

VR技術を利用した遠隔監視・制御システムの設計

名井健 甘利治雄 岡田幹夫 広瀬通孝 石井威望
東京電力 東京大学 慶応義塾大学

近年、人工現実感技術(VR技術)が急速に発達しており、産業面への応用も報告されつつある。本研究では、電力機器の監視・制御システムの設計用インターフェースとして、VR技術を活用することを考えている。

本論では、まず電力における監視・制御機能を整理する。その上でVR技術を・遠隔地の監視情報の表示方式の検討、・操作員のヒューマンインタフェースの分析、・制御室のレイアウト支援へ適用する手法を紹介する。さらに、従来の設計手法と比較した時のVR技術の有効性を明らかにするとともに、今後解決すべきVR技術の課題を整理する。

Design of Remote Monitoring and Control System Aided by Virtual Reality Technology

Takeshi Myoi, Haruo Amari, Mikio Okada,
Tokyo Electric Power Company
Michitaka Hirose Takemochi Ishii
University of Tokyo Keio University

Recently, Virtual Reality Technology has progressed rapidly. It is now possible to apply VR to various industries. At the Tokyo Electric Power Company (TEPCO), we have applied VR technology as a design interface for an electric power control room.

In this paper, we describe the normal operation of a TEPCO electric power control room and how VR was applied to support control panel design, analysis of human factors, and improvement of control room layout. The effectiveness of VR technology as a design interface is discussed as well as current limitations of VR technology which should be addressed in the future.

1. はじめに

近年、仮想現実感（以下、VRと称す）技術は急速に進歩している。3次元CGと実画像の組合せにより、現実感を持った仮想的な世界を構築し、3次元インターフェースにより、仮想世界の物体を自在に扱うことが可能となる。特に、ここ数年のグラフィックワークステーション（以下、GWSと称す）技術、入力インターフェース技術の発達には目ざましいものがあり、VR技術の産業界への適用も可能となってきている。[1]

本研究では、遠隔監視・制御システムの設計へVR技術を適用する手法を検討する。具体的に対象とするシステムは総合自動化システム[2]である。これは、複数（10から20程度）の無人の変電所を遠隔監視・制御するシステムである。遠隔監視・制御システムを設計する際は、通常の建築物を設計する時に比べて、オペレータのヒューマンファクタの分析、遠隔地の変電所の状況の表示方法の検討等、設計検討要素が多くなる。この分、VR技術を適用する効果が大きくなると考えられる。

本論では、実際の監視・制御システムの設計へ、VR技術を適用することを検討し、設計用インターフェースとしてのVR技術の有効性を考察する。さらに、今後必要とされるVR要素技術を実用面から明かにする。

2. VRシステムの構成[3]

図1には、本研究で活用しているVRシステムの概観を示した。ディスプレイ部にCGで表示されているのが、総合自動化システムの制御室である。また、操作者が右手に付けているのがデータグローブ、頭部に付けているのが液晶シャッターメガネである。

図2には、VRシステムのハードウェア構成と諸性能を示した。

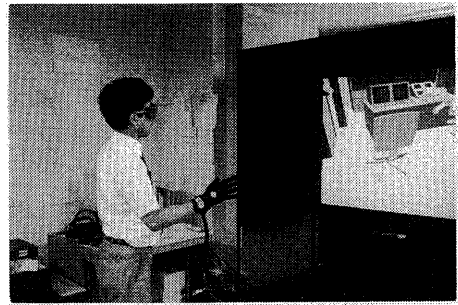
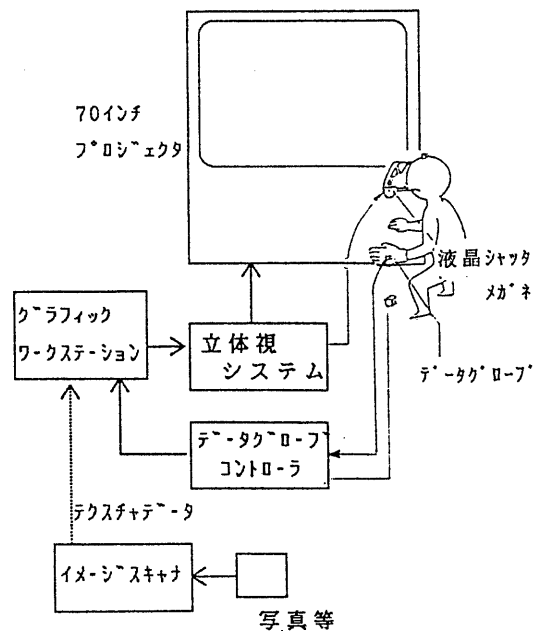


図1. VRシステム概観



GWS機種	IRIS-4D 210VGX
ポリゴン数	1,200 (単眼視時)
描画速度	8.0Hz (テキスト無:単眼視) 2.5Hz (テキスト有:単眼視)

図2. VRシステムの構成と諸性能

本システムは、グラフィックワークステーション（IRIS-4D：以下GWSと称する。）、大型プロジェクト（70インチ：立体視対応）、データグローブシステム（以下、DGと称する。）、立体視システムより構成される。

GWSは、本システムの中心であり、遠隔・監視システムを仮想的に構築するCGとテキストチャマッピングをコントロールしている。

立体視システムは、GWS上の上下2段に描かれた左眼用、右眼用CGを、倍周期でスキャンし、プロジェクトに映写する。これを、液晶シャッターメガネで左右の同期をとって見ることによって、立体視が可能となる。

大型プロジェクトの周りは、フードによって覆うようにしている。これにより、全視野を覆う立体映像が得られる。

プロジェクトには、スピーカが内蔵されており、映像と音響効果により、臨場感の向上を図ることができる。

本システムでは、テキストチャマッピングを利用し、映像に現実感を与えている。実画像（写真）をスキャナにより読み込み、そのデータをGWSに転送し、指定のポリゴンに描画することにより、テキストチャマッピングがなされる。

表示装置として、頭部搭載型ディスプレイ（以下、HMDと称する。）が利用される場合も多い。HMDを利用した場合、視野が完全に覆われ、物を見回す臨場感は高くなる。しかし、本論で対象とする。監視・制御システムの場合、多人数による設計作業が必要となるため、固定型の大型ディスプレイを採用した。

CGで表現された物体は、DGによって操作される。また、仮想空間内の移動（ウォークスルー）も、DGの形状の変化によってなされる。このため、ほとんどの作業をプロジェクトの前で行うことが可能となる。

3. 電力機器制御室の機能

監視・制御システムの設計用インターフェースとしてのVR技術の有効性・課題を具体的に

検討する前に、総合自動化システムの制御室の機能を以下に整理する。

【監視機能】

遠隔地の変電所（1制御所で10～20の変電所を監視）から伝送されてくる遮断器、断路器などの開閉状態、保護リレーの動作状況、受送電電力量などの情報を常時監視し、総合監視盤（図1正面）、CRTに表示する。また、遠隔地の現地映像を直接監視するためのモニタも必要に応じて設置されている。

緊急性の高い情報が伝送された場合は、表示に加え、警報音によって制御室の操作員に伝達する。

【制御（操作・調整）機能】

変電所機器の操作と調整は、操作用のCRT上に記号表示された対象機器を選択し、コントロールスイッチで「入」「切」操作を行う。操作情報は変電所へ伝送され、実機器が動作する。

【記録・統計機能】

操作・計測および事故情報を自動的に記録する。

【情報伝送機能】

制御室で収集した変電所の情報を関連箇所へ伝送する。

上記の監視・制御機能を考慮し、さらに2章で示したVRシステムの特長を活かし、

- ◆遠隔地情報の表示方式検討
- ◆ヒューマンファクタの分析
- ◆制御室のレイアウト支援
- ◆テレイグジスタンスの検討

へVR技術を適用する。これらは、監視・制御システムを設計する際の中核事項である。

それぞれの内容とVRを利用した設計方法について、次章以降に紹介する。

4. 遠隔地情報の表示方式の検討

総合自動化システムの制御室には、数台のCRTと総合監視盤が設置されている。一部のCRTには、遠隔地の現地映像を表示し、詳細な監視を可能としている。さらに、総合監視盤を大型プロジェクトにすることも検討されており、将来に向けて表示方式の柔軟性と機能の向上が期待できる。

本章では、VR技術を利用し、遠隔地の情報の表示方式の検討を行う。

図3には、表示方式検討の一例を示した。

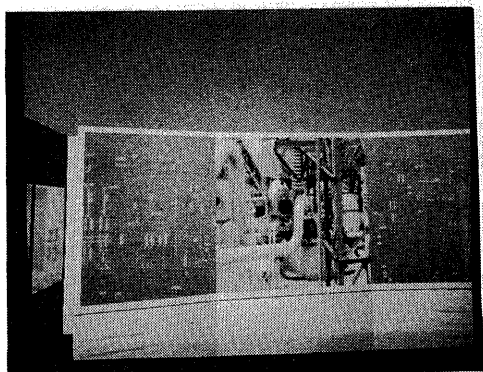


図3. 表示方式検討の一例

総監視盤中央に（遠隔地の）変電機器が表示されている。これはスキャナで読み込んだ変電機器の静止画を、指定箇所テキストマッピングしたものである。テキストマッピングに関しては、以下の機能がある。

◆テキストのON・OFF

指定箇所にテキストマッピングを行う場合、マッピングを行うCGを画面中央へもって行き（ワークスルーを利用する。詳細は後述）、DGによって（指定形状は任意に設定できる。）テキストをONにする。さらに同じ動作により、ON・OFFを繰り返すことができる。

◆テキストの切り替え

予め、数枚のテキストを用意し、上記のテ

クスチャONの時に、DGにより切り替え操作を行う。これにより、希望するテキストを自在に選択することが可能となる。

◆テキストの移動

CGにマッピングさせたテキストを移動させることができる。図3の例では、中央に表示されている変圧器を、ズームアップさせたり、左右に移動させることができる。移動は、DGの形状を変化させることによって行われる。形状は、後述するワークスルーとほぼ一対一に対応させている。

◆テキストとCGとの融合

スキャナで読み込んだテキストへの色付け等、テキストに対して電子的に描画することが可能である。テキスト描画は市販のソフトを利用している。

◆テキストの立体視処理

2章で立体視処理手法を紹介したが、同様の方法でテキストを立体視することができる。ただし、予め変電機器等を立体視撮影し、左眼用写真と右眼用写真を用意する必要がある。立体視撮影は、人間の両眼の間隔（約6CM）だけカメラをずらして同一物体を撮影するものである。

上述した機能を活用した場合、従来の設計手法にはないメリットがある。具体的には

◆変電機器の表示を制御室の雰囲気を保ったまま模擬できる。

◆CGとテキストマッピングにより、制御室を（仮想的に）作成しているため、表示状況を容易に変更できる。総合監視盤等を実際を利用して表示方式を検討する場合と比較して、場所も費用も節減できる。

◆実画像も立体視表示が可能であり、将来の変電機器の立体視監視（充電箇所までの距離を

把握する場合に、立体視は有効となる。)を
具体的イメージを伴って評価・分析できる。

- ◆実画像とCGの融合を利用し、例えば充電部
を赤く表示することが可能となり、将来へ向
けての、高度な監視方式の検討を行うことが
できる。
- ◆DGを利用しているため、テクスチャの操作
は、プロジェクタの前で自然な動作感覚で行
うことができる。

以上は、従来の紙上の設計やモックアップを
利用した設計では、実施することが不可能もし
くは非常に困難なものである。

5. ヒューマンファクタの分析

制御室の機能の高度化に伴い、操作員のヒ
ューマンファクタを重視する傾向にある。ヒ
ューマンファクタの分析要素として
・室内の配色、
・監視制御用機器（総合監視盤等）と什器の配
色、
・警報音、
・室内照明、
が挙げられる。

図1、図3に示されている制御室および機器、
什器の配色は、GWSのメニュー選択方式で設
定することができる。

室内照明も、メニュー選択方式により自由
に設定することが可能である。具体的には、点
光源、平行光源の設定、光源の数と位置を任意
に設定する。

警報は、変電所の状態変化を操作員に确实
に認識させる重要な要素である。警報音は、図
2のシステムのプロジェクトの内蔵スピーカ
から疑似的に発生させる。変電所の状態によ
って警報音にはいくつかの種類があるが、そ
れらはセンササイズによって作成する。警報
音の代わりに通常の音声を活用した場合の評
価も行うことができる。

VR技術を活用すれば、従来の設計方法
では評価しづらい各種のヒューマンファク
タ要素を、迅速かつ容易に実施することが
できる。

なお現在、ヒューマンファクタ要素の設
定は

マウスを中心に行っているが、DGを利用
した操作にする予定である。

6. 制御室のレイアウト

制御室のレイアウトは、良好な監視・操
作環境を構築する上での基本要素である。
CRTや各種什器の配置をVR技術により、
現実感を伴って実施する。

CG表現された各種機器の移動はDG
によって行う。図4にはその一例を示した。

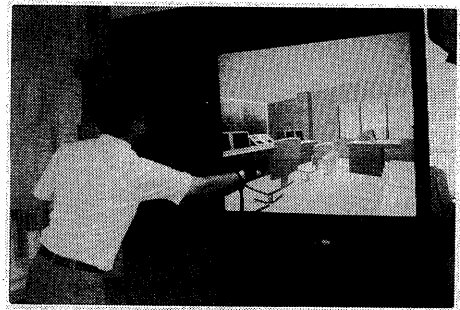


図4. データグローブによるCGの移動

画面中央に手の形状が現われているのが、
仮想制御室内におけるレイアウト用ハンド
カーソルである。ハンドカーソルはDGの
位置と形状にそのまま対応して動作する。

ハンドカーソルが目的とする機器（図
4では椅子）に接触した場合、「ピープ」音
を発生させ、DGの操作者に認知させる。
この時、DGを握った状態にすると対象
機器を移動させることができる。目的位
置に移動させ、DGを開いた状態とす
ると、機器は固定される。

移動後、それが適切であるかの判断、
あるいは制御室全体の構成の確認のため
にウォークスルーをする必要がある。ウォ
ークスルーにもDGを活用する。前進、
後退、回転、上下移動、停止、加減速
は手の形状の変化で指示をする。図5に
はウォークスルーの指示種別と手の形状
との関係を示した。



図5. 指示種別と手の形状

指示種別と手の形状はファイル化されており、その関係はファイルを書き換えることにより変更可能である。具体的には、DGの10関節分の「曲げ」「伸ばし」を指示種別ごとに登録している。DGの機能として、各関節の曲げ角を1/256の精度で獲得できるが、実際の使用上は「曲げ」「伸ばし」のみを判定している。

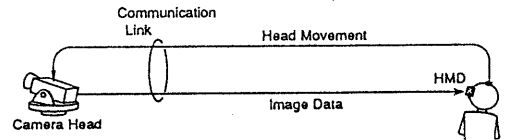
従来から、CADを利用した環境評価は盛んに行われており、確実な成果を挙げている。本論のVR技術を利用した設計手法では、これに加えて、インタラクティブな操作を行うため、人間の自然な動作感覚を活かしたレイアウト評価が可能となる。

7. テレイグジスタンス

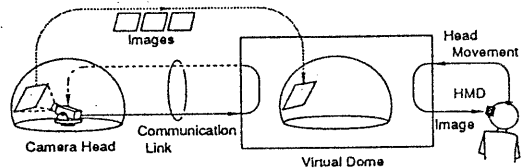
将来、制御室から遠隔地の変電所を現実感を伴って巡視するといった、テレイグジスタンス技術の応用も話題となっているが、図2に示すシステムでは、テレイグジスタンス機能を模擬するには至っていない(5章では遠隔監視の模擬を行っているが、「変電所内を自由に移動し、5感を活かして状態を確認する」といった巡視作業は模擬出来ない)。そこで本章では、遠隔

巡視を想定し、テレイグジスタンス技術実現の可能性について考察する。

遠隔巡視で考えられるのは、遠隔保守ロボットの活用である。しかし、複雑に入り組んだ変電所内を自在に移動できるロボットの開発には時間を要する。そこで、比較的実現が容易なVirtual Domeの適用を考える。図6にはVirtual Domeの概念図を示した。



(1). 通常の方式：通信のオーバーヘッドが影響する。



(2). Virtual Dome方式：一度バッファを介すため通信オーバーヘッドの影響がない。

図6. Virtual Dome 概念図

Virtual Dome では、遠隔地のカメラをターンさせ、画像データを一度バッファに入力する。それにより操作員は、見たい方向の画像を自由に観察することができる。ドームの代わりにCRTあるいは総合監視盤を利用し、画像の移動機能を充実させれば、ドームに近い機能を獲られる。

Virtual Dome はリアルタイム性に欠ける問題点がある。ただし、通常の巡視を考えた場合、数秒の遅延があっても影響はほとんどない。緊急性を要する監視の場合は、カメラのターンを注目箇所まで停止し、リアルタイムの画像を観測

するように切り替えればよい。

今後、監視・制御システムには、トレイグジスタンス技術が適用されると考えられる。上記の方式を利用すれば、トレイグジスタンス技術の適用の効果を的確に評価できると考えられる。

8. 今後の課題

前章までに、設計用インターフェースとしてのVR技術の活用手法と有効性を紹介した。本章では、VR技術の今後の課題を ・応用技術としての課題 と ・要素技術としての課題 に分けて整理する。

【応用技術としての課題】

- ◆ 図1, 図3, 図4に示されている制御室は、その全体構造が現実感をもって表現されている。しかしながら、監視・制御機能の本質である制御卓(図1においてCRTの設置されている机)は詳細には表現されていない。今後、制御卓の詳細化と操作機能の充実(制御鈕を押すと画面が切り替わる等)を図り、操作性能の評価のための環境整備を行う。
- ◆ 6章では、ヒューマンファクタ評価への応用について紹介したが、現在の機能では、配色、照明、警報音等の良否をラフに判断できる程度である。特に、VR環境として、DGや液晶シャックメガネを利用するため、詳細な分析(・ある操作を長時間行った時、・画面を見続けた時の疲労度等)を行うことが困難である。
 今後は、ヒューマンファクタの評価項目の限界を明確にするとともに、VR用インターフェースの向上のための調査と研究を行う。
- ◆ 制御室全体の構造はかなり詳細に模擬されているが、操作員を表現していないため、臨場感に欠けている(制御室の実際の音を再現すると、操作員がいない点に違和感を感じる)。今後、操作員を模擬的に配置するなどして、制御室の臨場感をさらに向上させる。

【要素技術としての課題】

- ◆ CGの移動にDGを利用しているが、CGを掴んだ判断はビープ音の発生のみで行っており、物との接触に対する現実感の実現されていない。今後は、接触感、力覚のフィードバック技術の採用も考慮し、DGを利用するメリットを向上させる必要がある。
- ◆ 5章で記した遠隔地情報の表示の模擬では、実画像として静止画を利用した。
 今後は動画を利用し、さらにその部分にCGを付加する技術を活用し、監視機能設計支援の強化を図る。

9. まとめ

今後、総合自動化システム等の自動化システムは、機能と規模の双方が拡大すると予想される。監視・制御機能を維持・発展させるには、それに伴った ・監視方式、 ・操作性、 ・各種ヒューマンファクタ要素 の向上が必要がある。近年の映像技術、インターフェース技術、通信技術は、これらの要求に対応する潜在能力を持っている。しかしながら、これら基盤技術の向上は、逆に監視・制御システムの設計の際の選択支を増やし、その中から最適の物を選びシステムを構築することを困難としている。特に、電子メディア(総合監視盤のプロジェクトの活用等)の発展は、監視・制御機能の大幅な向上をもたらす可能性があるものの、紙上設計もしくはモックアップの利用だけでは、その効果を判断することが困難である。

本論で紹介したVR技術を利用すれば、電子メディア等の各種新技術を活用した場合の監視・制御システムの設計を的確に行うことができる。しかも、仮想的に構築した制御室内においてその機能を実現でき、個々の技術の評価だけではなく、システム内に組み込んだ時の総合的な効果を現実感をもって評価することができる。本論では、VR技術の有効性を紹介することに力点を置いたが、9章に示したように課題も多い。今後はそれらの課題を解決しつつ、設計

用インターフェースとしてのVR技術の有効性を明確にして行く予定である。

[参考文献]

- [1].今村, 野村, 大畑:” 仮想空間意志決定支援システムVDSSとそのショールームへの応用” ヒューマンインターフェースシンポジウム 1991 No.1122
- [2].名井, 甘利, 広瀬他:” 視覚表現を活用した大規模制御システムの一設計法” 電気学会論文誌C 平成3年5月号
- [3].名井, 甘利他:” 人工現実感技術を利用した電力機器制御室の設計支援” 情報処理学会 平成3年後期全国大会 2C-4
- [4].広瀬, 横山他:” A Study on Synthetic Visual Sensation through Artificial Reality” ヒューマンインターフェースシンポジウム 1991 No.2421
- [5].広田, 広瀬他:” 仮想空間操作における触覚の役割に関する研究” 機械学会 第68期通常総会論文集 No.910-17 Vol.C