

1F-2号機使用済燃料プール循環冷却設備 冷却停止試験（二次系通水停止運転）実施状況 【結果報告】

2017年9月28日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

1. 目的

TEPCO

【背景】

- ▶ 東北太平洋沖地震から6年が経過し、使用済燃料プール（以下、SFPとする。）に保管している使用済燃料の崩壊熱は減少を継続している。【参考7参照】
- ▶ 平成29年4月及び7月に実施した1号機冷却停止試験（熱交換器バイパス運転）の結果、SFP水温が安定すること及び、自然放熱を考慮したSFP水温評価式の妥当性が確認された。
自然放熱を考慮したSFP水温評価式の2号機、3号機への適用性を確認する。
- ▶ 自然放熱を考慮したSFP水温評価を行った結果、2号機及び3号機のSFP水温は、運転上の制限温度（65℃）未満で推移する見込み。



崩壊熱が大きい2号機を代表とし、8/21から9/29まで冷却停止試験（二次系通水停止運転）を実施。

【目的】

SFPの冷却が仮に停止しても、自然放熱により十分冷却できることを確認する。

< 確認項目 >

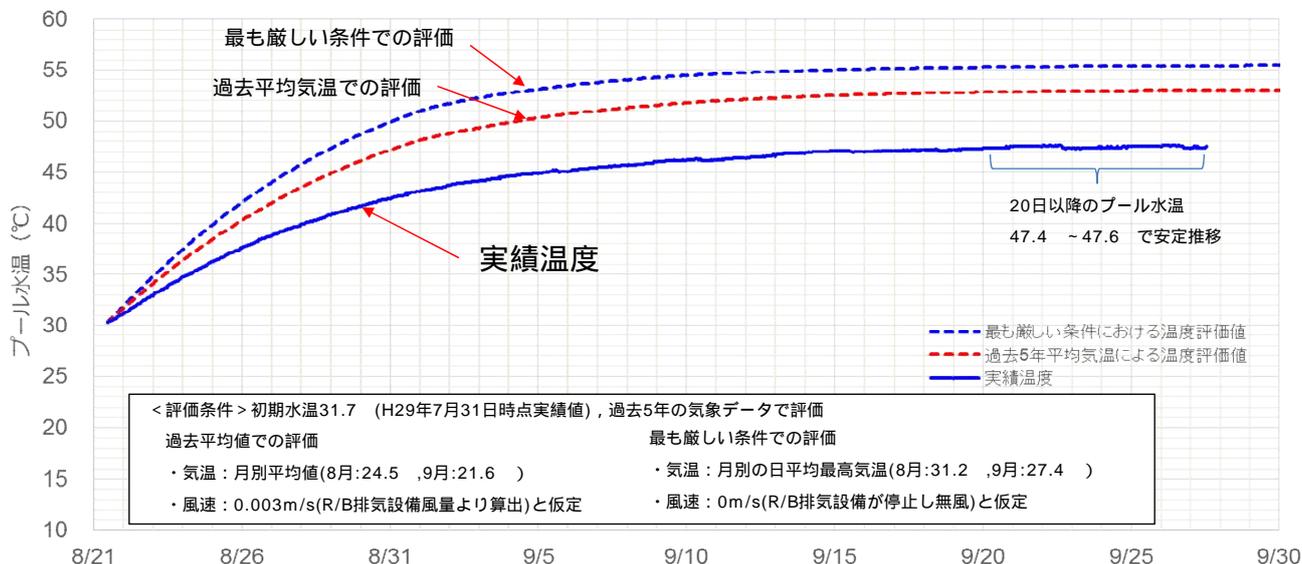
- ◆ 自然放熱でも制限温度に達さないこと。
（自然放熱でも冷却可能なことを確認。）
- ◆ 崩壊熱が大きい号機でのSFP水温評価式の妥当性。
（崩壊熱が大きい号機においても、評価上と実機の安定水温に大きな差が生じないことを確認。）

なお、試験後もSFP循環冷却設備の運転は継続する。

2. 2号機冷却停止試験（二次系通水停止運転）結果

- ◆ 8月21日より冷却停止試験を開始し、SFP水温は運転上の制限温度（65）未満で推移した。
自然放熱でも制限温度に達しないことが確認できた。
- ◆ 過去5年間平均の気象実績データを用いて評価したグラフ（過去平均グラフ）と実績温度に開きが見られたが、評価よりも低い温度で推移した。実績温度との開きは、一次系配管等からの放熱による影響が主要因であった。【参考6参照】
崩壊熱が大きい号機でのSFP水温評価式の妥当性が確認できた。
- ◆ また、試験期間中に湯気の発生は確認されなかった。

2017/9/27 13:00現在のデータ



【参考1】SFP水温予測式

評価水温と実績温度の開きが保守的であったと推定している要因は以下の通り。

- ◆ 一次系配管表面からの放熱が大きい可能性がある。
- ◆ 風速を0.003m/sと排気設備風量より算出しているが、風速が大きい可能性がある。
- ◆ 建屋内であるため、外気温の変動による影響が少ない可能性がある。

SFP水温予測式

$$T \left(\text{ } / \text{h} \right) = \frac{Q - q}{W \left(\text{kg} \right) \times C \left(\text{kcal} / \text{ } / \text{kg} \right)}$$

Q：入熱 ($Q_{in1} + Q_{in2}$)

Q_{in1} ：崩壊熱 Q_{in2} ：ポンプジュール熱 【ポンプ運転中】

W：SFP水量

C：冷却材の比熱

q：放熱 ($q_{out1} + q_{out2} + q_{out3} + q_{out4}$)

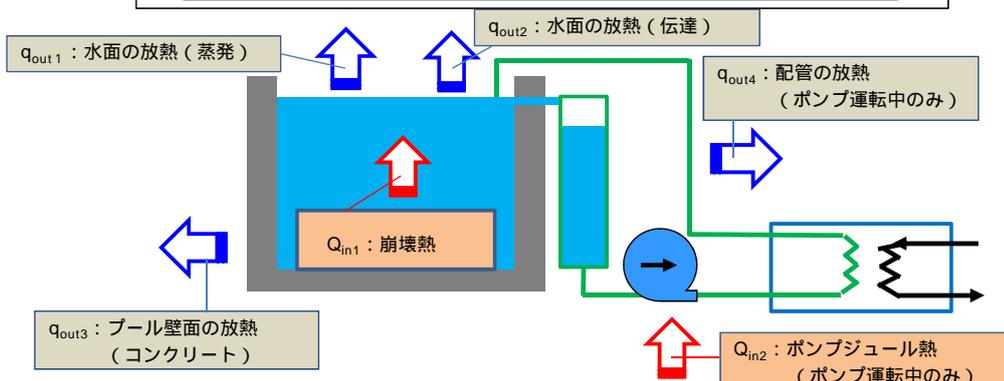
q_{out1} ：水面の放熱 (蒸発) 【気温 + 風速を使用】

q_{out2} ：水面の放熱 (伝熱) 【気温を使用】

q_{out3} ：プール壁面の放熱 (コンクリート) 【気温を使用】

q_{out4} ：配管の放熱 【ポンプ運転中】

← 評価上加味していなかった。



【1号機との相違点】
一次系を構成する配管長が違うため、影響が大きかったと推定。

【参考】
配管長の概略長さ
1号機：約50m
2号機：約400m

q : 放熱 ($q_{out1} + q_{out2} + q_{out3} + q_{out4}$)

- q_{out1} : 水面の放熱 (蒸発) 【プール近傍の気温 + 風速が必要】
- q_{out2} : 水面の放熱 (伝熱) 【プール近傍の気温が必要】
- q_{out3} : プール壁面の放熱 (コンクリート) 【プール近傍の気温が必要】
- q_{out4} : 配管の放熱 【配管表面温度及び配管周囲の気温が必要】 ← 評価上加味して
いなかった。

q_{out1} : 水面の放熱 (蒸発)

屋外 $q_{out1} = (0.061v + 0.125)(P_w - P_a)A_s \cdot 0.2778r$

v : プール水面上の風速 [m/s]
 P_w : 水温に等しい飽和空気温度の飽和水蒸気圧 [kPa]
 P_a : プール近傍空気の水蒸気圧 [kPa] (t_a より導出)
 A_s : プール水面の表面積 [m²]
 r : 水温に等しい飽和蒸気の蒸発潜熱 [kJ/kg]

q_{out2} : 水面の放熱 (熱伝達)

$q_{out2} = v_a(t_w - t_a)A_s$

v_a : 水面の熱伝達率 [W/(m² · K)]
 t_w : プール水温 []
 t_a : プール近傍の気温 []
 A_s : プール水面の表面積 [m²]

q_{out3} : プール壁面の放熱 (コンクリート)

$q_{out3} = K_w(t_w - t_a)A_w$

K_w : コンクリート熱貫流率 [W/(m² · K)]
 t_w : プール水温 ()
 t_a : 外側温度 (プール外壁温度 = プール近傍の気温) []
 A_w : プール内面の面積 (壁 + 底面 : 水位としてNWL分考慮) [m²]

q_{out4} : 配管の放熱

$q_{out4} = \alpha(t_p - t_f) \cdot \pi \cdot D \cdot L + \varepsilon \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \sigma \cdot ((t_w + 273.15)^4 - (t_f + 273.15)^4)$

α : 熱伝達率 [W/(m² · K)]
 t_p : 配管表面温度
 t_f : 配管周囲の気温
 D : 配管外径
 L : 配管長
 ε : 放射率
 σ : ステファンボルツマン定数

(注) 赤字 直接測定していなかったパラメータ

(出典: 空調調和衛生工学便覧より)

【参考3】放熱計算に必要なパラメータ一覧表

従来の評価パラメータに実測値を反映して評価を実施

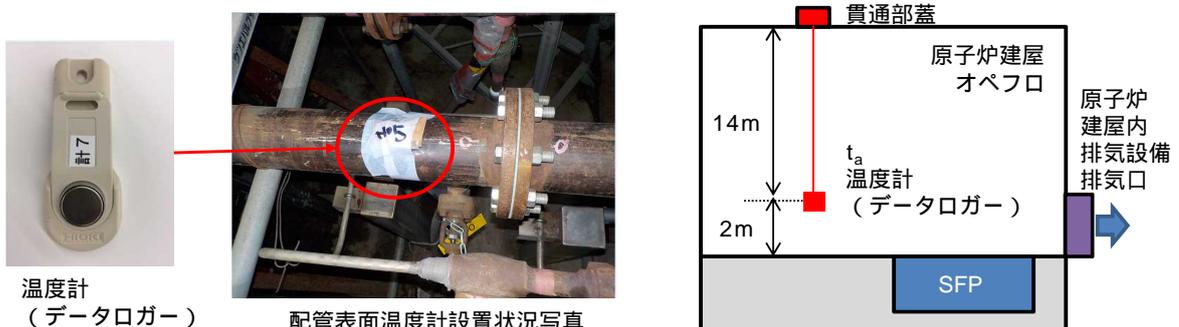
	パラメータ	従来の評価	実測値を用いた評価
ル水面及び壁面の放熱	t_a : プール近傍の気温	<ul style="list-style-type: none"> 外気温を使用【月別平均値(8月:24.5 , 9月:21.6)】 	<ul style="list-style-type: none"> R/Bオベフロの気温を使用【実測¹した気温の平均値(26.9)を使用】
	v : プール近傍の風速	<ul style="list-style-type: none"> R/B排気設備風量より保守的に算出した値(=0.003m/s)を使用 	<ul style="list-style-type: none"> R/B排気設備風量より保守的に算出した値(=0.003m/s)を使用
配管の放熱	t_p : 配管表面温度	<ul style="list-style-type: none"> 考慮せず 	<ul style="list-style-type: none"> 配管表面温度を使用【実測¹した温度平均値とプール温度の差から導出】
	t_f : 配管周囲の気温	<ul style="list-style-type: none"> 考慮せず 	<ul style="list-style-type: none"> 配管周囲の気温を使用【実測¹した気温の平均値(25.0)を使用】

1 測定期間: 9/12~9/19

< 温度計設置場所 > 【 t_a : プール近傍の気温】 R / B 5 F L (右下図参照) を測定

【 t_p : 配管表面温度】 SFP循環冷却設備配管のうち既設との取合いを起点として上・中・下流の3箇所を測定

【 t_f : 配管周囲の気温】 R/BにおけるSFP循環冷却設備配管から約1m地点を測定

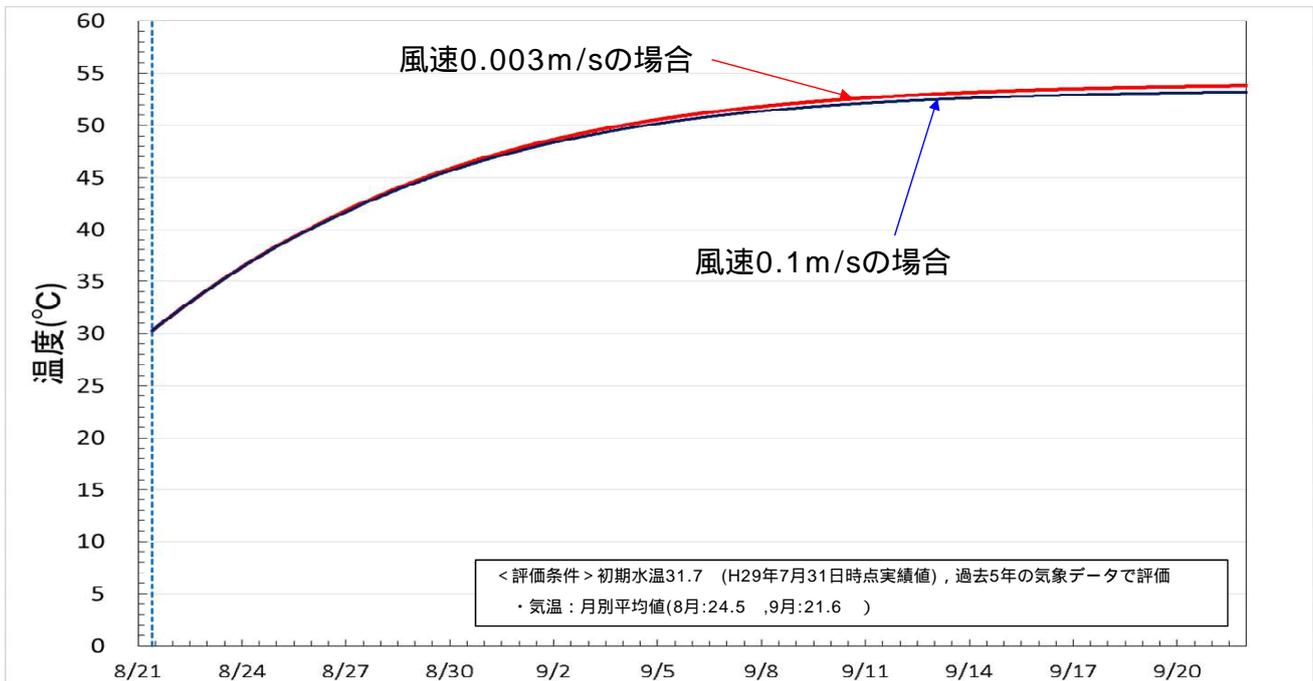


温度計 (データロガー)

配管表面温度計設置状況写真

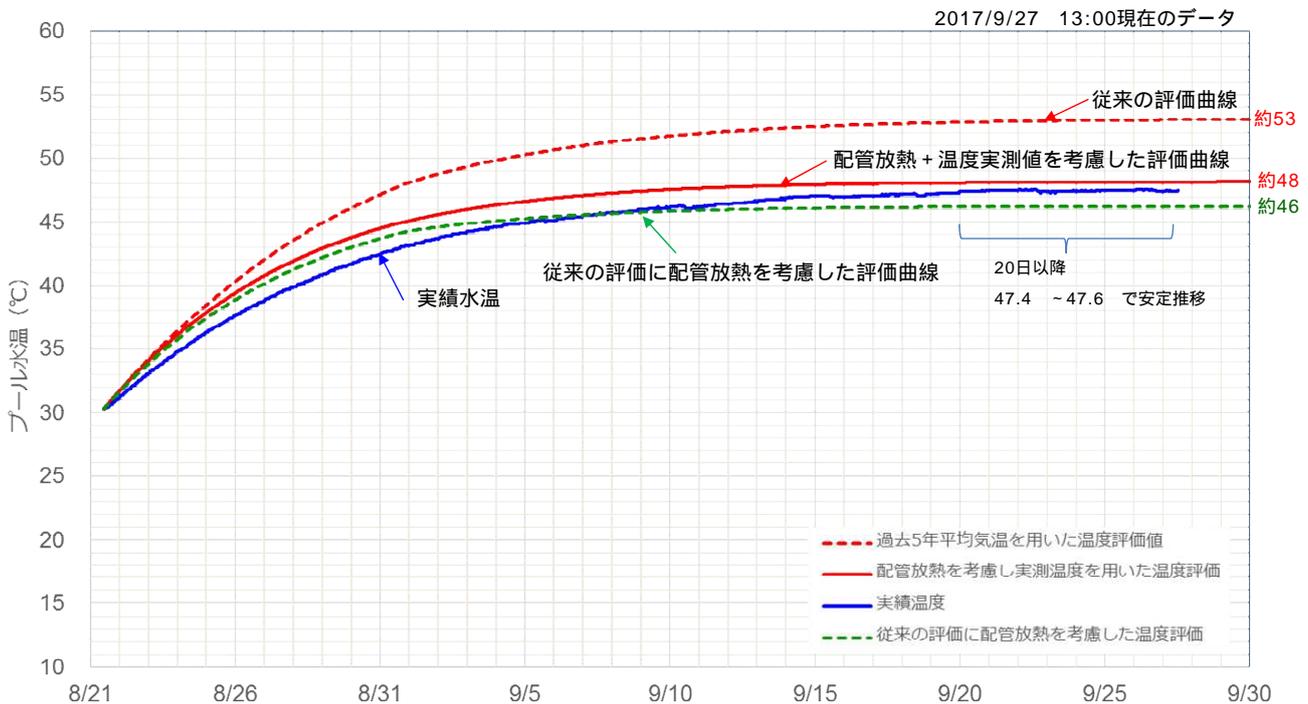
プール近傍温度計配置図

- ▶ プール近傍の風速(v)が 0.003m/s 0.1m/s に変化した場合の温度評価に与える影響
 - 1: R/B排気風量がR/B全断面(高さ(16m)×幅(34m))に全量流れると仮定した場合の風量
 - 2: R/B排気風量がSFP近傍(SFP短辺長(8m)×床上4mの断面)に全量流れると仮定した場合の風量



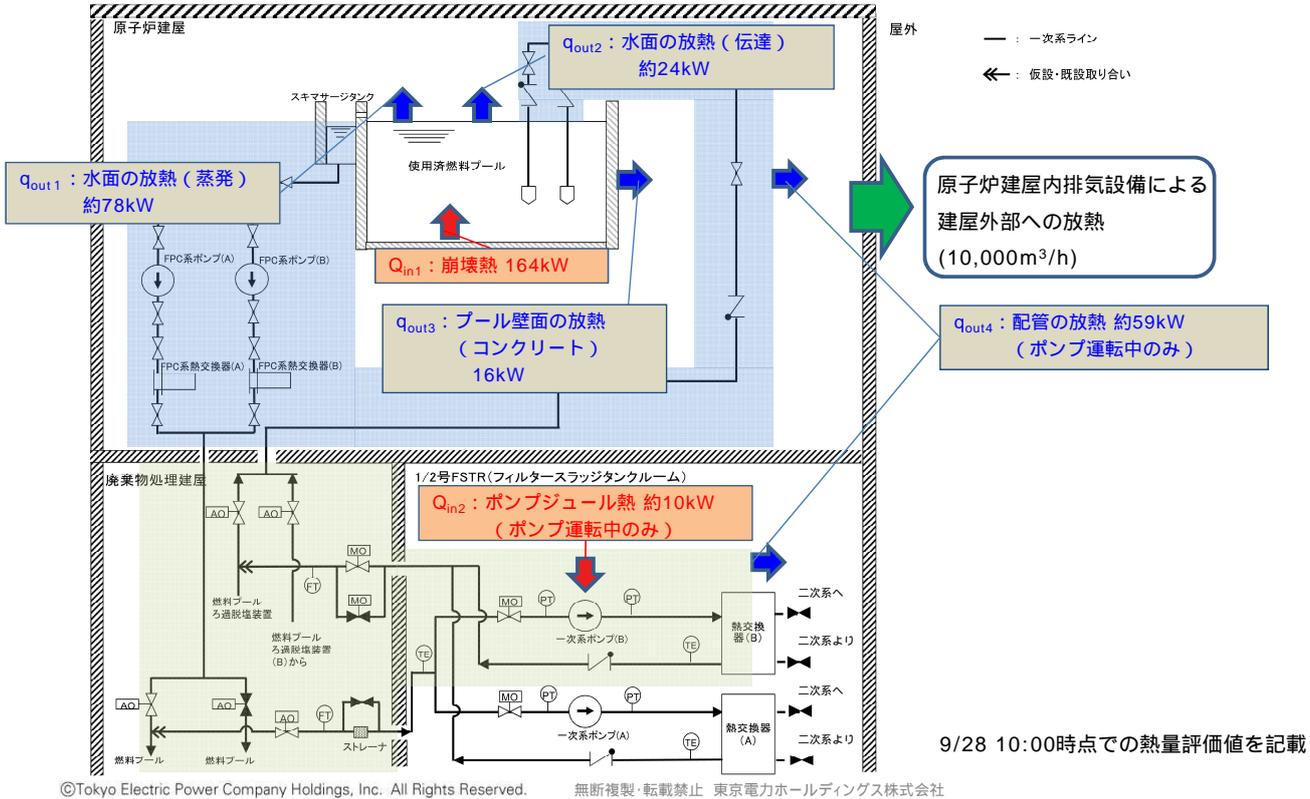
【参考5】配管放熱及び温度実測値を考慮した温度評価

- ▶ 従来の評価曲線(赤破線)に配管放熱を加味すると約7℃低下し(緑破線)となった。さらに温度パラメータに実測値を使用し評価すると+2℃となり、(赤実線)となった。
- ▶ 温度実測値を用い配管放熱を考慮した評価の安定温度(赤実線)と実績水温(青実線)の差は、約0.4~0.6℃となった。このため、配管放熱及び温度実測値の影響考慮は妥当と判断する。



【参考6】冷却停止試験中の2号機SFP冷却設備の熱バランスについて **TEPCO**

- 9/28 10:00時点における評価上の熱収支は、ほぼバランスしておりSFP水温は一定
 $Q_{in} : 164kW + 約10kW = 約174kW$ $q_{out} : 約78kW + 約24kW + 16kW + 約59kW = 約177kW$
- 放熱された熱は、原子炉建屋排気設備及び建屋内空気の対流により、大気へ放出

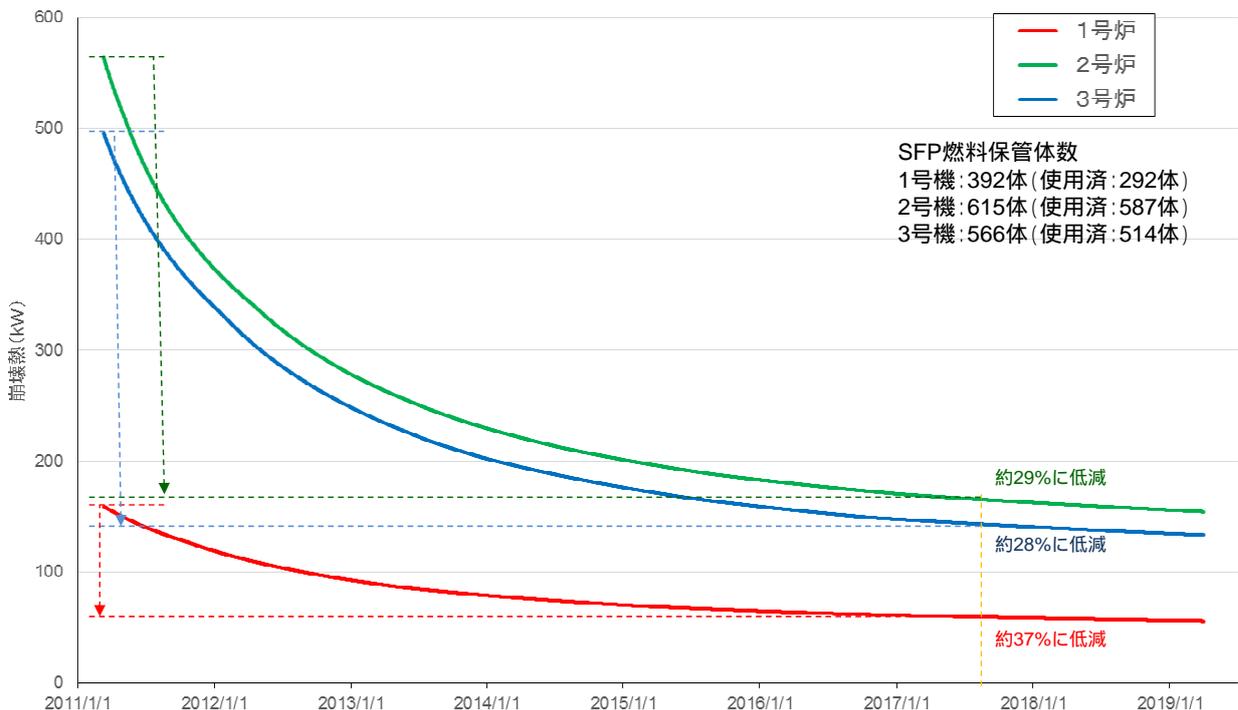


8

【参考7】崩壊熱の推移 **TEPCO**

- 1～3号機使用済燃料の崩壊熱は震災直後と比較すると大きく低下している

崩壊熱推移 (2011.3.11～2019.3.31)



9

