

3次元再構成モデル作成のための 拡張現実感を用いた環境撮影支援システムの開発

原園 友規^{*1} 石井 裕剛^{*1} 下田 宏^{*1} 香田 有哉^{*2}

Development of Scanning Support System using Augmented Reality
for Constructing 3D Reconstruction Models

Yuki Harazono^{*1} Hirotake Ishii^{*1} Hiroshi Shimoda^{*1} Yuya Kouda^{*2}

Abstract – 3D reconstruction models are useful for many situations in decommissioning work at nuclear power plants(NPPs). In this study, we aim to develop an environment scanning support system which enables users to make 3D reconstruction models without missing even in a very complicated environment such as NPPs. This system detects and visualize unscanned area using an extended Truncated Signed Distance Function to remind and encourage users to scan.

Keywords : Augmented reality, Model reconstruction, Environment scanning support

1. 背景と目的

1.1 本研究の背景

近年、深度情報も取得できる RGB-D カメラの普及によって、環境の状況を忠実に反映した 3 次元の環境再構成モデルが容易に作成できるようになった^[1]。この RGB-D カメラを用いてプラント内を撮影することで得られる、図 1 に示すような環境再構成モデルは、CAD モデルでは省略されて含まれていないような細かいケーブルが含まれている、頻繁に設備が更新される場合でも最新の状況を反映しやすい等の利点がある。このような環境再構成モデルを一度現場を訪問して作成し、オフィス等で参照可能にすることで、現場に向かうことなく現場の状況を繰り返し確認できる。また、再構成モデル上の機器等に情報を付加し、作業現場で拡張現実感を用いて参照可能にするシステムは、現場での滞在時間の短縮や保守・解体作業時のミスの低減に有効であると期待される^[2]。さらに環境再構成モデルは、現場で拡張現実感を利用可能にするためのモデルベーストラッキングにも利用できる^[3]。このように環境再構成モデルは、プラントの保守・解体作業の様々な場面で利用可能である。しかし、環境の撮影に慣れていない人が環境を撮影すると、作成される再構成モデルに抜け落ちが生じてしまう等、十分な質のモデルを取得することが難しいことが問題となる。

1.2 本研究の目的

本研究では、原子力発電プラント内などの複雑な形状の機器が多数配置されている環境内を抜け落ちなく



Copyright (C) 2018 Japan Atomic Energy Agency

図 1 プラントの環境再構成モデルの例
Fig.1 An example of dismantling field's reconstruction model.

隅々まで含んだ環境再構成モデルを、専門知識を有していない人にも作成可能にする、環境撮影支援システムを開発することを目的とする。具体的には、専門知識を有していない人でも容易にモデルを作成できるようにするために、まだ撮影されていない領域(以下、未撮影領域)や高解像度のモデルを取得するのに適した撮影方向などをユーザに拡張現実感技術を用いて提示する。抜け落ちの無いモデルを作成可能にする手法の研究は他にも存在している^{[4][5]}。しかしこれらの手法では、環境ではなく、主に物を撮影することを想定しており、対象とできる撮影領域が狭く、原子力発電プラントのような広域な環境のモデル作成には適していない。

以下、第 2 章では開発するシステムの設計について、第 3 章では今後の研究予定や展望について述べる。

^{*1} 京都大学大学院エネルギー科学研究科

^{*2} 日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん

^{*1} Graduate School of Energy Science, Kyoto University

^{*2} Fugen Decommissioning Engineering Center, JAEA

2. システムの設計

2.1 システムの目的とモデル作成手法

1.2 節で述べたように、本システムは広域かつ複雑で入り組んだ環境を対象として、撮影時に必要な情報をユーザに提示することで、専門知識を有していない人でも容易に抜け落ちの無いモデルを作成できるようにすることを目的とする。

環境再構成モデルを作成する手法として、カメラを搭載したドローンを用いる手法^[6]、レーザスキャナやカメラを搭載したロボットを用いる手法^{[7][8]}が考えられる。しかし、レーザスキャナを用いた手法はデバイスが高価である。また物体の背後に存在する設備などを撮影するためには、スキャナを複数箇所に配置する必要があり、手間やコストがかかるため、作業環境を隅々まで撮影するには適していない。自走ロボットを用いた手法も装置のコストが高く、また移動する床面が平面である必要があり、狭い箇所に入り込んで撮影することができないため、原子力発電プラントのような複雑に入り組んだ環境を抜け落ちなく撮影することが難しい。また、ドローンを用いた手法は、風によって放射化された粉塵が環境中に舞ってしまう。安全性の確保が別途必要になる等の問題があり、適していない。そこで本システムでは、RGB-D カメラを手を持って撮影する手法を採用する。

2.2 システムの要求仕様

RGB-D カメラを手を持って撮影する手法では、環境再構成モデルを RGB-D カメラから取得できる、色情報を持った color 画像と深度情報を持った depth 画像から作成する。しかし環境をある方向のみから撮影しなかった場合、物体の背後に隠れている領域 (オクルージョン領域) の情報は取得できず、穴の開いた、抜け落ちのある環境再構成モデルになってしまう。また、図 2 に示すように RGB-D カメラの深度センサは深度情報が取得できる奥行きが限られているため、それを熟知していないユーザが環境を撮影した場合、図 3 に示すような、深度情報が取得されない領域ができてしまい、この場合も抜け落ちのある環境再構成モデルになってしまう。特に原子力発電プラントの内部は、図 4 に示すように環境が複雑で、オクルージョン領域や深度情報が取得されていない領域を把握して、隅々まで撮影することが難しい。

上で述べたように、撮影時に物体の背後に隠れているようなオクルージョン領域は未撮影領域である。また RGB-D カメラでは、取得できる奥行きに限界がある。そのため、例えばカメラを向けて撮影したとしても、未撮影領域となってしまう場合もある。

さらに、これら 2 つの未撮影領域だけでなく、環境

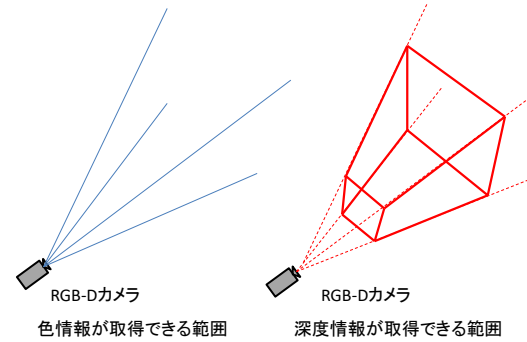


図 2 RGB-D カメラによって色情報と深度情報が取得できる範囲

Fig. 2 Filming ranges of color and depth information by using RGB-D camera.

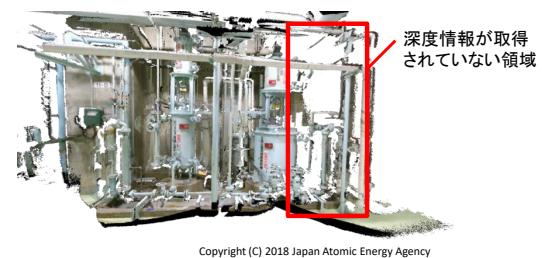


図 3 深度情報が取得されない領域の例

Fig. 3 An example of the area which is not required depth information.



図 4 原子力発電プラントの内部環境

Fig. 4 An appearance of a nuclear power plant.

内にはそもそもまだカメラを向けていない領域も存在している。作業現場の環境を隅々まで反映した環境再構成モデルを作成するためには、このようなまだカメラを向けていない領域も未撮影領域として提示する必要がある。

また、深度情報が取得されている領域であっても、物体表面を斜めから撮影してしまうと、対象のテクスチャの解像度が低くなってしまいます。現場の状況を確認するためには、環境の形状情報だけでなく、詳細なテ

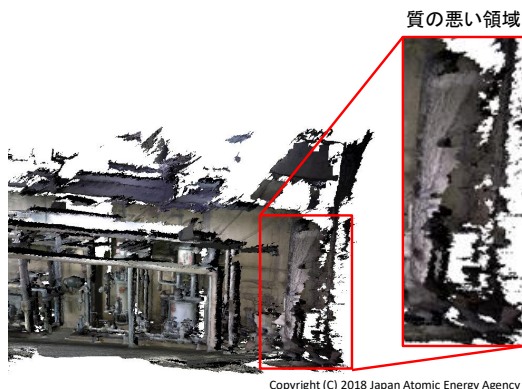


図 5 質が低い領域の例
Fig. 5 An example of poor quality region in reconstruction models.

クスチャ情報も必要である。そのため、このようなテクスチャの解像度が低い領域をユーザに提示することで再度、正面から撮影してもらう必要がある。

そこで本システムでは、これらの未撮影領域やテクスチャの解像度が低い領域を拡張現実感技術を用いることでユーザに提示する。拡張現実感技術を用いることで、ユーザに直観的に位置情報を伝えることができる。

また、撮影時にカメラを動かすスピードが早過ぎると、取得された color 画像と depth 画像に手ブレが生じてしまい、正しいモデルが得られなくなってしまう。さらに本システムでは、未撮影領域を拡張現実感技術を用いて可視化する際にマーカレスでのトラッキングを採用する予定であるが、手ブレが生じてしまうと正しくトラッキングが行えない。これら 2 つの理由から、現在のカメラの移動スピードと許容できるスピードの上限値をユーザに提示することとする。

以上のことを纏めると、本システムでは、ユーザに提示すべき情報は以下であると仮定した。

- 未撮影領域
- 撮影時の角度が悪く高解像度のテクスチャが得られていない領域 (図 5 に例を示す。以後、質が低い領域と呼ぶ。)
- カメラの現在のスピードと許容できるスピードの上限値

2.3 システムの概要

本研究で開発する環境撮影支援システムの概要を図 6 に示す。現場環境を撮影して得られた color 画像と depth 画像を用いてマーカレストラッキングを行い、画像から得られる相対的なカメラの移動量から、現在のカメラ位置と姿勢を推定する。推定されたカメラ位置姿勢と RGB-D カメラから得られた depth 画像から、未撮影領域を検出する。本システムでは、Truncated Signed Distance Function(TSDF) の考え方を拡張し

たアルゴリズムを用いる。そして、その計算した未撮影領域の情報を拡張現実感技術を用いて重畳表示を行い、ユーザに情報を提示する。

2.4 未撮影領域の検出

現場環境内の未撮影領域を検出するために、本システムでは TSDF^[9] の考え方を拡張したアルゴリズムを用いた。TSDF とは、複数の視点から取得された深度情報から撮影環境の深度マップを作成するアルゴリズムであり、図 7 に示すように環境を一定サイズの立方体 (ボクセル) に分割し、RGB-D カメラによって得られた深度情報を基に、環境に存在している、ボクセルから一番近い物体の表面との距離を各ボクセルに格納する。TSDF ではこの求められた距離の値が、環境内の物体の手前に存在するボクセルには正の値で、物体や床、壁の奥に存在するボクセルには負の値で格納される。これらの格納された値から、物体の表面の位置を決定して環境再構成モデルを作成できる。

上で述べたように、TSDF では環境内の物体の手前に存在するボクセルには正の値が、物体や床、壁の奥に存在するボクセルには負の値が格納される。正の値が格納されている領域は既に撮影され、かつ物体が存在しない領域である。このことから、負の値が格納されている領域と値が格納されていない領域、すなわち格納された値が正の値ではない領域が、本システムで可視化の対象とする、未撮影領域であることがわかる。

2.5 提示すべき情報の可視化

本研究では 2.4 節で述べた方法で未撮影領域などを検出するが、特に計測を開始した直後は、周辺の領域のほぼ全てが未計測領域となるため、未計測領域をそのまま可視化すると、画面が煩雑になってしまうと考えられる。そこで本研究では、図 8 に例を示すように、未撮影領域と既に撮影されている領域との境界のみを可視化する。未撮影領域を撮影する際にまず撮影されるのは既に撮影されている領域との境界部分である。そこで、境界部分のみを可視化すれば、実際にまず撮影すべき領域をユーザに分かりやすく提示できると期待される。

しかし、未撮影領域と既に撮影されている領域の境界すべてが可視化すべきものではない。境界の中でも、環境再構成モデルの表面となる箇所に関しては、再度撮影すべきな領域ではない。そこで本システムでは、環境再構成モデルの表面となる箇所に関しては可視化しないことにする。環境再構成モデルの表面になる箇所かどうかの判定は、境界となっている 2 つのボクセルの値の差を用いる。本システムでは、差がボクセルの単位長さ以下であれば、その境界は環境再構成モデルの表面となる箇所であるとする。このように環境再構成モデルの表面になる箇所を可視化しない設計にす

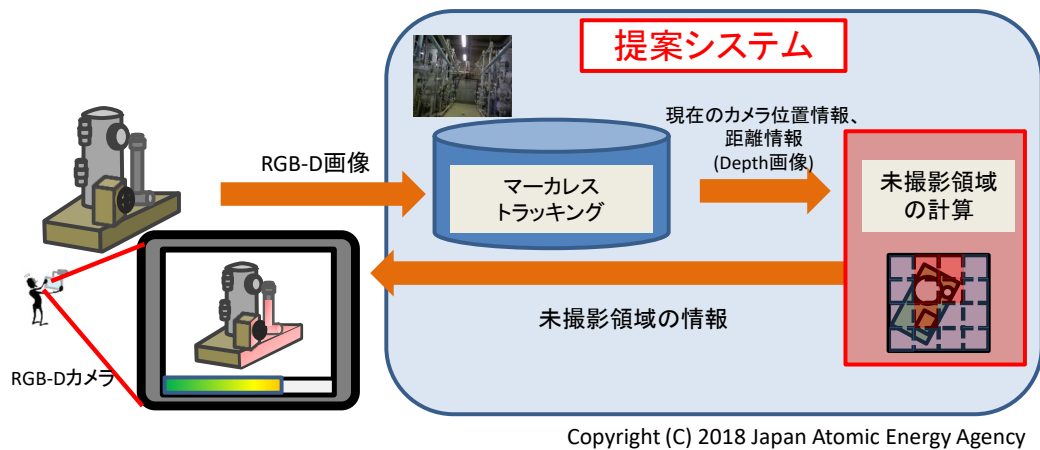


図 6 環境撮影支援システムの概要
Fig. 6 An overview of environment scanning support system.

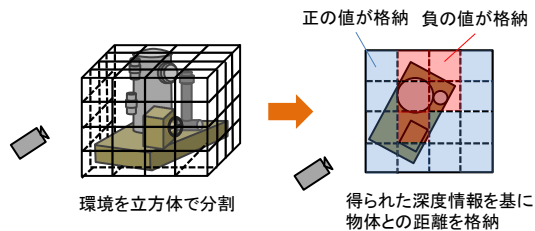


図 7 TSDF の概略
Fig. 7 Summary of TSDF.

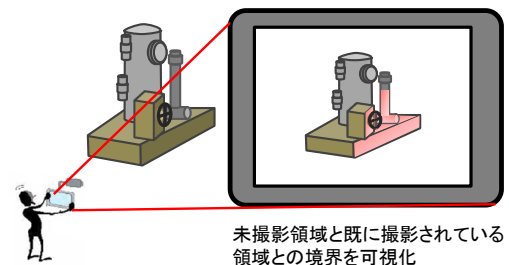


図 8 未撮影領域の可視化
Fig. 8 Visualization of the not-scanned area.

ることで、壁の奥や床の下、配管や設備の内部等の未撮影領域であるが、物理的に撮影することができない領域が可視化されてしまう、という可能性を減らすことができる。

また、本システムでは未撮影領域だけでなく、撮影された角度が悪くテクスチャの解像度が低い、モデルの質が低い領域もユーザに提示すべき情報と仮定している。これに関しては、上で述べた環境再構成モデルの表面となる箇所が、斜めから撮影されている場合にその箇所を質の低い領域として可視化する。また、可視化の際には、図 9 に示すように円錐等、位置だけでなく撮影すべき方向もわかるような図形を重畳表示することで、撮影すべき方向も同時に提示する。

撮影の際のカメラを動かすスピードに関しては、取得された画像の特徴量認識によって推定できるカメラ位置の前フレームからの変化量を図 10 に示すようにスライダーで画面上に表示する。また、許容できるカメラの移動スピードの上限値も同時にユーザに提示する。

3. 今後の予定

本論文では、複雑な環境でも容易に抜け落ちの無い環境再構成モデルが作成できる環境撮影支援システム

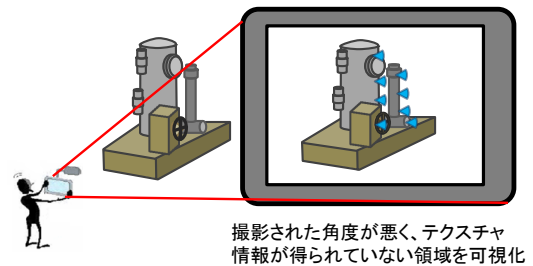


図 9 質の低い領域の可視化
Fig. 9 Visualization of the low quality area.

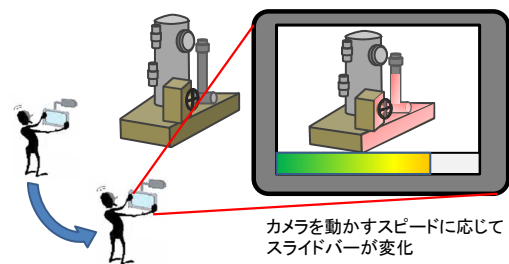


図 10 カメラの移動スピードの可視化
Fig. 10 Visualization of the camera movement speed.

を提案した。今後は提案したシステムを実装し、原子力発電プラントで実際に解体作業に従事している作業員を対象にした評価実験を行い、システムの有効性と有用性について評価をする予定である。

参考文献

- [1] Microsoft: Project Kinect for Azure, <https://azure.microsoft.com/ja-jp/campaigns/kinect/> (2018/7/17 Accessed).
- [2] Ishii, H.: Augmented Reality: Fundamentals and Nuclear Related Applications; International Journal of Nuclear Safety and Simulation, **Vol.1**, No.4, pp.316-327 (2010).
- [3] Comport, A., Marchand, E., et al.: Real-time markerless tracking for augmented reality: the virtual visual servoing framework; TVCG, **Vol.12**, No.4, pp.615-628 (2006).
- [4] 上羽, 酒田, 西田: 効率のよい計測のためのナビゲーションを実現する領域制限に基づく 3D インタラクティブモデリング; IPSJ Interaction, pp.84-91 (2014).
- [5] 不殿, 佐藤, 横矢: ハンドヘルドビデオカメラを用いた撮影位置支持機能を有するインタラクティブ 3 次元モデリングシステム; MIRU2005, (2005).
- [6] Remondino, F., Barazzetti, L., et al.: UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling-current status and future perspectives; Int. Arch. of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp.25-31 (2011).
- [7] Xiong, X., Adan, A., et al.: Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data; Automation in Construction, **Vol.31**, pp.325-337 (2012).
- [8] 山下, 原田, 金子: 全方位カメラ搭載移動ロボットによる Structure from Motion を用いた 3 次元環境モデリング; 日本機械学会論文集 C, **Vol.73**, No.726, pp.512-519 (2007).
- [9] Curless, B., Levoy M.: A Volumetric Method for Building Complex Models from Range Images; Proc. of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp.303-312 (1996).