

原子カプラントの現場作業を支援するウェアラブルシステム(2)

Wearable Computing for Support Systems at Work Site of Nuclear Plant(2)

東芝エネルギーシステムズ(株)	尾崎 健司	Kenji OSAKI	Member
東芝エネルギーシステムズ(株)	加藤 貴来	Takaki KATO	
東芝エネルギーシステムズ(株)	榎本 光広	Mitsuhiro ENOMOTO	
東芝エネルギーシステムズ(株)	岡 桂一郎	Keiichiro OKA	
東芝エネルギーシステムズ(株)	伊藤 悠貴	Yuki ITOH	

Abstract

The support system which utilized the wearable devices which consist of a smart glass, a camera, a portable computer, a headset, etc., and aimed at the efficiency improvement of field operation was developed.

The evaluation results in the actual plant about real time transmission of image and sound between work field and remote office, and the self-localization using VSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) technology are reported.

Keywords:

Maintenance work support, Wearable computing, VSLAM, Dose management

1. はじめに

原子カプラントの高線量/高汚染エリアの作業では、被ばく低減のために必要最少人員で作業を行うとともに、放射能汚染拡大防止のため図面や要領書等の書類の持ち込みも制限される。現場作業において事務所側に指示を仰ぐ必要が生じた場合、現状は、PHS 等の通話あるいは作業エリアから一旦退避して確認する必要があるため、詳細な現場状況の把握や的確な指示に時間を要してしまう課題があった。また、高放射線環境下での作業においては、さらなる被ばく低減のため、リアルタイムでの放射線量の把握や高放射線エリアの可視化に対するニーズがある。

そこで、カメラやスマートグラスなどのウェアラブル端末を装着し、端末の通信機能を活用して、事務所と現場間で映像や音声を共有できる現場支援システムを開発してきた[1][2]。また、リアルタイムに放射線量を計測可能な個人線量と位置情報を取得するセンサを装着することで、現場の放射線量の情報を作業員、事務所を確認できるとともに、作業員の移動軌跡と各地点での放射線量

をもとにした空間線量マップおよび滞在時間を考慮した被ばく線量マップを作成する機能を開発してきた[3]。

作業員の移動軌跡の計測に関しては、建屋内の作業では、GPS の電波が届かないため、慣性センサを用いて自律航法による相対位置測定方式が採用されてきたが、累積誤差が蓄積する課題があることや、補正する場合も複数の補正用通信機材を作業エリアに設置する必要があった。そこで、作業員が所持するセンサのみで、作業員の移動軌跡を計測する手法として、カメラ画像および赤外線深度センサの情報を用いる VSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) 技術を採用し、作業員の位置および移動軌跡を計測することを試みた。本報告では、実プラント環境下での現場作業支援システムおよび自己位置推定技術の適用評価結果を報告する。

2. システム概要

2.1 現場支援システム

現場支援システムの構成を図1に示す。現場側ではタブレット端末やスティック PC 等の可搬型情報端末にカメラを接続し、公衆回線等のネットワークを通じて事務所側に映像を配信する。ヘッドセットを接続し、事務所側と会話しながら撮影アングルの調整を可能とした。さらにスマートグラスを接続して、図面等の視覚情報を用

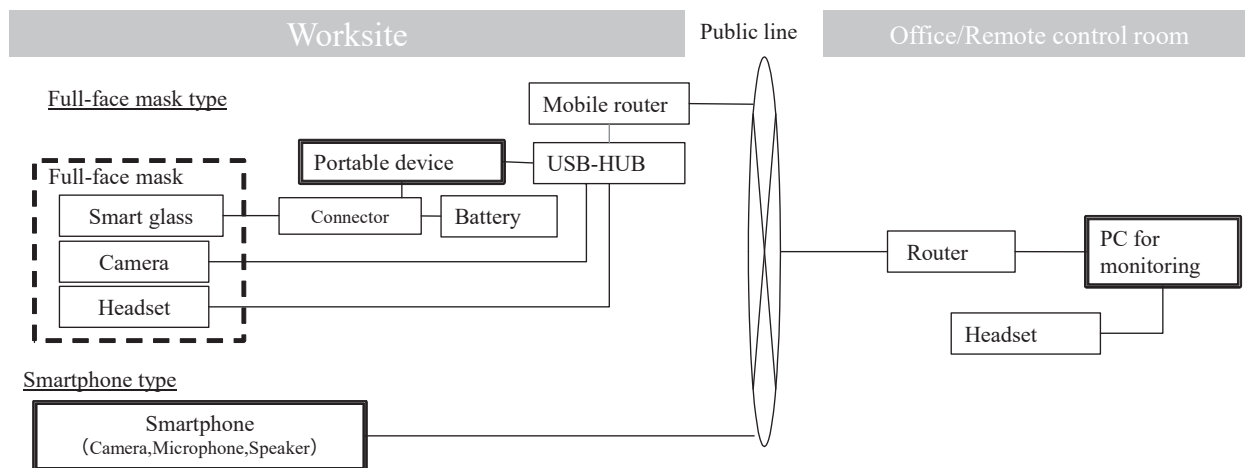


Fig.1 Constitution of Support System

いた事務所とのコミュニケーションを実現した。1台の監視用PCで同時に4名とのコミュニケーションが可能である。なお、映像・音声の配信にあたり、特殊な暗号化技術を用い暗号化するなどセキュリティに十分配慮した。

今回開発した現場支援システムでは、図2に示すようにスマートグラスやカメラを呼吸保護具として装着する全面マスク内に格納できるよう装着フレームに固定する一体構造を採用した。この構造により、放射能汚染の防止だけでなく破損・部品脱落によるプラント機器への異物混入防止を実現した。さらに、装着フレームごと簡便に脱着できる構造としたことで、その都度電力会社から貸与される全面マスクへの装着を可能とした。現場作業員の端末装着状況を図2に示す。現場端末は放射能汚染防止のために着用する保護着の内部に装着することで、直接外部に接触しないよう配慮した。

また、可搬型情報端末の代わりに、構成簡素化のためカメラ等が既に内蔵されているスマートフォンを用いることも可能である。作業監督者など、スマートフォンを手にとって作業が可能な場合に適している。

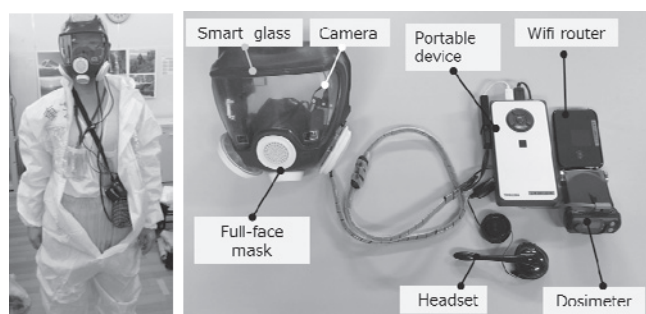


Fig.2 Apparatus of support system(Full-face type)

2.2 自己位置推定手法

被ばく線量マップを作成するには、作業員の移動軌跡を精度よく計測する必要がある。ここでは、作業員が所持するタブレット端末に搭載されたカメラ・赤外線深度センサを用いて、周囲の物体の特徴点を抽出し、動画像を解析し物体の特徴点(例えば角など)をリアルタイムに追跡し、位置・姿勢、3D情報を推定するVSLAM (Visual Simultaneous Localization and Mapping) 技術を採用し、端末の位置を算出した。GPSが利用できない屋内においても端末の位置の推定が可能となる。図3に、VSLAM技術の概念図を示す。点検開始箇所に配置するQRコード状のマーカ位置を起点(0点)として端末の移動軌跡(3次元座標)を算出した。表1に使用した自己位置推定のための機器仕様を示す。

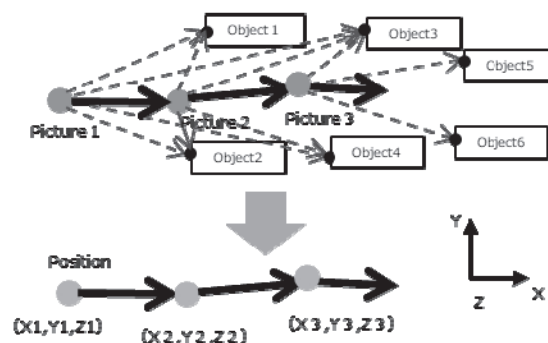


Fig.3 Self-localization using VSLAM

Table.1 Specification of self-localization device

Items	Spec.
Sensor	Ir Depth sensor
Measurement distance	~4m
Size	88.57x179.83x10.7mm
Weight	259 g
Mearing period	1 sec
Data	Time and position(X,Y,Z)

3. 実プラントでの評価試験

3.1 現場支援システム評価試験

福島第一原子力発電所 3 号機の廃炉工事に関連する遠隔操作型大型クレーン（クローラクレーン）を用いた機器の吊り込み、設置工事にてシステムの適用評価を実施した。工事では、現場から離れた場所にある免震重要棟内にある遠隔操作室（リモート室）からクローラクレーンを操作して重量物を移動する。通常は吊り込み先の監視員による指示とクローラクレーン本体に取り付けた固定カメラの映像で操作するが、近接映像が取れない場合や、死角となる場所が存在するため、現場支援システムの映像で情報の補填を試みた。図 4 に映像配信の例を示す。燃料取扱設備をレール上に設置する際の外観、現場支援システムの映像およびリモート室のモニタに表示された現場支援システムの映像を示している。現場支援システムを装着した作業者が移動することで任意の角度から近接して撮影できる利点を活かしてクローラクレーン操作者から要求される映像を配信し、固定カメラのみでは把握が困難であったレールと車輪の位置関係把握を支援できることを確認した。

今回の試験では、福島第一原子力発電所構内の公衆携帯通信回線を利用した通信を実施した。通信状況における問題はなく、映像、音声ともに十分な品質であることを確認した。

また、本システムにより、作業中にリモート室との協議事項が生じた際、リアルタイムの映像で状況を確認しながら議論することが可能である。従来の連絡手段は PHS 等による通話に限られており、実機の画像を共有するためには現場から一度退避して協議し、再度現場に移動する必要がある。この場合、現場からの退避にかかる移動時間と再度現場に戻る移動時間、さらに装備解除、

装着時間が余分にかかることとなる。試験時のタイムスケジュールから試算すると一旦退避した場合 90 分程度と想定され、現場支援システムを活用することで、現場で意思決定が可能となり現場作業時間の短縮に寄与できることが実証できた。



(1)View of the fuel handling equipment



(2)The image by support system

The image by support system



(3)Remote control room

Fig.4 The image of an actual plant examination of support system

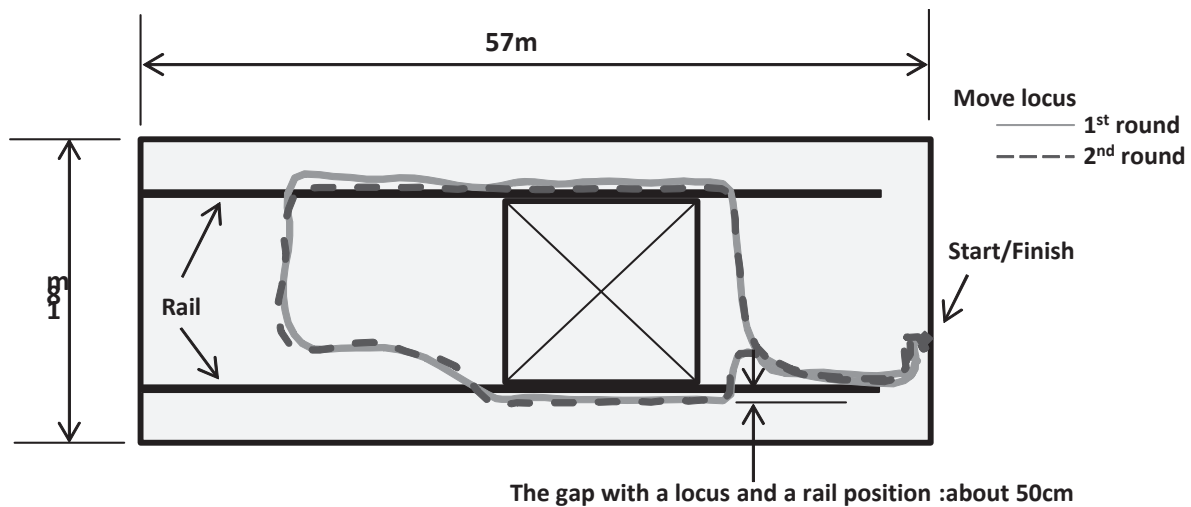


Fig.5 Result of self-localization test

3.2 自己位置推定機能評価試験

前述の工事の際、オペレーションフロア上にて自己位置推定機能の評価試験を実施した。図5にオペレーションフロアの平面概略図を示す。図中右側にQRコード状のマーカーを貼りつけ、計測時の起点とした。起点からフロア上を2周したときの移動軌跡を図中に示す。このとき2周目は起点読取処理は行っていない。2本のレールのうち、図中下側のレール上を移動したことから、全体の軌跡が約50cm上下方向にずれていることが確認できるが、2周分の軌跡はほぼ一致することが確認できる。2周分の軌跡のずれがわずかであることから、約50cmのずれについては、起点読取時の誤差の可能性が高いことから、起点読取時の処理について改善していく予定である。

4. おわりに

開発した現場支援システムを福島第一原子力発電所3号機の工事にて評価試験を実施し、実プラント環境にて十分な品質で映像、音声の伝送できることを確認し、遠隔地にて現場状況を把握できるとともに、必要に応じて現場作業員への適切な指示が可能であることを確認できた。また、作業員の位置、移動軌跡を計測する手法とし

てVSLAM技術を適用し、誤差50cm以内で計測できることを確認した。現状は、センサ内蔵の端末であるため、作業の邪魔になる可能性があるため、センサ部を分離する等、装着性を改良し、現場にて使用しやすいものとし、作業員の被ばく低減に貢献するシステムを構築していく予定である。

参考文献

- [1] 重山武蔵, 尾崎健司, 廣瀬行徳, 加藤貴来 “原子力プラントの現場作業を支援するウェアラブルシステム”, 日本保全学会 第13回学術講演会予稿集, pp. 367-370. (2016)
- [2] 重山武蔵, 尾崎健司, 廣瀬行徳, 加藤貴来, “原子力プラントの現場作業を支援するウェアラブルシステム”, 日本原子力学会2016年秋の大会予稿, 1G01 (2016).
- [3] 重山武蔵, 尾崎健司, 加藤貴来, 藤原宏伸, “ウェアラブル端末を用いた線量情報収集の高度化”, 第22回 動力・エネルギー技術シンポジウム, A231 (2017).