

4.2 大型加速器計画のフォローアップ

(1) フォローアップの必要性

平成12年に策定された『原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画』（以下、「原子力長計」という）では、大強度陽子加速器（J-PARC）は原子力委員会、学術審議会共催で行った評価を踏まえ適切に推進すること、RI ビーム加速器（RIBF）は着実に建設を進めること、ならびに、一般に大型加速器計画は提案・評価後、遅滞なく評価結果を反映させることが重要であると述べられている。

また、原子力長計の策定に当たって長期計画策定会議第四分科会が作成した報告書『未来を拓く先端的研究開発』第3章「未踏領域への挑戦と持続可能な発展」のなかで、加速器分野の研究開発は未踏領域への挑戦として位置付け、最先端科学の一つとして、我が国の知的フロンティアの開拓に貢献すると期待されている。

現在わが国で建設が進められている大型加速器施設「大強度陽子加速器施設（J-PARC）」、「RI ビーム加速器施設（RIBF）」および建設後順調に稼動して成果を挙げている「大型放射光施設（SPring-8）」、「重粒子線治療施設（HIMAC）」の4施設は原子力長期計画に基づいて建設された先端的な研究施設である。J-PARC と RIBF については建設開始後3年を過ぎており、SPring-8 と HIMAC は供用開始後既に5年を経過している。

そこでこれら4計画について現状を調べ、当初計画との対比において計画の進行状況あるいは達成度、成果を検証することは、今後の原子力長期計画策定に対して貴重な資料を提供するであろう。

フォローアップにおいては以下の点に留意する。

- ① 4計画は400億円から1,000億円以上の巨費を投じる或いは投じた計画であり、完成後は世界最先端の研究施設として機能することが期待されている。したがって最も高いインパクトが得られるように計画が最適化されており、完成させることが望ましい。
- ② 巨額の国費を投入して建設する施設は、最先端加速器として少なくとも20年間は第一線で活躍できるように、将来の発展性を考えて設計し運用することが望ましい。また、運営段階に入った後は、世界トップの性能を実現する努力と予算措置が必要である。
- ③ 加速器の「生産性」をあげることを重視すべきである。このため運用の効率化に努めるとともに、トップクラスの成果を挙げるように、インハウススタッフ

の強化や課題選定方式の改革が望ましい。

(2) 大強度陽子加速器 (J-PARC)

a) 計画の概要

大強度陽子加速器 (J-PARC : Japan Proton Accelerator Research Complex) は世界最大級の強度を有する陽子加速器であり、平成13年度から6年計画で現在建設中である。大型加速器計画としては初めて国(原子力委員会と学術審議会加速器科学部会(当時)の共催)の事前評価をうけてスタートした加速器計画である。高エネルギー加速器研究機構(KEK)と日本原子力研究所(原研)の共同事業計画で、原研東海研究所に建設されている。

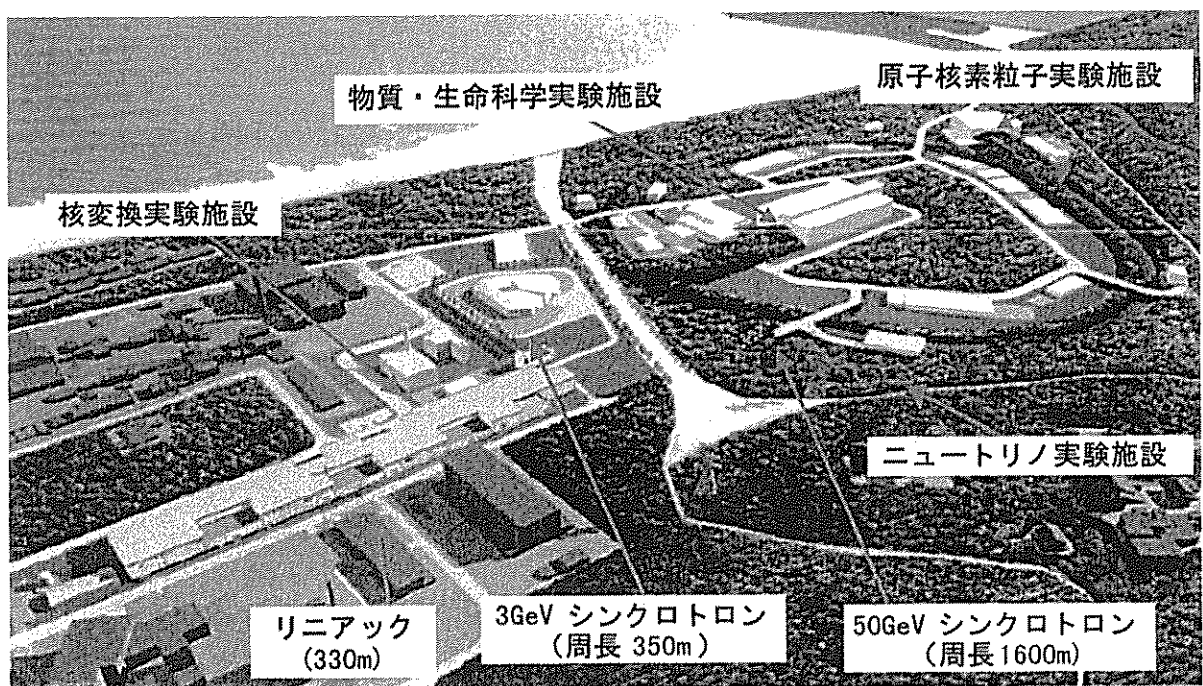


図 4.2(2)-1 加速器施設

加速器システムは、入射器として0.4 GeVリニアック、出力1 MWの3 GeVシンクロトロン(中性子及びミュオン利用施設、物質・生命科学研究)と出力が0.75 MWの50 GeVシンクロトロン(原子核・素粒子物理学研究施設及びニュートリノ実験)で構成されている。大強度陽子ビームを原子核に照射し、そこから生成される二次粒子(中性子、ミュオン、K中間子、ニュートリノなど)をビームとして用い、物質科学、生命科学、原子核・素粒子物理学、核変換の基礎実験など広範な分野の基礎的・応用的研究を行なう。現代科学技術にとって最も重要な基盤的研究施設のひとつである。

b) 日本に建設する必要性

世界的に見ると、中性子科学では、近年、陽子加速器を用いたパルス中性子による研究が台頭してきており競争も激しい。中性子のユーザーは大学の研究者のみならず産業界にも多く、すでに1千人規模に達していることからJ-PARCが完成すると数千人の研究者が利用すると見込まれている。このような状況下、世界的には、OECD Mega Science Forum において北米圏・欧州圏・アジア圏に最低一つずつの施設が必要であると結論している。現在、世界的に最も強力なパルス中性子源は英国のラザフォード研に存在するISISと呼ばれる加速器であるが、米国では、その10倍の強度を持つSNS (Spallation Neutron Source) と呼ばれる陽子加速器を1600億円もの建設費を投入して建設中である(2006年完成予定)。日本のJ-PARC計画はこのSNS計画と競合関係にある。

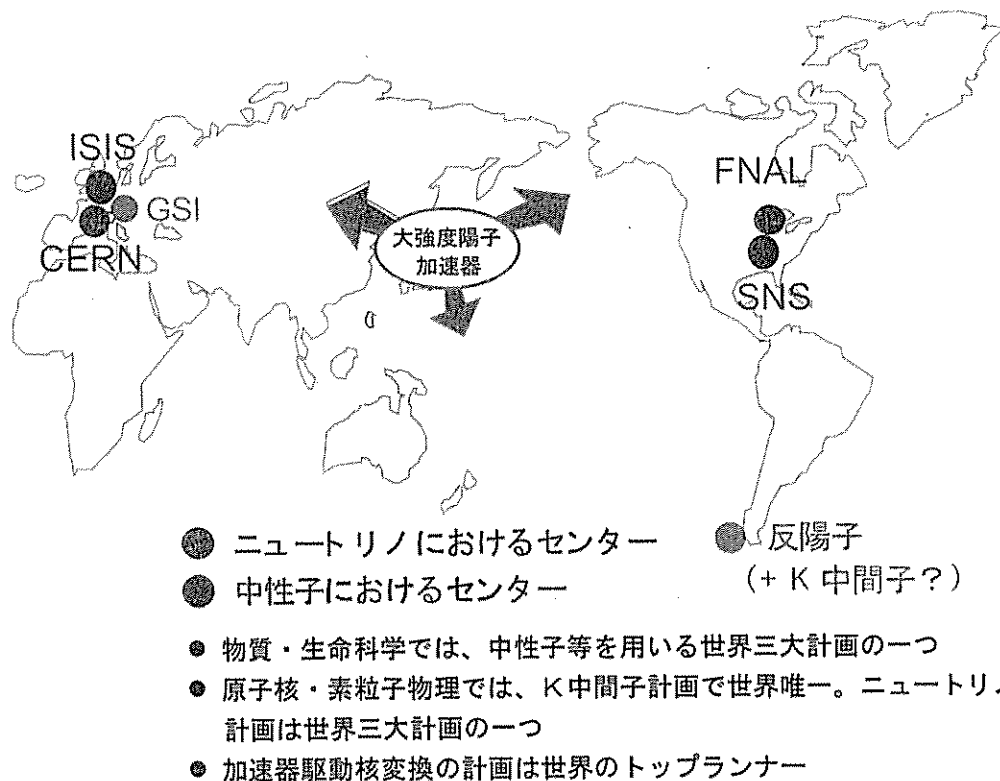


図 4.2(2)-2 3分野のトップをめざす国際研究センター

原子核素粒子の科学においては、世界的に「国際競争」と「国際分担」の二つのメカニズムが共存する。J-PARCにおいて、国際分担の役目を担っている

のは、K中間子ビームを用いる科学であり、世界的には「Kaon Factory」と呼ばれている。一方、原子核素粒子の領域において世界的な「国際競争」に直面しているのはニュートリノ実験研究である。これまでは、スーパーカミオカンデによる宇宙や大気圏からのニュートリノの観測実験により、日本はニュートリノ研究における世界のリーダーシップを確立してきた。J-PARCにおける実験は、日本のこの分野におけるリーダーシップを維持する上でも、重要な位置を占めており、国際諮問委員会は早急にニュートリノ実験施設の建設に着手するよう提言している。

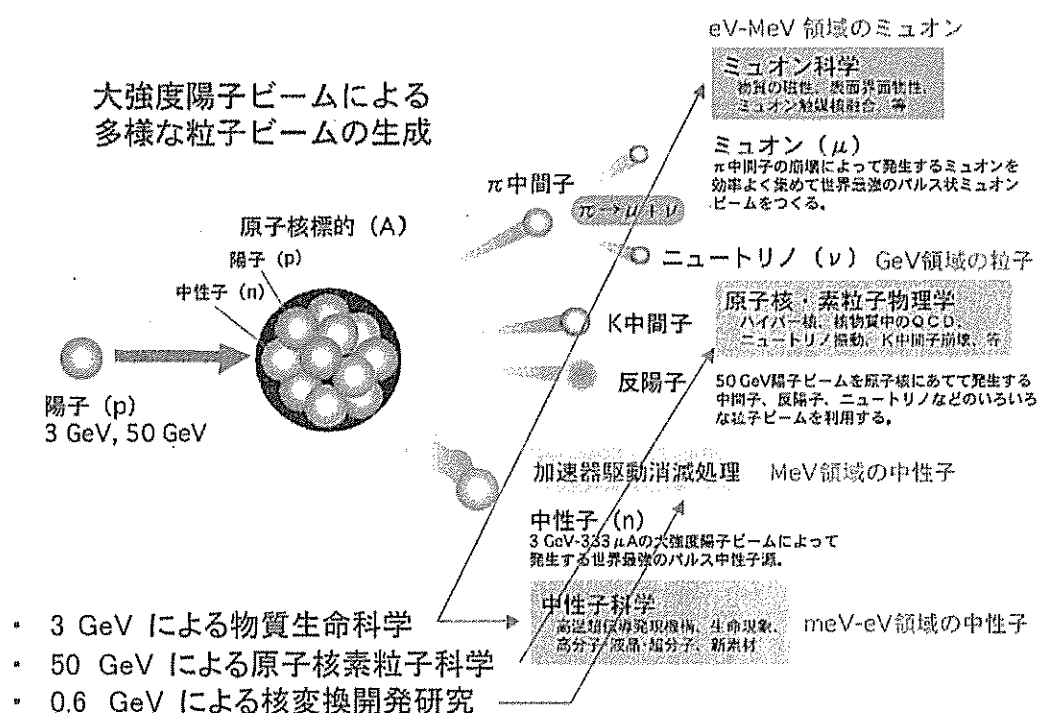


図 4.2 (2)-3 プロジェクトの3本柱

c) 施設建設の現状と今後の課題

J-PARCの建設は平成13年度に始まり、今年で建設3年目を迎える。加速器機器や実験室関連の機器の建設や発注も順調に進み、すでに機器全体の7割以上の発注契約が終了している。建屋工事も着々と進み、ここでも発注契約は5割以上終了している。一方、前半3年間に交付された資金は全体の1/3強なので、計画通り施設の建設が行えるよう準備を進めていくことが望ましい。

完成後の運転に向けて、すでに中性子科学や原子核素粒子科学の分野で、実験企画書が提案されており、それに基づくビームライン配置等も検討されている。また、完成後の運営体制の議論も進められているが、これらの議論の中で、①共同利用をいかに実現するか、②産業界をいかに取り入れるか、③外国の研究者をいかに取り入れるか、④教育の問題をいかにするのか、といった重要な問題点が未だ明確に解答されていない。これらに関する議論を着実に進めることが望まれる。

実験装置予算の獲得に関しては、大学共同利用研究所としての高エネルギー加速器研究機構では、原子核素粒子・中性子科学・ミュオンに関する実験ビームラインや装置の予算請求がプロジェクト内に組み込まれている。

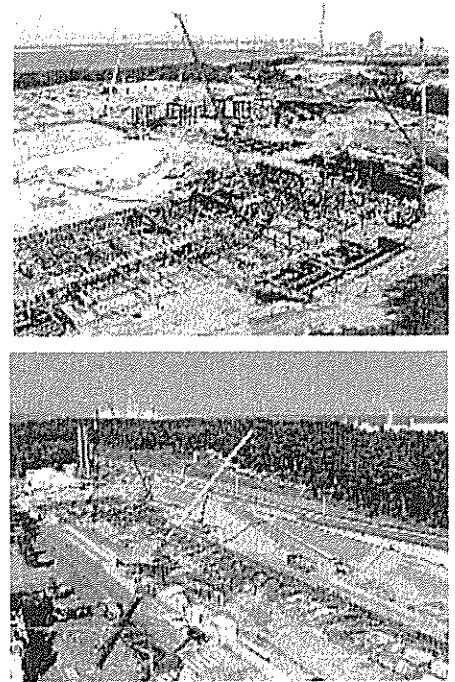


図 4.2(2)-4 建設状況

建設スケジュール

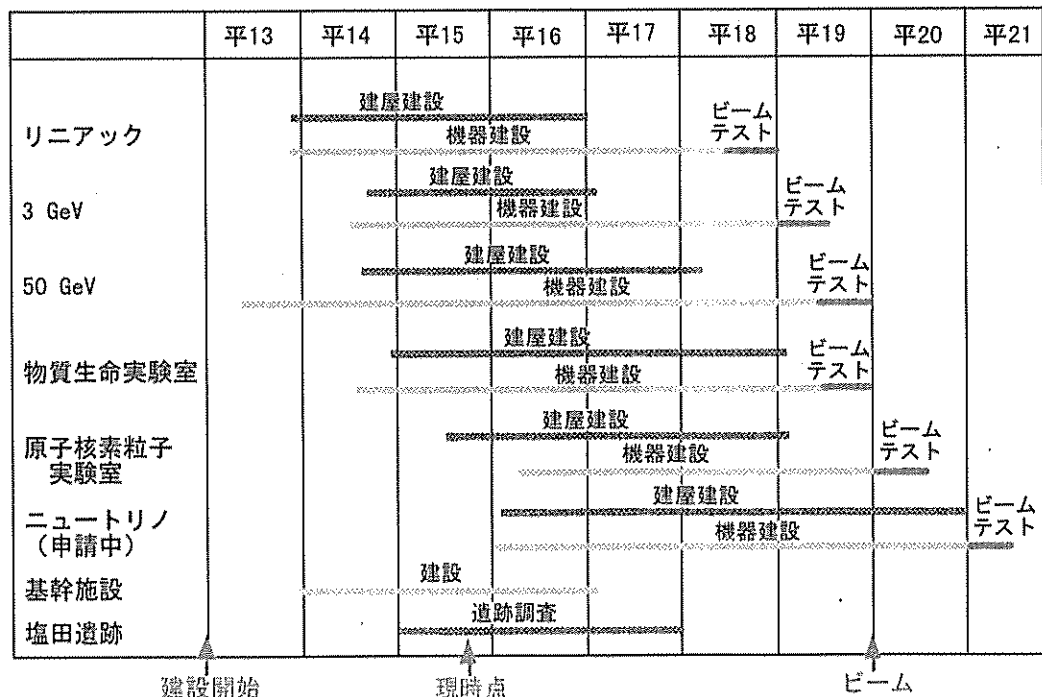


図 4.2(2)-5 建設スケジュールとコミッショニング

d) まとめ

J-PARC は大強度陽子で生成される二次粒子（中性子、ミュオン、K中間子、ニュートリノなど）を用いて、生命科学、物質科学、原子核・素粒子物理学など広範な分野の基礎的・応用的研究を行なう現代科学技術にとって最も重要な基盤的研究施設である。平成13年度からスタートし平成19年度に完成する予定である。国際的にもJ-PARCは世界のセンターとして、国際分担と国際競争の両面から注目されており、J-PARC計画をスケジュールどおりに完成させることが必要である。この計画が遅延すれば、世界最先端の研究が新発見を生む機会を失うことになり、我が国にとって計り知れない損失である。

(3) RIビーム加速器 (RIBF)

a) 計画の概要

理化学研究所（理研）が推進しているRIビームファクトリー（RIBF）は、水素からウランまでの全元素の不安定原子核（RI）を世界最大の強度のビームとして発生させ、それを利用して基礎から応用にわたる幅広い研究を行うものである。

第1期計画は平成7年度からの要素技術開発にはじまり、RIビーム発生装置の整備を主体とし、第2期はビームを使って研究をする施設の整備という形に分かれている。平成9年度には全体の建屋基本設計、調査を始め、平成18年度までには施設の整備が終了する予定である。

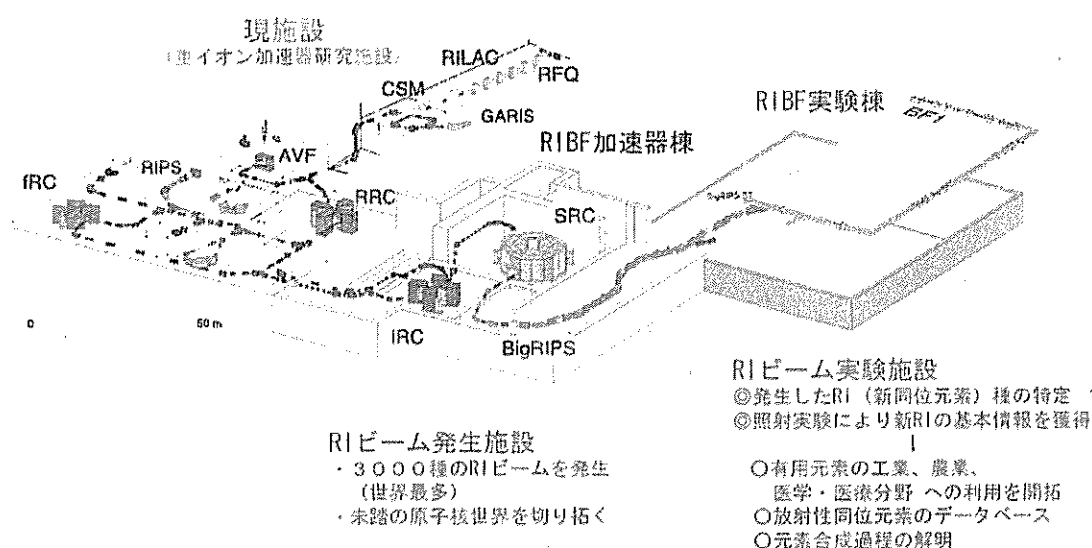


図 4.2(3)－1 RIビームファクトリー計画（第1期） 概念図

第1期では核子あたり 350MeVまで加速したウランによりRIビームを発生するほか、未知のRIを創成する実験等を中心に、RIビームの研究を開始する予定で、実際にRIビームを使ったRIビームファクトリーのポテンシャルを十分に発揮できる反応などの利用・応用研究は、第2期の整備後に進める予定である。

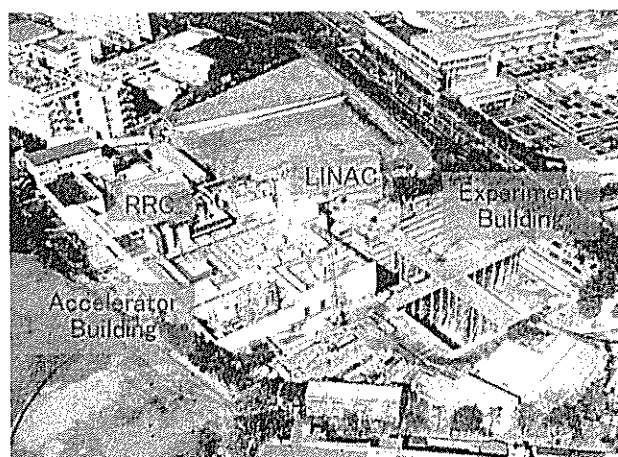


図 4.2(3)－2 RIBF 建設現場

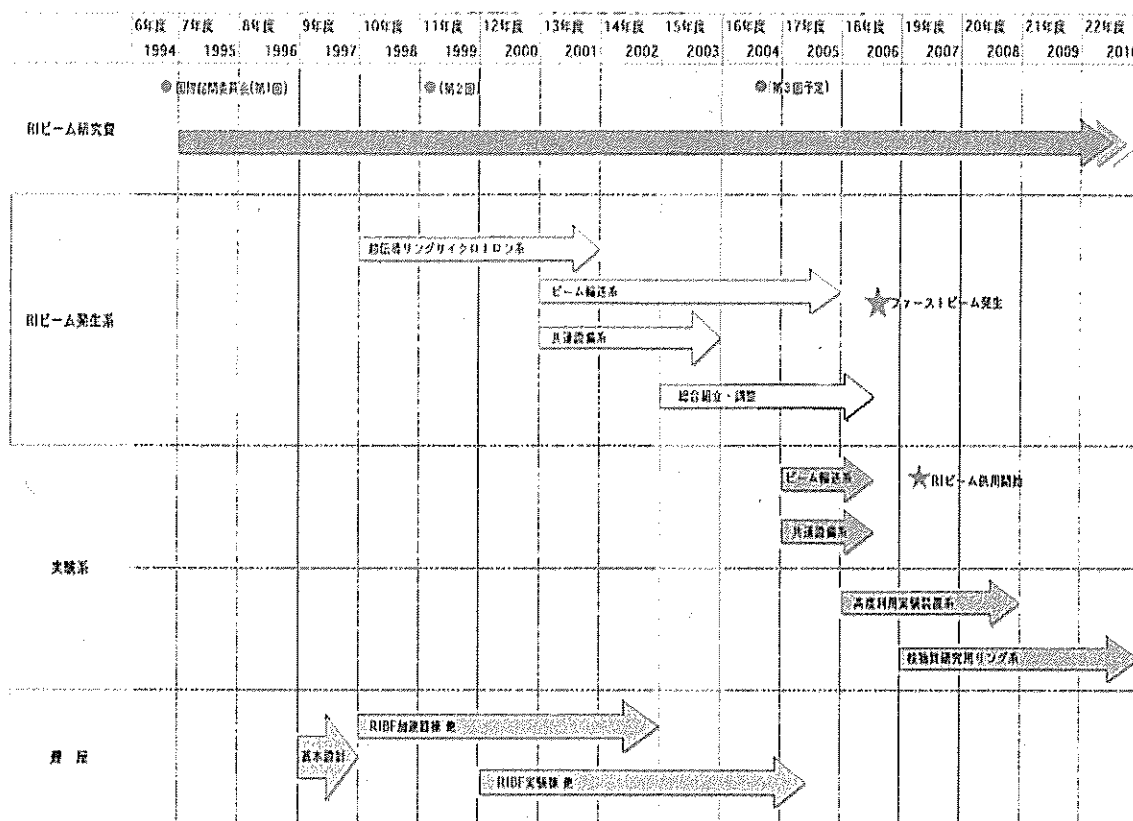


図 4.2(3)－3 RI ビームファクトリー年次計画

理研の現サイクロトン施設をはじめとして、世界のRI ビーム施設におけるパイオニアによる研究は原子核物理学に大きな変化をもたらした。この変化は大きく、原子核物理学のルネッサンスを開いたと言われている。RIビームファクトリーは、完成すれば全元素のRIビームを最大の強度で得られることを利用して、原子核物理学の新世代を世界的にリードする。これまでに知られていなかった多くの原子核を作り出し、原子核の新しい様相を発見し、不安定核の研究により数多く見いだされた核理論のほころびを修正し、新しい理論の構築をすることになる。また、不安定核の反応の研究は、これまでには実験室での研究が不可能であった、宇宙における元素合成の理解を大きく進めると期待される。20世紀の科学を開いた放射線の発見以来、その元であるウランが宇宙の発展の中でいつどのように作られたかの問いに対してはじめて答えを導くことになる。

放射線の源であるRIの諸性質を解明することにより新しい原子力技術の開発への貢献も期待される。例えば高温炉や加速器駆動型の原子炉では、比較的短寿命な不安定核の崩壊熱や核反応が重要な役割を果たすと考えられるが、崩壊常数や崩壊エネルギー、反応の確率などの研究も重要な課題である。

第1期計画では、現施設からのビームを、あらたに建設を進めている f R C、

IRC、SRCの3台の加速器に導き、その後、BigRIPSでRIビームを発生させる。加速器は平成18年度までにすべて完成する予定で、RIビームの分離器であるBigRIPSもそれまでに1基完成する予定である。これらの完成により、新しいビームの発生、すなわちRIをつくってビームを発生することが可能となるので、この段階である程度重要な研究はスタートできる。

第2期計画で、そのRIビームの特徴を活かし、高度に利用する実験施設を建設する予定で、これらの全体的な実験施設の完成が本格的な研究の開始に重要である。

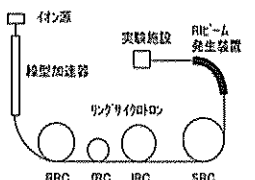
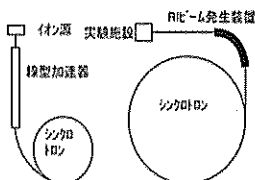
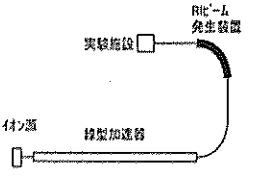
b) 世界の中での位置付け

この計画は、1999年のOECD Megascience Forumの原子核物理ワーキンググループのレポートで、世界の3地域のうちアジアを受け持つ役割を持って重要な施設計画との位置づけを得ている。

RIビーム利用の研究は日本人が開拓し、理研で発展させてきた研究である。また、RIBF計画は世界のトップを切って建設が進んでおり優位にある。このまま実験装置まで建設が進めば、世界で初めての研究が数多く可能である。

しかし、RIBF計画の発足後、ドイツの重イオン研究所(GSI)の高エネルギーRIビーム計画、アメリカの大強度RIビーム計画(RIA)が提案され、いずれもRIBFに2～3年遅れて完成する予定である。RIビームをめぐる国際競争は厳しさを増している。

表 4.2(3) - 1 世界の主要 RI ビーム加速器計画

事 項	主加速器	加速器構成概念図(青色部分を新設)	RIビーム生成手法	1次ビーム	RIビーム	主な研究領域	予算規模	現状
RIBF	超伝導 リングサイクロトロン		重イオン ビームによる 核破砕反応	【大強度ビーム】 ウラン 350MeV/核子 (光速の69%) 10 ¹³ 個/秒 連続波	エネルギー (光速の 60%) と ビーム強度 は 全施設とも ほぼ 等しい	核図表拡大 元素の存在限界の検証 重い元素合成過程の検証 エキゾチック原子核研究 物質材料科学研究	第1期 397 億円	第1期 施設整備費の 80%まで 予算化
GSI	シンクロトロン			【高エネルギービーム】 ウラン 23000MeV/核子 (光速の99.9%) 10 ¹³ 個/秒 パルス波		核図表拡大 元素の存在限界の検証 重い元素合成過程の検証 エキゾチック原子核研究 物質材料科学研究 反粒子科学研究	900 億円	予算計画は 認められたが 予算化時期は 未定 設計実施中
RIA	線型加速器			【大強度ビーム】 ウラン 400MeV/核子 (光速の72%) 10 ¹³ 個/秒 連続波		核図表拡大 元素の存在限界の検証 重い元素合成過程の検証 エキゾチック原子核研究 物質材料科学研究	950 億円?	NSACのf2002Long Range PlanJ1において 最重要プロジェクトに指定 OECDのサイエンスフォーラム において重要度の高い プロジェクトに指定 R&D実施中

注)RIビームを発生するための1次ビームエネルギーは、光速のおよそ70%が必要であるが、それを超えてもRIビームの発生効率は増加しない。

事務局：
激しさを増
す国際競争に勝たね
ばならない
のか、負けて
しまうこと
でどのような
デメリット
が生じるの
かを明確に
説明する必
要がある

c) 今後の展開と課題

本計画は、平成6年に実施した国際諮問委員会を経て、平成9年度から建屋の基本設計、また、平成10年度からは超伝導リングサイクロترون系等の建設に入っているが、2つの大きな課題がある。

第一点は、第1期計画終了時の実験装置の整備等運転経費などの資金計画について明らかになっていない。完成後には、別途実験資金を得ることなどが必要である。

第二点は、第2期計画は第1期計画の進行状況を見て判断することになっており、早急に国際諮問委員会、国の審議会などの外部評価を実施して、具体的な実験計画を明らかにし、建設に移行できるよう準備を進めることが望ましい。

事務局：
完成までに、目処をつける必要はないのか

d) まとめ

本施設の主たる目的は、原子核物理学の研究であり、なかでも宇宙における元素合成メカニズムの解明などを含む天体核物理学が主眼である。このような研究開発の目的設定は、適切である。本分野は、日本人研究者がパイオニア的な貢献をした分野であるが、世界における競争も激しい。特に独国や米国において同種の加速器の建設が提案されつつあり、先日発表された米国DOEの“20 year outlook”ではRIA計画が今後の施設建設の中で非常に高いプライオリティに認定されている。RIビームファクトリー計画が年次計画通りに建設されて、平成18年度までにウラン加速によるRIビームが得られ、諸外国に対して優位性が保てるように措置することが望ましい。

(4) 大型放射光施設 (SPring-8) 計画

a) 施設の概要

SPring-8 (: Super Photon ring 8GeV) 計画は、理研と原研が協力して建設した全国共同利用施設で、当初予算で計上した建設費で当初計画より1年以上早く完成した。1997年3月にビーム加速に成功し、同年10月から10本のビームラインで放射光利用実験を開始した。

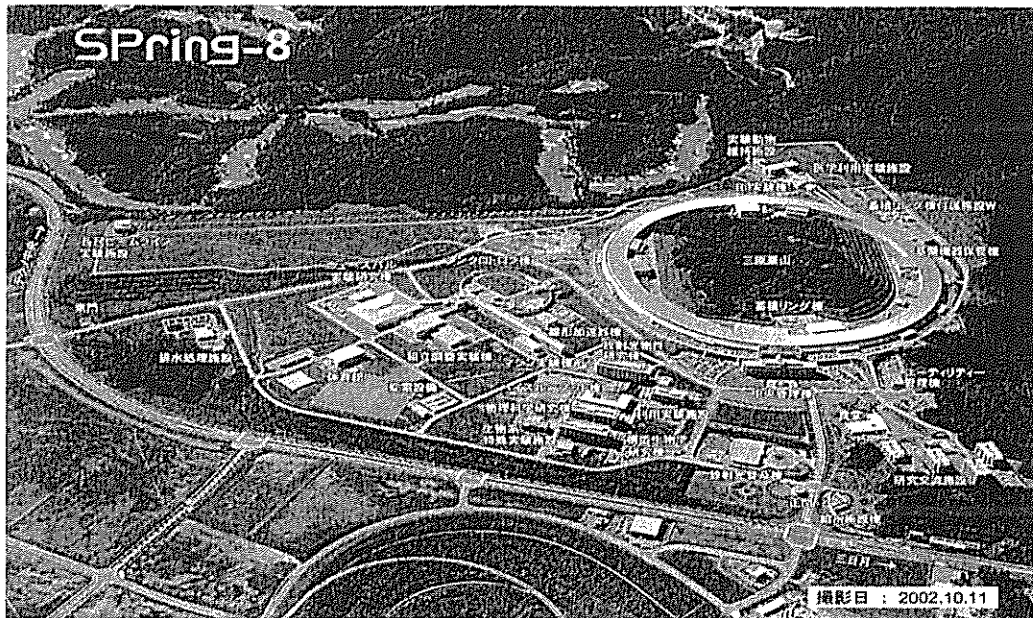


図 4.2(4)－1 SPring-8 全景

過去6年間に47本のビームラインを建設し、年間5400時間の運転を実現している。なお、ビームライン(BL)の内訳は、SPring-8 建設費で建設した共用BL25本、外部資金により建設した専用BL9本、理研及び原研専用BLが各々7本と4本、加速器診断用BL2本である。

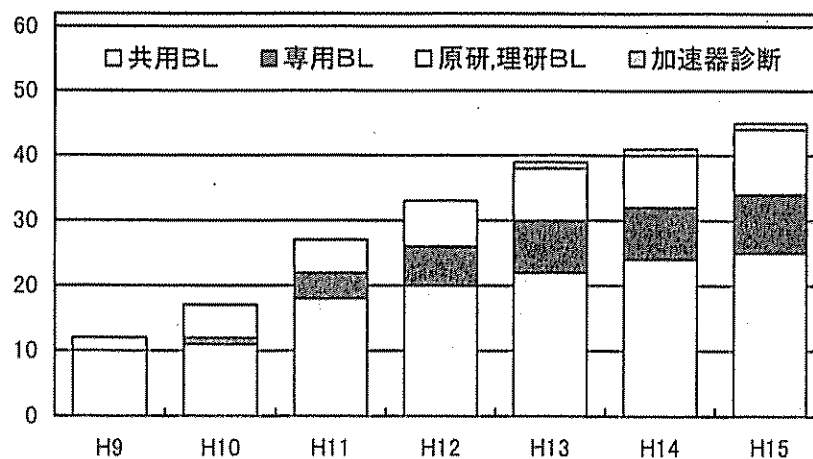


図 4.2(4)－2 稼働ビームライン数

SPring-8 の蓄積リングは垂直方向のエミッタンスとビームサイズが設計値よりはるかに小さく、ビーム電流、ビームの寿命や安定度などで設計値を大幅に超える性能を持っている。また世界一長いアンジュレータ、1km 長のビームラインなど独自の装置があり、得られる放射光は波長領域の広さ、波長分解能やパルス幅、輝度、指向性、干渉性、偏光特性など多くの点で世界最高の特性を有している。

SPring-8 では 1997 年 10 月の供用開始後すぐに実験が始まった。利用課題数は増加の一途をたどり、2002 年 2 月から翌年 2 月までの 1 年間に 1338 課題の実験を行い、延べ 8843 名が実験に参加した。2002 年に学術雑誌に発表された論文は 347 編である。産業界による利用も着実に増加しており、2002 年には 150 課題を越す実験が行なわれた。また、成果占有課題（有料）も増加していて 52 件であった。

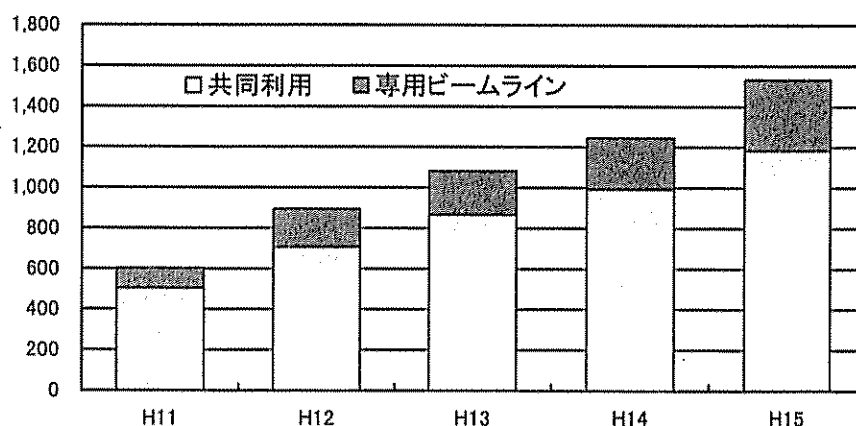


図 4.2(4)－3 利用課題数

実験開始後現在（2003 年 8 月）までに行なわれた実験課題の総数は 4263 件、総利用者数は 26600 人を超えている。とくに生命科学や物質科学の分野ではハイクオリティ学術雑誌の表紙を飾る世界的に注目される成果が数多く得られている。このように SPring-8 は広範な学術・科学技術の分野の基礎的、応用的研究で世界的な業績を上げている。

表 4.2(4)－1 SPring-8 における成果

クォーク5個から出来ている新しい粒子(新バリオン)発見 (Physical Review Letters)
 新粒子は、クォーク5個からできているバリオンで、LEPS グループが SPring-8 のビームライン(BL33LEP)で得られる世界最高エネルギーのレーザー電子光を中性子に照射し反応を分析した結果、中性子の 1.7 倍の質量(質量エネルギーにして 15.4 億電子ボルト)の新バリオンが生成されていることを発見

貴金属複合ペロブスカイト型酸化物触媒の自己再生機能を解明 (Nature)
 新しく開発したペロブスカイト型酸化物触媒が自動車の排ガス中で自己再生機能を有することを、大型放射光施設 SPring-8 の放射光X線を利用した原子レベルでの解析

酸素分子を1列にならべる (Science)
 ゼオライトや炭素系物質と同じように、ナノスケールの細孔を規則正しく並べた物質をブロックに組むようにデザインし、化学的に合成することに世界で初めて成功

筋収縮を調節する分子メカニズムの一端を解明 (Nature)
 筋収縮の調節に重要な役割を果たしているタンパク質の立体構造を決定し、その分子メカニズムを解明することに世界で初めて成功

干渉性放射光散乱パターンを元にした実空間像の再現(Physical Review Letters)
 2層のニッケルパターンから干渉放射光による散乱パターンから位相回復法により、3次元実空間像をナノメートルスケールで世界で初めて再生する事に成功した。この方法はナノテクノロジー、ライフサイエンスなど広範な応用が期待される。

b) 今後の展開と課題

i) 研究利用の推進

我が国の重要施策である「タンパク 3000」計画 (RR2002) は、5 年間で 3000 種の蛋白質の立体構造を決める計画であるが、SPring-8 は理研ゲノム科学総合研究センターとともに拠点施設になっている。また科学研究費補助金の特別推進研究や特定領域研究に指定された研究に対する重点的なビームタイム配分するなど、他の重要施策研究にも貢献しており、我が国の研究基盤施設として研究遂行に欠かせない役割を果たしている。

平成 14 年度から運転経費の約 30%を上記「タンパク 3000」計画 (RR2002) 予算から受けている。

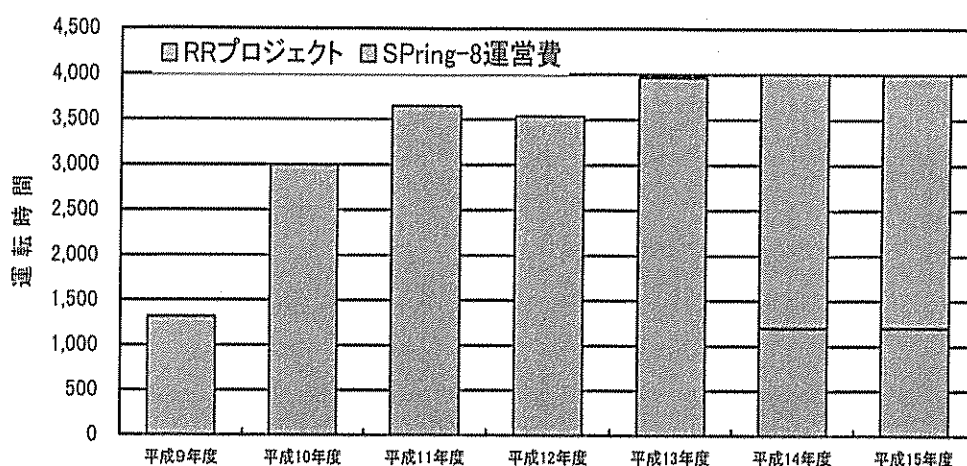


図 4.2(4)－4 SPring-8 の利用時間

ii) 施設の保守

SPring-8 では、大強度高エネルギー放射線による加速器、ビームラインの損傷が進んでいる。とくに冷却水中の溶存酸素の活性化でおこる金属腐食による冷却水配管の断裂や漏水、トップアップ運転及び低エミッタンス運転による熱負荷の増大、非常用蓄電池の寿命など経年劣化が進んでおり、その対策を重点的に実施してきた。

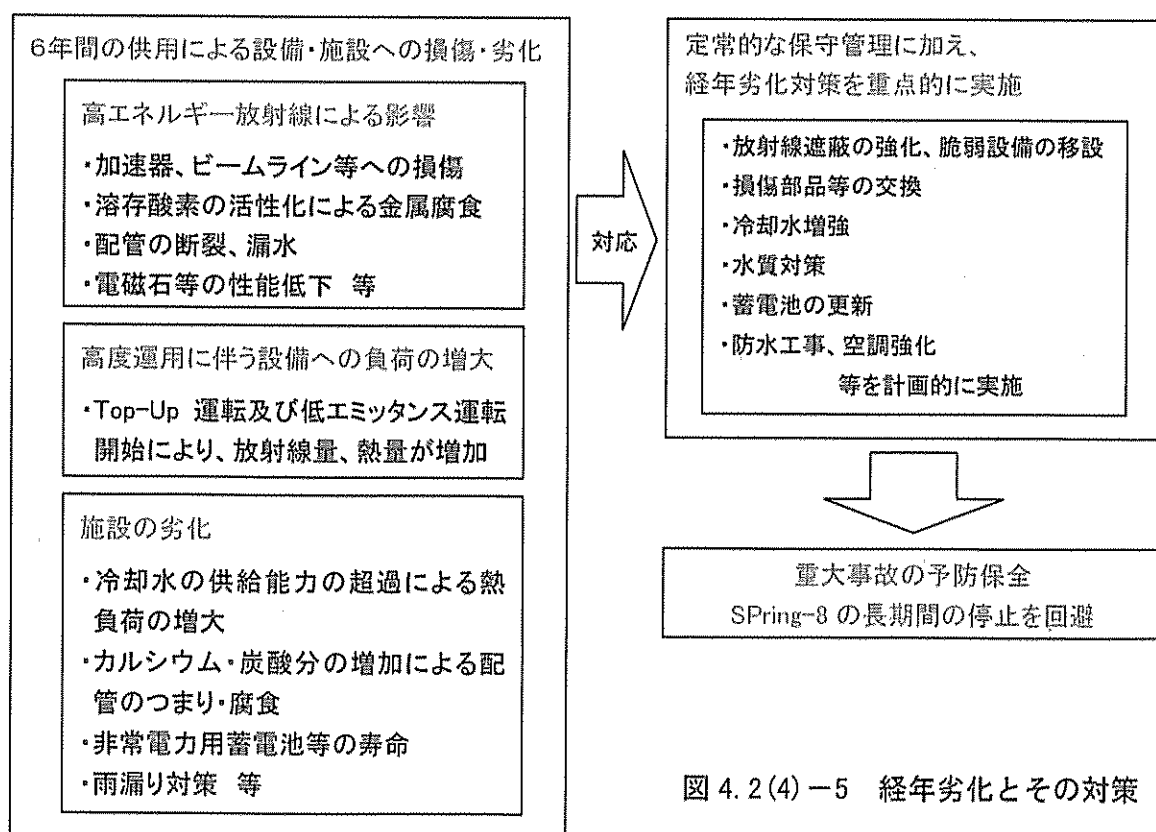


図 4.2(4)－5 経年劣化とその対策

iii) 施設の高度化

SPring-8 には他の放射光施設では実現できない特性をもつ放射光を発生する潜在能力がある。これまで高度化研究費を用いて SPring-8 の高度化が進められてきた。これまでに蓄積リングの安定化／低エミッタンス化で干渉性 X 線の実験を可能にし、現在はトップアップ運転で測定精度の大幅な向上を図っている。次は 30m 長直線部を利用したフェムト秒のパルス放射光の発生を計画しているが、これが成功すると SPring-8 は世界で唯一のパルス幅フェムト秒の X 線光源になり、新しい研究領域の開拓が可能になる。

表 4.2(4)－2 SPring-8 加速器の高度化

<p>低エミッタンス 蓄積リングにおける水平エミッタンスを6nmrad から3nmrad に低減</p> <p>TopUp運転 蓄積リングへの連続入射を行う TopUp 運転の実施により、積分電流値の増加、光学素子の熱負荷変動の軽減、強度測定精度の向上が可能</p> <p>フェムト秒パルス 30m長直線部挿入光源、低エミッタンス、及び軌道の安定性の特徴を活かして、30m超直線部に Crab 空洞を設置し、フェムト秒の短パルス放射光を発生が可能</p>

c) まとめ

SPring-8 では今後加速器及びビームラインの保守／高度化をどのように進めるかが問題である。大型加速器のフォローアップについては、建設費及び運営費へ投入した国費の生産性／投資効率という観点から全面的に改革する必要がある。

事務局
具体的に
何を改革
する必要があるのかを示す

(5) 重粒子線がん治療装置 (HIMAC)

a) 施設の概要

独立行政法人放射線医学総合研究所のHIMAC (: Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba、重粒子線がん治療装置)は、臨床試験開始後、9年を経過し炭素ビームを使用して約1500人の患者を治療した。

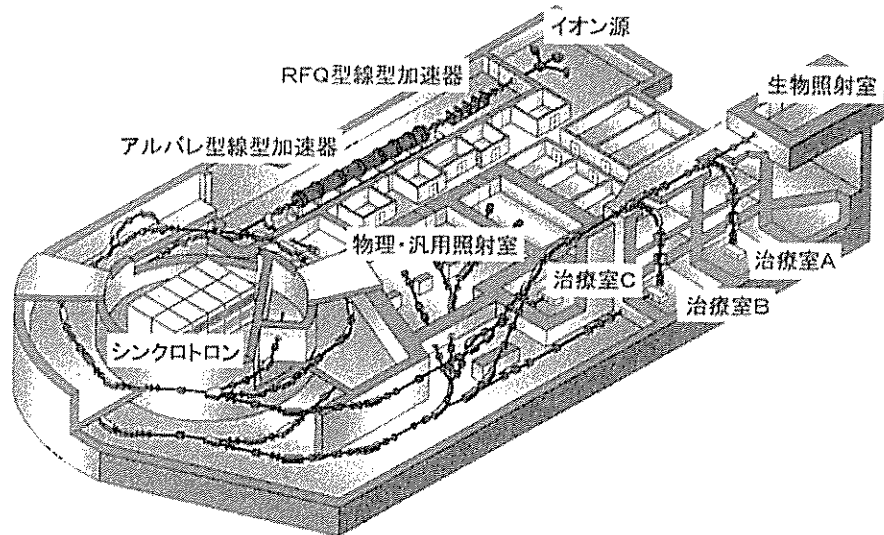


図 4.2(5)－1 重粒子線がん治療装置 HIMAC

平成15年3月現在、総治療病巣数 1,511 (患者数 1,448 名)

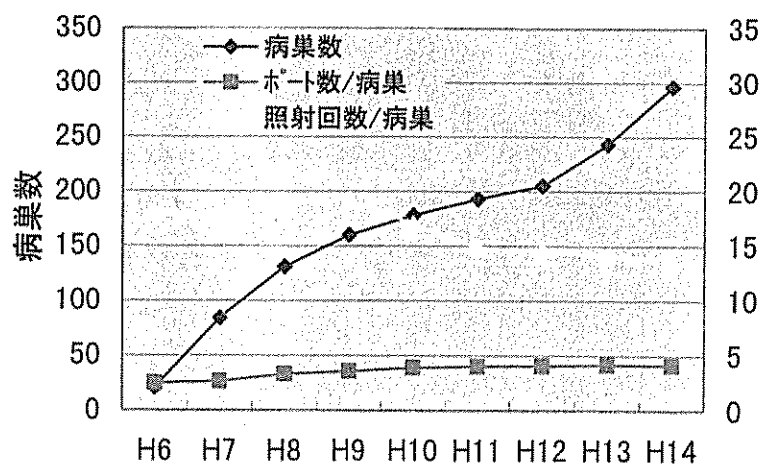


図 4.2(5)－2 HIMAC での総治療病巣数

対象とした固形腫瘍部位は、頭頸部、肺、肝臓、子宮、前立腺など、ほぼ全身にわたる。治療成績は非常に良好で、最新鋭の放射線治療法としての実績を確立して、世界的にも非常に高く評価されている。肺や肝臓の短期間治療、骨軟部腫瘍のように他の適切な治療法がないような症例に対する優秀な成績などは、重粒子治療の他に抜きん出ている実績と言える。平成15年10月に高度先進医療の認定がなされ、今後さらに実績を積み普及が進めば、治療プロトコルが確立した対象は、一般保険適用に向かうことになる。

放医研は、設立の趣旨から、今後とも医療活動のかなりの部分を、臨床研究に置くことになるので、今までは炭素線治療に絞ってきたが、今後は、腫瘍対象部位の拡大、分割照射回数の減少による治療期間の短縮、さらには、浅在性の腫瘍に対する炭素以外の粒子、N e や S i ビームによる治療等を実施することになる。

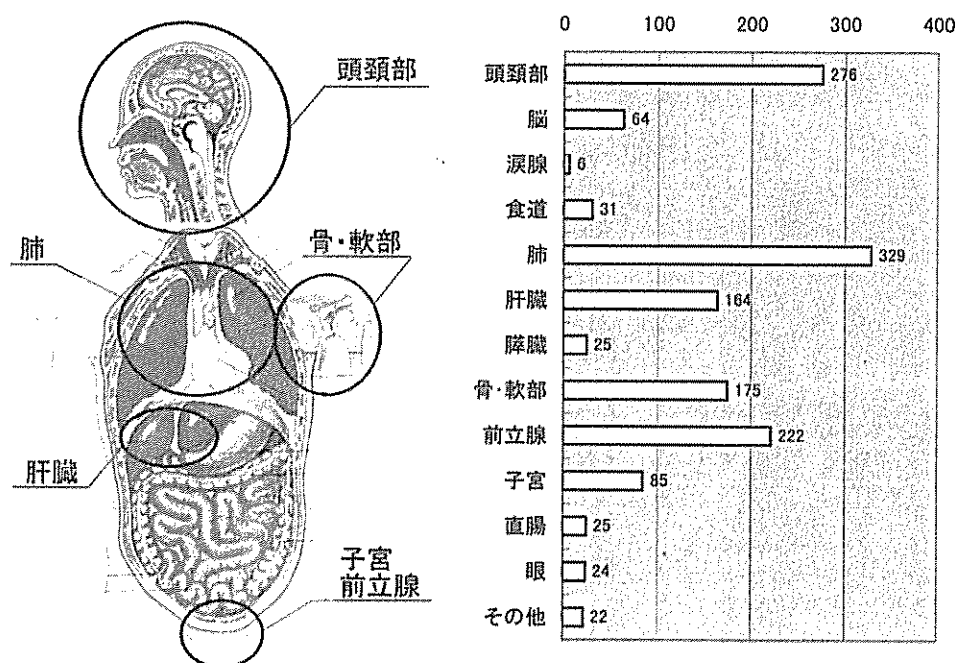


図 4.2(5)－3 HIMAC での治療部位

照射技術の面では、現在行われているワブラー法を改良した積層原体照射法、三次元のスポット・スキヤニング、また ^{11}C の R I ビームの利用、照射治療計画における粒子線特有の最適化プログラムを開発している。

HIMAC施設自体は、個々の装置の経年変化に対する更新、維持、改良を重ねつ

つ、順調に運転されている。医療用加速器の信頼性、安定性を重視した設計、関係者の非常な努力により、過去に治療スケジュールに影響のあった事象は、9年間でわずか4件にとどまっており、世界の加速器群の中で最高の安定性を維持している。

特に、この間、施設建設、装置の保守維持、改良、前臨床試験、臨床試験、を通じて、物理学、工学、生物学および医学という異分野の研究者、技術者、が相互に協力して、上記のような優れた成果を得てきたという点が、高く評価されるべきであろう。

また、その実績と平行して、まだ少ないながらも医学物理関係の人材を育て他の施設へ送り込んでその建設、運営に寄与して来たという点でも、その貢献は著しい。

さらにHIMACは核子あたり800 MeVの重イオンビームを加速できるという日本では他にない特徴を活用するため、当初より分野を問わずその研究への利用を所内外に開放してきた。平日の昼間は2台のシンクロトロンからの炭素のビームで患者の治療用専用に使われているが、平日の夜間と週末は、これらの医学、生物、物理工学の基礎研究の実験に使用されている。これらの種々の実験のためには目的に応じて多様なイオン種を加速することが要求されてきたことから、現在HIMACでは、3台のイオン源を駆使して陽子からXeに至るまでのイオンが供給されている。時間分割方式で2台のシンクロトロンは同時に異なるイオン種を異なるエネルギーで加速できるため、利用効率が非常に高く、供給されている実験時間数はのべ年間5000時間に達している。研究課題数は年間で約130であり、利用者は所内が約150人、所外が約600人（そのうち海外からの利用者が約10%）で、発表される原著論文数も年間約80編を数え、基本的に24時間運転でHIMACは非常に有効に使用されてきたといえる。

b) 今後の展開と課題

重粒子線治療では日本は世界に対して少なくとも10年以上リードしており、陽子線を含めた実績は突出している。治療効果が極めて優秀であるということと、がん患者の発生数、死亡数を考えると、この治療法を今後できるだけ広く普及すべきである。

その普及に向けては、HIMACは研究用の色彩が強く、大きな装置で、コストも高いが、粒子線治療を普及させるためには、ハード的には装置の小型化、コストダウン、普及に際してのソフト体制の整備が必要である。

i) 小型化への技術開発

経験を積んだ現在、実践的な最適化設計を目指している。例えば、①加速粒子とし炭素線に特化することにより、最大加速エネルギーをHIMACの1/2あるいはそれ以下にする。②イオン源に永久磁石を採用する。③照射装置、治療室を合理化、簡素化する、等。

ii) 人材の養成

粒子線治療施設はまだ少なく、今後そのような施設を全国に展開していくためには、粒子線施設に必要な人材を養成してゆかねばならない。具体的には、①粒子線の特殊性を十分理解している医師、放射線技師を養成する。②加速器装置を運転、保守するエンジニア、テクニシャンを養成して増員する。③大学教育及び既存施設の中で、医学物理士を養成する。

iii) 体制の確立

粒子線治療装置を全国各地に設置してその施設を有効に活用するためには種々の課題を解決しなければならない。例えば、①設備を運転、維持、管理する体制の確立。②故障の際に迅速な対応のできる組織をつくる。③治療の質の保持、改善をはかる。④装置製作会社と発展、共存できる体制をつくる。

c) まとめ

HIMAC は、重イオンによる治療用加速器として特に安定性を重視した設計がなされ、故障が殆どなく、評価の高い加速器であり、すでに 1500 人を越える患者を治療し、高い利用効率を堅持している。このことは国際的にも評価されており、HIMAC の第一の波及効果として高く評価されるべき点である。

また、今後、重粒子線治療を医療技術として確立し、全国に普及するためには、小型化への技術開発、人材の育成、加速器の運転や運営に関する体制の確立等が必要である。

(6) まとめと今後の課題

対象とした4件の大型加速器計画は概ね順調に進行している。

また、これらの大型加速器は世界的に見ても最先端の施設であるとともに、そこで行われる研究開発は国際的な評価も高い。科学技術・学術的な意義も十分あり、今後の我が国の発展に大きく寄与するものである。

J-PARC、RIBF、SPRING-8による創造的な研究によって生み出される新発見は、新産業・新技術の創出を促し、そこから得られる優れた研究成果は社会に還元されるものと期待される。

また、医療用加速器である HIMAC による優れた成果は、従来にない画期的な治療法として、高度先進医療の承認を経て、国民医療の中に重粒子線によるがん治療を定着させることへの貢献が期待される。

さらに、これらの大型加速器による成果は、国民の知的好奇心をかき立て、科学技術に対する関心を引き起こすとともに、若者に夢を与え先端的科学技術分野に進もうとする意欲を持たせるきっかけを作ることにもつながると期待される。

以上を総合して、科学技術の発展において、これら4件の大型加速器計画は、今後も適切に推進されることが望ましいと考える。

しかし、これら4件の大型加速器計画は大型プロジェクトであり、その建設、運営にあたっての予算規模は極めて大きい。我が国の現下の財政状況等を踏まえれば、国際社会の中の分担や競争も十分に考慮しつつ、緊急性・重要性の高いものから実現することを考える必要がある。

そこで、原子力として資金を配分する対象を絞り込むとともに、加速器分野の研究開発の先細りを避けるため、他の資金をどのように取り込んで研究開発を継続するかを検討する必要がある。

こうした状況の中、施設建設、実験装置の準備、維持運営費、研究費、高度化のための資金等の不足によって、研究計画の遅れと研究レベルの低下が生じており、現在の状況が継続した場合には、核研究機関が世界レベルあるいは、それを凌駕する研究成果を出し続けることが困難になるとの危機感がある。

実験経費等の不足で大型の研究施設を十分に活用できない恐れもある。このような状況は大型研究施設の有効利用に支障を来すとともに、将来の基礎科学の発展に影響を及ぼすものである。完成した大型研究施設に必要な十分な研究費等の予算が措置されるよう十分な配慮を行う必要がある。

現在の計画のまま進行すれば、これらの大型加速器計画は、世界のトップランナーを維持できることから国際的にも高い期待が寄せられており、世界各国の研究機関や産業界との共同研究も期待できる。

建設が完了し運用が開始されている SPring-8 の例に見られるように、世界的規模の施設が完成するとそれを利用した研究を求めて利用者は飛躍的に増大し、それにともなって産業界からの施設利用も増大すると考えられる。

そこで、建設中の J-PARC、RIBF についても、建設資金は原子力から配分するとしても、建設が終わった後の施設の運用に関しては、こうした共同利用を積極的に活用し、外部研究資金、施設使用料、特許実施料等の自己収入の増加に努めることを今後は検討する必要がある。

また、高度先進医療の認可を取得した HIMAC は、今後はライフサイエンスの分野の資金を活用することを検討する必要がある。

その上で、資金には国民からの税金も使われていることを認識し、計画の推進に当たって、アカウントビリティ（説明責任）を明確に果たす必要があることを忘れてはならない。つまり、研究者としての意欲だけでなく、成果がどのように還元されるのかを説得力ある形で国民に示すことが重要となっている。

さらに、研究開発の推進には加速器に関わる人材の確保（育成）も重要な課題となっている。将来の先端的な加速器科学研究を担う人材の養成について、大学等と研究開発機関との連携・協力を配慮していくことが必要である。