

目 次

第 1	水素爆発について	3
第 2	水蒸気爆発について	4
1	外部トリガーの発生可能性について	4
2	TROI の実験における溶融物温度について	4
第 3	緊急時対策棟について	10

本書面では、原告らが提出した平成 30 年 7 月 6 日付準備書面 59・60のうち、水素爆発・水蒸気爆発・緊急時対策棟について、必要な反論を行う。

第 1 水素爆発について

原告らは、準備書面 60において、被告九州電力の水素爆発に関する評価にあたって、ジルコニウム以外の金属により発生する水素の考慮が不十分であると主張する。

しかしながら、被告九州電力はジルコニウム以外の金属による反応も考慮して水素濃度を評価している。すなわち、被告九州電力は、ジルコニウム以外の金属による反応もジルコニウムによる反応に換算して解析を行っており【乙イ B90-2 (3.3-86 頁)】、その結果は、ジルコニウムによる反応及びジルコニウム以外の金属による反応を合わせた水素発生量は、全炉心内のジルコニウム量の約 27%が水と反応する際の水素発生量に相当するというものであった【乙イ B90-3 (3.4-27 頁)】。

もっとも、原子力規制委員会による「実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド」(以下、「審査ガイド」という。)では、「炉心内の金属 - 水反応による水素発生量は、原子炉圧力容器の下部が破損するまでに、全炉心内のジルコニウム量の 75%が水と反応する」ことを想定するよう定められている【乙イ A61 (17 頁)】。

つまり、審査ガイドでは、ジルコニウム及びジルコニウム以外の金属すなわち「炉心内の金属」と水の反応による水素発生量について、全炉心内の「ジルコニウム量」の 75%が水と反応することを想定することとされている。

この場合、ジルコニウム以外の金属 - 水反応による水素発生量は、ジルコニウム - 水反応による水素発生量よりも大幅に少なく、「全炉心内のジルコニウム量の 75%が水と反応するものとする」という保守的な条件に包含される【乙イ A112 (67 頁)】。

被告九州電力は、これを踏まえ、解析の反応(約 27%)を上回る全炉心内のジルコニウム量の 75%が水と反応することとし、水素発生量を評価したのである。

したがって、被告九州電力はジルコニウム以外の金属による反応も考慮して水素濃度を評価しており、原告らの主張には理由がない。

第2 水蒸気爆発について

1 外部トリガーの発生可能性について

被告九州電力は、準備書面18・23において、これまでに実施された水蒸気爆発に係る各種実験の結果等を踏まえ、実機において水蒸気爆発の生じる危険性が極めて低いことが確認されていることを述べた。

これに対し、原告らは準備書面60において、水素爆発を原因とする圧力パルスなど、実際の過酷事故において想定される外部トリガー（外乱）は複数存在するところ、かかる外部トリガーの発生可能性について検討していないと主張する。

しかしながら、被告九州電力準備書面18・23で述べたとおり、本件原子力発電所で万一炉心溶融に至った場合においても、原告らの主張する水素爆発に至る危険性はないため、外部トリガー（外乱）となることは考えられない。また、同準備書面で述べたとおり、水蒸気爆発に係る各種実験結果から、本件原子力発電所において、実験で付加したような膜沸騰状態¹を不安定化させる外部トリガー（外乱）が発生することも考えられない。

したがって、原告らの主張には理由がない。

2 TROIの実験における溶融物温度について

- (1) また、原告らは準備書面60において、被告九州電力がTROIの実験において水蒸気爆発が発生したケースは、溶融物の過熱度²を実機想定よりも高く設定していると主張したことに対し、被告九州電力の主張はすでに修正された2002年レポートに基づくものであり、その後の2003年レポートにおいては、まさに実機に

¹ 膜沸騰状態：液体への熱伝達において伝熱体の伝熱面の全面を沸騰した蒸気が膜となって覆い、その蒸気膜と液体との接触面から直接に沸騰する状態。

² 落下前の溶融物の温度と溶融物の融点（固体が液体に変化する時の温度）との差。溶融物の過熱度が高いほど、表面の固化までの時間が長くなり、細粒化も進むため水蒸気爆発が発生し易くなる。

において想定される溶融物温度において自発的水蒸気爆発が発生したとの実験結果が明らかになっているとも主張する。

しかしながら、TRO I³の実験結果の計測温度に関して、被告九州電力が根拠とした「Fuel coolant interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture」（以下「2002年TRO I レポート」という。）が原告らの言う「2003年レポート」と思われる「Insights from the Recent Steam Explosion Experiments in TROI」（以下「2003年TRO I レポート」という。）で修正された事実はなく、原告らの主張はこれらのレポートの内容を誤って解釈するものである。

以下、TRO Iの実験に関するレポートの内容について詳細に述べる。

- (2) TRO Iの実験において水蒸気爆発が発生したケースは、外乱を与えた条件で7回、溶融物の過熱度を実機想定（300K⁴程度）よりも高くした条件で4回（TRO I 実験ID10, 12, 13, 14），両方の条件を付加した場合で4回、水蒸気爆発が発生しているが、いずれも実機で生じるとは考えられない条件を付加した結果である⁵【乙イB58-2（添3.3.1-1, 添3.3.1-6頁）】。

³ TROI：韓国原子力研究所が行った実験。

⁴ K（ケルビン）：絶対温度ケルビン（K）。原子・分子の熱運動がほとんどなくなる温度を0K（絶対零度）とする温度の単位。0°C=273K。

⁵ TROIの実験では、外乱を与えた場合（火薬により爆発を生じさせる。）においても水蒸気爆発に至らなかったケースが3回、溶融物の過熱度が実機想定よりも高い場合においても水蒸気爆発に至らなかったケースが7回、両方の条件を付加した場合においても水蒸気爆発に至らなかったケースが1回あり、外乱等を与えたとしても常に水蒸気爆発が発生するわけではない。

表1 実機で想定される模擬溶融物を用いた水蒸気爆発に関する実験結果⁶

実験	実験 ID	溶融物タイプ	UO ₂ 質量割合	溶融物 質量 kg	溶融物 温度 K	外乱の有無	水蒸気爆発 発生の有無
TROI	9	70%UO ₂ + 30%ZrO ₂	0.7	4.3	3,200	—	—
	10	70%UO ₂ + 30%ZrO ₂	0.7	8.7	3,800	—	○
	11	70%UO ₂ + 30%ZrO ₂	0.69	9.185	3,800	—	—
	12	70%UO ₂ + 30%ZrO ₂	0.7	8.4	3,800	—	○
	13	70%UO ₂ + 30%ZrO ₂	0.69	7.735	3,500 ^(注1)	—	○
	14	70%UO ₂ + 30%ZrO ₂	0.69	6.545	3,200~ 4,000 ^(注2)	—	○

(注1) 参考文献「Fuel Coolant Interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture」によれば温度計測に問題があり、実際には3,500K程度以上と推測されている。

(注2) 参考文献「Fuel Coolant Interaction experiments in TROI using a UO₂/ZrO₂ mixture」によれば二つの温度計が異なる最高温度(4,000K, 3,200K)を示しており、計測の不確かさが大きいとされている。

(乙イB58-2(添3.3.1-6頁)を基に作成)

ここで、実機で想定される模擬溶融物の融点は2,811K程度、同じく本件原子力発電所における過熱度は実機を模擬した解析結果や論文から300K程度【乙イB58-2(添3.3.1-1, 添3.3.1-6頁)】と想定されるところ、実験ID10及び実験ID12の溶融物温度は、表1において、いずれも3,800K(溶融物の融点を2,811Kとした場合、過熱度は989K)であり、溶融物の過熱度が本件原子力発電所における想定より高い条件下での実験である。

また、実験ID13の溶融物温度は、表1の基となる2002年TROIレポートでは、2,600Kとの記載もあるが、同レポートの考察において、①測定温度が3,500K程度に達した際に、通気孔から大量のガスが出てきたこと、②ガスは温度測定に大きな影響を与えること、③図1に示すとおり、測定温度が3,500K程度に達し

⁶ 「外乱の有無」の欄に○印がある場合は、溶融物が水プールに落下中、人為的な圧力をかけて、強制的に膜沸騰状態の蒸気膜を不安定化させた(トリガーを与えた)実験であり、「水蒸気爆発発生の有無」の欄に○印がある場合は、水蒸気爆発が発生した実験。

た後も溶融物への加熱は続いていたことを考慮すれば、実際の温度が3,500K程度以上である可能性が非常に高いと分析していることから、表1における数値である3,500Kとしている【乙イA113-1(5, 8頁), 乙イA113-2】。なお、2002年TRO Iレポートには、原告らが主張するような、「3,100℃」との記載はない。

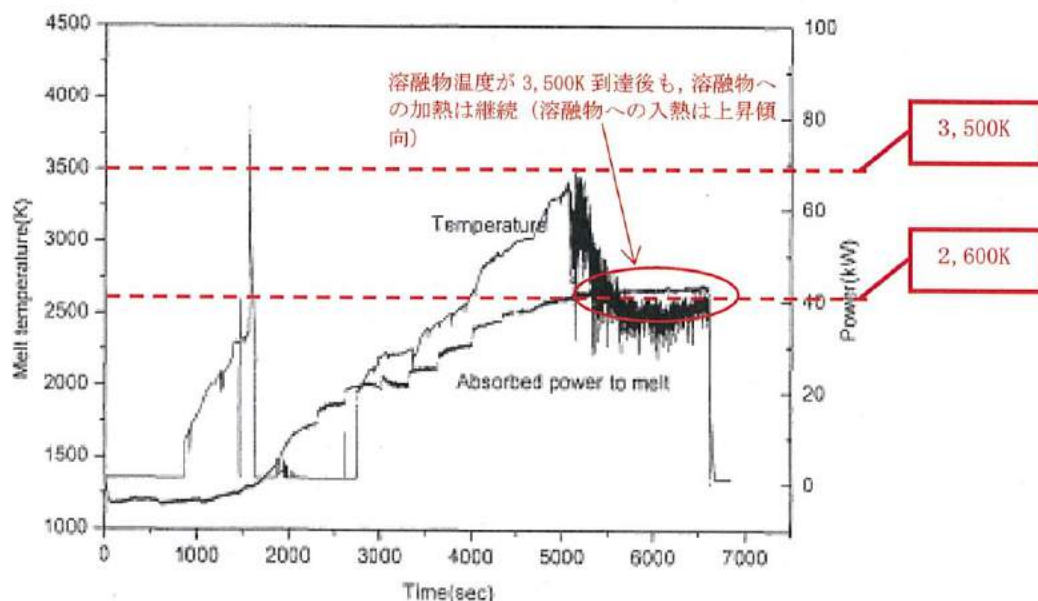


Fig. 7. Melt temperature and power absorbed in the melt TROI-13.

図1 TROI-13実験の溶融物温度と溶融物への加熱
(乙イA113-1(8頁)のFig.7に一部加筆)

実験ID14の溶融物温度は、2002年TRO Iレポートでは、3,000Kとの記載もあるが、同レポートの考察において、図2を示しつつ、①実験ID14では、測定温度の比較のためIRCON温度計とCHINO温度計の2種類の高温度計が用いられたこと、②CHINO温度計での最高温度が4,000K近くであった一方で、IRCON温度計での最高温度は3,200K程度であり、この極めて高い温度における測定は、多くの不確かさを排除できないと分析していることから、表1における数値である3,200~4,000Kとしている【乙イA113-1(5, 8~9頁), 乙イA113-2】。

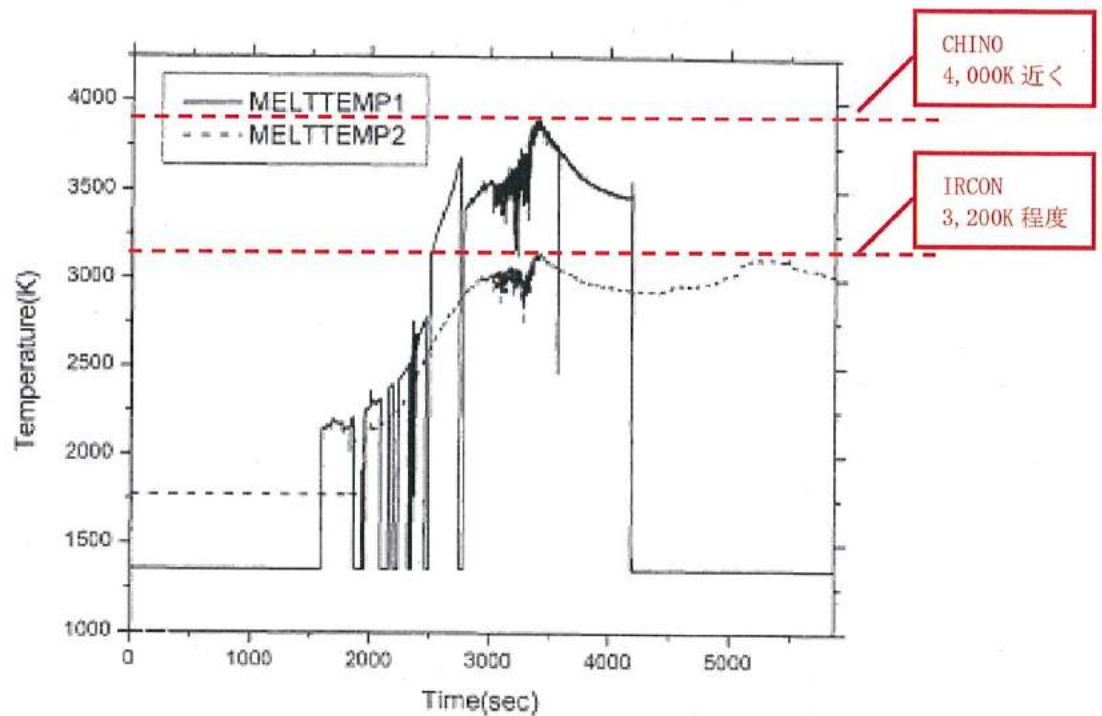


Fig. 8. Melt temperature for TROI-14 by CHINO and IRCON pyrometer.

図2 CHINO温度計とIRCON温度計による
TROI-14実験の溶融物温度
(乙イA113-1 (9頁)のFig.8に一部加筆)

そして、実験ID13及び14における測定温度の不確実性については、2003年TROIレポートにおいても図3を示しつつ、ほぼ同様の分析がなされている。

すなわち、実験ID13に関しては、①溶融物温度が3,500K程度に達すると、通気孔から大量のガスが出てきたこと、②ガス中の粒子の粒径が測定波長と類似している場合、ガスの放出は温度測定に大きく影響すること⁷、③ガス放出による温度測定への影響と、溶融物温度が3,500K程度に達した後も溶融物への加熱が続いていることを考慮すれば、ガス放出期間中の測定温度の低下は誤りであると判断されることから、実際の温度が3,500K付近である可能性は非常に高いとしている

⁷ 本実験に使用された高温計は、測定対象物の表面から発せられる放射エネルギーの強度を測定して遠隔で温度を求めるものであり、測定対象物との間に粉塵やガス粒子等の障害物がある場合は、放射エネルギーが吸収又は散乱されることから測定誤差が生じる。

【乙イA114-1 (793頁) , 乙イA114-2】。

また、実験ID14に関しては、①CHINO温度計での最高温度が3,800K程度⁸であった一方で、IRCON温度計での最高温度は3,200K程度であったことから、②この極めて高い温度における測定は、多くの不確かさを排除できないこと、③溶融物の（試験設備への）供給直前の温度は、高温計の上限値に非常に近い3,773 Kであったとしている【乙イA114-1 (793～794頁) , 乙イA114-2】。

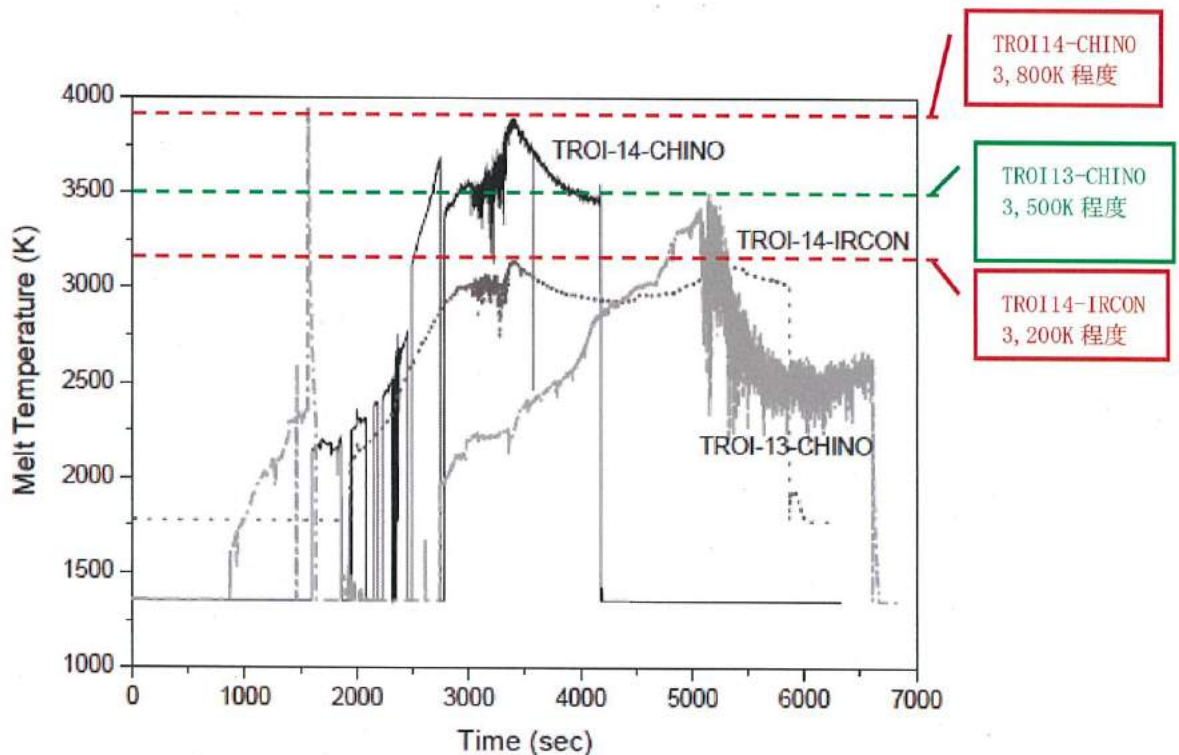


Fig. 17 Melt temperatures for TROI-13 and TROI-14

図3 TROI-13実験と14実験の溶融物温度
(乙イA114-1 (794頁) の Fig.17 に一部加筆)

上記の2002年TROIレポート及び2003年TROIレポートの分析は、実際には、実験ID13の溶融物温度は、3,500K程度又はそれ以上（溶融物の融点を2,811 Kとした場合、過熱度は689K程度又はそれ以上）と推測されること、また、実験

⁸ 2002年TROIレポートでは、「4,000K近く」とされているが、同じことを指している。

ID14は温度計測の不確かさが大きいものの、試験設備への供給直前の溶融物温度は3,773K（溶融物の融点を2,811Kとした場合、過熱度は962K）であったことを示唆しており、いずれも溶融物の過熱度が実機想定より高い条件下での実験であることを示している。つまり、TRO I 実験において自発的水蒸気爆発が発生したとされる4ケース（実験ID10, 12, 13, 14）は、いずれも溶融物の過熱度が実機想定より非常に高い条件下での実験であったといえる。

(3) 以上のとおり、2002年TRO I レポートと2003年TRO I レポートとではほぼ同様の分析がなされており、2002年TRO I レポートの計測温度が2003年TRO I レポートで修正された事実はない。原告らが2003年TRO I レポートで修正されたかのように述べているTRO I 13の計測温度2,600K及びTRO I 14の計測温度300K（3,000Kの誤りと思われる）は、2002年TRO I レポート、2003年TRO I レポートそれぞれにおいて測定値の妥当性評価前の温度として示されている数値であると思われる。

ちなみに、こうした測定温度の不確かさに関する分析について、原子力規制委員会は、本件原子力発電所の審査書案に係るパブリックコメントに対する回答において、「一般論として、温度の計測結果には不確かさがあることは承知しています。TRO I 実験においては、印加出力と測定温度との関係から測定温度を較正する措置が講じられていることを確認しています。」と説明している【乙イB 57（別紙1 45頁）】。

第3 緊急時対策棟について

原告らは、緊急時対策棟は、設計基準を超える条件においても確実に機能することが担保されなければならないのであるから、耐震安全性を追求することに意味がなく、免震重要棟の設置が必要である旨主張する。

しかしながら、緊急時対策所については、法令上「重大事故等が発生した場合においても当該重大事故等に対処するための適切な措置が講じられる」ことが要求されており（設置許可基準規則第61条第1項）、「基準地震動による地震力に対し、免震機能等により、緊急時対策所の機能を喪失しないようにする」旨規定されている

が（設置許可基準規則の解釈第61条第1項 a）、基準地震動による地震力に対する耐震安全性を確保するための手段については、必ずしも免震機能を有していることを要求するものではない。

被告九州電力は、福島事故を踏まえた更なる安全確保対策として、必要な指揮命令、通信連絡及び情報の把握等を行う拠点施設として、中央制御室から離れた場所に緊急時対策所（名称：代替緊急時対策所）を新たに設置しており、この代替緊急時対策所について、被告九州電力は、基準地震動Ss-1～Ss-5による地震力に対する評価値（応力値）を求め、それが評価基準値を全て下回ることを確認し、基準地震動による地震力に対する耐震安全性を確保している（被告九州電力準備書面23（16～17頁））。なお、代替緊急時対策所の耐震安全性の評価値は、評価基準値に対し十分な余裕を有しており（同準備書面23（17頁・表1））、仮に基準地震動を超える地震が発生したとしても、直ちに耐震安全性に影響を与えるものではない。

その上、被告九州電力は一層の安全性向上への取組みとして、緊急時対策要員（指示要員、現場作業要員）がより確実に重大事故等に対処できるように、要員の収容スペースの拡大や休憩室の整備等の支援機能をさらに充実させた緊急時対策棟を今後建設することとしており、被告九州電力は、この緊急時対策棟についても、代替緊急時対策所と同様、耐震構造により、基準地震動による地震力に対する耐震安全性を確保することとしている（被告九州電力準備書面18（28～29頁））。

したがって、免震重要棟によらずとも、被告九州電力の代替緊急時対策所により万一の重大事故等にも対処可能なのであり、原告らの主張には理由がない。

以 上