

2号機 14,15日に測定された CAMS 測定値から推定する FP 移行挙動について

1. 現象の概要と検討課題

福島第一原子力発電所 2号機は、1号機、3号機と異なり、原子炉減圧時は原子炉水位が燃料有効長頂部（TAF）を若干切る程度の水位であり、原子炉減圧前には炉心損傷が発生していないと評価されている。また、原子炉減圧時に減圧沸騰により多くの冷却水を喪失したことにより、原子炉減圧後は原子炉水位が燃料有効長底部（BAF）を下回る程度にまで急減している。この原子炉減圧時に発生した蒸気により、燃料は冷却されていると考えられることから、2号機の炉心損傷は、原子炉圧力が低い状態、かつ、原子炉水位も BAF より低い状態から、燃料が過熱状態となり、炉心損傷、炉心溶融へとつながったものと推定している。

しかしながら、消防車を用いた注水では、添付資料 1-4 に示す通り消防車から注水された水の全量が原子炉に注水されたわけではなく、一部はバイパス流路に漏えいした可能性が高い。そのため、炉心損傷・炉心溶融につながる、燃料過熱、水-ジルコニウム反応による熱発生が、いつ、どのような規模で発生しているかは課題となっていた。

2015年5月に公表した、第3回報告書添付資料 2-9、2-10 において、2号機での炉心損傷、炉心溶融の発生時期を特定するための検討がなされ、添付 2-9 では図 1 に示す原子炉減圧後に発生した3度の原子炉圧力上昇の際に炉心損傷、炉心溶融が発生し、特に、2回目の原子炉圧力上昇の際が最もエネルギー発生が激しかった可能性が高いとの推定結果を示した。

添付資料 2-10 では、図 2 に示す格納容器ドライウェル（D/W）及び圧力抑制室（S/C）の格納容器雰囲気モニタ系（CAMS）の測定値について時間変化の傾向から、炉心損傷、炉心溶融の発生時期、原子炉・格納容器の健全性について推定を行っている。しかしながら、各変動イベント時の CAMS 測定値と FP 放出量との定量的な関係までは評価していない。また、トレンドとしては、14日夜間の線量上昇は S/C から D/W への放射性物質（FP）の移行を示唆しているが、上流側の S/C 側の CAMS の測定値の方が下流側の D/W の CAMS の測定値よりも小さい（S/C 側の方が D/W 側よりも汚染が少ないように見える）ことや、15日未明から早朝にかけて S/C 側の CAMS 測定値が半減期約 6 時間で減衰しているが、そのような半減期に 1 対 1 で対応する FP が無いことなど、定性的には説明がついても、定量的には説明が難しい点が存在している。

これらの点について、各変動時における CAMS 測定値と FP 放出量との関係を求めることで、炉心損傷・溶融過程における格納容器内の FP 放出挙動を推定することができる。そこで、本検討では ORIGEN ならびに MCNP を用いた線源-線量模擬解析結果と CAMS 測定値とを比較することで、CAMS 測定値を定量的に説

O.P.表記の取扱いについては、本報告書本文「10. 補足」参照。

明するとともに、炉心損傷・溶融過程における FP 放出挙動について検討した。

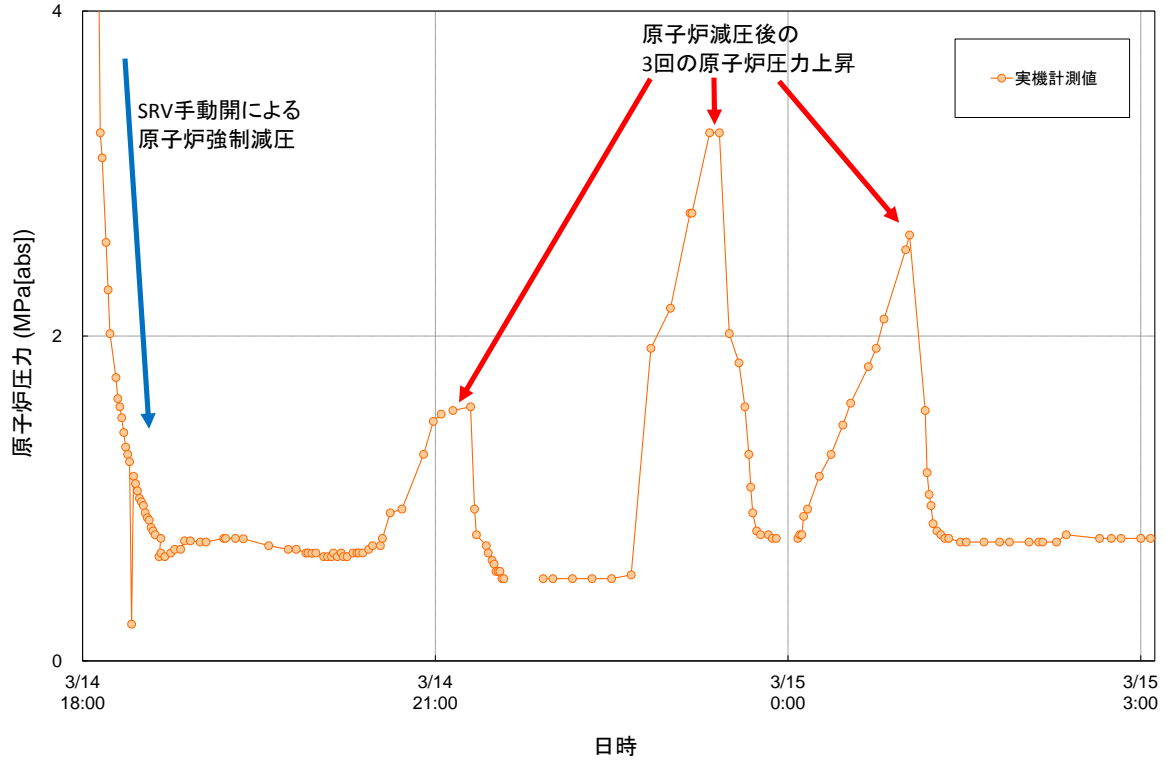


図1 原子炉減圧後に発生した3度の原子炉圧力上昇

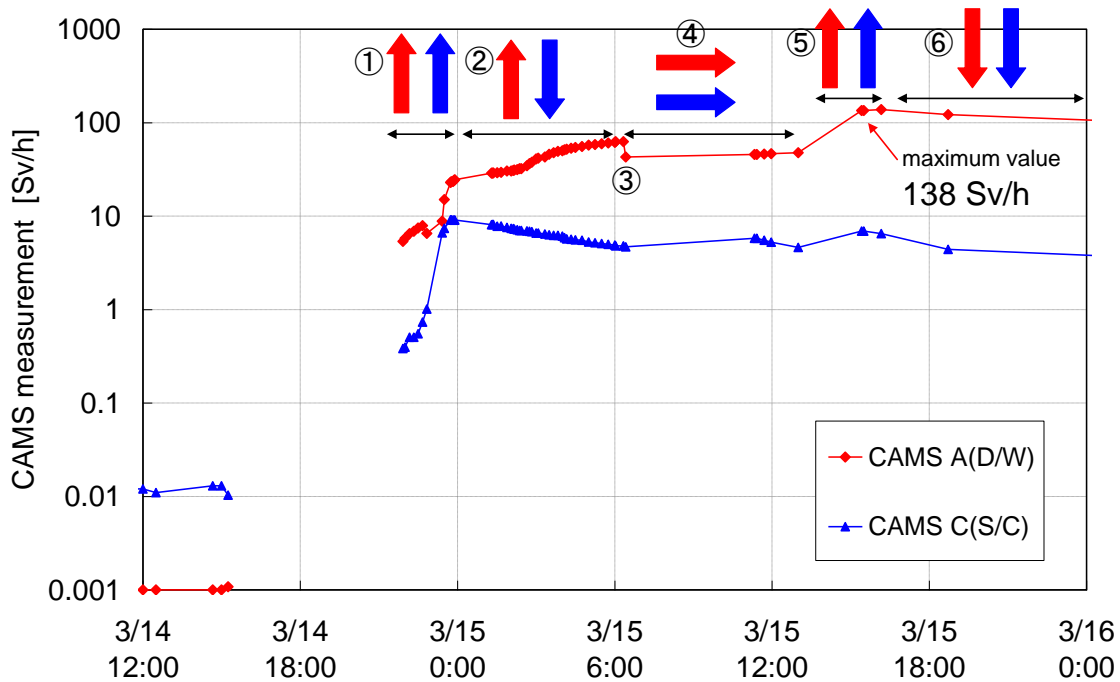


図2 CAMSによる測定結果

2. CAMS 測定値の着目期間と挙動について

2. 1. 3/14 12:00 から 3/14 18:00 まで

仮設交流電源を接続し CAMS の測定を開始した 3/14 12:00 ごろから 15:15 までは、D/W 及び S/C の線量率測定値は小さく、燃料の健全性が保たれていたことが示されている。この後、しばらく測定が中断されていた。

2. 2. 3/14 21:55 から 3/15 0:00 まで (①の期間)

その後 21:55 から測定が再開され、この時間帯は、D/W 及び S/C の測定された線量率が両者ともほぼ単調に増加していく事が確認できる。また、23:30 頃より急激な増加が確認でき、増加する傾きも D/W の方が大きい。

2. 3. 3/15 0:00 から 3/15 6:00 まで (②の期間)

日付が変わると、D/W の測定値は上昇を継続するものの、S/C の測定値は減少に転ずる。

2. 4. 3/15 6:00 から 3/15 13:00 まで (③④の期間)

この期間内では、6:20 から 6:25 の短時間に、D/W の線量率が 62.7Sv/h から 43.0Sv/h へと急減している。

その後、D/W、S/C ともに大きな線量率の変化は観測されていない。

2. 5. 3/15 13:00 から 3/15 16:10 まで (⑤の期間)

D/W の線量率が急上昇し、15:25 には 135Sv/h、16:10 には 138Sv/h (最高値) を計測した。13:00 に 47.7Sv/h を観測して以降、15:25 までの期間、測定が中断しているため、この急激な線量上昇がどのくらいの時間幅で発生したのかははっきりしないものの、3 時間ほどの間に発生した短時間での急激な上昇であることは間違いない。

2. 6. 3/15 16:10 から 3/16 0:00 まで (⑥の期間)

16:10 に最高値を記録して以降、測定値は単調に減少した。

3. CAMS 検出器設置位置について

図 3 に、S/C、D/W それぞれの CAMS 検出器 (電離箱式) 設置位置について概略を示す。S/C の CAMS は、S/C の外部でトーラス室の壁際に設置してあるのに対し、D/W の CAMS は、格納容器の貫通部の中に設置してあることがわかる。つまり、S/C の CAMS は放射線源の存在する場所から離れた位置に設置してあるのに対し、D/W の CAMS は放射線源が比較的近くにある位置に設置してある。したがって、S/C の CAMS 測定値の方が D/W の CAMS 測定値と比較して低い線量を示すことが予想される。

4. CAMS 測定値の模擬評価について

4. 1. 解析条件

本検討では、CAMS の測定値を定量的に評価するため、以下の解析条件にて CAMS で測定された線量率を評価した。ただし、D/W および S/C の形状・構造を完全に模擬することは困難であるため、S/C については、実際はドーナツ型であるところを円柱形に、D/W については、実際はフラスコ型であるところを球で模擬し、内部にペDESTAL を模擬した円柱を配置することで評価している。そのため、定量評価ではあるものの、精緻な評価という位置づけではなく、大小関係等を定量的に評価することを目的とする。

- 炉内 FP 内蔵量および線源スペクトル評価コード： ORIGEN2
- CAMS 位置の線量評価コード： MCNP5
- 評価対象核種： 揮発性が比較的高いと考えられる核種として、希ガス (Kr、Xe)、I、Cs (Ba137m 含む)、Te を選定
- 評価モデル形状： S/C はトーラス部を 20m 長さ円柱とモデル化。D/W は D/W 下部の球状部分、原子炉遮へい壁、ペDESTAL、および、CAMS が設置されているペネトレーション (径方向肉厚 19mm、PCV 側蓋厚 30mm) をモデル化。(図 4～図 6 参照)
- S/C 水位： 通常水位 (OP1650) と仮定
- トーラス室水位： CAMS は水没していないと仮定(OP70)

- PCV 空間容積： 設置許可申請書から採用（表 1 参照）
- S/C 水量： 設置許可申請書から採用（表 1 参照）
- FP 線源分布仮定： D/W 気相部、S/C 気相部、S/C 液相部、D/W 壁面、S/C 壁面の 5 つの評価対象に対しそれぞれ均質分布を仮定

表 1 PCV 空間容積

空間容積			根拠
D/W 気相部	4.24E+03	m ³	設置許可申請書
S/C 気相部	3.16E+03	m ³	設置許可申請書
格納容器全体	7.40E+03	m ³	D/W と S/C の合計
S/C 水量	2.98E+03	m ³	設置許可申請書

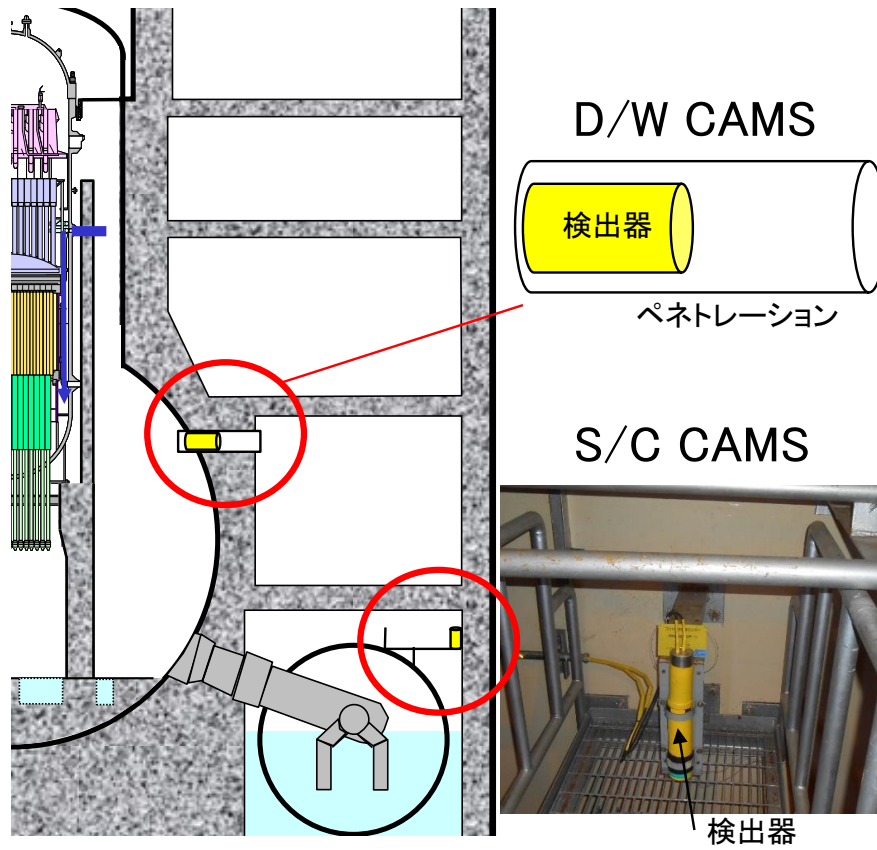


図3 S/C、D/WにおけるCAMSの設置位置の概略図

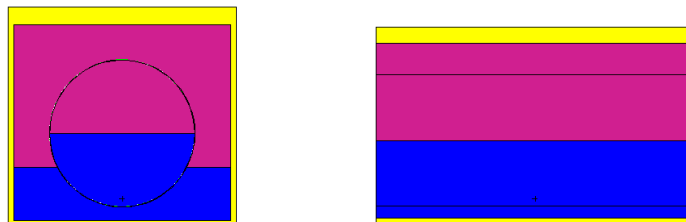


図4 S/Cの円柱による評価モデル（左：x-z断面、右：y-z断面）

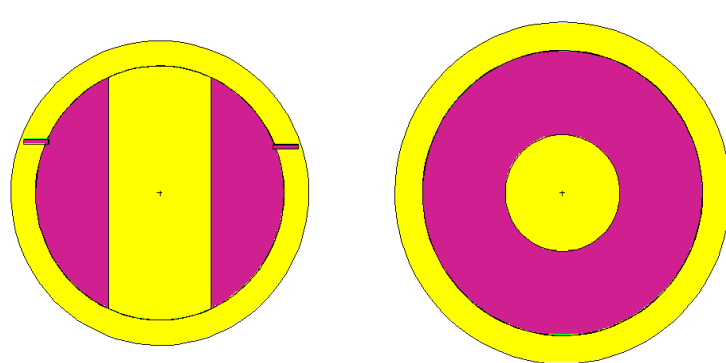


図5 D/Wの球および円柱（ペDESTAL模擬）による評価モデル
（左：x-z断面、右：x-y断面）

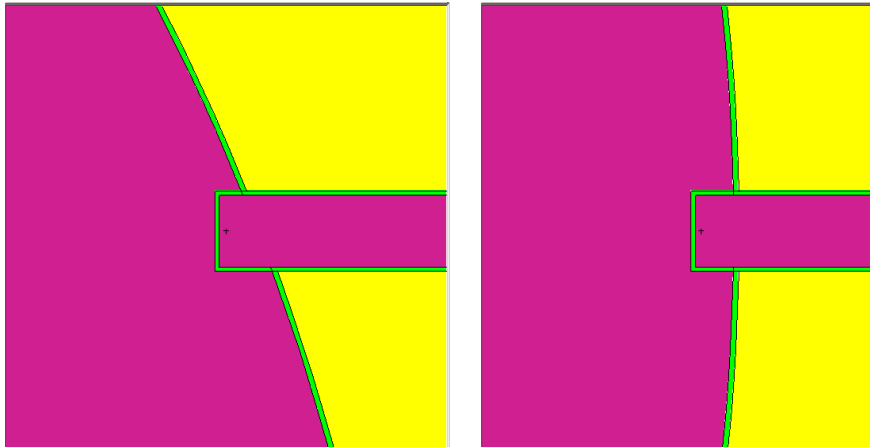


図 6 D/W 評価モデルの貫通部拡大図 (左 : x-z 断面、右 : x-y 断面)

図 7 に、CAMS 測定値に寄与すると考えられる、支配的な揮発性 FP の炉心インベントリを示す。ここでは線量値相当として、炉心インベントリ (Bq) に各核種の崩壊によって放出される光子の実効エネルギーを乗じたものを図示している。2号機での炉心損傷はスクラムから3日以上経過してから始まっており、この時点では短半減期希ガスは減衰し、ヨウ素が線量率に大きな影響を与えることがわかる。ここで、I-132 は半減期約 2.3 時間であるが、半減期約 3.2 日の Te-132 の娘核種として放射平衡にある。

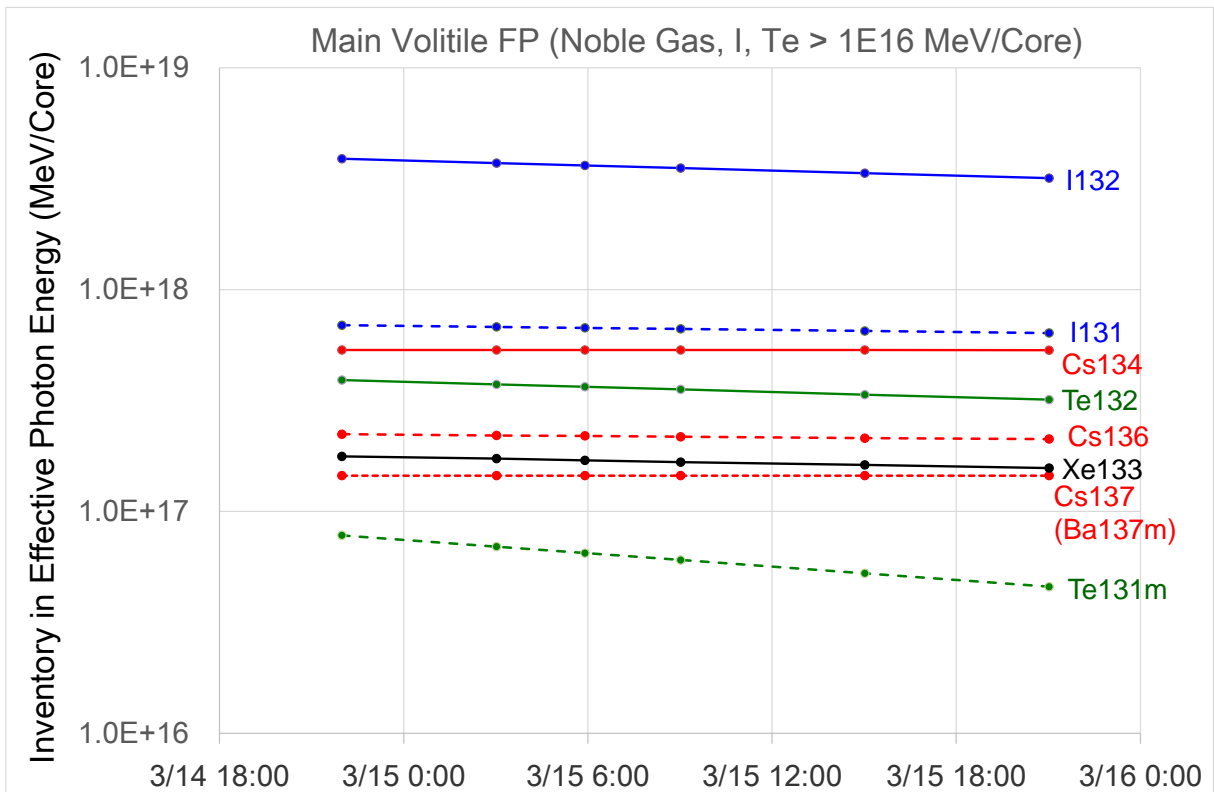


図 7 主要揮発性 FP の炉心インベントリ (線源エネルギー単位)

4. 2. 解析結果

はじめに、表 2 に各線源位置 (S/C 気相部、S/C 液相部、S/C 内壁面、D/W 気相部、D/W 内壁面) に各元素 (希ガス、ヨウ素(I)、セシウム(Cs)、テルル(Te)) が 100% 炉心から放出され均質に存在する場合の、CAMS 計算値を示す。D/W 内壁面線源量は、ここでは沈着面積として D/W の全球面積相当を線源密度に乗じて算出するが、沈着密度分布や構造材表面等の寄与が不明であるため、この値に厳密な意味はない。

実際の CAMS 測定値はこれら線源の寄与の組み合わせとなるが、各元素の組成を特定することはできないため、次章では簡単のためヨウ素、セシウム、テルルの炉心からの放出率を 1:1:1 と仮定して考察する。

表 2 各線源位置における CAMS 計算値

(1) S/C 気相線源と S/C の CAMS 線量値の関係

時刻	CAMS 計算値 (各元素放出率 100%相当) [Sv/h]					CAMS(S/C) 測定値 [Sv/h]
	測定値を得るのに必要な放出率 (各元素毎)					
	Noble Gas	I	Cs	Te	I+Cs+Te	
3/14 22:00	7.9E-1 1200%	6.3E+2 1.5%	1.2E+2 7.7%	3.5E+1 26%	7.8E+2 1.1%	9.1 (3/14 23:42)
3/15 15:00	3.6E-1 1900%	5.4E+2 1.3%	1.2E+2 5.9%	2.9E+1 24%	6.8E+2 1.0%	6.9 (3/15 15:25)

(2) S/C 液相線源と S/C の CAMS 線量値の関係

時刻	CAMS 計算値 (各元素放出率 100%相当) [Sv/h]					CAMS(S/C) 測定値 [Sv/h]
	測定値を得るのに必要な放出率 (各元素毎)					
	Noble Gas	I	Cs	Te	I+Cs+Te	
3/14 22:00	— —	4.0E+1 23%	7.7E+0 120%	1.7E+0 520%	5.0E+1 18%	9.1 (3/14 23:42)
3/15 15:00	— —	3.5E+1 20%	7.6E+0 91%	1.4E+0 480%	4.4E+1 16%	6.9 (3/15 15:25)

(3) S/C 壁面線源と S/C の CAMS 線量値の関係

時刻	CAMS 計算値 (各元素放出率 100%相当) [Sv/h]					CAMS(S/C) 測定値 [Sv/h]
	測定値を得るのに必要な放出率 (各元素毎)					
	Noble Gas	I	Cs	Te	I+Cs+Te	
3/14 22:00	— —	6.3E+2 1.5%	1.2E+2 7.7%	3.3E+1 28%	7.8E+2 1.2%	9.1 (3/14 23:42)
3/15 15:00	— —	5.3E+2 1.3%	1.2E+2 5.9%	2.6E+1 26%	6.8E+2 1.0%	6.9 (3/15 15:25)

(4) D/W 気相線源と D/W の CAMS 線量値の関係

時刻	CAMS 計算値 (各元素放出率 100%相当) [Sv/h]					CAMS(D/W) 測定値 [Sv/h]
	測定値を得るのに必要な放出率 (各元素毎)					
	Noble Gas	I	Cs	Te	I+Cs+Te	
3/14 22:00	1.2E+0	1.3E+3	2.5E+2	4.9E+1	1.6E+3	22.5 (3/14 23:42)
	2000%	1.8%	9.0%	46%	1.4%	
3/15 3:00	9.5E-1	1.2E+3	2.3E+2	4.2E+1	1.4E+3	62.6 (3/15 6:02)
	6600%	5.4%	27%	150%	4.3%	
3/15 15:00	4.6E-1	9.4E+2	2.3E+2	4.2E+1	1.2E+3	135 (3/15 15:25)
	29000%	14%	59%	320%	11%	

(5) D/W 壁面線源と D/W の CAMS 線量値の関係※

時刻	CAMS 計算値 (各元素放出率 100%相当) [Sv/h]					CAMS(D/W) 測定値 [Sv/h]
	測定値を得るのに必要な放出率 (各元素毎)					
	Noble Gas	I	Cs	Te	I+Cs+Te	
3/14 22:00	—	9.3E+3	1.7E+3	4.1E+2	1.1E+4	22.5 (3/14 23:42)
	—	0.2%	1.3%	5.5%	0.2%	
3/15 3:00	—	8.9E+3	1.7E+3	3.8E+2	1.1E+4	62.6 (3/15 6:02)
	—	0.7%	3.6%	16%	0.6%	
3/15 15:00	—	7.5E+3	1.7E+3	3.3E+2	9.5E+3	135 (3/15 15:25)
	—	1.8%	8%	41%	1.4%	

※線源を D/W 壁面 (球部分) とペネトレーション表面のみと仮定した場合の評価値

5. CAMS 挙動の考察と事故進展評価について

2. ~ 4. にて整理した測定結果と線量模擬解析結果から、それぞれの着目期間・時点について、以下のように整理できる。

5. 1. 炉心損傷の開始と進展 (①)

測定中断を経た後の 3 月 14 日 21:55 の時点の CAMS 測定値は、炉心健全時の値から増加しており、この時点までに既に炉心損傷が開始していることがわかる。その後 S/C、D/W の CAMS が両者とも上昇傾向を示しているが、S/C の CAMS 測定値の方が低い。これは、3. で示したように、S/C の CAMS 検出器が離れた位置に設置されているためであり、添付資料 2-10 で示した、原子炉が健全で SRV 経由で炉心から放出された FP が S/C に移行し、真空破壊弁経由で D/W に移行するとの推定に矛盾が無い。

S/C の気相部に放出された FP (希ガス含む) は、真空破壊弁を通じて D/W に移行していくことが考えられるが、線量率の評価によれば、仮に S/C の気相部にインベントリ全量の希ガスが存在すると仮定しても、短半減期希ガスはすでに減衰しているため、S/C の CAMS 指示値に対して約 0.79Sv/h の寄与にしかない。一方で、3 月 14 日の 23:42 時点での CAMS 測定値は、それぞれ、22.5Sv/h(D/W)、9.1Sv/h(S/C) となっており、S/C の線量率を希ガスの寄与分だけで説明することは困難である。したがって、残りの線量率は希ガス以外の揮発性の高い FP が S/C の水にトラップされたものの寄与と、S/C 壁面に沈着したものの寄与であると考えられる。すなわち、①の期間に炉心損傷・炉心溶融が進展し、揮発性 FP についても放出されているとのこれまでの推定を支持する結果となっている。

ここで、液相線源と沈着線源の寄与割合を特定することはできないが、S/C の CAMS の測定値を再現できる FP の量は、FP が S/C の水に捕捉される割合を示す数値である DF に依存する。例えば、DF が 100 の場合 (水に捕捉される割合を 100、気相に放出される割合を 1 とした場合)、炉心内に存在する I、Cs、Te のうち、S/C の水中に 16%、壁への付着分を 0.16% (気相部へ放出されたものが全量付着することを仮定) とすると、CAMS 位置での線量率は 9.1Sv/h となり、測定値と整合した結果となる。(ただし、FP 存在量あたりの CAMS への寄与は、水中の FP は水による遮へい効果があることから、水中 FP < 壁面沈着 FP であり、単独で 9.1Sv/h となる FP 量は、それぞれ 18% (水中 FP)、1.2% (壁面沈着 FP) である。)

一方で、D/W の CAMS 測定値 22.5Sv/h (3 月 14 日 23:42 時点) に対して、仮に D/W の気相部に全量の希ガスが存在すると仮定した場合、D/W の CAMS 測定値に対して約 1.2Sv/h の寄与となる。ここでも D/W の線量率を希ガスの寄与分だけで説明することは困難であり、残りの線量率は希ガス以外の揮発性の高い FP が S/C 真空破壊弁から D/W に移行したものの寄与 (気相部または D/W 壁面沈着) であると考えられる。炉心内に存在する I、Cs、Te のうち、約 1.4% が D/W の気相部に存在すると、約 22.5Sv/h の寄与となる。炉心内蔵量の約 1.4% が D/W に移行するとの仮定は、S/C の DF を 100 程度とすると、炉心内蔵量の 100% が S/C に放出されたことになり、これは前述の S/C の CAMS 測定値と比較すると大きすぎる値である。従って、有機ヨウ素のような気体状 FP が RPV から S/C 経由で D/W 気相部に移行したことによる寄与と推定される。また、D/W の CAMS の測定値は、23:25 から 23:54 の間に 8.81Sv/h から 24.5Sv/h と急上昇していることから、このタイミングで RPV から D/W への直接漏えいが発生した可能性、もしくは、この時間帯での D/W 壁への沈着分による寄与も考えられる。この時間帯は、図 1 で示す 2 回目の原子炉圧力上昇のタイミングであり、炉内では炉心溶融が進展していると考えられている。ただし、この段階では I、Cs、Te の D/W への移行量は限定的で大部分は RPV 内に存在している可能性が高い。

(なお、CAMS が D/W の貫通部に設置されていることから壁面沈着の影響は大きく、D/W 内球部壁面に一定の表面密度で沈着していると仮定すると、I、Cs、Te のインベントリの 0.2% が沈着すれば再現が可能である。)

5. 2. RPV から D/W への直接 FP 放出の進展 (②)

この時間帯は S/C の線量率が下降していることが特徴的であり、これまでの RPV から S/C への FP 移行ではなく、RPV から D/W へ直接 FP が放出されていると想定される。CAMS 測定値は、それぞれ 3 月 14 日 23:54 の 24.5Sv/h(D/W)、9.10Sv/h(S/C) から、3 月 15 日 6:20 に 62.7Sv/h(D/W)、4.80Sv/h(S/C) となっており、S/C 線量率は約 6 時間で半減している。想定される FP のうち、単一核種で 6 時間程度の半減期を持つものは見当たらない。しかしながら、I、Cs、Te の揮発性の高い核種がそれぞれ燃料から放出されると、放出された組成に応じて全体の線量は減少し、その減少が見かけ上 6 時間程度で半減するような組成割合が存在すれば、②の期間における S/C の CAMS の測定値の挙動を説明することができる。

図 8 に I、Cs、Te からの発生エネルギー（線量率に比例）の時間変化を示す。この評価では、時間 0 において、各元素が単独で存在していることを想定し、その後の発生エネルギーにはその娘核種の崩壊による発生エネルギーを含む。図 8 より、ヨウ素は初め 2 時間程度で半減する。これは、I-132（半減期約 2.3 時間）の影響が支配的であるためである。ただし、I-132 は Te-132（半減期約 3.2 日）の娘核種であり、炉心内では Te-132 と放射平衡の状態にあることから、I-132 は Te-132 の半減期で減衰する。この図では、Te-132 の崩壊による I-132 の発生は、Te からの発生エネルギーにカウントしているため、Te からの発生エネルギーは時間 0 から I-132 の生成により上昇することになる。同様に、Cs も Ba137m からの発生エネルギーの追加分により、若干の発生エネルギーの増加がみられる。

以上の関係から、S/C に放出された Te の存在割合が少なくなると、I-132 の減衰効果が大きくなり、線量全体の減衰が速くなる。ここで、I:Te の存在比を 1:0.2 とした場合、6 時間で半減するような線量変化となる。揮発性の相違の観点からも、I よりも Te の存在量が少なくなるとは妥当であり、このような I、Te の存在割合の相違によって、S/C の CAMS 測定値が変化していったものと推定される。

D/W の CAMS 測定値は 3 月 15 日 6:20 に 62.7Sv/h まで達している。①の期間と同様に、仮に D/W の気相部に全量の希ガスが存在するとしても、D/W の CAMS 指示値に対して約 0.95Sv/h の寄与にとどまる。また、炉心内に存在する I、Cs、Te のうち、約 4%が D/W の気相部に存在すると、約 60Sv/h の寄与となる（I のみの場合には約 5%で約 60Sv/h）。したがって、D/W の CAMS 測定値は 15 日の朝にはかなり高まっているものの、14 日の夜に S/C 経由で放出された放射性物質と比較すると、それほど多くないとの評価結果になる。また、D/W 壁面への沈着による線量の寄与としては、D/W 内球部表面に、炉心内に存在する I、Cs、Te の 0.6%が付着すると再現が可能である線量であることから、期間①と同様、この時期の I、Cs、Te の D/W への移行量は限定的で大部分は RPV 内に存在しているか、ペDESTAL内や D/W 床など CAMS 検出器には放射線が届きにくい場所に存在している可能性が高い。

5. 3. D/W 線量率の減少 (③)

3月15日6:20から6:25までの短時間でD/Wの線量率が62.7Sv/hから、43.0Sv/hへ急減しているが、S/Cの線量率は横ばいである。この線量率の急減は測定誤差である可能性もあるが、ここでは、D/W内の放射性物質が観測されている2号機原子炉建屋ブローアウトパネルからの蒸気漏えい(図9参照)に伴って放出されたと仮定すると、次の通りとなる。希ガスはこの漏えいで放出されるが、希ガス100%の寄与分は0.7Sv/hであるため、希ガスのみでこの減少分を説明することはできない。43.0Sv/hが、気相中のI、Cs、Teのみによる寄与分であるとする、D/Wの気相部に炉心内存在量の約3.1%が存在することで再現できるため、炉心内インベントリの約1.2%がD/Wから大気へ放出されたこととなる。ただし、ここまでの短時間でこれだけの放出があり得るかという観点、及び、その後のCAMSの測定値が5時間後の11:25まで得られていないことや、D/W圧力の減少のタイミングとも一致していないことを考えると、この放出量の評価値は、非常に不確かさが大きいと考えられる。

5. 4. 線量率一定期間 (④)

この期間では、測定数は小さいものの、S/CおよびD/WのCAMSの測定値は安定している。一方で、この期間中にD/W圧力は大きく変動し、D/Wからの気相漏えいが発生していると考えられることから、気相中FPからの線量が支配的であれば漏えいによってCAMS線量率も減少すると考えられる。したがって、S/CのCAMS測定値は水中に捕捉されたFPおよびS/C壁面に沈着したFPから、D/WのCAMS測定値についてはD/W壁面に沈着したFPからの放射線をとらえている可能性がある。

5. 5. 最大の線量上昇 (⑤)

3月15日13:00から15:25の間にD/Wで、急激な線量上昇があったことが観測されている。16:10に観測された最大値138Sv/hを再現するためには、炉心内存在量の約11%のI、Cs、TeがD/W気相中に必要となるため、この急激な線量上昇時に炉心内存在量の約8%相当がD/W内へ追加で放出された可能性がある。これは、RPVからD/Wに連続的に漏えいが発生していたと推定している②の期間より大きく、⑤の期間の短時間にこのような大きなRPVからD/WへFP移行が発生した要因として、RPV破損が発生した可能性が考えられる。

この際にS/CのCAMSの測定値も増加しているが、これは、RPV破損に伴う急激な格納容器圧力の変化に伴い、ベント管経由でD/WからS/Cに放射性物質が移行したものをとらえた可能性がある。

ただし、後述するように、その後は長期間にわたって安定した減少傾向を示すことから、D/WのCAMSはD/W壁面に沈着したFPから発生する放射線をとらえた可能性が高い。この場合、D/Wへの放出量は、ここで評価した約8%よりも小さくなるが、この期間は、D/Wから原子炉建屋、環境への直接放出が始まっていることから、CAMS

の測定値に影響を与えない放出分がある可能性があり（RPV フランジから D/W トップヘッド部への漏えい経路による放出など）、この期間の放出量を適切に求めることは困難である。

また、この時点で炉心損傷・溶融が始まって 20 時間程度経過していることから、揮発性 FP はすでに大部分が燃料から放出されていると考えられる。RPV 破損のタイミングで D/W の CAMS 測定値が最大の上昇を示すような FP 移行メカニズムについては、さらなる検討が必要である。これまでの検討から、I、Cs、Te の D/W への移行量は限定的で大部分は RPV 内に存在しているか、ペDESTAL 内や D/W 床、D/W トップヘッド部など CAMS 検出器には届かない場所に存在し、一部は液相に移行して原子炉建屋地下階へ放出した可能性が高い。

5. 6. 長期的な減衰傾向 (⑥)

3 月 15 日 16:10 に最大値を測定した以降は、CAMS 測定値は単調減少している。3 月 19 日あたりでは約 8 日の半減期で CAMS 測定値が減少しており（図 10）、D/W の圧力は変動しているにもかかわらず、長期間にわたって安定した減少傾向を示すことから、主に D/W 壁面に沈着した FP（ヨウ素やセシウム）から発生する放射線をとらえていると考えられる。

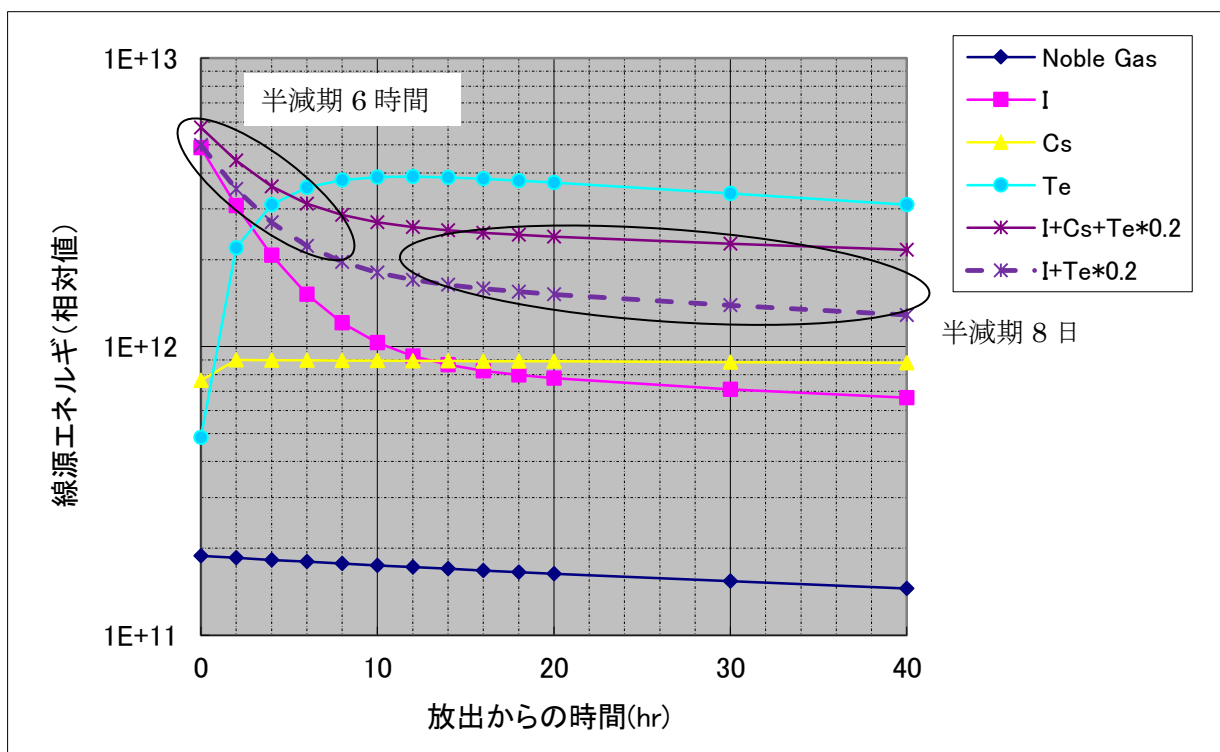


図 8 各元素の線源エネルギーの時間変化

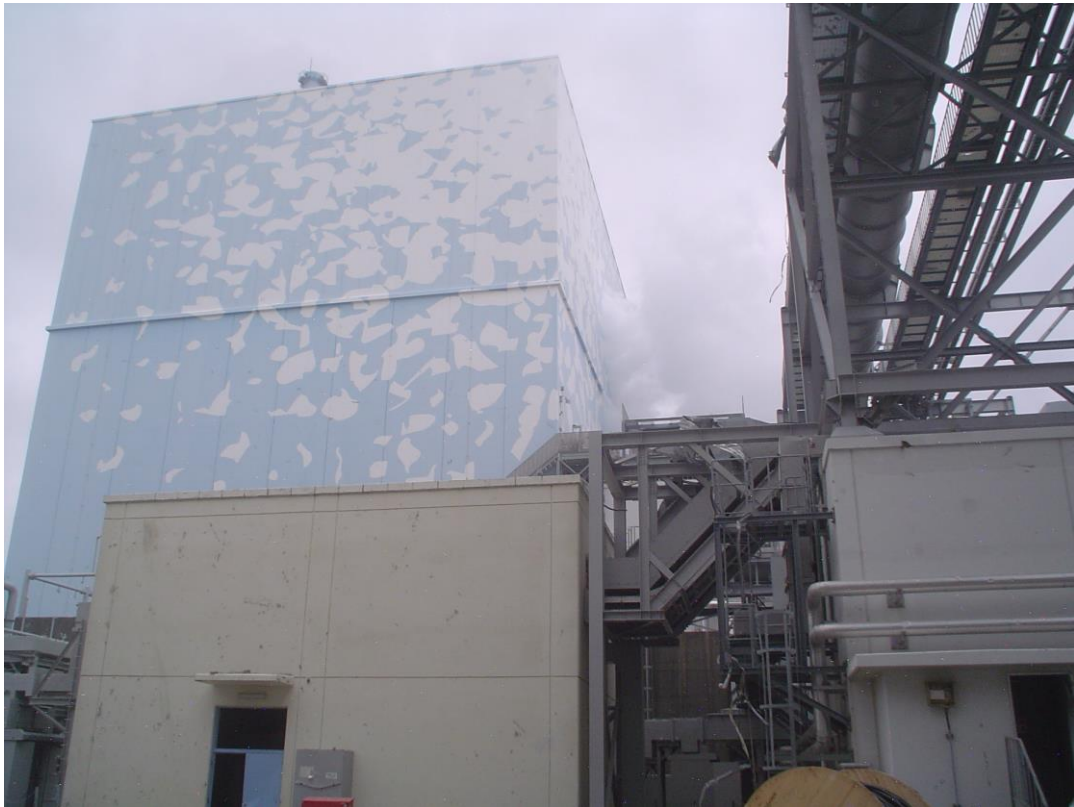


図9 2号機からの蒸気放出 (撮影日情報 3月15日8時58分)

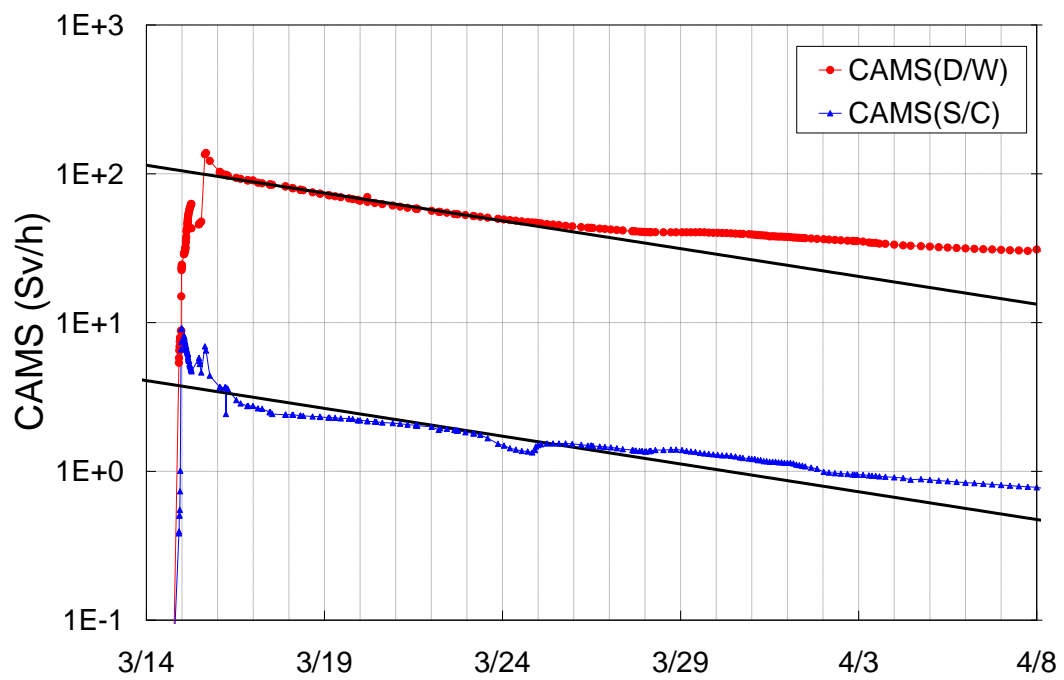


図10 CAMS 測定値の長期的傾向 (直線は半減期 8 日の減衰曲線)

6. S/C, D/W CAMS の測定値の検討に関するまとめ

2号機で測定された CAMS 線量率の測定データについて、定量的な評価を行い、そこから評価される事故進展シナリオについて検討を添付資料 2-10 での検討に引き続き実施した。その結果をまとめると以下の通りとなる。

- ・ 添付資料 2-10 で示した事故進展シナリオは定量的な評価とも整合。
- ・ ①の期間に炉心損傷が進展し、希ガスだけでなくヨウ素やセシウム等の揮発性 FP も燃料から放出されたと推定（希ガスだけでは CAMS 測定値を説明することはできない）。
- ・ 燃料から放出された FP（ここでは I、Cs、Te を指す）の大部分は RPV 内に存在し、RPV 気相部に存在する気体状あるいはエアロゾル状の FP は①の期間に SRV 経由で S/C 水へ移行。S/C 液相への移行量は、S/C の CAMS 測定値から 16%程度と推定（S/C 内の液相部と壁面沈着部の存在割合が不明のため参考値）。一部は S/C 気相部から真空破壊弁を経由して D/W へ移行（1~2%、有機ヨウ素の寄与と考えられる。）。
- ・ ①の期間内では RPV はほぼ健全。ただし、3月14日 23:30 以降は D/W の CAMS 測定値の上昇率が大きく、この時間以降に D/W への直接漏えいの可能性あり。
- ・ ②の期間では、RPV から D/W への気相漏えいは継続しているものの、D/W への FP 移行量は限定的で、大部分は RPV 内に存在。D/W に移行した FP の一部は D/W 壁面や、その他の構造物表面に沈着。
- ・ ③や④の期間では D/W から環境中へ気相漏えいが発生し、D/W 気相中の FP が環境中へ放出。ただし、D/W 壁面の沈着 FP の寄与により CAMS 測定値に大きな変動はなし。D/W の CAMS 測定値から、仮に沈着 FP の寄与がなかったとすると気相中に存在する FP は高々3%程度であり、数%の FP が環境中に放出されたとする放出量評価とも大きな不整合はない。
- ・ ⑤の期間の急激な CAMS 測定値の上昇は、RPV 破損と関連する可能性。このタイミングでこれまでより多くの FP が D/W に移行し、CAMS 測定値の最大上昇量を与えたと考えられる。ただし、RPV 破損と FP 移行メカニズムの関係性は不明。また、その後⑥の期間の長期的な CAMS 測定値の減衰傾向から、CAMS 測定値は D/W 壁面に沈着した FP からの寄与が大きい。

7. 抽出した課題と対策との関係

本課題は格納容器圧力低下のメカニズムの解明が目的であり、対策との関連はない。ただし、本検討にて示されたように、事故時の CAMS の測定値は事故進展挙動を推定するうえで非常に重要な情報である。したがって、電源系の強化は、事故時の CAMS の機能を維持する観点から重要な対策である。また、CAMS 測定値の解釈にあたって、炉心溶融に至る場合には希ガス以外の FP の寄与や沈着線源の影響などを考慮する必要がある。なお、福島第一原子力発電所事故以前のシ

ビアアクシデント時の手順では、希ガスのみの存在を仮定した CAMS 測定値による炉心損傷割合評価が実施されることになっているが、本検討結果からも、この手法では意味のある数値を算出することは困難である。

このため、現在の柏崎刈羽原子力発電所では CAMS 測定値により炉心損傷割合を評価する運用は廃止している。なお、従来 CAMS 測定値により評価された炉心損傷割合は運転員が行う運転操作の判断に用いていない。

以 上