

Present status of the electron storage ring TERAS of AIST

Hiroyuki Toyokawa^{1, A)}, Koichi Awazu^{A)}, Sin-ya Hohara^{A)}, Masaki Koike^{A)}, Ryunosuke Kuroda^{A)}, Yuichiro Morishita^{A)}, Norio Saito^{A)}, Terubumi Saito^{A)}, Masahito Tanaka^{A)}, Kazutoshi Watanabe^{A)}, Tatsuya Zama^{A)}

^{A)} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1-1-1 Umezono, Tsukuba, IBARAKI 3058568

Abstract

Present status and the recent research activities using TERAS, an electron storage ring dedicated for the synchrotron light source of AIST, have been briefly summarized.

産総研電子蓄積リングTERASの現状

1. はじめに

産総研電子蓄積リングTERASは1981年に電子蓄積を達成して以来、真空紫外から軟X線放射光施設として利用されてきた[1]。建設時のコストを低減するため、300 MeVで入射し、最大800 MeVまでエネルギーを上昇させる設計となっている。通常は760 MeV, 200 - 300 mA程度で運転するが、実験目的に応じて300 - 800 MeVまで連続エネルギー可変とすることが可能である。TERASの概略図を図1に、レイアウトを図2に、放射光スペクトルを図3に示す。臨界波長は490 eVである。主なマシンパラメータを表1にまとめる

表1 産総研TERASの主なマシンパラメータ

入射エネルギー	300 MeV
最大エネルギー	800 MeV
lattice周期数	4
周長	31.4 m
x	2.258
y	1.311
	0.120
x	-2.965
y	-2.891
エミッタンス (760 MeV)	570 nm rad
加速周波数	171.7 MHz
加速電圧	65 kV
シンクロトロン周波数	52 kHz

TERASには、現在約10本の放射光利用ビームラインがある。表2に各ビームラインの概要を示す。産総研は旧・工業技術院傘下の研究所群で構成されているため、国家標準に関連する研究を行っており、TERASにおいても標準関係のビームラインが多いことが特徴である。また、レーザーコンプトン[2]や偏光可変アンジュレータなどのユニークな光源開発も古くから行われており、それらの応用研究も活発である。これらの光源は、主として共同研究という形

で、産総研内部、大学、他研究機関などで利用されており、施設の一部はユーザに広く開放されている。

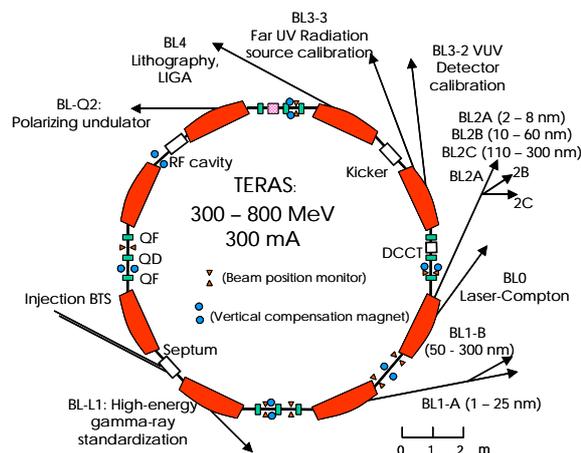


図1 産総研電子蓄積リングTERAS

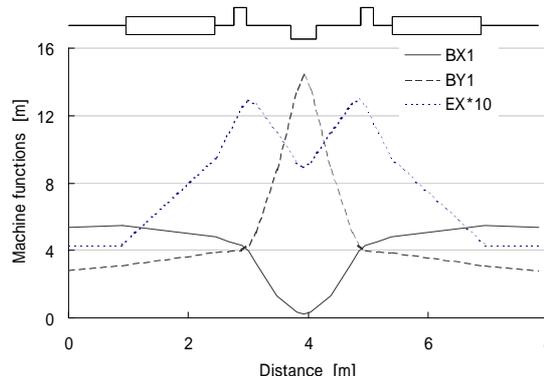


図2 産総研電子蓄積リングTERASのマシン関数。

¹ E-mail: h.toyokawa@aist.go.jp

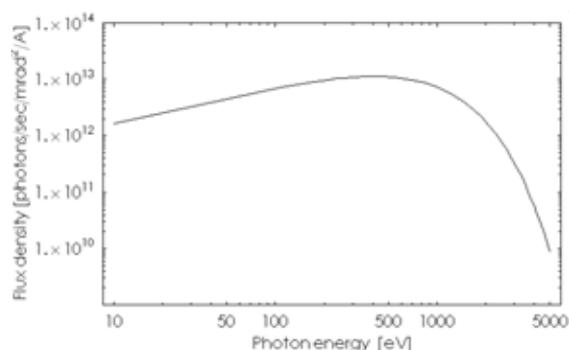


図3 Terasの放射光スペクトル

2. 最近の研究成果

2.1 光伝導型ダイヤモンド薄膜紫外線センサの光応答特性評価

TERASの放射光ラインにおいて、光伝導型ダイヤモンド薄膜紫外線センサの光応答特性評価を、焦点距離1mのトロイダルグレーティング分光器を用いて、波長域10 - 60 nmにおいて測定した[3]。ダイヤモンドはバンドギャップが大きいことから、迷光の影響が避けられること、材料の耐久性・耐熱性が高いことから紫外 - 真空紫外の精密計測用センサとしての利用が期待される。

2.2 偏光可変アンジュレータ光源による真空紫外領域円二色性、線二色性測定システムの開発

真空紫外偏光可変アンジュレータ光を用いて、アミノ酸、糖類等の円二色性(CD)、線二色性(LD)を測定するシステム開発を行っている。TERASにはOnuki型アンジュレータ[4]という偏光をAC変調できるアンジュレータが設置されており、これを測定システムと高精度で連動、制御することで、通常の偏光光源を用いては測定できない短波長領域(140nm以下)においてもCD、LD測定が可能なシステム開発に成功した[5]。現在、非公式であるがアラニン薄膜試料で波長120~220nmにおける円二色性測定に感度0.1%で成功している。これからの利用、応用研究の進展が期待される。

2.3 軟X線標準研究

軟X線標準の供給を2005年度から開始した。フォトダイオード、金属カソードなどの校正を行なっている。エネルギー範囲は100 - 1000 eVで、不確かさは5 - 15 %程度である。現在、同標準用に極低温放射計を開発している。TERASの軟X線ビームラインBL-1Aに設置してあるGrasshopper分光器を用いて150.4 eVの軟X線を切り出し、開発中の極低温放射計と一次標準を比較したところ5%程度で一致した[6]。

2.4 サブミクロン2次元および3次元フォトニック結晶製作技術の研究

TERASの放射光ビームラインにおいて、Deep X-ray lithographyとliquid phase depositionを用いたナノインプリント技術によってフォトニック素子を製作する技術開発を行っている。偏向電磁石からの放射光において波長3 - 6 Å程度の軟X線を、X線マスクを通してPMMAに照射する。その後、PMMAをTiOSO₄溶液に浸すことでTiO₂が析出し、任意の構造のTiO₂フォトニック素子を製作することができる。本手法によってサブミクロンオーダーの二次元フォトニック素子を製作することに成功した。また、X線照射時にサンプルを回転させることによって三次元フォトニック素子を製作することにも成功した[7, 8]。

2.5 紫外・真空紫外(波長域160-310nm)の絶対放射束校正

紫外・真空紫外(波長域160-310nm)の絶対放射束校正のため、シンクロトロン放射(SR)を一次標準光源として用い、重水素ランプ等の被校正放射源の絶対放射束を校正するための手法を開発している。SRは軌道面に強く偏光しているのに対して、上記被測定放射源は殆ど偏光していない。そのため、被測定放射源絶対放射束の評価に際しては、校正光学系を単純なコンパレータとして扱う事は不可能で、校正光学系の偏光特性を評価し、補正する事が必要になる。

偏光特性を加味した校正手法及び不確かさ評価手法、不確かさを厳密に評価する手法、不確かさを減少させるための手法を新たに開発し、不確かさを従来の2/3程度に改善させることに成功した。

2.6 レーザーコンプトンを用いた高エネルギーX線発生と利用

MeVオーダーのレーザーコンプトンを用いた準単色・高透過性光子ビームによる産業用非破壊検査CT装置の開発を行っている。CT装置の基本的性能である空間分解能、高コントラスト分解能の評価を行った。modulation transfer function (MTF)値で表した空間分解能は、空間周波数0.3 cycles/mmにおいて約0.5であり、高コントラスト分解能は1.4mmであった[9]。

高透過性光子ビームの輝度を一桁高くしてCT測定に要する時間を約10分の1とすることを目的として、電子と相互作用するレーザーをFabry-Perot共振器を用いて蓄積する手法の開発を行った。小型電子蓄積リングの利点を生かして、電子ビームの上下流にある偏向電磁石部を含む、軸長6mの180度レーザーコンプトン用超高真空Fabry-Perot共振器を製作し、これを電子蓄積リングTERASの長直線部に設置し、TEM₀₀モードでの共振に成功した。パワー蓄積率は75.3と評価した。現在、入射光の安定化に取り組んでおり、共振器を用いたレーザーコンプトンX線発生実験も計画している。

2.7 分散小型I/Oモジュールを用いた加速器制御

TERASの制御系において、入射、蓄積、エネルギーランプアップ、軌道補正などに必要とされるI/O制御パラメータは60個程度である。そのため大規模で高価な制御系を構成する必要がない。その反面、ユーザやオペレータが蓄積リング制御パラメータを頻繁に変更する需要と機会が多い。そのため、TERASの制御系としては、中・小規模でネットワーク負荷が比較的少なく済む、専門的なインターフェイスと技術を要することなく、システム更新・変更に要する労力と時間を少なくできることが重要である。そのため、2002年ころより、電磁石電源やRF電源などの比較的大きな制御機器近辺に分散小型I/Oモジュールを配置し、それをネットワーク越しにPCで制御する方法で、簡易的、かつ統合的に蓄積リングを制御するシステムを試験的に構築している。現在、RF電源と電磁石電源制御をこの手法を用いて制御している。

分散小型I/OモジュールとしてはNational Instruments社のField Pointを用いている。これは様々な機能をそれぞれ規格型小型モジュールに持たせ、それらの任意の組み合わせによって必要なシステムを構築するものである。我々はFP-1600イーサネットモジュールを所内LAN用のインターフェイスとして使い、各I/Oモジュール郡を制御機器近くに分散して配置して使用している。モジュール制御は、モジュール固有のバスで通信する。現在、高周波加速空洞へ入力するRFの増幅器ゲインを決める外部入力信号を、LabVIEW RTを用いたPID制御によって2-4 Hz程度のフィードバックで監視しながら運転している。一旦システムパラメータにチューニングを施した後はさほどのメンテナンスを要することなく順調に稼動している。しかし、制御時にはネットワーク処理に要するCPU占有率が90 - 100%程度と高めになることから、PCにかなりの負荷が掛かっているようであり、今後改善の余地がある。

3 . おわりに

産総研電子蓄積リングTERASの現状を簡単にまと

めた。同リングはすでに建設されてから25年余りが過ぎており、各パーツの老朽化と、それによる故障や不具合が年に数回発生している。特に、制御機器の電気システムの故障は、IC、抵抗、コンデンサなどの代替パーツが製造中止で手に入らないことが多く、今後の運転において深刻な事態になることが懸念される。また真空管などの部品を用いているコンポーネントは、現在では半導体化されたものが多く、メーカーのサポートにも限界がある。加速器のような高電圧、大電力装置用の半導体電源となると数千円~数億円規模の更新費が必要となる。これらの更新費用を捻出するには、現在の装置を用いて、我々が持っている知識と技術によって、対外的にも魅力ある利用施設に生まれ変わることが、何をさておいても肝要である。

参考文献

- [1] T. Tomimasu et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-32 (1985) 3403.
- [2] T. Yamazaki et al., IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-32 (1985) 3406.
- [3] T. Saito and K. Hayashi, Appl. Phys. Lett. 86(2005)122113.
- [4] H. Onuki, Nucl. Instrum. and Meth. A246(1986) 94.
- [5] K. Yagi-Watanabe, T. Yamada, M. Tanaka, F. Kaneko, T. Kitada, Y. Ohta, K. Nakagawa, J. Electron Spectros. Relat. Phenom., 144-147(2005)1015-1018.
- [6] Y. Morishita, N. Saito, I. H. Suzuki, J. Electron Spectros. Relat. Phenom., 144-147(2005)1071-1073.
- [7] X. Wang, M. Fujimaki, and K. Awazu, Optics Express 13[5](2005)1486-1497.
- [8] K. Awazu et al., J. Vac. Sci. Technol. B23[3](2005)934-939.
- [9] H. Toyokawa, Nucl. Instrum. and Meth. A545(2005)469-475.