

RELAP/SCDAPSIM を搭載した原子炉シミュレータによる 原子炉停止機能喪失後のプラント挙動の解析 -MVP-BURN コードによる詳細な核特性の適用-

ATWS analyses with reactor simulator based on RELAP/SCDAPSIM code.
- Application to precise nuclear properties computed with MVP-BURN code -

*菊池 遼¹, 亀山 高範¹

¹東海大学

原子炉停止機能喪失(ATWS)後のプラント挙動の解析では事故時の核特性が重要である。必要な反応度係数を連続エネルギーモンテカルロ法中性子輸送計算コード MVP により求め、機構論的なプラント解析コード RELAP/SCDAPSIM に適用した。

キーワード : RELAP/SCDAPSIM、PWR、ATWS、MVP3.0、ドップラー反応度係数

1. 背景・目的

MVP3^[1]には新たに厳密共鳴弾性散乱モデル(全エネルギーの熱運動を考慮した近似の無いモデル)が追加され、より精密なドップラー反応度係数を導出可能になった。本研究では、東海大学の原子炉シミュレータ SARS^[2]に精密なドップラー反応度係数を適用し、ATWS 後の PWR プラントの挙動解析を行う。

2. 解析方法

PWR 炉心の反応度係数(減速材密度/ドップラー係数)を表 1 の条件と MVP で導出する(核種組成は MVP-BURN^[3])。各反応度係数を燃焼度毎(0.0、16.0、32.0、48.0 [MWd/kgU])に導出し、それらの平均をサイクル初期/末期(BOC/EOC の平衡炉心)の反応度係数として SARS に適用する。SARS を用いて国内の PWR4 ループプラントを対象とした ATWS 後のプラント挙動の解析を表 2 の条件で行う。本解析では、BOC と EOC の反応度係数、燃焼度、出力分布を考慮する。

3. 解析結果

表 3 より BOC でのドップラー係数は従来の MVP による漸近モデルで-2.83pcm/K、厳密共鳴モデルで-2.99pcm/K となり、厳密共鳴モデルを使用した場合、負側に 5.98%大きい値となった。これらを ATWS 後のプラント挙動の解析に適用した結果、一次冷却材最大圧力は漸近モデルで 18.69MPa、厳密共鳴モデルで 18.91MPa となり、厳密共鳴モデルでは、0.22MPa 高い値となった(燃料温度の低下によりドップラー反応度が正に増加し、出力の低下が遅れる)。

BOC の ATWS 後のプラント挙動の解析結果を図 1 に示す。図 1 より ATWS 緩和設備(主蒸気隔離弁閉 t=48 秒及び一次冷却材温度上昇)による負の減速材反応度により原子炉出力は低下する①。その後、補助給水(t=94 秒)による正の減速材反応度により、原子炉出力は微上昇②し、7.2%で安定する。主蒸気隔離弁閉①や蒸気発生器の水位低下により一次冷却材圧力は上昇する③が、加圧器逃がし弁や安全弁により抑制される④。その後、補助給水により一次冷却材圧力は低下し⑤、13.7MPa に収束する。ATWS 後の最大圧力は 18.91MPa となり、制限値の 20.6MPa(最大使用圧力の 1.2 倍)まで 1.69MPa の余裕がある(EOC でも 17.75MPa となり制限値を下回る)。以上の結果から原子炉の安全は ATWS 後も確保されると判断できる。

参考文献

[1] JAEA-Data/Code 2016-018 (2017). [3] J. Nucl. Sci. Technol., 37, 128 (2000). [4] J. Nucl. Sci. Technol. 48(1), 1-30 (2011).
[2] 日本原子力学会 2016 春の年会 1I17/1I18、2017 春の年会 2M01/2M02、2018 春の年会 2K14.

*KIKUCHI Ryo¹ and KAMEYAMA Takanori¹

¹Tokai Univ.

表 1 BOC での反応度係数の解析条件

解析コード	燃焼計算:MVP-BURN 中性子輸送計算:MVP3.0
核データライブラリ	JENDL-4.0u1/TZ ^[4] 版
²³⁵ U 濃縮度 [wt. %]	4.8 (Gd 含まず)
平均燃焼度 [MWd/kgU]	16.0 (0、16、32 を使用)
ホウ素濃度 [ppm]	2000

表 2 BOC でのプラント挙動の解析条件

解析コード	RELAP/SCDAPSIM mod3.5
起因事象 (0.0 秒に発生)	主給水流量喪失 スクラム失敗
炉心出力	100 [%] (3411MWt)
蒸気発生器保有水量	55000 [kg/基]
ATWS 緩和設備 の作動信号:◇	蒸気発生器狭域水位 が 7%以下で発信
主蒸気ライン隔離	◇から 17 秒後に作動
補助給水ポンプ	◇から 60 秒後に作動
	22 [kg/(s・基)]

表 3 BOC での精密なドップラー係数の影響

項目	ドップラー 係数 [pcm/K]	一次冷却材 最大圧力 [MPa]
漸近:a	-2.83	18.69
厳密共鳴:b	-2.99	18.91
a/b-1	5.98%	1.16%

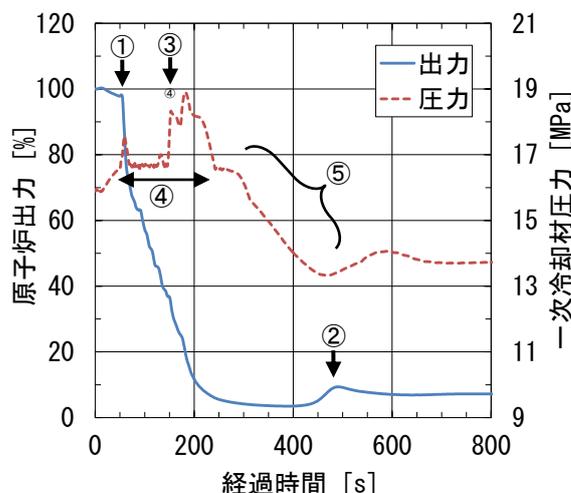


図 1 厳密共鳴を用いた出力と圧力の推移(BOC)。