

科学研究費補助金 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」

領域番号 476

(領域設定期間)

平成19年度 ～ 平成23年度

平成21年度報告書

平成22年6月

領域代表者

九州大学大学院・総合理工学研究院・教授

田辺 哲朗

目 次

	頁
(1) 研究領域の概要	・・・ 2
(2) 研究領域の設定目的	・・・ 3
(3) 研究領域内の研究の年度毎の進展状況及びこれまでの主な研究成果	・・・ 4
(4) 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況	・・・ 5
(5) 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	・・・ 10
(6) 研究成果公表の状況	・・・ 12
(7) 総括班評価者による評価の状況	・・・ 14
(8) 研究領域の研究を推進する上での問題点と対応策	・・・ 17
(9) 今後の研究領域の推進方策	・・・ 18
(10) あとがき	・・・ 19
[添付資料]	
1. ニュースレター（3～8号）	・・・ 20
2. 研究実績報告書	・・・ 76
3. 自己点検評価報告書	・・・ 76
4. 各班の業績リスト（国内発表、国際発表、論文、著書）	・・・ 87
5. 出版済み論文集	・・・ 141
（各論文とも標題、要旨を含んだ1頁目のみ）	

(1) 研究領域の概要

核融合炉を実現する上で、安全な燃料（トリチウム）サイクルを構築することは、プラズマ閉じこめと並び立つ2本柱のひとつである。核融合炉では放射性同位元素であるトリチウム（T）を大量に取扱う必要があるにもかかわらず、放射能的にクリーンであると強調されすぎているきらいがある。核融合炉燃料として使用されるトリチウムは、平均約 6 keV の β 電子を放出して ${}^3\text{He}$ になる放射性同位元素であり、また DT 反応で発生する中性子が材料を放射化するため、十分な放射線管理のもとで放射性安全性を確保して運転される必要がある。エネルギー発生装置としての実用核融合炉は、経済的に見合うものであると同時に、安全性の観点から社会的にも受容されるものでなければならない。

本領域が目指すのは、トリチウム(T)と重水素(D)との核融合反応 (DT 反応) によりエネルギーを取り出す核融合炉を実現するため、Tが放射性である故に、その放射性安全を確保しかつ経済的な核融合炉燃料システムを構築すること、即ち(1)炉内への D と T の導入量を、核融合反応を継続するために制御しつつ供給すること、(2)それらを排気回収し不純物を除去した上で、トリチウムを分離・再利用すること、(3)ブランケットによりトリチウムを増殖回収、利用すること、さらに(4)安全・高効率なトリチウムの燃料処理及び閉じ込めシステムの構築並びに制御を可能にするための技術開発をすること、である。またあわせて、トリチウムに関する正しい理解に基づいた新しい「トリチウム科学」ともいべき学問分野を打ち立てるとともに、トリチウムに対する正しい理解を社会に広めようとしている。

このため、次の研究項目について、「計画研究」により重点的に研究を推進すると共に、これらに関連する、一人又は少数の研究者による2年間の研究を公募する。また総括班を設置し、各研究計画の班長に加えて、これまでトリチウム研究に長年携わって来た我国の主だった研究者にも協力を仰ぎ、個々の研究班の個別の成果を評価検討して、全体的あるいは俯瞰的見地より、各研究班へのフィードバックをはかると共に、それらの成果を統括・連携して核融合炉全体としてのトリチウム安全対策を講じ、核融合トリチウムについての社会的受容性を高めるための活動を行う。

班名	研究課題	代表
総括班	核融合炉実現を目指したトリチウム研究の新展開	田辺哲朗
A01 班	核融合炉内複雑環境におけるトリチウム蓄積挙動の実験的研究	上田良夫
A02 班	核融合炉のトリチウム蓄積・排出評価のための理論およびシミュレーションコードの開発	大宅薫
A03 調整班	炉内へのトリチウムの蓄積と除去	上田良夫
B01 班	核融合炉ブランケット材中のトリチウム輸送現象解明と新規回収プロセス開発の研究	深田 智
B02 班	核融合炉ブランケット材料中のトリチウム-材料相互作用に関する研究	寺井隆行
B03 調整班	核融合炉ブランケットにおけるトリチウム共同解明	深田 智
C01 班	トリチウムの閉じ込めに関わる高濃度トリチウム水及び有機物の化学的現象の解明	山西敏彦
C02 班	トリチウムの透過漏洩と汚染・除染	波多野雄治
C03 調整班	核融合炉におけるトリチウム安全閉じこめ、漏洩制御のための技術開	山西敏彦

(2) 研究領域の設定目的

本特定研究領域設置の目的は、トリチウム(T)と重水素(D)との核融合反応(DT 反応)によりエネルギーを取り出す核融合炉を実現するため、トリチウム(T)を含んだすべての水素同位体(H,D,T)に関連する様々な学問的分野を背景としている研究者を組織化し、Tが放射性である故に、その放射性安全を確保しかつ経済的な核融合炉燃料システムを構築すること、即ち(1)炉内へのDとTの導入量を、核融合反応を継続するために制御しつつ供給すること、(2)それらを排気回収し不純物を除去した上で、トリチウム分離・再利用すること、(3)ブランケットによりTを増殖回収、利用すること、さらに(4)安全なシステムの構築あるいは制御を可能にするための技術開発をすること、である。同時にトリチウムに関する正しい理解に基づいた新しいトリチウム科学ともいべき学問分野を打ち立てるとともに、トリチウムに対する正しい理解を社会に広めようとするものである。

国際熱核融合炉 ITER が南仏カダラッシュに建設されることになり、かつて経験したことのない多量の放射性同位体トリチウムの使用が必然化される。ITER でのトリチウム使用に関する最大かつ緊喫の課題は、どれだけのトリチウムを ITER 装置に供給し、どれだけが回収され、残りが装置内部のどこにどれだけ停留あるいは蓄積していくか、を明確にすることである。またその際の収支の不釣り合いは、例え計測の誤差範囲内であれ、トリチウム安全性の観点からは無視できない。さらに、実際にシステムからトリチウムが透過・漏洩することも避けられない。この透過・漏洩はトリチウム収支からみれば誤差範囲内に過ぎない極微量であっても、透過・漏洩してくる側から見れば、トリチウム汚染につながり、安全性の観点から重大な問題を引き起こす。

実際に核融合炉で燃料サイクルとして循環使用されるトリチウムの総量は、重さにすればわずか数 kg 程度であるが、放射能レベルで言えば 10^{17}Bq (= 100PBq ; 1秒間に 10^{17} の β 電子を発生させる) という想像を絶する量である。参考図1に核融合炉で使用するトリチウム量、自然界の存在量、安全性のための規制が必要等量を比較した。図からもわかるように、核融合炉では、安全性の観点から定められている規制値に比べると10桁以上も多い量のトリチウムを使用しなければならないため、ITER のような実験炉でも、わずか100回程度のDT放電でその立地での使用許可量を超えるトリチウムが真空容器内に蓄積されてしまい、頻繁にその除去作業を余儀なくされるとして、安全性・経済性の観点からの核融合炉の実現を危惧する声すらある。

このような多量のトリチウムを取り扱った経験は、日本はおろか世界にも(軍事研究を除けば)全く無く、その安全な取り扱い技術が確立されているとは言えない。またトリチウムの放射性同位元素としての特性、またその安全性についても十分理解しているとは言えない。一般社会や他分野の理・工学研究者はもとより、核融合研究者内においても、核融合の研究と称しながら、トリチウムは怖いからとその使用をためらったり、あるいは核融合炉にかかわるトリチウムの放射線安全性についての正確な認識を欠いたまま、いたずらに安全性が喧伝されたりする事があった。

平成16年度に行われた放射線規制法の改正によりT使用規制量の大幅な緩和が行われたことから明らかなように、Tの放射線影響は他の放射性物質に比べ極めて弱い。しかし、一般には極微量でも非常に危険であると信じられており、安全性の観点において事実と一般的な認識の間に大きな乖離が見られる。この乖離を放置すると、一般社会と核融合研究者間の相互信頼性を欠くことになり、これからの核融合炉開発に社会的受容性が得られなくなる危険がある。かつて経験をしたことのない多量のトリチウムを使用する燃料サイクルの構築とその安全性確保、さらには社会受容性を得ることは、その挙動の理解と正確な予測なしにはあり得ない。

(3) 研究領域内の研究の年度の進展状況及びこれまでの主な研究成果

計画研究各班の初年度の研究成果を以下に簡単にまとめた。2年目として、各研究班とも、目に見えた成果があがっており、本報告書(6)研究成果の公表の状況に記述されているように、数多くの学会発表(国内、国際)や論文発表がなされた。計画研究班相互での研究成果の共用、今後の研究展開へのフィードバックも、総括班のシンポジウム等によりはかられており、21年度中旬には外部中間評価に向けた内部での研究会等を開催し、さらなる研究の進展をはかる予定である。

	成果の要約(出版物等を除く)
総括班	総括班として計画研究全体の統括を行うと共に、領域全体、各計画研究相互に関わる研究の調整、積極的な交わりを進めた。このため7回のシンポジウム、研究会等を主催し、研究班の実験計画および成果発表、知識の共有化、情報の公開をはかるとともに、総括班としてA01,A02, B01,B02,C01,C02各班の研究活動を掌握し、研究に対する方向づけ、評価を行った。また中間評価に先んじ、これまでの結果をプロジェクトレビュー「核融合炉を目指したトリチウム研究の新展開」としてJ. Plasma Fusion Res. (プラズマ・核融合学会誌)85(2009)pp680にて出版した。これらの情報はすべて本領域のホームページ http://tritium.nifs.ac.jp/ に掲載、常時 up date しながら、本領域で得られている情報の発信に努めた。またトリチウム国際会議を核融合科学研究所との共催にて開催するので、その準備作業をおこなっている。
A01班	タングステン研究が大きく進展している。透過実験装置により、重水素・ヘリウム混合照射下での重水素透過挙動が明らかになりつつある。高エネルギーイオン照射損傷の重水素蓄積への影響評価もほぼ終わりつつある。さらに、高密度プラズマを用いたタングステンダスト形成過程の解明や、JT-60Uにおけるタングステントイル中の重水素蓄積の詳細な研究が進んだ。これらの結果より、核融合炉におけるタングステンのトリチウム蓄積に関する多くの結果が得た。壁材料としてのWの適正評価を今後行なう。
A02班	材料混合層、再堆積層への蓄積挙動を解析し、炭素壁ダイバータの蓄積量評価を行った。ITER実形状プラズマ中のダスト粒子挙動を解析した。分子動力学コードを拡張し、炭素材の炭化トリチウム放出の温度依存性などマクロ特性を評価した。コアプラズマから炉壁までの総合シミュレーションに、複数コードを結合する手法を開発した。タングステン評価に向けて、IMPGYRO-EDDYのプラズマ流体コードSOLPSとの統合化を完了した。ACAT-DIFFUSEコードによるTDS実験解析を進め、EDDYにDIFFUSEを追加して炉壁への注入・拡散・放出挙動解析に着手した。
B01班	材料混合層、再堆積層への蓄積挙動を解析し、炭素壁ダイバータの蓄積量評価を行った。ITER実形状プラズマ中のダスト粒子挙動を解析した。分子動力学コードを拡張し、炭素材の炭化トリチウム放出の温度依存性などマクロ特性を評価した。コアプラズマから炉壁までの総合シミュレーションに、複数コードを結合する手法を開発した。タングステン評価に向けて、IMPGYRO-EDDYのプラズマ流体コードSOLPSとの統合化を完了した。ACAT-DIFFUSEコードによるTDS実験解析を進め、EDDYにDIFFUSEを追加して炉壁への注入・拡散・放出挙動解析に着手した。
B02班	各種トリチウム増殖材料におけるトリチウム(T)挙動について研究を行った。液体リチウムについて東大原子炉「弥生」にて熔融状態で高温照射し、生成したTの純鉄壁を通しての透過挙動を測定し、炉外での重水素、軽水素透過試験結果との比較を行った。増殖材近傍の高温領域におけるT透過防止用コーティング開発については、各種手法により被覆を作成して透過防止能の測定を実施し、透過の上流側と下流側の漏えいメカニズムが異なる事を示した。
C01班	トリチウム水処理用化学交換塔の電解システムに使用する高分子材の耐放射線性及び耐酸性データを取得した。高濃度トリチウム水中(GBq/ccまで)における金属(SUS304)の腐食挙動の研究に関しては、防食上重要な金属表面の自然不動態化がトリチウム水によって阻害され、トリチウム濃度が高くなるほどその阻害が顕著に現れることを明らかにした。化学交換塔の「通り抜け段モデル」の妥当性及び大きな分離係数を、トリチウム実験により実証した。ポリプロピレン中のトリチウム水の透過挙動及びトリチウム水の溶解量を測定し、基礎データを得た。水素同位体透過に及ぼす金属酸化膜の組成に対する膜形成温度及び成分の影響についてデータを取得した
C02班	フェライト鋼上に形成したZrO ₂ 透過防止膜について、金属硝酸塩溶液中での電解処理およびリン酸塩被膜との多層化により透過抑制能を著しく向上させた。汚染材料表面酸化膜中の水素同位体を赤外吸収法により分析し、水素同位体が多様な振動状態をとること、水蒸気との同位体交換を通じた気相への脱離速度が振動状態に敏感に依存することを見出した。粒子線照射による表面形態変化がタングステンのトリチウム保持特性に及ぼす影響を明らかにした。また、材料中の水素同位体の溶解度や拡散係数に及ぼす応力場の影響等を理論的に予測する見通しを得た。

(4) 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況

(4-1) 研究組織

総括班のもと3研究班、6計画研究組織体制を構築した。この際、協力研究者として、単に従来からトリチウムを取り扱ってきた研究者にとどまらず、軽水素、重水素をもちいて核融合研究を行ってきた研究者、水素—固体相互作用の研究者等を加え新たな組織化をはかっている。

A01 班

代表/分担	氏名	所属	職名	役割分担
代表者	上田良夫	大阪大学・大学院工学研究科	教授	研究総括・複合イオン照射実験
分担者	日野友明	北海道大学・大学院工学研究科	教授	イオンビーム・プラズマ照射実験
分担者	大野哲靖	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	ダスト粒子・再堆積層実験
分担者	高木郁二	京都大学・大学院工学研究科	准教授	高エネルギーイオンビーム照射実験
分担者	永田晋二	東北大学・金属材料研究所	准教授	高エネルギーイオンビーム照射実験
分担者	仲野友英	日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究職	炉内不純物輸送実験と再堆積層評価
分担者	田辺哲朗	九州大学・総合理工学研究院	教授	炉内トリチウムの蓄積評価と除去実験

A02 班

代表/分担	氏名	所属	職名	役割分担
代表者	大宅 薫	徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部	教授	研究統括、炭化トリチウムの輸送と再付着、コードベンチマーク、トリチウム蓄積評価シミュレーション
分担者	小野 忠良	岡山理科大学・総合情報学部	教授	材料中でのトリチウム拡散係数評価のための分子動力学の応用
分担者	剣持 貴弘	同志社大学・生命医科学部	准教授	材料中でのトリチウム輸送係数の評価シミュレーション
分担者	富田 幸博	自然科学研究機構核融合科学研究所・シミュレーション科学研究部	准教授	ダスト粒子の周辺プラズマ中での挙動とトリチウム蓄積
分担者	中村 浩章	自然科学研究機構核融合科学研究所・シミュレーション科学研究部	准教授	トリチウム／炭化トリチウム・材料相互作用の分子動力学シミュレーション
分担者	加藤 太治	自然科学研究機構核融合科学研究所・連携研究推進センター	助教	トリチウムと炉材料相互作用の原子過程
分担者	清水 勝宏	日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究主幹	トリチウムプラズマの熱・粒子輸送モデルと総合ダイバータコード
分担者	畑山 明聖	慶應義塾大学・理工学部	教授	SOL／ダイバータにおけるトリチウムプラズマの総合モデル

B01 班

代表/分担	氏名	所属	職名	役割分担
代表者	深田 智	九州大学・総合理工学研究院	教授	総括的研究遂行と液体ブランケットトリチウム回収実験
分担者	片山 一成	九州大学・総合理工学研究院	助教	トリチウム回収実験と中性子照射実験の解析
分担者	西川 正史	九州大学・総合理工学研究院	名誉教授	トリチウム回収とブランケット設計計算
分担者	榎枝 幹男	日本原子力研究開発機構・核融合工学部	主任研究員	ブランケット流動実験と解析
分担者	河村 繕範	日本原子力研究開発機構・核融合工学部	主任研究員	トリチウム回収と中性子照射実験
分担者	相良 明男	核融合科学研究所	センター長	トリチウムと熱の移送シミュレーション

B02 班

代表/分担	氏名	所属	職名	役割分担
代表者	寺井 隆幸	東京大学・大学院工学系研究科	教授	研究の統括
分担者	鈴木 晶大	東京大学・大学院工学系研究科	准教授	液体増殖材中性子照射とトリチウム挙動
分担者	田中 照也	核融合科学研究所・炉工学研究センター	助教	水素透過抑制コーティング試験
分担者	星野 毅	日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究員	固体増殖材料のトリチウム挙動解明

C01 班

代表/分担	氏名	所属	職名	役割分担
代表者	山西 敏彦	独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究主席	研究計画の推進、トリチウム水処理に関する解析研究
分担者	林 巧	独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究主幹	トリチウム水腐食に関する解析研究
分担者	岩井 保則	独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究副主幹	トリチウム水同位体分離実験研究(吸着及び電解)
分担者	磯部 兼嗣	独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究副主幹	トリチウム水と金属の相互作用実験(腐食に関する実験研究)
分担者	杉山 貴彦	名古屋大学大学院工学研究科	准教授	トリチウム水同位体分離実験及び解析研究
分担者	原 正憲	富山大学水素同位体科学研究センタ	准教授	トリチウム水と高分子の相互作用
分担者	奥野 健二	静岡大学理学部附属放射化学研究施設	教授	トリチウムの金属表面酸化膜での挙動

C02 班

代表/分担	氏名	所属	職名	役割分担
代表者	波多野雄治	富山大学水素同位体科学研究センタ	教授	研究の総括, トリチウム汚染材料分析, 透過防止障壁膜材料の探索
分担者	鳥養祐二	富山大学水素同位体科学研究センタ	准教授	汚染材料からのトリチウム脱離挙動
分担者	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	化学的状態がトリチウム脱離速度へ及ぼす影響
分担者	田中 知	東京大学・大学院工学系研究科	教授	トリチウムの表面化学反応のモデリング
分担者	小田卓司	東京大学・大学院工学系研究科	助教	汚染材料からのトリチウム脱離および配管材料中のトリチウム透過のモデリング
分担者	中村博文	日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究副主幹	トリチウム透過速度低減化技術の探索
分担者	朝倉大和	核融合科学研究所安全管理センター	教授	真空容器壁からのトリチウム脱離評価

総括班

代表/分担	氏名	所属	職名	役割分担
代表者	田辺 哲朗	九州大学・総合理工学研究院	教授	領域代表 研究の取りまとめ、炉内トリチウム蓄積の制御と除去
分担者	上田 良夫	大阪大学大学院・工学研究科研究院	教授	調整班Aの研究方針策定と研究計画の取りまとめ
分担者	深田 智	九州大学・総合理工学研究院	教授	調整班Bの研究方針策定と研究計画の取りまとめ
分担者	山西 敏彦	日本原子力開発機構・核融合研究開発部門・トリチウム工学研究グループ	研究主席	調整班Cの研究方針策定と研究計画の取りまとめ
分担者	西川 正史	九州大学大学院	名誉教授	トリチウム安全性確立のための戦略設定
分担者	山本 一良	名古屋大学大学院・工学研究科・マテリアル理工学専攻	教授	経済的なトリチウムサイクルの確立への方策
分担者	田中 知	東京大学大学院・工学研究科	教授	水素同位体としてのトリチウムの物理と化学の整理・体系化
分担者	朝倉 大和	自然科学研究機構・核融合科学研究所・安全管理センター	教授	システム安全性の評価、広報および事務担当

評価委員

総括班に評価委員として、日本の核融合科学と核融合炉工学推進のそれぞれの指導者に加え、ITER 建設の立場からの評価を伺える方々を加え、研究結果、研究の進め方等への、鋭い辛口の批評および評価をいただき、研究の質をより良くするとともに、研究の効率を上げていく。

評価委員	本島 修	核融合研	元所長
評価委員	高津 英幸	原子力研究開発機構	ユニット長
評価委員	嶋田 道也	ITER 協力調整グループ	研究主幹

公募研究

研究項目	研究課題名	氏名	所属機関	職名
A01	壁排気特性における臨界入射束の役割と同位体効果の解明	関子 秀樹	九大応力研	教授
A01	高分解能質量分析装置を用いたJT-60Uの排気ガス分析	林 孝夫	日本原子力研究開発機構	研究職
A01	DTコインシテンス核反応分析法による固体表面トリチウム保持量の高精度測定	落合 謙太郎	日本原子力研究開発機構	研究職
A01	核融合プラズマ中を運動するダストのその場測定と運動モデルの開発	朝倉 伸幸	日本原子力研究開発機構	研究主幹
A02	プラズマ対向壁近傍の不純物発光分布解析によるトリチウム・プラズマ壁相互作用の研究	河田 純	詫間電波工業高等専門学校	准教授
A02	トリチウム燃料注入と壁不純物挙動のシミュレーション解析	山崎 耕造	名古屋大学大学院工学研究科	教授
B01	低温吸着法水素同位体分離における減圧脱着挙動	古藤 健司	九州大学工学系研究科	准教授
B02	液体ブランケット用水素(同位体)センサー・ポンプの電極高度化研究	近藤 正聡	核融合科学研究所	助教
C01	近赤外分光法による新規トリチウム水蒸気検出法	小林 かおり	富山大学理工学研究部	准教授
C02	イメージングプレートを用いた制動放射線によるトリチウムの非破壊定量評価法の開発	大内 浩子	東北大学薬学研究科	助教
C02	金属中のトリチウム吸放出挙動に及ぼす金属表面に偏析(吸着)したトリチウムの影響	大塚 哲平	九州大学総合理工学研究科	助教
C02	材料表面におけるトリチウムの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	研究副主幹

(4-2) 各研究項目の連携状況

本領域では、次頁図2に示すように、A班が「炉内へのトリチウム蓄積と除去」、B班がそれを取り囲む「核融合炉ブランケットにおけるトリチウム挙動解明」、C班が「核融合炉におけるトリチウムの安全閉じ込め、漏洩制御のための技術開発」と全体を取り囲む形になっており、相互の緊密な連携無しには計画の進捗はあり得ない。

A班で課題とするのは、炉内のトリチウムインベントリの評価と蓄積、そして蓄積トリチウムの除去である。これらはPFMの材料や炉の温度、プラズマ条件等により大きく変化するが、これを基礎現象の積み重ねとして、理論およびシミュレーションによってモデル化し予測可能にするのである。実機はこのためのテストベッドと位置づけられる。その結果はB班およびC班に伝えられる。また特にA02班はA班にとどまらず、B班、C班の理論・シミュレーション研究に協力し相互の研究の調整、整合性を確保する役割を果たしている。

B班ではA班からのデータアウトプットにもとづいて燃料の供給と排出のバランスを考慮しなければならない。現時点で、実際の炉を念頭にTを循環させるシステムの設計は可能である。しかし現実のDD実験装置ですら供給したDは回収しておらず、炉に供給されたT燃料がどのような化学系でどれだけ排気されるかは不明であり、データの取得が必要不可欠である。また供給トリチウムの全量回収をどのように行うかも不明である。これを実機(LHDおよびT-60U/SA)および基礎実験で行っているA班との緊密な連携のもとで推進している。ブランケットにより回収できなかったトリチウムあるいは漏洩するトリチウムの情報はC班の研究に活かされる。

C班では透過・漏洩と汚染を課題としている。トリチウムの放射線としての計測から、PVT測定へのつなぎ、さらには熱量測定へのつなぎ、そしてその有効測定桁数の問題、および固体中に存在するトリチウムの絶対測定(熱量測定レベル以下での)、連続性を確保し、計測の完結をはかりつつ、A班が担当する主燃料循環系と、B班が担当する増殖トリチウム回収系から透過・漏洩してくるトリチウム量、およびその化学形に関する知見をベースに、従来のプラント外に移行するトリチウムを単純に回収除去する対策にとどまらず、核融合発電プラント内の作業環境中へのトリチウム漏洩をきめ細かく抑制するための技術開発を想定している。同時に環境安全を確保するために、最低限許容される透過・漏洩トリチウム量をA班、B班にフィードバックし、システムとしてのトリチウム安全が確保されたトリチウムシステムの設計に資する。

総括班では、これまでトリチウム研究に長年携わって来た我国の主だった研究者に協力を仰ぎ、個々の研究班の個別の成果を評価検討して、全体的あるいは俯瞰的見地より、各研究班へのフィードバックをはかると共に、それらの成果を統括・連携して核融合炉全体としてのトリチウム安全対策を講じ、核融合トリチウムについての社会的受容性を高めるための活動ができる研究組織とした。さらに、総括班には、一般社会へトリチウムの正しい理解が浸透するよう情報発信を行い、トリチウムの安全性、核融合の社会的受容性を高めると同時に、水素同位体理工学ともいふべき啓蒙書の発刊を行うことを目標としている。

これらを実現するため、総括班主導のもと、(6-2)節で示すように、全体の関与するシンポジウムや研究会を開催すると共に、調整班により、複数の班間で互いに研究状況を知らせあうだけでなく、相互に、絞られた研究テーマや研究の進展について、意見交換や要望の交換を頻繁に行っている。

あわせて、各会議での発表の総括、及び使用されたビュウグラフ(非公開のものを除く)はホームページ、ニュースレター等で公開し、共通理解が持てるようにした。

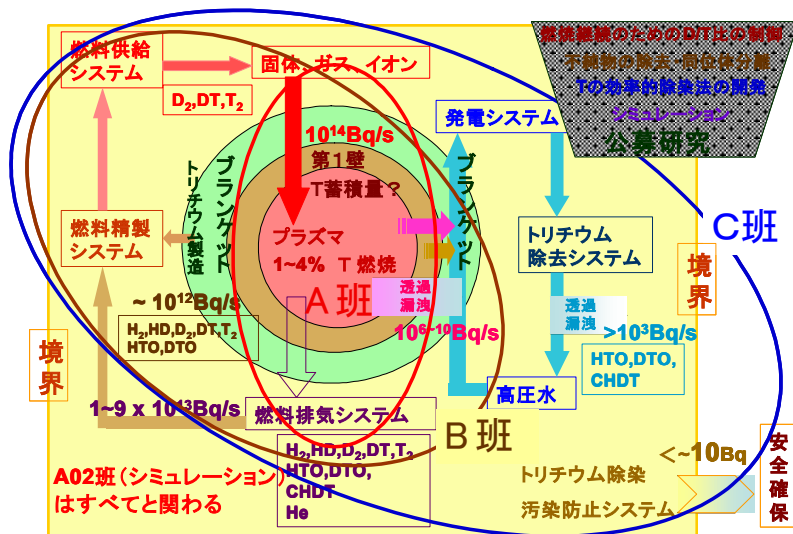


図2. 研究課題と班相互の関係

5) 研究費の使用状況(設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む)

備品の整備にあたっては、あらかじめ各研究計画班で打ち合わせを行っており、大型の装置で重複する物はない。下記に整備した150万円程度以上の備品とその用途を示した。すべての備品が順調に稼働し、研究の進展に寄与している。質量分析計、排気系等重複整備されたものがあるが、水素を検出するための基本的計測器でやむを得ないか、またはT取り扱いのため管理区域に設置され共用できないものである。また、各班がどのような装置(既設、新設を問わず)を所有しているかをwebで公開し、装置の貸し借り、あるいは相互利用を可能にしている。備品以外には、消耗品、人件費(謝金等)および会議(招聘、出席)、発表(印刷)等に使用している。

班	備品名	製造会社・仕様	数量	価格(円)	設置場所と使用者	用途
AO 1班	ファインポリクロメータ	分光計器㈱ MK-300 他	1台	2,263,380	原子力研究 開発機構 榎 野友英	JT-60Uのエッジプラズマ中の炭化水素から発生する線スペクトルの測定に使用
	高分解能四重極質量分析器	日本エム・ケー・エス㈱「Micro Vision Plus」 639-720-030	1台	2,226,000	大阪大学 上田良夫	複数イオン照射環境下における水素同位体透過測定装置における透過ガス分析
	基板ヒーター	誠南工業㈱ 型番:A7490 型改	1台	1,500,000	大阪大学 上田良夫	混合粒子堆積膜製作のためのスパッタリング成膜装置における試料固定装置
	赤外線導入加熱装置	㈱サーモ理工 GVH198	1台	1,705,725	京都大学 高木郁二	イオン照射損傷を与えた試料中の水素同位体測定時の試料加熱
	赤外線コートイメージ炉	三弘アルバック(株)	1式	1,522,500	名古屋大学 大野哲晴	ダスト中の重水素吸蔵量測定のためのダスト加熱に使用
	紫外可視分光光度計	日本分光	1式	1,396,500	九州大学 田辺哲朗	堆積層のレーザーアブレーション実験において放出される励起原子からの発光を観察
	電子冷却 CCD 検出器	プリンストンインスツルメンツ	1式	3,818,310	九州大学 田辺哲朗	レーザー脱離により発生した粒子からの微弱発光を検出する
	四重極質量分析器	キャノンアネルバ	1式	1,160,250	北海道大学 日野友明	イオン注入試料から昇温脱離したガスの質量分析
	高真空容器	〃(株)ヤシマ HVCH-350〃	1式	1,180,000	大阪大学 上田良夫	デュアルイオンビーム装置設置のための真空容器
	AO 2班	ハイパフォーマンス・コンピュータハイパフォーマンス・コンピュータ	HPCシステムズ㈱ BoxClusterML-SIP	1式	1,498,953	徳島大学 大宅薫
ハイパフォーマンス・コンピュータ		HPCシステムズ㈱ VASP用ノードクラ	1式	9,948,750	核融合科学 研究所 加藤 太治	材料中水素同位体挙動の第一原理分子動力学計算、および表面相互作用の量子力学計算
DELL PCハードウェアおよび5ノードクラスター		HPCシステムズ㈱ DEL PE1950 x5 等	1式	5,059,425	慶応義塾大 学 畑山明聖	不純物コード IMPGYRO、プラズマ・壁相互作用コード EDDY、背景周辺プラズマコード SOLPS の結合による総合シミュレーション
ハイパフォーマンスコンピュータ		HPCシステムズ㈱ BoxCluster Nxi-SP	1式	1,699,289	徳島大学 大宅薫	炉壁材料への水素同位体の注入、拡散および再放出挙動のシミュレーション解析
ワークステーション		HPCシステムズ㈱ HPC-ProServer	1式	1,153,950	同志社大学 剣持貴弘	ACAT-DIFFUSE コードによる核融合装置壁材料への水素同位体リテンションに関する温度依存性のシミュレーション解析
BO 1班	VAC 社製グローブボックス	VAC101965-OMNI -LAB(山八物産)	1台	6,825,000	九州大学 深田智	反応性リチウム増殖材の取扱のため
	固体増殖ブランケット微小球充填体流動試験装置	アート科学	1台	2,610,993	原子力研究 開発機構 榎 枝幹男	固体ブランケット流動試験用
	マイクロメトリック自動比表面積計/細孔分布測定装置	ガス分析システム	1台	5,952,450	九州大学 深田智	固体ブランケット材表面分析用
	ガス分析システム	アルバック	1台	4,092,900	九州大学 深田智	液体ブランケット残留ガス分析用
BO 2班	高速昇温電気炉	㈱モトヤマ NL-2025D	1式	1,995,000	東京大学 寺井隆幸	固体増殖材試料焼結用電気炉
	四重極質量分析計	コスモ・テック㈱ M-101QA-TDM(W)	1式	1,520,970	東京大学 寺井隆幸	増殖材からの水素同位体放出の高精度測定装置
	クラスター計算機システム	㈱アート科学	1式	2,520,000	東京大学 寺井隆幸	増殖材中の T 挙動についてのモンテカルロ計算の実施と MD 計算用ファイルを作成するための計算機システム
	増殖材用水素透過抑制試験装置	中山商事㈱	1式	5,670,000	東京大学 寺井隆幸	増殖材と接する被覆材を通しての H,D,T 透過を高精度に測定しトリチウム透過抑制能を試験する装置
	トリチウム化学形分離測定装置	㈱アート科学	1式	9,450,000	東京大学 寺井隆幸	弥生炉照射下の T 増殖材から放出される T 放出速度について化学形を分離しながら連続測定する装置
	熱機械分析装置	㈱リガク TMA8310S	1式	2,919,000	東京大学 寺井隆幸	水素同位体蒸発によるリチウムタイタネートの物性変化測定装置
	高温液体金属循環下水素透過測定装置	㈱アート科学	1式	4,499,250	東京大学 鈴木晶大	照射下流動液体金属からのトリチウム放出を試験するための弥生炉で照射可能な小型液体金属流動装置
	PNS 照射後試験用石英キャプセル	㈱化研	1式	1,501,500	原子力研究 開発機構 星	固体増殖材への高速中性子照射を行うための照射容器

					野穀	
CO 1班	腐食・浸透測定装置	東陽テクニカ(株)製 腐食測定装置	1 式	6,999,300	原子力研究 開発機構 山 西敏彦	高濃度トリチウム水 腐食電位測定
	高性能EDX装置	キーエンス(株):G-XM2	1 式	12,390,000	原子力研究 開発機構 山 西敏彦	既存電子顕微鏡に取り付けて、材料表面分析を行う高性能エネルギー分散型X線分析装置
	EDX 解析ソフトウェア	キーエンス(株):EDX 元素分析用	1 式	4,410,000	原子力研究 開発機構 山 西敏彦	上記高性能エネルギー分散型X線分析装置駆動及びデータ解析用ソフト
	水素同位体挙動解析装置	アールデック社製	1 式	8,295,000	静岡大 奥野健二	金属酸化膜透過測定装置
	紫外線照射装置	(株)クオークテクノロジー製	1 式	1,529,850	原子力研究 開発機構 山 西敏彦	紫外線照射による水中のラジカル発生装置
CO 2班	フルオロ・イメージアナライザー	富士フイルム(株) FLA-7000IP	1 台	8,223,600	富山大学 波多野雄治	汚染材料中のトリチウム分布を、イメージングプレート法で測定
	X線源パッケージ	アルパックファイ(株) DAR400	1 台	7,350,000	富山大学 波多野雄治	X線光電子分光法により、トリチウム汚染材料の化学的状態を分析
	可搬・高感度ファイバープロ ーブ型分光装置	堀場製作所特注、可搬型レーザー ラマン分光装置	1 台	15,991,500	東京大学 小田卓司	水素同位体の透過・吸脱着実験時の試料表面状態の同定、透過防止障壁膜の相同定
	分析用チャンバー	三和トレーディング特注品	1 台	1,575,000	東京大学 小田卓司	雰囲気制御下試料調製および材料表面吸着水素同位体の分光測定における雰囲気制御
	磁気軸受ターボ分子ポンプ	島津製作所 TMP-803	1 台	1,869,000	静岡大学 大矢恭久	水素同位体滞留・脱離挙動解析装置の高真空排気
	水素同位体挙動解析装置 用 in-situ 表面分析装置	アールデック社製 ・ 特注 品	1 式	13954500	静岡大学 大矢恭久	金属材料表面に吸着した水素同位体の振動状態分析

(6) 研究成果公表の状況

① 発表論文

20年度中に掲載（印刷中含む）された論文は、査読つき；140件、査読無し（総説、解説を含む）；29件である。各計画研究班ごとの論文一覧を添付資料3として各班ごとに業績リストを示し、添付資料4として各論文のアブストラクトを含んだ第1頁のコピーを添付した。

② 学会発表（国内）

国内の学会で217件の発表を実施した。各班ごとの内訳は以下である。

A01班；79件、A02班；54件、B01班；27件、B02班；11件、C01班；16件、C02班；27件、総括班；3件

③ 学会発表（国際）

国内外の国際会議で152件の発表を実施した。各班ごとの内訳は以下である。

A01班；49件、A02班；48件、B01班；24件、B02班；5件、C01班；6件、C02班；15件、総括班；5件

④ 特許

C02班から1件出願された。内容は添付資料「各班の業績リスト」に示す。

⑤ ホームページ

総括班事業として、2007年9月にホームページを開設（<http://tritium.nifs.ac.jp/>）し、以降、随時（月2回前後）更新を行ってきた。この間、研究会や各班会合の開催案内を「カレンダー」として掲載すると共に、最新の研究成果報告資料については「プロジェクト資料」として、議事録と共に、公開可能な報告資料はすべて公開している。

⑥ 公開シンポジウム

21年中に開催したシンポジウム等は下記の通りである。

平成21年 5月30日	東京大学工学部 12号館 会議室	公開ワークショップ「トリチウム透過漏洩量評価と透過防止技術」	トリチウム透過漏洩上防止に関する徹底討論、Dr. Alimov 招聘
平成21年 8月29-30日	かんぼの宿・浜名湖三ヶ日	第4回公開シンポジウム「核融合炉実現を目指したトリチウム研究の新展開」	中間評価報告会
平成21年 9月1日	核融合科学研究所 研究1棟大会議室	トリチウム合同研究会	LHDにおけるトリチウム安全研究の展望
平成22年 3月5～6日	ホテル時之栖（御殿場）	科研特定領域「核融合トリチウム」若手交流研究発表会	若手研究者の育成を目指した交流、研究発表会
平成22年 5月12～13日	核融合科学研究所 研究1棟大会議室	公開シンポジウム 科研特定領域「核融合トリチウム」研究成果/計画報告会	計画研究および公募研究の成果発表および今後の研究計画について議論

⑦ ニュースレター

下記内容で、8号から10号までのニュースレターを発行した。詳細は添付資料「ニュースレター」に示す。ニュースレターはホームページで公開すると共に、核融合工学部会及び核融合ネットワークのメーリングリストを利用させていただき、Webで関係者に広く配信した。

<発行 No.> <発行日> <主な内容>

8号 H21年5月15日

1. はじめに(田辺哲朗)、
2. 評価委員の評価(各評価委員)、
3. 各班の成果の概要(各研究班長)、
4. 中間評価に向けて(田辺哲朗)、

9号 H21年11月1日

5. 20年度の主要な活動実績、
6. 今後の主要な活用予定
1. はじめに(田辺哲朗)、
2. 中間評価報告会の感想(西川正史)、
3. 中間評価(文科省)結果報告(田辺哲朗)、
4. 研究の継続に向けて、
5. トリチウム国際会議の案内、他、

10号 H21年11月24日

1. はじめに(田辺哲朗)
2. C班の研究活動の目標と概要(山西敏彦)、
3. 2009年度のC班の活動、
4. C班の研究紹介、
5. C班の今年度の活動

(7) 総括班評価者による評価の状況

総括班事業として行ったミーティング、シンポジウム、研究会の後には必ず総括班会議を開催し、行った事業の総括を作成し、事業で使われたビューグラフを公開して、事業に参加いただけなかった評価者のみならず、第三者からの評価も可能なようにしてきた。研究報告会で総括班および評価委員より指摘された意見は次の通りである。(1)過去の研究結果やすでにわかっている物理/化学を十分 Refer し respect すること、(2)特定領域「核融合炉実現のためのトリチウム研究の新展開」の意義と目的に則ったものであること。(3)様々な物理、化学状態の水素同位体、トリチウムの挙動、材料との相互作用:学術研究と領域形成、充実をはかること。(4)“表面状態”、“交換反応”、“同位体効果”等 物理化学にのっとった共通の理解と、理解の深化をはかること。(5)シミュレーション、あるいは第1原理計算においては、特にその学術的な意義や新規性等について自問自答しながら進めること。(6)人材育成と維持を積極的に推進すること。

また以下に3名の評価者のそれぞれの20年度の本事業に対する評価を記す。

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 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ーとして捕捉され、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。

日本原子力研究開発機構 高津英幸

5年間を予定する特定領域研究の活動も既に3年間が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げられ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げられ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を確認し、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応えう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拡げ、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。

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)を模擬したタンゲステンの重水素保有特性、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版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。



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 Glugla
Tel: +33 4 42 17 63 22
manfred.glugla@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.

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.

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.

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 Glugla

Fuel Cycle Engineering Division Head

Dr. M. Glugla (ITER 機構) からの領域への期待と評価

(8) 研究領域の研究を進展する上での問題点と対応策

(8-1) 研究遂行上で生じた問題点等

これまでのほぼ3年間の研究により、領域設定年度内に当初の目標は達成できそうな見通しが得られているだけでなく、②に記したように中間評価による特に改めるべき点の指摘はなく、基本的には当初の計画通りすすめる。ただし新たな課題も現れている。特に、トリチウムは稀少資源であり、安全性の観点のみならず、経済性の観点からも、無駄なく回収する必要があることが明確になった。当初よりトカマク装置内(A班)、ブランケット(B班)、トリチウム燃料システム(C班)いずれにおいても、トリチウムの除去・回収は研究テーマになっていたが、より一層の努力を、そのための研究に傾注していくことになった。

また第2年度を終えるに当たって、それまでの研究の進行状況を総括し、領域発足当時すべての研究協力者が確認した以下の各点を、再認識し、改めてこれらを念頭に入れて研究を遂行していくこととした。

- (1) 研究のターゲットとその意義を特定領域研究の枠組みの中でしっかり位置づける。
- (2) トリチウムの科学として、新しく何に寄与しようとするのか明確にする。
- (3) 多量のトリチウムを使うことが、軽水素や重水素を使うことどのように違うのかについて、科学・工学の両観点から明確にする。
- (4) 水素中に希薄に含まれたトリチウムを使った実験と、もともと超微量しか使わない(使えない)実験とを峻別する。
- (5) 個々の研究が扱っている系を正確に把握し、その系と核融合炉環境との関係を明確にする。
- (6) イオンや励起原子が入射する表面を扱う場合は、表面は非平衡状態であり、速度論的に扱わざるを得ないが、常に平衡状態との比較を念頭置く。また系は、常にエネルギー散逸過程であることも考慮する。
- (7) 水素を扱う場合は常にその中の不純物水分の把握が必要である。
- (8) 得られた成果のITERあるいは核融合炉への外挿性を常に念頭に置く。

(8-2) 中間評価に係る意見を受けての対応

中間評価結果に係る意見は以下の通りである。

本研究領域は、国際的研究の一翼でもある核融合研究で重要なトリチウムの扱いに尽力しており、所期の予定どおり研究が進行している。採択当初には、開発的要素が大きく、学術的側面が希薄になるおそれが指摘されていたが、トリチウムの挙動の解析と炉内外の振る舞いについてのデータベース的な整理が進められる等、学術的な側面も進んでおり、今後の研究成果が期待できる。ITERへの適用も視野に入れており、これまでのところは順調と考えられる。今後、システムとしての研究成果を見込んでいるが、炉内のトリチウムの除去・回収についての研究を進めることを強く期待する。なお、世界トップレベルの学術的な研究成果を目に見える形で示すべきであり、基礎データを蓄積し、全体像を明確にして道筋を決め、戦略的に進めることが必要である。また、若手研究者の育成についての具体的な活動を進めることを希望する。さらに、シンポジウム等への一般の方の参加を増やす努力も希望する。

総括班では、全体像を明確にして道筋を決め、これを各班の研究に反映させる。また若手育成のための、横断的な研究会やシンポジウムを開催する。シンポジウム等への一般参加を増やす方法についても検討をおこない、試行/実行する。学術的成果を目に見える形にするため、教科書あるいはトリチウムハンドリングマニュアル等を刊行する。

(9) 今後の研究領域の推進方策

領域が掲げた当初の目標は計画研究の設定年度内に達成できそうであることが、先日開催した21年度の報告会であきらかになった。しかし、現在まで得られている結果は、総じて定性的であり、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、予測等々が必要である。

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

を行う。

また、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。計画研究だけでなく、公募研究も含めて個々の研究が、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、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く。

特に、総括班では、研究会、シンポジウム、国際会議等を主催/共催し、成果の取りまとめ、また総合化をはかる。また、各研究班の成果についての評価を行い、目標とする安全かつ経済的なトリチウム燃料システムの設計を視野に、最終年度に向けて、必要な研究課題あるいは取得すべきデータ等を各研究班に提示し、研究のフィードバックを行う。また、核融合炉の社会受容性を高めるための啓蒙活動を継続する。そして学問としてトリチウム科学を完成させるため、教科書の編纂を行う。