

## 動力向

トリスタン主リング(MR)の放射光転用計画の現況と  
テストビームラインによる放射光利用研究MR超高輝度放射光計画推進室  
超高輝度放射光計画検討委員会

## 1. はじめに

高エネルギー物理学研究所は数年前にトリスタン物理学実験が終了した後、トリスタン主リング(MR)を超高輝度放射光源へ転用する計画を発表しました。フォトンファクトリー内外の放射光関係者はこの魅力的な計画に強い期待をもち、その実現をめざして各種の作業を進めてきました。しかし最近になってMRを高エネルギー物理のBファクトリーに転用するという計画が進み、結果的に放射光源としての利用の展望が得られない状況であります。しかし以前から計画されていたMRにテストビームラインを設置してMRを試用する実験はトリスタン加速器チームの支援のもとで実施できる見通しです。

この小文でMRの放射光転用計画の経緯と試用実験の具体的な段取りについて述べ、ご理解・ご協力を得たいと思います。

## 2. MRの放射光転用計画

MRを放射光源として利用すると、第3世代の放射光源に比べて3桁も高い超高輝度が得られ、コヒーレントなX線の発生が可能な光源となることから、放射光のコミュニティはこれまでその実現に強い期待を寄せ、それによる放射光科学の未踏の領域の開拓に強い意欲をもってきました。その動きを振り返ってみますと、1986年度科研費総合研究「シンクロトロン放射光科学の将来計画の

調査」(代表者 千川純一)において将来計画の一つとしてMRの放射光利用計画がとりあげられて検討され、1987年度科研費特定研究「放射光科学の将来計画のための研究」(代表者 千川純一)ではMRによる放射光利用を主題として超高輝度光源としての性能と利用研究課題が議論されました。この成果は「トリスタン主リングの放射光利用計画」(KEK Report 88-16, 編集:安藤正海, 小早川 久, 大隅一政)にもまとめられています。さらに高エ研加速器研究系を核にしたタクスフォースによってMRを放射光源として利用する上での軌道に関する問題点が検討され、「トリスタンMR放射光利用タクスフォース軌道サブグループ作業報告書」(KEK Report 91-5, 編集:小林正典)が作成されました。

一方、日本放射光学会では将来計画特別委員会において1990年に「次世代大型高輝度放射光施設計画に関する調査報告書」がまとめられました。それによりますとSPring-8は高輝度放射光源としての先進性と汎用性を合わせもち、わが国の放射光研究レベルの全般的な向上、拡大に貢献できる大規模な共同利用施設を志向しているのに対し、MR放射光利用計画は超高輝度X線源と自由電子レーザー軟X線源の実現を目指すとともに、他に類を見ない優れた特性をもつ限られた数の線源を利用して放射光科学の未踏の基礎的領域を開拓しようとしていると分析しています。これらの二計

画はそれぞれの研究課題，技術的なアプローチにおいて独自性をもち，相互に補完しあう性格をもつ計画と認め，ともに推進すべきものと結論されています。

PF内外の関係者による上述の作業を通じて画期的な研究の展開が期待できることが明確になってきましたので，高エ研は予定されている第2期のトリスタン物理実験が終了したのち，高エ研の主要な将来計画の一つとしてMRを第4世代の超高輝度放射光源に全面的に転用するという計画を発表しました。その準備のために1991年5月にMR超高輝度放射光計画推進室が設置されました。

このような状況の中で，PF懇談会はMR放射光利用計画の精緻化の作業を進めるために1992年6月に放射光利用関係の委員会として超高輝度放射光計画検討委員会（略称MR委員会）を組織しました。この時期に1992年度科研費総合研究「トリスタン主リングを用いたコヒーレントX線の生成と利用に関する国際共同研究の企画」（代表者岩崎 博）がスタートし，その研究内容がMR委員会の意図するところと合致していましたので，7月の研究会に参加し，さらに1993年1月に合同研究会を催しました。一方，1992年11月頃からアカデミックプランの立案にあたって全国的な規模で研究課題の募集がPF利用者へのダイレクトメールと学会誌などへの掲載によって行なわれました。この呼びかけに対し100通を超える回答が寄せられましたので，それらは整理・分類された後，上述の研究会において報告されました。

MR放射光推進室では従来，ビームラインの概念設計の作業，MR用プロトタイプの挿入光源の試作などを進めてきましたが，その成果をまとめてデザインレポート「The Tristan Super Light Facility-Conceptual Design Report 1992」（KEK Progress Report 92-1）を作成し，関係者に広く配布しました。この中にはMRの本格的利用を前提とした研究課題が提案されています。また，1993年5月に開かれた日本放射光学会年会においては

トリスタン主リングにおける超高輝度放射光計画の準備状況に関してMR放射光推進室のメンバーによる詳細な報告がなされました。

MR委員会では文部省および関係方面に本計画の重要性をアピールし，理解を得るために要望書「トリスタン主リングの超高輝度放射光源への転用計画に関する要望」を作成しました。これに対する賛同者を募ったところ203名の予想以上に多くの方々が賛同されました。これは本計画への関心の高さを示しているものです。1993年5月に要望書を賛同者名簿を添えて文部省に提出しました。

このような各方面からの計画実現に向けての努力にもかかわらず，国の厳しい財政事情の中でこの計画は全く見通しのつかない状況になりました。それは高エ研が高エネルギー物理の次期計画として当初新たなリングの建設を予定して立案したBファクトリー計画が，その後既存のMRを利用するトリスタンIIとして変更されたことによります。この計画は1993年7月に文部省に提出されました。学術審議会特定領域推進分科会加速器科学部会における報告書によれば，本格的な実験のためにはB中間子を多量に生成することの出来る専用加速器（Bファクトリー）が必要不可欠であるとし，Bファクトリー計画を最優先の加速器計画として早急に取り組むべきであると結論づけています。一方，MR超高輝度放射光計画に対してはBファクトリー計画と同時進行は困難と考えざるを得ないと述べており，唯一Bファクトリーを推薦しています。

このようにMRの放射光転用計画の実現は当面ほとんど不可能となりました。この計画は新しく同規模のリングを建設するのに比べて1割程度の支出で済み，その利用による基礎科学への計りしれない貢献を考えると，きわめて投資効率のよい計画とみられてきました。放射光コミュニティはこの千載一過のチャンスを逃すことなく計画成就をめざして努力を重ねてきたところですので，これに向けた放射光コミュニティの意向と動きに対

して考慮がなされていないのはまことに遺憾といわざるを得ません。

### 3. MRの放射光試用実験

MRの本格的な放射光利用は断念せざるを得ないことになりましたが、トリスタン加速器チームのご協力のもとに現在進行中のトリスタン物理実験が終了間近かで、かつBファクトリーが建設を開始する時期の間にMRを放射光用に一時利用する機会があります。その時期は1994年秋で、その後の2年間にもそのような機会が得られる可能性があります。

MRが有する潜在能力のおかげでエミッタンスは5nm radを達成できるので、この能力をひきだすために既に建設済みの挿入光源を用い、これを設置する直線部をつくるためにリングを改造し、テストビームライン1本をMRの筑波実験室に建設します(図1)。これを用いて超高輝度放射光を利用する試行実験を行ない、将来の第4世代光源への方向を探ることとなりました。ここで得られる多種のノウハウや実験成果は必ず第4世代光源の建設に役立つと考えています。

そこで今回の試行実験にふさわしい研究課題を募集することにしました。そのために必要なデー

タ、すなわち試行実験に利用される放射光の性質、ビームラインの構成などがつぎに述べられています。それらを参照のうえ、試行実験として実施するのにふさわしい研究課題を本年12月末までにMR推進室にお寄せ下さい。

### 4. MR試用の際の放射光源の概要

#### 4.1 放射光テスト実験用MR加速器

本来のMR放射光計画における加速器の特長は、高エネルギー加速器の低エネルギー運転、エミッタンスダンピングウィグラーの大規模導入そして70m級挿入光源設置を可能とする超長直線部等にある。一方、来年初以降に予定されるMR放射光テスト実験では、現状の高エネルギー実験用加速器に最小限の改造を加えることで、本来達成すべきビーム性能に比較的近い、エネルギー10GeV、自然エミッタンス5nmの低エミッタンスビームを得ることができる。これを実現する加速器改造の基本方針を以下に述べると共にテスト実験のビームパラメーターを表1に示す。

- (1) 現行偏向磁石(長さ5.86m)の内4台を短偏向磁石(長さ1.5m)で置換え、運動量による分散を消した長さ約6mの挿入光源設置場所を作る。図1に挿入光源設置場所付近のオブ

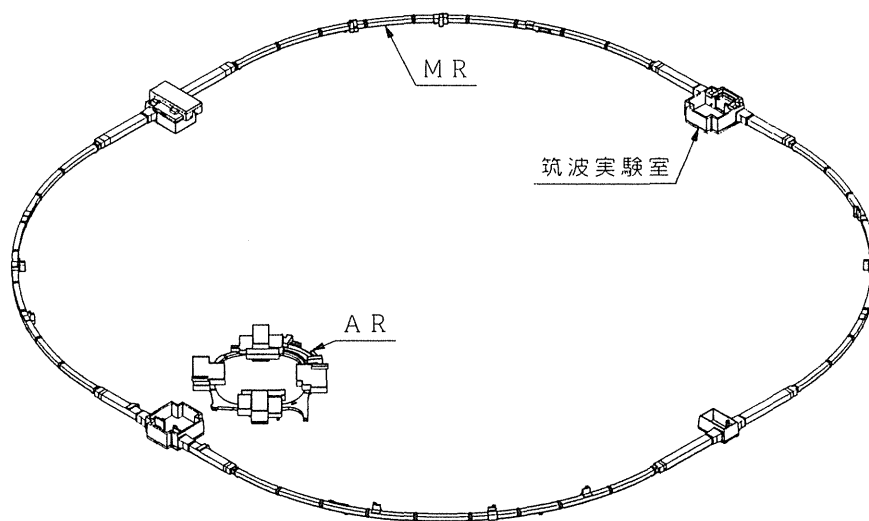


図1 MRとテストビームライン設置予定の筑波実験室

表1 放射光テスト実験用MRビームパラメーター

周長	3018.079	m	
ビームエネルギー	10.0	GeV	
ノーマルセル位相進行 (水平/垂直)	90°/90°		
モメンタムコンパクション	0.000721		
加速空洞電圧	36	MV	
対称点ウイグラー	不使用時	使用時	
周回当たりエネルギー損失	3.75	6.53	MeV
ビームエネルギー巾	$5.92 \times 10^{-4}$	$1.13 \times 10^{-3}$	
自然バンチ長	0.445	0.854	cm
自然エミッタンス	6.99	5.06	nm
パルス幅/パルス間隔 (single bunch mode)	57 psec/10 $\mu$ sec		
	他に 2, 4, 8 bunch mode		

ティクスパラメータを示す。

- (2) ノーマルセル毎の、水平/垂直ベータatron位相進行を、現行の60°/60°から90°/90°に増やし低エミッタンス化を図る。
- (3) 現在進行中の高エネルギー実験でエミッタンス増加ウイグラーとして使われている対称部ウイグラーを、対称部の運動量分散を消去することにより、エミッタンス減少ウイグラーとして活用する。これによりさらなる低エミッタンス化を図ると共に、放射減衰率を高めビーム不安定現象の抑制を狙う。
- (4) 色収差補正のためには、93年度後期実施予定の動力学口径ビーム試験と同じ非入れ子型6極磁石配置を採用し、充分大きな動力学口径を実現する。

#### 4.2 超高輝度X線アンジュレータ

Tristan Super Light Facility (TSLF) 計画では、MRの長大な直線部に各種の長尺(70~100m級)挿入光源を設置することによって、MRが作る超低エミッタンスビームからX線領域の超高輝度・可変単色光の生成(第3世代光源)、さらには軟X線領域の自由電子レーザーの実現(第4世代光

源)と、それらの利用を目指してきた。

本来の計画では、長さの総和として400m以上に達する挿入光源群を製作しなければならないが、このように長いアンジュレータ群を、一体のものとして製作するのは非常に困難である。また、同様の長さで異なる性能のアンジュレータを、各々独立に製作するのは経費面から見ても、立ち上げ・運転のマンパワーの面から見ても非常に不経済である。

この問題は、しかし、挿入光源本体をいくつかのコンポーネントに分割・規格化することによって、解決されるであろう。具体的には、我々は図2に示した、長さ5.4mの標準アンジュレータ(周期長4.5cm×120周期;このアンジュレータ自体、共通ベース上に設置された3台のユニットアンジュレータ(1.8m長)より構成される)を製作し、分割・規格化方式のR&Dを行ってきた。

今回我々が提案している、MRでの超高輝度放射光テスト実験では、このアンジュレータ(XU#MR0)を光源として用いる。この場合、鉄の核共鳴エネルギーに相当する14.4KeVの単色X線を $1 \times 10^{19}$ 光子/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%バンド幅の超高輝度(基本波;偏向定数K=0.97,かつMRの

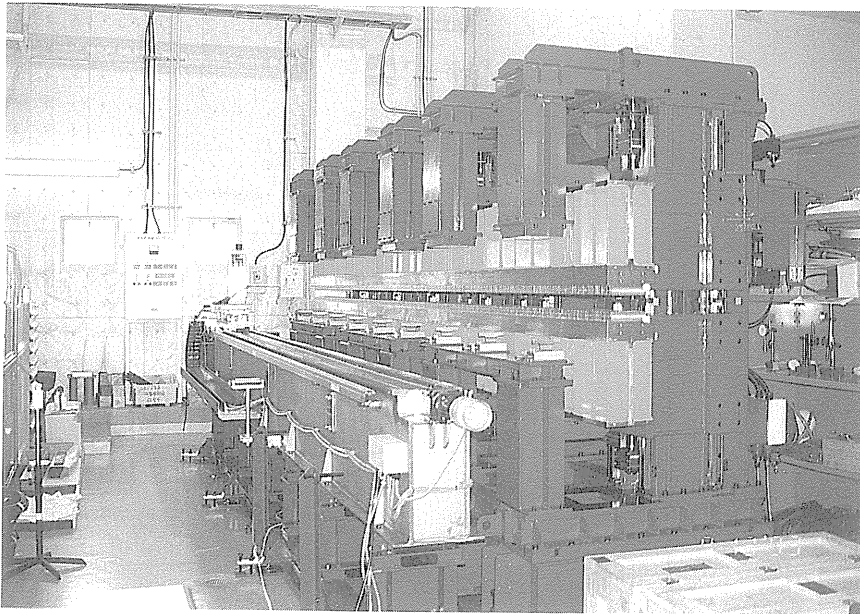


図2 磁場調整中の標準アンジュレータ (XU#MRO : 周期長4.5cm × 120周期)。

10GeV, 10mA運転時)で生成することができる。MR本体の改造を最小限に抑えているため、計画本来の目標値(同じ単位で $1 \times 10^{21}$ ; 10GeV, 100mA運転時)にはおよばないが、現在建設中の第3世代光源と同程度の輝度を持つ放射光をそれらの完成よりも数年先回りして楽しむことができることに読者の注意を喚起したい(図3参照)。

#### 4.3 ビームライン(BL-BW-TL)

テスト・ビームラインはトリスタン筑波実験室の西側直線部に設置する予定である。加速器運転中においても放射光実験エリアにアクセスできるように、放射光を発光点から約90mの地点で、加速器の設置されている地下3階からトリスタン実験室のある地下4階の側室(9.5m × 4m, 高さ2m)に導くこととする。これに伴う建築物の改造が必要となるが、ここでは省略する。図4, 5にテスト・ビームライン及び放射光実験室の概略を示す。図4中のスケールは発光点からの距離を示す。

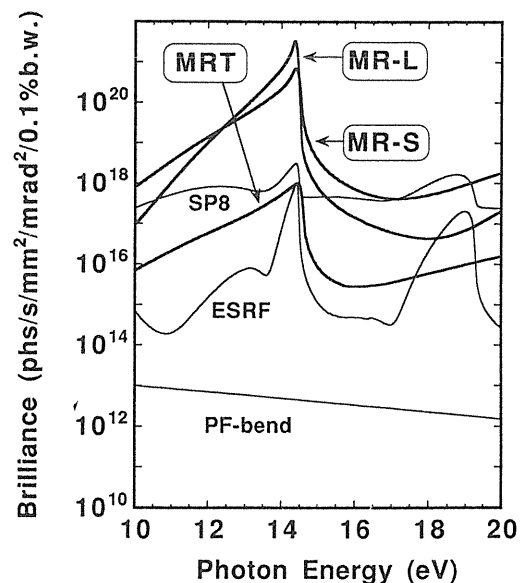


図3 TSLF光源と他の第3世代光源との比較。MRTは今回提案したテスト実験用光源の輝度(10GeV時)を、MR-Lおよび-Sは、各々放射光源として最適化したMRに設置した長尺および短尺アンジュレータの放射輝度(10GeV時)を示す。またSP8(8GeV)およびESRF(6GeV)は、西播磨およびグルノーブル(フランス)に建設中の第3世代光源の代表的な輝度を示す。我々のテスト実験では現状でビーム電流値を10mAとしているが、そのほかについては、MR-Lおよび-Sを含めて、100mAを想定していることに注意。

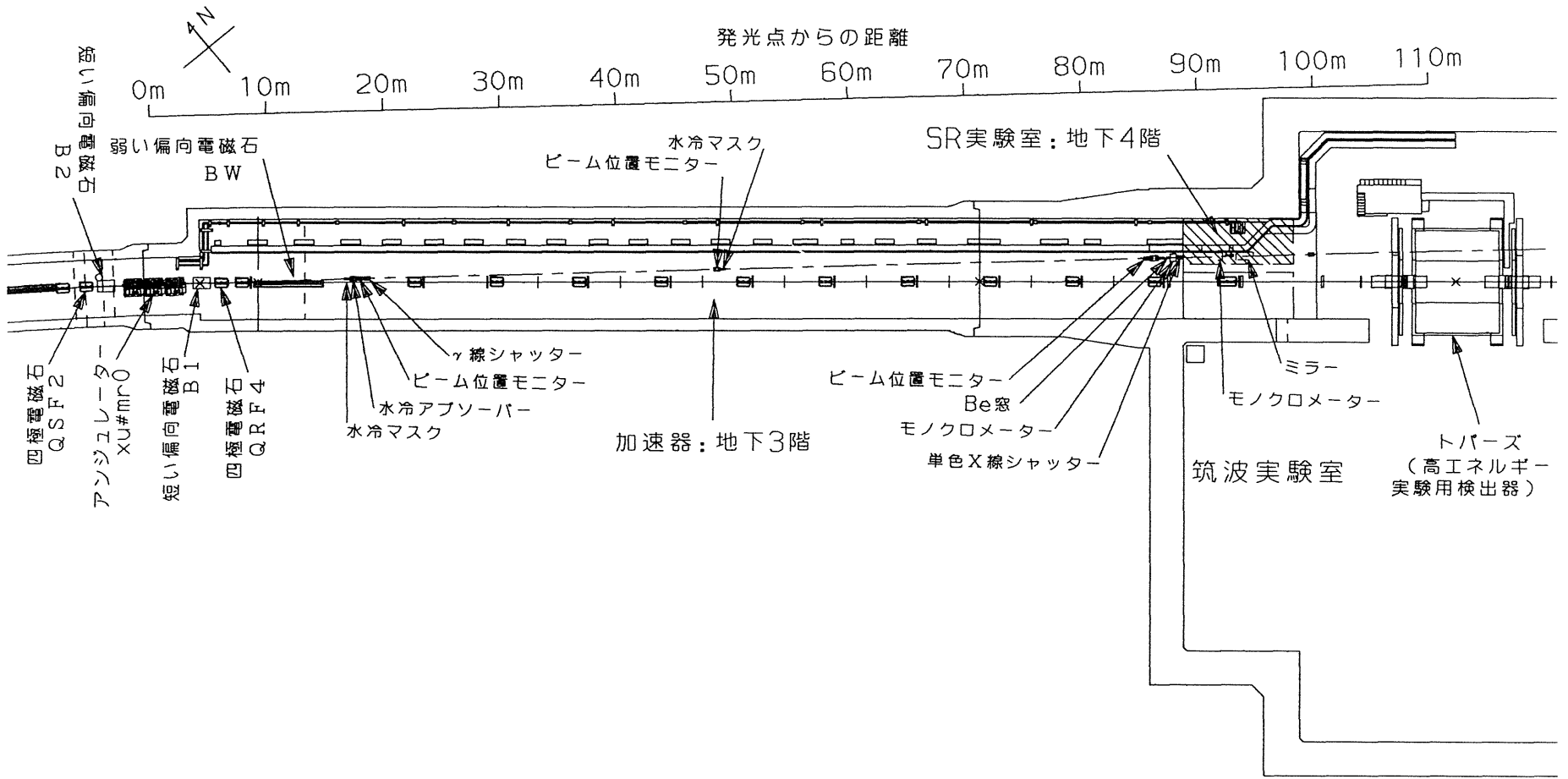


図4 テスト・ビームラインの概略

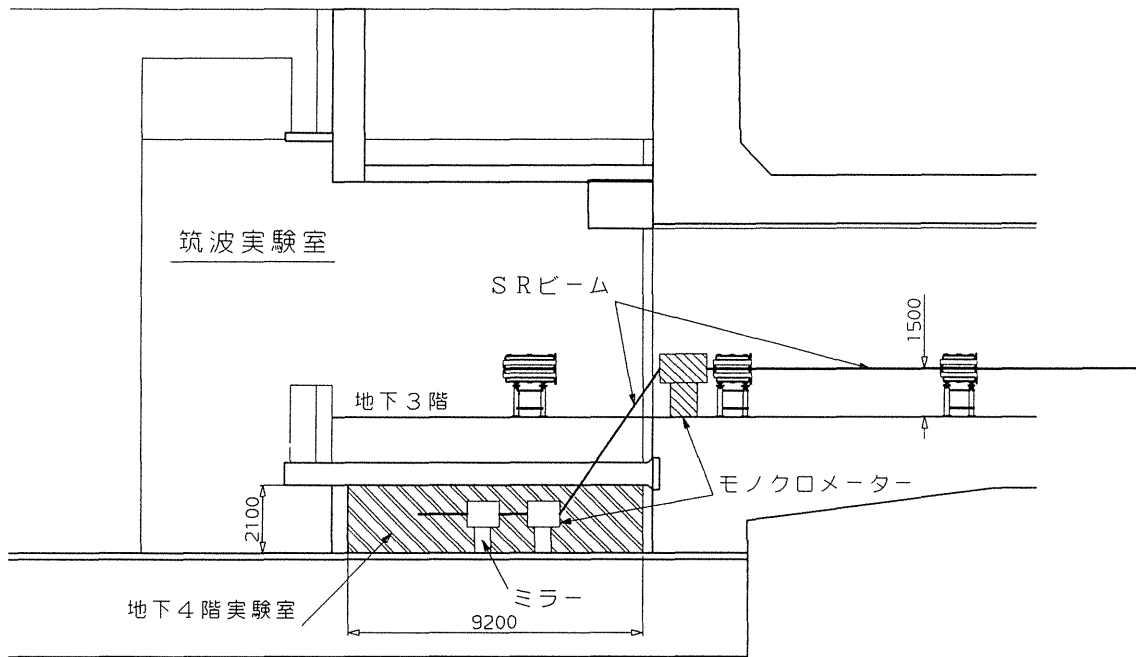


図5 地下4階に予定される実験室

表2

発光点からの距離	パワー広がり (水平/垂直)	ビームサイズ (水平/垂直)
50 m	6.7/3.8 mm	3.9/1.0 mm
100	13/7.5	7.4/2.0

#### ビームラインの構成

テスト・ビームラインの建設は短期間に行わなければならないため、可能な限り簡素化する。

- a) ビームサイズが非常に小さいため(表2参照), ICF70フランジをベースに構成する。
- b) 真空リーク対策用の高速遮断ブルブ等は設置しない。
- c) 水冷アブソーバー、白色光シャッターは各1基

とする。

- d) 水冷アブソーバーはリング真空側に置く。
- e) 100mにおよぶビームラインのため水冷マスクを2基以上設置する。
- f) ビーム位置及びバンチ純度モニター類を常設する。
- g) 前置2結晶モノクロメーターの第1結晶及び第2結晶は夫々地下3階, 4階に分散設置して, 放射光を地下4階の実験室に導入する。