

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2007～2008
課題番号：19560251
研究課題名（和文） 没入型仮想共有環境システムにおける対話支援および技能伝承用力触覚呈示装置の開発
研究課題名（英文） Development of Knowledge Acquisition and Skill Transfer System Using Immersive Virtual Environment
研究代表者 綿貫 啓一 (WATANUKI KEIICHI) 埼玉大学・大学院理工学研究科・教授 研究者番号：30212327

研究成果の概要：本研究では、バーチャルリアリティ空間での技術者・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、対話支援および技能伝承用力触覚提示装置を開発した。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バーチャルリアリティ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触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触覚的な仮想体験を通じ技能を獲得することができるシステムを開発した。それらを複数の技能者間でコミュニケーションをまじえ、協働して設計・製造知識を獲得できるような環境を創り出し、効果的な人材育成を実践した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：ヒューマンインターフェイス

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：技能伝承，人材育成，バーチャルリアリティ，力覚提示，オントロジー，コミュニケーション，アノテーション，バーチャルトレーニング

1. 研究開始当初の背景

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。埼玉県川口地域は鋳物等の高度な基盤的技術を持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、直接これらの地域の今まで以上の活力衰退にもつながる。そのため、熟

練技術・技能伝承は非常に意義のあるものであり、緊急に取り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、本研究題目の遂行は重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高度な技術、高品質、短納期などが要求される単品鋳物製品に関する鋳造工程を技能伝承事例として取り上げ、その際に必要となる形式知と暗黙知とを連携して設計・製造知識の技能伝承・教育支援を行うシステムの構築することである。さらに、新たな高付加価値製品の製造知識を創出するバーチャルリアリティ空間内でのアノテーション表示による対話支援システムの開発、視覚情報、力覚情報、触覚情報を融合した高精度没入型仮想共有環境システムの構築を行う。これらの対話支援システムおよび没入型仮想共有環境システムにおける力触覚呈示装置の開発を本研究課題の遂行範囲とする。これにより、高付加価値製品を設計・製作する際の「匠の技」や「場の共有」を効果的に仮想体験できる。

3. 研究の方法

本研究課題に関する具体的な研究の方法を以下に示す。

(1) 技能伝承用力触覚提示装置の設計および製作

力覚提示装置は、多関節型ロボットアームと触覚用グローブから構成する。これにより、鋳型の重量感、鋳型表面の砂の触感を得ることができる。触覚用グローブは、小型モータおよびワイヤにより、各指を懸架し、触覚を提示する。これらの力覚提示および触覚提示のための反力データは、実際の鋳造作業から得られたデータをもとに決定する。以上より、技能伝承用力触覚提示装置を開発する。

(2) 没入型仮想共有環境システムにおける3次元立体視装置と力覚提示装置とのインターフェース部の開発

没入型仮想共有環境システムの3次元立体映像と力覚提示装置との連携を図る。そのため、3次元立体視のための形状データと力覚提示装置の位置情報から仮想物体の接触判定を行い、アクチュエータに反力として伝達する。このための接触判定ソフトウェアおよび反力算定ソフトウェアの開発を行い、3次元立体視装置と力覚提示装置とのインターフェース部の開発する。

(3) オントロジーに基づく技能伝承用データベースの構築

設計や製造における知識やデータについて、できるだけ厳密な形で資源について記述するための形式存在論を構築する。

(4) 匠の技の脳科学的分析

脳の働きを解明するとともに、人間の行動のしくみを知る脳科学的な分析、特に側頭連合野における物体の視覚的認識のメカニズムと前頭連合野における目的指向的行動のメカニズムをもとにして、匠の技の脳科学的な分析を行い、それを匠の技の効果的な伝承法への応用を考える。

(5) 没入型仮想共有環境システムにおけるアノテーション表示システムの開発および対話支援

「オントロジーに基づく技能伝承用データベースの構築」の研究成果を踏まえ、技能伝承用データベースを没入型仮想共有環境システムに実装するとともに、没入型仮想共有環境で設計や製造知識を自在にアノテーション表示できるシステムを開発する。さらに、そのアノテーションシステムを活用し、付加価値の高い製品の設計・製造のアイデアを出しあえるような対話支援の環境を構築する。

(6) 没入型仮想共有環境システムにおける3次元立体視装置と力覚呈示装置とのインターフェース部の開発

「匠の技の脳科学的な分析」の研究成果を踏まえて、没入型仮想共有環境システム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。

(7) 没入型仮想共有環境システムと熟練技能伝承システムとのインターフェース部の開発

「匠の技の脳科学的な分析」の研究成果を踏まえて、没入型仮想共有環境システムと熟練技能伝承システムとの間の形式知・暗黙知を連携するインターフェース部を構築し、実証検証を行う。

(8) 研究成果のまとめ

平成19年度および平成20年度に得られた研究成果をまとめるとともに、実際の設計・製造現場での導入を検討する。

4. 研究成果

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、団塊世代の大量退職、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、人材育成、および知識の創出が不可欠となっている。

このような背景のもと、国内有数の産業集積地域である埼玉県川口市の鋳物関連企業の協力を得て、マルチメディアとバーチャルリアリティ（VR）技術を応用した新たな鋳造

技能伝承システムを提案および実証を行った。効率的な技能伝承，人材育成を行うためには，鑄造に関わる知識の体系化やその知識を効果的に呈示する必要がある。このため，マルチメディア技術を利用して形式知と暗黙知とをうまく連携した形で効率的に獲得できるようにした。また，鑄造技能の獲得には，視覚的な体験だけでなく，工具や製品の重量感や触り心地，音，臭い，色，温度などのような感覚を作業者自身で体験することが重要である。また，工具や製品の重量感や触り心地など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なことである。技能などの暗黙知の内面化については，VR 技術と力覚呈示装置を利用して，実際の現場作業の視覚・力覚に関する仮想体験を通じ獲得することのできるバーチャルトレーニングシステムを開発した。

本研究では，マルチメディア技術と VR 技術などを応用した技能伝承と知識創出法について開発を行った。特に，VR 技術を用いた立体視システムと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視覚的な効果のみならず鑄造技能における力覚を技能者間のコミュニケーションをまじえて体得することが可能なシステムについて開発したので報告する。

熟練技能伝承システムにおいて，暗黙知は SMIL (同期マルチメディア統合言語) を用いて提示し，形式知は XML (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・知識を効率的に検索し獲得できる。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ある。

バーチャルトレーニングシステムは，鑄物工場などにおける熟練技能を伝承し，さらに新たな知識を創出するためのものである。本システムは，鑄造に関する知識獲得のための熟練技能伝承システムと技能獲得のための可搬型仮想共有環境システム (バーチャルリアリティシステムと力覚呈示装置を組合せたシステム) で構成されている。熟練技能伝承システムでは，体験者はタッチパネル式コンピュータでの簡単な操作により，鑄造に関する知識を自分のレベルに合わせて，短時間に修得することができる。バーチャルトレーニングシステムでは，体験者は上下 2 面型スクリーンを通じ 3 次元立体視映像とその映像に同期化された力覚を同時に呈示されることにより，鑄造現場における数多くの作業を体験することができる。鑄造技能の中には，

注湯作業や突固め，中子の据付など，言葉では表現することができない作業が数多くあり，本システムでは，これらの作業を文書情報や映像情報としてだけではなく，視覚や力覚など実際の感覚に近い形で体験可能であり，異なった状況を交互に体験したり，同一状況を納得いくまで繰り返し体験することができる。また，その状況を空間ごと保存することができる。また，アノテーションの入力および表示システムにより，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。

バーチャルトレーニングと OJT とを融合することにより，より効果的な技能伝承および人材育成を行える。

平成 19 年度および平成 20 年度における本研究課題に関する主な研究実績を以下に示す。

(1) 技能伝承用力覚提示装置の設計および製作

鑄型合せ作業や突き固め作業を体験でき，鑄型の重量感，鑄型表面の砂の触感などを得ることができる力覚提示装置を試作した。

(2) 没入型仮想共有環境システムにおける 3 次元立体視装置と力覚提示装置とのインターフェース部の開発

没入型仮想共有環境システムの 3 次元立体映像と力覚提示装置との連携を図った。まず，3 次元立体視のための形状データと力覚提示装置の位置情報から仮想物体の接触判定を行い，アクチュエータに反力とした。次に，接触判定ソフトウェアおよび反力算定ソフトウェアの開発を行い，3 次元立体視装置と力覚提示装置とのインターフェース部の開発した。

(3) オントロジーに基づく技能伝承用データベースの構築

設計や製造における知識やデータについて，できるだけ厳密な形で資源について記述するための技能オントロジーを検討した。まず，上位オントロジーに即して大きく分類し，諸用語間でどのような関係づけを行うべきかを検討した。そして，鑄造技能データへの種々の問い合わせが可能なシステムを構築した。

(4) 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アノテーションシステムの開発

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る。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アノテーシ

ョンを表示しながらバーチャルトレーニング可能な環境を構築した。

(5) 没入型仮想共有環境システムにおけるアノテーション表示システムの開発および対話支援

「オントロジーに基づく技能伝承用データベースの構築」の研究成果を踏まえ、技能伝承用データベースを没入型仮想共有環境システムに実装するとともに、没入型仮想共有環境で設計や製造知識を自在にアノテーション表示できるシステムを開発した。さらに、そのアノテーションシステムを活用し、付加価値の高い製品の設計・製造のアイデアを出しあえるような対話支援の環境を構築した。

(6) 没入型仮想共有環境システムにおける3次元立体視装置と力覚呈示装置とのインターフェース部の開発

「匠の技の脳科学的な分析」の研究成果を踏まえて、没入型仮想共有環境システム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った。これは、マルチメディア技術を用い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あとに、現場でのOJTに入る前段階の暗黙知の獲得する場として利用した。

(7) 没入型仮想共有環境システムと熟練技能伝承システムとのインターフェース部の開発

「匠の技の脳科学的な分析」の研究成果を踏まえて、没入型仮想共有環境システムと熟練技能伝承システムとの間の形式知・暗黙知を連携するインターフェース部を構築した。このシステムを熟練技能者に実際に使用してもらい、時間的・空間的・規模的な制約を緩和し「場」の共有による技能者教育より効果的か、非熟練者が危険に対する認識が未熟であったとしても、仮想共有環境内での体験で教育できるか、等について実証検証を行い、改良を行った。

(8) 研究成果のまとめ

平成19年度および平成20年度に得られた研究成果をまとめるとともに、実際の設計・製造現場での導入を検討した。また、学会発表等を通じてその研究成果を広く公表した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① 綿貫啓一: 場の共有による製造知識の獲得と人材育成, オフィス・オートメーション学会誌, Vol. 27, No. 4, (2007), pp. 32-40. 査読有
- ② J. Zhou and K. Watanuki: Data Sharing of Mechanical Design Formulas Using

Semantic Web Technology, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.1, No. 4, pp. 530-540, (2007). 査読有

- ③ 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, Vol. 22, No. 4, (2007), pp. 480-490. 査読有
- ④ K. Watanuki: Virtual Reality-Based Job Training and Human Resource Development for Foundry Skilled Workers, International Journal of Cast Metals Research, Vol. 21, No. 1-4, (2008), pp. 275-280. 査読有
- ⑤ 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄: XMLで記述した溶接加工事例による溶接設計支援の研究, 設計工学, Vol. 43, No. 10, (2008), pp. 569-574. 査読有
- ⑥ 綿貫啓一: バーチャルトレーニングとOJTを融合した技能伝承および人材育成, 設計工学, Vol. 44, No. 2, (2009), pp. 77-92. 査読有

[学会発表] (計13件)

- ① K. Watanuki: Virtual Reality-Based Design Review and Job Training for Advanced Manufacturing Technologies, 2007 ASIAGRAPH Proceedings, 2007年5月24日, 中国・上海.
- ② S. Ohtani, T. Kojima, K. Watanuki: A Database of Arc Welding Cases to Assist Troubleshooting by Q&A Style, Proceedings of the 2nd JSME-KSME Joint International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, 2007年7月2日, 札幌.
- ③ K. Watanuki: Virtual Reality-Based Evaluation System for Universal Design, 2007 ASIAGRAPH in Tokyo Proceedings, 2007年10月11日, 東京.
- ④ K. Watanuki: Virtual Reality-Based Casting Skill Transfer and Human Resource Development, Proceedings of Proceedings of the 17th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2007), 2007年11月28日, デンマーク・エスビャ.
- ⑤ 侯 磊, 綿貫啓一: VR環境下における視線計測 (3次元映像の大きさと輻輳運動の関係), 日本設計工学会平成19年度春季研究発表講演会講演論文集, 2007年5月27日, 横浜.
- ⑥ 綿貫啓一: バーチャルリアリティ技術を用いた場の共有によるものづくり技能の獲得, 日本工学教育協会第55回年次大会工学・工業教育研究講演会, 2007年8月4日, 東京.

- ⑦ 綿貫啓一, 小島一恭: 没入型仮想共有環境におけるタンジブルなデザインレビューシステムの構築, 日本機械学会 2007 年度年次大会講演論文集, 2007 年 9 月 10 日, 大阪.
- ⑧ K. Watanuki: VR Mediated Skill Transfer, ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2008), 2008 年 8 月 5 日, New York, USA.
- ⑨ K. Watanuki, J. F. Wilson: Mixed Reality-Based Casting Skill Transfer and Human Resource Development, Proceedings of the 4th International Conference on Business and Technology Transfer (ICBTT2008), 2008 年 12 月 4 日, Delaware, USA.
- ⑩ 大谷成子, 綿貫啓一, 小島俊雄: アーク溶接加工事例による加工支援手法について, 日本機械学会 2008 年度年次大会講演論文集(IV), 2008 年 8 月 8 日, 神奈川.
- ⑪ 侯 磊, 綿貫啓一: VR 技術による鋳造方
案設計支援システムの開発 (鋳込み作業と湯流れの可視化), デザインシンポジウム 2008 講演論文集, 2008 年 11 月 21 日, 神奈川.
- ⑫ 綿貫啓一: 形式知と暗黙知によるデザイン, デザインシンポジウム 2008 講演論文集, 2008 年 11 月 22 日, 神奈川.
- ⑬ 綿貫啓一, 楓和憲: バーチャルトレーニングと実習を融合したものづくり技術者育成の実践事例, 日本機械学会関東支部第 15 期総会講演会講演論文集, 2009 年 3 月 7 日, 茨城.

[図書] (計 1 件)

- ① 福田収一, 綿貫啓一 (編著): 感覚・感情とロボット, 工業調査会, (2008), 総ページ数 378 頁.

[その他]

テレビ放映:

- ① 綿貫啓一: バーチャルトレーニングシステム, BS ジャパン世の中進歩堂, 2009 年 1 月 25 日放映, (2009).
- ② 綿貫啓一: バーチャルトレーニングシステム, BS ジャパン世の中進歩堂総集編, 2009 年 3 月 29 日放映, (2009).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

綿貫 啓一 (WATANUKI KEIICHI)
埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 30212327

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし