

Application News

No. N117

産業用 X 線装置
Industrial X-ray Inspection System

X 線 CT システムによるガラス繊維強化プラスチックの観察

X-ray CT Observation for GFRP

はじめに

Introduction

繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastics, FRP) は、プラスチックにガラス繊維などを混ぜ強度を向上させた複合材料で、ガラス繊維を使用したものを GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics) と呼びます。GFRP は、バイク・自動車をはじめとする輸送機関連分野、また住宅設備機器などでも広く用いられています。

GFRP を用いて部品を製造する方法の中のひとつに、射出成型があります。射出成型の場合、樹脂の流れの影響を受けて内部繊維の配向が変わります。この繊維の配向状態と機械的物性、また反りなどの成型不良には相関があるため、内部繊維の配向状態を観察することが非常に重要となってきました。従来は、繊維配向状態を観察するためにサンプルを裁断 (切削) し、断面を観察・撮影することが一般的ですが、この方法では評価に手間がかかるうえ、三次元状態を正確に把握することが難しいという問題がありました。

ここでは、X 線 CT システムを使用して GFRP を撮像した CT データ、さらに CT データを用いた繊維配向解析ソフトウェアでの解析結果をご紹介します。

M. Eda Hiro H. Okochi

ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) の観察

Observation for GFRP

「マイクロフォーカス X 線 CT システム inspeXio SMX-100CT」(Fig. 1) を使用して GFRP (Fig. 2) を撮像した結果を、Fig. 3 ~ Fig. 4 に示します。サンプルの GFRP は、ダンベル型の試験片の細い部分を切り出したものを使用しました。

Fig. 3 は、切り出したサンプル片全体 (a) と、その中央部を拡大 (b) して撮像した透視画像です。サンプル全体の観察ではもやもやとした様子でガラス繊維の状態が観察できます

が、それをさらに拡大すると、プラスチック内に混ぜ込まれているガラス繊維の一本一本が少しずつ判別できるようになってきます。しかし透視画像では繊維が厚み方向にすべて重なって表現されてしまうので、繊維の配向状態を正確に観察することはできません。そこで、この GFRP を CT 撮像した結果を以降に示します。



Fig. 1 新型マイクロフォーカス X 線 CT システム inspeXio SMX-100CT
Overview of SHIMADZU X-ray CT System

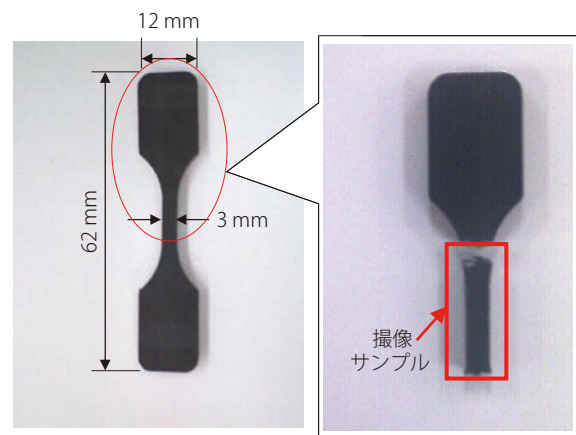


Fig. 2 GFRP サンプル
Overview of GFRP

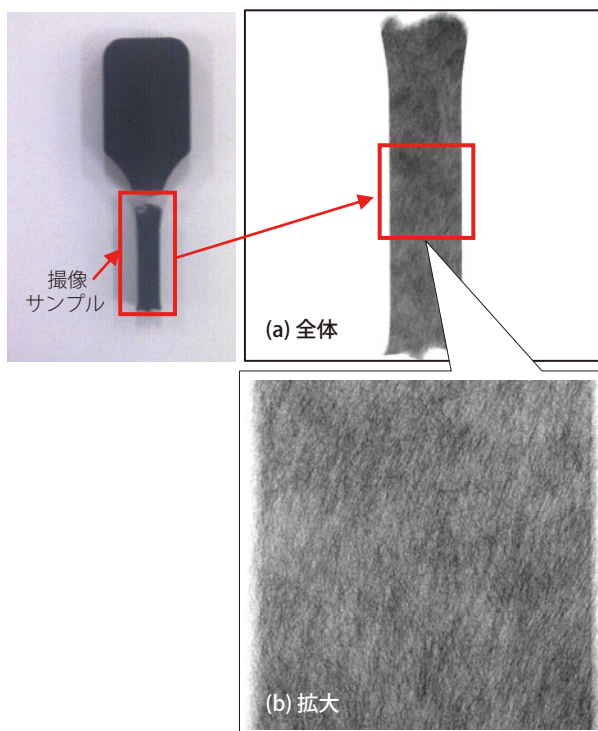


Fig. 3 GFRP サンプルと透視画像
Fluoroscopic Image of GFRP

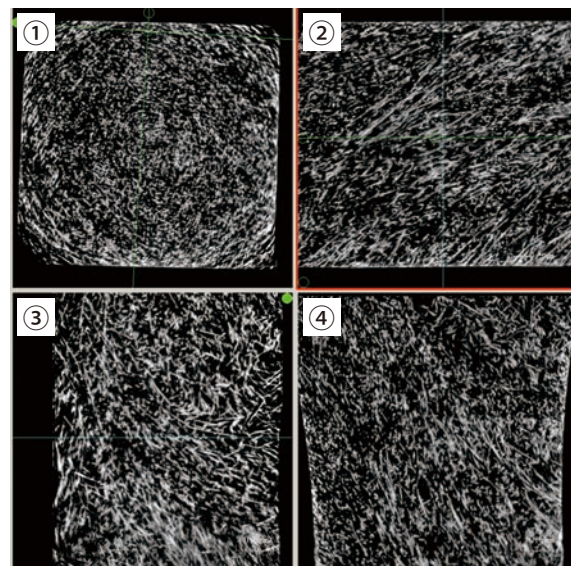


Fig. 4 GFRP の MPR 画像
MPR Images of GFRP

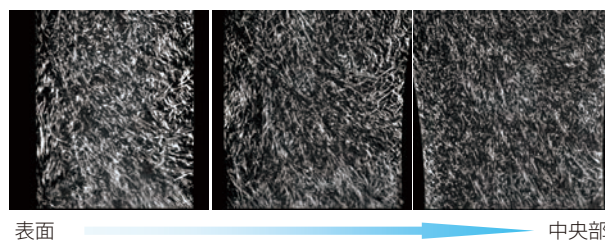


Fig. 5 GFRP の CT 画像
CT Images of GFRP

Fig. 4 は MPR 画像を示しています。MPR 画像は複数枚の CT 画像を仮想空間上に積み上げて、CT 画像①/互いに直交する縦断面画像②, ③/縦断面画像に直交する任意断面画像④を四つ並べて表示する表示方法です。

Fig. 4 ①～④により、直行する 3 方向の断面における繊維の配向を観察することができます。

Fig. 5 は GFRP サンプルの表面付近から中央部の連続縦断面を示しています。表面付近と中央部とで配向が変化している様子が確認できます。

また、この CT 撮像したデータを三次元表示させたものを Fig. 6 に示します。三次元化することで、立体的にガラス繊維を観察することが可能です。

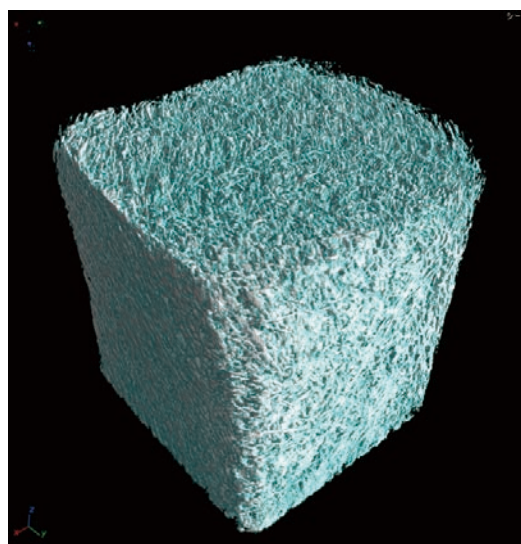


Fig. 6 GFRP の 3D 画像
3D Images of GFRP

次に、GFRPの中央部分を拡大撮像した結果をFig. 7、Fig. 8に示します。低倍撮像では確認できなかった繊維一本一本を確認することができます。

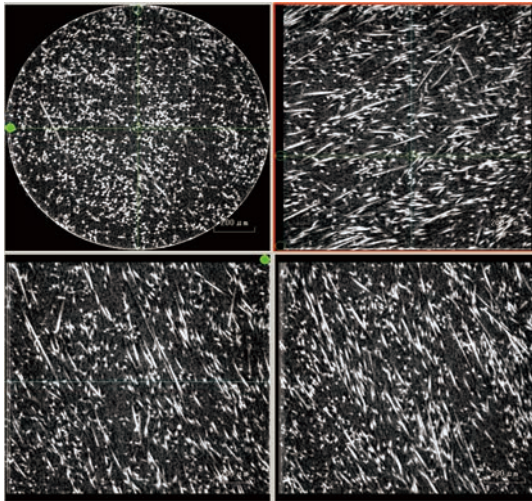


Fig. 7 GFRPのMPR画像(拡大)
MPR Images of GFRP (Enlarged)

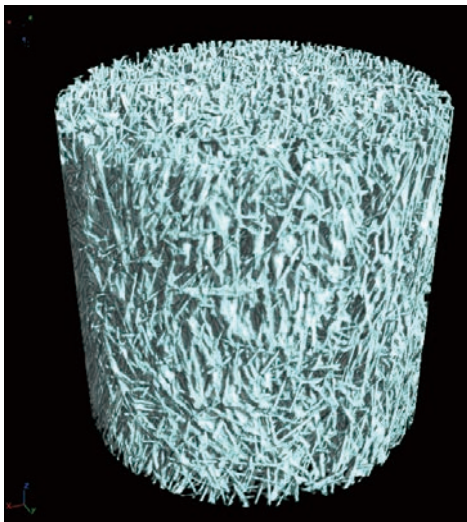


Fig. 8 GFRPの3D画像(拡大)
3D Images of GFRP (Enlarged)

CT撮像をおこない、任意断面で二次元的に観察し、さらに三次元表示をおこなうと、繊維がどの方向に配向しているかというのを感覚的に調べることはできますが、他のサンプルと比較し、三次元的に繊維の形態や分布を評価するには何か指標になる数値が必要となってきます。

そこで、次にこのCTデータから繊維の三次元的な配向状態を解析・評価する手法をご紹介します。

■ ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) の解析例

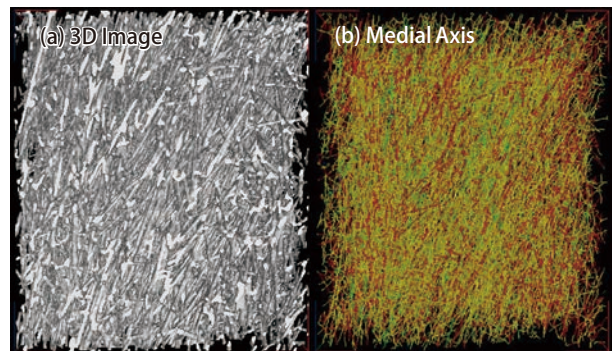
Image Analysis of GFRP

これまで、繊維配向を解析・評価するには、成型品から薄片をつくり顕微鏡で観察して繊維一本一本の配向角度を測定し、そのデータを元に主な配向方向、配向度を計算する直接法と、成型品から各方向に小片を切り出しその機械的物性値を測定し、それを元に配向度を推定する間接法が用いられてきました。しかし、直接法は少しずつサンプルを削り出す作業を行なう必要があり、非常に手間がかかるものでした。また間接法も、配向方向を仮定してから小片を切り出す作業を行なう必要があり、仮定ができないサンプルでは精度に問題がでてくることもありました。

一方、inspeXio SMX-100CTを用いると、10分程度〜の撮像時間で、Fig. 7、Fig. 8で示したとおりの細いガラス繊維の一本一本が3次的にどのように並んでいるかというデータを得ることができます。この段階で、直接法での顕微鏡観察データに相当するものはすべてそろったことになります。

繊維配向を観察するにあたり、「ExFact Analysis for Fiber」(日本ビジュアルサイエンス株式会社製)を使用しました。これは、多孔体や粒子、繊維などの複雑な三次元構造を持つサンプルについて、その形態や分布をさまざまな視点から統計的に評価/分析するソフトウェアです。

まず、Fig. 9 (a)の三次元データ中の繊維を細線化処理し、その形態や分布について様々な統計的なパラメータを算出します Fig. 9 (b)。



(a) 3D表示

(b) 繊維中央ラインで細線化表示

Fig. 9 GFRP解析例
Analysis of GFRP

ExfactAnalysis for Fiber によって算出されたデータは以下のとおりです。

- ・ Fiber 含有率：20.06 %
- ・ Fiber 検出数：11950 本
- ・ Fiber 平均径：7.97 μm
- ・ Fiber 交差点：33469 点

ここで、Fiber 交差点とは繊維同士の交差点の数を表しており、Fiber 交差点が少ないほど、繊維は同じ方向に配向し、綺麗に並んでいることを示しています。

次に、三次元データを 27 個 (3 × 3 × 3) のマトリックスに分けて、各マトリックスにおける平均的な配向状態をベクトルを用いて評価します (Fig. 10 (a))。

- ここで、各ベクトルは、
- ・ 長さ：繊維の配向の強さ
 - ・ 色：繊維の量
 - ・ 向き：繊維の配向の平均
- を表しています。

Fig. 10 (b) は観察された繊維とベクトルとを一緒に表示したもので、繊維の向きとベクトルとの向きが一致しているのがわかります。これらベクトルを用いた解析データにより GFRP の各部分における配向状態を評価するだけでなく、射出成型シミュレーションソフトウェアから得られる結果との比較評価も可能です。

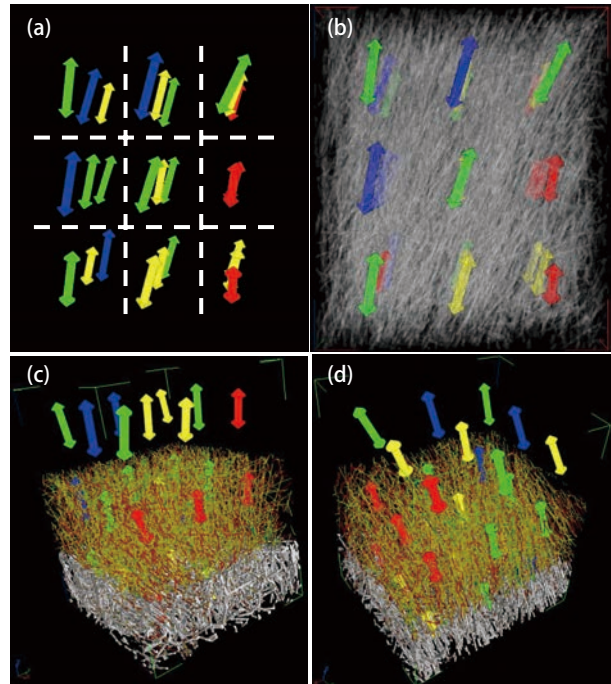


Fig. 10 GFRP 解析例
Analysis of GFRP

- (a) ベクトルでの繊維配向可視化表示
- (b) ベクトルと 3 次元表示の重ね合わせ
- (c) 3 次元表示・細線化表示・ベクトル表示
- (d) 3 次元表示・細線化表示・ベクトル表示

■まとめ

Conclusion

このように、inspeXio SMX-100CT では、GFRP 内部の繊維の配向状態を三次元的に観察するだけでなく、解析ソフトウェアを用いることで、繊維の配向状態を数値化し、評価することが可能です。