

ENERGY RANGE EXPANSION OF LASER COMPTON GAMMA-RAY AT NewSUBARU

Sho Amano¹, Shuji Miyamoto, Ken Horikawa, Takayasu Mochizuki

Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry (LASTI), University of Hyogo

3-1-2 Koto, Kamigori, Ako, Hyogo 678-1205

Abstract

Energy range expansion of laser Compton gamma-ray at NewSUBARU is progressing. At first, Gamma rays of 17-36MeV were successfully generated by using a Nd:YVO₄ laser with wavelengths of 1.06mm and 0.53mm. The luminosity of 6000photons/W/mA/sec and the flux of 5x10⁶ photon/sec were achieved with a laser power of 4W and a beam current of 200mA. In a next step, a CO₂ laser with a wavelength of 10.6mm was also installed to expand the energy range of generating gamma ray. The gamma ray energies of 1-4MeV have been obtained. The luminosity of the gamma rays was 7300photons/mA/W/sec and the flux of 5.6x10⁶ photon/sec was also achieved with 4W and 200mA. These performances were good agreement with the calculations. At present, we are planning to add a Tm fiber laser with a wavelength of 2mm, which will cover to generate gamma rays with energies of 4-21MeV. The laser focusing design was considered to generate high flux as much as possible, and its luminosity was calculated to be 6400 photons/W/mA/sec. In addition to Nd and CO₂ laser, Tm fiber laser also has been developed for high-power operation and these lasers can generate kW class output power. Though the present maximum flux was limited only by the power of the lasers, a flux of up to ~10⁹ photon/s will be expected using a 1 kW these lasers with 200mA. Several ~ a few dozen MeV gamma ray sources at NewSUBARU are capable of generating such high power.

ニューズバルレーザーコンプトンガンマ線のエネルギー域拡大

1. はじめに

ニューズバル電子蓄積リングにおけるレーザーコンプトンガンマ線のエネルギー域拡大について報告する。

我々は当初、波長1.064 μ mと0.532 μ mのNd:YVO₄レーザーを用いて17~36MeVのガンマ線ビーム発生に成功した。このガンマ線を用いて最初に始めた応用が、核廃棄物処理技術の研究^[1]である。その他、核物理、宇宙核物理データ取得^[2]や、中性子、陽電子源^[3]への応用研究も進めている。イメージングプレートを用いたガンマ線イメージング技術の開発も行っている^[1]。応用研究を進める上で、発生ガンマ線のエネルギー域拡大が望まれた。そこで、次に波長10.6 μ mのCO₂レーザーを導入して、1~4MeV領域のガンマ線発生を図った。このエネルギー域のガンマ線は、原子核共鳴蛍光散乱実験 (NRF) に有用であり、これを用いた放射性物質の非破壊解析等の応用が提案されている^[4]。

さらに、Nd:YVO₄とCO₂レーザーによるガンマ線エネルギーの間をカバーするために、現在波長2 μ mレーザーの導入を検討している。波長2 μ mレーザーの導入により、ガンマ線エネルギー域が1~40MeVまで連続可変でカバーできる。波長2 μ m帯のレーザー光源の候補として、Tmドープファイバーレーザーが挙げられる。これは近年急速に高出力化がなされ、kW出力レベルが達成されたレーザーである^[5]。一般的に、NdレーザーもCO₂レーザーも高出力化に

最も成功したレーザーであり、kW以上の平均パワーが達成されている。レーザーコンプトンガンマ線フラックスは、レーザーの平均パワーに比例するので、この様な高出力レーザーが使える事はガンマ線の高出力化を可能にする。即ち1~40MeVの高出力ガンマ線源として、ニューズバルは適していると言える。

本稿では、現在までに得られているNd:YVO₄とCO₂レーザーによるガンマ線特性について紹介し、2 μ mレーザーの導入ポート (集光系) の検討と生成フラックス予測について報告する。

2. ガンマ線ビームライン (BL1)

現在までに整備されたレーザーコンプトンガンマ線発生実験配置 (図1) について説明する。

ニューズバル蓄積リングは周長119mの楕円形で、14mの2本の長直線部がある。この内の1つを光源開発用として使い、ここに繋がるビームラインBL1を用いてガンマ線の発生および応用実験を行っている。実験ホールに設置された散乱用レーザーNd:YVO₄とCO₂レーザーは、ミラーで加速器収納トンネル内へ導かれ、トンネル内の集光レンズを介して真空ダクトへ入射される。レーザー光は真空ダクト内のミラーで曲げられ、電子蓄積リングの電子ビームと正面衝突をする。図1では一系統しか記してないが、実際にはNd:YVO₄とCO₂レーザー用に、それぞれ独立したこのビームトランスポートがある。

¹ E-mail: sho@lasti.u-hyogo.ac.jp

ここでNd:YVO₄レーザー用をNポート、CO₂レーザー用をCポートと名付ける。Yポート、Cポートは透過波長の違いの他に、伝送レーザービームと電子ビームとの衝突点（AとB点）の違いがある。

図2にこのセクションにおける、Twiss関数より計算した電子ビーム径（標準偏差）と、その対応するレーザービーム径（1/e²半径）を示す。波長1.064 μmのNd:YVO₄レーザーにおけるYポート集光系では、直線部中央A点で半径0.5mm程度に収束するように設計された。これは長直線部を持つニュースバルの特徴を生かし、電子と光子の衝突距離を最大にする設計であり、A点で電子ビームとほぼ1:1の大きさを衝突する。一方、CO₂レーザーの場合、波長

がNdレーザーの10倍長く回折効果が大いのでA点に集光出来ない。そのためCポートでは、衝突点をレーザー入射窓に近い手前のB点に変更した。それでも途中のダクト径で制限され、B点でのレーザービーム半径は1.2mmと、電子ビーム径の2倍に設計された。

Yポート、Cポートを通過して、それぞれの衝突点で電子ビームと衝突したレーザー光はガンマ線として散乱されるが、それは電子ビーム進行方向前方にのみ集中し、ビームシャッターを介して加速器収納トンネル外部のガンマ線シールドハッチへ取り出される。このシールドハッチ内でガンマ線特性測定を行った。

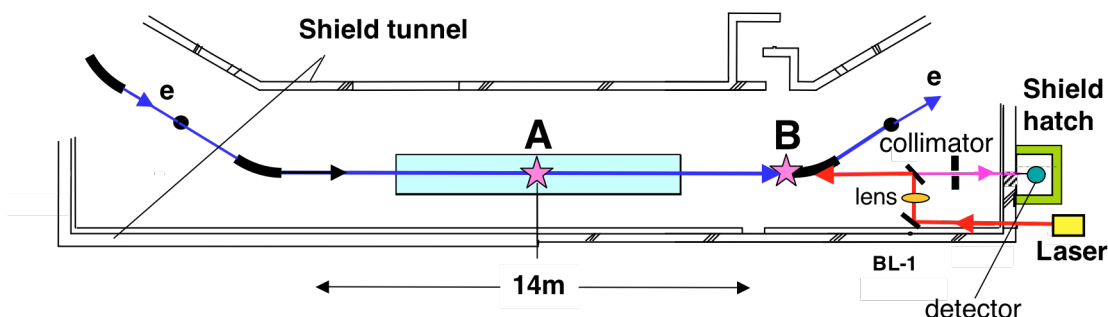


図1： ニュースバル長直線部とBL1における実験配置図

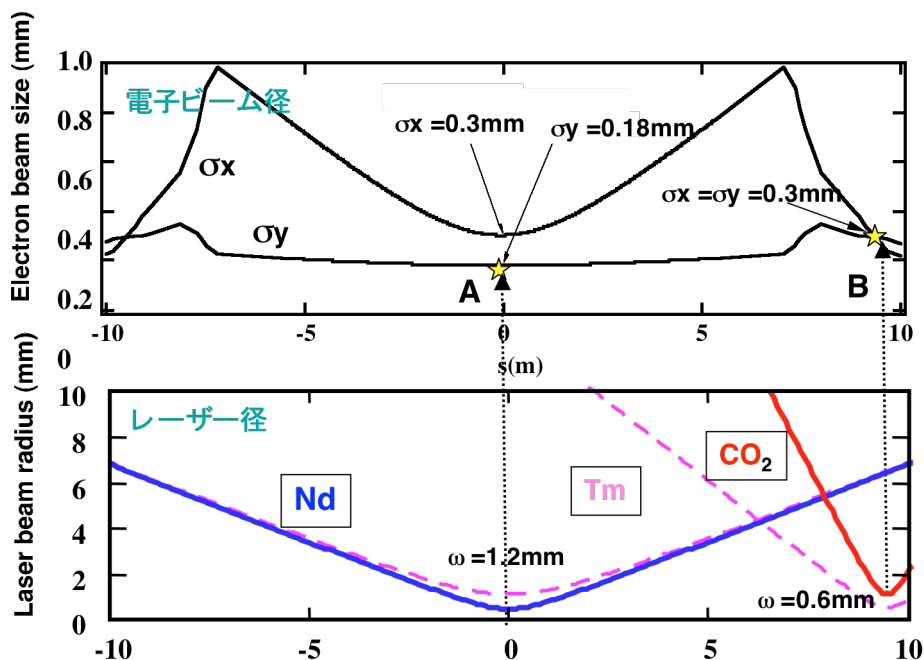


図2： ニュースバル長直線部における電子ビーム径（上）と各レーザーのビーム径（下）

3. レーザーコンプトンガンマ線特性

3.1 Nd:YVO₄レーザーによるガンマ線特性^[6]

現在用いているのは、波長1.064 μmで最大4W、

0.532 μmで1.5Wの半導体レーザー励起Nd:YVO₄レーザーである。波長1.064 μmの時、電子ビームエネルギーを976MeV、1460MeVとし、0.532 μmの時976MeVとして、その時発生したガンマ線の最大エネルギーを校正されたGe検出器により測定した。その結果、それぞれ16.7、32.3、36.6MeVと測定された。

フラックス測定はGSO検出器を用い、17MeVガンマ線発生において、ルミノシティは6000 photon/W/mA/secであった。従って、レーザー4W、電流200mAで、得られた最大フラックスは 5×10^6 photon/secと見積もられた。

3.2 CO₂レーザーによるガンマ線特性^[7]

CO₂レーザーは最大出力20W、縦マルチモードレーザーで、発振波長10.52-10.58 μmの物を使用している。電子エネルギーが974、1220、1460MeVの時、生成ガンマ線の最大エネルギーは、それぞれ1.72、2.72、3.91MeVである事が、Ge検出器により測定された(図3)。ルミノシティはNaI検出器を用いて7300 photon/W/mA/secと求められた。ガンマ線フラックスは、その出力直線性をプラスチックシンチレータで確認し、その結果レーザー4W、電流200mAの時、得られた最大フラックスは 5.8×10^6 photon/secと見積もられた。イメージングプレートを用いて、ガンマ線ビーム特性(パターン、発散角 ~ 0.5 mrad)を確認し、また偏極度測定も行なっている。

これら実験で確認されたガンマ線特性は、計算値と良く一致した。即ち、我々の計算によって設計通りのガンマ線特性が得られるという事である。

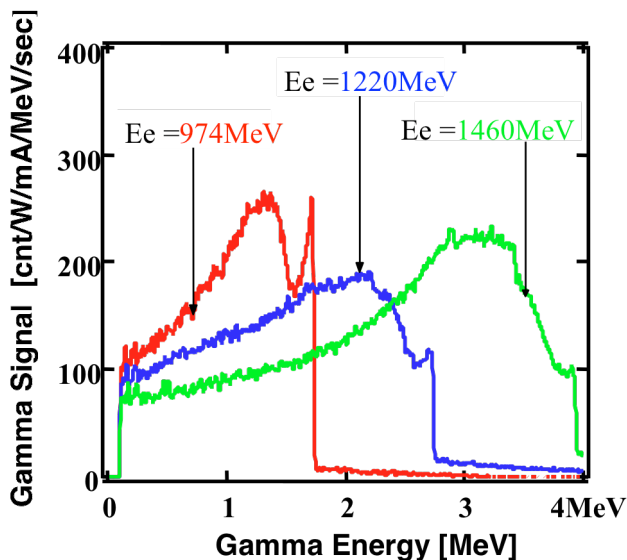


図3 ガンマ線スペクトル

4. 波長2 μmレーザー導入の検討

次にこの確立された計算手法を使って、2μmレーザーの集光系について検討してみる。2μmレーザー導入により、ニュースバル電子エネルギーを0.7~1.5GeVとすると、発生ガンマ線のエネルギー域は4~21MeVとなり、現在の空白域をカバーできる。最初、Nポートを使って、A点で電子ビーム径とレーザービーム径を1:1で衝突させようとしたが、回折損失のためこれは不可能であった。そこで、①A点で電子ビーム径の2倍(1.2mm)で衝突させるか、②CポートでB点で電子ビームと同じ径(0.6mm)で衝突させるかの2ケースが考えられた(図2)。こ

こで、その2ケースについて得られるルミノシティを計算したところ、①6400 photon/W/mA/sec ②3500 photon/W/mA/secとそれぞれ見積もられた。即ち、レーザービーム径が大きくなっても、相互作用長が長くとれるA点衝突の方が、高フラックスとなり、Nd、CO₂レーザーと同程度のルミノシティが得られる事が判った。

5. まとめ

ニュースバルレーザーコンプトンガンマ線源における、エネルギー域拡大と現状性能について報告した。現在まで、Nd、CO₂レーザーを用いて、それぞれガンマ線エネルギー17~36MeV、1.7~3.9MeVで、6000~7000 photon/W/mA/secのルミノシティを達成している。現在得ている最大フラックスは、レーザー4W、電流200mAで $\sim 5 \times 10^6$ photon/secである。さらに、Tmファイバーレーザーの2μmレーザーを導入する事で、4~21MeVのエネルギー域をカバーし、やはり同程度のルミノシティ ~ 6000 photon/W/mA/secが見込まれる。

NdとCO₂、そして2μmレーザーとしてTmファイバーレーザーを選べば、これらはいずれもkWレベルの高出力化可能なレーザーである。ニュースバルで電流200mA、1kWレーザーを用いれば、 $\sim 10^9$ photon/secの高フラックスが達成できる。即ち。ニュースバルコンプトンガンマ線源は1~40MeVの連続可変エネルギー域で、高出力ガンマ線源となる。

謝辞

本研究の一部は文部科学省、科学研究費補助金基盤研究C(19540419)及びB(18340071)の助成を受けたものである。また、本研究で用いたCO₂レーザーは、日本原子力研究開発機構、早川岳人氏、静間俊行氏との研究協力において導入された。

参考文献

- [1] S.Miyamoto, Y.Asano, S.Amano, D.Li, K.Imasaki, H.Kinugasa, Y.Shoji, T.Takagi, T.Mochizuki, Rad. Meas., 41 (2007) S179-S185.
- [2] T.Hayakawa, T.Shizuma, S.Miyamoto, S.Amano, K.Horikawa, K.Ishihara, T.Mochizuki et al., Phys. Rev. C, 77 (2008),
- [3] D.Li, K.Imasaki, S.Miyamoto, K.Horikawa, S.Amano, T.Mochizuki, Appl.Phys.Lett. 94 (2009) 091112.
- [4] R.Hajima, T.Hayakawa, N.Kikuzawa, E.Minehara, J.Nucl.Sci.Tech. 45 (2008) 441.
- [5] P.F.Moulton, et al., IEEE J. Sel. Topics in Quantum.Elect. 15 (2009) 85-92.
- [6] K.Horikawa, S.Miyamoto, S.Amano, T.Mochizuki submitted to Nucl. Instr. and Meth, A.
- [7] S.Amano, K.Horikawa, K.Ishihara, S.Miyamoto, T.Hayakawa, T.Shizuma, T.Mochizuki, Nucl. Instr. and Meth, A 602 (2009) 337-341.