川内原発1・2号機の
水蒸気爆発対策の不備

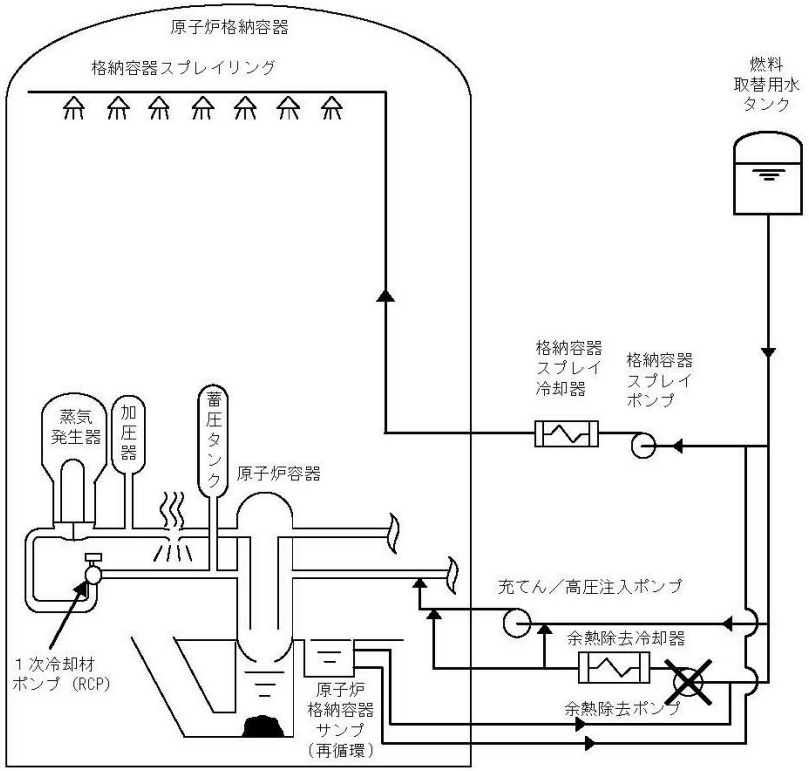
2017．11．26

元燃焼炉設計技術者　中西正之

薩摩川内学習講演会

内部資料

１．「大破断ＬＯＣＡ＋低圧注入失敗」の有効性評価での取扱い（２／３）



大破断ＬＯＣＡ（大破断ＬＯＣＡ＋低圧注入失敗）

⇩

20分未満で炉心損傷発生

⇩

約1.5時間で原子炉容器破損

事象進展の極めて早い事象であり、炉心損傷を防止する対策の実施が困難

⇩

格納容器スプレイにより格納容器破損を防止

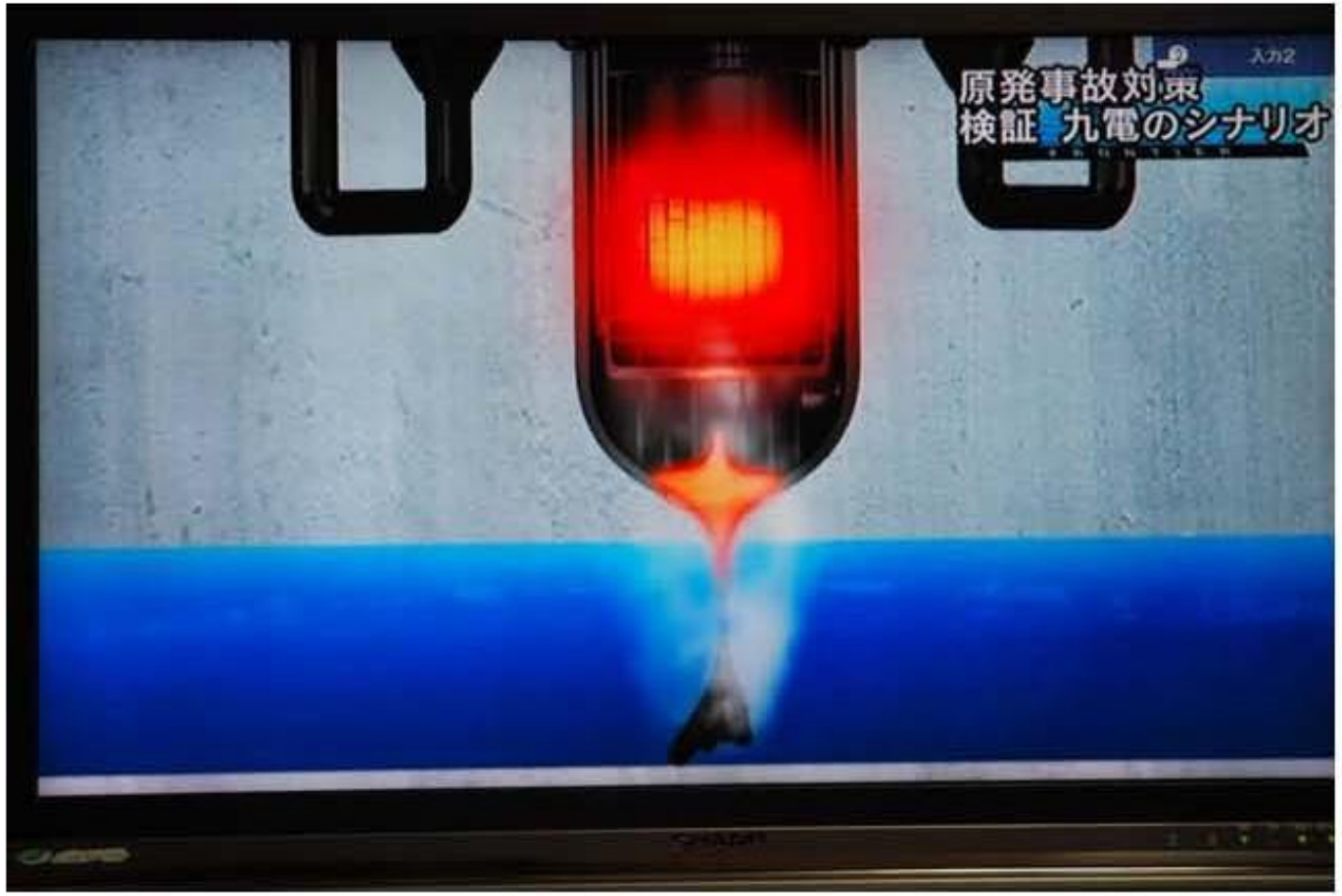
平成25年8月15日第10回適合性審査会配布資料(川内原発)
一次冷却水配管破断や加圧器逃がし弁固着時、緊急冷却水を原子炉に入れず、核燃料は溶かしてしまい、格納容器キャビティに大量貯水する。このような国際的知見に反する対策が行われている事に全く気が付かなかった。

NHKが九州電力の過酷事故対策の問題を映像化

資料６　ＮＨＫ「特報フロンティア」資料

九電：この配管が地震で破断すると、冷却水噴出防止の手段が何も無いので

NHK福岡放送局制作　2013年9月20日放映



九電：緊急に原子炉格納容器に大量の水を溜めて、溶融核燃料を冷却します。

NHK福岡放送局制作　2013年9月20日放映

NHK福岡放送局制作　2013年10月8日放映

3-7　重大事故時等の対策の有効性

新たな設備や対策により、放射性物質の放出量は新規制基準の制限値を大幅に下回ることが原子力規制委員会によって確認されました

- 新たに設置した設備や対策により、最も厳しい重大事故（炉心溶融が早く、格納容器内の圧力が高く推移するケース）※1が発生した場合でも格納容器は破損せず、放射性物質（セシウム137）の放出量は、７日間で１基あたり5.6テラベクレル（TBq）※2になることを評価し、原子力規制委員会によって確認されました
- この放出量は、新規制基準の制限値100テラベクレルの約18分の1の水準です

※1 全ての交流電源がなくなるとともに、原子炉の冷却水が配管の破断により大量に漏れ出る事故事象
※2 1テラベクレル＝1兆ベクレル、ベクレルの解説についてはP23参照

〔放射性物質の放出量の低減〕

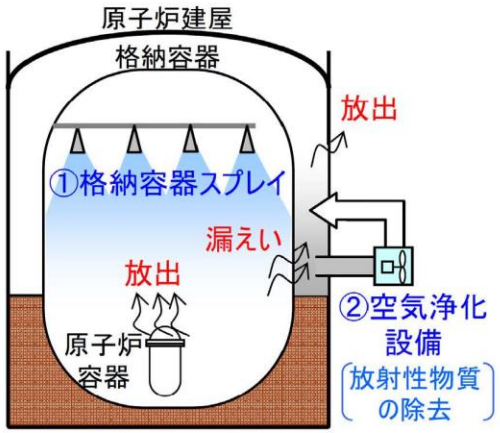
燃料の損傷、原子炉容器の破損により、格納容器内に放射性物質が放出

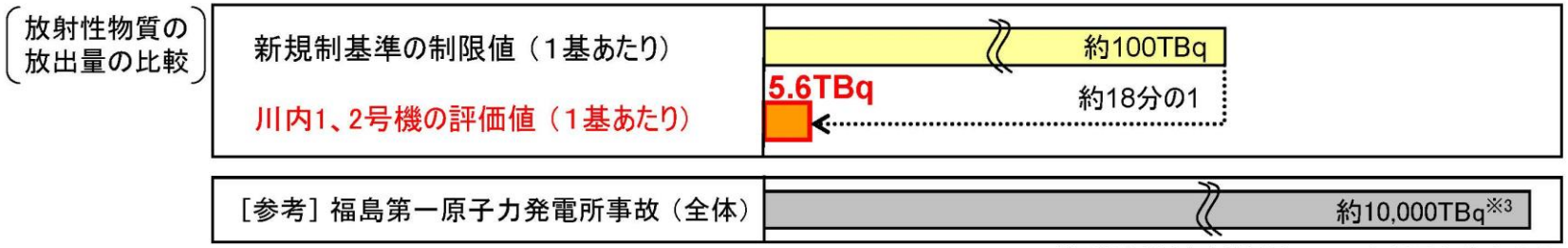
対策①　格納容器スプレイ等による格納容器内の空気中の放射性物質の低減

格納容器は破損しないが、格納容器外に一部の放射性物質が漏えい

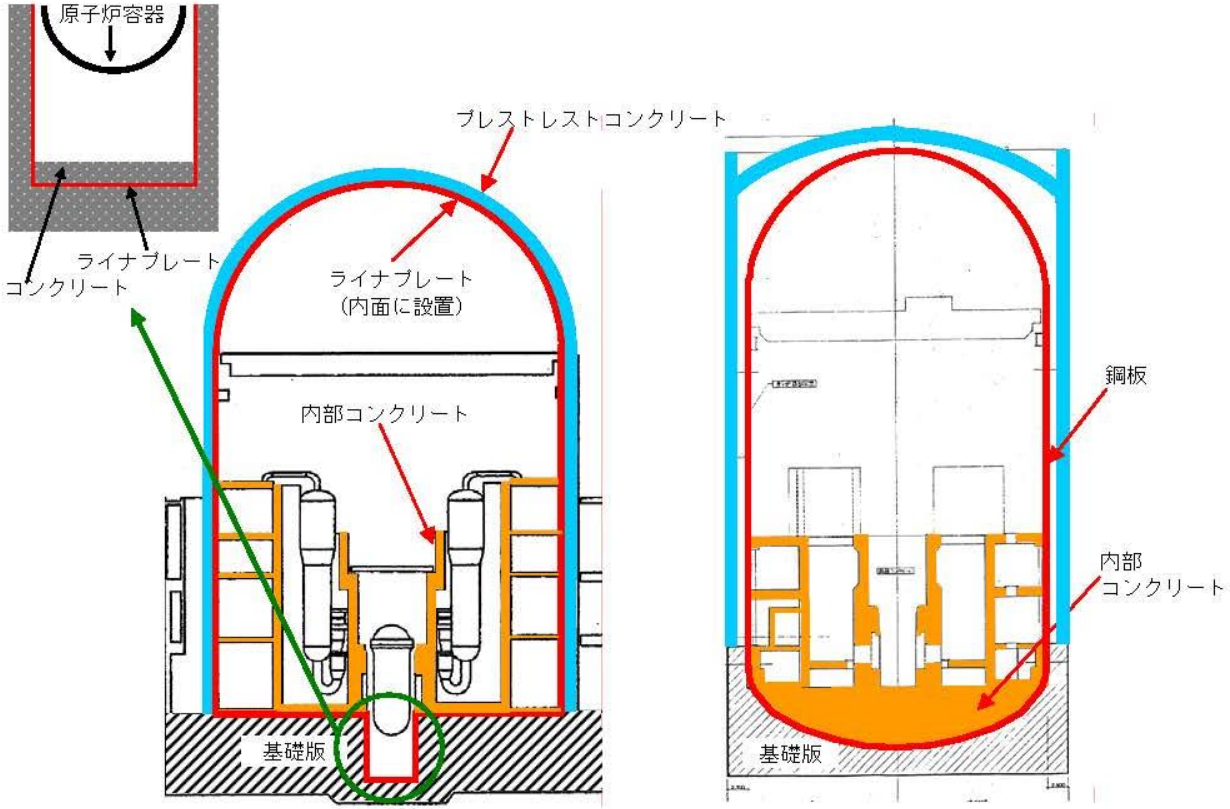
対策②　格納容器から漏れ出た放射性物質を空気浄化設備で低減

一部の放射性物質が外部に放出（７日間で5.6テラベクレル／１基）





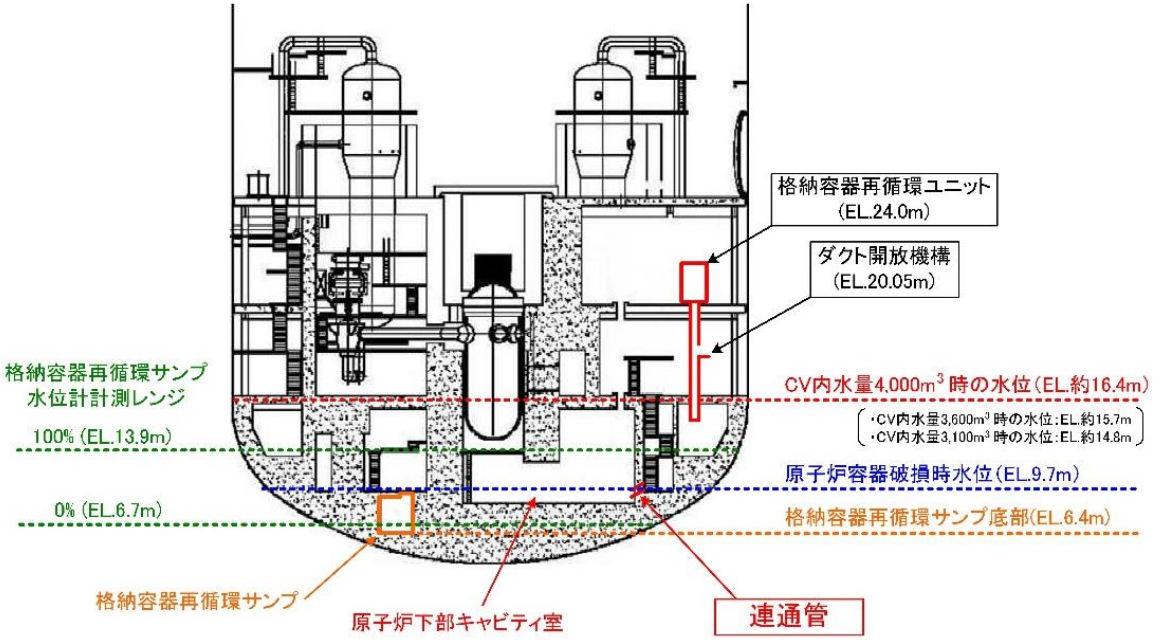
※3 東京電力による評価

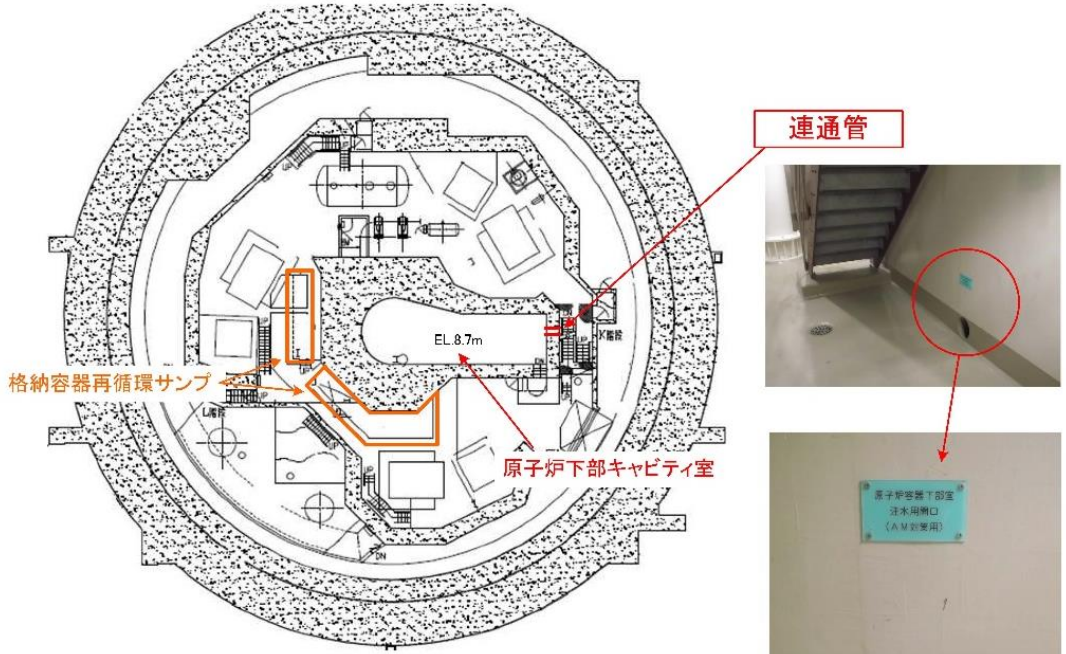


プレストレストコンクリート製格納容器（PCCV）　鋼製格納容器（SCV）

機能	PCCV	SCV
耐圧機能	プレストレストコンクリート 基礎版	鋼板
漏えい防止機能	ライナプレート	鋼板
支持機能	基礎版 内部コンクリート	基礎版 内部コンクリート

左図は玄海原発3、4号機の構造図、右図は川内原発1、2号機の構造図
沸騰水型原発は格納容器容積は小さいが、キャビティ（原子炉下部空洞）容積は大きい。加圧水型原発は格納容器容積は大きいが、キャビティ容積は小さい。海外では、加圧水型原発が水蒸気爆発に特に弱いと考えられている。





出典　平成25年11月21日第50回適合性審査　資料3-2-2　伊方原発3号機キャビティ構造図
川内原発1、2号機と伊方原発3号機とは同じ設計なので、キャビティの構造も同じと思われる。

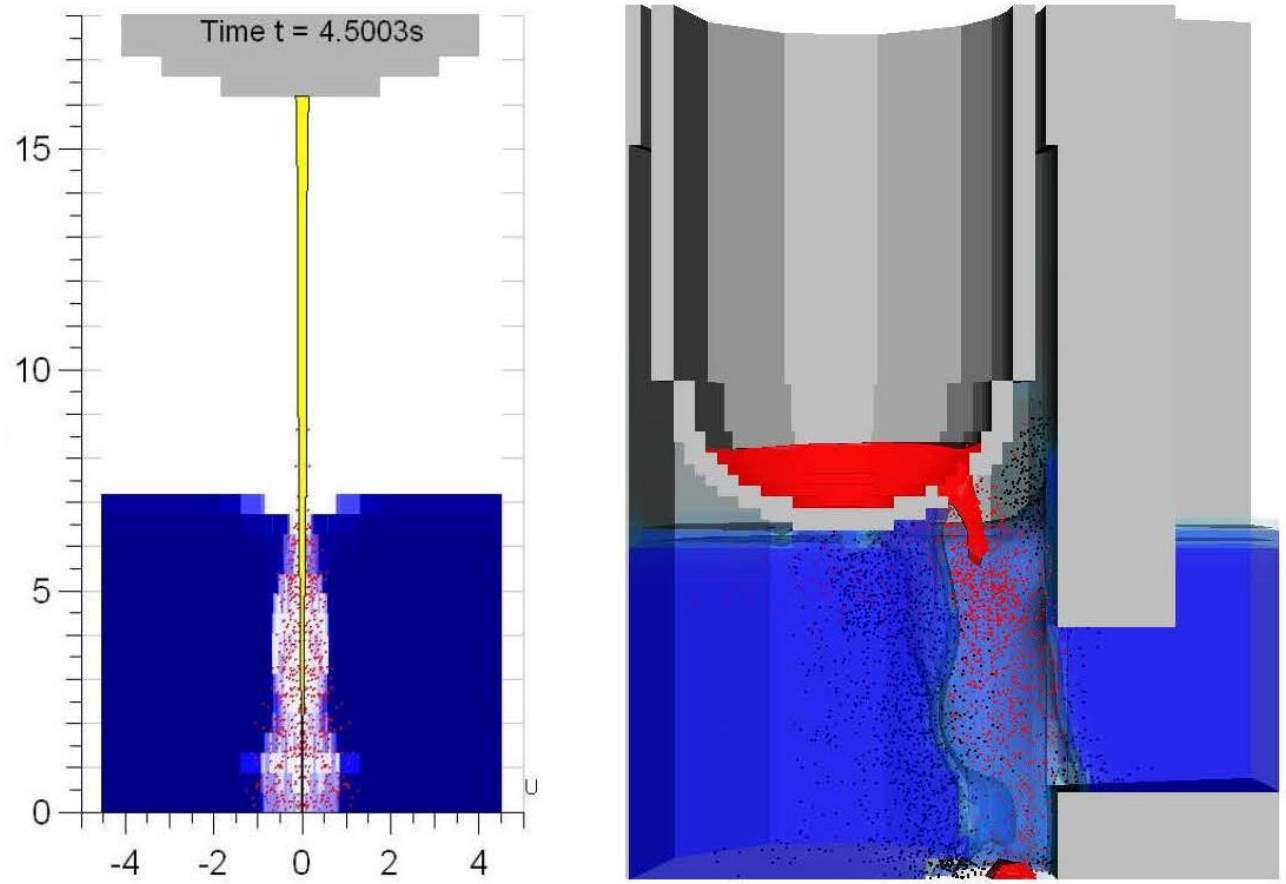


Figure 12: Premixing conditions for BWR axial release and PWR side release calculated with JEMI and MC3D

出典　**Status of the OECD-SERENA Project for the Resolution of Ex-vessel SteamExplosion Risks**

水蒸気爆発とは何か

高速度カメラでの撮影結果より、原発の水蒸気爆発は、水中で溶融デブリが小豆粒状に分散し、廻りを安定した水蒸気膜で取り囲まれ、溶融状態を維持しているが、トリガーにより水蒸気膜が破れると、急激な水蒸気の発生が起こり衝撃波を発生し、廻りの水蒸気膜を破る連鎖反応が発生し、溶融粒状デブリが爆発する現象と考えられている

衝撃を伴う水蒸気爆発

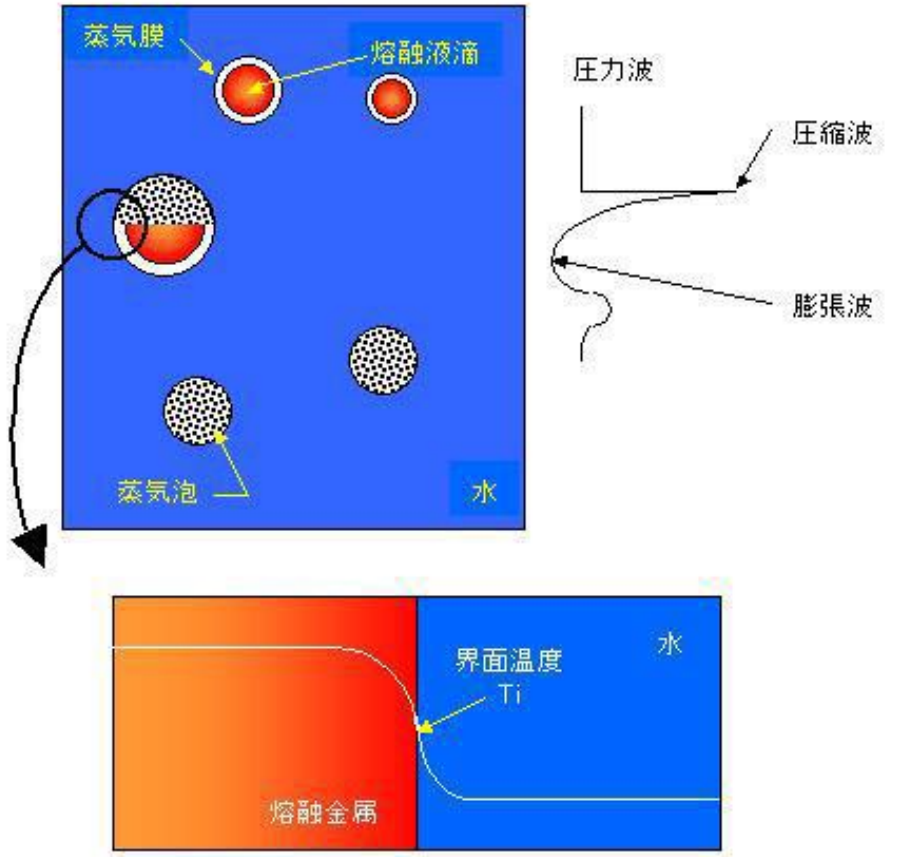
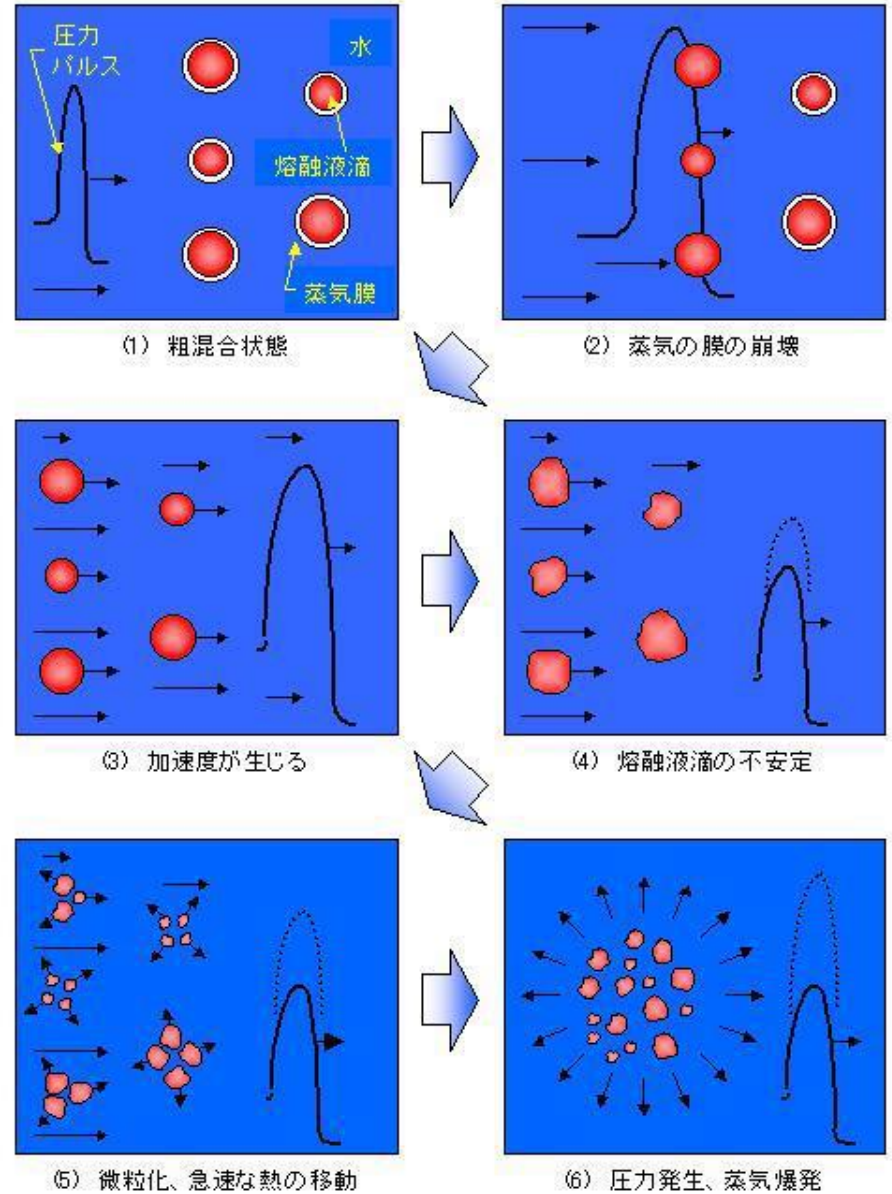


図4　自発核生成モデルの概念図

出典筑波大学水蒸気無爆発の研究より



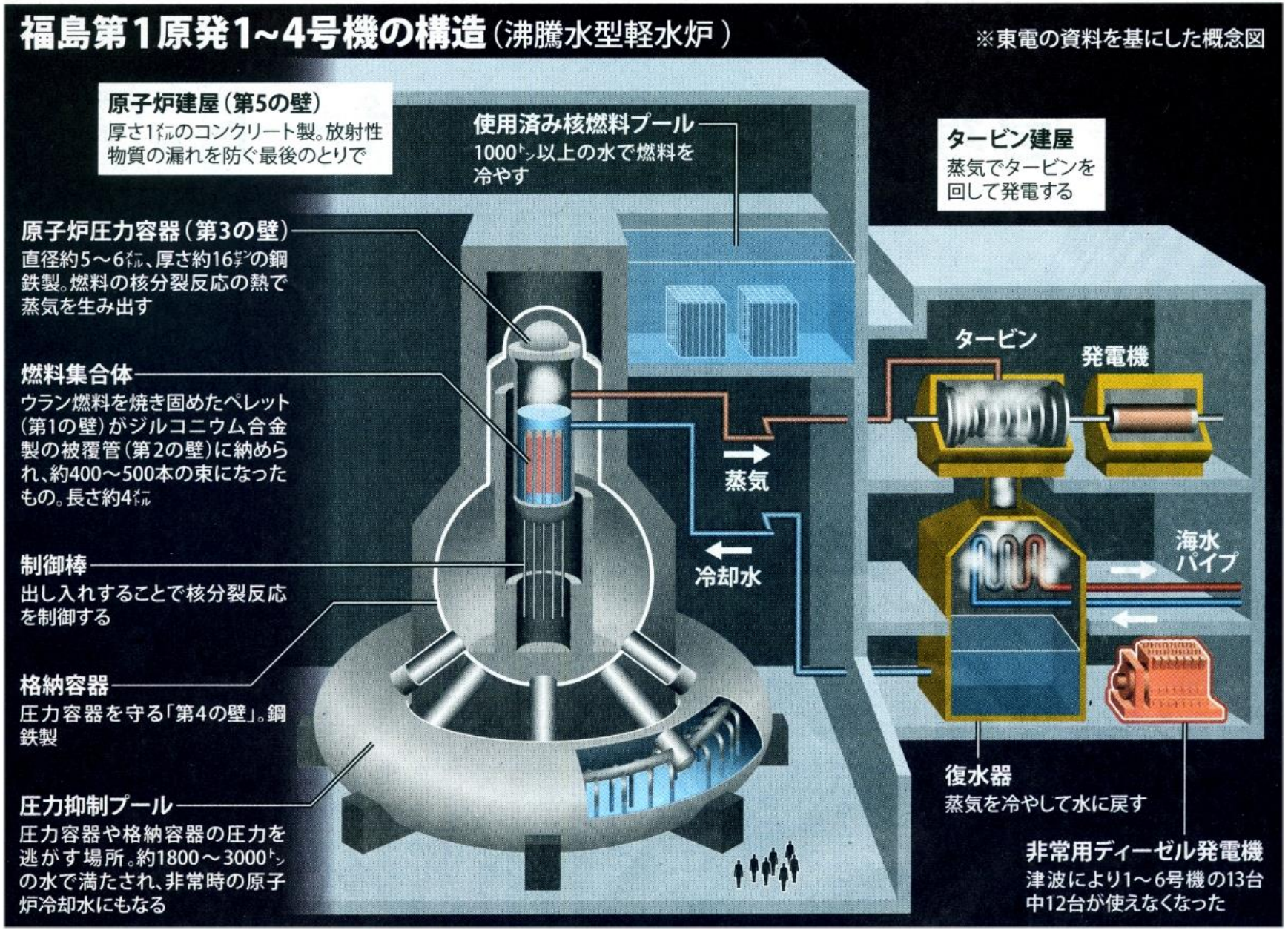
こんなに速く進む原発の過酷事故

再稼働審査中の原発名	メルトダウン開始（炉心溶融開始）	格納容器からの放射能漏えい開始（原子炉容器破損）
北海道電力・泊原発3号機	約19分	約1.5時間
関西電力・高浜原発3号機、4号機	約19分	約1.5時間
関西電力・大飯原発3号機、4号機	約21分	約1.4時間
四国電力・伊方原発3号機	約19分	約1.5時間
九州電力・玄海原発3号機、4号機	約22分	約1.4時間
九州電力川内原発1号機、2号機	約19分	約1.5時間

各電力会社の解析結果を基に作成
解析条件は「大口径配管破断による原子炉冷却材喪失+非常用炉心冷却失敗+格納容器スプレイ注入失敗」

出典:原子力規制委員会「原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合」資料（重大事故等対策有効性評価　成立性確認）を基に作成

井野博満氏、滝谷紘一氏が住民が避難する時間が無い問題を公表



福島原発はどうして水蒸気爆発が起きなかったか？

福島第一原発のマークⅠ型原発は圧力制御プールが原子炉の炉下には無く、メルトダウンが起きても大規模な水蒸気爆発は免れた。

福島第一原発で大規模な水蒸気爆発が起きなかったからと言って、水蒸気爆発対策を怠ると、福島第一原発以上の大事故が起きる可能性が発生する。

しかし、新規制基準には水蒸気爆発対策の条文が無い。

資料１－２－７
重大事故等対策の有効性評価に係る
シビアアクシデント解析コードについて
（第３部 ＭＡＡＰ）
添付２ 溶融炉心と冷却水の相互作用について

第 58 回審査会合（平成25 年12 月17 日）
関西電力、九州電力、
四国電力、北海道電力

表 3.1-2　KROTOS 実験条件及び結果一覧

実験 ID	溶融物タイプ	UO_2 割合	溶融物質量 kg	溶融物温度 K	圧力 MPa	水深 m	サブクール度 K	外部トリガ	水蒸気爆発	機械的エネルギへの変換効率
26	Al_2O_3	0	1.00	2573	0.1	1.08	40	●	●	0.53 %
27	Al_2O_3	0	1.43	2573	0.1	1.08	10	–	–	–
28	Al_2O_3	0	1.43	2573	0.1	1.08	13	●	●	0.85 %
29	Al_2O_3	0	1.45	2573	0.1	1.08	80	–	●	0.72 %
30	Al_2O_3	0	1.52	2573	0.1	1.08	80	–	●	1.1 %
38	Al_2O_3	0	1.53	2665	0.10	1.11	79	–	●	1.45 %
40	Al_2O_3	0	1.47	3073	0.10	1.11	83	–	●	0.9 %
41	Al_2O_3	0	1.43	3073	0.10	1.11	5	–	–	–
42	Al_2O_3	0	1.54	2465	0.10	1.11	80	–	●	1.9 %
43	Al_2O_3	0	1.50	2625	0.21	1.11	100	–	●	1.3 %
44	Al_2O_3	0	1.50	2673	0.10	1.11	10	●	●	2.6 %
49	Al_2O_3	0	1.74	2415	0.37	1.11	120	–	●	2.2 %
50	Al_2O_3	0	1.57	2200	0.10	1.11	13	–	–	–
51	Al_2O_3	0	1.80	2475	0.10	1.11	5	–	–	–
32	81%UO_2+19%ZrO_2	0.81	3.03	3063	0.10	1.08	22	–	–	–
33	81%UO_2+19%ZrO_2	0.81	3.20	3063	0.10	1.08	75	–	–	–
35	79%UO_2+21%ZrO_2	0.79	3.10	3023	0.10	1.08	10	●	–	–
36	79%UO_2+21%ZrO_2	0.79	3.03	3025	0.10	1.08	79	●	–	–
37	79%UO_2+21%ZrO_2	0.79	3.22	3018	0.10	1.1	77	●	–	–
45	80%UO_2+20%ZrO_2	0.8	3.09	3105	0.10	1.14	4	●	–	–
46	79%UO_2+21%ZrO_2	0.79	5.05	3088	0.10	1.1	83	●	●	0.04 %
47	80%UO_2+20%ZrO_2	0.8	5.15	3023	0.10	1.1	82	●	–	0.01 %
52	80%UO_2+20%ZrO_2	0.8	2.62	3023	0.20	1.1	102	●	●	0.02 %
53	80%UO_2+20%ZrO_2	0.8	2.62	3023	0.36	1.1	123	●	●	0.05 %

『ここでは、FCI[注1] 実験のうち、UO2を用いたFARO実験、KROTOS実験及びCOTELS実験の結果から、水蒸気爆発に至る可能性について考察する。
3つの実験のうち、水蒸気爆発が観測されたのは　KROTOS 実験のみで、水プール底から圧縮ガスを供給し膜沸騰を強制的に不安定化（外部トリガリング）を行った場合に水蒸気爆発が観測されているが、外部トリガリングを行ったケースでも、水蒸気爆発が観測されないケースもあった。
原子炉容器外 FCI についても、実験より、デブリ粒子を覆う蒸気膜は安定性があり、外部トリガリングなどの外的な要因がなければ、蒸気膜の崩壊は起こりにくいと言え、実機においては、キャビティ水は準静的であることから、外部トリガリングとなり得る要素は考えにくいため、大規模な水蒸気爆発に至る可能性は極めて小さいと考えられる。』と説明されています。
[注1]溶融炉心と冷却材相互作用（水蒸気爆発と圧力スパイク）

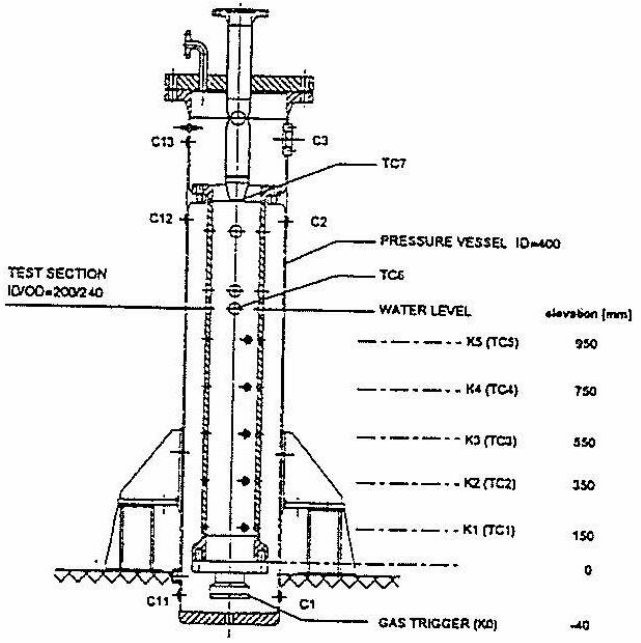


図 3.1-3　KROTOS 実験装置

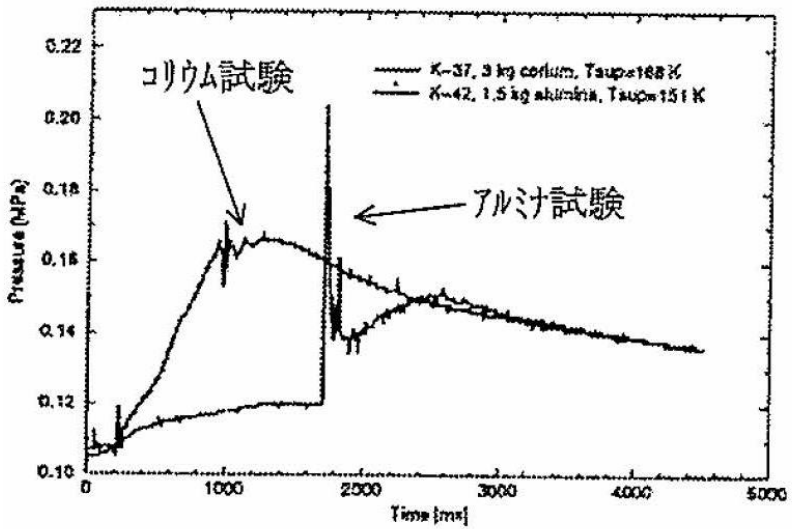
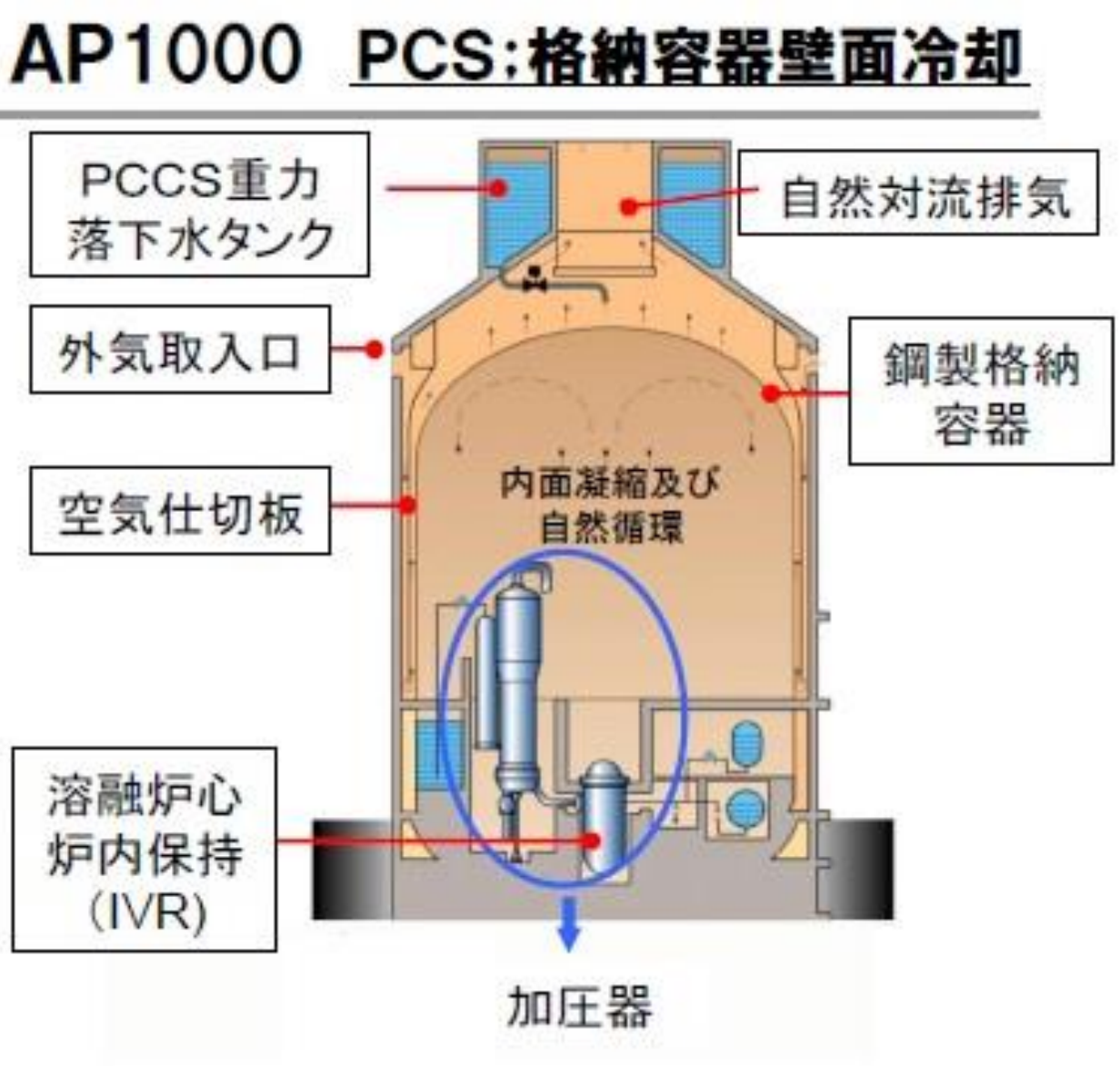


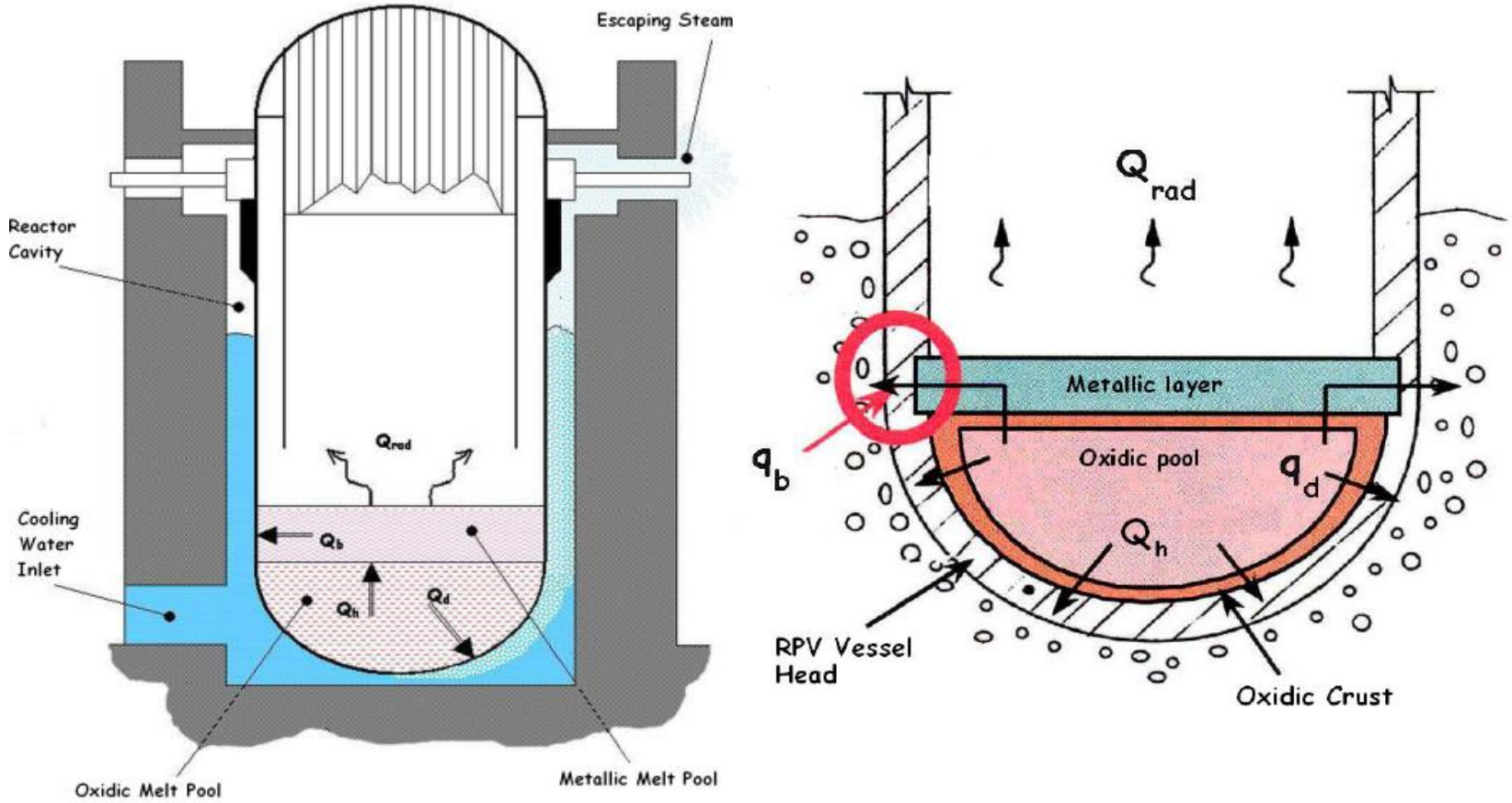
図 3.1-4　KROTOS 実験代表的圧力変化（ケース 37 及び 42）

関西電力、九州電力、四国電力、北海道電力の4電力会社は格納容器が水蒸気爆発によって損傷するか如何かを検討したとして、格納容器に掛かる圧力のデーターとして、実験装置の圧力容器の気相の爆発圧力のデーターのみを掲示した。しかし、後で分かってきたが、OECDのSERENAプロジェクトは水蒸気爆発によって直接損傷するは、格納容器では無くて、キャビティ（原子炉下部空洞）とし、水槽中の水蒸気爆発による水圧のデーターを重視してきた。しかし、今日でも加圧水型原発を所有する電力会社は水圧のデーターを隠蔽し続けている。
また、自発的な水蒸気爆発が起きたTROI実験を隠し続けている。



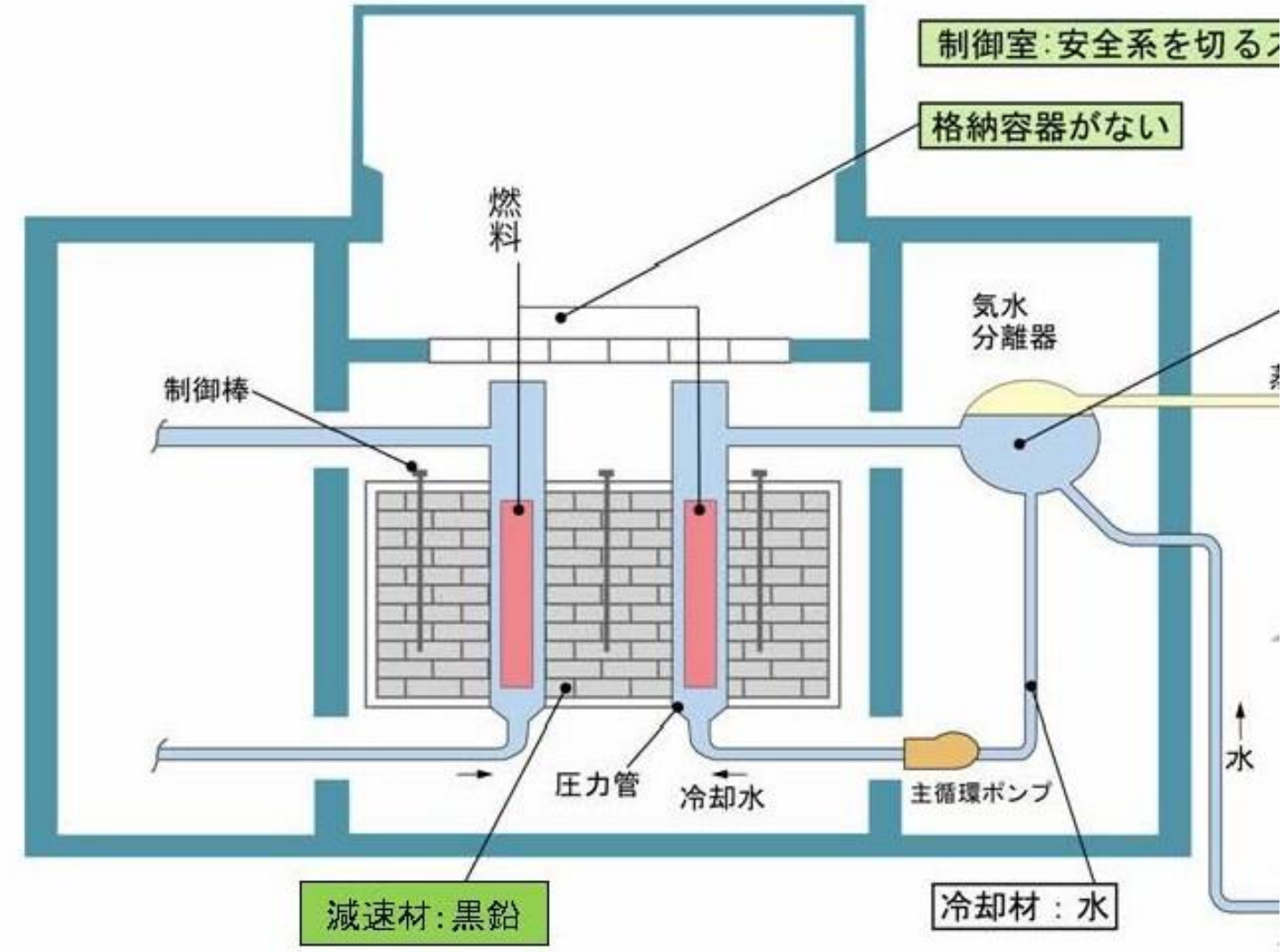
海外のメルトダウン対策1

初めは、スリーマイル島でのシビアアクシデントにおいて、原子炉圧力容器の健全性が維持されたので、溶融炉心の原子炉容器内保持(IVR)の可能性が研究された。東芝社の大赤字の原因と言われているアメリカのウエスチングハウス社が開発したAP1000の原子炉で圧力容器内コリウムの保持(IVR)が行われた。しかし、圧力容器破断の可能性が有り、信頼性に欠けており失敗作だったと思われる。(筆者注釈)

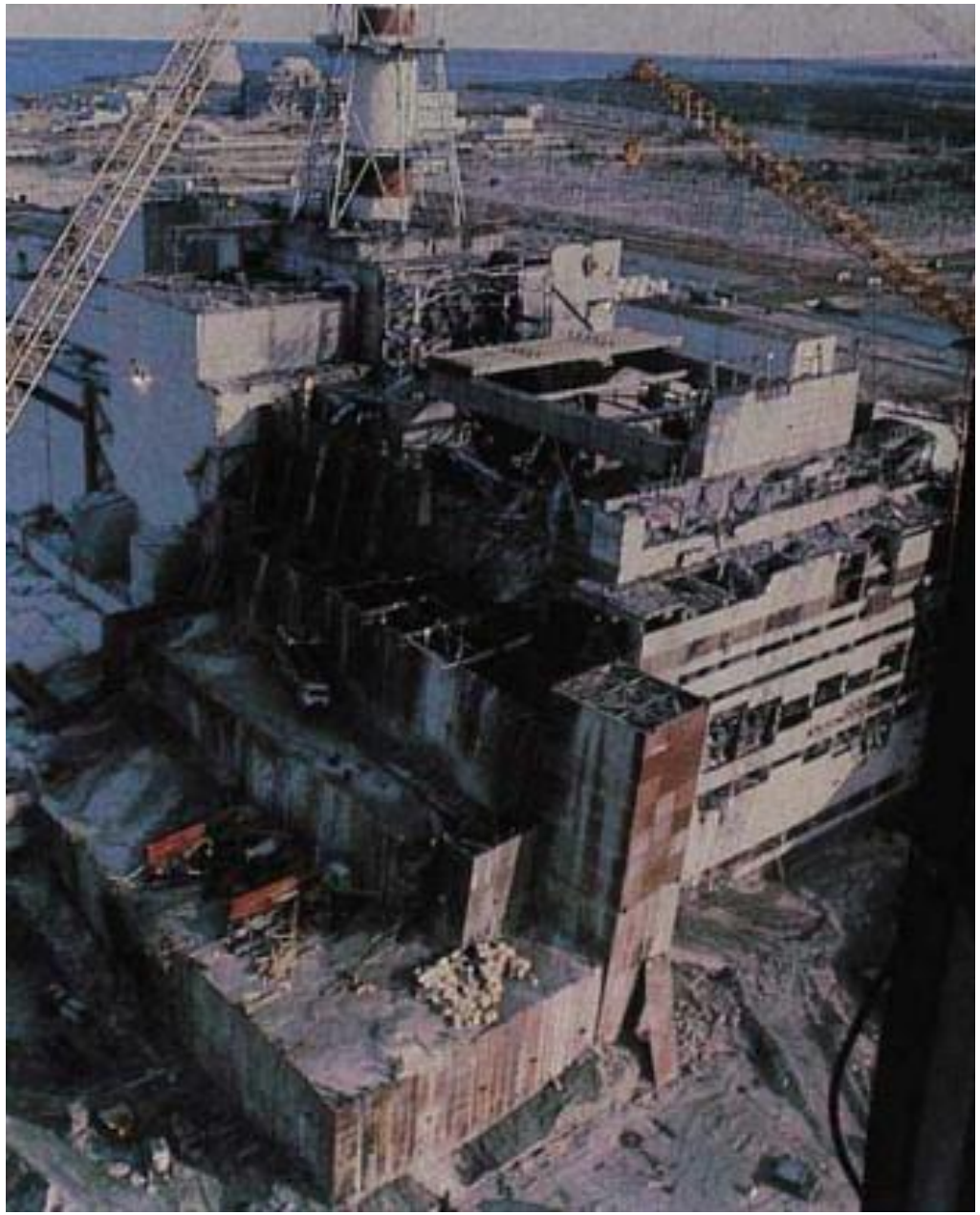


出典　**Comparison of In-Vessel and Ex-Vessel Retention　JiříDuspiva**　原子炉内で発生するコリウムは原子量の大きいウランやプルトニウムの酸化物を大量に含み、その溶融酸化物は鉄やステンレス等の溶融金属の比重に比べて、少しだけ大きく、浮き上がった熱伝導率の大きい溶融金属部で圧力容器が浸食される。（筆者注記）

チェルノブイリ原子力発電所の事故



1979年3月28日にアメリカのスリーマイル島で過酷事故が発生し、続けて1986年4月26日に旧ソ連のチェノブイリで過酷事故が発生し、世界的には過酷事故が起きた場合の、緩和設計が重視されるようになった。



[チェルノブイリ原発の事故直後の写真]

原発事故で破壊された建物の写真です。現在では、この上が放射能の拡散を防ぐ為にコンクリートで覆われています。チェルノブイリ原発は格納容器が無く、爆轟で溶融核燃料が野ざらしになり、５２０万テラベクレルの放射性物質放出された。

チェルノブイリ原発の巨大な地下プール図面

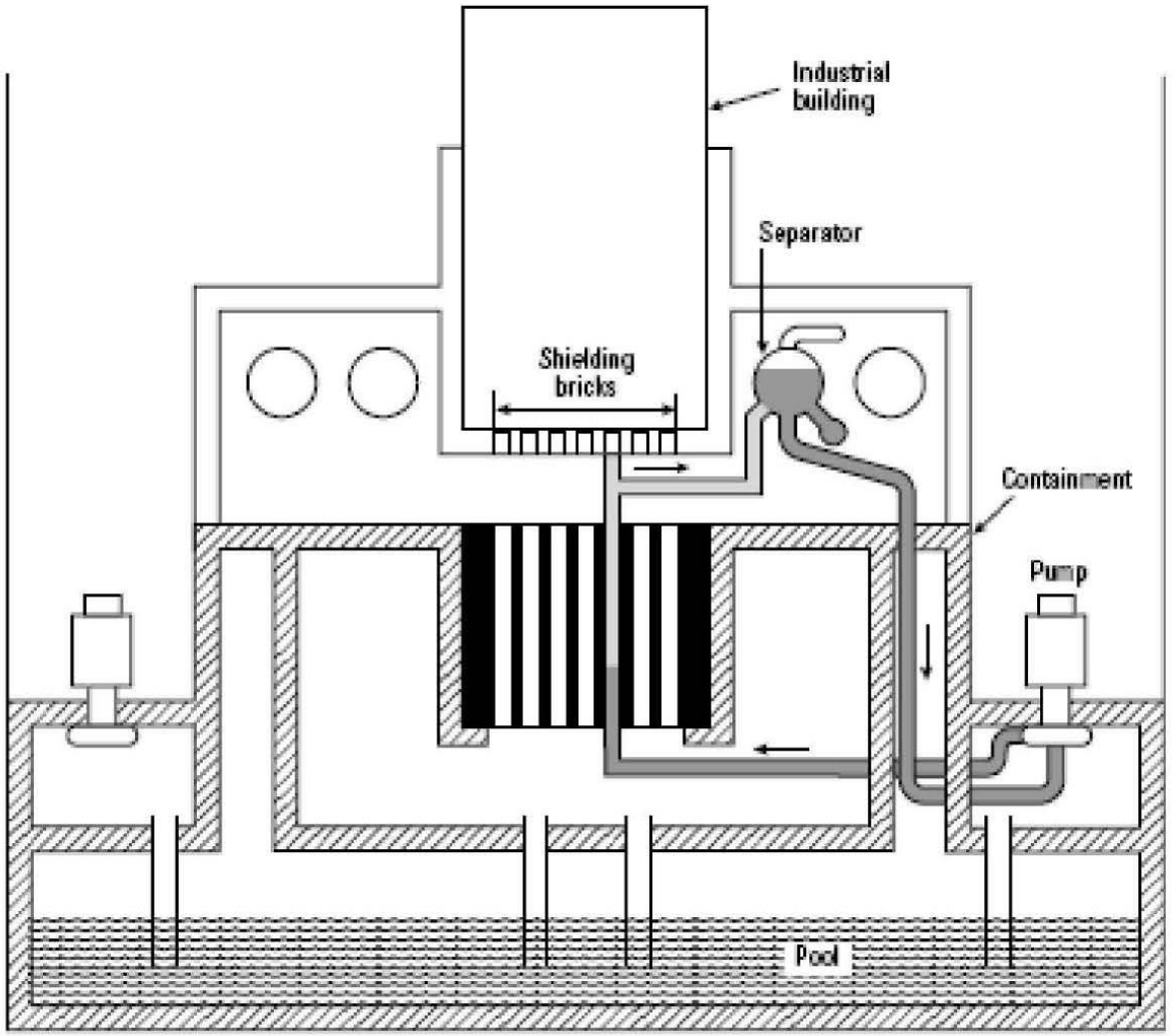
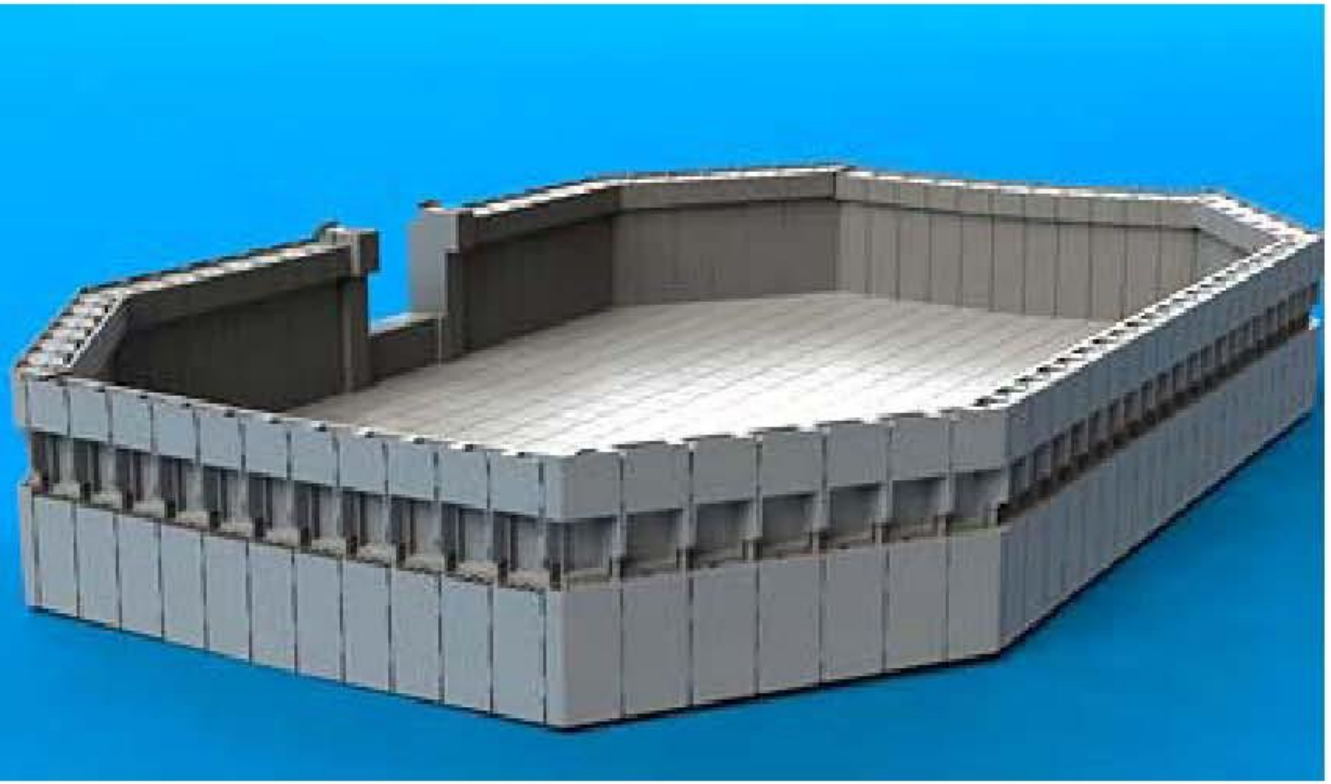


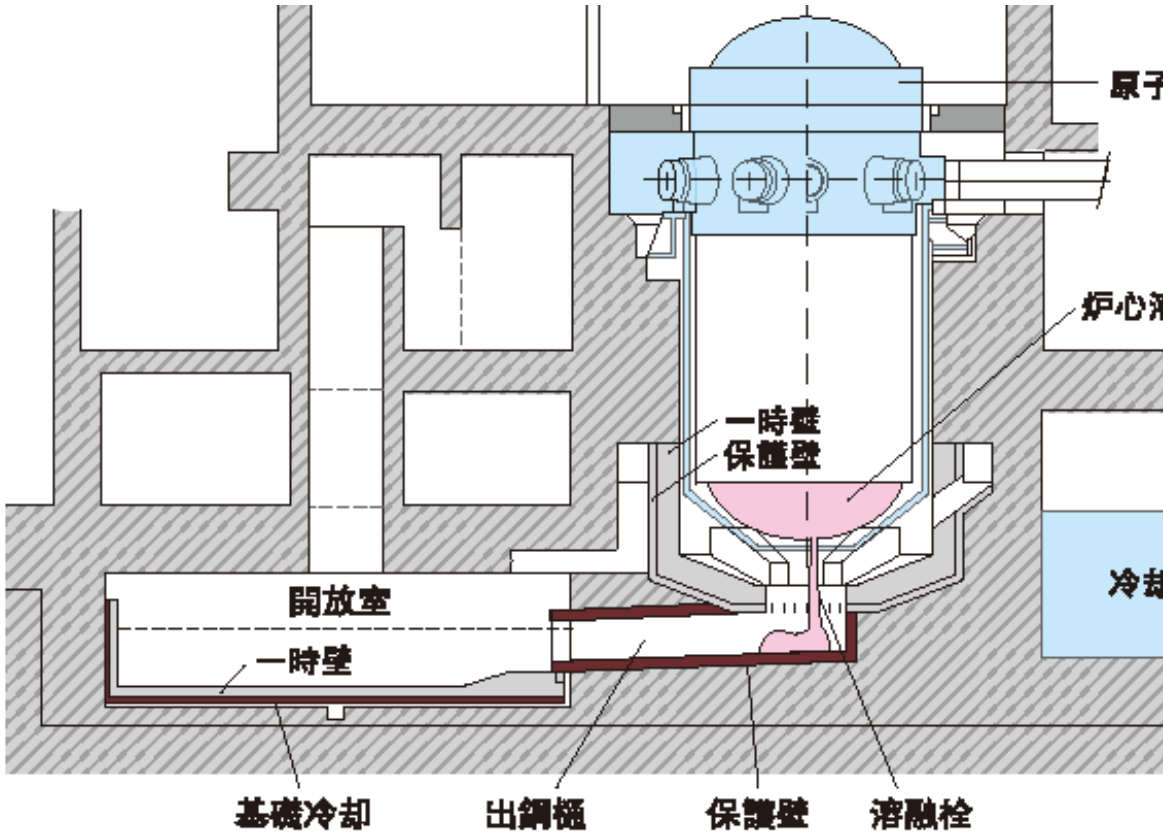
Fig. 17. Chernobyl Containment

出典　BAL RAJ SEHGAL:LIGHT WATER REACTOR (LWR) SAFETY

チェルノブイリ原発には、原子炉圧力容器下部に圧力制御用の巨大な地下プールが有った。メルトダウン事故が発生したので、**ヴァレリー・レガソフ**が水蒸気爆発が起きてプルトニュウムダストが世界中に飛び散ると直ちに判断し、３人の決死隊が潜水してバルブを開け排水し、プルトニュウムダストの飛散を防止でき最大の危機は回避された。

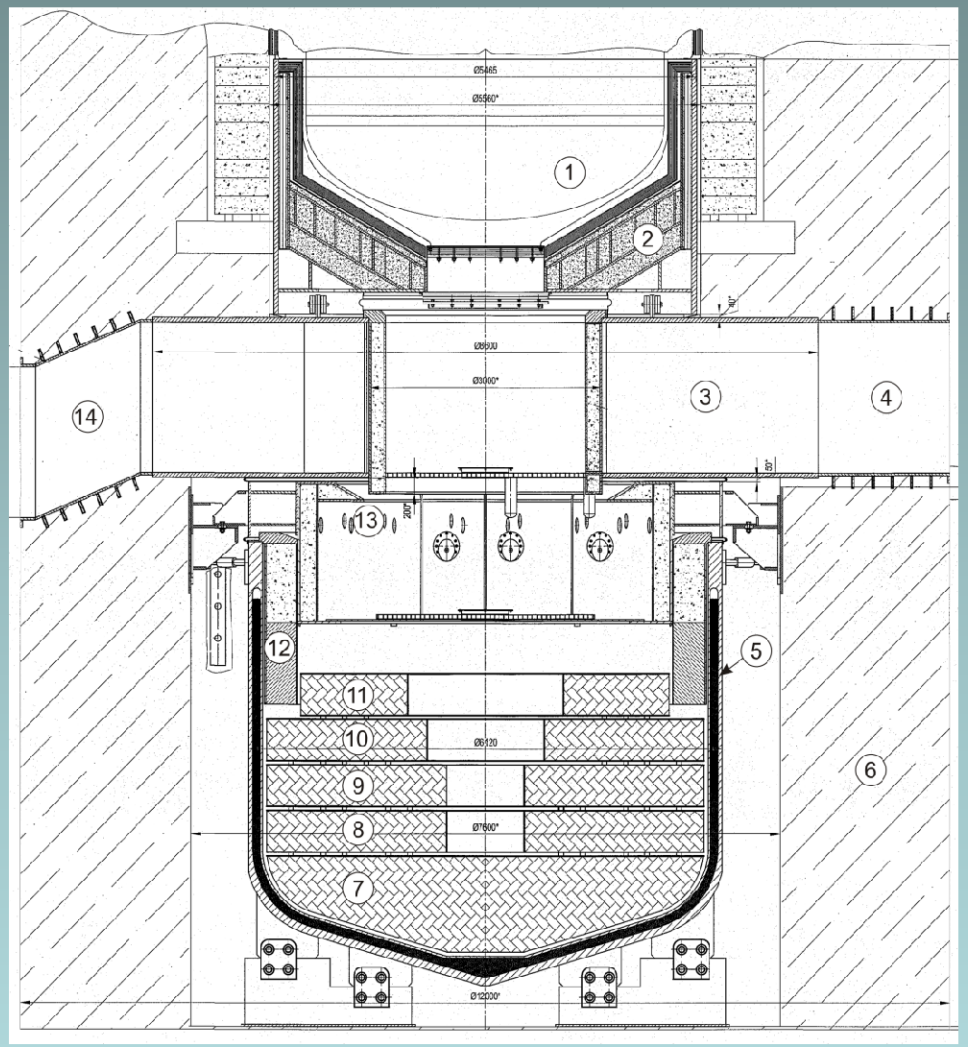
その結果から、旧ソ連は加圧水型原発に切り替えコアキャッチャーを取付けた。



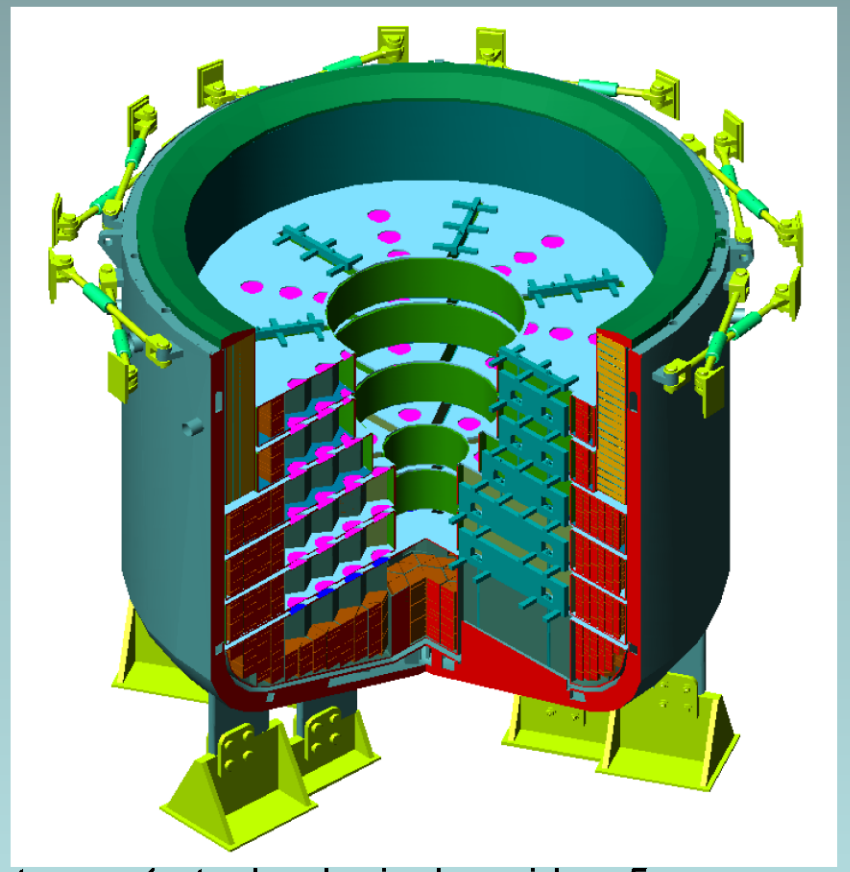


海外のメルトダウン対策２
フランスのアレバ社が開発した次世代型のEPRのコアキャッチャー。旧ソ連のチェノブイリでのシビアアクシデントにおいて、原子炉容器そのものが破壊されたので、溶融炉心の原子炉容器外保持（EVR）の可能性の研究も盛んに行われるようになった。

Design of the Core Catcher for VVER-1200



Core Catcher. Filler blocks installed into CC vessel

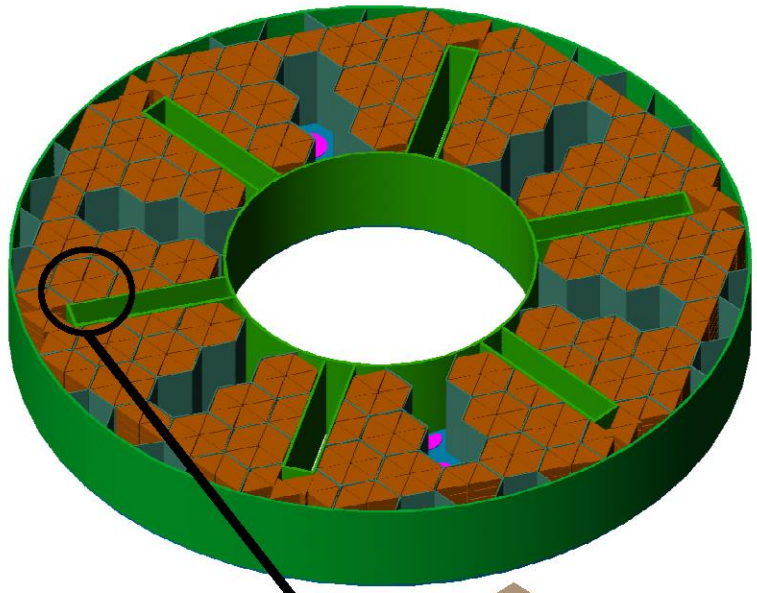


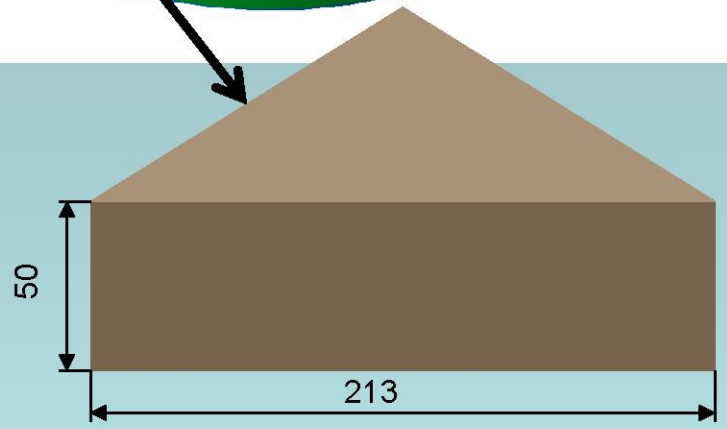
1 - reactor vessel ; *2* - bottom plate; *3* - console truss; *4* - technological corridor; *5* - core catcher vessel; *6* - reactor cavity; *7*-11 - cassettes with sacrificial materials; *12* - thermal protection; *13* – service platform; *14* - ventilating corridor.

海外のメルトダウン対策3

ロシア連邦のるつぼ型コアキャッチャーでウエスチングハウス社AP1000とアレバ社の次世代型EPR炉のコアキャッチャーの良いとこ取り。水素発生防止対策、再臨界防止対策、MCCI防止対策が行われている

Core Catcher filler block with Sacrificial Materials (4-th Layer)





Sacrificial material brick in the form of a triangular prism

Sacrificial material composition:

Fe_2O_3 (65-70%),
Al_2O_3 (28-30%),
Gd_2O_3 (≥0.15%),
SiO_2 ≤ 7%

Manufacturing technology:

- dosage;
- mixing;
- pressing;
- sintering.

Fe_2O_3は金属ジルコニウム被覆管とテルミット反応をさせて、水素ガスを発生させない。
Gd_2O_3（酸化ガドリニウム）は高性能中性子吸収材で再臨界を防止できる。
高性能コアキャッチャーの取り付けにより、MCCI（コアコンクリート反応）も起こらず、水蒸気爆発も起こらない。

原子炉格納容器内の水蒸気爆発の危険性

高島武雄† たかしま たけお
後藤政志† ごとう まさし

現在，原子力規制委員会において，原発の再稼働に向けて新規制基準への適合性審査が進められている。8月現在，設置変更許可申請書の審査が合格とされたものは九州電力川内原発1・2号機，

水蒸気爆発とは何か

図1は500 mLのビーカーに水を入れ，数十g

表2—TROI装置とKROTOS装置による代表的な実験条件

		装置名(実験番号)	
		TROI(TS-6)	KROTOS(KS-4)
溶融物条件	組成(wt%)	二酸化ウラン(73.3)，ジルコニア(18.5)，酸化鉄(4.9)，FP(3.3)	二酸化ウラン(80)，ジルコニア(20)
	重量(kg)	9.3	2.3
	温度(K)	2910	2958
水槽条件	内径(m)	0.6	0.2
	水深(m)	1.0	1.1
	水槽容量(m^3)	8.03	0.23
	水温(K)	338	332
結果	水蒸気爆発	発生	発生
	最大圧力(MPa)	25	44.7

※系圧力は0.2 MPa
※FP：核分裂生成物(Fission Products)

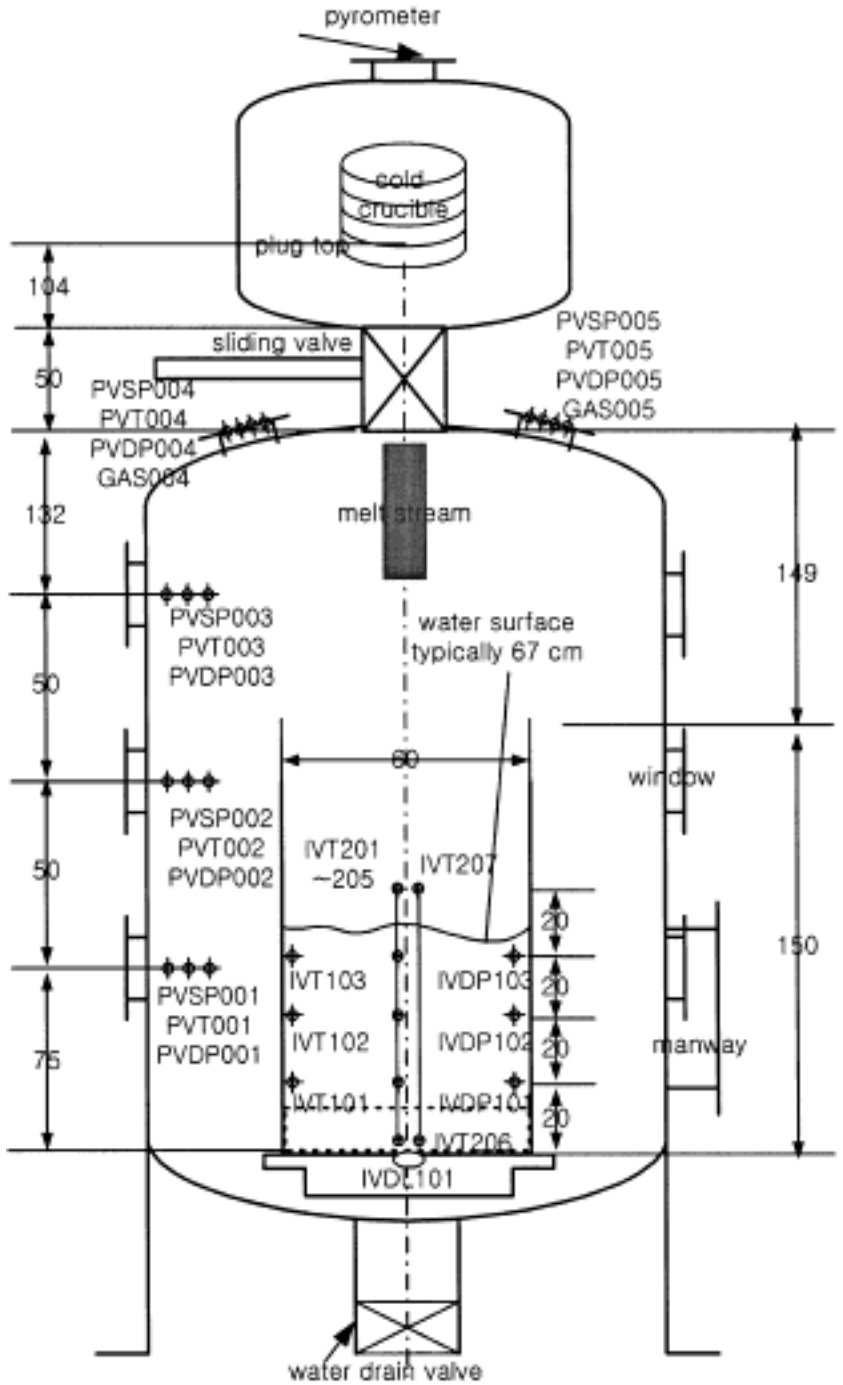
して実際に水プール中に投入し，爆

18 kgだが，それでも激しい爆発を

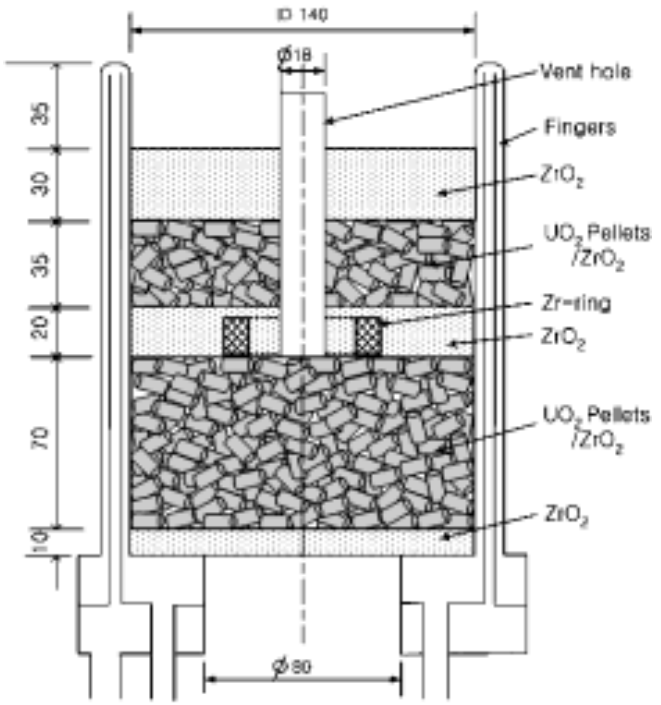
度を現実的な条件とした実験も行わ

本実験においては自発的な水蒸気爆

日本の科学雑誌の岩波の「科学」2015年9月号に初めて、「原子炉格納容器内の水蒸気爆発の危険性」の専門論文が発表された。そして、川内原発の適合性審査書で、4電力会社が意図的に隠蔽していると指摘されていたTROIの実験の報告内容が分かるようになった。また、原発の運転差し止め仮処分裁判で、水蒸気爆発問題が争われるようになった。
TROIの実験では、UO2を用いた実験で、トリガーが無くても自発的な水蒸気爆発が観測され、4電力会社の主張が否定された。



TROI試験装置



水冷るつぼ

TROIの2003年版資料

Table 1 Results of steam explosion experiment

TROI test number	13	14	15
Melt			
Initial charge composition $UO_2/ZrO_2/Zr$ (wt%)	69/30/1	69/30/1	0/99/1
Temperature[1)] (K)	2,600	3,000	3,750
Charged mass (kg)	13.7	13.7	9.5
Initiator mass (kg)	0.1	0.1	0.1
Released mass (kg)	7.735	6.545	2.280
Plug/puncher diameter (cm)	8.0/6.5	8.0/6.5	8.0/6.5
Free fall in gas (m)	3.8	3.8	3.8
Test section			
Water mass (kg)	189	189	189
Initial Height (cm)	67	67	67
Diameter (cm)	60	60	60
Initial temperature/Sub-cooling (K)	292/81	285/88	290/83
Pressure vessel			
Initial pressure(air) (MPa)	0.108	0.105	0.104
Initial temperature (K)	294	288	294
Free volume (m^3)	8.032	8.032	8.032
Results			
Maximum PV pressurization (MPa)	0.016	0.015	0.007
Maximum PV heat-up (K)	23	30	5
Maximum water heat-up (K)	24	12	41
Steam explosion	Yes	Yes	Yes
Dynamic pressure peak/duration (MPa)	7.0/1.0	0.8/0.5	11.5/0.25
Impulse (kN)	250/15.0	210/13.0	250/10.0

TROIの2002年論文はTROI-13の温度を3300K（3027℃）以上としていたので、それを根拠に原子力規制委員会は、加熱度が大きすぎて自発的水蒸気場発が起きたと説明した。しかし、2003年論文は別のメーカーの2色高温計を使用して2600K(2327℃)と訂正されていた。

TROI実験の試験温度はOECDのSERENA-Projectで、疑問視されていたが、2007年論文でのぞき窓のガラスの吸収率の補正ができていなかったとの事で、再度温度の訂正が行われた。

原子力規制委員会の見解は間違っていたと思われる。

TROI-13の実験では、
自発的水蒸気爆発で
水槽内は7MPa(70気
圧)となり、内径60cm
水槽の反力は
250KN(25トン)と成った

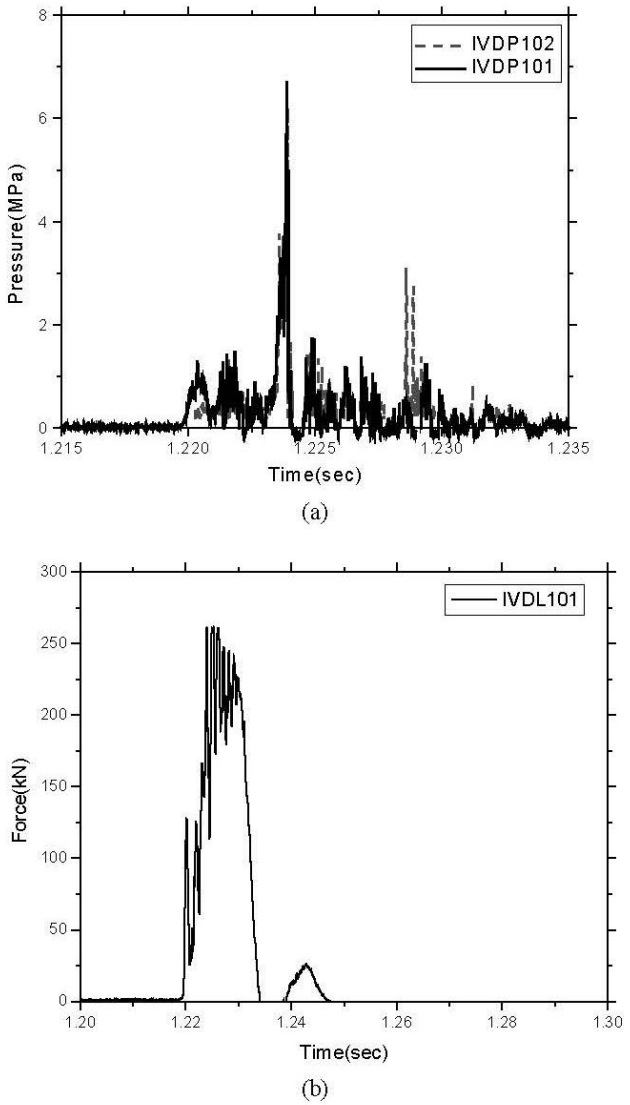


Fig. 5 (a) Dynamic pressure for TROI-13, (b) Dynamic Force TROI-13

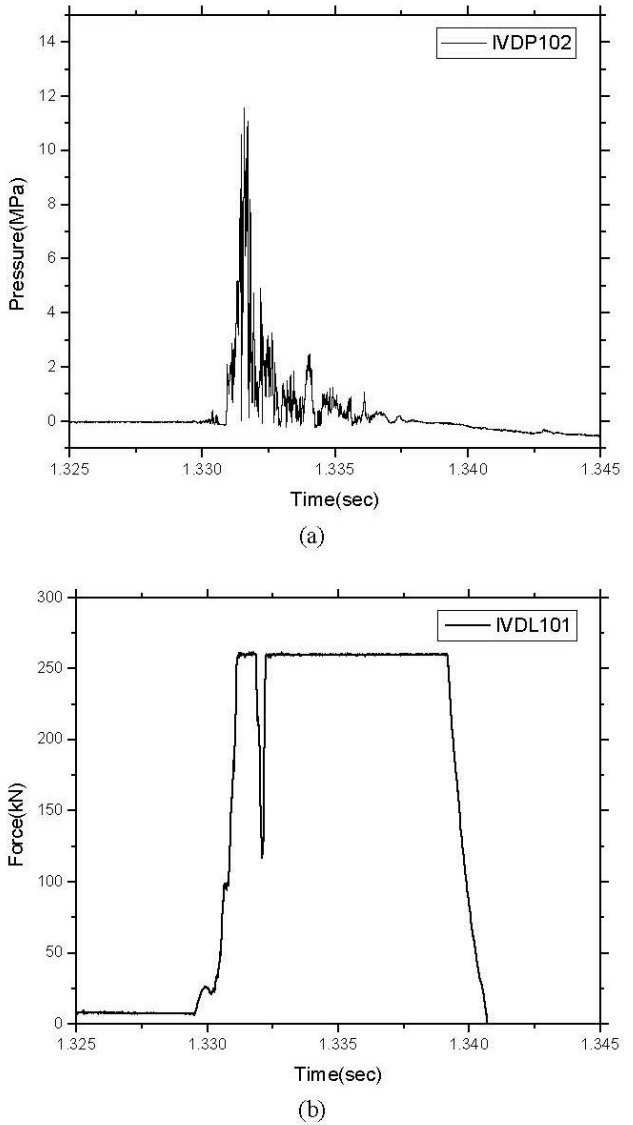


Fig. 6 (a) Dynamic pressure for TROI-15, (b) Dynamic force for TROI-15

TROI-13の格納容器内気相圧力0.124MPa（1.24気圧）、電力会社はこれが小さい事を宣伝するが、水中の巨大圧力は隠ぺいしていた事が明確になった。

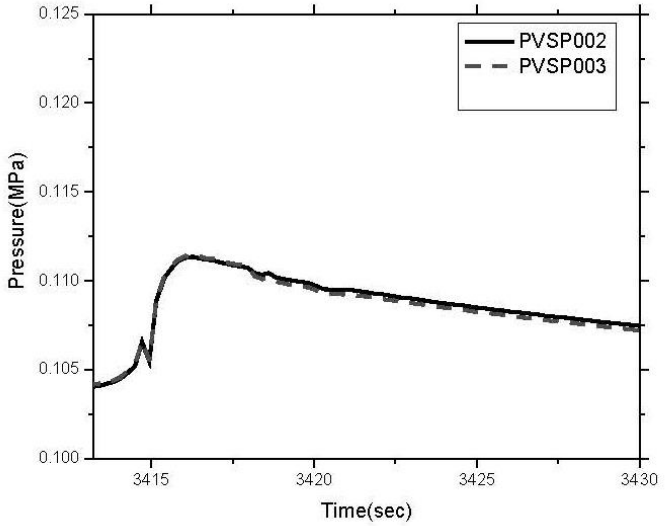


Fig. 13 Vessel pressure for TROI-15

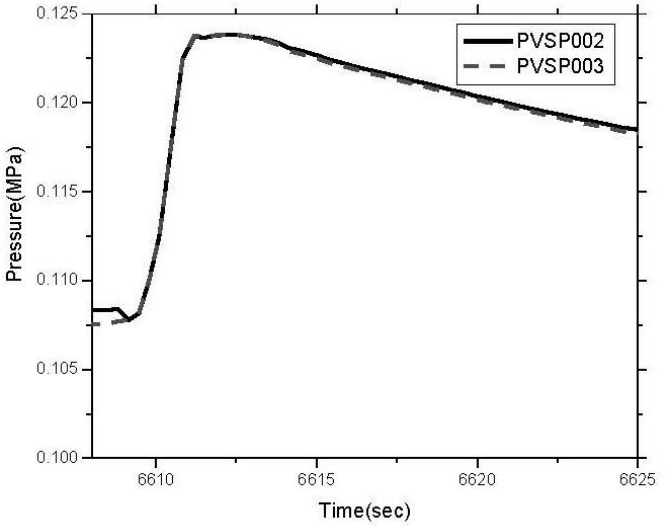


Fig. 15 Vessel pressure for TROI-13

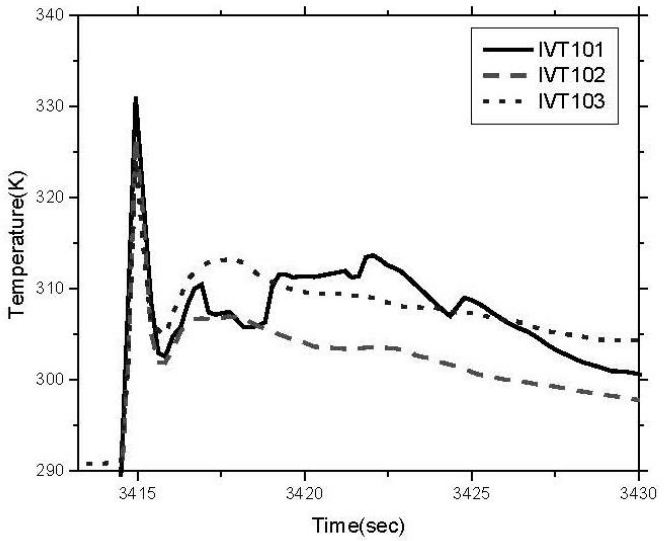


Fig. 14 Temperature of water pool for TROI-15

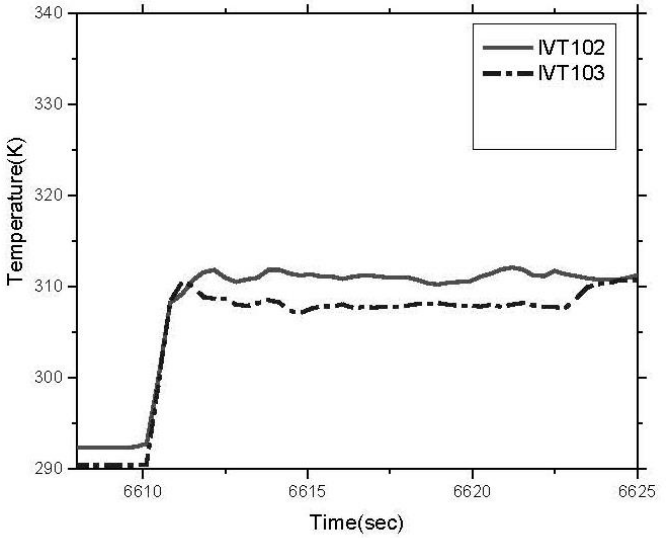


Fig. 16 Temperature of water pool TROI-13

OECD（経済協力開発機構）のSERENA計画の重要性

TROIの実験は韓国のKAERI（韓国原子力研究所）で行われた。韓国では、アメリカのウェスティングハウス社のAP−1000と同じような新世代原子炉APR−1400の開発が行われており、そのために独自に1997年にTROIの実験を始めたものと思われる。

ただ、原発のメルトダウン発生時の水蒸気爆発の解明は、世界各国の独自の研究機関の実験と研究だけでは困難と考えられたので、OECD（経済協力開発機構）が世界規模で2002年にSERENAプロジェクトを開始している。

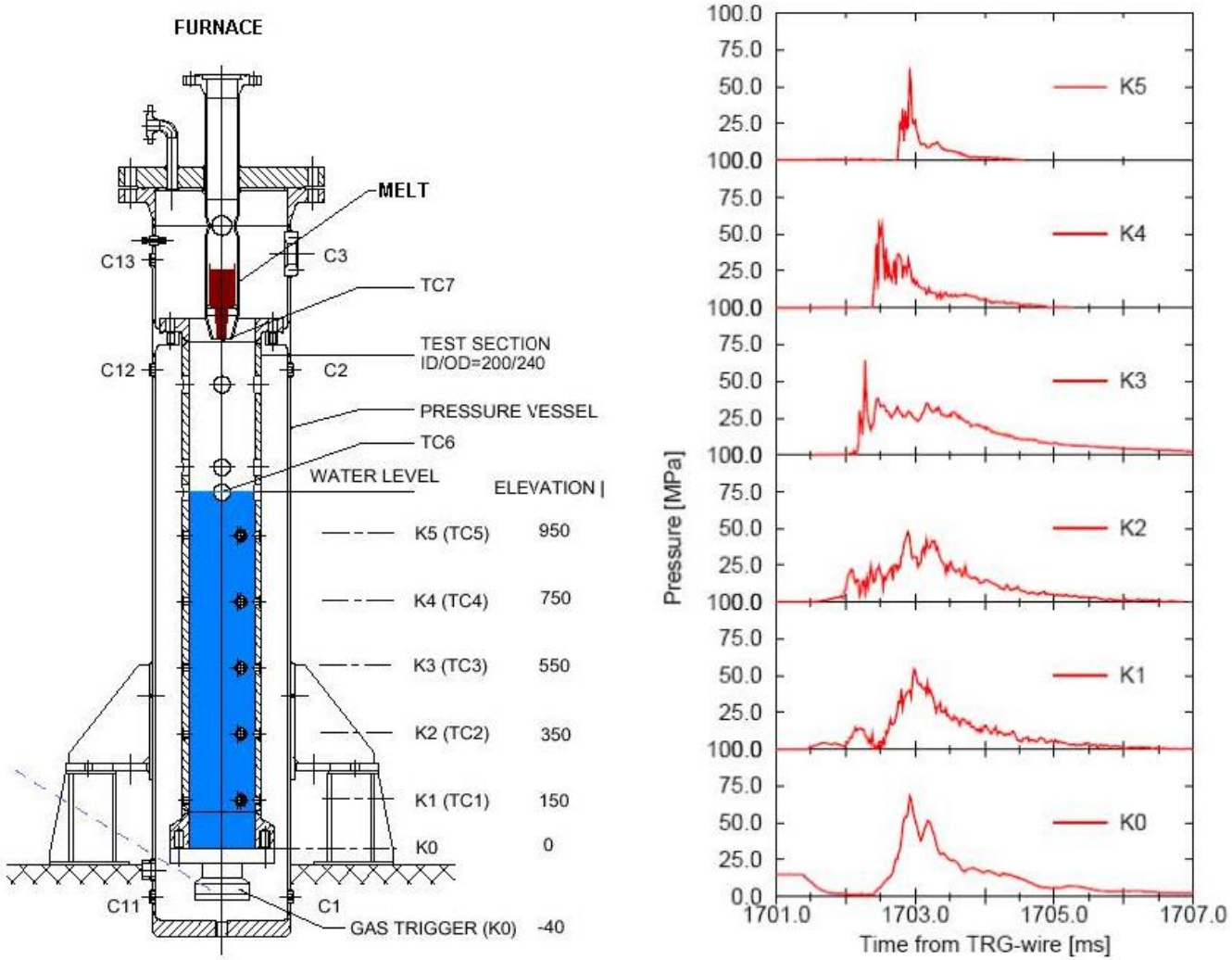
　SERENAプロジェクトはフランスで行われたKROTOSの実験とTROIの実験を特に重視した。SERENAプロジェクトは、メルトダウン発生時の原子炉圧力容器内の水蒸気爆発の発生は、あまり危険性が無いと考えたが、格納容器内の水蒸気爆発の危険性は大きいと考え、そのために世界的な規模で、 SERENAプロジェクトを継続してきた。

また、格納容器内の水蒸気爆発は格納容器そのものの損傷ではなく、原子炉キャビティの損傷の可能性が大きく、原子炉キャビティの損傷が格納容器の損傷を引き起こすと考えた。

それから、原子炉キャビティ内の水蒸気爆発は、自発的な水蒸気爆発も起きるが、外部トリガーによる水蒸気爆発の可能性もあると考え、最後に行われたKROTOSの実験とTROIの6件ずつの実験では外部トリガーを与えた。また、シミュレーションプログラムは意図的に外部トリガーを与えている。

NEA/CSNI/R(2007)11

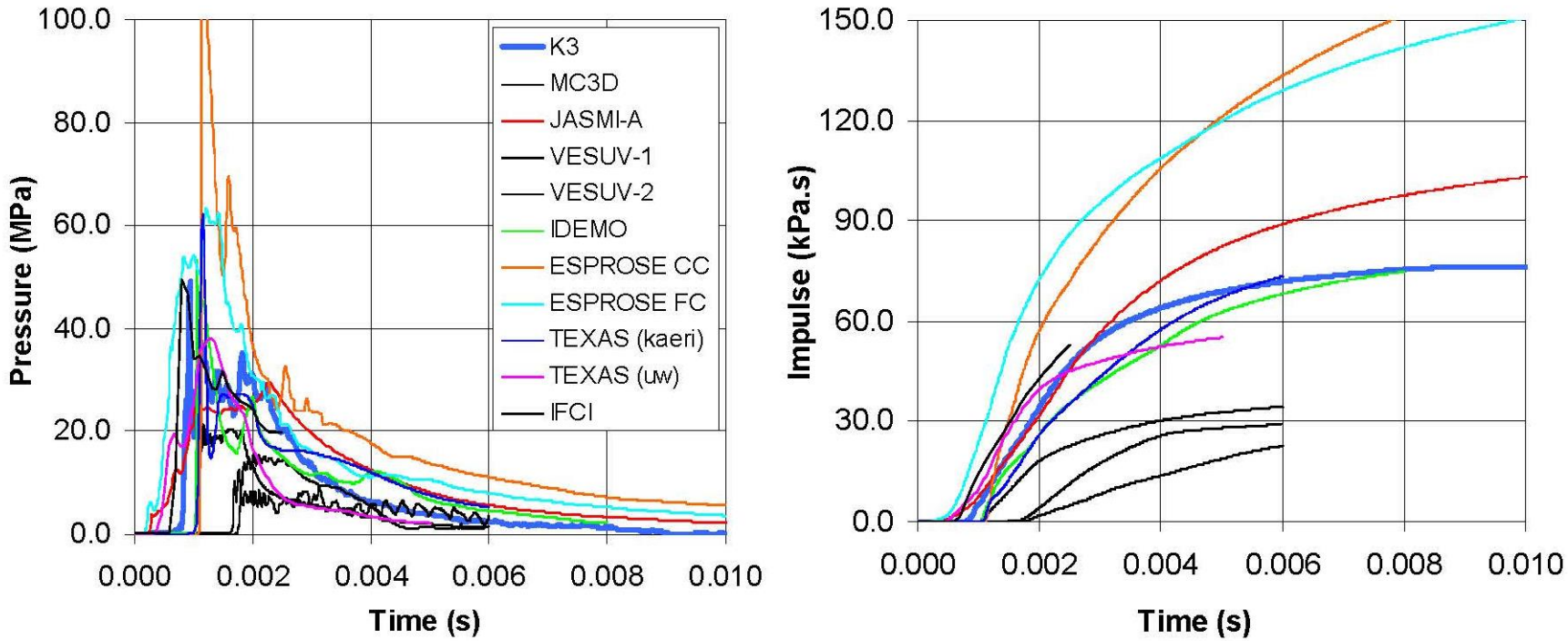
Figure 7. KROTOS-44 explosion pressures measured in water at six different elevations at test section wall



OECD（経済協力開発機構）のSERENA-ProjectのKROTOS試験装置、開口部面積が少ないので側壁の受ける水蒸気爆発力は50MPa（500気圧）と大きくなる4電力会社の適合性審査資料の格納容器水蒸気爆発圧力資料に比べると、SERENA-Projectのキャビティ内の水蒸気爆発圧力資料は数値がけた違いに大きい。そして、SERENA-Projectは格納容器の破損確率は大きいと考えている。

Figure 11. **Comparison of dynamic pressure and corresponding impulse calculated by the codes with experimental value (blue bold lines) at mid-height in the water pool for KROTOS-44**

(All calculations with imposed pre-mixing conditions, except ESPROSE FC where pre-mixing has been calculation with PM-ALPHA. VESUV-1 and -2 correspond to initial particle size of 15 mm -as specified- and 5 mm, respectively).



出典　**OECD RESEARCH PROGRAMME ON FUEL-COOLANT INTERACTION STEAM EXPLOSION RESOLUTION FOR NUCLEAR APPLICATIONS - SERENA Final Report - December 2006**

各国の開発コードによるシミュレーション結果

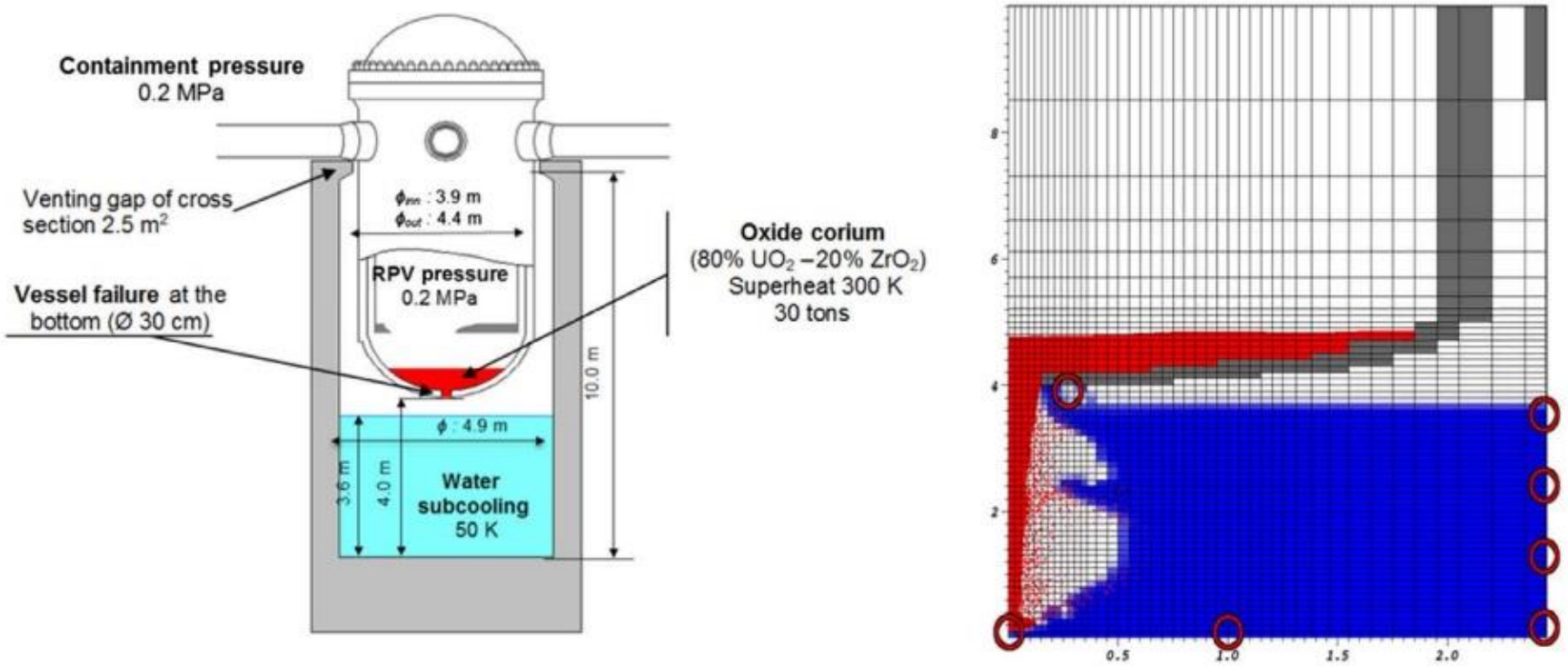
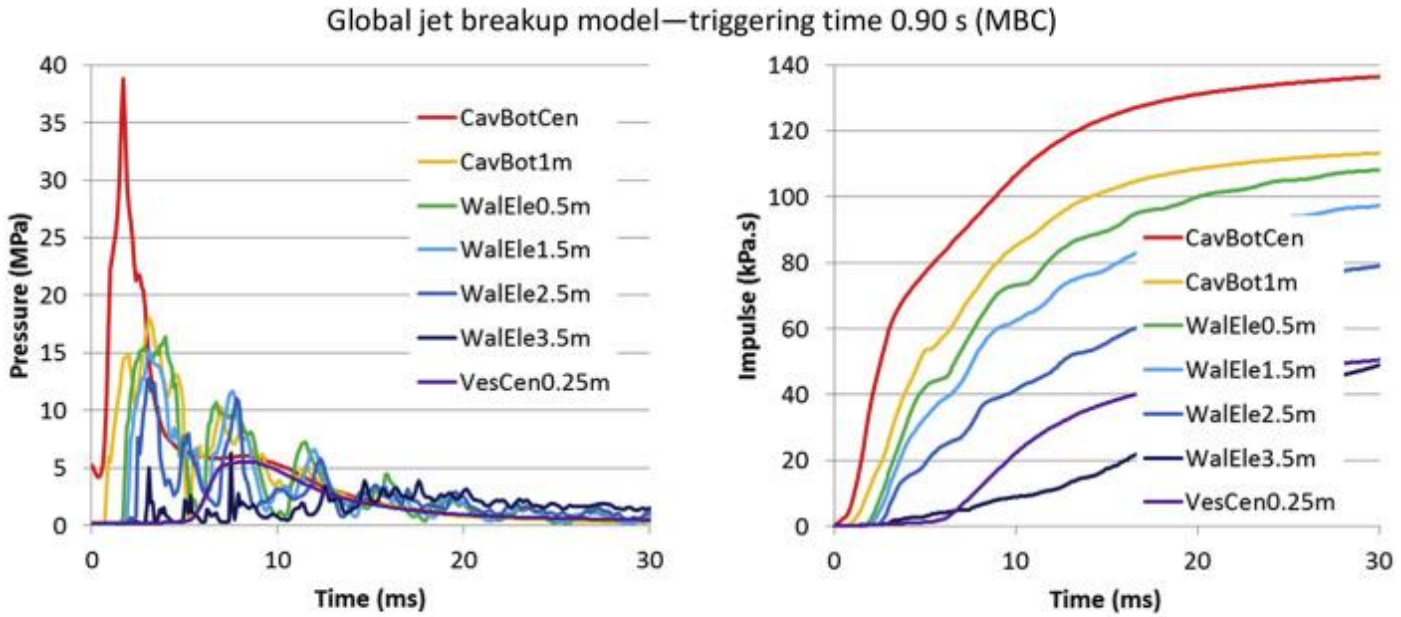
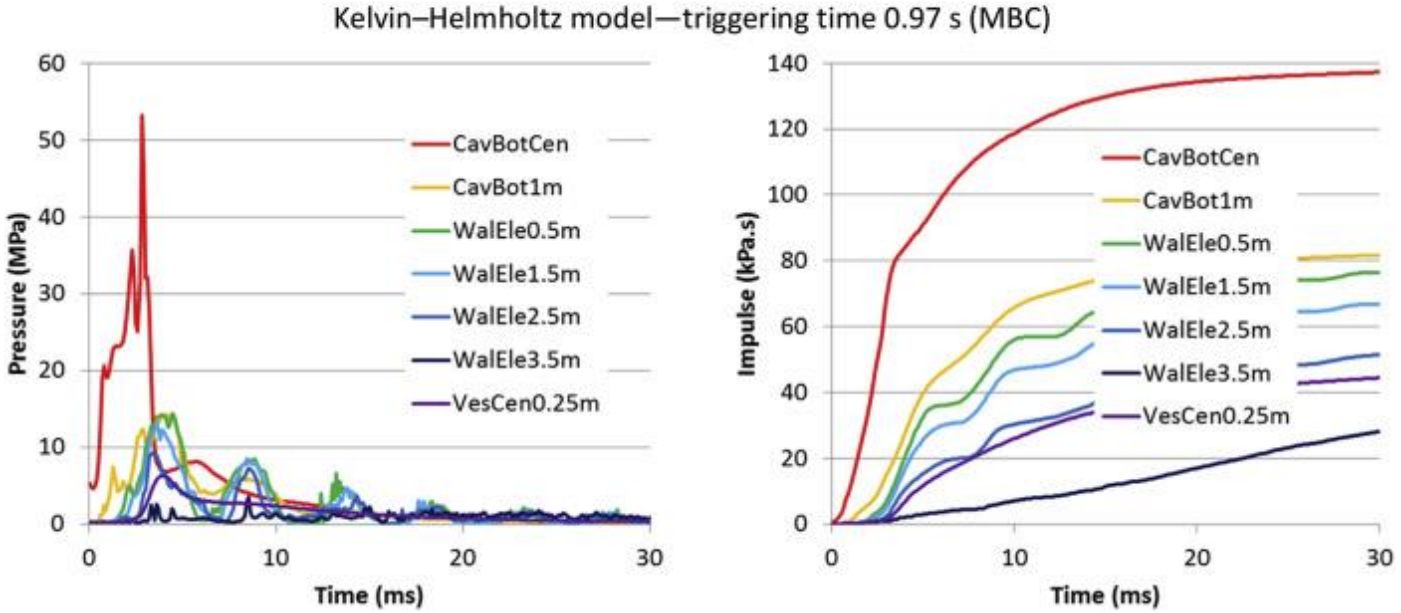


Fig. 1 – PWR scheme with initial conditions [14] and calculation model (vertical/horizontal scale = 0.3). The circles denote the locations where pressure loads were recorded. PWR, pressurized water reactor; RPV, reactor pressure vessel.

出典　スロベニアのMatjaž Leskovar　and Mitja Uršič　の**Ex-vessel Steam Explosion Analysis for Pressurized Water Reactor and Boiling Water Reactor**

PWR（加圧水型原発）キャビティの水蒸気爆発シミュレーションモデル、フランスのIRSNとCEAによって開発されたMC3Dコード使用





シミュレーションは2つのモデルで行われている。加圧水型原発のキャビティ側壁の爆発圧力は両方のモデルとも最大圧力約15MPa（約150気圧）という凄まじい爆発が起きている。

JAEA-Research
2007-072

JAEA-Research

軽水炉シビアアクシデント時の炉外水蒸気爆発による格納容器破損確率の評価

Evaluation of Containment Failure Probability due to Ex-Vessel Steam Explosions in LWR Severe Accidents

森山 清史　高木 誠司*　村松 健　中村 秀夫
丸山 結

原子炉格納容器内に水蒸気爆発が起きた時、その爆風で直接破壊の起きるのはキャビティ（原子炉圧力容器下部空洞）なので、キャビティが破損した時には、炉容器や配管系が変位して格納容器の貫通部が破損するとの仮定を設けています。

閉じ込められたキャビティ空間に大水蒸気爆発が起きて、キャビティのコンクリートが破裂飛散して、コンクリート隗が格納容器をぶち破るようなシナリオについては、検討されていません。

キャビティのコンクリートの破損条件は、キャビティのコンクリート壁の外側への変位が壁厚みの２０％に達した時を損傷とすると設定しています。

水蒸気爆発条件は、OECDのSERENA Projectの見解のように、実炉には内部トリガや外部トリガが存在する可能性が大きいとの見解を使用しており、外部トリガを与えた条件で、JASMINEコードのシミュレーションを行っています。

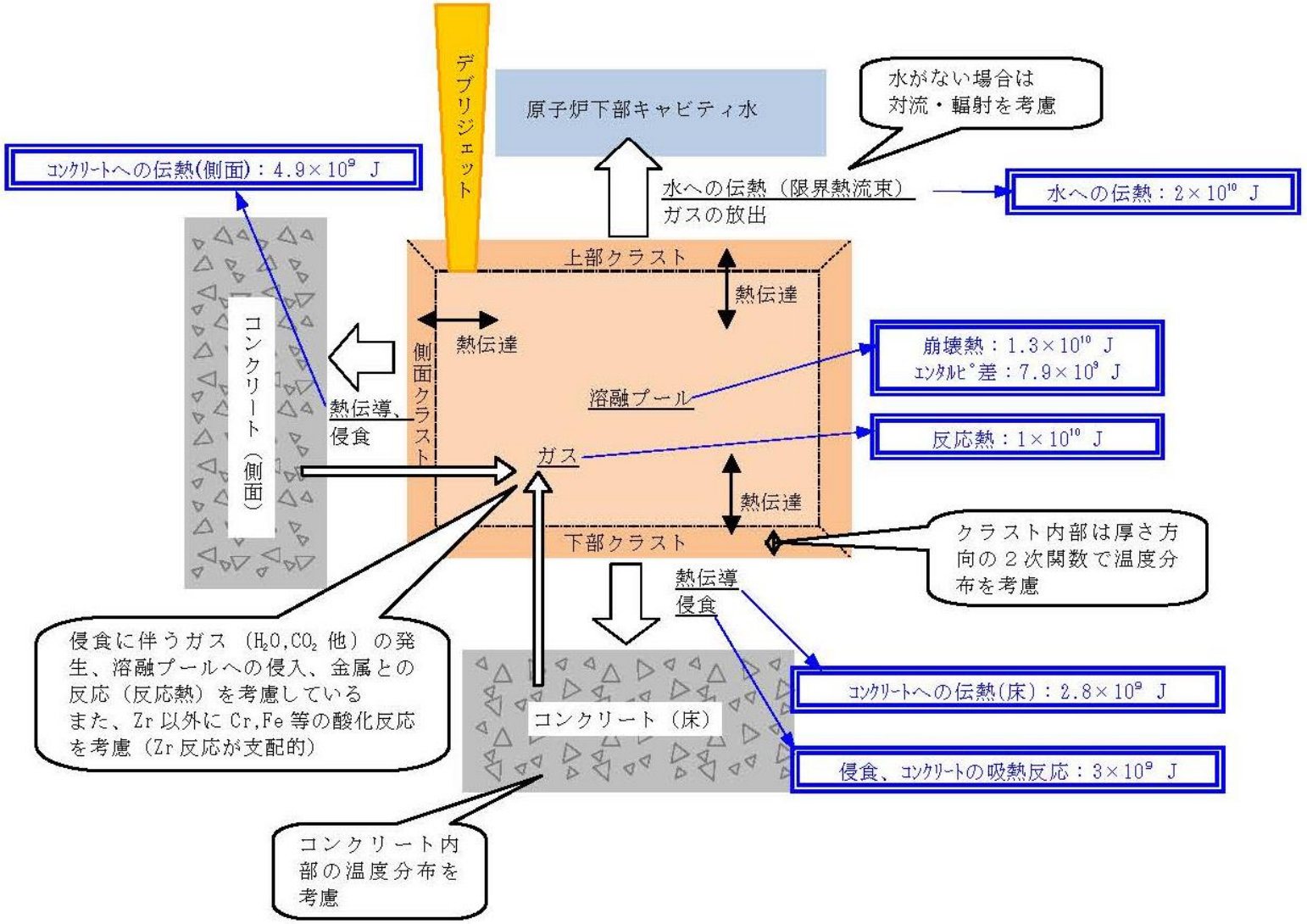


図 8-12　原子炉容器破損（約 1.4 時間）から 1,000 秒間の熱バランス

出典　第365回適合性審査会　資料1-2-1

電力会社が水蒸気爆発が起こらない大きな理由の一つとして、この論文を引用し「加えて、JASMINE コードを用いた水蒸気爆発の評価における条件と実機での条件との相違を踏まえると、実機においては、水蒸気爆発の発生の可能性は極めて低いことを確認しています。」の理由を挙げている。しかし、この論文の３ページに「融体プールは爆発に寄与しないとして除外する。」とある。ところが、金属の製錬炉で一番水蒸気爆発の起きているのは、「融体プールの上部のスラグ層がトリガにより破けて、上部の水と融体プールが接触した時である。

３．水蒸気爆発によるソースタームに関する検討

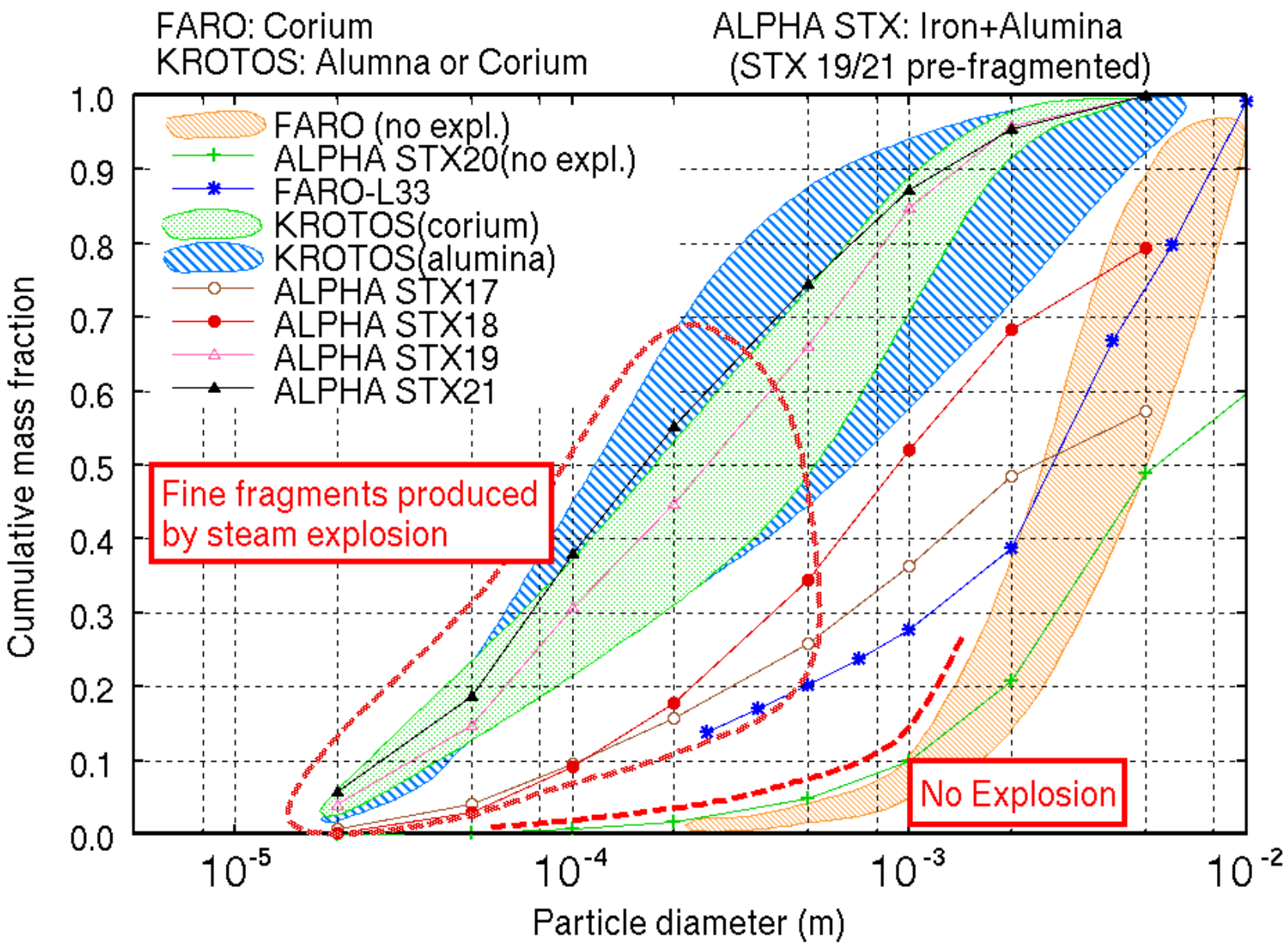
この報告書では、水蒸気爆発が起きた時の、発生デブリダストの大気中への飛散状態が詳しく検討されています。

『水蒸気爆発現象のソースタームに及ぼす影響としては、以下のような側面を考慮すべきであると考えられる。

・水蒸気爆発では非常に細かい粒子（以下細粒と称する、直径数μmから数十μm）が生成され、これはわずかな気流によって運ばれる可能性が有る。

・水蒸気爆発で生じる細粒には、溶融炉心のほぼ全ての成分が含まれると考えられる。

すなわち、水蒸気爆発で格納容器が破損する場合に溶融炉心の一部が細粒となって環境に放出される場合、難揮発成分も含むすべての核種が一定の割合で放出されると考えられ、これが従来のソースタームに有意な影響を及ぼす可能性がある。これについて検討をおこなった。』と説明されています。



水蒸気爆発時の模擬デリブの粒子直径

表1－1 PWRの使用済ウラン燃料中に含まれる元素(1/2)

	g/t	Bq/t(Ci/t)	W/t
アクチノイド			
ウラン	9.54×10^{5}	$1.50\times10^{11}(4.05)$	4.18×10^{-2}
ネプツニウム	7.49×10^{2}	$6.70\times10^{11}(1.81\times10^{1})$	5.20×10^{-2}
プルトニウム	9.03×10^{3}	$4.00\times10^{15}(1.08\times10^{5})$	1.52×10^{2}
アメリシウム	1.40×10^{2}	$6.96\times10^{13}(1.88\times10^{2})$	6.11
キュリウム	4.70×10^{1}	$6.99\times10^{14}(1.89\times10^{4})$	6.90×10^{2}
小　計	9.64×10^{5}	$4.70\times10^{15}(1.27\times10^{5})$	8.48×10^{2}
核分裂生成物			
トリチウム	7.17×10^{-2}	$2.55\times10^{13}(6.90\times10^{2})$	2.45×10^{-2}
セレン	4.87×10^{1}	$1.47\times10^{10}(3.96\times10^{-1})$	1.50×10^{-4}
臭素	1.38×10^{1}	0(0)	0
クリプトン	3.60×10^{2}	$4.07\times10^{14}(1.10\times10^{4})$	6.85×10^{1}
ルビジウム	3.23×10^{2}	$7.03\times10^{12}(1.90\times10^{2})$	0
ストロンチウム	8.68×10^{2}	$6.44\times10^{15}(1.74\times10^{5})$	4.50×10^{2}
イットリウム	4.53×10^{2}	$8.81\times10^{15}(2.38\times10^{5})$	1.05×10^{3}
ジルコニウム	3.42×10^{3}	$1.02\times10^{16}(2.77\times10^{5})$	1.45×10^{3}
ニオブ	1.16×10^{1}	$1.93\times10^{16}(5.21\times10^{5})$	2.50×10^{3}
モリブデン	3.09×10^{3}	0(0)	0
テクネチウム	7.52×10^{2}	$5.29\times10^{11}(1.43\times10^{1})$	9.67×10^{-3}
ルテニウム	1.90×10^{3}	$1.85\times10^{16}(4.99\times10^{5})$	3.13×10^{2}
ロジウム	3.19×10^{2}	$1.85\times10^{16}(4.99\times10^{5})$	3.99×10^{3}
小　計	3.09×10^{4}	$1.55\times10^{17}(4.18\times10^{6})$	1.96×10^{4}
合　計	9.95×10^{5}	$1.59\times10^{17}(4.31\times10^{6})$	2.04×10^{4}

これらの量は原子炉に装荷された新燃料中のウラン1トン当たりのものである。
全体としての平均燃焼度は33,000MWd/t、また平均出力30MW/tで、燃料取り出し後150日経過したものである。

表1－2 PWRの使用済ウラン燃料中に含まれる元素(2/2)

	g/t	Bq/t(Ci/t)	W/t
パラジウム	8.49×10^{2}	0(0)	0
銀	4.21×10^{1}	$1.02\times10^{14}(2.75\times10^{3})$	4.16×10^{1}
カドミウム	4.75×10^{1}	$2.20\times10^{12}(5.95\times10^{1})$	2.13×10^{-1}
インジウム	1.09	$1.32\times10^{10}(3.57\times10^{-1})$	1.04×10^{-3}
スズ	3.28×10^{1}	$1.42\times10^{15}(3.85\times10^{4})$	1.56×10^{2}
アンチモン	1.36×10^{1}	$2.95\times10^{14}(7.96\times10^{3})$	2.74×10^{1}
テルル	4.85×10^{2}	$4.96\times10^{14}(1.34\times10^{4})$	1.66×10^{1}
ヨウ素	2.12×10^{2}	$8.21\times10^{10}(2.22)$	8.98×10^{-3}
キセノン	4.87×10^{3}	$1.15\times10^{11}(3.12)$	3.04×10^{-3}
セシウム	2.40×10^{3}	$1.19\times10^{16}(3.21\times10^{5})$	2.42×10^{3}
バリウム	1.20×10^{3}	$3.70\times10^{15}(1.00\times10^{5})$	3.93×10^{2}
ランタン	1.14×10^{3}	$1.82\times10^{13}(4.92\times10^{2})$	8.16
セリウム	2.47×10^{3}	$3.06\times10^{16}(8.27\times10^{5})$	7.87×10^{2}
プラセオジム	1.09×10^{3}	$2.85\times10^{16}(7.71\times10^{5})$	5.73×10^{3}
ネオジム	3.51×10^{3}	$3.50\times10^{12}(9.47\times10^{1})$	2.65×10^{-1}
プロメチウム	1.10×10^{2}	$3.70\times10^{15}(1.00\times10^{5})$	9.17×10^{1}
サマリウム	6.96×10^{2}	$4.63\times10^{13}(1.25\times10^{3})$	2.18
ユーロビウム	1.26×10^{2}	$5.00\times10^{14}(1.35\times10^{4})$	7.19×10^{1}
ガドリニウム	6.29×10^{1}	$8.58\times10^{11}(2.32\times10^{1})$	3.34×10^{-2}
テルビウム	1.25	$1.11\times10^{13}(3.02\times10^{2})$	2.54
ジスプロシウム	6.28×10^{-1}	0(0)	0
小　計	3.09×10^{4}	$1.55\times10^{17}(4.18\times10^{6})$	1.96×10^{4}
合　計	9.95×10^{5}	$1.59\times10^{17}(4.31\times10^{6})$	2.04×10^{4}

これらの量は原子炉に装荷された新燃料中のウラン1トン当たりのものである。
全体としての平均燃焼度は33,000MWd/t、また平均出力30MW/tで、燃料取り出し後150日経過したものである。

この報告で、水蒸気爆発が発生すると直径0.1mm以下のデブリが10～45%存在すると有ります。また、粒径が0.1mm以下の微粒子は1～2m/s程度の気流で浮遊すると報告されています。

　川内原発１、２号機の挿入核燃料の重量は約74t（トン）ですが、OECDのSERENAプロジェクトの報告書を調べていると、キャビティで水蒸気爆発が起きると、溶融デブリの１０%ほどが、水蒸気爆発に反応をする場合が有ると報告されているようですので、川内原発１、２号機の溶融燃料は、水蒸気爆発が起きると76×0.1＝7.6t＝7600kg程度が水蒸気爆発する可能性が有るようです。これらの7600kgの溶融燃料のうち、0.1mm以下の空気中に浮遊する可能性の有る細粒は最大で40%程度になり、7600kg×0.4＝3040kgとなります。水中に残るデブリも大量にありますが、10%ほどは水蒸気により、空中に放出される可能性が有ると思われます。したがって、格納容器が破破損すれば、304kgほどの放射性重金属が水蒸気の乗って大気中に噴出し、その中に約1%含まれるプルトニウムは3.0kgほど、南部九州に撒き散らされると思われます。

2017年6月6日に起きた茨城県大洗町の日本原子力研究開発機構大洗研究開発センターの５人の作業員のプルトニウム吸引事故は、技術の伝承ができなかった関係者の専門知識の不足から起きたと思われる。
川内原発３、４号炉の大水蒸気爆発が起きると、住民にも同じ事が起きる可能性が有ると思われる。

水蒸気爆発が起きて、発生デブリダストが大気中へ飛散すると、住民はプルトニウムを含むデブリダストを肺の中に吸い込むことに成ると思われます。

プルトニウムの微粉を肺に吸い込むと、長期にわたり肺の中にとどまり、内部被爆がいつまでも続くと言われています。その発がん性については、詳しくは分かっていないようですが、プルトニウム廃棄物処理設備の現場では、プルトニウムの微粉は地上最大の発がん物質と言われて、大変恐れられてきました。

電力会社の関係者や地方自治体の関係者が「 JAEA-Research 2007-072報告書」を知らなかったから、住民がプルトニウムデブリダストを吸い込んでしまったという事は許されない事だと思われます。

国際的なIAEAやOECDのSERENA-Projectの知見を全く無視して行われている、川内原発１・２号機のキャビティ大量貯水デブリ冷却対策を許すことはできません。