

第2章

大型放射光

～物質・生命科学の担い手～

高エネルギーの電子を磁場で曲げると発生する放射光は、明るく、強く、これまで見ることができなかったさまざまなものを分析し、未知のものを発見する。この光を活用する研究は世界に広がり、材料科学、地球科学、生命科学、環境科学、医学利用などに革新をもたらしている。理研は日本原子力研究所とともに、この放射光発生で世界最高性能を持つ大型放射光施設「SPring-8」を1997年3月に完成させ、10月から多くの研究者に開かれた共同利用施設として供用してきた。SPring-8は、電子の加速エネルギー8ギガ電子ボルト（GeV）、蓄積の周長が1,436mと、欧州の「ESRF」、米国「APS」を凌ぐ世界最大の第3世代大型放射光施設で、X線領域では世界最高輝度の光源であり、また、コヒーレントX線では世界唯一の施設である。

SPring-8は、これまでに多くの成果を挙げている。眼の網膜で感じた光の情報を視神経に伝達するたんぱく質「ロドプシン」の分子構造を世界で初めて明らかにし、また、地球マントル内物質の構造の解明、あるいは自動車排気ガス触媒に革命をもたらすインテリジェント触媒の機能解明などは輝かしい成果の一例である。このように、SPring-8は、新しい展開を図るわが国の科学技術研究開発にとって、最も重要な研究基盤施設になっている。

第1節 理研における放射光の歴史と原研との 共同チーム結成まで

大型放射光施設計画提案に至るまでの状況

放射光は、電子を光の速さの近くまで加速して得られる人工の光で、これまで得られたどの光源よりも遙かに広い波長領域で極めて明るい光を出すことから、原子や分子など極限を見極める能力を持つ「魔法の光」とも称された。物質材料科学、生命科学、環境科学やナノテクノロジーなど21世紀の新しい科学技術に新知見をもたらし、革新を引き起こすと期待されている。

放射光の利用は、1960年代に素粒子物理実験用に建設された欧米やソ連の電子シンクロ

トロンや衝突リングに始まり、1970年代後半になると放射光専用リングが建設されて急激に発展した。さらに、1990年代には第3世代光源が開発されて、放射光利用研究は新しい展開を見せている。

わが国は世界の放射光の歴史をリードするように進んできた。1960年代後半、東大原子核研究所の電子シンクロトロンで放射光による分光学研究を行い、1974年には世界初の放射光専用蓄積リング「SOR-RING」（東大物性研究所）を建設して光物性研究を行った。さらに、1981年には高エネルギー物理学研究所



世界最高強度を持つSPring-8

(KEK)に「放射光実験施設(KEK-PF)」を建設して、可視光、真空紫外、X線など広い波長領域で、散乱・回折、吸収、光電子分光、蛍光X線分光やイメージングの研究を進め、放射光が既存の光源では実現できない新しい研究手法を拓くことを実証した。なお、PFより少し遅れて完成した分子科学研究所のUVSORは、電磁石配列が第3世代放射光源と同じチャスマングリーン型になっている世界初の蓄積リングである。

この時代には、科学技術が大きく変貌して新しい時代を迎えている。遺伝子研究からゲノム科学へと生命科学が発展し、また、フラーレン、ナノチューブの発見や新しい機能性材料の開発などが相次いでナノテクノロジーが注目され、情報科学が急速に発展した。これに伴って物性計測技術や物質制御技術も急展開し、短波長領域の高輝度光源である放射光の利用が急速に広がってきた。

一方、高集積化するLSIの超精密加工を実現する技術として、放射光によるX線リソグ

ラフィーが期待されていた。そのため、産業界はKEK-PFに独自のビームラインを建設し、通産省は産業技術開発を目的として、電子技術総合研究所(電総研、現産業技術総合研究所)に小型放射光施設TERASを建設(1981年完成)した。

また、この時期わが国は経済的発展の絶頂期に

あり、欧米諸国から「日本は欧米で発見・発明された科学技術をうまく産業に取り入れ、経済的発展を享受している」という批判が出るようになり、科学技術の基礎研究における国際貢献を重視すべきであるとの声が国内に高まってきた。

大型放射光計画の提案

1970年半ばから欧州でX線領域の高輝度放射光施設を建設する計画が持ち上がり、6 GeV欧州放射光施設(ESRF: European Synchrotron Radiation Facility)計画として設計研究が始まった。その後、計画は順調に進み、1987年には仏国グルノーブルに建設することが決まり、翌1988年に起工式が行われた。一方、米国においても同様の規模の放射光施設(APS: Advanced Photon Source)の研究開発が1986年から始まった。

わが国では、1983年秋に阪大と京大の有志による「関西SOR計画世話人会(会長代行: 藤沢俊男阪大基礎工学部長)」が発足し、関

西 6 GeV放射光計画（関西 6 GeVSR計画）を提案した。また、関西の経済界や学会は関西文化学術研究都市構想をまとめ、関西経済連合会が中心となって 6 GeV放射光施設設置を要望していた。同じ頃、兵庫県は西播磨テクノポリス開発構想を提案し、中核施設として 6 GeVSRの誘致を文

部省など各方面に働きかけていた。なお、関西 6 GeV計画は1985年、米国スタンフォード大学で開催された放射光装置国際会議で発表されたが、まだ具体的な建設計画にする段階ではなかった。

理研における放射光施設計画の軌跡

理研における放射光施設の計画はかなり前からあった。1975年12月の主任研究員会議で、和光地区の南に面したFENアンテナ地区の獲得のために、理研として何を行うかが討議された。リングサイクロトロン、レーザーなどが候補に挙げたが、**長倉三郎**主任研究員会議副議長が放射光施設も加えるように提案し、「ラジエーション総合研究施設」構想として練ることとなった。正月休み返上で熟考されたこの提案には、1 GeV放射光施設の建設が含まれていた。この構想づくりには、当時のサイクロトロン研究室上坪宏道主任研究員が中心となり、関



世界ではじめての第3世代の放射光施設として1994年に利用を開始した欧州放射光施設（ESRF）（蓄積エネルギーは 6 GeV）

根弘隆施設課長、**宮川寿夫**企画課長らが参画した。

その後、1984年にサイクロトロン研究室**原雅弘**研究員が科学技術庁に出向し、科学技術振興調整費や航空・電子等技術審議会を担当していた当時、庁内に材料開発室が設置され、新材料研究における新しい計測、制御技術をどう進めるかが検討されていた。1985年3月、航空・電子等技術審議会に「新材料研究開発



米国の放射光施設（APS）（蓄積エネルギーは 7 GeV）利用開始は1996年



放射光の利用研究で先鞭をつける
高エネルギー物理学研究所
(現高エネルギー加速器研究機構；KEK)の放射光
実験施設 (物質構造科学研究所 放射光科学研究施設)

に係る計測及び制御技術の高度化のための重点課題及びその方策について」(諮問第9号)が諮問され、翌1986年3月に答申が出されている。この中で先端的な計測技術の発展のために高輝度放射光源の必要性が指摘されるとともに、KEK-PFの高輝度化が施策の1つとして取り上げられた。

1985年の予算編成期に理研は、1986年度からの発足を目指した「国際フロンティア研究計画」を概算要求の重点項目に掲げることとしていた。この新規の項目に対し、関西経済連合会は「国際フロンティア研究計画」を関西で実施するように、科学技術庁に働きかけた。

この「国際フロンティア研究計画」の課題の1つに「量子化素子研究」があり、その装

置として1.5GeVクラスの放射光施設の整備を求めていた。1985年2月、この問題を相談するため、企画部の木田光春がレーザー棟の難波進主任研究員室を訪れたところ「関西6 GeV-SR計画を進めてはどうか」と応え、サイクロトロン研究室の上坪を呼んで検討することを提案した。その会合で、上坪が難波に同意したことから、大型放射光施設計画が急展開することになった。この結果、理研の1.5GeV計画は立ち消えになった。

理研における研究開発・建設体制の整備

上坪の決断は早く、科学技術庁から戻った原を中心に検討を始めるとともに、サイクロトロン研究室に研究開発チームを組織する準備を始めた。当時はまだリングサイクロトロンを建設中であり160cmサイクロトロンも共同利用に供していたので、経験ある加速器研究者・技術者や原子核物理研究者は全員その建設や運転に従事していた。そこで原(軌道解析及び高周波系各チーム)と、リングサイクロトロン建設現場の手が空き始めたシニアスタッフ、1986年度末に定年退職した元永昭七副主任研究員(電磁石チーム)、褔碩喜研究員(真空チーム)、和田雄研究員(制御チーム)を各チームの責任者にして放射光源加速器設計・研究開発グループを結成し(7月)、流動研究員(博士研究員)と企業の技術者の参加を求めて人捜しを始めた。

このときの上坪の考え方は、理研加速器の伝統である「原子核・素粒子の基礎研究だけでなく、広い分野の研究に加速器を応用して多くの科学者に役立つ」加速器施設を作るこ

とであった。また「関西」に「大型放射光施設」を設置することについては、約2年後に行われた「大型放射光施設整備連絡協議会」（後述）第5回において、「大型プロジェクトと地域の関係について、諸外国は重要視している。大型施設と人の分散は重要であり、分散することにより基礎科学が推進されていく。加速器施設や加速器研究者は関東に集中しすぎている。むしろ関西にも大きな加速器施設や研究者集団があることが重要である」

という旨の発言をして見解を示した。

理研の動きに対して、関西6 GeV-SR計画世話人会代表である角戸正夫姫路工大学長は9月に小田稔理事長を訪問して、(1) 科学技術庁と文部省が協力して建設してほしい、(2) KEKも協力しやすい形態を考えてほしいとの要望を出した。これに対して理事長は角戸学長に、土地（当時、関西では兵庫県が西播磨地区を、関西経済連合会が京阪奈地区を候補地として手を上げていた）は関西で一

Episode

「ゼロからの出発」

他力本願の丸腰で世界に挑戦

当時理研では、どの研究室に研究員採用の新規枠を認めるかは、主任会議の重要な審議事項であった。未だ認知されていない放射光計画に、新規枠の配分を受けることは不可能であった。

そのため、上坪宏道主任研究員は、当初から博士研究員（ポスドク）と企業の技術者を中心にしたチーム編成をと考えていた。この方式は、原子力分野では一般的に行われていたが、理研では例がなく、具体的な対応の仕方が分からなかった。

当時（1986年）、放射光計画の予算は皆無。そこで上坪は、関理夫次長と相談して大学時代の学生寮（鹿児島県の「同学舎」）の共通の友人であった日揮株式会社の坂口忠幸部長に依頼、その計らいで伊藤四郎副社長に会見して協力を要請した。同年夏、幸運にも、同社から2名の優秀な技術者（田中均、角矢真吾）が委託研究生として派遣されてきた。

その後、東大大学院博士課程3年の長岡隆太郎（理論物理学、現在仏国ソレイユ研究所研究員）と佐々木茂樹（原子核実験）の2人が翌年4月から流動研究員として参加することになった。こうして、後の「SPRING-8」計画の検討を始めるためのコアになる研究開発チームを編成することができ、計画が動き出した。

1987年夏、長岡と田中は米国で開かれた「加速器サマースクール」に参加した。これが、加速器についての初の本格的な勉強であった。サマースクールは、米国の主要大学と組み、大学院の単位を取ることができる。その上級コースの試験を受けた長岡は成績がきわめて良く、講師からそのまま自分のとこに残るように勧められた。

ところで、長岡は、長岡半太郎の曾孫、初代理事長、治男の孫にあたる知る人ぞ知る血統書つきの逸材であった。

本化するよう要望した。また10月には、関西6 GeV-SR計画世話人会から三ツ林弥太郎科学技術庁長官宛に「超高輝度X線用シンクロトロン放射源（6 GeV-SR）の関西設置に関する要望」が出された。

予算要求と推進体制の整備

理研における研究開発体制の整備と並行して、予算要求の準備が進められた。まず、何もない新しい土地に施設を作ることを前提として関西6 GeV-SR計画を検討し予算を積み上げると、関西SOR計画世話人会が提案している金額（約470億円程度であった）では到底できず、概算として630億円になった。この放射光施設にさらにレーザー施設や高度分析センター、大型計算機センターなどの施設を含めた先端施設群と、これら施設を利用する研究所群で構成する大きな研究所構想（「光・電子総合研究所構想」や「国際総合共同研究所案」）にとりまとめ、1987年度予算要求の原案とした。

そのころ理研では、予算要求の新規課題は、まず、主任研究員会議研究課題予算委員会（委員長：豊田浩一主任研究員）が審議することになっており、難波・上坪両主任研究員が説明したが、あまりにも予算金額が巨額すぎたのか賛否の反応は殆んどなかった。

1986年になると、大型放射光施設計画を取り巻く情勢が激しく動き、理研では大型放射光施設の建設に関して様々な機関（行政や研究機関）や研究者および産業界との折衝や調整が必要となってきた。そこで、当時の中根良平副理事長、加藤泰丸理事、佐田登志夫理

事、上坪、難波、永井榮企画室長らを中心に頻繁に検討が行われた。

所内研究者に対しては、「1986年度研究計画化調査（当時の開発調査室で、新しい研究分野を探索するために行っていた調査）」で生物分野の主任研究員が中心となって9月にシンポジウム「放射光の生物への応用」を開催、報告書「シンクロトロン放射光の生物学的利用」をとりまとめるとともにユーザーグループ（代表：岩崎準主任研究員）を組織化した。

一方、事務的な面での体制整備も進み、1986年11月に大型放射光施設準備室が、翌年3月には永井を室長とした「放射光施設計画推進準備室」が設置され、また、放射光研究施設計画委員会（中根副理事長ら）および利用部会（岩崎ら）を設置した。こうして1986年中には、理研内部で大型放射光施設計画推進に向けての体制が整備された。

産業界については、理研役員、上坪による民間企業（東芝、日立、富士通、NECなど）訪問が行われた。

1986年春から本格的な予算要求が始まった。当時、理研の予算要求窓口は、原子力関係予算は原子力局技術振興課、原子力以外の予算は振興局管理課であった。大型放射光施設計画は加速器施設という観点では原子力局に関連し、その利用は広範な分野の研究を包含するので振興局が関連し、最終的には両局に要求書を持ち込むことになった。

こうして、大型放射光施設計画は理研サイクロトロン研究室がその推進を決めると、1年も経たないうちに急速に実現に向けて動き

出した。これは計画が時宜に適っていて、計画を推進する諸条件が整っていたためである。基礎研究の施設でこのように早く実現した計画は他に例を見ない。しかも予算額が大きく、また国際競争という点や広範な研究分野の研究者や産業界にも関連するため、予算要求では多くの人々が関係し、さらには日本原子力研究所も巻き込むこととなった。

大型放射光施設計画をめぐる行政側の対応

理研が大型放射光施設建設計画を提案するとすぐに科学技術庁ではその推進を決め、必要な行政的手続きを開始した。まず、科学技術庁の基本施策研究会中間報告（1986年6月9日）が、「大型放射光施設を含めた国際大型共同利用施設の設置（光科学技術の推進）について検討することが適当である」と述べた。その後、科学技術庁幹部が協議し、大型放射光施設設置に向けた基本方針（8月5日）を「理研・原研の役割分担を検討し、協力して建設すること」とした。この結論のもとに、科学技術庁は、1987年度予算要求として1億200万円（調査費：加速管開発、土地測量調査、欧米調査、委員会開催費）を計上した。

科学技術庁は、審議会などによる位置づけ等の行政的手続きを早急に進める必要から庁内に準備室を設置することになり、科学技術振興局（振興局から1985年に変更）に大型放射光施設整備対策室（室長：松澤攝津男官房審議官、次長：弘中義夫研究振興課長）が設置（同年11月）された。

8月中旬に科学技術庁長官から航空・電子等技術審議会長に対して「光科学技術の高度

化に関する総合的な研究開発の推進について」が諮問され（諮問第11号）、12月には同審議会は中間とりまとめで大型放射光施設の必要性を答申し、さらに、1987年7月には「大型放射光施設の必要性とその推進方策」を答申し、大型放射光施設の必要性およびその推進方策を提言した。一方、原子力委員会は「原子力の研究、開発および利用に関する長期計画（原子力長計）1987年6月」で大型放射光施設の原子力分野での利用の必要性を指摘し、大型放射光施設の建設を原子力開発の一環として進めることを認めた。こうして大型放射光施設の推進に必要な行政上の手続きがほぼ完了した。

これに対して文部省では、大型加速器計画は文部省が推進すべき「文部省所管事項」であるとの認識をもち、科学技術庁の大型放射光施設計画に対する対案としてKEKが検討していた「AR利用計画」を提案した。これはKEKが建設しているトリスタンのARリング（Accumulator Ring；6 GeV）に放射光実験施設を10億円（1987年から3カ年計画）かけて付加する計画である。

両省庁の動きに対して、大蔵省は、計画実現には大きな予算が必要となるため、ナショナルプロジェクトとしての位置づけが必要不可欠であるとし、どの省庁（文部省か科学技術庁）でやるかを含めて政策的検討が必要であるとの立場であった。

なお、両計画については9月の科学技術会議政策委員会で、科学技術関係重要施策の1つとしてヒアリングが行われた。その結果、科学技術庁の大型放射光施設整備計画は、大

型共同利用基礎研究施設整備促進として科学技術振興基盤の1つに位置づけて実現を図っていくべき重要施策であり、また、文部省のAR利用計画は、優れた学術研究の促進施策として実現を図るべき重要なものであるとの結論が出された。

その後、科学技術庁は大蔵省より大型放射光施設計画とAR利用計画の違いについて質問攻めにあい、文部省からは大型放射光施設計画は不必要と指摘されるなど、せめぎあいが続いた。10月には、文部省、科学技術庁は自民党政務調査会科学技術部会（椎名素夫委員長）に1987年度予算要求の説明を行った。文部省は6 GeVのAR利用計画を説明し、科学技術庁は6 GeVの大型放射光施設を建設する計画を説明して、ここでも鋭く対立した。

年末に開かれた自民党政務調査会科学技術部会は、大型放射光施設が先端研究実施のために必要であることを認め、推進にあたっては「大型放射光施設整備連絡協議会（仮称）」を設置して、放射光施設の長期的な在り方をオールジャパンで検討し、コンセンサスを得ることが重要であり、文部・科学技術両省庁は連絡協議会の運営に協力する必要があると指摘した。この指摘を受けて、科学技術庁科学技術振興局研究振興課の弘中課長と文部省学術国際局研究機関課山田勝兵課長は、大蔵省主計局主査宛に「大型放射光施設整備連絡協議会（仮称）」の設置とその運営について協力することを確約した（12月28日付）。

こうした経緯の後、1987年度の予算が大蔵省より内示された。その内容は、理研に放射光研究費（加速管の技術開発）6,500万円を、

また、科学技術庁内局に（大型放射光施設整備連絡協議会の開催）366万円を計上するものであった。同時に、高エネルギー物理学研究所のAR放射光利用施設建設も認められた。

一方、関西では、1986年10月27日の選挙で兵庫県知事に大型放射光施設の誘致を政策に掲げていた貝原俊民が当選した。貝原知事の実現は、大型放射光施設の建設推進に大きな影響を与えた。

大型放射光施設計画の始動

理研は、航空・電子等技術審議会の第9号答申（昭和61年3月：前出）を受けて始まった科学技術振興調整費「新ビーム技術による高性能機能性材料の分析・評価技術に関する研究」の研究を開始し、「SORより得られるX線」などの各ビームを利用した分析評価技術の開発3課題を分担した。そのサブテーマ「高輝度高強度X線源の開発」では、KEKが初年度からPFリングの高輝度化と陽電子の蓄積研究を開始し、理研はその翌年から2年間に、原、佐々木茂樹らが中心となりKEKと協力してBL13ウイグラービームラインを建設した。このプロジェクトでKEKと理研に協力関係が生まれたことが、大型放射光施設計画の推進に大きく貢献した。

1987年度予算が確定してから、科学技術庁および理研では様々な活動が始まった。まず、3月早々に科学技術庁、理研、原研の3機関が中心となって欧米の放射光施設の調査を行った。その訪問先は以下のとおりである。

1986年末の予算折衝で設置することが決まった「大型放射光施設整備連絡協議会」（座

長：黒田晴夫東大理学部教授）が科学技術庁と文部省の共同主催で6月に発足し、以後5回開催し検討が行われた（第1回：1987年6月3日、第2回：7月17日、第3回：8月26日、第4回：10月9日、第5回：12月11日）。その内容は、第1回が大型放射光施設整備計画の現状と必要性について（上坪委員説明）、第2回が大型放射光施設、中型放射光施設、小型放射光施設に関して、利用研究分野と棲み分け及び専用光源の必要性の検討（千川純一委員、佐々木泰三委員と上坪委員が説明）、第3回：大型放射光施設の規模・性能と研究開発課題の検討（加速器に関する研究開発課題については富家雄委員、上坪委員が説明、光学系・測定系等の研究開発課題については岩崎委員、下村理委員が説明）が行われた。第4回会合では、大型放射光施設の建設は科学技術庁で検討を進めて行くこととなり、第5回で最終的に大型放射光施設の建設を承認し、建設実施主体は1989年度までに科学技術庁が決めることとした。

この大型放射光施設整備連絡協議会における協議の骨子は「計画実現にあたっては研究

者の意向を十分踏まえ、これまでの研究成果や経験を十分取り入れ、幅広い研究者の協力を得て推進するように」というものであった。

研究者コミュニティの動き

大型放射光施設整備連絡協議会の協議と並行して、研究者コミュニティの活動も活発になってきた。1987年11月に、日本学術会議物理学研究連絡委員会（委員長：久保亮五）主催の「放射光将来計画シンポジウム」が開催され、日本における5つの計画（「VUV-SOR：石井武比古」、「広島大HiSOR計画：小村幸友」、「東北大ストレッチャー・放射光共用リング計画：鳥塚賀治」、「関西6 GeV-SR計画：上坪」、「KEK放射光将来計画：千川」）が紹介され、参会者の間で活発な意見交換が行われた。

さらに1988年（昭和63年）5月に、大型放射光施設計画に係わる利用計画の検討と要望のとりまとめを目的とした「次世代X線光源研究会（会長：菊田惺志東大教授）」が発足した。発足時は、大型放射光施設計画とAR放射光計画を含めて検討することにして名称

理研が調査の対象とした欧米の主な放射光施設

ESRF（欧州放射光施設）
BESSY（放射光研究のためのベルリン電子シンクロトロン協会）
DESY（独電子シンクロトロン）
LURE（仏放射光研究所）
SSRL（スタンフォード放射光研究所）
ANL（アルゴンヌ国立研究所）
BNL（ブルックヘブン国立研究所）
DOE（米国エネルギー省）

を「次世代X線光源研究会」としていたが、やがて大型放射光施設計画が主な対象になり、原研－理研共同チームと利用系機器開発、ビームラインや利用に関する問題点を検討した。これら諸問題は、後に原研と理研が大型放射光施設計画に関する重要事項の検討・評価を行うために設置した「大型放射光施設計画検討委員会」へと引き継がれていった。

共同チーム結成へ

原研との本格的な係わりは1987年に始まった。4月に科学技術庁理研担当の弘中課長と加藤理事、上坪主任研究員、永井企画室長らが参加し、理研と原研との間で大型放射光施設計画の共同推進方策について検討を開始し、連休前までに理研が放射光の建設計画及び管理・運営体制の原案を作成することになった。その後6月に開かれた科学技術庁の科学技術基本施策研究会は、1988年度予算重要施策について、(1)大型放射光施設は、研究の推進、研究基盤の整備充実等の観点から必要、(2)理研、原研の協力の下にその整備に向けて本格的に取り組むことが必要とした。これに基づいて原研は、大型放射光計画への取り組みについての基本的姿勢、推進の形、計画に対するコミットの条件等を科学技術庁に報告した。

一方、科学技術庁と理研は、理研－原研の協力及び共同作業を行う場所（つくば交流センター、理研駒込、原研本部等が検討対象）や放射光施設の建設に必要な人員、地方財政特例法を考慮した土地の取得、土地選定基準、企業ユーザーの発掘と組織化など具体的な問

題について話し合った。

8月に科学技術庁（興直孝原子力開発機関管理官他）、原研（森茂副理事長他）、理研（加藤副理事長他）の3者で、大型放射光施設整備の協力について懇談した。これより以後、理研と原研で具体的な協力・分担について話を進めることになり、研究開発段階（1987－1988年度）、建設段階（1989－1994年度）における対応及び1988年度予算要求の分担の大枠を決めた。

さらに、施設建設から完成後の責任母体となる「特殊法人（特別認可法人）新設」、「財団法人の新設」、「株式会社新設」、「技術研究組合新設」等の検討も行われた。

1987年10月、科学技術庁立会いのもとに初めての理研－原研運営委員会が開催され、理研－原研共同チームの組織・運営について検討を始めた。1988年1月に理研と原研は「大型放射光施設の研究開発に関する協力協定」を締結し、研究開発チームの設置（ディレクター：上坪主任研究員、サブディレクター：鹿園直基物理部長）を決定した。また、大型放射光施設整備における利用者の組織化（ユーザー懇談会）を行うこととし、本懇談会の運営等は原研の協力のもと理研が行うこととした。

1989年度予算要求に際しては、大型放射光施設の建設分担を決定しなければならなかった。しかし、理研と原研だけの話し合いではなかなか決まらず、4月18日、科学技術庁も参加して3者で決着した。この決着を踏まえ、理研－原研名で「大型放射光施設の建設」の取り組みについて科学技術庁に報告して、入

射器（電子加速器、シンクロトロン）は原研が担当し、蓄積リングは理研が担当するという建設分担の大枠を決めた。

また、大型放射光施設計画の推進に関する責任は両法人が分担して負うこととし、共同プロジェクトチームを設置して一体的に推進することとした。

建設分担の論議が進む中、1988年8月に原研の鹿園が上坪を訪問し、理研と原研の経営センスの違い、研究開発・建設の取り組み方の違い、発注方式の違い「いわゆる『構造仕様方式』（理研）と『性能仕様方式』（原研）」など様々な問題点が議論された。また、「組織の原研」、「人の理研」ともよく言われ、両

者の違いは顕著であった。実際、原研では事務方だけでなく、技術グループの主だったメンバーも何人か入れ替わっていったが、理研ではリーダー以下全員が最後まで建設を行っていったのと対照的である。全体打ち合わせでも、理研側は各自が意見を述べて議論になることが多く、原研側から理研は事前に意見を纏めておくようにという注文が出るが多かった。

現在から振り返ってみると、このような懇談の積み重ねがあったからこそ、共同チーム方式は成功したのだといえるが、発足当時は相当困難な道であると思われた。

第2節 理研－原研共同チーム、駒込で難問に挑む

羅針盤のない船出

1988年（昭和63年）5月から9月まで原研（松浦祥次郎企画室長、山根庸光総務部長、飯泉仁企画室次長、鹿園）と理研（上坪、永井、沖村憲樹調査役）の間で、何度も共同推進体制を話し合い、共同チームを結成することとなった。そして10月には原研－理研大型放射光施設研究開発共同チームが駒込で発足した（1998年10月31日播磨で解散）。

全くカラーの異なる研究所が対等に協力して大型研究施設を建設するのは初めてのことであり、どうすれば成功するのか誰も知らない「羅針盤のない船出」であった。その組織も「対等の原則」で、事務グループ総括リーダーは光野正規（原研）、サブリーダーが沖

村（理研）、技術グループ総括リーダーは上坪（理研）、サブリーダーが鈴木康夫（原研）の陣容で、それぞれのグループに約30名以上が参加した。1988年12月の時点における共同チーム構成員は、理研38名、原研30名であった。

このとき、共同チームはリーダークラスが両研究所を兼務するよう提案したが合意に至らなかった。しかし原研は上坪技術グループ総括リーダーを原研特別研究員に任命して、原研、理研の両方に係わる実質的なプロジェクトリーダーとして遇することにした。この結果、プロジェクトにおけるリーダーシップが確立され、計画を統一的に進めることが可能になった。ところが、問題として残ったの

は「共同チーム」が原研、理研の組織として承認された存在ではなかったことである。両研究所内での権限は皆無で、そのために原研、理研の事務責任者の苦労は並大抵ではなかったし、最終的には科学技術庁から出向してきていた事務サブリーダーが「監督官庁」を通して調整することが多かった。それに合わせて上坪リーダーは両研究所に強硬な姿勢で意見を通してきた。

現在から振り返ると面白いことに気がつく。理研での共同チームの取り扱いは多くの共同研究と同じ扱いになっていて、理研の公式な記録には全く登場していない。多少オーバーな言い方をすれば、SPring-8計画は理研、原研の命運をかけたプロジェクトであり、建設参加者は全員が世界最高のSPring-8を実現するために努力したのであるが、理研の人事記録にも組織図にも全く記録されていないのである。なお、共同チームに高良和武東大名

誉教授、佐々木東大名誉教授、富家KEK名誉教授が非常勤の研究顧問となって参加した。

1989年（平成元年）春、1990年度予算要求を始めるに際して理研－原研の施設分担は決まっていたが（1988年4月18日の時点）、加速エネルギーを8 GeVにした施設全体の建設費については理研の試算だけで、共同チームで合意された案はなかった。そのため何度も打ち合わせが行われたが、加速器建設については原研が性能仕様方式を主張し、理研の試算を大きく上回っていた。また、建物建設についてもなかなか収束できなかったが、科学技術庁から建設費の上限は1,000億円程度との指示がもたらされて、ほぼ理研が試算した総予算1,089億円で予算要求を行うことで合意した。1,089億円の内訳は、入射器（1 GeV線形加速器と8 GeVシンクロトロン）と8 GeV蓄積リングの建設に、それぞれ166億円と266億円、10本のビームライン建設に71億円、建物は入射器棟の建設が45億円、蓄積リング棟が300億円、ユーティリティーとその他の建物で153億円、R&Dおよび



日本原子力研究所と理研の大型放射光施設研究開発
共同チームが駒込で発足（左）
共同チームが汗を流したプレハブ事務所には、
難問が次々と飛び込みチームを苦しめた（右）

Episode

なぜ、8GeVか？

世界一の放射光施設の実現へ

もともと、6GeVの計画は、関西SOR計画からの流れであった。すでに、欧州の計画が6GeVで先行し、米国が7GeVの建設を決めていたので、研究開発チームには、世界最高性能の計画にすべきであるとの意見が強かった。また、科学技術庁も世界一を目指すべきであると考えていた。たまたま、具体的な設計で建設費が当初の630億円を大幅に超えることになった。1988年（昭和63年）夏ごろ、対応策として建設費をさらに上積みして増やし、世界最高性能の施設建設案を提案することになった。

また、ESRFの6GeVは14.4keVのX線をアンジュレータで出す電子エネルギーとした。これに対して、当方は研究の発展を想定して「全元素の研究ができるX線エネルギーを目指す」ことにした。そのため、ウランのKX線（120keV）を偏向磁石で、また、L吸収端（20keV）を超えるX線をアンジュレータで出す電子エネルギー8GeVを考えた。

同年9月の大蔵省主査説明では、6GeV（建設費623億円）から8GeV（建設費1,050億円）の建設費比較（研究開発費は含まず）の説明を行った。しかし、10月の大蔵省第一局議においても6GeVで説明し、8GeVに決まるには更に1年を要した。

翌年7月、8GeVでなければならない理由（ウランにいたる全元素の研究ができるX線を偏向磁石やアンジュレータで出すこと、輝度も世界一になること等）を説明した。同年末には、大蔵省に6、7、8GeVの建設コスト比較を提出し、10GeVでは放射光のエネルギーが高くなりすぎ、遮蔽対策を考慮すると建設費が割高になることや、7GeVでは建設費用がウランのような重要な元素の実験ができず、性能が半端になる等と四苦八苦しつつ説明した。

こうして、1990年1月初め、大蔵省からの「8GeVの設定」理由の宿題を完了した。

SR協力研究員の給与などに88億円である。なお将来、入射器を単独に使う可能性を残すため線型加速器のエネルギーを1GeVにした（当初計画では1.5GeV）。

1990年度政府予算で、原研11億6,700万円（線型加速器）、理研16億2,900万円（蓄積リング電磁石）が認められて建設開始となった。以後、予算の面においては、2度にわたる大型の補正予算に恵まれ、当初計画より2年近

く早く完成することとなった。

学識経験者による計画の検討・評価

1989年5月、大型放射光施設の重要事項を検討・評価するために、原研・理研両理事長の諮問委員会として、放射光および加速器関連の学識経験者による「大型放射光施設計画検討委員会（検討委員会）」（委員長：高良東大名誉教授）を設置した。検討委員会は施設

計画の内容を検討評価するために、下部委員会として「加速器小委員会」と「利用小委員会」を置いた。加速器小委員会は加速器システムの技術的検討・評価を行い、加速器システムの構成、8 GeVリング設計の承認や4カ所の長直線部を持つ蓄積リングの提案を行った。一方、利用小委員会は運営体制、共同利用のあり方などを検討したが、とくに施設の一体的運営を求める意見が強く出された。検討委員会はこれら小委員会の検討結果を審議し、随時中間答申として両理事長に具申したが、最終答申はそれらをまとめて「大型放射光施設の建設等に対する検討評価に関する意見」とし、1992年（平成4年）3月に両理事長に提出してその役目を終えた。

大型加速器施設の建設にあたっては、外部の学識経験者による安全性の検討評価を行うのが通例になっている。そこで原研・理研両理事長の諮問委員会として「大型放射光施設安全性検討委員会（委員長：浜田達二日本アイソトープ協会常務理事）」を設け、加速器の放射線遮蔽の検討評価や汚染管理、モニタリングシステムの検討評価を諮問した。この委員会の答申に基づいて、入射器棟、蓄積リング棟や廃水処理施設などが設計された。なお、SPring-8の加速器及びビームラインの放射線遮蔽設計は主に原研のグループ（笹本宣雄主任研究員、浅野芳裕研究員）によって行われた。

同年6月に科学技術庁は、大型放射光施設の基本的なあり方について幅広い観点から意見交換を行い、その具体化に資することを目的とした「大型放射光施設整備懇談会」（座

長：近藤次郎日本学術会議会長）を設置した。懇談会は1990年（平成2年）6月に「高輝度光科学研究センター（仮称）のあり方について」の中間報告を行い、同年11月には大型放射光施設の運営に関する最終報告をまとめた。この懇談会の提言に基づいて、財団法人高輝度光科学研究センターが同年12月に設立された（財団の活動については、財団法人高輝度光科学研究センター10年史を参照）。

また、1989年6～8月に大型放射光施設の愛称とシンボルマークを公募し、審査の結果SPring-8（Super Photon ring、8 GeV）と現在のロゴマークが選ばれた。

法律制定と放射光利用研究促進機構の指定

科学技術庁傘下の研究所が建設する研究施設は、原則として自らの研究を推進するためのものであり、本来、共同利用施設としての運営には馴染まない。ところが、SPring-8は広く国内外の研究者や産業界に開放して科学技術の振興に役立てることを目標にしている。そこでSPring-8を共同利用に供する仕組みと条件及びその運営のあり方を明確にする必要が生じていた。

1993年12月、科学技術庁長官は航空・電子等技術審議会に「大型放射光施設SPring-8の効果的な利用・運用のあり方について」（第20号諮問）を諮問し、同審議会は1994年3月に中間報告をまとめた。一方、SPring-8の共用を明確にし、施設の運営に対する国の責務および原研、理研、民間の責務を規定するため「特定放射光施設の共用の促進に関する法律（6月26日交付法律第78号、1994年10月1

Episode

ニックネームとシンボルマーク

大型放射光施設の国際的デビューに向けて

諸外国の放射光施設には、「ニックネーム」(略称や愛称)や「シンボルマーク」がある。例えば、ニックネームには欧州のESRF、米国のAPS、仏国SOLEIL、英国DIAMONDがあり、また、素晴らしいシンボルマークでアイデンティティーを主張する。

1989年、わが大型放射光施設(80億電子ボルト)にも「ニックネーム」と「シンボルマーク」を公募することになった。

1ヵ月間の公募期間が終わると、全国からニックネームに120点、シンボルマークに63点という活発な応募があった。

同年8月、原研、理研、科学技術庁による選考委員会と両法人理事長の選考の結果、「ニックネーム」は、藤田浩氏(同庁)提案の「Spring」に8を付けて『SPring-8』に決定した。当初の読み方は、「スーパーフォトンリングエイト」、

または「エスピーリングエイト」であった。その意味するところは、「S」はスーパー(優れた)、「P」はフォトン(光)、「ring」はリング(輪型の装置)、「8」はエイト(80億電子ボルト)。その後、読み方は外国人たちを中心に『スプリング・エイト』に定着して来たため、これに統一することにした。

また、「シンボルマーク」は、兵庫県西宮市在住の造形作家、杉原賢治氏の作品に決まった。図は、フォトンが輪型軌道を加速されて



放出されることをイメージしている。

ところで、「Spring」は「春」、「泉」、「跳躍」などを意味する。爽やかなイメージに溢れ、抜群の語感である。「名は体をあらわす」と謂う。

完成から6年、すでに『SPring-8』は世界の第一線に躍り出、多彩な「優れた研究成果」を活発に発信している。

日施行)」が第129回国会に上程され、1994年6月可決成立した。この法律に基づきSPring-8の共用業務及び支援業務を行う放射光利用研究促進機構として、10月1日に財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)が指定される。また、理研・原研・JASRIは、法律の精神に基づき3者が一体的かつ一元的に共同してSPring-8の運営を円滑に行うために、「特



(財)高輝度光科学研究センター「放射光利用研究促進機構」に指定(1994年10月)



SPring-8、ESRF、APSの3極で研究協力協定を締結（1993年5月）
左から、上坪リーダーとペトロフ、モンクトンの各所長

定放射光施設の運営に関する協力協定」を締結し、同時にSPring-8に係る重要事項について協議を行う「運営調整会議」を設置した。これよりSPring-8の運営は理研・原研・JASRIの3者の協力のもとに行われ、さらに理研・原研はそれぞれ独自の研究施設を持った研究所（理研：播磨研究所、原研：関西研究所放射光研究センター）を設置した。以後、法律に規定されたSPring-8の供用に必要な制度は、JASRIを中心にして検討、整備されることになった。しかし、この運営方式はその複雑さと非効率性が指摘され続けてきた。

国際化

大型放射光施設計画以前に、わが国の大型プロジェクトで、外国からのエキスパートを含めた常設の委員会を作って助言・評価を得ることはなかった。しかし世界に開かれた施設を建設するには、初期の段階からプロジェクトをオープンにして、忌憚のない検討・評価を求めることが必要である。このような観点から、1990年の初夏に主な放射光研究者数人に意見を求めたところ、全員から協力するとの返事が返ってきた。

1991年になって本格的に国際助言委員会

（International Advisory Committee、IAC）の準備を始め、同年9月に東京で第1回会議を開催した。委員長を富家KEK名誉教授に委嘱し、米国、欧州の主要な放射光施設および中国の高エネルギー物理学研究所から委員を招き、

SPring-8計画の設計方針、建設および運営体制、具体的な設計および建設状況などについて忌憚のない意見を聞きアドバイスを受けることにした。その後、第2回（1992年11月）、第3回（1993年11月）、第4回（1995年1月）、第5回（1996年4月）を開催した。第1回の時点ですでに英文でまとめた概念設計図を提出し、説明したので、施設の技術的な側面についてはほとんど問題にならなかった。一貫して問題になったのは、原研・理研が「対等に」協力して建設し、運営は高輝度光科学研究センター（JASRI）が行うという建設・運営体制である。しかし、これは国として決めたことであり、当事者の努力で解決できることはほとんどなく、返答のしようがなかった。このほか、その意義について委員の意見が分かれたのが、30m長直線部と1kmのビームラインなどである。

IACの大きな効果として、SPring-8を広く世界に知らしめた点をあげることができる。真空封止型アンジュレータはIACの委員から高く評価され、SPring-8より先にブルックヘブン国立研究所（BNL）の放射光施設（2.5GeV）に設置され、その優秀性を世界に示した。

なお、供用開始後にも2000年3月に新たなメンバーでIACを開催し、利用研究の成果には高い評価を得たが、運営体制の改善を強く求められた。

SPring-8と同じ第3世代放射光施設である欧州放射光研究所（ESRF）、米国の先端放射光源（APS）との3極協力も定期的に行われている。

ESRFは欧州12カ国が資金を出し合って設立した共同利用施設で、1988年に起工式、1994年に供用を開始した。初代所長は独国のヘンゼル教授で、第2代所長は仏国のペトロフ教授である。一方、APSはシカゴ郊外のアルゴンヌ国立研究所に設立された共同利用施設で、初代所長はモンクトン教授である。1986年からR&Dを行い、1990年に起工式、1996年5月に供用を開始した。

1992年に神戸で開かれたシンポジウム（兵庫県主催）で、APSのモンクトン所長と上坪リーダーが話し合い、「第3世代放射光は科学の新領域を開拓するが、その利用は技術的に未踏の分野であり、光源、光学系や検出器など3施設が共同で開発し、これを用いた新しい科学技術の創出を確実なものにする必要がある」として3極協力を進めることにした。しかし、ESRFのヘンゼル所長が消極的

で、すぐには実現しなかった。その後ペトロフ教授が所長になって推進に賛成し、1994年1月にグルノーブルで第1回3極ワークショップを開いて、3所長が協定書に署名した。第2回は1995年5月に米国・アルゴンヌ、第3回は1996年4月に播磨で開催し、以後3極の回り持ちでほぼ毎年開催されている。この協定の下で、3施設が実験技術や機器開発で協力しながら、それぞれ独自性を発揮して研究面で競争する、協力と競争の関係を維持して、高輝度X線利用研究の発展に大きく貢献してきた。

立地の選定

大型放射光施設をどこに建設するかは設計・建設チームが決めることではない。しかし立地選定の基礎となる条件を明らかにするのは設計・建設チームの責任である。そこで



立地が決まった兵庫県の西播磨科学公園都市
(右上)

工事道路にはシカ道が通り、
工事関係者に注意を喚起した (左下)



計画のごく初期から施設グループを作り検討を始めている。

施設グループは、理研を定年退職した関根元施設部長を中心に、**古屋輝夫**、**松尾純二**（竹中工務店から出向）、**角矢真吾**（日揮から出向）の3名が参加してスタートし、放射光施設の全体計画と建物の検討を始めた。まだ敷地が決まっていない最初の段階では、蓄積リングの建物のイメージを作るために、手作りの模型を作成しておおよその施設構造を把握することから始めた。さらに1988年には、候補地として一番可能性の高い西播磨科学公園都市に焦点をあて、敷地の図面をもとに地形の縮尺模型（これも手作りであった）を作成して、必要となる敷地の広さ、線型加速器、シンクロトン、蓄積リングのおおよその配置と設置場所の標高を検討した。とくに播磨科学公園都市は標高250mから300mの丘陵地にあり、加速器施設を設置する標高をどこにするかということが造成工事に大きな影響を与えると予想された。共同チームが編成され駒込に移転してからは、施設グループも共同チームに所属して、施設の詳細な建設計画やスケジュールなどを策定していった。

1987年8月に科学技術庁は、大型放射光施設にかかわる立地選定基準について技術的検討を行う「大型放射光施設立地選定指針検討会」（座長：**小島圭二**東大工学部教授）を設置し、以後4回開催し検討した。第1回（1988年2月9日）会合では、大型放射光施設の立地指針に盛り込むべき事項を検討し、第2回（2月23日）では地震、地盤、放射線対策、住宅等周辺的环境状況等立地選定条件

を検討、第3回（3月16日）において立地選定指針の最終案を作成した。その後、第4回（1989年6月16日）会合で、4候補地について立地選定の検討を行った。

科学技術庁は、第3回検討会の立地選定指針を踏まえて、1988年7月15日、立地を表明していた地元に対して立地選定条件を提示し、資料の提出を依頼した。候補地を表明していた、播磨科学公園都市（兵庫県）、鈴鹿山麓研究学園都市桜地区（三重県）、仙台北部中核工業団地（宮城県）、岩手中部工業団地（岩手県）の4県が7月25日に資料を提出した。次いで、8月2日と4日に上記4候補地について科学技術庁、理研、原研の3者がヒアリングを実施し、さらに、8月8日および9日には岩手県、宮城県の候補地を、また、8月11日と12日に兵庫県、三重県の候補地を現地調査した。

立地選定指針検討会は第4回会合で、現地調査を踏まえて立地選定の検討を行った。その結果をもとに、1989年8月 科学技術庁は、播磨科学公園都市が立地選定指針の全ての条件に適合している旨を兵庫県に通知し、SPring-8の設置場所が決定した。

共同チームは、まず、播磨科学公園都市内の大型放射光施設敷地（約140ha）について、兵庫県から建設母体である原研、理研にどのような形態で提供できるか検討を開始した。ところが、原研は地方財政特例法に指定機関として明記されているため、自治体からの土地の無償譲渡は不可能であった。一方、理研は指定機関となっていなかった。このことを手がかりに、自治省の了解も得て、兵庫県か

ら理研に出資（評価額314億円）することとなり（1992年3月）、原研には理研から無償貸与することで土地問題は解決した。

1993年3月に「敷地使用に関する覚書」が締結されて、播磨科学公園都市にSPring-8の設置が決定し、兵庫県は建設に至る地表地質調査、ボーリング調査、振動測定を行い、共同チームと施設の配置や造成について頻繁に打ち合わせを行った。さらに1990年9月に共



原研と理研の共同チームが播磨に「大型放射光施設播磨事務所」を開設（1990年9月）

Episode

「300億円の絵」

兵庫県に献上したSPring - 8用地の謝礼

スキー、水泳、登山、音楽などと多彩な趣味を持つ小田稔理事長の自慢は「絵」。理事長室の壁一面にスケッチし、彩色を施した水彩画を飾っていた。理事長室を訪ねると、これは何の花で、どこで書いたなどと気軽に絵にまつわる話をするほどであった。思い出がいっぱい詰まった水彩画を画集にする話は、理事長退任の年に実現。「花と人と」という画文集となって発刊された。「妻が庭で育てた花をスケッチして集めた。画に文章をつけて、画の拙い分を文章で、文のまずいところを画で補った」という。

その画文集に時価300億円を下らないという値がついた「台湾ハイビスカス」の絵が、コメント付きでカレンに咲いている。ピカソよりも高い絵と自慢話にしていた。絵の価値は市場で決まるはずだが、絵に価値（値）が付けられないと兵庫県の貝原俊民知事に送られたもの。

世界最高の性能を誇る大型放射光「SPring - 8」の建設用地にと兵庫県が提供した土地141ヘクタール（約42万坪）のお礼の絵である。悩



んだ末のお土産で、小田理事長が理研の知患者とする藤岡淳介理事が進言し、高価な値がついたとか…。

同チームは「大型放射光施設
播磨管理事務所」を開設した。
1991年9月に蓄積リング棟の
建設工事に着手、蓄積リング
棟第1期分の工事竣工（1992
年12月）に伴って、1993年4
月には加速器グループ第1陣
が播磨へ移転し、10月には
RFグループが移転した。翌
1994年には駒込で業務を行っ
ていた理研の事務職員、共同
チームリーダーが移転し、本
拠地が播磨となった。利用系
チームは、1995年に光源・基
幹チャンネルグループが、そ
して翌年、用系の職員全員が
播磨に移転し本格的な運転が
始まった。

着工記念パーティー



SPring-8の
起工式
(1991年11月)
安全祈願

第3節 世界最高性能への挑戦

世界最高輝度X線

加速器は優れた成果を挙げてこそ建設した意義がある。とくに多額の国費を投入して建設する大型施設は、長期にわたって、世界最高の性能を維持し優れた成果を挙げなければならない。これが上坪リーダーの持論であり、SPring-8建設の基本方針であった。しかしそのためには、建設直後だけでなく、10年、20年後にも高度化で他を凌ぐ性能を実現できるポテンシャルをもつ加速器を設計しなければならない。これが加速器建設に携わる者に課

せられた課題である。

SPring-8計画の目標は、X線領域で世界最高性能をもつ放射光源であった。そのためには、輝度が世界最高であるだけでなく、偏光特性、マイクロビーム特性やパルス特性など、広い科学技術分野の研究に必要な光源特性においても、世界最高レベルでなければならない。SPring-8はこれらの要請に十分応える光源であり、その上、世界で唯一、空間的コヒーレントX線が得られる光源でもある。光源の性能は、蓄積リングと挿入光源の性能で決

められる。SPring-8の場合、電子エネルギーを8 GeVにして、赤外光から高エネルギーX線までの広いエネルギー領域(0.01eV~300keV)の高輝度放射光を得られるようにし、また、世界で最も高い安定性を持つ高精度蓄積リングを開発して、極めて平行性が高く細い(言い換えるとエミッタンスが十分小さい)電子ビームを長時間蓄積リングに貯め込むことに成功した。この電子ビームが真空封止型挿入光源を通過して高輝度X線を放射するが、SPring-8は電子ビームの垂直方向のエミッタンスが世界で最も小さいので世界最高輝度X線やコヒーレントX線を放射することができる。なお、電子ビームは水平方向が1 mm弱で、垂直方向が数10ミクロン(μm 、 10^{-6}m)程度の太さで、ビーム位置は数 μm の範囲内に安定している。したがって、X線ビームも細く平行で数 μm の大きさの試料でも超高精度の測定が可能である。

また、SPring-8のX線は時間幅が35ピコ(10^{-12})秒のパルスであり、パルス間隔を2ナノ(10^{-9})秒から2マイクロ(10^{-6})秒まで自由に変えることができる超高速「ストロボ」になっていて、高速で変化する現象を精度良く捉えるのにも適している。一方、挿入光源は独自に開発した真空封止型アンジュレータであり、波長制御や偏光特性制御に優れた挿入光源が開発されて用いられている。

加速器系および利用系の研究開発

SPring-8は、大型放射光施設としてESRF



蓄積リング棟第1期工事竣工(1992年12月)

やAPSに遅れてスタートした。また、多くの人から指摘されたように、経験のほとんどない若い研究者・技術者を集めて建設チームを編成した。そのため、先人が進んだ道をたどることからR&Dを開始した。まず、電子ビームの振る舞いをビーム運動学的解析で調べながら、加速器の構成・電子のエネルギー・光源となる電磁石などの仕様を決めていく。次いで、具体的な加速器・挿入光源・ビームラインなどを設計し、重要な構成機器、部品については性能を決める個々の要因を検討しながら設計、企業に発注し製作する。製作した機器、部品はその性能を測定・評価して次に進む。これがR&Dの第1段階であった。

<共同チーム結成まで>

先に述べたように、理研が大型放射光施設計画推進を決めた1986年度後半から、流動研究員と企業からの研修員を受け入れて、軌道解析(責任者;原研究員)、電磁石(同;元永研究嘱託)、真空(同;裏研究員)、高周波(同;原研究員)、制御設計(同;和田研究員)の5チームからなる設計・建設グループをつくり、放射光施設・電子加速器の基礎を学びながら、軌道計算のための計算機やプログラ

ムなどを整備し、放射光施設の構造・目的・仕様などを検討した。

大型放射光施設計画は、関西6 GeV計画を引き継いだ形になっていたため、政府も含めた多くの関係者が大型放射光施設は6 GeV-SRであるとしていた。しかし理研内部では独自の計画という考えが強く、研究開発が認められた1987年から、20名を超える研究者・技術者が各グループに分かれて、全体計画の概念設計と主要機器のR&Dを始めた。軌道解析チームが光源リングの磁石配列（ラティス）設計を開始し、真空チームは主要機器のモデルの試作と真空試験を始めている。また高周波チームは加速空洞の縮小モデルを製作して試験を開始するなど、第3世代の放射光施設について、軌道計算に基づいた設計と各機器の設計製作を開始し経験を積んでいった。一方、原研との設計方針について話し合いも始めている。なお、来日した外国人エキスパートによるセミナーを頻繁に行い、欧州加速器会議、放射光機器国際会議などにも発表し、また、原研と共催で「高輝度放射光源のための加速器工学シンポジウム」を開いた。

<共同チームの分担>

1988年10月、原研、理研は共同チームを結成し、原研が線型加速器とシンクロトロンから成る入射系を、理研が蓄積リングを担当することになり、原研東海研と理研和光本所に分かれてR&Dを進めた。なお、プロジェクトの全体調整は理研の駒込分所で行った。

共同チーム結成後、理研の計画推進体制は本格的な建設に向けて整備されていった。

1989年8月、上坪はサイクロトロン研究室主任研究員を辞して大型放射光施設計画推進室開発グループ総括主幹に就任した。一方、主任研究員会議（議長：大石武主任研究員）は、大型放射光施設計画がナショナルプロジェクトとして進み出したので、新たにいくつかの研究室をこのプロジェクトに配分するかに苦慮した。討議の結果、1988年3月に主任研究員が定年退職したプラズマ物理研究室と生物物理研究室をそれぞれ加速器建設及び利用研究の基幹となる研究室にすることに決めた。1989年には、生物物理研究室に植木龍夫主任研究員が就任して利用計画を推進することになり、少し遅れて熊谷教孝がプラズマ物理研究室主任研究員に就任して加速器責任者になった。こうして理研内部の大型放射光施設建設体制が固まった。

大型放射光計画推進室は1991年度から大型放射光施設計画推進本部（上坪本部長）に改組され、1993年には、さらに北村英雄、石川哲也がそれぞれ推進部長（主任研究員）と客員主任研究員に就任して、挿入光源と光学素子などビームライン要素技術開発の指揮を執ることになった。一方、開発研究から建設完了までの期間に極めて多数の博士研究員、外国人研究者や企業派遣技術者が流動研究員、研究生、研修生として計画に参加したが、これらの要員は1988年に研究協力員になり、1989年度からSR協力研究員（契約制職員）として制度化された。外国人研究者や企業派遣技術者は2～3年の短期派遣が多かったが、SPring-8の完成に大きく貢献している。

さらに、1990年12月に高輝度光科学研究セ



財団法人高輝度光科学研究センター設立（1990年12月）

ンター（JASRI）が発足した後は、JASRIに採用された研究者技術者も建設に加わった。1989年5月に設置された「大型放射光施設設計画検討委員会」で、電子エネルギーを6 GeVから8 GeVに上げ、また、30m直線部の導入が決まると、これまで非公式に行われていた8 GeV放射光源の設計・開発研究が本格化し、それに伴う建物の設計、予算の見直しとコスト低減のための最適設計、全体スケジュールの見直しが行われた。この結果は、概念設計書「大型放射光施設SPRING-8プロジェクトPart I；Facility Design 1990（DRAFT）」にまとめられている。

加速器の研究開発から建設へ

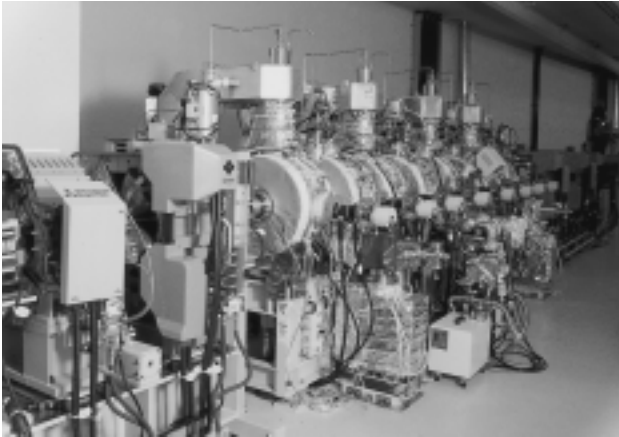
シンクロトロンと蓄積リングの基本的な構成は、主に軌道解析グループ（原、長岡隆太郎、田中均、妻木孝治）が軌道計算に基づいて設計した。Chasman-Green型と呼ばれた低エミッタンスラティスの検討、軌道歪みとその補正、挿入光源の電子ビームに対する影響、収束用6極磁場による非線形効果の検討、誤差磁場によるベータトロン振動結合の補正、各種の不安定性など広範な問題について検討

した。

建設が始まる1990年までのR&Dで、8 GeV-SR光源を実現する上で鍵となる技術開発を行ったが、その多くは建設開始後も引き続いて行われた。磁石グループは、偏向電磁石・4極電磁石・6極電磁石・入射用パルス電磁石のプロトタイプと電源を製作し磁場測定を行った後、磁場分布とその精度、安定度、パルス特性などを検討して実機設計のデータとした。

真空に関しては、超高真空の実現と極めて高い熱負荷対策が8 GeV蓄積リングの最大の問題であった。真空グループは、当初、真空チェンバーや、放射光を遮断するクロッチなど主要部品を試作し、真空特性や耐熱特性を測定した。その後、アルミ合金製真空チェンバーの押し出し法による製作精度と真空特性の測定、チェンバー内の圧力分布の計算、ベキングによる真空チェンバーの変形の評価と測定を行い、また、分布型非蒸発型ゲッター（NEG）ポンプやベローズなどの真空関係部品を試作して、性能試験をしている。とくに、真空チェンバーのベローズ部に付けるRFフィンガーの開発は重要課題であった。

高周波系のR&Dは1987年の加速空洞から始まった。初期には、日下卓也、吉行健と原で研究開発を進めたが、やがて高周波グループが結成され、加速空洞、クライストロン、大電力高周波伝送系、直流電源、タイミングを制御する低レベル高周波回路などのR&Dを進め最終設計を行った。初期のR&Dで、シンクロトロンは5連の空洞、蓄積リングは単セル空洞を用いることとした。単セル空洞は、計



蓄積リング加速空洞
(放射光を発生してエネルギーを失った電子ビームが
この加速空洞を通りエネルギーを補う)

算とモデルによる測定を行って、バンチ結合不安定性を起こす高次モードの共振が少ない、ベル型内面形状の空洞を採用した。大電力高周波による試験を行うため、連続出力1 MWのクライストロンのテストスタンドを160cmサイクロトロンで用いた物理実験棟に設置した。なお、加速空洞の冷却効率を上げるために、空洞を輪切りにして空洞内面近くに冷却水溝を作り、最後に拡散溶接で組み合わせる製作法を開発した。

マシン制御系グループは、播磨キャンパスに来てから本格的なR&Dと全系の設計を開始した。R&DはUNIXワークステーション用GUIビルダーのR&DとVME用オペレーティングシステム(OS-9、LynxOS)のR&Dなどである。これらの成果も取り入れて、高速光ケーブルで連結されたネットワーク制御系が建設された。中央制御系、蓄積リング制御系、入射器制御系、ビームライン制御系を高速光ケーブルで結び、蓄積リング制御系は保守通路に設けられた4カ所のハブ計算機で光ケー

ブルに結ばれた。ハブ計算機には、電源や高周波、真空、ビーム診断などの各種機器の制御用計算機と光ケーブルで接続されたイーサネットポートがあり、それを經由して中央制御室と各機器との間を制御信号や運転情報が伝送される。なお、SPring-8建設時には原研が入射器系に独自の制御系を開発したが、2000年度に加速器の高度化への対応と制御の透明性を確保するため、蓄積リングと同じ制御システムに統一された。

ビーム診断系は真空チェンバーに固定されたボタン型ビーム位置検出器(BPM)80台、入射軌道調整用のスクリーンモニター3台、2次元エミッタンスモニター、高精度電流検出器、ポッケルセルを用いた純度測定装置(10^{-11} レベルの不純度まで測定可能)などで構成されている。R&Dでは、ボタンモニターの取り付け法の開発とビーム位置の測定精度の検討などが行われた。

世界最高性能のX線光源は

如何にして実現したか

1990年に建設が始まると、共同チームの業務を施設建設に変え、チームリーダーを置いて建設体制を整えた。加速器建設チームは熊谷がリーダーになって発足し、実機設計とR&Dを並行して行った。熊谷リーダーをはじめとする理研チームは原研が担当した入射器建設にも大きく貢献しているが、ここでは主に理研が建設した蓄積リングについて述べることにする。

SPring-8は、長期にわたって世界最高性能を持つ放射光源になることを目指して建設し

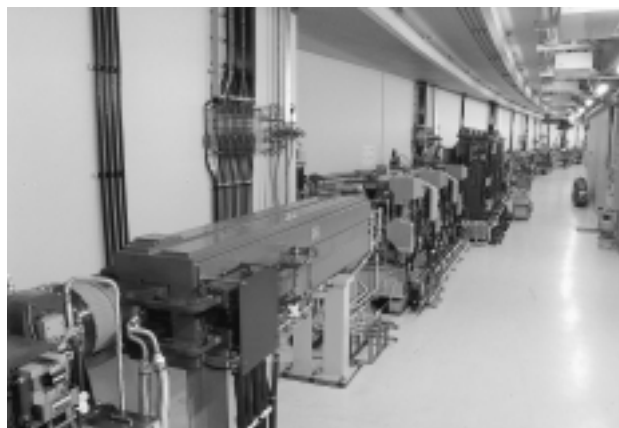
た。そのため、この加速器システム建設の基本的方針は、

- ①広い波長範囲（0.1keV～100keV）で、安定な高輝度放射光が利用できること
 - ②将来、加速器能力の有効活用と利用研究の進展に対応できる拡張性を有すること
- の2つで、これを実現するように、加速器の設計、製作、据付や関連機器の開発、蓄積リング棟の建設及び設備の整備が行われた。

<世界最高輝度の実現>

加速器施設は、高輝度光を発生する8 GeVの低エミッタンス蓄積リングと、これに電子ビームを供給する入射器系（1 GeVの線型加速器と8 GeVのシンクロトロン）で構成されている。蓄積リングは、低エミッタンス電子ビームと多数の挿入型光源の設置を実現するために、チャスマングリーン型磁石配列（C-Gラティス）を採用している。

SPring-8は、垂直方向のエミッタンスが世界で最も低いリングである。これを実現するために、高い精度で製作された4極及び6極集束電磁石全数の磁場分布と磁場中心を数 μm の精度で測定する。次にそのデータを用いて、偏向磁石間に設置する4極及び6極集束電磁石を共通架台上に、それぞれの磁場中心が $\pm 20\mu\text{m}$ の精度で一直線になるように並べる。この場合、磁場中心だけでなく磁場分布の水平・垂直方向も揃っていないと行かない。さらにその架台と偏向磁石をリング（電子の予定軌道）に0.1mmの精度で並べる。このようにして十分高い精度で磁石を並べる方法はSPring-8で考案された。こうして、



蓄積リングの電磁石群
（偏向電磁石や4極電磁石、6極電磁石で電子を閉じ込め
高品質の電子ビームを生み出す）

SPring-8では一周1,436mの蓄積リングを精密機械並みの精度で完成した。この精度が、世界一低いエミッタンスをもつ世界最高輝度のX線光源を実現したのである。

SPring-8のもう1つの特徴は、X線が極めて細く平行であることで、 $0.1\mu\text{m}$ 以下のスポットにして、ナノメートル（ nm ； 10^{-9}m ）サイズの試料を調べることができる。このようなX線を利用するためには、光源（電子ビームの位置）が極めて安定でなければならない。SPring-8では、電磁石電源の安定度を、直流成分と交流成分（リップル）をともに 10^{-5} 以下にし、電磁石のコイルからの熱発生を少なくするとともに電磁石鉄心との間に簡易熱絶縁を入れて電磁石の温度変化を少なくして磁場変動を小さくしている。また、蓄積リングを堅い岩盤上に築いて振動を抑え、ポンプ及び冷凍機等機器への除振機構を設置して機械的振動を大幅に減らした。リング収納部内の温度変動を $\pm 1\text{℃}$ 以内に恒温化し、電力ケーブルなどの発熱の低減を図り、また、

環境変化を受けにくい建物構造にしてわずかな歪みの影響も除去した。このような総合的な対策によって電子ビーム軌道を数 μm 以内まで安定化することに成功している。

電子ビームサイズが変動すると、X線スポットの大きさが変動する。その安定化を図るために加速空洞に起因する不安定性を回避する対策として、高次モードのインピーダンス低減と周波数の分散を図るために、ベル型加速空洞にして冷却水温度を $\pm 0.01^\circ\text{C}$ に安定化した。なお、高次モード周波数はHOM用稼働チューナーの精密制御で行っている。このほか真空機器に起因するビーム不安定性は、機器形状の低インピーダンス化とベロー部への高周波フィンガーの取り付け等の改造で対処した。

蓄積リングに入射・蓄積された電子ビームは真空チェンバー内の気体分子と衝突し、一定の割合で減少していく。電流が $1/e$ になる時間をビーム寿命という。一方、電子ビーム



シンクロトロン出射部
(シンクロトロンで加速した8 GeVの電子ビームを蓄積リングに運ぶビーム輸送系)

が発生する放射光でチェンバーが加熱され、吸着ガスを放出する。SPring-8ではアブソーバーによる不要な放射光の遮断、熱水を用いた真空機器の一般的なベーキング、アルミ合金チェンバーと分布型NEGポンプなどによる超高真空の実現などで150時間を超えるビーム寿命を実現した。

このほか、全ての面で安定なシステムと機器の安定化が図られているが、特長的な例を幾つか挙げると、高周波加速系ではクローバー方式を用いないサイリスタ型クライストロン用直流高圧電源を開発したほか、拡散溶接法による加速空洞製作で高い加速電圧を安定して実現したことなどである。

ビーム診断系のBPMシステムには、リング一周の閉軌道の歪みを測定するCODモードと、周回毎のビームの位置を測定するシングルパスモードの2つの信号処理モードがあり、中央制御室の運転端末でどちらかのモードを選択し使用する。BPMの電気的中心は、当初、共通架台上の両端にある2台の4極電磁石の磁場中心を結んだ光軸に対して $100\mu\text{m}$ 以内の精度で機械的に校正されたが、放射光の高輝度化を求めたことから、電子軌道のより正確で、より再現性の高い測定が不可欠になった。そのため、運転より低いチューンで測定した軌道データから校正する新しい方法を開発し、BPM中心を10から $20\mu\text{m}$ の精度で再校正するとともに、信号処理系に1電極当たり25回/0.25秒の平均化処理過程を組み込みS/N比の改善を図り、ほとんど全てのBPMで、 $1\mu\text{m}$ 以下（以前は数 μm ）の再現性を実現した。

地球本体は月の引力でわずかに伸び縮みして（地球潮汐）、そのため1日に2回、蓄積リングの周長が数10 μ mほど伸び縮みする。日本から数1,000kmも離れたところで起きた地震波が来て、周長が数 μ mの変化をすることもある。周長（L）が約1.5kmの蓄積リングは μ m程度の周長の変化（ ΔL ）も計測する〔 $(\Delta L/L) = 10^{-9}$ 〕超精密機械である。現在、地球潮汐による微小変化は加速高周波の周波数を5分毎に変えて補正している。

入射器系は、蓄積リングへのビーム入射時間の短縮、蓄積リングでの安定なビーム貯蔵、および実質的なビーム寿命の改善と光学素子での熱負荷の一定化を可能とするトップアップ運転ができるように、8 GeVの全エネルギー入射システムとして設計された。最近、トップアップ運転を行い、蓄積電流の変化を99%以内に保つことに成功した。

<長直線部の実現>

SPring-8は、チャスマングリーン型（CG）ラティスの低エミッタリングであるが、長直線部を4カ所に設置するため対称性の低いリングになっている。そこで、まず48対称の標準型CGセルから12セルごとに偏向電磁石2台（1セル）を抜いた、直線セルが4カ所あるphase-1ラティスを設計して運転を開始した。ところが2000年夏には、予想外に早く進んだビーム性能の向上によって、蓄積リングのphase-2への改造が行われた。phase-2ラティスでは、約30mの長直線部の両側を「マッチングセル」に改造し、4極電磁石の配置を換えたうえでその電流も独立に換えられるよ

うにした。これによって、中心エネルギーを持つ電子に対しては、通常のCGセルが連続して繋がっている場合と等価になるようになり、phase-1の場合とほぼ同じ安定性を回復することができた。さらに、運動量分散部の6極電磁石2ファミリーで局所クロマチシティの補正が、無分散部の6極電磁石2ファミリーで共鳴励起の抑制が行えるように、通常セルから切り離され、励磁力が独立に変えられるよう変更した。また、この改造に伴って、ステアリング電磁石36台、スキュー電磁石8台の再配置も行われた。

phase-2の改造では、挿入光源が設置されたのは1箇所、他の3箇所はアルミ製の真空チャンバーのみの自由空間となっている。そのため、リング内の環境磁場の変動、たとえば地磁気や他の機器からの漏れ磁場等から軌道をより安定にさせるためにFe系アモルファス箔（厚さ25 μ m、比透磁率45,000）を真空チャンバーに3重に巻き、これら磁場からの遮蔽を行った。1999年には、赤外線を取り出すためのクロッチの改造（BL43IR）と、阪大との協力協定書に基づいて、8 GeV電子とレーザーのコンプトン後方散乱によるMeV、GeV領域のX線を用いて、原子核およびクォーク核物理の研究を推進するレーザー電子光（LEP）ビームライン（BL33LEP）を設置するための直線部および偏向電磁石部の真空チャンバー等の改造を行った。

<運転開始>

1996年8月に線型加速器の立ち上げ運転を開始し、12月にはシンクロトロンへの輸送ラ



立ち上がった線型加速器（1996年8月）

インの調整まで進んだ。続いてシンクロトロンの立ち上げ調整運転が1996年12月から始められ、翌年3月には蓄積リングへビームを輸送できるようになった。

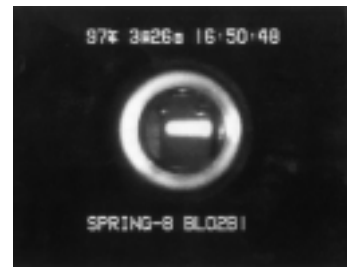
蓄積リングの調整運転は熊谷、大熊春男を中心にワーキンググループを作って1995年から検討がなされ、加速器の問題点を洗い出し、対応策を検討していった。機器は、ほとんど全てパワー試験をしてから設置しており、運転に必要な制御プログラム、ビームの廃棄方法も検討された。単体試験・総合試験を経て、1997年3月に立ち上げ運転を開始した。3月13日からビーム輸送系の調整を開始し、14日には電子ビームの周回が確認され、25日には電子ビームの蓄積に成功し、偏向磁石からの放射光発生を確認した。その後、軌道歪みの補正、RF周波数の微調整、ベータトロンチューンの調整、

off-axis入射による繰り返し入射を行い、真空チェンバーの焼きだし（調整運転）を続けて4月には20mAを達成した。このときの寿命は4時間程度であった。一方、10月の施設供用に向けてビームラインの試験運転も始まった。

ビームラインの研究開発と建設

1986年9月に理研で「放射光の生物への応用」シンポジウムが開かれ、報告書「シンクロトロン放射光の生物学的利用」をまとめている。1987年度から放射光研究が予算化され、翌1988年度から渡部力主任研究員が代表者になって放射光利用開発研究を開始した。大型放射光施設

準備室内に利用系グループを設置し、物性（代表：塩谷



放射光の初発生（上）
コントロールルームでの感動の瞬間（下）（1997年3月）

巨弘副主任研究員)、構造(代表:飯塚哲太郎主任研究員)、分光(代表:粟屋容子副主任研究員)、表面及び応用(代表:青野正和主任研究員)、光学素子(代表:松岡勝主任研究員)のサブグループに分かれて、高輝度X線(30keV以上を想定)の利用計画を策定し、そのための光学素子、検出器、測定装置の開発を進めることになった。

物性サブグループは、KEK-AR放射光施設のコンプトン散乱ビームラインの建設に参加し、山岡人志、櫻井吉晴研究員がモノクロメーター、スペクトロメーターの共同設計と施策の一部を担当した。一方、構造サブグループは多素子検出器の開発製作、微小タンパク質結晶用光学系の開発などに取り組んだ。

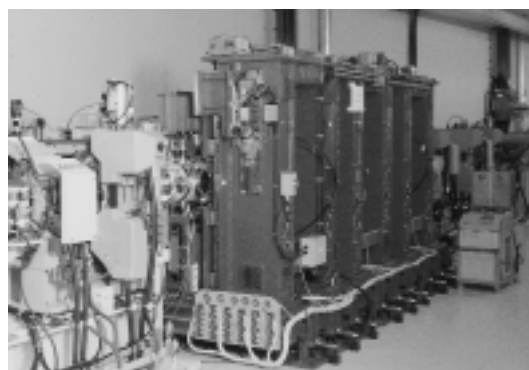
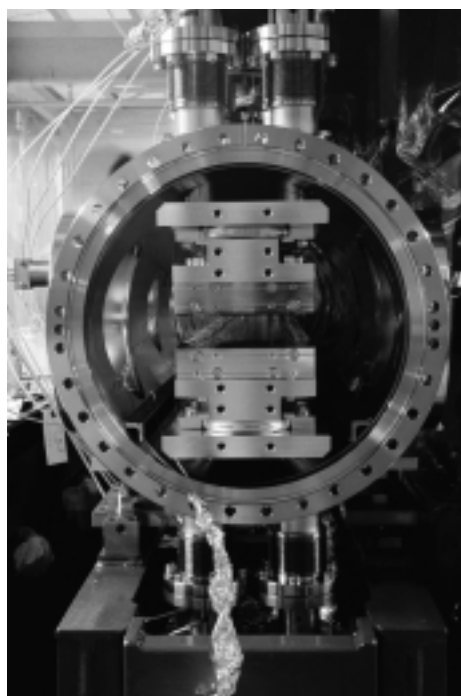
<長尺アンジュレータをデザイン>

1989年、岩崎、松岡主任研究員と、山岡基礎科学特別研究員、長沢久男SR協力研究員が参加して、ビームライン・光学素子の研究開発を開始し、主に光学素子の熱負荷問題を検討した。SPring-8の建設が認められた1990年度から1991年に掛けて、24種の研究分野に対して全国の研究者を対象に系統的な検討会を実施し、その結果をもとにビームライン計画の基礎資料をまとめた。この頃から具体的なビームライン設計の検討が始まり、岩崎を中心として、石川東大工学部助教授を講師として招き、ビームラインに関する勉強会を開始している。

1989年に発足した大型放射光施設計画検討委員会の加速器小委員会で4ヵ所の長直線部を含む8GeVリング案が承認され、北村委員

(当時KEK-PF)がSPring-8用の挿入光源として30m長尺アンジュレータを含む各種のアンジュレータデザインを提案した。

1993年に北村が主任研究員・推進部長に就任。同年石川が客員主任研究員として正式に



永久磁石を規則的に並べて作った磁場で、電子ビームを蛇行させて高い輝度の放射光を作り出す挿入光源(アンジュレータ)の真空封止アンジュレータ(上)を標準型挿入光源と位置づけた(下)

計画に参加して、挿入光源・フロントエンド・ビームライン制御の本格的建設活動が開始された。ビームライングループ（責任者：石川）には、理研の櫻井ら多くの研究員が参加した。

挿入光源グループ（責任者：北村）は、真空封止アンジュレータを標準型挿入光源と位置付けて概念設計を開始した。周期長32mm、周期数140の真空封止アンジュレータの放射パワー密度が500kW/mrad²に達することが判明。この熱負荷に耐える革新的なフロントエンドや分光器設計が必要となった。

ビームラインについては、その構成部（挿入光源、フロントエンド、光学系）の各々について基本戦略を構築し、これに基づいて各構成部の主要要素の開発、標準化・規格化と基礎解析を行うことし、フロントエンドとX線ビーム位置モニターの概念設計を始めた。一方、東大石川研究室では標準型2結晶分光器の概念設計を開始、さらに、アンジュレータ用分光器冷却方法としてピンポスト水冷と回転傾斜配置の組み合わせが提案され、R&Dを開始した。そのほか、偏向電磁石用分光器の広帯域化のために、可変傾斜配置が提案された。また、標準X線ミラー駆動機構の概念設計を開始するとともに、アンジュレータ用、偏向電磁石用X線2結晶分光器を可能な限り共通化を進めた上での詳細設計をJASRI後藤俊治研究員が中心になって実施した。

なお、ビームライン要素技術研究のために、2本の先行ビームライン（BL）を建設することになり、真空封止アンジュレータのタンバク質構造解析BLと多極ウィグラーのコンプト

ン散乱BLが選ばれた。また、2結晶分光器のプロトタイプをアンジュレータ用と偏向電磁石用を各1台建設することになった。

<光源戦略の再設定>

ビームライン要素技術研究とビームライン概念設計の進行に合わせて、SPring-8の光源戦略の再設定を行った。新しい戦略は、SPring-8に設置すべき挿入光源は原則としてアンジュレータとし、例外としてウィグラーを導入するのは、白色X線あるいは100keV以上の超高エネルギーが必要なビームラインの場合とした。

1993年9月に共同利用BL計画趣意書の募集を開始、11月に締め切ったが27件の応募があった。これらの提案は「ビームライン検討委員会」で審査され、4本を直ちに建設整備することになった。なお、残りの6本は1995年6月に答申されている。

1994年度から理研で基礎科学研究の一環として放射光研究が発足、利用系研究開発と特定利用BL（理研BL）開発研究が開始された。前者では、先行BLを設計・製作するとともに、挿入光源開発と基幹チャンネル部の設計、光学系開発を行い、後者で構造生物学BLを建設することになった。先行BLの建設予算が理研のみでなく原研にも1本分が認められたが、理研・原研の事務の努力によって一体的に執行することが可能となった。挿入光源、フロントエンドを先行させ、輸送チャンネル、光学系、実験ステーション機器は1995年以降の予算で対応した。この頃、石川ビームライングループ責任者がX線BLの標準構成案を提案



アンジュレータが活躍する
タンパク質構造解析用ビームライン (45XU)

し、ほとんどの利用者からの要求は、この標準構成のX線BLで満足されることが明らかになった。

1994年にタンパク質構造解析用理研BL (45XU) のための垂直アンジュレータの開発を開始した。また、この年に田中隆次が高度技術研究生 (理研、現JRA制度) として参加し、アンジュレータ全般と「8の字」アンジュレータの開発を担当した。なお、この仕事によって田中は日本放射光学会若手奨励賞を受賞した。なお、この年初めて開かれた3極ワークショップ (ESRF) において、SPring-8の真空封止アンジュレータ構想がリスク大としてESRFの批判的となったが、ESRFは後に真空封止型アンジュレータの開発を始めている。

1994年から1995年にかけて、ビームラインの放射線遮蔽が原研・浅野研究員を中心に検討され、それに基づく放射線遮蔽ハッチ設計が山岡研究員を中心に進められた。同じ頃、ビームラインのインターロックシステムに関する検討も進んだ。

< 2本立てとなる >

1995年7月、石川客員主任研究員がマイクロ波物理研究室主任研究員に就任した。この年から理研の放射光研究は、理研BLの建設 (代表：植木) と構造生物学研究 (代表：岩崎) の2本立てになった。

1995年6月答申の6本を含め、全部で10本の共用BLの詳細設計作業が開始された。具体的には、軟X線2本、超高エネルギー1本のビームラインはユーザーグループが設計を担当し、共同チームが残り7本を標準X線BLとして設計することになった。標準X線BLの詳細設計は、JASRIとの共同研究で全体構成を行い、標準真空排気ユニット、光学系以外のビームライン要素類、放射線シールド、制御系をそれぞれが分担して全ビームラインの詳細設計を完了した。ここで確立されたビームライン標準コンポーネントは、建設が始まった理研BLでも活用されたほか、原研BL、兵庫県BLでもそのままの形で利用された。また、その後補正予算などで短期間に大量のビームラインを建設が行った際にも、この標準化は大きな効果を発揮した。

実験ステーション機器の建設作業は、理研・原研の研究員を責任者としてユーザーグループが担当したが、機器駆動に関してはJASRI研究員を中心に共同チームで5相ステップモーターを基本とする標準仕様を作成し、接続ケーブル仕様も規格化した。これによって、機器をビームライン間で移動して利用する場合の互換性が確保され、様々な組み合わせを簡便に行うことが可能になった。

一方、計測機器に関しては、石川らによっ

て、ユーザーグループから希望が出た多種多様な計測機器の整理統合作業が行われ、同一機能の計測機器を単一機種にまとめることによって、その後のメンテナンス負荷を軽減する方向での仕様検討が進められた。

1995年には、フロントエンド開発も進め、桜井研究員とともに強力な放射光を制御するための冷却系設計を担当、熱伝達特性を飛躍的に向上させるために冷却水路にメッシュあるいはワイヤーコイルを挿入したアブソーバーやスリットの開発を開始した。また、鈴木基寛基礎科学特別研究員が大型放射光推進部に参加し、X線領域での偏光変調分光法の開発を石川主任研究員と共に始めた。鈴木特研究生はその後JASRIに移籍し、磁気円2色性(MCD)計測装置の建設に貢献し、BL39XUに世界最高性能のX線MCD計測装置を設置した。この年の9月、利用系のフロントエンド、アンジュレータ、制御チームが播磨へ移動した。

1995年1月、阪神・淡路大震災の翌日から開催された第4回国際アドバイザー委員会において、北村がSPring-8アンジュレータの基本戦略を発表した。ここで「真空封止アンジュレータ」が委員のヘイスティング(当時BNL、現SLAC)、ミュールハウプト(当時ESRF、後にSLS)に強い感銘を与え、ミニポールアンジュレータをBNLの放射光施設に設置するきっかけになった。同年、挿入光源グループを増強し、新たに可変偏光アンジュレータとミニギャップアンジュレータの開発を行った。

理研構造生物BLでは、X線トリクロメータ

の開発が進められた。このトリクロメータは3組のダイヤモンド結晶を使って、試料上に異なる3波長のX線を導くものであり、異常散乱を用いたタンパク結晶構造解析を迅速かつ高精度で行うユニークな装置となった。X線円偏光光学素子やトリクロメータには高品位ダイヤモンド単結晶が不可欠であり、完全性の高い人工ダイヤモンド単結晶の育成を住友電工との共同開発研究として進めた。1994年頃は4mm角の大きさだった高品位ダイヤモンド単結晶は、この共同研究の結果2002年には10mm角まで格子欠陥の少ないものが育成可能になった。ダイヤモンドはその良好な熱的性質のため、分光結晶として以前から注目されていたが、大型完全結晶の育成によって、高分解能を目指したX線ビームラインの分光結晶としても利用可能になってきた。

こうして共用開始時に運転可能な10本のビームラインの発注は1995年に終え、翌96年に利用系メンバーのほぼ全員が和光から播磨に移動し、また原研メンバーも東海から播磨に移動して、ようやく共同チームの播磨集結が完了した。

<ESRFから共同研究提案>

この頃すでに運転を開始していたESRFから、真空封止アンジュレータ開発について共同研究の提案があり、ESRFにおいてSPring-8用真空封止アンジュレータの試運転を実施した。この結果によりイメージ電流発熱への対策を確立した。また、BNLに周期長11mmの真空封止ミニギャップアンジュレータを設置し定常運転に成功した。この成功はその後

Swiss Light Source等の中規模放射光施設コンセプトの引き金となった。

1996年は、前年度発注物品の詳細に関する受注業者との打合せに明け暮れたが、一方で蓄積リング棟内でのビームライン敷設に向けての測量作業が始められ、夏休み明けから蓄積リング棟内で放射線シールドハッチの建設工事が始まった。また、秋以降ビームラインコンポーネントが続々と搬入され、それらの動作確認作業に追われる日々が続いた。

1996年は、次年度から始まる運転に不可欠な放射線使用施設許可申請の準備にも追われていた。ビームライン関係では最終的にアンジュレータBL 1本、偏向電磁石BL 1本を、最初から動かすビームラインと設定し、加速器運転開始時までにはこの2本のビームラインを完成させること、その後1997年秋の共用開始までに変更申請によってビームライン数を増やすことが決定された。

12月には、蓄積リング試運転開始に先立って真空封止アンジュレータ計4台をリングに設置した。内訳はBL09XU（メスバウアー）、BL41XU（タンパク質構造解析）、BL45XU（タンパク質構造解析、理研）、BL47XU（R&D）である。なお、電子ビーム閉軌道変位によって強力なアンジュレータ放射光が加速器真空系等を熔融する可能性が指摘され、アンジュレータに付属したビーム位置モニターを利用したインターロックシステムを開発した。

1997年2月の放射線使用施設使用前検査に向けて、アンジュレータ（BL47XU）、偏向電磁石（BL02B1）の2本のビームラインで、

設置作業、通線作業、インターロック試験作業を実施。特にアンジュレータBLの設置は共同チーム利用系メンバーで行われ、その後のビームライン設置工事仕様書作成の基礎となった。使用前検査が無事終了した後、6月の使用時検査に向けて加速器試験調整運転を実施した。3月に蓄積リングに電子ビームが蓄積されたが、同時に偏向電磁石BL（BL02B1）フロントエンド部で放射光を確認した。このビームラインでは、6月の使用時検査に向けての光学系調整を開始したが、1週間程度ですべてがレディーの状態となった。一方アンジュレータBLでは、4～5月にかけて、アンジュレータ調整作業を実施し、アンジュレータ・パラメータ変更時に蓄積リングの他の場所でビーム変動が無いことを確認した。また、蓄積電流20mAまでで、アブソーバー、スリット等のフロントエンド機器やピンポスト冷却分光結晶の熱負荷試験を実施し、100mAまで、熱負荷的には問題が発生しないことを確認した。



基幹チャンネル部のビームライン
（電子ビームの通り道で、左奥から右手前に周回する）

6月の使用時検査で2本のビームラインでの使用許可が下りる。引き続き、残る8本のビームライン使用のための変更許可申請を行い、突貫工事でこれらを完成させて、7月には全部で7本のビームラインの試験調整運転を始めた。

1997年8月には、姫路で放射光関連では最大の国際会議である「1997年放射光装置国際会議、SRI97」が開催されたが、そこでSPring-8はホストを務め、300名を超す見学者を迎えた。また、夏の運転停止期間中に、新たな挿入光源を複数台設置し、9月には残った3本のビームライン設置工事を突貫作業で行い、試験調整運転を経て、10月に10本のビームラインで供用を開始した。この時の蓄積電流は定格の1/5の20mAであった。

供用開始後も、ビームライン設置工事は続き、1997年12月に1本が新たに運転を始め、1998年2月には2本の軟X線アンジュレータBLを含む3本が、1998年5月には2本、1998年10月に3本、12月に1本が追加され、1998年末には20本のビームラインが稼働していた。この間98年6月には蓄積電流が70mAに増強された。

一方、供用開始時の10本に続く共用ビームラインの先駆けとして、1997年から1998年の2年計画で中尺偏向電磁石ビームライン建設が開始された。それまでに確立していたビームライン規格化・標準化の精神に則り、中尺・長尺BLでのコンポーネントの規格化作業をJASRIとの共同で進め、医学利用棟に入る偏向電磁石BL (BL20B2) の建設を行った。このビームラインは1999年2月に運転を開始

した。

それまで専ら共用BLの建設に従事してきた理研の物理系でも、SPring-8の最先端能力を引き出すためのビームライン建設を行うべきとの議論があり、将来の長尺化を睨んだアンジュレータBL (BL29XU) の建設に着手した。このビームラインは1998年12月に運転を開始した。

<功を奏した標準化・規格化>

1998年度には当初予算で3本の共用ビームラインの建設が始まったが、数回にわたる補正予算でのビームライン建設が認められ、当初建設時以来の建設ラッシュを迎えた。年度当初の予算では、医学利用のBL20XUが1998年から2000年の3年計画で、また非弾性散乱BL (BL35XU) とハイフラックスBL (BL40XU) が1998年から1999年の2年計画での建設が認められた。その後、夏前の補正予算で、4本の共用偏向電磁石BL (BL02B2、BL04B2、BL28B2、BL40B2) の建設が年度内完成を条件に認められ、同時に理研ビームラインとして30m長直線部を用いたアンジュレータBL (BL19LXU) の建設が1998年から2000年の3年計画で認められた。

また、夏の補正予算では、理研BL (BL29XU) の1km化が1998年から1999年の2年計画で、さらに秋の補正予算では、共用赤外BL (BL43IR) 建設がいわゆる15ヵ月予算で認められた。短期間で、しかも共用運転と並行してのビームライン建設は困難が予想されたが、最初に行った標準化・規格化が功を奏して、全ての建設を予定通り完了するこ

とが可能となった。

1998年度末に完成した4本の共用偏向電磁石BLは、1999年度初めの試験調整を経て、1999年夏前には稼働状態となり、また1999年6月には阪大核物理センターのレーザー電子光BLも完成した。同じく6月には、蓄積電流を定格の100mAとした供用運転が開始され、9月には全部で30本のビームラインによる運転が始まった。それまで、蓄積リングのベータ関数は、アンジュレータとウィグラーとが交互に設置されると想定して最適化されていたが、1999年9月にラティスの変更を行い、全てをアンジュレータに最適化されたベータ関数に変更した。この変更の結果、奇数番と偶数番のビームラインでのアンジュレータの輝度の差はなくなった。

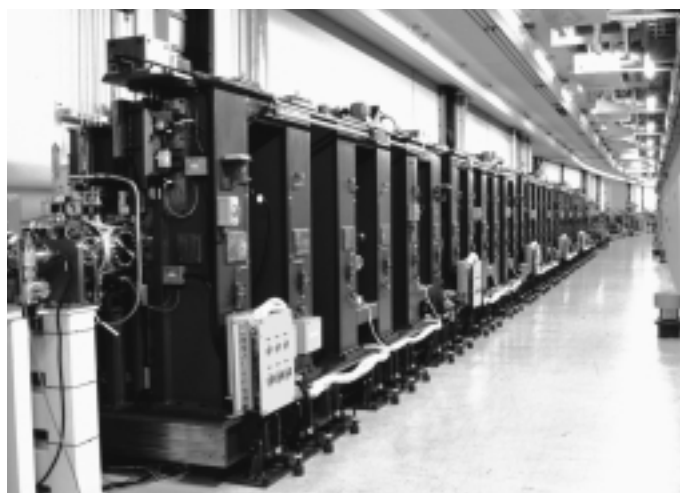
1998年度本予算、補正予算で建設を開始したビームラインは1999年から続々と稼働状態に入り、2000年度末には、37本のビームラインでの運転となった。その後、理研はタンパク質構造解析用として偏向磁石BL2本を建設し、また、軟X線BLも建設しており、理研BLは全部で7本になった。世界最初の「8の字アンジュレータ」がBL27SU、BL24XUに設置された。また、2000年にスイス・ポール・シェラー研究所（PSI）との研究協力協定に基づいてSPring-8製真空封止型アンジュレータをSwiss Light Sourceに設置、タンパク質構造解析ビームラインの光源として多くの重要成果を産み出している。

同年、韓国PLSとの研究協力協定に基づき同施設の線型加速器を利用してアンジュレータ用永久磁石の減磁試験を実施、真空封止アンジュレータの磁石が通常型アンジュレータの磁石と比較して極めて強い耐放射線減磁特性を有していることを確認した。なお、同協定にしたがって2004年にはSPring-8製のリボルバー型真空封止アンジュレータをPLSに設置した。

<世界最高性能のX線を提供>

光源では、真空封止アンジュレータを標準光源として用いて（26本の挿入光源ビームラインのうち20本）世界の追随を許さない高品質の高輝度X線を供給しているが、とくに、27mの長尺アンジュレータを定常的に稼働させて世界最高輝度のX線を提供している。

垂直アンジュレータは垂直偏光X線を供給し、「8の字」アンジュレータ（X線用、軟X線用各1台）は放射光パワーが抑制されてい



27メートルの真空封止長尺アンジュレータを設置



世界に唯一の1kmの長尺ビームライン
実験施設を完成（1999年12月）

るので光学機器の損傷を低減できるとともに水平、垂直両偏光の利用に供されている。また、真空封止ヘリカルアンジュレータを設置。高調波が抑制された単色X線を発生するので、分光器を持たないビームライン（小角散乱、ハイフラックスビームライン）用に最適である。さらに、電子軌道を制御することによって左右円偏光のスイッチング（10Hz）を行うタンデム型のヘリカルアンジュレータを開発、ビーム位置変動が小さいので定常的に運転されている。なお、世界最大の放射パワー（標準型アンジュレータ：Total 13kW、Density 550kW/mrad²、長尺：35kW、2MW/mrad²）を制御できるフロントエンドも開発した。

世界最高の光源からの光を処理するビームライン光学系にも、様々な世界最高技術が駆使されている。SPring-8にしか存在しない、1kmビームラインでの硬X線のコヒーレンス度や、27mアンジュレータビームラインでの光束密度の高さは、世界中の研究者を驚嘆させ、様々な利用希望提案が世界各地から舞い込んできている。

そのような特殊なものでもなく、SPring-8を利用するために来訪した海外研究者が、

欧米施設と比較して一様に指摘することは、ビームの安定性と光学機器の再現性の高さである。これらは、加速器運転とビームライン機器の両方が高度に安定化されてはじめて達成されるものであり、SPring-8での放射光供給システムとしての性能の高さを物語っている。

全体システムとしての安定化のためには、加速器グループとビームライングループの密接な協力が必要であり、この点は欧米と比較して格段に進んでいると評価されている。1kmビームラインは、単に利用実験に用いられるのみでなく、世界最高の加速器モニターにもなっている。1km先での利用者に、動かない放射光を供給するためには、加速器・光学系とも尋常でない安定性を要求され、結果として、通常の50m先にある実験装置には、驚くほど安定なビームが供給されることになる。

なお、2005年9月現在で、SPring-8のビームラインは建設中のものを含めて48本である。

用地造成と建物工事

1989年6月、播磨科学公園都市にSPring-8の建設が決まると、すぐに施設配置計画と用地造成についての検討が始まった。140ヘクタールの敷地は、強固な岩盤の「切り土」部分とその土砂で埋め立てた「盛り土」部分があり、加速器は全て「切り土」部分に建設するように配置した。当初、三原栗山も切り崩す予定であったが、経費節減のため残すことになり、蓄積リングは三原栗山を取り巻いて



切り崩す予定の三原栗山を温存し、
山の周囲に建設した蓄積リング

建設することになった。このためリングの内側に入射器を建設することができなかった。現地は強固な岩盤であり、加速器施設の設置には非常に有利であったが、反面、造成工事の観点からは問題であった。当時、造成工事を責任者であった兵庫県企業庁の竹元忠嗣課長は「加速器施設を設置する下部岩盤を壊さずに、上部の岩盤を掘削しやすいよう破壊するのは相当高い技術が必要であった。また、大量のダイナマイトを使わなくてはならなかった」と難工事を回顧している。

用地造成は、共同チームが1989年9月に作成した配置図をもとに、1990年2月に開始された。なお、播磨科学公園都市は山崎断層に近いので、常微振動測定、ボーリング調査、標準貫入試験などの特別な地盤調査も実施した。さらに長期間の気象状況も調べ、問題とされた降雨、降雪はさほど問題にならないこともわかった。なお、蓄積リング棟は切り出した岩盤上に直接建てるので、2ヵ所ある地盤の弱い破碎帯は強固剤で補強した。

建物及び施設整備も原研、理研が分担して行った。理研は蓄積リング棟の建設を担当、

原研が入射器棟、中央管理棟などと、ユーティリティー、排水処理施設などを担当した。兵庫県の造成工事は1991年半ばに終了し、同年11月、理研が蓄積リング棟の建設を始めるとともに、理研・原研共催の着工記念行事が行われた。

建物の設計については、施設グループが詳細な図面をCADで仕上げ、加速器グループとの密な打合せの結果を反映させながら修正して行った。蓄積リング棟は三原栗山を囲む円形の建物で、外側から実験ホール、蓄積リング収納部、保守通路が同心円状になっていて、床はそれぞれ分離され、振動や変形が相互に影響し合わないようにしてある。リング収納部は内側、外側の壁と天井が厚いコンクリートの遮蔽壁になっている。内部の温度を年間を通して1度C以内で一定に保つため、空調機の冷気が直接加速器に当たらないように配慮し、温度分布を計算しながら噴出し口の位置を決めた。

最終パラメータがほぼ確定した段階で「日建設計」、「開発設計」と共同チームが、設計の基本条件、配置計画、道路、排水、地盤などの概念設計を纏めた設計検討書を出した。これに基づいて蓄積リングに関する実施設計を円滑に行うため、1990年10月タスクフォースチームが設置された。このチームは、実施設計に必要な全ての前提条件を設定し、「日建設計」との協議事項を検討処理し、設計会社の作成した図面をチェックして決定した事項をチーム内に周知徹底させるのが任務である。このチームは実施設計が終了する1992年4月まで活動した。

理研が担当した共用施設の竣工は、蓄積リング棟第Ⅰ期分工事が1992年12月、シンクロトロン・蓄積リングビームトランスポート部が1993年3月、蓄積リング棟第Ⅱ期分工事が1994年3月、蓄積リング棟第Ⅲ期分工事が1995年4月、蓄積リング棟第Ⅳ期分工事が1995年9月であり、実験ホールや実験準備室

等残部も同時期に竣工している。RI実験棟は1996年12月に実施する。

さらに理研は、医学利用実験施設（1997年7月竣工）、実験動物維持施設（1999年11月竣工）、利用実験施設（2000年2月竣工）、蓄積リング棟付属棟（同年12月竣工）の各共用施設も担当し完成させていった。

第4節 供用開始とその成果

供用開始へ

1997年（平成9年）3月、蓄積リングに電子ビームの蓄積に成功し、10月6日に原研、理研、JASRIの3者による共催で記念式典を行い、待ちに待っていたSPring-8の供用が開始された。この供用開始に先立って、同年2月に第1回利用研究課題として134件を選定している。その後、第2回利用研究課題では229件を選定し、以後、共用ビームラインの増加（2004年2月現在、共用ビームラインは25本が稼働）とともに利用研究課題数も増加し、利用研究課題数は年間約1,200件、利用者

数は年間約7,000名（第11回、第12回の利用期間：2003年2月～2004年2月）にも達し、利用機関も大学（国公立、私立）、国立研究機関、公益法人、特殊法人、民間、海外大学・研究機関など多くの機関を数えるほどに利用されている。

一方、特定の機関が自らの研究活動等のために専用のビームラインを設置している。現在（2004年2月）阪大（蛋白質研究所、核物理研究センター）、物質・材料研究機構（旧無機材質研究所）、兵庫県、産業界（電機、電子メーカー）、創薬産業および台湾放射光研究センターが設置した合計11本のビームラインが稼働し、利用研究課題数が年間約320件、利用者数年間約2,600名（第11回、第12回の利用期間：2003年2月～2004年2月）となっている。なお、利用者数には理研および原研の研究者は含まれていない。



SPring-8供用開始記念式典を開催（1997年10月）

X線源の100億倍の輝度により多くの成果もたらす

SPring-8は、8 GeVの電子加速器による世

界最高の輝度と、赤外光から高エネルギーX線までの広いエネルギー領域の放射光およびエネルギーが1～3 GeVのX線（レーザー電子光）を提供する最も高性能の放射光施設であり、物理学、地球科学、化学、生物学の基礎科学から、電子工学、材料工学、生命科学、環境科学など幅広い科学技術分野の研究開発において、重要な役割を果たしてきている。さらに、産業界の利用も進んでおり、産業利用の成果の中には、すでにSPring-8の利用により技術的なブレークスルーが行われたものもあり、また、犯罪捜査あるいは刑事事件の事実関係の解明にも使われ、社会的な貢献もされている。

SPring-8の研究成果は主に学術雑誌に発表されている。供用開始から2003年末までの約6年間に発表された学術論文は、JASRIに登録されたものが1,487編で、このほか国際会議のプロシーディングスに450編余が発表されている。SPring-8の研究成果の大きな特徴はその質の高さにあり、多くの論文が関係する分野の評価の高い学術誌に発表されている。理研北村主任研究員の集計（2003年6月）によると、2002年に発表された論文数（登録済）が351編で、評価の高い上位12誌に発表した論文は49編である。この数をKEK-PFと比較すると、年間発表論文数はほぼ同数であるが、上位12誌に発表された論文数は約3倍になっている。

SPring-8の特徴は、その放射光の輝度が従来のX線源に比べて100億倍に達するとともに、高いビーム安定性と平行性を兼ね備えているほか、偏光特性、パルス特性や空間コヒ



第1回SPring-8シンポジウムを開催（1998年3月）

ーレンスなど放射光施設として極めて優れた性能を有していることである。この特徴と優位性を生かして世界初の利用研究が実施されてきており、国際的にも評価の高い研究成果が数多く得られている。

以下に、供用開始から約7年間において、共用ビームラインと専用ビームラインおよび原研ビームラインを利用して得られた主な研究成果を挙げる。なお、理研ビームラインによる成果は別に述べている。

<物質・材料科学>

マテリアルサイエンスの分野では、結晶構造と物性との関連を明らかにすることが、物質の機能を解明して新規物質の探査とその実用化に極めて有効である。物質の結晶構造解析の主な手法はX線回折と小角散乱であり、局所構造はX線吸収分光で微細構造測定(XAFS)である。

名大坂田誠教授グループは、SPring-8放射光の特徴である高エネルギー、高輝度および高い平行性を生かして、0.1mg以下という極微量の粉末結晶試料について結晶構造だけで

なく電子分布も迅速に高精度で決定できる精密構造決定法を開発した。この方法はMEM/Rietveld法と呼ばれ、専用の粉末結晶構造解析ビームライン (BL02B2) では、完成後4年余りで140編の論文が発表された。この方法によって原子、分子を内包したフラーレン (篠原ら: Nature 23 Nov. 2000) や超伝導体の原子配列と電子分布が明らかになり、これらの物質が示す機能を解明することに可能になった。最近、大阪女子大久保田佳基らは多孔性配位高分子の吸着水素分子の直接観測に世界で初めて成功し、X線回折で水素位置の決定ができることを実証して水素吸蔵物質の研究を可能にした。この成果はAngewandte Chemie International Edition誌に発表されその表紙を飾った。

高エネルギーX線回折ビームライン (BL04 B2) は非晶質物質の構造回折で優れた成果を上げている。最近、原研、東京理科大、JASRI、米国コンテナレスリサーチ社、アルゴン国立研のグループは、コンテナレス法によって浮上-融解-急冷させたかんらん石 (フォルステライト Mg_2SiO_4) が従来の常識を破るガラス構造をしていることを発見した (Science 12 March 2004)。

XAFSでは、吸収スペクトルの吸収端近傍にある鋭い吸収ピーク構造 (XANESという) と、高エネルギー側にある弱い振動構造 (EXAFSという) を測定する。前者は電子状態を反映し、後者は隣接原子との距離など局所構造の情報を与える。原研の西畑保雄らはダイハツ工業の田中裕久の開発したインテリジェント触媒について酸化フェーズと還元フ

ェーズでEXAFS測定を行い、その機能の全貌を明らかにした (Nature 11 July 2002)。一方、豊田中央研究所は、リチウム2次電池正極の充電時と放電時におけるXAFS測定により両者の局所構造の違いを解析し、正極材料の耐久性向上の指針を得て改良に成功した。

SPring-8では高温高压下の物質研究が活発に行われている。原研の片山芳則研究員らはX線回折測定による構造解析を行い、液体リンが1,000°C、1万気圧付近で1次相転移を起こすことを発見した (Nature 13 January 2000)。液体に1次相転移が存在することを発見した最初の実験である。最近この1次層転移を決定付ける実験的証拠として、新たにX線吸収測定に成功した (Science 29 October 2004)。

原子核は外部からのX線を共鳴的に吸収して励起状態へ遷移し、X線を放出して基底状態へ戻る (共鳴散乱)。SPring-8では、広い波長範囲の高輝度X線を用いて世界で最も先進的な研究が行われている。核共鳴散乱を用いた時間領域メスバウアー分光では、高压下の測定やストロボ検出法が開発された。また、共鳴吸収されるX線の波長幅が極端に狭いことを利用して、原子核の反跳で物質中の振動が励起される非弾性散乱を計測し、特定元素の振動モード解析や局所フォノン状態密度測定など、世界をリードする研究が行われている。

阪大菅滋正教授らは、220~2000eVの軟X線を用いて (BL25XU)、高分解能電子スペクトル測定を世界で初めて行い、高分解能軟X線光電子分光による固体のバルク電子状態を解

明し (Nature 27 January 2000)、電子構造研究に新展開をもたらした。

<ナノテクノロジー>

ナノマテリアルの構造物性研究にもBL02B2が用いられている。東北大岩佐義宏教授グループは、カーボンナノチューブの内側に有機分子を挿入して、カーボンナノチューブの電気伝導性を制御することができることを実証した (Nature Materials October 2003)。なお、この結晶モデルは表紙に掲載されている。

SPring-8では、X線ビームの高い平行性を利用してマイクロ/ナノビームにする技術が進歩し、今日では40nmのビームスポットが実現している。兵庫県立大松井純爾教授はNECとの共同研究で、X線ビームの高い平行性を利用して世界最高レベルの高分解能マイクロビームX線回折法を開発し、 $1.7\mu\text{m}$ の微小領域に選択成長された化合物半導体の精密な格子定数測定に成功した。これにより波長分割多重光通信に用いる光デバイスの微細構造の半導体組成を従来に比べて2桁程度高い精度で決定することができ、素子の発光効率を約40%向上させることに成功した。一方、ナノメートル薄膜の積層構造解析にも用いられ、巨大磁気抵抗効果 (GMR) を利用した磁気記録読取素子について、その7層磁性薄膜の精密構造解析を行った (富士通研究所)。

表面界面構造解析ビームライン (BL13XU) では、結晶表面上のナノ構造解析を開始した。原子面が数枚の平面形状の超薄膜や幅が数〜数10nmで高さが数枚の原子面相当のナノワ

イヤなどナノスケール構造体の構造解析が行われている。

<地球科学>

地球の内部は、地殻の下410kmの深さまでの上部マントル、その下660km (24万気圧) までの遷移層、さらにその下2,700km (115万気圧) の深さまでの下部マントルと、その下にある起伏に富んだ不均質な厚さ200kmのD”層、及び深さ5,100km付近までの外核と中心部の内核に分かれている。SPring-8のX線を用いて最初に地球内部の構造解明を行ったのは愛媛大入船徹男教授らで、遷移層と下部マントルの境界付近の鉱物である Mg_2SiO_4 の結晶構造を、大型多重アンビル型高温高压装置 (通称SPEED-1500) を用い、圧力 (20~23.5万気圧) と温度 (1,000~2,000度) を変えて測定した。

この研究では偏向磁石からの白色X線を用いており、測定角度を一定にして回折X線のエネルギーを測定して、 Mg_2SiO_4 がスピネル型から MgSiO_3 ペロブスカイトと岩塩型の MgO に構造相転移する様子を解明した (Science 13 March 1998)。この実験では回折X線のエネルギーが40keVから110keVにわたっており、SPring-8でのみ可能な実験である。

愛媛大、東工大、海洋科学技術研究機構、名大のグループは、代表的なマントル構成物質マグネサイト (MgCO_3) の結晶構造が、下部マントル内の広い範囲で安定であるがD”近辺で構造相転移を起こすことを見だし、炭素の地球規模での大循環に関するモデルを提案した (Nature ; 1 January 2004)。

その後、東工大**広瀬敬助**教授のグループは、レーザー加熱ダイヤモンドアンビル型高压発生装置を用いてMgSiO₃の結晶構造解析を行い、D”層が「MgSiO₃ポストプロブスカイト」という新発見の鉱物であることを明らかにした。この結果はScience 7 May 2004に発表され、結晶構造モデルが表紙を飾っている。なお、理研の**戎崎**計算宇宙物理研究室（**戎崎俊一**主任研究員）の**飯高敏晃**先任研究員は、この構造解析の結果を用いて第一原理電子状態計算法で「MgSiO₃ポストプロブスカイト」の弾性テンソルを計算し、地震波の伝播特性を初めて明らかにした（Nature 22 July 2004）。

<生命科学>

すでに述べたように、SPring-8建設は予定を2年近く早めて1997年3月に電子ビームの蓄積に成功し、1997年10月から供用を開始した。供用開始までに建設したビームライン（BL）は共用BLが10本、理研BL、原研BLが各3本である。このうちタンパク質結晶構造解析用には共用BLが1本（BL41XU）、理研BLが2本（BL44B2、BL45XU）である。1997年にはタンパク質構造解析で世界的な競争が始まっており、SPring-8は共用開始後すぐにその競争に参加して重要な役割を果たしてきた。

SPring-8の特長は、極めて指向性がよく明るいX線を用いることにより、①従来、タンパク質の構造解析には数100mm程度の大きさの結晶が必要であったものを、SPring-8では厚さが10mm超薄結晶でも迅速な構造解析を

可能にし、結晶化の困難なタンパク質の構造解析に大きく貢献するとともに、②分子量数100万程度のタンパク質結晶の構造解析を可能とし、チトクロームc酸化酵素のような巨大複合体蛋白質やウシ・ロドプシンのような膜タンパク質の構造・機能の解明に貢献し、また、③最先端の高速X線測定技術と極めて単色光に近い良質のX線を利用して、タンパク質の機能に合わせたダイナミカルな結晶構造変化の測定や、迅速に高精度の解析データを得ることを可能にしたことである。そのため優れた成果が輩出し、2003年末までに査読付きの学術誌に発表されたJASRIへの登録済み論文数は321編である。

また、生命科学関係の発表論文は評価の高い学術誌に掲載される割合が高く、2003年の例では、発表されたタンパク質構造解析関係の全登録論文数97編（この数字はビームライン毎の論文数の和であり、1種のタンパク質を2本のビームラインで解析した場合は2編と数えられている。従って論文数の実数は約80編のうち過半数（実数では60%）の49編がNature、Science、Cell、Nature Structural Biology、PNAS、JBCの6誌に掲載されている。

具体的には、筋肉の働きを制御する筋小胞体カルシウムイオンポンプタンパク質の立体構造を、ポンプ機構の各段階で明らかにした東大**豊島近**教授グループの研究（Nature 405 647（2000）、Nature 418 605（2002）、Nature 432 361（2004））や、目の網膜で光の受容センサーとして働くG-タンパク質共益受容体であるウシ・ロドプシンの立体構造を

決めた理研宮野雅司主任研究員グループの研究 (Science Aug. 4 2000 : 739)、あるいは酸素呼吸のとき栄養物から引き抜かれてきた水素原子と酸素で水を作る反応 (O₂還元反応) の触媒の役割と、それで得られたエネルギーで水素イオンを輸送する機能を持つチトクローム酸化酵素の立体構造を決定し、その機能を解明した兵庫県立大吉川信也グループの研究 (PNAS December 23 (2003)) などは世界的に評価の高い研究成果の例である。なお、カルシウムポンプ及びウシ・ロドプシンの結晶モデルの写真が論文掲載誌の表紙を飾った。

<原子核・素粒子物理>

SPring-8は原子核・素粒子物理の研究で成果を上げている世界で唯一の放射光施設である。核共鳴散乱ビームラインBL09XUでは核励起を経由したX線を物質研究に利用しているが、ここで得られる100keVまでのX線で共鳴吸収を起こすことが可能な核種は78種である。ここで行われた原子核物理の研究の特筆すべき成果は、KEKの岸本俊二らが行った「電子遷移に伴う核励起 (NEET)」の実験 (Phys. Rev. Lett. 85 (2000) 1831) である。これは、高エネルギーX線を吸収して内殻励起した原子が基底状態へ戻るとき、蛍光X線を放出する代わりにそのエネルギーを受けて原子核が励起する現象を測定した実験で、1970年代に阪大の森田正人教授が理論的に予測したNEETを、世界で初めて実証した研究として高い評価を受けている。

蓄積リングの8 GeV電子ビームにレーザー光を当てると光はコンプトン散乱される。こ

のとき入射方向に戻ってくる光はドップラー効果と相対論的効果で極めて高いエネルギーになる。この光をレーザー電子光 (Laser Electron Photon) と呼ぶが、SPring-8の場合、エネルギーが1~3.5GeVの光子が得られるので、阪大核物理研究センターが専用のビームラインBL33LEPSを建設して研究を進めている。最近、5個のクォークからなる新粒子シータ (Θ^+) を発見して、その確認実験を進めている。

<分光分析の応用>

SPring-8では高エネルギー、高輝度および高い平行性をもつアンジュレタ光を用いて、①マイクロ/ナノビームによる顕微分析法、②高エネルギーX線による不純物重元素分析による物質履歴の解明法、③高フラックスX線による高分解能蛍光X線分析法を開発して、超微量物質の検出限界を大幅に更新するとともに、非破壊分析で微量成分の量と分布、化学状態を精密に決める手法を確立した。この手法は、環境科学、医科学、ナノテクノロジーなど先端科学技術の広い領域の研究開発だけでなく、考古学でも新しい研究手法として取り入れられている。また、世界で初めて犯罪捜査あるいは証拠物件の分析・検証の手段として用いられた。

具体的には、分光分析ビームラインBL37XUのマイクロビームを利用した顕微分光法で、広島大早川慎二郎グループが中心になって開発した。大気中の浮遊物エアロゾルや黄砂に含まれる元素分析、細胞や腎、毛髪など生体組織に蓄積した有害物質の分布とそ

の化学状態分析が行われている。

SPring-8を一躍有名にした「和歌山のカレー事件」では、砒素化合物の同定が重要な手掛かりになった。その分析を依頼された東京理科大の**中井泉**教授は、BL09Wの高エネルギーX線を用いてカレーに含まれた複数の重元素不純物を定量し、その含有量の比較から原料産地や処理過程などの「物質履歴」を調べる手法を開発した。その後、この方法は考古学試料の非破壊分析に用いられ、「古九谷」の分析（中井教授グループ）や卑弥呼の鏡といわれる三角縁神獣鏡の分析（泉屋博古館グループ）も行われた。

超微量物質の検出には高フラックスビームラインBL40XUが用いられた。物質・材料研究機構（物材機構）**桜井健次**グループが開発した高分解能湾曲結晶分光器を使った全反射

蛍光X線分析法を用い、少量の液滴（1万分の1 ml）に超微量成分として含まれる金属の検出と化学種の識別を行い、100億分の1%程度しか含まれない超微量物質、原子数で 10^7 個程度しかない物質の検出に成功した。これは世界新記録である。さらにこの方法を用いて、富士通研究所、東芝、松下電器、住友電工のグループは半導体ウエハーの微量元素の検出を行い、表面 $100\mu\text{m}^2$ あたり銅原子4個、ニッケル原子4個という世界最高の検出感度を達成した。この技術を実際の製造プロセスのウエハー表面の元素分析に適用することで、従来不可能であった極微量元素の検出が可能になり、素子性能の向上や歩留まり向上し、ゲート幅50nmの次世代半導体デバイスの量産技術に対応するめどが見ついた。

第5節 播磨研究所の開所と研究成果

播磨研究所の開所

SPring-8建設時期の理研は上坪理事を本部長とする「大型放射光施設計画推進本部」を設置し、本部長のもとに研究開発グループ、企画・管理グループ、安全管理室、播磨管理事務所を置いて、蓄積リング棟、RI実験棟（ともに1996年12月竣工）やビームラインなど共用施設の建設を着実に進めていった。そして、理研自らが放射光施設を利用する研究を実施するために、1997年10月に播磨研究所（「4研究室」、「管理事務所」、「大型放射光研究開発グループ」で構成）を開所した。構造

生物学研究棟（1997年6月竣工）、生物系特殊実験施設（1999年3月竣工）、長尺（1 km）ビームライン実験施設（同年12月竣工）、物理科学研究棟（2000年6月竣工）、蓄積リング棟付属棟（同年10月竣工）、ハイスループットファクトリー棟（2001年12月竣工）の各研究施設と物理科学BL I（BL29XU）、II（BL19LXU）、III（BL17SU：建設中）、構造生物学BL I（BL45XU）、II（BL44B2）、構造BL I（BL26B1）、II（BL26B2）の7本の専用のビームラインを持ち、9研究室、1開発室、ハイスループットファクトリー及び放



放射光利用研究の拠点、播磨研究所
(上左：生物系特殊実験施設、上中：構造生物学研究棟、上右：長尺ビームライン実験施設、
下左：物理科学研究棟、下中：Spring-8運営の中核を担う中央管理棟、下右：ハイスルーブット棟)

射光連携研究3グループを擁する。

性能向上の挑戦と新分野開拓で世界をリード ＜物理・工学：真空封止アンジュレータ活躍＞

播磨研究所の物理・工学系研究室では、SPring-8の建設時より挿入装置やビームラインの研究開発・建設に携わり最先端技術へと育ててきた。この育成した最先端技術にさらに加速器開発を担当する新竹電子ビーム光学研究室（新竹積主任研究員）を加え、SPring-8の放射光を補強するX線自由電子レーザー（XFEL）へと新たな挑戦を試みている。

計画の当初、理研、原研の間に、材料分野は原研が主に担当し、生物分野は理研が主に担当するという予算的な役割分担あり、それぞれの機関で推進してきた。しかし、世界的に見るとSPring-8固有研究グループによる材

料分野の研究はあまり活発とは言い難い状況であった。そのため、理研においても材料研究を実施するために1研究室と1グループを立ち上げ、原研やJASRIとも協力しつつ推進し始めている。

北村X線超放射研究室（北村主任研究員）では、真空封止アンジュレータを開発し、SPring-8の挿入装置の大部分に設置して高輝度X線を発生させた。さらに、1997年、米国BNL（2.8GeVの中規模放射光施設）に理研が製作した真空封止アンジュレータを取り付け、高輝度X線の発生に成功した。中規模放射光施設でも真空封止アンジュレータを取り付けることにより、高輝度X線が発生できることが知られるや、スイスのポール・シエラー研究所（PSI）から技術導入の要請が来た。協力協定を結び理研の真空封止アンジュレー

タをPSIのスイス・ライト・ソース (SLS) に貸与するや、2年間にNature 2編、Science 4編、Cell 1編、PNAS 3編という成果を生み出してしまった。さらに、韓国とも協力協定を結びPSIと同様の技術協力を行っており、さらに現在建設中であるDIAMONDO (英国)、PETRA (独国)、SOLEIL (仏国)、上海放射光施設 (中国) など中型規模放射光施設もこの真空封止アンジュレータの導入を基本とするなど、大きな影響を与えている。

また、真空封止アンジュレータ技術やさらに最新型アンジュレータ (極低温型真空封止アンジュレータ) に、新竹電子ビーム光学研究室が開発した高性能電子銃 (超高電圧熱カソード型電子銃) の技術を組み合わせ、コンパクトなX線自由電子レーザー (XFEL) へと発展させつつある。石川X線干涉光学研究室 (石川主任研究員) では、SPring-8を特徴づける1,000mBL (BL29XU) と27mアンジュレータBL (BL19XU) を理研専用ビームラインとして1998年度補正予算で着工し、2000年度に完成させた。

1,000mビームラインは、第3世代放射光ビームラインとしては世界最高のX線コヒーレンスを誇るものであり、その完成を待たずに、世界中からコヒーレントX線利用に関する様々なアプローチがあったが、中でもスタンフォード大学と理研との共同研究として進めたコヒーレント散乱顕微鏡開発は、5~10nmの分解能で周期構造を持たない対象が3次元観察できる方法であり、ナノテクノロジーやライフサイエンスに広範な応用を持っている。この方法は、X線自由電子レーザー

によって入射強度が増大すれば原理的にはタンパク1分子での構造解析を可能とするものであり、結晶化が困難なタンパク分子の構造決定に利用できるものとして、世界中のXFEL計画の目玉的存在となっている。

このビームラインでのコヒーレントX線は、一方でX線ミラー製作評価技術の革新をもたらした。理研と阪大との共同研究として進められたナノ集光ミラー開発では、それまでサブ μm レベルに留まっていたX線マイクロビーム形成を一気に数10nmまで縮小し、走査型蛍光X線顕微鏡によるこの分解能での細胞内微量元素マッピングを可能とした。最近では、抗癌剤の細胞内分布計測や、細胞レベルでの薬剤排出機構研究に応用されている。

27mアンジュレータビームラインでは、完成直後に超高分解X線モノクロメーター (エネルギー分解能 8×10^{-9}) を設置し、高次コヒーレンスに関する様々な研究開発を展開している。この超高分解X線モノクロメーターは硬X線光電分光に応用され、埋もれた界面の電子状態計測などに広範に利用されている。

このビームラインでの研究開発は、今後のXFELのコヒーレンス利用の基礎となるものであり、諸外国のXFEL計画で注目されている。特にX線強度干渉計の実現とそれを用いた電子ビームサイズ計測では、SPring-8での蓄積電子ビームサイズが垂直方向で10 μm 以下であることが証明され、世界中に大きな驚愕を与えた。

辛放射光物性研究室 (辛埴主任研究員) と量子材料研究グループは、1999年SPring-8に

Episode

「最先端加速器科学」の神頼み

「SPring-8」の放射光発生と「113番新元素」の発見

1992年、共同チーム結成から4年。駒込での作業が軌道に乗り始め、懇親旅行の話がでた。「放射光」に縁のあるところへと探した中から、だれかが東武東上線の車内広告に『放光院』を見つけて来た。その年の10月、原雅弘副主任研究員ら有志が東上線寄居駅の近くにある同院に出かけた。放光院は、こじんまりした寺であった。ご本尊の勢至菩薩に「SPring-8計画」の成就を祈願しお酒を奉納した。住職に聞いた放光院の名前の由来は忘れたが、観無量寿経に『智慧の光明を以て普く一切を照らし三途を離れて無上力を得しむ』に放光の名があるという。

以来、頂いたお札は、和光の実験装置の上に飾った。智慧の光明で無上力を得たか、その後R&Dをはじめ施設建設は順調に進んだ。1997年3月26日16時50分、世界最高性能のSPring-8は見事に放射光を発生し世界を驚かせた。

また、2004年7月、理研史に輝く快挙が起きた。加速器基盤研究部の森田浩介先任研究員らが、線型加速器（RILAC）を用いて「新元素113番」の合成に成功したのだ。原子番号83のビスマス（Bi）の原子核に原子番号30の亜鉛（Zn）の原子核を合計80日間照射し、113番新元素を1個観測した。新元素の寿命は1万分の3秒とはかなく、その2.5秒後までに4回崩壊して既知の原子ドブニウム（Db）になった。

ところで、森田は実験の成功にむけて、理研茶道部長という地位を利用して茶道部員たちにも神社詣でを頼み、『113円』のお賽銭を献じさせたという。

こうして、「神仏は敬い、頼らず」と知りつつ、播磨のSPring-8も和光のRILACも、事もあろうにわが最先端加速器科学の戦士たちは、終には『神仏』に頼んで計画の成就を叶えたのだ!??

おける材料分野の研究を強化するために設置された。まだ数年しか経っていないが、量子材料研究グループの勝又紘一チームリーダーらが理研物理科学BLⅡ（BL19LXU）を利用し、仏国CNRSのJ・E・ロレンツォ博士との共同で、0.04Kという超低温度におけるX線回折測定に成功した。ある種の磁性体では量子力学的効果により、スピンのペアを作り低温で磁性が消滅するが、この状態に強い磁場をかけると、スピンペアが壊されて磁性が復活する。この時、スピンと結晶格子との結

合により格子が変位することが期待される。入射ビームを制御し、希釈冷凍機を用いることにより、世界記録の0.04Kという超低温度で磁場中でのX線回折測定を行うことができた。その結果、量子磁性体Cu₂（C₅H₁₂N₂）2Cl₄において、磁場中での相転移に伴う格子変形の観測に成功したのである。

辛は現在、主として高分解能光電子分光や軟X線蛍光・ラマン散乱などの実験手段を用いて電子状態の研究を行い、物質の価電子帯（占有状態）の情報を得、さらに強相関物質

のフェルミ面付近の3d、4f成分を観測することによって超伝導や金属絶縁体相転移等のメカニズムを解明することを目指して軟X線BL (BL17SU) を建設している。ヘモグロビンやミオグロビンなどの生物材料における電子状態の研究にも視野を広げており、ビームラインの完成 (2004年末予定) 後が大いに期待される。

<構造生物学：ウシ・ロドプシンの立体構造などを決定相次ぐ>

構造生物学は、タンパク質・核酸やあるいはその複合体、すなわち生体高分子の構造を解きながら生命現象を解明する科学である。大型放射光施設の建設が、コンピューター技術、結晶構造解析技術、遺伝子工学的手法などの発展と相まって構造生物学を最先端のサイエンスに押し上げてきた。

タンパク質の構造は、純粋にアカデミックな分野のみならず、医学、薬学、農学などの応用面においても、きわめて重要な情報を提供しつつある。一方、2003年に解読が終了したヒト全ゲノムの配列をはじめとして、多くの微生物、植物、昆虫、高等動物を含む100以上の全ゲノム配列も報告された。これらのゲノム情報に基づいて、多くのタンパク質の立体構造を網羅的にまた体系的に解明し、ゲノム機能を理解しようとする「構造ゲノム科学」も世界各地の放射光施設で活発化している。

播磨研究所では、このような世界的な動向に先駆けるべく生物系5研究室と1開発室及び2研究グループとハイスループットファク



ウシ・ロドプシンの結晶構造を解明

トリーを設置し強化を図るとともに、理研構造生物学BL (BL44B2、BL45XU) ならびに2003年度に本格稼働を開始した構造ゲノムBL (BL26B1、B2) の計4本のビームラインを利用し、現在までに構造解析されたタンパク質の数は飛躍的に増えつつある。分子量数万程度の可溶性タンパク質はいうに及ばず、各種の膜結合性タンパク質、たとえば哺乳動物のロドプシン、シトクロム酸化酵素や植物の光合成系酸素発生酵素 (PSII) などの結晶構造も多数報告されるようになってきた。

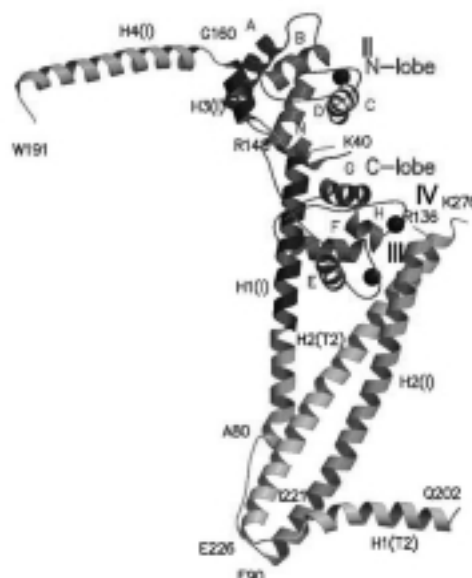
今後、構造生物学、構造ゲノム科学を進展させ次世代の生物学につなげるとともに医薬開発、環境問題などへの応用も視野に入れた多彩な研究を展開していく。

宮野構造生物物理研究室では、生体内エネ

ルギー変換、生体制御、情報伝達に関わる酵素群、また光や小分子に応答する受容体分子の機能発現機構を原子レベルで理解し、生物学的基礎の充実とあわせて、医学、薬学、環境など複合分野への情報提供を目的として研究を進めている。2000年8月4日に発行されたScience誌において、「G-タンパク質共役受容体ウシ・ロドプシンの立体構造を決定」が掲載され、Science誌の表紙を飾ったこの論文は、創薬の基礎となる座標データを提供するもので、そのためか引用回数が2004年6月末に1,000回を越えた。

宮野主任研究員の興味は、膜タンパク質、膜を構成する脂質、脂質から切り出される生理活性物質などにあり、医薬ターゲットであるアラキドン酸カスケードの分解酵素として初めてのロイコトリエンB₄ 12-水酸基酸化酵素/15-ケトプロスタグランジン還元酵素の補酵素、基質複合体の結晶構造解析、および複数の基質を持つ高度高熱菌由来長鎖脂肪酸アシルCoA合成酵素の複数基質との複合体または反応中間体の結晶構造解析にも成功した。

前田構造生物化学研究室（前田雄一郎主任研究員）では、筋収縮に関わるタンパク質、より一般的にはアクチンフィラメントの機能と構造に関する研究を行なっている。アクチンフィラメントは、細胞分裂、神経軸索の伸張など細胞中でさまざまな重要な機能を担っている。前田の目標は、フィラメントを構成するタンパク質の構造を得ること、その構造を基にして、アクチンフィラメントがどのように機能を発揮するか、メカニズムを解明す



トロポニンの結晶構造を解析したリボンモデル
 (筋肉の収縮を調整する分子メカニズムの解明に貢献)

ることである。

具体的には、筋収縮を引き起こすアクチンフィラメントとミオシンの滑り運動、筋収縮のカルシウム調節機構、アクチンの重合・脱重合の平衡が制御される仕組みを研究している。2003年にNature誌に発表されたトロポニンCの構造解析をはじめとして、多くの筋肉タンパク質の構造/機能研究の成果が評価されて、2004年度からERATOのプロジェクトも開始している。前田の研究の特徴はX線結晶構造解析のみならず、多彩な生物物理学的研究手段を用いることにある。

三木生物超分子結晶学研究室（三木邦夫主任研究員）は、SPring-8の放射光を有効に利用し、種々のタンパク質の3次元構造を高精度、高分解能で決定することによって、多くのタンパク質を構成する基本構造を見いだ

し、立体構造が形成される原理を確立するための基盤を構築することを目指している。現在の構造生物学では、生命活動を1つのシステムとして捉え、1つの生命現象に関わるすべてのタンパク質構造に立脚した動的・包括的な解析が注目されている。このような現状に鑑み、いくつかの生命現象のモデルシステムを取り上げ、それらに包含されるタンパク質群の構造解析によって、そのシステムにおける分子機構の理解を目指している。1988年にJ・ダイゼンホーファー、R・フーバー、H・ミヒェルが光合成細菌の光合成反応中心の立体構造解析によりノーベル化学賞（1988年）を受賞したとき、三木はその論文に名を連ねたにもかかわらず受賞しなかったことは有名である。その理由は、ポストクの身分であったことやノーベル賞は同じテーマで3人までという制限によるものと思われる。最近の多くの業績の中で、シアノバクテリア由来のDNA修復酵素（光回復酵素、photolyase）の構造解析が光っている。

<金属タンパク質などの解析にも威力>

城生体金属科学研究室（城宜詞主任研究員）では、X線結晶構造解析法や各種分子分光法等による分子構造解析と共に、分子生物学・生化学的な手法を駆使した機能解析と合わせ、「金属タンパク質・酵素及びその関連生体高分子の構造情報を基にした生理作用の分子レベルでの理解」を目指している。

現在は、1酸化窒素（NO）還元酵素、1原子酵素添加酵素、一連の気体（O₂、CO、NO、C₂H₄）センサータンパク質、ビリベル

ジン還元酵素、光合成の酵素発生系などを研究対象としている。生体にとって有毒な一酸化窒素の無毒化メカニズムを、NO還元酵素（天然ならびにミュータント）の3次元精密構造に基づいて解明した論文は化学分野の研究者に多大の影響を与えた。なお、脳科学研究センター宮脇敦史グループディレクターの開発した各種の蛍光タンパク質について構造解析の共同研究が始まっている。

横山構造分子生物学研究室（横山茂之主任研究員）では、構造生物学、生化学及び分子細胞生物学の研究手法を駆使し、細胞間及び細胞内情報伝達、染色体構築及びDNA複製・組み換え、そして遺伝情報の転写及び翻訳、これらの分子機構の解明を目標として、これらの諸反応に関わるタンパク質の研究を行っている。横山らは、SPRING-8のシンクロトロン放射光を利用し、X線結晶解析による構造生物学研究を展開するとともに、分子量の比較的小さいタンパク質や機能ドメインの構造解析には、核磁気共鳴（NMR）も用いる。高次構造の知見に基づき、部位特異的の変異体の設計を行い、分子認識・活性制御などの分子機構を明らかにしてきた。理研横浜研究所のゲノム科学総合研究センター・タンパク質構造機能研究グループおよび播磨研究所の放射光連携研究・ストラクチュローム研究グループと連携し、世界に通用する研究成果をあげている。とくに遺伝情報の転写、翻訳に関わる酵素・タンパク質についてはインパクトファクターの高い欧文誌Cell、Natureなどに枚挙にいとまがないほど多数の論文を発表してきた。横山の業績は、おそらく現在の世界



タンパク質の大量高速解析事業を可能とする
ハイスループットファクトリー（放射光結晶解析を
使ってタンパク質の立体構造を決める）

の構造生物学研究における最高峰との評価が定着してきた。

研究技術開発室は、SPring-8に設置された構造生物学研究用ビームライン群の維持・運営にあたり、同時に、ビームラインを用いて実施される種々の生体巨大分子構造解析研究（X線結晶構造解析法による静的構造解明、X線小角散乱法による溶液構造解析、白色ラウエ法による動的構造解明、XAFS法による局所構造解析）についてユーザーへの技術支援を行いつつ、構造生物学に係わる諸技術の開発とレベルアップを図っている。同時に、**神谷信夫**室長を中心として数名の研究員が自身のテーマを設定して構造研究も行っている。

最近のヒットは、神谷室長と岡山大理学部**沈健仁**教授（元光合成科学研究室研究員 2002年3月まで理研播磨研究所研究員）との共同研

究による好熱性藍藻の光合成系II膜タンパク質超分子の結晶構造解析に成功したことである。このタンパク質は、マンガン4個を含み、2個の水分子から分子状酸素を生成する酵素であるが、その構造解析は**井上頼直**が主任研究員として主宰した理研の旧太陽エネルギー科学研究グループおよび旧光合成科学研究室の研究の主たる研究目標であり、夢であった。（第II編第5章参照）

上記以外にも、ストラクチュローム連携研究グループでは、**倉光成紀**グループリーダーが中心となって、高度好熱菌 *Thermus thermophilus* HB 8 株を対象として、細胞全体のあらゆる生命現象を生体分子の立体構造や分子機能に基づいて理解しようとする「高度好熱菌丸ごと1匹プロジェクト」に関わっている。この高度好熱菌は、簡便な遺伝子操作系が確立している生物の中で最も高温の環境で生息しており、そのゲノムサイズは約2 Mbpと小さいものの、ヒトを含めたあらゆる生物に共通で基本的な生命現象がこれまでの進化の過程で“濃縮”されているので、全生物の基本的生命現象の解明にはもっとも適した生物である。タンパク質の立体構造解析の有利さを生かしてグループ内部（三木グループ、横山グループ）、ハイスループットファクトリーおよび各研究室の試料供給源としての役割を担うとともに、倉光チームでも「タンパク3000」のための構造解析を遂行している。

そのほか、メンブレンダイナミクス連携研究グループの**藤吉好則**グループディレクターと**宮澤敦夫**チームリーダーは、電子線結晶構造解析法によりアセチルコリン受容体の立体

構造を解析し、このタンパク質のアロステリック効果について興味深い議論をNature誌上で展開している。

一方、横山が代表を務める「タンパク3000プロジェクト」の一翼を担うハイスループットファクトリーでは、菅原光明チームリーダーが多種類のタンパク質を効率よく結晶化するためのロボット開発に成功している。これは、石川X線干渉光学研究室山本雅貴副主任研究員（現研究技術開発室長）が開発した自動化ビームラインと相まって、今後の構造生物学を一変させる可能性を含んでいる。

現在、SPring-8は、理研、原研、JASRIの3機関が協力して運営がなされているが、2005年後半には原研が運営から撤退する状況にあり、今後の運営のあり方については各方面で検討がなされるものと思われる。

しかし、以上で述べたように播磨研究所では、広大な敷地のもとに未来の光といわれるXFELの開発とその利用研究の展開やこれまで築き上げてきたタンパク質等の構造解析技術や先端施設（ハイスループットファクトリーや専用のビームライン）を活用した新しい利用方法の展開など、夢多き未来を追いかけ