

ザポリージャ原子力発電所のニュースにふれて ——発電所の温排水と川の流量に関する実際的な数字

吉田英生 (S53/1978卒)

1. はじめに

ロシアによるウクライナ侵攻で国境を越えた危惧が高まっているのが、人類がこれまで経験したことのない原子力発電施設への攻撃による被害です。なかでもドニエプル川沿いのザポリージャ原子力発電所は100万kWの原子炉6基を有するヨーロッパ最大の規模で、万一のことが起こった場合の被害は想像を絶します。

京機短信中で政治や軍事の議論に安易に立ち入ることは控えたいと思いますが、もとより京機会会員の中には、重工各社・電力各社・研究機関などに原子力の設計・管理・運用のプロが多数いらっしゃいますので、本件につき専門的な話題提供をしていただけることを期待しております。一方、筆者は熱工学を専門とする元教員ということで、2回生後期「熱力学2」の余談的な位置づけで、いくつかの実際的な数字にあたってみたいと思います。とりわけ学生のみなさん、発電所の温排水と、内陸に立地する場合の放熱先である川について、簡単な計算をするとともに関連情報を見てみましょう！

京機会会員に向けては申すまでもなく、原子力発電も火力発電も基本はランキン・サイクル(蒸気タービン)です。ただ、火力発電では蒸気の圧力・温度条件を高めて超臨界状態¹にしたり、ブレイトン・サイクル(ガスタービン)とコンバインすることで発電効率の向上は著しく、ギネス記録^{2,3}は中部電力 西名古屋火力発電所で63.08%(低位発熱量⁴基準)に達しています。また、東京電力の火力発電の平均値は約50%(低位発熱量基準)です⁵。一方、原子力発電の場合は概ね33%⁶程度で低いのですが、これは主として安全上の制約からやむを得ないところ⁷です。

2. 温排水の見積もり

100万kWのランキン・サイクルで熱効率を33%つまり1/3としますと、残り2/3は熱となって海や川に捨てられます。したがって放出(冷却)熱量は200万kWです。

¹ 水の臨界圧力は約220気圧で臨界温度は約374℃。

² <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/431420-most-efficient-combined-cycle-power-plant>

³ <https://pps-net.org/column/54364>

⁴ 燃焼ガス中の水蒸気が凝縮しない状態の(凝縮潜熱を含まない)発熱量。高位発熱量は凝縮潜熱を含めたもの。

⁵ <https://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/electricity-supply/thermal-international-j.html>

⁶ <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=584>

⁷ 蒸気圧力は、沸騰水型(BWR)：約70気圧、加圧水型(PWR)1次系：約160気圧／2次系：約60気圧。

この熱量を川の水で冷却して温度上昇 $\Delta T = 5 \text{ K}$ におさえる水の質量流量 W [kg/s] を求めると、水の比熱容量は $4.2 \text{ kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})$ ですので

$$W [\text{kg/s}] = 200 \times 10^4 [\text{kW}] / 4.2 [\text{kJ}/(\text{K}\cdot\text{kg})] / 5 [\text{K}]$$

$$= (200/21) \times 10^4 [\text{kW}\cdot\text{kJ}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}] \doteq 1 \times 10^5 \text{ kg/s} \rightarrow \text{体積流量 } 100 \text{ m}^3/\text{s}$$

になります。ザポリージャ原子力発電所の6基全部がフルに発電すると、 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ですが、この流量は実際にどのようなものでしょうか？

3. 流量実感のヒント——瀬田川洗堰の全開放流とくらべると

わが京都・京大とは切っても切れない琵琶湖——そこから流れ出る唯一の河川が瀬田川(滋賀県)で、宇治川(京都府)、淀川(大阪府)と名前を変えて、大阪湾に流れ込みます。JR琵琶湖線(東海道本線)が瀬田川を横切る地点から5キロほど下流(南側)に瀬田川洗堰があり、琵琶湖の水位や下流の利水量を調整していることはご存じの方も多いと思います⁸。

洗堰では、琵琶湖の水位が異常に高くなった場合、全開放流がなされます。その影響ははるか下流にまで及び、川のそばにいる人には危険ですので、事前にサイレンがなり十分にアナウンスをした上で放流量が少しずつ増加されます(リアルタイムで放流量が分かるアプリもあり、YouTubeでは貴重な映像を見ることができます⁹)。その全開放流の流量が $600 \sim 800 \text{ m}^3/\text{s}$ ですので、仮にこの流れで前述の6基の原子炉を冷却すると、発電所を通過する際に 5 K 程度上昇することになります。もちろん大陸の川は、日本の川とは異なり、傾斜がなだらかで流量も多い(Wikipediaによると、詳細な定義は不明ですが、ドニエプル川の平均流量 $1670 \text{ m}^3/\text{s}$ に対し、信濃川は $518 \text{ m}^3/\text{s}$)ので、平均的な温度上昇は数度もないのかもしれない。

工学の勉強をするとき、式展開をちゃんとフォローすることも大事ですが、実際に値を代入してみて実感を持つことも大事だと思いますので話題とした次第です。

⁸ 琵琶湖河川事務所 <https://www.kkr.mlit.go.jp/biwako/index.php>
 ダム便覧2021 瀬田川洗堰 <http://damnet.or.jp/cgi-bin/binranA/SAll.cgi?db3=010>
 ダム諸量データベース <http://mudam.nilim.go.jp/chronology/form02/626/2015>
 水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/> <http://mudam.nilim.go.jp/chronology/summary/626>
 琵琶湖水門情報 <https://bassou.net/bwt/water-gate-biwako>
 瀬田川放流量リアルタイム <https://appsuke.com/瀬田川放流量リアルタイム/>

⁹ <https://youtu.be/ics4sqxVkm8> (瀬田川洗堰全開放流、2016.6.23、 $600 \text{ m}^3/\text{s}$)
<https://youtu.be/LCe1XKIbw9A> (瀬田川南郷洗堰、2018.7大雨、全開放流)
<https://youtu.be/QcAjPVUljrk> (瀬田川の様子、2021.5.23)
<https://youtu.be/8A1p7ScnRg0> (瀬田川洗堰ゲート操作状況、2016.9.21、 $700 \text{ m}^3/\text{s}$)
<https://youtu.be/i4UDVtDG6k4> (瀬田川洗堰水門放流)
<https://youtu.be/DtoJRlZ4IVA> (全開の瀬田川洗堰と、荒ぶる瀬田川の様子、2020.6.15)