

水素爆発に関する状況

平成23年1月20日
原子力安全・保安院

目次

〈水素爆発に関する状況〉

1. 2号機において水素爆発が発生しなかった理由について…………… 2
2. 原子炉建屋開口部と水素滞留との関係(JNES解析結果)…………… 3
(参考1)ブローアウトパネルについて…………… 5
(参考2)シビアアクシデント対策(水素爆発防止)について…………… 7
3. まとめと今後の対応…………… 8

1. 2号機において水素爆発が発生しなかった理由について

- 敷地内に設置されていた地震計の記録を東京電力が分析した結果からは、2号機由来の振動は確認されていないため、2号機については爆発事象はなかった可能性が高い。(但し、3/15午前7時頃から2号機DW圧力が低下していること等から、何らかの漏えいが発生していたことは事実であると推測される)(前回資料)
- 2号機において水素爆発が発生しなかった理由としては、1号機の水素爆発の影響により、偶然ブローアウトパネルが開放され、滞留した水素が建屋外に放出されたことにより、水素爆発を免れたとの推測がなされている。
- 原子炉建屋開口部と水素滞留との関係(JNES解析結果)については、次ページ以降のとおり。



1号機(23.3.12撮影)



2号機(23.3.20撮影)



3号機(23.3.16撮影)



4号機(23.3.15撮影)

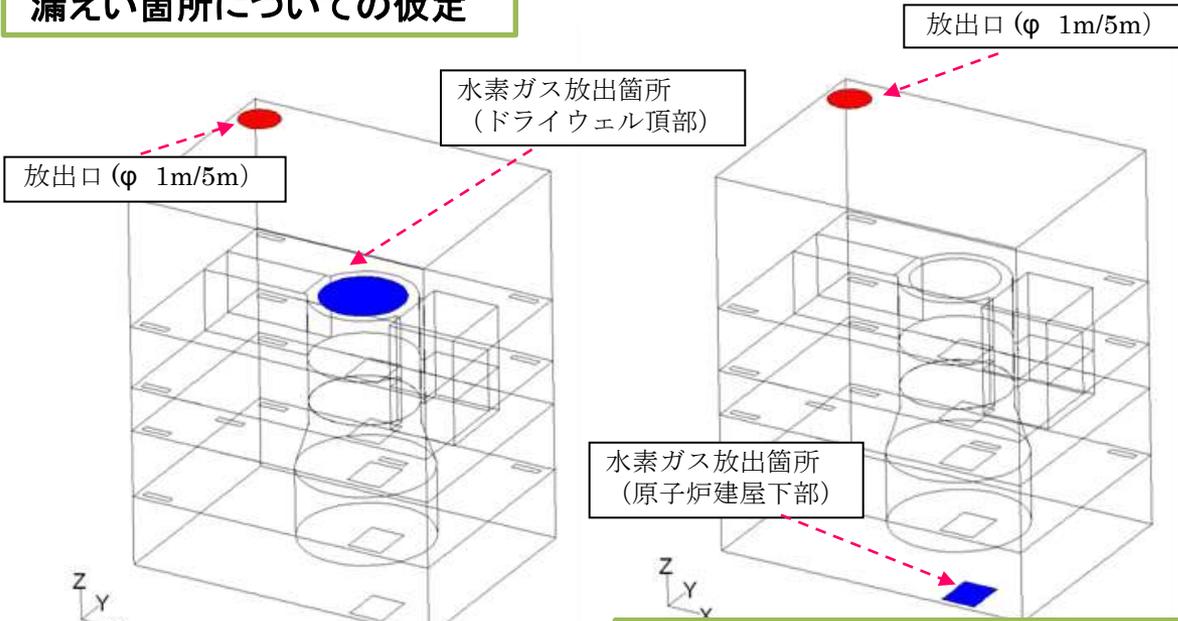
ブローアウトパネルが開放

(出典)東京電力HP資料、東京電力福島原子力事故調査に加筆

2. 原子炉建屋開口部と水素滞留との関係(JNES解析結果)

- 代表的な漏えい箇所として原子炉建屋上部及び下部からの水素漏えいを仮定し、原子炉建屋内の水素混合挙動解析を実施。その際に、原子炉建屋に開口部／放出口を想定した場合の水素滞留の状況についての評価を実施し、ブローアウトパネル相当の放出口(φ 5m)の影響等について検討した。
- JNESが行ったMELCORによる解析結果によると、実際に水素爆発に至った1号機においては、総量として約1000kgの水素が発生し、水素爆発直前(図中②)までの約10時間～11時間の間に400kg～450kg程度の水素が原子炉建屋内へ漏えいした可能性が示唆される。
- そのため、解析条件としては、400kg、原子炉格納容器から原子炉建屋への漏えい速度は50kg/hを基本ケースとした。

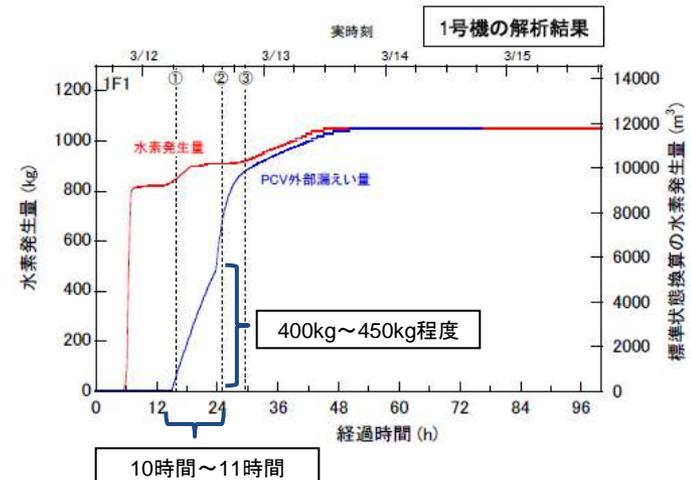
漏えい箇所についての仮定



PCVフランジ等からの原子炉建屋上部への漏えいモデル

S/C室、ドライウエル貫通部等からの原子炉建屋下部への漏えいモデル

原子炉格納容器からの漏えい量／漏えい速度についての仮定



1号機の解析結果を元に、漏えい量400kg、漏えい速度を50kg/hを仮定

2. 原子炉建屋開口部と水素滞留との関係(JNES解析結果)(続き)

○解析の結果、ブローアウトパネル相当の放出口(φ 5m)を仮定した場合には、各階の水素濃度が爆轟条件である15%を下回ることから、ブローアウトパネルの開放により、水素爆発が回避された可能性がある。

○さらに、1Fに2m²の開口部を追加すると、より厳しい水素漏えい速度(100kg/h)を想定したとしても、各階の水素濃度は4%を下回る結果となった。そのため、水素爆発防止の観点からは、最上階及び1F部に放出口/開口部を設けることが有効と考えられる。

解析条件:

- 原子炉建屋最上階(5階)天井の放出口(なし/直径(φ)5mの円形)及び原子炉建屋1階に開口部(なし/2m²)
- 原子炉建屋1階もしくは最上階(5階)からの水素漏えいを仮定
- 放出量は400kg、漏えい速度は50kg/h、100kg/hを仮定

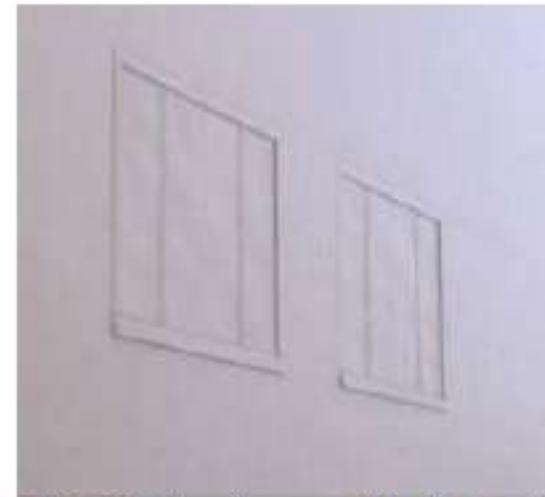
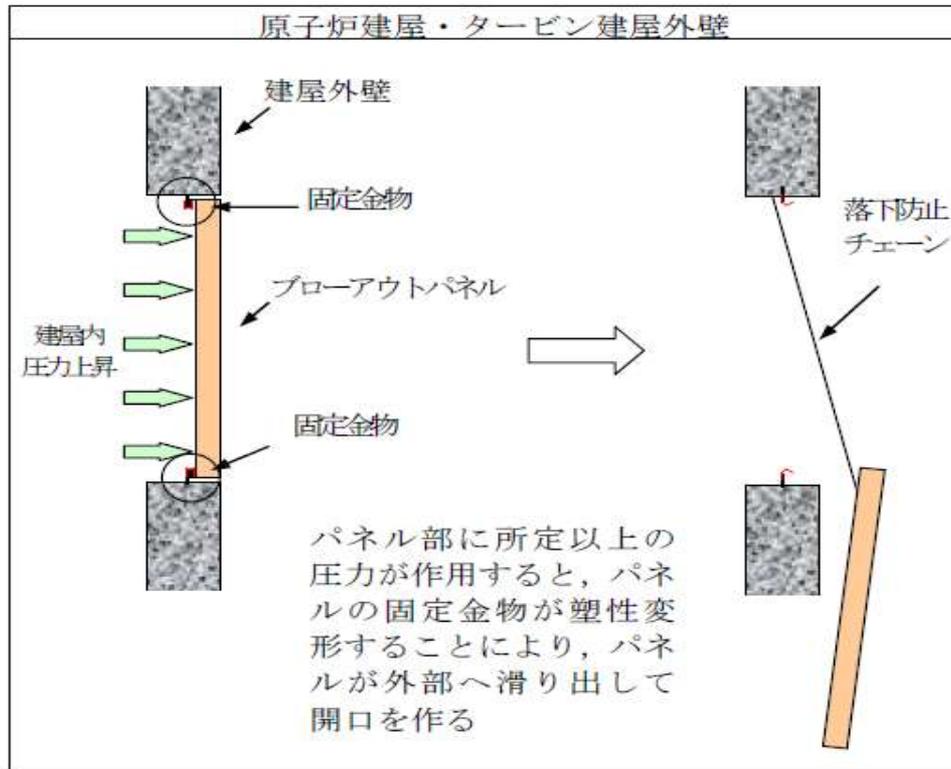
水素漏えい速度 (kg/h)	水素漏えい箇所	放出口 5F	開口部 1F	5F 水素濃度	4F 水素濃度	3F 水素濃度	2F 水素濃度	1F 水素濃度
33.3※	DW頂部(5F)	なし	なし	18.7%	12.4%	8.0%	1.8%	1.2%
50	DW下部(5F)	φ 5m	なし	5.4%	4.8%	3.1%	1.2%	0.1%
100	DW頂部(5F)	なし	なし	19.7%	9.8%	4.5%	0.9%	0.0%
100	DW頂部(5F)	φ 5m	なし	8.2%	6.7%	3.6%	1.0%	0.0%
100	DW頂部(5F)	φ 5m	2m²	2.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
33.3※	DW下部(1F)	なし	なし	9.8%	10.0%	10.0%	10.2%	10.3%
50	DW下部(1F)	φ 5m	なし	6.6%	7.0%	7.3%	7.6%	7.9%
100	DW下部(1F)	なし	なし	9.2%	9.7%	9.9%	10.2%	10.7%
100	DW下部(1F)	φ 5m	なし	8.2%	8.9%	9.2%	9.7%	10.2%
100	DW下部(1F)	φ 5m	2m²	1.6%	1.6%	1.6%	1.6%	1.2%

※他の解析結果より水素漏えい速度が33.3kg/hと50kg/hとでは、最終的な水素濃度はほぼ同様となるため基本ケース(50kg/h)相当と考えられる。

(参考1)ブローアウトパネルについて(その1)

【ブローアウトパネルの概要】

ブローアウトパネルは、原子炉格納容器外において主蒸気管破断が発生した場合に建屋の内圧上昇による天井・外壁等の破損を防止するために設置されているものであり、所定の圧力がパネルに作用すると固定している金物が塑性変形を起こし動作することが予定されている。



屋外から見たブローアウトパネル(例)
(閉じた状態)

(出典)中部電力資料

(参考)ブローアウトパネルについて(その2)

	建屋における 設置枚数	1枚あたりのパネルの大きさ	作動圧力	作動方法	固定具の仕様	パネルの設置箇所数
東通	0枚	—	—	—	—	—
女川1	2枚	約2.0m×1.3m	435kg/m ²	所定の圧力が作用するとパネルを固定している金物が塑性変形を起こし動作する。	炭素鋼	2箇所に設置 (1箇所に1枚で設置)
女川2、3	0枚	—	—	—	—	—
福島第一-1	1枚	約4.1m×6.3m	352kg/m ²	所定の圧力が作用するとパネルを固定している金物が塑性変形を起こし動作する。	炭素鋼	1箇所に設置
福島第一-2	1枚	約4.3m×6.0m	352kg/m ²		炭素鋼	1箇所に設置
福島第一-3	1枚	約6.3m×5.9m	342kg/m ²		炭素鋼	1箇所に設置
福島第一-4	1枚	約6.3m×5.9m	342kg/m ²		炭素鋼	1箇所に設置
福島第一-5	1枚	約6.3m×5.9m	342kg/m ²		炭素鋼	1箇所に設置
福島第一-6	8枚	約5.5m×2.8m 約3.7m×4.2m	342kg/m ²		ステンレス鋼	8箇所に設置
福島第二-1	4枚	約4.6m×3.5m	352kg/m ²		炭素鋼	4箇所に設置
福島第二-2	4枚	約4.0m×4.0m	350kg/m ²		ステンレス鋼	4箇所に設置
福島第二-3	4枚	約2.8m×6.2m	300kg/m ²		炭素鋼	4箇所に設置
福島第二-4	4枚	約4.0m×4.0m	350kg/m ²		ステンレス鋼	4箇所に設置
柏崎刈羽1	4枚	約4.2m×4.1m	390kg/m ²		炭素鋼	4箇所に設置
柏崎刈羽2	4枚	約4.2m×4.1m	500kg/m ²		炭素鋼	4箇所に設置
柏崎刈羽3	4枚	約4.2m×4.1m	210kg/m ²		炭素鋼	4箇所に設置
柏崎刈羽4	4枚	約4.1m×4.1m	350kg/m ²		ステンレス鋼	4箇所に設置
柏崎刈羽5	4枚	約4.1m×4.1m	350kg/m ²		ステンレス鋼	4箇所に設置
柏崎刈羽6	8枚	約2.9m×2.7m	360kg/m ²		炭素鋼	4箇所に設置 (1箇所に2枚連結で設置)
柏崎刈羽7	4枚	約4.1m×4.3m	350kg/m ²	ステンレス鋼	4箇所に設置	
浜岡3,4	0枚	—	—	—	—	—
浜岡5	4枚	約2.5m×約2m	3.24kPa(330kg/m ²)	所定の圧力が作用するとパネルを固定している金物が塑性変形を起こし動作する。	炭素鋼	2箇所に設置 (1箇所に2枚連結で設置)
志賀1	2枚	約2.4m×約2.4m	350kg/m ²	所定の圧力が作用するとパネルを固定しているクリップが塑性変形を起こし動作する。	ステンレス鋼	2箇所に設置 (1箇所に1枚で設置)
志賀2	4枚	約4.0m×約4.2m	350kg/m ²		ステンレス鋼	4箇所に設置 (1箇所に1枚で設置)
島根1	1枚	約6.8m×3.6m	作動しないようボルトで固定している。	ブローアウトパネルを使う必要がないことから、ボルトで固定している。	ステンレス鋼	1箇所に設置
島根2	3枚	約3.7m×3.7m	350kg/m ² (3.43kPa)	所定の圧力が作用するとパネルを固定している金物が塑性変形を起こし動作する。	ステンレス鋼	3箇所に設置 (1箇所に1枚設置)
東海第二	8枚	約4m×4m	約713kg/m ² (約6.99kPa)	所定の圧力が作用するとパネルを固定している金物が塑性変形を起こし動作する。	炭素鋼	8箇所に設置 (1箇所に1枚で設置)
敦賀1	0枚	—	—			

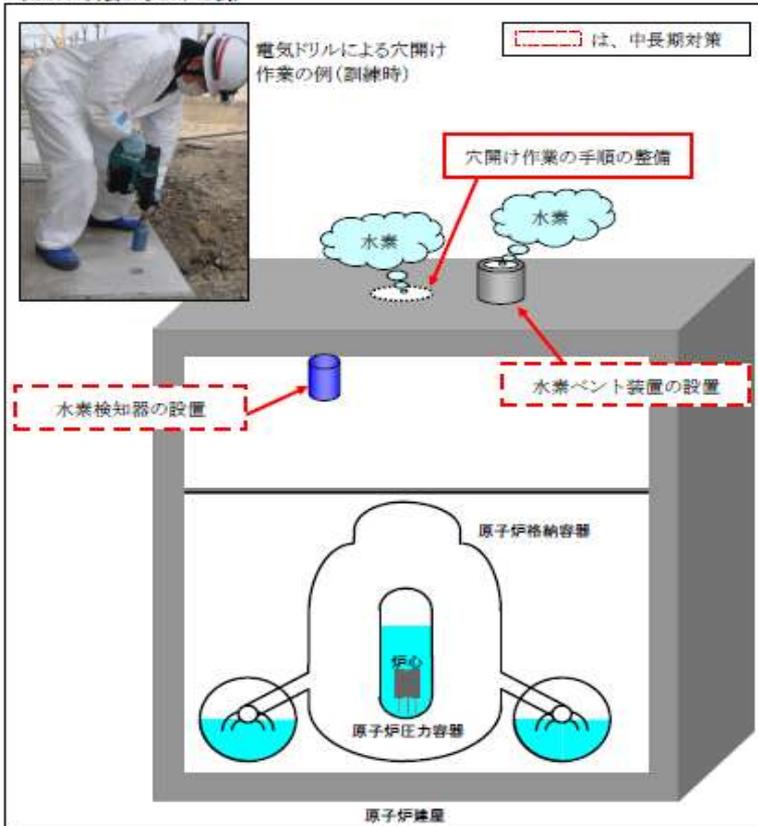
(参考2)シビアアクシデント対策(水素爆発対策)について

保安院から事業者に対して水素爆発を防止するために、水素が建屋に滞留することを防ぐための措置を講ずるよう求めたところ(平成23年6月7日)であり、事業者から報告された取組例は以下のとおり。

BWRの例

- 原子炉建屋に多量の水素が滞留することを防止するため、緊急時に原子炉建屋外へ水素を排気できる排気口を設けるため、原子炉建屋への穴開け作業の手順の整備
- 中長期的対応として、原子炉建屋の頂部へ水素ベント装置を設置するとともに、原子炉建屋の確認が可能なように水素検知器を設置

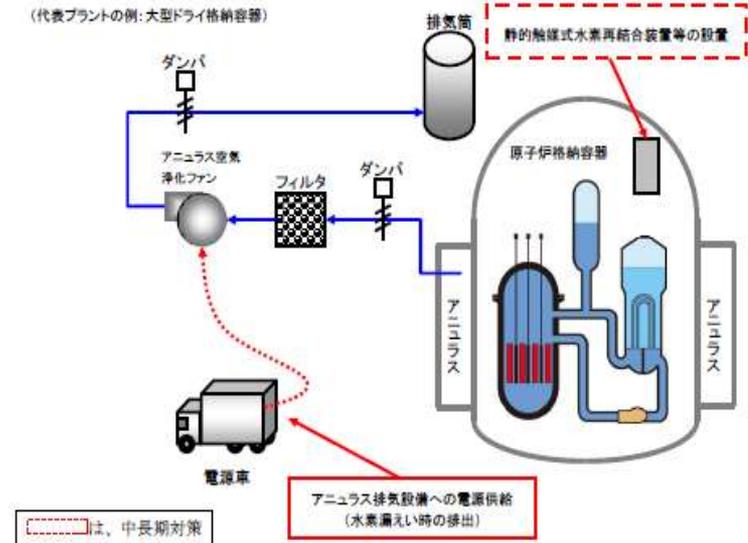
(BWR代表プラントの例)



PWRの例

- 大型ドライ型格納容器
 - 格納容器から漏えいした水素が格納容器外で多量に滞留することを防止するため、格納容器からアニュラス部に漏えいした水素を、電源車等からの電源供給によりアニュラス排気設備(フィルタを含む)を用いて外部に放出するための手順を整備
 - 中長期的措置として、電源を必要としない静的触媒式水素再結合装置等を格納容器内へ設置

(代表プラントの例:大型ドライ格納容器)



- アイスコンデンサ型格納容器
 - 格納容器内に設置されているイグナイタ(水素燃焼用装置)を作動させることにより、格納容器内の水素濃度を低減させる。電源車等からの電源供給により、イグナイタを作動させるための手順を整備

3. まとめと今後の対策

- JNESによる解析の結果によれば、ブローアウトパネル相当の放出口(ϕ 5m)を仮定した場合には、各階の水素濃度が爆轟条件である15%を下回る。そのため、2号機については、ブローアウトパネルの開放により、水素の滞留が抑制され、水素爆発が回避された可能性がある。
- さらに、1Fに2m²の開口部を追加すると、より厳しい水素漏えい率(100kg/h)を想定したとしても、各階の水素濃度は4%を下回る結果となった。そのため、水素爆発防止の観点からは、最上階及び1F部に放出口／開口部を設けることが有効と考えられる。
- しかしながら、ブローアウトパネルの開放は放射性物質を含んだ建屋内の気体が直接放出されることを意味するため、放射性物質の放出を抑制する機能をもった水素排出設備又は再結合装置等を整備することを前提とした上で、対応の方向性について検討するべきである。

《今後の対策(案)》

- ☆水素爆発を防止するためには、格納容器の健全性を維持するための対策(前回議論)により水素の管理された放出を図ることに加えて、建屋側に漏えいした水素については、非常用ガス処理系の活用や水素再結合装置等の処理系等の設置により、放射性物質の放出を抑制しつつ、水素の滞留を防止することが必要。
- ☆さらに、プラント毎に定量的な評価を行った上で十分な大きさの開口部を設けるとともに防爆仕様の換気装置の設置等が必要ではないか。また、その際にはフィルタリングを行い、放射性物質の放出を抑制することが必要でないか。
- ☆その上で、今般のように大量の水素が発生し、上記のような対応策を講じても対応できない場合に備えて、最後の手段として、ブローアウトパネルの開放(地上部による開口部の設置等を含む)等による水素滞留対策を検討することについてどのように考えるか。
- ☆原子炉建屋内の状況を正確に把握するために、水素濃度検出装置を設置するべきではないか。
- ☆シビアアクシデント対策を検討する上では、予め、燃料の100%相当の水素が水-ジルコニウム反応によって生じることを前提として対応策を評価するべきではないか。