

ナトリウム冷却小型高速炉 4S の 炉心冷却評価

- スタック機能喪失時の RVACS 性能の検討 -

背 景

当所では、昭和 63 年より高い安全性とメンテナンス性の向上を目指したナトリウム冷却小型高速炉(4S)の設計研究を実施している¹⁾。これまでに電気出力 1 万 kW と 5 万 kW の 4S 炉については、炉心が損傷する可能性のある代表的な事象^{注1)}に対し、金属燃料と自然通風型崩壊熱除去系(RVACS^{注2)})のもつ受動的な特性に基づき、炉心及び構造材が損傷することなく原子炉は整定することが予測されている²⁾。

RVACS は、事故時に炉心冷却を行う重要なシステムであるため、過去に設計基準を超える事象として空気出入口流路の機能の部分喪失(スタックの倒壊や流路閉塞などを想定)を仮定した安全評価が求められており³⁾、4S 炉についても原子炉の特性を加味した同様の安全評価を実施する必要がある。

目 的

電気出力 1 万 kW タンク型ナトリウム冷却小型高速炉 4S を対象に、RVACS のスタック機能の部分喪失(倒壊に伴う流路閉塞)が、原子炉容器内と冷却空気の多角的な熱流動現象の変化を含めた RVACS の除熱性能に及ぼす影響を明らかにする。

主な成果

原子炉トリップ後の除熱源喪失事象を評価対象に選定し、表 1 に示す解析ケースについて 3 次元熱流動解析(図 1)を実施して以下のことを明らかにした。

- (1) 2 本ある空気入口スタックの 1 本が機能喪失した場合(ケース 2)の空気流量は、健全時の約 93%に減少する。これに対し、2 本ある空気出口スタックの 1 本が機能喪失した場合(ケース 3)は、健全時の約 60%まで減少する(図 2)。これは、空気流量に対して空気流路での圧力損失が支配的であり、入口側に比べて出口側のスタックが倒壊して流路閉塞した場合の方が、圧力損失の増加が大きいためである。
- (2) 一次冷却材の自然循環移行後の炉内流動は、空気出口スタックの機能喪失時にわずかに流速の低下が見られるものの、流れ場はスタックが非対称に機能喪失した場合でもほぼ同様となる。したがって、PRISM(電気出力 15.5 万 kW)³⁾に比べて小出力で、受動的な特性を發揮し易い電気出力 1 万 kW の 4S 炉では、一次冷却材の周方向流れを対称としてモデル化が可能となることが明らかとなった。
- (3) RVACS の除熱量は、空気入口スタックが機能喪失した場合には健全時とほとんど変わらないが、空気出口スタックの機能喪失時には最大で約 30%減少する(図 3)。しかしながら、ホットプレナム最高温度のピーク値はいずれのケースでも 480 を下回っており(ケース 4 の場合の温度上昇は 8)、安全基準を十分満足することが確認された(図 4)。

注 1) 電源喪失などにより炉心流量を喪失した際に原子炉がスクラムに失敗する事象 (ULOF) 反応度が投入されて出力が増大した際に原子炉スクラムに失敗する事象 (UTOP) または原子炉スクラム後の冷却系の動的駆動力源の喪失 (PLOHS) など。

注 2) Reactor Vessel Auxiliary Cooling System : 原子炉容器外面を自然通風により除熱する原子炉容器冷却方式。

1) Ueda, N., et al., Proc. the 1st COE-INES Int. Symposium, INES-1, Oct. 31-Nov. 4, Tokyo, Japan (2003).

2) 例えば, Ueda, N., et al., Proc. ICONE-10, ICONE10-22354, Arlington, VA, Apr. 14-18 (2002).

3) "PRISM Preliminary Safety Information Document," Vol. VI, Appendix G (1986).

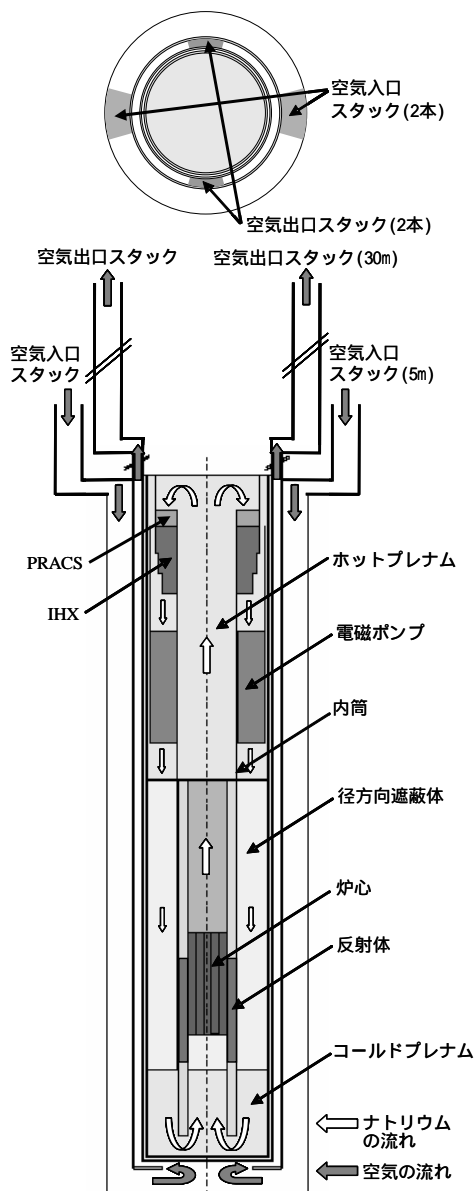


図 1 4S 炉の解析モデル

表 1 解析ケース

ケース 1	スタック 4 本すべて健全 (リファレンス)
ケース 2	入口スタック 1 本機能喪失*
ケース 3	出口スタック 1 本機能喪失*
ケース 4	入口スタック 1 本および出口スタック 1 本機能喪失

* スタック倒壊による流路の完全閉塞を想定

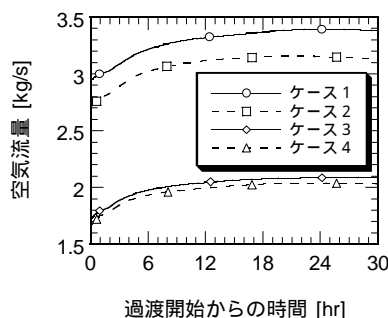


図 2 RVACS 空気流量の比較

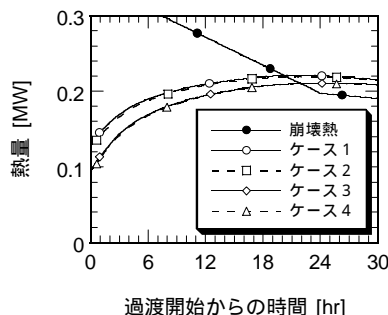


図 3 RVACS 除熱量の比較

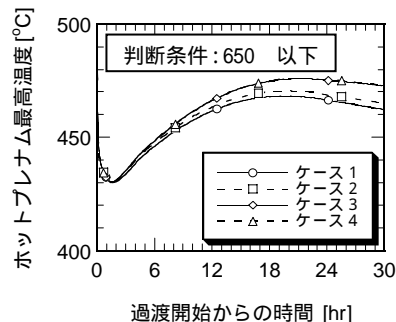


図 4 ホットプレナム最高温度の比較

研究報告 L05014	キーワード：小型原子炉、高速炉、ナトリウム冷却、自然循環、自然通風型崩壊熱除去系
担当者	西村 聡 (原子力技術研究所・新型炉領域)
連絡先	(財)電力中央研究所 原子力技術研究所 Tel. 03-3480-2111(代) E-mail : ntrl-rr-ml@criepi.denken.or.jp