

福島第一原子力発電所事故の分析と考察： 事故進展プロセス説明と方法論

(株) 社会技術システム安全研究所 田辺 文也

TANABE, Fumiya

1. **分析方法**：計測データが無い場合は簡易モデル¹⁾で炉心水位を求め、高温度におけるジルコニウム-水蒸気反応の支配的制約が水蒸気枯渇であることを利用して反応熱、水素発生量を計算し、水位以上の蓄積エネルギーを基に炉心温度を導出し²⁾、それらと各種観測データ分析を基に炉心溶融過程を含む事故進展プロセスと放射性物質大量放出シナリオの解明を進めている。

2. 分析結果

2.1 炉心溶融過程

分析結果を表1に示す。最初の炉心溶融フェーズでは、2号機で蒸気枯渇のために水素が殆んど発生しないという結果が目される。3月20日以降、注水量が崩壊熱除去必要量以下に絞られたことなどが原因で再溶融が起こり^{2,3)}、圧力容器に残っていた炉心燃料物質も大部分が格納容器に落下し、大量の放射性物質の外部環境放出をもたらしたと推定される。それは放出率推移⁴⁾及び線量率推移におけるピーク出現と対応している。

表1 解析結果：福島第一原子力発電所原子炉主要イベント（青字は計測データ解析、黒字はモデル解析の結果）

	1号機(1F1)	2号機(1F2)	3号機(1F3)	備考
炉心頂部露出	03/11 17:00 (仮定)	03/14 16:20	03/13 03:29	
炉心底部露出	03/11 19:41:20	03/14 18:22	03/13 07:45:50	
炉心損傷開始(1200K)	03/11 17:51:55	03/14 18:48:06	03/13 05:17:50	被覆管破裂
炉心物質溶融開始(1500K)	03/11 18:13:05	03/14 19:18:00	03/13 05:55:40	B ₄ C/SS(制御棒)
Zr-蒸気反応急激進行	03/11 18:13:05	無反応(蒸気枯渇)	03/13 05:55:40	共晶融解
UO ₂ 溶融開始(3113K)	03/11 19:15:25	03/14 22:33:58	03/13 07:17:20	
UO ₂ 溶融完・炉心崩壊	03/11 19:41:20	03/14 23:27:12	03/13 07:45:50	
下部プレナムへの溶融炉心物質落下	03/11 19:41:20	03/14 21:10, 23:15,	03/13 10:02 03/13 11:55	
圧力容器破損	03/11 21:30頃	03/14 21:03	03/13 9:10頃	
水素発生量	453kg (31%酸化)	極少量	1211kg (61%酸化)	
大規模再溶融発生	03/20	03/29 13:00-16:00	03/21 01:25、03/22	
再溶融起因と推定される空間放射線線量率急上昇	福島第2原発、山形、盛岡、水戸、東海村	新潟	福島第2、水戸、東海村、千葉、東京、など	
炉心燃料物質存在場所(07/10 現在)	大部分は格納容器、一部は原子炉容器	大部分は格納容器、一部は原子炉容器	大部分は格納容器、一部は原子炉容器	

2.2 2号機放射性物質大量放出シナリオ

最も深刻な放射性物質放出をもたらしたと考えられる2号機で、格納容器圧力抑制室(S/C)は3月12日正午頃までに地震又は付加的なその後の負荷のために破損したと推定される。その仮説で、15日1:00-6:00のS/C放射線量率(CAMSデータ)の減少、14日21:18の逃がし安全弁(SRV)2個開の後の21:37のサイトでの空間線量率ピーク

の出現、格納容器ドライウェル(D/W)圧力計算で計測値の傾向を再現するには12日正午頃からD/W破損を仮定する必要があること、などが矛盾なく説明できる。以下で図1を参照しつつ想定主要イベントを記す。①3/14 18:22；炉心燃料完全露出。②20:26；燃料被覆管等溶融落下開始。③21:03；原子炉圧力容器（RPV）底部損傷・小穴貫通、D/Wに溶融構造材及び放射性物質が流出。④21:18；SRV2個開、放射性物質がS/C経由で大気環境へ流出。21:37に1F正門付近でピーク値3130 μ Sv/hを計測。⑤21:21；SRV1個閉⑥22:40；炉心燃料溶融落下開始⑦23:25；RPV底部損傷・大穴に拡大貫通、溶融燃料物質がD/Wに流出。⑧23:30；SRV1個閉。⑨00:08；RPV底部損傷穴閉塞。⑩01:02；RPV底部損傷穴再貫通。⑪06:00；D/W過温でS/C圧力信号ケーブル断線、S/C圧力0.0（絶対値）を表示。⑫06:20；D/W過温破損穴貫通、09:00頃まで穴拡大、放射性物質大量放出。⑬07:20；これ以降にD/W圧力、RPV圧力降下開始⑭08:10頃；RPV圧力が下がったために、消防ポンプからの注水がRPV内部に到達。9:00に1F正門付近でピーク値11930 μ Sv/h。⑮13:00；RPV圧力が高く、消防ポンプ注水が再びRPV内部に不到達。⑯15:00頃；溶融炉心燃料物質が大量にD/Wに流出。

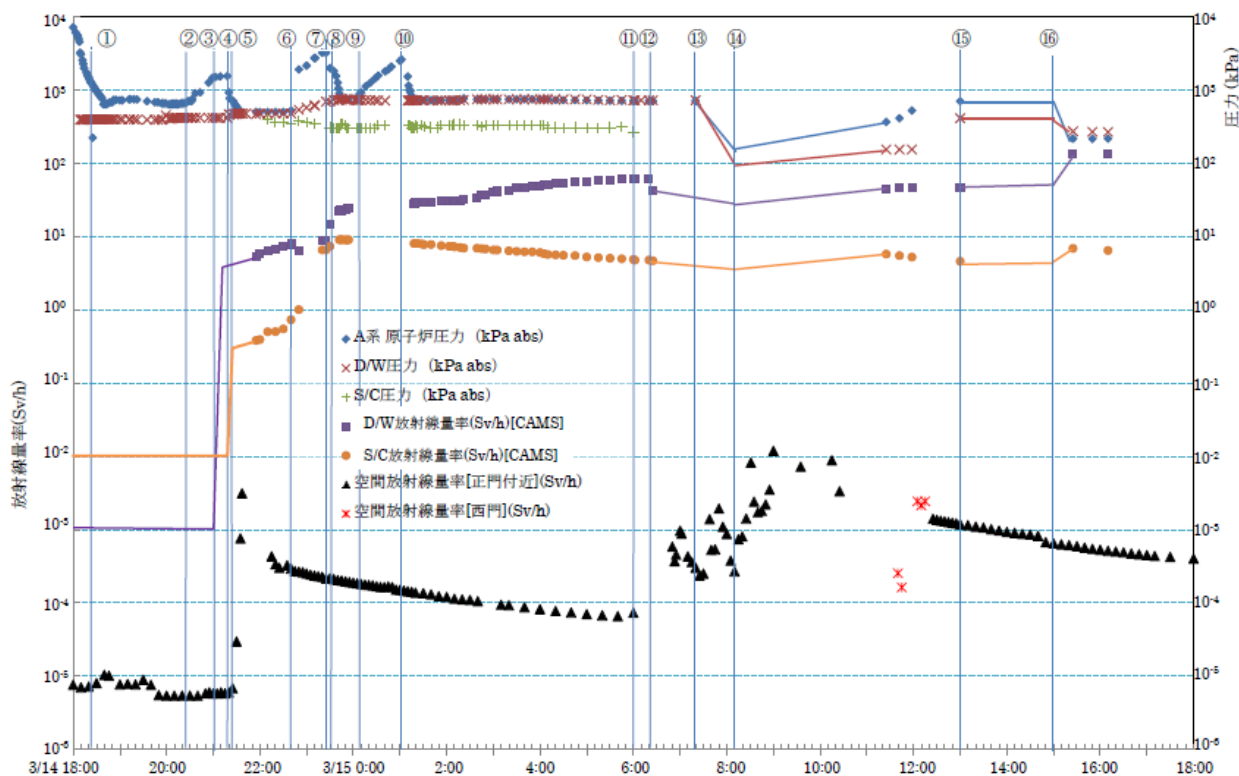


図1 1F2号機における圧力及び空間放射線量率の計測値。線は報告者による推定。

2.3 2号機放射性物質放出率トレンド

2号機格納容器からの放射性物質の顕著な放出の始まりは、3月14日18:30頃からの燃料棒被覆管破裂によるギャップFPガス放出と推定される。圧力容器減圧のために18:22に開かれたSRVは18:50頃までは閉じておらず、圧力容器に放出されたギャップFPガスがSRVを通じてS/Cに流出し、S/C破損口から大気環境へ放出されたものと推定される。

以下では放出率のトレンドの推定を試みる。格納容器(D/W、S/C)からの放射能放出率は格納容器雰囲気気体の放射能濃度(Bq/m^3)と格納容器気体放出流量(m^3/h)の積として表すことができる。第一近似として前者は格納容器放射線量率(図2)に比例し、後者は格納容器と大気圧の差圧(図3)の1/2乗に比例すると考えることができる。

その仮定に基づいてD/W及びS/Cからの放射能放出率を計算してみると図4に示すトレンドが得られる。この結果は以下のことを示唆している：①格納容器（D/W、S/C）に破損が生じた後は大気との圧力差がある限り放射能放出は連続的に続くので、福島第一原発サイトの特定地点での空間放射線量率に表れるピークの多くは風向によって出現しているもので放射能放出が断続的であることを示すものではなく、主な放出量がピーク近傍の時間帯の評価に基づく総放出量推定⁷⁾は過小評価の可能性が高い。②3月17日以降も放出が最大時の1/10程度のレベルで継続する。

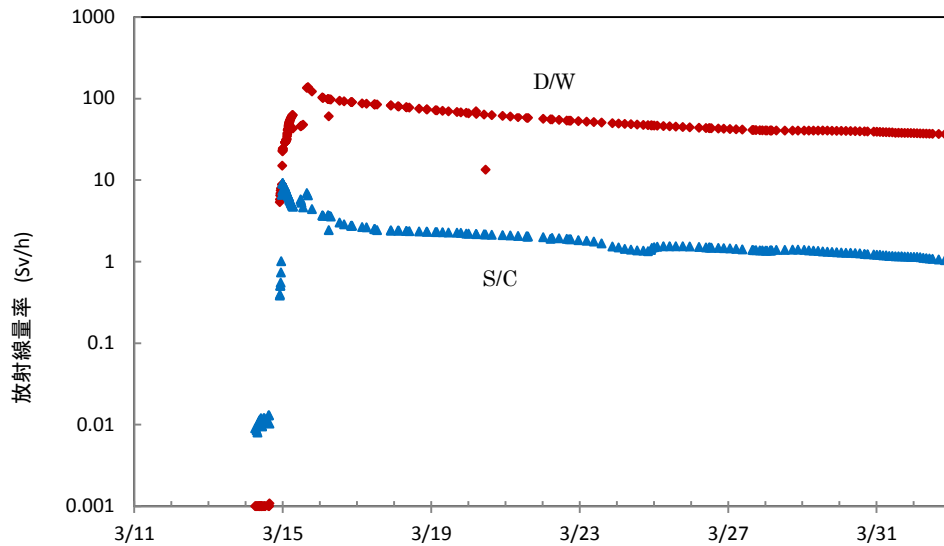


図2 1F2格納容器放射線量率

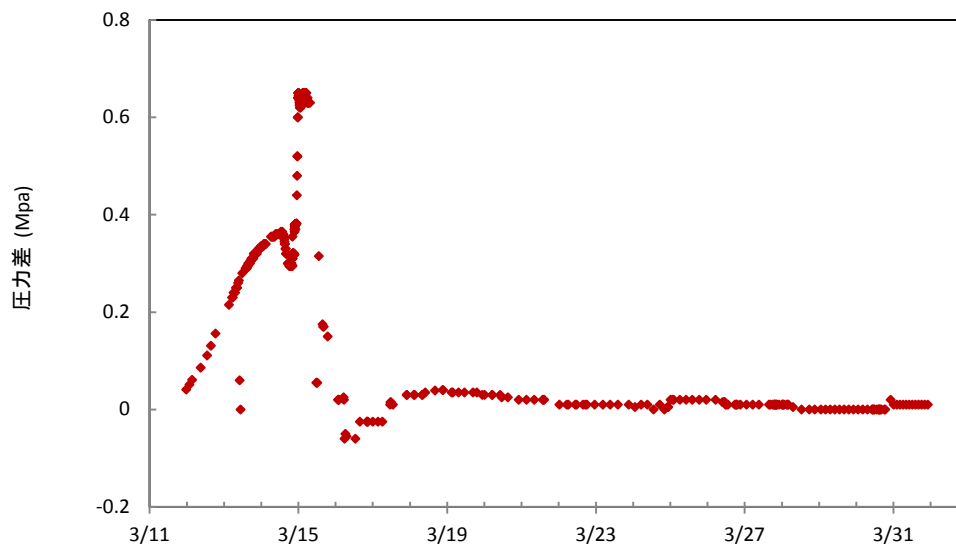


図3 1F2格納容器と大気の圧力差

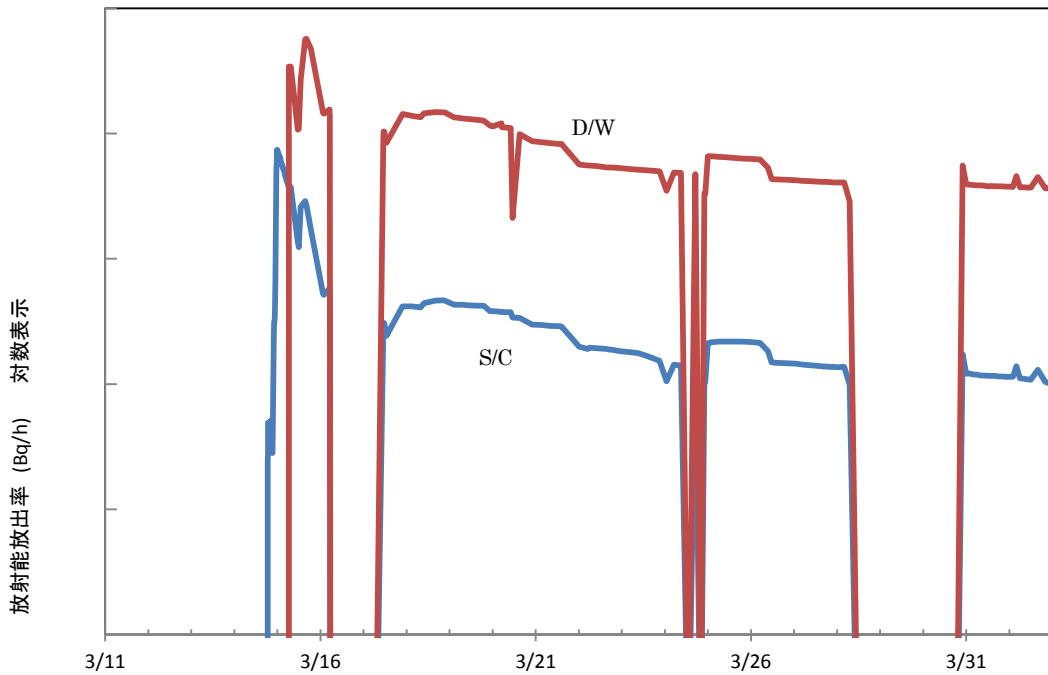


図4 1F2放射能放出率トレンド

参考文献

- 1) F. Tanabe, "Analysis of core melt accident in 1F1," J. Nucl. Sci. Technol., 48[8], 1-5(2011)
- 2) F. Tanabe, "Analyses of core melt and re-melt in Fukushima Daiichi nuclear reactors," J. Nucl. Sci. Technol., 49[1], 18-36(2012)
- 3) 田辺文也:「福島第一原発 1, 2, 3 号機の炉心物質再溶融」、SOCTEX-memo 2011-07 Rev. 1, 6 月 13 日、SOCTEX、(2011)
- 4) M. Chino, et al., "Preliminary estimation of release --," J. Nucl. Sci. Technol., 48[7], 1129-1134(2011)
- 5) 田辺文也 ; 「まやかしの安全の国」、角川マガジズ、東京(2011)
- 6) F. Tanabe, "A acenario of large amount of radioactive materials discharge to the air from the Unit 2 reactor in the fukushima Daiichi NPP accident" J. Nucl. Sci. Technol., 49[4], 360-363(2012)
- 7) 東京電力 ; 福島第一原子力発電所事故における放射性物質の大気中への放出量推定、2012 年 5 月