



令和3年12月1日

報道機関 各位

東北大学流体科学研究所

水素エネルギーシステムの統合型安全管理技術を開発 － 水素エネルギーリスク科学の新展開 －

【発表のポイント】

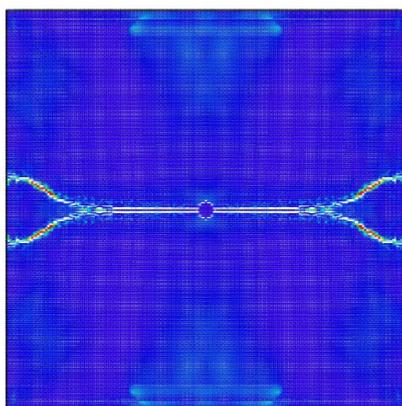
- 高圧水素タンクのマテリアル破壊から水素漏えい・拡散・着火燃焼に至るまでの一連の現象解明に関して、新型の連成解析^{注1}手法の開発に成功した。
- 水素脆化^{注2}に起因する初期円形欠陥からき裂進展した場合の反応性水素の漏えい特性が明らかとなった。
- 漏えい水素が着火した直後、火炎反応帯が下流側に移動せず、一時的に上流側に移動するという特異な反応性移流拡散挙動を発見した。

【概要】

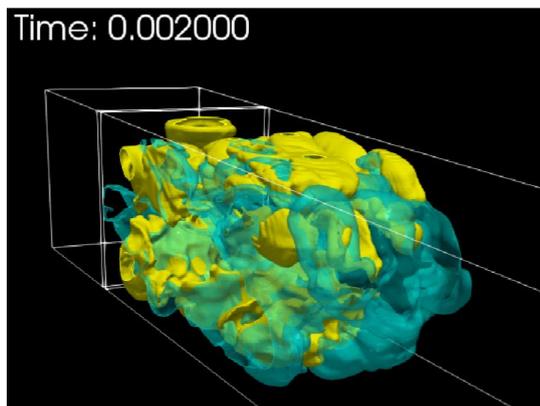
水素をエネルギーキャリアとして使用するにあたっては、十分な量のエネルギーを確保するために、水素ガスを圧縮した状態で輸送・貯蔵する必要があります。そして水素を高圧で充填する際の安全性を確保するためには、水素の可燃性限界や最小着火エネルギーなどを十分に考慮した水素ステーションの設計指針が必須であり、また、水素脆化や繰返し応力による材料劣化の影響を考慮した高圧水素タンクの設計が不可欠です。しかし、従来型の水素エネルギーシステムに関する研究では、流体・材料・反応側からのそれぞれ独立細分化された研究が主流であり、水素施設で何らかの欠陥や事故が発生した場合に起こりうる高圧貯蔵タンクや配管の破損現象に対して要請される異分野融合的研究アプローチは、重要性であるにもかかわらず、その複雑さゆえにほとんど行われていないのが現状です。

東北大学流体科学研究所の石本淳 教授らの研究グループは、高圧水素タンクの初期欠陥に起因するき裂伝ばにより破損した際の反応性水素ガス漏洩の拡散・燃焼現象を調べるために、異分野融合的研究アプローチによって材料構造と反応性乱流多相流を同時に解析する連成解析手法を開発しました。さらに、高圧タンク隔壁の亀裂伝播による破損で漏洩する水素の拡散流動特性と燃焼限界に関連する新しい数値予測手法を開発しました。本研究成果は、各種輸送機用水素貯蔵容器の設計や水素

ステーション構成の安全性指針策定・リスクマネジメントに貢献します。
本研究成果は、2021年11月19日付で学術誌“*International Journal of Hydrogen Energy*” On-line版に掲載されました。



Crack propagation by particle method



Instantaneous isosurfaces of H₂ mass fraction and OH mass fraction

図1 高圧水素タンク隔壁に発生したき裂伝ば挙動と着火を伴う反応性漏えい水素の拡散挙動

【関連動画】

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0360319921042245-mmcl.mp4>

【問い合わせ先】

<研究に関して>

東北大学流体科学研究所
附属未到エネルギー研究センター長
教授 石本 淳

Tel: 022-217-5271

E-mail: ishimoto@alba.ifs.tohoku.ac.jp

URL: <http://alba.ifs.tohoku.ac.jp/>

<報道に関して>

東北大学流体科学研究所 広報戦略室

Tel: 022-217-5873

E-mail: ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp

【詳細な説明】

（研究背景）

水素エネルギーの貯蔵・輸送に関わる安全管理技術の確立に際しては、従来型の単一の専門工学的知見に代わって総合科学的知見からなる異分野融合型の検討が必要です。このように、水素の熱流体力学的挙動と高圧タンク材料の変形・破壊力学的挙動を同時に扱う連成解析手法は、安全性の高い水素貯蔵施設・水素ステーション設備のデザインに貢献すると同時に、総合学術的にも非常に有用と考えられます。

（研究内容）

本研究では水素脆化に伴う高圧水素貯蔵タンク隔壁のき裂発生に伴う反応性水素ガスの漏えいメカニズム・拡散予測、着火燃焼現象を研究対象とし、材料（構造体）側のき裂成長と水素漏えい時における濃度拡散挙動ならびに化学反応を同時に扱う連成解析手法を開発した点に特色を有しています。具体的には、高圧水素タンク隔壁のき裂伝ばに付随して発生する反応性水素ガスの漏えいと着火燃焼現象を研究対象とし、材料の構造解析・流体解析と化学反応を同時に扱う連成解析手法を開発し、漏洩した水素の拡散挙動と燃焼限界を予測しました。本連成解析手法により、安全性の高い水素エネルギーシステムの設計が期待されます。

本研究により漏えい水素の着火燃焼により生じた火炎帯の挙動を解析した結果、着火直後に反応帯が下流側に移動せず、一時的に上流側に移動するという特異な反応性移流拡散挙動を示すことを発見しました。この現象は従来産総研が実施した漏洩水素の着火実験において確認されていたものの、はっきりとした原因は不明でしたが、本研究によりはじめてその物理化学的メカニズムが解明されました。

さらに、ダクト中心部の流路軸付近では、水素燃料が過剰となり燃焼反応が生じず、反応が進むにしがたい上下に分離する現象を見だし、漏洩した水素が空気成分である酸素や窒素に比べて流路外への拡散速度が速いため、中心軸付近の流路内燃焼プロセスが抑制されることを明らかにしました。

【付記】

本研究は科学研究費補助金(No. 15H03913) の支援を受けて行われました。

【論文情報】

Authors: Jun Ishimoto and Satoru Shimada

Title: Coupled computing for reactive hydrogen leakage phenomena with crack propagation in a pressure tank

Journal: *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021 (On-line)

DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.10.167

URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.167>

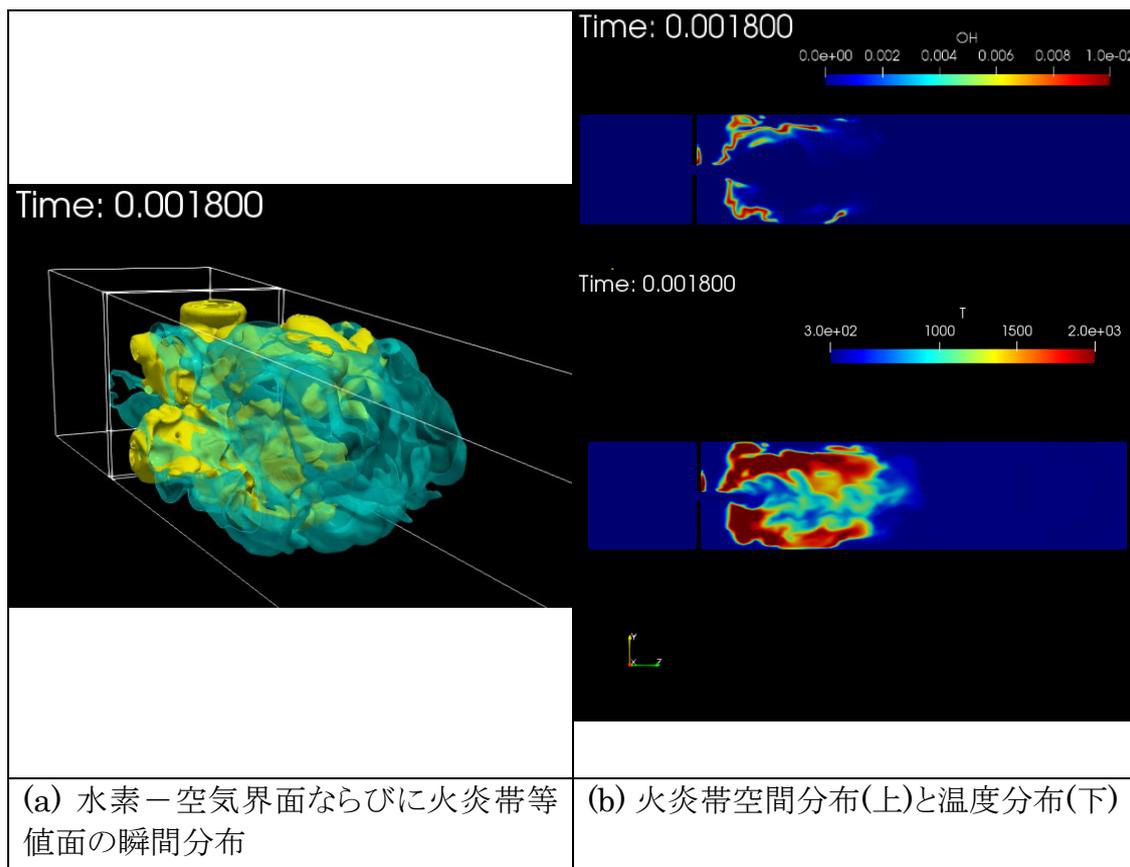


図 2 着火燃焼を伴う漏えい水素の移流拡散と火炎帯の移動挙動

【関連動画】

<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0360319921042245-mmcl.mp4>

(研究の意義・今後の展望)

再エネ水素利活用システムにおける水素貯蔵においては、多量の水素が貯蔵可能となる水素高密度化技術の開発が急務であり、これに伴う新しい安全管理技術の開発として、本研究の価値はますます重要性を増すと考えられます、また、将来的には水素漏えいに関する連成解析結果と運用中の水素ステーションにおける諸トラブル、事故事例に関する情報を収集し水素安全管理用データベースを構築するとともに深層学習を用いた安全性評価を実施し、高密度水素エネルギーリスク管理の基礎指針を得ることが可能になると考えられます。

【用語解説】

注 1. 連成解析:2つ以上の物理現象が相互に及ぼす影響を考慮した解析をすることを指します。本研究の場合、破壊力学・流体力学・化学反応の 3 つの物理化学現象の相互作用を考慮した解析となっています。

注 2. 水素脆化:水素原子が金属に吸蔵されることで、金属素材の靱性(じんせい:粘り強さ)が低下し、脆弱となる現象を指します。