

事件番号 平成28年（行ウ）第49号，同第134号，同第157号，
令和4年（行ウ）第48号，同第50号

高浜原子力発電所1号機及び2号機運転期間延長認可処分等取消請求事件

原告 河田昌東外110名
被告 国

準備書面（90）

（参加人の熱伝達率算出結果の違法性）

2022（令和4年）年6月24日

名古屋地方裁判所 民事第9部A2係 御中

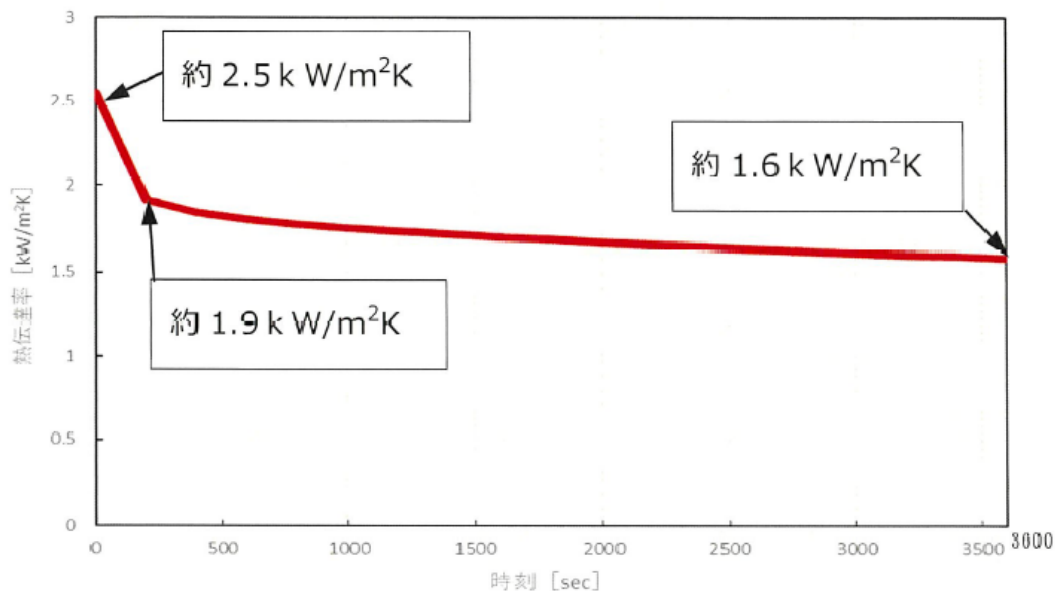
原告ら訴訟代理人弁護士 北村 栄 ほか

本書面は、令和4年1月19日付の参加人準備書面（12）（以下、「参加人書面」という）で明らかになった参加人の算出した共存対流熱伝達率について、その数値がJ E A C 4 2 0 6 - 2 0 0 7で指定されている Jackson-Fewster 式によって算出したという参加人の計算結果には重大な疑義がある。そこで、Jackson-Fewster 式の適用が誤っている可能性があり、これは違法であることを主張するものである。

1 参加人準備書面（12）の内容

参加人書面 p 2 6 以降の「第2第2項」において、参加人は「溶接部等熱影響部信頼性実証試験に関する調査報告書・・・」（丙C36）（以下、「本件報告書という」）には、熱伝達率の数値そのものは記載されていなかったの

で、J E A C 4 2 0 6 に規定されている方法に従い再解析をして、その過程で算出される熱伝達率の値を確認したとして、次の図を示した。



【図表 8 大破断 L O C A における再解析時の熱伝達率】

図 1

これは要するに、熱伝達率は大破断 L O C A が生じてから 3600 秒までの間において、熱伝達率は約 1.6 kW/(m² K) から約 2.5 kW/(m² K) であることを示したものである。

驚くべきことに参加人ですら、解析の際に使用した熱伝達率が分からずに再解析することにより事後的に概ね同じ結果になったから、図 1 であると示した。つまり、国（行政）はおろか、事業者ですら使用した熱伝達率を把握できていなかったのである。

他方、原告の側でこの数値の妥当性を検討してみたところ、Jackson-Fewster 式の計算式ではこれらの数字が導き出せないことが明らかになった。そのことについて、詳述する。

2 熱伝達率の算出過程

ここでは熱伝達率の計算過程と J E A C 4 2 0 6 - 2 0 0 7 で指定されている計算式である Jackson-Fewster 式の関係について概説する。

(1) 熱伝達率の計算方法の概略

J E A C 4 2 0 6 - 2 0 0 7 で問題となる熱伝達率は、共存対流熱伝達率である。共存対流熱伝達率とは、強制対流¹と自然対流²が同時に起こっている状態での熱伝達率をいう。原子炉の圧力容器を冷却する中では、ポンプにより送り込まれる冷却材（強制対流）と垂直の高温の圧力容器表面で生じる上昇流の自然対流が両方存在している。

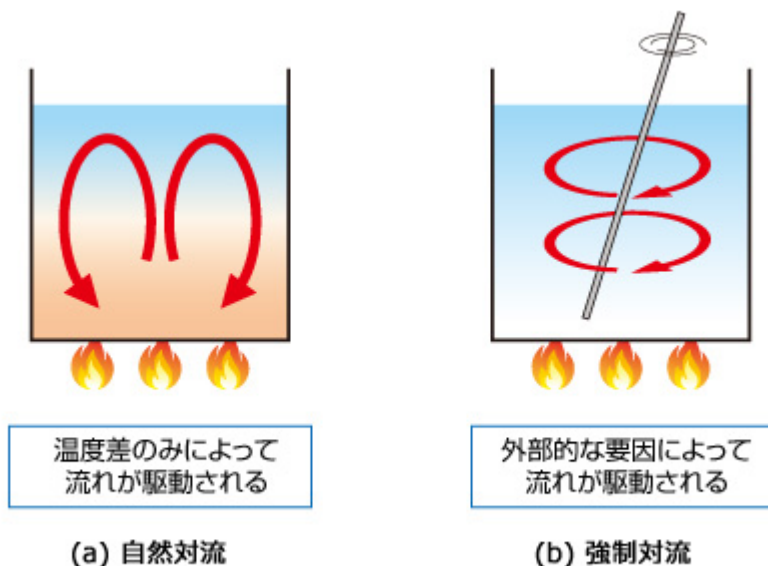


図 2

そして、共存対流熱伝達率は Jackson-Fewster 式だけで求めることはできない。Jackson-Fewster 式とはあくまで、共存対流と強制対流の熱伝達の比を求めるための式でしかないからである。分かりやすく言い換えると、共存対流熱伝達率に強制対流乱流熱伝達率、又は自然対流熱伝達率がどの

¹ 熱源のほかに、人為的、機械的な外部からのはたらきかけによって生じる対流。

² 人為的、機械的な外部からのはたらきかけなしに熱源のみによって生じる対流。

程度占めているかを求めるための式が Jackson-Fewster 式であるということが出来る。

なお、乱流とは、流体が不規則に運動している乱れた流れのことであり、層流（流体が規則正しく運動している流れのこと）の状態と比べて熱伝達率は高い傾向にある。事故時には多量の冷却水を流すため、ダウンカマ一部分の流れは乱流となる。つまり、圧力容器の冷却材は通常は乱流状態である。

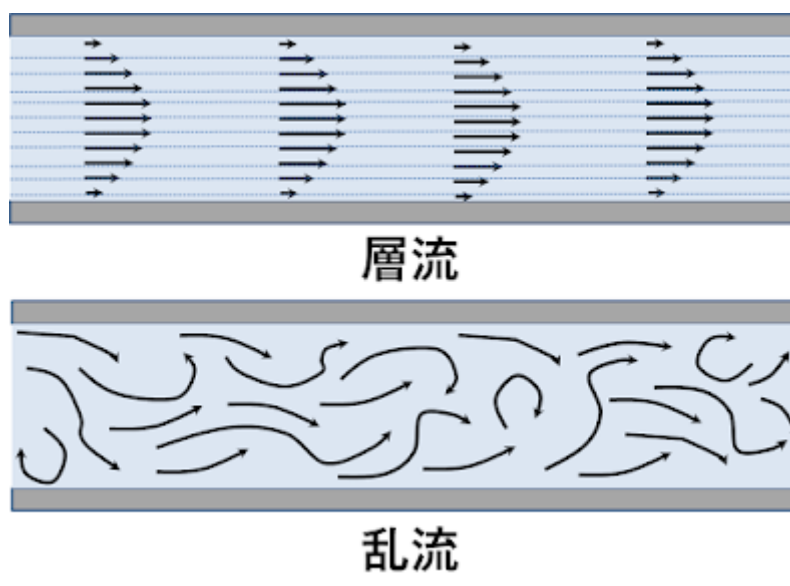


図 3

J E A C 4 2 0 6 - 2 0 0 7 には、Jackson-Fewster 式の前提となる強制対流熱乱流伝達率を求める方法も関係式も定められておらず、これらを求めるためにどのような方法を用いるかは電気事業者に委ねられている。もっとも、管内流の強制対流熱乱流伝達率の実験式としては、Dittus-Boelter 式を使用することが通常である。ここでは、参加人も Dittus-Boelter 式で乱流熱伝達率を求めたものと推定した上で、Jackson-Fewster 式で自然対流を考慮した共存対流熱伝達率を計算しているものと判断する。

(2) 強制対流乱流熱伝達の実験式 (Dittus-Boelter 式)

$$Nu_0 = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (1)$$

ここでは、 Nu_0 : 強制対流乱流時のヌセルト数³

Re : レイノルズ数⁴

Pr : プラントル数⁵

計算の詳細は甲 E 6 6 を参照されたい。

(3) 共存対流熱伝達の実験式 (Jackson-Fewster 式)

参加人は J E A C 4 2 0 6 - 2 0 0 7 に従い、次の Jackson-Fewster 式を利用して共存対流熱伝達率を計算したとする。

$$Nu = Nu_0 \left(1 + 4500 Gr Re^{-1} Pr^{-0.5} \right)^{0.31} \quad (2)$$

ここで、 Nu : 共存場でのヌセルト数

Nu_0 : 強制乱流場でのヌセルト数

Gr : 平均のグラスホフ数⁶

計算の詳細は甲 E 6 6 を参照されたい。

3 参加人の計算の誤りの内容 (甲 E 6 6)

(1) 共存対流熱伝達率の計算例 (圧力容器表面温度 200℃での試算)

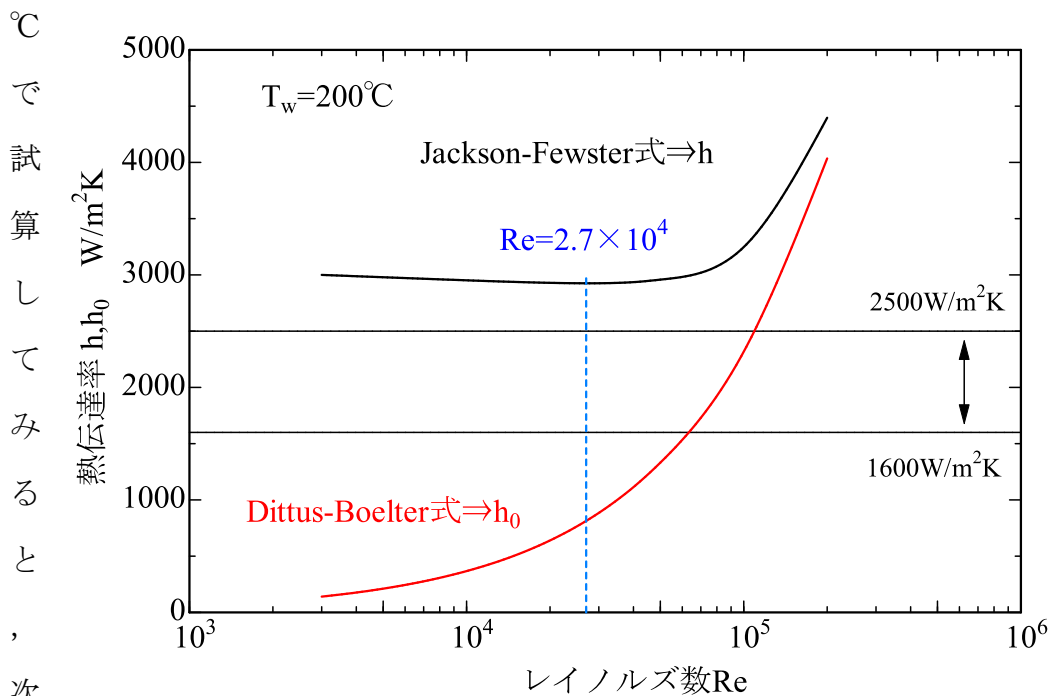
³ ヌセルト数 : 対流による熱伝達と流体 (静止している流体) の熱伝導の比率の無次元数

⁴ レイノルズ数 : 慣性力と粘性力との比で定義される無次元数 (主に層流や乱流のように異なる流れ領域を特徴づけるために利用される)

⁵ プラントル数 : 熱伝導に関する無次元の物性値であり、流体の動粘度と温度拡散率の比

⁶ グラスホフ数 : 伝熱現象、物質移動現象に関して、流れ場における粘性力に対する浮力の相対的な影響を示す無次元量

第1項で示したとおり、参加人は熱伝達率を最大でも熱伝達率は約 $2.5 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{ K})$ としている。しかし、圧力容器の表面温度が比較的高温の 200°C



熱伝達率のレイノルズ数による変化 $T_w=200^\circ\text{C}$ の時

図4の黒い実線に示されるように、いかなるレイノルズ数（いかなる流量、あるいは流速であったとしても）であっても、約 $2.9 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{ K})$ が最小値（レイノルズ数 $Re=2.7 \times 10^4$ の時）になるのであり、参加人が示した最大値を上回ってしまう。

図4

(2) 共存対流熱伝達率の最小値

上記方法で圧力容器の表面温度 T_w が 50°C 、 100°C 、 200°C 、 290°C の時の共存対流熱伝達率 h の最小値を計算して、結果をプロットしたものが次の図5である。

図5からは、圧力容器表面温度が、運転時の温度である $T_w=290^\circ\text{C}$ から $T_w=125^\circ\text{C}$ までの温度範囲では、どのようなレイノルズ数でも共存対流熱伝達

率は $2.5\text{kW}/(\text{m}^2\text{K})$ 以上となり、参加人が示した約 $1.6\text{kW}/(\text{m}^2\text{K})$ から約

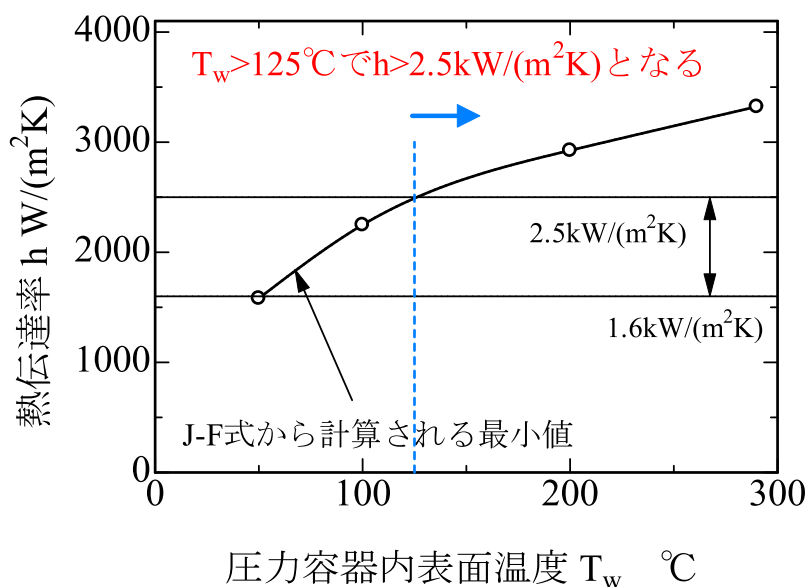


図5 圧力容器内表面温度と熱伝達率の最小値

$2.5\text{kW}/(\text{m}^2\text{K})$ とはならないことが分かる。つまり、参加人の Jackson-Fewster 式から熱伝達率を算出したという記述は疑わしい。参加人は Jackson-Fewster 式どおりに計算しておらず、熱伝達率を不当に低く見積もっている疑いがある。

図 5

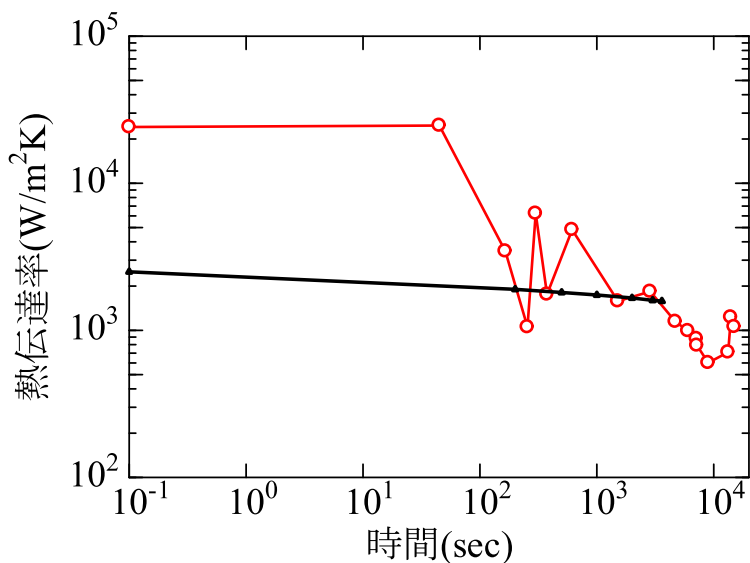
なお、原告の計算においても、圧力容器表面温度 $T_w < 125^\circ\text{C}$ の温度領域では参加人の主張する熱伝達率でも整合した（甲 E 6 6 図 3・4 参照）。

熱伝達率は、事故時の冷却過程における圧力容器壁内の温度分布、応力分布、応力拡大係数の算出に関わる基礎データである。参加人が J E A C 4 2 0 6 - 2 0 0 7 通りに計算していないとすると、P T S（加圧熱衝撃）解析の前提に誤りがあることになり P T S 解析にも過誤があることになる。

(3) 共存対流熱伝達率の評価

参加人の示した熱伝達率の妥当性について、別の視点から検討してみる。
 図6は、参加人の示した熱伝達率（黒い実線）と、高浜原発1・2・3号機のような3ループ型のPWR型原発の緊急冷却時の典型的な熱伝達率の計算例⁷（赤い○とこれらを結んだ赤い実線）を比較したものである。参加人の熱伝達率は、冷却開始から45秒間は、IAEAの報告書の計算例の10分の1以下となっており、255秒付近で計算例を上回る以外は、計算例より著しく低い値となっており、この点からも、参加人の示した熱伝達率の数值は過小評価の疑いを禁じ得ないのであり、ますます Jackson-Fewster 式の適用が誤っているのではないかという疑念が深まるばかりである。

なお3600秒以降は参加人の数值がないため比較はできない。



・赤い実線と○は IAEA TD 1627 p.145
 ・黒実線は参加人準備書面(12)

図 典型的な熱伝達率計算例

⁷ IAEA-TECDOC-1627, Pressurized Thermal Shock in Nuclear Power Plants: Good Practices for Assessment Deterministic Evaluation for the Integrity of Reactor Pressure Vessel, 2010, p.145.
https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1627_web.pdf

4 違法性の主張

Jackson-Fewster 式どおりの計算をしていないのであれば、J E A C 4 2 0 6 - 2 0 0 7 に反した計算となる。これは具体的審査基準に反していたのにもかかわらずそれを看過したものであり、その審査過程に看過しがたい過誤欠落があり、違法なものである。

上述のとおり、Jackson-Fewster 式どおり計算したのでは、参加人の導き出した熱伝達率の算出ができないことが明らかである以上、①計算に用いた強制対流乱流熱伝達の実験式、②ダウンカマー部の流路寸法と代表長さ、③冷却開始からの時間と冷却水の流量、④横軸を圧力容器表面温度、縦軸を共存対流熱伝達率とした図を明らかにした上で、Jackson-Fewster 式どおりに計算したことを明らかにしない限り違法である。

以 上