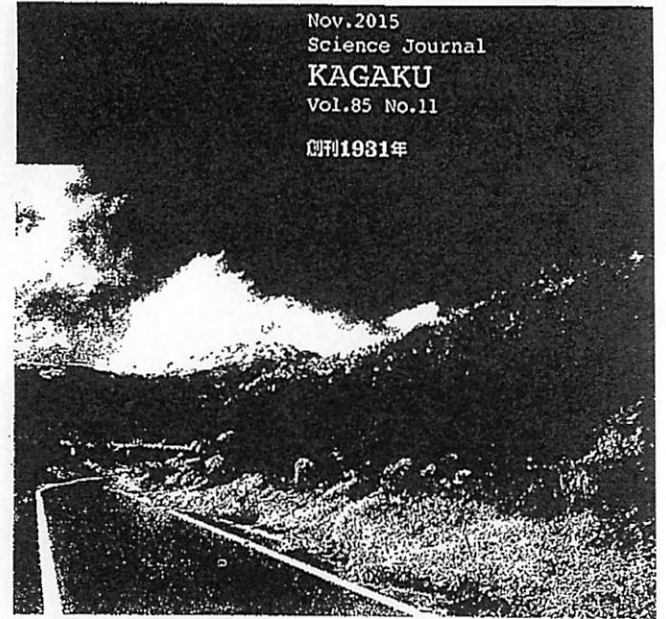




2015 科学 11 Science Journal KAGAKU 土の現在、土の未来

地球科学と建築史の視点

岩波書店



Nov. 2015
Science Journal
KAGAKU
Vol. 85 No. 11
創刊1981年

特集

土の現在, 土の未来 国際土壌年に寄せて

- 世界の土壌はいま 小崎 隆
- 土壌と地球環境 和穎朗太
- 土のなかの生物多様性を農業に活かす 金子信博
- 窒素循環と環境問題 波多野隆介
- 「黄土」とともに生きる人びと 丹羽朋子
- 砂漠化最前線での「何もしない」対処技術 伊ヶ崎健大
- ハッタミミズと土 渡辺弘之
- 地下深部では何が起きているか 長沼 毅
- 教科書から土が消えている 平井英明
- 都市化と土壌 川東正幸
- (科学時評) 黄土師の訴え 伊沢正名

- 地球科学と建築史の視点
- 実は増加ペースの増している汚染水
- 気候環境から地形変化まで
- デイゼル車排ガス規制緩和の弊害
- オゾン層破壊物質削減の功

発行所—岩波書店 編集者—田中大誠
 発行所—〒101-8602 東京都千代田区一ツ橋 2-5-5 岩波書店
 電話—【案内】03-5210-4000 【販売部】03-5210-4111 【編集部】03-5210-4435
 ©岩波書店 2015 紙誌 00160-0-26240
 印刷所—三芳舎 Printed in Japan 定価(本体)1333円+税



4910023171150
01333

岩波書店 352

理解し、地域の自然環境の特性を把握することができると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 たけしま 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事、もう一つは、層状系での水蒸気爆発の発生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(UO₂)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^{1,2}。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³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とうえで、「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^{1,2,4}。

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⁴。

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、温度測定データを示しながら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⁴。

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(UO₂)やジルコニア(ZrO₂)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⁵。

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²。

BWR型原子炉を所有している電力会社の文書⁶には、TROI実験の記述があり「UO₂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—温度測定には不確かさがあり、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^{1,2,4}

		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
	水深(m)	0.6	0.6	0.6	0.6
水層条件	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	293/60	292/81	285/68
	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、このことを見逃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⁶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⁷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、0.1m~1mの一種分布を与え、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⁷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 15th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics)において、約78kgという比較的大量の溶融ピ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⁸。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