人と機械の協調のための情報総合環境分科会

創造的活動のための人と機械の協調環境*

井越昌紀** 綿貫啓一***

Man-Machine Collaboration for Creative Activity/Masanori IGOSHI and Keiichi WATANUKI

Key words: product life cycle, XML, knowledge management, collaboration history, knowledge shearing, information island, technology tradition, semantic web

1. はじめに

人工物を大量につくることによって人類は生活面で豊かになってきた。この大量につくられ大量に廃棄される人工物は地球環境を大きく変化させており、人類の存亡の危機に直面する恐れがある。地球上での人類の持続的発展を可能にするためには製品のライフサイクルを見直し、必要な製品のみが適時に得られる企業活動が求められている。これからは多様化するニーズにダイナミックに適応できる創造的な企業がますます必要とされている。

創造的な企業活動を行うためには、人の創造力を向上させる環境が必要である。環境の中では、まずナレッジ・マネジメントの重要性が指摘されている¹⁾。さらに加えて、仕事に必要な知識の迅速な習得環境が重要である²⁾。ナレッジ・マネジメントでは、個人の暗黙知がグループの暗黙知になり、さらに暗黙知が形式知になることを組織として支援することが創造的企業活動の要であるとしている。迅速な知識習得環境では、仕事に携わる熟練者から非熟練者や外国人従業員にいたる多様な従業員に、仕事に携わってもらうために関係する知識を迅速に習得してもらう社内教育・学習・訓練などが重要である。創造的活動をする場合にはこの2つのテーマを有機的に結び付けた協調作業(コラボレーション)環境を提供できることが必要である。

コラボレーションの中で重要なことは情報の共有と交流

の考え方である。人と人との知識の共有と交流、人と機械(人工物一般、ここでは主として計算機)との間での情報の共有と交流、計算機間での情報の共有と交流、これらがあって初めて、協調的な創造活動ができると考える。

本分科会ではまず情報共有に着目した。中でもとくに、多様な形態の形式知の記述を可能にし、人も機械も可読で、かつ、マルチメディアによるバーチャルな暗黙知の記録とも連携できるXML(eXtensible Markup Language)技術系³⁾に代表されるタグ付け言語が重要であるとした。さらに、記述された知識や情報を人と計算機が表層のレベルで共有と交流をするマルチメディアによるマンマシン・インタフェース技術、共有された知識や情報からの確かな情報の検索等の作業を支援するエージェント技術などを関心の対象とした。一方、創造的活動のベースとなる社内教育やOJT(On the Job Training)を支援するe-Learningなどの知識習得技術、あるいはマルチメディアを有効に利用した技能の伝承技術などを通して創造的作業の実現を目指す環境を見ていくこととした。

2. 人と機械のコラボレーションのフェイズ

協調の視点では、人においては個人とグループ、機械においては情報機械と作業機械、情報機械はさらに記録媒体と処理機械に分けて考えられる。さらに、コラボレーションそのものは時間と空間で整理される。

人と機械の協調の時代的推移は、機械としては計算機に代表される情報機械と力を伴う作業機械に分けて整理できるが、ここでは両者を合わせたものとして、図1に示す次の5つのフェイズで考えることとする。

第1フェイズ: 暗黙知の直接伝達

作業機械ではないが太古の時代から道具が使われ、ものづくりの創造的活動では、対象とするものに対して直接働きかける形で行われた。この時代のものづくりは人の体感センサを頼りとして、個人のイメージ(暗黙知)操作による創造性がそのままつくる対象に反映された。技術の伝達は「見聞きし覚える」「体で覚える」というもので、暗黙知から暗黙知への技術の移転であった。

- * 原稿受付 平成 15 年 6 月 19 日
- ** 正 会 員 東京都立大学工学研究科(八王子市南大沢 1-1)
- *** 正 会 員 埼玉大学工学部(さいたま市桜区下大久保 255)

井越 昌紀

1967 年東京工業大学大学院機械工学専攻修士課程修了、工学博士。同年三菱重工業(株)、1970 年機械振興協会技術研究所、1991 年東京

都立大学教授、現在に至る。専門: 知的協調工学、CAD/CAM/CIM、自由曲面処理、遠隔作業支援。

綿貫 啓一

1991 年東京工業大学大学院精密機械システム専攻博士後期課程修了、工学博士。1992 年埼玉大学工学部機械工学科講師、1994 年助教授、現在に至る。専門: Web ベース CAD/CAM/CAE、技能伝承、ヒューマンインタフェース。

フェイズ	特徴	コラボレーション形態
1	直接	人—人
2	紙	人—紙—人
3	作業機械	人—作業機械
4	計算機	人—計算機—人 作業機械
5	ネットワーク

図1 人と機械の協調のフェイズ。

第2 フェイズ：紙の登場

紙が発明されてからは、つくる対象が文字、ポンチ絵や設計図などで記録されることにより頭の中のイメージである暗黙知が外部に表現されて形式知化され、伝達や保存がされるようになる。作業知識も暗黙知のみの伝達手段だけでなく紙に書かれた形式知も利用されるようになる。このように技術の蓄積が行われ、それを学習したうえで新たな個人の創造的な活動が可能となる。これにより人類の形式知の蓄積が行われ、蓄積し分配された形式知に基づいて、次々に文化が花開いていった。

第3 フェイズ：機械の登場

紙を介して知識の蓄積と伝達が始まると、新しい機械が次々に開発されていった。現象を科学的に解明したうえで音声や画像を記録する機械が登場し、知識を蓄える媒体の多様性が増した。多様な記録媒体により、暗黙知の一断面が知識として蓄えられるようになった。しかし、これらはすべてハード媒体であった。

一方で、蒸気機関、内燃機関、電気モータなどの動力源が開発され、作業機械としてはこれら動力を用いる機械が使われはじめ、制御技術と合わせ人は大きな作業力を手に入れた。しかし、自動ピアノなどの一部を除いて情報機械と作業機械とは一体化しておらず、人と機械の協調の処理における役割は人が情報処理の役目を行い、動力機械が作業を行うという図式であり、また、コラボレーションの時空間は基本的には同一であった。

第4 フェイズ：計算機の登場

情報機械として計算機が登場して記録媒体が電子となり、機械の中に知識（データ）と、データに基づいて処理を行う操作との明確な分離ができた。情報機械においてデータとしてプログラムを入れておくことにより、プログラムのモデルに基づいていつでもどこでも作業ができるという、コラボレーションにおいて時空間の分離ができるようになった。さらに、作業機械の中に情報機械を入れることにより、処理は情報の操作の範囲にとどまらず、作業の操作を行うことができるようになり、各種知的作業機械（工作機械、ロボット、機械システム）が登場する。しかしながら、協調の主たる姿は個人対機械の図式であった。

第5 フェイズ：ネットワーク環境の登場

情報機械がネットワークで結ばれると、ひとつの作業を

行うために分散化された環境で、複数の人や機械が仕事に参加できるようになる。インターネット時代がここに始まった。人と機械のネットワークを介したコラボレーションによりグローバルな環境でより高度な創造的活動を行う基盤が提供された。

しかし、ここでの問題は、ローカルに進んだ知識の蓄積により情報の島が存在してしまったことである。複数の島にある知識の連携ができない、島で処理される内容の連携ができない、自然言語とモデルにいたる知識の連携ができないなど、それぞれの形式知間の交流を妨げる情報の島の問題がクローズアップされる。この問題の解消を図り、多様な情報から必要な情報を機械（エージェントを含む問題解決器）の支援を受けて選び出し、人の要求に合わせて情報を提供することにより、人の創造性をさらに高めることが期待できる。

3. 知識創造と計算機支援

創造的活動で使われる知識は一般に暗黙知と形式知に分けて考えられる。暗黙知とは人の頭の中にある知識の中で形式化して外部に出されない部分である。訓練によって体が覚える、動作を伴う身体知も大きな知識でありこれも暗黙知である。暗黙知を分類し言葉や記号に対応づけをすることにより、ある程度の形式知を得ることができるが、言葉になった形式知は暗黙知のほんの一部である。ポラニーは、「われわれは語る事ができるより多くのことを知ることができる」といっている⁴⁾。また、暗黙知ではアナロジーやメタファーを使って別の新しい暗黙知を作り出すことができる。この柔軟な暗黙知操作が人の創造性の根幹をなしている。

人の頭の中にある暗黙知は整理されて外部に表される形式知となる。形式知は機械である計算機の中に蓄積されて利用される。形式知は計算機の中の文章、図・表・数式あるいはモデルのような情報そのものと、その情報を処理するアルゴリズムや実行プログラムであったりする。これら計算機の中の形式知は人の創造的作業のためにマルチモーダルメディアによるインタフェースを介して人と計算機間で知識の交流がされる。図2に関係を示す。

製品を製造するための活動は、製品のライフサイクルの諸位相、すなわち、企画、設計、実製造、販売、運用、逆生産の全般にわたる。ライフサイクル諸活動に要求される知識は膨大で機械の助けを借りなければとても処理できるものではない。ライフサイクルの諸位相での目標の達成度を上げるためには活動が創造的になされることが必要で、これには野中らの「知識創造スパイラル」と、これを実践する“場”の概念が重要であると考えられる⁵⁾。

知識創造スパイラルはSECIモデルとも呼ばれ、図2の外枠にあるように複数の人によって個々人のもつ暗黙知から形式知を作り出す方法を提供している。これは、

- (1) 共通の場で暗黙知を複数の人で共有する「共同化」(Socialization),

図2 人と機械の創造的協調

- (2) 暗黙知を形式知として創出する「表出化」(Externalization),
- (3) 個々の形式知を矛盾のない形式知としてまとめる「連結化」(Combination)
- (4) 得られた形式知を再び暗黙知として自分のものとする「内面化」(Internalization)

の4つのモードから成り立っており、知識創造のためにはこの4つのモードを回してスパイラル状に運用することが必要であるとしている。

また、この知識創造スパイラルを実践するには、「場」の概念が重要であるとする。共同化、表出化、連結化および内面化に対応して、

- (1) 暗黙知を共有するために直接的に複数の人が経験を共有する「創発場」(Originating Ba),
- (2) グループ間で個人のメンタルモデルを、言語を使って直接的に共有しあう「対話場」(Dialoguing Ba),
- (3) グループ間でIT技術などを使って間接的に情報を共有する「システム場」(Systemizing Ba),
- (4) 形式化された知識を使って個人の暗黙知とする「実践場」(Exercising Ba)

があるとする。

さて、このような知識創造の理論と場の概念の中で、機械としての情報技術(IT)が創造的活動を支援できるシステムについて考えていくことが必要である。これに対しての新たな研究も行われている⁶⁾。さらに、知識創造スパイラルを支援するものとしての多様な視点、たとえば「教育・学習・訓練」システムのように、メタ知識の概念を展開して支援方式を拡大することも考えられる。

図2は、知識創造のスパイラルの中での人と機械の協調のモデルを示している。ここで、疑似暗黙知とは、動画像や音響、あるいは力センサなどのデータであり、バーチャル・リアリティー(VR)の拡張現実感にも利用することを想定している。

4. グローバルな知識の共有

現在は人と機械の協調の第5フェーズにある。インターネットの発展により知識の所在がグローバル化しているが、情報の島が解消されない。ここで出てきた技術がXMLに代表されるタグ付け言語である。

タグ付け言語としては、SGML(Standard Generalized Markup Language)が構造化文書を記述することで開発され、ハイパーテキストの概念を持ち込んだ。次に、インターネットの画面を作る言語としてHTML(Hyper Text Markup Language)が開発された。さらに、データモデルも記述できる情報記述言語としてXMLが提案された。データモデルのスキーマを記述する言語として、XML Schemaが提案され、グローバルなオブジェクトを述語で関係づける言語としてRDF(Resource Description Framework)が提案された。さらに、現在はグローバルなオブジェクトの論理構造と推論を記述する言語としてOWL(Web Ontology Language)が提案されている。ウェブ社会のビジョンとして、ウェブ自体を機械が処理する大きな知識源と考え、必要な知識をどこでもいつでも要求する方法に応じて求められるW3CのTim Berners-Leeが音頭をとるSemantic Webに期待が集まっている^{7)~9)}。

4.1 タグ付け言語とメタ概念

XMLの特徴は一言でいえば、文書オブジェクトの記述で意味(Semantics)と構造(Structure)を対応づけたことであるといえる。意味は人のもつ概念と結びつく言葉(タグ)によって記述される。構造は、同じタグ名で開始と終了を宣言し、その宣言された構造の中に階層的に構造が入る。

タグ付け言語はきわめて単純な基本構文である。

文書オブジェクト ::= <タグ名, 属性名 = “属性値”, …>内容</タグ名>

内容 ::= 文書オブジェクト | テキストデータ

このXMLの構文をベースとして、いくつもの言語が提案されている。これらの言語は記述された知識に対してメタ知識であるともいう。

タグや属性名などが意味を表す言葉、すなわち概念を表すものと考えることにより、文の中に構造化された概念構造を入れることができると考えられる。

概念には概念名が与えられる。概念の構造には上位・下位の概念関係のほかにメタ関係がある。メタデータとは元のデータや概念をどのようにして見るかの視点により異なり、元のデータのグループに対する独立した視点の概念が与えられ元のデータと対応づけられる。その視点の概念がメタデータであり、それにも概念名が与えられる。

複数の概念間に「関係」という視点を与え、それを表す言葉をたとえば「関係子」というメタデータの言葉で表し、関係子により関係づけを行った構造をスキーマ、あるいはモデルと呼ぶ。この構造群にある種の視点を与え、記

号をつけるとモデルを表すためのメタデータ（言語）となる。逆に、メタデータで元の下位の概念を関係づけることをメタデータによるモデルの記述という。メタデータ群それぞれ自体にも関係を導入してモデル化した構造をメタデータのモデル、すなわち、メタモデル（言語モデル）という。メタデータ、メタモデルなどは、概念群やモデルに対する相対的な言葉である。

メタデータ記述言語として、たとえば図書情報管理のためのメタデータ（著者、発行所、発行年月など）を定めた Dublin Core が規格化されている¹⁰⁾。

4.2 スキーマ記述言語とモデルの記述

データモデルを書くときには、データを表す変数や構造のタイプを指定したり、そのデータの取りうる値の範囲を指定したりする。このようにして対象とするオブジェクトの性質を明確にすることによりオブジェクトの正当性を保障する。XML 文書で表したオブジェクトがモデルとして正当なことを保障するために用意された言語がスキーマ記述言語である。アプリケーションがオブジェクトをみるときに、データ型等を利用してオブジェクトをみることができるから、人間が可読な XML 記述のオブジェクトを機械で実行可能なデータに変換してアプリケーションに渡すことができる。

スキーマ記述言語としては、SGML の技術としての DTD (Document Type Definition) があるが特別な構文を取るため、スキーマ自体も XML で記述した XML Schema が規格化された。しかし、この文書は膨大であるうえに、JAVA や RDB のスキーマとの整合性にマッピングが難しいとの指摘がある。XML Schema では XML 文書とプログラム間の連携を容易にするために言語仕様を膨大にしたが、この点をデータ・バインディング・ツールに任せて仕様を簡易化したものが Relax NG であり、OASIS¹¹⁾という団体の規格として制定された。

データモデルに基づいてモデルデータを交換する具体的な例としての製品モデル交換規格 STEP (Standard for the Exchange of Product model data) がある¹²⁾。ここでは、スキーマによって具体的な交換データの記述も異なってくる。

STEP の製品モデル記述構造は、EXPRESS と呼ばれる情報モデル記述言語によって、交換するモデルのスキーマが記述される。そのスキーマに基づいて、製品モデルデータが CAD システム間で交換される。製品モデルデータの交換に今まで独自の標準記述方式 (ISO10303 Part 21) が使われてきたが、グローバルな情報交流の観点から XML を用いた交換の標準 Part 28 が利用されようとしている。

モデルのスキーマ交換においても、統合の視点から XML の利用が進められている。一般のモデルの記述には、オブジェクト間の関係構造の記述とオブジェクトの状態が変化することを示すプロセスの記述とがある。この2種類のモデルを統一的に記述できる言語として OMG (Object Man-

図 3 MOF メタ階層

agement Group)¹³⁾ から UML (Unified Modeling Language) が提案されている。メタ関係は MOF (Meta Object Facility) による階層構造で表されている (図 3 参照)。メタメタモデル (M3)、メタモデル (M2)、モデル (M1)、インスタンス (M0) の基本的な概念構造をもち、その中でスキーマ記述言語は M2 に相当する。この階層に基づいてモデルの交換を意図した XMI (XML Metadata Interchange) によって、異なった言語で記述されたモデルの交換が可能になる。

5. 技術・技能の伝承と知識創出

日本の製造業においては生産拠点の海外移転による産業の空洞化が産業集積地域に深刻な影響を与え、特に、これまで製造業を支えてきた基盤の技術産業において熟練技能の衰退が懸念されている。また、高齢社会の到来、若者の製造業離れの社会現象により、後継者難などが生じ、日本の製造業の将来に危機的状況をもたらしている。今後も高付加価値製品設計・製造を行うためには、基盤の技術や熟練技能の伝承および知識の創出が不可欠となっている。そこで、設計・生産現場で抱えている技能伝承関連の諸問題を解決するため、熟練技能伝承および知識創出のための新たな試みがなされている^{14)~16)}。

製造工程においては、技術などの形式知のほかに技能などの暗黙知が必要となる。高付加価値製品設計・製造を行うためには、これらの形式知と暗黙知をうまく連携して知識を得るとともに、OJT などを通じてその技術・技能を体得することが必要である。

図 4 はマルチメディア技術を用いた熟練技能伝承システムの活用例を SECI モデルの知識変換プロセスに対応させたものである。本システムと OJT を組み合わせることで、OJT や現場作業を通じて、問題意識を明確化し、熟練技能伝承システムを活用して、技術データや映像などから形式知と暗黙知を連携した形で獲得し、行動・学習することで自分のものにしていく知識創造スパイラルプロセスにより、新たな知識創造が可能になっている。

図 5 はマルチメディア技術を用いた熟練技能伝承システムの概要を表したものである。本システムでは、まずユーザは検索や知識可視化システムにより、必要とする知識に効率よくアクセスすることができる。暗黙知について

図4 熟練技能伝承システムとOJT

図5 熟練技能伝承システムの構成

は SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language: 同期マルチメディア統合言語) を用いて提示され、形式知については XML を用いて提示される。キーワードとなる知識については関連知識へリンクが貼られているので、必要に応じてユーザが選択し、必要なときに必要な情報・知識を効率的に獲得できるようになる。また、映像では表現できない部分については、3次元 CAD データや CAE シミュレーションと連携し、補完している。

このシステムによる技能伝承および知識創出法は、インターネットやマルチメディア技術を用いた技能伝承法により、従来のような場の共有による技能伝承やビデオライブラリなどを用いた技能伝承では得られないような効果が大きいと期待できる。

また、中小企業の製造現場で活用する成果を実現することを目標に、デジタル化された加工技能に関してインター

ネットを通じて提供するとともに、設計・製造支援システムを構築するための基盤ソフトウェアの開発がなされている¹⁷⁾。加工全般の技能の技術化は、鍛造、切削など 19 種目の加工法を対象にして加工技能の整理・体系化を行い、そのデジタル化した結果をインターネットによって中小企業の実用レベルで活用を図るものである。ここでは、加工法に関する技能の技術化を、前後の加工法との関係など異なる加工間連携を含め体系的に進めており、その成果をインターネット加工ハンドブックとしてとりまとめつつある。ここにもタグ付け言語が利用されている。

6. 人と機械の協調の将来

今までに、人と機械の協調を情報共有の立場でみてきた。ここでも、知識の共有と交流および習得などを中心に述べる。

創造的活動を行うための人と機械の協調にかかわる技術は多岐にわたっている。今までみてきたように、XML 技術系による知識の記述をベースとしたウェブ知識の研究はもとより、その知識を人の多様な要求に答えられるように協調処理をするエージェントの技術、人と機械との交流の接点となるインタフェース技術、時空間と人・機械の違いを超えて柔軟にコラボレーションできる技術および迅速な知識習得支援技術などがこれからの技術の要となるだろう。

マンマシン・インタフェースは、認知まで考慮したヒューマン・インタフェースやユーザ・インタフェース、VR、発想を豊かにするアウェアネス (気づき) 技術なども深く関係する。VR を製造の場に使うことにより、人と機械との協調の柔軟性をあげようとするバーチャル・ファクトリー¹⁸⁾の考え方も製品のライフサ

イクル全体を支援するように再構築が必要である。

エージェント技術は多岐にわたっており、知的情報機械、知的作業機械の知的処理にかかわる¹⁹⁾。人は解決すべき問題を明確にし、価値観に基づいて暗黙知を操作し発想や判断を行い、人工物 (機械) としてのエージェント群によって問題解決器としての力を利用して未知の問題を解決する。検索等を協調処理するウェブエージェント、人との対話性を高めるインタフェースエージェントの研究が関係する。

人と機械のコラボレーションでは、知的作業機械 (ロボットなど) との共存と協調も大きな課題であるが、ここでは触れない。むしろ、急激に高度化するウェブを利用したコラボレーションをソフト面からみる必要がある。この点については、Semantic Web のビジョンを念頭に置いた考え方がある。図 6 では、最上位に人と機械の協調シス

	対象軸	論理軸	時間軸	空間軸	感性軸	システム
人と機械の協調システム	仕様書 要求仕様構造	注釈述語論理 文書駆動	ライフロング 行程連携	パイオ・ナノ 現実仮想 連携	パターンモデル 5感連携	対話型システム 仕様記述言語
知的エージェント	製品モデル 深層論理構造	制約論理 モデル駆型	シミュレータ 相互交換	自律分散 推論実行	協調設計環境 UML,Fablなど	
オンデマンド RDF,OWL	固有名詞 表層意味構造	一階述語論理 ワークフロー 駆動	プロセス モデル ワークフロー	協調作業環境 Java **		
情報統合 XML,XML_Schema	写像モデル 関係構造	関数モデル 関数駆型	CAD,CAM,CAE,PDM C++,高レベルAPI			
情報検索 URI	文書モデル 文字列	ユビキタス・ブロードバンド端末 マルチメディアデータ				

図6 人と機械の協調システム構築のための階層²⁰⁾

テムを置いて、実現形態に階層をもたせ多角的にみていくことにより、人と機械の協調システム構築における一種の参照モデルを示している²⁰⁾。

計算機が支援するコラボレーション技術が利用される場合は、時間と空間の同時性から、非同期同空間、同期異空間、非同期異空間に分けられ、種々のシステムが考えられる²¹⁾。計算機を介したコラボレーションでは、対面式にはあるアウェアネスが不十分で、これを機械がどのように提供できるかも今後の課題である。

製品ライフサイクルにかかわる仕事は常にダイナミックに変化している。ルーチンワークだけでは時代を乗り越えられない。常に新しい知識の下に創造的活動が成り立つ。仕事に関係する暗黙知や形式知からなる知識の迅速な習得は今後大きな課題となる。現在のe-Learningは、教材をつくって置いて選択的に学習させる方式がほとんどである²²⁾。これからは、製品のライフサイクルにあるすべての活動に関し、OJTを支援あるいはそれに取って代わる計算機環境の構築が強く望まれる。

7. おわりに

分科会は2000年1月から2年間にわたって継続された。この間に10回の分科会活動、6回のニュースレター発行、2回のセミナー（1回は合同）を開催した。分科会活動では、毎回2件程度の講演をいただき、活発な議論が展開できた。ニュースレターでは、委員から毎回巻頭言や展望の記事をいただいた。ここに、記事を快く引き受けていただいた委員に深く感謝する。2001年11月には「ライフサイクル支援のためのXML技術」と題するセミナーを開き好評であった。分科会期間中、会合で講演をいただいた講師、議論をいただいた委員各位、ならびにニュースレターの発刊を担当した館野寿丈幹事、分科会企画から相談にのっていただいた窪野哲光幹事に厚くお礼申し上げる。

分科会は、2001年12月をもって一応の終結をみたが、分科会で関心をもった技術分野はむしろ急激に発展しつつ

ある。学会でのこの分野の研究も多くなってきている。そこで、2001年からオーガナイズドセッション「情報共有による人と機械の協調」を組み、大会の講演で募集している。多くの方の発表をお願いしたい。

参考文献

- 1) 野中郁次郎, 竹中弘高: 知識創造企業, 東洋経済新報社 (1996).
- 2) 谷内篤広: 企業内教育の現状と今後の展望, 経営論集, **12**, 1 (2002) 61.
- 3) <http://www.w3.org/TR/>
- 4) マイケル・ボラニー, 佐藤敬三訳: 暗黙知の次元, 紀伊国屋書店 (1980).
- 5) 野中郁次郎, 梅本勝博: 知識管理から知識経営へ, 人工知能学会誌, **16**, 1 (2001) 4.
- 6) 国藤 進, 山口高平: ナレッジマネジメントとIT, 人工知能学会誌, **16**, 1 (2001) 42.
- 7) Tim Berners-Lee, James Hendler and Ora Lassila: The Semantic Web, Scientific American (2001) May.
- 8) 特集セマンティックウェブ, 情報処理, **43**, 7号.
- 9) 特集 Semantic Web とその周辺, 人工知能学会誌, **17**, 4号.
- 10) <http://dublincore.org/>
- 11) <http://www.oasis-open.org/home/index.php>
- 12) Sharon J. Kemmerer: STEP-The Grand Experience, NIST SP 939, 日本情報処理開発機構 (2000).
- 13) <http://www.omg.org/technology/documents>
- 14) 綿貫啓一: 技能伝承と知識創出, 2003年度精密工学会春季大会講演論文集 (CD-ROM 論文集), **A 73** (2003) 39.
- 15) 綿貫啓一: 同期マルチメディア統合言語 SMIL と技能伝承, 精密工学会ライフサイクルの支援のためのXML技術テキスト (2001) 32.
- 16) K.Watanuki: Development of Knowledge Transfer System for Manufacturing Technology by Using Synchronized Multimedia, Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2003), (2003) (to appear).
- 17) 小島俊雄, 森 和男: 加工技能のデジタル化, 精密工学会誌, **68**, 10 (2002) 1267.
- 18) 井越昌紀: 人工現実感の製造業への応用, 精密工学会誌, **57**, 8 (1991) 1339.
- 19) たとえば, Matthias Klusch, et al. (Eds.): Intelligent Information Agent, Springer (2003).
- 20) CEO-プロトコル, NPO-CEO 協議会 (2003).
- 21) Yiming Ye and Elizabeth Churchill: Agent Supported Cooperative Work, Kluwer Academic Publishers (2003).
- 22) 特集 e-Learning の最前線, 情報処理 **43**, 4 (2002) 393.