

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月14日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360451

研究課題名（和文）核融合炉コンクリート建屋内のトリチウム挙動解明と移行阻止技術の開発

研究課題名（英文）Clarification of tritium transfer inside concrete building of fusion reactor and development of technology to decrease tritium permeation through concrete walls

研究代表者

深田 智（FUKADA SATOSHI）

九州大学・大学院総合理工学研究院・教授

研究者番号：50117230

研究成果の概要（和文）：

核融合炉を格納するコンクリート建屋内でトリチウム放出事故が起こる可能性があることを想定し、その際でも安全が保て、トリチウムの外部環境への放出を最低限に抑えるように、多孔質コンクリートへのトリチウム吸着拡散移行挙動を定量的に把握するとともに、移行阻止のための防水アクリルシリコンあるいはエポキシ塗料のトリチウム透過阻止効果を定量的に求め、放出事故時の適切な影響把握と移行阻止技術の開発をおこなった。

研究成果の概要（英文）：

There is possibility in that tritium is accidentally released from a fusion reactor chamber to the inside of concrete building. Even in case of the accidental tritium release, we need to keep safety of fusion reactor system and to minimize tritium leak through porous concrete walls to the environment. In the present study, we experimentally determined tritium transfer (adsorption and diffusion) rates to porous concrete pellets and tritium release rates by a water dissolution method. The rates were analyzed in terms of diffusion model. In addition, a technique to protect tritium permeating through hydrophobic paints such as acrylic-silicon or epoxy paints is developed and its rates were experimentally determined.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	10,900,000	3,270,000	14,170,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：核融合・プラズマ、トリチウム、コンクリート、拡散、安全性、原子力、移行阻止

1. 研究開始当初の背景

トリチウムを大量に取り扱う核融合炉関連施設で、トリチウムが異常放出されると回

収除去装置が作動し、直ちに回収除去する設計になっている。しかし施設境界を定める炉室壁は多孔質コンクリートからなり、防水ペ

イントを塗布するにしても、漏洩トリチウムの一部は内部を拡散し、保有水と置換し長期間にわたり内部汚染をもたらすとともに環境に放出される可能性がある。本研究では、建屋境界壁コンクリート内のトリチウム移行挙動把握と防水ペイントを使った移行阻止の技術達成効果を、システム工学的手法と拡散吸着効果を定量化し明らかにすることにより、核融合炉安全性を向上させるため実験計画し実行した。

2. 研究の目的

核融合炉を格納する建物と施設境界を定めるコンクリート壁内へのトリチウム浸透の速さを定量化し、コンクリート内部への拡散速度を求めるとともに、施設外へのトリチウム漏洩を阻止するための防水ペイントの効果を把握する。核融合炉のトリチウム安全性の向上に向けて実験するとともに、拡散モデルにより解析し、放出事故が起こった際にも安全にトリチウムを格納し除染できる手段を講じることにより、将来の核融合炉運転時の安全性向上に寄与する。

3. 研究の方法

普通ポルトランドセメントのペレットおよび、それに小さな砂利を加えたモルタルペレットを製作し、約3ヶ月間養生する。その後、一部のペレット試料表面にアクリルシリコン系塗料あるいはエポキシ系塗料を被覆し、一定期間トリチウム水蒸気雰囲気置き、内部に拡散浸透させる。その後、蒸留水に溶出させ、トリチウム濃度変化を観察した。用いた試料の水セメント比や塗料分子構造を図1に示す。これらの試料は通常の放射性同位元素取扱実験室に使用されるコンクリートと同様の組成と表面被覆用の疎水性塗料の構造になっている。

4. 研究成果

実験結果をまとめて図2に示す。モルタルやセメントに何も塗布しない状態のもの、アクリルシリコンペイントかエポキシペイントを塗布した材料のトリチウム移行挙動と除染挙動を比較検討し、次の結論を得た。

- (1) 塗料被覆無しセメントとモルタル試料へのトリチウム拡散侵出率は、HTO 拡散律速で解析可能であり、1次元両側拡散方程式の解と比較し、 $D_T=1.2 \times 10^{-11} \text{m}^2/\text{s}$ の拡散係数を得ることができた。
- (2) 被覆無しセメントとモルタルでは、細骨材(砂利)内のHTO捕捉拡散がないと仮定した解析と一致する。すなわちHTOはセメントの多孔質部分のみを拡散し、砂利内部は拡散せず迂回して侵出する。
- (3) エポキシ系塗料被覆することにより、内部への拡散率を1/10-1/100に減衰する

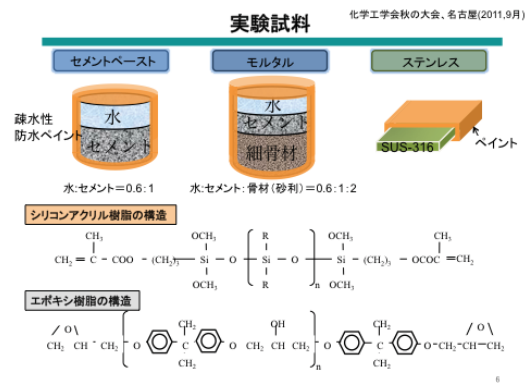


図1 実験試料とペイントの化学構造

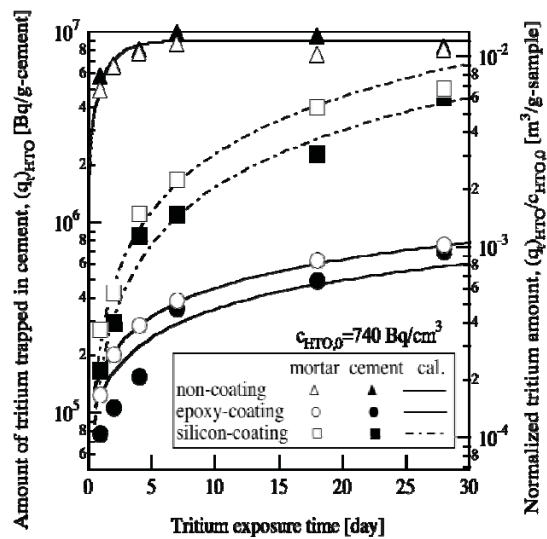


図2 未覆セメント、モルタルとエポキシ、シリコン塗料被覆材料トリチウム蓄積量比較



図3 長期間の水蒸気接触による塗料被覆セメントペレットの膨潤の様子

ことができ、被覆膜内(120 μ m)のHTO片側拡散律速で解析可能であることが認められた。

- (4) 細骨材(砂利)により、ペレット境界条件濃度 q_{00} が変わる。これはセメントとモルタルの空隙率の違いで、おおむね説明できる。エポキシ塗料膜内のHTO拡散係数は、 $D_T=1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2/\text{s}$ を使い、定量的

- に説明できる。
- (5) シリコン系塗料被覆でのHTO移行は拡散律速ではない。シリコン系被覆膜ではセメントとモルタルとも線形吸収モデルで解析できることが分かった。この原因は、後の(10)で記載する。
 - (6) 拡散モデルの表面濃度 q_{HTO} は、気相 (HTO 蒸気) 濃度 c_{HTO} に比例し、Henry 則に従う。従って、本結果は、高いトリチウム濃度まで想定可能と考えられる。
 - (7) 実験で求めた $K_{HTO}=0.012m^3/g$ と、セメント表面がもし自由水で覆われていると考えて、 K_{H_2O} を Henry 則として求めると、 $K_{H_2O}=0.034m^3/g$ を得る。
 - (8) セメント表面の水の被覆率を 0.3 程度と求められ、セメント表面にある HTO はキャピラリー水で、拡散への水吸着の寄与、構造水の寄与は少ないと考えられる。
 - (9) 水蒸気自己拡散係数は、 $D_{H_2O}=2.2 \times 10^{-9} m^2/s$ であるので、有効拡散係数との比を屈曲率で考えると、180 程度となる。
 - (10) 別に行った長時間の液体水接触で、図 3 の様に、シリコン塗料被覆は内部に水泡を発生した。膨潤等ふくれの時間進行が発生し、線形 HTO 捕捉が発生した可能性がある。これが(5)の結果の説明である。
 - (11) 図 4 に見る様に、非被覆のセメント、モルタルからの脱離は、拡散方程式から予測されるより速く離脱する。
 - (12) セメントとモルタルとも離脱量は、砂利分が関与しないと考えると、理解できる。
 - (13) シリコン被覆試料はセメントとモルタルとも 10 日前後ですべて離脱する。拡散支配かどうかは不明である。
 - (14) エポキシ樹脂ペイント被覆では、 $D_T=1.0 \times 10^{-16} m^2/s$ を使った解析結果と一致し、拡散律速で離脱する。

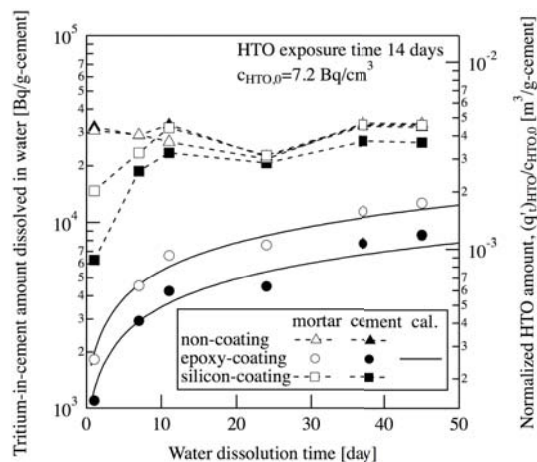


図 4 トリチウム汚染コンクリートの水溶解後の放出経時変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

① S. Fukada, Y. Edao, K. Sato, T. Takeishi, K. Katayama, K. Kobayashi, T. Hayashi, T. Yamanishi, Y. Hatano, A. Taguchi, S. Akamaru, “Tritium transfer in porous concrete materials coated with hydrophobic paints”, Fusion Science and Technology, 60 (2011) 1061-1064. (査読有り)

② S. Fukada, Y. Edao, K. Sato, T. Takeishi, K. Katayama, K. Kobayashi, T. Hayashi, T. Yamanishi, Y. Hatano, A. Taguchi, S. Akamaru, “Transfer of tritium in concrete coated with hydrophobic paints”, Fusion Engineering and Design, 87 (2011) 54-60. (査読有り)

③ M. Terashita, S. Fukada, “Experimental clarification of the desorption of H₂, D₂ and He mixtures from cryosorption pump”, Journal of Nuclear Materials, 417 (2011) 1179-1182. (査読有り)

④ H. Yamasaki, K. Kashimura, T. Kanazawa, K. Katayama, N. Yamashita, S. Fukada, M. Nishikawa, “Study on tritium release behavior from Li₂ZrO₃”, Fusion Science and Technology, 60 (2011) 1167-1170. (査読有り)

⑤ 枝尾祐希、佐藤紘一、片山一成、深田智、竹石敏治、”多孔質材料内のトリチウム移動解明と透過阻止被覆の開発”、平成 21 年富山大学水素同位体科学研究センター共同利用共同研究成果報告書、(2010) 33-34. (査読無し)

⑥ S. Fukada, K. Katayama, Y. Edao, K. Sato, K. Kobayashi, T. Hayashi, T. Yamanishi, “Tritium migration through concrete enclosures of tritium handling facilities”, Proc. 9th International Atomic Energy Agency Technical Meeting on “Fusion Power Plant Safety”, 15-17 July 2009, Vienna, Austria. (査読無し)

⑦ 深田智、榎枝幹男、河村繕範、片山一成、西川正史、相良明男、”プロジェクトレビュー核融合炉実現を目指したトリチウム研究の新展開 4. 核融合炉ブランケット材中のトリチウム移動現象解明と新規回収プロセス開発の研究”、プラズマ核融合学会誌、85, (2009) 704-707. (査読有り)

[学会発表] (計 6 件)

① Y. Edao, S. Fukada, K. Katayama, T.

Takeishi, Y. Hatano, A. Taguchi,
“Effect of hydrophobic paints coating
for tritium reduction in concrete
materials”, 10th International
Symposium on Fusion Nuclear Technology,
Sep. 11-16 (2011), Portland, USA.

②H. Yamasaki, H. Kashimura, S. Matsuda,
T. Kanazawa, T. Hanada, K. Katayama, S.
Fukada, M. Nishikawa, “Effect of water
vapor on tritium permeation behavior”,
10th International Symposium on Fusion
Nuclear Technology, Sep. 11-16 (2011),
Portland, USA.

③深田智、大庭一仁、枝尾祐希、野口秀孝、
西村佳記、”最終閉じ込めコンクリート容器
内の放射性同位元素トリチウム拡散輸送”,
化学工学会第43回秋季大会, 9月14-16日
(2011)、名古屋。

④寺下真史、深田智、”核融合炉燃料排気装
置におけるガス挙動”、日本原子力学会
2009年秋の大会、9月16-18日(2009)、仙
台市。

⑤西川正史、金城智弘、花田友樹、深田智、”
ブランケットシステムのトリチウムバラン
スに与える透過損失の影響”、日本原子力学
会 2009年秋の大会、9月16-18日(2009)、
仙台市。

⑥佐藤紘一、深田智、片山一成、枝尾祐希、
竹石敏治、”核融合炉建屋におけるコンクリ
ートとペイントの影響に関する研究”、日本
原子力学会九州支部第28回研究発表講演
会、12月9日(2009)春日市。

[その他]

ホームページ

[http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/
details/K001210/index.html](http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K001210/index.html)

[http://www.qpn.kyushu-u.ac.jp/lab5/inde
x.html](http://www.qpn.kyushu-u.ac.jp/lab5/index.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

深田 智 (FUKADA SATOSHI)

九州大学・大学院総合理工学研究院・教授
研究者番号：50117230

(2) 研究分担者

片山 一成 (KATAYAMA KAZUNARI)

九州大学・大学院総合理工学研究院・助教
研究者番号：90380708

(3) 連携研究者

()

研究者番号：