

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14501
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21H01213
研究課題名（和文）防食塗装の経年劣化を遠隔から定量評価できる目視を超越した赤外分光計測法の創生

研究課題名（英文）Development of an infrared spectroscopic measurement method that is beyond visual inspection to enable remote quantitative evaluation of the aging anticorrosion coatings.

研究代表者
阪上 隆英（Sakagami, Takahide）
神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：50192589
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、橋梁をはじめとするインフラ鋼構造物に施工されている重防食塗装の劣化を早期に検出するとともに、劣化の進行程度すなわち防食塗装の残存膜厚を定量的に評価できる手法を開発した。重防食塗装膜が有する赤外光の分光反射・吸収・透過特性に着目し、赤外線カメラを用いた分光画像計測ならびに分光特性に基づくスペクトル逆問題解析により、遠隔から構造物の広領域に対して、防食塗装膜の劣化を評価できる「目視を超越した」新しい非破壊試験法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

重防食塗装膜が有する赤外光の分光反射・吸収・透過特性に着目し、赤外線カメラを用いた分光画像計測ならびに分光特性に基づくスペクトル逆問題解析により、遠隔から構造物の広領域に対して、防食塗装膜の劣化を評価できる新しい非破壊試験法を開発したことは学術的進展に値する。また、長大鋼橋梁を主な計測対象とした現場実験を通じては、本研究課題で開発した計測手法の有用性が確認でき、今後の社会実装に向けた有益な知見が得られており社会の安全・安心に貢献する成果である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a method for early detection of deterioration of heavy-duty anticorrosion coatings on steel structures such as bridges and other infrastructure structures and quantitative evaluation of the degree of deterioration, i.e., the remaining thickness of the anticorrosion coating. Focusing on the spectral reflection, absorption, and transmission characteristics of infrared light from the heavy-duty anticorrosion coating, we developed a new nondestructive testing method that is beyond visual inspection to evaluate the deterioration of the anticorrosion coating over a wide area of the structure from a distance by using spectral image measurement with an infrared camera and spectral inverse problem analysis based on spectral characteristics.

研究分野：材料力学，実験力学，非破壊検査

キーワード：材料力学 実験力学 非破壊検査 赤外線計測 状態監視 重防食塗装 鋼構造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

鋼構造物の二大劣化事象は「疲労」と「腐食」である。鋼構造物の供用を停止することなく、効率的かつ高精度に構造物の疲労および腐食に関する事象を検出・評価し、構造物の健全性を保証する非破壊評価法の重要性は言をまたない。鋼構造物の長寿命化ならびにライフサイクルコストの削減には、予防保全の導入が不可欠である。腐食損傷に対する予防保全における課題は、防食塗装の劣化を早期に検知して、塗り替えや補強塗装などの対策を講じることにある。鋼構造物の腐食に対する予防保全での最重要課題は、重防食塗装の劣化を早期に効率的かつ高精度に検知、劣化進行度を定量的に評価し、これに基づき防食計画を立案・実行することである。しかしながらそれを可能にする非破壊評価法は、国内・国外を通じて存在しない。防食塗装の予防保全のためには、遠隔から非破壊で広範囲の塗膜劣化・損耗の定量評価を可能にする新検査技術の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、橋梁をはじめとするインフラ鋼構造物に施工されている、重防食塗装膜が有する赤外光の分光反射・吸収・透過特性に着目し、赤外線カメラを用いた分光画像計測ならびに分光特性に基づくスペクトル逆問題解析により、遠隔から構造物の広領域に対して、防食塗装膜の劣化を早期に検出するとともに、劣化の進行程度すなわち防食塗装の残存膜厚を定量的に評価できる、「目視を超越した」全く新しい計測法を創生することである。

3. 研究の方法

本研究が目指した到達点は、防食塗装膜の早期劣化を検出するとともに、劣化の進行程度すなわち防食塗装の残存膜厚を定量的に評価できる、目視を超越した全く新しい計測法を創生することである。研究の方法として、本研究課題で行った具体的研究項目を以下に示す。

アクティブロックイン赤外線計測による残存膜厚定量評価法の開発

パッシブ計測では環境の影響を受けるため、膜厚の定量計測のためには照明を使用したアクティブ計測が必要となるが、自然光の状態にそのままアクティブ照明を付加しただけでは、前述の外乱の影響を排除できないため、アクティブ照明による近赤外線反射強度だけを計測する必要がある。そこで、変動するアクティブ赤外線照明による自己相関ロックイン計測法を適用することで赤外線輝度値の変動のみを抽出し、外乱を除去した残存塗膜厚を定量化する手法を開発した。

ハイパースペクトル赤外線計測システムの開発

鋼構造物の防食塗装においては、構造物の種類や使用環境などに応じて様々な化学組成・層構造の塗膜が形成されており、これらは塗料の銘柄や年代によっても異なっているため、防食塗装膜が有する赤外線吸収や反射に関する分光特性は対象とする構造物ごとに異なる。このため、塗膜の経年劣化部位の検出や残存膜厚の定量計測を的確に実施するためには、測定対象の赤外分光特性の評価、塗膜劣化計測に最適な波長帯域の決定が必要である。そこで、ハイパースペクトル赤外線計測システムを、近赤外線カメラを基礎に試作した。さらに、これに基づき特定帯域透過フィルタを用いた赤外線計測を行った。

実験室レベルでの塗膜劣化評価・残存膜厚評価試験

上塗層の膜厚を段階的に変化させた試験片を用いて、赤外分光計測による膜厚評価に関する実験室レベルでの計測を行った。また、化学的劣化に関しては、環境負荷による促進劣化試験サンプルおよび長期暴露試験サンプルに対する計測を行った。

データ解析法の高度化による塗膜劣化検出の高精度化

ハイパースペクトル赤外線計測データを処理し塗膜劣化部位を高精度に検出するため、ハイパースペクトルデータキューブに対するデータ解析手法(主成分解析法、スペクトルマッチング解析法)を開発した。

実橋梁の防食塗装膜に対する塗膜劣化評価・残存膜厚評価試験

太陽光を用いるパッシブ計測および照明光を用いるアクティブ計測による塗膜劣化検出を行った。種々の鋼構造物の防食塗装に用いられている、様々な銘柄の塗料に対し赤外分光特性を計測し、特定帯域透過フィルタを用いた赤外線計測により高精度かつ高効率な劣化評価を行うことが可能であるか検証した。さらに、上述のデータ解析法を導入したハイパースペクトルイメージングによる高精度な塗膜劣化検出を行った。長大鋼橋梁を主な計測対象とした現場実験を通じて、本研究課題で開発したハイパースペクトルシステムの有用性を確認するとともに、社会実装に向けた問題点の抽出を行った。

4. 研究成果

4.1 アクティブ自己相関ロックイン計測による防食塗装の残存膜厚の定量評価

長大鋼橋梁の表面には、図1に示すような構造の重防食塗装が施されている。塗膜は年月とともに表

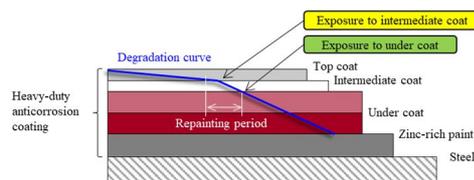


図1 重防食塗装の構造

面から損耗するため、長大鋼橋梁においては、下塗層が露出する前に塗替塗装を完了させるという考えに基づき予防保全が行われている。このため、上塗層の残存膜厚を定量的かつ適切に評価し、塗膜寿命を推定することによって適切な時期に塗替塗装に着手する必要がある。しかしながら、塗膜の残存膜厚の測定については、現状では非破壊的に評価する手法は確立されていない。本研究組織においては、これまでに重防食塗装の近赤外線域における分光吸収特性を利用して、重防食塗装上塗層の残存膜厚を定量的に評価する手法を開発した。しかしながら、パッシブ状態での近赤外線反射エネルギーは、日照条件や周辺構造物の影響など様々な影響を受ける。そこで赤外線照明を用いたアクティブ計測および自己相関ロックイン処理を組み合わせた図2に示すアクティブロックイン近赤外線計測により、実橋梁の採光条件に影響を受けることなく上塗層の残存膜厚を定量的に評価できる手法を開発した。本手法は、周期変動する照明を測定対象に当てながら赤外線計測を行い、測定領域内に設定した点での赤外線強度変動信号をもとに全データに自己相関ロックイン処理を施すことで、膜厚に依存する赤外線反射強度の変動成分のみを採光条件の影響を受けずに抽出し、膜厚の推定を行うものである。

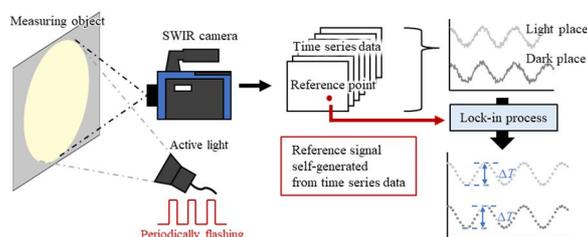


図2 アクティブロックイン赤外線計測

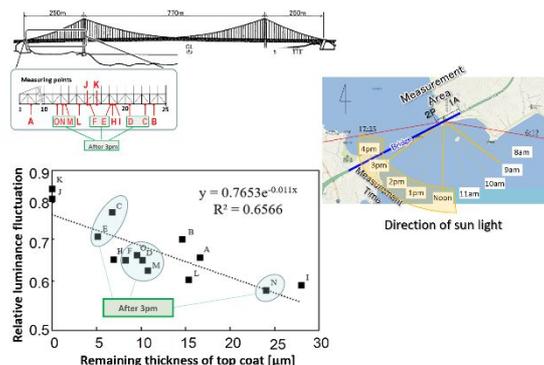


図3 実橋梁での残存膜厚推定結果

開発したアクティブ自己相関ロックイン計測による残存膜厚の定量評価法の有効性を、本州四国連絡橋で確認した結果を示す。計測対象は、吊橋の補剛桁主構トラス下弦材ウェブ面とした。桁外面作業車上に、近赤外線カメラとビデオライトを、測定対象の下弦材に向けて横並びに設置し撮影を行った。対象橋梁の計14箇所(A~F, H~O)の残存膜厚を微破壊により実測し、同じ点の相対変動輝度値との関係を求めた結果を図3に示す。図より、相対変動輝度比と残存膜厚に明瞭な相関関係が見られることが分かる。本実験を通じて、実橋梁においてもアクティブ自己相関ロックイン法により、周囲環境による採光条件にかかわらず、近赤外線計測による防食塗装の残存膜厚評価を高精度に行うことが可能であることがわかった。

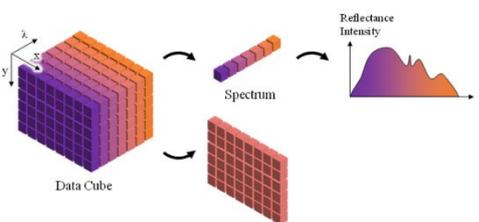


図4 ハイパースペクトルデータキューブ

4.2 ハイパースペクトル装置の開発

赤外線の吸収・反射に関する分光特性が未知である重防食塗装に対しても、適切な波長域の選択による中塗露出部の検出が可能となるように、近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを開発した。ハイパースペクトルイメージングは、分光計測と画像計測を組み合わせた技術であり、リモートセンシングをはじめ様々な分野で使用されている。ハイパースペクトル装置では、縦1ラインの光束を分光器により分光し、これを赤外線イメージセンサの横ピクセル列を用いて計測し、さらにシステム全体を横方向に走査することで、2次元の位置情報(x, y)と各ピクセルの波長分光情報(λ)で構成される図4に示すような3次元のデータキューブを構成する。このデータキューブを解析することで、特定波長でのピクセルの赤外線強度を示す画像を構成することができ、材料がもつ特定波長の吸収・反射特性の差異を強調して画像表示することができる。このため、材料の識別など、波長特性の可視化に基づく計測が可能となる。本研究で開発した近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを図5に示す。本システムでは、900~1700nmの近赤外線領域を640分割した波長ごとの赤外線強度データを取得することができる。

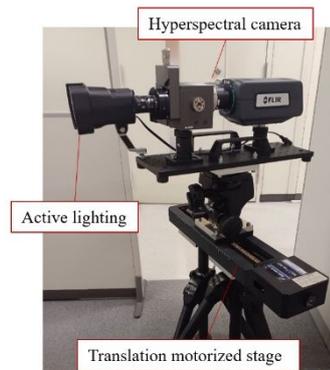


図5 ハイパースペクトルイメージングシステム



図6 長大鋼橋におけるハイパースペクトル計測

実橋梁環境において近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて、重防食塗膜の上塗層の喪失による中塗層の露出箇所検出の高度化を検討した。塗替塗装後21年が経過し、上塗ふっ素樹脂層の部分的な劣化が一部報告されている状況であった。計測時の状況を図6に、

計測結果の一例を図7にそれぞれ示す。全波長域で平均化された赤外線強度では中塗露出領域を明瞭に検出できていないのに対して、ハイパースペクトル計測で得られた分光データにおいて上塗と中塗の差異が大きくなっている波長域で画像化した図7(d)および(e)では、中塗露出領域を良好なコントラストで検出できている。また、1200nm および 1500nm では、分光強度が逆転していることで、画像においてもコントラストが反転している。以上のことから、近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いることで、分光特性が未知な塗膜に対しても、中塗露出部の検出に最適な計測波長域をその場で見つけることができ、精度の高い塗膜劣化の現場計測を行うことが可能であることが明らかになった。

4.3 ハイパースペクトルデータキューブに対するデータ解析手法

上塗塗膜損耗部を高精度に検出するためのハイパースペクトルデータに対するデータ解析手法として、スペクトルロックイン法および主成分解析法を開発した。

4.3.1 スペクトルロックイン法

上塗および中塗塗膜が有する全波長域での吸収・反射スペクトルを参照データとして用い、すべてのピクセルの分光計測データにマッチング処理を行うことで、上塗および中塗の分光スペクトルとの相関度を定量化して画像表示することにより、中塗露出部の検出精度向上を試みた。スペクトル解析の精度を向上させるため、データキューブの空間・スペクトルデータに対する前処理として、平滑化処理および散乱光補正処理を行った。散乱光補正処理は、計測対象の表面性状による散乱効果や照明強度の不均一性によりピクセルごとに異なるスペクトルのベースラインのばらつきを低減する処理であり、MSC(Multiplicative Scatter Correction)を採用した。ハイパースペクトルデータキューブのマッチング処理手法としては、不規則な変動波形の信号に対しても適用可能な、自己相関ロックイン法をスペクトル波形に応用した。上塗および中塗塗膜が有する全波長域での吸収スペクトルを参照信号として用い、全ピクセルに対して自己相関ロックイン処理を施すと、参照信号として用いた分光吸収スペクトル(参照スペクトル)との相対強度値の分布データを得ることができ、参照スペクトルとの相関性が定量化された画像を得ることができる。

上述した実橋梁に対して得られた近赤外線ハイパースペクトル計測データに対して、スペクトルロックイン処理を行った。前処理を施したハイパースペクトルデータキューブに対して、図7(c)に示した中塗塗料の参照スペクトルを用いてスペクトルロックイン処理を行った結果を図8(a)に、上塗塗料の参照スペクトルを用いてスペクトルロックイン処理を行った結果を図8(b)にそれぞれ示す。グレースケールで示した値は、参照スペクトルとの相対強度比を示している。図より、自己相関ロックイン処理によるスペクトルロックイン画像では、データキューブから抜粋した特定波長域の分光強度画像よりも、上塗層と中塗層の違いを示すコントラストが明確になっていることがわかる。本研究で開発したスペクトルロックイン法は、中塗層の露出箇所を高精度に検出できる有効な手法であることが明らかになった。

4.3.2 主成分解析法

主成分解析(PCA)は、複数の変数間の共分散を少数の合成変数で説明し、共分散行列の固有値問題の解として得ることで、データの特徴を複数の変数で捉え強調するデータ解析手法である。具体的な処理としては、図9に示すようにデータキューブを一つの行列Aに変換し、特異値分解することで3つの行列を得る。そのうち、行列Uは各列がEOFと呼ばれ、2次元に再構成することでデータキューブの

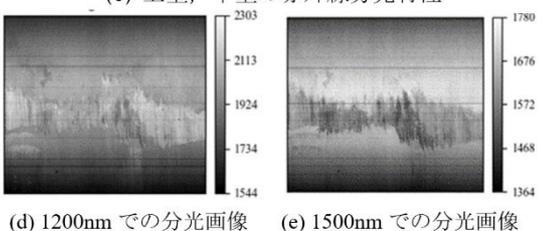
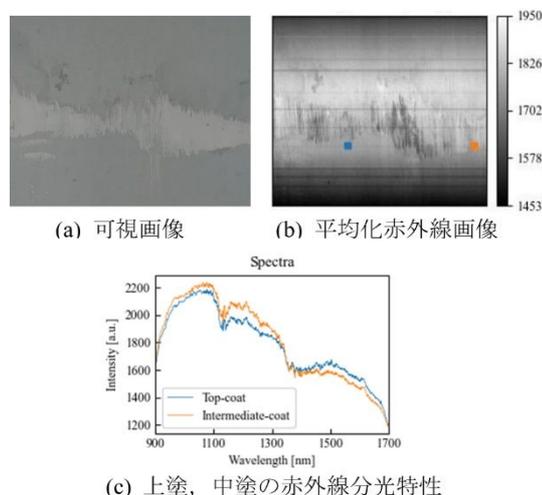


図7 実橋梁でのハイパースペクトル計測結果

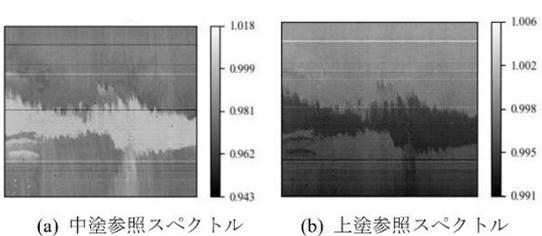


図8 スペクトルロックイン計測結果

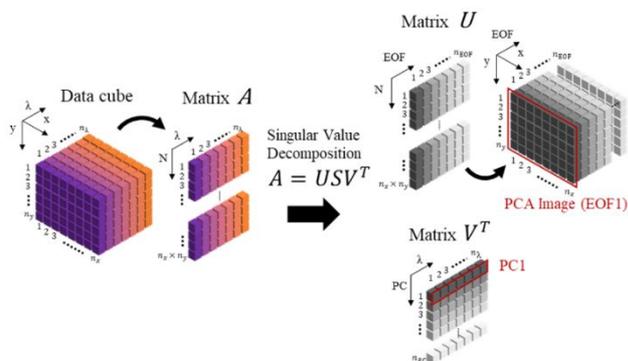


図9 主成分解析の概念図

特徴を 2 次元画像で抽出することができる。

上述した実橋梁に対して得られた近赤外線ハイパースペクトル計測データに対して、主成分解析処理を行った。EOF 画像の一例として、EOF1 および EOF2 を図 10 に示す。主成分解析処理を適用することによって、中塗露出箇所がより強調されていることがわかる。

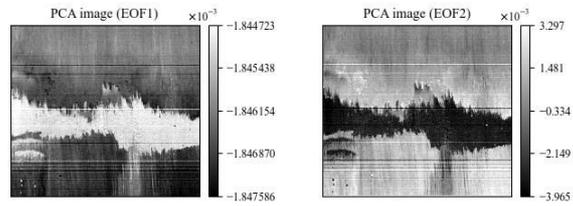


図 10 主成分解析結果

4.4 多波長ロックイン赤外線計測による防食塗装の劣化評価手法の高度化

前節までに、近赤外線域でのハイパースペクトル塗膜計測結果を示したが、防食塗装の中には $3 \sim 5\mu\text{m}$ の中波長 (MW) 域に特徴的な分光特性を示す塗膜が存在する。このため、中波長赤外線カメラを用いた実験的検討を行い、中波長域における反射成分と放射成分の影響を考察するとともに、中波長域に特徴的な分光特性を示す上塗塗膜の残存膜厚の定量評価について検討した。MW 赤外線カメラを用いた塗膜計測では、赤外線照明による反射成分と赤外線照明により試験対象物が加熱されることによる放射成分が重畳して計測される。そこで、本研究では図 11 に示すような多波長ロックイン赤外線計測により、計測された赤外線を反射成分と放射成分に分離することで、中波長域に特徴的な分光特性を示す上塗塗膜の残存膜厚の定量評価を実現させた。

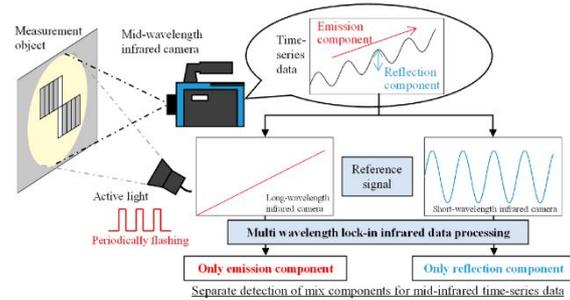
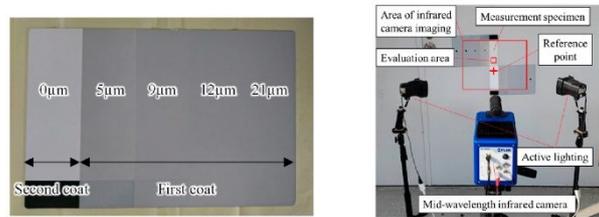
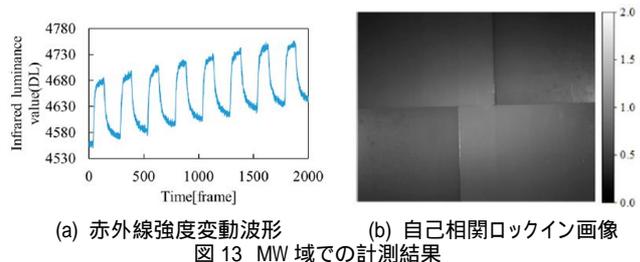


図 11 多波長ロックイン赤外線計測

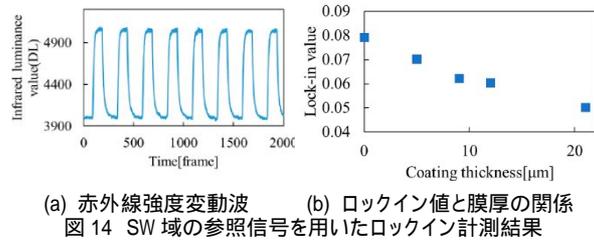


(a) 階段状塗装膜試験体 (b) 計測装置
図 12 計測対象および計測装置

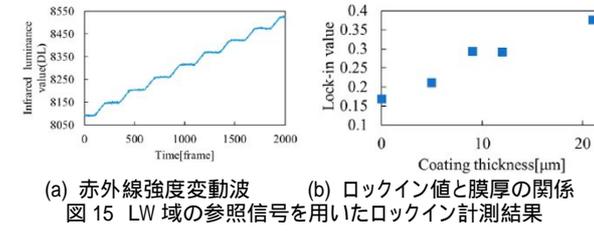
試験対象として、図 12(a)に示すような階段状に厚さを変えた上塗塗膜を有する試験体を用いた。図 12(b)に示すようにハロゲンランプにより変動する照明を試験体に当てた際の赤外線強度変動データを MW 赤外線カメラで計測した。MW 赤外線カメラにより測定された参照点 (図 12(b)参照) での赤外線強度変動波形および自己相関ロックイン画像を図 13 に示す。赤外線強度変動波形には、照明の繰り返し照射による周期変動 (反射成分) に加えて温度上昇による平均値の上昇 (放射成分) が見られ、その結果自己相関ロックイン画像には、反射成分と放射成分の重畳により膜厚依存性が見られない。そこで、多波長ロックイン赤外線計測を実施した。まず、反射成分を分離するため、赤外線反射による強度変動のみを示す、図 14(a)に示すような SW 域での赤外線計測データを参照信号として自己相関ロックイン処理を行った。膜厚計測結果を図 14(b)に示す。自己相関ロックイン値は膜厚の増加に伴い減少しており、両者には良好な相関が見られている。次に、放射成分を分離するため、赤外線放射による強度変動のみを示す、図 15(a)に示すような LW 域での赤外線計測データを参照信号として自己相関ロックイン処理を行った。膜厚計測結果を図 15(b)に示す。自己相関ロックイン値は膜厚の増加に伴い増加している。膜厚が大きいほど熱の蓄積による温度上昇が大きいことを示しており、両者には良好な相関が見られている。このように、多波長ロックイン赤外線計測により、反射と放射の成分が混在する MW 域での赤外線データを、反射が支配的な SW 域の参照信号および放射が支配的な LW 域での参照信号を用いて、反射成分と放射成分を分離計測できることが明らかになった。



(a) 赤外線強度変動波形 (b) 自己相関ロックイン画像
図 13 MW 域での計測結果



(a) 赤外線強度変動波 (b) ロックイン値と膜厚の関係
図 14 SW 域の参照信号を用いたロックイン計測結果



(a) 赤外線強度変動波 (b) ロックイン値と膜厚の関係
図 15 LW 域の参照信号を用いたロックイン計測結果

図 15(a)に示すような LW 域での赤外線計測データを参照信号として自己相関ロックイン処理を行った。膜厚計測結果を図 15(b)に示す。自己相関ロックイン値は膜厚の増加に伴い増加している。膜厚が大きいほど熱の蓄積による温度上昇が大きいことを示しており、両者には良好な相関が見られている。このように、多波長ロックイン赤外線計測により、反射と放射の成分が混在する MW 域での赤外線データを、反射が支配的な SW 域の参照信号および放射が支配的な LW 域での参照信号を用いて、反射成分と放射成分を分離計測できることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 T. Sakata, S. Kishigami, Y. Ogawa, N. Arima, M. Nishitani, D. Shiozawa, T. Sakagami	4. 巻 138
2. 論文標題 Quantitative assessment of heavy-duty anticorrosion coating thickness via near-infrared measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 NDT and E International	6. 最初と最後の頁 102893
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ndteint.2023.102893	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 阪上隆英, 佐藤大輔, 塩澤大輝, 小川裕樹	4. 巻 72
2. 論文標題 5-8 μm 波長帯に感度を有する赤外線カメラを用いた建築物タイル外壁診断の精度向上	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 非破壊検査	6. 最初と最後の頁 516-522
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11396/jjsndi.72.516	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 S. Oiso, D. Shiozawa, Y. Ogawa, T. Sakagami	4. 巻 51
2. 論文標題 Defect Identification in thermographic nondestructive testing under cyclic heating Using SVD Thermo-Component Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Engineering Proceedings	6. 最初と最後の頁 42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/engproc2023051042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 T. Morimoto, Y. Ogawa, T. Sakata, D. Shiozawa, T. Sakagami	4. 巻 51
2. 論文標題 Improvement of anticorrosion coating thickness measurement using multi-wavelength lock-in infrared data processing	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Engineering Proceedings	6. 最初と最後の頁 11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/engproc2023051011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 S. Haruna, Y. Ogawa, T. Sakata, D. Shiozawa, T. Sakagami, Y. Yokoi, T. Sugiyama	4. 巻 51
2. 論文標題 Deterioration detection of heavy-duty anticorrosion coating using near-infrared hyperspectral imaging	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Engineering Proceedings	6. 最初と最後の頁 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/engproc2023051013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Kishigami, Y. Mizokami, T. Sakata, Y. Ogawa, D. Shiozawa, T. Sakagami	4. 巻 132
2. 論文標題 Detection of heavy-duty anticorrosion coating deterioration using near-infrared spectral characteristics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NDT and E International	6. 最初と最後の頁 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ndteint.2022.102708	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 内田勇治, 横田 太, 出崎翔大, 塩澤大輝, 阪上隆英	4. 巻 71
2. 論文標題 建物外壁平面の赤外線計測におけるV-SLAMまたはSfMを利用した背景反射除去	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 非破壊検査	6. 最初と最後の頁 422-428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11396/jjsndi.71.422	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Kishigami, Y. Matsumoto, Y. Ogawa, Y. Mizokami, D. Shiozawa, T. Sakagami, M. Hayashi, N. Arima	4. 巻 8(1)
2. 論文標題 Quantitative Deterioration Evaluation of Heavy-Duty Anticorrosion Coating by Near-Infrared Spectral Characteristics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Eng. Proc. 2021	6. 最初と最後の頁 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/engproc2021008026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 松岡弘樹, 井上諒, 堀 充弘, 塩澤大輝, 小川裕樹, 内田勇治, 阪上隆英
2. 発表標題 防食塗膜下に発生した疲労き裂近傍の熱弾性応力測定
3. 学会等名 日本材料学会第72期通常総会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松岡弘樹, 井上諒, 塩澤大輝, 小川裕樹, 阪上隆英, 堀 充弘, 内田勇治
2. 発表標題 赤外線計測を用いた塗膜下の疲労き裂検出およびき裂先端の熱弾性応力計測
3. 学会等名 日本非破壊検査協会2023年度非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 春名進佑, 小川裕樹, 坂田巧, 塩澤大輝, 阪上隆英, 横井芳輝, 杉山剛史
2. 発表標題 ハイパースペクトル赤外線計測に基づく非破壊検査
3. 学会等名 日本非破壊検査協会2023年度非破壊検査総合シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Oiso, D. Shiozawa, Y. Ogawa, T. Sakagami
2. 発表標題 Defect Identification in thermographic nondestructive testing under cyclic heating Using SVD Thermo-Component Analysis
3. 学会等名 AITA2023 Advanced Infrared Technology and Applications 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Morimoto, Y. Ogawa, T. Sakata, D. Shiozawa, T. Sakagami
2. 発表標題 Improvement of anticorrosion coating thickness measurement using multi-wavelength lock-in infrared data processing
3. 学会等名 AITA2023 Advanced Infrared Technology and Applications 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Haruna, Y. Ogawa, T. Sakata, D. Shiozawa, T. Sakagami, Y. Yokoi, T. Sugiyama
2. 発表標題 Deterioration detection of heavy-duty anticorrosion coating using near-infrared hyperspectral imaging
3. 学会等名 AITA2023 Advanced Infrared Technology and Applications 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阪上隆英, 小川裕樹, 杉山剛史, 塩澤大輝, 坂田 巧, 森本龍人, 春名進佑, 横井芳輝, 平松直人
2. 発表標題 ハイパースペクトルロックイン法による重防食塗装の劣化検知の高精度化
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩澤大輝, 杉山剛史, 阪上隆英, 小川裕樹, 坂田 巧, 森本龍人, 春名進佑, 横井芳輝, 平松直人
2. 発表標題 近赤外線ハイパースペクトルイメージングによる重防食塗装の劣化検知
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線およびテラヘルツ計測に基づくインフラ設備構造物の状態監視・非破壊評価技術
3. 学会等名 日本光学会 光設計研究グループ 第75回研究会「インフラモニタリングのための光技術」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 J. WANG, T. MATSUMOTO, D. SHIOZAWA, Y. OGAWA, S. KUBO, T. SAKAGAMI
2. 発表標題 Thermal image super-resolution using visible-infrared synchronous measurement
3. 学会等名 Advanced Technology in Experimental Mechanics 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. KATO, D. IMANISHI, D. SHIOZAWA, Y. OGAWA, T. SAKAGAMI
2. 発表標題 Fatigue crack detection in steel structure by active thermography method
3. 学会等名 Advanced Technology in Experimental Mechanics 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Sakagami
2. 発表標題 Development of Nondestructive Testing and Condition Monitoring Technologies Based on Infrared Measurement in Various Wavelength Ranges
3. 学会等名 Advanced Technology in Experimental Mechanics 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Sakagami
2. 発表標題 Nondestructive testing and condition monitoring techniques based on multi-wavelength infrared measurements
3. 学会等名 14th International Symposium on ultrasonic doppler methods for fluid mechanics and fluid engineering 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上 諒, 松岡弘樹, 堀 充宏, 塩澤大輝, 小川裕樹, 阪上隆英
2. 発表標題 熱弾性応力計測を用いた防食塗膜下のき裂に対する応力拡大係数評価
3. 学会等名 日本材料学会第21回破壊力学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阪上隆英
2. 発表標題 ドローン適用による赤外線非破壊検査技術の高度化
3. 学会等名 (一社)日本建築ドローン協会 記念講演 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線計測に基づく機械・構造物の非破壊評価技術
3. 学会等名 名古屋市工業研究所技術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 阪上隆英
2. 発表標題 様々な波長の赤外線計測の特徴を活かした非破壊検査
3. 学会等名 日本非破壊検査協会 鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験部門・赤外線サーモグラフィ部門合同ミニシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 谷 晃徳, 小川裕樹, 森本龍人, 春名進佑, 塩澤大輝, 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線計測を用いた防食塗装の劣化検知手法の開発
3. 学会等名 日本機械学会関西学生会2023年度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 村尾侑哉, 加藤祐樹, 塩澤大輝, 小川裕樹, 阪上隆英
2. 発表標題 レーザー加熱赤外線サーモグラフィ法による溶接止端部の疲労き裂検出
3. 学会等名 日本機械学会関西学生会2023年度学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 塩澤大輝, 堀 充宏, 井上 諒, 松岡弘樹, 小川裕樹, 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線サーモグラフィを用いた防食塗膜下の疲労き裂に対する応力拡大係数評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部 第99期定時総会講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線計測に基づくインフラ構造物の維持保全技術
3. 学会等名 NDEフォーラム2024 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線計測による機械・構造物の状態監視および非破壊検査技術の現状と今後の展望
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第一専門部会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線分光情報を活用した状態監視・非破壊検査技術
3. 学会等名 国際ウェルディングショー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takahide Sakagami
2. 発表標題 NDE and condition monitoring techniques based on infrared measurement for predictive maintenance and condition-based maintenance of aging infrastructures
3. 学会等名 ASNT 7th US-Japan NDT Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂田 巧, 森本龍人, 小川裕樹, 阪上隆英, 塩澤大輝, 有馬敬育, 内野隆太郎, 西谷雅弘
2. 発表標題 アクティブロックイン赤外線計測に基づく防食塗装の残存膜厚の定量評価
3. 学会等名 日本機械学会M&M2022材料力学カンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩澤大輝, 出崎翔大, 小川裕樹, 阪上隆英, 内田勇治, 横田 太
2. 発表標題 建物外壁の赤外線計測における V-SLAM を利用した背景反射除去
3. 学会等名 日本非破壊検査協会秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 春名進佑, 坂田 巧, 森本龍人, 小川裕樹, 塩澤大輝, 阪上隆英
2. 発表標題 ハイパースペクトルカメラを用いた構造物の劣化評価
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部2022年度関西学生会卒業研究発表講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阪上隆英, 坂田 巧, 小川裕樹, 塩澤大輝, 森本龍人, 春名進佑, 杉山剛史, 横井芳輝
2. 発表標題 近赤外線ハイパースペクトル計測による防食塗装の劣化検知
3. 学会等名 日本機械学会 第98期定時総会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂田巧, 塩澤大輝, 有馬敬育, 阪上隆英, 内野隆太郎, 西谷雅弘, 岸上俊介, 春日裕樹
2. 発表標題 アクティブ近赤外線ロックイン計測による防食塗装膜の劣化評価法の開発
3. 学会等名 土木学会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有馬敬育, 内野隆太郎, 阪上隆英, 塩澤大輝, 西谷雅弘, 岸上俊介, 春日裕貴, 坂田巧
2. 発表標題 アクティブ近赤外線ロックイン計測による本州四国連絡橋の防食塗装膜の劣化評価
3. 学会等名 土木学会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Kishigami, Y. Matsumoto, Y. Ogawa, Y. Mizokami, D. Shiozawa, T. Sakagami, M. Hayashi, N. Arima
2. 発表標題 Quantitative Deterioration Evaluation of Heavy-Duty Anticorrosion Coating by Near-Infrared Spectral Characteristics
3. 学会等名 AITA2021 16th International Workshop on Advanced Infrared Technology & Applications 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森本龍人, 小川裕樹, 岸上俊介, 坂田巧, 塩澤大輝, 阪上隆英
2. 発表標題 赤外線計測による防食塗装の劣化評価法の開発
3. 学会等名 日本機械学会関西学生会卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	赤井 淳嗣 (Akai Atsushi) (10744625)	京都教育大学・教育学部・講師 (14302)	
研究分担者	久保 司郎 (Kubo Shiro) (20107139)	神戸大学・工学研究科・客員教授 (14501)	
研究分担者	小川 裕樹 (Ogawa Yuki) (50880788)	神戸大学・工学研究科・助教 (14501)	
研究分担者	塩澤 大輝 (Shiozawa Daiki) (60379336)	神戸大学・工学研究科・准教授 (14501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------