

理研 RIBF 国際諮問委員会

(2006年2月23日～25日開催)

国際諮問委員会の加速器研究プログラムに対する勧告と結論

国際諮問委員会は、理研中央研究所長とフロンティア研究システム長より以下についての評価を要請された。

1 加速器研究プログラムの活動に関して

- a) 加速器開発と RIBF (RI ビームファクトリー) 加速器の進展状況
- b) 実験装置開発 : Big RIPS と RIBF 初期実験、RIBF 基幹実験設備
- c) 加速器を用いた応用研究

2 新しく設立される理研仁科加速器研究センターへの勧告と提言

- a) 仁科センターの運営
- b) 加速器を用いた研究に対する仁科センターの役割
RIBF, 理研 BNL センター、理研 RAL 支所、理論研究等
- c) 国際化

序

諮問委員会メンバーは、矢野、本林両博士および理研のチームから受けた滞在中の歓待に感謝する。また、口頭発表や事前および会議中に配布された資料の質の高さと詳細にわたる内容を高く評価する。また、新しい組織についての開かれた議論が行われたことも評価したい。

この報告では、議論されたすべてについて詳細に評価することはできない。特に、諮問事項の 1 についての提言・評価を行うにあたっては、最近行われた技術諮問委員会 (TAC) の結果を利用した。

我々の主な結論と勧告は以下のとおりである。

会議での口頭発表や施設見学をとおして、前回の国際諮問委員会 (IAC) が行われた 2004 年 11 月以降の RIBF 建設の進展の速さに強い感銘を受けた。委員会は加速器チームが「世界最大のサイクロトロンである SRC の 6 基のセクター電磁石の運転成功」という建設の主要な段階を達成したことに祝意を表す。この施設は大きな科学的発展の可能性を持ち、不安定核ビーム科学の領域で世界をリードするセンターとなりつつある。委員会は 2004 年の IAC 報告で推奨された方向で新しい仁科加速器研究センターが設立されることを喜ばしく思う。

1 加速器研究プログラムの活動

1-a) 加速器開発：RIBF 加速器の進展

矢野博士が率いる加速器グループは、RIBF 複合加速器の完成に向けて大きな進展をはかっている。委員会は完成への速い歩みとプロジェクト全体の質の高さに感銘を受けた。様々な部品を組み合わせること、協力企業間の調整がうまくいっていることはすばらしい。SRC の 6 基のセクター電磁石を最高の K 値 2500 で働かせることができたことは、重要な成果である。この世界初の超伝導リングサイクロトロンの実現は、サイクロトロン設計における画期的な出来事と言える。

加速器の状況については、2005 年 11 月に行われた技術諮問委員会 (TAC) によって詳細に評価されている。我々はその報告を支持し、ここでは繰り返さない。

技術諮問委員会報告でも述べられたように、2006 年 12 月に加速器運転を開始するという野心的な目標が実現可能かどうかを判断する十分な時間はなかったが、この目標は妥当と思われる。さらに SRC の高周波系、入射系、引き出し系、ビーム輸送系などの多くの装置をこれから建設する必要がある。これらを効率よく調整することが目標達成にとって重要である。

セラミック製電流導入端子の損傷に起因するヘリウム損失によって SRC の運転開始が遅れている。これは、熱膨張の違いが原因と考えられている。このような故障が他の部分にも起こることは十分あり得る。再設計がおこなわれ、損傷した端子は、断面積が小さく熱膨張の違いに鈍感なものと交換される予定である。他の端子も可能な限り交換される。すべてが交換されるまでは、故障により運転できない時間が延びる可能性がある。

他のサイクロトロン fRC と IRC の建設は順調であり、運転開始はスケジュールどおり行われるであろう。他の装置の建設も順調である。

施設の多目的同時運転について説明があった。委員会は、そのような可能性はこの加速器施設における科学の発展にとって重要であると考え、高い優先度をもって運営することを推奨する。特に、以前の委員会が支持した新しい入射線形加速器（これによって重元素探索プログラムを同時進行させることができる）建設計画が引き継がれていることは喜ばしい。この入射器の建設は基盤実

験設備整備計画の中で予定されているが、可能な限り早期に実現することを委員会は推奨する。また、IRC からのビームを切りかえて、現在の RIPS と新しい超伝導 RIPS (Big RIPS) を同時に働かせる計画を詳細に検討することを勧める。約 10% の強度を持つビームが RIPS に送られることができると考えられ、加速器施設の研究成果を拡大し、偏極イオンによる研究プログラムをはじめとして、多くの利用者の要求に答えることができる。

1-b) 実験装置開発 : Big RIPS と RIBF 初期実験、RIBF 基幹実験設備

Big RIPS の現状と発展

入射核破砕片分離器 Big RIPS とそれに続く照射ビーム輸送系の建設は非常に進展した。前段分離器、後段分離器、照射ビーム輸送系により構成され、前段分離器の設置は完了し、超伝導四重極電磁石はすでに冷却されている。続く部分の設置とテストが行われている。最初の実験を開始するまでには相当の仕事が必要である。2006 年 12 月の最初のビームに間に合わせることは、野心的だが可能であろう。

Big RIPS は、完成すれば世界で最も進んだ破砕片分離器となるであろう。Big RIPS は 2 段階分離、イオンのタグ機能など多くの革新的な設計により、RIBF 施設の性能によく適合している。

2006 年 11 月の技術諮問委員会では、分離器と輸送系の現状と計画について報告されており、我々は技術諮問委員会の結論に同意する。特に、完備したビーム診断系が運転開始に決定的である、という点は重要である。

初期実験 (Day-One Experiments)

加速器施設は、ウランビームによって運転を開始する計画である。最初の RI ビームの生成および最初の実験もウランビームによって行われようとしている。カルシウムやクリプトンなどの軽いビームを用いる場合に比べ、二次ビーム生成や実験はより魅力的ではあるが難しいものとなる。しかし、それにより加速器施設の様々な面に対する、より徹底的なテストをすることができる。委員会は軽い核のビームが最初のデモンストレーション実験にはより適しているように思えるが、より完全なテストを行うという理研の計画に拍手を送る。

施設の運用開始までわずか 10 ヶ月である。実験提案の公募とそれに続く課題採択委員会 (Program Advisory Committee meeting) を可能な限り早期に行うことを、我々は強く促す。

ウランによる運用開始に向けての重要な段階は、RRC による核子あたり 10.7 MeV でのウラン加速であった。イオン源グループは 10 pA のビーム強度を実現した。これは RIBF での最初の加速には十分であり、我々はこの重要な開発に祝意を表す。

委員会は、以下の点を指摘しておく。

- a) 将来 1 pA のウランビームによる RIBF の運転を行うためには、現在の技術水準を超えた ECR イオン源の設計と建設が決定的である。
- b) 前回の技術諮問委員会報告でも推奨されているが、予定されている最大強度の非常に重いイオンのビームに対してストリッパ膜を使用する方法を実験的に確立する必要がある。
- c) 部品の耐放射線性は重大な点として残っている。

基幹実験設備計画

RIBF における初期実験は世界的に見た研究の前線を開拓することになる。焦点面検出器を備えた Big RIPS と照射ビーム輸送系の設計は、発見的研究の可能性に最も適している。しかし、RIBF の持つ研究の可能性を生かすには基幹実験設備整備計画への十分な投資が必要である。計画は財政的には未だ裏付けられていず、設備の優先度も与えられていない。初期実験は RIBF の能力を示すものとするべきである。基幹実験設備の優先度は、仁科加速器センターおよび実験課題採択委員会における科学的評価によって決められるべきである。

基幹実験設備の一つは RI スピン工房である。スピン偏極した RI ビームによる研究、物性科学実験、Big RIPS での実験のための開発などに用いられる。Big RIPS を用いる主要装置としては、エキゾチック核の荷電交換反応などの様々な研究を行う SHARAQ スペクトロメーター、多粒子測定による分光を行う SAMURAI、停止ビームによる実験のための SLOWRI、質量測定のための等時性リング、電子-イオン衝突実験を行うための SCRIT が計画されている。SLOWRI は停止した短寿命 RI を一般的に研究するための非常に優れた将来性のある方法であり、ISOL の技術では困難な研究を可能にする。計画中の諸装置については、今までに多くの開発研究が行われてきている。ウランの飛行中核分裂によって生成される中性子過剰なエキゾチック核についての価値ある情報を得ることが期待さ

れる。

超重元素生成研究を継続するためには、新しい入射用線形加速器が必要であり、その建設を強く推奨する。113 番元素の生成を確実にし、さらに 114, 115 番元素を目指すためには、ビーム強度の増大や大強度ビームに耐える標的の開発が必要となろう。

2004 年 11 月の報告と同様、委員会は、基幹実験設備の適切な時期での実現が先端的加速器施設の可能性を全面的に活用する上で決定的に重要であることを強く指摘したい。

2007 年から 2010 にわたって建設すると想定されている基幹実験設備の全予算は 58 億円である。委員会は詳細について検討することはできなかったが、科学的な重要性、建設の範囲と複雑さを考えると、予算は適切な水準にあると考える。

基幹実験設備整備が適切な時期に成功するためには、各々の装置について詳細な協力を組織する必要があると思われる。また、優先度を設定する必要がある可能性もある

RIBF が持つ他に類のない可能性を考えれば、最初から国際的な視野のもとに種々の検討を行うべきである。

1-c) 加速器を用いた応用研究

RI スピン工房

RI スピン工房は RI ビームを用いた物性科学と超微細相互作用の研究を目的としている。後者は物質中での原子核プローブとして物性、例えば結晶中の原子配位やイオンが静的、動的な状態、または緩和過程にあるときの超微細場などの研究に用いることができる。特に魅力的なのは、ナノ構造物質を表面、界面、多層構造に選択的に導いて研究し、また、フェルミ準位を外から制御しつつ半導体中の非常に希薄な不純物を研究できることである。

RIBF 初期においては、高いエネルギーのビームによる深い埋め込みに重点を置く。基幹実験設備整備の SLOWLI 計画と ISOL における低エネルギービームによれば、多層系や浅層半導体への深さを選択した埋め込み技術などの開発が行える。RIBF では他の RI ビーム施設では得られない短寿命の原子核を用いる可能性がある。特に、多目的利用のための技術開発は勧めたい。現在リストアップされている潜在的利用者は日本に限られており、世界的な規模での参加をはかるべきである。

生物学の応用研究

サイクロトロングループの2人のメンバーにより生物科学で重要な口頭発表が行われた。

マルチトレーサー技術

マルチトレーサー技術によれば、無担体で RI トレーサーを調整することができ、毒性を発現しない濃度領域での研究が可能となる。また、生理的機能を持つ元素を混合したトレーサーにより生体内での元素間の相互作用を分析することができる

もう一つの方法は、コンプトンカメラによる生体組織中に集積した元素、例えば動物や植物内の ^{59}Fe や ^{65}Zn 、の位置測定である。コンプトンカメラによる画像の分解能が低くても、この方法は生きたままの組織中の元素を見ることができる点に将来性がある。マルチトレーサー技術は、生体組織内での元素の生理機能を調べる可能性があり、今後数年の技術的な発展に期待する。

イオンビーム照射による植物の突然変異誘発

これまでも植物の突然変異誘発に放射線は用いられてきたが、重イオンビームを用いた成功例はなかった。しかし、理研では様々な植物種に対して重イオンビーム照射実験を行い、ペチュニア・ダリア・ベゴニアのような観賞用園芸植物や、米・大麦・小麦など農業上重要な作物でも、有用な突然変異株が作り出せることを示した。この方法の利点は、人為的な遺伝子操作を伴わないところにある。従って育成品種は、環境へのリスクがなく、一般の理解が得やすいと考えられる。実際に、日本では重イオンビーム照射により育成した園芸植物の新品種が広く販売されている。

重イオンビームによる突然変異誘発は大きな可能性を秘めており、農業や園芸分野で今後さらに重要になるだろう。理研が取り組む課題としては、これらの突然変異誘発機構を解明するための分子生物学的または遺伝学的基礎研究を奨励する。突然変異誘発機構を理解することによってこそ、変異効率を向上させることができるだろう。

2. 理研仁科加速器研究センターへの勧告と提言

2. a-b) 仁科センターの運営、加速器を用いた研究に対する仁科センターの役

割 (RIBF, 理研 BNL 研究 センター、理研 RAL 支所、理論研究等)

国際評価委員会は 2004 年の IAC 報告に沿った方向で新しいセンターが設立されることを喜ばしく思う。委員会は以下を提言する。

組織名称

国際的に重要なセンターにあっては、組織の名称は、意図する意味を正しく外部に伝えるものであるべきである。この考えに基づき、委員会はいくつかの提言を行う。

- a) 「Accelerator Science」は日本語とはやや異なる意味となる (加速器の科学)。委員会はセンターの名称として「RIKEN Nishina Center for Accelerator Based Science」を提案する。
- b) 同様に、日本語を話さない人に意図する意味を理解してもらうために、「Public Use Promotion Committee」(共用促進委員会)を「Science Policy Committee」に変える。
- c) 「Collaboration Promoting Division」(連携促進部門¹)を「User Liaison and Support Division」に変える。
- d) 「Steering Committee」は「Coordination Committee」または「Board of Directors」に変更する。

運営方針

- a) 口頭発表で示された「RIBF のビームタイムの配分にあたっては、内外の利用者を区別しない」という原則を委員会は強く支持する。これは主要な国際的共同利用研究機関であるための重要な方針である。
- b) また、委員会は、ビームラインと基幹的な実験装置が実験装置運転・維持管理グループの責任のもとにおかれるようになる、との方針を歓迎する。

センター外研究グループ

RIBF での研究計画の相当大きな部分は仁科センター外のグループによって行われることになる。既に、そのような強い関与を持つグループはいくつか存在し、将来増えることになるだろうし、ならなくてはならない。外部の主要研究グループが RIBF 全体の研究計画策定に不可欠となる仕組みをつくること

¹ この時点での名称。その後、共用促進部門に変更。

が大切である。(現在そのようなグループは、東京大学原子核科学研究センター、理研の原子物理研究室である。) RIBF を有効に運営するためには、公式・非公式に外部研究グループ、特に、RIBF での研究に主要かつ長期的な関心を持ち、研究・技術面での人材、予算をもって参画するグループ、と緊密な協調関係を確立することが大切である。

委員会構成

a) 国際諮問委員会²

センターの科学的目標を最適化することを任務とする外部諮問委員会。大きな研究施設の運営には特に有用な機構である。

- しかし、このような委員会は、対象を重要な一つ、この場合は RIBF の運営と研究プログラム、に絞った場合に最大の効力を発揮できる。委員会は、理研 BNL 研究センター、理研 RAL 支所のような RIBF と直接関わらない活動については、数人の専門家による小委員会を設置して評価を行うことを提言する。それらの小委員会は、本委員会より頻繁に開催する必要はないと思われるが、総合的な調整のために本委員会に報告を行う。
- 国際評価委員会は、RIBF での研究を対象とすることが求められているが、この中にはセンターに直接属していない研究を大きな部分として含んでいる。これらの研究活動は独自の評価機構を持っているが、研究グループのメンバーが国際評価委員会で彼らの研究活動・計画を直接語ることができれば、委員会の本質的な役割となるだろう。(例は、東京大学原子核科学研究センター、理研の原子物理研究室。必要となった時点で他研究グループも対象となる。)
- 現在の物性分野・生物分野の委員に加え、加速器を用いた原子物理分野の委員をメンバーとすれば、委員会は強化される。
- 今回の委員会報告は中央研究所長に宛てられているが、仁科センターの組織図には反映されていない。この点は修正されるべきである³。
- RIBF 技術諮問委員会(TAC)のような他の委員会の報告や、将来開かれる実験課題採択委員会の報告、およびそれらに対するセンターの対応のまとめは、引き続き国際諮問委員会の会合前に配布されるべきである。

² この時点での名称 (International Advisory Committee)。その後、International Advisory Council に変更

³ 仁科センター設立後は、IAC はセンター長に報告することになる。今回の委員会は、その場合でも和光研究所長へ報告することを提案している (図参照)

- 将来の国際評価委員会では、前回の委員会報告に対するセンターとしての評価、以降とられた対応について報告してほしい。

b) 実験課題採択委員会

RIBF における全ての研究提案について検討し、チームタイム配分についてセンター長に答申する。

- 実験課題採択委員会（以下採択委員会）は、長期にわたる実験装置開発を伴う企画の提案（Letter of Intent）について、その企画が RIBF の計画として適当であるかを検討することを行う。そのような実験装置が開発した後のチームタイム配分は、採択委員会への実験提案に基づいて行う。
- 採択委員会は必要に応じて外部の専門家の助言を仰いだり、実験や開発企画を審査する上で技術的側面での専門的検討が必要な場合に技術助言委員会（Technical Advisory Committee）を招集することができる。これらの措置については、仁科センターと採択委員会議長の間で事前に相談する。

c) 共用促進委員会⁴

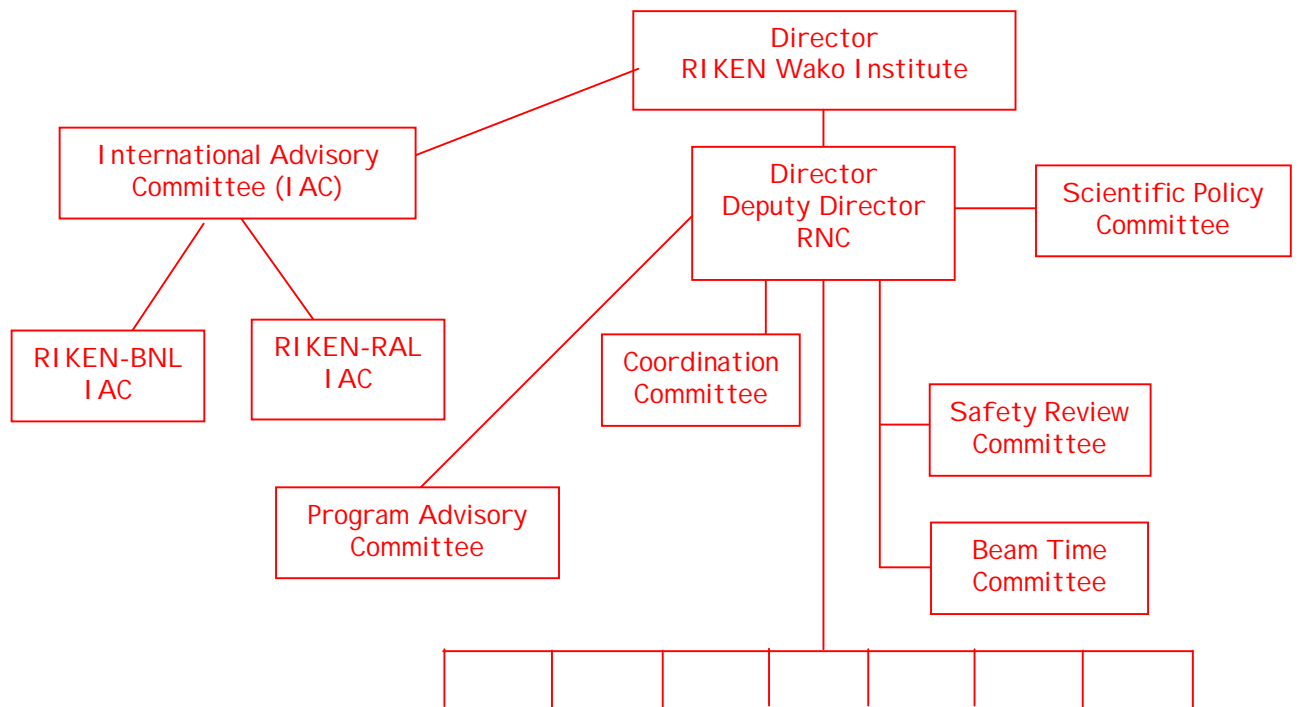
技術・財政・運営に関する主要な政策の選択、施設の持つ様々な可能性や各研究領域からの要求に対する研究・技術・財政上の優先度設定にあたってセンター長を助ける。センター内の上席メンバー、主要研究グループの研究者、RIBF と近い関係にあるとは限らない当該研究領域に広い見識を持つメンバーなどにより構成されると考えられる。国際評価委員会や実験課題採択委員会よりは国際的ではなく、年に2回程度の会合を開いて施設の全体的な状況や特定の要求に関する主要な政策事項についてセンター長を助ける。共用促進委員会の報告や勧告は一般に内部書類であり、センター長が必要と認めたときにのみ国際諮問委員会に送られる。

d) 運営調整会議

センター内の会議であり、日常的に行うべき決定、優先度設定、RIBF 運営上の様々な任務についてセンター長を助ける。

委員会は、提案されたセンター組織は、図のようにすることによってより良い形になると信ずる。

⁴ Scientific Policy Committee を英語名として提案（組織名称の項参照）。



理研 BNL 研究センター

約 10 年前に設立されて以来、理研 BNL 研究センターは BNL (ブルックヘブン国立研究所) の RHIC を中心とした科学の推進に重要な役割を担っている。具体的な活動としては、1) 格子 QCD 計算への理論的貢献、2) ミューオンアームに関連する研究、例えば J/psi のようなチャームフレーバーを持つ重い中間子の検出、3) 日本での PHENIX 計算センター (CC-J) でのデータ解析、4) RHIC での偏極陽子によるスピン物理、が挙げられる。その中でも広く知られているのは、スピン物理で、理研の BNL での活動によって可能となっている。スネーク磁石等の装置を RHIC に建設しただけではなく、理研 BNL 研究センターの日本人研究者がこの領域の研究を主導している。

このグループは年間約 7 億円の予算を BNL の活動に費やしている。仁科センター内での理研 BNL 研究センターの活動の役割を見てゆくために、上にも述べたように国際諮問委員会の小委員会を設置することを勧める。これは、現在の理研-BNL 科学評価委員会 (Scientific Review Committee) と同じであってもよいと考える。小委員会が定期的に国際諮問委員会へ報告することは重要かつ有益である。

理研 RAL 支所

理研 RAL 支所での研究は、RAL-ISIS 施設のミュオン中間子ビームによるミュオン科学に集中している。ミュオン中間子を用いた多くの先駆的研究がこのグループによってなされている。RAL 支所は J-PARC が同様の強度を持つミュオン中間子ビームを発生するようになる前は、活動を続ける意向である。J-PARC への移行は 2010 年のあたりと考えられる。

現在の国際諮問委員会の構成は、この領域の専門性を持つメンバーに欠けており、理研 BNL 研究センターの場合と同様に、小委員会の設置を勧める。

グループは研究活動を 2 つの方向へ拡張しようとしている。一つは J-PARC での 3 GeV 陽子によるミュオン科学であり、もう一つは J-PARC の 50 GeV 陽子による K 中間子ビームを用いた新しい原子核物理である。後者は岩崎博士の主要な興味が K 中間子物理にあることによっている。双方について、理研と J-PARC 間の緊密な議論が必要であり、その場が近いうちに設けられるべきである。

理論

世界的に知られた原子核理論研究者である大塚教授が推進する東京大学原子核科学研究センター (CNS) と東京大学理学部による原子核構造の理論研究発展の努力は、RI ビームによる実験研究を支えている。彼らは特に国際協力に力を入れており、最近米国およびヨーロッパの研究所との人的交流を行う計画が日本学術振興会に認められた。さらに、GSI と理研の間の定期的会合や米国の RIA 理論グループとの強力な協力も始まった

委員会はこれらの国内外の原子核構造理論の活動を活発化する努力を歓迎し支持する。中期的には、理研に原子核構造・反応、天体核物理学の理論グループを確立することが非常に適切である。

2-c) 国際化

RIBF は国際的に見て重要で他にはない科学上の財産である。これを国際的に、特にアジア諸国の間で、最適に活用することが重要である。中国、インド、韓国などのように、十分な素養のある多くの物理学者を持つ国々が、実験を行う上での主要な人材源となるはずである。ヨーロッパやアメリカの研究者との協力も非常に望ましい。

理研は、仁科センターを国内外の研究者コミュニティにとっての共用施設と

する歩みを続けている。(東大 CNS との連携の成功の上にならば、仁科センターは、日本国内の他の研究機関の協力、関与を促進する「連携研究制度」を提案している。) 委員会は、他研究機関が建設し、理研に据え付けた実験装置を、全てに開かれた仁科センターの共用装置とすることを特に勧める。施設を国際的に開くためのさらなる一歩として、「原子核研究に関する日中研究協力協議会」の準備会合が 2006 年 2 月に開催された。

国際協力をさらに推進するために、委員会は共用促進部門の中に「国際協力プログラム」を設置することを勧める。国際協力、特に中国のみにとどまらずアジア諸国との協力の促進を委員会は強く奨励する。

国際諮問委員会を代表して

Sydney Gales
理研国際諮問委員会議長

(委員リスト)

- Sydney Gales (GANIL : 国立重イオン加速器研究所、フランス)
- John Schiffer (ANL : アルゴンヌ国立研究所、アメリカ)
- Bradley Sherrill (MSU : ミシガン州立大学、アメリカ)
- Russell Jones (USB : カルフォルニア大学、アメリカ)
- Karlheinz Langanke (GSI : 重イオン科学研究所、ドイツ)
- Juha Aysto (JYFU : ユヴァスキュラ大学、フィンランド)
- WenQing Shen (CAS : 中国科学院、中国)
- Yuri Oganessian (JINR : 合同原子核研究所、ロシア)
- Guido Langouche (KUL : ルーヴァンカトリック大学、ベルギー)
- Shoji Nagamiya (KEK : 高エネルギー加速器研究機構、日本)
- Hiroshi Toki (RCNP : 大阪大学、日本)
- Hiroshi Ikezoe (JAEA : 日本原子力研究開発機構、日本)