

News Letter No.13, June 14, 2010

ニュースレター第13号をお届けします。
領域評価委員の先生方による評価結果と
今後の研究に向けての提言です。



目次

- | | |
|---|------|
| 1. はじめに | p. 1 |
| 2. 領域評価委員の先生方からの昨年度の研究状況に対する評価 | |
| 2-1. 本島 修先生 (元核融合研所長、未来エネルギー研究協会会長) | p. 2 |
| 2-2. 高津 英幸 先生 (日本原子力研究開発機構) | p. 3 |
| 2-3. 嶋田道也 先生 (ITER 機構) | p. 5 |
| 3. Dr. M. Glugra (ITER 機構) からの領域への期待と評価 | p. 6 |
| 4. 今後の研究に向けて 領域代表からの御願い | p. 7 |
| 5. 炉内トリチウムインベントリーおよび注入トリチウム量の総量規制への懸念 | p. 8 |

1. はじめに

先日は、皆様のご協力の下、昨年度成果/及び今年度以降の研究計画報告会を開催し、今後の領域の研究の進展に向けて決意をあらわにしたところです。研究成果は、まもなく皆様のお手元に報告書としてお届け、またホームページに掲載いたします。本ニュースレターでは、領域総括班の評価委員の先生方にいただきました評価結果のご報告と、今後の研究にむけて領域代表として思うところを披瀝させていただきます。

すでにご報告したところですが、昨年文科省による中間評価結果は、「評価結果：A（現行のまま推進すればよい）」というもので、1000万円の追加配分もいただきました。

これにより6件の計画研究と総括班、3調整班、はいずれも、ほぼ当初の計画通りあと2年間継続できることになりました。領域内での各計画研究班への交付金額の変更も可能であることから、議論になりましたが、各計画研究班とも、十分な成果を出されておられるので、領域内での配分の増減は行なわれないことになっております。

また、平成20-21年度採択されておりました10件の公募研究は終了し、今年度から2年間、新たに10件の公募研究が採択されております。採択課題および研究代表者は別表1のとおりで、このうち6件は、前回の公募研究でもご参加いただいております、新規に採択された課題は4件で、ご代表は、渥美 寿雄(近畿大学)、徳沢 季彦(核融合科学研究所)、高柳 敏幸(埼玉大学)、登尾 一幸(京都大学)の各先生方です。継続して領域に加わっていただく先生方、新たに加わっていただく先生方には、どうか協力をよろしく御願い申し上げます。

また領域をご担当いただいております、文科省の学術調査官は松村先生から、桂川 眞幸先生(電気通信大学)に交代されました。よろしく御願い申し上げます。

表 1. 平成 22-23 年度 公募研究採択課題および研究代表者 (敬称略・御所属短縮標記)

A01	カーボンダストおよび中性子照射した炭素材中の水素蓄積とその低減化に関する研究	渥美 寿雄	近畿大学・理工学部
A01	ミリ波を用いた核燃焼プラズマ中の D/T 燃料比計測法の開発	徳沢 季彦	核融合科学研究所
A01	核融合プラズマ閉じ込め装置における堆積ダストの分析と水素同位体吸蔵の評価	朝倉 伸幸	日本原子力研究開発機構
A02	トリチウム燃料消費の最適化と燃料システムの経済性評価	山崎 耕造	名古屋大学・工学系研究科
B01	DT中性子照射による増殖材中に生成したトリチウムの回収に関する研究	落合 謙太郎	日本原子力研究開発機構
C01	核の量子性を考慮したトリチウム化学反応過程の理論的研究	高柳 敏幸	埼玉大学・理工学研究科
C02	イメージングプレートを用いた汚染材料中のトリチウム非破壊分布評価法の開発	大内 浩子	東北大学・薬学研究科
C02	トリチウムの環境挙動と生体影響の知見に基づく漏洩制御	登尾 一幸	京都大学
C02	金属材料の表面および内部のトリチウム汚染・除染過程の解明	大塚 哲平	九州大学・総合理研
C02	材料中へのトリチウム移行挙動及び効率的な除染方法に関する研究	小林 和容	日本原子力研究開発機構

2. 領域評価委員の先生方からの昨年度の研究状況に対する評価

2-1. 特定領域研究「核融合炉実現を目指したトリチウム研究の新展開」への評価意見

未来エネルギー研究協会・会長 本島 修

本特定領域研究の平成 21 年度の研究成果報告を検討しその評価をここに述べる。

まず本年度は特定研究発足 3 年目の年度として文科省の中間評価を受けているが、これまでの研究の遂行及びその成果に対して A 評価、つまりこのままこの研究計画を推進すればよいとの最高の評価を得たことは核融合研究に携わる者として大変うれしいことである。本特定領域研究では核融合炉内外でのトリチウムの振る舞いの解析を目的とした日本独自の学術的研究も進んでおり、プラズマ容器第一壁やブランケットにおけるトリチウム挙動の解析ならびに安全性確保に関する研究成果は ITER の効率的トリチウム運用にも応用性があり一層の積み上げが期待されるものである。

トリチウムは核融合炉における貴重な燃料であるが、本特定研究の B 班担当のブランケットで生成されるトリチウムが、A 班担当のプラズマ容器で核燃焼により消費されるとともにプラズマ対向材料に炉内インベントリとして捕捉され、真空ポンプで抜き出された排ガスは C 班担当の燃料システムで精製循環使用される。核融合炉が成立するためには炉内トリチウムの収支が成立しなければならないという命題がある。本特定領域研究は ITER の運転およびその先の原型炉設計に向けてのトリチウムの課題について学術的に道筋を付けようとしておりその成果に期待するものである。またこれも C 班が分担してい

る環境へのトリチウム漏洩低減化についての研究は核融合炉の社会的受容性を確保するためにも精緻なトリチウム挙動解析手法の確立を期待するものであるが透過防止膜やトリチウム水の β 放射体としての性格に起因する特異化学的特性について実験的解明が進んでいることは頼もしく感じられる。

これからの核融合炉研究者には、それぞれが取り組んでいる研究が核融合炉のどの部分を対象としているのか、どのように現象を把握・解明しようとしているのか、そしてどう具体的なクリティカルパスを定めれば良いか、核融合炉構築にどのような貢献ができるのかについてはっきりした認識を持つことが望まれる。核融合炉研究者にとってはITERでの所期の成果確保、実用炉の早期実現を目指して他の分野の核融合研究者との連携の必要性がこれから一層増すと考えられるが、トリチウム研究者は本特定領域研究を通じて力の一層の充実を進めるものと期待される。

多くの研究分野で若手研究者の不足が危惧されるようになって久しいが、本特定領域研究では若手交流研究発表会が企画され若手トリチウム研究者の育成にも意が払われていることは心強い。若手交流研究発表会の発表内容から察するに各研究班の中の解析的研究に若手研究者の貢献が大きな比率を占めてきているように見受けられる。また、班構成を越えて若手研究者相互の自発的研究交流を試みる動きが活発化していると聞いているが大いに歓迎すべきことと捉えている。このような若手研究者の自然発生的エネルギーを掣肘することなく大いに活用されんことを期待する。

2-2. 日本原子力研究開発機構 高津英幸

5年間で予定する特定領域研究の活動も既に3年間で終了して後半の活動に入った。各計画研究班における計画的かつ広範な研究活動の成果として、また採択された公募研究の成果としても、多くの論文発表や学会発表等が行われており、想定以上の成果が挙がっていると高く評価できる。成果の中には、高濃度トリチウム水のデータ等、世界初となる成果も多く含まれており、これらの成果を含め、公表されている成果は世界的にも高い評価を受けている。文科省の中間評価において、本特定領域の活動が高く評価され、追加資金を獲得した事実は、これらの想定以上の成果が挙がっていることが客観的にも認められたことを示していると理解される。

初年度の評価でも述べたことであるが、世界の核融合計画は、ITERの建設段階に入ったことで、初めてnuclear facilityの研究開発の段階に入ったと言えるであろう。ITERはもとより、将来の核融合炉を実現する上でも、nuclear facilityとして安全な燃料サイクルとトリチウム取り扱い技術確立し、世の中に受け入れられる核融合システムを構築することは、最も重要な工学かつ安全上の課題と認識されている。トリチウム取り扱い技術は、非常に広範囲な濃度(多量のトリチウムを使用したプラズマと、作業環境での極低濃度まで)、温度(プラズマ状態から液体水素状態まで)、化学種(水素、水、有機物)を対象とする総合科学技術であり、本特定領域研究の目指す「トリチウム理工学としての学術の体系化、水素同位体の理解を極めること」の重要性が改めて認識される。その様な観点から、諸外国からも評価の



高い我が国のトリチウム関連研究者を結集し、想定を上回る基礎研究の成果を着実に挙げていることは高く評価できる。

本特定領域研究は、今後長期にわたって進められる ITER 計画での研究及びその先の原型炉開発に向けて、一方でトリチウム理工学としての学術の深化、高度化及び体系化を目指すものであると理解するが、他方で、プロジェクト側からの要請にも適時・適切に応えていく成果を上げ、体制作りをしていくことが期待される。これまでに展開されてきた本特定領域研究の活動を顧みて、プロジェクト側が必要とする（であろう）研究分野はカバーされているか、各分野において技術的な competency を持つ専門家が相応に存在するか、そもそも要請に応えるべき技術力はあるか、また要請に応えるための手法・ツール・設備等は十分か、更に、人材は適切に育成されており、知や技の伝承という視点でも全貌が把握されているか、といった点は、プロジェクトに関わる者として関心があるところである。そう言う観点から、これまでの活動の進め方、体制構築、得られた（或いは得られつつある）個々の成果、また、成果の総合化等を評価すると、基礎研究に重点があるとは言え、これらプロジェクト側の視点にも十分に 대응する活動が展開されていると判断できる。原型炉までを見通すと、プロジェクト側の要求が必ずしも明確でない場合もあることから、本特定領域の研究活動が、プロジェクト側の要求と乖離が生じないよう、今後とも引き続き緊密な連携を保つべきであろう。

昨年度の活動において特筆すべき事項の一つとして、従来は各計画研究班の研究活動の展開・深化という視点が主であったのに対し、昨年度から、各計画研究班の有機的連携にも配慮がなされたことである。即ち、昨年度においては、プラズマ対向材のトリチウム挙動を研究するA班、ブランケットのトリチウム挙動を研究するB班、燃料システムのトリチウム挙動を研究するC班の研究活動を横断的に連携し、例えば、金属に対するトリチウムの透過と透過防止、或いはトリチウムの計測といった視点から、研究会やワークショップが開催されて、幅広い研究者が研究成果や意見を交換できる機会が設けられたことは、各分野の理解の深化のみならず、総合的な理解や知識の高度化、さらには学術・技術の体系化という観点から高く評価できる。今後とも、各計画研究班の有機的連携が進展し、連携による更なる研究の進展を期待したい。

また、特定領域研究の活動も残すところあと2年となり、(当該研究がこの期間を越えても継続・発展されるべきことは論を待たないが)一応の区切りとして、最終成果物を具体的にイメージし、各計画研究班の連携をさらに進める中で、5年間の活動を取り纏められることを期待する。本特定領域研究の目指す、上記「トリチウム理工学としての学術の体系化」に鑑み、トリチウムデータベースの構築に踏み込んだ最終成果物を生み出す計画があると伺っているが、このアウトプットはプロジェクト側から見ても、ITER 計画や原型炉に向けた極めて価値の高い成果物になるであろうと期待する。

巨大なトリチウム取り扱い設備でもある核融合炉の建設には、大学、研究機関等に、多くのトリチウム研究者、技術者が必要なことは明らかである。本特定領域の計画研究には、日本のトリチウム関連研究者が幅広く網羅され、特に、研究参加者のリストを見ると、多くの学生が実験に参加していることが分かり、心強いものである。特定領域研究に参加している若



手研究者を集めた研究会を企画・開催する等、運営にも工夫がなされており、人材確保に向けた活動も軌道に乗ってきていると感じられる。将来を担うトリチウム若手研究者及び技術者が数多く育成されつつあることに敬意を表したい。更に、昨年度の公募研究では、これまでトリチウム研究には加わっていなかった、理論化学研究者、薬学関係者からの応募も採用されており、この事実からも、本特定領域の活動が学際的にも活動の幅を広げ、また、人材面でも裾野が着実に広がっていると評価できる。日本におけるトリチウム関連研究者の人材確保と育成、企業における活動の活性化等も大いに期待され、本特定領域研究がトリガーになっていると推察される。今後も、人材育成に向けた活発な活動が進展することを強く期待すると共に、この活動が、本特定領域研究が終了後も、外部資金獲得の芽となり、拡大・継承されていくことを期待したい。

2-3. ITER 機構 嶋田道也

19年度、20年度に引き続き、本年度も ITER 及び核融合炉実現に向けて不可欠の研究領域である科研特定領域「核融合トリチウム」において顕著な成果が上がっており、田辺先生をはじめとする諸先生のご努力と先見の明に敬意を表します。A01班においては、炉内の複雑環境（多数イオン種同時入射及び中性子照射損傷）を模擬したタングステン重水素保有特性、実機トカマク装置の水素保有特性、水素除去法、ダストの発生機構についての研究が進展しております。中間評価における意見を反映して、炉内のトリチウム除去についての研究が進展しております。A02班においてはプラズマ壁相互作用とダイバータ・境界層プラズマ、ダスト粒子挙動、トリチウム蓄積を取り扱う統合シミュレーションが進められており、国産技術による総合コード開発の見通しが得られたのは、特筆すべきことです。A03班においてはトリチウム蓄積挙動の実験的研究及び理論及びモデリングの研究が進められております。これらの成果の多くは論文雑誌へ掲載され、学会においても発表されています。他の分野については、他の方がコメントして下さると思います。

もうすでに検討が進んでいるかも知れませんが、全体を見渡しますと、ダストの測定法及び回収法についての研究が計画に含まれていないようです。この分野も ITER におけるトリチウム運転に重要ですので、もしまだ計画に入っていないければ、ご検討下さるようお願いいたします。

3. Dr. M. Glugra (ITER 機構) (中間評価の際にいただいた手紙)



Department for Central Engineering
and Plant Support

CS 90 046 ▲ 13067 Saint Paul Lez Durance Cedex France
+ 33 (0) 4 42 25 73 15 ▲ www.iter.org

Manfred Glugra
Tel: +33 4 42 17 63 22
manfred.glugra@iter.org
Fax : +33 4 42 19 98 25

Professor Tetsuo Tanabe
Interdisciplinary Graduate School of Eng. Sciences
Kyushu University
6-10-1 Hakozaki Higashiku
Fukuoka 812-8581
Japan

30 September 2009

Objective: Tritium Research
Reference: IO/CEP/FCED/09/94

Dear Tetsuo,

Time is running fast; we have not seen each other since the March 2008 Symposium on Tritium Research in Osaka. I am now looking forward to the next International Tritium Conference organized and hosted by NIFS, with you chairing the Technical Program Committee.

china

ITER is currently going through a very busy period. Among other things the preliminary safety report is due soon and as you may expect tritium systems design and all aspects on safe handling and confinement of tritium are in the center of attention.

eu

india

Even though ITER is by now under construction since a couple of years the worldwide expertise on fusion fuel cycle technology is still fading. Despite of the fact that tritium provides very good properties - from large isotope effects to sensitive detectability - for basic research in physical chemistry, radiochemistry and all the way to solid state physics and technology development not too many institutes have an established and acknowledged research program dedicated to the fusion fuel cycle. ITER has increasing difficulties to hire experts or to find contractors with expertise in this field.

japan

korea

russia

usa

I therefore consider the R&D work in Japan and in particular the efforts in your institute on fusion fuel cycle development of extremely high importance. Topics such as in-vessel tritium inventory or tritium material interactions in general are of great interest. Your technique to use imaging plates to measure the lateral distribution of tritium on surfaces of first wall materials is a very good example; your results eventually influenced ITER first wall material selections. I well remember the time when I was Head of Research at the Tritium Laboratory Karlsruhe, collaborating with you and your students, which I always found especially well educated and determined in their studies.

The ITER project should not be reduced to specific procurement packages of participating countries. A broad R&D program need to be maintained all the way through construction and operation to support the ITER mission and to make fusion a viable energy option. Your institute is one of only a few addressing the numerous open questions in the fusion fuel cycle. The knowhow in this field need to be kept and further enhanced.

I hope you will continue your fusion fuel cycle R&D work; all the best and success for you.

Best wishes,

Manfred Glugra
Fuel Cycle Engineering Division Head

4. 今後の研究に向けて 領域代表からの御願い

皆様のご努力により、領域が掲げた当初の目標は達成できそうであることが、先の報告会であきらかになりました。皆様のご努力の賜物であり、厚く御礼申し上げます。しかし、現在まで得られている結果は、総じて定性的です。今後は、掲げた数値目標の根拠の明確化も含めて、定性的な評価や議論ではなく、定量的な評価や議論ができるように、データのまとめ、モデル化、予測等々を行っていただきたく存じます。

今年度は最終年度に向け、

- これまでに達成された目標の明確化
- 未達成の目標に対する、達成への道筋策定
- 新たな目標、あるいは問題点の明確化と解決への道筋策定

していただくことになるかと存じます。

核融合炉実現のためのトリチウム研究の目標(目的)は大別すると、(1) トリチウムが放射性であるために要求される安全性の確保すること、(2) 燃料としてのトリチウムは希少資源であるために要求される、核融合炉の経済性を満たすトリチウムの増殖、であるかと思えます。

共同/協力研究者の皆様の個々の研究がどちら(両方でもよい)に対応しており、核融合炉実現のためにどのような寄与をするのかを明確(具体的)にしていきたいと思えます。その際、定性的な評価や議論ではなく、定量的な評価や議論ができるように、データのまとめ、モデル化、予測等々を行っていただくことが重要です。

A班とC班では 両観点からの議論が重要です。

A班では、トリチウムの持つエネルギーでなく、プラズマから壁へ入射してくる燃料水素(実験誤差を考えるとH、D、Tいずれも大きな差はないとおもわれますが、可能なら、同位体効果も)が持っているエネルギーの役割の明確化が必要だと思えます。物質収支と同時にエネルギー収支も成立する燃料挙動の物理モデルとそのシミュレーションコード化を目標にしていきたいと存じます。

C班では、軽水素・重水素の結果の延長で記述可能な場合とそうでない場合の峻別が必要です。即ち、トリチウムが放出する β -電子の持つエネルギー(場合によっては質量も)がもたらす影響を、いかに定量的に記述できるようにするかです。C-H結合等が出来た/出来ないの定性的議論では、応用性はありません。透過防止膜の研究もずいぶん進めていただけましたが、今後は、透過膜の核融合環境における長期安定性、化学変化、高濃度側での透過防止膜へのトリチウムの β -電子や材料の放射化にともなう γ -線の影響も定量的に評価できるようにしていきたいと思えます。

A班、C班共にH、D、Tの質量差に伴う同位体効果を明らかにすることは重要ですが、実験の精度・誤差の範囲を考慮すると、本領域の年度内に、そのために多大な労力を傾注するのは、はっきり申し上げて得策とは申せません。ただし、安全性、および同位体分離等では、同位体効果を極めることが生命線であることは論を待ちません、またモデル化、シミュレーションでは常にこの同位体効果を念頭にお置きください。

B班では、掲げた目標のひとつである増殖比 1.05 は達成できそうに見えますが、それを説得力のあるものにしていただく必要があるかと思えます。具体的には、ブランケット局部での増殖比 1.05 を担保する物理モデルの構築(必ずしも完全な理論である必要はありませんが、外部の人を科学的に納得させることのできる説明) ということになります。もちろん

容易ではありません。また、ブランケットからの放出(抽出)はTの H_2 または H_2O による希釈を伴う可能性が高く、環境(H_2O 等)の影響の方が大きくなると思われますので、この点に注意が必要です。

さらに、核融合炉を経済的に成立させるには、ブランケットで局部的増殖率が1.05では不十分で、ブランケットの被覆率、トリチウム処理系での透過・漏えい等によるロス等、燃料サイクル全体を考慮した、増殖比の下限値の提言が望まれます。これは、総括班の役割でもあります。

5. 炉内トリチウムインベントリーおよび注入トリチウム量の総量規制への懸念

以下は田辺の私見ですが、誤解をおそれずに披瀝しておきます。トリチウム研究者の皆様にご検討いただきたい課題です。

トリチウムの問題は、ITERにかぎらず、核融合炉プラズマ対向壁の選択に大きな影響を与えています。ご承知のように、ITERでは、第1壁にはベリリウム(Be)、ダイバータでは、最も熱負荷の高いところには炭素複合材(CFC)、それ以外のところではタングステン(W)が使用されていることになっています。炭素系材料にはトリチウムが多量に蓄積するので、その使用をできるだけ排除しようとしています。将来的に、ITERのプラズマ対向壁を全面タングステンにする計画すらあります。

材料の選択はともかく、トリチウムに関して見過ごせない問題のひとつは、その安全性に関して、ITERサイトでとられている規制です。それによりますと、炉内に蓄積したトリチウムは、非常時にすべて放出され得る(可動性)とされている点です。非常時に炉内に蓄積されていたトリチウムが全部放出された際に、周りの人々の避難が必要な領域を1km以内にするためには、蓄積トリチウムを1kg程度以下にしなければならぬのです。ご承知のように、炉内に蓄積されたトリチウムは必ずしも、容易に放出されるようなものではありません。一方では、炉の燃料注入システムまたはサイト内に数十kgが貯蔵されているはずなので、この炉内への蓄積トリチウムへの総量規制は妥当とはいえません。

プラズマ対向壁がすべて炭素系材料である現在の多くの装置では、水素プラズマ生成のために注入した水素の5-20%程度が、炉内に蓄積され続けています。トリチウム増殖が1.1程度にしかならないとすると、トリチウム経済からはとても受け入れられない値であり、炭素が排斥されるのは当然ですが、現状では、たとえプラズマ対向壁をすべてタングステンにしても、この1kg規制をクリアすることは、極めて難しく、ITERでは数百回のDTショット毎にその除去が求められることとなります。将来、日本に核融合炉を建設する際には、この炉内の蓄積トリチウムは、非常時にはすべて放出されるという仮定にもとづいた規制をそのまま適用する事には疑念を持たざるを得ません。非常時の状況に応じて、放出されるトリチウム量は変化すると思われますが、科学的根拠に基づいた規制方針が作成されることを強く望んでいます。

さらにITERでは、炉への水素の単位時間当たりの注入量にも規制がかかっています。現状ではITERの400秒放電あたり $200Pa \cdot m^3 / 400$ 秒になっています。これはわずか数gです。壁に1kgのトリチウムが溜まりうることを考えると、この値がいかにか少ないかがわかっていただけだと思います。この量ではあっという間に、壁に蓄積しているDやHに置き換わってしまい、DTが50%ずつになるような状況にはできないのではと危惧しています。

以上は、やや極端な例ですが、トリチウム研究はいろんな側面で、核融合炉の実現性に大きくかかわっており、きわめて重要です。この点は、常にご念頭にお置きください。

<事務局より>

領域代表の田辺先生の熱い研究指導に応えて、各計画研究班長はじめ、メンバー各位の研究を着実に推進いただき、公開・蓄積されつつある成果について関係各位から期待を込めて評価いただけることに心から感謝いたします。6月10日-11日、高山市で開催の第8回核融合・エネルギー連合講演会でも、核融合炉実現のための共通課題として、トリチウムの確保と経済的かつ安全な取扱いの重要性がトリチウム分野以外の若手研究者のシンポジウムでも取り上げられ、プラズマ物理や炉工学関係者にも理解が広まりつつあることを実感しました。今後も本特定領域の研究活動の成果を広く発信して、他の多くの研究者にも活用いただけるように心がけたいと思います。

特定領域「核融合トリチウム」事務局
核融合科学研究所 へリカル研究部
朝倉 大和
電話 0572-58-2321
ファックス 0572-58-2610
E-mail asakura.yamato@nifs.ac.jp
ホームページ <http://tritium.nifs.ac.jp>