の程度を定量的に評価することを考え、関節モーメント、姿勢保持モーメントなどの指標を導入した評価手法を提案した。さらに、介護施設、リハビリセンター等にご協力頂き、フィールド実証試験による評価を実施することで、システムとしての有効性を確認した。

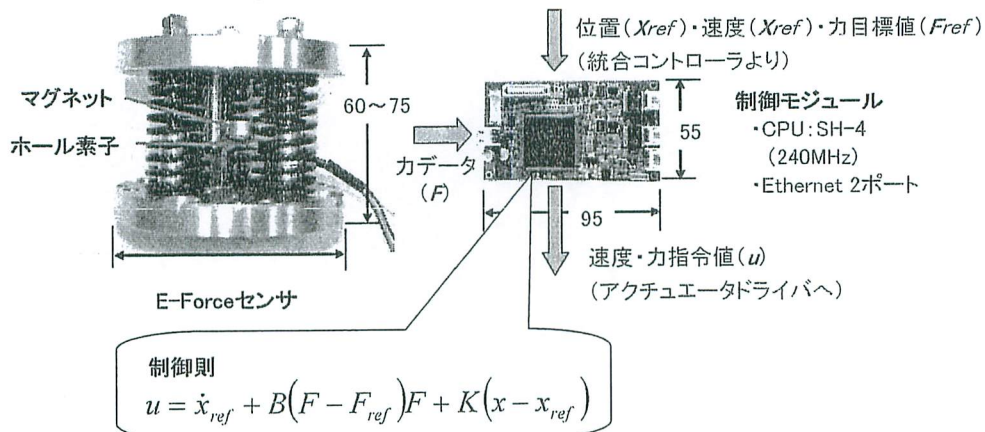


図2 力センサ・制御モジュール

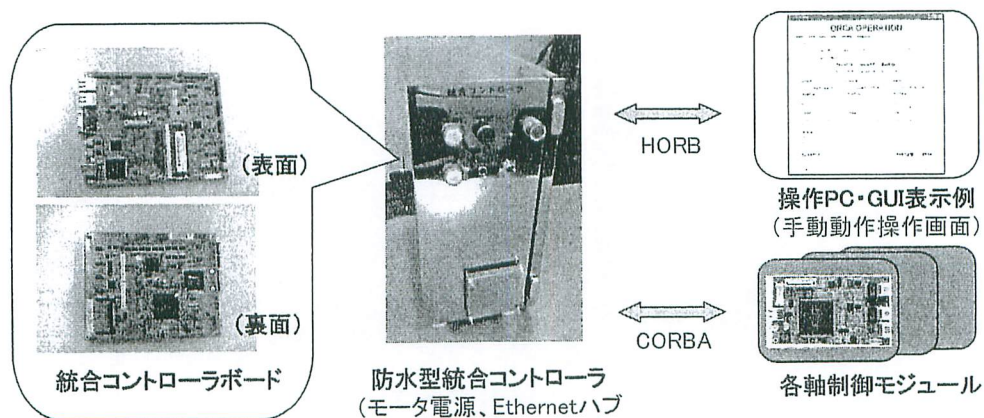


図3 統合コントローラ

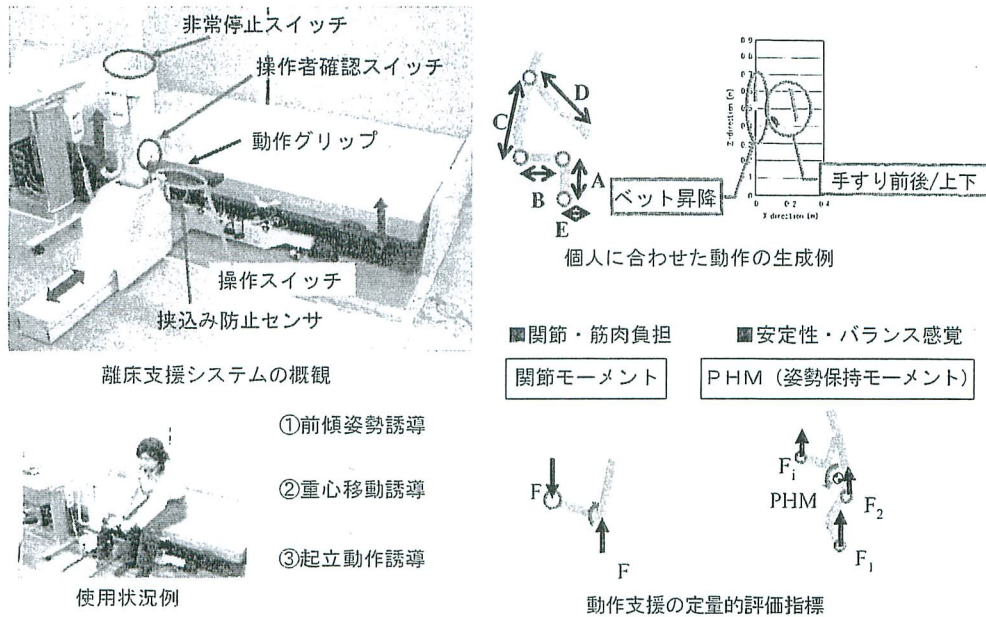


図4 離床支援システム

人に合わせた動作パターンの生成、力制御手法の高度化など、動作制御方法に関しては今後とも試験を継続的に行い、改良を重ねて行く予定である。

5. まとめ

現在我が国で日常生活に支障のある高齢者人口は600万人に達しており、今後当分の間増加するとの予測がなされている(平成17年12月現在推定値)⁶⁷⁾。このような状況で、日常生活に支障のある方々の自立を支援することは社会全体の活性化にも繋がる大きな意義を持つと言える。

自立を物理的に支援する装置においては、装置と人体との接触が不可欠であり、今回開発品の特徴である力制御機能を備え、かつシステム構築が容易に可能なアクチュエータユニットが市場に投入されることで、要素部品としての新市場が形成できるのみならず、福祉あるいは生活支援分野における新たな製品開発の活性化も期待できると考えられる。さらに、開発された技術を従来型の要素部品に適用することで既存部品の付加価値向上にも資することが可能であり、これら部品の既存市場拡大に対しても波及効果を持つものと確信する。

なお、本研究開発は中小企業基盤整備機構の戦略

的基盤技術力強化事業の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 三宅他：アシスト用直動アクチュエータユニット，日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会論文集，2A1-N(2005)
- 2) 杉原他：起立・着座動作支援のための直動アクチュエータ力制御システムの開発，計測自動制御学会 SI 講演会論文集，1G1-3(2004)
- 3) 大賀他：モジュール型アクチュエータを利用した離床支援システムの開発-上位統合コントローラ構成-，日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会論文集(2006) 投稿中
- 4) 初雁他：立ち上がり動作支援システムの動力的評価，計測自動制御学会 SI 講演会論文集，2D4(2004)
- 5) 初雁他：立ち上がり動作支援システムの姿勢保持モーメント (PHM) を用いた動力的評価，日本ロボット学会学術講演会論文集，2J12(2005)
- 6) 内閣府：平成17年度版高齢社会白書(2005.6)
- 7) 総務省統計局：人口推計月報(2006.3)