

# 電中研 NEWS の研

電中研ニュース

No.473  
2013 Jan



電力施設建設・保全

## バーチャルリアリティ 訓練システムの開発と その有効性の検証



光トポグラフィ装置を用いたVR訓練中の脳神経活動の計測

電気事業の水力土木分野では、設備の高経年化により巡視・点検業務の重要性が増していますが、熟練技術者の減少により、現場での教育訓練の機会が減少することが予想されます。そこで電力中央研究所では、パソコン(PC)で再現した3次元空間内で、さまざまな体験・訓練ができるバーチャルリアリティ(VR)訓練システムに着目して、現場作業の技術継承や安全管理に役立つVR訓練システムを開発しました。また、医学分野の脳機能研究や臨床診断で活用されている光トポグラフィ装置を用いて、VR訓練中の被験者の脳神経活動を計測することにより、VR訓練システムの有効性を検証しました。

# 1

## 実用的なVR訓練システムを開発

### 技術継承と安全管理にかかわる開発事例

当所ではこれまで、現場作業の技術継承用、および安全管理用のVR訓練システムを開発しました。

技術継承の事例では、水力土木現場の業務用として、ダムと関連設備の巡視・点検を行う訓練システムを開発しました。そのシステムでは、巡視・点検のノウハウや点検動作をアニメーションで学習できるとともに(図-1)、作業現場の様子、機器の動作音や振動、劣化した構造物表面の凹凸(図-2)などを体験することができます。

安全管理の事例では、変電所構内の工事におけるヒヤリ・ハット体験や危険箇所の可視化体験(図-3、4)が可能な訓練システム、放射線計測などの放射性物質輸送容器の荷役業務を対象とする訓練システム(3章)などを開発しました。

電力会社の現場では、これらのVR訓練システムが多数導入され、若手社員の訓練に活用されています。



図-1 ダムなど水力土木施設の巡視点検画面

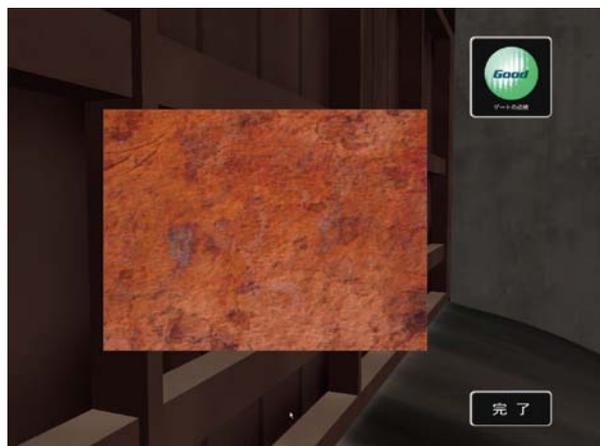


図-2 劣化した構造物表面の凹凸の体験画面

### VR訓練システムの特徴

当所が開発したVR訓練システムの主な特徴は以下の通りです。

- ①現場の設備、作業、周辺環境の写真や動画を撮影し、実装したことにより、一層リアリティのある作業訓練が可能である。
- ②訓練シナリオや写真などの素材を複数用意し、ランダム機能を利用して異なる訓練を再現することにより、慣れや予測を防ぐことが可能である。
- ③現実には起こったヒヤリ・ハット事例や現実には見ることができない危険領域を、VR空間内で体験できる。
- ④熟練社員にインタビュー取材し、抽出したノウハウを実装したことにより、技術継承に活用することができる。
- ⑤訓練結果や所要時間の記録を行い、終了後にそれらを確認することができる。

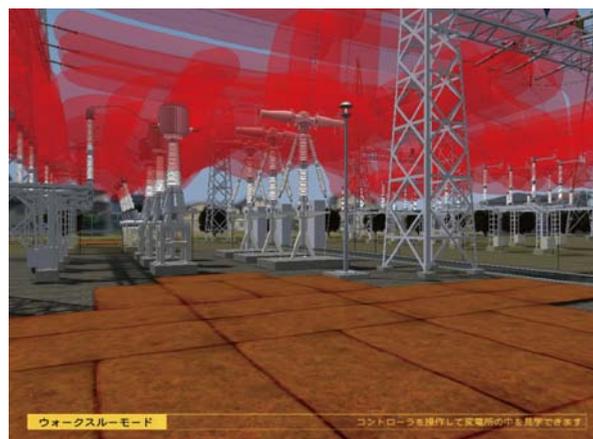


図-3 175kV接近限界距離(赤い空間)の体験画面



図-4 感電事故の体験画面

# 2

## 現場への適用

### 電力会社における適用事例

水力土木分野では、想定を超えた集中豪雨に伴う急激な出水に対応するダム管理業務の重要性が増しています。当所ではこれまでの知見をもとに、北陸電力株式会社・神三ダム管理所を対象とする出水時対応用VR訓練システムの設計と開発に協力しました。

訓練システム(図-5)は、入念な現地調査と電力会社担当者との検討を重ねた上で、関係法令と社内業務フローをもとに「気象情報発令から初期放流操作まで」を対象とする訓練シナリオを構築しました。精密なコンピュータグラフィックス(CG)により管理所内部のVR空間を構築したこと、電話や警報音を実装したこと、液晶モニタのタッチパネル上でさまざまな機器を操作可能としたこと(写真-1)など実環境に近づけているほか、各ステップの操作に時間制限を設けたこと、機器のボタン配置をランダムに変更するなどの工夫を行ったことにより、訓練者により強い緊張感を与えるような過酷なシナリオの体験も可能となりました。



図-5 出水時対応VR訓練システムのCG

表示用モニタ(左側) タッチパネル操作兼用モニタ(右側)



写真-1 訓練システム機器の概観

管理所のVR空間が左右のモニタに表示され、訓練者はゲームパッドを使って移動(ウォークスルー)を行います。機器操作の時には、右側モニタのタッチパネル操作により、通報先の選定など必要な連絡先・条件などを選びます。

# 3

## 有効性の検証実験

### 使用した訓練システムと脳神経活動の計測

VR訓練システムの有効性を検証するため、使用済燃料輸送容器表面の放射線計測訓練システム(図-6)を用いた実験を行い、被験者の脳神経活動を計測しました。

既往の脳機能研究によれば、前頭前野はおもに思考・判断・短期記憶を司る領域とされています。このため当所では、計測作業のような高度な思考・判断をとまなう作業を行う際には、(1)VR訓練システムであっても、前頭前野で脳神経活動が活発になること、(2)計測作業を繰り返し実施すると作業への習熟が起こること、を検証することにしました。

実験方法はつぎの通りです。放射線計測器を輸送容器の計測ポイント(例えば図-6(1)のポイント⑦)に近づけると、メーター画面が表示されます。ここでは、1章で述べた機能③(慣れや予測を防ぐ)の実例として、計測ポイントごとに、あらかじめ準備された3種類の画面(図-6(2))のうちの1画面(図-6(3))がランダムに表示されます。表示が0の場合や、針が振り切れている場合は、画面右端のレンジ切り替えダイヤルを操作して針を適正な位置に動かしたうえで、読み取ることが求められます(図-6(4))。

VR訓練中の脳神経活動を捉えるため、光トポグラフィ(NIRS)装置(図-7)を使用しました。この装置は、近赤外レーザー光を頭皮表面から約20mmに位置する大脳皮質を含む領域に照射し、拡散・伝搬して表皮に戻った光を検出するものです。これにより、脳神経活動に伴う毛細血管内の酸化ヘモグロビン濃度の変化を計測しました。

(1)輸送容器の計測ポイント (2)初期設定画面

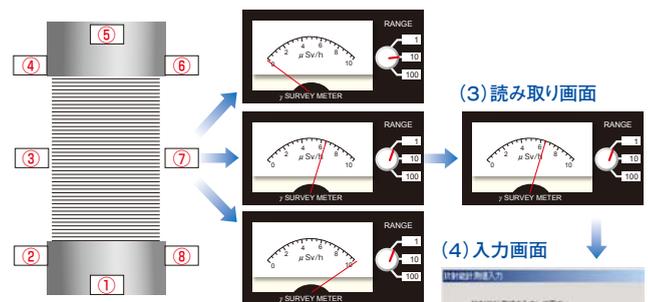


図-6 使用済燃料輸送容器表面の放射線計測訓練システム



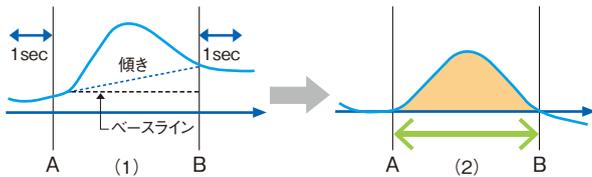
図-7 光トポグラフィ装置の計測部位

# 4

## 検証結果と今後の展望

### 脳神経活動の評価指標の提案

図-6の計測作業を行うと、計測器のレンジ切替などの作業(イベント)ごとに、図-8(1)のような脳神経活動に伴うNIRS信号が得られます。ピークの傾きとベースラインを補正し(図-8(2))、A-B間の区間平均を求めました。そして、各イベントの区間平均を合計した値を「ER(Event Related)指標」として提案しました。ER指標が大きいほど、脳神経活動が活発であることを意味します。もうひとつの指標としてA-B間の計測時間を求め、ER指標と計測時間の変化を同時に評価することにより、被験者の習熟度を評価しました。



縦軸：酸化ヘモグロビン濃度変化[m(mol/l)・mm]  
横軸：時間[sec] A:計測開始 B:計測終了

図-8 NIRS信号の整形

### 習熟度の評価

図-6(1)に示した1周8点の計測を連続6周行う課題を1回の実験とし、被験者6人で数日の間隔をあけて10回実験したところ、計測時間は実験2回目で統計的に有意に減少しました(図-9(1))。計測時間の大小は作業への習熟度合いの目安になるため、被験者は初期の習熟段階に達したと判断しました。一方、ER指標についても、実験2回目ないし3回目で有意に減少しました(図-9(2))。ER指標が変化したことから、VR訓練システムであっても、前頭前野で脳神経活動が活発になることが明らかになり、VR訓練システムの有効性が実証されました。また、ER指標も有意に減少したことから、被験者が初期の習熟段階に達したことが裏付けられました。

これに対して中期的な習熟段階である実験3回目以降では、計測時間はほぼ収束したのに対して、ER指標は増減を繰り返すことが新たな知見として得られました。

これらの事実は、計測作業に習熟しても前頭前野の脳神経活動は変化し続けており、思考・判断のプロセスをさらに効率的に行おうとしていることなどが想像されます。

最近では、前頭前野の計測に特化した携帯型NIRS装置も開発されていることから、脳神経活動の計測は、今回報告したようなVR訓練時の習熟の評価に加えて、現場業務を遂行中の集中のモニターとしても役立つことが期待されています。

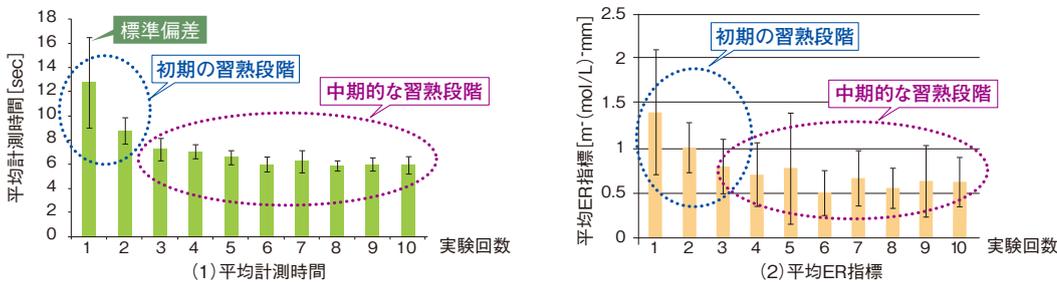


図-9 習熟にともなう計測時間とER指標の変化

## ひとこと

地球工学研究所 構造工学領域 上席研究員 渡部 直人

情報通信関連技術の急速な進展により、タブレットPCやスマートフォンなど携帯情報端末に、文字やCG画像などの支援情報を表示することが可能となっています。こうした状況を踏まえると、今回ご紹介したVR訓練システムがベースとなって、水力土木をはじめとする電力会社の様々な現場において、熟練技術者の巡視点検ノウハウの文字情報や映像を表示すること、過去の点検時の写真を表示すること、さらには危険箇所の警告を行うことや事故事例を参照することなども可能となります。VR訓練システムが室内に留まらず、広く現場も含めた技術継承と安全教育のツールとして活用されていくことを期待しています。



| 関連する研究報告書 |

N11029「バーチャルリアリティ技術による可視化訓練システムの開発(その3)  
—訓練時の習熟に関する検討—

報告書は当所ホームページよりダウンロードできます