

原子力発電所保守・保全のための ヒューマンインタフェースの高度化

下 田 宏*・石 井 裕 剛*

*京都大学 大学院 エネルギー科学研究科 京都府宇治市五ヶ庄
*Graduate School of Energy Science, Kyoto University, Gokasho, Uji, Kyoto, Japan
*E-mail: {shimoda,hirotake}@energy.kyoto-u.ac.jp

キーワード：拡張現実感 (augmented reality), 保守作業支援 (maintenance support), トラッキング技術 (tracking technology).
JL 0008/06/4508-0700 © 2006 SICE

1. はじめに

現在、原子力発電は日本の電力エネルギーの約 30%を担っており¹⁾、かつ運転時に二酸化炭素を排出しないというメリットがあるため、今日の日本のエネルギー・環境問題やエネルギーセキュリティ問題を考える上で重要な位置を占めるエネルギー源である。しかし、原子力発電プラントの中には運転実績が 30 年を越えるものもあり²⁾、高経年化が問題となっている。すなわち、原子力発電所はその設計時に 30 年の耐用年数でそれ以降は建て替えを予定していた³⁾が、近年の原子力発電にまつわる事故等のため新しい発電所の建設が難しくなっている。そこで発電所の耐用年数を 30 年以上に延長することが検討されているが、もともと 30 年の耐用年数で設計されているため保守方法が難しくなる。

また、プラントの高経年化の問題は、保守作業員の高齢化の問題でもある。原子力発電所の運転開始時から保守作業に携わってきた熟練作業員が高齢化し定年退職しつつあるが、彼らの技能やノウハウは「暗黙知」であり後継者に伝承するのが難しい。また、最近、若者が現場保守を 3K 職場とみなし敬遠する傾向があり、後継者を育てるのも難しい。

さらには、運転効率の向上やさらなる安全性と信頼性の向上のため、これまで機器の運用時間によって保守・交換サイクルが決められていた TBM (Time-based maintenance) から機器の劣化状態に合わせて保守・交換を行う CBM (Condition-based maintenance) へと移行しつつある。そのため、これまでの保守方法とは異なり保守作業がより複雑になっている。

原子力発電所の運転については、これまで運転時のヒューマンエラー防止のためヒューマンファクター研究が盛んに行われてきており、中央制御盤の改良や情報技術を用いた運転支援・事故時診断支援等のシステムが研究開発されている。しかし、保守作業については、保守計画策定や機器管理等で情報技術を応用した作業支援が行われてはいるものの、プラント現場での作業については十分な支援が行われているとは言い難い。現場保守作業支援の現状と上記の問題を考えると、プラントの現場保守作業に何らかの支援が必要である。ここでは、最新の情報技術のうちでも特に拡張

現実感 (Augmented Reality; AR) 技術を取り上げその技術を紹介するとともに、拡張現実感技術の保守作業への応用方法およびその例と実際に現場作業へ応用する際にボトルネックとなるトラッキング技術の開発について述べる。

2. 拡張現実感技術

2.1 拡張現実感技術とは

拡張現実感技術は、コンピュータで生成した仮想の物体や情報を、あたかも現実の世界に存在するかのように見せる (感じさせる) ことで、現実の世界を拡張する技術である^{4),5)}。たとえば、図 1 に示すように、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) を装着したユーザは、周囲の外界 (実世界映像) だけでなく、重畳表示された仮想の物体を同時に見ることができ、あたかも机の上に花瓶があり、机の横にはキャビネットや椅子があるように見える。ここで重要なのは、拡張現実感では、ユーザが自由に動き回ることを可能にしていることである。すなわち、拡張現実感では、固定された視界に対してのみ、仮想の物体や情報を重畳させるのではなく、ユーザの位置や向いている方向に応じて仮想の物体や情報の表示位置を調整することで、どの位置や方向から見ても、その仮想の物体や情報が、現実の世界のある定まった位置に存在するように見える。これにより、現実の世界に重畳された仮想の物体や情報の存在感が向上するだけでなく、現実の世界の 3 次元的な位置を、従来の紙や単なる 2 次元のディスプレイを用いたインタフェースに比べて、より直感的に示すこ

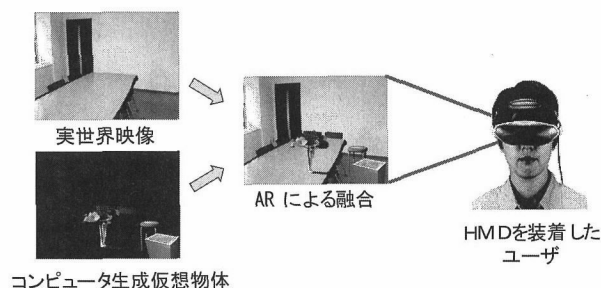


図 1 拡張現実感の例：実世界の机の上に仮想的な花瓶を生成し、HMD を介してユーザに提示する

とが可能になる。

拡張現実感とは、人工現実感 (Virtual Reality; VR) と対比されたり混同されたりすることが多いが、人工現実感とは本質的にユーザが仮想の物体、すなわちコンピュータ内に格納された情報のみを操作するのに対し、拡張現実感とはユーザが現実の物体を操作することを前提にしている点が大きく異なる。そのため、人工現実感はその応用先が、シミュレータによる作業訓練等、「情報の操作と獲得の支援」に限定されるのに対し、拡張現実感とは人工現実感の応用先に加え、現場での保守作業支援等、「現実の物体の操作の支援」にも応用できる。したがって、拡張現実感とは人工現実感に比べより実用的で応用範囲が広い技術である。

2.2 拡張現実感の要素技術

拡張現実感環境 (拡張現実感技術を応用した作業支援環境等) を実現するためには、1. ディスプレイ技術、2. トラッキング技術、3. レジストレーション技術、4. キャリブレーション技術の4つの要素技術が必要である。以下ではこれら4つの技術について概説する。

(1) ディスプレイ技術

ディスプレイ技術は、ユーザに現実の世界とともに仮想の物体や情報を見せる技術である。このためのディスプレイデバイスは、HMD、ハンドヘルドディスプレイ、プロジェクションディスプレイの3つに大別できる。また、HMDは、光学シースルー型、ビデオシースルー型の2つの方式に大別できる。それぞれの方式には利点と欠点があり、拡張現実感を用いる環境の特性に応じて各方式のディスプレイデバイスを選択して利用されている。

(2) トラッキング技術

拡張現実感を実現するためには、現実の世界の意図した位置に仮想の物体や情報を重畳表示する必要がある。この場合、ユーザが移動してその視点位置や視線方向が変わったとしても、その動きに追従して重畳表示される位置を変化させ、常に現実の世界の意図した位置に仮想物体や情報を重畳表示させる必要がある。通常は、現実世界におけるユーザの視点位置・視線方向をリアルタイムで計測し、ユーザの動きに合わせて表示位置を変更する。拡張現実感では、このユーザの位置や方向をリアルタイムで計測する技術をトラッキング技術と呼び、これまでにさまざまな手法が提案・開発されている。

(3) レジストレーション技術

レジストレーション技術とは、トラッキングにより得られたユーザの位置と方向をもとに、コンピュータで生成された仮想物体や情報を実環境中の意図した位置へ表示するための表示位置合わせ技術のことである。ここでは、いかに正確に表示位置を合わせるかということが問題となる。位置合わせの際の誤差は、静的なものと動的なものがあり、静的なものにはトラッキング時の計測誤差や映像表示時の表示位置誤差がある。一方、動的な誤差はトラッキング、画

像合成、画像表示における時間遅れがある。

(4) キャリブレーション技術

キャリブレーション技術は、おもにディスプレイデバイスとして光学シースルー型 HMD を用いた場合に必要な技術である。ユーザが光学シースルー型 HMD を装着する場合には、ユーザの顔面形状や眼球の構造などにより、それぞれ微妙に視界やオフセット位置が異なってくる。そこで、意図する位置に仮想物体や情報を正しく表示するためには、ユーザが HMD を装着したときにその個人の特性を計測し、それに基づき表示位置や大きさを調整する必要がある。これがキャリブレーション技術である。キャリブレーションは、ユーザが HMD を装着するたびに実施する必要があるため、その精度だけでなく簡易な方法が望まれる。

3. 現場保守作業への AR 技術の応用

2章で紹介した拡張現実感技術は、原理的には視覚・聴覚・触覚等の人間の五感に情報を提示することが可能だが、発電プラントの現場保守作業については、五感のうちで最も外界から多くの情報を取り込むことができる視覚を利用することが有効である。そのため、保守作業員が拡張現実感技術を利用した作業支援システムを利用する際には、たとえば HMD を装備したモバイル情報端末を装着することになる。すなわち、保守作業員はモバイル情報端末により生成した作業支援情報を HMD により外界の作業対象物に重畳して見ることになる。これにより、保守作業員の認知行動を情報的に支援することが可能となる。

発電プラントの現場保守作業支援に拡張現実感技術を用いる場合には、おもに表1に示す2つの利用方法が考えられる。1つは拡張現実感技術を用いて人間の「感覚」を拡張するもの (感覚拡張) である。たとえば、作業対象物の温度、冷却水の流量、圧力、振動、温度分布から求めた熱応力、放射線、構造データなどの人間が通常見ることができない情報をセンサやデータベースから収集し3次元的に視覚化して外界に重畳表示させることができる。これにより、保守作業員はあたかも自分の感覚能力が拡張したかのようになり、機器の状況の把握 (知覚能力) や健全性の診断 (推論) などの比較的高次の認知行動の支援が可能となる。図2に感覚拡張のイメージ図を示す。

表1 現場作業支援のための拡張現実感技術の利用方法

	感覚拡張	作業指示
支援方法	目に見えない情報をセンサやデータベースから取得し直接作業対象物に重畳表示する	作業順に作業内容を直接作業対象物に重畳表示する
支援対象	状況の把握 (知覚)、健全性の診断 (推論) 等の状況認識	決められた手順を実施するような比較的単純な作業
メリット	状況・状態把握能力の向上	作業誤りの減少、作業時間の短縮
支援例	放射線、構造データ、温度分布、保守履歴等の可視化	冷却水系統隔離の際のバルブ探索、機器の分解・チェック・組み立て作業支援など

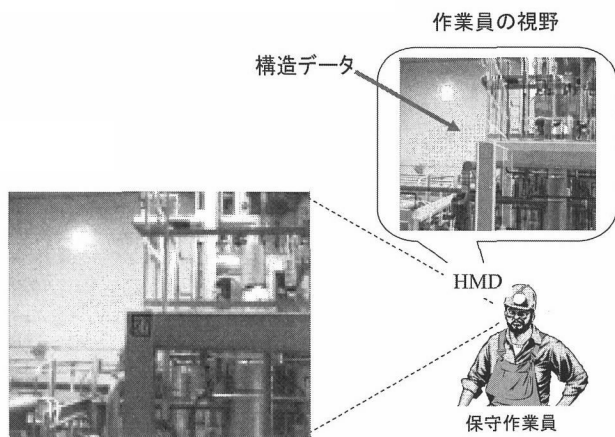


図2 感覚拡張のイメージ：ユーザは通常では見ることができないプラントの構造データを直感的に参照可能

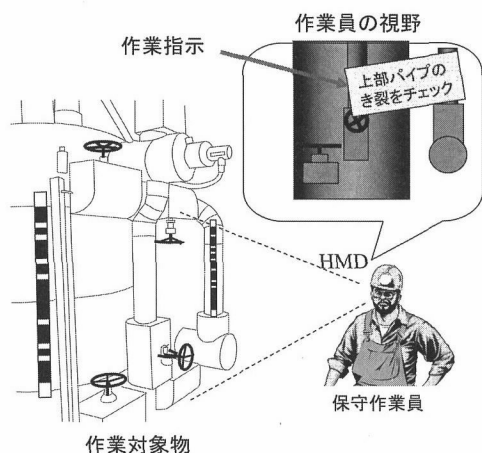


図3 作業指示のイメージ

もう1つの利用方法は、拡張現実感技術を用いて作業指示を提示するもの（作業指示）である。現場保守作業では一般に作業指示書に記載された作業項目を見てそれを順に実施していくことが多い。たとえば、拡張現実感技術を用いてこの作業項目を順に作業対象位置に直接重畳表示することにより、保守作業員が間違いなく作業を実施することができる。すなわち、作業指示書を見て作業する場合には、作業順序・作業内容の理解、作業対象物・作業位置の特定が必要でありその際に誤りが発生する可能性があるが、拡張現実感技術を用いることで、これらの誤りの発生を減少させる⁹⁾とともに作業時間の短縮⁷⁾も期待できる。図3に作業指示のイメージ図を示す。

4. 保守作業への拡張現実感技術の応用例

ここでは、3章で述べた拡張現実感技術の利用方法として、それぞれ感覚拡張の応用例と作業支援の応用例を示そう。

感覚拡張の応用例としては、寿命を迎えた原子力発電所の解体時に利用することを目的とした放射線可視化システム⁸⁾がある。これはプラント作業現場の放射線分布につい



図4 放射線可視化システムの装着例

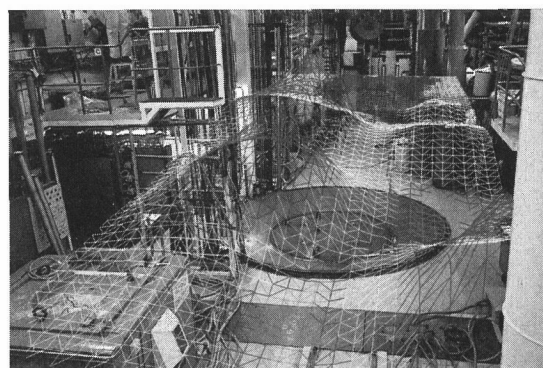


図5 放射線可視化の例：ユーザの胸の高さでの放射線強度をメッシュを用いて提示

てあらかじめ計測・シミュレーションした結果を拡張現実感技術により作業現場で可視化するものである。すなわち、HMDとモバイル端末を装着した作業員が放射線による人体への影響が懸念される解体作業現場でHMDを通して周囲を見回すと、外界の視野に重畳して放射線の強度が見えるものである。すなわち、拡張現実感技術を用いることにより人間の目には直接見えない放射線の強度を、あたかも感覚が拡張したかのように視覚的に知覚することが可能となる。これにより、従来まで紙ベースのプラント現場配置図に放射線分布を記載したものを作業前に見て危険区域を確認していたのに比べ、作業現場の比較的放射線強度の低い安全なところから放射線可視化システムを用いて直接作業現場の放射線分布を見ることができ、直感的な放射線分布の理解を促進するとともに危険な領域を実際の作業現場と空間的に関連させて記憶しやすくなることが期待できる。図4にIFE (Institute for Energy Technology of Norway)で試作された放射線可視化システムの装着例を、また図5に放射線可視化の例を示す。図5では、人の胸の高さでの放射線強度をメッシュの高さと色で提示している様子を示している。

一方、作業支援の例としては、原子力プラントの定期点検時に必要な配管系統を隔離する作業を支援するシステムがある。定期点検時の機器の保守作業は、系統隔離、分解前のデータ採取、分解、点検・検査、部品交換、組み立て、

単体動作確認，系統インサービス，機能確認試験，が標準的な作業ステップになっている．このうち，配管系統隔離作業では，保守作業センタの系統隔離作業支援ワークステーションから出力される作業指示書にしたがって，作業員がバルブについている銘板に記載の識別 ID をもとに操作対象のバルブを順に見つけ出し操作する．しかし，原子力プラントの定期点検時には多くの機器の点検が必要であり⁹⁾，それに伴って膨大な数のバルブ操作を実施する必要がある．この作業は，基本的に作業指示書に記載のバルブを探し出し操作する比較的単純な作業だが，安全かつ適切に機器を点検するためにはバルブ操作を間違いなく確実に実施することが重要である．拡張現実感技術によりこの作業の信頼性と効率が向上できれば，保守作業全体の信頼性と効率向上に寄与できる．

一般に，配管系統隔離ではおおよそ以下の作業を行う．

- (1) 保守センタのワークステーションから出力される作業指示書を携行し，保守対象現場へ向かう．
- (2) 作業指示書に記載されているバルブ番号を元に作業対象バルブを探し出す．
- (3) 探し出した作業対象バルブとその状態を確認する．
- (4) 作業指示書に従って作業対象バルブを操作する．
- (5) 作業指示書に記載のすべての作業が終わるまで (2)～(4) を繰り返す．

上記のうち特に (2) の作業対象バルブを探し出す作業では，現在，現場作業員が経験と勘を頼りにバルブを探しており，非常に時間のかかる作業である．また，(3) ではバルブに付与されている英数字で記載された銘板だけを頼りに探し出したバルブを確認しているため，銘板の読み間違いにより間違えたバルブを操作する可能性もあり，慎重に確認しなければならない．配管系統隔離作業支援システムは，この一連の作業のうち作業対象バルブを探し出す作業とバルブを確認する作業を支援するものである．具体的には，図 6 に示すように，HMD を装着した作業員に対して，拡張現実感技術により作業対象バルブに指示情報を提示することで，直観的にバルブの探索と確認を支援する．図 7 に京都大学で試作したシステム^{10), 11)} を試用している様子を示す．このシステムでは，配管系統隔離作業時に作業員がバルブを探してプラント構内を歩き回することを想定して，足下や周囲への視野をなるべく妨げない片目型の HMD を用いている．システムを装着した作業員は，HMD を通して図 8 のような映像を見ることができ，作業現場にある多数のバルブの中から作業対象バルブを容易に間違いなく探し出すことができる．

上記の応用例で示したように，原子力発電プラントの保守作業に拡張現実感技術を応用することで，作業の安全性，効率性，信頼性を向上させることが期待できるが，実際に原子力プラントの作業現場に適用する際には，さまざまな課題が残されている．次章では，それらの課題の中でも実

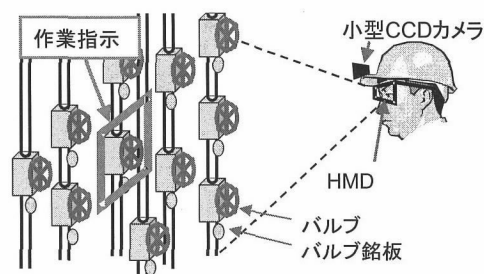


図 6 拡張現実感を用いた配管系統隔離作業のイメージ図



図 7 配管系統隔離支援システムの試用

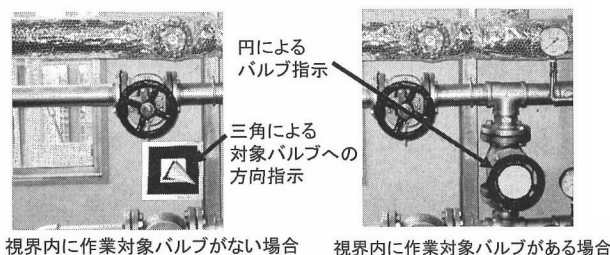


図 8 作業員に提示される映像

用化の際にボトルネックとなるトラッキング技術の開発状況について述べる．

5. 原子力発電所内での使用に特化したトラッキング技術

拡張現実感環境を実現するには，前述の 4 つの要素技術を組み合わせる必要がある．しかし，拡張現実感環境を原子力発電所の内部に実現する場合，従来の要素技術はそのままでは利用できない．特に既存のトラッキング技術は，おもに研究レベルでの試作やエンターテインメントに使用する目的で提案・開発されたものであり，表 2 に示すように，(1) ユーザがあまり広い範囲を歩き回らない，(2) トラッキングを妨害する障害物はほとんどない，(3) それほど高い安定性と精度は要求されない等の条件下でしか使用できない．一方，原子力発電所の内部は非常に広く，さまざまな障害物が存在し，また，効果的に作業支援を行うには，高い安定性と精度が必要である．表 2 に示した 6 つのトラッ

表2 既存のトラッキング技術とその利点・欠点

トラッキング技術	利点	欠点
人工マーカ	・必要な機材がマーカ、カメラ、コンピュータのみであり安価 ・マーカが撮影できる範囲では非常に高精度で安定	・あらかじめマーカの3次元位置を正確に計測しておく必要がある ・環境にマーカを張るスペースが必要 ・広範囲で利用するには大量のマーカが必要
自然特徴点	・環境内に新たに機器を設置する必要がない	・複雑な計算が必要になるため計算負荷が高い ・複雑な環境内では不安定
磁気センサ	・安定した磁場内では比較的精度が高い	・環境内に新たに機器を設置する必要がある ・金属など磁場を乱す要因があれば歪みが生じる ・トランスミッタが発生する磁場内ではしか利用できない
超音波センサ	・条件が良ければ比較的広い範囲で精度よく計測できる	・環境内に新たに機器を設置する必要がある ・環境内にある物体に影響されやすい
慣性センサ	・環境内に新たに機器を設置する必要がない ・計算負荷が非常に低い	・ドリフト成分に起因する誤差が蓄積する ・グローバル座標値を得るには他の方法と併用する必要がある
GPS	・カーナビ等で利用実績があり安定 ・屋外環境であれば広範囲で利用可能	・屋内環境では利用できない ・一般の利用に際しては精度の保証がない ・更新速度（フレームレート）が低い

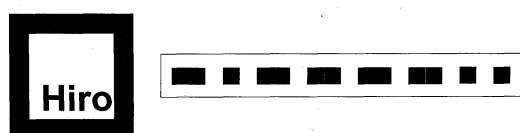


図9 方形マーカ（左）とラインコードマーカ（右）

キング技術のうち、人工マーカ以外の5つの技術は、その測定の原理上、原子力発電所内部で使用可能のように改良することは難しいが、人工マーカを用いた技術は、まだ改良の余地がある。以下では、原子力発電所での使用に特化した人工マーカを用いたトラッキング技術として、ラインコードマーカを用いたトラッキングシステムを紹介する。

表2に示したように、原子力発電所内で人工マーカを用いてトラッキングを実現する際には、「いかに人工マーカを環境内に張るスペースを確保するか」と「いかに必要な人工マーカの数を少なくするか」が大きな問題となる。

これまで拡張現実感環境を実現する際には図9の左に示すような方形マーカが多用されてきた¹²⁾。方形マーカは、カメラで最低1つのマーカを撮影できれば、マーカとカメラの間の相対的な距離と方向を計測できるため手軽に利用できるという特徴があるが、カメラと方形マーカの間の距離が長い条件でトラッキングを行う場合には、高い解像度のカメラを用い、さらに方形マーカのサイズを非常に大きくする必要がある。しかし実際の原子力発電所内は非常に複雑であり、大きなサイズの方形マーカを多数貼り付けることは非常に難しい。そこで、原子力発電所内にはパイプが多数配置されていることに注目し、パイプの上に貼り付けやすい形状のマーカとして、線形状のマーカ（ラインコードマーカ）を用いたトラッキングシステムが開発されている¹³⁾。図9の右に、ラインコードマーカの例を示す。

このラインコードマーカでは、合計8個並べた黒い正方形と長方形の組み合わせでマーカのID（種類）を表現する。トラッキングに用いる際には、マーカの両端の3次元座標をレーザ計測器等を用いてあらかじめ計測してデータベ-

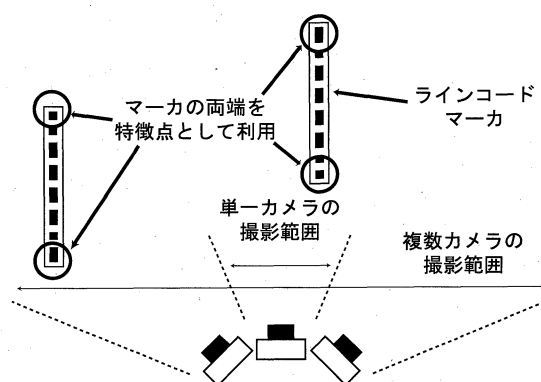


図10 マルチカメラを用いたトラッキングの概念図

ス化しておき、カメラで撮影した際の画像上でのマーカの両端の位置から、PnP（Perspective n Point）手法によりマーカとカメラの間の相対的な距離と方向を求める。ラインコードマーカを用いてトラッキングを行うためには最低2本のマーカを同時にカメラで撮影する必要があるが、トラッキングの安定性と精度は、PnP手法を用いる際に利用する特徴点（方形マーカの場合は角の4点、ラインコードマーカの場合は両端の2点）間の距離に依存するという特性があり、環境に配置するマーカ間の距離を長くすることにより、トラッキングの安定性と精度を向上できる。また、ラインコードマーカは方形マーカに比べて、カメラで認識できる最大距離が長い（同じ幅のパイプに貼り付けた場合、約3倍）という特徴があり、ユーザから離れた位置に貼付されたマーカを用いてもトラッキングができるために、環境に貼り付ける必要があるマーカの総数を減らすことができるという特徴もある。たとえば、見通しの良い10m四方の部屋の場合、20本程度のラインマーカ（幅6cm、長さ45cm～70cm）を側面に配置することにより、部屋全体（移動と見回しの両方）をカバーできる（必要なマーカの総数は障害物の配置等、部屋のレイアウトに依存する）。

また、このラインコードマーカを用いたトラッキングで

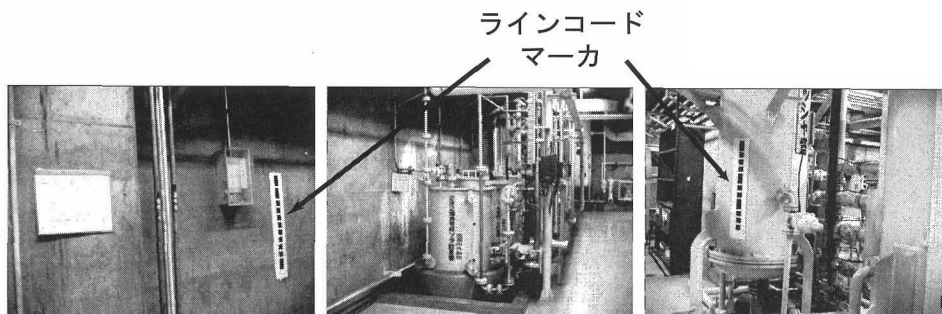


図 11 マルチカメラを用いたトラッキングの画像例

は、複数のカメラを同時に使用することにより、広い視野角で撮影された映像を元にトラッキングを行うことも可能である。図 10 および図 11 に、3 台のカメラを用いたトラッキングの概念図と撮影された画像例を示す。このように 3 台のカメラを同時に用いてトラッキングを行うことにより、1 台のカメラを用いてトラッキングする場合に比べて、同じマーカ配置で、トラッキングが可能な範囲を約 2.5 倍にできることが確認されている¹⁴⁾。

6. おわりに

本稿では、原子力発電所の保守・保全のためのヒューマンインタフェースの高度化として、最新の情報技術の 1 つである拡張現実感技術を取り上げた。冒頭で述べたように原子力発電所の保守・保全は厳しい状況にあるものの、最新の情報技術による高度ヒューマンインタフェースにより保守作業を支援し、さらには、このような情報技術を取り入れることで保守・保全の現場が若者にとって魅力ある職場になり、作業員の後継者育成に寄与することも期待できるだろう。

(2006 年 5 月 15 日受付)

参 考 文 献

- 1) 資源エネルギー庁：平成 17 年度エネルギーに関する年次報告 (2006)
- 2) 電気事業連合会統計委員会：電気事業便覧 (平成 17 年度版)，社団法人日本電気協会 (2005)
- 3) 竹内公人：特集 原子力発電の保守・点検 III. 高経年化対策への取り組み，日本原子力学会誌，44-4，322/326 (2002)
- 4) R. Azuma: A Survey of Augmented Reality, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6-4, 355/385 (1997)
- 5) R. Azuma, Y. Baillot, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier and B. MacIntyre: Recent Advances in Augmented Reality, IEEE Computer Graphics and Applications, 21-6, 34/47 (2001)
- 6) A. Tang, C. Owen, F. Biocca and W. Mou: Comparative Effectiveness of Augmented Reality in Object Assembly, Proc. of CHI2003, 73/80 (2003)
- 7) S. Wiedenmaier, O. Oehme, L. Schmidt and H. Luczak: Augmented Reality (AR) for Assembly Processes Design and Experimental Evaluation, International Journal of Human Computer Interaction, 16-3, 497/514 (2003)
- 8) A. Droivoldsmo, T. Johnsen, M. N. Louka and M. Reigstad: Using wearable equipment for an augmented presentation

of radiation, Proc. of EPRI Wireless Conference (2002)

- 9) 横尾智之，藤森昭彦：特集：I. 原子力発電所の保守点検の現状，日本原子力学会誌，44-4，318/320 (2002)
- 10) 下田 宏，石井裕剛，山崎雄一郎，吉川榮和：拡張現実感と RFID を用いた原子力プラントの系統隔離作業支援システム，保全学，3-2，30/37 (2004)
- 11) H. Shimoda, H. Ishii, Y. Yamazaki, W. Wu and H. Yoshikawa: A Support System for Water System Isolation Task in NPP by Using Augmented Reality and RFID, Proc. of The 6th International Conference on Nuclear Thermal Hydraulics, Operations and Safety, Paper No.N6P205 (2004)
- 12) H. Kato and M. Billingham: Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System, Proc. of 2nd Int. Workshop on Augmented Reality, 85/94 (1999)
- 13) Z. Bian, T. Nakai, M. Maeshima, H. Shimoda, H. Ishii and H. Yoshikawa: Development of AR Tracking Method for NPP Maintenance Work Support, SICE Annual Conference 2005, 69/73 (2005)
- 14) 関山友輝：原子力発電プラントの現場作業支援のための拡張現実感用トラッキング手法の開発と評価，京都大学大学院エネルギー科学研究科修士論文 (2006)

[著 者 紹 介]

しも だ ひろし 君 (正会員)



1964 年 7 月 29 日生。89 年京都大学大学院工学研究科電気工学第二学専攻修士課程修了。同年 (株) 島津製作所に入社。96 年京都大学大学院エネルギー科学研究科助手。99 年同助教授。2002～03 年ノルウェーエネルギー技術研究所客員研究員。博士 (工学)。ヒューマンインタフェースに興味をもつ。ヒューマンインタフェース学会，システム制御情報学会，日本原子力学会などの会員。

いし い ひろ たけ 石 井 裕 剛 君



1973 年 6 月 15 日生。98 年京都大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。2000 年京都大学大学院エネルギー科学研究科博士後期課程期間短縮修了。同年京都大学大学院エネルギー科学研究科助手。04～05 年ノルウェーエネルギー技術研究所客員研究員。博士 (エネルギー科学)。人工現実感，拡張現実感の研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会，ヒューマンインタフェース学会，電子情報通信学会，日本保全学会などの会員。