

プログラム名：イノベーターな可視化技術による新成長産業の創出

PM名：八木 隆行

プロジェクト名：可視化計測技術の開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 27 年度

研究開発課題名：

光超音波法による FRP きずの計測技術の開発

研究開発機関名：

愛媛大学

研究開発責任者

中畑和之

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

光超音波技術を利用した FRP きずの 3 次元映像化技術を開発する。FRP きずの空間サイズはそれぞれオーダーが異なるため、異なるサイズのきずを効果的に映像化するスケーラブルな検査法メーキング技術の確立を目指す。平成 27 年度の実施計画と目標は以下の 2 つ。

開発項目① FRP の光音響特性の解明

FRP を構成する繊維、樹脂、コーティング材の光音響特性を調べる。また、人工きずを導入した FRP 材料を試作し、光音響効果によってきずから発生する超音波の強度および散乱特性について、計測実験を行う。また、汎用の非破壊検査装置を用いて人工きずが意図した位置・大きさに作製できたかを評価する。

開発項目② 受信波の開口合成によるきずイメージング技術の開発

開発済みの FSAP 方式の基本コードに開口合成法を導入する。次年度、FRP の音響異方性を考慮してきずの 3 次元映像化を行うために、2 層体の開口合成アルゴリズムを開発する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

開発項目①

本年度は、FRP を構成する繊維、樹脂、コーティング材（エポキシ樹脂）の光透過率と、人工きずを導入した FRP 供試体の光音響特性の測定と評価を進めた。

透過率は光音響効果の光フルエンスを解析するパラメータとなる為、構成材料である樹脂、繊維及びエポキシ樹脂の各透過率を計測した。

光音響特性測定用に、CFRP の層中に人工剥離を挿入した供試体を試作した。人工きずが意図した位置・大きさに作製出来たかを汎用の非破壊検査装置（超音波法）にて評価し、有無と位置を確認できた。但し、超音波法では、人工欠陥の位置はある程度推定できるが、どの深さに人工欠陥があるかを特定するのは困難である事が判明した。

同 CFRP 供試体の光音響特性を、光超音波顕微鏡（AR-PAM 装置：Acoustic Resolution-Photoacoustic microscope）にて計測し、光音響波の検出できた。また、人工剥離部を映像化できる事を確認した。超音波法に比べて良好に映像再現でき、物質計測の可能性は大いに期待できる事を確認した。

開発項目②

光音響効果によって発生した FRP 固体内部の散乱波を、液体あるいは気体を介して受信する。固体-液体（気体）は音響インピーダンスが大きく異なるため、界面で超音波は屈折・モード変換する。FRP の内部の映像化を行うためには、これらを考慮した開口合成法のコード開発を進めた。ここでは、界面でスネルの法則を満足し、2 層体を伝搬する超音波の路程を高速に計算するアルゴリズムを開発した。

2-2 成果

開発項目①

FRP の光音響を構成する繊維，樹脂について光透過性と光音響特性の結果を以下に示す。

樹脂および繊維の透過率の測定結果は図-1 の通りであった。測定は理化学研究所の丸山真幸研究員の協力のもとで行われた。紫外可視近赤外分光光度計 (UV-3600, 島津製作所) とフーリエ変換赤外分光光度計 (FTIR-4200, 日本分光) を用いて、エポキシ樹脂 (3631, 硬化温度 180°) を測定した。図-1 に透過率の測定結果を示す。可視から近赤外領域まで透過率を有することがわかる。一方、繊維 (T800S) についても同様の実験を行ったが、吸収率は図-1 の測定波長範囲においては 2%以下であった。

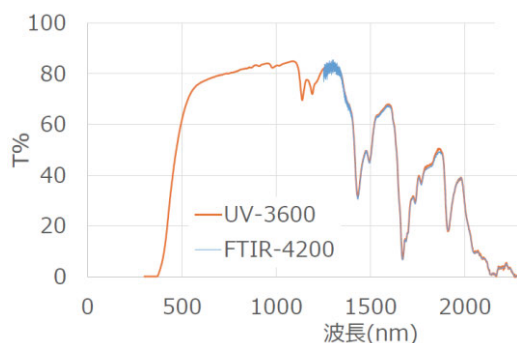
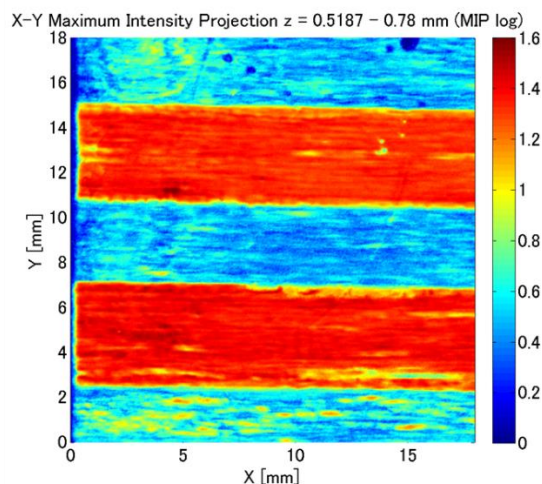


図-1： 分光光度計による樹脂の透過率測定結果（理化学研究所 丸山研究員による計測）

この素材を使用して CFRP 供試体（1 方向 8 層，厚さ約 1mm）を作成して，光音響波が検出できるかの簡易実験を，佐賀大と理化学研究所にて行った。集光光学系なしで，表面がアブレーションを起こすことなく 2.3mJ で光音響波を検出することができた。

また，CFRP 中に人工剥離（3 層目と 4 層目）を挿入し，この剥離部の映像化を行った結果を図-2 に示す。計測は，京都大学の椎名毅教授所有の AR-PAM 装置 (DPSS-OPO レーザ波長 532nm，集束型探触子 50MHz) を用い，水浸状態で行った。供試体のスキャンピッチは 50 μ m である。図-2 の右側に人工剥離が存在する深さの MIP 像を示している。人工剥離部を良好に再現することができた。



開発項目②

固体-液体（気体）中を伝搬する超音波の路程を高速に推定し，固体中のきずの映像化を行う開口合成法を開発した．GPU 計算を実装しているため，高速な映像化が可能となった．32ch の開口合成法を検証した結果，約 1 秒以内の映像化が実現できた．

2-3 新たな課題など

光音響波の検出が確認でき，人工剥離部の映像化結果も出力され，物質計測の可能性は大いに期待できる．しかし，実際に光がどの程度の深さまで浸透しているか，どの程度の分解能を有するかについては未確認である．音速を正確に計測し，音響波の発生箇所について具体的に検討を行っていくと共に，多様な人工欠陥についても検討を行っていく予定である．

3. アウトリーチ活動報告

なし．