

富山大学水素同位体科学研究センター

# 平成18年度外部評価報告書

2007年3月

富山大学水素同位体科学研究センター

外部評価委員会

# 目 次

- 第1章 経緯及び評価の目的と評価項目
- 第2章 項目別の評価
  - 2. 1 位置づけ、目標、研究方針等に関して
  - 2. 2 研究活動に関して
  - 2. 3 共同研究等の活動に関して
  - 2. 4 教育活動に関して
  - 2. 5 社会との連携に関して
  - 2. 6 管理運営・財政に関して
  - 2. 7 施設・設備の整備、拡充に関して
  - 2. 8 今後の目標および方向性等に関して
- 第3章 評価結果の要点
- 第4章 総合評価と提言

- 添付資料1 外部評価委員会委員の名簿
- 添付資料2 第1回外部評価委員会日程等
- 添付資料3 第2回外部評価委員会日程等

## 資料編

### 富山大学水素同位体科学研究センターの活動状況

- I. センターの沿革と目標
- II. 研究をめぐる国内外の状況と課題
- III. 研究体制の現状
- IV. 研究活動の状況
  - [1] 研究成果の概要
    - 1. 基礎物性研究分野
    - 2. 応用物性・バックエンド研究分野
    - 3. 素材循環研究分野
  - [2] 論文リスト
  - [3] 論文発表の状況
  - [4] 国内外の学会等での発表状況
- V. 共同研究等の状況
- VI. 社会との連携・協力の状況
- VII. 教育活動の状況
- VIII. 管理運営体制・財政の状況
- IX. 施設・設備の状況
- X. 今後の展望

## はじめに

本報告書は、水素同位体科学研究センターからの依頼を受け、平成 18 年度に実施した外部評価の結果をとりまとめたものである。

第 1 章では、外部評価実施に到る経緯と外部評価の目的、評価委員会の構成、第 1 回外部評価委員会において確認された評価項目、評価報告書取りまとめの経緯等について述べる。第 2 章では、各評価項目について、委員会としての統一的な見解（太字で記載）をまとめるとともに、当該分野の専門家である各委員の客観的かつ大所高所からの意見と考えが大学側に直接伝わるようにとの配慮から、個別の意見を表現の統一性などに配慮しながら観点ごとに整理し添付した。第 3 章では、最も重要な評価結果を要約する。第 4 章では総合的評価及びセンターと大学への提言を述べる。

## 第 1 章 経緯及び評価の目的と評価項目

水素同位体科学研究センター（以下「センター」という。）は、前身の水素同位体機能研究センターを改廃し、平成 11 年 4 月に富山大学の学内共同教育研究施設として 10 年の時限で設置され、日本の国立大学の中で、多量のトリチウムを扱える唯一の特色あるセンターとなった。

センター設立の目的は、核融合炉の燃料となる重水素及び三重水素（トリチウム）並びに化学燃料としての水素の利用に対する総合的な学問的・技術的基盤の構築を推進することであった。設立以来 7 年半が経過し、この間富山大学には大きな変化があった。即ち、平成 16 年 4 月には「国立大学法人」へと移行、更に翌年 10 月には三大学法人旧富山大学、富山医科薬科大学及び高岡短期大学が統合され、新しい「国立大学法人・富山大学」が生まれた。法人化に伴い大学の事務組織をはじめとして、管理・運営や教育・研究に係る組織も大きく変化したが、センターの大学内での位置づけは、従来どおり水素同位体科学研究を重点研究領域として教育・研究活動を継続する学内共同教育研究施設とされている。

国立大学法人富山大学学則の第 4 条には、「本学は、その教育研究水準の向上を図り、前条の目的及び社会的使命を達成するため、本学における教育研究活動等の状況について自ら点検評価を行い、その結果を公表する」と定められている。また、法人化に際し、6 年間の中期目標・中期計画が作成されており、そこでは研究活動の評価・検証に関する具体的方策として「研究活動についての自己評価、それに基づく外部評価、

第三者評価など多様な点検評価を実施する」と述べられている。これに基づき、水素同位体科学研究センターの中期目標・中期計画では「センター内に学内関連研究者よりなる自己点検評価委員会を設置する」、「核融合科学、核融合炉工学、トリチウム理工学及び水素エネルギー科学の専門家からなる評価委員会を組織して自主的外部評価を行い、その評価結果を公表する」となっている。

以上述べた経緯と規定等に基づき、平成18年4月の第1回センター運営委員会において、学内の教員より成る「水素同位体科学研究センター自己点検評価委員会」及びその下に位置するワーキンググループの設置が決まった。同時に、学外の有識者で構成される「水素同位体科学研究センター外部評価委員会」の設置が決まり、その後センターと大学との協議により委員候補者が選任され、平成18年7月7日付で委員の委嘱が行われた。富山大学からの委嘱を受け、8月に水素同位体科学研究センター外部評価委員会（以下「外部評価委員会」という。）が発足した。外部評価委員会は、水素同位体科学研究センターの設置目的を考慮し、核融合科学、核融合炉工学、トリチウム理工学及び水素エネルギー科学等に関する学外の専門家、合計8人で構成されている。委員名簿を添付資料1に示す。

10月30日に外部評価委員会の第1回会合（以下「第1回委員会」という。）を富山大で開催し、委員長に本島修 核融合科学研究所長を選出した。本島委員長により、幹事に同研究所の野田信明教授が指名された。第1回委員会議事次第を添付資料2に示す。

第1回委員会では、まず松山センター長から、評価委員会設置にいたる経緯、評価の位置づけと目的についてセンターの考えが説明され、審議を行った。評価の目的として、「平成16年度の法人化以後を含め、センターが設置された平成11年以降の活動とセンターの提案する今後の計画について評価し、センターの今後の研究・教育計画策定に資すること」を確認した。また、評価の対象としてセンターの研究、教育活動を中心に多岐にわたる項目をとりあげることとした。第1回委員会で確認された評価項目を以下に列記する。

#### [評価項目]

- (1) 位置づけ、目標、研究方針等に関して
- (2) 研究活動に関して（目標と成果に対する評価）
- (3) 共同研究等の活動に関して（学内、学外、国外）
- (4) 教育活動に関して（学部、大学院）
- (5) 社会との連携に関して
- (6) 管理運営体制・財政に関して（組織、運営方法、運営費（校費）、外部資金）
- (7) 施設・設備の整備・拡充に関して（放射線施設、安全設備、研究用設備）

## (8) 今後の目標及び方向性等に関して

なお、第1回委員会に先立ち、センターから各評価委員に下記の資料が配布された。

- (1) 平成11年から7年間の水素同位体科学研究センターにおける研究・教育活動等に関する外部評価の項目について
- (2) 富山大学水素同位体科学研究センター自己点検評価報告書（平成18年度版）
- (3) 富山大学水素同位体機能研究センター研究報告集（Ⅱ）1996～1999
- (4) 富山大学水素同位体科学研究センター研究報告集（Ⅰ）2000～2004
- (5) Proceedings of the second International Workshop on Tritium-Material Interactions— Contamination and Decontamination —
- (6) Proceedings of the third International Workshop on Tritium-Material Interactions

第1回委員会では、センター長からセンターの組織の概要、諸活動の全般について、また担当者から各分野の研究活動と成果の詳細についての説明を受け、質疑応答を行った。質疑終了後、センターの施設・設備見学を行った。その後センター職員は退出し、外部評価委員間の意見交換を行い、その後の作業スケジュールについて審議した。

第1回委員会終了後、評価項目ごとに各委員の評価、意見が幹事に寄せられ、幹事はその意見を取りまとめ、本報告書の原案を作成した。また、その過程において第1回委員会が出された質問に答える補足資料が委員会メンバーに配布された。本報告書のとりまとめにあたってはこの補足資料も参考にされている。

報告書原案は、平成19年1月から2月にかけて電子メール交換により委員会内で審議され、最終版は平成19年3月6日に東京で開催された第2回外部評価委員会で承認された。

## 第2章 項目別の評価

以下、各項目別に評価意見を記す。各節の冒頭の太字部分が委員会としての意見である。その後の記述はそのもととなった報告と議論に関する説明と10月30日の第1回委員会終了時点で各委員から提出された意見を記した「個別意見一覧」である。第1回委員会での報告への質問やコメントに対し、いくつかの項目についてはその後センターから追加資料が委員に配布された。太字で書かれた委員会の意見は、それらのやり取りが考慮された上でまとめられたものである。また、本報告に添付されたセンター報告資料にも、これらの質問、コメントが反映されている。

## 2. 1. 位置づけ、目標、研究方針等に関して

トリチウム科学センター設置以来の蓄積を踏まえ、トリチウムの特性を適正に活かしつつ水素同位体を広く対象として研究活動を進めてきていることは適切であり、国際的にも高く評価されている。研究計画において、当センターが将来の大規模エネルギー源として核融合を重視し、研究の柱のひとつに据えていることは重要である。トリチウム研究において、国内のみならず国際的にも重要なセンターであることを大学としても十分に評価し、富山大学の理念と関連させつつセンターの位置づけと役割に関する認識が深められることを期待する。

10月30日に開催された第1回委員会で、松山センター長からセンターの歩みと現在の目標について説明があった。そこでは、永続的で循環可能なエネルギー供給の資源としての水素同位体と核融合を統合する新水素エネルギーシステムの概念が説明されるとともに、核融合などにおけるトリチウム研究、水素を媒体とするエネルギーシステム関連の研究について、国内外の状況が紹介された。その上で、環境適合型の水素エネルギー社会の実現を目標としつつ、トリチウム関連では基礎物性データ蓄積、取り扱い技術の高度化、新技術開発を、水素エネルギー関連では水素の機能を引き出すための要素技術、新規材料開発を目標として研究活動を展開していると述べられた。これに対し、第1回委員会の席上で多数のコメントがあり、さらにその後、電子メールにて各委員のコメントが幹事あてに寄せられた。これら各委員からのコメントは委員会が一旦受け止めた後、観点ごとに整理して、項目別に示すこととした。委員会としてはこれらのコメントを前向きな指摘としてとらえており、センターがこれらの意見を真摯に受け止め、今後の活動に生かされることによって、センターの一層の発展が期待できるものと考えている。コメントには、位置づけ、目標の内容そのものに関するもののほか、第1回委員会での発表の仕方、表現に関するものが含まれている。本報告書の後に添付されている「センターの活動状況」は、それらのコメントを考慮に入れてセンターが加筆修正したものである。

### [研究施設の特徴と内外におけるその重要な位置]

- 国内でトリチウム科学の研究を行う大学拠点を設けて重点的に実施すべしとの意見を踏まえて、前身のトリチウム科学センターが設置され、その後水素同位体機能研究、水素同位体科学研究と水素同位体ということに研究対象を展開してきたことは妥当である。また、トリチウム研究においては我が国大学等のなかで中心的な研究センターであるばかりでなく、国際的にも重要な

研究センターになっていることは高く評価される。

- 本センターは、国際的にも評価できる水素関係の研究を実施しており、国際的な展開が十分にできるポテンシャルを有していると判断できる。これらの成果は活動報告書等において国際的なリンク、共同研究などの成果として積極的に外部発信をする必要がある。
- 同センター内の水素エネルギー科学分野は、他大学にはない特徴がある。それは、水素エネルギー応用科学技術を総合的に捕らえるロードマップの中で、例えば水素・酸素燃料電池の開発等の研究を進められる環境である。センターの特色、ひいては、富山大学の特色となりうる分野である。センター、および大学の理解と協力が必要不可欠である。
- 他大学、例えば東大、九大、静岡との関連・違い・位置づけ、JAEA TPLとの違いを明確にして、今後の発展を図る必要がある。

#### [これまでの研究方針に対する評価と意見]

- 昭和55年度、前身のトリチウム科学センター発足以来、トリチウムを軸とした研究を推進し、 $216\text{Ci/day}$ 、 $15,100\text{Ci/year}$ の大量トリチウムを取り扱える施設に拡充してきた。その実績にたって、大量トリチウム取り扱いの出来る特徴を活かした研究方針が取られている。
- 将来の水素エネルギー社会を標的に据え、核融合と水素エネルギーシステムを融合する新水素エネルギーシステムの提唱は意義深い。
- 将来の大規模エネルギー源として核融合を重視し、研究計画の柱のひとつに据えている点は特に重要である。
- 研究センターの研究内容は、トリチウムを扱う機関、トリチウムの特性をうまく活かした研究内容、研究方針という点から、国際的にも高く評価されている。
- トリチウムを利用できる環境をいかしつつ、広く水素同位体科学を進める観点で研究計画を進めている。目標、それぞれの研究の位置づけ、研究方針は適切であると考ええる。
- 目標はほぼ妥当であるが、わかりにくい表現、例えば PPF（パワーポイントファイルのビューグラフ）の目標の部分（4枚目）については、例えば以下のように、より明快なものに改めていく必要がある。

「今後の水素エネルギー社会に向けて、水素の挙動に関する技術基盤を発展させるとともに、トリチウムを含む水素同位体を燃料として使用する核融合

- 炉に関してトリチウム挙動の解明とその技術基盤を発展させることを主目的とする。このため、具体的には次の課題を重要視して研究を行っている。」
- 核融合および水素エネルギーの中において要素還元的に、ある部分の研究を行っているわけだが、その部分を選択した理由と、その妥当性についての自己評価が常に必要である。
  - 今後、水素同位体全般を課題として研究分野を広げる場合には、対象が大きくなることにより焦点がぼやけないようにする努力が強く求められる。
  - 再処理工場からのトリチウムなど、原子力分野をもっと意識する姿勢が求められる。
  - 今後はブランケットや生物影響も視野に入れつつ、核融合エネルギーでの水素製造を具体的に検討するなど、研究の幅を広げる努力も必要である。
  - コミュニティとの関係、コミュニティからの要請を研究に常にフィードバックすることが肝要である。

#### [大学としての位置づけ、大学との連携]

- センターの位置づけ、目標を考えると、母体である「富山大学の理念」（学長挨拶）との整合性を明確にする必要がある。「知の東西融合を目指す」という大学の理念に対し、本センターの活動目標を明確に位置づけることによってセンターの存在意義がより明確になる。これを進めるにあたっては学長、役員会の役割が重要である。
- 本センターの自己評価における位置付け、目標、研究方針等は妥当なものと評価できる。しかしながら大学全体として本センターをどの様に位置づけるかの議論が十分に行われていない状況であり、この点について今後の議論を期待する。地方大学においては特に大学の特色を如何に出すかが問われていることからすれば、本学は、本センターが国内のみならず国際的にも重要なセンターとの評価を受けていることを正当に評価し、大学の特徴の一つとして大いにアピールしていくことが望まれる。

#### 2. 2. 研究活動に関して(目標と成果に対する評価)

**基礎物性研究分野、応用物性・バックエンド研究分野、素材循環研究分野の3つの柱を設け、それぞれにおいて重要な成果を上げている。**

**基礎物性研究分野では5族金属中の超透過現象、水素吸蔵合金の劣化機構の解明と吸蔵合金の耐久性向上、複合水素透過膜の開発などをとりあげている。トリチウムをトレーサーとして利用して水素同位体トラップサイトの分布を可視化し、トリチウム挙動に及ぼす材料**



の微細組織の影響を明らかにするなど、トリチウム取り扱い施設の利点を活かした基礎研究を展開し、成果を得ている。

応用物性・バックエンド研究分野ではトリチウム検出法、トリチウム測定装置の基準システム、室温作動型同位体分離ガスクロマトグラフィ等の開発で顕著な成果を上げている。なかでも核融合炉内の固体壁中に残留するトリチウムを直接測定する方法として、ベータ線で誘起されるX線をゲルマニウム検出器で測定する「BIXS 法」を開発し、炉内のタイル表面とその内部に蓄積されたトリチウム分布測定に成功していることは特筆に価する。

素材循環研究分野では「多角パレルスパッタリング法」と呼ばれる新しい被覆方法の開発に成功している。従来のウェットプロセスに比較して手順が簡単であり、繊維材や微粒子材にも均一なコーティング膜生成を確認している。この成果は開発の動機であった電池の高性能化に結びつく可能性をもつばかりでなく、センター内の基礎物性研究分野、応用物性・バックエンド研究分野にも活用され、さらに広い応用範囲が期待できる。

一方、初期の目標との関連や、同位体効果の研究については、よりわかりやすい説明が求められる。トリチウムを利用することで軽水素、重水素では出来ない分析が可能になるので、トリチウムを活用したより精度の高い水素同位体研究を展開することについて、いっそうの努力が期待される。

第1回委員会で、基礎物性、応用物性・バックエンド、素材循環の3つの研究分野における研究活動と成果の概要について、それぞれ波多野教授、松山教授、阿部教授から報告され、質疑討論があった。センターからの報告内容は以下のとおりである。

#### 基礎物性研究分野

1. 5族金属中の水素同位体透過現象および超透過現象
2. 低放射化バナジウム合金中の水素同位体挙動
3. Zr系水素吸蔵合金の劣化機構
4. 水素吸蔵合金の耐久性向上 (Zr系)
5. 複合水素透過膜の開発 (5族金属+Pd)
6. Pd基合金による水素同位体吸収の熱力学および速度論的同位体効果の検討

#### 応用物性・バックエンド研究分野

1. 高濃度トリチウム測定技術の研究開発
2. トリチウムの捕獲-拡散挙動の追跡に対する BIXS 法の適用性
3. トリチウム測定装置の基準システムの研究開発
4. 室温作動型水素同位体分離用ガスクロマトグラフィの研究開発

## 5. トリチウムによる材料の汚染状態と除染技術の体系化

### 素材循環研究分野

1. 評価技術
  - a. アモルファス MgNi の劣化機構
  - b. 固体高分子型燃料電池 (PEFC) 中の H<sub>2</sub>O の挙動
  - c. PEFC の応用
2. 材料の開発
  - a. バレルスパッタリング法の開発
  - b. 本法を用いた電極触媒調製
  - c. 本法の応用

第1回委員会ではトリチウムを使用する実験の意義、同位体効果などを巡り、活発な意見交換がなされた。トリチウムの検出感度が高いことを利用して固体内の水素分布を可視化できることは理解できたが、トリチウム大量取扱いの強みが基礎研究においてどのように活かされ、成果に結びついているかをより明解に示すこと、特徴的な成果をわかりやすく示すことの重要性などの指摘があった。また、特許について、予算的措置、実務面の支援を得て積極的な取り組みを期待する意見も出された。

### [全般的評価と課題]

- 研究活動を「基礎物性」「応用物性・バックエンド」「素材循環」の3つのカテゴリーに分類し、それぞれの研究分野で顕著な成果を上げている。
- 3つの柱があり、各々の分野で少ないマンパワーであるが、業績をあげている。
- 大学の理念を除いて考えれば、本センターが扱うトリチウムという水素同位体を扱いながら、その特徴を活かした研究が行われており、さらに展開できると予想できる。
- 同位体効果についての研究は、評価委員会の席上でも議論があったが、トリチウムを使用できることの最大のメリットを生かすべく、センターとして議論を深め、広く、基礎・応用分野に展開を図るべき重要課題である。
- 現在の研究者数、技官数(1名)で、トリチウム施設の維持管理をしながら研究を進める現状を鑑みると、専任技官の配置、施設維持管理への公的補助が不可欠であると思われる。これはセンターの問題に留まらず、大学、役員会の理解を得ていく必要がある。

## [それぞれの分野の成果と特徴]

- 核融合では炉内の固体壁中のトリチウム吸蔵が大きな懸案となっているが、これまでの実験では注入したトリチウムと排気系で除去されたトリチウムの総量について測定がされているものの、内部に残留しているトリチウムを直接測定する良い方法はなかった。富山大で開発された「BIXS法」は、ベータ線で誘起されるX線をゲルマニウム検出器で測定するもので、炉内のタイル表面とその内部に蓄積されたトリチウム分布を実際に測定し、計測法の有効性を実証するとともに、核融合炉内のトリチウム挙動を理解する成果を得ている。特筆すべき成果であり、今後の波及が期待される。
- 「素材循環」の категорияで開発された「多角バレルスパッタリング法」と呼ばれる被覆方法は、従来のウェットプロセスに比較して手順が簡単で、繊維材や微粒子材にも均一なコーティング膜が生成されることが確かめられており、広い応用範囲が期待できる。その成果がセンター内のほかの研究にも同位体分離用ガスクロマトグラフィのカラム材製造と同装置によるトリチウム分離研究にフィードバックされており、トリチウム関連研究と水素同位体全般に関わる研究がセンターの中でよく連携がとられ、成果に結びついていることが伺われ、評価できる。
- 本水素エネルギー科学分野は、他大学で行われている同種の研究組織にはない特徴がある。それは、水素エネルギー応用科学技術を総合的に捕らえるロードマップの中で、例えば水素・酸素燃料電池の開発等の研究を進められる環境である。センターの特色、ひいては、富山大学の特色となりうる分野であり、この研究を飛躍的に推進するには、センター、および大学の理解と支援が必要不可欠である。
- トリチウム計測技術、同位体分離、同位体効果、パウダー・コーティング等で特長のある研究を行っており、評価される。
- 基礎的物性研究分野および応用物性・バックエンド研究分野においては多くの成果が上がっており目標以上のものがあると理解できる。素材循環研究分野においては燃料電池素材のコーティングなど革新的な研究が行われており、大きな成果が得られているが、初期の目標との関連をより明確にする必要がある。

## [分野間の関連、目標に対する達成度]

- 核融合に加え、いわゆる水素エネルギーにも研究活動を展開しているが、これは研究費獲得という視点からみれば必要だと思われる。しかし、「ここでしかできない研究」という視点からみれば、トリチウムを使うことで、水素(H、

D) では観えない現象を分析、解析できるわけで、もっと特徴を活かすことで、いわゆる広い意味での水素エネルギー材料の研究分野にも参画できる。

- 研究活動に関しては、基礎的物性研究分野及び素材循環研究分野ともに目標以上の研究成果を上げており、スタッフの努力に対して敬意を表したい。しかしながら、両分野における関連性が今ひとつ明確ではないような印象をうけるのは残念なことである。本センターの最大の特徴は、トリチウムを扱えることであることを強く意識し、素材循環研究分野においてもトリチウムをトレーサー的に使用し、より精度の高い水素に関する基礎データを取ることを模索する努力が必要である。
- BIXS 法は、核融合以外の研究にも応用されつつあり、トリチウムベータ線の高い検出感度を利用した基礎実験推進にも広く可能性を開いている点は高く評価できる。
- 今後、①水素エネルギー関連と②核融合関連の研究活動について、各々の分野のテーマがどのように①あるいは②に関連しているかを分り易く示しつつ、目標との関連を明確にしておく必要がある。

### 2. 3. 共同研究等の活動に関して(学内、学外、国外)

**核融合科学研究所や原子力研究開発機構との共同研究、ドイツのカールスルーエ研究所や日米科学術協力などにおいて活発な共同研究を展開し、それぞれ共同研究でなくては得られない成果を上げている。内外からの客員教授招聘も積極的に行われており、国内外の共同研究施設としての実績をすでに数多く上げつつある。大学としてもこのような特徴と実績のある研究施設を有することを重視し、共同研究を支援するための旅費、宿舎等の制度・施設拡充に努力することが求められる。国内の共同研究の活性化については、大学共同利用機関である核融合科学研究所との連携・協力の強化が望まれる。**

**また、学内、国内、国際共同研究ごとに成果を整理し、年度ごとに共同研究報告としてまとめることが必要である。**

本節以降の各評価項目については、第1回委員会において松山センター長から「全体説明」として活動状況とデータの提示、説明があった。第1回委員会では種々の議論や質問があり、本節に関しては共同研究と論文発表との関係を明らかにすることを含めた成果に関する統計資料の提出が求められた。センターからは11月29日付で追加資料が電子メールにて配布され、「研究活動の状況」として発表論文の詳細なデータが報告された。「学外研究者との共同研究による論文が最も多く、次いでセンター専任

教員による論文となっており、今後学内教員との共同研究論文を増加させる必要がある」との自己評価がされている。

#### [国内外共同研究の評価と課題]

- トリチウムは核融合における重要課題のひとつであり、研究成果の大部分は国内外の共同研究を通じて得られている。国内外の客員研究者もコンスタントに雇用、滞在しており、成果に貢献している。これらは高い評価が与えられてよいものと考えられ、今後学外からの研究者が滞在しやすい施設、予算制度などの検討と整備がいつそう望まれる。
- 核融合科学研究所、原子力機構および国外の研究機関との共同研究においては多くの成果を上げていることから、今後とも引き続き積極的に進められるべきである。更に、本センターが国内の大学におけるトリチウム研究の拠点的性格を持っていることから、全国共同利用施設的な性格を持たせて他大学との共同研究を発展させて行くことも望まれる。この場合、予算措置が必要であり、大学及び関連するコミュニティの支援が不可欠である。
- 学外共同研究は積極的に行われている。核融合科学研究所のLHD計画共同研究についても重要な役割を担っている。それらについても積極的にセンターの成果として学内外に発信すべきである。また、原子力機構との共同研究で多くの成果があがっていることも高く評価されてよい。ITER活動における共同研究も期待される。
- 当センターは大学として国内で最大のトリチウムを扱えるので、学外との共同研究を推進していくことが肝要である。このため、学外からの研究者に対する旅費や宿舍の確保、及び世話できる技術職員などの確保が今後の課題と考える。

#### [学内及び地域における共同研究]

- 現在のスタッフにおいて、学内の共同研究はそのキャパシティーの上限に近いところで必要数実施されていることは評価できる。
- 学内、地域において、当センターとの共同研究の努力が見られるが、富山大学には他大学の追従を許さぬ、特色あるセンターがあることを富山大学およびこの地域が再評価をしつつ積極的に支援を図る構図が必要である。電力、エネルギー、環境関連企業の応援を得て行くことも必要である。
- 国内外共同研究とあわせて、共同研究の成果について、年度ごとにまとめておく必要がある。

- センターは「学内共同教育研究施設」として位置づけられ、学内では毎年十数件の共同研究が実施されている。論文発表に結びつく成果も上がっているが、実施件数に比較すると今後の努力が必要とされる。

#### [大学の支援]

- 共同研究の絶対件数は多いとはいえないが、現在の研究者数、技官数を考えると、十分条件を満たしていると思われる。今後の発展は大学の本センターに対する期待、理念との関係から、共同研究をよりしやすくなるような支援を大学自身が行うかどうかにもよる。学長はじめ、役員会への同センターの位置づけを正確に説明する必要があり、その上で、大学としての意向を確認する必要がある。

#### 2. 4. 教育活動に関して

**センターとして学部や大学院と独立した組織ではあるが、学内の協力を得つつ講義、卒論や修論の指導、放射線関係の安全教育等を実施し、実績をあげている。博士課程後期の学生の獲得には一段の努力が必要とされ、その点を含め大学として教育活動におけるセンターの位置づけの明確化をはかり協力を強化することが望まれる。卒業生が関連する分野で活躍する例が少ないことは残念であるが、センターと大学の努力だけでは解決が難しいところもある。国内外の共同研究者の協力を得るための働きかけなど、いっそうの努力を期待する。**

本項目についても、前項と同様11月29日付で追加資料が電子メールにて配布され、「教育活動等」として卒業生、修了生の人数、学位審査件数の年度ごとのデータが報告された。博士前期課程の審査では十分役割を果たしているものの後期課程学生の審査にはより多くの貢献が必要であるとの自己評価が示されている。委員会後、寄せられた下記コメント以外に、委員会席上では「化学科以外から学生を集める方策」「薬学系や医学系へのアピールの可能性」などについて指摘があった。

#### [大学院教育の実績と評価]

- センターの教育活動は、大学院学生を重点としつつも教養教育や学部教育への協力も行われており、バランスが取れたものとなっている。

- センターにおける学位取得者については、博士課程前期が平成 11 年以降の 7 年間で 18 名、博士課程後期が 1 名であり、後期の学生獲得の努力が望まれる。
- 主査、副査として、理工学研究科の学位論文審査には相応の貢献をしているものと判断できる。
- 学部や大学院での講義、卒論や修論の指導、放射線に関する教育等についての貢献は大きいと判断する。通常教育に時間を費やすと研究業績が減る傾向にあるが、研究業績も着実に挙げている点が評価に値する。
- 指導した院生数、博士指導数など重要な教育実績であるので積極的に発信していく必要がある。

### [学内における連携と協力]

- センターではあるが、学部、大学院教育に多くの貢献があるところは高く評価されるべきである。大学院教育については関連する研究科、専攻とも協議して、もう少し大学院生が自動的にくる制度設計があってもいいのではないか。
- 博士課程の院生が少ないのは研究活動にも影響するし、教育という点からも評価されない傾向にある。博士課程の院生を多くすべく、今後の努力が要請される。
- 学部とは離れた存在であり、大学院生の獲得も困難なようである。今後、大学が本センターの位置づけ、存在価値をより明確にして、具体化するかが急務として求められる。
- センターの今後の定常的な発展において学部、大学院生の受け入れ数の定常化は不可欠なものと思われる。従って、学生数の定常的確保に向けて、学部および大学院と積極的にその枠組みについて議論されることが望まれる。当事者同士の議論では利害が対立することもあり得るため、大局的な判断が出来る大学のマネジメントの積極的な関与も必要と思われる。

### [卒業生の進路]

- 卒業生が関連する分野で活躍される例がすくないことはやむをえない部分もあるが、当センター修了生はこの分野で高いレベルにあるため核融合エネルギー研究開発分野で活躍できるように、より一層の全日本的な支援、認識を得て行く必要がある。
- 核融合分野における数多くの優れた成果の割には、卒業後核融合や原子力分野に進む学生の割合が必ずしも高くないことは残念である。ただし大学やセ

センターの努力だけによって解決できない部分もあることは理解できる。

## 2. 5. 社会との連携について

**少ない人員ながら産官学交流や地域連携活動に相応の貢献が行われている。この点についても大学としてセンターのもつ役割と位置づけを明確にし、広報活動や実務面での協力を強化することが望まれる。**

センター長の全体説明では、民間との共同研究件数、プラズマ・核融合学会と原子力学会核融合工学部会主催の連合講演会の富山開催（平成18年6月）等学会への協力状況、産学官交流事業への参加状況、地域連携活動の状況などについて報告がなされた。

### [活動の状況と評価]

- 少ない人員により多くの重要な研究、教育活動を行う中、産官学交流事業や地域連携活動に多くの貢献が行われている。また、今後も適正規模にて当センターに相応しい活動を期待する。
- 富山大学のみならず、医療や薬、バイオ等でトリチウムを利用する所との共同研究を見出し、積極的にセンターの技術を活かした活動を展開することを期待する。
- スーパーサイエンスハイスクール、サイエンスパートナーシッププログラムなどの講師としての活動や3年親子活動など、先端研究施設にふさわしい着実な貢献を行っている。
- 本センターは特殊な施設であるために産官学交流事業や地域連携活動に馴染まないところも有るが、今後ともセンター本来の研究、教育活動の発展のため社会との連携を積極的に進められることを期待したい。

### [大学との連携]

- トリチウムを扱う特殊な研究機関という性格上、社会との連携は限られ、困難を伴う場合もある。しかし、核融合、水素に関係する科学、技術について、一般社会に向けて啓蒙活動をして行くことは重要である。富山大学が本センターの位置づけを明確にすることで、社会との連携もより広がると思われる。
- 近隣の大学との合併の直後のため、学長はじめ役員会は、本センターの大学における位置づけをより鮮明にし、センターの研究活動を大学の理念と結び



つけ、社会へのアピールをする広報活動を大学が一体となって進める必要がある。

- 研究振興部は、大学へも働きかけ、広報活動をもっと行うべきである。
- 委託研究、共同研究も、研究者だけに任せるのではなく、事務方が積極的にコーディネートする力をつけることが不可欠である。

## 2. 6. 管理運営・財政に関して(組織、運営方法、運営費、外部資金)

施設規模の大きさとトリチウムという特殊な物質を取り扱う点から見ると、少ないスタッフで長年にわたり安全に運営されてきており、高く評価できる。一方、技術職員が少なく、研究職員への負担が大きいことが懸念される。この点の解決についても大学の支援が必要である。

財政的には、トリチウム施設および実験施設の維持管理には相当の予算確保が必要である。この数年の傾向を見ると、配分予算の多くが維持管理に費やされ、研究費を圧迫している。施設維持について大学と国の配慮を特に強く望みたい。センターとして科研費等の競争資金獲得についても努力が認められるが、よりいっそうの努力を期待したい。

設置されているトリチウム施設、実験施設の維持管理には基盤となる一定の費用が必要である。この資金確保に大学、国としての特段の配慮が必要である。またセンターと大学が協力し、大学共同利用機関である核融合科学研究所等他の機関との連携を強化する努力が望まれる。

センター長の全体説明の中で、運営組織、及び運営委員会、専門委員会の開催状況、安全管理体制、管理運営費と研究費、校費／運営費交付金等についてデータの提示と状況の説明があった。委員会の席上では追加配分の用途について質問があり、11月29日付追加資料では追加配分を含めた運営交付金の状況について改めてデータが提示された。委員会の席上においては、研究コミュニティーの意見を反映して各委員から施設維持費の増大による研究費の縮小、技官配置を含めた共同研究支援体制の不十分さを懸念する発言が多くなされた。

### [実験施設の維持管理]

- 当センターは大学として量的に多いトリチウムを扱える唯一の場所であるにも拘わらず、配当予算の多くが維持管理に費やされ、研究費が少ない現状では、研究の推進が遅れる。予算面での具体的な企画が必要である。

- 研究費について、施設の老朽化及び運営経費節減に伴い、実質的な研究費が縮小傾向にあることは懸念される。究者の努力は大いに評価できるところであり、大学の理解をさらに得ていく方策が必要とされる。
- 設置されているトリチウム施設、実験施設の維持管理には最低限の費用が必要である。この資金確保に大学、国としての特段の配慮が必要である。またセンターと大学が協力し、大学共同利用機関である核融合科学研究所等他の機関との連携を強化する努力が望まれる。
- 施設規模に比べて少ないスタッフによりトリチウム施設が長年安全に運営管理されてきたことは評価に値する。逆にスタッフへの負担が如何に大きいかは想像に難しくなく、今後施設管理のためのスタッフの増員の要求は不可欠なものと思われる。これに当たっても、関連コミュニティの支援は不可欠であるが、富山大学が本センターを研究の軸として明確に位置付けることがより重要と思われる。
- 技術職員が少ないことが問題である。このような規模のセンターを管理していくにはあと1-2名必要である。国内関連コミュニティの支援を得つつ全学的な措置で適切な対応が取られることを期待する。

#### [競争的資金、産学官連携]

- 科研費などの予算確保に尽力している点は評価される。
- 本センターは、研究者数、大学院生数からみても小規模であり、特殊な水素同位体を扱うことができる研究機関であるという視点から判断すれば、現状程度か、あるいはもう少し産学官（公）連携を活性化できる可能性はあると考えられる。そのためには研究振興部などの事務方がより積極的に動ける環境の整備が必要である。
- より多くの競争的資金を確保し、ポスドク等のマンパワーと実験設備の増強とこれらに伴う研究活動の発展を図ることが重要と考えられる。

#### 2.7. 施設・設備の整備、拡充に関して(放射線施設、安全設備、研究用設備)

センターと大学の努力により、本センターは世界的にもユニークな、大量トリチウム取り扱い施設として確立、維持されている。これは極めて貴重な資産であり、蓄積された技術とともに今後も維持、発展させられることが重要である。建設から年月が経過し、設備の老朽化が進んでいる。研究課題と計画を発展させつつ予算の確保に努め解消していく努力をセンターと大学の双方に望みたい。

第1回委員会では、センター長から施設・設備の紹介とそれらの保守点検・修繕状況について説明があり、装置の老朽化に伴い、これらの経費が増加する傾向にあると報告された。各委員からは国内外のトリチウム研究施設の現状に鑑み、センターの施設の保全、拡充の重要性が指摘された。

#### [トリチウム施設の重要性と維持管理]

- これまでのセンターと大学の長年の努力により、本センターは世界的にもユニークな、大量トリチウム取り扱い施設として確立された。これは我が国のきわめて貴重な資産であり、蓄積された技術とともに今後も維持、発展させられること、その特徴を活かした研究と教育のさらなる進展が社会的にも重要である。その観点から、施設の維持、拡充について、特段の努力を期待する。
- 現状としては少ないマンパワーで種々の装置や施設の管理をよく行っていると判断する。
- 但し、老朽化した設備もあるで、安全面や今後の共同研究の推進のため改修などが必要になり、このための予算確保が必要と考える。
- 放射線施設という特殊事情を、大学は文科省にもアピールし、また本センター研究者も国内外の学会活動などで大いに「本センターでしかできない研究成果、技術展開」をアピールすべきである。
- 施設の老朽化対策のために可及的速やかに予算措置をしていく必要がある。老朽化により本センターで何らかの不都合が生じた場合、核融合コミュニティーが受ける影響は想像に難くない。これに当たっても、関連コミュニティーの支援は不可欠であるが、富山大学が本センターを研究の軸の一つとしてより明確に位置付けることが重要と思われる。

#### 2. 8. 今後の目標及び方向性等に関して

センターはこれまでの成果の延長線上に新水素エネルギーシステムの実現を目指す研究活動を発展させる方針を打ち出している。全体的な方針は適切であり、その意欲を高く評価したい。

核融合はセンターの提起する新水素エネルギーシステムの中核に位置し、トリチウムの取り扱いは核融合研究の重要課題のひとつである。センターの方針には核融合関連の研究において積極的な役割をはたしていく決意が述べられており、大いに期待したい。核融合をはじめ、学術に軸足を置き、「トリチウムを扱い得る施設」という特徴を前面に出し、学内

外へのアピールを強化しつつ、目標、テーマの吟味、重点化を図り、計画の具体化を図ることが重要である。

共同研究の制度的な保証について、全国共同利用機関としての制度確立が難しい場合には、大学としての支援、核融合科学研究所や原子力研究開発機構等との連携による何らかの枠組みの検討が望まれる。

センターからは将来構想として新水素エネルギーシステムの実現に向け、トリチウムを含む水素同位体取り扱い安全性の確保、トリチウム自給自足体制確立、トリチウムシステムの安定した長時間連続運転の確立、燃料電池の長寿命化及び低コスト化などの目標が示された。当面の課題として、核融合分野における LHD・DD 実験、FIREX、ITER での DT 実験、燃料電池の実用化を目指す研究の重要性の指摘があり、センターはそれらについて重要な役割を担っていることが述べられた。そして、水素同位体理工学研究の拠点としてセンターの整備拡充を図っていく決意が述べられた。また応用物性・バックエンドの分野を2つに分け、基礎分野、素材循環分野と合わせて、現在の3分野体制から4分野体制に拡充する方針が述べられた。

委員会では全体的な方針を是としつつ、計画の具体化についてさまざまな角度からの助言、提言があった。

#### [センターとしての方針と留意点]

- 「トリチウムを扱える研究機関」という特徴を前面に出した研究展開を実施すべきであり、他の水素関係の研究を行っている研究機関とは差別化をより鮮明にすべきである。
- 研究成果を国内外にもっとアピールすべきである。
- センターは、これまでの成果の延長線上に、新水素エネルギーシステムの実現を目指して、研究活動をさらに発展させるべく、研究分野、施設、スタッフの整備、拡充を構想している。具体的な方策のひとつとして3分野体制を4分野に拡張し、現在の応用物性・バックエンドの分野を二つに分け、それぞれトリチウム回収と水素製造に関わる要素技術開発、トリチウム汚染物処理・処分・管理技術高度化の課題を設定している。その意欲を高く評価したい。
- その上で、評価委員会の議論でも出されたように、分野名をもっとわかりやすく、魅力的なものにし、学生や社会へのアピール性を高めること、施設やスタッフの充実を図り、期待に応えていくことが望まれる。
- 研究分野の拡充は適切であるが、「バックエンド」という言い方は少々後ろ向

きに響く。「素材循環」という言い方も内容がわかりにくい。分野の呼び方についてはもう少し工夫があってよい。

- 先ず、次期中期計画において、これまでの成果を踏まえ、何を目標にどのようなテーマに取り組むべきかの大枠をつくり、具体的にはどのようなテーマを重点的に行うかの筋道をつくる必要がある。
- トリチウム科学を中核としながら水素同位体科学研究を国内、国際的に重要な COE として展開していくことは適切である。
- 考えられている、バックエンド研究分野については、トリチウム汚染物という後ろ向きの言葉でなく、トリチウム付着物、トリチウム複合物というような言葉のほうがいいのではないか、また、バックエンドという言葉についてもややネガティブな印象を与える。トリチウムライフサイクルといった新しい概念の導入が必要である。
- 素材循環研究分野については、これまでの本分野の成果のチェックとセンター目標との関連等についての整理を踏まえ、発散しない形での本センターの特色に沿った研究が進められることが望まれる。
- 自己評価における両分野の今後の目標および方向性は各論的には適切なものと評価できる。ただしセンターの総論として両分野の結びつきが希薄な所についてはトリチウムをキーワードに両分野のより密接な連携への努力が望まれる。

#### [大学としての支援協力]

- これだけ大量のトリチウムを学術的研究、応用研究に使用できる施設は国内にこのセンター以外はなく、大変貴重な施設である。国内外の共同研究ですでに重要な実績を上げており、共同利用施設として今後一層の貢献が期待できる。そのためにも施設の老朽化への対処、実務的な面での共同利用体制の整備が望まれる。
- 富山大学における本センターの研究・教育上の位置づけ、さらには日本における位置づけをより鮮明にし、学長、役員会の理解を得ながら、本センターの特異な研究活動の価値を対外的に大きくアピールすべきである。
- センターが今後の展望として指摘しているように、①共同研究推進とそのための支援体制をつくる、②老朽化した設備および実験設備に対する改修などの処置を行う、ことは妥当であり、かつ重要である。このための大学側の尽力を期待する。

### 第3章 評価結果の要点

評価結果について以下に要点を記す。

1. センターは国内外で数少ない大量のトリチウムの取扱いが可能な研究施設であり、本評価が対象としている平成 11 年以降もその特徴は十分に発揮され、すでに多くの成果に結びついている。
2. センターはトリチウムに直接関連する分野で顕著な成果を挙げているばかりでなく、課題を核融合、トリチウムに限定せず、将来の水素エネルギーシステム全体、あるいは水素同位体科学の基礎に広げることにより幅広い学術的研究活動を展開している。そこでは、相当量のトリチウムの取扱いが出来るという特徴・利点を有効に発揮する努力がなされている。
3. 学内共同教育研究施設という位置づけでありながら、学内のみならず国内、国外との共同研究が活発に行われ、共同研究を通じて特筆すべき研究成果が得られている。
4. 大量トリチウム取扱い研究施設として役割を果たしているものの、そのために必要な設備の保守・運転のための財源、技術スタッフの確保について、現状では十分保証されているとは言い難い。
5. 大学院及び学部学生の教育においても相応の実績を残しているが、博士課程後期についてより多くの学生獲得が望まれる。大学内での協力の強化とあわせ、具体的方策の検討が望まれる。
6. 今後の方向として、トリチウムを取扱い得る研究施設という特徴を前面に出し、水素同位体全般を対象としながらもトリチウムを軸とした学術研究をより強力に進めるべきである。その中でもエネルギー科学の重要な柱の一つであり、トリチウム関連技術について多くの先端的開発研究を必要とする核融合分野において、国内外からの期待に応え、共同研究の中核としての役割を果たすべきである。そのため大学共同利用機関である核融合科学研究所等との全国的な連携の推進が強く望まれる。
7. 核融合エネルギーの実現までに今後またゆまぬ努力が必要であり、学術的基盤を充実し、将来を担う人材を育成することが重要である。トリチウムに関わる研究はその中でも特に重要であり、炉心プラズマ条件が達成されつつある現在、国内外の共同研究の展開と充実が益々重要とされている分野である。トリチウム研究

の施設と実績を持つセンターは世界的にみても極めて有用かつ貴重な研究施設であり、この分野における日本と世界の中核研究機関として一層の拡充が望まれる。

8. 以上のとおり、共同研究、教育、施設整備、財政、社会との連携など、センターが研究教育活動を進めていく上で大学としての位置づけと施策を必要とする極めて重要な事項が数多くあり、センターに関する学長、役員会の理解と支援、協力を強く望むところである。

#### 第4章 総合評価と提言

センターは大量のトリチウムを取り扱うことができる世界に類をみない極めて重要かつ貴重な学術研究施設である。核融合分野と水素同位体科学分野においてその特徴を活かした研究活動を展開し、多くの重要な研究成果を産み出していることは高く評価できる。センターはもとより、大学がこの貴重な財産とこれまでの成果を認識して、今後の展開を図ることが重要である。

センターは国内外の共同研究を積極的に推進して優れた実績を残しており、そのことが豊富な研究成果につながる重要な要因のひとつとなっている。その特徴をいっそう発揮するため、国内外の共同研究を受け入れるための制度や組織の充実に努めるとともに、共同研究を支える教員の負担が大きいこと、施設の維持に必要とされる費用が研究のための予算を圧迫しつつあること等に対する対策が必要である。

センターが研究面において発揮されている特徴ある成果を教育面にも活かしていくために、大学院生の受け入れ数拡大が望まれる。そのことについても大学の理解と協力が必要とされている。

以上の評価を踏まえ、センターと大学に対し次の提言を行う。

1. 平成 11 年度以降センターが掲げてきた目標、研究方針は、センターの特徴及び蓄積された技術と設備を有効に活かすものであり、適切である。したがって今後も研究を強力に発展できる環境の整備が望まれる。
2. 共同研究の推進を可能とする制度設計の確立のため大学としていっそうの努力を行うこと、とりわけセンターの主導する核融合分野の共同研究をより活性化するため、大学共同利用機関である核融合科学研究所、全国の大学、及び ITER の国内実施機関である日本原子力研究開発機構との連携の具体化を図ること。

3. トリチウム取り扱い施設としてのセンターの位置づけについて大学内において議論を深め、施設保全、老朽化対策、共同研究支援、及び学生の確保と進路開拓などのための制度的、財政的、人的な措置を検討し具体化すること。
4. センターの特徴ある施設と活動実績、及び国内外におけるその重要性についての認識を広めるため、学内外における広報活動強化について具体的な方策を検討すること。

このような方向で努力を重ねることにより、核融合と水素同位体科学の分野における学術研究の拠点としてセンターがこれまで以上に格段の実力を発揮し、国内及び世界を主導する研究機関としていっそう発展することを強く期待する。



# 添 付 資 料

(添付資料 1)

富山大学水素同位体科学研究センター  
外部評価委員会委員の名簿

板谷 謹悟：国立大学法人・東北大学大学院工学研究科・教授

内田 裕久：学校法人・東海大学理事 工学部・情報デザイン工学部長

奥野 健二：国立大学法人・静岡大学理学部附属放射化学研究施設長・教授

田中 知：国立大学法人・東京大学大学院工学系研究科・教授

○野田 信明：大学共同利用機関法人・自然科学研究機構・核融合科学研究所・  
炉工学研究センター長・教授

日野 友明：国立大学法人・北海道大学大学院工学研究科・教授

◎本島 修：大学共同利用機関法人・自然科学研究機構理事・副機構長・  
核融合科学研究所長

吉田 直亮：国立大学法人・九州大学応用力学研究所・教授

(◎：委員長、 ○：幹事)

## 第1回

### 富山大学水素同位体科学研究センター外部評価委員会

**【日時】** 平成18年10月30日(月) 9:30～17:00

**【場所】** 水素同位体科学研究センター・3階会議室

#### 【スケジュール】

9:30～: 挨拶(センター長)

外部評価委員会委員長及び幹事の選出

水素同位体科学研究センターの全体説明(松山)

11:00～: 研究活動等の詳細説明(各説明:55分(質疑を含む))

(1) 基礎物性研究分野:(波多野)

12:00～: 昼食

13:00～: 研究活動等の詳細説明(続き)

(2) 応用物性・バックエンド研究分野:(松山)

(3) 素材循環研究分野:(阿部)

14:50～: 外部評価委員会委員による施設・設備の見学

15:25～15:35 (休憩)

15:35～: 評価委員会委員による意見交換

16:40～: 評価委員会委員からの講評及び今後のスケジュールについて

16:55～: 挨拶(センター長)

17:00 : 終了

## 第2回

富山大学水素同位体科学研究センター外部評価委員会

**【日時】** 平成19年 3月 6日(月) 18:00～20:00

**【場所】** 東京ガーデンパレス

### 【スケジュール】

18:00～: 本島委員長の挨拶

18:10～:

- (1) 第1回外部評価委員会議事メモについて
- (2) 外部評価報告書(案)に関して
- (3) その他

20:00: 終了

富山大学水素同位体科学研究センターの  
活動状況

(資料編)

## 目 次

- I. センターの沿革と目標
  - [1] はじめに
  - [2] センターの歩み
  - [3] 目標
  
- II. 研究をめぐる国内外の状況と課題
  - [1] 現状
  - [2] 課題
  
- III. 研究体制の現状
  
- IV. 研究活動の状況
  - [1] 研究成果の概要
    - 1. 基礎物性研究分野
    - 2. 応用物性・バックエンド研究分野
    - 3. 素材循環研究分野
  - [2] 論文リスト
    - 1. 発表論文（国際学術誌）
      - (1) 基礎物性研究分野
      - (2) 応用物性・バックエンド研究分野
      - (3) 素材循環研究分野
      - (4) その他
    - 2. 発表論文（水素同位体科学研究センター研究報告）
  - [3] 論文発表の状況
  - [4] 国内外の学会等での発表状況
    - 1. 国内学会等
    - 2. 国際会議等
  
- V. 共同研究等の状況
  - [1] 学内との共同研究・共同利用
  - [2] 学外との共同・協力研究（国内）
  - [3] 学外との共同研究（国外）

- VI. 社会との連携・協力の状況
  - [1] 民間との共同研究の現状
  - [2] 社会への協力参加の現状
    - 1. 技術相談の現状
    - 2. 連携事業などへの協力参加の現状
  - [3] 施設への見学者
  - [4] 国内外への情報発信
  
- VII. 教育活動の状況
  - [1] 教養教育、学部及び大学院における教育
    - 1. 教養教育
    - 2. 学部教育
    - 3. 大学院教育
  - [2] 卒論、修論及び博士論文の指導
  - [3] 卒業・修了後の就職状況について
  - [4] 学会等への発表指導
  - [5] 放射線障害防止法に基づく安全教育活動
  - [6] 共同利用者に対する教育活動
  - [7] 教育活動を取り巻く今後の課題
  
- VIII. 管理運営体制・財政の状況
  - [1] 管理運営体制
    - 1. 組織
    - 2. 運営委員会及び専門委員会の活動状況
    - 3. 放射性同位元素使用施設の安全管理体制
  - [2] 管理運営費・研究費の現状
    - 1. 外部資金の獲得状況
    - 2. 管理運営費の状況
    - 3. 研究費の状況
  
- IX. 施設・設備の状況
  - [1] 施設の現状
    - 1. 管理区域
    - 2. 非管理区域
  - [2] 設備の現状
    - 1. 安全管理設備
    - 2. 研究用設備
  
- X. 今後の展望

## I. センターの沿革と目標

### [1] はじめに

我国は石油等の化石エネルギー資源に乏しく、現在、全エネルギーの約95%を海外からの輸入に依存している。このため、世界的なエネルギー消費構造及び社会状況の変動が我国に大きな影響を与える。例えば、巨大な人口を抱える発展途上国における社会・経済の発展とともに世界的な化石エネルギー資源の消費速度は加速し、国際的なエネルギー資源の需給バランスが不安定になり得る。近年この様な国際情勢が顕在化しつつある。即ち、安定的なエネルギー資源の確保は我国のみならず世界的な課題である。従って、資源的制約のある化石エネルギー源の利用効率を促進することはもとより、主たるエネルギー源を化石資源に依存する体質から脱却するための抜本的な対策を講じなければならない。

この様な資源的制約の問題に加えて、20世紀前半からの急速な産業・経済の発展に伴い、石炭、石油及び天然ガス等の化石燃料の消費が加速的に増加し、今日では温暖化及び酸性雨等による地球環境への影響の問題が顕在化しつつある。このような影響は、海面上昇や穀倉地帯での水資源の枯渇をもたらし、食料生産等に多大な影響をもたらすことが予測され、国際的な協力の下で克服すべき重要課題と位置づけられている。深刻化する地球環境問題の世界協調による解決のために、1992年リオ・デ・ジャネイロにおける地球環境サミットにおいて国連気候変動枠組み条約が採択された。この際の条約をより実効性のあるものとし、世界的な取り組みを加速するために、1997年12月には京都会議が開催された。この会議において、先進国が全体として温室効果ガス排出量を2010年前後までに1990年を基準として5.2%削減、我国は6%削減するという具体的な数値目標が設定された。

地球温暖化問題は、温暖化現象が明瞭に発現してからでは手後れで不可逆的な問題である。従って、直ちに温室効果ガスの大気中濃度を安定化するための研究に着手すると同時に、これまでの化石燃料に依存したエネルギー供給体制からの脱却という問題の根本的解決を目指す研究開発を推し進めなければならない。即ち、エネルギー・資源及び地球環境等の地球的規模の問題を解決するためには、直ちに強力な研究体制を構築し、短期及び中長期の両面から精力的な研究開発を進める事が必要不可欠である。

先ず温室効果ガスの排出削減に対する対策として、短期的には省エネルギー技術の開発、また生活面では大量消費型及び大量廃棄型のライフスタイルの見直しが迫られるが、先進諸国のみならず発展途上国の今後の経済及び文化の発展にはエネルギー需要の増大は避けられない。他方、中長期的には、この化石燃料からの脱却を目指す根本的解決のために、革新的技術によるブレークスルー、即ち再生可能なエネルギー利用への転換による持続的な発展が可能な新エネルギーシステムの構築が必要不可欠である。21世紀における新エネルギーシステムとしては、資源量、エネルギー密度及び環境との調和性の面から優れた特長を有する核融合炉を含む広義の水素エネルギーシステムが有望な候補である。この様な観点より、現在、世界各国で非化石エネルギー源を利用する再生可能なエネルギー供給システムの研究開発が精力的に実施されている。



## [2] センターの歩み

「水素同位体科学研究センター」は、前進の「水素同位体機能研究センター」を平成11年3月に改廃し、新たに同年4月に学内共同教育研究施設として10年の時限で設置された。なお、下の年表に示すように、水素同位体機能研究センターは、平成2年3月に「トリチウム科学センター」が廃止された後に、同年6月に新しく学内共同教育研究施設として10年の時限で設置された施設である。このトリチウム科学センターは、昭和55年4月に学内共同教育研究施設として10年の時限で設置され、「高濃度トリチウムの安全取扱い技術の確立」に関わる学術研究を実施するために、我国の大学では初めての専門的なトリチウム研究施設として設置された。

トリチウム科学センターの設置以来、今日に至るまでの26年間、文部科学省を初めとして核融合炉開発研究に関わる多くの研究者や関係者の方々の多大なる支援を受けて、施設・

### [前身の2センターを含む水素同位体科学研究センターの歩み]

昭和55年 4月	トリチウム科学センターの設置（教授1、助教授1）（10年の時限）
昭和56年 2月	トリチウムの使用承認（5Ci/d, 50Ci/y）
昭和56年 4月	組織の整備（助手1、技官1の増員）
昭和59年 1月	トリチウム使用量の変更承認（26Ci/d, 505Ci/y）
昭和62年 4月	トリチウム使用量の変更承認（36Ci/d, 5,000Ci/y）
平成 2年 3月	トリチウム科学センターの廃止
-----	
平成 2年 6月	水素同位体機能研究センターの設置（10年の時限） （教授1、助教授1、助手1、技官1、客員教授（I種））
平成 7年 4月	組織の整備（教授1、助教授1の増員）
平成 8年 3月	100Ci トリチウム取扱いシステムの設置工事竣工
平成 8年 4月	富山大学大学院理学研究科（化学専攻）に参画
平成 8年 7月	第1回国際トリチウムワークショップの開催
平成 9年 10月	組織の整備（研究支援推進員2、非常勤研究員1）
平成10年 4月	富山大学大学院理工学研究科（前・後期課程）に参画
平成11年 3月	水素同位体機能研究センターの廃止
-----	
平成11年 4月	水素同位体科学研究センターの設置（10年の時限） （教授3、助教授3、助手1、技官1、客員教授（I及びIII種）2、 研究支援推進員2、非常勤研究員2）
平成13年 4月	組織の整備（客員教授（II種）の増員）
平成13年 11月	第2回国際トリチウムワークショップの開催
平成14年 5月	トリチウム使用量の変更承認（216Ci/d, 15,100Ci/y）
平成16年 4月	国立大学法人富山大学に移行
平成17年 5月	第3回国際トリチウムワークショップの開催
平成17年 10月	3大学法人（旧富山大学、富山医科薬科大学、高岡短期大学）の統合

設備及び組織の整備を図ってきた。この間の研究成果の一端をトリチウム取扱い量の変遷から見てみると、トリチウム科学センター設置当初は 5 Ci/d 及び 50 Ci/y で研究が開始されたが、10年の時限近くでは 36 Ci/d 及び 5,000 Ci/y までに増加し得る安全取扱い技術の向上を達成した。次いで、水素同位体機能研究センターに入ってから高濃度トリチウムの安全取扱い技術に関する基礎的データの蓄積や要素技術の研究開発を精力的に行い、当該センター発足後の中頃に、これまでに蓄積された取扱い技術の研究成果及びノウハウを全て盛り込んだ「100Ci トリチウム取扱いシステム」を設計し、本センターの高レベル実験室に設置した。これは1回当たり 100 Ci のトリチウムを用いた実験が可能で、トリチウムを含む三種の同位体を同等レベルで比較し得る実験が可能なシステムである。本システムの設置後、各装備機器の基本的性能を確認し、システム全体としての性能確認を少量のトリチウムを用いて実施した。これらの試験による安全確認を受けて、1回当たり 100 Ci のトリチウムを使用する実験に対する監督官庁への許認可申請を行い、平成14年5月に 216 Ci/d 及び 15,100 Ci/y の使用承認が得られた。

他方、研究面から眺めてみると、トリチウム科学センターでは主として、無担体に近い高濃度トリチウムガスを安全に取り扱うために必要な貯蔵・供給・回収及び計測等の要素技術の研究開発及び吸着・溶解・拡散・透過等のトリチウムと材料との相互作用に関する基礎的研究を進め、データベースの構築を目指した。次いで、水素同位体機能研究センターでは前身のセンター時代に開発された要素技術の高度化に加えて精製・濃縮・分離技術に関連する要素技術の研究開発及びこれらの学術基盤の構築並びに軽水素をエネルギー資源とする水素エネルギーの実現に向けての水素貯蔵材料等の開発に関する基礎的研究を開始した。即ち、トリチウムを安全に取り扱うための要素技術の研究開発や学術基盤は、水素エネルギーの実現においても同じように必要となるものであり、両者には相通じるものがある。このため、本センター時代にはトリチウムを含む水素同位体の機能を有効且つ安全に利用するための学術基盤の構築及び技術開発を目途とした。現在のセンターが設置されてからは、これまでのトリチウム研究及び水素エネルギー研究で得られた成果を基盤とし、「水素同位体科学」の創設を目途として、上述の研究の更なる展開を精力的に進めてきた。現センター設置以来の主たる活動状況及び研究成果等は「3. 研究活動の状況」に詳細に示されている。

また、教育面から眺めてみると、水素同位体機能研究センター時代に大学院理工学研究科(化学専攻)に参画し、その後の大学院改組に伴って大学院理工学研究科(博士前期課程(化学専攻)及び博士後期課程(エネルギー科学専攻))の一員となり、大学院教育に寄与できる体制が整備された。この体制は水素同位体科学研究センターの設置後も継続されているが、平成17年に行われた三大学統合による大学院の組織整備でも、大学院理工学教育部(修士課程(化学専攻)及び博士課程(新エネルギー科学専攻))に参画して大学院生の教育ができるようになり、人材育成に貢献し得る体制が整備された。

### [3] 目 標

本センターでは、この様な課題の解決に対して、水素同位体(軽水素(H)、重水素(D)及び三重水素(トリチウム(T)))が極めて魅力的な特長を有していることに着目し、水素同位体が持つ機能性の有効利用に関わる基礎及び応用研究を行っている。軽水素は酸素との反応によって、熱或いは電気の形態でエネルギーを放出して水を生成する。これとは逆に、水に光又は電気の形態でエネルギーを与えることによって、軽水素を生成し得る。即ち、水素と水の資源循環によって再生可能なエネルギー供給システムを構築できる。一方、重水素及びトリチウムは 21 世紀に向けての高密度エネルギー源として注目されている核融合炉の燃料となる。トリチウムは、天然には殆ど存在せず、リチウムと熱中性子との核反応により生産しなければならないが、重水素は海水中に重水(0.015%)として含まれており、核分裂炉におけるウラン燃料のように資源の偏在性を心配する必要も無く、燃料資源としては十分にある。即ち、水素同位体は永続的で循環可能な新しいエネルギー供給システムを構築するためのエネルギー資源として有望な候補である。

本センターは、右の図に示す様な概念の化学燃料としての水素(軽水素)及び核融合燃料としての水素(重水素およびトリチウム)からなる「新水素エネルギーシステム」の実現を標榜する。軽水素を利用する水素エネルギーシステムの実現には水素を生産するためのエネルギーを必要とするが、太陽エネルギー及び風力並びに地熱等の自然エネルギーのみでは賄いきれない。もちろんそのエネルギー源を化石燃料に頼ることもできない。従って、エネルギー密度が高く、安全性及び信頼性に優れ、

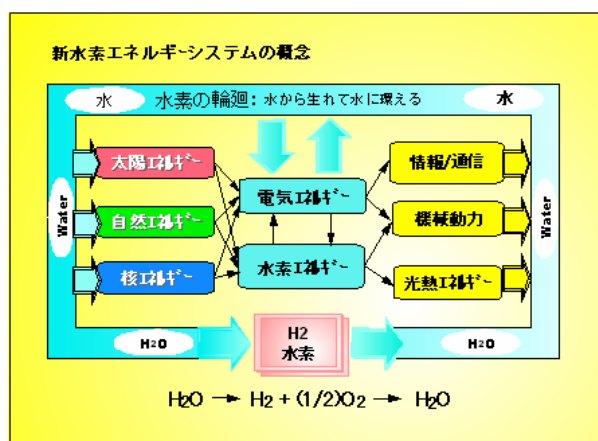


図 I - 1 新水素エネルギーシステムの概念図

且つ資源的にも制約のない新しい形の原子力、すなわち核融合炉の開発と実現が強く望まれる。この実現には、大量の重水素とトリチウムが使用されるため、放射能を持つトリチウムの閉じ込め技術、生産-回収技術及びバックエンド技術を基本とする完全リサイクル化技術の確立が必要不可欠である。また、これらの技術確立が核融合炉の社会的受容性を得るために欠かすことのできない重要な鍵となる。

水素同位体は常温・常圧で気体であり、金属材料中に容易に溶解し、透過し易い性質を有している。このことに加えて可燃性と同時に爆発限界濃度範囲(軽水素では約 4~74%)が広いという特性も有しており、その取扱いには十分な注意が必要である。他方、トリチウムは、上述の水素同位体の化学的性質に加えて、β線を放出するという物理的特異性があり、軽水素や重水素とは全く異なる高度の取扱い技術が要求される。従って、新水素エネルギーシステムを実現するためには、トリチウムを含む水素同位体の安全取扱い技術及び高効率で利用し得る技術の確立が必須であり、これらの技術の基本であり要となる各種有機、無機及び金属材料との相互作用に関する基礎・応用物性を精力的に研究し、データベースの

構築及び学問的体系化を図る必要がある。

この様な状況の下で、核融合炉の燃料となる重水素及びトリチウム並びに化学燃料としての水素の利用に対する総合的な学問的・技術的基盤の構築を推進するために、前身の水素同位体機能研究センターを改廃し、平成11年4月に学内共同教育研究施設として「水素同位体科学研究センター」が新たに設置された。本センターは、図 I -2 に示すように、放射性的トリチウムのみならず非放射性的の軽水素及び重水素の性質の詳細を明らかにするとともに、水素同位体の機能を引き出すための学問的・技術的基盤として、核融合炉工学、材料工学及び水素エネルギー科学等にまたがる新しい学問分野「水素同位体科学」の創設を目指し、次世代をにう持続可能なエネルギー供給源としての新水素エネルギーシステムの構築に対する基礎的研究および要素技術開発を目的とした。



図 I -2 水素同位体科学研究の目標と展望

設置以来、学内外の研究機関及び民間等との共同研究による社会との連携を積極的に活用し、上記三種類の水素同位体を安全かつ効率的に利用するための基礎的研究及び要素技術の研究開発を進めてきた。また、長いリードタイムを要するこの種の学際領域の研究には、後継者の育成が重要であるので学部・大学院生の教育にも力を入れ、新しい水素エネルギーシステムの構築を担う人材の育成に努めてきた。本センターは以上の研究・教育を通じ、将来の新水素エネルギーシステムの実現に向けて、学会、産業界ひいては社会の発展に寄与する。

## II. 研究をめぐる国内外の状況と課題

### 1. 現状

#### (i) トリチウム関連研究

核融合炉の早期実現を目指し、このために必要となるトリチウムに関する炉工学研究が、我国においては、大学及び日本原子力研究所(現在は独立行政法人・日本原子力研究開発機構)において精力的に行われている。前者による研究課題は基礎的研究が主であり、大きく分けると3つの研究領域から構成されている。即ち、①トリチウムの安全取扱い、閉じ込め及び生産-回収技術に関する研究、②トリチウムの生物影響に関する研究、および③トリチウムの環境動態に関する研究である。他方、後者では主として大量のトリチウムを使用した安全取扱いシステムの構築に関わる工学的試験及び研究開発である。この様に異なる研究機関での研究を総合的かつ効率的に推進するために、大学及び日本原子力研究所

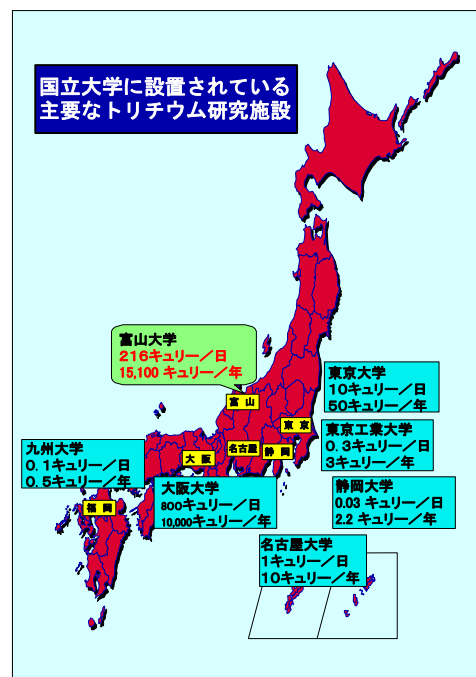
に民間機関等も加えた核融合研究ネットワーク体制が整備されている。このネットワーク体制の中に核融合炉工学ネットワークが組織されており、トリチウム研究等における情報交換、共同研究又は人的交流の促進のためにネットワークが活用されている。このように基礎的研究を主とする大学と実用的研究を基本とする試験研究機関等とが車の両輪のような形態で研究を推進しているのは諸外国と大きな相違点である。

一方、トリチウム取扱い量の側面より世界各国を眺めてみると、ヨーロッパ諸国(例えばイギリスのJET及びドイツのTLK)及び米国(TSTA(現在は施設を解体)及びINL)等の研究機関においては、日本原子力研究所と同程度又はそれ以上のトリチウムを用いて、工学的試験及び開発研究を実施しているが、大学等の参画は日本のように活発ではない状況にある。他方アジアに目を向けてみると、近年、核融合研究に力を入れてきた中国には、今のところトリチウム取扱い技術の研究開発に関する専門的な研究機関・施設は設置されていないが、今後設置される可能性がある。また、韓国は重水炉で生成するトリチウム水の処理技術の開発に絡んで、今後トリチウム取扱い技術の開発研究に精力を注いでいくことが予想される。

昭和 60 年に開催された米ソ首脳会談を契機に生まれた国際熱核融合実験炉(ITER)を実現しようとする計画に基づき、EU、日本、ソ連及び米国の 4 カ国によって概念設計及び工学設計活動がなされてきた核融合炉開発研究は、発足時から 20 年を経た昨年に大きな節目を迎えた。即ち、国際協力の下で設計活動が進められていた ITER の建設サイトがフランスのカダラッシュに決定された。これにより、核融合実験装置の建設と共に大量かつ高濃度のトリチウムを取扱うためのプラント建設等が始まり、今後 30 年という長期間にわたって活動が継続される。この ITER サイトでは数 kg(1gは約 10,000 Ci に相当する)という大量のトリチウムを使用して実験することになっている。なお、この際のトリチウムプラントの主たる任務はトリチウムの供給—回収—精製・分離作業であり、トリチウム安全取扱い技術の開発研究に供されるものではない。トリチウムプラントの建設に当たってはこれまでに研究開発された安全取扱い技術を基本的に採用するであろうが、この際に採用されるトリチウム取扱い技術が全て完成した技術であるとは言い難く、各種技術の高性能化及び新技術開発等の継続的な研究活動が必要であることは言うまでもない。

これらの事に加え、欧米諸国等のトリチウム研究機関は ITER 建設のための業務及びトリチウムプラントの運転業務などに専念せざるを得なくなり、トリチウム取扱い技術の高度化等に関する研究活動の継続が困難となる状況が予想される。従って、今後、我国におけるトリチウムの基礎的および応用的研究が国際的に重要な役割を担うと同時に共同研究、ワークショップ或いは国際会議等を通じて、これらの国々の研究者との交流及び ITER における問題点に関する情報交換等が重要となる。特に、ITER に続く原型炉(または実証炉)等の将来の核融合炉ではトリチウムの使用量が ITER に比べて飛躍的に増大すると共に連続運転となることを考慮するならば、トリチウム安全取扱い技術の高度化及び高効率化等に関する継続的な研究はもちろんであるが、研究の実施母体となる組織の整備及び人材の養成が益々重要となることは明らかである。

このような国内外の状況の中で本センターは、右の図Ⅱ-1 に示す様に、三種の水素同位体を同等レベルで取扱うことができ、トリチウム安全取扱い技術の確立に関わる各種の研究を実施し得る施設として、我国の大学では唯一の施設である。例えば、トリチウム研究では高濃度のトリチウムを用いる種々の研究開発用として「100Ciトリチウム取扱いシステム」が設置されている。本システムを本格的に運転するために、従来1日当たり36 Ci (1 Ci=37 GBq)及び1年当たり5,000 Ciであった使用許可量を変更申請し、平成14年5月には施設全体として一日当たり216 Ci 及び1年当たり 15,100 Ci のトリチウム使用承認を得た。トリチウムが放射性であるという特殊性のため本センターと類似のトリチウムレベルで実質的な研究を実施している大学は国内には無く、その殆どが一日当たり 0.1 Ci 又はそれ以下の取扱量による研究である。但し、高濃度のトリチウムを取扱っている研究センターとして



図Ⅱ-1 トリチウム研究施設の分布

では、大阪大学レーザー核融合研究センター（現在はレーザーエネルギー学研究センター）がある。当該センターではレーザー核融合実験に必要な燃料ペレットの調製に際して、トリチウム貯蔵容器からの供給・回収作業を行う。従って、トリチウムの取扱い作業を行うという点では類似しているが、トリチウムの安全取扱い技術に関する総合的な開発研究を実施している本センターとは特性が全く異なる。

最後に、新水素エネルギーシステムの実現が水素同位体の安全取扱い技術の確立及び人的養成なしでは有り得ないことを考慮するならば、本センターは水素同位体を同等レベルで使用して基礎的研究を実施し得る我国の大学における唯一の施設であり、重要な役割を担っている。

## (ii) 水素エネルギー関連研究

水素エネルギーシステムという言葉が作られて久しい。基本的に最もシンプルなエネルギー物質である“水素”を水から製造し、これを燃焼させ熱エネルギーを利用しようとするもので、地球全体の物質収支にもエネルギー収支にも影響を与えない理想的な循環型持続的エネルギーシステムである。しかしながら、現状においても水素の製造、輸送・貯蔵、利用技術等において問題が山積しており、環境・エネルギー問題を睨んだ研究が全世界的に続けられている。

我国では、水素エネルギーに関する国家プロジェクトが1974年から、「サンシャイン計画」および「ニューサンシャイン計画」の下で研究開発が進められてきた。更に1993年からの10年間、水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)の研究開発において、水力、太陽光、風力等のクリーンな再生可能エネルギーを水素に転換し、発電・輸送用燃料・

都市ガス等の広範な分野で利用するための研究開発が行われてきた。また、グローバルな水素エネルギーの有効利用を目指す研究開発(自動車、コージェネレーション、液体水素輸送・貯蔵、大規模水素製造関係等)も進められてきた。しかし燃料電池を中心とした研究開発が民間主導型で活発化したのに伴い、水素エネルギーの分散型利用が再度見直され、WE-NET 計画は当初計画より一年早く終了した。これに変わり、2003 年より新たに「水素安全利用等基盤技術開発」、「水素社会構築共通基盤整備事業」等に細分化されたプロジェクトが現在編成されている。一方、民間や地方団体レベルでも独自の水素関連プログラム、例えば「福岡水素エネルギー戦略会議」、「三重県総合水素エネルギー戦略会議」等、が大学等の研究機関を巻き込んで立ち上げられている。

海外でも水素エネルギーに関する国家プロジェクトが積極的に進められている。欧州ではユーロ-ケベック水素パイロットプロジェクトやソーラー hidroジェン エナジー 計画が企画され、ケベック州(カナダ)の豊かな水力発電やサウジアラビアでの太陽光発電を利用して生産した水素を液化後、欧州に輸送して大規模発電する構想が展開された。また、グリーンランドのブークセフィヨルデン計画では水力発電を利用して生産した水素を自国内各地で利用する試みがなされている。近年、欧州連合体として「欧州の水素および燃料電池イニシアティブ」綱領が発表され、水素エコノミーで欧州がリーダーシップを発揮するための青写真が立案されている。米国でも以前からエネルギー省(DOE)を中心に水素エネルギーに関連した数々のプロジェクトが行われてきたが、2004 年にブッシュ大統領による“水素燃料イニシアティブ”発表後、燃料電池を中心とした国家的な水素エネルギーの研究開発を大幅に促進するために、2005 年度大統領予算では 319 百万ドルもの予算が投入されている。また、国際社会の間でも相互協調が進んでおり、2003 年 5 月には欧州-米国間では水素エコノミーに向けての大規模な協調関係が合意されている。11 月には日本等を含めた 14 ヶ国を新たに加えた国際的な協力合意もなされている。海外における民間レベルの水素関連研究開発も非常に活発であり、既に多くのベンチャー企業が林立し、しのぎを削っている。

しかし、水素エネルギーに関連する多くの研究開発が長年行われているにも関わらず、未だに水素エネルギー社会は到来していない。これは、水素エネルギーシステムが単一の技術で完結するのではなく、水素が関与する様々な技術要素から構成されている総合的なシステムであることに起因する。それ故、水素エネルギー社会の実現には、製造、輸送貯蔵、利用などの個別技術について、基礎原理、エネルギー効率、エネルギーコスト、安全性などの多くの観点から、更なる総合的な検討が必要であり、それによる新たな技術・材料革新が求められている。例えば、燃料電池を中心とした水素利用が現在盛んに検討されているが、燃料電池においても個々の要素技術(電極触媒、高分子材料、セパレーター材料等)の更なる技術・材料革新がない限り、社会的普及には至らない。即ち現状では、「技術・材料の革新無くして水素エネルギー社会の到来は無い」と言える。

また、水素製造や輸送・貯蔵に関しても、決定的な方法は未だ確立されていない。それ故、多様な方法が現在でも模索されている。例えば水素製造において、従来の水力、太陽光、風力等のクリーンエネルギーによる水素製造、化石燃料からの高効率水素製造、最近では原子炉や発電所等の高熱による水の熱化学分解、更には最近話題となっているバイオマス

を用いたメタンやメタノールの生成も広義の意味で水素製造と位置づけられるだろう。また、水素輸送・貯蔵では水素液化、超高压ガス、水素吸蔵合金材料、有機水素化物等の検討が行われている。それでもなお、明確な方法が提示されていないということは、新たな概念の導入が必要な時期に来ているのかも知れない。

## 2. 課題

本センターは、将来の新水素エネルギーシステムの実現を目指し、このための基礎的研究及び要素技術の開発を目的とした。即ち、トリチウム関連では、トリチウムの挙動に関わる基礎的物性のデータ蓄積、各種のトリチウム安全取扱い技術の更なる高度化及び不足している取扱い技術の研究開発を実施することとした。他方、水素エネルギー関連は、水素の機能性を引き出すための要素技術及び新規材料の研究開発を実施することとした。これらの研究を効率的に推進するために、研究内容を大きく3つの研究分野に分けて精力的に推進する事とした。研究分野としては、基礎物性研究分野、応用物性・バックエンド技術研究分野及び素材循環研究分野から構成され、それぞれの研究分野ごとに次のような研究内容が設定された。

まず、基礎物性研究分野では、トリチウムの安全取扱いの基礎となる問題、即ち、材料中への溶解、拡散、透過及び極限物性(超高エネルギー、極低温)に関する基礎データベース並びにトリチウムの放射線効果及び同位体効果データベースの構築と学問的体系化を推進する。第2の応用物性・バックエンド技術研究分野では、トリチウムの基礎的物性の有効利用を図るためのトリチウム挙動の解明とその制御技術の開発並びにその応用としてのバックエンド技術、即ち、使用済みトリチウム取扱い材料並びに各種核融合炉材料からのトリチウム及び有効資源の回収・再利用技術の開発と学問的基礎の構築を図る。第3の素材循環研究分野では、大量の軽水素の一般的使用及び核融合炉における大量トリチウム使用時の燃料及び素材・材料の使用に関わる持続的かつ循環可能な資源的利用法に関する研究を推進する。

本センターの設置以来5年が経過した平成16年に国立大学の位置づけ及び組織が大きく変化した。即ち、国立大学から国立大学法人への移行である。これに伴い各大学は平成21年度までの6年間の中期目標・中期計画書を作成した。本センターの研究活動は、富山大学において重点的に取り組む領域として位置づけられ、次世代エネルギー(核融合、水素エネルギー)の研究開発を推進する事となっている。この中期計画に対してセンター自身の具体的な研究活動等に関する計画書が作成された。この研究活動の年次計画を次頁の図Ⅱ-2に示す。年次計画は、先に示した本センター設置当初の研究内容を念頭におき、より具体化した形で研究課題が示されている。なお、富山大学は平成17年10月に県内の3つの国立大学法人が統合し、新しい「富山大学」へと生まれ変わったが、本センターの中期計画に本質的な変更はなされていない。



# 水素同位体科学研究センターの研究活動に関する年次計画

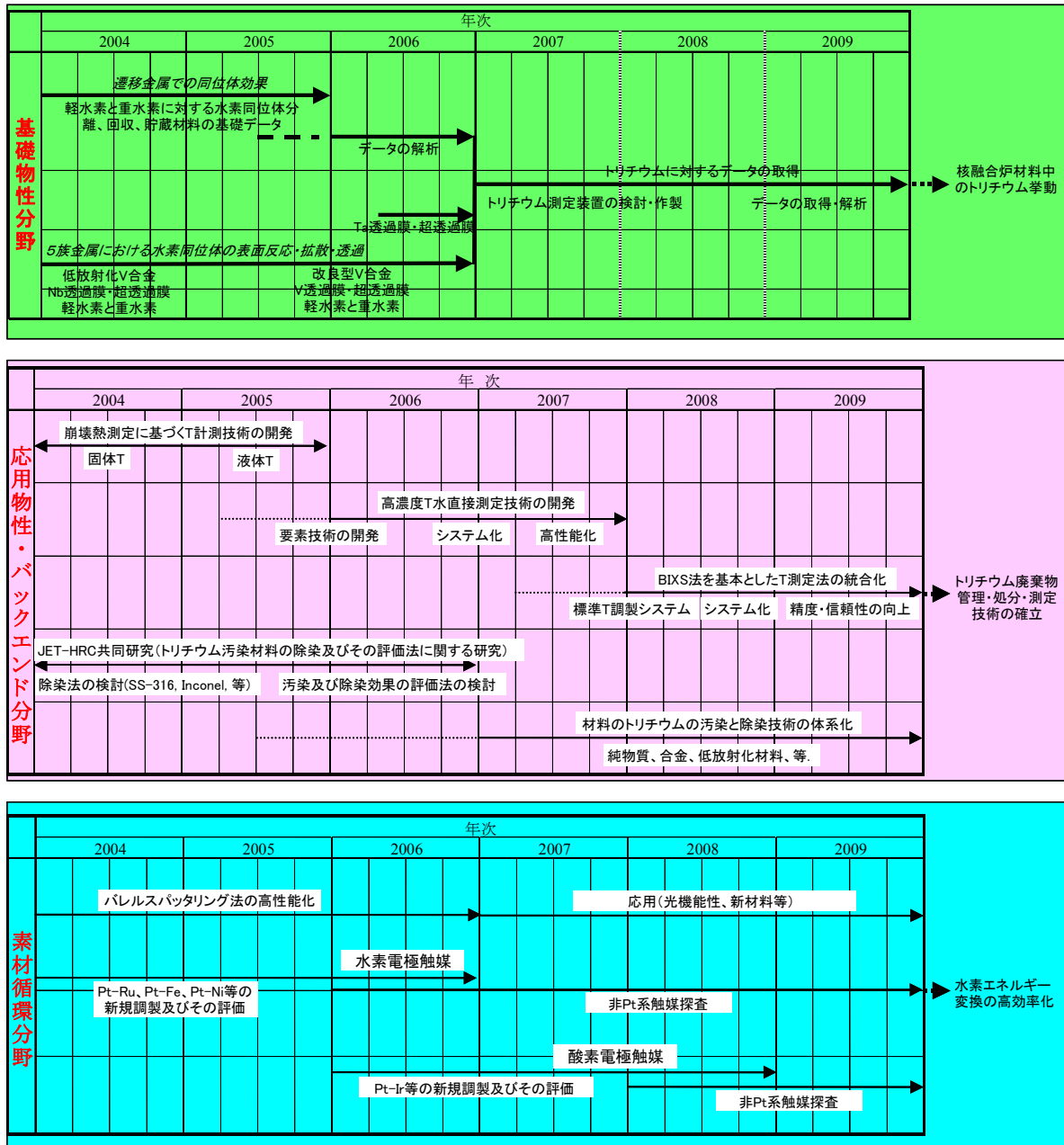


図 II-2 水素同位体科学研究センターの中期目標・中期計画に基づく年次計画

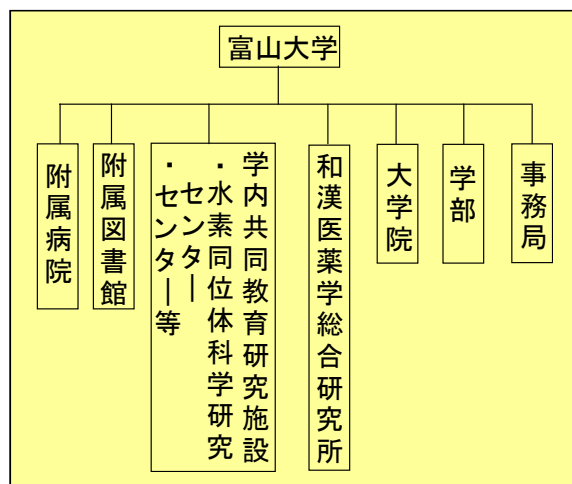
### Ⅲ. 研究体制の現状

本センターは平成 11 年度に教授 3、助教授 3、助手 1、技官 1 および客員教授 3、研究支援推進員 2、非常勤研究員 2 の定員で発足した。現在では学内組織の改編に伴い教授 3、助教授 3、助手 1、技官 1 および客員教授 3、研究支援推進員 1、非常勤研究員 1 で構成されている。

本センターは、図Ⅲ-1 に示すように、学内のどこの学部にも所属しない独立部局として位置づけられているが、理工学研究科(平成18年度からは理工学教育部)の一員として大学院における教育研究にも寄与できる体制が整えられている。

このような体制の下で、本センターでの研究は、下記に示すような

- ・専任教員による独自の研究
- ・理学部、工学部および教育学部(現:人間発達科学部)等との共同研究
- ・他大学および学外研究機関との共同研究
- ・民間等との共同研究
- ・上記の共同研究以外の分析装置類の共同利用



図Ⅲ-1 学内におけるセンターの位置づけ

等の5つの形態で取り組まれている。このほかにも、現在、ドイツ・カールスルーエ研究センター・トリウム研究施設、およびロシア連邦サンクトペテルブルグ・ボンシェブリエビッチ通信大学の研究所との国際共同研究、及び英国原子力公社との間で受託研究が遂行されている。

V章で詳細を示すが、学内外との共同研究はここ数年、年間 11～19 件程度で推移している。これは施設の規模、および装置・設備の整備状況、ならびに共同利用を支援すべき専任職員の人員数からして、ほぼ受け入れ可能限界に達しているものと判断される。

他方、装置類の共同利用希望者は増加傾向にあることを考慮すると、本センターには機器分析センター的な側面もあり、今後この側面が増強されることにより本学における教育研究に一層の寄与をなすことができるものと期待される。

## IV. 研究活動の状況

### [1] 研究成果の概要

本センターでの研究は、水素同位体の機能性を基礎および応用の両面から探求するための「1.基礎物性研究分野」、「2.応用物性・バックエンド研究分野」、及び「3.素材循環研究分野」の三分野に大別される。以下にそれぞれの分野での課題に対する主たる研究成果等の概要を示す。なお、個々の研究成果に対する詳細は次節に示す論文リストの各研究分野ごとの中で該当論文を参照していただきたい。

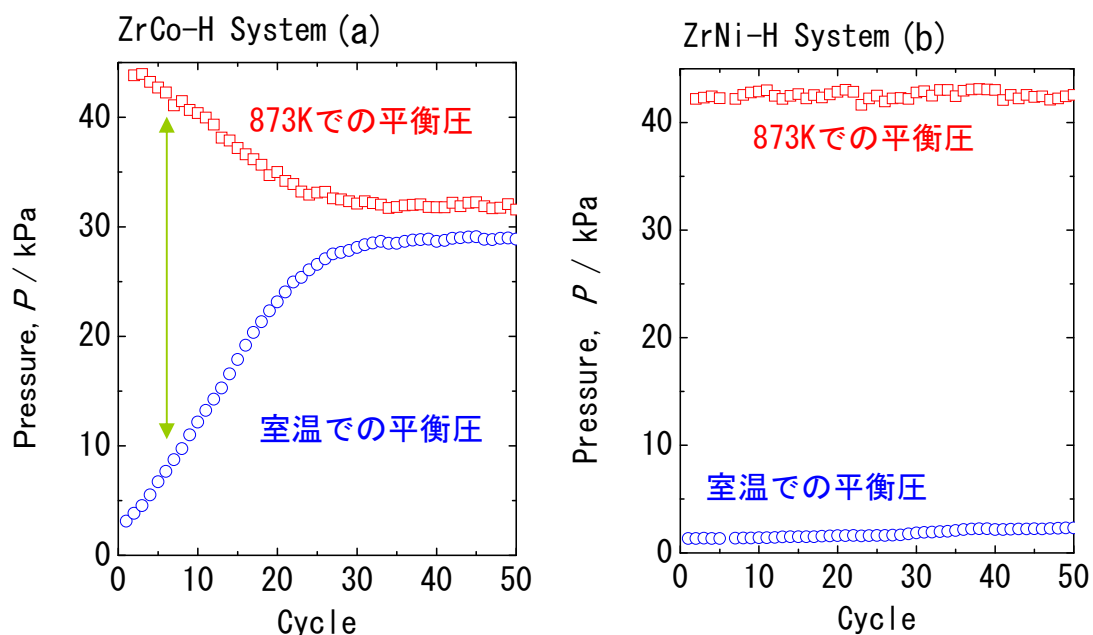
### 1. 基礎物性研究分野

#### 1.1 はじめに

本分野では、トリチウムおよび軽水素の安全取扱いに不可欠な機能性材料、ならびに核融合炉の建設に欠かせない低放射化材料中の水素同位体挙動に関するデータベースの構築を目指して研究を進めてきた。特に、トリチウム貯蔵材料として有望視されている Zr 合金、水素透過膜・超透過膜材料として期待されている 5 族金属 (V, Nb, Ta)、5 族金属をベースとする低放射化材料であるバナジウム合金、室温作動型水素同位体分離用ガスクロマトグラフ用充填材として開発が進められている Pd 合金に注目した。以下に、個々の研究について成果の概要を示す。

#### 1.2 Zr 系水素吸蔵合金の劣化機構

トリチウムを安全かつ効率よく貯蔵—供給するためには、室温近傍ではこれを安定に吸収し、適度な温度に加熱すると速やかに放出する固体材料が必要不可欠である。安定な水素化物(トリチウム化物)を形成する Zr と、より水素との化学的親和性が低い金属元素とを合金化することにより、その様な特性が引き出すことが可能であり、既にいくつかの合金系が提案



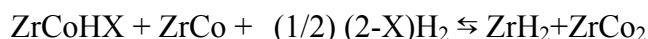
図IV-1-1 ZrCo 合金(a)および ZrNi 合金(b)の水素吸収—放出サイクル特性

されている。しかし、水素同位体の吸収－放出を繰り返すと、安定な Zr 水素化物と、水素同位体を吸収しないその他の成分に分解する「不均化反応」が起こり、貯蔵－供給性能が著しく劣化することが知られている。そこで本研究では、不均化反応のメカニズムを詳細に調べ、より高い耐久性を有する合金材料の開発指針を得ることを目的とした。

図IV-1-1(a)は ZrCo 合金について、室温での水素吸収－873K での放出を繰り返した際の吸収・放出量の変化を示している。初期には以下の反応により、約 45kPa 相当の水素を全量吸収－放出している。



しかし、吸収放出を繰り返すに従い、室温時の平衡圧が上昇すると共に(吸収量の減少)、873K での平衡圧が減少し(放出量の減少)、正味の吸収－放出量(赤い点と青い点の差)が急激に減少した。X線回折法による結晶構造解析などから、以下の反応により水素を放出しにくい Zr 水素化物  $\text{ZrH}_2$  と、水素吸収能を有しない  $\text{ZrCo}_2$  に分解する不均化反応が進行したことがこのような劣化の原因であることがわかった。



一方、図IV-1-1(b)は同様の実験を ZrNi について行った結果を示している。同条件で吸収－放出を繰り返したにもかかわらず、この合金では 50 サイクルまで顕著な劣化は示していない。同様の実験を  $\text{Zr}_2\text{Ni}$ 、 $\text{Zr}_2\text{Fe}$ 、 $\text{Zr}_2\text{Co}$  等についても行い、不均化特性を比較検討することにより、以下のような結晶学的特徴を有する合金が不均化に対し高い耐性を有することを見出した。

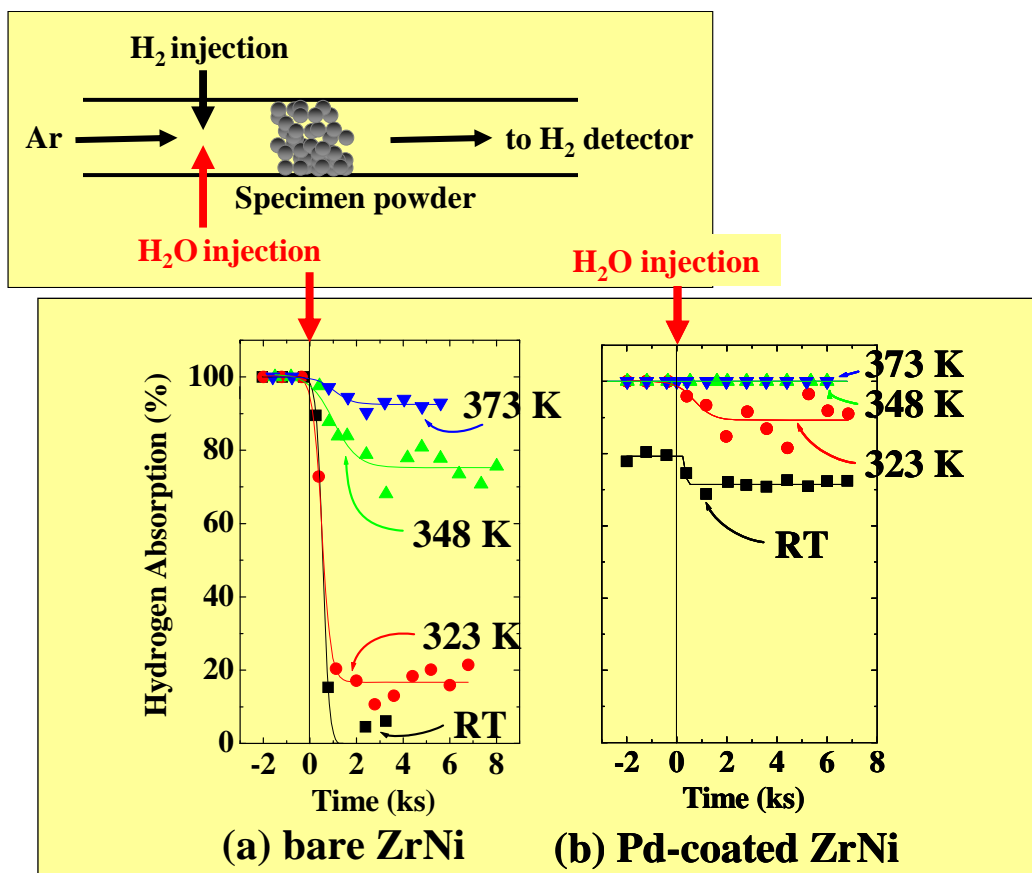
- ・水素化物生成時の格子膨張が等方的である合金
- ・水素が占有する格子間サイトの空隙が大きい合金

実際の核融合炉運転における吸収－放出サイクルは数万回にも及ぶことが予想されるため、今後はこの様な知見をもとに、より耐久性の高いトリチウム貯蔵合金の設計を進める予定である。

### 1.3 水素吸蔵合金の耐被毒性の向上

水素・トリチウム吸蔵合金の表面に酸化膜などの被膜が形成されると水素同位体の吸収・放出速度が著しく減少する。このような水素同位体ガス中の不純物による「被毒」は、不均化とならぶ水素・トリチウム吸蔵合金の主要な劣化機構の一つである。

不純物による被毒は耐酸化性および水素透過性に優れる Pd で水素・トリチウム吸蔵合金の表面を改質することにより防止できると考えられるが、粉末状態で用いられる水素・トリチウム吸蔵合金の表面を高効率かつ均質に改質することは容易ではない。本研究では、従来から粉末の表面改質法として広く用いられている無電解めっき法と、本センターで開発された新たな粉末修飾法であるバレルスパッタ法により ZrNi 合金粉末表面に Pd を塗布し、その性

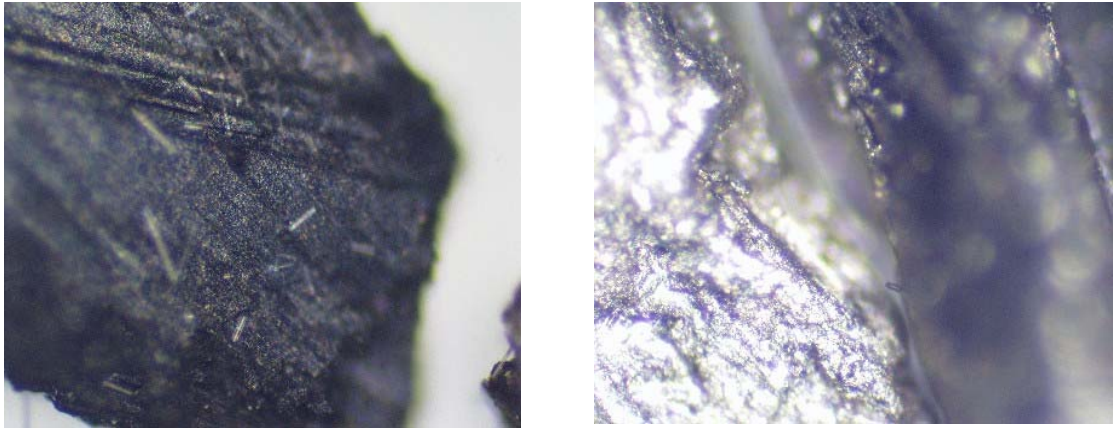


図IV-1-2 ZrNi合金(a)およびバレルスパッタリング法によりPd被覆したZrNi合金(b)の水蒸気に対する耐被毒特性

能を比較した。バレルスパッタリング法は、スパッタ装置の胴体部分を回転させ粉体を攪拌しながら成膜する手法である。詳細は応用物性・バックエンド分野で述べられているので、ここでは省略する。

まず、表面改質を施した合金粉末を図IV-1-2 上部に示すようにカラムに充填し、試料を所定の温度に保ちながら Ar ガスを流した。カラム上流に定期的に Ar 気流中へ  $8 \times 10^6$  mol の水素ガスをパルス状に注入し、下流側へ流出する水素量をガスクロマトグラフ法で測定した。試料が健全であれば全ての水素が吸収されるため、流出量はゼロとなる。一方、表面が被毒され水素吸収速度が減少するのに伴い、下流側への流出量が大きくなる。また、Ar ガスをカラム上流において水バブラ中を通過させ、600 ppm の水蒸気を導入し、吸収率の変化を調べた。

典型的な実験結果の例を図IV-1-2 下部に示す。(a)は表面改質を行っていない ZrNi 粉末試料、(b)はバレルスパッタ法により厚さ約 270 nm のパラジウム膜を成膜したものについての結果である。表面改質を行っていない ZrNi 粉末では、水蒸気を添加する前は注入した水素をほぼ 100%吸収しているが(時間軸が負の領域)、水蒸気を添加すると共に吸収率が大きく低下し、室温では完全に吸収活性を失っている。これに対し Pd 膜でコーティングした場



(a) bare ZrNi

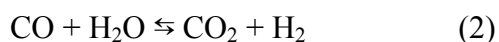
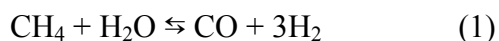
(b) Pd-coated ZrNi

図IV-1-3 耐被毒特性試験後の ZrNi 合金(a) Pd 被覆 ZrNi 合金(b)の光学顕微鏡写真

合には、室温で初期水素吸収率がわずかに低下しているものの、水蒸気の影響はほとんど受けておらず、Pd コーティングにより耐被毒特性が格段に向上していることがわかる。図IV-1-3に実験後の試料の光学顕微鏡写真を示す。表面改質を行っていないZrNi粉末は酸化され黒色になっているが、Pd コーティングした試料は金属光沢を保っており、耐酸化性が向上していることは明らかである。しかし、吸収した水素を放出させるために 573 K に加熱したところ、Pd と Zr が反応して金属間化合物 ZrPd が形成された。これに伴い、酸化されやすい Zr が表面に露出し、被膜の保護性能が急激に低下した。水素放出のための加熱時における Pd と下地金属の反応を防止することが、今後の重要な課題の一つである。なお、無電解めっきを施した試料では、めっき後 Pd 被膜と下地合金の密着性を高めるため 1073 K に加熱する必要があり、調製時点で既に表面に ZrPd が形成されていた。そのため、表面改質を施していない試料に比べると特に高温 (523～573 K) で高い耐被毒性を示したが、バレルスパッタ法で調製した試料には及ばなかった。

#### 1.4 複合材料水素透過膜の開発

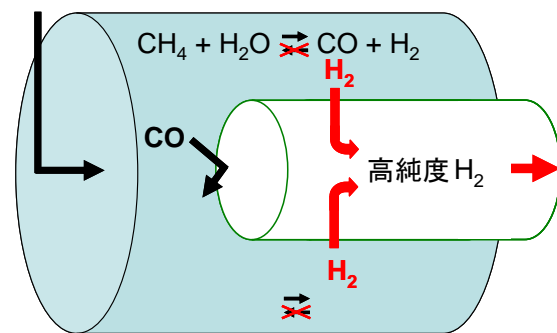
現在用いられている水素の大部分は、天然ガスなどの化石燃料を起源とする炭化水素の水蒸気改質により製造されており、核融合炉発電による水電解など、画期的な水素製造技術が開発されるまでの当面の間は、炭化水素が主たる水素源となり続けると考えられている。天然ガスの主成分であるメタンの改質反応を例として以下に示す。



式(1)で示される反応は吸熱反応で、効率的に反応を進行させるためには 1000 K 以上の高温に加熱する必要があり、エネルギー効率の観点で問題がある。また、未反応の CO が

水素に混入すると燃料電池触媒を被毒するため、改質装置の後段に大規模な水素精製装置を設置する必要がある。図IV-1-4に示すように、反応容器中に水素を選択的に透過する分離膜(水素透過膜)を設置すると、水素へのCOの混入を防ぐことができ、且つ式(1)における逆反応を抑えられるので、800 K程度の比較的低温で高効率に水素を製造できる。このような反応装置はメンブレンリアクターと呼ばれ、現状ではPd-Ag合金膜が透過膜として使用されている。しかし、高価

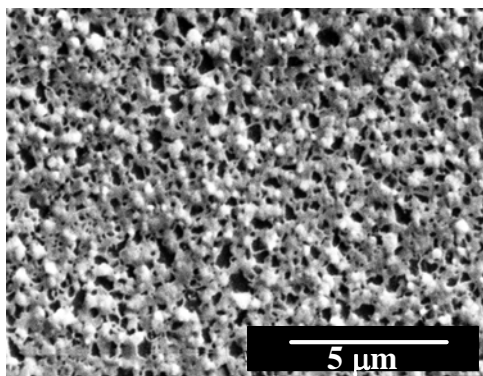
天然ガス・バイオマス炭化水素



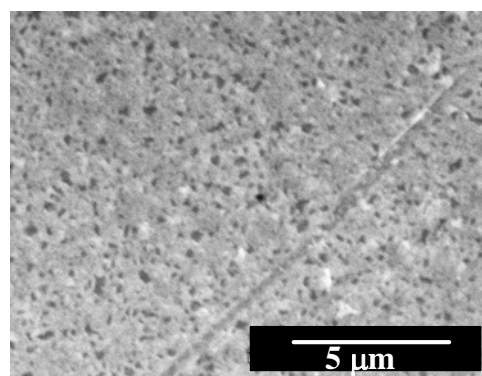
図IV-1-4 メンブレンリアクターの模式図

な材料であり、一般への普及へ向け安価でより高性能な材料の開発が要望されている。5族金属(V, Nb, Ta)はPd-Ag合金に比べ安価であり、且つより高い水素透過能を有しており、代替材料として有望視されている。ただし、5族金属(V, Nb, Ta)は耐酸化性に乏しく、表面の被毒を防ぐためPdコーティングを施す必要がある。ここでも、Pdと5族金属の反応による保護性能の劣化が問題となる。そこで本研究では、Pdと5族金属の反応を防止するための中間層材料を探索した。当然のことながら、中間層材料にも高い水素透過能が求められる。

まず、5族金属の炭化物が優れた熱的・化学的安定性を有することに注目し、これらの中から中間層としての適正を評価した。NbとPdの間に厚さ300 nmのNb<sub>2</sub>C層を挿入し、真空中において773 Kで4時間加熱した後の走査電子顕微鏡写真を、中間層がない場合と比較して図IV-1-5に示す。中間層がない場合には、平滑であった表面が多孔質化している。空隙中ではPd濃度が低下しており、PdがNb中へ溶解したことが示唆された。また、X線回折法による分析の結果、PdとNbの金属間化合物Pd<sub>2</sub>Nbが形

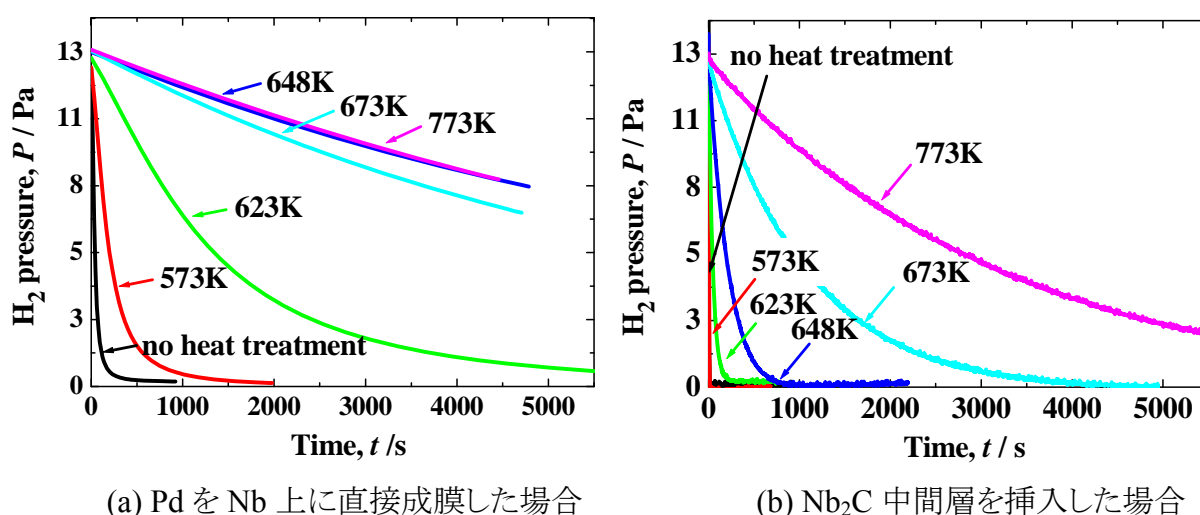


(a) PdをNb上に直接成膜した場合



(b) Nb<sub>2</sub>C中間層を挿入した場合

図IV-1-5 Pd被覆したNb試料を真空中で773 Kに4時間加熱した後の走査電子顕微鏡写真



図IV-1-6 真空中で1時間加熱処理したPd被覆Nb試料の573 Kにおける水素吸収特性  
(図中に示した値は、真空加熱時の温度)

成されていることがわかった。一方、中間層を挿入した試料では、空隙は形成されて入るものの、その大きさは小さく、また数密度も低かった。加えて、金属間化合物の形成も見られなかった。以上のことから、炭化物中間層がPdとNbの反応速度を大きく低下させていることがわかる。

図IV-1-6は中間層がないPd被覆Nb試料およびNb<sub>2</sub>C中間層を挿入した試料を图中的温度で1時間加熱し、その後373 Kで水素吸収実験を行った結果である。閉鎖系で吸収実験を行っており、圧力が速やかに減少している方が、水素吸収速度が速いことを意味している。中間層がない試料では、加熱前は圧力が速やかに減少し、Pd被膜が健全であることがわかる。しかし、573 Kで加熱した後は吸収速度が明らかに現象している。加熱温度を上げると吸収速度はさらに減少し、648 Kでほぼ完全に劣化している。一方、Nb<sub>2</sub>C中間層を挿入した試料においても、加熱前は水素が速やかに吸収されており、中間層が十分な水素透過速度を有していることがわかる。また、623 Kに加熱しても、有意な水素吸収速度の減少は見られなかった。加熱温度を上げると水素吸収速度は減少したが、同条件で中間層がない試料と比較すると常に高い水素吸収速度を示していた。

以上のように、炭化物を中間層として用いるとPdとNbの反応を遅延できることが明らかとなった。しかし、未だ実用レベルの耐久性を付与するには至っていない。そこで、今後他の炭化物や物性が類似している窒化物についても同様の実験を行い、さらに優れた性能を有する中間層材料を探索する予定である。

### 1.5 5族金属中における水素同位体の透過および超透過挙動

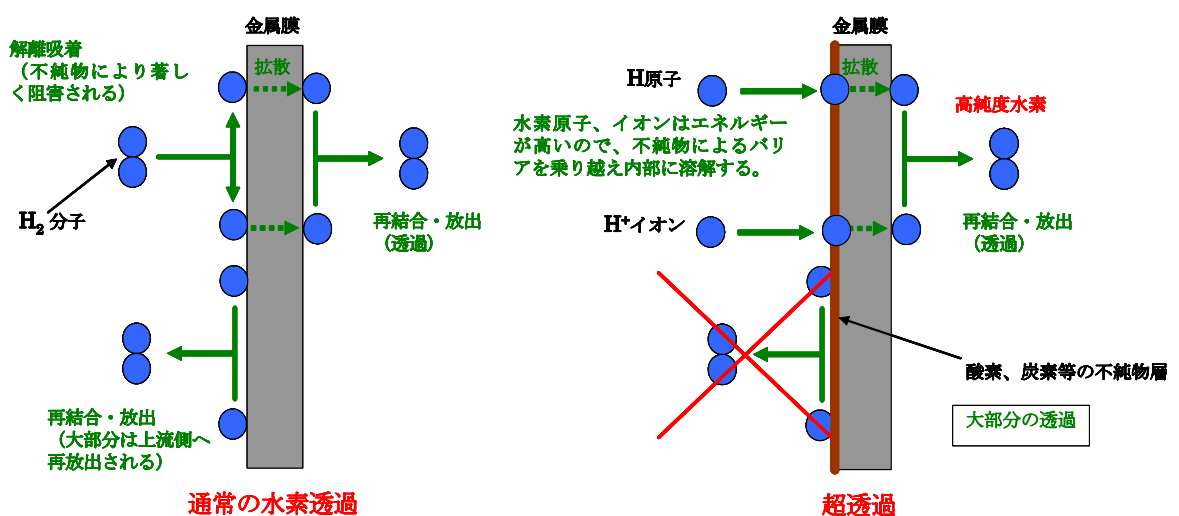
5族金属(V, Nb, Ta)は通常の水素透過膜としてのみならず、核融合炉周辺プラズマからの燃料粒子排気やトリチウム回収に用いられる超透過膜の材料としても期待



されている。超透過とは、表面が酸素や硫黄などの非金属不純物の単層吸着層に覆われている金属膜の表面に、水素同位体原子やイオンが入射したときに起こる現象である（図IV-1-7）。既に解離した状態にある水素同位体原子やイオンの溶解過程は非金属不純物吸着層による影響をほとんど受けないが、気相への再結合放出は著しく抑制されるので、入射した水素同位体の大部分が下流側へ透過する。これが超透過と呼ばれる所以である。しかし、核融合炉の炉心には燃料粒子である水素同位体や核融合反応生成物である He のほか、不純物として酸素や炭素が存在する。これらの不純物が厚い酸化膜層や炭素堆積層を形成すると、水素同位体原子やイオンも 5 族金属バルク中へ到達できなくなり、透過速度が著しく減少してしまう。原理的には、超透過膜を高温で運転すると表面に吸着した酸素や炭素がバルク内部へ拡散・溶解するため、このような問題は回避できる。しかし、透過性能が維持される下限温度は必ずしもわかっておらず、またバルク中へ蓄積される不純物の透過挙動への影響や、高濃度に不純物が蓄積した試料の再生方法も明らかとなっていない。そこで本研究では酸素に注目し、バナジウムやニオブ表面での酸化膜形成が防止できる下限温度、バルク中に蓄積された酸素の透過挙動への影響、および使用済み超透過膜からの酸素除去法を検討した。

まず、自然酸化膜が形成されているバナジウムおよびニオブ試料を表面分析装置内で加熱し、酸化膜を構成している酸素が内部へ拡散しはじめる温度を測定した。その結果、573 K 程度で酸化膜が消失しはじめることがわかった。実際に水素透過実験を行ったところ、同程度の温度で酸化膜の影響が消失することが確認された。

次に、内部へ蓄積された酸素が透過挙動へ及ぼす影響を調べるために、気体吸収法によりバナジウムおよびニオブ中に酸素を 3 at%程度まで溶解させ、原子状水素の捕獲係数  $\alpha_H$  を測定した。捕獲係数とは、超透過膜表面に衝突した粒子が内部へ溶解する確率に相当し、超透過膜を使用する条件下では透過速度は  $\alpha_H$  に比例する。また、分子状水素の反応速度に関する情報を得るため、水素分子の捕獲係数  $\alpha_{H_2}$  もあわせて測定した。



図IV-1-7 通常の水素透過と超透過の違い

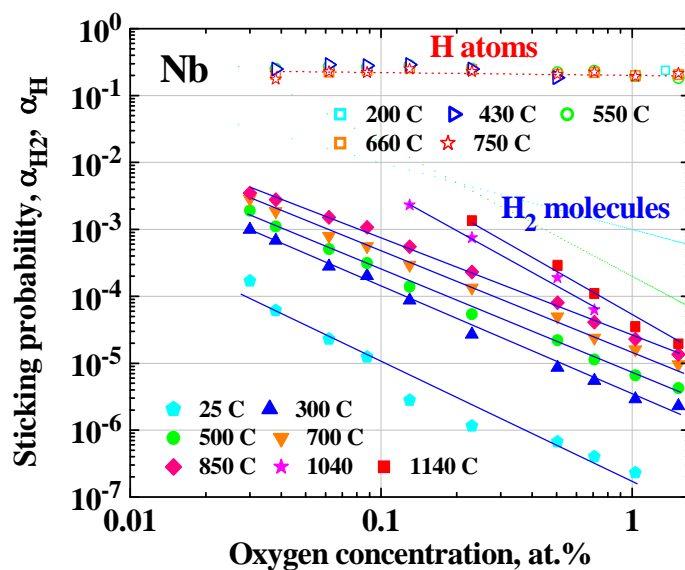
その結果をニオブの場合を例として図IV-1-8 に示す。この図で注目すべき点は、原子状水素の捕獲係数 $\alpha_H$ が広い酸素濃度および透過膜温度範囲において全く変化していないという点である。この結果は、酸素が3 at%程度までバルク中に蓄積されても、超透過特性は劣化しないということを示している。一方、分子状水素の捕獲係数 $\alpha_{H_2}$ は、バルク中酸素濃度の増大と共に数桁にわたって減少した。分子状水素の反応速度が減少することは、図IV-1-8 における再結合・放出速度が低下することを意味しており、超透過特性の面からはプラスの影響と言える。詳細な解析の結果、このような分子状水素反応速度のバルク中酸素濃度依存性は、(1)単層酸素吸着層で覆われたニオブ表面において酸素原子が欠落したサイト(酸素空孔)が存在し、これが2つ結合した複空孔が分子状水素の反応サイトとなっていること、および(2)バルク中の酸素濃度が増大すると表面の酸素空孔濃度が低下すること、によって説明できることがわかった。不純物で覆われた金属表面と水素分子の相互作用は、表面科学の重要な課題であり、多くの研究例が報告されているが、このような不純物空孔の存在はほとんど考慮されておらず、本研究の結果は重要な問題提起となった。なお、酸素濃度が増大するとバナジウム、ニオブ共に脆化したが、通常の運転条件では破壊に至ることはなかった。

酸素を3 at%まで溶解させたニオブ膜を水素プラズマ内に挿入し、1113 Kにおいて負にバイアスしたところ、酸素が連続的に表面偏析すると共に水素イオンによりスパッタされ、約10時間でバルク中の酸素濃度が0.06 at%に低下した。また、高濃度に酸素を溶解しているニオブおよびバナジウムにさらに炭素を溶解させ、1700 K程度に加熱すると、両者がCOとして除去できることがわかった。これらの手法を用いることにより、使用済みの超透過膜を再生・リサイクルできるものと考えられる。

酸素を3 at%まで溶解させたニオブ膜を水素プラズマ内に挿入し、1113 Kにおいて負にバイアスしたところ、酸素が連続的に表面偏析すると共に水素イオンによりスパッタされ、約10時間でバルク中の酸素濃度が0.06 at%に低下した。また、高濃度に酸素を溶解しているニオブおよびバナジウムにさらに炭素を溶解させ、1700 K程度に加熱すると、両者がCOとして除去できることがわかった。これらの手法を用いることにより、使用済みの超透過膜を再生・リサイクルできるものと考えられる。

## 1.6 低放射化材料中の水素同位体挙動

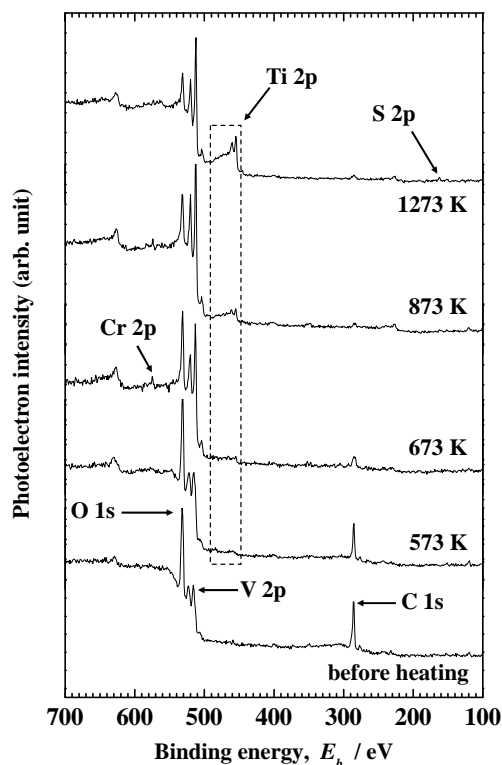
核融合反応で生じる高速中性子が炉構成材料に照射されると、内部で核変換が起こり、放射能が生じる。このような現象を放射化と呼ぶ。生成する放射性核種の量と半減期は材料構成元素によって大きく変化するため、核融合炉の炉心建設にあたっては、放射化しにくい、あるいは生成した放射能が速やかに減衰する元素のみで構成される「低放射化材料」を用いる必要がある。バナジウム合金は代表的な低放射化材料であり、日米露などで精力



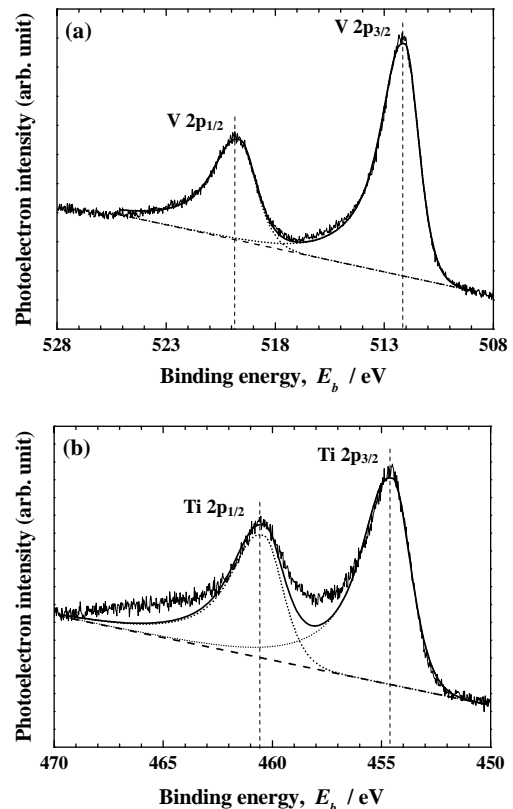
図IV-1-8 ニオブ表面における原子状および分子状水素の捕獲係数 ( $\alpha_H$  および  $\alpha_{H_2}$ ) のバルク中酸素濃度依存性

的に研究開発が進められている。しかし、トリチウムを含む水素同位体との化学的親和力が高い材料であり、炉心構造材料として用いる場合には、この点が欠点の一つとなる。事故時の安全性を考えると、核融合炉システム内に滞留する総トリチウム量は少ない方が望ましいが、バナジウム合金が高濃度にトリチウムを溶解すれば、炉心の滞留量が増大する可能性がある。また、燃料であるトリチウムの有効利用の観点からも望ましくない。さらに、大量の水素同位体を吸蔵すると、合金自体が脆化するという問題も生じる。そこで本研究では、レファレンス材として広く研究されている V-4%Cr-4%Ti 合金について、水素同位体の侵入を低減化するための表面処理方法を検討すると共に、合金内部へ侵入したトリチウムの分布と微細組織との関係をイメージングプレート法により調べた。

核融合科学研究所より提供された V-4%Cr-4%Ti 合金試料(NIFS-Heat-2)を真空中で加熱し、X線光電子分光法により表面状態の変化を調べたところ、図IV-1-9 に示すように 873 K 以上の温度で表面にチタンが偏析することがわかった。バルク中の濃度が 4 at%であるにもかかわらず、1273 K で加熱した後の表面濃度は 20 at%以上に増大した。また、バナジウムとチタンの 2p 光電子スペクトルを解析した結果、バナジウムの場合には金属状態のスペクトルとほぼ一致するのに対し(図IV-1-10(a))、チタンのスペクトルは高エネルギー側にテイルを示しており、チタンが選択的に酸素と結合していることが示唆された(図IV-1-10(b))。こ



図IV-1-9 真空中で加熱した V-4%Cr-4%Ti 合金の光電子スペクトル



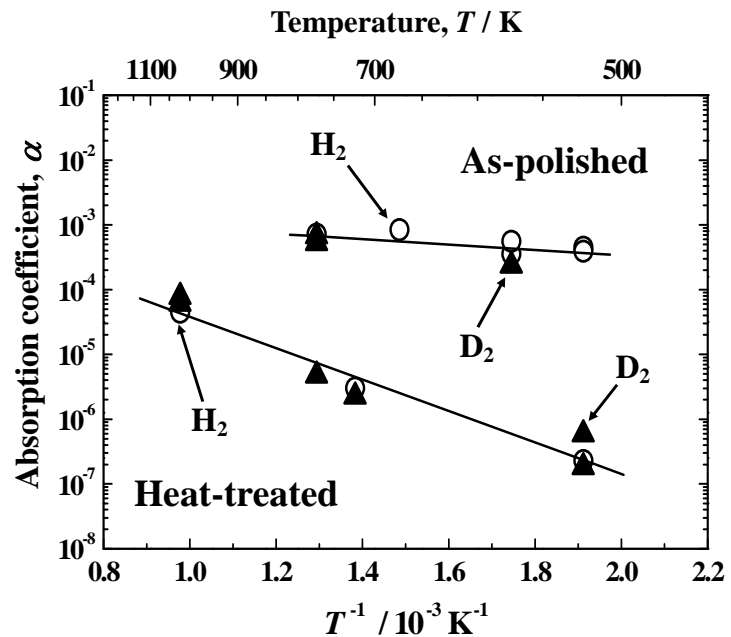
図IV-1-10 1273 K に加熱した後のバナジウム (a)およびチタン(b)の 2p 光電子スペクトル

これらのことから、一旦真空中で高温に加熱し Ti を表面偏析させれば、その酸化物が水素同位体の侵入に対し障壁として働くと考えた。

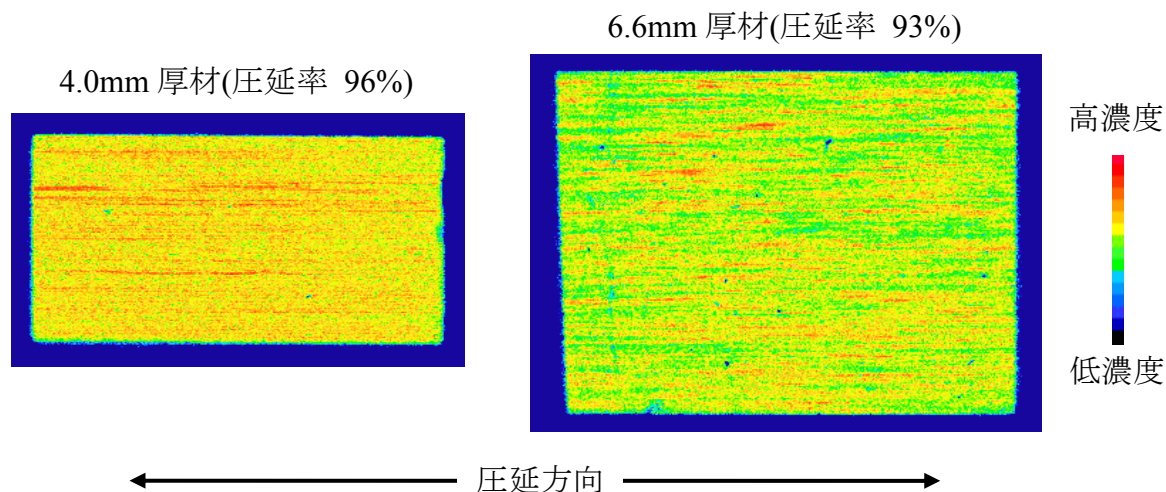
そこで、表面を機械的に研磨した V-4%Cr-4%Ti 合金試料および真空中で 1273 K に加熱し Ti を表面偏析させた試料について、水素同位体吸収実験を行った。その結果を図 IV-1-11 に示す。Ti を表面偏析させた試料では、広い温度範囲にわたって、水素同位体の溶解速度が 2~3 桁減少している。すなわち、真空加熱という比較的単純な方法で、高性能な水素同位体の侵入に対する表面障壁を形成できることを見出した。これまでは、同様の目的のため厚い酸化物被膜でコーティングすることなどが試みられてきたが、被膜と基板合金の熱膨張率の違いにより亀裂が発生するなどの問題もあった。本研究で見出された表面障壁は機械的に破損することはなく、たとえ何らかの原因で障壁効果が消失したとしても、真空中で過熱するだけで再生できるというユニークな特長を有している。

また、合金中へ侵入した後の水素同位体の挙動を調べるために、製造条件がことなる種々の V-4%Cr-4%Ti 合金試料中に重水素で希釈したトリチウムを溶解させ、その分布をイメージングプレート法により測定した。イメージングプレートは一種の蛍光板であり、放射線を照射したのち表面をレーザーで走査すると、照射線量に比例した蛍光を発する。すなわち、トリチウムから放出される  $\beta$  線の強度分布より、水素同位体の濃度分布を知ることができる。

圧延率が異なる板状試料についての典型的な結果を図 IV-1-12 に示す。圧延方向にそって帯状にトリチウムが集積した領域が形成されており、製造時に発達した微細組織がトリチウム分布に影響を及ぼしていることは明らかである。本合金中にはチタンが機械的特性に有害な炭素・窒素・酸素などを捕獲することにより形成される析出物が圧延方向にそって分布しているが、この析出物が水素同位体をも捕獲するため、このような分布が生じていると考えられる。また、圧延率が高い試料の方が、帯状集積部とマトリックスのトリチウム濃度差が小さく、水素同位体の分布がより均一であることがわかる。同様の濃度に水素を溶解させた試料について衝撃試験を行ったところ、圧延率が高い試料の方が良好な特性を示し、また試料間のばらつきも小さいことが明らかとなった。



図IV-1-11 機械的に表面研磨した V-4%Cr-4%Ti 合金試料および真空中で 1273 K に加熱し Ti を表面偏析させた試料の水素同位体吸収速度の比較。



図IV-1-12 圧延率が異なる V-4%Cr-4%Ti 合金試料中のトリチウム分布

トリチウムは重水素で希釈されており、全水素同位体の平均濃度は 1500 at. ppm、トリチウムの平均濃度は 4 at. ppm である。各合金試料は冷間圧延の後、1273 K で 2 時間焼鈍されている。

これまでの多くの研究では、水素同位体の平均濃度と物性値の関係のみが議論されているが、本研究の結果は濃度分布の把握が重要であることを明確に示している。水素同位体の濃度分布を知る上で、放射性同位元素であるトリチウムを用いることは極めて有効であり、本センターの特長を活かした物性データベース構築の一環として、今後は他の材料についても水素同位体分布と物性の関係を系統的に調べる予定である。

### 1.7 Pd 基合金による水素同位体吸収の熱力学的及び速度論的同位体効果の検討

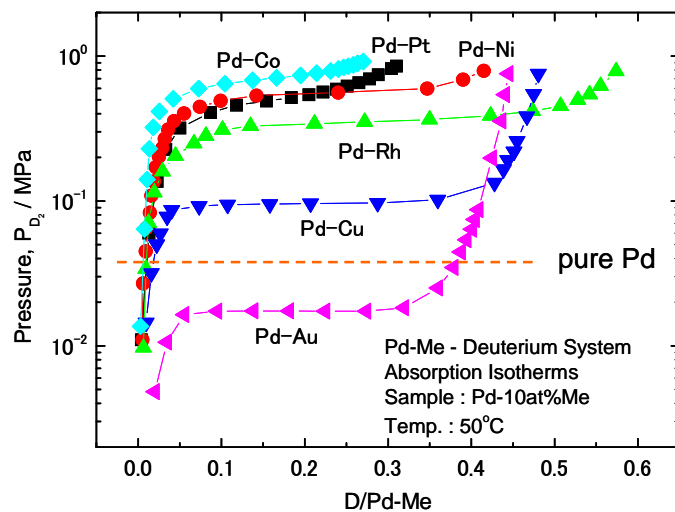
パラジウムおよびその合金中における水素化物の解離圧に大きな同位体効果がある。本センターでは、このような特性を利用し、パラジウム合金を分離材とするガスクロマトグラフ方式の水素同位体分離システムを開発した。パラジウム合金微粒子を充填したカラム中に水素同位体の混合ガスを導入すると、まず水素化物が最も不安定なトリチウムがカラムを通過し、次いで重水素が、最後に軽水素が流出する。この時間差を利用して水素同位体を分離する。このシステムの最大の特長は、室温付近で水素同位体が分離できる点である。従来の方法ではカラムを低温(例えば液体窒素温度)に冷却する必要があったが、放射性同位元素であるトリチウムを大量に取り扱う同位体分離システムは通常グローブボックス中に設置されるため、冷却・加熱は容易ではない。従って、室温付近で動作可能であるということは、トリチウムの分離においては大きなメリットとなる。また、従来の方法では分子状での吸着を利用するため、HT や DT など異なる同位体から構成される分子からトリチウムを分離することは原理的に不可能である。本システムでは、水素同位体分子は一旦解離してパラジウム合金中に吸収されるため、HT や DT などからもトリチウムを分離することができる。

原理的には純パラジウムでも同位体分離は可能であるが、室温では水素化物の解離圧が低すぎ(水素化物が安定でありすぎ)るため、加熱する必要がある。そこで、水素同位体の化学的親和力が低い金属元素と合金化することにより、水素化物を不安定化させる必要がある。そこで、最も適した合金元素を選択するためのデータベース構築を目的として、周期

表上で Pd を取り巻く各元素との合金について (Pd-Me: Me=Co, Ni, Cu, Rh, Ag, Pt, Au)、水素化物解離圧とその同位体依存性を調べた。

図IV-1-13 に 323 K で測定した重水素の吸収等温線を示す。合金中の重水素濃度  $D/Pd-Me$  が増大するに伴い、初期には平衡重水素圧  $P_D$  が増大しているが、その後一定となり ( $D/Pd-Me = 0.05 \sim 0.4$  程度までの領域)、高濃度領域では再び増大に転じている。この一定値となっている領域での重水素圧が解離圧に相当する。原子半径が大きい Au を転化した場合には、金属格子が広がることにより、純パラジウムと比べて解離圧が低下した。一方、その他の元素では、合金化により解離圧が増大している。ここで注目すべき点は、Cu を加えた場合の解離圧の増大が、他の添加元素と比べ小さいことである。この結果は、Cu を大量に添加しても解離圧が過度に増大することないことを示している。先述のように、Pd は資源量に乏しく高価な材料であり、これを大量の Cu で置換できることは、本同位体分離システムの低コスト化に直結する。

なお、同様の手順で軽水素についても解離圧を測定し、重水素の値と比較したところ、全ての合金系において純パラジウムと同程度の同位体効果が得られた。すなわち、Cu を大量に添加しても高い同位体分離性能を維持できることがわかった。今後は、トリチウムについても吸収等温線を測定し、同位体効果を確認する予定である。また、全ての合金系で純パラジウムと同程度の同位体効果が得られたことは、水素同位体原子をとりまくポテンシャル場の形状に変化がないことを示しており、水素同位体の存在状態を解明する上で重要な情報である。



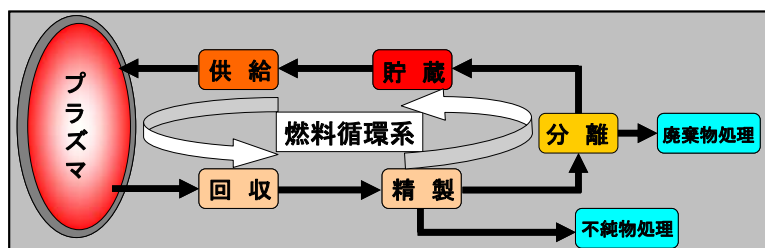
図IV-1-13 種々の Pd 合金の 323 K における重水素吸収等温線

## 2. 応用物性・バックエンド研究分野

### 2.1 はじめに

第一世代の核融合炉では燃料として大量の重水素（D）と三重水素（トリチウム：T）の水素同位体を使用される。しかし、後者のトリチウムは放射性同位元素であり、常温では気体であるため散逸性が高く、材料中の透過能も大きく、爆発限界の濃度範囲も広い。また、資源として自然界には殆ど存在せず、その存在量は軽水素（H）の約  $1 / 10^{18}$  程度であり、中性子との核反応によって生産する以外に手段はなく有効利用が求められる。

これらのことより、D-T核融合炉を実現するためには、図IV-2-1に示すような核融合炉の燃料循環系において、「トリチウムの安全取扱い技術及び安全閉じ込め技術の確立」が必須条件となる。



図IV-2-1 核融合炉用燃料循環システムの概略図

前センター時代にトリチウムの貯蔵－供給－回収に関わる基本的な要素技術の開発が行われた。次いで検討すべき課題は精製・分離技術であるが、これらの課題を展開するためには共通技術としての計測及び除染技術の検討も不可欠である。このような観点より、本研究分野では、トリチウムの計測、分離及び除染に関する要素技術の開発及びその応用に関する検討結果について述べる。

### 2.2 高濃度トリチウム測定技術の研究開発

トリチウム量或いは濃度の測定法としてこれまでに報告され、実際に使用し得る色々な測定法を表IV-2-1にまとめて示す。なお、表中の○及び△印は使用に際しての

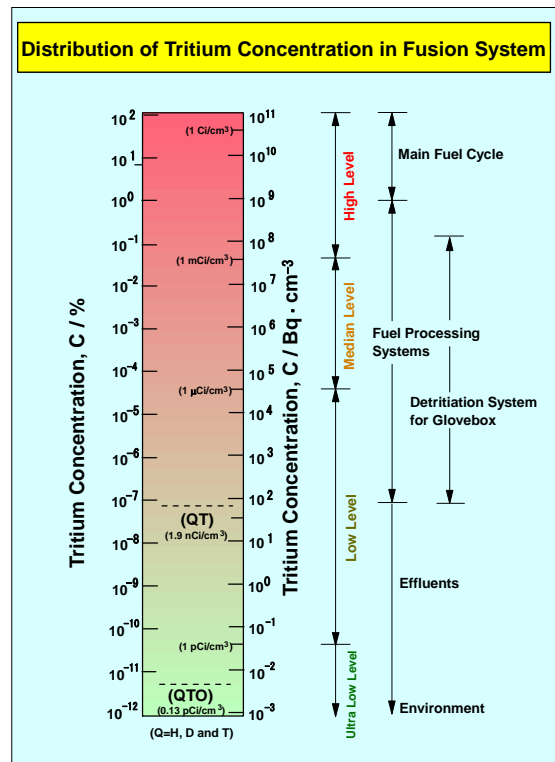
表IV-2-1 トリチウム量又は濃度の各種測定法

Method / Device	Common Working Range	physical state			Real-time Measurement	Remark
		gas	liquid	solid		
Volumetry	~ above 370 MBq	○	---	---	---	requirement of purity data
Gravimetry	~ above 3.7 GBq	---	△	△	---	requirement of purity data
Calorimeter	~ above 3.7 GBq	○	○	○	---	large amount of tritium
Mass Spectrometer	~ below 10 <sup>-3</sup> Pa	○	---	---	△	processing of exhaust gases
Gas Chromatography	~ below 37 GBq	○	---	---	---	processing of effluent gases
Infrared Absorp. Spectrom.	~ above 1 Pa	---	○	△	△	stability of infrared beam intensity
Laser Raman Spectrometer	~ above 100 Pa	○	---	△	△	stability of laser beam intensity
Electron Multiplier	~ below 10 <sup>-3</sup> Pa	○	---	△	△	processing of exhaust gases
Ionization Chamber	37 mBq/cm <sup>3</sup> - carrier free	○	---	---	△	depending on chamber volume
Proportional Counter	~ below 370 kBq	○	---	△	△	requirement of quenching gas
Inorg. Scinti. Counter	~ above 10 kPa	○	---	---	△	contamination of scintillator
Liquid Scintillation Counter	~ below 370 kBq	---	○	△	---	processing of liquid waste
Plastic Scintillation Counter	~ below 370 kBq	---	○	△	△	contamination of scintillator

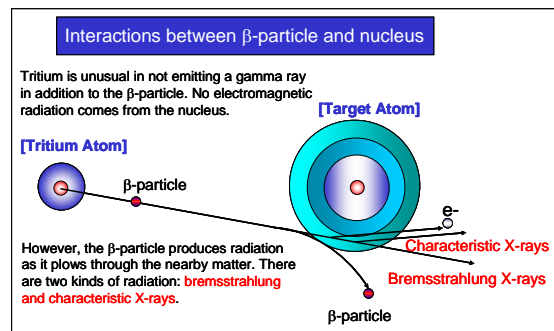
Others: Autoradiography, Gas Flow Counter, Nuclear Magnetic Resonance, Nuclear Reaction, Electret Dosimeter, and so on.

適用性の度合いを表す。核融合炉システムにおける気体状態の燃料制御という観点からは、表中に示されているような各種測定法を適用することによってトリチウム濃度を測定し得るであろう。但し、核融合炉システムでは、図IV-2-2に示す様に、測定対象となるトリチウム濃度が14桁にもわたる。従って、この様な広い濃度範囲を一種類の検出器で測定することは極めて困難である。例えば、気体中のトリチウム濃度測定用として最も広く利用されている検出器として電離箱があるが、この検出器は構造が単純であり、1台あたりの測定範囲も広く、その体積を変えるだけで測定可能な範囲を変え得る。但し、この様な特徴を有する電離箱を用いても、上述の全濃度範囲を測るためには、少なくとも4種類の体積(～10<sup>4</sup>、～10<sup>3</sup>、～10<sup>2</sup>、～1 cm<sup>3</sup>)の検出器が必要となる。なお、電離箱は被検気体の圧力及び組成が一定である必要があり、適用可能な測定箇所が限定される。また通気型検出器の共通の解決すべき課題としてメモリー効果の問題がある。従って、今後、新しい測定技術による測定範囲の拡大など、改善・検討すべき課題が残されている。

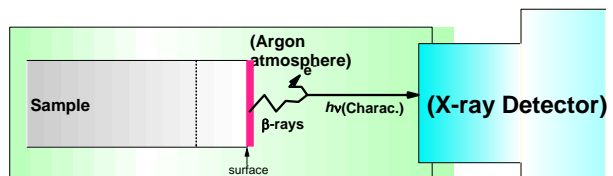
現状のままで十分とはいえないが、気体状トリチウムの測定法には幾つかの測定法が提案されている。しかしながら固体材料中に溶解(吸収)又は表面に吸着したトリチウムの非破壊測定法は無きに等しい。このような観点から固体材料に保持されたトリチウムの新しい定量測定法の研究開発を行った。図IV-2-3に示すように、トリチウムが崩壊して放射されるβ線の運動エネルギーは物質中を通過する際に一部がX線(特性X線及び制動X線)に転換され、放射される。X線はβ線に比べて透過能が遥かに大きいので種々の測定法が適用可能となる。例えば、図IV-2-4に示すような配置で材料表面に吸着したトリチウム量を測定する場合、材料表面とX線検出器との間をArガスで満たしておく、材料の表面



図IV-2-2 核融合炉システムにおいて測定対象となるトリチウム濃度範囲



図IV-2-3 β線と物質との相互作用



図IV-2-4 表面に吸着したトリチウムの測定



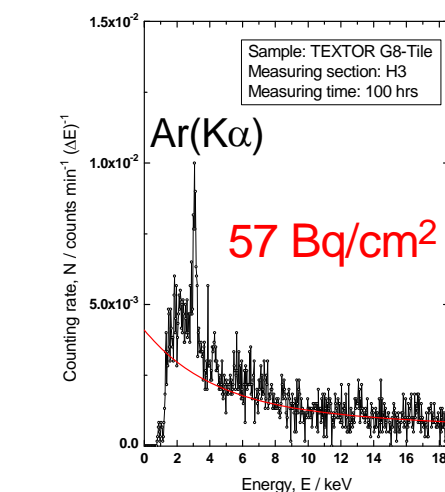
層に存在するトリチウムから放出されたβ線によって Ar 原子が励起され、これにより Ar の特性 X 線が放出される。但し、発生する Ar の特性 X 線(2.96 keV)のエネルギーは低いので、X 線検出器の放射線入射窓材には Be 等の低原子番号材料を用い、X 線の検出効率の低下を防止しなければならない。観測される Ar の特性 X 線強度とβ線の強度、即ち、トリチウム量との関係を調べることによって、本計測法の適用性を判断できる。

一方、固体材料中に溶解（吸収）したトリチウムから放出されるβ線のエネルギーは、図IV-2-5に示すように、材料構成原子との相互作用によって構成原子の特性 X 線及び制動 X 線に転換される。制動 X 線スペクトルは連続スペクトルであり、その形状はトリチウムの深さ分布に依存するため、スペクトル形状がトリチウムの分布状態を評価する際の重要な手がかりを与える。

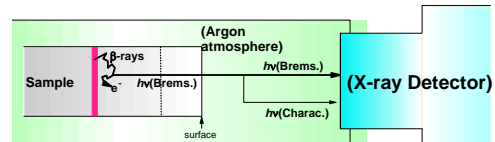
これらの観点より、先ず材料の表面層に存在するトリチウム量と Ar の特性 X 線強度との関係を調べた。この試験に使用した材料は等方性黒鉛に 1keV のトリチウムイオンを注入し、その照射量を変えた材料を各種調製し、液体シンチレーションカウンターによるトリチウム量の決定と X 線強度との関係を調べた。その結果、両者の間には極めて良い直線関係が見出され、Ar の特性 X 線強度から材料の表面層に保持されているトリチウム量を非破壊で定量的評価が可能であることを見出した。

上記の校正曲線に基づき、D-D 核融合実験装置 (TEXTOR)

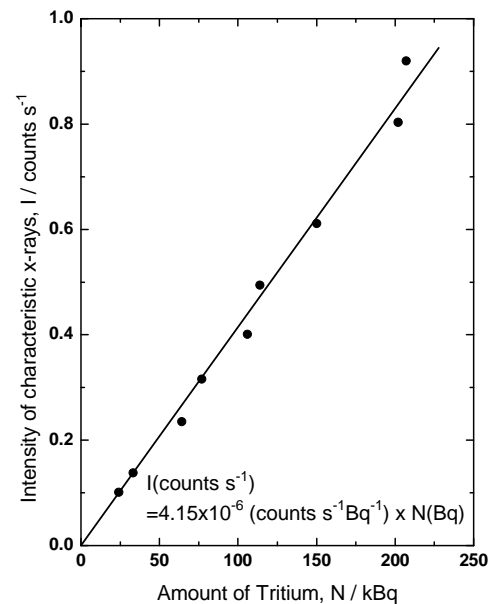
内に設置されていた黒鉛タイル表面を本測定法により調べ、観測された X 線スペクトルの強度からトリチウム量を評価した一例が図IV-2-7 に示され



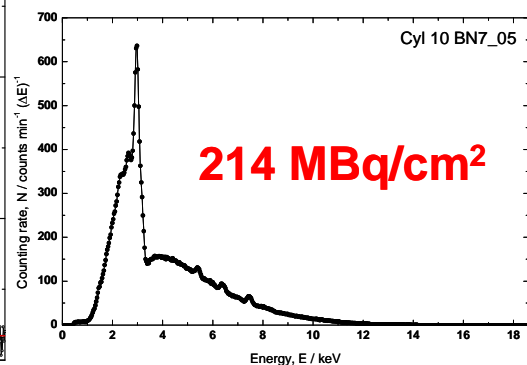
図IV-2-7 TEXTOR の黒鉛タイルに捕捉されていたトリチウムの測定



図IV-2-5 材料中に溶解したトリチウムの測定原理



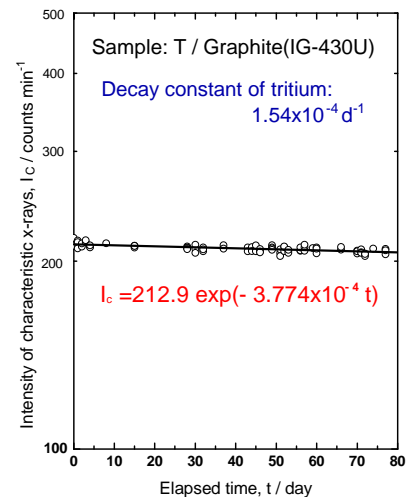
図IV-2-6 表面トリチウム量と X 線強度との関係



図IV-2-8 JET の黒鉛タイルに捕捉されていたトリチウムの測定

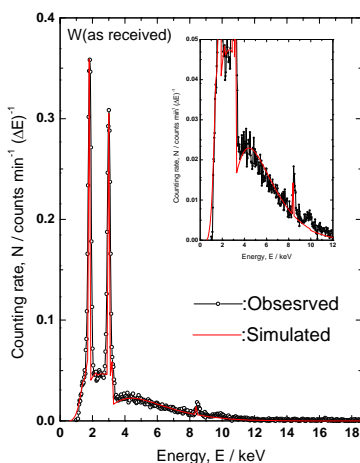
ている。また、JET の D-T 実験においてトリチウムプラズマに曝されたダイバーター一部の黒鉛タイルを測定した一例が図IV-2-8 に示されている。両者の X 線スペクトルの形状には大きな違いが見られ、JET の黒鉛タイルでは内部までトリチウムが溶解していることが知られた。これに加え、保持されているトリチウム量は  $10^7$  倍もの差があることが判明した。即ち、本計測法は材料表面及び内部に保持されているトリチウムの弁別測定が可能であり、トリチウム量や深さ分布の評価に適用し得ることが明らかとなり、新しいトリチウム測定法として  $\beta$  線誘起 X 線計測法( $\beta$ -Ray-Induced X-ray Spectrometry: BIXS)と名づけた。

本計測法を適用することによって固体材料に捕捉されたトリチウムの動的挙動を非破壊で追跡し得る。その一例を図9に示す。これは等方性黒鉛に所定量のトリチウムを照射し、室温でのスペクトル強度の経時変化を追跡したものである。黒鉛に注入されたトリチウムが時間と共に表面から脱離あるいは内部へ拡散すると、Ar の特性 X 線強度は減少するが、図IV-2-9 より明らかなように、80日後においても X 線強度は初期の 97% までしか下がり、トリチウムの崩壊速度と同程度の速度でしか減少しないことが知られた。

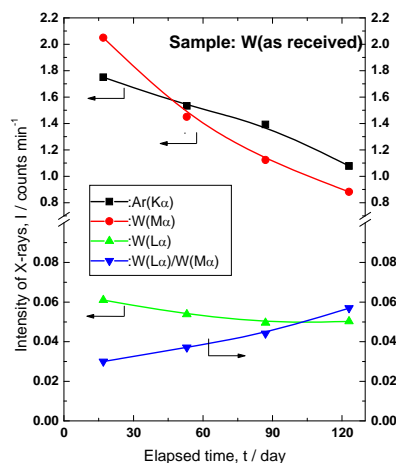


図IV-2-9 黒鉛にイオン注入されたトリチウムの動的挙動

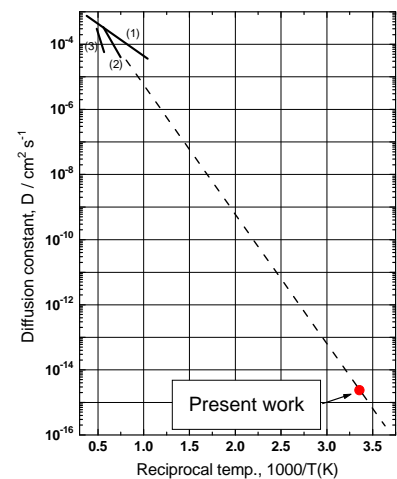
タングステン中でのトリチウム挙動の追跡に BIXS 法を適用し、室温でのトリチウムの拡散係数を求めた例を図IV-2-10、11、及び 12 に示す。図IV-2-10 は室温で無処理のタングステンにトリチウムイオンを照射し、観測された X 線スペクトル(黒線)の一例である。なお、赤のスペクトルは所定のトリチウム深さ分布を仮定して計算機シミュレーションによる近似計算で得られた X 線スペクトルである。図IV-2-11 は、観測された特性 X 強度の室温での経時変化を示し、この変化よりイオン照射されたトリチウムはタングステン表面からの脱離よりも内部への拡散が優先



図IV-2-10 X 線スペクトル



図IV-2-11 X 線強度の経時変化



図IV-2-12 拡散係数の温度依存性

していることが知られた。これらより、室温でのタングステン中でのトリチウムの拡散係数は  $2.38 \times 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$  と見積もられ、他の研究者による高温でのデータと比較した結果が図IV-2-12 に示されている。

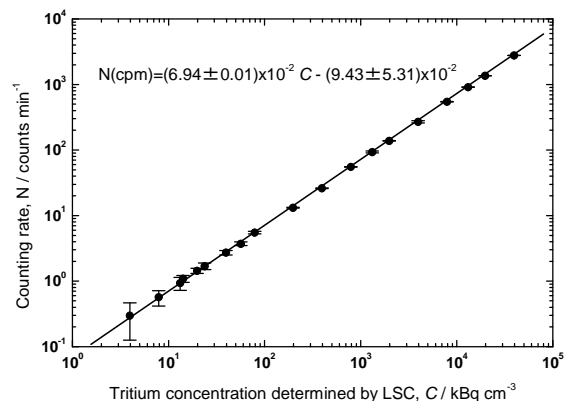
固体材料表面及び内部のトリチウム評価法に加えて、現状では液体状トリチウムの計測技術も熱量測定法を除くとシンチレーション計測法以外にない状況である。しかしながら、この計測法では被検試料に発光物質としてのシンチレーターを添加しなければならず、測定可能な被検試料中の全トリチウム量の上限も  $10^6 \text{ Bq}$  程度であり、核融合炉システムの燃料サイクルで発生するような高濃度トリチウム水のその場測定に適用することは困難である。このような観点より、高濃度トリチウム水の新しい測定法として上述の BIXS 法の適用性を検討した。

トリチウム水を入れるための特別容器として、図IV-2-13 に示すような金コーティング Be 板を装備した内容積  $13 \text{ cm}^3$  の金属製バイアルを設計・製作した。本バイアルに所定濃度のトリチウム水を入れて、底部の Be 板から放射される X 線スペクトルを測定したところ、 $8.5 \text{ keV}$  に最大値を示す制動 X 線のスペクトルのみが明確に観測された。



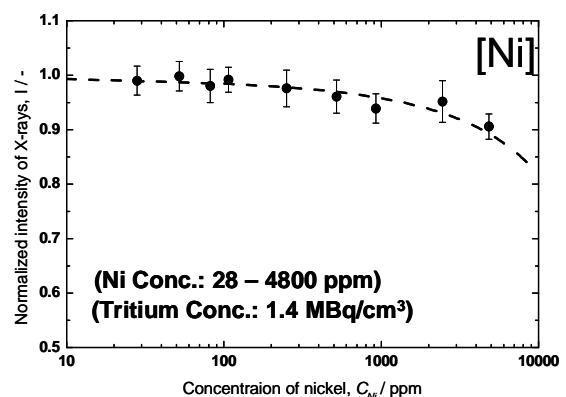
図IV-2-13 トリチウム水測定用金属製バイアル

次いで、X線強度に対するトリチウム水の濃度依存性を調べた。その結果を図IV-2-14 に示す。なお、試験に使用したトリチウム水の濃度は標準トリチウム水濃度で校正された液体シンチレーションカウンターを用いて決定され、調製した濃度範囲は約  $4 \text{ kBq/cm}^3 \sim 40 \text{ MBq/cm}^3$  とした。また、トリチウム水の量は  $5 \text{ cm}^3$  とした。図より明らかなように、X線強度はトリチウム水濃度と極めて良い比例性を示した。即ち、BIXS 法によりトリチウム水濃度を非破壊で測定し得ることを示している。



図IV-2-14 X線強度とトリチウム濃度の関係

本測定法を実際的なトリチウム水の測定に適用する場合にはトリチウム水中の不純物の影響を考慮する必要がある。即ち、不純物による制動 X 線の遮蔽効果である。そこで、一例としてトリチウム水中に所定量の金属イオンを溶解し、X線強度に対する金属イオン濃度依存性を調べた。その結果を図IV-2-15 に示す。モデル不純物として Ni を用いたが、 $200 \text{ ppm}$  程度までの濃

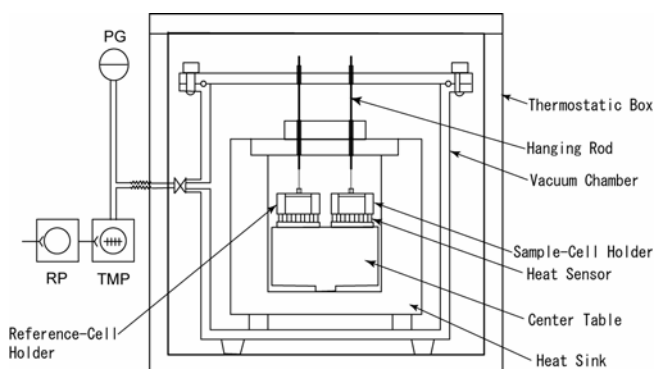


図IV-2-15 X線強度に対する不純物の影響

度であればX線強度に影響しないことが判明した。また 1000 ppm 程度まで増加しても影響は5%程度であることが知られ、本計測法を現実的なトリチウム水の測定に供することが可能であると結論された。

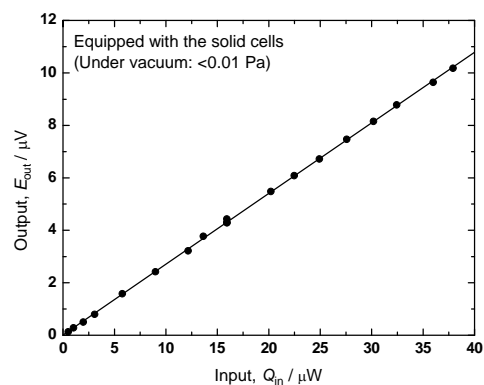
計測装置の研究開発で重要となる課題の一つに測定値の信頼性を担保するための校正が挙げられる。校正のための基準システムには絶対測定が要求されるが、表1に示したように、トリチウムの場合には体積法、重量法及び熱量計測法がある。但し、前2者の場合には純度100%の場合にのみ適用可能である。従って、本課題で適用し得る測定法は熱量計測法のみである。トリチウムから放出されるβ線の運動エネルギーが熱エネルギーに全て変換されたとすると、1 Ci(=37 GBq)当たり 33.8 μW に相当する。しかし、このような微少な熱エネルギーを正確に測定するのは非常に困難である。

最近、萩原らによって開発された高感度の双子型伝導熱量計は微少の熱量を測定できるものであり、トリチウム量の絶対測定に対する本熱量計の適用性を検討した。図IV-2-16はトリチウム測定用に特別設計された熱量計の概略図である。本熱量計は外的要因による温度変化の影響を最小限とするために幾重もの断熱構造や電子回路等に工夫が施されている。



図IV-2-16 トリチウム測定用熱量計の概略図

本熱量計を用いて ZrNi 合金に所定量のトリチウムを吸蔵させた試料を測定するために作成した熱量校正曲線を図IV-2-17に示す。校正曲線より、1 μW 以下の熱量を十分に測定可能であることが知られた。次いで、本熱量計を用いてトリチウムを測定した結果を表IV-2-2に示す。この測定では2種類のトリチウム量を含む水素吸蔵合金の試料が準備され、測定に供された。なお、水素吸蔵合金に吸蔵されたトリチウム量は、小容積電離箱によるトリチウム濃度測定と体積法より決定された。また、トリチウム吸蔵合金を調製したの



図IV-2-17 トリチウム測定用として用いた熱量校正曲線

表IV-2-2 熱量測定法による ZrNi 合金に吸蔵されているトリチウム量の決定

	Loading date	Loading amount	Measuring date	Activity at the measuring date	Activity from calorimeter
Sample 1	2004.4.20	33.0 GBq	2006.3.30	29.6 GBq	28.8 GBq
Sample 2	2004.5.21	3.49 GBq	2006.5.20	3.12 GBq	3.08 GBq

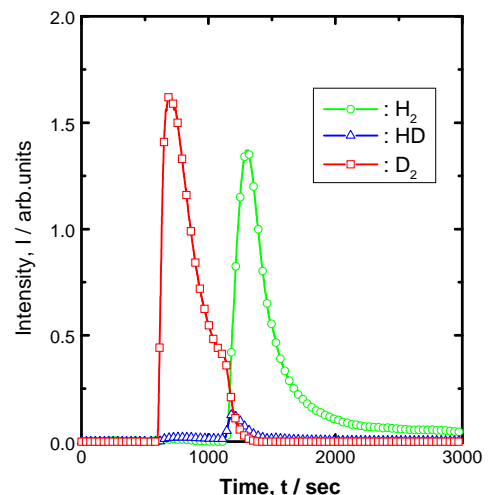
ち、熱量計で測定するまでの減衰量は、半減期を 4505 日として補正された。表より明らかなように、電離箱による濃度測定から決定されたトリチウム量と熱量計による測定値との差は 3 %以内であった。即ち、本熱量計はトリチウムの絶対測定に適用でき、トリチウム濃度測定装置の基準システムになり得ると結論された。

### 2.3 室温作動型水素同位体分離用ガスクロマトグラフィの研究開発

図IV-2-1 に示したように、核融合炉用燃料循環システムでは使用済み燃料、ブランケット及び廃棄物等からのトリチウムの回収・分離プロセスが必須である。水素同位体の分離法としては、水素同位体の沸点付近における蒸気圧の差を利用して分離する深冷蒸留法、液体窒素温度付近での吸着・脱離の同位体効果を利用したクロマトグラフィ法、及び金属水素化物の生成・分解過程における同位体効果を利用した置換クロマトグラフィ法等がある。これらの分離法は装置・操作等が複雑であり、トリチウムのインベントリーが非常に大きく、安全性に問題がある。この様な観点より、冷媒或いは極低温を必要とせず、単純な操作で分離可能な方法を検討した。

図IV-2-18 は、内径 3mmφで長さ4m のステンレス製の分離用カラムに 8at.%の Pt を添加した Pd 合金(Pd-8Pt)粉末 1.5g と銅粉末 94.6g の混合物を充填し、30°Cで H<sub>2</sub>-D<sub>2</sub> (1:1)の混合ガスをカラム上流より流したときのカラム出口からの流出物を質量分析計で分析して得られたクロマトグラムの一例である。なお、キャリアーガスとしては Ar ガスを使用した。クロマトグラムより明らかな様に、室温付近での分離操作にも関わらず、混合ガスが極めてよく分離できていることが知られる。即ち、重水素の純度が 98%以上で回収率が 95%以上に達していた。また、図IV-2-19 は重水素の割合が極めて少ない H<sub>2</sub>:D<sub>2</sub>= 99.3:0.7 混合ガスの分離を試みた例である。図IV-2-18 のクロマトグラムに比べると、分離状態は未だ不十分ではあるが、重水素の混合割合を考慮するならば、本分離法の有効性を知ることができる。

本分離法は Pd 基合金における水素化物の生成・分解時の平衡論的同位体効果及び吸収・脱離時の動力的同位体効果に基づくもので、自己展開型ガスクロマトグラフィ(SDGC)と名づけた。SDGC 法の大きな特徴として、室温付近で分離可能、カラム内での平衡化反応の同時進行により水素同位体の異核分子が殆ど流出しない、操作が極



図IV-2-18 Pd-8Pt 合金による分離例

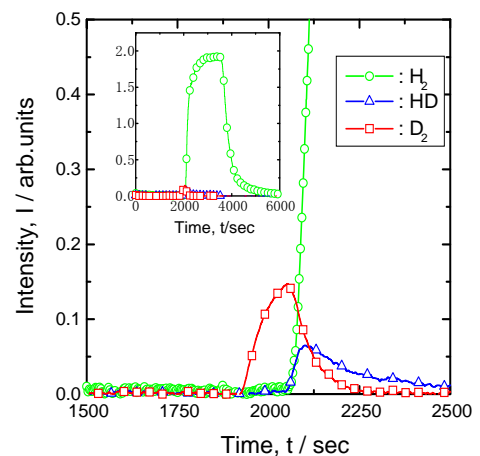


図 IV -2-19 Pd-8Pt による H<sub>2</sub>:D<sub>2</sub>=99.3:0.7 混合ガスの分離

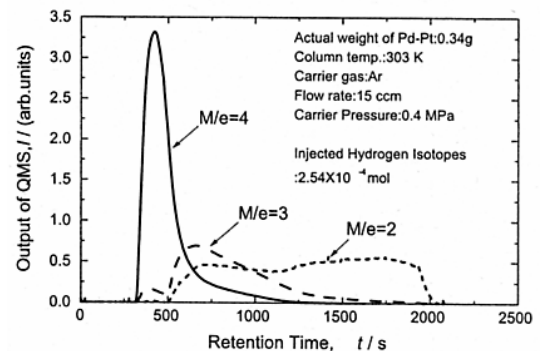
めて単純である、及び分離装置が小型且つ簡単である、等があげられる。但し、カラム充填材として用いている Pd 合金は高価であり、その使用量を如何に低減するかが経済的な問題として重要である。

Pd 合金の量を減らす方法としては、ある種の担体に本合金を担持する方法及び合金の組成を変える方法があり得る。前者の方法としては、当センターで開発された乾式の金属コーティング法（バレルスパッタリング法）があり、これを適用してカラム材を調製し、 $H_2$ - $D_2$  混合ガスの分離試験に適用してみた。その結果を図IV-2-20に示す。合金は $\alpha$ -アルミナに担持されており、上述の合金粉末に比べ約 1/5 に低減されているが、分離性能はほぼ同じになることが知られた。また、Pd-Pt 合金以外の材料として Pd-Cu 合金が有望であることが熱力学的パラメーターの測定より知られた。図IV-2-21にその一例を示す。この合金は Pt に代わって 15% の銅を添加した合金である。分離性能は Pd-Pt 合金とほぼ同じ性能であることが知られた。即ち、前者のコーティング法と合金化元素の変更により、材料調製に関わるコスト面での低減を図り得ると結論された。

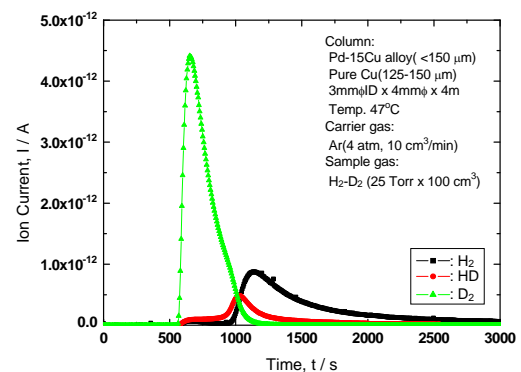
これまで述べたように、SDGC 法により  $H_2$ - $D_2$  混合ガスの分離は十分可能であることが知られ、次いで  $D_2$ - $T_2$  混合ガスの分離試験を行った。この際には大量のトリチウムガスの取り扱いが必要となるため、試験は当センターの「100 Ci トリチウム取扱い装置」にて行い、Pd-Pt 合金を充填した分離カラムを使用した。図IV-2-22にクロマトグラムの一例を示す。なお、分離カラムに注入した混合ガスは  $D_2$ - $T_2$  であるにも関わらず、軽水素が検出されているが、これは分離試験装置内の残留気体としての軽水素と反応して流出したものと考えられる。なお、分離性能は  $H_2$ - $D_2$  混合ガスに比べて十分とは言えず、今後カラム材及び分離条件等の改善・改良による性能向上に関する検討が必要である。

## 2.4 トリチウムによる材料の汚染状態と除染技術の体系化

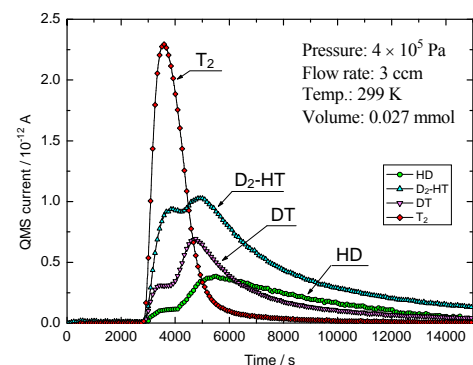
核融合炉用燃料循環システム及び炉内においてトリチウムガスやプラズマに曝さ



図IV-2-20  $\alpha$ -アルミナに担持された Pd 合金によるクロマトグラ



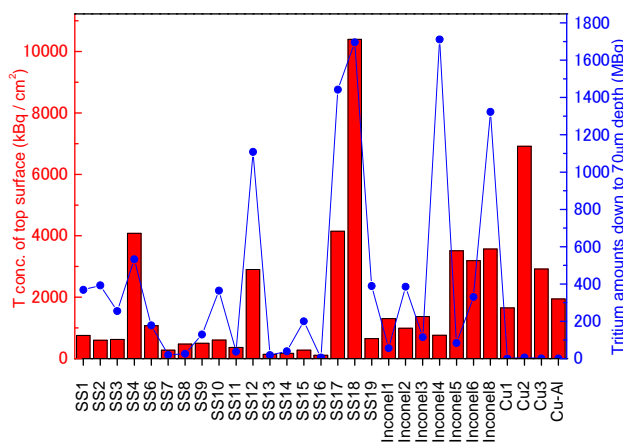
図IV-2-21 Pd-15Cu 合金による分離例



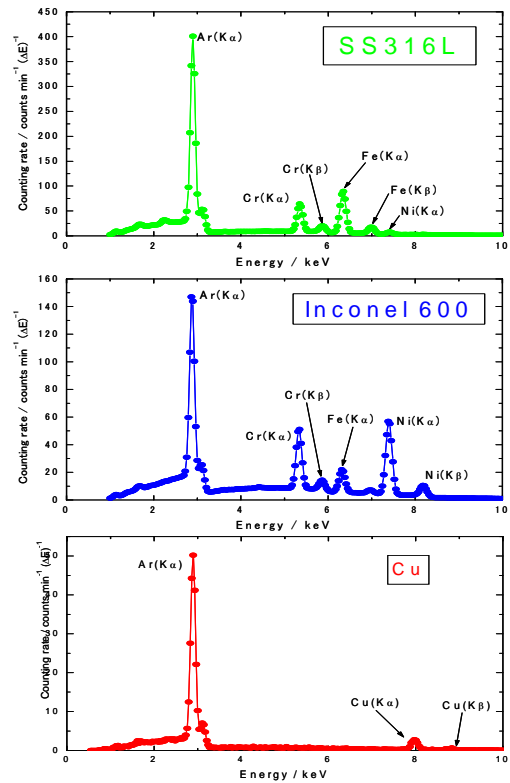
図IV-2-22  $D_2$ - $T_2$  混合ガスの分離試験

れた材料は必ずトリチウムの吸着・吸収による汚染が起こる。トリチウムによる汚染は安全性に対する対策みならずトリチウム資源の有効利用の観点からも問題であり、汚染状態の評価及び除染技術の研究開発が不可欠である。

このような観点より、先ず、金属材料の表面及び内部の汚染状態の評価に関する検討を行った。この際使用した評価技術は先に述べた非破壊表面測定法である BIXS 法を適用した。これにより測定した一例を図IV-2-23に示す。なお、金属試料は JET との共同研究により送付された所定条件の基でトリチウムに暴露された金属試料である。いずれの金属試料からも明



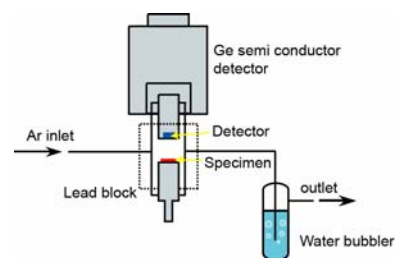
図IV-2-24 各種試料でのトリチウム保持状況



図IV-2-23 トリチウム暴露試料の BIXS 測定例

瞭な X 線スペクトルが観測され、定性的には表面層及び内部の両方にトリチウムが保持されていることが知られる。図IV-2-24は BIXS 法で測定された X 線スペクトルの解析より求められた表面層及び内部（ここでは表面から約 70 $\mu\text{m}$  までの深さを意味する。）のトリチウム濃度及び量を各種試料についてまとめたものである。SS1~19 及び Inconel1~8はステンレス 3 1 6 及びインコネルの暴露条件及び表面処理条件等が異なる試料を表している。図より明らかな様に、表面層に高濃度のトリチウムが存在し、その濃度は内部のトリチウム量とは必ずしも比例していない。即ち、表面層と内部は異なる挙動を示す。また、表面層のトリチウム濃度は内部の濃度より約 1 0 0 倍程度高いことも知られた。これらより、トリチウムで汚染された材料の評価手法として、BIXS 法が有効な方法になり得ると結論された。

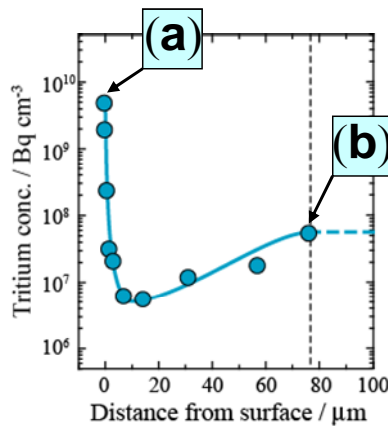
ステンレス鋼(SS316)の表面層付近におけるトリチウム深さ分布の変化を詳細に調べるために、BIXS 法と共に化学エッチング法を適用してトリチウム挙動を調べた。本測定で使用した装置の概略図を図IV-2-25に示す。測定試料は X 線検出器の前面に固定され、両者の間には高純度 Ar ガスが 40  $\text{cm}^3/\text{min}$  で連続的に流され



図IV-2-25 測定装置の概略図

た。まず、トリチウムガスに暴露した直後の BIXS スペクトルの観測及び化学エッチングによる深さ分布測定を行った。

深さ分布の結果を図IV-2-26に示す。図IV-2-23のスペクトル解析から得られた結果と同じように、内部よりも遥かに高いトリチウム濃度が表面層に観測された。

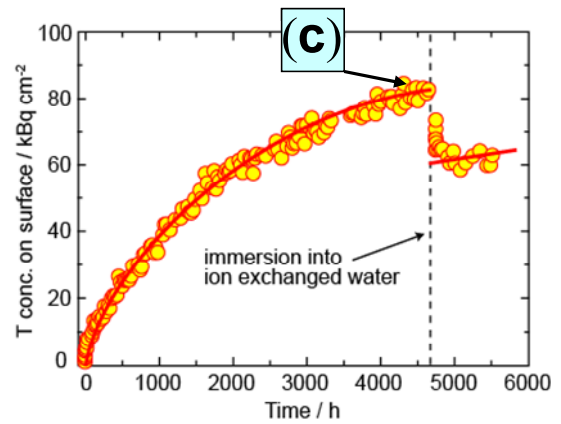


図IV-2-26 トリチウムの深さ分布

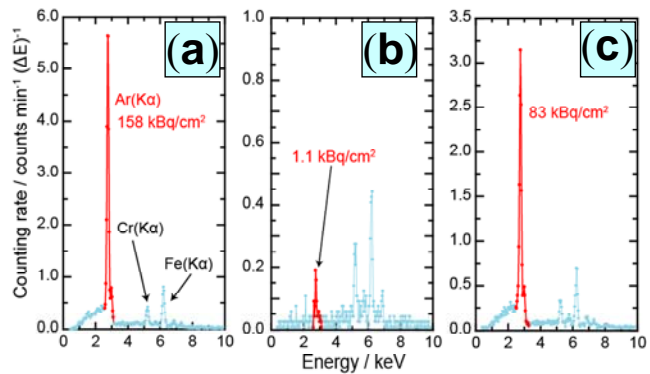
次いで、同じトリ

チウムの暴露条件で調製された別の試料を予め表面から約 80 μm まで化学エッチングして高濃度の表面層を除去し、引き続いて室温での X 線スペクトル強度の経時変化を測定した。その際の Ar ピーク強度の経時変化を図IV-2-27に示す。なお、図IV-2-28中の(a), (b)及び(c)は図IV-2-26及び27の図中に記載されたそれぞれ状態で測定されたものであり、(a)はトリチウム暴露直後の状態、(b)は表面から約 80 μm まで化学エッチングした状態、(c)は化学エッチングされてから室温にて 4600 時間程度経過したのちの状態である。材料表面へのトリチウム濃縮が明瞭に観測され、一時的に表面の高濃度トリチウムを除去しても再びゆっくりと濃縮してくることが知られた。今後は表面層へのトリチウム濃縮のメカニズムをトリチウム挙動及び材料表面の構造・組織変化の観点より解明する必要がある。

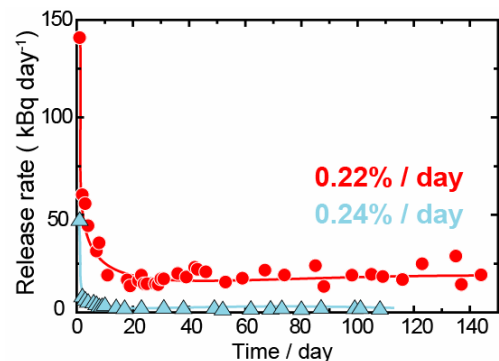
トリチウムを吸収・溶解した材料からの室温付近でのトリチウム再放出挙動はトリチウム汚染材料の処理作業及びトリチウム暴露装置のメンテナンス作業等の際に重要となる。このような観点より、核融合科学研究所の大型ヘリカル実験装置の製作に使用されているステンレス鋼(SS316L)と同じ材料を用いて、トリチウムの暴露及び再放出速度の測定を行った。再放出速度は所定の流速で合成空気を流しながら測定された。測定結果を図IV-2-29に示す。測定開始から数日間は放出速度が大きいけれど、その後はほ



図IV-2-27 室温での Ar ピーク強度の経時変化



図IV-2-28 図IV-2-25及び26の(a), (b)及び(c)の状態における X 線スペクトル

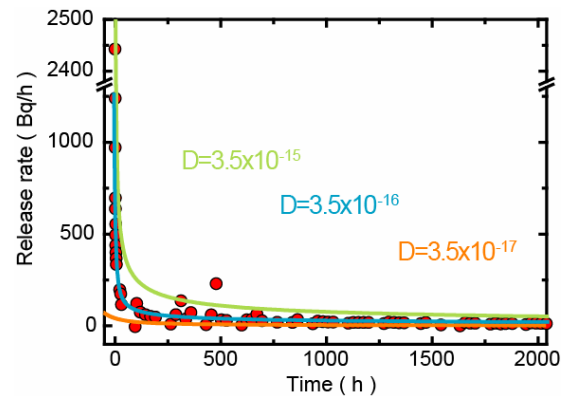


図IV-2-29 SS316L からのトリチウム放出速度

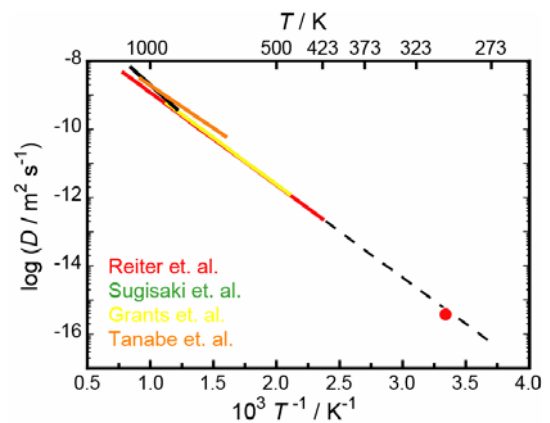


ば一定の速度に到達し、材料内のトリチウム濃度が約 10 倍異なっているにも関わらず、トリチウムの放出速度は溶解量の約 0.2%/day となった。この放出割合は市販のステンレス鋼(SS316)におけるトリチウムの

暴露・放出試験の際にもほぼ同じであった。  
 このような室温でのトリチウムの放出機構を解明するために、先ず、材料内部でのトリチウムの拡散速度が律速であるとした場合の放出速度の計算を行った。即ち、幾つかの拡散係数を代入して、実測の放出速度をもっとも良く再現し得る値を求めた。その結果を図 IV-2-30 に示す。図中の赤丸印が実測の放出速度であり、実線は所定の拡散係数に基づいて求められた放出速度である。実測値を最も良く再現する拡散係数は  $3.5 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$  であることが知られた。図 IV-2-31 に示すように、この値はこれまでに高温で報告されている拡散係数からの外挿値と良く一致した。即ち、本実験において観測されたトリチウムの放出速度が拡散律速であることを支持している。今後は更に放出速度の温度依存性及びトリチウム濃度依存性等を詳細に検討し、放出機構を解明すると同時に、トリチウムの除染対策を検討する必要がある。



図IV-2-30 拡散係数に基づく放出曲線の再現



図IV-2-31 拡散係数の温度依存性

### 3. 素材循環研究分野

#### 3.1 はじめに

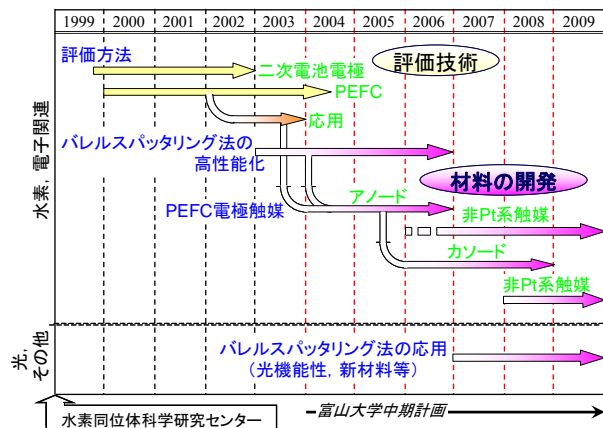
素材循環研究分野ではエネルギー・環境に関する問題に対して、水素、電子、光等をキーワードとした新しい評価技術や材料の開発（特に機能性表面や界面に注目した）を通じてアプローチしている。本分野の研究は、基本的に既に立案した富山大学中期計画（図IV-3-1 参照）に沿って展開している。以下に最近の具体的な研究項目を示す。

#### A) 評価技術

1. アモルファス MgNi 劣化機構の解明
2. 固体高分子型燃料電池 (PEFC) 中の H<sub>2</sub>O の挙動
3. PEFC システムの応用技術

#### B) 材料開発

4. 多角バレルスパッタリング法の開発とその適応例
5. 多角バレルスパッタリング法を用いた電極触媒調製
6. 多角バレルスパッタリング法の応用

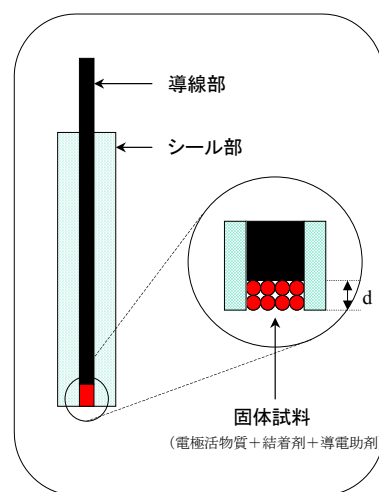


図IV-3-1 富山大学中期計画（素材循環分野）

以後は、上記した各研究項目について、その概略を示す。

#### 3.2 アモルファス MgNi 劣化機構の解明

最近、携帯機器や移動用媒体（例えば、ハイブリッド自動車）等の分野で Ni-水素二次電池が注目を集めている。従来、電池の性能評価は、テストセルを用いた充放電試験で行われてきたが、この方法では正極・負極合わせた情報しか得られず、正極あるいは負極材料の特性を個別に測定できない。一方、近年、薄膜法やマイクロ電極法を用いて電極材料の電気化学的特性を評価した報告がなされているが、これらの方法は、特殊な装置やノウハウを必要とするため汎用的な測定法とは言えない。これに対し我々は、マイクロペースト電極法と称する粉体電極試料の特性を簡便に評価できる電気化学測定法を開発した。本研究ではこのマイクロペースト電極法を用いてアモルファス MgNi の水素吸蔵・放出に関する電気化学挙動を明らかにすると共に、容量劣化の原因とされる Mg(OH)<sub>2</sub> の劣化における役割

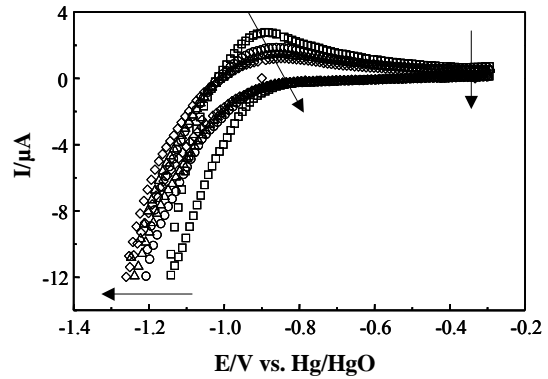


図IV-3-2 マイクロペースト電極の模式図

について検討した。



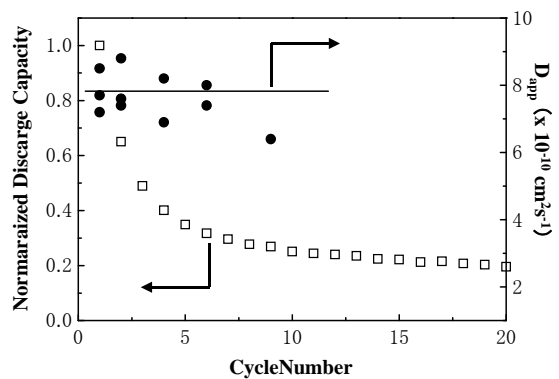
マイクロペースト電極は、まず直径 1 mm のタングステン棒をガラス封止し、その断面を鏡面研磨後、露出したタングステン金属をアノード分極 (1.2 V vs.Hg/HgO) することで溶解させ、凹部 (深さ d ; 10 ~ 30 μm) を形成させた。この凹部に、メカニカルグライディング法で調製したアモルファス MgNi と銅粉末、バインダー (PTFE) を混合した評価用試料を圧着した。このようにして作成した電極の模式図を図IV-3-2 に示した。マイクロペースト電極を用いて測定したアモルファス MgNi のサイクリックボルタモグラム (CV) を図IV-3-3 (□) に示す。なお、ここで使用した電極の d は 30 μm である。電位を -300 mV vs. Hg/HgO からカソードに掃引すると -900 mV 付近からカソード電流の増大が見られる。これは上記(1)式に示した水素吸蔵反応による。一方、電位を -1300 mV からアノード方向に反転すると約 -900 mV 付近にブロードなピークが観測された。このピークは MgNi 中に吸蔵された水素の放出反応 ((1)式) に起因する。



図IV-3-3 6N KOH 水溶液に浸漬したアモルファス MgNi の CV。走引速度 : 1 mV/sec、□ : 0 h、○ : 30 h、△ : 80 h、◇ : 120 h

次に MgNi の容量劣化の原因について検討した。アモルファス MgNi を 0、30、80、120 時間、6N KOH 水溶液中に浸漬した試料を用いてマイクロペースト電極をそれぞれ調製し、それらの CV を測定した (図IV-3-3)。浸漬した試料ではカソード電流の立ち上がりが浸漬していない試料のそれらに比べカソード側にシフトし、さらに浸漬時間が長い試料ほど、シフト量が大きかった。この結果は水素吸蔵反応の過電圧が浸漬時間の増加につれて増大していることを示している。なお、XRD 測定の結果から、KOH 水溶液に浸漬した全ての試料で Mg(OH)<sub>2</sub> の生成が認められた。

図 4 に浸漬時間を変化させた試料について、ポテンシャルステップ法から見積もった水素の見かけの固体内拡散定数 ( $D_{app}$ ) の値を示した。なお、試料の浸



図IV-3-4 充電容量の変化と水素の固体内拡散定数の関係。□ : 充放電試験結果、● : 得られた拡散定数

漬時間は充放電試験のサイクル回数に対応させてプロットした。各試料の  $D_{app}$  は  $6.8 \sim 9.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$  であり、殆ど変化していないことが分かった。また、図IV-3-4にはアモルファス MgNi ペレット電極の充放電試験から得られた放電容量のサイクル回数依存性も示した。ここで各サイクルの放電容量は、第1サイクルの放電容量 (430 mAh/g) で規格化している。放電容量は5サイクル目まで1から0.4と急激に減少し、その後緩やかに減少していった。

以上の結果より、MgNi 表面に形成された  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  は水素の拡散には殆ど影響せず、電子移動過程を阻害することが明らかになった。つまり、MgNi の容量劣化原因は電極界面での水素発生反応が吸蔵反応より優勢になることで、材料中への水素吸蔵量が減少するために起こると結論した。なお、マイクロペースト法を用いた類似した検討は、リチウム二次電池材料である  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  でも行っている。

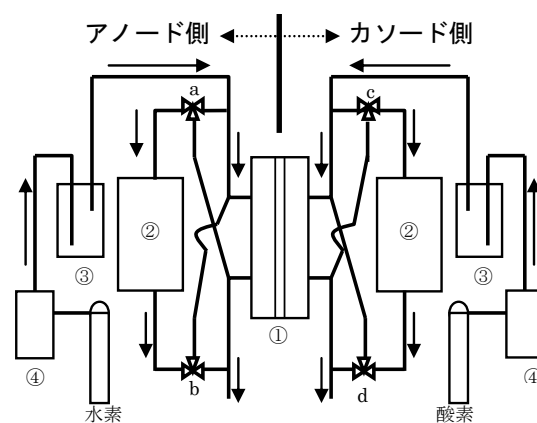
### 3.3 固体高分子型燃料電池 (PEFC) 中の $\text{H}_2\text{O}$ の挙動

固体高分子型燃料電池 (PEFC) は、化石燃料の枯渇問題や環境問題を改善するエネルギー源として盛んに研究がされている。しかし、これまでは応用的・実用的な研究が主流であり、セル本体の基礎的な研究はあまり報告されてはいない。そこで本研究では燃料電池の基礎特性を把握するため、燃料電池の作動条件を変化させることで各抵抗成分の変化やセル内での水の挙動について調べてきた。ここではその一例として、カソード加湿器温度を変化させた時の水の動的変化について示す。

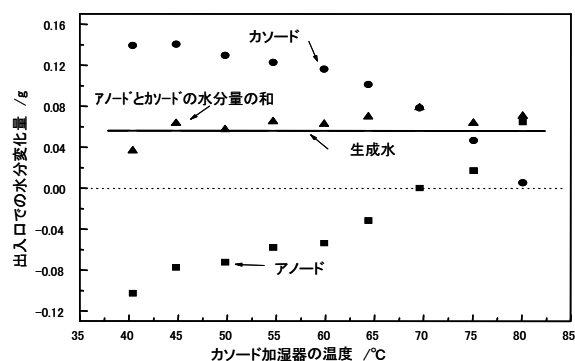
図IV-3-5 は、本研究で使用した装置の概略図である。本装置の特徴は、アノード側とカソード側にそれぞれ露点計 (②) が設置されており、三方コック (a ~ d) を切り替えることにより、セルの入口あるいは出口でのガス中の露点温度をリアルタイムに計測できることにある。

実験は、アノード側に水素ガス、カソード側に酸素ガスをそれぞれ  $500 \text{ mL}/\text{min}$  流し、セルの負荷は  $10 \text{ A}$  とした。セルとアノード加湿器の温度は、 $80^\circ\text{C}$  に設定し、カソード加湿器温度を、 $80^\circ\text{C}$  から  $35^\circ\text{C}$  まで段階的に変化させた。

図IV-3-6 は、カソード加湿器の温度を変



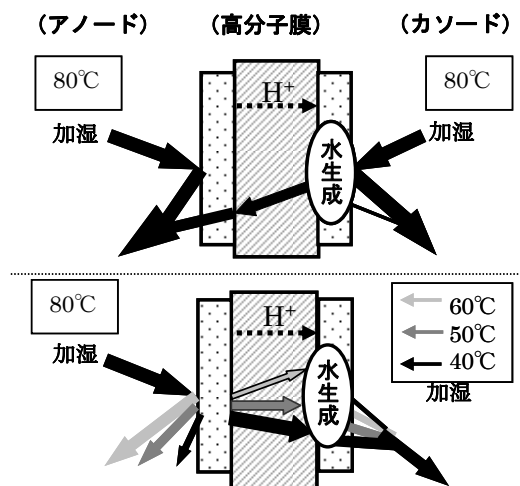
図IV-3-5 装置概略図。①セル、②露点計、③加湿器、④流量計



\* 水分変化量 = セル出口 - セル入口

図IV-3-6 カソード加湿器温度と水分量

えたときの、セル出入口における水分量変化をプロットした図である。図中の●はカソード側の水の収支、■はアノード側の水の収支、さらに▲はその合計収支を表している。また、図中の実線は10 A 負荷時のカソード側で電気化学的に生成する水量である。図より、80℃ではアノードの水収支(■)がカソードの水収支(●)よりも高い結果が得られた。これは、カソード側で電気化学的に生成した水により、膜中にカソードからアノードへの水の濃度勾配が形成され、カソード側で生成した水がアノード側へ移動したためと考えられる。一方70℃では、アノード側の水収支がほぼ0であることから80℃で形成される膜中の水の濃度勾配が小さくなったと考えられる。さらに、この水の濃度勾配は加湿器の温度低下に伴い、更に小さくなっていると考えられる。以上の結果を模式的に表したのが図IV-3-7である。ここで、アノード側での水の欠乏量が全てプロトンと付随して移動すると仮定すると、1プロトンあたりの水分子の移動量は0.6(65℃)→1.8(40℃)と算出された。

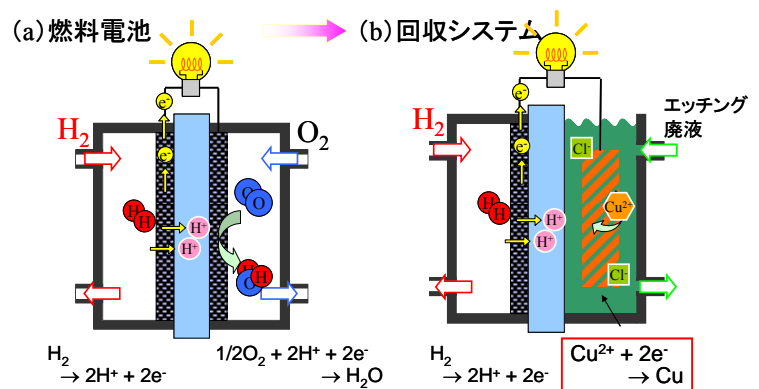


図IV-3-7 カソード温度の変化によるH<sub>2</sub>Oの挙動

同様な検討は、セル温度、ガス流量、負荷を変化させて行っており、セル運転時の複雑な水の挙動を初めて本研究で明らかにした。

### 3.4 PEFC システムの応用技術

エッチング廃液からの銅イオンの回収は資源の再利用の観点から重要である。現在まで電気分解法による廃液からの銅の回収が多数試みられているが、塩酸を含む系では有害な塩素ガスの発生が避けられない。本研究では固体高分子型燃料電池(図IV-3-8(a))のシステムを応用した新しい電気化学的な銅回収方法を提案した(図IV-3-8(b))。本法は水素ガスを導入するアノード室と、回収金属イオンを含む酸溶液を導入するカソード室から成り、両者はカチオン交換膜(Nafion)により隔てられている。アノード極にはPEFC燃料電池に用いられる膜/電極接合体(Membrane Electrode Assembly、MEA)を、銅回収を行うカソード極にはPtメッシュ(20×20 mm)を用いた。



図IV-3-8 (a)PEFC 燃料電池システム、および(b)銅回収システムの模式図

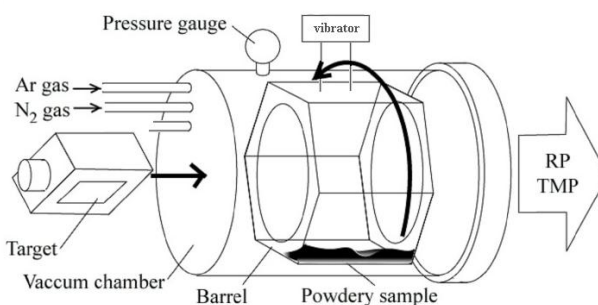
水素ガスを導入した銅回収実験ではアノード極上への銅析出が認められたが、塩素の発生は認められず、また電池反応による自発的な銅析出がカソード電極上で起こることを明らかにした。現在では、アノード極上への銅析出を防ぐために、3槽2膜型（カチオン及びアニオン交換膜使用）システムを完成させ、電池反応により廃液から銅の回収に成功している。

### 3.5 多角バレルスパッタリング法の開発とその適応例

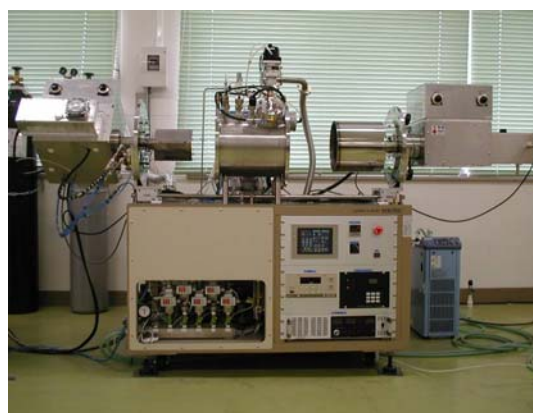
粉体は医薬品、食品等のように最終形が「粉」である場合は勿論、工業触媒のように製品作製過程で利用されることも非常に多く、様々な領域で利用されている。一般的に粉体の機能はその構成物質に依存するが、もし何らかの方法によって粉体の物性、或いは機能を任意に調製できれば工業的波及効果は極めて大きいと思われる。その方法の一つとして粉体を構成する微粒子表面を修飾することが考えられるが、現状での表面修飾法は湿式のメッキ法に限られていると言っても過言ではない。しかしながら、メッキ法では不純物の混入、作業工程の煩雑さ、更には廃メッキ液処理等環境面からも問題がある。そこで、我々は乾式で粉体微粒子表面を均一に修飾可能な「多角バレルスパッタリング法」を考案した。ここでは多角バレルスパッタリング法の原理と調製した幾つかの試料例を示す。

#### ○装置の概略と原理

我々が独自に開発した多角（六角）バレルスパッタリング装置の概略図及び写真を図IV-3-9及びIV-3-10に示す。円筒形の真空チャンバー中に、粉体試料を導入した六角バレルが装着されている。バレルを回転させると、粉体の落下・壁面への衝突が生じ、粉体の攪拌及び微粒子同士の凝縮防止ができる。さらに装着したバイブレーターによりバレル内面への粉体の吸着を防げる。本装置はRFスパッタリング方式であり、種々のターゲット材料（例えば、絶縁物質）を用いることも可能である。ターゲット電極はバレルの中心に位置し、粉体が落下するバレル壁面にターゲット面を調節できる。これにより、個々の微粒子表面への効率的な均一修飾を可能としている。また、本装置は3つのガス導入経路を有し、反応性スパッタリングにも適応している。



図IV-3-9 多角バレルスパッタリング装置の概略図



図IV-3-10 多角バレルスパッタリング装置の写真

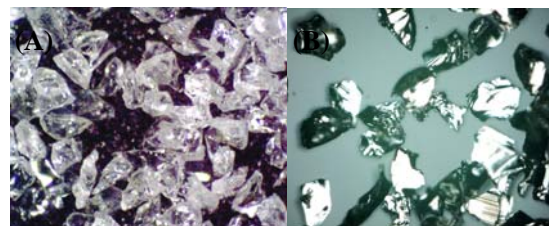
## ○ 種々の担体微粒子への表面修飾 セラミックス (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 微粒子

セラミック (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 粉体微粒子表面への Pt 修飾を試みた。図IV-3-11 に Pt 修飾前後における粒径 120 mesh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 微粒子の光学顕微鏡写真を示した。(A)は母体 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 微粒子であり、個々の微粒子は透明であるのに対し、(B)に示したスパッタリング後微粒子では、全ての微粒子が隅々まで一様に金属光沢を呈していることが分かる。更に、Pt 修飾後微粒子の表面形態を SEM 及び EPMA により観察したところ、Pt は均一な薄膜として微粒子上に修飾されている事が明らかとなった。

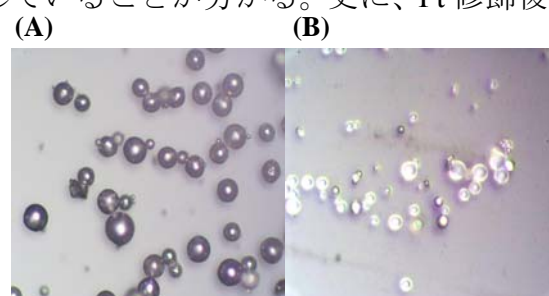
次に、球状の平均粒径 20 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 微粒子表面に Pt 修飾を行った。図IV-3-12(A)にその結果を示した。全ての微粒子が一様に黒色を呈しており、均一な Pt 薄膜が修飾されていることが分かる。この結果は、本法では被修飾粉体の形状を問わないことを意味する。なお、比較のために、円筒バレルを用いて同一粉体表面上への Pt 修飾を試みた (図IV-3-12(B))。円筒バレルを使用した場合は殆どの粒子が白色 (母粉体) のままであった。このことは、多角バレルが本装置において極めて重要な要素であることを明示している。

## 高分子微粒子

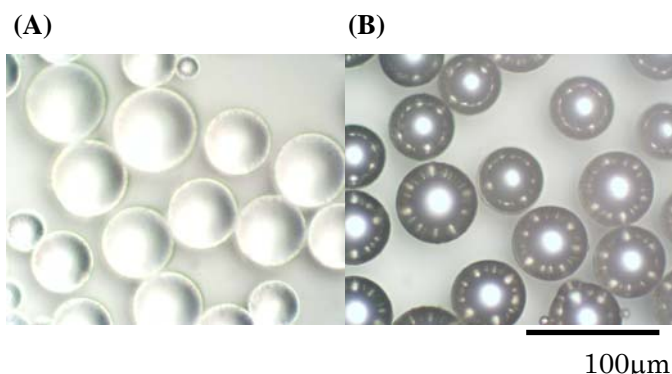
次に PMMA 粉体微粒子表面に Pt を修飾した試料の光学顕微鏡写真を図IV-3-13(B)に示した。修飾前試料(A)は白色・球形 (直径 50 μm) であるが、修飾後には個々の微粒子が金属色を呈すると共に、その表面には周囲の粒子からの反射光が写っている。これは修飾表面が鏡面になっていることを示している。この試料の SEM 及び EPMA による表



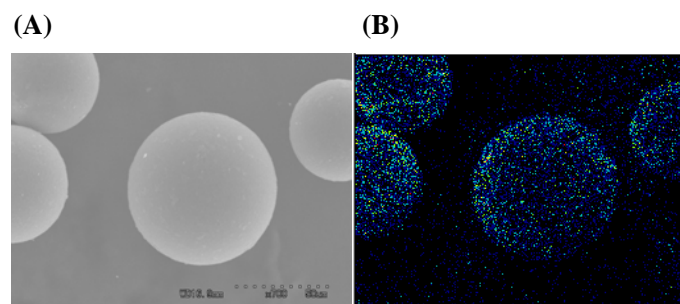
図IV-3-11 (A) 修飾前、(B) Pt 修飾後の 120 mesh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子の光学顕微鏡写真



図IV-3-12 バレル形状による修飾の違い (A) 多角バレル、(B) 円形バレル使用時の Pt 修飾 20 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 粒子の光学顕微鏡写真



図IV-3-13 50 μm ポリマー微粒子の Pt 修飾前後の光学顕微鏡写真



図IV-3-14 50 μm ポリマー微粒子の(A) SEM 像及び (B) EPMA による Pt 分布

面分析結果を図 1 4 に示した。SEM 写真 (A) から、微粒子表面は極めて平滑であり、島状構造等は認められない。また EPMA 測定より、Pt 元素が微粒子表面上で均一に認められた。以上の結果から、ポリマー微粒子を用いた場合でも調製した個々の微粒子表面に均一な Pt 膜が修飾されていることが明らかとなった。同様に、直径 1  $\mu\text{m}$  程度の PMMA 微粒子においても均一な表面修飾が可能であった。

### イオン性結晶微粒子

めっき法では不可能である水溶性のイオン性結晶微粒子表面への金属修飾も行うことができる。図 IV-3-15 に Pt 修飾 NaCl 粒子の試料外観及び光学顕微鏡写真を示す(修飾前の試料も併せて示した)。修飾後試料には金属光沢が見られ、個々の粒子形状がほぼ立方体であることが識別可能になった。また、光学顕微鏡及び SEM 観察の結果から、表面全面に均一に Pt が修飾されていることが明らかになった。

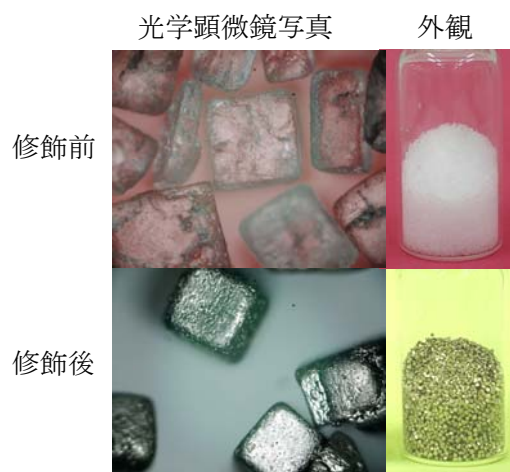


図 IV-3-15 Pt 修飾 NaCl 粒子の試料外観及び光学顕微鏡写真

### カーボンナノチューブ (CNF)・ファイバー (CNT)

CNF や CNT にナノ粒子を担持したナノ材料は触媒やセンサー等の分野での利用が期待されているが、その一般的な調製法であるウエットプロセスではナノ粒子を均一に高分散担持するため CNF、CNT の前処理が必須である。一方、ドライプロセスであるバレルスパッタリング法を用いることで前処理を行わなくてもナノ粒子を CNF、CNT に均一に高分散担持できる。図 IV-3-16 に本法で調製した Pt ナノ粒子を CNF に担持した TEM 像を示した。担持された Pt 粒子の平均粒径は 2.2 nm であり、均一な Pt ナノ粒子が CNF 表面に高分散担持されていることが分かる。

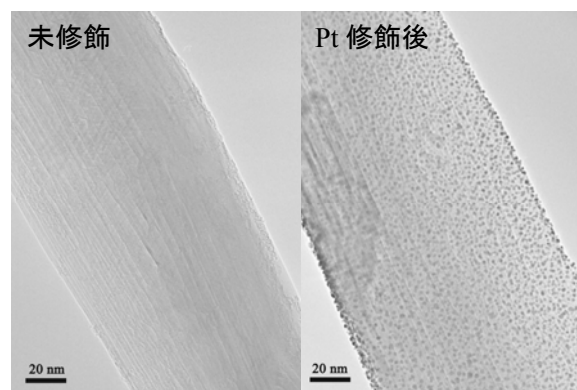


図 IV-3-16 未修飾、及び Pt 修飾後の CNF の TEM 像

### ○種々の担持物質

#### 金属

本法は、Pt 以外の種々の金属においても粉体微粒子表面へのコーティングが

可能である。図 IV-3-17 は Au、Ag、Pd、Cu、及び Ni を表面修飾した PMMA ポリマー粉末、及び未修飾ポリマー粉末 (粒子径 15  $\mu\text{m}$ ) の外観写真である。未修飾ポリマーが白色であるのに対し、Au、Ag、Pd、Cu、Ni 修飾によりそれぞれ修飾金属を反映した色を呈した。図 IV-3-18 にはこれら金属修飾ポリマー粉末微粒子の光学顕微鏡写



真を示す。個々の粒子についても修飾金属の色が認められた。また、これらの調製試料について SEM-EDS 測定を行ったところ、修飾金属が粉体表面に均一に分布していることが明らかとなった。これらの結果は、本法では種々の金属材料を粉体微粒子の表面に修飾できることが分かる。

## 酸化物、窒化物

### ○SnO<sub>2</sub> 薄膜

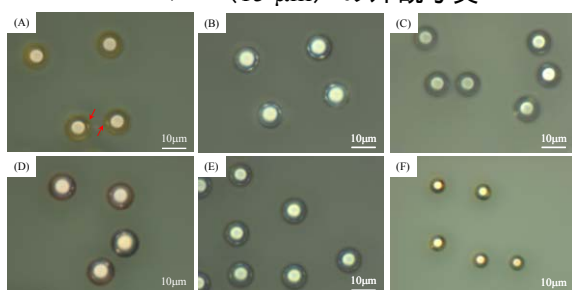
平均粒径 130 μm の Al フレーク表面に、RF 出力を変化させて SnO<sub>2</sub> を修飾した試料の写真を図IV-3-19 に示す。併せて未修飾試料の写真を示した。未修飾試料は粒子全体が金属色を呈しているのに対して、RF 出力 195 W、350 W、490 W で修飾した試料は、全体がそれぞれ黄、赤紫、青緑に均一に着色していた。この修飾微粒子の断面を SEM 観察した結果を図IV-3-20 に示した。Al フレーク断面と樹脂との間に、均一な太さの白い線が全ての SEM 像に見られる。これが修飾した SnO<sub>2</sub> であり、剥離や破れなどは無く Al 粒子に密着した膜として形成されていることがわかる。観察像から SnO<sub>2</sub> 膜の厚さは 195 W、350 W、490 W 試料でそれぞれ 80 ± 20 nm、130 ± 30 nm、180 ± 30 nm であった。これらの膜厚からそれぞれの反射スペクトルを計算したところ、修飾試料で実際に得られた反射スペクトルの形状とほぼ一致した。つまり、図IV-3-19 で認められた色は、微粒子表面に形成された SnO<sub>2</sub> 均一薄膜による光干渉効果で呈色していると結論できる。

### ○TiN 薄膜

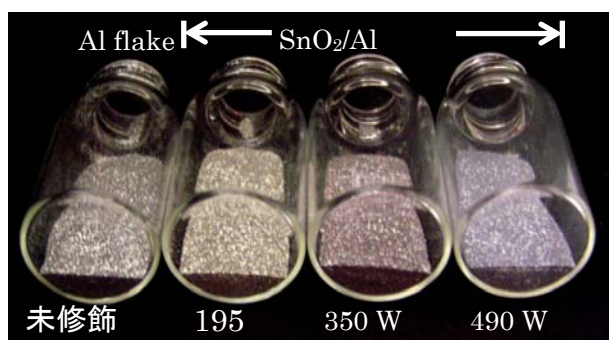
切削工具の保護膜などに利用されている TiN を Al フレーク表面



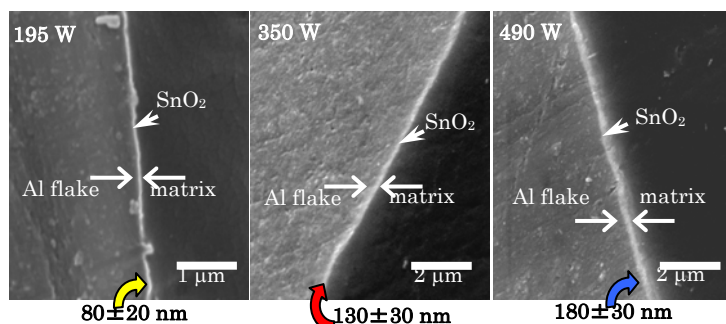
図IV-3-17 Au、Ag、Pd、Cu、Ni を修飾した PMMA ポリマーと未修飾ポリマー (15 μm) の外観写真



図IV-3-18 (A) Au、(B) Ag、(C) Pd、(D) Cu、(E) Ni を修飾した PMMA ポリマー (15 μm) と (F) Au を修飾した PMMA ポリマー (5 μm) の光学顕微鏡写真

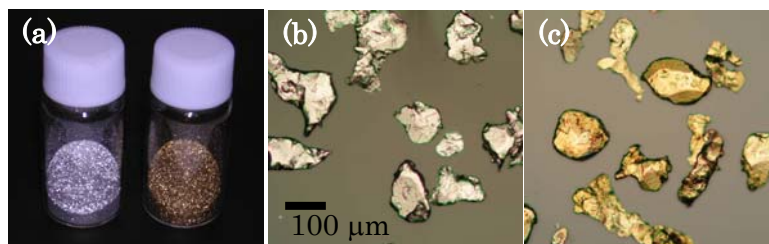


図IV-3-19 SnO<sub>2</sub> 修飾前後の Al フレーク写真



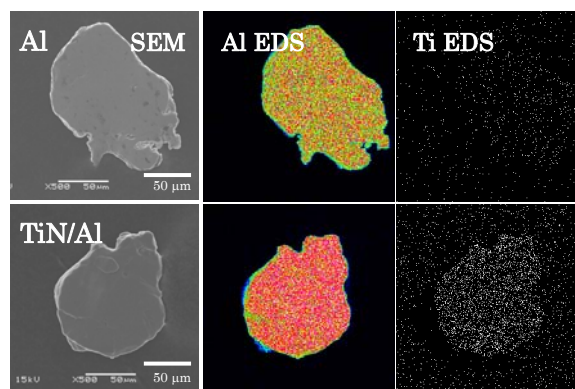
図IV-3-20 SnO<sub>2</sub> 修飾 Al フレークの断面 SEM 写真

へ修飾した。図IV-3-21(a)に修飾前後の Al フレークの写真を示す。図左手の未修飾の Al フレークは銀色をしているのに対し、右手の TiN 修飾後の Al フレークは全体が TiN 薄膜と同じ金色に着色した。これらの微粒子を光学顕微鏡にて観察すると、修飾前の微粒子



図IV-3-21 (a)TiN 修飾前後の Al フレークの写真、及び (b),(c)光学顕微鏡写真

(b)は金属色を呈しているのに対し、修飾後の微粒子(c)は個々の粒子全体が金色に均一着色していることがわかる。TiN 修飾前後の Al フレークを SEM 及び EDS 観察した結果を図IV-3-22 に示す。SEM 観察より、TiN 修飾 Al フレークの表面には島状構造などは見られず、その表面形態は未修飾 Al フレークと殆ど同じであった。また EDS 分析より、修飾後の粒子からは未修飾 Al フレークでは



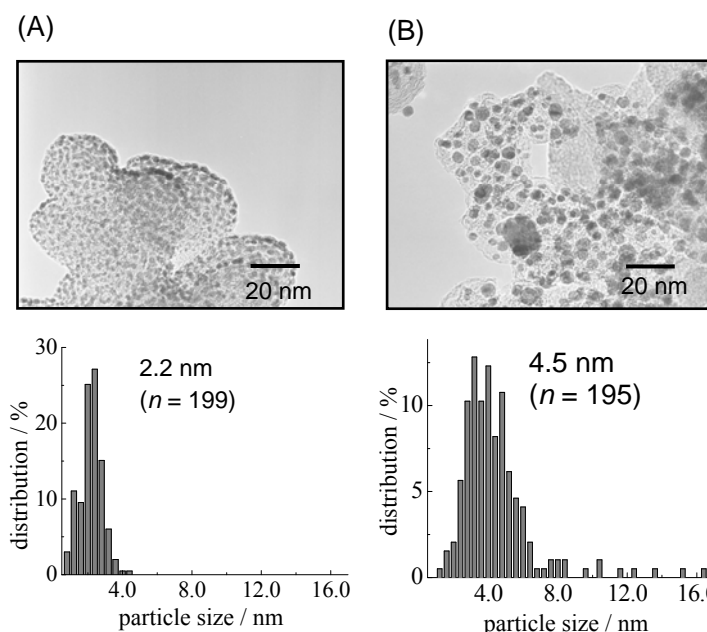
図IV-3-22 TiN 修飾 Al フレーク表面の SEM 観察像及び Al, Ti 元素の EDS 分析

見られなかった Ti 元素が粒子全面に均一に検出された。以上の結果より、本法により Al フレーク表面には TiN 薄膜が均一に修飾されていることが明らかとなった。

### 3.6 多角バレルスパッタリング法を用いた電極触媒調製

燃料電池システムの実用化にはコストの削減が必要であり、電極触媒に用いられる Pt 使用量の削減は重要な課題である。しかし、現状の電極触媒調製法(ウェット法)では改良の方針が不明で、新たな触媒調製法が期待されている。そこで、新規電極触媒調製法としてドライプロセスであるバレルスパッタリング法を用いて、電極触媒 (Pt-Ru/C) を調製し、その物性、及び、電気化学特性を評価した。

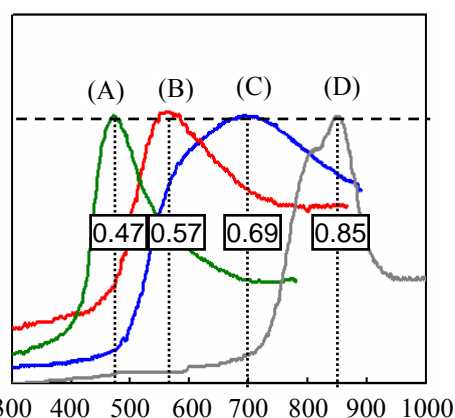
図IV-3-23 は、(A)調製 Pt-Ru/C 試料(スパッタリング条件; Pt、



図IV-3-23 TEM、EDX 測定結果 (A) 調製試料, (B) 市販試料

Ru スパッタリング比 Pt:Ru = 52:48 at.%、Ar ガス圧; 0.8 Pa、高周波出力; 50 W、試料温度; 室温)、(B)市販試料の TEM 測定結果である。TEM 像から明らかなように、いずれの試料でも Pt-Ru 合金ナノ粒子が担体カーボン (平均径 20 nm) 表面に形成されていることがわかる。しかしナノ粒子径は、調製試料; 0.8~4.4 nm( $n = 195$ 、平均粒径; 2.2 nm)、市販試料; 1.2~16.8 nm(測定粒子数[ $n$ ] = 144、平均粒径; 4.5 nm)であり、調製試料の方が市販試料に比べ、微小、且つ、単分散で担持されていることが明らかとなった。一方、個々のナノ粒子の合金組成を EDX で測定したところ、調製試料; Pt:Ru = 52.9:47.1( $\pm 5.4$ ) ( $n = 128$ )、市販試料; Pt:Ru = 51.0:49.0~89.4:10.6 ( $n = 22$ )となり、調製試料の合金組成が極めて均一であることがわかった。

図IV-3-24 には(A)文献、(B)調製試料、(C)市販試料、(D)Pt ディスク電極の CO ストリッピング結果を示す。調製試料、市販試料の CO ピーク電位は、いずれも Pt ディスク電極で観測された 0.85 V より低電位であったが、それぞれの CO 酸化ピーク電位は、0.57 V(調製試料)、0.69 V(市販試料)と異なっていた。これらの結果は、Pt-Ru 合金を担持した試料は Pt より CO 酸化活性が向上するものの、調製試料の方がより高い CO 酸化活性を有することを意味する。一方、ピーク形状を比較すると、調製試料の形状は文献(図IV-3-24(A))に類似したシャープな形状であるのに対し、市販試料はブロードであった。このピーク形状の違いは、合金組成の均一性に起因し、調製試料の合金組成が市販試料に比べ均一であるとした EDX の結果と良く一致する。

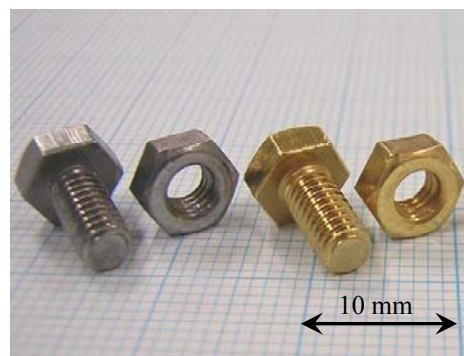


図IV-3-24 CO ストリッピング測定結果  
(A) 文献、(B) 調製試料、  
(C) 市販試料、(D) Pt ディスク

以上の結果より、バレルスパッタリング法は燃料電池電極触媒の調製法として、極めて有効な手法であることを示している。

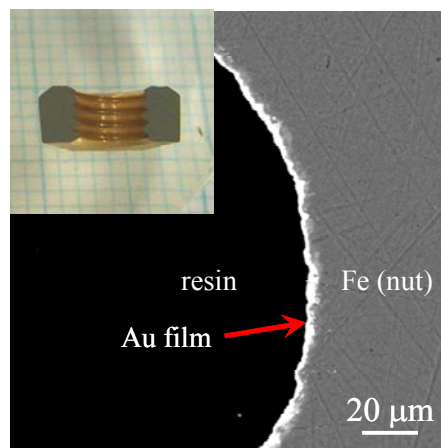
### 3.7 多角バレルスパッタリング法の応用

湿式表面修飾法の代表例としてメッキが挙げられるが、プロセス中の有害物質の人体への影響や、廃液処理などの問題が指摘されている。ここでは装飾メッキや防食メッキの代替としてバレルスパッタリング法を検討した。図IV-3-25 に市販されている鉄製のボルト、及びナットと、Au 修飾後のボルト、ナットの外観写真を示した。修飾前のボルト、ナットが銀白色を呈するのに対し、Au 修飾後はボルト、ナットのネジ溝も含め、試料全体が金色を呈していることが明らかである。



図IV-3-25 Au 修飾前後の鉄ボルト、及びナットの外観写真

図IV-3-26には Au 修飾した鉄ナットのネジ溝断面の SEM 写真を示した。なお、観察は挿入図に示したように樹脂で保持した試料を用いて行った。EDS 測定の結果から、図の左側が樹脂に、右側がナットに相当し、両者の間の白色の部分が Au 修飾膜に相当することが明かとなっている。この Au 膜の膜厚は  $2.8 \pm 0.8 \mu\text{m}$  と見積もられ、ネジ溝全体に確認された。このような Au 膜はナットの外周にも認められ、バレルスパッタリングによる「三次元」的な表面修飾が施されていることが明らかである。なお、Au 修飾した試料を水に浸漬し、超音波処理を行ったが Au 膜の剥離は認められなかった。



図IV-3-26 Au 修飾した鉄ナットのネジ溝断面の SEM 写真 (挿入図：観察に用いたナットの断面写真)

## [2] 論文リスト

### 1. 発表論文 (国際学術誌)

#### (1) 基礎物性研究分野

- 1) Release of hydrogen molecules from hydrogen-containing carbon film deposited on molybdenum  
K. Ashida, K. Watanabe, I. Kitamura and S. Ikeno  
J. Nucl. Mater., **266-269** (1999) 434-439.
- 2) Recovery of deuterium from argon carrier gas by ZrNi modified with electroless Pd coating  
K. Ashida, W. Nishida, J. Nagata, Y. Nishimura and K. Watanabe  
Mater. Trans., JIM, **40(9)** (1999) 851-854.
- 3) Zr 系ゲッターによる水素の吸着・吸収  
渡辺国昭, 真空, **42(12)** (1999) 1055-1063.
- 4) Absorption of hydrogen isotopes by Pd-Pt alloys  
T. Yasumatsu, J. L. Wan, M. Matsuyama and K. Watanabe  
J. Alloys & Compounds, **293-295** (1999) 900-907.
- 5) Hydrogen-induced disproportionation of  $\text{Zr}_2\text{Co}$   
M. Hara, R. Hayakawa and K. Watanabe  
Mater. Trans., JIM, **41(9)** (2000) 1146-1149.
- 6) Kinetics and mechanism of hydrogen-induced disproportionation of  $\text{ZrCo}$   
M. Hara, T. Okabe, K. Mori and K. Watanabe  
Fusion Eng. Design, **49-50** (2000) 831-838.
- 7) Permeation of hydrogen through vanadium under helium ion irradiation

- Y. Hatano, Y. Nanjo, R. Hayakawa and K. Watanabe  
*J. Nucl. Mater.*, **283-287** (2000) 868-871.
- 8) Solid-state reaction between tungsten and hydrogen-containing carbon film at elevated temperature  
 K. Ashida, K. Fujino, T. Okabe, M. Matsuyama and K. Watanabe  
*J. Nucl. Mater.*, **290-293** (2001) 42-46.
  - 9) Recovery of hydrogen isotopes by Pd-coated ZrNi from inert gas atmosphere containing impurities  
 K. Ashida, Y. Hatano, W. Nishida, K. Watanabe, A. Amano, K. Matsuda and S. Ikeno  
*J. Nucl. Sci. Technol.*, **38(11)** (2001) 952-958.
  - 10) Superpermeability in fusion technology: Tritium accumulation and compression  
 A. I. Livshits, Y. Hatano and K. Watanabe  
*Fusion Sci. Technol.*, **41** (2002) 882-886.
  - 11) Observation of hydrogen distribution in oxidized zircaloy-2 with tritium microautoradiography  
 H. Hanada, Y. Hatano, K. Isobe, K. Sakamoto and M. Sugisaki  
*Fusion Sci. Technol.*, **41** (2002) 915-919.
  - 12) Isotope effects on hydrogen absorption by Pd-4%at.%Pt alloy  
 Y. Jin, M. Hara, J.L. Wan, M. Matsuyama and K. Watanabe  
*J. Alloys & Compounds*, **340** (2002) 207-213.
  - 13) Initial studies of tritium behavior in flibe and flibe-facing material  
 S. Fukada, R. A. Anderl, Y. Hatano, S. T. Schuetz, R. J. Pawelko, D. A. Petti, G. R. Smolik, T. Terai, M. Nishikawa, S. Tanaka and A. Sagara  
*Fusion Eng. Design*, **61-62** (2002) 783-788.
  - 14) Surface segregation and oxidation of Ti in a V-Ti alloy  
 R. Hayakawa, Y. Hatano, K. Fujii, K. Fukumoto, H. Matsui and K. Watanabe  
*J. Nucl. Mater.*, **307-311** (2002) 580-584.
  - 15) Solid state reaction between tungsten and amorphous carbon  
 Y. Hatano, M. Takamori, K. Matsuda, S. Ikeno, K. Fujii and K. Watanabe  
*J. Nucl. Mater.*, **307-311** (2002) 1339-1343.
  - 16) Hydrogenation of MgNi<sub>2</sub> by atomic hydrogen at elevated temperatures  
 Y. Hatano and K. Watanabe  
*Mater. Trans.*, **43** (2002) 1105-1109.
  - 17) Hydrogen-induced disproportionation of Zr<sub>2</sub>M (M=Fe, Co, Ni) and reproporationation  
 M. Hara, R. Hayakawa, Y. Kaneko and K. Watanabe  
*J. Alloys & Compounds*, **352** (2003) 218-225.
  - 18) Gas-driven hydrogen permeation in the surface-limited regime  
 A. Pisarev, V. Shestakov, R. Hayakawa, Y. Hatano and K. Watanabe  
*J. Nucl. Mater.*, **320** (2003) 214-222.

- 19) Hydrogen absorption by Pd-coated ZrNi prepared by using Barrel-Sputtering System  
M. Hara, Y. Hatano, T. Abe, K. Watanabe, T. Naitoh, S. Ikeno and Y. Honda  
J. Nucl. Mater., **320** (2003) 265-271.
- 20) Relation between recombination rate constant of deuterium at niobium surface and oxygen concentration in bulk.  
R. Hayakawa, A. Busnyuk, Y. Hatano, A. Livshits and K. Watanabe  
Phys. Scr., **T103** (2003) 113-116.
- 21) Influence of heat treatment on hydrogen ingress into V-4Cr-4Ti alloy  
R. Hayakawa, Y. Hatano, K. Fukumoto, H. Matsui and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **329-333** (2004) 411-415.
- 22) Kinetics of dissociative absorption of hydrogen through Nb surface covered by oxygen  
Y. Hatano, A. Livshits, A. Busnyuk, M. Nomura, K. Hashizume, M. Sugisaki,  
Y. Nakamura, N. Ohyabu and K. Watanabe  
Phys. Scr., **T108** (2004) 14-18.
- 23) Barrier effect against hydrogen ingress by Ti segregating to surface of V-Ti alloy.  
R. Hayakawa, Y. Hatano, A. Pisarev and K. Watanabe  
Phys. Scr., **T108** (2004) 38-41.
- 24) Surface segregation of Ti in a V-4Cr-4Ti alloy and its influence on the surface reaction rates of hydrogen isotopes  
Y. Hatano, R. Hayakawa, K. Nishino, S. Ikeno, T. Nagasaka, T. Muroga and  
K. Watanabe  
Mater. Trans., **46(3)** (2005) 511-516.
- 25) Hydrogen absorption capability of a niobium panel for pumping neutral atoms in divertor region  
Y. Nakamura, A.I. Livshits, Y. Nakahara, Y. Hatano, A. Busnyuk and N. Ohyabu  
J. Nucl. Mater., **337-339** (2005) 461-465.
- 26) Helium irradiation effects on retention behavior of deuterium implanted into boron coating film by PCVD  
H. Kodama, M. Oyaidzu, A. Yoshikawa, H. Kimura, Y. Oya, M. Matsuyama,  
A. Sagara, N. Noda and K. Okuno  
J. Nucl. Mater., **337-339** (2005) 649-653.
- 27) Influence of microstructure of tungsten on solid state reaction rate with amorphous carbon film  
Y. Hatano, M. Takamori, K. Nogita, K. Matsuda, S. Ikeno and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **337-339** (2005) 902-906.

(2) 応用物性・バックエンド研究分野

- 28) In situ observation of tritium interactions with Pd and Zr by  $\beta$ -ray induced X-ray spectrometry

- M. Matsuyama, S. Ueda and K. Watanabe  
Fusion Eng. Design, **49-50** (2000) 885-891.
- 29) Nondestructive measurement of surface tritium by  $\beta$ -ray induced X-ray spectrometry (BIXS)  
M. Matsuyama, T. Tanabe, N. Noda, V. Philipps, K. H. Finken and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **290-293** (2001) 437-442.
- 30) Development of a column packing material for gas chromatographic separation of hydrogen isotopes  
Y. Nanjou, S. Ueda, T. Itoh, K. Tatenuma, M. Matsuyama and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 1151-1154.
- 31) Quantitative measurement of surface tritium by  $\beta$ -ray-induced X-ray spectrometry (BIXS)  
M. Matsuyama, T. Murai and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 505-509.
- 32) Decontamination robot for tritiated contaminants  
H. Aoyama, T. Seki, K. Ishikawa, S. Hosokawa, T. Itoh, K. Tatenuma, M. Matsuyama and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 588-592.
- 33) Screen test of tritium recovery from stainless steel type 316  
A. Perevezentsev, K. Watanabe, M. Matsuyama and Y. Torikai  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 706-710.
- 34) Effect of water vapor on tritium decontamination of stainless steel 316  
Y. Torikai, A. N. Perevezentsev, M. Matsuyama and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 736-740.
- 35) Developmental study of dry decontamination for tritiated wastes  
T. Itoh, S. Ueda, K. Tatenuma, Y. Torikai, M. Matsuyama and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 741-745.
- 36) Contamination of stainless steel type 316 by tritium  
Perevezentsev, K. Watanabe, M. Matsuyama and Y. Torikai  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 746-750.
- 37) Development of advanced column material for hydrogen isotope separation at room temperature  
S. Ueda, Y. Nanjou, T. Itoh, K. Tatenuma, M. Matsuyama and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **41** (2002) 1146-1150.
- 38) Studies on retention of tritium implanted into tungsten by  $\beta$ -ray-induced X-ray spectrometry  
M. Matsuyama, T. Murai, K. Yoshida, K. Watanabe, H. Iwakiri and N. Yoshida  
J. Nucl. Mater., **307-311** (2002) 729-734.
- 39) Non-destructive tritium measurements of Mk IIA divertor tile by BIXS

- M. Matsuyama, N. Bekris, M. Glugla, N. Noda, V. Philipps and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **313-316** (2003) 491-495.
- 40) Characteristics of a promising tritium process monitor detecting bremsstrahlung X-rays  
W. M. Shu, M. Matsuyama, T. Suzuki and M. F. Nishi  
Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, **521** (2004) 423-429.
- 41) Effects of heat treatment on trapping and release of tritium from He pre-irradiated tungsten  
M. Matsuyama, S. Nakagawa, M. Enyama, K. Watanabe, H. Iwakiri and N. Yoshida  
J. Nucl. Mater., **329-333** (2004) 752-756.
- 42) Implanted hydrogen isotope retention and chemical behavior in boron thin films for wall conditioning  
Y. Oya, H. Kodama, M. Oyaidzu, Y. Morimoto, M. Matsuyama, A. Sagara, N. Noda and K. Okuno  
J. Nucl. Mater., **329-333** (2004) 870-873.
- 43) Studies on structural and chemical characterization for boron coating films deposited by PCVD  
H. Kodama, M. Oyaidzu, M. Sasaki, H. Kimura, Y. Morimoto, Y. Oya, M. Matsuyama, A. Sagara, N. Noda and K. Okuno  
J. Nucl. Mater., **329-333** (2004) 889-893.
- 44) Behavior of tritium release from thin boron films deposited on SS316  
S. Nakagawa, M. Matsuyama, H. Kodama, Y. Oya, K. Okuno, A. Sagara, N. Noda and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **329-333** (2004) 904-908.
- 45) Tritium uptake by SS316 and its decontamination  
Y. Torikai, R.-D. Penzhorn, M. Matsuyama and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **329-333** (2004) 1624-1628.
- 46) Tritium distribution in JET Mark IIA type divertor tiles analysed by BIXS  
Y. Torikai, M. Matsuyama, N. Bekris, M. Glugla, P. Coad, W. Naegle, A. Erbe, N. Noda, V. Philipps and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **337-339** (2005) 575-579.
- 47) A new kind of column materials for gas chromatographic hydrogen isotope separation  
M. Hara, H. Shima, S. Akamaru, T. Abe, M. Matsuyama and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **48** (2005) 144-147.
- 48) A study on a tritium separation process using self-developing gas chromatography with Pd-Pt alloy  
S. Kojima, M. Yokosawa, M. Matsuyama, M. Numata, T. Kato and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **48** (2005) 152-155.
- 49) Chronic release of tritium from SS316 at ambient temperature: correlation between depth profile and tritium liberation



- Y. Torikai, R.-D. Penzhorn, M. Matsuyama and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **48** (2005) 177-181.
- 50) In-situ measurement of high level tritiated water by bremsstrahlung counting  
M. Matsuyama, Y. Torikai and K. Watanabe  
Fusion Sci. Technol., **48** (2005) 324-331.
- 51) Development of a low-level tritium air monitor  
Y. Sakuma, T. Iida, T. Koganezawa, Y. Ogata, T. Aoyama, Y. Torikai, M. Ohta  
and M. Takami  
Fusion Sci. Technol., **48** (2005) 397-400.

### (3) 素材循環研究分野

- 52) Effect of surface modification by heating in argon on charge/discharge characteristics of Mg<sub>2</sub>Ni electrode  
Y. Hatano, T. Tachikawa, K. Kobayashi, K. Mori, K. Watanabe and S. Morozumi  
Mater. Trans., JIM, **40(9)** (1999) 919-922.
- 53) Charge and discharge characteristics of sintered Mg<sub>2</sub>Ni  
K. Watanabe, W. M. Shu, K. Mizukami, K. Kobayashi, Y. Hatano and S. Morozumi  
J. Alloys & Compounds, **293-295** (1999) 626-631.
- 54) Hydrogenation of MgNi<sub>2</sub> by rf-discharged hydrogen plasma  
Y. Hatano and K. Watanabe  
Proceedings of 4th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM4), (2001) 461-464.
- 55) Surface modification of amorphous MgNi electrodes  
T. Abe, S. Inoue, D. Mu, Y. Hatano and K. Watanabe  
Proceedings of 4th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM4), (2001) 465-468.
- 56) Electrochemical behavior of amorphous MgNi as negative electrodes in rechargeable Ni-MH batteries  
T. Abe, T. Tachikawa, Y. Hatano and K. Watanabe  
J. Alloys & Compounds, **330-332** (2002) 792-795.
- 57) Degradation of amorphous MgNi electrode and effect of heat treatment in Ar  
Y. Hatano, T. Tachikawa, D. Mu, T. Abe, K. Watanabe, and S. Morozumi  
J. Alloys & Compounds, **330-332** (2002) 816-820.
- 58) Degradation kinetics of discharge capacity for amorphous Mg-Ni electrode  
D. Mu, Y. Hatano, T. Abe and K. Watanabe  
J. Alloys & Compounds, **334** (2002) 232-237.
- 59) A study of polymer electrolyte fuel cells by the measurement of AC impedance, current interrupt, and dew points: 2. Effect of cell temperature  
T. Abe, H. Shima, K. Watanabe and Y. Ito

- Fuel Cells, **2** (2002) 15-19.
- 60) Surface modification of MgNi by perylene  
T. Ma, Y. Hatano, T. Abe and K. Watanabe  
Mater. Trans., **43** (2002) 2711-2716.
  - 61) Rapid evaluation of charge/discharge properties for lithium manganese oxide particles at elevated temperatures  
K. Dokko, S. Horikoshi, T. Itoh, M. Nishizawa, T. Abe, M. Umeda and I. Uchida  
J. Solid State Electrochem, **6** (2002) 188-193.
  - 62) Electrochemical studies of the effect of surface modification of amorphous MgNi electrodes by carbon or Ni  
T. Abe, S. Inoue, D. Mu, Y. Hatano and K. Watanabe  
J. Alloys & Compounds, **349** (2003) 279-283.
  - 63) Study of PEFCs by AC impedance, current interrupt, and dew point measurements  
I. Effect of humidity in oxygen gas  
T. Abe, H. Shima, K. Watanabe and Y. Ito  
J. Electrochem. Soc., **151(1)** (2004) A101-A105.
  - 64) Effects of Pd addition on electrochemical properties of MgNi  
T. Ma, Y. Hatano, T. Abe and K. Watanabe  
J. Alloys & Compounds, **372** (2004) 251-258.
  - 65) Surface modification of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic grains using a new RF sputtering system developed for powdery materials  
T. Abe, S. Akamaru and K. Watanabe  
J. Alloys & Compounds, **377** (2004) 194-201.
  - 66) Effects of bulk modification by Pd on electrochemical properties of MgNi  
T. Ma, Y. Hatano, T. Abe and K. Watanabe  
J. Alloys & Compounds, **391** (2005) 313-317.
  - 67) Surface modification of polymer microparticles using a hexagonal-barrel sputtering system.  
T. Abe, S. Akamaru, K. Watanabe and Y. Honda  
J. Alloys & Compounds, **402** (2005) 227-232.

#### (4) その他

- 68) Deposition of lithium on a plasma edge probe in TFTR  
- Behavior of lithium-painted walls interacting with edge plasmas -  
Y. Hirooka, K. Ashida, H. Kugel, D. Walsh, W. Wampler, M. Bell, R. Conn, M. Hara, S. Luckhardt, M. Matsuyama, D. Mansfield, D. Muller, C. Skinner, T. Walters and K. Watanabe  
J. Nucl. Mater., **274** (1999) 320-328.

- 69) 真空加熱による  $Mg_2Ni$  の脱マグネシウム現象  
諸住正太郎, 犀川 浩, 渡辺国昭, 軽金属, **51(1)** (2001) 23-27.
- 70) 水素同位体科学研究センターにおける最近のトリチウム研究  
松山政夫, J. Plasma Fusion Res., **78(12)** (2002) 1301-1307.
- 71) Fabrication of photocatalytic  $TiO_2$  films on pure aluminum plates  
S. Ikeno, T. Kawabata, H. Hayashi, K. Matsuda, S. Rengakuji, T. Suzuki, Y. Hatano and K. Tanaka  
Mater. Trans., **43** (2002) 939-945.
- 72) Flibe- $D_2$  permeation experiment and analysis  
S. Fukada, R. A. Anderl, R. J. Pawelko, G. R. Smolik, S. T. Schuetz, J. E. O'Brien, H. Nishimura, Y. Hatano, T. Terai, D. A. Petti, D.-K. Sze and S. Tanaka  
Fusion Sci. Technol., **44** (2003) 410-414.
- 73) 解説 水素エネルギー関連材料 水素エネルギー社会の実現に向けて  
波多野雄治, 井上光浩, 阿部孝之, 中森裕子, 折茂慎一, 長崎正雅  
日本原子力学会誌, **47(1)** (2005) 15-24.
- 74) The toroidal pump limiter ALT-II in TEXTOR  
K. H. Finken, D. Reiter, T. Denner, K. H. Dippel, J. Hobirk, G. Mank, H. Kever, G. H. Wolf, N. Noda, A. Miyahara, T. Shoji, K. N. Sato, K. Akaishi, J. A. Boedo, J. N. Brooks, R. W. Conn, W. J. Corbett, R. P. Doerner, D. Goebel, D. S. Gray, L. Hillis, J. Hogan, R. T. McGrath, M. Matsuyama, R. Moyer, R. E. Nygren and J. Watkins  
Fusion Sci. Technol., **47** (2005) 126-136.
- 75) 水素同位体を利用した循環型エネルギーシステム  
波多野雄治, 阿部孝之, 未来材料, **5** (2005) 2-5.

## 2. 発表論文（水素同位体科学研究センター研究報告）

【平成11年度】

- 1) 100Ciトリチウム実験装置の性能試験(2) —水素同位体分離部—  
原 正憲, 松山政夫, 蘆田 完, 波多野雄治, 籠 宗和, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **19** (1999) 1-7.
- 2) Pd-4at%Pt 合金による水素吸収の動力学的研究  
万 菊林, 原 正憲, 金 瑩, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **19** (1999) 9-19.
- 3) アモルファス  $MgNi$  電極の充放電特性とそれに及ぼす Ar 中での加熱処理の影響  
波多野雄治, 立川智之, 穆 道斌, 阿部孝之, 渡辺国昭, 諸住正太郎  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **19** (1999) 21-31.
- 4)  $\beta$ 線誘起 X線計測法による Zr 中のトリチウム深さ分布の評価  
松山政夫, 上田哲志, 渡辺国昭

- 富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **19** (1999) 33-45.
- 5) メタン及びエチレンプラズマによる炭素膜の調製と水素含有量の評価  
藤野健太郎, 蘆田 完, 渡辺国昭, 岡部俊夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **19** (1999) 47-55.
- 6) バナジウム中の水素透過に及ぼす表面酸化膜の影響  
早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **19** (1999) 57-64.
- 7) トリチウム増殖材データベース(4) ( $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{ZrO}_3$  and  $\text{Li}_4\text{SiO}_4$  固体増殖材)  
二村嘉明, 河村 弘, 土谷邦彦  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **19** (1999) 65-87.

【平成12年度】

- 8) 解説 トリチウムの環境動態  
百島則之  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **20** (2000) 1-10.
- 9)  $\text{Zr}_2\text{Ni}$  の水素誘起不均化の動力学 —温度依存性—  
原 正憲, 金子義信, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **20** (2000) 11-20.
- 10) Pd-Pt 合金による水素吸収曲線の解析  
金 瑩, 原 正憲, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **20** (2000) 21-29.
- 11) タングステンとアモルファス炭素膜との固相反応  
波多野雄治, 渡辺国昭, 高森美幸, 松田健二, 池野 進  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **20** (2000) 31-41.
- 12) 含水素炭素膜と金属基板(Be, Mo, W)との反応動力学の解析  
蘆田 完, 波多野雄治, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **20** (2000) 43-52.
- 13)  $\beta$  線誘起 X 線計測法による硼素コーティング黒鉛材料のトリチウム保持に関する検討  
松山政夫, 村井忠幸, 渡辺国昭, 都築和泰, 野田信明  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **20** (2000) 53-62.
- 14) データ トリチウム増殖材データベース(5) ( $\text{TiO}_2$  添加  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  固体増殖材)  
二村嘉明, 河村 弘, 土谷邦彦  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **20** (2000) 63-67.

【平成13年度】

- 15)  $\text{Zr}_2\text{M}$  (M=Co, Ni) 系合金の水素誘起不均化生成物の結晶子への温度及び水素圧力の影響  
原 正憲, 渡辺国昭, 常田貴志, 川畑常真, 松田健二, 池野 進

- 富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 1-11.
- 16) 表面制御透過実験装置の製作と性能試験  
波多野雄治, 能村 衛, 渡辺国昭, 中村幸男, 大藪修義  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 13-26.
- 17) He 予照射タングステンにイオン注入したトリチウムの熱的挙動  
松山政夫, 吉田勝彦, 渡辺国昭, 岩切宏友, 吉田直亮  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 27-37.
- 18) メカニカルグラインディング(MG)処理した NiO の特性評価  
井上左知男, 阿部孝之, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 39-43.
- 19) コバルト酸リチウム(LiCoO<sub>2</sub>)の構造研究  
山崎和也, 岡部俊夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 45-52.
- 20) Ti-Zr-Ni 系準結晶の水素吸収と構造  
大石祐一, 原 正憲, 岡部俊夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 53-59.
- 21) SS-316 ステンレス鋼からのトリチウム除染(I)  
A. Perevezentsev, 渡辺国昭, 松山政夫, 鳥養祐二  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 61-72.
- 22) SS-316 ステンレス鋼のトリチウムの除染(II) —除染に与える水の影響—  
鳥養祐二, A. Perevezentsev, 松山政夫, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **21** (2001) 73-82.

【平成14年度】

- 23) Pd,Pd-4at%Pt 及び Pd-8at%Pt による水素吸収の動力学的同位体効果  
金 瑩, 原 正憲, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **22** (2002) 1-10.
- 24) Pd-Rh 合金の水素化物の分解・生成の熱力学  
原 正憲, 川野滋久, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **22** (2002) 11-20.
- 25) 周波数応答法による水素吸蔵合金への水素ガスの吸蔵挙動  
安田祐介, 古城将彦, 千葉晋平  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **22** (2002) 21-33.
- 26) Effect of Pd Addition on the Electrochemical Properties of MgNi  
馬 鉄軍, 波多野雄治, 阿部孝之, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **22** (2002) 35-46.
- 27) アモルファス炭素膜との固相反応速度に及ぼすタングステンの微細組織の影響  
高森美幸, 波多野雄治, 渡辺国昭

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **22** (2002) 47-53.

- 28) 厚いアクリル樹脂製のトリチウム線源で観測された X 線スペクトルの解析及びシミュレーション

松山政夫, 鳥養祐二, 渡辺国昭

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **22** (2002) 55-64.

- 29) PIN-diode による JET ダイバータタイトルのトリチウム分析

鳥養祐二, 松山政夫, 渡辺国昭, 野田信明, N. Bekris, M. Glugla, V. Philipps, P. Code

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **22** (2002) 65-76.

#### 【平成15年度】

- 30) BIXS 法によるトリチウム分圧の測定(I) —水素同位体の全圧依存性—

松山政夫, 洲 亘, 鈴木卓美, 西 正孝

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **23** (2003) 1-7.

- 31) 水素同位体分離カラム充填材用の Pd 被覆を施した Mo 粉末の評価

島 寛之, 上田哲志, 赤丸悟士, 原 正憲, 阿部孝之, 松山政夫, 渡辺国昭

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **23** (2003) 9-15.

- 32) Nb 表面に偏析した酸素の水素イオンによるスパッタリング

波多野雄治, A. Busnyuk, A. Livshits, 中村幸男, 大藪修義, 渡辺国昭

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **23** (2003) 17-27.

- 33) Study of Hydrogen Adsorption by V,V-Ti alloy and V-oxide through ab initio Calculations

王 利, 早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **23** (2003) 29-41.

- 34) Addition of Some Transition Elements and their Effects on the Electrochemical Properties of MgNi

馬 鉄軍, 波多野雄治, 阿部孝之, 渡辺国昭

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **23** (2003) 43-52.

- 35) 電池反応を利用したエッチング廃液からの銅回収

山本浩也, 赤丸悟士, 阿部孝之, 渡辺国昭, 城石昭弘

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **23** (2003) 53-58.

#### 【平成16年度】

- 36) ホウ素薄膜からのトリチウム脱離挙動に対するヘリウムの予照射効果

松山政夫, 塚田真理, 奥野健二, 大矢恭久, 相良明男, 野田信明, 渡辺国昭

富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **24** (2004) 1-8.

- 37) バナジウムの水素吸収速度に及ぼす酸素および硫黄の影響

早川 亮, 西野雅奈子, 波多野雄治, V. Alimov, A.I. Livshits, 池野 進, 中村幸男, 大藪修義, 渡辺国昭

- 富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **24** (2004) 9-28.
- 38) BIXS 法のトリチウム汚染材料計測への応用  
鳥養祐二, 村田大樹, A. Perevezentsev, 渡辺国昭, 松山政夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **24** (2004) 29-39.
- 39) バレルスパッタリング法による複雑な形状をもつ製品体への表面コーティング  
北見知士, 田口 明, 赤丸悟士, 阿部孝之  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **24** (2004) 41-46.
- 40) 技術報告 線量算定評価システムの構築とその運用  
原 正憲, 赤丸悟士, 波多野雄治, 松山政夫, 柴尾幸伸, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **24** (2004) 47-53.
- 41) 技術報告 100Ciトリチウム実験装置への元素状トリチウム(100Ci)の充填  
赤丸悟士, 原 正憲, 松山政夫, 渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **24** (2004) 55-64.

【平成17年度】

- 42) 総説 富山大学におけるトリチウム取扱い技術の研究・開発  
渡辺国昭  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **25** (2005) 1-24.
- 43) 清浄 Nb 表面への水素の吸着と偏析  
波多野雄治, V. Alimov, A. Livshits, 中村幸男, 大藪修義, 松山政夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **25** (2005) 25-39.
- 44) SS316 ステンレス鋼のトリチウムの除染(III) —エッチングによる表面除染後のトリチウムの挙動—  
村田大樹, 鳥養祐二, R.-D. Penzhorn, 赤石憲也, 渡辺国昭, 松山政夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **25** (2005) 41-49.
- 45) SS316 ステンレス鋼のトリチウムの除染(IV) —エッチング表面における水素捕獲と放出のモデリング—  
赤石憲也, 村田大樹, R.-D. Penzhorn, 鳥養祐二, 渡辺国昭, 松山政夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **25** (2005) 51-62.
- 46) In-situ measurements of tritium desorption from a vanadium alloy by  $\beta$ -ray-induced X-ray spectrometry (BIXS)  
Xiang Liu, 本間啓史, 波多野雄治, 松山政夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **25** (2005) 63-70.
- 47) 高感度熱量計によるトリチウム量の絶対測定(I) —熱量測定システムの設計・製作及び性能試験—  
松山政夫  
富山大学水素同位体科学研究センター研究報告, **25** (2005) 71-83.
- 48) 技術報告 液体シンチレーションカウンターの計数特性とクエンチング校正

[3] 論文発表の状況

表IV-3-1 は、前節の論文リストに示した国際学術誌等への発表論文を掲載雑誌名ごとに分類したものである。表より明らかなように、投稿・掲載雑誌は18種の多岐にわたっているが、7年間の研究成果の主たる公表はトリチウムの科学技術関係、トリチウムを含む水素同位体と材料との相互作用関係、金属材料関係に関わる論文誌に投稿・掲載されている。

表IV-3-1 発表論文の雑誌名と件数

雑誌名	件数
Advanced Materials and Processing (PRICM4)	2
Fuel Cells	1
Fusion Engineering and Design	3
Fusion Science and Technology	17
Journal of Alloys and Compounds	12
Journal of the Electrochemical Society	1
Journal of Nuclear Materials	21
Journal of Nuclear Science and Technology	1
Journal of Plasma and Fusion Research	1
Journal of Solid State Electrochemistry	1
Materials Transactions	4
Materials Transactions JIM	3
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A	1
Physica Scripta	3
軽金属	1
真空	1
日本原子力学会誌	1
未来材料	1

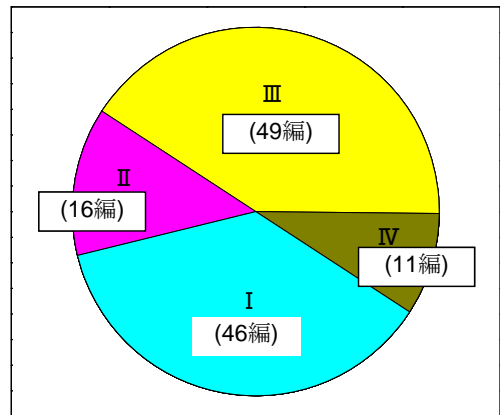
表IV-3-2 は、論文リストに示した平成11年から17年の7年間に国際学術誌及び水素同位体科学研究センター研究報告に発表された120編以上の学術論文を整理したものである。学内外の研究者との共同研究の活動状況との関連性を調べるために、これらの論文を下記の分類基準に従って整理した。

表IV-3-2 7年間の発表論文の分類・整理

	分類	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	合計
国際学術誌	I	5	3	2	8	2	2	4	26
	II	1	1	2	2	1	0	1	8
	III	1	0	2	9	4	8	8	32
	IV	0	0	0	5	0	2	2	9
センター研究報告	I	5	3	1	5	3	1	2	20
	II	1	1	3	1	1	0	1	8
	III	1	2	4	1	2	3	4	17
	IV	0	0	0	0	0	2	0	2
合計		14	10	14	31	13	18	22	122

- I : センターの専任教員のみによる原著論文
- II : 学内教員との共同研究による原著論文
- III : 学外研究者との共同研究による原著論文
- IV : 民間等との共同研究による原著論文

表IV-3-2 の分類結果に基づき、I からIVの分類基準に該当する論文数の割合を示したのが図IV-3-1 である。図から分かる様に、学外研究者との共同研究による論文(40%)が最も多く、次いでセンターの専任教員による論文(38%)となっている。



図IV-3-1 発表論文の分布状況

この分布状況は、本センターが我国の大学で唯一の「高濃度トリチウム取扱い施設」であるという特徴を表すものである。しかしながら、本センターが学内共同教育研究施設であることを考慮するならば、今後は学内教員との共同研究もより活発にし、この研究成果に基づく論文の数を増加させる必要がある。



#### [4] 国内外の学会等での発表状況

##### 1. 国内学会等

###### 【平成11年度】

- 1) 「表面改質 ZrNi による不純物ガスを含む Ar 中の重水素回収」  
芦田 完, 西田 航, 渡辺国昭  
日本原子力学会 1999 年秋の大会
- 2) 「 $\beta$ 線誘起 X 線計測法による表面トリチウムの in-situ 測定(III);測定限界に関する検討」  
松山政夫, 渡辺国昭, 宇田達彦  
日本原子力学会 1999 年秋の大会
- 3) 「バナジウム中の水素の透過挙動に及ぼすヘリウムイオン同時照射の影響」  
早川 亮, 波多野雄治, 南条吉保, 渡辺国昭  
日本金属学会 1999 年秋期(第 125 回)大会
- 4) 「アモルファス MgNi 電極の劣化機構」  
波多野雄治, 立川智之, 穆 道斌, 渡辺国昭, 諸住正太郎  
日本金属学会 1999 年秋期(第 125 回)大会
- 5) 「Pd により表面改質された ZrNi の酸素に対する耐久性」  
天野麻美, 芦田 完, 渡辺国昭, 池野 進  
日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 平成 11 年度連合講演会
- 6) 「メタンあるいはエチレンプラズマにより作成した炭素膜の FT-IR による測定」  
藤野健太郎, 岡部俊夫, 芦田 完, 渡辺国昭  
日本物理学会北陸支部 応用物理北陸・信越支部合同学術講演会

###### 【平成12年度】

- 7) 「水素含有炭素膜とタンゲステンの固相反応」  
芦田 完, 渡辺国昭, 藤野健太郎, 岡部俊夫  
日本原子力学会 2000 年春の年会
- 8) 「The Kinetic Study of Hydrogen Absorption by Pd-4at% Alloy」  
Y. Jin, J.L. Wan, M. Hara, K. Watanabe  
日本原子力学会 2000 年春の年会
- 9) 「 $\beta$ 線誘起 X 線計測法による表面トリチウムの in-situ 測定(IV);アルゴン雰囲気での X 線への転換係数」  
村井忠幸, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2000 年春の年会
- 10) 「 $\beta$ 線誘起 X 線計測法による表面トリチウムの in-situ 測定(V);B/C 材料にイオン照射したトリチウムの熱的挙動」  
松山政夫, 村井忠幸, 渡辺国昭, 都築和泰, 野田信明  
日本原子力学会 2000 年春の年会

- 11) 「バナジウム合金の X 線光電子分光法による表面分析」  
早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2000 年春期(第 126 回)大会
- 12) 「水素二次電池用負極としてのアモルファス MgNi の電気化学的挙動」  
阿部孝之, 立川智之, 穆 道斌, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2000 年春期(第 126 回)大会
- 13) 「Zr<sub>2</sub>Co の水素誘起不均化」  
原 正憲, 早川 亮, 渡辺国昭  
日本金属学会 2000 年春期(第 126 回)大会
- 14) 「ヘリウムイオン照射によりバナジウム中に形成された欠陥と水素の相互作用」  
早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭  
第3回核融合エネルギー連合講演会
- 15) 「表面トリチウムの定量的評価に対するβ線誘起 X 線計測法の適用性」  
松山政夫, 村井忠幸, 渡辺国昭, 野田信明  
第3回核融合エネルギー連合講演会
- 16) 「JET 黒鉛タイルからのトリチウム除染」  
波多野雄治, N. Bekris, R.-D. Penzhorn  
日本原子力学会 2000 年秋の大会
- 17) 「β線誘起 X 線計測法による表面層トリチウムの in-situ 測定(VI); 転換係数の深さ分布依存性」  
村井忠幸, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2000 年秋の大会
- 18) 「Zr<sub>2</sub>M 系ゲッター材の水素吸収特性」  
原 正憲, 金子義信, 早川 亮, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2000 年秋の大会
- 19) 「SUS316 ステンレス鋼のトリチウム除染( I ); トリチウムの昇温脱離」  
A. N. Perevezentsev, 鳥養祐二, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2000 年秋の大会
- 20) 「トリチウム汚染物の乾式除染技術の開発研究( I ); オゾンガス処理および反応性プラズマ処理の可能性」  
伊藤剛士, 上田哲志, 蓼沼克嘉, 鳥養祐二, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2000 年秋の大会

#### 【平成13年度】

- 21) 「タングステンと炭素膜の固相反応」  
波多野雄治, 高森美幸, 渡辺国昭, 松田健二, 池野 進  
日本原子力学会 2001 年春の大会
- 22) 「BIXS 法によるタングステン中のトリチウム分析( I )」

- 松山政夫, 吉田勝彦, 村井忠幸, 岩切宏友, 渡辺国昭, 吉田直亮  
日本原子力学会 2001 年春の大会
- 23) 「SUS316 ステンレス鋼のトリチウム除染(Ⅱ)」  
鳥養祐二, A.N. Perevezentsev, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年春の大会
- 24) 「トリチウム汚染物の乾式除染技術の開発研究(Ⅱ); オゾンガスによるトリチウム除去挙動」  
伊藤剛士, 上田哲志, 蓼沼克嘉, 鳥養祐二, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年春の大会
- 25) 「高効率水素同位体分離技術の開発研究(Ⅰ); 多孔質 SiC 担持 Pd-Pt による水素同位体の室温分離(Ⅰ)」  
上田哲志, 伊藤剛士, 南条吉保, 蓼沼克嘉, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年春の大会
- 26) 「高効率水素同位体分離技術の開発研究(Ⅱ); 水素同位体分離用多孔質 SiC 担持 Pd-Pt 合金」  
南条吉保, 上田哲志, 伊藤剛士, 蓼沼克嘉, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年春の大会
- 27) 「真空中での加熱処理による V-Ti 合金中の表面偏析」  
早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2001 年春期(第 128 回)大会
- 28) 「MgNi 電極の表面改質」  
穆 道斌, 波多野雄治, 阿部孝之, 渡辺国昭  
日本金属学会 2001 年春期(第 128 回)大会
- 29) 「50cm<sup>2</sup> 級 PEMFC における水分量の影響」  
川野滋久, 阿部孝之, 渡辺国昭, 伊藤友喜男  
2001 年 電気化学会第 68 回大会
- 30) 「50cm<sup>2</sup> 級 PEMFC における負荷の影響」  
川野滋久, 阿部孝之, 渡辺国昭, 伊藤友喜男  
2001 年 電気化学会第 68 回大会
- 31) 「メカニカルグラインディング(MG)した RuO<sub>2</sub> の電気化学特性」  
井上左知男, 阿部孝之, 渡辺国昭  
2001 年 電気化学会第 68 回大会
- 32) 「メカニカルグラインディング(MG)処理した NiO の特性評価」  
堀田昌孝, 井上左知男, 阿部孝之, 渡辺国昭  
2001 年 電気化学秋季大会
- 33) 「固体高分子型燃料電池(PEFC)におけるセル温度の影響」  
島 寛之, 阿部孝之, 渡辺国昭  
2001 年電気化学秋季大会

- 34) 「高効率水素同位体分離技術の開発研究(Ⅱ);トリチウム分離用カラムの予備実験」  
上田哲志, 伊藤剛士, 蓼沼克嘉, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年秋の大会
- 35) 「SUS316 ステンレス鋼のトリチウム除染(Ⅲ)」  
鳥養祐二, A. N. Perevezentsev, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年秋の大会
- 36) 「オゾン処理方式トリチウム除染ロボットの開発」  
青山 元, 細川俊介, 伊藤剛士, 蓼沼克嘉, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年秋の大会
- 37) 「Zr<sub>2</sub>M 系ゲッターの水素吸収の動力学」  
原 正憲, 金子義信, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年秋の大会
- 38) 「Nb 表面での重水素の再結合定数に及ぼす酸素の影響」  
早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭, A. Busnyuk, A. Livshits  
日本原子力学会 2001 年秋の大会
- 39) 「BIXS 法によるタングステン中のトリチウム分析(Ⅱ)」  
松山政夫, 吉田勝彦, 村井忠幸, 渡辺国昭, (九大)岩切宏友, 吉田直亮  
日本原子力学会 2001 年秋の大会
- 40) 「β線誘起 X 線計測法(BIXS)による Ni 基合金中のトリチウムの測定(Ⅰ)」  
吉田勝彦, 村井忠幸, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2001 年秋の大会
- 41) 「カーボン修飾アモルファス MgNi の電気化学的挙動」  
阿部孝之, 波多野雄治, 穆 道斌, 渡辺国昭  
日本金属学会 2001 年秋期(第 129 回)大会
- 42) 「高周波放電により生成したプロチウムによる MgNi<sub>2</sub> の水素化」  
波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2001 年秋期(第 129 回)大会

#### 【平成14年度】

- 43) 「Flibe からの含水素不純物の放出挙動」  
波多野雄治, 深田 智, 西川正史, 寺井隆幸, 田中 知, R. A. Anderl, S. T. Suchuetz, R. J. Pawelko, D. A. Petti  
日本原子力学会 2002 年春の大会
- 44) 「Flibe トリチウムポットの設計」  
深田 智, 西川正史, 波多野雄治, 寺井隆幸, 田中 知, R. A. Anderl, S. T. Suchuetz, R. J. Pawelko, D. A. Petti  
日本原子力学会 2002 年春の大会
- 45) 「高効率水素同位体分離技術の開発(Ⅲ);Pd-4at%Pt 合金による水素同位体の分離」

- 上田哲志, 伊藤剛士, 蓼沼克嘉, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2002 年春の大会
- 46) 「トリチウムの脱離挙動に対するホウ素コーティングの影響」  
中川祥絵, 松山政夫, 渡辺国昭, 相良明男, 野田信明, 奥野健二  
日本原子力学会 2002 年春の大会
- 47) 「BIXS 法によるタングステン中のトリチウムの分析(III)」  
松山政夫, 吉田勝彦, 村井忠幸, 渡辺国昭, 岩切宏友, 吉田直亮  
日本原子力学会 2002 年春の大会
- 48) 「スパッタリングにより Pd を修飾した ZrNi の活性化挙動」  
原 正憲, 波多野雄治, 阿部孝之, 渡辺国昭, 内藤利光, 松田健二, 池野 進,  
本多祐二  
日本金属学会 2002 年春期(第 130 回)大会
- 49) 「Surface modification of MgNi by aromatic compounds」  
馬 鉄軍, 波多野雄治, 穆 道斌, 阿部孝之, 渡辺国昭  
日本金属学会 2002 年春期(第 130 回)大会
- 50) 「ボロン薄膜における高エネルギー重水素の化学的挙動の解明」  
児玉 博, 佐々木政義, 森本泰臣, 奥野健二, 松山政夫, 大矢恭久, 相良明男,  
野田信明  
日本原子力学会 2002 年秋の大会
- 51) 「高効率水素同位体分離技術の開発(IV); 高分散型分離カラム材の開発」  
上田哲志, 伊藤剛士, 蓼沼克嘉, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2002 年秋の大会
- 52) 「BIXS 法による JET ダイバータタイトルのトリチウム分析( I )」  
松山政夫, 渡辺国昭, 野田信明, N. Bekris, M. Glugla, V. Philipps  
日本原子力学会 2002 年秋の大会
- 53) 「V-Ti 合金の水素吸収に対する表面偏析 Ti の障壁効果」  
早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2002 年秋期(第 131 回)大会
- 54) 「タングステンと非晶質炭素膜との固相反応」  
高森美幸, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2002 年秋期(第 131 回)大会
- 55) 「ニオブ表面における水素の吸着・脱離挙動に及ぼす酸素の影響」  
能村 衛, 早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭, A. Busnyuk, A. Livshits  
日本金属学会 2002 年秋期(第 131 回)大会
- 56) 「The Effects of Pd Addition on the Electrochemical Properties of MgNi」  
馬 鉄軍, 波多野雄治, 阿部孝之, 渡辺国昭  
日本金属学会 2002 年秋期(第 131 回)大会

## 【平成15年度】

- 57) 「多角バレルスパッタリング装置を用いた微粒子表面の新規修飾法  
ー粒径5 $\mu\text{m}$  ポリマー微粒子表面への Pt 修飾ー」  
赤丸悟士, 阿部孝之, 渡辺国昭, 本多祐二  
日本化学会 第 83 春季年会
- 58) 「多角バレルスパッタリング装置を用いた微粒子表面の新規修飾法  
ーイオン性結晶 NaCl 粒子表面への Pt 修飾ー」  
赤丸悟士, 阿部孝之, 渡辺国昭  
日本金属学会 2003 年春期(第 132 回)大会
- 59) 「Mg-Ni-RE 系水素吸蔵合金の水素吸蔵特性に及ぼす前処理の効果」  
原 正憲, 諸住正太郎, 渡辺国昭  
日本金属学会 2003 年春期(第 132 回)大会
- 60) 「化学種弁別低レベルトリチウムモニタの開発( I )」  
佐久間洋一, 飯田孝夫, 小金澤孝之, 緒方良至, 青山隆彦, 鳥養祐二, 田中将裕  
日本原子力学会 2003 年春の大会
- 61) 「環境水中トリチウム測定手法の簡素化」  
飯田孝夫, 小金澤孝之, 緒方良至, 佐久間洋一, 山西弘城, 垣内正久, 佐竹 洋,  
鳥養祐二, 辻 成人  
日本原子力学会 2003 年春の大会
- 62) 「酸素が偏析した Nb 表面上への水素の吸着挙動」  
波多野雄治, 能村 衛, 渡辺国昭, A. Livshits, A. Busnyuk, 中村幸男, 大藪修義  
日本原子力学会 2003 年春の大会
- 63) 「BIXS 法による JET ダイバータタイトルのトリチウム分析( II )」  
松山政夫, 渡辺国昭, 野田信明, N. Bekris, M. Glugla, V. Philipps  
日本原子力学会 2003 年春の大会
- 64) 「Mo にイオン照射されたトリチウムの BIXS 法による追跡」  
圓山允一, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2003 年春の大会
- 65) 「ボロン膜にイオン注入されたトリチウムの脱離挙動」  
中川祥絵, 松山政夫, 渡辺国昭, 相良明男, 野田信明, 児玉 博, 奥野健二  
日本原子力学会 2003 年春の大会
- 66) 「SUS316 ステンレス鋼のトリチウム除染(IV)」  
鳥養祐二, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2003 年春の大会
- 67) 「水素同位体分離用カラム充填材の開発;Pd および Pd-Pt 合金被覆 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末の  
調整と特性評価」  
島 寛之, 赤丸悟士, 阿部孝之, 渡辺国昭, 上田哲志  
日本原子力学会 2003 年春の大会

- 68) 「多角バレルスパッタリング装置を用いた微粒子表面の新規修飾法—電極触媒の新規調製法—」  
阿部孝之, 赤丸悟士, 渡辺国昭  
電気化学会 創立 70 周年記念大会
- 69) 「電池反応を利用したエッチング廃液の有効利用」  
山本浩也, 赤丸悟士, 阿部孝之, 渡辺国昭  
電気化学会 創立 70 周年記念大会
- 70) 「粉末微粒子の新規表面修飾法とその電気化学的反応」  
阿部孝之, 赤丸悟士, 渡辺国昭  
電気化学会 秋季大会
- 71) 「バレルスパッタ法による Pd-Pt 合金被膜の作製と評価」  
島 寛之, 赤丸悟士, 原 正憲, 阿部孝之, 渡辺国昭  
日本金属学会 2003 年秋期大会
- 72) 「Nb と Pd の反応速度および水素透過速度に及ぼす Nb 炭化物層の影響」  
石山敬太, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2003 年秋期大会
- 73) 「低放射化バナジウム合金の水素吸収挙動」  
波多野雄治, 早川 亮, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2003 年秋の大会
- 74) 「ボロン薄膜における高エネルギー重水素の化学的挙動の解明(II)」  
児玉 博, 小柳津誠, 吉河 朗, 森本泰臣, 奥野健二, 大矢恭久, 松山政夫,  
相良明男, 野田信明  
日本原子力学会 2003 年秋の大会
- 75) 「BIXS 法による高濃度トリチウム水のその場測定」  
松山政夫, 鳥養祐二, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2003 年秋の大会
- 76) 「ボロン膜にイオン注入されたトリチウムの脱離挙動(II)」  
中川祥絵, 松山政夫, 渡辺国昭, 相良明男, 野田信明, 大矢恭久, 児玉 博,  
奥野健二  
日本原子力学会 2003 年秋の大会
- 77) 「SDGC 法によるトリチウム分離プロセスの開発( I );シミュレーション技術の開発」  
横沢 実, 大原 武, 小島秀蔵, 加藤 敬, 沼田 守, 松山政夫, 渡辺国昭, 上田哲  
志, 蓼沼克嘉  
日本原子力学会 2003 年秋の大会
- 78) 「BIXS 法による JET ダイバータタイトルのトリチウム分析(III)」  
鳥養祐二, 松山政夫, 渡辺国昭, 野田信明, N. Bekris, M. Glugla, V. Philipps, J.  
P. Coad  
日本原子力学会 2003 年秋の大会

【平成16年度】

- 79) 「Pd-Co, Cu 合金の水素化物生成に対する同位体効果」  
杉山博則, 原 正憲, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本金属学会 2004 年春期(第 134 回)大会
- 80) 「Nb と Pd の反応速度および水素透過速度に及ぼす Nb 炭化物層の影響(Ⅱ): Pd 被膜の高温健全性評価」  
石山敬太, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会 2004 年春期(第 134 回)大会
- 81) 「バレルスパッタリング法を用いた燃料電池用アノード触媒の調製」  
井上光浩, 阿部孝之, 渡辺国昭  
日本金属学会 2004 年春期(第 134 回)大会
- 82) 「SDGC 法によるトリチウム分離プロセスの開発(Ⅱ); 大型カラム用 Pd-Pt 合金粉体の H-D 分離性能確認試験」  
小島秀蔵, 加藤 敬, 沼田 守, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2004 年春の年会
- 83) 「BIXS 法による JET ダイバータタイトルのトリチウムの分析(Ⅳ)」  
鳥養祐二, 松山政夫, 渡辺国昭, 野田信明, N. Bekris, M. Glugla, V. Philipps, J.P. Coad  
日本原子力学会 2004 年春の年会
- 84) 「Mo にイオン照射されたトリチウムの BIXS 法による追跡(Ⅱ)」  
圓山允一, 松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2004 年春の年会
- 85) 「ボロン薄膜中の水素同位体化学状態とその滞留挙動」  
吉河 朗, 児玉 博, 小柳津誠, 奥野健二, 大矢恭久, 松山政夫, 相良明男, 野田信明  
日本原子力学会 2004 年春の年会
- 86) 「ボロンコーティング薄膜における高エネルギー重水素化学的挙動に及ぼすヘリウム照射効果の解明」  
児玉 博, 小柳津誠, 吉河 朗, 木村宏美, 奥野健二, 大矢恭久, 松山政夫, 相良明男, 野田信明  
日本原子力学会 2004 年春の年会
- 87) 「Nb 表面での水素の解離反応速度に及ぼす偏析酸素の影響」  
波多野雄治, 渡辺国昭, A. Livshits, A. Busnyuk, V. Alimov, 橋爪健一,  
中村幸男, 大藪修義  
日本原子力学会 2004 年春の年会
- 88) 「バレルスパッタリング法を用いた PEFC 用アノード触媒の調製」  
井上光浩, 阿部孝之, 渡辺国昭  
電気化学会 第 71 回大会



- 89) 「V-4Cr-4Ti 合金の水素吸収へ及ぼす熱処理の影響」  
早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭  
第5回核融合エネルギー連合講演会
- 90) 「BIXS 法による水素同位体のトリチウム分圧の測定」  
松山政夫, 洲 亘, 鈴木卓美, 西 正孝  
第5回核融合エネルギー連合講演会
- 91) 「室温におけるステンレス鋼(SS316)からのトリチウムの長期間脱離」  
鳥養祐二, R.-D. Penzhorn, 松山政夫, 渡辺国昭  
第5回核融合エネルギー連合講演会
- 92) 「Flibe 溶融塩中の水素同位体種の拡散挙動」  
深田 智, 西村秀俊, 寺井隆幸, 田中 知, R. Anderl, R. Pawelko, S. Schuetz,  
D. Petti, 波多野雄治, 西川正史, 奥野健二  
第5回核融合エネルギー連合講演会
- 93) 「核融合炉ブランケット溶融塩 Flibe の精製と化学制御」  
大矢恭久, 西村秀俊, 寺井隆幸, 田中 知, 原 正憲, 波多野雄治, 深田 智, 奥野  
健二, 西川正史, G. Smolik, R. Anderl, D. Petti  
第5回核融合エネルギー連合講演会
- 94) 「Flibe からの物質移行(Mobilization)に関する研究」  
森本泰臣, 奥野健二, 大矢恭久, 波多野雄治, 深田 智, 寺井隆幸, 田中 知,  
西川正史, G. Smolik, R. Pawelko, R. Anderl, D. Petti  
第5回核融合エネルギー連合講演会
- 95) 「ボロンコーティング薄膜に打ち込まれた高エネルギー重水素の化学的挙動」  
児玉 博, 小柳津誠, 吉河 朗, 木村宏美, 奥野健二, 大矢恭久, 松山政夫, 相良  
明男, 野田信明  
第5回核融合エネルギー連合講演会
- 96) 「Nb-Pd 保護膜間の反応速度に及ぼす熱処理および表面処理の影響」  
波多野雄治, 渡辺国昭, 石山敬太  
日本金属学会 2004 年秋期(第 135 回)大会
- 97) 「高精度熱量計を基本とするトリチウム基準計測システムの構築(1) —システムの設計概  
要及び基本的性能の評価—」  
松山政夫  
プラズマ・核融合学会 第 21 回年会
- 98) 「SDGC 法を用いた水素同位体分離プロセスの開発」  
森本泰臣, 佐々木忠志, 小島秀蔵, 加藤 敬, 沼田 守, 原 正憲, 赤丸悟士, 松  
山政夫, 渡辺国昭  
プラズマ・核融合学会 第 21 回年会
- 99) 「紫外線照射下における Fe 中の水素透過」  
千葉晋平, 波多野雄治, 渡辺国昭

- 日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 平成 16 年度総会・連合講演会  
100)「バレルスパッタリング法を用いた  $WO_3$  薄膜の調製」  
浜谷宏美, 松田健二, 池野 進, 阿部孝之, 渡辺国昭  
日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 平成 16 年度総会・連合講演会  
101)「V-4Cr-4Ti 合金における Ti の表面偏析と水素同位体挙動」  
西野雅奈子, 松田健二, 池野 進, 早川 亮, 波多野雄治, 渡辺国昭  
日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 平成 16 年度総会・連合講演会

### 【平成17年度】

- 102)「プラスチックシンチレータを用いた高濃度トリチウムの測定」  
清水秀年, 江原康太郎, 緒方良至, 宮原 洋, 鳥養祐二, 松山政夫  
研究会「放射線検出器とその応用(第 19 回)」
- 103)「SDGC 法によるトリチウム分離プロセスの開発(Ⅲ); 重水素-トリチウム分離性能試験」  
森本泰臣, 小島秀蔵, 佐々木忠志, 加藤 敬, 沼田 守, 原 正憲, 赤丸悟士,  
松山政夫, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2005 年春の年会
- 104)「Pd-Cu 合金粉末における水素同位体の吸収-脱離特性」  
松山政夫, 杉山博則, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2005 年春の年会
- 105)「SS316 ステンレス鋼のトリチウムの除染(V)」  
鳥養祐二, R.-D. Penzhorn, 松山政夫, 渡辺国昭,  
日本原子力学会 2005 年春の年会
- 106)「 $Li_2BeF_4$  溶融塩への Be の溶解挙動」  
原 正憲, 波多野雄治, 奥野健二, 西川正史, 大矢恭久, 寺井隆幸, 田中 知,  
M. Simpson, G.R. Smolik, J.P. Sharp, R.A. Anderl, D.A. Petti,  
日本原子力学会 2005 年春の年会
- 107)「真空中での熱処理による  $Be_{12}Ti$  合金の表面状態の変化」  
波多野雄治, 渡辺国昭, 河村 弘, 内田宗範  
日本金属学会 2005 年春期(第 136 回)大会
- 108)「バレルスパッタリング法により調整した Pt-Ru/C の物性と電気化学特性」  
井上光浩, 山本浩也, 阿部孝之, 渡辺国昭  
電気化学会 第 72 回大会
- 109)「Nb および V 中の水素の超透過特性に及ぼす酸素の影響」  
波多野雄治, 松山政夫, (Bonch-Bruyevich 大) A. Livshits, A. Busnyuk, V. Alimov,  
中村幸男, 大藪修義  
日本原子力学会 2005 年秋の大会
- 110)「新規カラム材を用いたガスクロマトグラフによる水素同位体分離」  
原 正憲, 島 寛之, 赤丸悟士, 阿部孝之, 松山政夫

- 日本原子力学会 2005 年秋の大会
- 111)「SS316 ステンレス鋼のトリチウム除染(VI)」  
村田大樹, 鳥養祐二, R.-D. Penzhorn, 松山政夫, 赤石憲也, 渡辺国昭  
日本原子力学会 2005 年秋の大会
- 112)「環境水中トリチウム測定手法の簡素化2」  
佐久間洋一, 山西弘城, 緒方良至, 辻 成人, 鳥養祐二  
日本原子力学会 2005 年秋の大会
- 113)「多角バレルスパッタリング法を用いた微粒子表面への TiO<sub>2</sub> 薄膜修飾」  
東出真吾, 赤丸悟士, 原 正憲, 阿部孝之  
日本金属学会 2005 年秋期(第 137 回)大会
- 114)「ラジオルミノグラフ法による低放射化バナジウム合金中のトリチウム分布の観察」  
本間啓史, 波多野雄治, 松山政夫, 大福 寛, 斎藤英之, 長坂琢也, 室賀健夫,  
中村幸男  
日本金属学会 2005 年秋期(第 137 回)大会
- 115)「バナジウム合金中のトリチウムの拡散挙動」  
益田丈輔, 橋爪健一, 田辺哲朗, 波多野雄治, 長坂琢也,  
室賀健夫, 中村幸男  
日本金属学会 2005 年秋期(第 137 回)大会
- 116)「SS316 中のトリチウム分布」  
鳥養祐二, 村田大樹, R.-D. Penzhorn, 赤石憲也, 渡辺国昭, 松山政夫  
日本真空協会 第 46 回真空に関する連合講演会
- 117)「多角バレルスパッタリング法で調製した PEFC 用アノード電極触媒の物性と電気化学  
特性」  
井上光浩, 赤丸悟士, 田口 明, 阿部孝之  
日本表面科学会 第 25 回表面科学講演大会
- 118)「多角バレルスパッタリング法による微粒子表面への SnO<sub>2</sub> 薄膜修飾」  
東出真吾, 赤丸悟士, 阿部孝之  
日本表面科学会 第 25 回表面科学講演大会
- 119)「Nb 水素透過膜と Pd 保護皮膜の反応に関する研究」  
波多野雄治, 本間啓史, 野崎天生  
日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 平成 17 年度総会・連合講演会
- 120)「Pd 合金水素化物生成の磁気特性」  
桜井淳一, 西村克彦, 森克徳, 原 正憲, 松山政夫  
日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 平成 17 年度総会・連合講演会
- 121)「イメージングプレート法によるバナジウム合金中のトリチウム濃度分布の観察」  
本間啓史, 波多野雄治, 松山政夫, 大福 寛, 斎藤英之  
日本金属学会・日本鉄鋼協会 北陸信越支部 平成 17 年度総会・連合講演会

## 2. 国際会議等

### 【平成11年】

- 1) In-situ observation of tritium interactions with Pd and Zr by  $\beta$ -ray induced X-ray spectrometry  
M. Matsuyama, S. Ueda and K. Watanabe  
5th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-5), September 19-24, 1999, Rome, Italy.
- 2) Kinetics and mechanism of hydrogen induced disproportionation of ZrCo  
M. Hara, T. Okabe, K. Mori and K. Watanabe  
5th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-5), September 19-24, 1999, Rome, Italy.
- 3) Permeation of hydrogen through vanadium under helium ion irradiation  
Y. Hatano, Y. Nanjo, R. Hayakawa and K. Watanabe  
9th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-9), October 10-15, 1999, Colorado Springs, USA.

### 【平成12年】

- 4) Nondestructive measurement of surface tritium by  $\beta$ -ray induced X-ray spectrometry (BIXS)  
M. Matsuyama, T. Tanabe, N. Noda, V. Philipps, K. Heinz Finken and K. Watanabe  
14th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-14), May 22-26, 2000, Rosenheim, Germany.
- 5) Solid state reaction between tungsten and hydrogen containing carbon film at elevated temperature  
K. Ashida, K. Fujino, T. Okabe, M. Matsuyama and K. Watanabe  
14th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-14), May 22-26, 2000, Rosenheim, Germany.
- 6) Degradation mechanism of amorphous MgNi electrode  
Y. Hatano, T. Tachikawa, D. Mu, T. Abe and K. Watanabe  
International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, Fundamentals and Applications (MH2000), October 1-6, 2000, Noosa, Australia.
- 7) Electrochemical behavior of amorphous MgNi as negative electrodes in rechargeable hydrogen batteries  
T. Abe, T. Tachikawa, Y. Hatano, K. Watanabe  
International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, Fundamentals and Applications (MH2000), October 1-6, 2000, Noosa, Australia.

### 【平成13年】

- 8) Hydriding of MgNi<sub>2</sub> by hydrogen plasma

Y. Hatano and K. Watanabe

Gordon Research Conference on Metal-Hydrogen Systems, July 8 - 13, 2001,  
New London, USA.

- 9) Quantitative measurement of surface tritium by  $\beta$ -ray-induced X-ray spectrometry (BIXS)  
M. Matsuyama, T. Murai and K. Watanabe  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 10) Effects of water vapor on tritium decontamination of stainless steel 316  
Y. Torikai, A. N. Perevezentsev, M. Matsuyama and K. Watanabe  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 11) Developmental study of dry decontamination for tritiated wastes  
T. Itoh, S. Ueda, K. Tatenuma, Y. Torikai, M. Matsuyama and K. Watanabe  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 12) Contamination of stainless steel type 316 by tritium  
A. Perevezentsev (EURATOM/UKAEA), K. Watanabe, M. Matsuyama  
and Y. Torikai  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 13) Screen test of tritium recovery from stainless steel type 316  
A. Perevezentsev, K. Watanabe, M. Matsuyama and Y. Torikai  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 14) Superpermeability and its possible applications in the tritium technology.  
A. I. Livshits, Y. Hatano and K. Watanabe  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 15) Development of advanced column material for hydrogen isotope separation at room  
temperature  
S. Ueda, Y. Nanjou, T. Itoh, K. Tatenuma, M. Matsuyama and K. Watanabe  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 16) Development of a column packing material of gas chromatography for hydrogen isotope  
separation  
Y. Nanjou, S. Ueda, T. Itoh, K. Tatenuma, M. Matsuyama and K. Watanabe  
6th International Conference on Tritium Science and Technology, November 11-16,  
2001, Tsukuba, Japan.
- 17) Surface segregation and oxidation Ti in V-Ti alloy

R. Hayakawa, Y. Hatano and K. Watanabe

10th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-10), October 14-19, 2001, Barden-Barden, Germany.

- 18) Studies on retention of tritium implanted into tungsten by  $\beta$ -ray induced X-ray spectrometry

M. Matsuyama, T. Murai, K. Yoshida, K. Watanabe, H. Iwakiri and N. Yoshida

10th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-10), October 14-19, 2001, Barden-Barden, Germany.

#### 【平成14年】

- 19) Surface segregation of oxygen in niobium and impact on deuterium recombination

R. Hayakawa, Y. Hatano, K. Watanabe, A. Busnyuk and A. Livshits

International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials, May 22-24, 2002, Tokyo Japan.

- 20) Barrier effect against hydrogen ingress into V-Ti alloy by surface segregation of Ti

Y. Hatano, R. Hayakawa and K. Watanabe

International Workshop on Hydrogen Isotopes in Fusion Reactor Materials, May 22-24, 2002, Tokyo Japan.

- 21) Nondestructive Tritium Measurements of Mk IIA Divertor Tile by BIXS

M. Matsuyama, N. Bekris, M. Glugla, N. Noda, V. Philipps and K. Watanabe

15th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-15), May 27-31, 2002, Gifu, Japan.

- 22) Nondestructive Measuring Technique of Tritium Retained on/in Plasma-Facing Materials

M. Matsuyama, K. Yoshida and K. Watanabe

7th Japan/China Symposium on Materials for Advanced Energy Systems and Fission and Fusion Engineering, July 29-31, 2002, Lanzhou, China

- 23) Assay of Tritium Distribution by BIXS -CFC Tiles of the Mk-IIA Divertor in JET-

M. Matsuyama, N. Bekris, M. Glugla, N. Noda, V. Philipps and K. Watanabe

Japan-US Workshop on High Heat Flux Components and Plasma Surface Interactions in Next Fusion Devices, December 9-12, 2002, Nagoya Univ., Japan

#### 【平成15年】

- 24) Distribution of tritium and metallic species on/in Mk-IIA divertor tiles in JET

M. Matsuyama, N. Bekris, M. Glugla, N. Noda, V. Philipps and K. Watanabe

IEA Workshop on in-vessel Tritium Inventory, March 19-21, 2003, EFDA-JET, Culham Science Centre, Abingdon, U.K.

- 25) Kinetics of dissociative absorption and recombinative release of hydrogen through Nb surfaces covered by oxygen

- Y. Hatano, A. Livshits, A. Busnyuk, K. Hashizume, Y. Nakamura, N. Ohyabu and K. Watanabe  
7th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-7), November 16 - 20, 2003, Nara, Japan.
- 26) Retardation of hydrogen ingress into vanadium alloys by surface segregation of titanium  
R. Hayakawa, Y. Hatano, K. Fukumoto, H. Matsui and K. Watanabe  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December 7-12, 2003, Kyoto, Japan.
- 27) Tritium uptake by SS-316 and its decontamination  
Y. Torikai, R.-D. Penzhorn, M. Matsuyama, and K. Watanabe  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December 7-12, 2003, Kyoto, Japan.
- 28) Study on implanted hydrogen isotope retention and its chemical behavior in Boron thin film for wall conditioning  
Y. Oya, H. Kodama, M. Oyaidzu, Y. Morimoto, M. Matsuyama, A. Sagara, N. Noda and K. Okuno  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December 7-12, 2003, Kyoto, Japan.
- 29) Studies on structural and chemical characterization for Boron coating films deposited by PCVD  
H. Kodama, M. Oyaidzu, M. Sasaki, H. Kimura, Y. Morimoto, Y. Oya, M. Matsuyama, A. Sagara, N. Noda, and K. Okuno  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December 7-12, 2003, Kyoto, Japan.
- 30) Behavior of tritium release from thin Boron films deposited on SS316  
S. Nakagawa, M. Matsuyama, H. Kodama, Y. Oya, K. Okuno, A. Sagara, N. Noda, and K. Watanabe  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December 7-12, 2003, Kyoto, Japan.
- 31) Effect of ion irradiation on the reemission of hydrogen from metals at elevated temperatures  
A. Livshits, M. Notkin, Y. Nakamura, N. Ohyabu, Y. Hatano and K. Watanabe  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December 7-12, 2003, Kyoto, Japan.
- 32) Correlation between microstructure of tungsten and rate of solid state reaction with carbon  
Y. Hatano, M. Takamori and K. Watanabe  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December 7-12, 2003, Kyoto, Japan.
- 33) Effects of heat treatment on trap and release of tritium for He pre-irradiated tungsten

M. Matsuyama, S. Nakagawa, M. Enyama, K. Watanabe, H. Iwakiri and N. Yoshida  
11th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-11), December  
7-12, 2003, Kyoto, Japan.

【平成16年】

- 34) Influence of microstructure of tungsten on solid state reaction rate with amorphous carbon film  
Y. Hatano, M. Takamori, K. Nogita, K. Matsuda, S. Ikeno and K. Watanabe  
16th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-16), May 24-28, 2004, Portland Maine, U.S.A.
- 35) Tritium distribution in JET MK2A type divertor tile analysed by BIXS  
Y. Torikai, M. Matsuyama, N. Bekris, M. Glugla, P. Coad, W. Naegele, A. Erbe, N. Noda, V. Philipps and K. Watanabe  
16th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-16), May 24-28, 2004, Portland Maine, U.S.A.
- 36) Hydrogen absorption capability of a niobium panel for pumping neutral atoms in divertor region  
Y. Nakamura, A.I. Livshits, Y. Nakahara, Y. Hatano, A. Busnyuk and N. Ohyaabu  
16th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (PSI-16), May 24-28, 2004, Portland Maine, U.S.A.
- 37) Novel techniques of Pd coating for hydrogen storage materials and permeation membranes  
Y. Hatano, M. Hara, K. Ishiyama, T. Abe and K. Watanabe  
15th World Hydrogen Energy Conference, June 27 - July 2, 2004, Yokohama, Japan.
- 38) Effect of metal purity on hydrogen absorption kinetics: Absorption by Nb at various oxygen concentrations  
Y. Hatano, A. I. Livshits, A. Busnyuk, V. Alimov and K. Watanabe  
International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, Fundamentals and Applications, September 5-10, 2004 (MH2004), Cracow, Poland.
- 39) Retardation of reaction between Nb permeation membrane and Pd coating film by Nb carbide layer  
Y. Hatano, K. Ishiyama and K. Watanabe  
International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, Fundamentals and Applications (MH2004), September 5-10, 2004, Cracow, Poland.
- 40) Short way separation of D/T and He by superpermeable membranes: Physicochemical and technological aspects  
A. I. Livshits, M. E. Notkin, Y. Hatano, K. Watanabe, A. A. Yuchimchuk, R. K. Musyaev, Y. Nakamura, N. Ohyaabu, T. Loarer and M. Bacal



- 7th International Conference on Tritium Science and Technology, September 12-17, 2004, Baden-Baden, Germany.
- 41) A new kind of column materials for gaschromatographic hydrogen isotope separation  
M. Hara, H. Shima, S. Akamaru, T. Abe, M. Matsuyama and K. Watanabe  
7th International Conference on Tritium Science and Technology, September 12-17, 2004, Baden-Baden, Germany.
- 42) A study on a tritium separation process using self-developing gas chromatography with Pd-Pt alloy  
S. Kojima, M. Yokosawa, M. Matsuyama, M. Numata, T. Kato and K. Watanabe  
7th International Conference on Tritium Science and Technology, September 12-17, 2004, Baden-Baden, Germany.
- 43) Chronic release of tritium from SS316 at ambient temperature: Correlation between depth profile and tritium liberation  
Y. Torikai, R.-D. Penzhorn, M. Matsuyama and K. Watanabe  
7th International Conference on Tritium Science and Technology, September 12-17, 2004, Baden-Baden, Germany.
- 44) In-situ measurements of high level tritiated water by BIXS  
M. Matsuyama, Y. Torikai and K. Watanabe  
7th International Conference on Tritium Science and Technology, September 12-17, 2004, Baden-Baden, Germany.
- 45) Development of a low-level tritium air monitor  
Y. Sakuma, T. Iida, T. Koganezawa, Y. Ogata, T. Aoyama, Y. Torikai, K. Katahira and H. Iwahara  
7th International Conference on Tritium Science and Technology, September 12-17, 2004, Baden-Baden, Germany.
- 46) Tritium permeation barrier for vanadium alloys by surface segregation of Ti  
Y. Hatano, R. Hayakawa and K. Watanabe  
7th International Conference on Tritium Science and Technology, September 12-17, 2004, Baden-Baden, Germany.

**【平成17年】**

- 47) Recovery of D/T from exhaust gas by superpermeable membranes: Durability of Nb and V membranes in exhaust gas containing impurities  
Y. Hatano, A. Livshits, Y. Nakamura, V. Alimov, N. Ohyabu and K. Watanabe  
7th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), May 22 - 27, 2005, Tokyo, Japan.
- 48) An update on the JUPITER-II molten salt flibe tritium, Chemistry and safety experimental program  
D. A. Petti, G.R. Smolik, M. F. Simpson, J. P. Sharpe, R. A. Anderl, Y. Hatano,

- M. Hara, Y. Oya, T. Terai, D.-K. Szed and S. Tanaka  
7th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), May 22 - 27,  
2005, Tokyo, Japan.
- 49) Quantitative measurement of beryllium-controlled redox of hydrogen fluoride in molten  
FLiBe  
M. Simpson, G. Smolik, J. Sharpe, R. Anderl, D. Petti and Y. Hatano  
7th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), May 22 - 27,  
2005, Tokyo, Japan.
- 50) Interactions between molten flibe and metallic Be  
M. Hara, Y. Hatano, M. Simpson, G. Smolik, J. Sharpe and Y. Oya  
7th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), May 22 - 27,  
2005, Tokyo, Japan.
- 51) Monitoring of tritium in diluted gases by detecting bremsstrahlung X-rays  
W. Shu, M. Matsuyama, T. Suzuki and M. Nishi  
7th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), May 22 - 27,  
2005, Tokyo, Japan.
- 52) Development of a tritium separation process using SDGC  
Y. Morimoto, S. Kojima, T. Sasaki, M. Matsuyama, M. Hara, S. Akamaru,  
M. Yokosawa, M. Numata, T. Kato and K. Watanabe  
7th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), May 22 - 27,  
2005, Tokyo, Japan.
- 53) Applicability of BIXS to in-situ measurements of tritium retention in plasma-facing  
materials of ITER  
M. Matsuyama, Y. Torikai, N. Bekris, M. Glugla, A. Erbe, W. Nagele, N. Noda,  
V. Philipps, P. Coad and K. Watanabe  
7th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-7), May 22 - 27,  
2005, Tokyo, Japan.
- 54) Preparation of electrocatalyst for PEFCs using the barrel sputtering system and its  
electrochemical properties  
M. Inoue, S. Akamaru, K. Watanabe and T. Abe  
4th International Fuel Cell Workshop 2005, September 23-24, 2005, Yamanashi,  
Japan.
- 55) Diffusional behavior of tritium in V-4Ti-4Cr alloy  
K. Hashizume, J. Masuda, T. Otsuka, T. Tanabe, Y. Hatano, Y. Nakamura,  
T. Nagasaka and T. Muroga,  
12th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-12), December  
4-9, 2005, Santa Barbara, U.S.A.
- 56) Dissolution of hydrogen isotopes into V-4Cr-4Ti alloy  
Y. Hatano, R. Hayakawa, L. Wan, M. Matsuyama, T. Nagasaka, T. Muroga,

Y. Nakamura and K. Watanabe

12th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-12), December 4-9, 2005, Santa Barbara, U.S.A.

- 57) An overview of recent progress in studying redox control in FLiBe using dissolved beryllium

M. Simpson, S. Fukada, G. Smolik, D. Petti, J.P. Sharpe, R. Anderl, Y. Oya, T. Terai, D.-K. Sze, K. Okuno, Y. Hatano and A. Sagara

12th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-12), December 4-9, 2005, Santa Barbara, U.S.A.

- 58) Recent results on beryllium and beryllides in Japan

Y. Mishima, N. Yoshida, H. Kawamura, K. Ishida, Y. Hatano, T. Shibayama, K. Munakata, Y. Sato, M. Uchida, K. Tsuchiya and S. Tanaka

12th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-12), December 4-9, 2005, Santa Barbara, U.S.A.

- 59) Reaction rate of Be with fluorine ion for Flibe redox control

S. Fukada, G. R. Smolik, M. Simpson, R. A. Anderl, P. Sharpe, Y. Oya, T. Terai, K. Okuno, D.-K. Sze, D. Petti, Y. Hatano and A. Sagara

12th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-12), December 4-9, 2005, Santa Barbara, U.S.A.

- 60) Applicability of Pd-Cu alloy to self-developing gas chromatography

M. Matsuyama, H. Sugiyama, M. Hara and K. Watanabe

12th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-12), December 4-9, 2005, Santa Barbara, U.S.A.

## V. 共同研究等の状況

本センターは、学内共同教育研究施設として平成11年に設置され、学内の研究者・学生との共同研究及び共同利用はもとより、学外の研究者との共同研究も積極的に推進してきた。表V-1は学内及び学外の研究者・学生による共同研究・利用件数及び利用者数の推移を表す。

表V-1 共同研究・共同利用の件数及び人数

	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
学内	19	14	16	15	12	14	15
学外	0	0	1	2	3	4	2
利用者数	30 (11)	35 (12)	35 (18)	38 (22)	39 (23)	37 (10)	22 (13)

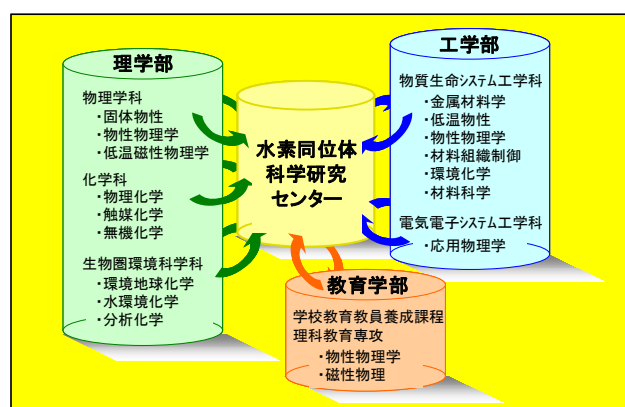
学内研究者との共同研究は毎年十数件以上実施されているが、これに比べ学外研究者との共同研究は数件程度と多くはない。この原因の一つには学外研究者に対する研究費及び旅費等の財政的な支援が整備されていないことによると考えられる。

一方、共同利用者数は、各年の学部・大学院の学生数によって大きく変わるが、平成17年度を除けば約30-40人程度になっている。

以下にこれまで実施してきた学内・外及び海外との共同研究等の状況の詳細を示す。

### [1] 学内との共同研究・共同利用

図V-1は学内共同研究・利用者の学内分布を表す。共同研究等は本学の理系学部との間で実施されており、理学部では物理学科、化学科及び生物圏環境科学科の教員及び学生が主である。特に、化学科とは講義への参画等を含めて強い関係を維持している。また、工学部では物質生命システム工学科及び電気電子システム工学科の教員及び学生との共同研究・利用が主である。更に、教育学部（現人間発達科学部）の理科教育に所属している教員及び学生との共同研究・利用である。



図V-1. 共同研究・利用者の分布

### [2] 学外との共同・協力研究（国内）

表V-2に示すように、本センターの施設を利用した学外との共同・協力研究は核融合科学研究所、日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）及び民間との間でそれぞれ数件実施されているのに比べ、他大学との間での実施件数は少なく、今後の増加対策に対する検討が必要である。

表V-2 学外との共同・協力研究の件数

	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
NIFS	-	-	2	3	3	1	3
他大学	-	-	-	-	2	-	1
原研	1	1	1	1	1	1	1
民間	1	2	3	3	1	3	2



### [3] 学外との共同研究等（海外）

下記に示すような外国の研究機関との学術交流協定及び共同研究の実施協定が締結された。

平成14年：ボンシェブルイエビッチ通信大学

平成17年：カールスルーエ研究所トリチウム研究施設

外国の試験研究機関等との具体的な共同研究の事業名及び実施状況を下記に示す。

(イ) 日中拠点大学交流事業による研究者の受け入れ

中国西南物理研究員 Xiang Liu 教授

平成17年 6月 1日～平成17年 7月 20日

(ロ) 日米科学技術協力事業核融合分野事業 JUPITER-II 計画

アイダホ国立工業環境研究所(派遣)

平成13年5月20日～平成13年8月18日 波多野雄治

平成16年1月 6日～平成16年3月31日 原 正憲

平成16年4月26日～平成16年6月20日 波多野雄治

(ハ) TEXTOR (Torus Experiment on Technology Oriented Research) 共同研究

主たる派遣先:カールスルーエ研究センター・トリチウム研究施設(ドイツ)

平成13年10月13日～平成13年10月28日:松山政夫

平成14年 3月10日～平成14年 3月21日:松山政夫

平成14年11月10日～平成14年11月21日:松山政夫・鳥養祐二

平成15年 3月 9日～平成15年 3月23日:松山政夫・鳥養祐二

平成15年 6月16日～平成15年 6月29日:鳥養祐二

平成15年 9月28日～平成15年10月12日:松山政夫

平成16年 3月22日～平成16年 3月27日:松山政夫

平成16年 9月12日～平成16年 9月19日:松山政夫

## VI. 社会との連携・協力の状況

本センターは、富山大学の理念、目標である「地域と世界に向かって開かれた大学」に沿い、民間との共同研究、技術相談、産学官連携事業等への参画などを通じて社会貢献を目指している。以下に民間との共同研究、社会への協力参加、本センターへの見学、情報発信の現状について記す。

### [1] 民間との共同研究の現状

本センターでは水素同位体の持つ機能性を基礎および応用の面から「基礎物性研究分野」、「応用物性・バックエンド研究分野」、および「素材循環研究分野」の三分野で研究している。このため、民間との共同研究の分野も、トリチウム取り扱いに関する基礎技術から水素同位体の分離・精製や燃料電池電極触媒などの水素機能性材料の開発に関する応用技術まで、幅広い範囲に及んでいる。

本センターにおける民間との共同研究の状況を表VI-1 に示した。毎年 1～3 件程度の共同研究を遂行しているが、いずれの共同研究課題も本センターの研究内容と合致したものであると同時に、複数年にわたる研究課題が増えている。これは、本センターの研究内容およびその成果が民間企業あるいは社会のニーズに直結する内容にあるためと推考される。今後とも共同研究が定常的に行われるようにするには、研究課題の設定や施設などの充実を初めとして、民間からの要求に十分応えられるような体制の一層の整備が望まれる。

表VI-1 民間との共同研究の現状

年度	相手方	研究題目	研究区分
11年	原子力安全システム研究所(株)	トリチウムオートラジオグラフ法によるステンレス鋼及びニッケル基合金中の水素同位体の可視化	基礎物性
12年	原子力安全システム研究所(株)	トリチウムオートラジオグラフ法によるステンレス鋼及びニッケル基合金中の水素同位体の可視化	基礎物性
	(株)化研	水素同位体の形態変換・分離精製及び除染技術に関する研究	応用物性・バックエンド
13年	日揮(株)	ガスクロマトグラフィによるトリチウムプロセスの研究	基礎物性
	原子力安全システム研究所(株)	ステンレス鋼及びニッケル基合金中の水素同位体の可視化	基礎物性
	(株)化研	水素同位体の形態変換・分離精製及び除染技術に関する研究	応用物性・バックエンド
14年	原子力安全システム研究所(株)	ステンレス鋼及びニッケル基合金中の水素同位体の可視化	基礎物性

	日揮(株)	ガスクロマトグラフィによるトリチウム分離プロセスの研究	基礎物性
	(株)化研	水素同位体の形態変換・分離精製及び除染技術に関する研究	応用物性・バックエンド
15年	日揮(株)	ガスクロマトグラフィによるトリチウム分離プロセスの研究	基礎物性
16年	日本ピラー工業(株)	バレルスパッタリング法を用いた新規粉体材料の調製に関する研究	素材循環
	日揮(株)	ガスクロマトグラフィによるトリチウム分離プロセスの研究	基礎物性
	日本ピラー工業(株)	固体高分子型燃料電池用電極触媒の新規調製法に関する研究	素材循環
17年	日本ピラー工業(株)	固体高分子型燃料電池用電極触媒の新規調製法に関する研究	基礎物性
	日揮(株)	ガスクロマトグラフィによるトリチウム分離プロセスの研究	素材循環

## [2] 社会への協力参加の現状

大学における教員の専門的知識、技術および学識経験を直接活かし、社会へ還元する活動には、技術相談や産学官間の交流事業への参画、あるいは国の各省庁、地方公共団体、学校および特殊法人などからの依頼による講演会や研修会での講演活動がある。これらはそれぞれの団体などにおける活動を通して社会への貢献になると同時に、本センターならびに大学の活性化や人的交流にもつながるものであることから、積極的に対応している。

### 1. 技術相談の現状

社会との連携の中で最も日常的な活動として、本センター以外の研究機関および民間などからの技術相談がある。表VI-2 は本センターが受けた技術相談の概要を示したものである。いずれの相談内容も本センターで開発、あるいは進行中の研究課題と密接に関連されたものである。特に近年では、本センターで開発された乾式粉体表面修飾技術に関する案件が多く、水素機能性という観点以外からも注視されている現状が伺える。

表VI-2 技術相談の実施状況

実施年月	相談内容
平成16年2月	水素透過膜材料の特性
平成16年8月	粉体表面修飾法に関する技術
平成16年8月	粉体表面修飾法に関する技術
平成16年11月	光機能性粉体の調製技術
平成17年1月	粉体表面修飾法に関する技術

平成 17 年 3 月	粉体表面修飾法に関する技術
平成 17 年 10 月	化学反応装置における水素制御
平成 18 年 1 月	燃料電池電極触媒の調製技術
平成 18 年 2 月	燃料電池電極触媒の調製技術

## 2. 連携事業などへの協力参加の現状

学会などへの協力は、教育研究上の成果を社会に積極的に還元するシステムとして重要な役割を担う。表VI-3 に本センター教員の学会などにおける活動や、学会大会、公開講座などへの参画状況を示した。各種委員としての学会活動の推進や、政府機関の委員としても貢献している。これらの社会貢献は、本センターの社会的な存在価値を高揚しうるものであり、今後とも継続的な協力、貢献が必要であると考ええる。一方、近年、国立大学の法人化に伴い、産学官間における人的・技術的な交流の重要性がますます大きくなり、連携事業の一層の推進がはかられている。表VI-4 は本センター教員が参画した交流事業などの概要を示したものである。富山大学においても産学官交流事業として「富山大学リエゾンフェスティバル」、「とやま産学官交流会」などを催す中、本センター職員もこれら交流事業に参画している。このような交流事業は本センターが蓄積した知的資源の社会還元を効果的に推進することが可能であり、大学およびセンターの社会的使命、あるいは広報活動として、活発かつ積極的に行うべきであろう。

地域連携活動として富山大学理学部と連携の下、文部科学省「科学技術・理科大好きプラン」の SPP(サイエンス・パートナーシップ・プログラム)や SSH(スーパー・サイエンス・ハイスクール)の講師などとしても活動している。表VI-5 に地域連携の教育活動を示した。表に示した以外にも、本センターは富山大学体験入学講座(夢大学)やオープンキャンパスに例年参加している。このように、特に若年層を対象とする教育活動は今後その重要性が増すものと予測される。このような多様な教育活動は、大学教員の日常的な教育・研究活動に更なる負担を課すものであろうが、推進機構を介した協力を惜しむものではない。

表VI-3 学会などへの協力状況

実施年月	学会名	活動内容
平成 12～13 年度	日本原子力研究所	第6回トリチウム国際技術会議 組織委員会専門委員
平成 12～17 年度	日本原子力研究所	核融合炉研究委員会専門委員
平成 13 年度	経済産業省原子力安全・保安院	「高燃焼度燃料安全試験」評価委員
平成 14 年 8 月	日本原子力学会	材料部会夏季セミナー 講師
平成 15 年度	核融合科学研究所	運営協議員会共同研究委員会委員
平成 15～17 年度	日本原子力研究所	第7回核融合炉工学国際シンポジウム組織委員会専門委員



平成 15 年 8 月	日本化学会近畿支部	日本化学会創立 125 周年記念事業 「ミニ化学展・富山」、「ワクワク、ドキドキふしぎ体験、一ぼくもわたしも化学者！！」
平成 15 年 12 月	11th International Conference on Fusion Reactor Materials	編集委員
平成 16～17 年度	日本原子力学会	日本原子力学会材料部会運営委員 (広報小委員長)
平成 16～19 年度	核融合科学研究所	運営会議共同研究委員会委員
平成 17 年度	経済産業省ナノテクノロジー・材料戦略室	ナノテクノロジー政策研究会 基本政策ワーキンググループ 委員
平成 17～18 年度	日本金属学会	日本金属学会「まてりあ」編集委員
平成 17～18 年度	核融合科学研究所	運営会議共同研究委員会 LHD 計画共同研究委員会委員
平成 17～18 年度	核融合科学研究所	運営会議共同研究委員会双方型共同研究委員会委員
平成 17 年 6 月	プラズマ・核融合学会	第六回エネルギー連合講演会組織委員会、実行委員会、プログラム委員会、財務委員会、現地実行委員会

表VI-4 産学官交流事業などへの参加状況

実施年月	主催	講演(イベント)内容	開催場所
平成 14 年 3 月	北陸原子力懇談会	第 24 回放射線取扱技術研修会 講師	金沢市
平成 16 年 10 月	ナノプレーティング研究会	第 11 回例会 講師	東京都
平成 16 年 12 月	横浜市工業技術支援センター	産業技術講演会・神奈川表面技術研究会 講師	横浜市
平成 17 年 6 月	内閣府、総務省、文部科学省、経済産業省、日本経済団体連合会、日本学術会議	第 4 回産学官連携推進会議	京都市
平成 17 年 7 月	富山大学地域共同研究センター	第 2 回富山大学リエゾンフェスティバル	富山市
平成 17 年 10 月	技術交流テクノフェア実行委員会(福井商工会議所)	北陸技術交流テクノフェア 2005	福井市

平成 17 年 11 月	とやま産学官交流会実 行委員会	第 4 回とやま産学官交流会	富山市
--------------	--------------------	----------------	-----

表VI-5 地域連携活動の状況

実施年月	対象者	活動内容
平成 15 年 1 月	企業技術者	先端技術研修会 講師
実施年月	対象者	活動内容
平成 15 年 8 月	富山県高等学校理科教員、及び 富山県総合教育センター所員	サイエンス・パートナーシップ・プ ログラム 講師
平成 15 年 8 月	富山県立富山東高等学校	サイエンス・パートナーシップ・プ ログラム教育連携講座 講師
平成 16 年 7 月	富山県立富山高等学校	スーパー・サイエンス・ハイスクー ル 講師
平成 16 年 7 月	富山県立富山高等学校	スーパー・サイエンス・ハイスクー ル 講師
平成 17 年 7 月	富山県立富山高等学校	スーパー・サイエンス・ハイスクー ル 講師
平成 17 年 9 月	富山県立富山東高等学校	サイエンス・パートナーシップ・プ ログラム教育連携講座 講師
平成 17 年 7 月	小杉町立中太閤山小学校 (富山県小杉町、現 射水市)	3 年親子活動 講師 (燃料電池の実験、メッキ加工の 実験)

### 〔3〕施設への見学者

本センターは高濃度トリチウムを取扱い可能な、国内でも有数の同位元素取扱い施設であることから、施設見学者が多い。表VI-6には本センター管理区域の見学者の推移を示した。国内の研究機関はもとより、海外研究機関からの見学者も少なくない。

また、表VI-6には含まれない非管理区域の見学も随時行っている。例えば、富山大学体験入学講座やオープンキャンパスなどの催しの際には、主として中高生を対象として、水素吸蔵合金や燃料電池模型の実演や参加者への非管理区域の見学ツアー等を実施し、水素エネルギーや科学への興味関心を引き出す指導助言を行っている。

表VI-6 センター見学者数の推移

年度	国内大学等 研究機関	海外大学等 研究機関	官公庁及び 関連機関	民間企業・ その他	計
平成 11	18	1	9	5	33

平成 12	9	0	2	1	12
平成 13	15	8	3	0	26
平成 14	4	2	12	0	18
平成 15	15	3	2	0	20
平成 16	18	0	3	6	27
平成 17	6	5	1	3	15

#### [4] 国内外への情報発信

本センターでは情報を広く国内外へ発信するために、インターネットによる情報発信を行ってきた。ホームページは日本語及び英語で公開し、講演会の案内、進学希望者への大学院入試情報、学会及び論文誌への発表状況、及び本センターが刊行する研究報告などに関する情報を随時更新している。しかしながら、現在ホームページに記載されている内容は一般的且つ総括的なものとなっていることは否めない。ホームページの継続的な更新のみならず、新水素エネルギーシステムの実現に向けた情報を積極的に提供する体制を整備することが不可欠である。

本センターのホームページアドレス：

<http://www.hrc.u-toyama.ac.jp/>

## VII. 教育活動の状況

水素同位体科学研究センターでは大学院教育の中で「水素エネルギー及び核融合炉燃料としての水素同位体の機能性に関する研究」及び「水素の同位体効果とトリチウムの壊変効果に関する研究」を柱とした教育活動を推進している。

富山大学では、平成10年度、富山大学大学院理工学研究科が設置された。水素同位体科学研究センターの教官は、理工学研究科博士前期課程化学専攻の枠内で修士学生を受け入れることが出来るようになった。また、富山大学大学院理工学研究科博士後期課程エネルギー科学専攻に所属し、博士課程の学生を受け入れることが出来るようになった。

平成11年4月1日、富山大学水素同位体機能研究センターを廃止し、富山大学水素同位体科学研究センターが設置された。これに伴い、教官定員が増加され(教授2名、助教授2名、助手1名から、教授3名、助教授3名、助手1名)、教育・研究体制の充実を図ると共に、客員教授(定員3名、うち外国人研究員1名)を招聘し、教育・研究のグローバル化を目指した。

平成16年4月に国立大学の独立法人化により、富山大学も独立法人化された。しかしながら教員組織に変更はなく、従来通りの体制で教育に取り組んだ。

平成17年10月1日、富山大学では旧富山大学、富山医科薬科大学、高岡短期大学と再編統合を行った。これを機会に、大学院教育のいっそうの拡充を目指し、大学院組織の改組が行われた。水素同位体科学研究センターの教員は、大学院理工学教育部修士課程化学専攻の枠内で修士学生を受け入れるようになった。また、大学院理工学教育部博士課程新エネルギー科学専攻に所属し、博士課程の学生を指導するようになった。

### [1] 教養教育、学部及び大学院における教育

#### 1. 教養教育

教養教育は大学教育の大きな柱の一つであり、富山大学の全教官の責任において分担されるべきものであるという認識のもと、学部の枠を超えた関連教官との協力体制のもとで、教養教育カリキュラムに参加してきた。即ち、本センターの教官は富山大学・教養教育の自然科学系部会、総合科目部会、あるいは情報処理教育部会のいずれかに所属し、教養教育活動にも積極的に参加すると共に、理工系の学生のみならず人文社会系の学生に対しても水素エネルギーおよび核融合の啓蒙活動を行っている。

#### 2. 学部教育

本センターは学内共同教育用施設であり、学部における講義や実習などを行う義務はない。しかしながら、大学院教育との関連や学部教育を幅広い教養の修得と基礎教育の場と位置づければ、学部教育も重要である。従って、理学部において、理学部化学科の専門科目である「化学熱力学」、「化学平衡学」、「電気化学」、「材料科学」の講義を開講し、化学科学生に対し本センターの専門分野に関する教育を行ってきた。また、理学部共通科目

である「放射線基礎学」を開講し、トリチウムならびに放射性物質の取扱いと利用に関する講義を行うとともに、原子力、核融合に関する教育を行っている。これらの講義の中には、公開授業に指定されているものもあり、理学部のみならず、富山大学内の学生に対し広く本センターの専門分野に関する教育を行っている。さらに、工学部物質生命システム工学科応用化学コースにおいて「工学倫理」の講義を担当しており、学部教育に非常に大きく寄与している。

### 3. 大学院教育

本センター教官は、修士課程の学生に対し、平成11年度まで「核化学」、「固体物理化学」、「機能性材料学」および「同位体科学」の講義を開講し、講義を行ってきた。平成12年度より、教官定員の増加に伴い講義数を増加すると共に、講義の名称変更をおこない、「固体物理化学」、「放射線化学特論」、「機能性材料学」、「エネルギー変換特論」、「同位体化学」および「リサイクル化学特論」を開講している。また、各教官が行っている研究内容を紹介する「最先端化学特論」や、普段自分の研究分野では使わない装置類を用いて実験を行う「化学特別実験」、「ゼミナール」を分担し、大学院修士課程の教育に寄与している。

本センター教官は、博士課程において、「放射線計測学特論」、「水素エネルギー材料学特論」および「核融合材料学特論」を開講している。また、平成17年度より大学共同利用機関法人自然科学研究機構核融合科学研究所との連携により2名の客員教授を招聘し、「核融合放射線安全学」および「核融合プラズマ理工学」の講義を開講している。このように、本センター教官は大学院博士課程の教育に積極的に参加している。

表VII-1は、平成11年度から平成17年度までに水素研の教官が担当した修士課程及び博士課程の学位論文に対する主査および副査の件数を示す。この期間内に修士課程の主査及び副査を60件、博士課程の主査及び副査を8件担当した。修士課程の学位論文審査に対する役割は十分に果たしているが、博士課程の論文審査に対しては未だ十分とは言えず、今後は博士課程学生の指導に努める必要がある。

表VII-1 修士課程及び博士課程の学位論文に対する主査・副査の件数

	審査委員	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	合計
修士課程	主査	1	2	1	4	3	4	1	16
	副査	2	4	4	11	9	11	3	44
博士課程	主査	0	0	0	2	0	0	0	2
	副査	0	0	0	3	0	1	2	6

### 4. その他

平成11年度から平成13年度には、富山工業高等専門学校との4年生を対象に、「無機材料工学」の講義を開講し、核融合炉材料や水素エネルギー関連の材料に関する講義を行った。このように、核融合・水素エネルギーに関する教育を、富山大学内のみならず幅広く行うように積極的に参加している。

## [2] 卒論、修論及び博士論文の指導

表VII-2に平成11年度から平成17年度までの7年間に水素同位体科学研究センターを卒業または修了した学生の人数を示す。この間に33名の学部生と18名の修士学生、2名(うち1名は論文博士)の指導を行った。これら学生のうち、学部学生は理学部化学科所属の学生が主である。なお、少数ではあるが理学部物理学科及び工学部の学生も含まれている。これらの人数は教官定員に対して決して多いとはいえず、今後、学生の確保によりいっそう力を入れる必要がある。

表VII-3、VII-4及びVII-5は、水素同位体科学研究センターを卒業または修了した学生の卒業論文及び学位論文のタイトルを示す。表を見てわかるように水素同位体科学研究センターを卒業・修了する学生の研究テーマは、水素同位体科学研究センターの設置目的である「基礎物性」、「応用物性・バックエンド」および、「素材循環」に沿ったものとなっており、新水素エネルギー社会の実現に向けた人材育成に大きく貢献している。

本センターでは人材育成と言う観点から、所属する大学院学生に加え、本センターにほぼ常駐して研究活動を行っている学部あるいは大学院学生を対象にしてセミナーを毎週開催し、最新の学術情報や重要論文を基に活発な討論を行う場を設けている。また、このセミナーと平行して、学生の研究活動の検討の場として定期的な研究内容の報告会を設け、以下の項目についての議論や討論を行っている。

- (1) 研究成果の評価方法
- (2) 研究成果に関する問題点の抽出方法
- (3)     "     解決方法
- (4) 研究成果のまとめ方
- (5) 研究成果の表現(発表)方法
- (6) その他

上述のセミナーや研究報告会を通して、学生は卒業論文あるいは修士論文に関する表現方法、論理的な捉え方や考え方、問題点の抽出と解決方法、あるいはまとめ方等を身につけるものと期待される。

また、本センターに来訪した客員教授によるセミナーや、外国人研究者による英語の講義やセミナーを行うことにより、英語になれると共にグローバルな視線を養うように心がけている。

表VII-2 卒業生および修了生の人数

	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	合計
学 部	2	8	6	4	3	5	5	33
修士課程	2	2	1	5	3	4	1	18
博士課程	0	0	0	2(1)	0	0	0	2(1)

( )は論文博士数を示す

表VII-3 卒業論文リスト

卒業年度	論文タイトル
平成 11 年	炭素膜とタングステンの固相反応 —プラズマ対向材料の混合と物性に関する研究—
	Pd により表面改質された ZrNi の酸素に対する耐久性に関する研究
平成 12 年	電気化学スーパーキャパシタの開発
	水素吸蔵合金によるトリチウム水中のトリチウム回収に関する研究
	Zr <sub>2</sub> M (M=Co, Ni) 合金の水素誘起不均化反応
	自動車車載用固体高分子型燃料電池 (PEMFC)
	水素吸蔵合金中への水素吸蔵現象の周波数応答法による速度論的研究
	タングステンと炭素の固相反応
	微粒子水素吸蔵合金の作成と水素吸蔵放出特性および結晶構造評価 アモルファス MgNi の充放電特性に対する複合化の効果
平成 13 年	低放射化 V - Ti 合金における水素同位体の吸収・透過
	電池反応を利用したエッチング廃液からの資源回収
	Pd 修飾した ZrNi の活性化挙動 —活性化温度の低減化—
	Zr 水素吸蔵合金の水素誘起不均化 —生成物の結晶子に及ぼす不均化条件の影響—
	トリチウムの捕獲・脱離挙動に対するホウ素コーティングの影響
	固体高分子型燃料電池の基礎的研究
平成 14 年	水素同位体分離用ガスクロマトグラフのペレット型充填材に関する基礎的研究
	表面改質した ZrNi の耐不純物ガス特性
	電池反応を利用した塩酸系エッチング廃液の再利用
	固体高分子型燃料電池内の水の挙動
平成 15 年	Zr <sub>2</sub> Cu 合金の水素誘起不均化反応
	バレルスパッタリング法を用いた微粒子表面への TiO <sub>2</sub> (酸化物) 修飾
	バナジウム合金表面へのコーティング膜の作成

表VII-3 卒業論文リスト(続き)

卒業年度	論文タイトル
平成 16 年	Pd-4at%Cu 合金の水素吸収過程の動力学
	バナジウム水素透過膜の高温特性改善に関する研究
	ホウ素薄膜にイオン注入されたトリチウムの捕獲・脱離挙動に対するヘリウム予照射の影響
	低放射化バナジウム合金表面における水素同位体挙動
	バルルスパッタリング法を用いた光機能性粉体材料の研究
平成 17 年	燃料電池アノード電極触媒の担持形態とその電気化学特性に関する研究
	複合水素透過膜材料としてのチタン炭化物および窒化物の適性評価
	トリチウム汚染ステンレス鋼(SS316)の除染 ー表面除染後のトリチウム挙動とその解析ー
	熱量計によるトリチウム水の放射能測定
	Pd-Ag 合金の水素化物生成と分解の熱力学的特性



表VII-4 修士論文リスト

修了年度	論文タイトル
平成 11 年	バナジウムの水素透過挙動に関する研究
	環境水中の陰イオン界面活性剤の膜捕集/蛍光 X 線定量法に関する研究
平成 12 年	材料表面にイオン注入されたトリチウム量の非破壊測定法に関する研究
	ニッケル水素電池電極用 Mg-Ni 系合金に関する研究
平成 13 年	$\beta$ 線誘起 X 線計測法(BIXS)による Ni 基合金中のトリチウム分布に関する研究
平成 14 年	電気化学的スーパーキャパシタの開発
	ニオブ中の水素透過に及ぼす表面偏析酸素の影響
	Pd-Rh 合金による水素同位体の吸収・放出の熱力学
	タンゲステンとアモルファス炭素膜の固相反応
	VA-族系核融合炉材料表面における水素同位体の動的挙動に及ぼす酸素の影響
平成 15 年	ホウ素薄膜にイオン注入されたトリチウムの捕獲-脱離挙動に関する研究
	モリブデン中でのトリチウムの拡散挙動に関する研究
	水素同位体分離用カラム材の開発
平成 16 年	Pd 被覆による V 族系水素透過膜の特性改善に関する研究
	Pd-M(M=Co、Cu、Au)合金による水素同位体吸収・放出の同位体効果に関する研究
	金属膜における光誘起水素透過現象に関する研究
	電気化学的手法を用いた塩素系エッチング廃液の再利用に関する研究
平成 17 年	BS 法による酸化物修飾微粒子の光機能性に関する研究

表VII-5 博士論文リスト

修了年度	論文タイトル
平成 14 年	VA-族系核融合炉材料表面における水素同位体の動的挙動に及ぼす酸素の影響
	Zr 系水素吸蔵合金の水素誘起不均化反応に関する研究 <sup>*)</sup>

\*) 論文博士

### [3] 卒業・修了後の就職状況について

表VII-6、表VII-7および表VII-8は、平成11年度から平成17年度までの7年間の本センターを卒業、修士課程修了および博士課程を修了した学生の就職状況を示す。この間に卒業または修了した学生の内33%の学生が進学し、研究者としてより高度な知識の習得を目指している。学部を卒業し就職した学生の内、技術系に就職できた学生は11%しかおらず、就職状況は非常に厳しい。しかしながら修士課程および博士課程を修了後、技術系および公的研究機関等に就職した割合は90%を越えており、専門的知識を持った研究者の養成に大きく貢献している。2005年6月にITER建設地が決定され、今後は核融合関係の研究も進み、トリチウム取扱い経験者や核融合の研究開発を行っている学生の就職も良くなることが予想される。また、今後訪れるであろう新水素エネルギー社会に向けて水素取扱い技術を持つ学生の就職先を積極的に開拓し、研究者を目指す学生にとって水素同位体科学研究センターが魅力的な研究拠点となる必要がある。

表VII-6 卒業後の進路

卒業年度	進学	公務員	技術系	非技術系	その他	合計
平成11年	0	0	1	1	0	2
平成12年	4	3	0	0	1	8
平成13年	3	0	0	2	1	6
平成14年	3	0	0	0	1	4
平成15年	1	0	1	0	1	3
平成16年	0	1	1	1	2	5
平成17年	2	0	1	0	2	5
合計	13	4	4	4	8	33

表VII-7 修士課程修了後の進路

修了年度	進学	公務員	技術系	非技術系	その他	合計
平成11年	1	0	0	0	0	1
平成12年	0	0	2	0	0	2
平成13年	0	0	1	0	0	1
平成14年	0	1	3	0	1	5
平成15年	0	0	3	0	0	3
平成16年	1	1	2	0	0	4
平成17年	0	0	1	0	0	1
合計	2	2	12	0	1	18

表VII-8 博士課程修了後の進路

修了年度	国立大学	公立研究機関	合計
平成14年	1	1	2

#### [4] 学会等への発表指導

表VII-9は、平成11年度から平成17年度までの7年間の本センターで教育・研究指導を行った学生の、国内学会および国際学会での発表件数を示している。国内学会では、表に示すとおり、学生数の増加と共に発表件数が増える傾向にある。しかしながら全発表件数に占める学生の発表件数は、決して多いとはいえない。また、国際会議等における発表は非常に少ない。今後、学生が国内学会および国際会議等に発表できる体制を整える必要がある。

表VII-9 国内学会及び国際会議等における学生の発表件数

年 度	国内学会	国際会議等
平成 11 年	3 (6)	0 (3)
平成 12 年	4 (13)	0 (3)
平成 13 年	6 (18)	1 (9)
平成 14 年	4 (11)	1 (3)
平成 15 年	9 (18)	2 (7)
平成 16 年	9 (16)	0 (9)
平成 17 年	6 (14)	1 (6)

( )内の数値は本センターにおける全発表件数を示している。

#### [5] 放射線障害防止法に基づく安全教育活動

本センターではトリチウムと $^{14}\text{C}$ の使用の許可を受けた施設であり、特に大量トリチウムを水素や重水素と同等に扱える国内唯一の大学研究機関である。その中で、トリチウムの安全取扱い及びその応用に関する研究を行ってきており、学内の共同利用施設として多数の教職員及び学生を受け入れている。また、国内の大学研究者や企業研究者等との共同研究により、学外の研究者を共同利用者として受け入れている。本センターの主要な設備及び機器等は「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」(以下「障害防止法」と記す)に基づく管理区域内に設置されているため、共同利用者を対象とした放射性同位元素及び放射線の安全取扱いに関する教育が必要である。即ち、障害防止法では放射性同位元素等を取扱い、あるいは、放射線施設内に業務として立ち入るもの(以下「業務従事者」と記す)に対して、放射線障害の防止に必要な教育及び訓練(以下「教育訓練」と記す)を、1年を越えない期間ごとに行うよう規定されており、この規定に基づき、業務従事者に対して事前に放射性同位元素及び放射線の安全取扱いに関する教育訓練を行っている。

「水素同位体科学研究センター放射線障害予防規則」には、障害防止法に基づき、次に示す各項目に関する教育訓練を業務従事者に対して行うよう規定されている。

(i)放射線の人体に与える影響	:30分間以上
(ii)放射性同位元素等の安全取扱い	:4時間以上
(iii)同位元素による放射線障害の防止に関する法令	:1時間以上
(iv)センターの放射線障害予防規則	:30分間以上

この教育訓練は、年度当初に教職員及び学生が本センターの業務従事者として登録された後に、本センターの専任職員がビデオ教材や配布された資料等を用いて(i)～(iv)の各項目に関する教育訓練を、必要な時間あるいはそれ以上、分担して実施している。なお、平成17年度末現在、本センターに所属する5名の教職員が国家資格である「第1種放射線取扱主任者」の有資格者である。さらに、上記教育訓練の一環として毎年2回程度、他大学等から外来講師を招き、放射線による障害の防止のみならず、関連するトリチウム理工学分野の研究の現状についての講演会を開催している。

表VII-10は、過去7年間における教育訓練受講者数及び外来講師による講演会参加者数を示したものである。教育訓練の平均の受講者数が30数名となっているのは、本センターが受け入れることのできる共同利用者数が、ほぼ人員的及び施設的に受け入れ限度に近づいているためである。また表VII-11は、過去7年間に行われた講演会のタイトルと講演者を示している。講演者には環境中のトリチウム計測から核融合におけるトリチウムの利用まで非常に幅広いテーマについて紹介していただき、トリチウムに関する幅広い知識の習得を目指している

表VII-10 教育訓練受講者数及び講演会参加者数

年 度	教育訓練 (人)	講演会*2 (人)
平成11年	47*1	-
平成12年	43	34
平成13年	37	58
平成14年	44	79
平成15年	35	69
平成16年	34	81
平成17年	32	62

\*1) 2回の教育訓練の参加者の和

\*2) 2回の講演会参加者の和

表VII-11 教育訓練講演会

実施年度	講演会タイトル	講演者
平成 12 年	トリチウムオートラジオグラフィによる金属中の水素分布の可視化	九州大学大学院総合理工学研究院 教授:杉崎昌和
	トリチウム環境動態	熊本大学理学部 教授:百島則幸
平成 13 年	核融合炉におけるダイバータの役割とペブルダイバータ新概念の展開	大阪大学大学院工学研究科・工学部 教授:西川雅弘
	粒子線照射による構造材料の損傷とその応用	北海道大学大学院工学研究科・工学部 教授:大貫惣明
平成 14 年	核融合と水素	北海道大学大学院工学研究科・工学部 教授:日野友明
	高エネルギー陽子加速器施設におけるトリチウムの生成とその動態	高エネルギー加速器研究機構 助教授:三浦太一
平成 15 年	核融合研究の進展と放射線計測	核融合科学研究所 炉工学研究センター長:野田信明
	核融合炉におけるトリチウムの取扱い	日本原子力研究所那珂研究所 トリチウム工学研究室長:西 正孝
平成 16 年	レーザー核融合研究とトリチウム	大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター長:井澤靖和
	核融合炉で使われる材料と粒子相互作用	大阪大学大学院工学研究科電子情報エネルギー工学専攻 助教授:上田良夫
平成 17 年	核融合炉におけるトリチウムの取り扱いと閉じこめ方法	日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門 核融合エネルギー工学研究開発ユニット トリチウム工学研究グループリーダー:山西敏彦
	トリチウムの生物影響について	茨城大学理学部 教授:一政祐輔

## [6] 共同利用者に対する教育活動

表VII-12は、平成11年度から平成17年度までの7年間の共同利用者としての学生の受け入れ状況を示す。表に示すように、新水素エネルギー社会の実現に向けた研究を志す学内の学生が、年30名以上が共同利用者として利用し、大学内での共同利用施設として十分に役割を果たしていることがうかがえる。

本センターに登録された学生は、上述した教育訓練に加えて、年間の研究活動を通して、随時、本センターの教職員による放射性同位元素及び放射線の取扱いに関する指導

及び安全教育と日常の実験両方について、管理区域のみならず非管理区域においても受けることになる。このようにして、学生は研究活動と同時に放射性同位元素及び放射線の安全取扱いの体験を通して理解するとともに社会的責任などに対する知識あるいは見識を身につけることができる。

このような教育目的を達成するために、本センターの教職員と学生のマンツーマン指導体制がほぼ実現されており、富山大学内でもユニークな教育研究施設として位置づけられる。さらに、放射線障害の防止に関する教育は本センターにおける教職員及び学生の研究活動を支える基本的かつ重要なものであり、今後も本センターにおける教育の活動内容の充実と向上を引き続き推進して行くためには、共同利用者の増加に鑑み、施設及び教育支援要員などの更なる整備が望まれる所である。

他方、安全教育の充実と向上という観点に立てば、本センター専任教職員のみならず共同利用者である他学部教職員との連携など学部の枠を越えた協力体制が必要である。例えば、施設の性格は異なるものの、本学の放射性同位元素総合実験室や、生命科学先端研究センター放射線生物解析分野との放射線障害の防止に関する安全教育での連携・協力などは、その内容も含めて現在摸索されている所であるが、今後は実現に向けて検討すべき課題である。

表Ⅶ-12 過去7年間の学生利用者数

年 度	理学部 (人)	工学部 (人)	人間発達科 学部*(人)	合計 (人)
平成11年	25(8)	4(3)	1(0)	30(11)
平成12年	33(12)	1(0)	1(0)	35(12)
平成13年	34(18)	1(0)	0(0)	35(18)
平成14年	37(22)	0(0)	1(0)	38(22)
平成15年	39(12)	0(0)	0(0)	39(23)
平成16年	35(10)	2(0)	0(0)	37(10)
平成17年	21(12)	1(1)	0(0)	22(13)

( )内の数値は大学院の学生数を示している。

\*) 旧教育学部

## [7] 教育活動を取り巻く今後の課題

教育活動を取り巻く今後の課題として、核融合炉開発研究に関して言えば、2005年6月に国際熱核融合炉実験施設 (ITER) がフランスのカダラッシュに建設されることが決定され、トリチウムを取扱える技術者の育成が急務となっている。前述の通り、富山大学水素同位体科学研究センターは、大量トリチウムを水素や重水素と同等に扱える国内唯一の大学研究機関である。また、世界的に見ても化学形を限定せずにトリチウム実験をできる施設はめず

らしい。このような特長を生かして、核融合炉材料中のトリチウム挙動を研究する「基礎物性分野」、トリチウム汚染の処理・処分・管理技術の確立を目指す「バックエンド分野」を中心に、ITERの為の人材育成を行うと共に、今後訪れるであろう大量トリチウム消費社会に向けた人材育成を1つの柱として教育を行う必要がある。

また、水素エネルギーに関しても、水素エネルギー変換の高効率化を目指す「素材循環分野」、水素製造や水素脆化防止技術の研究を行う「応用物性分野」を中心に、今後標榜される大量の水素を消費する水素エネルギー社会の実現に向けて、研究者・技術者の養成を行う必要がある。

このように本センターの研究指針とそれに伴う人材の育成は、新水素エネルギー社会の実現に向けて非常に重要となっている。しかしながら、18才人口が減少しつつある現在、これら研究者を目指す学生の確保が問題となっている。その一方で、大学での学習を望む人の層や学生の年齢分布は今後広がるものと考えられ、社会人、留学生など学生の多様化がさらに進むものと予想される。このような大学の多様化を踏まえて、今後の教育及び研究の在り方を見直して行くことが必要であろう。

人材育成の観点から、今後、博士課程の学生の獲得に力を入れる必要がある。同様に、国際的にもこのような学生の流動性を高める必要がある。留学生の受け入れは、教育を通して国際的な人材育成に寄与すると同時に、本センターの学生を国際化・活性化する効果も期待される。

## VIII. 管理運営体制・財政の状況

### [1] 管理運営体制

#### 1. 組織

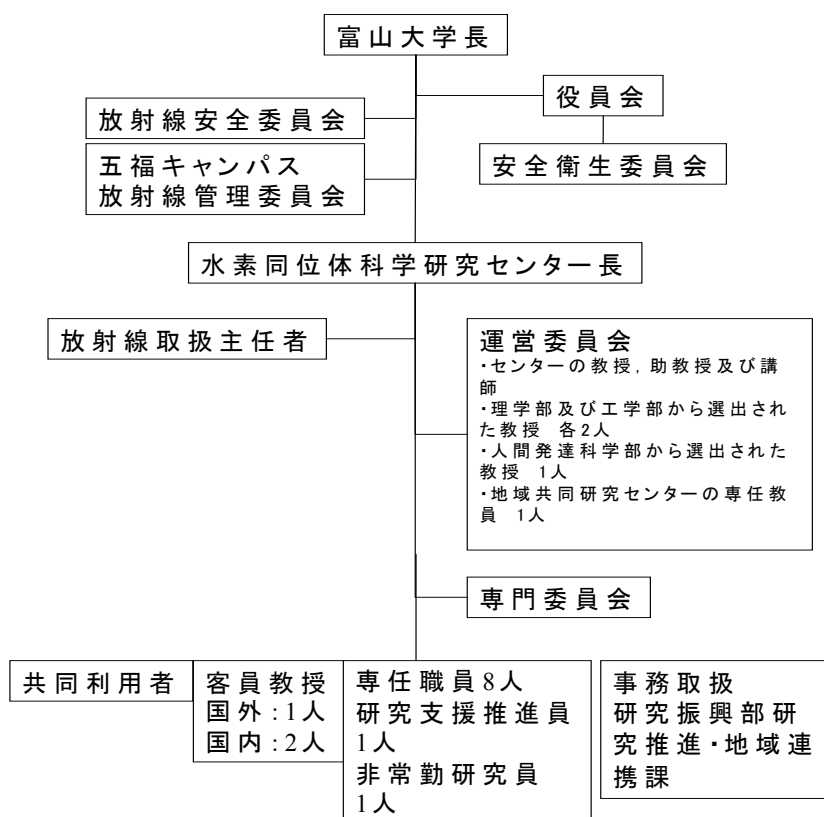
本センターは、水素同位体機能研究センターを発展的に解消し、平成11年度に設置された。センターの組織を図VIII-1に示す。

センター長のもとに各学部等から選任された委員で構成される運営委員会及び運営委員会の要請に応じて設置される専門委員会がある。また、本センターは放射性物質であるトリチウムの取扱い施設であるため、通常の組織とは異なり、放射性物質の使用に際しての安全管理をする目的で、「放射性同位元素等による放射線障害防止に関する法律」(以下「障害防止法」と略す)に基づき放射線取扱主任者が組織中に位置づけられている。以下にこれらの各組織の運営状況と果たす役割について述べる。

運営委員会は学部における教授会に相当する委員会である。審議内容は

1. 管理運営の基本方針に関すること
2. センター長及び教員の人事に関すること
3. その他センターに関すること

である。通常行われる運営委員会での審議事項は各年度の予算・決算及び各種予算要求をはじめとし、施設の共同利用申請、将来計画などが主たる審議事項である。



図VIII-1 組織図



委員会の委員はセンターの教員と各学部から選任された教員が務めている。委員の内訳は

- ・ センターの教授、助教授及び講師
- ・ 理学部及び工学部から選出された教授 各2人
- ・ 人間発達科学部から選出された教授 1人
- ・ 地域共同研究センターの専任教員 1人

である。各学部から委員が選任されているのは、全学部の理工系教員の意見がセンターの運営に反映されるようにするためである。なお、各委員の任期は2年である。

専門委員会は運営に関わる専門的事項を担当するため、必要に応じて運営委員会の議を経て設置される。専門委員会は、本センターの職員以外にも各学部等に委嘱した数名の委員より構成される。この際の委嘱は放射性同位元素使用施設(以下「同位元素使用施設」とする)である本センターの特殊性を考慮し、共同利用者である教員を中心として行われている。毎年度開かれる専門委員会の主な議題は、共同利用申請された研究課題の審議、センターで発行している研究報告に投稿された原稿の編集である。なお、専門委員会での審議内容を実りあるものとするために、必要に応じてセンター内にワーキンググループを設け、審議事項に必要な資料の収集・作成及び予備的な検討が行われている。

本センターは同位元素使用施設であることから、第1種放射線取扱主任者免状を持つ者から学長により任命された者が、放射線取扱主任者(以下「主任者」とする)として選任され、文部科学省に届け出されている。現在、届け出されている本センターの主任者は4名である。これは、施設の利用時間中に主任者が常時センターに滞在する体制と多様な意見を反映するためである。主任者の職務は放射線障害を防止することにある。このため、放射線障害防止のための対策が必要ならセンター長に直接意見できる立場にある。また、センター長はその意見を尊重しなければならない。

センターの庶務は研究振興部研究推進・地域連携課において処理されている。

## 2. 運営委員会及び専門委員会の活動状況

表Ⅷ-1に過去7年間の運営委員会、専門委員会の開催状況を示す。教員等の人事のあった年は運営委員会の開催回数が増えている。年に2回は予算計画と決算を審議するために開かれている。一方、専門委員会は年々その回数が増加しており、専門性の高い問題が年を追う毎に増加していることがわかる。

表Ⅷ-1 運営委員会及び専門委員会の開催回数

	平成 11 年	平成 12 年	平成 13 年	平成 14 年	平成 15 年	平成 16 年	平成 17 年
運営委員会	8	7	5	2	2	15	7
専門委員会	2	2	2	3	4	5	2

## 3. 放射性同位元素使用施設の安全管理体制

本センターは同位元素使用施設であるため、障害防止法を遵守し運営をしている。また、

平成16年度に国立大学法人となり、労働安全衛生法及び電離放射線障害防止規則の適用を受けることとなり、これら法律も併せて遵守している。

本学には、放射性同位元素を使用して教育・研究の推進を図り、併せて放射線障害を防止するために、各学部等から選出された教員、放射線取扱主任者及び共同利用施設長らによって構成される全学的な安全管理機構である放射線安全委員会がある。この委員会では

1. 放射線障害の防止に係る基本方針に関する事項
2. 異常時及び事故時等に対する措置に関する事項
3. 放射線障害の防止に係る学長への勧告に関する事項
4. 放射線障害の防止に係る健康管理に関する重要事項
5. その他放射線障害の防止、保安及び安全確保等の措置に関する重要事項

が審議される。即ち、放射性同位元素の使用などについては全学的な審議の下でなされており、大学全体の放射性同位元素の安全取扱い方針に沿って本センターの研究活動が行われている。さらに、五福キャンパス放射線管理委員会によりキャンパスの実情にあわせた放射性同位元素及び放射線の安全取扱いに対する種々の議論がされている。また、労働災害の防止と安全衛生の向上を審議する安全衛生委員会の方針に従い、研究環境の整備に努めている。現在、第1種衛生管理者の取得を職員に奨励しており、本センターの職員の1名がこの資格を取得している。

これらを踏まえ、図VIII-1に示した本センターの運営組織で法令を遵守し、研究活動を効果的に進めるようそれぞれの職務を果たしている。本センターの同位元素使用に関する安全管理では、4名の選任された主任者の合議のもと方針を立てている。なお、5名の職員が施設の主任者となり得る第1種放射線取扱主任者免状を取得している。現在、選任された主任者のメンバーにはセンター長と実務を行う技官も含まれており、管理者と実務担当者の意見が直接交換されている。さらに、他の2名の主任者からの多様な意見も取り入れられる組織である。また、国立大学の独立行政法人化に伴い労働安全衛生法が適用されたことにより、同位元素使用施設の作業環境測定業務も義務づけられた。このため作業環境測定業務に必要な資格の取得を進め、3名の職員が第1種作業環境測定士(放射性物質)の登録を受けている。実際の管理区域内の放射性物質についての作業環境測定は専門の作業環境測定機関に委託して行っており、毎月1回の作業環境の測定が各実験室について行われている。

一方、本センターの同位元素使用施設に立ち入る利用者の放射線障害防止及び放射性同位元素の安全管理を目的に、センターの施設、設備及び放射性同位元素の使用を希望する学内の教員・学生並びに学外の研究機関に所属する利用者(以下「従事者」とする)は、センター長に予め使用申込書を提出して許可を受ける必要がある。その他、上記目的を全うするために、従事者に対して放射性同位元素の保管・使用・廃棄、教育訓練及び健康診断等の多くの遵守事項が「水素同位体科学研究センター放射線障害予防規定」及び「水素同位体科学研究センター放射線障害予防内規」に定められている。

#### 4. 管理体制の現状

従事者の放射線障害を防止するため、日常業務としてセンターでは

1. 放射性同位元素の受入、保管、使用、廃棄にいたる管理
2. 被ばく線量の算定と管理
3. 施設運転中の排気、排水中の放射能濃度の測定
4. 施設の保守と点検

を行っている。これら業務を行う専任の職員は技術職員1名のみである。このため、これら業務を効率的に行うため、被ばく線量の算定と管理の自動化等を基盤設備充実費等を獲得することにより行ってきた。しかし、従事者の他の教育・研究機関を利用した研究活動が広がってきており、センター内の自動化のみでは大幅な効率化が望めない状況である。また、国立大学法人となり労働安全衛生法が適用されたことにより、作業場所の安全衛生に関わる改善策の検討、作業環境測定等の業務が増加し、日々の管理業務は国立大学法人化前と比べ増大している。さらに、設置後25年以上経過した安全設備は老朽化しており、表Ⅷ-2に示すように保守・点検・修繕等の業務件数は平成11年度では11件であったものが平成17年度には18件と1.7倍になっている。保守・点検・修繕を行う業者との作業前打ち合わせ、作業立ち会い、作業確認等の業務が増加している。このように種々の業務は効率化以上のペースで増大している。

また、平成11年度に「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」が施行され、管理すべき薬品の種類の増加のみならず化学物質の事業所外への排出、移動量の把握が求められている。このため、薬品管理の方法が大きく替わり、現在の保有量を把握する従来の管理方法から、使用後の処理の形態を含めた管理方法に移行した。このため、薬品管理業務の負担も増加している。

安全管理の業務は、老朽化に伴う保守・点検・修繕の増加のみならず管理をおこなうべき対象も増大している。このため専任の技術職員一人への仕事量が急激に増加し負担が過大となっている。組織の拡充と整備が急務である。

表Ⅷ-2 保守・点検・修繕等の業務件数

平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度
11件	10件	12件	15件	14件	17件	18件

#### [2] 管理運営費・研究費の現状

センターへの予算配分項目は、校費、職員旅費、超過勤務手当であり、これらから共通経費、節約相当額が控除され配分される。校費と追加配分額をあわせた総予算を表Ⅷ-3に示す。平成11年度から13年度まで特殊装置維持費が年間で約1350万円措置されていたが、14年度以降は措置されていない。一方、14年度以降は1200万円程度の教育研究設備維持運営費が措置されている。このため、校費配分額は約4000万円程度で推移している。

一方、平成11年度から平成17年度までの追加配分額等は、平成11年度は約2240万円であるが、次年度では257万円であった。最も多かった年と少なかった年では約10倍の開きが

ある。このように年度毎に変動が大きいのは、大型の施設設備の更新の有無による。

表VIII-3 総予算

(単位：千円)

年度	平成 11 年	平成 12 年	平成 13 年	平成 14 年	平成 15 年	平成 16 年	平成 17 年
当初予算校費配分額	39,094	38,174	40,021	41,697	40,435	40,599	39,945
追加配分額	22,395	2,571	19,486	20,455	5,360	6,737	6,581
合計	61,489	40,745	59,507	62,152	45,795	47,336	46,526

次に、配分額の概略を理解するために配分額を3つのグループに分ける。

①研究費として使用する予定の配分額

教員当積算校費	教育研究特別経費
外国人教師等経費	附属施設経費
職員旅費	研究科博士課程前期後期課程分
外国人研究員経費	研究協力推進経費
研究協力・インセンティブ経費	学長裁量経費
学部長等支援経費	年度計画に係る必要経費

②維持管理費として使用する配分額

業務委託及び保守等経費	アイントープ施設等経費
研究基盤支援推進経費	教育研究設備維持運営費
特殊装置維持費	汚水廃液処理施設運営費
X線回折装置使用料	設備費
原子力安全管理設備費	教育特別設備費
基盤設備充実費	安全管理経費

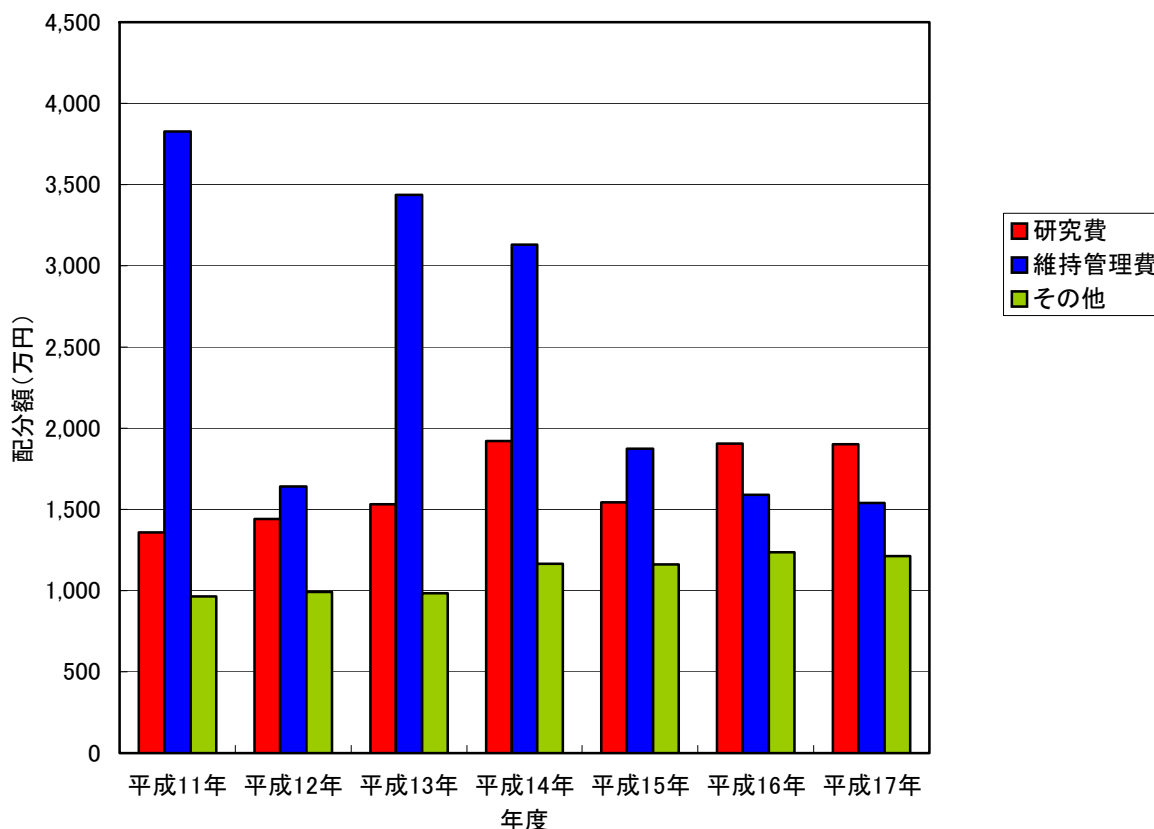
③その他

普通庁費	初度調弁費
燃料費	TA・RA経費
高度化推進特別経費	夢大学経費
研究支援推進経費補助	共通経費
全学管理経費	燃料費調整分

グループ分けし、年度毎にまとめたものを図VIII-2に示す。図中では①については赤、②については青、③については緑で示す。

維持管理費の変動が大きいのは、平成11年度は設備費と原子力安全管理設備費、平成13年度は教育特別設備費、平成14年度は基盤設備充実費が配分され施設設備の設置と更新があったためである。

これら予算の決算状況についてはこの後に述べる。



図VIII-2 配分額の費目

### 1. 外部資金の獲得の状況

本センターで獲得してきた外部からの研究費及び補助金を表VIII-4に示す。科学研究費補助金は年度によりその金額に大きな変動があり、平成17年度では971万円であるが、平成16年度には2760万円を獲得している。採択一件あたりの金額に大小はあるが、毎年度獲得している。

表VIII-4 科学研究費補助金等の外部資金 (単位:千円)

年度	平成 11 年	平成 12 年	平成 13 年	平成 14 年	平成 15 年	平成 16 年	平成 17 年
科学研究費補助金	14,200	10,000	14,500	15,090	26,550	27,600	9,710
奨学寄付金	1,000	500	0	0	0	5,000	0
受託研究費	1,000	0	0	0	0	9,091	2,526
民間等との共同研究費	500	1,420	1,840	1,840	420	3,260	1,260
核融合科学研究所 (LHD 計画共同/一般共同研究)	0	0	8,730	1,350	770	18,828	7,400
合計	16,700	11,920	25,070	18,280	27,740	63,779	20,896

奨学寄付金、受託研究費は獲得していない年度もあるが、特に平成16年度にはイギリス原子力公社の受託研究を得て、約850万円の海外からの研究費を獲得している。

一方、民間等との共同研究は毎年度行われ、研究費を得ている。

以上のように、積極的に外部資金の調達に努めている。特に、受託研究及び共同研究は国内のみにとどまらず国外とも行い、研究費を獲得している。

## 2. 管理運営費の状況

管理運営費と指定使用できる校費は4000万円程度で推移している。詳細な本センターの運営決算書を表Ⅷ-5に示す。管理運営費の現状の概略を理解するために①研究費として使用した備品費及び消耗品費等、②施設の維持管理費として使用した保守等経費、役務費等、③その他の3つのカテゴリに分ける。そのグループ分けを表Ⅴ-5に示す。グループ①に対応する研究費は赤色、グループ②に対応する維持管理費は青色、グループ③に対応するその他を緑色で示す。図Ⅷ-3に決算をグループ分けした縦棒グラフを示す。

図Ⅷ-3の青色で示した維持管理費は年々減少しているように見えるが、これは追加配分された設備費を反映しており、平成11年度の原子力安全管理設備費、平成13年度の教育特別設備費、平成14年度の基盤設備充実費を反映している。これら予算の配分のなかった平成12年度は大きく減少している。しかし、事実上の維持管理費である役務費(費目番号9)は平成15年度以降に急激に増加し、平成17年度には約1000万円に達した。これは追加配分額を除いた年間予算の25%に対応する。主な役務は施設の老朽化に伴う補修工事であり、今後更なる増大が見込まれる。また、維持管理費に含めた放射線施設の設備の保守点検費用である保守等経費(費目番号3)は平成11年度は357万円であるが平成17年度は431万円である。効率的な保守点検を図るべく、点検業者との連絡を密にし点検を進めているが、施設の老朽化に伴う不具合箇所の増加と物価上昇に伴い、費用はこの7年で20%増加した。追加配分された維持管理費を除いた維持管理費は平成17年度で約2050万円であり、通常予算の半分が維持管理費に費やされたことを示している。

次に、追加配分額等について詳細に説明する。表Ⅷ-5に示すように平成11、13及び14年度に大きな予算措置がされている。その内容は、平成11年度は設備費と原子力安全管理設備費、平成13年度は教育特別設備費、平成14年度は基盤設備充実費である。これら予算で措置されたいずれの設備も基本的に放射線施設の安全管理に必要な施設・設備の更新がされたものである。詳細は以下に述べる。

平成11年度に措置された設備費と原子力安全管理設備費を用いて、空気中で不安定な化学物質を扱うグローブボックス等の設置と放射線施設から排水される水中の放射能濃度を測定する「排水モニター(1090万円)」が更新された。平成13年度に措置された教育特別設備費によりトリチウムの管理に必要な不可欠な「液体シンチレーションカウンター(1590万円)」が更新された。この装置は極低濃度のトリチウムを測定することが可能であり、環境科学に関する研究にも使用されている。平成14年度に措置された基盤整備充実費により放射線作業従事者の管理区域内への出入りを管理する「入退管理システム(970万円)」と「サーベイメーター(237万円)」が更新と設置された。この装置は従事者の管理区域内への出入りを記録・管理するのみならず、従事者の被ばく線量算定も行い、管理業務の効率化に貢献

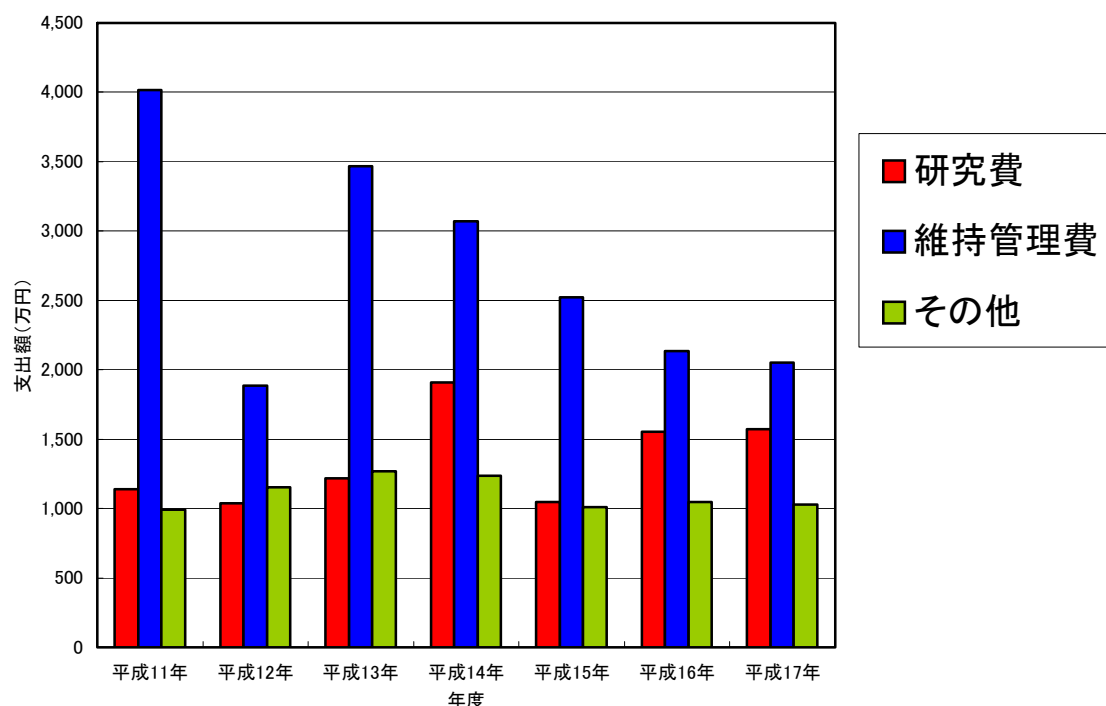
している。

表Ⅷ-5 水素同位体科学研究センター運営決算書

単位：円

年度	平成 11 年	平成 12 年	平成 13 年	平成 14 年	平成 15 年	平成 16 年	平成 17 年
校費							
1.備品費	5,472,551	3,318,824	5,473,586	5,359,461	2,183,670	1,653,330	888,055
2.消耗品費	2,254,317	2,723,478	2,086,884	3,783,399	2,403,662	3,601,829	4,437,864
3.保守等経費	3,570,173	3,644,846	3,935,302	4,016,341	3,843,161	4,307,181	4,309,855
4.印刷費	1,027,200	299,250	1,082,025	1,277,850	185,325	806,400	1,487,200
5.燃料費	543,158	708,476	547,381	711,920	614,558	715,000	1,038,247
6.光熱水費	4,350,660	5,294,447	5,838,389	4,907,699	5,467,199	5,533,426	5,877,152
7.人件費	2,726,423	3,366,286	3,954,213	4,047,989	2,523,840	1,914,837	275,600
8.図書費	1,681,247	1,799,345	1,267,003	1,997,752	2,145,624	1,743,406	1,527,437
9.役務費	2,941,128	4,655,808	4,916,876	2,287,973	9,565,034	9,011,129	9,993,184
10.工事費	1,744,260	0	0	0	0	0	0
11.通信費	455,661	371,337	305,051	380,260	257,638	250,846	334,807
12.健康診断費	88,000	91,200	110,800	108,820	110,440	215,240	217,440
13.予算振替	653,000	649,000	720,000	859,000	891,000	771,280	923,760
14.客員研究費	658,536	683,116	1,156,241	1,399,728	1,400,000	1,364,458	1,298,672
15.廃液施設経費	2,375,059	2,307,833	2,003,998	2,187,946	1,385,622	1,600,200	1,545,720
16.特殊装置維持	8,604,575	8,257,156	7,314,730	8,031,063	6,163,227	6,408,824	4,688,170
17.職員旅費	0	0	0	0	0	663,510	971,360
X線回折装置使用料	44,000	66,000	99,000	44,940	0	4,000	26,000
研究科博士課程前期後期課程分	1,156,000	1,663,000	1,824,000	2,191,781	1,940,000	1,108,000	2,048,000
外国人研究員経費	142,768	141,058	320,678	551,436	396,000	0	0
夢大学経費	46,656	0	0	0	0	0	0
設備費	5,940,221	0	0	0	0	0	0
原子力安全管理設備費	15,003,407	0	0	0	0	0	0
研究協力推進経費	0	39,540	0	0	0	0	0
研究支援推進経費補助	0	665,000	0	0	0	0	0
研究協力・インセンティブ経費	0	0	39,593	0	0	0	0
教育特別設備費	0	0	16,511,250	0	0	0	0
基盤設備充実費	0	0	0	14,206,642	0	0	0
学長裁量経費	10,000	0	0	3,800,000	0	3,538,104	4,530,477
安全管理経費	0	0	0	0	4,250,000	0	0
共通経費	0	0	0	0	33,000	0	0
全学管理経費	0	0	0	0	36,000	0	0
学部長等支援経費	0	0	0	0	0	640,000	0
年度計画に係る必要経費	0	0	0	0	0	1,230,000	0
燃料費調整分	0	0	0	0	0	255,000	107,000
合計	61,489,000	40,745,000	59,507,000	62,152,000	45,795,000	47,336,000	46,526,000

ここでは、安全にトリチウムを取り扱うために現在使用している安全設備の保守・修繕状況を決算から評価する。トリチウムの安全取扱いに必要な設備は



図VIII-3 校費の支出費目

1. 管理区域内を換気するための「空調設備」
2. 管理区域内のトリチウム濃度を測定する「トリチウムモニター設備」
3. 排水を安全に貯留し放流する「排水設備」
4. トリチウム漏洩等の非常時に稼働する「トリチウム除去設備」
5. 可燃性ガスの漏洩を検知する「可燃性ガス検知器」
6. 停電時に安全設備に電力を供給する「自家発電設備」

である。トリチウム科学センターが昭和55年度に設置されてからこれら主要機器の更新が行われておらず、25年間以上使用され続けている。このため、現在では各部が老朽化し、当初の性能が発揮できなくなりつつあるのみならず、性能維持のための補修部品も生産中止になっている。また、老朽化に伴う役務費と保守点検等経費が年々増加し、中でも保守等経費(費目番号3)及び役務費(費目番号9)の決算額に占める割合が大きくなっている。

前年度の保守点検の結果を評価し、不具合箇所等を事前に洗い出した後、保守点検あるいは修繕を行う業者と密に連絡を取り、効率的な経費の支出を心がけている。しかし、設備の信頼性と性能の維持のためには、これ以上の役務費、保守点検等経費の削減は事実上困難な状況にある。今後、施設の老朽化の進展に伴い益々これら経費の増加が見込まれる。

現状の施設・設備の使用では更なる老朽化に伴い、役務費と保守点検等経費の増加は避けがたい。研究に対しより効率的な予算執行を行うためには、これら大型の施設設備の更新が必要不可欠である。



### 3. 研究費の状況

前述したように外部からの研究費の獲得に努めているが、校費からの支出される研究費は挑戦的な課題に取り組むための費用として最重要である。この点から研究費の状況を評価する。前にも述べたが校費の予算額は4000万円程度で推移している。実際の予算の執行状況を示す決算書を表Ⅷ-5に示す。また、年度毎の校費により支出された研究費を図Ⅷ-3に示す。

研究費に使用された校費は年度により変動があるが、減少傾向が認められる。特に、備品費(費目番号1)の減少は大きく、表Ⅷ-5に示すように平成17年度には89万円と100万円を下回る金額となっている。

当初予算と実際に支出された研究費について検討する。教員当積算校費は1300万円程度で推移している。教育研究特別経費は平成11年、17年の2回配分されている。研究科博士課程前期後期課程分は110万円から220万円の間で推移している。これは、所属する学生数に依存するためである。しかしながら、当初予算の研究費は変動するが最低でも1400万円程度が当初予算に計上されている。平成17年度をみると、研究費の当初予算は1900万円であるが、研究費として支出されたのは1570万円であり、当初予算の83%程度の支出になっている。これは、図Ⅷ-3からも明らかなように、施設維持費が決算の半分を占めることにより、研究費を圧迫しているためである。このため、施設の老朽化に伴い校費による新規の挑戦的研究課題の遂行が困難になると考えられる。

このような状況を少しでも改善するように、外部資金への挑戦と獲得に努めるだけでなく、学内の競争的資金の獲得にも努めている。その結果、近年では400万円程度の学長裁量経費を獲得している。

## Ⅸ. 施設・設備の状況

### [1] 施設の現状

水素同位体科学研究センター施設の平面図を図Ⅸ-1 に示す。建物は 4 階建ての部分(非管理区域)及び 2 階建ての部分(管理区域)よりなっており、昭和 41 年に旧和漢薬研究所設置の際に建築され(一部は昭和 48 年に増築)、現在まで 40 年が経過している。加えて、昭和 55 年に排水処理施設(管理区域)が建設されている。以下に管理区域及び非管理区域施設についてそれぞれ述べる。

#### 1. 管理区域

トリチウムは放射性同位元素であるため、RI 使用許可を受けた施設内での使用が前提となる。本センターでの RI の使用許可を受けた区域、いわゆる管理区域、では、非密封線源としてトリチウム(1 日最大使用数量 7.992 TBq)の他に  $^{14}\text{C}$ (3.7 MBq)、また密封線源として  $^{57}\text{Co}$ (370 MBq)の使用許可を得ている。その許可使用数量はトリチウムが圧倒的に多く、したがって本センターの施設・設備も主としてトリチウムの利用を想定したものになっている。管理区域施設はトリチウム科学センター設置時(昭和 55 年)に大規模改修を行い整備された。以降大規模な改修は行われていない。一方、昨今の研究の進展に伴い、管理区域内でのトリチウム使用は多様化・増加し、それに伴い管理区域内でのトリチウムの許可使用数量を増加してきた。最近では平成 14 年度に 1 日最大使用数量 7.4 TBq(高レベル実験室)、貯蔵能力 185 TBq への変更許可を受けており、国内大学では最大級のトリチウム量を使用した各種実験が行える施設となっている。そのため、学内のみならず学外との共同研究も増加しており、結果として実験装置の設置場所が不足する傾向にある。今後、大量のトリチウムを安全に利用できる施設として、多様な共同研究を発展させていくためには、施設の増改築により実験空間の拡充を図る必要がある。

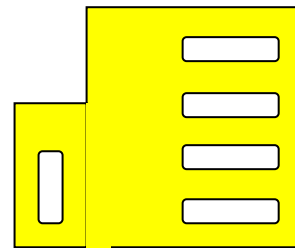
排水処理施設に関しても、屋根の劣化による雨漏りにより、設備の配電盤が故障する事象が発生している。現在は屋根の一部修繕及び配電盤の修理・点検により、施設の健全性は保たれているが、建物自体は建築後 26 年が経過しているため、何らかの機会を見つけて防水・塗装等の改修を行うことが望ましい。

#### 2. 非管理区域

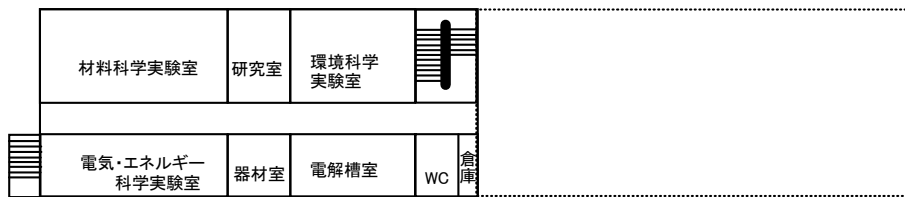
センター教員の増加及び学内共同研究の進展に伴い、研究室及び実験室が手狭になってきたことから、平成 11 年度に 3 階、平成 12 年に 4 階の改修工事を行い、実験室 4 部屋、研究室 5 部屋が整備された。これにより、現状では研究室及び実験室ともに適当な空間が確保されている。

建物自身は、建築より 40 年を経過していることも有り、老朽化による雨漏りや化粧板の割れなどが目立つ。また、耐震基準にしても 40 年前の基準で設計・建築されたままである。電気・水道・ガスなどの基盤施設に関しては、特に電気配線の劣化が目立つ。また、水道配管内の腐食等により発生した異物が冷却水配管を閉塞させることもあった。今後の継続的な研

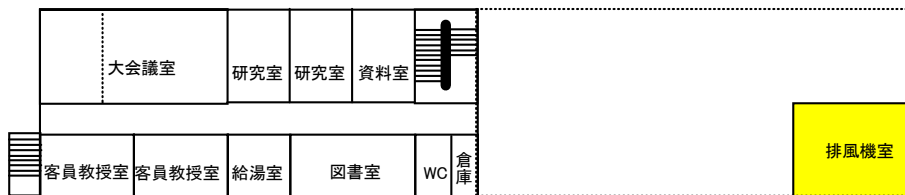
究実施のため、早急に施設及び基盤施設全体の補強・改修工事を実施する必要がある。



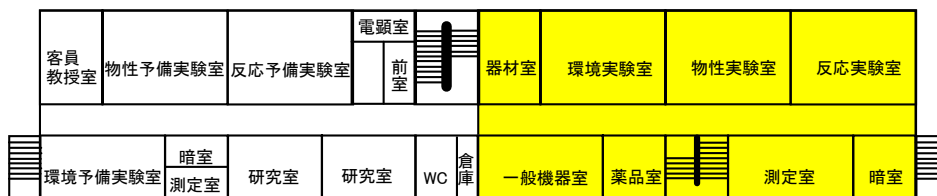
排水処理施設 (1階)



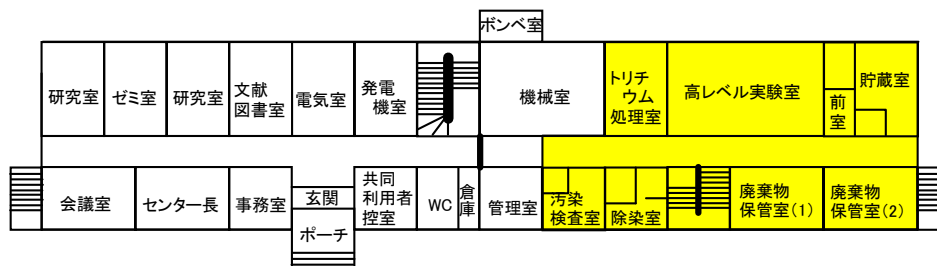
4階平面図



3階平面図



2階平面図



1階平面図

注) 図中の ■ 部分は管理区域

図IX-1 水素同位体科学研究センター平面図

## [2] 設備の現状

### 1. 安全管理設備

理工学研究には多種多様な危険が内包されており、その安全管理設備は研究設備と同様の重要性を持つ。トリチウムを含む放射性同位元素の取扱には、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」の遵守による安全管理が義務付けられる。加えて、研究を遂行するにあたり水素同位体等の各種ガス類、薬品類が使用され、その安全管理も重要である。更に、平成16年4月より適用となった「労働安全衛生法」での労働者の安全性確保といった要件も重要になっている。以下に管理区域、非管理区域に設置されている各種安全管理設備の現状及び保守・点検状況を述べる。

#### (i) 設備の概要

管理区域には、作業を行う教職員や学生の放射線障害を防止すると共に、公共の安全を確保するための特殊な安全管理設備が設置されている。以下に安全管理設備一覧を示す。

- ・トリチウムモニタ設備
- ・空気調和設備：送風設備、排風設備及び冷暖房設備
- ・排水処理設備：貯留槽、希釈槽および排水モニター
- ・自家発電設備
- ・トリチウム除去設備  
：グローブボックス用トリチウム除去設備及び実験室系トリチウム除去設備
- ・入退管理システム
- ・可燃性ガス等検出器
- ・貯蔵庫

上記設備の中で、入退管理システム及び可燃性ガス等検出器は、それぞれ平成16年度、平成14年度に一部更新が行われた。特に入退管理システムは、利用者の入退室情報とトリチウムモニタ及び各種放射線測定機器の測定結果を組み合わせ、利用者の細かな被曝線量管理を可能とする、本センター独自の設備である。

非管理区域では、可燃性ガス検知器が2階(平成15年度)、4階(平成12年度)の各実験室に設置された。また、一部実験室には、一酸化炭素検出器が設置され、利用者の安全確保に利用されている。また、労働安全衛生法適用に備え、平成15年度に第一種及び第二種有機溶媒等を取扱可能なドラフトチャンバー、有害特定化学物質等の使用時に必要となる洗眼・洗身設備、非常時に用いる各種防災用具が設置された。

#### (ii) 保守・点検状況

上記設備のうち、貯蔵庫を除く管理区域の安全管理設備及び非管理区域の可燃性ガス等検知器は、毎年設備の利用を一定期間停止して、保守・点検を製造業者に委託して行っている。年度ごとの保守点検費及び補修・改修費を図IX-2に示した。これより、保守・点検費用が年々増加していることに加え、点検内容に基づいて行う各設備の補修・改修にも多額

の支出をしている事が判る。特に、最近3年間では補修・改修費が点検費と同程度までになっている。更には、平成11年度には排水モニター、平成15年度にはトリチウム除去装置の故障により、緊急に500-1000万円の更新・修理費用を捻出しているが、今後、このような突如の故障に対して多額の修復費用が確保できる保証はなく、一部設備の故障により施設全体の利用を停止せざるを得ない事態も想定される。また、設備の中でも、排水処理設備、空気調和設備、トリチウム除去設備、及び自家発電設備は設置後26年を経過し、毎年点検により何らかの補修・改修が必要な箇所が発生するが、その修理・交換部品が入手困難となりつつある。今後、小規模な補修・修理だけでは設備を健全に維持していくことが益々難しくなると考えられることから、早急な安全管理設備の更新或いは大規模な改修を図る必要がある。

## 2. 研究用設備

平成11年度に本センターが設置されて以来、各種研究用設備の更新或いは新設により、近年の利用者の多様な要求に対応してきた。本センターの主要装置である100Ciトリチウム取扱システムは、毎年1回の保守点検により、システムの健全性を保っている。一方、周辺の計測機器は老朽化が進んでおり、平成16年度にデータ監視システムの更新を行った。システムの継続的な運転のためには、今後の計画的な計測機器の更新が望まれる。

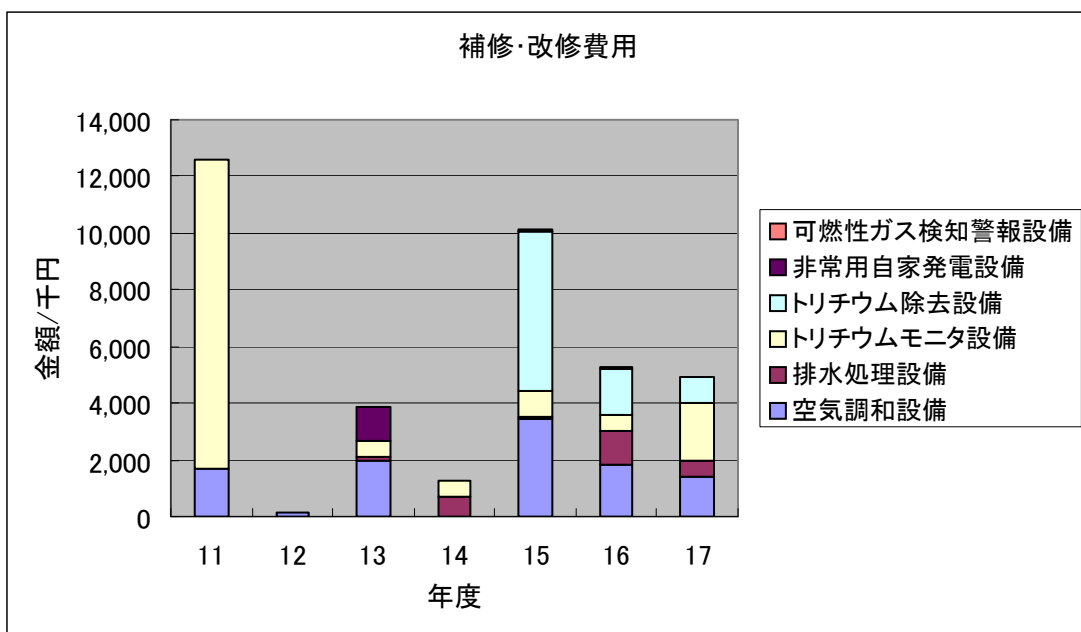
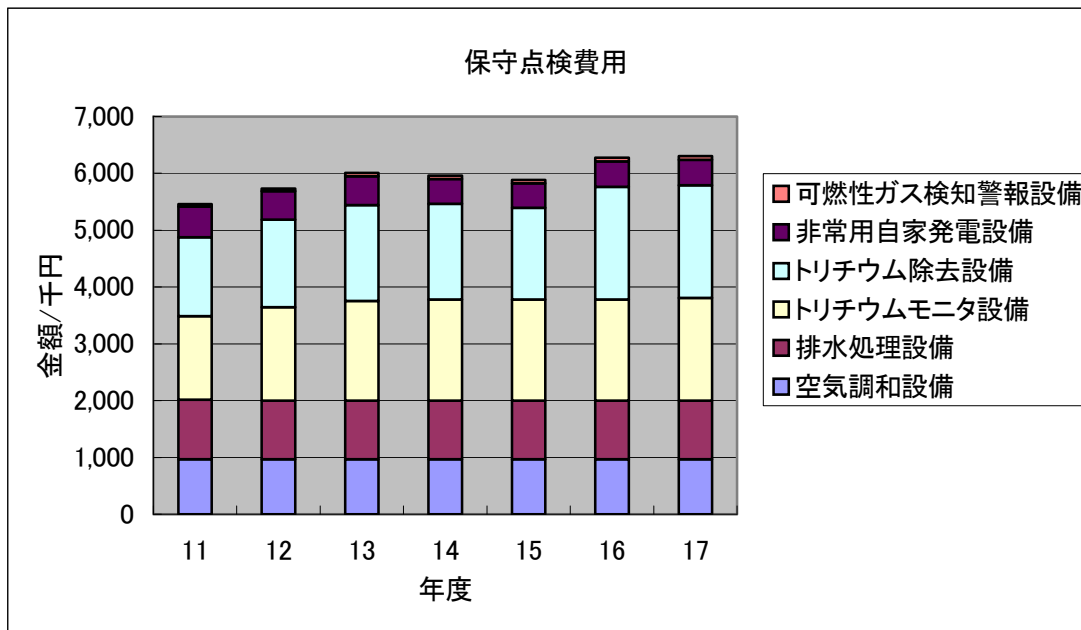
測定装置としては、平成13年度に低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターが更新された。本装置は、微量のトリチウムを高精度で測定可能であり、研究のみではなく、施設管理にも有益である。以前の装置と比べて精度が向上しており、更にコンピューターによるデータ管理が行えることから、現在、研究と施設管理の両方に重要な装置となっている。その他には微小熱量が検出可能なマルチナノカロリメーター、高精度質量分析が可能である四重極質量分析計、各種材料の水素透過性能を測定する水素同位体超透過実験システム、電池用電極材料に利用される水素吸蔵合金の電気化学特性を評価する電気化学測定装置等が設置された。その他、紫外可視分光光度計、放射能測定装置等が設置された。

試料調製装置としては、粉体微粒子の表面を各種金属、合金、酸化物等で均一修飾が行える実験用小型バレルスパッタリング装置、微粒子表面修飾にCVD法を応用したバレルプラズマCVD装置が設置された。また、ガス雰囲気制御した中で材料の焼成が行える多孔質材料電極作製装置が設置された。

以上のように、これまで多数の実験装置を導入してきたが、センター内で実施される実験の多様化・高度化に伴い、各種の高精度分析装置の必要性が高まってきている。特に、材料表面の微小領域の分析・評価装置が要望されているが、本センターに設置されているSEM、XPS、SIMSなどの表面分析装置は、いずれも設置後25年以上が経過し、老朽化により利用者の要求する性能に満たない場合がある。大型の高性能分析装置は現在の研究の推進のみならず、学内更には学外との共同研究を推進する原動力ともなりうると思えることから、新設或いは更新を検討していくことが望まれる。

また、富山大学では設備整備の考え方として、「国立大学法人富山大学における学術研究用設備整備に関するマスタープラン」が策定されており、その中に水素同位体科学研究

センター等に設置されているインフラストラクチャ設備及び学術研究用基盤設備の計画的整備が謳われている。トリチウム科学センター時代に設置された装置は設置後 20 年程度経過しており、現在では設備補修時に保守交換部品等が入手困難となっている。しかし、トリチウム使用が可能な新規装置の設置或いは既存装置の更新を考えた場合、RI 管理の必要性より詳細な検討及び計画に基づいた設置・改修が必要である。今後研究を進展させていくためにも、マスタープランに基づいた新規設備の設置及び老朽化した既存装置の更新を計画的に行うことが望まれる。



図IX-2 年度ごとの保守点検費用及び補修・改修費用

## X. 今後の展望

核融合炉開発研究は、平成17年に ITER の建設サイトが決定された事により、大きな節目を向かえた。ITER は核融合エネルギーの科学的・技術的な実現可能性の実証を目指す、この目的を達成するためには核融合科学、プラズマ科学及び核融合炉工学による総合的な研究展開なくしてはあり得ないであろう。これは ITER 以降の核融合炉開発研究に対しても同様である。核融合炉工学の範疇に入るものの一つとして、核融合炉燃料となる重水素とトリチウムを炉心へ安定に供給し、これを回収—精製—分離等の処理操作をして、再循環する燃料循環プロセスの役割を担うトリチウムプラントの構築がある。

ITER におけるトリチウムプラントの建設にはこれまで研究開発されてきた各種の技術が投入されるであろう。しかし、ITER の次段階として位置づけられる核融合原型炉(または実証炉)のトリチウムプラントでは、取扱い燃料の更なる増大に対する安全性確保、トリチウムの自給自足体制の確立、および長時間にわたる安定した連続運転が要求される。これらの要求に対処するためには、研究開発に長いリードタイムを必要とするが、ITER において採用されたトリチウム取扱い技術の高性能化及び高精密化に加えて、トリチウムの性質に対する継続的な基礎的データの蓄積と計算機シミュレーションに基づく理論的解析が必要である。更に技術的な飛躍のためには新機能性材料の開発及びその学術的基盤の構築を推進することが必要不可欠である。

また、この様な国際的状況に加えて、我国の核融合研究における重点化装置として位置づけられている核融合科学研究所の大型ヘリカル実験装置(LHD)及び大阪大学レーザーエネルギー学研究所の慣性核融合実験装置において、それぞれD-D実験およびD-T実験(FIREX計画)が数年先に計画されている。前者の実験においてもトリチウムの発生が起これ、その対応策が必要となる。この様な計画に対して、これまでトリチウム挙動の基礎的データ及び取扱い技術(ノウハウ)を蓄積してきた本センターはこれらの実験の遂行に対して積極的な役割を果たすことが求められるであろう。

一方、水素エネルギー社会の実現には燃料電池等の個別の要素技術開発のみならず、大量水素の製造・輸送・貯蔵及び利用等に関わる個別の技術についても原理、効率、経済性、耐久性及び安全性などの観点から総合的に検討する必要がある。これらの検討に際して、有望な候補材料の開発が実現への鍵となる。例えば、水素製造に関して概観すると、既存の再生可能エネルギー源及び非化石エネルギー源などを利用する電気分解、熱化学反応及び有機化合物分解反応等が有り得るが、何れの製造法においても上記観点の要求を満たすような高機能性材料の研究開発が必須となる。

上述の水素製造技術は、核融合炉システムの観点から見ると、ブランケットで発生する水蒸気状トリチウム、燃料循環プロセスで発生する高濃度トリチウム水やトリチウム炭化水素、核融合炉構造材等の冷却水及びトリチウムを含有する汚染材料などからのトリチウムガスの生成・回収プロセスの構築に必要な機能性材料及び要素技術の研究開発と相通じるものがある。なお、この様なトリチウムガスの生成・回収プロセスの確立は ITER を含め将来の核融合炉の早期実現に対して極めて重要な課題である。

本センターは、軽水素、重水素及びトリチウムを同等レベルで取扱い得るという特徴を活かし、これまでトリチウムの安全取扱い技術の確立及び水素の機能性に関する研究開発を3研究分野の体制で推進し、新水素エネルギーシステムの基礎となる「水素同位体科学」の創設を目途としてきた。今後もこの様な目標の下で、先に述べた重要課題を考慮し、核融合エネルギー及び水素エネルギーの早期実現に寄与するためには、更に強力な研究展開を推し進めるための体制強化が必要である。このような観点より、従来の3研究分野体制から応用物性・バックエンドな研究分野を2つの研究分野として独立させ、図X-1 に示す様に、全体として4研究分野への組織整備を行い、それぞれの研究分野において次に示す様な研究課題を精力的に推進することが切望される。

#### (1.基礎物性研究分野)

- ・核融合炉材料中のトリチウム挙動に関するデータベースの構築及び計算機シミュレーションによる理論的解析・材料設計

#### (2.応用物性研究分野)

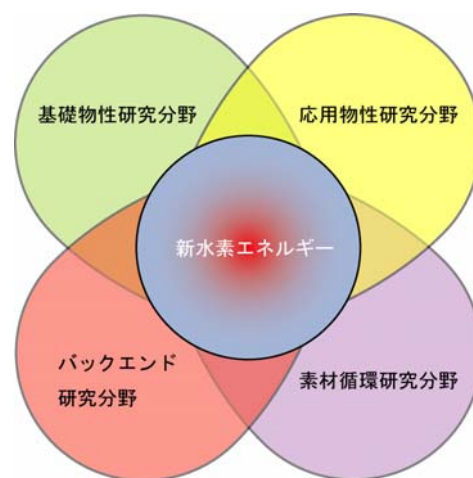
- ・水素製造及びトリチウム回収技術に関わる基礎的研究及び要素技術の研究開発

#### (3.バックエンド研究分野)

- ・トリチウム汚染物の処理・処分・管理技術の確立に関わる基礎的研究及び要素技術の高度化

#### (4.素材循環研究分野)

- ・水素エネルギー変換の高効率化に関わる要素技術及び新規機能性材料の研究開発



図X-1 今後の研究体制

この様な組織整備に加えて、長期間にわたる研究活動を維持し、本センターの特徴を活かした学内外の研究者との共同研究等をより活性化するためには、設置以来26年経過したことを考慮し、放射線施設及び安全設備の整備が急がれる。更に、多様化する実験ニーズに応え、かつ安全に実験を遂行していくためにも安全管理を専門とする組織の整備が必要である。また水素同位体科学に関する研究を更に発展・維持するためには、継続的な若い人材の育成が必要であり、ホームページ及び核融合ネットワーク等を利用して、富山大学のみならず全国の大学・研究機関に向けて情報発信するための体制整備を図ることが必要不可欠である。