

### 3.2.2 事業者解析 1 の結果

#### (1) 原子炉水位及び原子炉圧力

2号機の注水流量を図 3-31 に示す。2号機では RCIC の水源が途中で復水貯蔵タンク(以下、「CST」という。)からサプレッションプール(以下、「S/P」という。)へ切り替えられている(③)。赤色の実線は RPV への累積注水量を、緑色の実線は外部の水源から導入された累積注水量を示す。

原子炉水位及び原子炉圧力を図 3-32 に示す。丸印及び三角印は実測値を示し、赤色は原子炉圧力を、青色は原子炉水位をそれぞれ示す。実線は計算による解析値である。地震発生後まもなく RCIC が手動起動される(①)。RCIC が機能を維持している間は水位が L-2 まで低下すると注水が開始され、L-8 に達すると注水が停止する。

2号機では約 70 時間にわたり RCIC が機能し続けるため、RPV への注水が継続され、炉心が冷却される。しかし、RCIC が停止(④)するため水位が低下し、約 74 時間で炉心が露出する。外部注水を行うために約 75 時間で S/R 弁が 1 弁開放され、RPV の圧力は約 0.4 MPa まで低下するが、水位も低下して炉心が完全に露出する。外部注水が開始(⑤)されることで炉心部の水位が上昇し、TAF まで回復するため、炉心が冷却され RPV 破損には至らない。ただし、外部注水開始時点では RPV 圧力の解析値、実測値共に約 4 MPa であり、炉内に注水できたとは考えにくい。

#### (2) ドライウェル圧力・温度

図 3-33 に D/W 圧力を示す。本解析では約 21 時間の時点で PCV 気相部に約 80 cm<sup>2</sup> のリークを仮定しているため、D/W 圧力の増加は実測値よりも緩慢であり、破損口の大きさが過大であると考えられる。約 74 時間(⑥)での RPV の減圧操作により D/W 圧力が上昇し、約 84 時間の時点で水素発生(図 3-40 参照)による圧力ピークが現れている。約 88 時間(⑧)で S/C 付近で爆発音が発生した時点で、S/C 気相部に約 80 cm<sup>2</sup> の漏えいを仮定しているため、D/W 圧力が低下し、ほぼ大気圧と等しくなる。

図 3-34 に D/W の分圧を示す。約 24 時間で S/P が飽和温度に達するため(図 3-35 参照)水蒸気分圧が上昇している。約 80 時間で水素の発生に伴い水素分圧が上昇するが、PCV 気相部の漏えい口から建屋へリークする。図 3-35 に格納容器の圧力及び温度を示す。約 14 時間(③)で RCIC の水源が CST から S/P へと切り替えられ、約 24 時間で S/P は飽和温度となる。

#### (3) 炉内の熔融進展

図 3-36 に炉心最高温度の推移を示す。RCIC 継続動作中は約 600 K でほぼ一定であるが、RCIC が停止し、炉水位が低下すると炉心温度は上昇し約 80 時間で損傷する。約 80 時間から Zr-水反応による反応熱で炉心の温度上昇が加速する。消火系から注水により、シュラウド内の水位が上昇するため炉心温度が低下し、約 130 時間で TAF まで水位が回復するため約 400 K に維持される。

図 3-37 に炉心部の質量の時間変化を示す。青の実線は溶融していない燃料の質量を、赤の実線はデブリ化した燃料の質量を、太い点線は炉心部の燃料の合計質量をそれぞれ示す。

約 80 時間で炉心損傷が始まり、燃料も溶融し始め、約 2 割が溶融する。RPV は破損せず、炉心支持板も健全であるため、全燃料が炉心部分に維持される。図 3-38 に炉心部分の温度分布を、図 3-39 に炉心部分の燃料分布を示す。80 時間を過ぎると、炉心頂部が溶融するが、外部注水により冷却されるため、燃料は全量が炉心部分に維持され、下部プレナムへは移行しない。表 3-11 に示すように、炉心露出開始時間及び炉心損傷開始時間は、事業者の解析結果とほぼ同等である。

#### (4) 水素発生量

図 3-40 に水素発生量と PCV 外部への漏えい量を示す。炉心の露出により Zr-水反応により大量に水素が発生し、S/C へ放出された後、仮定された PCV のリーク口より建屋へ放出される。発生量は約 650 kg になり事業者の解析結果とほぼ同等である。図 3-41 に RPV、D/W、原子炉建屋(1F~3F)の水素濃度を示す。炉心で発生した水素が PCV の漏えい口より原子炉建屋へ漏えいするため、約 84 時間後には、原子炉建屋の 2F 部分の水素濃度は約 15% に達した。

#### (5) FP 挙動

図 3-42 に FP の環境への放出量を示す。一部の燃料が溶融せずに炉心に残存するため、環境へ放出される希ガスは初期インベントリに対して約 8 割に留まる。事故初期に PCV 気相部に漏えいが発生するため、炉心損傷と同時に環境への放出が開始され、S/C の気相部破損時(⑧)にもピークが現れている。炉心から放出された FP は、RPV が健全であるため、一旦 S/P でスクラビングされ、PCV の漏えい口から建屋へ漏えいし、環境へ放出されている。従って、CsI 及び Cs の放出率は 1%未満である。また、Te の放出率は 1%未満、Ba の放出率は 0.1%未満であり、Pu を含む Ce 元素群の放出率は  $7 \times 10^{-11}$  である。

図 3-43 に CsI の、図 3-44 に Cs の分布率をそれぞれ示す。共に大部分は S/P に溶解している。各元素群の環境への放出率を表 3-12 にまとめた。

表 3-11 事業者解析 1 の解析結果取り纏め(2号機)

項目	解析結果		事業者が実施した 解析結果
炉心露出開始時間	3月14日18:00頃	地震発生後約75時間	地震発生後約75時間
炉心損傷開始時間	3月14日22:30頃	地震発生後約80時間	地震発生後約77時間
原子炉圧力容器破 損時間	— (本解析では圧力容器破損に至らない)		— (圧力容器破損に至らない)

表 3-12 事業者解析 1 での環境への放出割合(2号機)

元素群	初期インベントリに対する環境への放出割合
希ガス	$8.1 \times 10^{-1}$
CsI	$3.8 \times 10^{-3}$
Cs	$3.4 \times 10^{-3}$
Te	$4.2 \times 10^{-3}$
Ba	$4.9 \times 10^{-4}$
Ru	$7.6 \times 10^{-10}$
Ce	$7.4 \times 10^{-11}$
La	$6.5 \times 10^{-8}$

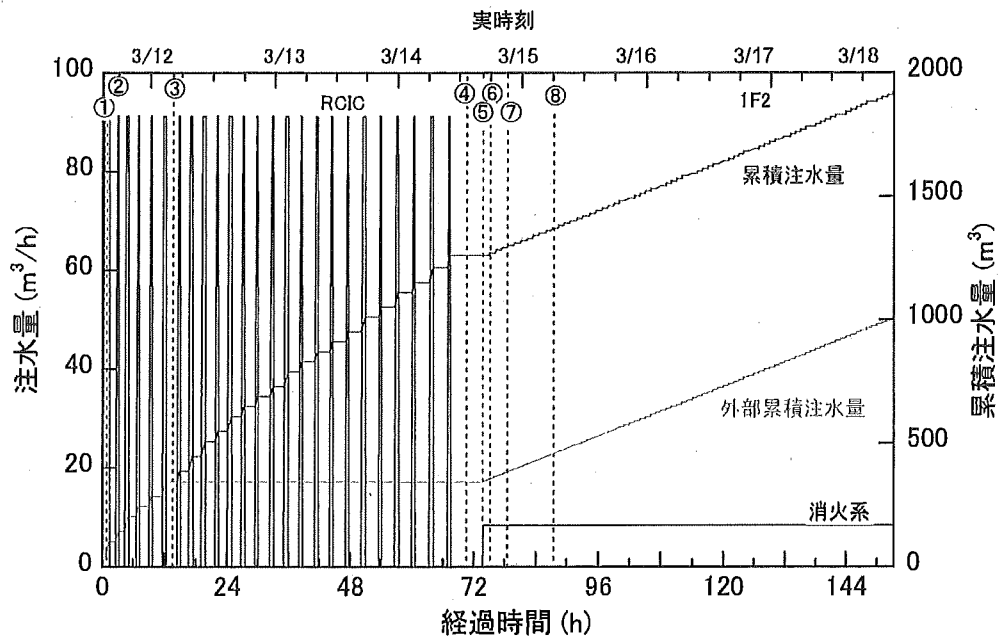


図 3-31 事業者解析 1 での注水量(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

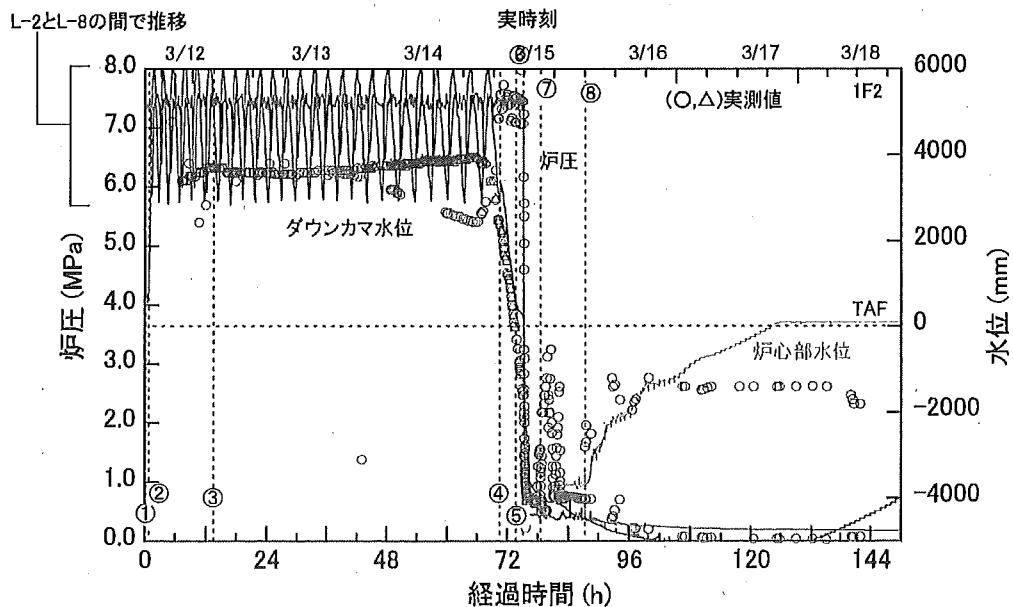


図 3-32 事業者解析 1 での炉圧及び水位(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

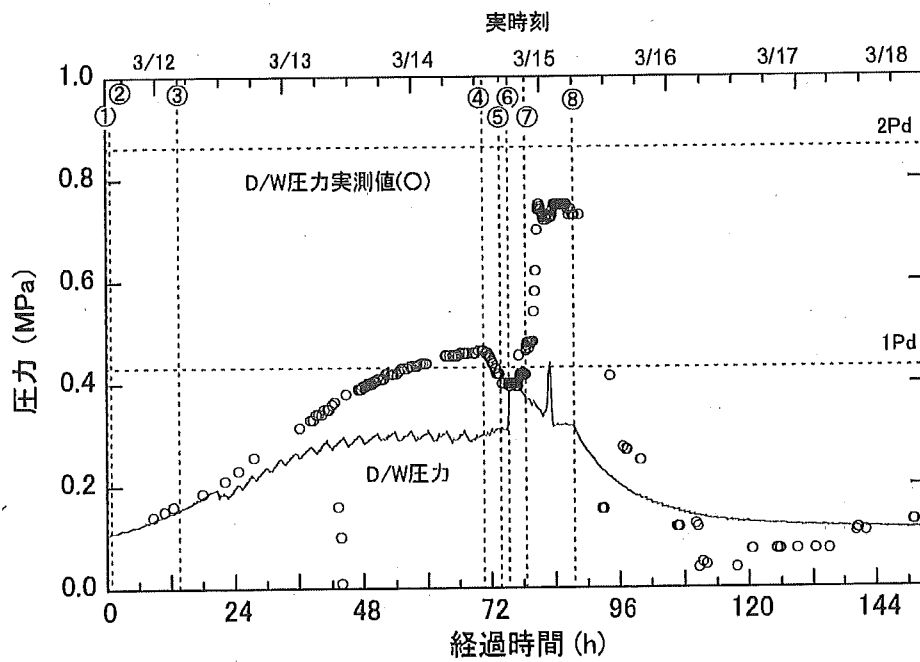


図 3-33 事業者解析 1 での D/W 圧力(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

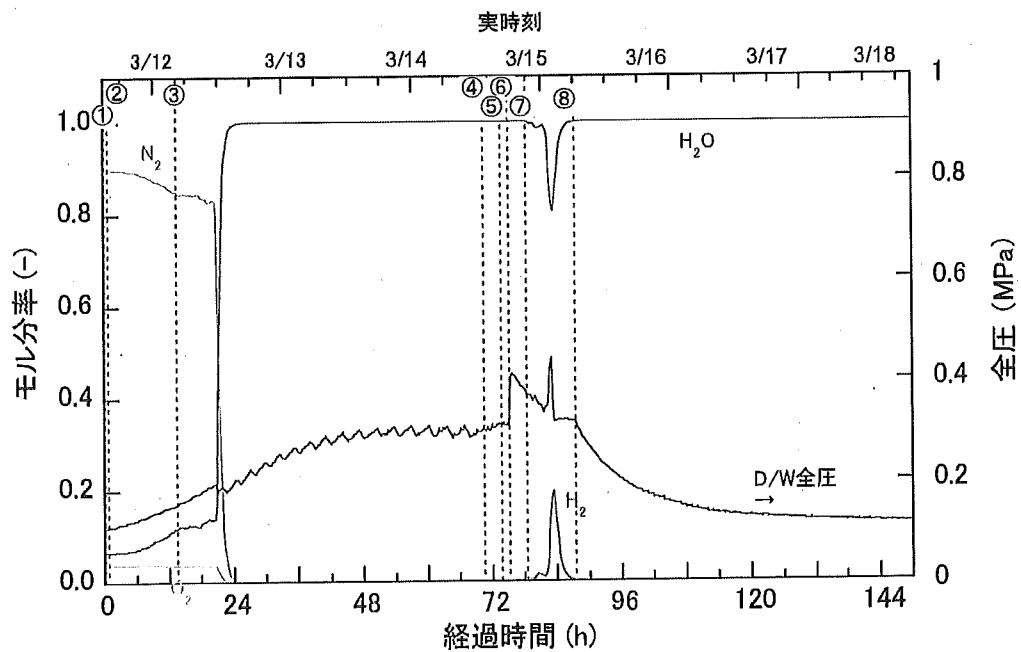


図 3-34 事業者解析 1 での D/W 分圧(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

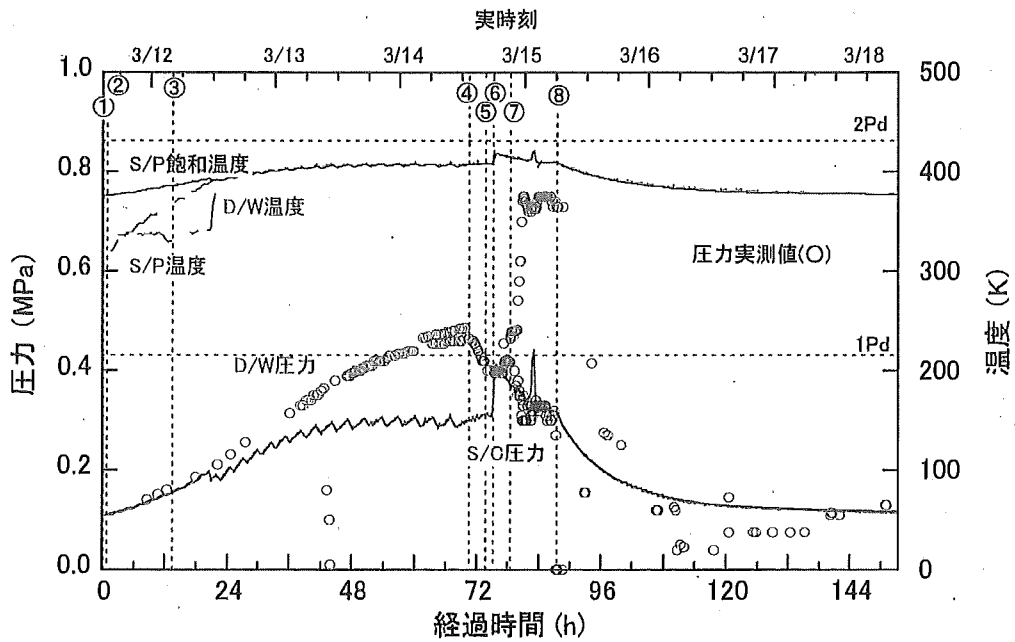


図 3-35 事業者解析 1 での格納容器圧力及び温度(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

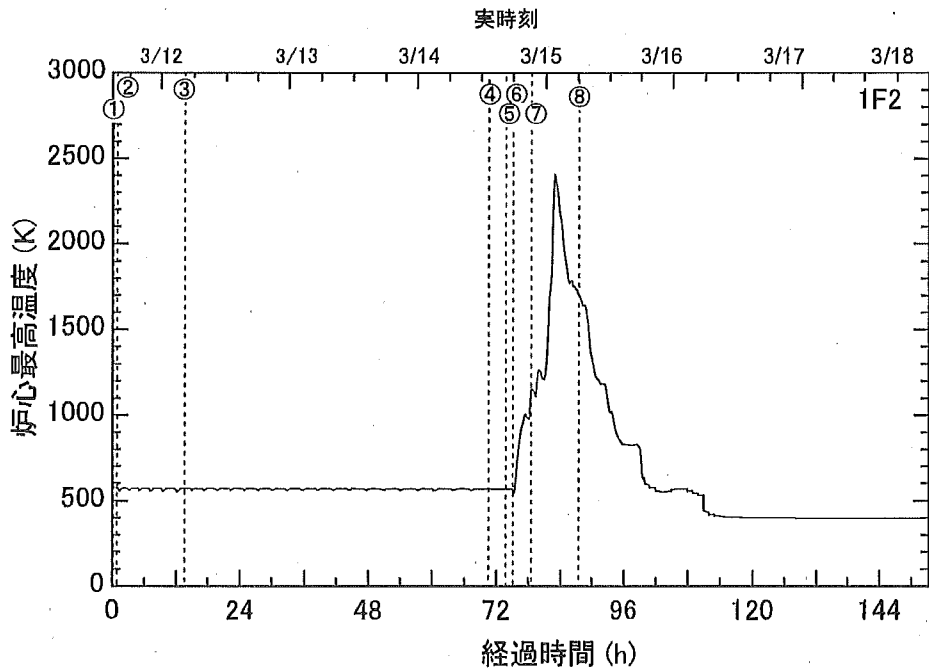


図 3-36 事業者解析 1 での炉心最高温度(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

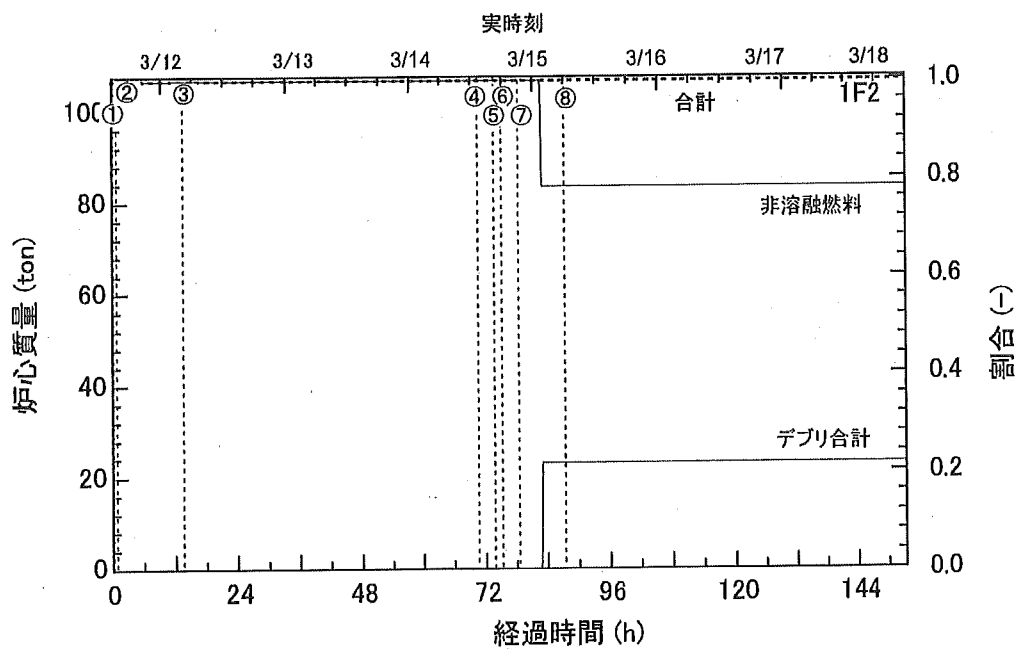


図 3-37 事業者解析 1 での炉心質量(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

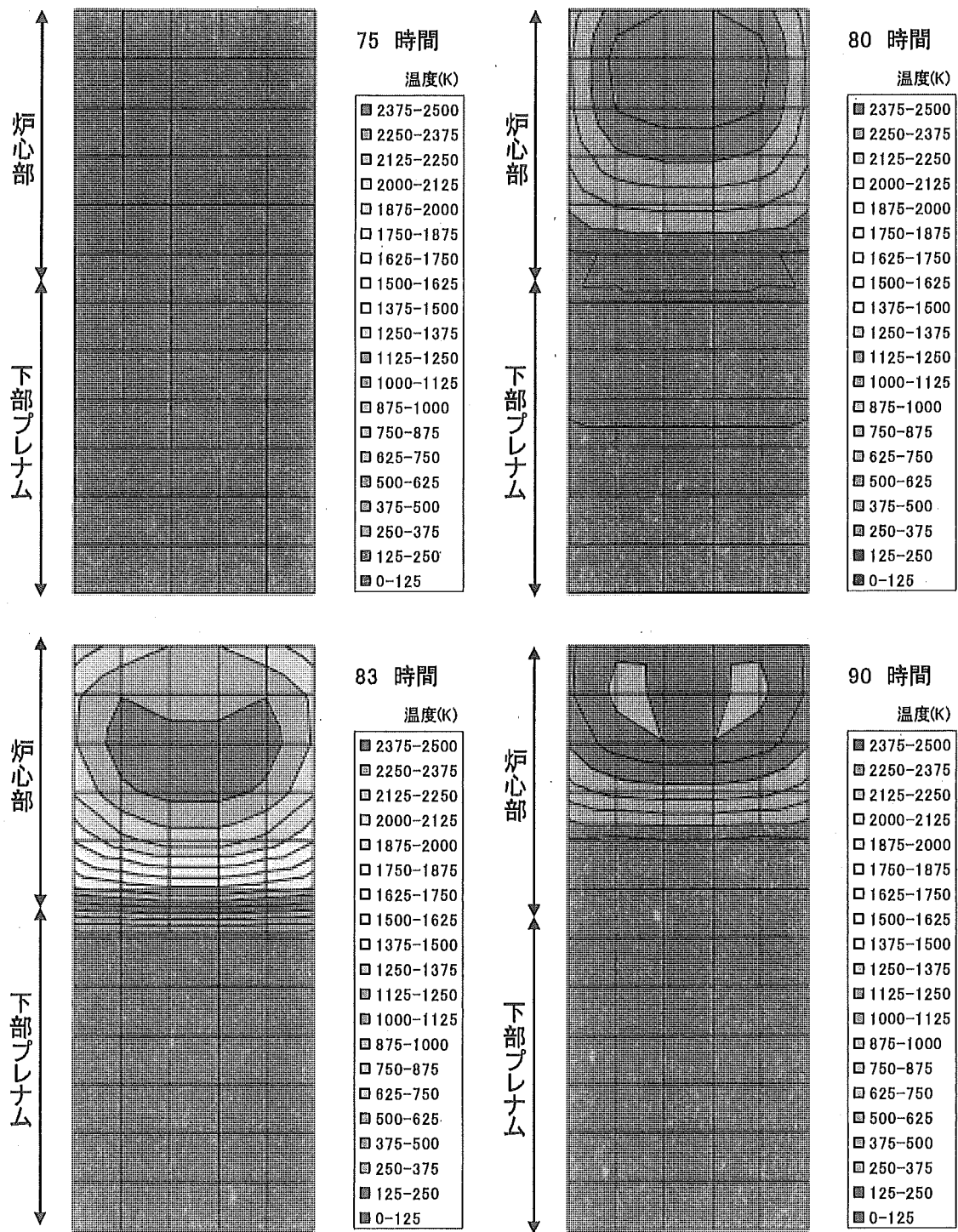


図 3-38 事業者解析 1 での炉心の温度分布(2 号機)



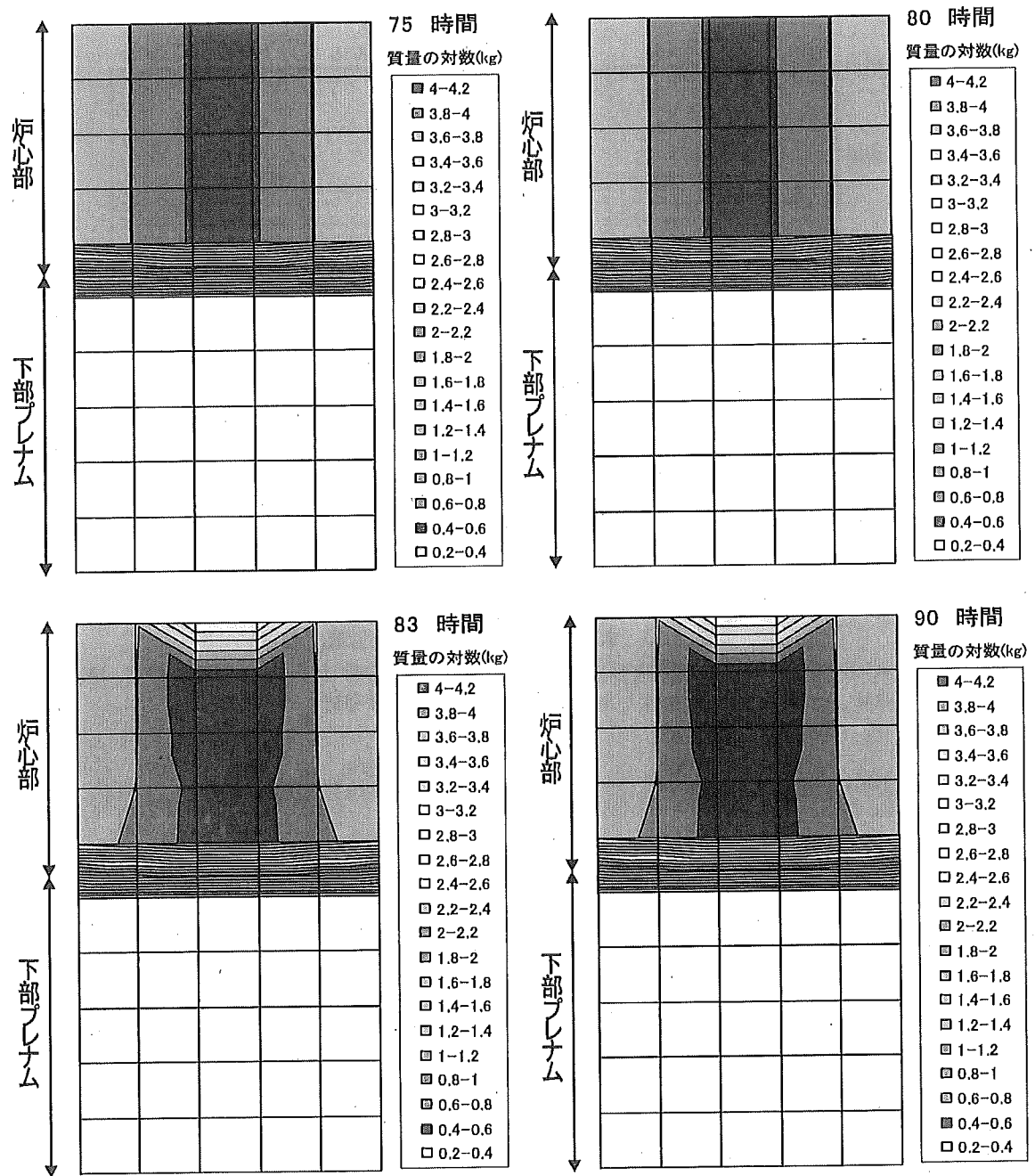


図 3-39 事業者解析 1 での炉心の燃料分布(2 号機)

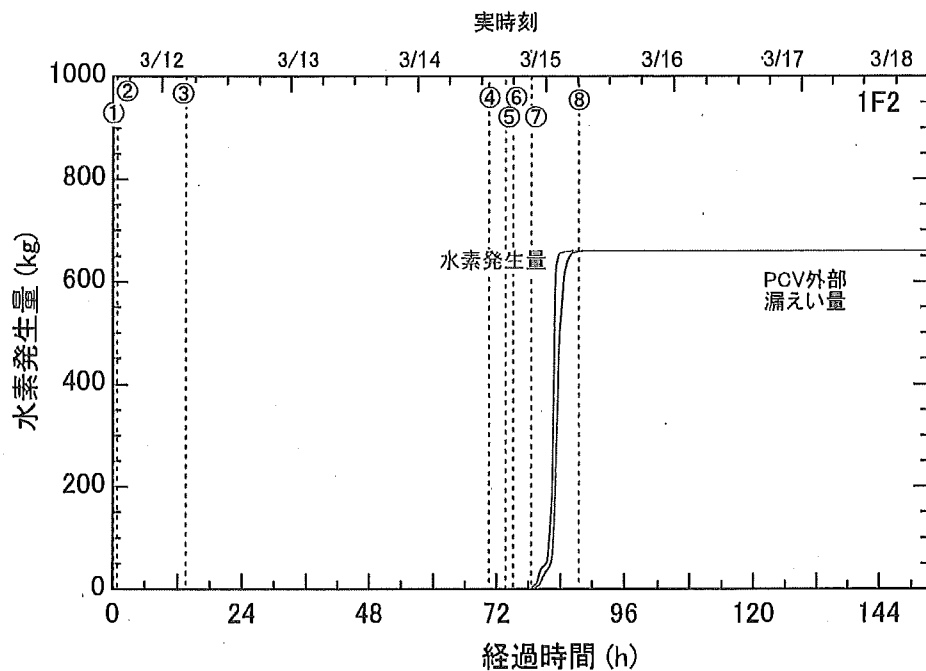


図 3-40 事業者解析 1 での水素発生量(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

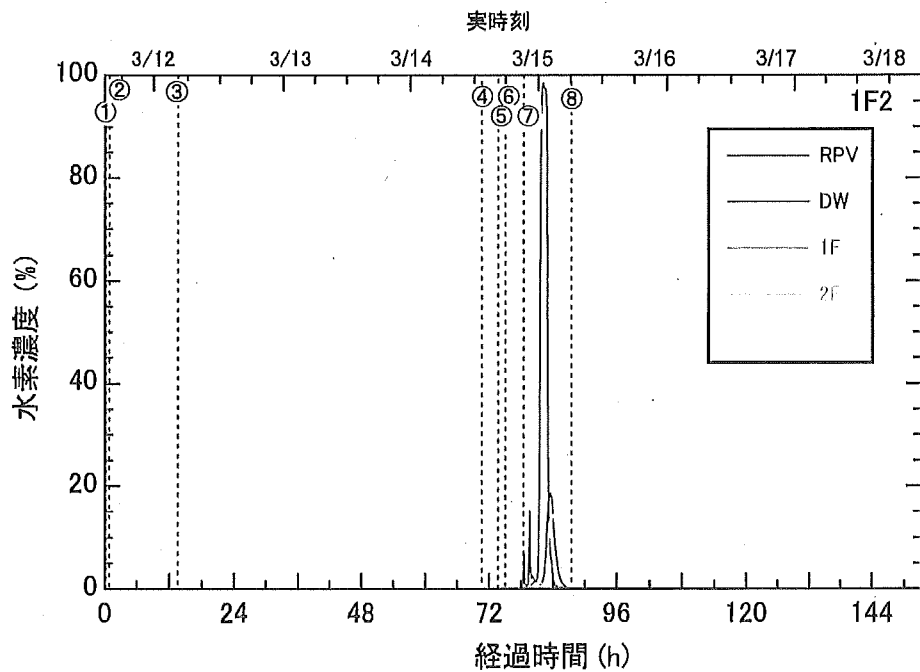


図 3-41 事業者解析 1 での水素濃度(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

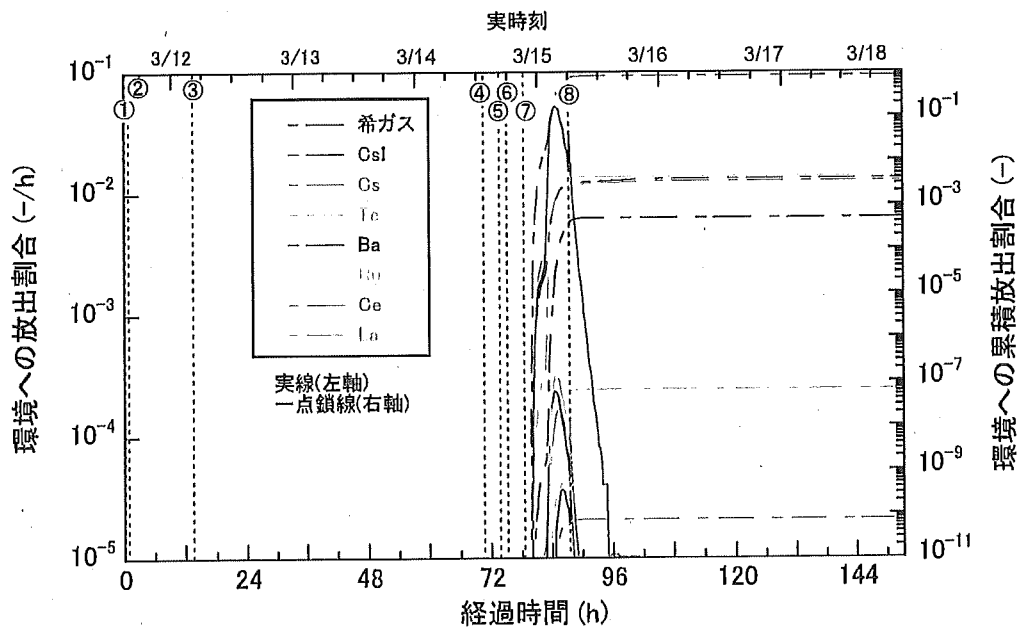
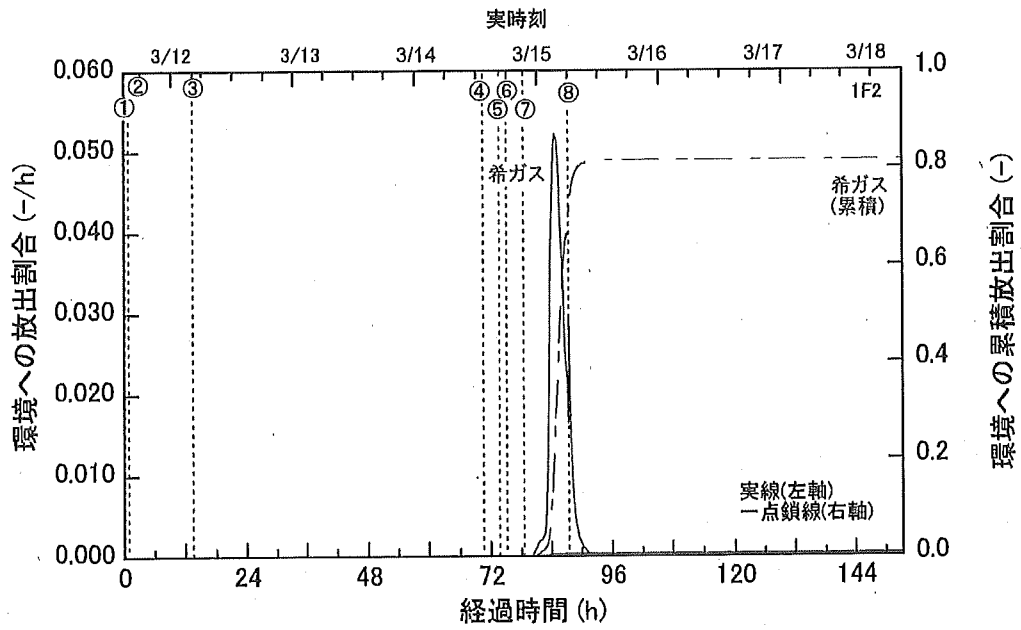


図 3-42 事業者解析 1 での FP の環境への放出率(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

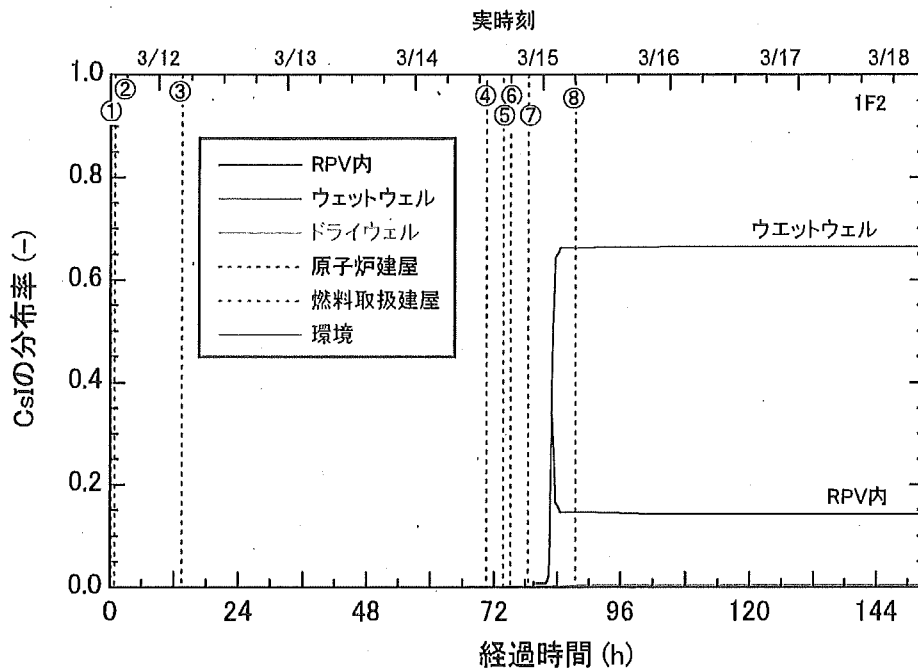


図 3-43 事業者解析 1 での CsI の分布(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

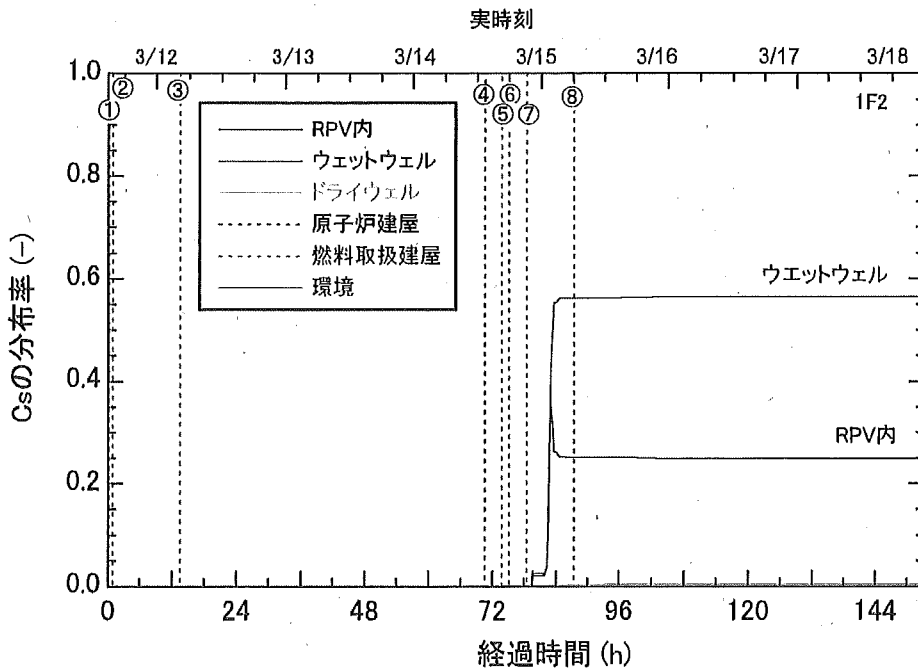


図 3-44 事業者解析 1 での Cs の分布(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

### 3.2.3 2号機の感度解析結果

ここでは、実測値から推定しうるいくつかの仮定を考慮した感度解析を実施し、プラント挙動への影響を評価した。

#### (1) 早期のPCV損傷がないとした場合

事業者の評価ではPCVの早期損傷を仮定しているが、PCVが健全な場合の解析を実施した。図3-45にD/W圧力の推移を示す。事故後RCICが長期間作動するため、RPVの蒸気はRCICのタービンを経由してS/Pへと導かれる。RCICの水源がCSTからS/Pへと切り替えられるため、S/Pは早期に飽和温度に達する。飽和温度に達したS/Pは圧力抑制機能を喪失するため、D/W圧力は上昇し、設計圧の2倍を超えてしまう。一方、D/W圧力の実測値は緩やかに上昇し、RCIC作動時は設計圧程度までしか増加していない。

また、RPVの圧力と水位を図3-46に示す。RCIC作動中はRPV内にTAFを超える水位が形成され、炉心は露出しない。RCICが停止し、注水機能を喪失するため、消火系からの外部注水を実施するためにRPVの減圧操作を行う。しかし、PCVの圧力が高いためにRPVの圧力は十分低下しない。RPV圧力の挙動も実測値とは整合しない。従って、PCVには事故早期に破損が生じたものと推定される。

#### (2) PCV破損口の大きさ

PCVの破損口の大きさについて検討した。仮定されているPCV気相部の破損口の大きさを約50 cm<sup>2</sup>とした場合のD/W圧力を図3-47に示す。RCIC継続動作中のD/W圧力の推移は、実測値とよく整合することから、事業者の仮定した破損口の大きさはやや過大であると考えられる。

解析では爆発音の発生時に、S/Cに約80 cm<sup>2</sup>の破損口が生じたものと仮定しているが、S/C破損によるD/W圧力の低下は緩慢であり、実測値では急速に圧力が低下している挙動とは整合しない。図3-48にはS/C破損時の破損口の大きさを約300 cm<sup>2</sup>と仮定した場合のD/W圧力を示す。破損口が大きくなるためD/W圧力が急激に低下し、挙動が実測値と類似した。

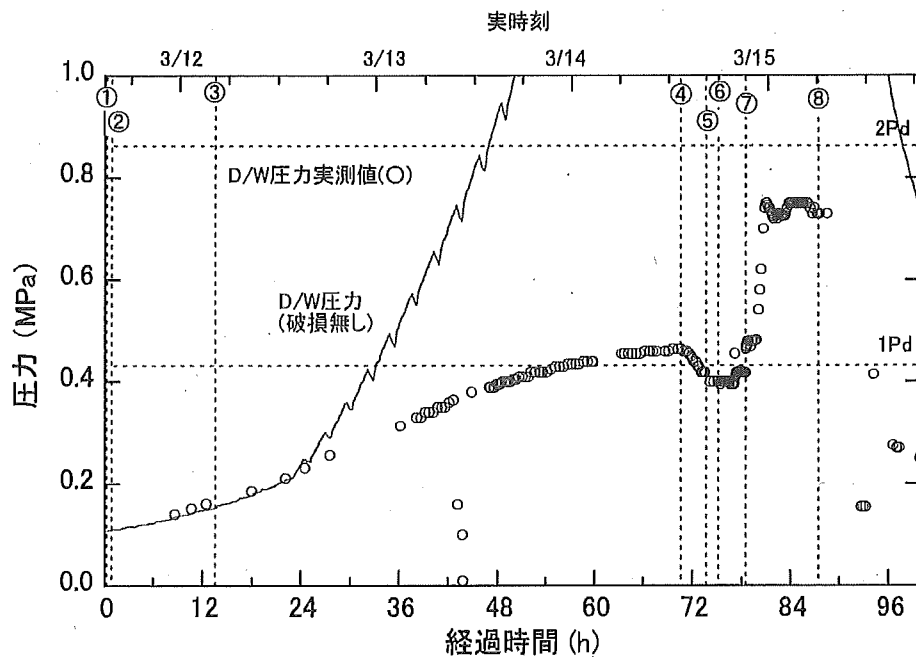


図 3-45 感度解析(ケース 1)での D/W 圧力(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

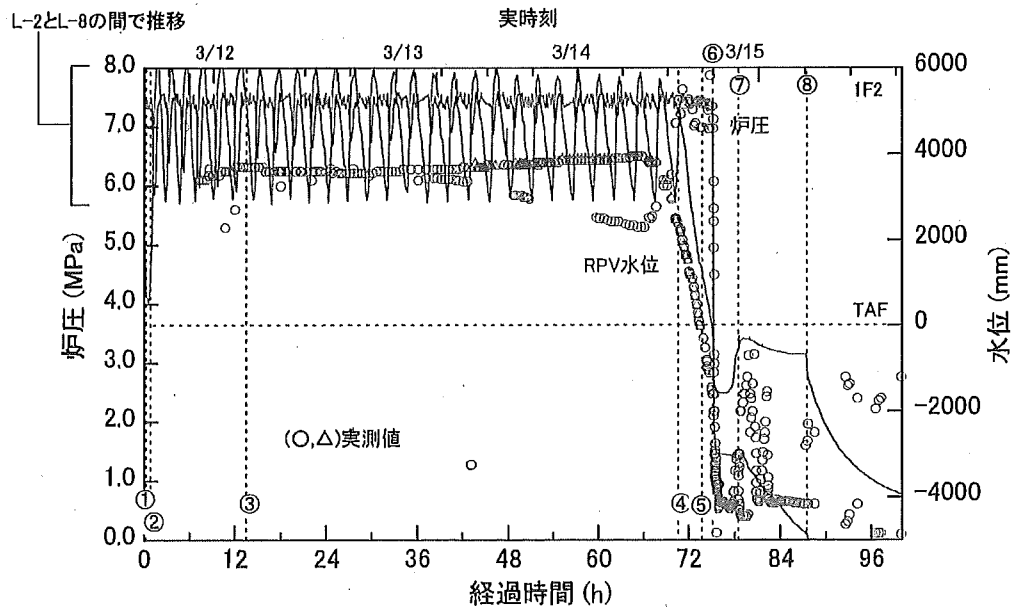


図 3-46 感度解析(ケース 1)での炉圧及び水位(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

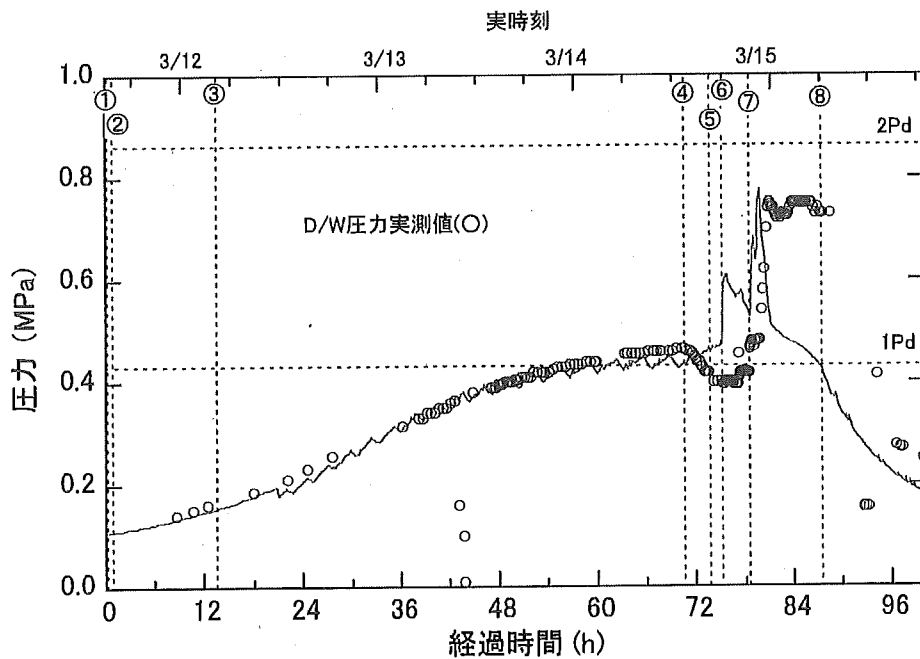


図 3-47 感度解析(ケース 2)での D/W 圧力(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

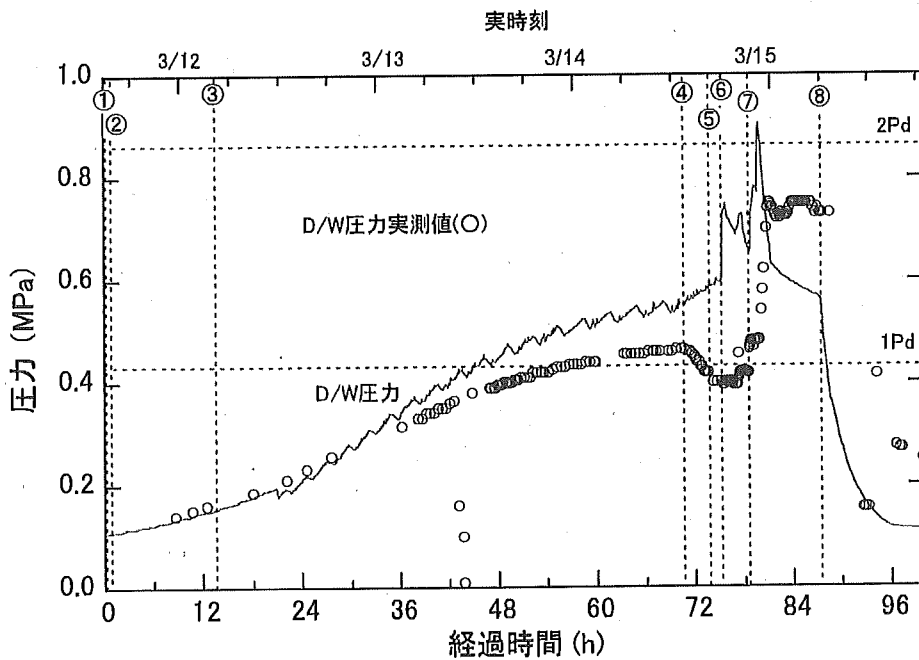


図 3-48 感度解析(ケース 3)での D/W 圧力(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

#### 3.2.4 2号機の事業者解析2の結果

前節の解析結果から、2号機ではPCV気相部の破損口の大きさを50 cm<sup>2</sup>相当、爆発音の発生時にS/Cに生じる破損口を約300 cm<sup>2</sup>相当と仮定した。更に、事業者解析1ではRPV圧力の実測値が高い値を示している期間にも注水されるため、RPV圧力の実測値が0.6 MPaを超える時期には注水されないと仮定した。本節ではこれらの仮定を取り入れた事象解析を実施し、プラント挙動、水素・FPの放出量等を評価した。

##### (1) 原子炉水位及び原子炉圧力

原子炉水位及び原子炉圧力を図3-50に示す。RCIC作動中は水位が維持されるが、RCICの停止後、水位が低下し始める。約75時間(㊸)でのS/R弁の開放によりRPV圧力は約0.5 MPaまで低下し、水位も低下するため炉心が完全に露出する。消火系から注水が開始されるが、RPV圧力の実測値が0.6 MPaを超える場合は注水されないと仮定しているため(図3-49参照)、水位は回復せず、約80時間でRPV破損に至る。

##### (2) ドライウェル圧力・温度

図3-51にD/W圧力を、図3-52にD/Wの分圧を示す。PCV気相部に約50 cm<sup>2</sup>のリークを仮定しているため、圧力は緩慢に増加し、挙動は実測値とよく一致する。約75時間(㊸)RPVの減圧操作時によりD/W圧力は上昇し、約78時間と約80時間に近接して水素発生に伴う圧力ピークと、RPV破損による圧力ピークが現れており、実測値の圧力上昇のタイミングとほぼ一致する。図3-53に格納容器の圧力及び温度を示す。RCICの水源がCSTからS/Pへと切り替えられるため、約21時間でS/Pは飽和温度となる。

##### (3) 炉内の溶融進展

図3-54に炉心最高温度の推移を示す。RCIC継続動作中は約600 Kであるが、RCICが停止し、炉水位が低下すると炉心温度は上昇し約77時間で損傷する。消火系から注水されると炉心温度が低下するが、1000 K以上で推移する。図3-55に炉心の損傷割合を示す。約77時間で炉心損傷が始まり、燃料も溶融し始め、ほぼ全量が溶融する。図3-56に炉心部の温度分布を、図3-57に炉心部分の燃料分布をそれぞれ示す。表3-13に炉心露出開始時間及び炉心損傷開始時間をまとめた。

##### (4) 水素発生量

図3-58に水素発生量とPCV外部への漏えい量を示す。炉心の露出によりZr-水反応により大量に水素が発生し、PCVのリーク口及びS/Cの破損口より建屋へ放出される。発生量は約800 kgになる。図3-59にRPV、D/W、原子炉建屋(1F~3F)の水素濃度を示す。炉心で発生した水素がPCVの漏えい口より原子炉建屋へ漏えいするため、約80時間後に、原子炉建屋の2F部分の水素濃度は約12%に達した。



(5) FP 挙動

図 3-60 及び図 3-61 に FP の環境への放出量を示す。希ガスはほぼ全量が、CsI は 7%弱、Cs は約 6%、及び Te の放出率は約 3%であり、Ba は 0.1%に満たない。なお、Pu を含む Ce 元素群の放出率は  $4 \times 10^{-6}$  である。

図 3-62 に CsI の、図 3-63 に Cs の分布率をそれぞれ示す。共に大部分は S/P に溶解しているか RPV 内に残存している。各元素群の環境への放出率を表 3-14 にまとめた。

表 3-13 事業者解析 2 での解析結果取り纏め(2号機)

項目	解析結果		事業者が実施した 解析結果
炉心露出開始時間	3月14日18:00頃	地震発生後約75時間	地震発生後約75時間
炉心損傷開始時間	3月14日19:50頃	地震発生後約77時間	地震発生後約77時間
原子炉压力容器破 損時間	3月14日22:50頃	地震発生後約80時間	— (压力容器破損に至らない)

表 3-14 事業者解析 2 での環境への放出割合(2号機)

元素群	初期インベントリに対する環境への放出割合
希ガス	$9.6 \times 10^{-1}$
CsI	$6.7 \times 10^{-2}$
Cs	$5.8 \times 10^{-2}$
Te	$3.0 \times 10^{-2}$
Ba	$2.6 \times 10^{-4}$
Ru	$5.4 \times 10^{-10}$
Ce	$4.0 \times 10^{-6}$
La	$8.4 \times 10^{-7}$

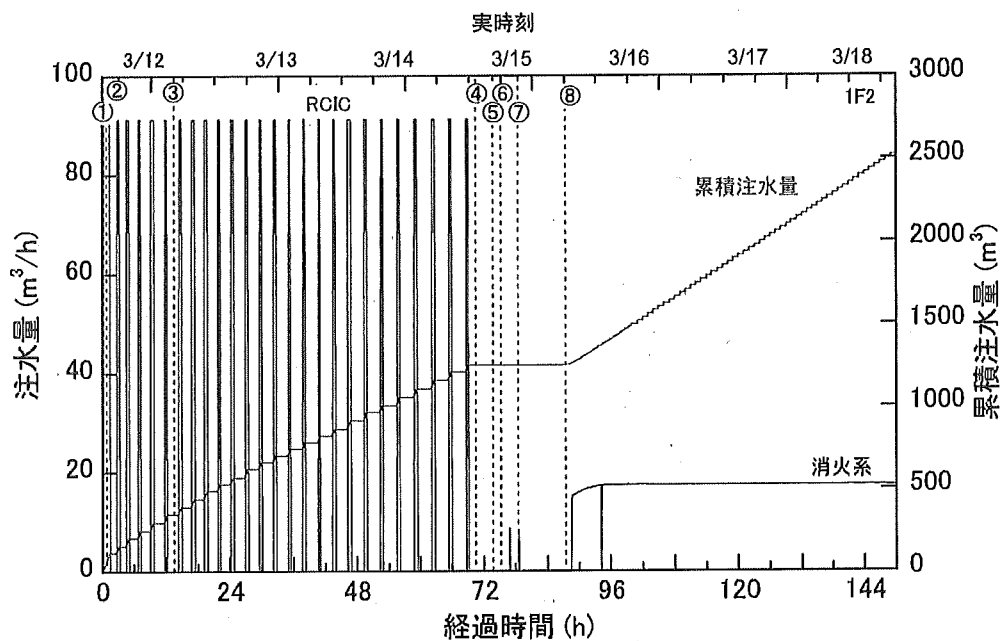


図 3-49 事業者解析 2 での注水量(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

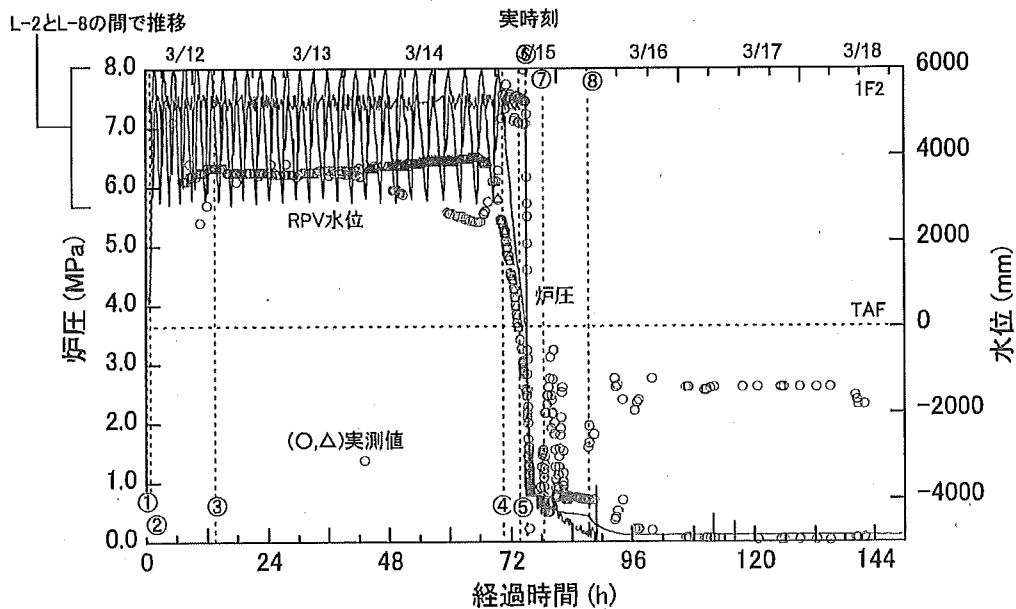


図 3-50 事業者解析 2 での炉圧及び水位(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

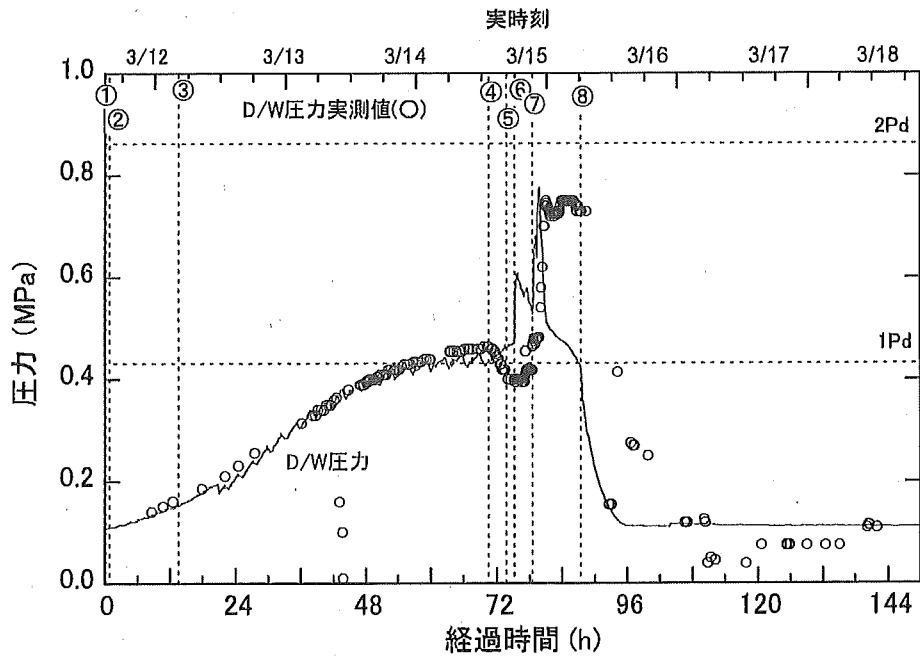


図 3-51 事業者解析 2 での D/W 圧力(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

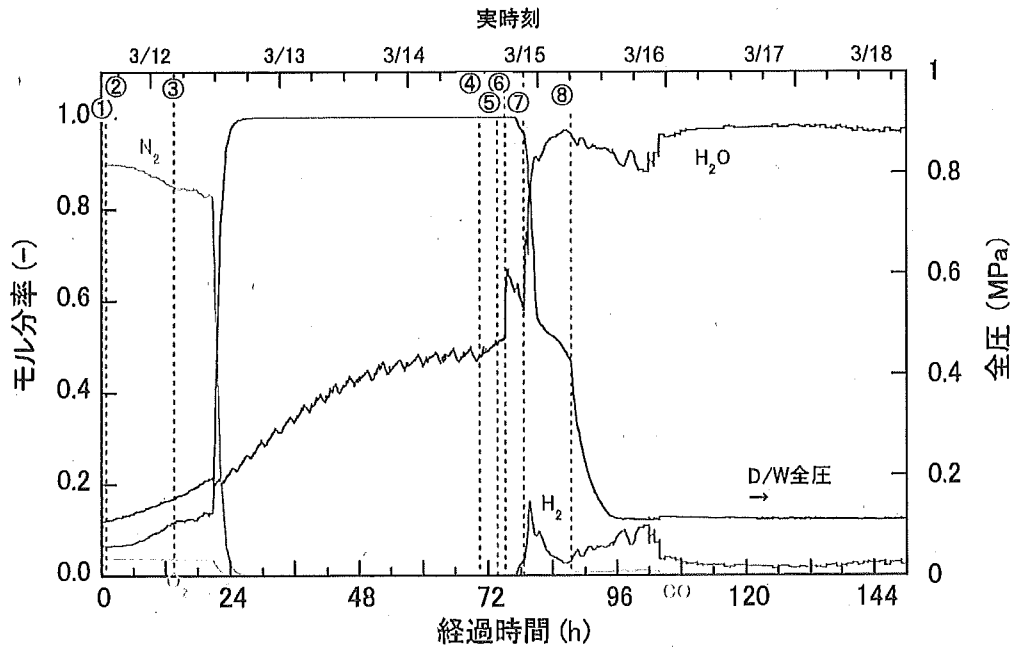


図 3-52 事業者解析 2 での D/W 圧力(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

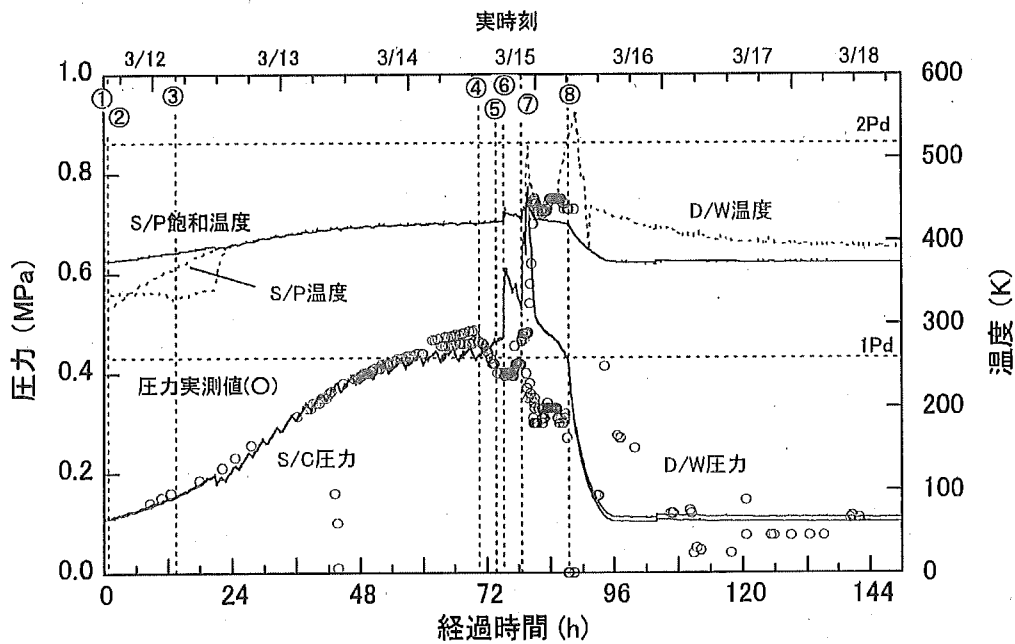


図 3-53 事業者解析 2 での格納容器温度変化(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

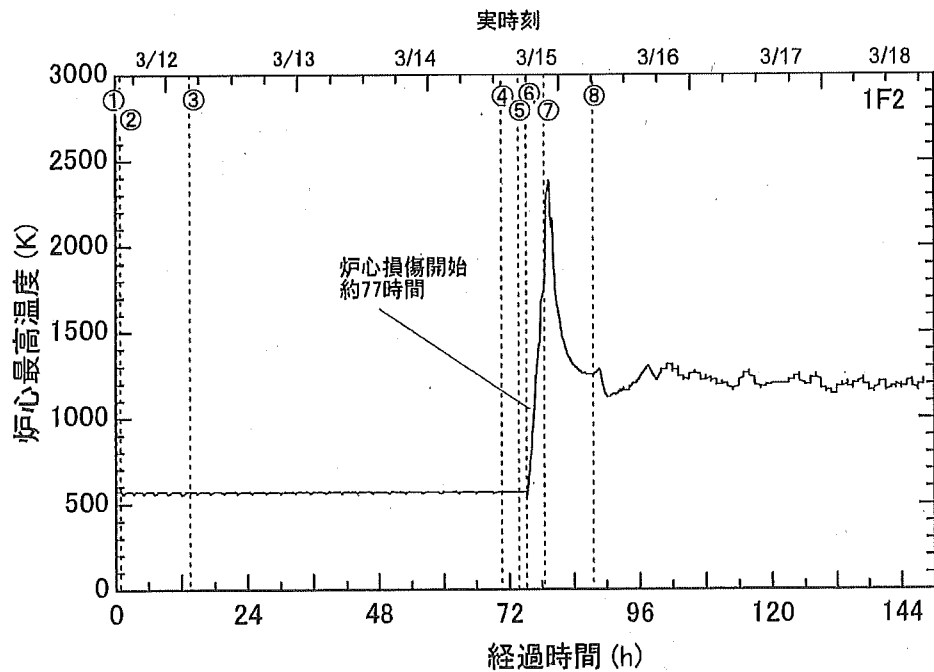


図 3-54 事業者解析 2 での炉心最高温度(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

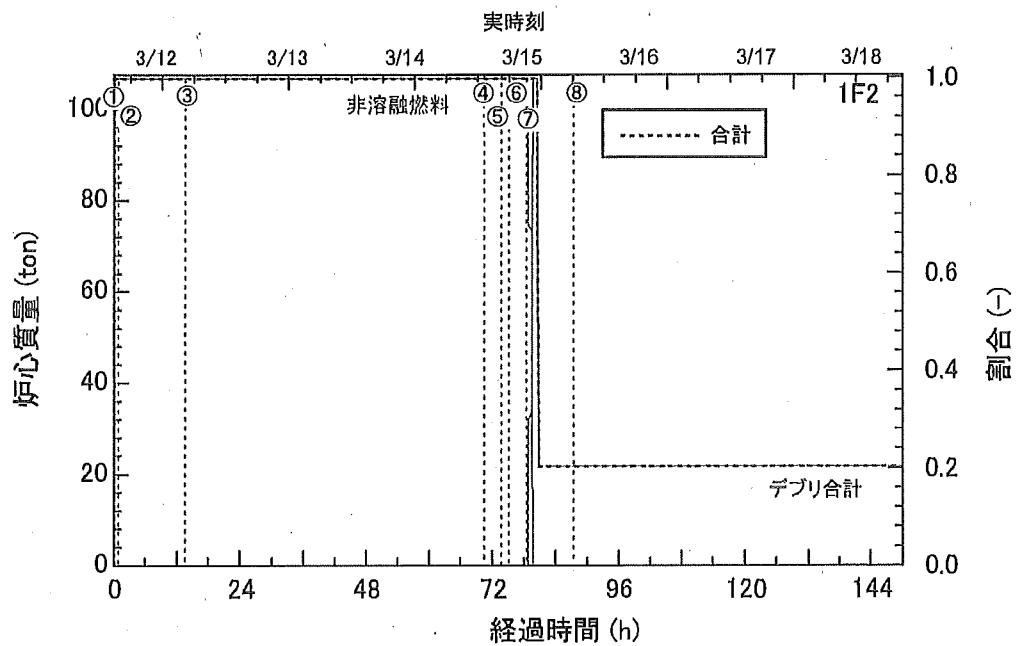


図 3-55 事業者解析 2 での炉心質量(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

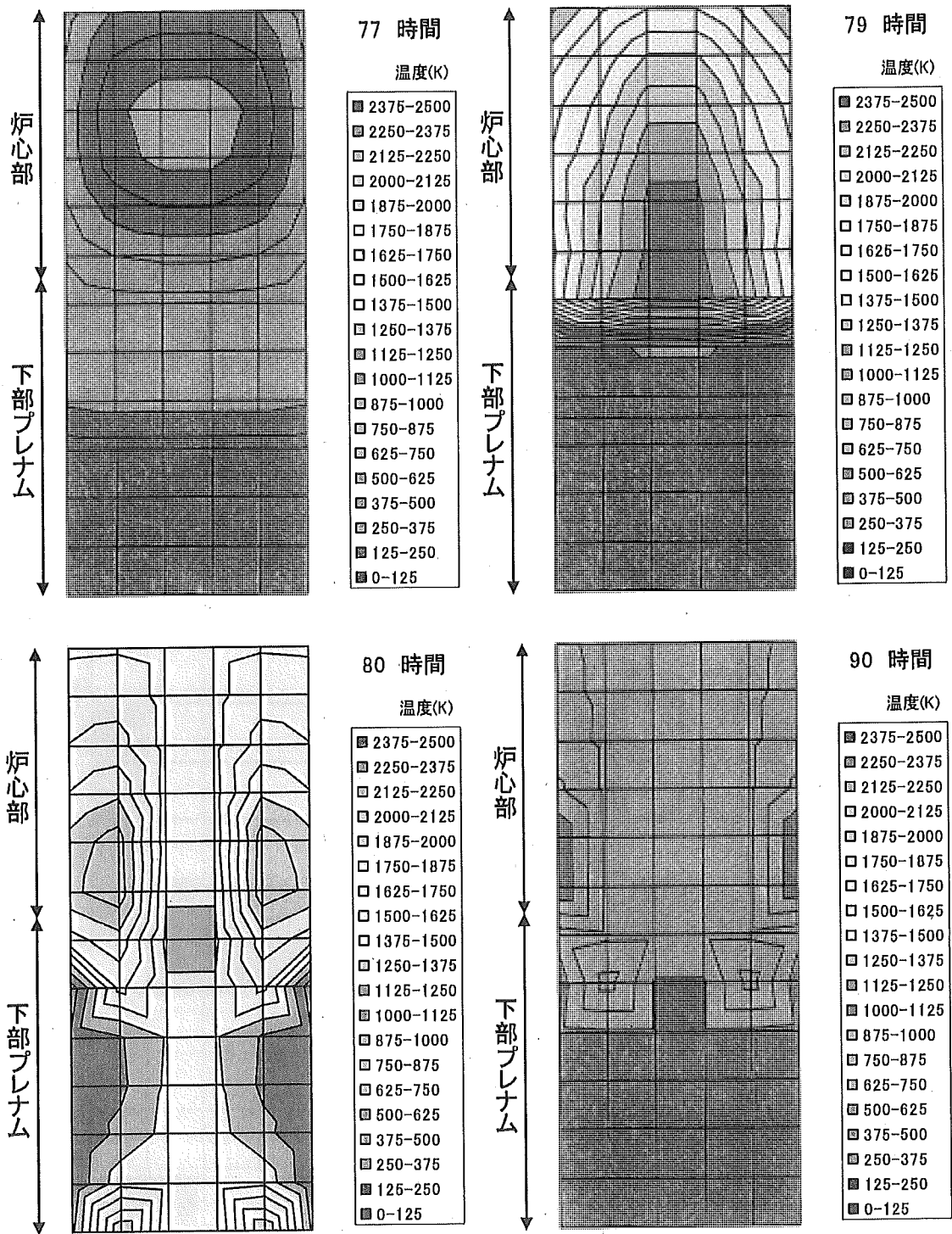


図 3-56 事業者解析 2 ケースでの炉心の温度分布(2 号機)

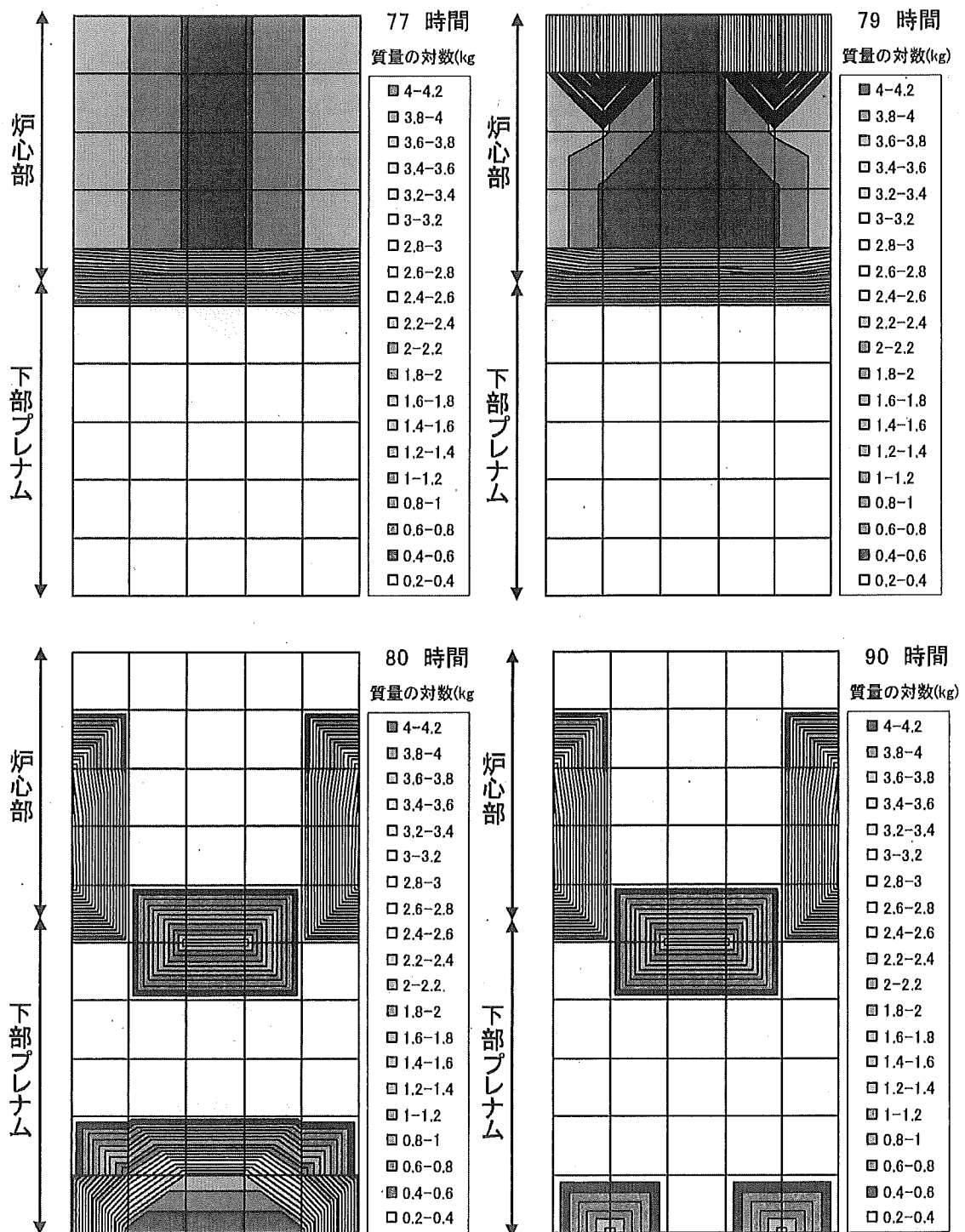


図 3-57 事業者解析 2 ケースでの炉心の燃料分布(2 号機)



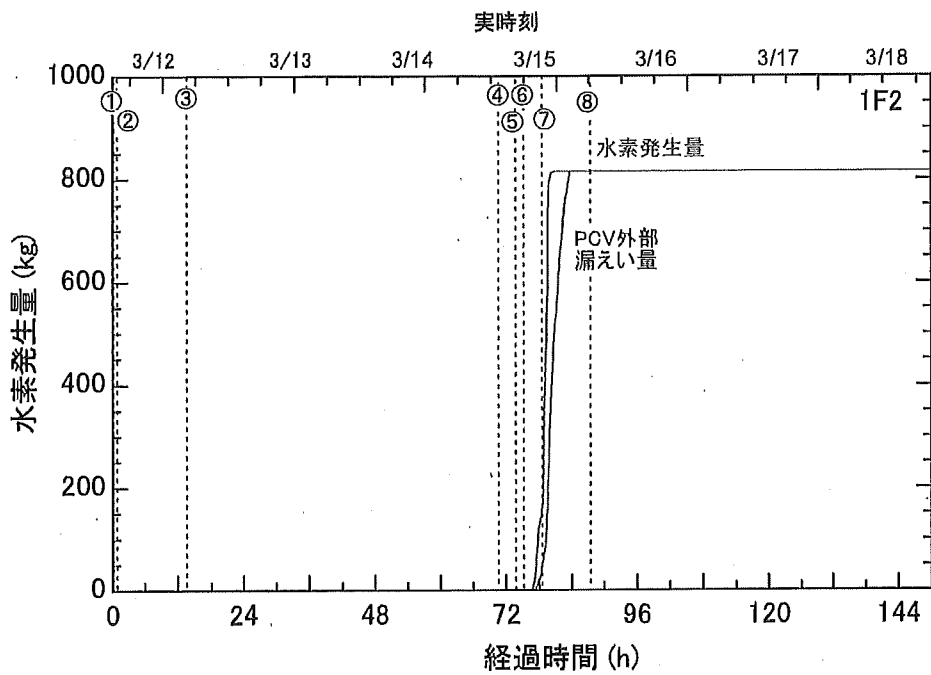


図 3-58 事業者解析 2 での水素発生量(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

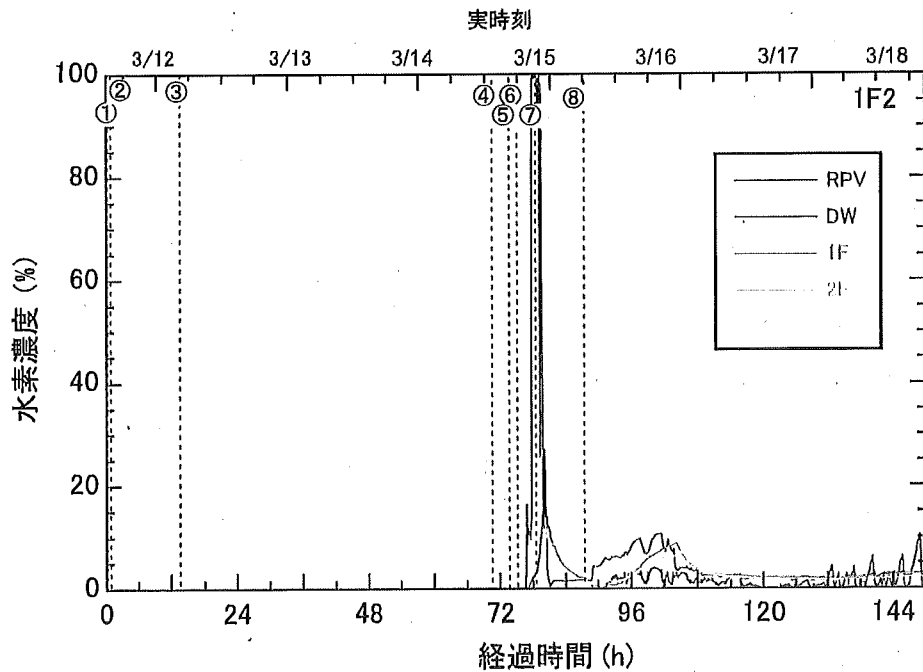


図 3-59 事業者解析 2 での水素濃度(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

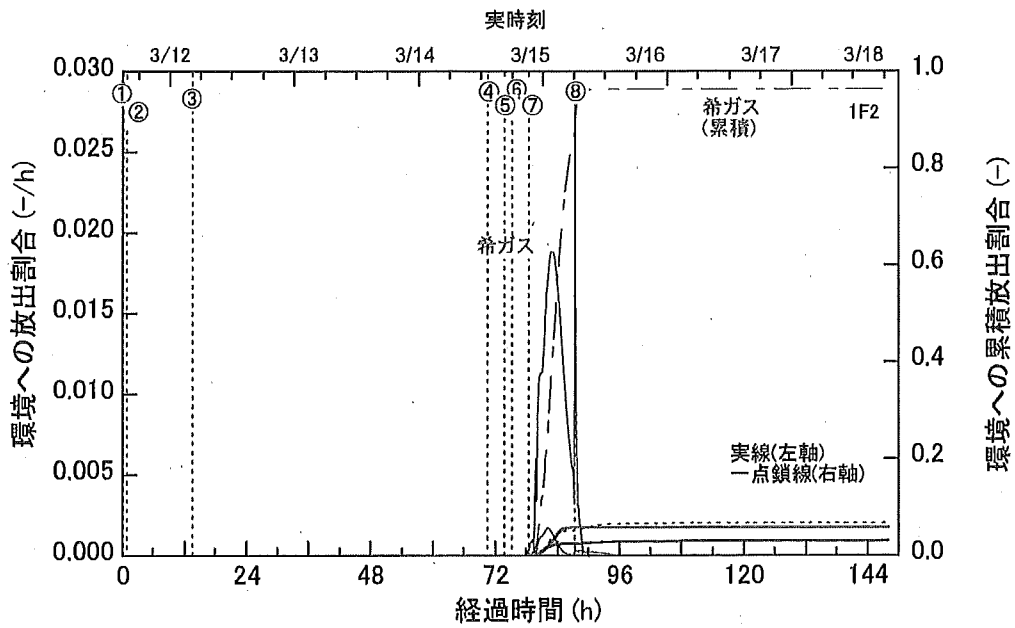


図 3-60 事業者解析 2 での FP 放出割合(1/2)(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

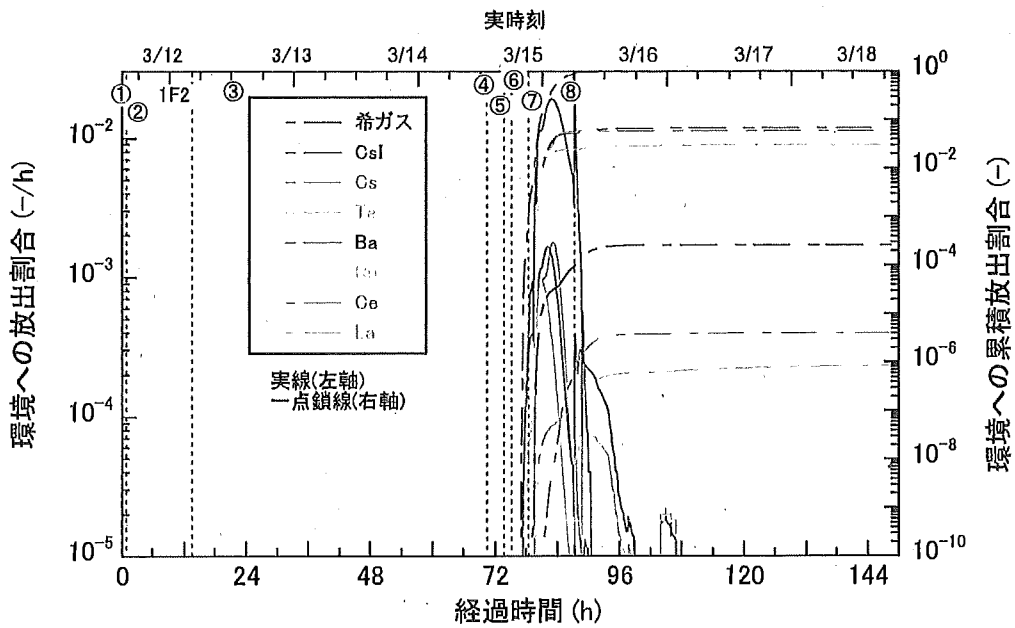


図 3-61 事業者解析 2 での FP 放出割合(2/2)(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

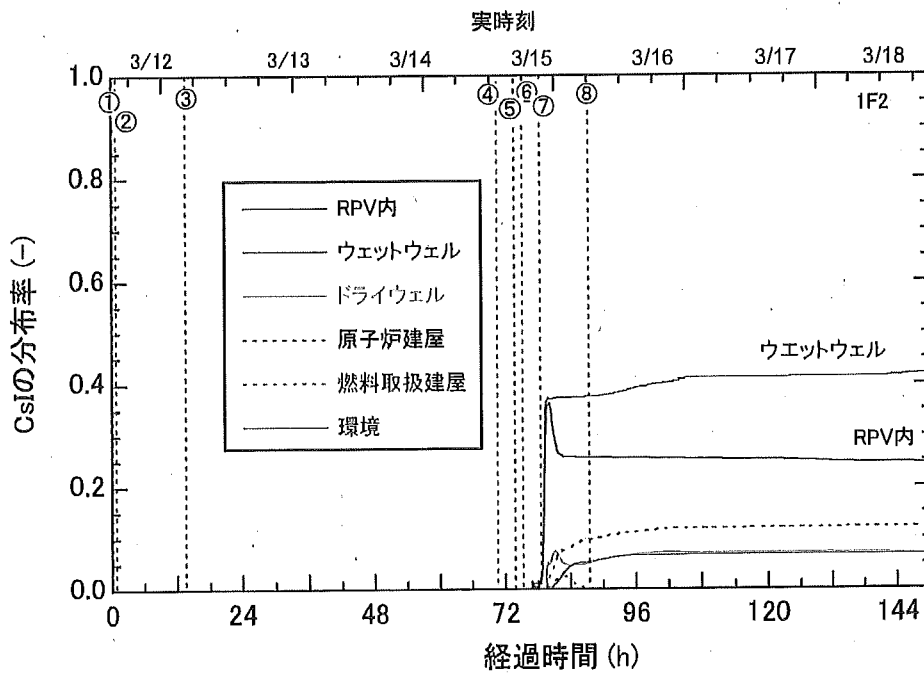


図 3-62 事業者解析 2 での CsI の分布(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音

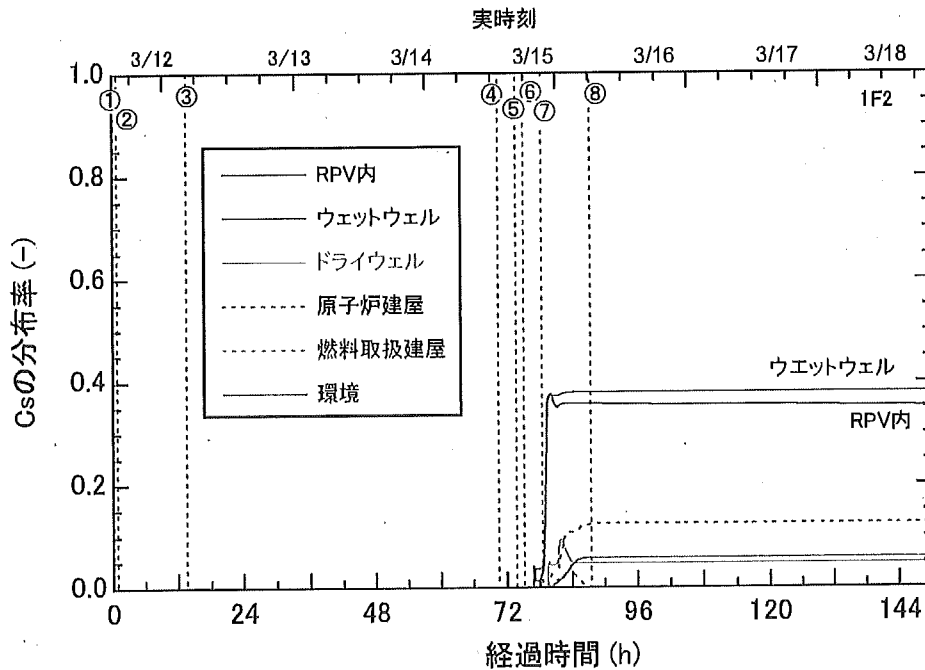


図 3-63 事業者解析 2 での Cs の分布(2号機)

①RCIC 手動起動、②全交流電源喪失、③RCIC 水源を CST から S/C に切り替え、④RCIC 作動停止、⑤海水注水、⑥S/R1 弁開、⑦S/R2 弁開、⑧爆発音