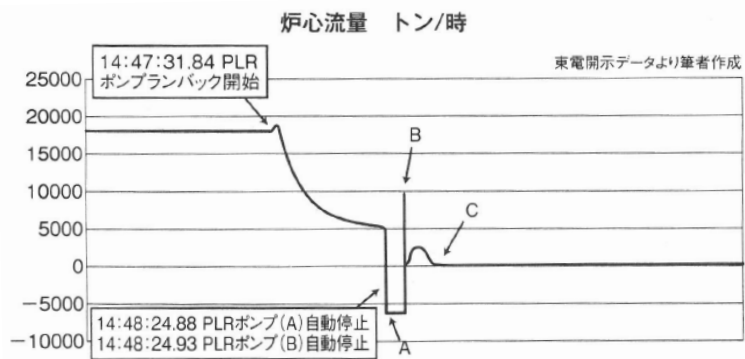


—最近の気になる動き 80—

★ 「木村俊雄氏論考」への3つの疑問 ★ <2019.8.25 記>

『文芸春秋』2019年9月特別号の木村俊雄氏（元東京電力・原子炉設計管理担当）の「福島第一原発は津波の前に壊れた」（pp.170-177）について、地震動の影響を究明しようとする問題意識は共有しますが、筆者はいくつかの疑問を持ちました。ご本人（『鳴り砂』・風の会HPを見る機会があれば）・読者からの反論は大歓迎です。

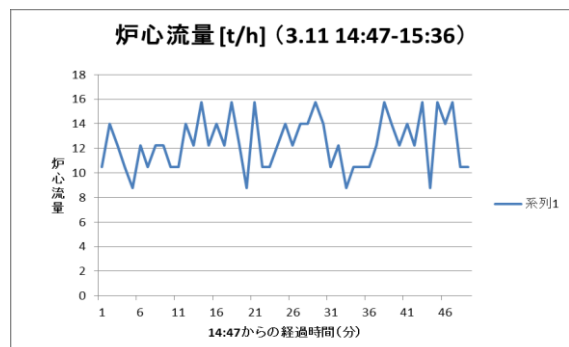
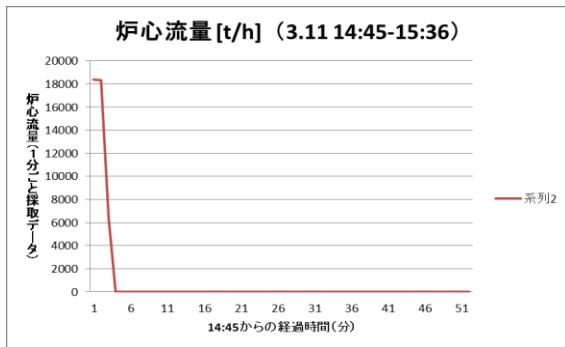
木村氏は2013.7追加公開の「過渡現象記録装置」の100分の1秒毎の膨大な「炉心流量」データ（現在は東電本社で入手可能のようです）を分析・グラフ化し、地震前の「18,000トン/時(t/h)」から、14時46分地震発生1分30秒前後から「炉心流量はゼロになっています」と述べ、そのことから、原子炉内での水の「自然循環」がなくなり、燃料の「ドライアウト」が1分30秒前後から起こっていた可能性が高いと指摘し、「自然循環」停止の原因は「私が分析したデータや過去の故障実績



を踏まえ」「ジェットポンプ計測配管」破損の可能性が高い、と推定しています。

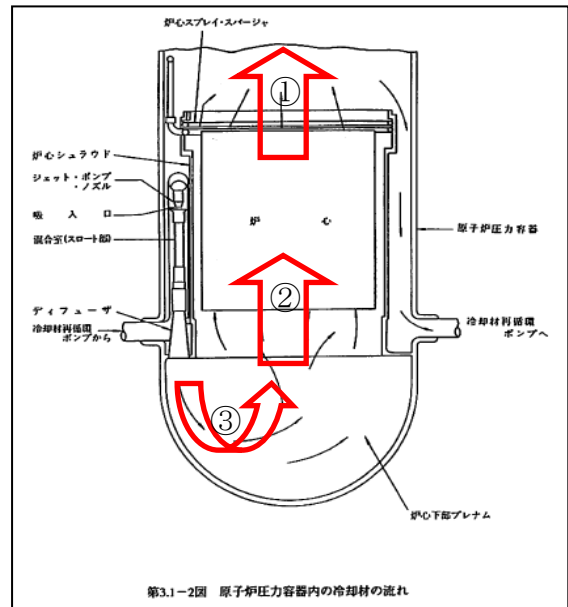
筆者は上記100分の1秒毎のデータを入手していませんので、2013.5追加公開の1分毎のデータ【次々頁】を見たところ、確かに地震前は「18,300t/h程度」の炉心流量があったものの、地震後にはその約1800分の1の「10t/h前後」にまで激減していることが分かりました。ここで重要なのは、「炉心流量はゼロでない」ことです。

上記1分毎データを<左図>のように地震前の炉心流量をフルスケールでグラフ化すると、地震後は「ゼロ」に見えますが、<右図>のように地震後（14:47～）だけをグラフ化（拡大）すれば、炉心流量は「ゼロでない」ことは明らかです。

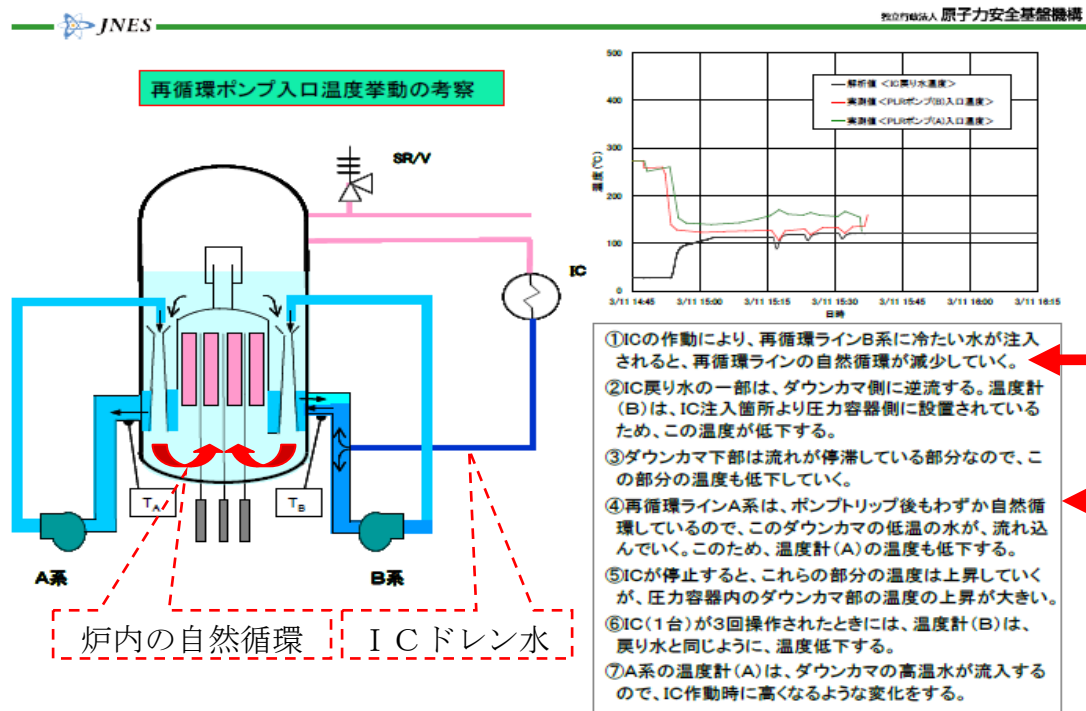


次に、筆者の理解では、炉水の「自然循環」は、地震後に再循環ポンプによる「強制循環」が停止した後、①燃料棒周辺で発生（沸騰）した「水蒸気の泡（あわ）」（木

村氏のいう「気泡」が、液体の水より著しく軽い（低密度）ため、“大きな浮力”で上昇し（周囲の高密度の水から浮き上がり）、②炉心から原子炉上部（シュラウド内）へ移動した水蒸気泡の空隙（炉水の減少）を埋めるように、水が下部プレナムから炉心へ自然に補充・供給され、③さらに下部プレナム内の水が炉心へ移動（減少）した分は、ジェットポンプノズルからシュラウド外にある水を引き込んで補充、という炉心冷却の一連の水の流れが自然に生じます【右下図：福島第一原発・2002.4原子炉設置変更許可申請書】。このような自然循環の仕組みで「炉心流量」はゼロとはならず、燃料棒の冷却も“それなりに”継続すると思えます。このように、水蒸気泡の“大きな浮力”を考慮すれば、燃料棒（崩壊熱：自然循環の駆動源）による「①水蒸気泡の発生・上昇」は自然に起こり続けるはずで、木村氏が懸念した‘気泡が燃料被覆管表面にびっしりと張り付き、それが壁となって冷やすことができなくなる＝ドライアウト’は、地震直後には生じていないのではないかと思います。そのことは、前述の炉心流量が存在する（張り付いた気泡を除去する役割を果たす）こととも整合します。地震直後の主蒸気隔離弁(MSIV)閉による原子炉圧力の緩慢な上昇(その後 14:52 の非常用復水器 IC 2 系統の自動起動)も、炉心の崩壊熱により水蒸気泡が絶えず生み出され続けている（①）＝自然循環が機能している証拠だと思います。



さらに、2011.12.9 JNES 解析【下図：赤矢印・吹き出し加筆】でも、再循環ラ



インの自然循環が仮定されています。実際に1分毎データで「再循環（PLR）ポンプ入口温度」を見ると、IC作動時に冷やされたICドレン水が再循環ラインB系に流入することが示され、一方、IC作動で主蒸気・炉水が減少（減圧）した炉心・下部プレナムにはジェットポンプ経由の自然循環で水が供給補充されるはず（ICは炉水を循環させるだけ）なので③、炉心下部から炉心燃料域への自然循環②も当然に生じていると考えられます。

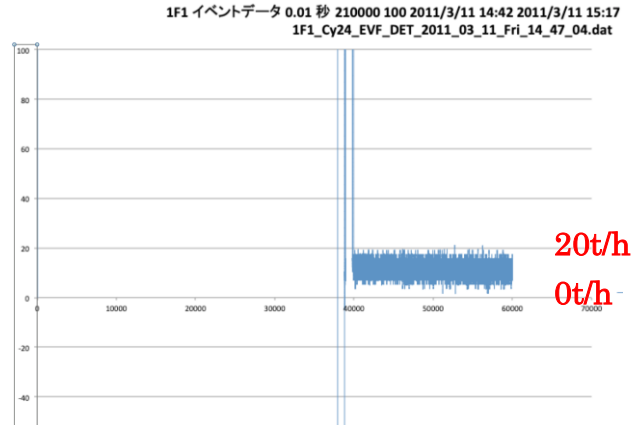
最後に、木村氏は、自然循環停止原因について「細かいジェットポンプ計測配管」が地震動で破損した可能性を挙げていますが、その根拠や、その破損で自然循環が止まるメカニズムを全く示しておらず、残念ながら同配管の詳細を知らない筆者には、20本あるジェットポンプの当該配管1本（まさか20本全部？）の損傷が炉心全体に影響する理由（破損した配管破片の目詰まり？）が全く推測できません。前述のとおり、炉水の自然循環は崩壊熱による「①水の加熱、②水蒸気泡の発生」があれば続くはずで（1分毎データでは炉心流量は実際にゼロでない）、それを完全にゼロにするような炉心の「全流路完全閉塞」が（細かい）配管の破損によりもたらされることはあり得ないと思います。

<了>

| | 炉心流量 | PLRポンプA 入口温度 | PLRポンプB 入口温度 |
|-----------------|----------|-----------------|-----------------|
| 時刻データ | t/h | DEGC | DEGC |
| 2011/3/11 12:00 | 18345.25 | 271.53 | 272.355 |
| 2011/3/11 13:00 | 18392.5 | 271.635 | 272.43 |
| 2011/3/11 14:00 | 18336.5 | 271.545 | 272.52 |
| 2011/3/11 14:30 | 18320.75 | 271.725 | 272.445 |
| 2011/3/11 14:40 | 18326 | 271.59 | 272.43 |
| 2011/3/11 14:45 | 18352.25 | 271.665 | 272.445 |
| 2011/3/11 14:46 | 18336.5 | 271.74 | 272.49 |
| 2011/3/11 14:47 | 6343.75 | 271.29 | 272.25 |
| 2011/3/11 14:48 | 10.5 | 258 | 257.64 |
| 2011/3/11 14:49 | 14 | 256.29 | 256.14 |
| 2011/3/11 14:50 | 12.25 | 256.905 | 256.725 |
| 2011/3/11 14:51 | 10.5 | 257.64 | 257.16 |
| 2011/3/11 14:52 | 8.75 | 258.015 | 257.58 |
| 2011/3/11 14:53 | 12.25 | 258.315 | 229.2 |
| 2011/3/11 14:54 | 10.5 | 248.7 | 138.945 |
| 2011/3/11 14:55 | 12.25 | 192.075 | 129.555 |
| 2011/3/11 14:56 | 12.25 | 155.13 | 126.945 |
| 2011/3/11 14:57 | 10.5 | 145.275 | 125.61 |
| 2011/3/11 14:58 | 10.5 | 142.425 | 124.14 |
| 2011/3/11 14:59 | 14 | 140.28 | 123.24 |
| 2011/3/11 15:00 | 12.25 | 139.29 | 122.595 |
| 2011/3/11 15:01 | 15.75 | 138.555 | 122.655 |
| 2011/3/11 15:02 | 12.25 | 138.06 | 123.03 |
| 2011/3/11 15:03 | 14 | 138.075 | 123.36 |
| 2011/3/11 15:04 | 12.25 | 137.985 | 123.78 |
| 2011/3/11 15:05 | 15.75 | 138.81 | 124.29 |
| 2011/3/11 15:06 | 12.25 | 139.245 | 124.695 |
| 2011/3/11 15:07 | 8.75 | 140.13 | 125.01 |
| 2011/3/11 15:08 | 15.75 | 140.79 | 125.46 |
| 2011/3/11 15:09 | 10.5 | 141.855 | 125.655 |
| 2011/3/11 15:10 | 10.5 | 143.445 | 125.865 |
| 2011/3/11 15:11 | 12.25 | 145.71 | 126.12 |
| 2011/3/11 15:12 | 14 | 148.155 | 126.225 |
| 2011/3/11 15:13 | 12.25 | 150.45 | 126.33 |
| 2011/3/11 15:14 | 14 | 152.535 | 126.525 |
| 2011/3/11 15:15 | 14 | 154.62 | 126.555 |
| 2011/3/11 15:16 | 15.75 | 156.615 | 126.645 |
| 2011/3/11 15:17 | 14 | 159.33 | 126.585 |
| 2011/3/11 15:18 | 10.5 | 170.415 | 105 |
| 2011/3/11 15:19 | 12.25 | 167.7 | 121.47 |
| 2011/3/11 15:20 | 8.75 | 160.335 | 127.17 |
| 2011/3/11 15:21 | 10.5 | 158.28 | 128.085 |
| 2011/3/11 15:22 | 10.5 | 157.875 | 128.19 |
| 2011/3/11 15:23 | 10.5 | 157.89 | 128.325 |
| 2011/3/11 15:24 | 12.25 | 161.94 | 129.105 |
| 2011/3/11 15:25 | 15.75 | 166.035 | 116.205 |
| 2011/3/11 15:26 | 14 | 161.355 | 129.435 |
| 2011/3/11 15:27 | 12.25 | 156.765 | 132.24 |
| 2011/3/11 15:28 | 14 | 155.865 | 132.66 |
| 2011/3/11 15:29 | 12.25 | 155.805 | 132.57 |
| 2011/3/11 15:30 | 15.75 | 155.985 | 132.48 |
| 2011/3/11 15:31 | 8.75 | 156.21 | 132.285 |
| 2011/3/11 15:32 | 15.75 | 162.375 | 131.94 |
| 2011/3/11 15:33 | 14 | 167.895 | 121.95 |
| 2011/3/11 15:34 | 15.75 | 162.96 | 133.425 |
| 2011/3/11 15:35 | 10.5 | 156.09 | 135.915 |
| 2011/3/11 15:36 | 10.5 | 154.935 | 136.185 |

<9.22 追記>

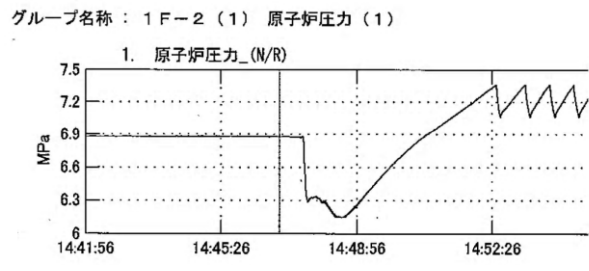
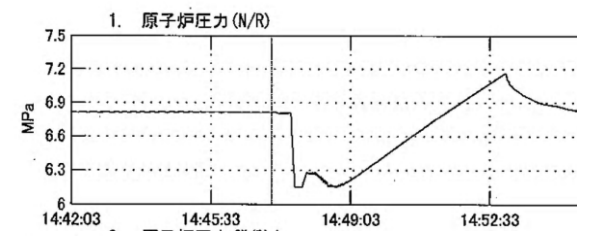
その後、原子力資料情報室・上澤千尋さんから超膨大な「100分の1秒毎データ」をお送りいただき、また（膨大なデータ処理に私が“手こずる”と正確に見越して！）当該「炉心流量データ」をグラフ化したものも送ってくれました【右図：トリミング後】。当然と言えば当然ですが、1分毎データと同様に「5～20 t/h」の範囲で変動していますが、「ゼロ」ではありません（上澤さんによれば、2・3号機も同様の炉心流量（≠0）とのこと）。



ここで、炉心流量「18000t/h」は、通常出力（100%）で、再循環ポンプ P L R 2 台稼働時かつ主復水器で主蒸気の冷却・減圧がなされている場合のものであることに注意する必要があります。<多少“数値遊び”をすれば、P L R 流量（5400t/h/台）の2台分=10800 t/h が炉心流量の 60%（3/5）に相当し、ジェットポンプ J P の吸い込み作用により 1.7 倍（5/3）に増幅されるとすれば「18700 t/h」になります（J P は 1090t/h/台、20 台合計で「21800t/h」。すると P L R は 50%設計?）。また、地震前の炉心流量（18000t/h）と主蒸気流量（2500t/h）の比は「7.3 : 1」で、これは炉心の上に設置された「気水分離器（109 器）」の分離性能「水 177.0 t/h/器 : 蒸気 23.1 t/h/器 = 7.7 : 1」に相応します。>

実際には、原子炉は地震加速度大で 14:47「スクラム」しており、単純に考えれば、崩壊熱（7-5%）に対応する炉心流量は「18000t/h」の約 1/20（7-5%）の「1000 t/h」となりそうですが、P L R「停止」で炉内は「自然循環」となり、さらに主蒸気隔離弁 M S I V「閉」で主復水器による除熱は不能となっており、上記の比例計算は“成り立たない！”と思われます。8.25 稿記載の通り、自然循環の駆動力（炉心流量を生み出す源）は「①崩壊熱による主蒸気発生」ですが、M S I V 閉（隔離）後の圧力容器内では圧力・温度上昇が可能な分しか主蒸気は発生（気化）できず、その気化熱を上回る分の崩壊熱は、炉圧・炉水温上昇に使われます。ただし、それは緩慢なもので、1 号機【上】では（スクラム直後 6.8MPa から 6.2 MPa に減圧後）圧力はゆっくり上昇し、5 分後の 14:52 に非常用復水器 I C を作動（7.13MPa・15 秒）させたものです（7.27MPa 設定の S R V は作動せず）。

上澤さん情報で同様の炉心流量（≠0）という 2 号機【下】でも、同じく緩慢な圧力上昇がみられ（3 号機も）、14:52 頃に S R V が作動（7.44MPa 設定）しています。



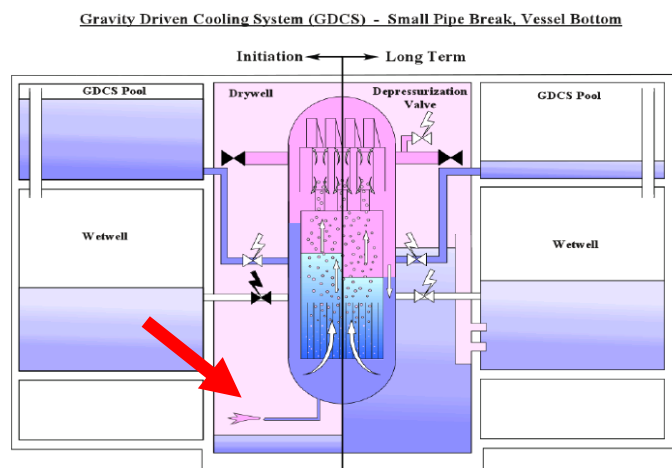
このように、スクラム後・隔離後の主蒸気発生は少量に留まる（緩慢）ことからすれば、対応する炉心流量が 10~20t/h 程度でも特に不思議ではないと思われます。

試しに、1号機のスクラム後の崩壊熱の積分値である「総熱量」を文献[1]の式で1分刻みで計算し、1分間の「増加熱量」に対応する「予想蒸発量」（崩壊熱がすべて蒸発熱（主蒸気）に変わると仮定）を求め（285℃での蒸発熱 1511 kJ/kg：ネット「蒸気表」より）、その値から1分刻みの「予想炉心流量」（蒸発分の水が炉心下部から流入すると仮定）を求め、実際の1分毎データ（右の2欄）と比較してみました。すると、実際には崩壊熱の1~2割程度が主蒸気発生に使われ、残りは炉圧（主蒸気温度）や炉水温の上昇に転換されていることが示唆されます（14:52以降はICによる冷却・減圧開始後である点に注意）。

| 時刻データ | 経過時間 | ★総熱量 | 増加熱量 | ▲予想蒸発量 | 予想炉心流量 | 実炉心流量 | 蒸発分 |
|-----------------|------|-------|--------|--------|--------|----------|--------|
| | 秒 | GJ | GJ/min | t/min | t/h | t/h | t |
| 2011/3/11 14:46 | | | | | | 18336.50 | 305.61 |
| 2011/3/11 14:47 | 0 | 0.00 | | | | 6343.75 | 105.73 |
| 2011/3/11 14:48 | 60 | 2.86 | 2.86 | 1.89 | 113.46 | 10.50 | 0.18 |
| 2011/3/11 14:49 | 120 | 4.93 | 2.08 | 1.37 | 82.49 | 14.00 | 0.23 |
| 2011/3/11 14:50 | 180 | 6.79 | 1.85 | 1.23 | 73.64 | 12.25 | 0.20 |
| 2011/3/11 14:51 | 240 | 8.51 | 1.72 | 1.14 | 68.39 | 10.50 | 0.18 |
| 2011/3/11 14:52 | 300 | 10.14 | 1.63 | 1.08 | 64.72 | 8.75 | 0.15 |
| 2011/3/11 14:53 | 360 | 11.70 | 1.56 | 1.03 | 61.92 | 12.25 | 0.20 |
| 2011/3/11 14:54 | 420 | 13.20 | 1.50 | 0.99 | 59.67 | 10.50 | 0.18 |
| 2011/3/11 14:55 | 480 | 14.66 | 1.46 | 0.96 | 57.81 | 12.25 | 0.20 |
| 2011/3/11 14:56 | 540 | 16.08 | 1.42 | 0.94 | 56.23 | 12.25 | 0.20 |
| 2011/3/11 14:57 | 600 | 17.46 | 1.38 | 0.91 | 54.86 | 10.50 | 0.18 |
| 2011/3/11 14:58 | 660 | 18.81 | 1.35 | 0.89 | 53.65 | 10.50 | 0.18 |
| 2011/3/11 14:59 | 720 | 20.13 | 1.32 | 0.88 | 52.57 | 14.00 | 0.23 |
| 2011/3/11 15:00 | 780 | 21.43 | 1.30 | 0.86 | 51.59 | 12.25 | 0.20 |
| 2011/3/11 15:01 | 840 | 22.71 | 1.28 | 0.85 | 50.71 | 15.75 | 0.26 |
| 2011/3/11 15:02 | 900 | 23.96 | 1.26 | 0.83 | 49.91 | 12.25 | 0.20 |
| 2011/3/11 15:03 | 960 | 25.20 | 1.24 | 0.82 | 49.16 | 14.00 | 0.23 |
| 2011/3/11 15:04 | 1020 | 26.42 | 1.22 | 0.81 | 48.47 | 12.25 | 0.20 |
| 2011/3/11 15:05 | 1080 | 27.63 | 1.20 | 0.80 | 47.84 | 15.75 | 0.26 |

★ Heat-Transfer Control Lab. Report No. 1, Ver. 4 (HTC Rep. 1.4 2011/04/13)
 原子炉内が崩壊熱のみによって加熱されている場合に必要な水の投入量の推定 2011/04/13改訂(Ver4)
 東北大学 流体科学研究所 圓山・小宮研究室
 ▲ 蒸気表より：285℃で1511kJ/kg

次に、「細いジェットポンプ計測配管」破損に対する木村氏の懸念は、（やはり破片等の目詰まりではないようで、その意味で 8.25 推測は的外れでしたが）圧力容器外部への冷却水流出（小LOCA）による②炉心流量・③自然循環の喪失のようです。でも、PLR「停止」・MSIV「閉」と同じ状態の自然循環炉「ESBWR」[2]では【右図】、小口径配管破断で一次冷却水が炉外に流出（赤矢印）しても（破断初期が左側、右側は長時間後）、①・②・③の循環は継続される（ゼロにはならない）ことが



分かります。このように、仮に木村氏が疑う小LOCAが生じたとしても、(シュラウド内・炉心付近で)冷却水が確保されている状態では、①の主蒸気の上昇・流れは物理的(密度差)に必ず生じることから、そのような状況で‘発生したアワが燃料棒に付着・静止したまま(ドライアウト)’ということは考えられず、崩壊熱除去が不能となることはないと思われま

す。一方、確かに「ジェットポンプ計測配管」は振動などで破損し易いとされており、その破損をもって『福島第一原発は津波の前に壊れた』と主張することは間違いではありませんが、文春論考では配管破損(小LOCA)に伴う流出箇所での温度・圧力上昇などの直接証拠や、火災警報や放射線モニター警報の発信などの間接証拠なども、一切提示されておらず、説得力に欠けていると思います。

8.25 稿および本追記(試算等)について、「ご意見・ご批判」お待ちしております。

<参考文献>

[1] 東北大学 流体科学研究所 圓山・小宮研究室「原子炉内が崩壊熱のみによって加熱されている場合に必要水の投入量の推定」Heat-Transfer Control Lab. Report No. 1, Ver. 4 (HTC Rep. 1.4 2011/04/13) (*ただし記載の積分式に符号の誤記あり)

[2] Roy Challberg [ESBWR Design Summary] NRC Staff -GE Meeting, June 20 and 21, 2002. Rockville, Maryland

<完了>