

## APPLICATION OF HARD X-RAY GENERATED BY LASER COMPTON SCATTERING TO REFRACTIVE-CONTRAST IMAGING

Masato Yasumoto<sup>1, A)</sup>, Ryunosuke Kuroda<sup>A)</sup>, Hiroyuki Toyokawa<sup>A)</sup>, Norihiro Sei<sup>A)</sup>, Hiroshi Ogawa<sup>A)</sup>, Masahito Tanaka<sup>A)</sup>, Hiromi Ikeura<sup>A)</sup>, Masaki Koike<sup>A)</sup>, Kawakatsu Yamada<sup>A)</sup>, Fumio Sakai<sup>B)</sup>, Terunobu Nakajou<sup>B)</sup>, Tatsuya Yanagida<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),

Umezono 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568

<sup>B)</sup> Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI),

Yatocho 2-1-1, Nishitokyo, Tokyo, 188-8555

### Abstract

A laser Compton scattering (LCS) X-ray source was recently installed at AIST. The LCS X-ray source composes of a 40-MeV linac and a femtosecond laser, and provides highly bright ( $10^7$  photons/sec) and ultrashort (150 fs to 3 ps) X-ray pulses with tunable photon energies ranging between 12 and 40 keV. We then started the LCS X-ray application researches such as medical radiography, protein crystallography. In the medical radiography it is well-known that the refractive-contrast imaging provides quite high contrast image by the edge effect. Thus, we applied the LCS X-ray to the imaging technique as a photon source. In this paper, we describe the refractive-contrast images using the LCS X-ray at 18 keV.

## レーザーコンプトン散乱硬X線の屈折コントラストイメージングへの応用

### 1. はじめに

最近、産総研に40MeV Sバンド小型電子直線加速器とフェムト秒レーザーを用いたレーザーコンプトン散乱X線装置(LCS-X線装置)が導入された[1]。現在、その発生するX線光量を増大させるための光源開発とその硬X線利用研究などを開始した。これによって、既存の放射光施設(TERAS, NIJI-IVなど)と合わせて、産総研ではさまざまな波長域において、特長ある研究が行われている[2, 3]。

LCS-X線装置は、産総研のこれら光源群の中で、特に「小型」、「硬X線領域」、「極短パルス」、「準単色」、「THz領域」といった特長を持った光源である。さらに、LCS-X線源は、硬X線源としてだけでなく、その装置内に短パルスレーザーを内蔵していることから、その短パルスレーザーも利用研究のための光源として使用可能であるという特長も持っている。また、この他に圧縮された電子パンチによって偏向電磁石からのコヒーレントラディエーションの観測(テラヘルツ光源開発)も準備している[4]。

われわれは、このようなLCS-X線の特長を生かした利用研究テーマとして、タンパク質結晶構造解析や各種イメージング研究などを開始した。今回は、イメージング技術への応用の一つとして、最近高コントラスト性によって注目されている「屈折コント

ラスト法」の光源として、LCS-X線を用いた時の結果について報告する。

### 2. レーザーコンプトン散乱硬X線装置

LCS-X線装置は、図1に示す通り、主としてPhotocathode RF Gun, 1.5m電子加速管が2本、フェムト秒Ti:Saレーザー(電子ビームと衝突用)、クライストロンなどから構成される[5]。2本の加速管で加速された電子が収束され、フェムト秒レーザーと衝突し、コンプトン散乱によりX線が発生する。

この発生する極短パルスの準単色硬X線は、電子ビームのビームライン最下流にあるBe窓から取り出され、その下流に設置された利用実験ステーションに導かれる。このLCS-X線の主な仕様は表1に示す。

### 3. 屈折コントラストイメージング

#### 3.1 イメージング原理

X線イメージング法としては、被写体のX線吸収量の違いを可視化する吸収コントラスト法が従来は行

<sup>1</sup> E-mail: m.yasumoto@aist.go.jp

われていた。最近、新しいイメージング法として被写体のわずかな屈折率の違いを可視化する屈折コントラスト法の研究が進められている。屈折コントラスト法は、X線吸収量の少ない組織を高コントラストで可視化するという特長を持っていて、エッジ強調画像が得られる。すでに、この方法は平行性の良い単色化された放射光光源に応用されて、鮮明な画像が得られている[6]。

### 3.2 実験条件

X線イメージング実験装置の配置図を図2に示す。イメージング実験においては、X線蛍光板付CCDカメラ（Princeton Instrument社製、PI-SCX:1300）を用いた。吸収コントラスト条件、屈折コントラスト条件は、サンプルとCCDカメラの距離を変える事によって撮影を行った。表2にそれぞれの距離の関係を示す。また、X線エネルギーは18 keV、カメラの画像蓄積時間は500 sであった。撮影被写体（サンプル）は、梱包などに用いられる緩衝材（エアキャップ、ポリエチレンシートで構成）を用いた。

### 3.3 イメージング結果

図3に両条件で観察したX線透過像を示す。吸収コントラスト条件で撮影された画像に比較して、屈折コントラスト条件で得られた画像には、緩衝材を構成する円柱状突起の壁（白い輪状、矢印で示す部

分）が撮影された。

## 4. おわりに

40MeV Sバンド小型リニアックとフェムト秒レーザーにより発生したLCS-X線を使った利用研究として、硬X線屈折コントラスト法を使ったイメージングについて報告した。今後は、画像の定量化を行い、LCS-X線による屈折コントラスト法の評価を行う。

## 参考文献

- [1] R. Kuroda et al., to be published in proceedings of ICFA2005.
- [2] 豊川 他、第3回日本加速器学会、仙台、2006年8月2-4日、W011.
- [3] 小川 他、第3回日本加速器学会、仙台、2006年8月2-4日、WP05.
- [4] 清 他、第3回日本加速器学会、仙台、2006年8月2-4日、TP68.
- [5] 柳田達哉、中條晃伸、伊藤紳二、酒井文雄、応用物理、74 (2005) 482.
- [6] 森浩一、関根紀夫、佐藤斉、鹿野直人、島雄大介、塩飽秀啓、兵頭一行、岡寛、医学物理、Vol122 (2002) 13-20.

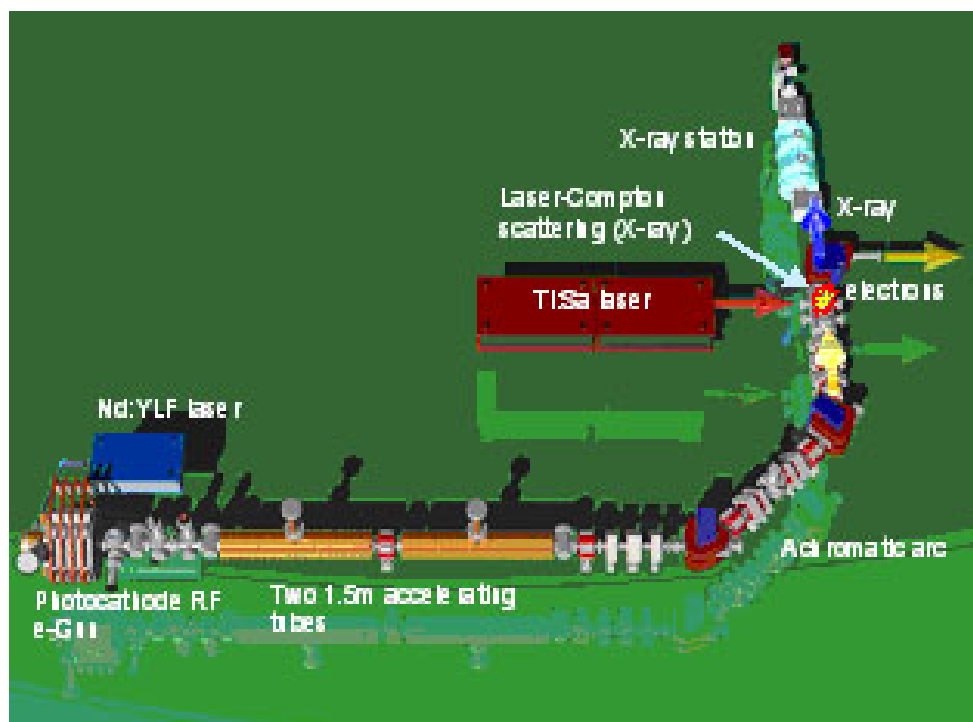


図1：Sバンド小型リニアックレーザーコンプトン散乱硬X線装置（LCS-X線装置）

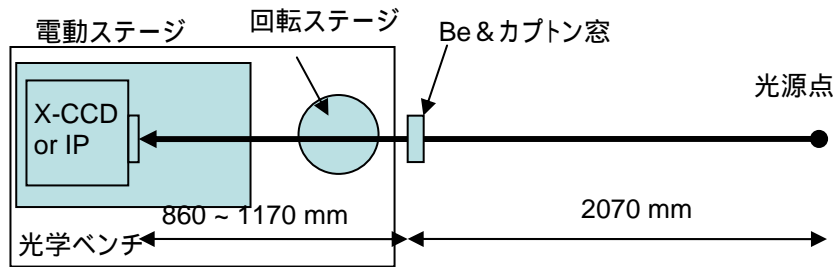


図2：イメージング実験装置配置図

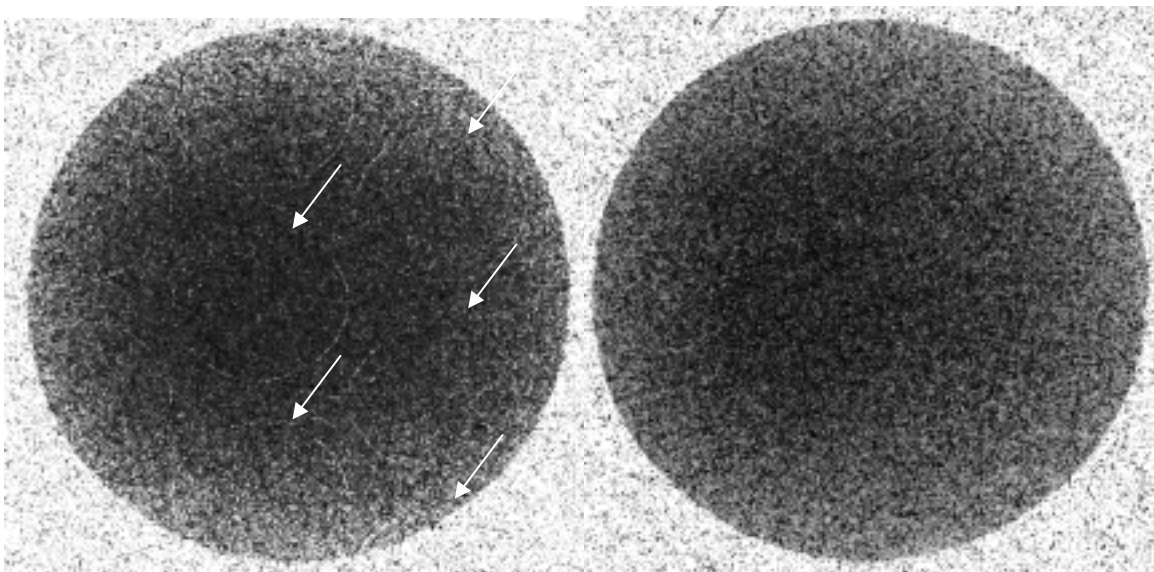


図3：X線透過像、屈折コントラスト条件（左）吸収コントラスト条件（右）

表1：LCS-X線パラメーター

エネルギー可変範囲	12 ~ 40 keV
単色性	~5 % (dE/E)
フラックス(@165 deg)	$10^7$ photons/sec
フラックス(@90 deg)	$10^6$ photons/sec
時間幅	150 fs ~ 3 ps
光源サイズ	40 $\mu$ m $\times$ 40 $\mu$ m
繰り返し	10 pps
安定性	~6 % (15 min)

表2：光源・サンプル・カメラ間の距離関係

	光源・サンプル距離	サンプル・カメラ距離
屈折コントラスト条件	2070 mm	1170 mm
吸収コントラスト条件	2930 mm	~10 mm