

◁海外情報▷

ヨーロッパと台湾における真空紫外・ 軟 X 線放射光研究の現状と21世紀への戦略

ドイツ BESSY II, イタリア Elettra, スウェーデン MAX II, 台湾 SRRC

菅 滋正, 関山 明 (大阪大学大学院基礎工学研究科*)

米国に引き続き (Ref. 1) ヨーロッパおよび台湾における第3世代の真空紫外・軟 X 線放射光リングの現状と将来計画を報告する。

1. ドイツベルリン BESSY II

BESSY IIは1.7 GeVの高輝度リングである。1992年に予算が付き、98年9月に完成。建設総予算は 1.7×10^9 DM (1億7千万ドイツマルク)である。同年10月から利用開始。99年7月末時点では偏向部ビームライン (BL) 9本, 直線部挿入光源5本の14本のBLが完成。最終的には14本の直線部挿入光源が可能であり, 現在さらに6本のBLが建設中でうち5本が挿入光源である。99年末までにはノボシビルスクのKulipanov教授のところに発注製作中の超伝導ウィグラーを含む20本のBLが完成する予定で, 半数が挿入光源BLとなる。10本の挿入光源のうちhelical アンジュレーターは3本。

スタッフの数は BESSY I時代の70人から BESSY IIでは170人に増員。内訳は技官 (ドイツで言う technician) が25名, 事務系が25名, 加速器関係50名, ビームラインや装置関係が65名程度。我が国の放射光施設と大きく異なる点は, BESSY スタッフはサイエンスをやらないという条件で雇われていることである。そのためスタッフの研究に対する情熱は高くない。一方で装置開発に対する意欲は高くそれが現在の BESSYでの高度な研究を支えている。ゲストサイエンティストのポストは2名, 現在は佐々木茂美氏がそのポストの1つにいる。所長である W. Gudat氏はポツダム大学の教授を併任し, 今後ポストクに加えて大学の卒研究生 (ディプロマ) や大学院生を組織して研究を遂行する体制にある。

BESSY IIでは偏向部と直線部を組でセクターと呼んでいる (写真1)。長い直線部を含むセクターに置かれているIDからは2つに分岐する形でBLを取り出している。このセクターの偏向部からは1本の偏向部BLを取り出す。また短い直線部を含むセクターからは1本のIDBLと2本の偏向部BLを取り出す。

特筆すべきはコリメート型平面回折格子分光器 (PGM) である。これは SX700のアップグレード版とも言える



写真1

もので6.9-1000 eVで使用される。コリメートされた光を分光器平面鏡に導きこの平面鏡と等間隔刻線回折格子を連動して動かす。双方とも角度の精度は高精度エンコーダーで読み取る。周期長125 mmのアンジュレーターBL分光器 U125/1-PGMでは後置集光鏡に円筒鏡を用いて64 eVで分解能100,000を400 eVでも10,000以上の分解能を実現している。リング中のビーム自身は安定で, 64 eV程度の光なら, 入射によるエネルギーのずれは1 meV以下である。分光器掃引によるエネルギーの再現性は $h\nu=65$ eVで15-4 meV程度 (担当者によってはこれも1 meVと言う人もおりどちらが正しいかは定かではない)。但しこの高性能のBLは上が600 eVまでしか行かない。ここでは気体の実験, 固体の光電子分光, 光電子顕微分光が行なわれる。挿入光源や分光器は BESSYの手で建設されるが, 実験装置は大部分のユーザーが自前で準備する。BESSY自身 instrumentationのためのお金がなかったためにやむを得ない面はあるが, 実験のたびに装置のベストパフォーマンスを引き出す苦勞は並大抵ではない。コリメート型のPGMには BESSYのスタッフは絶対の自信を持っており, 古い型のSX700もすべてコリメート型に改造する。その結果計8台がこの型の軟 X 線分光器になる。しかしながらこのPGMのエネルギー分解能は, 高いエネルギーで急激に悪くなる。なおU56アンジュレーター (佐々木 Appleタイプの円・直線可変偏光アンジュレーター) と組み合わせたコリメート型分光器の明るさは, 分解能2,000の時100 eVでの光子数は 10^{13} /秒, 1000 eVでは 10^{10} /秒程

* 大阪大学大学院基礎工学研究科 〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3
TEL: 06-6850-6420 FAX: 06-6850-2845 E-mail: suga@mp.es.osaka-u.ac.jp

度。また別の組み合わせでは $h\nu=150$ eV において、2,000 の分解能では光子数は 10^{13} /秒、分解能10,000では 10^{12} /秒のオーダーである。このアンジュレータでは円偏光については1次光で66-400 eV を、3次光で400-1000 eV をねらっている。しかし高次光での円偏光度と強度はトレードオフの関係にありピーク強度の1/3で円偏光度85%と言うのがせいぜいではないだろうか。U56のアンジュレーターは直線部にタンデムに2台入っており左右の円偏光を同時に分光器に入射させ、分光器を調整して試料表面の全く同じ場所に到達できるようにしたうえで分光器の途中にチョッパーを挿入し、それによって100 Hz までの高速ヘリシティ切り替えを予定している。U56アンジュレーターはもう一つありマックスプランク研究所のビームラインに光を供給する。分光器まで同じ設計である。PEEM, スピン偏極光電子分光などが主として行われる。ビームタイムはマックスプランクで70%使用し、残りの30%を一般のユーザーが使う。

さて BESSY II は S-Bahn(鉄道)の Adlerhof 駅から歩いて15分くらいの所にある。共同利用で来る際は IBZ に宿泊するのが良からう。これは BESSY II より徒歩10分のところにある。部屋はホテルなみでトイレ、バスがついている。TV も有り英語の CNN が入る。ただし石鹸、シャンプー、浴衣のたぐいは無い。タオル、バスタオルは準備されている。共通の冷蔵庫と台所が一階にある。部屋代は1泊40 DM, 1月で800 DM 程度である。週日は3食取れるレストランが近くに有り徒歩10分ほどでいけるが、週末は閉まっている。駅の北側には中華料理屋が2軒ある。急ぎの人にはマグドナルドもある。ただし英語は通じない。なお駅を横切って線路に直交して500 m も進むと左手に月曜日から金曜日は8-20時まで土曜日は8-16時まで開いている miniMAL というスーパーマーケットがある。

2. スウェーデンルント MAX LAB の場合

ここには現在2つのストーリーリング MAX-I, MAX-II がある。入射器-MAX-I-MAX-II という関係になっており、MAX-II への入射は MAX-I を經由して行なわれる。MAX-I への入射は一日5回定時に行なわれる。しかし夜中の入射はない。MAX-II への入射は一日1回午前8時に行なわれる。MAX-I への入射は10分程度で終了するが、MAX-II への入射には約1.5時間かかる。ビームダンプが生じても臨時入射は行わず、次回の定時入射を待つ必要がある。MAX-II の蓄積電流は、入射直後で200 mA, 次回の入射直前までに150 mA 程度まで減少する。ビームの安定性は良い。縦方向の電子ビームサイズは入射直後は20ミクロン以下、入射1時間後は10ミクロン以下である。入射による軌道のずれの影響をビームライン側 (U311) で見てみると、入射による光のエネルギーのずれは100 eV のとき10 meV 以下である。将来的には MAX-I と MAX-II の間の位置に新しいブースターリン

グを建設し、MAX-I の更新としての役割を果たす。ブースターリング設置箇所はすでに確保され、現在床の工事等基礎的な工事をおこなっている。

MAX-II の幾つかのビームラインでは利用実験が開始されている。MAX-II には直線部が10箇所あるが、そのうち8箇所に挿入光源を設置できる。現在は4本の挿入光源が設置されている。軟X線ビームラインでは全て SX-700型が採用されている。

I311 (ID) : $30 < h\nu < 1500$ eV の固体高分解能光電子分光 BL

直線偏光アンジュレータ BL。試料表面での光のスポットサイズは縦横0.5 mm 程度。GAMMADATA-SCIENTA SES-200光電子分析器が用いられている。光+分析器込みの分解能は $h\nu \sim 650$ eV で100 meV 弱、 $h\nu \sim 400$ eV で50 meV 程度、 $h\nu \sim 250$ eV で30 meV 程度、 $h\nu \sim 50$ eV で20 meV 程度。試料は液体ヘリウム冷却可能である。励起エネルギーが200 eV 以下の場合、化合物の価電子帯スペクトルは数分で測定可能。利用実験は99年5月に開始。ビームタイムの75%は Lund 大 Lindau のグループ及びその共同研究者によって使われている。ただ、高いエネルギー ($h\nu > 650$ eV) での性能評価や利用実験はまだ行なわれていない。

I411 (ID) : $50 < h\nu < 1500$ eV の気体分光 BL

分光器は MAX-I の51から移動。光電子分析器は SES-200。気体が主体だが固体の光電子分光も可能。利用実験は98年終わりから開始されており、99年6月までは殆ど利用実験に費やした。光+分析器込みの分解能は出口スリット幅を $5 \mu\text{m}$ にしたとき、 $h\nu \sim 100$ eV で10 meV 以下、 $h\nu \sim 250$ eV で40 meV 程度、 $h\nu \sim 850$ eV で280 meV 程度。I311と比べると高いエネルギーまで調整済みである。

I511 (ID) : $100 < h\nu < 1500$ eV の発光実験 BL

発光分光用直線偏光ビームラインだが SES-200も設置されており、原理的には同時測定が可能である。光は試料に対し入射角85度で入射する。この発光分光器及び光電子分析器は光の軸を回転軸として回転可能であり、発光スペクトルの偏光依存性を測定できる。これらの装置を回転させても真空の悪化はないし、回転も容易にできる。それぞれの装置は同時に天井から固定クレーンで支えられている。このビームラインは発光が主な為、励起光のエネルギー分解能にはあまり気を使われていない。今のランチでは固体の吸着表面例えば Cu, Ni, Pt 等の金属表面に CO, O₂ 等を吸着させた系の発光が行なわれている。残り4本の直線部で、具体化されているのはアンジュレータ HX ビームライン I811で、エネルギーは3-20 keV である。また偏向電磁石ビームラインについては今のところ計画はない。

ビームタイムは1年間に26週程度。加速器のスタディは時折1週間連続で行なわれる。ビームタイムは時には数週間連続という事もある。ビームタイム中は24時間運

転。課題申請は1年に1回、締めきりは毎年2月末でその年の7月(実際には8月中旬以降)から次の年の7月までを区切りとしている。内部スタッフ及び建設グループにはそれなりの優先枠がある。スタッフ構成は事務6人(いわゆる秘書3人)、加速器7人、Workshop(工作室)10人、User Support 8人、Electronics 4人、ビームライン18人で総勢53人である。現段階ではMAX-IIでは発光と角度積分の高分解能光電子分光に重点が置かれている。今は円偏光を用いた磁性研究や角度分解光電子分光(ARPES)はあまりできない。この点MAX-Labの人たち(特にLindauグループの連中)は割り切っていて、ARPESの研究ではスタンフォードのSSRL(Z. X. Shenのところ)に行くそうである。

3. イタリアトリエステ Elettra の場合

トリエステ鉄道駅からtaxiで30分、ようやくSincrotrone Trieste(シンクロトロントリエステ)と書いてある看板が見える森の入り口に到着。研究所中では英語が公用語である(近くのホテル、レストランではイタリア語以外は通じないが)。リング棟と離れてそれを囲むようにオフィスビルディングが建っている。スペースはかなり十分との印象である。職員は計約200名でその内訳は加速器82人、事務系35人、実験部門76人。

翌朝は研究部長のKiskinova博士(写真2セミナー風景、左端)が案内してくれた。現在はゾーンプレート方式のマイクロESCA(ESCA microscopy)プロジェクトを推進している。U2.2の56mm直線偏光アンジュレーター光(500-3,000 eV)をSGM分光器で単色化し、ゾーンプレートを通して試料に集光し、試料自身を走査するSPEM(scanning photoemission microscope)タイプで、光電子分析にはVSW100を用いている。分析器のMCPの後ろの16チャンネルの検出器は近々100チャンネルに改造する。集光系は2つのゾーンプレートを切り替えられるようになっており、lateralの分解能で120 nm, 80 nmの設計である。実際には180 nm, 90 nmの空間分解能が実現されている。普通のスペクトルは500 nm程度の分解能で測定しておりこのマイクロエリアへの光子数は 10^9 /秒である。この領域のスペクトルは十数分で測定できる。なお全体像をイメ

ージするには試料をピエゾ素子で掃引し1つのイメージを取るのに数分かかる。ゾーンプレートの直径は200ミクロンでパークレイのCentral X-ray Labから買っている。SiN上のゾーンプレートで単価は3,000 USドルである。ゾーンプレートの熱負荷の問題は無い。試料位置は粗調で2 mm, 微調で70ミクロン走引, その際のステップモーターの分解能は5 nmである。

3日目はSX700で180-1200 eVを単色化して使っているsuper ESCAへ。ビームタイムの配分はマイクロESCAが30-35%に対してsuperESCAが70-65%。SX700分光器の分解能は400 eVで10,000, 1000 eVで5,000である。前者の条件で毎秒 10^{11} 個のフォトンが実用になっている。試料上でのビームサイズは 10×100 ミクロン程度。これに取り付けるために、2つのVSW半球型電子エネルギー分析器をタンデムにつないだ新しい分析器の整備がすすんでいた。目標は20 meV。近い将来液体温度でスナップショット的に光電子を測る予定。Pd(111)の $3d_{5/2}$ について毎秒500,000カウントが計測されておりSES200よりも明るいとの印象。電源はSES200用のものを使っていた。いまは1スペクトル1秒かかるが将来は1 msで測りたいとのイタリア的optimismであった。今でも内殻レベルなら1 msで測定できるそうである。

4日目にはいくつかの他のBLを見学した(写真3筆者S. S.)。その後3年前に日本とスイスの共同セミナーで会ったRossi教授に会った。現在はイタリアに移り、国のINFより独自の予算をもらってアンジュレータービームラインを建設中である。1.5 mのアンジュレーターを2台直線部に入れるが、1つは10-100 eVにもう一つは150-2000 eVに焦点を当てている。ともに佐々木タイプのものである(ヨーロッパでは佐々木タイプのいわゆるアップル型アンジュレーターが注目されている。可変偏光であり且つ準周期型で高次光の問題を回避する工夫がされている)。99年12月と2000年9月に据え付けられるらしい。光学系は熱対策のためにすべてSiで作る。2つのアンジュレーターは2 mradずらして置かれ2つの鏡で異なる方向に光を取り出す。分光器は溝の深さを制御した等間隔溝の平面回折格子を採用している。試料にはトロイダル鏡で集光する。SES2002, OMICRON100電子エネルギー分析器それ



写真2

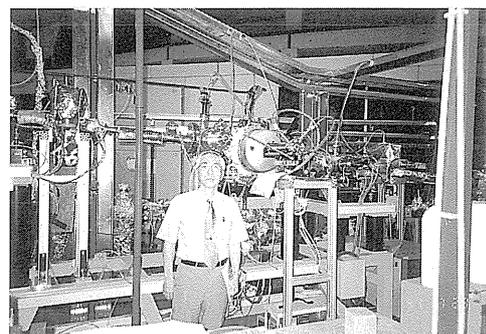


写真3

それに Mott 検出器をつける。研究目的はスピン分解したフェルミオロジーである。15-20 meV でのスピン分解測定が可能であろう。100 eV 以下で 10^4 /秒のカウントを期待している。さらにもう一つの野心的な BL を建設する。回折格子で 3° 偏向させた後、放物面鏡で10 μm にさらに平面鏡とゾーンプレートで100 nm に集光しマイクロ領域からのスピン偏極の測定を予定している。時間分解能も30 ps をねらっている。99年末に分光器の光学系が届くので2000年春には動き始めると期待される。このプロジェクトのために1人の職員と1人のポスドクを雇いさらに2人の院生を投入する。イタリアでは10年前までは科学予算は各大学にばらまきだったそうだが、今では優れた研究者に集中的に投下される。

Elettra の特徴は顕微分光である。その意味では ALS に似ている。これ以外の分野はあまり強力でない。BESSY II の早い立ち上がりを見て来たばかりのためか、Elettra は完成後時間が経過しているにもかかわらず装置の性能発揮に時間がかかりすぎていると言う印象を持った。研究所の食事については佐々木氏がすでに放射光学会誌で紹介されている通りである²⁾。

4. 台湾新竹 (Hsinchu) 放射光施設 SRRC

かねてより所長 C. T. Chen に率いられる台湾の放射光施設 SRRC の研究活動と将来展望に関心を持っていたので、3元多元国際会議の機会に調査することを計画した。直前になって台中の地震のために国際会議はキャンセルとなったが、停電以外は問題がないとのことで、出かけることにした。が、実は停電は深刻で地震後10日たってもまだ1日7時間の停電が続いていた。

SRRC については由利氏によって放射光学会誌に報告がある³⁾が、比較の意味もあり本報告でも取り上げる事にした。台湾の放射光リング SRRC は83年に建設が承認され、86年に建設がスタートし、93年に初めてビームが蓄積された。94年に3本の BL が就役した。1.3 GeV から現在では1.5 GeV にグレードアップされたリングである。周長は120 m、超周期6の TBA ラティスである。水平エミッタンスは19 nmrad であり挿入光源が4本しか入らない。これは21世紀を直前にして第3世代光源としては物足りない。入射は1.3 GeV で行い、蓄積後エネルギーを1.5 GeV に上げている。

職員は177名でこれに SPring-8 要員 (ビームライン2本を建設中) としてさらに10名を考えている。内訳は研究者93名 (加速器を含む)、技官38名、事務計30名、ポスドク11名、助手5名である。さらに経歴で分けると44名が博士号を持ち、47名が修士号、19名が大学卒である。また別の分類では研究部門が35名、BL 部門が21名、加速器部門が91名となっている。さてリングは24時間運転されているが、夜も動いているビームラインつまり定常運転の BL は4-5本である。マンパワーの欠如からそれらの

BL でも夜は1名しか働いていない効率の悪い状態である。ポスドク部門にはもっとポストがあるらしいが、日本と違って良い人材を確保できない。ビームタイムの申請は年間230件でうち75%が採択。年間利用者数は650名で内訳は材料関係と、物理科学と化学とで30%ずつをしめる。意外なことに産業科学や、環境科学を合わせても10%に満たない。

直線部には挿入光源が4本入っている。20 cm 13周期のウィグラー、5 cm 76周期の U5 アンジュレーター、9 cm 48周期の U9 アンジュレーター、5.6 cm 66周期の佐々木型 EPU 5.6がそれである。U9 では5-100eV、EPU 5.6では80-1400 eV をカバーできていることになっているが、まあ見たところ1 keV が上限。EPU 5.6のギャップはまだ閉じられていない。また付属の BL も未完成である。U9 は米国から買ったものである。これに円筒回折格子をつけた CGM で4-100 eV をねらっている。U5 はマイクロ領域の光電子分光が整備中である。オックスフォードより購入した SGM の後ろの実験チェンバーにパーキンエルマーの半球型光電子分析器がついている。ゾーンプレートで光を集光することですでに100 nm の空間分解能を実現している。

表向きは99年9月時点で12本の BL が稼働し、それに伴う20のステーションが運転中となっている。但しよく見るとデーターを出しているのはまだ4-5ステーション程度のように、あとは整備途中。2000年までには分岐 BL も数えて20の BL を動かす予定。現在の最大の問題点とはとにかくビームの不安定性である。

完成後6年になる SRRC の成果を問う声が大きく、日々所長の C. T. Chen が大声でハッパをかけている状況。しかし笛ふけど踊らぬ感があり、ぬくぬくと育ってきたアメリカ帰りの職員にはこの熱意はなかなかにつたわらない。建設期にはもっと活気が欲しいと思ったのは筆者だけでは無からう。

ビームラインでは C. T. Chen 得意の Dragon 分光器 (ここでは SGM と呼んでいるが) が最終的には8台計画されている。SRRC でも顕微分光 (マイクロコピー) に力を入れている。試料走査型の光電子顕微鏡 SPEM である。Elettra と同様、掃引はゾーンプレートではなく、試料である。掃引範囲は80ミクロン四方で掃引の分解能は1 nm である。試料は同時に2個つけられる。ゾーンプレートも真空を破らずに代えられる機構を持っている。これはベークを嫌うためである。PHI の半球分析器で16チャンネルの検出器が付いている。エネルギー分解能は0.5 eV 程度で測定を行っている。U5 のアンジュレーターに据え付けられており、分岐 BL の他の実験とはタイムシェアリングで使っている。Krauser 女史が担当であるが、熟練者が SRRC から転出していくと言って嘆いていた。

C. T. Chen が最も得意としていた内殻吸収 MCD の装置はあるが、どうもうまく動いていないようである。循環式の液体 He クライオスタットを ON にして光電子の全収

量で測ると大きなノイズがのるというのである。500 eV 以上では SSD を用いた蛍光収量での MCD と両用されているようであった。マンガナイトの Mn2pMCD は7,000 程度の分解能でまずまず測れているが O1s は絶望的であった。Nd の 3dMCD もまともには測れていない。たぶん光強度自身が弱い。

VSW の半球型電子エネルギー分析器に付けた小型 Mott 検出器による多成分計測のスピンの偏極光電子分光装置も当初の設計通りには動かなかったようで、単一成分のスピンの検出器としてようやくデータを出せるようになってきた。134 eV での円偏光励起による W の 4f のスピンの偏極もきれいに取れていた。また W 上に蒸着した Fe3s 内殻のスピンの偏極光電子分光が1.5時間で測定できている。270 eV 励起で Fe3p 内殻では $10^4/s$ のカウントがある。

SRRC の自慢は 8 つの超伝導ソレノイドを組み合わせて 5 T の磁場を自由自在な方向にかけられる超伝導磁石である。現在米国で製作中で将来は 6 軸の X 線回折計と組み合わせる。磁気散乱に威力を発揮すると思われる。また Chen 氏自身の考案による active 回折格子を検討中である。PZT 上の Si を PZT で思うがままに変形させ収差の無い回折格子とするものである。とにかく Chen 氏の能力は高く発想はユニークである。

パンフレットには ARPES の課題が幾つも載っていたが、実際には activity は高くない。また強相関係の光電子分光も紹介されていたがほとんどそれらしき研究は見えない。有能な研究者はどすぐ論文になる研究に傾くようで、地道な研究は数少ないと言うのが印象である。SRRC で一番気になったのは、2, 3 人を除いて各 BL の担当者が光学系や分光器をほとんど理解していない事であった。これでは分光器の整備に予想外の時間がかかるのは当然であろう。米国の大学で Ph.D を取ってきた若手研究者はおそらく放射光 BL の立ち上げ経験が無いのであろう。しかし放射光施設に職を得た以上、分光器や光学系を勉強するのは当然と思うがいかがなものか？ 私は SRRC の将来に危惧を持たずにはいられない。

5. まとめ

これまで米欧亜諸国の第 3 世代の VUV・軟 X 線施設を調査した。加速器については第 3 世代光源のビームの不安定性が最大の問題である。これは加速器部門の人数の問題ではなく、質と意欲の問題である。もちろん加速器屋としての経験が重要なファクターであろう。いくらエミッタンスの小さなリングを設計してもビームが不安定であれば利用者にとっては使いようが無い。また寿命が短ければ使い勝手はきわめて悪い。

主として挿入光源より後ろを見てきた立場から印象深いのは各施設で特徴のある挿入光源や分光系や実験装置あるいは実験課題を持っている事である。BL 計画は当然とはいえ十分に時間をかけて専門家を含んで議論をした上で方

向性が打ち出されている。第 3 世代の放射光施設が世界各地にできている時、BL の総花的な利用計画ではもはや競争の先頭に立つ事は難しい。一方で先端的な BL 計画を打ち出しているところでも実力が伴わないところでは計画倒れに終わっている。要は先進的課題をオープンに議論し英知を集めて BL および実験装置を設計し、力量のあるグループ（施設側の事もあればユーザー側の事もある）が建設の音頭を取る事が必要である。BESSY II の場合には挿入光源、分光系までを志気と能力の高い施設スタッフグループが推進した事が成功につながったと見ている。BL 建設が遅れている施設では、スタッフの平均的意欲と、時には人間関係が十分でないと判断される。分光系（ビームライン系）あるいは実験系のグループ内で互いに切磋琢磨する雰囲気が無いようでは成功につなげる事は難しい。

先端装置の建設には困難が伴うのが常である。その困難に見合う研究の発展が期待できるのかどうかを事前に納得行くまでオープンに議論しておく事が必要である。合意ができておれば総力でその困難に立ち向かう事ができよう。グループのリーダーたる者は、個々のメンバーの力量をいかに引き出せるか、グループの志気をいかに高く維持できるかが問われる。グループメンバーが多いか少ないかもグループの力量を左右しないとは言わないが、決定的に重要なのはそれ以外の上記の点であろう。

さて我が国での VUV・軟 X 線高輝度放射光源計画はすでに立案から十年近い歳月が経過している。この間、BESSY II, MAX II, ALS などにも先を越されてしまった。ある意味では韓国 PAL や SRRC にも後れを取った。しかも時の経過とともに国内で幾つもの計画が乱立することになった。政治的に計画された放射光施設さえある。これらは誠に不幸な事態である。幸いにもこの間、SPring-8 が稼動状態に入り、その軟 X 線領域での性能は十分に BESSY II や MAX II と競争できる性能である事が明らかになって来た。したがって、限られた国費でおこなうべき次の建設計画は PF や SPring-8 との重複の少ないサイエンスやテクノロジーを狙うべきであろう。大学付置で作る場合には教育的効果も加味されて X 線から VUV をカバーするのもよいが、コストパフォーマンスの点からは、得意とするエネルギー領域以外は学外の放射光施設に連れて行って教育の方がより効率的であり、また他大学の研究者と混成することでより教育的効果が生まれる事も多いことを忘れてはなるまい。新しい VUV・軟 X 線高輝度放射光計画には上で述べた諸点に対する十分な配慮を求めたい。21 世紀において、放射光科学の分野で X 線から VUV さらに赤外にわたって我が国のサイエンスが国際的に先端的役割を果たし続けられるよう期待して筆を置く。

参考文献

- 1) 菅 滋正, 今田 真: 放射光 **11**, 378 (1998).
- 2) 佐々木茂美: 放射光 **12**, 141 (1999).
- 3) 由利正忠: 放射光 **12**, 306 (1999).