

# 第1章 将来計画の概要

## 1.1 放射光科学と次期光源計画

放射光は生物、物理、化学、医学、工学などの広範な分野の研究対象に対して原子・電子レベルでの構造情報を提供する研究ツールとして位置づけられるが、その役割は大きく二つに分けられる。第一の役割はそれまでは他の手法では見ることができなかったものを見えるようにするという先端的な研究・解析・分析（場合によっては加工法）のためのツールとしての役割であり、常にあたらしい可能性を切り開くことが大きな使命となる。そのためにはまさにツールとしての先端的性能向上が必要とされる。第二の役割は、それまでには存在しなかった新しい機能を持つ新物質、新材料について放射光だからこそ得られる原子・電子レベルでの静的・動的構造情報をタイムリーに提供するというものである。放射光が対象とするスモールサイエンスといえる分野ではこのような役割は極めて重要である。当然、対象となる試料も多種多様にわたり利用する解析手法も様々であり、広範な分野の研究者に多様で高度な解析手法を利用し易い状況を実現して提供することが重要となってくる。これまでの放射光分野の歴史をみると、第一の役割としての先端的手法の開発およびその有効性を示す典型的な研究が行われると、徐々に多くの研究者がその手法を利用し始め、ある時間が経つとその手法は第二の役割を果たす研究ツールとしての多くの研究者が試料としての先端性をもつ対象に対して日常的にかつ汎用的に利用しだすということが観察されている。PFにおいても、挿入光源に関する種々の開発（真空封止アンジュレーター、楕円偏光ウィグラーなど）、イメージングプレートのX線回折・散乱実験への適用、MAD (*Multiwavelength Anomalous Dispersion*) 法によるタンパク質構造解析の確立、共鳴磁気散乱の発見、VUV領域での磁気円二色性の検証、異常散乱を利用した軌道秩序研究法の確立など、第一のカテゴリーに属す研究がなされ、それが急速にあるいは徐々に広く多くの研究者に利用されるに至った例を経験している。タンパク質の構造研究はその典型的なものとみることができる。すなわち、MAD法が開発された初期は、特殊な経験と技能をもった限られた研究者が行う英雄的 (*heroic*) 実験といわれたが、構造ゲノム計画のような大型プロジェクトの中では日常的に利用される手法として位置づけられており、放射光はそのために不可欠なものと認識されている。

現在稼動中または建設中の放射光リングは世界で約60に上っている [1] が、各々ある時期には上述の第一の役割を果たし、その後第二の役割に重点を移していった例が多く、またそれ故に物質・生命科学分野にとって不可欠な施設として機能している。偏向電磁石を中心としたいわゆる第2世代の放射光専用リングはそのような色彩が濃い。それと同時に、最先端のツールとしての開発的機能を担う施設の建設・運営の努力も続けられており、挿入光源からの高輝度光源を利用した第3世代リングの時代が現時点ではその役割を果たしつつ第2世代の役割も十分に果たしている。さらに、多くの放射光関連研究者は新たな「光」を求めて、次世代の光源施設の計画・開発に着手しているといえる。

そのような先進的な放射光光源に期待されている特性は、第3世代リングを凌ぐ高輝度、短パルス特性、コヒーレンスである。第2世代から第3世代への更新は、輝度の追及であり、表面界面の研究、マイクロビーム応用研究、特殊条件下の物質構造研究、コヒーレントビームを用いた散乱・イメージングや分光学的応用などの分野が大きく発展した。これらの分野では更に新しい世

界を拓くために第3世代を超えた高輝度光源が望まれている。一方、パルス放射光による時分割手法による生物学・ソフトマテリアル・材料科学などの分野における物質の動的構造研究や、時間領域での分光学的手法による核共鳴散乱や蛍光分光などの研究は、放射光により実質的な研究が開始された分野であり、他の手法では得られないユニークな成果を産み出してきた。更に時間分解能を上げ、結晶中での励起緩和ダイナミクスや超高速化学反応などを追及するための従来の壁を突き抜けるためには、放射光パルスをピコ秒以下の極短パルス化することが不可欠である。しかし放射光加速器技術の立場からは、これらの要求を現在の放射光発生装置の主流であるリング型の放射光光源で実現するのは困難と考えられる。リング型光源の利点は効率の高さにあるものの、電子がリングを周回することにより平衡状態に到達し、エミッタンスとしては数 nmrad、パルス長としては数 10 ps 程度が限界と考えられている。一方、線型加速器（リニアック）におけるエミッタンスは電子銃で決まり、また、加速エネルギーが高いほど小さくなるという特徴を持っている。パルス幅も基本的には電子銃の特性で決まっている。このことから、リニアックを光源とした放射光施設が有力な次世代光源と考えられている。諸外国では 1990 年代初めより SASE (*Self Amplified Spontaneous Emission*) 原理に基づいた X 線 FEL の検討が進められ、LCLS (米) [2] および TESLA (独) [3] 計画が実現に向けて動きだしている。SASE FEL からの X 線パルス光は、第3世代光源に比べてピーク輝度で 10 桁の増加が期待でき、コヒーレンス度もほぼ 100% と X 線の世界では正に画期的な光源となることと予想される。しかし、一方でこの極めて高いピーク強度は試料に与える損傷も従来の比ではないことやこのような FEL 施設では少数のユーザーが専用的に光源を使わざるを得ないことなど、これまで発展してきた放射光科学の視点からの単なる延長線上に位置づけられるものとは異なり、極めて先端的なツールとして先鋭的かつ限られた範囲で利用されるものとなるであろう。

一方、物質科学、材料工学、生物学、医学などの個別分野における先端的な課題を解決していくという要求に応える高度で利便性の高いツールとしての役割を担う光源、施設の必要性は物質・生命科学の発展に伴って今後も増大してゆくであろう。すなわち、放射光が関連する分野では新物質、新材料に関しそれらが開発された直後にタイミングよく放射光ならではの解析結果を示すことがプローブおよび手法の先進性と並んで重要である。汎用的かつ高度な放射光施設として必要な機能は時代とともに進化しているが、一つの解答は最近建設されている SLS (*Swiss Light Source*) [4] などに代表されるコストパフォーマンスの高い新第3世代リング（または 3.5 世代リング）である。PF の次期光源の候補として検討された PF-II [5] はこの概念に近いものであった。物質・生命科学分野のニーズに応えることができる最新の放射光源・施設であり、また、第3世代リングと比較して大変コストパフォーマンスが高い。しかし、光源の性能として飛躍的な変化をもたらすとは言いがたい。

最近、リニアックを利用し一度リニアックを出たビームを一回だけ周回させ再びリニアックに減速位相で導入しエネルギーを回収し電子ビームエネルギーを下げてからダンプするエネルギー回収型リニアック (*Energy Recovery Linac*, ERL) を用い極めて短パルス、高い空間コヒーレンス、高い輝度を実現するというエネルギー回収型リニアックが検討され始めている。リニアックの持つ短パルス、超低エミッタンスという特徴をもちストレージリング光源に比べ 2 桁高い輝度を持ちながら周回軌道に直線部を設けることにより多数の挿入光源を同時に利用できるという特性を持ち先進性と汎用性を兼ね備える光源となりうる可能性がある。しかしながら、この種の加速器は、100 MeV 領域の低エネルギーのものがアメリカの Jefferson Laboratory (JLAB) と日本原子力研究所において稼動した実績しかない。米国の Cornell 大学 [6]、Brookhaven National Laboratory [7]、英国の Daresbury Laboratory [8]、ドイツの Erlangen 大学 [9] などにおいて軟 X 線、X 線領域の光源としての提案があり検討が進められている。

## 1.2 PFにおける将来計画の検討

PFは20年前に運転を開始した第2世代放射光リングである。国内的にみると、SPring-8がX線領域の第3世代リングとして先端的放射光科学の中心的な役割を果たしており、一部は汎用的な光源の役割も果たしている。PFは20年前には先端的であったが、現在では汎用的光源の役割にウェイトが移っている。一方、ユーザーの数でみると、PFとSPring-8はかなりの重複は含まれるもののそれぞれ3000人弱を抱え、国内の放射光に対する需要は2施設により、ようやく満たされている状況である。従って、放射光に対する国内の需要を満たすにはやや性格の異なった大型放射光施設が2つ以上必要であると考えられる。このことはPFとSPring-8の地域性(関東・関西)を反映したユーザー分布からも見て取れる。このような放射光施設を適正な数、世界的な競争力を保ちつつ運営していくことは、日本の放射光科学を担う研究者の責務でもある。

第2世代リングであるPFも2度にわたるリング高輝度化の改造を行い、エミッタンスも建設初期の300 nmradから36 nmradに低下させてきた。またここ数年の内には直線部増強計画を実現し、挿入光源の高性能化とともにミニポールアンジュレータの設置が可能となるように努力している[10,11]。しかし、このような改造を行っても輝度および挿入光源の数や性能において高度化したユーザーの要求に長期間にわたって答えていくことには限界がある。PFは高エネルギー加速器研究機構に属し、加速器の設計・建設・運転のすべてにわたって国内最大の実績と最高の技術水準を有した組織を持ち、また、放射光施設としての豊富な経験と実績も世界的に広く認められている。このような意味において、国内において第3世代の次の展開を担うにはPFが最適であると考えられる。PFでは放射光科学の次の展開の中心的役割を果たすために、1990年代後半より将来計画案を検討してきた。4 GeVの放射光蓄積リングを基にしたPF-IIが提案されPFシンポジウムでも将来計画についての議論が行われた[12]。一方、国内では第3世代リングであるSPring-8が順調に稼働し、東京大学や東北大学が提案している第3世代VUV軟X線放射光源の議論が進展し、国外では英国のDiamond計画、フランスのSoleil計画、スペイン、オーストラリア、カナダなどにおいていわゆる新第3世代ともいえる放射光源建設計画が承認され建設への具体的な作業が開始されている状況や、PFの次期計画としての加速器の稼働時期を2010年頃と想定していることをあわせて、計画の内容の見直しを行った。これらの検討を踏まえ、PFの将来計画においては1.1節にも述べたような、先進的な放射光源開発および先端的な放射光利用研究を推進するという役割と広範な層にわたる多数の物質科学、生命科学分野での放射光利用研究を支えるという役割を、依然として担うことを目指すことが日本のこの分野の発展に不可欠であると認識した。その結果、この2つの要求を同時に満たす可能性があると考えられるERLを有力な次期光源候補として検討することとした。

検討を始めた初期には図1.1に示すmulti-pass型のERLと蓄積リングを組み合わせた案がPF光源系グループより提案され、先進性と汎用性が具体的なイメージとしてユーザーに提示された[13,14]。この案では外周を蓄積リングとして放射光利用実験に供し、内部のMulti-turn Accelerator Recuperator Source(MARS)は4つのエネルギーを持つERL光源として使用するとともにリングへの4 GeVの入射器として機能するというものである。その後加速器研究施設を含んだ検討組織が結成され、装置パラメータや建屋についての具体的な検討を進めた。初期の検討の段階で、この案は建物が大きくなる点や、技術的に高度な開発を伴うことが問題となった。その結果、より単純な構成のERL加速器の検討も必要であると考えられた。また上記のような将来計画に対する考え方に基づき利用研究の立場からは、軟X線からX線領域までの利用が可能であること、挿入光源として20本程度のアンジュレータが利用できること、波長0.1 nmのX線に対して平均輝度で $10^{22}$  (ph/s/0.1%/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>)程度、平均フラックスで $10^{16}$  (ph/s/0.1%)程度が得られること、パルス長は1 ps以下、ビーム安定度はビームサイズの1/10程度などの要望を示した。これらの背景

を経て、本レポートでは図 1.3 のような single-pass 型の ERL を中心に検討を行い、加速器設計原理を提示するとともに、検討課題の整理を行い、問題点の解決法などをまとめた。また ERL 加速器を利用した研究テーマの調査検討を行い、新しい光源が切り拓く研究の地平について概観した。

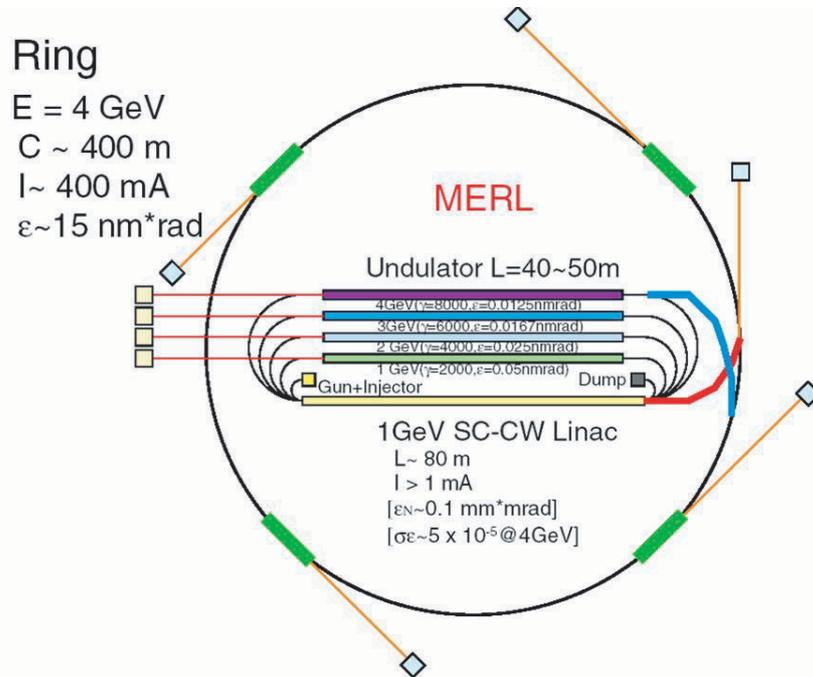


図 1.1: 初期に検討された蓄積リングと MARS の組み合わせの放射光源。

### 1.3 ERL 加速器研究の概要

ERL の基本的概念は図 1.2 に示す通りである。電子銃 1 で生成された電子を入射加速器 2 で比較的低いエネルギー  $E_0$  まで加速し、これを超伝導線形加速器 3 により高いエネルギー  $E$  まで加速する。円形部分 4・6、および直線部分 5 を通過する間に放射光を発生して再び超伝導加速器 3 にもどる。このとき、加速時と 180 度ずれた位相にくるようにすれば電子は減速されて、超伝導加速器の出口でははじめのエネルギー  $E_0$  にもどり、さらに減速器 7 によって十分減速された後、ビームダンプ 8 ですてられる。電子が加速時に消費したエネルギーは、超伝導加速器で減速される際に加速空洞に回収されて次に来る電子の加速に使われるので、理想的には、超伝導加速器に投入されたエネルギーがすべて放射光として放出されることになる。(実際には入射加速器および超伝導加速器の冷却などに要する電力は回収されない。)たとえば、 $E=5$  GeV、電子の電流 100mA の場合、エネルギー回収をしなければ少なくとも  $5$  GV $\times$ 100 mA=500 MW の電力が必要であるが、 $E_0=5$  MeV でエネルギー回収をすれば理想的にはわずか 0.5 MW ですむことになる。ERL は基本的に連続 (CW) 運転される。したがって、放射光のみ見れば ERL は電子貯蔵リングに類似している。

電子貯蔵リングの場合、定常運転時には加速空洞に投入した電力の大部分が放射光になるので、エネルギー収支の観点だけからみれば ERL と似ており、技術的にはるかに容易である。それにもかかわらず ERL が望まれるのは以下のような利点があるからである。電子貯蔵リングの場合、貯蔵後すぐに (1 秒以下) 平衡状態に達する。そのときのビームのパラメータ (ビームサイズ、バ

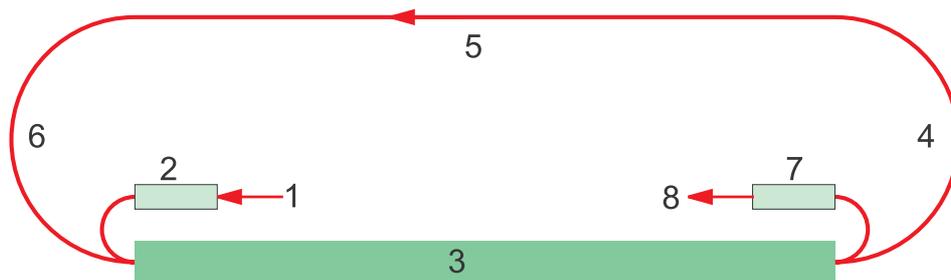


図 1.2: ERL 概念図。

ンチ長、エネルギー幅)は、入射時のパラメータによらず、リングの大きさ、磁場、加速電圧などで決るが、実際に設計できる範囲は限られている。一方、ERLの場合は各電子は1回しか周回しないので、入射時のパラメータがほとんど保持される。したがって、高品質のビームを作れば電子貯蔵リングの限界を超えることができる。たとえば、貯蔵リングの場合、バンチ長は1 cm (30 ps)程度以下にするのは難しいが、ERLでは数 psec は容易であり、100 fsec の領域も可能と考えられる。エネルギー幅は貯蔵リングでは通常 0.1%程度であるが、ERLでは1桁以上小さくすることが可能である。水平方向エミッタンスについては、貯蔵リングでは回折限界に達するのは不可能であるが<sup>1</sup>、ERLでは電子銃さえ作れば可能となる。

貯蔵リングにない特徴を持つ光源として FEL (*Free Electron Laser*、自由電子レーザー)も重要である。最近特に建設計画の盛んなものは SASE FEL である。これは、ピーク強度が極めて高い反面、パルス運転であり、各パルスの強度は安定しない。一方、ERLからの光は平均強度が高くかつ安定している。SASE FEL と ERL はある意味で相補的關係にある。

ERL においては効率的なエネルギー回収のために超伝導加速空洞の技術が不可欠であるが、幸いわが国はこの点で世界の最先端にある。KEK において電子陽電子衝突器 TRISTAN が 1986 年に建設されたが、そのビームエネルギー増強に超伝導加速空洞が用いられて大きな成功をおさめた。これは超伝導加速空洞を大規模に加速器に使用した世界最初の試みであった。この技術はさらに改良して現在 KEKB において生かされている。また、KEK において開発された電解研磨法はドイツの TESLA 計画において高加速勾配を得るために不可欠な技術になっている。

ERL にはいくつかの変型・発展型が考えられる。これらについては 3.1.1 節に述べるが本計画では技術的難易度および最大電流を考えて図 1.2 に示す基本型を採用し、図 1.3 のようなレイアウトを検討している。おもなパラメータは表 1.1 に掲げる。これは以下のような考察から考えられたものである。

- 現在技術的に可能な最小ピッチ (約 15 mm) のアンジュレータからの基本モード放射光で 1Å の X 線が得られるよう、電子の最大エネルギーを 5 GeV とする。
- 計画第 1 期では、エネルギー回収技術の成熟度・施設の電力消費量・初期建設費などを考慮して、電子のエネルギーを 2.5 GeV とし、これを比較的低い加速勾配 10 MV/m の線形加速器で実現する。周回部分は 5 GeV のビームを通せるようにしておく。
- 第 2 期に、線形加速器の冷却装置などを増強することにより加速勾配を倍にして 5 GeV を達成する。

<sup>1</sup>鉛直方向エミッタンスは貯蔵リングでは十分小さくできるが、水平方向エミッタンスが大きいためこれだけでは利用価値が少ない。

- 基本形では光のビームラインの数が限られるが、長尺アンジュレータ（200m級）1本、中尺（30m級）4本、短尺（5m級）10本が配置できるようにする。
- ビーム電流最大値、エミッタンス、最短バンチ長などは現段階では不確定さを伴うが、表記の値を目標とする。

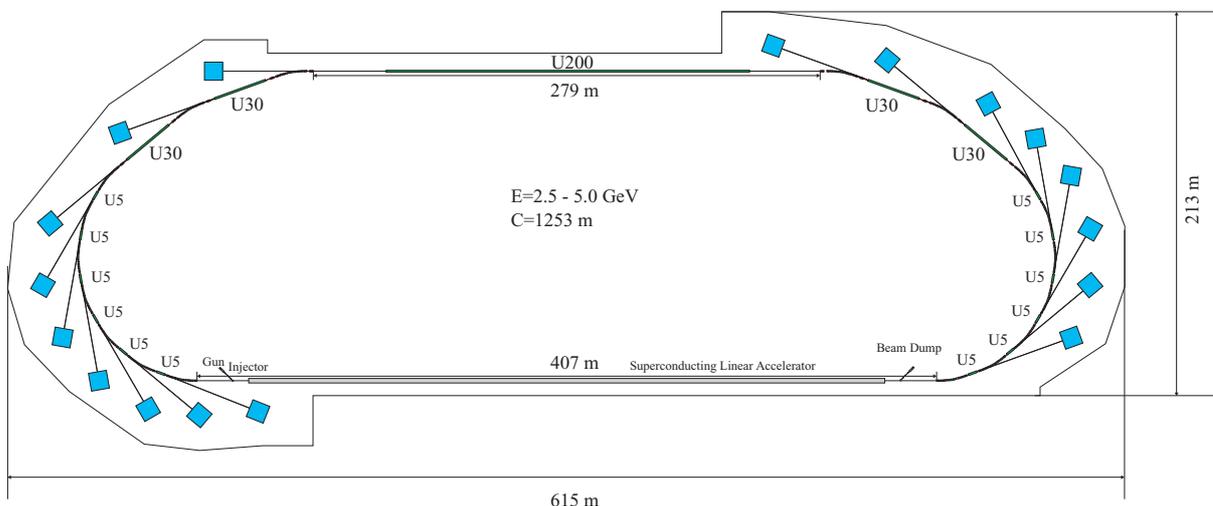


図 1.3: 次期光源計画全体図。

表 1.1: ERL の主要パラメータ

ビーム・エネルギー	2.5~5.0	GeV
入射エネルギー	10	MeV
周長	1253	m
最大電流	100	mA
規格化エミッタンス	0.1	$\mu\text{m}\cdot\text{rad}$
エネルギー幅 (rms)	$5 \times 10^{-5}$	
バンチ長 (rms)	1 ~ 0.1	ps
加速周波数	1.3	GHz
加速勾配	10 ~ 20	MV/m

世界では、コーネル大学、ブルックヘブン研究所、ローレンスバークレー研究所、ブドカー研究所、ダレスベリー研究所、エルランゲン大学、などで数 100 MeV から数 GeV 級の ERL 計画が検討されている。しかし、現在までに実際にエネルギー回収実験が行われたのは、JLAB の 50 MeV クラス、および日本原子力研究所における 15 MeV 前後のもののみである。数 GeV 級の ERL に対しては今後の開発研究を要する問題が多々ある。このため、100 MeV から 300 MeV 程度の試験加速器を建設してこれらの問題を検討することが望ましい。

## 1.4 ERL 利用研究の概要

ERL 光源から得られる放射光の特徴を利用する立場から定性的にまとめると以下ようになる。

1. サブピコ秒のパルス放射光が得られるため時分割手法による物質のダイナミクス研究に著しい発展が期待できる。〈短パルス〉
2. 超高輝度光源であるため、空間的コヒーレンスの高い光源としてみなせ、位相やコヒーレンスを利用した応用研究の大幅な進展が期待できる。〈コヒーレンス〉
3. ビームサイズの自由度が高く丸型のビームが得られるので、集光光学系により 10nm サイズのナノビームが実現される可能性がある。〈ナノビーム〉

以上の3つがビームの質に関する特筆すべき特徴であるが、その他にも

- 平均電流は常に一定で、蓄積リングのように周回電子の減衰という現象が無くなる。
- 入射器技術の改善により、エミッタンスの改良が期待できる。

などの特徴がある。本レポートでは、ERL 光源により新しく拓ける先端的研究の展望を得るために、上記3つの特性に直接かかわる研究領域の具体的研究テーマあるいは方向性をまとめた。

短パルスを利用した研究は、ERL 光源の先端的特徴を最も有効に利用する分野である。レーザーポンプ・放射光プローブ実験としては、特に最近急速に発展している「光誘起構造相転移」における初期過程およびパルス圧力場中での結晶構造緩和ダイナミクスの研究を取り上げた。これらは既に X 線を使った研究が開始され、ERL によって実現されるサブピコ秒 X 線パルスの利用により今後の更なる進展が注目されている分野である。また、固体表面のナノスケール領域のサブピコ秒ダイナミクスと強光子場中での分子ダイナミクスを今後新たに切り拓かれる放射光科学の地平を示すテーマとして検討した。

X 線の位相やコヒーレンスを利用する研究は、放射光の利用により現在既に活発な研究が行われている分野である。X 線光子相関分光法、X 線コヒーレント光学、X 線位相型顕微鏡、オーバーサンプリング法による物質の構造解析について現状と展望をまとめた。X 線光子相関分光法は物質のミクロな動的揺らぎが測定できる方法として精力的に研究されている。ERL によるコヒーレント光成分の増加により、その適用領域と対象が大幅に広がることが期待されている。X 線コヒーレント光学では光源性能の向上に刺激され野心的なアイデアが出されている。注目すべき手法としてフーリエ分光および位相型顕微鏡の開発概念について触れた。さらに構造解析にかかわる多くの分野から熱い視線が寄せられているオーバーサンプリング法による物質の構造解析について触れた。構造生物学への応用が視野に入っており、極めて注目すべきものである。

マイクロビーム利用も放射光利用により初めて実用化され、また逆に放射光を特徴付ける手法である。光源の高輝度特性の恩恵を直接受ける研究手法である。第3世代リングでは 100 nm に近づくビームサイズが既に得られている。ERL 超高輝度光源からの円形ビームと今後の集光光学素子の改良により 10 nm レベルのビームサイズが得られると考えられる。ナノ領域の構造解析・化学状態解明・ナノテクノロジーデバイスへの応用などが視野に入り、究極には単分子構造解析の手段を提供することとなる。一方で、角度発散を考慮すると、一定の条件下でのビームサイズ数  $\mu\text{m} \sim \text{sub-}\mu\text{m}$  のマイクロビームの強度は、第3世代放射光源での場合に比べても 1~2 桁増加することも期待でき、特殊条件下の X 線計測技術が進むものと思われる。

以上の ERL 放射光の特性に基づいた手法の側面からの検討に加え、今後の放射光利用研究を検討する上で最重点分野の一つである構造生物学についても ERL 計画との関係についてまとめた。現在、構造ゲノム計画として放射光を用いたタンパク質の立体構造の解明が進められているが、構造と機能の関連を解き明かすためにより複雑な複合体の静的動的構造を探るには第3世代光源を越えた光源が期待される。単分子構造解析と極微小結晶構造解析が今後の技術的挑戦課題であり、結晶化が困難な多くの対象がこの方法の恩恵をこうむる。小角散乱の領域においても単一筋原織

維の解析やタンパク質フォールディング過程の動的解析、中間体の構造解析、タンパク質間の相互作用解明などが新たなプローブを必要とする領域として検討されている。

本レポートでは主に ERL 放射光の物質科学研究のツールとしての先端性に焦点をあてた検討結果を報告しているが、既に述べたように放射光分野では新物質、新材料のような試料自体に先端的要素のある研究テーマに対し高度な実験機会を提供する汎用的な施設としての役割も極めて重要である。高度化した汎用的な施設に期待されるものは、新第3世代光源への要求と重複する部分もあるが、現状での研究動向について代表的な研究領域を PF-PAC の分類（電子物性、構造物性、化学・材料、生命科学 I、生命科学 II）に準じて概観した。

一方、これらの先進的放射光利用研究を支える放射光基盤技術の検討課題についても検討を行った。光学素子としては、熱負荷、コヒーレンスの保存、短パルス特性に与える影響などが検討課題として指摘された。第3世代光源を利用した着実な R & D が必要であろう。高速検出器・高位置分解能検出器の開発・高速データ処理が様々な分野で切望されている。また、新施設を建設するにあたって検討すべきエンジニアリングの問題点が検討された。この一部は施設の運営方法とも関係しているが、先端性と汎用性の両立を目指す本計画においては不可欠の部分になっている。

以上に示した研究の展望は PF 内外でこれまで行われたいくつかのシンポジウム・企画・研究会、また PF ユーザーグループからの提案にもとづいた現時点での検討結果であり、今後の更なる深化が期待される。

## 1.5 PF 将来計画に向けての課題

本レポートは ERL を基本とした PF 将来計画に関し、加速器科学の立場からは設計原理の提示・検討課題の整理・問題点の解決法などをまとめ、利用研究の立場からは ERL 光源によって可能となる新しい科学の可能性について検討した結果をまとめたものである。PF 将来計画の最終デザインは現段階では確定していない。PF 将来計画を今後策定するために必要な検討事項を以下にまとめる。

ERL が有力な放射光の次期光源として真剣な検討の対象になり始めたのは世界的に見てもここ3年程のことである。ERL の小型機によるエネルギー回収の原理実証は進んでいるが、本格的放射光利用を目的とした高加速エネルギー・大電流の ERL は存在しない。第3章で検討されている ERL 加速器のアイデアと検討課題を実機において確かめ、ERL の先進性と汎用性に関する見通しを技術的に得る必要がある。この意味で、現在加速器研究施設と PF が共同で提案している「原理実証機」の実現が優先的な課題である。

本レポートでは単純な構成の single-pass 型の ERL を検討の中心においたが、multi-pass 型 ERL および ERL とリング型光源との組み合わせという構成についても比較検討を行い、加速器技術としての課題と利用研究の展開の両面からの議論を経て、最終的なよりよい内容に煮詰める努力を継続すべきと認識している。

一方、放射光将来計画は、当然放射光科学の将来計画である。放射光ユーザーコミュニティに魅力のある、また、放射光関係者以外にも説得力のある研究計画の策定を、ERL の先端的利用および汎用的利用の両側面から進める必要がある。今回は、ユーザーグループに提案を呼びかけ、また、執筆に際しても多大な協力を得たが、今後も継続的かつ広範な協力関係を構築する必要がある。利用分野によっては、研究を推進する拠点を形成する必要があるとも考えられる。また、SPring-8 との継続的協力関係は、特に装置技術開発において不可欠である。

更に、将来計画を確定し、建設予算を申請するためには、PF の既存放射光リング（PF 2.5 GeV および PF-AR）から新施設への移行スケジュールを明確にし、既存リングのユーザーの実験機会をどのように保障するかについても綿密な予定をたてる必要がある。同時に、本計画実現のため

には国内の放射光関連研究者、他分野の研究者、行政当局、さらに広くは納税者としての一般国民あるいは社会の理解と支援を得られるような努力を行うべきと認識している。

飯田厚夫、松下正 (KEK・PF)  
横谷馨 (KEK・加速器)

## 参考文献

- [1] 例えば、[http://www-ssrl.slac.stanford.edu/sr\\_source.html](http://www-ssrl.slac.stanford.edu/sr_source.html) など。
- [2] <http://www-ssrl.slac.stanford.edu/LCLS/>.
- [3] <http://tesla.desy.de/>.
- [4] <http://sls.web.psi.ch/view.php/about/index.html>.
- [5] 加藤政博、土屋公央、Photon Factory News, 17(1) 20 (1999).
- [6] <http://erl.chess.cornell.edu/>.
- [7] <http://nslsweb.nsls.bnl.gov/nsls/org/PERL/>.
- [8] <http://www.4gls.ac.uk/>.
- [9] <http://www.uni-erlangen.de/docs/FAU/fakultaet/natl/www.ersyn.uni-erlangen.de/>.
- [10] 小林幸則、Photon Factory News, 18(2) 17 (2000).
- [11] 野村昌治、Photon Factory News, 19(3) 8 (2001).
- [12] 「第 16 回 PF シンポジウム報告」(PF 懇談会発行 1999 年 3 月 11 日・12 日).
- [13] 小林幸則、山本樹、「第 19 回 PF シンポジウム報告」(PF 懇談会発行 2002 年 3 月 19 日・20 日) p.51; <http://pfwww.kek.jp/pf-sympo/19/contents.html>.
- [14] 野村昌治、Photon Factory News, 20(2) 7 (2002).