

ERL光源のコヒーレンス特性を利用した研究の展望

平野馨一、河田洋 (KEK・PF)

1. ERL光源のコヒーレンス特性

次世代光源であるERLの大きな特徴の一つは、垂直方向だけでなく水平方向についても回折限界に近いコヒーレントなX線が得られることである。例としてPFで検討されているERLとSPring-8を比較すると、PF-ERLでは水平方向のエミッタンスが大幅に改善されるため、コヒーレント成分の割合がSPring-8よりも約二桁高くなる。また、1対1の集光をした時に得られる単位面積当たりのCoherent Fluxを見ると(図1)、PF-ERLではSPring-8の2桁~3桁高くなる。

このようにERLは第三世代の放射光よりも優れたコヒーレント特性を有するため、ERLが実現されればX線の位相やコヒーレンスを利用する研究が大いに進むと期待される。

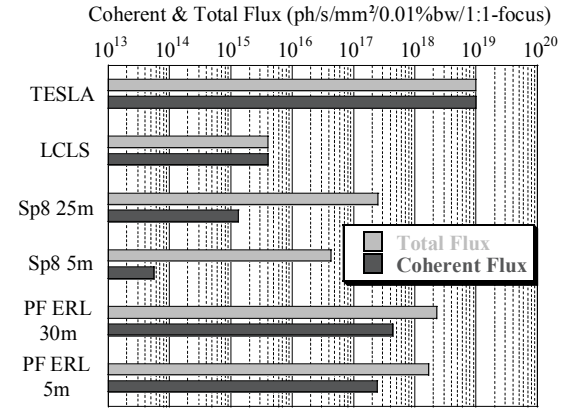


図1 1:1の集光をした場合に得られる単位面積当たりのCoherent FluxとTotal Flux

2. コヒーレンス利用研究

PFでERL光源を検討するにあたって、コヒーレンス利用研究として以下のようなテーマが提案された(各々の詳細な内容については「放射光将来計画検討報告 — ERL光源と利用研究 —」第2章2節を参照)。

- X線光子相関分光法 (東京学芸大・並河)
- X線コヒーレント光学 (SPring-8・石川、東大・百生、PF・平野)
- 位相型X線顕微鏡 (SPring-8・鈴木)
- オーバーサンプリング法を用いた物質の構造解析 (SPring-8・西野)

2-1 X線光子相関分光法

X線光子相関分光法はX線の動的散乱に基礎を置いている。物質に動的なゆらぎがある場合、コヒーレントなX線で照射されると、物質の各部から散乱されたX線の干渉によって散乱強度にゆらぎが現れる。この現象はX線スペックルと呼ばれており、その時間相関関数は物質のゆらぎの特性時間を反映する。このような測定法によって物質の特性時間とそれに関連した物理量を求める手法は、液体コロイドの拡散現象、高分子の動力学、誘電体や磁性体の相転移、合金の相転移、結晶の二次構造の運動などの研究に適用されている。

ERLでCoherent Fluxが増大すれば、精度が格段に向上することになる。さらに、繰り返し周波数が1ns程度になるので、これまでよりも早い0.1ms程度の揺らぎを調べることが可能になる。

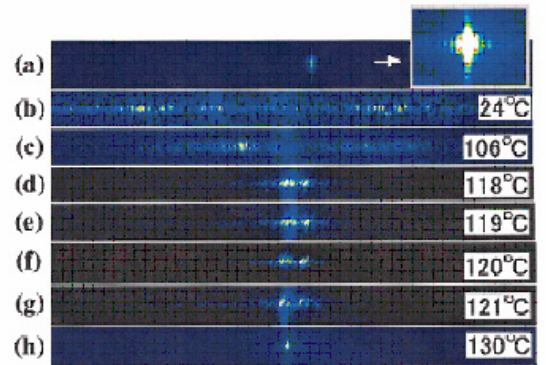
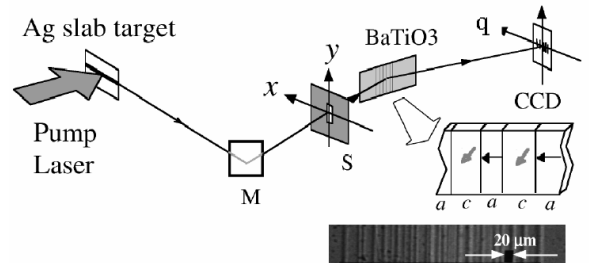


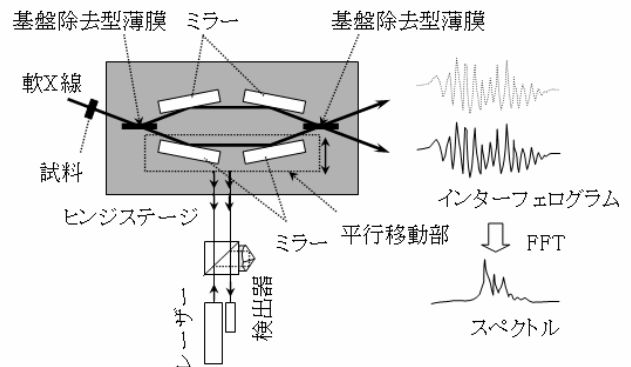
図2 BaTiO₃のスペックルの観察例
上: 実験配置、下: キュリー点 (122°C) 付近で観察されたスペックルパターン

2-2 X線コヒーレント光学

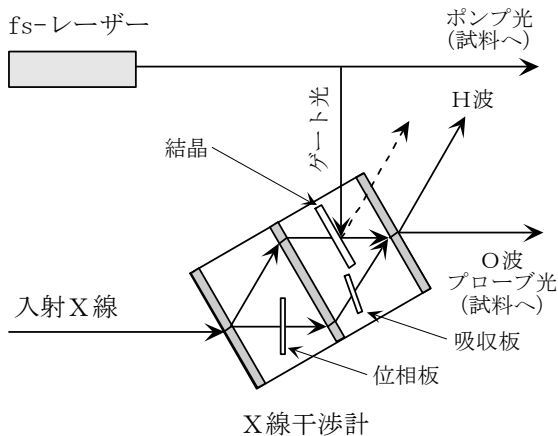
2-3 X線位相型顕微鏡

X線コヒーレント光学とX線位相型顕微鏡は、第三世代放射光の登場により急速に発展している研究分野であり、強度相関、硬X線フーリエ分光、二光束干渉計、波動伝搬法によるミラーの評価などといった、ユニークな研究が進展しつつある。ERLでCoherent Fluxが増大すれば、この分野のさらなる発展が期待される。

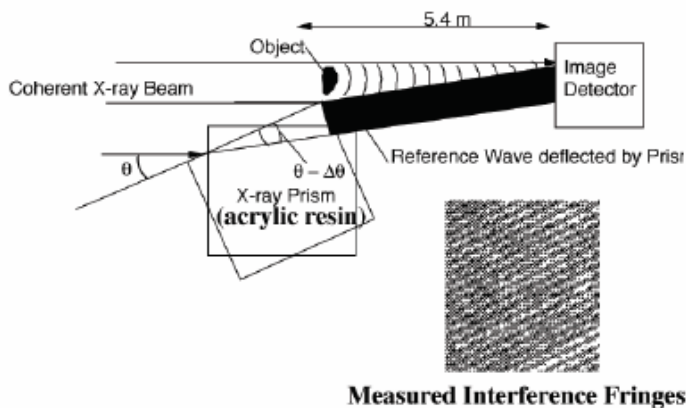
図3 X線コヒーレント光学と位相型X線顕微鏡の研究例 (a)-(c)



(a) 軟X線フーリエ分光



(b) 超高速X線シャッター



(c) 二光束X線干渉計

2-4 オーバーサンプリング法を用いた物質の構造解析

周期を持たない試料でも、コヒーレントに散乱されたX線の強度を細かく測定し、反復法を用いて位相情報を回復することにより、構造を決定することができる。この手法の適用範囲は広く、単離された生体分子や、ナノ材料の構造解析にもおよぶ。

将来的な応用として、結晶化されていない生体分子の構造解析（単粒子解析）の可能性も議論されており、XFELやERLを用いた場合の試算などが行われている。

3. 今後の研究会などの予定

近年、XFELやERLといった次世代光源への関心の高まりにより、コヒーレンス利用研究が大きな注目を集めるようになりつつあり、国内外でシンポジウムやワークショップなどが次々と計画されている。今後の動向が注目される。

■ 春の物理学会シンポジウム

「X線・中性子線による干渉計測の最近の展開」

日時：3月29日 13:00～16:45

場所：東北大学川内キャンパス YG会場

http://210.172.69.179/jps_search_03sp/10.html#29pYG

■ International Workshop on Noncrystallographic Phase Retrieval

30 June - 2 July 2003

Novotel Palm Cove Resort Cairns, Queensland, Australia

<http://optics.ph.unimelb.edu.au/cairns03/cairns03.htm>

■ SRI2003 SATELLITE WORKSHOP

“Workshop on X-ray Science with Coherent Radiation”

August 22-23, 2003

Building 50 Auditorium, LBNL Berkeley, CA, USA

<http://www.sri2003.lbl.gov/html/satellite.html>

参考文献

- 1) PF将来計画に関する研究会2
「X線位相利用計測における最近の展開」
編集：百生敦（東大・工）、平野馨一（PF）
- 2) 「放射光将来計画検討報告 — ERL光源と利用研究 —」
編集：諏訪田剛（KEK）、飯田厚夫（PF）

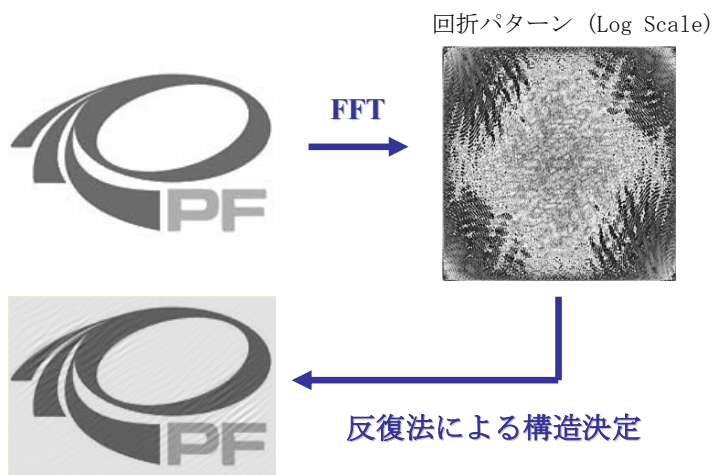


図4 オーバーサンプリングによる構造決定

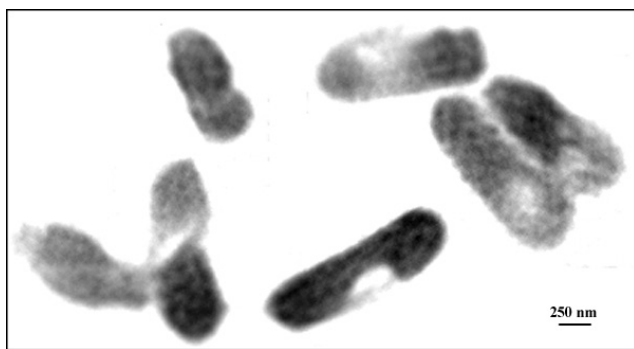


図5 オーバーサンプリング法によって再生された大腸菌の内部構造