

事故検証課題別ディスカッション 「地震動による重要機器の影響」 1号機水素爆発解析について

2017年2月

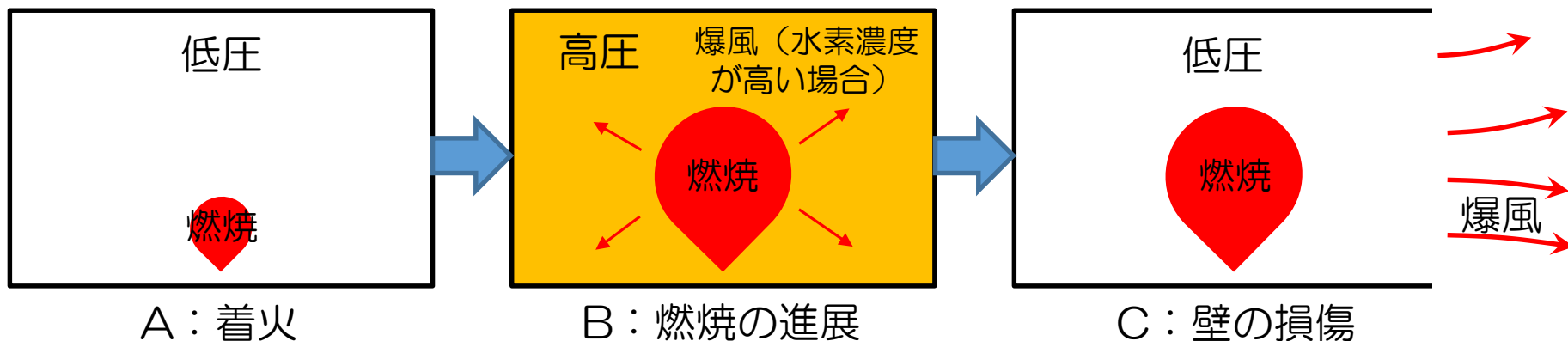
1. はじめに
2. 水素爆発の進展について
3. 建屋内構造物の損傷状況の整理
4. 水素爆発解析
5. 解析結果と損傷状況との比較
6. まとめ

(添付資料) 感度解析結果

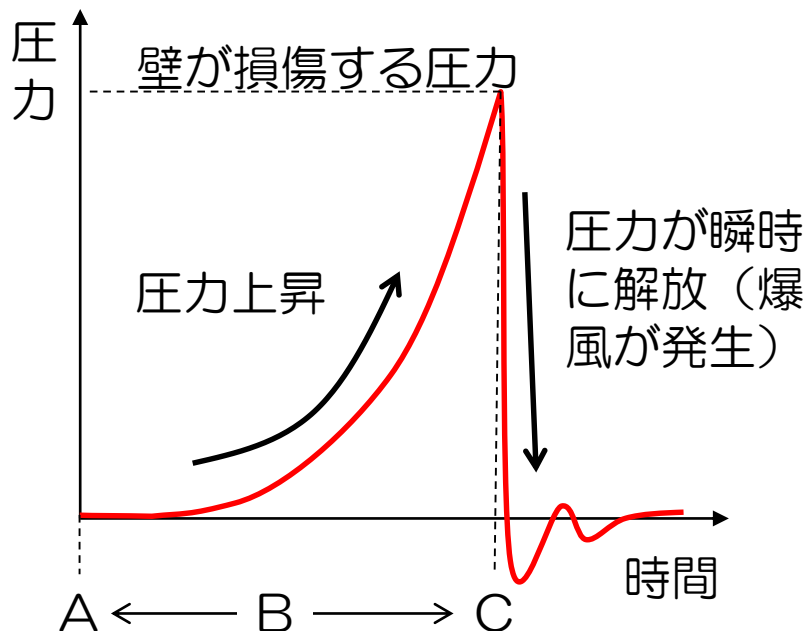
1. はじめに

- 福島第一原子力発電所1号機原子炉建屋は、2011年3月12日午後3時36分に発生した水素爆発によって大きく損傷した。
- この水素爆発の発生メカニズムを明らかにするため、現在の建屋内の構造物の損傷状況に基づいて、水素爆発時の状況を推定する。
- 水素漏えい箇所、着火箇所等の条件に関する網羅的な水素爆発の解析を実施し、建屋の損傷状況と比較することで、1号機がどのように水素爆発に至ったのかを判断するための情報を提示する。

2. 水素爆発の進展について



建物内における水素爆発の進展（概念図）



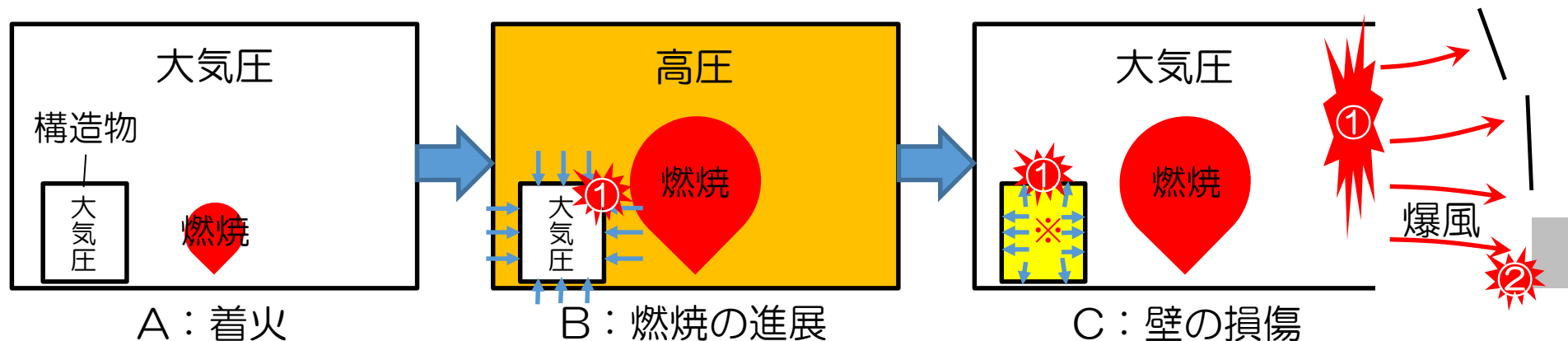
水素爆発時の圧力挙動（概念図）

- 建物内で水素に着火した（A）場合、燃焼の進展（B）とともに建物内の圧力が上昇する。水素濃度が高く、圧力上昇が速い場合は、爆風を伴うことがある。
- 圧力が上昇することによって建物の壁が損傷（C）すると、内部の圧力が瞬時に解放され、爆風が生じる。

（資料中の用語の定義について）

「水素爆発」「爆発」とは構造物の損傷を引き起こした水素の激しい燃焼を指す。また、「爆風」とは水素爆発によって引き起こされた強い流れを指す。

2. 水素爆発の進展について



建物内における水素爆発による構造物の損傷モード（概念図）

※建物内の圧力の影響を受けて、構造物の内部が遅れて圧力上昇したもの

- 水素爆発による構造物の損傷の要因は、以下に分類される。

① 圧力差による損傷

- 建物の内外圧差による壁の損傷
- 建物内の圧力変動による構造物の損傷

② 爆風による損傷

- 爆風の衝撃力による損傷（がれき等の構造物の衝突も含む）

2. 水素爆発の進展について - 水素爆発解析における爆発の特徴

- 水素漏えい位置、および着火位置ごとの水素爆発の特徴を把握するため、以下の解析を実施する。（詳細な解析条件については後述）

水素爆発解析における水素漏えい位置・着火位置

水素漏えい位置	5階着火	4階着火
5階シールドプラグ	<p>ケース① 5階漏えい・5階着火</p> <p>機器ハッチ蓋破損後、5階側壁が破損することで、4階以上に爆風の影響が発生</p>	<p>ケース④ 5階漏えい・4階着火</p> <p>ケース①と同等、ただし、爆発の規模はやや大きい</p>
5階シールドプラグ + 4階IC配管	<p>ケース③ 5階+4階漏えい・5階着火</p> <p>ケース①と同様の爆発の進展をたどった後、ケース②のように4階、3階、2階への爆風が付加される</p>	<p>ケース② 5階+4階漏えい・4階着火</p> <p>4階、3階、2階への爆風の影響が大きい</p>

3. 建屋内構造物の損傷状況の整理



① 機器ハッチ蓋の消失



② MCC/仮設トイレの変形



③ 換気ダクトの変形



④ ICタンク南側の保温材の剥がれ



⑤ ハンドレールの損壊



⑥ プルボックスの変形

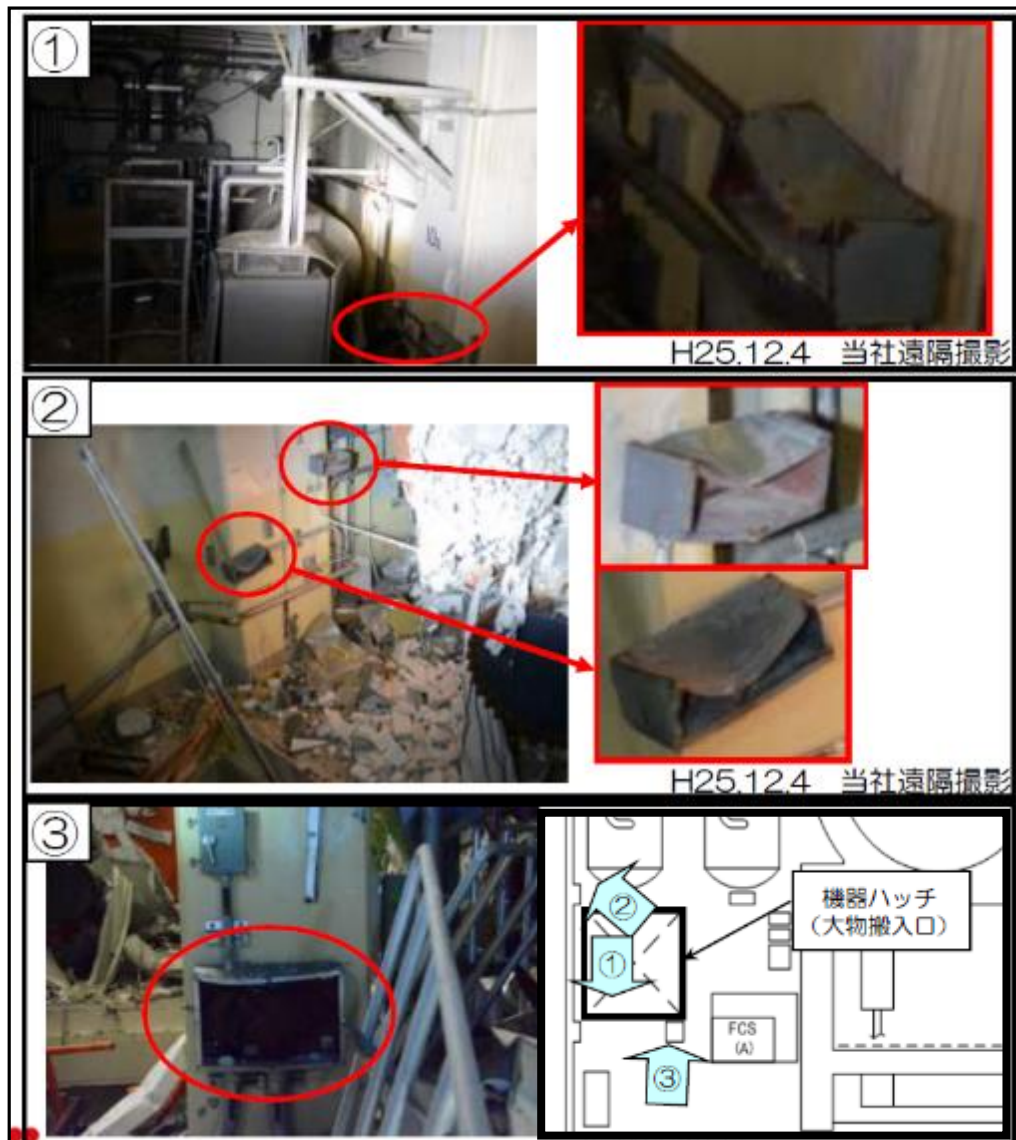


4階平面図
(機器ハッチ周辺)

4階機器ハッチ周辺の損傷状況

- 上記のうち、プルボックスは下向きの爆風によって損傷したと考えられる（次頁参照）。

3. 建屋内構造物の損傷状況の整理



- プルボックスの損傷要因の推定
 - 写真①②のプルボックスは機器ハッチの開口部に隣接して設置されているのに対し、写真③のプルボックスは機器ハッチの開口部に対して柱の陰に設置されている。
 - プルボックスはすべて下向きに変形しているが、柱の影になっているプルボックスの変形は他のプルボックスの変形と比較して小さい。
 - 仮に圧力差による変形であれば、このような変形量の違いは生じにくいと考えられるため、爆風による変形と考えられる。
 - 柱によって爆風の勢いが弱められ、他のプルボックスと比較して下向きの変形が小さくなったと考えられる。
- ➔ 4階機器ハッチ周辺に下向きの爆風が生じたと考えられる。

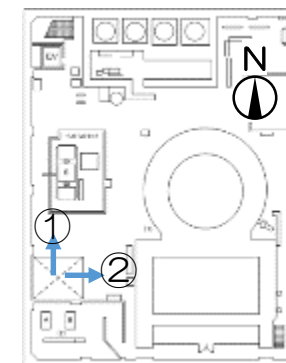
3. 建屋内構造物の損傷状況の整理



① 3階機器ハッチ北側



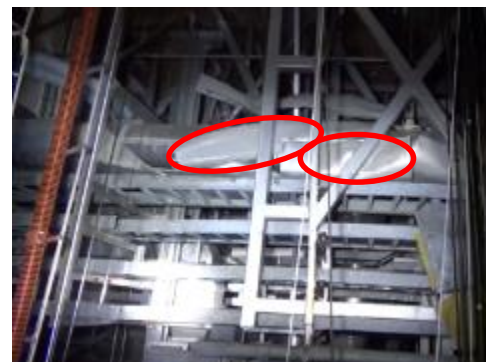
② 3階機器ハッチ東側



原子炉建屋3階



③ 2階機器ハッチ北側



④ 2階機器ハッチ東側



原子炉建屋2階

3階以下の機器ハッチ周辺の状況（○は薄い構造物に変形している箇所）

- 比較的薄い構造物の変形は見られるものの、その他の構造物の損傷はほとんど見られず、強い爆風が流れ込んだ形跡は見られない。

➡ 3階以下のフロアには強い爆風は流れ込んでいないと考えられる。

3. 建屋内構造物の損傷状況の整理

- 水素爆発シナリオの推定にあたり、建屋内の主な構造物の損傷要因を推定

階層	損傷状況	損傷要因の推定		備考
		圧力差	爆風	
5階	天井が落下し、瓦礫が散乱している	○	○	水素爆発により生じた圧力変動・爆風により損傷
	側壁が吹き飛んでいる	○	－※	建屋内外の圧力差により損傷
	機器ハッチの蓋が開口している	○	－※	開口の原因は上からの圧力か、下からの圧力か
4階	機器ハッチ周辺の損傷 (ICタンク南側の保温材の剥がれ、換気ダクト、MCC/仮設トイレ、ハンドレール、プルボックスの変形等)	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 機器ハッチ周辺はどのように圧力変動したか ● 機器ハッチ周辺にどのように爆風が生じたか
	ICタンク北側の保温材カバーは健全	－	－	ICタンク北側では水素爆発の影響が小さかった
	北西部の天井が崩落	－	－	5階天井の落下の衝撃によって崩落
	東側の損傷は軽微	－	－	4階東側では水素爆発の影響が小さかった
3階以下	機器ハッチ周辺以外の損傷は軽微	－	－	3階以下では水素爆発の影響が小さかった

- 5階部分、あるいは4階機器ハッチ周辺部以外で水素爆発が生じた形跡は見られない。
 - 4階機器ハッチ周辺の構造物の損傷に至る状況について不明な点がある。
- ➡ 上記の点に着目し、水素爆発解析において見られる特徴と比較する。

※解析結果も参考に、圧力差による損傷と推定

4. 水素爆発解析 – 解析条件

水素漏えい位置・着火位置の解析条件

水素漏えい位置	5階着火	4階着火
5階シールドプラグ	ケース① 5階漏えい・5階着火	ケース④ 5階漏えい・4階着火
5階シールドプラグ + 4階IC配管	ケース③ 5階+4階漏えい・5階着火	ケース② 5階+4階漏えい・4階着火

その他の解析条件

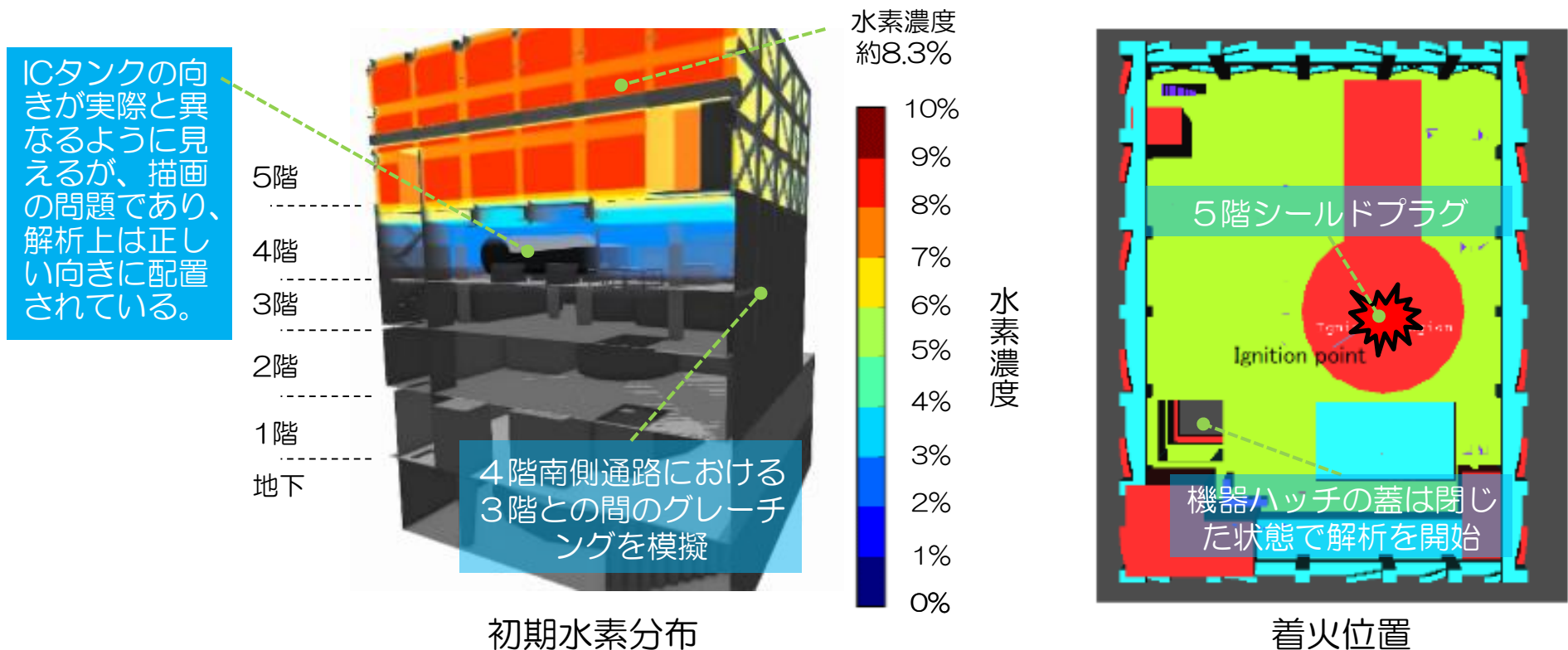
項目	解析条件
モデル化範囲	建屋全体（地下階～5階）
着火時の水素分布	水素分布解析結果に基づいて設定
5階側壁の破損条件	5階の圧力が胴縁端部ボルト耐力（16kPa）を超えた時点で破損
機器ハッチ蓋の開口条件	5階と4階の圧力差により開口※

※4階の圧力が高い場合は、機器ハッチ重量（1.5トン）分の圧力差で開口。
5階の圧力が高い場合の機器ハッチの開口条件は不明であるため、感度解析を実施（後述）。

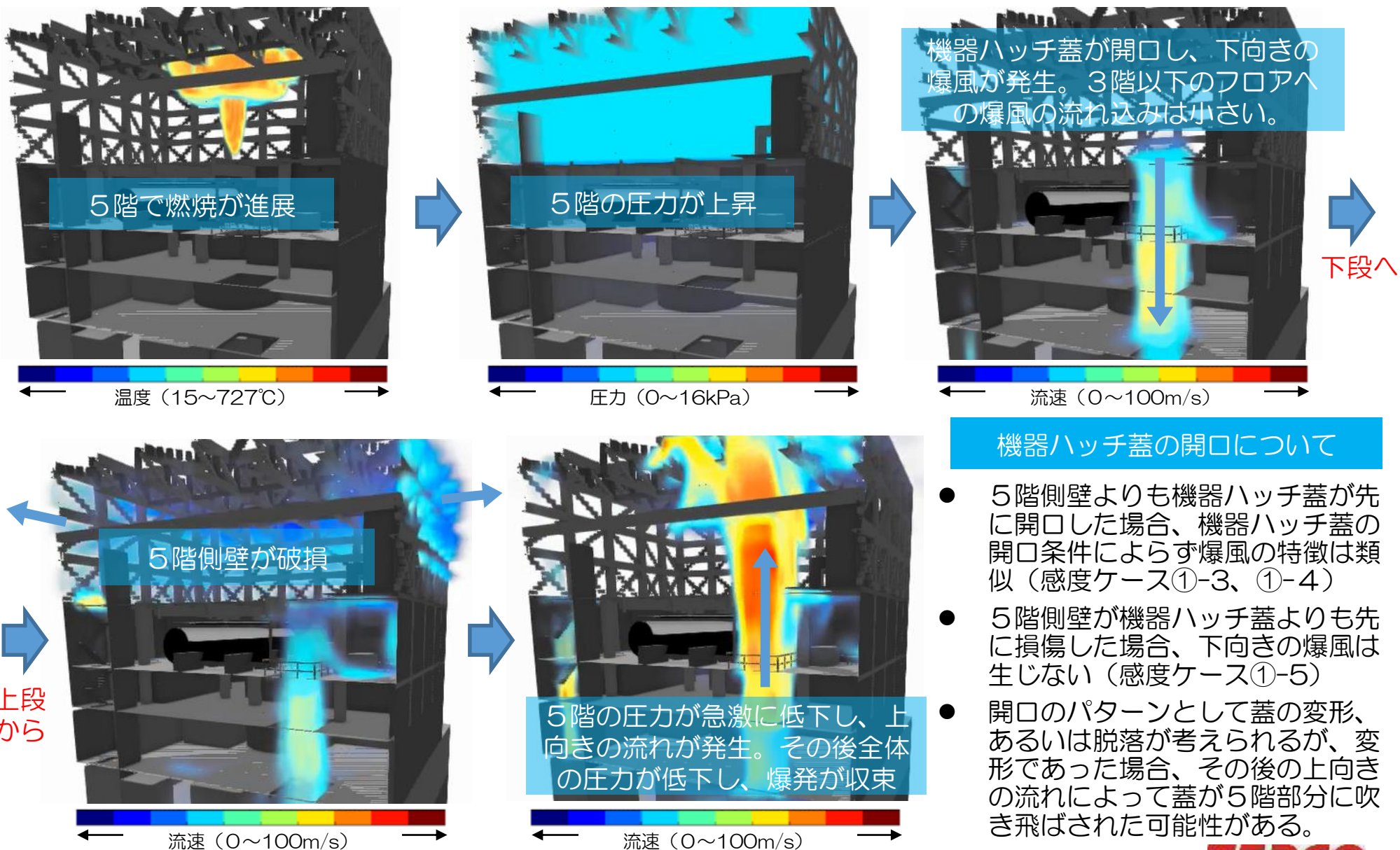
4. 水素爆発解析 - ケース① 5階漏えい・5階着火

項目	解析条件
着火時の水素分布	5階部分に主に水素が分布
着火位置	5階シールドプラグ位置※

※ 代表的な着火位置として、水素の漏えいを想定した5階シールドプラグ位置を設定。なお、他の着火位置（5階北西部の床、5階機器ハッチ直上）を設定したケースでも爆発の特徴は類似の結果が得られている。（感度ケース①-1、①-2）



4. 水素爆発解析 - ケース① 5階漏えい・5階着火



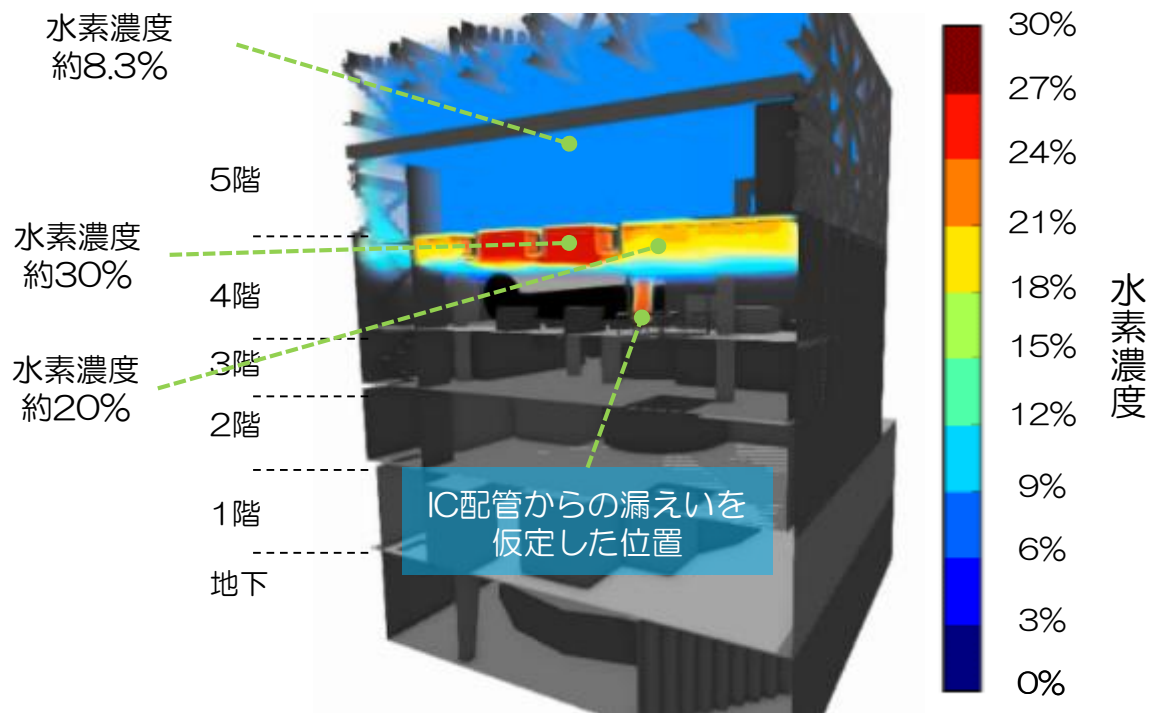
機器ハッチ蓋の開口について

- 5階側壁よりも機器ハッチ蓋が先に開口した場合、機器ハッチ蓋の開口条件によらず爆風の特徴は類似（感度ケース①-3、①-4）
- 5階側壁が機器ハッチ蓋よりも先に損傷した場合、下向きの爆風は生じない（感度ケース①-5）
- 開口のパターンとして蓋の変形、あるいは脱落が考えられるが、変形であった場合、その後の上向きの流れによって蓋が5階部分に吹き飛ばされた可能性がある。

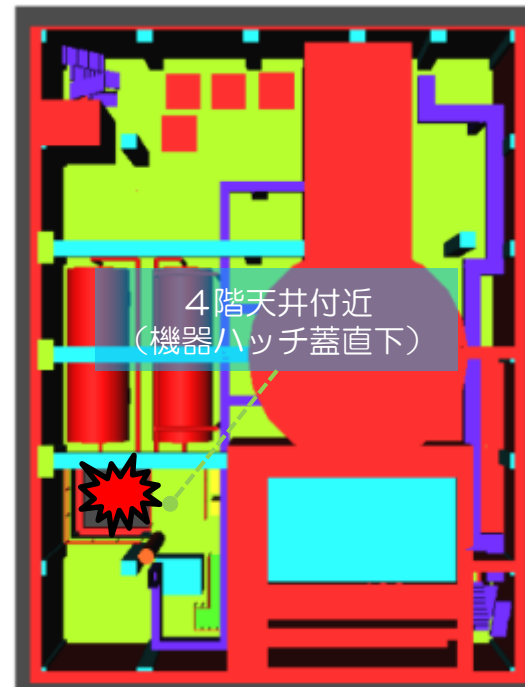
4. 水素爆発解析 - ケース② 5階+4階漏えい・4階着火

項目	設定
着火時の水素分布	ケース①+4階IC配管から20kgの水素漏えいを仮定※
着火位置	4階天井付近（機器ハッチ蓋直下）

※ 事故直後のプラントパラメータに影響しない程度の漏えい面積（0.3cm²）における水素漏えい量は40～200kgと推定。ただし、上記の水素量を4階に流入させた場合、4階の水素が多くなりすぎたため、より少ない20kgの水素漏えいにて解析を実施。

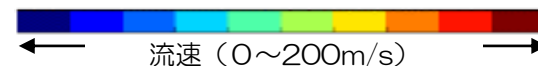
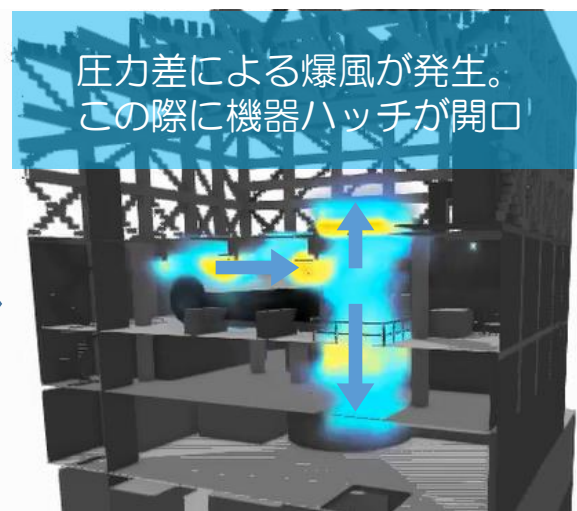
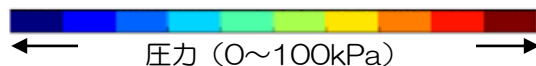
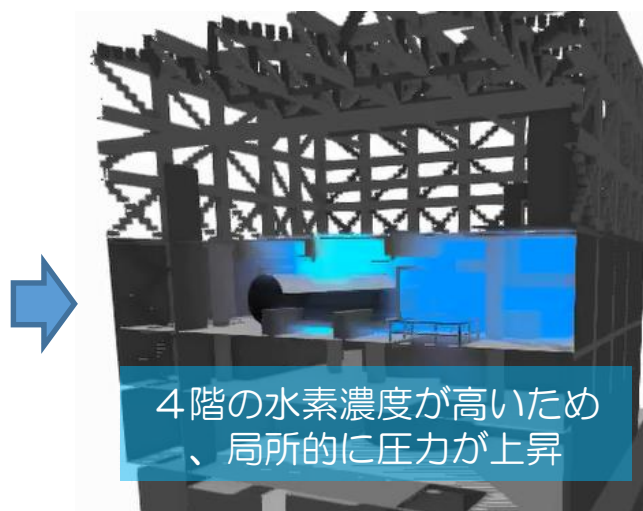
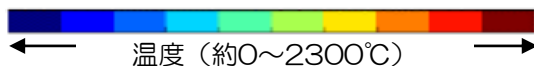
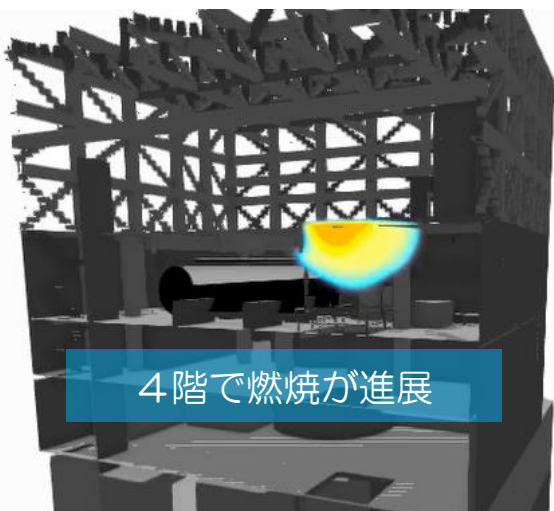


初期水素分布

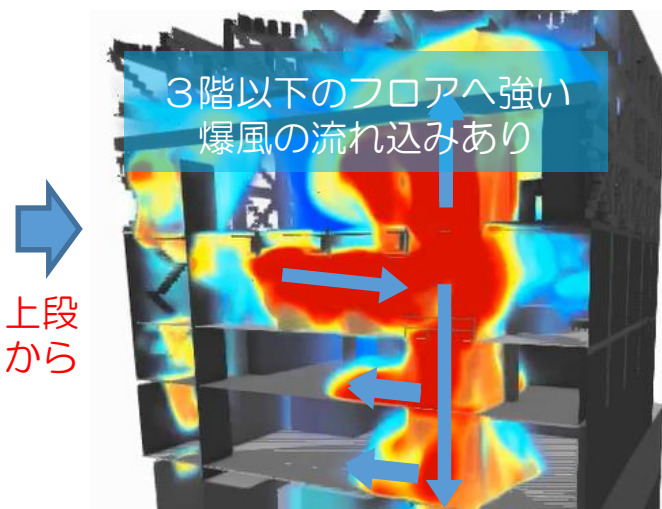


着火位置

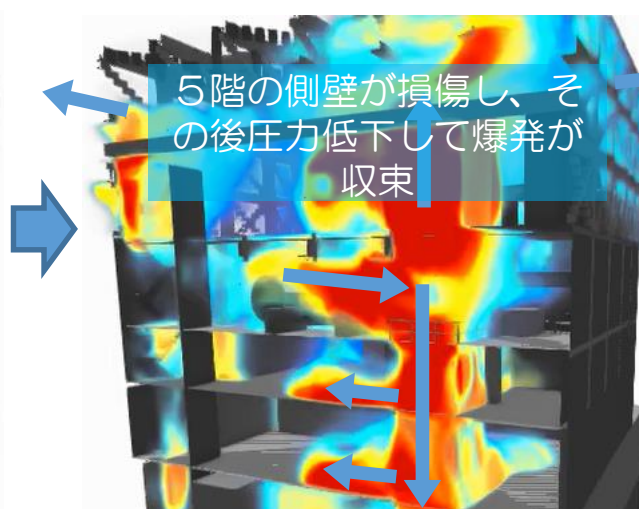
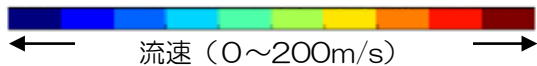
4. 水素爆発解析 - ケース② 5階+4階漏えい・4階着火



下段へ



上段から



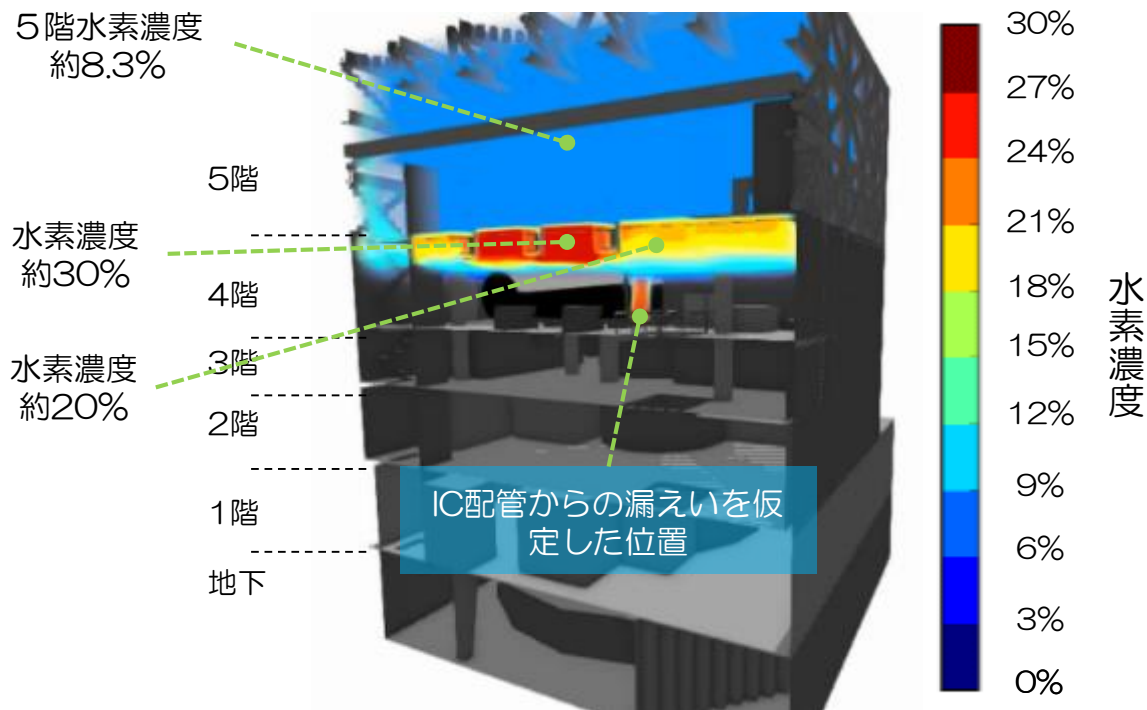
- 高濃度の水素に着火することで、爆風の速度が大きくなり、4階、3階、2階に強い爆風が流れ込んでいる

※4階天井部には区画を仕切るような構造物があるため、5階部分と比較して対流が生じにくく、天井付近の水素濃度が高くなる傾向がみられる。(5階からの流れ込みは複数箇所であることも影響してか、水素濃度は比較的均一になる。)

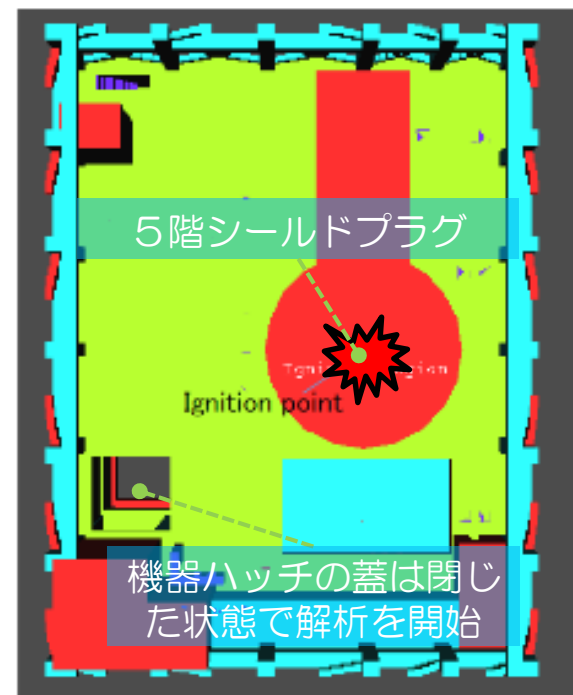
4. 水素爆発解析 - ケース③ 5階+4階漏えい・5階着火

項目	設定
着火時の水素分布	ケース②（5階+4階漏えい+5階着火）と同様
着火位置	5階シールドプラグ位置※

※代表的な着火位置として、水素の漏えいを想定した5階シールドプラグ位置を設定。他の着火位置として、5階機器ハッチ直上を設定したケースでは、ケース②（5階+4階漏えい・4階着火）と類似の結果となることを確認（感度ケース③-1）



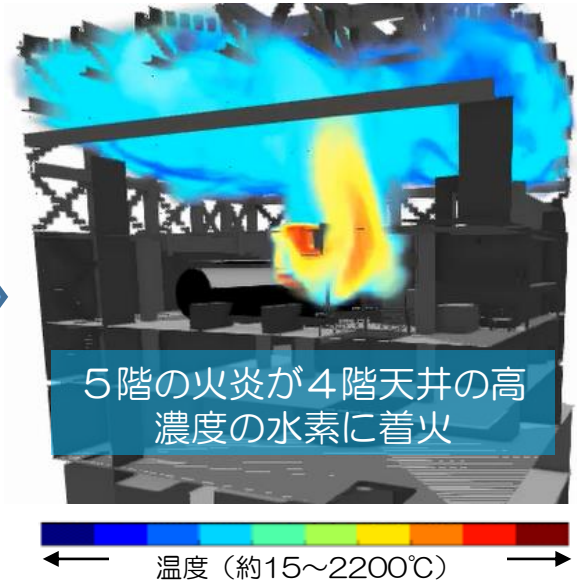
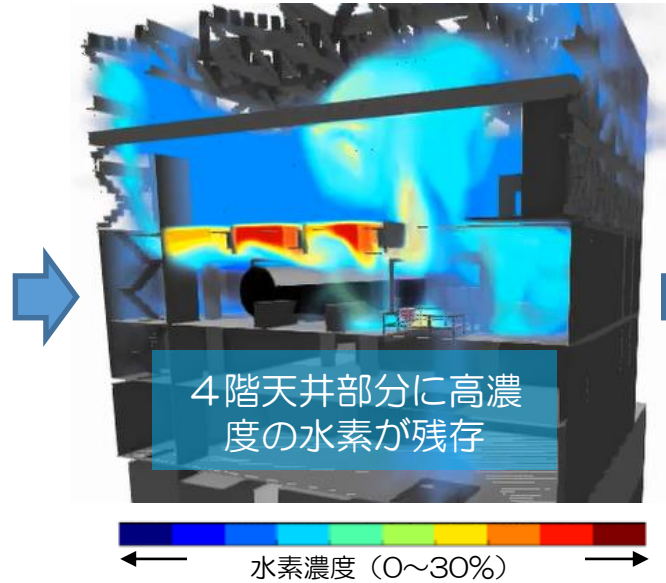
初期水素分布



着火位置

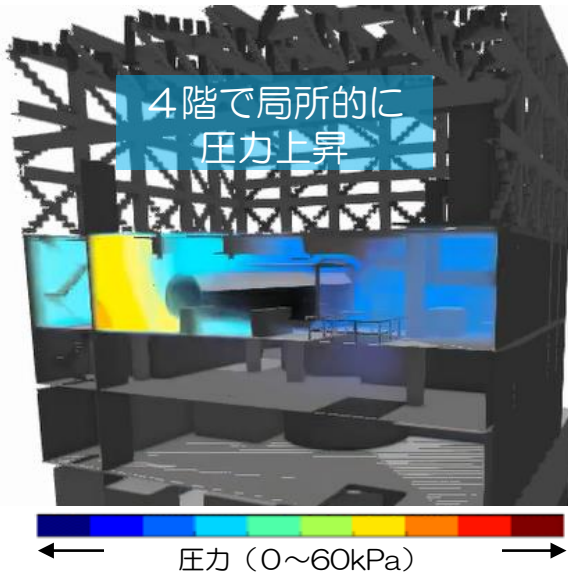
4. 水素爆発解析 - ケース③ 5階+4階漏えい・5階着火

ケース①と同様の
爆発の進展



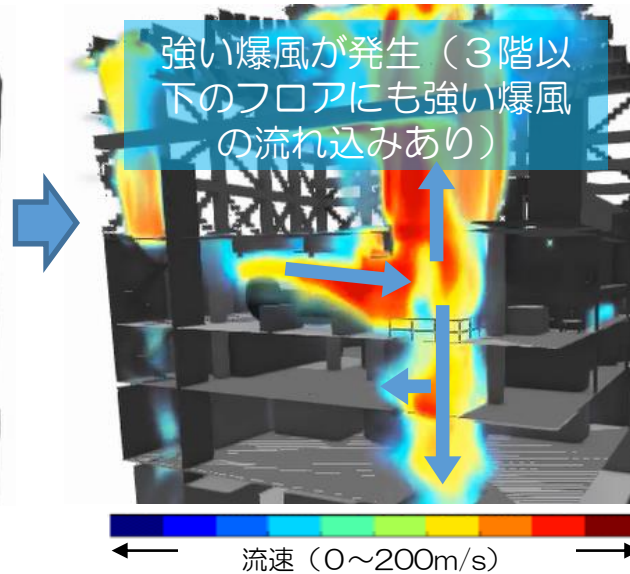
下段へ

4階で局所的に
圧力上昇



上段から

強い爆風が発生 (3階以下のフロアにも強い爆風の
流れ込みあり)

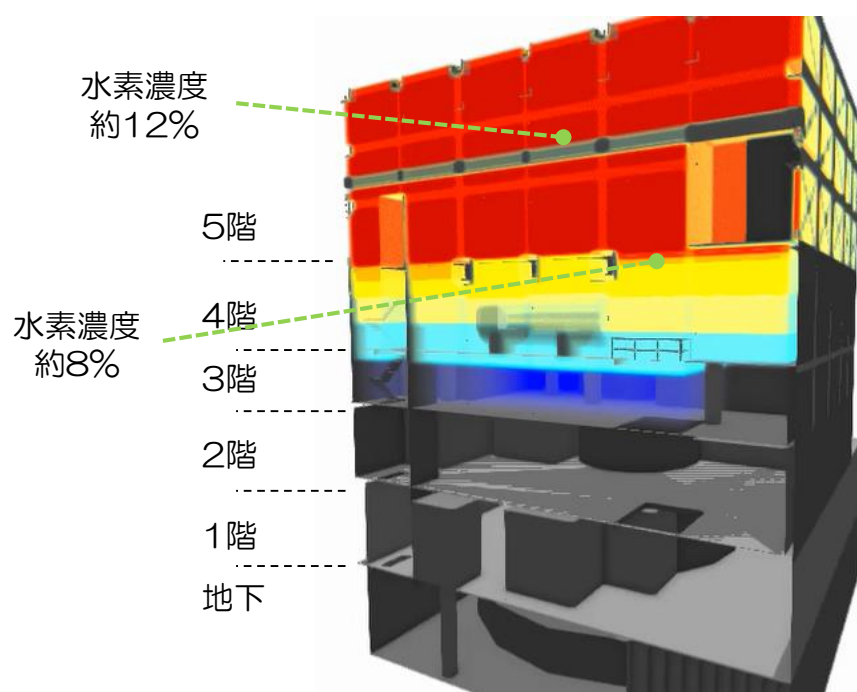


- ケース①と同様の爆発の進展をたどった後、4階に残存した水素に着火し、ケース②のような4階以下の大きな爆発が付加される

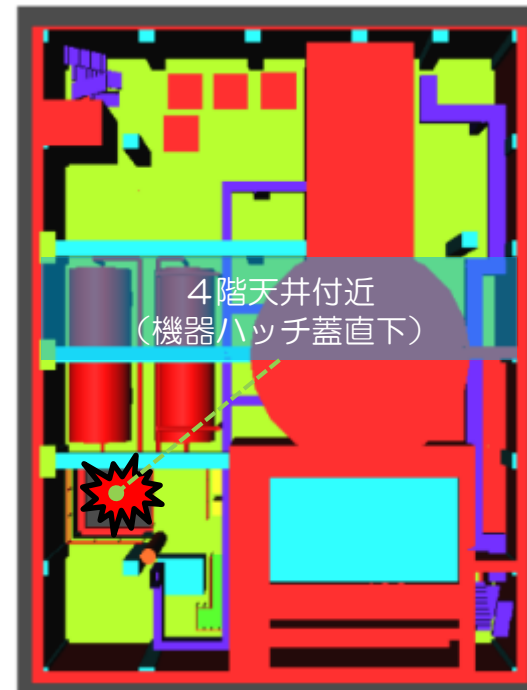
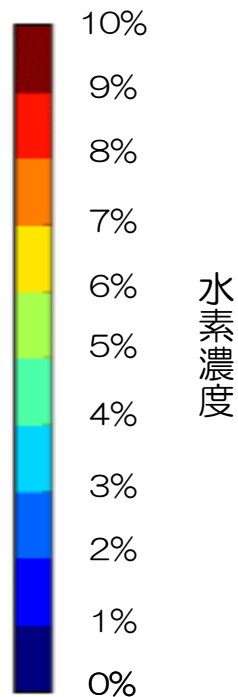
4. 水素爆発解析 - ケース④ 5階漏えい・4階着火

項目	設定
着火時の水素分布	ケース①よりも多くの水素漏えいを仮定し、4階部分でも燃焼が進展するような比較的高濃度の水素が分布
着火位置	4階天井付近（機器ハッチ蓋直下）※

※ 4階天井付近（機器ハッチ蓋直下）を代表的な着火位置として設定。水素分布解析の結果、漏えい位置（5階、4階）によらず、4階では西側天井付近の水素濃度が高くなるため、他の位置（IC配管漏えい設定位置、SLCポンプ付近等）で着火した場合も、主要な燃焼は西側天井付近を起点に進展すると考えられる。

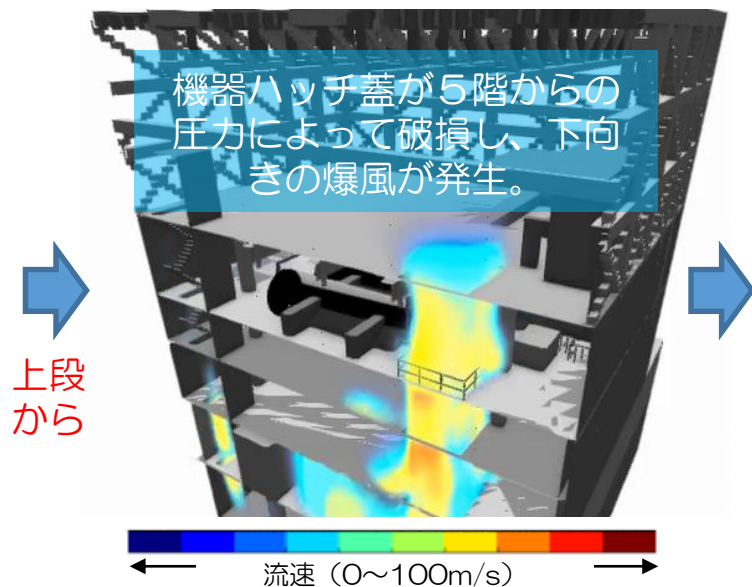
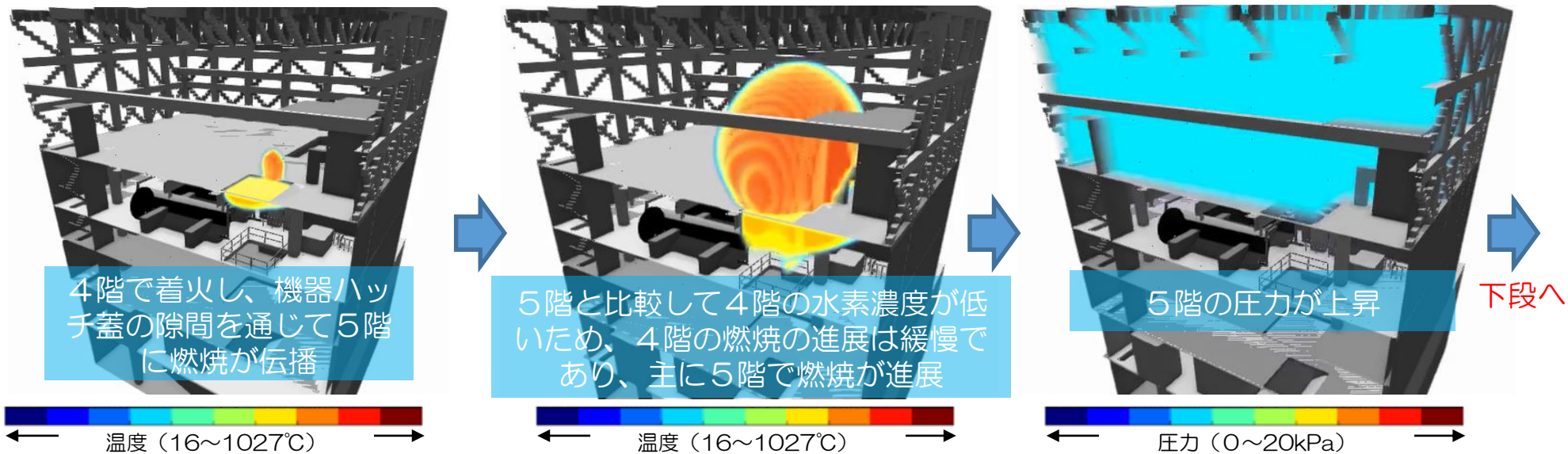


初期水素分布



着火位置

4. 水素爆発解析 - ケース④ 5階漏えい・4階着火



着火点は異なるものの、爆発の特徴は、ケース①（5階漏えい・5階着火）と類似となった。ただし、全体の水素濃度が高い分、ケース①よりも爆風の勢いは、やや大きい。

4. 水素爆発解析 - 解析ケースごとの爆発の特徴について（再掲）

水素漏えい位置	5階着火	4階着火
5階シールドプラグ	<p>ケース① 5階漏えい・5階着火</p> <p>機器ハッチ蓋破損後、5階側壁が破損することで、4階以上に爆風の影響が発生</p>	<p>ケース④ 5階漏えい・4階着火</p> <p>ケース①と同等、ただし、爆発の規模はやや大きい</p>
5階シールドプラグ + 4階IC配管	<p>ケース③ 5階+4階漏えい・5階着火</p> <p>ケース①と同様の爆発の進展をたどった後、ケース②のように4階、3階、2階への爆風が付加される</p>	<p>ケース② 5階+4階漏えい・4階着火</p> <p>4階、3階、2階への爆風の影響が大きい</p>

※以降では、解析結果としてケース番号のみを示している箇所があるため、必要に応じて上記の表を用いてケース番号と解析条件との対応を参照されたい。

5. 解析結果と損傷状況の比較

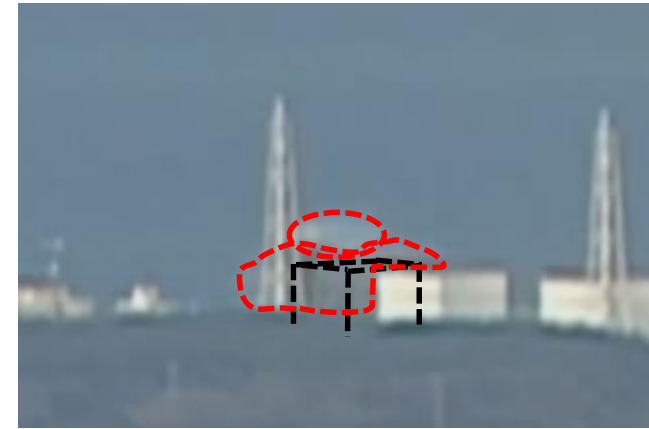
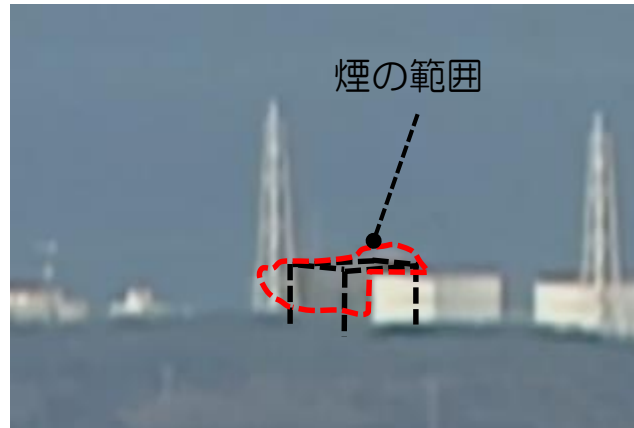
階層	損傷状況	解析結果との比較			
		ケース① 5階漏えい 5階着火	ケース② 5階+4階漏えい 4階着火	ケース③ 5階+4階漏えい 5階着火	ケース④ 5階漏えい 4階着火
5階	天井が落下し、瓦礫が散乱している	○	○	○	○
	側壁が吹き飛んでいる	○	○	○	○
	機器ハッチの蓋が開口している	○	○	○	○
	側壁損傷後の煙の流れ	○	△※1	△※1	○
4階	機器ハッチ周辺の損傷 (ICタンク南側の保温材の剥がれ、換気ダクト、MCC/仮設トイレ、ハンドレール、プルボックスの変形等)	○	△※2	△※2	○
	ICタンク北側の保温材カバーは健全	○	△※2	△※2	○
	北西部の天井が崩落	—	—	—	—
	東側の損傷は軽微	○	○	○	○
3階以下	機器ハッチ周辺以外の損傷は軽微	○	△※3	△※3	○

○：損傷状況と矛盾しない △：損傷状況との相違の説明が困難 —：解析対象外

- ※1 側壁損傷後に発生する爆風は、建屋周辺の煙の流れ（横向き⇒上向き）と一致していない。
- ※2 ICタンク周辺で非常に強い爆風が発生しており、保温材・保温材カバーがタンク周辺に残存している状況や、タンク北側の保温材カバーが健全である状況と整合しない可能性が示唆される。
- ※3 3階以下のフロアへの非常に強い爆風の流れ込みあり

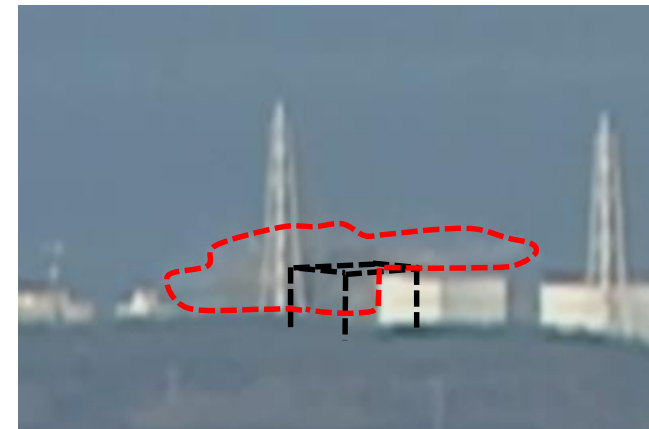
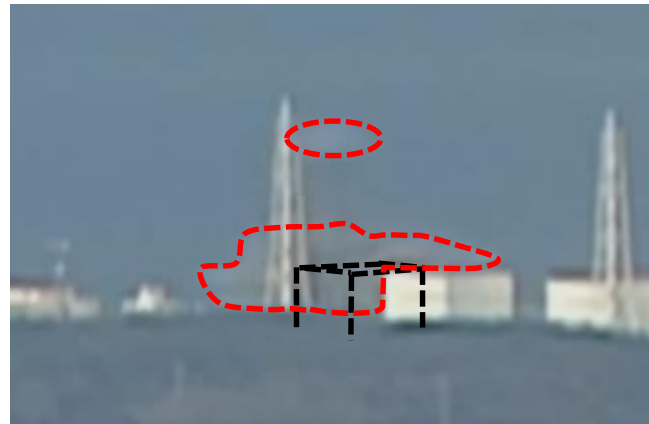
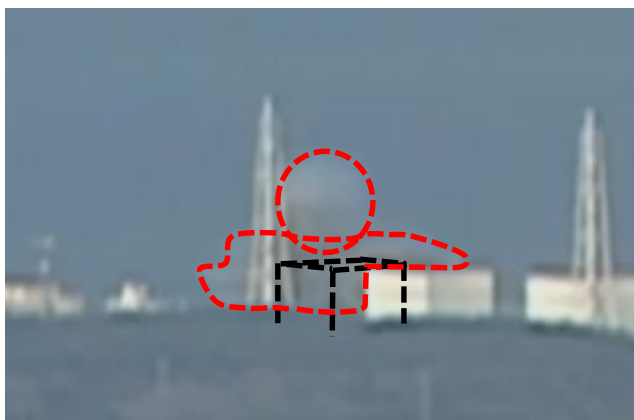
5. 解析結果と損傷状況の比較 - 5階部分

福島中央テレビ 無人カメラによる爆発時の映像



5階側壁損傷からの時間経過

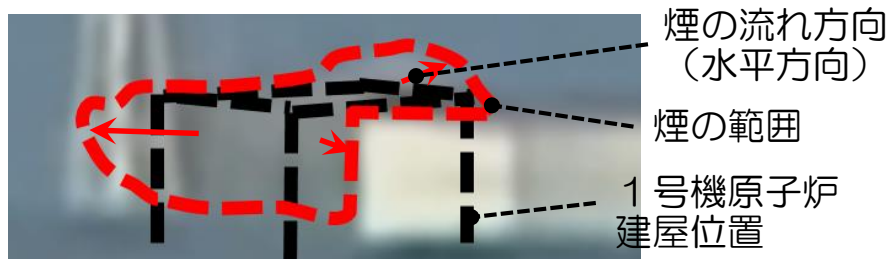
上段から



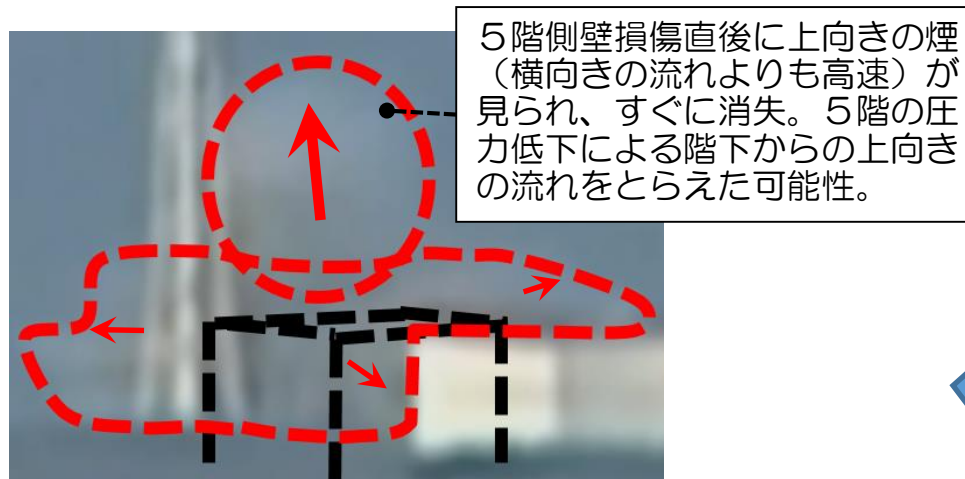
出典：福島中央テレビ 無人カメラ映像

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 5階部分

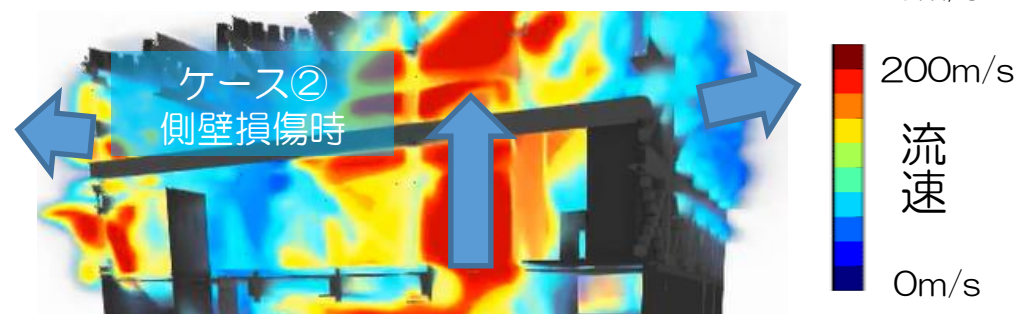
- 水素爆発時、5階側壁損傷時は横向き、その直後に上向きの煙の流れが見られる。
- 全てのケースで、これに対応する上向きの爆風が発生しているものの、
 - ケース①、及び、ケース④：横向きの流れに遅れて、高速の上向きの流れが発生（実際と同じ傾向）
 - ケース②：横向きと上向きの流れが同時に発生
 - ケース③：5階側壁損傷直後と、4階の水素に着火した後の2回に分けて上向きの流れが発生



5階側壁損傷時の煙の様子



5階側壁損傷直後の煙の様子



出典：福島中央テレビ 無人カメラ映像

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 風速による構造物への影響について

● 風速による構造物への影響の目安※

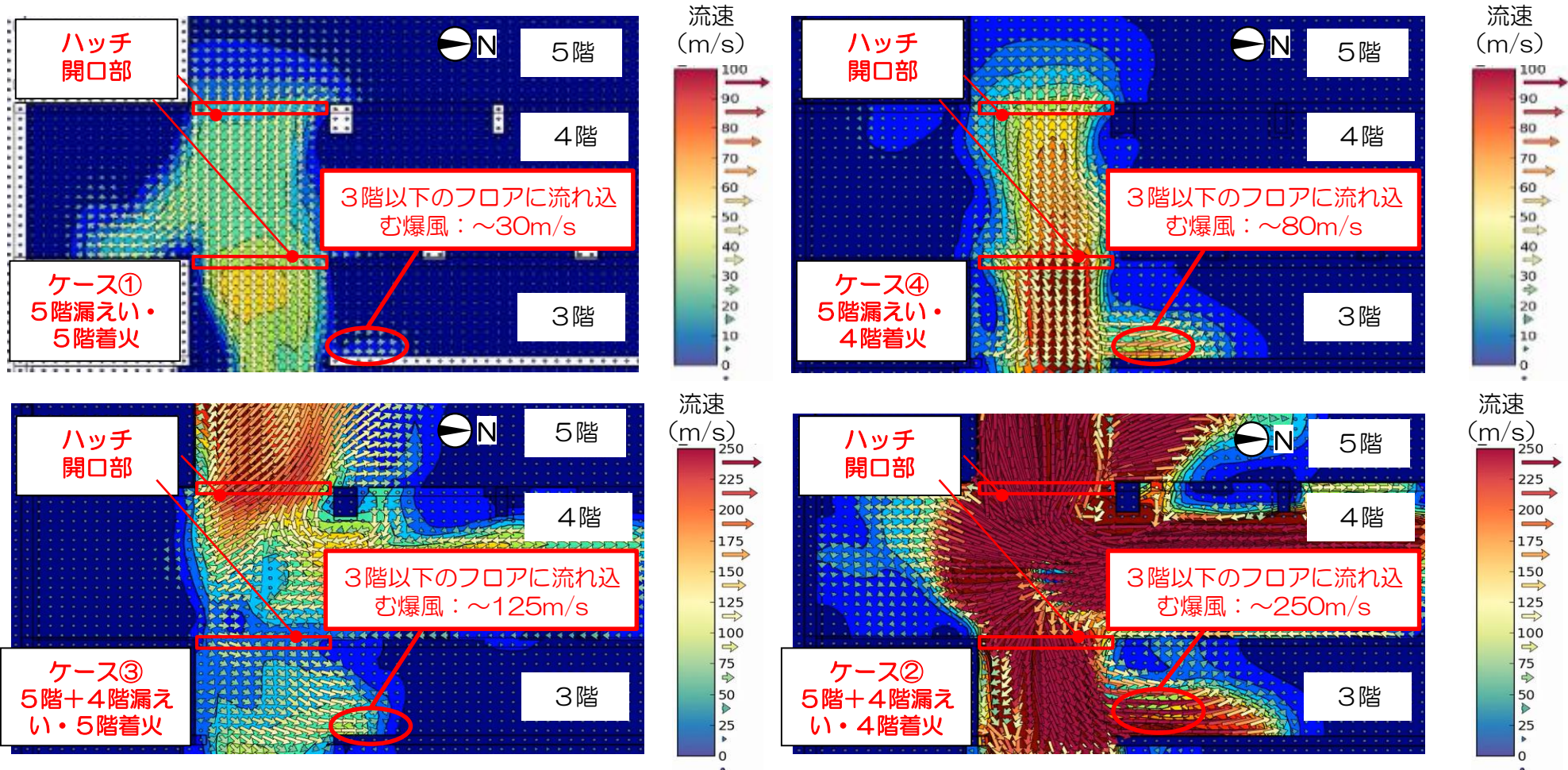
平均風速 (m/s)	およその 瞬間風速 (m/s)	人への影響、屋外・樹木の様子	建造物への影響
10以上	20	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樹木全体・電線が揺れ始める。 ・ 傘がさせない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 樋が揺れ始める。
15以上		<ul style="list-style-type: none"> ・ 電線が鳴り始める。 ・ 看板やトタン板が外れ始める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋根瓦・屋根葺材がはがれるものがある。 ・ 雨戸やシャッターが揺れる。
20以上	30	<ul style="list-style-type: none"> ・ 細い木の幹が折れたり、根の張っていない木が倒れ始める。 ・ 看板が落下・飛散する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 屋根瓦・屋根葺材が飛散するものがある。 ・ 固定されていないプレハブ小屋が移動、転倒する。 ・ ビニールハウスのフィルムが広範囲に破れる。
25以上	40		<ul style="list-style-type: none"> ・ 固定の不十分な金属屋根の葺材がめくれる。
35以上	50	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多くの樹木が倒れる。 ・ 電柱等で倒れるものがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 外装材が広範囲にわたって飛散し、下地材が露出するものがある。
40以上	60		<ul style="list-style-type: none"> ・ 住家で倒壊するものがある。 ・ 鉄骨構造物で変形するものがある。

(気象庁「雨と風の表」より抜粋)

※ 風速が同じであっても、対象となる構造物の状態や風の吹き方によって被害が異なる場合がある。これより大きな被害が発生したり、逆に小さな被害にとどまる場合もある。

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 3階以下

- 3階以下のフロアに流れ込む爆風の最大速度（機器ハッチ付近・垂直断面の流速ベクトル）

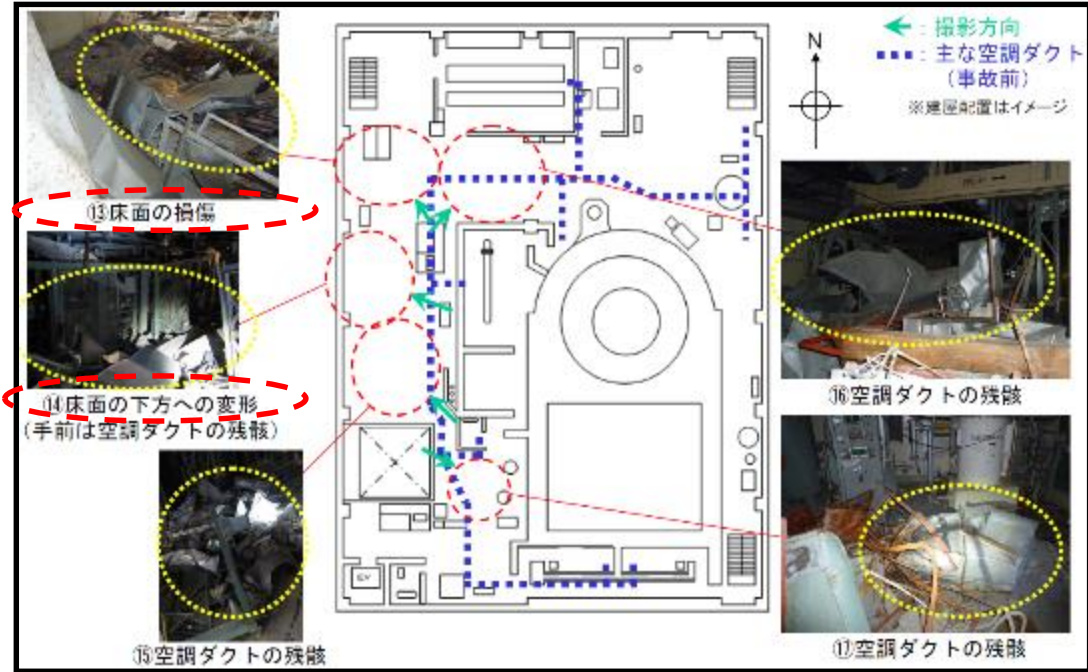


➡ ケース②、及び、ケース③（IC配管からの漏えいを仮定したケース）では、3階以下のフロアに流れ込む爆風の最大速度が125m/s~250m/s程度と非常に大きくなっている。

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 3階以下



水素爆発後の4号機原子炉建屋



4号機原子炉建屋3階の状況

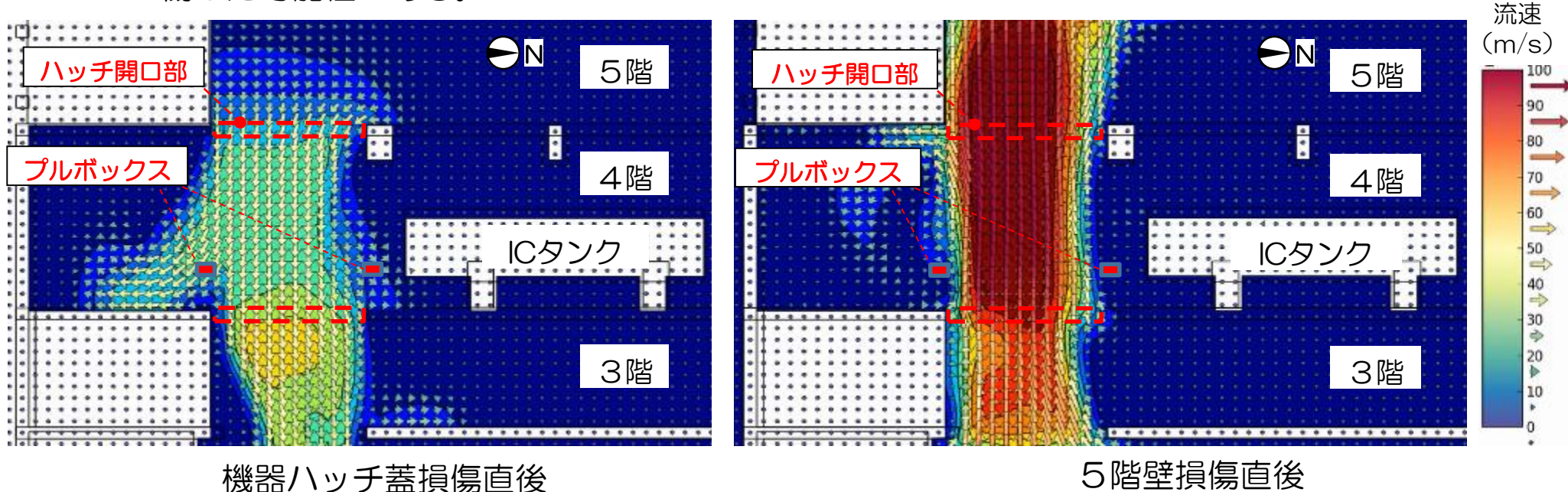
- 4号機では、5階床の鉄筋に上向きの変形があるため、水素爆発によって原子炉建屋4階で主に圧力が発生したと考えられ、その結果、原子炉建屋5階、4階部分だけでなく、3階部分の床面も損傷している。
- 原子炉建屋4階部分が主な圧力の発生箇所となった場合には、階下にも損傷の影響が及ぶことが想定されるが、1号機ではそのような形跡は見られない。

4号機の水素爆発では4階で主に圧力が発生したと考えられる理由

原子炉建屋5階の床面が上に盛り上がっているのに対し、原子炉建屋4階の床面が押し下げられている。また、原子炉建屋5階の空調吸気口に取り付けられている針金製の網が通常の空気の流れと逆流方向（5階に向かう方向）で張り出している。

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

- プルボックス・ハンドレール周辺の流れについて（ケース①：5階漏えい・5階着火※）
 - 機器ハッチ蓋損傷直後の下向きの爆風はハッチの外側にも流れ込んでおり、壁付近のプルボックスに爆風が衝突している。これにより、プルボックスは下向きに変形した可能性がある。一方、5階壁破損後の上向きの流れは、ハッチ部分を通り過ぎていたため、ハッチの外側のプルボックスは流れの影響を受けにくく、上向きには変形しなかった可能性がある。
 - ハンドレールは機器ハッチ蓋損傷後、あるいは5階側壁損傷後のいずれかの爆風によって損傷した可能性がある。

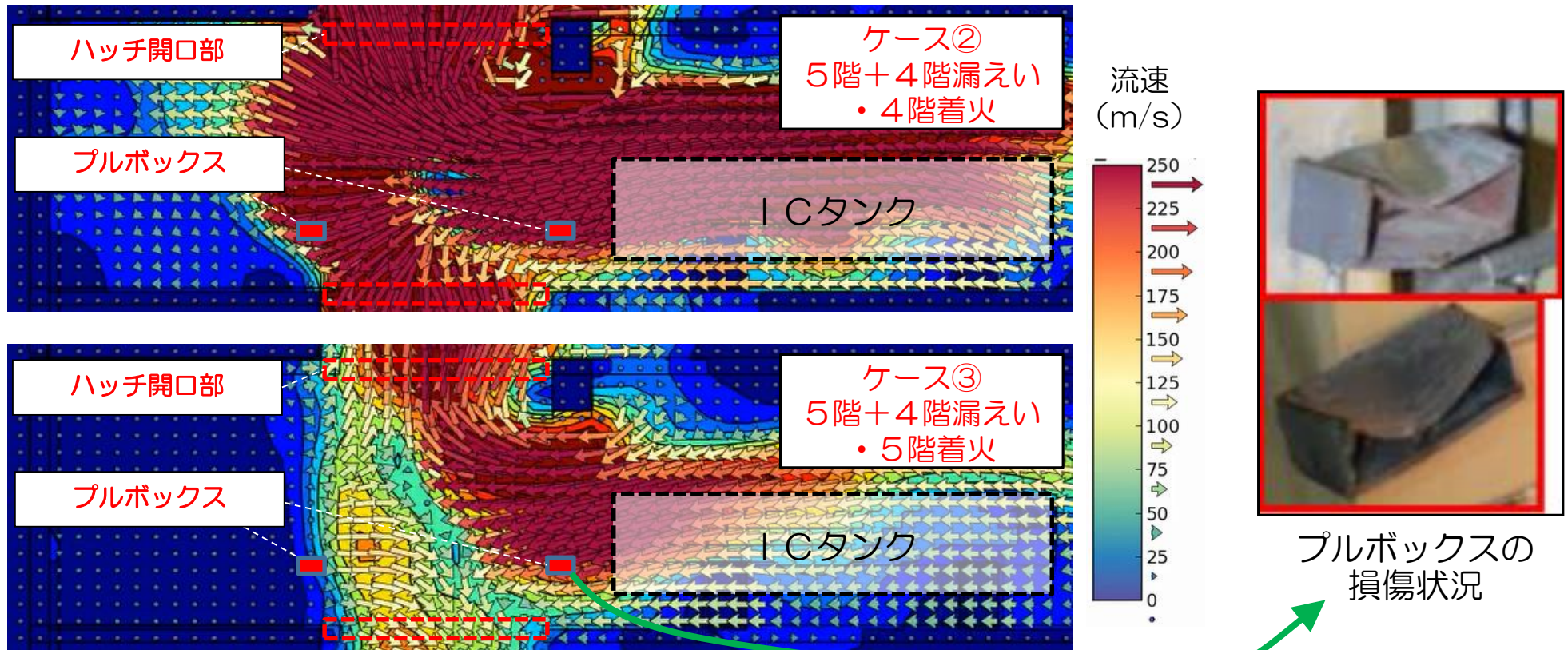


機器ハッチ付近（西側壁）のプルボックス位置（垂直断面）における爆風の速度分布（ケース①）

※ケース④（5階漏えい・4階着火ケース）はケース①と爆発の進展が類似しており、ケース①よりもやや爆風の速度が大きく、ケース①と同様に上向きの流れがプルボックス位置に衝突している様子も見られない。

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

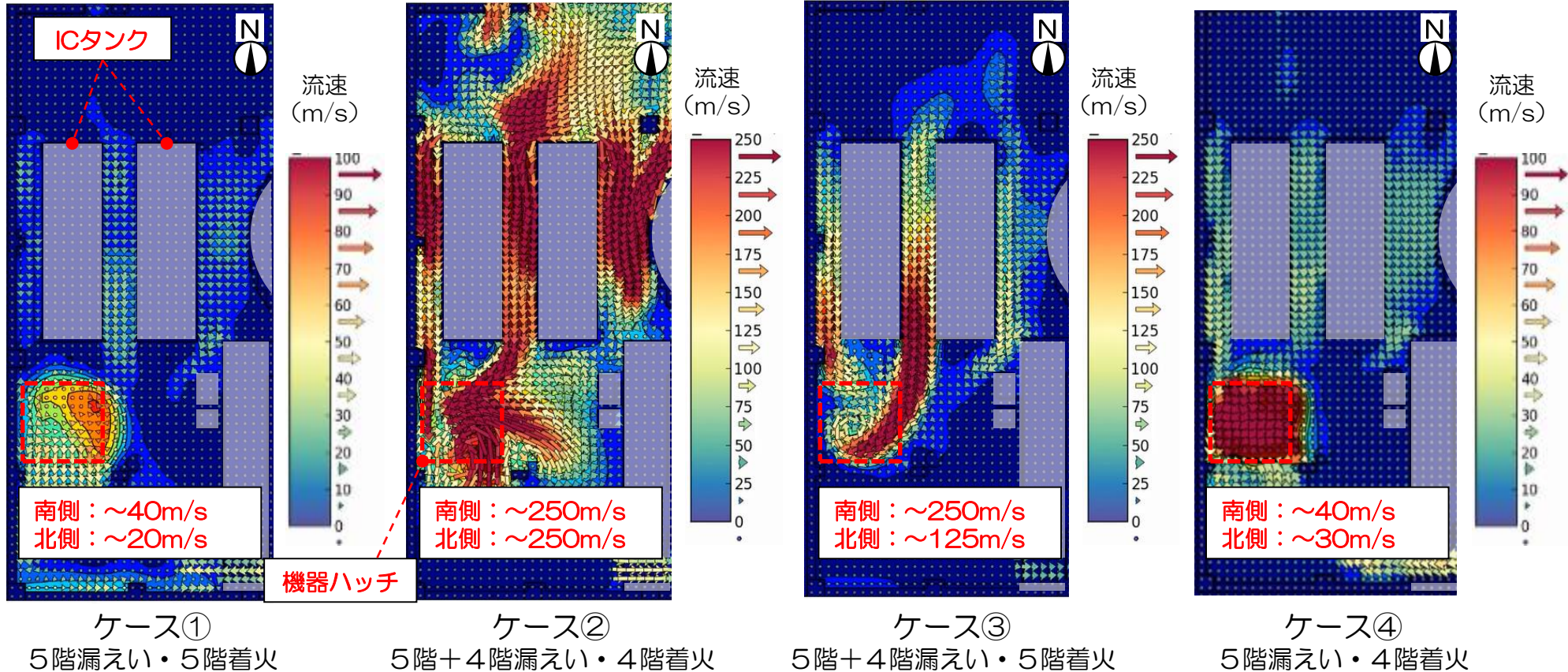
- プルボックス・ハンドレール周辺の流れについて（ケース②、ケース③）
 - 4階の高濃度の水素に着火した後、プルボックス位置に横向き強い爆風が衝突している。
 - 一方、プルボックスの損傷状況を見ると、横向き強い爆風を受けた形跡は見られない。



プルボックス位置における爆風の最大速度

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

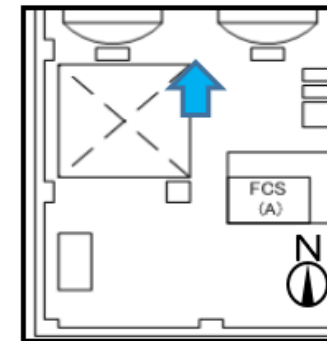
● ICタンク中央位置（水平断面）における爆風の最大速度



- ケース②、及び、ケース③：ICタンク南側、北側ともに、爆風の最大速度が125m/s～250m/s程度と非常に大きくなっている。
- ケース①、及び、ケース④：ICタンク南側の爆風によって保温材カバーが剥離するかは断定できないものの、ICタンク北側の爆風の速度は南側と比較して小さい。これは南側と北側の保温材カバーの損傷状況が異なっている状況と一致する。

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

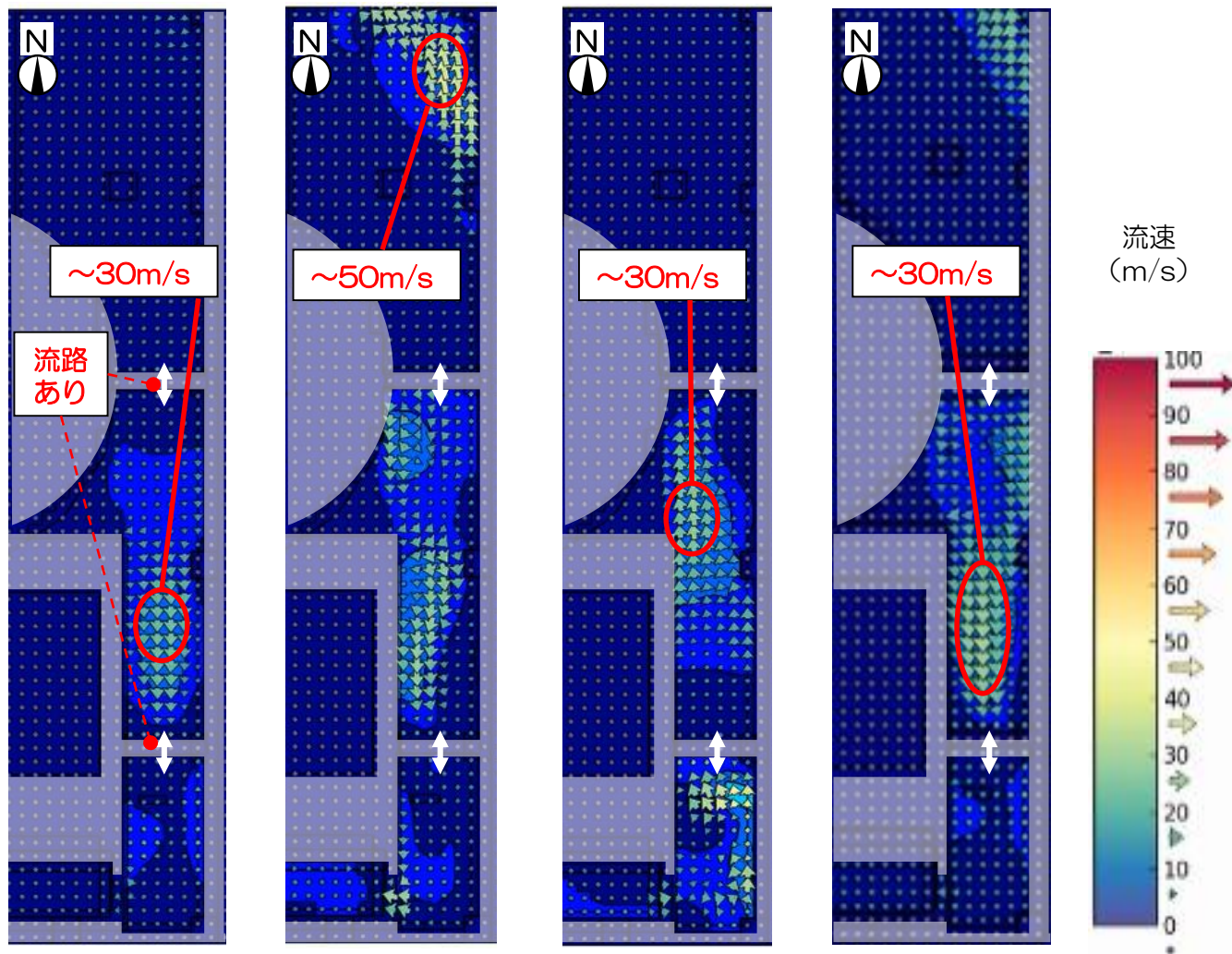
- ICタンクの保温材の剥がれについて
 - ICタンク南側に、保温材カバーや保温材がタンク近くに残留しているものがある。
 - 仮に、非常に強い爆風が生じた場合には、剥がれた保温材や保温材カバーは風圧によって相応の距離を移動すると考えられるが、現状はそうになっていないものがあることから、爆風の速度は比較的小さかった可能性がある。



4階平面図
(機器ハッチ周辺)

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

● 4階東側における爆風の最大速度



ケース①
5階漏えい
・5階着火

ケース②
5階+4階漏えい
・4階着火

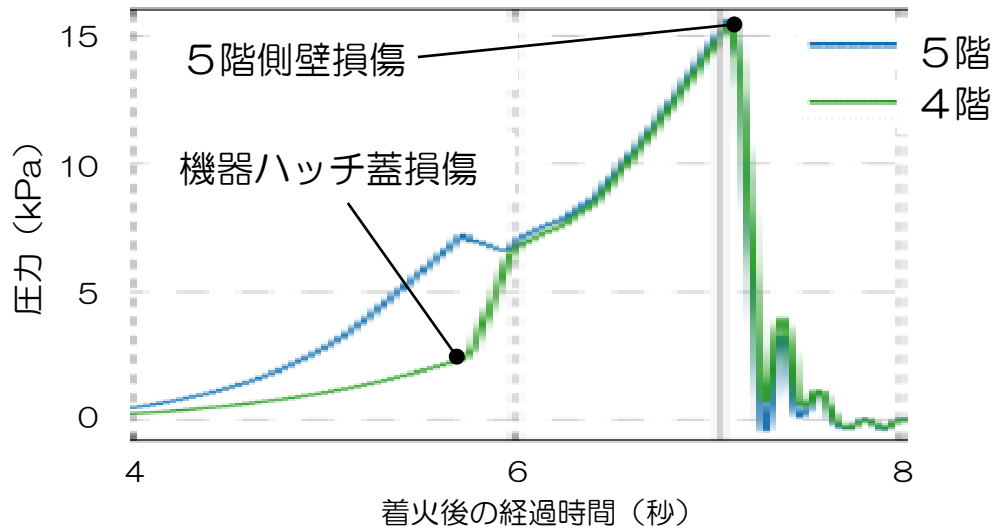
ケース③
5階+4階漏えい
・5階着火

ケース④
5階漏えい
・4階着火

- 4階東側では、流路となる開口部が比較的狭いため、西側と比較して発生する爆風の最大速度は小さくなる。
- ケース②において50m/s程度の爆風が発生しているものの、それ以外のケースでは概ね30m/s以下となっている。
- 爆風の速度が比較的小さかったため、東側の損傷が小さくなった可能性が考えられる。

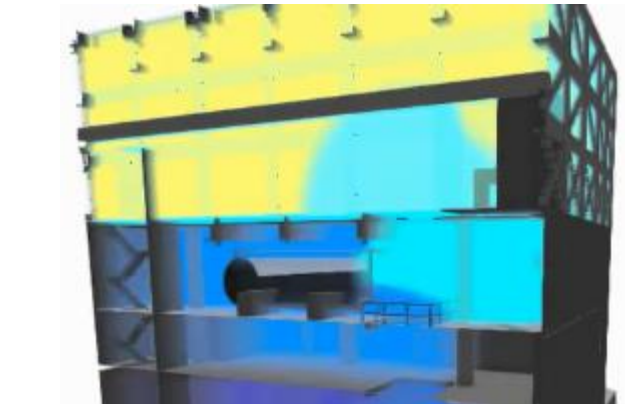
5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

● 圧力の変動について

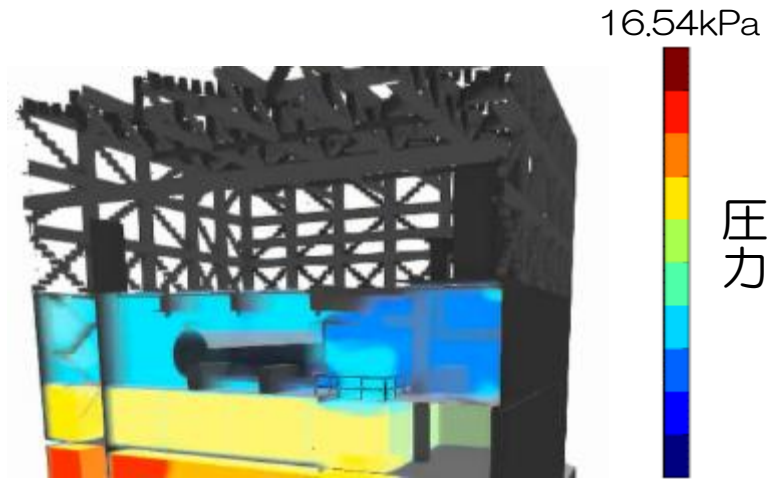


機器ハッチ近傍の圧力挙動
(ケース①：5階漏えい・5階着火)

- 5階の圧力上昇に伴い、4階の圧力も上昇する。
 - 特に、機器ハッチ蓋損傷時には、4階の圧力がほぼ機器ハッチ蓋損傷圧力の分だけ瞬時に上昇する。
- 5階側壁損傷時には、4階の圧力が高圧から瞬時に大気圧近傍まで低下する。
- これらの圧力変動により、機器ハッチ周辺の構造物が損傷した可能性がある。



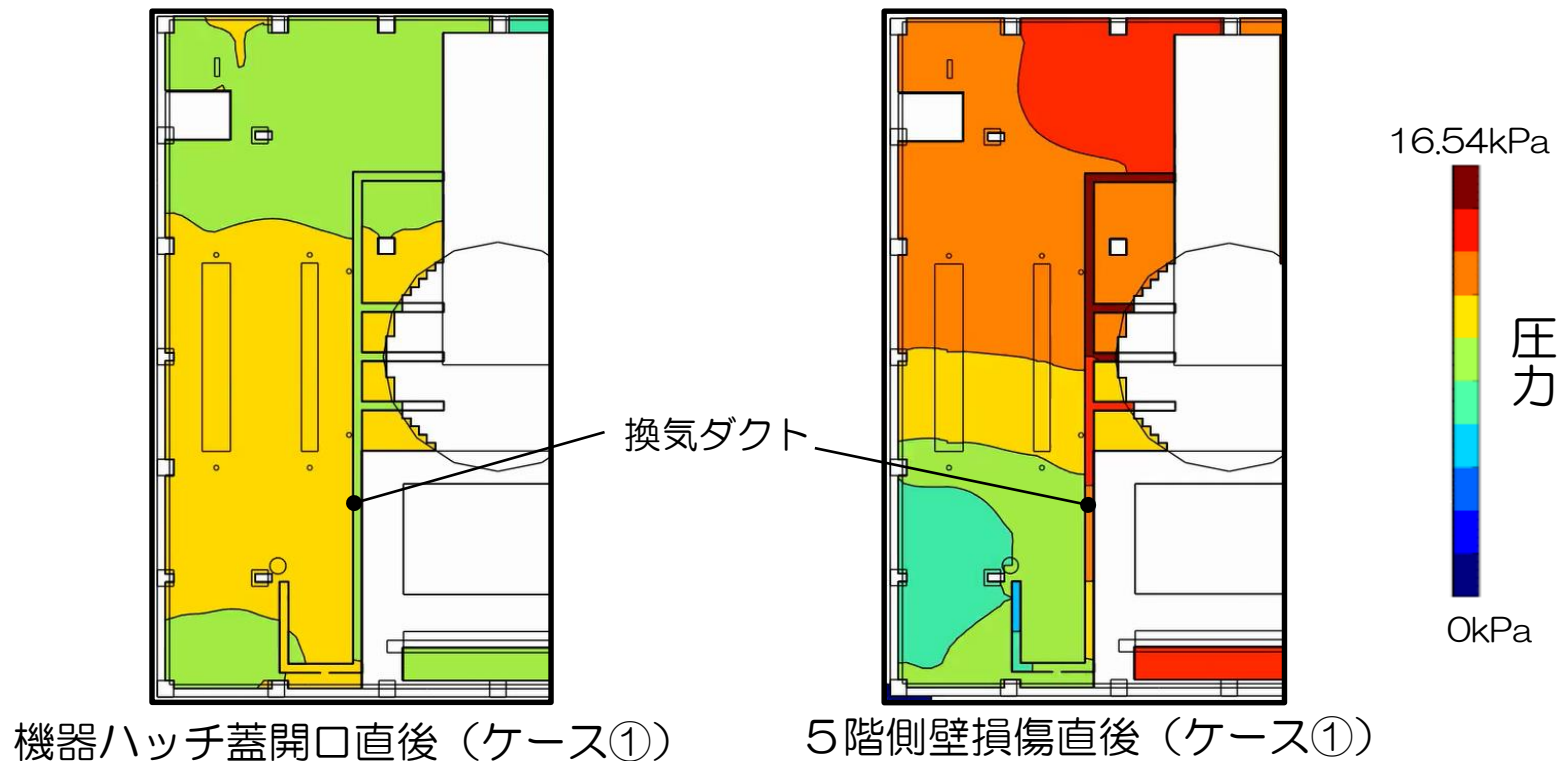
圧力分布 (機器ハッチ蓋損傷直後)



圧力分布 (5階側壁損傷直後)

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

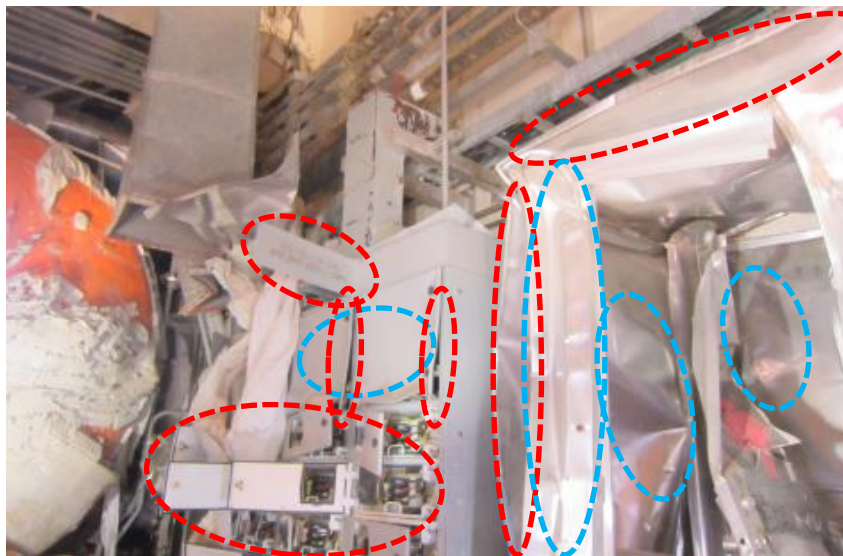
- 4階換気ダクト高さの圧力分布（水平断面）



- 爆発の進展の各時点において、換気ダクト内外で圧力差が発生している。
 - 建屋空間の圧力が急速に上昇、下降するタイミングで、ダクト内の圧力変化が追いつかず、空間よりも低く、あるいは高くなっている。
- 換気ダクト以外の中空の構造物においても、このような構造物内外の圧力差が生じうると考えられる。

5. 解析結果と損傷状況の比較 - 4階部分

- 換気ダクト、MCC、仮設トイレ等の損傷について



① MCC/仮設トイレの変形



② 換気ダクトの変形

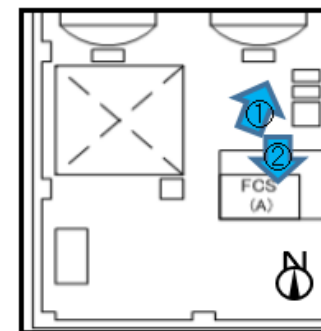


内側に変形している部分



外側に変形している部分

- 換気ダクト、MCC、仮設トイレについては、内側に変形している部分と外側に変形している部分が混在している。
- 建屋内圧力の上昇時と低下時の影響が混在し、このような損傷となっている可能性が考えられる。



4階平面図
(機器ハッチ周辺)

5. 解析結果と損傷状況の比較（再掲）

階層	損傷状況	解析結果との比較			
		ケース① 5階漏えい 5階着火	ケース② 5階+4階漏えい 4階着火	ケース③ 5階+4階漏えい 5階着火	ケース④ 5階漏えい 4階着火
5階	天井が落下し、瓦礫が散乱している	○	○	○	○
	側壁が吹き飛んでいる	○	○	○	○
	機器ハッチの蓋が開口している	○	○	○	○
	側壁損傷後の煙の流れ	○	△※1	△※1	○
4階	機器ハッチ周辺の損傷 (ICタンク南側の保温材の剥がれ、換気ダクト、MCC/仮設トイレ、ハンドレール、プルボックスの変形等)	○	△※2	△※2	○
	ICタンク北側の保温材カバーは健全	○	△※2	△※2	○
	北西部の天井が崩落	—	—	—	—
	東側の損傷は軽微	○	○	○	○
3階以下	機器ハッチ周辺以外の損傷は軽微	○	△※3	△※3	○

○：損傷状況と矛盾しない △：損傷状況との相違の説明が困難 —：解析対象外

- ※1 側壁損傷後に発生する爆風は、建屋周辺の煙の流れ（横向き⇒上向き）と一致していない。
- ※2 ICタンク周辺で非常に強い爆風が発生しており、保温材・保温材カバーがタンク周辺に残存している状況や、タンク北側の保温材カバーが健全である状況と整合しない可能性が示唆される。
- ※3 3階以下のフロアへの非常に強い爆風の流れ込みあり

6. まとめ

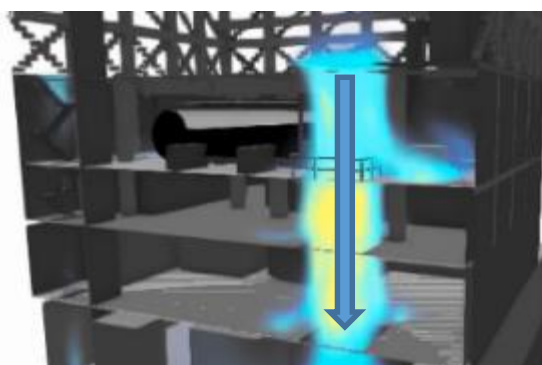
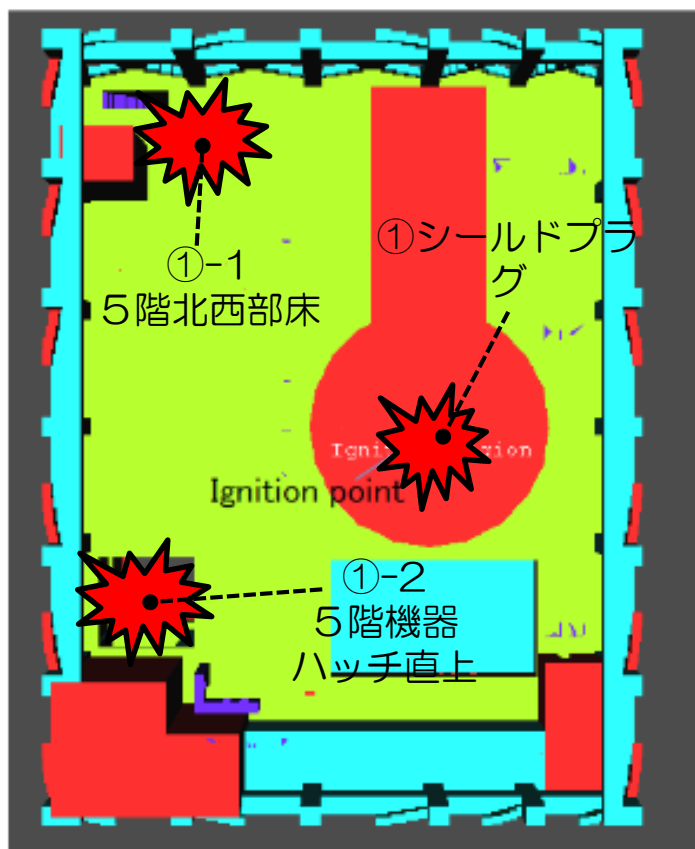
- 建屋内構造物の損傷状況の整理では、
 - 4階機器ハッチ周辺の構造物の損傷状況から、機器ハッチ周辺では下向きの爆風が発生したと推定された。
 - 3階以下の損傷が軽微であることから、3階以下のフロアへの爆風の流れ込みは小さかったものと推定された。
- 水素爆発解析では、
 - 水素漏えい箇所（5階のみ漏えい、あるいは5階と4階の同時漏えい）、着火箇所（5階、あるいは4階）等に関する網羅的な解析を行い、それぞれの状況における爆発の特徴を分類した。
 - その結果、4階IC配管からの漏えいの仮定の有無によって、爆発の規模が大きく異なることが分かった。
- 解析結果と損傷状況との比較では、
 - 4階IC配管からの漏えいを仮定しないケースでは、実際の構造物の損傷状況と矛盾しない結果が得られた。
 - 4階IC配管からの漏えいを仮定したケースでは、5階側壁損傷後の建屋外の煙の流れが実際と異なることや、4階で発生する爆風、及び、3階以下のフロアへの爆風の流れ込みが非常に大きくなったことから、損傷状況と整合しない可能性が示唆された。

添付資料 感度解析結果

感度解析結果

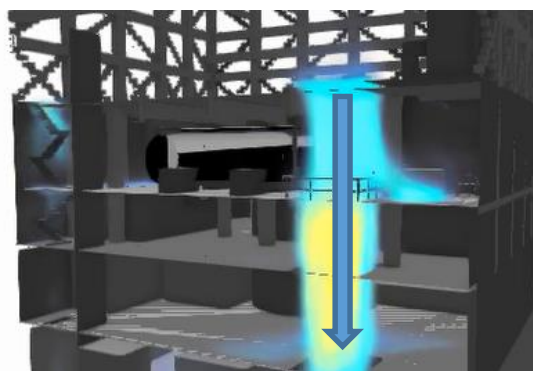
- ケース① 5階漏えい・5階着火 - 着火位置の影響

解析ケース	解析条件
ケース①	5階シールドプラグ位置で着火
感度ケース①-1	5階北西部床で着火
感度ケース①-2	5階機器ハッチ直上で着火

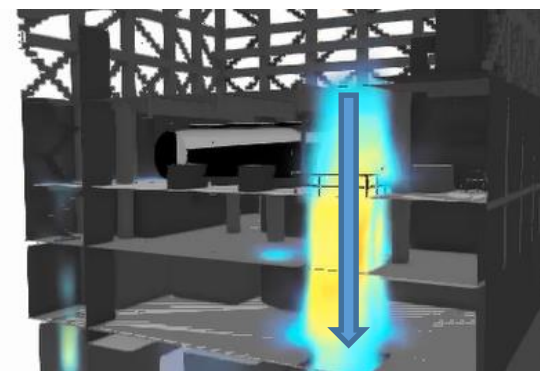


爆風 velocity 分布 (ケース①)

- 着火位置によらず、機器ハッチ損傷直後の4階への爆風の様相は類似



爆風 velocity 分布 (ケース①-1)

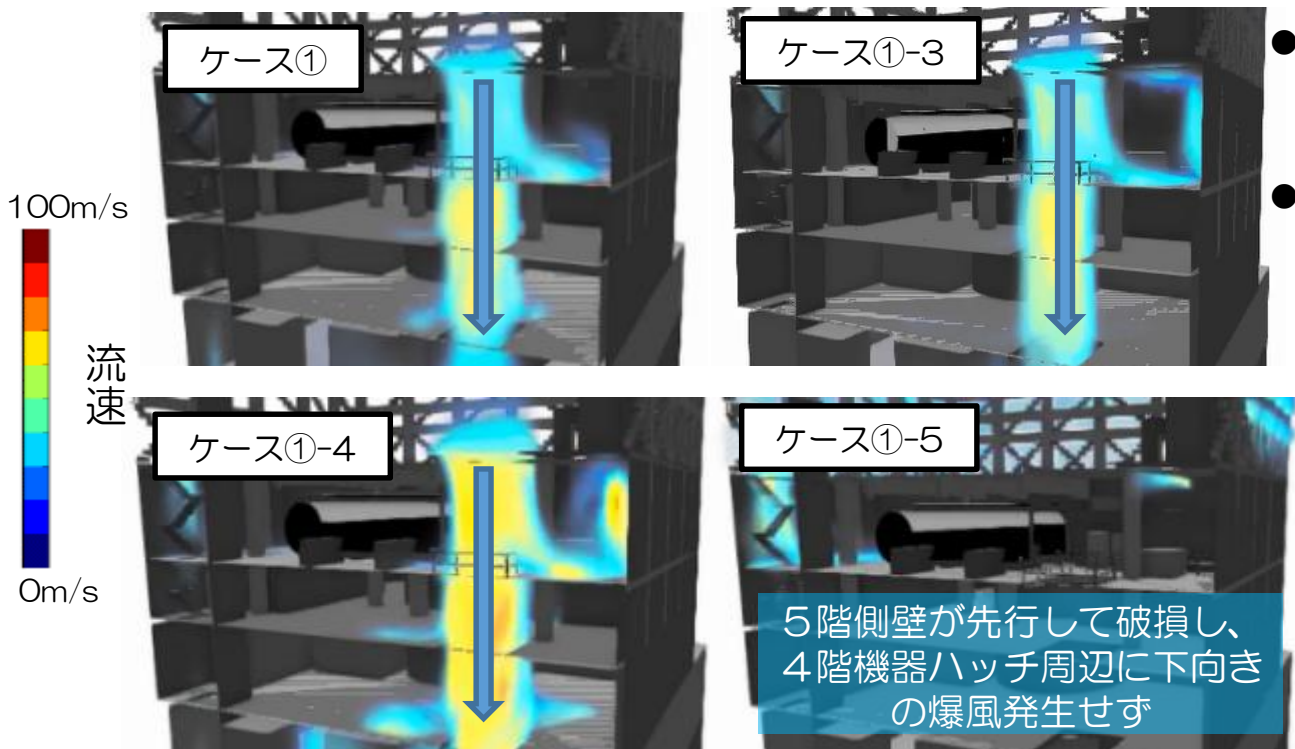


爆風 velocity 分布 (ケース①-2)

感度解析結果

- ケース① 5階漏えい・5階着火 - 機器ハッチ蓋開口条件の影響

解析ケース	機器ハッチ蓋が開口する5階と4階の圧力差
ケース①	4.8kPa (5階側壁の破損圧力の30%)
感度ケース①-3	1.6kPa (5階側壁の破損圧力の10%)
感度ケース①-4	8.0kPa (5階側壁の破損圧力の50%)
感度ケース①-5	12.8kPa (5階側壁の破損圧力の80%)



下向きの爆風の速度分布

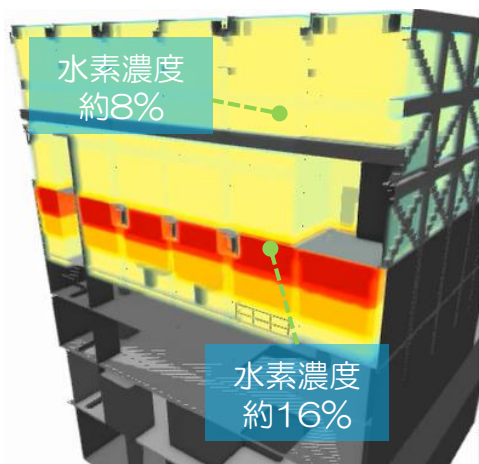
- ケース①、①-3、①-4では5階側壁破損までに機器ハッチが開口。開口条件によらず爆風の特徴は類似
- ケース①-5では5階側壁破損までに機器ハッチが開口せず、下向きの爆風が発生しない
 - 開口しないのは、5階とともに4階も徐々に圧力上昇するため、5階側壁破損までに圧力差が設定値に達しないため
 - ただし、設定した圧力差は機器ハッチ蓋の許容積載荷重※の約190倍に相当するため、開口しないことは考えにくい

※機器ハッチ蓋の床面中央の蝶番部（最弱部）に対する許容値（200kg）。

感度解析結果

- ケース② 5階+4階漏えい・4階着火 - 初期水素濃度分布の影響

解析ケース	解析条件
ケース②	ケース①+20kgの水素が4階天井付近に分布
感度ケース②-1	40kgの水素が4階西側全体に分布（天井から床にかけて徐々に薄くなる分布を仮定※）



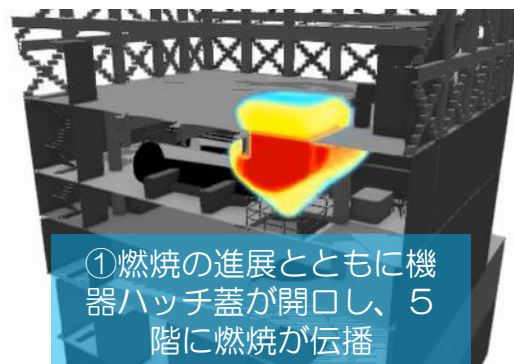
15.9%

水素濃度

0m/s

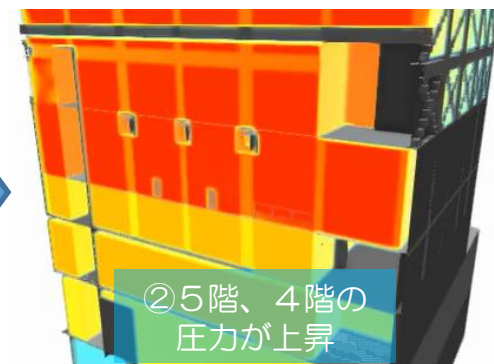
着火時の水素分布（ケース②-1）

※5階漏えい・4階着火ケース（ケース④）と同程度に水素が拡散した状態を仮定。仮に4階で漏えいがあった場合、4階の天井の構造から、水素の対流が起こりにくく、天井付近により高濃度の水素が分布しやすい（ケース②の分布に近づく）と考えられる。



① 燃烧の進展とともに機器ハッチ蓋が開口し、5階に燃烧が伝播

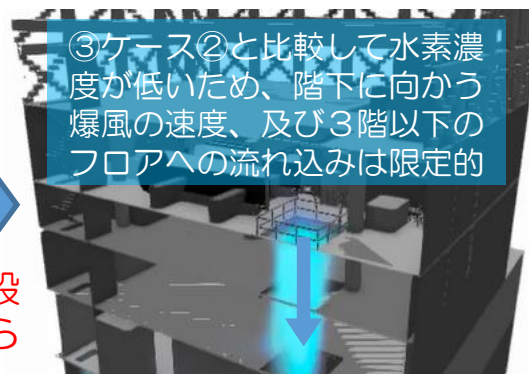
温度 (20~1227℃)



② 5階、4階の圧力が上昇

圧力 (0~20kPa)

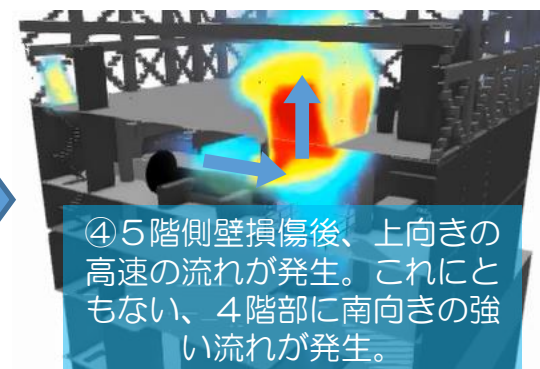
下段へ



③ ケース②と比較して水素濃度が低いため、階下に向かう爆風の速度、及び3階以下のフロアへの流れ込みは限定的

流速 (0~200m)

上段から



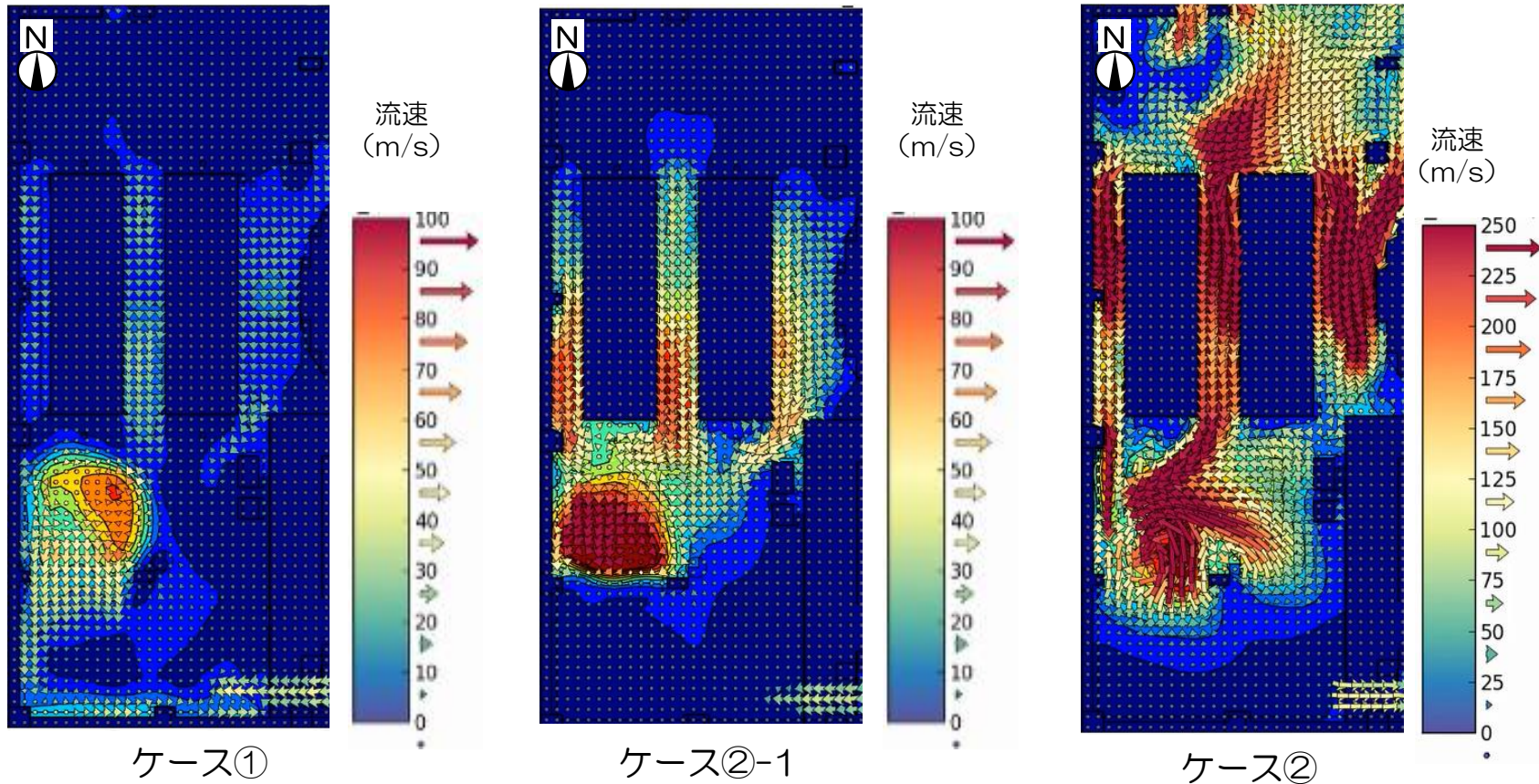
④ 5階側壁損傷後、上向き的高速の流れが発生。これとともに、4階部に南向きの強い流れが発生。

流速 (0~200m)

感度解析結果

- ケース② 5階+4階漏えい・4階着火 - 初期水素濃度分布の影響

- 4階ICタンク周辺の爆風の最大速度

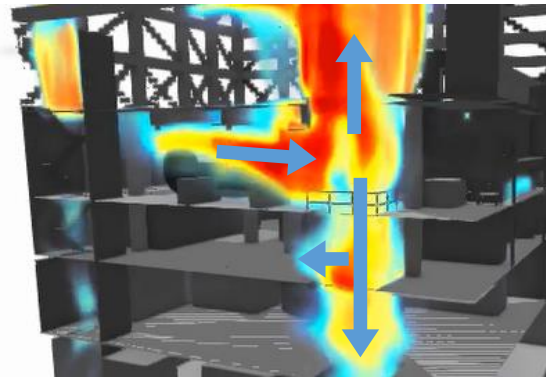
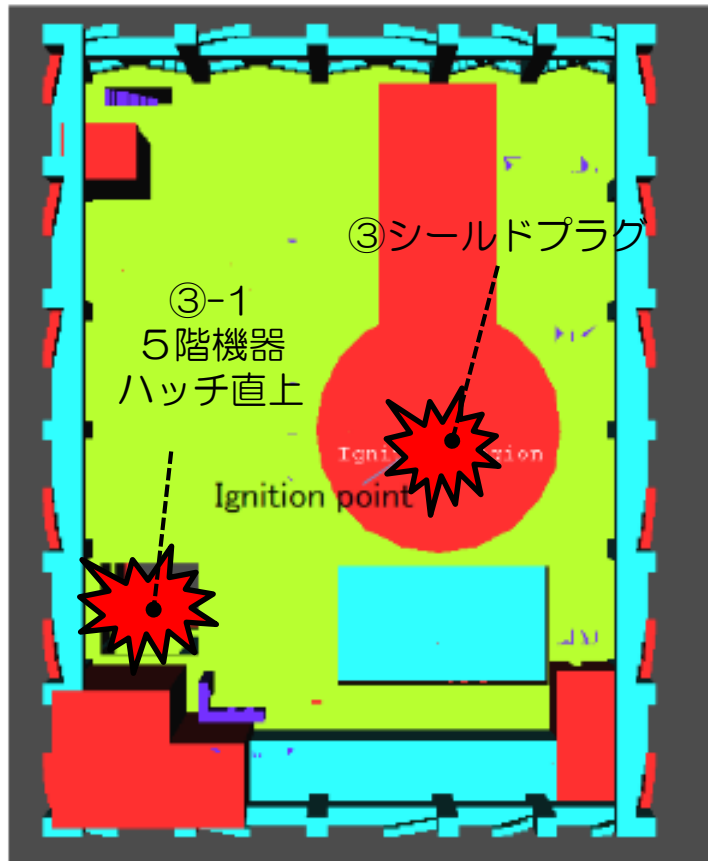


- ケース②-1では、ケース①に比べて4階の圧力が比較的高いため、5階側壁損傷時のICタンク周辺の爆風の最大速度が100m/s程度と大きくなっている。
- ケース②-1 は水素分布の相違による傾向を見るため、仮想的に均一に近い水素濃度分布を設定したものであるため、4階で漏えいがある場合には、これよりも局所的な水素分布が高くなるため、爆風の速度はより大きくなると考えられる。

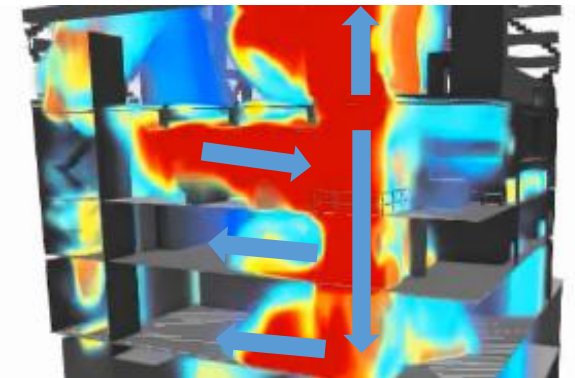
感度解析結果

- ケース③ 5階＋4階漏えい・5階着火 - 着火位置の影響

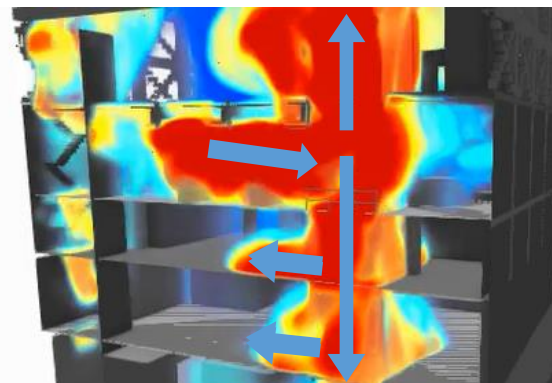
解析ケース	解析条件
ケース③	5階シールドプラグ位置で着火
感度ケース③-1	5階機器ハッチ直上で着火



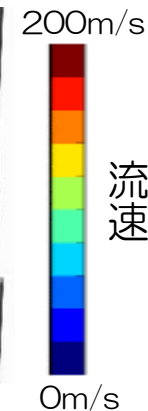
爆風 velocity 分布 (ケース③)



爆風 velocity 分布 (ケース③-1)



爆風 velocity 分布 (ケース②)



- ケース③と比較して、4階の高濃度の水素に着火するタイミングが早くなり、爆発の規模が大きくなる（ケース②と類似の結果となる）。