

ていま  
履歴は、  
接に関  
には、  
被害が

地形は  
然災害  
さまざ  
かが大  
は「自  
います。  
々が自  
ている  
います。  
もとに、  
があり  
避難指  
ると、  
るので  
低い浅  
て安全  
地上は  
て一般  
上では  
うな場  
といっ  
て避難  
険性が  
難する  
  
の担当  
ことが  
がどの  
判断す  
ると考  
特性を

理解し、地域の自然環境の特性を把握することが  
できるために自然地理学の果たす役割は大きいと  
考えています。

また、わが国におけるこのような知識や経験は、  
温暖化にともなう海面上昇やさまざまな自然災害  
が深刻な問題となっている途上国に対しても大き  
な貢献に繋がると考えます。

## 格納容器内の水蒸気爆発の危険性につ いての補足

高島武雄 たかしま たけお  
元横浜国立大学工学部、工学博士

本誌9月号に、「原子炉格納容器内の水蒸気爆  
発の危険性」を後藤政志氏と共同で寄稿した。そ  
の後、さらに文献を精査して、新たな事実を確認  
するに至った。ひとつは、TROI実験のデータに  
関すること、もう一つは、層状系での水蒸気爆発  
の発生の可能性についてである。

その内容を、ここに補足という形で報告したい。

### TROI 実験の結果の解釈

TROI 実験は、実機において想定される核燃料  
溶融物(二酸化ウラン(UO<sub>2</sub>)とジルコニウム(Zr)の混合溶融  
物)を用いた大規模実験のひとつで、自発的な水  
蒸気爆発が確認されたことが報告されている<sup>1,2</sup>。  
にもかかわらず、2014年7月に公表された川内  
原発の審査書案<sup>3</sup>には、TROI 実験の記述がなか  
った。そこで筆者は、川内原発の審査書案に対す  
るパブリックコメントでこの点を指摘した。それ  
に対する原子力規制委員会の「考え方」では、  
TROI 実験での自発的な水蒸気爆発の発生を認め  
たうえで、「実験時の溶融物温度が実機条件より高  
すぎる」という趣旨の回答を行い、「実機におい  
ては、水蒸気爆発は極めて起こりにくい」という  
判断を変えなかった。表1に自発的な水蒸気爆  
発の発生が確認された実験の主な条件を示す<sup>1,2,4</sup>。

なお、TROI-13では、容器底部から0.2mの壁  
面に設置した圧力センサーで0.7MPaの圧力値  
を記録している。また、溶融物の熱エネルギーの  
0.40%が機械的エネルギーに変換されている<sup>4</sup>。

ところが、文献を再確認したところ、文献1  
では、TROI 実験のうち、TROI-13の溶融物温  
度を3300K以上としていたが、その後、発表さ  
れた文献2では、温度測定を示しながら  
2600Kに訂正している。また、TROI-14は  
実機条件に近い3000Kであり、「温度が実機条  
件より高すぎる」という規制委員会の認識は誤り  
であることを指摘したい<sup>\*1</sup>。

なお、ウラン-ジルコニウム-酸素の三元合金を  
形成する核溶融燃料物では、二酸化ウラン(UO<sub>2</sub>)  
やジルコニア(ZrO<sub>2</sub>)の融点よりかなり低い温度(約  
2000~2200℃。絶対温度では約2300~2500K)で、急速に  
「燃料溶融」が進むことが知られている<sup>5</sup>。

温度測定の数値に関しては、2600Kである  
という文献の発表が後であることや、文献1が国  
内雑誌への発表であるのに対し、文献2は国際  
雑誌に発表されていることから、後者の数値に説  
得力があると解釈するのは自然であろう<sup>\*2</sup>。

BWR型原子炉を所有している電力会社の文書<sup>4</sup>  
には、TROI 実験の記述があり「UO<sub>2</sub>混合物を  
用いた場合でもトリガーなしで水蒸気爆発が発生  
している例(TROI-10, 12, 13, 14)が報告されている」  
と、自発的な水蒸気爆発の発生を認めている。し  
かし、「溶融物温度が高い」(TROI-10, 12)、「温度計  
測に問題がある」(TROI-13)、「温度計測の不確かさ  
が大きい」(TROI-14)などと述べ、挙句は、TROI  
実験においても「水蒸気爆発の発生可能性は十分  
小さいと考えられる」と勝手に解釈を行っている。

\*1—温度測定には不確実性があり、その考察も行われている  
が、最も確かな値として表中に明記されている。このことは重  
要であろう。

\*2—重要なことは、外部トリガーによっては水蒸気爆発が容  
易に発生し、「実機条件」以上の温度では、自発的に水蒸気爆  
発が起こり、「実機条件」の温度でも起こる可能性があるとい  
うことである。規制委員会の審査において「温度が高いこと」  
を理由に水蒸気爆発の可能性を否定し、現状の設備が規制基  
準に適合していると判定しているのは早計である。

表 1—自発的な水蒸気爆発の発生が確認された実験の主な条件<sup>1,2,4</sup>

		実験番号			
		TROI-10	TROI-12	TROI-13	TROI-14
溶融物条件	組成(wt%)	二酸化ウラン(70), ジルコニア(30)	二酸化ウラン(70), ジルコニア(30)	二酸化ウラン(69), ジルコニア(30), ジルコニウム(1)	二酸化ウラン(69), ジルコニア(30), ジルコニウム(1)
	温度(K)	>3373	3800	2600	3000
	落下重量(kg)	8.7	8.4	7.735	6.545
水槽条件	内径(m)	0.6	0.6	0.6	0.6
	水深(m)	0.67	0.67	0.67	0.67
	水の重量(kg)	189	189	189	189
	水温/サブクール度(K)	298/75	293/80	292/81	285/88
	系圧力(MPa)	0.117	0.11	0.108	0.105

曲解といっても過言ではないであろう。

### 電力会社や規制委員会の認識

PWR 原発を所有している九州電力などが、TROI 実験について検討せずに申請を行い、原子力規制委員会が、このことを見過ごしたとしたら問題は大きい。もし、電力会社が TROI 実験の結果を知っていながら、これに触れなかったとすれば、もちろん問題である。いずれにしても、申請には不備があり、規制委員会が TROI 実験の存在を審査で指摘しなければならなかったと思われる。電力会社の言う「実機においては、格納容器の損傷に至る大規模な原子炉圧力容器外水蒸気爆発の可能性は十分小さいと考えられる」という結論には、何ら根拠がないことは明らかであろう。

電力会社の中には規制委員会の「考え方」をも逸脱するものもある。たとえば中国電力の文書<sup>6</sup>には、「原子炉圧力容器外における溶融燃料-冷却材相互作用については、これまでに種々の実験が行われているが、外部からの強制的なトリガーを与えない場合には水蒸気爆発は発生しないという結果が得られている」と記述されており、「水蒸気爆発は発生しない」と断定している。この断定は、明らかな誤りであり、何ら根拠がない。

これに関連して、水蒸気爆発解析コード<sup>7</sup>に対する申請者である電力会社の認識を取り上げてみる。申請者である電力会社は、「JASMINE コー

ドを用いた水蒸気爆発の評価では、水蒸気爆発の規模が最も大きくなる時刻に、液-液直接接触が生じるような外乱を与え水蒸気爆発を誘発していること、融体ジェット直径分布として、0.1 m~1 m の一様分布を与え、流体の運動エネルギーを大きく評価していることを示し、これらの評価想定は、実機での想定と異なることを示した<sup>8</sup>というもので、解析コードそのものを、否定的に評価している。当然、解析結果には触れず、水蒸気爆発の発生は考慮に値しないといっているに等しい。文献 7 の水蒸気爆発解析コードについては、なぜ許容応力と負荷荷重または圧力という形で報告されないのかという疑問があるが、重要なことは、どの程度の水蒸気爆発が起これば格納容器などの構造物の破損は避けられないのか、明確にすることではないだろうか。電力会社には真摯な対応を求めたい。

### 層状系における水蒸気爆発の検討の必要性

2013 年の NURETH-15 (The 15<sup>th</sup> International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics) において、約 78 kg という比較的大量の溶融ビスマスなどと水の層状系の水蒸気爆発の発生が報告された<sup>9</sup>。通常の水蒸気爆発では、水プール中で高温融体が、膜沸騰蒸気膜に包まれて、液滴として分散して粗混合状態を形成する。それに対して、層状系とは、高温融体が、水とは蒸気膜で隔てられて、水中で

69),  
)),  
))

汽爆発の  
接触が  
能してい  
).1 m~1  
レギーを  
の評価想  
た』<sup>2)</sup>とい  
的に評価  
水蒸気爆  
に等しい。  
ては、な  
形で報告  
なことは、  
器などの  
にするこ  
な対応を

## 要性

onal Topical  
いて、  
スなどと  
された<sup>3)</sup>。  
温融体が、  
散して粗  
状系とは、  
、水中で

プール底面に拡がり形成する系である。拡がり部分の先端の蒸気膜崩壊が、水平方向に伝播・拡大して大きな爆発に至るとされているが、そのメカニズムは十分に明らかにはされていない。層状系の水蒸気爆発の存在は、1980年代の終わりから報告されていたが、爆発に関与する高温液の厚さが小さいと思われることから、深刻な事態にはならないとして、重要視されてこなかった。ところが、本報告にあるように温度が1000℃を超える条件では、高温溶融物の熱エネルギーの仕事への変換は3%を超えることが明らかになった。これは従来の激しい水蒸気爆発実験(溶融アルミナによるKROTOS実験などに)匹敵するものである。

原子炉の過酷事故時には、压力容器内・外の両方で層状系のFCI(Fuel-Coolant Interaction, 溶融炉心と冷却材の相互作用)が想定はされてきた。しかし、日本の原子力発電所では、これまでの設置審査においては、層状系の水蒸気爆発の発生を考慮した形跡がない。規制基準にもないと思われる。この点は規制基準の重大な問題ではないだろうか。規制委員会には早急に対応することを要求したい。

## 文献

- 1—J. H. Song et al., Spontaneous Steam Explosions Observed In The Fuel Coolant Interaction Experiments Using Reactor Materials, Journal of the Korean Nuclear Society, 33(4), 344-357 (2002)
- 2—J. H. Song et al., Insights from the Recent Steam Explosion experiments in TROI, Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, 40(10), p. 784(2003)
- 3—九州電力株式会社川内原子力発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(1号及び2号発電用原子炉施設の変更)に関する審査書(原子炉等規制法第43条の3の6第1項第2号(技術的能力に係るもの)、第3号及び第4号関連)、2014年7月16日、原子力規制委員会。
- 4—資料1-4、重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて(第5部 MAA)添付2 溶融炉心と冷却材の相互作用について、2015年6月、東北電力株式会社、東京電力株式会社、中部電力株式会社、中国電力株式会社、p. 5-2-5. ([http://www.tepco.co.jp/solution/power\\_equipment/nuclear\\_power/pdf/nuclear\\_power\\_150609\\_04.pdf](http://www.tepco.co.jp/solution/power_equipment/nuclear_power/pdf/nuclear_power_150609_04.pdf))
- 5—倉田正輝、炉心溶融、エネルギーレビュー、2015年9月号、p. 12。
- 6—重大事故等対策の有効性評価に係るシビアアクシデント解析コードについて、2015年7月、中国電力株式会社([http://www.energia.co.jp/judging/gaiyou/pdf/gaiyou\\_h270710\\_2.pdf](http://www.energia.co.jp/judging/gaiyou/pdf/gaiyou_h270710_2.pdf))

7—森山清史・他、軽水炉シビアアクシデント時の炉外水蒸気爆発による格納容器破損確率の評価、JAEA-Research-2007-072、8—D. Grishchenko et al., Insight Into Steam Explosion in Stratified Melt-Coolant Configuration, NURETH15-599, 2013.

## 『原発避難白書』の刊行

松田 曜子 ほつだ ようこ

関西学院大学災害復興制度研究所・特任准教授

関西学院大学災害復興制度研究所、福島の子どもたちを守る法律家ネットワーク(SAFLAN)、東日本大震災支援全国ネットワーク(JCN)では、2014年冬に弁護士、支援者、ジャーナリスト、研究者、そして当事者など約20名からなる原発避難白書編集委員会を結成し、約1年半の取材、編集作業を経て、本年9月に『原発避難白書』(人文書院)<sup>1)</sup>を刊行することができた。原発避難白書では、2011年3月からの避難をめぐる様々な動き、賠償基準に基づいた避難者の分類、避難当事者の証言、全国47都道府県における支援の状況、研究者による解説を順にまとめている。

上記に挙げた幹事団体の三者は2012年から研究所が主催する研究会において、様々な立場の当事者や社会学、心理学等を専門とする研究者に原発避難問題の現状を語っていただく機会を持っていたが、議論が進むたびに、この問題の外縁と全体像を早く明らかにしなければ、問題そのものが雲散霧消となってしまうのではないかという危機感を持っていた。当時においても、既に原発避難を取り上げた研究論文やルポ等は多数出版されていたが、それらが誰かあるいはどこか特定の地点に注目した証言であるとするれば、できるだけ問題の全体像を浮き上がらせる形で原発避難という問題に光を当てたいというのが、白書編集委員会に共通する問題意識であった。その背景には、原発事故によって日本がかつてない状況を経験したこと、またそのこと自体が社会問題として正當に取り上げられないために、多くの避難者が先の見えない苦しみにさらされていたこと、さらに事故が