作業モニタリングに基づく作業支援システムの研究*

—モバイルエージェントによるネットワーク環境でのシステム構築—

館 野 寿 丈**

Study on Work Support System based on Work Monitoring
- System Construction in Networked Environment with Mobile Agents-

Toshitake TATENO

Machine recognition of human work processes in assembly, maintenance and disassembly is an important function for computer support systems to provide cooperative and autonomous support. We call this function work monitoring, and have developed a prototype system. However, the cooperative support in networked environments has not been discussed. Because workers often move some places and work using some instruments, the support system should change the structure to adapt to the work environment. This paper proposes an agent-based approach to realize the flexible support system. A prototype system is implemented with mobile-agent and RFID system. The mobile agent system provides a framework for remote update of local software. And, the framework enables to change system configuration dynamically and to reduce network traffics. The RFID is used to monitor human work processes and to detect work places. The effectiveness of mobile agent approach to implementation of the monitoring-based support system is confirmed with a case study of work support in maintenance work.

Key words: work support system, work monitoring, mobile agents, network system, RFID, maintenance

1. 結 言

近年の生産システムは多品種少量生産が進み、作業者は多くの作業をこなすいわゆる多能工として働く必要性が高まっている。例えば、自動車用エンジンや、大型コピー機などの組立作業においては、一人の作業者が製品のすべての組立工程を受け持つセル生産などが実施されている。また、家電製品などのリサイクルやリユースに向けた分解・分別作業では、製品の種類や状態が各々異なる作業対象を扱う必要がある。このような作業を行うには知識と経験が必要で、多くの場合、熟練作業者によって実施されている。しかし、近年、熟練作業者が減少し、高齢化も進んでいるうえ、作業者が新たな作業を学習する十分な時間を割くことできないのが実情となっている。そこで、不慣れな作業者であっても、速く確実にしかも安全に作業を遂行できるようにするために、計算機による作業支援が望まれる。筆者らは、人の作業の様子を計算機が認識し、その結果を作業指示に役立てる仕組みが重要であることを指摘し、研究を進めている。これまでの研究において、システム概念¹⁾、作業認識手法²⁾、作業支援アプリケーションの例としての安全管理システム³⁾などについて述べてきた。これらは単体の作業支援システムとして議論を進めてきたが、他の作業者の作業支援システム、ロボット、測定装置などと作業認識の結果を共有することで、これらと協調して作業できるようになり、作業認識の機能をさらに発展的に利用できる。本論文では、ネットワーク化された作業支援システムを提案し、モバイルエージェントによって実装する。これにより、作業者が移動した先々で、その場の設備と協調的に行う作業を支援できるようになる。提案システムは実際の作業支援システムとして開発し、ケーススタディを通してその有効性を確認する。

2. 作業モニタリング機能を有する作業支援システム

図1に作業モニタリングに基づく作業支援システムの概要を示す。そこでは、人の動きや作業対象の観測から作業状態を認識することを作業モニタリングと呼び、その認識結果に基づいて支援することを特徴としている。たとえ作業手順があらかじめ決められており、順番に指示が出されるとしても、作業者がその通りに正しく作業するとはかぎらないし、修理作業や分解作業などでは、対象物の状態に応じて作業計画を立て直しながら作業を進める場合も考えられる。よって、作業モニタリングを行うことにより、作業の状況に合わせた柔軟な支援が可能になる。さらには、作業者の気づかない誤りや危険を発見して指摘できるようにもなる。

関連する研究として、人とロボットとの協調作業を目的とした研究⁴⁾がある。そこではロボットによる物理的な操作の支援を主眼とし、人間の行動に絶対的な主導権を置いているが、本研究では知的な支援(Intellectual support)を主眼としているので、支援システムが作業目的と作業方法に関するモデルを持ち、作

Fig.1 Work support system based on machine recognition of human work

* 原稿受付 平成 16 年 7 月 6 日

** 正 会 員 東京都立大学大学院 (東京都八王子市南大沢 1-1)

Fig.2 Example situation of system configuration change

業者に不足する知識や判断を補う点異なる。

本論文では、モニタリングされた作業情報が、作業者の支援システム単体でなく、ネットワーク化された環境で用いられることにより、他の作業者や作業に必要な機器との協調的な作業を効率的に支援できることを示す。例えば図2のように、作業現場1で作業員A,Bが作業を分担して作業対象を分解し、その後作業員の一人が分解した一部の部品を作業現場2の智能化された装置で検査する場合を考える。

作業現場1では、作業員Aと作業員Bはお互いの分担と作業の進捗が明確にされれば、作業員に経験や作業速度に違いがあっても効率的に共同作業を進めていける。作業現場2では、必要な検査項目を検査機械が自動的に測定し、測定結果を決められた形式で保存できれば、作業員が検査装置の使い方を知らなくても作業を進めていける。このように、作業員と支援システムとが、作業手順や現在の進捗などの作業情報を共有することで、作業を効率化できる例は多い。MES(Manufacturing Execution System)⁹⁾は提案するシステムと同じ目的を持つものであるが、現在のMESは決められた作業計画に沿って作業を実施するシステムとなっており、状況に応じて動的に作業方法や支援方法を変える仕組みにはなっていない。提案するシステムは、作業対象の状態や作業設備など、その場の作業環境に応じて柔軟に構造を変えることができる支援システムである。その機能は次の3点に整理される。

- (1) 作業モニタリングによって得られた作業情報をネットワーク上の複数の計算機で共有し、作業分担や協調動作の方法を動的に計画できる。
- (2) 計画された作業方法や支援方法にしたがってシステムを動的に構成できる。
- (3) ネットワークで構成されたシステムによって、単体で構成される場合に比べて性能を落とさずに支援できる。

これらを実現するために、各作業員の支援システムや検査機械など、独自の振る舞いを持つ機能的な要素をエージェントとして定義し、実装することを提案する。

3. モバイルエージェントによる実装

3.1 エージェント

エージェント⁶⁾とは環境の状況を把握し、これに基づいて自律的に振舞うハードウェアもしくはソフトウェアを一般的に呼ぶが、ネットワークコンピューティングでのエージェントを特徴付ける性質は、次の3点に整理される⁶⁾。

- (1) エージェント間協調性
- (2) 柔軟な適応性／頑健性
- (3) 能動性／自律性

これらの性質を提供するエージェントとして、自律的で知的

Fig. 3 Difference of communication type between server client system and mobile agent system

な振る舞いを強調したインテリジェントエージェント、協調性を強調したマルチエージェント、移動性を強調したモバイルエージェントなどがある。前節において、本研究で提案する作業支援システムの機能として、(1)動的な作業計画、(2)動的なシステム構成、(3)支援性能の確保、を述べた。エージェントの持つ3つの性質は、これら3つの機能に良く適合し、有益に働く。本報では、まず提案する支援システムをネットワーク環境で実現する上での課題を優先し、(1)動的な作業計画については今後の研究課題とし、作業計画は与えられるものとして(2)システムの動的構成、(3)支援性能の確保、の2つの機能を持ったシステムをエージェントによって実現する。また実際の支援実験を通して、エージェントを用いることによる有効性を検証する。

3.2 モバイルエージェント

作業支援システムのエージェントによる実装には、ネットワーク環境での移動性に優れたモバイルエージェント⁶⁾⁸⁾を用いる。モバイルエージェントはネットワークを介して複数のノードを渡り歩いて処理をするエージェントであり、Webの情報検索などに用いられている。ソフトウェアエージェントではあるが、ネットワークセンシング⁷⁾の研究例のように、センサ類を遠隔で操作するシステムで実装上の利点を持つ。モバイルエージェントでハードウェアを動かすということは、あたかもソフトウェアエージェントがローカルの計算機に移動していった乗っ取り、ハードウェアエージェントとして活動するような形になる。RPC(Remote Procedure Calling)や従来の分散オブジェクトの処理では、分散処理は行われるもののプログラムは移動せずに、遠隔地からネットワークを介してローカルのシステムを操作したり、変数値を受け渡したりして働く。これらをサーバ・クライアント型とすれば、一方のモバイルエージェントは変数値などのデータに加え、ソースコードも共に移動して活動する点に違いがある⁸⁾。図3はこの違いを概念的に示したものである。エージェントは自身のプログラムのみで動作するので、必要な振る舞いを直接モデル化してプログラムすれば良く、他のエージェントのプログラムを変更しなくてよい。また、モバイルエージェントでは、予めプログラムを移動させて、通信をローカルコンピュータ内に局所化することができるので、分散されたプログラム間でのデータのやり取りを減らすことができる。他にもモバイルエージェントの利点は数多くあるが、本論文ではシステム定義・変更の容易性とネットワーク性能依存度の軽減とに着目し、それらが提案する作業支援システムを実装する上で有益であることを示す。

Fig.4 Dynamic configuration of networked system

3.2.1 システムの定義・更新の容易性

サーバ・クライアント型のシステムでは、クライアント側のプログラムを更新する際には、一度プロセスを停止し、プログラムを遠隔地から転送して更新し、更新されたプログラムを実行する煩雑な手続きを行わなければならない。モバイルエージェントの場合、以上の手続きを、システムを止めることなくプログラム処理として行うことができる。

例えば図4のように、あるネットワークを介したシステムの要素 A,B,C があり、A と C が一緒に活動する場合と、B と C が一緒に活動する場合があるとする。常に A,B,C すべてを一つにまとめておくことは非効率であるので、システムを場合により組み替えることが良い。これを実現したのが分散オブジェクトであるが、分散オブジェクトの機能だけでは、組み換えの際に、一度 A,C のプロセスを停止し、C のプログラムを変更後、B,C のシステムとして起動するという手続きを必要とする。一方、エージェントであれば、エージェント A,B,C はそれぞれで活動できるので、構成に変更があっても、互いにそれを通知するだけで継続して活動できる。プログラムの移動や更新においても、エージェントを移動させたり、新たなエージェントを遠隔から送り込んで取り替えて、そのことを通知するだけで他のエージェントを停止させる必要はない。これはエージェントの性質に挙げた(2)柔軟な適応性／頑健性によるものである。

この性質により、提案システムの機能として示した(2)作業支援システムの動的な構成変更を実現できる。例えば、作業者が複数の作業場所を持ち、それぞれの場所で機器を使用する場合、作業者が存在する場所に応じて使用機器の構成が変わる。このような機器構成に応じたアプリケーションの動的変更が、モバイルエージェントによって実現される。

3.2.2 ネットワーク性能依存度の軽減

サーバ・クライアント型のシステムでは、クライアント側で収集された情報はサーバに転送され、サーバで処理が行われた後、結果がクライアント側に転送される。これに対し、モバイルエージェントでは、処理プログラムをあらかじめ転送しておき、結果を必要としている場所で処理できる。この場合、処理中にネットワークを介して情報をやり取りする必要がない。これはエージェントの性質に挙げた(3)能動性／自律性によるものである。

センサが対象を検出してから、何らかの情報が作業者に伝えられるまでの時間 T を考える。サーバ・クライアント型のシステムであると、センシングと提示の実体はクライアント側にあるが、処理の統括はサーバで行うので、ネットワークを介した通信が必須となる。このときのセンシングから提示までの応答時間 T を次のように分割できるとする。

$$T = TS + TD + TI + (DS + DI) / R \quad (1)$$

ここで、TS:センサが信号を検出して認識する処理時間、TD:結果を判断する処理時間、TI:指示を準備して提示する処理時間、

DS:認識結果のデータ量、DI:指示に要するデータの量、R:通信速度である。通信時間が発生してしまうのは、センシング、判断、提示のそれぞれの処理が分散された場所で行われるからである。これに対し、エージェントでシステムを構成した場合、判断に関わるエージェントをセンサと提示装置の付いた計算機に移動させることで、処理を一つの計算機に局所化できる。こうすることで、作動中の応答時間 T' を、

$$T' = TS + TD + TI \quad (2)$$

にすることができる。これは単体でシステムを構築する場合と同等である。ただし、このように動作させる前に、必要なエージェント（プログラムとデータを含む）を予めローカルの計算機に移動させる時間を要する。これを T_b とすると、

$$T_b = DA / R \quad (3)$$

ここで、転送するエージェントは使用が見込まれるものの実際に使用されないデータをも含むので、処理時間と転送時間を合わせるとサーバ・クライアント型の場合より多くなり、

$$T < T' + T_b \quad (4)$$

となることが多い。しかし、作業支援に必要な処理と、データ転送の処理とを切り離せることで、提案システムの機能として示した(3)ネットワーク構成のシステムによる単体での構成と同様の性能確保を実現することができる。

作業支援システムでは、作業者の作業動作を認識し、その結果に基づいて適切な指示を作業者に提示する。このセンシングから、判断、提示までの処理ループは速い応答時間で実現する必要がある。もし、これをサーバ・クライアント型のシステムで実現するには、高速で高価なネットワークが必要になるのに対し、モバイルエージェントによってシステム構築を行えば、実行中の高い応答性が必要とされる処理を作業側だけで行えるので、高速でない廉価なネットワークであっても、作業中に作業者の挙動に対して即座に反応する作業支援システムを構築できる。また別の例として、作業側側のシステムと管理システムとの間を無線通信などの不安定なネットワークで構成した場合、通信が一時的に途切れることが考えられる。この場合にも、作業側でのみ作業支援に関する処理を行うシステムであれば、高い信頼性を確保できる。このように、モバイルエージェントによりシステムを構築することで、単体での作業支援システム同様の応答性と、信頼性を確保できる。

3.3 作業支援エージェントの構成と実装

3.3.1 エージェントシステムの設計

本論文では、作業側側の計算機が、作業者の手順を確認しながら指示を出すこと、および作業者の移動に対応して支援システムの構成を変更しながら支援を続けるシステムをモバイルエージェントによって構築する。

ただし、エージェントシステムを作業支援に適用する際に、作業手順管理の問題を生ずる。エージェントシステムは通常、複数のエージェントを一つのプログラムで統制する概念を持たず、それぞれのエージェントの振る舞いと、エージェント間のコミュニケーションによって全体の動きが決められていく。この特性は、柔軟な計画をするうえで都合はよいが、分解組立作業の場合、通常は作業手順に制約があるので、これが守られるようにする工夫が必要である。そこで、作業手順に関する情報を持つエージェントを定義し、このエージェントが、関連するエージェントにメッセージを送ることで作業手順を管理できるようにした。個別の振る舞いにより計画・実行していくというエージェントの特性は、可能な複数の作業手順の中からその状

況に最もふさわしい手順を選択するという形で利用する。この点は作業支援システムの機能として述べた(1)動的な作業計画に相当するものなので、本報では扱わないこととし、作業手順の管理の手法とその利点についてのみ次に述べる。

作業手順は And/or グラフ⁹⁾によって記述する。And/or グラフは部品もしくはサブアセンブリをノード、1つの部品もしくはサブアセンブリを組み付ける作業をアークとして表現する。可能性のあるすべての作業手順を効率よく表現できるのが特徴で、状況を判断しながら次に行う作業を決めるような場合、例えば修理や分解作業などの表現に適している。図5は And/or グラフの一例であり、a,b,cの3部品からなるアセンブリの組立分解手順を示している。たとえば、部品aに部品bを組み付ける作業は作業W1によって達成できる。もし、アセンブリabcから部品cを取り出したいなら、部品cからアセンブリabcまでのアークを探索し、作業W2もしくは、作業W3,W4を順に実行すればよいことが検索できる。このように、作業対象の現状態から目的の状態までの作業を容易に検索できるので、状態を把握しながら作業を進めていく本システムでの作業表現に適している。

この And/or グラフを用いることで、実行中の作業手順に矛盾がないかどうかを確認できるほか、実行可能性のある次の作業を限定できるので、支援に必要なソフトウェアやデータを予め選択的に作業側へ転送することで、ネットワーク性能によらない処理が可能になる。この時、作業側側のコンピュータで実行されるソフトウェアを頻りに更新することになるが、システムの更新が容易なエージェントの特性と合わせることで実現が可能になる。

Fig. 5 Example of And/or graph

図6にエージェント間のインタラクションを示す。縦方向が時間的な推移であり、太枠はエージェントが活動していることを示す。エージェントの処理はすべて自身がつ関数で実行される。エージェント間の通信ではデータ配列が渡される。エージェントは、作業管理エージェント、RFID 検出エージェント、作業過程認識エージェント、作業指示エージェント、測定エージェントの5種類とした。すべてのエージェントはこれらを計算機内に保持するソフトウェア上で動いており、これをホストと呼ぶことにする。ここではR, H0, H1, H2の4つのホストとした。エージェントはこのホスト間の移動が可能である。

作業管理エージェントは、And/or グラフに基づいて全体の作業計画を行い、必要なだけエージェントを発生させ、必要な場所へ移動させる。本研究では新たな作業計画は行わないが、決められたエージェントを発生・移動させる役割として存在する。

RFID 検出エージェントは RFID によるタグの検出を常に繰り返す。新たなタグが検出された時にのみ、タグの ID 番号を同じホストにあるすべてのエージェントにメッセージとして送信する。RFID については次節で説明する。

Fig.6 Communication among work support agents

作業過程認識エージェントは、可能な作業手順を状態遷移グラフとして表現したモデルをもち、作業側側のセンサ情報に基づいて、どのような作業が行われてどのような作業状態にあるかを常に把握する。すべての作業手順モデルをあらかじめ作業側側に移動させたとしても多くは無駄になるので、可能性のある一定の範囲での作業手順とその作業認識の方法を持たせる。このエージェントは、作業管理エージェントにより発生され、検出されたタグの ID と作業手順モデルとを比較していく。行われた作業を確認したら、作業手順モデルを用いて作業状態を更新し、その結果をメッセージによって同じホスト上のすべてのエージェントに送信する。定義されている作業範囲を超えた場合には、終了メッセージを作業管理エージェントに送信し、消滅する。

作業指示エージェントは作業指示内容とその提示方法についてのプログラムとデータを持つ。作業過程認識エージェントから送られた作業認識結果のメッセージをうけて、その作業状態に応じた作業指示をする。作業指示エージェントは自身のクローンを生成し、作業が存在する作業環境の提示装置に移動して提示活動する。

測定エージェントは作業指示エージェントから呼び出されて指示されたホストに移動し、要求された測定器の設定、測定の実施、解析を行って結果を作業指示エージェントにメッセージとして送る。

3.3.2 システムの構築

前節に示したエージェントシステムの構造にしたがってシステムを構築した。エージェントシステムは Aglets¹²⁾を用いた。図7にハードウェア構成を示す。作業指示の提示装置は、作業側者が持ち歩くコンピュータ(Local computer 0)に加え、それぞれの作業場所にも置き(Local computer 1, Local computer 2)、作業側者のいる場所に指示画面を提示するようにした。また、作業場所2のコンピュータ(Local computer 2)には電圧測定用のボードが組み込まれており、プログラムによって電圧を計測して、必要な形式で記録できるようにした。各コンピュータはエージェントを保持するホストを一つ持つ。

本研究では、作業過程の確認と使用機器を特定する作業モニタリングに RFID(Radio Frequency Identification)を用いた。RFID はタグに記録されている情報を電波での通信を介して非接触に読み書きできる装置である。最近では、物流の分野で普及が進んでいるが、近い将来、リサイクルの観点からすべての機械製品の部品やモジュール単位に RFID タグが装着されて個別管理がなされると考えられ、関連する研究¹⁰⁾が進められている。筆者らはこのような動向を踏まえ、RFID による作業認識と作業支援へ利用する研究¹¹⁾を進めている。

図8に開発した手指装着型 RFID 検出装置のアンテナ部分と、使用したタグを示す。RFID システムは日本 LSI カード社製の通信周波数 125kHz 帯のものを用いた。この RFID は金属物質による電波の影響が少ないこと、タグが小型で電池などのバッテリーが不要であることから選んだが、これらは作業対象の材質や大きさに応じて他種の RFID システムであってもよい。使用した RFID の検出距離はおおよそ 10mm である。

作業プロセスは、指示されたタグに作業側者が手を触れ、それが正しいと確認されたら作業を実行するというプロセスを繰り返すことで進められる。もし、誤ったタグに手を触れたならば警告画面を提示する。指示画面は作業側者が身につけているコンピュータにも提示されるが、作業側者はこれを見ずに2箇所の作

Fig.7 System configuration

Fig.8 RFID tags and read/write device

業場所それぞれに設置されている提示装置に映し出される指示画面を見ながら作業する。RFID は作業プロセスの確認に用いると同時に、使用機器を特定することにも用いられる。提示装置の選択は作業手順にかかわらず、提示装置につけられている IC タグに手を触れることで選択され、作業指示エージェントが移動して指示画面を提示する。

4. ケーススタディ実験と考察

4.1 実験対象と作業支援実験

作成したシステムにおいて、次のような事例を用いて、システムの挙動を確認し、エージェントを用いることの有効性について検証する。作業対象は、電気自動車のバッテリー検査作業とした。図9に実験で使用したバッテリー部を示す。

作業側者は、指示された順番に接続をはずしてバッテリーを一つずつ取り出し、異なる場所に存在する電圧測定器まで運び、電圧を測定する作業を行う。この作業は、保全作業もしくは、廃棄された製品から再利用可能な部品を取り出し、それを検査する作業を想定した上で選んだ。

作業指示画面は図10に示すように、作業内容を示す1行程度の文字と、バッテリーの構成をかたどった画像で示すようにした。画像は Java のプログラムで書かれており、移動先の計算機によって実行されて提示される。

作業指示は各バッテリーの端子取り外し2箇所、固定具の取り外し、移動の往復、検査端子設置の計6作業の指示を準備した。バッテリーは4つあるので、計24の作業指示となる。

以上の作業を、本研究に関係していない機械系の学生を対象に、バッテリー端子接続作業での危険に関する説明と、作業手順は指示にしたがうよう説明をした後に、一連の作業を行ってもらった。

4.2 実験結果と考察

4.2.1 システムの定義・更新の容易性

それぞれのバッテリーに対する作業内容は同じであるので、一つのバッテリーでの作業プロセスは図 11 のようになる。各プロセスは作業指示が開始となり、RFID の検出が終了となる。図の右側に各プロセスでの作業支援に用いられるエージェントを記す。

作業場所 1 で行われる取り外し作業と、作業場所 2 で行われる検査作業とは、エージェントの構成が異なり、システムの構造が変化する。使用していないエージェントは、他のシステムの要素として活動できるので、動的なシステムの組み換えは、資源の有効活用につながる。作業支援実験ではこの変更は円滑になされ、システムの動的な構造変更が実現できることを確認した。さらに、確認実験として、H1, H2 を行き来する作業指示エージェント (図 10 下線) を移動させずに実行させてみた。このエージェントは作業の進度に応じて指示画面を提示するが、指示画面が移動しない以外に全く影響を受けずに動作し、構造変化に頑健であることを確認した。

実験においてバッテリーの電圧測定をする作業は、部品の検査を想定している。今回の例では単純な作業であるが、実際には、画像処理なども含まれ、検査方法は作業対象の種類によって異なり、しかも計測装置は設定に複雑な手順を必要とすることが多い。また、検査において検査装置の設定や収集されたデータを決められたデータベースに格納する処理なども、煩雑な手続きが必要である。これに対し本実験では、作業支援システムにより指示画面の設定や測定器の設定など使用機器固有の操作がすべて自動化されるので、作業知識を持たない作業員であっても、大きな時間的損失なく確実に作業を進めていけることを確認した。このようにモバイルエージェントでの実装による動的なシステム構成の実現が、不慣れた作業員の支援に大きな意義をもたらすことが理解できる。

4.2.2 ネットワーク性能依存度の軽減

処理プログラムが分散している場合とローカル計算機に局所化した場合とを比較するため、作業過程認識エージェントを Remote computer においたままにする場合 (図 12(1)) と、通常通り Local computer 0 に置いた場合 (図 12(2)) とで比較をした。

まず、どちらの場合でも作業支援システムとして正しく動作することを確認し、その上でそれぞれの処理時間を比較する。RFID 検出エージェントが RFID の値を読み込んで作業過程エージェントに値を渡し、作業過程エージェントがその RFID に相当する JPEG 画像データを含んだ作業指示エージェントを呼ぶ、そして、作業指示エージェントが Local comp. に移動して画像を提示するという処理で比較した。この事例を選んだ理由は、RFID の検出と提示のエージェントを Local comp. におき、作業指示エージェントを Remote comp. に置いた場合と、予め Local comp. に移動した場合による処理時間の変化、ならびにエージェントが保有する画像データ量を変えることで、移動するデータ量に対する通信時間の変化を評価するためである。画像データは 1 つの元画像を JPEG 圧縮率を変えて保存し、異なるデータ量の画像とした。実験装置は、Remote comp. が Pentium 4, 1.8GHz、Local comp. 0 が Pentium III, 700MHz の PC。通信回線は 10Mbps, 100Mbps それぞれのハブを介した LAN によって構成した。

Fig.9 Battery of an electric car

Fig.10 Example of work instruction display

Fig.11 Work process and agent configuration

Fig. 12 Agent configuration

Fig.13 Experimental results of processing time on different network configuration

図 13 は、作業指示エージェントが保有する画像データの容量と、提示までに要する時間の関係を示している。図中の 3 つのグラフは、エージェントを Remote から 10Mbps の LAN を介して移動して提示した場合、100Mbps の LAN を介して移動して提示した場合、予め Local に移動しておき提示した場合のそれぞれの結果である。エージェントのプログラムは 3 条件ともに同じである。エージェントを予め Local に移動しておき提示した処理時間は、3.2.2 節で示した式(2)の応答時間 T に相当すると考えることができ、他の 2 条件でのそれぞれの結果から T を除いた時間が、式(3)のエージェントの移動時間 T_b と考えることができる。まず T の実験結果では、保持するデータ量が大きいほど時間がかかる結果となった。これは、画像を提示する時間が、データ容量が大きいほど時間を要するためである。増加量が非線形であるのは、JPEG 圧縮率の違いによる処理時間の変化のためと思われる。この作業側側の処理 T に対して、通信を含んだ処理はいずれも通信時間を含むので明確な差を確認できる。10Mbps LAN の実験結果を見ると、移動するデータ量にはほぼ比例して T_b が増加している。その増加量はネットワーク通信速度に依存すると考えられる。よって、エージェントを作業側側に移動させることによって、ネットワーク性能や送信データ量に関わらず、RFID の検出から提示までの時間を一定に保つうえでも効果があることを確認した。ただし、これら結果は必ずしもエージェントを移動させることの利点を示すものではない。100Mbps LAN での実験結果では、通信時間 T_b による増加量は少ない。これは、本来のネットワークによる通信時間よりも、ネットワークを利用するための準備時間がほとんどを占めるためと考えられる。このような場合、通信時間はデータ量による影響をあまり受けないので、予めエージェントを移動させる必要性は少ないと考えられる。また、単に処理時間の短縮だけを考えるなら、式(4)に示したように、エージェント

を利用せずに用途に特化したシステムを構成すれば、処理時間を全体的に短く抑えることができるかもしれない。しかし、エージェントの有用性での重要な点は、エージェントが活動する場所を変えることで、作業モニタリングから作業指示までの処理時間を状況に合わせて調節できることにある。今回は、人が RFID により部品を検出してから作業方法が提示されるまでの時間を想定したが、他にも、映像を取得して解析する場合、センサによって人の動作を検出してフェイルセーフシステムを構成する場合など、状態の検出から処理結果提示までの時間を調節したい場合は多い。この実験を通して、ネットワーク性能に依存しないよう状況に応じてシステムを構成できるエージェントの有効性を確認できた。

5. 結 論

- (1) 機械製品の分解組立作業において、作業者の動作と作業対象物の情報から作業の状態を認識し、ネットワークを介して認識結果を共有することで、複数の作業者や設備機器と協調しながら作業できるようにする作業支援システムを提案した。
- (2) 提案したシステムを実現する上で、モバイルエージェントによるソフトウェアの実装を提案し、And/or グラフを用いた作業手順管理によって、必要なソフトウェアやデータのみを動的に構成して利用できる点、またネットワーク性能に依存しないシステム構成ができる点での利点を述べた。
- (3) 提案したシステムの試作機を作成し、機械の分解・検査作業を対象とした実験を通してモバイルエージェントによる実装の効果と、提案する作業支援システムの有効性を確認した。

参 考 文 献

- 1) T. Tateno and M. Igoshi, "Maintenance Support System equipped with Monitoring Function", Proc. of ICPE (2001) 942.
- 2) 見崎大悟, 館野寿丈, 青村茂: 統語的パターン認識による作業動作認識, 精密工学会誌, 69,12(2003)1790.
- 3) 館野寿丈, 井上諭, 井越昌紀: 分解組立作業における作業員安全管理システムの開発, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 5, 1 (2003) 57.
- 4) H. Kimura, T. Horiuchi and K. Ikeuchi, "Task-Model Based Human Robot Cooperation Using Vision", Proc. of IROS99 (1999) 701.
- 5) 中村実ほか 6 名: MES 入門, 工業調査会, (2000).
- 6) 本位田真一ほか 2 名: エージェント技術, 共立出版, (1999).
- 7) H. Qi, S.S. Iyenger and K. Chakrabarty, "Multiresolution Data Integration using Mobile Agents in Distributed Sensor Networks", IEEE Trans. on Sys., Man and Cyber., Part C, 31,3(2001) 383.
- 8) 佐藤一郎: モバイルエージェントの動向, 人工知能学会誌, 14, 4 (1999) 598.
- 9) Homen de Mello L.S. and Sanderson A.C., "And / or Graph Representation of Assembly Plans", IEEE Trans. on Robo. and Auto., 7,2 (1992) 211.
- 10) M. Suzuki, K. Sakaguchi and H. Hiraoka, "Life Cycle Support of Mechanical Products using Network Agent", Proc. of ICPE (2001) 912.
- 11) T. Tateno, D. Misaki and S. Aomura, "Work Monitoring System of Human Motion with RFID", Proc. LEM21, (2003) 701.
- 12) D.B. Lange and M. Oshima, "Programming and Deploying Java Mobile Agents with Aglets", Addison Wesley (1998).