

レーザーコンプトン散乱エックス線源の開発

単色性の高いエックス線の医学利用への展開



黒田 隆之助

くろだりゅうのすけ

ryu-kuroda@aist.go.jp

計測フロンティア研究部門
光・量子イメージング技術研究
グループ
研究員（つくばセンター）

早稲田大学理工学研究科物理学
及応用物理学専攻修了、博士（工
学）。2005年入所以来、加速器
技術、レーザー技術の高度化研
究に従事し、それらを融合させ
たレーザーコンプトン散乱エッ
クス線源やテラヘルツ光源の研
究開発を行っており、社会での
早期実用化を目指しています。

関連情報：

● 共同研究者

豊川 弘之、池浦 広美、安本
正人、小池 正記、山田家 和
勝（産総研）、森 浩一（茨城
県立医療大）、酒井 文雄（住
友重機械工業株式会社）

● 参考文献

[1] 黒田隆之助 他：日本非破壊
検査協会機関誌 57 (6)、
265 - 269 (2008)

[2] 黒田隆之助 他、日本加速
器学会誌、5(2)137 - 143
(2008)。

[3] H. Ikeura-sekiguchi, et
al.: Appl. Phys. Lett., 92,
131107 (2008)

● 受賞歴

日本非破壊検査協会 平成 19 年
度春季大会 新進賞「非破壊検査
用レーザーコンプトン散乱エッ
クス線の開発と利用」

ICFA(International Committee
for Future Accelerators)
Workshop on "Compton
Sources for X/γ Rays:
Physics and Applications"
Best Oral Prize

●この研究は、計測フロン
ティア研究部門重点化
予算により実施されたもの
です。

単色性の高いエックス線を求めて

レントゲン撮影などのエックス線イメージング装置は、人体内部を透視することができるため、病巣などを非侵襲で観測できる医療診断の1つとして幅広く利用されています。これらには、いわゆるエックス線管が用いられ、医療だけでなく電子部品の非破壊検査などさまざまな分野で使用されています。しかし多くのエックス線管は、エネルギー幅が広く、特に低エネルギー成分が、医療診断における被験者や非破壊検査におけるサンプルの被曝線量を著しく増加させ、エックス線画像の分解能やコントラストの低下の大きな要因となっています。特にコントラストの付き難い軟組織の高度医療診断などでは、エックス線管による波長域が広いエックス線（白色エックス線）では不十分であることが知られています。そのため、波長の揃ったエックス線（単色エックス線）が求められますが、周長が数kmもある大規模な放射光施設でのみ実現されているのが現状です。そこで、産総研では、制動放射や特性エックス線を利用した古い技術（1910年頃～）に代わる、レーザーコンプトン散乱という新しい技術を用いた比較的小型の単色性の高いエックス線発生装置の開発を行っています。

レーザーコンプトン散乱エックス線源

レーザーコンプトン散乱は、高エネルギーの電子ビームとレーザー光（低エネルギーの光子）を衝突させ、エックス線（高エネルギーの光子）として弾性散乱させる現象で、このエックス線は、単色性（数%のエネルギー幅）、短パルス性、微小光源性など優れた性質を持っており、装置規模も大規模放射光施設と比べ、電子のエネルギーが1/100以下ですむため、たいへんコンパ



図1 レーザーコンプトン散乱エックス線発生装置

クトです。産総研では、レーザーコンプトン散乱を利用した単色性の高いエックス線発生装置の開発を、リニアックと呼ばれる小型電子線形加速器をベースとした1つの中規模実験室（10 m × 10 m）で行っています^[1,2]。この装置では、図1に示すように質の良い電子パルスと、質の良いレーザーパルスを衝突させ、質の良いエックス線パルスを発生させることができます。電子パルスは、レーザーフォトカソード高周波電子銃と小型リニアックにより最大約40 MeV（メガエレクトロンボルト）のきわめて高品質のピコ秒電子パルスを実現しています。レーザーパルスは、チャープパルス増幅を用いたテラワット級高出力チタンサファイアレーザーによってフェムト秒レーザーパルスを実現しています。これらの電子・レーザーパルスを高精度の時間・空間同期システムにより衝突させ、約10～30 keV（キロエレクトロンボルト）の任意のエネルギーで単色性の高いエックス線パルスを生成することができます。エックス線は、毎秒10⁷個以上の光子数が得られ、最近では、図2のようなラットの腰椎をサンプルとした屈折コントラスト強調法による高精彩なエックス線イメージ像（光源-サンプル間距離約3 m）を得ることに成功しました^[3]。

今後の展開

現在、マルチ衝突レーザーコンプトン散乱という手法を用いて、エックス線収量を現在の約100倍、毎秒10⁹個以上とすることを目標に研究開発を進めています。この技術が実現できれば、リアルタイムで高分解能の生体イメージングが可能となり、レーザーコンプトン散乱エックス線発生装置が、一般の病院での高度医療診断や治療技術の飛躍的な発展につながると期待されます。

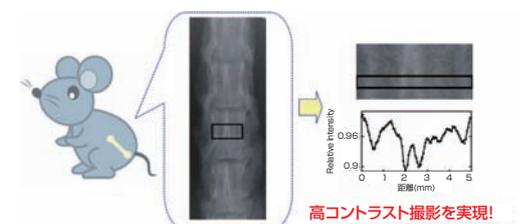


図2 屈折コントラスト強調法によるラットの腰椎イメージング(図は [3] に掲載されたものを修正して使用)