海上船体点検のための動画像からのパノラマ合成

○長内福智 †，美尾樹 †，滝澤一樹 †，内山 英昭 ‡

○ Yoshito OSANAI †，Tatsuru MIO †，Kazuki TAKIZAWA † and Hideaki UCHIYAMA ‡

†：株式会社三井 E&S，yoshito-osanai@mes.co.jp

‡：奈良先端科学技術大学院大学，hideaki.uchiyama@is.naist.jp

＜要約＞船舶の外壁面の汚損状況の管理が強化されており，撮影位置の情報を付与した鮮明な画像の取得が求められている．このためレポート作成作業者の負荷も高くなっており，画像処理の自動化の要求が強くなってくることが見込まれている．また，海中で船体の連続的な検査画像を撮影するためには，海水のノイズと特徴の少ない船体表面から撮影個所を同定することが課題となる．本研究では，海中環境において狭視野角で局所的に撮影された船体表面の複数の画像に対して，鉛直方向にパノラマ合成することで検査領域全体のパノラマ画像を得る手法を開発した．本発表では，最近の画像位置合わせ手法を狭視野の船体画像に適用して船体検査用のパノラマ合成を行う手法を提案する．

＜キーワード＞パノラマ合成，船体表面画像，特徴点抽出，深層学習

1　はじめに

近年，外来生物による海洋生態系の破壊への関心が世界的に高まっており，国際海事機関（IMO）は 2021 年に採択された「有害水生生物の移動を最小化するための船体付着生物の管理に関するガイドライン [1]」の実用性や有効性を評価し，2023 年 4 月に同ガイドラインの改正に合意した．改正ガイドラインでは，船体の汚損度の検査のための画像の撮影方法や検査の間隔等が見直されており，船体外周を数か所撮影した画像を使用することを推奨している．また，ニュージーランドでは船の入国時に船体が清浄であることのレポートの提出が義務付けられており，撮影方法や品質，画像位置の特定などについて細かく規定がなされている [2].

海中で撮影された画像はノイズが多く，また船体が塗装直後で特徴点抽出が困難な平面である場合が多い．このことは画像のパノラマ合成を困難にする．海中で高品質な画像を取得するためにはマリンスノー等の海水ノイズへの対策が必要となるが，提出用レポートに掲載する検査画像であることを考慮すると画像処理や画像生成により後処理でノイズを除去するのはレポートの信頼性を大きく損ねる．また，撮影された画像に位置情報を付与するためには音響測位などの手法と組み合わせる必要があり高価な機器が必要となる．本研究では，ノイズの影響を抑えるため船体表面に接近して画像撮影を行い，カメラを船体表面に沿って連続的に移動させることにより船体表面を連続的に撮影して，そのパノラマ画像から位置同定を可能にすることを目指す．そのため，本研究では，

- 画像間の対応付け手法として，特徴点ベースの手法である LoFTR（Detector-Free Local Feature Matching with Transformers）[3] と Photometric error をベースとする ECC（Enhanced Correlation Coefficient）[4] を試した．
- 幾何変換制約として Homography と Translation を試した．

結論として，Homography は自由度が高いために，誤った変換が求まることが多いという結果が得られた．

2　提案システム

2.1　撮影ジグの設計

図 1 に船体の撮影のために開発したカメラユニットの概略図を示す．船体検査画像の収集はマグネットキャスター付きカメラ筐体で船体表面との間隔を 100 mm 一定にしたまま走行させることで取得した．カメラ筐体は船のデッキから回転数が一定ではない手動のウイ

ンチを使って上下方向に移動させることができる．検査に必要な撮影エリアを確保するためにカメラレンズと撮影対象との距離を離して撮影エリアを広げるため，かつ，海水の抵抗を減らすためカメラ筐体内部に設置されたミラーを介して，カメラレンズ及び撮像素子は船体表面と水平に配置される．海中での撮影では十分な照度が得られないため，カメラ筐体の両側に筐体と船体と隙間を照らすように 2 か所光源が設置されている．水圧の影響によりカメラ筐体の変形を防ぐためカメラ筐体の内部には真水が注入されている．

図 2 に本カメラユニットで取得された画像の一例を示す．撮像素子で取得した画像の中で船体表面部分が写っているのはミラーの部分だけであるので，図のような細長い画像がフレーム毎に所得される．カメラ筐体と船体表面が接近しているため海水ノイズの影響が緩和されていることがわかる．この細長い画像に対して特徴点の抽出を行った．

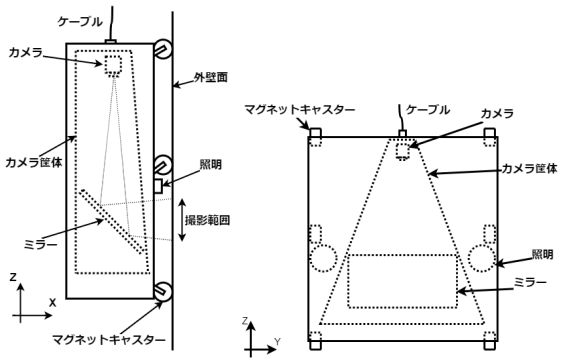

図 1　カメラユニットの概略図

図 2　撮影された画像の一例

2.2　パノラマ合成

前述のカメラユニットを船体側面を走行させることによって掃引撮影を行い，得られた連続画像からパノラマ画像を生成した．パノラマ画像生成では，各フレーム間でのホモグラフィ変換行列を推定する必要があるが，船体は塗装された直後や清浄な場合には，個々に撮影された細長い画像に対して明確な特徴が得られない場合がある．そのために前後の画像でのりしろとなる範囲が狭く，個々の画像上に必ずしも明確な特徴が入らない可能性がある．

また，センサユニットは船側上を走行していくが波浪の影響を受けるため完全に直線的に走行することは難しく，また海中でセンサユニットの姿勢を検出することも容易ではない．そのため，得られた同時変換行列成分の値は正確ではないことを考慮し，撮影機器が船体に対して平行に動くと仮定して各フレーム間の平行移動成分のみを考慮することとした．

特徴点抽出が困難な画像の位置合わせには，従来は ECC が用いられることが多い．そこで，船体表面画像のような特徴の少ない画像に対する特徴点抽出に優れた LoFTR を適用してフレーム間のホモグラフィ変換行列を推定して合成結果の比較を行った．LoFTR で検出されたマッチング点のうち信頼度の高いペアに対して同次変換行列のうち平行移動成分のみを使って画像のパノラマ合成を行う．

3　実験結果

実験は一般的な停泊中のばら積み船に対してカメラユニットを走行させることで行われた．撮影された一連の細長い画像は通常は人手により張り合わせを行っている．それに対して撮影された各フレームに対し，直前のフレームとの対応付けを ECC と LoFTR を用いたマッチングによりホモグラフィ推定を行い，提案手法によりパノラマ合成を行うことで画像の張り合わせ作業を自動化した．

図 3 はドラフトマーク周辺を撮影したときのパノラマ合成の結果である．画像はそれぞれ人手により画像を張り合わせたもの，ECC により平行移動を行ったもの，LoFTR により特徴点抽出して平行移動させたものを示す．ドラフトマークは特徴的な画像であるため，どの手法を用いても比較的安定してパノラマ画像が得られた．一方，図 4 に示されるような特徴の少ない画像に対しては，LoFTR を用いた手法は人手で張り付けたものと同程度の位置精度が得られているものの，ECC によるものはやや位置ずれの発生が確認された．

また，図 5 に示されるような黒の塗装された面においては，ECC では合成結果画像からは船体の状態が分からないレベルになったのに対し，LoFTR では一番下のドラフトマークを除き人手で張り付けた画像と同等のパノラマ合成ができることが確認できた．黒色など特徴が捉えにくい画像に対しては，ECC と LoFTR で

は画像移動量の推定に差が生じる結果となった．

合成までの時間を動画からフレームを切り出し合成された画像を出力する一連の処理時間として計測し，約3400 フレームの動画に対し，人手では約 2 時間，GPU 上で計算した LoFTR では 46 分 28 秒，ECC では 24 分 38 秒となった．人手によるパノラマ合成よりも自動化により大幅に高速化が見込まれる結果となった．

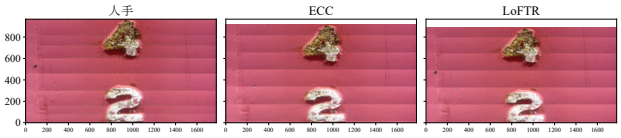

図 3　ドラフトマークの合成

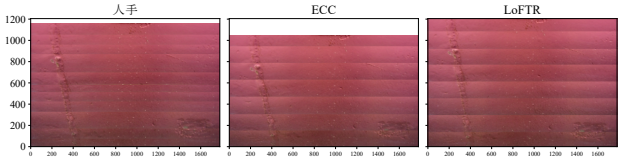

図 4　特徴が少ない平面の画像合成結果

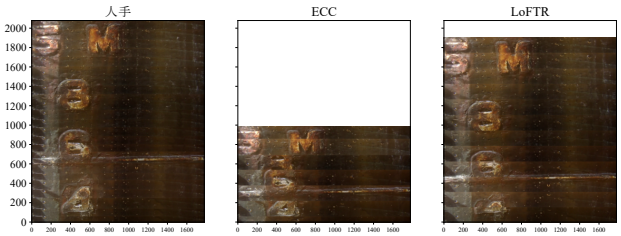

図 5　黒の塗装がされた船体の合成結果

4　まとめ

船体表面点検で用いるための画像のパノラマ合成を試みたところ，提案手法によりホモグラフィ推定から平行移動量を算出することで検査レポートで用いる画像が生成可能なパノラマ合成が可能であることがわかった．また，2 つのホモグラフィ推定アルゴリズムを比較したところ，ECC に対して LoFTR を用いる手法の方が安定して検査用のパノラマ画像が得られやすいことがわかった．今後は船側以外の箇所でも本手法が有効かどうか検証していく予定である．

参考文献

[1] Resolution MEPC.378(80) Annex 17 ”2023 Guidelines for the Control and Management of Ships’ Biofouling to Minimize the Transfer of Invasive Aquatic Species ”， adopted on 7 July 2023

[2] ”Craft Risk Management Standard: Vessels ”, Ministry for Primary Industries, New Zealand Government (2023.10)

[3] S. Jiaming, S. Zehong, W. Yuang, B. Hujun, and Z. Xiaowei, CVPR (2021)

[4] G. D. Evangelidis and E. Z. Psarakis, IEEE Trans. on PAMI (2008)