

ラマンイメージングによる土中における導管損傷時の漏えい水素ガス拡散挙動の計測

杉本 幸代¹, 市川 祐嗣¹, 荻田 将一¹, 児玉 裕美¹, 星野 礼香¹,
朝日 一平¹, 上地 優², 寺田 敦彦², 日野 竜太郎²

¹ 四国総合研究所 (〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8)

² 日本原子力研究開発機構 (〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002 番地)

Measurement of leakage hydrogen gas diffusion behavior due to damage of buried pipe in soil by Raman imaging

Sachiyo SUGIMOTO¹, Yuji ICHIKAWA¹, Masakazu OGITA¹, Hiromi KODAMA¹, Ayako HOSHINO¹,
Ipppei ASAH¹, Yu KAMIJI², Atsuhiko TERADA², and Ryutaro HINO²

¹ Shikoku Research Institute Inc., 2109-8 Yashima-nishimachi, Takamatsu, Kagawa 761-0192

² Japan Atomic Energy Agency (JAEA), 4002 Narita-cho, Oarai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki 311-1393

Abstract: An experimental device was fabricated to investigate hydrogen gas behaviors leaked into a ground and flowed out to the atmosphere at an accident of small diameter break of buried hydrogen pipe. Hydrogen gas diffusion behaviors in the ground and in the atmosphere were clarified. Especially, special concentration distributions in the atmosphere were measured by using the Raman imaging method, whose measurement results were predicted well by the three dimensional CFD simulation.

Key Words: Raman imaging, Hydrogen, Buried pipe, Diffusion, CFD simulation

1. 序論

現在、水素エネルギーの利活用に向け様々な調査・検討・研究開発が実施されており¹⁾、2020年東京オリンピック・パラリンピックでは選手村の水素タウン化が予定されている。これを機に水素の実利用の加速化が期待される中、水素ガス導管供給に対して、使用部材等の安全性の調査等に加え、万一導管が損傷しガス漏えいが発生した場合の安全対策に資する知見・ノウハウの整備が急務となっている。

本研究では、水素導管供給システムを運用する際に、埋設導管損傷時における水素ガスに対する工作物の技術基準の整備に資することを目的とし、直径7mの土壌槽の深さ0.7mの位置に埋設した導管の小口径破断を模擬した条件で、漏えいした水素ガスの地中及び大気中の拡散挙動(水素濃度)を計測した。地中においては水素センサを多点埋設し、大気中においては地表面近傍の水素ガスをラマンイメージング手法による可視化画像から水素ガス濃度分布を明らかにした。また、水素拡散挙動の実験結果を基に、3次元CFDシミュレーション解析による再現性を評価した。

2. 水素ガス濃度分布計測

2.1 装置構成

本研究における試験装置の構成を Fig.1 に示す。直径7m、深さ0.85mの土壌槽中に、小口径破断を模擬した直径1mmのピンホールを有するSUS導管を深さ0.7mの位置に敷設した。土壌槽の周囲には、大気空間を模擬するため、幅8m、奥行8m、高さ2.5mの気密ブースを設置した。土壌槽には一般的な埋設土である真砂土を充填し、所定

の条件にて水素ガスを放出した。水素ガスの地中濃度分布は、気体熱伝導式ガスセンサを多点配置(27点)して計測した。

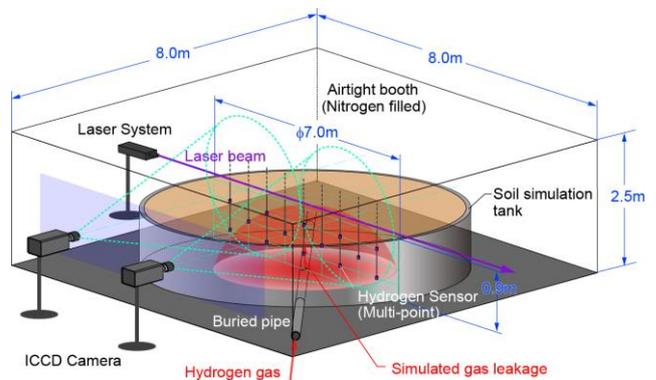


Fig.1 Experimental configuration of hydrogen diffusion behavior measurement.

地表に湧き出る水素ガスの濃度分布は、当社にて開発を行ってきたガス可視化技術³⁾を用いて計測した。気密ブース壁面に施工した石英窓を介し、土壌槽の中心を通る土壌表層から20mmの位置にレーザー光(波長355nm、パルスエネルギー80mJ、PRF30Hz)を照射し、レーザー光と水素ガスの相互作用により発生するラマン散乱光(416nm)²⁾を、ICCDカメラにより撮像した。カメラレンズには、ラマン分光用エッジフィルタ(OD値>6 at 355nm)及びバンドパスフィルタ(中心波長415nm、FWHM10nm)を装着し、水素ガスのラマン散乱光を選択的に受光した。

2.2 水素ガス濃度分布計測結果

Fig.2 に水素ガス供給圧力を7.5kPaとして放出

させた際の地中水素ガス濃度の経時変化を示す。放出開始から 100min までの間は放出口及びその周辺の水素ガス濃度が急激に上昇するが、100min 以降においては緩やかに濃度上昇した。また、地中における水素ガスの広がりほぼ同心円状の拡散挙動を示すことが確認された。

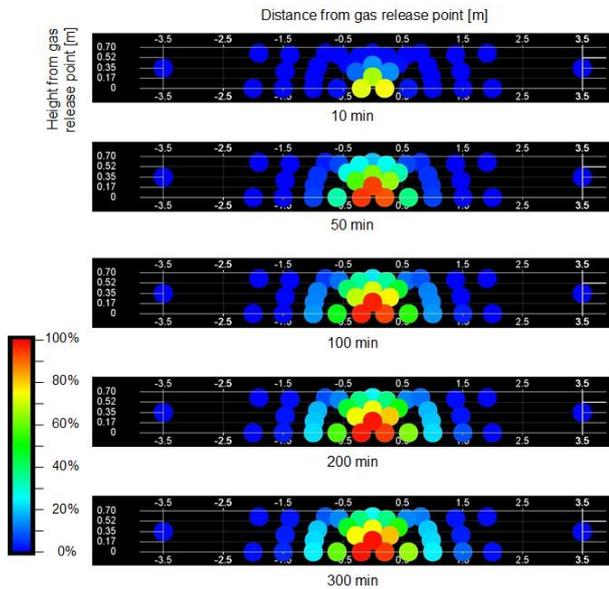


Fig.2 Time course of underground hydrogen gas concentration.

Fig.3 に、水素ガス供給圧力を 7.5kPa として放出させた際の大気中水素濃度分布の経時変化の可視画像と空間濃度分布を示す。Fig.3 に示したラマンイメージは、視認性を良くするために鉛直方向のみ約 55 倍に拡大して表示している。水素ガス濃度は放出口直上において最も高く、中心から離れるに従って正規分布状に低下した。本実験条件の範囲内では、放出口直上の地表面付近における水素ガス濃度は 1~2% で推移し、爆発下限値である 4% には至らなかった。

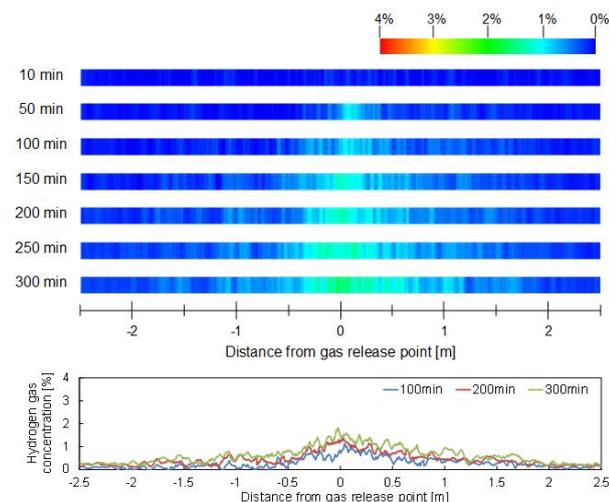


Fig.3 Visualization image and spatial concentration distribution of temporal change in hydrogen concentration distribution in the atmosphere.

3. シミュレーション解析と再現性評価

地中及び大気中における水素拡散挙動について、前節で示した水素濃度分布計測試験における実験条件にて 3 次元数値流体 (CFD) シミュレーションを実施し、ラマンイメージング計測結果と比較して再現性を評価した。シミュレーションは汎用コード FLUENT に当社にて実施した計測データ (透気係数, 拡散係数) を組み込んで行った。

Fig.3 に供給圧力 7.5kPa の場合の大気中水素拡散挙動のラマンイメージング計測結果とシミュレーション解析結果を示す。シミュレーション解析結果はラマンイメージング計測結果と概ね一致しており、地中において水素ガス漏えいが発生した際に、大気中に拡散する水素ガスの挙動をシミュレーション解析で再現可能であることを確認した。

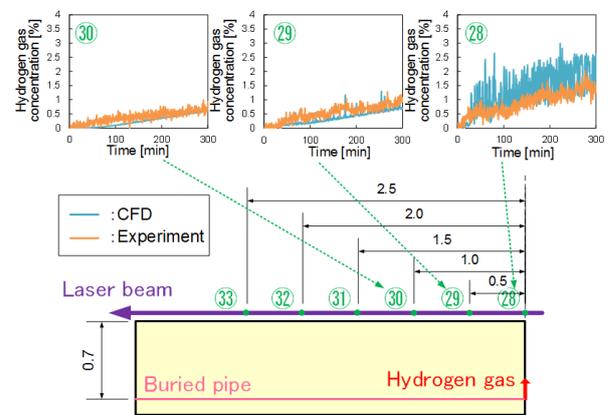


Fig.3 Comparison between experiment of hydrogen diffusion behavior in the atmosphere and simulation analysis.

4. まとめ

実験において地中内を拡散して地表に湧き出た大気中の水素ガス濃度分布が良好に計測され、とくに、ラマンイメージングによる大気中の水素ガス濃度分布計測結果によりシミュレーション解析で水素ガス拡散挙動が概ね良好に再現できることを確認した。

謝 辞

本研究開発の一部は、経済産業省平成 29 年度水素導管供給システムの安全性評価事業の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議：水素基本戦略 (2016)
- 2) R. M. Measures: *Laser Remote Sensing* (John Wiley and Sons, New York, 1984) p.108
- 3) 朝日 一平 他：四国電力，四国総合研究所 研究期報 No.96 (2011) pp.47-55