

富山大学水素同位体機能研究センター

外部評価委員会報告書

平成10年10月

目 次

1. まえがき	1
2. 外部評価委員名簿	2
3. 結果の概要	3
4. 評価報告	
(1) 設置目的と経緯	5
(2) センターの特徴	5
(3) 研究成果	6
①トリチウム研究	7
②水素エネルギーに関する研究	8
③基礎分野研究（材料相互作用、水素機能性、その他）	9
(4) 共同研究（実績）	10
(5) 大学院（実績）	11
(6) 運営、体制	11
(7) 施設・設備	12
(8) 今後の展開	13
(9) 評価結果	14
5. 論文リスト	16

まえがき

現在の世界の総人口は 59 億人で、2050 年には 100 億人に達するものと予想されている。この増加の一途を辿る人口を養うための食糧の確保が 21 世紀に課せられた最重要課題であるが、食糧増産はもとより文化的生活を支えるのはエネルギーである。

その主たるエネルギー源は周知のごとく化石燃料である。現在、世界全体では全消費エネルギーの約 40% を石油に頼っている。世界第 4 位のエネルギー消費国である我国では、1973 年のオイルショック以来その依存度は減少したとは言え、依然として全体の 54% を石油に依存している。その石油の確認可採埋蔵量は約 50 年分と見積もられている。また、世界全体でその 25% を頼っている天然ガスと言えども、可採埋蔵量は約 70 年分とされている。即ち、人類は 21 世紀の中ごろにはこれらの化石燃料源を失うことになる。

他方、産業革命以来の加速度的な化石燃料消費により、地球環境に著しい影響があらわれ世界的に大きな問題となっている。従来型の資源によるエネルギー増産は地球温暖化と穀倉地帯の砂漠化を一層加速させ、食糧生産へ極めて深刻な影響を与えることが指摘されている。

この様な状況下で、先進諸国を中心に非化石燃料源の研究開発が活発に行われているが、人類は好むと好まざるを問わず、その多くの部分を核エネルギーに頼らざるを得ない。その際、水素の同位体（重水素と三重水素（トリチウム））を燃料とする熱核融合炉は核分裂炉とは異なる大きな魅力を有する。即ち、燃料の一つである重水素は海水中に豊富に存在し、ウランの可採埋蔵量がたかだか 100 年とされているのに対し、10 億とも 20 億年分とも言われる量がある。更にどこの国にも属さない公海に貯えられている。他の一方の燃料のトリチウムは天然には存在せず人工的に作られるが、その原料となるリチウムの可採埋蔵量は数百年分とされている。

しかし、何事によらず利益とリスクは表裏一体で、核融合炉にも当然リスクが付きまとう。その最初の問題はトリチウムが放射性同位元素である事である。トリチウムは、その放射性を除けば、基本的には水素と同じ性質であり、常温常圧で無色無臭の気体として存在する。従ってその取扱いには極めて厳重な管理が必要であり、その安全取扱い技術が確立されない限り、核融合炉は社会的に容認され得ない。

この問題に対処するため、当センターは 1990 年に 10 年の時限の学内共同教育研究施設として旧トリチウム科学センターより改組転換・設置された。以来、トリチウムの安全取扱いに係わる基礎及び応用研究とともに、無公害且つ循環可能な二次エネルギー源としての水素の利用に関する研究を展開してきた。これらの研究教育活動に対し、これまでに数回の自己点検評価を行ってきたが、この度斯界の権威者からなる外部評価委員会による客観的で且つ示唆に富む評価と批判を頂けた事は望外の幸せである。

設立以来 8 年間にわたる専任職員、共同利用研究者及び関係者各位の努力と尽力により、着実に成果を上げ得たと信ずるが、本報告書に述べられている如く、本センターの設立趣旨に盛られた理念と理想の達成のためには、未だ多くの課題が残されている。センター職員一同、外部評価を真摯に受け止め、更に努力と研鑽を重ね、エネルギー環境問題の解決に貢献できることを念願している。関係各位の益々のご指導ご鞭撻とご支援を切望する次第です。

平成 10 年 10 月 1 日
富山大学・水素同位体機能研究センター
センター長・渡辺 国昭

外部評価委員名簿（五十音順）

委員長

飯吉厚夫（核融合科学研究所 所長）

委員

奥野健二（静岡大学 教授 理学部附属放射化学研究施設）

河村和孝（東海大学 教授 総合科学技術研究所）

田中 知（東京大学 教授 大学院工学系研究科）

本島 修（核融合科学研究所 教授 大型ヘリカル研究部）

森山裕丈（京都大学 教授 原子炉実験所）

外部評価委員会

” 結果の概要 ”

水素同位体機能研究センター（現センターの設置目的と成果）

1. 設置目的

水素同位体が有する機能性に関する基礎的研究を行うと共に、その機能性を有効且つ安全に利用できる技術として大量且つ高濃度のトリチウムの取扱い技術等の研究開発を行う。

2. 研究成果

- a. 材料トリチウム相互作用の基礎過程の研究
- b. 100 Ci トリチウム取扱いシステムの開発
- c. 高濃度トリチウムの計測法の開発
- d. 室温作動自己展開型水素同位体分離用ガスクロマトグラフの開発
- e. 機能性材料による水素同位体吸収における同位体効果の解明
- f. 有機及び無機固体におけるトリチウムの放射線効果の解明
- g. 同位体分離、精製、貯蔵、廃棄処理等の要素技術の開発
- h. 5 Ciトリチウムプラズマ発生装置の試作実験の成功
- i. プラズマ誘起透過現象（PDP）に関わる実験的解析の成果
- j. 多孔性且つ孔分布の制御可能な水素吸蔵合金の製造方法の開発
- k. 耐被毒性低温活性化可能な多孔性水素吸蔵合金の製造方法の開発
- l. 焼成法による水素電池素材の製法開発と最適焼成条件の確立

3. 評価概要

a. 外部評価実施実績

平成10年7月23日、核融合科学研究所、東京大学、京都大学、静岡大学及び東海大学の核融合炉工学及び水素同位体の専門家による外部評価を実施した。

b. 研究内容に係わる評価

大量・高濃度トリチウムの取扱い技術等の研究開発においては「100 Ci トリチウム取扱いシステム」を初め、新しい技術の開発等にも成果を上げており、ほぼ所期の目的が達成された。また、水素同位体の有する機能性に関する研究においても、水素同位体と

材料との相互作用の研究が進展し、将来の発展が期待される有用な同位体効果及び放射線効果が見出される等、関係研究者の高い評価を得ている。

c. 今後の方向性

今後これらの研究を更に発展させるために、より高濃度且つ厳しい環境下におけるトリチウム挙動の解明と制御技術、並びに水素同位体の有効利用と安全性確保技術及び関連する素材・材料のバックエンド・再利用技術の開発等の研究を推進する必要がある。そのためには蓄積された研究成果と実験装置の活用を図り、共同研究体制の整備・強化が適切になされる必要がある。また、今後の大学間トリチウム理工学研究ネットワークにおける研究拠点としての発展が期待される。

4. 新たな研究課題

- a. トリチウム基礎物性（材料中への溶解、拡散及びトリチウム化物生成過程並びに極限条件下における挙動）の解明
- b. 基礎物性の応用技術、特に同位体効果及び放射線効果の有効利用と各種核融合炉材料からのトリチウムの回収技術の開発
- c. 各種機能性材料中での水素の挙動と同位体効果解明並びに新水素エネルギーシステムにおける資源及び素材の循環技術の開発

富山大学水素同位体機能研究センター 外部評価委員会報告書

1. 設置目的と経緯

富山大学水素同位体機能研究センター（以降センター）は、「水素同位体が有する機能性に関する基礎的研究を行うと共に、その機能性を有効且つ安全に利用できる技術として大量且つ高濃度のトリチウムの取扱い技術等の研究開発を行う」ことを目的として平成2年に設立された。

水素同位体が有する機能性に関する基礎的研究は、その応用の巾が広く世界的に見ても活発な研究投資が行われている分野である。本センターではその機能性を有効且つ安全に利用できる技術として大量且つ高濃度のトリチウムの取り扱い技術等の研究開発を行うことを主目的として研究を推進してきている。それらは、水素同位体の同位体効果、放射線効果等水素同位体の持つ優れた機能性を研究しようとするものであり、その成果を水素エネルギーの開発や新素材の開発等に活用することにより応用面での展開を目指すことができる。

構成員は、センター設置時には教授1名、助教授1名、助手1名、技官1名であったが平成7年に教授1名、助教授1名が追加された。本センターでは、このように比較的少ない構成メンバーにもかかわらず目的意識を持ちつつ、学内外との共同研究をも有効に利用することによって集中的に研究を遂行し以下に示すような多大な成果を得ている。

2. センターの特徴

センターの設置目的のもと、大学としては最大の使用数量を誇るトリチウムの使用施設を利用し、トリチウムの安全取扱い技術の開発を中心に、水素同位体の材料相互作用や機能性に関する基礎研究が進められている。単に関連技術の開発を行うだけでなく、要素技術からシステムの構築を目指し、また各技術について学術的・体系的な基盤を構築しようとしている点で、特徴的である。

具体的な本センターの特徴をまとめると次のとおりである。

- (1) 国内大学関係では最大のトリチウム使用量（5000 Ci/年、36 Ci/日）を有し、それを利用して純トリチウム分子を含む高比放射能のトリチウムを用いての研究を展開している。
- (2) トリチウムと材料との作用に関する研究では世界的に特徴ある研究を展開し

ておりその成果は、高く評価されている。

- (3) 規模、人員、予算規模は、少ないが特徴ある研究を展開している。
- (4) 核融合炉工学のトリチウム理工学研究の一環としてトリチウム／材料相互作用研究、トリチウム測定研究を展開してきた。
- (5) 高比放射能トリチウムが使用でき、且つ多くの表面分析装置が使用できる特徴を生かして学内外との共同研究を幅広く行っている。
- (6) 富山大学内で教育に果たした役割も大きい。
- (7) 1996年に設置された100 Ciトリチウム取り扱いシステムは、純トリチウムを使用するの、材料相互作用、表面分析、トリチウム透過研究を同時に実施できるという特徴を有し、特色ある今後の研究が期待される。

トリチウム研究施設(平和利用)を世界的に見れば原研TPL、米国TSTA、ドイツ・カールスルーエ研究所、イタリア・イスプラ研究所等のグラム規模のトリチウムを取り扱える施設がある。また、英国・JET及び米国・TFTRでは大型プラズマ実験装置でのトリチウム燃焼実験をターゲットとするトリチウム取扱いと処理技術の開発研究が行われた。そのほとんどが工学的研究を主たる目的としている。本センターは、これらに比べて取扱量は、少ないものの世界で唯一のトリチウムに関わる一貫性のある基礎的研究が可能な施設である。

3. 研究成果

D-T反応利用核融合炉においてはトリチウムを燃料として使用し且つブランケットにおいてトリチウムの増殖を行わねばならない。従って、核融合炉燃料サイクルの各部に存在するトリチウムと材料との相互作用を明らかにすることは、燃料サイクルの確立、トリチウムインベントリーの評価と低減、トリチウムの平常時及び事故時挙動評価のために重要である。水素同位体機能研究センターではとくに比放射能の高いトリチウムと材料との相互作用に関する研究が中心に行われてきた。我が国の研究機関でこのような研究を追求してきたところは他に存在しておらず、貴重な研究が行われてきた結果、多くの成果が得られている。このような材料／トリチウム相互作用の観点から核融合工学研究に果たした貢献は、特筆すべきである。これらがトリチウム研究の他分野、例えば、トリチウム同位体分離、トリチウム計測、ブランケット増殖材よりの回収、トリチウム安全、トリチウム透過等に関わる研究活動とネットワークを形成し、我が国におけるトリチウム研究が総合的に進展した経緯にある。

主たる成果を箇条書きにすると次のとおりである。

- a. 材料トリチウム相互作用の基礎過程の研究
- b. 100 Ci トリチウム取扱いシステムの開発
- c. 高濃度トリチウムの計測法の開発

- d. 室温作動自己展開型水素同位体分離用ガスクロマトグラフの開発
- e. 機能性材料による水素同位体吸収における同位体効果の解明
- f. 有機及び無機固体におけるトリチウムの放射線効果の解明
- g. 同位体分離、精製、貯蔵、廃棄処理等の要素技術の開発
- h. 5 Ciトリチウムプラズマ発生装置の試作実験の成功
- i. プラズマ誘起透過現象（PDP）に関わる実験的解析の成果
- j. 多孔性且つ孔分布の制御可能な水素吸蔵合金の製造方法の開発
- k. 耐被毒性低温活性化可能な多孔性水素吸蔵合金の製造方法の開発
- l. 焼成法による水素電池素材の製法開発と最適焼成条件の確立

これらの研究成果は、大きくは、（１）トリチウム研究、（２）水素エネルギー研究、及び（３）基礎分野研究に分類される。トリチウム科学センター以来の研究成果は、約200編の学術論文として公表されており、研究成果の一部は、12件の特許として産業界の技術向上にも貢献している。

以下に、これらの主だった成果について更に詳しく述べる。

（１）トリチウム研究

この分野は、核融合研究と密接な関係にあり、励起状態トリチウムの大量、高濃度取り扱い等に関する研究である。（g.）

100 Ci実験装置の開発は、純トリチウムと材料との相互作用研究を表面分析と同時に進めようとするユニークなものであり、装置の製作は、終了し、コールドテスト後、少量のトリチウムを使用しての構成機器の試験が終わり、今後本格的実験による成果に大きな期待がかかっている。（a. b.）

プラズマ状トリチウム発生装置の試作と実験の成功は、我が国で始めて純トリチウムによるプラズマを発生したものであり、それと材料との相互作用研究に大きな進展を予測させるものであると同時に、この分野での貴重な経験としても評価される。（h.）

トリチウムβ線誘起X線検出法の開発は、真空容器等の材料表面に付着したトリチウムを制動X線により評価しようとするものであり、実地への適用の可能性を示唆するデータが得られている。今後は、さらに材料表面付着状態が異なった場合にも比較適用が可能な補正方式の検討が期待される。（c.）

室温作動型水素同位体分離用ガスクロマトグラフの開発は、水素、重水素を使用している研究ではあったが、金属吸収法による同位体分離の試験で従来のAl₂O₃、モレキュラーシーブへの低温吸着を用いる方法と異なり、重元素ほど早く溶離するとい

う特徴を生かした点に着目したものである。これまで研究が少ない分野だけにその着眼点とこれまでのコールド試験の結果が評価される。(d.)

トリチウム化メタン分解ゲッターの開発研究においてはZr-Ni合金を用いて分解されることを示すとともにそのメカニズムのエネルギー的な解明が評価される。(e.)

TFTR第一壁材料の特性評価に関する国際共同研究は、水素同位体機能研究センターの国際的な評価を示すものとして注目される。(a.)

これらについて既に42件の研究発表があるが、その中で国際的に評価の高いものをあげると以下の3つである。

K. Watanabe, K. Tanabe, M. Matsuyama and K. Hasegawa,
"Zr-Ni Alloys as Candidate Materials for Tritium Processing",
Fusion Engineering and Design, 18 (1991) 27-32.

M. Matsuyama, K. Watanabe and T. Yamazaki,
"Improvement of a Bremsstrahlung Counting Method for Measurements of
Gaseous Tritium",
Fusion Technology, 28 (1995) 1045-1049.

K. Watanabe, M. Matsuyama, T. Kobayashi and S. Taguchi,
"Gas Chromatographic Separation of H₂-D₂ Mixtures by Pd-Pt Alloy Near Room
Temperature",
Journal of Alloys and Compounds, 257 (1997) 278.

(2) 水素エネルギーに関する研究

特に、水素と材料との相互作用の観点からの研究が行われ、成果が上がっている。これらは、水素エネルギー開発のなかで水素と材料との特異的な性質に絡む研究であり、トリチウム/材料相互作用研究展開のなかで得られたものである。水素エネルギー開発のなかでこれらがどのような位置付けであるかは今後の研究に待つべき要素が大きいものの、水素と材料との相互作用研究においては高く評価できると考えられる。(j. k. 1.)

この分野では13件の研究論文が発表されている、主なものは：

M. Watanabe, C. Takeda, S. Tada, H. Anada, S. Ikeno, K. Ashida and K.
Watanabe,
"Alloying Effect on Hydrogen Gettering Properties for Zr-Al System"

Fusion Technology, 21 (1992) 763-768.

K. Watanabe, M. Hara, M. Matuyama, I. Kanesaka and T. Kabutomori,
"Stability of ZrCo and ZrNi to Heat Cycles in Hydrogen Atmosphere",
Fusion Technology, 28 (1995) 1437-1442.

(3) 基礎分野研究 (材料相互作用、水素機能性、その他)

水素同位体と材料との相互作用等に関する基礎研究を深く展開しており、その基礎学術分野における評価は、極めて高いものがある。

やや少し詳しい記述となるが、特筆すべきものは、以下のとおりである。

- (a) Pd-Pt合金による水素同位体吸収
- (b) メタン分解における同位体効果
- (c) Zr系合金の不均化における同位体効果
- (d) HTの自己誘起酸化における紫外線照射効果
- (e) CaSO₄, T₂Oにおける放射線効果 (共同研究: 研究支援)

これらの研究においてはトリチウムでのデータがまだ完全ではない。しかし、各種金属及び合金との相互作用における同位体効果が解明されたこと、並びに無機及び有機物固体化合物における放射線効果において多くの知見が得られたことは、高く評価される。(f.、i.)

研究論文34件のなかで特に評価の高いものは、以下のとおりである。

K. Ashida and K. Watanabe,
"Diffusion Constants of Tritium in Graphites and the Compensation Effect",
Journal of Nuclear Materials, 183 (1991) 89.

K. Hasegawa, H. Fusumae, M. Matsuyama and K. Watanabe,
"UV-Stimulated HT Oxidation in Oxygen Atmosphere"
Fusion Technology, 21 (1992) 500-505.

(1) - (3) の研究の底にあるのはトリチウムと材料との相互作用研究である。そこでは同位体効果やβ線誘起効果に基礎をおいて多くの理論的、応用的研究が展開されてきた。これが可能になった所以は、純トリチウム分子を使用できるということと、多くの分析装置を有効に活用したことが挙げられるが同時に優秀な研究者に恵まれたことも忘れてはならない。応用の面では核融合炉工学トリチウム理工学のなかで特にトリチウムと材料との相互作用、並びにトリチウム測定における多くの成果が高く評価される。

これら成果については、今後も積極的に公開していくことが望まれる。また、測定法における成果等については、JIS化に向けての積極的な努力も有用である。

4. 共同研究（実績）

研究センターの評価は、共同研究の実績（質、量）についても行われるべきである。水素同位体機能研究センターにおける共同研究は、その構成教官が興味を持つ分野及び課題に関する共同研究であるのは当然であるが、学内外多くの機関との共同研究を通してセンターの目的をより高いレベルで達成したのみならず、我が国、世界の当該研究分野のレベルを高めたことは、高く評価される。また、このことは、本センターの特徴的な装置と設備が有効に利用されたということを示すものでもある。学内においては、教育学部での理科教育に貢献したが、同時に、理学部化学科、物理学科、工学部材料系、化学系との共同研究がある。学外においては核融合科学研究所、東京大学、静岡大学、九州大学、千葉工業大学、日本原子力研究所との共同研究が行われた。最近では特に核融合科学研究所との共同研究が密に行われている。すなわち、平成4年度よりこれまで5件の共同研究を行っている、中でも「トリチウムプラズマ発生装置の開発」及び「LHD第一壁材料のトリチウム除染法に関する研究」が注目される。また、材料の開発や実験装置の開発に関連して行われた民間との共同研究も注目される。さらに国外においては、UC San Diego, Princeton Univ. TFR, ドイツFZK（準備中）との共同研究が行われた。これは、世界的に見ても本センターが高比放射能トリチウムを取り扱える数少ない研究施設であるとともにその研究レベルの高さを反映しているものと評価される。

年度毎の共同研究は、次の様に整理される：

平成2年度	学内5件		
平成3年度	学内8件	学外1件	
平成4年度	学内10件	学外4件	民間共同研究1件
平成5年度	学内9件	学外3件	民間共同研究1件
平成6年度	学内8件	学外3件	
平成7年度	学内7件	学外4件	民間共同研究1件
平成8年度	学内5件	学外6件	民間共同研究2件
平成9年度	学内6件	学外4件	

本センターの規模を考慮すれば、十分な実績が得られていると考えられる。

本センターでこれまでに蓄積された知見と設備は、国内的にも貴重なものであり、事情が許す限りは共同研究をさらに促進することが望ましい。ただし、現状のまま共同研究を促進することは、職員の負担が増加するばかりでむしろマイナスにな

る面もある。共同研究を促進する場合は人員を含めて適切な整備が必要である。

5. 大学院（実績）

水素同位体機能研究センターに所属する教官は、大学院理工学研究科に所属し直接大学院学生の研究指導にあっている他、学内理学部、工学部、理工学研究科の教官との共同研究の一貫として学生の受け入れを多く行ってきた。これらは、次のように整理される。

平成2年度	学部学生3人	修士学生3人
平成3年度	学部学生6人	修士学生1人
平成4年度	学部学生6人	修士学生1人
平成5年度	学部学生4人	修士学生5人
平成6年度	学部学生5人	修士学生4人
平成7年度	学部学生4人	修士学生2人
平成8年度	学部学生7人	修士学生6人
平成9年度	学部学生6人	修士学生10人

6. 運営、体制

専任職員は、現在教授2名、助教授2名、助手1名、技術官1名である。センターの運営に係る重要な事項は、運営委員会にて審議決定される。運営委員会の構成は、本センター教官4名、理学部3名、工学部2名、教育学部1名、地域共同研1名であり、まさしく全学的観点から運営に関する協議が的確に行われてきたと言える。

運営委員会の下に共同研究課題について審議する専門委員会と将来計画について主に検討する将来計画専門委員会がある。後者では特にセンター時限終了後の将来計画についての検討が近年集中的に行われている。

運営については、現在は学内の委員で組織する運営委員会がその任に当たっているが、本センターの研究の性格上、将来的には学外からの意見が必要になることも考えられ、検討が望まれる点である。

財政面では、保守維持費以外はほぼ横ばいの状態が続いている。本センターが財政、人員のリソースに比して非常に大きな成果を挙げていると評価できる。施設・設備の安全管理のための費用や人件費は、必然的に増加するものであり、ほとんどが施設の維持に使われている現状を鑑みれば、今後新センターにおいては研究費に

使える財源が益々逼迫するのは明らかであり、何らかの予算措置を講ずる必要が生じている。本来の目的である研究の促進が図られるよう、早急且つ適切な対策が必要である。

新センターでは100 Ci装置による研究が中心となると考えられるが、この種の装置を定常的に安全に稼働させるためにはセンター施設（安全設備等）及び本装置の運転員、保守・補修等を専門に行う技官等が必要不可欠であり、新センターにおいて人員措置も講ずるべきと考える。

7. 施設・設備

本センター内には大量トリチウム使用実験装置、少量トリチウム使用実験装置、及びコールドの実験装置が合理的に区分され設置されている。また、グローブボックス内トリチウム除去装置、実験室トリチウム除去装置、及び排ガストリチウム除去装置が設置されている。注目すべき実験装置としては、100 Ci実験装置、高濃度トリチウム非破壊測定装置、水素同位体分離用ガスクロマトグラフ、プラズマ透過実験装置、トリチウムイオン照射装置がある。また、装置維持費は、十分な金額ではないものの研究者が研究／管理を一体なって行ってきたことが高い研究成果につながっている。

本センターにおける研究の主力装置である100 Ci装置は、非常に良く考えられた装置であり、今後の成果に期待がもてるが、装置の運転、維持、整備の面で不安が感じられる。従来、本センターにおける各種実験装置でのトリチウム使用量は、Ciレベルであり、装置の運転、維持、整備は、それほど困難なものではない。しかしながら、100 Ci装置では取り扱い量がマクロ量に近いため特に装置の整備等に今までと違った知見が必要になる。この点を克服するためには、スタッフが大量トリチウム使用装置での整備等の経験を早急に積む必要がある。ただし、他大学及び研究所との協力を進め、これまでに本センターが蓄積した知識と技術を活用することによってこの問題もスムーズに解決できるものと考えられる。

現在の施設・設備は、良く維持されているが、可及的速やかなる対応として、将来的には、日本学術会議の報告に見られるように、「トリチウム理工学分野においては本センターの設備の有効利用と老朽化に対応した再整備が必要である」と考えられる。

8. 今後の展開

本センターの今後の計画として「水素同位体科学研究センター（仮称）」が計画されている。そこでは基礎データベース構築並びにトリチウムの放射線効果と同位体効果の学問的体系化を目指す基礎物性研究、基礎的物性の応用とトリチウム、資源の回収・再利用のための基礎学問的基盤の確立を目指す応用物性・バックエンド研究、及び、燃料・素材の循環／再使用に関わる研究を行う素材循環研究を目指している。環境系学術の展開と、エネルギー開発の基盤学術としてのトリチウム物性の基礎と応用に関する研究の展開が今後ますます重要性を増してくると予想される。現在、これらは、極めて重要な研究として位置づけられる。新センターで展開される予定の研究は、基礎と応用の両面の学問的基盤の確立を目指したものであり、今後の新しい理工学展開の雛形となるものである。基礎的分野での研究のピークについてはこれまでの成果より十分に期待できる。

本センターの特徴は、大学での研究の特徴とも言えるものであり、システムの構築を目指して単に技術の開発を行うだけでなく、それぞれの技術について学問的・体系的な基盤を構築しようとしている点である。新センター計画は、この特徴をさらに延ばそうとするものであって、その方向性については、基本的に適切なものと考えられる。

ただし、大学としては最大の使用数量を誇るという点で、検討すべき課題も少なくない。ハード面では、例えば、トリチウムで汚染された廃棄物の処置の問題がある。現時点では、RI協会への移管に制限があり、使用済の実験装置や高濃度のトリチウム廃棄物は、施設内に保管されている状況にある。一使用者としてのセンター（もしくは大学）の立場を超えた問題であるが、本センターの今後の展開を図る上では、忘れてはならない問題である。

また、関連する問題として、ソフト面では、安全管理に関する問題がある。新センター計画では、増員は、教授と助教授の2名のみであり、安全管理やルーチンワークに必要な助手・技官への配慮が充分とは言えない。定員削減が言われる昨今の情勢を考えると、困難な問題であるが、だからこそ何らかの対策を考えておく必要がある。外注のための予算の獲得に努めることは当然として、最悪の場合は一部門を安全管理専門にあてることも覚悟しておく必要がある。

今後の本センターの進むべき方向を議論する上で、重要な点は、新センターをトリチウム理工学ネットワークにおいてどのように位置づけるかにある。トリチウム理工学ネットワークは、核融合炉開発に必要なトリチウムの理学的研究から工学的研究まで幅広い研究ポテンシャルを持った研究集団であり、欧米では類を見ない非常にユニークなものである。このネットワークが上手く機能しているがために日本におけるトリチウム理工学研究レベルが高く維持できて来たものと思われる。その

中で新センターは、今後もこの研究拠点としての役割が期待される。特に本センターの持つ設備、人的資源から考えた場合、新センターは、100 Ci装置を用いたトリチウム材料相互作用研究及びトリチウム計測技術開発分野における拠点施設として重要な位置を持つ。また、最近核融合科学研究所を中核とする大学間核融合研究ネットワークが構築されているが、本センターがトリチウム研究の研究拠点として役割を果たすことが期待されている。

共同研究は、ユニークな装置を生かして幅広く追求すべきである。しかし、人員が少ないことに鑑み、センター指導的研究共同研究、センター装置を使用するテーマ型共同研究など、センター教職員の負担が過大にならない範囲で研究の特徴を生かして行うのが適当であろう。このとき、旅費援助の為に、全国ネットワークの一環としての旅費援助システムなどが有効である。また、客員研究員、教官も有効と考えられる。

9. 評価結果

以上の検討を踏まえ、外部評価委員会は、次の結論に到達した。

1. 研究内容については、高レベル・高濃度トリチウムの取扱い技術等の研究開発において「100 Ci トリチウム取扱いシステム」を初め、新しい技術の開発等にも成果を上げており、ほぼ所期の目的が達成された。また、水素同位体の有する機能性に関する研究においても、水素同位体と材料との相互作用の研究が進展し、将来の発展が期待される有用な同位体効果及び放射線効果が見出される等、関係研究者の高い評価を得ている。

2. したがって、これらの評価を踏まえての今後のセンターの方向性については、次のとおりである。

(1) 今後これらの研究を更に発展させるために、より高濃度且つ厳しい環境下におけるトリチウム挙動の解明と制御技術、並びに水素同位体の有効利用と安全性確保技術及び関連する素材・材料のバックエンド・再利用技術の開発等の研究を推進する必要がある。

(2) そのためには蓄積された研究成果と実験装置の活用を図り、廃棄物及び安全管理面への対策を適切に進めることによって、共同研究体制の整備・強化が適切になされる必要がある。今後の大学間トリチウム理工学研究ネットワークにおける研究拠点としての発展が期待される。

3. 具体的な、新しい研究課題として

- a. トリチウム基礎物性（材料中への溶解、拡散及びトリチウム化物生成過程並び極限条件下における挙動）の解明
- b. 基礎物性の応用技術、特に同位体効果及び放射線効果の有効利用と各種核融合炉材料からのトリチウムの回収技術の開発
- c. 各種機能性材料中での水素の挙動と同位体効果解明並びに新水素エネルギーシステムにおける資源及び素材の循環技術の開発

等の研究に向かうことが我が国の核融合及び新水素エネルギーシステムの発展に役立つものと判断する。

論文リスト

1. トリチウムに関する研究
 - (1) Zr-Ni alloys as candidate getter materials for tritium processing.
K. Watanabe, K. Tanaka, M. Matsuyama and K. Hasegawa,
Fusion Eng. Design, **18** (1991) 27-32.
 - (2) Small ionization chamber appropriate to tritium processing system.
M. Matsuyama and K. Watanabe,
Fusion Eng. Design, **18** (1991) 91-96.
 - (3) Tritium ab/adsorption for some vacuum component material having non-cleaned surface.
H. Miyake, M. Matsuyama, K. Ashida, K. Watanabe and D. F. Cowgill,
Ann.Rept. Hydrogen Isotope Res. Centr., Toyama University, **10/11** (1991) 43-57.
 - (4) Feasibility tests of tritium container packed with Zr_9Ni_{11} alloy.
M. Matsuyama, K. Watanabe and S. Morozumi,
Ann.Rept. Hydrogen Isotope Res. Centr., Toyama University, **10/11** (1991) 59-68.
 - (5) In-situ measurements of high level tritium by bremsstrahlung method.
 - (I) Feasibility tests of S-avalanche photodiode.
M. Matsuyama, H. Arai, T. Yamazaki and K. Watanabe,
Ann.Rept. Hydrogen Isotope Res. Centr., Toyama University, **10/11** (1991) 69-79.
 - (6) 高濃度トリチウム取扱システムの開発 (I)
三宅 均, 芦田 完, 松山政夫, 渡辺国昭,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **10/11** (1991) 97-104.
 - (7) Simple system for measuring tritium ad/absorption using a 2π counter and thermal desorption spectrometer.
H. Miyake, M. Matsuyama, K. Watanabe and D.F. Cowgill,
Fusion Technol., **21** (1992) 812-817.
 - (8) トリチウム安全取扱い技術開発の最近の進歩
渡辺国昭, 松山政夫,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **12** (1992) 1-22.
 - (9) In-situ measurement of high level tritium by bremsstrahlung counting method.
 - (II) Characteristics of a beryllium window.
M. Matsuyama, H. Arai, T. Yamazaki, N. Ikeda, K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Res. Center, Toyama Univ., **13** (1993) 51-61.

- (10) Separation of tritium by decomposition reaction of tritiated water with Raney alloys.
T. Takeuchi, A. Mori, M. Matsuyama, O. Takayasu,
Appl. Radiat. Isot., **45** (1994) 301-307.
- (11) 「核融合炉でのトリチウム技術開発」 4. トリチウム計測技術
渡辺国昭, 松山政夫
プラズマ・核融合学会誌, **70** (1994) 36-44.
- (12) Simple systems for measuring high concentration tritium.
K. Watanabe, M. Matsuyama and T. Yamazaki,
*Proc. of the 2nd Japan/China Symposium on Materials for Advanced New Energy
Systems and Fission and Fusion Engineering*, p.187-193, June 5-8, (1994)
The Univ. of Tokyo, Tokyo, Japan.
- (13) Recent development of tritium material interaction studies in Japan.(Review)
K. Watanabe,
*Proc. of the 2nd Japan/China Symposium on Materials for Advanced New
Energy Systems and Fission and Fusion Engineering*, p.187-193, June 5-8, (1994).
- (14) Development of gas chromatograph for hydrogen isotope separation working at room
temperature (I).
T. Kobayashi, A. Sakamoto, K. Goto, H. Miyake, M. Matsuyama and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., **14** (1994) 97-108.
- (15) ベリリウムと水素同位体の相互作用
芦田 完, 渡辺国昭, 河村 弘,
JAERI-Conf., 94-004 (1994) 34-47.
- (16) 金属材料とトリチウム挙動 - 核融合炉開発に関連して - (解説)
渡辺国昭,
まてりあ, **33** (1994) 1276 - 1283.
- (17) Applicabilty of the UV-stimulated oxidation to tritium clean-up.
K. Hasegawa, K. Horii, M. Masuyama and K. Watanabe,
Fusion Technol., **28** (1995) 1497-1502.
- (18) Improvement of a bremsstrahlung counting method for measurements of gaseous
tritium.
M. Matsuyama, K. Watanabe and T. Yamazaki,
Fusion Technol., **28** (1995) 1045-1049.

- (19) 室温作動自己展開型ガスクロマトグラフ法による水素同位体分離
小林 徹, 松山政夫, 渡辺国昭, 田口 茂
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **15** (1995) 33-41.
- (20) Applicability of bremsstrahlung counting device to a changeover system of tritium flow channel.
M. Matsuyama, K. Yanagihara, T. Yamazaki and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., **15** (1995) 55-64.
- (21) Gas chromatographic separation of hydrogen isotopes near room temperature.
K. Watanabe, T. Kobayashi, M. Matsuyama and K. Goto,
Proc. 3rd Cina-Japan. Symp. on Materials for Adv. Energy Systems and
Fission and Fusion Engr., 30 Oct.-03 Nov., 1966, Chengdu, China, (1995) p.46- 52.
- (22) 芦田完, 渡辺国昭「核融合研究Ⅱ (核融合炉工学), 第1編核融合炉材料
第3章プラズマ対向材料, 3. 5. 4 各種炭素材料の真空工学的特性及び表面
特性の評価」, 池上英雄 他編, 名古屋大学出版会, (1995)p.265-271.
- (23) 松山政夫「核融合研究Ⅱ (核融合炉工学), 第3編トリチウム 第4章
分析・測定法」, 池上英雄 他編, 名古屋大学出版会, (1995) p.684-694.
- (24) Hydrogen transport through plasma facing materials,
W.M. Shu,
Chinese Journal of Materials Research, Supplementary Issue, **9** (1995) 10-17.
- (25) A general formula for simultaneous plasma- and gas-driven hydrogen permeation,
W.M. Shu and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama University, **15** (1995) 65-74.
- (26) 水素同位体の分離用合金 (解説)
渡辺国昭,
まてりあ, **34** (1995) 173 - 178.
- (27) トリチウム排気技術 (解説)
「講座: プラズマ装置からの真空工学・排気技術」
渡辺国昭,
プラズマ・核融合学会誌, **71** (1995) 1193.
- (28) Deuterium interactions with supports of functional materials of an advance gas
chromatographic column for hydrogen isotope separation.
K. Watanabe, M. Matsuyama T. Kobayashi, A. Sakamoto,

- Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., 16 (1996) 33-47.
- (29) Nondestructive tritium analysis with bremsstrahlung counting method.
(I) Applicability to organic polymers.
M. Matsuyama and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., 16 (1996) 81-91.
- (30) Hydrogen isotope separation by advanced gas chromatography and fractionation.
K. Watanabe and M. Matsuyama,
Proc. Int. Tritium Workshop, July 18-19 (1996), Kuroda Kohodo, Toyama Univ.,
p. 90-99.
- (31) Concept definition of vacuum system for loop operation of large helical device.
A. Miyahara, N. Noda, K. Akaishi, T. Kawamura, K-N. Sato, Y. Murakami,
K. Watanabe, G. Horikoshi and G. Tominaga,
Vacuum, 47 (1996) 1001 - 1004.
- (32) Gas chromatographic separation of H₂-D₂ mixtures by Pd-Pt alloy near room temperature.
K. Watanabe, M. Matsuyama, T. Kobayashi and S. Taguchi,
J. Alloys and Compounds, 257 (1997) 278.
- (33) 100 Ci トリチウム実験装置の開発
渡辺国昭, 松山政夫, 芦田 完, 舒 衛民, 原 正憲, 田中るみ,
鈴木達志, 森雄一郎, 佐藤康士, 山口 昇, 林 茂男,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, 17 (1997) 27-42.
- (34) Surface Characterization of TFTR Graphite Probe by XPS-SIMS
K. Ashida, Y. Hirooka and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., 17 (1997) 43-51.
- (35) TFTR炭素材プローブ中のトリチウムの測定
原 正憲、芦田 完、松山政夫、渡辺国昭、広岡慶彦,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, 17 (1997) 53-60.
- (36) Availability of Zr₈₀Ni₂₀-alloy for tritium extraction from tritiated methane.
M. Matsuyama, E. Motohashi, W. M. Shu and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., 17 (1997) 73-84.
- (37) 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. Mueller, C. Skinner, T. Walters, K. Watanabe,
J. Nucl. Mater., in press.
- (38) Erosion effects on tritium permeation and inventory in ITER divertor
M. M. Shu and K. Watanabe,
Fusion Eng. Design, in press.
- (39) Tritium assay in Materials by bremsstrahlung counting method,
M. Matsuyama, K. Watanabe and K. Hasegawa,
Fusion Eng. Design, in press.
- (40) Hydrogen isotope separation by gas chromatography using Pd-Pt alloy
K. Watanabe, M. Matsuyama, T. Kobayashi and W. M. Shu,
Fusion Eng. Design, in press.
- (41) Surface modification of Zr-based alloys applicable for tritium processing.
K. Ashida, K. Watanabe, S. Ikeno and K. Mori,
Fusion Eng. and Design, in press.
- (42) Decomposition of methane on Zr-Ni alloys
K. Watanabe, W. M. Shu and M. Matsuyama,
Fusion Eng. and Design, in press.
2. 水素エネルギーに関する研究
- (1) Absorption and desorption kinetics of deuterium for Zr-Al system.
K. Ashida, M. Watanabe, C. Takeda, H. Anada, S. Ikeno and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., **10/11** (1991) 27-41.
- (2) Hydrogen production from water by use of waste aluminum.
M. Matsuyama, H. Miyake, K. Ashida and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Res. Center, Toyama Univ., **12** (1992) 49-58.
- (3) Surface modification of Zr and Zr_3Al_2 with electroless Pd plating.
K. Ashida, K. Watanabe, S. Morozumi, K. Matsuda and S. Tada,
Ann. Rept. of Hydrogen Isotope Research Center, **12** (1992) 59-69.
- (4) Alloying effect on hydrogen gettering properties for Zr-Al system.

- M. Watanabe, C. Takeda, S. Tada, H. Anada, S. Ikeno, K. Ashida and K. Watanabe,
Fusion Technol., **21** (1992) 763-768.
- (5) Absorption and desorption kinetics of deuterium for ZrNi system.
K. Ashida, K. Watanabe, E. Sawada, S. Tada and S. Ikeno,
Ann. Rept. of Hydrogen Isotope Research Center, **13** (1993) 63-74.
- (6) A porous stainless steel as scatter-proof envelope of ZrNi-alloy powder.
(I) Effects of envelope on absorption/desorption characteristics.
M. Matsuyama, K. Watanabe and S. Morozumi,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., **14** (1994) 55-64.
- (7) 水素の吸蔵・放出サイクルに対するZrCo及びZrNiの耐久性
原 正憲, 金坂 績, 渡辺国昭, 兜森俊樹,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **14** (1994) 85-96.
- (8) 水素吸蔵合金の最新応用技術
「11章 水素同位体の精製・回収と同位体分離への応用」
渡辺国昭, シーエムシー (1994) p. 221 - 256.
- (9) Absorption kinetics of deuterium over Zr_3Al_2 covered with electroless Pd plating.
- Durability against impurity gases -
K. Ashida, K. Watanabe, N. Terashita, S. Tada and S. Ikeno,
Ann. Rept. of Hydrogen Isotope Research Center, **14** (1994) 65-77.
- (10) Stability of ZrCo and ZrNi to heat cycles in hydrogen atmosphere.
K. Watanabe, M. Hara, M. Matsuyama, I. kanesaka and T. Kabutomori,
Fusion Technol., **28** (1995) 1437-1442.
- (11) 水素雰囲気下での加熱保持によるZrCoの水素誘起不均化
原 正憲, 小林孝広, 渡辺国昭, 岡部俊夫, 兜森俊樹,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **15** (1995) 73-83.
- (12) Changes in the chemical and crystallographic states of Pd-overlayers on ZrNi plate with vacuum heatings.
K. Ashida, K. Watanabe, J. Nagata and K. Mori,
Ann. Rept. of Hydrogen Isotope Research Center, **16** (1996) 49-58.
- (13) Charge/discharge characteristics of sintered Mg_2Ni
W. M. Shu, K. Mizukami, K. Watanabe and S. Morozumi,
Ann. Rept. of Hydrogen Isotope Research Center, **17** (1997) 61-71.

3. 基礎研究

- (1) Enhancement of the oxidation reaction of HT with ultra-violet photons.
S. Usami, Y. Asai, M. Matsuyama and K. Watanabe,
Enviromental Sci. Technol., **24** (1990) 581.
- (2) The compensation effect of diffusion constants of hydrogen in metals.
K. Watanabe, K. Ashida and M. Sonobe,
J. Nucl. Mater., **173** (1990) 394.
- (3) New isotope effects on surperconducting compounds, V_2ZrH_x , V_2ZrD_x and V_2ZrT .
K. Mori, Y. Ishikawa, K. Ashida and K. Watanabe,
Phys. B **165/166** (1990) 1523.
- (4) Hydrogen diffusion in Al - The compensation effect on the diffusion
M Sonobe, S. Ikeno, S. Tada, K. Ashida and K. Watanabe,
J. Nucl. Mater., **175** (1990) 47.
- (5)* Infrared spectra of T_2O ice.
I. Kanesaka, H. Hayashi, H. Kita and K. Kawai,
J. Chem. Phys., **93** (1990) 6113.
- (6) Reply to the comment by Tanabe on "The compensation effect of diffusion constants of hydrogen in metals".
K. Watanabe, K. Ashida, M. Matsuyama,
J. Nucl. Mater., **182** (1991) 274.
- (7) Diffusion constants of tritium in graphites and the compensation effect.
K. Ashida and K. Watanabe,
J. Nucl. Mater., **183** (1991) 89.
- (8) The compensation effect observed on diffusion constants of tritium for Li-compounds.
K. Watanabe, K. Ashida, M. Matsuyama and H. Miyake,
J. Nucl. Mater., **183** (1991) 195.
- (9) トリチウムガスの紫外線効果酸化反応
長谷川 淳, 伏間江 弘, 松山政夫, 渡辺国昭,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **10/11** (1991) 81-92.
- (10)* Infrared Study on β -radiolysis in poly(vinyl alcohol)- T_2O system.
I. Kanesaka, H. Takahashi and K. Kawai,
Radiochemica Acta, **54** (1991) 53.

- (11) UV-stimulated HT oxidation in oxygen atmosphere.
K. Hasegawa, H. Fusumae, M. Matsuyama and K. Watanabe,
Fusion Technol., **21** (1992) 500-505.
- (12) トリチウムガスの紫外線効果酸化反応に対する四塩化炭素の促進効果
長谷川 淳, 伏間江 弘, 宮原正一, 篠原 学, 松山政夫, 渡辺国昭,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **12** (1992) 85-91.
- (13) Magnetic properties of $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ and $\text{Er}_2\text{Fe}_{14}\text{BH}_x$.
K. Shimizu, T. Fujii, M. Matsuyama and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Res. Center, Toyama Univ., **12** (1992) 93-99.
- (14) Surface characterization of hot-pressed beryllium with X-ray photoelectron spectroscopy.
E. Ishitsuka, H. Kawamura, K. Ashida, M. Matsuyama, K. Watanabe, H. Ando and Y. Futamura,
J. Nucl. Mater., **191/194** (1992) 183-185.
- (15) Mg-III a 族遷移金属合金の内部水素化
松山政夫, 渡辺国昭, 諸住正太郎, 島 正幸,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **13** (1993) 39-50.
- (16) ポリブタジエンの光化学的トリチウム化
原 正憲, 金坂 績, 三宅 均, 渡辺国昭,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **13** (1993) 81-89.
- (17) Acceleration of the UV-stimulated HT oxidation by CCl_4 .
K. Hasegawa, H. Fusumae, S. Miyahara, M. Shinohara, M. Matsuyama and K. Watanabe,
J. Environ. Sci. Health, **A29** (1994) 281-299.
- (18) トリチウムの紫外線誘起酸化反応におけるオゾンの添加効果
長谷川 淳, 堀井宏一, 松山政夫, 渡辺国昭,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, **14** (1994) 41-54.
- (19) Secondary ion emission from beryllium surfaces by Ar and/or ($\text{Ar}+\text{D}_2$) mixed ion bombardments.
K. Ashida, M. Matsuyama, K. Watanabe, H. Kawamura, and E. Ishitsuka,
J. Nucl. Mater., **210** (1994) 233-238.

- (20) Changes in the chemical states of co-existing layers of beryllium and carbon with vacuum heating.
K. Ashida, K. Watanabe, N. Ezumi, T. Okabe and H. Kawamura,
Ann. Rept. of Hydrogen Isotope Research Center, **15** (1995) 43-54.
- (21) ベリリウムと炭素の共存性
芦田 完, 渡辺国昭,
NIFS-PROC-21, (1995) 40-44.
- (22) Magnetic behavior of PrCo₅ hydride.
K. Ichinose, A. Nagoshi, K. Shimizu, H. Miyake, M. Matsuyama, K. Watanabe,
J. Magnetism and Magnetic Mater., **140-144** (1995) 857-858.
- (23)* The infrared spectrum of polypyrrole-T₂O system.
I. Kanesaka and K. Oda,
Polymer J., **27** (1995) 280.
- (24)* Infrared study on T β-radiolysis in the CaSO₄·0.5H₂O-T₂O system.
I. Kanesaka and K. Oda,
Spectrochimica Acta, **51A** (1995) 941.
- (25)* The infrared spectrum of polypyrrole-T₂O system.
I. Kanesaka and K. Oda,
Polymer J., **27** (1995) 280.
- (26) Methane decomposition on Zr-Ni alloys.
W.M. Shu, M. Matsuyama and K. Watanabe,
Ann. Rept. Hydrogen Isotope Research Center, Toyama Univ., **16** (1996) 59-68.
- (27) Structure and mechanical properties of internally hydrided Mg-III_a transition metal alloys.
S. Morozumi, H. Saikawa, T. Minegishi, M. Matsuyama, K. Watanabe, M. Iijima
and M. Ohtsuki,
J. Materials Science, **31** (1996) 4647- 4654.
- (28) An electrical analog model of hydrogen permeation through a single laminate,
W.M. Shu, Y. Hayashi and M. Sugisaki,
Acta Mater., **44** (1996) 2457-2463.
- (29) ZrCoの不均化における同位体効果
原 正憲, 小林孝広, 小林幸司, 岡部俊夫, 森 克徳, 渡辺国昭,

- 富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, 16 (1996) 69-79.
- (30) Pd-Pt合金の水素同位体吸蔵-放出特性
安松拓洋, 原 正憲, 松山政夫, 渡辺国昭,
富山大学水素同位体機能研究センター研究報告, 17 (1997) 85-96.
- (31) Release of hydrogen from co-existing layers of carbon and beryllium with vacuum heating.
K. Ashida, K. Watanabe and T. Okabe,
J. Nucl. Mater., **241-243** (1997) 1060-1064.
- (32) Chemical compound formation and its analysis in the beryllium-carbon binary system at elevated temperatures.
K. Ashida and K. Watanabe,
Fusion Eng. and Design, **37** (1997) 307-315.
- (33) Be₂C formation in beryllium-carbon binary system by vacuum heating.
K. Ashida and K. Watanabe,
Proc. 3rd IEA Int. Workshop on Beryllium Technol. for Fusion, October 22-24,
1997, Sangyoukaikan, Mito City, JAPAN.
- (34) Release of hydrogen molecules from hydrogen containing carbon film deposited on Molybdenum.
K. Ashida, K. Watanabe, I. Kitamura and S. Ikeno,
J. Nucl. Mater., in press.