

視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発（第5報）

－走行ロボット搭載のための光情報通信システム－

大村 功, 澤山 一博

Development of Autonomous Mobile Robot with Vision System (Part V)

－ Optical Communication System for Mobile Robot －

Isao OHMURA, Kazuhiro SAWAYAMA

抄 録

自律走行ロボットは自律的に経路を計画し目的地とする場所へ到達するように開発されたロボットである。この種のロボットでは走行用の軌道が存在せず障害物などによっても経路の変更が発生するため、高い自律性と自由度を維持するには無線方式での通信機能が要求される。特に屋内などの近距離通信では、法的規制のある電波通信に比較し、赤外光を利用した光無線通信方式が有利な場合が多い。

本稿では走行中におけるロボットとオペレータとの間の制御用データ伝送を行う自律走行ロボット搭載型光情報通信システムの開発について報告する。

1. はじめに

開発した自律走行ロボットは、自律的に目的地までの経路を計画し、周囲の環境認識を行いながら移動する能力を有するものである。この種のロボットでは走行用の軌道が存在せず、障害物などによっても経路の変更が発生するため、制御データの伝送などには無線通信が必要となる。

無線通信では電波を用いた方式が一般的に利用されているが、電波による通信は細部にわたる法的な規制があるほか、工場などでは電磁ノイズの影響を受けやすいなどの問題があった。

近年、オプトエレクトロニクス製品が低価格になり入手が容易になったことや通信規格の標準化、さらに通信のためのハードウェアが比較的簡単であることなどの要因により、近距離では空間伝搬光を用いた通信の利用が拡大している。このような光を用いた無線通信では、通信距離や指向性の問題、遮断による通信不能状態の発生などが問題点として挙げられるが、その反面、この性質は壁などの遮蔽物や通信方向、距離などにより容易に通信エリアを分けることができるという利点ともなっている。

本研究では建物内における自律走行ロボットの通信手段として、上記のような特徴を持つ空間伝搬光を利用した光情報

通信システム（以下、通信システムという）を開発し、自律走行ロボットへ搭載した。

本稿ではこの通信システムの詳細について報告する。

2. 通信システム

2.1 通信システムの構成

開発した通信システムは、オペレータ用のコンピュータへ接続されたホスト局、自律走行ロボットへ搭載されたロボット局、さらにこれらの間の通信の中継を行う固定局の3種類の通信局から構成されている（図1）。

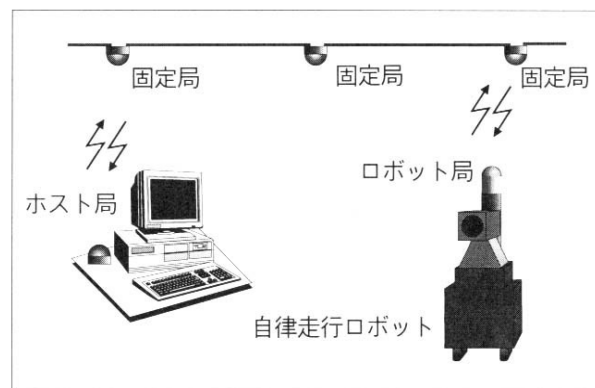


図1 通信局の種類

表1 ホスト局とロボット局の通信内容

ホスト局からロボット局への送信内容	ロボット局からホスト局への送信内容
<ul style="list-style-type: none"> ・ロボット制御用コマンド <li style="padding-left: 20px;">通信接続確認 <li style="padding-left: 20px;">発進命令および目標位置の指示 <li style="padding-left: 20px;">停止命令 <li style="padding-left: 20px;">動作状態の要求 ・通信局の通信状態の要求 	<ul style="list-style-type: none"> ・ロボット制御部からの送信要求データ <li style="padding-left: 20px;">肯定応答 <li style="padding-left: 20px;">否定応答 <li style="padding-left: 20px;">アラーム通知 <li style="padding-left: 20px;">ロボットの動作状態の報告 ・通信局の通信状態の報告 ・自局位置通知用のメッセージ

この通信システムで通信可能な範囲は固定局の設置範囲で決まり、設置された固定局と通信可能な範囲内であればロボット局は自由に移動して通信が可能となっている。実際に試作したシステムの通信局の数は、固定局が3、ロボット局が1、ホスト局が1であるが、各通信局が異なるID番号を持つことで論理的には固定局・ロボット局とも最大63の通信局を識別することが可能となっている。ホスト局は1台に限定されるが、その設置場所はロボット局同様、固定局の通信範囲内で自由に決めることが可能となっている。

ホスト局、ロボット局はそれぞれオペレータの操作するコンピュータ、自律走行ロボットの制御部へシリアル通信ケーブルを介して接続されている。また、固定局は主にホスト局とロボット局の間の通信の中継機能を持ち、自律走行ロボットの移動範囲をカバーするように天井等に複数設置される。固定局間は互いに通信ケーブルで接続され、固定局間での通信はこの通信ケーブルを経由してシリアル通信を行っている。

対象となるロボットは自律的に移動を行うため、伝送するデータは表1に示すように目的地の指示や状態のモニタなどを目的としたものである。また、ロボット局からは自局の位置を知らせるための位置通知メッセージをホスト局へ送信し、オペレータのコンピュータ上でロボット局の存在エリア

を表示するシステムとなっている。

2.2 通信システムの機能

通信システムの機能は主にデータ伝送機能と位置検出機能の2つに分けられ、これらの機能は各通信局に必要な機能を分けて搭載している。各通信局における機能を表2に示す。

(1) データ伝送機能

通信局間で伝送されるデータは送信先のID番号やデータチェック用のコードなどが含まれた形式（ここではメッセージと呼ぶ。図2）に変換され伝送されている。

ロボットの制御部からオペレータのコンピュータへデータを伝送する場合、ロボットの制御部から伝送モジュール（ロボット局）へ送られたデータは、まず、自局のID番号やチェック用コードなどを付加したメッセージとして光通信により送信される。ホスト局が通信範囲にある場合には直接通信を行うが、一般には最も近くの固定局が受信し転送処理を行う。固定局ではシリアル通信ケーブルにより他の固定局へデータを転送すると同時に、ホスト局が自局の通信範囲内にあるかチェックし、通信可能な場合には光通信により伝送を行う。シリアル通信ケーブルにより転送された他の固定局も同様の処理を行い、最終的にホスト局と通信の可能な位置に設置された固定局からメッセージの転送が行われる。

表2 各通信局の機能

	データ伝送機能	位置検出機能	その他
ホスト局	<ul style="list-style-type: none"> ・送信メッセージの生成 ・リプライメッセージの確認による送信エラーチェック ・送信エラー発生時のデータ再送信 	<ul style="list-style-type: none"> ・自局位置通知メッセージの送信（毎秒1回） ・ロボット局からの位置通知信号の受信 	<ul style="list-style-type: none"> ・通信状態要求メッセージの生成
ロボット局	<ul style="list-style-type: none"> ・受信メッセージの誤り検出 ・多重受信のチェック 	<ul style="list-style-type: none"> ・自局位置通知メッセージの送信（毎秒1回） 	<ul style="list-style-type: none"> ・通信状態要求メッセージに対する自局の状態メッセージの返信
固定局	<ul style="list-style-type: none"> ・受信したメッセージの転送 ・通信可能ロボット局の識別 	<ul style="list-style-type: none"> ・受信した位置通知メッセージへの受信経路情報の追加 	

途中経路でのエラーの発生によりメッセージが正常に届かなかった場合のために、送信側のロボット局では送信したメッセージのコピーを保持し、受信したホスト局からのリプライメッセージを待ち受ける。一定時間以内でリプライメッセージが返ってこなかった場合には、保持しておいたメッセージのコピーを再送信する。この繰返しにおいてもリプライメッセージが返ってこなかった場合には、エラーとしてロボットの制御部へ通知する。

これらの処理はホスト局からロボット局への通信においても同様の処理により伝送が行われる。

また、メッセージに付加された開始コード、データ数、データチェックコード、終了コードにより受信時にメッセージの正当性をチェックし、伝送データの信頼性を向上させている。

開始コード	送信元 ID	送信元 ID	メッセージ番号	データ数	データ	データ	チェックコード	終了コード
-------	--------	--------	---------	------	-----	-----	---------	-------

図2 送信メッセージの形式

(2) 位置検出機能

空間伝搬光による通信では遮蔽物や距離により通信範囲が限定される。このため各固定局での通信可能な範囲と、どの固定局のどの方向の受光素子で受信したかという情報を得ることでロボット局の存在エリアを検出することが可能となる。

ロボット局は位置の検出用として、通常のデータ伝送以外に、毎秒1回の位置通知用メッセージを送信している。

受信した固定局ではこのメッセージに自局のID番号と受信した受光素子番号を埋め込み、ホスト局へ転送することでロボット局の位置情報を提供するシステムとなっている。この位置情報はオペレータの操作するコンピュータ上で予め入力された固定局の設置情報と比較照合され、ロボット局の位置を数メートル程度のエリアで特定することができる。

3. システムの開発

3.1 通信モジュール

試作した光情報伝送モジュールの外観を図3に、ロボットへ搭載状態を図4に示す。また、ハードウェアのブロック図を図5に示す。

試作したシステムは通信の制御方法などを容易に変更可能とするため、機能のほとんどをソフトウェアで実現し、ハードウェア部分はできるだけ簡略化した。そのため、ハードウェア部分はホスト局、ロボット局、固定局で共有化可能となっている。

伝送モジュールは光通信回路の部分と制御用のマイコンボードから構成されている。光通信回路部は、受光素子、発光

素子とそのドライブ回路を搭載した部分で、受光素子1個、赤外LED2個からなる小モジュール7台を、中央部垂直上方へ向けて1台、その周りに等間隔で水平方向から30°上方へ向けて6台配置したものである。受光素子として受光感度の半値角が45degのもの(光電子工業製HC-377)を使用することにより、上方からの広範囲な受信を可能としている。また、発光素子は赤外LED(東芝製TLN115A)を2個一組で使用することで送信強度を上げ、通信エリア内での安定した通信を確保している。発光素子の発光強度の半値角はやや狭く21degとなっているが、複数の発光素子を利用することで全方向への同時送信を可能にしている。

通信制御部には16bitMPUを搭載したワンボードコンピュータ(梅沢無線電機(株)製UEC68K)を利用し、パラレル入出力ポートを介して光通信部を直接制御している。使用した8bitのパラレル入出力ポートのうち、光送信用に1bit、

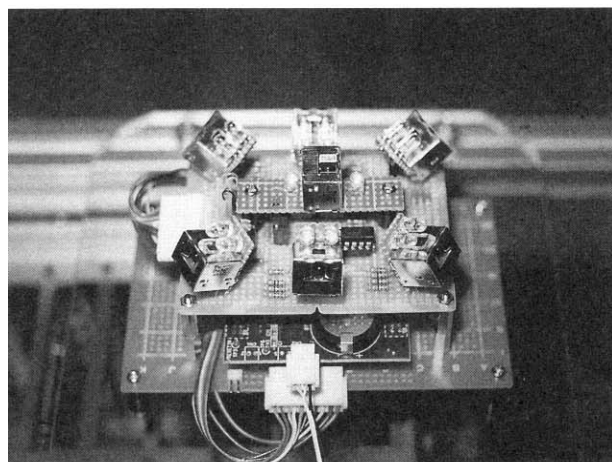


図3 光情報伝送モジュール

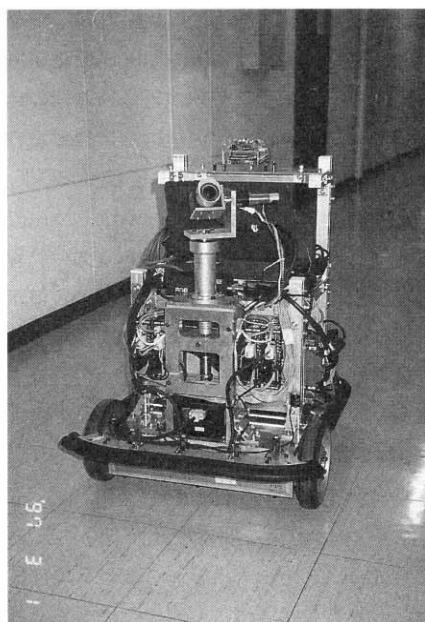


図4 自律走行ロボットへの搭載

光受信に 7bit 使用している。また、ホスト局におけるオペレータ用コンピュータとの接続、ロボット局におけるロボットの制御部との接続および固定局間のデータ転送用としてシリアル通信ポートを利用し RS-232C による通信を行っている。

光通信の伝送方法は 38kHz の変調光を用いて “0” に ON の状態を “1” に OFF を割り当てたもので、通信速度はソフトウェア処理による制限のため現在 1.5kbps となっている。なお、シリアル通信ポートの通信速度は 9.6kbps とした。

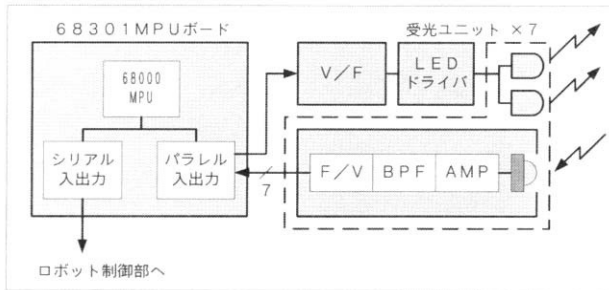


図5 伝送モジュールブロック図

る。ホスト局、ロボット局のメッセージ処理のフローチャートを図 7 に示す。

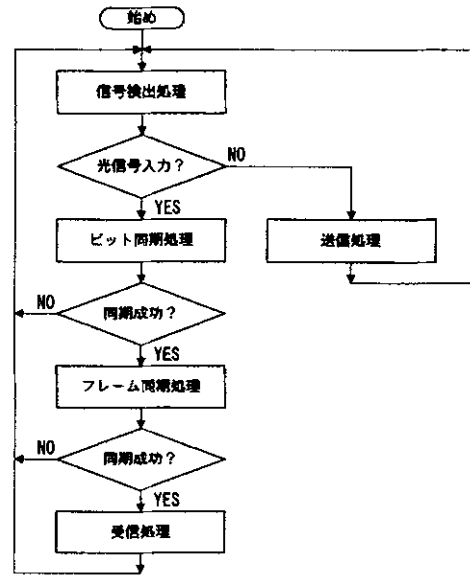


図6 光送受信処理フローチャート

3.2 通信制御プログラム

通信制御プログラムは主に以下の 4 つの処理に分けられる。

- ・光通信の送受信処理
- ・シリアル通信ポートの送受信処理
- ・位置通知メッセージの生成 (ロボット局、ホスト局)
- ・メッセージ処理

光通信における送受信処理のフローチャートを図 6 に示す。送受信処理ではタイマー割込によりビット単位での送受信をソフトウェアにより制御している。

受信処理と送信処理は排他的に動作し、受信状態にある場合には送信処理を抑制、また、送信処理中は受信処理を行わない方法を採用している。また、他の通信局からの送信信号との干渉を防ぐため、メッセージの送信前には一定時間受信状態をモニタし無信号状態を検出して送信処理を開始している。

受信処理ではビット同期処理、フレーム同期処理をソフトウェアにより行うことで、7 個の受光素子のどの素子で有効な信号を受信しているかのチェックを可能としている。メッセージの取込みは有効な素子から行い、受信後にさらに誤りチェックを行って有効な受信メッセージだけを採用している。

各ポートで受信したデータは一旦バッファリングされ、メッセージの種別、送信先の ID がチェックされる。ホスト局、ロボット局では通信状態確認用のメッセージ以外は、すべてシリアル通信ポートと光通信との間の転送である。固定局ではメッセージの種別や送信先 ID により転送先や処理が異なる。

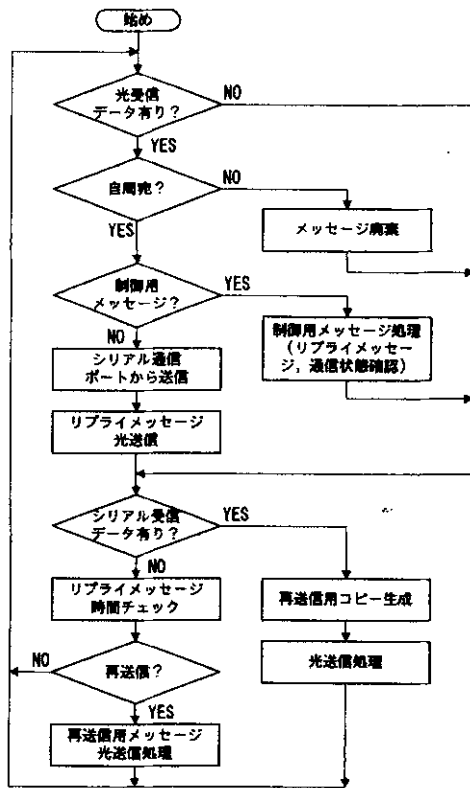


図7 ホスト局・ロボット局におけるメッセージ処理

ホスト局、ロボット局のメッセージ処理では、送信時の再送信用メッセージのコピーの保持、リプライメッセージの監視、受信時のリプライメッセージの生成などにより前述したエラー処理を行っている。

なお、メッセージは2バイトの開始コードと送信先ID、送信元ID、メッセージ番号、データ数、データ、チェックコード、終了コードで構成し、チェックコードは送信先ID以降、データ部までの加算値の下位8bitを使用している(図2)。

3.3 オペレータ用コンピュータでの処理

オペレータ用のコンピュータに搭載した通信処理では以下の3つの処理を行っている。

- ・キー入力されたコマンドの伝送
- ・ホスト局で受信されたメッセージの取り込みと表示
- ・ロボット局からの位置通知メッセージによる位置表示

位置表示は受信した位置通知メッセージに含まれる経路情報から、ロボット局の存在エリアを画面にマップ表示するもので、毎秒1回の位置通知メッセージ受信毎に更新することでロボットの現在地の確認を可能とした(図8)。位置通知メッセージに含まれる経路情報は受信した固定局とその受光素子番号で、予めコンピュータに入力されている固定局の設置位置の情報と比較することで、位置の検出を行うシステムとしている。

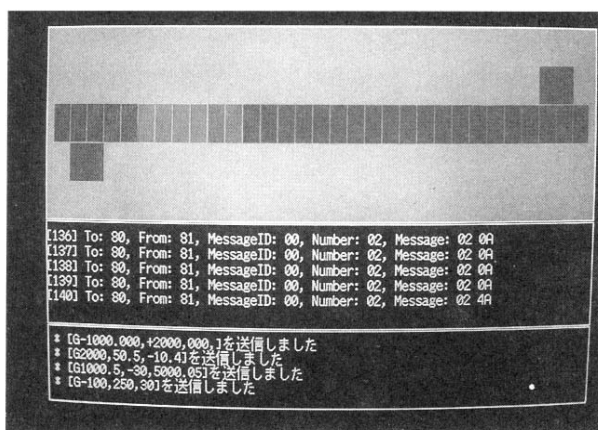


図8 位置検出機能

4. 通信試験と結果

4.1 データ伝送機能

当試験場内の廊下において、基本コマンドの通信試験およびロボット局の位置検出試験を行った。実験システムは、10m間隔で設置した2台の固定局と1台のロボット局、1台のホスト局で構成し、オペレータ用コンピュータから入力されたコマンドの伝送試験およびロボット局から送信される毎秒1回の位置通知メッセージの受信率を調べた。

この実験の結果、固定局での通信状態は、1つの固定局のカバーする範囲である5m程度の範囲でほぼ100%の伝送を確認し、固定局間の中間位置では両方の固定局での受信が確認された。また、移動時においても受信率はほぼ同じ結果が得られた。

ロボット局が静止状態での通信距離とメッセージ受信率のグラフを図9に示す。グラフでは7方向に配置している受光素子のうち、廊下の方向に沿った3方向の素子の受信率を示している。距離により各受光素子の受信率は大きく変化するが、各受光素子の和である総合的な受信率は固定局から前後5m程度の範囲でほぼ100%であることがわかる。なお、前後の受信率で差が生じているのは受光素子の設置状態や指向角のばらつきによるものと思われる。

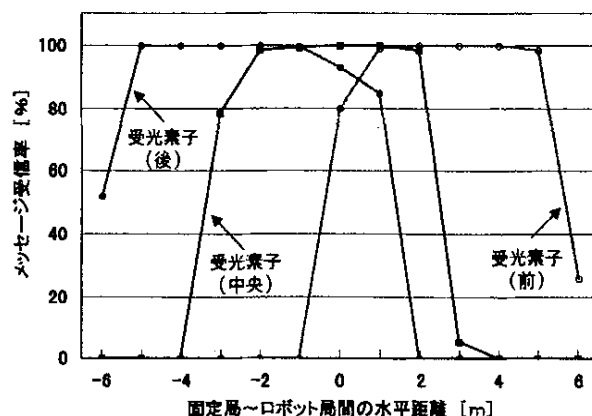


図9 距離による各受光素子のメッセージ受信率

4.2 位置検出機能

図9のグラフからわかるように各受光素子の受信状態からロボット局の存在するエリアの推定が可能であることがわかる。実験システムでは中央の受光素子の受信可能エリアを固定局直下の前後2mの範囲、前後の受光素子は直下から受光素子の向いている方向へ6mまでの範囲として、ホスト局に接続したコンピュータの画面に位置表示して実際の位置との差を検証した。ロボットの位置は表示されたエリアの中央に存在するものとして評価した。

その結果、各受光素子の受信エリアの境界などでは受信する受光素子が変動するため、表示される検出位置が変動する場合があります、この方法では実際の位置と最大±3m程度の差が出た。しかし、実際の移動ロボットではその移動速度がほぼ一定であることから、前後の位置検出結果との比較処理を行ってさらに位置検出精度を上げることが可能と考えられる。

5. 考察

実験システムではロボット局が1台に限定された環境であ

ったため、複数のロボット局が同一の通信エリアにあった場合の問題点などが十分に検討できなかった。また、広いエリアをカバーするには固定局の数や固定局間の接続の問題などがあり、今後検討が必要と思われる。

試作したシステムでは通信制御の大部分をソフトウェアにより実現したため、通信速度が十分に得られなかった。また、今回使用した受光素子は、一般的な光リモコン用受光ユニットであるため、可視光の遮断や特定の変調光（搬送波 38kHz）にのみ反応するなどの機能を持つ一方、リモコンなどの低速通信向けであるため通信速度が数 kbps に制限されている。これらの点はハードウェアの機能を向上することで対応が可能と考えられることから、今後、高速な受光素子、FPGA などのプログラマブルなデバイスを使った高速化、小型化を進めていく。

6. まとめと今後の展開

自律走行ロボット搭載を目的として光情報通信システムの開発を行い、実験により有効性を確認した。

試作したシステムは通信制御の大部分をソフトウェアにより実現したため比較的低速な通信速度となったが、位置検出機能など移動体を対象とした通信システムとして有効な機能を持つシステムとなった。

今後は通信速度の向上と固定局間の接続方法の改良などを図ることにより、さらに実用的なシステムを目指す。また、将来はハードウェアの改良により小型化、高速化を実現し、福祉など他の分野への展開も検討していく予定である。

参考文献

- 1) 吉川 毅 ほか：視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発，北海道立工業試験場報告 No.295（1996）
- 2) 吉川 毅 ほか：視覚システム搭載型自律走行ロボットの開発，東北・北海道ブロック広域共同研究「知的イメージングシステムに関する研究」平成 8 年度研究成果集（1997）
- 3) Harold B.Killen：デジタル通信技術の基礎と応用，企画センター（1991）