

自律移動ロボット群による搬送システムの実用化

村 井 亮 介* 酒 井 龍 雄* 上 松 弘 幸*
中 嶋 久 人* 三 谷 宏 一* 北 野 齊*

Practical Design and Use of Transfer System by Autonomous Mobile Robot Group

Ryosuke Murai*, Tatsuo Sakai*, Hiroyuki Uematsu*,
Hisato Nakajima*, Koichi Mitani* and Hitoshi Kitano*

We have developed the transfer system that consists of autonomous mobile robots and the multi-robot controller that controls these robots. One of the feature of this system is the efficiency improvement of transportation that has been achieved by the hybrid control with the individual intelligence of autonomous mobile robot and the entire intelligence of multi-robot control. By introducing this system, a space for the belt conveyer can be reduced, person's traffic line can be secured, and the risk that the entire transfer system stops due to the trouble by only one sensor can be reduced. Moreover, it is possible to correspond to layout changes because the track construction is unnecessary, and the system can be available where the person exists in the transfer area. This system was introduced into BML, INC. as "Blood samples transportation robot system", and these features were proven to be effective by keeping really operating 24 hours. In this paper, the practical use of the developed system is described.

Key Words: Mobile Robot, Multi-robot Control, Blood Samples, Transport Efficiency, HOSPI-AL

1. は じ め に

少子高齢化の進展に伴い日本の人口構造が変化し、全人口に占める労働力の割合が減少しつつある。そのため、製造業からサービス業に至るまで多方面の産業でロボット技術による省力化や生産性の向上が期待されている。特に搬送作業の自動化への要求は、搬送自体が付加価値を生まないことや、人的資源を他の人にしかできない作業に割り当てたい要望があるため、今後、より一層高まるものと考えられる。

このような背景のもと、筆者らはこれまで搬送の自動化を目的とした自律移動ロボットの開発と実用化を進めてきた。このロボットの特徴は、自身で経路を生成し、自己位置を認識しながら移動するため、環境へのガイド等の設置が不要であり、無軌道で走行できることにある。また、人や障害物を避けて走行できるため、人がいる場所でも継続して走行することができる。2005年3月には病院内自律搬送ロボット「HOSPI [1] [2]」として岡山市の心臓病センター榊原病院に2台納入し、現在も薬の搬送に用いられている。HOSPIはエレベータの自動乗降を含め、高度な自律移動技術の日本における第1の実用例となっている。

一方、工場などにおける搬送作業は、大量生産の時代にはベルトコンベアを使ったシステムが中心であったが、多品種少量生産の時代に移り、よりフレキシブルなシステムとして無人搬送車（AGV[†]など）が導入されるようになった。このAGVを用いるとき、時間当たりの搬送量を増やそうとすると、AGVの台数を増やさなければならず、AGV同士の相互干渉を避けるための動作計画が必要となる。そのための研究も盛んに行われるようになった[3]～[7]。これらの研究には、すべてのAGVを統括管理する制御部が存在する集中管理制御方式や、各ロボットが個別に動作を決定して全体として効率性を高める方式である分散制御方式がある。集中管理型のシステムでは搬送システムの規模が大きくなると、多くの搬送要求への対応やAGVの走行管理が必要となるため、制御アルゴリズムが複雑になっていく。また大規模化などにより計算時間が増大して頻繁な搬送要求への対応が難しくなり、またそのアルゴリズムは複雑なものとなるため適用対象も限定されてしまう。分散管理型のシステムでは、各ロボットが周囲の状況を認識するために十分な手段や、関係するロボット間でのデータのやりとりや動作について詳細なルールが必要となる。

さらに、AGVを利用した搬送システムではガイドの設置が必須であるため、レイアウト変更時にはこのガイドの配置も変更する必要がある。搬送システムとして十分にフレキシブルで

原稿受付 2008年12月22日

*パナソニック電工株式会社

*Panasonic Electric Works Co., Ltd.

■ 本論文は有用性で評価されました。

[†]Automated Guided Vehicle

あるとは言い難い。

そこで本論文では、目的地を指示されるとあらかじめ記憶した地図情報を用いて目的地までの経路情報を生成し、その経路情報を辿って、途中障害物を検知すれば必要に応じて回避しながら移動する個々のロボットが実行する局所的制御戦略と、工程全体を見て各ロボットに目的地への移動や、交通整理のための停止や行先変更などの指示を与えるために設けた統括管理部の実行する大局的制御戦略とのハイブリッド方式により、ロボットおよび統括管理部のどちらにも複雑な制御アルゴリズムなどを用いることなく、効率的で、レイアウト変更にも柔軟に対応可能な搬送システムを提案する。

次章以降、まず搬送システムを導入した血液検査工程の概要を説明し、その工程における従来の課題を述べる。次に提案する搬送システムの概要とそのシステムを血液検査工程において実用化した血液検体搬送ロボットシステムについて述べ、上記の局所および大局的制御戦略について説明する。最後にその運用実績を示し、まとめを述べる。

2. システムを導入した搬送工程

システムを導入した対象の血液検査工程では、医療機関から血液など検体を集荷し、分析装置と搬送ラインを組み合わせた分析ラインを用いて臨床検査を行っている。検体は検査の前工程で処理され、100 または 200 検体ずつトレイに収納される (Fig. 1)。これらのトレイは検査工程に人手で運ばれ検査が実施される。血液の検査は夜間に実施され、明朝までに検査を終了して医療機関へ回答しなければならない。以下、従来の検査工程の概要と、その課題について述べる。

2.1 従来の検査工程の概要

従来の検査工程のイメージを Fig. 2 に示す。人手で前工程から搬送された検体トレイはストッカーと呼ばれる装置に投入されるとトレイから数本ずつ切り出され、ベルトコンベアによって分析装置に搬送される。分析装置で分析済みの検体は再びベルトコンベアによって搬送され、回収される。

2.2 従来の検査工程の課題

従来の工程ではベルトコンベアを用いていたため、下記の問題があった。

- ベルトコンベアの一部に異常が発生した場合、ベルトコンベア全体が停止し、下流へ検体が流れず検査がストップしてしまう
- ベルトコンベア設置のためのスペースが必要となる
- 人の動線が寸断される
- レイアウト変更にも柔軟に対応することは困難である

一つ目の問題は、例えばベルトコンベアは要所要所にセンサを搭載しているが、そのうちの一つでも故障すればコンベア全体が停止し、下流に検体が搬送されずに検査作業に大幅なロスが生じることである。これは検査結果の回答が遅れるリスクを常に抱えていることとなる。

二つ目の問題は、省スペース化が困難となる。

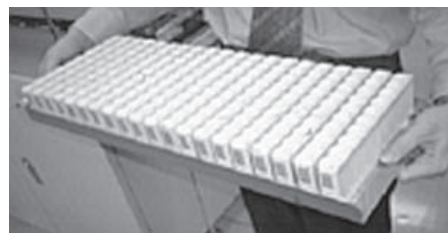


Fig. 1 Specimen material

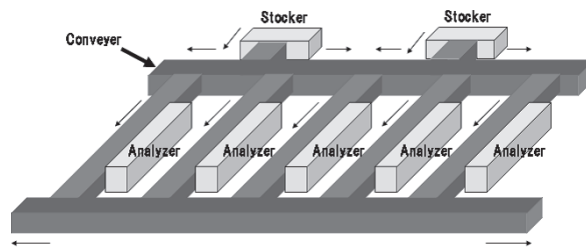


Fig. 2 Transfer system using belt conveyor

三つ目の問題は、分析装置への検査薬の補充やベルトコンベアや分析装置に異常が発生した場合、人のアクセスが困難となり、作業やトラブル復旧に時間がかかる。

四つ目の問題は、検査項目の変更や検査検体量の変動によって検査装置を変更、あるいは増設・撤去しようとした場合に、ベルトコンベアをいったん撤去してから再設置する必要があり、コストと時間がかかる。これは AGV を用いた場合にも軌道に関して同様のことが言える。

3. 搬送システムの概要

3.1 提案する搬送システムの概要

提案する搬送システムの構成を Fig. 3 に示す。統括管理部による大局的な制御戦略と、自律移動ロボットの局所的な制御戦略とのハイブリッドにより、統括管理部と各ロボットに複雑なアルゴリズムが必要ないことが特徴である。統括管理部は設備からの搬送要求と各ロボットの状態からあらかじめ設定した条件に基づいてロボットを選択して、その設備への移動指示を与える。ロボットは目的地を指示されると経路を生成して移動を開始し、自身のセンサで取得した情報により障害物回避や自己位置の補正を行いつつ走行を行う。またロボットが移動している間統括管理部は各ロボットの位置を把握し、経路が交差する場合に発生するロボット同士の回避動作の防止や、デッドロック[†]発生時にその状態を解消するための指示をロボットに出す。

3.2 血液検体搬送ロボットシステム

血液検体搬送ロボットシステムのイメージを Fig. 4 に示す。従来のベルトコンベアでの搬送を自律移動ロボットで置き換えた。工程内には次に示すような設備がある。

- スタートストッカー：前工程から運ばれてきた検体の集積
- エンドストッカー：分析後の検体の回収
- 分析装置：検体の分析
- 自律移動ロボット：血液検体の搬送
- 自動充電装置：自律搬送ロボットの充電
- 群制御装置：ロボットの制御、監視

[†] ここで述べるデッドロックはあるロボットが他のロボットが障害となり移動できない状態を指す。

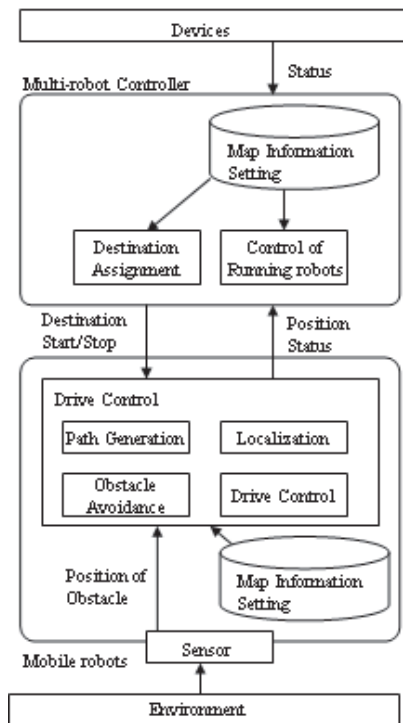


Fig. 3 Transfer architecture

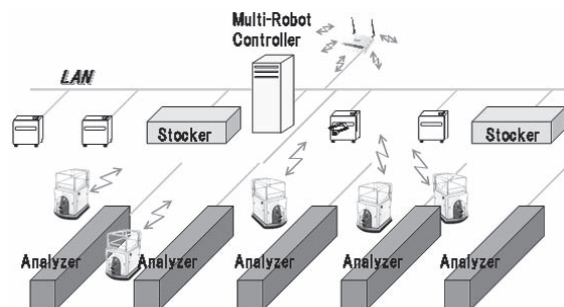


Fig. 4 Transfer system using robots

各設備の情報は有線 LAN を用いて、ロボットの情報は無線 LAN を用いて群制御装置が取得できるようになっている。これらの設備およびロボットの情報を利用して、群制御装置は個々のロボットに目的地までの移動や、作業の指示を行う。

3.3 搬送の流れ

本システムによる搬送の流れを示す。スタートスタッカーに検体がセットされると、群制御装置はそのスタッカーへ移動させるロボットをあらかじめ設定した条件を参照して抽出し、そのロボットにスタッカーへの移動を指示をする。指示を受けたロボットはスタートスタッカーへ移動したのち、検体を受け取る。そして群制御装置はそのロボットが向かうべき分析装置を選択し、ロボットにその分析装置への移動指示を出す。指示を受けたロボットは分析装置まで移動したのち、検体を分析装置へ投入する。分析装置からエンドスタッカーへの搬送も上記と同様に、群制御装置からの指示に基づいてロボットが行う。

[†]Laser Range Finder

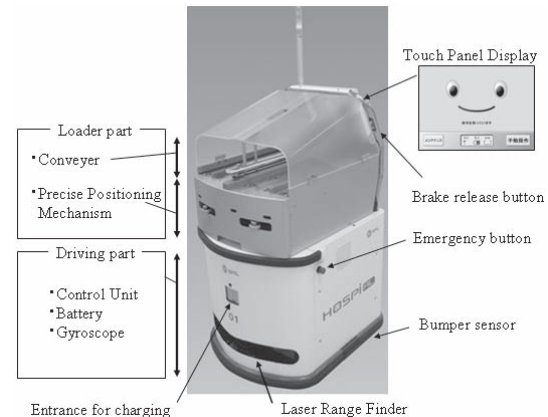


Fig. 5 Hardware organization

Table 1 Specifications of autonomous mobile robot

Dimensions	600 [mm](W) × 755 [mm](D) × 1,088 [mm](H)
Weight	150 [kg]
Maximum Velocity	1.0 [m/s]
Controlled axes	2 motors for Driving 2 motors for positioning of loader 1 motor for delivery of blood samples 1 motor for lock of blood samples
Battery	2 lead batteries with a charging time of 8 [h]
Operation time	over 7 [h]
Sensors	1 Laser Range Finder Bumper sensor 1 Gyro sensor
Installed luggage	2 trays 20 [kg]

以下では、この自律移動ロボットの動作を実現している自律移動技術と、群制御の各ルールについての説明を行う。

4. 自律移動ロボット

筆者らはこれまで自律移動技術を応用し、前述の HOSPI や愛知万博での自律移動清掃ロボット “SuiPPi [8] [9]” などを開発してきた。今回、これらのロボットにおいて蓄積してきた自律移動技術に加え、自動で搬送物を受け渡す機能と、自動充電機能を追加して HOSPI-AL [10] として進化させた。以下、HOSPI-AL の特徴を述べる。

4.1 構成

HOSPI-AL のハードウェア構成を Fig. 5 に、基本仕様を Table 1 に示す。HOSPI-AL は自律移動するための駆動部と、検体を自動で受け渡すローダー部から構成されている。駆動は独立 2 輪で、電源には鉛蓄電池を用いている。HOSPI-AL では外界センサとして LRF[†]一つとバンパーだけをもつ。これは、HOSPI-AL は工程内の限られた環境の中で動き、かつ運用者が限定されているからである。センサの構成は利用する環境に応じて変更することは可能であり [11]、例えば HOSPI や SuiPPi では超音波センサや段差検出センサ等を搭載して、移動環境に存在する障害物や床面の凹凸に対して安全性を確保している。

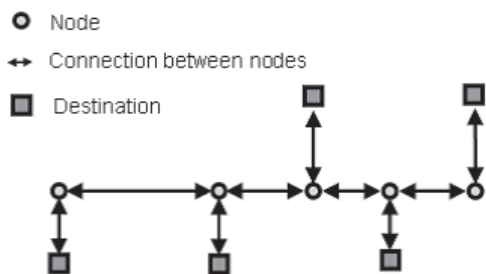


Fig. 6 Map Information

4.2 自律移動技術

HOSPI-AL は、群制御装置より移動指示を受けると、記憶している地図情報を用いて指示された目的地までの経路を生成して移動を開始し、自己の位置の認識および途中に存在する障害物の検知や回避をしながら目的地へ向かう。本章では目的地までの経路生成方法と、走行中の位置認識方法と障害物回避方法について述べる。

4.2.1 経路生成

HOSPI-AL は目的地を指示されるとあらかじめ記憶している工程の地図情報に基づいて経路を生成する。地図情報は、目的地の位置と走行経路上に設けられたノードおよびノード間の結合から構成されている。地図情報のイメージを Fig. 6 に示す。経路の生成は現在地点から目的地までの最短経路を各ノード間の距離をコストとして A* の理論により求める。

4.2.2 自己位置認識

HOSPI-AL はある位置・方向からの移動量を、エンコーダで検出した車輪の回転量と、ジャイロセンサで検出したロボット本体の回転とから演算して自己の位置・方向を推定している（デッドレコニング）。しかし、デッドレコニングだけでは車輪のすべり等によって誤差が累積し、その推定位置が不正確になる。そこで HOSPI-AL はあらかじめ線分として認識できる壁や、環境に配置したリフレクタマークの位置を、走行環境に設定した座標軸上の座標として記憶して、地図情報として保有している。走行中に線分またはリフレクタマークを認識すると、その線分またはリフレクタマークを取得するための LRF データを取得した位置 (X_e, Y_e, θ_e) から地図上の線分またはリフレクタの位置を求め、記憶している地図情報とマッチングさせるための変化量 $(\Delta X, \Delta Y, \Delta \theta)$ を求める。その変化量で位置を $(X_e - \Delta X, Y_e - \Delta Y, \theta_e - \Delta \theta)$ に補正する。(Fig. 7, 8)。ただし、線分による位置認識において、一つの線分しか検出されない場合には、検出された線分と地図情報の線分との方向とオフセット分のみ補正する (Fig. 9)。

本ロボットが動作する環境には、人や台車などの動的障害物存在するが、ここで用いた自己位置補正では、LRF のデータを処理して得られるあらかじめ設定した長さ以上にラインや、搭載した LRF の光線の反射光のうちある強度以上で観測されるものを用いており、工程内に入入する人や動的な障害物には、長いラインとして検出されるものや、反射率の高いものがなく、誤認識することはない。

4.2.3 障害物回避

HOSPI-AL は進行方向に障害物を検出した場合、その障害物

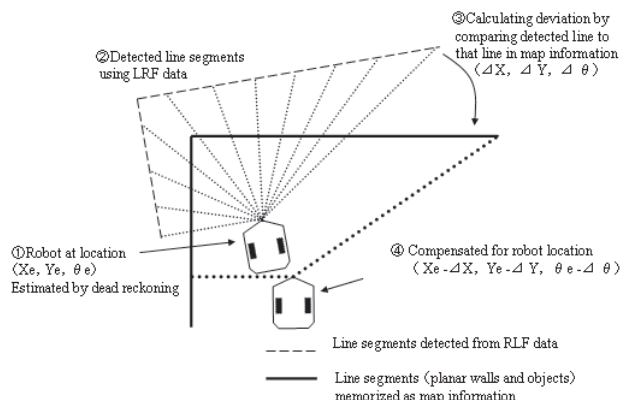


Fig. 7 Localization with line segments detection

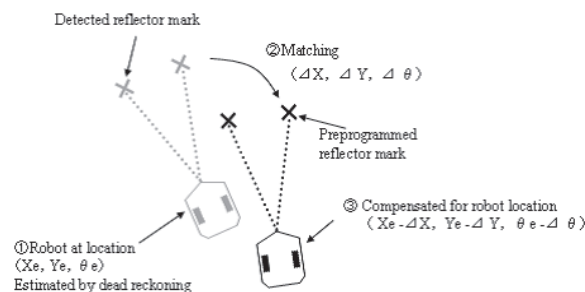


Fig. 8 Localization by detecting reflectors

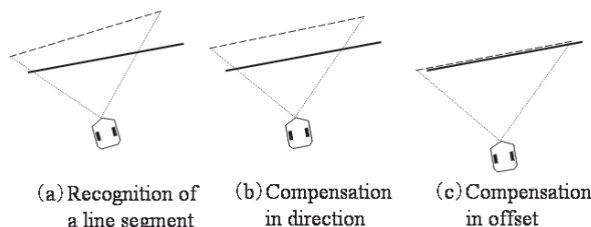


Fig. 9 Compensation with one line segment

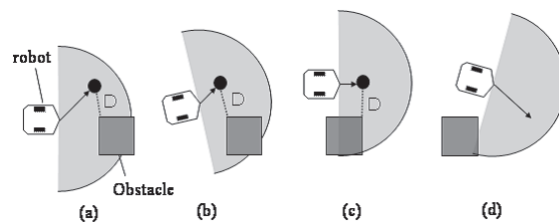


Fig. 10 Obstacle avoidance

を回避して移動する。障害物回避のアルゴリズムは多く研究されているが [12]~[14], HOSPI-AL では、認識している障害物情報より HOSPI-AL の通過できる距離 D だけ離れた地点に仮の目標点を生成して (Fig. 10 (a)) その地点へ向かって移動し、以後この点を連続的に生成することにより障害物を回避して移動する手法を用いている [8]。

4.2.4 AGV に対する移動効率の優位性

上述の移動機能により、HOSPI-AL は Fig. 11 に示すように、ロボット同士のすれ違いや、停止しているロボットの追い越しが可能である。従来の AGV を用いた搬送では、AGV 同士

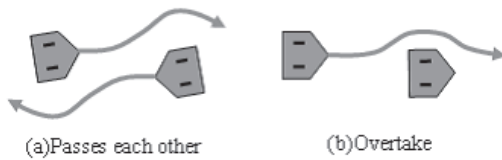


Fig. 11 Obstacle (robot) avoidance



(a)



(b)

Fig. 12 Appearance of automatic battery charger

が向かい合って移動する場合には一方を停止させる必要があったり、前方を移動する AGV が停止している場合にはその後ろを走行する AGV も停止する必要があった。AGV を自律移動ロボットで置き換えることにより、より効率のよい移動が実現できる。

4.3 自動受渡機能

ロボットと設備との間で検体を受け渡しする場合、 ± 3 [mm] 以下の精度でドッキングする必要がある。それに対して HOSPI-AL の停止誤差は最大 ± 30 [mm] であるため、これを補正してドッキングする必要がある。そのため、ローダー部にこの誤差を補正する機能を設け停止誤差が発生した場合でも検体を確実に受け渡しすることができるようにした。

4.4 自動充電機能

システム全体で 24 時間の連続自動稼働を実現するためには、個々のロボットを自動で充電する必要がある。そこで HOSPI-AL に自動で充電するための機構を設け、自動充電装置も開発した。自動充電装置の外観を Fig. 12 (a) に、自動充電装置と HOSPI-AL がドッキングしている様子を Fig. 12(b) に示す。HOSPI-AL が自動充電装置前に到着すると、自動充電装置は、充電コネクタを先端に付けたパンタグラフの左右の位置決めをしたあと、そのパンタグラフを伸ばして充電コネクタをロボットの充電機構に接続し充電を行う。

5. 群制御システム

群制御装置は、工程全体の状況を把握して、各ロボットに目的地を指示する。以下ではその主な機能について記載する。

5.1 全体の制御の流れ

群制御装置における全体の制御の流れを Fig. 13 に示す。制御周期ごとに群制御装置は工程全体から情報を収集し、その情報に基づいてあらかじめ設定された条件を参照してロボットに移動の指示を出す。また工程内の自律移動ロボットの移動を監視し、ロボット同士の経路の交差の防止や、デッドロックの解消などを行う。

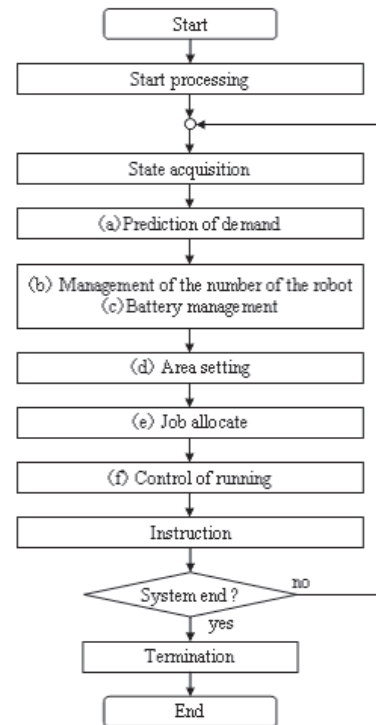


Fig. 13 Flowchart of multi-robot control

5.2 搬送要求予測機能 (Fig. 13 (a))

群制御装置は、設備の搬送要求に基づいてロボットの行先設定を行うが、設備からの搬送要求を取得してからロボットに移動の指示を与えると、ロボットが設備まで移動している時間が待ち時間となってしまふ。そこで、各設備より検査済みの検体数を取得し、その数から搬送要求が出るタイミングを予測する。

5.3 稼働ロボット台数管理機能 (Fig. 13 (b))

血液検体の物量の変化に伴い、時々刻々と搬送作業に必要なロボットの台数は変化する。そこで、群制御装置は必要なロボット台数を判断して、それ以上の台数のロボットが稼働している場合、充電を行うように指示する。必要以上の台数でロボットが稼働しているという判断は、ロボットが待機している時間で判断し、稼働しているロボットが不足しているという判断は、搬送要求を出している設備の要求時間で判断する。

5.4 自動充電制御機能 (Fig. 13 (c))

ロボットはバッテリー駆動のため、その容量により稼働時間には制限がある。さらに、ロボットでは鉛蓄電池を用いており、充電に稼働時間とはほぼ同様の時間を要する。したがって、システム全体として稼働時間を伸ばすためには、搬送に必要な台数を稼働させつつ、充電容量が少ないロボットがいれば交代で充電する必要がある。そのため、充電レベルによって、群制御システムはロボットへの指示の仕方を変えている。下記に電池レベルに応じた動作の内容を示す、

- レベル 4 通常稼働
- レベル 3 搬送作業が無ければ充電を行う
- レベル 2 充電を優先して行う
- レベル 1 ロボットの電源を OFF する

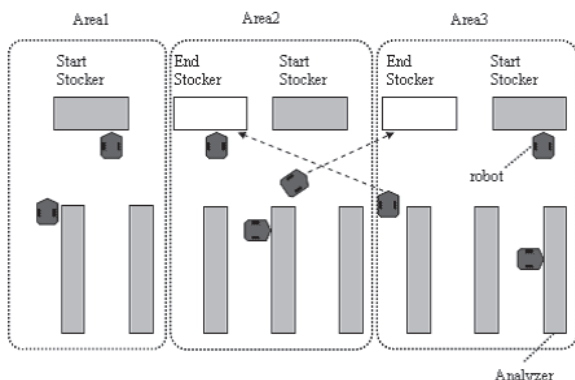


Fig. 14 Limitation of the number of the robot in area

のようにレベルを設定している。

5.5 エリア内台数 (Fig. 13 (d))

ロボットがあるエリアに密集してしまうと搬送効率が低下する。そこで密集を防止するため、工程内をいくつかのエリアに分割し、その中で稼働可能なエリア内最大ロボット数をあらかじめ設定する。その様子を Fig. 14 に示す。群制御装置はエリア内のロボット台数とエリア内最大ロボット数を比較してそのエリア内の設備へのロボットの行先設定の可否を判断する。

5.6 行先設定機能 (Fig. 13 (e))

群制御装置は、各設備やロボットの状態を把握して、上述のルールを満たす中でロボットに最適な指示を与える。これにより全体として渋滞のない最適な搬送を実現している。また、検査工程では複数の種類の検体が同時に分析されるため、ストッカーおよび分析装置に検査種別を設定し、種別に応じて搬送を行う。種別の設定は人が行う。ロボットは設備で検体を受け取る際にその種別を記憶し、群制御装置はその種別に対応した設備への搬送指示を行う。

5.7 走行制御機能 (Fig. 13 (f))

ロボットは自身に備える障害物回避機能により他のロボットを回避して移動する。しかし、ロボット同士の経路が交差している場合には、お互いのロボットを回避するのに時間を要し、搬送効率の低下の原因となる。また回避するスペースが十分でない場合、デッドロック状態となってしまう可能性がある。そこで、ロボットの交差防止機能とデッドロック解消機能を設けている。

交差防止は、Fig. 15 に示すように、お互いの経路が交差すると群制御装置が判断した場合、一方のロボットの移動を停止させる。ロボットの移動の交差は、各ロボットから通信で受け取っている現在地と向かっているノードの位置との情報から判断し、互いに向かっているノードまでの直線経路が交差する場合、交差点まで遠い方のロボットをいったん停止させ、交差が解消された時点で移動を再開させる。

また、デッドロックの解消に関する研究は、統括制御部が判断して実施する方法や、またはデッドロックが発生しないように制御する研究も行われている [15]~[17]。ここでは、デッドロックが発生してしまった場合に、各ロボットの位置、停止時間、行先から群制御装置がデッドロック状態となっているロボットを

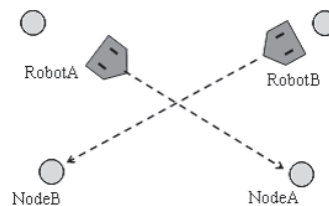


Fig. 15 Control of running

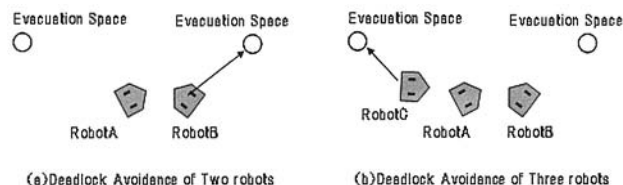


Fig. 16 Disolution for deadlock status

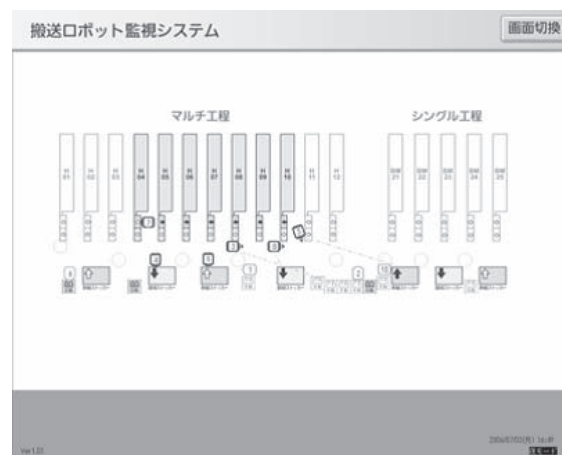


Fig. 17 Interface of multi-robot controller

判断し、そのロボットの一つを待機位置へ移動させる単純な方法により、確実にデッドロック状態を解消できる仕組みを採用する。デッドロックの解消は、一定時間の移動量が小さいロボットが一定距離（範囲）内に複数いた場合、群制御装置は、その範囲の端部にいる各ロボットについて一番近い退避場所までの距離を算出し、退避場所までの距離が一番短い上記ロボットの行先を退避場所に変更する (Fig. 16 (a))。上記方法は 3 体のロボットがデッドロックに陥った場合であっても上述の処理を繰り返し実施することにより、デッドロックの端部にいるロボットが退避場所へ移動を開始し、デッドロックを解消することができる (Fig. 16 (b))。動かなくなっていたロボットが移動を開始したことを検知したあと、群制御装置は退避させたロボットに元の行先に向かうよう指示する。

5.8 インターフェイス

各設備やロボットの状態をグラフィカルに表示し、工程全体の稼働状況を把握しやすくするため、Fig. 17 に示すようなインターフェイスを作成した。このインターフェイスでは、各設備の状態や搬送要求の有無、各ロボットの状態や搬送中のロボットの行先を一目で確認することができる。

6. システムの導入事例と評価

6.1 導入事例

提案する搬送システムを血液検体搬送ロボットシステムとして実用化し、10 台のロボットによる搬送システムと 5 台のロボットによる搬送システムを株式会社ビー・エム・エルの血液検査工程に導入した。10 台のロボットによる搬送システムは 2006 年 10 月から、5 台のロボットによる搬送システムは 2007 年 6 月から稼動しており、現在も稼動を継続している。ロボットが実際の検査工程で搬送している様子を Fig. 18 に示す。

6.2 搬送能力評価実験

6.2.1 実験条件

導入した血液検体搬送ロボットシステムの搬送能力を評価するため動作試験を行った。Table 2 に実験条件を示す。今回搬送システムを導入した血液検査工程の特徴として、夜間（22:00～8:00 ごろ）にすべての搬送を完了させる必要があり、夜間の搬送が主業務となる。それに対して、昼間は少量の検体を搬送する業務があるものの、1 台の稼働で搬送が可能である。そのため残りのロボットは充電を行い、夜間の搬送を開始する 22:00 時まで、すべてのロボットの充電を完了する。稼働している 1 台のロボットも、自動充電装置で充電中のロボットと適宜交代させることで、夜間作業開始時にはすべてのロボットが満充電に近い状態となるように充電制御を行う。夜間においても稼働時間は 10 時間と長く、必要なロボット台数を適宜判断して稼働させ、不要なロボットは充電を行う必要がある。実験では実際の搬送量の実績に基づき、夜間のピーク時には 1 時間に 10,000 検体、昼間には 1 時間に 1,000 検体を搬送する搬送計画を立て、スタートストッカーにこの搬送計画に基づいて検体トレイを投入した[†]。また、実験時間を 36 時間としているのは、ロボットが最も搬送量の多い時間に稼動して、その後充電を行い、次の日の最も搬送量の多い時間にも対応できるかを確認するためである。

6.2.2 実験結果

搬送計画と、その搬送計画に対する搬送実績を Fig. 19 に示す。Fig. 19 より、初日、2 日目とも、搬送計画を達成する搬送を行っている様子が分かる。36 時間の搬送計画を達成している。

また、実験の間中群制御装置の各ルールが適正に動作していることを確認した。

6.3 レイアウト変更

システムを導入した後、検査機器の変更や増設があり、搬送物の受け渡しを行う場所（目的地）や、ロボットが走行できる場所に変更があったが、ロボットに記憶させた地図や群制御装置の地図の変更と、ユーザーインターフェイスの変更により対応が可能であった。例えば、検査機器平面視でサイズの異なることにより、従来のベルトコンベアの搬送システムでのコンベアの移設や、AGV による搬送システムでのガイド等の変更に比べると大幅なコストダウンが可能であることを確認した。



Fig. 18 Appearance of operation

Table 2 Experimental condition

Evaluation time	36 [h]
Total amount	810 trays (81,000 blood samples)
Maximum amount	100 trays / [h] (10,000 blood samples / [h])
Transportation plan	Reference Fig. 19 Amount of plan
Number of robots	10
Number of stockers	Start stocker 4 End stocker 3
Number of Analyzers	17

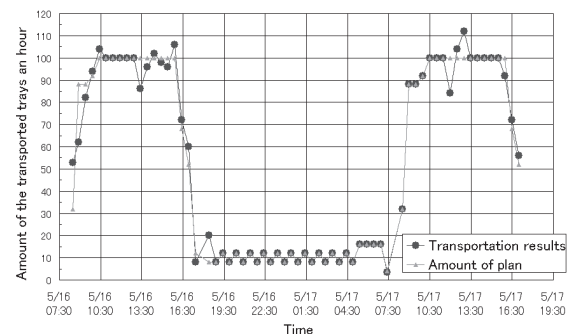


Fig. 19 Amount of transportation

6.4 提案したシステムの汎用性について

二つめに導入した工程は、最初に導入した工程とは検査の違いによって異なる搬送物の流れやレイアウトの違いはあったが、群制御のルールは変更なく適用することが可能であった。このことから、この技術は広く適用できる可能性があると考えられる。

7. おわりに

周囲の状況を認識し目的地に向かって移動する複数の自律搬送ロボットの局所的制御戦略と、工程全体の状況を把握して各ロボットに指示を出す群制御装置の大局的制御戦略とのハイブリッドによって、ロボットおよび群制御装置のどちらにも複雑な制御アルゴリズムなどを用いることなく搬送を実現するシステムを開発した。本システムで利用する自律移動ロボットは無軌道で走行可能なため、従来のベルトコンベアや AGV に比べ

[†]ここでは、実験の都合上時間帯を入れ替えて、初日 8:30～17:30、翌日 8:00～17:00 を夜間の搬送としている。

下記の優位性があることを確認した。

- 搬送システムの一部に障害が発生した場合にも継続して搬送作業を行うことができ、システム全体としての信頼性が向上した。
- 搬送設備の設置スペースが不要であり、人の動線を確保できる。
- レイアウト変更に対応することができる。
- 追い越しやすれ違いができ、軌道に拘束されずに移動可能な自律移動ロボットを用いることでAGVを用いた搬送に比べて搬送の効率が上がる。
- 自律移動ロボットの回避機能により、人や台車などの他の移動体がいる環境下においても継続して搬送を行うことができる。

今後は、個々のロボットの作業機能や走行能力をさらに上げ、さらなる展開分野を模索していきたいと考えている。

謝 辞 本システムを導入、お使いいただくとともに、貴重なご意見等を日ごろからいただいております株式会社ビー・エム・エルの関係の皆様に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] 酒井龍雄 他：“病院内搬送用自律移動ロボットシステム”，松下電工技報，vol.53，no.2，pp.62-67，2005。
- [2] 酒井龍雄 他：“病院内自律搬送ロボット「HOSPI」の開発”，ロボット，no.157，pp.30-35，2004。
- [3] 新井民夫，太田順：“複数移動ロボット系の計画”，日本ロボット学会誌，vol.10，no.4，pp.444-449，1992。
- [4] 安藤昌和 他：“複数台移動ロボットの搬送経路計画問題に対する自律分散最適化法”，計測自動制御学会論文集，vol.39，no.8，pp.759-766，2003。
- [5] T. Nishi, M. Ando, M. Konishi and J. Imai: “A Distributed Route Planning Method for Multiple Mobile Robots using Lagrangian Decomposition Technique,” Proceedings of ICRA2003, pp.3855-3861, 2007。
- [6] 油田信一：“複数の自律移動ロボットの協調行動”，日本ロボット学会誌，vol.10，no.4，pp.433-438，1992。
- [7] 新井民夫，太田順：“仮想的なインピーダンスを用いた複数移動ロボット系の動作計画”，日本ロボット学会誌，vol.11，no.7，pp.1039-1046，1993。
- [8] T. Sakai, D. Nishimura, H. Uematsu, R. Murai, K. Mitani, T. Nakahara and Y. Kitano: “Navigation of Autonomous Mobile Cleaning Robot SuiPPi,” Journal of Robotics and Mechatronics, vol.19, no.4, pp.489-496, 2007。
- [9] 酒井龍雄：“屋外用自律清掃ロボット SuiPPi”，日本ロボット学会第30回シンポジウムロボット工学セミナーテキスト，pp.46-54，2005。
- [10] 北野斉，村井亮介，酒井龍雄：“無軌道自律走行ロボット「血液検体搬送ロボットシステム」”，第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM，2G2-04，2008。
- [11] 村井亮介，酒井龍雄：“複数の LRF を搭載した移動ロボットによる動的環境での3次元環境認識と障害物回避”，第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM，1H2-07，2008。
- [12] I. Kamon, E. Rimon and E. Rivlin: “TangentBug: A Range-Sensor-Based Navigation Algorithm,” The International Journal of Robotics Research, vol.17, no.9, pp.934-953, 1998。
- [13] V. Lumelsky and T. Skewis: “Incorporating Range Sensing in the Robot Navigation Function,” IEEE Transactions on Systems, vol.20, no.5, pp.1058-1069, 1990。
- [14] 森信彰，田中恭治：“自律移動用プラットフォーム開発と障害物回避制御”，山口県産業技術センター研究報告，vol.13，pp.7-11，2001。
- [15] 覺張陽則，高瀬國克，羽田芳朗：“複数台移動ロボットののためのデッドロックフリーナビゲーション法”，電気学会論文誌 C，vol.127，no.3，pp.380-388，2007。
- [16] 単蘭娣，長谷川勉：“局所知識に基づくデッドロックの解消”，福岡国際大学紀要，no.1，pp.99-105，1999。
- [17] 単蘭娣，長谷川勉：“複数移動ロボット間の行動観測に基づく空間推論と動作計画”，日本ロボット学会誌，vol.14，no.7，pp.1003-1009，1996。



村井亮介 (Ryosuke Murai)

2004 年大阪大学大学院工学研究科電子制御機械工学専攻博士前期課程修了。同年パナソニック電工株式会社入社。以来、自律移動ロボット、ロボット群制御システムなどの開発に従事。日本機械学会会員。(日本ロボット学会正会員)



上松弘幸 (Hiroyuki Uematsu)

2003 年大阪大学大学院基礎工学研究科システム人間系専攻博士前期課程修了。同年パナソニック電工株式会社入社。以来、自律移動ロボット実用開発に従事。



三谷宏一 (Koichi Mitani)

1989 年山梨大学大学院工学研究科精密工学専攻博士前期課程修了。同年パナソニック電工株式会社入社。以来、多関節ロボットによる工程の自動化、全方向移動機構、自律移動ロボット、パワーアシスト車椅子などの開発に従事。



酒井龍雄 (Tatsuo Sakai)

1989 年大阪府立大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。同年パナソニック電工株式会社入社。同社生産技術研究所にて、設備制御、工程制御、検査システム、生産システムの研究開発を経て、2000 年より自律移動ロボット、ロボット群制御システムの開発に従事。日本機械学会会員。



中嶋久人 (Hisato Nakajima)

1993 年同志社大学大学院工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。同年パナソニック電工株式会社入社。同社生産技術研究所にて、産業用ロボット応用設備の開発に従事。1999 年より自律移動ロボットの開発に従事。電気学会会員。



北野 斉 (Hitoshi Kitano)

1986 年同志社大学工学部電子工学科卒業。同年パナソニック電工株式会社入社。以来、リニアモータ、パラレルメカニズム、全方向移動機構、自律移動ロボットなどの研究・開発に従事。1994 年高度自動化技術振興賞受賞。2001 年日本ロボット学会実用化技術賞受賞。