

# 地震・津波に対応した非定常時・緊急時のための教育・訓練システム

## バーチャルリアリティ技術を活用した安全教育

鈴木和彦・宗澤良臣

産業コンビナートにおける地震・津波による影響を最小限にとどめるためには、設備に対する対策を講ずるとともに、非定常な状況における運転員・作業員の対応操作、対応作業の教育・訓練を実施することが重要である。しかし、非定常な状況を実機やモックアップで再現することは危険を伴うために、実施できない。そこで、本稿では、仮想現実感技術を用いて、コンピュータ内の仮想的なプラントで非定常な状況をつくりだし、教育・訓練を実施する教育用バーチャルリアリティシステムを提案し、概説する。そして、硫化水素の事故事例を基に作成された教育用バーチャルリアリティシステムを説明する。

キーワード：安全教育，教育・訓練システム，地震・津波，防災，バーチャルリアリティ

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災における地震・津波を起因とした福島第一原子力発電所の事故はまだ記憶に新しい。この事故を受けて、原子力発電設備の安全性の問題と同時に放射性物質の人体・環境への影響が深刻な問題となっている。また、除染作業後、さらには廃炉措置後に排出される膨大な量の放射性廃棄物の処理については、今後計り知れない「負の遺産」を後世に残すこととなった。また、日本各地に点在する産業コンビナートは、エネルギー、鉄鋼、石油化学製品、自動車等の日本有数の生産拠点であり、万一、大規模な自然災害により生産機能の低下、喪失が起これば住民及び国内企業への甚大な影響が危惧される。このことから、産業コンビナートが災害により異常事態に陥った場合でも、災害による影響を最小限にとどめ、生産拠点として産業生命を維持するための具体的な対応技術を確認し、対応方策を策定する必要がある。

原子力発電所、石油化学プラントなど大規模かつ危険物質を扱う設備における対応技術としては、地震・津波のような自然災害の際に、まず安全に停止することが要求される。しかし、福島の原子力発電所での事故から明らかなように、安全に停止しても、その後の運転員・作業員の対応の誤りにより甚大な被害をもたらす恐れがある。このような非定常・緊急時の対応については、常日頃から教育・訓練を実施しておくことが必要である。本稿では、バーチャルリアリティ（仮

想現実感）技術による、非定常時・緊急時のための教育・訓練システムを提案し、概説する。

### 2. 自然災害とコンビナート防災

産業コンビナートは石油、鉄鋼、化学、機械等の異業種生産拠点が高集積する産業専用の臨海工業地帯であり、我が国の産業拠点を形成している。「産業防災」は「都市防災」と並び、臨海工業地帯の連なる日本における緊急課題であり、今後多くの課題を解決していく必要がある。すなわち、津波による浸水、液状化被害、及び地震によるプラント被害に対して対策を講ずる必要がある。沿岸部のコンビナート区域の最大津波高は、コンビナートを配置する地域で異なるが、津波の高さ、浸水の深さを考慮し、各事業所の業態や立地に合わせ、防潮堤の建設や施設電源の水没防止の措置を講ずる必要がある。電気系統についても、東日本大震災で福島第一原発が電源を喪失し大事故に至った例もあり、対策を強化することが必要である。また、地震が起これば、その揺れに応じて液状化現象が懸念される。東日本大震災の際にも、コンビナート事業所内で液状化現象が確認されている。液状化対策としては、危険物質を貯蔵する屋外タンクの地盤改良など地盤の液状化対策、ガスや石油などの配管に柔軟性を持たせ、軟弱になった地盤の影響による配管破損を防ぐ対策、避難や消火活動に支障をきたさないように迂回路の確保や道路に敷く鉄板の備蓄を徹底するなどの対策が必要であろう。揺れに対しては、タンク・配管の浮上、

移動、地盤・基礎の洗掘（タンク底板の破断）などが懸念される。それらに加えて、配管補強、架構・ラック・配管サポート強化、毒性ガス・危険物質漏洩対策が必要であろう。また、産業コンビナートには石油などを貯蔵する大規模タンクが数多くあり、長周期地震動によるスロッシングによる浮き屋根のポンツーン破損、デッキ上への溢流被害等の対策を講ずる必要がある。

一方、設備、地盤等に対する対策以外に地震災害時における行動基準の見直し、対策本部の設置、連絡・通信手段の確保、非常時の人員確保など管理面での対応も必要となる。特に地震などの自然災害時には平常時とは全く異なる状況での対応が求められることから、防災教育訓練に地震訓練を追加・強化をすることが必要であろう。地震・津波による自然災害時には、プラントでの運転・対応は通常とは全く異なる状況であり、またそのような特殊な状況を実機、または教育・訓練施設では実現することはできない<sup>1)</sup>。よって、ここでは、仮想現実感技術を用いてコンピュータ内に仮想的なプラント（バーチャルプラント）を構築し、様々な災害状況を模擬することで、化学プラントの教育・訓練を実施することを提案する。

### 3. 災害時のプラントにおける教育・訓練手段としての仮想現実感技術

#### (1) 仮想現実感技術

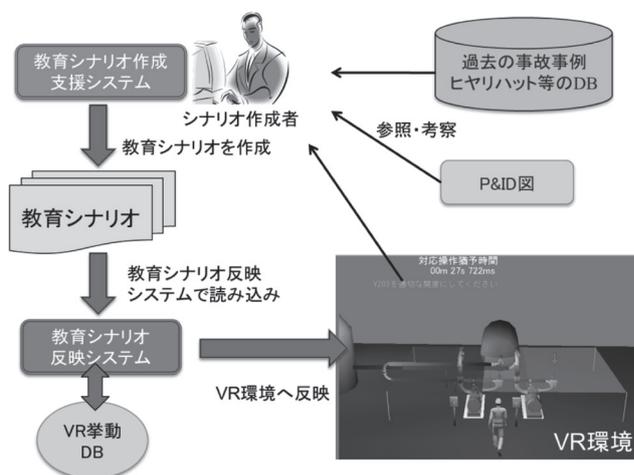
仮想現実感とは、Virtual Reality (VR)、人工現実感ともいわれ、コンピュータグラフィックスや音響効果を組み合わせて、人工的に現実感を作り出す。これにより、モックアップや実際のプラントでは実現不可能な事故や異常を再現し、教育・訓練を受ける運転員に体験させることができる<sup>2),3)</sup>。Web ラーニングといった動画形式での教育・訓練とVRを用いた教育・訓練との最も大きな違いは、運転員が仮想世界に働きかけることができるかどうか、といった対話性の有無である<sup>4),5)</sup>。また、OJTによる教育・訓練では、非定常な状況を体験することは難しく、対策に関する文章情報を読むだけでは内容を理解し、非定常時に対応することは困難である。そこで、体験的に教育・訓練することのできる教育用バーチャルリアリティ (VR) は、効果的に非定常時の行動を学習することができる。

VR環境においてオペレータの訓練を行う際、訓練目的、訓練内容をオペレータに伝えるために、訓練を受ける運転員に様々な情報を提示する必要がある。また、何を訓練するのかによって、情報の提示方法は異

なる。地震災害時の運転員の対応は非定常な状況であるため、場合によっては事故を想定した非定常な状況での教育・訓練が必要である。このような教育・訓練を実施するためには、日々収集されている事故・ヒヤリハット情報から訓練目的、内容を想定することが有効である。想定された内容を基にして作業員・運転員がコンピュータ上に再現されたバーチャルプラント内で地震災害時の設備故障、緊急停止作業について体験的に教育を受けることができれば、万一の自然災害への対応が可能となる。

#### (2) システム概要

教育用VRシステムはVRの利点である没入感を活かした教育システムである。現在プラントは高度化・自動化により新人作業員が事故を体験する機会が少なく、教育においても事故を体験する方法は危険を伴うため、今までの教育方法では不可能であった。しかし、教育用VRシステムを用いて教育することで作業中のミスによる事故を仮想的に体験できる。図一1に教育シナリオを作成し、VR環境で訓練を行う流れを示す。はじめに、教育シナリオ作成者は過去の事故事例やヒヤリハットのDB、P&ID、VR環境の3Dモデルを参照し、教育目的に沿った教育シナリオを考える。次に、作成した教育シナリオをもとに、運転員にどのような教育方法で教育するかを決定する。そして、決定した教育方法と教育シナリオをVR環境に反映し、作成した教育用VRシステムを運転員が教育・訓練に使用する。ここで、教育シナリオとは、教育目的に沿った作業内容が記述されたものである。教育シナリオを教育用VRシステムに適用し、設定した教育目的を達成する訓練を行う。ここで、教育シナリオの表現方法であるが、事故事例や操作知識について専門家はフ



図一1 VRによる教育・訓練システム

ローチャート形式で表現することができる。よって、本研究では専門家がイメージしやすいようにフローチャート形式で教育シナリオを作成している。

事故・ヒヤリハット、さらに異常時対応操作を体験するための空間であるバーチャルプラントでは、没入感を向上させるために、バーチャルプラント上で運転員の分身であるアバター(バーチャル環境内の運転員)を操作し、バーチャルプラントの操作を可能とする。

(3) システム構築

シナリオ作成者からVR環境を構築する側(VR環境構築者)に教育シナリオが渡されると、まずどのようにVR上で教育シナリオを反映し訓練するかを考へなければならない。教育シナリオは教育目的に沿ったシナリオではあるが、その教育をどのようにVR環境上で実現するかという方法までは書かれていない。そこで、VR環境構築者はどのような方法で訓練を実現するかを決める。

図-2に示すようにシナリオ作成者は過去の事故・ヒヤリハット事例より、教育・訓練させたいシナリオを考える。作成された教育シナリオはVR環境に反映され、ユーザが訓練コンテンツとして使用する。化学プラントにおける教育シナリオの作成は、化学プラントにおける異常時対応、確認・点検といったプラントに関する専門知識を持った者でなければシナリオの作成は困難である。そこで、専門知識を持った者が教育シナリオを作成、変更することができるインターフェースを設け、VR環境の内容を変更することができるシステムとしている。この結果、専門家が考えた

教育・訓練内容をVR空間で再現できる教育シナリオを作成できる。

(4) 硫化水素漏洩事故を題材とした教育用VRシステム

硫黄回収装置の定期修理でバルブ交換工事の際、硫化水素ガスが漏洩した事故に対する事故事例を題材とした仮想現実感技術による教育・訓練システムを図-3に示す。この事故は、閉止していた空気作動式圧力調節弁の下流側ブロック弁A交換の際、ブロック弁Aの取り外しに伴い仕切板が外れないように適切な位置に仕切板を入れなかったために発生した。また、上流側ブロック弁Bの閉止の安全措置も行われなかった。さらに、危険表示を無視してブロック弁Aを取り外したこと、および十分な連絡、確認をせず、圧力調節弁の駆動用空気を遮断し、圧力調節弁を開放させ

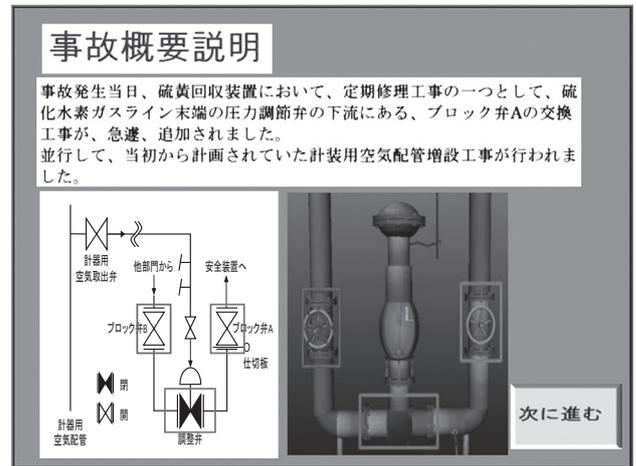
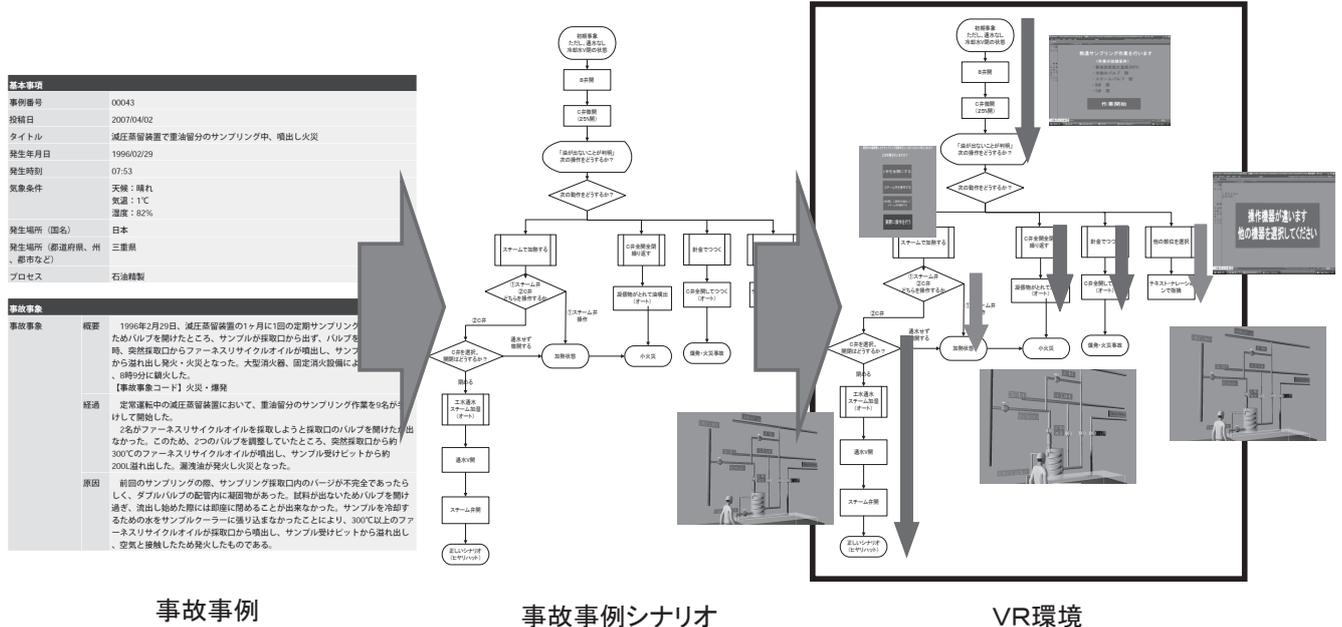


図-3 硫化水素漏洩事故教育・訓練

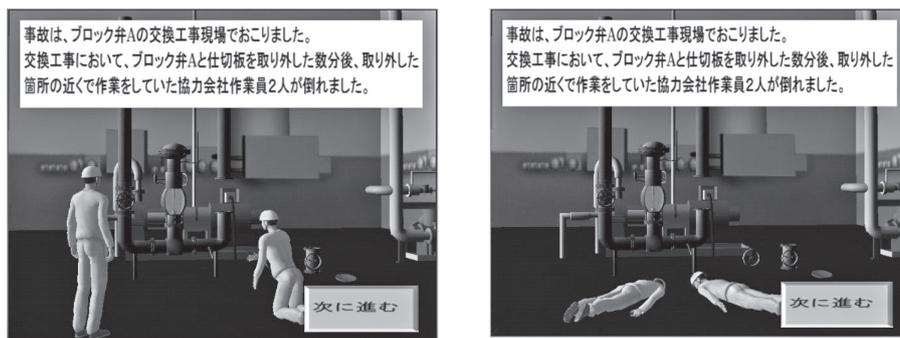


事故事例

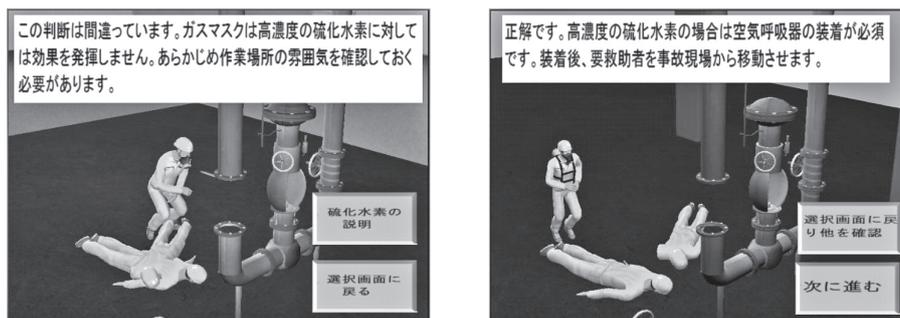
事故事例シナリオ

VR環境

図-2 教育シナリオとVR構築



図—4 事故再現 VR



図—5 事故対応 VR

てしまったために漏洩が発生したものである。図—4に示すようにブロック弁 A を外した後に、硫化水素が漏洩して、それを吸引した二人の作業員が倒れている状況を再現している。このように、実際には再現することができない状況を体験することができる。

次に、図—5に事故発生現場に向かう際の装備選択による二次災害についての画面を示す。図—5左図では、硫化水素漏洩時にはガスマスクの装着では不十分である説明とガスマスクを装着した運転員が倒れる様子をアニメーションで示している。自ら選択した結果で、運転員が倒れるため、記憶に残る。さらに、硫化水素の危険性について詳しく知りたい場合は、「硫化水素の説明」ボタンを押すことで硫化水素の特性を知ることができる。図—5右図では、硫化水素の存在する現場に向かう際は、空気呼吸器の装着が正解であり、空気呼吸器を装着した運転員が救出する様子をアニメーションで示している。正解だけから学ぶのではなく、誤った対応からも学ぶことがある。そこで、他の装備の危険性を知るため、「選択画面に戻り他を確認」ボタンを押すと、別の装備を選び、誤った対応について知ることができる。

#### 4. おわりに

近年、石油・化学プラントの事故が続発しており、我が国における保安事故防止の手段・方法はすでにそ

の限界に達している。その上、地震・津波などの自然災害時には、通常時とは異なる状況での対応が求められる。これら安全問題の原因として、安全意識や安全知識の不足、安全教育、安全管理体制の不備等があがっている。また、運転員・作業員の誤操作、作業ミスを防止するために、危険予知活動、ヒヤリハット活動、過去の事故事例、失敗事例、ヒヤリハット事例の横展開・活用、社内外での安全教育など数多くの取り組みがされている。これらに自然災害に対する備えを追加する必要がある。教育・訓練の多くは、安全に関する基礎知識を教授する座学、プラント機器等のカットモデル、簡単な実験装置による体験学習、シミュレータによる操作訓練である。しかし、真に運転員を教育・訓練するためには実際のプラント操作とともに、万一誤操作をすれば火災・爆発に至ること、さらにその際の対応方法を体験することが必要である。しかし、実プラントにおいて、実際に火災・爆発を発生させ、これを運転員に体験させることは不可能である。以上の問題に対して、本稿ではバーチャルプラントによる疑似体験型の教育用 VR システムを紹介した。バーチャルプラントは、事故の状況を再現するだけでなく、自然災害による影響も反映できる。これにより、バーチャルプラントを用いた訓練は、現実では体験できない危険な状態や災害を体験することが可能であり、経験の少ない新人作業員の教育に期待される。

## 《参考文献》

- 1) 内山春雄, 訓練プラントを活用した体感教育の紹介, 高压ガス, Vol. 43, No. 12, pp.992-997, 2006年12月
- 2) 下田宏, 石井裕剛, 山本倫也, 吉川榮和, プラント運転・保守の教育訓練へのVirtual Reality適用研究の展望, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 1, No. 4, pp.35-42, 1999年11月
- 3) Marko Luukkainen, Tommi Karhela, Ontology Approach for Co-Use of 3D Plant Modeling and Large Scale Process Simulation, Proceedings of the 48th Scandinavian Conference on Simulation and Modeling, pp.166-172, 2007年10月
- 4) 渡部直人, 永村慎吾, 齋藤泰範, 村山淳, 原田哲也, VR訓練システム実行時とビデオ映像視聴時における脳活動の比較に関する一考察, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol. 14, No. 1, pp.107-110, 2009年3月
- 5) Christine Norton, Ian Cameron, Caroline Crosthwaite, Nicoleta Balliu, Moses Tade, David Shallcross, Andrew Hoadley, Geoff Barton, John Kavanagh, Development and deployment of an immersive learning environment for enhancing process systems engineering concepts, Education for Chemical Engineers, Vol. 3, Issue 2, pp.75-83, 2008年12月



## [筆者紹介]

鈴木 和彦 (すずき かずひこ)  
岡山大学  
大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻  
教授



宗澤 良臣 (むねさわ よしおみ)  
岡山大学  
大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻  
講師

## 平成24年度版 建設機械等損料表 発売中

### ■内 容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・各機械の燃料（電力）消費量を掲載
- ・主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・主な機械には「日本建設機械要覧（当協会発行）」の関連ページを掲載

■ B5判 約680ページ

■ 一般価格  
7,700円（本体7,334円）

■ 会員価格（官公庁・学校関係含）  
6,600円（本体6,286円）

■ 送料（単価） 600円（但し沖縄県を除く日本国内）  
注1）複数冊発注の場合は送料単価を減額します。  
注2）沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会  
（電話：098-879-2097）にお申し込み下さい。

### 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>