

融けた燃料は何処に？

本メモの読者の何人かの方から「メルトダウンした燃料は何処まで落ちているか？」という質問を頂きました。

まず、東電と保安院は、それぞれ解析をして

- 1) 燃料は 2800 度になった (いわゆるメルトダウン状態)
- 2) 圧力容器・格納容器に大穴は開いていない

としています。

1) が正しいければ、鉄の融点は約 1400 度で、1000 度付近から軟化して強度を失うので、炉心から落下した 2800 度で 100 トンものウランは、圧力容器 (約 16cm 厚さ) を破り、さらに格納容器 (約 3cm 厚さ) も破るのは確かです。

一方、2) が正しいければ、燃料は 2800 度に達していない、ということです。

つまり、1, 2 は相互に矛盾するので、東電も本件は「謎」としています。現在まで、この謎に答えた人は誰も居ません。

私も、事故当初の数日間は、もし炉心冷却が全くなければ、2800 度に達するのは時間の問題で、1 番のシナリオがありえると覚悟しました。スリーマイル島原発事故は、正にこのシナリオ一歩手前で、圧力容器を半分突き破った所まで行ったのですから。

所で、福島事故では、その後の経緯から、次のことが分かっています。

A) 1/2/3 号機とも水素爆発した。

水素発生は、燃料被覆管が 1200 度以上になったという証拠です。従って、燃料ペレット本体は、それ以上の温度ということです (2800 度まで達したかは不明)。

B) 東電と保安院の解析では「燃料は冷却されなければ 2800 度まで上昇」と仮定するモデルを使用しています。しかし、実際には、燃料被覆管は 1200 度になると強度を失い、中の燃料ペレットは下部へ崩落して行きます。

燃料ペレットは、製造時は 1cm³ ほどの小さい円筒状をしています。



しかし、原子炉で使用後には細かい粒子状になっているので、バラバラと炉心下部へ落ちていった、と私は考えています (3/17 の No.4 メモ)。つまり、東電モデルは事象を正確に反映していない可能性があると思います。

勿論、圧力容器下部に落下した燃料が冷却されないと、温度上昇は続きます。

C) 以上は、炉心が全く冷却されなかった場合です。東電・保安院の解析は、全電源喪失の後には、ECCS などの冷却系の作動は全くなかった、と仮定しています。これらが、どの程度作動したかは現在でも不明ですが、現場では作動の努力をしていたので、圧力容器下部に落下した燃料が、(電源不要の) ECCS や、下部に残った水で、ある程度冷却されたということが考えられます。

また、圧力容器の圧力や格納容器の圧力測定値が正しいとすると、多少の正の値なので、

いずれも大穴は開いていない、というのが現状と推察されます。
従って、前記の1番と2番の中間が最もありそうな答えと思われます。つまり、燃料は1200度以上（下記の事実から1400度以上）になり、圧力容器下部の弱い箇所を破損し、燃料の一部が格納容器に落下したと推察します。

格納容器から更に原子炉建屋地下へ落下したかどうかは、下記に検討してみます。

1号機)

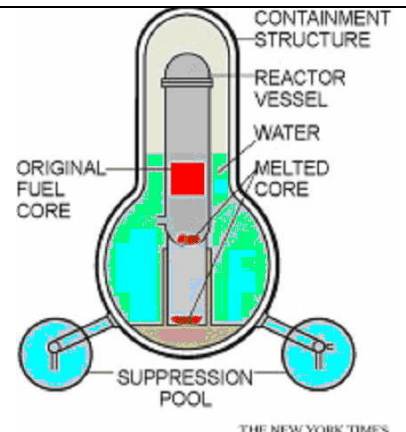
1号機については、5/27のNo.42メモで書いたように、3/11地震発生時の深夜（3/12早朝）に、燃料が崩落し、圧力容器破損・格納容器破損が起きたと考えられます。

5/17のNo.39メモで書いたように、圧力容器底部で最も薄い部分は中性子計測管で、厚さは数mmしかありません。この管は、格納容器の外側（原子炉建屋の中）まで貫通しており、原子炉建屋1階のTIP室で高い放射能が検出されている事実から、ここまで燃料が落下したと推定しています。また、中性子計測管の破損により、圧力容器底部が破損し、格納容器底部へも燃料が落下したと考えられますが、その量は不明です。但し、管が細いので、落下した燃料はそれほど多くないと思います。

4/8のNo.21メモで「4/6のニューヨークタイムスは、米国NRC情報として『福島1/2/3号機炉心の燃料は、一部が崩壊して圧力容器底部および格納容器に落下している』と報じた」ことを紹介しました。

右図の英語では「Melted Core」と書いていますが、本文には「燃料ペレットが破片と粒子になって崩落」と書いています。

今の所、この図が一番現状に近いと思います。



所で、6/8のNo.46メモで書いたように、1号機タービン建屋地下水から微量のストロンチウムが検出されています。

また、6/3に「事故翌日の3/12午前8時半すぎに発電所から7km地点で、テルルを検出していた」と報じられました（★本メモの最後に添付）。

いずれにしろ、ストロンチウムもテルルも、気化点（金属が気体になる温度）が約1400度で、燃料がこの程度の温度になったことは間違いありませんが、今の所、それ以外の元素が測定されていないので、2800度になったという証拠はありません。

1号機の格納容器破損箇所は、上記の中性子計測管の貫通部分と、ドーナツ状の圧力抑制室へ繋がる蛸の足のような管（ベント管）と思います。もし、格納容器が高温燃料で破損していれば、底に大穴が開いて、原子炉建屋・タービン建屋の地下水は燃料物質で汚染されるはずなのに、現状、そういうデータはありません。勿論、測定していないだけ、という可能性もあります。

以上から、1号機については、燃料は圧力容器を破損して、格納容器に落下し、一部の燃料はさらに格納容器から外へ流出したものの、地下へは落ちていない、と推定しています。

2号機、3号機

2号機は3/14に炉心冷却が停止し、3号機は3/13でした。1号機に比べ、燃料の崩壊熱も小さくなっていて、また、無冷却の時間も1号機より短かったとされています。従って、

燃料の崩落も 1 号機より少ないと思われませんが、圧力容器を破損して、格納容器に落下している可能性があります。

6/8 の No.46 メモで書いたように、2号機と3号機のタービン建屋地下水からストロンチウムが検出されています。ストロンチウムは水溶性なので、格納容器の破損箇所から水と共に流出したと考えられます。

もし、格納容器が高温燃料で破損していれば、底に大穴が開いて、原子炉建屋・タービン建屋の地下水は燃料物質で汚染されるはずなのに、現状、そういうデータはありません。勿論、測定していないだけ、という可能性もあります。

以上から、2/3号機については、燃料は圧力容器を破損して、格納容器に落下しているものの、地下へは落ちていない、と推定しています。

結論は「地下へ落下していないと思われる」ということですが、このシナリオが楽観的とは限りません。格納容器底部に燃料が落下し、かつ、格納容器が破損している訳ですから、燃料物質（ウランやプルトニウムなど）が原子炉建屋・タービン建屋の地下水に流出していても不思議ではありません。東電はこれらの地下水を回収・除染しようと循環設備の運転を始めていますが、もし、回収に失敗すれば、海へ流出することになり、地下へ落下する以上の海洋汚染災害ともなりかねないからです。事故後 100 日経っても安心できないのが現状ということです。

2011-6-22 記

(★) テルル検出の件

1 号機は、3/12 早朝に燃料が崩壊したと推定されています。下記のように、3/12 朝にテルル（気化温度約 1400 度）が検出されたということは、燃料が 1400 度以上になったという証拠です。この事実が 3/12 に公開されていれば、以降の対策などが変わったことも考えられ、非常に残念に思います。

6/3 読売新聞配信：

原子力安全・保安院は、6月3日に「事故翌日の3月12日午前8時半すぎに、発電所からおよそ7kmの浪江町の地点で、大気中のちりなどに含まれる放射性物質の調査で、核燃料が融けた際に出るテルル 132 と呼ばれる放射性物質が1立方m当たり73ベクレル検出されていた。隠す意図はなかった」と発表した。

③福島第一原子力発電所周辺のモニタリング結果一覧(大気浮遊塵)

測定試料採取場所	測定日時	放射能濃度(Bq/m ³)					その他 検出された核種
		¹³¹ I	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³² I	¹³² Te	
浪江町大字高瀬字西原	2011/3/12 8:39~8:49	37		1.8	90	73	
大熊町夫沢長者原	2011/3/12 8:37~8:47	12		1.3	41	23	
富岡町大字本岡字新夜ノ森	2011/3/12 8:26~8:36	4.3			3.1		
富岡町大字本岡字新夜ノ森	2011/3/12 11:56~12:06	ND		ND			
浪江町大字川添字中上ノ原	2011/3/12 12:00~12:10	166		168		73	
南相馬市小高区上浦木曾迫	2011/3/12 13:20~13:35	63		2.2	111	119	Y-91 510

テルル 132 と、テルルが崩壊してできた沃素 132 の両方が検出されている。

Cs（セシウム）が沃化セシウム（CsI）となって飛散したのと同様に、テルルも沃化テルル（TeI4）となって飛散したのかも知れない。

2011-6-22 記