神奈川工科大学

スマートロボティクス研究開発センター

研究報告

第 2 巻

2018 年度

工学教育研究推進機構

目次

生活密着型ロボット・システムの開発 1
ロボット・メカトロニクス学科　河原崎徳之、兵頭和人
ホームエレクトロニクス開発学科　一色正男

生活密着型ロボット・システムの開発

研究者名：ロボット・メカトロニクス学科　　河原崎　徳之，兵頭　和人
ホームエレクトロニクス開発学科　一色　正男

1．研究の目的

本プロジェクト全体の主な目標は、以下の4点である。

①居住空間における運動制御

多様な環境での歩行や作業を実現するために、外界センサによって推定した障害物(利用者も含む)や段差の位置情報と内界センサによって得られる情報から、制御パラメータ（着地位置、姿勢、歩幅）をオンラインで算出し、安定した重心軌道を生成するシステムおよび周囲の状況(段差の高さ、階段)によって2足歩行と4足歩行を切り替える歩容生成システムの開発を行う。

②自己診断機能と遠隔地からのメンテナンス

角度センサ、慣性計測センサによって計測される関節角度、リンク姿勢情報と室内測位システムによって計測される手先、脚先の位置情報を照合し駆動システムの異常を検出するシステム、動作ごとの消費電力とバッテリ残量から動作の実行可能性を判断する診断システムとネットワークを介した制御システムの調整を行うシステムの開発を行う。

③情報ハブ機能

HEMSとの連携し利用者の行動、健康状態、興味などの特徴を抽出するシステムを開発し、応じたサービスを提供するシステムの開発を行う。

④技術者養成プログラム

本プロジェクトで得られた成果を社会に還元するためには、「基礎知識や専門知識を実際に用いて社会・産業の現実問題に応える研究開発や設計を行うことが出来る技術者」を育成する必要がある。そのため本プロジェクトでは、将来の産業を担う人材の育成する環境を構築し、産学連携による実製品の開発を通じた高度技術者の養成プログラムの開発を行う。

2．研究の必要性及び従来の研究

ロボットは人手不足や高齢化の問題を解決する切り札として着目されている半面、現在実用化されている分野は産業用、エンターテインメント用、ホビー用とごく限られている状況にある。一方、利用者にとって親和性が高いことから人型のインターフェースを有する情報ハブとしてのロボット(生活密着型ロボット)への期待が高まっている。

人間の居住空間においてサービスを提供する人型ロボットの実現を阻む主な要因としては、①多様な環境（段差、階段、障害物）への対応能力の低さ、②専門のスタッフの付き添

いなしでの運用が困難、③システムが複雑であるためトラブル対応が困難である等が挙げられる。

工場等の限られた環境下で人のサポートを行うことを目的とした研究は行われているが、2足歩行のみでは実現可能な動作が限れててしまうため、4足歩行も選択肢に含めた行動制御システムの開発が必要である。

ロボット用自己診断システムは車輪型ロボットや小型歩行ロボットを対象としたシステムの開発にとどまっている状況であるが、居住空間においてサービスを提供する人型ロボットが家電製品や自動車の様に普及するためには、自己診断システムの開発が必要不可欠である。

利用者の状況に応じた適切なサービスの提供、見守り、健康維持増進を目的としてクラウド連動するシステムは数多く開発されているが、監視されているという嫌悪感やシステムを利用し続けるモチベーションの低下の問題が生じている状況にある。これらの問題を低減するために、情報ハブ機能を有するロボットの開発が必要である。

3．期待される効果

本研究の成果として期待される効果は以下の4点である。

①環境変動に自律的に適応する運動制御システム(特に歩行形態の選択)を実現することにより、実験室や事前に環境計測を行ってある会場のみで動作していた歩行ロボットの活躍の場を拡げる点。

②自己診断機能を実現することにより、トラブルシューティング情報を利用者に提供できるようになり、歩行ロボットの普及に貢献できる点。

③情報バブとしてのロボットを実現し、能動的な機器をHEMSに組み込むことにより、使用状況に応じたサービスを提供が可能となるとともに、見守りシステムの問題(監視されている嫌悪感)を低減できる。

④「基礎知識や専門知識を実際に用いて社会・産業の現実問題に応える研究開発や設計を行うことが出来る技術者」を養成するためのプログラムを並行して開発することで、生まれながらにハイテク製品が存在していた世代のエンジニアの育成に貢献できる点。

4．研究の経過及び結果

平成30年度においては、以下の成果を得た。

<u>○計測・制御システムの開発</u>

自律走行を行う際、斜面に対する機体の角度や、走行方向、移動距離を自動で調整しなければならない。そこで図1に示す位置に配置した慣性計測センサからのデータを用いた自己位置の推定及び歩行ロボットの行動を制御するシステム（図2）の開発を行った。

図 1　慣性計測センサ配置図

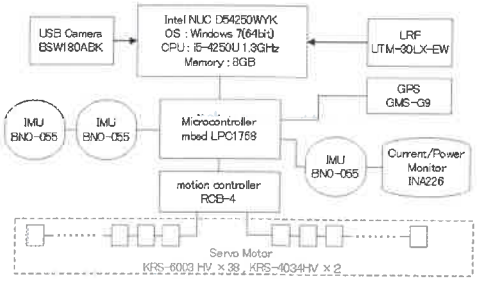

図 2　計測・制御システムの構成図

歩行ロボットでは、車輪型ロボットの様にロータリーエンコーダを用いた自己位置推定を行うことが出来ないため、足部及び腰部に設置した IMU 得られるクォータニオン及び加速度計測値から算出した各脚の線加速度を用いて現在位置の推定を行っている。

各 IMU から得られるクォータニオン$q_j=(q_{iw},q_{ix},q_{iy},q_{iz})^t$, i=0,1,2、及び足部 IMU から得られる加速度 $a_i=(a_{ix},a_{iy},a_{iz})^t$, i=1,2 を用い，次式より遊脚足部の線加速度を算出する。

$$c_j = q_j \begin{bmatrix} 0 \\ a_{jx} - \hat{g}_{jx} \\ a_{jy} - \hat{g}_{jy} \\ a_{jz} - \hat{g}_{jz} \end{bmatrix} \bar{q}_j \qquad j = 1, 2$$

ここで、$\hat{g}_j$はq_jより推定される重力加速度ベクトル、$\bar{q}_j$はq_jの共役クォータニオンである。

遊脚開始時刻から遊脚終了時刻まで遊脚足部の加速度c_jを 2 重積分することにより、遊脚の移動量の推定し現在位置の推定を行っている。

現在位置の推定精度を向上するためには、環境温度の変動や長時間使用した際のバイアス変動を小さく抑える必要がある。そのため、今年度開発した計測システムでは図 3 に示すように各部位に 4 個の慣性計測センサ (IMU) を配置し計測精度の向上を図った。

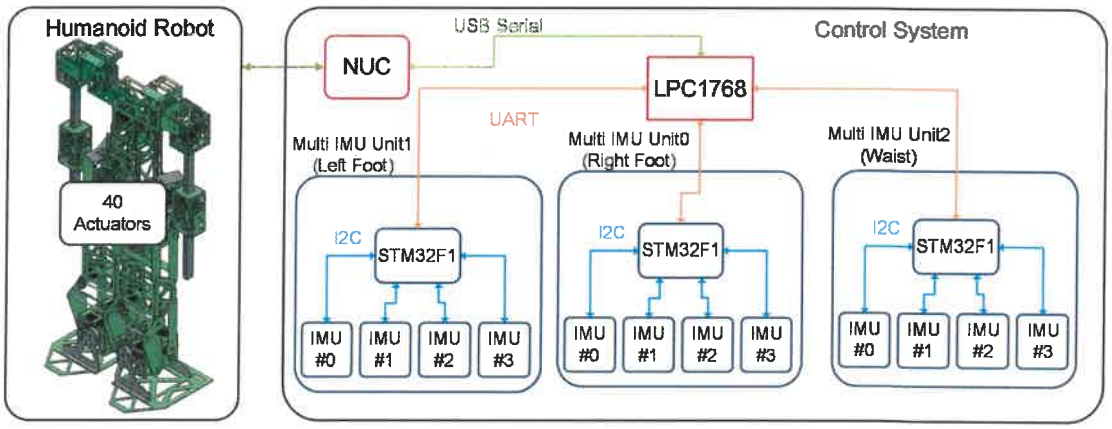

図 3　慣性計測センサ (IMU) の多重化

各部位ごとの4個のIMUは図4に示す配置とした。部位ごとの姿勢角は次式で算出する。

$$\begin{cases} roll = \quad roll_0 - roll_1 - roll_2 + roll_3 \\ pitch = pitch_0 + pitch_1 - pitch_2 - pitch_3 \\ yaw = \quad yaw_0 + yaw_1 + yaw_2 + yaw_3 \end{cases}$$

ここで$roll_i$、$pitch_i, yaw_i$はIMU#iの姿勢角とする。

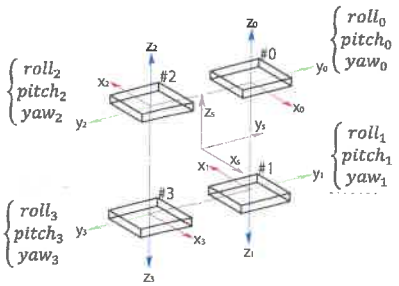

図4　IMUの配置

また、定式で算出される姿勢角と各IMUで計測した姿勢角を比較することにより故障したIMUの特定を行うことも可能である。

開発したユニットの温度変化に対する誤差、長時間使用時のバイアス変動は表2に示す性能であり、環境温度の変動や長時間使用した際のバイアス変動を約1/8に抑えることに成功している。

表1　今年度開発した計測ユニットの誤差特性

	従来の計測ユニット	開発したユニット
温度変化に対する誤差率	0.08 [deg/° C]	0.01 [deg/° C]
時間変動	2 [deg/h]	0.3 [deg/h]

○2足／4足歩行を使い分ける歩行ロボット機構

2足歩行と4足歩行を使い分ける機能を有する歩行ロボットにおける関節配置の検討及び基本動作設計のために、猿度数（腕の長さ/身長）が1.5の3分の1モデルの試作を行った。試作した歩行ロボットの外観を図4に、主な仕様を表1に示す。

(a) 2足歩行モード　　(b) 4足歩行モード

図5　ロボット外観

表2　主な仕様

全長 [mm]		500
全体重量 [kg]		3.1
総サーボ数		26
全体自由度		26
自由度	脚部	14 (片足7)
	腕部	10 (片腕5)
	腰部	2
アクチュエータ		KRS-4033HV、KRS-4034HV
猿度数		1.5
電源		リチウムイオンバッテリー
センサ		9軸センサ

試作した歩行ロボットに対して基本動作（平地での移動、起き上がり、階段昇降等）の設計を行い、平地、段差、階段昇降実験を行った結果、身長に対して約20%の高さの段差を踏破

可能であることが確認された。

また、2 足歩行時の上体の振幅の変動の増加(閾値 15%)を検出した際に、4 足移動へ推移させるシステムを導入したことにより、身長に対して約 4%に高さの障害物に乗り上げた際の歩行持続率が 90%から 100%へ向上した。

○生活支援ロボットの設計製作

人の日常生活の作業を助ける生活支援ロボットのハードウェアを設計製作した。具体的には、棚に置かれた物を並べ直したり、テーブルの上の物を取って人に渡すなどの動作を行わせる。ロボットにこのような作業を行わせる競技会として、World Robot Summit(フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ種目)があり、本ロボットはこの競技会への参加を想定し、設計製作した。製作したロボットは、四輪駆動台車と双腕のマニピュレータからなる。図 6 に製作したロボットの外観を示す。全方向に移動できるよう、各車輪 2 自由度の 4 輪構造とした。また、コンビニエンスストアの棚の高さが多段であるため、腕の部分が上下に移動する構造とした。さらに、競技会で把持する対象物(ペットボトルや弁当)にあわせて、ハンド部分は三角形のフレキシブル構造とした。図 7 に本ロボットの可動範囲を示す。

図 6　生活支援ロボット（外観）

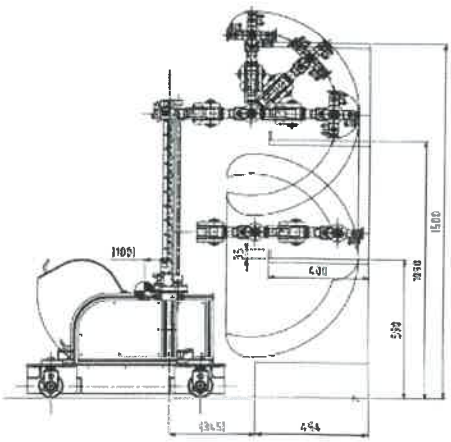

図 7　生活支援ロボット（可動範囲）

○養成プログラムの開発

機器開発を行う準備段階の研修において使用する演習教材開発し、ゼミ、ユニット受講生を対象とした予備研修を行った。その結果、従来修得が困難であった事項(センサ等のデータシートを読み計測プログラムを作成する、割り込み処理、DMA 転送等)の研修に効果が高いことが確認された。

また、外部機関(ATSUMO)に提案し採択された、バス乗換案内用ロボットシステムに対する機能試作を実施した。

５．　今後の計画

残された課題は以下のとおりである。

①自己診断機能の開発、HEMS 及びクラウド AI 処理機能との連携機能の開発、見守りを目的としたコミュニケーション機能の向上。

②プロジェクト内で準備した開発案件を題材に大学生参加型開発の実施、連携企業からの依頼案件を題材に大学生参加型開発の実施

③地域利用実験の実施

これらの課題を解決するために、以下の開発を行う予定である。

①生活空間内でのロボットの安全性を高めるために、内界センサ（角度センサ、慣性計測センサ）によって計測される情報と室内測位システムによって計測される情報を照合し駆動システムの診断するシステムおよび作業ごとに必要な電流量とバッテリ残量を照合し動作速度を調整するシステムの開発を行う（2019 年度）。

②監視されている嫌悪感を抱かせずに利用者の健康状態を取得するためにコミュニケーション動作の開発、利用者の心の健康調査をサポートするための傾聴機能の開発

③ハンドユニットの拡張（2019 年度）。

④ロボットを通じて得られた情報から特徴を抽出しデータベース化するシステム、HEMS、クラウド AI 処理機能との連携機能の開発を行い情報ハブとしての機能を追加する(2019 年度)。

⑤地域利用実験の実施し、本プロジェクトで開発したシステムの実空間での効果測定を行う(2020~2021 年度)。

⑥World Robot Summit（フューチャーコンビニエンスストアチャレンジ種目）に参加するためのシステムを開発し、本プロジェクトで得られた成果の外部評価を受ける（2019～2021 年度）。

⑦産学連携による実製品の開発を通じた高度技術者の養成プログラムの開発を行う

昨年度に試作した、厚木駅バス案内システムの実証試験を実施。外部連携機関(ATSUMO)と連携し等身大 2 足歩行ロボットを題材に大学生参加型開発を行う。

なお、産学連携養成プログラム用の教材開発に関しては、科学研究費助成事業の課題として採択された「産学連携型組み込み技術者教育用支援システムの開発（課題番号 19K03069）」へ移行し実施を行う。