

artisoc を用いた研究成果報告書
「自律分散型 AGV システムに関する基礎的検討」

大阪府立大学

岩村幸治・石井大皓

目次

第1章 緒言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	2
第2章 自律分散型生産システム の概念および AGV の運用に関する従来の研究	3
2.1 自律分散型生産システム	3
2.1.1 自律分散型生産システム の概念	3
2.1.2 自律分散型生産システム の特徴	3
2.1.3 自律分散型生産システム における構成要素の性質	4
2.2 搬送システムに関する従来の研究	5
2.3 商用 AGV の仕様	6
第3章 連結する自律分散型 AGV システム	8
3.1 対象とする生産システムと構成要素	8
3.2 AGV の連結	9
3.3 AGV の充電	9
3.4 artisoc を用いたマルチエージェントシミュレーション	10
3.5 各エージェントのルール設定	10
3.5.1 AGV エージェント	13
3.5.2 機械エージェント	15
3.5.3 素材庫エージェント	16
3.5.4 完成品庫エージェント	16
3.5.5 充電器エージェント	17
3.6 シミュレータのインターフェース	17
第4章 ケーススタディ	21
4.1 AGV の基本動作の確認	21
4.2 連結の有効性の検証	25
4.3 考察	29
第5章 結言	30
参考文献	31

第1章 緒言

1.1 研究背景

近年の情報化技術の普及にともない、「多様化の時代」と表現されるように、情報化が消費者の多様な欲求・好奇心を刺激し、ニーズの高度化、個性化、多様化を喚起している。その結果、市場における需要が目まぐるしく変化し、製品の多様化、新製品ラッシュと製品の短寿命化が顕著となり、製品技術や製造技術の短いサイクルでの革新が頻繁に生じるようになってきた。これに対処するために、製品の設計・開発期間と製造期間の短縮が求められ、また、高度経済成長期に主流であった少品種多量生産から多品種少量生産、さらには消費者のニーズに迅速に対応することができる変種変量生産へと生産形態にも大きな変化が求められた。変種変量生産とは、ある期間に生産の対象となる品物の種類すなわち、仕様、形状、寸法、色彩などが多様化していて、それぞれの生産数量が品物により変化する生産形態であり、消費者の好みの多様化に対処できるという利点がある^{[1][2]}。

このような生産形態に対応するために開発されたシステムとして、FMS(Flexible Manufacturing System)^[3]がある。これは、工作機械、産業用ロボット、自動搬送装置、自動立体倉庫などを統合化し、工場全体の自動化を図ったものであり、高いフレキシビリティと経済性をあわせ持っている。

このような自動化された生産システムでは、コンピュータを利用して階層的に制御を行うのが一般的である。しかし、トップダウン的に生産システム内の制御が行われることによって以下のような問題点が指摘されている^[4]。

(1)頑健性の欠如

システムの一部に故障などの異常が発生すると、それは全体に影響を与える。

(2)柔軟性の欠如

製品の種類および生産量の変化や、特急ジョブの投入などの変更に対して、生産システムをフレキシブルに変更できない。

(3)迅速性の欠如

生産システムを短期間で構築できない。

そこで、生産システムの構成要素を独立した存在として、自律的な意思決定機能と通信機能を持たせ、これらの構成要素が情報交換を行いながら自律的に生産プロセスを実行する自律分散型生産システム^{[4]-[10]}、生物指向型生産システム^{[11][12]}の概念が提案されている。このシステムのメリットは、要素の交換や追加を容易に行うことができ、生産システムの動的環境下や大規模な複雑化に対応できることであるとされている。

自律分散型生産システムの構成要素の1つとして、搬送プロセスを実行するAGV(Automated Guided Vehicle)がある。AGVに関しては、これまで運行スケジューリングや最適台数に関する研究^{[13][14]}が行われている。搬送プロセスのための自律的な意思決定と

行動を実行する AGV を効率的に運用する方法を検討することが、自律分散型生産システムの構築における重要な課題の一つである。

1. 2 研究目的

本研究では、AGV、工作機械、素材庫、完成品庫、AGV の充電器を構成要素とする生産システムを対象として、各 AGV の搬送経路が一致する場合に連結して搬送プロセスを実行する自律分散型 AGV システムを提案する。また、マルチエージェントシミュレーション^[15]を実行することで AGV 同士の連結による搬送プロセスの効率化について検証する。

まず、第 2 章では、自律分散型生産システム概念、AGV の運用に関する従来の研究について説明する。第 3 章では、本研究で提案する連結する自律分散型 AGV システム、および、提案する手法の有効性を検証するために開発したマルチエージェントシミュレーションについて述べる。第 4 章では、マルチエージェントシミュレーションを用いて行ったケーススタディについて説明する。

第2章 自律分散型生産システムの概念およびAGVの運用に関する従来の研究

この章では、はじめに、本研究で対象とする自律分散型生産システムの概念と特徴を示す。次に、搬送システムに関する従来の研究および商用AGVの仕様について述べる。

2.1 自律分散型生産システム

2.1.1 自律分散型生産システムの概念

消費者のニーズの多様化、高度化、そして、技術の進歩に伴い、製品および生産システムの寿命は急速に短くなっている。このため要求される製品の品種や量の変化、材料・製造技術の進歩、環境や経済に起因する種々の問題に適応して迅速かつ安定的に製品を供給しなければならない。このような背景のもと、自律分散型生産システムは検討され、提案された。

自律分散型生産システムでは、生産システム内の各構成要素が相互に情報の交換を行いながら、自律的かつ協調的に意思決定を行い、行動することによって生産スケジュールの決定、および、生産プロセスの実行を同時に並行して行う。

自律分散型生産システムの工場では、工作物が工場に送られてくると、工場はすでに仮決定していた工程計画とスケジュールに割り込みをかけ、それを受注する。割り込みによる工程計画とスケジューリングは従来のシステムでは工場の管理者によって決定されるトップダウン型であったが、自律分散型生産システムでは工作物と工作機械が相互に対話しながら決定するボトムアップ型である。受注すればその工作物自身が工作機械を選択し、話し合いによってスケジュールを決定する。作業に当たっては工作物が自らをどのように加工し、またどのように組み立てるかといった情報を各工作機械に伝えて作業が進行する。

以上のように自律分散型生産システムでは工作物も含めてすべての構成要素が自律、協調の機能を持ち、環境変化に適合し目的に合致するようダイナミックにその構成を変える。そして、各構成要素が並列動作を行った結果としてシステムのプロセスが進行していく。

2.1.2 自律分散型生産システムの特徴

自律分散型生産システムでは、従来の生産システムのように中央の管理機関を頂点とするような階層型の管理、運用を行わず、各構成要素が各々並列に独自の意思決定を行う。それによって次のような利点があると考えられる。

- (1) システムの拡張や改良が容易であるだけでなく、システム構成の変更が容易である。従来の階層型のトップダウン的な生産方式では、システムの拡張、改良や局所的な変更が

全体に影響を及ぼすが、自律分散型生産システムは分散型であるためシステムの連続的な拡張や改良が容易に行えると考えられる。生産システム内に従来に比べてはるかに優れた設備が投入された場合などに、全体の均衡を崩すことなく生産に対応でき、構成要素の再利用性が高まることも考えられる。

- (2) 生産対象や生産量の動的な変動に対して柔軟な対応が可能である。顧客ニーズや材料調達の不確定性による生産対象や生産量の動的な変動に対処できるため、階層型のトップダウン的な生産システムよりも柔軟な対応が可能である。
- (3) 異常事態に対して柔軟な対応が可能である。少品種多量生産から多品種少量生産への移行に伴い、製品の生産に対する要求がより多様化、高度化する中で、生産システム内に生じる異常（設備や計算機の故障など）が増加することも予想される。この場合にも、分散型では生産現場レベルでの対応が可能なので、より迅速な対応が可能である。
- (4) 1つの情報処理装置に対する負担が軽減される。従来の階層型のトップダウン的な生産方式では、トップの情報処理装置にばかり負担がかかり故障を起こしやすかったが、情報処理を分担させることによって故障を起こしにくくすることが可能と考えられる。

2. 1. 3 自律分散型生産システムにおける構成要素の性質

自律分散型生産システムにおける構成要素の性質を以下に示す。

(1)自律性

外部から与えられたタスクを達成するために自ら行動計画を立案し、かつ自ら状態を監視しながらタスクを遂行し、異常事態が生じたような場合には自ら適応する機能。

(2)協調性

外部から与えられたタスクを達成するためにその役割を複数の構成要素間で分担する機能、すなわち個々の構成要素の能力を組み合わせることで様々な状況に対応する機能。

(3)隠蔽性

自身の内部のデータ、および自身の内部で行われる処理の詳細を外部から隠蔽し、外部との間にインターフェースを設けて、データの参照や処理の実行は外部インターフェースを介してのみ行える機能。

2. 2 搬送システムに関する従来の研究

搬送システムに関する研究として、以下のような従来研究がある。

昇高ら^[13]は、自動倉庫、NC 工作機械、AGV から構成された FMS を対象とした AGV の最適台数決定問題に関する研究を行っている。この研究において、機械の稼働率は AGV の台数の増加関数であるが、ある台数を超えるとそれはほとんどフラットになり、この台数を最適としている。

確率モデルを用いて、最小費用基準の下での FMS における AGV の経済的最適台数を決定するため必要となる諸特性量を得るための基礎式の導出や最大能率基準の下での AGV の最適台数の下限値の導出方法について述べている。

古川ら^[14]は、一方通行の走行レーンを走る 5~30 台の AGV を備えた図 2.1 の FMS 工場において、各 AGV が立ち寄りなければならない指定された加工機械の総加工時間とそれら加工機械への全 AGV の周回完了時間が最小となるようなスケジューリングを遺伝アルゴリズム(GA Genetic Algorithm)とシミュレーションを併用して定める方法を提案している。すなわちこの研究で取り扱う問題は、各 AGV が走行レーン場で衝突を起こさず移動を行い、AGV が指定された加工機械に被加工物を渡し、被加工物が加工を受けている間は、AGV は走行レーンから外れて設置されている加工機械の備えるバッファに待機し、この間は他の AGV が追い越し可能であるような工場の AGV 走行スケジューリングを決定するものである。

GA を用いて走行シミュレーションを行い、出発順序を固定したときと立ち寄り順序を固定したときの計算を比較した結果、以下のことを述べている。

- (1) 多数の AGV のスケジューリング問題に対して、単純 GA による計画がランダムな最良スケジューリングと比較して十分実用的な解を導くことが分かった。
- (2) 複数 AGV のスケジューリングにおいては、出発順序は大きな影響がないことが判明し、このことは、AGV を先入れ先出しするように走行させても良いことを示し、スケジューリングの良好さは立ち寄る先の加工機械の順序に影響されていることを示している。
- (3) 本方法は立ち寄る加工機械の数が一定でなくとも適用できることが数値計算から判明した。

これらの中で(2)は、自律的に AGV が意思決定を行いながら走行を行っても良好なスケジューリングを行える可能性を示唆している。また 2000 台程度の多数の AGV の走行スケジューリングを考える時、出発順序を意識しなくてもよい可能性を示唆しているものと考えられる。

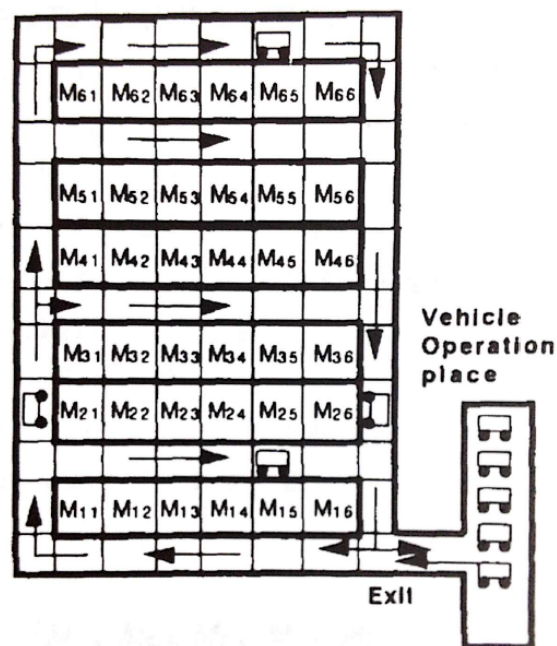


図 2.1 FMS モデル

2. 3 商用 AGV の仕様

AGV の仕様についてタクマ精工 TC900S-II^[16]を参考に説明する．表 2.1 に TC900S-II の仕様を示す．

表 2.1 TC900S-II の仕様

誘導方式	光学 磁気 光学磁気併用
誘導体	アルミテープ、磁気テープ
駆動方式	2輪速度差方式
進行方向	前進のみ
走行速度	100kg 積載時 約 25m/分
積載荷重	標準仕様 100kg オプション 200kg
稼働時間	完全充電状態で 100kg 積載時 連続8時間
登坂能力	約1度
最小小径	半径 350mm (誘導テープの中心 AGV 単体にて)
使用バッテリー	35Ah

連続稼働時間は 8 時間となっている．使用バッテリーは 35Ah であり，タクマ精工の自動充電器で充電を行うと，充電時間は急速充電では約 2 時間，均等充電では約 3 時間となっている．表 2.2 に自動充電器の仕様を示す．

表 2.2 自動充電器の仕様

充電時間 (参考値)	バッテリー：急速/均等 35Ah：約2時間/約3時間 65Ah：約4時間/約6時間 充電開始後、下記の時間以上経過した場合、充電を停止。 急速モード：5時間、均等モード：9時間
---------------	--

本研究で対象とする、軌道が定められていない場合に用いる AGV について説明する。日立プラントテクノロジーの AGV「インテリジェントキャリア」^[17]は走行経路を誘導するための誘導線，磁気テープ，マーカー，反射ミラーなどの走行ガイドが無くても，電子地図上で自己位置を推定しながら設定経路を自律走行することが可能である。

これまでの無人搬送車に必要とされた走行ガイドの設置・移設工事が不要で，工事に伴う時間ロスを抑え，レイアウト変更に柔軟かつ迅速に対応することができる。また，既設 AGV の誘導方式の影響を受けずに走行することができるので，数台のみインテリジェントキャリアに置き換えることが可能である。以下に AGV の誘導方法について説明する。

(1) 地図作成

搭載されたレーザー距離センサーで情報を取得し，走行ルート周囲の電子地図を自動作成する。

(2) 搬送経路決定

電子地図をもとに搬送経路情報を設定する。搬送経路は，直線経路・カーブ・斜行経路・横行経路を組み合わせで作成する。

(3) 無人搬送走行

自己位置を自動認識しながら，設定されたルート上を自立走行する。

第3章 連結する自律分散型 AGV システム

3.1 対象とする生産システムと構成要素

本研究で対象とする生産システムの構成要素は、図3.1に示すようにAGV、工作機械、素材庫、完成品庫、AGVの充電器とする。各構成要素の機能の概要は以下の通りである。

- ・ 素材庫：一定間隔で素材の搬出要求をAGVに行う。
- ・ 工作機械：素材を完成品に処理する。素材の搬入要求および完成品の搬出要求を行う。
- ・ 完成品庫：AGVから搬送された完成品を蓄える。完成品数が一定数に達すると生産活動を終了させる。
- ・ AGV：素材および完成品を各1つ積載し、搬送を行う。搬送を行うとエネルギーを消費する。
- ・ AGVの充電器：AGVの充電を行う。

図 3.1 に示すように、本研究で対象とする AGV の搬送経路は無軌道^[18] とする。各 AGV は視野の範囲内にいる生産システムの他の構成要素をセンサー^{[19] [20]}により認識し、自身の持っている素材や完成品の数、また残りエネルギーに応じて搬送要求を行っている工作機械、素材庫、完成品庫、充電器に向かい、搬送を実行する。



図 3.1 対象とする生産システム

3. 2 AGV の連結

AGV の連結方法について図 3.2 の例を用いて説明する。工場は 4 つのゾーンに分割されている。この例では、AGV1 がゾーン 1 にある素材庫に向う最中に AGV2 もゾーン 1 の素材庫に向かうように判断する。この場合、AGV2 は AGV1 に向かい、AGV1 は AGV2 が到着するまで待機する。AGV2 が AGV1 に到着すると連結を行い、その後、エネルギーの少ない方の AGV のエネルギーを用いて素材庫に移動する。連結した AGV は素材庫に到着すれば切り離す。この例のように、AGV1、AGV2 とともに目的地が同じ場合、目的地に到着すれば連結を解除するが、目的地が同じゾーンにあるが異なっている場合は目的地のゾーンに到着すれば連結を解除する。

連結はこの例のように $(AGV1 \text{ と } AGV2 \text{ の距離}) < (AGV1 \text{ と素材庫の距離})$ の場合でかつ、残りエネルギーの近い AGV 同士のみで行う。目的地が同じゾーンにあるが異なっている場合は $(AGV1 \text{ と } AGV2 \text{ の距離}) < (AGV1 \text{ と目的地のゾーンとの距離})$ の場合でかつ、残りエネルギーの近い AGV 同士のみで行う。これにより各 AGV の残りエネルギーに差ができ、充電器や素材庫、完成品庫へ AGV が一斉に向かうことを防ぐことができる。その結果、充電待ち時間や素材庫、完成品庫の直前での待機時間を短縮することができると考えられる。

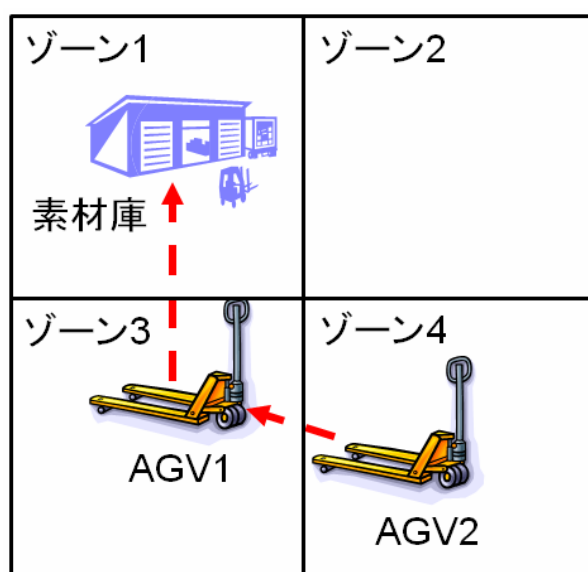


図 3.2 AGV の連結の例

3. 3 AGV の充電

AGV のエネルギーが一定以下になると搬送より優先して充電器に向かう。充電器のある空間は十分に広いとし、AGV は充電器の位置上に移動することで充電を行う。充電は同時に複数台行える。充電が完了すると再び搬送を行う。充電完了後に充電待ちの AGV に囲まれて動けなくなるのを避けるために、充電器付近に図 3.3 の斜線部分に示す充電待ちゾーンを作る

り、充電待ちの AGV をこのゾーンで待機させる。充電待ちゾーンには最大 4 台まで AGV が待機することができ、充電が完了した AGV は充電待ちゾーンの空きがある場所を通り、再び搬送を行う。

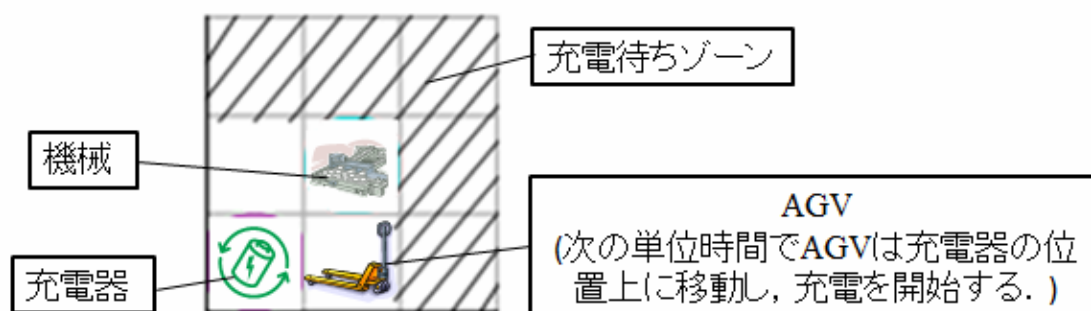


図 3.3 充電待ちゾーン

3. 4 artisoc を用いたマルチエージェントシミュレーション

生産システムにおけるマルチエージェントシミュレーションとは AGV、工作機械、素材庫、完成品庫、充電器などの生産システムの構成要素をそれぞれ独立したエージェントとして定義し、それらのパラメータに基いて自律的に行動させることで現実に近い生産システムを構築することである。これより、各エージェントの行動や相互作用を分析することが可能となる。

本研究では、マルチエージェントシミュレーションを行うにあたってマルチエージェントシミュレータ artisoc^[15]を用いた。artisoc は行動主体である「エージェント」、エージェントが行動する「空間」、エージェントの状態を表す「変数」、各エージェントの行動内容である「ルール」を設定してマルチエージェントシミュレーションを行う。本研究ではエージェントとして AGV、工作機械、素材庫、完成品庫、AGV の充電器、空間として factory を設定している。また artisoc では時間の単位としてカウントを用いる。

3. 5 各エージェントのルール設定

図 3.4 にマルチエージェントシミュレーションのツリーを示す。Universe はマルチエージェントシミュレーション全体の処理を行うものであり、Universe から伸びているツリーは空間である factory と Universe で用いる変数に繋がる。

factory から伸びているツリーは factory で行動するエージェントに繋がる。エージェントとして、AGV を AGV エージェント、工作機械を kikai エージェント、素材庫を sozaiko エージェント、完成品庫を kanseihinko エージェント、充電器を judensho エージェントとしている。また各エージェントから伸びているツリーは変数を表している。図 3.5 に AGV の主な変数の説明を示す。AGV の主な変数である sozai, kanseihin は My.sozai, My.kanseihin のようにして「ルール」で用いる。例として、以下にルールでの変数の意味を説明する。

My.condition=Color_red・・・AGV が赤色であることを表す.

My.Direction=Rnd()*360・・・AGV の方向が 0 度以上 360 度未満のランダム値であることを表す.

My.sozai=1・・・AGV が素材を 1 つ積載していることを表す.

My.kanseihin=0・・・AGV が完成品を積載していないことを表す.

My.energy=100・・・AGV の残りエネルギーが 100 であることを表す.

図 3.6 に AGV のルールを示す. ルールはエージェントのルールエディタを開くことで記述できる. 他のエージェントについても同様にして変数をルールで用いる.

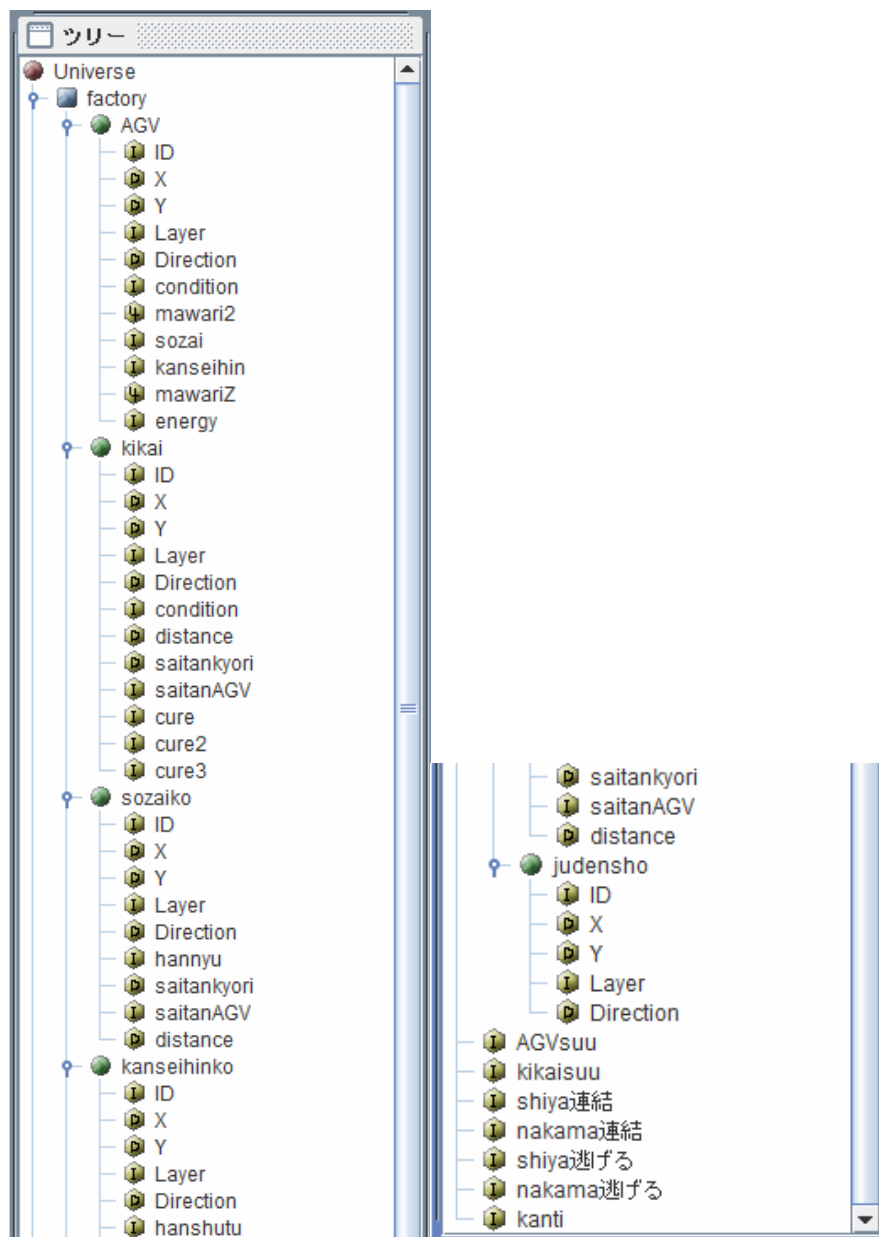


図 3.4 マルチエージェントシミュレーションのツリー

X : X 座標を表す実数型変数
 Y : Y 座標を表す実数型変数
 condition : 色を表す整数型変数
 Direction : 方向を表す実数型変数
 sozai : 素材数を表す整数型変数
 kanseihin : 完成品数を表す整数型変数
 energy : エネルギーを表す整数型変数

図 3.5 AGV の主な変数

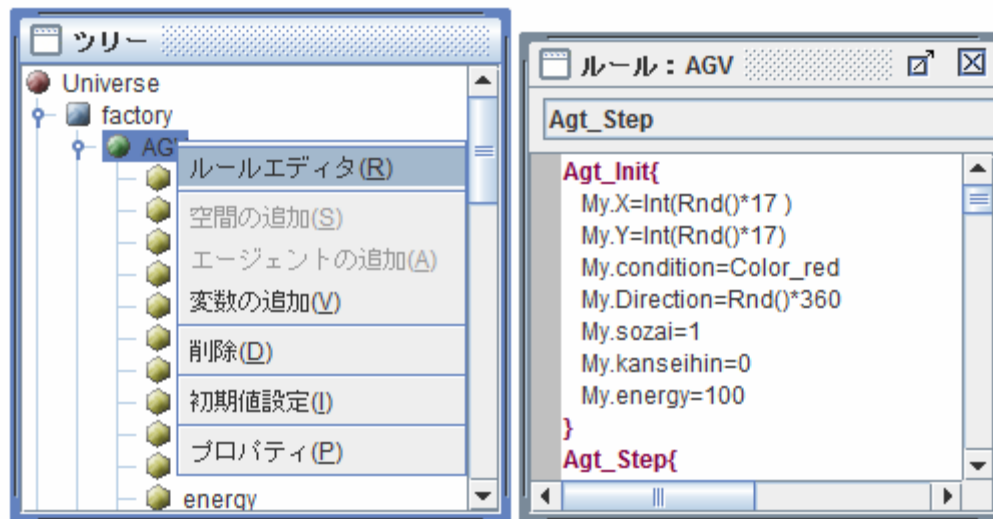


図 3.6 AGV のルール

3. 5. 1 AGV エージェント

AGV エージェントの動作は以下のようになる。

- (1) 上下左右に進むとエネルギーを 1 消費し、斜めに進むと $\sqrt{2}$ 消費する。
 - (2) 視野の範囲内にいるエージェントの状態を認識する。
 - (3) エネルギーが少ない場合は充電器に向かう。
 - (4) 他のAGVが一定距離以内に近づいた場合は衝突回避のため、近づいたエージェントと異なる向きに移動する。
 - (5) 素材庫および工作機械の搬送要求を認識し、積載物に応じて以下の搬送を行う。
 - (5-1) 素材も完成品も持っていない場合、素材庫または完成品の搬出要求を出した工作機械に向かう。
 - (5-2) 素材を持ち、完成品を持っていない場合、素材の搬入要求または完成品の搬出要求を出した工作機械に向かう。
 - (5-3) 素材を持たず、完成品を持っている場合、素材庫または完成品庫に向かう。
 - (5-4) 素材も完成品も持っている場合、素材の搬入要求を出した工作機械または完成品庫に向かう
- ただし、AGVが向かう工作機械や素材庫、完成品庫は(2)の視野内にいる最短距離のエージェントである。また、向かうエージェントを選択する際、等距離にあるものが複数ある場合は乱数を用いて等しい確率で向かう。
- (6) 工場は 4 つのゾーンに分割されており、目的地のゾーンが同じならば目的地のゾーンに近い方の AGV を待機させ、目的地のゾーンに遠い方の AGV が近い方の AGV に到着すると AGV 同士を連結させ、以降エネルギーの少ない方の AGV のエネルギーを用いる。ただし、目的地のゾーンに近い方の AGV の目的地のゾーンとの距離が、遠い方の AGV より近い場合は連結を行わない。また連結相手は充電待ちを行っておらず、エネルギー差があまりないものに限定して連結を行う。連結した AGV は目的地のゾーンに到着すれば連結を解除する

図 3.7 に AGV エージェントのフローを示す。

Agt_Init とは各ステップの最初に行うルールであり、Agt_Step とは毎ステップごとに行うルールである。

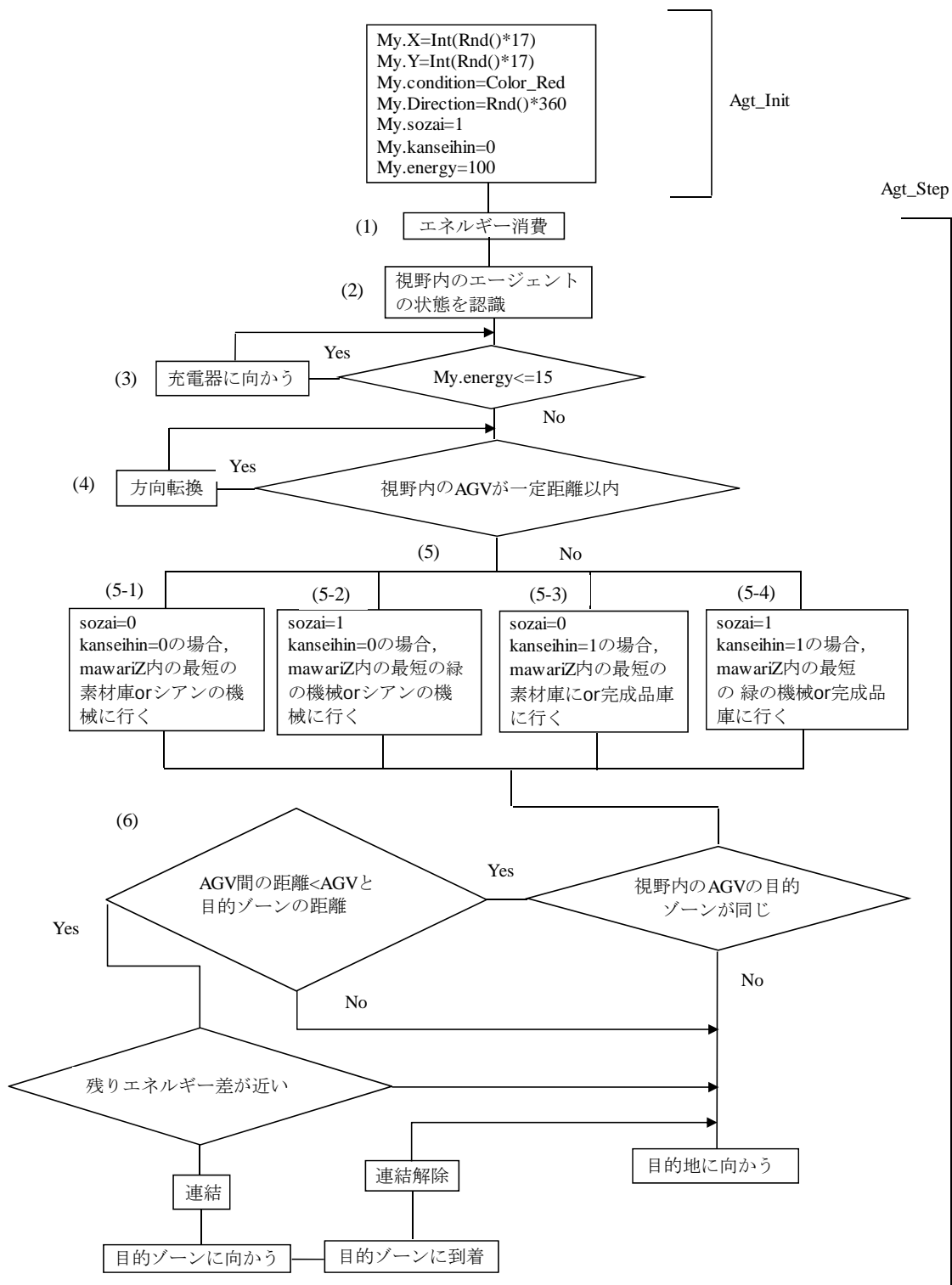


図 3.7 AGV エージェントのフロー

3. 5. 2 機械エージェント

機械エージェントの動作は以下になる。

- (1) 色で機械の状態を表す。緑は素材がない状態，グレーは素材を完成品に処理中，シアンは完成品がある状態を表す。5 カウントごとに色を変更することで搬送要求の変更を行う。
- (2) 緑なら素材の搬入要求を行う。シアンなら完成品の搬出要求を行う。また，グレーなら搬送要求は行わない。
- (3) 緑なら，視野 1 内に素材を持った AGV が来ると，素材を受け取り AGV のもつ素材を 1 つ減らす。シアンなら，視野 1 内に完成品を持った AGV が来ると，完成品を渡し AGV の持つ完成品を 1 つ増やす。

図 3.8 に機械エージェントのフローを示す。

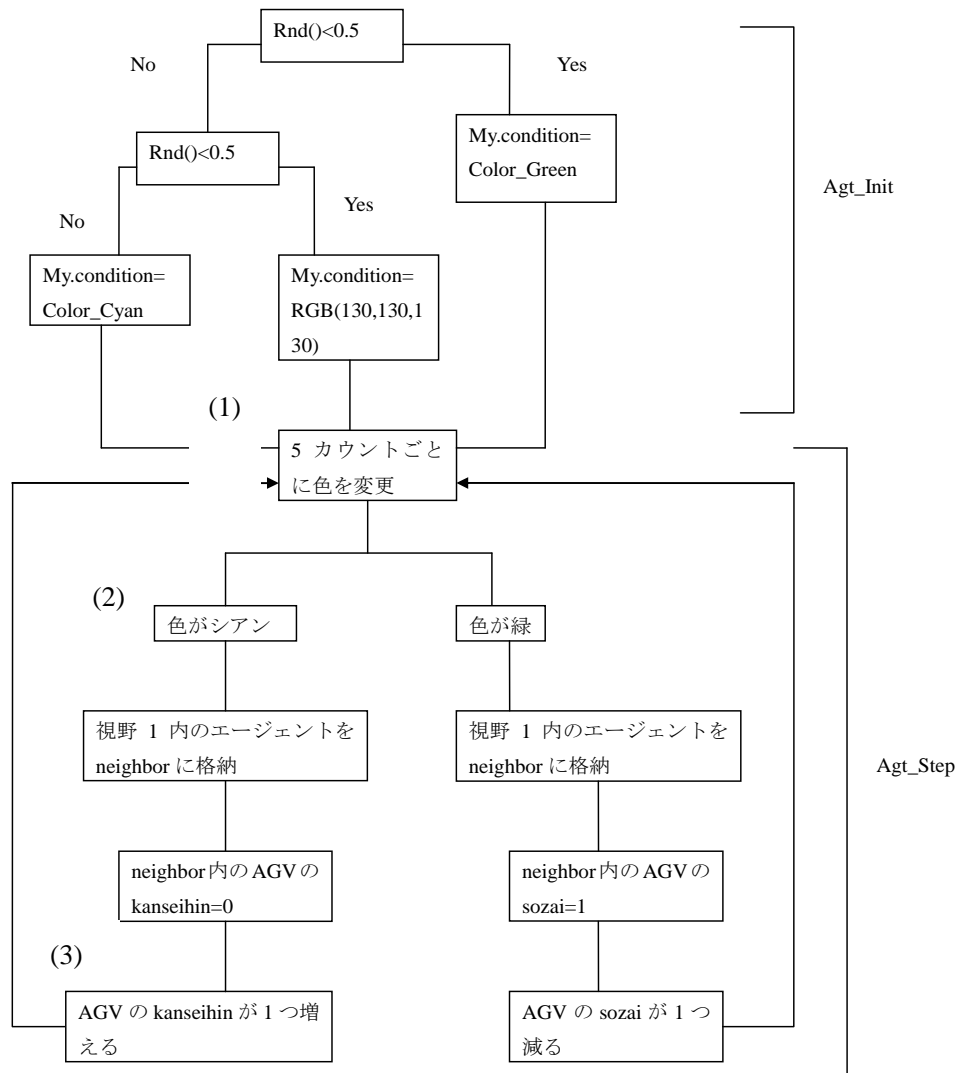


図 3.8 機械エージェントのフロー

3. 5. 3 素材庫エージェント

素材庫エージェントの動作は以下になる.

- (1)視野 1 内の AGV が素材を持っていない場合, AGV に素材を渡す.

図 3.9 素材庫エージェントのフローを示す.

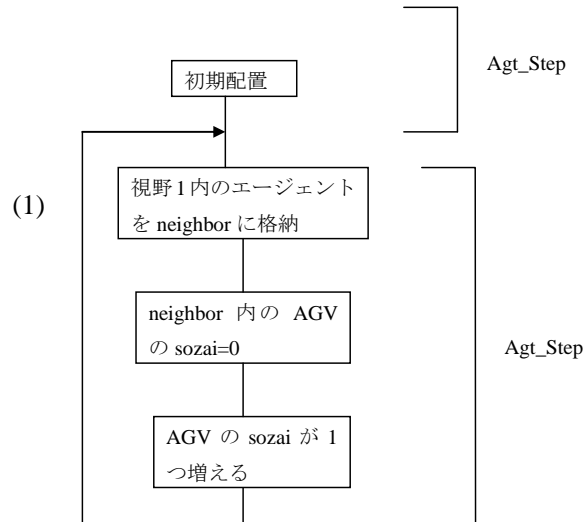


図 3.9 素材庫エージェントのフロー

3. 5. 4 完成品庫エージェント

完成品庫エージェントの動作は以下になる.

- (1)視野 1 内の AGV が完成品を持っている場合, AGV から完成品を受け取る.

図 3.10 に完成品庫エージェントのフローを示す.

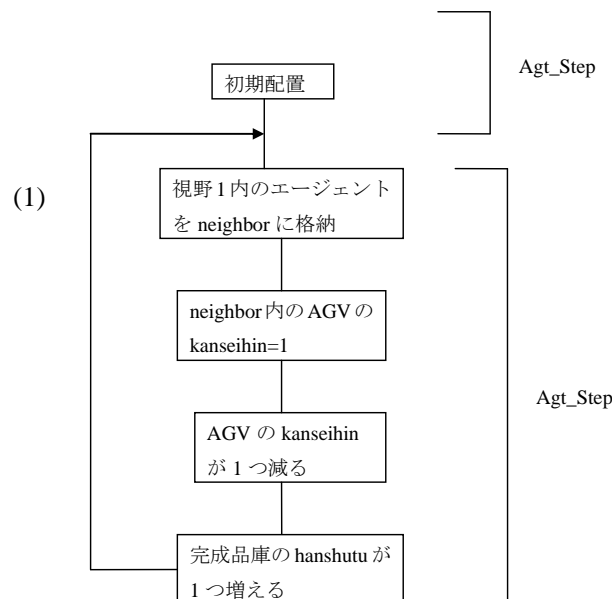


図 3.10 完成品庫エージェントのフロー

3. 5. 5 充電器エージェント

充電器エージェントの動作は以下になる。

- (1) 視野 1 内の AGV のエネルギーが 15 以下の場合，AGV の充電を行う。
- (2) 充電中は 1 カウントごとに AGV のエネルギーに 5 加える。
- (3) エネルギーが 100 になると充電を終了する。

ただし，1 つの充電器につき，最大 2 台の AGV の充電が可能である。

図 3.11 に充電器エージェントのフローを示す。

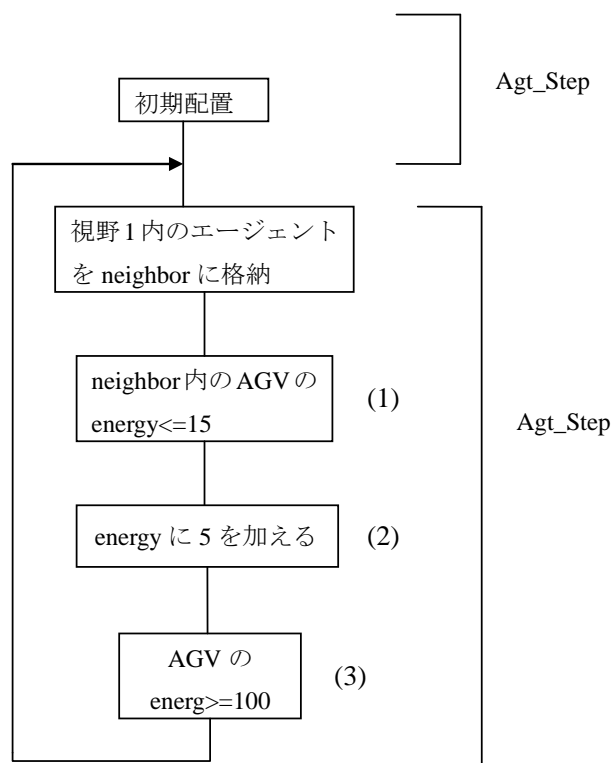


図 3.11 充電器エージェントのフロー

3. 6 シミュレータのインターフェース

本研究で開発した自律分散型 AGV システムのマルチエージェントシミュレーションにおけるインターフェースについて説明する。AGV 数やシミュレーションの終了条件，連続実行回数は図 3.12 の実行環境設定で，各パラメータは図 3.13 のコントロールパネルで調節できるように設定した。コントロールパネルでは，感知，同時充電数，要充電の閾値，充電容量，同時入庫数，倉庫でかかる時間，1 カウントの充電量，連結可能エネルギー差を調節できる。以下にそれぞれの説明を示す。

感知・・・AGV がエージェントを認識する視野の距離
同時充電数・・・充電器で同時に充電できる AGV の数
要充電の閾値・・・エネルギーがこの値以下になれば AGV は充電器に向かう
充電容量・・・AGV のエネルギーの最大値
同時入庫数・・・素材庫，完成品庫へ同時に搬送を行うことができる AGV の数
倉庫でかかる時間・・・素材庫，完成品庫で搬送を行う際にかかる時間
1 カウントの充電量・・・充電器で 1 カウントに充電されるエネルギー量
連結可能エネルギー差・・・連結を行うことができる AGV の残りエネルギーの差

コントロールパネルで調節を行い，シミュレータを実行すると，図 3.14 に示す画面が現れ，シミュレーションの様子を確認することができる．図 3.15 に示す要素設定のエージェント変数情報にチェックを入れることで AGV に変数を表示することができる．



図 3.12 実行環境設定



図 3.13 コントロールパネル

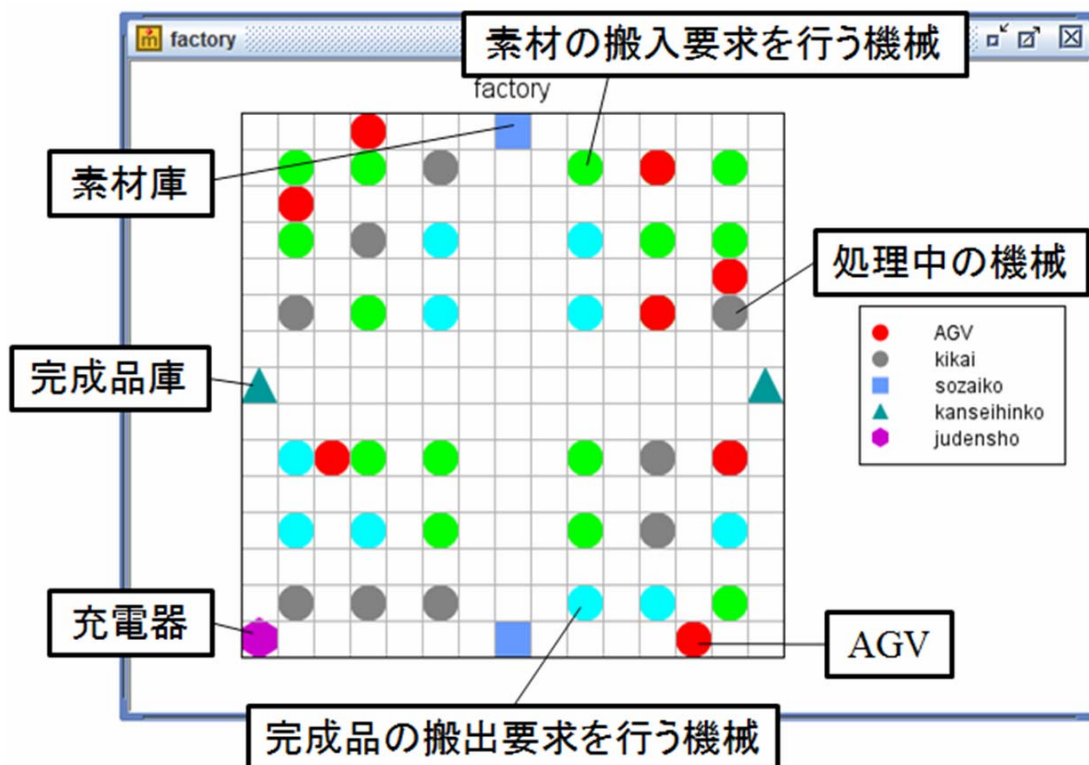



図 3.14 シミュレーションのメイン画面

要素設定

要素名: AGV

出力対象: AGV

マーカー:

- ☐ なし
- ☒ 選択 
- ☐ ファイル名
- ☐ ファイル指定変数名

エージェント表示色:




- ☐ 固定色
- ☒ 変数指定 condition

エージェント変数情報:

- ☒ 情報表示 ID

小数表示: 0 桁

☒ 線を引く

- 線引対象: mawariZ
- 線種: 
- 矢印種別: 
- 色の設定  選択

OK 取消

図 3.15 要素設定

第4章 ケーススタディ

本章では，本研究で提案する手法の有効性を検証するために行ったケーススタディについて述べる．

4.1 AGVの基本動作の確認

本節ではマルチエージェントシミュレーションを実行した場合のAGVの基本動作について確認する．

図4.1にAGVが搬送を行うエージェントを選択する場合の実行例を，図4.2にAGVが連結を行う場合の実行例を示す．図4.1の実行例ではAGVを5台，感知を2，同時充電数を2台，要充電の閾値を15，充電容量を100，同時入庫数を2台，倉庫でかかる時間を5カウント，1カウントの充電量を5，連結可能エネルギー差を2と設定した．図4.2の実行例では感知を4とし，他の値は同じである．

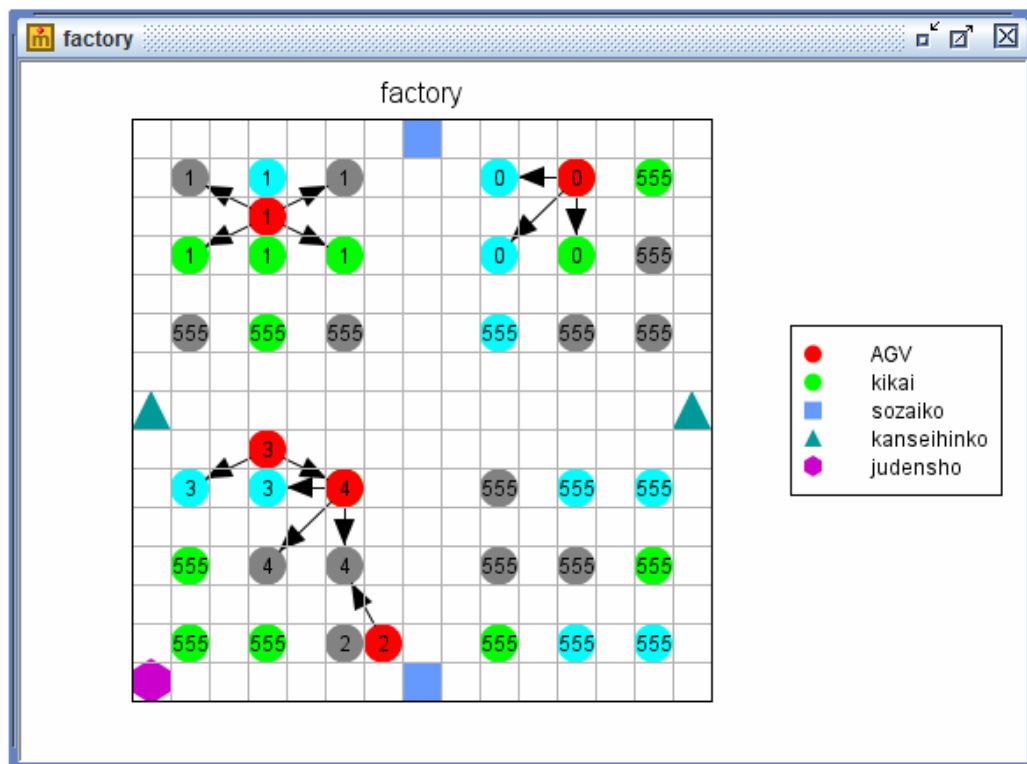
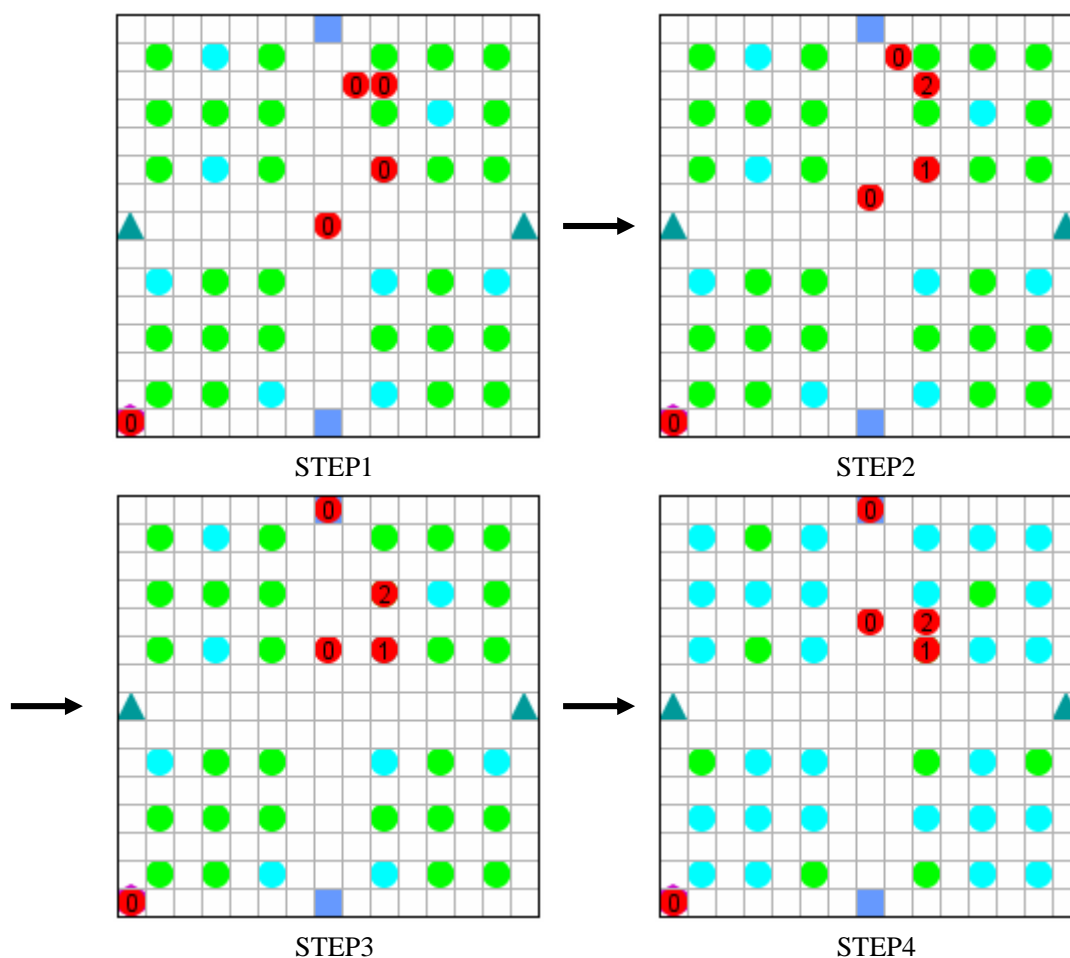


図 4.1 AGV が搬送を行うエージェントを選択する場合の実行例

図 4.1 の実行例について説明する．AGV に表示されている番号は ID で、個体の識別番号を表している．AGV の感知の範囲内にいる機械に AGV から矢印を伸ばし、矢印の先にある機械にその AGV の ID を表示する．AGV に認識されていない機械は 555 と表示する．複数の AGV から等しい距離にある機械は乱数を用いて等しい確率で ID を表示する．

この ID をつけた機械の中から AGV は積載している素材、完成品に応じて搬送要求を行っている最短距離の機械に向かう．向かう機械がない場合は機械が搬送要求を出すまで待機する．

図 4.1 の例では ID が 0 の AGV は素材も完成品も積載していないなら完成品の搬出要求を出している左の機械に向かい、素材を積載し、完成品を積載していないなら素材の搬入要求を出している下の機械または完成品の搬出要求を出している左の機械に向かう．ID が 1 の AGV も同様に積載物に応じて上か下の機械に向かう．ID が 2 の AGV は素材を積載していないなら素材庫に向かい、積載しているなら待機する．ID が 3 の AGV は完成品を積載していないなら完成品の搬出要求を出している下の機械に向かい、積載しているなら待機する．ID が 4 の AGV は ID が 3 の AGV が下の機械に向かうなら、視野の範囲内に搬送要求を出している機械がいないので待機する．ID が 3 の AGV が待機し、ID が 4 の AGV が完成品を積載していないなら、完成品の搬出要求を出している左の機械に向かう．



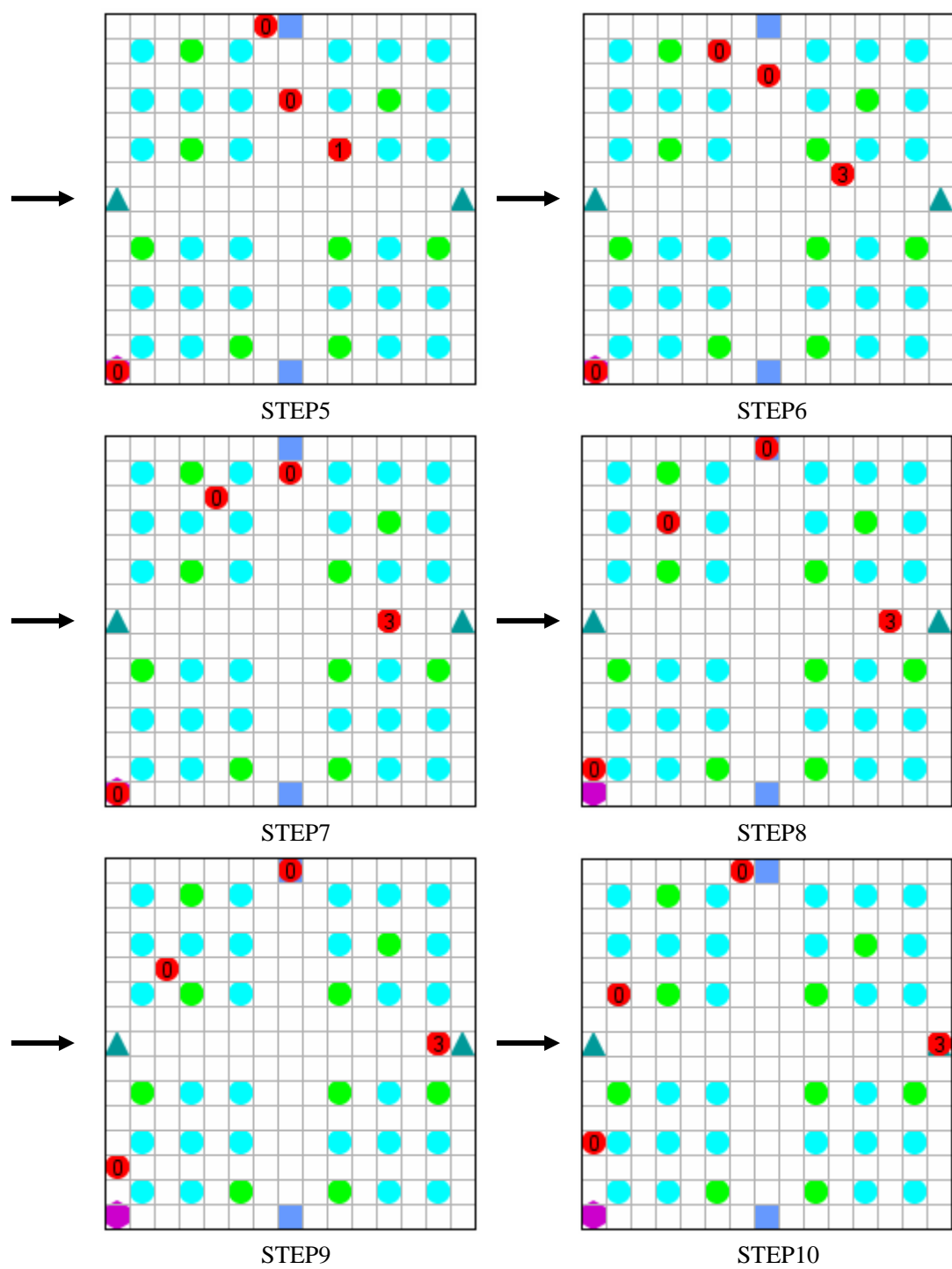


図 4.2 AGV が連結を行う場合の実行例

図 4.2 の実行例について説明する。AGV に表示されている番号は、連結を行う際の基準となる番号で、各番号の意味は以下の通りである。

- 0・・・連結相手はいない
- 1・・・連結相手を待機
- 2・・・連結相手に向かう
- 3・・・連結中

STEP1~STEP10 で連結の様子を示す。STEP1 に示すように、右から 5 セル目の 2 台の AGV は右側の完成品庫に向かおうとしている。STEP2~STEP5 に示すように、2 台 AGV の内 1 と表示されている AGV が 2 と表示されている AGV の状態を認識し、目的地が同じでかつエネルギーが連結可能エネルギー差の範囲内なので連結相手とみなし、AGV2 を待機する。STEP2~STEP5 に示すように、AGV2 も同様に判断し AGV1 に向かう。STEP6 に示すように、連結を行うと表示される番号は 3 となり、完成品庫に向かう。

この例では(番号が 1 の AGV と 2 の AGV との距離)<(番号が 1 の AGV と完成品庫との距離)なので連結を行ったが、(番号が 1 の AGV と 2 の AGV との距離)≥(番号が 1 の AGV と完成品庫との距離)ならば連結は行わない。

計測結果は図 4.3 のようにコンソール画面で表示され、図 3.4 のマルチエージェントシミュレーション全体の処理を行う Universe でファイル出力関数 OpenFileCSV, WriteFileCSV, CloseFileCSV を用いて図 4.4 のように txt ファイルで出力する。txt ファイルは左から AGV 数, 処理完了時間, 連結回数, 充電待ち時間を表している。

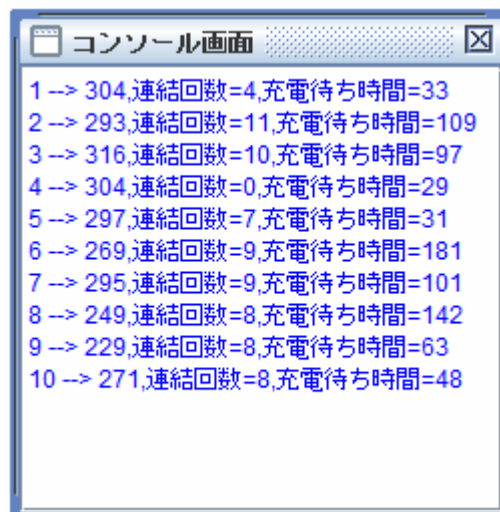


図 4.3 計測結果

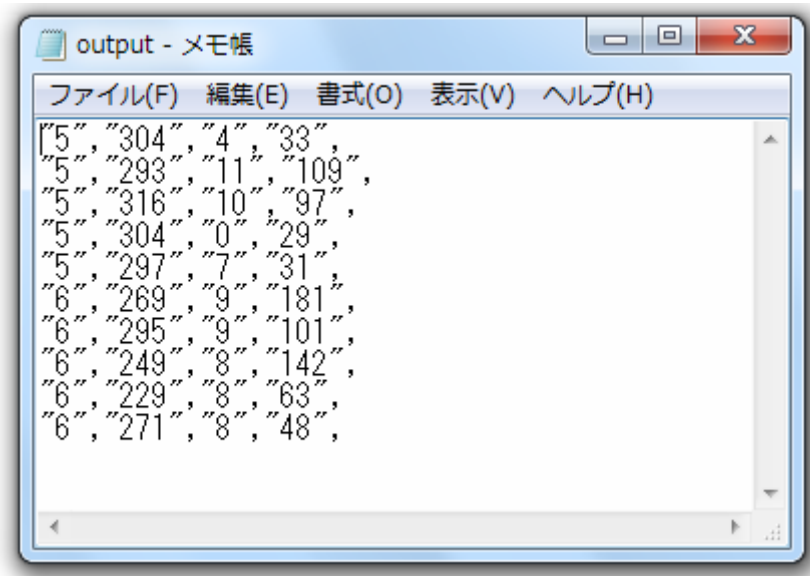


図 4.4 txt ファイル

4.2 連結の有効性の検証

AGV の連結の有効性を検証するためのケーススタディの条件として、AGV5~10 台、工作機械 36 台、素材庫 2 つ、完成品庫 2 つ、AGV の充電器 1 つからなる生産システムを考える。完成品庫に搬送された完成品数が 50 になる処理完了時間を計測し、連結を行わない場合と行う場合の 2 通りでマルチエージェントシミュレーションを行う。

パラメータとして AGV 台数、また連結可能エネルギー差を用い、他のパラメータは固定して実験を行う。連結可能エネルギー差が大きくなればなるほど連結回数は増加する。連結可能エネルギー差を 0 と設定すると連結は行わない。AGV 台数は 5~10 台で変化幅は 1 とし、連結可能エネルギー差を 0 から増加させていくことで連結の有効性の検証を行う。

図 3.13 に示したコントロールパネルで AGV が感知する距離を 4、同時充電数を 2 台、要充電のエネルギーの閾値を 15、充電容量を 100、同時入庫数を 2 台、素材庫や完成品庫で搬送にかかる時間を 5 カウント、1 カウントの充電量を 5、連結可能エネルギー差を 0、2、5 と設定する。AGV の初期配置はランダムとし、AGV 以外のエージェントの初期配置を図 4.5 のように設定する。

ケーススタディの結果の検証として、計測時間、連結回数、充電器付近での待機時間について各 AGV 数と連結可能エネルギー差について比較を行った。これらの値は、各パターンで 10 回計測した値の平均を用いている。表 4.1、4.2、4.3 にそれぞれ連結可能エネルギー差が 0、2、5 の場合の処理完了時間、連結回数、充電待ち時間を示す。また、図 4.6 に AGV 数と処理完了時間の関係、図 4.7 に AGV 数と連結回数の関係、図 4.8 に AGV 数と充電待ち時間の関係を示す。

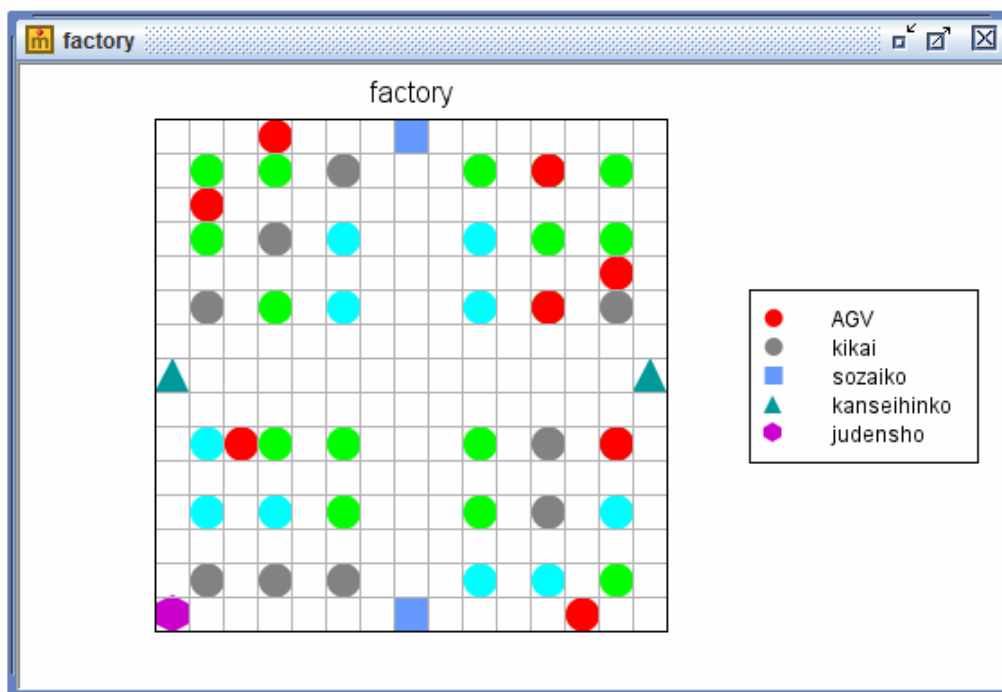


図 4.5 各構成要素の初期配置

表 4.1 連結可能エネルギー差 0 の結果

AGV数[台]	処理完了時間[カウント]	連結回数[回]	充電待ち時間[カウント]
5	308.3	0	60.7
6	269.6	0	81.8
7	234.6	0	119.5
8	234.6	0	176.5
9	210.8	0	298.2
10	200.9	0	435.4

表 4.2 連結可能エネルギー差 2 の結果

AGV数[台]	処理完了時間[カウント]	連結回数[回]	充電待ち時間[カウント]
5	312.2	4.8	65
6	265.1	5.6	91.7
7	225.2	5.1	102.2
8	202.4	6.6	130.8
9	197	7.7	177.8
10	194	6.1	281.1

表 4.3 連結可能エネルギー差 5 の結果

AGV数[台]	処理完了時間[カウント]	連結回数[回]	充電待ち時間[カウント]
5	295.5	6.5	75.3
6	265.8	8.9	102.4
7	215	8.7	83
8	209.1	11.3	136.5
9	189.6	14.3	135.9
10	186.8	13.8	204.6

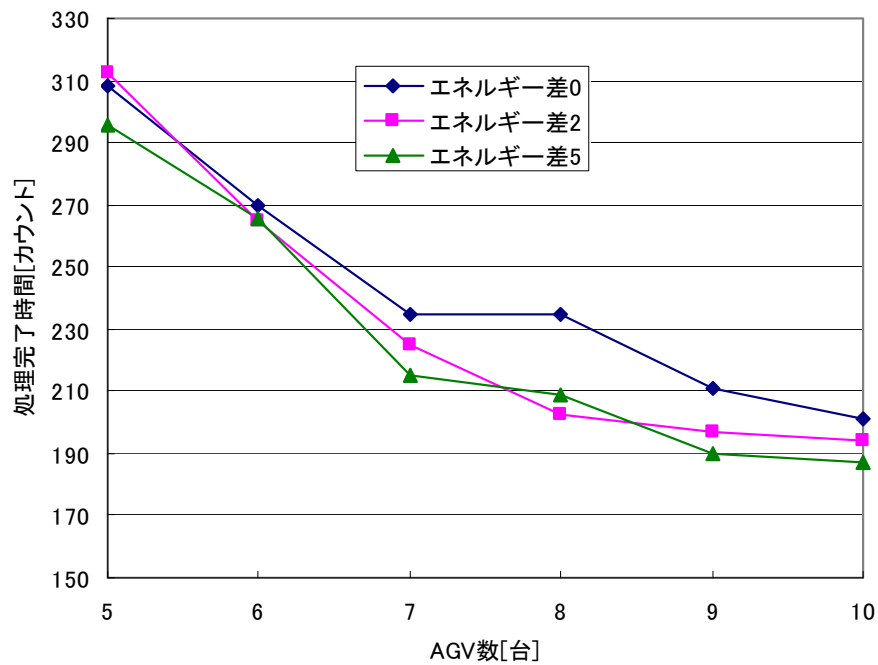


図 4.6 AGV 数と処理完了時間の関係

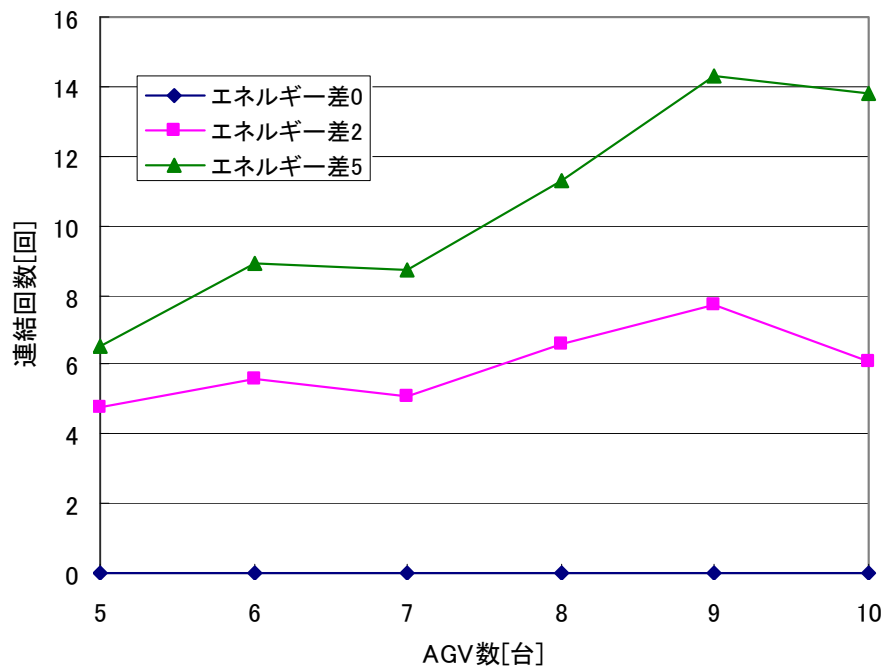


図 4.7 AGV 数と連結回数の関係

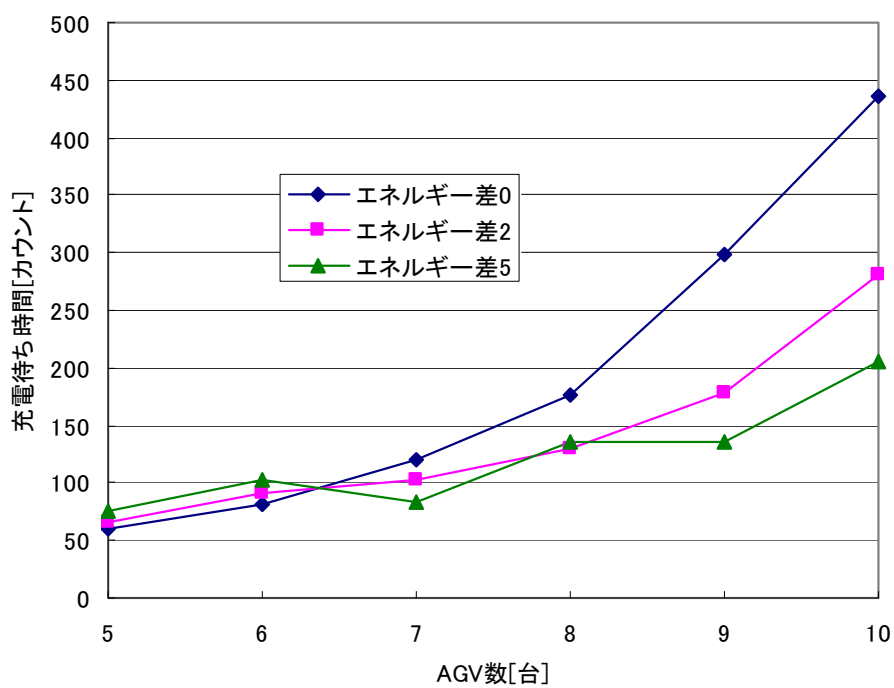


図 4.8 AGV 数と充電待ち時間の関係

4.3 考察

ケーススタディの結果から得られた考察を以下に示す。

- (1) 図 4.6 より AGV 数が増加するにつれて処理完了時間がより短縮されていることが分かる。これは AGV 数が増加するにつれて充電待ちの AGV が増加するが、連結することで AGV のエネルギーが分散し、充電待ちの AGV が減り、効率よく搬送が行われたためであると考えられる。

AGV 数 5 台、連結可能エネルギー差 2 の場合において連結を行わない場合と比較すると、処理完了時間が長くなっている。これは AGV 数が少ない場合は充電待ちの AGV が少ないことと、連結の際、連結相手を待つ時間が、連結することで減らせる充電待ち時間を上回ってしまったためであると考えられる。

エネルギー差 2 とエネルギー差 5 の場合を比較すると、処理完了時間が各 AGV 数に応じて短い場合と長い場合がある。これは、AGV が搬送を行う際に選択するエージェントが、AGV の視野の範囲内の搬送要求を行っている最短距離のエージェントであるというような不確定な要素を含んでいるためであると考えられる。

また、AGV 数が増加するにつれて直線の傾斜が緩やかになっていることが分かる。これは AGV 数が増加すると充電待ちの AGV も増加し、充電待ち時間が増加する。この増加した充電待ち時間と連結相手が到着するまで待機する時間とが、連結することで減らせる充電待ち時間と相殺しているからだと考えられる。

- (2) 図 4.7 より連結可能エネルギー差が増加するにつれて、連結回数も増加していることが分かる。これは連結可能エネルギー差が大きいほうが連結しやすいためである。AGV 数 7 台、連結可能エネルギー差 2 と 5 の場合において AGV 数 6 台の場合と比較すると連結回数が減少している。これは(1)で述べた不確定な要素が原因となっていると考えられる。
- (3) 図 4.8 より、AGV 数が増加するにつれて充電待ち時間が減少していることが分かる。これは (1)で述べた通り、連結することで充電を待機する AGV が減少したためである。また、AGV 数が少ない場合、各連結可能エネルギー差において充電待ち時間にばらつきが生じている。この原因として(1)で述べた不確定な要素により、連結することで逆に AGV が一斉に充電器に向かってしまったためであると考えられる。AGV 数が少ない場合は充電待ち時間自体が少ないのでこの影響が顕著に現れてしまったことも原因として考えられる。

第5章 結言

本研究では、生産システムの構成要素であるAGVに関して、各AGVの搬送経路が一致する場合、に連結して搬送プロセスを実行する自律分散型AGVシステムを提案した。また、このAGVシステムについてマルチエージェントシミュレーションを実行し、連結しない場合との比較を行い搬送効率の検証を行った。

以下に本研究の成果を示す。

- (1) 生産システムにおいて、完成品庫に搬送される完成品数が一定数に達する時間の短縮を目的として、充電待ちのAGVを減らし、効率よく搬送を行うために、AGVの搬送経路が一致する場合に連結して搬送を行う自律分散型AGVシステムを提案した。
- (2) マルチエージェントシミュレータ *artisoc* を用いてAGVシステムをモデル化した。また、連結の有効性を検証するために、AGVの台数や連結を行う条件であるエネルギー差を変化させてケーススタディを行った。ケーススタディを行った結果、AGVの連結回数が増加するほど充電待ち時間が減少し完成品数が一定数に達する時間が短縮できることを示した。

今後の課題として、本研究では単純な衝突の回避動作を実装しているが、自律分散型のAGVシステムにおいて問題となるデッドロックの解消の論理的な手法について取り組むこと、また連結を行うことでデッドロックの解消に寄与できるかを検証することが考えられる。

参考文献

- [1] 鳩野, 田村: 複雑な生産システムにおけるスケジューリング, 精密工学会誌, Vol.62, No.8, (1996).
- [2] 伊東, 岩田: フレキシブル生産システム, 日刊工業新聞社, (1984).
- [3] 福田: 生産システムの軌跡 多量生産システムから高付加価値生産システムへ, 精密工学会誌, Vol.65, No.1, 13-18, (1998).
- [4] 長尾, 太田, 占部他 2 名: 自律分散システムのためのネットベース協調制御, 計測自動制御学会論文集, Vol.32, No.6, 967/974, (1996).
- [5] 石井, 廣瀬: 分散と協調, 計測と制御, Vol.26, No.1, (1987).
- [6] 杉村: 自律分散型スケジューリング, 計測と制御, Vol.33, 第 7 号, (1994).
- [7] 伊藤: 自律分散システム研究の課題と将来, 計測と制御, Vol.32, No.10, (1993).
- [8] 森脇, 杉村, Martawirya, 蜷川: 自立分散型生産システムの設計と運用に関する研究(基本構成と生産スケジューリングへの適用), 日本機械学会論文集(C 編), 1674-1679, (1992).
- [9] 森脇, 上田, 杉村, Martawirya, 蜷川: 自立分散型生産システムの設計と運用に関する研究(第 2 報, 異常事象を考慮したスケジューリングへの適用), 日本機械学会論文集(C 編), 3976-3981, (1993).
- [10] 松本, 加藤, 長舟, 若松, 白瀬, 新井: アクティブデータベースを用いた自立分散型生産システムの開発, 日本機械学会論文集(C 編), 837-843, (1999).
- [11] 大倉, 上田: 生物指向型生産システムにおける簡単なモデルを使った生産スケジューリング問題の一解法, 日本機械学会論文集(C 編), 62 巻, 595 号, (1996).
- [12] 沖野: 生物型生産システム 集中から分散へ, 朝倉書店, (1993).
- [13] 昇高, 山崎, 中村: FMS における AGV の最適台数決定問題(最適台数の下限), 日本機械学会論文集(C 編), 63 巻, 605 号, (1997).
- [14] 古川, 渡辺, 玉山, 嘉数: 一方向走行レーンをもつ FMS 工場における複数 AGV の運行スケジューリング(遺伝アルゴリズムによる調和スケジューリング), 日本機械学会論文集(C 編), 62 巻, 5955 号, (1996).
- [15] 山影, 人口社会構築指南書, 書籍工房早山, (2007)
- [16] タクマ精工, 無人搬送車・AGV, 手押し台車型, TC900S-II
http://www.takuma-seiko.co.jp/product_1.html
- [17] 日立プラントテクノロジー, 自律走行型無人搬送車インテリジェントキャリアー
http://www.hitachi-pt.co.jp/agv_intelligentcarry/ic_outline.html
- [18] IHI, 無軌道 AGV, IHI-AGV システム ファクトライナーシリーズ
<http://www.ihl.co.jp/logistics/matehan/avg.html#no01>
- [19] ジック株式会社, AGV ポジショニングシステム
http://www.sick.jp/product/automatic/laser/ld_ha_scanner/
- [20] オプテックス株式会社, 立体空間情報の取得で進路上の死角をなくす

<http://www.optex.co.jp/cases/014.html>