

# 銀ゼオライトを用いた高除染性フィルターベントシステムの開発 Development of High Efficiency Filtered Containment Venting System by using AgX

北海道大学 奈良林 直 Tadashi NARABAYASHI Member  
 日立 GE 藤井 康弘 Yasuhiro FUJII  
 東北大学(院) 石井 翼 Tasuku ISHII  
 北海道大学 千葉 豪 Go CHIBA  
 北海道大学 辻 雅司 Masashi TSUJI

Fukushima Daiichi NPP accident would be terminated, if sufficient accident countermeasures, such as water proof door, mobile power, etc. In case of Europe, it had already installed the heat removal system and filtered containment venting system (FCVS) from the lessons of TMI and Chernobyl Accidents. Decay heat removal system and CV spray cooling system with FCVS are ensured by using mobile generators and heat exchangers to keep the ultimate heat sink even in any natural disaster, such as large earthquake, big tsunami, sudden flooding etc. In this paper we introduce high decontamination factor FCVS that used Silver Zeolite named AgX, developed by Rasa Industries, Ltd. Hokkaido University has tested wet type FCVS using venturi scrubber in water pool and dry type FCVS using metallic fiber filter for 1st stage, and AgX for 2nd stage. Since the AgX needs super heat steam, it is possible to heat up steam by heat exchanger. It is confirmed by TRAC analysis.

**Keywords:** Filtered Venting System, Severe Accidents, Silver Zeolite, Venturi Scrubber, metallic fiber filter

## 1. 緒言

2011年(平成23年)3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波により、福島第一原子力発電所が炉心溶融を伴う過酷事故を起こし、大量の放射性物質が飛散し周辺環境に甚大な影響を及ぼす事態となった。これを踏まえ、新規制基準では、国内全ての原子力発電所に格納容器フィルタードベントシステム(FCVS)を設置することになったが、FCVSに関する公開文献は限られており詳細情報は公開されていない。またヨーロッパで導入されている既存のFCVSは有機ヨウ素に対する分離係数が50程度と低く改善の余地がある。そこで北海道大学では、既存のFCVSの性能把握と更なる改良のため、可視化模擬実験・TRACコードを用いた二相流解析を実施してFCVSに関する基礎的な特性を把握することと、更に有機ヨウ素に対して高い分離係数(DF)を有する銀ゼオライト(AgX)を使用し、より高性能なFCVSの開発を実施している。

## 2. 湿式フィルター付きベント基礎実験

蒸気やフィルターの内部挙動を把握するためポリカーボネート製の可視化装置を用いて実験を行った。実験装置の略図を図1に示す。装置稼働から定常状態に至るまでの内部挙動の観察した。観察の結果、ガイセリングや振動といった不安定挙動や、気液対向流制限(CCFL)などを確認した。また装置下部に取り付けたベンチュリノズルや多孔管ノズル

から蒸気を水中に噴出させスクラビングさせた。生成される気泡をストロボとカメラを使用し撮影した。ベンチュリノズルに関しては、絞り比や吸口断面を変えたものを複数用意し比較した。撮影した画像より気泡径を測定し、各ノズルにより生成される気泡径の分布を求め検証した。その結果の一部を図2に示す。ベンチュリノズル、多孔管ノズルにより生成された気泡を比較した結果、ベンチュリノズル(絞り比 $\beta=0.6$ )によって生成された気泡の径は、定常状態時ノズル近傍で直径0.2mmの気泡が最も頻度が高く最大気泡径は3.9mmである(図3)のに対し、多孔管ノズルによって生成された気泡径は0.3~0.4mmが最も頻度が高く最大気泡径は4.3mmであった(図4)。エアロゾル粒子を水中に移行させるには気液二相流の界面積を大きくする必要があり、気泡を微細化するか、微細な水滴を生成する必要がある。実験からは、ベンチュリノズルによる蒸気噴流中への微細液滴混入方式の方が有利であった。

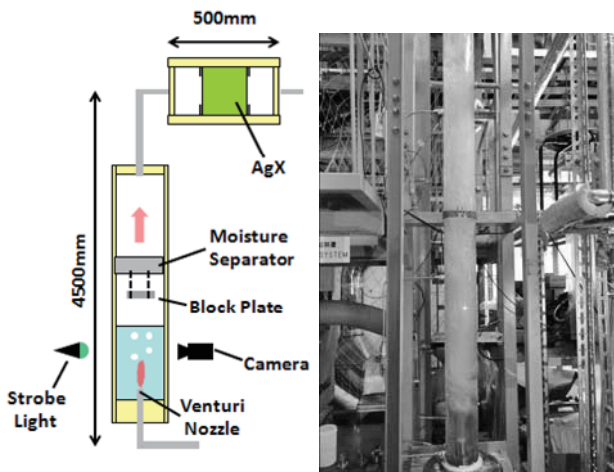


Fig.1 Schematic of FCVS experimental facility

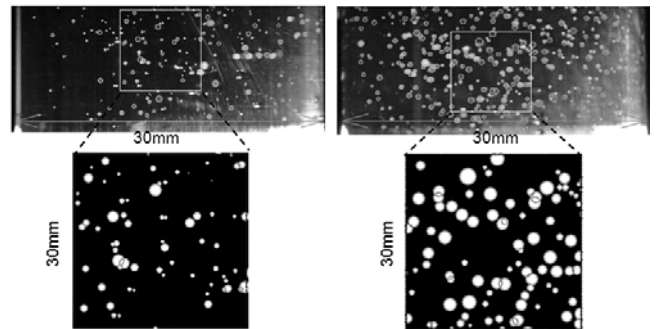


Fig.2 Comparison of the bubbles diameter (Left: Venturi Nozzle, Right: Porous Nozzle)

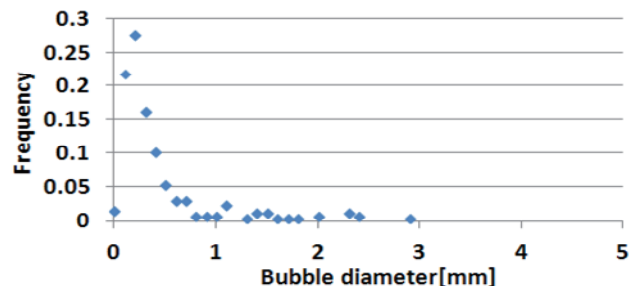


Fig.3 Bubble size distribution (Venturi Nozzle)

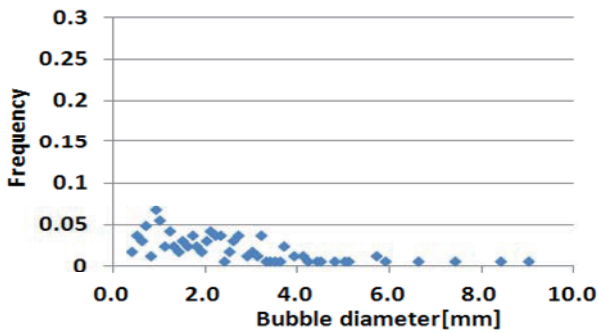


Fig.4 Bubble size distribution (Multi hole Pipe)

次に AgX の耐久性を検証するため、0.10MPa の蒸気を装置に供給し水中でスクラビングさせた蒸気を AgX に累積 10 時間流し 1 時間毎にサンプリングした。走査型電子顕微鏡 (SEM) を使用しサンプリングした AgX の表面観察を行った。観察結果の一部を図 5 に示す。観察の結果、事故時に想定されるベント実施期間において AgX は耐久性を有することを確認した。

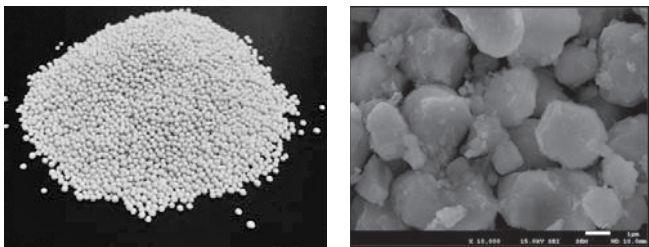


Fig.5 Agx particles and its steam aging SEM image

### 3. TRAC 解析

AgX は表面に水膜が形成されると DF が低下することから、過熱蒸気を供給する必要がある。事故時には全電源喪失によりヒーターなどは使用できない事が考えられ、オリフィスやスクラビング前の蒸気を一部抽気した熱交換器により過熱蒸気を生成する構成とした。また崩壊熱も過熱蒸気生成に寄与すると考えられるが、保守的に崩壊熱を無視した。図 6 に示す TRAC コードによる解析を行い、AgX 部に過熱蒸気を供給できるかどうか検証した。解析結果の一部を図 7 に示す。解析の結果、オリフィス+15A 長さ 80cm の伝熱管によって 7.9°C の過熱度を持つ過熱蒸気が生成されることを確認した。崩壊熱による発熱は、配管内やベンチュリノズル内部で過熱蒸気生成に寄与するものの、水中に噴出すると飽和温度まで低下することが確認された。

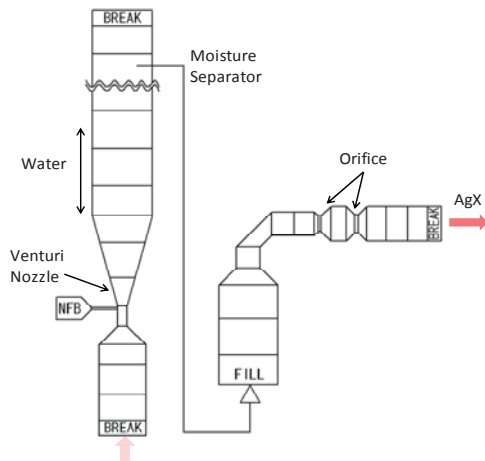


Fig.6 Analytical model

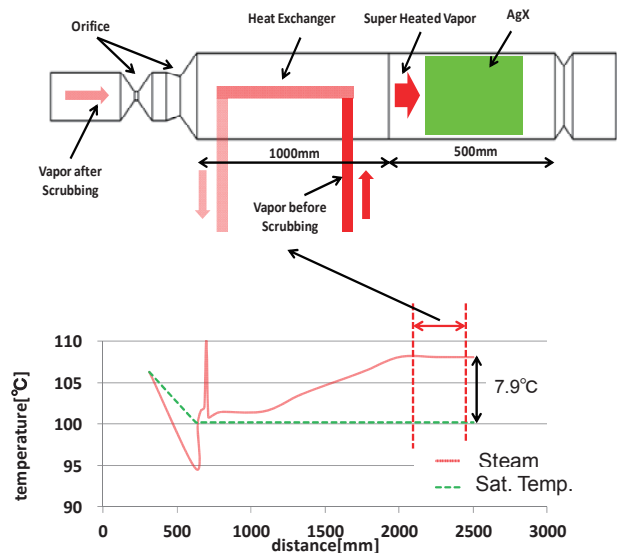


Fig.7 Temperature distribution before AgX module

### 4. 可視化試験

ベンチュリスクラバーとメタルフィルターの基本メカニズムを確認するために図 8 (a) (b) に示す可視化試験を実施した。ディフレクター付きベンチュリスクラバーは、ミキシング効果が大きく、しかも水面が安定している。また、乾式のメタルフィルターは、エアロゾルを模擬した直径数  $\mu\text{m}$  の硫酸バリウム粉末を多量に投入しても、出口には 1 粒も出てこないほどの驚異的な DF を有することが分かった。



(a) Modified venturi scrubber (b) Metallic fiber filter  
Fig.8 Fundamental visualized tests for wet and dry filter

### 5. 結論

実験により不安定挙動や CCFL の発生を確認するとともに、各ノズルで生成される気泡径の分布を得た。また、AgX に 10 時間蒸気を供給し SEM による観察結果から AgX の耐久性を確認した。更に、AgX の DF を向上させるため、オリフィスや抽気加熱伝熱管を考慮した体系で TRAC 解析を行い、過熱蒸気の生成を確認した。

### 参考文献

- (1) 奈良林直, 杉山憲一. 「東日本大震災に伴う原子力発電所の事故と災害 福島第一原子力発電所の事故の要因分析と教訓」 原子力学会誌「アトモス」, vol.53, No.6, (2011), PP.387-400.
- (2) 奈良林ら, 過酷事故緩和に対する深層防護の強化の提案 (2) フィルター付ベントシステムの基礎試験, G40, 原子力学会春の年会(2012).