

# 3次元コンピュータグラフィックス技術を用いた 教育訓練支援システムの試作

Development of Training Support System based on  
Three-dimensional Computer Graphics Technology

九手 明純 (Akizumi Kude)\* 花房 英光 (Hidemitsu Hanafusa)\*  
松岡 由了 (Yoshinori Matsuoka)† 知手 育夫 (Ikuo Shirute)‡  
小椋 一秀 (Kazuhide Ogura)§

**要約** 近年、バーチャルリアリティ (VR) 技術は急速に発展を遂げつつあり、それに伴い各種要素技術や関連する技術の開発研究とともに、様々な分野でその応用に関する研究が進められている。とりわけ、コンピュータグラフィックス (CG) 技術の発達については、コンピュータの能力の進展と相まって目覚ましいものがある。

本稿では、VR 技術の開発に伴って発達した 3 次元 (3D) CG 技術の原子力発電分野への応用の一例として、原子力発電所に設置されている電動仕切弁の分解・組立作業を対象にした、パーソナルコンピュータで動作する教育訓練支援システムを試作したので、それについて記述する。

**キーワード** 3次元コンピュータグラフィックス, バーチャルリアリティ, パーソナルコンピュータ, 電動仕切弁, 教育訓練支援システム

**Abstract** Recently, Virtual Reality (VR) technology has developed quickly, together with research conducted on various elemental and related technologies and research in various fields of its application. In particular, the development of computer graphics (CG) technology at the same pace as the progress in computer performance is remarkable.

We have developed a new type of training support system using three-dimensional (3D) CG technology. It is the training support system for disassembling and assembling a motor-operated gate valve. The training support system proposed is based on a personal computer and can be used easily by anyone. The system configuration is outlined herein.

**Keywords** three-dimensional computer graphics, virtual reality, personal computer, motor-operated gate valve, training support system

## 1. はじめに

仮想現実感 (Virtual Reality : 以下 VR と略す) 技術は、近年目覚ましい発展を遂げつつあり、要素技術や関連する技術の開発研究とともに、様々な分野でその応用についての研究が行われている<sup>(1)(2)</sup>。現在、日本を含めた世界的な VR の要素技術研究では、人間の視覚に臨場感を提示する表示装置 (ディスプレイ) や力覚を始めとする種々の感覚デバイス

の開発に力が注がれている。しかしながら、実用域に達しているものは数少ないのが実状である。

VR 技術に関連する技術の一つであるコンピュータグラフィックス (Computer Graphics : 以下 CG と略す) 技術については、コンピュータの能力の進展とともに非常に現実的で臨場感のある画像を作り出せるようになってきており、3次元 (以下 3D と略す) の画像が提示できるソフトウェアが市販されるようになってきた。

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所  
† (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所  
現 原子力発電技術機構

‡ (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所  
現 関西電力(株)本店 研究開発室  
§ (株)CRC総合研究所 関西支社

また、VR技術を応用したシステムについては、建築関係やゲームの分野では実用域のものが開発されており、原子力分野への応用についても、いくつかの研究事例が発表されるようになってきている<sup>(3)</sup><sup>(4)</sup>。それらの多くのものは、ワークステーションをプラットフォームとして動作させるシステムであり、かつ、特殊な専用の付属装置（例：ヘッドマウントディスプレイ、データグローブ等）を使用する必要があり、システムが高価格になること、および必然的に使用場所が限定されることから、多くの人が手軽に体験できるシステムではない。

当研究所においても、VR技術およびそれに関連する技術の原子力発電分野への応用研究に取り組んでいるが、多くの人々が時間や場所の制約を受けずに自由に体験でき、また、安価で容易に構築できるシステムを目指し、現在の主流であるワークステーションをプラットフォームとして動作させるものではなく、パーソナルコンピュータで動作でき、特殊な付属装置を必要としないシステムの構築について研究を行ってきた。

このほど（株）CRC総合研究所の協力を得て、VR技術そのものではなく、VR技術の開発研究とともに発達してきた3D・CG技術の原子力発電分野への応用の一例として、パーソナルコンピュータで動作する、電動仕切弁の分解・組立作業を対象とした教育訓練を支援するシステムを試作した。

## 2. 3D・CG技術を教育訓練に応用するねらい

3D・CG技術を教育訓練に応用するねらいは、従来のテキストベースでは得られない視覚からの知識取得等に3D・CG技術が有効であることを確認することである。

これは、3D・CG技術の特徴である、

何もない所に、多様な訓練設備を構築できる  
見えない所の可視化ができる

実際には行ってはいけないことが体験できることを活用し、教育訓練が有効に支援できることを確認することである。については学習者の支援ではなく、教育訓練を実施する側について、訓練設備設置に関する費用の低減（設備本体・設置場所の削

減）の可能性を確認するものであり、については学習者に対して、より理解を深めることができる環境の提示ができることを確認するものである。

現在、電力会社や関連工事事業が行っている教育訓練は、実機相当設備に触れて行う訓練（実機訓練）と机上教育訓練に大別できる。実機訓練、なかでも機械設備の分解・組立作業訓練においては、いわゆる力加減の習得も大切な要素であり、コンピュータを用いたシステムの場合でも、実機に触れる感覚を実感できるようにすることが求められる。コンピュータを用いたシステムでその感覚を体感するためには、VR技術の要素技術である力覚デバイスを組み合わせたシステムの構築が必要となる。しかしながら、1章で述べたように実用的な力覚デバイスは開発されていないのが実状であり、実機訓練を支援できるようなVR技術を応用したシステムの試作は、現時点では困難であると判断した。

机上教育訓練は、機器の構造、分解・組立の作業手順、不具合事例等について、テキストを主体に講義形式で行われている。講義では学習者の理解を深めるために、図面・写真等を引用しているが、どのように操作するのか、といった教育内容の具体的なイメージが欠けている。また、断面図を用いて説明が行われるため、実際の機器を前にしたときにとまどう可能性がある。3D・CG技術を用いて訓練設備を構築し、自由に動かしたり、見えない所の可視化ができれば、イメージを視覚で直感的に理解できるようにすることが可能であり、理解を深められることが期待できる。このことから、本教育訓練支援システムは、机上教育訓練を支援あるいは補完することをねらいとしている。

## 3. 教育訓練支援システム

### 3.1 教育訓練支援システムの設計思想

システムの試作費用を低減するため、ハードウェア・ソフトウェアとも市販品を活用することとした。また、専用のマシンや特殊な付属装置を必要とすることによって、システムの利用環境を限定することがないように、汎用のパーソナルコンピュータをプラットフォームとして動作するものを構築すること

とした。さらに、多くの人が自由に体験できることを目指し、インターネットを利用した活用が可能なシステムを構築することを設計思想とした。

### 3.2 教育訓練支援システムの開発環境・利用環境

システムの開発環境を以下に示す。

ハードウェア

- ・富士通 FM-V5200T4 (Windows95 搭載, CPU: Pentium200MHz, メモリ: 64MB)
- ・CRT-21inch
- ・HDD (2GB+2.1GB)

ソフトウェア

- ・Superscape VRT (Ver4.0): Superscape Inc.
- ・Delphi (Ver3.1): Borland International Inc.

また、開発したシステムの利用環境を以下に示す。

- ・CPU: Intel 166 MMX 以上(133MHzでも可)
- ・HDD: 100MB 以上
- ・OS: Windows95
- ・Browser: Microsoft/Internet EXPLORER (Ver4.x 以上)
- ・CRT: 画面解像度 1024 × 768 以上 (800 × 600 でも可)
- ・操作インターフェイス: マウス

### 3.3 教育訓練支援システムとして具備すべき機能

3D・CG技術を電動仕切弁の分解・組立作業の教育訓練支援システムに応用するに当たり、具備すべき機能として以下のことを考慮した。

(1) 機器の構造、部品の形状、材質等が直感的に把握できること

機器の構造および部品の形状について、多面的な理解を支援するために、学習者が解りやすい様々な視点で機器および部品の観察ができることや、隠れた部分の可視化ができるようにすることで、視覚的に直感で理解できる表示方法とすることとした。

また、部品の材質や不具合事例の情報にリンクできる機能を設けることで、学習者の知識習得が支援できることを目指した。

(2) 作業手順書に基づく弁の分解・組立作業が学習できること

実際に教育訓練および定期検査で実施している、電動仕切弁の分解・組立作業が行える機能を有することは必須条件である。この分解・組立の作業手順の意味・重要性が理解しやすいように、作業手順書と3D・CG技術を用いて構築した電動仕切弁を同一画面に表示し、両者がリンクして動く機能を有することとした。これは、従来のテキストベースの教育では、実際にどのように作業を進めていくのかという具体的なイメージが不足していたが、3D・CG技術を用いた場合には、実際に対象物を動かすことが可能であり、目で確かめながら作業を進めることにより、より理解を深められると考えたからである。

(3) 物理的に可能な作業であれば、任意の作業手順で作業を進めることができること

実機においては、当然のことながら作業手順を逸脱した行為はできないが、教育訓練支援システムでは、実際に行ってはいけないことも体験でき、それがもたらす結果についても再現することができるようにすることとし、学習者がある程度インタラクティブに学習できる環境を実現することを目指した。

(4) 不具合事例が学習できること

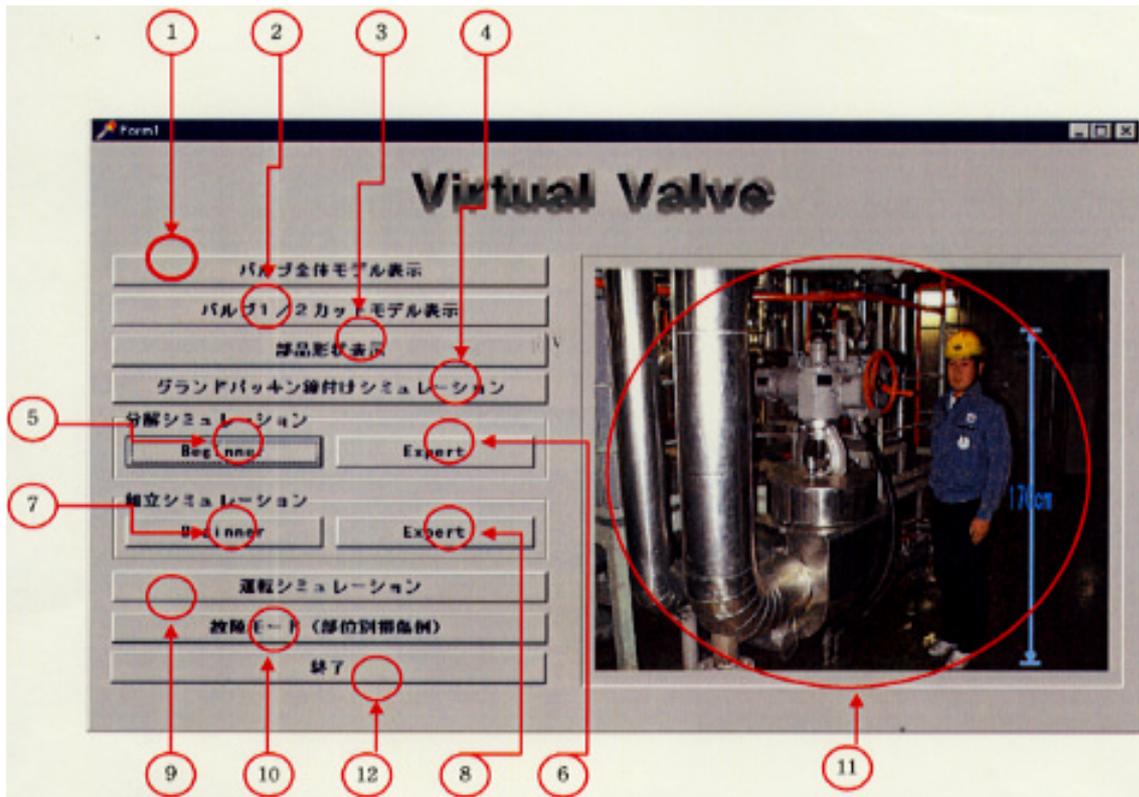
分解・組立作業における作業ミスに起因する不具合の発生をシミュレートし、体験的に学習したり、過去の事例が視覚情報(写真)により学習できる機能を設けることとした。

## 4. 教育訓練支援システムの概要

今回試作した教育訓練支援システムのメインメニュー画面を図1に示す。

本システムでは、メインメニューから分解シミュレーション、組立シミュレーション、グランドパッキング締付けシミュレーション、バルブ全体モデル表示、バルブ1/2カットモデル表示、部品形状表示、運転シミュレーションおよび故障モード(部位別損傷例)のいずれかの項目を選択することができる。なお、分解・組立シミュレーションでは、Beginner、Expertモードのいずれかを選択することができる。

分解・組立作業手順を学習する分解・組立シミュレーションの基本的な画面構成は図2に示すよう



- |  |  |
|--|--|
| 1 : バルブ全体のモデルを表示                             | 7 : 組立シミュレーション Beginner モード                  |
| 2 : バルブ1/2モデルを表示                             | 8 : 組立シミュレーション Expert モード (任意の作業手順を作ることが出来る) |
| 3 : バルブの部品を個別に表示                             | 9 : バルブ運転シミュレーション                            |
| 4 : グランドパッキングの締付けシミュレーション                    | 10 : バルブの故障例を表示                              |
| 5 : 分解シミュレーション Beginner モード                  | 11 : バルブ全体のモデルを表示                            |
| 6 : 分解シミュレーション Expert モード (任意の作業手順を作ることが出来る) | 12 : Virtual Valveの終了                        |

図1 メインメニュー

に、Internet EXPLORER ( Ver4.x以上 ) を Browser とし、画面左側には作業手順書の内容を、画面右側には Superscape 社で開発された VRT を用いて作成した電動仕切弁を表示している。また、画面のレイアウトは HTML ( Hyper Text Markup Language ) を用いて制御している。

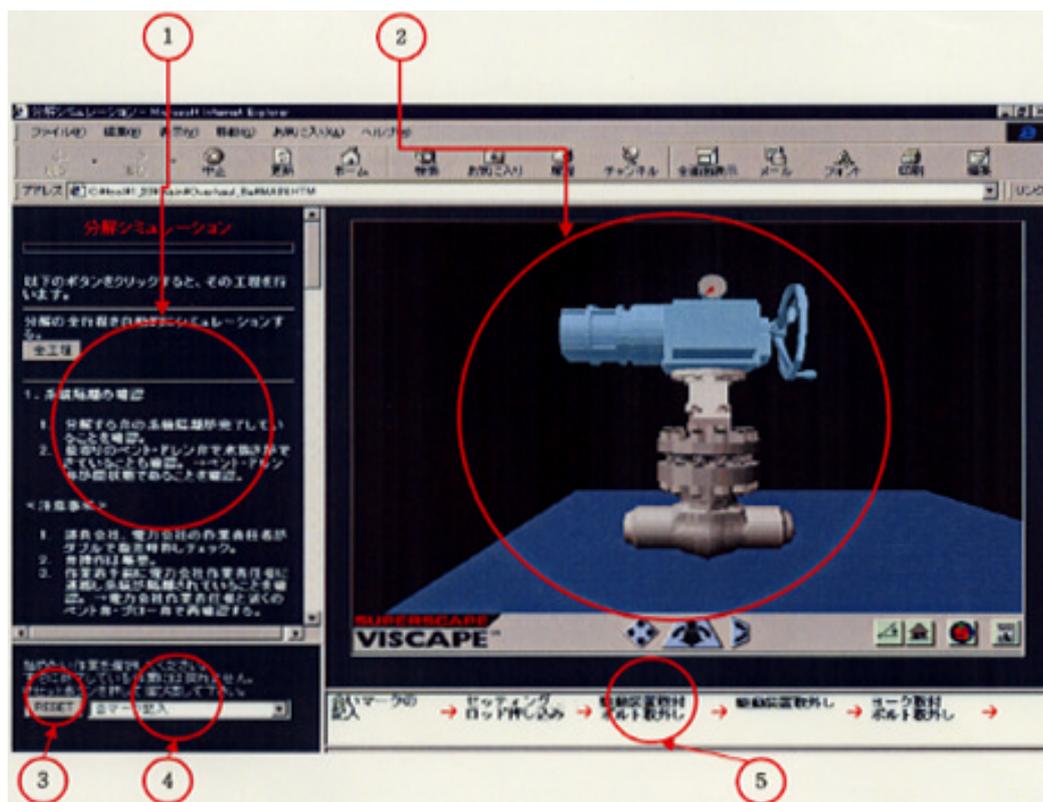
これにより、3.1 で述べたように専用のマシンを用いることなく、汎用品のパーソナルコンピュータで教育訓練支援システムの体験が可能であり、インターネットを利用しての活用を実現している。

次に、3.3 で述べた機能について以下に示す。

#### (1) 電動仕切弁構成部品の構築

電動仕切弁を構成する 16 種類の部品について全形モデルを構築した。これらの部品はマウスの操作により、内部を含めてあらゆる視点から可視可能であり、材質、不具合事例 ( 写真 ) の付加情報にリンクできる ( 弁箱の例を図 3 に示す )。

これらの部品を組み合わせて電動仕切弁の全体モデルを構築した。また、内部の構造が理解しやすいように 1/2 カットモデルを構築した。これらのモデルについても、マウスの操作によりあらゆる視点から見ることができ、直感的に構造を理解することが



- |   |  |
|---|--|
| <p>1 : 分解作業の手順を説明し、各ボタンを押すとその作業に対応した動きをVRTの中で実行</p> <p>2 : VRT画面</p> <p>3 : 終了した作業をリセットし、初めの状態に戻す</p> <p>4 : 始めたい作業を選択するとその作業までジャンプする</p> | <p>5 : 現在の作業の進行状況を表示<br/>         黒字 = 終了していない作業<br/>         点滅 = 実行中の作業<br/>         濃黄 = 終了した作業</p> |
|---|--|

図2 分解シミュレーション（Beginnerモード）

可能である。

(2) 作業手順書に基づく弁の分解・組立作業の構築  
 定められた作業手順に基づく弁の分解・組立作業は、分解・組立シミュレーションのBeginnerモードで行うことができる。Beginnerモードでは、次の3種類の方法で操作ができるようにしている。

一連の作業手順を自動で実行する：作業手順の流れを理解する。

各作業ステップを確認しながら実行する：実際の定期検査で行う作業手順を習得し、注意事項の意味等について理解を深める。

任意の作業ステップを実行する：作業現場でのTBM(Tool Box Meeting)で本システムを活

用し、当日行う作業の注意事項のみの再確認等に使用する。これにより、マンマンインターフェイスの改善に寄与できることが予想され、作業におけるヒューマンエラーの低減が期待できる。

～ のいずれの方法も、作業手順書側のボタンやプルダウンメニューをマウスでクリックすることにより、3D・CGの画面がリンクして動くようにしている。これにより、作業手順を確認しながら実際の動きも見る事ができるので、従来のテキストベースのみの教育に比べ理解を深められることが期待される。

なお、分解作業の実行状況を図4に示す。

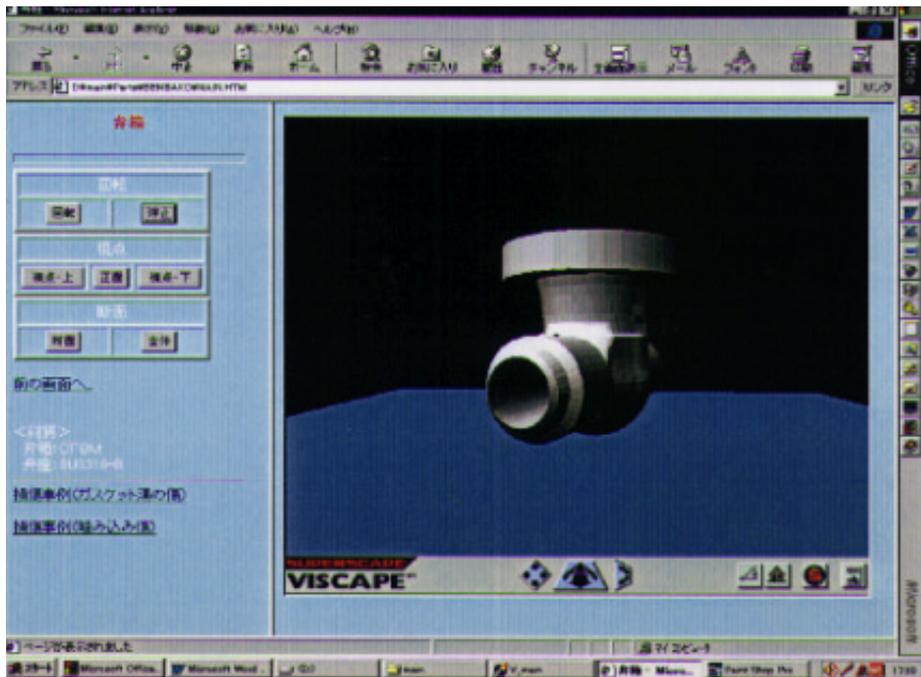


図3 部品形状表示（弁箱の例）

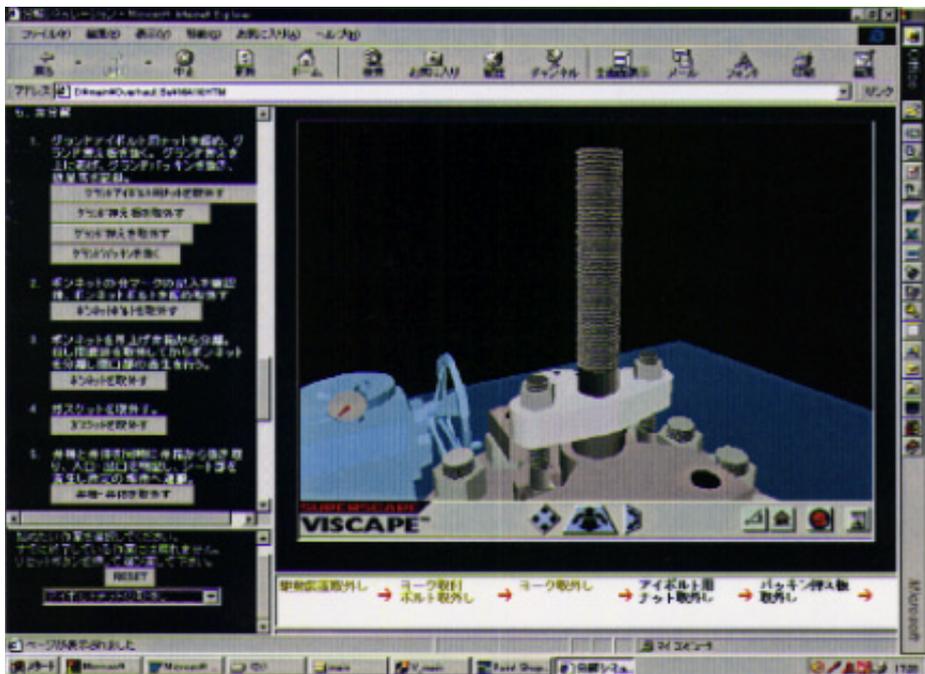


図4 分解作業の実行状況

### (3) 任意な作業手順に対応した弁の分解・組立に係る作業の構築

任意な作業手順での実施は、分解・組立シミュレーションのExpertモードで行うことができる。学習者は、まず自分で作業手順を作成し、その手順が物理的に実施可能であれば作業が実行できるようにしている。また、通常の作業手順の変更により発生する可能性のある支障について、注意事項という形で表示し、作業手順が定められた意味が理解できるようにしている。

### (4) 不具合事例の学習

この機能については、作業ミスに起因した不具合を体験学習できるものとして、グランドパッキング締付けシミュレーションを構築した。グランドパッキング締付け作業の不備に起因する、弁のグランド部からの漏えい事象について、そのメカニズムを体験的に学習できるようにしている。具体的には、グランドパッキングの種類・組み合わせ、締め付け力、増し締め時期を学習者が選択・決定し、その結果がどうなるかを表示することにより、一方的な知識の付与でなく、学習者が興味を持って知識を習得できるようにしている。

## 5. あとがき

3D・CG技術を応用した教育訓練支援システムを試作した。このシステムのねらいは、何もない所に訓練設備を構築できる、見えない所の可視化ができる、実際には行ってはいけないことが体験できること等の特徴を教育訓練支援に活用し、3D・CG技術の有効性を確認することである。また、現在の主流であるワークステーションで動作させるものではなく、パーソナルコンピュータをプラットフォームとして動作するシステムとしたことが特徴である。

システムの有効性に関する詳細な評価は行っていないが、関西電力(株)本店 原子力・火力本部および原子力保修訓練センターでプレゼンテーションを行った結果、パーソナルコンピュータを用いることによる限界もあるが、机上教育訓練を支援・補完す

るツールとして本システムは有効であるとの評価を得た。

今回作成したシステムはプロトタイプであり、今後、システムの評価、改善を行っていきたい。

今回のシステムでは、教育訓練対象設備として電動仕切弁を選定したが、より3D・CG技術の特徴を活かすためには、人間が通常入れない機器、例えば蒸気発生器2次側や原子炉容器内部の構造理解への活用が考えられる。また、教育訓練支援システムとしての有効性を更に高めるためには、3D・CG技術と感覚デバイスを組み合わせ、いわゆるVR技術を応用したシステムとし、実機訓練を体験できるものが望まれる。実機に触れる感覚を実感するためには、VR技術の要素技術である感覚デバイスの開発が待たれる。優れたものが開発されれば、本システムと組み合わせることにより、例えば高放射線環境下における機器の保修の訓練への活用が期待される。

## 6. 謝辞

本システムの構築に当たり、資料の提供、適切な助言をしていただいた、関西電力(株)高浜発電所および原子力保修訓練センターの方々に深く感謝いたします。また、実際の分解・組立手順を教示していただいた東亜バルブ(株)の皆様にも深く感謝いたします。

## 文献

- (1) 館暉 1992 人工現実感, 日刊工業新聞社
- (2) 廣瀬通孝 1993 バーチャル・リアリティ, 産業図書
- (3) 吉川榮和 他 1996 人工現実感(バーチャルリアリティ)の原子力工学への適用, 日本原子力学会誌 Vol.38, No.9, 737-745.
- (4) 吉川榮和 他 1997 仮想空間における機器保修訓練シミュレーション, 日本原子力学会誌 Vol.39, No.12, 1078-1089.