3313 VR空間におけるアノテーション表示による 製造情報の共有

Sharing of Knowledge Information and Acquisition of Manufacturing Skills Using Annotation Display in VR Environment

○正 綿貫 啓一 (埼玉大院)

正 小島 一恭 (埼玉大院)

Keiichi WATANUKI, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama 338-8570
Kazuyuki KOJIMA, Saitama University

In order to obtain a good design and manufacturing result, it is necessary to equip the designer and manufacturer with a support system related to casting design or so called, knowledge transfer and creation system. In recent years, the design supporting system using VR technology is developed, and introduced in the manufacturing industry. The merit of using VR system is being able to carry out the stereoscopy of the product model drawn by 3D CAD, and to carry out the design review of the product model in the same size as thing. However, since many systems extend the display of the conventional 3D CAD, they cannot input annotation and so on directly in VR environment. In this paper, the system which can input and display the annotation in VR environment is developed. By drawing annotation to the product model displayed on VR environment, sharing of technical tacit knowledge and engineers' communication are promoted, and engineers becomes possible gaining physical tacit knowledge.

Key Words: annotation, physical tacit knowledge, force feedback, haptic, virtual reality, knowledge creation

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。

近年、VR技術を用いた設計支援システムが開発され、製造業を中心に導入されつつある。VR利用のメリットは、3次元CADで描かれた形状モデルをVR空間内で立体視することにより、製品を実物により近い形でデザインレビューができるなどの点が挙げられる。しかしながら、多くのシステムは従来の3次元CADの表示を単に立体視できるように拡張したものであるため、VR空間において直接的にアノテーション等を入力することはできない。

そこで本研究では、VR空間におけるアノテーションの入力および表示システムを製作し、その有効性を検討する。VR空間に表示されたモデルに空間内にアノテーション等を描画することにより、技術情報の共有および技術者同士のコミュニケーションの促進と身体知の獲得ができる。

2. 製造情報共有およびOJTの問題点

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、IT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いい」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⁽¹⁾。

熟達者とは、特定領域において、専門的なトレーニング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ず、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。

そのため、製造業においては、知識・技術の共有やOJTにおける学習の限界を考慮して、新たな効果的な製造情報の共有および技術者同士のコミュニケーションの促進と身体知の獲得を行う必要がある。

3. 場の共有による技能伝承

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。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^{(2),(3)}。

場とは、相互作用し合う人たち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。

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。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。

- (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、効率的に技能伝承を行うことができない。
- (2) 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呈示を組合せた可搬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。

4. 技能訓練システムの概要

図1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)バーチャルリアリティ技術を基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すことにより技能をさらに確実なものにするとともに、新たな知識やより高度な技能を獲得する。ここで、バーチャルリアリティ技術をもとにした技能訓練システムをCAMRobot（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み合わせ、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。図2に本システムの概略を示す。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。本論文では、技能訓練システムCAMRobotで利用できるアノテーションの入力および表示システムを開発した。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同士のコミュニケーションの促進および身体知の獲得を図る。

5. アノテーション表示システム

5.1 システム構成

図3は、本アノテーション表示システムの構成を示す。このシステムの原理は、アノテーション表示デバイスの先端に内蔵されている磁気式三次元位置センサが筆記動作に合わせて、位置情報を取得し、同時にVR空間内に筆記のためのモデルを

Fig.1 Acquisition of knowledge for design and manufacturing by sharing of Ba

Fig.2 Cyber assist meister robot

Fig.3 CAMRobot with annotation system

Fig.4 Character written in VR environment

表示する。図4は、表示デバイスのスイッチのON/OFFで文字や図形を描画することが可能である。

5.2 アノテーション表示システムの評価実験

このアノテーション表示システムを使用して、VR空間内で文字の筆記について検討した。また、筆記面の有無が筆記に与える影響についても検討した。

被験者は表示デバイスを用いて、「あ」、「埼」、「ここは危険」の3通りを筆記する。図4にその筆記結果の一例を示す。その際、不透明の筆記面、半透明の筆記面、筆記面が無い場合の3通りの筆記を行った。実験の結果、筆記された画像データをみると、どの被験者も認識可能な文字を筆記できていることを確認した。また、画像データから筆記面の違いによる文字への影響はほとんどないことがわかる。また、アンケート結果からも筆記面による書きやすさの影響はないことがわかる。以上のことから、VR空間内での本アノテーション表示システムによる筆記は可能であることが確認できた。

6. アノテーション表示システムの型合せ作業へ適用

6.1 実験方法

被験者はVRでの型合せ作業の経験者（指導者）、未経験者（作業員）それぞれ10人がペアとした。10組のうち半分のグループが音声のみ、残りのグループが音声とアノテーション表示の2種類で指導者が作業前および作業中に指示をする。作業前の説明時間、作業時間をそれぞれ計測する。実験後、指導者にはアノテーション表示の有無による伝えやすさに関するアンケート調査を行い、作業員にはアノテーション表示の有無による理解のしやすさに関するアンケート調査を行う。

6.2 実験結果

図5に示すようにアノテーション表示の有無による説明時間を比較した場合、説明時間に差異は見受けられなかった。これは、

Fig.5 Questionnaire result

Fig.6 Stereoscopic vision for mold assembly

アノテーション表示システムの操作にさほど時間がかからず、言葉だけよりアノテーション表示を併用したほうが説明しやすかったものと考えられる。作業訓練においては、言葉だけでは説明するのが困難であり、特定の箇所を指し示す場合などはアノテーション表示システムが指導者にとって有効であると考えられる。また、図6は型合わせ作業におけるVR空間での立体視映像を示す。アノテーション表示システムの有無による伝えやすさに関するアンケート結果からも、すべての人が、本システムを使用したほうが説明しやすいと回答している。

7. OJTとCAMRobotでの「場」の共有による作業訓練

7.1 高精度モーションキャプチャシステムの構築

CAMRobotに新たにモーションキャプチャシステムを導入し、作業員の全身の動作解析・作業分析を行った。新たなCAMRobotを図7に示す。本システムはCAMRobotに高精度モーションキャプチャシステムを追加したものである。導入した高

Fig.7 Introduction of a motion capture system

Fig.8 Examples of casting work

Fig.9 Work analysis using a motion capture system

精度モーションキャプチャシステムは、3600 × 3600 画素高分解能、480Hz 高速サンプリング、個々に ID をもつ LED などの特徴を持ち、高速、高精度に作業者の動作履歴を記録することが可能である。これにより「匠の技」の作業動作を詳細に検討することが可能となる。

7.2 複数の技能者の協調動作に関するデータの検討

モーションキャプチャシステムを用いて、協調動作に関する検討を行うこととした。個々の作業者の動作履歴を記録し、検討を行った。図 8 は鋳造現場での代表的な作業例を示す。図 9 は VR 空間内における型合わせの際のクレーン操作仮想体験時のモーションキャプチャの様子である。作業者の体の各部位に複数の LED を取付け、各部位の移動軌跡を記録する。図 10 は被験者 A、被験者 B の動作履歴である。図では、頭部、右手、左手の各一点の軌跡のみ表示している。作業者により、動作履歴に差異があることが認められる。作業者間の動作の差異を定性的にのみならず定量化し把握することで、VR を用いた作業訓練において、作業の熟達度の検討や熟練技能者との作業の相違を VR 空間内で明示的に示すことが可能となると考えられる。

図 11 に、VR 空間内の型合わせ訓練において視覚情報のみ

Fig.10 Example of work analysis

Fig.11 Positioning errors in mold assembly

Fig.12 Effect of vision and force-feedback information

の場合、視覚情報と力覚情報を連携させた場合の訓練効果の相違を検討した結果を示す。鋳造に関する知識に乏しい被験者 8 名に、VR 空間内でクレーン操作盤のボタン操作により上型を移動して下型に合わせる作業を行ってもらい、型合わせ開始から完了までの時間、型合わせ完了時の上下の型の位置決め誤差を測定した。図 11(a) に被験者 8 名が視覚情報のみを提示される状況で、下型のダボ穴に上型のダボを入れる際に生じた位置決め誤差を示す。また、図 11(b) は視覚情報と力覚情報を連携させた場合の位置決め誤差を示す。これらの結果から、視覚情報のみの場合に比較して力覚情報があるときは位置決め精度が向上していることが確認できる。図 12(a) は、作業途中に型を中子やダボと接触させた回数の平均を示す。実際の作業では、ダボや中子が破損した段階でやり直さなければならないが、本実験では、接触してしまっても最後まで作業を行うものとした。この結果、ほとんどの被験者が視覚情報と力覚情報を連携させた場合のほうが、ダボや中子の接触回数が少ないことが確認できる。図 12(b) は各被験者が作業の完了までに要した時間の平均値を示す。全ての被験者が視覚情報と力覚情報を連携させた場合のほうが作業時間が短いことが確認できる。

7.3 現場OJTとCAMRobotでの作業訓練との差異

高精度モーションキャプチャを導入したVRシステムによる作業訓練では、現場OJTと比較し、次のような差異がある。2つのシステムを利用することで、遠隔地の作業者と熟練技能者との作業訓練が可能となる。その際、熟練技能者の作業をモーションキャプチャし作業者と同位置に重ねて表示することで、作業者は熟練者の視点に立ち、作業動作のトレースが可能となり、現場での別視点での「見よう見まね」に比較し、さらに効率的な作業訓練が可能となる。また、現実の空間ではできない空間内へのアノテーションの記述や、関連データ、映像などの空間内への表示が可能であり、モーションキャプチャを併用することで、訓練時の動作中に腕や足に移動方向を矢印で示したり、力の入れ具合などを文字情報や映像情報として表示することができ、作業訓練の更なる効率化が期待できる。

8. 結 言

本研究では、VR 空間におけるアノテーションの入力および表示システムを製作し、その有効性を検討した。VR 空間に表示されたモデルに空間内にアノテーション等を描画することにより、技術情報の共有および技術者同士のコミュニケーションの促進と身体知の獲得が可能である。

参考文献

- (1) M. Matsuo and M. Easterby-Smith, Knowledge Sharing Dilemma: Knowledge and Knowing in Japanese Firms, Academy of Management Annual Meeting, (2004).
- (2) I. Nonaka, R. Toyama and N. Konno, SECI, Ba and Leadership: A Unified Model of Dynamic Knowledge Creation, Long Range Planning, 33, (2000), 5-34.
- (3) M. Polanyi, The Tacit Dimension, Routledge and Kegan Paul, (1966), 3-25.