

フィルタベント性能評価のための基盤技術の開発と活用

Development of technical basis for filtered containment venting system and its utilization

電中研	金井 大造	Taizo KANAI	会員
電中研	古谷 正裕	Masahiro FURUYA	非会員
電中研	西 義久	Yoshihisa NISHI	非会員
電中研	西村 聡	Satoshi NISHIMURA	非会員

Abstract: When an excess pressure and temperature are added to a containment vessel (CV) of a nuclear power plant (NPP) by a severe accident, overpressure damage of the CV is assumed to be possible. When the CV falls into such a situation, radioactive materials in the CV are released into the environment. Filtered containment venting systems (FCVS) that is installed in the exhaust systems reduce pressure in the CV while mitigating the release of the radioactive materials by the multi-scrubbers (venturi-scrubber, wet scrubbing, static mixer, metal-fiber filter and molecular sieve). Hence, the radioactive materials in the CV venting are emitted in various forms (CsI / CsOH aerosol, I₂ gas, CH₃I gas and so on) and these materials is carried by steam-based gas. This study has developed technical basis, data-base and empirical model of FCVS performance.

Keywords: Filtered containment venting system, Sever accident, Aerosol, Iodine, Decontamination factor

1. 背景

原子力発電を長期的に安全に保ちつつ利用していくことを目的として、原子炉事故対策の高度化が求められている。この中で、原子炉過酷事故時の格納容器破損による放射性物質の漏洩量を低減するため、国内原子力発電所ではベント時に環境負荷を低減させるフィルタベントシステム (Filtered Containment Venting System; FCVS) の導入が進められている。FCVS は除去機構の異なる多段のフィルタ構造により、格納容器ベント時の排気ガス中に含まれるエアロゾル (微粒子)、ヨウ素、有機ヨウ素といった、物理・化学形態の異なる種々の核分裂生成物 (Fission Products; FP) を除去することが可能である。FCVS の FP 除去機構は、時々刻々と変化する流入蒸気流量・温度・圧力、エアロゾル粒径、スクラバ液 (プールスクラビングのために FCVS 内に保持された液体) の液位・pH などの影響を受ける複雑事象であるため、未知の部分が多く、FCVS の放射性物質除去性能 (Decontamination Factor; DF) 評価では、現在のところ規制値としてエアロゾル DF=1,000 (除去率 99.9%)、ヨウ素 DF=100 (除去率 99%)、有機ヨウ素 DF=50 (除去率 98%) が用いられている [1]。しかし、過酷事故時の現実的な環境保全のレベルを適切に評価し、改善・向上を促進するためには、FCVS の除去性能を適切に把握・モデル化し、動的なシミュレーションを活用することが重要である。

2. フィルタベント基盤技術の開発と活用

2.1 フィルタベント技術基盤の開発

本研究は、一般財団法人電力中央研究所 (以下、当所) が経済産業省からの受託研究 (発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業 (フィルタベント性能評価のための技術基盤整備)) として、平成 24 年から平成 28 年の 5 年にて実施した。本研究では、実機体系 (内径 0.5m × 高さ 8m、試験最大圧力/温度 : 0.7MPaG/230°C) での FCVS 性能評価が可能な実験設備を構築した (Fig.1)。また、高いダイナミックレンジでエアロゾル、ヨウ素、有機ヨウ素除去特性を評価するためのエアロゾル発生装置、ヨウ素・有機ヨウ素発生装置、サンプリング・計測システムを開発した [2,3]。

2.2 実験データベース構築とモデル開発

本研究では、FCVS の各フィルタ部 (ベンチュリノズル、液相部、金属繊維フィルタ部、銀ゼオライト部) におけるエアロゾル、ヨウ素、有機ヨウ素除去特性に関する実験データベースを構築し、得られた実験データベースから、実験式 (モデル) を開発した。例として、ヨウ素 DF への液位、液性 (成分、pH) 等の影響について、実験データベースを構築し、実験式を得た。また、液相部におけるエアロゾル除去特性については、液相部出口におけるエアロゾル粒径分布の変化から (Fig.2)、エアロゾル粒子径、液位、気泡径を変数とした実験式を得た (Fig.3)。

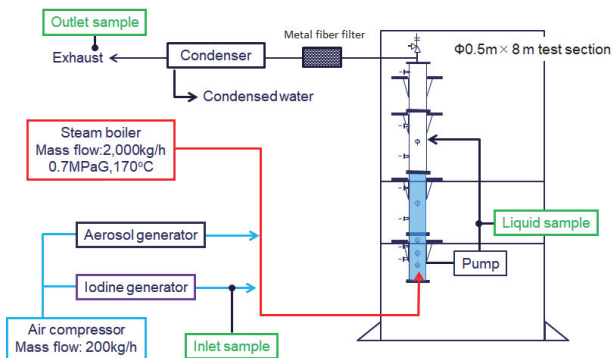


Fig.1 Schematics of the CRIEPI FCVS test facility

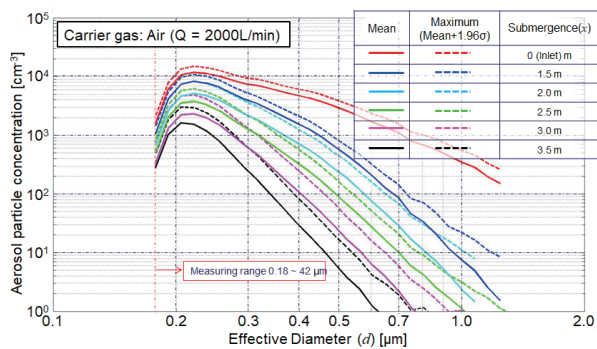


Fig.2 Experimental data base of aerosol removal properties in a water scrubber

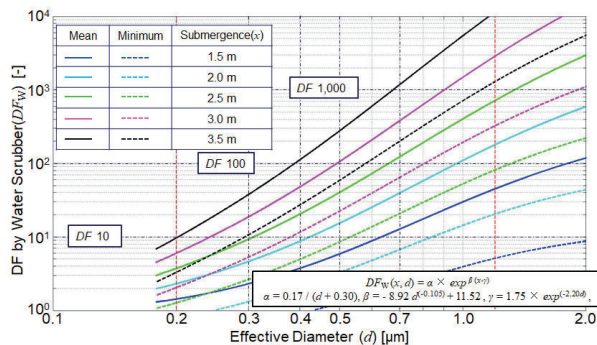


Fig.3 Empirical model of aerosol decontamination factor in a water scrubber

2.3 フィルタベント性能評価ツールの開発

本研究では、個別評価実験から得た実験式を統合した FCVS 性能評価ツールを開発した。本ツールでは、FCVS 性能の経時的な変化を評価することが可能である。例えば、FCVS スクラバ液温が低い時の蒸気凝縮による除去効果の増大、蒸気凝縮によるスクラバ液位の上昇による除去効果の増大等を考慮することが可能である。さらに、過酷事故解析コードからの出力を本ツールへの入力として与えることで、ある事故シナリオにおける FCVS 実施

の放射性物質放出量の評価が可能である。例えば沸騰水型軽水炉が、フィルタベントを実施した場合、FP 除去性能として Cs (エアロゾル) に対して DF=100,000 程度といった、現在の性能評価値より 1 ケタ~2 ケタ高いオーダーでの除去が可能との結果が算出されている (Fig.4)。

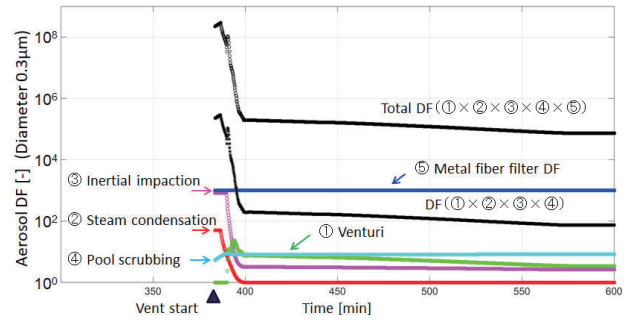


Fig.4 Aerosol DF evaluated by coupled analysis of FCVS simulator and MAAP

3. まとめ

現在、当所では、電気事業者が使用する過酷事故解析コード (MAAP) への FCVS 性能評価ツール導入を進めている。過酷事故解析コードに FCVS 評価モデルを導入することで、フィルタベント実施時の FP 放出量、粒子径等の予測精度が大きく向上する。このように FCVS 性能特性を高度に把握することは、信頼度の高い過酷事故対策・手順の高度化、緊急時の国際標準対応策の策定につながる。今後、本研究にて得られた基盤技術、データベースおよび評価ツールを環境保全のための FCVS 運用高度化や、避難計画策定等に最大限活用できるよう、当所で進めている確率論的リスク評価手法の高度化と合わせ、リスクという観点からの情報発信を進める。

参考文献

- [1] フィルタベントワーキンググループ 著 (主査 奈良直 監修)、“フィルタベント—原子力安全の切り札を徹底解説—”, 日本機械学会, 2018
- [2] T. Kanai, M. Furuya, T. Arai and Y. Nishi, “Development of an aerosol decontamination factor evaluation method using an aerosol spectrometer”, Nuclear Engineering and Design 303, pp58-67 (2016)
- [3] T. Kanai, M. Furuya, T. Arai, N. Tanaka, Y. Nishi, K. Shirakawa, S. Nishimura, M. Satake, “Decontamination process of elemental iodine with filtered containment venting system”, Proc. of 23rd International Congress on Nuclear Engineering (ICONE23), Japan, (2015)