

水素爆発減災システムの開発

1. はじめに

2011年3月、福島第一原子力発電所建屋の水素爆発により、建屋が破壊され、放射性物質が広領域に拡散し、長期にわたる甚大災害となった。原子炉の冷却システムが機能しなくなれば、水素ガスの発生は避けられない。全電源を喪失し、地震や津波によるダメージが残る状況での現場対応は極めて困難である。水素は爆発危険度の最上位にある燃料であり、福島の事故でも複数の建屋で次々と爆発が起きた。したがって、フィルターベンチレーション等の水素爆発予防策だけでは不十分であり、水素爆発の発生を想定した「減災」の観点からのアプローチが必要である。

ここでは、経済産業省資源エネルギー庁「発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業（水素安全対策高度化）」（平成24～27年度）の一環として、名古屋大学、（独）労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所、芝浦工業大学が共同で実施した水素爆発減災システムの開発について紹介する。

2. 水素爆発事故減災システムの概要

減災システム⁽¹⁾⁽²⁾の概念図を図1に示す。本システムは、建屋内を燃え広がる火炎によって押し出される未燃混合気を捕集するエアバッグと、火炎をエアバッグ内に侵入させないようにするための消炎素子（フレームアレスタ）から成り、建屋の天井と側壁の複数個所に設置する。体積膨張の影響をエアバッグに逃がし、建屋内の圧力上昇を抑制して、建屋の破壊を防止し内部機器の被害を低減する。さらに爆発ガスをエアバッグに捕集することで、放射性物質の広域拡散を防ぎ、甚大被害を防止する。また、水素燃焼によって生成した水蒸気は急速に凝縮するため、建屋内部は負圧になり、いったんエアバッグに捕集された未燃混合気は建屋内部に引き戻され、緩やかに反応する。このため、建屋内部は酸欠状態となり、二次爆発が防止できる。

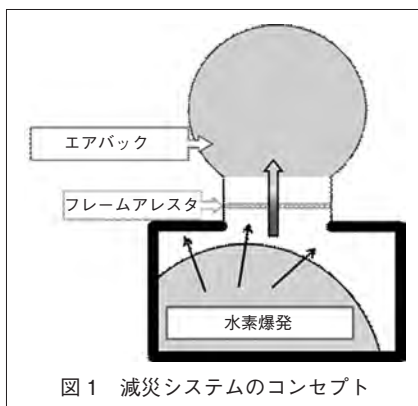


図1 減災システムのコンセプト

減災システムの開発において、エアバッグに捕集した未燃混合気の爆発を確実に防止することが必須であり、消炎装置の確実な作動が要求される。配管内に用いられる消炎装置に関する規格（ISO 16852）⁽³⁾によれば、理論混合比付近の水素-空気混合気は最も消炎が難しいグループ（最大安全隙間MESGが0.5mm未満のグループIIC）に分類される。配管用としては、焼結金属やクリンプリボンが市販されているが、原子力発電所に対応した減災システムでは建屋壁面に大面積の消炎装置が必要となるため、コストや施工のしやすさを考え、ステンレス製細孔金網を10～20枚重ねたものを採用した。

3. 野外実験での実証

減災システムの性能を評価するために、実験室の小型実験から容積数立方メートルの野外実験までを実施した。一辺2m、容積8m³の立方体容器を用いた検証まで完了しており、エアバッグの動作と伝播火炎の消炎により、圧力上昇が大きく抑制され、当初の期待どおりの作動を確認した。密閉容器内に大気圧の水素-空気混合気を理論混合比で充填し、着火させると7～8気圧程度の圧力上昇となるが、この減災システムでは、数kPaから数十kPaまでに抑制できた。

図2は、上面に減災装置を取り付けた1m³の立方体容器である。容器内部に充填した水素-空気混合気を電気火花点火し、火炎伝播、エアバッグの挙動、圧力上昇を計測した。図3は、

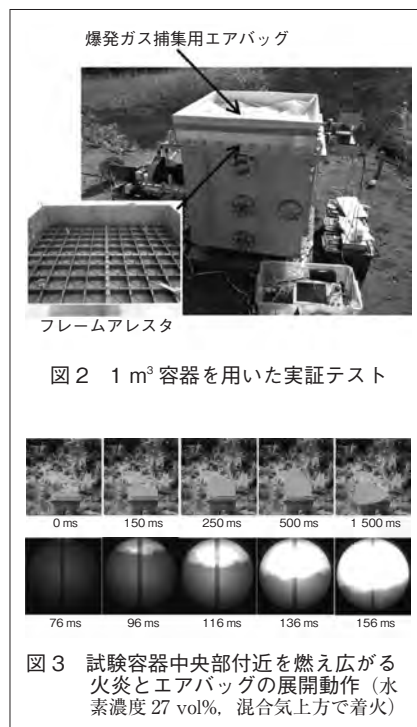


図2 1 m³容器を用いた実証テスト

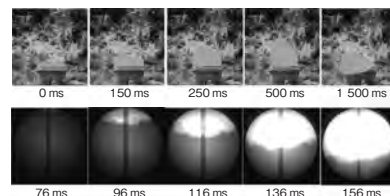


図3 試験容器中央部付近を燃え広がる火炎とエアバッグの展開動作（水素濃度27 vol%，混合気上方で着火）

エアバッグが展開して爆発ガスを捕集し、火炎が細孔金網によって消炎され、容器内の爆発圧力が1.6 kPa程度まで抑制された例である。

4. おわりに

以上、原子力発電所における水素爆発減災システムの開発を紹介した。実スケールを考えると、さらにスケールアップした場合にどのようなスケール効果が出てくるかなどの検討課題が残されているが、減災システムのコンセプト自体は有効であると考えている。実用化に向け、さらなる開発を進めていきたい。なお、この減災システムは反応容器や乾燥機等でも有効であり、他分野への応用も期待できる。

（原稿受付 2016年5月26日）

〔斎藤寛泰 芝浦工業大学〕

●文献

- (1) 吉川典彦・大塚輝人・斎藤寛泰・菅野望・大澤洋介・栗原さゆり・平田将大・櫻木健二・高梨成次, 水素爆発減災システムの基本設計と基礎実験, 安全工学, 54-2 (2015), 122-130.
- (2) 水素爆発減災システムの開発 <http://yoskexp-safety.jp/>
- (3) International Standard, "Flame arresters - Performance requirements, test method and limits for use", ISO 16852: 2008, (2008), p.10.