SHIMADZU
Excellence in Science

Application News

位相コントラストX線CTシステム Xctal™ 5000

# X線観察は新たなフェーズへ 位相コントラストX線CTシステムの紹介

前田 祐人　佐藤 渉

## ユーザーベネフィット

- ◆ 最大Φ100 mm の視野サイズで、微細なクラックが検出可能です。
- ◆ 「繊維配向解析機能」を標準搭載しており、広視野で繊維配向観察が可能です。
- ◆ 屈折像によって、軽元素材料などX線の吸収差が小さい試料でも高コントラストで観察することができます。

## ■はじめに

位相コントラストX線CTシステムは、物体を透過したX線の位相変化を画像化する新しいイメージング手法です。従来のX線CTシステムでは物体を透過したＸ線吸収量の差を可視化していますが、本システムではX線の位相変化を検出し計算することで散乱量や屈折角に基づく材質の違いをイメージングします。これにより従来のX線CTシステムでは不可能であった広い視野での微細なクラックの検知や、高分子材料など軽元素の高コントラスト撮影などに活用できます。さらに、本システムでは繊維束によるX線の散乱を可視化することで、最大Φ100 mmの広視野で炭素繊維複合材料（CFRP）などの繊維強化樹脂の繊維配向解析が可能です。これらの機能を備えた本装置は、樹脂材料の品質管理や複合材料などの分野における研究・開発に有用です。

本稿では位相コントラストX線CTシステムXctal™ 5000（図1）の特長および撮影事例について紹介します。

図1 位相コントラストX線CTシステム　Xctal™ 5000

## ■装置構成

本システムの概要図を図2に示します。従来の産業用X線CTシステムと同様に、X線発生装置とX線検出器の間に回転テーブルが設置されており、試料をセットしたテーブルが回転することで試料全周からの透過データを取り込み、断層像を算出します。電磁波が試料に入射すると、位相変化が生じます。X線の位相変化は非常に微小で従来システムでは検出できませんが、本システムでは、3つの回折格子を新規搭載することで、位相変化を高感度に検出し、計算によって吸収・散乱・屈折といった物理量毎の画像を取得できます。

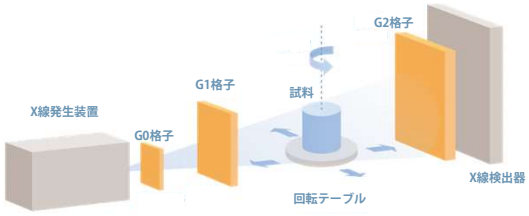


図2 Xctal 5000の装置構成（タルボ・ロー干渉計）概要図

図3で示すように、空気から水へ50°で可視光が入射した場合、屈折角が15°と大きく屈折しますが、X線の場合0.000017°しか曲がりません。このように、X線は指向性が非常に高く、ほとんど曲がらないため、従来のX線CTシステムでは、散乱や屈折を検出できませんでした。本システムは、回折格子を使用したタルボ・ロー干渉計[1)]を採用することで、この微細なX線の位相変化を検出でき、一度の撮影で、吸収像、散乱像、屈折像を取得することができます。

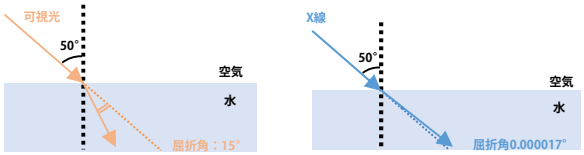


図3 可視光とX線の屈折 イメージ図

## ■広視野での微細構造群の観察

一般にX線CTシステムでは、撮影した範囲（視野）を構成する画素数によって、一画素の大きさ（解像度）が決まるため、微細構造を観察する場合は、そのサイズに応じて解像度を考慮し、撮影視野を決める必要があります。そのため、撮影領域は微小領域に限定され、撮影箇所の位置合わせの煩雑さや、マクロ観察が行えないといった課題がありました。本システムでは、微細構造群によるX線の散乱度合いを画像化するため、視野に依らず散乱の有無やその方向情報を取得します。そのため広視野観察においても微細構造群の存在を観察することが可能です。

図4にバイオコークスにおけるクラックのX線CT撮影事例を示します。吸収像では、クラックが暗色で表示されますが、散乱像では、散乱起因となった箇所を白色で表示するため、クラック箇所は白色で表示されます。両方の像においてクラックが観察されますが、散乱像では矢印で示すような吸収像では観察できない微細なクラックも観察可能です。このように、微細構造群を広視野で観察する際に、散乱像は適しています。

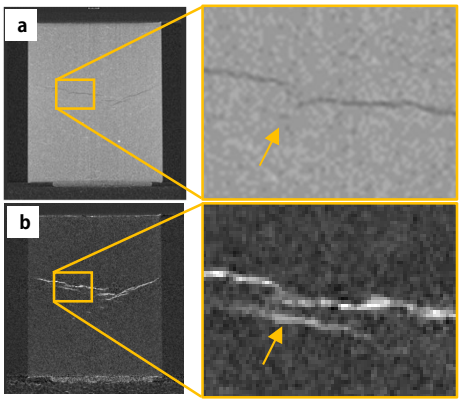


図4 バイオコークスの撮影事例　(a) 吸収像　(b) 散乱像

## ■吸収と屈折の二刀流

吸収像では、試料を透過したX線の減弱量（吸収量）に応じて黒から白までのグレースケール値で画像化します。試料における吸収量は材質固有の線吸収係数や密度、厚みに依存します。そのような特性上、軽元素材料の撮影においては、X線の吸収量が少ないため、種類の異なる軽元素同士を高コントラストで区別して画像化することが困難という課題がありました。

本システムにおける屈折像では、X線が試料に入射した際の屈折量をグレースケールで画像化します。屈折量は媒質の密度差に依存するため、吸収像とは異なる指標でコントラストを決定することができます。そのため吸収像で鮮明に観察できなかった試料においても、屈折像によって高コントラスト観察できる可能性があります。

物理パラメーターとグレースケール値の表現の違いを確認するため、表1に複数の樹脂の断面画像を示しました。材質ごとに線吸収係数と密度がそれぞれ異なることが分かります。

表1 材質の異なる樹脂における断面画像のグレースケール評価

| | 吸収像 | | | 屈折像 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 材質 | 吸収係数 [$cm^{-1}$] | グレースケール値[a.u.] | 断面画像 | 密度 [$g/cm^3$] | グレースケール値 [a.u.] | 断面画像 |
| PVC | 1.87 | 32477 | | 1.26 | 41566 | |
| PTFE | 0.87 | 25817 | | 2.17 | 50588 | |
| POM | 0.47 | 23035 | | 1.42 | 39870 | |
| PE | 0.26 | 21595 | | 0.96 | 35882 | |

次に、樹脂ボトルの観察例を図4に示します。図4(a)、(b)はスプレーヘッド部分を拡大した断面画像です。吸収像と屈折像でコントラストが異なることが分かります。吸収像において、樹脂材料間のコントラストが鮮明であり、組み込み状態や接合の境界線を確認することができます。また、図4(c)、(d)はスプリング箇所の断面画像です。スプリングの金属と周囲の樹脂材料の吸収係数が大きく異なるため、再構成演算時に誤差が生じ、アーチファクトと呼ばれる現象が発生しています。一方で屈折像は吸収像に比べ、吸収係数の差に影響を受けにくいため、アーチファクトを低減した画像を得ることができます[2)]。

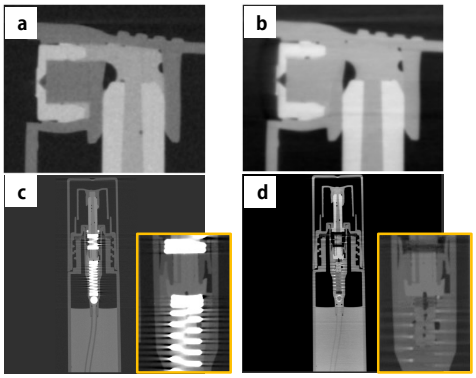


図4 樹脂ボトルのCT撮影事例（視野：85 mm）
(a) スプレーヘッドの吸収像　(b) スプレーヘッドの屈折像
(c) スプリングの吸収像　(d) スプリングの屈折像

## ■繊維配向解析

図5に射出成形GFRPの繊維配向観察事例を示します。3つの回折格子を0度、45度、90度、-45度と回転させながら、複数回透視撮影を行うことで、射出流動による繊維角度の分布を角度別に抽出することができます。これらの角度別のデータを重ね合わせることで配向度画像（図6(a)）と散乱強度画像（図6(b)）を算出します。配向度をRGB値、散乱強度を8bitスケールに変換することで、図6(c)に示す配向解析画像が取得できます。ここでは、配向解析によって、繊維配向黄色枠箇所で繊維流れが合流するウェルドラインが確認できます。

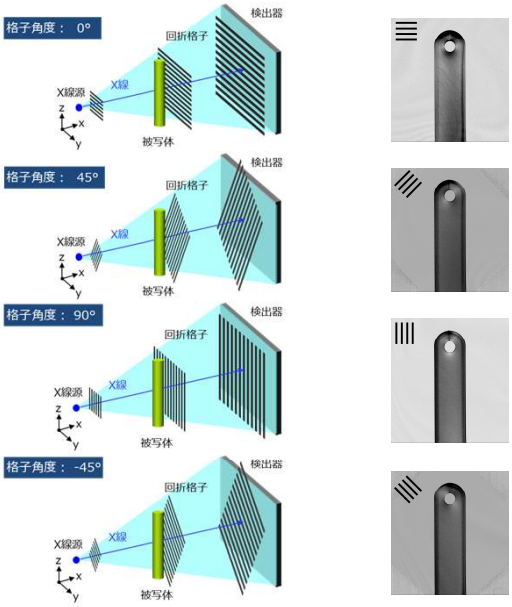


図5 配向透視撮影時のシステムイメージと角度別の透視画像

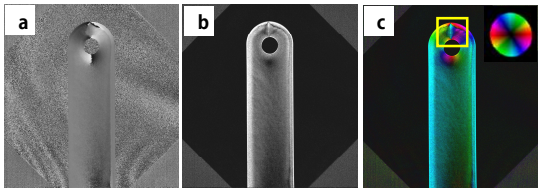


図6 射出成形GFRPの繊維配向観察事例（視野：85 mm）
(a)配向度画像 (b)散乱強度画像 (c)配向解析画像

## ■まとめ

本稿では、位相コントラストX線CTシステム Xctal 5000の特長と撮影事例を紹介しました。タルボ・ロー干渉計という新しい撮影方式によって、X線の位相変化を検出し計算することで吸収像に加え、新たに散乱像と屈折像を取得することができます。従来の吸収像では観察が困難であった広視野における微細構造群の観察や繊維配向解析、吸収像と屈折像を併用した観察といった新たなイメージングを可能にします。本装置の特長により、繊維強化樹脂や複合材料における部品強度等、品質保証の検査課題を解決し、研究・開発に貢献します。

＜関連アプリケーション＞

1. X線観察は新たなフェーズへ　位相コントラストX線CTシステムの原理紹介　-　Application News 01-00568-JP

＜参考文献＞

1) 百生 敦 精密工学会誌, Vol.82(6):513-517, 2016.
2) K. Johann et al., “Challenges for grating interferometer X-ray computed tomography for practical applications in industry”, ECNDT, 61(3):149-152, 2019.

Xctalは、株式会社島津製作所またはその関係会社の日本およびその他の国における商標です。

株式会社 島津製作所　分析計測事業部
https://www.an.shimadzu.co.jp/

01-00527-JP　初版発行：2023年 5月
島津コールセンター　0120-131691

LIKE
このアプリがお役に立ちましたら、いいねボタンを押してください。

本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。
本文書に記載されている会社名、製品名、サービスマークおよびロゴは、各社の商標および登録商標です。
なお、本文中では「TM」、「®」を明記していない場合があります。

© Shimadzu Corporation, 2023

アンケート

## 関連製品 一部の製品は新しいモデルにアップデートされている場合があります。

Xctal 5000
位相コントラストX線CTシステム

## 関連分野

- 工業材料・マテリアル
- プラスチック - 石油・化学工業
- 石油・化学工業
- プラスチック - 工業材料/マテリアル
- 素材開発/研究
- CFRP

- 価格お問い合わせ
- 製品お問い合わせ
- 技術お問い合わせ
- その他お問い合わせ