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*

山 本 秀 彦^{*1}Reasoning to Anticipate Future by Repeating Memory and Oblivion
in Decentralized Autonomous FMSHidehiko YAMAMOTO^{*2}^{*2} Gifu University, Dept. of Faculty of Engineering, 1-1, Yanagido, Gifu, Gifu, 501-1193 Japan

This paper describes about the method to decide hypotheses priority ranking by memory, COCOM. In order to increase the reasoning efficiency of Reasoning to Anticipate the Future (RAF) that controls AGVs (Automated Guided Vehicles) in a decentralized autonomous FMS (Flexible Manufacturing Systems). COCOM includes the memory that shows the past production conditions and the AGV actions. By using the memory, COCOM changes the hypotheses by giving the first priority ranking to the hypothesis that is likely to become a true hypothesis. COCOM was applied to the decentralized autonomous FMS which was constructed in a computer. As a result, the number of changing a true hypothesis was reduced, compared with the conventional reasoning.

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

1. はじめに

21 世紀に移動する生産工場の姿の 1 つとして、自律分散型 Flexible Manufacturing Systems (FMS) が考えられている^{(1)~(3)}。筆者も、この自律分散型 FMS 研究として、FMS 稼動中に、無人車(AGV)が次にどの部品を持って、どのマシニングセンタ (MC) に行くのかという、AGV 行動制御について研究してきた⁽⁴⁾。この研究では、AGV の次に取りうる行動(次行動)を、複数ステップ先まで予測し、未来に生じる FMS 稼動状況を事前に予測することで、現時点の AGV の次行動を決定する未来予測推論を開発した。この未来予測推論は、AGV の複数考えられる次行動を競合仮説とする仮説推論⁽⁵⁾を採用した。しかし、未来予測推論の仮説推論では、自律分散型 FMS 内のエージェントの数が増加すれば、競合仮説として考えられる次行動数も増加し、その結果、真・偽仮説の取り替え、及びこの取替えによって生じる離散型生産シミュレーションの繰り返し回数が増加し、未来予測推論の推論効率が低下する問題が生じる。本論文は、この問題を解消する方法を報告する。

仮説推論の効率化についての研究として、同じ探索枝を複数回

探索することを避ける方法⁽⁶⁾⁽⁷⁾、可能な推論を事前に行ってしまう知識コンパイルによる効率化方法⁽⁸⁾⁽⁹⁾、過去の推論結果を利用して学習機能により効率化する方法⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾などがある。本論文の効率化の工夫点は、自律分散型 FMS 固有知識を記憶として表現し、この記憶を追加・忘却することで、競合仮説の中で真として選ばれる優先順位を確定するという、自律分散型 FMS 固有の効率化方法であり、従来方法と異なる。

また、予測に関する研究として、統計的予測⁽¹²⁾やエキスパートの予測値の良さを表す重みを逐次更新する方法⁽¹³⁾がある。本論文は、記憶と類似、および離散型生産シミュレーションにより予測を行う方法であり、従来の予測方法とは異なる。

2. 対象とする自律分散型 FMS

2.1 FMS の構成 本研究で取り上げる、自律分散型 FMS (以降、単に FMS と記す) は図 1 に示すように、工場内にエージェントとして加工部品を供給する素材庫、完成部品を整理させておく製品庫、搬送部品を 1 個持ち歩く複数の AGV、そして複数の MC をレイアウトする構成である。AGV の移動は、図中の点線格子線上を等速度で移動する。MC は、複数の品種を加工することができ、各品種ごとに加工工程、およびその加工時間が決まっている。ま

* 原稿受付 1999 年 6 月 7 日。

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

Fig. 1 FMS example

た、各 MC はお互いに重複した加工工程を持つ同種の MC が複数存在する。この同種の MC 群をグループ MC と呼び、そのグループ MC 名を MC_1 , MC_2 , ..., と表記し識別する。さらに、グループ MC 内の各 MC の識別として $MC_{1,1}$, $MC_{1,2}$, ..., という様にグループ MC 名の後にハイフンと番号を付記し識別する。

2.2 未来予測推論 本研究の FMS では、未来予測推論により AGV の行動を AGV 自身が決定し生産を行う。未来予測推論は、AGV の取りうる数ステップ先までの行動を予測範囲と考え、その数ステップ先までの未来の FMS 内で発生する現象を離散型の生産シミュレーションを行い予測することで、現在にさかのぼり、現時点で AGV がどの選択枝を選ぶべきかを決定する推論方法である⁽⁴⁾。この未来予測を行うための推論過程の制御として、AGV が取りうるいくつかの選択枝を競合仮説とする仮説推論を用いる。

図 2 にこの未来予測推論の流れを示す。未来予測推論は AGV 移動先を決定する移動先決定仮説推論と、投入部品を決定する投入部品決定仮説推論の 2 種類の仮説推論を並列に含んでいる。そして、矛盾発生により推論の後戻りを行う。以下は、本研究に關与する移動先決定仮説推論について説明する。

移動先決定仮説推論は、AGV の次行動となる、各 MC、素材庫、製品庫などの移動先を競合仮説と考え、この競合仮説の各仮説を真・偽仮説に分割し推論を行い、最終的に 1 つの AGV の移動先を決定する。具体的には、①同種の加工工程を持つグループ MC 間の移動先を優先順位付けする、②素材庫と製品庫への移動を優先順位付けする、③グループ MC 間の中の各 MC の優先順位付けする、の 3 処理を実行し、競合仮説内の各仮説である AGV の次に取りうる移動先を、真仮説として採用する可能性の高い順に並べた優先順位付けする。この順位を移動先優先順位と呼ぶ。そして、優先順位付けされた競合仮説に対し、優先順位の高い仮説から 1 つの真仮説を選び、残りの仮説を偽仮説とみなし仮説推論を始める。

3. 記憶と忘却による移動先優先順位の決定

3.1 記憶の内容 未来予測推論は、真・偽仮説を取り替えない

Fig. 2 Flow of reasoning to anticipate future

が、矛盾が無くなるまで何度も推論と生産シミュレーションを繰り返す推論である。このため、MC や AGV の数が多くなるにしたがい、真・偽仮説の取替え、及びこの取替えにより必要となる生産シミュレーションの再実行回数が増加する問題を生じる。そこで、本研究では、この取替え回数や生産シミュレーションの実行回数が少ないほうが推論効率が良いと定義し、この問題を解消するために、記憶を用いた仮説優先順位の決定法 (Control of Competitive Hypotheses' Priority Ranking by Memory : COCOM) を提案し、未来予測推論の推論効率を向上させる。この COCOM は、過去のある生産状況下で選択された AGV 移動先は、同じ生産状況がその後発生した場合には、この過去の移動先がやはり選択され易い、すなわち真として選ばれる確率が高いという考えを基盤として、システム化する。

COCOM では、記憶として何を記憶させるのか、またこの記憶をどのように使うのが重要となる。そこで、本項では、はじめに記憶する内容について述べる。

人間はよく、「***の時には (状況)、△△△だった (現象)」という状況-現象の形で昔を思い出すことがある。そこで、COCOM で用いる記憶内容も、この状況と現象の組み合わせの形で表現する。具体的には、昔のある生産状況と、その時決定した AGV 移動先である。即ち、3 種の生産状況、(a)移動先優先順位、(b)AGV の位置、(c)部品の位置、とその時決定した AGV 移動先である (d) 決定行動、の 4 項目を記憶内容として表す。次に、この 4 項目の内容、及びこの 4 項目を使った 3 つの用語を以下に定義する。

[定義] (a)移動先優先順位 ; 移動先決定仮説推論により推論された AGV の取りうる移動先の各々について判定された優先順位。

[定義] (b)AGV の位置 ; 各 AGV がいる場所、または向かっている場所で、素材庫、製品庫、各 MC、がその位置に該当。

[定義] (c)部品の位置 ; FMS 内に存在する各部品が置かれている場所で、素材庫、製品庫、各 MC、各 AGV がその位置に該当。

[定義] (d)決定行動 ; (a)~(c)の生産状況の時に、最終的に AGV が取った移動先。

Fig. 3 Memory construction

[定義] 単記憶；記憶内容(a),(b),(c),(d)1組の集合。

[定義] 全記憶；単記憶の複数 M_{number} 個の集合。

[定義] 忘却度；全記憶中の単記憶に付けられた1位から M_{number} 位の値。この値の設定は、値繰り上げ方式を取る。例えば、新しい記憶となる単記憶に、忘却度 M_{number} 位を割り当て、今まで忘却度 M_{number} 位だった単記憶は $M_{number}-1$ 位に値を繰り上げる。同様の値の繰り上げを全記憶内の単記憶に対し行う。その結果、今まで忘却度1位に位置した単記憶を、全記憶から削除する。即ち、忘却度はその値が小さいほど忘れやすい記憶であることを示す。□

上記の定義より、COCOM では、記憶は複数記憶できる。さらに、人間の記憶にも、鮮やかに記憶として残っているものと、忘れかかっている記憶とがあるように、COCOM の記憶にも、忘れやすい記憶とそうでない記憶とが混在する。

さて、この単記憶、全記憶の関係を図示すると、図3に示す構成となる。また、表1～表3にこの記憶内容の一例を示し、この表に記述している記号の意味を次に示す。

- $G(x)$: $x=1, \dots, x'$ とし、現時点での AGV が取りうる各移動先。ただし、 $G(x) \in \{\text{素材庫, 製品庫, } MC_{1-1}, MC_{1-2}, \dots\}$
- $P'(x)$: 移動先 $G(x)$ の移動先優先順位。 $P'(x)=1, 2, 3, 4, \dots$ の各値を取る。
- $AGV L(m)$: $m=1, 2, \dots, m'$ とし、現時点の AGV_m の現在位置、または現在向かっている場所。ただし、 $AGV L(m) \in \{\text{素材庫, 製品庫, } MC_{1-1}, MC_{1-2}, \dots\}$
- $Parts L(s)$: $s=1, 2, \dots, s'$ とし、現時点の部品 P_s の現在位置。ただし、 $Parts L(s) \in \{\text{素材庫, 製品庫, } MC_{1-1}, MC_{1-2}, \dots, AGV_1, AGV_2, \dots\}$

表1は記憶内容(a)で、7種の競合仮説 $MC_{1-1}, MC_{1-2}, MC_{1-3}, MC_{2-1}, MC_{2-2}$ 、部品庫、製品庫の移動先優先順位 $P'(x)$ が、それぞれ4, 1, 3, 2, 5, 7, 6であることを示す。表2は記憶内容(b)で、各 AGV の位置 $AGV L(m)$ が、それぞれ部品庫, MC_{1-2} , MC_{2-2} , MC_{2-1} であることを示す。表3は記憶内容(c)で、各部品の位置 $Parts L(s)$ が MC_{1-1} , MC_{1-2} , AGV_1 , MC_{2-1} , MC_{2-2} であることを示す。

Table 1 Example of memory (a)

x	1	2	3	4	5	6	7
$G(x)$	MC_{1-1}	MC_{1-2}	MC_{1-3}	MC_{2-1}	MC_{2-2}	Parts Warehouse	Products Warehouse
$P'(x)$	4	1	3	2	5	7	6

Table 2 Example of memory (b)

m	1	2	3	4
AGV_s	AGV_1	AGV_2	AGV_3	AGV_4
$AGV L(m)$	Parts Warehouse	MC_{1-2}	MC_{2-2}	MC_{2-1}

Table 3 Example of memory (c)

s	1	2	3	4	5
$Parts$	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
$Parts L(s)$	MC_{1-1}	MC_{1-2}	AGV_1	MC_{2-1}	MC_{2-2}

Fig. 4 COCOM in hypothetical reasoning

3.2 COCOM と移動先決定仮説推論 本項では、記憶を COCOM の中でどのように用いるのか述べる。COCOM は、移動先決定仮説推論の中に組み込み、その働きは、移動先優先順位を改善することにある。即ち、2.2 項で述べた未来予測推論の中の一つの仮説推論である移動先決定仮説推論では、3つの処理、①グループ MC 間の移動先を優先順位付けする、②素材庫と製品庫への移動を優先順位付けする、③各 MC の選択順番を優先順位付けする、により競合仮説である AGV の移動先に対し、移動先優先順位を決定していた。COCOM は、この3処理により求まる移動先優先順位を、過去の記憶を用い、より実現可能な、真仮説となりうる可能

性の高い優先順位に書き換える働きを行う。具体的には、この 3 処理の後に、さらに④記憶を用いた移動先優先順位の更新、⑤忘却度の更新、⑥単記憶の追加と忘却、という新たな 3 処理を追加実行する。この新たな 3 処理は、図 4 に示すように、移動先決定仮説推論の中に組み込む。そこで、以降では処理①～③までで決定する移動先優先順位を中間移動先優先順位、COCOM の新たな 3 処理、処理④～⑥を経て求まる順位を、移動先優先順位と呼ぶ。

3.3 COCOM の働き 本項は、はじめに COCOM の新たな 3 処理の中で、処理④記憶を用いた移動先優先順位の更新の働きを以下に定義する。

[定義] 処理④記憶を用いた移動先優先順位の更新；次の 3 処理を行う。

処理④-1: 全記憶の中の M_{number} 個それぞれの単記憶の各記憶内容と、現時点の生産状況との類似度を判定する。

処理④-2: 類似度最大値を有している単記憶に記述された決定行動を、中間移動先優先順位の最上位に挿入する。

処理④-3: 優先順位 2 位以下の優先順位を、順に繰り下げる。□

この処理④-1 を実行するに際し、全記憶中の M_{number} 個の単記憶の記憶内容それぞれと、現時点の生産状況との類似性を調べる必要がある。この類似性を、次の 3 種の類似度を使い求める。

- <類似度 $_{move}A$ > 移動先優先順位の類似性。
- <類似度 $_{agv}A$ > 各 AGV の現在位置の類似性。
- <類似度 $_{parts}A$ > 各部品の現在位置の類似性。

類似度 $_{move}A$ は、記憶内容の(a)移動先優先順位と、移動先決定仮説推論の途中で求まる、現時点の中間移動先優先順位との類似性を表現する数値である。類似度 $_{agv}A$ は、記憶内容の(b)AGV の位置と、現時点での FMS 内の各 AGV の位置との類似性を表現する数値である。類似度 $_{parts}A$ は、記憶内容の(c)部品の位置と、現時点での FMS 内の各部品の位置との類似性を表現する数値である。これらの類似性の数値化表現として、現時点の各生産状況と同じならば 1 を加算し、異なるならば 0 を加算する方法を用いる。具体的には、下に示す類似度アルゴリズムで類似性を数値化し、全記憶内のすべての単記憶と現時点の生産状況との類似度を求める。さて、このアルゴリズムに用いる記号の意味を以下に示す。

- ・ $G_{memory}(n)$: $n=1, 2, \dots, n'$ とし、単記憶の記憶内容(a)の各 AGV の移動先。ただし、 $G_{memory}(n) \in \{\text{素材庫, 製品庫, } MC_{1-1}, MC_{1-2}, \dots\}$
- ・ $P(n)$: $G_{memory}(n)$ の移動先優先順位。 $P(n)=1, 2, 3, 4, \dots$ の各値を取る。
- ・ $AGV L_{memory}(v)$: $v=1, 2, \dots, v'$ とし、単記憶内の記憶内容(b)の AGV の位置。ただし、 $AGV L_{memory}(v) \in \{\text{素材庫, 製品庫, } MC_{1-1}, MC_{1-2}, \dots\}$
- ・ $Parts L_{memory}(w)$: $w=1, 2, \dots, w'$ とし、単記憶内の記憶内容(c)の部品 P_w の現在位置。ただし、 $Parts L_{memory}(w) \in \{\text{素材庫, 製品庫, } MC_{1-1}, MC_{1-2}, \dots, AGV_1, AGV_2, \dots\}$

[類似度アルゴリズム]

Step1: $x=1, \text{ move}A=0, \text{ agv}A=0, \text{ parts}A=0$ と設定する。

Step2: $P'(x)=P(n)$ となる $G(x)$, $G_{memory}(n)$ を探索し、次のルールを実行する。

if ($G(x)=G_{memory}(n)$), **then** ($\text{move}A=\text{move}A+1$ とし、Step3 へ続く)

else (Step3 へ続く)

Step3: $x=x+1$ とし、次のルールを実行する。

if ($x>x'$), **then** (Step4 へ続く)

else (Step2 へ戻る)

Step4: $m=1, v=1$ と設定する。

Step5: 次のルールを実行する。

if ($AGV L(m)=AGV L_{memory}(v)$), **then** ($\text{agv}A=\text{agv}A+1$ とし、Step6 へ続く)

else (Step6 へ続く)

Step6: $m=m+1, v=v+1$ とし、次のルールを実行する。

if ($m>m'$), **then** (Step7 へ続く)

else (Step5 へ戻る)

Step7: $s=1, w=1$ と設定する。

Step8: 次のルールを実行する。

if ($Parts L(s)=Parts L_{memory}(w)$), **then** ($\text{parts}A=\text{parts}A+1$ とし、Step9 へ続く)

else (Step9 へ続く)

Step9: $s=s+1, w=w+1$ とし、次のルールを実行する。

if ($s>s'$), **then** (Step10 へ続く)

else (Step8 へ戻る)

Step10: $\text{move}A+\text{agv}A+\text{parts}A=$ 「単記憶との類似度」としアルゴリズムを終了する。□

このアルゴリズムは、Step2, Step3 で類似度 $_{move}A$ を、Step4～Step6 で類似度 $_{agv}A$ を、Step7～9 で類似度 $_{parts}A$ を求めている。例えば、Step2, Step3 の処理を表 1、表 4 で説明する。表 1 を現時点の中間移動先優先順位、表 4 を記憶内の移動先優先順位とする。表 1 で $x=1$ の時、 $G(1)=MC_{1-1}$ となり、この時の中間移動先優先順位は $P'(1)=4$ である。そこで $P'(x)=P(n)$ となる $G_{memory}(n)$ を表 4 中で探索すると、 $G_{memory}(1)=MC_{1-1}$ となる。即ち、 $G(x)=G_{memory}(n)$ なので、 $_{move}A$ は初期値が 0 の場合 1 となる。次に、 $x=2$ の時 $G(2)=MC_{1-2}$ となり、 $P'(2)=1$ である。そこで $P'(x)=P(n)$ となる $G_{memory}(n)$ を探索すると $G_{memory}(6)=$ 部品庫 (Parts Warehouse) となる。即ち、 $G(x) \neq G_{memory}(n)$ なので、 $_{move}A$ の値は加算されない。以下同様に繰り返すと、優先順位 4,2,5 (表 4 中の太線数字) が Step2 の if 条件とマッチし、 $_{move}A=3$ となる。

Step4 の処理例を表 2、表 5 で説明する。表 2 を現時点の AGV 移動先、表 5 を記憶内の AGV 移動先とする。 $AGV L(m)=AGV L_{memory}(v)$ となる m は、 $m=3,4$ の時であるので $_{agv}A=2$ となる。

Step5 の処理を表 3、表 6 で説明する。表 3 を現時点の部品の位置、表 6 を記憶内の部品の位置とする。 $Parts L(s)=Parts L_{memory}(w)$ となる s は $s=1$ の時のみであるので、 $_{parts}A=1$ となる。

Step6 より、表 1 から表 6 までの事例の単記憶との類似度は

Table 4 (a) example in memory

n	1	2	3	4	5	6	7
$G_{memory}(n)$	MC ₁₋₁	MC ₁₋₂	MC ₁₋₃	MC ₂₋₁	MC ₂₋₂	Parts Warehouse	Products Warehouse
$P(n)$	4	3	6	2	5	1	7

Table 5 (b) example in memory

v	1	2	3	4
AGV_s	AGV ₁	AGV ₂	AGV ₃	AGV ₄
$AGV L_{memory}(v)$	MC ₁₋₂	MC ₁₋₁	MC ₂₋₂	MC ₂₋₁

Table 6 (c) example in memory

w	1	2	3	4	5
$Parts$	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
$Parts L_{memory}(w)$	MC ₁₋₁	MC ₂₋₁	MC ₂₋₂	MC ₁₋₃	AGV ₂

Table 7 Temporary moving priority order

Priority	
1	MC ₁₋₁
2	Products Warehouse
3	MC ₂₋₃
4	MC ₂₋₁
5	MC ₁₋₂

Table 8 Moving priority order

Priority	
1	MC ₁₋₂
2	MC ₁₋₁
3	Products Warehouse
4	MC ₂₋₃
5	MC ₂₋₁

$move A +_{agv} A +_{parts} A = 3 + 2 + 1 = 6$ となる。

さて、この類似度アルゴリズムを M_{number} 個の単記憶それぞれに用いることで、現在の生産状況と M_{number} 個の単記憶との類似度が求まる。そこで、処理④-2 の働きにあるように、これらの類似度の中で一番大きな類似度を持つ単記憶を選び出し、その記憶内容 (d) の決定行動を、中間移動先優先順位の第 1 番目に挿入する。さらに、処理④-3 にあるように、2 番目以降は順次順位を繰り下げ、その結果、新たな移動先優先順位が決定する。

例えば、表 7 は中間移動先優先順位を表す。ここで、優先順位 5 位の MC₁₋₂ が類似度 1 位の単記憶の決定行動とする場合、この MC₁₋₂ を 5 位から 1 位に入れ替え、以下、順に順位を繰り下げた新たな移動先優先順位、表 8 が求まる。

次に、処理⑤の忘却度の更新の働きを以下に定義する。

[定義] 処理⑤忘却度の更新；処理④で選ばれた類似度 1 位の単記

Fig. 5 FMS of style 1

Fig. 6 FMS of style 2

憶を、全記憶中の忘却度の最下位 M_{number} 位に挿入する。□

この処理⑤により、一度選ばれた単記憶は、全記憶から消去されにくくなる。

最後に、処理⑥単記憶の追加と忘却の働きを定義する。

[定義] 処理⑥単記憶の追加と忘却；次の 2 処理を行う。

処理⑥-1: 矛盾を発生しないで最終的に決定した、AGV の次を取る移動先を (d) 決定行動、及びこの時の (a) 移動先優先順位、(b) AGV の位置、(c) 部品の位置、を新たな単記憶として全記憶の忘却度の中位に挿入する。

処理⑥-2: 新たに追記された単記憶より上位の忘却度を持つ単記憶は、順に順位を繰り上げ、その結果今まで忘却度 1 位だった単記憶を全記憶から削除する。□

処理⑥により、AGV の実際の移動先が決定するたびに新しい記憶が追加され、同時に AGV の移動先として選ばれる頻度の低い記憶が忘れ去られる。

4. シミュレーション実験

前章で提案した COCOM を、コンピュータ上に構築した 3 種の FMS に適用し、シミュレーション実験を行った。この 3 種は、グループ MC 数、MC 数、AGV 数などの違いにより異なる FMS である。即ち、<スタイル 1>部品数 9、グループ MC 数 8 で、それぞれ 1 台の MC と 5 台の AGV を保有する、<スタイル 2>部品数 9、グループ MC 数 8 で、それぞれ 2 台の MC と 5 台の AGV を保有する、<スタイル 3>部品数 9、グループ MC 数 8 で、それぞれ 3

Table 9 Results of style 1

Hypotheses Selection Number	Conventional method	COCOM
Condition 1	246,848	117,901
Condition 2	246,848	119,083
Condition 3	249,295	117,388
Condition 4	245,052	118,810
Condition 5	251,010	118,834
Condition 6	250,256	118,544
Condition 7	254,629	118,970
Condition 8	247,731	118,630
Condition 9	252,044	118,089
Condition 10	250,169	118,585
Average	249,388.2	118,483.4

Table 10 Results of style 2

Hypotheses Selection Number	Conventional method	COCOM
Condition 1	581,746	277,128
Condition 2	587,161	277,866
Condition 3	585,650	274,102
Condition 4	597,822	277,475
Condition 5	581,648	274,569
Condition 6	577,051	273,609
Condition 7	583,177	275,638
Condition 8	589,401	273,592
Condition 9	580,625	275,672
Condition 10	585,864	277,320
Average	585,014.5	275,697.1

Table 11 Results of style 3

Hypotheses Selection Number	Conventional method	COCOM
Condition 1	893,532	452,539
Condition 2	905,398	445,126
Condition 3	921,744	441,059
Condition 4	902,827	446,284
Condition 5	886,551	446,901
Condition 6	898,857	446,815
Condition 7	899,596	444,296
Condition 8	900,342	445,106
Condition 9	891,872	444,910
Condition 10	898,716	444,599
Average	899,943.5	445,763.5

台の MC と 5 台の AGV を保有する、の 3 種である。〈スタイル 1〉、〈スタイル 2〉、〈スタイル 3〉の各工場レイアウトは、それぞれを図 5、図 6、図 1 に示す。

また、実際の FMS が稼動中に生じる予期せぬトラブルを想定し、各 AGV がランダムに 24 時間に 3 回、5 分間故障停止する、各 MC での部品加工時間がランダムに 10% 延長する、というトラブル条件を設けた。そして、このトラブルのランダム状態を、10 種の乱数系列として設定した。なお、COCOM の全記憶に記憶する単記憶の数は 20 個と設定した。

稼動結果を表 9、10、11 にまとめた。この 3 つの表は、各スタイル 3 種の FMS で 10 種のトラブルごとに、FMS を 24 時間稼動させ、この稼動中に選ばれた真仮説の回数（仮説回数）を示す。この表には、比較のため中間移動先優先順位だけによる移動先決定仮説推論を用いた FMS（Conventional method）の仮説回数も表示した。表 9 は〈スタイル 1〉、表 10 は〈スタイル 2〉、表 11 は〈スタイル 3〉の仮説回数を示す。この 3 つの表より、COCOM の仮説回数は Conventional method のそれに対し、10 種のトラブルすべてに対し、約半数の仮説回数に削減されたことがわかる。例えば、〈スタイル 3〉のトラブル 10 種平均の仮説回数は、Conventional method では 899,943.5 回であるのに対し、COCOM では 445,763.5 回であった。同様に、他の 2 つのスタイルについても仮説回数は約半数に削減した結果となった。これより、COCOM の移動先優先順位は、中間移動先優先順位よりも真として選ばれる可能性順に仮説が並んでいることを示し、無駄な真・偽の仮説取替えと、生産シミュレーション実行回数などが削減されたことが確認できた。なお、本シミュレーション実験では、仮説回数だけでなく、生産量についても比較を行った。その結果、〈スタイル 1〉の平均生産量は、Conventional method は 454.5 個、COCOM では 525.7 個、〈スタイル 2〉は 460 個と 698.5 個、〈スタイル 3〉では 476 個と 754.4 個となり、COCOM における結果がいずれも高い生産量となり、生産効率を下げることなく推論効率を向上できた。

5. おわりに

本研究は、自律分散型 FMS の AGV 行動を AGV 自身が決定する未来予測推論の推論効率を向上させるために、記憶を用いた仮説優先順位の決定法 COCOM を提案した。COCOM は、過去の生産状況とその時決定した AGV 行動を記憶内容とし、この記憶内容を利用して、競合仮説から真として選び出す可能性の高い順に優先順位を付けて仮説を並べることで、未来予測推論の効率向上をめざした。この COCOM は、新記憶の追加や、忘却を繰り返し、常に記憶の中身を更新していく機能を持つ。

COCOM を、コンピュータ上に構築した自律分散型 FMS に適用し、真仮説の取替え回数を従来型と比較した。その結果、すべての条件において、COCOM は従来型の約半分の仮説取替え回数に削減でき、本研究の有効性が検証できた。

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), 1674.
- (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) J.Doyle, A Truth Maintenance System, Artificial Intelligence, (1979).
- (6) 伊藤、石塚、推論バスネットワークによる高速仮説推論システム、人工知能学会誌、Vol.6, No.4, (1991), 501.
- (7) 近藤、石塚、述語論理を扱う仮説推論における最適解の高速推論法、人工知能学会誌、Vol.9, No.2, (1994), 290.
- (8) Reiter, R. and de Kleer, J., Foundations of Assumption-based Truth Maintenance System, Proc. of AAAI-87, (1987), 183.
- (9) 鶴田、石塚、発想的仮説生成のための述語論理知識ベースのコンパイル法、人工知能学会誌、Vol.7, No.1, (1992), 130.
- (10) 阿部、石塚、推論バスネットワーク上での類推による高速仮説推論システム、人工知能学会誌、Vol.7, No.1, (1992), 77.
- (11) 牧野、石塚、経験に基づく学習による仮説推論の高速化、人工知能学会誌、Vol.8, No.3, (1993), 320.
- (12) J.O.Berger, Statistic Decision Theory and Bayesian Analysis (2nd Ed.), 1985, Springer-Verlag.
- (13) L. Variant, A theory of the learnable, Communication of the ACM, Vol.27, No.11, (1984), 1134.