

## 6. 未来に向けて

## 6・1 放射光実験施設

富 家 和 雄

(放射光光源研究系研究主幹)

昭和47年以来、物質科学の広い分野の研究者達が企画立案してきたフォトン・ファクトリー計画は、昭和53年に、放射光実験施設の創設という形で実現された。

本施設の目的は、2.5GeV電子ストレージ・リング（蓄積型加速器）から発生する放射光を極紫外線からX線までの超強力な線源として、全国大学共同利用で広汎な物質科学研究に役立てようとするものである。本施設は3つの研究系から成り立っている。

### 1. 放射光入射器研究系

電子線型加速器を建設し、電子を2.5GeVに加速して電子ストレージ・リングに供給する。

### 2. 放射光光源研究系

電子ストレージ・リングを建設し2.5GeVの電子を蓄積し、発生する放射光をビーム・チャンネルを通じて実験室に導入する。

### 3. 放射光測定器研究系

実験室に入った放射光を、鏡や分光器等の光学系を用いて分岐させ、波長を選択的に揃え、その形を調整し、また、約25台の放射光利用実験装置を建設し、両者を合せて全国大学共同利用者と共に物質科学の研究を行う。

総予算は建物等を含めて160億円、教官・技官と事務官の総所要人員は130名、建設期間は4年の予定で発足した。昭和53年度に、加速器関係の研究系に3名のみの定員がついたが、研究所内外の研究者が多数建設に協力し、また、

技術部と管理部の多大な援助のもとに建設は順調に進んでいった。その後、定員も次第に整備されてきたが、建設完了予定の昭和56年度においても、人員の充足率は50%に達していない。加速器と測定器（一部は57年度に繰延べ）の予算も、昭和55年度から4%削減された上、その頃から始まった急激なインフレーションのため、大巾に目減りした。この2つの要因のため、建設予定の一部を縮小せざるを得ない状態となっている。

総予算中の人件費の占める割合は4%程度で他のプロジェクトに比べると異常に低い。特に技術を開発しつつ建設を行うという方針を維持するには、あまりにも低い率であった。それに拘らず曲りなりにも建設が進んできたのは、当事者達の努力もさることながら、研究所内外の関係者の強力な支援のお蔭である。昭和55年度に発足した測定器研究系の定員は教官4名のみであるが、将来共同利用を希望する他機関の約200名の研究者が、30のグループに組織され建設に協力しているので、建設の日途が立った次第である。

昭和56年7月、電子線型加速器の5分の1が完成し試運転を行ったが、予定通りのエネルギーとビーム強度を得た。ストレージ・リングも電磁石群の据付を完了し、その他の装置も組立据付に入った。この年の12月には2つの加速器を合せた総合運転を予定しているが、成功すれ

ば昭和57年4月より共同利用実験が始まる。各種実験装置は建設協力者によって実験に使用されつつ手直しが行われ、その後に順次一般の共同利用者に公開される。

本施設は59年度より定常期に入るが、年間約300の実験を共同利用者延べ約2000名が行いそのテーマは文部省科学研究費分類約200のうち40を超える分野となることが予想される。高エネルギー物理学研究所が、単に素粒子物理学の研究のみに留まらず、ここで開発した高エネルギー加速器を物質科学の広い分野の研究に提供することは、科学の新時代を創るものとして注目に値しよう。

### 入射器研究系

ここで建設中の2.5GeV電子線型加速器は、次のように多目的に使用される。

1. ストレージ・リングに電子を入射する。
2. トリスタンに電子及び陽電子を供給する。
3. 将来建設される0.5GeV小型リングと1GeV ウィグラー専用リングに電子を入射する。
4. 干渉型ウィグラーを先に附け、強力な単色パルス放射光をつくり、共同利用実験に供する。
5. パルス巾数ピコ秒の電子線と放射光をつくり、高時間分解を必要とする物質科学の研究、速い検出器の開発、加速器自身の研究等を行う。

電子線型加速器は、長さ1.9mの加速管4本を1つの架台に並べたものを1加速ユニットとし、全体40ユニットを並べたもので、収束電磁石その他の装置を間に挿入し、全長は400mである。1加速ユニットは1本のクライストロンで発生する30MWのマイクロ波で励起され電子を加速する。

設計の基本方針は、安定で良質なビームを得ること、装置の信頼性を高めることに主眼を置いていたが、同時に、少ない人員で建設・運転及び維持が容易となるように、構成機器の規格化と単純化を図った。全体が40ユニットで成立つのでまづ1ユニットを製作し、2年を掛けて徹底的に試験と改良を行い、生産方式を確立した後、関係会社に生産ラインを作つて大量生産を行つた。

加速管は、無酸素銅のシリンダーとディスクを組合せたものを、外から電解鍍金で固定してつくる。シリンダーとディスクの製作には、各々専用の自動旋盤を用意し、各々1万個を2年間で生産した。加工時に自動計測を行い、工作精度を2ミクロンにした結果、組上った加速器は無調整で、各空洞の位相誤差が±2度という好結果を得た。大電力立体回路も同様な手法で製作したので、普通は使用不可欠である位相調整器を全く省くことができた。

クライストロンも構造を簡略化し生産効率を上げたが、単独メーカーの既存設備では年間20本の生産が限界となっている。集束装置としては永久磁石を用い、保守・運転の簡略化を図った。

クライストロン・パルス電源も、構成部分を規格化と同時にユニット化し、生産を容易にすると共に互換性を増し、運転・維持を容易にした。

制御系と冷却系は、8加速ユニットをまとめてセクターとし、全体を5セクターとして建設し、運転する。制御系は7台の小型計算機ネットワークと各々にサブループをつけたものである。42台の大電力パルス電源の制御には、ノイズ対策が重要であり、ノイズを源で断つ工夫を行い、通信網に光ファイバーを使用している。

## 放射光光源研究系

電子線型加速器で 25GeV に加速された電子は、長さ 150 m の入射路中の電磁石群等でエネルギーと形を調整され、地下 1.8 m から地上 1.2 m に上げられて電子ストーレジ・リングに入射される。

ストーレジ・リングは長径 68m、短径 50m の橢円形で、28 個の偏向電磁石で電子の閉軌道をつくり、58 個の四極電磁石で軌道の収束を行う。放射光は偏向電磁石の中で発生するが、その臨界波長は、 $3.1 \times 10^{-8} \text{ cm}$  で、 $5 \times 10^{-9} \text{ cm}$  の硬 X 線から  $10^{-5} \text{ cm}$  の真空紫外光の間の任意の波長の放射光を実験に供することができる。

ストーレジ・リングを設計するに当って、次のこととに重点を置き、特徴を出すことにした。

電子軌道を安定化し、放射光の位置と方向の変化を極力小さくする。このため、ビームの収集力はあまり強くしない。電磁石電源の安定度を  $2 \times 10^{-4}$  とする。ビームの位置モニターを 84 個置き測定精度を  $0.2 \text{ mm}$  以下にすることにした。

将来開発されるであろう新しい放射光源を組込む空間を残す。リングに短・中・長 3 通りの直線部をつくり、8 個の中直線部のうち 4 個と 2 つの長直線部をこれに当てる。第一期には、中直線部に 3 個 1 組の小型超伝導電磁石を置き電子軌道を  $10 \text{ mm}$  垂直方向にうねらせ、電気ベクトルが垂直方向に偏光し、かつ、 $1 \times 10^{-9} \text{ cm}$  の極短波長放射光をつくる。第二期には、長直線部に単色で強力な放射光を発生する干渉型ウィグラーや、高輝度放射光発生装置等を置く。

パルス放射光の特徴を生かすため、加速高周波の周波数を高くし、電子バンチ数を 312 個とした。単バンチ運転の場合には、 $0.6 \mu\text{s}$  間隔で巾  $0.1 \text{ ns}$  のパルス放射光が発生し、緩和現象等の研究が可能となる。

電子ビームの寿命を 10 時間程度にするため、真空路の表面処理に関する開発研究を行い、運転中に壁が強力な放射光に晒されても、真空中度は  $10^{-9} \text{ Torr}$  を維持する。

加速器の運転・保守・管理だけでなく、実験装置の運転・管理・データの即時処理・放射線その他の安全管理・ユーザーの事務処理等を一つの計算機ネットワークで行う。これは小型機約 10 台とライブラリ用中型機 1 台を含み、会話型とする。

放射光チャンネルについては、第一期に真空紫外用 2 本・軟 X 線用 1 本・X 線用 2 本と ウィグラー用 1 本を整備する。1 ユーザーの不注意により真空路漏洩が他の実験に被害を及ぼさないよう、前者の 3 本のチャンネルには衝撃波遮延装置と速断バルブを取付けた。第二期には、更に 6 本のチャンネルを増設するが、将来、24 本まで増設可能である。

## 放射光測定器研究系

放射光測定器研究系は他の 2 系より遅れて昭和 55 年度に設置されたが、昭和 57 年度までに 6 本の放射光チャンネルを光学系で更に 25 本に分岐し、そこに 25 台の測定装置を建設し設置し、放射光利用実験を推進する役割を負っている。放射光は真空紫外光・軟 X 線と X 線に大別されるが、研究分野は研究の手法によって、分光、回析・散乱と効果の 3 つに分けた。このことによって従来独立していた研究分野の間で、技術や問題意識の相互乗り入れが行われ、その結果として融合技術が発展し、境界領域の拡張によって新しい学際分野が開拓されることが予想されている。

分光の研究設備としては 6 台の真空紫外用と軟 X 線用分光器が設置され、原子・分子と個体

の吸収・反射・蛍光・光電子・イオン・解離及び緩和過程の動的測定等が行われる。6台の分光器のうち、特筆すべきものは次の2台で、世界最高の性能が期待されている。一つは直入射縦分散6.65mオフ・プレイン・イーグル型で、前置分散系による次数分離機能を持つ高次スペクトル用の高分解能分光器で、真空紫外光の光電離領域で使用される。もう一つは10mボダール型軟X線分光器で、未開拓の0.2～2KeVの領域に分布する軽元素のK吸収帯に迫る。

回析・散乱実験の対象は極めて多岐にわたり装置は約20台である。主な研究は、蛋白質等の巨大分子や鉱物等の結晶の構造解析、高温・超高圧（将来は百万気圧、摂氏2千度を目標）を用いる物質構造安定性の研究、極低温に於ける1次元導体の研究等は主としてX線回析によるX線散乱実験は、散漫散乱・コンプトン散乱・ラマン散乱やプラズモン散乱等があるが、更にメスバウアーフィルタ光学、小角散乱による酵素・筋

肉活性の動的研究、高速X線トポグラフィによる格子欠陥の動的観察も重要課題である。その他X線領域では、広域X線吸収構造（EXAFS）による生体高分子・無定形固体や表面構造の研究とか、光電子・オージェ電子・X線蛍光等による超微量分析・局所分析とか表面反応の研究とか多彩である。

効果の分野としては、真空紫外光からX線に及ぶ電離領域での放射光による放射線生物学は諸外国にさきがけて始められた研究である。応用としてはX線リソグラフィを用いる半導体素子や光学素子の加工技術の基礎研究とX線顕微鏡への応用等が課題となっている。

以上のように広い分野での研究が行われるがこれ等を結ぶ横断的技術開発のテーマとして、高速2次元検出器とそのデータ処理システム、強力な放射光に耐えられる鏡・多層膜・回析格子や結晶等の光学素子などがある。

## 6・2 ブースター利用施設 —その生い立ち—

佐々木 寛

(ブースター利用施設長)

ブースターシンクロトロンはその建設が決定した当初から、12GeV主シンクロトロンの高エネルギー陽子ビームの素粒子実験への使用目的とともに、中間エネルギー領域の原子核実験の研究に利用されるであろうと云うことが予測されていた。事実、ブースターシンクロトロン室の壁面の一部は将来のビーム引き出しのための考慮が施されている。ブースターシンクロトロンが昭和49年12月に500MeV陽子ビームの加速に成功し、逐次ビームの強度と質の改善が行われてきた。同シンクロトロンの完成の前後に至って、500MeV陽子ビーム利用の具体化が急速にクローズアップされてきた。とくに、当時東北大核理研の電子ライナックを用いてパルス中性子源による中性子散乱の研究グループを中心に、昭和49年に文部省科学研究総合班「プロトン加速器による中性子散乱」（代表者 阪大理 国富 信彦）が結成され、中性子散乱実験施設の検討が開始された。これに引き続いて、原子核関係では、51年に総合研究班「高エネルギー研ブースタービームを用いる精密原子核実験装置の研究」（代表者 京大 柳父 琢治）が結成され、また同年1月には、高LET放射線治療グループ（代表者 筑波大臨床医学系 崎田 隆夫・秋貞 雅祥）より高エネ研所長宛てにブースタービームの医学利用研究施設設置に関する要望書が提出された。このような情勢に対処するために高エネ研側に於ても、利用グループ

代表者と高エネ研関連施設担当者からなるブースター利用計画専門委員会（委員長 埼玉大 田辺 孝哉）が51年2月に発足した。これは原子核、物性物理、宇宙物理、放射線計測さらには医・生物学をふくむ研究分野に属する人々の学際的な集団であり、各研究分野からの利用計画を整理統合して、総合的に実験施設を検討することとなった。とくに、この計画の推進にあたって、高エネ研の大型加速器による素粒子の実験的研究を行う設立主旨に鑑み、利用計画の実現は各グループのイニシアチブによって行われるべきことが強調された。計画の概要は、原子核実験ではアコロマティックおよびクロマティックのビームコース各1に2-アームスペクトロメーターなどを備え、デバンチした運動量の拡りの小さいビームによる原子核の精密実験を想定したものであり、入射ビームに対する要求からビームストレッチャーリングを附加すること、また我が国初の中間子実験施設を建設して中間子による原子核、物性、化学、生物学の新しい研究分野の開始を骨子としたものであった。中性子散乱実験では、ブースタービームのパルス特性を生かし、とくに熱外および冷中性子領域での散乱研究を主眼に、パルス中性子源と各種中性子分光器を備える施設を建設することであり、また医学利用では、高エネルギー中性子線による癌の治療、陽子線による診断と治療を主目的に、我が国の他の研究施設では現在得ら

れない高エネルギー粒子線による治療と診断、また当施設でしか実現出来ない中性子線と陽子線の相乗効果の研究などが大きな特色であった。規模は建設費約60億円、4部門と計上された。しかし、この研究計画は元来パラサイト的性格であることに留意、適正規模に止めるべきことが強く周囲から要望され、結局、核化学、宇宙科学をふくむ原子核精密実験計画は取り止め、昭和52年度概算要求は中性子散乱実験施設の建設のみに止めること、また、中間子ならびに医学関係施設はさらに計画の具体化を検討することとなった。一方これらの新しい実験施設の建設に対する検討と併行して、昭和51年にブースターからのビームを主リング入射のビームコースから分離して、加速器トンネル外に設置されたビームダンプに導く、謂ゆる“ビームダンプライン”的建設が行われ、ブースタービーム利用のための施設建設への重要な布石となった。かくて、昭和52年度から中性子散乱実験施設の建設が3年計画で東北大グループを主体に(責任者 東北大理 石川 義和)高エ研への建設協力という形で進められた。さらに昭和53年には東京大学理学部に中間子科学実験施設(施設長 東大理 山崎 敏光)が設置され、その分室が高エ研に建設されることとなった。これと同時に、中性子散乱実験施設、中間子科学実験施設さらには将来建設されるであろう医学関係

施設を統合総括して、これらの施設の機能を有機的かつ有効に運営するために、高エ研にブースター利用施設(施設長 佐々木 寛)の設置が決った。次いで昭和55年には粒子線医科学センター(センター長 謙訪 繁樹)が筑波大学の分室として発足した。これらの施設の建設は順調に進み、昭和55年6月にはブースターシンクロトロンからのビームを中性子散乱実験施設に、また7月16日には中間子実験室に導入することに成功して、ブースター利用施設の運転が開始された。計画がスタートして3年余のことである。

粒子線医科学センターは現在建設途上にあるが、中性子散乱実験施設KENSは海外での大型パルス中性子源S NSなどが建設中であり、またアルゴンヌ国立研究所のIPNS-Iは完成寸前で足踏み状態にあるなどから、事実上現在世界最強のパルス中性子源として登場することとなり、昭和55年10月、56年6月にそれぞれ高エ研および西独ユーリッヒで開催された第4回ならびに第5回 ICANS (International Collaboration on Advanced Neutron Sources) meeting では予備的データながらその成果は高く評価された。また中間子科学実験施設BOOMは世界初のパルス状ミュー粒子ビームによる本格的な原子核、物性の研究施設として、そのユニークさの故に新しい知見が得られつつある。

## 6・3 國際協力について

菊 池 健

(共通研究系研究主幹)

高エネルギー研では、創設の当初より国際交流を重視し、加速器や実験設備の建設に協力した外国人研究者の数は、昭和46年から昭和51年までの6年間で、約20名に達する。公務員住宅もできていなかった昭和46年の末に、家族を連れて来所したTh.Sluytersなどは、学園都市に初めて滞在した青い目の研究者として週刊誌のグラビアに載ったりした。昭和48年秋には、米国・欧州の加速器責任者や専門家20名が参加して一週間にわたり日米加速器セミナーを赤坂プリンスホテルと筑波で開催した。高エネルギー研で最初の国際的行事であった。

高エネルギー研の加速器が予定通り完成し、順調に稼動するのにつれて、KEKは徐々に世界に認められるようになった。殊に加速器や測定器の建設にあたって開発された数々の新技術は注目をひくのに充分であった。かくして諸外国との交流も年毎に盛んになり、現在では毎年約20人の外国人研究者が長期滞在して共同研究を行っている。

昭和54年度から、高エネルギー物理学における日米協力事業が開始された。これは、もともと昭和53年5月の日米首脳会談で福田総理が、ポスト・オイル時代の新エネルギー源の開発を日米で協力して開発することを Carter 大統領に提案したことによる。昭和54年5月には、日米両国政府の間で日米科学技術協力協定が正式に調印され、協力分野として核融合、石炭液

化、太陽エネルギー、光合成、地熱エネルギーおよび高エネルギー物理が採り上げられた。高エネルギーが加えられるについては、高エネルギー研所長をはじめ関係者の超人的努力や、53年高エネルギー国際会議で来日した米国研究者の強力なあと押しがあった。政府間レベルの協定に基いて、昭和54年11月11日、カリフォルニア州スタンフォードにおいて、文部省と米国エネルギー省との間で実施取極が調印され、高エネルギー物理日米協力事業が軌道に乗ったのである。この実施取極にはいくつかの研究協力の形態が挙げられているが、とくに重要な部分は、日米双方が協力して実験装置を製作し、米国の加速器を利用して共同実験を遂行することである。具体的な研究テーマは、日米高エネルギー物理学委員会において決定されることになっている。この委員会は、日米それぞれ6名ずつの委員で構成され、原則として年1回開催される。第1回は、実施取極調印の翌日開催され、第2回は55年5月、筑波で、第3回は56年5月、F N A L で開催された。この事業のための日本側予算は、昭和54年度、2,1億円、55年度、13.7億円、56年度16.2億円であるが、大部分が米国内で執行されるため、経理上、種々の新しい問題を提起している。現在、進行中の共同研究は、次のとおりである。

1. SLAC - PEP における電子・陽電子衝突実験 代表者 釜江 常好（東大理）

2. F N A L における陽子・反陽子衝突実験  
    代表者 近藤 都登（筑波大）
  3. B N L におけるニュートリノと電子・陽子弹性散乱実験  
    代表者 長島 順清（大阪大理）
  4. S L A C におけるLASS を用いる実験  
    代表者 梶川 良一（名大理）
  5. 泡箱による実験 (S L A C , F N A L )  
    代表者 北垣 敏男（東北大理）
  6. 加速器技術の開発研究  
    代表者 亀井 亨（高エネルギー研）
- 日米協力が始ってすでに3年を経過し、すでに成果を挙げつつある実験もある。昭和55年度にこの協力事業のため米国に滞在した研究者は総計62名である。高エネルギー物理における日

米協力が一つの突破口となり、他分野、他国間の国際協力の道が開かれる事を期待したい。

昭和55年度から、C E R N のE H S への日本チームの参加が実現した。実際に研究に参加するのは、農工大、都立大、広島大チームであるが、この国際協力も高エネルギー研所長が窓口となりC E R N との間に覚書を交換している。同じような形で、ブースター利用施設を利用している東大中間子科学施設とカナダのTRIUMFとの協力も開始されようとしている。日米協力の一環として、U C L A のIgo をリーダーとするチームが高エネルギー研チームと協力してK 2ビームラインで実験を進めている。物理学には国境も人種差別もない。ある。

## 6・4 トリスタン計画について

菊 池 健

(共通研究系研究主幹)

高エネルギー研の現在の敷地が研究所の予定地となったのは昭和42年頃のことである。加速器としては、エネルギー40GeV、直径約400m程度のシンクロトロンを考えていたので、それに必要だと云うことで、約210ヘクタールの土地が確保されたのである。しかし、実際には、高エネルギー研は、予算などの制約から、8GeV陽子シンクロトロンという縮少した規模でスタートせざるを得なかった。高エネルギー研究者は、これは第1期であって、次期計画への踏み台にしたいと考えた。また、それを反映して、日本学術会議の総会報告や、学術審議会の勧告にも、第1期計画の実績をみた上で、将来の発展を図ることが明記されている。したがって、何等かの形の将来計画を立案し、遂行することは、高エネルギー研発足の当初から明らかであった。

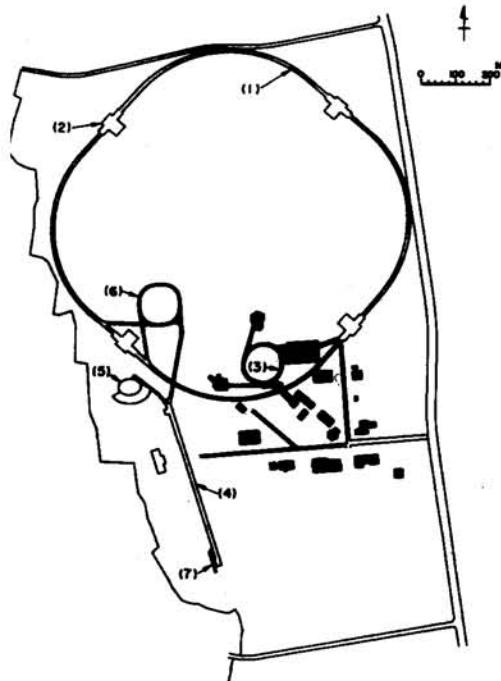
昭和47年頃から、加速器研究系では、西川主幹を中心にして、極く少人数ではあったが、将来計画が検討されていた。最初の案は、北側敷地に、直径648mのシンクロトロンをつくり、建設中の陽子シンクロトロンを入射器として、約100GeV程度のエネルギーを得ようというものであった。しかし、昭和47年2月には、FNALのシンクロトロンが最高200GeVに到達し、高エネルギー研の将来計画として、100GeVシンクロトロンはいかにも時代おくれの感をまぬかれてなかった。

そこで昭和48年頃に提案されたのが、トリス

タン計画である。この案では、直径約6倍の超伝導リングを二台つくり、4ヶ所で交叉衝突させるという考えであった。超伝導リングならば、エネルギー180GeV位の陽子同志を衝突させることができる。しかしながら、建設中の陽子シンクロトロンから超伝導リングへ入射しようとすると、入射時の磁場が低過ぎるので、普通の磁石のリングを加えて、これをブースターのように中間加速に使うということになった。つまり、一つのトンネルの中に3つのリングが入ることになるわけである。さらに、この中間リングで、電子や陽電子を加速すれば、電子と陽子、電子と陽電子など、いろいろな組合せの衝突実験ができる。この万能加速器は、リングが3台あるというので、西川主幹は、Tri-Ring Intersecting Storage Accelerators in Nipponの頭文字をとってTRISTANと命名し、昭和48年秋の日米セミナーを手はじめに、隨時発表した。陽子シンクロトロンの建設も終っていないのに、もう将来計画を考えるのかというような批判をする研究者もいたが、そんなことは委細構わず、トリスタン計画と云う名は、日本のみならず、全世界へと拡がっていった。しかし、その間に世界各国では、DESY、SLACの $e^+e^-$ 衝突加速器、BNLのpp衝突、FNALやCERNの $\bar{p}p$ 衝突計画が次々と出発し、日本としては、国際競争の中で特色を出そうということで、トリスタン計画の重点を電子と陽子衝突

におくことになった。幸いにも、昭和53年から放射光実験施設の建設が始まり、2.5 GeV電子リニアックが建設されることになった。この電子リニアックはトристアンの入射器としてはうってつけであった。一方、電子・陽子衝突で物理の成果を挙げるためには、エネルギーを出来るだけ高くすることが必要であり、そのためには超伝導磁石の実用化が不可欠であった。また、この加速器の建設予算はどう見積っても1,000億以上であり、早急に実現することは困難であると考えられた。このような諸条件を考慮し、かつ、新しいクォークやレプトン探究に極めて

有用であるとの観点から、トристアンを第Ⅰ期と第Ⅱ期にわけ、第Ⅰ期として先ず、電子・陽電子衝突リングを建設するというのが、現在のトристアン計画である。同時に、超伝導磁石の開発を進め、ひきつづいて、第Ⅱ期計画へ進みたいというわけである。財政情勢のきびしい中で、この計画を発足させることができたのは、西川所長はじめ多くの関係者の努力と支援のおかげであるが、天の時と地の利を得たことも事実である。建設は緒についたばかりである。高エネルギー研20年史を飾れるようこのトリストアン計画の成功を祈りたい。



(図) トリストアンの配置図

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| (1) トリストアン主リング    | (5) 放射光実験施設光源     |
| (2) 電子-陽電子衝突実験室   | (6) トリストアン入射蓄積リング |
| (3) 陽子シンクロトロン主リング | (7) 陽電子発生用入射器     |
| (4) 電子線形加速器       |                   |