

# ホームロボットの移動制御システム

Locomotion Control System for Home Robots

吉見 卓

■ YOSHIMI Takashi

中本 秀一

■ NAKAMOTO Hideichi

山本 大介

■ YAMAMOTO Daisuke

移動型ホームロボットには、呼んだ人のところへ行ってサービスを提供したり、家の中を移動しながら監視するなどの機能が必要である。そのために、家庭内で自身の位置を正確に把握し、目標点まで障害物を避けながらきちんと移動できる基本移動機能が必須である。

東芝は、ロボット情報家電 ApriAlpha™ でこの基本移動機能を実現するための移動制御システムを開発した。開発した移動制御システムは、目標点までの確実な移動経路生成手法、位置・姿勢誤差の修正が容易な軌道追従制御則、超音波センサを利用した未知障害物回避動作へのリアルタイムな切替えにより構成される。この移動制御システムにより、家庭内環境で障害物を避けながら、目標点までのスムーズな移動を実現した。

In order to work as a moving type service robot providing such services as coming to a user's place, patrolling inside a house, etc., a home robot needs basic movement functions so as to recognize its self-position and go to a specified place while avoiding obstacles.

Toshiba has developed some advanced modules for locomotion control of the ApriAlpha™ robotic information home appliance, to realize these basic movement functions. The locomotion control system of ApriAlpha™ consists of the modules of path planning, route and trajectory generation, trajectory tracking control, obstacle avoidance control using ultrasonic sensors, and self-position recognition. The constructed locomotion control system enables the robot to move to the desired point smoothly.

## 1 まえがき

人々がホームロボットに期待する機能には様々なものがある。東芝は、ホームロボットの一つの形として、家の中で人と家庭内機器をつなぐ仲立ちとしての働きを持つヒューマンマシンインタフェースロボットを考え、ロボット情報家電 ApriAlpha™ を開発した。ApriAlpha™ は、①音声認識・合成による対話や画像処理によるユーザーの顔認証などを活用したユーザーとのコミュニケーション機能、②ホームネットワークや赤外線リモコンを介して家庭内情報機器との連携や家電操作などを行う通信機能、③ユーザーのそばにやってきて、あるいはユーザーのいない所へ行って前記①②の機能を実施するための移動機能、の三つの基本機能を備えている。三番目の基本機能である室内の移動機能を備えることで、ユーザーはホームロボットの前者二つの基本機能を家の中のいろいろな場所で利用できるようになり、利用範囲の拡大からその魅力が増大する。

ApriAlpha™ では、ユーザーに呼ばれたら近くへ来る、ユーザーについて行く、ユーザーの留守中に自動的に巡回動作したり外出先からの遠隔指示により指定場所へ行くといった移動型ホームロボットとしての機能を実現するために、家庭内で自身の位置を正確に把握し、目標点まで障害物を避けながらきちんと移動することができる、基本移動機能を

備えた移動制御システムを構築した。

ここでは、ApriAlpha™ の移動制御システムを構成する各移動制御モジュールについて述べる。

## 2 ロボット情報家電 ApriAlpha™ の基本移動機能

ロボット情報家電 ApriAlpha™ は、呼びかけた人のそばへ移動して各種サービスを提供したり、家の中のあらかじめ設定された監視ポイントを自動巡回するといった室内の移動動作を実現する。このために、車輪による移動方式を採用している。近年、二足歩行のロボットが数多く登場してきた。階段の昇降などを考えると、移動方式としては車輪移動より二足移動のほうに軍配が上がる。しかし、最近では家庭内のバリアフリー化により段差が減ってきており、移動範囲を同一階に限定すれば、車輪移動ロボットでも十分な移動性能が得られる。ApriAlpha™ では、車輪移動により障害物を回避する安全でスムーズな移動を主眼としている。

ApriAlpha™ の移動方式としては、左右2輪独立駆動方式の移動機構を搭載した。この駆動方式は、図1に示すように左右2輪の速度差を利用してロボット本体の舵(かじ)取りを行うものであり、複雑な制御が不要で、制御性に優れた方式である。ここで、ロボット本体の並進速度  $dx$ 、回転速度  $d\theta$  を得るための左右車輪の速度  $V_L$ 、 $V_R$  は次式で求められる。

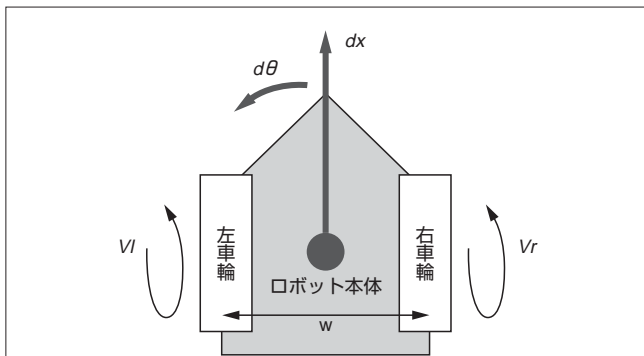


図1. 左右2輪独立駆動移動方式 — 左右2輪の速度差を利用して、ロボット本体の舵取りを行う駆動方式である。

Mobile robot with two independently driven wheels

ただし、 $w$ は左右車輪間距離である。

$$\begin{pmatrix} V_l \\ V_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & w/2 \\ 1 & -w/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx \\ d\theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

ホームロボットが備えるべき基本移動機能は、室内環境において、現在位置から指定された目標位置まで確実に移動できることである。そのためには、指定された目標位置へ至る経路を生成し、その経路に沿って障害物を避けながらロボット本体を移動させることになるが、その処理の流れは図2のようになる。目標位置の座標値が決定されると、既知の障害物の存在位置が記載された環境地図を利用した移動

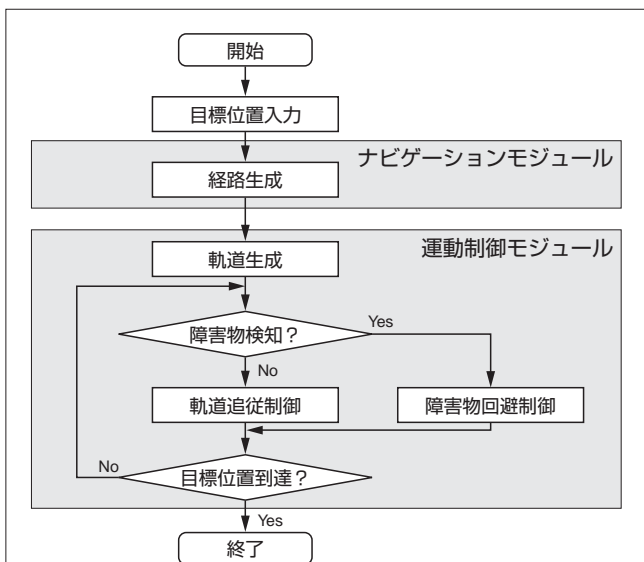


図2. ApriAlpha™ 移動制御のフローチャート — ApriAlpha™が現在位置から目標位置まで移動する際の処理の流れを示す。まず、指定された目標位置へ至る経路が生成され、次いでその経路に沿ったロボット本体の追従制御が行われる。

Flowchart of locomotion control system of ApriAlpha™

経路生成、動作目標軌道生成が行われ、ロボット本体の目標軌道への追従や未知障害物をリアルタイムで回避するための左右車輪の回転指令値(回転速度指令値)を生成する軌道追従制御、障害物回避制御が実施される。また、最後に目標位置へ到達したかを判断する処理が実施される。経路生成までの処理を行う部分をナビゲーションモジュール、それ以降の部分を運動制御モジュールと呼んでいる。

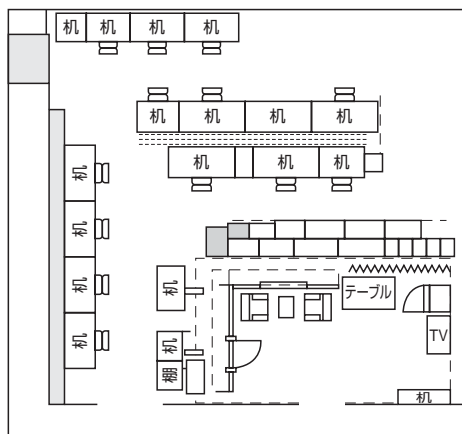
### 3 ロボット情報家電 ApriAlpha™ に搭載した移動制御モジュール

ロボット情報家電 ApriAlpha™ の移動制御関係のモジュールは、現在地から目的地までの移動経路を生成するナビゲーションモジュールと、ナビゲーションモジュールが生成した移動経路に沿ってロボットの動作を制御する運動制御モジュールで構成されている。ここでは、ApriAlpha™ に搭載した移動制御関係の二つのモジュールについて述べる。

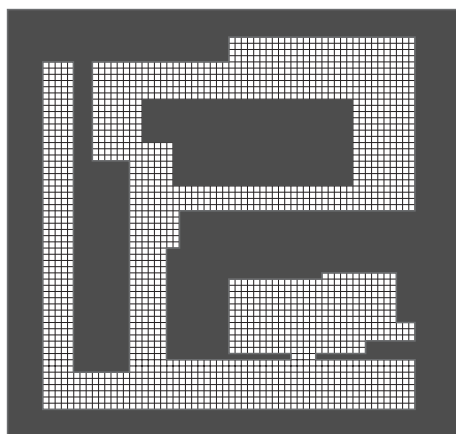
#### 3.1 ナビゲーションモジュール

ナビゲーションモジュールは、ロボットが動作する環境を表現した環境地図の情報を利用し、ロボットの現在位置から目標位置までの最短経路を探索により求めて生成する。図3は、ある室内環境の地図と、それを表現した移動ロボットのための環境地図である。室内には、図3(a)に示すような机や椅子、パーティションなどが多数配置されており、その間に人やロボットが通行可能な通路やフリースペースが設けてある。この、人やロボットが通行可能な領域と通行不可能な領域を表現したのが図3(b)に示す環境地図であり、白色の部分が障害物が存在しない通行可能領域、黒色の部分が障害物が存在する通行不可能領域である。図中の通行可能領域は小さな格子で仕切られているが、この格子は一つ一つが実環境内の1辺が20 cmの正方形領域を示しており、それぞれの場所は二次元の座標値の形で管理されている。

ロボットは、このような形で動作領域の状況を記録した環境地図(格子点地図)を内部に持ち、これを用いて目的地までの移動経路を自動生成する。例えば、図4は図3の環境の右下部分でロボットの移動経路を自動生成した結果を示しているが、図中に示されるように、ロボットの現在位置A点から目標位置B点までを結んだ直線経路が通行不可能領域と交わる部分については、通行不可能領域の周囲を回りこんだ経路の探索を行い、最終的になるべく少ない数の直線の経路に置き換えることで、最短の折れ線経路を生成する。このように、移動経路探索においては、障害物の周囲を回りこんで探索を行う手法を導入し、目標点までの確実な経路生成を実現した。生成した移動経路を実際にロボットの目標経路として利用する際には、更に折れ線部に円弧軌道を挿入し、直線と円弧で構成された滑らかな移動経路を生成して用いる。



(a) 室内地図



(b) ロボット的环境地図例

図3. ロボットのナビゲーションのための地図 — ロボットが動作する環境の室内地図 (a)と、ロボットが移動経路を生成する際に利用する環境地図例 (b)を示す。障害物の有無による通行不可能/可能領域が記載されている。

Map for robot navigation

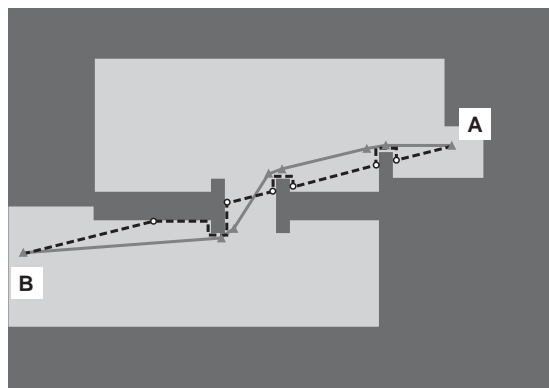


図4. 移動経路の生成 — A点からB点へ至る、障害物領域を回避した移動経路が自動生成される。

Mobile robot path generation

### 3.2 運動制御モジュール

運動制御モジュールは、ナビゲーションモジュールが生成した移動経路に沿ってロボットを動作させる。通常は軌道追従制御によって動作するが、未知の障害物が検知されると、障害物回避制御に切り替わる。

**3.2.1 軌道追従制御** ナビゲーションモジュールにより生成された移動経路に沿ってロボット本体を動作させるためには、各時刻ごとのロボットの目標値時系列データの形で動作目標軌道を生成し、それに対するフィードバック制御で目標軌道への追従動作を行う。ApriAlpha™では、動作目標軌道の目標値時系列データとして、動作領域平面内の本体位置・姿勢時系列データを用い、(2)式に示す動作領域平面内で作業座標フィードバック制御をかけた。これによって、動作領域平面内でのロボットの直接的な位置・姿勢制御が

可能となり、絶対位置・姿勢誤差の修正が容易に行え、位置・姿勢の誤差を小さく抑えられるようになる。

$$V_{i+1} = V_i + f(dx, dy, d\theta) \quad (2)$$

ここで、 $V = [V_L, V_R]^T$ は、(1)式の左辺と同じロボットの左右車輪の速度、 $V_i$ は現在速度、 $V_{i+1}$ は次の制御周期における目標速度、 $f()$ は追従制御量算出関数、 $dx, dy, d\theta$ は目標位置姿勢と現在位置姿勢の偏差である。

**3.2.2 障害物回避制御** ナビゲーションモジュールは、環境地図情報を利用して通行可能領域内で現在位置から目標位置へ至る移動経路を生成するが、通行可能領域内には障害物が一時的に置かれたりその設置場所が変更されることもあり、必ずしも障害物がすべて環境地図内に記述されているとは限らない。このため、ApriAlpha™では通行可能領域内の未知の障害物検知のために、前方、左右、及び

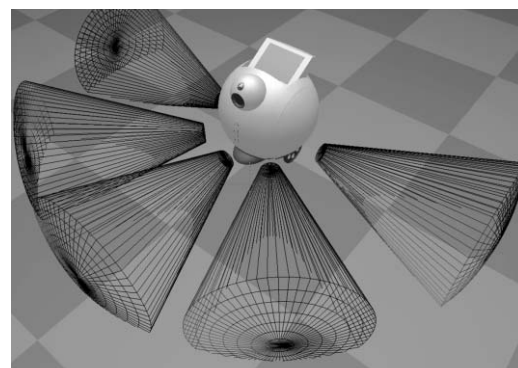


図5. 超音波センサによる障害物検知 — ApriAlpha™本体の前方、左右、斜め前方左右に超音波センサを設け、移動中に未知障害物を検知する。

Obstacle detection by ultrasonic sensors

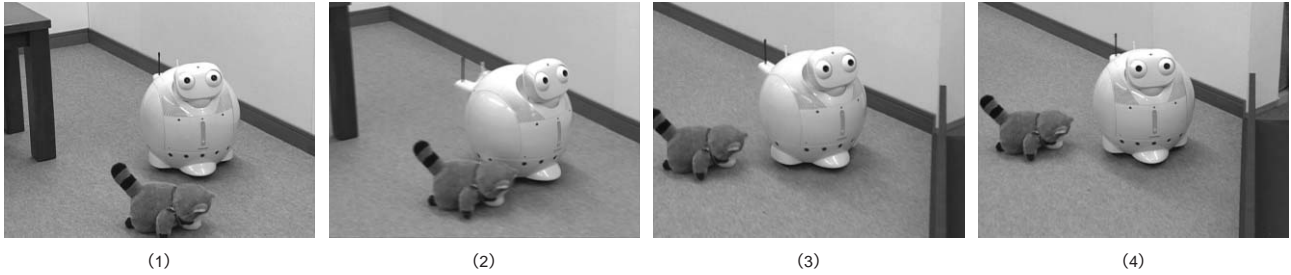


図6. 超音波センサによる障害物回避動作—環境地図に記述されていない未知の障害物(ぬいぐるみ)も、超音波センサで検知して回避動作を行う。  
Obstacle avoidance using ultrasonic sensors

斜め前方左右に超音波センサを設け、移動動作時に常に障害物の有無を検知している(図5)。超音波センサで未知の障害物が検知された場合は、リアルタイムに目標軌道への追従制御から障害物が存在しない方向へ回避動作を行う障害物回避制御へと制御則の切替えが行われ、回避動作後に再度目標軌道への追従制御が再開して本来の移動経路に戻る。障害物回避制御は、(3)式で表される。

$$V_{i+1} = V_i + g(s1, s2, s3, s4, s5) \quad (3)$$

ここで、 $g()$ は回避量算出関数、 $s1, s2, s3, s4, s5$ は各超音波センサの障害物検出距離である。図6は、ApriAlpha<sub>TM</sub>が床に落ちているぬいぐるみを超音波センサで検知し、回避動作を行っているようすを示している。このように、環境地図に記述されていない未知の障害物に対しても、超音波センサでそれを検知し、リアルタイムで回避動作を行うことができる。

**3.2.3 自己認識位置の補正** 多くの移動ロボット同様、ApriAlpha<sub>TM</sub>も自己位置・姿勢の取得は車輪の回転量をベースにしたオドメトリにより算出している。この方法では、ロボットの移動に伴い車輪と床との滑りなどの影響で、ロボットの自己認識位置・姿勢と実際の位置・姿勢の間にズレが生じるため、外部環境を利用した自己認識位置・姿勢の補正が必要になる。ApriAlpha<sub>TM</sub>は、搭載カメラによる周囲環境の認識や超音波センサを利用した周囲環境までの距離計測により、自己認識位置・姿勢を補正する機能も備えている。

## 4 あとがき

ロボット情報家電 ApriAlpha<sub>TM</sub>の基本移動機能を実現するために、本体に組み込んで構成した移動制御システムについて述べた。ApriAlpha<sub>TM</sub>は、障害物の周囲を回りこんでの経路探索による確実な経路生成や、ロボットの本体位置・姿勢レベルの軌道追従制御則を導入した位置・姿勢誤差の修正が容易な軌道追従、超音波センサを利用した未知障害

物回避動作へのリアルタイムな切替えといった移動制御の各モジュールの機能により、室内環境で障害物を避けながらの目標点への移動をスムーズに行っている。これにより、ユーザーの呼びかけに応じてそばへ移動したり、あらかじめ設定された経路に沿った、あるいは遠隔操作による室内移動といった、基本的な移動機能が実現された。しかし、一般家庭内環境にはちょっとした段差が存在したり、ユーザーの持ち運びによりロボット自身の位置が変えられてしまうといったこともあり、家庭内でいつでもどこへでも行ける移動機能の実現には、更なる移動制御システムの性能向上が必要である。家の中で自由に動き回れるロボットの実現を目指して、今後とも研究開発を推進する。

## 文献

- (1) 山本大介,ほか. ロボット情報家電コンセプトモデル ApriAlphaの開発 - 機能概要および移動制御について - . 第21回日本ロボット学会学術講演会, 1E27, 2003 (CD-ROM).



吉見 卓 YOSHIMI Takashi, D.Eng.

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー主任  
研究員,工博。ロボット技術の研究・開発に従事。日本ロボット  
学会,計測自動制御学会会員。  
Humancentric Lab.



中本 秀一 NAKAMOTO Hideichi

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー。  
ロボット技術の研究・開発に従事。日本ロボット学会会員。  
Humancentric Lab.



山本 大介 YAMAMOTO Daisuke

研究開発センター ヒューマンセントリックラボラトリー。  
ロボット技術の研究・開発に従事。日本ロボット学会,情報  
処理学会会員。  
Humancentric Lab.