

平成 31 年 4 月 30 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：高速道路における燃料電池自動車事故に対する緊急対応策の提案

研究代表者： 東京大学環境安全本部 助教 中山 穰

共同研究者： 東京大学工学系研究科 准教授 茂木 俊夫

共同研究者： 横浜国立大学環境情報研究院 助教 伊里 友一朗

共同研究者： 横浜国立大学先端科学高等研究院 教授 三宅 淳巳

はじめに

水素社会の実現に向け、燃料電池自動車（以下、FCV）や水素ステーション等の開発および本研究が着目する安全性検討は盛んに実施されてきた。その結果、FCV や水素ステーションの実用化に至り、さらには水素・燃料電池戦略ロードマップ[1]において、FCV については低価格化を図ることにより、2025 年には 20 万台、2030 年には 80 万台の普及を目標としている。また、水素ステーションについても、2025 年には 320 箇所、2030 年に 900 箇所相当の普及を目標としており、そのような将来像に基づけば、今後高速道路を利用する FCV の通行台数は増加することが見込まれる。したがって、高速道路における FCV が関わる事故が今後発生する可能性は高くなると考えられる。

1. 研究の目的

本研究は、高速道路における FCV の事故リスクを分析し、緊急対応に資するリスク対応策を提案することを目的とした。

2. 研究の方法

本研究におけるリスク分析は①ステークホルダーの特定、②各ステークホルダーのリスク特定、③事故進展シナリオの特定、④火災爆発シミュレーションおよび Geographic Information System（以下、GIS）を活用した影響度解析から構成され、最終的に⑤緊急対応策の提案を行った。

3. 研究の結果と考察

本研究は、高速道路における FCV 事故発生時の対応を検討することを目的としているため、ステークホルダーの範囲を限定的に扱った。その範囲は、事故の発生から復旧までに関わるステークホルダーとした。まず、FCV 運転手および同乗者（以下、FCV 運転者等）、その他自動車の運転手および同乗者をステークホルダーとして定めた。次に事故時等の高速道路上の状況を想定した場合、NEXCO 担当者が対応することが考えられたため、パトロール隊および道路管制センターを対象とした。また事故発生時には、消防隊員や警察官、レッカー業者も対応することが見込まれた。

各ステークホルダーのリスク特定に関して、ステークホルダーの目的は高速道路を活用して目的地に向かうこと、高速道路機能の維持、高速道路利用者の安全が挙げられた。それらの目的に対するネガティブなリスクとしては、高速道路における事故および交通渋滞が代表的な事象として挙げられた。したがって、事故および交通渋滞に寄与する事象を分析した。

事故進展シナリオの特定に関して、FCV が単独で起こす事故（単独事故）と FCV およびその他の自動車に関わる事故（複数台事故）にシナリオを大別し、FCV 事故が発生した後の事象の進展について分析を行った。なお、FCV 事故が発生する原因については、ガソリン自動車と同様として扱うことができると考えられたため、本研究では対象外とした。単独事故が発生した場合の事故進展シナリオを図-1 に示す。FCV 事故の発生後、作動の可能性は極めて低いものの、熱作動式安全弁（溶栓弁：作動温度約 110 °C）が作動した場合、直後着火、または遅れ着火の有無により、①ジェット火災、②爆発、③拡散が発生すると考

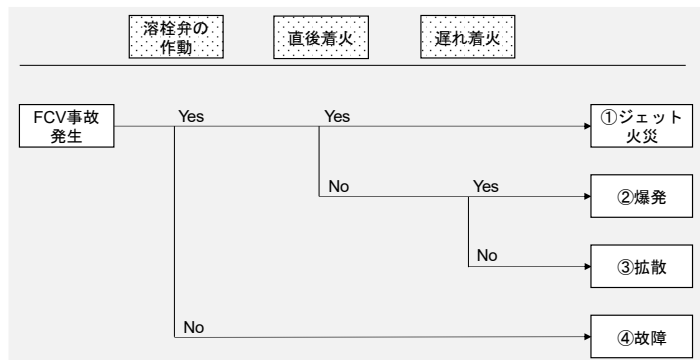


図-1 単独事故の場合の事故進展シナリオ

場合、直後着火、または遅れ着火の有無により、①ジェット火災、②爆発、③拡散が発生すると考

えられた。溶栓弁が作動しない場合には、FCV の故障となると考えられた。

事故進展シナリオに基づいた火災爆発シミュレーションに関して、DNV GL 社の Phast 7.22 を用いて水素のジェット火災、爆発および拡散について計算した（株式会社エス・アイ・エルの協力）。シミュレーション条件は、種々の条件を想定したが、本資料では次の条件にて計算した。Pressure vessel の Leak モデルを採用し、水素貯蔵量は 122.4 L とした。水素の温度は 0 °C とし。溶栓弁の直径を 4.2 mm、高さ 0.4 m の位置から水平方向への放出を対象とした。なお、放出方向を水平とした理由は、当該ソフトウェアの仕様の問題であり、本来の放出方向である斜め下方向の放出を考慮できなかったためである。風速や大気安定度については、最も安定しているモデル F を選択した。シミュレーション結果の代表例として、水素のジェット火災の結果を図-2 に示す。水素のジェット火災の影響に関して、放出方向へ輻射熱 37.5 kW/m² は約 10 m、12.5 kW/m² は約 11 m、4 kW/m² は約 12 m まで到達した。輻射熱 37.5 kW/m² で機器が故障すると言われているため[2]、FCV 事故車の近接に停車した自動車は重大な影響が見込まれ、また付近の植木等に延焼する恐れもある。また水素の爆発に関しては、ワーストケースの場合の爆風圧として、放出地点から 50 m 程度離れた箇所まで爆発が発生し、爆風圧 20.7 kPa および 13.8 kPa 到達距離は半径 10 m 程度の範囲で

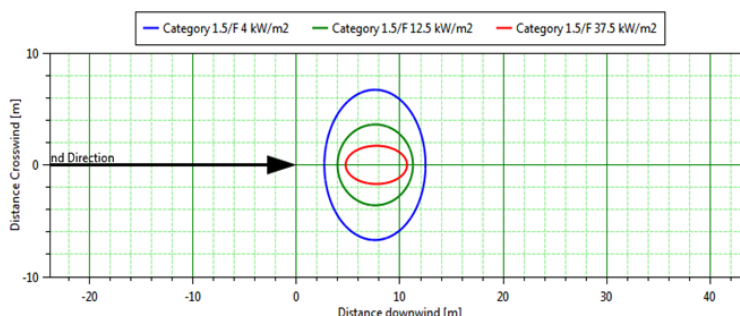


図-2 FCV の溶栓弁が作動した場合の水素のジェット火災

影響を及ぼすことがわかった。爆風圧 13.8 kPa は住宅の壁や屋根が部分損傷する程度の影響[2]を有していることから、人的被害だけではなく、高速道路内外の周辺構造物にも被害が発生すると考えられた。さらに水素の拡散では、放出源から放出方向へ約 30 m まで水素の燃焼下限界（4 %）が到達した。また、水素濃度 2 % は約 45 m、水素濃度 1 % は約 60 m まで到達した。図-3 には高速道路のある地点を放出源とした場合の水素濃度（内側から 4 %、2 %、1 %）を示す。図-3 より、高速道路にて FCV の溶栓弁が作動した場合には、高速道路上だけではなく、高速道路外に水素の燃焼範囲が形成される可能性があることがわかる。Google Map にて高さ方向を確認したところ、高速道路脇の遮音壁の高さが 1 m 程度と比較的低いところが散見され、水素放出の状態によっては周辺ビル等で水素の燃焼範囲が形成されることが示唆された。

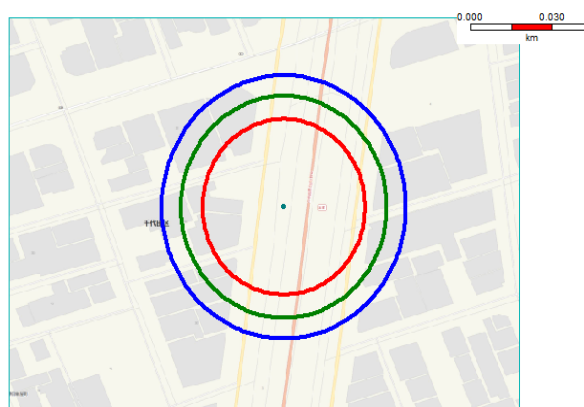


図-3 GIS を活用した高速道路上の水素濃度

以上の結果より、本資料では FCV 運転手等の緊急対応策を提案した。FCV 運転手等は、事故発生後に溶栓弁が作動した、または作動する恐れがある場合には、水素放出方向から逆方向へ避難する。その際、少なくとも 20 m 以上は FCV 事故車から離れる。ジェット火災等の各事象は溶栓弁の作動後 10 数秒程度で収束するため、可能であれば、自身の安全を確保しながら後続車の追突を避けるために発煙筒等で事故車の存在を後続車へ伝える。警察等へ通報する際には、FCV の事故であることを明確に伝え、緊急対応者が適切な装備を持参できるように情報提供し、万が一周辺の植木や建屋等に被害が拡大している、または拡大する恐れがある場合には、その旨を伝える。FCV 運転手等は、被害の最小化および復旧の迅速化に向けて、関係者と情報共有することが重要である。

4. まとめ

高速道路で発生する FCV の事故リスクを分析し、各ステークホルダーの緊急対応策を提案することを目的に、事故進展シナリオ分析や火災爆発シミュレーション等を実施した。その結果、シミュレーションにより事故の影響範囲を定量化し、FCV 運転手等や消防隊員等の緊急時対応に資するリスク対応策を提案した。

今後の課題として、FCV 事故リスクの定量化（事故の発生確率、事故進展シナリオの分岐確率、被害確率および渋滞コスト計算等）の算出が必要であると考えられた。また、FC バス等の次世代燃料電池車が高速道路を走行するリスクについても、同様に検討する必要がある。

参考文献

1. 経済産業省、水素・燃料電池戦略ロードマップ、2019年3月12日
2. Center for Chemical Process Safety, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis Second Edition, American Institute of Chemical Engineers, 2000