

DEVELOPMENT OF SELF-START OPTICAL BUILD-UP CAVITY

Yosuke Honda ^{#,A)}, Hiroataka Shimizu^{A)}, Tomoya Akagi^{B)}, Junji Urakawa^{A)}, Tsunehiko Omori^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} Hiroshima University

1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8530

Abstract

Realization of a high intensity photon target is the key of Laser-Compton sources. Optical build-up cavity is a promising technique to be used especially with a continuous operation accelerator. We have proposed a new scheme of optical cavity system, which combines a laser amplifier with a build-up cavity to make the system self-starting oscillator. This system does not require a precision control of cavity resonance and enables to handle very high enhancement factor. We have been further developing this system to work in a mode-lock pulsed mode.

発振型光蓄積装置の開発

1. はじめに

レーザーコンプトン散乱を応用した、小型光源の開発が進められている。電子ビームの標的となる、レーザー光の強度が、光源の性能を左右する。特に、平均強度を稼ぐために、準連続運転の加速器システムを想定する場合、レーザー標的にも準連続動作するものが求められる。光蓄積装置は、比較的低出力のレーザー光源からの光を時間的に重ね合わせる事で実効的に強度を増大し、連続的に高強度のレーザー標的を実現出来る有望な技術である。図1に小型電子蓄積リングと光蓄積装置を組み合わせた光源の構成例を示す。

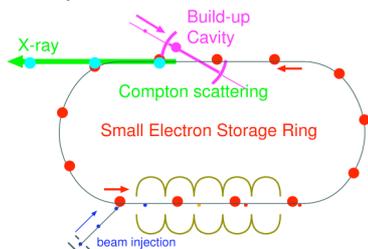


図1. レーザーコンプトン散乱小型光源の構成例

光蓄積装置とは、複数の鏡で構成した閉じた空間にレーザー光を閉じ込める共振器である。超低損失の共振器鏡を用いる事で、超高増大率を実現できるが、一方で共鳴幅が狭くなり、共鳴状態を維持することが技術的に困難になる。従来型のレーザー蓄積装置では、レーザー発振器と蓄積共振器とが独立しており、機械的なフィードバックによって共鳴を維持していたのに対し、蓄積共振器とレーザー増幅器を組み合わせ、全体をレーザー発振器とする発振型の光蓄積装置を新しく考案した[1]。新方式では、発振のメカニズムによって自動的に共鳴状態が実現される為、超高増大率を狙ったシステムに適している。

新方式の CW 発振動作の原理実証試験については、

すでに報告しているが[1]、さらに発展させて、発振が電子ビームのバンチ間隔でパルス化できれば、より高いピーク強度が得られる可能性がある。発振型光蓄積装置のパルス動作の原理実証試験について報告する。

2. 発振型光蓄積装置の原理

発振型光蓄積装置の構成を図2に示す。蓄積共振器で共鳴し透過したレーザー光を種光として増幅し、蓄積共振器へ再入射する。増幅部でのゲインが、共振器部を含めた周回部のロスを上回れば、系は発振状態になる。発振は増幅器の自然放光ノイズから始まり、共振器の共鳴幅に受け入れられたスペクトル成分が周回の中で成長し、最終的には増幅部から出力する全エネルギーが共鳴幅内に集中し、増幅部が飽和するところで系は定常状態になる。自発的に発振が起こり、人為的な制御をせずとも共鳴状態が維持される点が、この方式の特長である。

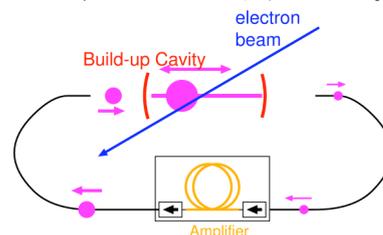


図2. 発振型光蓄積装置の構成

このシステムをパルス動作させることを考える。蓄積共振器内部でレーザーパルスが往復する状態で共振器が共鳴し、系が安定な発振状態となるには、全体の周回長が共振器長の整数倍に一致していなければならない。同時に、パルス化を誘発するための変調機構を導入する必要がある。

Work supported by Quantum Beam Technology Program of MEXT.

yosuke@post.kek.jp

3. 原理検証の予備試験

シングルモード光ファイバで構成した 1 次元の系は、横方向の自由度を考慮しなくて良く、また、コネクタ接続により、光路長を保ったまま経路を切り替えることが出来る事などから、簡単な原理試験を行うのに都合が良い。誘電多層膜鏡で構成する自由空間の共振器は、ファイバ光学では、図 3 に示すような、ファイバカップラで接続されたループに対応する。最初の原理検証試験として、この系をパルス動作させた。

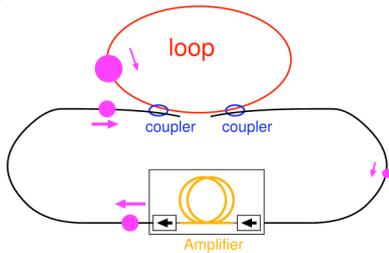


図 3. ファイバ光学での対応

実際のセットアップの詳細を図 4 に示す。周長 6.8m のループ構造を、2 カ所の 1:9 偏波保存カップラにより、全体の周回に結合させた。コネクタ部等での挿入損失を無視すると、ループが共鳴時には 10 倍の強度増大が起こる計算になる。周回部からカップラにより取り出した信号をモニタに用いる。全体の周長は、発振信号の RF スペクトルに現れるスーパーモードノイズピークによって知る事が出来、ファイバケーブルの長さの調整によって、全体の周長をループの 3 倍に合わせた。増幅は、Yb 添加ファイバによる低出力増幅器を用いた。振幅変調器を挿入し、これを RF 発振器により駆動する。

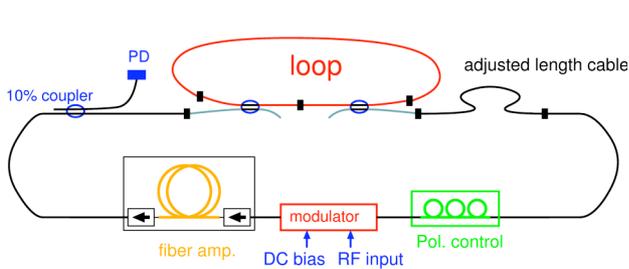
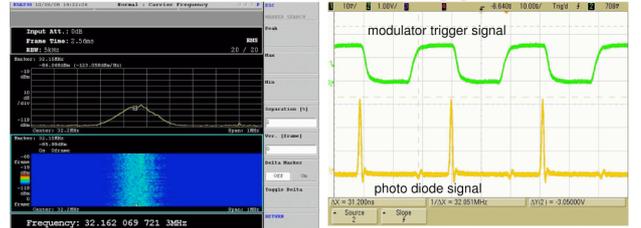


図 4. 原理検証試験のセットアップ

図 5(左)は、変調器をオフにして、スーパーモードノイズを観測した様子である。ループの周回に対応する周波数の間隔にピークが見られるが、他の全体の周回に対応するピークは抑制され、ループでの共鳴が全体の発振に影響することを示す。図 5(右)は、変調器をループの周回に対応する 32.2MHz の周波数で駆動したときの波形である。安定なパルス列の構造をもって発振が起こっていることが分かる。(パルス長については、帯域限界の為、直接観測は出来ない。)

この結果により、共振構造を含んだレーザー発振システムが、共振部の周回周波数を基本にしてパルス発振動作することを確認できた。ちなみに、このシ

ステムは、ファイバリングレーザー発振器のハーモニックモードロックパルス化を安定させる為に有効であると考えられる。ERL 光源の電子銃駆動用レーザーの発振等に 응용が可能である[2]。



modulator off: supermode noise at loop frequency modulator on: pulse train at loop frequency

図 5. ノイズピークとパルス発振の様子

4. 原理実証試験

実際の自由空間の蓄積共振器を用いた試験のセットアップを図 6, 図 7 に示す。ファイバ光学系から自由空間に出射し、適当なレンズ系でマッチングをとって、反射率 99% の共振器鏡で構成した蓄積共振器へ入射する。共振器透過光は再びファイバ光学系へ結合する。共振器への入射、反射、透過パワーは、各所にサンプリングを設けて測定した。共振器長は、別途パルスレーザーを使用する方法で調整し、往復周波数を 357MHz に合わせている。全体の周回長は、共振器鏡を一旦コート無し基板に置き換えて、全体を単純なループとし、スーパーモードピークを観測する事で測定できる。55 番目のスーパーモードピークが 357MHz に一致するようにファイバ長を調整した。

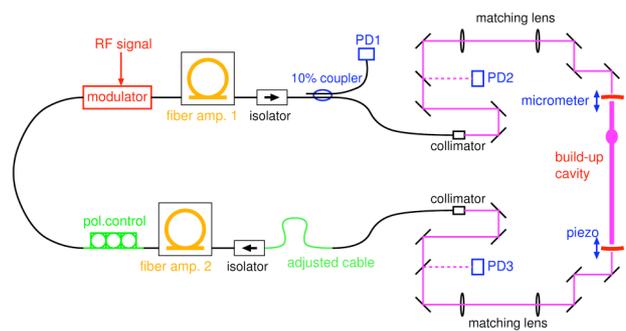


図 6. セットアップ

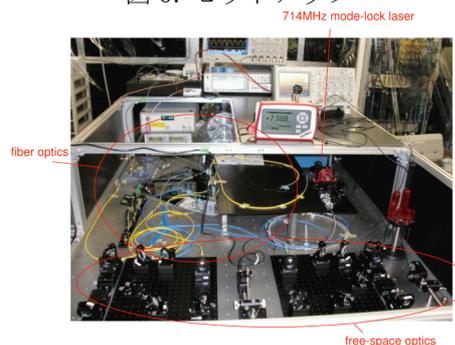


図 7. セットアップの写真

変調をかけてパルス発振させたときのスペクトル及び波形を図 8 に示す。共振器周波数の 357MHz で安定したパルス発振が起こっていることを示す。共振器による抑制効果の為に、他のスーパーモードノイズピークは観測されない。(なお、パルス長は直接観測は出来ないが、すくなくとも 1ns 以下である。) 図 9 に増幅器の駆動電流を変化させたときに、系の周回パワーを図 6 に示す PD3 の位置で観測した結果を示す。変調器オフの CW 発振の場合と変調器オンのパルス発振の場合についてのデータである。いずれも、ある点でゲインがロスを上回り発振が始まる様子を示している。また、各部のパワーの絶対値を評価すると、共振器入射点で 10mW、共振器内部で 330mW、共振器透過点で 4.4mW であった。これは、共振器への光学的マッチング等も含んだ状態で、周回パワーに対して実効的に強度増大していることを示す。

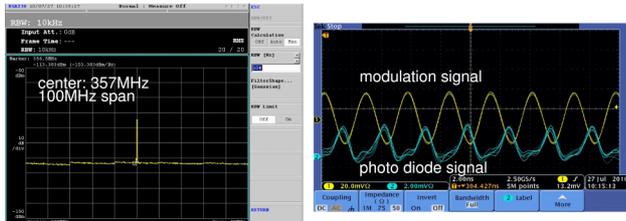


図 8. パルス発振時のスペクトルと波形

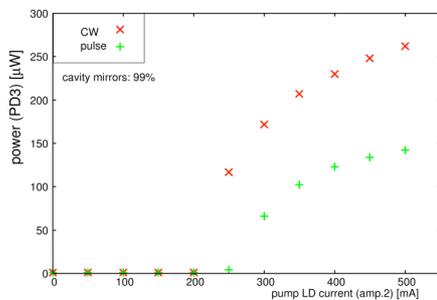


図 9. 増幅器のゲインに対する周回パワー

5. 発振状態の制御にむけて

現在は、比較的低増大率の共振器を用いて試験を行っているので、周長の調整精度は 5mm 程度で十分であり、実際にファイバケーブルを融着器を用いて自作する精度で発振出来ている。短パルスで高い増大率を狙うには、多数のパルスが時間的に重なる必要があるので、共振器長、全体の周長、変調周波数を精度良く一致させる必要がある。また、実際には、これらを加速器の基準発振器と合わせなければならない。

共振器長は、ピエゾ機構による制御を行って、加速器に対してロックする。全体の周長を連続的に制御する為に、ピエゾストレッチャによるファイバ長調整を導入する予定である。

また、変調信号を外部から与えるかわりに、系自身から取り出す方式にすると、周波数の相対誤差が無

く発振状態が安定化すると考えられる。これは、再生モードロック方式[3]と言い、系の基本周波数に対応するスーパーモードノイズを電気信号として取り出し、適当なスペクトルのみを増幅して変調器にフィードバックする仕組みである。図 10 に示すセットアップで試験を行った。357MHz のバンドパスフィルタによって取り出したノイズ成分を、適当な位相に調整して変調器を駆動する。図 11 に発振の様子を示す。安定なパルス列が形成されることが分かる。

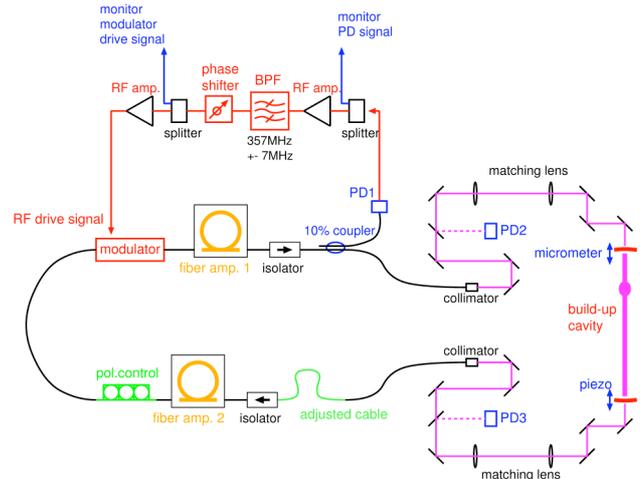


図 10. 再生モードロック方式のテスト

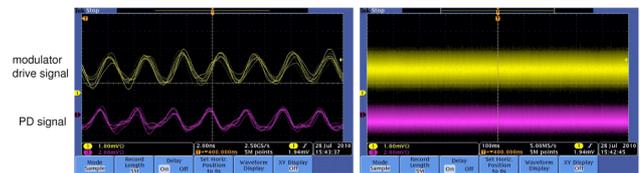


図 11. 再生モードロックによるパルス発振

6. まとめ

レーザーコンプトン光源の性能を飛躍的に向上させる可能性がある、発振型光蓄積装置のパルス発振について、原理実証試験を行った。低出力、低増大率の原理試験であるが、系がパルス構造の発振状態になり、蓄積共振器で強度増大が起こることを確認した。高増大率化、発振状態の制御法の確立、短パルス化がこれからの課題である。

参考文献

- [1] Y.Honda, et al., Proceedings of the 5th annual meeting of Part. Acc. Soc. of Japan, 2009
- [2] I.Ito, et al., Proceedings of the 6th annual meeting of Part. Acc. Soc. of Japan, 2010
- [3] G.R.Huggett., Appl. Phys. Lett. 13, 186 (1968)