

PRESENT STATUS OF THE SUPER-SOR PROJECT

Norio Nakamura^{1,A)}, Hiroshi Sakai^{A)}, Hiroyuki Takaki^{A)} for the Super-SOR Accelerator Group
^{A)} ISSP, University of Tokyo

5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8581

Abstract

The Super-SOR project aims to construct a high-brilliance VUV and soft X-ray synchrotron light source in Japan. The University of Tokyo is promoting this project as an academic plan in the Kashiwa Campus. The Super-SOR light source will have the highest brilliance in the VUV and soft X-ray region with very long undulators and a very low emittance that the existing VUV and soft X-ray light sources ($\leq 2\text{GeV}$) have never had and it will greatly contribute to progress of material science, nanotechnology and biotechnology. The present status of the project including recent progress of the accelerator design and R&Ds are reported in this paper.

極紫外・軟X線放射光源 (Super SOR) 計画の現状

1. はじめに

極紫外・軟X線放射光源 (Super SOR) 計画は、日本で唯一の極紫外線・軟X線領域の高輝度放射光源を建設する計画である。この波長領域は、物質科学やナノテクノロジーの利用研究とその発展に直結している。加えて、生体顕微鏡などに最適な「水の窓」がこの領域に含まれていることや硫黄原子を用いたタンパク質の構造解析が10keV以下で行われつつあることから、本光源は生命科学の新しい展開にもつながるものと期待されている。本計画は、学会会議や学術審議会加速器部会で検討され、さらに文部科学省が中心となって開いた極紫外・軟X線放射光源計画検討会議でも約1年に渡って議論されており、その必要性は十分に認められている。

この先端的基盤設備の実現のために、東京大学では本計画を柏国際キャンパス構想のアカデミックブ

ランの1つとして位置付けて、文部科学省に概算要求を行っている。物性研究所はその推進母体として計画推進のためのさまざまな活動を行っているが、加速器の設計や関連するさまざまな開発研究についても他の研究機関や民間企業等と協力して精力的に進めている。ここでは、SuperSOR加速器グループを代表して、本計画の加速器設計と関連するR&D、特にその最近の進展について報告する。

2. 光源計画の概要

光源施設は、図1にあるように、東大柏キャンパスの北にある用地約5.2haを利用して建設される予定である。光源加速器は、入射器である200MeVのライナック、1.8GeVのブースターシンクロトロンと光源本体である1.8GeVの電子蓄積リングから構成される。入射器、光源ともに最大の電子エネルギーは

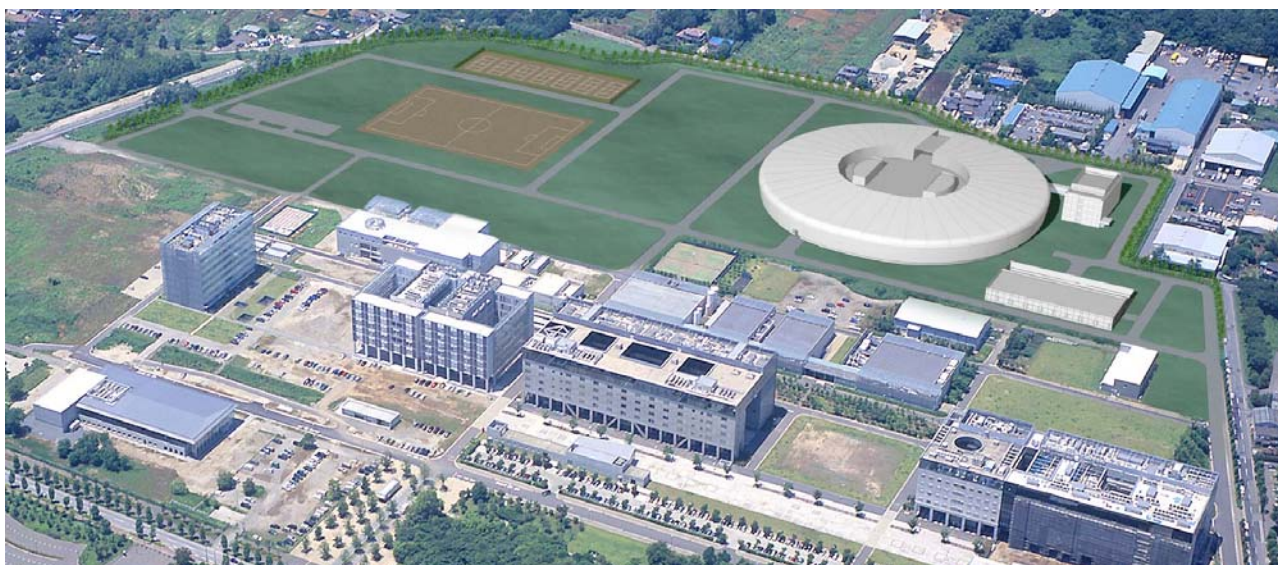


図1：東京大学柏キャンパスと極紫外・軟X線放射光源のイメージ図

¹ E-mail: nakamura@issp.u-tokyo.ac.jp

2.0GeVである。すべての加速器はビーム電流を一定とするためのトップアップ入射ができるように設計されている。図2に施設の計画図を示す。

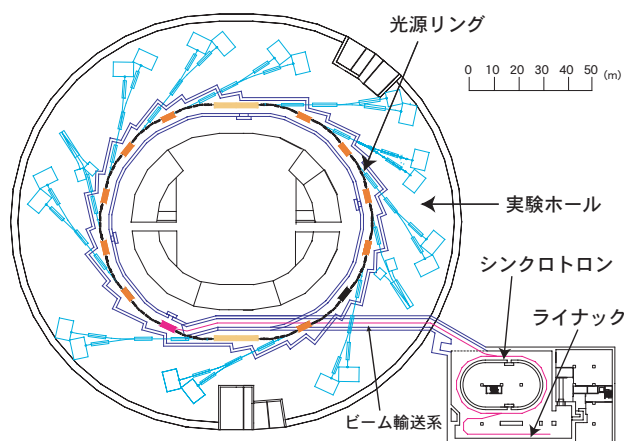


図2：光源施設の計画図

3. 光源加速器の設計

光源加速器の基本的な仕様や概念設計については、検討会議の下でまとめられたが^[1]、その後も我々は早期建設に向けてより詳細かつ包括的な加速器設計を行ってきた^[2]。

3.1 光源リング

光源リングは、14のDBA(Double Bend Achromat)セルからなり、2つの17m長直線部、12の6.2m長直線部を有する。17m長直線部には15m級の挿入光源が設置可能で、超高輝度放射光を用いた実験、分光器なしの超高フラックス実験、高いコヒーレンスを利用した実験などが可能となる。6.2m長直線部では10台の挿入光源、加速空洞、入射システムが設置される。これまで約8nm·radのエミッタンスを持つオプティクスが検討されてきたが、最近では極紫外・軟X線光源(≤2GeV)としては世界最小の約3nm·radの低エミッタンスオプティクスが検討されている^[3]。図3に低エミッタンスオプティクスにおける輝度を示す。最大輝度は、極紫外・軟X線領域で 10^{20} [ph/s/mm²/mrad²/0.1%b.w.] を越え、この領域では世界最高となる。リングコンポーネントでは、偏向、四極、六極電磁石及び真空チャンバーの詳細設計がほぼ終了している^{[4][5]}。加速空洞、モニタ、制御システム、入射システム、挿入光源などについても詳細設計を進めている。

3.2 ブースターシンクロトロン

ブースターシンクロトロンは、光源リングの1/3の周長で、50nm·radの低エミッタンスを実現できる。このラティスはモーメンタムコンパクションとエミッタンスが可変で、それらの調節によってトップアップ入射時の入射効率の最適化が可能である。加速器コンポーネントでは、電磁石、真空システム、入射システム、ビーム位置モニタ(BPM)など基本

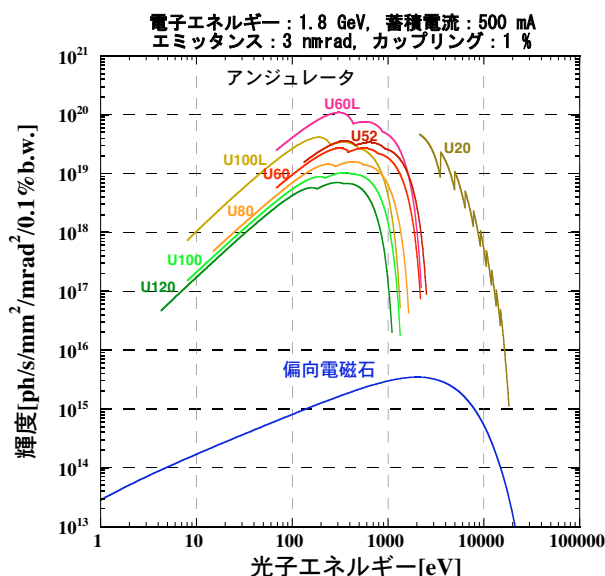


図3：放射光輝度

的な設計が終了している。電磁石ではコンパクトな設計により、繰り返し1Hzの2.0GeV運転で必要ピーク電力が1000kVA以下、消費電力が400kW以下に収められている。また、真空チャンバーは、リップ無しのレストラン型の断面形状で、厚さ1.0-1.5mmのステンレスが使用される予定である。断面の大きさは、入射時のエネルギーアクセプタンスやCODを考慮し、厚みは渦電流や真空時の応力を考慮して決められている。BPMのセンサー部については、応力による変形を考慮して光源リングと同様にブロック構造とし、その設計も終了している。その他、入射システム(キッカー、セプタム)の配置や設計、真空排気システムの検討も終えている。

3.3 ライナック

ライナックは、熱陰極電子銃、サブハーモニックバンチャ、プリバンチャ、バンチャ、そしてSバンド加速管(6x2mもしくは4x3m)から構成される。電子銃とサブハーモニックバンチャ以外は、2つのクライストロンと1つSLED空洞によって電力が供給される。我々は、光源リングの単バンチャ、多バンチャ運転に対応して、パルス幅の異なる短パルスモード(10ps)、セミロングモード(10-100ns)をそれぞれ用意し、その検討を既に行った。初期入射とトップアップ入射の切換や調整を円滑に行うために、電子銃出口付近に2次元スリットを設置し、電流を1/25程度まで制御できるように設計している。また、多バンチャ運転におけるシンクロトロンへの入射効率を高めるために、シンクロトロンRF周波数の丁度6倍である3GHzの加速管を採用する予定である。

4. 加速器のR&D

本計画に関係したさまざまな加速器のR&Dが進められてきた。昨年のR&Dとして偏向電磁石用架台の開発を行い、取り外し可能な補助レールにより偏向

電磁石をスライドさせて、電磁石を2分割することなく真空チェンバーを取りはずせることを可能とした^[6]。最近では振動測定も行われ、スライドがないタイプと比べて、特に大きな差がないことを確認した。多重極電磁石用の精密アライメント架台についても、モデルの設計と構造解析が始まっている。高周波システムでは、以前開発した高次モード減衰型加速空洞をさらに高次モード減衰と加速効率を高めるための開発研究を東芝やKEK-PFと共同で行っている。この空洞は昨年、オーストラリアの放射光源 (Australian Synchrotron) のRFシステムに採用されている。低電力モデルの試験が既に行われ^[7]、大電力空洞 (オーストラリア放射光源の実機) の製作・試験が進められている。

Resistive-wall impedanceによるビーム不安定性を抑制するための挿入光源用銅メッキ真空チェンバーの開発が進んでいる。ステンレスチェンバーの内壁に100-200 μm の銅メッキを施すことで、不安定性を引き起こすビームの作る電磁場を抑制できる。また、チェンバー渦電流の影響も小さい。現在、オリフィス法による銅メッキチェンバーの脱ガス測定と超高真空試験が進行中で、通常のステンレス製チェンバーと同程度の超高真空が得られている^[8]。モニタでは、ゾーンプレートを用いた高分解能電子ビームプロファイルモニタ (図4) をKEK-ATFで共同開発しており、最近ではバックグラウンドの低減、時間分解能の向上、空間分解能の精密評価などを進めている^[9]。また、ビーム位置モニタを試作し、較正・性能評価を行うとともに、新しい高精度・高速信号処理回路の性能試験も進めている。

軌道の安定化では、我々が1998年に提案した新しい軌道補正方法 (束縛条件付き固有ベクトル法)^[10] をPF、PF-ARリングを利用して試験し、実際のリングでこの方法の有用性を確かめることができた^[11]。多数の光源点でサブミクロンの軌道安定性が求められるSuperSORリングの軌道フィードバックの補正方法として利用する予定である。制御では、Java/CORBAをベースとした制御モデルの性能評価を進めている^[12]。GUI用PCからVME/PLCシステムを経由して電磁石電源や真空系を制御するのに必要な応答時間やデータベースとの通信時間を測定し、SuperSOR制御系として問題ないか調べている。昨年から柏キャンパスの振動測定を開始し、波浪や生活ノイズによる振動成分の観測や解析を行った^[13]。今後も、環境の変化に応じて測定を行っていく。



図4：高分解能ビームプロファイルモニタ

5. 結語

本光源は高輝度高安定な放射光の供給を目指しており、そのための加速器の詳細設計と関連したR&Dが行われている。本計画が実現すれば、極紫外・軟X線領域で世界最高輝度の放射光を安定に供給できることになる。柏キャンパスは、物性研究所を始め、宇宙線研究所、新領域創成科学研究科などの施設が次々と建設され、南には国立がんセンター、西に千葉県産学連携拠点である東葛テクノプラザを配し、将来のサイエンスパーク構想の中核となる。この秋には、つくばエクスプレスの柏の葉キャンパス前駅が開業し、常磐高速道路の柏インターチェンジと相まって至便な環境も整うことになる。本計画の早期実現を期待する。

参考文献

- [1] 極紫外・軟X線放射光源計画デザインレポート、平成14年9月。
- [2] N. Nakamura, "Design of the Super-SOR Light Source", Proc. of the 9th EPAC, Lucerne, Jul. 5-9, 2004.
- [3] H. Takaki, K. Harada, H. Sakai, N. Nakamura, "Low emittance optics of the Super SOR light source", in these proceedings.
- [4] T. Koseki et al., "Design of the Magnet System for the Super-SOR Light Source", Proc. of the 3rd APAC, Gyeongju, Mar. 22-26, 2004
- [5] H. Sakai et al., "The Vacuum System for Super SOR", Proc. of the 9th EPAC, Lucerne, Jul. 5-9, 2004.
- [6] T. Shibuya et al., "Development of a movable table for a bending magnet with removable guides", Proc. of the 1st Annual Meeting of PASJ, Funabashi, Aug. 4-6, 2004.
- [7] J. Watanabe et al., "Design and Cold Model Test of 500MHz Damped Cavity for ASP Storage Ring RF System", Proc. of PAC05, Knoxville, May 16-20, 2005.
- [8] K. Shinoe et al., "Measurement of degassing from copper coated chamber", in these proceedings; H. Sakai et al., "Development of Copper Coated Chamber for Third Generation Light Sources", Proc. of PAC05, Knoxville, May 16-20, 2005.
- [9] H. Sakai, N. Nakamura, H. Hayano, T. Muto, "Recent progress of a high resolution beam profile monitor using zone plates", in these proceedings; T. Muto, H. Hayano, N. Nakamura, H. Sakai, "Performance evaluation of a beam profile monitor using Fresnel zone plates", in these proceedings.
- [10] M. Satoh, Y. Kamiya, N. Nakamura, "New COD Correction Method for Orbit Feedback", Proc. of the 6th EPAC, Stockholm, Jun. 1-3, 1998.
- [11] K. Harada, T. Obina, N. Nakamura, H. Sakai, H. Takaki, "COD Correction at the PF ring and PF-AR by New Orbit Feedback Scheme", Proc. of PAC05, Knoxville, May 16-20, 2005.
- [12] I. Ito et al., "Performance of control system using Java/CORBA", in these proceedings.
- [13] 工藤博文他, "SuperSORのための振動測定", 第18回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、平成17年1月。