

JAERI-Review

2000-023



JP0050846



先端基礎研究専門部会評価結果報告書  
(平成 12 年度)

2000 年 10 月

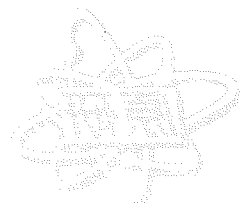
研究評価委員会

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Review  
2000-023

JAERI-Review  
2000-023



書言誌果識而報会研門専究研基識大  
(第 51 号)

2000 10

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越し下さい。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布を行っております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2000

編集兼発行 日本原子力研究所

用究研大子原本日

Japan Atomic Energy Research Institute

先端基礎研究専門部会評価結果報告書  
(平成 12 年度)

日本原子力研究所  
研究評価委員会

(2000年10月2日受理)

研究評価委員会は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、先端基礎研究専門部会を設置し、先端基礎研究センターの研究開発課題について、平成 11 年度に終了した研究テーマの事後評価、平成 12 年度に中途終了予定の研究テーマの中間評価及び平成 13 年度から開始する新規テーマの計画の事前評価を実施した。同専門部会は 8 名の専門家で構成された。

先端基礎研究専門部会は平成 12 年 7 月 17 日に開催された。評価は、事前に提出された評価用資料及び専門部会における被評価者の説明に基づき、研究評価委員会によって定められた評価項目、評価の視点、評価の基準に従って行われた。同専門部会が取りまとめた評価結果報告書は研究評価委員会に提出され、平成 12 年 8 月 31 日に審議された。研究評価委員会はこの評価結果を妥当と判断した。本報告書はその評価結果である。

Report of the Review Committee on Evaluation of the Research Subjects  
In the field of Advanced Science Research  
(F Y 2000)

The Research Evaluation Committee

Japan Atomic Energy Research Institute  
Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo-to

(Received October 2 , 2000)

On the basis of the JAERI's Basic Guidelines for the Research Evaluation Methods and the Practices Manuals of the Institution Evaluation Committee, the Ad Hoc Review Committee composed of eight experts was set up under the Research Evaluation Committee of the JAERI in order to review the research themes completed in FY1999 , those to be ended through FY2000, and those planned for five years starting in FY2001 in the Advanced Science Research Center.

The Ad Hoc Review Committee meeting was held on July 17, 2000. According to the review methods including review items, points of review and review criteria, determined by the Research Evaluation Committee, the review was conducted based on the research result/plan documents submitted in advance and presentations by the Research Group Leaders. The review report was submitted to the Research Evaluation Committee for further review and discussions in its meeting held on August 31, 2000. The Research Evaluation Committee recognized the review results as appropriate. This report describes the review results.

Keywords: Research Evaluation, R&D Subjects Evaluation, Post-review, Intermediate-review, Pre-review, Advanced Science Research

評価の経緯について

研究評価委員会事務局  
(企画室 研究評価推進室)

研究評価委員会は、「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」（平成 10 年 4 月 1 日策定）及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」（平成 10 年 4 月 1 日策定、平成 11 年 4 月改正）に基づき、先端基礎研究センターの研究開発課題について、平成 11 年度に終了した研究テーマの事後評価、平成 12 年度に終了する予定の中間評価及び平成 13 年度からの 5 年間の計画の事前評価を実施した。

先端基礎研究専門部会は 8 名の専門家で構成され、平成 12 年 7 月 17 日に開催された。評価は研究評価委員会によって定められた事前評価の方法に従って行われた。同専門部会は評価結果を取りまとめ、平成 12 年 8 月 18 日に池田部会長が「先端基礎研究専門部会評価結果報告書」を研究評価委員会委員長に提出した。研究評価委員会は平成 12 年 8 月 31 日に第 5 回研究評価委員会を開催し、同専門部会の池田部会長から「先端基礎研究専門部会評価結果報告書」の説明を受け、審議を行った。審議の結果、本専門部会評価結果は妥当なもの判断し、研究評価委員長は同報告書を 9 月 5 日付けにて日本原子力研究所理事長に答申した。

平成 12 年度研究評価委員会委員(13 名)

- |                 |   |
|-----------------|---|
| 西澤 潤一<br>(委員長)  | 岩手県立大学長<br>(財)半導体研究振興会半導体研究所長<br>(半導体工学)                      |
| 秋山 守<br>(委員長代理) | (財)エネルギー総合工学研究所理事長<br>埼玉工業大学学長<br>(原子炉熱設計、熱流体工学、安全工学、エネルギー変換) |
| 秋元 勇巳           | 三菱マテリアル(株)取締役社長<br>(物理化学、核化学)                                 |
| 石樽 顕吉           | 埼玉工業大学先端科学研究所教授<br>(原子炉化学、放射線化学)                              |
| 井上 信            | 京都大学原子炉実験所長<br>(加速器科学、原子核物理学)                                 |
| 岡田 雅年           | 金属材料技術研究所長<br>(金属材料・工学、金属科学、原子炉材料)                            |
| 菊田 惺志           | (財)高輝度光科学研究センター理事、放射光研究所副所長<br>(X線光学、X線量子光学)                  |
| 草間 朋子           | 大分県立看護科学大学長<br>(放射線防護、胎児の放射線影響)                               |
| 友野 勝也           | 東京電力株式会社フェロー<br>(原子力発電)                                       |
| 藤原 正巳           | 核融合科学研究所長<br>(プラズマ物理、核融合)                                     |
| 宮 健三            | 東京大学大学院工学系研究科教授<br>(核融合工学、電磁現象工学)                             |
| 矢川 元基           | 東京大学大学院工学系研究科教授<br>(計算科学、原子力工学(構造設計))                         |
| 山崎 敏光           | 大阪大学名誉教授<br>(原子核物理学、素粒子ビーム科学)                                 |

先端基礎研究専門部会評価結果報告書  
(平成 12 年度)

平成 12 年 8 月

日本原子力研究所  
研究評価委員会  
先端基礎研究専門部会

This is a blank page.



## 目 次

はじめに  
総合所見

1. 専門部会の設置	1
2. 評価方法	1
2.1 専門部会の構成	1
2.2 評価対象研究開発課題	1
2.3 専門部会開催	1
2.4 評価の方法	2
2.4.1 評価用資料の記述	2
2.4.2 評価項目及び評価基準	3
3. 評価対象研究開発課題に対する評価結果	5
3.1 先端基礎研究センターの方針について	5
3.1.1 先端基礎研究センターの方針の概要	5
3.1.2 所見	6
3.2 事後評価：原子トンネル効果による極低温化学反応の研究	8
3.2.1 「原子トンネル効果による極低温化学反応の研究」の結果の概要	8
3.2.2 評価結果	9
3.3 中間評価：量子凝縮相の基礎研究	11
3.3.1 「量子凝縮相の基礎研究」の結果の概要	11
3.3.2 評価結果	12
3.4 中間評価：ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究	14
3.4.1 「ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究」の結果の概要	14
3.4.2 評価結果	15
3.5 中間評価：微生物によるアクチノイドの分離研究	18
3.5.1 「微生物によるアクチノイドの分離研究」の結果の概要	18
3.5.2 評価結果	19
3.6 事前評価：先端偏極中性子散乱によるスピン—格子物性の研究	21
3.6.1 「先端偏極中性子散乱によるスピン—格子物性の研究」の計画の概要	21
3.6.2 評価結果	22
3.7 事前評価：多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究	24
3.7.1 「多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究」の計画の概要	24
3.7.2 評価結果	25
3.8 事前評価：ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究	27
3.8.1 「ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究」の計画の概要	27
3.8.2 評価結果	28
3.9 事前評価：軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究	30
3.9.1 「軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究」の計画の概要	30
3.9.2 評価結果	31
3.10 事前評価：核磁気共鳴 (NMR) 法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究	33
3.10.1 「核磁気共鳴 (NMR) 法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究」の計画の概要	33
3.10.2 評価結果	34

## Contents

## Introduction

## Executive Summary

1 . Establishment of the Review Committee	-----1
2 . Review Methods	-----1
2.1 Constitution of the Ad Hoc Review Committee	-----1
2.2 Research and Development Subjects for Review	-----1
2.3 Agenda of the Review Committee Meeting	-----1
2.4 Review Documents and Points of Review	-----2
2.4.1 Description of Documents for Review	-----2
2.4.2 Points of Review	-----3
3 . Review Results of the Research Themes	-----5
3.1 Research Scope of the Advanced Science Research Center	-----5
3.1.1 Outline Research Scope of the Advanced Science Research Center	-----5
3.1.2 Review Comments	-----6
3.2 Post-Review: Low Temperature Chemical Reactions by Quantum Mechanical Tunneling of Atoms	-----8
3.2.1 Outline of Research Results on Low Temperature Chemical Reactions by Quantum Mechanical Tunneling of Atoms	-----8
3.2.2 Review Results	-----9
3.3 Intermediate-Review: Fundamental Research on Quantum Condensed Matter Systems	-----11
3.3.1 Outline of Results on Fundamental Research on Quantum Condensed Matter Systems	-----11
3.3.2 Review Results	-----12
3.4 Intermediate-Review: Research on Diamond Synthesis Using Ion Beams	-----14
3.4.1 Outline of Results on Research on Diamond Synthesis Using Ion Beams	-----14
3.4.2 Review Results	-----15
3.5 Intermediate-Review: Research on Actinide Bioseparation	-----18
3.5.1 Outline of Results on Research on Actinide Bioseparation	-----18
3.5.2 Review Results	-----19
3.6 Pre-Review: Polarized Neutron Scattering Research on Spin-Lattice Dynamics in Condensed Matter	-----21
3.6.1 Outline Plan of Polarized Neutron Scattering Research on Spin-Lattice Dynamics in Condensed Matter	-----21
3.6.2 Review Results	-----22
3.7 Pre-Review: Research on Neutron Scattering under Extreme Conditions	-----24
3.7.1 Outline Plan of Research on Neutron Scattering under Extreme Conditions	-----24
3.7.2 Review Results	-----25
3.8 Pre-Review: Design and Synthesis of Novel Materials Using Energetic Beams	-----27
3.8.1 Outline Plan of Design and Synthesis of Novel Materials Using Energetic Beams	-----27
3.8.2 Review Results	-----28
3.9 Pre-Review: Manybody Theory of Electron Systems with Orbital Degeneracy	-----30
3.9.1 Outline Plan of Manybody Theory of Electron Systems with Orbital Degeneracy	-----30
3.9.2 Review Results	-----31
3.10 Pre-Review	-----33
3.10.1 Outline Plan of Research	-----33
3.10.2 Review Results	-----34

## はじめに

日本原子力研究所の先端基礎研究センターは、原子力総合科学研究として科学技術の発展に寄与することを志向し、現在、19 研究テーマの先端基礎研究を実施している。本センターは研究者の創造性、自主性を重んじ、アカデミックな研究管理運営が意図され、研究テーマは常に新しい視点に立って見直しが行われている。

研究評価委員会先端基礎研究専門部会は、先端基礎研究センターの研究開発課題の評価を行うため、平成 11 年度に設置された。今回の専門部会の任務は、平成 11 年度に終了した研究テーマの事後評価及び平成 13 年度から開始する新規テーマの事前評価であり、これに現在実施中であるが当初の研究計画からの変更が提案された研究テーマの中間評価も加わった。これらの評価活動に係わる基本要領は、平成 12 年 5 月 29 日、研究評価委員会によって定められた。

当専門部会ではまず原研から各研究テーマの評価資料の提出を受けた。本年度は事後評価 1 件、中間評価 3 件及び事前評価 5 件の計 9 件の課題である。これを受けて平成 12 年 7 月 17 日に部会会議を開催し、各研究グループリーダーからの説明を受け、質疑討論を行った。これらの情報に基づいて、まず、委員個人が評価を行い、その結果を事務局に提出した。各委員の評価結果を事務局が取りまとめ、部会長が報告書の原案を作成した。各評価項目、視点についてはできるだけ各委員からのコメント等を踏まえて全体の総意を明らかにしたつもりである。また、当然ながら、貴重な少数意見も記載した。部会長原案を全員がレビューし、内容の確認を経て最終報告書を作成した。

今回の研究評価は 2 回目になるが、先端基礎研究センター長の説明を聞いて、研究の内容を濃くして先鋭重点化する方向がより鮮明になってきたのを感じた。常々センター長が述べていた「基礎科学といっても漫然と方向性もなくテーマをならべることのないようにして、原研らしい、原研で初めて可能になる基礎科学分野に主題を置く」という方針が具体化されてきたように思われる。

放射場科学、重元素科学及び基礎原子科学の大きな 3 つの柱はすっかり定着してきた感がある。その理由のひとつはこれらの言葉が科学用語としても違和感がなくなってきたことであり、もうひとつはこの言葉から先端基礎研究センターで具体的に進めている目玉研究のキーワードがすぐ目に浮かぶことである。これはまさに本センターの研究がいかに世の中で注目されるようになったかを示すものであろう。これに慣れてしまうと怖い。これからも、畑の実りの品の良し悪しは、養う土の良し悪し、選んだ種の良し悪しにかかる、常に心に掛けて営みを続けていかななくてはなるまい。それだけに評価する者の責任は重いと心得ている。

先にも述べたように、本評価委員の中には学術上、その研究の専門分野が直接原子力あるいはその周辺の学術や技術と関係ない立場の者も含まれている。それらの委員は特に自分を戒め、誤った評価によって大きな実りを損なうことのないように最大限の努力をしてきた。それだけにこの評価のプロセスを単なる制度上の形式的な書類作成で終わらせることのないよう、敢えて発言させていただく。

平成 12 年 8 月 18 日  
先端基礎研究専門部会  
部会長 池田 重良

## 総合所見

### 先端基礎研究センターの方針について

平成13年度の基本方針と研究計画はまさに研究の先鋭化、重点化の前進である。これまでの各研究プロジェクトの研究成果を賞味しつつ、21世紀における先端基礎研究センターの研究のあり方を活動の国際化の立場にたって立案されたものと理解する。

5つの研究組織とその実施計画内容はいずれも極めて妥当で先端基礎研究センターの方針に見合うものである。特に多電子系理論研究を独立強化し先鋭化することは適切な計画である。実験系の優れた業績を背景として世界最先端の成果を期待する。研究の強化のためにはこれまでの研究プロジェクトの整理、取捨選択は当然であるが、研究期間中の場合、慎重に検討する必要があることはいうまでもない。

#### [事後評価]

### 原子トンネル効果による極低温化学反応の研究

極低温固体媒体中におけるトンネル反応が、反応物の周りの外部環境によるわずかな相互作用によって著しく影響を受けることを見出し、室温における生体内化学反応の中にもトンネル反応に起因するものがあることを実験で示唆した。本研究は国際的にも極めて独創性の高いものであり、目的達成度は十分である。また、この研究結果をベースに、量子媒体中での化学反応で新しいトンネル反応が発現され、反応機構におけるさらに奥深い見識が得られることを期待する。

#### [中間評価]

### 量子凝縮相の基礎研究

超高圧実験グループでは目的どおりの実験を行い、新しい量子凝縮相の発現に成功した。特に、極限条件下での金属化する物質群の発見はNature誌やプレスでも紹介されている。中性子散乱グループでは、極限環境下においてウラン化合物について新しい物性の発見や実証を行っている。理論研究グループは理論から提案された現象を提起することができた。

このように、超高圧実験グループ及び中性子散乱グループの研究は初期の目標を達し、理論研究グループも転機に来ており、平成13年度からはそれぞれが新たな研究プロジェクトとして発展すべきである。

### ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究

当初の目的はイオンビーム蒸着法を用いたダイヤモンド結晶核の形成過程の研究及び結晶薄膜の成長であったが、実際には自己組織化現象を見出し、新しい物性研究に道を開いた。イオンビームの持つ物理性と化学性のハイブリットした能力を究めていこうとするも

のであり、新しい科学の内容を包括している。

このため、本研究は、平成13年度から始まる自己組織化現象の研究に特化させる方針で研究を終了させるのが妥当であるという意見が大部分である。但し、少数意見としては、現行の研究を継続し、もう一步というイオンビーム励起によるダイヤモンドの結晶核形成を成功させ、その後に全面的に萌芽研究に力を注ぐべきだという判断もある。

#### 微生物によるアクチノイドの分離研究

研究目的であるアクチノイド元素の分離回収への利用として、微生物によってアクチノイドが濃縮あるいは放出される速度や濃縮率等の研究は終了している。しかしながら、これは、従来の研究の延長に過ぎない結果であり、先端基礎研究にふさわしい成果が出たとは言いきれない。研究体制にも不備があったようにも思われる。

分離機能としての技術的研究は終了し、より基礎生物学的観点から研究を見直すべきであり、本研究は平成12年度をもって終了するのが適当である。

#### [事前評価]

#### 先端偏極中性子散乱によるスピン—格子物性の研究

スピン偏極制御中性子非弾性散乱測定を目指しており、わが国唯一の研究である。その意味において新規性は高く、学術的にも非常に意義のある唯一の研究である。偏極中性子散乱は今後一層重要なテーマになるため、任意に中性子スピンを制御するシステムを設置し、最終的にウラン化合物のスピン—格子相関の微視的解析を行い5f化合物の特性をより深く解明しようとしている。

#### 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究

中性子散乱実験研究の幅を広げる意味では必須の技術開発であり、原研を中心として進めるのにふさわしい、物性研究の基礎となる重要なテーマである。特にウラン化合物を中心とする重い電子系の先端的科学研究の立場からもこれまでの研究の到達レベルを超えることが期待できる。提案の方法論の中にも新規な部分が各所に見られるが、特に中性子ビームを集光する方法論の開発はその新規性を高く評価したい。

#### ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究

本研究計画は、既存の「ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成」研究を発展的に継承するものである。これまでの研究で得られた萌芽的成果をベースに自己組織化を経て形成される物質状態に着目している点では新規性は高いと評価される。しかしながら、機能性新物質状態というのは範囲が遠大すぎ、目標も漠然としており、また他の研究機関でも既に行われていることから、特異性を強調する必要がある。

### **軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究**

ウラン化合物、NMR 実験、中性子散乱という3つのキーワードのもとに進む実験研究に対応して、先端基礎研究センターの中に多体電子理論の展開を目指す理論グループを形成することは大変望ましい。強相関電子系の物性解明に軌道縮退を考慮した多体問題の理論的な研究で、目的、目標も緻密で計画も明快である。特に、理論計算では解析的手法と数値計算を併用する手法は有効である。

### **核磁気共鳴 (NMR) 法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究**

U-235 の濃縮された試料を用い、さまざまな手法の精密な NMR 観測法を導入してウラン化合物の磁性と超伝導性についてその特性を究めることを目的としており、本研究センターの主軸のひとつである重元素科学研究の中で重要な役割を持っている。このような研究は原研が優れた研究環境を提供する場があり、新規性、独創性に富む研究成果が期待される。

## 1. 専門部会の設置

「日本原子力研究所における研究開発評価の基本指針」及び「研究所評価委員会及び研究評価委員会規程」に基づき、研究評価委員会先端基礎研究専門部会において先端基礎研究センターの研究テーマについて、平成11年度終了テーマの事後評価、平成12年度中途終了テーマの中間評価及び平成13年度に開始する新規研究テーマの事前評価を行う。

## 2. 評価方法

### 2.1 専門部会の構成

部会長：	池田 重良	立命館大学客員教授
評価委員：	山崎 敏光	大阪大学名誉教授
専門委員：	新井 正敏	高エネルギー加速器研究機構教授
	家 泰弘	東京大学物性研究所教授
	勝又 紘一	理化学研究所主任研究員 磁性研究室長
	佐藤 衛	横浜市立大学大学院総合理工学研究科教授
	中井 浩二	東京理科大学理工学部教授
	前川 禎通	東北大学金属材料研究所教授

### 2.2 評価対象研究開発課題

- 1) 事後評価対象研究テーマ [平成11年度終了テーマ]
  - (1) 原子トンネル効果による極低温化学反応の研究
- 2) 中間評価対象研究テーマ [平成12年度で中途終了]
  - (1) ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究 [当初予定は平成14年度終了]
  - (2) 量子凝縮相の基礎研究 [当初予定は平成13年度終了]
  - (3) 微生物によるアクチノイドの分離研究 [当初予定は平成14年度終了]
- 3) 事前評価対象研究テーマ [平成13年度開始テーマ]
  - (1) 先端偏極中性子散乱によるスピン-格子物性の研究
  - (2) 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究
  - (3) ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究
  - (4) 軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究
  - (5) 核共鳴散乱(NMR)法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究

### 2.3 専門部会開催

日時：平成12年7月17日(月) 10時30分～16時30分

場所：日本原子力研究所本部第3会議室

議事：1) 部会長挨拶

2) 審議の進め方

3) 説明及び質疑応答

- ・ 先端基礎研究センター方針について
- ・ 微生物によるアクチノイドの分離研究(中間評価)  
(説明者：安岡弘志先端基礎研究センター長)
- ・ 原子トンネル効果による極低温化学反応の研究(事後評価)  
(説明者：宮崎哲郎グループリーダー)
- ・ 先端偏極中性子散乱によるスピン-格子物性の研究(事前評価)  
(説明者：加倉井和久グループリーダー)
- ・ 多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究(事前評価)  
(説明者：森井幸生グループリーダー)
- ・ 核共鳴散乱(NMR)法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究  
(事前評価) (説明者：R. E. Walstedt グループリーダー)
- ・ ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究(中間評価)
- ・ ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究  
(事前評価) (説明者：檜本 洋グループリーダー)
- ・ 量子凝縮相の基礎研究(中間評価)  
(説明者：目時直人サブグループリーダー)
- ・ 軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究(事前評価)  
(説明者：上田和夫グループリーダー)

4) 議事のまとめ

- ・ 総合討論
- ・ 報告書の作成について

## 2.4 評価の方法

### 2.4.1 評価用資料の記述

各研究テーマの事後評価、中間評価及び事前評価用資料は、下記の記載内容で構成する。

1) 事後評価資料

- (1) 研究テーマ名
- (2) 研究グループ名
- (3) グループリーダー名及びグループ構成員
- (4) 研究期間
- (5) 研究目的・意義 (当初からの変更があった場合は明記のこと)
- (6) 研究内容と得られた成果 (研究目標の達成度を具体的に)
- (7) 研究の進め方と経過 (外部との研究協力とその効果を具体的に)
- (8) 研究資源の実績 (研究員等の編成、研究予算、使用した主な既存・新規の施設、装置、等)



(9) 研究成果の今後の展開及び他分野への波及効果

(10) その他（課題・問題点）

（別添資料）研究成果概要と成果リスト

2) 中間評価資料

(1) 研究テーマ名

(2) 研究グループ名

(3) グループリーダー名及びグループ構成員

(4) 研究期間

(5) 研究目的・意義（当初からの変更があった場合は明記のこと）

(6) 研究内容と得られた成果（研究目標の達成度を具体的に）

(7) 研究の進め方と経過（外部との研究協力とその効果を具体的に）

(8) 研究資源の実績（研究員等の編成、研究予算、使用した主な既存・新規の施設、装置、等）

(9) 研究成果の今後の展開及び他分野への波及効果

(10) その他（課題・問題点）

（別添資料）研究成果概要と成果リスト

3) 事前評価用資料

(1) 研究テーマ名

(2) 研究グループ名

(3) グループリーダー名及びグループ構成員

(4) 研究期間

(5) 研究目的・意義・必要性

(6) 達成目標（具体的に）

(7) 研究内容（共同研究、協力研究等があれば明示する）

(8) 進め方（研究の構成、中間的目標、手順、手法等、タイムスケジュールも含む）

(9) 研究資源と資源利用の基本的考え方（研究予算、研究者構成及び必要とする主要研究施設・装置（既設及び新規）等）

(10) 国内外の同種或いは先行研究動向（本研究の新規性、独創性を明記する）

(11) 予想される成果の他分野への波及効果

(12) 研究推進上の課題・問題点

2.4.2 評価項目及び評価基準

1) 事後評価

提出される評価用資料及び専門部会における説明に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に従って、評価を実施する。

(1) 項目別評価

5段階評価（5：最高、3：普通、1：最低）により行う。

- a) 研究課題の目的達成度（成果の内容及び成果の発表等）
- b) 当初の研究計画の妥当性（目標の設定、研究資源の利用、スケジュール等における成功・不成功の原因の把握と分析等）
- c) 成果の波及効果の有無（原研内外の研究者、研究機関へのインパクトな等）
- d) 将来への研究開発の展開の可能性

(2) 総合評価

上記の項目別評価等を基にして、当該研究テーマに対する総合評価(所感、問題点、提言等)を記す。

2) 中間評価

提出される評価用資料及び専門部会における説明に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に従って、評価を実施する。

(1) 項目別評価

5段階評価（5：最高、3：普通、1：最低）により行う。

- a) 研究課題の進捗度（成果の内容及び成果の発表等）
- b) 当初の研究計画の妥当性（目標の設定、研究資源の利用、スケジュール等における成功・不成功の原因の把握と分析等）
- c) 成果の波及効果の有無（原研内外の研究者、研究機関へのインパクトな等）
- d) 将来への研究開発の展開の可能性
- e) 研究を継続ないし終了する妥当性

(2) 総合評価

上記の項目別評価等を基にして、当該研究テーマに対する総合評価(所感、問題点、提言等)を記す。

3) 事前評価

提出される評価用資料及び専門部会における説明に基づき、下記の評価項目、評価の視点、評価の基準に従って、評価を実施する。

(1) 項目別評価

5段階評価（5：最高、3：普通、1：最低）により行う。

- a) 研究テーマの妥当性（方向性・目的・目標等）
- b) 研究の新規性・独創性、学術的意義
- c) スケジュール・研究手法の妥当性
- d) 資源配分の妥当性（研究予算、人員構成、使用装置等）
- e) 成果の波及効果の有無（原研内外の研究者、研究機関へのインパクト等）

(2) 総合評価

上記の項目別評価等を基にして、当該研究テーマに対する総合評価(所感、問題点、提言等)を記す。

### 3. 評価対象研究開発課題に対する評価結果

#### 3.1 先端基礎研究センターの方針について

##### 3.1.1 先端基礎研究センターの方針の概要

先端基礎研究センターの研究評価対象テーマは、前述のとおり事後評価1テーマ、事前評価5テーマ、中間評価3テーマである。

このうち事前評価に関わる5テーマに関しては、平成11年12月3日に開催された第12回基礎研究推進委員会での審議の結果、理事長宛に答申された「日本原子力研究所における基礎研究の推進方策について」の方針に基づき、13年度開始テーマとして評価を受けるものである。本答申における研究計画（案）は以下のとおりである。

#### 平成13年度「先端基礎研究センター」研究計画（案）

平成13年度からの先端基礎研究推進に関し、以下の研究開発分野について、具体的な研究計画を策定し、組織の再編も含め、研究計画の具現化を図る。研究計画及び組織計画の立案にあたっては、先端基礎研究センターの活動の国際化に配慮する。

##### 1. 中性子利用研究

先端生命研究系、複雑構造研究系、電子物性研究系、分光技術開発系、極限環境開発系の3研究開発系及び2技術開発系への再編を視野に入れ、13年度から新たに電子物性研究系及び極限環境開発系の研究に着手する。

##### 2. 理論研究

実験研究を活性化し成果の格段の向上を図る目的で、13年度から新たに多体電子系理論の研究を推進する。

##### 3. 粒子ビーム物性研究

レーザー駆動分子注入研究及びイオンビームダイヤモンド合成研究の成果を発展的に継承するため、13年度から新たに分子・イオン等の粒子ビームによって固体表面に誘起される特異な反応に着目した粒子ビーム物性研究を推進する。

##### 4. ウランNMR研究

ウラン金属や種々のウラン化合物の磁性、超伝導の基本的物性の解明を目的として12年度に開始するウランNMR研究を13年度に本格化し、研究推進の国際的拠点を整備する。

中間評価対象テーマのうち「量子凝縮相の基礎研究」（当初予定13年度終了）に関しては、ウラン化合物における磁気を媒介とした新しいタイプの超伝導の発見など中性子散乱実験による成果があがっており、これを13年度開始の中性子散乱実験を中心とするテーマにおいて継続的に発展させるとともに、理論的研究については、ウラン化合物等において他のグループで発見されている種々の特異な性質と併せ、これらを統一的に説明できる理論の構築を目指したテーマとしてあらたに展開することがより効率的であると判断され

ることから中間評価を受けるものである。「ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究」(当初予定14年度終了)に関しては、核成長の基礎的知見が得られるとともに、高い耐熱・耐放射線性と大きなバンドギャップを持つ  $sp^3$  構造非晶質炭素薄膜合成に成功するなどの成果があげられたが、研究の過程で、ニッケルとフラーレンの共蒸着による微細縞状構造など新物質状態形成の萌芽がみられたため、目的をダイヤモンド合成に限定せず、自己組織化を中心とした新物質状態探索を目的とした新テーマとして発展させる方が、より先端的基礎研究にふさわしいと判断されることから中間評価を受けるものである。「微生物によるアクチノイドの分離研究」(当初予定14年度終了)は、8年度の黎明研究及び9年度の協力研究において微生物によるアクチノイド分離の有望性が認識され10年度から発足したテーマであるが、研究の進捗を促すためには研究体制の立て直しが必要であると判断されたため中間評価を受けるものである。

### 3.1.2 所見

原研・先端基礎研究センターの基本的目標は、原子力開発及び利用の今後の発展に不可欠であり、かつ科学技術一般の発展にも寄与しうる先端性に富んだ基礎研究を行うというもので、原研の発展のために大変有用である。特に、原研において初めて可能となる三つの研究領域、「放射場科学」、「重元素科学」及び「基礎原子科学」を取り上げ、原理的などころから解明しようとする方針は、上記の全体目標に沿うものであり正しい考え方であると理解できる。

創立以来積み上げられてきた研究実績を軸として、先端基礎研究センターの運営が軌道に乗り、世界的に評価されるようになってきたことは、評価委員全員の認めることである。今回行われた平成13年度以降の研究の全体方針についての説明によって、現センター長の方針がますます明確に打ち出されて着たのを感じた。

すなわち、平成13年度以降の研究の全体的な基本方針としては、上記の3本の支柱は変わらないが、研究テーマを先鋭化、重点化する方向が強化されている。その中で、生体を含むソフトマターの構造科学研究は、センターにおける中性子利用研究の推進として、中性子ならではの観測出来ない生体の微視的構造を解明し、生体機能発現のダイナミクスの源に繋げようとする考えがうかがえる。また一方で、実験系の優れた業績を背景として、多電子系理論研究を独立、強化し、先鋭化する方向が見える。

さらに、こうした研究の先鋭化、重点化の方向は、センターが国際的COEに向けて前進していることの現れともなっている。

このようなことから、平成13年度に計画している5つの研究テーマはいずれも妥当なものと評価する。

研究方針の明確化に伴って、これまでの研究プロジェクトの整理、取捨選択は当然であるが、研究期間の中途の場合は、慎重に取り扱うべきことは言うまでもない。その意味において、今回の3つの研究プロジェクトが中間評価として提出された。その英断には敬意を表する。本部会としても責任の大きさを認識して慎重に検討した。目標とする成果の見えない場合でも未生の種核の光を見逃すことのないように、失敗もそれによって来たる根

拠の把握に努めつつ評価を進めた。これを踏まえて新しい研究への挑戦が行われることを願うものである。

なお、外部のグループリーダーを活用することは、研究所の活性化の一策と理解するが、それに頼りすぎることは研究機関としての自立を妨げる。長期的に原研としての地力をつけてゆくためには、プロジェクトの遂行を通じて内部の研究者を養成してゆくことが必須である。プロジェクトの中間あたりからサブリーダーがリーダーとして自立し、外部研究者はアドバイザー的役割に移行できるようになって行くのが望ましい。

### 3.2 事後評価：原子トンネル効果による極低温化学反応の研究

#### 3.2.1 「原子トンネル効果による極低温化学反応の研究」の結果の概要

グループ名：原子トンネル反応研究グループ

予算総額：180,786 千円（5年間）

内訳 研究設備費 142,758 千円

試験研究費・運営経費 38,028 千円

グループ構成員：

リーダー 宮崎 哲郎（客員研究員 名古屋大学 教授）  
 サブリーダー 荒殿 保幸（原研 先端研 主任研究員）  
 熊田 高之（原研 先端研 研究員）  
 駒口 健治（博士研究員 現広島大学工学部 助手）  
 黒崎 譲（博士研究員 現原研関西研 研究員）  
 熊谷 純（博士研究員 現名古屋大学 助手）  
 Valeri Shevtsov（リサーチフェロウ）

研究目的：

グループリーダーが見出した原子の波動性に基づくトンネル効果について、反応の制御因子を解明するとともに、生体内における反応など自然科学一般に共通する現象としてのトンネル反応の可能性を探る。

主な成果：

研究手法として、極低温、高圧下における精密温度制御 ESR 法、極低温固体パラ水素を用いた高感度・高分解能 ESR 法、電子・核二重共鳴法 (ENDOR) や電子スピンエコー法 (ESE) による反応物の局所構造の観測・解析法等を確立した。

これらを用い、固体水素中のトンネル反応  $\text{HD} + \text{D} \rightarrow \text{H} + \text{D}_2$  を中心に実験を行った結果、従来存在しないと考えられていた  $\text{H}_2^-$  アニオンを発見するとともに、極低温固相トンネル反応は、格子振動やオルソ水素等の不純物による妨害など極めて僅かな相互作用の影響を受ける一方、従来反応の 1/1000 のエネルギーで制御可能であり、温度の低下とともに速度定数が増加する領域が存在するなど驚くべき事実が明らかになった。また、X 線照射した Ar-HD 系において  $\text{H} \cdots \text{HD} (\text{D}_2)$  ファンデルワールス会合体をはじめて観測するとともに、高精度の分子軌道計算の結果とあわせて、ファンデルワールス分子とトンネル効果を組み合わせた新しい反応制御の可能性を提示した。

さらに、有機系における H 原子の高選択的トンネル反応や  $\text{H}_2$  分子のトンネル脱離反応、ビタミン C の生体内におけるトンネル反応、トリチウムのトンネル反応など、一般に共通する現象としてのトンネル反応の可能性を示唆した。

以上の成果は、11 度の招待講演を通して国際会議で発表され、約 80 編の国際学術誌論文として結実した (T. Kumada et. al., "Experimental Observation of  $\text{H}_2^-$  Anions by High-Resolution-ESR-Spectroscopy in  $\gamma$ -Ray Irradiated Quantum Solid Parahydrogen at 4.2 K", Chem. Phys. Lett. 251, 219 (1996) など)。

### 3.2.2 評価結果

#### 3.2.2.1 項目別評価 ( ( ) 内の数字は評価平均点で、5が満点)

##### (イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.0)

本研究の目的は、極低温における固体水素系の媒体中で原子トンネル効果によって進行する水素原子の関与する化学反応を微視的に観測し、その反応機構、制御因子を明らかにするとともに、原子トンネル効果による化学反応を他に拡張して極低温におけるトンネル反応の一般性を引き出し、常温の化学反応に対しても新しい視点を導き出そうとしたものである。

研究結果として、第1に、極低温固体媒体中でもトンネル反応は原子の波動性による効果であるので非常に早いですが、それでも反応物の周りの外部環境による僅かな相互作用によって著しく影響を受けることを見出した。第2に、室温における生体内化学反応の中にもトンネル反応に起因するものがあることを実験で示唆している。この点についてはまだ断定できる段階ではないが、大胆な提案である。

このようにトンネル反応のダイナミックな面における現象を次々と解明し、研究論文の発表数も関連するものを含めて80数件あり、また本研究と関連してリーダーが主導した国際会議が開かれている。研究リーダーは日本化学会から学術賞を受けており、国際会議においてもこの研究に関連した招待講演をたびたび行ってきた。本研究の目的達成度は十分であると評価する。

但し、本研究の着目点の中で、水素など量子固体の極低温における化学反応のうち、ジメチルブタンやビタミンなどにおける反応過程へのトンネル効果の寄与を水素/重水素置換の同位体効果としている根拠については、それがやや理論的に薄弱である、との見解も出されている。

##### (ロ) 当初の研究計画の妥当性 (3.8)

本研究は、ESRに関連する新しいラジカル観測の手法を駆使して、4.2K固体水素の $\gamma$ 線照射実験から見出されたトンネル反応を中心に策定した研究計画、研究結果の詳細な分析および考察を適切に行い、次には、研究の対象を有機分子ラジカルや蛋白質のラジカルにも及んで、幅広い研究計画を一步一步着実に実行して来た。

このように、トンネル反応を自然科学一般に共通する課題としてさまざまな反応の問題に展開していこうとする意図の下に、大胆な提案も見えるが着実な実験で裏付けしつつ歩を進めている様子がうかがえた。こうして研究結果をベースにした新しい目標の設定、研究の展開は、きわめて妥当であると判断される。資源の利用も妥当である。

なお、研究計画段階における意欲的取り組みは結構であるが、“トンネル反応(同位体効果)を様々な分野の問題に展開する”ことがやや性急の感があり、より素性の知れた水素/重水素系を深く研究することが必要だったのではないかと、との少数意見があったことを敢えて付記する。

#### (ハ) 成果の波及効果の有無 (3.4)

極低温における化学種の反応の研究については先端基礎研究センターとして既に新しプロジェクトが始まっている。本研究の成果とここでの実験の経験は次の研究に非常に有益であることは言うまでもない。ここで得られたトンネル効果による化学反応過程での干渉作用等は学会で注目されて、その方面の化学反応論の研究者たちにとって大きな話題となっている。生体内での化学反応にトンネル効果が関与するという新しい反応論の提案は生物学、医化学研究者の関心を喚起することであろう。

ただし、上記に触れたように、現段階で原子トンネル効果を自然科学一般に共通する現象と捉えるには研究がまだまだ不十分で、大きな波及効果は期待できない、常温・常圧・水溶液系へ研究を展開させていくことが必要であると考えられる。

#### (ニ) 将来への研究開発の展望の可能性 (3.3)

既に先端研究としてより極限低温環境での化学反応の研究が成長している。量子液体中での化学反応で新しいトンネル反応が発現され、本研究の成果である反応機構にさらに奥深い反応則が加わるか興味深いことである。

一方、本研究の成果を基としてより純粋及び応用の両面において複雑な有機分子の極低温化学反応の研究分野が起こって来ることが考えられる。トンネル反応は反応のエネルギー障壁が低いのでこれまで予想したものと異なる反応が起こるかもしれない。

#### 3.2.2.2 総合評価 (上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等)

専門委員からの個別の種々の評価コメントを若干整理して下記に示す。

(1) 研究のプロジェクトリーダーは極低温化学に関するわが国の最高の研究者であるが実験と理論の裏付けと良い、またトンネル反応研究の普及にも最後まで力を抜かず、実に着実に研究を進められたことに敬意を表す。トンネル効果は従来の化学反応の概念を大きく変える現象で、この概念がどの程度普遍性をもつものか大変興味深い。将来へ向けての構想にも強い意気込みを感じます。

ラジカル反応への新しい反応機構の提案、それは粒子ビームの起こす反応—放射線科学につながっていることを考えるとトンネル効果がより身近になって来た感じがする。

(2) この研究成果には大きな感銘を受けた。これは国際的にも極めてユニークな研究だと思われる。類似した研究法にミュオンスピン緩和を用いるものがあり、量子拡散は軽い水素様同位体である正ミュオンにおいて初めて明らかにされたものであるが、ほんとの水素を含む化学反応において見いだされた意義は大きいと思われる。

(3) 本研究開始前に行われた  $\text{HD}+\text{D}\rightarrow\text{H}+\text{D}_2$  の極低温実験の結果は、トンネル効果によると考えられるが、報告されているその他の現象についてはこれをトンネル効果として実験結果を解釈することに独善的なところが見受けられる。今後この線の研究を続けるのなら、物性物理の理論家のアドバイスを受けた方がよいと思われる。



### 3.3 中間評価：量子凝縮相の基礎研究

#### 3.3.1 「量子凝縮相の基礎研究」の結果の概要

グループ名：量子凝縮相研究グループ

予算総額：96,537 千円（4年間）

内訳 研究設備費 6,000 千円

試験研究費・運営経費 90,537 千円

グループ構成員：

リーダー 立木 昌（客員研究員 東北大学 名誉教授）  
 サブリーダー 目時 直人（原研 先端研 副主任研究員）  
 松田 雅昌（原研 先端研 研究員）  
 中村 康二、松岡 由貴（博士研究員）  
 天谷 喜一（客員研究員 大阪大学 教授）  
 上田 和夫（客員研究員 東京大学 教授）  
 加倉井和久（客員研究員 東京大学 教授）  
 金道 浩一（研究嘱託 大阪大学 助教授）

研究目的：

高温超伝導や重い電子系超伝導化合物等いわゆる強相関化合物の電子状態や超伝導発現機構を、理論と実験とのタイアップによって解明するとともに、超低温、高圧下といった極限条件下で金属化する物質群で新しい超伝導、量子凝縮相の発見を目指す。

主な成果：

重い電子系超伝導化合物  $UPt_3$ ,  $UPd_2Al_3$ ,  $UNi_2Al_3$ ,  $URu_2Si_2$  の中性子散乱実験において、反強磁性ピーク強度が超伝導状態で数%減少することから、超伝導と磁性の秩序変数が結合しており、これが重い電子系超伝導体に特徴的な現象であることを明らかにした。また、 $UPd_2Al_3$  の反強磁性ベクトル(0 0 0.5)近傍に強い磁気励起が存在し超伝導状態ではギャップが生じることを発見して、この物質が d 波超伝導体であり、この超伝導が磁氣的起源を持つことを示唆した (N. Metoki et. al., "Superconducting Energy Gap Observed in the Magnetic Excitation Spectra of a Heavy Fermion Superconductor  $UPd_2Al_3$ ", *Phys. Rev. Lett.* 80, 5417 (1998))。さらに、20 mK 程度の超低温で  $UPt_3$  の中性子散乱実験を行った結果、5 K 以下で成長する  $0.02\mu_B/U$  程度の非常に小さな磁気モーメントを伴った反強磁性相関が 20 mK 程度で長距離相関になることを発見し、20 mK 付近の比熱の異常が反強磁性に関連したものであることを明らかにした。

超低温、高圧下における新しい量子凝縮相の探索では、ダイヤモンドアンビルセルを製作し、硫黄、酸素及びヨウ化セシウムが超伝導になることを明らかにした。

理論的に予言された Bi 系高温超伝導体のジョセフソン磁束、及び強磁性と超伝導が共存する系で外部磁場ゼロで誘起される自己誘起磁束に関しては、実験的観察の成功には至っていない。

### 3.3.2 評価結果

#### 3.3.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究開発課題の目的達成度 (4.1)

本研究の当初の目的は、“高温超伝導体や重い電子系超伝導化合物等のいわゆる強相関化合物の電子状態や超伝導発現機構を理論と実験のタイアップによって研究する”ことであり、超高圧実験のグループ、中性子散乱研究グループ及び理論グループによるオムニバス方式の研究スタイルを採り、研究課題、目的も幅広く設定していた。

本研究は平成9年度に開始し、13年度までの5カ年の計画であったが、今回の中間評価では、12年度までで終了することとして提案されている。

これまでに3年間の研究結果については、超高圧実験グループでは目的通りの実験を行い、新しい量子凝縮相の発現に成功している。特に、超低温・超高圧下の極限条件下で金属化する物質群の発見では、酸素やヨウ化セシウムの系の研究成果はNature誌やScience誌への発表もされている。また、中性子散乱研究グループも極限環境の極限値の向上化を進めることに、現状で許される限界までの目標の達成に成功している。そしてその環境下でウラン化合物について新しい物性の発見や実証を行っている。

理論の研究では強磁場と超伝導が共存した場合に起こる現象についての研究が行われ、その成果から実験への提言がなされている。しかし、まだこれを実験で確かめられているまでには到っていない。今後の研究の進展に期待したい。

##### (ロ) 当初の研究計画の妥当性 (3.8)

本研究の当初計画は前センター長の強いリーダーシップにより設定されたものであるが、オムニバス方式で、理論と実験のタイアップがまだまだ十分満足するまでには到っていない。とはいえプロジェクトリーダーならびに各グループのリーダー格の研究者はプロジェクト設立の主旨等について十分理解してそれぞれの役割を分担し、研究においてはそれぞれに十分な成果を達成しているといえる。但し、結果としてのオムニバス方式については、評価者の判断が二分している。すなわち、それぞれの研究グループ間が有機的に連携して優れた研究成果を挙げているとみる見解と、プロジェクトとしてのまとまった成果というものが見えにくいとみる見解がある。

##### (ハ) 成果の波及効果の有無 (4.0)

本研究プロジェクトのこれまでの成果の中には、実験法を含めて、この方面の研究者を刺激する内容のものがかなりあると考えられる。特に、酸素等の元素の超高圧、超低温における酸素やヨウ化セシウムの超伝導の発見は注目され、インパクトが大きい。特に、超伝導マグネットや希釈冷凍機の開発は固体物性研究に大きく貢献すると考えられる。

##### (ニ) 将来への研究開発の展望の可能性 (4.0)

先端基礎研究センターが目標としていることはウラン化合物等のf電子系の重い電子系

における化合物の極限物性の解明である。それには高純度の試料の存在と高度の測定系の充実と、実験結果を受け止める理論の構築が必要であろう。本研究プロジェクトは、これからさらにこれを強化するため、本分野の研究者がそれぞれの道を選んで個性的な研究を深めつつ相互に連携を保って共通の最終目標に向かうことを育む為に組まれたものと考えられる。中間報告を見ると、それぞれのオムニバスの研究において、新しい発見や理論から提案されながらも実験的に実証できない現象も報告されており、将来への研究開発を大いに期待したい。また、本研究の最終年度の研究成果が核となって、新たな研究が萌芽する可能性も高いと判断される。

なお、本プロジェクトが今後はそれぞれが独り立ちして成果を挙げても元の巢を忘れず常に相互の連携を保つことが要求される。

#### (木) 研究を終了する妥当性 (4.8)

総じて、本研究の実施については、今年度までの研究スタイルを閉じて、平成13年度からの新たな研究プロジェクトに発展していく計画は適切であると判断する。すなわち、超高压量子凝縮相の創製実験研究も極限環境下中性子散乱の研究も初期の目標まで進んだと考えられる。理論研究部門も転機にきているようである。それぞれが特化してさらに高度の研究体制を考えるべき時かとも考える。

前センター長の強力なリーダーシップによって先端研究センターを中心に原研の物性研究が大幅に強化され、大学との共同研究にも大きな進展がみられた点で原研内外に大きなインパクトを与えた。特に、極限条件下の物性研究を強化推進するきっかけとして本「量子凝縮相の基礎研究」プロジェクトを位置づけてきた。提案によれば、今後は森井班にバトンが渡され、さらに充実し発展する展望が開かれる。一方、理論的研究については上田班を中心に理論グループの形成が期待される。

#### 3.3.2.2 総合評価（上記の視点以外に特記すべき評価、問題点等）

前センター長が本研究プロジェクトを立ち上げるのに積極的であったのは、「ウラン化合物を中心とする重い電子系の特異的性質の解明」が本センターの研究方針にかなう重要課題と考え、先の「ウラン化合物における超伝導の研究」の成果を参考に理論と実験の密接な連携の必要性を深く感じ、第一段階として、大きな方向は定めて置くものそれぞれの個性を尊重する方式のプロジェクトを設定した、と理解している。そしてこれに次ぐ第2段階でより選択され、収束された高度の研究プロジェクトの形成を願っていたのではないだろうか。その意味においてこのプロジェクトの役割、存在価値を考えてそれなりの意義があったし、事実新規な学術的に価値の高い研究成果も得られていると評価する。

### 3.4 中間評価：ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究

#### 3.4.1 「ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究」の結果の概要

グループ名：イオンビームダイヤモンド合成研究グループ

予算総額：89,338 千円（3年間）

内訳 研究設備費 69,909 千円

試験研究費・運営経費 19,429 千円

グループ構成員：

リーダー 榎本 洋（原研 先端研 主任研究員）  
 鳴海 一雅（原研 先端研 研究員）  
 兼務 永井 士郎（原研 光量子科学研究センター 次長）  
 徐 永華（科学技術特別研究員）  
 Jiri Vacik（原研リサーチフェロウ）  
 高桑 雄二（客員研究員 東北大学 助教授）

研究目的：

制御性の優れたイオンビーム蒸着法を用いて、ダイヤモンド結晶核の形成過程の研究により、単結晶薄膜を異種物質基板に成長させることを目的とする。

主な成果：

ダイヤモンドのヘテロエピタキシャル成長を実現するための基板として Si、 $\beta$ -SiC、 $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ni、Ir を選択し、金属系基板に関しては、MgO(100)上に双晶のないヘテロエピタキシャル膜の作製に成功した。特に Ir については、<sup>12</sup>C<sup>+</sup>イオンを注入すると、本来 Ir に固溶しない C が Ir の<100>軸に沿って配列することを見出した (H. Naromoto et. al., "RBS/Channeling Analysis of Implanted Immiscible Species", Nucl. Instr. Meth. B161-163, 534 (2000))。

イオンビーム蒸着実験に関しては、イオン電流を1桁増加させることに成功し、<sup>12</sup>C<sup>+</sup>イオン及び<sup>12</sup>CH<sub>x</sub><sup>+</sup> (X=1-4) イオンを Si 基板等に入射して顕微ラマン分光法による評価を行った結果、100 eV の<sup>12</sup>C<sup>+</sup>イオンの場合に、非晶質ながら sp<sup>3</sup>結合成分が80%以上と最も高い薄膜が得られた。この薄膜は、光学バンドギャップが2.53 eVと大きく、耐放射線性 (3×10<sup>16</sup> イオン/cm<sup>2</sup>) 及び耐熱性 (700℃) に優れたものであることがわかった。一方、<sup>12</sup>CH<sub>x</sub><sup>+</sup>イオン入射の場合は、sp<sup>3</sup>結合の割合が低下し、光学バンドギャップ値も低下したが、このことは水素イオン同時注入等の手段により光学バンドギャップ値を制御できる可能性を示唆している。

以上の研究と並行して、Ni の触媒能と炭素の輸送特性に着目した (Ni+C<sub>60</sub>) 混合物の高温での反応性の評価を行った。その過程で、親和性のない Ni と C<sub>60</sub> とを共蒸着した均一混合物系が、熱処理による相分離の過程で自己組織化を起し、C<sub>60</sub> で被覆された Ni 微粒子が縞状に配列する規則パターンを形成することを見出した。このことは、エネルギービーム照射等により誘起される自己組織化を利用した機能性構造の構築の可能性を示唆するものである。

### 3.4.2 評価結果

#### 3.4.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究開発課題の目的達成度 (3.8)

本研究の当初の目的は、イオンビーム蒸着法を用いたダイヤモンド結晶核の形成過程の研究及び結晶薄膜の成長である。現在までの結果については、先ず、ダイヤモンドの結晶核の形成過程の研究では、「ダイヤモンド合成」そのものは成功していないが、目標達成の最後の段階に到達していると判断される。すなわち、 $C^+$ イオンから  $sp^3$  結合の非晶質膜の形成に成功したことは基礎的な研究として立派な成果であると評価したい。また、研究の過程で異種物質基板の効果についての知識が著しく蓄積されるとともに、Ni 金属と  $C_{60}$  の反応（共蒸着／熱処理で特異な構造化合物）を発見し、自己組織化反応としての萌芽的研究の先駆けとなっている。

また、本研究では、イオンビーム蒸着法においては、イオンビームの高電流化を達成して蒸着装置の整備を大きく進展させたこと、さらに、炭素膜の薄膜評価法においては、共同研究を有効に進展させて顕微ラマン分光法の有用性を見出すなど、実験技術の開拓でも着目すべき成果である。

研究成果の発表論文も 50 編にのぼっている。ただし、主として *Thin Solid Films*, *Nucl. Instr. Meth.* 等の限られた専門誌であり、もっと広い範囲の読者を持つ雑誌に出版される方がインパクトが大きいと思われる。

本研究は平成 10 年度に開始され平成 14 年度までの当初計画であるが、今回、平成 12 年度で終了することで中間評価の対象となっている。上記のよう、本研究から次の発展への萌芽となる成果が生まれたことから、その方向に先鋭化していくとの方針も頷ける。

但し、イオンビームによる単一同位体ダイヤモンド結晶化への相転移の大きな課題は残っている。これは学術的にも注目される問題である。今後、何らかの手だてによりこの残された問題のブレークスルーを期待する。

##### (ロ) 当初の研究計画の妥当性 (3.5)

ダイヤモンド単結晶膜の成長という目標には無理があった。しかし  $SP^3$  結晶炭素非晶質膜の創製、自己組織化反応の発見、新基板の開発等を考えると、本研究の初計画は甘かったが結果的には成功したといえよう。

報告によれば平成 12 年度内にダイヤモンド結晶核形成に関する評価を完成できるとのことである。とすれば、これまでの 2 カ年において、協力研究や共同研究を巧みに利用して適切に問題解決に対処している点など、研究の推進能力も評価したい。これまでは順調な研究の進行状況といえよう。但し、研究の実務を行うべき職員数が不足しているように思える。

当初計画の妥当性の判断については、研究戦略論の視点から二つの考え方が述べられているので、参考に記す。

- a) 「ダイヤモンド合成」という素人受けの良いテーマを掲げたことには反省を求めたい。企業の行うような研究とは異なって、もっと基礎的な研究を積み重ね新しい萌芽を生み

出し育てるといふ研究の進め方こそが、国費で支えられている研究機関に求められるものである。その視点に立てば本研究は模範的であり成功であったといえる。

b) 質量分析器を通して得られるイオンビームの強度が不足するのは宿命であり、本手法を製膜に用いるには、例えば単一同位体の試料を作るなど、特殊なインセンティブが必要である。ダイヤモンド薄膜の作製はCVDの手法により多くの研究機関で試みられており、イオンビーム蒸着の「出番」があるかどうか疑問である。本研究の結論も結局はそこに戻っている。

#### (ハ) 成果の波及効果の有無 (3.6)

この研究で結晶化が成功すれば純度の高い単結晶が期待できる。その場合はその波及効果は幅広い分野に広がるであろう。無機合成化学研究領域、イオン反応研究領域は勿論物性研究の分野からも注目されよう。非晶質炭素膜やその蒸着基板についてもいろいろの分野で注目されることと推察する。しかし、現状での波及効果はまだ大きくはないと思う。

但し、本研究における構造・状態の解析、薄膜単結晶作成、物性評価を通じて開発された手法も原研内外の研究者に大いに参考になり、大きなインパクトを与えるものと判断される。とりわけ新しく始まる「機能性新物質」の研究にとって強い基盤を形成するものとなった。

#### (ニ) 将来への研究開発の展望の可能性 (3.9)

本命題については大方の評価は、見出された萌芽的研究への転換に同意する。すなわち、新しい萌芽という面で、自己組織化現象を見出し、新しい物性研究に道を拓いた。その意味で、本研究を指向性エネルギービームによる自己組織化過程の研究へと展開させる方向性は妥当である。ダイヤモンド製膜にはおそらく展望は見いだせないであろう、との判断も含まれている。

他方、膜は無理だがダイヤモンド結晶核の生成をもう一步進めて欲しいという判断である。但し、これからが大変難しいことであろうという認識はある。全く世界で初めてのことである。さらに、 $^{12}\text{C}$ +イオンフラックスの密度を上げ、加速エネルギーの制御を高めること、基板の格子の性格を選ぶこと等が考えられる。予定された期間内に道が見つかるか分からないが、是非進んで欲しい、と期待する。

#### (ホ) 研究を終了する妥当性 (4.5)

前項で述べたように、大方の評価は、本研究の目的達成度の高さ、および本研究遂行中に新しく発見された自己組織化現象の新規性などから、平成13年度から開始する自己組織化現象の研究に特化させる方針での研究終了は妥当であるとしている。

これに対して、現行の予定研究期間の間現状のまま継続して、もう一步というイオンビーム誘起によるダイヤモンドの結晶核形成を成功させ、その後に全面的に次の萌芽研究に力を注ぐようにすべき、という少数意見があった。黎明研究からではなく先端基礎研究センターの研究プロジェクトから生まれた萌芽的研究を大切に育てたい、ということもその

判断根拠である。

#### 3.4.2.2 総合評価 (上記の視点以外に特記すべき評価、問題点等)

本研究はイオンビームの持つ物理性と化学性のハイブリッドした能力を究めていこうとするものであり、新しい科学の内容を包含していると洞察する。実験では同位体イオンを発生させて反応子としている。

わが国でも同位体イオンビームの科学の新しい分野が開け、それが同位体イオン工学の誕生に繋がれることを願う。新規な物質の発現のプロセスはまだまだ予想のつかない場合が多い。その模索的な要素を解いていくのがこれからの科学に課せられた宿題のひとつであろう。現実には泥臭い試行錯誤の実験を繰り返す中からダイヤモンドのように光る新規な物質が顔を覗かせることが多い。その実例が、本研究の成果の中に見られる。全く新規な自己組織化現象の発見である。このような現象が本センターのプロジェクトの中から萌芽した点では意義深いだが、これをどう育てていくかがこれからの宿題である。

なお、顕微ラマン測定に関して群馬工業試験所の専門家の支援を受けたとの記述があるが、当該人物は協力研究者としても名前が挙がっていない。ラマン散乱からの情報が本研究において占める位置を考えれば、報告書の中で適切なクレジットが与えられるべきではないか、との指摘がある。

### 3.5 中間評価：微生物によるアクチノイドの分離研究

#### 3.5.1 「微生物によるアクチノイドの分離研究」の結果の概要

グループ名：バイオアクチノイド研究グループ

予算総額：70,566 千円（3年間）

内訳 研究設備費 45,672 千円

試験研究費・運営経費 24,894 千円

グループ構成員：

リーダー 坂口 孝司（客員研究員 東和大学 教授）

サブリーダー 青柳 寿夫（原研 先端研 課長代理）

王 紅献（博士研究員）

兼務 北辻 章浩（原研 先端研 研究員）

研究目的：

微生物が持っているアクチノイドに対する濃縮能、酸化能、還元能などの優れた生体機能を利用して、ウラン、トリウム、プルトニウムなどのアクチノイドの回収・利用や、さらには、廃棄物処分施設の核種閉じ込めを目指したバイオシステムを新たに開発、構築する。

主な成果：

微生物のなかには、アクチノイドなどの金属に対して強い酸化能や、還元能を示すものが存在する。これらの生体機能は、現在バイオリッチングや廃水からのウランの回収除去に利用されている。この生体機能を利用すれば、ウラン、トリウム、プルトニウムなどのアクチノイドの分離回収、廃水処理などの過程に利用するシステム、さらには、放射性廃棄物処理の核種閉じ込めに利用する新しいバイオシステムが構築できるのではないかと考えられる。

この構想の下に、微生物がウラン、トリウム、プルトニウムのアクチノイドに対してどのような挙動を示すのか、その Discrimination Factor について解析した。その結果、微生物はウランのみならずトリウムやプルトニウムに対しても強い親和性を示すこと、Bacillus などの微生物は pH4 以下の酸性条件下ではウランをほとんど取り込むことができないが、pH0～pH1 の強酸性の条件下でも 4 価プルトニウムを効率よく体内に取り込むことができることが明らかになった。また、これらの微生物は、6 価プルトニウムを 4 価プルトニウムに還元できることがわかった（坂口孝司、「ウラン、プルトニウムを濃縮する微生物(今日の話)」、化学と生物 Vol. 35, No. 11, 752～754 (1997)）。

これらの知見をもとにして、現在、微生物の優れた生体機能を利用する核燃料物質を回収利用するバイオシステムの開発を目指して研究を進めている。



### 3.5.2 評価結果

#### 3.5.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究開発課題の目的達成度 (2.1)

本研究目的が始めからアクチノイド元素の分離回収への利用であるので、その意味では利用のための条件の検討は一応行っているようである。具体的なデータは見られないが、溶液からの分離のためのpHの適用範囲や微生物によってアクチノイドが濃縮あるいは放出される速度や濃縮率等の研究は終了している。同一の微生物がpHの違いで異なった元素に対して特異的分離能を示す等興味ある結果も得られているが、黎明研究（協力研究）の成果以降の本研究プロジェクトの過去2年間の研究の進展の度合いが明確でない。平成11年度はランタノイドも研究対象に入れたようであるがその実績は見られない。研究成果の発表も最近の物はレビュー形式以外のものは見えない。総じて、研究目的の達成度は芳しくない。

##### (ロ) 当初の研究計画の妥当性 (2.3)

目標の設定が微生物の単なる分離剤としての利用であるのでそれまでの研究の延長に過ぎない結果となっている。たとえば生体の自発的収集、濃縮力等の特異的機能における発現の有無等を研究し、野外分散アクチノイドの収集法等の研究に進む等積極的開発研究計画が欲しかった。研究は核燃料物質を取り扱うことを十分考慮して、その取り扱いの許される先端基礎研究センターの特色を考えて、使用装置等の選択等を含めて研究資源活用にも慎重な進め方が望ましかった。この研究においてもリーダーは、常には遠方に離れていたのではないか。生体も取り扱う研究であるので研究の方向全体をよく理解して進む必要があった。

原研による自己分析にもある通り、研究体制の不備が不成功の原因としていることに同意する。

##### (ハ) 成果の波及効果の有無 (2.5)

アクチノイドを選択的に濃縮する微生物は確かに特異的存在である。この微生物の発見は多くの研究者、ウラン濃縮の技術者の注目を引いたことは確かであろう。リーダーのその功績は大きいと思う。しかしその微生物の濃縮の生態機能等については不明な点が多い。この研究がこのような微生物に対する関心を喚起したことは確かであるといえよう。今日的な環境問題とも密接に関わっており、潜在的なインパクトはあり得る。

しかしながら、明確なあるいは信頼性の高い実験事実に関する研究結果が少ないので波及効果は、現在のところ不明であり、期待できない。

##### (ニ) 将来への研究開発の展望の可能性 (2.7)

微生物による金属腐食や金属元素濃縮の研究は以前から進んでいる。ウラン等のアクチノイド濃縮の微生物は本当に珍しいが、この濃縮機構が何によるかは学術的にも興味深いことである。今後微生物の濃縮機能発現機構や当該微生物の特異的性質をきわめる価値は

ある。ただしウランは核燃料物質であるので、これを取り扱って研究が出来る場に制約がある。もし当該微生物がランタノイドについて同様の挙動を示すならば、基礎研究は予備的にこのあたりから進めることが出来よう。またウランの濃縮率は高いが分離機能を実用的にどう利用するか、研究の余地がある。前述したように、今日的な環境問題の解決のためにも何とか中長期的にでも今後の研究の進展を望みたい。

#### (ホ) 研究を終了する妥当性 (4.4)

このプロジェクトは始めから微生物の特異的性質を実用的に利用することを専ら考えており、これ以上の進展は見られないようである。分離機能としての技術的研究は終了し、より基礎生物学的観点から研究を見直すべきであろう。本研究は平成 12 年度をもって終了させることが適当と考える。

ただし、原研が表明している「先端基礎研究センターの枠を超えた新しい研究体制を模索したい」を積極的に推進し、改めて再登場されることを期待したい。

#### 3.5.2.2 総合評価 (上記の視点以外に特記すべき評価、問題点等)

本研究は黎明研究から採択されたものである。たしかに本研究の発端となった特異的性質を持った微生物の発見は新規性に富み、しかも核燃料物質の濃縮という原子力科学としても注目に値する研究テーマである。しかし先端基礎研究センターのプロジェクトはセンターの研究方針の3つ柱を背景にした5年に亘る純粋科学的基礎研究である。リーダーとなるものは十分このことを理解してそれに見合う内容と規模の計画を立て、グループを引っ張っていく指導能力を要求される。

新規な小さな黎明研究の中から、知的重みが大きく、独創的な、原子力科学の学術あるいは技術的發展に寄与する可能性のある、研究を掘り出しこれが本研究センターのプロジェクトとして適切かどうかを選ぶことの難しさを感じる。この問題は、原研の課題選定・評価において、研究内容の科学的評価の他に研究遂行のフィージビリティを評価することも大切である、という教訓である。

なお、もしも原研が今後、本気で、微生物をアクチノイド処理の一方法として検討するのであれば、早い段階で社会的見地からの研究もスタートさせるべきであろう。一般市民にとって、「放射性」に「バイオハザード」が加わるのではないかという疑念が生じるのは当然であると想像されるからである。

同時に、こうした原研の人事面での改革(生物系の研究者の採用)と培養装置などの生化学研究に必要な付属装置の導入にも積極的にコミットしていただきたい。

### 3.6 事前評価：先端偏極中性子散乱によるスピン—格子物性の研究

#### 3.6.1 「先端偏極中性子散乱によるスピン—格子物性の研究」の計画の概要

##### グループ構成員：

リーダー	加倉井 和久 (客員研究員 東京大学物性研究所 教授)
サブリーダー	片野 進 (原研 先端研 主任研究員)
	松田 雅昌 (原研 先端研 研究員)
	下条 豊 (原研 先端研 技術員)
	予定 (原研研究員 1 名、博士研究員 4 名、 特別研究生 1 名、業務協力員 1 名)
兼務	鈴木 淳市 (原研 先端研 副主任研究員)
	予定 (客員研究員 2 名、研究嘱託 5 名)

##### 研究目的：

最近話題になっている物理的及び工業的に興味深い物質においてスピンと格子揺らぎの微視的相互作用が新しい物性の出現に重要な役割を果たすことが認識されてきた。本研究ではこのスピンと格子の微視的相互作用を直接観測できると思われる偏極中性子散乱の核—磁気干渉項に着目し、その項の精度良い検出方法を確立し、これまで比較的無視されてきたスピン—格子相関を微視的立場から研究、解明することを目的とする。

##### 研究内容：

中性子スピンが散乱過程においてどのように変化するかを詳細に測定する偏極中性子先端分光法、Neutron Spin Polarimetry を実現する CRYogenic Polarization Analysis Device (CRYOPAD)を開発、活用して、ウラン化合物、高温超電導体、巨大磁気抵抗系等におけるスピン—格子相関を微視的立場から明らかにする。なお、以上の中性子散乱研究においては、日米協力研究でのオークリッジ国立研究所 (ORNL) の高束アイソトープ炉 H I F R と J R R - 3 M との相補的利用を図る。

##### 新規所要予算：

初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	合計
77,000	111,000	76,000	34,000	36,000	334,000 千円

(主な装置) CRYOPAD 及び偏極中性子オプション等

(研究の主な実施場所) 東海研究所

中間評価：無し

### 3.6.2 評価結果

#### 3.6.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究テーマの妥当性 (4.7)

##### (ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義 (4.0)

世界的にも数多くはない中性子散乱施設の一つである原研において取り組むべきテーマの一つであろう。特に、スピン偏極制御中性子非弾性散乱測定を目指しており、本研究はわが国としては唯一の研究と見られる。その意味において新規性は高く、もちろん学術的にも非常に意義の深い研究であると評価したい。

偏極中性子散乱は今後一層重要なテーマになるが、任意に中性子スピンを制御するシステム(CRYOPAD)を設置し、またこの技術を使用しつつ更に開発を進めることは中性子散乱研究の将来にとって重要なことである。

装置の開発から始めて最終的にウラン化合物のスピン-格子関連の微視的解析を行い5f系化合物の特性をより深く解明しようとしている。原子力科学の第一線の研究と考えられる。

2点の考慮事項を付言する。1点目は、ILLと装置開発で共同研究を行うとのことであるが、ILLの研究グループにはない独創的な研究を期待したい。2点目は、非弾性散乱の信号強度は弾性散乱のそれと比べて桁違いに弱く、原研の中性子強度でこの実験が可能かどうか事前の十分な検討が必要である、

##### (ハ) スケジュール・研究手法の妥当性 (3.9)

極低温偏極中性子散乱測定装置を試作しわが国としては初めての手法を開発し研究を推進しようとしている。スケジュールも明快であり、成果を期待する。

前述したように、CRYOPADの設計・製作後、製作された装置が設計どおりにスピンが制御されるかどうか、実験的にどのように確認し、評価されるかが不明である。CRYOPADを使用した熱中性子散乱実験の前に、磁性・磁気構造が既知である試料を使用して、製作された装置を詳しく評価すべきである。

##### (ニ) 資源配分の妥当性 (4.4)

概ね妥当と判断する。但し、海外との共同研究での経費、また、人員構成の中で2名の客員研究員(研究総括)の役割について適切に対応することを付言する。

##### (ホ) 成果の波及効果の有無 (4.8)

原研ばかりでなくわが国の中性子科学研究に新しい方法論が導入されることになり、波及効果はきわめて大きいものがあると考えられる。先端研の目玉プロジェクトとなり、国際競争力を強めるために重要な計画とも意味づけられる。すなわち、偏極中性子の利用は構造・物性研究に新しい可能性を導き出すとともに、ソフトマターの研究にも多大な進展が期待される。また、さらにウラン化合物についてのより深い知識が開かれることも期待できる。

また、ユニークな装置であるから、スピン格子系に限らずその威力を発揮する研究対象を募り、また原研としても広くサーベイしてほしい。また、将来は外部の研究者にも門戸を開くことを望みたい。

### 3.6.2.2 総合評価(上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等)

装置開発のために外国を含めた共同研究や実験の協力研究を積極的に推進しようとする姿勢は高く評価したい。

しかもウラン化合物の研究に関してはわが国で作成された世界最高の高品質単結晶を用いることが出来るのでこの分野の研究のリーダーシップを取得できる、という心意気は頼もしい。そこに前期までの本先端基礎研究センターの研究成果の着実な積み上げがみられる。

### 3.7 事前評価：多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究

#### 3.7.1 「多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究」の計画の概要

##### グループ構成員：

リーダー	森井 幸生	(原研 先端研 主任研究員)
サブリーダー	目時 直人	(原研 先端研 副主任研究員)
	富満 広	(原研 先端研 副主任研究員)
	石井 慶信	(原研 先端研 副主任研究員)
	相澤 一也	(原研 先端研 研究員)
兼務	長壁 豊隆	(原研 先端研 研究員)
兼務	盛合 敦	(原研 研究炉部 研究員)
	予定	(原研技術系職員 1名、博士研究員 2名)

##### 研究目的：

中性子散乱用多重極限環境装置とそれに適応する中性子散乱法の開発を行い、物質の多重極限環境下での微視的な構造、磁性、素励起、エネルギー状態等の研究を可能にして固体物性の解明に寄与する。

##### 研究内容：

中性子散乱用単一極限環境として、15mKの超低温、15Teslaの強磁場、8GPaの超高压を達成する。次いで、中性子散乱用多重極限環境として、8GPa+50mK、15Tesla+50mK、8GPa+15Teslaなどをヘリウムフリーで達成する。また、湾曲スーパーミラー及び湾曲型アナライザー結晶により入射及び散乱中性子ビームを集光する技術を開発し、多重極限環境と整合した高効率中性子散乱実験を可能にする。さらに、反強磁性秩序と超伝導が共存しているUPd<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>等について、低温高压下での異方性や低温強磁場下でのメタ磁性などを明らかにする。なお、以上の研究においては、日米協力研究でオークリッジ国立研究所に設置されているWAND（広角中性子回折装置）の相補的利用を図る。

##### 新規所要予算：

初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	合計
47,000	71,000	36,000	31,000	31,000	216,000 千円

(主な装置) 単一極限環境発生装置、多重極限環境発生装置、入射中性子ビーム集光機構、散乱中性子ビーム集光機構

(研究の主な実施場所) 東海研究所

##### 中間評価：無し

### 3.7.2 評価結果

#### 3.7.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究テーマの妥当性 (4.7)

本研究は中性子散乱実験研究の中を広げる意味では必須の技術開発であり、原研が中心となって進めるのにふさわしい、物性研究の基礎となるきわめて重要な研究テーマである。題名の「多重超極限環境下（超低温下、超高磁場下、超高压下）」は、これまでの2重極限環境下の中性子散乱研究を超える実験環境の整備を強調してこれまでとの境を明確にした意図は読める。

それぞれの装置が当初期待された仕様で安定して起動し、それに見合う中性子散乱実験法が確立されて様々な極限条件下での物性研究に利用されることを期待する。特に、ウラン化合物を中心とする重い電子系の先端的科学研究の立場からもこれまでの研究の到達レベルをさらに超えるためにも有効な方法論の出現を望む。

##### (ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義 (3.6)

提案の方法論のなかには新規な部分も各所にみられるようである。学術的意義は勿論、いろいろな面から意義ある研究であることは確かである。中性子ビームを集光する方法論の開発はその新規性を特に高く評価したい。最後の1個まで中性子を利用しようとする意気込みは敬意を表する。

一方、ドイツのハーン・マイトナー研究所においては15テスラの超伝導磁石と10ミリケルビンの超低温のもとでの中性子散乱実験が可能であり、既にいくつかの成果が出ている。この点、本提案はそれほど新規性・独創性があるとは思えないが、これに高压を加えて3重極限下での中性子散乱実験が可能になれば、新規性があり、よい成果が期待できる。

##### (ハ) スケジュール・研究手法の妥当性 (3.8)

本研究では、先端基礎研究センターの主要研究テーマに合わせた多重極限環境を設定し、それに合わせた装置開発と実験法の確立を目指しており、スケジュールおよび研究手法ともに妥当であると判断される。

ウラン化合物についても強磁性秩序と超伝導の共存、あるいは自己誘導型磁束の存在について、今まで見出せなかった化合物への挑戦を計画しており、強い意欲が見られる。

##### (ニ) 資源配分の妥当性 (4.3)

提案されている資源計画は妥当である。

人的資源の充実は特に重んじてほしい。

##### (ホ) 成果の波及効果の有無 (4.3)

本実験装置並びに実験法が確立されることによって海外の先端的研究施設の設備を超える効率よい中性子散乱研究が可能となる。これによってこれまでの限界を超えた厳しい環境下での観察、測定によって物質の奥に潜む新しい物性が解明され、固体物性研究がさら

に大きく進展するものと期待される。特に、ウランの物性研究における理論の発展に寄与することになろう。中性子散乱に関する研究者にとってこの実験装置および実験の方法論の利用が許されれば非常に喜ばしいことであろう。

### 3.7.2.2 総合評価(上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等)

この新規研究提案については、専門委員から下記の3点のコメントがあった。

(1) この研究はこれまでの、特に「量子凝縮相の基礎研究」の重い電子系超伝導体の中性子散乱実験による研究の成果を踏まえて、生まれてきた研究であると理解する。新たにより深く、かつ効率良い測定系を確立して世界の中性子散乱に関する先端的研究の場の構築を目指している。特に、ウラン化合物の中性子散乱研究については中心的研究の場を目標としている。それだけに過去の成果で、中性子散乱測定でどこまで分かって来たかを明確に示して頂きたかった。更には、“単一極限環境を組み合わせることに起因する困難を克服して”との説明であるが、多重極限場も新規な独創的発想の技術といえるが、単一系から多重極環境化への技術的プロセスあるいは構想の具体的問題点とその解決策等の論理的説明が欲しい。

米国の設備との相補的利用によって国際的共同研究も進めようと計画している。研究の中心拠点化は基礎研究センターの目標の一つであり、この点も評価したい。なお、理論研究との対話、他の方法論との対話のさらなる深まりを期待する。

(2) ヘリウムフリーの特典が強調されているが、液体ヘリウムを補給すること自体は実験にそれほどの障害になるとは思われない。クローズドサイクル冷凍機のコンプレッサーからの振動や、システムに新しい要素を持ち込むことによるトラブルの可能性、価格の問題など諸要素を検討した上で、本当にそれがベストチョイスであるか総合的に判断することが必要であろう。

(3) 本研究は装置開発という地味な研究であるが、その重要性は計り知れないほど大きい。今後もこのような研究を強力にサポートされていくことを期待する。ただ、物性研究というと固体物性を意味し、液体(溶液)物性はその範疇にはいないようで残念である。中性子の生命科学への応用を期待する者として、固体物性にとらわれない多重極限環境を実現する装置開発も合わせて期待したい。液体(溶液)物性では、圧力・温度・磁場ともに固体に比べて条件は桁違いにマイルドであるし、生体物質の物性研究はまったくの未開拓である。この分野への進展も期待したい。



### 3.8 事前評価：ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究

#### 3.8.1 「ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究」の計画の概要

##### グループ構成員：

リーダー 榎本 洋 (原研 先端研 主任研究員)  
 鳴海 一雅 (原研 先端研 研究員)  
 予定 (原研研究員 2名、博士研究員 1名)  
 徐 永華 (科学技術特別研究員)  
 Jiri Vacik (原研リサーチフェロウ)  
 予定 (客員研究員 国外 1名、国内 1名)

##### 研究目的：

イオンやレーザー等の指向性のエネルギービームを照射して過飽和物質や異種物質界面での反応を誘起させ、新規機能の発現と関係する新しい物質状態の探索・創製を行なう。更に、微小サイズのエネルギービームを用いた物理化学的な表面微細加工や、磁場などの外部場の援用による自己組織化過程の制御を試み、エネルギー関連分野での電子或いは光が関与する新機能薄膜の構造デザインを提案する。

##### 研究内容：

エネルギービームと標的物質（過飽和物質系、異種物質界面、傾斜角や表面原子配列を制御した結晶性制御表面など）との相互作用過程を利用し、また場合により磁場、電場、応力場などを援用して、原子レベルでの自己組織化のための条件と新規な機能を有する新しい物質状態を探索する。また、構造・状態の解析とともに、電子の輸送特性や磁化率の測定など、電子が関与する基本的な物性の評価を行なう。この過程で有用な新しい物質状態が見出せたら、その精密な空間配列制御の研究に進み、微小プローブを用いた位置敏感な物性評価を行なうとともに、それぞれの基本物性が相互に影響しあって誘起される複合的效果を利用した新機能素子を試作して、デザインの有効性を実証する。

##### 新規所要予算：

初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	合計
46,400	47,000	46,000	35,800	18,000	193,200 千円

(主な装置) 電磁気特性評価装置、自己組織化過程制御装置、微小プローブ  
 物性評価装置

(研究の主な実施場所) 高崎研究所

中間評価：無し

### 3.8.2 評価結果

#### 3.8.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究テーマの妥当性 (3.5)

本研究計画の提案は、既存の「ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成」研究を発展的に継承するものである。これまでの研究で得られた萌芽的成果をベースにそれを本格的に本テーマの研究として開始するのは適切であると考えられる。しかし、機能性新物質状態のデザインというのは目標が遠大過ぎる印象がある。始めから応用面を意識することなく、「指向性エネルギービームによる物質の自己組織化に関する研究」という基礎研究を意識して進んでほしい。

##### (ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義 (3.8)

総じて、上記により、本研究が自己組織化を経て形成される物質状態に着目している点で新規性、独創性は高いと評価できる。ただ、理化学研究所を始め、いくつかの研究機関でも既に行われていることから、特異性を強調する必要があるだろう。

原研の特徴を生かしてイオンビームを利用することも考えられる。ここでは自己組織化現象が十分に解明されること自体が学術的な意義が大きい。但し、その先の“新物質を創製”、“新物質状態のデザイン”には慎重を要する。自己組織化現象を利用するとのアイデアは面白いが、その物理的過程はそれぞれの系で異なると考えられるので、一般化は難しいと予想される。

##### (ハ) スケジュール・研究手法の妥当性 (3.0)

前記のように、本研究のポイントは、Ni と C<sub>60</sub> の系で見出された自己組織化現象を他の系でも見出し、そこに共通する基本原理を明らかにすることである。自己組織化現象の研究は理論的研究が育っていないこともあって模索的要素が多いと思われる。一方、本研究手法では、まず、自己組織化現象を起こす系を数多く見つけ出すことが肝要で、そのための研究手法の開発に重点をおくべきである。また、本研究の展開は、各研究段階が前の研究段階での成功が前提になっており、前段階の研究が negative な結果になったときどのように軌道修正すべきかきわめて難しい。その意味で、中間評価（自己評価）が非常に重要である。

また、イオンビームからビーム一般に拡大して、微小サイズのレーザービームなども導入する計画であるが、研究組織の人的な構成から言って十分に利用できるかどうか若干気がかりでもある。TIARA 施設の有意義な活用法の開発に専念するほうが良いようにも思われる。

##### (ニ) 資源配分の妥当性 (3.2)

本研究テーマは従来の原研にないタイプのテーマであるので、人員構成や使用装置などについて幾つかの現実的課題がある。まず、研究グループが小さい組織であり、且つ高崎駐在であること、実験施設の確保が容易でないこと、装置借用における組織間の壁の問題

など、人的側面を含めて研究者側と原研側の柔軟な対応が必要であろう。

また、本研究では代表者以外に研究者の顔が見えてこないが、理論研究者も含めて強力な態勢を組む必要があるだろう。特に、大学等との研究交流が必要である。高崎研にそのような雰囲気があるかどうか心配である。研究の成否は、客員研究員の人選にかかっていると見えよう。群馬工業試験場や東京インスツルメンツとの研究協力は是非実現すべきであろう。

使用研究装置については、ほぼ問題ないと考えられるが、電磁気物性評価法の確立とは具体的に何であるか、必要経費の見積もりに慎重を要する。

#### (木) 成果の波及効果の有無 (3.7)

全く新しい物資構成要素が誕生する可能性を秘めており、内外の研究者から注目される研究である。研究目標を重点化し、具体的に成れば、波及効果が期待できると思われる。

高崎研における先端基礎研究の柱として成功すれば、そのインパクトは大きいこともあげられる。TIARA のユニークさを生かす利用法や研究体制を原研全体として工夫してほしい。

#### 3.8.2.2 総合評価（上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等）

(1) 本研究課題は、現在進行中のダイヤモンド薄膜合成に関する研究成果から生まれたものである。その点では独創的実験から萌芽した新規な研究であって、まさに本研究センターの趣意に適合した研究課題といえる。しかし資料の内容はいろいろと多様な説明がされているが研究の進め方、実験内容も5年間の計画等まとまりがない。このような全く経験のない現象から生まれたものであるから、まずいろいろとパラメーターを替えて生成反応の再現性ある環境を模索することからはじめなければならない。このような研究を見出し、育つように十分な時間と環境を与え、栄養を与え、時には刺激もしていく場こそ大切である。

(2) 自己組織化による微細構造形成は、電子線描画などによる通常の微細加工のサイズ限界を超えるものとされる。微細パターンの不規則性などの問題をビーム照射によるパターンのガイディングによって解決するという触れ込みであるが、それでは、自己組織化による微細構造形成のセールスポイントである「描画では作れない微小サイズ」という点が失われてしまうおそれはないか。

(3) 本研究テーマは従来の原研にないタイプのテーマであるが、原研内外の研究者への波及効果が大きいので、組織間の壁の解消などを含め、柔軟な対処が必要である。また、中間評価の重要性も合わせて指摘しておきたい。

(4) 本研究は、基礎と応用の二つの側面が特に顕著にあらわれる。先の「ダイヤモンド合成」も同様であるが、企業における研究、大学における研究とは異なって、その間にある国費により支えられる研究機関の研究の在り方を考えさせられる課題である。正しい舵取りが望まれる。

### 3.9 事前評価：軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究

#### 3.9.1 「軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究」の計画の概要

##### グループ構成員：

リーダー 上田 和夫 (客員研究員 東京大学物性研究所 教授)  
 サブリーダー 予定 (原研 先端研 副主任研究員)  
 予定 (博士研究員 2名)  
 兼務 山口 正剛 (原研 計算科学技術センター 研究員)  
 兼務 平田 勝 (原研 物質科学研究部 副主任研究員)  
 立木 昌 (客員研究員 東北大学 名誉教授)  
 前川 禎通 (客員研究員 東北大学 教授)  
 播磨 尚朝 (客員研究員 大阪大学 助教授)

(その他、兼務職員、客員研究員数名を予定)

##### 研究目的：

f 電子や d 電子の軌道縮退の大きな系において、軌道自由度の揺らぎがどこまで重い電子の振舞いに寄与しているかを明らかにし、特異な磁性と超伝導の起源を理論的に解明する。先端基礎研究センターの種々の実験グループと強い連携を持ち、ウランを中心とする強相関電子系の磁性や超伝導に関して実験・理論が一体となった国際研究拠点 (COE) の形成を目指す。

##### 研究内容：

ドハースファンアルフェン効果や磁気抵抗のデータをバンド計算を用いて解析しフェルミ面近傍の電子状態を明らかにする。また、結晶場中の d 電子や f 電子に対する効果を明らかにし、摂動論を用いて、軌道縮退を考慮した有効ハミルトニアンを導くことにより、遷移金属化合物および重い電子系の軌道自由度を考慮した多体電子モデルを構築する。さらに、フラストレーションの強い系の量子相転移の変分理論の展開、軌道縮退した一次元近藤格子模型の計算物理的手法による研究、異方的超伝導におよぼす軌道縮退効果の変分理論による研究を進め、パイロクロア系のフラストレーションと軌道ゆらぎ、ならびに重い電子系の磁性と超伝導の解明を行う。

##### 新規所要予算：

初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	合計
30,000	15,000	10,000	20,000	10,000	85,000 千円

(主な装置) 電子状態解析装置、多電子モデル解析装置、数値解析システム

(研究の主な実施場所) 東海研究所

##### 中間評価：無し

### 3.9.2 評価結果

#### 3.9.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究テーマの妥当性 (4.9)

ウラン化合物、NMR 実験、中性子散乱という三つのキーワードのもとに進む実験研究に対応して、先端基礎研究センターの中に多体電子理論の展開を目指す理論グループを形成することは大変望ましい。強相関電子系の物性解明に軌道縮退を考慮した多体問題を考慮した理論的な研究で、目的、目標も緻密で計画も明快そのものである。

先端基礎研究センターの実験グループとの協力の重要性も認識されている。また、理論研究にとって優れた環境を積極的に利用している点も、研究テーマとして妥当である。

##### (ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義 (4.7)

従来の重い電子系の研究において無視されてきた軌道縮退に理論のメスを入れ、多体問題を議論していくことに新規性と独創性が認められる。また、重い電子系の多様な物性を理解するためには軌道縮退の影響がきわめて重要で、今後の物質科学の進展からも学術的意義は大きい。

##### (ハ) スケジュール・研究手法の妥当性 (4.8)

研究内容とこれに対応したスケジュールはいずれも計画がしっかりしている。理論計算では解析的手法と数値計算を併用する研究手法は有効である。

強いて言えば、先端基礎研究センターという実験研究の優れた環境が整ったところでの理論研究であるので、実験研究とタイアップして優れた研究成果を期待したい。また、理論と実験の有機的な共同研究は今後その重要性が益々高まると考えられ、研究手法および進め方において先駆的な態勢を実践して欲しい。

##### (ニ) 資源配分の妥当性 (4.1)

研究リーダーは物性理論研究者として世界的に認められており、良い成果が期待出来る。チーム編成も良い。ただ、実験グループとの協力関係が強調されているが、研究者構成の中にも実験研究者を入れ、整合性をもった密な理論・実験の協力体制がこの種の研究では非常に重要であると判断される。新規採用の副主任研究員が実験との連携に重要な役割を演じることが期待される。

研究予算については、理論研究にあっては、人の交流などソフトな面が重要であり、外国との交流を含め、そのための旅費等がについて充分配慮されていることが重要である。

##### (ホ) 成果の波及効果の有無 (4.8)

実験グループへの波及効果はきわめて大きい。実験グループに提供された理論研究の成果は実験グループによって研究され、その結果を理論研究にフィードバックする構図は、今後の基礎研究の進め方にとって参考になり、きわめて重要である。

### 3.9.2.2 総合評価 (上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等)

理論と実験を車の両輪として密に相互作用し合い、よい協力関係が築かれることを期待したい。

リーダーはすでに「量子凝縮相の基礎研究」でも活躍しており、広い視野を持つ研究者なので、大きな成果が期待される。国際化の方向が望まれる。

サブリーダーとして新規に理論家を迎えることができるようなので、適切な人選を行って原研に理論の拠点を築いてほしい。

## 3.10 事前評価：核磁気共鳴 (NMR) 法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究

3.10.1 「核磁気共鳴 (NMR) 法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究」の計画  
の概要グループ構成員：

リーダー R. E. Walstedt (常駐客員研究員 米国ラトガース大学 教授)  
 サブリーダー 神戸 振作 (原研 先端研 副主任研究員)  
 生嶋 健司 (博士研究員)  
 吉浜 知之 (博士研究員)  
 眞榮平 孝裕 (博士研究員)  
 兼務 山本 悦嗣 (原研 先端研 研究員)  
 高木 滋 (客員研究員 東北大学 教授)  
 W. G. Clark (客員研究員 米国 UCLA 教授)

研究目的：

黎明研究によって世界ではじめて観測に成功したウラン核を用いた核磁気共鳴 (NMR) 法を発展させ、ウラン化合物の特異な磁性や、従来の BCS 理論に従わない新しい超伝導状態の発現機構を微視的観点から解明する。

研究内容：

種々のウラン化合物に対して、0.3 K までの極低温、9 Tesla までの強磁場、2.5 GPa までの高圧下でのウラン核 NMR 測定を可能にする。また、原子核のエネルギー準位が核の四重極モーメントと電場勾配との相互作用によって分裂することを利用した NQR 法や、ウラン核以外の構成核 (リガンド核) の NMR 法も順次導入することにより、多様な電子状態をとる 5f 電子の内部磁場や電場勾配を精密に解析し、ウラン化合物における超伝導発現要因の決定及び特異な磁性現象の起源の解明を行う。

新規所要予算：

初年度	第2年度	第3年度	第4年度	第5年度	合計
52,400	14,400	14,400	14,400	14,400	110,000 千円

(主な装置) NMR 用冷凍機、9 テスラ NMR 用マグネット

(研究の主な実施場所) 東海研究所

中間評価：無し

### 3.10.2 評価結果

#### 3.10.2.1 項目別評価

##### (イ) 研究テーマの妥当性 (5.0)

先端基礎研究センターは世界に先駆けてウラン核の NMR の観測に成功しているが、本研究はとくに  $^{235}\text{U}$  の濃縮された試料を用いてよりいろいろな手法の精密な NMR 観測法を導入して、ウラン化合物の磁性と超伝導性について集中的に研究を深めてその特性を極めることを目的としており、本研究センターの研究における主軸のひとつである重元素科学研究の中で重要な役割を持っていると考えられる。

また本研究センターは濃縮ウランを取り扱う研究を実施するのに最適の場である。これらのことに鑑みてこの研究は本研究センターとして当を得たものと言える。

##### (ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義 (4.9)

ウラン化合物の磁性や超伝導の問題は物性物理学の分野で非常に重要なものであり、ウラン化合物の NMR 測定に新しい方法論の導入を試みようとしている。この研究の学術的意義は非常に大きい。

また、こうした研究は国内では原研以外では困難があり、国際的にも可能性が非常に限られている。原研が優れた研究環境を提供できる特異性があり、新規性・独創性に富む研究成果が期待される。

##### (ハ) スケジュール・研究手法の妥当性 (4.7)

先端基礎研究センターという優れた環境を十分に利用した研究手法・スケジュールである。また、多体電子系理論研究グループとの協力で理論的な考察も十分議論できると思料する。綿密な、着実な計画がなされていると判断される。

なお、計画されている実験計画の中には意欲的なものが多く、その成否の予想が難しいものもある。研究の進め方は中間評価などを通じて適宜変更修正する必要があるかもしれない。柔軟性を持たせることが必要であろう、

ウラン 235 核の NMR 及びリガンドの NMR を併用する手法はユニークであり良い成果が期待できる。

##### (ニ) 資源配分の妥当性 (4.4)

国際的な研究であり海外諸国との交流も多いことと考えられるが、それにしては旅費の予算が他のプロジェクトと比較して非常に少ない。その他の装置の製作、維持費も慎ましく感じる。不足のおきないように留意すべきである。

研究チームは国際的で、能力も高い。世界を先導する成果を期待する。更に国際性の高いプロジェクトを目指すのであるならば、もっと若手の外国人に活躍の機会を与えることを考えるべきであろう。



**(木) 成果の波及効果の有無 (4.7)**

本研究はウラン化合物の性質をより深く観察することによって、BCS 超伝導と異なる p 波、d 波超伝導の性格、磁性との関係等をさらに明確に解析していくことであろう。その成果は世界にこれまで得られなかったウラン科学の今後の進展に大きく寄与するものと判断される。それは他のアクチノイド化合物やランタノイド化合物の研究に大きな影響を与えることであろう。またここで利用あるいは開発された NMR 測定法に対する関心も高まり、この方法論の応用も広まることを考えると波及効果は重い電子系の研究分野に留まるものではない。

先端研が独自性を発揮するウラニウム領域の NMR 実験を国際的チームを編成して遂行し、先端研が新たに目指す国際化を進めることは大変望ましい。国内外の研究に与えるインパクトは大きいと考える。

**3.10.2.2 総合評価 (上記の視点以外に特記すべき提言、問題点等)**

現先端基礎研究センター長が先鞭をつけた  $^{235}\text{U}$  の核磁気共鳴研究を外国からリーダーを招いて推進するという計画は、センターの国際化という意義ともども、高く評価される。重元素科学の研究推進の国際的拠点化が着々と進んでいる。それだけに必要経費は十分に配分し、本当に意義ある研究交流が行われて国際的に高い評価を得るよう心がけて欲しい。

NMR 法を基礎物性研究に利用するという新しい試みが本研究で進められ、新しい方法論の導入と確立としても非常に注目される。物性研究の新しい手法として今後の進展を期待したい。

なお、本専門部会評価結果における各項目の評価点数 (全委員の平均) を次表に示す。

## 先端基礎研究専門部会評価の結果

評価項目	評価結果
<b>「事後評価」原子トンネル効果による極低温化学反応の研究</b>	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.0
(ロ) 当初の研究計画の妥当性	3.8
(ハ) 成果の波及効果の有無	3.4
(ニ) 将来への研究開発の展望の可能性	3.3
<b>「中間評価」量子凝縮相の基礎研究</b>	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	4.1
(ロ) 当初の研究計画の妥当性	3.8
(ハ) 成果の波及効果の有無	4.0
(ニ) 将来への研究開発の展望の可能性	4.0
(ホ) 研究を終了する妥当性	4.8
<b>「中間評価」ビーム蒸着法によるダイヤモンド合成の研究</b>	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	3.8
(ロ) 当初の研究計画の妥当性	3.5
(ハ) 成果の波及効果の有無	3.6
(ニ) 将来への研究開発の展望の可能性	3.9
(ホ) 研究を終了する妥当性	4.5
<b>「中間評価」微生物によるアクチノイドの分離研究</b>	
(イ) 研究開発課題の目的達成度	2.1
(ロ) 当初の研究計画の妥当性	2.3
(ハ) 成果の波及効果の有無	2.5
(ニ) 将来への研究開発の展望の可能性	2.7
(ホ) 研究を終了する妥当性	4.4
<b>「事前評価」先端偏極中性子散乱によるスピン格子物性の研究</b>	
(イ) 研究テーマの妥当性	4.7
(ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義	4.0
(ハ) スケジュール・研究手法の妥当性	3.9
(ニ) 資源配分の妥当性	4.4
(ホ) 成果の波及効果の有無	4.8
<b>「事前評価」多重極限環境下における中性子散乱実験法の研究</b>	
(イ) 研究テーマの妥当性	4.7
(ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義	3.6
(ハ) スケジュール・研究手法の妥当性	3.8
(ニ) 資源配分の妥当性	4.3
(ホ) 成果の波及効果の有無	4.3
<b>「事前評価」ビーム照射による機能性新物質状態のデザインに関する研究</b>	
(イ) 研究テーマの妥当性	3.5
(ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義	3.8
(ハ) スケジュール・研究手法の妥当性	3.0
(ニ) 資源配分の妥当性	3.2
(ホ) 成果の波及効果の有無	3.7

「事前評価」軌道縮退の大きな系における多体電子理論の研究	
(イ) 研究テーマの妥当性	4.9
(ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義	4.7
(ハ) スケジュール・研究手法の妥当性	4.8
(ニ) 資源配分の妥当性	4.1
(ホ) 成果の波及効果の有無	4.8
「事前評価」核共鳴散乱 (NMR) 法によるウラン化合物の磁性と超伝導の研究	
(イ) 研究テーマの妥当性	5.0
(ロ) 研究の新規性・独創性、学術的意義	4.9
(ハ) スケジュール・研究手法の妥当性	4.7
(ニ) 資源配分の妥当性	4.4
(ホ) 成果の波及効果の有無	4.7

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつ SI 組立単位

量	名称	記号	他の SI 単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
工率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光照射度	ルーメン	lm	cd·sr
放射線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SI と併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10<sup>-19</sup> J  
1 u = 1.66054 × 10<sup>-27</sup> kg

表4 SI と共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10<sup>-10</sup> m  
1 b = 100 fm<sup>2</sup> = 10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup>  
1 bar = 0.1 MPa = 10<sup>5</sup> Pa  
1 Gal = 1 cm/s<sup>2</sup> = 10<sup>-3</sup> m/s<sup>2</sup>  
1 Ci = 3.7 × 10<sup>10</sup> Bq  
1 R = 2.58 × 10<sup>-4</sup> C/kg  
1 rad = 1 cGy = 10<sup>-2</sup> Gy  
1 rem = 1 cSv = 10<sup>-2</sup> Sv

表5 SI 接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表1—5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値は CODATA の1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC 閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れていない。

換算表

力	N (=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (N·s/m<sup>2</sup>) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))  
動粘度 1 m<sup>2</sup>/s = 10<sup>4</sup> St (ストークス) (cm<sup>2</sup>/s)

圧力	MPa (=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg (Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)  
= 4.184 J (熱化学)  
= 4.1855 J (15 °C)  
= 4.1868 J (国際蒸気表)  
仕事率 1 PS (仏馬力)  
= 75 kgf·m/s  
= 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

Country	Year	Population (millions)	Urban population (millions)	Urban population (%)	Population density (per sq km)	Urban population density (per sq km)
Algeria	1980	12.1	5.1	42.2	10.2	10.2
Algeria	1985	12.5	5.5	43.9	10.5	10.5
Algeria	1990	13.0	6.0	46.2	10.8	10.8
Algeria	1995	13.5	6.5	48.1	11.1	11.1
Algeria	2000	14.0	7.0	50.0	11.4	11.4
Algeria	2005	14.5	7.5	51.7	11.7	11.7
Algeria	2010	15.0	8.0	53.3	12.0	12.0
Algeria	2015	15.5	8.5	54.8	12.3	12.3
Algeria	2020	16.0	9.0	56.2	12.6	12.6
Algeria	2025	16.5	9.5	57.6	12.9	12.9
Algeria	2030	17.0	10.0	58.8	13.2	13.2
Algeria	2035	17.5	10.5	60.0	13.5	13.5
Algeria	2040	18.0	11.0	61.1	13.8	13.8
Algeria	2045	18.5	11.5	62.2	14.1	14.1
Algeria	2050	19.0	12.0	63.2	14.4	14.4
Algeria	2055	19.5	12.5	64.1	14.7	14.7
Algeria	2060	20.0	13.0	65.0	15.0	15.0
Algeria	2065	20.5	13.5	65.8	15.3	15.3
Algeria	2070	21.0	14.0	66.7	15.6	15.6
Algeria	2075	21.5	14.5	67.4	15.9	15.9
Algeria	2080	22.0	15.0	68.2	16.2	16.2
Algeria	2085	22.5	15.5	68.9	16.5	16.5
Algeria	2090	23.0	16.0	69.6	16.8	16.8
Algeria	2095	23.5	16.5	70.2	17.1	17.1
Algeria	2100	24.0	17.0	70.8	17.4	17.4
Algeria	2105	24.5	17.5	71.4	17.7	17.7
Algeria	2110	25.0	18.0	72.0	18.0	18.0
Algeria	2115	25.5	18.5	72.6	18.3	18.3
Algeria	2120	26.0	19.0	73.1	18.6	18.6
Algeria	2125	26.5	19.5	73.6	18.9	18.9
Algeria	2130	27.0	20.0	74.1	19.2	19.2
Algeria	2135	27.5	20.5	74.6	19.5	19.5
Algeria	2140	28.0	21.0	75.0	19.8	19.8
Algeria	2145	28.5	21.5	75.4	20.1	20.1
Algeria	2150	29.0	22.0	75.9	20.4	20.4
Algeria	2155	29.5	22.5	76.3	20.7	20.7
Algeria	2160	30.0	23.0	76.7	21.0	21.0
Algeria	2165	30.5	23.5	77.1	21.3	21.3
Algeria	2170	31.0	24.0	77.4	21.6	21.6
Algeria	2175	31.5	24.5	77.8	21.9	21.9
Algeria	2180	32.0	25.0	78.1	22.2	22.2
Algeria	2185	32.5	25.5	78.5	22.5	22.5
Algeria	2190	33.0	26.0	78.8	22.8	22.8
Algeria	2195	33.5	26.5	79.1	23.1	23.1
Algeria	2200	34.0	27.0	79.4	23.4	23.4
Algeria	2205	34.5	27.5	79.7	23.7	23.7
Algeria	2210	35.0	28.0	80.0	24.0	24.0
Algeria	2215	35.5	28.5	80.3	24.3	24.3
Algeria	2220	36.0	29.0	80.6	24.6	24.6
Algeria	2225	36.5	29.5	80.9	24.9	24.9
Algeria	2230	37.0	30.0	81.1	25.2	25.2
Algeria	2235	37.5	30.5	81.4	25.5	25.5
Algeria	2240	38.0	31.0	81.6	25.8	25.8
Algeria	2245	38.5	31.5	81.9	26.1	26.1
Algeria	2250	39.0	32.0	82.1	26.4	26.4
Algeria	2255	39.5	32.5	82.3	26.7	26.7
Algeria	2260	40.0	33.0	82.5	27.0	27.0
Algeria	2265	40.5	33.5	82.7	27.3	27.3
Algeria	2270	41.0	34.0	82.9	27.6	27.6
Algeria	2275	41.5	34.5	83.1	27.9	27.9
Algeria	2280	42.0	35.0	83.3	28.2	28.2
Algeria	2285	42.5	35.5	83.5	28.5	28.5
Algeria	2290	43.0	36.0	83.7	28.8	28.8
Algeria	2295	43.5	36.5	83.9	29.1	29.1
Algeria	2300	44.0	37.0	84.1	29.4	29.4
Algeria	2305	44.5	37.5	84.3	29.7	29.7
Algeria	2310	45.0	38.0	84.4	30.0	30.0
Algeria	2315	45.5	38.5	84.6	30.3	30.3
Algeria	2320	46.0	39.0	84.8	30.6	30.6
Algeria	2325	46.5	39.5	85.0	30.9	30.9
Algeria	2330	47.0	40.0	85.1	31.2	31.2
Algeria	2335	47.5	40.5	85.3	31.5	31.5
Algeria	2340	48.0	41.0	85.4	31.8	31.8
Algeria	2345	48.5	41.5	85.6	32.1	32.1
Algeria	2350	49.0	42.0	85.7	32.4	32.4
Algeria	2355	49.5	42.5	85.9	32.7	32.7
Algeria	2360	50.0	43.0	86.0	33.0	33.0
Algeria	2365	50.5	43.5	86.1	33.3	33.3
Algeria	2370	51.0	44.0	86.3	33.6	33.6
Algeria	2375	51.5	44.5	86.4	33.9	33.9
Algeria	2380	52.0	45.0	86.5	34.2	34.2
Algeria	2385	52.5	45.5	86.7	34.5	34.5
Algeria	2390	53.0	46.0	86.8	34.8	34.8
Algeria	2395	53.5	46.5	86.9	35.1	35.1
Algeria	2400	54.0	47.0	87.0	35.4	35.4
Algeria	2405	54.5	47.5	87.1	35.7	35.7
Algeria	2410	55.0	48.0	87.3	36.0	36.0
Algeria	2415	55.5	48.5	87.4	36.3	36.3
Algeria	2420	56.0	49.0	87.5	36.6	36.6
Algeria	2425	56.5	49.5	87.6	36.9	36.9
Algeria	2430	57.0	50.0	87.7	37.2	37.2
Algeria	2435	57.5	50.5	87.8	37.5	37.5
Algeria	2440	58.0	51.0	87.9	37.8	37.8
Algeria	2445	58.5	51.5	88.0	38.1	38.1
Algeria	2450	59.0	52.0	88.1	38.4	38.4
Algeria	2455	59.5	52.5	88.2	38.7	38.7
Algeria	2460	60.0	53.0	88.3	39.0	39.0
Algeria	2465	60.5	53.5	88.4	39.3	39.3
Algeria	2470	61.0	54.0	88.5	39.6	39.6
Algeria	2475	61.5	54.5	88.6	39.9	39.9
Algeria	2480	62.0	55.0	88.7	40.2	40.2
Algeria	2485	62.5	55.5	88.8	40.5	40.5
Algeria	2490	63.0	56.0	88.9	40.8	40.8
Algeria	2495	63.5	56.5	89.0	41.1	41.1
Algeria	2500	64.0	57.0	89.1	41.4	41.4
Algeria	2505	64.5	57.5	89.2	41.7	41.7
Algeria	2510	65.0	58.0	89.3	42.0	42.0
Algeria	2515	65.5	58.5	89.4	42.3	42.3
Algeria	2520	66.0	59.0	89.5	42.6	42.6
Algeria	2525	66.5	59.5	89.6	42.9	42.9
Algeria	2530	67.0	60.0	89.7	43.2	43.2
Algeria	2535	67.5	60.5	89.8	43.5	43.5
Algeria	2540	68.0	61.0	89.9	43.8	43.8
Algeria	2545	68.5	61.5	90.0	44.1	44.1
Algeria	2550	69.0	62.0	90.1	44.4	44.4
Algeria	2555	69.5	62.5	90.2	44.7	44.7
Algeria	2560	70.0	63.0	90.3	45.0	45.0
Algeria	2565	70.5	63.5	90.4	45.3	45.3
Algeria	2570	71.0	64.0	90.5	45.6	45.6
Algeria	2575	71.5	64.5	90.6	45.9	45.9
Algeria	2580	72.0	65.0	90.7	46.2	46.2
Algeria	2585	72.5	65.5	90.8	46.5	46.5
Algeria	2590	73.0	66.0	90.9	46.8	46.8
Algeria	2595	73.5	66.5	91.0	47.1	47.1
Algeria	2600	74.0	67.0	91.1	47.4	47.4
Algeria	2605	74.5	67.5	91.2	47.7	47.7
Algeria	2610	75.0	68.0	91.3	48.0	48.0
Algeria	2615	75.5	68.5	91.4	48.3	48.3
Algeria	2620	76.0	69.0	91.5	48.6	48.6
Algeria	2625	76.5	69.5	91.6	48.9	48.9
Algeria	2630	77.0	70.0	91.7	49.2	49.2
Algeria	2635	77.5	70.5	91.8	49.5	49.5
Algeria	2640	78.0	71.0	91.9	49.8	49.8
Algeria	2645	78.5	71.5	92.0	50.1	50.1
Algeria	2650	79.0	72.0	92.1	50.4	50.4
Algeria	2655	79.5	72.5	92.2	50.7	50.7
Algeria	2660	80.0	73.0	92.3	51.0	51.0
Algeria	2665	80.5	73.5	92.4	51.3	51.3
Algeria	2670	81.0	74.0	92.5	51.6	51.6
Algeria	2675	81.5	74.5	92.6	51.9	51.9
Algeria	2680	82.0	75.0	92.7	52.2	52.2
Algeria	2685	82.5	75.5	92.8	52.5	52.5
Algeria	2690	83.0	76.0	92.9	52.8	52.8
Algeria	2695	83.5	76.5	93.0	53.1	53.1
Algeria	2700	84.0	77.0	93.1	53.4	53.4
Algeria	2705	84.5	77.5	93.2	53.7	53.7
Algeria	2710	85.0	78.0	93.3	54.0	54.0
Algeria	2715	85.5	78.5	93.4	54.3	54.3
Algeria	2720	86.0	79.0	93.5	54.6	54.6
Algeria	2725	86.5	79.5	93.6	54.9	54.9
Algeria	2730	87.0	80.0	93.7	55.2	55.2
Algeria	2735	87.5	80.5	93.8	55.5	55.5
Algeria	2740	88.0	81.0	93.9	55.8	55.8
Algeria	2745	88.5	81.5	94.0	56.1	56.1
Algeria	2750	89.0	82.0	94.1	56.4	56.4
Algeria	2755	89.5	82.5	94.2	56.7	56.7
Algeria	2760	90.0	83.0	94.3	57.0	57.0
Algeria	2765	90.5	83.5	94.4	57.3	57.3
Algeria	2770	91.0	84.0	94.5	57.6	57.6
Algeria	2775	91.5	84.5	94.6	57.9	57.9
Algeria	2780	92.0	85.0	94.7	58.2	58.2