

福島第一事故の経緯

2014年9月17日

日本原子力学会 元 福島第一事故調幹事
法政大学 大学院デザイン工学研究科
客員教授 工学博士 宮野 廣

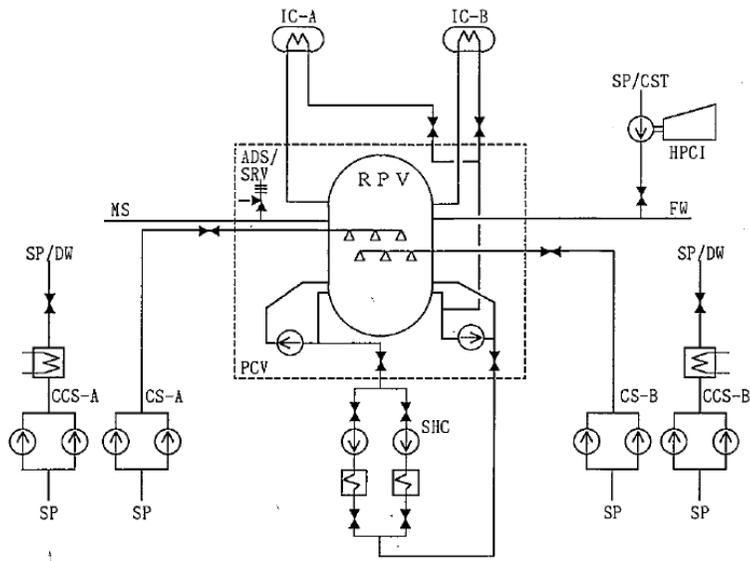
出典：一般社団法人日本原子力学会 東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会 著
福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言 ー学会事故調最終報告書ー
丸善出版、2014

目次

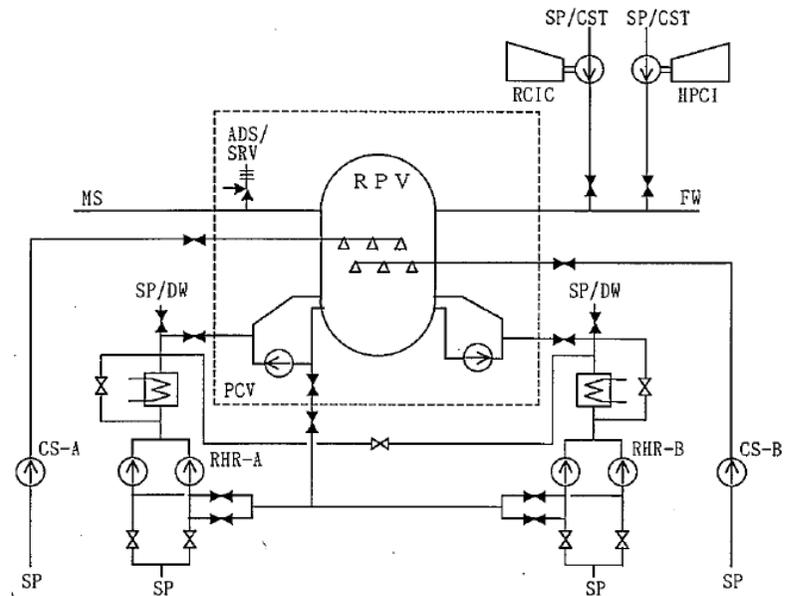
1. 福島第一原子力発電所の概要
2. 福島第一原子力発電所における事故の概要
3. 事故の直接要因
4. まとめ

1. 福島第一原子力発電所の概要

- 1号機 : BWR (BWR-3型), 460MWe
- 2-5号機 : BWR (BWR-4型), 784MWe
- 6号機 : BWR (BWR-5型), 1100MWe



1号機



2-5号機

2. 福島第一原子力発電所における事故の概要

2.1 事故の概要 (1号機)

- 11th 14:46 地震発生： 外部電源喪失
プラント運転中→スクラム
ICにて高温待機運転に移行
- 11th 15:30 津波来襲
全交流電源喪失、DC電源喪失→ECCS機能喪失、IC機能喪失
原子炉の冷却なし
- 11th 19:00前
炉心損傷
- 12th 4:00頃
消防車により炉心へ注水開始
- 12th 15:36
原子炉建屋(R/B)、水素爆発

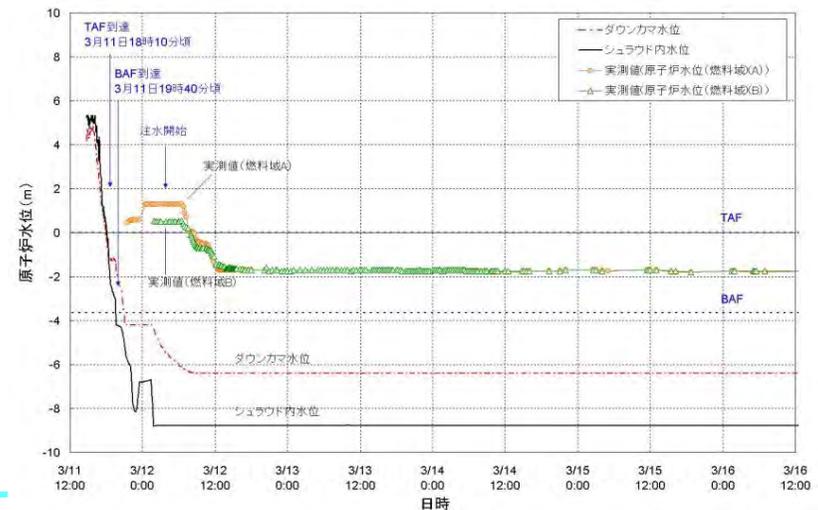


図 3.1 原子炉水位 (1号機)

2.1(1) 事故の詳細 (1号機)

• 11th 14:46 地震発生 :

外部電源喪失

プラント運転中 → スクラム(自動停止)

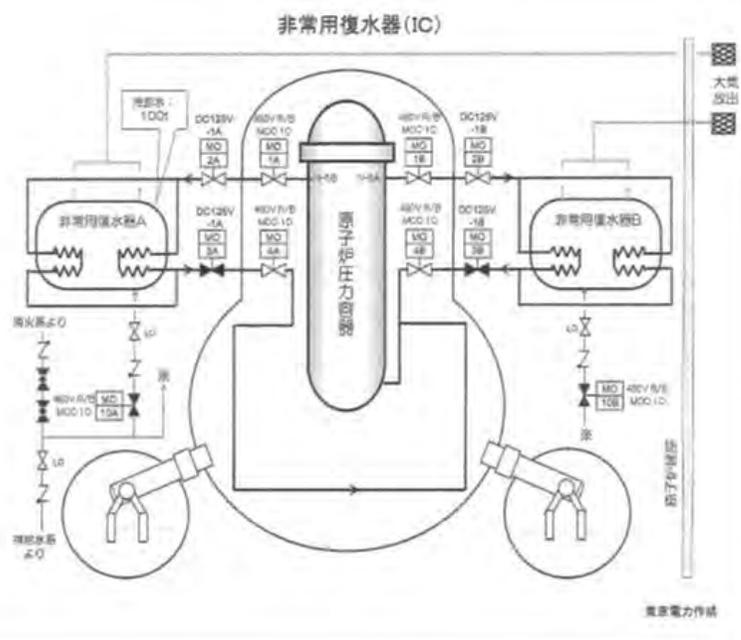
非常用DG, 2台自動起動

主蒸気隔離弁(MSIV)閉

→ 原子炉隔離状態に

ICが自動起動し原子炉水位維持

原子炉のパラメータ上、異常なし



IC: 非常用復水器

- SR弁の吹き出し圧力以下で起動し、SR弁開による水位低下を防ぐ。
- 復水戻りラインの弁を開閉し、除熱量を調節する。
- 津波来襲直前は、弁は閉状態となっていた。(後日の分析)

2.1(2) 事故の詳細 (1号機)

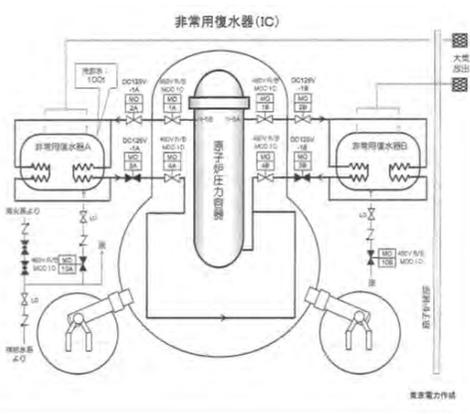
- 11th 15:30 津波来襲
非常用DG機能喪失、DC電源機能喪失→全電源喪失
海水冷却系機能喪失
電源盤機能喪失
→ ECCS機能喪失
中央制御室は監視制御機能喪失

ICの運転状態は不明

後日の分析で、以下の事象が発生していた。

- IC格納容器内側隔離弁は交流電源の電動弁。格納容器外側隔離弁は直流電源の電動弁。
- 配管系の破断検出回路が設置されており、破断により流量高となると内側／外側隔離弁に閉信号が発信される設計。
また破断検出回路の制御電源がなくなると、隔離弁に閉信号が発信される。
- 今回の事象では、DCの制御電源喪失→ACの弁駆動電源喪失→DCの弁駆動電源喪失の順であったと想定され、
ACの内側隔離弁：中間開、DCの外側隔離弁：**全閉**→IC停止状態

しかし対策本部はICは運転していると考えていた。



2.1(3) 事故の詳細 (1号機)

ICの運転状態

- 11th 18:18頃 : 中央制御室の盤の表示が一時的に復活し、IC(A)系の外側隔離弁が2弁とも全閉に気付く。→ 運転員が開操作ICからの排気で運転状態を確認したが、直ぐに蒸気放出が止まったため、ICを停止操作(18:25)。
- 11th 21:30頃 : 運転員が再度IC隔離弁開操作。蒸気放出音、短時間で停止。(なお原子炉では既に非凝縮性ガスが発生し、ICが使用できる状態ではなかった。)

原子炉の状態

- 11th 16:42頃 : 一時的に原子炉水位の表示復活。水位の低下状況を測定。
17:45頃 : 約1時間後には有効燃料頂部(TAF)到達と予測。
→ 所長より、D/DFPおよび消防車を用いた注水方法の検討指示。(具体的準備されず)

2.1(4) 事故の詳細 (1号機)

原子炉の状態

- 結局、津波来襲後、ICも機能喪失し、原子炉への注水もできなかった。原子炉圧力はSR弁の開により維持されたが、それと共に原子炉水位は低下した。
- MAAP解析によれば、
11th 18:00過 : 水位はTAFを下回る。
11th 19:00前 : 炉心損傷開始

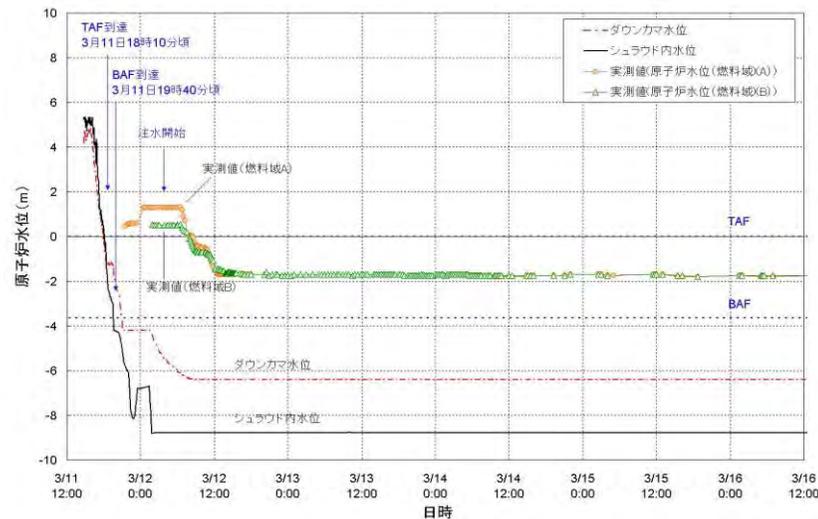


図 3.1 原子炉水位 (1号機)

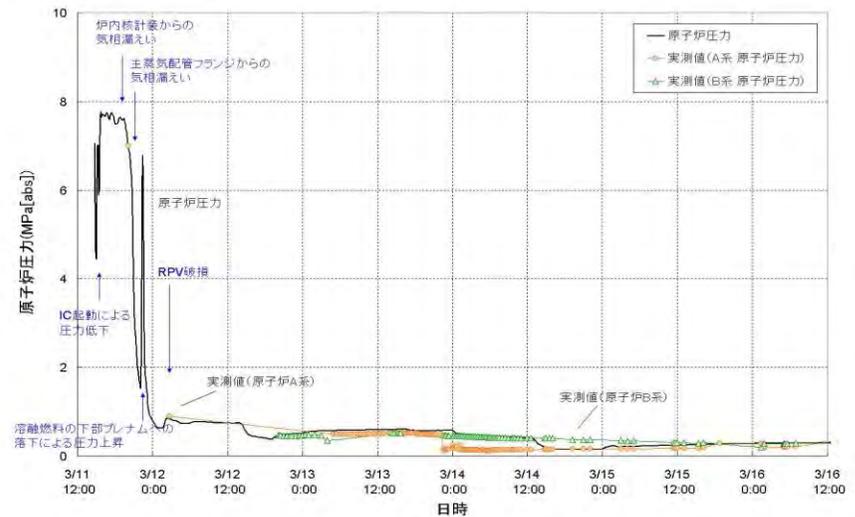


図 3.2 原子炉圧力 (1号機)

2.1(5) 事故の詳細 (1号機)

格納容器の状態

- 12th 00:00 : ドライウェル(D/W)圧力0.6MPa(a) (最高使用圧力以上)
- 12th 02:30 : D/W圧力と原子炉圧力が共に0.8MPa(g)程度
→原子炉圧力容器バウンダリが破損
- その後 : 炉心のエネルギーがD/Wに移送されているが、D/W圧力は維持されており、格納容器から放射性物質の漏えいが発生していたと考えられる。

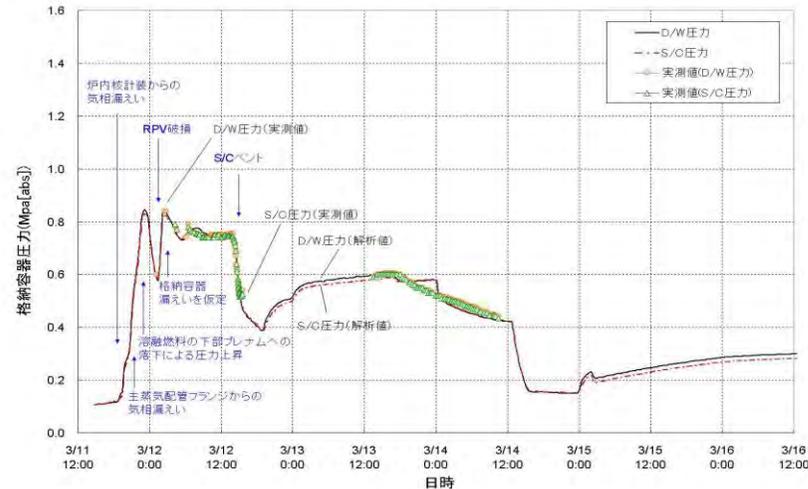


図 3.3 格納容器圧力 (1号機)

2.1(6) 事故の詳細 (1号機)

代替注水

- 12th 04:00頃：消防車による原子炉注水開始
→炉心損傷の防止には間に合わず
格納容器の溶融燃料には達したと推定
(溶融炉心-コンクリート反応が抑制と推定)

格納容器ベント

- 電源、圧縮空気がなく、現場にて弁操作要。
- 電動弁：手動開操作
空気作動弁：仮設コンプレッサにより、圧縮空気を送り、弁開操作
- 12th 14:00過：格納容器圧力が低下、
ベント達成

原子炉建屋水素爆発

- 12th 15:36：原子炉建屋(R/B)爆発
(格納容器の水素がR/Bに移行)

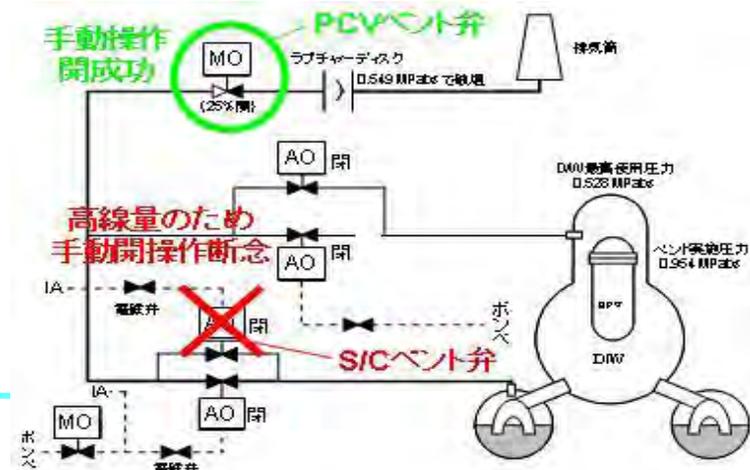
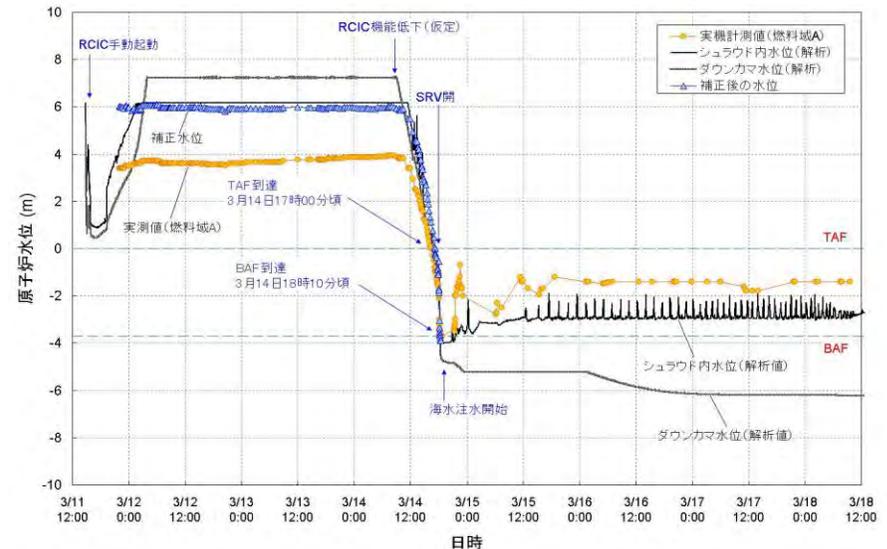


図 3.5 格納容器ベントライン上の弁

2.2 事故の概要 (2号機)

- 11th 14:46 地震発生： 外部電源喪失
プラント運転中→スクラム
RCIC, SR弁にて高温待機運転に移行
- 11th 15:30 津波来襲
全交流電源喪失、DC電源喪失→ECCS機能喪失
電源喪失前にRCICは手動起動→無制御のまま運転継続
- 14th 昼
RCIC機能低下
- 14th 19:20頃
炉心損傷
- 14th 19:57頃
消防車により炉心へ注水
- 原子炉建屋の水素爆発なし
(1号機水素爆発によりブローアウトパネル開放)



2.2 事故の詳細 (2号機)

- 11th 14:46 地震発生：
 - 外部電源喪失
 - プラント運転中 → スクラム(自動停止)
 - 非常用DG, 2台自動起動
 - 主蒸気隔離弁 (MSIV) 閉
 - 原子炉隔離状態に
 - RCIC, SR弁にて高温待機運転に移行
- 11th 15:30 津波来襲
 - 非常用DG機能喪失、DC電源喪失 → 全電源喪失
 - 海水冷却系機能喪失
 - ほとんどの電源盤機能喪失
 - ECCS機能喪失
 - 中央制御室は監視制御機能喪失

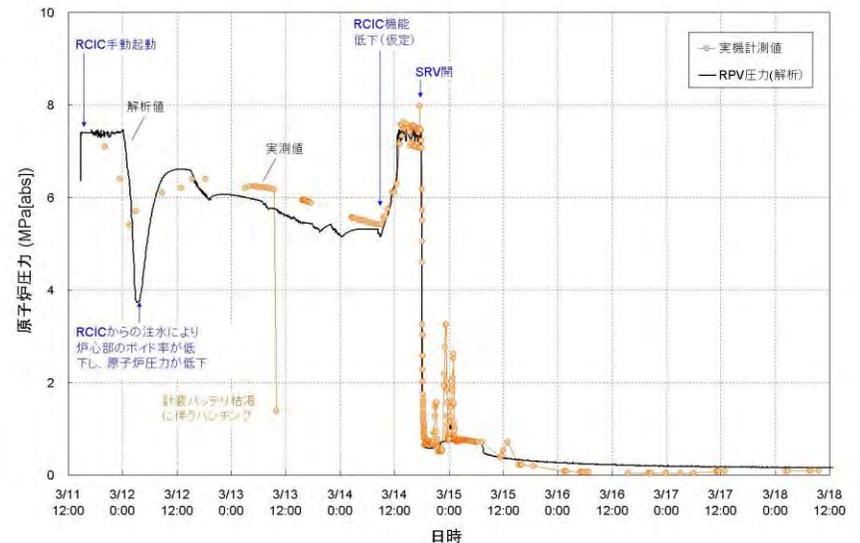
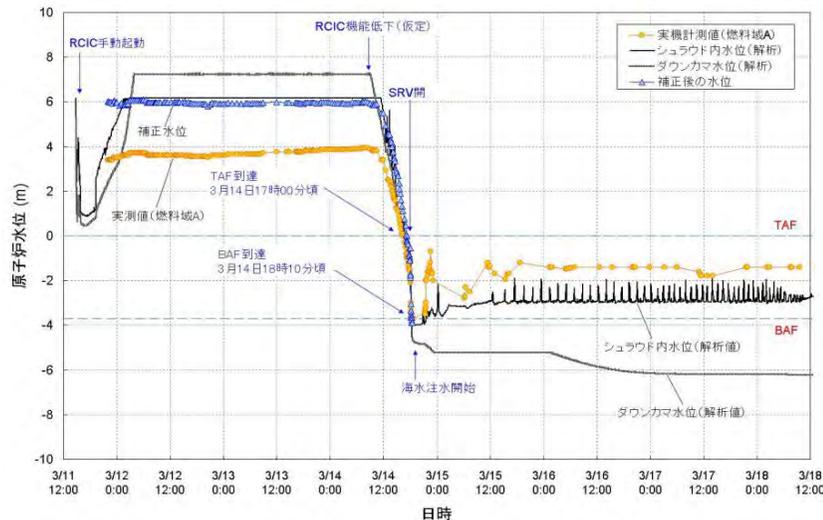
2.2 事故の詳細 (2号機)

RCICの運転

- ・津波来襲前にRCICは手動起動されていたが、津波来襲後、運転状態が不明に。
- ・12th 2:00過 :現場にてRCICの運転(無制御)確認される。

原子炉水位

- ・11th 22:00頃 :バッテリー接続により原子炉水位確認される(TAFより高水位)。
- ・14th 昼近く迄 :高水位維持される。(原子炉圧力:6MPa前後)



2.2 事故の詳細 (2号機)

RCICの運転状態(後日の分析)

- 原子炉水位は高水位。RCICタービンへの蒸気は二相流に。
- RCICタービンの運転：低効率に
- RCICによる注水量が定格流量より低下。
- 一方、原子炉からは二相流で高エネルギーが消費される。
→原子炉圧力6MPa前後でバランス。

代替注水の準備

- 13th 12:00頃 :RCIC停止に備え、代替注水の構成完了
- 14th 11:01 :3号機のR/B爆発で、準備していた消防車、ホース破損
- 14th 昼頃 :原子炉水位が低下しはじめる (RCIC機能低下)
- 14th 18:00過 :バッテリーを接続しSR弁による原子炉減圧に成功
- 14th 19:57 :消防車による注水開始

代替注水に手間取ったため、解析によれば

- 14th 17:00頃 :原子炉水位TAFを下回る。
- 14th 19:20頃 :炉心損傷開始

2.2 事故の詳細 (2号機)

格納容器ベント

- 14th 11:01 : 3号機の爆発で、準備していたベントラインの弁が閉止
- 14th 21:20 : 原子炉減圧のため追加でSR弁開操作→正門付近の線量上昇
(格納容器から何らかのFP放出)
- 14th 22:00以降 : D/W圧力急上昇 (炉心損傷に伴う水素発生の影響)
- 15th 7:20 : D/W圧力730kPa(a) (格納容器最高使用圧力:531kPa(a))
- 15th 11:25 : D/W圧力155kPa(a) →大量の放射性物質が環境へ放出
(格納容器からの主放出経路:
D/Wヘッドフランジシール部と推定)

2号機のR/B

- 1号機R/B爆発の影響で、2号機R/Bにあるブローアウトパネルが開放され、水素が放出。
→2号機R/Bの水素爆発なし。

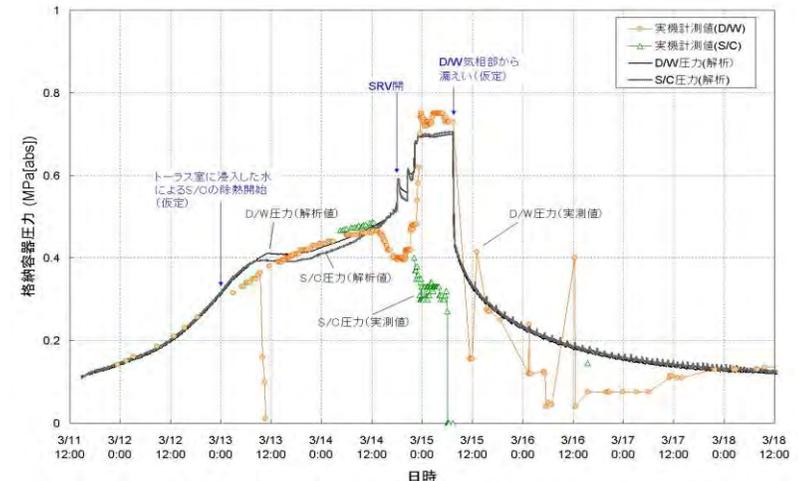


図 3.9 格納容器圧力 (2号機)

2.3(1) 事故の詳細 (3号機)

- 11th 14:46 地震発生：
 - 外部電源喪失
 - プラント運転中 → スクラム(自動停止)
 - 非常用DG, 2台自動起動
 - 主蒸気隔離弁 (MSIV) 閉
 - 原子炉隔離状態に
 - RCIC, SR弁にて高温待機運転に移行
- 11th 15:30 津波来襲
 - 非常用DG機能喪失 → 全交流電源喪失 → 低圧ECCS機能喪失
 - DC電源生き残る → RCIC, HPCI運転にて原子炉冷却可(電源枯渇まで)
 - 海水冷却系機能喪失
 - 電源盤機能喪失
 - 中央制御室での監視可能

運転員はRCICで原子炉水位維持

2.3(2) 事故の詳細 (3号機)

- 12th 11:36 : RCICが不具合で自動停止
原子炉水位低でHPCI自動起動
(DC電源を節約するため、テストラインを使用して運転)
- 13th 2:00過: 原子炉圧力測定値 1MPa未満
(HPCIタービンで炉蒸気を大量に消費するため、原子炉減圧)
- 13th 2:42 : HPCI手動停止
(HPCIの作動条件未満のため、HPCI損傷を懸念)
(D/DFPへの切り替えを計画)

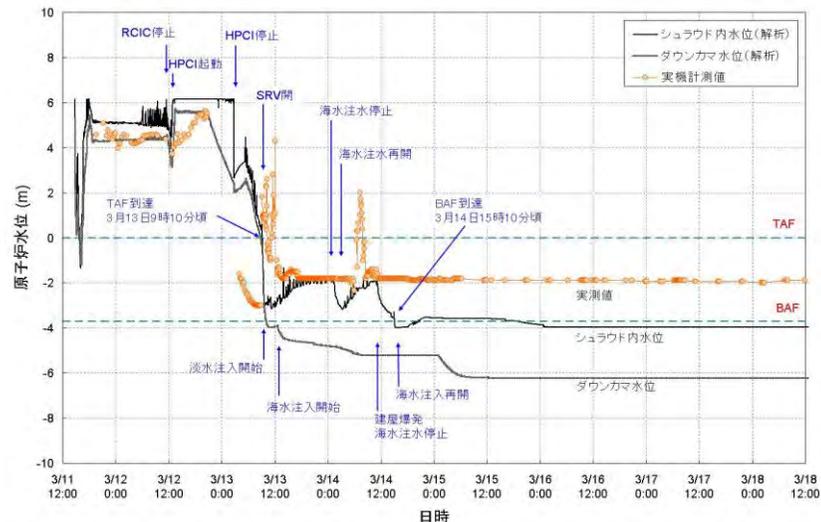


図 3.11 原子炉水位 (3号機)

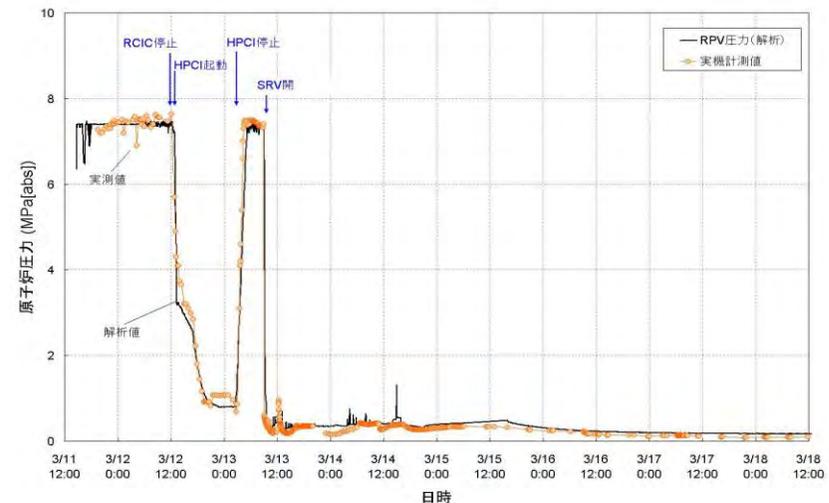


図 3.12 原子炉圧力 (3号機)

2.3(3) 事故の詳細 (3号機)

HPCIからの切り替え

- 13th 2:45 : 低圧系のD/DFPでの注水のため、SR弁を開放しようとしたが、開作動せず。
 - 原子炉圧力上昇
 - D/DFPでの注水が不可能に
- 13th 9:00頃 : SR弁の作動のため電源復旧の作業中に、SR弁の開操作をしていないにもかかわらず、原子炉圧力が急減（複数のSR弁が開）
 - D/DFPと消防車による注水開始

炉心の状態（解析）

注水に手間取ったため、

- 13th 9:00過 : 原子炉水位がTAFを下回る
- 10:40頃 : 炉心損傷

2.3(4) 事故の詳細 (3号機)

格納容器の状態

- HPCIが作動している時に格納容器ベントの準備を進めた。
- 13th 8:41 :ベントラインを構成 (圧力が上がればベントが実施される状況に)
9:20 :D/W圧力が低下 (ベント実施)

原子炉建屋爆発

- 1号機のR/B爆発以降、爆発防止のため、R/B壁の穴開け用にウォータージェットを手配。
- 14th 11:01 :機器が発電所に届く前にR/B爆発

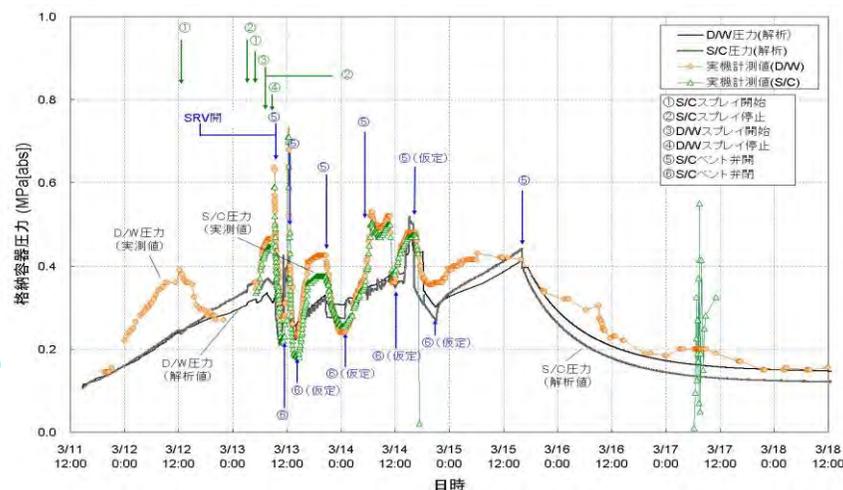


図 3.13 格納容器圧力 (3号機)

2.4 事故の概要 (4-6号機)

4号機

11th 14:46 地震発生： 外部電源喪失

プラント定期検査中、全燃料は燃料プールに保管中

11th 15:30 津波来襲

全電源喪失、燃料プールの冷却に時間的余裕あり

15th 6:12

原子炉建屋、水素爆発 (3号機の水素が格納容器ベント配管より逆流)

5,6号機

- 地震発生時、定期検査中
- 仮設水中ポンプにより原子炉冷温停止

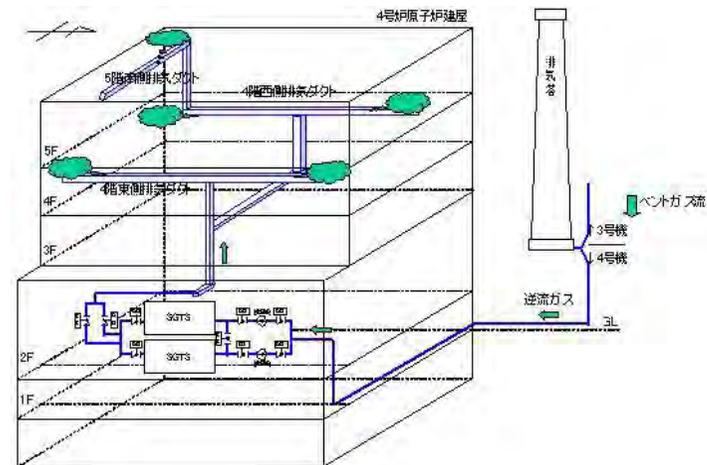
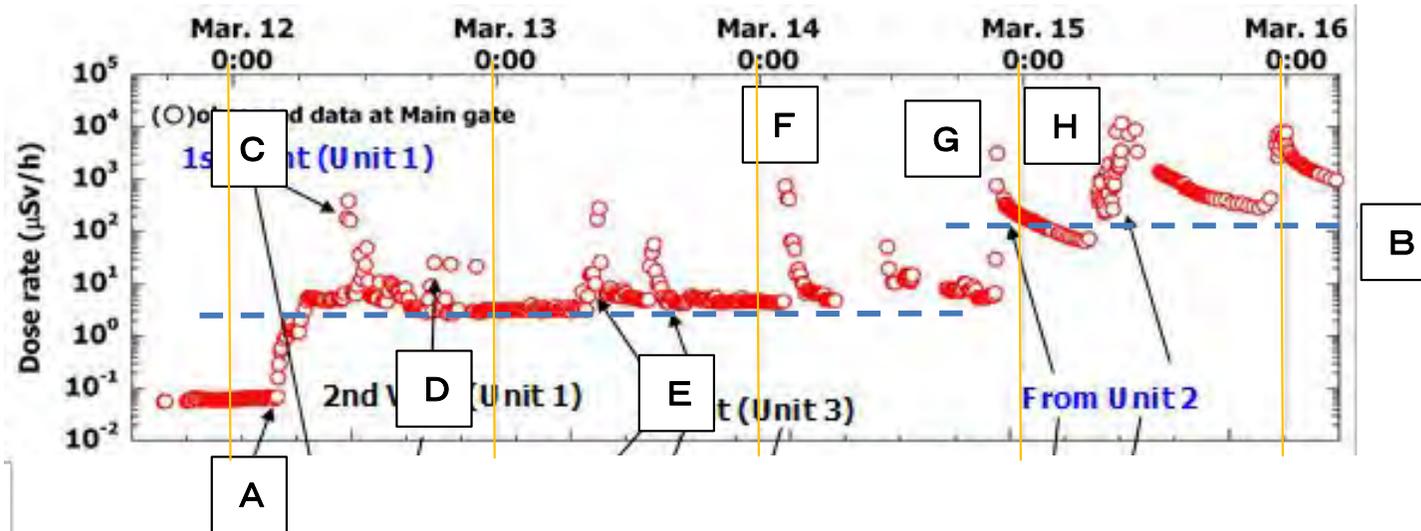


図 3.16 4号機への水素の流入経路

2.5 事故の概要（イベントによる放射性物質の放出）



- A : バックグラウンドの上昇
1号機の消防車による注水により、ジルコニウム水反応で温度上昇、格納容器、原子炉建屋から放射性物質漏えい
- B : バックグラウンドの上昇
2号機 PCV 圧力急上昇(0.8MPaa)、
温度高温により PCV よりリーク発生(スクラビング効果なし)
- C : 1号機の 3/12 10:00 過ぎのベントによる
- D : 1号機の 3/12 14:00 過ぎのベントによる
- E : 3号機のベントによる
- F : 1号機 and/or 3号機による (政府事故調)
- G, H : Bによる

3. 事故の直接要因

過酷事故発生の要因は、

- 不十分であった津波対策
- 不十分であった過酷事故対策
- 不十分だった緊急時対策，事故後対策および種々の緩和・回復策

- 放射性物質の放出は、2号機の格納容器破損によるものか。

- 環境汚染をもたらした。

4. まとめ

省略