

## 中型放射光施設計画に関する 調査報告書

日本放射光学会

将来計画特別委員会では1990年4月に科学技術庁放射光施設 SPring-8 計画と高エネルギー物理学研究所トリスタン主リングMRの放射光利用計画の2つの次世代大型高輝度放射光施設計画に関して調査報告書をまとめた。それに引き続き中型放射光施設計画に関して作業を進め、このたび調査およびアセスメントを含む報告書を作成した。検討したのは7つの計画で、それらはつぎの3つのカテゴリーに分類される。

a) 全国共同利用の高輝度中型光源 :

東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設

高エネルギー物理学研究所 VUV・軟X線高輝度高安定放射光施設

b) 地域共同利用の汎用中型光源 :

九州大学放射光研究センター

広島大学放射光科学研究センター

東北大学電子ライナック研究センター

北海道大学パルス状マルチ放射線源装置

c) 地方自治体が中心となり推進する汎用中型光源 :

関西中型SR施設

これらの中型放射光施設計画はつぎのように推進されることが望ましい。

- 1) 全国共同利用の高輝度中型光源と地域共同利用の汎用中型光源は果たす役割が異なるが、ともに放射光科学の発展にとって重要であるので、両者ともに推進を図るのが望ましい。
- 2) 高輝度光源に関しては、物性研と高エ研の計画を全国の研究者の意向を反映させた1つの計画にまとめて推進すべきである。その際、物性研の計画を中心に据え、高エ研の協力のもとで現実的に対処することが望ましい。
- 3) 汎用光源に関しては、計画の成熟度、利用の需要度などを考慮して、広大と東北大の計画の早期実現を期待する。九大と北大の計画も地域の強い要望、全国的な需要のバランス、計画の独自性などを考えれば、できるだけ早く実現されるのが望ましい。
- 4) 関西中型計画については、利用者の要望を十分に反映した設計と利用形態づくりを期待する。

## 「中型放射光施設計画に関する調査報告書」 の作成の経緯について

将来計画特別委員会委員長 菊田 惺志

日本放射光学会は1989年7月に将来計画特別委員会を設置して、わが国で提案されている放射光施設建設計画に関して検討し、大型施設計画については1990年4月に調査報告書を作成した。一方、中型施設計画についてこのたび調査報告書をまとめた。委員はつぎのように放射光施設関係者、将来計画立案関係者、学識経験者などから構成されている。

安藤 正海 (高エ研・放射光)  
 石井武比古\* (東京大・物性研) 1991年度会長  
 遠藤 裕久 (京都大・理)  
 大嶋 建一 (筑波大・物理工) 1991年度編集幹事  
 太田 俊明\* (広島大・理)  
 大隅 一政 (高エ研・放射光) 1990年度庶務幹事  
 大橋 弘士\* (北海道大・工)  
 柿崎 明人 (東京大・物性研) 1991年度渉外幹事  
 勝部 幸輝 (大阪大・蛋白研)  
 上坪 宏道 (理研・大型放射光推進室)  
 菊田 惺志\*\* (東京大・工) 委員長  
 木村 克美\*\* (分子研・UVSOR)  
 木村 嘉孝 (高エ研・加速器)  
 小早川 久\*\* (高エ研・放射光)  
 佐々木泰三\*\* (高エ研名誉教授) 1989年度会長  
 佐藤 繁\* (東北大・理)  
 下村 理 (無機材研・超高圧)  
 菅 滋正\*\* (大阪大・基礎工)  
 高橋 敏男 (東京大・物性研) 1991年度庶務幹事  
 谷口 雅樹 (広島大・理) 1989年度庶務幹事  
 千川 純一 (姫路工大・理) 1990年度会長  
 富增多喜夫\*\* (電総研・量子放射)

籾野 嘉彦\*\* (東工大・理)  
 林田 敏明 (高輝度光科学研究センター)  
 原田 仁平 (名古屋大・工)  
 藤井 保彦 (筑波大・物質工) 1989年度渉外幹事  
 松井 純爾 (日本電気・研究開発)  
 松下 正 (高エ研・放射光)  
 松原 健夫\* (大阪科技センター)  
 宮原 恒昱\* (高エ研・放射光)  
 森 肇 (九州大・理)  
 和久田義久\* (九州大・工)  
 渡辺 誠\*\* (分子研・UVSOR)

\*\* 起草委員会委員

\* 起草委員会オブザーバー

委員会に提出された中型放射光施設計画はつぎの7計画である。

九州大学放射光研究センター

広島大学放射光科学研究センター

関西中型SR施設

東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設

高エネルギー物理学研究所VUV・軟X線高輝度高安定放射光施設

東北大学電子ライナック研究センター

北海道大学パルス状マルチ放射線源装置

これらの計画についてつぎのような手順で作業を進めた。1990年2月3日の第2回特別委員会と4月7日の第3回特別委員会において各施設計画の概要の説明を計画立案担当者から受け、意見交換を行った。4月27日の学会の折りに開かれた放射光将来計画シンポジウムで議論した。さらに6月16日の第4回特別委員会で各計画の独自性、際立った特徴などを挙げ、計画実現の必要性、緊急性などを検討した。ここまでで委員会は計画全体に対する一定の理解を得たので、報告書を作成するにあたり作成指針を議論するための検討会を7月21日に開き、報告書の骨子を決めるとともに起草委員会を発足させることとした(委員およびオブザーバーは上記名簿参照)。9月10日の第1回起草委員会と11月9日の第2回起草委員会において第2章「各施設計画の概要」と第4章「放射光科学・技術に関する需要調査」について統一的なフォーマットをつくり、各施設計画立案担当者に執筆および調査を依頼した。第3章「既存の放射光施設の現状と将来計画」についてもフォーマット

をつくり、各既存施設に執筆を依頼した。第2章と第3章は主として渡辺委員と小早川委員が担当し、第4章は主として菅委員と籾野委員が担当した。また第1章「放射光利用研究の発展」については佐々木委員に原案の執筆を依頼した。1991年1月25日の第3回起草委員会において依頼・入手した資料をまとめる作業を行った。3月15日の第4回起草委員会において第1章から第4章までの資料をもとにして第5章の「中型放射光施設計画の意義（学会の見解）」をまとめるためにアセスメントの議論を行った。3月16日の第5回特別委員会において起草委員会でまとめた事案を提示した。そこでの議論を反映させて報告書の形にまとめ、4月23日の第6回特別委員会に提案し認められた。評議員会には作業の状況をその都度報告し、コメントを受けてきたが、報告書が4月24日の第13回評議員会において基本的に承認された。

## 目 次

|     |                                      |     |
|-----|--------------------------------------|-----|
| § 1 | 放射光利用研究の発展                           | 7   |
| 1・1 | まえがき                                 | 7   |
| 1・2 | 放射光研究の発展                             | 7   |
| 1・3 | わが国の放射光利用研究の現状とその問題点                 | 8   |
| 1・4 | 極紫外線・軟X線高輝度光源について                    | 9   |
| 1・5 | わが国の中型放射光施設計画の役割                     | 10  |
| § 2 | 各施設計画の概要                             | 13  |
| 2・1 | 九州大学放射光研究センター                        | 13  |
| 2・2 | 広島大学放射光科学研究センター (HiSOR)              | 23  |
| 2・3 | 関西中型SR施設 (仮称)                        | 33  |
| 2・4 | 東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設                  | 39  |
| 2・5 | 高エネルギー物理学研究所 VUV・軟X線高輝度高安定放射光施設      | 49  |
| 2・6 | 東北大学電子ライナック研究センター                    | 59  |
| 2・7 | 北海道大学パルス状マルチ放射線源装置                   | 71  |
| § 3 | 既存の放射光施設の現状と将来計画                     | 81  |
| 3・1 | 高エネルギー物理学研究所放射光実験施設 (Photon Factory) | 81  |
| 3・2 | 電子技術総合研究所放射光施設                       | 83  |
| 3・3 | 東京大学物性研究所附属軌道放射物性研究施設                | 85  |
| 3・4 | 分子科学研究所極端紫外光実験施設 (UVSOR)             | 86  |
| § 4 | 放射光科学・技術に関する需要調査                     | 88  |
| 4・1 | 調査の趣旨, 方法                            | 88  |
| 4・2 | 調査結果の分析                              | 89  |
| 4・3 | 項目別円グラフ                              | 92  |
| 4・4 | 地域分布棒グラフ                             | 108 |
| § 5 | 中型放射光施設計画の意義 (学会の見解)                 | 112 |
| 5・1 | 各計画の比較                               | 112 |
| 5・2 | 計画推進の方策                              | 114 |
| 5・3 | むすび                                  | 118 |



## § 1 放射光利用研究の発展

### 1・1 まえがき

日本放射光学会は、我が国における放射光研究の将来計画が各方面で活発に提案され検討されている現状にかんがみ、これらの計画が我が国の放射光研究、ひいては基礎科学や先端技術に与える影響について客観的に評価し、これら諸計画の推進、調整や行政当局への要望、勧告等の措置をとるべきであると判断し、平成元年11月、「将来計画特別委員会」を発足させ、その最初の作業として「次世代大型高輝度放射光施設計画に関する調査報告書」（以下「大型調査報告書」と略記）を作成し、平成2年4月に公表した<sup>1)</sup>。

放射光利用研究が現代の科学・技術の中で果たしつつある役割、その発展の経緯、研究活動の現状や展望については上記「大型調査報告書」の中でやや詳細に述べてある。本報告書でそれをくりかえす必要はないが、放射光の将来計画の中で、「中型」を一つのカテゴリーとして取り上げる理由を明らかにするため、先ず歴史をさかのぼってそれが要望されるに至った事情を概観しておくことにする。

ここで「中型」というのは、前記「大型調査報告書」で定義したように、電子エネルギーがほぼ1~2GeVの範囲にある光源加速器であって、

- (1) 偏向部を用いて1~20keVのX線・軟X線を発生するもの
- (2) ウィグラー型の挿入装置を用いて、これを更に硬X線側に拡大するもの
- (3) アンジュレーター型の挿入装置を用いて、極紫外線・軟X線(0.02~2keV)領域を格段に高輝度化しようとするもの

が含まれている。(1)を主要な光源とするもの、あるいはその上に更に(2)あるいは(3)を併設するのは基本的に第2世代型の光源であるが、(3)を主力光源として設計される場合は第3世代型光源と

いうことになる（「大型調査報告書」参照）。

中型放射光施設は以上のように、第2世代型、第3世代型、あるいはその中間型が含まれており、性格はさまざまであるが、施設の規模としては同程度のものになるであろう。

### 1・2 放射光研究の発展

放射光の研究は元来、物理学、とくに分光光学での「未踏」の領域への挑戦として始まった。電波からγ線に至る電磁波（光）の全スペクトルの中で、人工光源、つまり地上で企て得る電磁波の発生法が唯一欠落していた「暗黒」の領域があり、それが極紫外線・軟X線の領域(0.02~2keV)であった。第二次大戦後、高エネルギー物理学が創り出した1GeV級の電子シンクロトロンが偶々その領域に強力な連続スペクトルを発生するということが分光光学の研究者が注目し、50年代にはこれが実証された。

この未踏の領域の探索に加速器を利用しようという機運は60年代に世界各国で生じたが、この時期の放射光研究はすべて既存の高エネルギー電子加速器に「寄生」する形で行われ、実験の遂行にはきわめて多くの障害があった。それにもかかわらず、60年代前半には米国(NBS)と日本(東大核研)で、この暗黒の領域、つまり原子の内殻に光をあてる分光学研究が放射光によってはじめて行われ、原子・分子、固体の電子状態や励起に伴う電子過程、電子相関の効果などを包括的に調べる道が拓かれた。これらの初期の研究の成功は物理学のみならず、自然科学の広汎な分野の研究者に放射光の持つ大きな可能性の予感を与え、その後多くの研究者がこの分野に参入するようになった。

既存の加速器に寄生して行う研究から一歩進んで、加速器を光源として専用するという考えはその結果たちまち世界中に広まり、既存の電子蓄積リングをいち早く光源に転用したウィスコンシン大学(Tantalus-I, 0.24GeV)、既存のシンクロト

ロンから電子の供給を受けて専用の光源リング SOR-RING (0.4GeV. 現在, 東大物性研軌道放射物性研究施設所管) をつくった東大核研のユーザー団体 INS-SOR 同好会の先駆的な試みに続いて, 英国ダレスベリー研究所 (SRS, 2GeV), わが国の電子技術総合研究所 (TERAS, 0.75GeV), 高エネルギー物理学研究所 (Photon Factory, 2.5GeV), 分子科学研究所 (UVSOR, 0.75GeV), 米国ブルックヘブン国立研究所 (NSLS, UV: 0.75GeV, X: 2.5GeV) などが1980年代前半に相次いで活動をはじめた(詳細は「大型調査報告書」参照)。

一方, 1970年代後半には電子・陽電子の衝突実験用リングに併設・共用の方式をとる大型放射光施設がハンブルグの DESY とスタンフォード大学で相次いで活動を始め, 当初分光学からスタートした放射光研究はフォトン・エネルギーを一挙に軟X線から硬X線領域にまで拡大し, X線の散乱, 回折, 干渉を利用する物質構造研究が飛躍的な進歩の機会を与えられることになった。X線の発生と利用は従来も電子線の陽極衝撃の方法で盛んに行われていたが, 強度と指向性, 白色性あるいは波長選択性, さらに最近の技術的進歩によって偏光特性やコヒーレンスの点で, 放射光は従来の発生法によるX線に比べて圧倒的にすぐれている。

また分光学分野でも更に深い内殻電子が研究対象に加わり, XAFSのような分光学的手法を用いる構造研究, 特に長距離秩序を持たない物質の系や局所構造を調べる全く新しい手法が導入され, 放射光の利用者は従来の主流であった物理学分野から, 一気に化学, 生物学を含む自然科学の全分野, さらに産業技術への応用にまで展開することになった。

この動向は80年代に入って, 上記のような専用X線放射光施設の誕生と共に一層確実なものとなったが, それと共に専用光源の利用の時代に入って研究の量と質は急速に拡大し, この分野に参入

する研究者の数も飛躍的に増大した。

このように放射光研究はひきつづき目ざましい発展の途上にあるが, 同時に以下に述べるような困難な状況が生じて来ている。

### 1・3 わが国の放射光利用研究の現状とその問題点

わが国の放射光利用研究者数は現在3000名を越えると推定される。これは前記国立4機関の施設の放射線業務従事者登録数に, 民間数社ですでに稼働している小型光源を用いる研究者数を加えた推計である。この他に現在建設中の民間施設が若干あり, また本報告書で扱う中型施設の何れかが実現すれば更にこの数は増加する。

また本学会の会員数は現在700名を越えており, この数字も一つの活動規模の目安になるであろう。

ところが隆盛を喜んでばかりいられないのがまさにこの量の問題である。現在稼働中の光源が多数あると云っても, 一般の利用者に公開されているのは文部省所管の3施設(高エ研, 物性研, 分子研)のみである。特にこのうち5keV以上のX線領域で利用できるのはフォトン・ファクトリー(PF)のみである。物性研と分子研の施設は主に1keV以下の極紫外線領域(VUV)で利用されており, 1~5keVの軟X線領域でも殆どの利用者はPFに集中している。個々の研究者の利用波長領域をX線とVUVに分類するのはかなり乱暴であるが, PFの利用者について敢えて区分してみると大体2:1の比になっており, これに物性研, 分子研, 電総研の利用者を加えるとその比は約3:2となる。

ところでPFの実験ステーションは現在約60であるが, そのうち原則的に一般公開されているものは6割であって, 他は特定機関中心の利用方式をとっている。これに対して一般公募による研究課題数で現在実施中のものは500を越えている。有効利用時間は年間約3000時間であって, 1課題



当り年間平均利用時間は約200時間弱、すなわち正味1週間余りしかない。

このように超過密状態の利用実績があり、また放射光に対する一般研究者の関心が高く、要望も強いので、近未来にはユーザーから大きな潜在的圧力が生ずるであろうと予想される。行政当局から見ればコスト・パフォーマンスが高いと評価されるかもしれないが、研究の活性を維持するという観点からは危機的状況といえる。

前にも述べたように、放射光研究は元来未踏の領域への挑戦として始まった。その初心は今なお続いており、ここでしか出来ない新たな対象、新たな手法の探索、そしてそれによって開拓された新たな問題への理論的挑戦、こういうものがその活力の源泉である。その結果切り拓かれた地平をめざして、多くの新しい研究者の参入が続く、というのがこれまでのパターンであった。

ところが、「未踏への挑戦」というのは、すなわち未だ手法が確立していないということであって、すぐに結果が出るとは普通は期待できないものである。長い試行錯誤を重ね、多くの創意工夫で困難を克服して道が拓ける、といったプロセスを1週間や1ヶ月の限られたビームタイムの間に達成せよというのはかなり無理であろう。それはまた早急な成果への期待とは両立しないものである。従って、多数の課題に一律に平均的にビームタイムを配分するとか、短期間に成果の出そうな課題を優先するといった考え方では先端的な試行の芽は出る余地がない。さりとして先端的課題のいくつかに重点配分をすれば、一般の利用者の待ち時間は際限なく長くなっていく。PFに限らずわが国の放射光施設ではいずれも現在このようなジレンマにビームラインの担当者もユーザーも共に苦しんでいるのである。

この待ち時間の問題、または短いビームタイムの配分は更に遠方からの利用者を苦しめる。共同利用実験の準備も実施も遠方の利用者にとっては参加者のスケジュールのやりくり、本務との調

整、出張手続きや旅行、物品輸送の苦勞も含めて多くの負担を強いる。短いビームタイムに所期の成果が十分得られなかった場合、次のビームタイムが遠い先というのは致命的である。参加者の学位取得がその実験の成否にかかるといような場合は更に深刻である。

このような状況は、PFの共同利用に関してすでにある種の地域格差を生じており、建前は全国共同利用であっても、実利用者数の分布は圧倒的に関東、とくに東京と筑波地区に偏っている。これに対して、現在科学技術庁が推進している兵庫県西播磨地区の大型放射光研究施設 SPring-8 の建設は、このような地域的な偏りを補正すると同時に、先端と普及の両面でわが国の放射光研究体制に大きな恩恵をもたらすものと期待されている。しかしこの計画の予定完成時期は7年後の平成10年春である。加速器の運転やビームライン・測定器の調整が軌道にのるのは更に若干の時間が必要であることや、それが主としてX線用施設であることを考慮すると、X線にせよ、極紫外線にせよそれまでの期間を我が国の放射光研究は現有施設だけで持ちこたえられないのは明白であろう。本報告書が検討する中型放射光施設がこの状況を打開する役割を担うことが切実に期待される。

#### 1・4 極紫外線・軟X線高輝度光源について

現有放射光施設のもう一つの問題は質の問題である。量の問題が質の問題を含んでいることは前節で指摘したが、ここでとりあげるのは別の観点である。

フォトン・ファクトリーが共同利用に公開されて約9年を経過し、さらに物性研・分子研・電総研の諸施設の成果とも相まって我が国の放射光研究の水準はこの間に飛躍的に向上した。その結果、最も先端的な分野では現存の放射光施設の能力の限界を越えるような課題への挑戦が始まっている。たとえば極端に高いエネルギーの分解能を追求する分光実験、速い事象を動的に観測・計測

する実験, マイクロビームを用いる構造解析・物性評価・映像技術, 極端に指向性の高いビームでの材料評価, 2事象・3事象の同時計測による電離や解離過程の解析, スピン計測による磁性体電子状態の解明等, 現存の施設でもすでに試行は始まっているが, 光束は不足で, 光源の質的向上によって飛躍的に研究が進むと考えられる実験が少なからずある。

幸い, この間放射光の発生技術・光学技術・計測技術にも著しい進歩があり, 現段階でのこのような未踏の領域への挑戦は夢ではなく, 現実的な基盤に支えられる見通しがある。その中で特筆すべきものは, すでに「大型調査報告書」で述べたとおり,

1. 挿入型の放射光発生装置の開発
2. 低エミッタンス・ビームの軌道設計・運転・制御技術
3. 新しい高度な光学系の製作技術

によって達成される, 現在よりも更に数桁も高輝度の放射光利用の可能性である。

挿入型光源はすでに既存の放射光源に挿入, 使用されており, その威力は広く認識されているが, その本来の性能は現存のどの加速器よりも1桁以上低いエミッタンスが得られなければ実現しないこともすでに実証されている。挿入装置としては, 多重周期的に発生する放射光の干渉を用いるアンジュレーターの場合, 偏向部の放射光スペクトルにくらべて特性波長(1次光)が長い方にシフトするため, 極紫外線・軟X線用の高輝度光源としては1~2GeVが最適エネルギー範囲である。このような「次世代型」の軟X線光源は規模としては中型の分類に入る。従ってこれは先に1・1で示した分類では(3)に入る。本報告書の中では物性研からの提案, および高エ研からの提案はこの型の施設計画であり, 諸外国では現在建設中のローレンス・バークレイ研究所(米)のALS(Advanced Light Source, 1.5GeV, 利用開始予定1993年), トリエステ(伊)のELETTRA

(1.5~2GeV), ルント(瑞)のMAX-II(1.5GeV, 1995年), ベルリン(独)のBESSY II(1.7GeV), ダレスベリー(英)の可変エネルギー光源(0.5~1.2GeV), 新竹(台)のSRRC(1.3GeV, 1993年), 浦項(韓)のPLS(2GeV, 1995年)<sup>2)</sup>のほか, 規模はやや小さいがすでに稼働中のオルセイ(仏)のSuperACO(0.8GeV, 1988年)がある。

### 1・5 わが国の中型放射光施設計画の役割

わが国における中型放射光施設計画は, 前記の分類(1), すなわち1~2GeVの加速器の偏向部からの紫外線からX線に及ぶ連続スペクトルを用いる汎用光源を志向するものと, (3), すなわち極紫外線・軟X線領域の高輝度光源を志向するものとに大別されるが, (1)の場合, (2)・(3)の性格を部分的に併せ持つことを検討しているものもある。

(3)の場合, これは大型放射光施設と同じく, 第三世代型の極紫外線・軟X線先端研究施設を旨とするもので, 性格は明瞭である。このような施設を大型施設にVUVビームラインを併設するという方式によらず, 中型として独立に計画することは, 経済的にも技術的にも多くの合理的理由がある。建設コストは大型に比べて1桁以下に小さくなり, ビームラインについても安全管理や放射線・熱の対策に余分な投資をせずすみ, またビームラインの長さも大型に比べて大幅に小さくなるのではあるかに明るく, 光学系の設計も容易である。欧米の計画もそのような認識に基づいて進められており, この種の独立した第3世代型極紫外線・軟X線光源の必要性は国際的には認知されている。

(1), (2)を主として志向する計画について, 現在のわが国の放射光利用研究において期待される役割について, 全般的な状況については先に述べたが, さらに一, 二留意すべき観点をつけ加えておく。

すでにフォトン・ファクトリーが過密状態にあることは述べたが, 本報告書作成のために行った

需要調査 (§ 4 参照), および日本原子力研究所が大阪科学技術センターに委託して行った調査<sup>3)</sup>によっても, 学界および産業界での放射光利用の潜在的需要はきわめて大きく, しかも日本全国に, また多くの専門分野, 多くの業種に及んでおり, その分布は先に述べたような関東にピークをもつ利用状況のピラミッド型構造とは全く一致しない。現在の利用分布はまさに施設からの距離や交通の便が阻止要因として働いた結果の地域格差に他ならない。放射光研究は元来集中型の巨大施設であり, 先端研究というものは必要とあらば千里の道を遠しとせず, という研究者の心意気に支えられて成り立っていたのは確かである。しかし, このような先駆者達の開拓の成果によって, 今や放射光利用研究は一部の先端的研究者だけの関心事ではなく, 学界や産業界や一般の幅広い関心事として誰もがその恩恵を享受でき, 機会を共有する時代に入りつつある。このような状況下ではこの有力・有効な研究手段の普及と大衆化も当面の緊急課題である。アクセスが容易であり, 誰にでも使えるということが, 多数の潜在的利用者にとっては決定的に重要なのである。この報告書に取りあげられた日本全国にわたる中規模・地域共同利用型施設の提案こそがそのニーズの証明でもある。

また, 学界として特に強い関心事は, このように急速に発展する分野で, その進展を支え, 活性を維持するためには後継者の養成が急務であるという点である。従来の共同利用研究機関の弱点の一つは, その研究活動が大学の学部・大学院の教育との十分な連繫を欠いており, 人材の養成にイニシアチブをとれなかった事である。ここに取りあげた中型計画の多くが大学のイニシアチブで提案され, 教育との連繫に配慮がなされている点で, 将来に向けての人材の養成にその役割を期待できるだけでなく, 逆にこのような施設の併設が大学の教育活動の活性化の要因になり得ることも強調しておきたい。

本報告書では, 以下 § 2 で各施設計画の概要をまとめ, § 3 では既存の施設の現状, § 4 では本報告書の作成のために試みた需要調査の結果について述べる。§ 5 では § 2 ~ § 4 を踏まえて中規模施設計画全体に対する総合的判断, および個別計画についての問題点と評価, 更にこれらの実現の方策, 推進にあたって留意すべき点など, 学会としての判断を述べることとする。

### 参考資料

- 1) 次世代大型高輝度放射光施設計画に関する調査報告書, 放射光, 3, No.3, 205~256(1990), (日本放射光学会)
- 2) K. Kohra and T. Kasuga (eds.): *Medium - Scale Synchrotron Radiation Facilities in Asia* (World Scientific, 1991)
- 3) 産業界における大型放射光施設利用調査報告書, 1990年3月; 同上(II), 1991年3月(大阪科学技術センター)



## § 2 各施設計画の概要

### 2・1 九州大学放射光研究センター

#### 1. 要約

九州及び山口地区、さらに東南アジア諸国に開かれた共同利用研究を目的として1.5GeVの低エミッタンス放射光発生装置を核とした放射光研究センターの建設を計画している。同装置は物理学、化学および工学的研究から生物・医学等の基礎および応用研究にいたる広い範囲で利用できるように設計されており、ウィグラーやアンジュレーター等の挿入光源が設置できるように6個所の長直線部が設けられている。本センターは西日本地区のセンター・オブ・エクセレンスを目指すのみならず、高度の知識が要求される人材の教育センターとしての役割も期待されている。

図1-1及び図1-2に九州大学放射光研究センターの平面図の概略を示す。また図2は入射器及び光源リングの平面図を示す。

#### 2. 目的・概要

放射光はその優れた特性より広い範囲にわたる利用が期待される。しかしながら九州及び山口地区には放射光発生装置が存在しないので、物性研のSOR-RING(東京)、分子研のUVSOR(愛知県岡崎市)、または高エネルギー研究所PF(茨城県つくば市)の装置を利用せざるを得ないのが現状である。このため地理的に非常に大きな不便を生じ利用者の数も極めて少ない。しかしながら九州地区はよく知られているようにシリコンアイランドとして半導体素子生産のメッカとして注目を集めている。将来、高集積度の超LSIの生産ならびに物理、化学、工学及び生物、医学などの基礎研究や応用研究のために1.5GeV程度の電子蓄積リングを中心とした放射光研究センター設置が強

く要望されている。本センターの建設については九州、山口地区の大学の研究者のみならず、産業界の多数の研究者がその重要性を認めており、早急な実現が強く望まれている。更に九州の地理的特徴を生かして韓国、中国、インドその他の東南アジア地区の研究者にも開放し、独自の研究または共同研究を行うことも計画されている。

建設予定地については学内または学外に適地を求めており現在未定である。本研究センターが建設されれば、光科学または光利用科学の急速な進展が期待され、最先端科学研究センターとして果たす役割は大きく、九州、山口地区の研究レベルの向上に多大の期待が持たれる。

#### 3. 光源の仕様

##### (1) 入射系

入射は40MeVの電子ライナックと1.5GeVのブースターシンクロトロンより構成されている。ライナックのエミッタンスは $0.7 \times 10^3 \pi \text{ nm} \cdot \text{rad}$ である。ブースターシンクロトロンは周長69.9m、偏向磁石の数は12個でエミッタンスは $2.527 \times 10^2 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ 、周期は1Hzである。

##### (2) 電子蓄積リング

1.5GeVの電子蓄積リングは周長129.6mで、磁場1.20T、軌道長1.45mの18個の偏向磁石により構成されている。6mの長直線部が6箇所設置しており、そのうち4箇所は挿入光源用として使用される。エミッタンスは $19.02 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ である。本電子蓄積リングの大きな特徴として、偏向磁石にエッジフォーカシングを導入することによりダイナミックアパーチャーを大きくとるようにしている。光源リングのベータトロン関数及びエネルギー分散関数を図3に示す。

##### (3) 挿入光源

挿入光源としては5Tの超伝導ウィグラー及びアンジュレーターを設置する予定である。

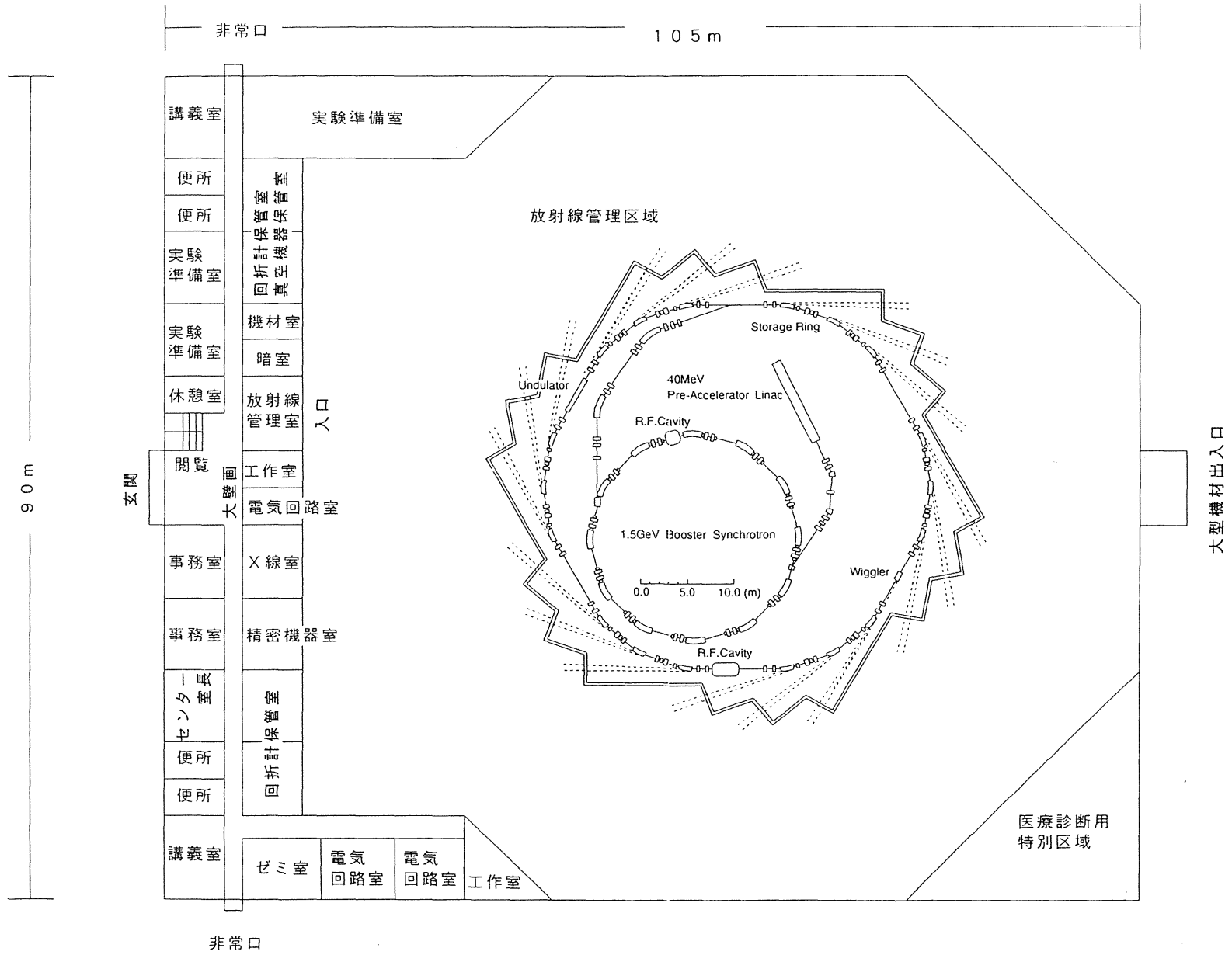


図1-1 九州大学放射光研究センター概略平面図(1F)

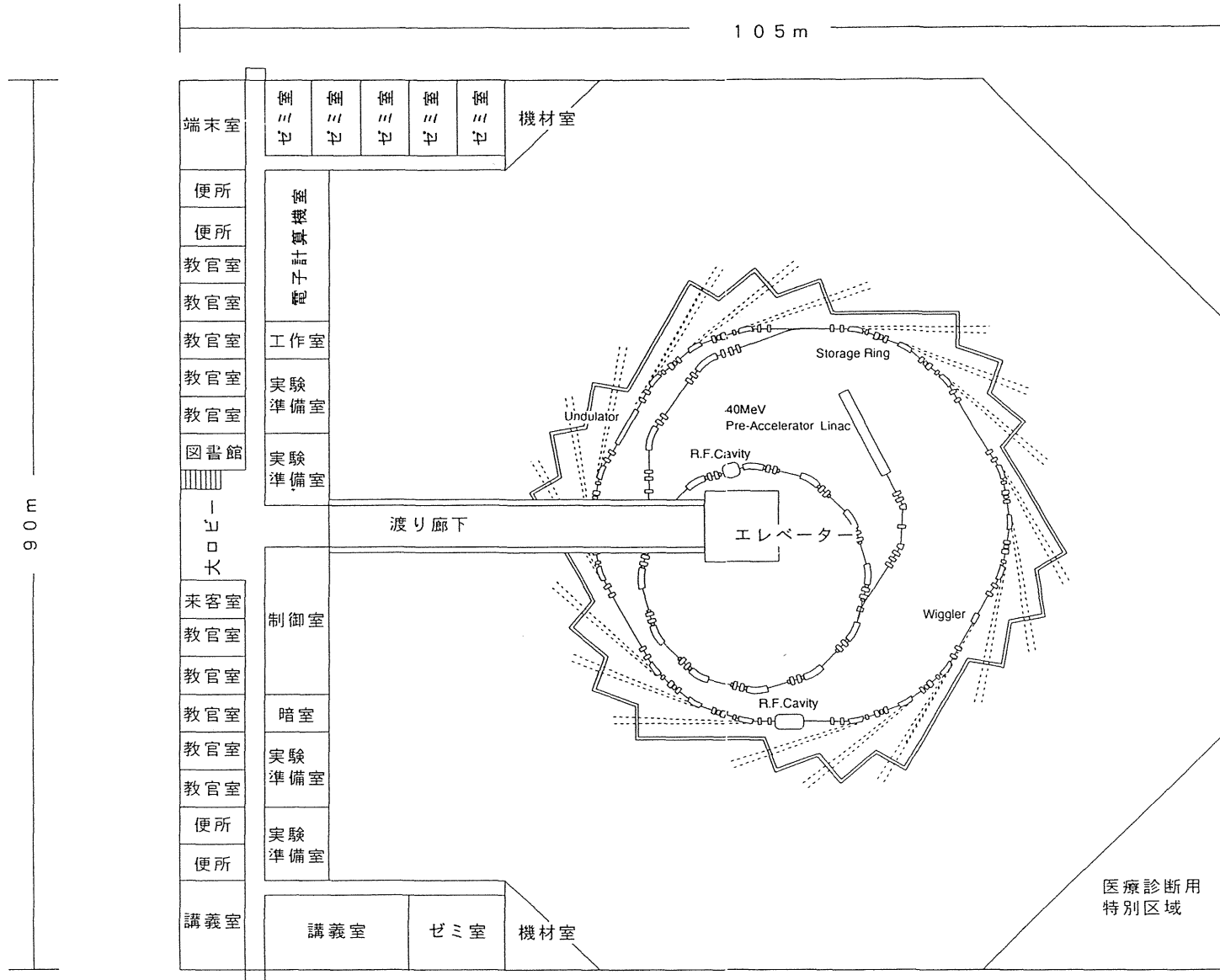


図1-2 九州大学放射光研究センター概略平面図(2F)

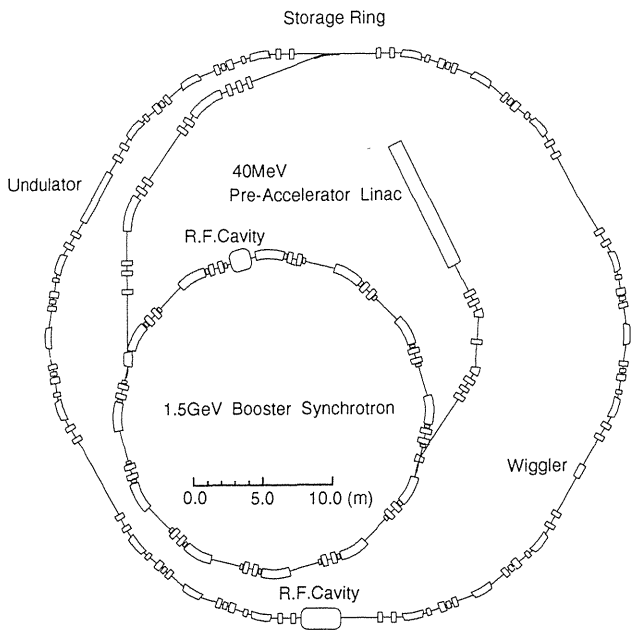


図2 入射器及び光源リングの平面図

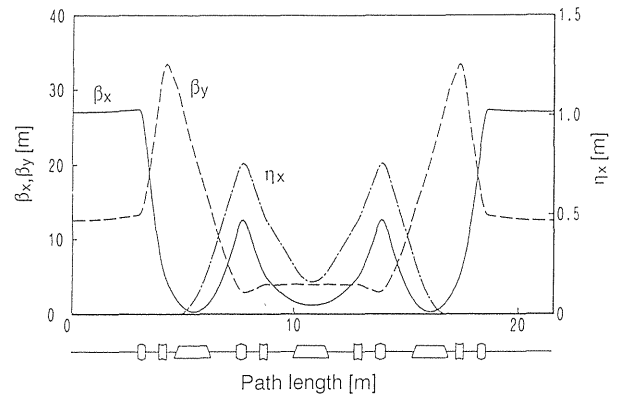


図3 光源リングのベータatron関数及びエネルギー分散関数

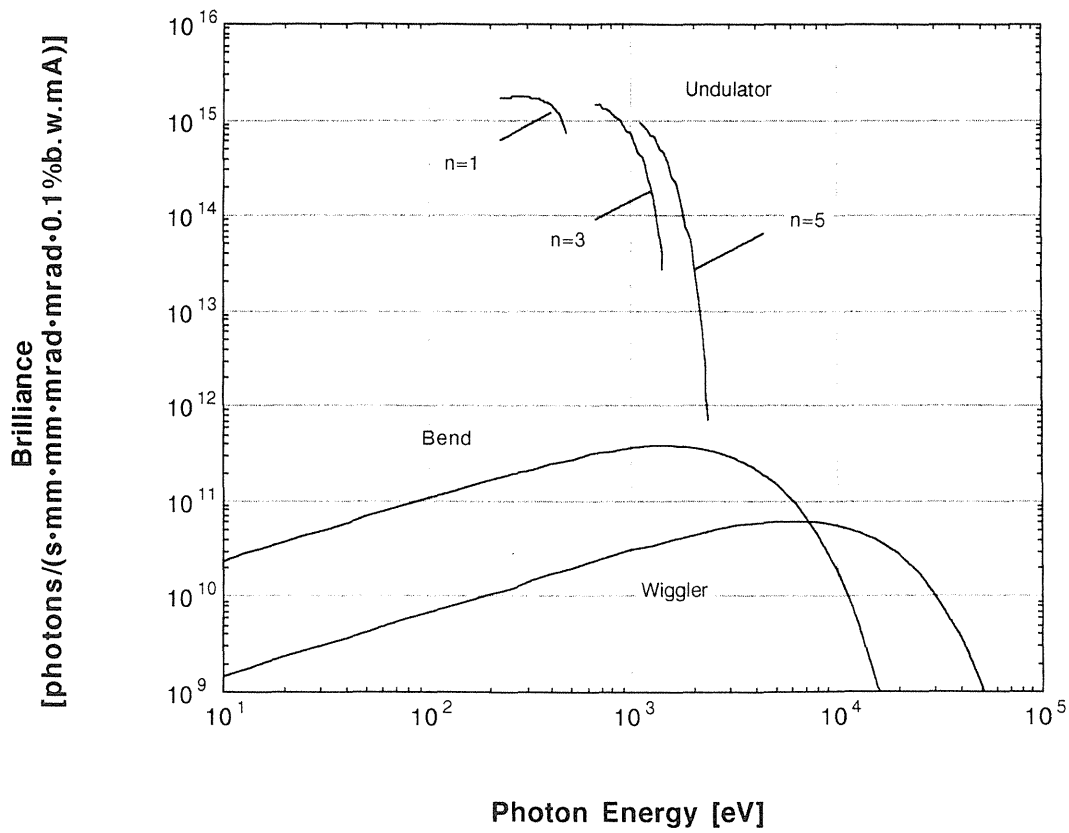


図4 偏向部及び挿入光源のBrilliance



偏向部及び挿入光源のブリリアンスを図4に示す。また以上(1), (2)及び(3)の設計パラメーターを, 表I, II, III及びIVにまとめて示す。

#### 4. 研究分野

測定装置の特色を考慮して(1)軟X線, X線・硬X線と(2)真空紫外光との領域に大別しさらに(3)生物学・医学専用ステーションと医療診断専用ステーション及び放射性同位元素試料専用ステーションについて述べる。

##### (1) 軟X線及びX線・硬X線領域ステーション

###### (a) X線中角散乱回折

このステーションにはビームラインに沿って1軸及び2軸ゴニオメーターを持った角度分散型及びエネルギー分散型回折計が設置されている。中角散乱回折実験ではさまざまな凝縮系の持つ構造

特性の研究が可能であるが, 高輝度の放射光によるこれらの凝縮系の動的構造変化の研究も重要である。

###### (b) 精密構造解析用粉末回折

このステーションには, 粉末試料専用の角度分散型, エネルギー分散型回折計が設置される。ビームライン上流から狭域波長( $\sim 1.500 \text{ \AA}$ ), 広域波長( $0.5 \sim 2.0 \text{ \AA}$ )の角度分散型とエネルギー分散型粉末回折計が併用できる。

###### (c) 蛍光X線分析

このステーションでは高輝度, 連続波長の放射光特性を利用して種々の凝縮系に含まれている元素, 特に超微量元素の分析を各原子から放出される蛍光X線を用いて行う。

###### (d) X線小角散乱回折

このステーションは生物学・医学以外の研究分野に使用されるもので, 狭領域の波長可変( $\sim 1.500$

表I 40MeV電子ライナックの設計パラメーター

|                   |            |   |
|-------------------|------------|---|
| Maximum energy    | E          | 40MeV   |
| Natural emittance | $\epsilon$ | $0.7 \times 10^3 \pi \text{ nm} \cdot \text{rad}$ |

表II 1.5GeVブースターシンクロトロン設計パラメーター

|                        |                 |   |
|------------------------|-----------------|---|
| Maximum energy         | E               | 1.5GeV  |
| Circumference          | L               | 69.876m   |
| Periodicity            |                 | 12  |
| Bending magnet         | No.             | 12  |
|                        | Field           | 1.31T   |
|                        | Length          | 2.00m   |
|                        | Type            | Sector  |
| Quadrupole magnet      | No.             | 24  |
|                        | Length          | 0.35m   |
| Sextupole magnet       | No.             | 24  |
| Betatron number        | $V_x$           | 3.25  |
|                        | $V_y$           | 2.25  |
| Natural chromaticity   | $V_x$           | -2.73   |
|                        | $V_y$           | -2.90   |
| R.F frequency          | $f_{RF}$        | 502.0MHZ  |
| Harmonic number        | h               | 117   |
| Momentum compaction    | $\alpha_p$      | 0.0677  |
| Current                | $I_B$           | 50mA  |
| Radiation damping time |                 |   |
| Horizontal             | $\tau_x$        | 7.426ms   |
| Vertical               | $\tau_y$        | 5.961ms   |
| Longitudinal           | $\tau_z$        | 2.713ms   |
| Natural emittance      | $\epsilon_{x0}$ | $2.527 \times 10^3 \text{ nm} \cdot \text{rad}$ |
| Repetition rate        |                 | 1Hz   |

表III 1.5GeV 電子蓄積リングの設計パラメーター

|                        |                 |                          |
|------------------------|-----------------|--------------------------|
| Energy                 | E               | 1.5GeV                   |
| Critical wavelength    | $\lambda_c$     | 6.89 Å                   |
| Circumference          | L               | 129.6m                   |
| Periodicity            |                 | 6                        |
| Bending magnet         | No.             | 18                       |
|                        | Field           | 1.20T                    |
|                        | Length          | 1.45m                    |
| Quadrupole magnet      | Type            | 20° edge focusing        |
|                        | No.             | 48                       |
|                        | Length          | 0.35m × 36<br>0.45m × 12 |
| Sextupole magnet       | No.             | 24                       |
|                        | Length          | 0.3m                     |
| Long straight section  | No.             | 6                        |
|                        | Length          | 6.0m                     |
| Betatron number        | $\nu_x$         | 7.75                     |
|                        | $\nu_y$         | 2.75                     |
| Natural chromaticity   | $\xi_x$         | -20.85                   |
|                        | $\xi_y$         | -6.41                    |
| R.F. frequency         | $f_{RF}$        | 502.0MHz                 |
| Harmonic number        | h               | 217                      |
| Momentum compaction    | $\alpha_p$      | 0.005683                 |
| Radiation loss         | $U_0$           | 107.9keV/turn/el.        |
| R.F.voltage            | $V_p$           | 600kV                    |
| Current                | $I_B$           | 500mA                    |
| Radiation damping time | $\tau_x$        | 11.44ms                  |
|                        | $\tau_y$        | 12.02ms                  |
|                        | $\tau_e$        | 6.17ms                   |
| Natural emittance      | $\epsilon_{x0}$ | 19.02nm·rad              |
| Touschek lifetime      | $\tau_T$        | 30hours                  |

表IV 挿入光源の設計パラメーター

| Name      | Period | No.of periods | $B_{max}$ (T) | $K_{max}$ |
|-----------|--------|---------------|---------------|-----------|
| Undulator |        |               |               |           |
| U-1       | 4.0    | 100           | 0.45          | 1.67      |
| Wiggler   |        |               |               |           |
| W-1       | 16.0   |               | 5.0           |           |

Å) の高分解能角度分散型とエネルギー分散型回折計とが設置される。通常のX線源では難しい小さな散乱ベクトル領域における散乱データも放射光のもつ高輝度、平行性、白色X線の特性によって容易に得られる。

(e) X線吸収微細構造

このステーションは原子の内殻X線吸収スペク

トルの微細構造の研究に使用される。回折計としては10keV以下の吸収端用のイオンチェンバーポートと10keV以上のシリコン検出素子ポートが設置される。

(f) X線顕微鏡・リソグラフィ

このステーションでは次世代の高機能半導体素子の開発研究を集中的に行う。機能性薄膜の生成

と放射光リソグラフィに関する研究を行うためには軟X線・真空紫外光の波長領域が重要になってくるので、ビーム上流に衝撃波遅延装置を設け、2箇のトロイダルミラーによって集光する。試料作製のため準備室の条件を考慮して別分室まで放射光を取り出す。

#### (g) X線トポグラフィ

このステーションではウィグラー磁石より得られる高輝度の硬X線を利用したX線トポグラフィの研究を行う。特に、試料からの回折像の拡大撮影は試料の内部・表面に存在する各種の構造歪をより鮮明に映像することができる。

### (2) 真空紫外線領域ポート

#### (a) 角度分解型及び角度積分型光電子分光

これらのステーションでは(40~400 Å)と(120~1200 Å)との波長領域における各種の凝縮系の光電子分光学的研究を行う。

#### (b) 高分解能分子分光

このステーションでは、(10~300 Å)及び(300~3500 Å)の波長領域での分子分光学的研究を行う。

#### (c) 蛍光寿命及び時間分割形分光

バンチした電子ビームが蓄積リングを回っている時に接線方向に放出される放射光は、通常 $\sim 10^{-9}$ 秒程度のパルス幅を持っているが、もしそれ以下のパルス幅が得られるとすれば新しい化学種の探索、有機ラジカル生成の初期過程の研究及び励起分子の動的挙動の研究が可能となるであろう。

次に生物学及び医学専用ステーションについて述べる。九州大学及び九州地区一円において恒常的に行われている生物学、医学分野の研究にたずさわっている研究者層を考慮すると、これらの研究分野における放射光利用の有効性は大いに期待される。しかし、試料の作成・保管の困難さから短期間中に各種の回折計、分光計による研究が要求されるので、本研究センターでは生物学及び医

学専用ステーションを特設している。

### (3) 放射性同位元素試料専用実験室

放射光の生物学・医学への応用は、国内・国外において有望な研究分野であると期待されている。非密封放射性同位元素を用いた測定方法は生物学の研究において重要な分野を築いてきている。放射光の特性とこの測定方法との併用によって新しい研究成果が大いに期待されるが、取扱作業上の問題点から特別分室が必要である。本センターでは別棟に放射性同位元素専用ステーションを設ける。

### (4) 医療診断用特設ステーション

通常のX線源、分光光源と極めて異なる放射光の特性を利用した医療診断への応用は、新しい診断方法確立の可能性を開くことが期待される。現在、これらの分野における放射光の積極的利用に関して国内・国外において本格的な対応が十分になされていないとは言えない。この原因の1つには医療診断に不可欠な被検査者専用の分室設置が困難であり、更に医療診断関連の基礎研究専用ステーションの開発が十分でないためである。しかし、最近国内においても放医研で重イオンビームを利用した医療診断及びその関連分野の研究が始まり、大型加速器の応用・実用の気運が高まっている。本研究センターでは重点研究分野の1つとして、放射光の医学への利用が考えられている。この目的のためにウィグラーからの硬X線ビームラインと偏向磁石からの軟X線ビームラインの設置が計画されている。考えられる研究分野としては、細胞致死に関する研究、癌細胞放射線増感剤に関する研究、造影剤ヨードのK吸収端前後におけるX線減衰係数の差を利用したエネルギー差方による骨、軟部組織等のX線造影処理の研究などが考えられる。

## 5. ビームラインの仕様

蓄積リングの長直線部に2個のウィグラーと2個のアンジュレーターを設置する。各ビームライン(ステーション)の特徴は、表Vに示した通りである。硬X線, X線, 軟X線, 真空紫外ビームラインを実験エリアの面積を考慮して蓄積リング周辺に配置した。生物学・医学専用ステーション, 医療診断専用ステーションを設置する。両分野とも, 真空紫外から硬X線にわたる放射光散乱回折実験の総合的評価を短期間に行う必要があるので専用ステーション群を設置する。特殊なクリーンルームが必要なX線顕微鏡及びリソグラフィポートや, 非密封放射性同位元素試料用の特別管理室は, 蓄積リング管理区域外の近接した別棟に設置する。従って, これらの別棟ステーションまでビームラインを延長しなければならない。放射光の積極的利用を志向した回折学的・分光学的手法の開発のために, 開発研究専用ステーション(時間分割型回折・分光測定, 軟X線小角散乱, メスバウアー効果, 時間分割型EXAFS・XANES等)を設ける。偏向磁石からのビームの拡がりは4~10mradであり, 下流部に設置する娘ステーションの測定器系に応じてビームを分割する。軟X線, 真空紫外のビームラインでは上流部に衝撃波遅延装置を設け, 真空トラブルに対処する。ミラーの放射線損傷による反射率低下に対処したミラー光学系にする。同様に, 恒常的開発・改良により放射光モノクロメーターも高性能化させる。蛍光寿命・時間分割型分光または分割回折等による緩和現象の研究のために, シングルバンチもしくは低バンチ数運転を行う。国外でもバンチ数可変の放射光施設は数少なく, 新しい未知の研究分野の開拓を目指す。アンジュレータービームラインでは, およそ10 Å ~100 Å波長領域での数個の単色光高調波を利用し, これらの単色光の微小変調, 半値幅の可変性, 円偏光ビームの発生に基づく新しい物性研究を開拓する。

## 6. 利用・運営形態

地理的に見て, 九州・山口地区の大学, 産業界の研究者が主要な利用者となることは当然であるが, 大型計算機センターと同様な全国共同利用体制が考えられている。実際に研究成果を挙げるためには, 宿泊設備, 旅費, 学生の実習のための経費などについて, 実状にあった対策を講じねばならない。この問題は一大学の研究センターで解決できるものではない。全国的規模における検討が強く望まれる。更に放射光建設計画を持っている韓国, インド等東南アジア地区と情報交換を行い, それぞれの特徴を生かした共同利用を行う予定である。また既に放射光施設を有する中国科学技術大学(合肥)は, 本学とは深いかかわり合いがあり, 今後姉妹校締結等の手続きを進めて, 相互の有効利用を模索する予定である。

## 7. 建設予定

概念設計は既に終わっているので, 計画が認められた場合3年間で建設し, 実験を開始する予定である。次に予算であるが入射用電子ライナック, 1.5GeV電子ブースターシンクロトロン, 及び1.5GeV電子リングを含めて45億円, ウィグラーとアンジュレーターを合わせて5億円である。一方, 測定機器は17億6千7百万円, 実験準備室用設備が, 2億3千3百万円, 冷却系と受電設備が12億円で, 合計82億円となる。建設時の要員としては加速器系として教授2, 助教授1, 講師1, 助手2名を予定している。一方測定器系においては教授2, 助教授1, 助手2更に他大学の放射光利用経験者の援助をお願いする予定である。完成時定員としては, 教授2(1), 助教授2(1), 助手4(2), 技官1(1), 事務官1を予定している。なお( )は振り替え人数で内数である。

## 8. 計画の現状と経過

九州大学加速器センター設置準備委員会のもとに放射光専門委員会が設置されており全学的に選

出された12名の委員で構成されている。また九州、山口地区の研究者よりなる放射光科学懇談会を設置し放射光施設建設の推進、利用計画、運営等について助言を受けている。また同会主催の研究會を年2回実施している。現在まで既に6回の

研究會を開催した。講師としては学内外及び学識経験者として関西、関東地区の方々にも講演を依頼してきた。

九州大学工学部 和久田 義久

表V ビームラインのリスト

| 機能性                                   | 口径<br>(mrad) | 窓                 | ミラー  | モノクロメーター   |
|---------------------------------------|--------------|-------------------|--|--|
| 1軸性角度分散型<br>中角散乱回折                    | 5            | Be                |  | 2結晶  |
| 2軸性角度分散型<br>中角散乱回折                    | 5            | Be                |  | 2結晶  |
| 1軸性エネルギー分散型<br>中角散乱                   | 4            | Be                |  |  |
| 2軸性エネルギー分散型<br>中角散乱                   | 4            | Be                |  | 1結晶  |
| M S C式高分解能粉末回折                        | 5            | Be                | 75cm Ptコート<br>球楕円形石英                       | 2結晶  |
| S S D式高分解能粉末回折<br>角度分解&角度積分型<br>光電子分光 | 5<br>10      | Be<br>Window-less | ①円形PtコートSiC<br>ミラー<br><br>②Auコート楕円形ミ<br>ラー | 1結晶<br>平面回折格子<br>(Miyakeモノクロ<br>メータ)<br>30eV~220eV |
| 1軸性角度分散型<br>中角散乱回折                    | 5            | Be                |  | 2結晶  |
| 2軸性角度分散型<br>中角散乱回折                    | 5            |                   |  | 2結晶  |
| 1軸性エネルギー分散型<br>中角散乱回折                 | 4            | Be                |  |  |
| 2軸性エネルギー分散型<br>中角散乱回折                 | 4            | Be                |  | 1結晶  |
| 角度分散型小角散乱回折                           | 5            | Be                | 75cm Ptコート<br>球楕円形石英                       | 2結晶  |
| エネルギー分散型小角散乱<br>回折                    | 5            | Be                |  |  |
| 高分解能分子分光                              | 7            | Window-less       | SiC水平&垂直面内焦点<br>ミラー                        | (10~300 Å)<br>(350~3500 Å)                         |
| X線吸収微細構造 (EXAFS)<br>(8KeV以下)          | 4            | Be                | 60cm Ptコート<br>球楕円形石英                       | 2結晶  |
| X線吸収微細構造 (EXAFS)<br>(8KeV以上)          | 4            | Be                |  | 2結晶  |
| X線吸収微細構造 (EXAFS)<br>(8KeV以上)          | 5            | Be                | 75cm Ptコート<br>球楕円形石英                       | 2結晶  |
| X線吸収微細構造 (EXAFS)<br>(8KeV以上)          | 5            | Be                |  | 2結晶  |
| 蛍光X線照射                                | 5            | Be                | Wiggler line                               | 高速回転体  |
| 走査型X線散乱回折                             | 5            | Be                |  | 2結晶  |

| 機能性                          | 口径<br>(mrad) | 窓              | ミラー   | モノクロメーター                              |
|------------------------------|--------------|----------------|---|---------------------------------------|
| 走査型X線散乱回折                    | 5            | Be             |   | 2結晶                                   |
| 角度分散型光電子分光                   | 10           | Window-less    | 円筒形SiC, 水平面<br>& 垂直面内焦点ミラー                  | トロイダル回折格子<br>(120~1200 Å)             |
| 開発研究専用                       | 5            | Be             | 75cm 石英水平面焦点                                |                                       |
| 自由ポート                        | 5            | Be             |   |                                       |
| 自由ポート                        | 5            | Be             |   |                                       |
| 自由ポート                        | 5            | Be             |   |                                       |
| 軟X線照射                        | 10           | Window-less    | ダブル焦点Auコート                                  | 回折格子&結晶<br>(1.5~50 Å)                 |
| X線顕微鏡&リソグラフィ                 |              |                |   |                                       |
| 蛍光寿命&時間分割型分光                 | 10           | LiF or<br>シリコン | ①冷Niコート<br>OFCH銅<br>②Auコート球面<br>トロイダル焦点ミラー  | 直入射<br>( $> 1200 \text{ Å}$ )         |
| 赤外分光                         | 10           | シリコン           | ①冷Niコート<br>OFCH銅<br>②Alコートパイレックス<br>トロイダル焦点 | 走査干渉計<br>( $10^3 - 5\text{cm}^{-1}$ ) |
| 汎用型分光                        | 10           | Window-less    | SiC 円筒形水平面&<br>垂直面内焦点                       | 瀬谷-波岡式<br>(300~2500 Å)                |
| 角度分散型小角散乱回折                  | 5            | Be             | 60cm Ptコート<br>石英垂直面内焦点                      | 2結晶 (1.5 Å)                           |
| 角度分散型小角散乱回折                  | 5            | Be             | 75cm Crコート<br>石英垂直面内焦点                      | 2結晶 (4.0 Å)                           |
| 走査型軟X線分光                     | 5            | Window-less    | SiC 円筒形水平面&<br>垂直面内焦点                       | 瀬谷-波岡式<br>(300~2500 Å)                |
| 走査型硬X線回折&回折カメラ               | 5            | Be             |   | 2結晶                                   |
| 軟X線回折&表面EXAFS                | 5            | Window-less    | Auコート石英水平面&<br>垂直面内焦点                       | 回折格子&結晶<br>(1.5~50 Å)                 |
| 蛍光X線分析                       | 5            | Be             |   |                                       |
| EXAFS                        | 5            | Be             |   | 2結晶                                   |
| X線トポグラフィ&開発研究<br>(メスbauer効果) | 5            | Be             |   |                                       |
| 蛍光X線分析                       | 5            | Be             |   |                                       |
| エネルギー分散型中角散乱回折               | 5            | Be             |   |                                       |
| 開発研究用<br>(軟X線小角散乱回折)         | 5            | Window-less    |   |                                       |
| 軟X線汎用高真空チェンバ                 | 10           | Window-less    |   |                                       |

## 2・2 広島大学放射光科学 研究センター (HiSOR)

### 1. 要約

- ・軟X線を中心として真空紫外から硬X線まで幅広い領域の放射光が利用できる。
- ・エミッタンスは充分小さく、物性研究用に適している。
- ・放射光だけでなく高エネルギー電子線、陽電子、中性子も利用した研究を行う。
- ・大学附置の施設であり、研究と教育の両方に活用できる。
- ・運転・維持管理が容易で、利用し易いように設計されている。

### 2. 目的・概要

放射光利用のニーズは急増しており、既存の施設は利用者で溢れ、実験を行うのに極めて長時間待たねばならない。また、既存の施設では不可能な、特殊な実験目的に適したビームライン建設の必要性も増してきている（例えば、特殊ガスを用いた光化学反応実験、超清浄室でのリソグラフィ実験、表面、界面の複合的な評価実験等）。本計画の第一目的は放射光利用者のニーズを充たし、従来の施設では困難であった研究課題をも可能にする事である。

第二の目的は放射光加速器技術、利用技術の専門家の養成である。次世代を担う研究者養成は不可欠であり、大学附置の施設でこれを行うのが理想的である。

第三の目的は、線形加速器やブースターシンクロトロンを利用した原子核、物性物理、化学等の諸分野にまたがる学際的研究を行う事である。

第四の目的は地域の活性化である。センターの建設が予定されている場所は東広島の新キャンパス内にあり、東広島テクノポリスの中心に位置している。放射光の応用に関しては、半導体企業を

はじめ、化学、薬品企業も強い関心を示しており、広島を中心とした中国・四国地方の産業界への貢献度は非常に大きい。

### 3. 光源の仕様

大学附置の施設であることから、予算、定員の厳しい制約のなかで如何に上記の目的に適した放射光加速器を設計するかが、この計画の大きな課題となっている。その検討結果の詳細は後に掲げる文献を参照されたい。基本的な構想としては、(1)光源リングのエネルギーを1.5GeVにし、X線領域の放射光の発生にはウィグラー（波長シフター）を用いる。(2)ビームの安定性、長寿命で使い易いことに重点を置く。(3)放射光輝度は高くするが、使い易さを犠牲にしてまで高輝度を狙わない。(4)リングへの入射は full energy injection とし、運転を容易にする。(5)運転維持要員をできるだけ少なくする。

以上の構想から設計された本施設の加速器の構成は図1に示したように、1.5GeVの光源リング、及び、入射加速器としての45MeV線形加速器と1.5GeVシンクロトロンからなる。それぞれの加速器の設計パラメータを表I、II、IIIに示した。光源リングは図2の平面図のように六回対称をしていて全周約100mあり、長さ5mの直線部6カ所には、入射用磁石、超伝導ウィグラー2台、多極ウィグラー2台、アンジュレーター1台の設置を予定している。RFは周波数500MHz、最大出力100kWのものを1台用いる。電子ビームを安定に維持させるためにフォトンファクトリー(PF)でのノーハウの蓄積を重視して選択した。これは短パルス放射光の発生にも有用である。図3には光源リングのベータatron関数とエネルギー分散関数を、表IVには各部でのビームパラメータを示した。また、偏向磁石、挿入光源からの放射光輝度のスペクトル分布を図4に示した。エミッタンスは約70nm radであり、NSLSのX線リングとほぼ同じである。基本設計は既に終わり、現在、細部

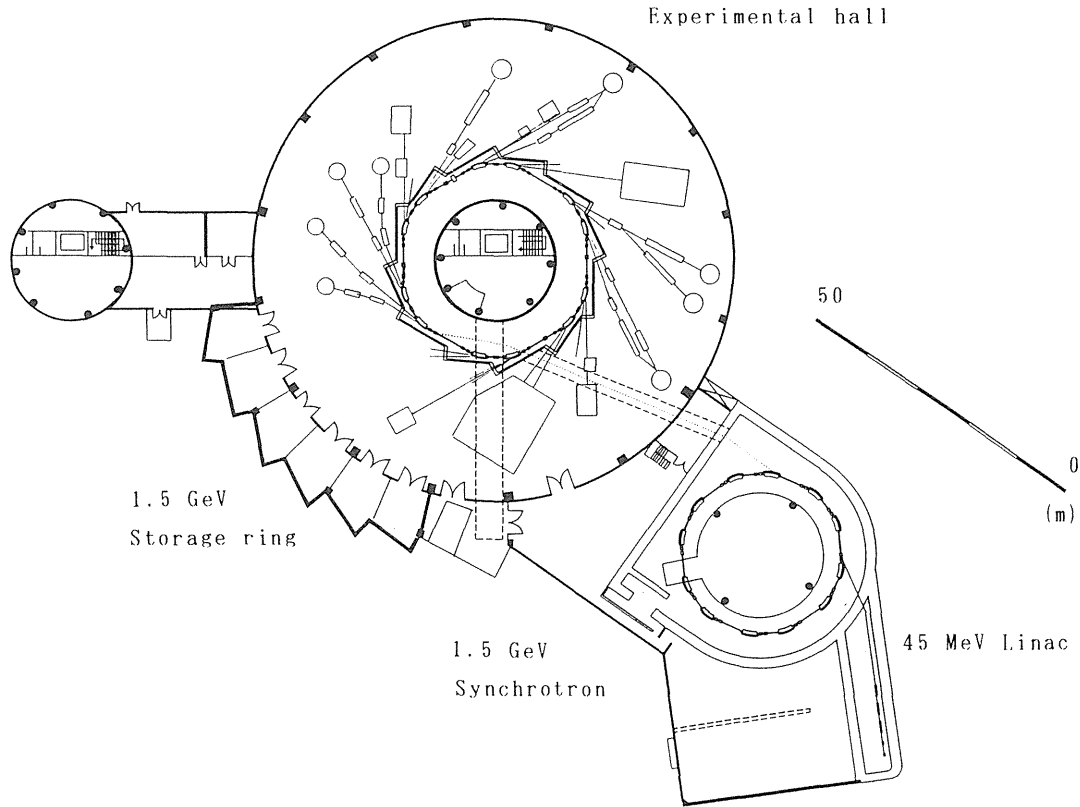


図1 HiSORセンター平面図

表I 45MeV線形加速器の主要パラメータ

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Energy                | 45 MeV                                       |
| Max. beam current     | 83 mA  |
| Max. repetition       | 120 pps                                      |
| Operation frequency   | 2856 MHz                                     |
| Gun                   |  |
| Gun voltage           | 100 kV                                       |
| Type                  | Triode                                       |
| Beam current          | ≤ 1 A  |
| Pulse width           | 0.1~2.5 μs                                   |
| Prebuncher            |  |
| Type of structure     | TW 4 cell                                    |
| Buncher               |  |
| Type of structure     | TW   |
| Number of cells       | 8 (Buncher) 11 (regular)                     |
| Accelerated energy    | 5 MeV  |
| Accelerator structure |  |
| Type                  | TW quasi-const. grad.<br>2π/3 mode, 54 cells |
| Length                | 1.9 m (18 λ)                                 |
| Total number of       | 3  |
| RF power              |  |
| Peak power            | 20 MW (max 30 MW)                            |
| RF pulse klystron     | 4.5 μs                                       |
| Number of klystron    | 1  |

表II 1.5 GeVシンクロトロン of 必要パラメータ

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| Maximum energy                             | 1.5GeV                             |
| Injection energy                           | 45MeV                              |
| Repetition rate                            | 0.5Hz                              |
| Maximum circulating current                | 50mA                               |
| Lattice                                    |                                    |
| Type                                       | DO <sub>1</sub> FDO <sub>2</sub> F |
| Symmetry                                   | 6                                  |
| Circumference                              | 83.925m                            |
| RF   |                                    |
| Harmonic number                            | 35                                 |
| Frequency                                  | 125.025MHz                         |
| Peak voltage                               | 150kV                              |
| Operation mode                             |                                    |
| Betatron tune                              |                                    |
| ν <sub>x</sub>                             | 4.25                               |
| ν <sub>y</sub>                             | 2.25                               |
| Average β function                         |                                    |
| β <sub>x</sub>                             | 3.64m                              |
| β <sub>y</sub>                             | 2.25m                              |
| Dispersion                                 |                                    |
| Maximum η <sub>x</sub>                     | 1.78m                              |
| Minimum η <sub>x</sub>                     | 0.23m                              |
| Emittance at maximum energy ε <sub>x</sub> | 120nm•rad                          |



表Ⅲ 1.5GeVストレージングの主要パラメータ

|  |                 |              |                   |
|--|-----------------|--------------|-------------------|
| Electron energy                            |                 | $E$          | = 1.5GeV          |
| Circumference                              |                 | $2\pi R$     | = 100.71m         |
| Mean radius                                |                 | $R$          | = 16.03m          |
| Revolution time                            |                 | $T$          | = 335.9ns         |
| Superperiodicity                           |                 |              | 6                 |
| Synchrotron radiation                      |                 |              |                   |
| Energy loss per turn                       | without wiggler | $U_0$        | = 107.6keV        |
|  | with 4 wigglers | $U_0$        | = 127.2keV        |
| Critical energy for normal bending section |                 | $\epsilon_c$ | = 1.809keV        |
| Long straight section                      |                 |              | $6 \times 4.875m$ |
| Betatron tunes                             |                 | $\nu_x$      | = 5.25            |
|  |                 | $\nu_y$      | = 2.25            |
| RF   |                 |              |                   |
| Harmonic number                            |                 |              | 168               |
| frequency                                  |                 | $f_{RF}$     | = 500.1MHz        |
| Peak voltage                               |                 | $V_{RF}$     | = 500kV           |
| Max. power                                 | 350 mA          |              | 100kW             |
| Synchrotron frequency                      | without wiggler | $f_s$        | = 26.69kHz        |
|  | with 4 wigglers | $f_s$        | = 26.48kHz        |
| Beam current                               |                 | $I$          | = 350mA           |
| Momentum compaction factor                 |                 | $\alpha$     | = 0.0117          |
| Natural chromaticities                     | without wiggler | $\xi_x$      | = -10.96          |
|  |                 | $\xi_y$      | = -7.13           |
|  | with 4 wigglers | $\xi_x$      | = -10.86          |
|  |                 | $\xi_y$      | = -6.90           |
| Damping times                              | without wiggler | $\tau_x$     | = 9.81ms          |
|  |                 | $\tau_y$     | = 9.36ms          |
|  |                 | $\tau_e$     | = 4.58ms          |
|  | with 4 wigglers | $\tau_x$     | = 8.24ms          |
|  |                 | $\tau_y$     | = 7.93ms          |
|  |                 | $\tau_e$     | = 3.98ms          |
| Energy spread                              | without wiggler | $\sigma_e/E$ | = 0.0006          |
|  | with 4 wigglers | $\sigma_e/E$ | = 0.00071         |
| Emittance (zero coupling)                  | without wiggler | $\epsilon_x$ | = 83.0nm·rad      |
|  | with 4 wigglers | $\epsilon_x$ | = 72.0nm·rad      |
| Beam parameters at bending section         |                 | $\sigma_x$   | = 0.5307mm        |
| (assuming 3% coupling)                     |                 | $\sigma_y$   | = 0.1155mm        |
|  |                 | $\sigma_x$   | = 0.40502mrad     |
|  |                 | $\sigma_y$   | = 0.04508mrad     |
|  | wiggler section | $\sigma_x$   | = 1.3170mm        |
|  |                 | $\sigma_y$   | = 0.1595mm        |
|  |                 | $\sigma_x$   | = 0.05636mrad     |
|  |                 | $\sigma_y$   | = 0.01323mrad     |

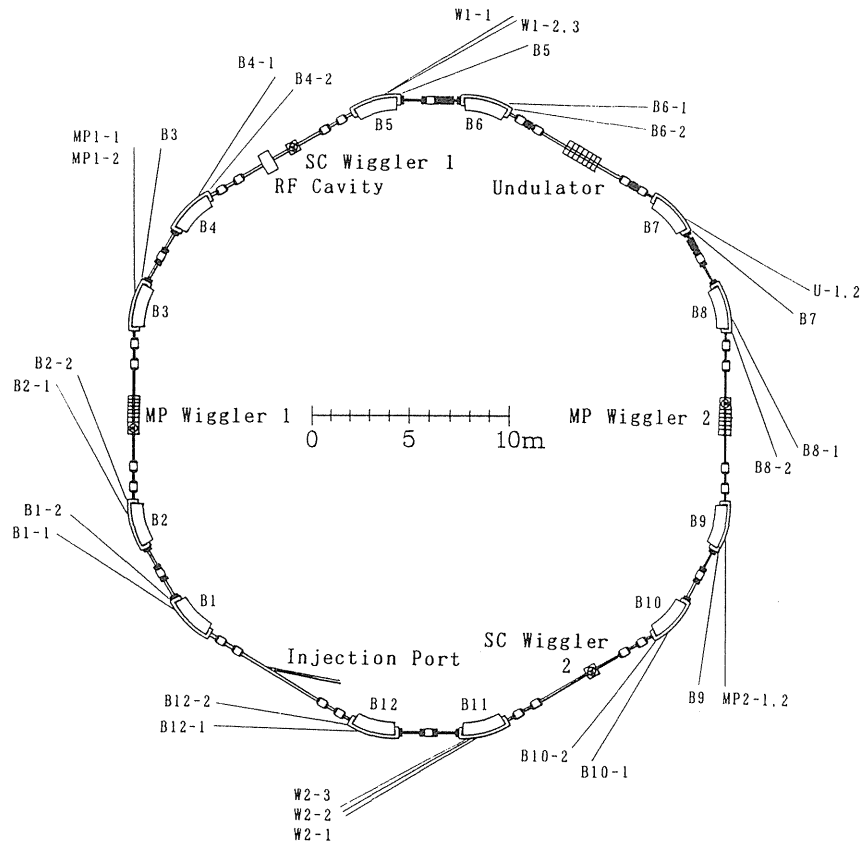


図2 光源リングの配置

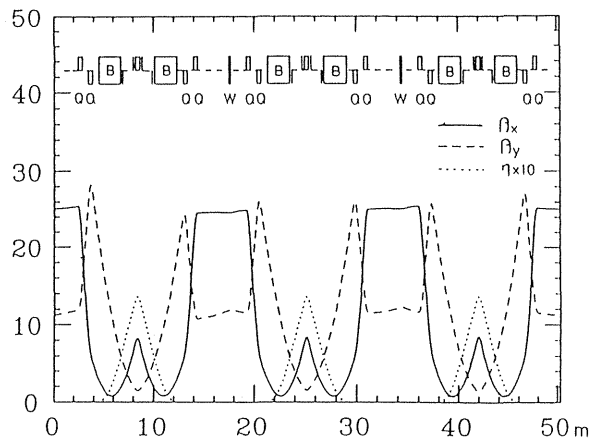


図3 光源リングの $\beta$ , 及び,  $\eta$ 関数

表IV リング内のビームパラメータ (3%カップリングを仮定)

| Section  | current (mA) | $\sigma_x$ (mm) | $\sigma_y$ (mm) | $\sigma_x$ (mrad) | $\sigma_y$ (mrad) |
|----------|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Bending  | 300          | 0.5307          | 0.1155          | 0.46502           | 0.04508           |
| Wiggler  | 300          | 1.3170          | 0.1595          | 0.05636           | 0.01323           |
| Straight | 300          | 1.3299          | 0.1495          | 0.05261           | 0.01408           |

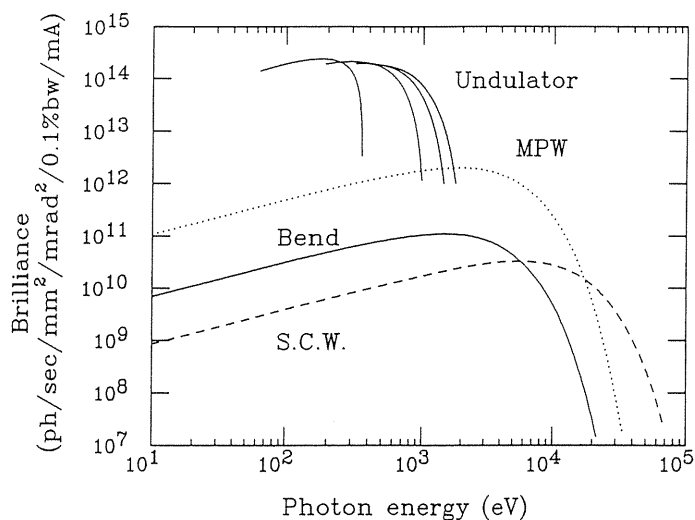


図4 放射光輝度のスペクトル分布

の設計に入っている。一方、入射用 45 MeV 線形加速器の構成は PF - Linac の第一セクションと殆ど同じにして、やはり PF で蓄積された技術をそのまま活用させてもらうことにした。1.5 GeV シンクロトロンは FDO タイプであり、RF 周波数をリングの 1/4、即ち、125 MHz にした。また、ストレージリングへの入射だけでなく高エネルギー電子線を利用した実験の為の取り出しも可能にしてある。

#### 4. 研究分野

ストレージリングのエネルギーを 1.5 GeV とし、ウィグラーなどの挿入光源を数多く用いるので、軟 X 線を中心として真空紫外から硬 X 線まで幅広く放射光を利用できる。また、エミッタンスは前述したようになりに小さいので、アンジュレーターからの放射光の輝度は充分高く、特に、100 eV ~ 1000 eV の軟 X 線領域では PF の MPW やアンジュレーターと比べても決してひけはとらず、最先端の放射光利用研究の展開が期待される。

我国の既存の放射光施設、特に PF、及び、分子研 UVSOR や東大物性研 SOR 施設での放射光利用研究、さらに、西播磨研究学園都市で建設計画が

進められている SPring-8 での利用計画を考慮して、中国・四国地方を中心とした西日本の放射光ユーザーのニーズを満足させるだけでなく、HiSOR 独自の、HiSOR でしか実験できない新しい研究分野の開拓が必要である。我々はこれまで何回かのシンポジウム、研究会での議論をもとに下記に示す特定研究課題を HiSOR 計画での重点課題として推進することになっている。

- ・気相・凝縮相における官能基選択的な光化学反応
- ・金属や半導体の表面・界面の原子構造と電子状態の in situ 同時計測
- ・高温・高圧や特殊雰囲気下での新物質合成とその構造解析
- ・温度に依存した電氣的・磁氣的相転移や構造相転移に伴う電子状態の変化
- ・結晶内の電子密度分布の精密測定や構造相転移の臨界近傍での構造揺らぎの動的観察
- ・遠赤外・赤外分光による結晶の格子振動や分子間水素結合
- ・タンパク質特殊部位の放射線照射効果
- ・超微細加工および光化学反応による新機能物質の開発

## 5. ビームラインの仕様

HiSOR計画では、放射光源として12基の偏向磁石、2基の超伝導ウィグラー、2基の多極ウィグラー、1基のアンジュレーターを備えている。偏向磁石からの基幹ビームラインは直線部に対して3度、及び12度の2方向に各々27mradの角度で水平方向に発散するビームを取り出す構造になっており、この2本のビームをさらに5 mradづつのブランチビームライン4本にして実験ステーションに導く。しかし、挿入光源に隣接する偏向磁石からは3度のビームラインは取り出せないから、利用できる実験ステーションの総数は38になる。ウィグラーに関しては直線部から2本に分岐して、更に必要度に応じてタンデムで使用する。アンジュレーターは発散角が小さいために1本のビームラインをタンデムで使用するようになる。これらの利用に関しては大別して次の三種類のビームラインが建設されている。

### (1) 特定の研究課題を推進してゆくためのビームライン

長期間継続する必要がある新しいタイプの実験や結果の予測の困難な意欲的な実験を推進するためのもの。このためにはビームラインの基幹部、分岐システム、分光器、計測システム全てにわたって特別仕様のもをを検討する。特定課題の代表的なものは第4節に記したが、実際に利用が可能になる時期を考慮して今後柔軟に対応する予定である。

### (2) 汎用ビームライン

利用者の側からの要望が多いにも拘らず、絶対数が不足しているもので、EXAFS、蛍光X線分析、X線トポグラフィなどのビームラインがこの部類に入る。これらはこれまでにその機能が確立している標準的な装置を用い、早急に研究上必要な性能を確実に実現することを基本にしている。

### (3) 他大学専用、及び産業界用ビームライン

建設に当たっては、他大学が自らの予算で大学専用のビームラインを建設する余地を残しておく。また、民間企業にも専用のビームライン建設を可能にする。

表Vのビームラインのリストにも示したように研究分野も物質の電子状態の研究から、結晶構造解析、及びそのダイナミクスなど幅広くかつ斬新な研究を考えている。

## 6. 利用・運営形態

本施設は広島大学に附置する研究センターであるが、学内共同利用にとどまらず、西日本を中心とした全国共同利用を行い、また、民間企業の利用も可能にする。ここでは既存の共同利用研究所と同等の共同利用形態を志向している。運営形態については後記する組織運営検討部会でこれまで検討を行い、学内だけでなく全国的な学識経験者から構成される運営委員会を最高決議機関として人事、予算、年次計画を進める事になっている。

利用形態については、(1)汎用（EXAFS、蛍光X線分析等）(2)特定プロジェクトによる長期使用、(3)他大学専用、(4)民間利用 の四種類を設ける。(1)については運営委員会の下にプログラム採択委員会を設け審議して決定する。また、(2)、(3)、(4)については運営委員会において審議決定される。(3)、(4)ではビームライン建設のための予算措置は他大学、または民間企業が独自に行う必要がある。(4)についてはビームライン運転経費（または、使用料）も負担する。

## 7. 建設計画

組織としては、加速器系8名、測定器系5名、共通系（低温、放射線管理）3名、合計16名を予定している。予算については設備費50億円、建設費45億円、合計95億円を要求している。年次運転経費としては5億円を予定している。また、利用可能になってからは民間ビームライン運転経

表V ビームラインの仕様

| 番号    | 分光器            | エネルギー領域       | 使用目的                   |
|-------|----------------|---------------|------------------------|
| B1-1  | 直入射 (S.N)      | 2.5 - 40 eV   | 汎用 (光・光電子分光)           |
| B1-2  | 斜入射 (Rowland)  | 20 - 800 eV   | 汎用 (光・光電子分光)           |
| B2-1  | 二結晶            | 1.8 - 5 keV   | 汎用 (EXAFS)             |
| B2-2  | 直入射 (S.N.)     | 3 - 40 eV     | 時間分解実験                 |
| B3    | 自由ポート          |               | 他大学専用                  |
| B4-1  | 斜入射 (plane)    | 10 - 1000 eV  | 温度可変光電子分光              |
| B4-2  | フーリエ干渉計        | 0.3 - 300 meV | 遠赤外吸収, 光伝導             |
| B5    | 斜入射 (Rowland)  | 10 - 300 eV   | 光分光・光電子分光<br>(W1-3と結合) |
| B6-1  | 自由ポート          |               | 他大学専用                  |
| B6-2  | 斜入射 (plane)    | 10 - 1500 eV  | 生物実験                   |
| B7    | 自由ポート          |               | 他大学専用                  |
| B8-1  | 二結晶            | 0.8 - 5 keV   | 表面EXAFS (B8-2と結合)      |
| B8-2  | 斜入射 (Rowland)  | 10 - 300 eV   | 光分解・光電子分光              |
| B9    | 自由ポート          |               | 民間企業専用                 |
| B10-1 | 斜入射 (plane)    | 100 - 1500 eV | 超微細加工, 新素材             |
| B10-2 | Filtered White |               | 同上                     |
| B11   | なし             |               | (超伝導ウィグラー専用)           |
| B12-1 | 自由ポート          |               | 民間企業専用                 |
| B12-2 | 自由ポート          |               | 民間企業専用                 |
| U-1-1 | 斜入射 (plane)    | 10 - 1000 eV  | 光化学反応実験                |
| U-1-2 | 斜入射 (Rowland)  | 20 - 300 eV   | スピン分解実験                |
| MP1-1 | 二結晶 (収束系)      | 5 - 30 keV    | 蛍光EXAFS                |
| MP1-2 | 湾曲結晶 (半固定)     | 8 - 10 keV    | X線小角散乱                 |
| W1-1  | 六軸回折計          | 5 - 40 keV    | X線散漫散乱                 |
| W1-2  | なし             | 5 - 50 keV    | 特殊条件下構造解析              |
| W1-3  | 二結晶            | 5 - 40 keV    | EXAFS                  |
| MP2-1 | 全反射鏡           | 5 - 30 keV    | 汎用 (蛍光X線分析)            |
| MP2-2 | 二結晶            | 5 - 35 keV    | 汎用 (X線トポグラフィ)          |
| W2-1  | 自由ポート          |               | 他大学専用                  |
| W2-2  | なし             | 30 - 40 keV   | X線アンジオグラフィ             |
| W2-3  | 自由ポート          |               | 民間企業専用                 |

費, センター既設装置への使用料, 共同研究などによる民間からの予算補助も期待している。定員も予算も充分ではないが, 定員の内, 装置の建設維持は学部教官, 学生の援助, 共同利用事務については理学部事務の協力を予定している。年次計画は表VIの通りである。

## 8. 計画の経過と現状

本計画は下記の経緯にも示すように昭和57年12月より広島大学理学部有志の中で生まれ, HiSORと名付けられた。昭和61年に組織されたHiSOR懇

談会は, 現在, 会員が西日本を中心として約280名になる。年3~4回定期的に機関誌HiSORニュースを発行し(これまでVol.19), 放射光加速器, または, 放射光利用に関係した研究会を15回, シンポジウムを3回開催している。また, これまで学会, 研究会などでHiSOR関連の学術発表を27回行っている(文献1~8)。

実際の計画推進は準備委員会の下におかれた準備室で行われている。現在, 準備室には6つの作業部会(組織・運営, 加速器, 土地建物, 放射光利用, 電子線利用, 民間利用)があり, 相互に連

表VI 年次計画

|             | 初年度  | 2年度               | 3年度                 | 4年度          | 5年度     | 6年度  |
|-------------|------|-------------------|---------------------|--------------|---------|------|
| 線形加速器       | 設計   | 製造                | 製造・試験               | 設置           | 設置      | 実験開始 |
| シンクロトロン     | 設計   | 電磁石, RF<br>製造     | 電源, 真空系<br>製造・試験    | 設置           |         |      |
| ストレージング     | 設計   | 電磁石, 真空系<br>製造・試作 | RF, 電源, 真空<br>製造・試験 | 真空系<br>製造・設置 |         |      |
| 挿入型光源       |      | 設計                | ウィグラー<br>製造         | アンジュレタ<br>製造 |         |      |
| 放射光ビームライン   | 設計   | 製造                | 製造                  | 製造・設置        |         |      |
| 実験装置        | 設計   | 製造                | 製造                  | 製造・設置        |         |      |
| 設備費 50.3 億円 | —    | 9.18 億円           | 18.62 億円            | 16.15 億円     | 6.35 億円 |      |
| 建 物         | 予備設計 | 準備棟建設<br>設計       | 加速器棟<br>建設          | 研究棟<br>建設    |         |      |

絡をとりながら分担して準備作業を進めている。  
平成2年度, 3年度の概算要求は見合わせたが,  
平成4年度の概算要求には間に合うよう準備を進  
めている。

昭和57年12月

- ・広島大学内有志により放射光利用懇談会発足

昭和58年12月

- ・広島大学放射光利用研究センター（略称  
HiSOR）設立準備委員会発足（評議会）

昭和59年6月

- ・文部省主催全国加速器計画懇談会にてHiSOR計  
画説明（霞山会館）

昭和60年7月

- ・広島大学長文部省における概算要求時にHiSOR  
計画を口頭にて説明

昭和61年5月

- ・HiSOR懇談会発足（企業の賛助会員受入）

6月

- ・広島大学評議会においてHiSOR計画を62年度本  
学の概算要求の重点項目として文部省への提出  
を決定

7月

- ・広島県は62年度予算編成に向けてHiSOR計画を  
新規要望重点事項の一つとしてとりあげる

昭和62年2月

- ・日本学術会議結晶研連HiSOR計画を積極的に支  
持

6月

- ・広島大学“HiSOR計画”を最重点項目として文  
部省に概算要求

10月

- ・調査旅費として昭和62年度科学研究費補助金  
（総合B）の交付内定

11月

- ・文部省学術審議会加速器部会のヒアリングで  
HiSOR計画説明

- ・日本学術会議物研連・物理学会主催「放射光将  
来計画シンポジウム」でHiSOR計画説明

12月

- ・高エネルギー物理学研究所と広島大学の間で  
「中規模放射光リングの設計に関する研究」に  
ついて共同研究覚書を締結

昭和63年1月

- ・学内措置として「放射光関連特別経費」交付

3月

- ・シンポジウム「これからの中規模放射光源とその利用」開催 (主催: 広島大学)  
6月
- ・広島大学“HiSOR計画”を最重点項目として文部省に概算要求  
7月
- ・文部省より「特定研究経費: 中規模放射光源における挿入型装置とその利用に関する調査・研究」配分  
8月
- ・広島大学放射光利用研究センター設置支援連絡会発足  
平成元年3月
- ・シンポジウム「HiSORの特長とその利用」開催  
6月
- ・広島大学理学部物性学科に光物性講座設置  
10月
- ・教育研究学内特別経費「中規模放射光源とその利用に関する研究」配分  
平成2年7月
- ・国際シンポジウム「アジアにおける中規模放射光施設」開催 (主催: 広島大学)  
10月
- ・教育研究学内特別経費「放射光利用研究センター計画の準備研究」配分  
11月
- ・広島大学理学部物性学科公開にHiSOR計画を出展
- ・HiSOR 設立準備室会議開催
- ・HiSOR 設立準備委員会開催  
12月
- ・「技術交流ひろば'90」(広島県・広島県産業技術振興機構および広島県産業振興公社主催)にHiSOR 計画を出展  
平成3年1月
- ・国際シンポジウム「アジアにおける中規模放射光施設」(主催: 広島大学)のProceedings 発刊

## 参考資料

- 1) 小村幸友: 加速器科学, 2, 35 (1988).
- 2) HiSOR 設立計画検討報告書, 1988年3月 (HiSOR 設立準備室).
- 3) シンポジウム「HiSORの特長とその利用」, 1989年3月 (HiSOR 設立準備室).
- 4) M. Tobiyama, I. Endo, T. Ohta, T. Sugano and M. Taniguchi: Rev. Sci. Instr. **60**, 1713(1989).
- 5) T. Sugano, M. Taniguchi, I. Endo and T. Ohta: ibid, **60**, 1851(1989).
- 6) T. Kasuga, T. Ohta, M. Taniguchi, M. Tobiyama, I. Endo and M. Hoshi: Proc. 7th Symp. on Accelerator Science and Technology (Osaka Univ., 1989) p.341.
- 7) M. Hoshi, S. Sawada, I. Endo, M. Taniguchi and T. Ohta: ibid, p.327.
- 8) T. Ohta: Proc. Intern. Symp. on Medium Scale SR Facilities in Asia, ed. by K. Kohra and T. Kasuga (World Scientific, 1990) p.107.

広島大学理学部 太田俊明





## 2.3 関西中型SR施設(仮称)

### 1. 要約

関西の産業界・学界・公立研究所のSR光に対するニーズを踏まえて、この分野の多目的汎用中型SR施設を大阪府下に設置することにより、利用技術開発を促進し関西地区の活性化を図る。計画施設は250MeV入射用電子ライナックおよび2GeVSRリングで構成される。

### 2. 目的・概要

#### (1) 目的

SR光の利用を推進し、関西地区の科学技術・産業技術の進行を図る。

#### (2) 基本的性格

- ・受託研究・指導により中堅中小企業を含む産業技術の振興を図る。
- ・真空紫外からX線まで広範囲に利用できる多目的汎用型の光源とする。
- ・将来の短波長化・大強度化の要求に対応できるよう、挿入光源の取付を可能とする。
- ・蓄積ビームの安定化を図り、10時間程度の寿命を確保する。

### 3. 光源の仕様 (入射器・挿入光源を含む, 図1~4)

- ・1 Å (~12keV)のX線を偏向電磁石からのSRで得る。その輝度は $\sim 10^{10}$ 光子/sec/mrad<sup>2</sup>/mA/0.1%バンド幅程度とする。(図5)
- ・貯蓄ビームのエミッタンスは100nm・rad程度とする。(表II)
- ・建設費を抑えるため、リングの小型化とともに低エネルギー入射方式を採用する。(表II)

### 4. 研究分野

|           |       |
|-----------|-------|
| 固体物理/材料科学 | … 30% |
| 表面と界面の分析  | … 35% |

|            |       |
|------------|-------|
| 化学/原子・分子物理 | … 10% |
| 生物学・生物科学   | … 10% |
| 装置技術       | … 5%  |
| 医学         | … 5%  |
| 地球・宇宙科学    | … 2%  |
| その他        | … 3%  |

### 5. ビームラインの仕様

利用ビームラインは20本とする。これらはX線分光, X線回折, 微細加工等の代表的研究分野に対応する。

現在ビームラインの仕様を検討中。

### 6. 利用・運営形態

- ・産官学で協力し建設・運営する。
- ・共同利用施設とし、施設完成後は新設法人などによる運営が検討されている。
- ・ビームライン(20本)について、産官学の多種多様な利用を調整する。(表III)
- ・産官学の協力形態については、まだ決まっていない。
- ・この関西中型SR施設全般については、大阪府に設置されている『産業技術総合研究所整備計画検討委員会(委員長熊谷信昭大阪大学総長)』で検討されている。この『検討委員会』は、19名の委員で構成され、そのうち委員長の熊谷大阪大学総長以下9名が大学関係の委員である。(平成3年3月現在)

### 7. 建設計画

- ・予算 ……約95億円(平成2年2月現在, 土地代・ビームライン費は除く)
- ・建設要員……建設プロジェクトの構成メンバーでカバーする
- ・定員 ……事業所職員の人事構成
 

|     |       |
|-----|-------|
| 管理系 | … 4人  |
| 光源系 | … 5人  |
| 利用系 | … 14人 |

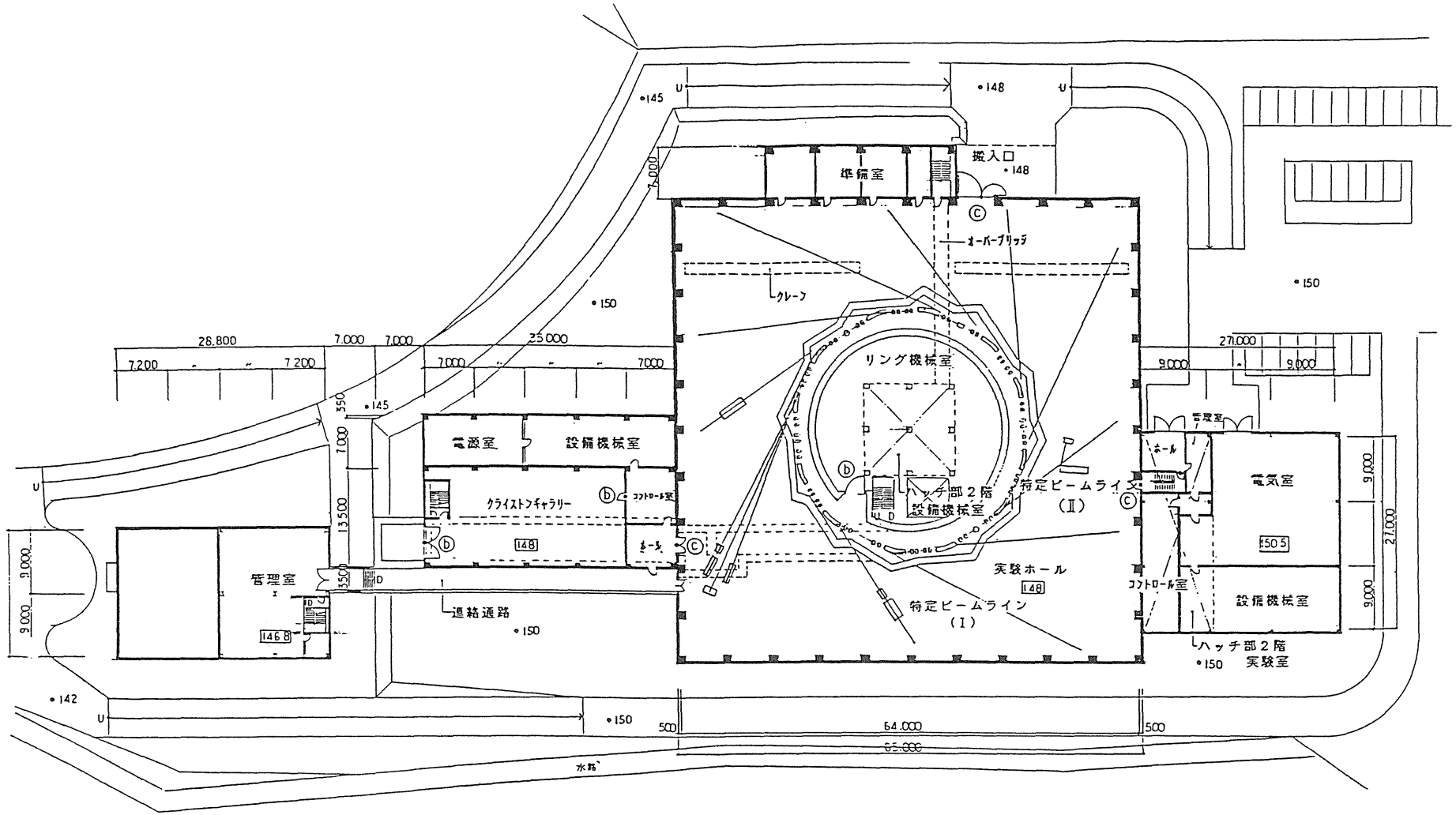
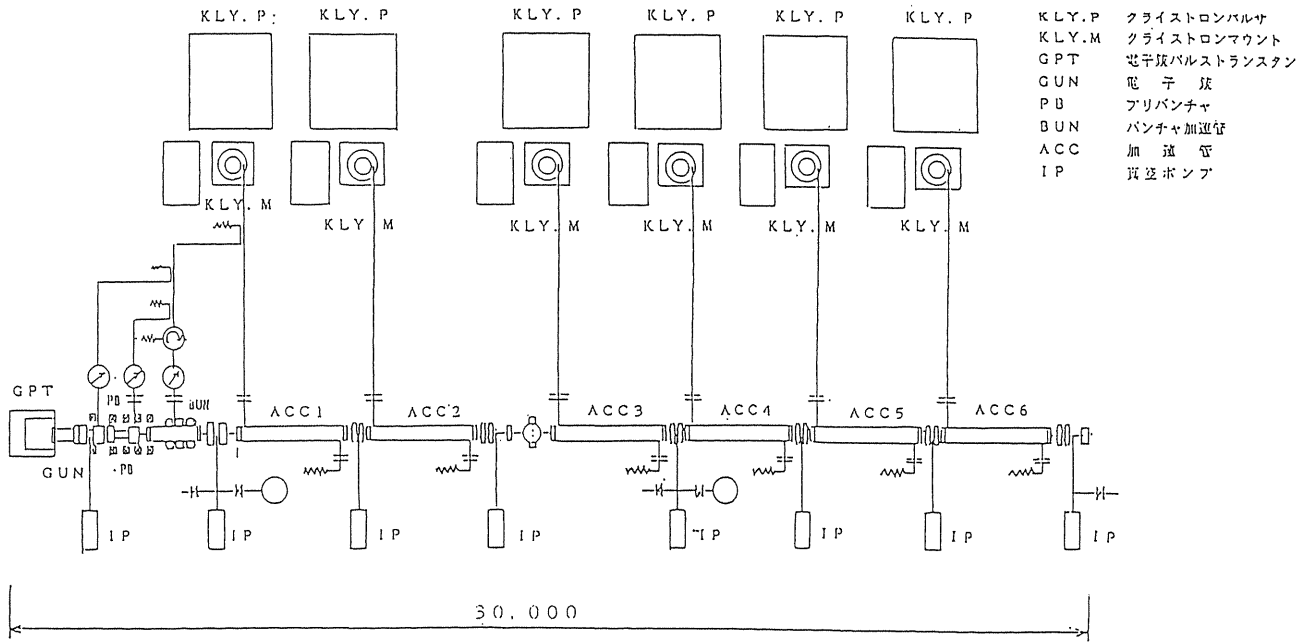


図1 施設全体の概略平面図



250MeV SR入射用ライナック

図2 入射器の平面図

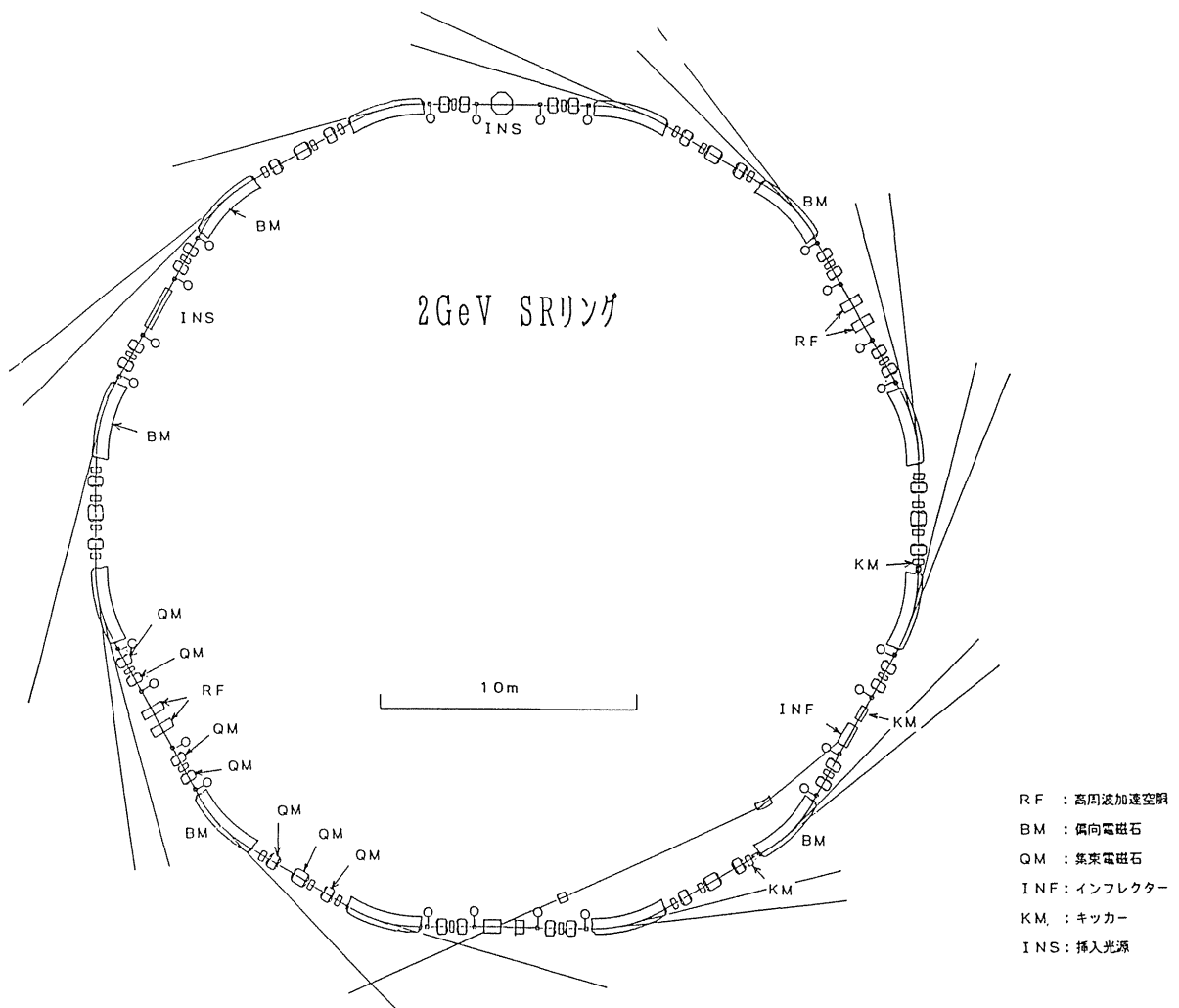


図3 光源リングの平面図

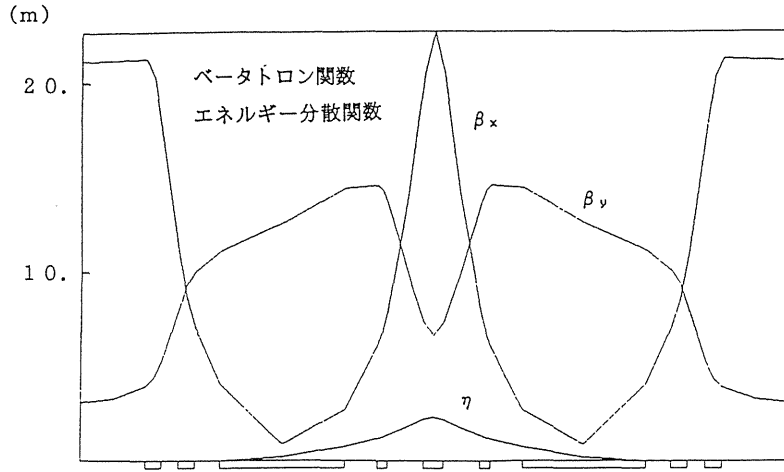


図4 光源リングのベータトロン関数. エネルギー分散関数

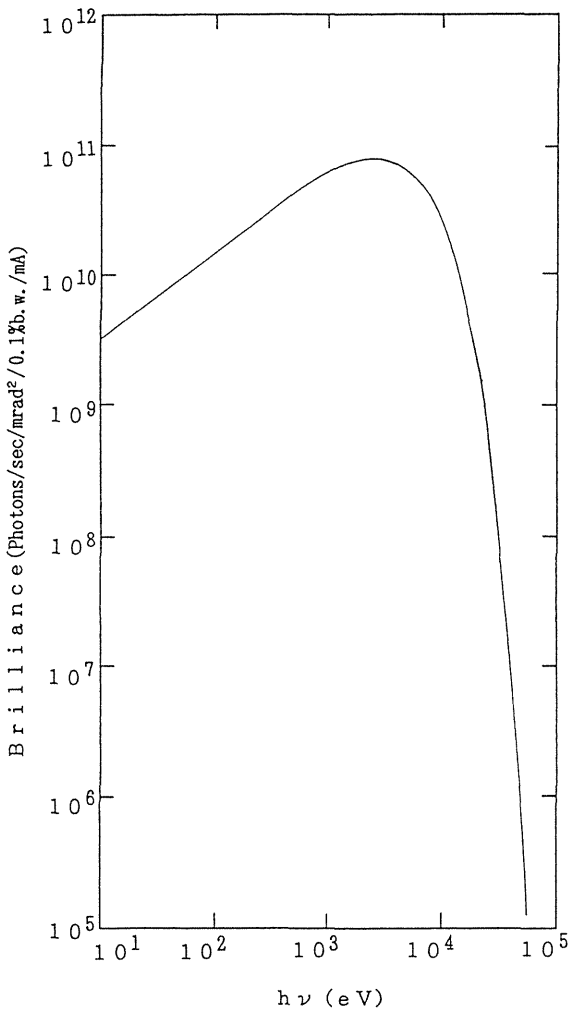


図5 偏向部からの光の分光強度分布

表I 入射器の設計パラメーター

| 項目            | パラメーター                                 |
|---------------|--|
| 加速エネルギー       | 250MeV                                 |
| エネルギー幅        | ±1%以下                                  |
| ビーム径          | (加速管出力) 4mm以下                          |
| ビーム発散角        | ±1mrad以下                               |
| エミッタンス        | $10^4 \pi \text{ nm} \cdot \text{rad}$ |
| パルス毎エネルギー変動   | ±1%以下                                  |
| ビーム電流         | パルス幅                                   |
|               | 電流値                                    |
|               | 2.5 $\mu \text{ sec}$                  |
|               | 100mA                                  |
| パルスレイト (入射頻度) | 1~10pps                                |
|               | (外部トリガによる)                             |
| ライナック本体長さ     | 約30m                                   |
| 加速管 本数        | 6本                                     |
| RF源 出力と台数     | 20MW (ピーク) × 6                         |
| 周波数           | 2856MHz                                |

表II 光源のパラメーター

| 項目                        | パラメーター               |         |
|---------------------------|----------------------|---------|
| 蓄積エネルギー                   | 2GeV                 |         |
| 蓄積ビーム電流                   | 200mA                |         |
| 入射エネルギー                   | 0.25GeV              |         |
| 入射頻度                      | 0.37pps              |         |
| 偏向半径                      | 5.6m                 |         |
| 周長                        | 102.4m               |         |
| 直線部長                      | 4.4m × 6             |         |
|                           | 6.8m × 6             |         |
| 偏向電磁石数                    | 12                   |         |
| 四極電磁石数                    | 42                   |         |
| 加速周波数                     | 117MHz               |         |
| ベータートロンチューン (水平)          | 5.22                 |         |
| (垂直)                      | 2.22                 |         |
| モーメントムコンパクションファクター        | 0.015                |         |
| エネルギー広がり ( $\Delta E/E$ ) | $7.3 \times 10^{-4}$ |         |
| ナチュラルクロマイシヨテー (水平)        | - 12.7               |         |
| (垂直)                      | - 3.7                |         |
| 放射減衰時間                    | (0.25GeV)            | (2GeV)  |
| $\tau_x$                  | 2.7                  | 0.0053s |
| $\tau_y$                  | 2.8                  | 0.0054s |
| $\tau_z$                  | 1.4                  | 0.0027s |
| エミッタンス                    | 120nm · rad          |         |
| ビームサイズ $\sigma_x$ (水平)    | 0.34mm               |         |
| (偏向部中央) $\sigma_y$ (垂直)   | 0.37mm               |         |

表III 産業界・公立研究所の利用計画

| 種類           | B・L数  | 備考 (アンケート結果より) |
|--------------|-------|----------------|
| 企業専用         | 4~6   | 長期専用2者・短期専用16社 |
| 随時使用         | 1~2   | 26社            |
| 分析・解析・照射サービス | 2~3   |                |
| 府下研究機関専用     | 2~4   | 推定             |
| 共同研究用        | 1~5   | 19社            |
| 計            | 10~20 |                |

## 8. 計画の経過と現状

### ・計画の経過

昭和63年10月 大阪科学技術センターに『関西小型SR構想研究ワーキンググループ』を設置

平成1年6月 『関西中型SR構想研究会』に発展改組(関係企業組織)

平成2年3月 この研究会で「関西中型SR施設基本構想」を作成し、大阪府などの関係機関への提言

平成3年5月 『関西中型SR施設研究会』に改組。ここで「基本構想」の詳細検討を行い、その結果を「報告書」としてまとめ、大阪府と熊谷委員長に提出。

### ・計画の現状

大阪府では『産業技術総合研究所整備計画検討委員会』で「共同利用施設」として検討している。

一方、企業中心組織の『関西中型SR施設研究会』では、施設装置、企業のニーズ・企業のビームライン利用につき検討し「報告書」とし

て提出(平成3年5月)。ただし、大学・研究者の利用形態など、大学関係の事項は含まれていない。この研究会は、平成3年度から「量子放射技術研究会(委員長富增多喜夫氏)」に発展改組。

なお大型放射光施設 SPring-8 が近くに建設されるので、相補的な放射光利用研究、研究者の交流、情報交換、人材の養成などで緊密な協力関係をもっていきたい。これらは地理的に同じ関西に設置されるので、京阪奈学研都市に設置される「自由電子レーザー研究所」を含めて、関西の光量子研究施設の密接な協力により、共鳴効果、相乗効果が生じるために、有機的に作戦を展開する『関西光量子研究シアター』を構成することが計画されている。

(注)「シアター」……戦略用語で1つの戦略下で働く作戦展開領域をいう。

(財)大阪科学技術センター

関西中型SR施設研究会 幹事長 三井 勉

## 2・4 東京大学物性研究所 軌道放射物性研究施設

### 1. 要約

本研究計画においては、真空紫外線・軟X線領域の光を発生させる目的をもった電子エネルギー1.5GeVの挿入型光源を主体とした高輝度ストリージングを建設する。さらに、それに適合した分光研究用の測定系を建設し、物質の電子状態に関する先端的研究を行う。

### 2. 目的・概要

本研究計画においては、真空紫外線より軟X線にかけての波長領域における分光研究および光物性研究に重点を置き、将来の進歩を見通した新技術の開発を行うとともに、研究内容の画期的発展をはかることを目的とする。具体的な研究計画は以下のとおりである。

(1) 遠赤外線から軟X線にいたる波長領域の放射光を発生させる高輝度光源を新たに設置する。この新光源は挿入型光源を主体とした最大電子エネルギー1.5GeVの低エミッタンス電子ストリージングで、電子エネルギーを0.5GeVと1.5GeVの間で可変とする。偏向磁石部からの放射光と各種のアンジュレーターからの波長可変で準単色の高輝度直線偏光と円偏光を分光研究と光物性研究に利用する。さらに、自由電子レーザー開発のための基礎研究を行う。

(2) このような高輝度放射光光源に適合した分光測定系を建設して、新しい分光・光物性研究を行う。企画されている実験研究の主なものは、スピン解析を含めた光電子分光の完全実験、高分解能で精密な分光実験、軟X線・真空紫外線領域での蛍光測定、時間分解分光実験、変調分光実験などである。そのほかに、極限条件下での分光研究のための特別実験室を設置する。そこでは、レーザーとの二重照射による高密度励起分光実験、遠

赤外自由電子レーザーの発生、超強磁場・超高压・超低温等の極端条件下での分光実験が行われる予定である。さらに、放射光による固体表面研究のセンターを作る。

本研究施設は、我国で初めての放射光光源専用の電子ストリージングを有し、これまで我国の軟X線・真空紫外線領域における物性研究の発展に多大の貢献をしてきた。しかし、主要設備の完成から15年余りを経過し、多くの実験装置が旧式となり、また老朽化が進行し、最先端の研究に遅れをとるものになりつつある。

一方、我国においては、最近になって、先端的生命科学や地球科学においても放射光X線が利用されるようになり、また、新技術・新材料開発における放射光軟X線・真空紫外線の利用の有効性と重要性が社会的によく認識されるに至った。すでに、高エネルギー物理学研究所、分子科学研究所、電子技術総合研究所および一部の民間企業に新しい放射光光源が完成して稼動状態に入っており、他の民間企業においても、この分野への投資が活発化している。しかし、それらの多くは、計画完遂の確実性を重要視し、建設される実験設備は通常形のストリージングを中心としたものになっている。最近になって、西播磨で大型高輝度X線リングの建設が開始された。これによって、我国のX線を用いる科学研究には格段の進歩が約束された。しかし、一方で、軟X線・真空紫外線領域の光を用いる科学研究を目的とした高輝度光源の建設計画はまだ提案されていない。先進各国におけるこのエネルギー領域の光を用いる科学・技術研究の進歩は極めて急速であり、欧米各国の最新鋭の装置に匹敵する実験設備が我国の施設に備えられているとは言い難いのが現状である。この状況が続けば、我国のこの分野の研究の進展が遅々としたものとなり、先端科学技術の分野において、我国が世界の先進諸国に大きな遅れをとる

事態を招来することは必至である。

この行き詰まった現在の状況を打破し、一挙に世界をリードする研究の遂行を可能にする目的をもって本研究計画が立案された。東京大学物性研究所は、これまでの長い経験と多大の実績の上に立って、軟X線・真空紫外線領域の光物性研究の分野を先導してきた。我々は研究所内外にいる関連分野の多くの専門家の支援を得てこの計画を遂行するものである。本研究所は、物性科学の広い

分野にまたがって、多くの研究者を有している。本研究の推進にあたり、背後にいるこれらの専門家集団との有機的結合は極めて重要である。

### 3. 光源の仕様

ライナック、電子シンクロトロン等の入射器はストオリジリングの内側に配置する。主リング内側の地下に入射系を配置することにより、主リング内側の空間を有効に利用する。図1に施設全体

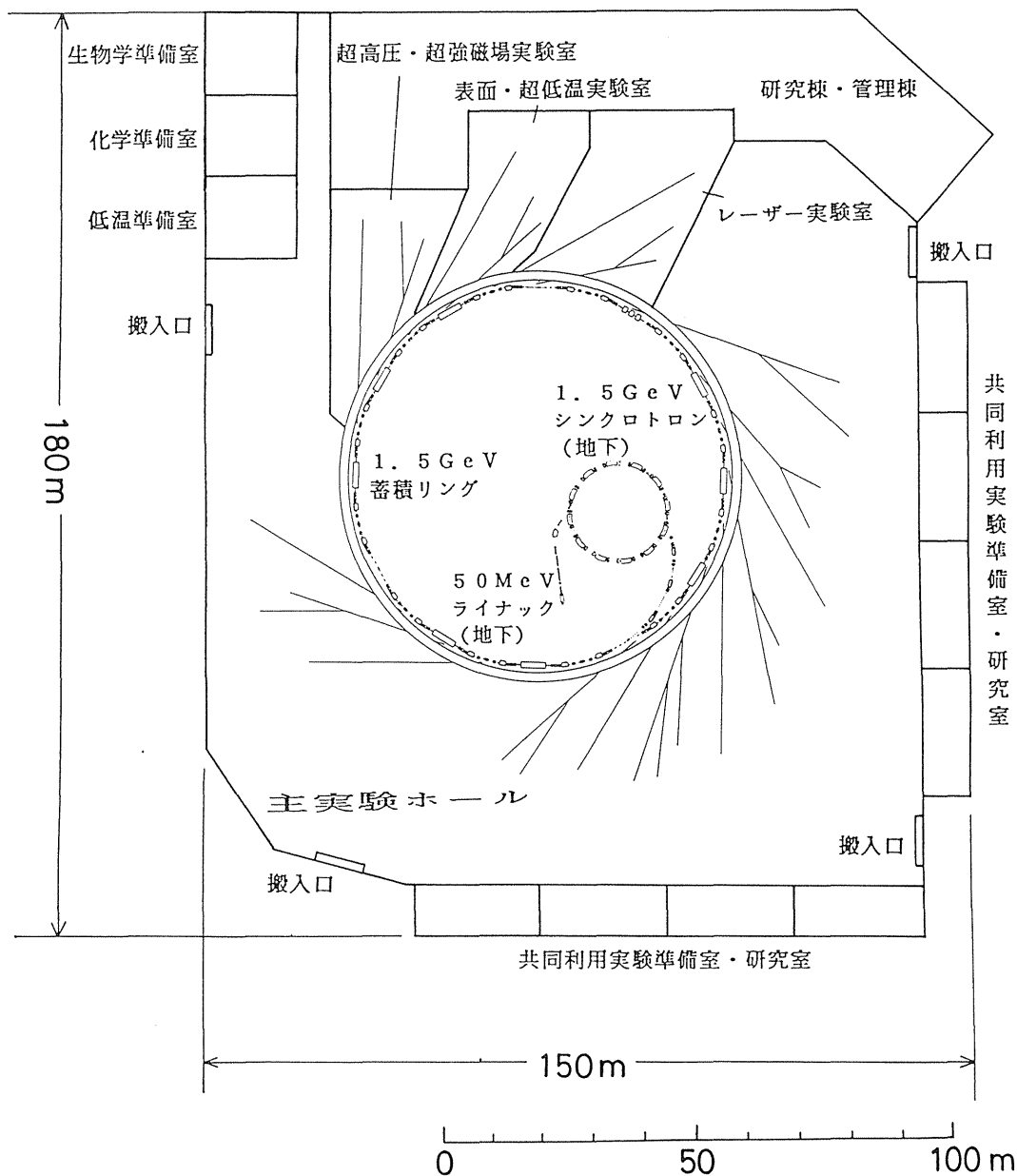


図1 施設全体の概略



に対する概略平面図を概念的に示す。

### (1) 入射器

入射器として、ライナックおよびシンクロトロンを用いる。それらの平面図を図2に示す。ライナックの入射部には、短パルス電子ビームを発生出来るグリッドパルサー、三極管電子銃、プリバンチャを用いる。加速部においては、加速管として定勾配型の2mの進行波管2本を用い、マイクロ波発生には、30MWおよび10MWのクライストロンを各々1本用いる。入射部および入射部と加速部の継ぎ部分には、ビームの発散を押えて電子ビームを効率よく取り出せるように、ヘルムホルツコイルを設けている。表Iにライナックのパラメーターを示す。ライナックによって50MeVに加速された電子は、電子シンクロトロンによって1.5GeVまでさらに加速される。磁石構造はFODOラティスである。表IIにシンクロトロンのパラメーターを示す。

### (2) ストーリジリング

ストーリジリングの電子エネルギーは最大

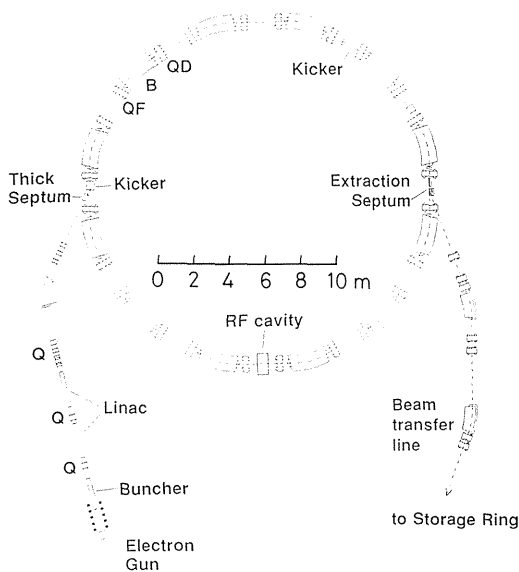


図2 入射器 (ライナック, シンクロトロン) の概念図

1.5GeVとした。これにより、真空紫外領域において物理的に最も興味のある10~500eVの放射光がアンジュレーターの基本波として得られる。ビームエミッタンスは、世界の趨勢を考慮して、5~7nm・radとした。同様に、ビームサイズは200 $\mu$ m以下となるようにした。長直線部の長さは7.0mとした。これにより、たとえば、磁石周期長 $\lambda_p=4.6$ cmで100周期以上のアンジュレーターを十分な余裕をもって挿入できる。また、将来の挿入光源の技術的発展にも対応出来るであろうと予想している。

表IIIにリングの主要パラメーターを示す。図3に光源リングの全体図と単位セルを示す。

実際のラティスとして、単位セルに2個の偏向磁石を用いる2段偏向非色収差型 (Double Bend

表I Linac Parameters

|                  |                                      |
|------------------|--------------------------------------|
| Energy           | E = 50MeV                            |
| Repetition Rate  |                                      |
| Maximum          | 10Hz                                 |
| Nominal          | 1Hz                                  |
| Pulse half width | 2 $\mu$ sec                          |
| Beam current     | $I_{max} = 250$ mA                   |
| Frequency        | 2983.3MHz                            |
| Total length     | 12.5m                                |
| Emittance        | $2 \times 10^{-6} \pi$ m $\cdot$ rad |
| Beam size        | 4mm                                  |

表II Synchrotron Parameters

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Maximum Energy                    | E = 1.5GeV          |
| Circumference                     | $2 \pi R = 62.72$ m |
| Maximum cycle rate                | 10Hz                |
| Radio Frequency                   | 497.12MHz           |
| Harmonic number                   | 104                 |
| Revolution time                   | T = 209nsec         |
| Superperiodicity                  | 12                  |
| Magnets                           |                     |
| Number of dipoles                 | 12                  |
| Bending radius                    | $\rho = 3.820$ m    |
| Dipole field at 1.5GeV            | B = 1.3T            |
| Number of quadrupoles (2families) | 24                  |
| Number of steering magnets        | 24                  |

表Ⅲ Storage Ring Parameters

|   |  |
|---|--|
| Electron energy   | $E = 1.5\text{GeV}$  |
| Maximum current   | $I_{\text{max}} = 400\text{mA}$  |
| Superperiodicity  | 12   |
| Circumference   | $2\pi R = 236.4\text{m}$   |
| Mean radius   | $R = 37.62\text{m}$  |
| Number and length of straight section                         | $12 \times 7.0\text{m}$  |
| Natural emittance   | $\epsilon_0 = 6.37\text{nm}\cdot\text{rad}$  |
| Energy spread   | $\sigma_e/E = 5.75 \times 10^{-4}$   |
| Momentum compaction factor                                    | $\alpha = 1.5 \times 10^{-3}$  |
| Beam size at insertion symmetry point<br>(10% coupling)       | $\sigma_x = 197.7 \mu\text{m}$<br>$\sigma_y = 38.1 \mu\text{m}$                        |
| Beam divergence at insertion symmetry point<br>(10% coupling) | $\sigma'_x = 29.32 \mu\text{rad}$<br>$\sigma'_y = 15.22 \mu\text{rad}$                 |
| Betatron tunes  | $\nu_x = 13.86$<br>$\nu_y = 7.81$  |
| Natural chromaticities  | $\xi_x = -35.6$<br>$\xi_y = -15.3$   |
| Damping time  | $\tau_x = 26.7\text{msec}$<br>$\tau_y = 26.2\text{msec}$<br>$\tau_z = 13.1\text{msec}$ |
| Number of bending magnets                                     | 24   |
| Bending radius  | $\rho = 4.9656\text{m}$  |
| Bending fields  | $B = 1.01\text{T}$   |
| Number of quadrupoles   | 108  |
| Number of quadrupole families                                 | 5  |
| Maximum gradient  | $g = 14\text{T/m}$   |
| Number of sextupole families                                  | 4  |
| Number of steering magnets                                    | 120  |
| Radio frequency   | 497.12MHz  |
| Harmonic number   | $h = 392$  |
| Peak voltage  | 1.2MV  |
| Energy loss per turn without insertion devices                | $U_0 = 90.2\text{keV}$   |
| Critical energy (Bending magnets)                             | $\epsilon_c = 1507\text{eV}$   |

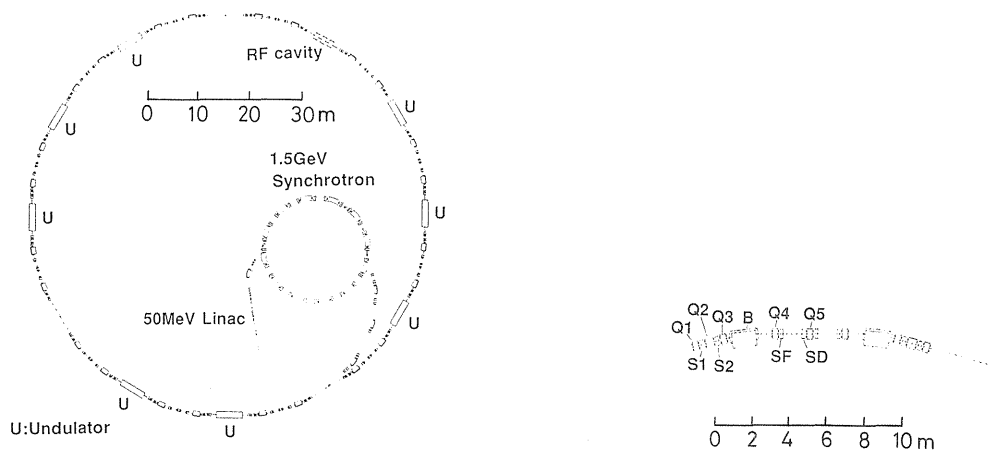


図3 光源リングの全体図と単位セルのラティス構造

Achromat, DBA) を選んだ。長直線部の数は 12 で、このうち、10基の直線部にアンジュレーターを設置することが出来る。残りの長直線部には入射のためのパルス磁石、および高周波加速空洞が設置される。

図4に光源リングのベータトロン関数、分散関数を示す。図5に偏向部からの放射輝度スペクトルを示す。

(3) 挿入光源

ストーリジリングの電子軌道に対する影響を出来るだけ小さくするために、アンジュレーター的设计方針として、(イ)アンジュレーター磁場はなるべく低く抑える、(ロ)アンジュレタ光の高調波は積極的に利用する、(ハ)基本波および奇数次高調波が切れ目なく接がるように磁石周期長を選ぶ、等を考慮した。

ここでは、3種類のアンジュレーターを検討した。表IVにアンジュレーターのパラメーターを示す。

U-4.6では、基本波、3次高調波、5次高調波が連続的に接がり、光子エネルギー 1.8keVまで十分な強度の高輝度放射光が得られる(図6参照)。3種類のアンジュレーターの基本波ピーク値を図7に示す。

アンジュレーターの磁石ギャップの最小値は 20mm を考えている。上に示した3種のアンジュレーター以外に作られる挿入光源の中には、円偏光アンジュレーターが含まれるが、具体的な仕様は定まっていない。

4. 研究分野

本研究計画の目指すものは、第一に、固体内電

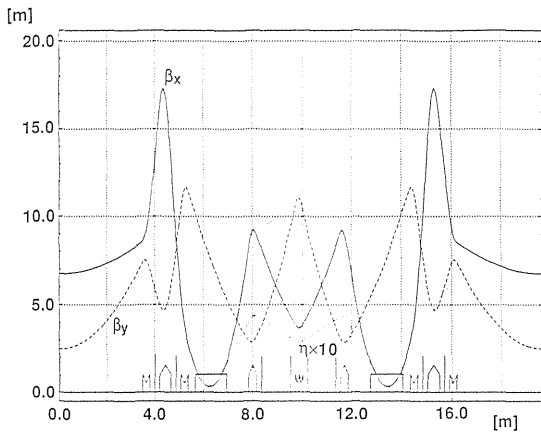


図4 光源リングのベータトロン関数と分散関数

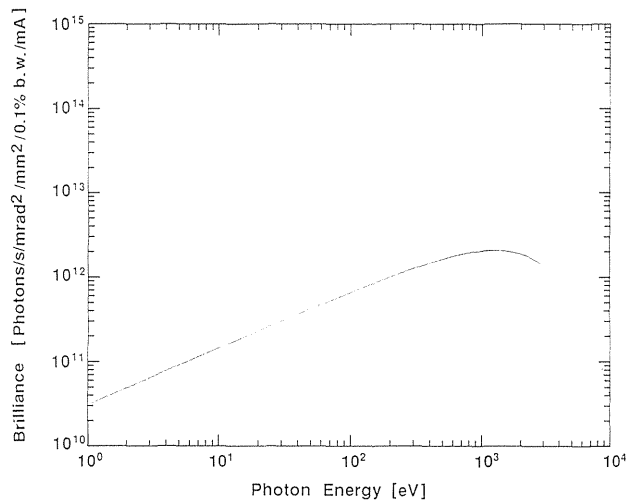


図5 偏向部からの放射輝度スペクトル

表IV Undulator Parameters

| Name of Undulator | $\lambda_u$ (cm) | $N_{period}$ | K           | $B_{max}$ (KG) | Energy range (eV)* |
|-------------------|------------------|--------------|-------------|----------------|--------------------|
| U-4.6             | 4.6              | 108          | 0.15 - 2.41 | 0.36 - 5.61    | 119 - 460          |
| U-8.0             | 8.0              | 62           | 0.27 - 4.48 | 0.36 - 5.99    | 24.2 - 258         |
| U-12.5            | 12.5             | 40           | 0.38 - 7.0  | 0.32 - 5.99    | 6.7 - 159          |

\* fundamental peaks

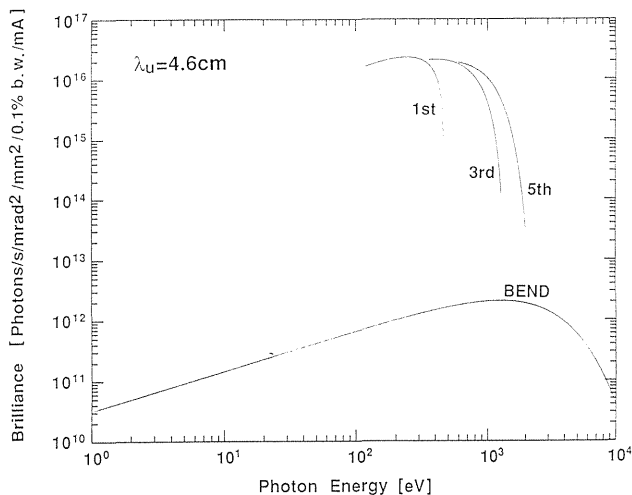


図6 磁石周期長 $\lambda_u = 4.6\text{cm}$ の基本波, 3次高調波および5次高調波のピーク輝度スペクトル

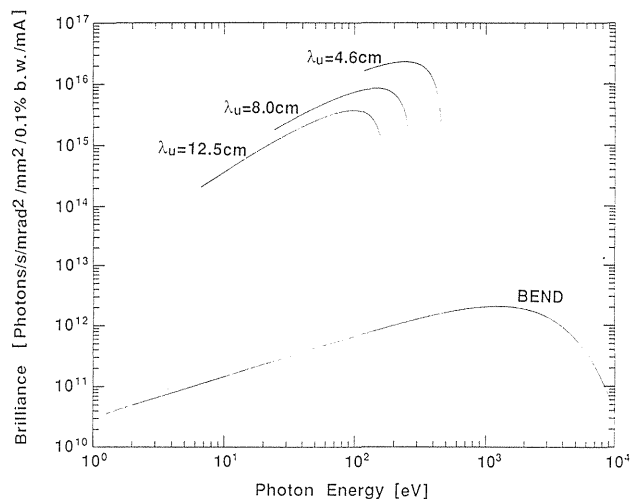


図7 磁石周期長 $\lambda_u = 4.6\text{cm}$ ,  $\lambda_u = 8.0\text{cm}$ ,  $\lambda_u = 12.5\text{cm}$ の基本波ピーク輝度スペクトル

子状態の解析による, 磁性物理学, 金属物理学, 半導体物理学, 光物性学における新研究分野の開拓である。それらの研究は軟X線・真空紫外線領域における吸収・反射, 散乱, 蛍光の解析と光電子のエネルギー, 運動量, スピンの解析を通して行われる。これらは, 今後急速に進展して, 大きな研究分野を形成することが予想されているものである。単に基礎物理学・基礎科学の面での進展にとどまらず, 従来は部分的にしか可能でなかった物質の基本的な電子構造の解析が完全になされ

ることによって, 新材料開発に対しても大きなインパクトを与えることが期待される。最近の高温超伝導体の研究に放射光の果たした貢献がその良い例である。散乱実験や蛍光測定による内殻電子励起の緩和機構の研究も現状ではほぼ未開拓の分野であると言ってもよい。

本研究計画の第二の目標は, 物質の電子状態が外的条件の変化によって如何に変わるかを追跡することである。これは, 高励起, 超高圧, 超強磁場および超低温などの極限条件下での分光実験によって行われる。温度や圧力の変化によって引き起こされる物質の構造的・磁氣的・電氣的な状態の変化については, これまで, 相転移の問題に関連して, 多角的な研究が行われてきたが, 電子構造と相転移の関連についての光学的手段を用いた研究は未だ緒についたばかりである。とくに, 極限条件下での高エネルギー分光法による研究は全くなされていない。これは高輝度光源を用いた分光研究の絶好の対象であり, かつ, 研究が立ち遅れている分野でもあり, 今これを取り上げるのは時機を得ている。この種の研究から得られる情報は, 単に基礎物理学にとどまらず, 機能材料の開発にも大いに資するところとなると思われる。一方, 電子状態を変化させる外的な要因としては, 強い光の照射も考えられる。レーザー光と放射光の2重照射の実験では, どちらか一方の光を検出光として用いることにより, 光学的基底状態を始状態としない高密度励起状態の情報が得られることになる。これは光学的な相変化の追跡をしていることに相当する。

第三の目標は, 固体表面および固体界面の研究である。とくに, 最近, 表面構造の研究をバネにして, 金属半導体界面およびヘテロ接合の電子状態解析が急速に進展してきたこともあって, 表面準位や表面電子状態についての研究は今後ますます重要になるであろう。純粹にアカデミックな立場からは, 未開拓なるが故に予想できない新しい現象や事実の発見および新しい物質としての表面

の作成という重要で興味に満ちあふれた研究テーマが期待される。工業的な応用に関しても、このような基礎研究が、固体表面における化学反応の基本となる分子と表面の衝突過程や触媒作用の解明に直接に結びついているものであると言える。また、新物質の開発やエネルギー吸蔵材料の開発の上でも、また、半導体デバイスの開発にとっても、このような基礎研究の波及効果は非常に大きい。

第四の目標は原子・分子の電子状態の精密な解析と光化学反応の基礎に関する研究を推進することである。この種の研究は、分光学の中心的な位置を占めるものとして、古くから多くの研究がなされ、情報の蓄積と実験データの分析の技術も極めて重厚で、かつ、多岐にわたっている。孤立した原子のエネルギー準位とその励起過程の知識は、分子はもちろん、メゾスコピック系および固体や液体等の凝縮系に見られる物性現象の解明に対して不可欠な基本的情報を提供するものである。最近では、内殻電子の光励起のように、局在した電子励起が問題にされるようになってきているので、原子内電子素過程の情報の重要性は著しく増大している。一方、最近の光源技術と計測技術の進歩により、内殻電子励起の関与する新しい現象が発見され、また、複雑な現象の解析が可能になってきている。高輝度光源の出現により、この方面の研究が質的にも、量的にも、格段に進展することが期待されている。分子の光スペクトルおよび関連する電子素過程の研究は、原子の研究の延長上にある化学反応の追跡につながるものとして、重要である。化学反応を励起状態緩和の一つの過程であると理解するならば、それを詳細に追跡することは、電子過程を掘下げる重要な基礎的データを提供するだけでなく、メゾスコピック系の研究に対しても、ミクロスコピック系との橋渡しという観点から、極めて注目に値する。化学反応の仕組みを正しく理解することは、大気圏や成層圏で惹起される自然環境の破壊につながる有害反

応の抑制や除去に至る化学知識の集積にとっても、極めて重要である。社会的には、光化学スモッグ、オゾン層の破壊、地球の温暖化、酸性雨などによる地球の危機が叫ばれており、この問題に取り組むことは、科学者の責務である。それらの研究を実験室で行うとき、極微量分子に対する効果の検出に、高輝度光源の存在は不可欠のものになると思われる。また、これらの問題が、直接または間接的に、波長の短い光に関係をもっているであろうことは容易に想像できることである。

本研究計画において設置される実験設備はいずれも高度の技術を必要とするものであり、これまでは国産品としては入手不可能であったような素子も含んでいる。本研究計画においては、十分に準備をしてそれらを設計・開発するものであり、精密機械および電子制御の新技术開発の要素を兼備したものとなっている。とくに、アンジュレータ技術の開発推進と光反射素子の開発、および超放射利用技術を推進させることによって、将来の完全チューナブルレーザーである自由電子レーザーの開発に道を拓くことを目論んでいる。その他に、高強度レーザーによって電子ビームを変調して光学的クライストロンでコヒーレントな遠赤外線を発生させる技術を確立し、これにより遠赤外線自由電子レーザーを実用化して、光物性研究に提供することも計画する。

## 5. ビームラインの仕様

分光実験のために、1本の基幹チャンネルより最大2基の実験ステーションをとるように、分岐ラインを作る。挿入光源からの光と通常の偏向磁石部からの光の両方を利用する。ビームライン光学に関する具体的設計はまだ行っていない。定性的には、既に、フォトン・ファクトリー・リングのBL-18およびBL-19でなされた設計をより簡単にした形式を考えている。利用可能なチャンネルのすべてをはじめから利用するのではなく、技術と学問の進展に合わせて、第2期の計画がすすめら

れるよう、一部のラインには第1期計画では、実験装置を挿入しないままにしておく。また、現有のストーリーリングにおいて使用されている光学系のうち、利用できるものは新リングに転用することにする。表Vに建設を予定している分光器に要求している仕様をまとめる。

6. 利用・運営形態

- (1) 共同利用：完全に全国共同利用として運営する。課題採択は共同利用運営委員会の議を経て決定する。インハウススタッフ専用の実験ステーションは作らない。ただし、建設協力グループには優先的にビームタイムを配分することを考える。その割合は共同利用運営委員会が定める。
- (2) 運転計画：週休2日制を考える。月曜日から金曜日まで連続運転とする。マシンスタディは原則として週24時間以内とする。夜間運転は外部へ

の業務委託とする。

- (3) 出張旅費：採択課題の研究に必要な旅費・消耗品費は原則として物性研究所が負担する。共同利用にかかわる経費については、共同利用運営委員会の議を経て決定する。ただし、民間団体からの利用申込みに対しては、指導官庁の方針に準拠して処理する。
- (4) 教育：東京大学の大学院教育の一部を担うものとする。ただし、他大学からの依託学生を大幅に受入れる。

7. 建設計画

- (1) 実施計画：計画実施の年表を表VIに示す。
- (2) 予算：建設のための予算の詳細は省略するが平成3年度の要求は以下のようになっている。

|         |              |
|---------|--------------|
| 1)放射光光源 | 6,334,660千円  |
| 2)測定装置  | 3,828,510千円  |
| 小計      | 10,163,170千円 |

表V 分光系の仕様 (1次計画)

| 実験名                 | 光領域 (eV)   | 全分解能 (最大)           | 分光器    | 備考               |
|---------------------|------------|---------------------|--------|------------------|
| 角度分解光電子分光           | 5 - 50     | 10 <sup>4</sup>     | NIM    |                  |
|                     | 10 - 500   | 10 <sup>3</sup>     | CDM    | 固体、表面            |
|                     | 30 - 1000  | 10 <sup>3</sup>     | PGM    | 低温               |
|                     | 10 - 500   | 5 × 10 <sup>3</sup> | TGM    | 高分解能、低温<br>固体、表面 |
| 角度スピン分解             | 30 - 1500  | 10 <sup>3</sup>     |        |                  |
| 光電子分光               | 5 - 100    | 2 × 10 <sup>3</sup> | CDM    | 高分解能             |
| 位置スピン分解分光           | 30 - 1000  | 5 × 10 <sup>2</sup> | CDM    | 固体               |
| 時間分解分光              | 5 - 150    | 5 × 10 <sup>2</sup> | CDM    | 気体               |
| XANES、蛍光            | 10 - 500   | 5 × 10 <sup>3</sup> | DRAGON | 気体               |
|                     | 5 - 20     | 10 <sup>4</sup>     | NIM    | 気体、高分解能          |
|                     | 5 - 20     | 3 × 10 <sup>2</sup> | NIM    | 固体、超高圧           |
|                     | 5 - 200    | 5 × 10 <sup>2</sup> | CDM    | 超強磁場、低温          |
| 変調分光                | 10 - 100   | 3 × 10 <sup>2</sup> | PGM    | 固体               |
| XANES、<br>角度積分光電子分光 | 30 - 500   | 3 × 10 <sup>3</sup> | CDM    | レーザーと同時          |
| 円偏光分光               | 20 - 1000  | 1 × 10 <sup>3</sup> | CDM    | 固体               |
|                     | 300 - 1000 | 2 × 10 <sup>3</sup> | CDM    | 固体               |
| 遠赤外分光               | < 100meV   | 10 <sup>2</sup>     |        |                  |

表VI 年次計画

|                     | 平成X年 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 |
|---------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| 光源                  |      |     |     |     |     |
| ストーリーリング            | ←    | →   |     |     |     |
| 挿入光源                | ←    | →   |     |     |     |
| FEL                 |      |     | ↔   |     |     |
| 入射系                 | ←    | →   |     |     |     |
| 測定系                 |      |     |     |     |     |
| 共通設備                | ←    | →   |     |     |     |
| 特殊実験 I              | ←    | →   |     |     |     |
| 特殊実験 II             |      |     | ←   | →   |     |
| 標準実験                |      |     | ←   | →   |     |
| 除 Civil Engineering |      |     |     |     |     |

## 3)建設協力旅費および職員旅費 25,000千円

このほかに相当額の建物等に関する予算要求を行うが、これはキャンパス移転の一環として考えられるので、現在、具体的数値は出していない。

(3) 定員：人員要求の内容を表VIIに示す。これは、現在の厳しい定員枠を考慮して考えられたものであるが、不足分は、外部に建設協力者を求めること、業務委託を行うことにより補いたい。

## 8. 計画の経過と現状

我国では、昭和37年東京大学原子核研究所に電子シンクロトロンが完成すると同時に、そこで発生する放射光を用いた分光研究が世界に先駆けて開始された。その後、物性研究専用の電子ストーリーリング（SOR-RINGと名付けられている）が昭和49年に完成し、昭和50年より物性研究所軌道放射物性研究施設がこれを管理運営して今日

表VII 人員要求

|        | 教授 | 助教授  | 助手 | 技官 | 計     |
|--------|----|------|----|----|-------|
|        | 人  | 人    | 人  | 人  | 人     |
| 所要人員   | 3  | 4    | 8  | 10 | 25    |
| 測定器系   | 2  | 2    | 4  | 5  | 13    |
| 加速器系   | 1  | 2    | 4  | 5  | 12    |
| 客員     |    | 2    |    |    | 2     |
| 既定人員   | 1  | 3(1) | 5  | 5  | 14(1) |
| 差引要求人員 | 2  | 1(1) | 3  | 5  | 11(1) |

に至っている。その間、SOR-RINGの性能向上は著しく、現在、放射光光源として全国共同利用実験に提供されており、これまで世界に先駆けて幾多の研究成果をあげ、共同利用研究施設としての責任を十分に果たしてきた。新しい分光実験を

推進するために、昭和61・62年度の両年度にわたって、高エネルギー物理学研究所のフォトン・ファクトリー・リングの2本のビームラインに1基のアンジュレーターと3基の実験ステーション(スピン偏極光電子分光実験装置, 温度可変光電子分光実験装置, 表面界面光電子分光実験装置)を完成させた。つづいてこの設備を維持し, 研究を推進するために高エネルギー物理学研究所内に東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設筑波分室を設置した。

本高輝度光源計画に関する概算要求は東京大学に対して昭和58年度より継続して行われている。上記のフォトン・ファクトリー・リングへの3基の実験ステーションもその一環をなすものであった。現在までに, そのほかの要求は実現していない。これらの計画に対しては研究所内および東京大学はもとより, 外部の研究グループとして,

INS - SOR同好会の絶大な支援があった。本高輝度光源計画に関連して開催された研究会の主なものは以下の通りである。

- 昭和58年5月 物性研究所短期研究会  
「放射光を用いる新しい科学研究の展望」
- 昭和59年12月 物性研究所短期研究会  
「軟X線・真空紫外領域の新しい光物性の展望とSOR将来計画」
- 平成元年6月 物性研究所研究会  
「高輝度光源に何を期待するか」
- 平成2年2月 物性研究所短期研究会  
「高輝度放射光による新しい分光科学」

東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設



## 2・5 高エネルギー物理学研究所 VUV・軟X線高輝度高安定 放射光施設

### 1. 要約

本施設は、VUV・軟X線領域における物理、化学、生物、工学などにかかわる基礎的・応用的な研究のうち、従来の光源ではできないような質的に高度な研究、新しい領域を開く先端的研究を遂行するための高輝度かつ高安定な光源施設である。

### 2. 目的・概要

VUV・軟X線領域における放射光の利用は、これまで物理、化学、生物などにかかわる基礎的な研究のみならず、工学的応用分野の研究も含めて、きわめて広範な分野で行われてきた。したがって従来の放射光源は、これらのすべてを平均的にカバーするような最大公約数的な仕様を持つものであった。しかしながら、それぞれの分野の研究内容が高度化するにつれ、研究分野によって光源に対する要求が分化しはじめている。その第一の分化は、世界的には主として硬X線を利用するための光源と、VUV・軟X線を利用するための光源の分離という形で現れた。そして、近年は放射光の持つ性質に対する要求として、大きな光束を比較的大きな面積に均一に照射したいという要求と、小さな面積に高輝度放射光を照射したいという要求が分離しはじめている。前者は比較的小型で大きいエミッタンスを持つ光源が適しているのに対して、後者は大型で小さいエミッタンスを持ちかつ多数の挿入型光源が設置された光源が適している。一方、挿入型光源を主体とした高輝度光源は世界の各地で設計作業、建設が始まりつつあるが、最大の問題点は高輝度にしたときのビームの安定性であると言われている。蓄積ビームは、エミッタンスが小さくなるほど外乱の影響を受けやすいことは良く知られている。とりわけVUV・

軟X線領域の光源は、電子エネルギーが比較的低いため、挿入型光源の磁場の強さの変動の影響を受けやすい。しかしながら、VUV・軟X線領域における研究では分光的手段は重要であり、波長変更のために挿入光源のギャップを任意に変更したいという要求は今後ますます増大すると考えられる。

以上のことから、高輝度の光源は同時に高安定であること、すなわち挿入型光源の磁場変更の影響を受けにくいものでなければならないことが結論される。

本計画は、以上のような背景のもとで国家的なプロジェクトの一つとしてVUV・軟X線領域の高輝度かつ高安定な光源を中心とした施設を建設しようとするものである。したがって本計画は、ある特定の地域を想定した地域的な計画ではない。本計画が目ざしているような光源の建設には、きわめて高度な技術の結集と大規模な財政的措置が必要であり、わが国においては一ヶ所に全国の中心的施設を建設して、全国的ひいては、国際的な観点からこれを運営することが適切と考えられるからである。このような見地から本計画は設置場所を高エネルギー物理学研究所内の敷地とし、そのことがもたらす諸々の有利な条件を最大限に利用することを前提としている。

本計画の実現によって推進される研究は、VUV・軟X線領域における物理、化学、生物、工学などに関わる基礎的・応用的な研究のうち、従来の光源では不可能であったような質的に高度な研究、新しい領域を開拓するような先端的研究である。それらの研究は、これまでに蓄積されてきた種々の要素技術、すなわち強磁場、超低温、極高真空、レーザー技術などと結合する機会が少なくないと予想される。本計画は、先端的研究が中心となるという位置づけから、きわめて高度な光源技術の結集が必要となるが、これは産業界との協力関係なしには実現し得ないものであり、光源の建設そのものが全体として産業界の技術力

の向上を促すと予想される。同様に、遂行さるべき研究と結合する要素技術自体もそれぞれ高度なものが要求されるので、この点でも産業界との緊密な連携が必要不可欠である。従って、本計画の実現によって得られる成果を全体として見るならば、産業界に対しても絶大な波及効果をもたらすことは確実である。

### 3. 光源の仕様

- |                  |  |
|------------------|--|
| ①ビームエネルギー        | 1.5~3.0GeV   |
| ②陽電子蓄積電流         | ~300mA   |
| ③光子エネルギー範囲       | 10~2000eV  |
| ④アンジュレーター用直線部    | ~6m × ~20本   |
| ⑤エミッタンス          | 7nm·rad  |
| ⑥時間平均エミッタンス(安定度) | 10nm·rad   |
| ⑦ビームサイズ          | $\sigma_x=0.32\text{mm}$<br>$\sigma_y=0.05\text{mm}$ |
| ⑧ビーム寿命           | 12時間以上   |
| ⑨多様な運転モード        |  |
| ・可変ビームエネルギー      |  |
| ・低エミッタンス多バンチ運転   |  |
| ・通常エミッタンス単バンチ運転  |  |
| ⑩フルエネルギー入射       |  |

既設の線形加速器を改良して用いる

### 4. 研究分野

需要調査の結果によれば本計画の実現にともなうて遂行されるべき研究分野の大きな部分を占めるのは物理学、化学、生物学、工学等のうちの基礎的研究に属するものであり、研究対象の量子力学的効果を含むマイクロな性質の解明という点で共通性をもっている。マイクロな性質の解明を重視するという立場からは、従来の学問分野の分類は意味を持たず、境界領域という位置づけも可能である。しかし、この立場は同時に研究対象物のマイクロな性質と関連づけた研究に発展するものであり、そこにおける問題意識の多様性がそれぞれの学問分野の差異を形づくると考えることができ

る。本計画では、以上の観点から、特定の学問分野をそのマクロな問題意識の差異の故に優先順位をつけるという姿勢はとらない。むしろマイクロな性質を解明するための実験方法、技術の共通性を土台とし、それぞれの研究が高輝度光源の利用が不可欠であるという共通の認識があるならば、いかなる研究分野も同等の機会をもって受け入れられるものでなくてはならない。

マイクロな対象という観点からは研究対象は

- (1) 固体(生体を含む)の基底状態および励起状態における電子状態
  - (2) 表面の構造, 電子状態
  - (3) 表面における化学反応
  - (4) クラスタ, 気体の基底状態および励起状態における電子状態
  - (5) イオン, フリーラジカルを含む気相における化学反応
- などである。

また、対象の観測を時間的に分類すれば

- (1) 定常状態または遅い変化
  - (2) 過渡現象または高速の変化
- などの観測手段にわけられる。

また多くの場合、対象は特定の外場または環境のなかにおかれることが多い。それらは、

- (1) 極低温, 高温
  - (2) 強磁場
  - (3) 極高真空
  - (4) 他の手段(レーザー光)などによる励起状態化などである。具体的な測定方法は分光学的手段または顕微鏡的手段またはそれらの結合であるが、検出対象とその物理量は以下のように多様である。
- (1) 光の検出: 透過光, 反射光, 散乱光, 蛍光などの光子エネルギー, 強度, 偏光度
  - (2) 電子の検出: 光電子やオージェ電子の放出角, 強度, 運動エネルギー, スピン
  - (3) イオンの検出: 放出角, 強度, 質量, 価数, 運動エネルギー

以上の分析変数のうちの多数のものを同時に計測するには高輝度な光源が必要であるが、実際にどの程度の信号が得られるかは、それぞれの分析変数をどの程度の分解能で計測するかにも依っている。このうち光子エネルギーの高分解能化および電子の運動エネルギーの高分解能化は決定的に重要である。それ以外の分析変数の分解能を改善することも対象によっては極めて重要であり、入射光の高輝度化によって可能となる。

さらに開発的要素を伴う研究方法は、

- (1) 上記の測定に顕微鏡技術を結合して微小領域を測定すること
- (2) 上記の分析変数のいくつかを同期計測（コインシデンス実験）すること

である。この2つの測定方法などは、高輝度光源によって飛躍的な発展が期待される代表的なものである。

## 5. ビームラインの仕様

光源リングは24セル構造を持つので、約6mの自由直線部も24ヶ所となる（図2参照）。このうち入射用、RF加速用にいくつかの直線部が利用されるので、全体として20ヶ所の直線部を挿入光源用のスペースとして確保する。これらの挿入光源およびそれらに接続されたビームライン・ステーションの仕様は表Ⅱのとおりである。しかしこれらは一応の目安であって固定的なものではないというのが本計画の立場である。すなわち、科学技術の発展は日進月歩であって、建設の当初から20本のビームラインの建設をすべて開始することは、かえって新しい発展に柔軟に対応する点で問題があるという視点に立っている。したがって本計画においては建設時の当初計画として直ちに建設作業が開始されるビームラインは、約10本程度である。残りの10本は新しい研究分野の発展に対応して、約5年後から順次建設していくという二段構えの建設計画を確立する予定である。尚、1つのビームラインについて最大限2種類までのブ

ランチが建設可能であると考えられる。

本計画に於ける光源用リングは、VUV・軟X線用に最適化されたものであるが、リング性能向上のための多極ウィグラーの挿入も検討されており、これは、硬X線を放出する。また、偏向電磁石からの放射光の利用も可能である。従って、硬X線領域に於いても利用の道が開かれている（図3参照）。

## 6. 利用・運営形態

本計画は高エネルギー物理学研究所の敷地利用を前提としているので（図1参照）、基本的には共同利用体制、出張旅費の支給等は従来からフォトン・ファクトリーで行われた方式をひきつぐことになる。これに伴う実務の執行に必要な人員、宿舎等の便宜利用も十分ではないにしてもある程度は既に準備されている。

しかし、本計画は従来の共同利用方式では必ずしも機能し得なかった長期的研究テーマの遂行、ビームライン建設を共同利用研究の一形態と位置づけた建設体制づくり、などを推進する立場から、いくつかの新しい提案をおこなっている。その一つは、長期的かつ開発的テーマについては内部スタッフと共同利用者が共同して検討を加え、ビームラインの設計、建設、利用にわたる一貫したテーマとして採択し、3年～5年にわたる有効期間を設定して、建設に必要な財源をも保証するというものである。このようにして建設されたビームラインは、汎用の仕様をもつものではなく、特定の研究目的のために最適化された仕様をもつものとなる。このような一貫性をもったビームラインの建設・利用が円滑に行われるためには、このような研究課題の遂行の是非を多面的な視点から議論することのできる審査委員会を設け、公開のヒアリングやレビュー・アンド・チェックを適宜おこなう必要がある。

また、本計画の中心となる光源リングは、1.5GeVまでの低エネルギー運転や単バンチ運転な

どを含む多様なモードで運転されることが期待されるが、その中には光源そのものの開発研究も含まれる。この様な開発研究が長い目でみて、利用研究の質的向上に大きく寄与するものであることは過去の経験から見て明かである。この開発研究には多様な課題が含まれるが、短波長領域に於ける自由電子レーザーの開発など、光源の基本性能の高さを生かしたものは特に重視する必要がある。

## 7. 建設計画

本計画の遂行に必要な予算は、光源および測定器を含めて約200億円であると見込まれる。建設要員は、高エネルギー物理学研究所内のスタッフの他に全国的に約30名(光源関係10名、ビームライン・測定器約20名)の支援体制を組織する必要があるが、これは十分に可能であると思われる。定常運転に要する人員としては、光源および測定器合わせてすべてのビームラインが完成した時点では約100名の職員が必要であると見込まれるが、新規の定員増は最小限にとどめて、現有人員の再配置を含めて充足計画を立案する。それらとは別に、各ビームラインのエンドステーションの維持のために、利用者を中心とした複数のチームを組織する。すべてのビームラインが完成した

時点でこれらのチームに含まれる人員は約50名と見込まれる。

## 8. 計画の経過と現状

本計画の推進母体は、放射光実験施設全体会議で承認された二つの将来計画検討グループのうち、VUV・軟X線の将来計画を検討するグループである。このグループは、測定器系のVUV・軟X線の関係者の他、光源系および入射器系の関係者をも含んでおり、これまで約20数回にわたって検討を行ってきた。また、本計画は国家的プロジェクトとして位置づけられていることから、当然全国的な需要予測と支援体制の確立が不可欠である。このような観点から、過去2回にわたる包括的な研究会(1986年10月、1989年3月)とともにそれぞれの分野別の研究会ものべ10回以上にわたって開催されており、今後も引き続き多面的な視点から検討が加えられていく。予算要求の実績はまだないが、KEKの他の将来計画や国家的な財政事情をにらみながら、タイミングよく、概算要求していく必要がある。

高エネルギー物理学研究所

VUV・SX 将来計画検討委員会

表 I

| Parameters of KEK Low Emittance Ring       |                   |                |
|--|-------------------|----------------|
| Energy                                     | E                 | 3.0 GeV        |
| Circumference                              | C                 | 480.0 m        |
| Superperiod                                | N <sub>s</sub>    | 24             |
| Number of Insertion Devices                | N <sub>ID</sub>   | 20             |
| Lattice Type                               |                   | Chasman-Green  |
| Natural emittance                          | $\epsilon_0$      | 7.11 nmrad     |
| Betatron Tune                              | $\nu_x/\nu_y$     | 21.84/7.82     |
| Betatron Function at long straight section | $\beta_x/\beta_y$ | 14.2/5.38 m    |
| Momentum Compaction                        | $\alpha$          | 0.000371       |
| Energy Spread                              | $\sigma_e$        | 0.00082        |
| Natural Chromaticity                       | $\xi_x/\xi_y$     | -40.46/-26.06  |
| Energy Loss per turn                       | U <sub>0</sub>    | 0.7215 MeV     |
| Transverse Radiation Damping Time          | $\tau_x/\tau_y$   | 13.3/13.3 msec |
| Longitudinal Radiation Damping Time        | $\tau_e$          | 6.62 msec      |
| Revolution Frequency                       | f <sub>rev</sub>  | 624.6 KHz      |
| RF Frequency                               | f <sub>RF</sub>   | 499.7 MHz      |
| Harmonic Number                            | h                 | 800            |
| RF Voltage                                 | V <sub>RF</sub>   | 2.0 MV         |
| RF Bucket Height                           | $\Delta E/E$      | 0.027          |
| Synchrotron Tune                           | $\nu_s$           | 0.0054         |
| Bunch Length                               | $\sigma_z$        | 4.3 mm         |
| Beam Size                                  | $\sigma_x$        | 0.32mm         |
|  | $\sigma_y$        | 0.028mm        |

表 II

|   |  |
|---|--|
| 1) XUV ビームライン・ステーション<br>(~300eV)            | b) 大照射強度利用                             |
| a) Solid State Physics I                    | • 放射線生物学                               |
| • 温度可変角度分解光電子分光                             | • 光学素子評価                               |
| • 1 K° 以下の光電子分光                             | 4) X-ray ビームライン・ステーション<br>(800eV以上)    |
| b) Solid State Physics II                   | a) Solid State Physics IV              |
| • スピン分解光電子分光 (直線偏向)                         | • XPS・XES・XAS                          |
| c) Surface Science I                        | • XPS・XESの同時計測実験                       |
| • 表面光電子回折                                   | b) Surface Science V                   |
| • 光脱離                                       | • 軽元素の XAFS                            |
| d) Surface Science II                       | • 軟X線定在波法                              |
| • 角度分解光電子分光                                 | • 光電子回折                                |
| e) Molecular Science I                      | 5) 円偏光利用 ビームライン・ステーション<br>(~300eV)     |
| • 励起原子・イオンの光電子分光                            | a) Solid State Physics V               |
| • 分子の高分解能光電子分光・蛍光分光                         | • 極低温強磁場に於ける固体分光                       |
| • 解離イオン・オージェ電子の同時計測実験                       | • 生体物質の円二色性                            |
| 2) Soft x-ray ビームライン・ステーション<br>(200~2000eV) | b) 光電子顕微鏡                              |
| a) Solid State Physics III                  | c) Solid State Physics VI              |
| • XPS・XES・XAS                               | • 角度分解光電子分光の円二色性                       |
| • XPS・XESの同時計測実験                            | • 磁性体の磁気円二色性                           |
| b) Surface Science III                      | d) Solid State Physics VII             |
| • 軽元素の XAFS                                 | • スピン分解光電子分光 (円偏光)                     |
| • 光電子回折                                     | 6) 円偏光利用 ビームライン・ステーション<br>(200~2000eV) |
| c) Molecular Science II                     | a) Solid State Physics VIII            |
| • 分子の高分解能光電子分光・蛍光分光                         | • 磁性体の磁気円二色性                           |
| • 解離イオン・オージェ電子の同時計測実験                       | • スピン分解光電子分光                           |
| 3) XUV・SX ビームライン・ステーション<br>(10~1200eV)      | b) Solid State Physics IX              |
| a) Surface Science IV                       | • 磁気 XAFS                              |
| • 光化学反応                                     | c) 軟X線顕微鏡                              |

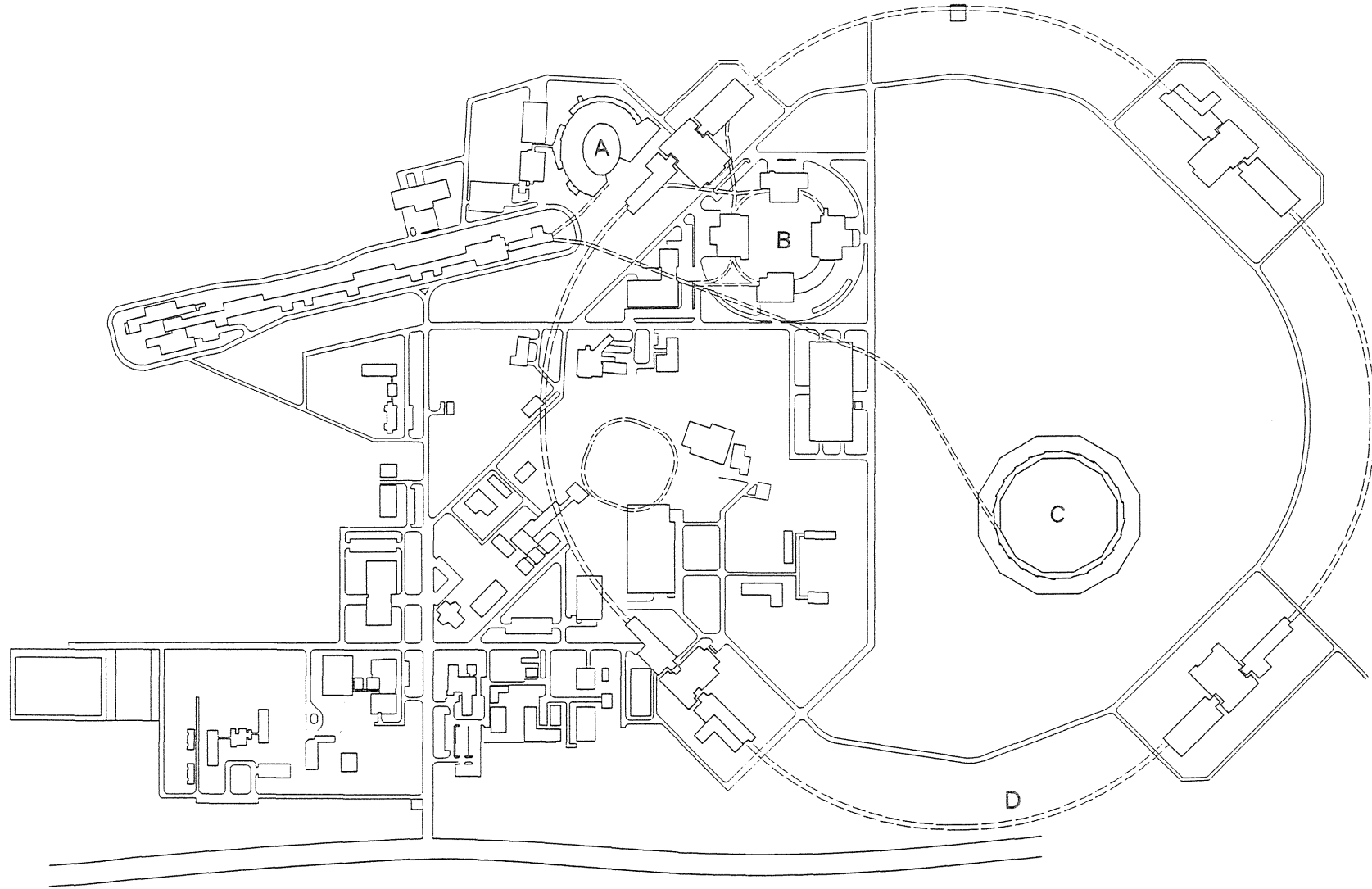


図1 光源リングの位置関係 | A : 2.5GeVリング      B : 蓄積リング (AR)  
C : 本計画の光源リング      D : トリスタン主リング

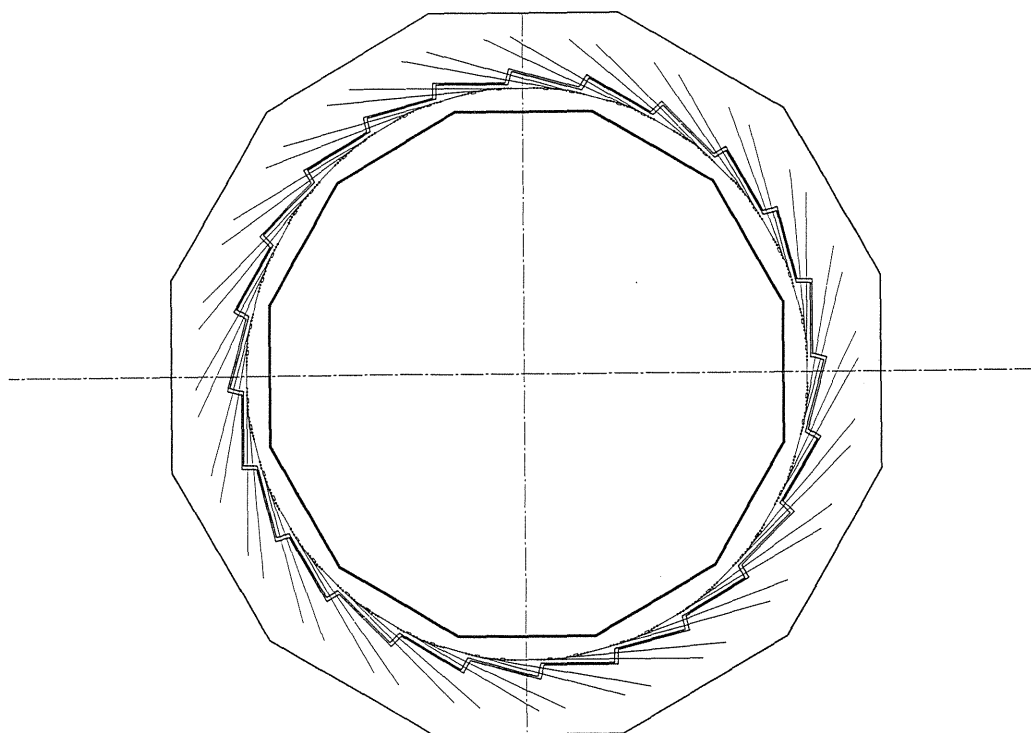


図2 光源リングおよび実験ホールの平面図

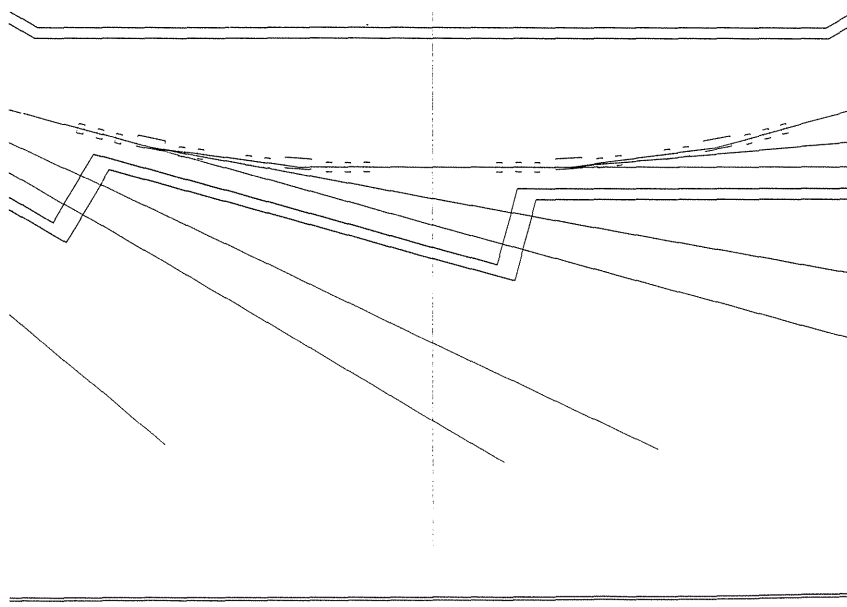


図3 光源リング磁石配置拡大図



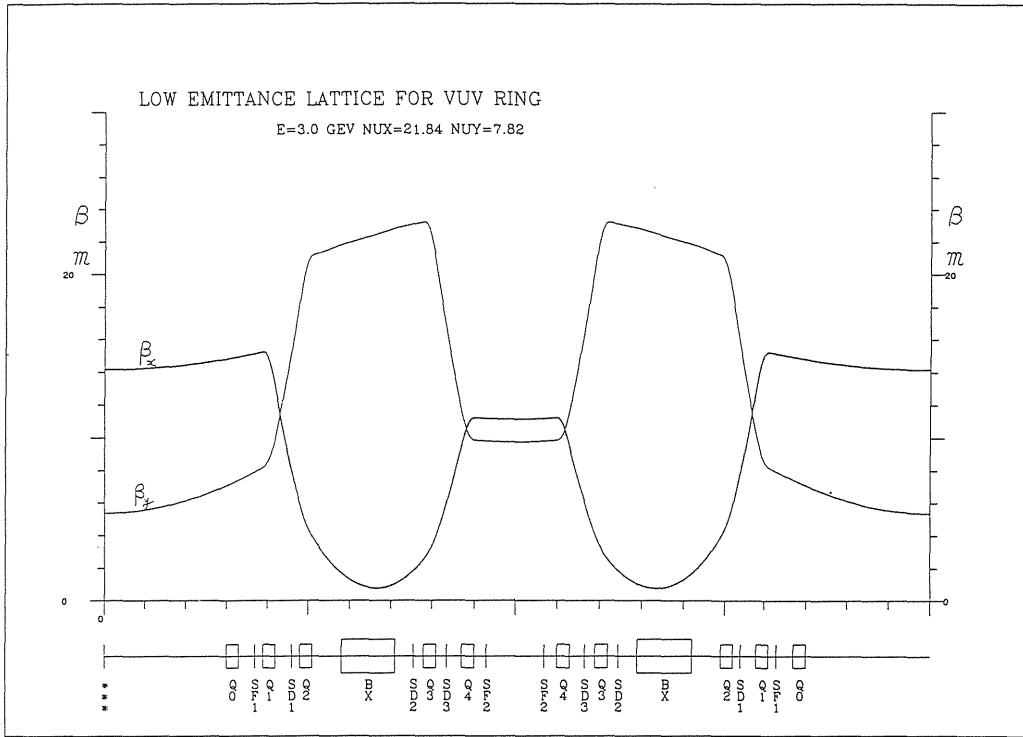


図4 (a) 低エミッタンス動作時のベータトロン関数

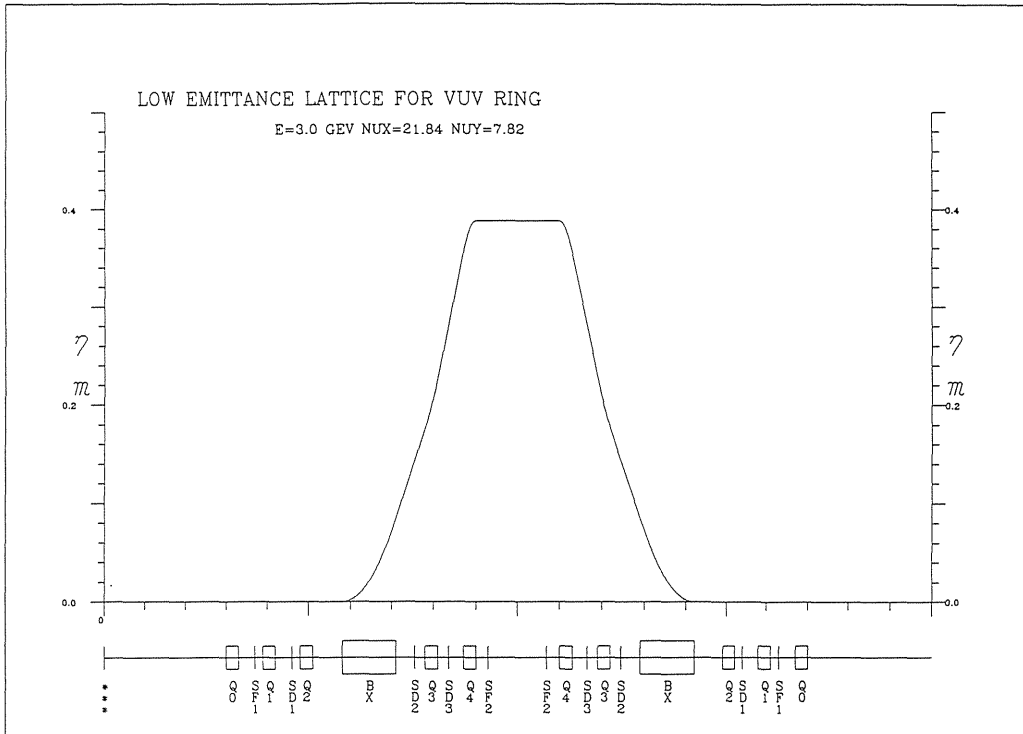


図4 (b) 低エミッタンス動作時の分散関数

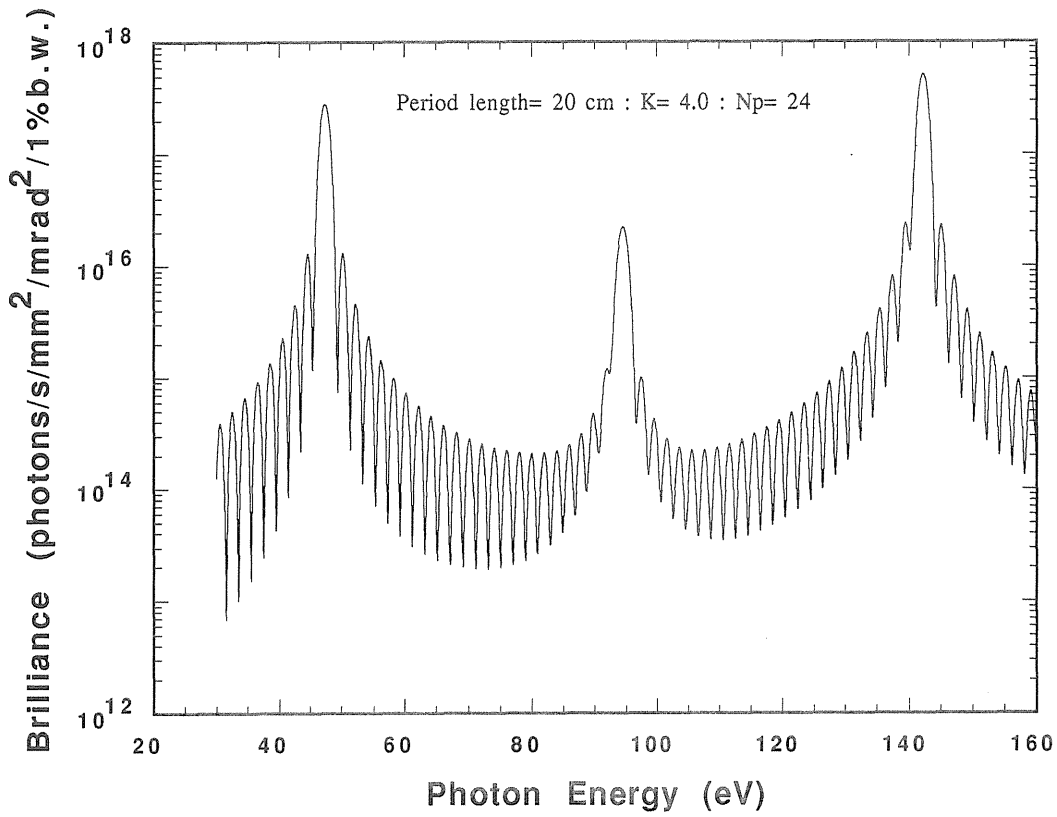


図5 (a) 挿入光源からの放射の輝度

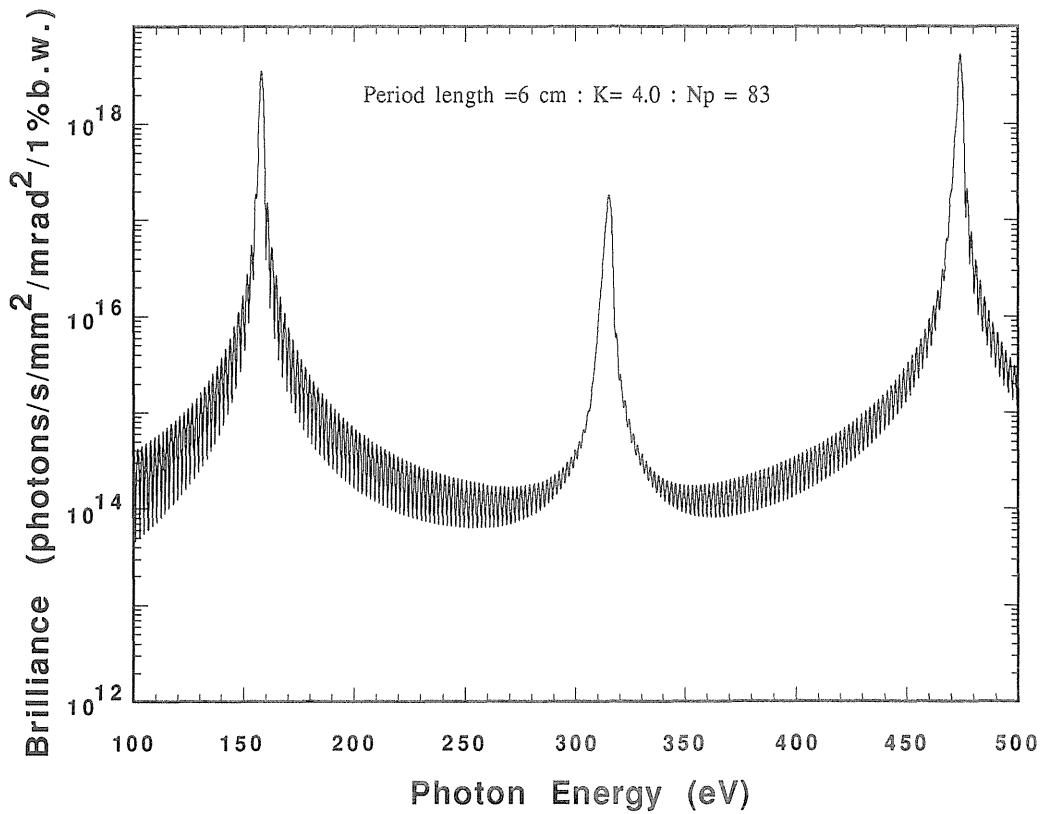


図5 (b) 挿入光源からの放射の輝度

## 2・6 東北大学電子ライナック研究センター

### 1. 要約

東北大学計画は理学部附属原子核理学研究施設(核理研)を拡充し、共同利用型の「東北大学電子ライナック研究センター」へと発展的に改組しようとするものである。本計画では、既存の300MeV電子ライナックを増強し、放射光用1.5GeV電子蓄積リングと、それへの入射器を兼ねた原子核研究用ストレッチャー・ブースター・リングの2つの電子加速器を建設し、放射光利用実験、同時計数・内部標の実験による原子核実験や、その他電子線を利用した研究を総合的に推進する。これらの分野において目標をしぼった特色のある研究を行ない、柔軟な運営によって、主に東北地方における共同実験を推進し、若手研究者の養成や民間との共同研究を積極的に行い、国際交流を進めるなど多方面に貢献できる世界的水準の研究センターを実現する。

### 2. 目的・概要

新しい光源としての電子蓄積リングから得られる、X線、軟X線、真空紫外線、遠赤外線の利用は、物質科学や生命科学の基礎研究をはじめ、新素材・新機能性物質の開発・評価やX線リソグラフィ等の先端的産業技術、医学への応用等にいたる広範な分野で、急速に広がりつつある。東北大学の研究者は、早くからこの放射光の有用性に注目し、これまでに東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設や、高エネルギー物理学研究所放射光実験施設の建設に、重要な役割を果たし、共同利用研究においても多くの成果を上げてきた。

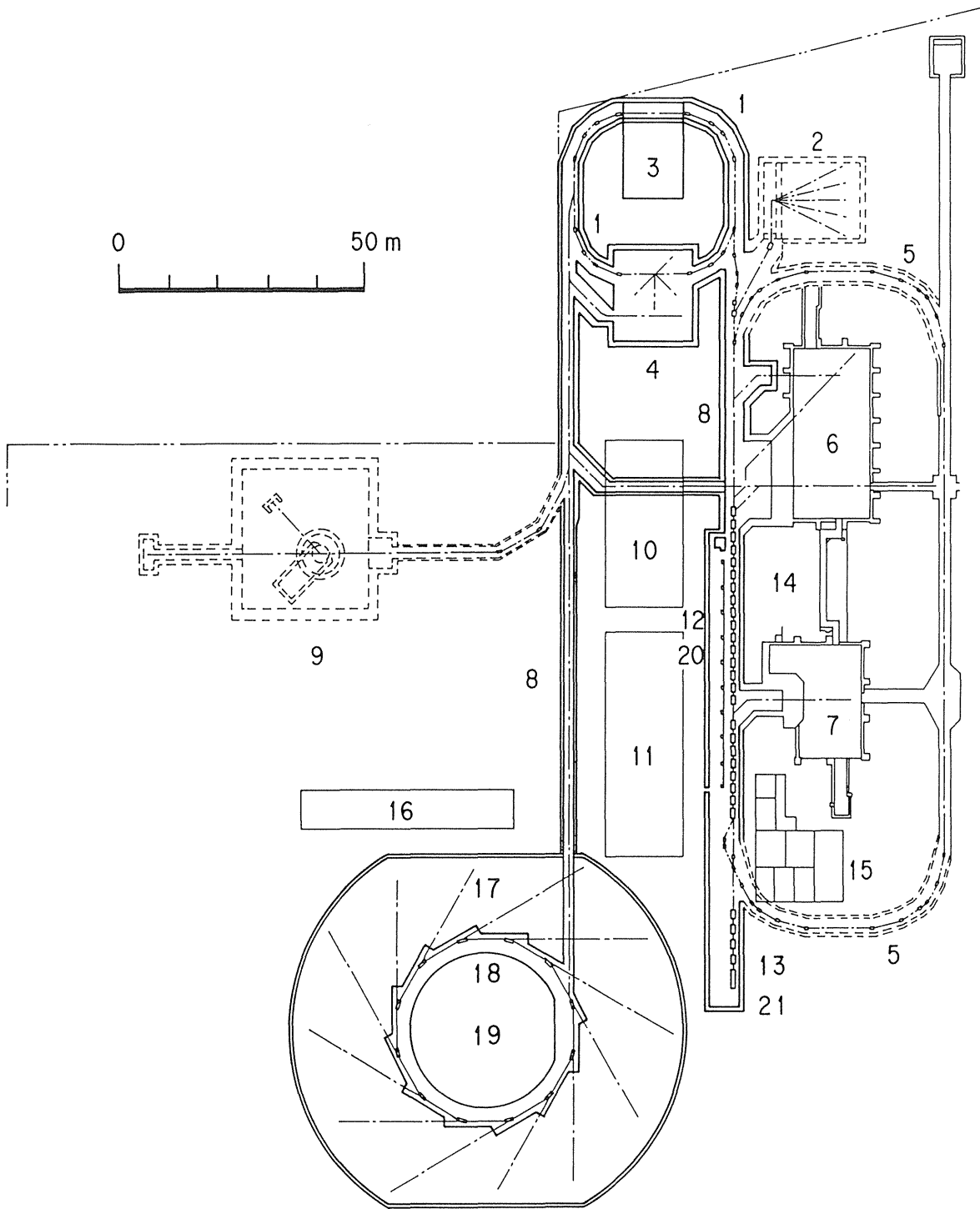
しかし、近年全国の多くの研究者が共同利用施設を用いて研究を行なうようになり、既存の施設のみでは多数の需要をまかないきれないのが現状となった。また、大学院生を中心とする若手研究

者の積極的養成、新しい装置の開発によるさらに高度な研究の推進のためにも、新型放射光リングを学内に建設したいという要望が高まってきた。

一方、核理研は、昭和41年度に学内共同利用施設として開設され、昭和42年に300MeV電子ライナックを完成させた。このライナックは、当時において世界的水準の性能を有し、原子核物理学、物性物理学、放射化学、工学、生物、医学等の分野に利用され、優れた成果を上げてきた。世界に先駆けて開発したパルス中性子による物性研究や、原子核研究における巨大共鳴の発見等の業績は高く評価されている。さらに、昭和57年には、精密な原子核研究を可能にする連続電子線加速器、150MeVパルスストレッチャーが建設され、将来の本格的な研究のための準備が進められている。

東北大学計画は以上のような情勢をふまえ、現在の核理研ライナックを入射器として活用し、ストレッチャー・ブースター・リング、放射光リングから構成される複合型電子線加速器を建設し、それらの加速器からの放射光、電子線を利用して、物性や原子核を含めた広い範囲の研究を積極的に推進しようとするものである。また、多数の研究者による共同利用体制を円滑に進めるため、核理研を「東北大学電子ライナック研究センター」に改組する。図1に「東北大学電子ライナック研究センター」の概略平面図を示す。図中、1はストレッチャー・ブースター・リング室、18は放射光リング室である。

放射光リングによる研究のテーマは次の5項目に集約される。これらは、学内各学部、研究所において、これまで伝統的に行なわれてきた、新素材、新物質開発研究と密接に関連しているところが特徴である。(1)新物質系(高温超伝導体、f電子系物質、超格子等)の電子状態等の基礎物性の研究。(2)光励起反応素過程の探求と新機能性物質の創成。超微細素子の光加工技術の開発。(3)先端機能性材料(アモルファス合金等)の構造解析。



- |                     |                  |                      |
|---------------------|------------------|----------------------|
| 1. ストレッチャー・ブースタリング室 | 8. ビーム輸送室        | 15. RI測定室(既設)        |
| 2. 中性子散乱実験室         | 9. 第3実験室         | 16. 研究棟(既設)          |
| 3. 電磁石電源室           | 10. 第1設備機械室(既設)  | 17. 放射光実験室           |
| 4. 内部標的室            | 11. 管理棟(既設)      | 18. 放射光リング室          |
| 5. リサーキュレータ室(一部既設)  | 12. ライナック本体室(既設) | 19. 第3設備機械室          |
| 6. 第2実験室(既設)        | 13. 入射ライナック室     | 20. クライストロン室(既設)     |
| 7. 第1実験室(既設)        | 14. 第2設備機械室(既設)  | 21. 入射ライナック・クライストロン室 |

図1 施設全体の概略平面図  
2, 5, 9は2期工事分で当初計画には含まれない。

生体高分子の生理機能部位等のマイクロ構造の研究。(4)遠赤外光, ミリ波の発生機構の探求と新光源の開発。遠赤外領域における光物性。(5)次世代耐熱高効率光学素子の開発。高効率多層膜光学系の実用化。

図2に放射光実験室の平面図を示す。図からわかるように, 放射光実験に使える実験ステーションの数は20ヶ所以上となる。当初計画では, 上述の5テーマに関連する8ステーションの建設を予定している。これらのステーションにおいて, 5テーマに関連した先端的研究を集中的に行ない, 研究の中心とする。一定期間の研究の後, プロジ

ェクトの交代も可能であるが, 共同利用をまじえながら, この部分がおもに学術的役割を果たす。

残りのステーションのうち10ステーション程度は他官庁, 民間企業等外部ユーザーとの共同建設, 共同利用の対象となり得る。本計画の推進委員会では, 民間企業等の東北大学リング利用方式について検討した。高エネルギー物理学研究所など, いくつかの文部省研究機関で実施されている利用形態と同様に, 本計画においても a)共同研究 b)委託研究 c)施設利用 d)協定研究が可能である(分類は高エネルギー物理学研究所放射光実験施設の例による)。具体的には, 例えば, 民間企業に

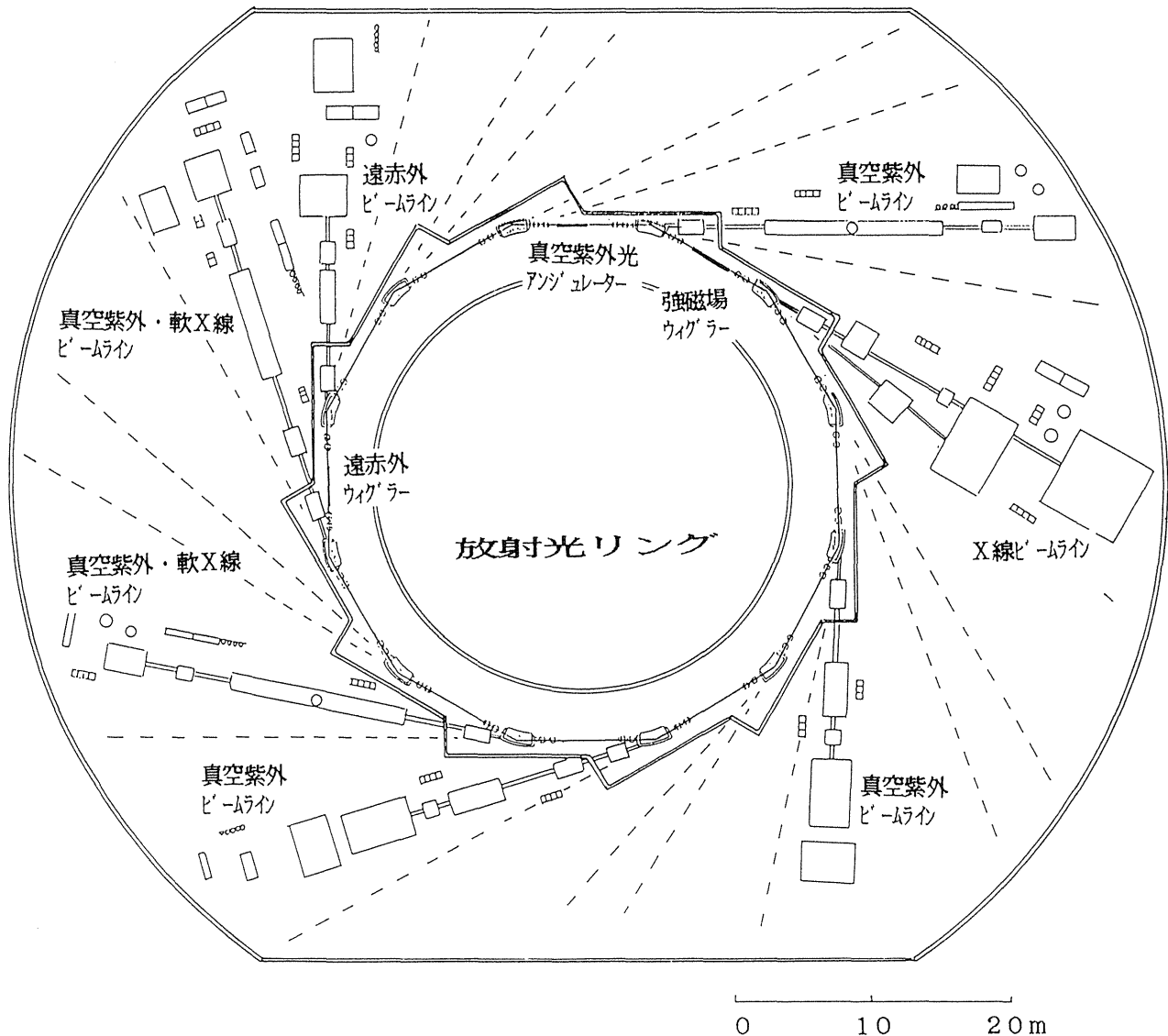


図2 放射光実験室の平面図

よるビームラインの建設は d)の形態で検討することになる。a)~d)の分類は放射光利用に限定したものであるが、その他、加速器科学の開発研究、電子線の応用研究等についても、受け入れの可能性を検討する予定である。

東北地方には、放射光に関連した施設は皆無であり、最新の高度技術を駆使し、かつ学際的研究を多く含んでいる本計画が実現すれば、地域に果たす啓蒙的、教育的役割は非常に大きい。東北大学計画の民間共同利用ビームラインには、高度学術及び技術開発の要素が多く含まれている。一例として、21世紀の東北を研究、産業開発の一大拠点にしようとする、いわゆる“東北インテリジェントコスモス構想”があり、これにも寄与することが出来る。さらに、東北地方においては、民間企業の基礎研究所が少ない。この点においても、基礎研究中心の本施設は、地方機関、企業に対し、身近に研究を行なう場を提供することが出来る。

一方、大学院生を中心とする若手研究者の養成や教育という点から眺めると、最先端の研究を行っている放射光施設を使い、自分の専門分野の研究を着実に進めるとともに、学際的雰囲気の中で多くの他分野の研究者と交流することは、視野の広い研究者を養成する上で大変重要なことである。しかし、現状では、大学院生を長期間遠方の共同利用研究所に派遣し、十分な研究、教育条件を整えて養成するには、種々の問題があり、周囲の関係者に多大の努力を強いる結果になる。本計画が実現すると、放射光利用の学際的研究が身近で推進されることになり、多数の若手研究者を容易に養成することが出来る。制度的には、大学院に「放射光科学専攻」を設立することにより、組織的、系統的に研究、教育を行なうことも考えられる。

ストレッチャー・ブースターによる原子核関連の研究では、連続電子線を用いる同時計数実験、及び内部標的実験があげられる。マシンの性能に

より、高エネルギー領域では取り出しビームによる実験の難しい偏極ガス標的等の実験が主になり、低エネルギー領域ではマイクロクラスターやウィスカーのような固体標的や非偏極ガス標的を用いる実験も有力になる。図3に入射器を兼ねたストレッチャー・ブースター・リングの平面図を示す。また表Iに主なパラメーターを示す。以下具体的な研究課題について簡単に説明する。

500MeV, 30  $\mu$  Aまでの取り出し連続電子線による実験では、散乱電子と発生中間子との同時計数実験によって、核内でのデルタ粒子と核子の相互作用、核内での  $\pi$  中間子の運動量分布を調べる。また放出核子との同時計数実験から、核内での陽子、中性子の運動量分布、巨大共鳴等の励起状態の崩壊過程について研究する。内部標的実験では最高エネルギーは 1.5GeV, 蓄積電流は 400mA である。高エネルギーで、しかも偏極した電子と偏極標的が使えることを利用して、中性子の電荷分布、小数多体系の波動関数、多体力、中間子交換電流、アイソバー効果、2核子間の短距離相関を調べる。内部ターゲットは一般に非常に

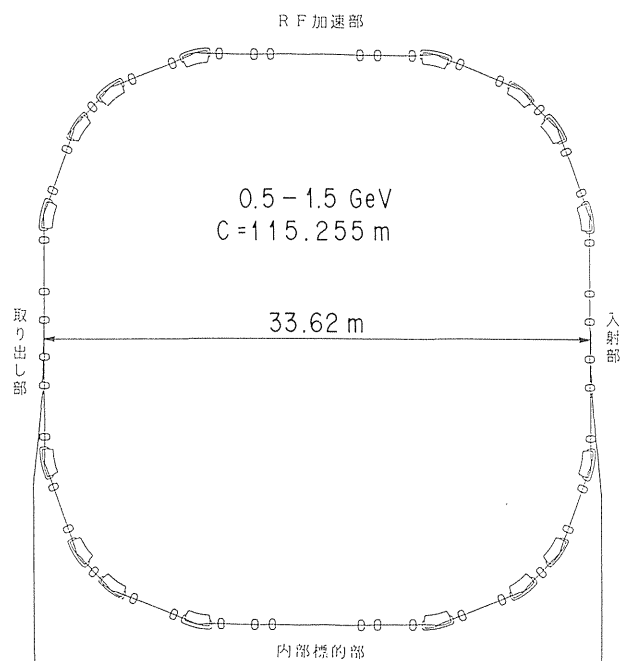


図3 入射器 (ストレッチャー・ブースター) の平面図

表 I 入射器の設計パラメーター表

| 入 射 器                |                                     |
|----------------------|-------------------------------------|
| A) 電子ライナック           |                                     |
| 全 長                  | 70m                                 |
| クライストロン (25MW)       | 6 本                                 |
| エネルギー                | 480MeV                              |
| ピーク電流                | 100mA                               |
| パルス幅                 | 1~2 $\mu$ sec                       |
| 繰り返し数                | 300pps                              |
| B) ストレッチャー・ブースター・リング |                                     |
| 周 長                  | 115.256m                            |
| 内部標的用自由空間            | 5.23m                               |
| 偏向電磁石 (矩形)           | 16 台 (曲率半径 4m)                      |
| 四極電磁石                | 44 台                                |
| 1) ブースター・内部標的モード     |                                     |
| 入射エネルギー              | 480MeV                              |
| 取り出し, 保持エネルギー        | 最大 1.5GeV                           |
| ベータートロン振動数           | $\nu_x = 5.25$ $\nu_y = 5.175$      |
| RF 加速                | 476MHz                              |
| ハーモニック数              | 183                                 |
| クライストロン              | 100kW $\times$ 1                    |
| ビームローディング            | 4 4.8kW (1.5GeV, 0.4A)<br>(内部標的モード) |
| エミッタンス               | 403nm $\cdot$ rad (1.5GeV)          |
| エネルギー幅               | $6.4 \times 10^{-4}$ (1.5GeV)       |
| ダンピング時間              | 5.15msec (1.5GeV)                   |
| 取り出し                 | 早い取り出し (ブースター・モード)                  |
| 繰り返し                 | 最高 0.2pps                           |
| 2) ストレッチャー・モード       |                                     |
| エネルギー                | 最高 480MeV                           |
| ベータートロン振動数           | $\nu_x = 5.48$ $\nu_y = 5.18$       |
| 入 射                  | 2 回転入射                              |
| 繰り返し                 | 300pps                              |
| 取り出し                 | モノクロマティック, 半整数共鳴 ( $\nu_x = 5.5$ )  |
| 取り出し電流               | 30 $\mu$ A                          |
| デューティー係数             | 90 %                                |
| エネルギー幅               | 0.01 %                              |

薄いので核反応による反跳核の測定, 核分裂片やクラスターの測定が可能になる。1.5GeV標的光子実験は, ブースター内部に置かれたラヂエータから発生する制動放射光を利用する。高エネルギーのガンマ線が使えることを利用して核内に核子の共鳴状態 ( $N^*$ ) を作り  $N^*$  の核媒質効果,  $N - N^*$  相互作用を  $\eta$  中間子の光発生を利用して調べる。また,  $K$  中間子の測定によってハイパー核の性質を調べ, 原子核内に核子以外の不純物粒子が存在する効果を調べる。

中性子散乱実験は凝集体の構造研究において, 原子の空間配置とそれによる運動の相関を観測できる唯一の実験手段である。本計画では電子ライナックより得られる高エネルギー電子を標的に当てパルス中性子を発生させ中性子散乱実験を行う。この実験は放射光実験, 原子核実験と同時平行しておこなう。パルス中性子を使った実験としては, 液体や非晶体の精密構造解析や非平衡状態におかれた系の構造解析が考えられる。熱中性子小角散乱装置では, 10~100Åオーダーのゆらぎが問題となる非晶質金属の結晶化や相分離の複雑な現象や, 水溶液中のタンパク質, RNA, DNA, 生体膜の構造決定等の研究を行う。非弾性散乱分光器では, 原子炉からの中性子では観測不可能な高い励起状態の研究が可能となり, 新しい物性分野をつくり出すことが期待される。

高エネルギー, 大電流の電子ライナックからの電子ビームは放射化学研究に非常に有効で, 核破砕, 核分裂,  $\pi$  中間子等素粒子放出反応の精密研究に成果が期待される。これらは宇宙化学, 核廃棄物処理等応用分野にも幅広い波及効果がある。また, 低エネルギー照射ではより細かいビームハンドリングにより材料照射, 分析が可能になる。

本計画における諸施設は現在の核理研の敷地内に建設される。敷地は JR 仙台駅から約 6km 離れた仙台市太白区三神峯地区にあり, 地下鉄の駅や, 東北自動車道の仙台南 IC に近く, 交通の便は良い。広さは 136,630  $\text{m}^2$  で周辺地域外周まで十分の

距離を取ることが出来る。敷地は安定堅固な広瀬川凝灰岩層および八木山凝灰質砂岩上にあり, 掘削に対する特殊工事は必要なく, 湧水の恐れなどもない。他方, この地区は三神峯遺跡と芦ノ口遺跡の指定境界線ではさまれているため埋蔵文化財との干渉の問題があるが, 建設地点は, 以前の削り取りと埋め立てですでに攪乱されていて遺跡としての価値がないことがわかっている。

### 3. 光源の仕様

放射光リングは周長 115.256m で, 12 台の偏向電磁石と 48 台の四極電磁石で構成された正 12 角形をしている。このラティスの基本単位は 2 台の偏向電磁石とそれをはさむ合計 4 組 (8 台) の四極電磁石であり, 2 台の偏向電磁石の外側の直線部で分散がなくなる ( $\eta = 0$ ) EDDBA (Extended Double Bend Achromat) 型ラティスになっている。このラティスの特長は比較的長い直線部が数多くとれることで, 12ヶ所ある 4.21m の自由空間のうち, ビームの入射と RF 加速装置の設置場所として使う 2ヶ所をのぞいた 10ヶ所を挿入型光源用として用いる。図 4 に光源リングの平面図を示

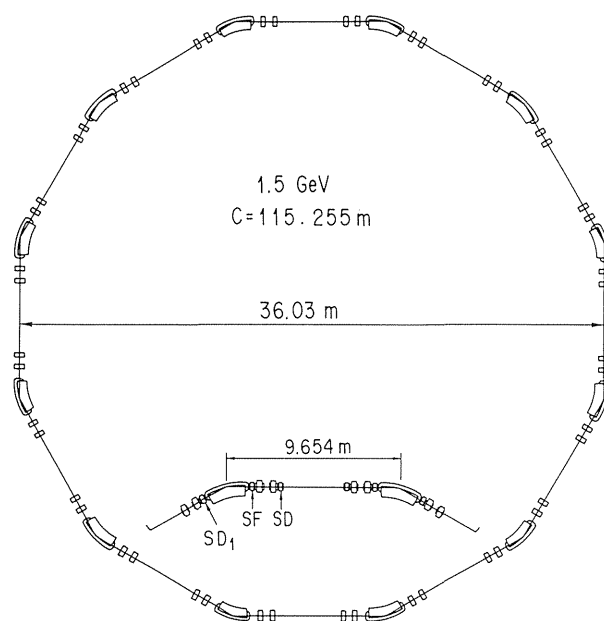


図4 光源リングの平面図



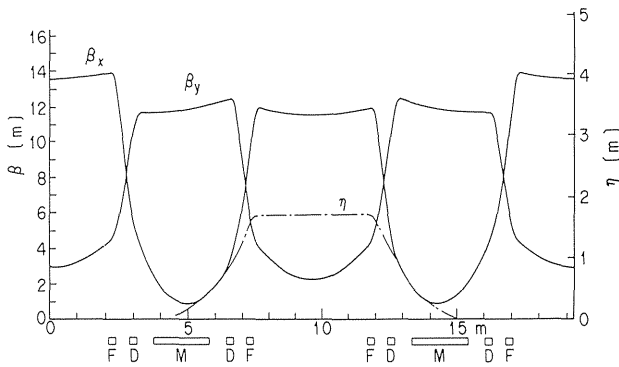


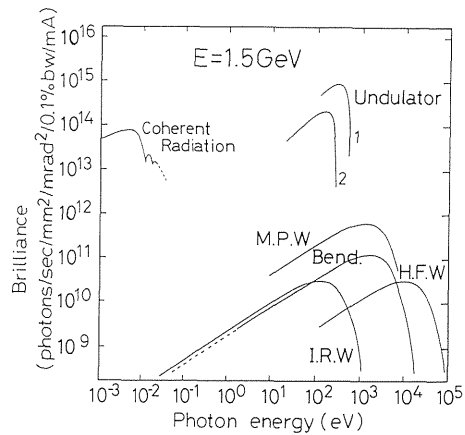
図5 光源リングのベータートロン関数・エネルギー分散関数

す。

放射光リングは低エミッタンス化を目標とし、設計に際しては、水平方向のベータートロン関数を偏向電磁石の内部で小さくした。また水平方向、垂直方向ともに、ベータートロン関数はあまり大きくならないようにしてあり、挿入型光源の設置場所で、ベータートロン関数は平らになっている。電子ビームの入射経路は地下から立ち上げ、内側からリングに入射し、放射光ビームラインとの干渉を避けてある。これにより実験フロアを広く利用でき、ビームラインの数も増加する。図5に光源リングのベータートロン関数とエネルギー分散関数を示す。

リングの最高エネルギーは1.5GeVであり、入射は1.5GeVのフル・エネルギーとし、入射効率を高めると共に、運転を容易にしている。蓄積電流は400mAで、100kW、476MHzのRF加速装置でビームのエネルギーを保持する。最終的なビームの寿命は12時間以上を目指している。表IIに放射光リングの主なパラメータを示す。

直線部には挿入型光源を設置して、遠赤外からX線領域まで広い波長領域をカバーする。挿入型光源として遠赤外ウィグラー、フリーチューニングの真空紫外光アンジュレーター、X線用強磁場ウィグラー等、特徴的な装置を備える。さらに将来、大強度軟X線用のマルチポールウィグラーを増設する。また可干渉性光源の基礎研究を行な



Bend : 偏向電磁石 (12.5KG)

I. R. W : 遠赤外ウィグラー (R = 50m)

H. F. W : 超伝導強磁場ウィグラー (8T)

Undulator : 1. 4cm × 90周期

2. 8cm × 45周期

M. P. W : マルチポール・ウィグラー (20周期)  
次期計画

図6 偏向部及び挿入光源からの光の分光強度分布

う。図6に偏向部及び挿入光源からの放射光強度のエネルギー分布を示す。

#### 4. 研究分野

放射光を利用する研究は基礎から応用まで広範囲にわたるが、特に次の5つの課題を重点的に取り上げる。

第一の課題は、多体相関の強い電子系の研究である。異常超伝導をはじめとする種々の異常性を示すf電子系の電子状態と、高温超伝導(体)は、ともに強い電子相関による局在-非局在転移の境界近くで生ずる新たな電子多体状態に起因するものである。この電子系の完全な情報を得るために、低温でのスピン偏極高分解能角度分解光電子分光、軟X線分光、遠赤外分光を行なう。さらに非占有状態の情報を与える逆光電子分光等を組み合わせ、多角的、包括的に研究を推進する。

第二の課題は、光励起反応の探求と新機能性物質の創成である。光化学気相蒸着(光CVD)、光エッチング、光励起構造変化、光触媒作用等の光励起諸過程を、特定波長の強力な放射光を最適照

表II 放射光リングの設計パラメーター表

|                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| エネルギー               | 1.5GeV                      |
| 周 長                 | 115.256m (平均半径 18.343m)     |
| 直線部の長さ (全長)         | 9.654m                      |
| 直線部の長さ (挿入型光源用)     | 4.5m                        |
| 偏向電磁石               | 12台                         |
| 曲率半径                | 4m (磁場強度 1.251T)            |
| 四極電磁石               | 48台                         |
| 六極電磁石               | 36台                         |
| 入射エネルギー             | 1.5GeV                      |
| 入射方式                | 1回転入射                       |
| 入射繰り返し              | 最高 0.2pps                   |
| RF加速                | 476MHz                      |
| ハーモニック数             | 183                         |
| クライストロン             | 100kW × 1                   |
| 蓄積電流                | 400mA                       |
| ベータートロン振動数          |                             |
| 水平方向 ( $\nu_x$ )    | 5.39                        |
| 垂直方向 ( $\nu_y$ )    | 3.72                        |
| ビーム・サイズ (偏向部)       |                             |
| 水平方向 ( $\sigma_x$ ) | 0.299mm                     |
| 垂直方向 ( $\sigma_y$ ) | 0.705mm                     |
| ビーム・サイズ (直線部)       |                             |
| 水平方向 ( $\sigma_x$ ) | 1.064mm                     |
| 垂直方向 ( $\sigma_y$ ) | 0.349mm                     |
| ビーム・発散角 (偏向部)       |                             |
| 水平方向                | 0.357mrad                   |
| 垂直方向                | 0.059mrad                   |
| ビーム・発散角 (直線部)       |                             |
| 水平方向                | 0.079mrad                   |
| 垂直方向                | 0.120mrad                   |
| エミッタンス              | 83.5nm · rad                |
| モーメントム・コンパクション係数    | 0.0098                      |
| エネルギー幅              | 0.064%                      |
| バンチ長                | 19.1mm (2 $\sigma$ 127psec) |
| 周回時間                | 384nsec (周波数 2.601MHz)      |
| ビーム寿命               | 12時間                        |

射することによって制御する。さらに、膜厚、組成、構造、加工状況等を放射光を用い、あるいはレーザー光を併用して同時にモニターし、新物質の開発、超微細加工技術の開発、諸過程の解明を行なう。

第三の課題は、X線用強磁場ウィグラーからのX線を用いた物質の構造解析、生体分子のマイクロ構造の研究である。複雑な物質のマイクロ構造や、特に極端条件下での構造変化のダイナミクス、生命現象の本質を担うDNA結合タンパク質、膜タンパク質等の生体分子の構造と機能の研究等を強力なX線を用いて行なう。

第四の課題は、放射光を用いた遠赤外線研究装置の開発及び利用である。短バンチ電子集団による、コヒーレント放射光の生成等の新しい発生機構の追求を行なう。また、強力な遠赤外・ミリ波光源は、物性物理学は言うに及ばず、生命の発生に関する研究から、天文学の基礎研究まで広く利用できるもので、その開発利用を強力に推進する。

第五の課題は、急速な進歩を遂げている挿入型光源からの超強力光に耐えられるセラミックミラー、多層膜反射鏡等の各種機能性光学素子の開発研究である。それにより、新しい放射光光源から放出される超強力光の最適化利用をも含めた放射光科学の総合的發展を図る。

## 5. ビームラインの仕様

放射光リングの直線部あるいは偏向部からの放射光は、リングの真空ダクトに設けられた取り出しフランジを通じ放射光ビームラインに導かれる。取り出しフランジの直後に真空遮断バルブ、放射光開閉シャッター、放射線防護用のユニット等の機器から構成されるフロントエンドが設置される。ビームラインはX線用、VUV用、遠赤外線用の3つに分けられるが、フロントエンドは同じ規格とし、最大100mradの放射光が利用可能な大きさとする。

フロントエンドに続いてビーム振り分け鏡やベ

リリウム窓が設置される。前置鏡には、水冷もしくは水冷なしのSiC鏡を用いる。さらに、各分光器は前置集光鏡、後置集光鏡も含め、発光点から試料点までの全系にわたる解析を行ない、最適化を行なう。集光系には収差の小さい、いわゆる非球面鏡の使用を検討しているが、この非球面鏡の製作はこれから解決しなければならない重要な問題である。

VUVビームラインで用いる分光器は、大きく二つに分けられる。ひとつは非常に高い分解能を持ち、かつ光電子分光を行なうために十分な光子数を得られる最先端物性研究用の分光器である。この分光器はアンジュレーターラインにつける予定であるが、偏向部からのラインでも超高分解能分光実験が出来るように考えている。もう一方は、分光器にはそれほどの性能を求めず、むしろ、分光器の後にくる測定装置に特徴をもたせるラインである。放射光による新機能性物質の創成、評価用のラインなどがこれに当たる。

軟X線リソグラフィーや放射光による超微細加工の研究においては、分光器を通さず単に鏡で反射した白色光を使用するラインを用意する。しかしこれらの研究においても、基礎的データを得るため分光した光も必要となるので、その場合でも、機動的に対応できる体制を作る。また、このラインは超強力光に用いるセラミックミラーや多層膜の開発研究にも用いることもある。

遠赤外線領域でも、偏光特性をフルに活用した偏光干渉分光計を設置する。エネルギー領域は $1\sim 4000\text{cm}^{-1}$ とし、分解能は $0.1\text{cm}^{-1}$ 以上とする。発散が小さく発光点が微少である放射光の特徴を生かした反射光学系により、微小試料でも、精密な反射率、透過率が観測可能な測定室を設ける。また常温から0.3Kの低温にわたる温度範囲での測定を行なう。このラインでは、直径1mm以下の光束が得られるので、将来的には、これを用いダイヤモンドアンビルによる超高压下の絶縁物、半導体の分光研究を行なう。

表Ⅲ ビームラインのリスト

| 光源              | ビームライン | 分光器   | 測定器等  |
|-----------------|--------|---|---|
| 真空紫外, 軟X線ビームライン |        |   |   |
| Bending         | B12・A  | 高輝度真空紫外分光器<br>20~2000eV   | 時間分解表面分子反応解析装置<br>角度分解光電子分光装置   |
| Bending         | B3・A   | 広帯域真空紫外分光器<br>7~1500eV  | 真空紫外光学定数測定装置<br>光学素子性能評価装置  |
| Undulator       | S9・A   | 高分解能真空紫外分光器<br>8~200eV  | 極端条件光電子分光装置<br>(極低温, 高分解能)  |
| Bending         | B5・B   | 真空紫外分光器<br>6~800eV  | 照射テスト装置<br>薄膜新物質作成用超高真空装置<br>分子光反応測定装置                                  |
| Bending         | B2・B   | 鏡系  | 軟X線リソグラフィ   |
| 遠赤外ビームライン       |        |   |   |
| Wiggler         | S6・A   | ワイヤグリッド偏光干渉分光器<br>誘電体スプリッタ付干渉分光器<br>集光系<br>1~4000cm <sup>-1</sup> | <sup>3</sup> He冷却マグネット付き<br>クライオスタット (5~6T)<br>希釈冷凍マグネット (13.5T)<br>測定器 |
| X線ビームライン        |        |   |   |
| Wiggler         | S10・A  | 二結晶分光器<br>4~20KeV   | EXAFS<br>小角散乱カメラ<br>(一次元PSD, イメージング<br>プレート読み取り器等)                      |
|                 | S10・B  | 二結晶分光器<br>4~30KeV   | 汎用回折装置  |

高磁場(8T)ウィグラーからの光は $\lambda$ が1 Åなので、このラインはX線用とする。約50mの長いビームラインを確保し数本のX線測定装置を接続する。当初は2つの分光器(二結晶分光器)を計画している。ひとつは小角散乱専用のラインとし、小角散乱カメラやイメージングプレート等を中心とする検出系を準備する。もう一方の分光器の後には汎用の回折計を設置し、各種の構造解析研究を行なう。表Ⅲに上記ビームラインのまとめを示す。

## 6. 利用・運営形態

本計画においては核理研を理学部附属の研究施設から東北大学の研究センターに改組し「東北大学電子ライナック研究センター」とする。人員は現在の定員も含め、研究部門8部門(内容員3部門)23名、技術部9名、放射線管理2名、事務部

5名を要求している。

研究センターの全般的運営は、現在の核理研施設運営委員会にかかわる、各関連学部、研究所から推薦された委員による全学的なセンター運営委員会をつくりその中で行う。運営は実質的に共同利用型とし、一般的な管理運営に関しては原則としてセンター運営委員会が責任を持つ。共同利用を円滑に行うためには、大学外部内部の区別を設けない課題採択委員会、共同利用運営委員会を常設する。将来は既設の共同利用研と同様の研究所となることを指向する。経常経費の中に研究旅費、共同研究費を計上し、共同研究者のための宿舍も建設する。さらに、国際交流を進め、民間企業等の利用を定常的に受け入れる運営組織も設ける。国際交流に関しては、これまで原子核研究関係では、諸外国の研究所、学部、大学、あるいは政府との協力協定にしたがって研究者の受け入れ、派

遣等の共同研究を行ってきた。今後は放射光研究を含めてこのような方式を中心として国際交流を進めていく予定である。

放射光リングの運転時間は年間4000時間をめざす。電子ライナック、ストレッチャー・ブースター・リングの運転時間も同程度とし、放射光利用実験、原子核実験、中性子実験、RI実験等に電子ビームを有効に使用する。設備の改良、開発研究等は研究部門が行うが、定常的な施設の運転、維持管理は外部への業務委託を基本とする予定である。

教育に関しては、センターの研究部門を東北大学大学院理学研究科の基礎部門とし、物理学専攻、原子核理学専攻から大学院生を受け入れ教育を行う。将来的には学部学生を受け入れ、独立大学院の設立等についても条件が整えば柔軟に対応する。

## 7. 建設計画

建設予算の総額は98.7億円で、設備費が65.8億円、建物に32.9億円となっている。設備費の内訳は、現在のライナックの増強に7.3億円、ブースター・リング15億円、放射光リング13.3億円、ビーム輸送系2.5億円、放射光実験設備18.5億円、原子核実験設備8.8億円、中性子実験設備0.2億円、RI実験設備0.2億円である。

放射光リングの建設費はリング本体のみの額で、挿入型光源の費用は放射光実験設備の中に含まれている。ストレッチャー・ブースター・リングや原子核関係の実験室は地下に設置されるが、放射光実験室はほとんどを地上とし建物にかかる費用を低く抑える。

建設年次計画は4年とし、初年度は、主としてブースター・リングの設計と製作、電子ライナックの増強を行い、順次放射光リングの建設、各測定装置の製作を進める。建物の完成時期と合わせ、放射光リングの主要部は3年次に集中して据え付け、放射光の実験装置は最終年次、4年次に

実験ホールに設置する。

これらの設備の設計、製作、据え付け、調整に当たる建設要員は本学の研究者を中心とするグループである。電子ライナック、ストレッチャー・ブースター・リング、放射光リングの建設は現在の核理研（教官12名、技官9名、事務官2名）が担当する。但し、放射光リングや挿入型光源等については高エネルギー物理学研究所、分子科学研究所等既存の放射光施設のスタッフと協力しR&Dを行う。また、放射光リングからの光の取り出しや分光器を含めた放射光実験装置は、理学部、工学部、金属材料研究所、電気通信研究所、科学計測研究所にいる10名以上の放射光実験施設の建設経験者を含む約20名の学内スタッフで行う。

## 8. 計画の経過と現状

本計画の発端は核理研が1979年から概算要求を行ってきた原子核実験用のストレッチャー計画である。1987年からは、さらに放射光研究者の強い要求もあって、放射光実験も含めた放射光・ストレッチャー共用リング計画となり、1989年まで東北大学の重点項目として概算要求が行われた。1990年になり、専用放射光リングとストレッチャー・ブースター・リングの2つの加速器に分離する設計変更がなされ、「東北大学電子ライナック研究センター」計画は放射光リング、ビームストレッチャー・ブースター計画となった。この年も概算要求は出されたが、建設推進母体となる核理研の部門継続要求が重点項目となった。この部門要求は既に認められたので、1991年には「東北大学電子ライナック研究センター」計画が再び東北大学の重点項目になる予定である。

放射光計画の推進母体は本学理学部長の諮問機関で、関連する学部、研究所の委員から構成される「放射光リング推進委員会」である。また原子核実験を含めた計画全体の実質的な推進は核理研が行っている。さらに全学的組織である原子理工

学委員会でも、その下に「放射光委員会」を設置して専用放射光リング計画を審議している。これらを支援する組織として、本学の放射光研究者の組織である東北大学特定領域横断研究組織－シンクロトン放射（略称 TURNS－005）と現在の核理研ユーザーからなる原子核理学研究施設利用者の会がある。2つの組織のメンバーを中心として実際の計画立案を行っているのがワーキンググループで電子リング、電子ライナック、制御、建屋、放射光、原子核、中性子散乱、放射化学の各サブグループからなっている。

放射光に関連する研究会や本計画に関連する研

究会が、TURNS－005や核理研によって、大小とりまぜ一年に数回開かれており、それらの報告書がそれぞれ TURNS－005 と核理研から毎年出版されている。また、ワーキンググループの打ち合わせがほぼ半月に一度ずつ開かれ、計画の詳細にわたる検討を行っている。

東北大学理学部附属原子核理学研究施設

施設長 菅原 真澄

東北大学特定領域横断研究組織

－シンクロトン放射 (TURNS－005)

代表者 佐藤 繁

## 2・7 北海道大学パルス状マルチ放射線源装置

### 1. 要約

本増設計画の骨子は、先ず、従来からパルス状電子線源・中性子線源・ $\gamma$ 線源として利用されてきた、既存の45MeV電子線型加速器のエネルギーを100MeVに増強し、更にこれに連結して、既存建屋の実験室に1GeVの電子加速蓄積リングを設置するものである。これによって、既存の加速器施設と建屋を有効に活かして、より強力な電子線源・中性子線源として再生させるとともに、近年特に注目されるシンクロトン放射光を発生させ、各種放射線の総合的利用を計るものである。特に本計画装置の機能上の特色は電子線、中性子線にたいして放射光を同時に照射併用出来るように工夫したパルス状マルチ放射線源であることにある。

この装置は、北海道大学に於ける多岐の分野の研究者に、電子線・中性子線の利用に加えて放射光利用を可能ならしめるものである。近年の放射光利用の研究者の増大により運転時間の設定が困難になっている高エネルギー物理学研究所の大型な放射光装置を補完し、萌芽的な基礎研究を育てる小回りの効く装置として、北海道大学内の研究者に限らず、北海道内の研究者の共同利用施設として、各研究分野の新たな展開を促す強力な実験手段を提供することが期待される。

### 2. 目的・概要

#### (1) 本計画の目的と意義

北大45MeV電子線型加速器は昭和46年から48年にかけて設置された。当時としては優れた性能を有し、設置以来、中性子線源・電子線源として利用されてきた。加速器技術の進展および放射線利用科学の進展を見ると、多種類の放射線の発生のみならず、研究目的により、適切な強度を備え

た加速器が研究教育の進展のために必須である。そこで、既設の電子線型加速器を入射器として再利用し、エネルギーの増強を行うことによって、より強力な中性子線源・電子線源として再生させると共に、さらに加速蓄積リングを増設し、シンクロトン軌道放射光を発生させることにより、現代的なパルス状多重(マルチ)放射線源として、より広い分野のより多くの研究者・技術者に活用できるようにする。本計画における装置機能上の最大の特色は電子線源・中性子線源・放射光源が同時併用できることであり、このことにより、新しい測定法の開発或は新しい研究分野・工学技術の開拓を企図している。この増強改造により、物理学・化学・生物学・工学・医学・薬学・農学・材料科学・エネルギー科学・情報科学・宇宙科学・環境科学・生命科学等の多くの各研究分野に対する極めて有効な使い勝手の良い強力なパルス状マルチ放射線源となることができる。例えば、放射光と電子線源との同時併用によるパルスラジオリシス法は従来の放射線化学と光化学との境界を埋める新たな研究分野を拓くことが期待される。また、多くの分野においてX線が使用されること、そしてその利用者の数が著しく多いことに鑑み、本計画のシンクロトン放射光においても、X線を利用できるようにすることに留意した。本計画は、北海道大学のみならず、北海道全域の研究教育機関や産業界において、強力マルチ放射線源として、広く研究教育に利用されることが期待される。

#### (2) 概要

これらを勘案して、既設北大45MeV電子線型加速器を次の計画に従い、パルス状マルチ放射線源に増強改造する。

- 1) 既設45MeV電子加速器を入射器として再利用する。
- 2) 電子線型加速器のビームエネルギーを100MeVに増強する。

3) 1GeVシンクロトロン軌道放射光用加速蓄積リングを増設接続する。放射光と電子線・中性子線の同時併用のため、放射光アリーナから電子・中性子アリーナへ放射光を送るビームチャンネルを設置する。

本計画により、放射光源が実現するとともに、中性子線源としては数倍の強度を得ることができ、より強力な電子線源となる。

建屋に関しては、現在の加速器技術の飛躍的な進歩によりコンパクトになるので、放射線遮蔽に関しても既設の遮蔽を活用して、電子線型加速器と加速蓄積リング全体を現有の建屋に収納することができる。もちろん、水・電気・空調関連の設備は改修が必要である。実験準備室・研究室・工作室等は現有の各室をそのまま使用する。

### 3. 光源の仕様

光源の主な仕様を表 I に示す。本装置で得られる波長分布を図 1 に、ベータatron関数を図 2 に示す。更に、他のパラメータを表 II に示す。

### 4. 研究計画

パルス状マルチ放射線源装置 (HPS) の設置により、北海道大学および近隣の研究者が先端的科学技術の多くの分野、たとえば、下記のようなテーマに所要の放射線を活用できるようになる。

#### (1) 従来からの放射線利用

(電子・中性子アリーナ: 初年度から使用開始)

- 1) ピコ秒パルスラジオリシスの迅速化と精度の向上

表 I パルス状マルチ放射線源装置の主な性能

|                  | 入射モード   | ビーム実験モード                  | 備考         |
|------------------|---------|---------------------------|------------|
| • 100MeV 電子線型加速器 |         |                           |            |
| ビームエネルギー         | : 100   | > 90 MeV                  |            |
| ビームエネルギースペクトル    | : < 1   | < 2 %                     | (半値幅)      |
| ビーム電流            | : 50    | > 150 mA                  |            |
| ビームパルス幅          | : 1.5   | 0.0002 - 3.5 $\mu$ sec    |            |
| ビームエミッタンス        | : 1     | < 3 $\pi$ mm $\cdot$ mrad |            |
| ビーム繰り返し          | : 0~10  | 0~80 Hz                   | (単発可)      |
| ビームサイズ           | : < 4   | < 6                       |            |
| • 1GeV 加速蓄積リング   |         |                           |            |
| 加速ビームエネルギー       | : 1     | GeV                       |            |
| 蓄積電流             | : 200   | mA                        |            |
| ビーム寿命            | : 8     | 時間                        | (1/e時間)    |
| 放射光臨界波長          | : 13.3  | $\text{\AA}$              |            |
| 偏向磁場強度           | : 1.4   | T                         | (1.6T も可能) |
| リングの周長           | : 27.23 | m                         |            |
| エミッタンス           | : 740   | nm $\cdot$ rad            |            |
| 高周波加速周波数         | : 127   | MHz                       |            |
| • ビームサイズ         |         |                           |            |
| 偏向電磁石 中央         |         | $\sigma_x = 1.0\text{mm}$ |            |
|                  |         | $\sigma_y = 0.8\text{mm}$ |            |
| 偏向電磁石 出口         |         | $\sigma_x = 1.9\text{mm}$ |            |
|                  |         | $\sigma_y = 0.6\text{mm}$ |            |



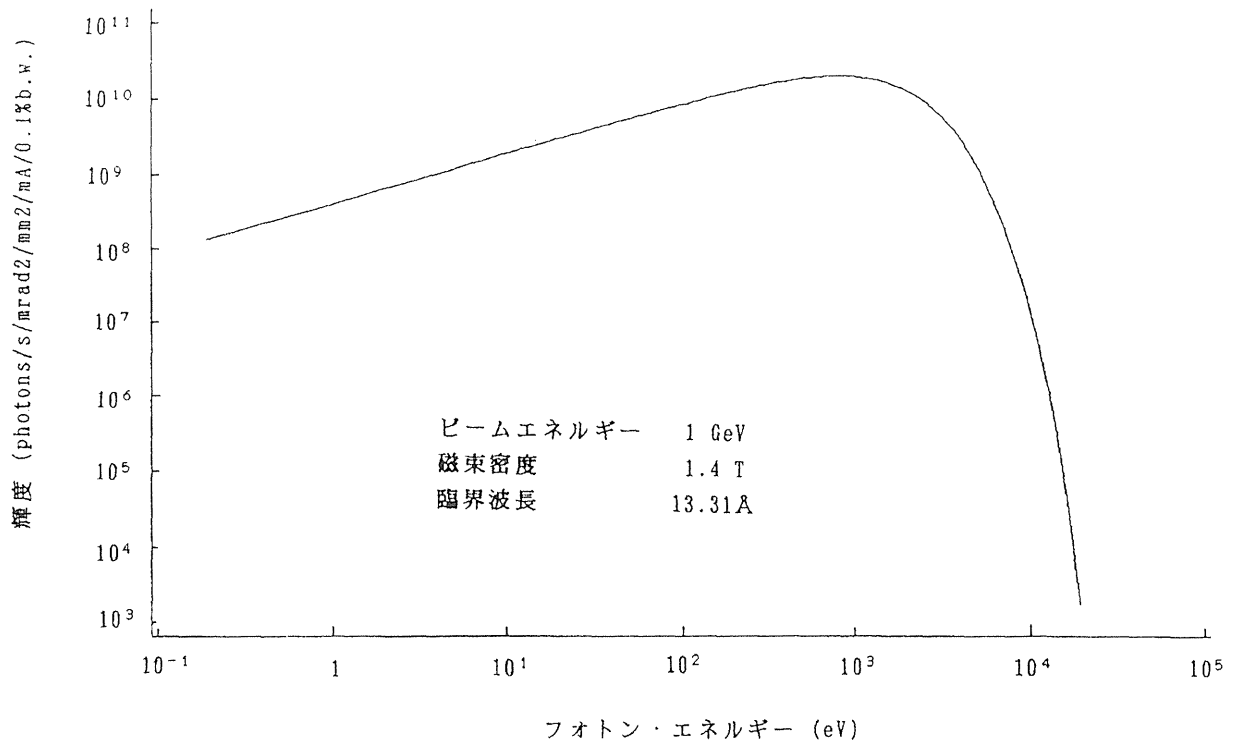


図1 本装置で発生できる放射光のスペクトル分布 (Log Scale)

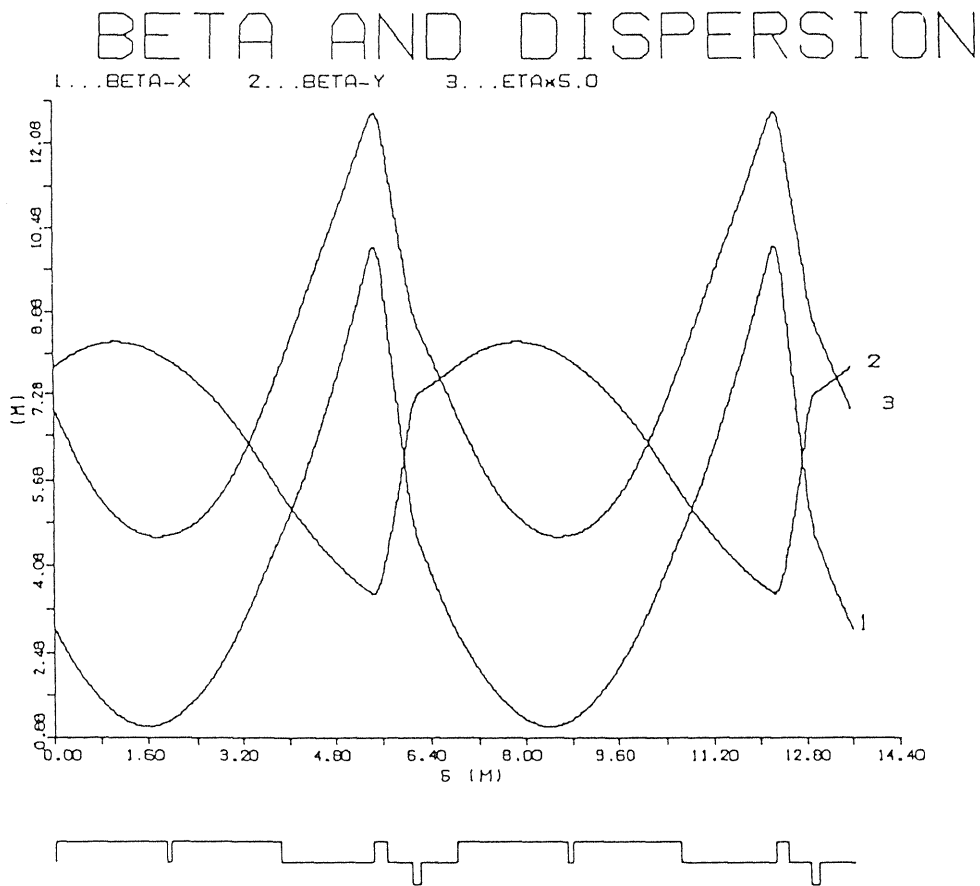


図2 ベータatron関数・エネルギー分散関数

表Ⅱ 既存電子線型加速器との関連並びに新設機器

## ・加速器・ビーム輸送系

既存の45MeV電子線型加速器のビームのエミッタンスの改善を計ると同時に100MeVまで加速する。2本の加速管並びに必要なマイクロ波発生回路を増設する。エネルギー補償回路, ビーム振り分け電磁石を増設し, 中性子実験室迄ビームを誘導する。

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| ①進行波型加速管                         | 2本  |
| ②クライストロン・高電圧トランス                 | 1本  |
| ③導波管一式                           | 2系統 |
| ④移相器                             | 2系統 |
| ⑤エミッタンス改良型電子銃                    | 1個  |
| ⑥高電圧パルサー・高電圧電源                   | 1系統 |
| ⑦冷却系(増設)                         | 一式  |
| ⑧ビーム輸送系(延長)                      | 一式  |
| ⑨偏向電磁石(30, 60度)                  | 4台  |
| ⑩4極電磁石(磁場勾配: $\pm 9\text{T/m}$ ) | 8台  |
| ⑪ステアリング電磁石                       | 6台  |
| ⑫真空系                             | 一式  |
| ⑬制御系・ビームモニター系                    | 一式  |

## ・加速蓄積リング部機器

高周波加速空洞, 偏向電磁石, 4極電磁石並びに電源からなる加速蓄積リング本体を設置する。

|  |     |
|--|-----|
| ①偏向電磁石(トリムコイル付き: 1.4T)                     | 4台  |
| ②高周波加速空洞( $Q = 20000, F = 127\text{MHz}$ ) | 1系統 |
| ③4極電磁石(磁場勾配- 0.3524T/m)                    | 8台  |
| ④ステアリング電磁石                                 | 4台  |
| ⑤バンプ電磁石(ピーク磁場 0.036 T)                     | 1台  |
| ⑥インフレクタ(ピーク磁場 1T)                          | 1台  |
| ⑦6極電磁石                                     | 4台  |
| ⑧高周波電源(加速電圧 100kv)                         | 一式  |
| ⑨真空系・ゲートバルブ                                | 一式  |
| ⑩電磁石用電源                                    | 各種  |
| ⑪リング配管                                     | 一式  |
| ⑫ビームチャンネル                                  | 一式  |
| ⑬制御系・ビームモニター系                              | 一式  |

- 2) 中性子強度の数倍以上の増大に伴う冷中性子発生量の増加
- 3) 中性子断面積測定の迅速化と精度の向上
- 4) 中性子スペクトル研究の拡大
- 5) 中性子回折利用の拡大
- 6) 短半減期核種による放射化分析と廃棄物処理技術への応用
- 7) 放射線線量測定の高精度化
- 8) 放射線損傷研究の拡大
- 9) ナノ秒電子銃改良の研究
- 10) 自由電子レーザーなどの基礎研究
- (2) 放射光の利用  
(放射光アリーナ: 次年度に調整計測開始; 3年度より研究開始)
- 1) 同位体分離法の基礎データの収集
- 2) プラズマ診断用原子分子データ
- 3) 原子力材料の特性研究
- 4) 再処理・廃棄物処理光化学プロセスのデータ
- 5) 生体への放射線効果
- 6) 超電導・半導体材料の物性研究
- 7) 半導体材料の加工法の研究 (リソグラフィなど)
- 8) 半導体材料中の不純物分析
- 9) 環境試料中の微量元素分析
- 10) 光・ビームモニタリング技術と制御の研究
- 11) 光・ビーム検出器とデータ処理システム
- 12) X線カメラ・ホログラフィの研究
- 13) 生物・医学イメージングの研究
- 14) 偏極光電子分光による表面物性の研究
- 15) 微粒子の光物性の研究
- 16) 分子の解離および電離過程の研究
- 17) 雪氷の研究
- 18) セラミックの評価
- 19) 生体中のタンパク分子の構造の研究
- 20) 生体中の物質移動の研究
- 21) 生体組織の動的な挙動の観測
- 22) X線回折による物質構造解析
- 23) 腐食機構の研究
- 24) 照射欠陥の精密観測
- (3) 種々の放射線の多重同時利用  
(電子・中性子アリーナ)
- 1) 電子・中性子照射効果の放射光による照射測定  
の同時測定  
(パルスホトリシス)
- 2) 反応ダイナミックスの過渡応答の研究
- さらに陽電子発生装置などの若干の増設をするならば次のような研究も可能になる。
- (4) 陽電子
- 1) 陽電子発生装置の改良と減速装置の研究
- 2) プラズマ計測 (運動量分布などの測定)
- 3) 陽電子顕微鏡の研究
- 4) 金属・半導体などの格子欠陥の研究
- 5) 表面構造解析, 表面化学への低速陽電子の応用
- (5) その他
- 1) コンプトン180度散乱による単色光源発生  
の研究
- 2) ウィグラー・アンジュレーターなどの電子加  
速, 放射光装置の研究
5. ビームラインの仕様
- ビームラインの仕様に関しては, 照射効果用, 分光用, 構造解析用, に各々2本程度 (計6本程度) を当初予定している。現在, 加速器グループ, 放射光発生技術グループ, 放射光利用技術グループ, 放射光利用研究グループによる合同研究会において, 分光器, 検出器, 排気系, 試料用チェンバー, 各ビームラインの配置等に関する詳細検討が開始されている。

## 6. 利用・運営形態

既設 45MeV 電子線型加速器は、実質的には、北海道大学に於ける全学的共同利用装置としての役割を果たしてきた。本パルス状マルチ放射線源装置の利用と運営にあたっては、より広い研究分野と多くの研究者とを対象とする全学的共同利用体制を設け、さらに、北海道全域の研究教育機関や産業界の利用を可能にし、共同利用運営委員会による運営を行う。

## 7. 建設計画

放射光リング本体はじめ、本装置はすべて既存の実験室内にそのまま設置可能である。しかしながら、放射光研究者の便宜を格段に計るためには、取り出した放射光の計測のための実験スペースが必要であり、既存建屋の地下実験室の南側、西側に若干の拡張を行う。

エネルギー増強後の電子線型加速器に対する遮蔽に関しても、現在のより正確なデータベースに基づく再評価によれば、現状のままで基準を満たしており、放射光発生装置側を含めて、新たな遮蔽の必要はない点も本計画の利点である。

ただし、装置の安定性を考慮すると空調設備、電気・水関連の付帯工事が必要とされる。

### (1) パルス状マルチ放射線源の構成

物理学、化学、原子力科学の分野はもちろんのこと、環境科学・材料科学・生命科学・宇宙科学等の各分野において、中性子線・電子線・放射光等のマルチ放射線の複合的利用が重要となってきている。このような観点から、放射光源としての利用のみならず、従来より強力かつ安定な中性子線源、電子線源としての利用も考慮したパルス状マルチ放射線源を設置する。さらに、これら複数の放射線の同時複合照射も可能なことから、新たな研究分野への対応が期待できる。

本装置は図3～5にシンクロトロン軌道放射光用加速蓄積リング (1GeV) と入射器としての電子線

型加速器 (100MeV) より構成される。この加速器は入射器モードとビーム実験モードの2通りの運転モードを選択できる。

### A. 100MeV 電子線型加速器

既存の 45MeV 加速器を有効に活用し、初段の入射器とし、加速管、電源部などの最小限の増設により、100MeV まで加速する。

本装置単独でも前述の電子・中性子アリーナでの研究課題を実施できる。

### B. 1GeV シンクロトロン放射光用加速蓄積リング

1GeVの加速蓄積リングは90度偏向電磁石4台と8個の4極電磁石からなるFOD0型の4角形のリングで構成され、上記加速器を入射器とする。

本放射光の6本のビームラインにおいて放射光アリーナでの課題を実施する。

### C. 建屋関連設備

本実験装置はすべて既存の建屋内にそのまま設置可能である。ただし、多数の放射光チャンネルを同時に使うためには、測定のためのスペースが必須であることから、既存の中性子実験室を若干拡張することが望ましい。さらに高度な安定度が要求される放射光並びに測定装置に適合するよう、空調設備を増強する。併せて電気・水関連装置の付帯工事が若干必要である。

### (2) 予算 北海道大学パルス状マルチ放射線源装置一式 (概算) 32億円

本装置は3カ年にわたり、下記のような年次計画で設置する。

|     |   |
|-----|---|
| 初年度 | 電子線型加速器・ビーム輸送系・制御システム (加速器)                         |
|     | 電子銃改修, 加速管増設, ビーム輸送系, 電源, 空調クライストロン, パルサー, 真空排気系・冷却 |

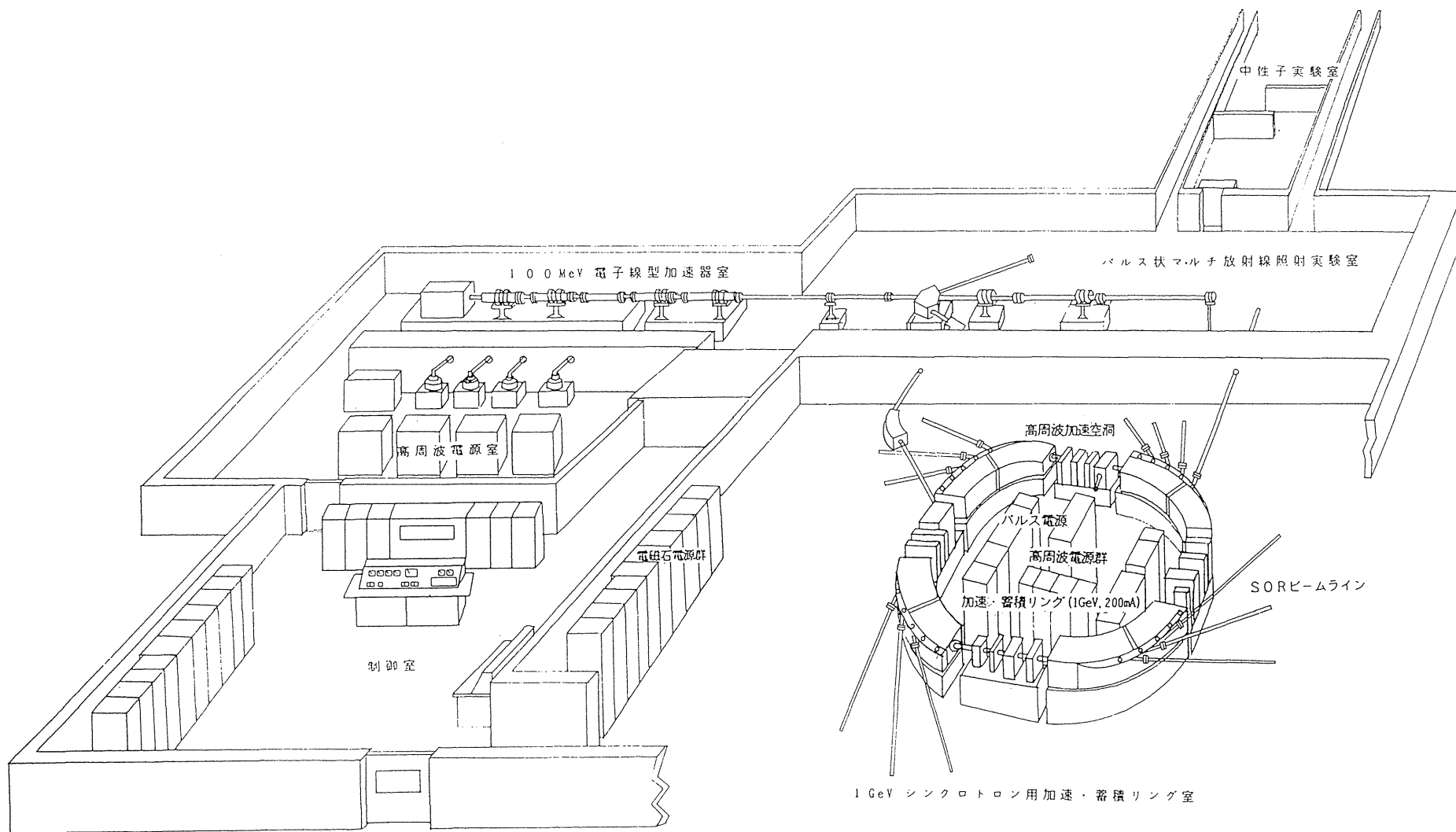


図3 100MeV 電子線型加速器並びに 1GeV 放射光用加速蓄積リング (鳥瞰図)

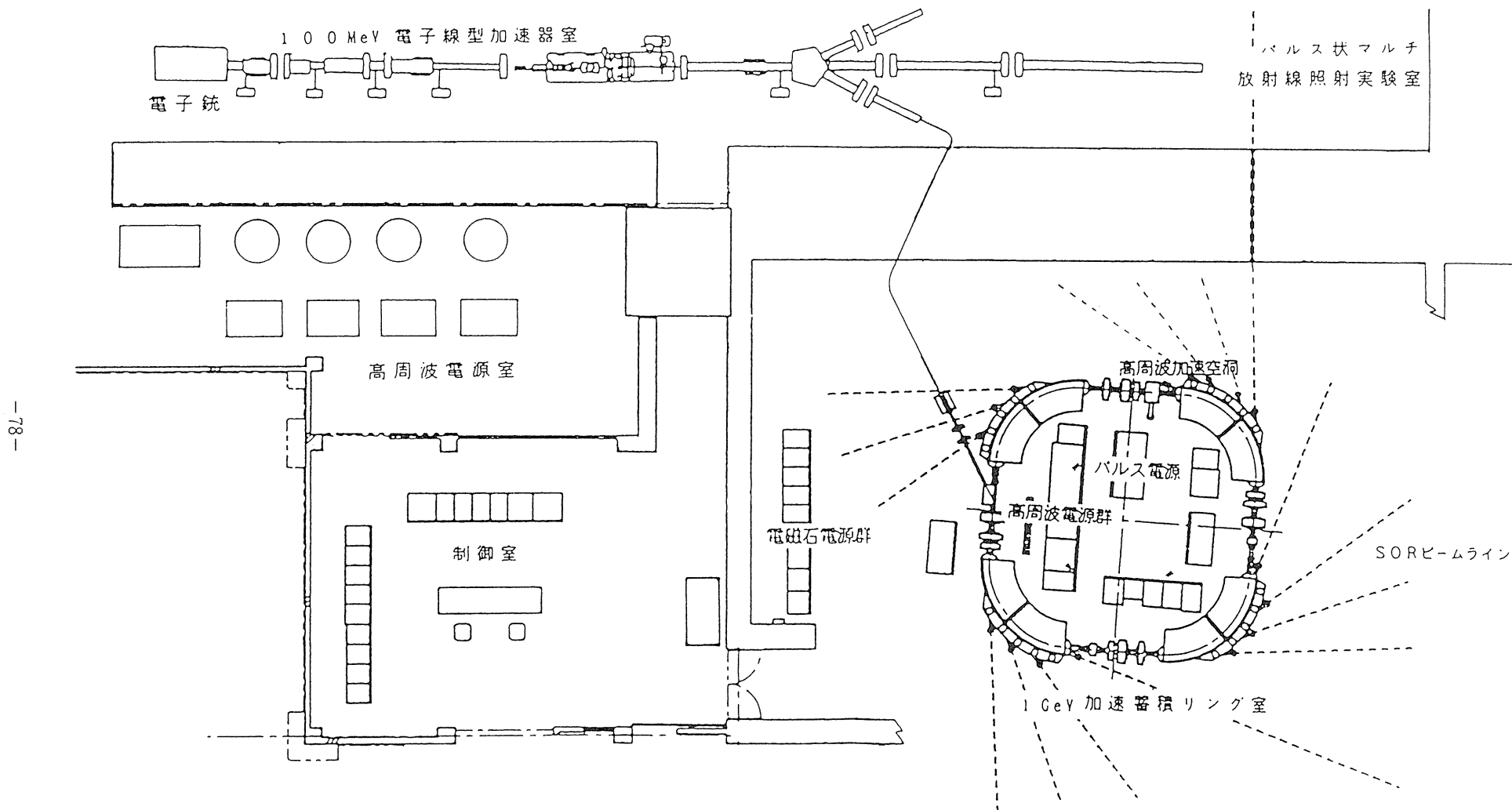


図4 100MeV 電子線型加速器並びに1GeV放射光用加速蓄積リング (平面図)

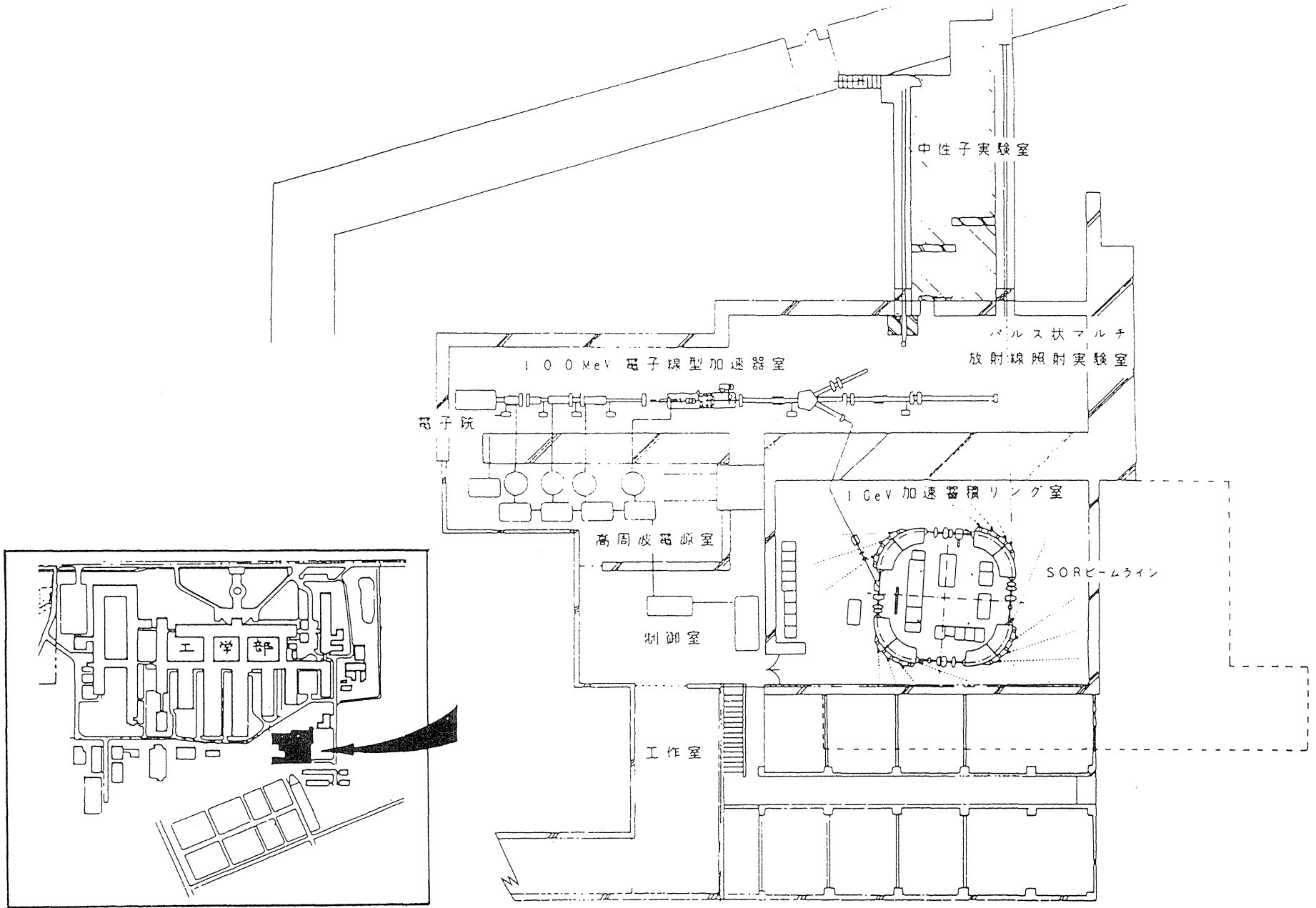


図5 既存建屋（瞬間強力パルス状放射線発生装置研究施設）と本装置HPS設置箇所

- 系増設
- 第2年度 放射光用加速蓄積リング設置・制御システム (全体)  
高周波加速系, 電磁石, 電磁石電源, ビームモニター計装制御装置, 真空排気系, 制御システム, 総合調整
- 第3年度 ビームライン・ビームチャンネル・総合試運転調整  
ビームライン, チャンネル設置, 計測系総合試運転 放射光強度, スペクトル等測定

### (3) 装置の管理運用の要員

原子工学学科はその設立直後以来, 電子線型加速器を保有し, 研究・教育に利用している。このため, それらの運転, 保守, 管理に必要な専門的技術者が育っている。これら専門的技術者のレベルはパルス状マルチ放射線源の建設, 運転, 保守, 管理に対しても十分な役割を果たし得るものである。また, 学内共同利用施設である直線加速器研究室 (技官1名), エリアモニター研究室 (技官1名) 等と学内共同利用施設ではないが実

質的には共同利用施設として使用されている瞬間強力パルス状放射線発生装置研究室 (助教授1名, 技官2名), バンデグラフ加速器研究室 (技官1名), 原子炉シミュレータ研究室 (技官1名), 理工系放射性同位元素総合研究室 (技官2名) の合計9名の現有人員が本装置の建設～運営に対しても大いに寄与できる体制にある。

### 8. 計画の経過と現状

既存の45MeV電子線型加速器を母体として, 放射光発生を可能にするパルス状マルチ放射線源装置を, 当初, 金属工学科, 金属化学研究施設, 化学系共通, 応用物理学科, 原子工学科を中心とした5学科で立案し, 平成2年度から概算要求を開始した。その後, 設置推進研究会が発足し, 平成2年12月に第1回の研究会が開催された。現在, 全学支援体制をより発展させるための全学設置推進委員会の設立が進められている。その他, 放射光発生, 利用に関する講演会を随時行っている。

北海道大学パルス状マルチ放射線源装置設置推進研究会



## § 3 既存の放射光施設の現状と将来計画

### 3.1 高エネルギー物理学研究所放射光実験施設 (Photon Factory)

#### 1. 現状

フォトンファクトリー (PF) は 1982 年に完成して以来、広い分野の研究者により放射光科学の最先端の研究が行われている<sup>1)</sup>。ビームラインは年々増設されて、現在は 20 本、約 50 の実験ステーションがあり、多数の実験が同時進行している。全国の大学、官公庁の研究所からの共同利用実験の登録者は 2,300 人以上、年間 500 件以上の実験が行われている。民間企業から申し込まれた施設利用実験は年間 20~30 件で、半導体材料や触媒の研究などである。このほか、民間 4 社がそれぞれにビームラインを建設し、本格的な利用研究を展開している。

光源リングへは通常 350mA 入射してユーザー利用実験に入る。蓄積ビームは 1988 年 7 月以来陽電子であり、寿命は長く 300mA の大電流でも 70 時間、電流値と寿命の積は 20 アンペア・時である。これは低ベータatron関数での運転その他の調整により最近著しく改善されたものである。1 日 1 回の入射で、ユーザー利用時の平均電流値は 300mA である。2 回入射の時より平均電流値はやや低いが、入射による実験の中断がないことのメリットが大きいためこの方式で行っている。電子でも陽電子でも 500mA 以上蓄積できるが、寿命が短いためユーザー用には 350mA で運転している。運転時間は年々増加し 1990 年度には 3500 時間になった。このうちユーザー使用時間は約 80%、マシン故障によるユーザー時間減は約 1% であり、稼働率は極めて高い。1990 年にはユーザー用単バンチ運転が行われた。全ユーザー時間の 8% 程度という短い時間であったが、早くも沢山の重要な成果が発表され、今後の発展が期待されている。

挿入光源は PF では現在 6 台、トリスタン入射蓄積リング (AR) には 2 台稼働している (表 I 参照)。1989 年には PF の BL28 に円偏光型アンジュレーターが設置された。また PF 完成当初から BL14 で活躍してきた超伝導垂直偏光ウィグラーは 1989 年の夏に新型に交換した。励磁したままでビームの入射ができるので入射時のロスタイムが約 40 分改善された。BL2 のアンジュレーターも PF 最初の永久磁石挿入光源として当初から稼働してきたが、今日の水準から見ると性能が劣るので 1990 年 5 月に改造した。磁石は SmCo<sub>5</sub> から NdFeB のハイブリッド型になり、基本波の光子エネルギーの下限は 400 から 270eV に拡張された。AR では真空封じ込み型アンジュレーターを設置した (NE3)。メスバウア分光でよく使われる 14.4keV の X 線は 3 次光で得られる。

放射光装置技術の研究に関しては、多極ウィグラーから放出される強力な放射光の単色化、集光のために用いる光学素子の耐熱性の向上の研究が最近の代表例である。とくに X 線用モノクロメーターに用いられているシリコン単結晶の温度上昇による変形をいかに防ぐかが問題であり、その解決法を探る努力を続けている。

放射光を利用した研究は様々な分野で活発に行われているが、最近顕著なのは生物体の構造解析である。これは放射光の高輝度性と二次元検出器イメージングプレートの高感度性とを活用し、劣化の速い蛋白質などの結晶からの X 線回折強度データを短時間で収集するシステムを開発したものであって、国内外から多数のユーザーが次々と構造解析実験を行っている。このシステムは、過去数十年間に解析されたのと同数の研究がここ一年でなされてしまうという画期的なものである。他のトピックスとしては放射光照射による分子解離現象の解明がある。解離に際して放出されるオージェ電子と解離イオンの同時刻検出法を確立し、複雑なスペクトルを素過程に分解して解釈する途を開いた重要な成果である。

表 I PF 及び AR で稼働中の挿入光源のパラメータ

|                    | 名称                          | 形式                          | 周期長<br>cm | 周期数    | GAP <sub>min</sub><br>mm | B <sub>max</sub><br>tesla | 完成年  |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|--------------------------|---------------------------|------|
| KEK (PF)<br>2.5GeV | UO2                         | U (NdFeB + steel)           | 6         | 60     | 28                       | 0.4                       | 1982 |
|                    | Revolver                    | multi-U<br>(NdFeB+steel)    | 5         | 46     | 30                       | 0.3                       | 1988 |
|                    |                             |                             | 7.2       | 32     | 30                       | 0.4                       |      |
|                    |                             |                             | 10        | 23     | 30                       | 0.5                       |      |
|                    |                             |                             | 16.4      | 14     | 30                       | 0.6                       |      |
|                    | MPW16                       | MPW/U (NdFeB+steel)         | 12        | 26     | 19                       | 1.5                       | 1987 |
|                    | MPW13                       | MPW/U (NdFeB+steel)         | 18        | 13     | 27                       | 1.5                       | 1988 |
| EMPW28             | EMPW/HU (NdFeB)<br>circular | 16                          | 12        | 30/110 | 1.0/0.2                  | 1989                      |      |
| VW14               | 3(5)-pole (S.C)<br>vertical |                             |           |        | 5.0                      | 1982                      |      |
| KEK (AR)<br>6.5GeV | EMPW-NE1                    | EMPW/HU (NdFeB)<br>circular | 16        | 21     | 30/110                   | 1.0/0.2                   | 1988 |
|                    | U-NE3                       | U (NdFeB)<br>in-vacuum      | 4         | 90     | 10                       | 0.83                      | 1990 |

U : アンジュレータ, MPW : 多極ウィグラ, EMPW : 円偏光ウィグラ/アンジュレータ  
VW : 垂直偏光型超伝導ウィグラ

## 2. 将来計画

トリスタン主リング (MR) の放射光利用計画と VUV・軟 X 線高輝度高安定放射光源計画とがある。MR を一部改造すれば、超低エミッタンスの放射光用リングとすることができる。そして 4ヶ所ある 200m の長直線部に 70m 級の長アンジュレータを設置すれば、非常に高い輝度の単色・高可干渉光源となる。X 線・軟 X 線領域の最先端の研究に利用するものである。また VUV・軟 X 線高輝度高安定放射光源計画とは、ビームエネルギー 1.5~3GeV の低エミッタンス、挿入型光源主体の高輝度光源を建設する計画で、VUV・軟 X 線領域での高度な研究に利用するものである。

## 参考資料

- 1) 浅見 明, 小早川久, 安藤正海: 放射光, 1, No.1, 47(1988).

高エネルギー物理学研究所 岩崎 博  
小早川 久

## 3・2 電子技術総合研究所放射光施設

### 1. 現状

#### (1) 放射光源研究の現状

電子技術総合研究所 (ETL) の放射光源としては、現在 0.8GeV 電子蓄積リング (TERAS) と小型リング NIJI - II, NIJI - III, NIJI - IV がある。TERAS は 1981 年から所内共同研究用として年平均 4000 時程度稼動してきた。<sup>1)</sup>

TERAS を用いた光源研究は、いずれも直線部を利用するもので、

- 1) YAG レーザーの逆コンプトン散乱による単色  $\gamma$  線発生と利用
- 2) 蓄積リングを用いる可視域自由電子レーザー (FEL) 発振実験とランダウ空洞によるビーム安定化
- 3) 直交遅延磁場型アンジュレーターによる円偏光発生と利用
- 4) 電子波動法による SR の大面積露光
- 5) 10 テスラ超伝導ウイグラーの試作を行っている。

小型リングの開発は、SR リソグラフィやアンジュオグラフィ、自由電子レーザー発生を目指して、1986 年から 1990 年の 5 年間に 4 台の小型リングが建設された。<sup>2)</sup>

小型リング NIJI - I は、1986 年 2 月に稼動し 160MeV で 0.5 A 以上蓄積できることを実証して

1989 年 3 月にシャットダウンされた。NIJI - II は常伝導の 0.6GeV 小型リング、NIJI - III は超伝導の 0.62GeV 小型リングで、SR CVD やリソグラフィに使用される。NIJI - IV は、自由電子レーザー専用の小型リングで 7.2m 長直線部に 6.3m 長の光クライストロンを設置し、紫外域での FEL 発振を目指している。NIJI - I, II, III は住友電気 (株) と、NIJI - IV は川崎重工 (株) と協力して建設された。

表 I に電総研で建設された放射光源の主なパラメーターを示す。

#### (2) 放射光利用施設の現状

TERAS リング室と分光器などのある実験室の間には厚さ 1m から 1.5m 程度の遮蔽壁があり、SR を導くビームラインには放射線遮蔽用のビームシャッタが設置されているので、TERAS への電子入射中に実験室で実験機器の立ち上げが可能である。

TERAS には SR 利用が可能な 8 本のビームラインがあり、文献 1 にそれらに設置された分光器、利用波長域、主な実験機器について説明があるので省略する。ただし、BL3 - 1 の二結晶型の分光器は (株) ソルテックの筑波研究所に持ち帰ったので、現在はない。

#### (3) 放射光利用研究の概略

- 1) コインシデンス法を用いた内殻励起分子の動的

表 I 電総研放射光源の主なパラメーター

| 光源名 (設置場所)<br>Machine (Location, Lab.) | 大きさ<br>Size (m) | エネルギー<br>E (GeV) | 曲率半径<br>R (m) | 電流<br>I (mA) | 臨海<br>エネルギー<br>Ec (eV) |
|--|-----------------|------------------|---------------|--------------|------------------------|
| TERS (Tsukuba, ETL)                    | 10 $\phi$       | 0.8              | 2.0           | 250          | 568                    |
| NIJI-I (Tsukuba, ETL-SEI)              | 4 $\phi$        | 0.27             | 0.7           | 524          | 62                     |
| NIJI-II (Tsukuba, ETL-SEI)             | ~6 $\times$ 3.5 | 0.6              | 1.4           | 120          | 342                    |
| NIJI-III (Tsukuba, SEI-ETL)            | ~5.5 $\times$ 4 | 0.62             | 0.5           | 400          | 1057                   |
| NIJI-IV (Tsukuba, ETL-KHI)             | 12 $\times$ 5   | 0.4              | 1.2           |              | 231                    |

## 挙動

- 2) 光学材料, 半導体などの光学的性質
- 3) 温暖化関連気体の光解離速度に関する研究
- 4) 希ガス電離箱を用いる光子束の絶対測定
- 5) 分光放射標準
- 6) 原子分子のW値のエネルギー依存性
- 7) 半導体フォトダイオードの量子効率測定
- 8) モノシランや石英などの光吸収スペクトル測定
- 9) サブミクロン・リソグラフィ用位置合わせ技術などの研究を行っている。

## (4) 施設維持費

年間 約30,000千円 (光熱水費含まず)

## (5) 運転形態

TERASは, 通常 毎週 月曜日～金曜日を通して午前中に入射1回, 蓄積後は夜12時まで利用できる。しかし, 最近の木曜・金曜は自由電子

レーザー, 逆コンプトン散乱 $\gamma$ 線等の光源開発に使われる。運転は, 9人の電子加速器グループと若手の利用者数人が3人1組(内1人は見習いの場合が多い)の当番制でやっている。定期的に停止する時期は, 年1回リングやビームラインを改造する4～5月の3週間, 8月の2週間, 正月の1週間である。

## 2. 将来計画

TERASを1.5GeV級の小型リングに改造する。

## 参考資料

- 1) 冨増: 放射光, **1**, No.1, 33(1988).
- 2) 冨増: *Semiconductor World*, **9**, No.10, 183(1990).

電子技術総合研究所 冨增多喜夫

### 3・3 東京大学物性研究所附属軌道放射物性研究施設

#### 1. 現状

東京大学物性研究所には附属軌道放射物性研究施設と軌道放射物性研究部門があり、両者は1体として運営されている。実験設備の中心は0.38 GeVの電子ストリーミングSOR-RINGである<sup>1)</sup>。これは田無の原子核研究所のキャンパスにある。このほかに筑波の高エネルギー物理学研究所内に軌道放射性研究施設の分室をもち、フォトン・ファクトリー・リングのBL-18, 19に設置されている3基の実験ステーションの維持と整備を行っている。

光源：SOR-RING (0.38GeV)

PFリング (2.5GeV, リボルバーアンジュレーター)

ビームライン：

SOR-RING 5本<sup>1)</sup>

PFリング BL-18 (偏向部)

CDM-表面界面電子分光実験装置

PFリング BL-19 (アンジュレーター)

CDM-スピン偏極光電子分光実験装置

PGM-温度可変光電子分光実験装置

研究：光吸収反射分光による固体の電子状態の研究

変調分光による固体の電子状態の研究

光電子分光による固体の電子状態の研究

生体物質に対する極紫外線照射効果の研究

生体物質の光吸収分光

維持費：田無～50,000円

筑波～80,000円

定員：14名

建物：田無 SOR-RING実験棟2階建1棟

プレハブ研究室1部2階建計3棟

筑波 PF実験ホール(BL-18, 19)

プレハブ研究室2階建1棟

運転スケジュール：

田無 原則として火-金曜日

9:00-21:00

筑波 PFリングの運転スケジュールに

従う

#### 2. 将来計画

真空紫外線・軟X線領域の光を発生させる目的をもった電子エネルギー1.5GeVの挿入型光源を主体とした高輝度ストリーミングを建設する。さらに、それに適合した分光研究用の測定系を建設し、物質の電子状態に関する先端的研究を行う。

#### 参考資料

- 1) 石井武比古, 宮原義一, 菅 滋正, 柿崎明人: 放射光, 1, No.1, 23(1988).

東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設

### 3・4 分子科学研究所極端紫外光実験施設 (UVSOR)

#### 1. 現状

分子科学研究所には真空紫外光源として750MeVの電子ストレージリングがあり、1984年秋から共同利用実験に供されている。現在入射の初期電流値は200mAであり、200mAでの寿命は約3時間である(最高貯蔵電流値、500mA)。目下の大きな作業はコンピューター制御の導入である。ラティスはChasman-Green型で、長直線部は4ヶ所ある。そのうちの3ヶ所に1台の超伝導ウィグラーと2台のアンジュレーターが設置されている。1台のアンジュレーターは利用実験に用いられており、他の1台は自由電子レーザーの基礎実験に用いられている。最近アルゴンイオンレーザー(488nm)を用いて、利得の測定に成功した。ビームラインは当初、分光、光電子分光、光化学、化学反応素過程の四つの分野の研究を目指して建設された。現在稼働中の観測システム(ビームライン)は15本あり、そのうちの1本は核融合科学研究所の校正用のビームラインである。目下4本のビームラインが建設中で、それらは結晶分光器を付帯したもの、照射用のもの(2本)および赤外用のビームラインである。最終的には22本程度になる予定である。光源およびビームライン全体はテニスコートの地下に収容されており、地上には2階建ての研究室がある。現在この建物の上に3階を増築する工事を行っている。

上記のビームラインを用いて、気体の研究では超音速噴流中で生成した希ガス・塩素型の分子間化合物の吸収および蛍光スペクトルの測定、水分子と他分子の混合クラスターの光イオン化の研究が行われた。また光励起分子からの陰イオンの生成や分子2価イオン、内殻電離イオンの解離過程の研究も行われている。固体の実験では基礎吸収の測定による種々のガラスの特性評価や、内殻吸

収測定による半導体や触媒物質の電子構造およびEXAFSの研究も行われている。光電子分光による有機伝導体や高温超伝導体の電子構造の研究も盛んである。最近単バンチ運転を用いてハロゲン化アルカリ結晶の固有発光の寿命を測定し、励起子の緩和過程に関して重要な知見が得られた。光化学反応の実験では、半導体結晶の光誘起エッチングや光化学蒸着などの実験が行われている。その他窒素分子と炭素を含む分子の混合気体中でハロゲン化アルカリ結晶にアンジュレーター光を照射し、その表面にCN<sup>-</sup>イオンを生成する実験やハロゲン化アルカリ結晶にアンジュレーター光を照射し、その表面からアルカリ原子を放出する実験なども行われている。遠赤外の実験では高圧下でのハロゲン化アルカリの相転移に伴う格子振動の変化や高温超伝導体の反射スペクトルが研究されている。共同研究の募集は年2回(前期、後期)である。平成2年度のUVSORの共同研究の件数は、課題研究3、協力研究28、招へい協力研究4、施設利用104であった。利用研究者数(所内も含む)は約400人(1期約200人)であった。そのほか、UVSOR研究会と自由電子レーザーワークショップをそれぞれ1回ずつ開催した。

UVSORの光源およびビームラインの建設・維持・運転および共同利用者(施設利用)への対応は主として極端紫外光実験施設(助教授3、助手4、技官6、客員助教授1)で行っている。UVSORの利用者はこれまで所外の多くの研究者(施設利用)と所内の主として分子集団研究系のスタッフ(独自のビームラインがあり、協力研究として利用できる。)によって遂行されてきた。幸いSORを用いた研究の強化のために平成3年度から分子科学研究所の第6番目の研究系として極端紫外光科学研究所の設置が認められた。これは新設の専任部門1に分子集団研究系からの既設の専任部門1、流動部門1、外国人客員部門1が加わったものである。今後はこの新しい研究系を中心として極端紫外光実験施設および所内外の多く

の研究者の協力によって、更に研究を発展させていくことになる。

## 2. 将来計画

将来計画であった研究系の新設や建物の増築が幸いにも実現した。今後の課題は、固体・表面光化学や光励起新物質合成などを含む分子科学の新しい分野で、SORによる研究を強力に推進することである。

## 参考資料

- 1) 渡辺 誠：放射光, **1**, No.1, 41(1988).
- 2) 鎌田雅夫：放射光, **4**, No.1, 71(1991).

分子科学研究所 木村克美, 渡辺 誠

## § 4 放射光科学・技術に関する需要調査

### 4.1 調査の趣旨, 方法

§ 2に紹介されている7計画は, これらを立案した各大学等がそれぞれ全国的あるいは地域的な需要を評価予測しそれに見合う形で提案したものである。学会としては, これらが我が国の放射光利用全体としてどのように客観的に位置づけられるか考えるための資料を得ることを目的として, 添付の調査項目表によるアンケート調査を行った。このアンケートの第1の目的は需要の調査であるが, 同時に各計画の建設, 運営などを理解するために, より広い分野も含めて調査することとした。

以下アンケートの項目ごとにその趣旨を簡単に説明する。

#### A. 専門分野

放射光施設の建設と運営には, 入射器・光源加速器あるいは放射光の発生・利用技術から利用にいたるまでの幅広い研究者・技術者の分布が必要と思われるので, それを調べる。

#### B. エネルギー領域

中型放射光施設として真空紫外線, 軟X線の利用はもとより, X線や赤外線・遠赤外線の利用に対しても各計画の立場を知る。

#### C. 専門とする対象(入射器, 光源加速器, 放射光発生技術)

入射器, 加速器, 挿入光源等の設計, 建設, 運転に対する体制や準備状況を知る。

#### D. 専門とする対象(放射光利用技術)

利用研究が所期の目的を達せられるかどうかは利用技術のノウハウの蓄積に依存する。ビームラ

イン技術, 光学技術, 計測技術について適切なバランスを持っているかを調べる。

項目C, Dの内容からいえることは, ともに経験者の有無が状況を大幅に左右する可能性が大きいということである。

#### E. 専門とする対象(放射光利用研究)

利用研究の分野別の分布を知る。

#### F. 放射光利用研究における手法または目的

手法または目的別の分布を調べる。項目E, Fはともに需要調査の核心部分である。項目をさらに細分化すればより正しい需要予測ができるはずであるが, 今回はデータ整理の都合上現状の分類に留めた。各計画がこれらの需要に見合ったビームライン, 実験ステーションの建設を考えているかどうかを調べる。

アンケートの結果は各計画の当事者から, その計画に参加が予定されているかあるいは関心を持っている研究者, 研究機関等に送られ回収されたデータに基づいているほか, 各計画で既に把握済みの研究者データもこれに加えられたものである。

各計画ごとにアンケートを送った対象と範囲に差があるので, アンケート結果が現時点での各計画の需要の絶対値を必ずしも厳密に反映しているものではないことに注意したい。しかしながら各計画の中で, 専門分野(A), エネルギー領域(B), 放射光利用研究(E), 放射光利用研究における手法または目的(F)などの分布については, それぞれの計画の特徴が良く反映されていると考えられる。

また, 今回のアンケート回収総数は2252名に達するが, 同一研究者が複数の計画に関心を持っているケースも多数あったのでそれらは重複して数えられている。なお関西中型計画のアンケートは大阪科学技術センターが実施したもので産業界と学界に分けて調査されている。



各計画のA～Fの分布は円グラフに、研究者の都道府県別の分布は棒グラフにまとめて本節の末尾に添付した。

## 4.2 調査結果の分析

添付してある円グラフ(4.3)および棒グラフ(4.4)のデータの分析に入る前に、アンケート回収数と各項目への解答延べ人数の違いについて説明する。アンケートの各項目では複数の解答を行うことを可としたのではその延べ人数はアンケート回収数を上回ることがある。一方、項目C, D, E, Fは専門分野のうちの一分野についての集計であるため回収数を下回ることもある。また項目Aの延べ人数が回収数を下回るケースがあるが、これは専門分野を特定しない解答があり、これを「その他」としては計上しなかったことによる。

### A. 専門分野について

九大、東北大、北大計画は円グラフ(4.3)から見る限りほぼ類似の分布を示している。また、広大、物性研、高エ研計画も利用研究が3/4を越えているという点で一見類似している。この中で広大計画では入射器・光源加速器、放射光発生技術、放射光利用技術のウェイトが著しく低い。これはその計画が、中程度のエミッタンスの、作り易い、扱い易いリングを考えているためであろう。しかしその延べ603名のアンケート中で上記3分野の人員はそれぞれ6名以上はいる。

### B. エネルギー領域

X線については、関西中型：学界45.5%，広大44%，関西中型：産業界38.8%，九大38.6%，東北大31.4%，北大27.2%，高エ研14%，物性研7.3%の順である。物性研計画においてX線が1桁台であることが特にきわ立っている。

一方、赤外線、遠赤外線については、東北大12.6%，高エ研8.8%，北大7.4%，九大4.4%，関西中型：産業界3.7%，関西中型：学界2.9%，物性

研2.4%，広大1.1%である。東北大計画では2桁台であり赤外線、遠赤外線をかなり重視していることが分かる。

### C. 入射器、光源加速器、放射光発生技術

これらの技術では、確立したものはメーカーに依存するとしてもなお6項目にバランスよく人が配置されていることが重要であると思われる。この点では、本アンケートで見える限り、九大、物性研、北大計画における人員配置は改善の余地がある。

一方、全国共同利用型の高輝度光源と考えられる物性研、高エ研計画では多数の挿入光源の装備が予定されているが、物性研の人員配置6名に比べてより大型の高エ研計画が2名では、需要に応えることは難しい。

### D. 放射光利用技術

リングと実験装置を結ぶ重要な部分であるビームライン技術のウェイトが各計画で大幅に異なっている。関西中型：産業界31.7%，広大26.2%，関西中型：学界24.7%，物性研14.3%，東北大11.1%であるのに対して、九大、北大では0%，高エ研0.9%である。このウェイトが極めて低い3計画についてはバランスに配慮する必要があるだろう。

### E. 放射光利用研究

原子、分子、クラスターについての研究は、高エ研18.2%，関西中型：学界14.6%，九大13.5%，物性研10.8%，東北大10.4%，北大6.3%，広大1.9%，関西中型：産業界1.1%の順で、高エ研がかなり多く、広大、関西中型：産業界が極めて少ない。

表面、界面、薄膜については、北大39.8%，東北大33.6%，関西中型：産業界33.0%，高エ研29.3%，関西中型：学界28.5%，九大18.0%，物性研13.7%，広大11.3%の順である。

無機固体については、物性研62.7%，広大50.6

%, 高工研34.1%, 東北大31.5%, 北大25.0%, 関西中型: 学界21.5%, 九大20.7%, 関西中型: 産業界20.1%の順である。

一方, 有機固体, 高分子については, 九大23.4%, 関西中型: 産業界20.1%, 関西中型: 学界14.0%, 広大12.0%, 高工研10.8%, 北大9.4%, 東北大8.3%, 物性研1.4%の順である。

以上が全体的に見てウェイトの大きな対象であるが, この他, 液体, 融体については九大15.3%, 東北大11.2%, 関西中型: 産業界8.4%, 広大5.5%, 北大5.5%, 高工研4.8%, 物性研0.5%となっている。

また, 生物, 生体については関西中型: 学界11.4%, 物性研10.8%, 広大10.1%, 北大7.8%, 関西中型: 産業界7.3%, 九大6.3%, 東北大4.9%, 高工研2.6%の順である。

#### F. 放射光利用における手法または目的

この項目についての結果の分析は容易ではないが, X線関係の項目のX線分析, X線回折, X線散乱, X線トポグラフィ, X線トモグラフィ, アンジオグラフィを合わせたものの全体に占める割合は, 関西中型: 学界42.7%, 広大42.6%, 関西中型: 産業界40.3%, 北大34.8%, 九大29.3%, 東北大26.6%, 高工研7.2%, 物性研6%である。EXAFS, XANESも加えれば, 関西中型: 学界58.4%, 広大54.9%, 関西中型: 産業界53.9%が50%を越える。それに続いて東北大43.4%, 九大42.9%, 北大42.9%, 高工研19.6%, 物性研5.9%の順になる。

この中で, 物性研計画では, X線の手法はほとんどなく, 真空紫外線, 軟X線の手法を中心とした利用研究を目的としていることが明らかである。これに対し, 高工研計画では, X線の手法を用いる利用研究も少し含まれていることが分かる。

一方, 汎用光源の中で広大, 関西中型, 北大計画ではX線の手法が40%以上含まれている。しか

し, ウィグラーを考えていない1GeVリングでこのX線の大きな需要を満たそうとする北大計画には無理があることも考えられる。ウィグラーの追加を早急に検討される必要があるだろう。個別項目で見えていくと, 光吸収, 反射および蛍光の手法は全計画においておしなべてウェイトが高く, 特に物性研, 高工研計画で際立っている。

イオン計測による研究は, 広大, 関西中型, 北大では極めて少ないが, 九大, 物性研, 高工研, 東北大では数%となっている。

光電子計測による研究は全般的にウェイトが高く, どの計画でも10%を越えている。特に物性研, 高工研計画でのウェイトが高い。

化学反応についてはウェイトの高い計画は, 九大13.1%, 高工研10.1%, 関西中型: 産業界9.3%等であり, 逆に広大, 物性研ではウェイトは極めて低い。

EXAFS, XANESについてはほとんどの計画で10%以上のウェイトがある。しかし, 物性研4.3%, 北大8.1%がかなり低い値を示している。

以上項目別にアンケート結果を分析し, 顕著な傾向を取り出してみた。

次に地域分布の棒グラフ(4.4)について説明する。まず注目されることは, 一県集中型の分布を示すのが, 北大計画であり, 九大計画の場合もほぼこれに準じている点である。東北大の計画はもともとそれに近かったが, 最近東北地方の他県でも関心をもつ潜在的なユーザーが漸増している。これらの汎用光源計画はそれゆえ地域共同利用型の計画と位置づけてよい。同じ汎用光源計画でも広大計画では広島県をピークとして分布が西日本に広く広がっており, より広範な地域の利用者から関心を持たれていることが分かる。これは7計画中最も早くから地道な努力でユーザー開拓を行ってきた結果と思われる。同じ汎用光源である関西中型計画についても, 産業界, 学界の分布とともに全国他府県にわたっており, 広範な地域から

関心を持たれていることが分かる。中でも学界関係が大阪, 京都, 兵庫をピークとして関西に広く分布しているのに対し, 産業界関係が首都圏と近畿圏に2極化しているのが特徴的である。

一方, 全国共同利用型高輝度光源計画の物性

研, 高工研計画では北海道から中国, 四国にいたる研究者に広く関心を持たれている。しかしながら両計画ともに際立ったピークが東京にあり, 全国共同利用という観点から見れば全国的な潜在的ユーザーの掘り起こしがまだ十分には行われていないことを物語っていると言えよう。

## 調査項目表

(各項目より適切なものを選びアンケートのA~Fの下に御記入下さい。)

### A. 専門分野

1. 入射器, 光源加速器
2. 放射光発生技術 (FELを含む)
3. 放射光利用技術
4. 放射光利用研究
5. その他

### B. エネルギー領域

1. 赤外, 遠赤外
2. 可視, 紫外
3. 真空紫外
4. 軟X線
5. X線
6. その他

### C. 専門とする対象 (入射器, 光源加速器)

1. 軌道入射
2. 真空
3. 高周波加速
4. ビームモニター
5. 加速器制御
6. 挿入光源 (FELを含む)
7. その他 ( )

### D. 専門とする対象 (放射光利用技術)

1. 光学技術 (X線, 軟X線, 真空紫外, 可視紫外, 赤外遠赤外の光学系と光学素子を含む)
2. 計測技術 (検出器を含む)
3. ビームライン技術
4. その他 ( )

### E. 専門とする対象 (放射光利用研究)

1. 原子, 分子, クラスタ
2. 表面, 界面, 薄膜
3. 無機固体
4. 有機固体, 高分子
5. 液体, 融体
6. 生物, 生体
7. 医学
8. その他 ( )

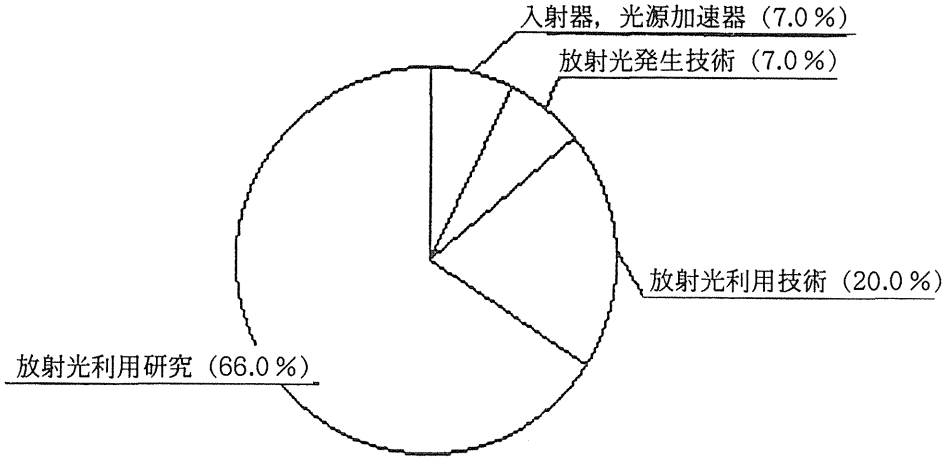
### F. 放射光利用研究における手法または目的

1. 光吸収, 反射
2. 蛍光
3. 光電子
4. イオン
5. 化学反応 (解離, 電離)
6. EXAFS, XANES
7. 生物放射線効果
8. X線分析
9. X線回折
10. X線散乱
11. X線顕微鏡
12. X線トポグラフィ
13. X線トモグラフィ
14. アンジオグラフィ
15. X線リソグラフィ
16. その他 ( )

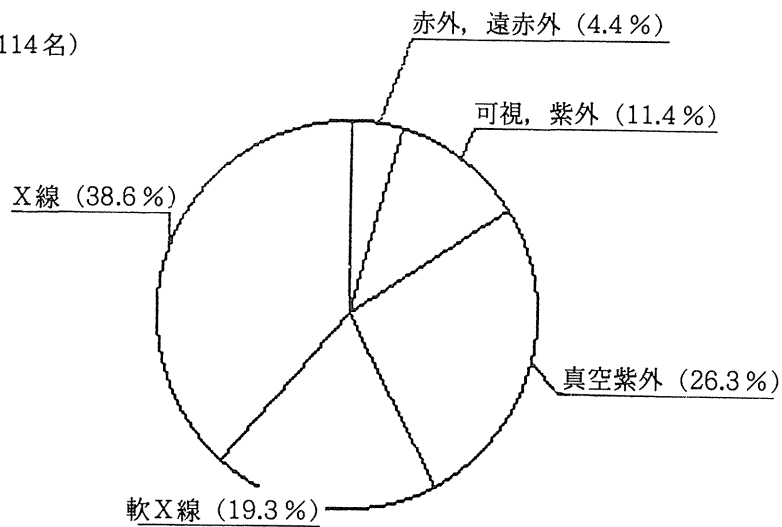
4.3 項目別円グラフ

九州大学 (アンケート回収 75名)

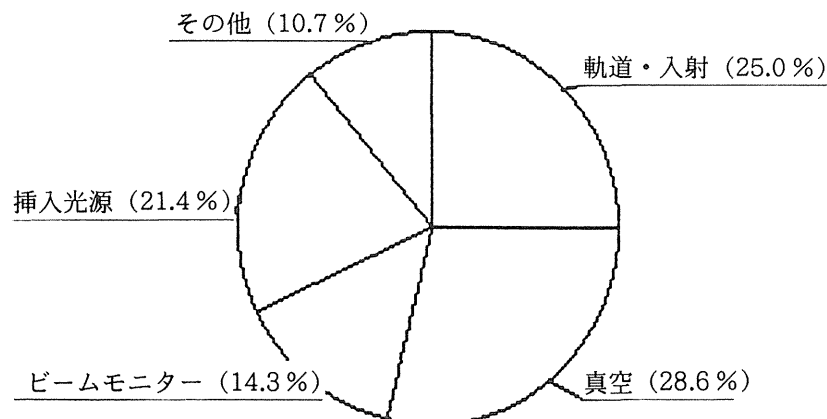
A・専門分野 (延べ100名, 以下同様)



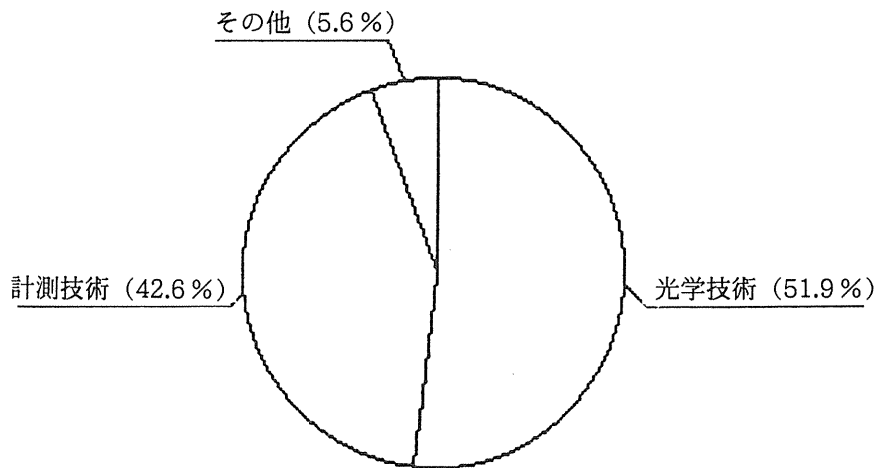
B・エネルギー領域 (114名)



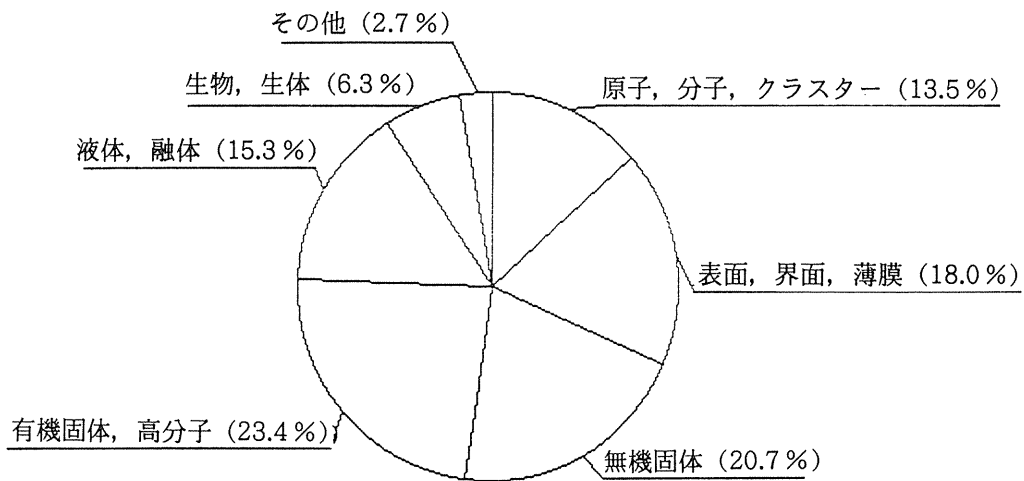
C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (28名)



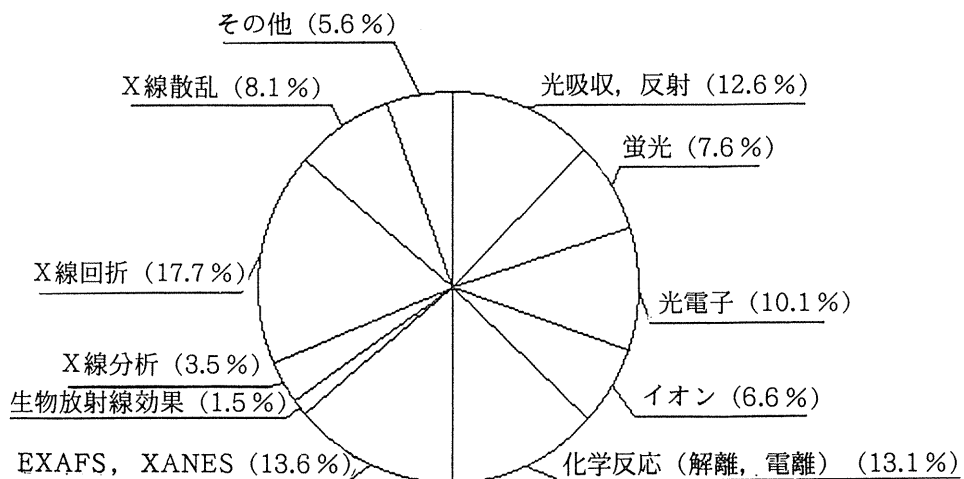
## D・放射光利用技術 (54名)



## E・放射光利用研究 (111名)

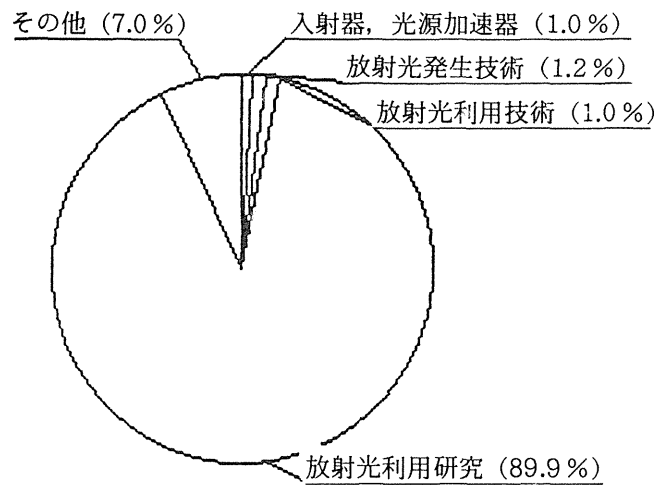


## F・放射光利用研究における手法または目的 (198名)

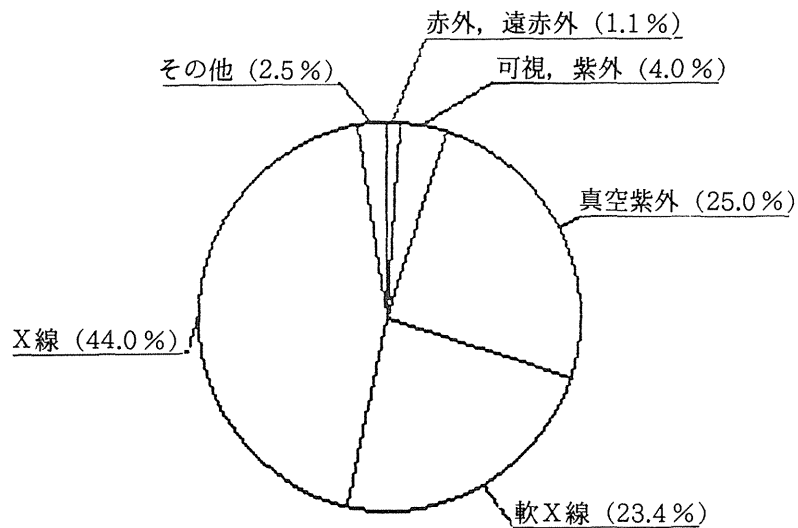


広島大学 (アンケート回収 604名)

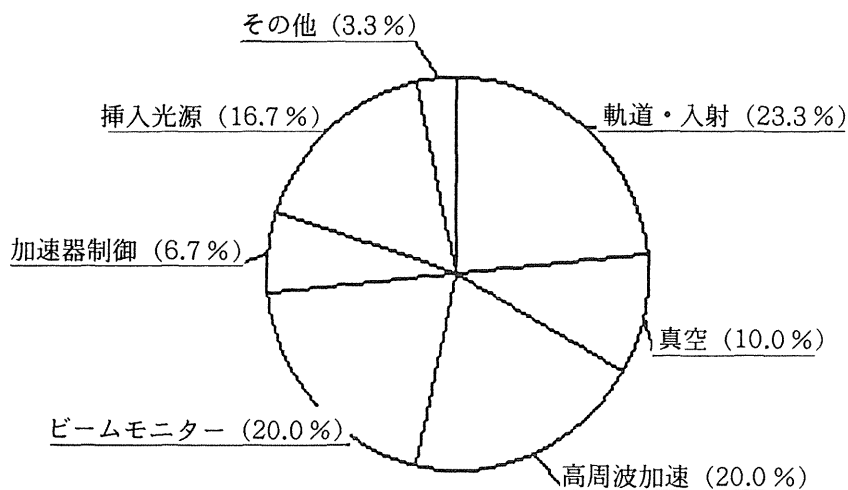
A・専門分野 (延べ603名, 以下同様)



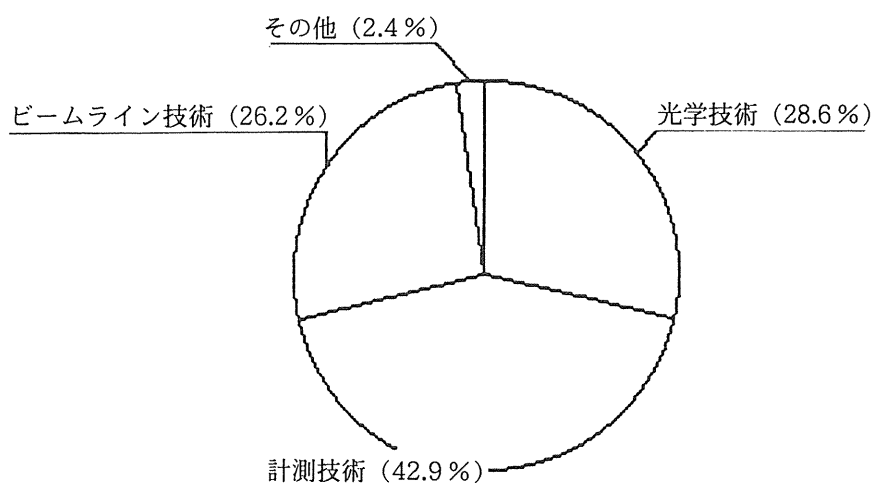
B・エネルギー領域 (752名)



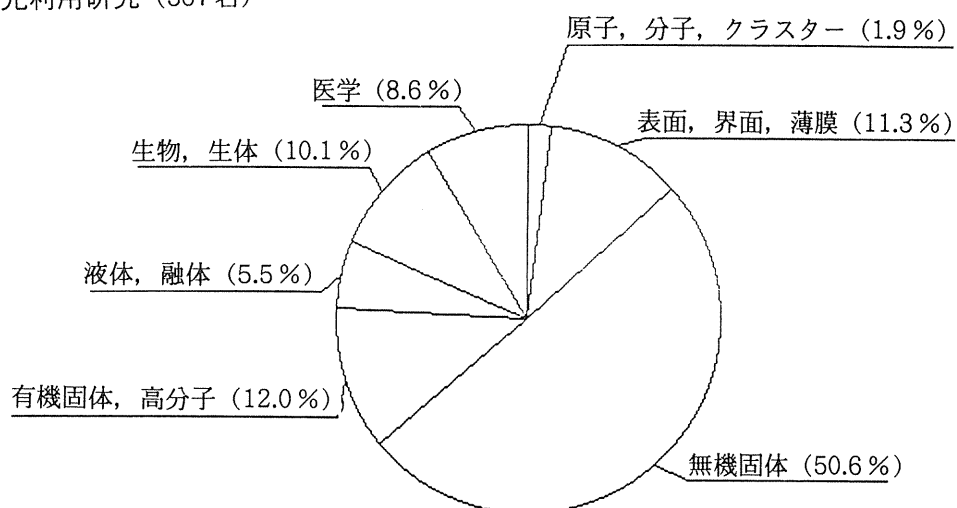
C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (30名)



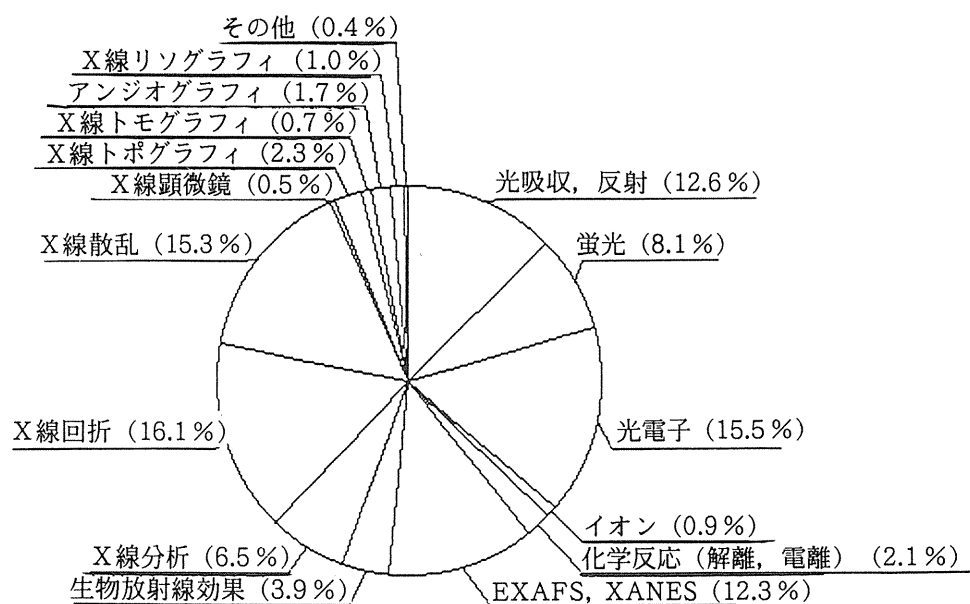
## D・放射光利用技術 (42名)



## E・放射光利用研究 (567名)

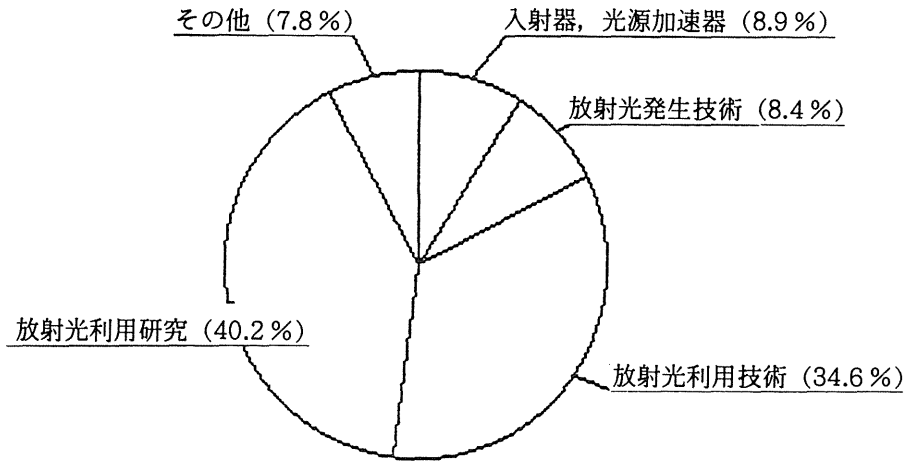


## F・放射光利用研究における手法または目的 (1074名)

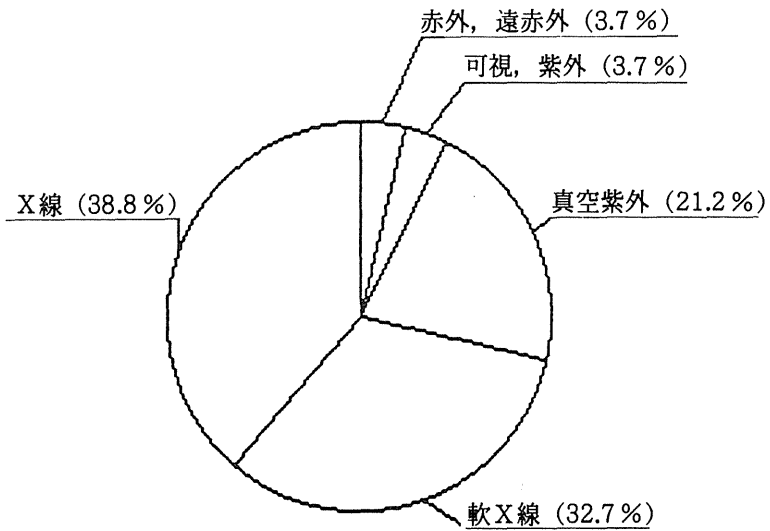


関西中型 産業界 (アンケート回収 110件)

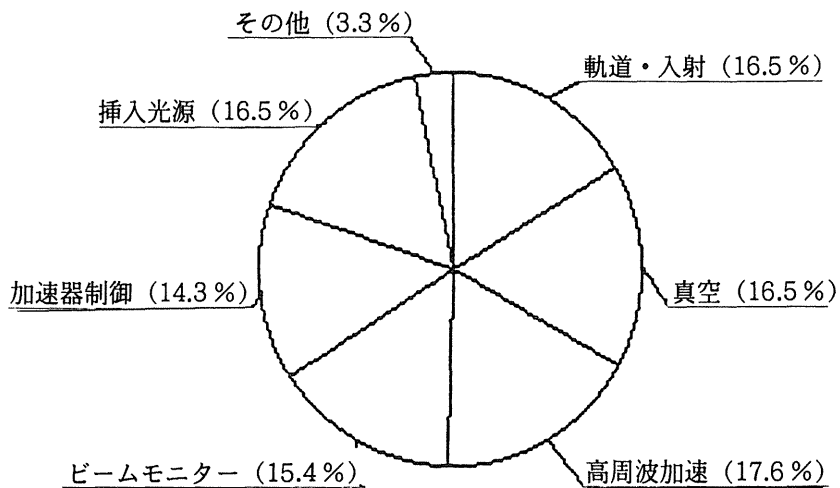
A・専門分野 (延べ179名)



B・エネルギー領域 (245名)

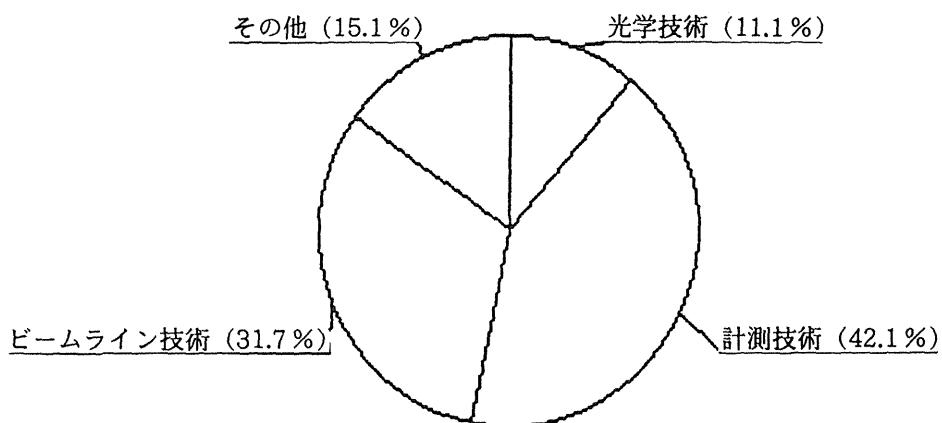


C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (91名)

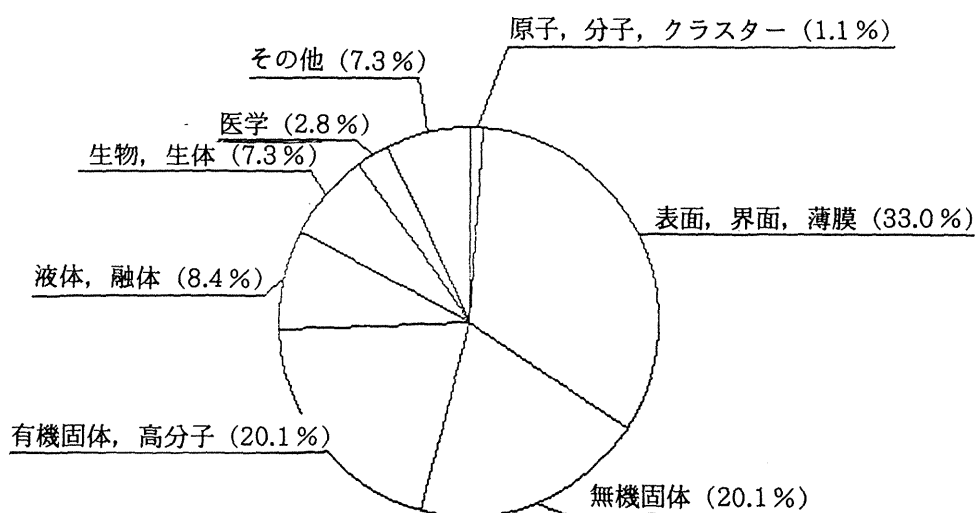




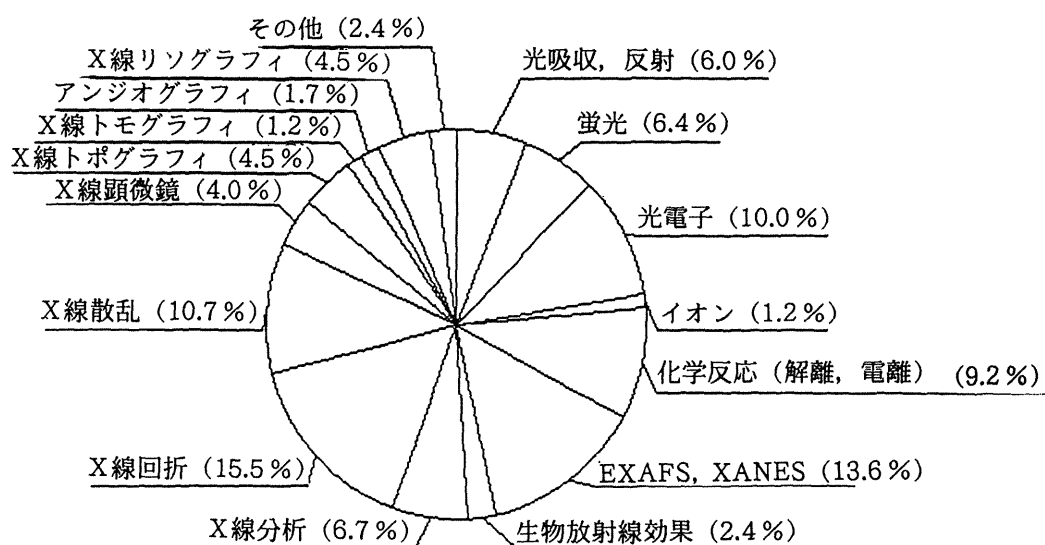
## D・放射光利用技術 (126名)



## E・放射光利用研究 (179名)

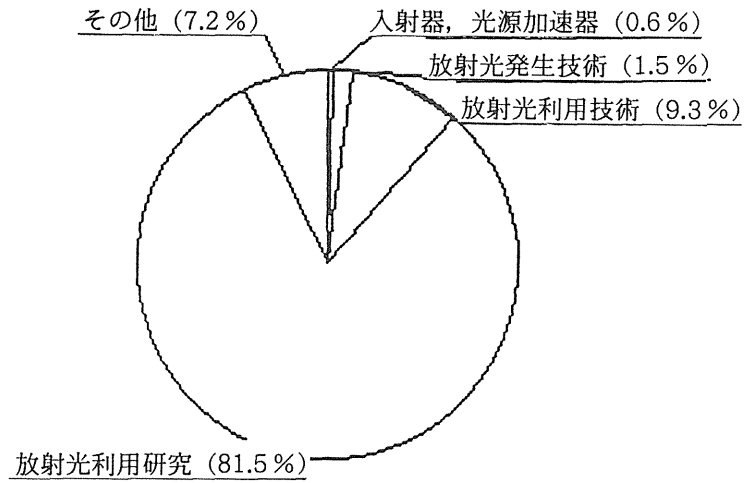


## F・放射光利用研究における手法または目的 (420名)

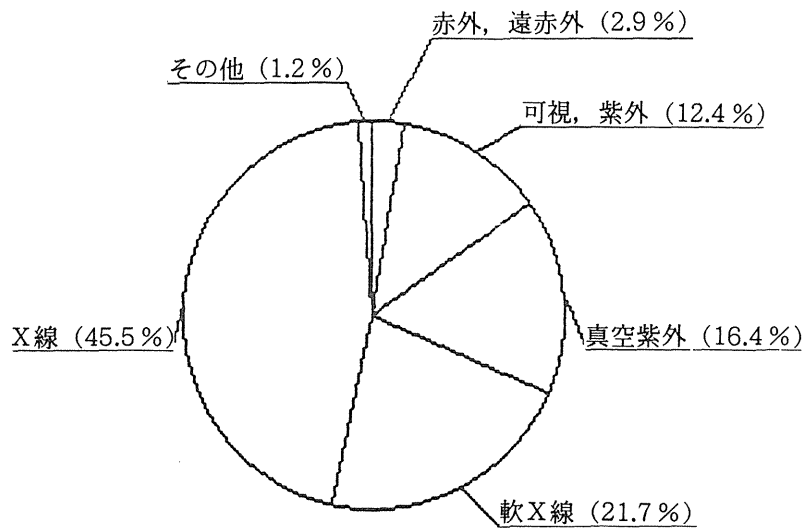


関西中型 学界 (アンケート回収 554名)

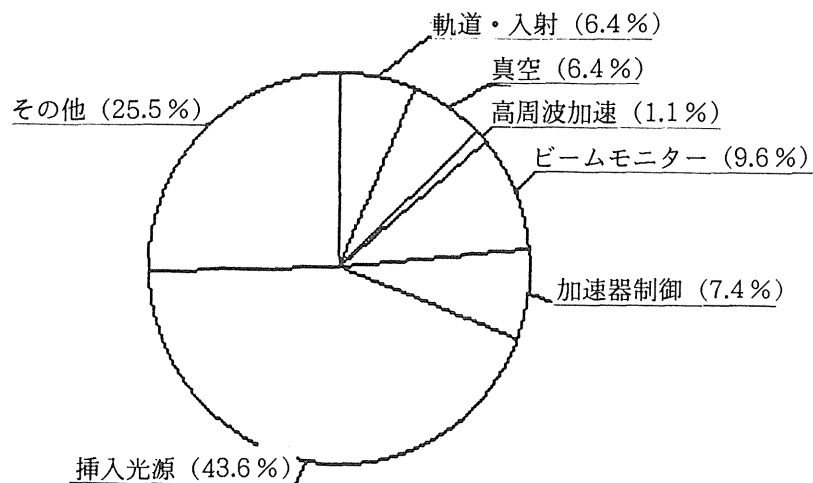
A・専門分野 (延べ540名, 以下同様)



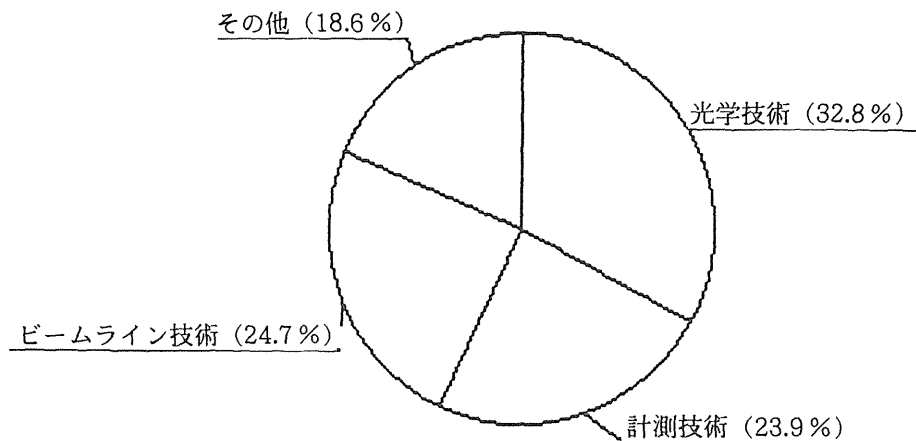
B・エネルギー領域 (840名)



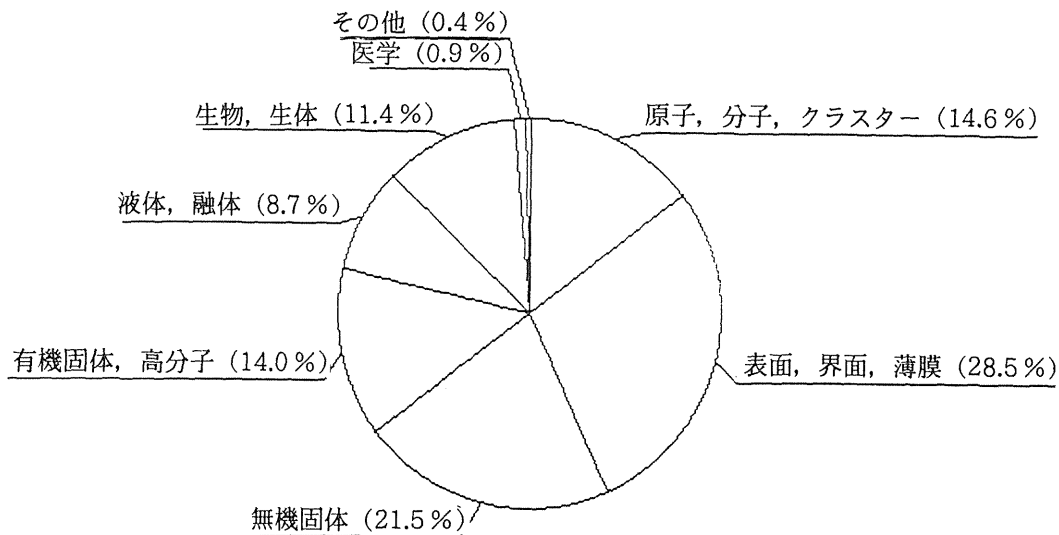
C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (94名)



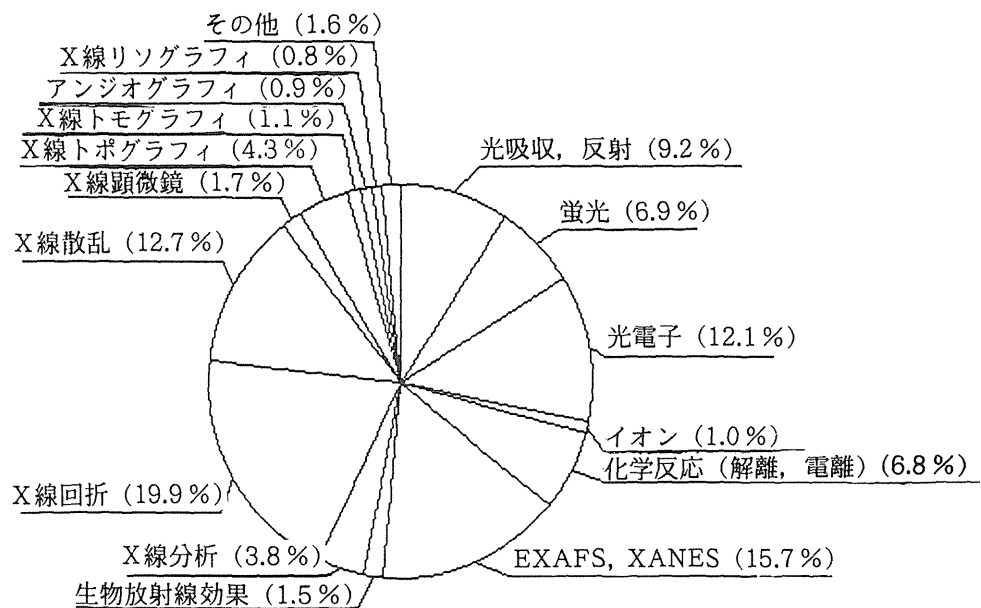
## D・放射光利用技術 (247名)



## E・放射光利用研究 (738名)

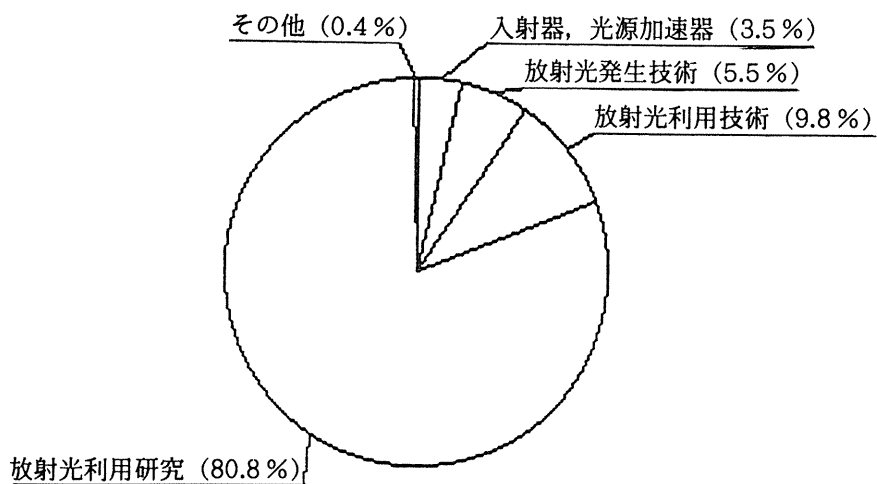


## F・放射光利用研究における手法または目的 (1099名)

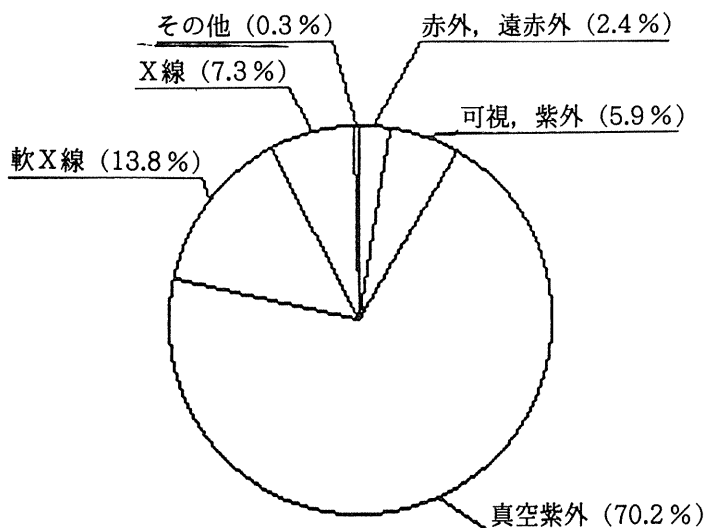


東京大学物性研究所 (アンケート回収 309名)

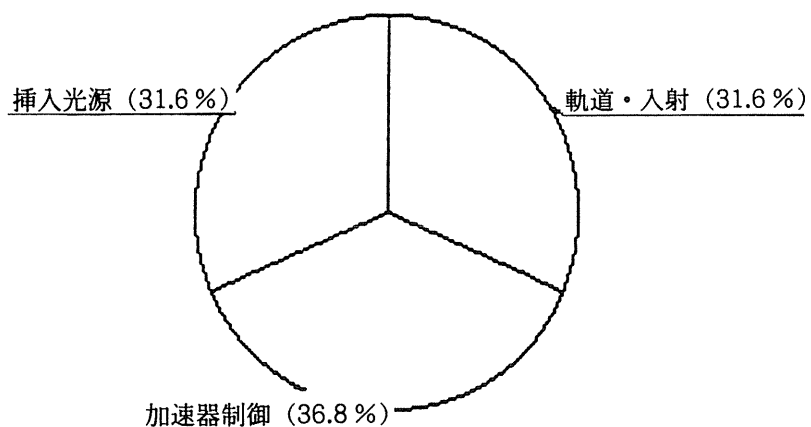
A・専門分野 (延べ255名, 以下同様)



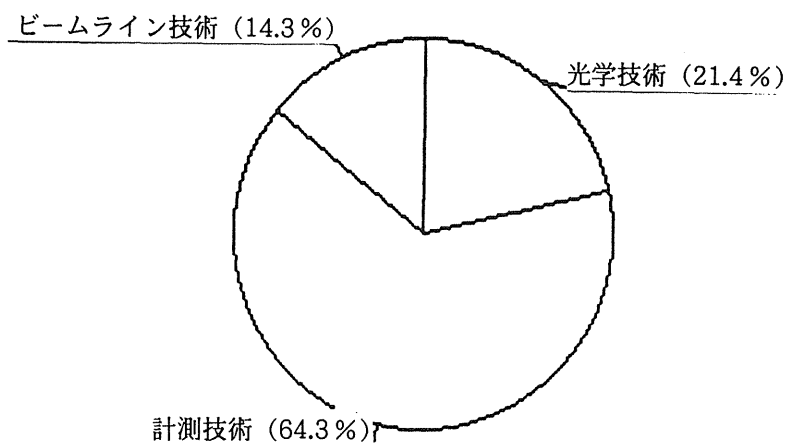
B・エネルギー領域 (289名)



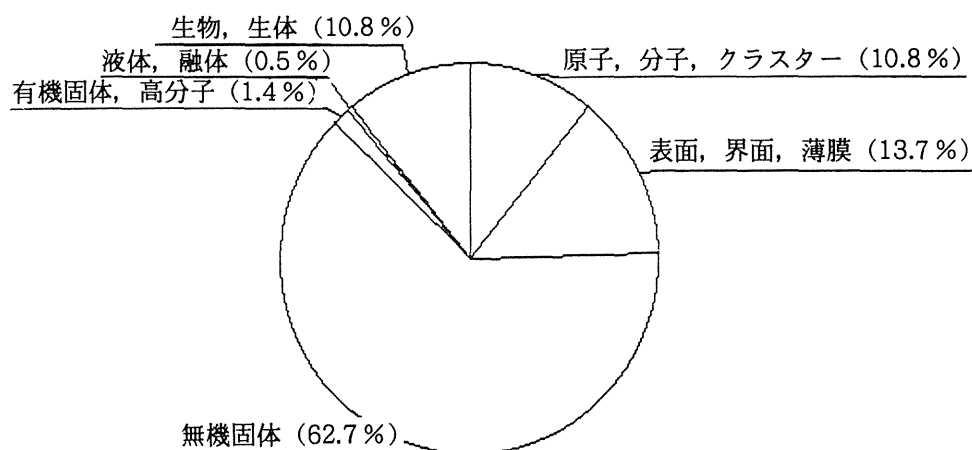
C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (19名)



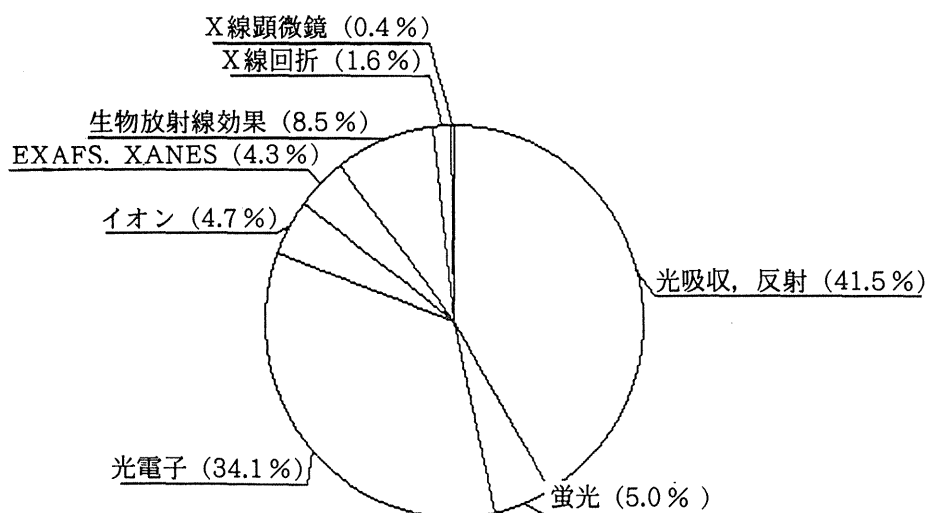
## D・放射光利用技術 (14名)



## E・放射光利用研究 (212名)

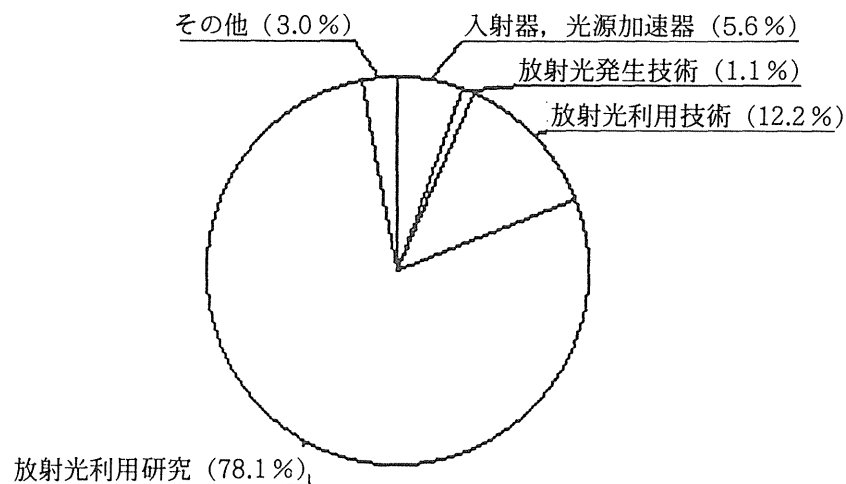


## F・放射光利用研究における手法または目的 (258名)

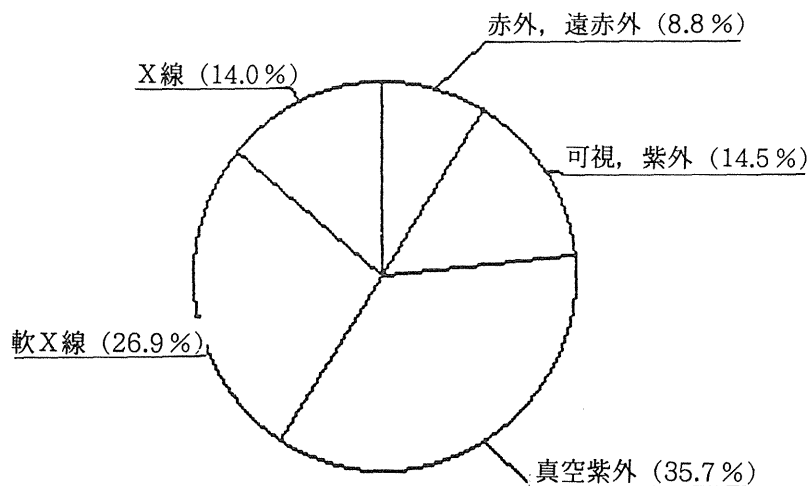


高エネルギー物理学研究所 (アンケート回収 235名)

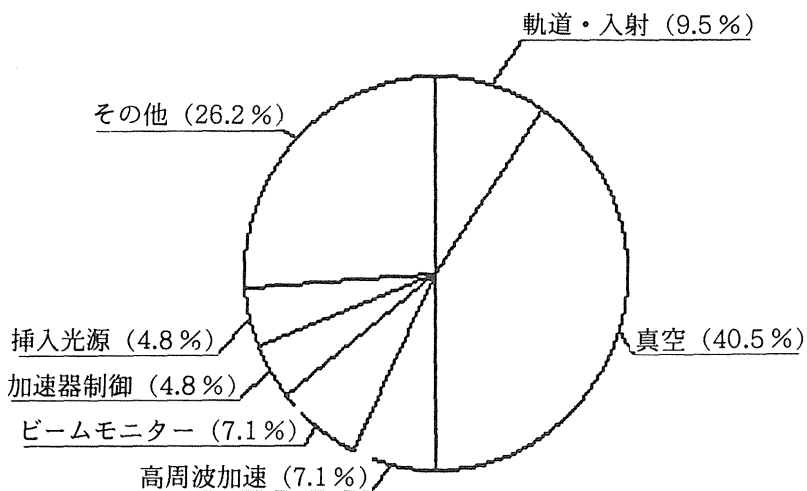
A・専門分野 (延べ270名,以下同様)



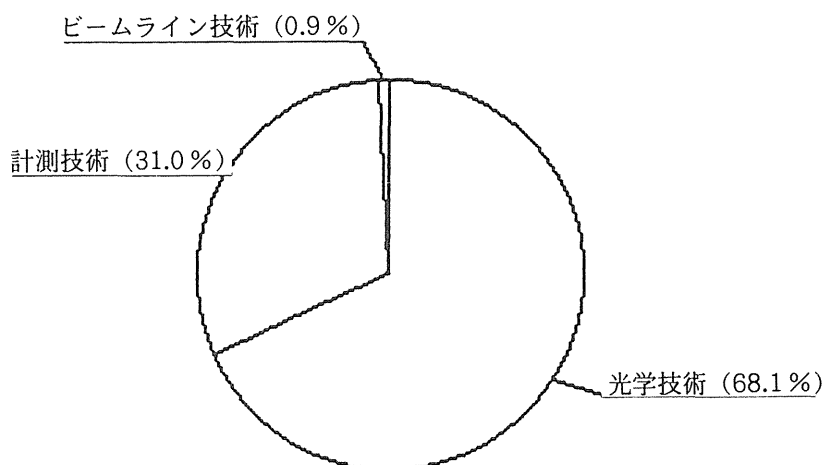
B・エネルギー領域 (442名)



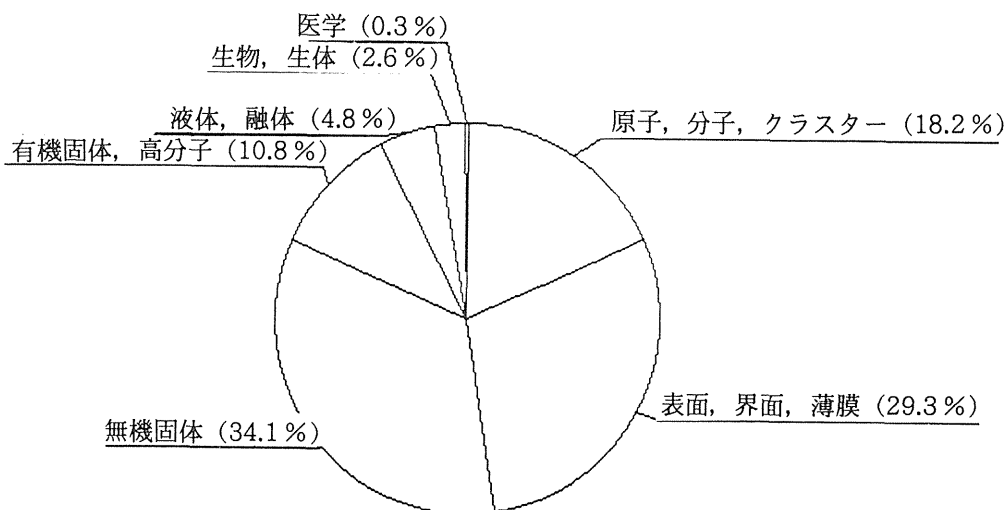
C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (42名)



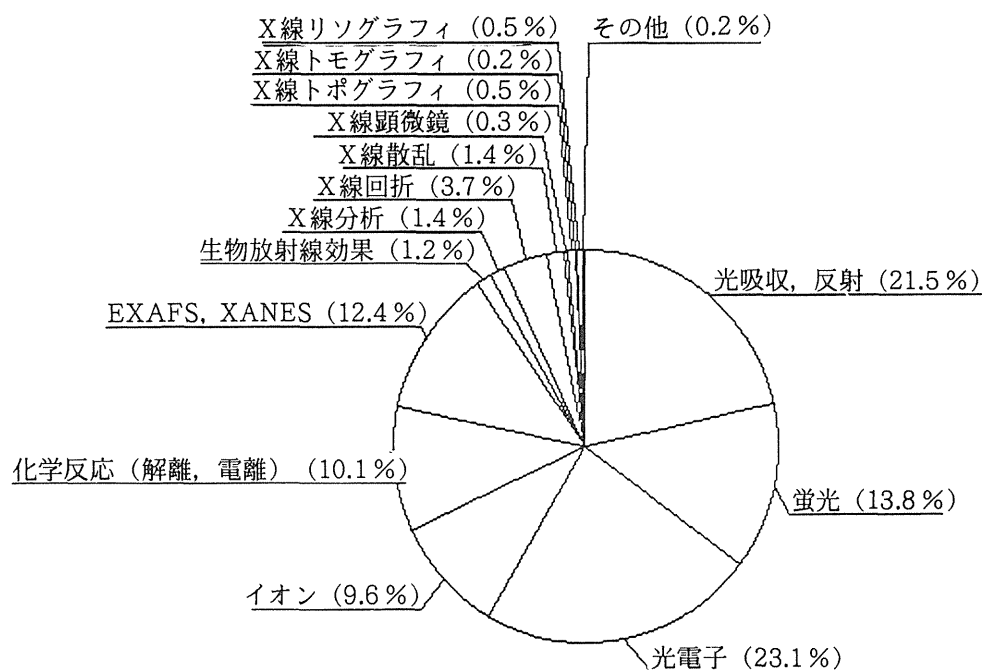
D・放射光利用技術 (116名)



E・放射光利用研究 (352名)

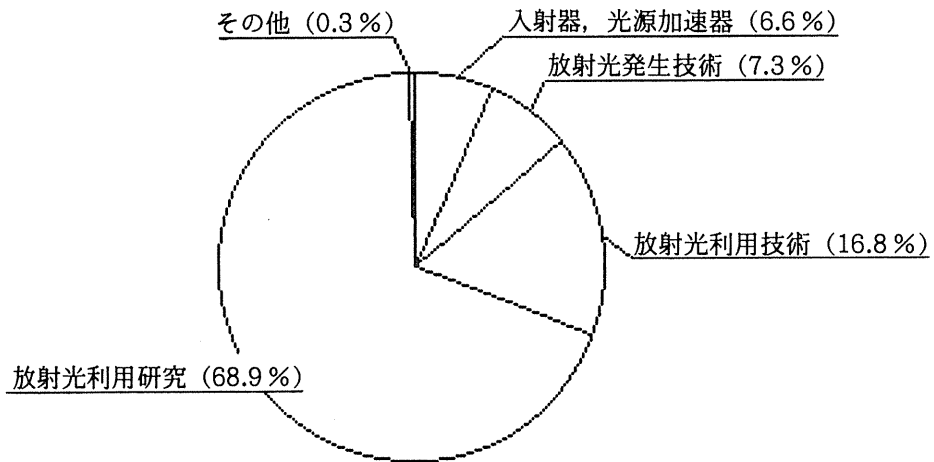


F・放射光利用研究における手法または目的 (572名)

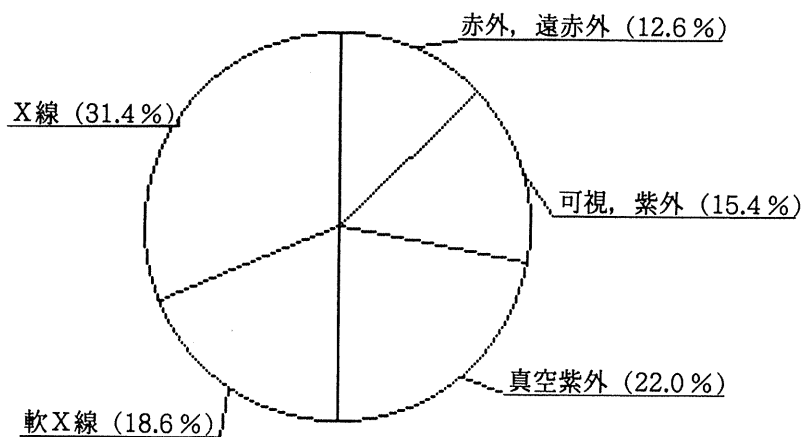


東北大学 (アンケート回収 276名)

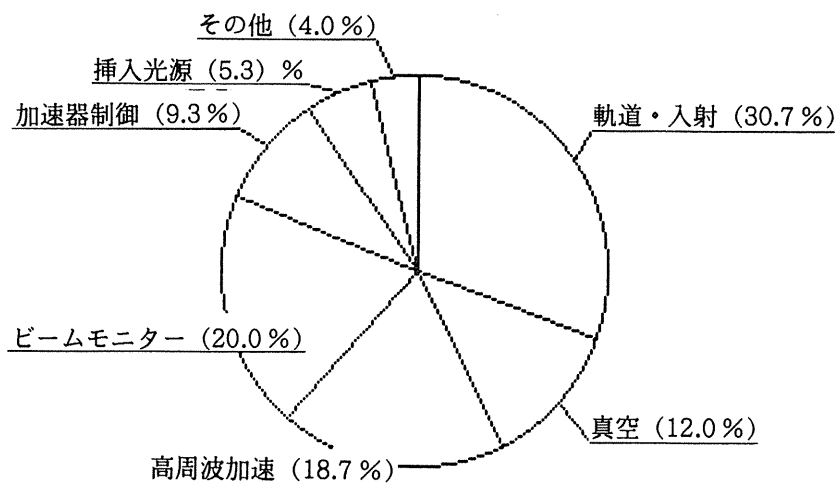
A・専門分野 (延べ286名, 以下同様)



B・エネルギー領域 (382名)

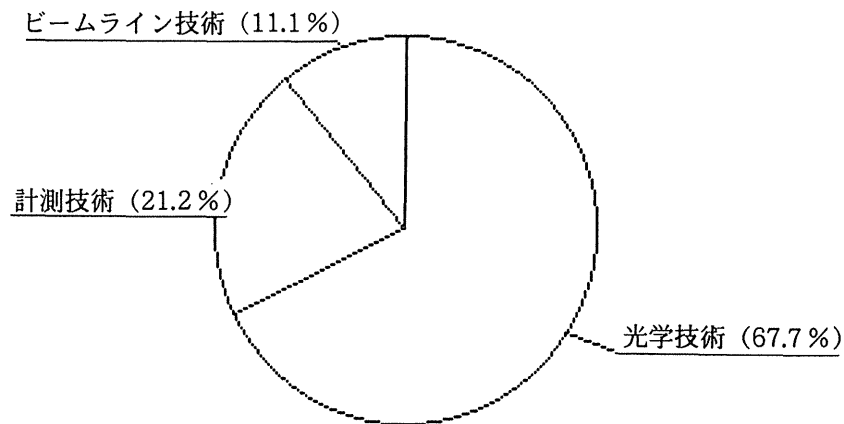


C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (75名)

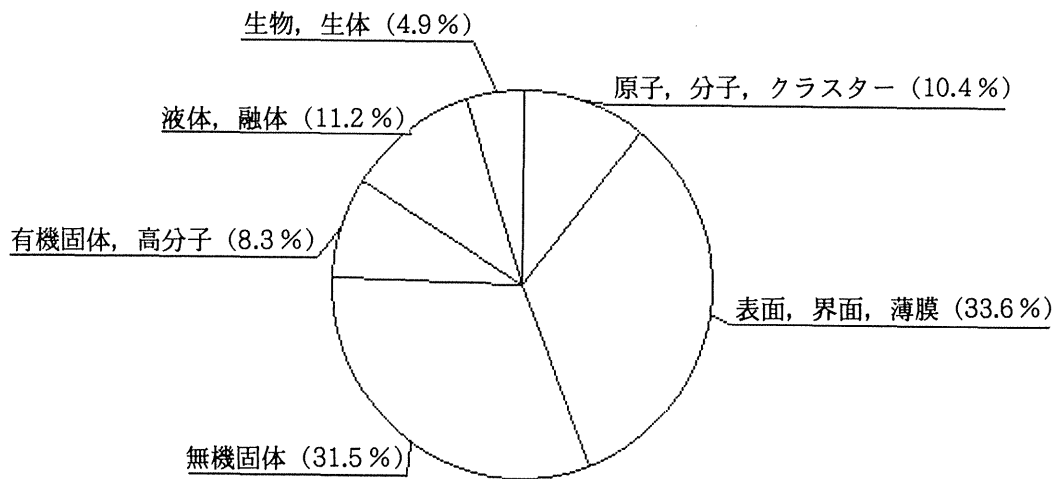




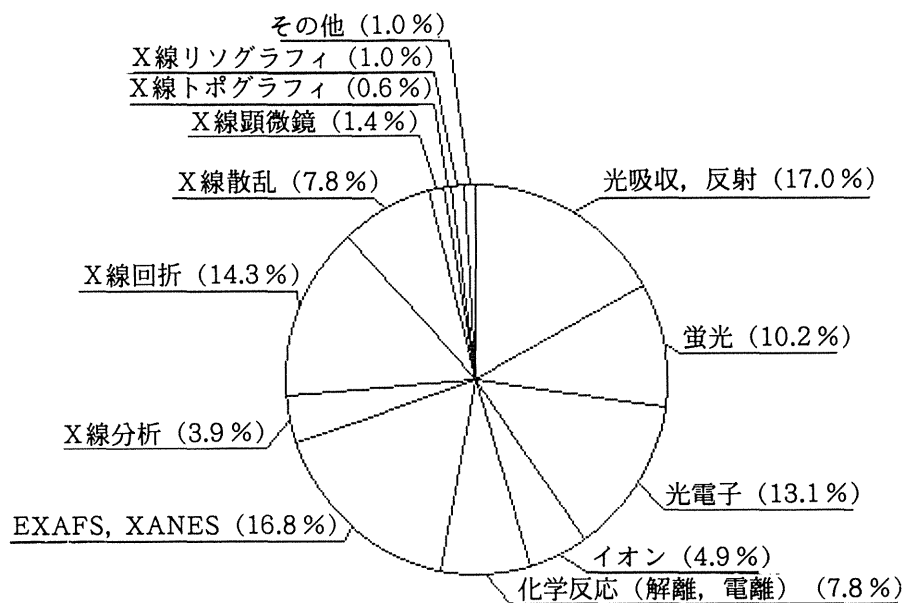
## D・放射光利用技術 (99名)



## E・放射光利用研究 (384名)

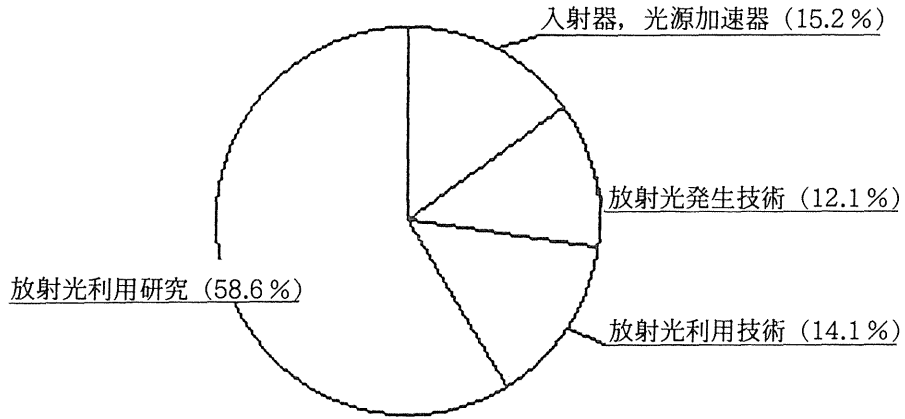


## F・放射光利用研究における手法または目的 (493名)

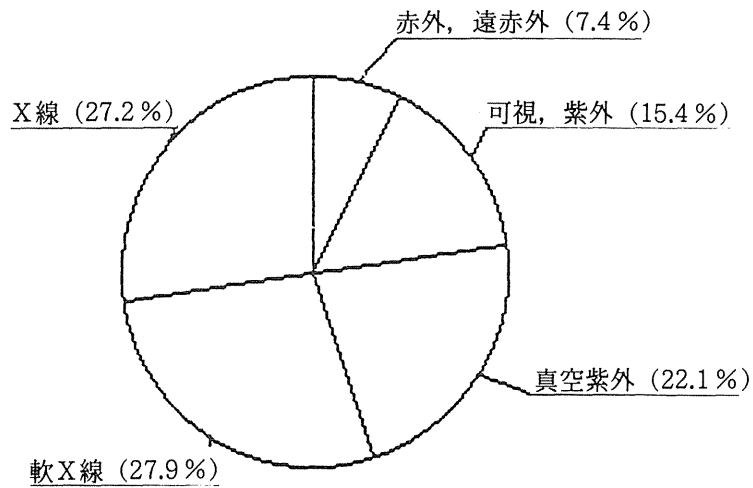


北海道大学 (アンケート回収 89名)

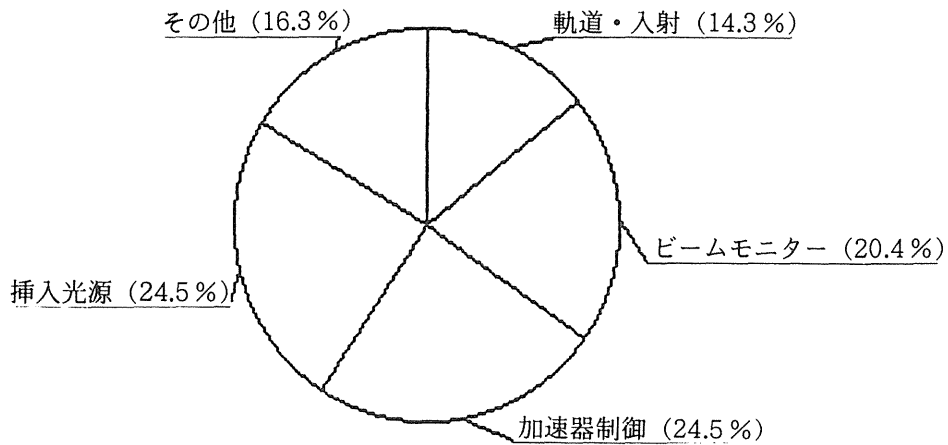
A・専門分野 (延べ99名,以下同様)



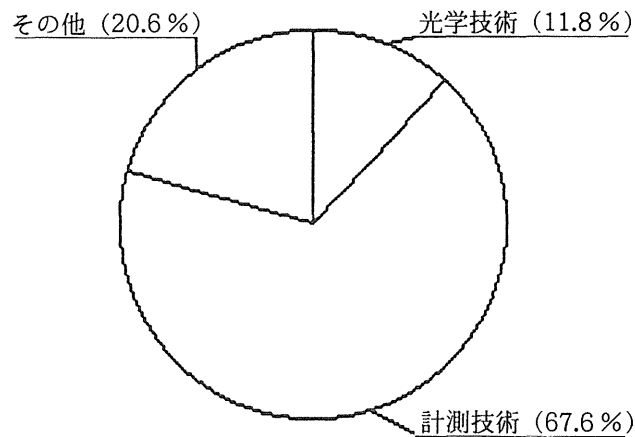
B・エネルギー領域 (136名)



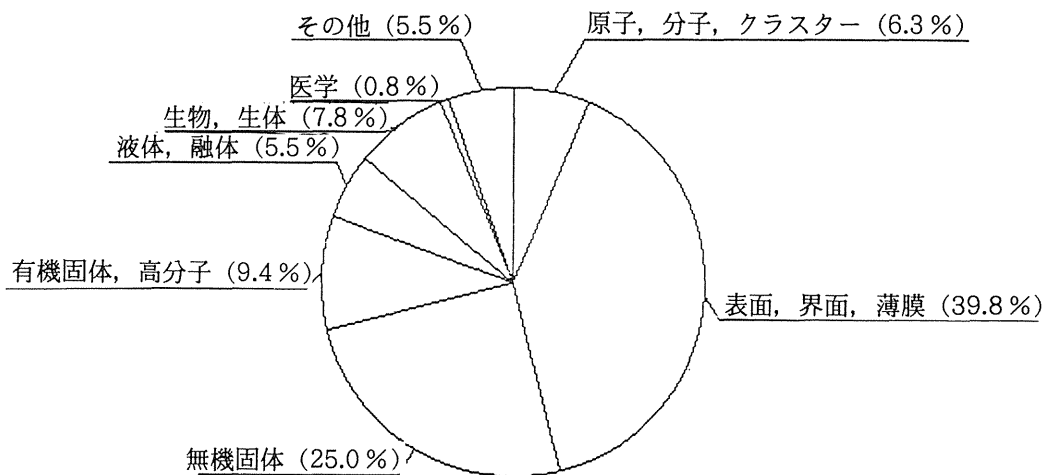
C・入射器, 光源加速器, 放射光発生技術 (49名)



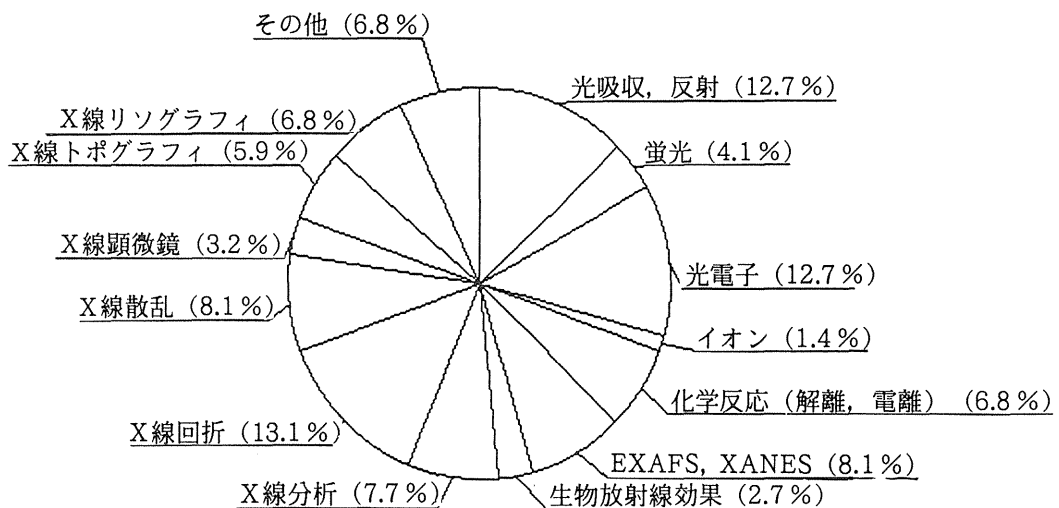
## D・放射光利用技術 (34名)



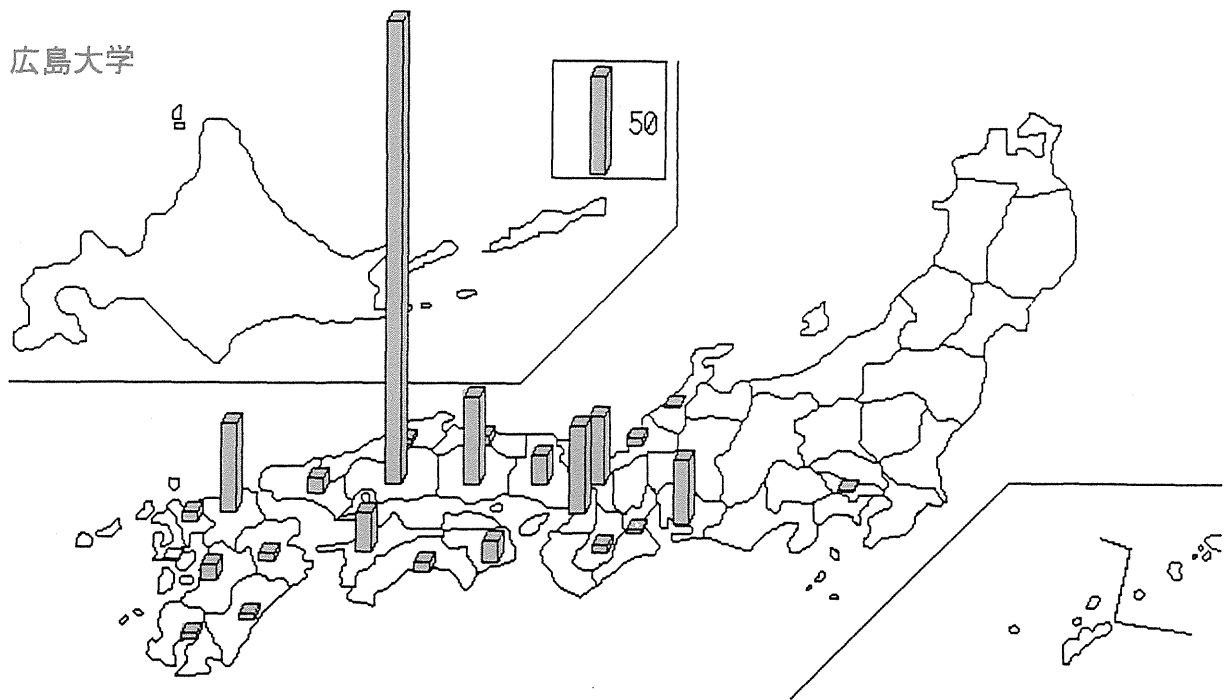
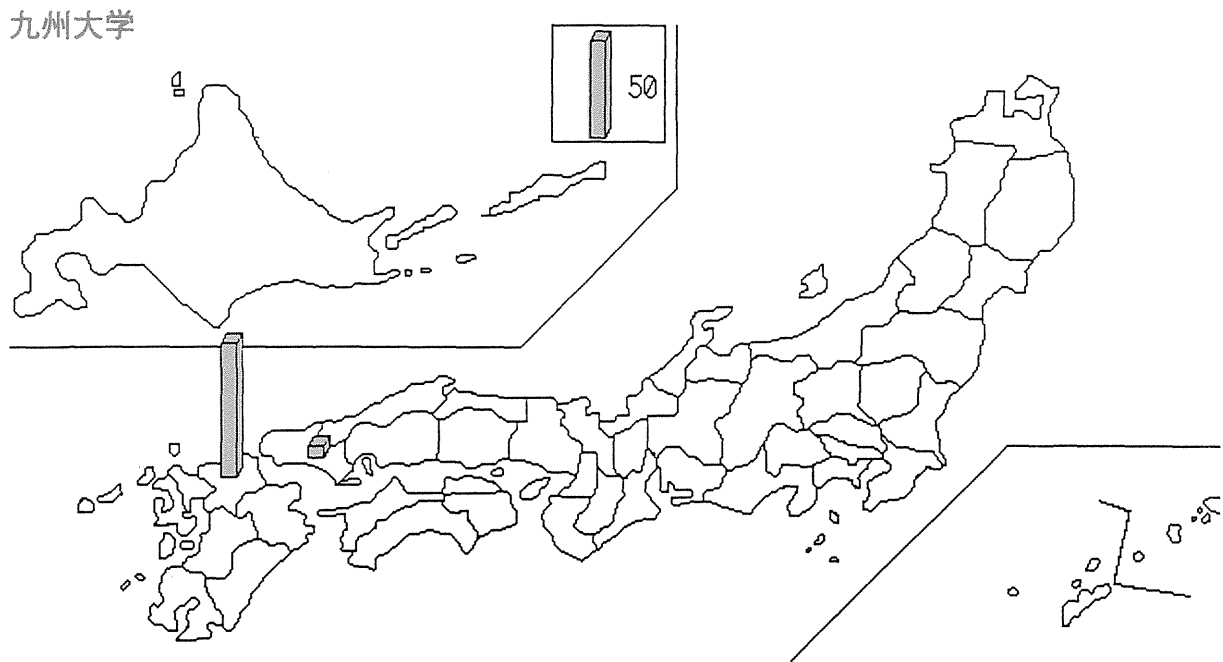
## E・放射光利用研究 (128名)



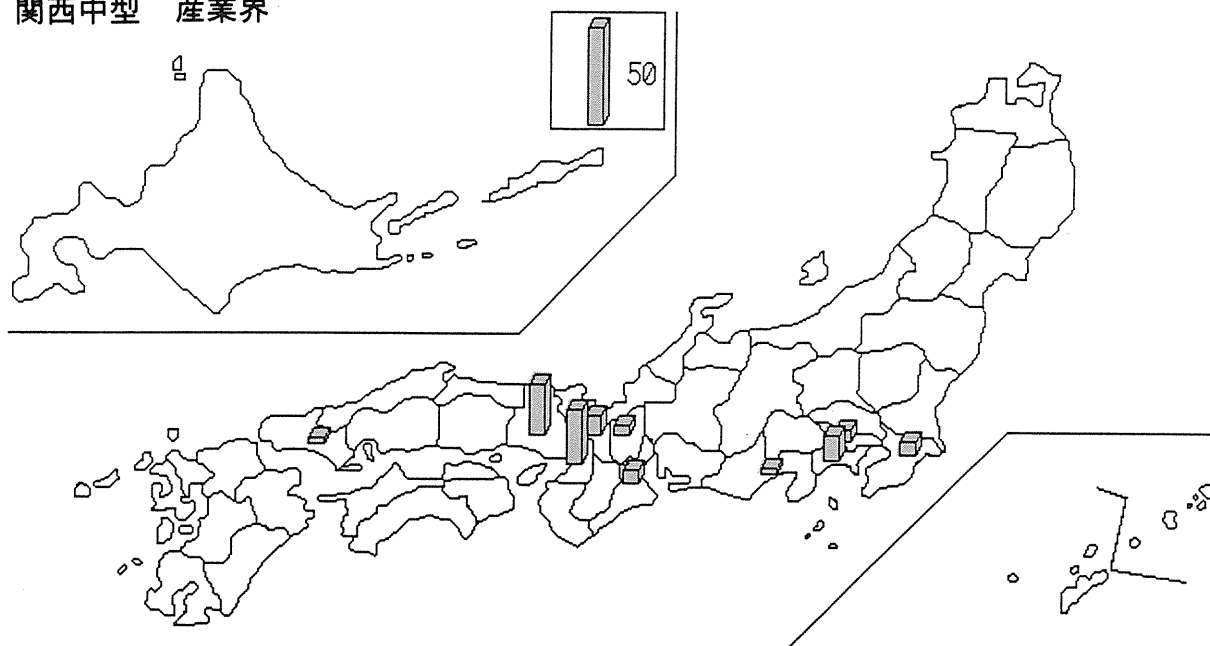
## F・放射光利用研究における手法または目的 (221名)



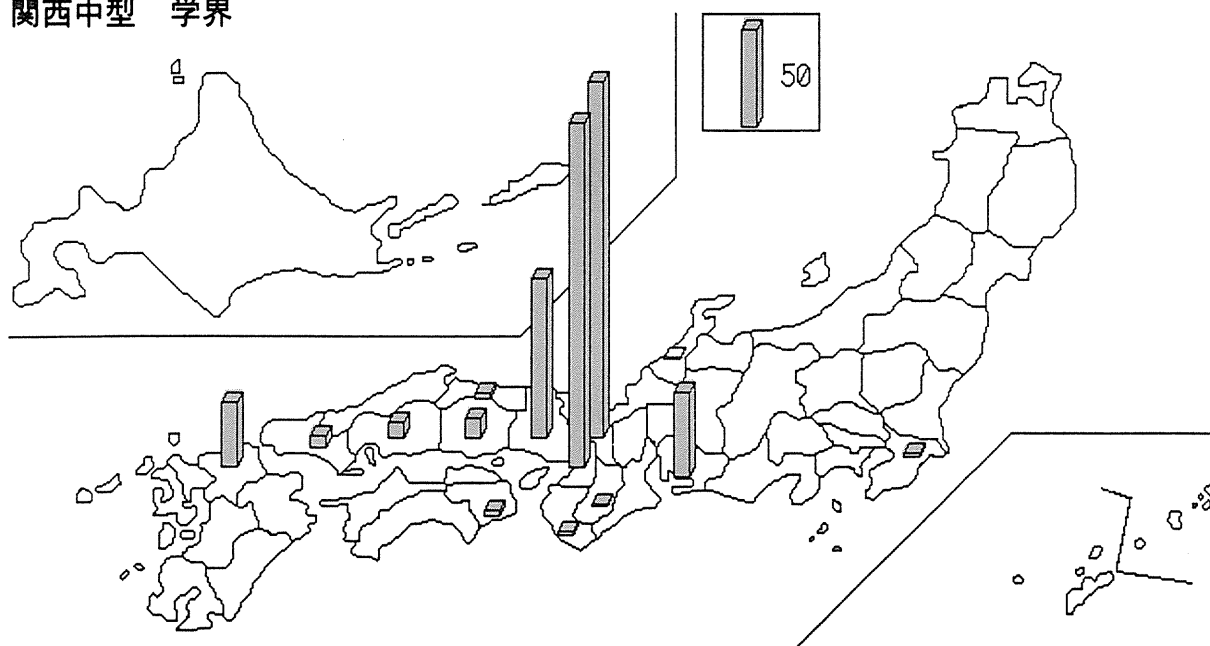
### 4.4 地域分布棒グラフ



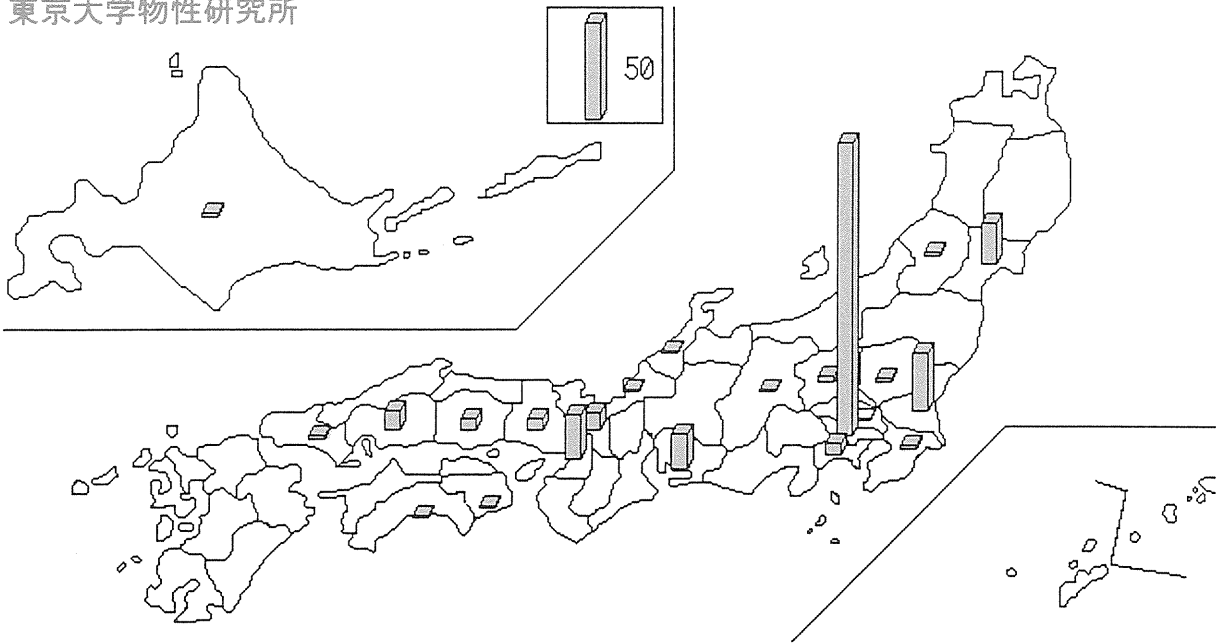
関西中型 産業界



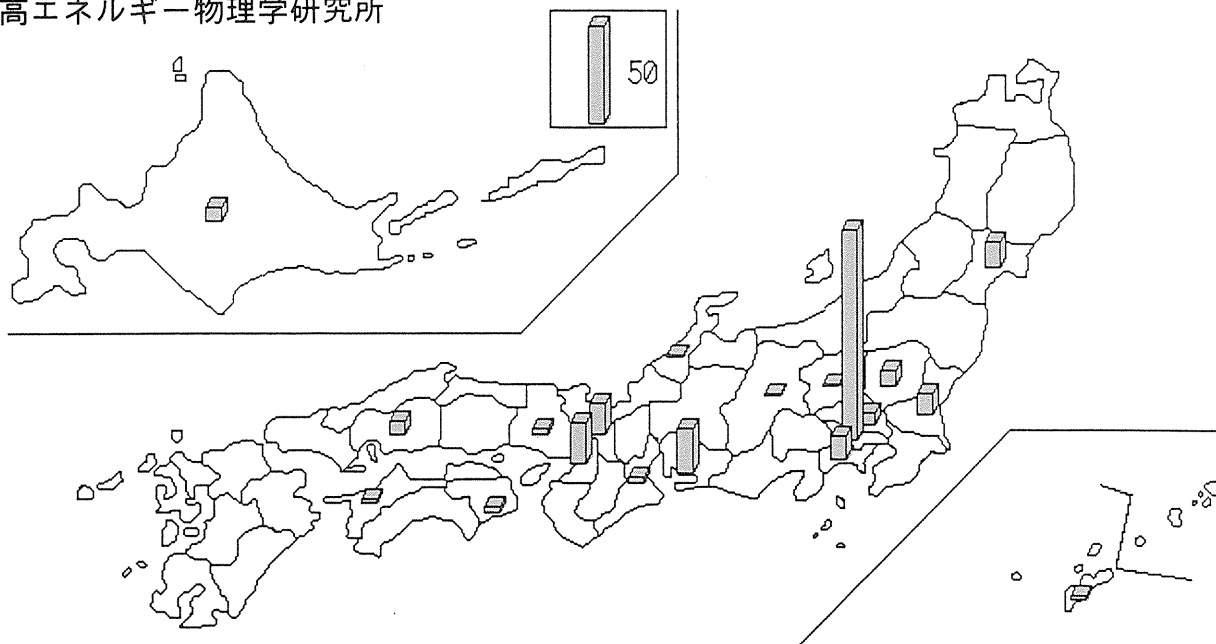
関西中型 学界



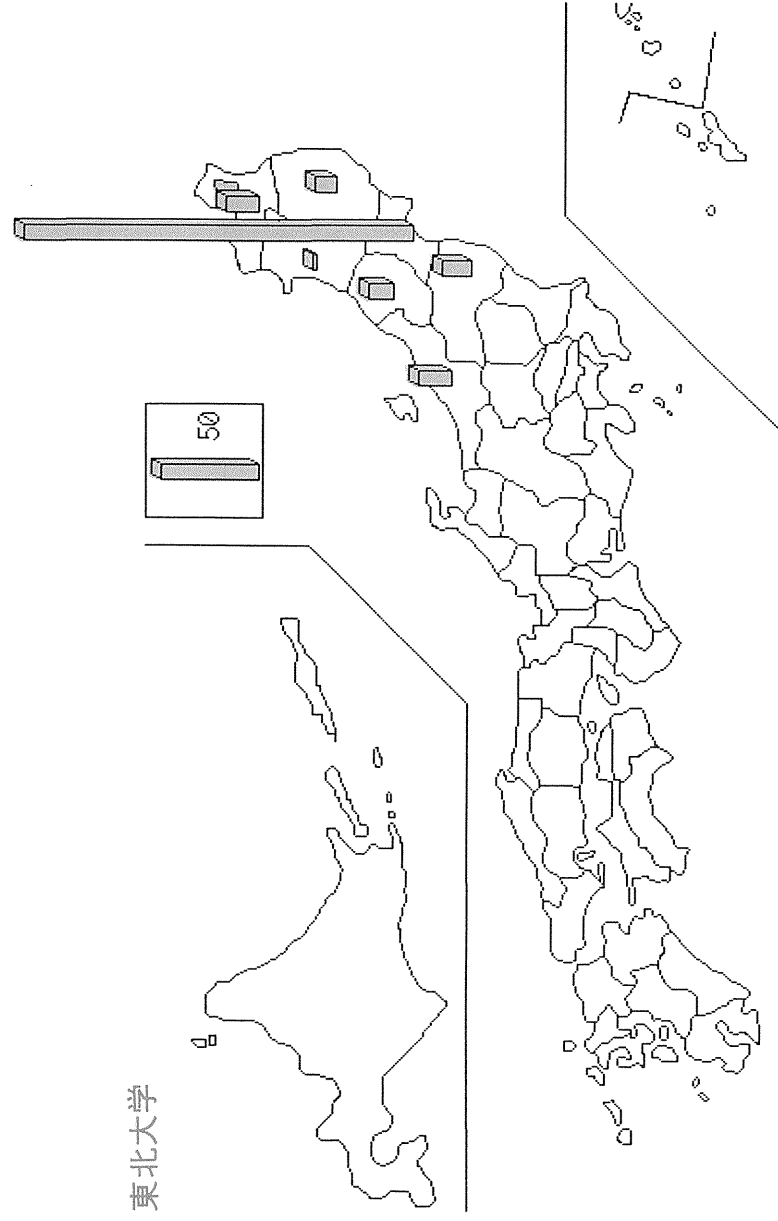
東京大学物性研究所



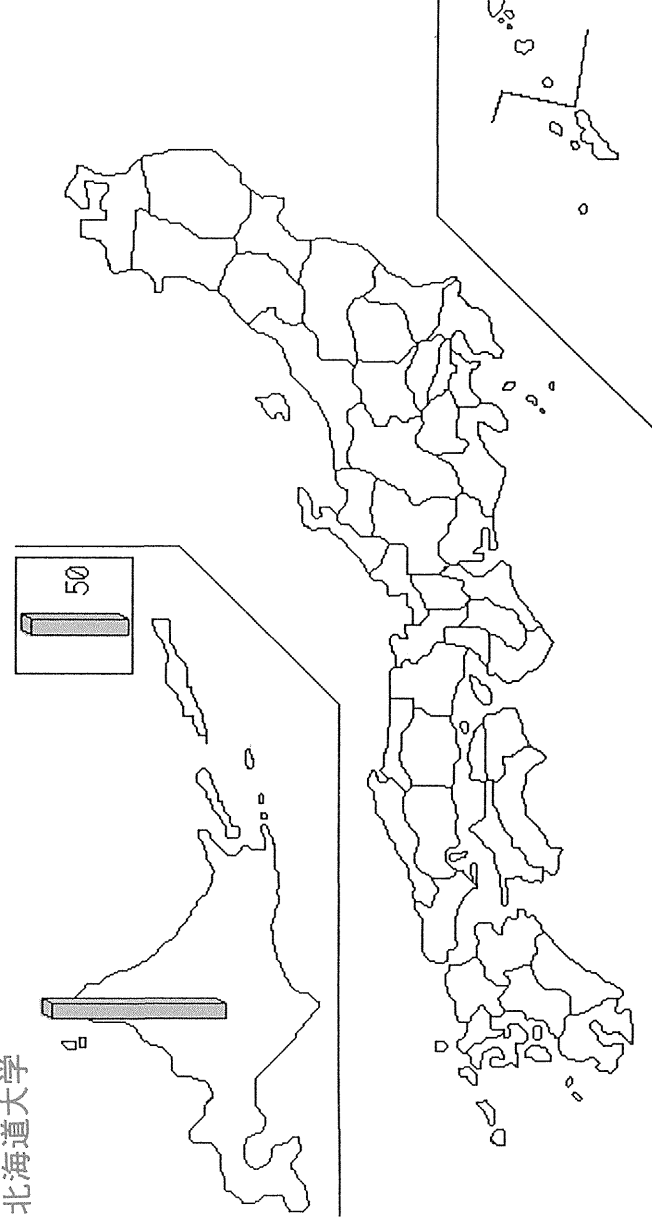
高エネルギー物理学研究所



東北大学



北海道大学



## § 5 中型放射光施設計画の意義(学会の見解)

### 5.1 各計画の比較

§ 2において7つの計画の概要が紹介されているが、ここでいくつかの観点から各計画を比較する。

#### (1) 光源の仕様と役割

蓄積リングの仕様としてエネルギー、エミッタンス、周長および入射器をとりあげ比較すると、表Iのようになる。蓄積リングのエネルギーは4つの計画が1.5GeVで揃っており、異なっているのは関西中型計画の2GeV、高エ研計画の3GeVと北大計画の1GeVである。エミッタンスをみれば、物性研と高エ研の計画は10nm・rad以下の低エミッタンスをめざしており、周長が大きい。九大計画もエミッタンスはかなり小さい。広大、関西中型と東北大の計画は中程度のエミッタンスの設計になっており、ビームが安定で、長寿命なこと、運転のしやすさなどを重視している。北大計画は周長が小さいので、必然的にエミッタンスは大きな値になる。

入射器については、表Iに示すように蓄積リングへの入射エネルギーを蓄積リングのエネルギーと同じにする方式のものが多く、関西中型と北大の計画は入射してからエネルギーを増大させる方式である。

つぎに各計画のビームラインについてみると、表IIに示すようになる。偏向電磁石1つあたり普通1~2本のビームラインを取り出せるので、いずれの計画も多数のビームラインが設けられる。それとともにリングの直線部の挿入光源からのビームラインも利用される。

物性研と高エ研の計画はリングに直線部を多数設けてアンジュレーターを設置し、極紫外線、軟X線が利用される。また偏向磁石部からの放射光も利用される。この2計画は極紫外線、軟X線領域の高輝度光源として位置づけられ、1.1の分類(3)に属する。

一方、九大、広大、関西中型と東北大の計画では偏向磁石部からの放射光を利用するビームラインが多いが、挿入光源も利用される。極紫外線、軟X線用のアンジュレーターが九大2台、広大1台、東北大1台である。ウィグラーは九大がX線用2台、広大がX線用4台、東北大がX線用と遠

表I 各計画の蓄積リングと入射器

|       | 蓄積リング       |                 |        | 入射器                  |
|-------|-------------|-----------------|--------|----------------------|
|       | エネルギー (GeV) | エミッタンス (nm・rad) | 周長 (m) | エネルギー (GeV)          |
| 九 大   | 1.5         | 19              | 130    | シンクロトロン<br>1.5       |
| 広 大   | 1.5         | 72              | 101    | シンクロトロン<br>1.5       |
| 関西中型  | 2           | 120             | 102    | ライナック<br>0.25        |
| 物 性 研 | 1.5         | 6.4             | 236    | シンクロトロン<br>1.5       |
| 高 エ 研 | 3           | 7.2             | 480    | ライナック<br>3           |
| 東 北 大 | 1.5         | 83              | 115    | ストレッチャー・ブースター<br>1.5 |
| 北 大   | 1           | 740             | 27.2   | ライナック<br>0.1         |



表II 各計画の偏向電磁石と挿入光源の数

|      | 偏向電磁石<br>の数 | アンジュレータ<br>からの放射光 | ウィグラー<br>からの放射光   | 偏向磁石部<br>からの放射光 |
|------|-------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 九大   | 18          | 2                 | 2 (X線用)           | 32              |
| 広大   | 12          | 1                 | 4 (X線用)           | 19              |
| 関西中型 | 12          | 1                 | 1 (X線用)           | 22              |
| 物性研  | 24          | 10                |                   | 24              |
| 高エ研  | 24          | 20                |                   | 28              |
| 東北大  | 12          | 1                 | 2 (X線用,<br>遠赤外線用) | 21              |
| 北大   | 4           |                   |                   | 15              |

赤外線用各1台である。関西中型では挿入光源2台の仕様を検討中である。この4計画は極紫外線、軟X線からX線まで広範囲に放射光を利用しようとする多目的汎用型リング計画として位置づけられ、1.1の分類(1)と(2)を合わせたものに属する。北大計画は4つの偏向磁石部からの放射光を利用しようとする1.1の分類(1)のタイプの汎用型リングである。これらの汎用型リングのうち、九大と関西中型の計画は放射光専用の計画である。それに対し、広大、東北大、北大の計画では電子、陽電子、中性子、 $\gamma$ 線等の多目的の利用も考えられている点に特徴があり、広く材料科学や原子核物理学に役立てようとしている。

## (2) 利用形態

関西中型計画は地方自治体(大阪府)が中心となり推進する計画のものであるが、それ以外の6計画はすべて文部省所轄の大学、研究所からの提案である。

物性研と高エ研は全国共同利用研究所であるので、本計画に対しても従来の全国共同利用体制が踏襲される。すなわち利用者がビームタイムを申請し、採択されると、利用者の旅費、滞在費、宿

泊などの便宜は研究所が負担する。課題の採択は外部委員も加わった運営委員会の議を経て決定される。

一方、九大、広大、東北大と北大の計画は各大学の学内共同利用を中心とし、それとともに学外に対してもそれぞれの地域を中心として共同利用のできる体制を考えている。

九大は九州及び山口地区、さらに東南アジア諸国、広大は西日本を中心とした地域、東北大は東北地方、北大は北海道内をカバーすることになっている。

また関西中型計画では、新設法人などによって共同利用施設として運営することが検討されている。共同利用の体制についてはまだ決まっていない。

## (3) 建設計画

各計画の予算は表IIIに示されている。汎用型光源の計画は総額100億円がひとつの目安になっているが、高輝度光源の計画はそれを超えた額が見積もられている。北大計画はかなり小さいリングであるので、予算的には他の計画の1/3以下の少額になっている。

表Ⅲ 各計画の予算規模

|    |    |        |                     |
|----|----|--------|---------------------|
| 九  | 大  | 82億円   | 建屋別                 |
| 広  | 大  | 50億円   | 建屋別 45億円            |
| 関西 | 中型 | 約95億円  | 土地代, 主なビームラインの費用を除く |
| 物性 | 研  | 102億円  | 建屋別                 |
| 高エ | 研  | 約200億円 | 建屋別                 |
| 東北 | 大  | 66億円   | 建屋別 33億円            |
| 北  | 大  | 32億円   | 建屋は現存のものを若干拡張       |

建設にあたっての人員計画に関しては、大学、研究所の計画では振替を含む既存定員を活用するとともに新規概算要求定員による充足を見込んでいる。また建設期には外部からの建設協力を仰ぐことを期待している。九大計画では建設期に11名（加速器系6名、測定器系5名）の人員であるが、定常運転期には9名（内振替5名、新規要求4名）となる。広大計画では16名の職員（内数名は新規要求）の体制である。物性研計画では放射光関係の既定員14名に加えて新規要求定員11名を考えている。高エ研計画では新規人員増計画の詳細は未定であるが、所内現有人員の他に所外からの建設協力者として光源10名、ビームライン測定器約20名としている。定常運転期には約100名の職員を必要とし、そのなかには現有定員の再配置も含まれる。東北大計画では建設期に21名の現核理研教官、技官に加えて約20名の学内スタッフが参加する。定常運転期には39名の職員（内5名は事務官）を考えており、新規要求はそのうち11名である。北大計画では9名の現有人員が建設と運営に寄与できるとされている。

関西中型計画では職員の構成は管理系4名、光源系5名、利用系14名の合計23名である。建設要員は建設プロジェクトの構成メンバーから別途

協力を求める。

## 5.2 計画推進の方策

5.1において比較したように、光源の仕様、利用形態などを考慮すると、提案されている7計画はつぎの3つのカテゴリーに分類できる。

- a) 全国共同利用の高輝度中型  
（極紫外線，軟X線）光源：  
物性研計画，高エ研計画
- b) 地域共同利用の汎用中型  
（極紫外線，軟X線，X線）光源：  
九大計画，広大計画，東北大計画，北大計画
- c) 地方自治体を中心となり推進する汎用中型  
（極紫外線，軟X線，X線）光源：  
関西中型計画

この分類に従い、計画を推進するための方策を述べる。なお、放射光計画をとりまく情勢の変化が激しいので、ここで示す方策は数年後には見直しが必要であろう。

(1) 高輝度光源計画は光源が極紫外線，軟X線に対して最適化され、最先端指向の研究が全国共同利用の形で行われる。

一方、汎用光源計画は光源として極紫外線、軟X線からX線まで広く利用し、地域共同利用の形で各々独自の研究分野が開拓される。これにより現在のビームタイムの超過密状態を解消することができる。またこの分野の若手研究者、技術者の養成が各地域で行われる。

このように高輝度光源と汎用光源はそれぞれ固有の存在理由があり、果たすべき役割が違うので、両方のタイプの光源計画は放射光科学の発展にとって重要で、ともに推進をはかるべきである。

利用者の動向からみると、利用者の数は現在高エ研2000名、物性研と分子研がそれぞれ約150~200名、400名であり、毎年増加しつつある。また各研究課題に長いビームタイムが要求されるようになってきている。そのため各施設でのビームタイムの配分が厳しい状態になりつつある。この傾向は年を追う毎に厳しくなっているため、各地域に汎用光源の分散配置が強く望まれる。一方、放射光利用研究の進展・高度化に伴って、光源の性能に対する研究者の要求も厳しくなっている。より輝度の高い安定な光源を利用した高度で先端的な研究をめざす利用者が多くなってきており、高輝度光源の実現も強く望まれている。

(2) 分類a)の極紫外線、軟X線高輝度光源はb)、c)と比べて光源の性能、周長、共同利用の形態、予算規模等で画然とした違いがある。物性研と高エ研の計画は高輝度光源とその利用に関して多数回の研究会において、詳細に検討されている。いずれの計画も蓄積リングは低エミッタンスの設計で、極紫外線、軟X線用のアンジュレーターを主光源として最適化されている。この高輝度光源を用いて最先端の分光・光物性の研究を指向している。放射光科学の発展にとって例えばスピン解析を含めた光電子分光の完全実験、高分解能で精密な分光、蛍光測定、時間分解分光、変調分光など極紫外線、軟X線利用研究のフロンティアを開拓

することはきわめて重要である。さらに各種の極限条件下での分光実験の提案も注目に値する。

1.5で述べたように世界的にみても高輝度光源の必要性が広く認識されており、アメリカ、イタリアとドイツで高輝度中型光源の建設や計画が進んでいる。またフランスではやや小型(0.8GeV)ながら、すでに4年前からSuper ACOが稼動している。

X線高輝度光源はすでに大型光源計画で実現に向っているのに対して、極紫外線、軟X線高輝度光源は未だその要望に応える計画の実現の見通しが立っていない。挿入光源のチューニング範囲には制約があって、大型光源が極紫外線、軟X線をカバーすることは技術的に難しい。大型光源とは別の中型光源をつくって“住み分け”をはかるといのが世界の潮流である。

このような状況から考えると、物性研と高エ研から提案されている高輝度中型光源の計画は、その建設が急務である。しかし、高輝度光源は光の発生にも利用にも高度の技術を必要とするので、現在の日本におけるこの分野の最高水準の人材、経験の蓄積を集中的に活用しなければならないこと、建設費が汎用型にくらべて嵩むこと、別に多数の汎用型光源計画が提案されていること、世界的に建設中のものは1国1施設であること、物性研と高エ研が地理的に近いこと、軟X線高輝度放射光利用の需要予測などを考慮すると、2計画がともに早期に実現することを期待するのは無理である。全国の研究者の意向が反映した1つの案にまとまってはじめて高輝度光源実現の展望が開けると判断される。その際、蓄積リングのエネルギーの設定にあたっては現実性を重視するべきであろう。過大な計画は予算、人員等の面で実現の見通しが低くなるし、実現があまり遠い先ではこの計画の先進性が失われるからである。また高輝度リング実現のために、従来蓄積されたノウハウを十分に生かせる体制をつくるとともに、全国の関心をもつ利用者の英知を集めることにより、最

良の計画案が作成されなければならない。

更に具体的な状況に一步踏み込んで検討すると、物性研の計画はすでに多年の立案・検討の経過があって、内容も十分練られており、その推進については物性研の将来計画として第一順位の位置づけが与えられている。一方、高エ研の計画は所内の他の計画および後述の物性研との協定に配慮して現状では有志が純粋に学術的な提案を行うという形をとっているため、まだ機関の承認を待っていない。従って一本化をはかる場合のよりどころとしては、物性研の計画を中心に据えるのが、今後の進展をはかる上でより現実的な方策である。

計画の一本化にあたっては、それぞれの計画の立案の中心となっている放射光研究者や計画当事者が学問的技術的な検討を行うことを基本としながら、さらに具体的に両研究所が協力するための現実的な方策についての協議を両研究所放射光施設責任者、更に進んでは両所長のレベルで進めることが望ましい。その際に想起すべきことは、両研究所間には所長間の合意事項として、放射光研究の今後の推進に関して両研究所が協力するという覚書が存在するという事実である。

本特別委員会に提出された両者の計画案にはエネルギーで大きな開きがあり、これに伴い施設の研究目的にも差が生ずるのは当然であるが、極紫外線、軟X線領域での研究内容は重複する部分が多いと見えて、統合によって失うものはあまり大きくない。

なお本報告書の扱う範囲には、いわゆる第4世代の放射光施設、すなわち自由電子レーザーを志向する光源施設は含まれていない。第4世代の放射光施設への関心は現在世界各国にその兆しがあるが、この概念が成熟して現実的な課題となるには未だかなりの時間がかかると予想される。極紫外線・軟X線の自由電子レーザーの開発研究は、現在中型ではなく、むしろ次世代大型放射光施設計画の中で検討されているものであって、これについてはすでに「大型計画」に関する報告書の中

で述べた。本報告書の対象である中型の高輝度光源計画は、極紫外線・軟X線の「第3世代」の計画として一本化し、早期の実現をはかるのが目下の急務である。

なお施設完成後には共同利用の実を挙げるために共同利用予算、共同設備、客員部門等のより一層の充実がはかられることが望ましい。

(3) b)とc)の汎用中型光源は、日本全国の放射光科学・技術に関心をもつ大学、研究所関係者および地方自治体関係者が、その地域にぜひ建設したいとの強い要望のもとに提案したものである。建設計画は従来その恩恵に十分あずかれなかった地域から出されており、これらが実現すれば全国的にバランスがとれる。これは正に放射光科学・技術に関心をもつ研究者・技術者が全国的に広がっていることを示している。実際、各計画の提案機関による需要調査を集計すると、利用者は全国に万遍なく分布している。しかし、既存の放射光施設から距離的に遠いところほど利用者は少ない。放射光利用の有用性を十分に認識しながら、遠方のため利用研究をすることに抵抗を感じている研究者が多いためである。将来的に計画が実現すれば、このような現在は潜在的である研究者の利用が大巾に増加することが見込まれている。

ところで放射光科学を継続的に発展させてゆくには、若手研究者の育成が必須の条件である。b)の汎用中型光源は各地の大学に設置される計画であるので、教育にも重点がおかれ、将来的に十分な数の研究者・技術者を供給することができる大きな利点がある。

汎用光源は各大学や地域において従来培われてきた特色ある研究を生かそうとする独自の研究構想を提案している。そのための特殊設備の設置も計画されており、各地にユニークな研究の展開が芽生えることが期待される。

汎用中型光源は地域の活性化のための基幹施設の1つとしての認識が一般的である。欧米ばかり

でなく、中国、台湾、韓国、インドなどのアジア各国やブラジルでも近代化への不可欠な施設として建設あるいは計画が進んでいる。この施設は放射光科学・技術の発展のみならず、関連技術への波及効果が大きいので全般的な科学技術発展の牽引力としての役目も期待されている。

このようにb)の汎用中型光源は過密な放射光利用の現状の打開、各大学での若手研究者・技術者の育成、地域に根ざした科学技術の活性化などの点でa)に劣らず重要である。放射光利用の全国的普及をはかり、より強固な基盤を得るためには提案されている4計画はいずれも不可欠のものである。計画の中で準備状況、学内外の支援体制、利用者数とその分布等を考慮すると、広大と東北大の計画の成熟度はとくに高いので、早期実現を期待する。

広大計画はもっとも早期の1982年に立案され、多数回にわたる研究会やシンポジウムで計画は十分に検討されている。また学内外の強い支持も受けている。一方、東北大計画は1987年から立案され、精力的に検討を重ねている。核理研の施設とそれを中心に蓄積されたポテンシャルを活用しようとしているのは際立った特徴である。加速器建設という点でみると広大計画では複数の加速器専門スタッフを擁している。一方、東北大計画は核理研を主体により多くの加速器スタッフを擁しており、両計画とも加速器設計はほとんど終わっている。放射光発生技術、加速器技術全般の最近の向上によって各大学などの提案している中程度エミッタンスの光源に関してはもはや基本的な技術上の困難はなく、加速器設計上の問題はないといってよい。利用については広大計画は学内利用とともに学外の地域共同利用にかなりの重点が置かれており、東北大計画では学内により多くの利用者がかかえている。全利用者数は広大計画の方が東北大計画よりも多い。研究課題については両計画とも多数の提案がなされており、それには必ず含めるべき標準的な課題とともに各大学に蓄積さ

れているポテンシャルを反映したユニークな課題も多く挙げられている。

広大計画では、例えば軟X線と硬X線の2つの単色ビームを試料に照射して原子配列と電子状態のin situ同時測定を可能にし、金属や半導体の表面・界面の精密物性実験を行う。また極紫外線、軟X線域のアンジュレーターを用いて、気相、凝縮相ならびに表面吸着系での光化学反応、すなわちsite-selective photochemistry表面改質や重合などの研究を行う。広大ではこの方面の研究の芽がすでに育っているので、今後の展開が期待できる。

一方、東北大計画では例えば新物質、新素材(高温超伝導体、f電子系物質、表面超格子など)の電子状態を高分解能の光電子分光および遠赤外線も含めた分光計測により調べるとともに結晶構造を解析し、多角的に物性との関連を研究する。その結果をもとに次の新物質開発に資することとしている。東北大では伝統的に各部局で新物質、新素材の開発が活発に行われているので、大きな成果が期待される。このようにいろいろな点で拮抗する両計画のうちどちらが早期に実現するかは、両大学の努力や学内事情、行政当局の判断等によって決められるべきであろう。

九大計画と北大計画は地域共同利用、研究計画の独自性などの点から上記の2計画に劣らず貢献度が大きいと思われるので、今後計画を緻密化する継続的な努力に期待し、計画ができるだけ早く実現されることを望むものである。

九大計画では、全学の支援体制が整備されつつある。さらにその計画に対して九州全域の利用者のニーズをより一層集約する必要がある。また、有望分野とされる生物、医学専門ステーションの具体的検討も残されている。なお、九州地区には、半導体関連の企業が集まって、いわゆるシリコンアイランドを形成し、企業も放射光施設の建設に強い関心をもっており、産官学の協力体制を組むことができれば望ましいと思われる。九州地区に放射光の施設を早期に実現するためにも、そ

の方向への推進を強める動きは歓迎されるべきものである。

北大計画は既存の電子線型加速器の拡充を行い、電子線源、中性子線源、 $\gamma$ 線源、放射光源としてのパルス状多重放射線源を指向した特徴ある計画で、予算規模が比較的小さい。放射光利用については分光・分析的利用と併せて照射利用にも重点がある。以上のような施設の性格にかんがみ、他の目的の利用者との十分な連繫のもとに全学の支援体制を整える必要がある。

これら各地域の計画の一部には全国共同利用を検討している向きもあるが、他に同様の実験装置が全くないという特殊な施設を開放する場合を除いて、一般的運営形態として全国共同利用をかかげるよりは地域的な共同利用を推進する方が効果的であろう。

大型光源計画との“住み分け”について(2)で触れたが、さらにつけ加えると、極紫外線、軟X線利用研究には硬X線に邪魔されずにビームラインや光学系の最適設計ができる中型光源が望ましいこと、研究目的に適した様々な運転モード、例えば単バンチ運転やアンジュレーターの自在なチューニングなど利用者の要請に柔軟に対応できること、大学に設置される場合、放射光科学の分野の人材養成に最適な条件を備えていること、距離的なアクセスの問題が解消されることなどを挙げることができる。

(4) 関西中型計画は大阪府などにより建設され、放射光施設は法人などが運営する産官学の共同利用施設とする計画である。この計画の実現の見通しが高いとみられることはまさに歓迎すべきことである。本計画はすでに1988年から検討をはじめ、基本構想をまとめるとともに、とくに産業界におけるニーズ調査を詳細に行っている。本計画が所期の目的を達成するためには、産業界の要望が十分に反映される必要があるが、それとともに関西で従来から実績のある大学関係の研究者の要望も

反映される検討体制づくりが望まれる。大学、研究所関係の利用者にとっては利用形態が5.1(2)で述べたような文部省の共同利用研のそれに近くないと、実質的に利用するのはむずかしいのが現状である。そこで建設作業の初期から大学、研究所関係者が協力する産官学共同体制がとられれば、大学、研究所関係者はこれまでに蓄積したノウハウを生かして、光源やビームラインの仕様の最適化設計などに寄与することができるので、同時に利用しやすくなると思われる。企業からの利用者とともに大学、研究所の利用者の便宜を十分に考慮した利用形態が設定されるように要望する。

以上を要約すると、中型放射光施設計画推進の方策はつぎのとおりである。

- 1) 全国共同利用の高輝度中型光源と地域共同利用の汎用中型光源は果たす役割が異なるが、ともに放射光科学の発展にとって重要であるので、両者ともに推進を図るのが望ましい。
- 2) 高輝度光源に関しては、物性研と高工研の計画を全国の研究者の意向を反映させた1つの計画にまとめて推進すべきである。その際、物性研の計画を中心に据え、高工研の協力のもとで現実的に対処することが望ましい。
- 3) 汎用光源に関しては、計画の成熟度、利用の需要度などを考慮して、広大と東北大の計画の早期実現を期待する。九大と北大の計画も地域の強い要望、全国的な需要のバランス、計画の独自性などを考えれば、できるだけ早く実現されるのが望ましい。
- 4) 関西中型計画については、企業関係と大学・研究所からの利用者の要望がともに十分に反映した設計と利用形態づくりを期待する。

### 5.3 むすび

本報告書の調査から分かるように現在放射光を利用する際の割りあてのビームタイムは少なくなりつつあり、今後の利用者数の著しい増加を予想すると、この状況は急激に悪くなる。1 研究課題

あたりの利用可能なビームタイムがある限界よりも少なくなると、研究成果が激減するのは自明であるので、きわめて憂慮すべきことである。世界的にみれば先進国に限らず、中進国でも中型放射光施設の建設が進んでおり、光源と光学系・測定器の高性能化が図られつつある。わが国で中型計画の早期の実現が切望される所以である。

本報告書が現状の理解に役立ち、中型計画が早期実現の方向へ向かうことを期待する。

最後に本報告書の作成にあたり本特別委員会委員以外にも資料の提供や需要調査などのご協力をいただいた多数の方々へ感謝する。

#### 付記 小型放射光施設計画について

本将来計画特別委員会では、放射光施設計画を施設の規模で分けて調査を行ってきた。その際、調査の対象は共同利用に供される施設であった。小型施設については、大型、中型施設におけるような共同利用の形態はとられていないので、本委員会は特に調査報告は行わないこととした。しかし、放射光施設の一環をなすものであるからここで若干触れたい。

小型施設は企業が積極的に技術開発を行っており、開発競争が急進展しているところである。その有用性から産官学の広い領域からその将来に大きな関心が寄せられている。すでに会誌に現状と将来展望が掲載されており<sup>1)</sup>、また本学会主催の小型リングについてのシンポジウムで議論されている<sup>2)</sup>。開発当初の主要な目的であったX線リソグラフィの専用機にとどまらず、学術用・産業技術開発用への用途の拡大が検討されはじめている。このような小型装置の導入を検討している大学・

民間研究機関もある。これらの計画は、小型のもの特性を生かして、中型、大型のものと相補的な利用を目指すもので、利用形態についても中型・大型とは異なり、学内共同利用を中心としたかなり局所的なものである。小型施設は小型独自の特徴を持った新しい発展性が期待されることから、学会としても大きな関心を持ってその計画の進展を注視してゆきたい。

#### 参考資料

- 1) 富増多喜夫：小型SR光源開発の現状と将来，放射光，2, No. 2, 19 (1989).
- 2) 本学会主催，放射光特別シンポジウム「小型光源加速器の現状と展望」，つくば，1991年1月；プログラムは放射光，3, 421 (1990)に掲載．

