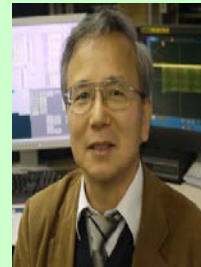


超放射による超小型短パルス・コヒーレントテラヘルツ光源
Ultra-Compact Short Pulse and Coherent Terahertz (THz)
Light Source Using Super-radiance

浦川 順治 (URAKAWA JUNJI)

高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・教授



研究の概要：約 0.3~10THz の短パルス光源は急速に拡大するテラヘルツ波応用研究にブレークスルーを与える。フェムト秒レーザーパルス列を光陰極に照射して、フェムト秒の電子バンチ列を高周波電場で加速する。フェムト秒電子バンチ列が小型(30cm)アンジュレータを通過すると、超放射が THz 領域で起きる。目的は、0.3~10THz 可変、短パルス 10MW 以上、数十μJ/pulse 放射の超小型高輝度コヒーレント THz 光源研究開発とその応用である。

研究分野：工学、応用物理学・工学基礎、応用物理学一般、加速器

科研費の分科・細目：理工系（工学 I）

キーワード：高周波電子銃, フェムト秒レーザー, 高電界加速, 自由電子レーザー

1. 研究開始当初の背景

約 0.3~10THz のテラヘルツ波は電波と光波の中間領域で、このコヒーレントな短パルス高強度光源は急速に拡大するテラヘルツ波応用研究にブレークスルーを与える。10 パルス以上のフェムト秒レーザーパルス列を光陰極に照射して、フェムト秒の電子バンチ列を数十 MV/m 以上の高周波電場で加速する。これによって、10 パルス以上のフェムト秒電子マイクロバンチ列(Comb Beam)が一つの高周波加速電場に乗り、7.5cm 高周波空洞で 5MeV 以上に加速できる。Comb Beam が小型(30cm) ウィグラーを通過すると、超放射が THz 領域で起きる。

2. 研究の目的

目的は、0.3~10THz 可変、短パルス 10MW 以上、数十μJ/pulse 放射の超小型高輝度コヒーレント THz 光源研究開発とその応用研究である。

Peak power 10MW 以上は従来の THz 光源の 100 倍程度であり、この THz 光源は、世界で開発が進められている先端加速器技術を使った 10m サイズの装置で生成されている THz 光源の強度に匹敵する。本光源によって、THz 時間領域分光(THz-TDS)の測定時間の大幅な短縮、測定精度の大幅な向上が可能になる。また、フェムト秒時間スケールの現象や多光子吸収による非線形科学現象を高精度で捉えることが可能になる。THz 光科学は、宇宙の誕生・生命科学から安全/安心技術・情報通信・産業応用などに本質的に関わるもの

であり、次世代の科学技術発展に極めて重要である。これらの応用実験は本開発装置(図参照)を使って平成 26 年度から実施する。

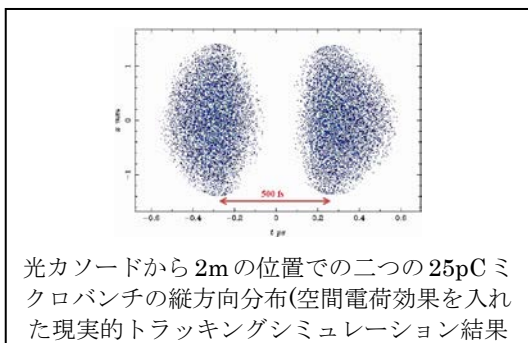
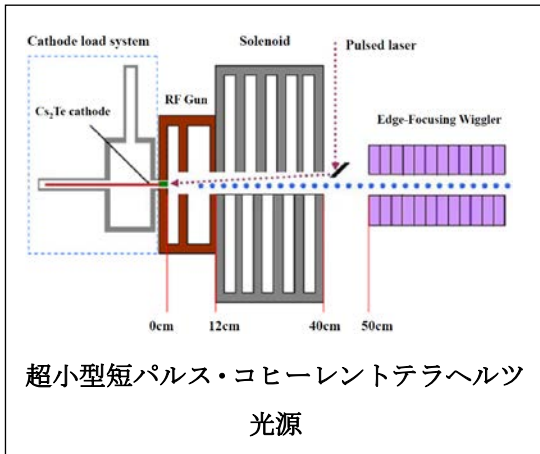
3. 研究の方法

高周波空洞内で生成した光電子マイクロバンチの時間構造を保存して加速するためには、クーロン反発力に打ち勝ちかつ動学的にバンチ圧縮が生じる高周波位相に乗せる必要がある。光陰極高周波電子銃のカソード端板は空洞の高電界が発生する位置に固定されている。加速電界が増加する位相(20 度)で 100fsec ミクロパルスがカソードに照射された場合、S-band(2856MHz)高周波加速電界(130MV/m)は 44.46 から 44.68MV/m まで変化して、後続の光電子は少し大きな加速を得て動的なバンチ圧縮と同時に急速な加速を受け、相対論的なエネルギーに近づくことによってクーロン反発力とローレンツ力が釣り合うようになる。先頭のマイクロパルスと最後のマイクロパルスの時間差は 8psec 程度であり、位相差で 8 度程度である。加速電界は 61.03MV/m まで増加するので、8psec のバンチが高周波電子源出口で 30%程度バンチ圧縮を受けることになる。シミュレーションによって予測された電子マイクロバンチ構造を CDR(Coherent Diffraction Radiation)測定によって確認する。

4. これまでの成果

生成 THz の波長にマイクロバンチ間隔を合わせることによって狭帯域のコヒーレント THz 波発生が行える。高周波空洞内の高周波

高電界加速により如何に理想的な Comb Beam 形成ができるかによって、小型(30cm) ウィグラーからの超放射 Peak power が数十 MW 以上にもなる。画期的な THz 光源利用が展開できる。現時点までにフェムト秒レーザーパルスの3倍高調波生成に成功し、光カソードに照射した時の性能確認によって、265nm 波長、100fs(FWHM)、0.6mJ レーザーパルス照射が可能になっている。マイクロパルス列電子ビーム生成実験が開始できる。



5. 今後の計画

フェムト秒パルスレーザー3倍高調波出力の高強度化(0.6mJ から 1.2mJ へ)及び高安定化(pointing and energy stability <1.0%)を進め、光カソードからの100フェムト秒電子単バンチビーム生成・加速(10MeV)および遷移放射又はスミスパーセル放射によるブロードバンド又は準単色 THz(0.3~10THz)特性測定を2014年5月までに終了させ、2から16マイクロバンチ生成によるTHz超放射確認実験を2014年7月までに終了させる。夏の小型加速器運転休止期間(7月から8月)中に30cmウィグラー電磁石を設置して、2014年9月から小型ウィグラー電磁石によるTHz超放射生成実験を開始する。2015年4月までにTHzビームの特性と安定性を系統的に測定して、2015年5月から非線形現象研究を含めた高輝度THzビームの利用実験を展開して、11月までに本基盤研究Sの将来展望をまとめる。本研究計画課題終了までに、2m長の高性能THz光源加速器の詳細設計を公開する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)
Junji Urakawa, Compact X-ray source at STF (Super Conducting Accelerator Test Facility), IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 357 (2012) 012035-1, -4

Junji Urakawa, Several hundred femto-second soft X-ray source in compact several meter facility, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 357 (2012) 012038-1, -5

L.G. Sukhikhly, A.P. Potylitsyn, K.P. Artyomov, A.S. Aryshev, J. Urakawa, P.V. Karataev, FEASIBILITY OF THZ SOURCE BASED ON COHERENT SMITH-PURCELL RADIATION GENERATED BY FEMTOSECOND ELECTRON BUNCHES IN SUPER-RADIANT REGIME, Proceedings of IPAC2012, New Orleans, Louisiana, USA, MOPPP005(pp. 554-556), 2012

福田将史, Alexander Aryshev, 荒木栄, 本田洋介, 坂上和之, 照沼信浩, 浦川順治, 鷲尾方二, KEKにおけるレーザーコンプトン散乱を用いた小型X線源の開発の現状とアップグレード計画, 日本加速器学会誌, 「加速器」 Vol. 9, No. 3, 156-164, 2012

M Shevelev, A Aryshev, A Araki, M. Fukuda, P Karataev, K Lekomtsev, N. Terunuma, J. Urakawa, Coherent Radiation Spectrum Measurement at LUCX facility, X International Symposium RREPS(Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures)-13, Lake Sevan, Armenia,, to be published in J. Phys.: Conf. Ser. 2014

D A Shkitov, A P Potylitsyn, A S Aryshev, J. Urakawa, Feasibility of Double Diffraction Radiation Target Interferometry for Compact Linear Accelerator Micro-train Bunch Spacing Diagnostics, X International Symposium RREPS(Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures)-13, Lake Sevan, Armenia,, to be published in J. Phys.: Conf. Ser. 2014

K.V. Lekomtsev, A.S. Aryshev, P.V. Karataev, A.A. Tishchenko, J. Urakawa, Simulations of transition radiation from a flat target using CST particle studio, X International Symposium RREPS(Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures)-13, Lake Sevan, Armenia, to be published in J. Phys.: Conf. Ser. 2014

ホームページ等 : <http://www-atf.kek.jp/thz/index.html>