

VR 技術を用いたものづくり基盤技術・技能の伝承と人材育成

綿貫 啓一(埼玉大学大学院理工学研究科)

1. はじめに

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、さらには、熟練技能者の大量退職による「2007年問題」により、これまで製造業を支えてきた基盤的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となってきた。今後も高付加価値製品設計・製造を行うためには、基盤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。

例えば、日本における鋳造などの素形材製品産業では、設計・製造工程の合理化、生産性や歩留まりの向上、短納期を実現するとともに、技術・技能の伝承、環境問題などの問題に取り組み、国際的に高い競争力を確保している。しかしながら、素形材製品産業のほとんどは中小企業であり、下請け受注の取引が多いことから、経営基盤が弱いのも現状である。日本の素形材製品産業が、今後とも競争力強化を図るためには、これまでに蓄積された技術・技能をさらに研究開発により発展させ、独自技術の確立や強化、技術・技能の伝承、ICT (Information and Communication Technology)活用の人材育成、などを推進していくことが重要である⁽¹⁾。

そこで本稿では、ものづくりにおける2007年問題、新たな試みであるマルチメディア技術とVR(Virtual Reality)技術などを応用した場の共有による製造知識の獲得と人材育成について述べる^{(2)~(8)}。

2. 2007年問題

2.1. 2007年問題とは

2007年問題とは、2007年における団塊の世代の大量退職に伴い、様々なことが発生されると予想される問題の総称である。2007年が目される理由としては、定年を60歳とすれば、1947年生まれを中心とした団塊の世代の退職者が最も多く発生するのが2007年といわれているからである。

この問題の発端の一つは、金融機関等企業の根幹業務を支えるメインフレームコンピュータの保守を団塊の世代が主に担っており、定年退職後保守を行える人材が企業に存在しなくなり、業務が滞って経済に重大な悪影響が出るのではないかと懸念から生じたものである。

コンピュータ関連以外にも様々な分野においても、マニュアル化しづらい現場固有の技術・技能の継承が困難となっており、それに伴い企業活動自体が停滞化するのではとの懸念がある。特に、製造業においては、熟練技能者が担ってきた高度な作業や機械化が困難な作業を抱える多い企業において、特に危機感が増してきている。2007年問題への取り組みとしては、各企業において、雇用期間の延長、他企業等の退職者の獲得、会社内部での技能伝承の制度化などが挙げられる。

2.2. ものづくりにおける技術・技能伝承

ものづくりの基盤的技術産業の技術者・技能者の伝承・継承に必要性については、以前から指摘されているが、2007年問題で質的不足や量的不足の危機意識が強まってきている。日本の高度成長時代に産業の担い手であった団塊の世代が、2007年から順次、大量に定年を迎えることにより、様々な影響が生じるのではと強く懸念されている。この2007年問題に対する取り組みが種々なされてきているが、技能やノウハウなどの伝承に時間がかかり円滑に進まない、指導する

人材が不足している、などの問題点を抱えている。このような問題の主な背景としては、高度経済成長時代(1955~75年ごろ)に新入社員を大量採用し、社内職能訓練を通じて、技術・技能伝承を行ってきたが、1973年のオイルショック以降は、省力化、自動化、最新技術の急速な導入によって、従来から行われてきた技術・技能伝承が軽視される傾向になり、若年層への技術・技能伝承が停滞した。また、経済的な観点から、工場の東南アジアを中心とした海外進出による技術移転およびアウトソーシングにより、国内の技術・技能の空洞化が深刻化した。1991年のバブル経済崩壊により、企業内のリストラが行われ、有能な技術者・技能者の突然の人員整理により、技術・技能伝承が困難となった。さらには、少子化や3K職場への敬遠により、若年技術者・技能者の確保が困難となり、団塊世代と若年層との年齢的断層が生じ、技術・技能伝承が円滑に行えない状況となってきた。これらの状況から、技術・技能伝承の取り組みが本格化してきた。

2.3. 高齢社会と労働問題

日本の総人口は、2004年10月1日現在で1億2,769万人であり、65歳以上の高齢者人口が2,488万人にも達し、総人口に占める割合は19.5%にも達している。高齢者人口は2020年まで急速に増加し、総人口の減少と相俟って、2015年には26.0%、2050年には35.7%に達すると予想される。2004年の65歳以上の労働力人口は490万人であり、労働力人口総数の7.4%となっている。労働力人口の高齢化は今後も一層進むものと予想される⁽⁹⁾。

現在、日本においては、高齢社会対策は、就業・所得、健康・福祉、学習・社会参加、生活環境、調査研究等の広範な施策がとられ、着実に進展をしている。さらに日本の活力を維持、増進させるためには、若年層から高齢層まで、特に高齢社会の担い手である人々に、その能力や経験を生かして、家庭での生活のみならず、社会で活躍できるような社会を実現することが重要である。

内閣府がまとめた「高齢者の社会参加の促進に関するアンケート調査」では、高齢者をはじめとする各労働者が、意欲と能力に応じて、年齢に関わりなく働けるシステムを構築することが必要であり、賃金や処遇システム、勤務形態、定年制度などの問題の解決はもちろんのこと、労働者に対する教育、職業能力の向上のための支援を強く求められていることが明らかになっている。

作業支援において特定の時間・空間における場を共有することは非常に重要である。具体的には、実際の作業現場で指導者とともに作業を行うことなどが挙げられる。このように場を共有することで、五感から得られる知識だけでなく、「その場にいななければわからない情報」といった貴重な知識や「身体知」を獲得することが可能になる。このように場の共有は作業支援において非常に有益なことと言える。このような場の共有による作業支援には、作業指導する人材の素質に負う部分が大きく、膨大な時間を必要とする。現在のような時間的・空間的・資金的な制約の中で作業支援を行わなければならない状況では難しい、等の問題点もある。

3. 技能伝承

3.1. 技能伝承手法の現状および問題点

技術の変化が速くなり、企業間競争が激しくなるにつれ、各企業は他社よりも速く学習することが求められている。そこで、組織学習論に基づく知識共有、知識移転などのナレッジ・マネージメントに取り組む企業が多くなってきており、優れた技術をマニュアル化し、ICTを活用した情報データベースを導入している。しかし、製造現場の分業化

が進むと「マニュアルに従えば自分の担当作業はこの範囲の精度でよい」といった知識共有の弊害がでてきており、事故が起きたり、不良品が出たりしてもあまり考えなくなったり、組織メンバーの知識・スキルを共有化し、学習効率をアップさせるためのナレッジ・マネジメントが逆に熟達者の育成を妨げる危険性が指摘されている。また、社内のデータベースに蓄積されている知識に頼りすぎると、自分の頭で解決策を考えることが少なくなり、効率を高め人材を早期育成するために安易に知識共有を進めると、経験学習を阻害し、トラブルが発生した際に素早く対応できず、結果的にコスト高を招くといった知識共有のジレンマが指摘されている⁽¹⁰⁾。

熟達者とは、特定領域において、専門的な訓練や実践的な経験を積み、特別なスキルや知識を獲得した人であり、特定の領域において優れ、経験や訓練に基づく「構造化された知識」を持ち、問題を深く理解し、正確に素早く問題を解決し、さらに優れた自己モニタリングスキルを持っている。このような熟達者を育成するため、OJT(On-the-Job Training:職場内訓練)などの実践における学習を行っているが、失敗による学習が構造的に難しく、時間的な制約があり、その場に応じた適切な指導が受けられるとは限らなく、ある特定段階の学習レベルで満足したり、現場での知識が固定化し、新たな環境への適応を阻害する、などの問題点も明らかになってきている。

現在、技能伝承においては、技術文書、ビデオライブラリ、OJT が代表的なものである。技術文書やビデオライブラリは作成に多くの労力や資金を伴い、作成後の使い勝手の悪さなどから、多くのメリットがあるにも関わらずあまり活用されおらず、大多数の工場ではOJTを中心に技能伝承を行っているのが現状である。

従来の技能伝承手法の問題点を次に述べる。技術文書については、技術の記述には最適であるが、職人の動きなどの技能をうまく記述できないという欠点がある。また、ビデオライブラリについては、技能を記録し、保存することに利点がある一方、映像は観る人の知識や力量に大きく依存している。また、通常のビデオ形式では、観たいところを即座に観ることが難しくなっている。それに対して、図1に示すようなOJTでは、人間の視覚・聴覚・味覚・嗅覚・触覚の五感を十分に用いて体全体で体験できるため、非常によい技能伝承法であるが、非常に多くの時間がかかり、多品種少量生産などでは、体験できる場面には限りがあるなどの欠点がある。また、指導を行う人の教育的な能力に大きく依存する。

このように、それぞれの技能伝承法には多くの利点があるが、それぞれ単一の方法での技能伝承を行うのには限界がある。また、これらの手法を知識変換の観点からみると、OJT やビデオライブラリでは暗黙知を暗黙知として伝えており、技術文書では暗黙知を形式知に変換して伝達している。ここで、形式知とは、「文章・図表などの形式言語で表すことができる知識」、「客観的で一般的な法則に基づく知識」などと定義することができ、いわゆる「技術」がこれに相当する。一方、暗黙知⁽¹¹⁾とは、「文章・図表などで明示的に表しにくい知識」、「主観的で個人的な経験・体験に基づく知識」と定義でき、いわゆる「技能」がこれに相当する。非明示的な知識を非明示的な知識として、また非明示的な知識を情報の一部が欠落した明示的な知識に変換して伝達するというこれらの手法を単独で用いることは、伝達される知識の質や量、効率の点で問題がある。このように、従来型の技術文書、ビデオライブラリ、OJT を主とした技能伝承法では、効率的な技能伝承を行えていないのが現状である。



図1 鑄造作業におけるOJT

3.2. 新たな技能伝承手法

これまで述べてきたように、従来から行われてきた技能伝承手法には、利点も数多くある反面、さまざまな問題点を抱えている。これからの新たな熟練技能伝承システムには、次のようなことが求められている。(1)膨大な知識の中から利用者が必要としている知識を容易に探し出すことが可能となっていること。(2)資料作成に多くの労力や資金を必要とせず、さらに過去に作成した資料を再活用できるような拡張性や柔軟性を有していること。(3)非明示的な知識である暗黙知を伝達しやすい形で提示されていること。(4)映像から獲得できる知識の質・量は、個人の知識、経験が大きく影響するために、個人の力量に依存しない形で提示されていること。つまり、映像に含まれる膨大な知識を能力によらず明示的に提示されていること。(5)擬似的、仮想的な「場」の共有を可能にするために、「場」の共有を妨げる時間的・空間的・規模的な制約を部分的でも克服していること。(6)従来のように、OJT を中心として技能伝承を行うのではなく、技術文書やビデオライブラリなどを活用し、それぞれのメリットを生かすことで伝達される知識の質の向上および効率化が図られていること。

3.3. 場の共有による知識創造および技能伝承

ナレッジ・マネジメントの活動モデルの一つとして、野中らはSECI(Socialization, Externalization, Combination, Internalization:組織的知識創造)モデルを提唱している。これは、知識は4つの知識変換プロセス、(1)共同化(Socialization)、(2)表出化(Externalization)、(3)連結化(Combination)、(4)内面化(Internalization)を通して暗黙知と形式知との間の相互作用から創造されるという概念である⁽¹²⁾。SECIは4つの知識変換プロセスの頭文字をとったものである。このプロセスを鑄造現場における技能の獲得プロセスに対応させると、(1)共同化は技能者がOJTや現場作業を通じて、問題意識を明確化し、暗黙知を認識するプロセス、(2)表出化は社内文書や技術文書などにより鑄造技能に関する形式知を獲得するプロセス、(3)連結化は技能者が表出化のプロセスで得た種々の知識を総合し、獲得すべき技能に対する自分なりのイメージを創造するプロセス、(4)内面化は技能者が、作り上げたイメージに基づいて行動・学習することで鑄造技能を自分のものにしていくプロセス、と考えられる。

野中らは、ナレッジ・マネジメントの分野に場という概念を導入し、場を「その中で知識が創造・共有・活用される共有されたコンテキスト」と定義した⁽¹³⁾。知識創造のためには、コンテキストが必要となる。場を理解するときのキーコンセプトは、相互作用(インタラクション)である。知識は、たった一人で活動している個人によってではなく、個人間の相互作用ならびに個人と環境の間の相互作用によって創られる。相互作用は、実空間、バーチャル空間、それらの組合せで起きるものである。特に、共同化や内面化においては、同一時間に同一空間で直接顔を会わせながら相互作用することが重要となる。場とは、相互作用し合う人々によって共有されるコンテキストであり、その相互作用をつうじた自己超越と知識創造によって、場とその参加者が共進化していくのである⁽¹⁴⁾。

また、伊丹は、場とは「人々がそこに参加し、意識・無意識のうちに相互に観察し、コミュニケーションを行い、相互に理解し、相互に働きかけ合い、相互に心理的刺激をする、その状況の枠組みのことである」と定義している。さらに、場の構成要素的な観点から厳密に、「場とは、そこに参加するメンバーが、アジェンダ(情報は何に関するものか)、解釈コード(情報はそう解釈すべきか)、情報のキャリアー(情報を伝えている媒体)、連帯欲求の4つの場を構成する基本要素がある程度以上に共有することによって、様々な様式による密度の高い情報の相互作用が継続的に生まれるような状況的枠組みのことをいう。」と定義している^{(15),(16)}。

技能伝承を行うために、考慮すべき点として「場」を挙げることができる。ここで述べる「場」とは、前述のように、いわゆる物理的な場所だけではなく、特定の時間・空間、あるいは「関係」の空間を意味している。つまり、「場」とは「相互関係」のことである。この「場」、つまり相互

作用のあり方として、「創出場(Originating Ba)」、「対話場(Dialoguing Ba)」、「システム場(Systematizing Ba)」、「実践場(Exercising Ba)」の4つに分類することができ、(1)創出場:個人的かつ直接的相互作用によって規定される場、(2)対話場:集団的かつ直接的な相互作用によって規定される場、(3)システム場:集団的かつ間接的な相互作用によって規定される場、(4)実践場:個人的かつ間接的な相互作用によって規定される場、である⁽¹⁷⁾。

技能伝承において特定の時間・空間における「場」を共有することは非常に重要である。具体的には、高度な技能を有する熟練技能者と作業をともにすることなどが挙げられる。このように「場」を共有することで、五感から得られる知識だけでなく、「その場にいなればわからない情報」といった貴重な知識を獲得することが可能になる。このように「場」の共有は技能伝承において非常に有益なことと言える。

しかし、このような「場」の共有による技能伝承には、次に挙げるような問題点がある。

「場」の共有には、時間的・空間的・規模的な制約があることから限界があり、効率的に技能伝承を行うことができない。

伝承・継承する人材の素質に負う部分が大きく、膨大な時間を必要とする。現在のような時間的・資金的・人間的な制約の中で技能伝承を行わなければならない状況では難しい部分がある。

後述の視覚情報や力覚情報の提示を組合せた没入型仮想共有環境システムを活用することで、これらの問題点を部分的に克服することができ、擬似的、仮想的な「場」の共有を促進させることができ、技能伝承において非常に有益であると考えられる。

3.4. 会話分析と知識の抽出

社会的実践の現場で活動する人々は、ある共有されたスタイルで出来事を語ることで、その出来事を理解可能なものとして分析し、それを自分たちにとっての事実として受け入れるといった過程を分析するための理論的枠組みの1つがエスノメトロジー(ethnomethodology)である。ガーフィンケル(H. Garfinkel)が発想したエスノメトロジーでは、人と人の相互行為に注目し、会話分析などを行っている^{(18),(19)}。この会話分析は、日常会話や制度的状況の会話を社会的現象として扱う手法である。社会的相互行為には、秩序ある構造またはパターンが存在する。また、会話の参加者は、時間の流れにおけるシークエンスの中で会話の進展を理解している。これらの会話分析の基本となる方法論的前提をもとに、自然的に生じた相互行為の場面をビデオなどで収録したものと、それを細かく記述したトランスクリプトを素材として、発話や行動を分析する⁽²⁰⁾。

トランスクリプトは、発話者の名前を行の左側にコロンを加えて書き、右側にその発話者の発話を記述する。時系列に沿って左から右、そして上から下へ進行するように記述する。記号としては、音に関するもの、発話順序に関するもの、筆記者のコメント、およびノンバーバルな行動を示すものの4種類がある。

図2は、鋳物工場における鋳造方案の検討の一場面である。会話分析の考察は、音声・映像データとトランスクリプトとからなる会話データを丹念に観察することから始まる。図2下の会話プロトコルに示すように、会話データには、特定の行為、会話の手順、言語的形式などが含まれている。これらの中から特定の現象を含む事例を集め、体系的に比較し、分類する。この際には、複数の技術者・技能者の方にも意見をもらい、コレクションを分析する。これらのデータをもとに、図3に示すように知識のツリーを作成するとともに、直感的にわかりやすい知識表現を行うことが重要となってくる。

3.5. 熟達化と身体性

近年、熟達に関する研究は、急速に発展を遂げている。波多野らは、知識・技能の柔軟性・適応性のレベルによって熟達者を、手際の良い熟達者と適応的熟達者に分類している^{(21),(22)}。手際の良い熟達者は、同じ手続きを何回も繰り返すことによって習熟し、その技能の遂行の速さと正確さが際立って優れている人である。また、適応的熟達者は、手続きの遂行を通じて概念的知識を構成してきたため課題状

況の変化に柔軟に対応して適切な解を導くことができる人である。エリクソン(K.A. Ericsson)らは、技能の熟達のためには明確な目的意識に基づくよく考えられた訓練が欠かせないことを指摘している⁽²³⁾。バートン(R.R. Burton)らは、複雑な技能の学習には徐々に複雑さを増す小世界を用意することが効果的であると述べている⁽²⁴⁾。ある技能は、いくつもの下位技能から構成されているが、それぞれを分離して訓練することは困難であるが、それを適切な組合せで訓練するような「小世界」を用意する。それらの小世界を徐々に複雑化することで、以前の小世界では許容されていた誤りを学習者自身で認識し修正する機会が与えられる。このような経験が能動的モニタリングを引き起こすことにより、さらに深い知識の形成が促進される。

熟達者の特徴として、下位技能の習熟、適切な問題解決のための知識獲得、適切な評価基準の獲得が挙げられる。下位技能の習熟については、熟達者は短期記憶の負担を軽減するために長期記憶内にある知識と照合して熟知した知識としてチャンク(ひとかたまり)にして記憶していると言われている。長期記憶内の知識を利用することによって形成されたチャンクは短期記憶にとどまるのではなく、長期記憶にすぐに送られ長期間の記憶が可能になるとの研究もある。また、熟達者は意識のコントロール下でなされる統制的処理ではなく、自動



01	A :	これです大事なのがこっち(A面を指差す)を下にするか、
02		こっち(B面を指差す)を下にするかどっちか、それだよな第一に、
03	D :	横から見たらこっちの方が(B面を下にした方が)いいと思います。
04	A :	ん::ん、標準的には[ね、こっち(A面を指差す)が上だよな。
05	C :	[んん
06	B :	ん?
07	A :	こっち側(A面を指差す)が上型、こっち側(B面を指差す)が下型。
08	C :	こっち(B面を指差す)が下型? =
09	A :	=んん。
10	B :	:::: (A面を指差す)下の方がいいんじゃない? こっち上だと、
11		[ここ(R部を指差す)んとかがね::
12	A :	[ん::ん:::。 ね!
13	A :	加工の面積が広いのは、こちら(A面を指差す)、面積が狭いのは
14		こちら(B面を指差す)だから!
15	A :	面積が狭いところ ((B面))を:: [上型にするってことだという、
16	B :	[上型
17	A :	平らな方を(A面) [下型]もってきて
18	B :	[下!
19		(4.1)
20	A :	どっちな?: :ま! あ、大体でも:::こっち(A面を指差す)が上型だろうな!
21		>面積が広いから! <=
22	B :	=やり易いのはね。
23	A :	やっぱりこっち(A面を指差す)が上で。

図2 会話プロトコル例

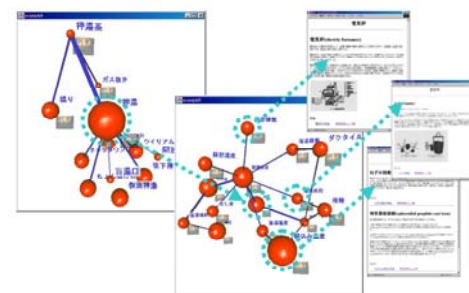
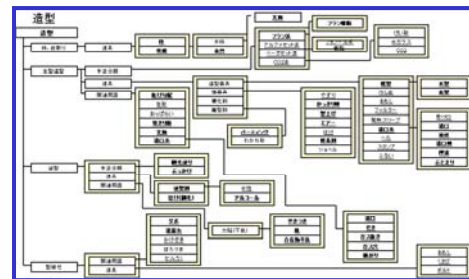


図3 知識の抽出例

的処理を行い、道具との一体感となって、技能の自動化が行われていると言われている。次に、適切な問題解決のための知識獲得については、熟達者が構造化された多くの知識を持っていることは言うまでもないが、意図やイメージ(内的世界)とそれに応じた適切な表面的特性や行動(外的世界)とのマッピング(対応づけ)がはかられていることによると言われている。ドレイファスら(H.L. Dreyfus, S.E. Dreyfus)によると、このマッピングにより場の状況を全体的なパターンとして把握し、状況に応じて収束的課題や拡散的課題に臨機応変に対応できると示唆している⁽²⁵⁾。さらに、適切な評価基準の獲得については、熟達者は状況の変化に柔軟に対応できるのは、自己の状態を絶えず監視して自分の状態を適応的に調整しているからとされている。

ギブソン(J.J. Gibson)は、外界と自分とのかかわり方をアフォーダンス(affordance)と呼び、個々の物や現象の表面的な特徴や性質を超えた価値や意味であり、それは人間の頭の中で作られるのではなく、すでにそこにあって人間が直接知覚すると述べている⁽²⁶⁾。佐伯らは、人が知的になるということは、その人が知識を持つことではなく、その人が外界に対して、よりひらかれた存在になり、ひらかれた人が外界に出会うときに、外界と人との間にもともとある関係が相互作用として実現されてくる過程であると述べている⁽²⁷⁾。学習には、参加的で能動的に学習者が行動し、意味のある世界を視野に入れることが必要とされている。

技術・技能の伝承には、OJT などの実社会における訓練はもちろんのこと、図4に示すように、明確な目的意識に基づくよく考えられた訓練、意図やイメージとそれに応じた適切な表面的特性や行動とのマッピング、参加的で能動的に学習者が行動し、意味のある世界を視野に入れること、などが行えることが必要である。

4. 鋳造における技能伝承および人材育成

4.1. 鋳造技術・技能の伝承

埼玉県川口市は国内有数の鋳物関連企業の産業集積地域である。1960年代にはこの川口に600程度の鋳物屋があり、12,000人もの従業員が働き、生産量も40万トンを記録している。現在、川口は高層マンションやオフィスビルが林立し、工場三法などの影響により、大きく変貌しているが、今もなお100を超える高度な鋳造技術・技能を有する鋳物屋が、高付加価値の鋳物製品をつくり、日本の最先端技術の基盤を支えてきている。

鋳造製品は一般に図5に示すような多くのプロセスを経て製造されている。特に、溶解、造型、型合せ、注湯、型バラシなどの鋳造現場作業では、鋳造に関する知識だけでなく、重量感や触り心地、音、臭い、色、温度など、いわゆる五感を駆使した熟練技能が求められる。鋳造現場作業には、突き固め、塗型、型合せ、注湯など、経験と勘に頼る作業が数多くあり、このような暗黙知の存在が技能獲得を困難にしている要因となっている。

このような鋳造技術・技能を伝承するとともに、さらに高付加価値の製品を創り出していくためには、技能伝承や知識創出のための努力



図4 技術・技能伝承における場

が必要である。そのため、熟練技能の伝承については、多くの企業では、既に述べたような技術文書、ビデオライブラリ、OJT を中心として活用がなされてきている。しかし、高度な熟練技能を伝えるためには、それらの手法を単に利用するだけでは、効果的な技能伝承はできないのが現状である。そこで、新たな熟練技能伝承システムが必要となってきている。

4.2. 新たな熟練技能伝承システム

鋳造工程においては、製造のための知識として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6は熟練技能伝承システムおよび没入型仮想共有環境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。ここで、(1)共同化は利用者が OJT や現場作業を通じて、問題意識を明確化し、暗黙知を認識するプロセス、(2)表出化は利用者が熟練技能伝承システムを活用して、文章や技術データなどから形式知を獲得するプロセス、(3)連結化は利用者が映像などから、形式知と暗黙知が連携した形で提示される知識を獲得するプロセス、(4)内面化は利用者が技能伝承システムから得られた知識をもとに、行動・学習することで自分のものにしていくプロセス、である。表出化および連結化の過程では熟練技能伝承システムを活用し、内面化の過程では没入型仮想共有環境システムを活用しながら、知識を自分のものにしていくなかで、新たな暗黙知を獲得するとともに、新たな知識創出が可能になる。

著者らは、SECI モデルの各知識変換プロセスでマルチメディアや VR 技術を利用し知識獲得を効率的・効果的に行うための熟練技能伝承システムを開発してきている。熟練技能伝承システムおよび VR 空間を利用したシステムの活用例をモデルの知識変換プロセスに対応させたものである。ここでは、表出化については、利用者がマルチ



図5 鋳造工程

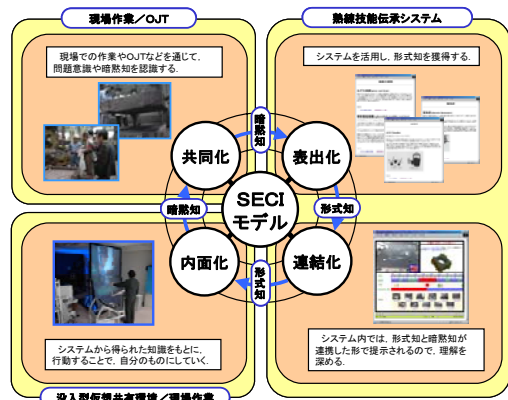


図6 組織的知識創出モデル

メディアを応用した熟練技能伝承システムを活用して、文書や技術データなどから形式知を獲得するプロセス、連結化については、利用者が映像などから、形式知と暗黙知が連携した形で提示される知識を獲得するプロセス、内面化については、利用者が技能伝承システムから得られた知識をもとに、VR空間内での擬似体験を通じて自分のものにしていくプロセスと置き換えている。表出化および連結化の過程では熟練技能伝承システムを活用し、内面化の過程ではVR空間を活用しながら、知識を自分のものにしていくなかで、新たな知識創造が可能になる。

4.3. マルチメディア技術による熟練技能伝承システム

図7は本熟練技能伝承システムの概要を示したものである。ユーザは検索や知識可視化により、必要とする知識に効率よくアクセスできる。暗黙知についてはSMIL(Synchronized Multimedia Integration Language:同期マルチメディア統合言語)を用いて提示し、形式知についてはXML(eXtensible Markup Language:拡張可能なマーク付き言語)を用いて提示している。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おり、必要に応じて関連情報・知識を効率的に獲得できるようになっている。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。本システムにより、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。

図8に熟練技能伝承システムの一画面を示す。本システムは、Web上でのシステム利用を想定しており、データ形式にXML, SMIL, XVL(eXtensible Virtual world description Language)などWeb上での利用に向いている言語を採用している。システムの利用としては、最初にユーザは検索やナビゲーションを使って、検索結果の一覧やナビゲーションをたどることで、目的とする知識にアクセスする。暗黙知に分類される知識であればSMILを使ったマルチメディア画面が提示され、形式知に分類される知識であればXMLを使った文書が提示される。キーワードになるような知識にはリンクが貼られており、必要に応じてユーザが選択し、望む知識だけを獲得していく。また、映像では説明できない部分や文書では説明できない部分に関しては、互いに文書、映像を活用し連携させることで、それぞれのメリットを生

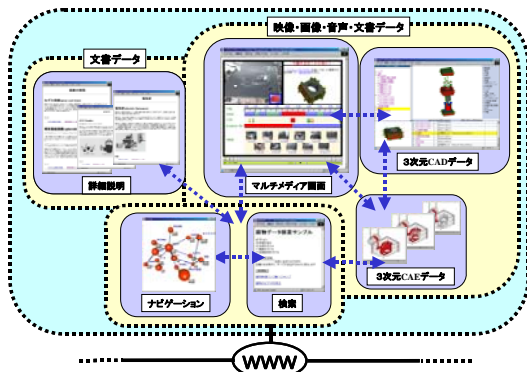


図7 熟練技能伝承システムの概要

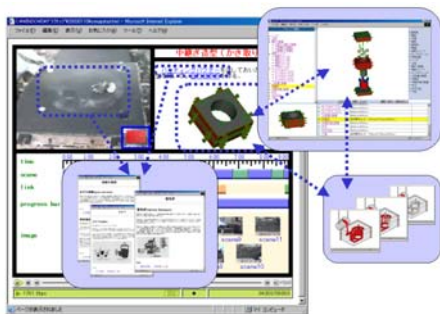


図8 熟練技能伝承システムの一画面

かしている。そして、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シミュレーションを活用することで、観る人の個人の力量に左右されやすい映像を補っている。

以上のように、暗黙知を暗黙知と形式知が連携させることで、ユーザに知識を伝播しやすい形で提示している。また、必要な知識を容易に探し出すことが可能で、ユーザが必要な情報を必要に応じて選択しながら学ぶことができるなど、効率的に知識を獲得できるようになっている。

4.4. VR空間を用いた鍛造技能獲得システム

図9に示すように、熟練技能伝承システムにより、(a)形式知を獲得した上で、(b)形式知と暗黙知を連携する。さらに、(c)VR技術をもとにした技能訓練システムにより、熟練技能伝承システムで得た知識を内面化するとともに身体知を獲得する。その後、(d)現場でのOJTを通じて高度な技能を確実なものにし、新たな技能を獲得する。これらの一連の過程を繰り返し行うことで技能をさらに確実なものにするともに、新たな知識やより高度な技能を獲得する。ここで、VR技術をもとにした技能訓練システムをCAMRobot(Cyber Assist Meister Robot:サイバーアシスト・マイスター・ロボット)と呼んでいる。このシステムは、タッチパネル式コンピュータと3次元立体視装置と力覚呈示装置を組合せ、設計製造知識の教育支援と新たな高付加価値製品の製品知識創出のためのシステムである。このシステムにより新人など経験を十分に積んでいない者が危険を伴わずに、繰り返し現場作業に近い経験を得ることができる。本稿では、技能訓練システムCAMRobotで使用できるアノテーションの入力および表示システムについて述べる。これにより、VR空間に表示されたモデルに空間内でアノテーション等を描画し、技術情報の共有および技術者・技能者とのコミュニケーションの促進および身体知の獲得を図れる。

図10に没入型仮想共有環境システムの概要を示す。このVRシステムは、3次元可視化装置と力覚呈示装置を組合せ、利用者が3次元仮想物体の硬さや重さなどを体験できるものである。仮想共有環境内に表示された映像を、視覚のみならず触覚や力覚を体験することで、鍛造にかかわる知識の内面化が促進される。3次元立体視装置への3次元形状の表示と力覚呈示装置への制御入力はPCで統

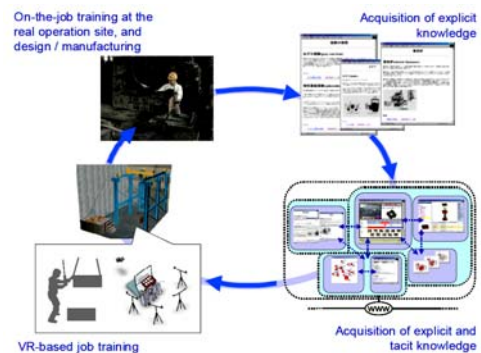


図9 VR技術を用いた技能訓練の流れ

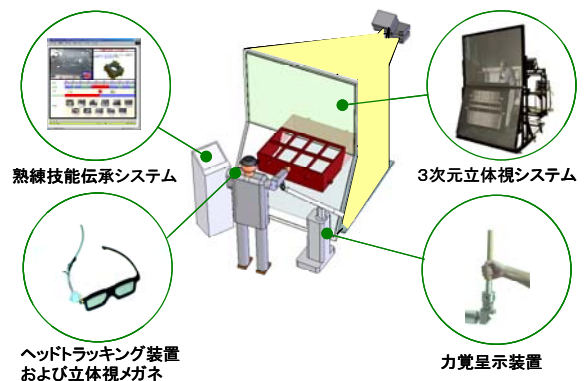


図10 没入型仮想共有環境システム

合的に行われ、3次元立体視映像と力覚を同期している。3次元立体視メガネに取り付けられたヘッドトラッキング装置により視点位置がPCにフィードバックされ、視点位置に応じた映像をリアルタイムに表示するとともに、力覚呈示装置では、マニピュレータ先端の位置とマニピュレータへの負荷をPCにフィードバックし、さらに呈示されている3次元形状を考慮してマニピュレータの位置や力を適切に制御される。本システムを技能獲得の視覚・力覚的な「場」の提供に活用することで、鑄造技能獲得における問題点を部分的に克服できると考えられる。

突き詰め工程では、金枠の中に鑄砂を注入しながら、突き棒によって鑄砂がムラなく全体にいきわたるように突き固める。このような工程で獲得すべき知識は視覚的なものだけでなく、突き棒で突く感覚が重要である。今日よく使用されている鑄砂は、硬化樹脂により金枠内に注入すると直ちに硬化を始め、作業は手早く完了しなければならない。非熟練者は、この作業を現場でのOJTを通じて学習するが、製品製造において失敗は許されない場合が多く、非熟練者が学習できる機会は限られている。このVRシステムを利用する場合は、3次元立体視映像とともに力覚呈示装置により突き詰め工程における感覚が呈示され、また、実際に製品製造を行うわけではないため、何度でも繰り返し体験することが可能である。また、熟練技能者の作業データを予め計測し、力覚呈示装置を用いて、そのデータを教示することにより、熟練技能者の作業内容を直接的に体験することができる。視覚情報としての動作だけでなく、突き詰め作業での突き棒に加わる荷重状態のような力覚に関わるデータを教示することで、直接的に暗黙知を獲得することが可能となる。

4.5. VR空間でのコミュニケーションによる技能伝承と人材育成

図11は、VR空間での技術者・技能者間のコミュニケーションによる技能伝承と知識創出のための枠組みとこの枠組みに沿った熟練技能伝承システムである。技術文書などの形式知はマルチメディアを利用して効率的に獲得し、技能などの暗黙知はVR技術を利用した立体視システムおよびロボット技術を用いた力覚呈示装置を連携して使用することで、実際の現場作業の視覚的および力覚的な疑似体験を通じ技能を獲得することのできるシステムを開発してきている。それらを複数の技能者間のコミュニケーションをまじえ体験することも重要であり、VR空間において、複数の技術者・技能者が入り、この中でコミュニケーションをとりながら協働で設計・製造知識を獲得できるような環境、つまり、経験豊富な熟練技能者とともに効果的なOJTを行っているかのようなバーチャルな環境を創り出し、これにより人材育成を行っている。それを実際のOJT前に行うことで、短期間で、より効果的な技能伝承および人材育成を行うことができる。

5. おわりに

本稿では、ものづくりにおける2007年問題、技術文書、映像、OJTなどの技能伝承や人材育成法、さらには新たな試みであるマルチメディア技術とVR技術などを応用した場の共有による製造知識の獲得

と人材育成について述べた。日本の製造業において、今後も高付加価値製品設計・製造を行うためには、基盤技術や熟練技能の伝承、および知識の創出が不可欠であり、製造現場での作業を効率的かつ確実に内面化するためには、知識のみならず、視覚情報、力覚情報、さらにはコミュニケーションなどをまじえることにより、効果的な技能伝承および人材育成を行うことが望まれる。

参考文献

- (1) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編：2005年度版 ものづくり白書、ぎょうせい、(2006)。
- (2) 綿貫啓一：マルチメディアおよびバーチャルリアリティ技術を用いた設計・製造知識獲得のためのe-Learningシステムの開発、シミュレーション、第23巻、第2号、pp.97-108、(2004)。
- (3) 綿貫啓一：バーチャルリアリティ技術による匠の技の伝承と人材育成、精密工学会誌、第72巻、第1号、pp.46-51、(2006)。
- (4) 綿貫啓一(分担)：HCDハンドブッカー人間中心設計、丸善、pp.79-105、(2006)。
- (5) 綿貫啓一、小島一恭：没入型VRシステムによる鑄造方案の教育支援、日本機械学会論文集(C編)、第73巻、第725号、pp.44-52、(2007)。
- (6) 綿貫啓一、小島一恭、西村啓典：可搬型VRシステムと力覚呈示装置との連携による鑄型の造型作業時におけるクレーン操作の技能伝承、日本機械学会論文集(C編)、第73巻、第725号、pp.53-58、(2007)。
- (7) Watanuki, K. and Kojima, K.: Knowledge Acquisition and Job Training for Advanced Technical Skills Using Immersive Virtual Environment, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.1, No.1, pp.48-57, (2007)。
- (8) 綿貫啓一：VR技術を用いたものづくり基盤技術・技能における暗黙知および身体知の獲得、人工知能学会誌、第22巻、第4号、pp.480-490、(2007)。
- (9) 内閣府編：平成17年度高齢社会白書、ぎょうせい、(2005)。
- (10) Matsuo, M. and Easterby-Smith, M., Knowledge Sharing Dilemma: Knowledge and Knowing in Japanese Firms, Academy of Management Annual Meeting, (2004)。
- (11) Polanyi, M.: The Tacit Dimension, Routledge & Kegan Paul, pp.3-25 (1966)。
- (12) Nonaka, I.: The Knowledge-Creating Company, Harvard Business Review, pp.96-104 (1991)。
- (13) Nonaka, I. and Konno, N.: The Concept of ba: Building a Foundation for Knowledge Creation, California Management Review, Vol.40, No.3, pp.40-54 (1998)。
- (14) 野中郁次郎・梅本勝博：知識管理から知識経営へーナレッジマネジメントの最新動向ー、人工知能学会誌、第16巻、第1号、pp.4-14 (2001)。
- (15) 伊丹敬之：場のマネジメント、NTT出版、(1999)。
- (16) 伊丹敬之：場の理論とマネジメント、東洋経済新報社、(2005)。
- (17) Nonaka, I., Toyama, R., and Konno, N.: SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation, Long Range Planning, 33, pp.5-34, (2000)。
- (18) 山崎敬一編：実践エスノメソドロジー入門、有斐閣、(2004)。
- (19) Garfinkel, H.: Studies in Ethnomethodology, Prentice-Hall, (1967)。
- (20) Heritage, J.: Garfinkel and Ethnomethodology, Polity Press, (1984)。
- (21) 波多野諺余夫、稲垣佳世子：現代基礎心理学 第7巻 思考・知能・言語、東京大学出版会、(1983)。
- (22) 波多野諺余夫編：認知心理学 第5巻 学習と発達、東京大学出版会、(1996)。
- (23) Ericsson, K.A., Krampe, R.T., and Tesch-Roemer, C.: The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance, Psychological Review, 100, pp.363-406 (1993)。
- (24) Burton, R.R., Brown, J.S., and Fischer, G.: Skiing as a Model of Instruction, Everyday Cognition: Its Development in Social Context, Harvard University Press, (1984)。
- (25) Dreyfus, H.L. and Dreyfus, S.E.: Mind over Machine, Free Press, (1986)。
- (26) Gibson, J.J.: The Ecological Approach to Visual Perception, Hinton Mifflin, (1979)。
- (27) 佐伯胖、佐々木正人：アクティブ・マインドー人間は動きのなかで考えるー、東京大学出版会、(1990)。

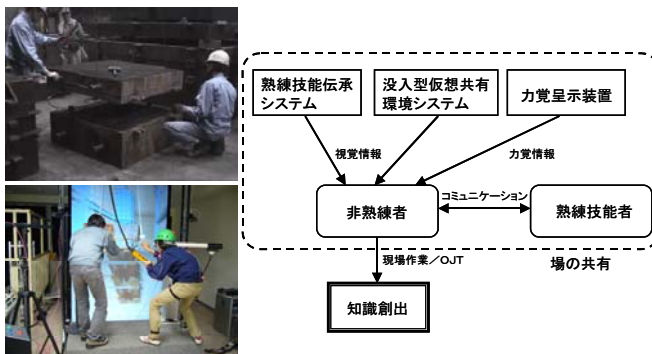


図11 コミュニケーションをまじえた技能伝承