

自律移動ロボットを用いた搬送システム

Transport System with Autonomous Mobile Robots

酒井 龍雄* ・ 村井 亮介* ・ 上松 弘幸* ・ 木下 慎太郎* ・ 北野 斉*
Tatsuo Sakai Ryosuke Murai Hiroyuki Uematsu Shintaro Kinoshita Hitoshi Kitano

工程内搬送の自動化において、周囲の状況を認識しながら速度を制御し、必要に応じて障害物を回避して目的地まで到達することができる複数の自律移動ロボットと、設備の稼働状況や搬送要求とすべての自律移動ロボットの状況を把握して個々の自律移動ロボットに指示を出す監視制御装置から成る搬送システムを開発した。このシステムでは、自律移動ロボットの局所的制御と監視制御装置の大局的制御とのハイブリッド化によって効率の良い搬送を実現している。また導入事例において、このシステムの可用性、トラブルに対しての信頼性、人との共存が可能な安全性、レイアウト変更への対応が可能な拡張性を実証している。

For the purpose of automating transport in process, a transport system has been developed by combining multiple autonomous mobile robots capable of controlling their speed and avoiding obstacles according to recognized surroundings to reach their destination, and the transport system controller capable of monitoring the process and robots operation status and issuing to individual mobile robots. This system achieves efficient transport by effectively combining the local control of autonomous mobile robots and the global control by the intelligent transport system controller. System availability reliability against problems, safety for coexistence with humans, and expandability toward layout changes have been verified under actual operations.

1. ま え が き

ものづくりの現場において搬送は付加価値を生まないが、なくすことのできない作業であり、従来から合理化や省人化を図る搬送設備が導入されてきた。たとえば、ベルトコンベヤやAGV（Automated Guided Vehicle：無人搬送車）などがその代表的なものである。これらの最大の特徴は搬送経路に沿って軌道が固定されていることで、軌道そのものが搬送手段となることか、その上を搬送装置が移動することである。

しかし、固定された軌道による搬送では、工程の省スペース化、頻繁なレイアウト変更、人の存在領域での搬送、人の動線を塞がない配置などに対応できなくなっている。また、軌道上でトラブルが発生すると、その上流や下流の工程でも搬送が止まり、ひいては工程全体が停止することにもなる。

そこで筆者らは、すでに開発した病院内でカルテやレントゲンフィルムを搬送する無軌道自律移動ロボット

「HOSPI」¹⁾で蓄積した自律移動技術を基に、複数台の自律移動ロボットが搬送要求のある設備に次々と搬送物を供給するシステムを開発し実用化した。自律移動ロボットは固定された軌道を必要とせず、記憶している地図情報と検知した周囲の状況に応じて移動する。また、軌道のためのスペースが必要でなく、レイアウト変更にも地図情報の変更で対応でき、人の存在領域での搬送も可能となる。軌道を必要としないことで、他のロボットに対して擦違いや追抜きもでき、さらに、あるロボットに問題が発生しても他のロボットで補完することができ、工程全体が停止することはない。

本稿では、自律移動ロボットおよびその複数台制御について述べ、導入事例を紹介してその有効性を示す。なお、以降にロボットと記述するものは、筆者らが開発した自律移動ロボットのことである。

2. 搬送システムの概要

本システムは、自律移動機能をもつ複数のロボットと、

* 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

すべてのロボットの状況および設備の稼働状況や搬送要求を把握して個々のロボットに指示を出す監視制御装置から成る。まず、それぞれについて述べ、次にシステムの特徴について説明する。

2.1 自律移動ロボット「HOSPI-AL」

トレイ状の搬送物を受け渡す機能をもつ自律移動ロボット「HOSPI-AL」の外観を図1に、その主な仕様を表1に示す。ロボットは二つの駆動輪をもつ車輪型ロボットであり、それぞれの動きによって前進、後退、回転を行う。また、外部とのインタフェースとしてタッチパネルディスプレイと無線装置を備えており、それらを通して目的地およびタスクを指示されると、あらかじめ記憶している地図情報を基に経路を生成し、目的地まで移動してタスクを実行する。したがって、走行するために軌道を設置する必要はない。

以下、移動するために必要な機能について説明する。



図1 自律移動ロボット「HOSPI-AL」

表1 自律移動ロボット「HOSPI-AL」仕様

サイズ	W600×D755×H1088mm
質量	150 kg
最高速度	1.0 m/s
駆動	2軸差動方式
電池	鉛電池 DC 12 V (65 Ah) ×2
可動時間	7 時間
搭載センサ	バンパセンサ 下部全周に設置し、接触するとロボットは停止 レーザーレンジファインダ×1 床面から約 100 mmの水平面をスキャン面として、 進行方向±90°を0.5°ごとに距離を測定 ジャイロスコープ×1

2.1.1 経路生成

経路を生成するには、地図情報を用いる。地図情報には、稼働領域内の走行可能な場所がノードおよびその接続関係で与えられており、現在位置に近いノードから目的地に近

いノードまでを接続したなかで、移動距離などの移動コストがもっとも小さくなる経路がグラフ理論のA*アルゴリズムを利用して求められる。図2のように、ノード間の接続関係に双方向または一方方向の設定を行うことで、ロボットの進行方向によって通路上での走行位置を指定することが可能となる。

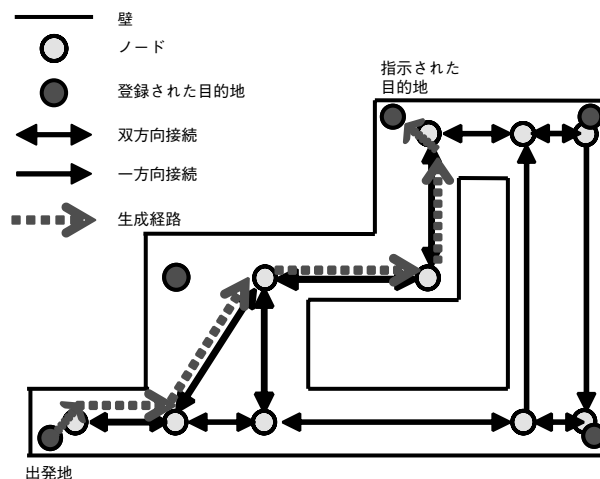


図2 地図情報および経路生成

2.1.2 自己位置認識²⁾

移動開始時には、ロボットは自己の位置を認識している必要がある。いったん移動を開始すると、駆動輪の回転数およびジャイロスコープの情報から計算される移動量を基に、自己位置を推定することができる(デッドレコニング)。ただし、この方法では駆動輪のスリップなどにより生じる誤差が蓄積されるため、レーザーレンジファインダで認識できる外部情報の位置を前述の地図情報にあらかじめ記憶しておき、その情報と移動中に認識した外部情報とをマッチングして自己の位置を修正しながら移動する(図3)。そうすることで正確に目的地に到達することができる。

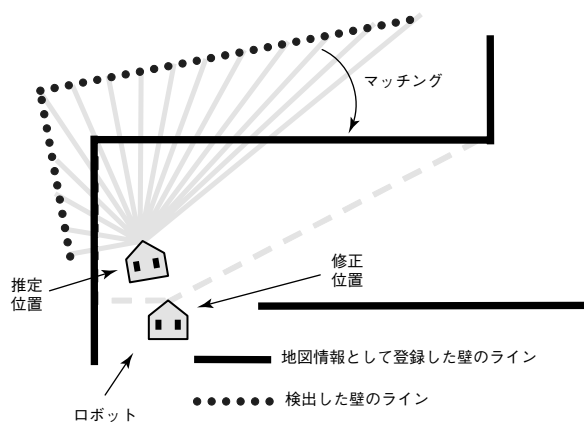


図3 自己位置認識

2.1.3 衝突および障害物回避

走行経路には人や仮置きされた物、さらには他のロボットなどが障害物として存在することが想定される。レーザレンジファインダなどロボットに備えるセンサによって、移動途中にこれらの障害物を検知すると、障害物との距離に応じて減速し、あらかじめ設定した距離に近づくと停止する（衝突回避）。減速とともに、回避スペースがある場合には進行方向を変えて目的地への移動を継続する（障害物回避）。図4の場合、①のように目的地とロボットとの間に障害物があると、それを検知して近づける限界の領域を把握し、その領域に入らず、かつ目的地への進路変更が少ない位置に経由点を設定し、そこに向かう（②）。この動作を繰り返しながら、障害物を回避して目的地に到達する（③、④）。回避するスペースがない場合には、タッチパネルディスプレイと音声によって移動スペースをあけるように報知し、また、通信手段によって現場に居ない管理者に対応を依頼することもできる。

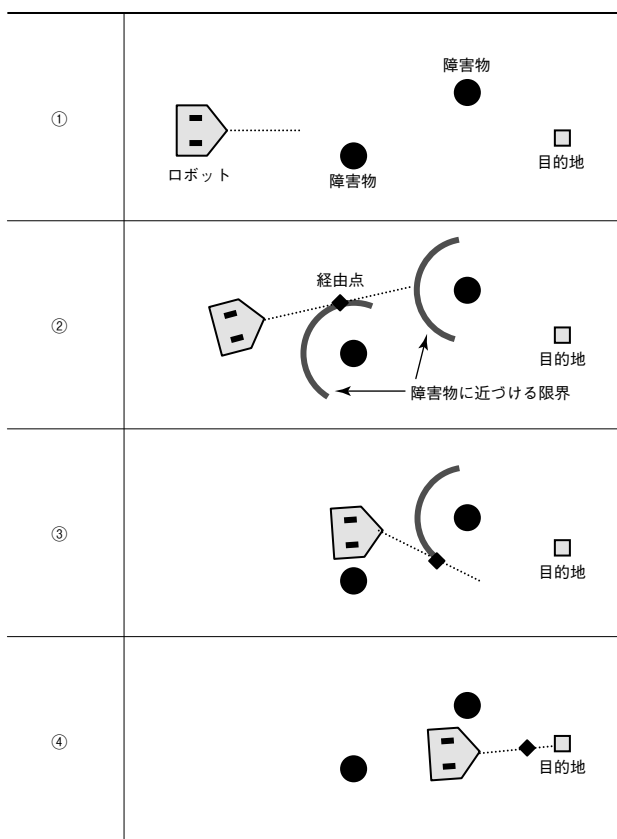


図4 障害物回避

2.2 監視制御装置

監視制御装置は、その搬送システム内にある設備の稼働状況や搬送要求とすべてのロボットの状況を把握し、個々のロボットに指示を出す。ここでは、図5のように複数のセルがあり、各セル内には搬送物を投入または回収するための複数のステーションがある場合について、ストックか

らの搬送物の供給、またはストックへの回収を例にして監視制御装置の機能を説明する。

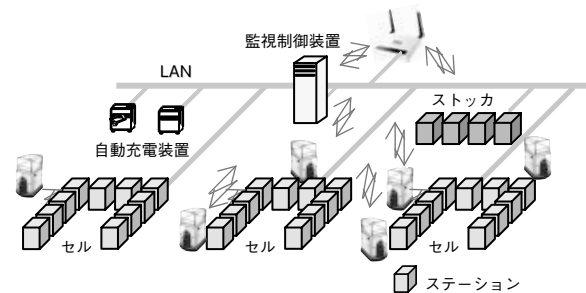


図5 搬送システム

2.2.1 システム状態の把握

まず、監視制御装置はシステム内の設備の状態を把握する。ここで、設備の状態には各セルのステーションごとの搬送物の供給または回収の搬送要求（搬入要求／搬出要求）の有無が含まれる。設備にはロボット用の自動充電装置も含まれ、その状態として充電中または使用の可否がある。また、各ロボットの状態としてはロボットの現在位置、実行中のタスク、電池残量、搬送物の有無などがある。

2.2.2 配車

監視制御装置は設備の状況を把握すると、ステーションの搬送要求に対応して待機中のロボットにタスクを指示する。このとき、要求を満たすことができるロボットが複数あれば、全体として最適なロボットが選択される。たとえば、図6のようにストックに搬送物を投入して待機中のロボットがあり、セル内にある2箇所のステーションから搬出要求があった場合には、近いほうが目的地として選択される（図6(a)）。しかし、同時にセル内の異なるステーションから搬入要求があり、かつ搬送物を受け取り待機中のロボットがある場合（図6(b)）には、ロボットの経路が交差しない目的地が選択される。

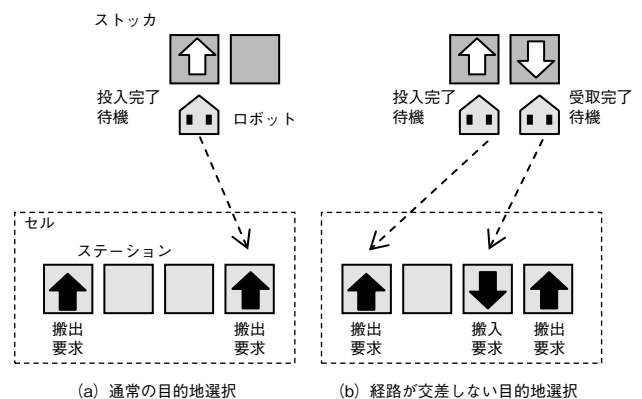


図6 配車例1

さらに図7のように、搬送領域を複数のエリアに分け、その中に入るロボットの台数を制限し、ロボット同士の衝

突回避や、目的地への接近の障害にならないことも考慮して目的地が選択される。

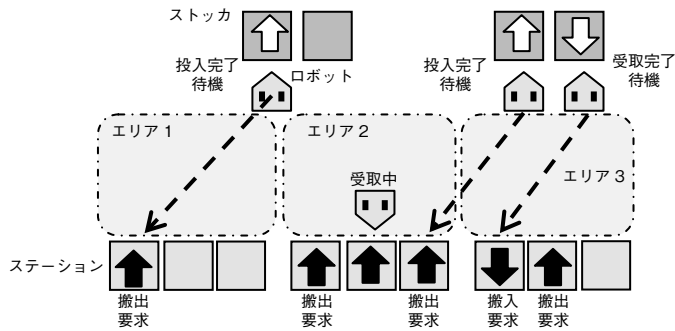


図7 配車例2

2.2.3 走行制御

ロボットは、前述のように障害物があっても回避スペースがあると、それを回避して目的地に向かって移動を継続することができる。しかし、あらかじめロボット同士の回避が発生することが予測された場合には、その回避が発生しないように一方のロボットを停止させ、さらには、他方のロボットが通過できるようにいったん他の場所に退避させるとシステム全体の効率が良くなる場合がある。この機能は経路生成で述べたとおり、各ロボットは生成したノード列の順に移動しているため、監視制御装置がそれらの情報を得ていると容易に実現できる。

たとえば図8のように、ロボットBがノードBに到達してノードAに移動を開始しようとしたときに、ロボットAがノードAからノードBに向かって移動していれば、ロボットBをあらかじめ地図情報に設定した近くの退避場所に移動させると擦違いが効率良くできる。これは狭い通路などの場合にとくに有効である。

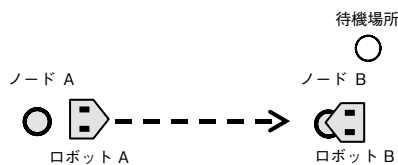


図8 走行制御例1

また図9のように、ロボットAの現在位置と向かっているノードA2とを結ぶ直線と、ロボットBの現在位置と向かっているノードB2とを結ぶ直線が交差している場合、交差する位置を同時刻に通過しないように片方をいったん停止させることで、互いに回避させるよりも効率良く移動できる。

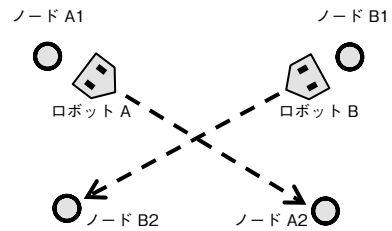


図9 走行制御例2

2.2.4 自動充電

ロボットは搭載されている電池を動力源としている。そのため、搬送作業を継続するには電池残量を管理してそれなくなる前に充電または電池の交換をしなければならない。電池を交換するとロボットはすぐさま作業に復帰できるが、充電の場合には時間を要する。そこで、搬送要求がなく待機するときには、充電を行うなどのこまめな管理が必要になる。次章で紹介する事例では、自動充電装置を開発し、監視制御装置が各ロボットの電池残量の情報を得て適切に充電できるように制御を行っている。

2.3 ロボットと監視制御装置のハイブリッド搬送制御

本システムでは、監視制御装置はシステム全体の情報から判断して個々のロボットに指示を与え、各ロボットは搭載しているセンサで周囲の状況を判断して動く。さらに、個々のロボットは、特定の位置ではあらかじめ記憶した一連の動作を自己の判断で行うこともできる。

たとえば図10の場合、ストックからのセルへの搬入材料の受取りを完了したロボット1は、監視制御装置から搬送先(図ではセル1)を指示されるまでは待機中となる。一方、セルからストックへの投入材料を受け取ったロボットは、監視制御装置の指示を待たずに、ストックへの移動に適した位置(たとえば、ロボット2の位置)へ移動する。ここでは、前述の配車で説明したエリア内の台数制限において、エリア1とエリア2には1台のロボットしか入れないとしており、ロボット2は他のロボットとの経路の交差が発生しないため、エリアの端部まで自己の判断で動かすことができ、制御の簡素化ができる。

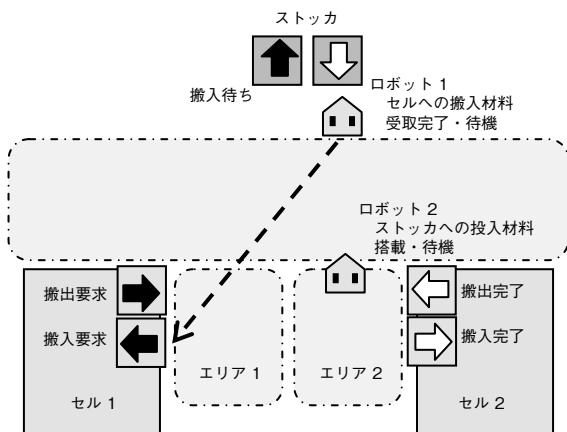


図10 ハイブリッド搬送制御

このように、ロボットの自律制御機能と監視制御装置の配車・走行制御機能とのハイブリッド化によって、システム全体として効率の良い搬送を実現している。

3. 事例紹介

本搬送システムは株式会社ビー・エム・エルに導入され、10台のロボットによる搬送システムが2006年10月から、5台のロボットによるものが2007年6月から稼働中である³⁾。この事例を紹介し、確認された本システムの効果について述べる。なお、本事例は「今年のロボット」大賞2007の優秀賞および日本機械工業連合会会長賞を受賞している。

3.1 導入した工程

前述の事例では、医療機関から血液などの検体を集荷し、分析装置と搬送ラインを組み合わせた分析機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た後、100本または200本ずつトレイに収納される(図11)。これらのトレイは検査工程に人手で運ばれ供給用ストッカにセットされる。その後、ロボットがストッカと分析機ライン間を搬送して受渡しを行うことになる。たとえば、前述のロボット10台を導入した工程は、供給用ストッカ4台、回収用ストッカ3台、分析機ライン17列、自動充電装置4台から成る。その事例における搬送状況を図12に示す。



図11 検体チューブ200本を収納したトレイ



図12 搬送状況

3.1.1 トレイ受渡し

ロボットにはトレイ受渡用のテーブルが搭載されており、ストッカまたは分析機ラインへそのテーブルがせり出して着岸する。このとき、テーブルは回転フリーとなっており、着岸することで受渡しに適した向きに補正される(図13(a))。さらに、テーブルは左右に移動可能であり、受渡しに適した位置に左右方向も補正される(図13(b))。その後通信が行われ、ロボットのテーブルと、ストッカまたは分析機ライン上のコンベヤが同期して回転することでトレイの受渡しが行われる(図13(c))。最後に、ロボットと、ストッカまたは分析機ラインの在荷状況をセンサで把握し、受渡しの完了を判断してテーブルを収納し、受渡作業が完了する。

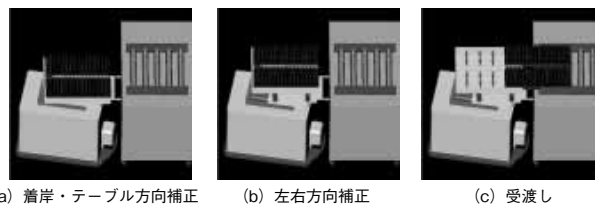


図13 トレイ受渡しのイメージ

3.1.2 搬送手順

供給用ストッカにセットされたトレイが、回収用ストッカに戻るまでの手順を図14に基づいて以下に説明する。

まず、供給用ストッカにトレイがセットされるとその情報が監視制御装置に伝わり、監視制御装置はトレイを搭載せずに待機中の適切なロボットを配車する。配車されたロボットはトレイの受取口に進み、トレイを二つずつ受け取り待機状態となる (A)。

監視制御装置は、ロボットが搭載した検体に対応し、かつ、検体を受け入れられる状態にある分析機ラインのなかから適切なものを選択してそのロボットを配車する。ロボットは監視制御装置の指示で、その分析機ラインの検体投入口に向かい、トレイを投入した後、待機状態となる (B)。

分析機ラインでは、投入されたトレイから検体を取り出され、ライン内のコンベヤ上を移動して、分析された後、回収のためトレイに戻される。分析後の検体が設定数トレイに戻されると、そのトレイは分析機ラインのトレイ回収口にセットされる。

次に、この情報が監視制御装置に伝わり、監視制御装置はトレイを搭載せずに待機中の適切なロボットを配車する。配車されたロボットはトレイ回収口に向かい、検体トレイを受け取り (C)、その後、分析機ラインエリアの左端部に移動して待機状態となる (D)。このエリアの先端部への移動は、2.3節で述べたロボット自体の判断による移動である。

取用ストッカに向かい、トレイを投入して待機状態となる (E)。

3.1.3 充電

監視制御装置は搬送の要求がなくあらかじめ設定した時間が経過すると、待機しているロボットに対し、図14のロボットFのように自動充電装置に配車して充電させる。この自動充電装置は充電端子が先端に付いたパンタグラフ状のアームを伸ばして、ロボットの接続部と接触して充電を行う (図15)。また、監視制御装置は自動充電装置に接続されて移動できる程度の充電量になっているロボットに対して、充電を停止させて適切な場所に配車することができる。

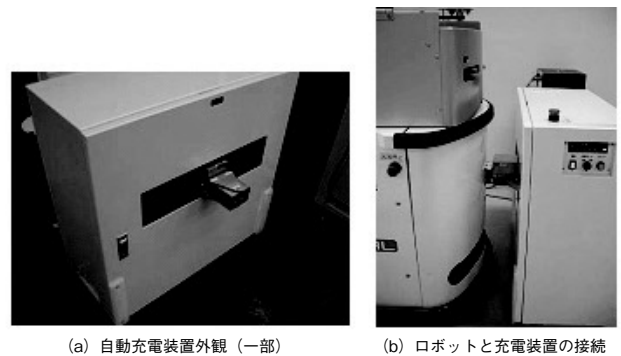


図15 自動充電装置

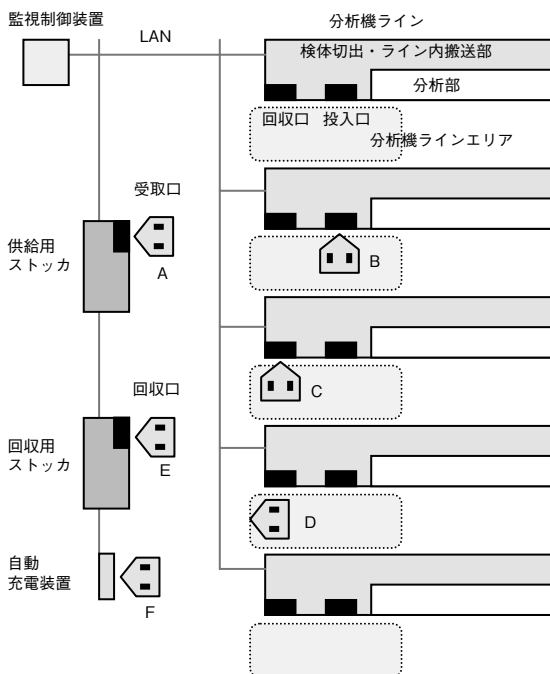


図14 搬送手順

この監視制御装置は、回収用ストッカがトレイ回収可能な状態にあると、分析済みの検体トレイを搭載した待機中のロボットのうち、適切なロボットをその回収用ストッカに配車する。そのロボットは監視制御装置の指示でその回

3.2 効果

本事例において次の効果が実証されている。

- (1) ロボットが導入される以前、この工程はコンベヤによって検体が搬送されていた (図16)。コンベヤ等の軌道によって搬送を行う場合、軌道上のあるポイントでトラブルが発生すると、少なくともその下流には検体が流れず、工程全体が停止する。しかし、ロボットによる搬送システムでは、1台のロボットにトラブルが発生しても、他のロボットが搬送を継続することで、工程全体が停止することがない。
- (2) コンベヤなど搬送設備の設置スペースが不要のため、人の動線が確保でき、分析機ラインへのアクセスも容易である。さらに、衝突および障害物回避機能により、人と共存して作業を行うことができる。
- (3) 分析機の交換やレイアウト変更も、ロボットの地図情報の変更だけで対応が可能となる。
- (4) 従来のAGVとは異なり、軌道に拘束されない経路を取ることができる。そのため、ロボット同士の擦れいや追抜きも可能であり、効率の良い搬送が実現できる。

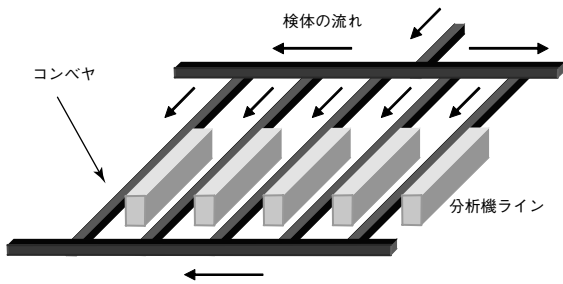


図16 コンベヤによる検体搬送イメージ

4. あとがき

工程内搬送の自動化において、周囲の状況を認識しながら速度を制御し、必要に応じて障害物を回避して目的地まで到達することができる複数の自律移動ロボットと、設備の稼働状況や搬送要求とすべての自律移動ロボットの状況を把握して個々の自律移動ロボットに指示を出す監視制御装置から成る搬送システムを開発した。このシステムでは、自律移動ロボットの局所的制御と監視制御装置の大局的制御とのハイブリッド化によって効率の良い搬送を実現した。また導入事例において、このシステムの可用性、トラブルに対する信頼性、人との共存が可能な安全性、レイアウト変更への対応が可能な拡張性を実証した。

今後は、ロボットおよび監視制御装置の機能の拡張を図り、本システムの用途拡充を進めていきたいと考えている。

本システムを導入し、日頃から貴重な意見等をいただいている株式会社ビー・エム・エルの関係各位に対して感謝の意を表します。

*参考文献

- 1) 酒井 龍雄, 松田 昌之: 病院内自律搬送ロボット「HOSPI」の開発, ロボット, No. 157, p. 30-35 (2004)
- 2) Tatsuo Sakai, Daisuke Nishimura, Hiroyuki Uematsu, Ryosuke Murai, Koichi Mitani, Tomoharu Nakahara, Yukihiro Kitano : Navigation of Autonomous Mobile Cleaning Robot SuiPPi, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 19, No. 4 (2007)
- 3) 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, RSJ2008AC2G2-04 (2008)

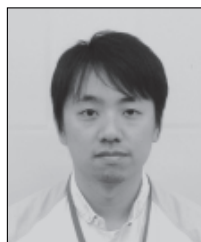
◆執筆者紹介



酒井 龍雄
生産技術研究所



村井 亮介
生産技術研究所



上松 弘幸
生産技術研究所



木下 慎太郎
生産技術研究所



北野 斉
生産技術研究所