

俯瞰映像提示システムにおける 魚眼カメラの広角性を利用した欠損視野の補完

○小松 廉（東京大学） 藤井 浩光（東京大学）

Alessandro Moro（ライテックス，東京大学） 山下 淳（東京大学） 浅間 一（東京大学）

1. 序論

日本は、地震や台風、火山の噴火などの自然災害が多い国である。そのため、災害時に迅速に被害状況を調査することは非常に重要である。しかし、災害直後の調査は危険な場合が多く、有人作業では二次災害が起こる場合がある。また、原子力発電所の事故の様に、放射能の影響で人が立ち入ることが不可能な場合もあり、ロボットの遠隔操縦による調査の期待が高まっている [1]。しかし、遠隔操縦では、遠近感の把握が困難であり、作業効率・精度ともに劣ると指摘されている [2]。この問題点を解決するための技術の 1 つに俯瞰映像提示システムがある [3-6]。

俯瞰映像提示システムとは、図 1 に示したように遠隔操縦を行うロボットに複数のカメラを装着することで、ロボットを上から眺めたような擬似的な俯瞰映像を提示するシステムである。これにより、ロボットと周囲物体との位置関係を容易に把握可能となる。筆者らは、無人化施工における油圧ショベル遠隔操縦において、4 台の魚眼カメラを用いた俯瞰映像を提示することで、作業効率・精度ともに向上することを示した [3]。

ここで、災害現場で使用するシステムは、修理・交換を迅速に行うことが困難なため、例えばカメラ故障時の欠損視野に対するロバスト性が重要である。俯瞰映像システムにおいては、1 台のカメラの故障時も欠損視野が補完でき、作業の達成が可能な映像を提示することが必要である。筆者らはカメラの台数・配置を変えることなく、1 台のカメラが故障した際にその他のカメラの過去の映像を用いることで、欠損視野を補完する手法を提案した [4]。この手法は、動く物体が存在しない環境において有効である。しかし、補完された映像は過去のものであるため、動く物体が存在する環境において効果的ではない。

本研究では、カメラの台数を増やすことなく、過去の映像を使うことなく、カメラ故障時の欠損視野を補完可能な俯瞰映像提示システムを構築する。具体的には、魚眼カメラの広角性をより活かすことができるカメラ配置にし、俯瞰映像生成に必要な情報をより多く取得することで、1 台のカメラ故障時に、欠損視野の補完を可能にする。

2. 俯瞰映像生成

本研究における俯瞰映像の生成手法は、文献 [3] に基づいている。俯瞰映像生成の一連の流れを図 2 に示す。俯瞰映像はロボットの 4 つの側面に異なる向きに設置された魚眼カメラの映像を用いて生成する。

図 2(a) では、魚眼カメラの映像に歪み補正を行い、一般のカメラの映像のように引き伸ばす。ここでは、等

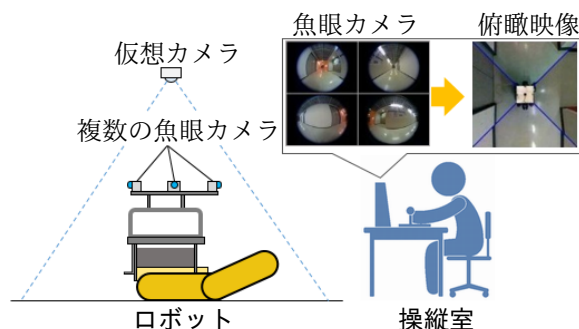


図 1 魚眼カメラを用いた俯瞰映像提示システムの概要 [4]

距離射影モデルである魚眼カメラの映像を透視投影モデルの映像へと変換する。

図 2(b) では、透視投影モデルに変換された映像をホモグラフィ変換を用いて上から眺めた部分的な俯瞰映像に変換する。その際に、床面に設置した既知形状のパターンやマーカを用いることで、ホモグラフィ行列の最適化を行う。

図 2(c) では、得られた 4 つの俯瞰映像のずれが最小となる位置で統合することで全方位の俯瞰映像を生成する。その際に、複数のカメラからの映像が得られる部分についてはあらかじめ担当するカメラの領域を設定することで、図 2(d) で示すように俯瞰映像中の重複部を削除する。

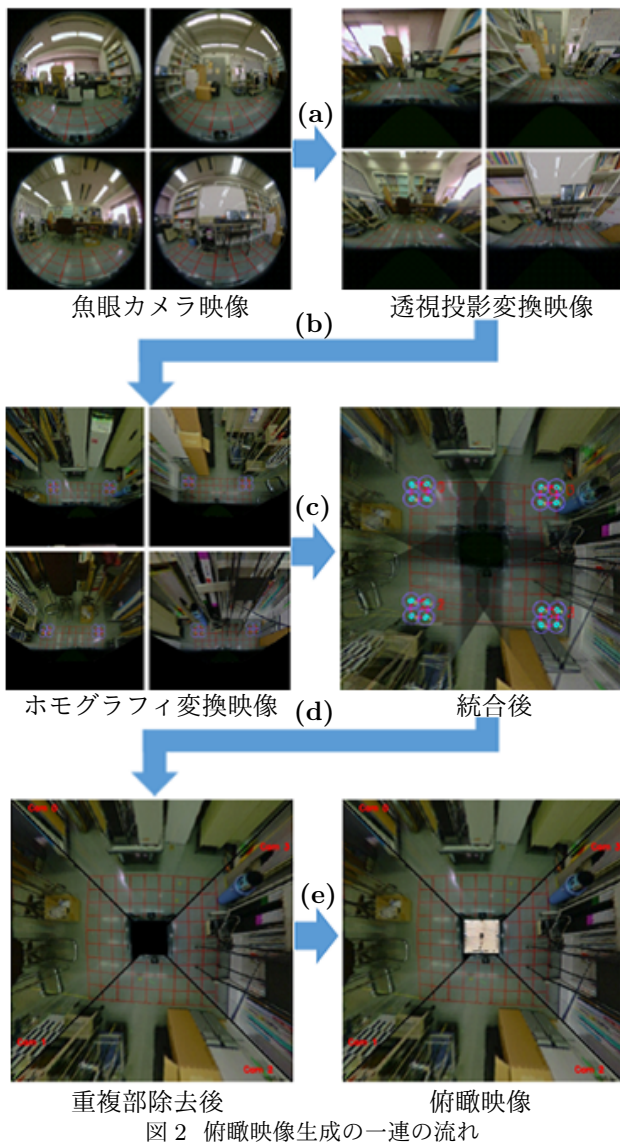
最後に、図 2(e) ではあらかじめ用意した、ロボットを真上から撮影した画像を埋め込むことで、より自然な俯瞰映像を生成する。

3. 欠損視野の補完手法

ここでは、カメラの数を増やすことや過去の映像を使うことなく、1 台のカメラ故障時も欠損視野を補完可能な俯瞰映像生成手法について述べる。提案手法では、魚眼カメラの広角性を用いることで欠損視野の補完を行う。そこで、現在のカメラ配置では魚眼カメラの広角性を活用できていないことを述べた後にカメラ配置変更により、俯瞰映像生成に必要な情報をより多く取得でき、欠損視野の補完が可能となることを示す。

3.1 従来のカメラの配置の問題点

俯瞰映像提示システムでは、図 3(a) および (b) に示すようにカメラをロボットの側面に光軸が地面と平行となるように装着する。4 台の魚眼カメラを用いることで俯瞰映像を作り出す試みは、車の駐車支援システムであるアラウンドビューモニタ [5] や、鉱山機械用全周囲安全支援装置 SkyAngle [6] など数多く行われているが、そのカメラの設置場所はどれも機体の側面である。



ここで、側面に付けられた魚眼カメラがどれほどの視野を持つか示す。魚眼カメラが180度の視野角を持つと仮定した場合の、ロボットの側面に装着した1台の魚眼カメラで得られる視野を図3(a)および(b)に示す。いずれも、魚眼カメラの光軸を地面と平行となるようにロボットに装着したイメージ図で、図3(a)が斜め側面から見た図であり、図3(b)が上から見た図である。魚眼カメラで撮影可能な床面上の領域を黄色で示している。俯瞰映像提示の際には床部の映像が重要であり、床部の映像が全方位得られることで俯瞰映像が生成可能である。

1台の魚眼カメラの映像中で、俯瞰映像に使われている領域を図4(a)および(b)に示す。図4(a)が俯瞰映像であり、赤く囲われている部分を生成するために必要な魚眼カメラの映像を図4(b)中に青く囲って示している。従来のカメラ配置では俯瞰映像生成の際、魚眼カメラからの映像の半分以上が用いられておらず、魚眼カメラの広角性を十分に活用できていない。

3.2 従来のカメラ配置での欠損視野の補完

従来のカメラ配置での、カメラ故障時の欠損視野の補完結果を示す。図5(a)に4台の魚眼カメラそれぞれ

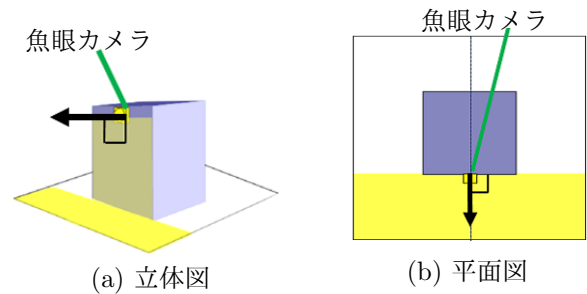


図3 魚眼カメラの視野（側面設置）

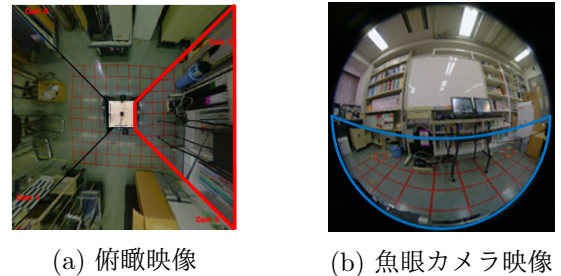
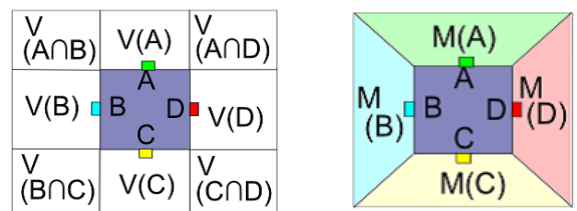


図4 俯瞰映像に使用する領域（側面設置）



(a) 4台の魚眼カメラの視野 (b) 正常時のマスク領域

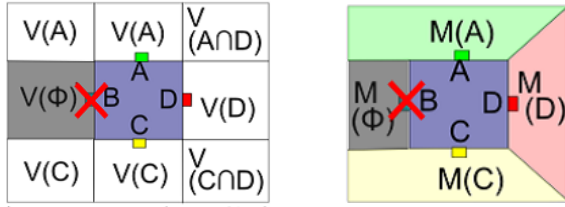
図5 正常時のマスク領域定義（従来のカメラ配置）

の視野を示す。カメラ X で見える領域を $V(X)$ とし、カメラ X と Y の両方に見える領域を $V(X \cap Y)$ とし、図5(a)から確認できるように、俯瞰映像中で複数のカメラにより撮影できる部分がある。そこで、図5(b)で示すように、各々のカメラが担当する部分を定義する。カメラ X が担当する領域（マスク領域）を $M(X)$ とし、図5(b)で示している。

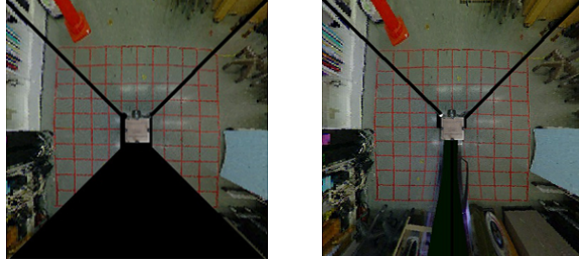
1台のカメラ故障時に魚眼カメラで得られる視野を、図6(a)に示す。この時の俯瞰映像を図7(a)に示す。そこで、マスク領域を図6(b)と変更することで、欠損視野の補完を行う。この時、どのカメラからも見えない領域を $V(\phi)$, $M(\phi)$ と示している。実際に得られた映像を図7(b)に示す。図7(a), (b)中の下側のカメラが壊れた場合の、欠損視野の補完結果を示している。図7(b)から確認できるように、故障したカメラ側に補完できない欠損視野が存在する。従来のカメラ配置では、魚眼カメラの広角性が活用できずに、1台のカメラが故障時に欠損視野を補完することが困難である。

3.3 魚眼カメラの広角性を活かしたカメラ配置

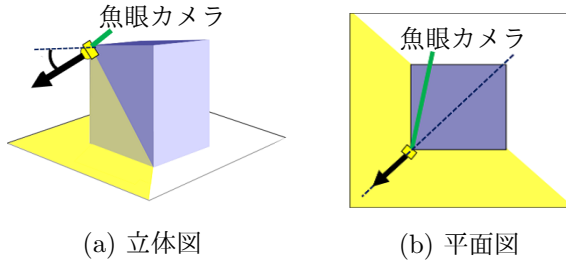
従来のカメラ配置では、魚眼カメラの広角性を十分に活用できていない。そこで本手法では、ロボット上面の4つの角部に対角線方向にカメラを配置する。さらにカメラを俯角側に傾けることによって、魚眼カメラの広角性を活用する。ロボットに1台の魚眼カメラを装着したイメージ図を図8(a)および(b)に示す。図3(a)および(b)は図8(a)および(b)と同様に1台の魚眼カメラで撮影可能な床面上の部分を黄色で示してい



(a) 故障時のカメラの視野 (b) 故障時のマスク領域
図 6 故障時のマスク領域定義 (従来のカメラ配置)



(a) マスク領域変更前 (b) マスク領域変更後
図 7 カメラ故障時の俯瞰映像 (従来のカメラ配置)



(a) 立体図 (b) 平面図
図 8 魚眼カメラの視野 (角部設置)

る. 図 3(b) と図 8(b) の比較より, 本手法では従来のカメラ配置と比べて, 1 台のカメラで俯瞰映像生成に必要な領域がより広く取得可能となることがわかる.

本手法のカメラ配置により, 1 台の魚眼カメラで撮影した画像を図 9 に示す. 図 4(b) と同様に, 図 9 中で, 俯瞰映像に利用可能な領域を青く囲って示している. 図 4(b) と図 9 の比較から, 以前のカメラ配置では魚眼カメラからの映像の半分以上が利用されていなかったのに対し, 本手法のカメラ配置を用いることで魚眼カメラからの映像のより広い部分が利用可能となる.

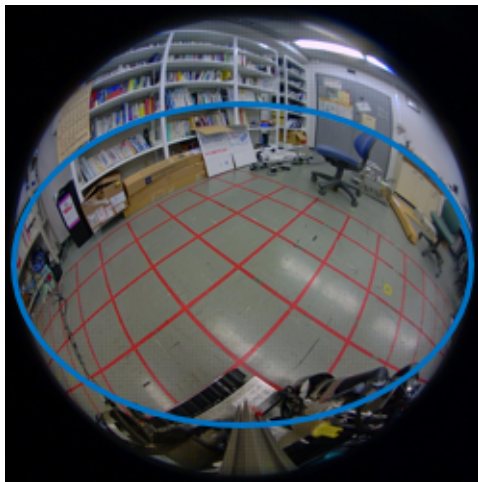
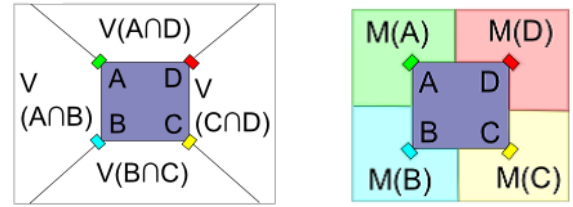
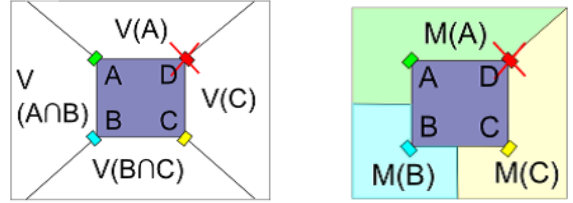


図 9 俯瞰映像に利用可能な領域 (角部設置)



(a) 4 台の魚眼カメラの視野 (b) 正常時のマスク領域
図 10 正常時のマスク領域定義 (提案手法のカメラ配置)



(a) 故障時のカメラの視野 (b) 故障時のマスク領域
図 11 故障時のマスク領域定義 (提案手法のカメラ配置)

3.4 魚眼カメラの広角性を活かした欠損視野の補完

本手法のカメラ配置における, カメラ故障時の欠損視野の補完結果のイメージを示す. 図 5(a) と同様に, 図 10(a) に 4 台の魚眼カメラそれぞれの視野を示す. また, 図 5(b) と同様に, 図 10(b) に各々のカメラが担当する部分であるマスク領域を示す. 図 10(a) から確認できるように, すべての床面を 2 台のカメラで取得可能であることがわかる.

1 台のカメラ故障時に魚眼カメラで得られる視野を, 図 11(a) に示す. そこで, マスク領域を図 11(b) とすることで, 欠損視野の補完を行う. 図 11(a) から確認できるように, カメラ故障時もすべての床面を 1 台以上のカメラで取得可能である. よって, 提案手法のカメラ配置にすることで, 1 台のカメラが故障時にも欠損視野をすべて補完することが可能である.

4. 実験

4.1 実験システム

使用したロボットを図 12 に示す. このロボットは文献 [7] のプロジェクトで開発された水陸両用ロボットである. 提案手法に基づいて, 魚眼カメラをロボット上面の 4 つの角部に図 12 中で丸で囲って示した位置に装着した. 今回使用したロボットでは, 図 13 で示すように魚眼カメラの向きを俯角 45 度とした. 今回使用した魚眼カメラの視野角は 185 度である.

4.2 実験結果

4 台の魚眼カメラを用いた正常時の俯瞰映像を図 14(a) に示す. また, 1 台のカメラ故障時の俯瞰映像を図 14(b) に, 1 台のカメラ故障時にマスク領域を変更して欠損視野を補完した俯瞰映像を図 15 に示す.

図 14(a) と図 15 を比較すると, 補完部分には歪みが残っていることが確認できる. しかし, 図 15 からロボットと周囲物体との位置関係の把握が容易に可能であるので, 提案手法を用いることで 1 台のカメラ故障時も遠隔操縦に必要な映像を提示可能である.

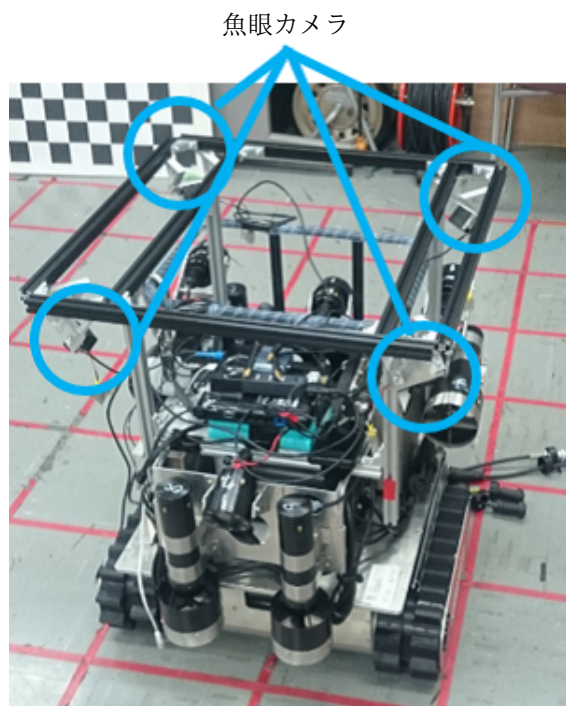


図 12 使用したロボット [7]

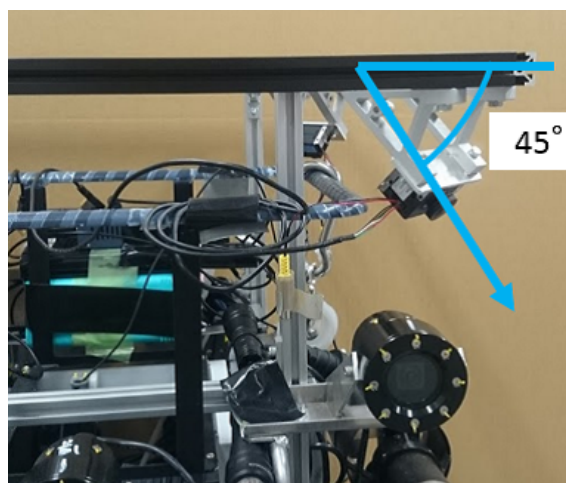
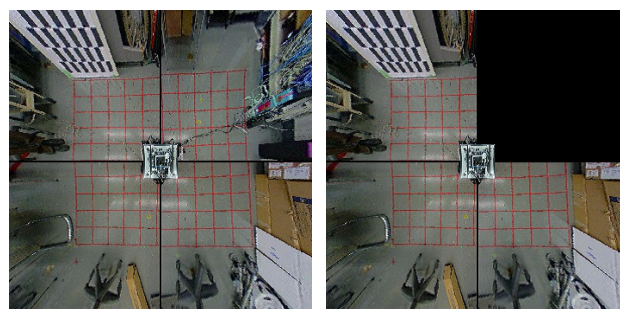


図 13 魚眼カメラの取り付け

5. 結論

本研究では、カメラの台数を増やすことなく、過去の画像を使うことなく、カメラ故障時の欠損視野を補完可能な俯瞰映像提示システムを構築した。ロボットの上面の4つの角部に俯角向き45度で魚眼カメラを装着することで、魚眼カメラの広角性をより活かし、俯瞰映像生成に必要な情報をより多く取得することが可能となった。本システムにより、1台のカメラが故障時にも欠損視野を補完した俯瞰映像を生成することが可能になる。また、本手法では過去の映像を使用することなく、現在の映像を有効活用して欠損視野の補完を行っているため、動的環境でも効果的であるといえる。

本研究の手法は俯瞰映像に必要なすべての領域を常時複数台のカメラで取得可能である点も特徴的である。この点を用いて、俯瞰映像生成と同時に、ステレオ視を用いた障害物検知などを行うことが今後の展望である。



(a) 正常時

(b) カメラ故障時

図 14 俯瞰映像

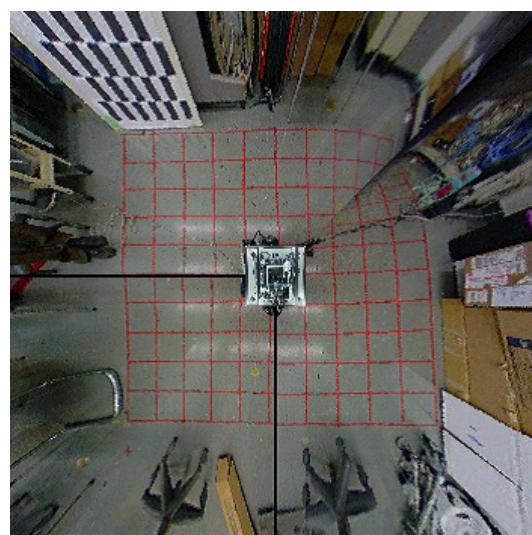


図 15 カメラ故障時の補完された俯瞰映像

参考文献

- [1] 浅間 一: “災害時に活用可能なロボット技術の研究開発と運用システムの構築”, 日本ロボット学会誌, vol. 32, no. 1, pp. 37–41, 2014.
- [2] 山口 崇, 吉田 正, 石松 豊: “遠隔操作におけるマンマシンインターフェースに関する実態調査”, 土木学会第59回年次学術講演会概要集, vol. 59, no. 6, pp. 373–374, 2004.
- [3] 佐藤 貴亮, Alessandro Moro, 藤井 浩光, 杉本 和也, 野末 晃, 三村 洋一, 小幡 克実, 山下 淳, 浅間 一: “無人化施工における疑似俯瞰映像提示システムの開発”, 第19回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 346–352, 2014.
- [4] 佐藤 貴亮, Alessandro Moro, 山下 淳, 浅間 一: “複数の魚眼カメラの時空間データによる全方位俯瞰画像生成”, 第18回ロボティクスシンポジウム講演予稿集, pp. 367–372, 2013.
- [5] 鈴木 政康, 知野見 聡: “アラウンドビューモニタの開発(トビックス)”, 日本機械学会誌, vol. 111, no. 1073, p. 332, 2008.
- [6] 石本 英史, 古渡 陽一, 稲野辺 慶仁, 川股 幸博, 太田 守飛: “鉱山機械用全周囲安全支援装置 SkyAngle”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14 講演論文集, 1P1-M04, 2014.
- [7] 新エネルギー・産業技術総合開発機構: “災害対応無人化システム研究開発プロジェクト 計測・作業要素技術の開発 水陸両用モニタリングデバイスの開発”, 平成23年度～平成24年度成果報告書, 2013.