

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06998

研究課題名(和文) 重水素核融合反応で生じるトリチウムを利用した水素同位体挙動の解明

研究課題名(英文) Study on hydrogen isotope behavior in fusion test device using tracer tritium by D-D reaction

研究代表者

田中 将裕 (Tanaka, Masahiro)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：00435520

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：重水素核融合反応で生じるトリチウムをトレーサーとして用い、4年間にわたり大型核融合試験装置内の水素同位体挙動を評価した。その結果、次のことが明らかになった：1.生成されたトリチウムの56%が真空容器内に残留した。2.真空容器内からのトリチウム放出は、同位体交換反応と材料中トリチウム拡散が律速であった。3.排出されたトリチウムの化学形態は、分子状>>炭化水素状>水蒸気状であった。4.赤外吸収分光法による排気ガス組成分析から、重水素化炭化水素(CxHyDz)や一酸化炭素、アンモニアの存在が確認された。本研究により、核融合システムにおけるトリチウム収支や、複雑な排気ガスの挙動を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大型核融合試験装置の重水素実験で生成される極僅かのトリチウムをトレーサー(追跡子)として利用することで、核融合装置内外の水素同位体挙動を明らかにすることができました。さらに、核融合装置内から排出されるトリチウムは、さまざまな化学形態として存在すること、水素同位体交換反応と材料内での拡散速度に律速されていることを明らかにしました。この研究成果は、将来の核融合炉で燃料として使用されるトリチウムの安全取り扱いや、燃料を処理し再利用する循環システムに関する重要な知見となります。

研究成果の概要(英文)：The hydrogen isotope behavior in a large fusion test facility was evaluated for four years using tritium produced by D-D reaction as a tracer. As the results, it was found that: 1. 56% of the produced tritium remained in the vacuum vessel at the end of the fourth year of the deuterium plasma experiment; 2. the tritium release from the vacuum vessel was rate-limiting due to the isotope exchange reaction and tritium diffusion in the material; 3. the chemical form of the released tritium was molecular (Q2) >> hydrocarbon (CxQy) > water vapor (Q2O); 4. The exhaust gas composition was analyzed by infrared absorption spectroscopy, and deuterated hydrocarbons (CxHyDz), carbon monoxide, and ammonia were observed. The present study clarified the tritium balance in the fusion system and the complex behavior of the exhaust gas.

研究分野：核融合科学

キーワード：トリチウム挙動 物質収支 化学形態 プラズマ対向壁材 赤外吸収分光計測

1. 研究開始当初の背景

核融合炉の燃料であるトリチウムは、放射性同位元素であることから、漏洩や被ばく低減対策、計量管理が重要である。そのため、核融合システム内のトリチウム収支や分布を把握し、安全に取り扱う必要がある。例えば、研究代表者による簡易物質収支モデルを用いた原型炉検討では、壁からの漏洩や真空容器内の滞留によるトリチウムの不足、滞留したトリチウムが安全取扱量を超過することが示唆されている。そのため、真空容器内に滞留するトリチウム量を把握し、その場で除染、回収することが必要である。

これまでの研究で、重水素実験を実施した大型核融合プラズマ装置(JET, JT-60U, TFTR)の排気ガス組成分析が行われている。これらの大型核融合装置を用いた排出ガス組成分析は、システム内の水素同位体挙動や除染機構を理解する一助となることが示されている。一方、平成29年度より重水素プラズマ実験を計画している大型ヘリカル装置(LHD)では、プラズマ対向壁に炭素材とステンレス鋼を用いている。異なる材料が用いられた真空容器内の水素同位体(トリチウム)挙動は、これまでに明らかにされていない。

2. 研究の目的

核融合プラズマ装置内の水素同位体挙動は、プラズマと第一壁材料との相互作用により、単純な残留ガス挙動とは異なることが知られている。すなわち、重水素放電により生成されたトリチウムの一部は、第一壁に入射し、残りは排気される。また、物理・化学スパッタリングにより、トリチウムは再堆積層へ取り込まれたり、炭化水素形態となる。一方で、放電洗浄により壁に取り込まれたトリチウムの一部は除去される。トリチウム収支はそれらの総和で示される。このような複雑な過程を有する核融合装置内のトリチウム挙動も、トリチウム生成量と排気ガス分析から、真空容器内挙動を把握することができる。大型核融合装置を対象として、トリチウム物質収支を明らかにすることで、実環境下におけるトリチウムの挙動を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、LHDを対象とし、重水素プラズマ実験で生じたトリチウムの収支・挙動を把握するため、排気ガス組成分析を行った。重水素プラズマ実験では、すべての機器からの排気ガスが一元化され、合流後に排気ガス分析システムで測定される。また、重水素プラズマ実験で真空容器内に生成されたトリチウム総発生量は、中性子計測システムから推算した。トリチウム収支と除染効率の検証では、開発した化学形態別水バブラ装置と市販の電離箱を適用した。水バブラ装置では、トリチウムの化学形態(Q_2O , Q_2 , C_xQ_y , $Q=H, D, T$)を評価するため、温度の異なる触媒を用いて化学形態を弁別した。試料水のトリチウム濃度は、液体シンチレーション計数装置(Perkin Elmer, Tri-Carb 4910TR)で測定した。捕集期間を1週間とし積算平均濃度(積算体積: 約 1 m^3)でトリチウム総排出量を見積もった。本手法による検出下限値は 10^{-6} Bq/cm^3 以下であった。一方、電離箱(検出下限値: $7 \times 10^{-3} \text{ Bq/cm}^3$ [カタログ値])を用いて、排気ガス中トリチウム濃度の時間変動を観測した。これらの2つの手法を用いた排気ガス測定結果から、重水素実験におけるトリチウム排出挙動や物質収支、放電洗浄や壁ベーキングによる排出挙動を評価した。さらに、プラズマ実験終了後も、真空容器からのトリチウム放出を継続して観測することで、真空容器大気開放後のトリチウム放出挙動や、真空容器内のトリチウム保持量を評価した。

トリチウム以外の排気ガス組成分析は、定量分析が可能な熱伝導検出器(TCD)を用いたガスクロマトグラフ装置(Agilent Technology, 490 MicroGC, 分離カラム: MS5A(10m), PoraPLOT Q(10m), Sil5CB(8m))を用いた。測定間隔は2.5分、検出下限値は10ppm程度である。また、炭化水素など化合物を高感度で測定するため、長光路ガスセル(PIKE, 光路長可変型, PN: 163-1674)と組み合わせたFTIR装置(Perkin Elmer, Frontier FT-IR)を適用した。光路長を16m、繰り返し測定回数を50回とすることで、メタン(CH_4)を sub-ppm オーダーまで検知可能であった。ガス置換操作や繰り返し測定回数を勘案すると、測定の間隔は25分もしくは36分である。

4. 研究成果

4年間のトリチウムおよび排気ガス組成の観測によって明らかとなった水素同位体の排出挙動および物質収支、今後の課題を以下に纏める。

(1) プラズマ実験期間におけるトリチウムの排出挙動

プラズマ実験期間は、前半に重水素ガスを用いた実験、後半の4週間に軽水素ガスを用いたプラズマ実験を実施している。トリチウムが生成されるのは、重水素ガスを

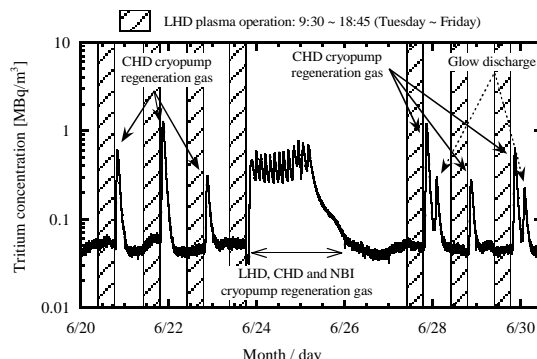


図1. LHD 排気ガス中トリチウム濃度変動
ハッチ部はプラズマ実験を実施した時間帯

表 1. 排出されたトリチウム化学形態の比較

Device	Operation mode	Tritiated	Tritiated	Tritiated	Monitoring term
		water vapor [%]	hydrogen gas [%]	hydrocarbons [%]	
	Glow discharge	< 1		> 99	few hours
	Glow discharge, etc	0.45	> 99.5	-	
JT-60U	Deuterium plasma experiment	0.39	-	-	1 day
		0.35	-	-	
		0.32	-	-	
		0.3	93.3	6.4	
LHD	Deuterium plasma experiment	0.2	95.5	4.3	5 month
		0.04	96.4	3.2	

用いた実験期間である。図 1 に初年度の重水素プラズマ実験期間に電離箱で測定した排気ガス中トリチウム濃度変動を示す。LHD では、主たる真空排気装置にクライオポンプを使用しているため、ハッチされたプラズマ実験時間帯にはトリチウム排出は観測されず、プラズマ実験終了後にクライオポンプを再生することでトリチウムの排出が観測される。ここでは、真空容器内に設置された閉ダイバータ用クライオポンプ(CHD)、LHD および中性粒子入射加熱装置(NBI)のクライオポンプを再生した際の挙動を確認した。また、夜間に行われるグロー放電洗浄により、真空容器壁からトリチウムが放出されることも観測された。

図 2 にプラズマ実験期間に生成されたトリチウム量と真空容器からの排出量を示す。実験の進展とともに、トリチウム生成量が増加した。一方、排出トリチウム量も、トリチウム生成量の増加とともに増加するが、実験終了時点では、トリチウム発生量に対し排出割合は 32.4% となった。この結果は、プラズマ対向壁に炭素材を用いた JT-60U の結果(28%)と比較して多く、ベリリウム(Be)を蒸着した JET 重水素実験時の結果(約 40%)よりも少ない。LHD では、炭素壁の割合が真空容器内の 10% 程度であり、炭素材のスパッタリングによって生じる再堆積層へのトリチウム取り込みが、JT-60U と比較すると少ない可能性がある。今後の課題として、プラズマ対向壁内のトリチウム保持状態や量、真空容器内の分布を解明することが肝要である。

図 1 で示したような電離箱で観測されるトリチウムの時間変動データと、装置運転条件を併せて解析し、核融合実験装置からのトリチウム放出経路を評価した。結果を図 3 に示す。LHD の場合、装置周辺に NBI が 5 台配置され、それぞれに大容量のクライオポンプが設置されている。そのため、主たる排出経路は NBI となり、排出トリチウムの 50% 以上を占めた。真空容器の主排気装置(CHD も含む)からは約 30% が排出され、プラズマ実験期間で真空排気機器を経由して放出されたトリチウムは 89% を占める。一方、水素やヘリウムを用いた放電洗浄や壁ベーキング(加熱温度: 368 K)などの壁調整運転は、排出トリチウムの 10% 程度を占め、生成されたトリチウム量の 4.7% に相当した。壁調整運転時間が 1100 時間を超えていることを鑑みると、壁調整運転のみでトリチウムを除去することは容易ではないことを示唆している。

表 1 に排出されたトリチウム化学形態の割合を、JT-60U で観測されたデータと比較して示す。LHD でも、JT-60U と同様な水蒸気状、水素分子状、炭化水素状のトリチウムが観測された。炭化水素は難分解物質であり、排出ガスには極力少ないことが望ましい。LHD の観測結果では、水素分子状と炭化水素状のトリチウム濃度変動には相関があり、プラズマ対向壁である炭素材と水素プラズマとの相互作用(化学スパッタリング)による炭化水素の生成が示唆された。また、全炭素壁を有する JT-60U の結果と比較すると、炭化水素の排出割合は少なく、対向壁が排出ガス組成に影響を与えていることを示唆している。炭化水素のさらなる削減を鑑みると、プラズマ

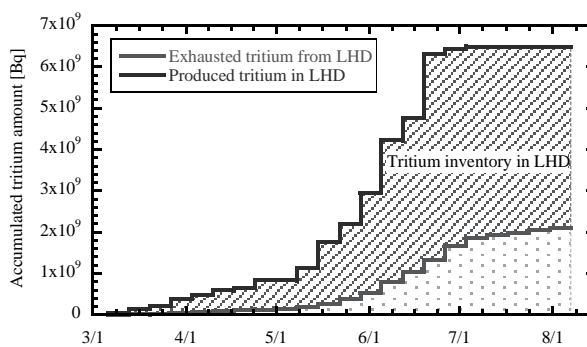


図 2. プラズマ実験によるトリチウム生成量と真空容器からの排出量の変遷

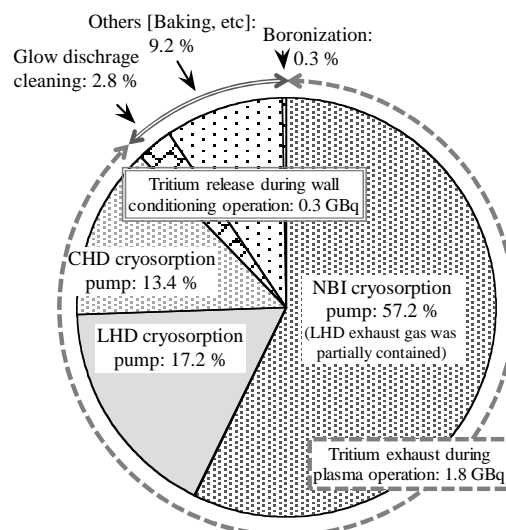


図 3. LHD におけるトリチウム排出経路

対向壁は金属材料が適当であり、タングステン材料などの研究開発が待たれる。

(2). 真空容器壁からのトリチウム排出機構

LHD のプラズマ実験では、さまざまな目的をもった研究課題の下でプラズマの運転を行っている。そのため、トリチウム排出挙動とその機構を関連付けて解明することは難しい。そこで、放電洗浄や壁ベーキングによる壁調整運転時や、真空容器の大気開放後に放出されるトリチウムを観測することで、トリチウム排出機構の解明を試みた。図 4 にグロー放電洗浄時の排出ガス中トリチウム濃度変動を示す。測定には電離箱を用いた。ヘリウムグロー放電と重水素グロー放電との比較では、先に実施したヘリウムグロー放電時にはトリチウムが検知できず、続いて行った重水素グロー放電で検知された。これは、ヘリウムグロー放電による物理スパッタリングでは、材料表面のトリチウムが十分に放出されず、重水素グロー放電では水素同位体交換反応によって、放出されたことを示している。プラズマ対向壁表面近傍に存在するトリチウムは、水素同位体交換反応で放出されるが、表面付近が洗浄(除染)されると放出量は少なくなり、徐々に減少を示すようになる。

重水素核融合反応によって生成されたトリチウムは、最大で 1.01 MeV のエネルギーを有している。このため、生成されたトリチウムは、プラズマ対向壁内部(最大で数 μm の深さ)に打ち込まれる。したがって、内部に打ち込まれたトリチウムは、表面近傍まで拡散する必要があり、拡散律速により徐々に減少したと推測される。図 5 に壁ベーキング運転(壁温度: 368 K)時のトリチウム放出挙動と、運転終了後に実施した水素グロー放電時のトリチウム放出挙動を示す。壁を加熱することでトリチウム濃度の増加が確認された。壁内部のトリチウムが拡散によって放出されたことを示している。壁ベーキング運転終了後に実施した水素グロー放電では、高い濃度のトリチウムが観測され、壁内部から表面近傍にトリチウムが拡散してきたと推測される。重水素実験で生成されたトリチウムの真空容器壁からの除去は、最終的には拡散律速となり、壁ベーキング運転と併用した除染が有効であることがわかった。また、プラズマ実験に用いる高周波加熱法を適用して、プラズマ中に高エネルギー粒子を生成し、真空容器壁からのトリチウム放出を試みた。高周波加熱法として、高エネルギー粒子を生成するイオンサイクロトロン共鳴加熱法を適用すると、電子を加熱する電子サイクロトロン共鳴加熱法を適用した場合と比較して、壁からのトリチウム放出速度が大きくなり、プラズマ加熱によって励起された高いエネルギーをもった粒子による除染の有効性が示された。

プラズマ実験終了後、保守点検作業のため真空容器を大気圧まで昇圧した。その後、真空容器内のトリチウム除去および保守点検作業環境を確保するため、室内空気で換気し、排出されるトリチウム濃度を測定した。約 1 年にわたる観測結果を図 6 に示す。大気開放直後のトリチウム放出速度は 1 MBq/h を超えた。その後、トリチウム放出速度は時間の経過とともに減少し、大気開放から 4 ヶ月後には約 4 kBq/h で一定となった。水蒸気は、材料表面のトリチウムと同位体交換を行って、除染(排出)を促進する効果が知られている。観測の前半は、トリチウム放出速度と水蒸気濃度の変動に相関が見られ

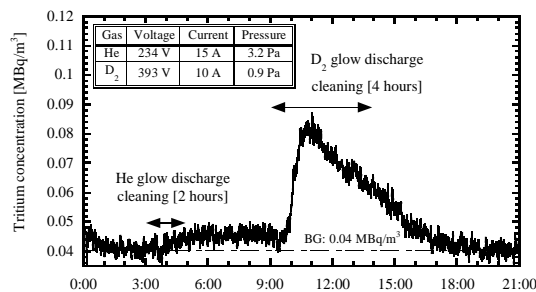


図 4. グロー放電洗浄時のトリチウム放出挙動

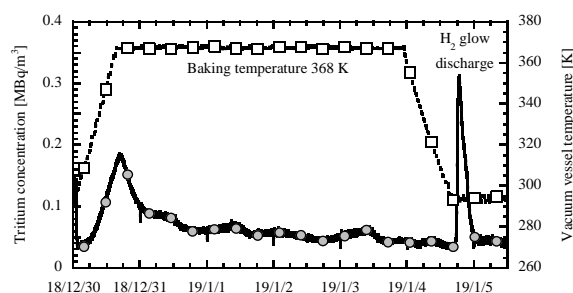


図 5. 壁ベーキングのトリチウム放出挙動と、グロー放電によるトリチウム排出挙動

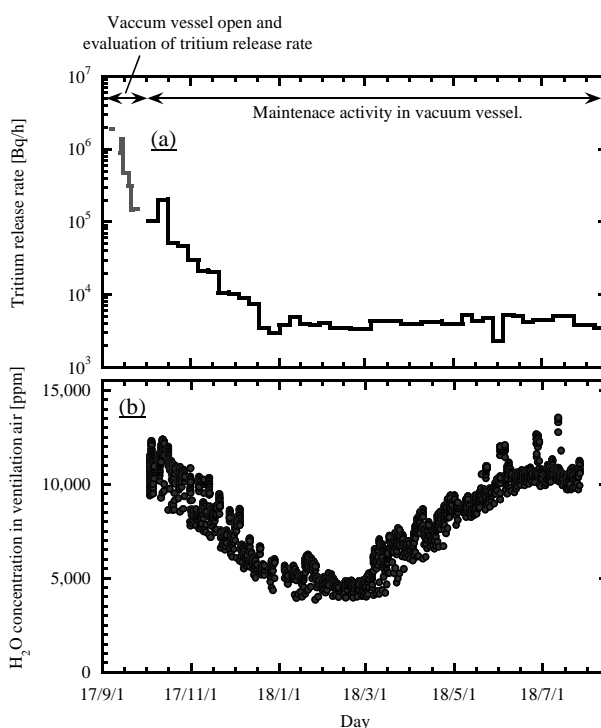


図 6. 真空容器大気開放後のトリチウム放出挙動
(a): 真空容器壁からのトリチウム放出速度
(b): 排出ガスに含まれる水蒸気濃度

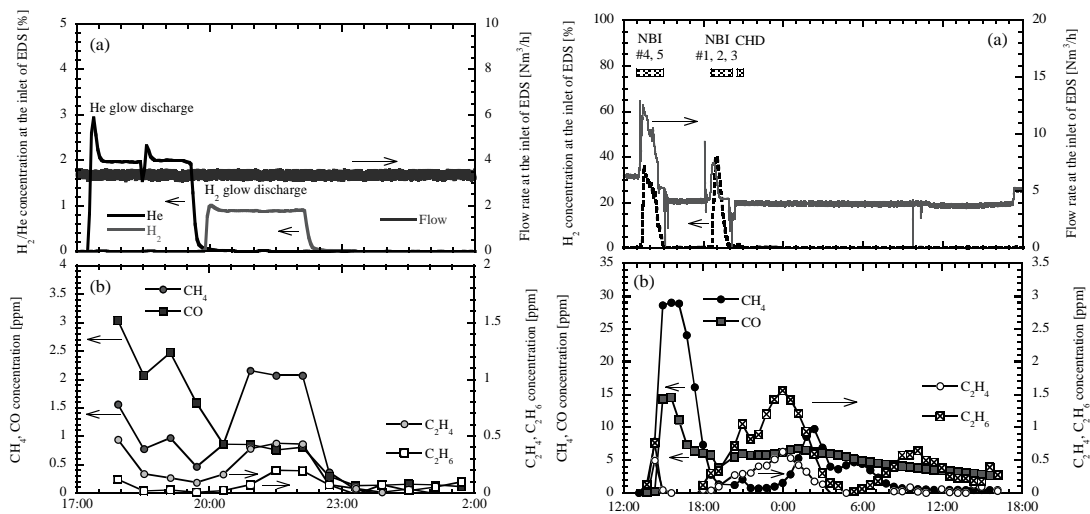


図 7. 炭化水素および一酸化炭素の排出挙動
 左図: グロー放電、右図: クライオポンプ再生運転

た。しかし、観測の後半では、水蒸気濃度とトリチウム放出速度の相関は見られず、水蒸気濃度依存性が観測されなかった。これは、表面近傍のトリチウムが、水蒸気による水素同位体交換反応で除去された後は、材料内部からの拡散過程が律速条件であることを示唆している。この結果は、壁調整運転で確認されたトリチウム放出過程と同じであり、観測データを補完する結果が得られた。

(3) 赤外吸収分光法 (FTIR 法) による炭化水素および重水素化炭化水素の検知とその挙動

排気ガス中に観測されたトリチウムの化学形態は、水蒸気状(0.4%)、水素分子状(96.4%)、炭化水素状(3.2%)であった。しかし、ガスクロマトグラフ装置を用いた排気ガス組成分析では、炭化水素成分の濃度が低く(10 ppm 以下)、検出できなかった。そこで、FTIR 装置に長光路(16 m)ガスセルを組み合わせた気体分析システムを構築し、グロー放電洗浄やクライオポンプ再生時の排気ガス組成分析を試みた。結果を図 7 に示す。軽水素およびヘリウムグロー放電洗浄では、炭化水素とともに一酸化炭素が検出された。グロー放電によって真空容器から酸素が放出され、炭素材との相互作用により生成されたと推測される。炭化水素は、水素グロー放電時に多く観測され、真空容器内の炭素材表面を物理的、化学的にスパッタしていることを示している。クライオポンプ再生運転での観測では、プラズマ実験中に生成されたガス組成が反映される。クライオポンプ再生中の排気ガスには、メタンやエチレン、エタンが観測され、プラズマ実験中にも炭化水素が生成されていることを確認した。炭化水素の排出挙動は、クライオ再生温度に依存しており、再生温度の上昇に従って、順次炭化水素類が排出されることを確認した。

軽水素(H₂)グロー放電では、CH₄、C₂H₄、CO、CO₂の吸収スペクトルが観測された。一方、重水素(D₂)グロー放電では、CH₄やC₂H₄の吸収スペクトルが消失し、CD₄やC₂D₄の吸収スペクトルが確認された。C_xH_yとC_xD_yでは、特徴的な吸収ピークが、他の分子の吸収波長と離れていることから、FTIR 法を用いることで、比較的容易に化合物の同位体弁別測定が可能であった。また、運転条件によって発生する重水素化炭化水素(C_xH_{y-2}D₂)やアンモニア(NH₃)も検知することができた。長光路ガスセルを用いた赤外吸収分光法は、ガスクロマトグラフ装置や四重極型質量分析計で弁別測定が難しい重水素化合物を高感度に検出でき、核融合試験装置の排気ガス組成分析に有効であることが実証された。核融合科学研究における新しい気体分析手法を確立できた。

(4) 核融合試験装置におけるトリチウム収支と滞留量のふるまい

2017 年 3 月から開始された LHD 重水素プラズマ実験で、生成/排出されたトリチウムを観測し、排出挙動や物質収支を評価した。初年度は、生成されたトリチウムの約 37%が排出され、5%は観測期間内に壊変して減少した。残りの約 56%が真空容器内に滞留していると推算された。このような観測を 4 年間実施し、トリチウム排出割合が徐々に増加することが確認された。一方で、トリチウム排出割合が 100%を超えないことから、真空容器内のトリチウム滞留量は年々増加した。また、トリチウム排出割合が、重水素プラズマ実験中に一時的に低下することから、重水素核融合反応で生成されたトリチウムが、真空容器壁内に打ち込まれることを示唆している。このような真空容器内壁に打ち込まれたトリチウムは、長期に渡り滞留すると考えられる。

(5) まとめと今後の課題

長期間の観測から、重水素核融合反応で生成されたトリチウムは、真空容器内に打ち込まれるが、その半分程度は真空容器から排出されることが明らかとなった。本研究課題では、排出されるトリチウムに着目し、トリチウムの放出経路、放出挙動、物質収支、化学形態を明らかにした。今後も整備した機器を活用して測定を継続し、重水素実験終了時点のトリチウム収支を評価する。一方、真空容器内残留量の実測や、真空容器内のトリチウム保持状態や分布を明らかにすることが課題として残った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tanaka Masahiro, Kato Hiromi, Suzuki Naoyuki, Masuzaki Suguru, Yajima Miyuki, Nakada Miki, Iwata Chie	4. 巻 15
2. 論文標題 Tritium Balance in Large Helical Device during and after the First Deuterium Plasma Experiment Campaign	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1405062 ~ 1405062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.1405062	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tanaka Masahiro, Suzuki Naoyuki, Kato Hiromi, Yokosawa Minoru	4. 巻 160
2. 論文標題 Initial operation results of exhaust detritiation system using a polymer membrane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111980 ~ 111980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.111980	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tanaka Masahiro, Suzuki Naoyuki, Kato Hiromi	4. 巻 57
2. 論文標題 Exhaust behavior of tritium from the large helical device in the first deuterium plasma experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1297 ~ 1306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2020.1782282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tanaka Masahiro, Suzuki Naoyuki, Kato Hiromi, Chimura Hiroki	4. 巻 164
2. 論文標題 Performance of exhaust detritiation system for a fusion test device in the initial phase of the operation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 112172 ~ 112172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2020.112172	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Masahiro, Kato Hiromi, Suzuki Naoyuki, Chimura Hiroki	4. 巻 16
2. 論文標題 Detection of Ammonia and Deuterated Hydrocarbons in Exhaust Gas by Infrared Absorption Spectroscopy during Wall Conditioning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2405062 ~ 2405062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2405062	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Masahiro, Suzuki Naoyuki, Kato Hiromi, Iwata Chie, Akata Naofumi, Hayashi Hiroshi, Miyake Hitoshi	4. 巻 76
2. 論文標題 Monitoring and Recovery of Tritium in a Fusion Test Facility	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 475 ~ 480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15361055.2020.1718840	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Masahiro, Kato Hiromi, Suzuki Naoyuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Analysis of Hydrocarbons in the Exhaust Gas of a Fusion Test Device Using Infrared Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2405008 ~ 2405008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2405008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Masahiro, Kato Hiromi, Suzuki Naoyuki, Iwata Chie, Akata Naofumi	4. 巻 318
2. 論文標題 Determination of tritium activity and chemical forms in the exhaust gas from a large fusion test device	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 877 ~ 885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-018-6075-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Masahiro	4. 巻 136
2. 論文標題 Control of dehumidification using polymer permeable membrane and its application to tritium removal system design	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 141 ~ 145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2018.01.031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka Masahiro, Suzuki Naoyuki, Kato Hiromi, Kondo Tomoki, Yokosawa Minoru, Kawamata Tomonori, Ikeda Mitsuru, Meguro Tsuyoshi, Tanaka Tomonari, Sonoi Kazuro	4. 巻 127
2. 論文標題 Design and commissioning of the exhaust detritiation system for the Large Helical Device	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 275 ~ 283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2017.12.034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 田中 将裕, 加藤 ひろみ, 鈴木 直之
2. 発表標題 赤外吸収分光法による核融合試験装置の排気ガス組成分析の試み
3. 学会等名 日本原子力学会 秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中将裕, 加藤ひろみ, 鈴木直之, 増崎 貴, 矢嶋美幸, 中田実希, 岩田智恵
2. 発表標題 LHD重水素実験における水素同位体挙動と物質収支
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Tanaka, N. Suzuki, H. Kato, C. Iwata, N. Akata, H. Hayashi, and H. Miyake
2. 発表標題 Monitoring and Recovery of Tritium in Fusion Test Facility
3. 学会等名 12th International Conference on Tritium Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Tanaka, N. Suzuki, H. Kato, M. Yokosawa
2. 発表標題 Initial operation results of exhaust detritiation system using a polymer membrane
3. 学会等名 14th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Tanaka, H. Kato, N. Suzuki,
2. 発表標題 Analysis of hydrocarbons in the exhaust gas of a fusion test device using infrared absorption spectroscopy
3. 学会等名 28th International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中将裕 加藤ひろみ 鈴木直之
2. 発表標題 大型核融合試験装置用排気ガス分析システムの構築と運用
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中将裕
2. 発表標題 大型核融合試験施設におけるトリチウム管理機器の整備
3. 学会等名 日本放射線安全管理学会 第17回 学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Tanaka, Naoyuki Suzuki, Hiromi Kato
2. 発表標題 Exhaust behavior and mass balance of tritium in Large Helical Device
3. 学会等名 27th IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Tanaka, Naoyuki Suzuki, Hiromi Kato
2. 発表標題 Preliminary operation results of exhaust detritiation system for large fusion test device
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Symposium on Tritium Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Tanaka
2. 発表標題 Control of dehumidification by the polymer permeable membrane and its application to a tritium removal system
3. 学会等名 13th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Tanaka, Naoyuki Suzuki, Hiromi Kato
2. 発表標題 Behavior and mass balance of tritium in the exhaust gas from LHD
3. 学会等名 2nd LHD Deuterium Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tanaka, N. Suzuki, H. Kato, H. Chimura
2. 発表標題 Estimation of tritium inventory in exhaust detritiation system for fusion test device in the initial tritium recovery operation
3. 学会等名 3rd Asia-Pacific Symposium on Tritium Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関