



RIKEN
ACCELERATOR
RESEARCH
FACILITY

**Report of Riken RI beam Factory
International Advisory Group**

November 1994

*RIKEN Accelerator Research Facility (RARF)
RIKEN, Wako, Saitama 351-01, Japan*

はじめに

理化学研究所・加速器研究施設では、21世紀初頭の完成を目指した次期大規模拡張計画「RIビームファクトリー計画」を提案している。これは現有のリングサイクロトロンの後段に、超電導リングサイクロトロンを付加することによって、ウランまでの全元素にわたるRIビームを世界最大強度で発生し、これを用いて原子核、原子分子、物性材料、化学、生物医学、宇宙の広範囲の分野で、これまで不可能とされてきた研究を開拓・展開しようというものである。

このような世界に類例のない計画を推進するにあたっては、計画の科学的重要性、実現可能性、投資効率等について、まずは国際的な厳しい評価をうける必要がある。

そこで当施設では、昨年（1994年）9月26日－28日の3日間、世界各国の関連する分野のリーダー（メンバーは下記のとおり）を招いて「理研RIビームファクトリー計画国際アドバイザー会議」を開催した。

この小冊子は、昨年1月にアドバイザー会議がまとめた評価報告である。また、専門外の方々のために和訳を付けた。さらに資料として会議プログラムも添付しておいた。

「理研RIビームファクトリー国際アドバイザー会議」

- | | |
|-------------------------|---|
| C. Detraz | フランス国立素粒子原子核研究機構（IN2P3）所長
（前国立重イオン大型加速器研究所（GANIL）所長） |
| H. Ejiri | 大阪大学核物理研究センター（RCNP）センター長 |
| H. Feshbach （議長） | 米国マサチューセッツ工科大学（MIT）教授
（原子核理論物理学者） |
| G. Herrmann | ドイツマインツ大学ヨハネスグーテンベルグ核化学
研究所教授（核化学実験物理学者） |
| P. Kienle | ドイツミュンヘン工科大学教授
（前国立重イオン加速器研究所（GSI）所長） |
| I. Martinson | スウェーデンルント大学教授（実験原子物理学者） |
| G.C. Morrison | イギリスバーミンガム大学物理・宇宙研究所所長 |
| K. Nakai | 高エネルギー物理学研究所（KEK）教授（文部顧問） |
| Y.T. Oganessian | ロシア国立原子核研究所（DUBNA）所長 |
| J. Schiffer | 米国アルゴンヌ国立研究所（ANL）教授
（原子核実験物理学者） |
| R.H. Siemssen | オランダ Groningen 大学
超電導サイクロトロン研究所所長 |
| B. Sinha | インド国立サイクロトロン研究所（VECC）所長 |
| B.W. Wei | 中国国立近代物理研究所所長 |

Report of the Riken RI Beam Factory International Advisory Group*

November 1994

C. Detraz
H. Ejiri
H. Feshbach (Chair)
G. Herrmann
P. Kienle
I. Martinson
G. C. Morrison
K. Nakai
Y. T. Oganessian
J. Schiffer
R. H. Siemssen
B. Sinha
B. W. Wei

*This work is supported in part by funds provided by the U.S. Department of Energy (D.O.E.) under cooperative agreement DE-FC02-94ER40818.

Preface

The RIKEN RI Beam Factory International Advisory Group met at RIKEN September 26 - 28. The program, which is appended to this report consisted of three parts. The first was a presentation of an overview of RIKEN and its accelerator complex. The second described the research presently being conducted at RIKEN. The third was a discussion of the plans for the new facility.

This report begins with a general outline followed by more detailed summaries of the scientific opportunities which the proposed facility addresses, by a qualitative discussion of the technical aspects of the new facility emphasizing the goals which should be achieved and finally by an outline of the usefulness and need for international participation.

We also take this opportunity to thank the RIKEN staff for their hospitality, for their excellent presentations and for their candid response to our questions.

General Remarks

The utilization of beams of radioactive nuclei present both a challenge and a great opportunity to nuclear and atomic scientists. Their study will undoubtedly lead to insights of importance to all of science. New forms of nuclei have already been discovered and one may expect new kinds of collective motion and new kinds of deformations to make their appearance. New aspects of nuclear forces will be obtained. Nuclear regularities, which have been determined for nuclei in the stable valley, will be tested and extended so that they apply to the thousands of nuclei which will become available at a radioactive beam facility. Collisions between ions and atoms at both low and high energies and the spectroscopy of excited ions of interest to atomic and chemical physicists will be possible in an appropriately designed facility. One can foresee applications which will be of importance to other sciences such as astrophysics, as well as to medicine and the material sciences.

The challenge to RIKEN physicists and their collaborators is to devise and construct an accelerator complex plus detectors which will take advantage of these scientific opportunities. The technical requirements are summarized in the section of this report entitled Technical Aspects. The successful operation of the accelerator now at RIKEN demonstrates the presence of considerable technical resources. However, as we shall indicate, this needs to be augmented.

In a project of the magnitude and complexity proposed by RIKEN, good management is essential and consequently a management structure should be put into place and management responsibilities assigned even at this early stage. Our committee missed a statement on this issue. There should be advisory groups. In addition to an international policy committee, it is the usual practice to have a Program Advisory Committee (PAC) and a Technical Advisory Committee (TAC). Provision should be made for interaction with the users. This is most important since for the world class facility envisaged there will be great interest in the Japanese as in the world-wide science community. It is important to channel this interest into constructive activities. It provides as well, a mechanism together with the PAC and TAC for involving the Japanese academic and the international community. There should be an individual whose duties would include maintaining contact with the users, organizing work shops, etc.

Personnel management is important as it is essential to have the appropriate expertise and support available at the appropriate time. We estimate that the project will require on the average a work force of several hundred people. A substantial increase in both senior and junior staff will be required for the construction and exploitation of the facility.

The review group stressed the need for theorists who would be interested in the design, analysis and interpretation of experiments performed at the RI Beam Factory.

Computer facilities will be needed for a variety of tasks such as analysis of, detector, design, of the experimental set-ups, of the experimental results and for computations required so that theory can confront experiment.

Finally, oversight, evaluating progress and sensitive to possible problems for the project, securing advice from the PAC and especially the TAC, is generally a part of the management plan.

Scientific Opportunities

The proposed RIKEN radioactive beam facility has the potential of substantially widening the small window we now have on the properties of atomic nuclei at the limits of stability. New experimental facilities and new methods open the way to new physics, often different from what was anticipated at the time of their design. The proposed facility will be complementary to other facilities in Japan and around the world aimed at broadening our understanding of nuclear and nucleon properties at the level of quarks and gluons. The nuclear manybody system has been studied in some detail and we have a reasonable understanding of its properties and of the structural symmetries that characterize its excitations at the level of constituent neutrons and protons in stable or near-stable nuclei. However, experiments have not been possible to explore such systems at the limits of stability, where the last nucleons are just barely bound. These properties are of considerable interest — since in a number of respects the extension of our knowledge from the valley of nuclear stability is not obvious. These nuclei are also critical in astrophysics at many levels, from the Big Bang to stellar nucleosynthesis and the properties of supernovae.

It is important to emphasize the qualitatively new physics accessible with RIKEN's new facility, beyond properties listed in classic nuclear physics text books. It is such new physics that attracts the good young physicists and the strong user groups from around the world, essential to a world-class facility such as the proposed one at RIKEN. In particular, some emphasis would be desirable on fundamental new physics objectives in nuclear and astrophysics, that can be studied only, or best, with RIKEN's future facility. Clear statements of such physics objectives are essential in convincing the scientific community, especially those beyond nuclear physics such as those in particle and astrophysics, in Japan as well as around the world.

The RIKEN group has pioneered early studies of some of the lightest of the exotic nuclei near the limits of stability. In particular, the discovery of the size of ${}^{11}\text{Li}$, with a lightly bound pair of neutrons extending into a diffuse halo at large distances, has led to world-wide activity in the last few years. The intensity upgrade of the RIKEN linac by two orders of magnitude that is to be completed in the next two years will lead to a very substantial enhancement of capabilities in this regime of physics. This upgrade should go a long way in putting the glimmerings of insights obtained on many novel systems (e.g. ${}^{10}\text{He}$) on a much firmer footing, statistically as well as in other respects.

The superconducting cyclotron with the proposed fragment separator will extend enormously the range of nuclear species that may be reached, into qualitatively new regimes of heavier mass and charge. It will enable new experimental studies of nuclear stability, decay properties, interaction radii, and in some cases structure information, possible measurements of astrophysical interest such as photodissociation, implantation studies of very pure beams of specific radionuclides in materials, etc.

This facility will require major rethinking of experimental, techniques and objectives. It would be highly desirable at this time to select a few prototype experiments and document them in sufficient detail of beam intensity, beam quality, targets, detection systems, solid angle, energy resolution, statistics, etc., to give potential users a sense of reality. Such prototype experiments may perhaps best be prepared in a preliminary 'Program Advisory Committee' exercise, well before the beginning of the operation of the facility, in order to help define the directions of the experimental program and involve the national and international user communities.

More generally, it is important to emphasize providing new nuclear probes which have the potential to study fundamental interactions, for example beams of polarized nuclei with large decay energies, to study aspects of symmetries (C, T, P, isospin, etc.) to a level of precision higher than has been possible hitherto.

The MUSES rings are in a sense the major, though by no means the only, experimental facility to utilize the beams from the superconducting cyclotron. Here again the concept is scientifically exciting and challenging, opening large areas of physics with scattering and reactions between short-lived exotic beams and electrons, protons or other light particle beams, to reveal many critical properties of these nuclei. For instance, reactions can reveal structure of atomic nuclei far from stabilities and identify new symmetries and the extension or even the foundation of well-known symmetries. Studies of electron scattering could be invaluable in size determinations and low energy excitation. Reactions could determine the properties of states that are critical for understanding the R-process in nucleosynthesis. Unique atomic physics studies could be carried out in the interaction between atomic systems that have only a few electrons and the study of resonance absorption of x-rays generated with the relativistic electron beam. New nuclei in the superheavy regime may perhaps be reached only by using neutron-rich unstable nuclides in cold fusion reactions in the merging mode, such as would be provided by a facility such as MUSES.

Here the techniques for experiments are yet to be developed on the conceptual or even preconceptual level. They will then need to be subjected to increasingly detailed analyses to demonstrate to potential users what may become feasible, and to help determine some of the critical and potentially limiting design parameters of the collider rings. The present level of design is not sufficiently advanced to indicate what might serve to help both to develop and quantify the conceptual design and to involve potential users in the process of equipment development.

Technical Aspects

The present facility has achieved a high standard in producing exotic radioactive beams such as ^8He and ^{11}Li . It is based on a 4-sector ring cyclotron with unique injectors (AVF-cyclotron, variable frequency Linac) and a fragment separator with very high transmission.

The laboratory has contributed the pioneering development of high duty factor, variable, frequency linacs as injectors of heavy ions into the cyclotron.

Based on the existing facility, the new project to produce radioactive beams of highest intensities using the fragmentation method coupled with a double ring collider, opens new areas of research in various fields.

The proposed superconducting separated sector cyclotron is well matched to the use of the existing facility as injector. An upgrade of the injector complex to provide high intensity beams is in progress, a charge state multiplier needed to reach high energies is proposed to be added. The foreseen increase of the primary beam intensity of the upgraded facility by two orders of magnitude is a first and essential step towards the new facility.

The acceleration and handling of high-power heavy ion beams at the high level up to 1MW, as mentioned in the proposal, is an essential feature of a RIB-factory and will need extensive R & D work.

MUSES, the two ring collider for ions, electrons and x-rays, is a very interesting and promising concept to study properties of nuclei far off stability with innovative new experimental approaches, which cannot be carried out in other ways. For this facility high luminosity is of utmost importance. The option of an additional accumulator-cooler ring with matched acceptance to the secondary beams and provision to bunch the collider ring beams should be investigated. Adequate experimental areas around and in the rings should be provided and early attention to this problem should be given.

Multi users options for the whole facility should be carefully looked at, such as the provision of several beams of separated isotopes.

The establishment of international working groups for the optimization of the concept and design of critical subsystems such as the superconducting cyclotron, the accumulator-cooler ring, the double collider and the fragment separator is strongly encouraged. In addition, a technical advisory committee including a few experimentalists should be formed at an early stage.

International Aspects

The International Advisory Group is unanimous in strongly welcoming the proposal to construct a Radioactive Beam Factory at RIKEN. The proposed facility is both imaginative in concept and economical in design in building on the existing RIKEN accelerator complex and the experience of the RIKEN physicists. Realization of the project will provide a major new research facility of the highest world level that will be attractive to a wide international user community, not only from nuclear physics but also from atomic physics and nuclear chemistry. Toward this end, it is advisable to involve the international community so that it can contribute productively to the success and usefulness of this facility.

In order to make the best possible use of the facility, it is recommended that standing advisory committees should be formally set up at an early stage in order, in a systematic fashion, to build on existing expertise on machine developments and to associate future users in the design and construction of experimental equipment.

Concerning the accelerator complex, technical R & D will be needed during the next three years to finalize the conceptual design before construction can actually start. It is suggested that a Technical Advisory Committee, including accelerator specialists from foreign

countries, be constituted as soon as possible to assess the results of the R & D, to confirm the design of the machine and to oversee the progress of the project.

Formal cooperation should be developed by RIKEN with laboratories, both inside and outside Japan, that have experience in tackling problems similar to those encountered in the RIBF, such as the design of a superconducting cyclotron, the handling of high-intensity beams, the development of ECR ion sources and other related matters. It is envisaged that this cooperation should at least include the exchange of advice and experience but could extend as far as sub-contracting of the design and possible construction of some elements.

We would also encourage the formal interaction by RIKEN with other groups who have built or are planning the construction of radioactive beam facilities elsewhere in the world so that the goals and characteristics of such facilities should be taken into account in a consistent fashion.

Concerning the experimental equipment to be constructed at the RIBF, international cooperation can again be an important advantage for the project. Major equipment should be developed and possibly built on an international basis. In order to encourage broad access from many experimental teams to what will be a (if not the) leading facility in the field, simultaneous distribution of beam(s) to several users should be an aim of the project from the beginning. The use at the facility of movable specialized detectors (such as gamma ray or neutron multidetector arrays) should also be planned from the beginning. To examine all these possibilities and to organize the future scientific use of the RIBF, it is recommended that a structured and authoritative international user's group should be formally constituted at an early stage of the project.

Conclusions

1. The International Advisory Group strongly welcomes the proposal to construct a Radioactive Beam Facility at RIKEN. The proposed facility is imaginative in concept and economical in design, building on the existing RIKEN accelerator complex.
2. Important new insights into the properties of nuclei and nuclear reactions can be expected from the studies which will become possible with the proposed facility. Atomic and astrophysics will be significantly impacted as well.
3. The RIKEN staff is a most important resource as they have productively operated the existing facility and have made significant scientific advances through its use. For this proposal it will be necessary to substantially augment the staff at both the senior and junior levels.
4. It is recommended that a management team be installed as soon as possible.
5. The increase of primary beam intensity of the upgraded facility by two orders of magnitude is essential. The acceleration and handling of high power heavy ion beams at the level of 1MW will need extensive R & D work. High luminosity is needed for MUSES, the two ring collider.
6. One should make use of the experience and knowledge of the accelerator physics community world-wide. One mechanism would be through the Technical Advisory Panel

countries, be constituted as soon as possible to assess the results of the R & D, to confirm the design of the machine and to oversee the progress of the project.

Formal cooperation should be developed by RIKEN with laboratories, both inside and outside Japan, that have experience in tackling problems similar to those encountered in the RIBF, such as the design of a superconducting cyclotron, the handling of high-intensity beams, the development of ECR ion sources and other related matters. It is envisaged that this cooperation should at least include the exchange of advice and experience but could extend as far as sub-contracting of the design and possible construction of some elements.

We would also encourage the formal interaction by RIKEN with other groups who have built or are planning the construction of radioactive beam facilities elsewhere in the world so that the goals and characteristics of such facilities should be taken into account in a consistent fashion.

Concerning the experimental equipment to be constructed at the RIBF, international cooperation can again be an important advantage for the project. Major equipment should be developed and possibly built on an international basis. In order to encourage broad access from many experimental teams to what will be a (if not the) leading facility in the field, simultaneous distribution of beam(s) to several users should be an aim of the project from the beginning. The use at the facility of movable specialized detectors (such as gamma ray or neutron multidetector arrays) should also be planned from the beginning. To examine all these possibilities and to organize the future scientific use of the RIBF, it is recommended that a structured and authoritative international user's group should be formally constituted at an early stage of the project.

Conclusions

1. The International Advisory Group strongly welcomes the proposal to construct a Radioactive Beam Facility at RIKEN. The proposed facility is imaginative in concept and economical in design, building on the existing RIKEN accelerator complex.
2. Important new insights into the properties of nuclei and nuclear reactions can be expected from the studies which will become possible with the proposed facility. Atomic and astrophysics will be significantly impacted as well.
3. The RIKEN staff is a most important resource as they have productively operated the existing facility and have made significant scientific advances through its use. For this proposal it will be necessary to substantially augment the staff at both the senior and junior levels.
4. It is recommended that a management team be installed as soon as possible.
5. The increase of primary beam intensity of the upgraded facility by two orders of magnitude is essential. The acceleration and handling of high power heavy ion beams at the level of 1MW will need extensive R & D work. High luminosity is needed for MUSES, the two ring collider.
6. One should make use of the experience and knowledge of the accelerator physics community world-wide. One mechanism would be through the Technical Advisory Panel

which would include accelerator experts who have had experience in dealing with the problems similar to those encountered in the construction of RIBF, from both inside and outside Japan.

7. It is recommended that RIKEN invite the participation of appropriate laboratories from both inside and outside Japan. RIKEN should invite the participation of interested scientists in formulating in detail possible experiments and the design of the necessary detection equipment. It is recommended that a users organization be put into place.
8. Good luck.

理研 R I ビームファクトリー計画に関する
国際アドバイザーグループの報告書¹⁾

November 1994

C. Detraz
H. Ejiri
H. Feshbach (Chair)
G. Herrmann
P. Kienle
I. Martinson
G.C. Morrison
K. Nakai
Y.T. Oganessian
J. Schiffer
R.H. Siemssen
B. Sinha
B.W. Wei

¹⁾ 訳：上垣外修一（原文の勝手な解釈を避けるため直訳につとめた。）
確認：谷畑勇夫、矢野安重

序

理研RIビームファクトリーの国際アドバイザーグループは1994年9月26-28日に理研でミーティングを開催した。そのプログラムは、この報告書に付加されるように、3つのパートから成っていた。最初のパートは理研の概要と複合加速器系の説明であった。2番目のパートでは、現在理研で行われている研究が述べられた。3番目のパートは新しい施設の計画に関する討論であった。

この報告書では、まず一般的なあらましを述べ、そのあと提案された施設が目指す科学的可能性とその先見性 (scientific opportunity) について、詳細なまとめを述べる。その際に、達成されるべき到達点を強調しながら新しい施設の技術的な側面について質的な議論を行い、また最後に国際参加 (international participation) の有用性と必要性について概説する。

私達はまたこの機会に、理研のスタッフの歓待と、素晴らしい発表と、私達の質問に対する率直な解答に感謝する。

総括的意見

放射性原子核をビームとして利用することは、原子および原子核の研究者に挑戦と大きな機会を与える。それらの研究は疑いなく、すべての科学にとって重要な洞察を導くであろう。新しい形の原子核はすでに発見されており、新しい種類の集団運動や新しい種類の変形が明らかになるかもしれない。また、核力の新しい見地が得られるであろう。原子核の規則性は、安定領域の谷の部分では確定しているが、それはテストされ拡張されて、放射性ビーム研究施設を作れば使用可能になるであろう幾千もの原子核に適用できるようになるであろう。原子物理学者や物理化学者にとって興味のある、低エネルギー及び高エネルギーでのイオンや原子の衝突、また励起原子のスペクトロスコピーは、適切に設計された施設を作れば可能になると思われる。医学や材料科学だけでなく、宇宙物理のような他の科学分野にとって重要な応用があることも期待できる。

理研の物理学者及び共同研究者にとっての挑戦は、これらの科学的な好機を利用する複合加速器系と実験装置を考案し、建設することである。技術的に必要なことはこの報告書の「技術的見地」の節にまとめられている。加速器が現在理研でうまく稼働していることは、相当な技術的資源があることを証明している。しかしながら、これは、あとで指摘するように、増強する必要がある。

理研の提案した程度の大きさや複雑さをもつような計画では、良いマネジメント (management) が本質的であり、それゆえ、このような初期段階においてさえも、マネジメント機構がおかれるべきであり、マネジメントの責任が割り当てられるべきである。われわれの委員会はこの点については聞けなかった。アドバイザー委員会がいくつか存在すべきである。国際的な方針 (policy) 委員会の他に、プログラム・アドバイザー委員会 (PAC) とテクニカル・アドバイザー委員会 (TAC) をもつのが通常の慣例である。利用者との相互の意見交換のための準備をすべきである。これが最も重要なこと

である。なぜなら、この予想される世界的な施設に対して、日本国内ならびに世界中の科学者コミュニティにとって大きな興味があるからである。このような興味を、建設的な活動へと導いてゆくことが重要なのである。それはまた、PACおよびTACとともに、日本の学問的コミュニティと国際的コミュニティを連携させる (involve) 機構となる。利用者との接触を維持し、ワークショップを組織するといったことを、その義務の一部とする個人が必要である。

人材の取り扱いは重要なことである。なぜなら、それによって適切なときに適切な専門的知識と支援を利用できるようになるからである。私達は、この計画には平均数百 (several hundred) 人のスタッフを必要になるだろうと見積っている。この施設の建設と開発には、前任のスタッフ及び若手のスタッフ両方の、相当な増員が必要となろう。

レビュー・グループは、RIビームファクトリーで行われる実験の計画、解析、及び解釈に興味をもつであろう理論家の必要性を強調する。

検出器、実験装備の設計、実験結果の解析や、理論が実験に突き合わせられるための計算など、さまざまな課題のために、コンピュータ施設が必要であろう。

最後に、進展を評価したり、計画に対して起こりうる問題を敏感に感じ取ったり、PACやとくにTACからの助言を実行したりといった監督業務は、一般的にマネジメント計画の一部である。

科学的可能性 (Scientific Opportunities)

提案された理研RIビームファクトリーには、我々が現在持っている安定な範囲での原子核の性質に関する小さな窓を、大きく広げる能力がある。新しい実験施設と新しい方法は、計画されたときに期待されたものとはしばしば異なるような、新しい物理への道を開く。提案された施設は、クォーク、グルーオンのレベルでの原子核や核子の理解を広げることを目指した、日本及び世界の他の施設と相補的である。原子核多体系は、安定核や安定に近い核ではある程度詳しく研究されており、構成粒子である中性子、陽子のレベルで、その性質や励起を特徴づける構造的対称性に関する、正当な (reasonable) 理解を持っている。しかしながら、今までは、最後の核子がかろうじて束縛された安定限界での多体系を探究する実験が可能ではなかった。その性質は非常に興味深い。なぜなら、多くの点で、核の安定性の谷間から我々の知識を拡張することは明らかなことではないからである。これらの核は、ビッグバンから星での元素生成、超新星爆発までのさまざまなレベルで、宇宙物理学においても基本的意味をもつ。

理研の新しい施設では、古典的な原子核物理学の教科書に載っている内容を越えた、質的に新しい物理が得やすい (accessible) ことを強調するのは重要である。それは非常に新しい物理学であり、優秀な若い物理学者や、世界中の有力なユーザ・グループを魅きつけるものだが、このことは理研が提案しているような世界的クラスの施設においては本質的に重要である。特に、原子核、宇宙物理では、理研の将来施設においてのみ、あるいはそこで最もよく研究できる基本的な物理学的対象をさらに見極めることが必要であろう。そのような物理学的対象をはっきり述べておくことは、世界と同様、日本の科

学的コミュニティ、特に原子核以外の素粒子、宇宙物理のコミュニティを確信させるために必要である。

理研のグループは、安定限界近傍におけるエキゾチック核の最も軽いもののいくつかについて、研究を開拓した。とくに ${}^6\text{Li}$ のサイズの発見は、ゆるく束縛された中性子対が、長距離に広がったハロー(halo)になっていることとともに、ここ2、3年の世界的な活動につながった。次の2年以内を実現されるであろう理研リニアックの2桁のビーム強度増強は、この物理領域の可能性を大きく拡大するであろう。この増強により、多くの新しい(novel)系で得られた見識のかすかな光(glimmerings)を、統計的にも、また他の点でも、もっとしっかりした土台にのせる長い道筋を与えるはずである。

超伝導サイクロトロンは、提案された破碎核分離装置とともに、到達できる核種の範囲を、より大きな質量と電荷をもつ質的に新しい領域まで、飛躍的に広げるであろう。それにより、原子核の安定性、崩壊の性質、相互作用半径、そしていくつかの場合には構造に関する情報についての新しい実験研究が可能になるだろうし、光分解反応などの宇宙物理学的に興味ある実験や、非常に純粋な特定のビームの物質中への注入の研究などが可能になるであろう。

この施設では、実験方法、実験技術、実験対象に対する大きな考え直しが必要になるであろう。今この時期に、2、3の原形(prototype)実験を選び、ビーム強度、ターゲット、測定システム、立体角、エネルギー分解能、統計などを十分詳細に書類にし、潜在的ユーザに現実感を持たせることが非常に望まれる。そのような原形実験は、実験プログラムの方向づけを助けるため、また、国内外のユーザ・コミュニティを取り込むため、施設の動きだす十分まえに、PACへの原形実験の報告や申請として行うのが最良であろう。

もっと一般的には、たとえば高い崩壊エネルギーをもった偏極原子核ビームのような、基本的相互作用を研究する可能性を与える新しい原子核プローブや、従来よりも高い精度で対称性(C、P、T、アイソスピンなど)を研究できる新しい原子核プローブを供給することを強調するのが重要である。

MUSESリングは、超伝導サイクロトロンからのビームを利用する、ある意味では主要な実験装置である。ここでもまた、概念は科学的にエキサイティングで、挑戦的であり、短寿命のエキゾチック・ビームと、電子、核子、あるいは他の軽い原子核ビームとの間の散乱と反応により、物理学の広い領域を拓き、これらの原子核の多くの重大な性質を明らかにする。たとえば、反応は、安定領域からかなり離れた原子核の構造を明らかにし得るし、新しい対称性や、よく知られた対称性の拡張、さらにはその基礎までをも確認できる。電子散乱の研究は、サイズ決定や、低エネルギー励起において非常に貴重である。反応研究により元素合成におけるR-プロセスの理解に決定的な状態の性質を確認できるであろう。2、3個の電子しかもたない原子間の相互作用や、相対論的電子ビームから発生されるX線の共鳴吸収を用いて、ユニークな原子物理の研究が行えるであろう。MUSESのような装置で供給される寄り添い衝突モードでの、中性子過剰不安定核の Cold Fusion Reaction を通してのみ、超重領域の新しい原子核は可能であろう。ここでは、実験技術は、まだ概念的にも、あるいは前概念的にも発展段階にある。その

あと、潜在的ユーザに対して何が実行できるようになるのかを示し、また衝突リングの重大で潜在的な設計パラメータを決定する手助けをするため、だんだん詳細な分析にかけられる必要がある。現在の設計のレベルは、概念設計を発展させ定量化するのを助けるため、あるいは潜在的ユーザを装置開発の過程に取り込むために、何が適しているのかを示すほど十分に進んではない。

技術的観点

現施設は、 ${}^3\text{He}$ や ${}^{11}\text{Li}$ を例とするエキゾチック不安定核ビームを生成することにおいて高い水準を達成している。現施設は4セクターのリングサイクロトロンと、ユニークな入射器群（AVFサイクロトロンと可変周波数リニアック）、および非常に高い透過効率の破碎核分離器から成っている。当加速器施設ではサイクロトロンへの入射器としての、高いDutyの可変周波数リニアックの開拓的開発を行ってきた。

既存の施設をさらに拡張し、破碎反応の手法を使った最高強度の放射性ビームを生成する新しい計画は、二重蓄積リングと共に、さまざまな分野での新しい研究領域を拓く。

提案されている超伝導のセパレート・セクター・サイクロトロンは、既存施設を入射器として使用することとよく適合したのである。高強度ビームを供給するための入射器システムの増強が進行中であり、高エネルギーに到達するために必要な多荷化器が追加されることが提案されている。増強後の施設で予定されている、一次ビームの二桁の強度増強は、新施設への最初の基本的なステップである。

提案書で言及されているように、1MWにも達する高いレベルでのハイパワー重イオンビームの加速と取り扱いは、理研RIビームファクトリーの本質的な特徴であり、広範なR&D研究が必要となろう。

MUSESは、イオン、電子、X線のための二重衝突リングであるが、他の方法ではできなかった革新的な実験的アプローチにより、安定領域からはずれた核の性質を研究するための、非常に興味深い、有望な概念である。この装置には高いルミノシティが何よりも重要である。二次ビームに適合したアクセプタンスを持つ、別の蓄積冷却リングの追加と、衝突リングのビームをバンチする可能性についての検討が必要である。

全施設の複数ユーザ利用の追加機能、たとえば分離した複数のアイソトープ・ビームの供給は、注意深く検討すべきである。

超伝導サイクロトロン、蓄積冷却リング、二重衝突リング、破碎核分離器などの重大な構成要素の概念と設計の最適化を行う国際ワーキング・グループの設立を強く勧める。さらに、二、三人の実験家を含んだTACを早い段階で作るべきである。

国際的視点

国際アドバイザーグループは、満場一致で理研RIビームファクトリーの建設計画を強く歓迎する。提案されている施設は、現存する理研加速器系と理研の物理学者の経験を基礎としており、想像力に富み(imaginative)、また設計の上で経済的である。この

計画が実現すれば、世界最高レベルの主要な研究施設が生まれ、原子核物理学者だけでなく、原子物理学者や核化学者のコミュニティに対しても魅力的であろう。このために、国際的なコミュニティを取り込み、この施設の成功と有用性に生産的に貢献することができることが望ましい。

この施設を可能なかぎり良く使うため、常設のアドバイザー委員会を早い段階で公式に設立し、系統的な方法で、現存する装置開発の知識を基礎にし、将来のユーザを装置の設計と建設に協力することができるよう勧める。

加速器システムについていうと、建設が実際に始まる前に、概念設計を最終的なものにするため、この三年のあいだに、技術的な R&D が必要になるであろう。外国からの加速器の専門家を含む TAC をできるだけ早く構成して、R&D の結果を査定し、機械の設計を固め、計画の進展を見渡すよう要望する。

理研 R I ビームファクトリーで出くわすであろう問題と類似した問題、たとえば超伝導サイクロトロン設計、高強度ビームの取り扱い、ECR イオン源の開発や他の関連した事項と取り組んだ経験を持つ国内外の研究所との公式の協力を、理研で進めるべきである。この協力では少なくとも助言と経験の交換を行い、できれば、設計の仮請負 (sub-contracting) や、いくつかの要素が建設できるようにするところまで心に描いておくことを勧める。

私達はまた、世界のどこか別のところで、R I ビーム施設を建設したかあるいは計画中のグループと、理研が公式のやり取りを行い、そのような施設の目標と性質が矛盾のない方法で考慮されるよう勧める。

理研 R I ビームファクトリーで建設されるべき実験装置に関して言えば、国際協力を行うことが、再び、計画に対して有利になる。主要な装置は国際的な基盤の上に開発され、できれば国際的な基盤のもとに建設されるべきである。

多くの実験チームからの、その分野をリードするであろう施設（もしそれがなければだが）への参加を推し進めるため、複数のユーザへのビームの同時分配を最初から計画の一つの目的とすべきである。目的が限定された可動検出器（ガンマ線、中性子の多重検出器など）も、最初から計画されるべきである。これらすべての可能性を吟味し、理研 R I ビームファクトリーの将来の科学的利用を組織するため、この計画の早い段階で、組織的で権威のある国際ユーザ・グループが公式に構成されるよう勧める。

まとめ

1. 国際アドバイザーグループは、理研 R I ビームファクトリーの建設計画を強く歓迎する。提案されている施設は、現存する理研加速器系を基礎としており、想像力に富み (imaginative)、また経済的な設計となっている。
2. 提案されている施設で可能になる研究から、原子核と原子核反応の性質について、重要で新しい洞察が期待できる。原子物理学、宇宙物理学も同様に非常に衝撃をうけるであろう。
3. 理研のスタッフは現在の施設を生産的に運転してきており、その使用を通して、

重大な科学的進歩をしており、最も重要な資源である。この提案のためには、先任スタッフ、若手スタッフ両方の相当な増員が必要であろう。

4. できるだけはやくマネージメントチームを組織することを勧める。
5. 一次ビームの強度を増強後の施設で二桁上げることが重要である。1MW レベルでのハイパワー重イオンビームの加速と取り扱いには、広範な R&D 研究が必要となろう。MUSES (二重蓄積リング) には高いルミノシティが必要である。
6. 世界中の加速器物理学者の経験と知識を利用すべきである。1つの機構は、国内外で、理研 R I ビームファクトリーで出くわすであろう問題と類似した問題を取り扱った経験のある加速器の専門家を含むTACを通すことである。
7. 理研が、国内外から適当な研究所の参加を招くことを勧める。理研は、実験を詳細に組織立て、必要な検出装置の設計を行うため、興味を持つ科学者を招くべきである。
8. 幸運をお祈りする。

Agenda
"RIKEN RI Beam Factory" Advisory Meeting
on September 25-28, 1994

Sept. 25th (Sun.): (at Hikarigaoka Dai Ichi Hotel in Tokyo)

20:00 Brief meeting of advisors and spokespersons of the RARF

Sept. 26th (Mon.): (at Nishina hall in RIKEN)

Morning session (9:30 - 12:30)

9:30 A. Arima:

Welcome by the president of RIKEN

9:45 H. Kamitsubo:

Welcome and Introduction to RIKEN

10:10 M. Ishihara:

Operation of RIKEN Accelerator Research Facility
(RARF)

10:40 - 11:00 Coffee

11:00 RARF Heavy-ion Accelerators

Y. Yano:

Overview and Present Status of the RARF
Single-turn Extraction in K540 Ring Cyclotron

T. Nakagawa:

Upgrade of 10-GHz ECR Ion-source using Plasma-
cathode Method and Construction of 18-GHz ECR
Ion-source

O. Kamigaito:

Design of Frequency-variable RFQ linac and
Construction of a new injector for RILAC

Y. Yano:

Preview of Proposed Accelerator Complex for
RIKEN RI beam factory

12:00 Nuclear Physics I

T. Kobayashi:

Nuclear Structure and Reaction

Afternoon session (14:00 - 17:00)

- 14:00 Nuclear Physics II
K. Asahi (TIT/RIKEN):
Nuclear Spectroscopy
T. Motobayashi (Rikkyo Univ./RIKEN):
Nuclear Astrophysics
T. Otsuka (Univ. of Tokyo/RIKEN):
Related Theoretical Studies
- 15:30 Atomic Physics
Y. Awaya
- 16:00 - 16:20 Coffee
- 16:20 Nuclear Chemistry
F. Ambe
- 16:40 Radiobiology and Medicine
K. Ando (NIRS/RIKEN)
- 17:00 Facility Tour (optional) conducted by A. Goto

Night

- 18:30 Reception (RIKEN "Ike-no-hata" Cafeteria)

Sept. 27th (Tue.) :

Morning session (9:30 - 12:30) (at Nishina hall)

- 9:30 Proposal of RI Beam Factory Project (Accelerators)
Y. Yano:
High-intensity Accelerator Complex
T. Katayama (INS/RIKEN):
Double Strange Ring (MUSES)
- 10:30 Proposal of RI Beam Factory Project (Researches)
I. Tanihata:
Nuclear Physics
T. Kambara:
Atomic Physics and Related Researches
Y. Yoshida (Shizuoka Inst. of Sci. and Tech./RIKEN):
Solid State Physics and Chemistry

Afternoon session (14:00 -) at Board Room II in Administration Bldg

- 14:00 Discussion (Advisors and Facility Staff)
- 15:30 Coffee
- 16:00 Discussion among the Advisors

Night

Dinner hosted by the president of RIKEN
at Japanese Restaurant "Kho-Sushi" in Kawagoe-city

Sept. 28th (Wed): (at Board Room II in Administration Bldg)

Morning session (9:30 -)

9:30 Final patch up