

原研・KEK 統合計画に関する  
国際アドバイザー委員会  
報告書

第 1 回委員会 平成 14 年 3 月 5・6 日  
東京於

## 目 次

答申の骨子	3
<b>加速器システム</b>	4
<b>科 学</b>	5
原子核素粒子物理	5
物質・生命科学	5
核廃棄物変換	6
<b>組 織</b>	8
提言のまとめ	10
<b>加速器システム</b>	10
<b>科 学</b>	10
原子核素粒子物理	10
物質・生命科学	10
核廃棄物変換	11
<b>予算と組織</b>	11
一般報告	13
<b>序 論</b>	13
<b>施設の概要</b>	13
<b>科学と技術</b>	14
<b>加速器</b>	14
人的資源	14
利用可能度の基準	15
ビーム損失の基準	15
部品調達の準備状況	15
<b>原子核素粒子物理</b>	15
ニュートリノ物理	16
K中間子稀崩壊	16
レプトンフレーバーの破れ	17
ハイパー核分光	18
ハイペロン核子散乱	19
核媒質中のベクトル中間子	19
ハドロン分光	19
<b>物質・生命科学</b>	20
中性子散乱	20
凝縮相に於けるミュオン科学	22
<b>核変換の科学と技術</b>	24
組織と運営	25
優先度と国際協力	28

## 答申の骨子

本国際アドバイザー委員会は、日本原子力研究所（原研）と高エネルギー加速器研究機構（KEK）の統合計画プロジェクトディレクターの諮問により、2002年3月5・6日に東京及び東海において開かれた。

この統合計画は、KEKの大型ハドロン計画（JHF）と原研の中性子科学研究計画（NSP）を一つの大型施設として統合し、両機関が協力して原研の東海サイトに建設を進めているものである。本委員会の委員は以下の通りである。

ARTHUR, Edward (米国、ロスアラモス国立研究所、主任研究員)  
CHEN, Jia'er (中国、国立自然科学財団、代表)  
CHO, Yanglai (米国、SNS計画、技術ディレクター)  
FROIS, Bernard (フランス、研究省、エネルギー・輸送・環境・自然資源庁、長官)  
FUJII, Yasuhiko (日本、東京大学物性研究所、教授)  
HOLMES, Steve (米国、フェルミ国立研究所、副所長)  
KIRK, Tom (米国、ブルックヘブン国立研究所、副所長)  
KONDO, Shunsuke (日本、東京大学工学部、教授)  
PETITJEAN, Claude (スイス、PSI研究所、素粒子物理研究部、副主任)  
POUJISSOU, Jean-Michel (カナダ、TRIUMF研究所、副所長)  
TAYLOR, Andrew (英国、ISIS研究所、所長)  
TOTSUKA, Yoji (日本、東京大学宇宙線研究所、教授；本委員会副委員長)  
WHITE, J.W. (オーストラリア、オーストラリア国立大学教授、及び国立結晶学委員会委員長；本委員会委員長)

本委員会への諮問は以下の通りであった。

- 本計画が、予算、組織、スケジュール、加速器技術等を含む技術開発などの観点から、正常に進んでいるといえるかどうかについて諮問すること
- 科学分野の優先順位、特に、第1期と第2期の研究分野についての優先順位について諮問すること

これらの諮問事項が本報告書に述べられており、提言にまとめられている。第2番目の諮問事項については、提案された研究分野を精査し、必要とされるかもしれない選択肢について助言を与えた。

今や、KEKと原研の300名を越える職員が本計画のために働いており、統合計画の目標の実現へ向けて力強いスタートを切ったことは、当委員会としても誠に喜ばしいところである。2001年5月に、KEKと原研の間で建設に関する覚書が締結されたことは、6年間で1,335億円という第1期分予算が日本政府に認められたことに引き続き、建設開始の大きな一歩であったといえる。第1期と第2期を合わせた総予算は、1,890億円にのぼると予想されている。本計画は、21

世紀の広範囲な科学の最先端をカバーしており、全世界レベルの研究センターとなるであろう。素粒子・原子核物理学、物性科学、エネルギー工学を含む多くの研究分野の、世界の優れた研究者達を惹き付けるであろうことは、既に見て取れる。

本委員会は、この計画により、日本は、多くの研究分野において世界のリーダーとなる機会を有していることを忠告しておきたい。今回の委員会は、本計画の重要な時期に開催されたといえる。我々はこの機会に、プロジェクトチームが上記の目的を達成できるように、来年のうちに組織形態と進め方について重要な決定がなされることを提言する。

委員会で発表された研究計画は、どれも非常に興味深いものではあったが、計画が第1期と第2期に分けられたということからくる予算面、人員面、スケジュール面での制約のなかで、研究計画の優先順位を考えていくことが来年必要となるであろうということを提言する。更に、委員会は、加速器や最初にでき上がる実験装置の建設において、たとえ実験装置や可能な実験の数が制限されるとしても、「世界級標準」レベルを維持するという方針が採られることを提言する。プロジェクトディレクターは、本施設の運用開始の初日から実験プログラムの最新の成果が世界の注目を浴びるものとなるよう、生み出される成果の重要性に応じて実験プログラムが計画に取り込まれるよう配慮すべきであると委員会は提言する。

## 加速器システム

原研-KEKの統合計画は、400 MeV 線形加速器、3 GeV 早い繰り返しのシンクロトロン、50 GeV シンクロトロンから成る技術の粋を尽くした陽子加速器群を建設しなければならない。二つのシンクロトロンは、3 GeV シンクロトロンから 1 MW、50 GeV リングより 0.75 MW という非常に高い平均ビームパワーを供給するべく設計されている。加速器の性能基準は既に確立され、先進的な概念設計も終了し、多くの加速器要素について、主要な調達が既に開始されている。

本委員会では、加速器の技術的な設計について詳細なレビューを行った訳ではないが、次の2つの点については、プロジェクト執行部の注意を喚起するに値すると思われる。

- (a) 加速器グループが加速器の建設に必要なと考えている人員と現在働いている人員の間に大きな不足があるようである。本委員会は、プロジェクト執行部は、加速器建設を成功に導くため十分な人員確保のための方策を建てるべきであることを提言する。
- (b) この施設のユーザーコミュニティは、加速器運転の高い信頼性を期待しているものと考えられるが、利用可能度及び信頼性に関する基準が加速器グループに対してよく伝わっていないように見える。本委員会は、この利用可能度及び信頼性に関する基準を定め、加速器の設計・建設チ

ームと正式に話し合うことを提言する。また、本委員会の下に加速器テクニカルアドバイザー委員会(A-TAC)を設置することに同意する。

## 科 学

### 原子核素粒子物理

本計画の原子核素粒子物理の根幹となるのは、50 GeV 陽子シンクロトロンとその付属施設である。20 世紀の素粒子物理における注目すべき疑問の一つとして質量の起源は何かということがある。最近になって、ニュートリノセクターにおいて、日本におけるスーパーカミオカンデ(SK)の結果は、ニュートリノも質量を持つことを確認した。従って、クォークとレプトンの両方のセクターにおいて、質量と質量の固有状態間の混合という現象が、より基本的な物理をコントロールしているようである。ニュートリノの質量とニュートリノの種族間の混合パラメーターの値を決定することは、素粒子物理学のみでなく天体物理や宇宙論にとって最も重要である。

KEK-PS とスーパーカミオカンデ検出器との間で、人工的に作られたニュートリノビームがどう振動するかを観測し、大気ニュートリノにおける SK の結果を確認しようという最初の実験が進行中である。決定的な実験は、統合計画において実現可能となる大強度のニュートリノビームによってのみ可能となるであろう。よく性能が理解された SK 検出器の存在と SK へ向けて適切なエネルギーのニュートリノビームを生成する最高強度のシンクロトロン加速器が存在することは、世界的に見ても非常にユニークなものとなっている。この実験では、ニュートリノ状態間の混合行列の重要な要素を測定し、宇宙における物質と反物質との非対称性を説明する鍵となるレプトンセクターでの CP 非保存の証拠を見つけることができるかもしれない。従って、50 GeV 加速器からのビームが利用可能となるやいなや、この実験が開始できるように、スーパーカミオカンデ検出器が復元されることが焦眉の急であることを提言する。更に、50 GeV 加速器の大パワーでの運転と付随するニュートリノビームラインの進展へ向けた方策が検討されることを提言する。日本は、現在この分野におけるリーダーであり、このニュートリノ計画に向けて急速に強力な国際協力体制が形成されていることが委員会に示された。

2007 年までには、50 GeV 加速器は、最大強度の荷電・中性 K 中間子ビームを生成するようになるであろう。このことは、クォーク間の混合行列について直接的な(理論的に不定性の少ない)測定となるようないくつかの K 中間子稀崩壊過程を研究するユニークな機会を与えてくれる。よりはっきりというと、素粒子物理の標準模型のなかで、CP 対称性の破れに対してこのような混合がどういう寄与をしているのかを精確に決定することに役立つであろう。今や、CP 対称性の破れの効果は、KEK-B(Belle 実験)と SLAC(BaBar 実験)において B 中間子においても観測されている。K 中間子と B 中間子の CP 対称性の破れの効果を詳細に比較することにより、標準模型の正当性を吟味し標準模型を越える物理に関する手がかりを見つけることが可能となるかもしれない。そのような精密な比

較は、数十個から数百個の稀崩壊事象を捉えられるような大強度K中間子ビームによって初めて可能となる（これまで、BNL-AGSの実験で荷電K中間子が1個のパイ中間子と2個のニュートリノに崩壊するモードにおいて2事象しか観測されていない）。統合計画における大強度ビームがどうしても必要である。

日本の研究者は、AGSやKEK-PSにおいて現在行われているK中間子稀崩壊探索に多くの努力をはらっており、また、KEK-BにおけるB中間子研究でも先導的役割を果たして来ている。この意味で、この分野における世界をリードするような研究プログラムを立てるだけの実力を備えているといえる。標準模型を越える物理の探索は、その他のK中間子崩壊ばかりでなくミュオン稀崩壊モードの探索などによっても可能である。ミュオン稀崩壊に関しては、最近超対称性統一理論に基づくいくつかの新しい模型によると、統合計画のPRISM計画あるいは将来のニュートリノファクトリーで目指しているような大強度ミュオン源を利用する実験で到達可能となるような分岐比が予言されており、新たに注目されている。

委員会では、50 GeV加速器からの遅い取り出しビームによるハイパー核物理における可能な実験プログラムが示された。核物質中でのバリオン間相互作用を研究するための $S=-2$ ハイパー核分光は、ユニークなプログラムである。ハイパー核の精密分光も最初の一連の実験プログラムとなるであろう。このハイパー核分野は新展開を正に迎えようとしており、適切な施設が利用可能となれば、原子核物理分野コミュニティの強い興味を惹きつけるきっかけとなるであろうことが強調された。統合計画において利用可能となる大強度ビームにより高品質の二次ビームの建設が可能となる。ハイパー核物理の実験プログラムは、（二段の静電セパレータで分離された）非常に高純度のK中間子ビームと収束の良いマイクロビームからの恩恵を最も得ることとなるであろう。KEK-PSにおいてこれまでに開発されてきたハイパーボール、SKSスペクトロメーター、CDS検出器や、サックレー研究所からのSPESスペクトロメーターのように他の研究所から入手した装置を含む既存の実験装置を利用して、世界の第一線のハイパー核物理実験施設が出来上がり、世界の多くのコミュニティをも惹き付けることとなるであろう。早い段階で二次ビームラインや実験室の設計決定に影響を持たせるように、関連する物理諮問委員会(PAC)によって、物理の当初目標に関して注意深い優先順位をつけることを提言する。

## 物質・生命科学実験施設

中性子散乱施設と高輝度ミュオンビーム施設を伴う核破砕中性子源(JSNS)が物質生命科学施設の中心である。1MW陽子ビームで駆動されるこれらの施設は、強い中性子及びミュオンビームをそれぞれ凝縮系物質物理、化学、構造生物学、材料科学、技術開発、基礎中性子、ミュオン物理、その他の応用研究に提供される。委員会は世界的第1級水準となる施設の建設に対し高い優先度を設定することをプロジェクトに提言する。

## 中性子科学施設

この新しい 1MW 中性子源は 21 世紀における先端科学を進める絶好の機会を提供する。施設は世界の最も強力な中性子源の 1 つであり、それが世界中の物理学、化学、材料化学、構造生物学、産業応用化学、等のコミュニティーが抱える根元的な問題解決への糸口を与えるであろう。最大で 25 本の全てのビームラインは適切にそれぞれのモデレーターを臨むように設置され、また、将来の第 2 ターゲットステーションの建設を可能とする場所が確保されている。

委員会は、最初のビームが利用可能になる見通しが得られる時点で、幅広い観点から最適な実験装置がいつでも準備できているように、ディレクターに対し、この数年の間に明確な優先順位を付けることを提言する。

今日、サイエンスの最も重要な目標の一つは、生命科学を物理的および化学的課程により理解あるいは記述すること、さらに、物理的性質と化学的性質をナノスケールで機能システムに統合することである。日本にはこの分野で強いサイエンスコミュニティーがあり、工学技術と産業応用への要求が益々増大していることを強調しておく。

我々は、この施設を生命科学における飛躍的なレベルアップにつなげるために、例えば理研の様な実際に活動している機関が、この参加生命科学研究に参加できるような措置を講ずることを提言する。

MW パルス中性子源は原子炉の定常源と相補的である。日本は、よく統合された利用の仕組みが構築されるならば、JSNS と JRR-3M という相補的な装置の利用の格好の機会を得ることになる。特に、JRR-3M は東海研キャンパスにあり JSNS と 1km と離れていない。また、JSNS は、オーストラリア、中国、インド、インドネシア、韓国や台湾等の中規模サイズの原子炉を持っているアジア・太平洋地域の国々に大きな利用機会を提供するであろう。さらに、JSNS は、アジア太平洋地域にあるシンクロトロンや X 線源と相補的な役割を果たすと考える。

## ミュオン科学施設

大強度の低エネルギーミュオンビームは、3GeV 陽子を 20mm 炭素標的に照射する事により作り出される。1 次ビームの時間構造、またその強度によって世界最高強度のパルス状ミュオン源が得られる。それ故に、特色ある施設が設計され、卓越した実験を計画することができる。世界中のミュオンユーザー層を引きつける明るい展望が開かれているといえよう。一例として、今現在理研 RAL 施設と PSI 研究所で各々個別の手法で推進されている、超低速ミュオンビーム (keV 程度のエネルギーを有する) を挙げる事ができる。ミュオン科学施設において、超低速ミュオンビームラインが選択され、更に強力な超低速ミュオンビームが実現されたならば、表面物質科学の研究に対して前例のないユニークな貢献をもたらす事が期待されるであろう。

我々は、日本国内の（並びに国際的な）実験ユーザー団体により、特色ある施設や実験の多くの提案がなされ、その中から取捨選択し、設計する過程をすぐにでも開始することを提言する。その際、陽子ビーム標的の設計はミュオン施設の最適化に合致したものでなければならないということは言うまでもない。

## 核廃棄物変換

委員会は、核変換実験施設（TEF）を開発し、核廃棄物に含まれる長寿命放射性核種の問題に取り組むための技術を実証するというこの計画の重要性を認識する。委員会は従ってこの計画に高い優先度を認める。原研の研究者が示した提案は、核変換のために高エネルギー粒子加速器と未臨界システムを使用することに関して鍵となる問題点について言及している。特に、未臨界体系を低出力陽子ビームで「駆動」する TEF-P 施設の提案について、世界唯一の施設であることを委員会は強調したい。この施設は、核廃棄物変換の実現に必要な加速器 - 原子炉結合システムを深く理解するのに重要な役割を果たすであろう。

委員会は、原研と KEK が TEF、特に TEF-P への国際的な参加と支持を活発に追求し、TEF-P に対する初期設計と安全解析作業に対してプロジェクトの第 1 期において一定の投資を行うべきことを提言する。

委員会は、フランスや米国といった興味を抱いている国に対して、それらの国の取り組みを日本の取り組みと統合し、ADS 技術の最初の実証への参加を提案すべきことを提言する。

## 組 織

KEK と原研によって支援される自立した国際機関として統合計画の展望がどれくらい、どの程度、実現されるかがこの委員会の主な関心である。この展望は、過去にほとんど関わりのなかった、異なる科学と技術、即ち、素粒子原子核物理や物質科学と核燃料サイクルが一緒になることを、そして、日本とその隣国に対して、ユニークな刺激を与えて、その結果、異分野融合の強みを創り出すということを見込んでいた。予算とマンパワーの制約の中でプロジェクトの予算執行と優先付けをするという状況で、このような協力は最大の結果をもたらすであろう。我々は、この展望が本当であるという国際社会への重要な信号として、上述の事柄においてディレクターに与えられた組織体制と権限を見ている。独自の意志決定プロセスを持つ競合する共同体の集まりを単純に運営するという怠慢な選択では多くのものを失うことになるであろう。

重複を避け、国際的な利用を推進し、国家的な科学技術に対する魅力を最大にするために、機関レベルでこのような多目的プロジェクトを運営することに成功する非常に良いモデルがある。委員会の関心の一つは異なった科学分野の研究計画が調整される方法であった。我々は、分野別の PAC が組織化の過程にあ



ると聞かされた。本委員会は施設のディレクターは各施設の科学的計画についてそれぞれ一つの PAC を設置することと、これらの PAC から別々に利用計画とビーム優先度に関する助言を求めることを**提言する**。個々の加速器の科学の間の問題と衝突には、ディレクターは IAC のような高いレベルの施設全体にわたる政策委員会に助言を求めるべきである。

本委員会はディレクターが昨年にプロジェクト委員会を組織したことを讃える。これらはプロジェクトに対して効果的に働き始めた。活動開始後の科学的な研究計画の運営への、これらの委員会の参画は考えるに値し、我々は次の国際アドバイザー委員会、科学的利用者コミュニティの組織化とともに、この点が議論されることを**提言する**。この点において利用者協議会からのインプットが望まれる。

我々は運営会議による半年毎のレビューを条件に予算権限がディレクターに委任されることを**提言する**。国際協力の重要性のために、運営会議による半年毎のレビューを条件に、国際協力の権限がディレクターに委任されることを**提言する**。

## 提言のまとめ

### 加速器システム

- (1) 建設を成功させるために本加速器計画に十分な人員が確保されるようプロジェクト執行部は方策を立てるべきであることを提言する。
- (2) ビームの利用度と信頼性に関する基準を確立し、加速器の設計・建設チームとユーザーとが正式に意見交換を行うことを提言する。

## 科 学

### 原子核素粒子物理

- (3) 50 GeV 加速器からのビームが利用可能となるやいなや、ニュートリノ実験が開始できるように、スーパーカミオカンデ検出器が復元されることが焦眉の急であることを提言する。
- (4) 50 GeV 加速器の大パワーでの運転と付随するニュートリノビームラインの進展へ向けた方策が検討されることを提言する。
- (5) 現行のK中間子稀崩壊探索実験における実績は、日本のこの分野のコミュニティが世界をリードする実験プログラムを立てるだけの实力をもっていることを示している。委員会は、実験目標が世界の第一線級のものであると認めた上で、優先順位をつけると同時に、このような探索実験に必要なとされる多額の投資に関して投資効果を最大とするよう国際協力を行うことを提言する。
- (6) ハイパー核実験プログラムは、これまでに開発され、或いは他の研究所から入手するなどした既存の実験装置を利用することにより、統合計画の大強度ビームから最大の恩恵を得ることになる。物理の当初目標に関して注意深く優先順位をつけることを提言する。

### 物質・生命科学実験施設

- (7) 物質・生命科学の中心は中性子散乱施設に付随する核破砕中性子源である。我々はこれらの施設に非常に高い優先度を与えることを提言する。ミュオン施設は現在の KEK 施設の強度を遙かに凌駕し、2期計画が実現された暁には目をみはる強度が得られるであろう。
- (8) 我々は、強力な生命科学研究の計画を策定するためには、この分野で活動的な理研のような機関の、この生命科学施設への参加を促すことは最

も重要であると信ずる。

- ( 9 ) 我々は新しい実験装置の必要不可欠なセットを稼働当初に利用可能とするための予算が確保され優先度が決められるべきであると認識している。我々は、次年度中に、ディレクターが予算的裏付けを持って、これを行う方策を見いだすことを提言する。
- ( 10 ) 日本国内並びに国際的な実験ユーザー団体により、特色ある施設や実験の多くの提案がなされ、その中から取捨選択し、設計する過程をすぐにも開始する事を提言する。その際、陽子ビーム標的の設計はミュオン施設の最適化に合致したものでなければならないということはいうまでもない。

### 核廃棄物変換

- ( 11 ) 加速器駆動システムを用いた核廃棄物変換の実証において、日本は主要な役割を果たす唯一の機会を保持していると信じる。原研と KEK には、海外の研究機関との接触をさらに促進し、TEF、特に TEF-P への参加と支持を獲得することを奨励する。日本国民の関心を考慮して、TEF-P に関する初期設計と安全解析作業に対してプロジェクトの第 1 期において投資すべきであると信ずるものである。

### 予算と組織

- ( 12 ) 我々は、第 1 期と 2 期の分割によって持ち出された、予算、マンパワー、スケジュールの制限が与えられたので、プロジェクトの明確な優先付けが次年度以降必要となると確信する。
- ( 13 ) 我々は、実験装置の数あるいは実験が限定されねばならなくとも加速器建設と初期の実験装置の質において世界標準の原則を持つことを提言する。
- ( 14 ) 我々は、このプロジェクトをとりまく国際協力を議論するために組織される様々なワークショップが既に世界の注目を惹いていると信ずる。日本の科学と技術のレベルは、国際的な支持を集めるのに成功する最高の機会を持っている。我々は国際的協力を集結させることがディレクターの優先すべき一つであると提言する。
- ( 15 ) 本委員会は施設のディレクターは各施設の科学的計画についてそれぞれ一つの PAC を設置することと、これらの PAC から別々に利用計画とビーム優先度に関する助言を求めることを提言する。個々の加速器の科学の間の問題と衝突には、ディレクターは IAC のような高いレベルの施設全体にわたる政策委員会に助言を求めるべきである。

- ( 1 6 ) 本委員会はディレクターが昨年にプロジェクト委員会を組織したことを讃える。これらはプロジェクトに対して効果的に働き始めた。活動開始後の科学的な研究計画の運営への、これらの委員会の参画は考えるに値し、我々は次の国際アドバイザリー委員会で、科学的利用者コミュニティの組織化とともに、この点が議論されることを提言する。この点において利用者協議会からのインプットが望まれる。
- ( 1 7 ) 我々は運営会議による半年毎のレビューを条件に予算権限がディレクターに委任されることを提言する。
- ( 1 8 ) 国際協力の重要性のために、運営会議による半年毎のレビューを条件に、国際協力の権限がディレクターに委任されることを提言する。

# 一般報告

## 序 論

本委員会は 2002 年 3 月 5-6 日の 1 日半にわたって両機関からの発表を聴いた。3 月 5 日には半日の委員会議と引き続いての東海施設訪問があった。

本委員会は村上健一原研理事長及び菅原寛孝 KEK 機構長にレビューの支援に対して感謝を表明する。また、プロジェクト・ディレクター永宮正治、横溝英明ディレクター及び統合計画スタッフにその歓待に対して感謝を表明する。

本諮問委員会は 1999 年 4 月 26-28 日の大型ハドロン計画 (KEK) と中性子科学研究計画 (原研) との統合提案に関する国際レビュー委員会の報告を、特に、プロジェクトを審査するための「レビューの論点」を引用した。

## 施設の概要

提案は純粋にアカデミックな研究施設と原子力の科学と技術を指向した施設とを一つのプロジェクトに結合する。

東海で建設される統合施設の第 1 期は以下のものから構成される。

- 400-MeV リニアックシステム
- 25Hz 運転、平均電流 0.33mA の 3-GeV シンクロトロン( 3-GeV, 0.33-mA は 1MW ビームパワーを与える )
- ミュオン実験施設
- 中性子源と中性子実験施設
- 遅い取り出しで平均電流 15- $\mu$ A を取り出す 40-GeV シンクロトロン
- K 中間子実験施設

プロジェクトの第 2 期の予定は、

- ニュートリノ実験施設
- ニュートリノ実験用の速い取り出しのための 50GeV への増力
- 核変換実験用の 600-MeV リニアックシステム構築のための 200-MeV 超伝導リニアック
- 核変換実験施設

プロジェクトの第 2 期はニュートリノ実験用の速い取り出しのために 50GeV への増力される予定である。

本諮問委員会は科学研究計画と加速器建設に関する発表者からの補足説明に感

謝する。これらの説明と発表によって委員会が科学技術的論点を把握し、1999年以来の、特にプロジェクトが公式に開始された2001年4月以降の、技術開発を評価することができた。本委員会の評価は各項目毎に以下にまとめる。

## 科学と技術

### 加速器

原研—K E Kの統合計画は最先端の陽子加速器群（400MeV 線形加速器、3GeV ラピッドサイクル・シンクロトロン、50GeV シンクロトロン）の建設を行うものである。2つのシンクロトロンは非常に高出力を生み出すものである。それらは、3GeV 用加速器で1MW、50GeV 加速器で0.75MWである。これらの性能は現在世界のどの加速器によってもなし得ていないほど強力なものである。

加速器の性能についての基準はすでに確立され、先進的な概念設計は完了している。もっとも困難とされる部品の殆どは実物大の試験器が完成あるいは建設中である。とりわけドリフトチューブ線形加速器と50GeV 加速器用の双極子、四重極子、六極子電磁石の調達は開始されている。

統合計画は現在の最先端技術を大きく乗り越えるために、その性能目標達成のために非常に広範な技術的挑戦がある。

これらの挑戦的開発の殆どは加速器から生み出される大強度ビーム出力の実現に直接関係している。本委員会では、技術的問題の詳細の評価は行わないために、それらは現在発足しつつある技術諮問委員会によって取り扱われるものである。本委員会に提出された多くの課題はプロジェクト管理上注意に値するものである。

#### ● 人的資源

加速器グループリーダーによれば加速器施設の建設には約200名の職員が必要である。現在約100名が作業に携わっている。計画の成功のためにいかにしてこの人的不足を補うかの方策について委員会では明瞭な説明がなかった。加速器の確かな建設がなされるよう本委員会はプロジェクト管理者が十分な人的資源を加速器建設に割り当てる方策を構築することを提言する。そのような方策を構築する上で、プロジェクト管理者は加速器の定常運転時に必要とされる人員や、加速器技術を担う新人育成のための教育に必要な人員の規模についても考察することが望まれる。

#### ● 利用可能度についての基準

本委員会は、この施設の利用者が非常に高い加速器の運転信頼性を期待していると考え。それは、（実際の運転）／（スケジュール）比が95%に近いものであろう。しかしながら、利用可能度／信頼度についての基準についての考えが説明にもあるいは計画にも正式に現れていない。本委員会は、利用可能度／信

頼度についての基準の構築がなされ、正式に加速器グループに伝達されることを提言する。

- ビーム損失についての基準と機器の保護についての要求度

加速器についてのビーム損失の基準はすでに構築されている。その基準は野心的なものであるが、達成目標において維持管理し運転するために必要なものである。設計段階および建設段階を通して、これらの基準が満たされるかどうか引き続き注意深い研究が必要である。特に、単発パルス事故については今日までなされた以上により徹底した研究が必要である。

- 部品調達についての準備状況

本委員会は、大きな調達が過去の幾つかの技術評価委員会の結果を基にすでになされていることを認識している。加速器の設計は良い状況にあるようであるが、現在の主な調達の開始が適当であるかどうかを決定するような詳細なレベルの評価は本委員会が行わなかった。本委員会は、これから発足する予定の技術諮問委員会がその役目の一つとして、調達の準備状況について諮問されることを提言する。

最後に、統合計画で開発されつつある技術と、現在ヨーロッパ、北アメリカ、アジアの多くの研究機関で進められているプロジェクトにかなり重複した技術開発があることを特記しておく。海外の研究機関との間の現在進められている加速器計画についての協力、あるいは今後なされる協力は大いに推奨されるべきである

## 原子核素粒子物理

これまでにない大強度の高エネルギー陽子ビームを生成することで、統合計画は世界の物理学コミュニティに対しユニークなハドロン施設を提供する。50GeV-15  $\mu$ A の目標は、現実的な時間内に実現されるであろう。また、将来さらなるインテンシティの増強が可能であろう。

提案は、K、 $\mu$ 、 $\tau$ 、反陽子ビームを持つこの新しい施設で取り組まれるであろう、広汎な物理を記述している。最も緊急な課題を選ぶことが、最も適切な問題にプログラムをフォーカスさせるためには求められる。

発表 (presentation) において本委員会は、計画・準備されようとしている初期の鍵となる実験についての提案者の現在の考え方を聞いた。選択は、物理の興味と、新しい未開拓領域へ実験を到達させる施設の能力に基づいて行われている。委員会は、(ニュートリノ質量と混合の観点での)ニュートリノ振動、(CPの破れの観点での)K稀崩壊、そして(レプトン混合の観点での)レプトンフレーバー破れの崩壊が、50 GeV プログラムに最もエキサイティングな機会を提供するであろうことに同意する。

本委員会は、50 GeV リングが世界の原子核コミュニティに対しエキサイティングな機会を提供するものと認める。本委員会は特に、日本の物理学者が世界的なエキスパートであるハイパー核物理を強く支持する。

## ニュートリノ物理

ニュートリノ物理においては、スーパーカミオカンデグループ (SK) が最近 SK 検出器における“大気”ニュートリノ流束の測定から  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  ニュートリノ振動のもっとも信頼できる証拠を挙げている。K2K 実験は KEK - PS で生成された  $\nu_\mu$  ビームを SK 検出器 (距離 250 km) に入射する、日本で行われている世界初の長基線ニュートリノ振動実験である。最近の K2K の結果は大気ニュートリノにおける振動現象を確認しつつある。また SK および SNO による太陽ニュートリノの詳細な観測から  $\nu_e \rightarrow \nu_{\mu,\tau}$  振動の確実な証拠が得られ、長い間謎であった“太陽ニュートリノ問題”が解決した。

統合計画の非常に高いエネルギーおよびビーム強度により、統合計画におけるニュートリノ振動実験は、 $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  振動現象を支配するパラメータの精密測定、3番目で唯一未発見の振動モードである  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  の詳細な研究、ニュートリノセクターにおける CP 非保存の研究を可能にする。早い取出しの 50 GeV 陽子ビームは、振動確率が最大になるニュートリノエネルギーに最適化された大強度のミュオンニュートリノビームの生成に必要である。「大強度」は、十分な統計を得、 $\nu_e$  出現を捉えるために必要である。ミュオンニュートリノビームはまず SK 検出器に送られ、将来は Hyper-Kamiokande に送られる。

$\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  振動の研究のために二つの実験が US (FNAL-Soudan, 基線長 730km) とヨーロッパ (CERN-Gran Sasso, 基線長 730 km) において 2005 年に開始される見込みである。統合計画におけるニュートリノ実験は、これらの競合実験の2年後にスタートするものの、最適化されたエネルギーの大強度ニュートリノビームのおかげで、よりよく、かつ新しく、また相補的な結果が得られる。

## K 中間子の稀崩壊

K 中間子の崩壊の研究の中でも、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  崩壊の分岐比の測定と  $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊 (直接的な CP 対称性の破れによるモード) の分岐比の測定は最も興味深い。その理由は、これらの分岐比を 10% の精度で決めれば、クォークの混合行列の中の二つの要素  $|V_{td}|$  と  $\text{Im}(V_{ts}^* V_{td})$  を各々同じような精度で決めることができるからである。後者  $\text{Im}(V_{ts}^* V_{td})$  は、標準理論 (S.M.) における CP 対称性の破れの効果をつかさどるものである。予想される分岐比は  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  崩壊が  $9 \times 10^{-11}$ 、 $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊が  $3 \times 10^{-11}$  である。現在精力的に行われている B 中間子系の研究の成果とあわせると、標準理論の詳細な検証を行うことができ、B 中間子系と K 中間子系の各々で決めた混合行列のパラメータに食い違いがあれば、それは標



準理論を越える物理を示唆する。例をあげると、標準模型をミニマルな超対称性を含むよう拡張したモデル (MSSM) では K 中間子の崩壊の予想が標準模型から 10-20%ずれるが、B 中間子の崩壊の予想は変わらない。

50GeV リングで見込まれる実験においては、 $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊については一年で数百事象、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  崩壊については一年で百事象程度を検出することができるであろう。

現在、荷電 K 中間子の崩壊は AGS における E949 実験において研究されており、二年間で 5-10 事象を検出するとされている。

フェルミ研究所における  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$  崩壊の研究は CKM 実験と呼ばれ、プログラムは承認されて 2007 年にデータ収集を開始する予定である。この実験では 100 事象を検出することができるであろう。中性 K 中間子の  $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊については、これまでどの実験もその証拠を見いだしていない。AGS における KOPIO 実験は 2007 年からデータ収集を始め三年間で 50 事象を得るとされている。

日本の物理学者、特に日本の若手の研究者たちは現在世界で行われている K 中間子稀崩壊の研究に参加し、しばしば主導的な役割をはたしている。彼らは将来の統合計画における実験において指導的役割をはたすであろう。

## レプトンフレーバーの破れ(LFV)

統合計画において発展が期待される三本目の柱となる研究は、新しい大強度ミュオン源を用いた、レプトンフレーバーを破る過程 ( $\mu \rightarrow e$ ,  $\mu \rightarrow eee$ ,  $\mu \rightarrow N e N$ ,  $\mu^+ e^- \rightarrow \mu^+ e^+$ ) の探索であろう。これらのうち、 $\mu \rightarrow e$  変換 ( $\mu \rightarrow N e N$ ) は他に比べて偶発的に作り出されるバックグラウンドの影響を受けにくいいため、デュティが低く瞬間強度が高い加速器においては、最も進展が見込まれるものである。最近、この分野での研究をタイムリーなものにする、次のような新たな展開があった。

まず、理論面で超対称性大統一理論 (SUSY GUT) において LFV が大強度ミュオン施設における実験で十分到達可能な分岐比で起こりえると预言されたこと、また、実験面でも、位相回転技術を用いた非常に高輝度なミュオン源により、従来より数桁も強度が高いミュオンを発生させることが可能であるという提案がなされたこと、である。

これらにより、LFV 実験にとって統合計画がまさにタイムリーなものとなり、これらのアイデアをテストする絶好の場所となった。すでに非常に活発なワーキンググループが大強度ミュオンチャンネルのための要素技術のテスト実験を準備しつつあり、また、PSI あるいは TRIUMF において、日本グループが実験を提案しつつある。

競合する実験としては MECO 実験が AGS 加速器を用いたプログラムとして提案されており、もし資金が得られれば分岐比にして  $10^{-16}$  までの感度での探索が可能となる。

これに対して統合計画ではさらに進んで SUSY GUT が予言するところまで到達することが求められる。PRISM グループは FFAG シンクロトロンによる位相回転法を用いた、高輝度かつ単色のミュオン源を提案している。ミュオンの強度は  $10^{12}/s$  が期待でき、 $\mu e$  変換の実験の感度  $10^{-13}$  にまで達する。また、PRISM は将来のニュートリノファクトリーやミュオンコライダーの入射器として用いられる可能性もある。この場合には 50 GeV リングにおいて速い取り出しが必要となる。

以上まとめると、統合計画の実験プログラムは、これまでに KEK や日本の大学が培ってきた、2 次ビームについてのユニークな能力と専門技術の土台の上に築かれていくといえるだろう。

これら三本の柱に加えて、反陽子ビーム (CERN から移管された低エネルギー反陽子リングを再構築することが提案されている) や偏極陽子ビームを建設する可能性もあり、また、ひとたび入射器が所期の性能を達成すれば、さらに強度およびデューティを増強する可能性も残されている。

素粒子物理のコミュニティは、ニュートリノの質量、その混合、および希崩壊の探索などの精密物理に対して最先端の実験結果を強くのぞんでいるが、統合計画はまさにそれを達成する世界のハドロン施設となるであろう。

## ハイパー核分光

HyperBall という数 keV の高分解能で大きなアクセプタンスをもった線検出器を使った実験は、 $S=-1$  のハイパー核の分光において新しい研究領域を開拓するであろう。これらの実験データは、粒子を原子核中に埋め込むことによる核物質中での新しい多体効果をプローブすることとなる。これまで、 ${}^4_{\Lambda}\text{He}$  や  ${}^7_{\Lambda}\text{Li}$  のような軽いハイパー核が主として研究され、 $\Lambda$  と核子間のスピン依存相互作用に関する情報が得られてきた。大強度 K 中間子ビームを利用すると ( $K^+$ ,  $\pi^-$ ) 反応による重いハイパー核の研究が可能となる。日本の研究者は、この分野のパイオニアであり、その実績は世界中に認められている。

ハイパー核分光は、米国 JLab において ( $e, e'K^+$ ) 反応を用いて、また、イタリア FINUDA では静止 ( $K^+$ ,  $\pi^-$ ) 反応を用いて、研究されようとしている。両方の実験は、数年のうちに開始されるであろう。

高分解能の ( $K^+$ ,  $K^+$ ) 反応による研究は、 $\Lambda$  ハイパー核、 $\Sigma$  ハイパー核、H ダイバリオンなどの  $S=-2$  のハイパー核の存在を研究する手段を与えてくれる。これは、重要な研究分野を切り開くものである。KEK に存在する SKS スペクトロメーター

を利用することにより、ビームの出る最初の日から実験が可能となるであろう。

統合計画におけるハイパー核研究プログラムは、 $S=-1$  と  $S=-2$  の系の高分解能スペクトロスコープに集中し、50 GeV のビーム強度の増加につれて、より重いハイパー核の研究へと進むべきである。ハイパー核の弱崩壊の研究も、 $I=1/2$  則のような弱い相互作用におけるハドロン効果やカイラル対称性の役割について重要な情報をもたらすであろう。

## ハイペロン核子散乱

50 GeV 実験施設において、 $\Lambda^-p$ ,  $\Sigma^-p$ ,  $\Sigma^-n$  相互作用は、初めて詳細に研究されることとなる。これらの研究は、ハイパー核物理の研究に欠かせないものである。中でも、 $N$  相互作用のスピン依存性や  $N$  相互作用のアイソスピン依存性は、非摂動領域での QCD の理解に役立つであろう。これ以外にも、 $\Lambda$  ダイバリオンや  $S=-3$  のダイバリオンの存在の可能性は、今後の研究が待たれるところである。

## 核媒質中でのベクトル中間子

50 GeV 実験施設は、 $\rho$ 、 $\omega$ 、 $J/\psi$  中間子などの核物質中での性質に関する実験的研究を行いやすくする最適の条件を与えてくれる。核媒質中で、これらの中間子はその質量が変化することが期待されている。統合計画は、このようなハドロンの質量生成機構に対するはっきりとした決定的な答えを見つけることのできる唯一の実験施設となる。そして、通常核密度の 5~10 倍までの密度の関数としてベクトル中間子の性質の変化を観測することのできるユニークな施設となるであろう。

## ハドロン分光

グルーボールとハイブリッド粒子の研究は、QCD の基本的検証となる。多くのモデルによってそれらの存在は予言されてきているが、これまでに得られた実験データでは、その存否に結論が得られていない。CERN の LEAR 施設での最近の実験では、この研究において高統計の重要性が示された。不幸なことに CERN におけるこのプログラムは、LEAR のシャットダウンにより中断されてしまった。CERN は LHC への投資に集中しているので、SUPER LEAR 施設が将来建設されることはないと考えられる。従って、50 GeV リングからの  $K^+$ 、 $K^-$ 、反陽子ビームは、チャームの入ったバリオンや中間子、あるいはハイブリッド状態の研究において、ユニークな機会を与えるものとなるであろう。そのような研究は、DA NE やジェファーソン研究所、SPRING-8 などで行われている研究と相補的な重要性を持つものとなるだろう。

## 物質・生命科学

### 中性子散乱

中性子散乱は物理、化学、生物、物質科学、地球科学、工学など広範囲の分野にわたる凝集体のミクロな構造とそのダイナミクスに関する情報を提供してくれる。散乱による探査子としての中性子は、ユニークな特徴がある。例えば、同位体によるラベリングを可能とし、磁気相互作用を持ち、原子の運動を調べることができ、物質中をよく透過する能力を持つというような特徴が知られており、様々な分野への利用を可能とする。

中性子による研究は、凝縮体研究の最前線にある多種多様なトピックスにインパクトを与えている。最近の例では、高温超伝導体やフラーレン（C60等の新しい炭素材料）の高分解能構造決定、強相関電子系や量子液体中の高エネルギー励起、界面に於ける複雑液体（表面活性剤、高分子や蛋白質）の挙動、高圧下での結晶性材料、超臨界液体の構造などがある。それに加え、高分子、プラスチック、蛋白質、液晶、磁性材や超伝導体等の、最先端技術を支える材料のマイクروسコピックなレベルでの理解に大きな貢献を果たしている。

（原子核、素粒子などの）基礎物理分野の場合と違って、この中性子実験施設でそれ一つだけが出来れば大きな成果になるといったような、ただ一つの実験が有るわけではない。それとは対照的にこの施設は、我々のまわりのオングストロームからミクロンスケールの世界を理解すること、ゆえに影響を与える能力を賦与するものである。中性子はユニークな識見を得る手段ではあるが、放射光、電子顕微鏡、そして理論的研究や計算機によるモデリングなどの手段によりしばしば補完されるものである。

近年、日本の学界や産業界の科学者は、物質科学や生命科学の分野で目を見張るような能力を身につけてきている。今日まで、そのような先駆的な科学者達は原研やKENSで、あるいはヨーロッパ、アメリカでの世界最先端の施設を利用することで利益を得てきた。しかしながら、日本でのそのような世界をリードするような分野での能力と、日本における世界最高レベルの施設が結びついたときの潜在的可能性は莫大である。SPring-8が開発されるに従って、放射光施設を利用する研究者が爆発的に増加したのと同様の事が中性子散乱の分野にも起きることは間違いない。そのような飛躍が期待できる分野としては以下のようものが考えられる：

ソフトマター  
高分子  
巨大分子

界面活性剤  
自己組織化する系

### **表面・界面**

生体膜の機能  
化学反応  
触媒  
潤滑・接着  
コーティング・濡れ性、等々

### **生体高分子系**

蛋白質の水和  
蛋白質のダイナミクスと折り畳み  
分子認識  
製薬

### **先進新材料**

構造と機能の関連  
リラクサー強誘電体 / セラミックス

### **固体量子系**

高温超伝導体  
巨大磁気抵抗  
スピントロニクス  
量子臨界現象

### **高温 / 高圧科学**

マントル鉱物の相転移  
地震や火山活動の理解

### **産業応用**

非破壊検査

産業応用の促進は新しい中性子源の著しい特徴となるであろう。現在の日本の中性子施設の利用者は500人程度であるが、アジア・太平洋地域を含めた学界、産業界の潜在的利用者はその一桁上である。

2006年に統合計画の施設が使用可能になる迄は、ヨーロッパやアメリカに有るような高い中性子束を持った施設は日本とアジア・太平洋地域には無いため、世界的高性能のインパクトを与える絶好の機会になるであろう。新しい1MW中性子施設は、21世紀の最前線の科学の研究を行う機会を与えてくれるであろう。この施設は世界で最強の中性子源の内の一つになり、物理、化学、材料科学、構造生物、産業科学や他の分野の鍵となるような研究テーマを引きつけるよう

になるであろう。全部で最大 25 本ある中性子ビームラインは幾つかの適切に配置されたモデレータを見ることになる、そして将来、第 2 ターゲットステーションを建設できる可能性のある場所がきちんと確保されている。

日本の科学者達は、KENS の非常に効率の良い中性子源の開発と運転で培った経験をとおり、また、中性子実験装置の開発での ISIS との長期間にわたる国際協力を通じて、新しい線源の可能性を最大限に引き出す次世代の実験装置を開発するだけの卓越した能力を持っている。その看板となる 25 台の実験装置を建設するための、現在の、あるいは潜在的利用者のコミュニティの参加は勧められるべきものである。これらの装置の概念に磨きをかける作業が進んでおり、鍵となるコンポーネントを開発するための R&D もきちんと把握されている。これらの装置を建設するための予算を確保し、ビームが最初に出るときには完成しているべき新しい装置群に対する優先度が決められることが緊急の課題である。ビームが出る時までに 10 台の最高性能を持った実験装置を揃えるという目標は第一期計画の中に取り込むべきものである。

21 世紀は生物が化学と物理の言葉で理解されるようになるような世紀であり、物理的あるいは化学的な特性を統合して、ナノあるいはミクロンスケールで機能するシステムを作ることに関与するような世紀である。日本にはきちんと方向付けられた非常に強い科学的・成長する産業界のコミュニティがあることを強調したい。しかしながら、この施設でエキサイティングな科学を更に推進するために、現在非常に大きな生命科学のプログラムを持つ理研のライフサイエンスが本物質生命科学施設に参加する可能性を追求するための働きかけをするべきである。

1MW のパルス中性子源は原子炉を基にした定常線源と相補的なものである。原研東海キャンパスの中には、1km と離れていないところに JSNS と既存の JRR3-M 原子炉とが存在することになるため、もし相方を利用するためのうまく統合されたプログラムをつくることができれば、日本はこれらを相補的に利用する事が出来る大きな機会に恵まれることになる。JSNS はオーストラリア、中国、インド、インドネシア、韓国、台湾など中規模の原子炉を持つアジア / 太平洋地域の国々に大きな機会を与えることになる。この施設はまた、PF や SPring-8 といった日本の放射光施設や、アジア / 太平洋地域の放射光施設に対しても相補的な役割を演じることになる。

## 凝集系に於けるミュオン科学

ミュオン科学施設では 3GeV 陽子ビームを用いて、世界クラスに匹敵する優れた性質の大強度低速ミュオンビームが産み出される。高い輝度と強度を持つミュオンビームが得られると共に、特にパルスビーム特有の手法を生かすことによって、際立った特徴のある実験、施設の設計が実現される。

物質科学（固体物理）の分野では、ミュオンスピン共鳴法（ $\mu$ SR 法）を用いてミ

ミュオンによる開拓的な実験研究の展開が計られ、また、基礎ミュオン物理の分野においても、たとえばミュオン崩壊やミュオン原子、ミュオン分子系に於ける諸性質の解明が行われる。ミュオン科学施設ではこれらの研究を遂行する為に新しい施設の設計がなされる。

ミュオン科学施設が担う世界的なスケールで重要な役割として、現在理研グループと共同で開発されているパルスレーザーを用いた超低速ミュオンビームの生成が挙げられる。この手法で得られる超低速ミュオンは、高い輝度を持つ表面ミュオン（陽子ビームラインに設置される生成標的の表面近傍に止まったパイオンの崩壊で得られるミュオン）から得られ、eV から keV レンジのエネルギーを有しており、ミクロンスケールの前例のない物質表面研究を実現することができる。

日本は、ミュオン科学の研究分野において長年に亘って培ってきた伝統を有している。カナダ-トライアムフ研究所の超伝導ミュオンチャンネルにおいても、英国 ISIS に於ける理研 RAL ミュオン施設、KEK ミュオン科学研究施設において実験プログラムを主導し、深く関わってきたという実績を持っている。

日本の研究者、特に理研の研究者は世界的な規模でのミュオン科学施設を設計するノウハウを持っている。この点において、低エネルギーミュオン物理並びにその建設において蓄積された日本人の知識が、近い将来新しいミュオン科学施設の設計にも生かされる事を、国際アドバイザー委員会は強く提言する。

日本国内の（並びに国際的な）実験ユーザー団体により、特色ある施設や実験の多くの提案がなされ、その中から取捨選択し、設計する過程をすぐにでも開始する事を提言する。その際、陽子ビーム標的の設計はミュオン施設の最適化に合致したものでなければならないということは言うまでもない。

ミュオン科学施設から国際アドバイザー委員会に提出されている予備的な物理実験リストは以下の通りである。

- 磁気相図の決定
- 量子拡散の研究
- 低次元磁性体の研究
- 重い電子系の研究
- フラストレートした系に於ける磁性の研究
- 高温超伝導体の磁気侵入長の研究
- 高分子において、ミュオンによって作り出されたソリトン・ポーラロンの、ミュオンによる検出
- 負の大強度ミュオンを(Z-1) 不純物として用いた新しい物質研究
- ミュオン触媒核融合
- 量子電磁気学(QED)の精密検証実験に代表される基礎物理実験

明らかにこれらのリストではまだ不完全であり、適切な実験審査委員会（PAC）により提案が審査され後に、優先順位が決められなければならない。

## 核変換の科学と技術

近年、核廃棄物の加速器駆動核変換は、放射性廃棄物処分に関する有力な相補的技術として頭角を現してきた。この技術は、長寿命放射性同位元素を短寿命か安定なものに変換するものである。この新しい技術の開発は核破碎中性子源と大いに相乗関係にある。欧州と米国では既にこの領域で顕著な研究成果を挙げているが、日本は ADS 実証施設の建設を提案する最初の国である。

ADS の注目すべき点は、科学 / 技術に関する問題と、原子力、核廃棄物管理、環境安全、国家安全保障、その他公衆の意見が大きな役割を果たす事項に関する政策とが強く結びついていることである。この分野における科学政策の決定は特に慎重さを要する難しいものであるが、短期及び中期の研究目標に関しては大方で合意されている。このことはそれ自体重要なことである。というのも、ADS の研究は本来が多目的であり、物理学コミュニティーにとって以下の分野における基礎研究や応用研究の要素を含んでいるからである。

- 核変換に関する基礎的な原子核物理学
- 高出力ターゲット技術を含んだ中性子生成に係る核破碎過程
- 大強度で高信頼性を持つ加速器の設計と運転

放射性廃棄物のなかで特定の長寿命成分を短寿命若しくは安定なものに核変換することは、多くの国際的な活動が興味を抱いている研究分野である。稼働可能な核変換システムを造るのに有望なのは、大強度核破碎中性子源で未臨界増倍集合体を駆動する方法である。このような加速器駆動集合体では、ネプツニウム、アメリカシウム、キュリウムといった高次アクチニドが（熱中性子よりも）核分裂しやすいという理由から、高速中性子を用いることになるであろう。

原子炉にこれらのアクチニドを（プルトニウムに加えて）大量に装荷すると、制御と安全性に関して大きな課題を生じる。特に、ウランを少量しか含まないか、全く含まない燃料を使うシステムで問題となる。このような理由から、加速器ビームを止めれば連鎖反応を維持できなくなる加速器駆動未臨界システムは、臨界となる原子炉に比べて有利になる可能性が高い。

加速器、核破碎中性子源、未臨界システムを結合することは、それ自体簡単なことではない。問題となるアクチニドの十分な核変換率を達成するためには、未臨界システムは数百から数千メガワットの核分裂出力を持っていないとまらない。核変換に利用するための加速器駆動システムに適用性を実証するためには、動的挙動、材料強度、フィードバックと制御といった問題に言及する必要がある。



原研チームが提案した低出力ビームによる核破碎中性子源駆動の増倍システム TEF-P (核変換物理実験施設) の計画は、加速器システムの適用性実証に向けての第 1 段階となるものである。この施設によって、未臨界システムの動的挙動を解明でき、システムの計測、フィードバック、制御系を開発していくのに必要な基本的な理解を形成することができるであろう。核変換用燃料の模擬体を用いれば、TEF-P の運転の結果として、高次アクチニドの反応率に関する積分データを得ることができる。この実験データは、原子炉か加速器駆動かに関わらず、核変換システムの設計に用いられる微分データ・ライブラリーを改良するのに必要なものである。最終的には第 2 期で計画される相補的な施設である TEF-T において、大強度の 600MeV 陽子ビームを使って照射を行い、重要な材料試験と性能データ取得を行うことができる。

このような核変換に係る科学・技術研究への国際的な興味は大きい。米国、フランス、ロシア、スウェーデン、イタリア、スペイン、韓国、中国といった国の科学者達が、このような活動に携わっている。同時に、日本の主要な大学でも加速器駆動核変換の基礎的側面の研究を行っている。計画されている施設は、原子力発電で発生する廃棄物の長期管理に関わるこの重要な分野において、日本と国際社会の両方で有用な施設となるであろう。

この技術に興味を持つ国々の間では、今のところ国際協力の可能性探求に対する最大限の努力がなされているとは言えない。研究が進むに従い、研究の重要な部分が未着手のままとなったり、不必要な重複が生じたりする可能性が高まってくる。利用可能な知的・財政的資源を最大限に活用するために、現在の協力機構を強化するか、新たな機構を作る必要があるかも知れない。

科学者達は、多くの国々においての重要問題に対するこの有望な解決策を開発するのに貢献したいと望んでいる。国際協力と協議は ADS の科学的・技術的理解を促進するのに有効であることは分かっており、科学者レベルでの接触は頻繁に行われている。いくつかの国際会議やワークショップも既に行われている。OECD 原子力機関 (NEA) や国連・国際原子力機関 (IAEA) といった国際機関には、実験結果を交換したりデータを編纂したりする仕組みもある。欧州、北米、アジアには、いくつかの研究所の間で正式な協定も存在している。

国際アドバイザー委員会は、フランスや米国等の興味を抱いている国に対して、日本と協力し、ADS 技術の最初の実証に参加するように提案することを提言する。

## 組織と運営

何人かの発表者は発表の中で統合計画の中で実行される実験の選択と相対的な優先順位に関して助言をする「PAC (Program Advisory Committee)」について言及した。本委員会から PAC の体制についての質問を受け取った後に、発表者たちは考えている PAC が期待される機能についてのそれぞれの見解を書面で提

出した。それらの見解は口頭発表よりは一貫性のあるものであったが、まだ施設全体にわたる助言体制のはっきりとした全体像は浮かび上がってこなかった。この曖昧さに注目し、本委員会は PAC の運用及び関連する提言に関して以下の所見を述べたい。

- 統合計画の研究計画は高範囲にわたっているため、仮にたくさんの支援専門分科委員会を運用して負担を軽減したとしても、実際問題としてひとつの PAC では計画の研究活動案の全てを適切に補うためには、委員会の時間や専門性の範囲が足りない。つまりいくつかの PAC が必要であるということである。
- 実際的な話しとして、加速器の各々がビーム利用の優先順位の問題を生み出す。その結果、そのそれぞれの施設 (3 GeV、50GeV、SC ライナック) の研究計画を専門とする PAC には、熟考して統合計画のディレクター (もしくはその計画に対するサブディレクター) に計画と優先順位についての提言をするよう求められる。
- 研究計画と統合計画の各施設間に起こる優先順位の間には連鎖が生じるであろうが、実際にはより弱いものであるので施設レベルの利用優先順位については施設全体の方針を決定する委員会 (例えば IAC のような) が処置し、統合計画のディレクターに報告することができる。
- 施設の使命はビーム強度の最先端領域を目指すというものである。ひとつのマシーンに対して実験間での一次ビームの同時タイムシェアリング (ビーム分割や連続するマシンサイクルでの時間分割による) は一般的に現実的でないであろうから、優先順位に関しての深刻な問題が発生するであろう。これは、ある特定施設での研究計画の間でさえも (例えば、ニュートリノ実験 対 K 中間子希崩壊) 起こりうる。
- 選ばれた PAC 体制はこういった状況に備えておく必要がある。

これらの点を念頭に置き、本委員会は施設のディレクターは各施設の科学的計画についてそれぞれ一つの PAC を設置することと、これらの PAC から別々に利用計画とビーム優先度に関する助言を求めることを提言する。個々の加速器の科学の間の問題と衝突には、ディレクターは IAC のような高いレベルの施設全体にわたる政策委員会に助言を求めるべきである。

関連する主要トピックとして、我々はこの統合計画が “国際的な” 試みであり施設であるという趣旨の発言がしばしば出たことに気付いた。本委員会が見聞きした資料から判断すれば、この賞賛すべき目的を実際に実行し実現するには、計画の運営管理側によるかなりの概念的また計画的な展開が必要とされるであろう。

国際協力を構築するための典型的な手順は、以下のようなものである。

(1) 一連のワークショップを開催し、実験プロジェクトの発表を行う。ワークショップは、例えばニュートリノ、K 中間子等のある特定分野の人々が組織すべきである。必要資金は文部科学省と JSPS (JSNS?) に要求するものとする。

(2) 会議開催は考えられる関係団体に通知する。会議参加者の何人かはコアグループを構成するよう指名される。

(3) コアグループは各グループの分担(寄与)を明確にし、必要であればグループを拡大するよう努める。

統合計画において関心をもつ全ての分野においてワークショップが開催されてきたが、さらに開催される予定である。統合計画の予算とマンパワー状況は非常に厳しいので、国際協力グループは検出器建設のためだけでなく、ターゲットやビームライン磁石等の製作のための十分な予算を捜さねばならない。

国際協力グループを形成する時期はすでに来ており、もしくはもう過ぎてしまっているかもしれないので、この計画の外の原子核素粒子プロジェクト対して、同様の具体的な行動が緊急に要求される。さもなければ海外のグループには資金提供機関に連絡を取って必要時期までに予算をもらう時間がないかもしれない。それらの科学的連絡や協力組織化の行動の他に、真の国際施設を実現するためには正しい順番で踏まなければならない、以下の幾つかのステップが必要であるということを我々は述べておく。

- 諸国(アジア地域、環太平洋地域、もしくは全世界)の参加と関与の範囲(加速器とビーム施設の設計と建設、即ち、研究計画実験の設計と建設、国際協力を通じた実験作業の研究協力、もしくはそれらの組み合わせの範囲)は、プロジェクトとプロジェクトにおける研究計画のための“使命記述書”の中で位置づけられるべきである。
- その後、“Roadmap”書類を作成するべきである。そこには、詳細に、使命記述書がどのような政府の許認可(政府間の取り決め、組織間の合意、大学間の特定の政府認可なしの非公式な協力、もしくはこれら全ての組み合わせ)により、どの望ましいパートナーと共に実行され、そして時とともに発展していくのかが示される。
- 統合計画の幹部は、政府、機関長及び共同研究を希望する研究グループの署名をもらうために、希望する活動を正式なものとし実施し始めるための項目2で述べられている許可文書を作成し始めるべきである。政府間協定と共同研究の相手との覚書、もしくはそのどちらかは、協力活動を正式なものとする通常の道具である。合意に達する過程には時間がかかるので、近い将来に開始すべきことである。

恐らく、このような正式化へのプロセスはすでに始まっており、終了間近でさえあるかもしれないが、本委員会はその件に関して報告を受けていない。もしそれらの行動がまだ起こされていないのであれば、すぐに開始することを提言する。

## 優先順位の設定

ディレクターは本委員会に対して優先順位をつける必要性への配慮を表した。

以下は実際にあるいくつかの優先順位の設定の方法である。

第1期計画では予算は既に個々の実験エリアへ割り振られている。特定分野の委員会が、中性子に対する委員会は既に最初のものとして存在するが、組織される予定である。これらの委員会はどの実験を最初に始めるべきかを議論する。素粒子/原子核物理の分野では、この委員会形成のプロセスが始まっている。これらの委員会での議論では優先順位設定に重いウエイトが置かれるであろう。

第2期計画における優先順位設定方法の仕組みは、非常に重要な要素として、IACからの情報を得ることである。研究の優先順位に関するIACの意見は運営会議(KEKと原研の代表者が会する会議)に報告されるであろう。運営会議がどの予算要求を最初に提出するべきかを提言する。

優先順位設定の進捗状況は、次回のTACで、ディレクターにより報告される予定である。

## 国際協力

国際協力については本報告書と提言のなかで数回にわたって述べられている。本プロジェクトの長期的成功と日本への恩恵は、提案されている優れた装置に対して出来るだけ早く正確に研究協力の要素を設定するかにかかっている。この考えは、日本において、このプロジェクトで、運営会議で、そして政府の最高レベルで承諾されなければならない。この点について、次回の会議でのそれらの要素についての明確な説明を目指して、国際アドバイザリー委員会は援助を行う。