

没入型 VR システムによる鑄造方案の教育支援*

綿貫 啓一^{*1}, 小島 一恭^{*1}An Educational Support for Casting Design Using Immersive
Virtual EnvironmentKeiichi WATANUKI^{*2} and Kazuyuki KOJIMA^{*2} Department of Mechanical Engineering, Saitama University,
255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

An environment where Japanese industry has been paid with respect is changing tremendously due to the globalization of economics, where other Asian countries are undergoing economical and technical development as well as advancing in information technology. With acceleration of manufacturing bases relocating abroad, industrial hollowing out is happening; hence effort to transfer the technology and the design knowledge of machine design in a company is becoming an important subject. For example, in the design of custom casting products, a designer who is lacking in casting knowledge may not be able to produce a good design. In order to obtain a good design and manufacturing, it is necessary to equip the designer and manufacturer with a support system related to casting process or so called, knowledge transfer and creation system. This paper proposes a new educational support system for manufacturing technology; where machine design, which requires added values such as advanced technology, high quality, and short delivery time, is taken as an example and both its explicit and tacit knowledge are cooperated by using synchronized multimedia and immersive virtual environment.

Key Words: Education Engineering, Skill, Casting, Knowledge and Information Processing, Virtual Reality

1. 緒 言

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、基盤的技術や熟練技能の伝承、および新たな知識の創出が不可欠となっている。

埼玉県川口地域には、鑄物等の高度な基盤的技術をもつ全国有数の産業集積地域があり、地域の熟練技術・技能が失われれば、これらの地域の活力はいままで以上に減退する。そのため、熟練技術・技能の伝承は非常に意義のあるものであり、緊急に取組まなければならない重要な課題の一つとして、非熟練者への効率的・効果的な教育が挙げられる。

本論文では、高度な技術、高品質、短納期などが要求される単品鑄物製品の製造工程のうち、最上流工程

に位置する鑄造方案を取上げ、その際に必要となる形式知と暗黙知とを連携して設計・製造知識の教育支援を行い、さらに新たな高付加価値製品の製造知識を創出する没入型 VR (Virtual Reality) システムについて提案を行う。

2. 場の共有による技能者の教育と
知識変換プロセス

2.1 場の共有による技能者教育 技能者の教育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⁽¹⁾。ここで述べる「場」とは、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「相互関係」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)」の四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関係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関係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関係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関係によって規定される場、である。

* 原稿受付 2006年4月28日。

^{*1} 正員、埼玉大学大学院理工学研究科(☎ 338-8570 さいたま市桜区下大久保 255)。

E-mail: watanuki@mech.saitama-u.ac.jp

技能者の教育において、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、「その場にいないとわからない情報」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、技能者教育において非常に有益なことといえる。

しかし、このような「場」の共有による技能者の教育には、以下に挙げるような問題点がある。

(1) 「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、効率的に技能者教育を行うことができない。

(2) 教育担当者とな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者教育を行わなければならない状況では、難しい部分がある。

(3) 非熟練者は危険に対する認識が未熟であり、作業の不慣れから事故を招く恐れがある。現場での教育には細心の注意を払う必要があり、このことが教育者の大きな負担となる。

本論文で述べる技能伝承システムおよび没入型 VR システムなどを活用することで、これらの問題点を部分的に克服することができ、これらのシステムにより、擬似的、仮想的な「場」の共有を促進させることができ、技能者教育において非常に有益であると考えられる。

2.2 知識変換プロセス ナレッジ・マネジメントの活動モデルの一つとして SECI (Socialization, Externalization, Combination, Internalization: 組織的知識創造) モデル⁽²⁾がある。これは、知識は四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。SECI は、四つの知識変換プロセスの頭文字をとったものである。

知識は、大きく「形式知」と「暗黙知」の二つに分類することが可能である⁽³⁾。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。

これらの知識変換プロセスを通して、従来個人のもっている知識である暗黙知を形式知に変換することで、知識は伝ばしやすい形式になり、組織で知識を共有することが可能になる。このように、知識変換プロセスをエンドレスに繰り返すことを、「知識創造スパイラル」と呼んでいる。

3. 鑄造 方案

3.1 鑄造 方案の内容 鑄造製品は一般に、図 1 に示す鑄造プロセスで製造される。鑄造方案は製品となる図面や模型に対して、技術的、経済的に製造方案を立案することをいう。鑄造プロセスの最上流に位置し、その後の全鑄造プロセスに影響を及ぼす重要な工程である。鑄造方案の内容としては、

- (1) 地金などの主要原材料の選定に関する事項
- (2) 溶解に関する事項
- (3) 模型に関する事項
- (4) 鑄物砂、鑄型材料に関する事項
- (5) 造型に関する事項

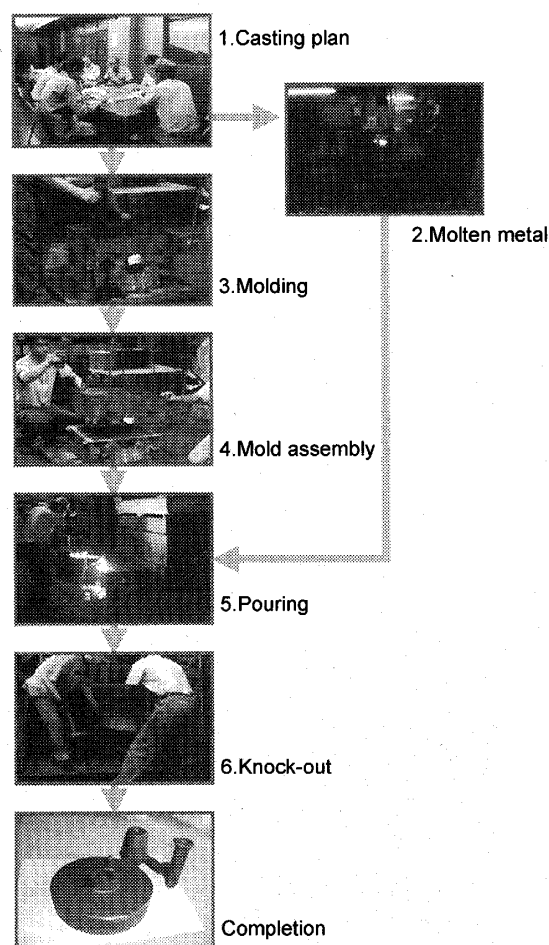


Fig. 1 Casting process

- (6) 鑄込みに関する事項
 (7) 鑄込み後の鑄造品の処理に関する事項
 (8) 仕上げに関する事項

などが挙げられるが、既設の溶解炉や造型設備の有無、使用金枠、鑄物砂などは会社固有のもので、鑄物によって種々に変えることができない場合が多い。このような制約を考えると、上述の内容のうち比較的自由な選択が許されるのは、(4)～(7)に関する事項のみであることが多く、これを狭義の「鑄造方案」と呼ぶ。

本論文では、鑄造方案の中でも最も鑄物の良否を決定する要素の多い湯口系を例として、鑄造技能者の教育支援システムについて述べる。

3.2 湯口系 鑄込みに必要な溶湯の通路は大別して、湯口、湯道、せきの三つの部位に分けられる。この三つを総称して湯口系と呼ぶ。図2は一般的な鑄造方案の一例である。製品に湯口系を接続した形で示す。湯口は、受口あるいは掛せき内の溶湯を湯道、せきに導く役割を果たすもので、その間、溶湯の流れを乱さず滑らかに流れるようにし、湯口内を流れる溶湯の冷却を防止し、さらに不純物を巻き込まないことが要求される。湯道は、湯口から鑄込まれた溶湯を鑄型の必要箇所に分配し、湯口から混入したのろ(溶解に際して装入地金の酸化物と溶剤、およびライニング材の反応によって生じるかす)、砂粒などの不純物の混入を防ぐ。湯道によって分配された溶湯は、せきから鑄型内に流入する。せきは製品が大形になるほどその数が多く設けられるが、数を増やす場合には湯まわり

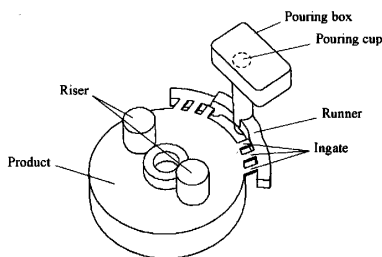


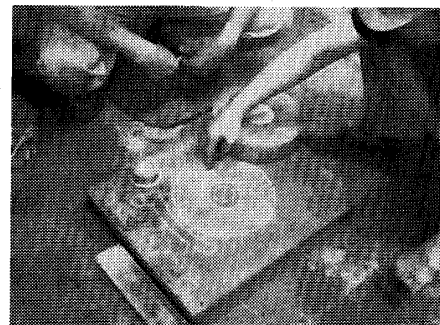
Fig. 2 Name of each part on a product



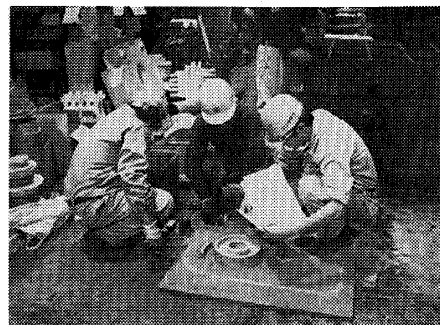
Fig. 3 Casting planning at the meeting room

不良などが発生しないように、1個のせきの断面積に留意する必要がある。

3.3 鑄造方案作成のプロセス 現在、鑄物工場で行われている鑄造方案作成のプロセスは、製品が小形のものであれば会議室で現物を見ながら検討したり(図3)、現場において定盤の上に湯口系の図をチョークで描きながら行われたり(図4(a))、湯道となる木型を並べながら行われたりする(図4(b))。いずれの場合も、鑄造方案の立案は熟練技術者が行い、おもに技術者が過去に作成した類似製品の経験に基づくことが多い。図5は同一製品に対する8社の鑄造方案を示したものであるが、どれ一つとして同じ方案はない。これは、鑄造方案の作成方法がそれぞれの会社での独自技術として発達してきており、これまで、他社との技術交流が少なかったためであると考えられる。図6は鑄造方案検討の際に、実際に用いられている方案図の一例を示したものである。現在は多くの企業が、このような二次元図面に基づいて鑄造方案の検討を行っているが、非熟練者にとっては、実際の製品形状や鑄造方案の湯道や湯口、せきなどの配置や製品重量などが、想像しにくいという問題がある。また、図7は鑄造方案に関する文献(4)から、鑄造方案の有効高さの説明図を引用したものであるが、ここにおいても、金枠、鑄砂、方案などが二次元的に示されているため、



(a)



(b)

Fig. 4 Casting planning on the work site

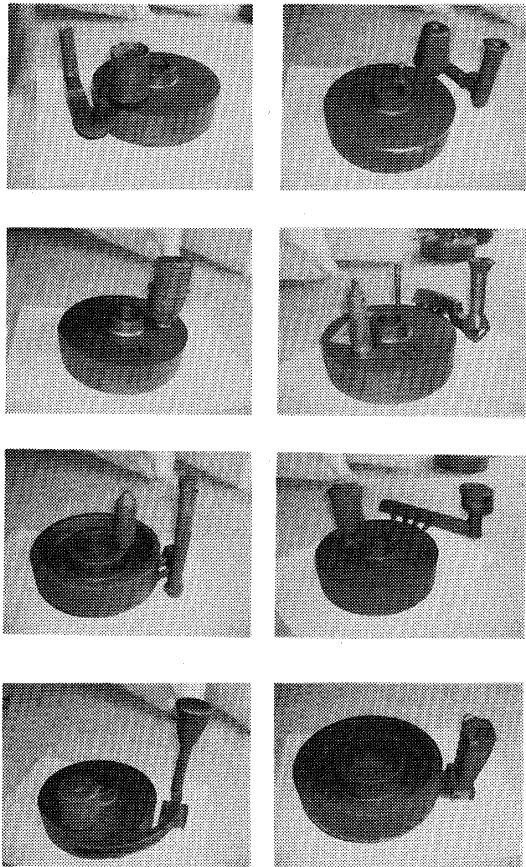


Fig. 5 Various casting designs for the same product

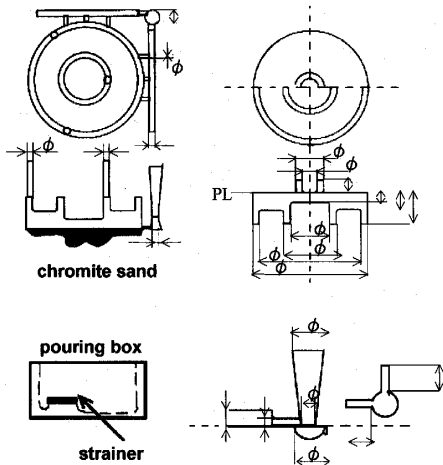
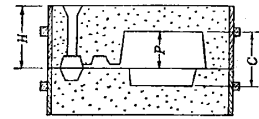
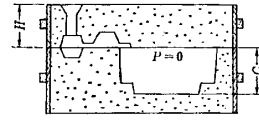


Fig. 6 An example of the drawing of casting design

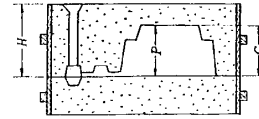
初学者にとっては形状や大きさの想像が困難である。図8は図7に相当する鋳造方案を、三次元CADで示したものである。コンピュータ画面上の三次元モデルで確認する場合も、製品や金枠などの形状や大きさの把握は難しい。方案策定に当たっては、鋳込時間や鋳込速度を十分に考慮して湯口系の設計を行うことが望ましいが、実際にはそのような検討を行う会社は少な



(a) Effective height = $H - (P^2/2C)$



(b) Effective height = H



(c) Effective height = $H - (P/2)$

Fig. 7 Drawing for explanation of the height of casting design⁽⁴⁾

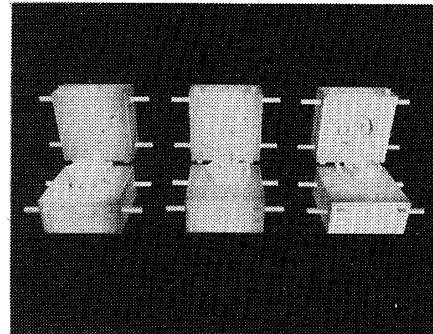


Fig. 8 Three-dimensional model of casting design

く、会社のノウハウや技術者の勘と経験により設計することが多い。

このようなプロセスで鋳造方案を作成する場合の問題点は、次のとおりである。

(1) 方案作成を二次元図面を頼りに行う場合、熟練技能者は頭の中に形状を容易に想像できるが、非熟練者は三次元形状を想像することができず、十分な検討ができない。

(2) 過去の類似形状での経験に基づく設計を行う場合、なぜそのような方案にしたのかの理由が明確でないため、形状が大きく異なる製品への応用が効かない。

(3) 三次元CADを用いる場合でも、三次元形状が実物大で表示されるわけではないため、製品に対する湯口系のボリューム感が把握しづらい。

本研究グループで提案している没入型VRシステムは、製品や鋳型などの三次元形状モデルが実際の製品と同じ大きさで表示され、かつ視点位置に合わせて見る方向を変えることができるため、形状や大きさを

容易に把握できる。さらに、三次元モデルの内部にまで視点を移動できるため、現物よりもさらに一歩進んだ形状の把握が可能である。

3.4 鋳造技能の教育と新たな知識の創出 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 (On-the-Job Training: 職場内訓練) 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9は熟練技能伝承システムおよび没入型 VR 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)共同化はユーザが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)表出化はユーザ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)連結化はユーザが映像などから、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)内面化はユーザが熟練技能伝承システムから得られた知識を基に、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 VR システムを活用しながら、知識を自分のものにしていく中で新たな知識創造が可能になり、また新たな暗黙知を獲得できるようになる。

3.5 熟練技能伝承システムの開発 図10は本熟練技能伝承システムの概要を表したものである⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾。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良くアクセスできる。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 Mark-

up 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ヘリリンクが張られており、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、三次元 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。

3.6 教育支援のための没入型 VR システムの開発

図11は没入型 VR システム⁽⁸⁾の概要を表したものである。本研究では没入型 VR システムとして CAVE⁽⁹⁾ を使用する。CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment) は、アメリカ、イリノイ大学 EVL/NCSA の研究グループによって CAVE/ImmersaDesk として実現されたものである。左右前方と床面に四つの大形スクリーンを配置し、そこにステレオ映像を表示し、これと合わせて三次元立体視メガネを使用することによって、仮想空間内に実物大で表

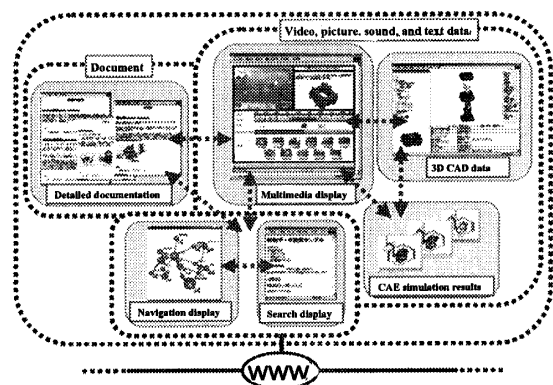


Fig. 10 Outline of knowledge transfer and creation system

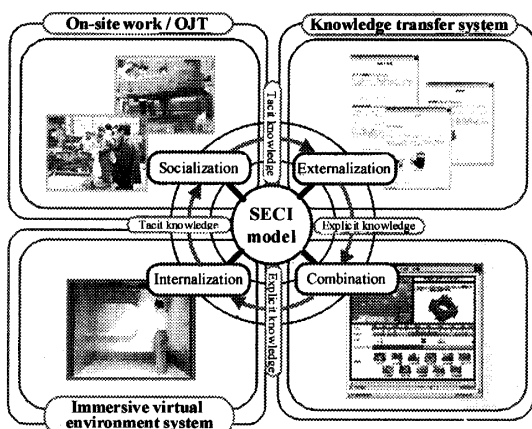


Fig. 9 SECI model and our proposed system

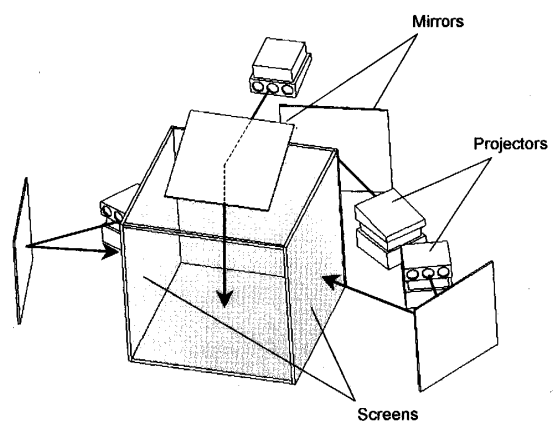


Fig. 11 Immersive virtual reality system

示された三次元形状を体験することが可能なシステムである。三次元立体視メガネの位置をフィードバックしているため、視点を変えることで形状モデルの裏側や内部を見ることが可能である。

ユーザは三次元可視化システム内に入り、三次元立体視メガネを通じて製品形状等を体験化でき、これにより、SECI モデルの第4フェーズである内面化プロセスにおける支援システムとして活用できる。SECI モデル知識の内面化プロセスについては、従来、現場での実作業を通じて行っていた。しかしながら、新人など経験を十分積んでいない者が、熟練技能伝承システムによる知識のみで現場に出て作業を行うのは、時間を要したり、時として作業において危険を伴うことがある。そこで、現場作業の前段階で没入型 VR システムを用いて作業を仮想体験し、知識の内面化を支援するものである。

4. 鑄造技能者の教育支援システム

4.1 システム概要 技能者の教育支援のため、本論文では熟練技能伝承システムおよび没入型 VR システムを使用する。没入型 VR システムは、環境内に教育対象に応じたコンテンツを表示し、現場作業の仮想的な体験を通じて非熟練技能技術者の教育支援を行うものであり、マルチメディア技術を使った熟練技能伝承システムで、鑄造に関する形式知を獲得した後に、現場での OJT に入る前段階の暗黙知の獲得の場として利用できる。没入型 VR 環境内に学習テーマに応じて必要な三次元モデル、例えば製品やその湯口系、鑄型、中子などを表示し、同じ環境内に表示される三次元メニューを使用して、製品や鑄型の表示・非表示を切換えたり、三次元のポインティングデバイスを使用して移動させたり、視点を変換することにより、鑄造技術に関する知識を効果的・効率的に得ることができる。本論文では例として、鑄造方案策定時に重要

な湯口系と見切り面を取上げ、その運用方法について述べる。

4.2 鑄型と湯口系の教育支援 前述したとおり、湯口系は鑄造方案の中核をなす重要な検討事項であり、非熟練者への教育課題として、まず取組まなければならない項目の一つである。従来より湯口系の教育には、二次元図面が使用されたり、現場にて定盤に湯口系の図をチョークで描くなどして行われてきた。いずれにしても提示される方案は平面的であり、一般に鑄造方案の湯口系の取り回しは三次元的で複雑であることから、非熟練者にとっては非常にわかりにくいものとなっている。実際に湯口系に使用される木型を使用して教育することもあるが、これで湯口系すべてを表現できるわけではないため、全体像を把握するのは難しい。

図 12 は没入型 VR システムを利用した、湯口系の教育支援システムを示したものである。図 12 左は実際に環境内に人が入って、表示されるコンテンツを体験しているところである。写真では鑄型と製品の三次元形状モデルが平面的に見えているが、体験者は三次元立体視メガネを着用しており、実際には目の前に鑄型と製品があるように見える。その様子を示したのが図 12 右である。

図 13 にコンテンツの動作概略を示す。環境内には鑄型、製品と同時にメニューが表示されており、このメニューを三次元のポインティングデバイスを使用して選択することで、上型、下型、中継ぎや製品などを各パーツごとに、表示・非表示が切換え可能になっている。また、同様に別メニューを選択することでパーツの移動も可能である。さらに、体験者の着用する三次元立体視メガネはヘッドトラック機能が搭載されており、体験者の視点に応じて、三次元モデルの内部や裏側を見ることができる。

本システムを利用することで、非熟練者は湯口系を

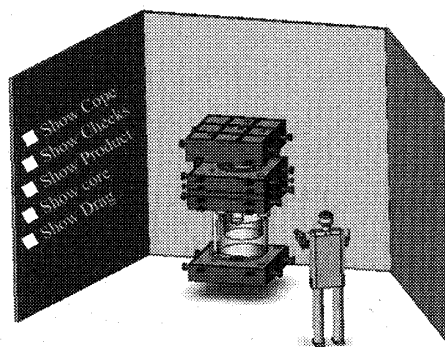
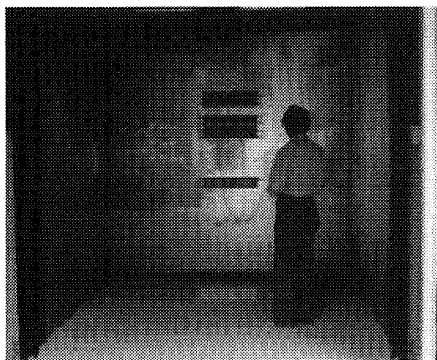


Fig. 12 Immersive virtual environment system for internalization of knowledge

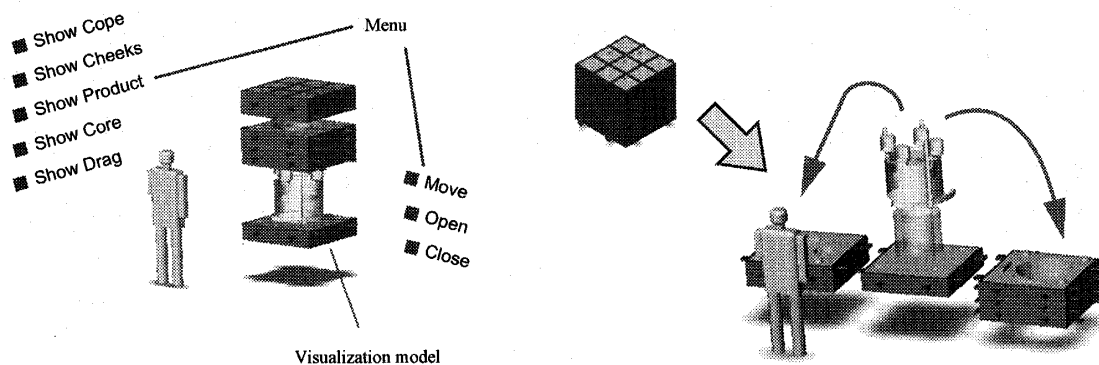


Fig. 13 Three-dimensional visualization model for molds and a product

構成する湯口や湯道、せきの形状や大きさについて立体的に詳細に観察できるとともに、鋳型を半透明表示にして湯口系と同時表示することで、湯口系の鋳型内部での構成や全体的な取り回しについて三次元的に把握でき、非熟練者への教育効果を高めることができる。

4.3 見切り面の教育支援 見切り面もまた、湯口系と同様に鋳造方案の立案時には重要な項目であり、非熟練者への教育を考えた場合も、主要のテーマの一つとなりうるものである。見切り面の選定は、湯口系や鋳砂の選定、造型能率、造型の確実性への影響を考慮して決める必要がある。さまざまな要因が複雑に絡み合う中での検討は、非熟練者のみならず熟練者にとっても難しい作業である。見切り面の決定も従来から二次元図面などが用いられてきたが、平面的でわかりづらく、また、他要因との関連を図示することができないため、さまざまなパターンの検討を行おうとすると、その都度図面上に鋳造方案の概略図を描いたり、湯口系や湯口比の計算をしなければならず、これが、多くの方案について検討せず、最初に決めた方案を踏襲することになっていた一つの要因でもある。

図 14 は見切り面の教育支援システムを示したものである。このシステムは特に見切り面の位置と湯口の高さ、湯口径の検討に用いることができる。いくつかの方案を呈示し、見切り面に相当する平面を半透明表示して、見切り面を認識しやすくしている。視点を変えることで、見切り面と湯口の高さ、湯口径を他の方案と比較しながら、視覚的かつ三次元的に確認できるため、非熟練者への見切り面の教育において大きな効果が期待できる。

4.4 教育支援システムの効果 以上説明したこと以外に、本システムを使用することにより次のような効果も期待できる。

(1) 時間的・空間的・規模的な制約を緩和し

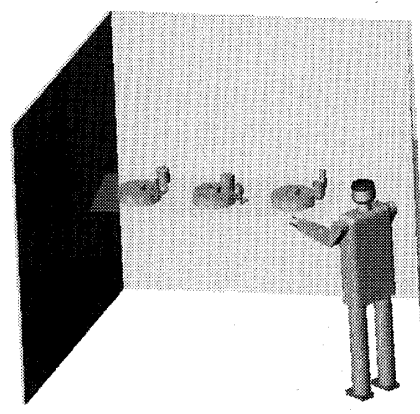


Fig. 14 Educational support for parting plane

「場」の共有による技能者教育を効率的に行うことができる。

(2) 非熟練者が危険に対する認識が未熟であったとしても、実際に現場で作業する OJT ではなく仮想空間内での体験を基に教育を進めるため、危険のない教育が可能となる。

4.5 システムの評価 没入型 VR システムを学習の場として利用して、効率的・効果的に技能伝承、知識獲得を行うためには、コンテンツの呈示方法について十分に検討する必要がある。日常的に鋳造関連業務に携わる被験者 9 名に対してアンケート調査を行い、システムを評価する。

図 15~17 はそれぞれ被験者の鋳物関連業務の経験年数、年齢構成、職務内容を示している。被験者の約 3 分の 2 が熟練技能者であり、そのほとんどは 60 歳以上で、20 年以上の職務経験をもつ。また、多くが現在も技術・技能に関わる職務についている。

コンテンツにおいて被験者は、鋳造製品とその製品を作るための鋳型(上型、中継ぎ、下型)を、実物大で三次元立体視映像として体験する。また、専用の操作デバイスを使用してメニューを選択し、鋳造製品や鋳型の移動や表示を制御する。体験後のアンケートにおい

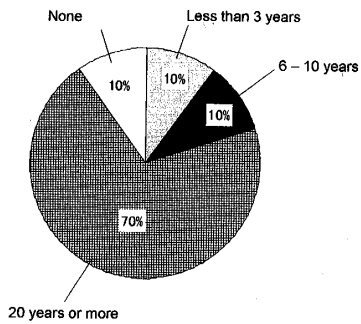


Fig. 15 Years of experience

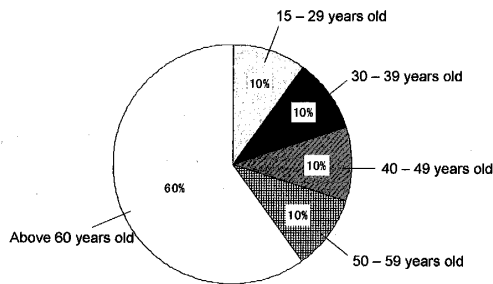


Fig. 16 Ages of the triarists

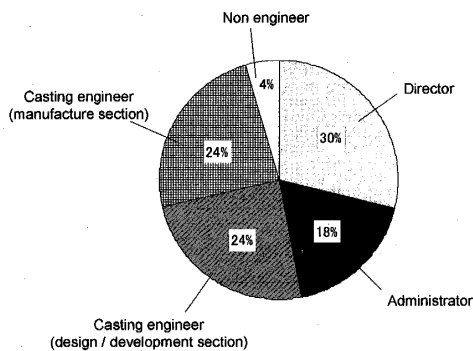


Fig. 17 Trialists' job specifications

て被験者は、表示に関して「見やすさ」、「色」、「リアリティ」、「動き」、「立体感」、「わかりやすさ」についてそれぞれ五段階、操作に関して「操作性」、「直感性」、「応答性」、「わかりやすさ」についてそれぞれ五段階で評価する。

表示、操作に関する評価(平均値)を図 18, 19 に示す。表示に関しては立体感において高い評価が得られているが、動きに関してはごちないという評価が多く、また操作に関しては、操作しづらい、直感的でない、応答が遅いという意見が多い。表示、操作においてあまり良い評価が得られなかった項目は、使用しているコンピュータのハードウェアやソフトウェアの構成や性能によるところが大きいと考えられる。

5. 結 言

本論文では、設計・生産現場で抱えている技能伝承

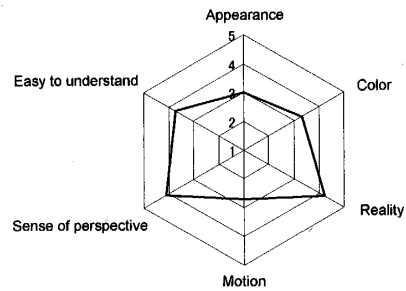


Fig. 18 Evaluation of displayed contents (immersive system/technicians)

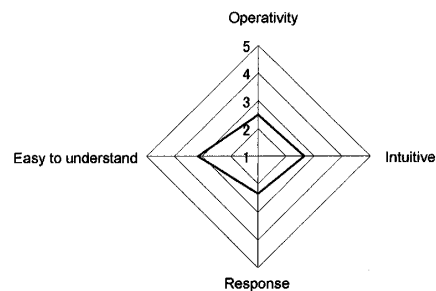


Fig. 19 Evaluation of operation (immersive system/technicians)

関連の諸問題を解決するため、鋳造技能者の教育支援および知識創出のための新たなシステムを開発した。ここでは、SECI モデルの第 4 フェーズである知識の内面化プロセスにおいて、従来、現場での実作業を通じて行われてきたプロセスを、没入型 VR システムを用いて疑似体験することにより、熟練技能を内面化する手法を提案した。

新人研修など社内教育プログラムで本システムを利用し、現場に出る前段階で作業の疑似体験をすることで、事前に作業手順の確認、危険箇所の把握ができ、非熟練者が作業を円滑に進めるうえで有用であると考えられる。しかしながら、本システムを企業等で実際に運用するとすると、設置する場所やコストの面で問題があると考えられる。この点については、今後の検討課題とする。

なお、本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)次世代ロボット実用化プロジェクトプロトタイプ開発支援事業、科学研究費補助金基盤研究(C)(16560112)、日産科学振興(財)理科・環境教育助成、マザック(財)研究助成によるものである。

文 献

- (1) Nonaka, I. and Teece, D., *Managing Industrial Knowledge*, (2001), p. 13, Sage Publications.
- (2) Nonaka, I., *The Knowledge-Creating Company*, *Harvard Business Review*, (1991), pp. 96-104.

- (3) Polanyi, M., *The Tacit Dimension*, (1966), p. 3, Routledge and Kegan Paul.
- (4) Japan cast iron foundry association, *Chutetsu imono no chuuzouhouan no kangaekata* (in Japanese), (1971), p. 50, Corona Publishing Co., Ltd.
- (5) Watanuki, K. et al., Development of Machine Design Knowledge System for Custom Casting Product Using Multimedia Technology, *Proceedings of Kanto Branch Block Joint Conference of the Japan Society of Mechanical Engineers—2002 Utsunomiya—*, No. 010-2 (2001-9), pp. 99-100.
- (6) Watanuki, K. et al., Representation of Tacit and Explicit Knowledge for Knowledge Transfer System Using Internet/Multimedia Technology, *Proceedings of Kanto Branch Block Joint Conference of the Japan Society of Mechanical Engineers—2002 Utsunomiya—*, No. 020-2 (2002-9), pp. 227-228.
- (7) Watanuki, K. et al., Development of Machine Design Knowledge Transfer System for Custom Casting Product by Using Internet/Multimedia Technology, *Proceedings of the 12nd Design and Systems Division Conference of the Japan Society of Mechanical Engineers*, No. 02-31 (2002-11), pp. 145-148.
- (8) Watanuki, K. and Kojima, K., Internalization of Knowledge for Technical Skills in Immersive Virtual Environment, *Proceedings of the Human Interface Symposium 2003*, (2003-10), pp. 639-642.
- (9) Cruz-Neira, C. et al., Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE, *Proceedings of SIGGRAH '93*, (1993-8), pp. 135-142.