

核分裂生成物の揮発を考慮した燃料デブリの崩壊熱予測

Prediction of decay heat of fuel debris considering volatilization of fission products

*奥村 啓介¹, Eka Sapta Riyana¹, 佐藤 若英², 前田 裕文², 藤田 学³

¹原子力機構, ²NESI, ³JPC

福島第一原子力発電所(1F)の廃止措置と燃料デブリの特性評価に資するため、事故時から将来にわたる崩壊熱の経時変化および主要な寄与核種を、事故時の核分裂生成物の揮発を考慮して評価した。

キーワード：福島第一原子力発電所, 燃料デブリ, 崩壊熱, 核分裂生成物, 放出率

1. 緒言 燃料デブリの崩壊熱に寄与する放射性核種は数多く、各核種の寄与率は時間の経過とともに変化する。それらの中には、事故時の高温により燃料デブリから揮発される核分裂生成物(FP)も数多い。そこで、最新の核データを用いた計算と FP 放出試験の結果を用いて、号機毎の崩壊熱と寄与核種の経時変化を評価した。

2. 評価方法 崩壊熱の計算は以下の手順で行った。1)事故炉のボイド率と燃焼度の分布を考慮した 3 次インベントリ計算[1]を行い、事故炉全体の燃料組成を得る。2)被覆管やチャンネルボックス等の燃料集合体構造物に対し、微量不純物を含めた放射化計算を行う。3)燃料及び放射化物を混合し、事故時の燃料デブリに含まれる放射性核種組成を得る(安定核種を含め約 1300 核種)。4)主要な FP 核種の量を表 1 の 4 つの放出率モデルで減少させる。Model1 は FP 放出無しの場合、Model4 は仮想的な高放出率を模擬した場合で、それぞれ崩壊熱の上限と下限を与えるものとして設定した。また、Model2 及び Model3 は、FP 放出試験 PHEBUS-FPT5[2]と VERCORS 5[3]の実験結果を参考に設定したものである。5)FP 放出後の組成を基に評価時期までの崩壊計算を行う。6) JENDL Decay Data File 2015[4]を用いて 総和計算により崩壊熱を計算し、寄与核種を特定する。

表 1 FP 放出率(%)モデル

放出元素 (Xe,Kr,...)	Model1	Model2	Model3	Model4
希ガス (Xe,Kr,...)	0	99	99	99
I	0	97	93	99
Cs	0	84	93	99
Te	0	80	98	99
Mo	0	77	92	99
Rb	0	53	0	99
Cd	0	44	0	99
Ba	0	35	55	99
Sb	0	30	98	99
Pd	0	27	0	99
Ag	0	9.2	0	99
Tc	0	7.1	0	99
Ru	0	1.8	6	99
Sr	0	1.4	6	99
La,Ce,Nd, Eu,Gd	0	0	3	5

3. 結果と考察 各号機(1F1～1F3)の崩壊熱評価結果を表 2 に示す。例えば、2 号機(1F2)の現在(2018 年 3 月)の崩壊熱は、FP 放出率を考慮して約 50kW であり、FP 放出率の不確かさを考慮しても 17～84kW の範囲と推定される。FP 放出を考慮しない場合の主要な崩壊熱寄与核種は、⁹⁰Y(29%)、^{137m}Ba(26%)、¹³⁴Cs(9%)、¹³⁷Cs(8%)、⁹⁰Sr(6%)であり、⁹⁰Y は ⁹⁰Sr の、^{137m}Ba は ¹³⁷Cs の放射平衡核種であることから、半減期が 30 年程度の ¹³⁷Cs と ⁹⁰Sr により、現在の崩壊熱は支配的に決まっており、当面の崩壊熱をより正確に評価するためには、これら 2 核種のデブリ中濃度を把握することが重要である。Cs が 84%放出されるモデル(Model2)の場合には、⁹⁰Y+⁹⁰Sr (55%)と ^{137m} Ba(7%)の他に、²³⁸Pu(9%)、²⁴⁴Cm(6%)、²⁴¹Am(5%)の寄与が大きい(括弧内の数値は 2 号機 2018 年時点)。また、事故後 20 年以上経過すると、FP 核種の寄与は相対的に小さくなり、²⁴¹Pu の崩壊により生成する ²⁴¹Am や ²³⁸Pu の寄与が徐々に大きくなっていく。

表 2 FP 放出率モデル毎の崩壊熱経時変化

Date	Unit	Model1	Model2	Model3	Model4
2011.3 (事故時)	1F1	88.4	59.8(68%)	58.8(67%)	39.7(45%)
	1F2	154	104(68%)	102(66%)	68.8(45%)
	1F3	153	104(68%)	102(67%)	68.6(45%)
2018.3 (7年後)	1F1	66.9	42.7(64%)	38.9(58%)	14.6(22%)
	1F2	83.8	52.7(63%)	47.7(57%)	16.5(20%)
	1F3	81.6	52.3(64%)	47.7(58%)	18.3(22%)
2031.3 (20年後)	1F1	45.9	31.5(69%)	29.2(64%)	12.6(27%)
	1F2	56	37.9(68%)	35(63%)	13.8(25%)
	1F3	56	38.9(69%)	36.2(65%)	16.3(29%)

()はModel1に対する割合

参考文献 [1] K. Okumura, et al., JAEA-Conf 2013-002, pp.15-20 (2013), [2] P.D.W.Bottomley, et al., Nuclear Engineering and Technology, 38(2), pp.163-184 (2006), [3] Y. Pontillon and G. Ducros, Nuclear Engineering and Design, 240, pp.1853-1866 (2010), [4] J. Katakura and F. Minato, JAEA-Data/Code 2015-030 (2016).

*Keisuke Okumura¹, Eka Sapta Riyana¹, Wakaei Sato², Hirobumi Maeda², Manabu Fujita³

¹Japan Atomic Energy Agency (JAEA), ²NESI, ³JPC