

# PROPOSAL OF AN ASYMETRIC OPTICAL RESONATOR FOR THE MONOCHROMATIZATION OF AN LCS GAMMA RAY SOURCE

Ryoji Nagai\*<sup>A)</sup>, Ryoichi Hajima<sup>A)</sup>,

<sup>A)</sup>JAEA, 2-4 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

## Abstract

Non-destructive measurement systems of nuclear material are under development in our group. The measurement systems are based on monochromatic  $\gamma$ -ray generated from laser Compton scattering (LCS) based on energy-recovery linac accelerator technologies. The accuracy improvement of the non-destructive measurement systems and the exploration of the precise excitation state in an atomic nucleus are attained by further developing a pure monochromatic LCS- $\gamma$ -ray source. The energy spread of a mode-locked short pulse laser restricts the monochromaticity of the LCS- $\gamma$ -ray source. Therefore, an ultra-narrow band width laser should be used for instead of the short pulse laser. We propose an asymmetric confocal Fabry-Perot optical resonator as a supercavity of the pure monochromatic LCS- $\gamma$ -ray source. We present R&D status and basic characteristic for such optical resonator.

## LCS ガンマ線源単色化のための非対称光共振器の提案

### 1. はじめに

われわれのグループでは ERL 加速器技術を基盤としたレーザーコンプトン散乱  $\gamma$  線源 (LCS- $\gamma$  線源)<sup>[1]</sup> を用いた非破壊核種分析システム<sup>[2]</sup> の開発をおこなっている。LCS- $\gamma$  線源をさらに高度化し単色化を進めることで、 $\gamma$  線非破壊分析システムの精度向上や核内励起状態の探求が可能になる。LCS- $\gamma$  線の単色性を向上するには、電子ビーム、レーザー光、双方のエネルギー広がり (単色性) を小さくする必要があるが、ここでは、特にレーザー光のエネルギー広がりについて考える。

従来の LCS では電子ビームと効率よく衝突させるために、光共振器内に蓄積されたピコ秒のモードロックレーザーが用いられてきた<sup>[3]</sup>。レーザー光の時間形状とエネルギー (波長) スペクトルはフーリエ変換の関係にあるので、ピコ秒レーザーのエネルギー広がりはいずれも 0.3 % 程度である。従って、LCS- $\gamma$  線の単色性を向上するにはピコ秒レーザーに代えて狭帯域レーザーを用いる必要がある。狭帯域レーザーを光共振器で蓄積する際の問題について検討したところ、従来の LCS で用いられてきた光共振器では、十分に蓄積されないことが分かった。そこで、この問題を解決するための非対称ファブリペロー共振器を提案しその性能評価を行った。

### 2. 非対称共焦点型ファブリペロー共振器

従来の LCS 光源で用いられる光共振器は半透過ミラーを用いてレーザー光を共振器内に入射している。共振器内にレーザー光を十分に蓄積するには共振器の損失が十分に小さくしなければならないので、この結合度は大きくできない。このために共振器内にレーザー光が蓄積されるまでには多くのレーザー光パルスを入射する必要があるが、ピコ秒モードロックレーザーの繰返しは 100 MHz 程度であるので問題にならない。しかしながら、代表的な高出狭帯域レーザーである注入同期レーザーの繰返しはせいぜい数十 kHz なので、次のパルスが入射されるまでに蓄積光が減衰してしまい、レーザー光を十分に蓄積出来ない。

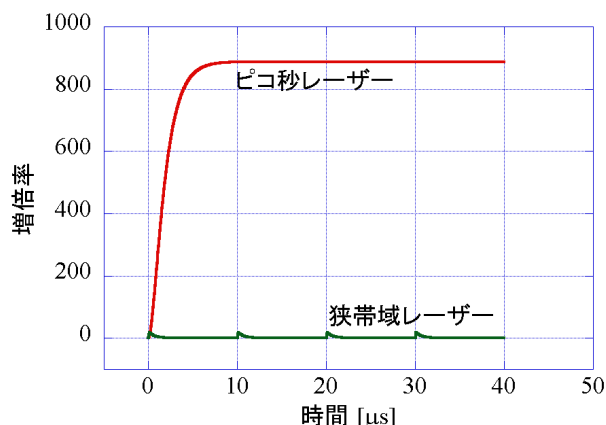


図 1: ピコ秒高繰返しレーザーと狭帯域低繰返しレーザーの従来型光共振器での増倍率の比較

図 1 に従来の光共振器 (共振周波数 500MHz) に繰返し 500MHz のピコ秒パルスレーザーを入射した場合と繰返し 100kHz の 100ns パルスレーザーを入射した場合の蓄積の様子を示す。ただし、入射半透過鏡の透過率 0.3 %、反射損失 0.1 % であり、共振器内ではレーザー光の位相が完全に揃っているとしている。高繰返しピコ秒レーザーでは約 900 倍に増倍されているが低繰返し狭帯域レーザーでは 100kHz おきに 20 倍程度までしか増倍されず十分に機能していないことが分かる。従って、単色性を向上した LCS- $\gamma$  線源を実現するには、低繰返し狭帯域レーザー光を 1000 倍程度以上に増倍する光共振器を開発する必要がある。



図 2: 非対称共焦点型ファブリペローによる光蓄積

低繰返し狭帯域レーザーを蓄積するためには、半透過鏡を用いずに、図 2 に示すような入射光全量を入

\* nagai.ryoji@jaea.go.jp

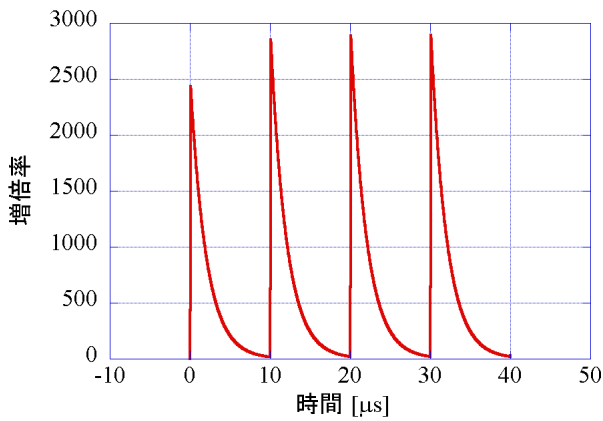
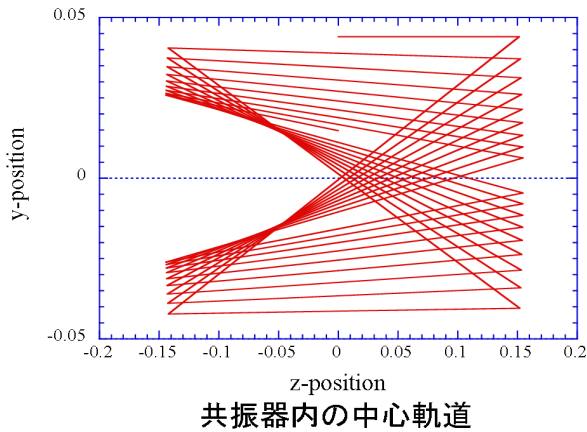
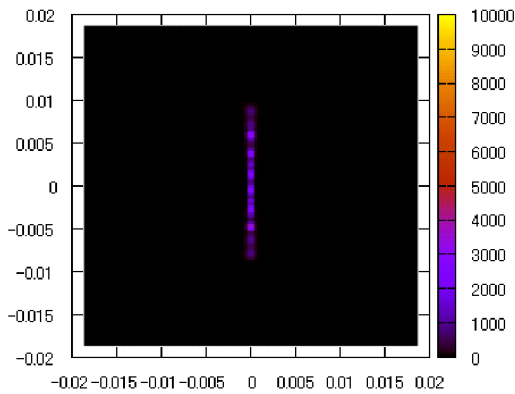


図 3: 狭帯域低繰り返しレーザーの非対称共焦点型ファブリペローによる増倍率



共振器内の中心軌道

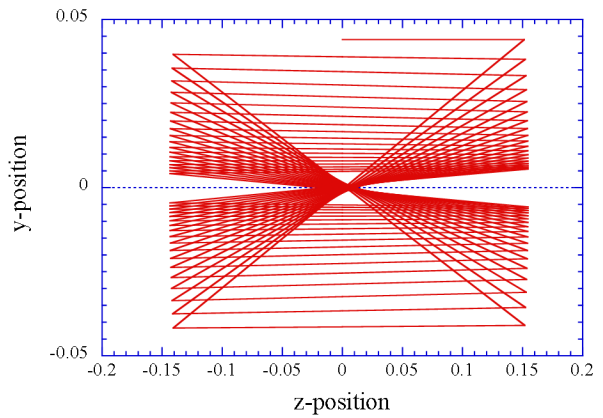


収束点でのプロファイル

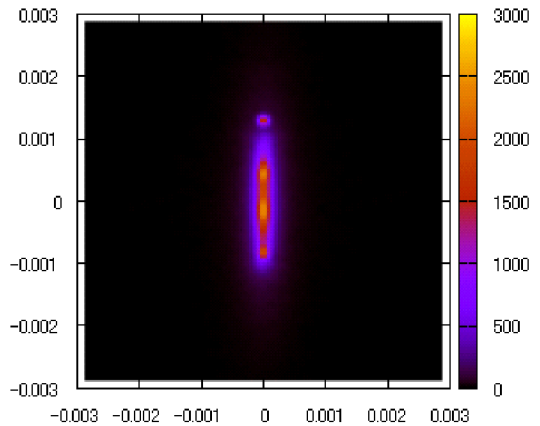
図 4: 非対称共焦点型ファブリペロー (球面ミラー) のレイトレースの結果

射できるような光共振器<sup>[4]</sup>によりレーザー光を蓄積すればよいと考えられる。この共振器は曲率の異なる凹面ミラーで構成された非対称共焦点型ファブリペロー共振器であり、オフセットした位置から入射したレーザー光が数十回往復した後に中心の電子ビームを通す穴から抜け出ていくというものである。上述の図 1 と同じ条件での、この共振器での蓄積の様子を図 3 に示す。理想

的な場合には図のように 3000 倍程度にまで増倍されることが分かる。



共振器内の中心軌道



収束点でのプロファイル

図 5: 共振器長を短くした非対称共焦点型ファブリペロー (球面ミラー) のレイトレースの結果

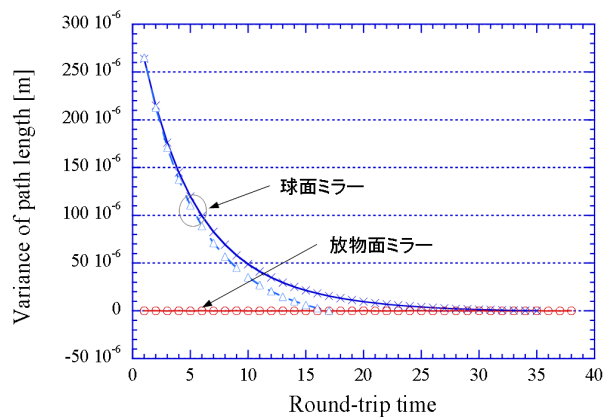


図 6: 非対称共焦点型ファブリペローの周回距離の変化

非対称ファブリペロー共振器でレーザー光を蓄積し、十分に機能することを確認するために、共振器長 300 mm、センターホール直径 8 mm、焦点距離 154 mm と 146 mm でレーザー光が 30 回程度往復する光共振器

について、単純なレイトレース法による評価を行った。ただし、レーザー光の干渉は考慮していない。共振器内の中心軌道と収束点でのプロファイルを図4に示す。球面収差により、うまく収束できていないことが分かる。そこで、球面収差を補正するために、共振器長をわずかに短くしてみた結果が図5である。収束性は改善したが、十分ではない様である。

また、この共振器での各周回ごとの周回距離を見ると図6のように、各周回ごとに異なることが分かる。光共振器ないで蓄積されたレーザー光がうまく干渉して強め合うには、周回ごとの周回距離が一致し、収束点で位相整合がとれていなければならない。球面ミラーの非対称ファブリペロー共振器では球面収差のために収束性が不十分であり、周回ごとに周回距離がことなるために、蓄積されたレーザー光の位相整合をとることができないことが分かった。

### 3. 放物面ミラーの採用

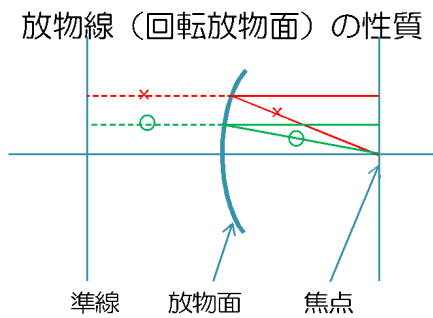


図7: 放物面ミラーで構成した非対称共焦点型ファブリペローの周回距離

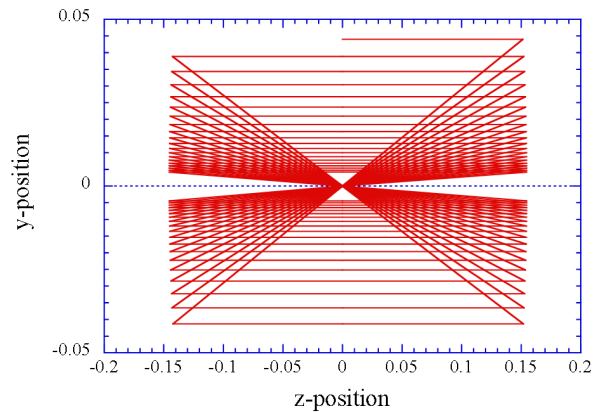
周回ごとの周回距離を一定にし、十分な収束を得るために、放物面ミラーの採用について検討した。放物面ミラー（回転放物面）では図7に示すように、準線と焦点との距離が等しい点の集合が放物線であるので、周回ごとの周回距離が完全に一致する。また、球面収差はないので、非常に良い収束性が得られると考えられる。

放物面ミラー非対称ファブリペロー共振器についてもレイトレース法による評価を行った。図6に示すように周回ごとの周回距離に変化はなく常に一定であった。光共振器中の中心軌道と焦点位置でのプロファイルを図8に示す。図からも分かるように、焦点位置で非常によく収束されていることが分かる。

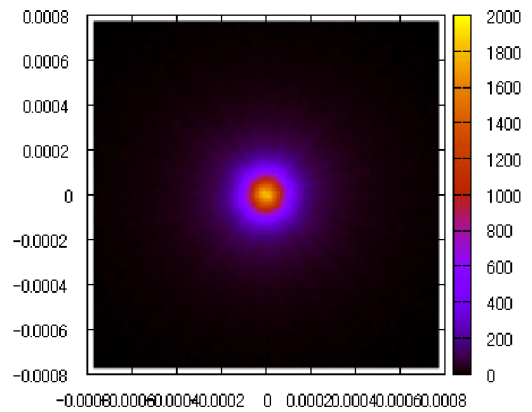
### 4. まとめ

放物面ミラーで構成した非対称共焦点型ファブリペロー共振器により単色 LCS- $\gamma$  源のためのレーザー光蓄積が実現可能であることが単純なレイトレース法による評価により分かった。今後はこの共振器の試作機でのレーザー光蓄積試験や数値計算によるミラー面精度やミスアライメントの評価を進めていく予定ある。

本研究の一部は、科研費基盤 (C)23561018 の成果で



共振器内の中心軌道



収束点でのプロファイル

図8: 放物面ミラーで構成した非対称共焦点型ファブリペローのレイトレースの結果

ある。

### 参考文献

- [1] R. Hajima et al., J. Nucl. Sci. Tech. 45, pp. 441–451 (2008).
- [2] H. Ohgaki, T. Hayakawa, and I. Diato, The Review of Laser Engineering, 40, pp.188–193 (2012).
- [3] A. Moon, et al., Jpn. J. Appl. Phys. 36, L1446–L1448 (1997).
- [4] I. Yamane, et al., Proc. of IPAC10 pp. 1402–1404 (2010).