特 集 論 文

水素エネルギー利用における安全性評価技術の開発

Introduction of Technology for Assessment on Hydrogen Safety

岡林一木[*1] Kazuki Okabayashi
武野計二[*2] Keiji Takeno
平嶋秀俊[*3] Hidetoshi Hirashima
千歳敬子[*4] Keiko Chitose
野中 剛[*5] Tsuyoshi Nonaka
橋口和明[*6] Kazuaki Hashiguchi

1. はじめに

近年，地球規模の環境問題として，CO_2 による温暖化が問題視され，京都議定書による CO_2 排出量の削減が義務付けられる一方，局地的な環境問題としては自動車排出ガス等による沿道汚染など，深刻な問題として取り上げられている．一方で，化石燃料の枯渇など将来のエネルギー問題も懸念されており，これらの解決策として，クリーンな水素エネルギーの利用が期待されている．しかし，水素は広い可燃範囲を有するガスであり，その導入に当たっては，十分な安全性の検討が必要である．既に，将来需要の期待される燃料電池自動車の普及を図るためのインフラ整備として，特に安全性確保が重要である水素ステーションの市街地導入を促進すべく，2005 年に一部規制見直しがなされ，現在も更なる見直しのための取組みが行われている[(1)]．これまで，当社はこの規制見直しのためのデータ取得へ関係機関とともにかかわってきており[(2)]，ここでは，水素安全性評価への取組み状況と，これを支える当社要素技術の紹介を行う．

2. 高圧水素ガスの安全性検討

水素の安全性を検討する上では，漏洩時の拡散濃度範囲，着火時の火炎形成及び爆風圧の予測が重要である．そこで，水素ステーションにおける代表的な 2 つの事故シナリオ（配管等の微小亀裂からの定常ピンホール漏洩と配管破断等の非定常大漏洩）において，漏洩後の水素の拡散・爆発挙動に関する調査を，野

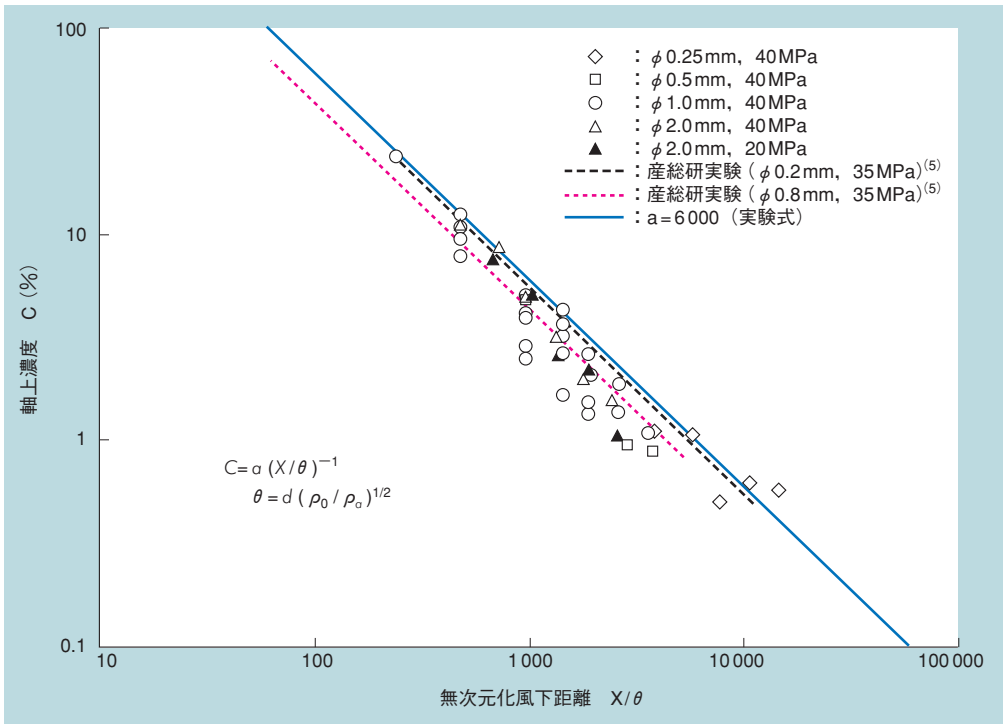

図 1　噴出方向への濃度分布
放出口からの無次元化距離に対する濃度の減衰を示す（θ：等価口径，ρa：大気密度，ρ0：出口密度）．

[*1] 技術本部長崎研究所流体研究室主席 工博
[*2] 技術本部長崎研究所燃焼·伝熱研究室主席 工博
[*3] 名古屋航空宇宙システム製作所宇宙機器技術部試験・運用課長
[*4] 原子力事業本部原子力技術センター原子炉安全技術部安全審査統括グループ
[*5] 技術本部長崎研究所流体研究室実験チーム
[*6] 技術本部長崎研究所燃焼・伝熱研究室実験チーム

外拡散爆発実験と数値シミュレーションにより実施した．一般には，野外実験場所は，当社のロケット開発で多数の実績を有する秋田県田代試験場（ロケット燃焼試験場）を利用して実施した．これにより，以下に示す有益なデータを得るとともに，その実験データを用いて，種々の条件へ適用可能な汎用化のための数値シミュレーション開発を行ってきた．

2．1　拡 散 濃 度

直径 0.25 mm ～ 2 mm のピンホールからの定常漏洩を対象に，弱風時（約 1 m/s 以下）を対象に野外実験を実施した．なお，実験装置は，40 MPa の水素ガスを大気中に噴出できるよう，65 MPa まで水素ガスを昇圧し，50 L × 5 本の高圧容器に貯槽できる仕様とした[3]．実験結果は，軸上濃度 C の噴出方向（距離 X）変化として図 1 にまとめ，実験式も記載した[4]．この際，産総研で実施の既存データ[5]も併記した．図 1 より，濃度の拡散範囲は，評価濃度を決めれば，口径 d と密度 ρ（圧力 P）を与えて噴出方向距離 X を算出することで求めることができ，実用上有用な実験式（定数 a = 6 000）を得ることができた．ただし，ノズル部の圧損を考慮すれば，定数 a = 6 400 とすることが望ましい[4]．

2．2　高圧噴流火炎

口径 0.12 mm ～ 10 mm の条件で，水平方向に噴出した水素ガスの火炎長 Lf に関して実験データを整理した結果を，実験式とともに図 2 に示す[6]．チョーク条件を超えた圧力 P ＞ 0.3 MPa では，火炎長 Lf は口径 d に比例し，また圧力のほぼ 0.5 乗で増加することが確かめられた．これにより，火炎が形成された場合の火炎長を予測することができる．なお，噴出方向を上向き 45 度から垂直上方に変えても火炎長は変化せず，浮力の影響は認められなかった．また，保炎範囲

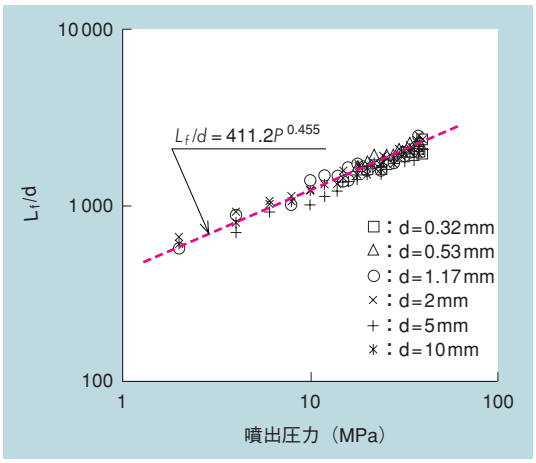

図 2　口径と圧力による火炎長変化
口径と圧力によって，火炎長を予測できることを示す．

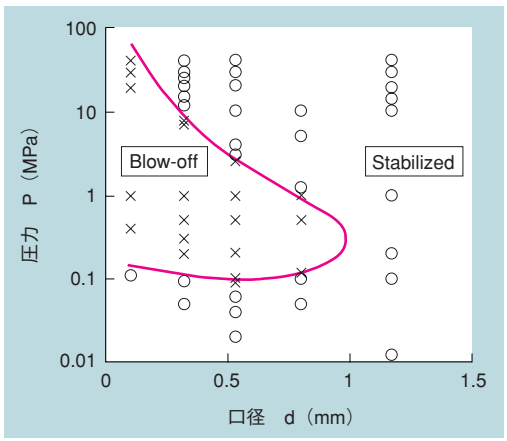

図 3　保炎範囲の圧力と口径への依存性
着火源が存在しても，圧力と口径によっては保炎しない範囲のあることを示す．

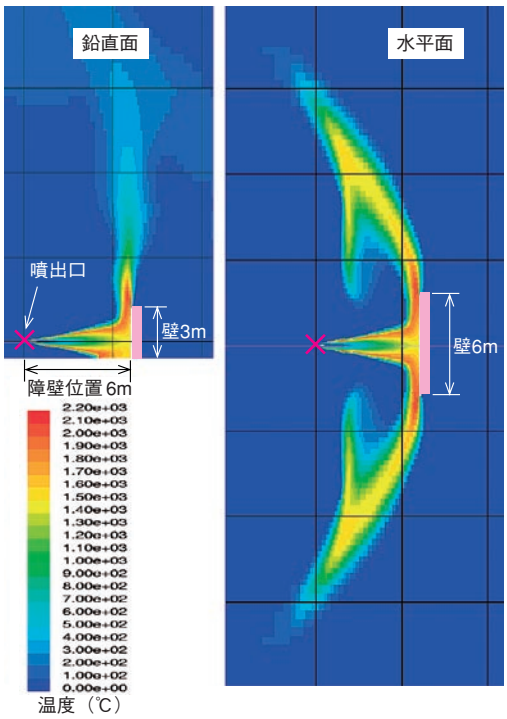

図 4　火炎に対する障壁効果
障壁位置 6 m における放出圧力 40 MPa，口径 10 mm φでの数値シミュレーションによる温度分布を示す．

の噴出口径及び圧力への依存性を図 3 に示す．仮に，着火源が存在したとしても，保炎しない範囲があることを示しており，これらは安全性の検討の上で，参考となる重要なデータである．さらに，火炎に関する数値シミュレーションを実施した．図 4 に障壁効果を検討した結果を示すが，火炎は障壁により完全に遮られ，後方へは影響を与えておらず，安全対策として非常に有効であることが確認できる．

2．3　爆風圧

着火直前の拡散濃度場を数値シミュレーションを用いて求め，それを初期条件として爆風圧の予測を行っ

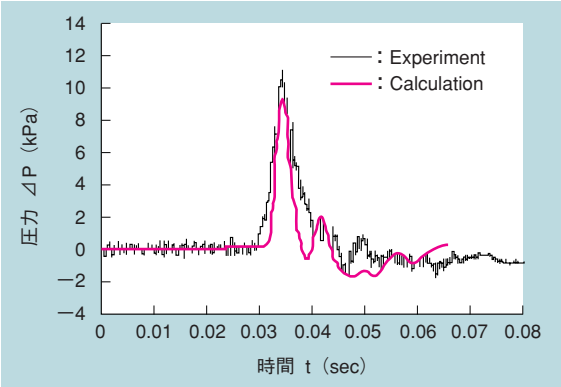

図５　爆風圧波形の実験値と計算値の比較
放出圧力 40 MPa，口径 10 mm φ，着火タイミング 5 sec の結果を示す．

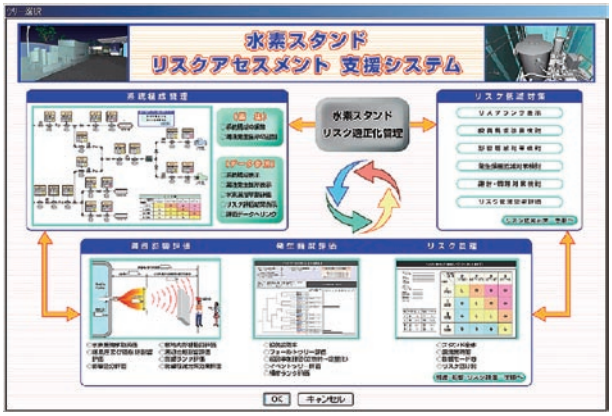

図６　リスクアセスメント支援システム
起動時の初期画面を示す．

た結果を，実験データと併せて図５に示す．両者はよく一致しており，適切な乱流火炎モデルを採用することにより，数値シミュレーションを用いて爆風圧をかなり精度よく予測できることがわかる．

3. リスクアセスメント支援システムの開発

原子力プラントを対象にして実施してきたリスク評価技術と，前述の水素の拡散爆発挙動に関する実験データ及びシミュレーション結果を統合し，水素スタンドリスクアセスメント支援システムの枠組み（系統構成管理機能，漏洩影響評価機能，発生頻度評価機能，リスク管理機能等）を構築した．現在プロトタイプモデルを作成中であり，システムの初期画面を図６に示す．今後は，試運用を経て，本支援ツールからハザード分析情報及び定量的リスク予測情報を提供することにより，リスク評価の専門家でなくても，合理的なリスク分析と安全対策の検討が可能となるシステムとしてゆく予定である．

4. ま　と　め

これまで当社内で培ってきた実験技術と計算技術を，水素ステーション導入に向けた規制見直しのための安全性評価データの取得に適用しながら，その技術検証を行ってきた．水素以外にも可燃性ガスや有害ガスなどを取り扱う数多くの製品があり，今後は，それらの更なる安全性向上のための検討ツールとして，多方面で利用されることが期待される．

ここで紹介した内容は，(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受け，“水素安全利用等基盤技術開発”の一環として実施されたものであり，ご指導・ご支援いただいた NEDO，(財)石油産業活性化センター，並びに(財)エネルギー総合工学研究所の方々に感謝の意を表します．

参　考　文　献

(1) 丸林啓太, 水素社会の実現に向けた政府の取組み, 安全工学　Vol.44 No.6（2005）p.364
(2) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，水素安全利用等基盤技術開発—水素インフラに関する研究開発—水素インフラに関する安全技術研究，平成 15 ～ 16 年度成果報告書（2005）p.10
(3) 武野計二ほか，高圧水素ガス漏洩時の拡散爆発現象について，水素エネルギーシステム　Vol.30 No.2（2005）p.78
(4) 岡林一木ほか，高圧水素ガスの漏洩拡散，安全工学　Vol.44 No.6（2005）p.391
(5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構，水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET) 第 II 期研究開発　タスク２　安全対策に関する調査･研究, 平成 14 年度成果報告書（2003）p.277
(6) 武野計二ほか，高圧水素噴流への着火爆発及び拡散火炎に関する研究，安全工学　Vol.44 No.6（2005）p.398

岡林一木

武野計二

平嶋秀俊

千歳敬子

野中剛

橋口和明