

## Present Status of AIST Electron Storage Ring TERAS

S.Goko<sup>1</sup>, H.Toyokawa, M.Koike, K.Watanabe, T.Zama, H.Ikeura, N.Saito, Y.Morishita, K.Awazu, A.Uritani, I.Suzuki,  
T.Saito, M.Ohkubo, T.Mikado, K.Yamada

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1-1-1 Umezono, Tsukubashi, Ibaraki, 305-8568

### Abstract

Present status of an 800 MeV electron storage ring "TERAS" of AIST has been summarized. TERAS is a compact, versatile synchrotron radiation source, which is not only used for a visible to soft X-ray light source, but also used for a test bench for the development of novel and unique radiation sources.

## 産総研電子蓄積リングTERASの現状

### 1. はじめに

産業技術総合研究所（茨城県つくば市）の電子蓄積リングTERASは、電子LINACより310MeVの電子ビームを入射し、通常760MeVまで加速される。主として放射光利用研究、新たな量子放射源の開発研究等に利用されている。現状では蓄積電流量100mAに対し8時間程度の寿命を持つ。TERASは1981年より運転を開始し、トラブルにより多少の運休期間はあったものの、スタッフの協力のもと適切な対策を施し、今日まで順調に運転を続けている。

TERASの利用環境向上の為、Kicker、RF、Magnet等の主要構成機器において、制御系の改良、新機構の導入、長期間使用によって劣化した部品の交換等により蓄積電流量の増大や安定供給を実現した。

TERASでは放射光を利用して、生体関連物質の分析を目指した集光光学系や透過型PEEMの開発研究、Photonic結晶の作製を目指したLIGAプロセスの研究、軟X線ビームの絶対強度計測技術の開発研究、光電子放出電流の寄与による半導体フォトダイオード光電流の測定極性依存性の研究、二次元X線光電子変換素子の開発研究、超伝導エネルギー分散分光法の研究等が行われている。

新たな量子放射源の研究開発として、直交遅延磁場型偏光可変偏光アンジュレータでは偏光を最高3Hzで交流的に変調させることに成功した。レーザー逆コンプトン散乱により1~40MeVの準単色線を発生させ、それによる線CT技術の開発や核物理の基礎データ収集等も行われている。又、線強度を増大させるため6mのファブリーペロー共振器を開発している。

表 1 The Ring Parameters for TERAS

Maximum Energy	800MeV
Stored Current	350mA
Circumference	31.45m
Bending Radius	2.0m
RF Frequency	171.682MHz

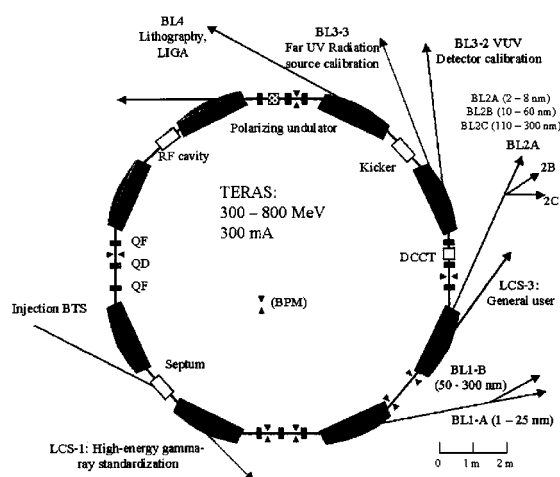


図 1 蓄積リングTERAS概観図

### 2. 構成機器改良による制御システム安定化

運転開始から20年以上経過したTERASは制御システムの旧式化や、装置の経年劣化による動作の不安定性等の問題点が一部表面化していた為、それらを改善するべく行った作業を以下に示す。

2003年12月、Kicker Pulse Generator不調により電子ビーム入射作業に支障をきたした為、内部のサイラトロン、スパークギャップの交換を行い、2004年1月には絶縁オイルの交換も行った。これらにより不具合は解消された。

2004年2月、循環純水（LCW）の冷却装置の制御系が不具合を起こした為、数年前まで使用していた冷却塔（使用停止より数年間手入れされていなかった為、多少の修理、調整を要した）に一時的に循環を切換え、水温は若干不安定ではあったが運転は継

<sup>1</sup> E-mail: s-gokou@aist.go.jp

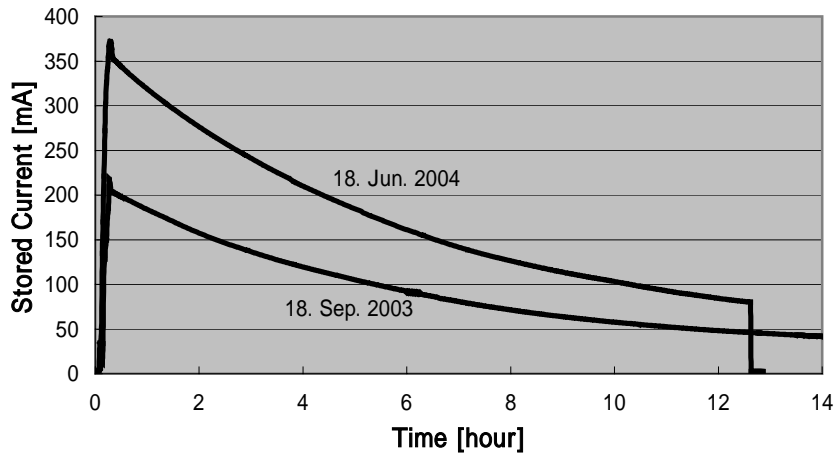


図2 蓄積電流量の比較

続された。後に修理の完了した元来の冷却システムに戻された。

2003年頃から、RF制御系の一部に経年劣化、あるいは制御信号のレベル、位相の変化が生じ、運転中にビームが落ちるといった現象が、多いときは日に数度発生するようになっていた。そのため、2004年3月から4月にかけて、RF入射系の位相制御機器、及び制御ソフトウェアを改良し、各種パラメータのチューニングを施した。その結果、RF空洞内に必要十分なパワーを投入することができるようになったため、余計な高調波の発生が抑制され、不安定な現象は解消された。また、その結果として蓄積電流が増大した。

2004年4月、リングに11台設置されているTi-Getter Pump (TGP)の電源ユニットに簡単な改良を施し、遠隔操作、自動制御を可能とした。入射作業終了後の真空が悪化する時間帯に集中的に作動させる事により、若干の電子ビーム寿命の向上が見られた。

2004年5月、従来単極性であったHorizontal及びVerticalのステアリングマグネット電源に電流極性切替装置を導入した結果、電子軌道の詳細な制御が可能となった。

これらの処置により、1年前は約200mA程度であった蓄積電流量は350mAを安定供給できるまで向上した。図2に昨年9月と本年5月のTERAS蓄積電流量の比較を示す。

### 3. 真空の悪化と回復

2004年6月、ユーザーのビームラインにおいてビューポート交換作業を行っていた際ゲートバルブのシール不良によりTERASの真空度が一時 $10^{-3}$ Torrのオーダーまで悪化した。ベーキング作業は不要と判断し、短時間での真空回復作業を行う事にした為、復旧作業として、先ずターボ分子ポンプによる排気を3日間行い、続いてイオンポンプを立ち上げた。それにより真空度は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ Torrまで回復した。その後、電子入射を行い、760MeV-350mAでの枯らし運転を2週間続けた結果、従来の真空度まで回復し、電子ビームの寿命も回復した。その際、同年4月に改良を施したTGPの自動制御機能が真空の回復に大きな貢献を果たした。図3に枯らし運転による寿命の回復の様子を示す。尚、図中の (6/1)の数値は、真空漏れ発生前の値(寿命回復の目標値)である。

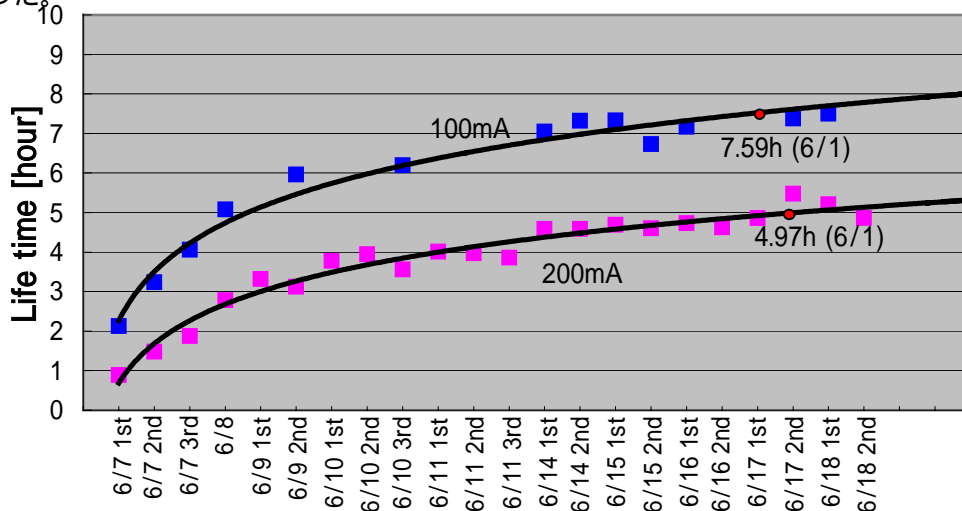


図3 真空漏れ後の電子ビーム寿命の回復

## 4. 放射光利用研究

### 4.1 斜め入射ゾーンプレートの作製と放射光X線の集光

ゾーンプレート(FZP)の性能は最外層のゾーン幅をいかに小さくできるかに依っており、電子ビーム露光装置などの加工精度に依存している。これを解決するため1次元非対称FZPを斜入射で用いる方法を考案・設計・製作した。FZPの傾け角を  $\theta$  とすると、最外層の線幅を  $1/\sin \theta$  倍小さくできる。またX線の波長を変えても入射角を変化させることで焦点距離を常に一定に保てるという利点もある。基板には窒化シリコンを用い、FZP材料にはRIEでの加工の都合からバナジウムを用いている。設計に当たっては、種々の材料で光学定数に基づく効率などの計算を行い決定した。30KVの電子ビーム露光によりパターンニングし、RIEでガスにCF<sub>4</sub> + O<sub>2</sub>を用い作製した。

### 4.2 放射光を用いたDeep X-ray Lithographyとその応用

フォトニック結晶の作製を目指したLIGAプロセスの研究では、X線を良好に透過する窒化シリコン膜(2 $\mu$ m厚)の上に同透過率の低いTa(1 $\mu$ m厚)でパターンを描いたX線マスクを高分子厚膜上に載せて密着露光させると高分子「鋳型」が形成できる。その際、放射光に対して35°~55°の傾斜を付けたゴニオメータを120°ずらして3方向から放射光エッチングを行うことにより、3次元構造体の作製に成功した。

### 4.3 軟X線フルエンス標準確立

軟X線(0.1~10nm)は大強度光源の開発により、その利用にますます注目が集まっている。例えばコンピュータのCPUの高速化の為に13.4nmリソグラフィ研究開発等が挙げられ、それらに利用される軟X線の正確な絶対強度測定について、標準の信頼性を高める研究を行っている。

### 4.4 光電子放出電流の寄与による半導体フォトダイオード光電流の測定極性依存性

光電子放出を生じる波長域において、半導体フォトダイオードの測定される光電流は、電流測定時の接地極性の違いに依存すること、光電子放出電流を含む配置であるフォトダイオードの表面側電極に電流計を接続(裏面側電極を接地)した場合、光電子放出電流の寄与がかなり大きいことを明らかにした。

## 5. 新量子放射源の研究開発と応用

### 5.1 直交遅延磁場型偏光可変偏光アンジュレータの開発

産総研電子蓄積リングTERASに挿入されている4

周期直交遅延磁場型偏光アンジュレータを利用し、偏光を交流的に変調することによる、真空紫外円二色性測定に成功した。蓄積リングのエネルギーは300~800MeVの範囲で変える事が出来、300nm~30nmに及び波長領域で半値幅約25%の強度スペクトルを持つアンジュレータ放射が得られる。このアンジュレータでは約3Hzで左右円偏光を、その倍の周波数で垂直水平直線偏光を交流的に変調することが可能である。また、VUV領域における偏光変調分光法を実現するための計測系を構築した。さらにこの測定系を利用し、変調周波数で円二色性、2倍の周波数で線二色性を同時に測定する方法を考案した。

### 5.2 レーザー逆コンプトン線を使った研究

TERASに蓄積された300~800MeVの電子ビームとLaser Photon(1064nm,532nm,355nm,266nm)を使って1~40MeVの準単色線を発生させる事ができる。数MeVのエネルギーを有し、指向性が高く、高輝度であるこの光源を使う事で金属物質のCT画像を得る事に成功した。

この準単色線を使って原子核励起レベルや光核反応断面積の測定と言った核物理の基礎データを得る実験も行われている。これらの実験は過去、制動放射光や飛行陽電子対消滅線等を使ってデータ取得がなされて来たが、それらの光源に対し、準単色性、任意エネルギー可変、低バックグラウンド等優れた点が多く、非常に有効である。

又、エネルギー可変準単色線を高い収率で発生させるための技術開発研究を行っている。線収量を数10~数100倍程度増加させることを目的として、低損失、高利得なファブリペロー共振器を用いた、高収率レーザー逆コンプトン散乱線発生装置の開発を行っている。

## 6. おわりに

産総研電子蓄積リングTERASにおいて、最近経験したトラブルへの対処、構成機器の改良点を中心に現状を紹介した。今後はMagnet制御系や、RF制御系の新機構導入等により、放射光の安定供給を図る予定である。

尚、TERAS利用の概要は、<http://staff.aist.go.jp/zama-t/Linac/teras.htm> に紹介されている。