

Photon Target using Self-start Build-up Cavity for Laser Compton Sources

Yosuke Honda^{1,A)}, Hiroataka Shimizu^{A)}, Kazuyuki Sakae^{B)},
 Junji Urakawa^{A)}, Noboru Sasao^{C)}, Tsunehiko Omori^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Research Institute for Science and Engineering, Waseda University
 Kikui-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162-0044

^{C)} Research Core for Extreme Quantum World, Okayama University
 Kita-ku, Okayama-city, Okayama, 700-8530

Abstract

High intensity photon target is the key component of Laser-Compton sources. Optical build-up cavity has been used to realize such a target especially with a continuous operation accelerator. We have proposed a new scheme of optical cavity, which combines a laser amplifier with a build-up cavity to make the system self-starting oscillator. It does not require a precision control of cavity resonance and enables to handle very high finesse cavity.

周回発振型光蓄積装置による レーザーコンプトン光源用レーザー標的の提案

1. はじめに

近年、レーザーコンプトン散乱を利用した小型光源の開発が行われている[1]。光源としての強度は実現できるレーザー標的の強度に依存する。パルス運転する線形加速器をベースにする場合、レーザー光も高強度のパルスレーザーを用いるか、一時的にバースト増幅して用いる手法がとられる。一方、蓄積リング型や超伝導加速器をベースにした連続運転のシステム(図1)で平均強度を稼ごうとすると、連続的に高強度のレーザー標的が必要となる。

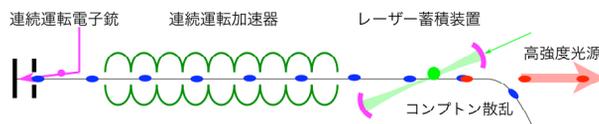


図1：コンプトン光源の概念図

レーザー蓄積装置とは複数の鏡で光路を閉じた空間にレーザー光を閉じ込める共振器で、比較的出力のレーザー光源からの光を実効的に強度増大し、連続的に高強度レーザー光を実現できる有望な技術である。但し、光共振器の共振状態を高精度で制御する高度な技術が必要とするのが難点であり、このことが増大率の技術的な限界を決めているのが現状である。光共振器をレーザー増幅器と一体化し、全体をレーザー発振器にする新しい方式を考案した。共振を機械的に制御する必要から開放され、低損失共振器鏡の性能限界ま

での増大率を実用可能に出来る。新方式が成立することを示す原理実証試験を行っている。

2. 装置の構成

従来型のレーザー蓄積装置の構成を図2に示す。レーザー発振器からの出力は独立に用意された外部共振器に蓄積される。共振器に光が蓄積されるには、共振器内に定在波が起こる、即ち鏡間隔が半波長の整数倍に合致する条件が満たされなければならない。その共振幅は共振器鏡の反射率で決まり、高増大率を得ようと高反射率の鏡を使用する程、狭くなっていく。増大率1000の共振器では、共振幅は共振器鏡の位置精度にしてサブナノメートルになり、振動などの環境の擾乱で簡単に共振状態が失われてしまう。共振条件を機械的に制御し、レーザー蓄積状態を維持させるため、共振器鏡をピエゾ駆動にし、高度なフィードバック制御を行うことが必要とされる。現状では、安定に共振を維持できる技術的限界は増大率1000程度となっている。

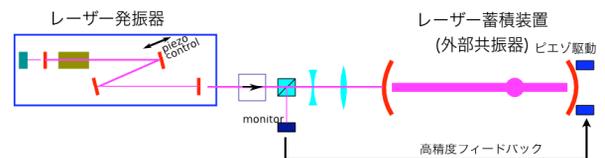


図2：従来の蓄積装置の構成

レーザー光源と外部共振器を一体化し、図3に示す新

しい装置構成を考案した[2]。外部共振器を共鳴、通過したレーザー光を種光としてレーザー増幅部に再入力し誘導放出により増幅した後、共振器に再入射する。増幅部でのゲインが共振器部を含め周回のロスを上回れば、系は発振状態になり、自動的にレーザー光が光路を周回しつづけることになる。発振は増幅器の自然放出光ノイズから始まる。ノイズ光のうちたまたま共振器の共鳴幅に受け入れられたスペクトル成分が共振器を通過し、以降の種光となって周回の中で増幅されていき、最終的には増幅器を励起する全エネルギーは全てこの成分に集約され、増幅部が飽和するところで系は定常状態になる。

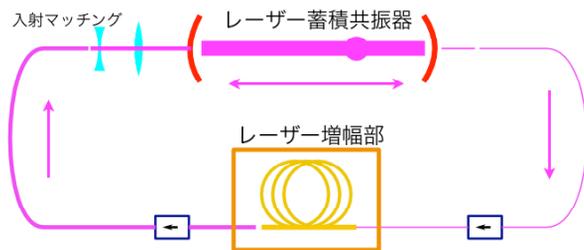


図3：周回発振型光蓄積装置

共振器部と増幅部が全体で一体となってレーザー発振器を構成する点が従来方式と異なる。従来方式では振動等によって共鳴条件が外れるのを高速高精度フィードバック技術によって無理矢理に維持していたのに対し、新方式では発振回路そのものが自動的に共鳴条件を追従することになるので、制御をせずとも共鳴状態が続く点が利点である。

共振器を透過した複雑な光路のロスを補う為には高ゲインの増幅部が必要であり、単一パスで高ゲインの得られるファイバ増幅器がこのシステム開発の要になる。

3. 原理実証実験

新しい方式の原理実証を目的として、低パワーのシステムで検証実験を行った。図4にそのセットアップを示す。コア励起のYb添加シングルモードファイバを増幅器として用い、波長976nmのレーザーダイオードによる最大500mWの励起光をWDMカプラより導入した。この増幅器のゲインは38である(波長1064nmレーザーでの測定)。増幅ファイバ以外の導波路もシングルモードファイバで構成されている。ファイバから空間に出射した後、マッチングのためのレンズ系と位置角度調整の鏡ペアを経由して共振器へ入射される。共振器からの出射後、同様にマッチング系を経由して、再びファイバに入力される。確立した手順で調整を行った後には、ファイバ入出力の効率は60%以上であり、大きな損失にはならない。ファイバ光路の途中に9:1のカプラを設置し、周回光の一部をモニターした。ファイバ光路の途中に設置されたアイソレータによって光の周回方向を限定している。

モニターポートからのパワーを測定しながら励起LD

の出力を変えていった結果を図5に示す。この測定で用いた共振器は99.99%の反射率をもつ共振器鏡で構成した、フィネス30000(増大率20000)のものである。LD電流350mAを超えた時点で発振が始まり、励起パワーに比例して周回光が増加していく様子が示されている。モニターポートで測定された光強度から、共振器内部に実現している光強度は440Wと推測された。IRビューアで共振器を観測すると、図6に示すように、確かに高強度の光が蓄積されていることが分かる。僅か500mW程度の低出力励起レーザーで、440Wのレーザー光が全く制御無しに実現できることを示すことが出来た。

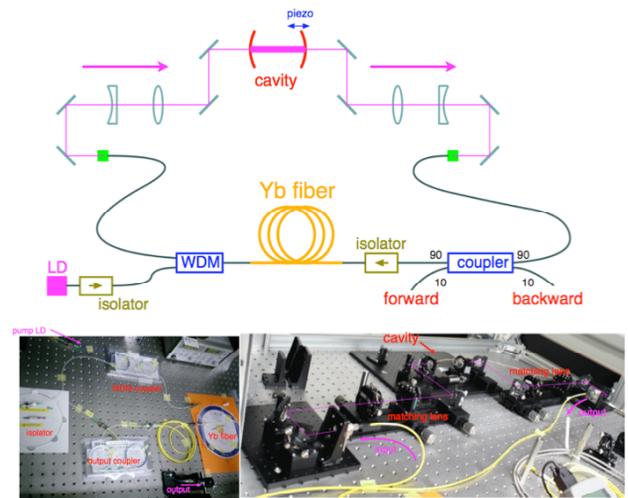


図4：原理実証試験のセットアップ

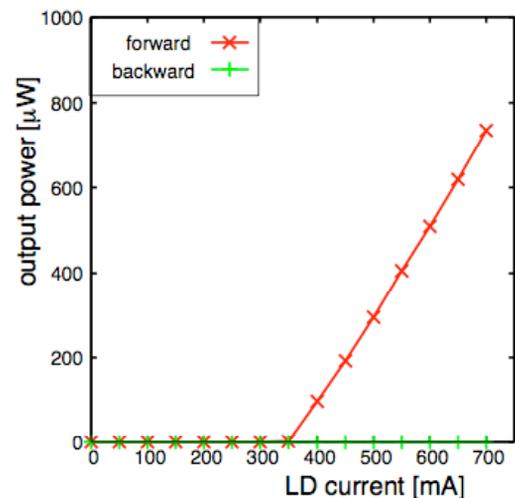


図5：励起LDの電流と発振強度

図7は、フォトダイオードで出力光を観測して短い時間スケールでの発振の安定性を調べた結果である。共振器鏡として反射率90%(増大率20)のものを使用した場合と反射率99.99%(増大率20000)のものを使用した場合についての様子を示している。高フィネスの共振器の場合、発振光強度に細かい振動がみられる。これは、共鳴幅が狭くなるにつれ、環境の振動などによる共鳴

条件の感度が高くなった結果、系が常に過渡的な状態にある為と思われる。振動によって共鳴状態が変動しながらも、自発発振によって共鳴を回復しようとしている状態である。共振器の構造体の剛性を高めることによって、この変動はある程度改善が出来るかと期待している。

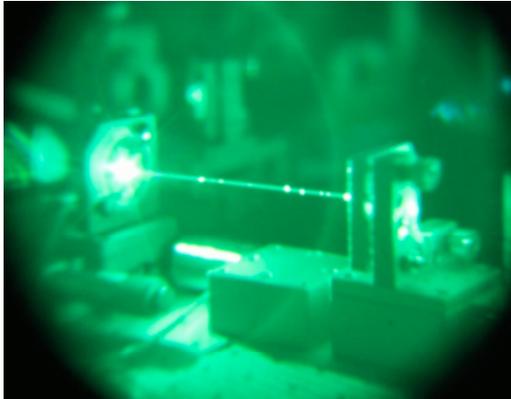


図 6：IRビューアで見た蓄積光

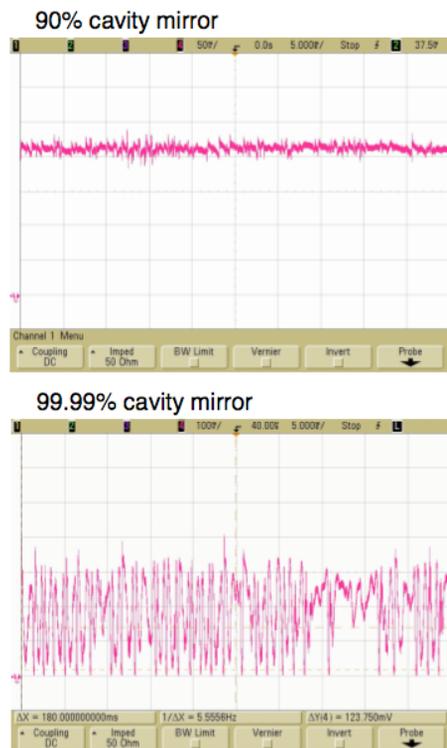


図 7：光強度の変動

3. 今後の計画

コンプトン光源用のレーザー標的としての応用を考える場合、発振をモードロックパルス化できれば、同じ平均パワーでも、より高いピーク強度が得られ、魅

力的である。現状は共振器の複数の共鳴条件が同時に発振するマルチ縦モード発振であると考えられ、周回路の一部に可飽和吸収鏡を挿入したうえで、系全体の光路長を共振器部の光路長の整数倍に調整すれば、多数の縦モードの位相を揃えることが出来て、ハーモニックモードロック化が可能ではないかと考えており、その原理実証試験を計画している。

また、モードロックパルス化したうえで、共振器部にSHG結晶を設置すれば高効率高繰返し2倍波レーザーを構成することが出来る可能性がある(図8)[3]。共振器の損失が主に波長変換できるならば、励起光パワーは全て2倍波に移るので、効率が非常に高い。共振器部の光路長を加速器繰返しに合わせ、全周長をその整数倍に調整すれば、光陰極電子銃のドライブレーザーとしても応用が可能ではないかと考えている。

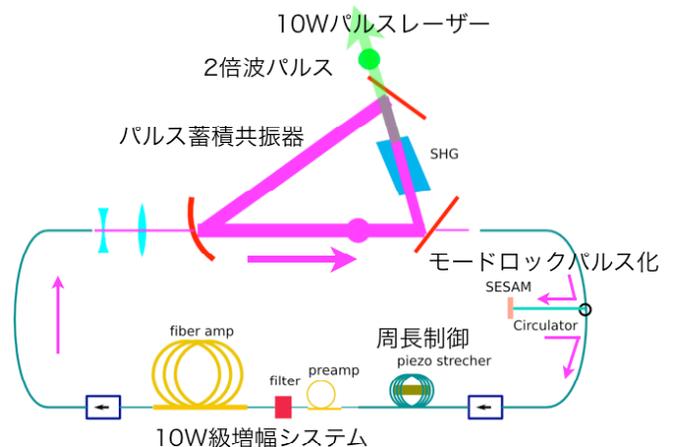


図 8：電子銃駆動用レーザーへの応用

4. まとめ

高効率に連続高強度のレーザー光を実現する手法として、レーザー蓄積装置の技術がある。これを高ゲイン増幅器と組み合わせることで系を自己発振状態にすることが出来、共振器制御の技術的困難を解決することができる。この手法はレーザーコンプトン光源にとって有効であるだけでなく、パルス化やSHGとの組み合わせにより様々な応用の可能性が考えられる。

参考文献

- [1] 坂上和之, “Research and Development on a Compact X-ray Source via Laser-Compton Scattering: Development of Pulsed-laser Super-cavity and Demonstration of Multi-Pulse X-rays”, 早稲田大学博士論文 2009
- [2] Yosuke Honda. “Development of CW laser wire in storage ring and Pulsed laser wire”, Proceedings of the 2009 Particle Accelerator Conference.
- [3] 清水洋孝, 2009加速器学会プロシーディング