

研究成果報告書

研究 題 目		デジタルホログラフィ (DH) 干渉法とロックイン発熱解析 (LIT) による AI を活用した準実時間での電子・電気機器ヘルスマonitoringシステムの開発	実施年度
			R5-R6 年度
代表研究者	所属	島根大学 総合理工学部 機械・電気電子工学科	
	氏名	横田 正幸	印
<p>1. 研究の目的・背景</p> <p>【研究背景】</p> <p>現在、電気システムや電子機器は高機能・高速化され、これらに実装される回路基板・電子部品は小型、高密度化が進んでいる。従って、これらの機器や部品が故障した場合、その解析難易度が上昇し、システムの信頼性担保が困難になっている。この中、被検査機器の給電時に故障部位で生じるジュール熱をロックイン原理により高感度で検出し故障部位を可視化する赤外線ロックインサーモグラフィ (LIT) が簡便で高精度な非破壊検査法として注目されている。しかし、高密度化された機器解析には精度・位置分解能が不十分なため、LIT と分解検査や X 線解析との併用が必要で解析に数時間を要している。</p> <p>上記に鑑み、新たな故障予知+解析法として nm 精度で 3 次元計測が可能なデジタルホログラフィ (DH) 干渉法と LIT を併用した準実時間画像計測による PHM (Prognostics and Health Management) 法を提案する。機器等に対するレーザ反射光を DH により記録、解析して対象の 3 次元変位計測を実施し、同時に LIT による熱画像解析を行い機器の状態を画像診断する。本法は結果が全て画像で得られる為 (DH : 実画像+3D 変位画像, LIT : 熱画像), 解析に GPU 並列計算+AI を導入した全自動高速診断 (60 秒以内) が実現でき、広く社会実装を可能にする。</p> <p>【研究目的】</p> <p>本研究の目的は DH 干渉法による nm の分解能を持つ 3 次元変位計測と LIT 法による熱画像解析を融合した電気電子機器のヘルスマonitoringシステム構築である。特に、画像解析に機械学習を導入し GPU (画像処理ユニット) による高速演算処理を行うことで 60 秒以内の準実時間良否判断を実現することである。目的達成のために以下の順序で研究を進める。</p> <p>① DH+LIT 計測システム構築と結果画像解析法の確立</p> <p>② 機械学習を用いた画像解析による状態診断法の開発と GPU 並列計算処理による高速化</p>			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

① DH+LIT 計測システム構築と結果画像解析法の確立

Fig. 1 に示す光学系を構築した。測定対象(Object)に正弦波状に変調した電圧($3.0V_{P-P}$)を印加し、内部の欠陥で生じた熱とこれに起因する変形(位)は電圧に追従する。対象裏面の温度分布を IR カメラ、表面の変位を DH 干渉計で測定した。温度分布は 50ms 間隔、変位は 25ms 間隔でそれぞれ 20 秒間記録した。入力電圧に追従する温度/変位をロックイン解析し、変調周波数、振幅に対する応答を調べた。図 2, 3 に信号周波数に対する欠陥 A,B 付近の温度変化と変位分布を示す。これより、欠陥による発熱やそれに伴う基板の変位が検出できている。さらに、信号周波数を上げることにより欠陥位置の検出精度が高くなる傾向がみられる。また、図 4 に図 2 の A,B における遅れ位相 ϕ の周波数応答特性を示す。これより、欠陥位置における遅れ位相がほぼ信号周波数に比例して増加していることが分かる。これは、基板内の欠陥深度と関連しているとみられる。

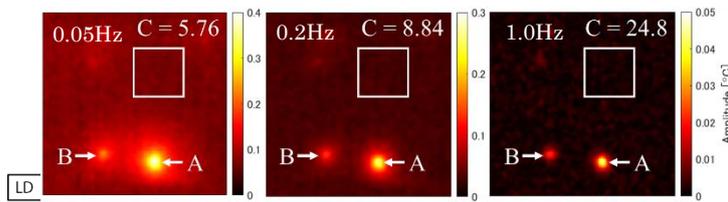


図 2 信号周波数に対する温度分布(LIT).

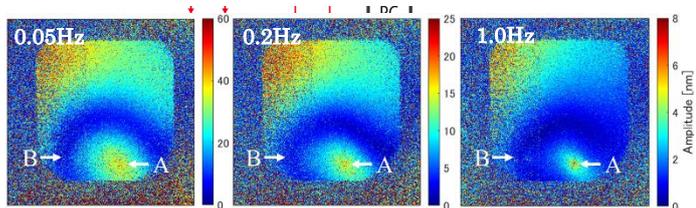


図 3 信号周波数に対する変位分布(DH).

また、DH による変位分布からは変形量が欠陥位置やその大きさに伴い変化する様子が分かる。これらの特徴は、入力信号周波数や振幅により変化することが分かったので、今後はその特徴量から欠陥の位置、大きさ、深度を推定することを目的として研究を進める。欠陥の情報に關与する特徴量（画像）が得られた後、今回は実施できなかった機械学習による欠陥状態の診断手法の確立を目指して研究を深化させる予定である。

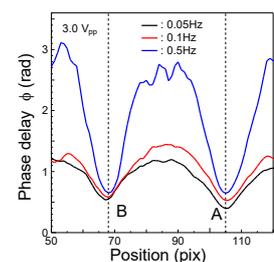


図 4 欠陥 A,B における遅れ位相の変化(LIT).

② 機械学習を用いた画像解析による状態診断法の開発と GPU 並列計算処理による高速化

上記の理由により今年度は②まで到達できなかった。今後、十分な特徴量（画像）が取得でき次第、状態診断法の開発へと研究を進める予定である。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時の計画（左側）に対して、実績（カッコ内の記載）は以下の通りでした。詳細は別紙をご参照下さい。

1. 設備備品費 空冷式 CO₂ レーザ 90 万円（購入しない）
2. 設備備品費 IR カメラ 40 万円（購入せず代替え品を消耗品で購入）
3. 半導体レーザ駆動装置 50 万円（新規購入せず所有のものを修理して使用）
4. 消耗品費 IR 用レンズ 15 万円（IR 用ではなく一般用を購入）
5. 消耗品費 IR 用 BS 15 万円（ダイクロイックミラとして購入）
6. 光学部品 20 万円（レンズ、ホルダ、波長板等を購入）
7. GPU 10 万円（8.6 万円で購入）
8. チョップア 20 万円（CO₂ レーザ未購入のため購入せず）
9. 半導体レーザ 10 万円（所有のものを使用して未購入）
10. 旅費 20 万円（学会参加費用は 1 度）
11. 研究補助 10 万円（未実施）

申請時の研究費 200 万円に対して予算額が減額したため、実験の計画を見直し大物備品の購入は取りやめ、最低限で計画を実行できるように購入物品を見直した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

LIT と DH 干渉計測を同時に行う実験系を構築し、フレキシブル太陽光パネルを対象として既設欠陥の検出及び入力信号（周波数、振幅）に対する検出特性を評価した。各実験条件におけるデータ取得と解析が主で、GPU を用いた高速計算や機械学習を用いた画像診断まで実施できなかったが、今後の発展性や実用化については以下のような展望を持っている。

① 今後の発展性について

現在、フレキシブル太陽光パネルや回路基板を用いた実験が進んでおり、入力信号の振幅や周波数に対する欠陥部位の応答特性が明らかになりつつある。これを踏まえて、得られた画像（温度分布、位相遅れ分布、変位分布）を使って欠陥の大小、深度に対する機械学習用画像データが得られる見通しであり、画像診断ができると考えている。さらには、同一方向から観察する新しい光学系の構築を予定しており、欠陥解析法の確立が見えてきている。

② 実用化の見込みについて

- ① の欠陥解析法が確立した後、高速化への必要性を吟味し、GPU を用いて高速診断化を進めながら共同研究が可能な企業を探す。共同研究先を見つけられれば、その企業ニーズに合わせた解析法へと調整を図り、実用化への手がかりとする予定。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

1. 福島大晴, 岸川太晴, Kumar Varun, 横田正幸, “ロックインサーモグラフィとデジタルホログラフィの併用による太陽電池フィルム中に形成された欠陥の非破壊検査,” 産業応用工学会全国大会 2024, 愛媛県松山市, 2024.9.16.
2. 福島大晴, 徳田凌也, Kumar Varun, 横田正幸, “ロックインサーモグラフィとデジタルホログラフィ干渉法による電子部品の欠陥検査法の研究,” 2025 非破壊検査総合シンポジウム（赤外線サーモグラフィ部門）, 東京都江東区, 2025.6.19.
3. Kumar Varun, Masayuki Yokota, et.al., “Detection of defects in the solar battery film using both digital holography and lock-in thermography,” Information Photonics 2024 (IP2024), Yokohama Japan, 2024.4.24.
4. 横田正幸, 福島大晴, Kumar Varun, “ロックインサーモグラフィとデジタルホログラフィ干渉法によるフレキシブル太陽電池中の欠陥検出”, 産業応用工学会誌, 投稿準備中.