

PWR 使用済み燃料の崩壊熱の減衰

千葉豪

2020年8月15日

CBZ コードシステムの Burner モジュールにより PWR ピンセル (UO₂、U-235 濃縮度 4.1 wt%、線出力 179 W/cm) の燃焼計算を燃焼度 45 GWD/t まで行った後、Cooler モジュールにより冷却計算を行い任意の冷却時間での使用済み燃料の崩壊熱を計算した。異なる冷却期間の範囲での崩壊熱の計算結果を Fig. 1 に示す。なお、崩壊熱は燃焼計算中の出力 (運転時出力) に対する相対値として表示している。運転停止直後で運転時出力の 6%程度であるが、2~3 時間で 1%、1 日で 0.6%、100 日で 0.1%、3~4 年で 0.01% に低下していく様子が分かる。

三菱重工業のホームページ¹によると、90 万 kW_e の PWR では炉心熱出力が 2,652 MW_t、燃料集合体数が 157 とされているため、燃料集合体 1 体あたりの定格出力は 16.9 MW_t 程度と計算出来る。従って、この図で示された値に 16.9 を乗じることによって、燃料集合体 1 体あたりの MW_t 単位の崩壊熱を得ることが出来る。そのようにして計算した燃料集合体 1 体あたりの崩壊熱を Fig. 2 に示す。

燃料集合体を一辺 21 cm、高さ 370 cm の直方体と考えると、その体積は $1.63 \times 10^5 \text{ cm}^3$ となる。これと同体積の 20 度の水を大気圧下で気化させるのに必要な熱量は、顕熱が $1.63 \times 10^5 \times (100-20) \times 4.2 = 55 \text{ MJ}$ 、潜熱が $1.63 \times 10^5 \times 2257 = 368 \text{ MJ}$ で、合計 423 MJ となる。従って、423 を燃料集合体 1 体あたりの MW_t 単位の崩壊熱で割ることにより、燃料集合体 1 体と同体積の 20 度の水を全て気化させるのに必要な時間が秒単位で得られる。その結果を Fig. 3 に示す。

¹https://www.mhi.com/jp/products/energy/reactor_coolant_pump.html

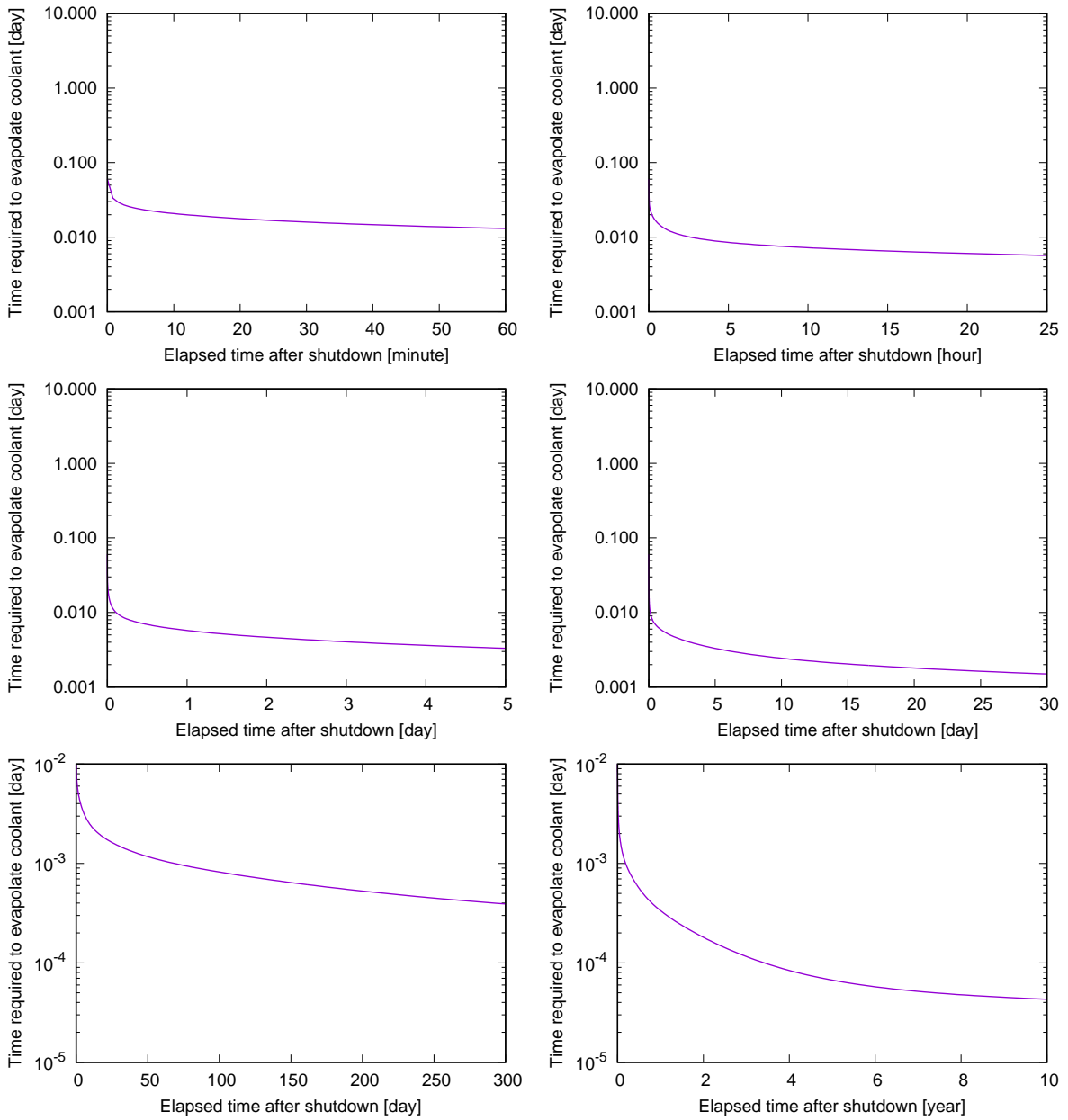


Fig. 1: Decay heat relative to normal power

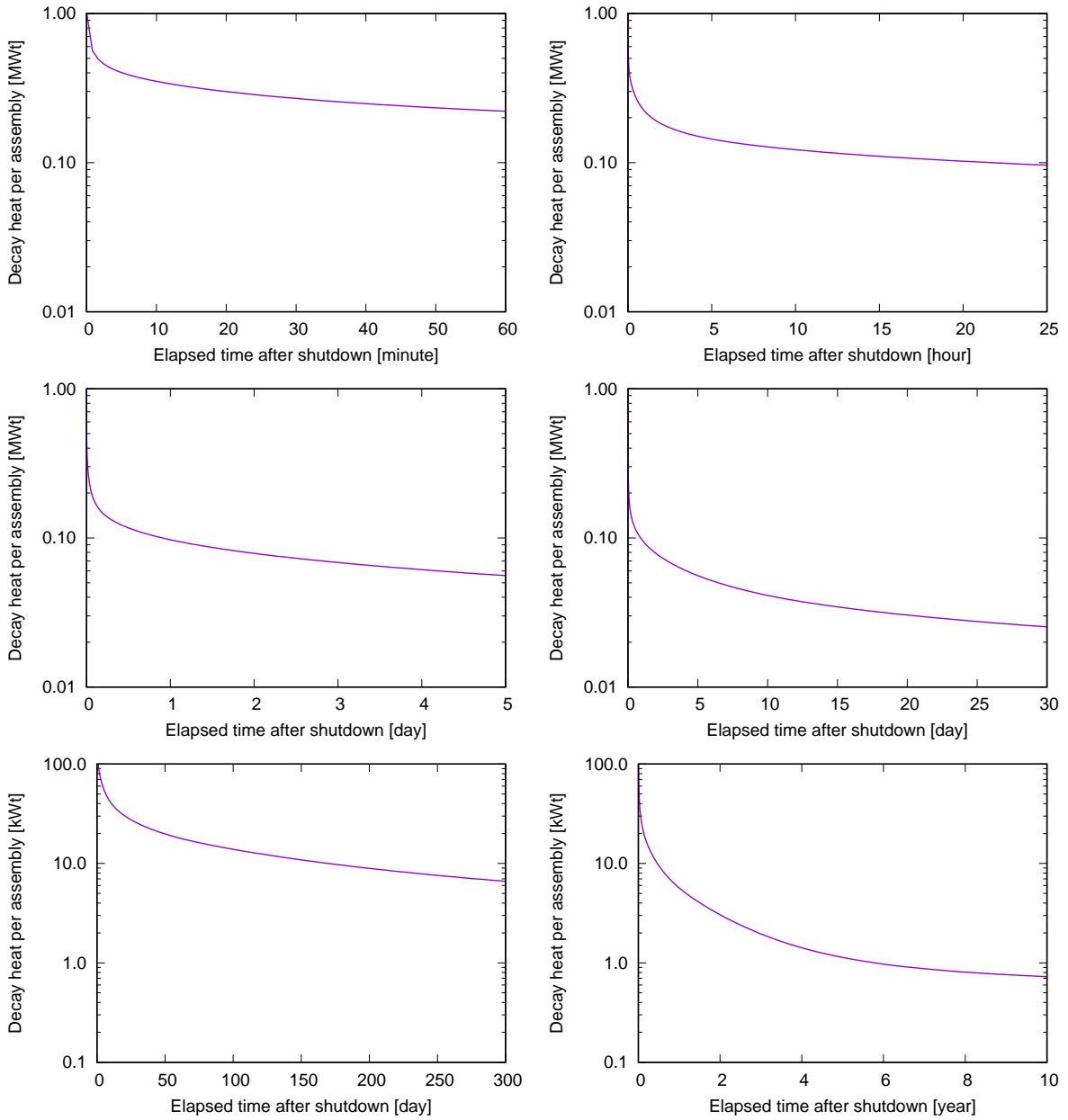


Fig. 2: Decay heat per one fuel assembly

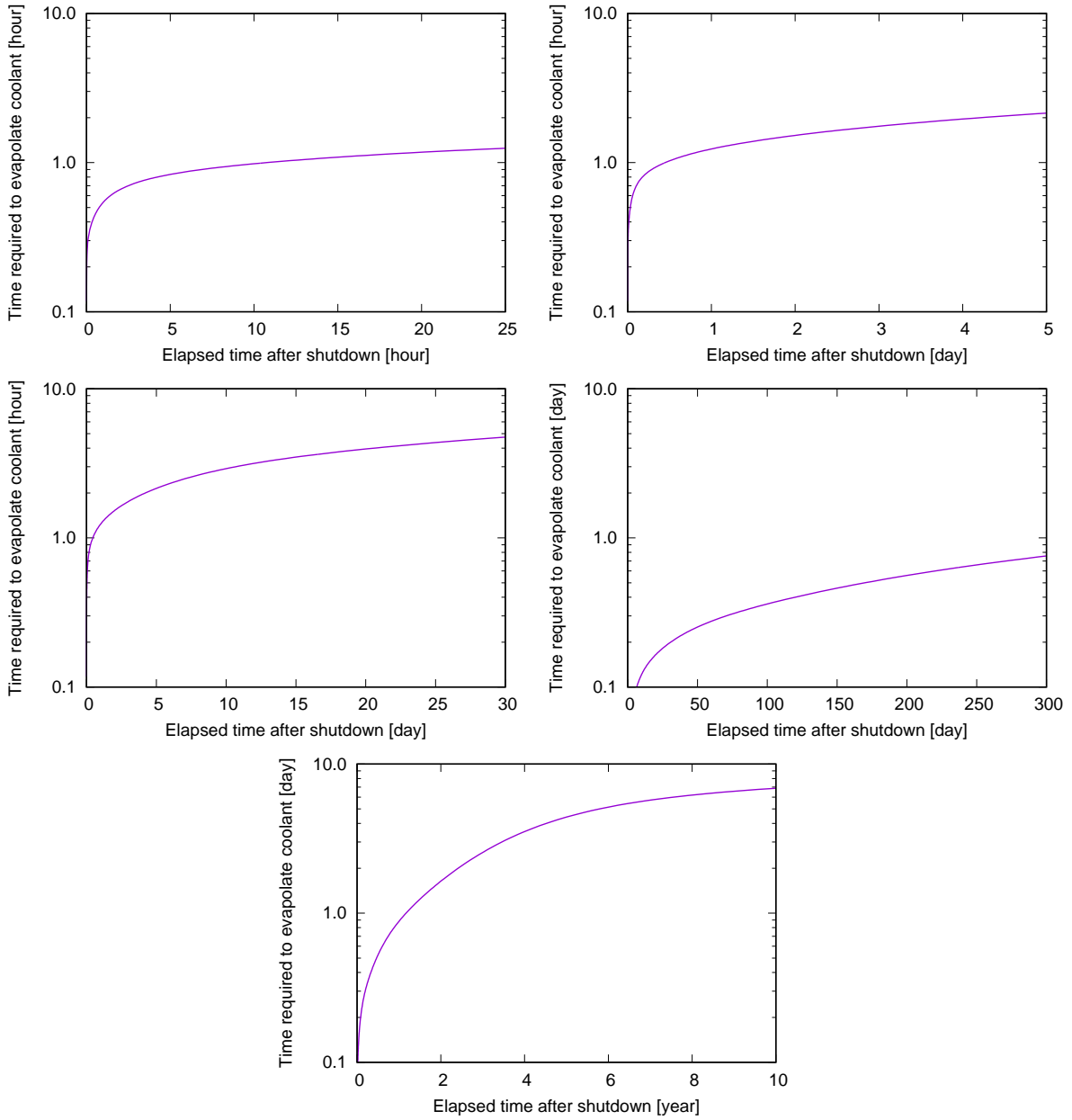


Fig. 3: Time required to evaporate all the coolant whose volume is the same as that of one assembly