

## 準単色放射光を用いた高速位相イメージングの検討

○米山明男<sup>1</sup>、河本正秀<sup>1</sup>、馬場理香<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州シンクロトロン光研究センター、<sup>2</sup>(株)日立製作所研究開発グループ

位相コントラスト X線イメージング法は、X線が被写体を透過する際に生じた位相の変化（位相シフト）を画像化する手法であり、吸収による強度の変化を画像化する従来の吸収コントラスト法に比べて 1000 倍以上高感度である。このため、生体の軟部組織やゴムなどの有機材料を高精細に観察することができる。本研究では位相シフトを検出する方法として回折格子を用いたタルボ干渉法を採用した撮像系の構築を進めている（図 1）。タルボ干渉法は幅広いエネルギーの X線に加えて、発散光も利用できることが大きな特徴である。そこで、金属フィルターを用いた準単色化により大強度 X線を確保することで、高速撮像が可能になる。

図 2 に試用実験によって得られた生体試料（サラミ）の三次元像を示す。使用した金属フィルターは Ag 0.1 mm +Al 1.5 mm で中心エネルギーは 22 keV である。干渉像の検出器にはレンズカップリング型の画像検出器を使用した。位相シフトの検出には走査数 5 の縞走査法を採用し、吸収格子 (G2) の走査と試料回転と組み合わせたスパイラルスキャンによりデータを取得した (0.1 秒/干渉像)。撮像時間は従来より 2 桁程度短い 100 秒であるにも関わらず、筋組織と脂肪を明瞭に区別可能なことがわかる。今後は動的な観察への適用などを予定している。

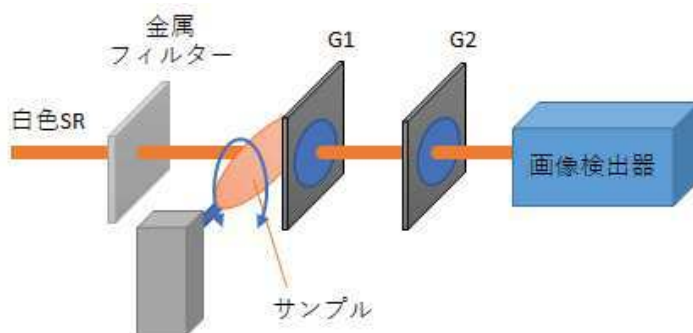


図 1 準単色放射光を用いたタルボ撮像系



図 2 生体試料の観察結果  
(撮像時間 100 秒 (従来の 1/100))

# 準単色放射光を用いた高速位相イメージングの検討



○米山 明男<sup>1</sup>、河本 正秀<sup>1</sup>、馬場 理香<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州シンクロtron光研究センター、<sup>2</sup> (株) 日立製作所研究開発グループ

## 概要

位相コントラストX線イメージング法(位相イメージング法)は、X線が被写体を透過する際に生じた位相の変化(位相シフト)を画像化する手法であり、吸収による強度変化を画像化する従来の吸収コントラスト法に比べて1000倍以上高感度である。このため、生体軟部組織やポリマーなど有機材料を無造影、かつ短時間で高精細に観察することが可能になる。佐賀LSではタルボ干渉法[1]を採用した高速な撮像系の構築を進めている。タルボ干渉計は幅広いエネルギーのX線に加えて、発散光も動作することが大きな特徴である。本発表ではこの特徴を利用して、金属フィルターを用いて準単色化した大強度の放射光を光源とする高速撮像の可能性を検討した結果について報告する。

## 位相コントラストX線イメージング

X線は波長の短い電磁波であり、サンプルを透過する際に吸収による強度変動に加えて、位相の変化(シフト)も生じる(図1左)。硬X線領域において、位相シフトの散乱断面積は吸収の断面積に比べて1000倍以上大きいため(図1右) [2]、位相イメージング法では軽元素から構成されたサンプル(生体軟部組織やポリマーなど)を高精細に観察することが出来る。

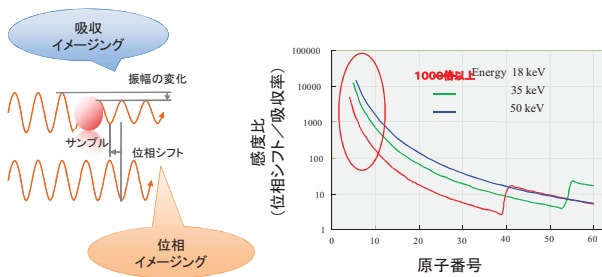


図 1. 位相コントラストX線イメージング法の原理(左)と各元素における感度の比較(右)

## タルボ干渉法

X線の位相シフトは直接検出できないために、X線光学素子(デバイス)を利用して検出可能な強度に変換して検出する必要がある(表1)。このうち、タルボ干渉法は、他法に比べて感度が若干低下するが、

- (1) 準単色X線でも利用できる(バンド幅5keV以上)。
- (2) 発散光も利用できる。

という大きな特徴があり(他法は単色・平行ビームが不可欠)医療診断装置や検査装置への展開が進められている。

表 1. 各種の位相シフト検出方法

変換方法	概要	検出量	感度	密度レンジ
X線干渉法	干渉(重ね合せ)により強度に変換して検出	$\cos(p)$	◎	狭
屈折コントラスト法	屈折角を結晶の回折現象を利用して検出	$\frac{\partial p}{\partial x}$	○	広
タルボ干渉法	回折格子によるタルボ効果を用いて検出	$\cos\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)$	△	中
伝搬法	フレネル回折を利用して検出	$\nabla^2 p$	○	広

タルボ干渉計は図2に示すように、位相(G1)及び吸収格子(G2)と呼ばれる2枚のX線用回折格子から構成される。入射X線はG1の格子間隔に対応して、下流のある特定位置(タルボ距離)にG1の自己像を形成する(タルボ効果)。このため、この位置にG1と格子間隔がほぼ同じG2を設置すると、X線波面の歪み(位相の空間微分)がモアレ縞(タルボ干渉縞)となって現れる。この現象を利用して、位相格子の上流に設置したサンプルによって生じた位相シフトをモアレ縞の動きから検出することができる。

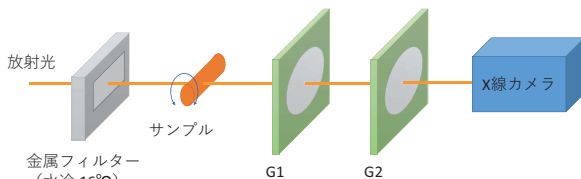


図 2 タルボ干渉計の模式図

## 準単色X線の形成

準単色X線は水冷した金属フィルターを用いて形成した(図2)。また、X線のスペクトル分布(分光特性)の評価は、フィルターの下流に設置した非対称結晶のX線回折を用いて行った。図3は $\omega$ -2 $\theta$ スキャンによって取得した、フィルターなし、Alフィルター0.5 mm及びCuフィルター0.1 mm + Alフィルター0.5 mmにおけるスペクトル分布である(検出器はイオンチャンパー)。中心エネルギーの中心はそれぞれは14, 17, 24 keV、バンド幅は±5 keV程度であることがわかる。

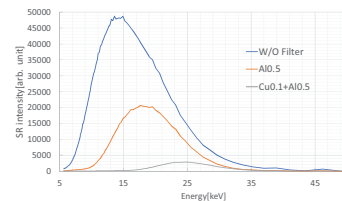


図 3. 各種金属フィルターにおけるスペクトル

## タルボ干渉像の形成

上記で形成したX線を光源として、タルボ干渉像の形成を試みた。なお、タルボ干渉計の設計エネルギーは20 keV、タルボ干渉距離は185 mmである。図4にG1-G2の各距離において取得したタルボ干渉を示す。この結果、185 mm(設計値)において最高となるVisibility 40%の干渉像が形成できていることがわかる。なお、露光時間は各 20 ms である。

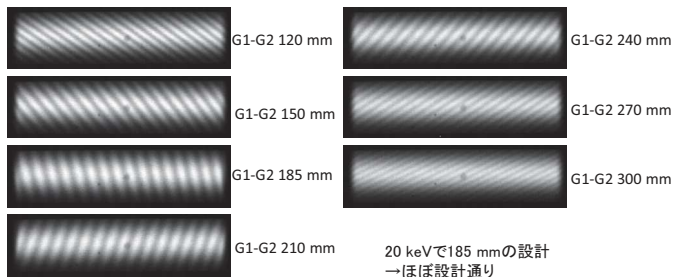


図 4 G1-G2の各距離におけるタルボ干渉像

## 位相CTによる三次元像

上記システム及び条件で、生体試料(サラミ)を対象として、位相CTによる三次元観察を試みた。位相シフトの定量的な検出には走査数5の縞走査法を採用し、高速化のために試料の連続回転と組み合わせた「スパイラルスキャン方式」を採用した。この結果、従来の1/100以下の計測時間となる100秒で高精細なサラミの三次元像の取得に成功した(図5)。

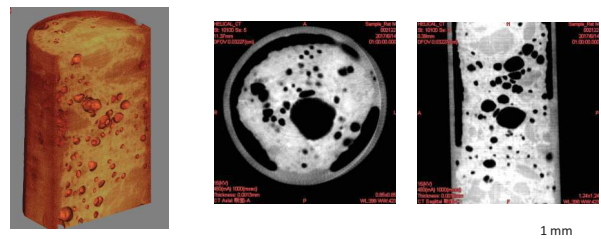


図 5 生体試料の三次元像(計測時間100秒)

\* [vonevama@saga-ls.jp](mailto:vonevama@saga-ls.jp)

[1] A. Momose, S. Kawamoto, I. Koyama, Y. Hamaishi, K. Takai, K. Uesughi, and Y. Suzuki Jpn. J. Appl. Phys. 42 (2003) L866-L868

[2] A. Momose and J. Fukuda, Medical Physics 1995 vol: 22 (4) pp: 375-379