自律分散型 FMS における知識交換による AGV の協調*

(正面衝突回避の知識交換)

山本 秀彦^{*1}, 丸井 悦男^{*1}

AGVs' Cooperations by Knowledge Exchange in Autonomous Decentralized FMS

(Head-on Collisions Avoidance by Knowledge Exchange)

Hidehiko YAMAMOTO^{*2} and Etsuo MARUI

^{*2} Department of Human and Information Systems, Gifu University,
1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu, 501-1193 Japan

This paper describes the cooperations method by knowledge exchange for AGVs autonomous moving in the autonomous decentralized FMS. The method gives AGV an individual knowledge called AGV knowledge and, by exchanging the AGV knowledge, each AGV can avoid the collisions. This method is not the conventional control by a host computer but the communications between AGVs. After applying the developed method for the 9 types FMS constructed in a computer, the number of head-on collisions are deleted.

Key Words: Production System, FMS, Production Planning, Autonomous Decentralized System, AGV

1. はじめに

次世代の知的生産システムの一つとして、自律分散型 FMS(Flexible Manufacturing systems)の研究が行われてきた^{(1)~(3)}。筆者らもこの自律分散型 FMS の実現に向けて、各エージェントが自律的に行動し、さらに効率よい生産を進めるため、エージェントの持つ生産計画に関する知識や推論について研究してきた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし、実際に各エージェントを自律的に行動させるには、生産に関する推論だけではなく、互いのエージェントの移動に関して、自律的に行う必要が生じる。即ち、自律分散型 FMS の中で稼動する AGV(Automated Guided Vehicle)が、自律的に協調する移動が重要になる。従来の FMS では、ホストコンピュータなどの指示に従い、事前に計画された経路に沿って AGV は移動していた。しかし、AGV の台数が増え、その移動経路も一方通行でなく双方向に移動可能な経路となり、さらに交差点も存在するという複雑 FMS になると、事前に計画したとおりの移動を AGV が取れば、衝突などの問題を生じやすくなる。なぜならば、実際の FMS では、各マシニングセンタ (MC) での加工時間は計画通り終了するとは限らず、また AGV も故障のため停止したりする。即ち、事前に計画したとおりに AGV は移動経路上に居ることはほとんど無く、そのために同時に同じ地点に複数の AGV が向かうことが発生してしまう。

本論文は、この問題を解消するために、自律分散型 FMS 内で有軌道上を双方向通行で移動する AGV について、各 AGV が知識交換し、互いに協調し合うことで、衝突することなく工場内を移動する方法を提案する。即ち、AGV が保有する知識、協調のために AGV 間で交換する知識、およびその交換手順などについて記述する。

AGV の移動制御についての研究は従来からあるが⁽⁶⁾⁽⁷⁾、これらは、確率的学習オートマトンによる一方通行経路での移動制御であったり、有限時間内に搬送を完結するための情報受信範囲を解析する手法であり、本研究が目指す、知識交換による AGV 移動制御の研究はなされていない。

2. 工場内インフラ条件

本研究で取り上げる自律分散型 FMS は、次のようなインフラ条件が整っているものとする。AGV の移動経路は、図 1 のように格子状となっており、この経路を双方向に一定速度移動できる。そして、各経路の交点 (交差点) を AGV が通り抜けると、AGV はこの通過交差点座標を認識できる。さらに、交差点座標などの AGV の持つ情報を他のすべての AGV に向け発信でき、同時に各 AGV はこの情報を受信できる。

3. 知識交換協調による衝突回避

本研究がめざす自律分散型 FMS では、各 AGV が

* 原稿受付 2002 年 3 月 29 日。

^{*1} 正員、岐阜大学工学部(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)。

E-mail: yam-h@cc.gifu-u.ac.jp

自律分散システムのエージェントとして働き、各エージェントが、知識の交換により協調を行う。即ち、本論文では、図 2 に示すように、AGV 自身の持つ知識 (AGV 知識) を保有し、さらに各 AGV が他の AGV に発信する知識 (伝達知識) を相互に交換し、AGV の衝突を回避する経路を相談し合う協調動作を提案する。

3.1 AGV 知識 AGV 知識は、自律分散型 FMS を構成するエージェントである AGV が、自律的に行動するための固有の知識集合で、4 種類の知識から成る。この 4 種類は、図 3 に示すように、①経路知識(path-knowledge)、②自己知識(self-knowledge)、③他者知識(neighbor-knowledge)、④緊急知識(emergency-knowledge)である。各 AGV は各々個別の AGV 知識を保有する。次に、この 4 種類の知識の内容を以下に定義する。

[定義] 経路知識：経路知識は、AGV の進むべき経路を、連続する交差点座標を要素とする集合で表す。具体的には、AGV が部品を受け取った時、その部品を次に受け渡す MC などへの最短経路を、これに該当する一連の交差点座標列として記憶する。

[定義] 自己知識：自己知識は、AGV 自分自身に関する知識で、4 つの要素から構成する。第 1 の要素 (self-name) は自分自身の名前、第 2 の要素 (last-crossing) は自分自身が最後に通過した交差点座標、第 3 の要素 (next-crossing) は自分自身が次に向かう (1 点先) 交差点座標、第 4 の要素 (following-crossing) は自分自身が次の次に向かう (2 点先) 交差点座標である。即ち、自己知識は式 (1) に示すリストとして表現される。

$$\begin{aligned} \text{self-knowledge} = & \{(\text{self-name})(\text{last-crossing}) \\ & (\text{next-crossing})(\text{following-crossing})\} \end{aligned} \quad \dots(1)$$

この第 2, 3 要素により、各 AGV は今自分がいる 2 交差点間 (通路) を、第 3, 4 要素により次に向かう (1 点先) 通路を把握している。この自己知識は、交差点を通過ごとに生成し、更新する。

[定義] 他者知識：自分以外の AGV の情報を、各 AGV が保有しないと、AGV は自律的に移動することが難しい。しかし、他の AGV の持つすべての知識を保有することは好ましくない。そこで、必要最小限の知識として、他の AGV が現在どこにいて、次にどの通路へ進む予定なのかの 2 つだけを常時自分の AGV 知識の 1 つとして保有することにする。この知識を他者知識と呼び、4 つの要素を持つ。第 1

要素は他 AGV の名前 (sender) を記憶する。第 2 要素以降は自己知識同様の交差点座標を記述する。これにより、第 1 要素の AGV が、今どこにいて、次にどの通路に向かうのかが把握できる。即ち、他者知識は、式 (2) に示す様に、4 つの要素を一つの AGV の知識とし、FMS 内に移動する AGV の数だけ (sender_1, sender_2, ...) 他 AGV の他者知識として保有する。この他者知識は、後述の伝達知識の受信により生成される。

$$\begin{aligned} \text{neighbor-knowledge} = & \{[(\text{sender}_1)(\text{last-crossing}_1)(\text{next-crossing}_1) \\ & (\text{following-crossing}_1)] \\ & [(\text{sender}_2)(\text{last-crossing}_2)(\text{next-crossing}_2) \\ & (\text{following-crossing}_2)] \dots\} \quad \dots(2) \end{aligned}$$

[定義] 緊急知識：緊急知識は、後述する緊急伝達知識を受信した時、この知識を記憶する集合で、受信した緊急伝達知識の数だけ記憶する。この緊急知識が空白の場合を除き、どこかで衝突回避の行動が行われていることが AGV は把握できる。

Fig. 1 Autonomous decentralized FMS layout

Fig. 2 AGVs' communication by knowledge

Fig.3 AGV knowledge

以上のように、自律的に AGV が移動するために、各 AGV は、自分自身の移動に関する全体経路、今どの通路にいるのか、他の AGV は今どの通路にいるのかなどを認識するために、それぞれ経路知識、自己知識、他者知識を持ち、さらに、必要に応じ衝突回避に備えるため、緊急知識を持つ。これら知識により、AGV は自律的に移動し、衝突に際しても、自律的に判断し回避することができる。

3.2 伝達知識とメッセージ情報 AGV は、他の AGV に自分の AGV 知識の一部を伝達することで、各 AGV が自律的に移動できる。この伝達する情報を、伝達知識(sending-knowledge)と呼ぶ。伝達知識は、図 2 に示すように、1 つの AGV から全 AGV へ発信するラジオ放送型で伝達する。AGV 知識の多くは、交差点座標であるが、単純に交差点座標を伝達するだけでは、エージェントが協調するとは考えにくい。エージェントの持つある意思を伝達しない限り、エージェント間の協調は行えない。そこで、本研究では、この知識伝達に、意思をやり取りする特徴を持たせる。

さて、伝達知識は、次の 2 条件のどれか 1 つを満足した時に生成し、発信する。

条件 1 : AGV が交差点を通過した時。

条件 2 : 伝達知識を受信した時。

条件 1 で生成する知識は、AGV の現在位置を知らせるためのもので、特に通常伝達知識(O-sending-knowledge)と呼ぶ。条件 2 で生成する知識は、衝突が発生するかもしれない時に発信する知識で、緊急伝達知識(E-sending-knowledge)と呼ぶ。

通常伝達知識は、図 4 に示すように、4 要素から

なる知識である。第 1 の要素(sender)は、発信源である AGV、第 2 要素以降は交差点座標が記述される。第 2 要素の交差点座標の内容は、発信 AGV が今通過した交差点座標(last-crossing)を、第 3 要素には発信 AGV の 1 点先の交差点座標(next-crossing)を、第 4 要素には 2 点先の交差点座標(following-crossing)を記述する。通常伝達知識を式化して表現すると、式 (3) となる。この通常伝達知識を受信した AGV は、これを受信した AGV の AGV 知識の中の他者知識の 1 要素となる。

$$\begin{aligned}
 \text{O-sending-knowledge} = & \{(\text{sender})(\text{last-crossing}) \\
 & (\text{next-crossing})(\text{following-crossing})\} \cdots (3)
 \end{aligned}$$

図 5 に示す緊急伝達知識は、交差点座標の他に、協調に欠かせない数種類の AGV 同士の意思を表現するメッセージを含む。この知識の要素は、第 1 要素が発信 AGV の名前、第 2 要素(message)はメッセージ、第 3 要素(addressee)は発信先の AGV (受信 AGV) の名前、第 4 要素以降は交差点座標で、メッセージの種類ごとに異なる座標である。第 2 要素のメッセージが、AGV の意思を表し、次の 8 種類、(1)Ask, (2) Answer, (3) Ask-again, (4)Answer-again, (5)Reverse, (6)Clear, (7)After-you, (8)Thanks, である。

緊急伝達知識には、この 8 種類のメッセージの 1 つを記述し、発信する。緊急伝達知識を式化して表現すると式(4)となる。式(4)の空白のカッコ内には、メッセージの種類ごとに異なる要素数・交差点座標が入る。

Fig.4 O-sending-knowledge

Fig.5 E-sending-knowledge

E-sending-knowledge=

{{sender}(message)(addressee)()...()} ... (4)

次に、緊急伝達知識に含まれる各メッセージにこめられた、伝達したい意思内容を定義する。

[定義] Ask: 「3 点先の交差点座標を尋ねる」メッセージ。通常、AGV は他者知識の中に、他 AGV の最後に通過した交差点座標、1 点先・2 点先の交差点座標を記憶しており、この記憶により、現在の通路と次に向かう通路の情報を把握しているが、必要に応じ、この Ask メッセージが、さらに次の通路を知りたい意思を表す。例えば、E-sending-knowledge={{(AGV_1) (Ask)(AGV_2)}}と発信し、AGV_1 が AGV_2 に 3 点先の交差点を尋ねる。

[定義] Answer: 「3 点先の交差点座標」の情報を含むメッセージ。Ask メッセージを含んだ自分宛 (addressee 名の AGV) 伝達知識を受信した AGV が、その回答として発信するメッセージ。例えば、E-sending-knowledge={{(AGV_2) (Answer) (AGV_1) (1,3)}}と発信し、AGV_2 の 3 点先交差点座標は(1,3)であることを AGV_1 に知らせる。

[定義] Ask-again: 「Ask で尋ねたさらに 1 点先の交差点座標」を尋ねるメッセージ。

[定義] Answer-again: Ask-again メッセージを含んだ自分宛 (addressee 名の AGV) の伝達知識を受信した AGV が、その回答として発信するメッセージで、「Ask で尋ねたさらに 1 点先の交差点座標」を知らせるメッセージ。

[定義] Reverse: 「衝突回避のために後退する」を知らせるメッセージ。Reverse メッセージは、緊急度 1

位のメッセージで、このメッセージを受信した AGV は、後退する AGV の行動をさまたげてはいけない。
[定義] Clear: 「何の問題も無いから、どうぞ後退してください」を知らせるメッセージ。

[定義] After-you: 譲歩を表す、「お先にどうぞ」のメッセージ。

[定義] Thanks: 退避を完了したために、他の AGV に対し「退避状態を終了してください」というメッセージ。即ち、この Thanks を発信した時点で、衝突する可能性がなくなり、すべての AGV が正常稼動に戻るメッセージ。

3.3 伝達知識交換による協調 AGV は、協調動作を行うために、常に基本的な一定の処理を繰り返す。この処理をルーティン知識処理と呼び、以下にそれを示す。

【ルーティン知識処理】

Step1-1: 自己知識を更新した場合 Step1-2 へ、緊急伝達知識を受信した場合、Step1-3 へ続く。

Step1-2: 自己知識と他者知識を比較し、衝突の可能性を次のように調べる。自己知識の第 3.4 要素が他者知識の第 4.3 要素と同じか、各他者知識についてすべて比較する。異なる場合 Step1-2-1 へ、同じ場合 Step1-2-2 へ進む。

Step1-2-1: 本処理を終了する。

Step1-2-2: AGV 衝突の可能性を予感すると判断し、現在通路の中間点で停止し、Ask メッセージを含む緊急伝達知識を発信し、本処理を終了する。

Step1-3: 受信したメッセージに対応した緊急伝達知識を生成し、発信し、本処理を終了する。□

このように、AGV は自己知識を更新したり、伝達知識を受信するたびに、ルーティン知識処理により衝突の可能性を調べている。そして、Step1-2 で衝突の可能性を予感すると、緊急伝達知識の交換処理に切り替わる。ここで、予感と表現したのは、この時点では必ず衝突するとは限らないからである。

3.4 正面衝突回避のメッセージ交換 AGV は、3.3 項で述べたルーティン知識処理に基づき、衝突の可能性を予感する。衝突には正面衝突、側面衝突などいろいろな衝突パターンが考えられる。本項では、一般的と思われる正面衝突について、その回避を行うためのメッセージ交換則を説明する。この衝突回避の基本的な考え方は、①相手が今いる通路に進んでこないのならば、現在の通路にとどまる、②今いる通路に進んでくる場合は、後退して相手が通り過ぎるのを待つ、の 2 つの処理を①→②の順で行う処理

Fig.6 Routine knowledge process and message exchange rules

である。

ルーティン知識処理の Step1-2-2 で、衝突の可能性を予感した場合、AGVは次に示す正面衝突固有の【メッセージ交換則】に基づき、緊急知識のメッセージ交換を開始する。なお、以降の文中に記す優先 AGV とは、衝突回避の行動を取る場合の移動に関して優先権を与えられる AGV で、譲歩 AGV とは、優先 AGV に対して譲歩した衝突回避の行動を取る AGV である。具体的には、ルーティン知識処理の Step1-1 で、自己知識を上書きした AGV が、Step1-2-2 に進むと譲歩 AGV になる。また、3.2 項に記述した 8 種類のメッセージ以外に、交換則の then 部にいくつかの用語を用いている。これらの用語の内容に関する定義を以下に行う。

[定義] 記述形式 $\{[S] \Rightarrow [V][O]\}$: $\Rightarrow$ 印前の鍵カッコの文字が主語を、 $\Rightarrow$ 印後の鍵カッコの文字が動詞および目的語を示す。即ち、SVO の構文で、動詞と目的語の組み合わせは複数存在し、+ 印でその複数を表す。例えば、 $\{[A] \Rightarrow [message_1][B] + [Act_1]\}$ は、A が B に message_1 を発信し、Act_1 の行動を行うの意味である。

[定義] Stay_1 : 現在通路の中間点まで移動し、その場で待機する。

[定義] Check_1 : 譲歩 AGV は自己知識の第 3-4 要素と、優先 AGV の 2 点先交差点座標と 3 点先交差点座標 (Answer メッセージに含まれた交差点座標) が同じであるか、即ち、譲歩 AGV の現在通路と、優先 AGV の 2 点先の通路が同じであるか比較する。

[定義] Find_1 : 優先 AGV の 3 点先通路と異なる通路 (退避通路) を探索する。

[定義] Check_2 : 退避通路と、自分の 1 つ先通路と同

じか異なるかを確認する。もし、同じ場合、現在通路の中間点で待機。

[定義] Move_1 : 退避通路の中間点まで移動し、その場で待機する。

[定義] Move_2 : 計画どおりの通路に移動する。

【メッセージ交換則】

Rule_1 ; if{衝突の可能性を予感},

then{[譲歩 AGV] $\Rightarrow$ [Ask] [優先 AGV] + [Stay_1]}

Rule_2 ; if{Ask を受信},

then{[優先 AGV] $\Rightarrow$ [Answer][譲歩 AGV] + [Stay_1]}

Rule_3 ; if{Answer を受信},

then{[譲歩 AGV] $\Rightarrow$ [Check_1] + [Ask-again][優先 AGV]} or
then{[譲歩 AGV] $\Rightarrow$ [Check_1] + [After-you][優先 AGV]}

Rule_4 ; if{Ask-again を受信},

then{[優先 AGV] $\Rightarrow$ [Answer-again][譲歩 AGV]}

Rule_5 ; if{Answer-again を受信},

then{[譲歩 AGV] $\Rightarrow$ [Find_1] + [Reverse][全 AGV]}

Rule_6 ; if{Reverse を受信},

then{[全 AGV] $\Rightarrow$ [Check_2] + [Clear][譲歩 AGV]}

Rule_7 ; if{Clear を受信},

then{[譲歩 AGV] $\Rightarrow$ [Move_1] + [After-you][優先 AGV]}

Rule_8 ; if{After-you を受信},
 then { [優先 AGV] => [Move_2] + [Thanks] [全 AGV]} □

図 6 はルーティン知識処理とメッセージ交換則の関係性をまとめて表現している。次に、メッセージ交換則の詳細を以下に記述する。

Rule_1 の説明 ; 譲歩 AGV が優先 AGV に 3 点先の交差点を尋ねる。この状況は図 7 に示すように、AGV_1 が交差点(1,2)を通過直後自己知識を更新し、他者知識との照合によって、はじめて AGV_2 と衝突の可能性を予感した時である。即ち、通路(3,2)-(5,2)で衝突する可能性が生じる。そこで、AGV_1 は Ask メッセージを AGV_2 に発信し、現在通路の中間点で待機する。AGV_2 はすでに交差点(7,2)を通過しており、通路(3,2)-(5,2)を通過することは AGV_1 より早く宣言、即ちラジオ型放送伝達によって全 AGV に発信している。そこで、AGV_2 は先に宣言したことより、交差点(5,2)を優先的に通過する権限を持ち、AGV_2 を優先 AGV と設定する。Ask を発信した AGV_1 は、AGV_2 に比べ宣言が遅くなり、譲歩 AGV となる。

Rule_2 の説明 ; Ask メッセージの返信として、優先 AGV が 3 点先の交差点座標と Answer メッセージを含む緊急伝達知識を送信する。即ち、自己知識の第 4 要素に該当する following-crossing の、さらに 1 点先の座標を返信し、現在通路の中間点で After-you メッセージを受信するまで待機する。この時優先 AGV

Fig.7 Collision example

は、緊急知識の中に、受信した Ask メッセージの緊急伝達知識を 1 要素として含む。

Rule_3 の説明 ; Answer メッセージの返信として、譲歩 AGV は自己知識の第 3-4 要素と、優先 AGV の 2 点先交差点座標と 3 点先交差点座標 (Answer メッセージに含まれた交差点座標)が同じであるか、即ち、譲歩 AGV の現在通路と、優先 AGV の 2 つ先の通路が同じであるか比較し、

(1) 2 つの通路が同じ場合、譲歩 AGV は、Ask-again メッセージを含む緊急伝達知識を生成し、発信する。この時譲歩 AGV は、緊急知識の中に、受信した Answer メッセージの緊急伝達知識を 1 要素として記憶する。

(2) 2 つの通路が異なる場合、After-you メッセージを含む緊急伝達知識を生成し、発信する。そして、Thanks メッセージを受信するまで現在点で待機する。Thanks メッセージを受信後、この時点で衝突の可能性が無くなり、計画経路への移動を開始する。この時優先 AGV と譲歩 AGV は、緊急知識の中を空白にする。

Rule_4 の説明 ; Ask-again メッセージの返信として、優先 AGV が、Answer-again メッセージと、4 点先の交差点座標を含む緊急伝達知識を譲歩 AGV に発信する。この時優先 AGV は、緊急知識の中に、受信した Ask-again メッセージの緊急伝達知識を 1 要素として記憶する。

Rule_5 の説明 ; Answer-again メッセージの受信により、譲歩 AGV は、優先 AGV の 4 点先の交差点座標から、優先 AGV の 3 つ先通路が判明するため、この通路と異なる通路、即ち退避通路を選び、この退避通路に該当する 2 交差点座標と Reverse メッセージを含む緊急伝達知識を発信する。この時譲歩 AGV は、緊急知識の中に、受信した Answer-again メッセージの緊急伝達知識を 1 要素として記憶する。

Rule_6 の説明 ; Reverse メッセージを受信して、譲歩 AGV が選んだ退避通路が、自分の 1 つ先通路と異なることを確認後、譲歩 AGV の退避通路はあいていることを Clear メッセージを含む緊急伝達知識を発信して知らせる。ただし、自分の 1 つ先通路に譲歩 AGV が侵入する場合は、現在通路の中間点で停止後、Clear メッセージを含む緊急伝達知識を発信する。この時、Reverse メッセージを受信した AGV は、緊急知識の中に、受信した Reverse メッセージの緊急伝達知識を 1 要素として記憶する。

Rule_7 の説明 ; 全 AGV から Clear メッセージを受信した譲歩 AGV が、退避通路に移動しその中間点にきた時、優先 AGV に「さあ、移動しても安全です、お先に移動してください」と After-you メッセージを含む緊急伝達知識を発信する。この時譲歩 AGV は、緊急知識の中に、受信した Clear メッセージの緊急伝達知識を 1 要素として記憶する。

Rule_8 の説明 ; After-you メッセージの返信として、優先 AGV が計画通りの通路に移動後、全 AGV に衝突回避のための緊急事態は終了した旨の Thanks を含

む緊急伝達知識を発信する。

Thanks メッセージを受信すると、そのメッセージを受信した AGV は緊急知識を空白とし、通常の経路に移動し、その後計画通りに行動する。

なお、Reverse メッセージは、緊急度 1 位のメッセージであるが、同時に複数の箇所での衝突回避が行われる場合、複数の Reverse メッセージが送信される。この場合、初めに受信した Reverse メッセージから先に Reverse メッセージを有効とし、衝突回避行動を取り、その後、次に受信した Reverse メッセージを有効とする、先受信優先方法をとる。

このように、各 AGV は、最小限の他者 AGV に関する知識を保有し、必要な時に、知識交換により、必要な知識を獲得する事ができる。そして、この知識交換の途中で衝突の可能性を予感した場合、Rule_3 や Rule_7 に示すように、譲歩 AGV が自分の現在通路から移動して優先 AGV にその通路を譲る譲歩行動を取り、衝突を回避する。この知識交換、譲歩行動が本研究での協調動作の結果といえる。

さて、Rule_5 に示した退避通路は、Answer-again メッセージに含まれる交差点座標より、優先 AGV の 2 点先通路が判明するため、この通路を除外した通路を任意に 1 つ選び、選定する。

なお、3.3 項のルーティン知識処理の Step1-3 で記述した、受信したメッセージに対応した緊急伝達知識を生成は、メッセージ交換側の Rule_2 以降の手順に該当する。

4. 正面衝突へのシミュレーション応用

3 項で提案した知識交換による協調の考えを、プログラム化して、自律分散型 FMS の稼動に応用した。自律分散型 FMS は 9 種類 (Style_1-Style_9) で、その違いを表 1 に示す。表中、左の欄から、種類 (Styles)、扱う加工部品の種類 (Parts kinds)、MC の数 (MC)、AGV の台数 (AGV) を表す。MC の欄では、カッコの外にある数が、MC の種類数を表し、カッコの中の数は、種類ごとの台数を表す。例えば、Style_9 では、加工部品の種類は 9 種類で、8 種類の MC があり、各種類で同じ MC が 3 台レイアウトされた FMS であることを示す。この Style_9 の工場レイアウトを図 1 に示す。他の種類の FMS についてはこれを基本に MC の数が削減されたレイアウトとなる。また、各加工部品について、各 MC での加工時間が異なり、表 2 に Style_4-6 の各部品の加工時間と加工順番を示す。加工順番は表の上から下に向けて MC を経過す

順番である。さらに、事前に作成するスケジューリングでは対処できない、稼動中のトラブルを発生させた。採用した予期せぬトラブルは、各 AGV がランダムに 24 時間に 3 回、5 分間停止する、各 MC の部品加工時間がランダムに 10% 延長するの 2 条件である。

各スタイルの FMS を 24 時間稼動させた時の AGV 衝突回数を調べた。紙面の都合上、Style_3、Style_6、Style_9 についてのシミュレーション結果を、それぞれ表 3~5 に Developed system の値として示す。これらの表には、衝突回数だけでなく、各部品の生産数、および衝突回避の回数も記述する。衝突回避の回数は、AGV が衝突を回避するために経路を変更したり、待機したりした回数である。また、知識交換による協調をしない場合 (Conventional system) の結果も表の右欄に示す。例えば、表 3 では Developed system の生産量は、part_1 では 200 個、part_2 では 242 個、part_3 では 80 個である。この時の衝突回避回数は 1,879 回で、24 時間で多くの AGV の協調動作による回避が行われたことがわかる。また、衝突回数は 984 回である。一方、Conventional system では、part_1 は 221 個、part_2 は 266 個、part_3 は 80 個であり、衝突回数は 1,488 回である。衝突回数を比べると、衝突回避の対策をとらなかった Conventional system では、1,488 回衝突していたが、開発した知識交換による協調によって、984 回に減じることができた。Style_6、Style_9 についても 3,792 回から 1,776 回、3,336 回から 1,896 回と衝突回数を減じることができた。表に示さなかったその他のスタイルについても同様の削減結果となり、すべてのシミュレーション結果において衝突回数の削減がなされた。これは、正面衝突回避のアルゴリズムを採用したことによる効果と考えられる。これより、知識交換による協調を行った本研究の有効性が検証できた。

なお、依然衝突が発生しているが、これらの衝突状況を調べてみると、側面衝突や追い越し衝突など、正面衝突以外の衝突が多く起こっていることが判明した。

5. おわりに

本研究は、自律分散型 FMS を稼動する時に必要となる、AGV の自律的移動に関する知識交換による協調について行った。即ち、各 AGV に知識を持たせ、その知識交換により、移動に関して優先権を持つ AGV と、譲歩する AGV とを作り上げ、これらの

AGV 間での意見交換により衝突を回避する方法を提案した。

この方法は、各 AGV に、経路知識・自己知識・他者知識・緊急知識という 4 つの知識を含む、AGV 知識を持たせる。さらに、AGV の意思を表現するメッセージを含んだ伝達知識を交換し合うことで、AGV の衝突を自律的に回避できる。また、コンピュータ上に構築した 9 種類の自律分散型 FMS に、この方法を適用し、正面衝突回避の完全な削減を可能とした。今後残された問題は、例えば正面衝突以外の衝突に対する対処などの研究が必要であると考ええる。

文 献

- (1) 森脇 他, 自律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), 機論, 58-549, C, (1992),
- (2) 森脇 他, 自律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), 機論, 59-568, C, (1993), 3976.
- (3) 井原 他, 社会構造型自律分散生産システムの研究, 精密工学会誌, 62-12, (1996), 1722.
- (4) 山本, 自律分散型 FMS における未来予測推論による AGV 行動決定, 機論, 65-631, C, (1999), 1281.
- (5) 山本, 自律分散型 FMS における記憶と忘却を繰り返す未来予測推論, 機論, 66-644, C, (2000), 1388.
- (6) 古川 他, 確率学習オートマトンによる複数 AGV の自律的走行, 精密工学会誌, 62-2, (1996), 260.
- (7) 佐々木 他, 分散型の AGV システムにおける情報受信範囲の理論的解析, システム制御情報学会論文誌, 10-4, (1997), 211

Table 1 FMS variations

Styles	Parts kinds	gMC(MC)	AGV
1	3	3(1,1,1)	3
2	3	3(1,2,1)	3
3	3	3(2,2,2)	3
4	6	6(1,1,1,1,1,1)	5
5	6	6(2,2,2,2,2,2)	5
6	6	6(3,3,3,3,3,3)	5
7	9	8(1,1,1,1,1,1,1,1)	5
8	9	8(2,2,2,2,2,2,2,2)	5
9	9	8(3,3,3,3,3,3,3,3)	5

Table 2 Machining time and process sequence examples of Style_4-6

Parts	P1	P2	P3
Machining time(second) & Process sequence	gMC1 180	gMC3 120	gMC4 180
	gMC2 120	gMC1 60	gMC1 180
	gMC3 120	gMC5 180	gMC5 120
	gMC4 60	gMC6 120	
	gMC5 180		

Table 3 Results of Style_3

	Developed system	Conventional system
Product output		
Part_1	200	221
Part_2	242	266
Part_3	80	80
Number to avoid collisions	1,879	-----
Number of collisions	984	1,488

Table 4 Results of Style_6

	Developed system	Conventional system
Product output		
Part_1	98	130
Part_2	117	158
Part_3	58	78
Part_4	60	77
Part_5	38	51
Part_6	19	25
Number to avoid collisions	3,584	-----
Number of collisions	1,776	3,792

Table 5 Results of Style_9

	Developed system	Conventional system
Product output		
Part_1	50	72
Part_2	71	86
Part_3	36	46
Part_4	35	44
Part_5	23	29
Part_6	12	14
Part_7	46	58
Part_8	60	73
Part_9	23	29
Number to avoid collisions	2,491	-----
Number of collisions	1,896	3,336