

シンクロtron光高度 CT 技術とその応用

杉山 信之¹, 福岡 修¹, 榊原 啓介¹

¹ あいち産業科学技術総合センター

1. 概要

BL8S2 に整備された屈折コントラスト CT について、通常の実験機器と比較することで装置の特徴や適切な試料調製の方法などを可視化することを目的に、いろいろな試料を測定した。屈折コントラスト CT は通常の実験装置より分解能で劣るが、コントラストはつきやすいため、密度差が少なく、大きな構造をもつ試料が適していることが判明した。また、空気からのアーチファクトを防ぐため、試料調製には細心の注意や工夫が必要となることが分かった。

2. 背景と研究目的

X 線 CT は、X 線を利用して物体を走査した情報を元に、コンピュータを用いて処理し、物体の 3 次元的な内部構造を画像として構成する技術である (Fig.1)。一般的に用いられるのは X 線の吸収量を画像化する吸収 CT であるが、近年は位相情報を取得し 3 次元情報に変換する位相 CT も行われるようになってきている。位相の情報の取り出し方にいくつか種類があり、屈折コントラスト CT はその 1 種である (Fig.2)。

本発表では、知の拠点あいち重点研究プロジェクト III 期のテーマ「革新的シンクロtron光 CT 技術による次世代モノづくり産業創成」において BL8S2 に整備された、この屈折コントラスト CT について、その測定例を増やして BL8S2 の屈折コントラスト CT の紹介が出来るようにするとともに、試料調製のコツや屈折コントラスト CT 測定に向く試料等の情報を共有し、容易に測定できる技術として普及させることを目的とする。

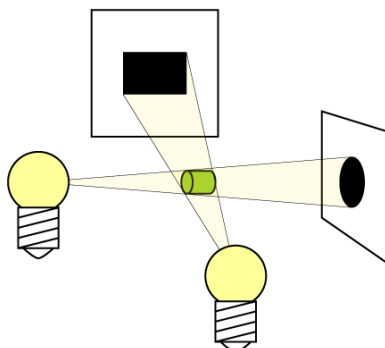


Fig.1 X 線 CT の原理

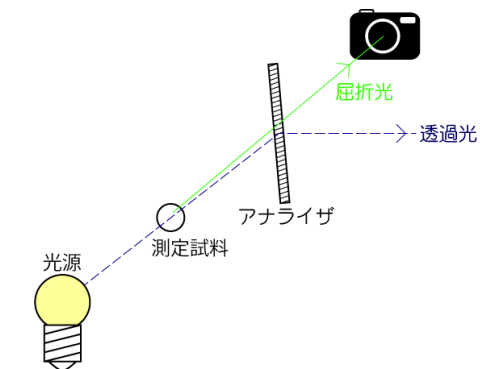


Fig.2 屈折コントラスト CT の原理

3. 実験内容

実験は BL8S2 の屈折コントラスト CT と、比較検討として実験室の装置である 3 次元 X 線顕微鏡とマイクロフォーカス X 線 CT を用いて行った。各装置の仕様に関しては Tab.1 のとおりとなる。比較検討用の試料として、今回は大豆ミート、炊飯米、たまねぎを選択して測定を行った。いずれも食品で、金属元素を含まないため、今回用いた各装置で十分に透過することは確認している。

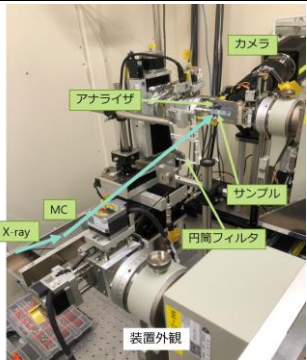


屈折コントラスト CT は、試料内外の空気が強いアーチファクトを出すことが知られているため、それぞれゲル等で試料をおおう処理をした。具体的には、大豆ミートは $\phi 3$ mm のカプトンチューブに入れて UV 硬化樹脂で固めた後、BL8S2 の屈折コントラスト CT の標準試料ホルダである $\phi 10$ mm アクリルチューブに入れて、アガロースゲルで固定した。炊飯米は、あらかじめ硬化前の UV 硬化樹脂をいれて脱気しておいたマイクロチューブに炊飯米をそっと沈め、UV を照射して全体を硬化させた。たまねぎは水中で真空引きすることで内部の空気を水に置換後、 $\phi 10$ mm アクリルチューブにアガロース溶液

とともにいれ、冷却して固定化した。

3次元 X 線顕微鏡は、試料ホルダとして $\phi 3 \text{ mm}$ のピンを採用しているため、その上に固定することが基本である。ただし、大豆ミートはもろいため、 $\phi 3 \text{ mm}$ のカプトンチューブを保護ケースとして使用した。炊飯米は測定中に水分の出入りが問題になることが予想されたため、ふたのできる 1.5 mL マイクロチューブ内に炊飯米を 1 粒入れた。たまねぎは試料ホルダに直接接着した。

マイクロフォーカス X 線 CT は、平板の試料台を持っており、測定時間も最大で 30 分と短いため、基本的には試料を直接試料台に載せて測定した。

Tab.1 比較検討した CT の主な仕様

	屈折コントラスト CT	3次元 X 線顕微鏡	マイクロフォーカス X 線 CT
装置写真			
主な仕様	倍率：1 倍／3.54 倍 画素サイズ：5.5 μm ／1.5 μm 視野範囲(横)： $\phi 25.3$ ／ $\phi 7.1$ (mm) 視野範囲(縦)：14.3／4.0(mm) エネルギー：19.8 keV	X 線ターゲット：Cu、Mo 管電圧：40 kV 管電流：30 mA 最高空間分解能：0.8 μm (視野範囲 $\phi 0.9 \times 0.7$ (mm)) 最大視野：14.4 \times 10.8(mm)	X 線源：LaB ₆ フィラメント (焦点 0.4 μm) 最大加速電圧：160 kV 平面 CT 装置

4. 結果および考察

大豆ミートの測定結果を Fig.3 に示す。大豆ミートは空気と大豆成分の 2 つが比較的コントラストが付きやすい半面、網目構造の細かい部分などは高分解能を必要とする。そのため、コントラストが付きやすい反面、分解能が少し劣る屈折コントラスト CT は、そのメリットが生かせず、ぼやけて観察された。3次元 X 線顕微鏡およびマイクロフォーカス X 線 CT はどちらも網目構造を捉えることができているが、マイクロフォーカス X 線 CT は視野が狭く、空隙率や空隙サイズ分布等の詳細な解析には向かないデータとなった。

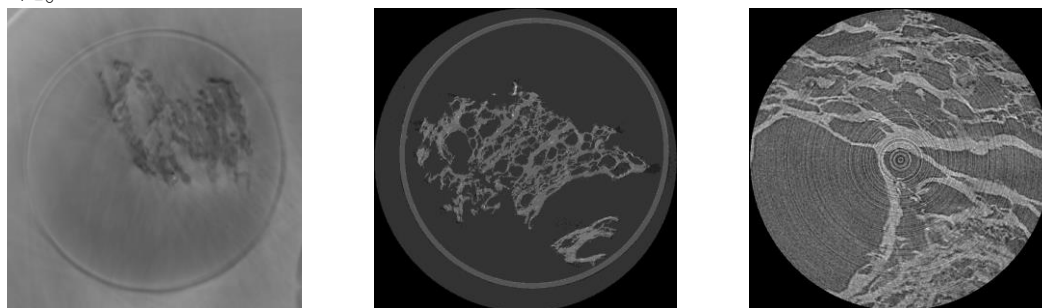


Fig.3 大豆ミートの CT 断層像
(左から屈折コントラスト CT、3次元 X 線顕微鏡、マイクロフォーカス X 線 CT)

炊飯米の測定結果を Fig.4 に示す。炊飯米は予備的な実験で、水を含むゲルに入れてしまうと膨潤する様子が観察されたため、固定が必要な屈折コントラスト CT では水を含まないゲルを採用した。しか

しながら、長時間測定の中に試料内部などから気泡が発生し、その気泡からのアーチファクトが目立つ結果となった。一方、3次元X線顕微鏡においても長時間測定が必要で、その間に水分が抜けて試料が動いてしまい、再構成が正しく行えない状態だった。マイクロフォーカスX線CTは、短時間の測定であったためか、大きな問題は起こらなかったものの、割れが観察された以外に目立つ構造は確認されなかった。

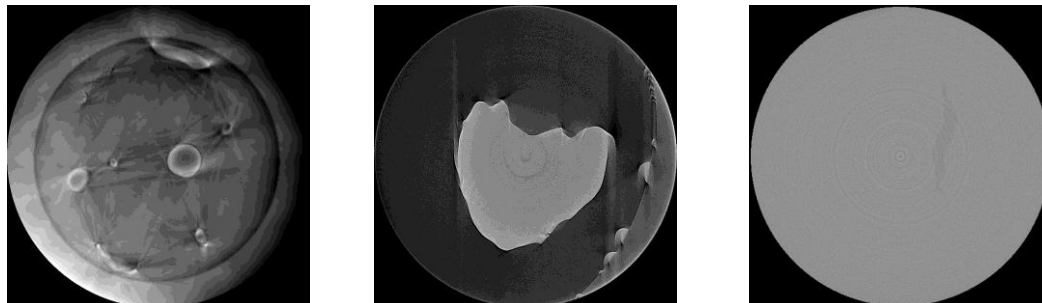


Fig.4 炊飯米のCT断層像
(左から屈折コントラストCT、3次元X線顕微鏡、マイクロフォーカスX線CT)

たまねぎの測定結果をFig.5に示す。たまねぎの細胞壁は、光学顕微鏡等では比較的簡単に見える構造であるが、CTではコントラストがつきにくい上に長時間の固定が困難で、測定が難しい。3次元X線顕微鏡ではほとんど何の構造も見られない結果となったが、測定時間が短いマイクロフォーカスX線CTでは、何の構造かはわからないものの、壁のような構造は見られた。一方、屈折コントラストCTでは、コントラストが強くなるため、細胞壁の構造と思われる状態をはっきりと観察することができた。

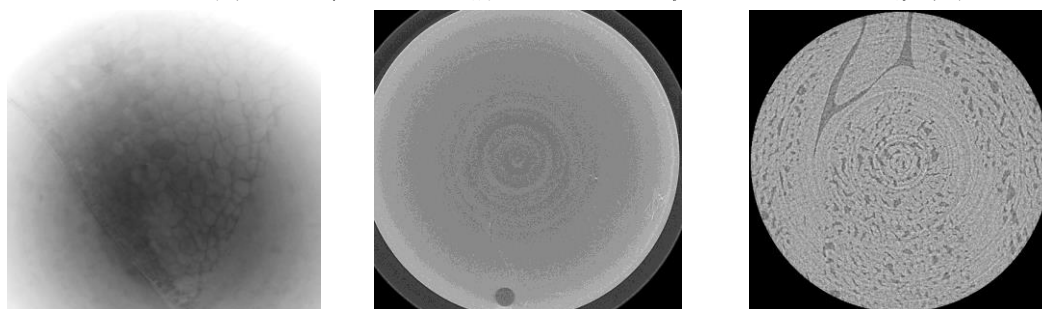


Fig.5 たまねぎのCT断層像
(左から屈折コントラストCT、3次元X線顕微鏡、マイクロフォーカスX線CT)

5. 今後の課題

屈折コントラストCTはありふれた物質である空気が邪魔になるため、試料調製は慎重に行う必要がある。必要な測定時間も長く、残念ながら簡単に使える技術ではないことが明らかとなったが、上手に測定ができれば、通常のCTでは考えられないほど微妙な密度差を検出することができる。今回は食品ばかりを試料としたが、製造条件の違いで結晶化度が異なるプラスチックなど、工業製品にも応用していきたい。

