

2012年日本原子力学会秋の大会(広島大学)12/09/20

新型炉部会セッション:

「福島第一原子力発電所事故の技術的知見と第4世代炉の安全性」  
報告1

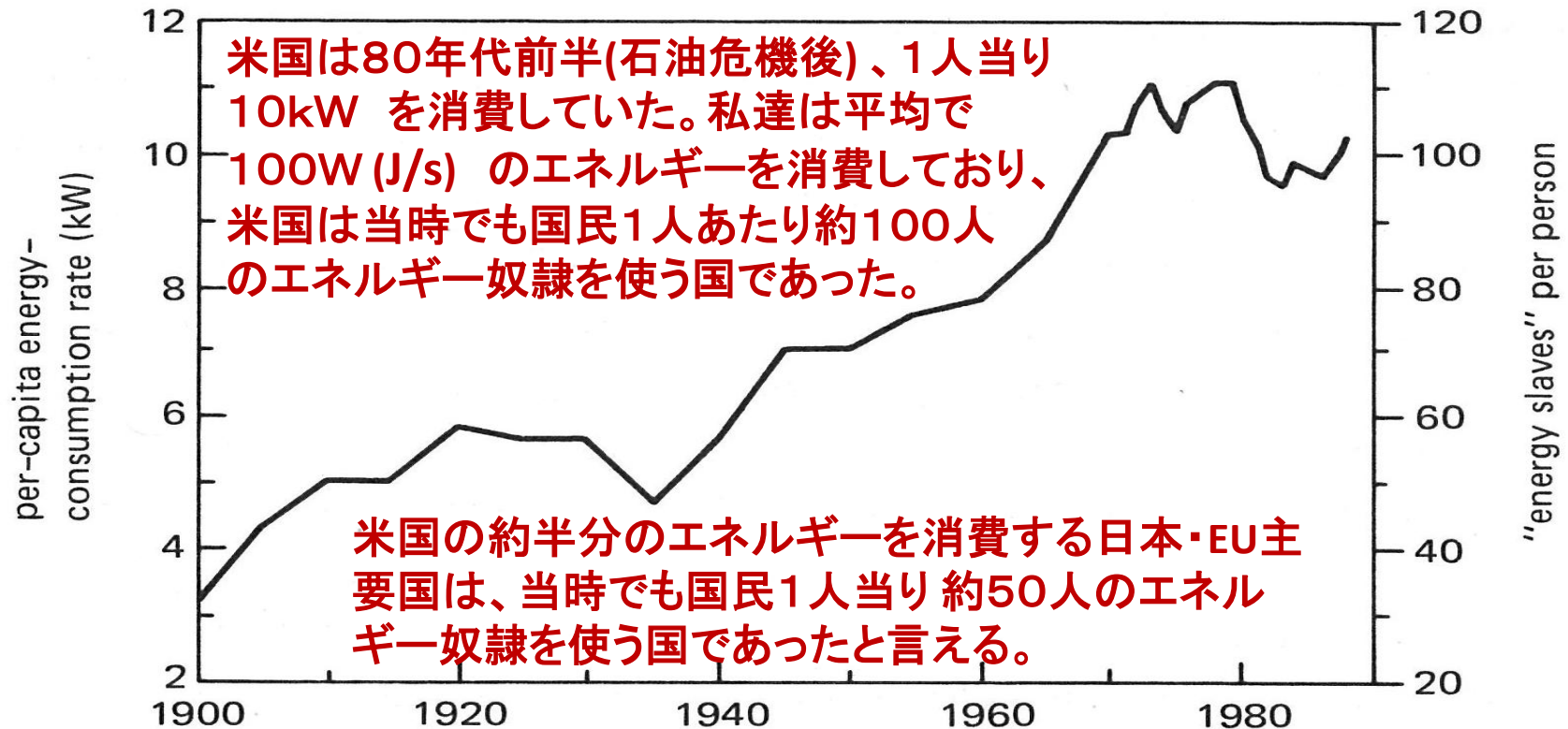
事故の技術的知見と第4世代SFRの特徴  
—国民との基本情報の共有化を目指して—

北海道大学名誉教授

杉山 憲一郎

# 1. 自給率4%の日本の原子力利用の意義

世界史的に見れば、米国南北戦争は古代から続いた豊かさを作り出す奴隷制度の終焉であった。第2次世界大戦は列強の豊かさを作り出していた植民地制度の終焉に繋がった。20世紀後半は、奴隷・植民地制度に変わる「安価な化石燃料の大規模消費による高効率機械労働」の拡張史となった。現在、1次エネルギーの81%を化石燃料が占め、大気中のCO<sub>2</sub>濃度は400ppmを超える寸前である。以下の30年前のデータから判断しても、21世紀に原子力の貢献を零にする選択肢はあり得ない。



2025年最終処分場操業予定のフランス:

高レベル放射性廃棄物処分予定地層内に準備された  
ガラス固化体の定置法を実証する試験区域

模擬高レベルガラス固化体定置試験用パイプ

2010年視察時に撮影



## 2. F1事故の外的事象に対する技術的知見 と 第4世代SFRの特徴を踏まえた教訓

**津波の知見:** 専門家が予測していなかった連動によるM9の地震で、滑り量の大きいエリア3ヶ所から発生した津波がF1沖で合体し、第1波が約15メートルに達した。長時間に及ぶ津波警報のため、津波により生じた大型障害物の除去、給電・給水等の事故防止・緩和作業が大幅に遅れた。

**津波からの教訓:** 事故直後に、保安院が重要建屋の水密化と防潮壁(～15m)を要求。津波溯上高さ約7mのF2の現地視察では、津波による重要建屋の本質的な損傷は生じていない。浸水による冠水が防げれば(SFRでは仮に海水ポンプ系に冠水が生じても)、問題は生じない。国による津波高さ緊急予報システムの構築と現地のソフト・ハードの緊急対応システムの再検討により信頼性向上は一層重要。

**地震の知見:** F1の2, 3, および5号機で観察された最大加速度は、基準地震動を超えていた。観察された地震動を使い、バックチェックモデルに基づき地震応答解析を実施し、**原子炉建屋および原子炉建屋に付随する重要機器・配管系は安全機能を保持できる状態にあったと推定している。**

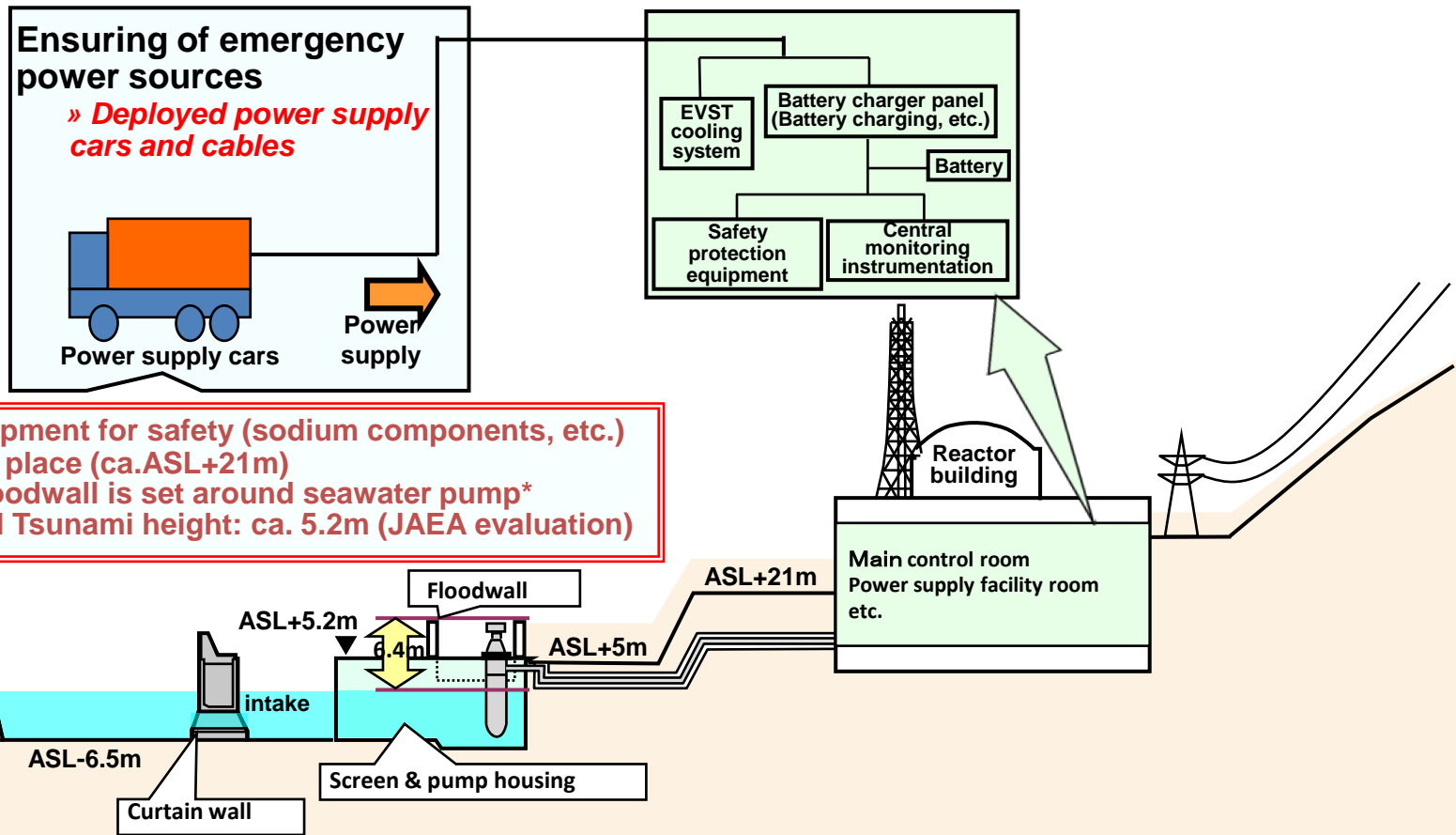
事故直後、NRCから地震による燃料貯蔵プール漏えいの可能性が指摘され、水素爆発後、自衛隊ヘリより東電社員がプール水は失われていないことを確認した。**状態監視とその信頼性は重要。**

**地震からの教訓:** 海水が注入できない第4世代炉では、使用済み燃料系を含めた崩壊熱除去系の機器・配管等の制振・免震技術の「見える化」を含む耐震設計・施工が究極的に重要である。加えて、全電源喪失時の状態監視、Na固化防止・緩和策、安心に繋がるフィルタードベンディングの検討。

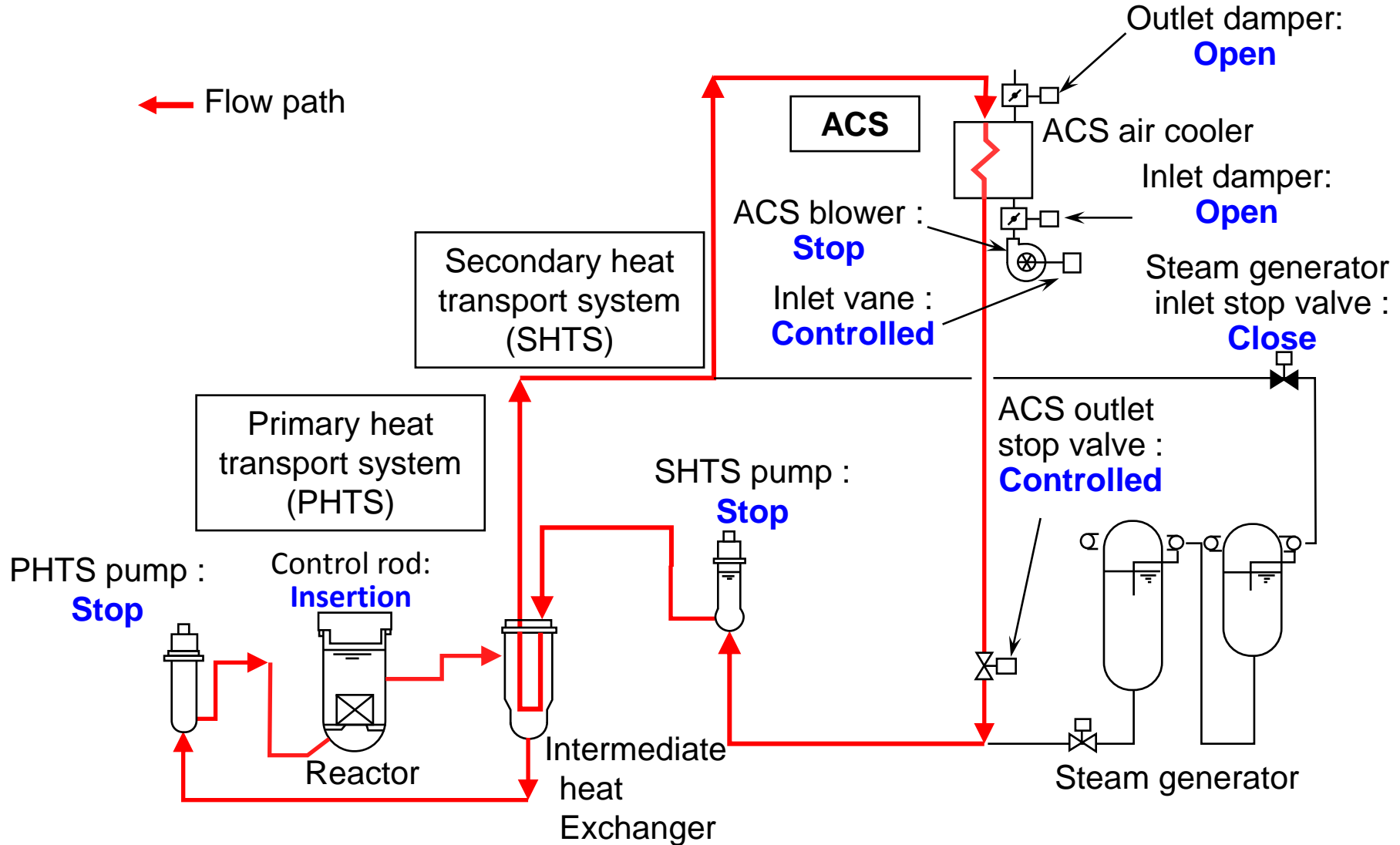
# Lessons Learned from F-1 NPP at Monju

Even if all electric power sources are lost by Tsunami, **the decay heat of Monju is removed by natural circulation for a reactor core and an EVST.** And there is plenty time to take safety countermeasures.

**However, electric power supply should be needed to work instruments for avoiding operator's misunderstanding and not to freeze sodium coolant at its final stage.**



## Flow Path and State of Instruments in Natural Circulation



2006/01/13

JMA Kobe 100%

# 兵庫県三木市 Eーディフェンスによる見える化： 柏崎・刈羽発電所の天井クレーンの限界試験

最大搭載重量：1,200 ton

搭載面積：20m X 15m

最大水平加速度：900 gal 以上

最大垂直加速度：1500 gal 以上

実物規模の実験動画は児童・生徒  
に人気があり、リスク教育に効果的



E-Defense

TCR 00:00:10:02

独立行政法人防災科学技術研究所



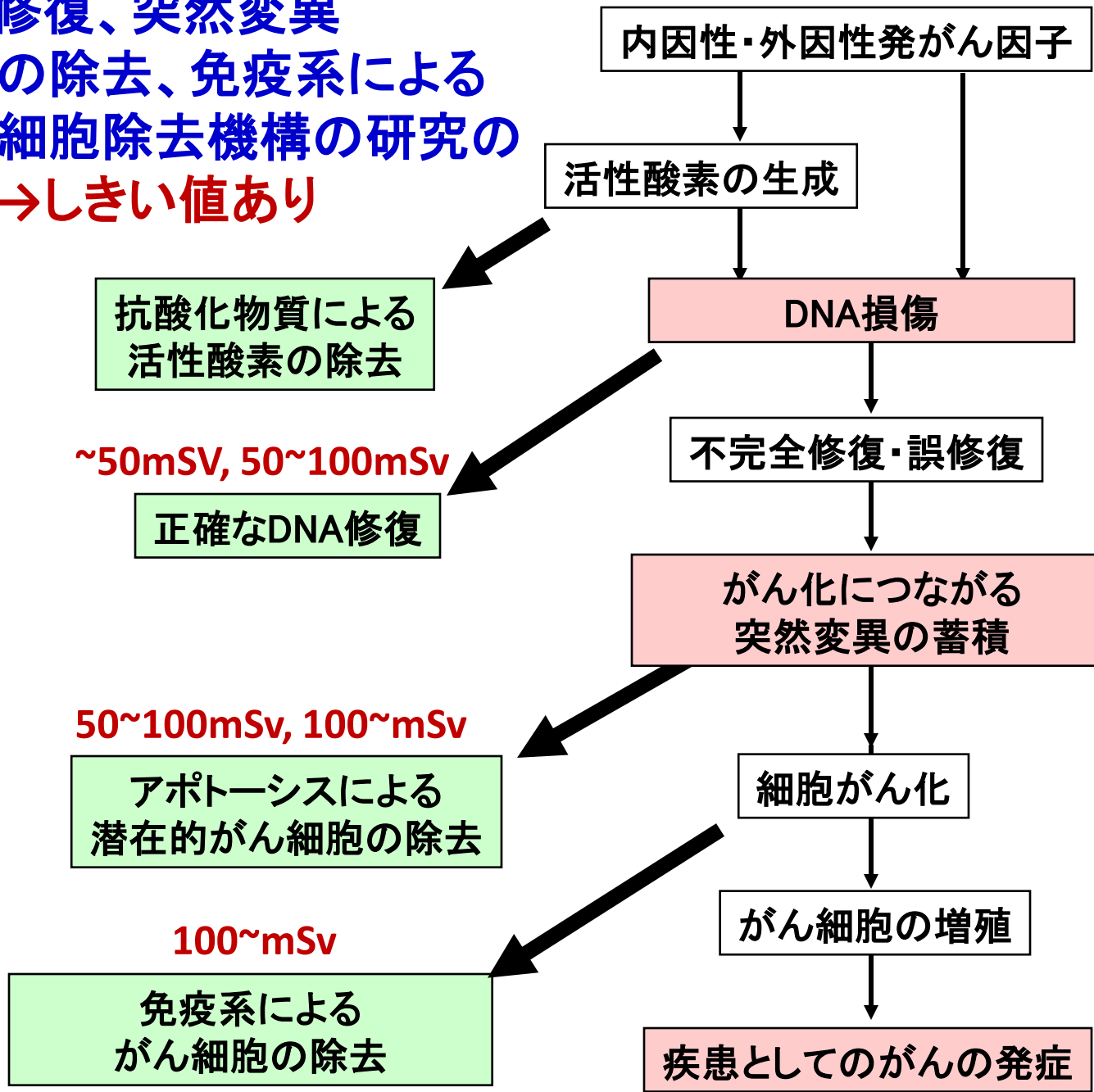
**緊急時対応の知見:** 保安院が要求した信頼性の高い緊急時電源(AC, DC)の高台への設置、緊急時用の通信手段・移動電源(車)・給電・給水機器・部品等の準備(標準化・共通化を含めて)。事故直後の連携協力では、協力者に放射線の知識が欠如していたため、F1エリアまでの緊急機材の移送が迅速に出来なかった。また、接続部が異なるため、運び込まれた緊急電源を有効に活用できなかった。

**同種の緊急時の歴史的教訓:** 20世紀初頭の米国ボリチモア市の火災では、近隣の消防隊が多数駆け付けたが当時消火栓の標準化・共通化が出来ていなかったため、消防ホースの接続ができず同市は灰燼に帰した。

**緊急時対応からの教訓:** 開発段階炉であり支援が限られることから、原子力・放射線の専門知識を持つ自衛隊の専門部隊・機関・企業との緊急時対応の合同訓練が重要。

**DNA修復、突然変異  
細胞の除去、免疫系による  
癌化細胞除去機構の研究の  
進展→しきい値あり**

体内フリーラジカル  
(活性酸素、遊離基)  
発がん物質,  
病原菌,  
放射線(紫外線)



~50mSv, 50~100mSv

50~100mSv, 100~mSv

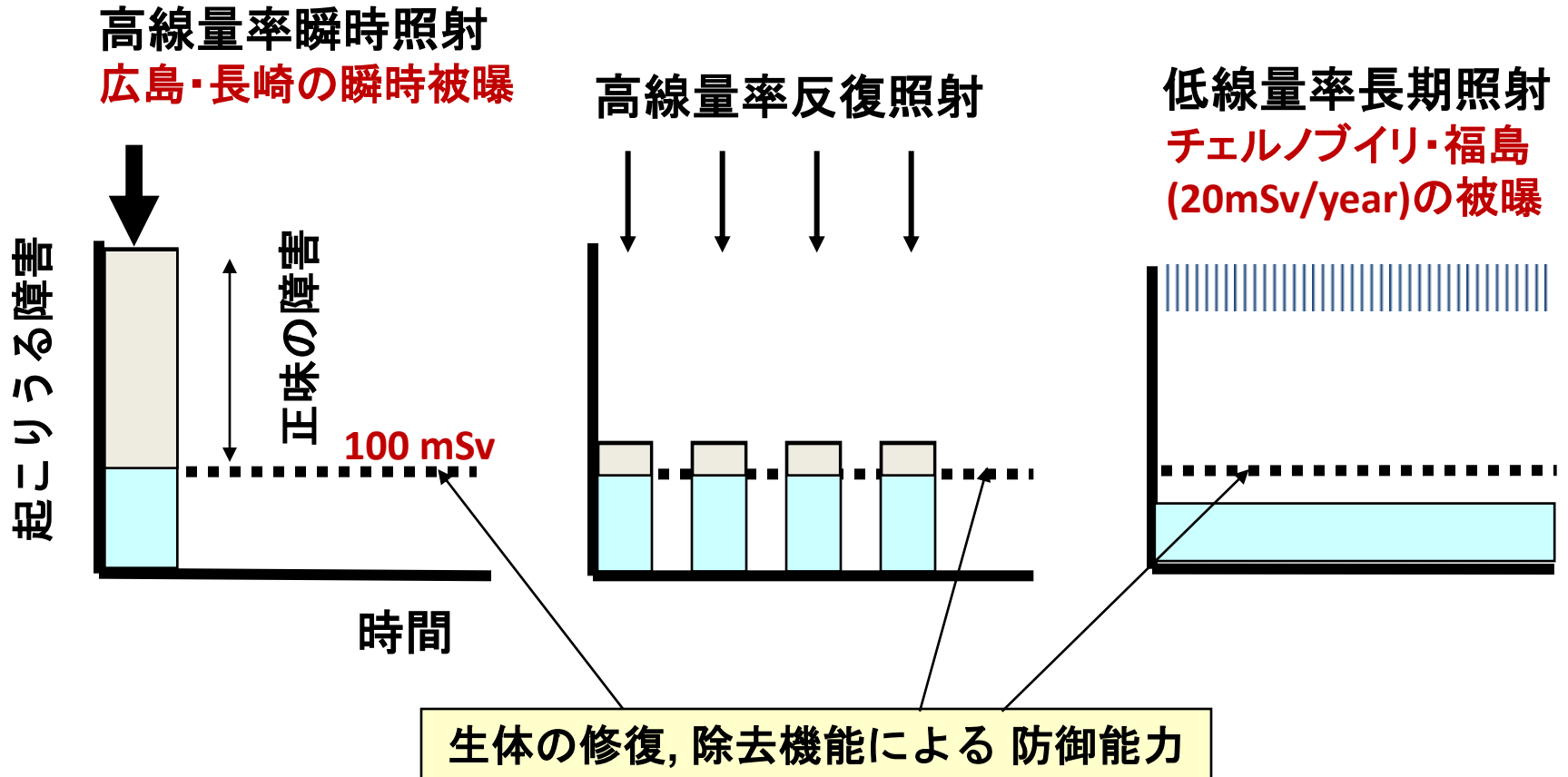
100~mSv

M. Tubiana et al.,  
“The Linear No-  
Threshold  
Relationship Is  
Inconsistent with  
Radiation Biologic  
and Experimental  
Data”, Radiology,  
Vol.251, No.1  
(2009), pp.13-22.

Tubiana らの研究は  
ICRP 2007年報告書  
にも紹介されてる。

加齢等による  
機構の劣化

# 時間的線量配分(線量率)と生物影響



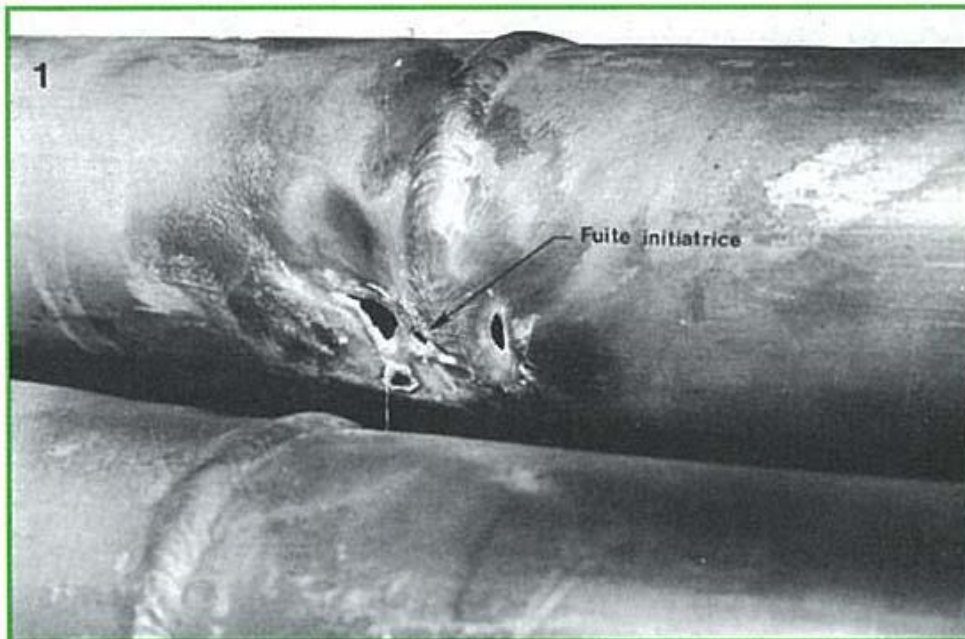
水素爆発からの知見：電源がなかったため、水素再結合器は作動しなかった。原子炉建屋・格納容器内に水素計が設置されていなかったことに加えて、**水素の発生・漏えいを知るために重要な事故時の炉心部・格納容器フランジ部等の温度情報が得られなかった。**解析コードでは予測できていた。

水素爆発からの教訓：これまでの免震等を含めたシステム・技術開発により、1次系、2次系でのナトリウム-コンクリト反応による水素発生の頻度は非常に低いが、念のため簡易移動式も含めたFP含有水素燃焼処理装置・電源確保等の再検討。**地震による事故も想定し手動操作を含めたSG内のナトリウム-水反応時の水素検出系・反応生成物収納設備系の信頼性・緊急時電源確保等の検討。**

# Sodium-water reactions in Phoenix NPP :

## 4 times between 1982 and 83, and once in 2003

- The original failures were located at butt welds closer to the steam inlet at re-heater module tubes in steam generators.
- The reaction took place soon after a starting-up of the plant.
- The origin of leaks came from water mixed with steam passing through re-heaters at certain transient conditions of plant start-up, which causes thermal shocks when abruptly turning to steam in the tubes.
- The presence of washing water after sodium got into micro-cracks caused caustic corrosion, which made the start of micro-leak in 2003.



Steam generator tube with leak

・フェニックスは当時の火力発電の最高効率を凌ぐ目標を掲げた。プラントスタートアップ時に再熱器入口に混入する水滴の熱衝撃により約10年の運転後にリークが発生することを見出した。

・現在、JAEA・三菱・北大により、ナトリウム-水反応抑制研究：Tiナノ粒子分散2次系ナトリウムによる事故緩和策研究を推進している。

### 3. 結びに代えて: 総合的リスク評価の必要性 NRC Policy Statement at 1986

**Quantitative Individual Risk Design Objective (1-mile of the plant site boundary):** “The risk to an average individual in the vicinity of nuclear power plant of prompt fatalities that might result from reactor accidents should not exceed one-tenth of one percent (0.1%) of the sum of prompt fatality risks resulting from other accidents to which members of the U.S. population are generally exposed.”

**Quantitative Societal Risk Design Objective (50-mile radius):** “The risk to the population in the area near a nuclear power plant of cancer fatalities that might result from nuclear power plant operation should not exceed one-tenth of one percent (0.1%) of the sum of cancer fatality risks resulting from all other causes.”

# 総合的リスク評価がないことによる経済損失の例

藤沢 数希著、反原発の不都合な真実、新潮新書 457

- 最近の化石燃料の総輸入額：平均約20兆円/年、約4割が発電用
- 現在、火力発電約6割、原子力発電約3割、水力発電約1割
- 火力発電約9割では、 $20 \times 0.4 \times (0.9 - 0.6) / 0.6 = 4$  兆円増/年
- 火力発電のコスト：燃料費が7~8割
- 日本国の総税収入の約1割（総防衛費相当、F-1事故総賠償額相当）。富が海外に流出する。
- 太陽電池は枯れた技術であり、現在、中国・台湾製が国際市場の約7.5割を占めている。事業者・設置者は同一性能であれば、当然低価格製品を購入する。富が海外に流出する。