

福島第一原子力発電所事故



6Aug2011 尾本 彰 (東大原子力GCOE特任教授、原子力委員会委員)

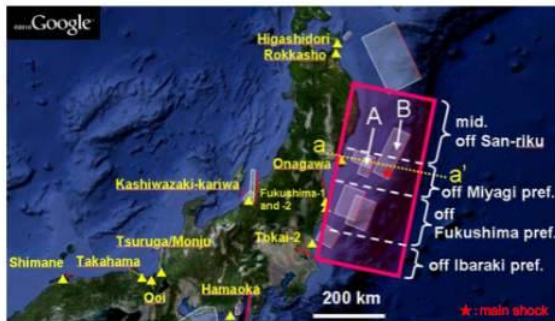
A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

1

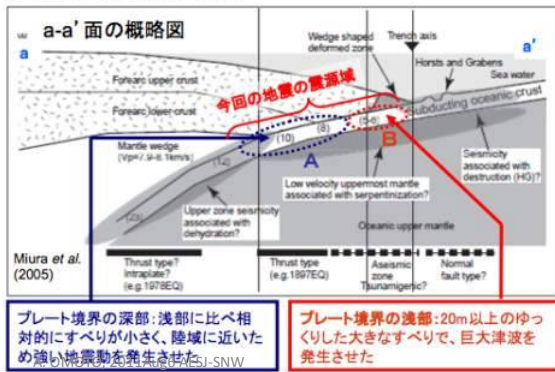
- ✓ Part I 3.11 地震と津波
- Part II 原子力発電所の応答
- Part III 恢復操作
- Part IV 環境影響
- Part V 主要な教訓
- Part VI 将来への課題

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

2



© Google マップに JNES が一部加筆



•震源は約400kmx約 200km

•プレートの破壊は宮城県沖領域の震源から開始され(Bで発生した後、西側の領域Aへ運動)、北方の岩手県沖、単方の福島県沖及び茨城県沖へと運動しながら伝播

•地震の破壊開始点(宮城県沖領域)はほぼ地震本部の評価通り。

しかし、

1) 震源域の範囲が、三陸沖中部、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の広範囲に運動したこと、及び地震規模がM9に達したことは、想定外(地震本部3月11日発表 [SOURCE] http://www.iishin.go.jp/main/chousa/11mar_sanriku-oki/index.htm)

2) 三陸沖よりも南ではプレート境界がずるずると滑っていて大きなひずみが蓄積されていないと推定された

[SOURCE] IAEAへの政府報告書

3.11 福島第一 地震応答

Nr.	MWe	3.11 観測加速度 (max. gal)			設計 (Ss) (max. gal)		
		N-S	E-W	Vertical	N-S	E-W	Vertical
1Fuku1	460	460	447	258	487	489	412
1Fuku2	784	348	550	302	441	438	420
1Fuku3	784	322	507	231	449	441	429
1Fuku4	784	281	319	200	447	445	422
1Fuku5	784	311	548	256	452	452	427
1Fuku6	1100	298	444	244	445	448	415

Note 1: 中越沖地震(2007. 7)に際して柏崎刈羽原子力発電所では、設計ベースの2-3倍の加速度によっても安全機能は維持されたことから、今回の地震による福島第一での安全系の損傷は重大なものではないと推測

しかし、6つの外部電源はブレーカー損傷、ケーブル損傷、鉄塔の崩壊で全て喪失(中越沖地震では4つの外部電源のうち3つ迄は維持された)

Note 2: 原子炉建屋基礎での加速度は下記を超えると原子炉停止信号が出され、核反応は停止した 設定値: 水平=135 gal, 垂直=100 gal

原子力発電所の津波対策設計ベース

1. 安全委員会安全設計審査指針 指針2. 自然現象に対する設計上の考慮
 重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち**最も苛酷と考えられる条件**……を考慮した設計であること
 (解説)「予想される自然現象」とは、敷地の自然環境を基に、洪水、津波、風、凍結、積雪、地滑り等。

「最も苛酷と考えられる条件」とは何か？

- 「自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とは、対象となる自然現象に対応して、過去の記録の信頼性を考慮の上、少なくともこれを下回らない苛酷なもの
- 本来 安全目標との関連で定義すべき

2. 土木学会原子力土木部会「原子力発電所の津波評価技術」(2002年)

http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/system/files/JSCE_Tsunami_060519.pdf

1) 以下の3つの津波を考慮して不確かさ解析実施

- 既往の津波(近地津波と遠地津波)
- プレート境界付近および日本海東縁部に想定される地震に伴う津波
- 海域活断層に想定される地震に伴う津波

2) 設計想定津波の計算結果が既往津波の再現計算結果を上回ることを

3) 提案する方法に基づいて計算される 設計想定津波は、平均的には既往津波の痕跡高の約2倍となっていることを確認

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

5

原子力発電所の津波対策設計ベース

3. 確率論的な評価

- ✓ 2002年ガイドラインは決定論的な手法、かつ、各領域は過去に連動の経験が無い限り**独立して動くものと仮定**
- ✓ 確率論的津波ハザード曲線の策定へ(津波高さvs超過確率)
 - 土木学会による津波ハザード評価ガイドライン案(2009)
 - 津波発生域の組み合わせ:ロジックツリーの分岐確率として表現

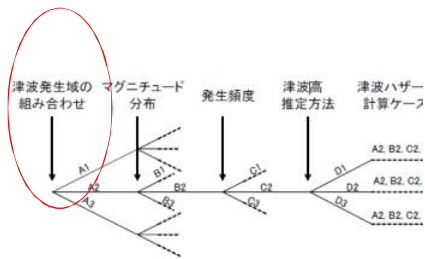


図-1 ロジックツリーによる認識論的不確定性の評価

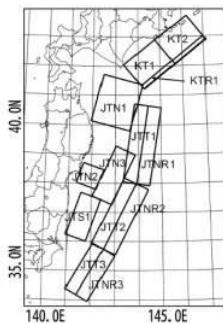
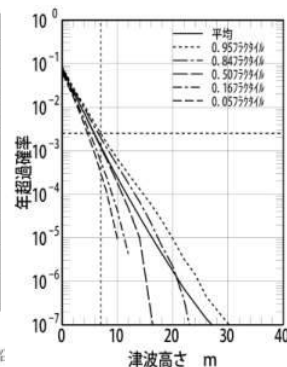


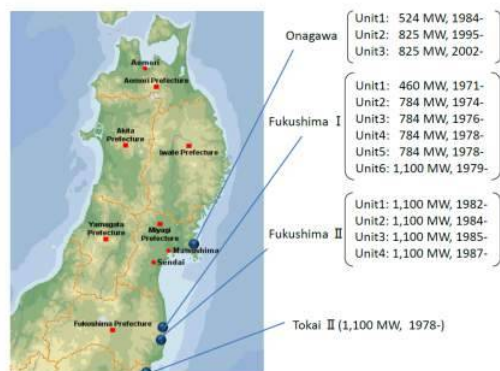
図-2 日本海溝沿いおよび千島海溝(南部)海域の津波発生域の分布



岩手県山田(近地津波と遠地津波)

[SOURCE]津波評価手法の高精度化研究
 土木学会論文集, Vol63, No2, 168-177, 2007
 A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

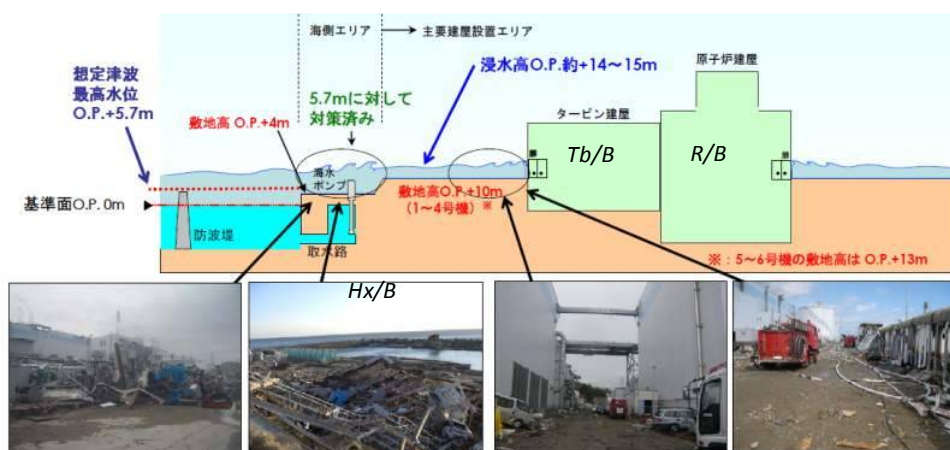
- Part I 3.11 地震と津波
- ✓ Part II 原子力発電所の応答
- Part III 恢復操作
- Part IV 環境影響
- Part V 主要な教訓
- Part VI 将来への課題



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

7

福島第一プラント応答



[SOURCE] TEPCO May 23 report

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

8

炉心損傷か否か--14基の間で何が差異を生んだか?(私見)

(1) 設置高さと同津波高さ

- 女川と東海を救った要因(4)
- 非常用DG/関連電気品室等の浸水が一部だけだった事も含む

(2) 利用できる電力の有無と適切なアクシデントマネジメント

- 外部電源の存在: 福島第二を救った要因(4)
- 非常用DG/関連電気品室等の浸水が一部だけだった事も含む
- 空冷非常用DGの存在: 1F6を救った要因(1)
- アクシデントマネジメントによる隣接1F6電源への接続: 1F5を救った要因(1)
- 外部スプレー(1F1,3,4)と内部配管接続による冷却(1F2): 使用済燃料プールを救った要因(4)

*14基の原子炉で、合計して28の熱源(原子炉13基、使用済燃料プール15)

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

9

非常用電源に関する機器種類と配置							
Unit	敷地高さ[m]		津波高さ[m]			非常用電気品類の設置位置	非常用DGと機器冷却の種類
	R/B, Tb/B [m]	Intake str. [m]	原設計	修正(2002)	3.11		
1Fuku1,2,3,&4	10.2	4	3.1	5.7	14-15		1F1.3: 2 SC-EDGs (design) 1F2,4: 1 SC-EDG (design) + 1 AC-EDG (SAM)
1Fuku5	13.2	4	3.1				2 SC- EDGs
1Fuku6							2 SC-EDGs (design) 1 AC-EDG (SAM)
2Fuku1,2,3 & 4	12	7	3.7	5.2		3 SC-EDGs	
Onagawa1,2 & 3	14.8		9.1	-	13		3 SC-EDGs
Tokai 2	8.0	3	1.5	4.86	5.1-5.4		3 SC-EDGs

位置情報は削除
 Design: 原設計
 SAM: Severe Accident Management
 SC-EDG: 海水によって機器冷却される非常用DG
 AC-EDG: 大気によって機器冷却される非常用DG

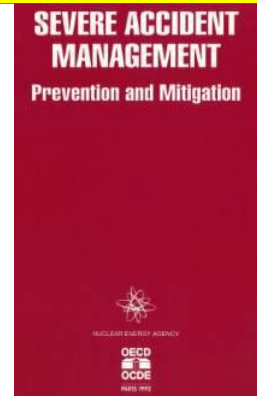
A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

10

シビアアクシデントマネジメント(SAM)

1990年代にシビアアクシデント(炉心燃料の損傷を伴う過酷事故)マネジメント整備活動(OECD/NEA)

- ✓ Chernobylによる過酷事故の重大性認識
- ✓ 過酷事故防止と緩和の両面
- ✓ OECD/NEAによるガイドライン策定
- ✓ SESAM (Senior Expert for Severe Accident Management)活動



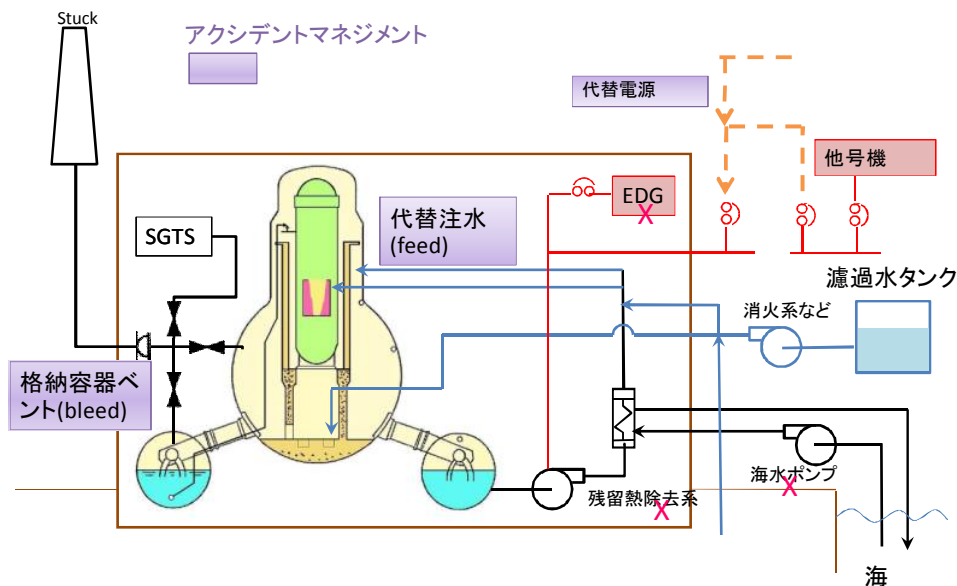
(日本)

- 安全委員会によるSAM 整備の推奨(1992)
- SAM 技術ベースの整備(電力、メーカー、学識経験者)(NSRI guideline, 1999, <http://www.nsra.or.jp/safe/cv/index.html>)

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

11

シビアアクシデントマネジメント(SAM)



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

12

シビアアクシデントマネジメント(SAM)

SAMを実効性を持ったものにする努力は十分であったか？

例1) 事故後認識されたSAM実施上の問題点

ベントラインの弁の設置位置、ベントラインの隣接号機との共有およびSGTS(非常用ガス処理系)との共有に伴う問題の回避、原子炉建屋ベントの設置、バッテリーチャージャー設置、炉心損傷後の環境条件下でのSAM実施への備え 等

例2) 海外の事例の吸収

9.11後の米国原子力規制委員会によるB.5.b

例3) KK地震後の東電の対策

1) 「免震重要棟」を各サイトに設置

2) 地下消防水タンクと消防自動車も各サイトに配置し、その接続訓練も実施。今回これが役立ったが、炉心損傷を防止する時間内には有効に機能せず([source]

http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/110618l.pdf)

- 低圧注水ゆえ、先行すべき原子炉減圧
- 水源の量
- 津波によるがれき散乱という運用環境
- 水素爆発による機器等破損とがれき散乱という運用環境

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

13

災害対策体制(発電所)



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

14

1F1,2,3 炉心燃料の損傷に至るパス

- 14.46 地震とこれによる原子炉停止, 外部電源喪失
非常用電源起動, IC/RCIC 起動
- 15.38-41 津波によるAC/DC電源喪失とヒートシンクからの隔離

「交流/直流電源喪失とヒートシンクからの隔離(海という熱の逃し場がなくなった事)」状態では、アクシデントマネジメントにより、原子炉への水の供給と格納容器健全性確保が必要

短期的には、外部動力と機器冷却系を必要としない(自己蒸気駆動)システム(IC/RCIC/HPCI)で原子炉への水供給を行いつつ、格納容器の加圧破損回避の為に**FEED AND BLEED**で**損傷回避可能**

その後、原子炉を減圧し、消火系など低圧システムで原子炉への水の供給を開始する必要→原子炉を減圧するには逃がし安全弁を強制的に開いて蒸気を圧力抑制室に導く必要

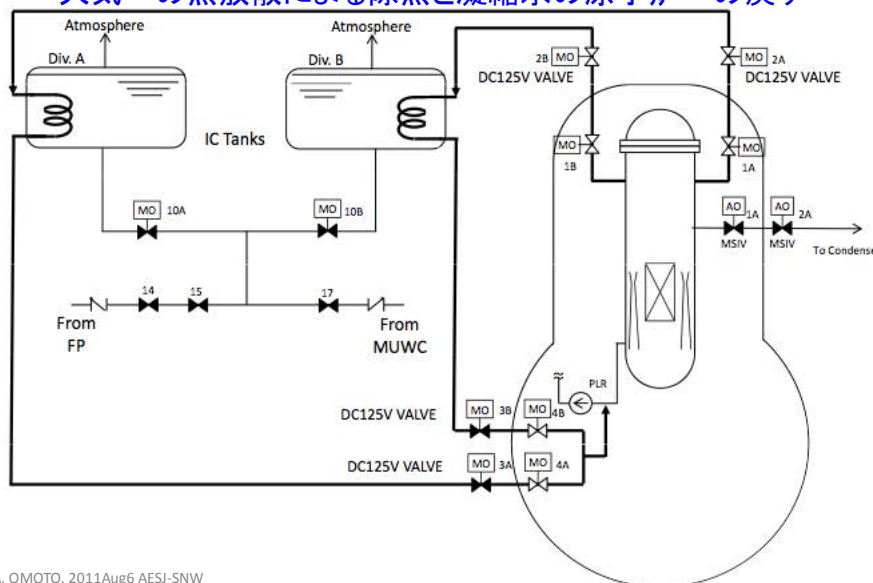
自己蒸気駆動系の作動後、機能喪失(RCIC/HPCI 2-3日後)
逃がし安全弁開による減圧とその後の低圧注水の遅れ

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

15

IC (Isolation Condenser)

外部動力に依存しない安全設備
大気への熱放散による除熱と凝縮水の原子炉への戻り

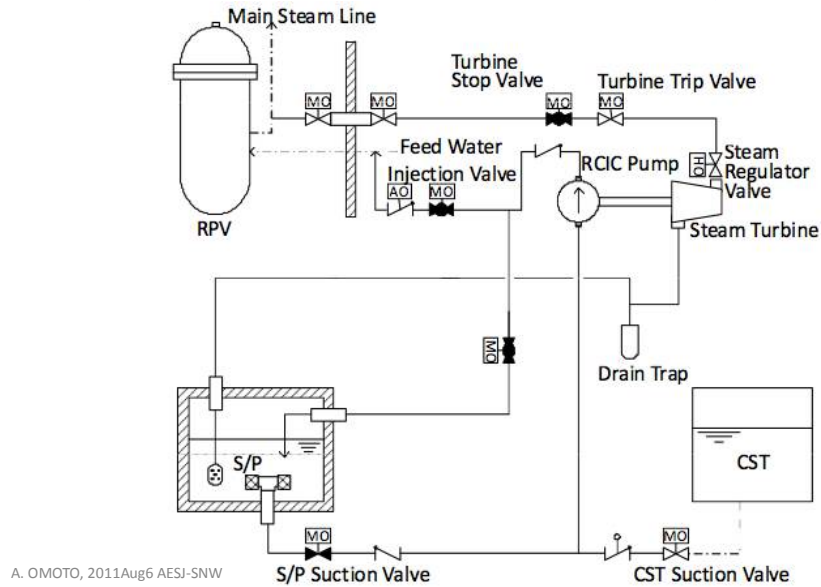


A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

16

RCIC (Reactor Core Isolation Cooling)

外部動力に依存しない安全設備
原子炉蒸気でタービンを回転させ直結ポンプで原子炉への給水



17

交流直流電源

交流

7つの外部電源喪失

13台の非常用DGのうち3台は空冷。そのうちの1つだけ運転継続
電源車到着とケーブル接続の遅れ

直流

バッテリーを集め、必要な計器の指示表示と弁類の操作に供した

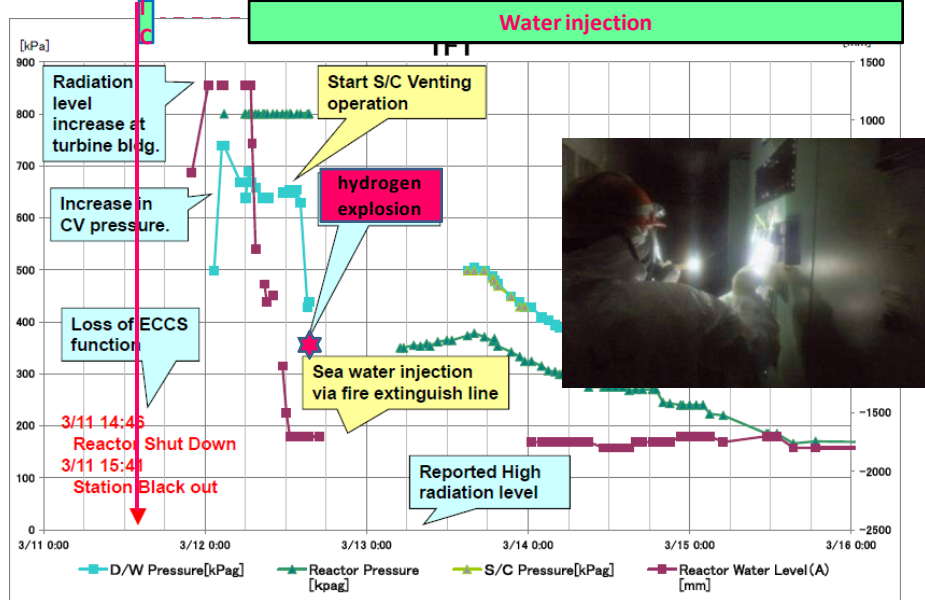


[SOURCE] http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/110618l.pdf

18

1Fuku1

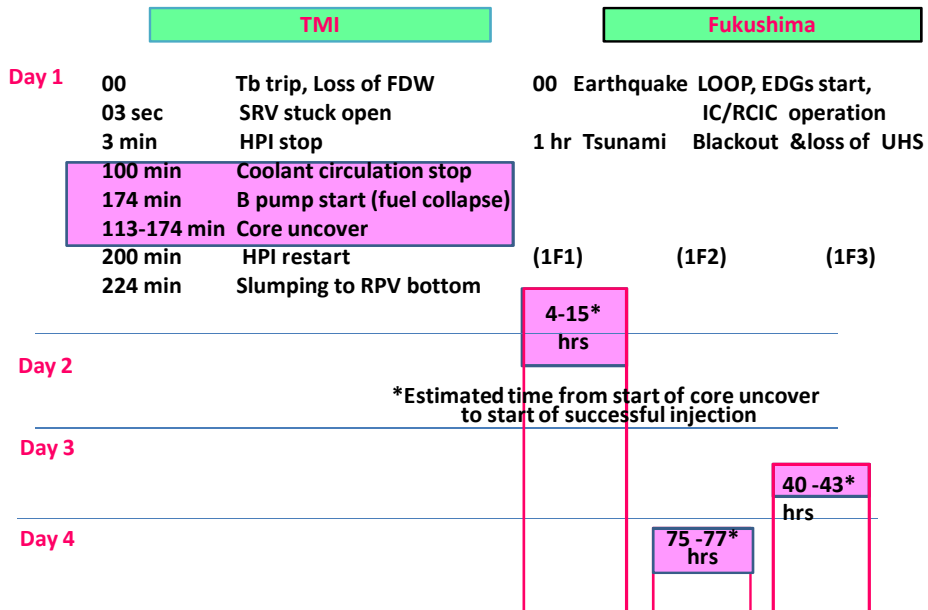
IC trip (March 11.15.37) Start of injection via FP line (March 12. 05.6)



[Based on NISA slide, IAEA Safety Convention Meeting, 2011 April 4 and Gov report to IAEA]

19

TMI (スリーマイル島)-2号機との事象進展比較



A. OMOTO, 2011 Aug 6 AESJ-SNW

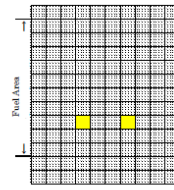
[SOURCE] Based on Gov report to IAEA

20

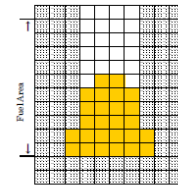
炉心損傷解析

MAAP (TEPCO), MELCOR (JNES),
SAMPSON (IAE/NUPEC)

- MAAP calculation by TEPCO in the Gov. report to the IAEA (Ex.)1F1→
- MELCOR calculation by JNES



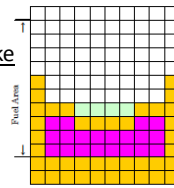
Approx. 4.7 hours after SCRAM



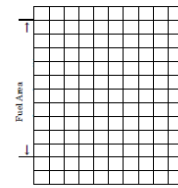
Approx. 5.3 hours after SCRAM

Time of RPV melt-through (M/T) after the earthquake

	MAAP(TEPCO)	MELCOR (JNES)
1F1	5-12 hrs	15 hrs
1F2	109 hrs or no M/T	80 hrs or no M/T
1F3	66 hrs or no M/T	79 hrs or no M/T

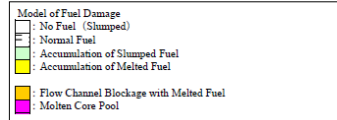


Approx. 14.3 hours after SCRAM



Approx. 15 hours after SCRAM

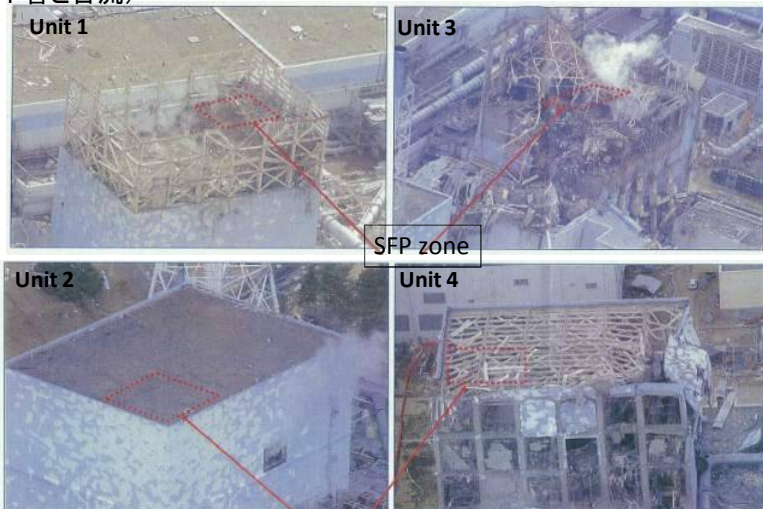
[SOURCE] Based on Gov. report to the IAEA and TEPCO May 23 report



akira1

原子炉建屋内水素爆発

水素漏洩パス1: 過圧→格納容器フランジ等シール部からの課題漏洩
水素漏洩パス2: ベント管→SGTS→原子炉建屋換気空調系(ベント管は隣接号機からのベント管と合流)



1F2 blowout panel opened by
1F3 blast, which released H₂

SFP zone

22

原子炉建屋内水素爆発

- 水素は燃料のジルコニウム被覆管が900度C以上になると活発に水蒸気と反応することで生成
- 水素爆発には酸素との混合が必要
- 1F1,3,4水素爆発は酸素のある格納容器外の閉空間(原子炉建屋頂部)で発生
- 事故時の格納容器内雰囲気は
 - ✓ 窒素ガスが封入されており、酸素は水の放射線分解と注入水の溶存酸素より供給されたが少量
 - ✓ 水蒸気による不活性化
- 1F4の原子炉には燃料はなし(全て使用済燃料プールに移動)
 - ✓ プールの水が失われてジルコニウム火災が生じたと考えた専門家多数
 - ✓ 燃料プール水の分析(含まれる核分裂生成物の構成比から核分裂後の減衰時間推定可能)から1F4プールの燃料は損傷していないこと判明し、ジルコニウム火災があったとは考えにくい
 - ✓ 水素は隣接の3号機からと推定

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

23

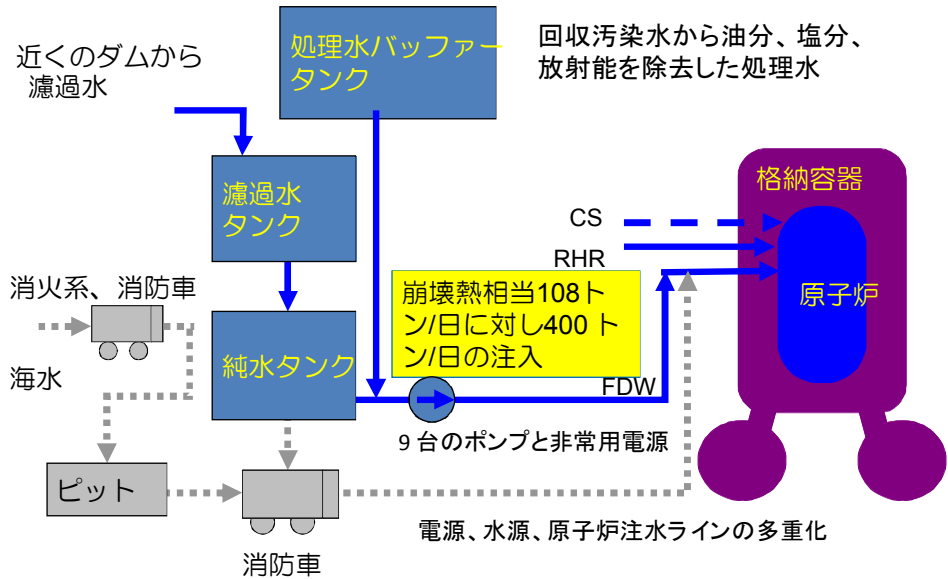
- Part I 3.11 地震と津波
- Part II 原子力発電所の応答
- ✓ Part III 恢復操作
- Part IV 環境影響
- Part V 教訓
- Part VI 将来への課題



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

24

原子炉への注水

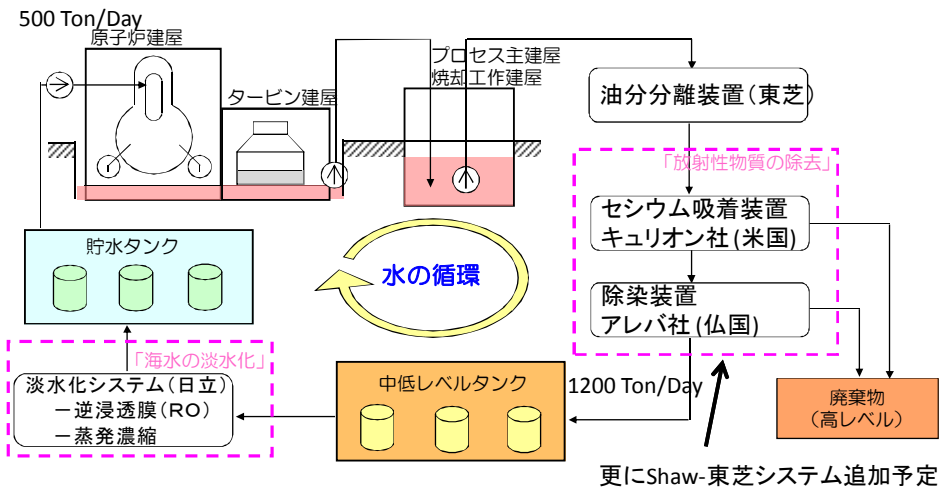


A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

25

安定化の為の活動: 滞留水の処理とリサイクル

滞留水の浄化システムは「放射性物質の除去」と「海水の淡水化」を行って、原子炉冷却のための注水をリサイクルシステムにして、環境への汚染水の放出を防止し腐食抑制 [7/21までに通算し26000Ton処理, 稼働率は67%, 除染係数は10(6), 塩分濃度18ppmに脱塩]

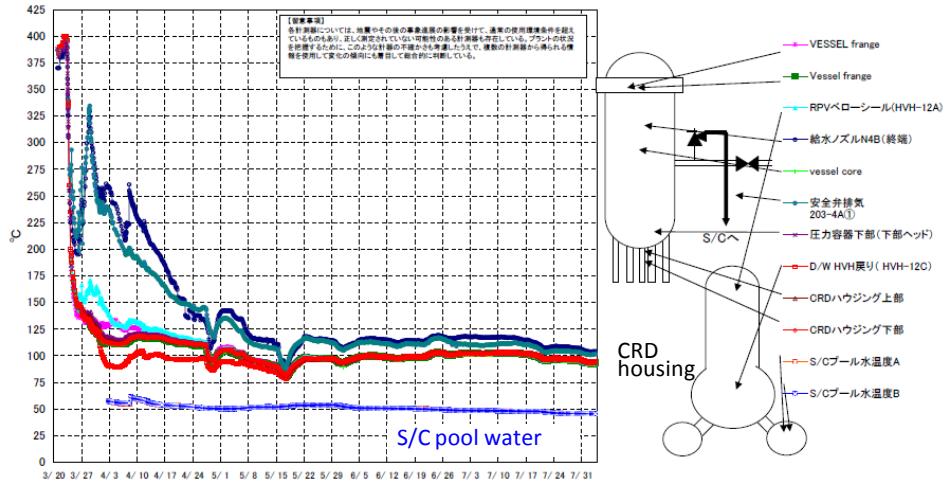


A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

26

1F1 原子炉压力容器温度

福島第一原子力発電所 1号機 温度に関するパラメータ (代表点)



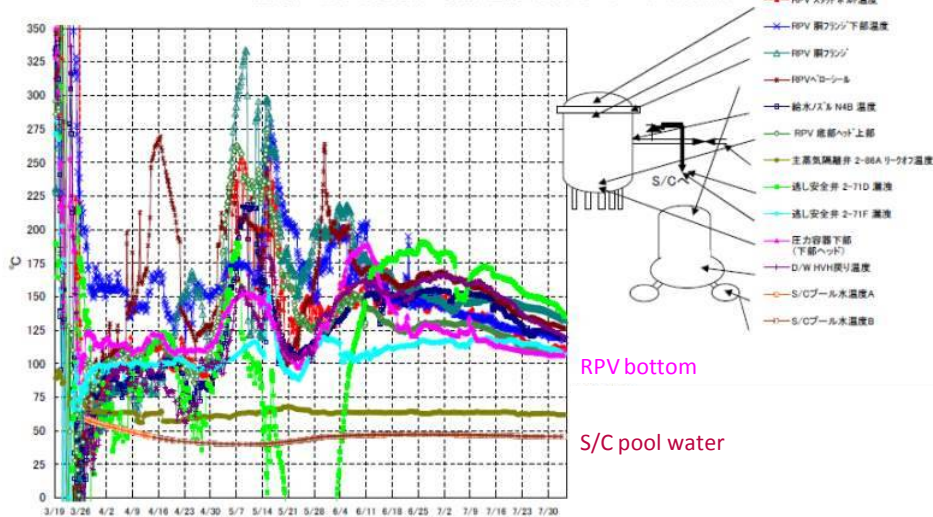
[SOURCE] http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/images/11071912_temp_data_1u-j.pdf

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

27 27

1F3原子炉压力容器温度

福島第一原子力発電所 3号機 温度に関するパラメータ(代表点)



http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/images/11080312_temp_data_3u-j.pdf

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

28

安定化の為の活動

1. 原子炉と使用済燃料プールの冷却

- 作業環境
- 原子炉圧力バウンダリー/格納容器バウンダリーからの注入水漏洩

2. 発電所外への放射性物質漏えい防止

- 原子炉建屋を覆うカバーの設置
- 水のリサイクル
- Csなどの除去および淡水化
 - ✓ ~1200 Tons/Day 処理 → 400 Tons/Day 原子炉にリサイクル
 - ✓ TMI-2事故の10倍の汚染水
 - ✓ 処理必要量: ~200,000 Ton
- 汚染水の貯蔵
- 腐食管理

3. 残留リスクの低減

- 余震対策 (燃料プールの補強, 補給水システムの信頼性向上)
- 水素対策 (1F1,2,3 とも格納容器への窒素注入実施中)

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

29

安定化の為の活動: 汚染水の貯蔵



エリア	内容	容量 (ton)	備考
B,F	低レベル汚染水	18,400	
D,E,H	海水・淡水化処理水	33,000	毎月20,000ton追設
G	高レベル汚染水	10,000	

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

30

安定化のための活動:原子炉建屋カバー設置

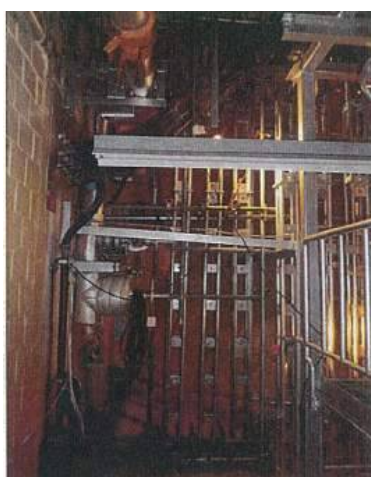


[SOURCE] http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/110614e17.pdf

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

31

1F4使用済燃料プール補強工事



下部床の補強工事実施中

- ◆ 鋼製支柱は6.17より発効
- ◆ コンクリート打設(7/8完了)で支柱の座屈防止

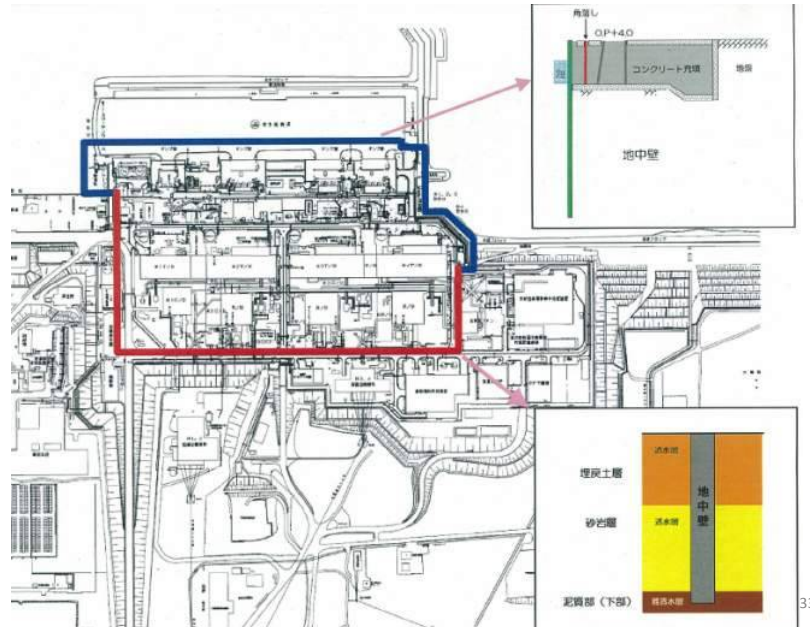


鋼製支柱設置状況
(ジャッキ部)

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

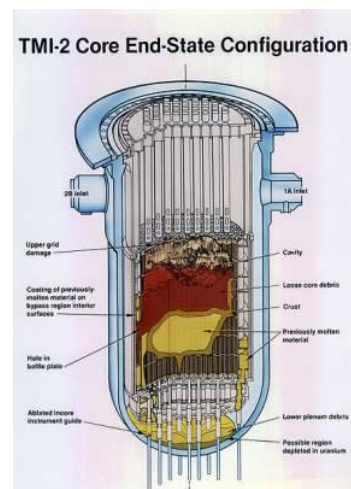
32

地下水汚染の可能性を考慮し、遮水壁設置の検討



安定化の先は？

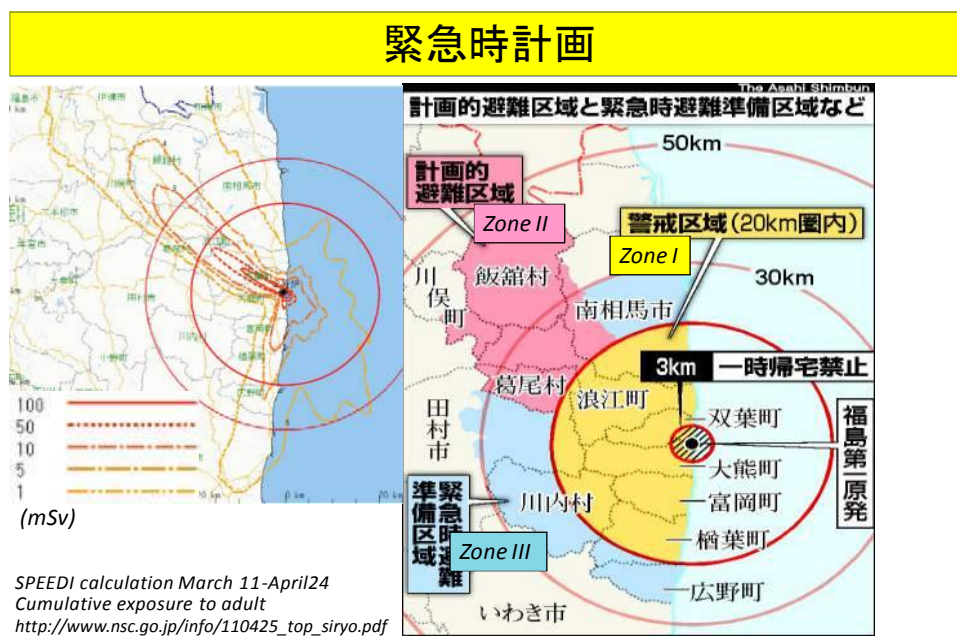
1. 燃料取り出し
 - 使用済燃料プールの健全燃料取り出し
 - 損傷炉心の燃料取り出し
 - ✓ TMI-2: 5-10年後に実施し移送
2. 汚染水の処理
 - TMI-2での汚染水の10-20倍の量
3. 長期的な覆いと除染、将来は廃炉
 - 廃炉方法にはいくつかのオプション
 - 大規模な損傷炉心をもつ原子炉の「解体」は世界にまだ実施例なし
 - ✓ Windscale (UK, 1957)
 - ✓ A-1 (Slovakia, 1977)
 - ✓ TMI-2(USA, 1979)
 - ✓ Chernobyl (Ukr, 1986)
4. 最終的な廃棄物処分



- Part I 3.11 地震と津波
 Part II 原子力発電所の応答
 Part III 恢復操作
 ✓ Part IV 環境影響
 Part V 主要な教訓
 Part VI 将来への課題

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

35



Zone I (20km); “警戒区域”

Zone II (北西部): “計画的避難区域” 特定避難勧奨地点追加

Zone III (20-30km); “緊急時避難準備区域”

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

36

「計画的避難区域」と「緊急時避難準備区域」の設定

官邸HPより その後4.22に一部修正

「計画的避難区域」

- 半径20km以遠の周辺地域において、気象条件や地理的条件により、同発電所から放出された放射性物質の累積が局所的に生じ、積算線量が高い地域が出ています。これらの地域に居住し続けた場合には、積算線量がさらに高水準になるおそれ。
- このため、国際放射線防護委員会(ICRP)と国際原子力機関(IAEA)の緊急時被ばく状況における放射線防護の基準値(年間20～100ミリシーベルト)を考慮して、事故発生から1年の期間内に積算線量が20ミリシーベルトに達するおそれのある区域を「計画的避難区域」に設定。発電所の事故の状況がまだ安定せず緊急に対応することが求められる可能性があり得ることや屋内退避の現況を踏まえ、原則として、これまでの「屋内退避区域」で上記1.の「計画的避難区域」に該当する区域以外の区域を「緊急時避難準備区域」に設定。

「緊急時避難準備区域」

- 発電所の事故の状況がまだ安定していないため、これまで「屋内退避地域」に設定されていた半径20kmから30kmの区域の大部分は、今後なお、緊急時に屋内退避や避難の対応が求められる可能性が否定できない状況
- 緊急に対応することが求められる可能性があり得ることや屋内退避の現況を踏まえ、原則として、これまでの「屋内退避区域」で上記1.の「計画的避難区域」に該当する区域以外の区域を「緊急時避難準備区域」に設定。

「計画的避難区域」と「緊急時避難準備区域」の設定の見直し

- 「計画的避難区域」と「緊急時避難準備区域」の設定のあり方については、同発電所からの放射性物質の放出が基本的に管理される状況になると判断される時点で見直しを行う
- ステップ2終了時には、放射性物質の放出が管理される予定です。この時点で、原子力安全委員会の意見を聞きながら、速やかに計画的避難区域や緊急時避難準備区域の見直し。それまでの間、具体的な判断基準の詳細を検討するとともに、可能な限り広域の除染

[SOURCE] <http://www.kantei.go.jp/saigai/20110411keikakuhinan.html>*

<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/0417roadmap.html>

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

37

食品における放射性物質の暫定規制値

➤ 3月19日以降実施

➤ ガイドライン

(I-131)

I-131 等価で飲料水/牛乳 < 300 Bq/kg (小児: 100Bq/kg)

I-131等価で野菜や海産物 < 2,000 Bq/kg

(Cs)

飲料水/牛乳 < 200 Bq/kg

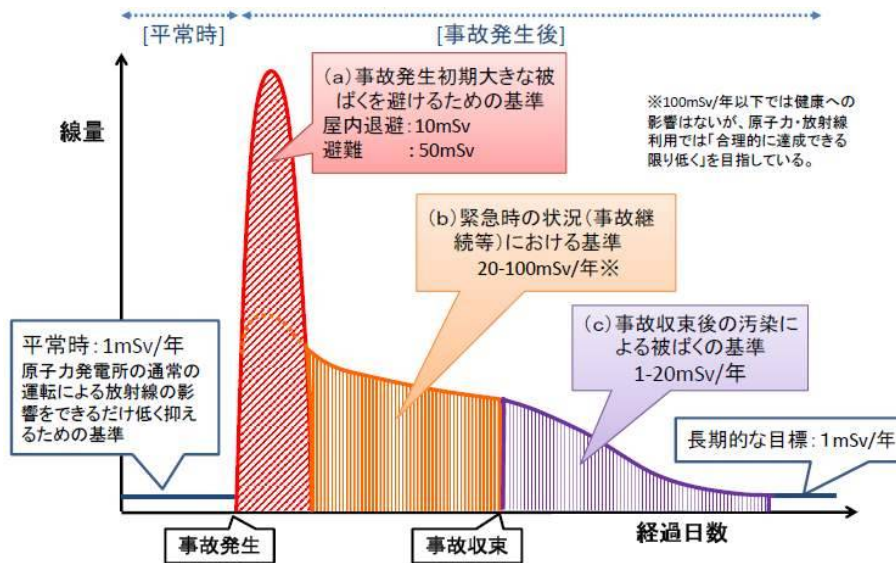
食物 < 500 Bq/kg

➤ 根拠 (安全委員会)

放射性セシウムを含む食食品の摂取による内部被ばくの年間線量限度 5mSv

放射性ヨウ素を含む食食品の経口摂取による内部被ばくの年間線量限度 50mSv

38



安全委員会の考え方

[SOURCE] NSC, http://www.nsc.go.jp/info/20110411_2.pdf

人体への影響について

放射線の影響は急性効果と晩発性効果の2つ

- 急性: 250mSv以上でリンパ球の減少、3000-6000mSvで脱毛、皮膚の炎症
- 晩発性: 白血病lukemiaなど

「1年間に100mSvまでは、確定的影響という被ばくしたときに短期間に現れる身体的影響は認められず、また長期的に発症する晩発的影響について、特にがんリスクの推定に用いる疫学的方法は、およそ、100mSvまでの線量範囲でのがんのリスクを直接明らかにする力は持たないという一般的な合意がある」(久住安全委員)

比較 (IAEA資料から)

- ✓ 自然界から 2.4mSv
- ✓ CTスキャン 10mSv
- ✓ 胸部X線検査 0.5mSv

人体にある放射性物質

- K-40 4,000 Bq
- C-14 2,500 Bq
- Pb-210, Po-210 20 Bq

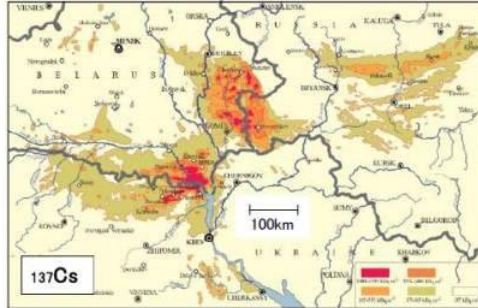
食物にある天然のK-40→人体に蓄積されているK-40は3600 Bq

- 牛乳 19-63 Bq/kg
- ほうれん草 89-220 Bq/kg

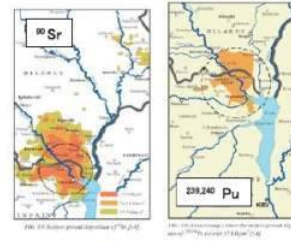
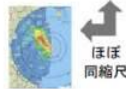
チェルノブイリ発電所事故後に実施された環境修復対策・結果、
今回の事故による環境汚染との比較

3. 土壌汚染の状況(単位面積あたりの沈着)

チェルノブイリ



汚染レベル毎の面積	
37-185kBq/m ²	: 162,160km ²
185-555kBq/m ²	: 19,100km ²
555-1480kBq/m ²	: 7,200km ²
>1480kBq/m ²	: 3,100km ²



IAEA報告書 "STI/PUB/1239" (2006) より

福島

原子力学会 安全専門
委員会資料より

4

[SOURCE] 角山、第21回原子力委員会資料、2011June14

- Part I 3.11 地震と津波
- Part II 原子力発電所の応答
- Part III 恢復操作
- Part IV 環境影響
- ✓ Part V 主要な教訓
- Part VI 将来への課題

主要な教訓事項

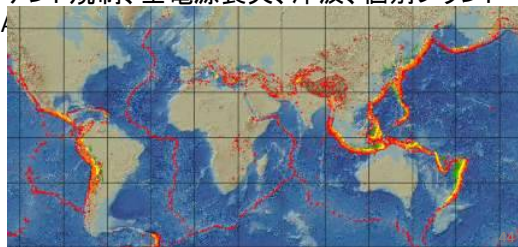
1. **地震津波など自然災害の考慮**
 - ハザードカーブを用い、内因事象などと整合性のとれた超過確率考慮
 - 浸水を考慮した配置設計
 - 自然および人工的なハザードによる共通原因故障への配慮
2. **電源確保とヒートシンク確保**
 - 「長時間に亘る全電源喪失」と「ヒートシンクからの隔離」を考慮
 - 安全確保の為にヒートシンク、水源、電源の信頼度確保
 - 多様性の大切さ
3. **複数基立地のリスク**
4. **除熱における「受動安全」**
 - 自己蒸気を利用したRCIC作動している期間に逃がし弁で減圧し低圧系注水
 - 格納容器からの受動安全系による除熱
5. **使用済燃料プール**
 - 代替除熱システム
 - 設置位置
 - 燃料のマネジメント(早期にキャスク保管)

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

43

主要な教訓事項

6. **アクシデントマネジメント**
 - 1992年以来、事業者の自主整備との位置づけ
 - 所内や危機管理センター等に各種可搬式機器を用意し訓練
 - 炉心損傷後の放射線環境下でのマネジメント
 - 建屋内水素ガス対策(SGTSとの隔離、建屋頂部からのベント)
7. **事故時計装と事故時の計算機支援**
 - Real-time/faster-than-real-time simulation system
8. **緊急時責任/指揮体制/情報提供**
 - Who is in charge?
 - オフサイトセンターの機能、関係機関の間の役割分担、SPEEDI問題等
9. **規制行政**
 - 専門能力と独立性
 - 設計指針の修正(シビアアクシデント規制、全電源喪失、津波、個別プラントにおける確率論的安全評価PSA)
10. **国際協力**
 - Peer review
 - Compliance to IAEA SS
 - WANO地域緊急時対応
 - 地域におけるconfidence building/Trust



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

背後要因(私見)

Root cause built in historyの検証

- ✓組織文化、制度、マネジメント
- ✓CAIB report "The Board recognized early on that the accident was probably not an anomalous, random event, but rather likely rooted to some degree in NASA's history and the human space flight program's culture."

- 自然現象という不確実性の高いものへの考え方や、SAM整備後、シビアアクシデントが「起こりうるもの」として不断の有効性検証や海外から学ぶ姿勢はどうであったか等の組織安全文化
- 2002年以降のQA + Compliance重視の趨勢の中での安全問題
- 基準要求は抽象的で、具体的な設計への適用は、ガイドや学協会基準に準拠する部分が多いところ、学協会基準のありかた
- 規制に関する制度的諸問題(独立性、頻繁な異動の中での専門性確保、リスク低減上の規制の有効性)
- 社会の中での「リスク」の扱い
 - ✓ リスクのない技術はない
 - ✓ リスクを正視しリスク目標を定めリスク管理へ

異なった起因事象による原子炉事故を未然に防ぐにはこれらの背後要因の検証と対策が重要

45

What is culture?

Most of the culture is below the surface



Above the surface we find the visible aspects of culture: artefacts, people's actions, language use

Below the surface we find

- norms
- values
- fundamental assumptions of reality

[SOURCE] K.Dahlgren Persson

46

Safety Culture

Three-level model of Safety Culture

Artefacts-Visible Signs

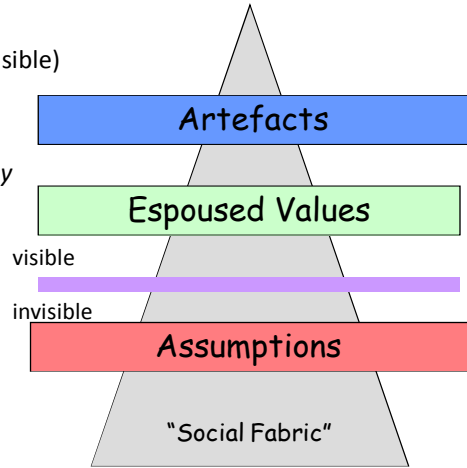
(greeting rituals, dress, housekeeping – visible)

Espoused Values

(values that are adopted and supported by a person or organization based on strategies/ goals)

Basic Assumptions

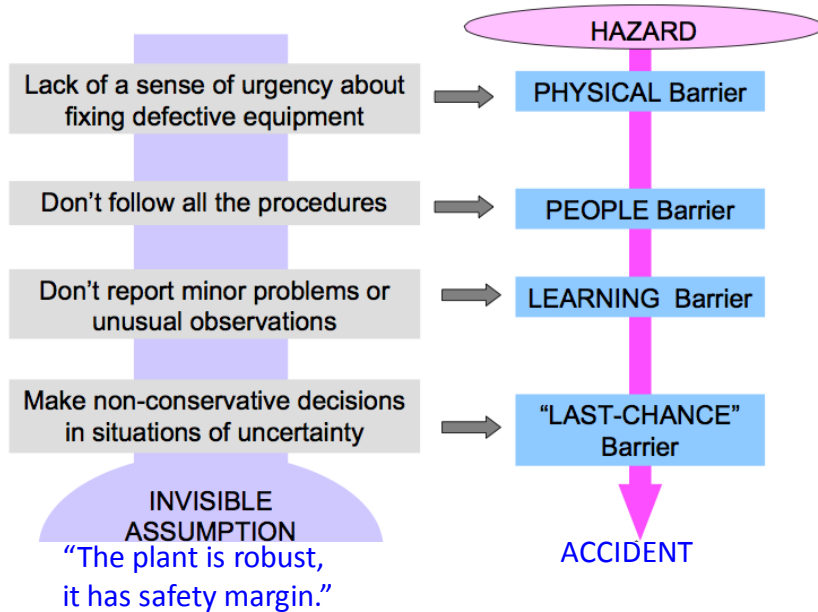
(Such as “human nature good or evil”)



[SOURCE] Edgar Schein, former professor at the MIT Sloan School of Management, expert on organizational culture

47

ASSUMPTIONS (BELIEFS) MATTER



[SOURCE] Charles Packer, Cherrystone Management

48

- Part I 3.11 地震と津波
- Part II 原子力発電所の応答
- Part III 恢復操作
- Part IV 環境影響
- Part V 主要な教訓
- ✓ Part VI 将来への課題

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

49

将来への課題

- ◆土地の除染、避難している人の将来、町の復興計画
- ◆健康影響とその調査
- ◆運転中/停止中の原子炉の安全確保
- ◆原子力法令/基準/体制の改定
- ◆損害賠償
- ◆エネルギー供給確保
- ◆エネルギー政策の見直しと国民の意思決定への参画
- ◆防災計画など社会一般のリスク管理の向上
- ◆経済へのインパクト 等々

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

50

土地除染の実証試験

Physical

Chemical

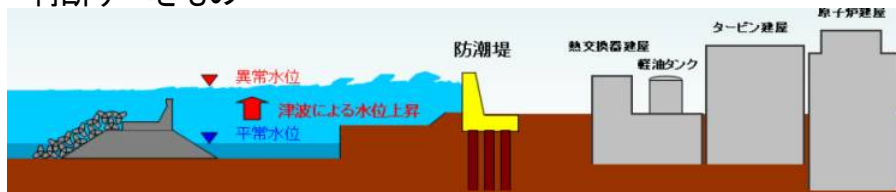
settling basin

Biological

51

既設炉の安全確認

- 欧州: ストレストテストと結果の域内(国境を越えた)レビュー
 米国: 同様の事故は米国プラントでは起こりにくいとして12改善項目
 日本: 3.30, 4.9, 4.15, 6.7 保安院指示
- 短期には、電源車/消防車/空冷DG/可搬式ポンプなどの配備と訓練
 - 中長期には、津波への防波堤など
 - 外部電源信頼性向上
 - シビアアクシデント対策拡充(水素、制御室の事故時居住性等)
- *ストレストテストに関する私見
- ✓ 裕度確認(例えば耐震裕度確認は、事業者が裕度を確認し併せて脆弱な箇所を認識し改善するのに使用するツールとして開発)
 - ✓ 地震加速度や津波高さなどあるストレスの超過確率は地点依存
 - ✓ 裕度が満足できるレベルか否かは主観ではなくリスク目標に照らし判断すべきもの



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

52

福島後の原子力政策(私見)

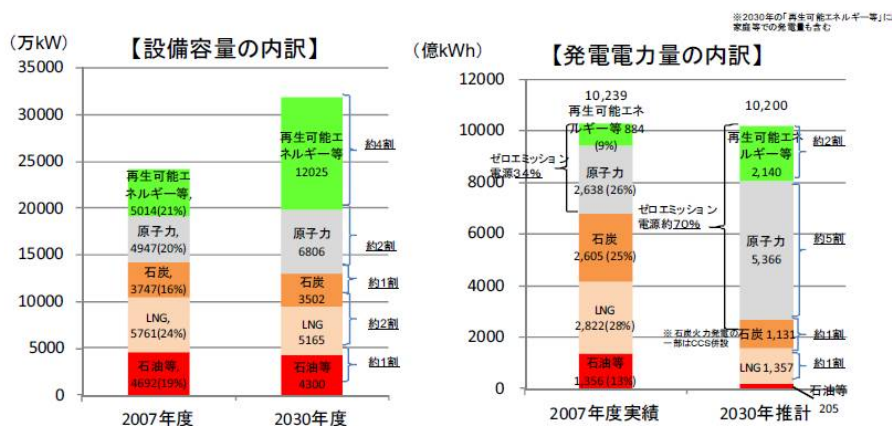
1. 当面する緊急の課題の明確化と方向付け(委員会声明(4.5, 5.10))
 - 事故の収束、土地除染など復興とこれにむけた実証試験、原因究明事故調査等
2. エネルギーミックスの将来
 - 原子力政策はエネルギー政策の一部
 - エネルギー基本計画改訂/エネルギー環境会議と原子力委員会大綱
 - 様々な支配要因(DSM(節約、効率)と需給バランス、供給セキュリティ、低炭素化、再生可能エネルギーの果たす役割、国民経済負担、立地地域の意向、技術開発など)
 - 原子力の利用を支配するその他の要因
 - ✓ 「安全確保」という前提条件確保
 - ✓ 国民の事業者/規制への信頼
 - ✓ 意思決定プロセスへの参加
 - 個々のエネルギー源のもつ特性の認識
 - ✓ 市場価格に含まれないコスト(供給セキュリティ、温暖化、事故)
 - ✓ 再生可能エネルギーのエネルギー密度、稼働率(太陽光12%)、バックアップ電源の必要性

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

53

現行のエネルギー基本計画 (出典:第34回原子力委員会資料2-3号、2010June29)

○ゼロ・エミッション電源比率は約70%程度となる※。(現状34%)



※大規模な再生可能エネルギーや、立地地域を始めとした国民の理解及び信頼を得つつ、安全の確保を大前提とした原子力の増設(少なくとも14基以上)及び設備利用率の引き上げ(約90%)、並びに再生可能エネルギーの最大限の導入が前提であり、電力系統の安定性については別途の検討が必要である。

※石炭火力については、適用化を受けて、リブレース時には全てCCSを併設すると想定。今後の技術開発やCO2の貯留地点の確保等によって変動しうる点に留意が必要。

※ゼロ・エミッション電源比率は再生可能エネルギー等のうち、廃棄物発電及び揚水発電を除く。

54

原子力の穴を新エネルギーで埋められるか(山地試算、110404)

	電気出力(万kW) ()内は電力量(億kWh、 設備利用率85%)	太陽電池でkWh代替 (設備利用率12%)	風力発電でkWh代替 (設備利用率20%)
福島第1 1-4号炉	281万kW (210億kWh)	1993万kW	1196万kW
福島第1全体(5、6号含む)	470万kW (350億kWh)	3327万kW	1997万kW
福島第2全体(1-4号炉)	440万kW (328億kWh)	3117万kW	1870万kW
女川全体(1-3号炉)	217万kW (162億kWh)	1540万kW	924万kW
東海2号炉	110万kW (82億kWh)	779万kW	466万kW
建設中2基(島根3、大間)	276万kW (205億kWh)	1952万kW	1171万kW
建設準備中12基	1655万kW (1233億kWh)	1億1724万kW	7035万kW
<参考> エネルギー基本計画(2030年、 設備利用率90%)	6806万kW (5366億kWh)	5億1045万kW	3億627万kW
2009年度実績(設備利用率 65%)	4885万kW (2798億kWh)	2億6458万kW	1億4654万kW

[出典]地球環境産業技術研究機構(RITE)理事・研究所長 山地憲治
「福島原子力事故後のエネルギー政策について」、今後の原子力政策に関する有識者ヒアリング
@原子力委員会 2011年6月9日

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

55

福島後の原子力政策(私見)

2. エネルギーミックスの将来(...続)

➤ 「国際社会の中での日本」

- ✓ 過渡的にはエネルギー供給構造は一層脆弱に→世界における今後のエネルギー動向/技術開発の動きに一層敏感になる必要
- ✓ 競争と協調
競争: エネルギー資源を巡る緊張、経済競争
協調:
 - 温暖化対策における国際的な合意事項
 - Brundtland Report以降、世界的な合意は「持続可能な発展」
 - ・ 経済/環境/社会/制度
 - ・ 世代と地域を超えた公平の実現

The Chernobyl Forum



➤ 原子炉事故処理の今後に関しては、国際的な知見の活用と得られた経験の共有

- ✓ オンサイトの3D
(Decontamination, Defueling, Decommissioning)
- ✓ オフサイトのD+H (Decontamination, Health effect)



➤ 原子炉設計や規制システムの国際レビュー

➤ Convention of Supplemental Compensation 等々

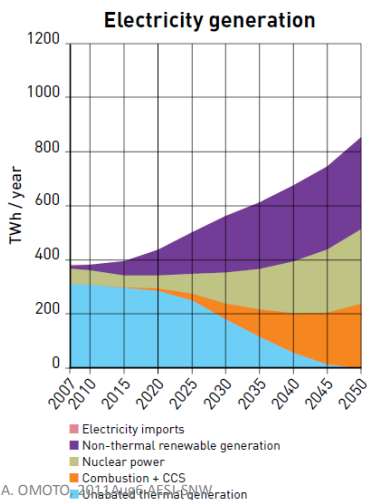
A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

56

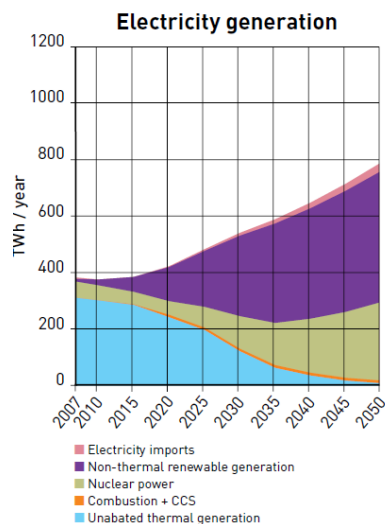
UK Pathway analysisの例

- ✓ 英国はラクイアサミットにおける合意(2050年に先進国はGHG放出を80%削減)を法制化
- ✓ 6つの選択肢を検討

Pathway Alpha
(低炭素社会実現にむけて全分野で努力)

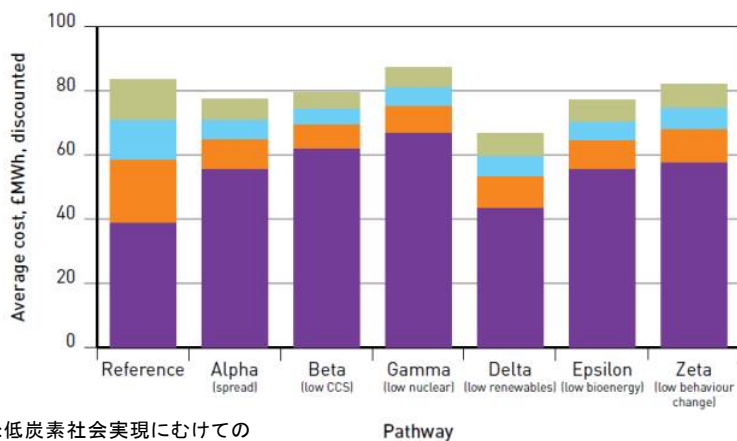


Pathway Beta
(CCSの大規模導入が出来ない場合)



UK Pathway analysisの例

それぞれのPathwayで1000KWhあたりの電気代がどう変わるかを評価



Reference case: 低炭素社会実現にむけての
努力が何もされない場合

- Low fossil fuel prices
- Central fossil fuel prices
- High fossil fuel prices
- High-high fossil fuel prices

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

**Never, Ever Again
anywhere in the world**



3.11 Tsunami							
Unit	Ground Level		Tsunami height [m]			Location of Electric Equipment Room (M/C, P/C, Battery)	Type & location of Emergency Diesel Generator SC: Seawater-cooled AC: Air-cooler
	R/B, Tb/B [m]	Intake str. [m]	DB	Mod (2002)	3.11		
1Fuku1,2,3,& 4	10.2	4	3.1	5.7	14.5	Tb/B B1F & 1F (1F3/5 battery at MB1F)	1F1.3: 2 SC-EDGs in Tb/B B1F (design) 1F2,4: 1 SC-EDG in Tb/B B1F (design) + 1 AC-EDG in new common/B (SAM)
1Fuku5	13.2	4	3.1			R/B B1 & 1F, Tb/B B1F (battery:T/B MB1F)	2 SC- EDGs in Tb/B B1F
1Fuku6						R/B 1F, B1F C/B B1F B2F	2 SC-EDGs in R/B 1F (original design) 1 AC-EDG in new EDG/B (SAM)
2Fuku1,2,3 & 4	12	7	3.7	5.2		R/B 1F, B1F C/B B1F B2F	3 SC-EDGs in R/B B2F
Onagawa1,2 & 3	14.8		9.1	-	13	R/B 1F	3 SC-EDGs in R/B B1F
Tokai 2	8.0	3	1.5	4.86	5.1-5.4	R/B 1F B2F	3 SC-EDGs in R/S B1F

1. One of the offsite power lines for 2F stayed alive during & after the Earthquake/Tsunami
2. What mattered was the elevation of air intake/exhaust of EDG room & location of Electric Equipment rooms



システム依存性

1. 原子炉補給水システムが機能を果たすには
 - ✓駆動力（電力[AC & DC]、重力等の蓄積されたエネルギー、自己蒸気）
 - ✓機器冷却系(水あるいは空気)
 - ✓水源

 2. 低圧の原子炉補給水システムが機能を果たすには
 - ✓逃がし安全弁による原子炉減圧、その弁駆動のためには
DCと圧縮気体 (N2/air)
格納容器背圧がかなり高い場合には格納容器減圧

 3. 非常用発電機が安全機器にAC供給機能を果たすには
 - ✓(水か空気による)機器冷却
 - ✓燃焼を助ける空気
 - ✓燃料供給
 - ✓パワーセンター等電気系
- IC/RCIC/HPCIは
- 外部AC動力に依存せず(自己蒸気を駆動源)
 - 高圧条件で作動

61

Was there re-criticality?

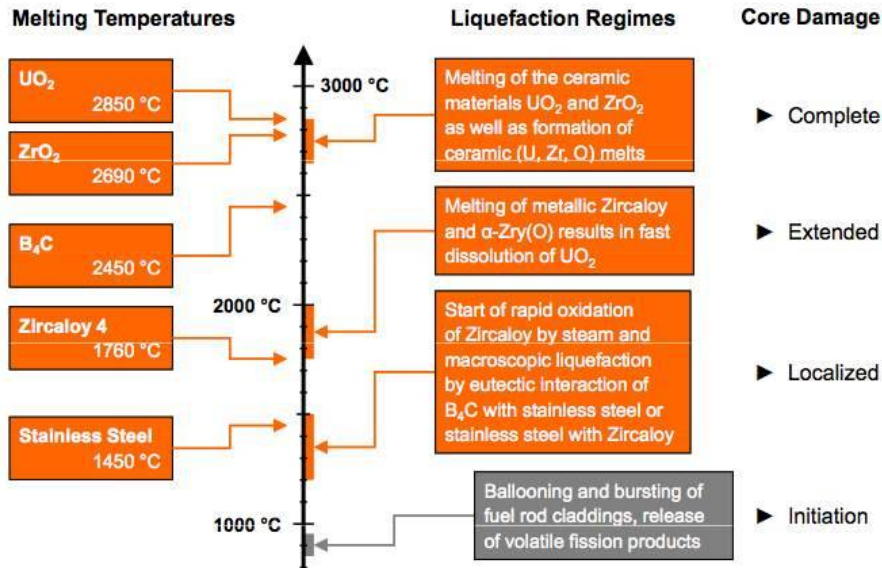
1. Only one MP recorded neutron at threshold level signal, but not recognized as evidence of re-criticality

2. Detection of Cl-38, I-134 : mistake in measurement by TEPCO

3. Considered as remote from reality, but theoretically chances of re-criticality may exist;
 - a) Reactor: In the process of melting when Fuel is self-standing, CR is melted and re-flood (physically not easy at narrow time-window)
 - b) Optimum moderation of over-cooled SFP:
 - Physics calculation revealed only relatively fresh FAs (high reactivity) in 1F4 SFP have such a chance when dry-out or bubbling occurred
 - Nevertheless, no evidence of fuel failure nor re-flood after dry-out (explosive steam generation) of 1F4 SFP

62

Core damage



Source: KIT, GRS, 2011

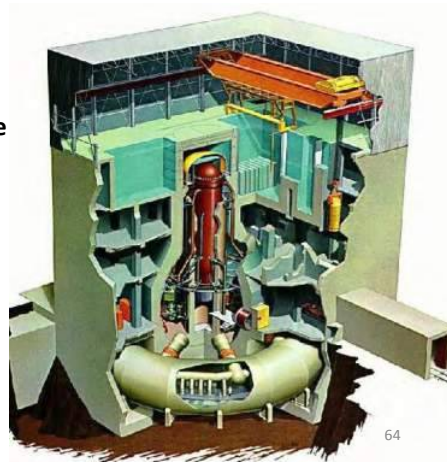
BWR/3,4 generation plant

BWR/3 (460MWe, 1Fuku1)

- Mark I Containment (Drywell + Torus-type Suppression Pool, Pd=62psig)
- SFP on top floor of the R/B
- **Isolation condenser for passive core cooling (@Hi Pressure)**
- Core Spray system (@Lo Pressure) after depressurization by SRV
- Battery capability: 10 hrs

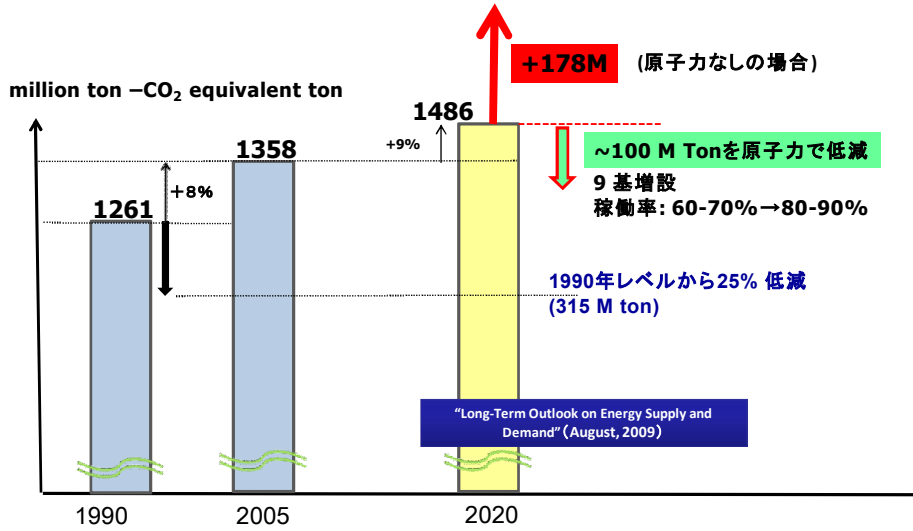
BWR/4 (784MWe, 1Fuku 2,3,4 &5)

- Mark I Containment (Drywell + Torus-type Suppression Pool, Pd=45psig)
- SFP on top floor of the R/B
- **RCIC (Reactor Core Isolation Cooling) & HPCI (High Pressure Core Injection) (@Hi Pressure)**
- CS (Core Spray) & RHR/LPCI (@Lo Pressure) after depressurization by SRV
- Battery capability: 8 hrs



64

低炭素化社会への移行(至近)



CO₂放出量原単位比較: Nuclear=22g/kWh, Coal-fired=930g/kWh, LNG-fired=434g/kWh
 原子力発電量(278TWhr, 29.2%)が現状構成比率の化石燃料で置換されるとすれば
 $278 \times 10^9 \text{ kWh} \times (660.5 \text{ g/kWh} - 22 \text{ g/kWh}) \sim 178 \text{ Million ton-CO}_2$ の放出量増加

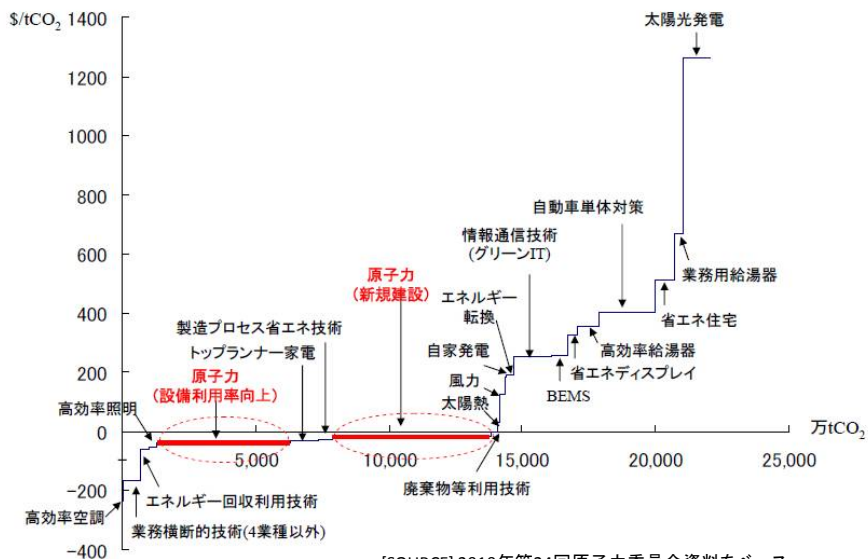
A. OMOTO, 2011 July 21 EnergyForum

65

CO₂限界削減コストカーブ、2020年 (日本エネルギー経済研究所)

前回報告(2010年3月16日)からの変更点:

原子力稼働率向上、原子力新規建設の限界削減費用を追加。風力発電の限界削減費用は火力発電の代替を仮定
 太陽光発電は、2005年比20倍(2800万kW)まで拡大。

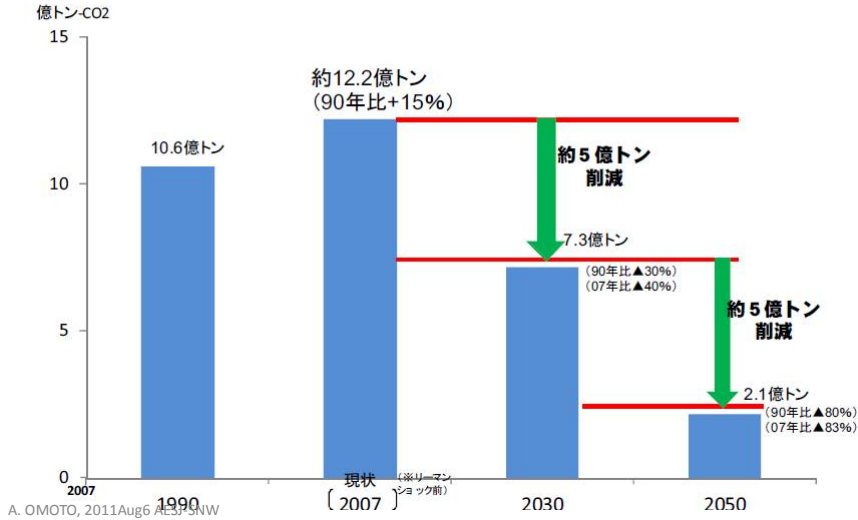


[SOURCE] 2010年第24回原子力委員会資料をベース

現行のエネルギー基本計画 (出典: 第34回原子力委員会資料2-3号、2010June29)

長期的なCO2排出量のパス (イメージ)

○長期的なCO2排出量パスとの関係では、2030年までの約20年間で、現状から約5億トンが削減され、2050年(90年比▲80%)までの削減量のうち、ほぼ半分が実現されるイメージとなる。



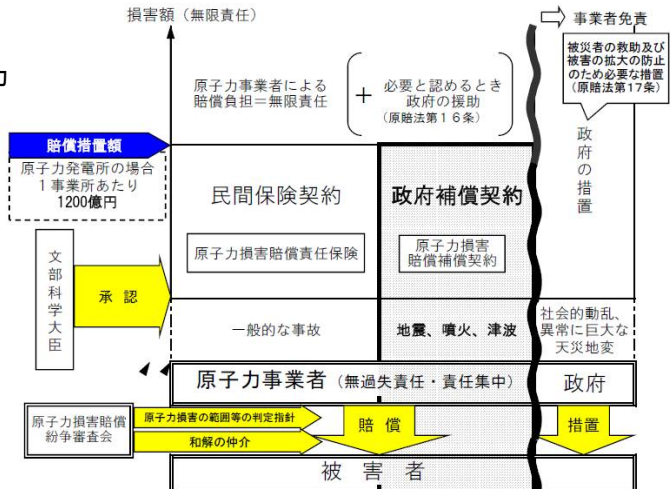
A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

67

原子力損害賠償制度

1. 無過失責任、責任集中、無限責任
2. 原子力事業者に、原子力損害を賠償するための措置(賠償措置)を義務付け
3. 賠償責任が賠償措置を超える場合の政府の援助や異常に巨大な天災地変又は社会的動乱により原子力損害が生じた場合の政府の措置を規定

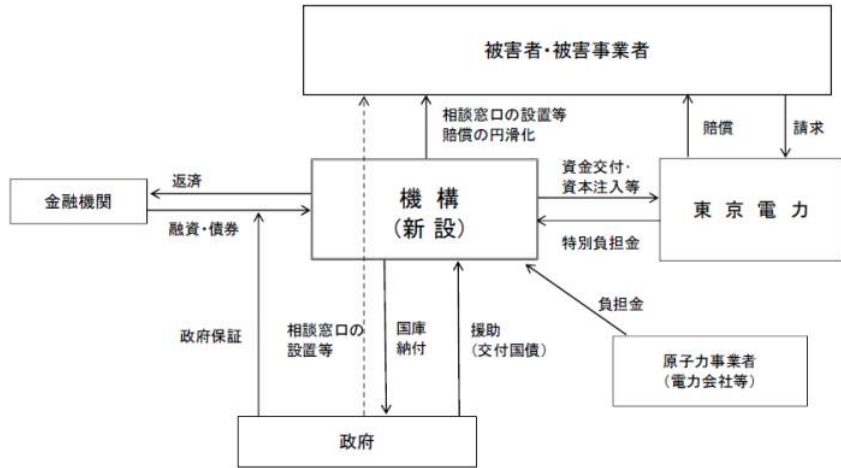
4. 和解の仲介や
原子力損害の範囲等
の判定指針を行う原子力
損害賠償紛争審査会



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

68

新たなスキーム



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

69

Why INES level 7? Declared by NSC/NISA on April 13th

Chernobyl: I-131 eq. 5.2 x [10(18)] Bq

Fukushima: I-131 eq. 0.3-0.6 x [10(18)] Bq

Estimated by reverse calculation using SPEEDI and ground contamination (outside) and Severe Accident ST Analysis (inside)

INES 2.2.2. Definition of levels based on activity released

Level 7: An event
equivalent to a release to the atmosphere of more than several tens of thousands of tera[10(12)] Bq of I-131
(SOURCE: INES User's Manual 2008 Edition)



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

70

The Fukushima Daiichi Accident



► Question: Is this accident a matter of residual risk of nuclear energy?

History data of earthquake-induced tsunamis with maximum amplitudes above 10 m hitting the coasts of Japan and the Kuril Islands (Russia) over the past 513 years					
Date and Country	Affected Region	Earthquake ¹⁾	Tsunami ²⁾	Victims	
11.03.2011	Japan	Japan	M = 9.0	23 m	> 10 000
04.10.1994	Russia	Kuril Islands	M = 8.3	11 m	Not specified
12.07.1993	Japan	Sea of Japan	M = 7.7	31.7 m	330
26.05.1983	Japan	Noshiro	M = 7.7	14.5 m	103
07.12.1944	Japan	Kii Peninsula	M = 8.1	10 m	40
02.03.1933	Japan	Sanriku	M = 8.4	30 m	3 000
01.09.1923	Japan	Tokaido	M = 7.9	12 m	2 144
07.09.1918	Russia	Kuril Islands	M = 8.2	12 m	50
15.06.1896	Japan	Sanriku	M = 7.6	38 m	26 360
24.12.1854	Japan	Nankaido	M = 8.4	28 m	3 000
29.06.1780	Russia	Kuril Islands	M = 7.5	12 m	12
24.04.1771	Japan	Ryukyu Islands	M = 7.4	85 m	13 500
28.10.1707	Japan	Japan	M = 8.4	11 m	30 000
31.12.1703	Japan	Tokaido-Kashima	M = 8.2	10.5 m	5 200
02.12.1611	Japan	Sanriku	M = 8.0	25 m	5 000
20.09.1498	Japan	Nankaido	M = 8.6	17 m	200

► Simple Estimation:

Within the past 513 years 16 tsunamis with maximum amplitudes above 10 m and induced by earthquakes of magnitudes between 7.4 and 9.2 have been recorded for Japan and the adjacent Kuril Islands (Russia).

► Experienced Frequency:

$$f = 16/513 \text{ a} \approx 0.0312 \text{ a}^{-1}$$

Thus, within a **thirty** years period one severe tsunami with a maximum amplitude of more than 10 m has to be expected in Japan!

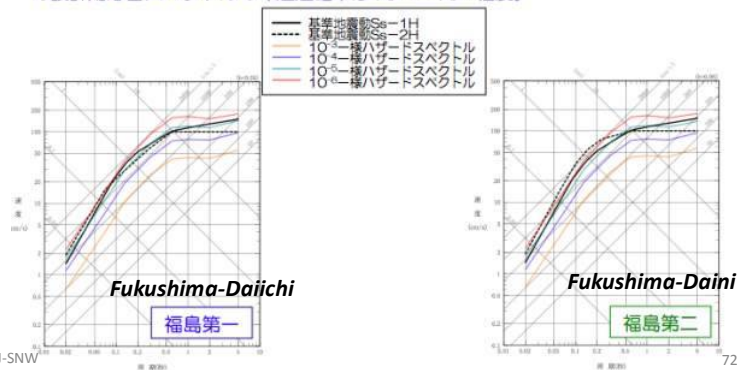
► No, it is rather a matter of obviously having ignored a high specific risk!

A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

福島第一 耐震設計レビュー

- ◆ 指針改訂(2006)
 - ◆ 中越沖地震(2007. 7)による新たな知見
 - ◆ 上記2つをベースにした耐震設計ベース評価(保安院/部会/東電: 2009)
- 東電提出資料による新評価ベース超過確率(10(-4)-10(-6)/year)

■ 日本原子力学会(2007)の方法に基づき試算した敷地における地震動の1様ハザードスペクトルと比較した結果、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の設計用応答スペクトルの年超過確率は10⁻⁴~10⁻⁶程度。




A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW

What international supports were provided?


< International Supports for disaster recovery >
 135 countries and regions as well as 39 international organizations have expressed their intentions to extend assistance. Rescue and medical support teams from 20 countries and regions (Australia, China, France, Germany, India, Indonesia, Israel, Italy, Mexico, Mongolia, New Zealand, the ROK, Russia, Singapore, South Africa, Switzerland, Taiwan, Turkey, the U.K., the U.S.) as well as and the UNOCHA, an IAEA expert team, and the WFP have arrived Japan and have been operating in disaster-stricken areas.

< Support from Governments >
[Australia] a special pump needed for cooling Reactor
[Canada] 154 radioactivity survey meters, 5,005 personal dosimeters
[Finland] 50 Radioactivity measuring monitors
[France] protective suits and masks(approx. 20,000 sets), 250 radiation measurement equipment, 10pumps, 5 power generators, 5 compressors, 3 environmental survey vehicles, an environmental survey towed vehicle, approx. boron(100tons)
[Korea] approx. 52 tons of boron
[U.S.A] Technical support from DoE, 10,000 radioactive-proof suits from USAID; 2 fire trucks, 5 pumps, 99 protective suits against nuclear, biological and chemical weapons, approx. 9 tons of boron, 1 large water spray pump unit, fresh-water transportation by a barge for carrying fresh water from the U.S. Forces. 31,000 Radiation dosimeters, NRC's experts support


<Support from Industries> (Examples)
[Areva] Protective suits (approx. 10,000), protective masks(3,000), 2 experts, 2 monitoring cars etc
[iRobot in U.S.A] Packbot by iRobot worked inside the reactor building of Unit 3 on April 17.
[Rosatom in Russia] 400 Radiation dosimeters, protective masks(5,000)
[Sany Heavy Industry in China] 62 truck mounted concrete pump
[Putzmeister in Germany] Several long pumps including a 70m long pump
[Westinghouse/B&W/Shaw, GE] Proposal of the mid-term & long term plan



Packbot in reactor of Fukushima Daiichi Unit3



Putzmeister pump



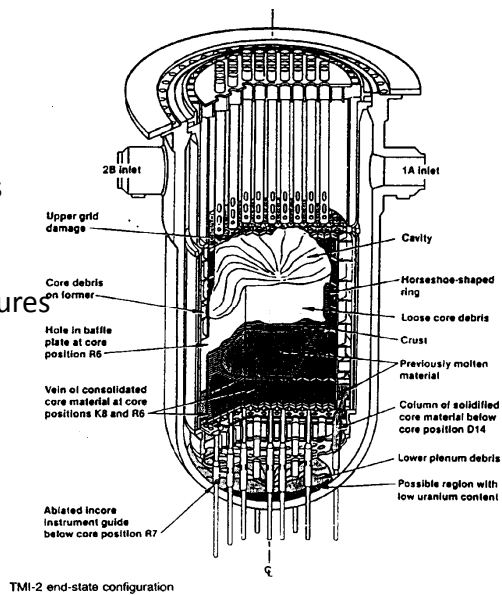
Sany Heavy Industry pump

73

Comparison with TMI-2

Lessons Learned from TMI-2

- Man-machine interface (valve position indicators, water level)
- Operator training / operator aids
- Hydrogen control
- Containment isolation
- Need for analysis of multiple failures
 → revisit PSA



74

Comparison with Chernobyl

RBMK (Boiling light water coolant reactor with graphite moderator)
 RBMK design features

- Positive void coefficient at low power operating condition
- 4 recirculation pumps in each (2) loop: normally 3 of them in operation
- Graphite displacement rod at the top/bottom of B₄C Control Rod
 - Positive scram effect (as displacement of water by graphite displacement rod
 - when CR is inserted, reduced neutron absorption by water add

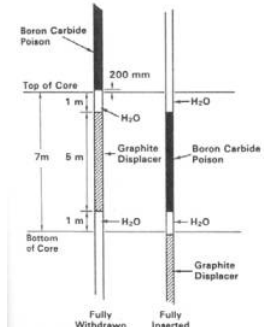
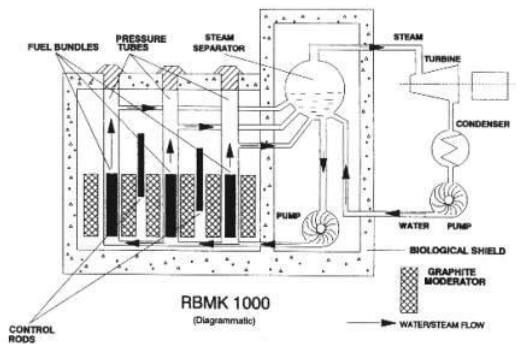


FIGURE 11-13 Schematic drawing of a fully withdrawn and a fully inserted RBMK 1000 control rod with its graphite displacer. (From NUREG-1250, 1987.)

Void reactivity coefficient of RBMK reactor design

$\frac{\partial K}{\partial V_{\text{void}}}$

LWR design for operation with negative void coefficient, so that

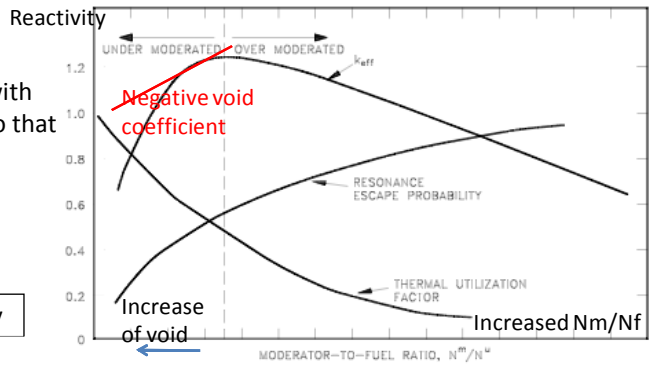
increase of power

↓

increase of void

↓

Decrease of reactivity



RBMK design
 Moderation by graphite and Cooling by water
 Decrease of water has two effects

- decrease of neutron absorption
 $\frac{\partial K}{\partial V_{\text{void}}} = +$
- increase/decrease of moderation depending on core lattice design
 $\frac{\partial K}{\partial V_{\text{void}}} = + \text{ or } -$

+ Void coefficient of RBMK reactor

Condition before accident

- Very low void condition
- CR all withdrawn

- Not significantly negative even at High void condition (NUREG-1251)

↑

+

↓

-

Chernobyl forum : Study on health effect



- Initiated by the IAEA DG Dr. ElBaradei in 2003.
- 8 UN organizations + Belarus, Russia and Ukraine.
- More than 80 experts from 12 countries and 6 international organisations, such as UNSCEAR, WHO/IARC, IUR, etc.
- The results considered by 60th UN General Assembly, November 2005.

77

Chernobyl forum : Study on health effect

1. Acute radiation syndrome mortality

- Acute Radiation Syndrome in 134 emergency workers
- 28 of them died in 1986
- 19 more died in 1987-2004
- Two more persons had died at Unit 4 from injuries unrelated to radiation
- One additional death was thought to have been due to a coronary thrombosis

2. Cancer mortality – predictions

- The WHO predicts that among the 600,000 persons receiving significant exposures (liquidators working in 1986–1987, evacuees, and residents of the most ‘contaminated’ areas), the possible increase in cancer mortality due to this radiation exposure might be up to a few per cent
- This might eventually represent up to four thousand fatal cancers in addition to the approximately 100,000 fatal cancers expected to be due to all other causes in this population
- Among the 5 million persons residing in other ‘contaminated’ areas, the doses are much lower and any projected increases are more speculative, but are expected to make a difference of much less than one per cent in cancer mortality
- Such increases would be very difficult to detect with available epidemiological tools, given the normal variation in cancer mortality rates
- However, among the more than 4000 thyroid cancer cases diagnosed in 1992-2002 in persons who were children or adolescents at the time of the accident, fifteen deaths related to the progression of the disease had been documented by 2002

Machines/Robotics in harsh radiation environment?

Removal of debris
Taking samples
Remote camera
Remote radiation monitoring



79

放射線作業従事者の被ばく

1. 2000-2600人の作業者
 - ✓ 法的限界値: 250mSv
 - ✓ 東電の方針: 十分な裕度確保の観点から、170mSvをスクリーニングレベル
2. 積算線量(内部被ばくと外部被ばくの合計値)
 - 最大: 670.4mSv
 - 250 mSv > 6 (東電)
 - 250-200 mSv : 2(内東電 0)
 - 200-150 mSv : 14 (内東電 12)
 - 150-100 mSv : 86(内東電 69)
 - 100-50 mSv : 313(内東電 193)
 - 50-20 mSv : 948 (内東電 520)
 - 20-10 mSv : 1287内東電 523)
 - >10 mSv : 4427 (内東電 2272)
 - (3月又は4月に緊急作業に従事した者の中で 7月25日までにWBC測定を終了した者)

FNCA (2011 July 6, Jakarta)

After Fukushima, FNCA member countries observed decreased public support for nuclear power in a varying degree from country to country. The public naturally feels uneasiness on nuclear safety in the light of the Accident. Many energy experts are thinking enhancement of nuclear safety must be addressed fully and public trust in the Government activity to assure safety must be restored, **although they feel the unique role of nuclear power as low carbon energy and as a tool for enhancing security of supply remains unchanged**. In countries located in the “Ring of Fire”, it is understandable that people are thinking that similar thing could happen in other countries if not protected adequately by design and emergency preparedness. Industry is concerned that public is not necessarily aware of the projection that converting nuclear option to renewable would lead to significant increase in electricity tariff.

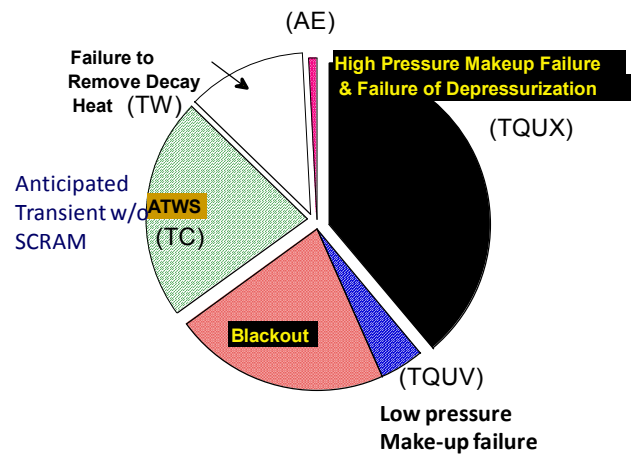
Although the view of the Government with regards to the viability of nuclear power is unchanged, there **are cases of delay of implementation plan** or reconsideration of safety requirements for nuclear power in the light of Fukushima Accident.

Kazakhstan encouraged Japan for continued use of NE in Japan after enhancing safety, since this sets an example that nuclear safety issue can be appropriately addressed. This could also be meaningful in **reducing energy-related tension in Asia**, which could potentially be created by reduction of dependency on NE in the region. Touching on former Semipalatinsk nuclear weapon test site, Kazakhstan suggested that Fukushima could become a scientific center for scientific researches ...Indonesia and the Philippines supported the suggestion.

81

level 1 PSA (BWR5)

Core melt frequency
[/reactor-year]

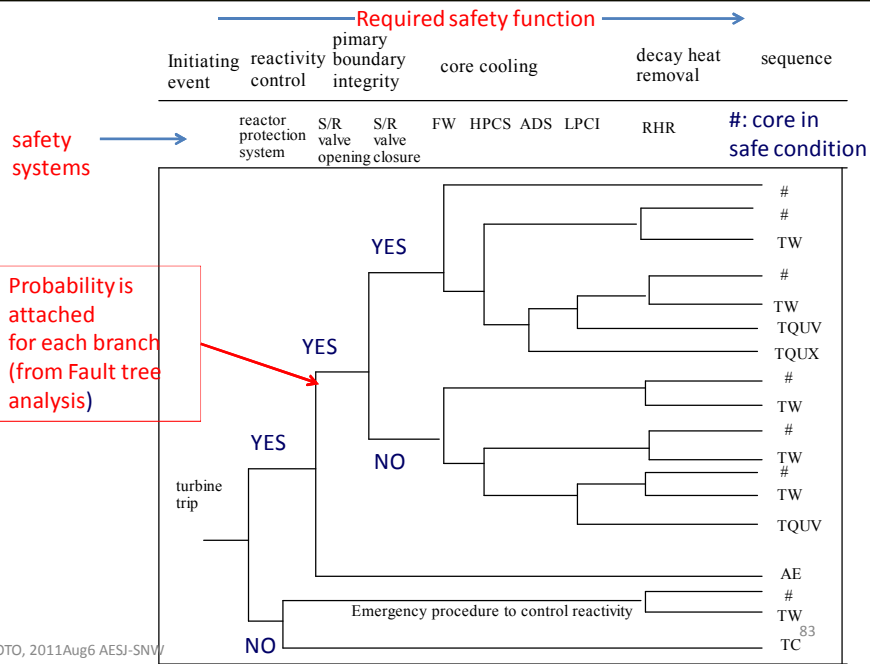


BWR : Transient initiated event dominant
 PWR : LOCA initiated event dominant , V-sequence important
 (V : pipe break outside of containment but not isolated from reactor coolant boundary)

A. OIMOTO, 2011 Aug 6 AC5J-SNW

82

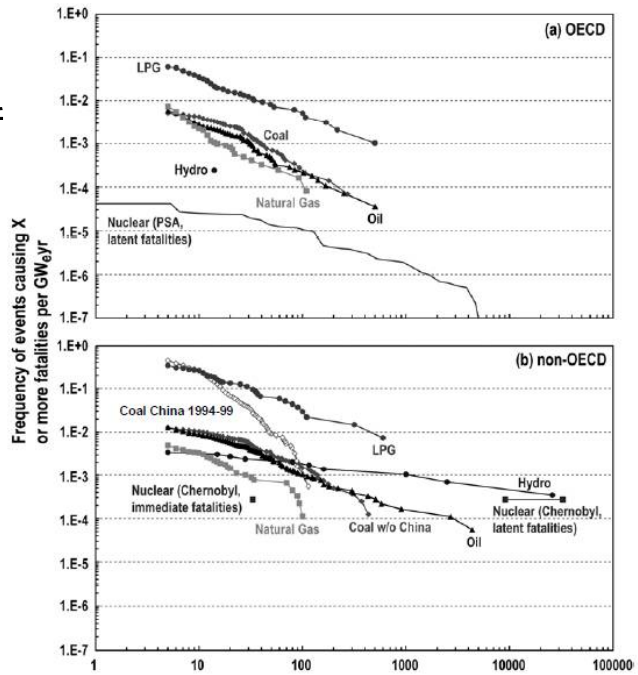
Event Tree in level 1 PSA (BWR)



FN曲線 (頻度と結果)を用いた比較例

- [註1] 原子力以外は急性死亡統計から。原子力は晩発性がん死亡の推定
- [註2] PSA=確率論的安全評価

[出展] OECD/NEA, "Comparing Nuclear accident Risks with Those from Other Energy Sources", 2010



A. OMOTO, 2011Aug6 AESJ-SNW