

車輪型ロボットベースの研究開発

Development of Four-wheel-type Mobile Robot Base

坂下 和広 (都産技研)
薬師寺 千尋 (都産技研)
萩原 玄 (リンクサーキット)
大熊 栄一 (ベクトル)

益田 俊樹 (都産技研)
登地 功 (デルタテクノロジー)
矢崎 徹 (ベクトル)

Kazuhiro SAKASHITA, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute
Toshiki MASUDA, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute
Chihiro YAKUSHIJI, Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute
Isao TOJI, Delta Technology Corporation
Gen HAGIWARA, LINK CIRCUIT INC.
Toru YAZAKI, VECTOR INC.
Eichi OKUMA, VECTOR INC.

In recent years, Japan has fallen into the shortage of worker, so people are expecting the robot to work instead. However, service robots are not widespread in society. In order to improve this problem, we developed wheel type mobile robot base, as small and medium enterprises be able to develop. In this paper, we show that the result of the marketing survey for the guidance robot and designed robot, and the results of the joint research standard circuit board for the base robot, and the results of the joint research applications using the robot base.

Key Words: Robot Technology, Wheel Type Mobile Robot, Middleware

1 はじめに

近年少子高齢化が進み、労働力不足になるだろうということから、代替ロボットの需要が高まっている。産業用ロボットの市場は、数社の大手メーカーがシェアを分け合う寡占化された市場が形成されており、中小企業が新たに参入するには、よほどの技術力ない限り、強みがないと難しい市場と判断される。一方、サービスロボットといわれる市場は、多くのメーカーが試行的に製品の販売を開始してきたが、現状、ほとんど市場が形成されていない状態である。つまり、需要量が少なく、一製品あたりの売上高が、年間1億円程度くらいの規模でしかない状態である。このことは、大企業にとっては、参入するには時期尚早で、一方、年間売上数億円を狙う中小企業にとっては、各社のプロダクトミックスの一つとして狙うには、手ごろな市場規模といえる。したがって、ターゲットをサービスロボット市場とし、いかに中小企業のリスク、投資を少なくして、サービスロボットの市場に参入できる仕組みとそれに必要な基本技術を構築できるかを検討すべきという判断から、本研究開発に至った。

そこで、本研究では、中小企業が安心してロボット開発ができるように、共通となるベースロボットを研究開発し、ロボットを提供することによって、中小企業が各種サービスロボットを事業展開することを目的としている。この論文では、ベースロボットの研究開発のために、まず、案内ロボットを例としてマーケティング調査を行った結果とそれを基に起こしたデザインを示す。そして、ロボットに使用する回路基板を小型化、廉価化させるために共同研究した内容について述べ、セミカスタムメイド性の高いロボットについて共同で研究開発した内容を紹介する。最後に、まとめと考察、今後の課題について述べる。

2 ベースロボットのための案内ロボットの試作

ベースロボットとして活用してもらうためには、何のサービスをするかを定める必要があった。今回は、建物のロビーで案内をするロボットを想定とし、マーケティング調査を行なった。具体的には、下記に示すようなアンケートを一般人30名に対して実施した。

1. ロボットのイメージとは
2. ロボットが入館の際に声をかけられたいか
3. ロボットに荷物を持って欲しいか
4. 案内中に情報提供して欲しいか
5. ロボットに案内して欲しいか

1の結果を用いて好感度の面からロボットのイメージを分類した結果を図1に示す。ここでは、縦軸にハイテク感とラウンド感、横軸にプリティさとスタイリッシュさというように分類した。アンケート結果からイメージを総合すると丸みを帯びたかわいらしいイメージが好まれる傾向がわかった。

2~5の回答についてラダリング法で分析を行った結果を図2に示す。2の入館時の声掛けに関しては、かけてほしいという意見の人は自分はお客様だからという意識が感じられ、NOの意見の方は干渉されたくないという意見があることが読み取れた。つまり、あまりうるさく声はかけて欲しくないが、無視はされたくないという意見として捉えられた。3の荷物を持って欲しいかとの問いに対しては、重いものや、雨の日の傘等、自分が持ちたくないものに限っては持ってもらいたいが、多くの方がロボットを信用しておらず(動作の不安定さも含めて)預けたくないという結果となった。4の情報提供に関しては、自分にとって有効な情報に限られ、余計な話で時間を取られたくない、返事が面倒、同じ

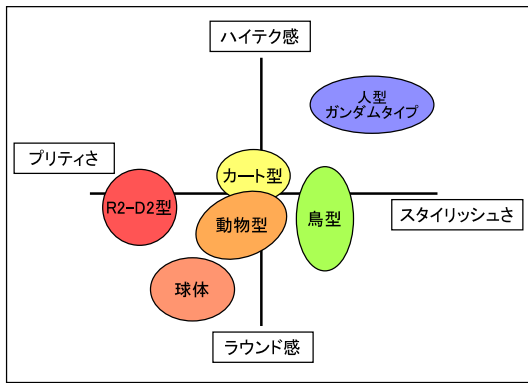


Fig.1 Robot image of classification result

ことを何回も説明されたくないなど、やや高度な情報提供の要求が見て取れた。また、5のロボットの案内行動に関しては、必要ないと意見も多かったが、自分がロボットに合わせることを要求されるようなら不要である、ただし、便利で迅速に対応してくれるなら必要であると見て取れた。

以上により、今回のマーケティング調査から案内ロボットとしての仕様が下記のように得られた。

- 形状は、かわいらしく、丸みを帯びたイメージ
- 機能としては適切な情報を迅速に与えて欲しい
- 手荷物の運搬は不要
- 出迎えるなど、スムーズな移動が必要

この結果から、威圧感の無い丸みを帯びた意匠デザインであまり大きくないサイズという要求仕様が決定された。

図3は、先ほどの仕様に基づき、作成された案内ロボットの試作機「コーラスライン」のデザインとそのロボットを示す。実際には、他のデザインもあったが、技術面で今すぐ実用化できるものではなかった。このデザインは、家庭のリビングに配置しても違和感のないことを盛り込んでいる。つまり、動くワゴンとしての家具イメージで統一している。また、製造面でのコストを意識して、やや直線的でスタイリッシュなイメージになってしまうことを恐れ、コストを抑えつつ、極力カーブを多用するように工夫した。

3 標準回路基板の研究開発について

ロボットの多くは、回路基板を用いている。この中核を成すであろう回路基板の事業支援を行うために、(有)デルタテクノロジー、リンクサーキット(株)と共同で標準回路基板の研究開発を行った。ここでいう標準とは(独)産業技術総合研究所で開発された Open-source and open architecture Robot Technology Middleware implemented by AIST (以下 OpenRTM-aist)[1]に対応するという意味で用いている。

3.1 PC-OS 上での OpenRTM-aist と基板のリアルタイム動作の実現

今回は、車輪二つをそれぞれ独立したモータで動作させる車輪型のロボットを開発する。また、ユーザーである中小企業が、開発したロボットベースを用いて事業化する場合に短期間でデモシステムが構築できるように OpenRTM-aist を利用できるようにする予定である。ところが、この構成でモータ制御を実時間制御しようとする、PCのOS、OpenRTM-aist、基板プログラムの3種類のサブシステム間の実時間での同期をとる必要があった。

このような条件下で、基板とPC間の同期を実現するために、今回はスレッドプログラムによる非同期読み込みと、ライトバッ

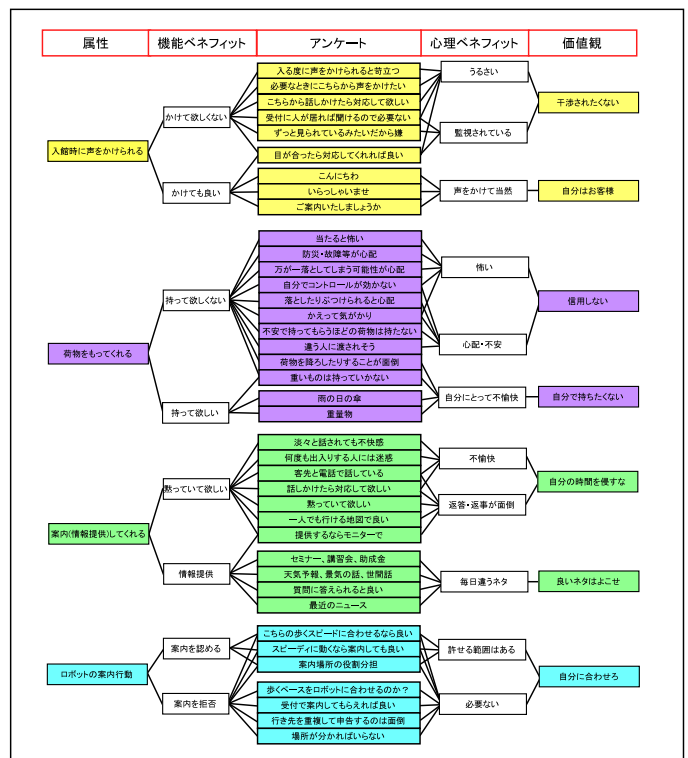


Fig.2 Questionnaire result by Laddering Method

ファを使った送信の手法を用いることとした。また、OpenRTMは最高周波数(1000Hz)に指定することで、一回の受送信が終了したら、即(可能な限り速やかに)次のRTCが実行されるように設定した。PC側でのデータ受信に関しては、スレッドのプログラミングを用いる。つまり、Read処理自体はRTCとは独立したReadスレッドプログラムを定義しそれが司ることとした。

これにより、RTC自体はRead命令を実行すると、実際のReadの処理はReadスレッドのプログラムに処理が渡され、その時点で、RTCのRead処理が終了する。処理を渡されたReadスレッドのプログラムは、Readバッファにデータが到着したという割り込みが入るまで処理を待ち、データ到着イベントが発生すると、割り込み処理により、スレッドにおいてRead処理が実施されることになる。もちろんこの到着イベントは、回路基板のプログラムが、正確に1/16sec周期でデータを送信することにより発生する。一方Read処理が終了しているRTCはこのReadスレッドの処理の終了をひたすら待ち、Readスレッド終了後、到着したデータと、ゲームパッドからのコントロールデータをを用いて新たな送信処理コマンドを演算し、送信コマンドを生成する。送信コマンドが生成されると、RTCは送信処理に移る。送信時には、一回の送信コマンドが蓄えられるだけの出力バッファを設けることで基板側のプログラムと処理の同期がとられる。RTCがコマンドを送信したら、基板が受け取る準備が出来ていなくても、RTCは送信バッファに送信データを蓄える。これにより、RTC自身の送信処理は終了する。read命令の発行からこの送信コマンドの終了まででRTCの一回の処理が完了する。なお、送信バッファから、基板へのデータの実際の送信はOSに処理が渡され基板からの要求に応じて、実際のコマンドの送信が実施されるはずである。このひとつのRTCが終了するとOpenRTMは、1ms毎にRTCを起動するようにしている、可能な限り速やかに次の受送信のRTCが起動される。以上が、OS、OpenRTM-aist、回路基板の間で同期をとる今回のシステムの仕組みである。



Fig.3 Service Robot prototype "Chorus Line"



Fig.4 Developed Circuit Board

このプロトコルでプログラムを開発した結果、(1/16sec)周期でデータ転送されていることが観測され、また、基板から RTC、RTC から基板からの信号波形も適切な周期であることが確認された。

3.2 モータドライバ回路の実現

これまで用いていたモータドライバは市販の基板であったが、モータを制御する場合、電圧値 (PWM の Duty 比) で直接制御することになる。ところが DC モータは出力トルクと入力電圧は比例せず、その時の回転数、負荷により、同じ電圧を与えても、異なるトルクが生成されることになる。したがって、市販のドライバでは、うまく制御することが難しく、最適なパラメータを得るために、動作しながら、床の状態に応じてパラメータをダイナミックに変更したりすることが難しくなる。逆に DC モータは流す電流に比例して、トルクが増減することが知られており、モータドライバとして、電流値をセンスできることが望まれる。そこで、電流制御 (トルク制御) を目標に電流センスが可能なモータドライバを設計することとした。

ドライバ回路の設計に当たり、要求仕様を基に、簡単な計算により回路の乗数ならびに、回路方式を選定した。今回、全体の制御としては 1/256 秒毎に、モータの制御をすることが望まれる。この場合、内側の電流制御の頻度としてはそれよりも高速にたとえば 1/1000 秒毎の制御が望まれる。すなわち、目標仕様としては、2 重構造の内側の電流制御の PID は 1 kHz で外側のトルク制御の PID は 256Hz ということになる。今回のドライバ回路では、1 kHz の電流制御をするための PWM 周波数にあった電流値測定用のフィルタの設計が鍵になる。まず、外側のトルク制御とセンス電流のローパスフィルタのカットオフ周波数は 10 倍以上の余裕 (位相誤差の影響も考慮して) がほしい、内側のコントローラの PWM 波形の周波数とフィルタのカットオフ周波数は数倍の余裕がほしいところである。このことから、1kHz の制御に対して 100kHz の PWM 制御とし、電流波形の LP フィルタのカットオフ周波数は 20kHz とした。また、モータに流れる電流値が最大 ± 2A 程度ということで、アンプのゲインも 50 倍程度で、

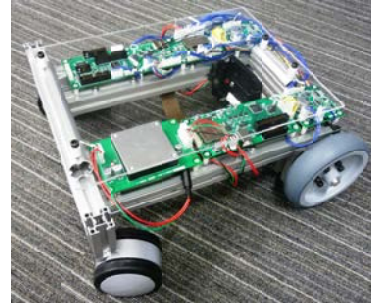


Fig.5 Developed Four Wheel Type Mobile Robot Base I

1~2V 程度が得られるようなセンス抵抗とした。これらの検討により実現した回路に対して、100kHz の PWM 波形を印加し、モータを駆動する Nch、PchMOS トランジスタのゲート電圧を確認し、無駄な消費電力となる貫通電流が流れない波形になっているか、フィルタを通過した後の電流波形の平滑化の様子、基板全体の温度分布の様子を確認した。その結果、100kHz の PWM 波形で動作が確認でき、貫通電流を十分防止できていることが確認できた。

この共同研究により、開発された回路基板を図 4 に示す。また、この回路基板を載せたベースロボットを図 5 に示し、「T 型ロボットベースタイプ I」と呼ぶことにする。詳細は次節 4.1 で述べる。

4 T 型ロボットベースの改良と応用について

次に、これまでに開発した T 型ロボットベースの改良と、それを搭載したセミカスタムメイドのデザイン性の高いロボットをベクトル (株) と共同で研究開発した内容について述べる。

4.1 T 型ロボットベースタイプ TYPE-II について

今回のテーマに沿ったロボットベースの研究開発において、まず、現行のロボットベースの問題点を明確にした。図 7 に示したように、TYPE-I のロボットベースは独立して回転駆動される 2 つの駆動輪を後輪として対向して配置し、キャスター 2 輪を前輪として配置する、いわゆる自動車という FR 型の車輪構成になっている。このロボットベースは左右に対向して配置された駆動輪の回転速度と回転方向を独立に制御することで、ロボット自体の前・後進・左右の旋回・左右の回転を実現している。このロボットベースはサービスロボット用途を目指しており、なめらかな前・後進と左右旋回、回転が、動作として重要になると考えられる。しかしながら、TYPE-I の構成でその場回転をすると、駆動輪の中点を回転中心として、大きな円を描いて回転することになる。これは、2 つの意味で、好ましくない動きになる。第一に、動力学的に、回転中心と重心が離れていることにより、ロボットの重心による回転モーメントが発生し、さらに回転中心とキャスターの距離が大きくなるために、キャスターと床の間の転がり摩擦の影響が大きくなることが考えられる。この影響により、回転するために、モータにより大きなトルクが必要になる。結果として回転の機敏さが喪失されることが考えられる。第二にロボットの重心は見た目のロボットの中心と一致する場合が多く、その場の旋回であるにも関わらず、ロボット自体が後輪の回転中心を軸に大きく振り回されているかのような問題が生じる。

これらの従来品の問題の解決策として提案した改良型の「T 型ロボットベース TYPE-II」を図 6 に示す。TYPE-II のロボットベースは、2 輪の駆動輪を前・後進それぞれを独立に速度制御できるように対向に配置し、2 つのキャスター輪をその前後に対称に配置した構成にしている。TYPE-II のロボットベースは TYPE-I と同様に対向する 2 つの駆動輪の車軸上の中点に回転中心が位置

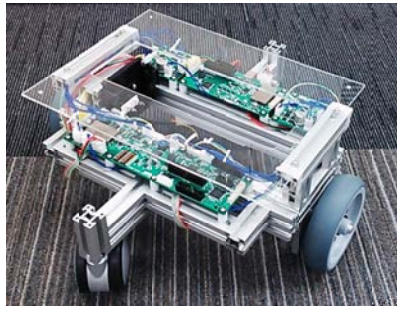


Fig.6 Four Wheel Type Mobile Robot Bace II

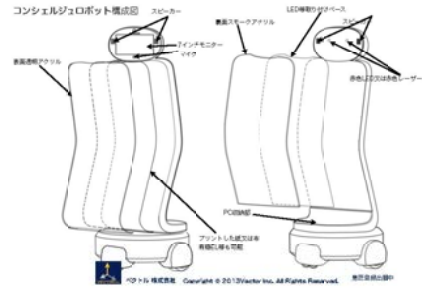


Fig.7 Sketch of Concierge Robot

するが、想定されるロボットの重心も回転中心の軸と一致する。これにより、ロボットの重心自体が持つ回転モーメントの影響は限りなく0となり、ベースロボットの上に乗るロボット自体の形状で生じる重心からの回転モーメントのみが残るのみとなる。したがって、回転モーメントが、その場回転に及ぼす影響が限りなく少なくなる構成が実現される。また、同様にキャスター輪の回転摩擦抵抗も、回転中心からのキャスター輪までの距離が前後同一で、より短くなるので、結果として回転摩擦抵抗の影響も少なくなる。この結果、回転モーメント、回転摩擦の影響とも最小になり、その場回転に必要な車輪の回転トルクも小さくなる。これにより、回転が機敏になり、従来型より回転性能が向上した。



Fig.8 Developed Custom Robots

4.2 セミカスタムメイド性の高いロボットについて

サービスロボットの事業を実現するときのビジネスモデルは、様々考えられるが、今回は、デザインを重視し、最終ユーザーのデザインに対する希望を個別に叶えるカスタムデザインのロボット事業をサービスロボットの事業の最初のビジネスモデルのターゲットとした。理由として、このモデルだと、それぞれの顧客の注文に応じての製作になり、いわゆるオーダーメイドの事業になることから、大企業が参入しにくく、中小企業が実施しやすい少量多品種のビジネスモデルになる点である。ただし、この事業を効率よく実施するためにいわゆるイーゾーオーダーメイドのロボット事業の仕組みが求められ検討を重ねた。

図3のコーラスラインでは、外装パーツが数多くあり、販売価格としても、外装だけで数百万円程度の値がついてしまう。そこで、今回はロボットとしての販売価格は100万円台に抑えることを目標とした。

ユーザーニーズを検討したところ、デザインをシンプルにし、カスタマイズするポイントを絞ることにした。その結果、ユーザーの希望として、外装のペインティングを用途に応じて、変更したいという希望が強いことがわかった。たとえば、ロボットを購入する場合に、本格的に使える、役に立つ機能を求めるというよりも、利益が多少上がり、金銭的に余裕ができた時点で、企業が受付や玄関にシンボリックに置きたいというような要望が強いことが判明した。そのため、その会社のユニフォームのペイントであるとか、あるいは、何かのイベントの際、告知等が容易に実現できることが重要であることが分かった。図7に、そのようなニーズを満たすために、共同研究機関が考えたアイデアのラフスケッチを示す。

共同研究機関ではラフスケッチをもとに、着せ替えロボット「コンシェル」を提案し試作した。着せ替えロボットには、4.1で示したT型ロボットベースTYPE-IIが採用され、シンプルな構造の前面の透明アクリル板と本体の間に、印刷した本体デザインを挟み込むことで、様々な用途に使い回しできるようにした。

図8に着せ替えロボットとしての様々な例を示す。このように、前面のプリントを印刷し挟みなおすことで、さまざまな用途に変更が可能で、セミカスタム性の高さが確認できた。また、販

売価格も、シンプルな構造ゆえに、当初の予定の百万円台が達成できている。

5 終わりに

本論文では、中小企業が安心してロボット開発ができるような移動ロボットベースの開発について述べた。まず、サービスロボットとして案内を題材とした場合のマーケティング調査を行った。その結果、形状については、かわいらしく丸みを帯びたイメージが好まれ、機能としては、適切な情報を迅速に提供すること、案内をするにあたってロボットのペースに合わせることに嫌悪感を抱くことがわかった。これらの調査からプロトタイプとして「コーラスライン」の研究開発を行った。また、ロボットに使用されている基板の小型化、廉価化を図るために共同研究を行い、OpenRTM-aistに対応した回路基板の開発を行い、それを搭載した「T型ロボットベースタイプI」を紹介した。そして、次の共同研究では、従来型の欠点を改善し、「T型ロボットベースタイプII」を研究開発し、それを搭載したセミカスタム性の高い「コンシェル」の共同で開発し、紹介した。

今後のベースロボット事業の課題としては、

- 簡単な不整地に対応可能な機構の改良
- 基板のワンチップ化による廉価化
- モータの低コスト化
- 信頼性・安全性の向上

が挙げられ、現在研究開発が進めている。以上のように都産技研では、中小企業向けのロボット事業を展開していくと同時に、2020年における東京オリンピック・パラリンピックに向けてロボットの産業化、そして、その先にも使えるロボット技術を構築していく。

参考文献

- [1] 安藤慶昭, "初心者のためのRTMドールウェア入門-OpenRTM-aist-1.0.0とその使い方-", 日本ロボット学会論文誌, Vol.28, No.5, pp.550-555, 2010.