知識ベース群知能ロボットシステムの研究* (生産ラインでの自律的工程編成の研究)

松田 圭司^{*1}, 石原 秀則^{*2}

Application of the Knowledge-based Multi-Robot for Manufacturing Operation (Improvement of Organizational Efficiency by Knowledge Allocation)

Keishi MATSUDA^{*3} and Hidenori ISHIHARA

^{*3} Department of Intelligent Mechanism Systems Engineering, Kagawa University,
2212-20 Hayashi, Takamatsu-shi, Kagawa, 761-0396 Japan

In this paper, we have discussed on the effect of the knowledge sharing for the multiple robot system which is equipped with the advanced telecommunication systems. These days, the broad bandwidth telecommunication method has been brought into the world of robotics. This has enabled the mobile robots to have advanced communication tools. This is not only for master's or administrator's command but for the exchange of the knowledge obtained through the operation. This knowledge sharing system will realize the evolution of the knowledge level of the entire module group and help the equalization of the intelligence level. Therefore, we propose the utilization of the knowledge sharing robot system at manufacturing scenes, and demonstrate the effectiveness by the balancing procedure. Utilizing this knowledge sharing system, we have recognized the system's effective performance in autonomous and cooperative behavior at production line, and consequently, the feasibility of the cost reduction and improvement of the efficiency.

Key Words: Moving Robot, Distributed Coordination, Agent System, Flexible Manufacturing System

1. 結 論

近年において救援ロボットやロボカップに見られるように、能力を分散して、トータルで最大限能力を発揮させることを目的とした群知能ロボットの研究が始められて久しい。これは、1台のエージェントに能力を集約することによる能力的・物理的な限界とリスクへの不安と、高性能ロボットへの急速なニーズの多様化、高度化への時代の要請と考えられる。

また、群知能ロボットシステムが超音波、赤外線、接触、視覚等の多くのセンサにより、単なるナビゲーションに終わらず、高レベルのタスクを実行するために、各エージェントが取得した知識を分散配置および共有するための研究が進められている。^{①~④}

エージェントが獲得した知識をホストによる集中管理とした場合、エージェント数の増加に対して情報の収集、管理、検索などのコストが指数関数的に増加する。その解決のために、集中管理ではない分散型システムにおいて、情報の分散的管理手法が求められて

いる。

分散システムの実現にむけて、浅間ら^{①~④}はエージェントが獲得した知識および環境情報そのものをエージェント化するために、知的情報処理機能を有するデータキャリア (IDC) による情報の共有システムの開発を行っている。エージェントが獲得した知識を一つの装置で集中的に管理した場合、知識量が増加したときに必要な検索が困難になるため、IDタグなどの非接触型のデータキャリアをエージェントの作業環境に配置し、分散的な知識の共有化手法が提案されている。このようなデータキャリアをもちいたシステムは、媒体モジュール間の広帯域の通信能力が確保できれば、リアルタイムの情報共有が可能となるが、膨大な物理的情報、蓄積された情報の内容や更新状況を把握するための冗長な管理システムが必要となる。

本研究では、分散システムの特性を生かして、エージェントが製造工程においてデータキャリア等を活用することなく、ワイヤレス通信等のコミュニケーション機能を付加し、エージェント間で取得知識の分散配置・共有化をはかる。知能の均一化を行うことによって、創発性の高い複雑なタスク処理が可能な群知能システムの開発をめざす。その検証として、製造工程

* 原稿受付 2006年11月8日。

^{*1} 正員、香川大学大学院工学研究科(☎761-0396 高松市林町2217-20)。

^{*2} 正員、香川大学工学部。

E-mail: kmatsuda@bronze.ocn.ne.jp.

での自律的な工程再編成を実施することによる生産効率の向上のシミュレーションを実施した。

2. 分散システムとしての優位性および問題点

分散システムの特徴は、複数のエージェントが協力して問題の解決に当たることである。これにより期待できることは、④～⑥

- (1) 負荷分散：1台のエージェントの能力には限界があり、それを越えるタスクが集中した場合、その一部をシステム中の他エージェントにタスクを依頼することにより、作業負荷の軽減が可能となる。
- (2) 処理分散：特定の箇所で集中的に処理せずに、データの発生場所やサービスの要求場所などで処理を行うことにより、i) 通信コストの削減：データを特定のエージェント（ホスト）に送らずに、その発生場所で可能な処理をすることで送受信するデータ量が減少し、通信コストが削減する。ii) サービスの向上：現場のタスク要求に合わせて、最も近いエージェントが対応することで、きめ細かい作業がリアルタイムで可能となる。
- (3) 機能分散：個別の機能・特徴をもつ専用のエージェントを配置し、システム全体で効果的なエージェントシステムを実現することが考えられる。
- (4) リスク分散：各エージェントが自律性を有するため、一部に不具合が生じて、システム全体の機能停止を防ぐことができる。
- (5) 拡張性：想定されるタスクにより計算されるエージェント数により、エージェントを多く配置するなどの冗長性を付与することで、システムに柔軟性、拡張性を持たせることができる。

当システムの実現のためには、高性能なエージェントロボットの開発、エージェントシステムの実タスクへの適用性の検討および知識管理などの課題がある。特に知識管理は、あらゆるシステムにおいて共通の課題として解決が必要である。

- (1) 知識の分散・共有：取得知識のカテゴリ化による階層的もしくは多次元的分散配置等の手法および知識の共有。
- (2) 知識の蓄積：知識の分散・共有のための記憶媒体の構成および活用手法。
- (3) 知識の通信手法：エージェント間データ伝送に用いる通信媒体およびコンピュータシステムとしてのエージェントネットワークの設計。

本論文では、分散システムにおける有効な知識管理手法を提案すべく、上記(1)の課題について議論する。

3. エージェントの知識の分散配置

協調的な作業のプランニングを迅速かつ正確に策定するには、データや知識ベースの集積と参照システムの構築が必要である。ここでは知識データ管理に着目して、

- (1) 有用性評価
- (2) 知識の分散配置
- (3) 知識の共有
- (4) 知識の分類（カテゴリー化）および蓄積を提案する。

新井、吉田ら⁹⁾は自律エージェントの単独の行動決定は局所的な情報が集中し、エージェントの情報処理能力に支障が発生すると論じている。

その解決手法として、局所的データを分散化させ、エージェントのミッションドメイン（同一作業グループ）での共有化が考えられる。つまり、エージェントがセンサなどにより収集したデータは、そのデータを必要とするエージェント間で共有されることが望ましい。しかし、画像データなどの大容量データが、エージェント間で頻繁にやりとりされることは、通信コストを増大させる上、通信での時間ロスにより、協調作業に支障が出る可能性がある。そこで、群全体の効率的な取得知識の共有手法として、取得情報の有用性の定義づけを行い、適切な分散配置手法が必要となる。本論文では、上記4点のなかで、有用性評価と知識の分散配置の2点について議論を行う。

3・1 知識の有用性 本論文では知識の有用性を、以下の要素により定義する。^④

- (1) 知識の参照頻度
- (2) 知識の信頼性（同一知識の発生頻度とも置き換えが可能）
- (3) 知識により削減されるコスト

いま、与えられたタスクを達成するために用いる知識の有用性 U_k を上記の要素から次式で定義する。

$$U_k = U_o + D_k \cdot C_k (F_k / \sum_{j=1}^n F_j) \quad (1)$$

ここで、 U_o は知識の有用性の初期値を示す。すなわち、エージェントがタスクを実行する前に初期的に配置されるコストとする。 C_k は知識 k を使ってジョブを達成するコストとする。 F_k は k を参照する頻度である。 D_k は知識が信頼できるかどうかの指標とする。

3・2 知識の分散配置 エージェントが知識共有をする場合、すべての知識が迅速かつ均一に各エ

エージェントへ伝達されることが理想である。しかし、移動型のエージェントが保有しうる通信および記憶等のリソースは、固定式のエージェントに比べ、容量的に制約がある。そのため、これらの制約を考慮し、知識の分散形態を次の3形態で定義する。

【ケース1:共有】すべてのモジュールが同一のデータを共有(有用性 U_k 高)

【ケース2:分散】データを取得したモジュールのみがデータを保有するが、他のモジュールはデータの所在や更新テーブル情報のみを保有し、必要に応じて参照または取得する。(有用性 U_k 低)

【ケース3:共有的分散】単一のファイルがマルチファイルの形態で複数のモジュールに分散配置され必要に応じて単一ファイルに復元される。(有用性 U_k 低)

つまり、実際にエージェントがタスク行動により知識を取得した場合、協調行動を実施するうえで、有用性が高いものと評価されればケース1を適用する。また、比較的低いものと評価されればケース2もしくはケース3を適用する。しかしながら、タスクが進行の過程で有用性が向上するような場合はケース1へ移行する。また、低下した場合はケース2、ケース3の適用もしくは記憶媒体からの抹消も選択できるものとする。

4. 製造工程におけるエージェントの行動

本章では、本論文で提案する知識の分散手法の有用性を検証するために、製造工程においてエージェントを適用した場合の生産効率向上を例に用い、アルゴリズムについても本例の中で説明する。

はじめに、対象知識を以下により定義する。

(1) 製造手順知識 Kp_n

製造ラインでの中核となる最も重要な知識である。知識の内容は製品の加工・組み立ておよび品質管理および製造全般の知識を含む。エージェント n が有する製造手順知識 Kp_n を直接作業知識 P_n と工数削減知識 Rd_n により次式で定義する。

$$Kp_n = P_n + Rd_n \quad (2)$$

$$\text{ただし } Rd_n = \sum_{i=1}^k Z_i \cdot U_i \quad (3)$$

とし、 Z は獲得知識の有用性 U_n からの変換係数で工数が削減した際に Rd_n が負数となるように定義する。これは本論で扱う主要な知識であり、エージェントが製造作業を通じて、経験的に学習したり、人為

的な入力により取得し、工数削減に供する知識である。具体的には、治工具等の活用、作業手順の簡略化および品質の安定化に伴う各工程における検査項目の簡略化などがあげられる。

(2) 生産管理のための知識 Ka_n

この知識は前述の製造手順知識 Kp_n に影響を与える生産活動の行動記録であり、具体的には、生産活動の実績データ(材料の歩留まりなど)、投入工数やセンシングデータなど、隣接エージェントへの伝達情報などが考えられる。

Fig. 1 Concept of the knowledge for Manufacturing

(3) 製造および生産管理のための参照知識 Kr_n

この知識は上記2つの知識が必要に際し参照するデータである。具体的には手順結果や、行動記録の総合的な評価スケールなどが考えられる。

図1に上記の3タイプの知識の配置コンセプトを示す

次に、検証に用いる製造工程について定義する。流れ系列生産方式では自動車の最終組み立てラインに見られるように、ワークが移動している間にも作業を行う「移動作業型」や、ワークが静止しているときだけ作業を行い、次の作業者に受け渡すときにライン上を搬送する「静止作業型」方式などいくつかのライン形態が存在する。これらに共通な点は、そこでの生産に必要なすべての作業をそれぞれの作業者(本論文におけるエージェント)の作業時間が均一になるように、効果的なライン再編成(以下ラインバランシングと呼ぶ。)を行うことが重要である。

図2はライン構成と、各エージェントが行う作業エレメント(人間の実施する作業として分割可能な最小の作業単位、以下 WE と呼ぶ)の割り当てを図示したものである。この製造工程では18個の WE があり、5つのワークステーション(以下 WS と呼ぶ)により構成されている。

このように編成されたラインでは、もっとも長い WS の所要時間によって、製品の払い出しに要するイ

ンターバルが決定される。このとき、基準となる最長の作業時間をサイクルタイムもしくはピッチタイムという。このサイクルタイムに着目して、このラインがどの程度効率よく編成されているかを評価する指標として、式(4)で示されるライン編成効率 (Line Balancing Factor 以下 *LBF* と呼ぶ) が用いられる。

Fig. 2 Example of Production Line Balance

$$LBF(\%) = \left(\sum_{k=1}^n T_k / nc \right) \times 100 \quad (4)$$

ここで、 T_k は作業所要時間、 c はサイクルタイム、 n はライン中の WS 数を表す。すなわち、投入された労働時間に対し、実際に作業している時間がどの程度あるかを示すものである。

なお、式(4)によると、図 2 の工程の編成効率は 72% となり、一般的な理想レベルといわれる 90% と比較すれば改善の余地がある。この編成効率を向上させるには、総工数もしくはサイクルタイムを低減させる必要がある。

式(4)の関数 *LBF* を最大化するには、次のとおり三つの手順が考えられる。

- (1) サイクルタイムを一定とし、WS 数 n が最小の作業編成を求める。
- (2) 与えられた WS 数を一定とし、単位作業の組み換えにより、サイクルタイムが最小の作業編成をもとめる。
- (3) サイクルタイムと WS 数を操作可能とし、編成効率が最大の作業編成を求める。

近年、多品種少量生産に対応可能とすべく、工程ごとに WS を配備したセル方式が多用されるようになった。セル方式の場合、ラインバランスの低下により、WS 間の作業負荷の偏差が発生し全体の効率が低下することが問題となる。そのような効率の向上を対策としてエージェントの移動による工程編成の最適化を検討する。

図 3、図 4 に今回の検証の対象とするエージェントを用いたセル方式の工程を示す。従来、人間の作業者が WS に固定されていたライン形態が、エージェントにより作業の肩代わりを実施し、サイクルタイムを最小化するプロセスの概念を示す。

図 3 では、半円状の 4 つの WS を想定している。4 つの WS には複数の WE が配置されており、原則として 1 個のエージェントが作業を担当する。このラインの特徴としては、エージェントが作業状況により他 WS へ移動することにより WE を肩代わりすることが可能である。また、移動距離も一度半円の中心に後退するため、移動距離を均等としている。

図 4 では、エージェントが他 WS の WE を肩代わりする状況を示したものである。この場合、Agent2 が属する WS に割り当てられている WE が他エージェントに比べ過多と判断され、Agent1, Agent3 が WS2 へ移動し、WE の肩代わりを実施し、サイクルタイムを削減する。

次章では、このセル方式の工程を想定し、前述の(2)の手順による自律的ラインバランシング作業および知識の参照によるコスト削減を図り、工程編成の最適化シミュレーションを論じる。

Fig. 3 The Simulation Model

Fig. 4 Re-allocation of the Work Elements

5. 工程改善シミュレーション

前章で定義した複数の工程からなる単品種少量生産の製造ラインにおいて、エージェントが自律的に、編成効率を向上させる手順のシミュレーションを実施した。本論文では、WE に対する作業に必要な知識は WE に付属するものとし、時間に対して不変とする。

知識の再配置による知識の平準化をめざした生産システムとの総合的な改善について、具体的なシステム構成と手法に関しては次回以降の報告とする。

5・1 シミュレーションの条件 今回想定する製造工程は、多用されているセル方式。その中でも特に「工程分割方式」の形態を採用する。

本方式の採用により複数の作業エージェントを生産活動に参加させることが可能となり、生産量の変動の対応にも、参加エージェントの台数の増減により、対応が可能となる。工程レイアウトはエージェントの WS 間の移動が容易な、図 3 のような半円型の工程ラインを想定する。

半円状のセル方式の工程は 4 個の WS から成る。

- (1) 1 個の WS には複数の WE が割り当てられる。
- (2) 図 4 で示すように、エージェントは原則的にひとつの WS 内の複数の WE を担当するものとするが、他 WS の WE も、能力の範囲内で担当可能とする。
- (3) エージェントは、図 3、図 4 に示すように、他エージェントの担当する WE の肩代わりを可能とする。ただし、横方向への移動は他の作業中のエージェントとの接触を回避するため不可能とする。あくまで、作業ポジションから半円の中心へいったん後退したうえで、他 WS へ移動するものとする。これにより、すべてのエージェントが他工程へ応援するための移動距離は均一化されるとともにシミュレーションを簡略化できる。
- (4) エージェントが WE の肩代わりを実施する場合のルールとして、WE の WS 密着度(closeness)の概念を提案する。すなわち、独立しているような WE も工程によっては、担当エージェントの習熟度、もしくは製造手順知識のローカル配置により、他エージェントによる肩代わりが困難なケースも想定される。今回のシミュレーションでは、WS 密着度のレベルをレベル 1 から 3 までの 3 段階で想定し、レベルの低いものを優先的に WE の肩代わりを実施するアルゴリズムを考慮した。たとえば、ある他エージェントが肩代わりを実施とする場合に、対象 WS 内の WE の密着度レベルをチェックし、最も低い WE を選定した上で、肩代わりを実施するものとする。
- (5) 移動にかかわるコストは往復を α と仮定する。

すなわち、他エージェントが他 WE を肩代わりする場合は製造に関わる工数に加えて、移動に関わるコストを加えることをルール化した。また、移動に関わるコスト α は、肩代わり対象エージェントが保有する知識の参照に要する通信コストを含んで考えることも可能とする。

5・2 シミュレーションのアルゴリズム

(1) Step1 (工程の先行関係のみを考慮した WS へのエージェントの配置)

このステップでは、操業開始段階での自律的工程改善を実施する。最初にライン編成された際には、バランスを考えないで、エージェントが WS ごとに配置される。その結果、生産効率には改善の余地を残したまま、操業が始まる。

(2) Step2 (分散システムとしての WE 単位の有用知識を活用した工数短縮行動)

このステップでは、2 章の(2)の処理分散で論じた分散システムとしての群エージェントの特性を生かし、特に 4 章で論じた知識(製造手順知識 K_{p_n})の参照による各個別の WE の工数短縮をエージェント単位で試みる。すなわち、このステップでは、システム全体の行動は意識せずに、エージェント単位での各 WE での有用知識の参照による工数の削減を実施する。この知識データ伝送時間と知識を参照することによる効果(作業時間の短縮)を考慮した隣接 3WS 間の工数 T を式(5)により定義する。

$$T = \sum_{i=1}^{m_a} (T_{wi} + F_{ki}(V_{ki}/p - D_{ki})) + T_{ab} \\ + \sum_{i=1}^{m_b} (T_{wi} + F_{ki}(V_{ki}/p - D_{ki})) + T_{bc} \\ + \sum_{i=1}^{m_c} (T_{wi} + F_{ki}(V_{ki}/p - D_{ki})) \quad (5)$$

T_{wi} : WE の工数

T_{ab}, T_{bc} : タスク WS 間のワークの受け渡し時間

V_{ki} : 各 WE に関連する知識 K_i のボリューム

p : エージェント間伝送速度

F_{ki} : 知識 K_i の参照の有無のフラグ

(Yes=1, No=0)

D_{ki} : 知識 K_i を参照することにより

短縮できるコスト

$m = m_a + m_b + m_c$: 総工程数

(3) Step3(エージェント間でのラインバランシング)

このステップではエージェント間での WE の再割り当てによるラインバランシングを実施する。基本的な戦略としては、

(i) ホストはユーザ等の管理サイドからの指令の伝達や、エージェントの運転状況などの把握を行うために必ず工程に参加する。ホストは、定期的に、各エージェント単位の評価および報告指令を発信し、効率改善の障害となっているサイクルタイムおよび式(4)で定義される *LBF* 等を評価する。

(ii) 各エージェントの可能能力工数を上回らないように割り当てる。

(iii) 作業工数に差異が発生する場合は工程内容を見直すなど、バランスの差異の解消を極力試みる。

隣接 WS 間の工数の差異の絶対値 $Dif(i)$ を式(6)により定義する。

$$Dif(i) = \left| \sum_{i=1}^{m_p} (Ta_i + D_{ki}) - \sum_{i=1}^{m_q} (Ta_{i-1} + D_{k_{i-1}}) \right| \quad (6)$$

総工程数: $m = m_p + m_q$

として、これを最小化する。これは、前述の式(4)で与えられる編成効率を最大化する事と等価である。

(iv) WE の再配置の際には、式(5)で提案した知識の参照に要した時間もしくはステップ2で論じたエージェントの WS 間の移動時間(コスト)を加算する。この場合、隣接 3WS 間の工数 T は次式のとおりとなる。

$$T = \sum_{i=1}^{m_a} (T_{wi} + M_i \alpha_i + F_{ki} (V_{ki} / p - D_{ki})) + T_{ab} \\ + \sum_{i=1}^{m_b} (T_{wi} + M_i \alpha_i + F_{ki} (V_{ki} / p - D_{ki})) + T_{bc} \quad (7) \\ + \sum_{i=1}^{m_c} (T_{wi} + M_i \alpha_i + F_{ki} (V_{ki} / p - D_{ki}))$$

M_i : エージェントの移動の有無のフラグ

(Yes=1, No=0)

α_i : エージェントの WS 間の移動のコスト

以上の戦略の実現は、通常の人間による作業では極めて困難と思われる。綿密な動作分析を行って、エージェントによる WE の分割後の受け渡しの可能性を検討して、そのうえで、作業分割による工数の増によるサイクルタイムへの影響をふくめて実施する必要がある。なお、WE の分割をともなうシミュレーションは次回以降の報告とする。

5・3 シミュレーションの評価関数 自律的工程再編成行動の評価関数として、以下の項目を設定する。

(1) 作業期間内のエージェント 1 台あたりの生産個数 Opt (もしくは1労働日時間 8 時間における生産可能個数)

$$Opt = \frac{3600_{\text{sec}} \times 8_{\text{hrs}}}{c \times n} \quad (8)$$

ここで、 c はサイクルタイム、 n はエージェントの台数とする。(今回はエージェントと WS の台数は同数と仮定)

(2) ライン編成効率 *LBF* (式(4)による)

一般的には 4 章で論じたとおり、90%以上が理想とされている。今回のシミュレーションにおいても 90%を目標として工程改善を実施した。

以上の評価関数をもとに、想定した製造工程での自律的な工程改善行動を図 5、図 6 に示すアルゴリズムにより実現する。

5・4 シミュレーション結果 本節では、前項の提案に基づいて行ったシミュレーションの結果の一例を図 7~9 にて示す。今回は、前提条件として、表 1 による操業開始時の WE の配置および図

Table 1 Initial Assignments of the WE for the Process

		WS1		WS2		WS3		WS4	
		Wk time(sec)	Closeness	Wk time(sec)	Closeness	Wk time(sec)	Closeness	Wk time(sec)	Closeness
Work Element Number	WE1	4	1	4	1	10	1	1	2
	WE2	9	2	9	1	5	3	5	2
	WE3	2	1	1	1	10	1	N/A	
	WE4	N/A		7		5	2	N/A	
	WE5	N/A		8		3	1	N/A	
	WE6	N/A		4		2	1	N/A	
	WE7	N/A		9		N/A		N/A	
	WE8	N/A		7		N/A		N/A	
	WE9	N/A		N/A		N/A		N/A	
	WE10	N/A		N/A		N/A		N/A	
		15		49		35		6	
								Total Work Time	105

Cycle Time

3 のレイアウトによる工程を想定した。なお、5・1 節の(4)で論じたとおり、WE の WS 密着度(closeness)をレベル 1 から 3 の間で乱数により想定した。また、式(5)における WS 間のワークの受け渡し時間はレイアウトの特性より 0 秒と想定し、データ伝送に関わる工数の増は一律 1 秒と想定した。エージェントの移動コスト α は一律 1 秒とした。表 1 で示す初期条件によると、対象とする工程の初期のサイクルタイムが 49 秒で、総工数が 105 秒の工程となり、*LBF* が 54%となる。図 7 は工程の改善行動により Opt が向上した結果を、図 8 は *LBF* の向上結果を、図 9 は

Fig. 5 Algorithm of Main Process

Fig. 7 Improvement of the Daily Production

Fig. 6 Algorithm of Balancing Process

Fig. 8 Improvement of the Balancing Factor

Fig. 9 Improvement of the Cycle Time

サイクルタイムの低減の変遷を示す。そして4個のWSからなる生産ラインにおいて、有用知識の参照の有効性を確認するために、参照を行った場合と不参照の場合(式1)内 $F_k = 0$ との比較を実施した。

その結果、図7による日総生産については、有用知識を参照しない場合で63%の向上が観測され、有用知識を参照する場合で81%への向上が達成された。図8によるLBFについては、それぞれ87.9%および90.8%と、知識の参照の優位性が確認できた。図9によるサイクルタイムの低減の変遷をみると、同様に開始時49秒がそれぞれ30秒および27秒と知識参照を行った場合の効果が顕著である。その他の5ケースにおいても、各WSでの作業工数 T_{wi} およびWEのWS密着度を乱数により発生させたうえで試行を実施したが、すべてにおいて表2で示すように評価関数の向上を確認し、知識の参照による向上を確認した。

Table 2 Comparison of the Simulation by Knowledge Utilization

No Use of Knowledge		Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5
Daily Production (pcs)	Start	120.00	218.00	124.14	122.03	135.85
	End	200.00	400.00	194.59	175.61	276.92
	Value Improved	80.00	182.00	70.45	53.58	141.07
	Ratio Improved	0.67	0.83	0.57	0.44	1.04
LBF (%)	Start	0.500	0.522	0.595	0.648	0.410
	End	0.838	0.963	0.937	0.935	0.839
	Value Improved	0.338	0.441	0.342	0.287	0.429
	Ratio Improved	0.40	0.45	0.36	0.31	0.51
Cycle Time (sec)	Start	60	33	58	59	53
	End	36	18	37	41	26
	Value Improved	24	15	21	18	27
	Ratio Improved	0.40	0.45	0.36	0.31	0.51

Use of Knowledge		Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5
Daily Production (pcs)	Start	120.00	218.00	124.14	122.03	135.85
	End	212.26	430.36	208.27	188.38	296.91
	Value Improved	92.26	212.36	84.13	66.35	161.06
	Ratio Improved	0.77	0.97	0.68	0.54	1.19
LBF (%)	Start	0.500	0.522	0.595	0.648	0.410
	End	0.860	0.971	0.958	0.947	0.864
	Value Improved	0.360	0.449	0.363	0.299	0.454
	Ratio Improved	0.43	0.49	0.40	0.35	0.54
Cycle Time (sec)	Start	60	33	58	59	53
	End	34	17	35	38	24
	Value Improved	26	16	23	21	29
	Ratio Improved	0.43	0.49	0.40	0.35	0.54

6. まとめ

本研究では、製造工程でのエージェントが作業・知識の分散・共有を行うことにより、自律的に群構成を構築し、経験的学習によりその能力を向上することに着目した。

複数のエージェントが製造工程で協調作業を行う際に、必要な知識を他エージェントから参照することにより、工程のラインバランスを向上させることが可能であることが確認できた。知識を共有するために、その知識の有用性やそれらを所有するエージェントの状態を評価する手法についての提案により作業の均等配分が可能であることが確認できた。

実際のエージェントの運用では、知識の評価は、より複雑かつ多次元での評価分類が必要となると思われる。本研究の今後の取り組みとしては、評価結果を知識の蓄積に反映させ、階層的な知識の配置手法等、記憶媒体の効率的な活用アルゴリズムを考案する予定である。また、今回のシミュレーションではホストが他エージェントの活動状況を把握したうえで活動プランを練って指示を出すという形態に基づいて議論したが、エージェントが自己組織化により自律的に行動しうるシミュレーションを検討する必要もある。具体的にはタスク内容やレベルにより管理エージェントとしてのホストの権利が動的に入れ替わるような柔軟性をもたせた群構成も可能なアルゴリズムを検討する。

参考文献

- (1) Ishida, Y. and Asama, H. et al., Design of Communication System and Development of a Simulator for an Autonomous and Decentralized Robot System, J. the Robotics Society of Japan, Vol. 10, No.4(1992), pp. 544-551
- (2) Asama, H., Ozaki, K., Ishida, Y. et al., A Method of Cooperative Task Assignment by Multiple Autonomous Robots Based on Decentralized Management Using Communication, J. the Robotics Society of Japan, Vol. 10, No.7(1992), pp. 955-963
- (3) Arai, T., Yoshida, E., A Study on Local Communication of Multiple Robot Sytem, J. the Robotics Society of Japan, Vol. 12, No.6(1994), pp. 886-891
- (4) Umetani, T., Mae, Y. and Arai, T., Adaptive Relocation of Environment-Attached Storage Devices for Knowledge-Sharing among Autonomous Robots, J. the Robotics Society of Japan, Vol. 20, No.6(2002), pp. 631-639
- (5) Lee, H., and Hashimoto, H., Controlling Mobile Robots in Distributed Intelligent Sensor Network, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 50, No. 5(2003), pp.890-902
- (6) Cai, A., Fukuda, T. and Arai F., Information Sharing among Multiple Robots for Cooperation Cellular Robotic System, Proceedings of the 1997 Intelligent Robots and Systems IEEE/RSJ, vol.3(1997), pp.1768 - 1774
- (7) Wang, J., and Premvuti, S., Resource Sharing in Distributed Robotics Systems Based on a Wireless Medium Access Protocol, Proceedings of the IEEE IROS'94, Vol. 2(1994), pp. 784-791