

福島第一原子力発電所はどのような状態か？
心配なことは何か、安心できるのか？

大阪大学大学院

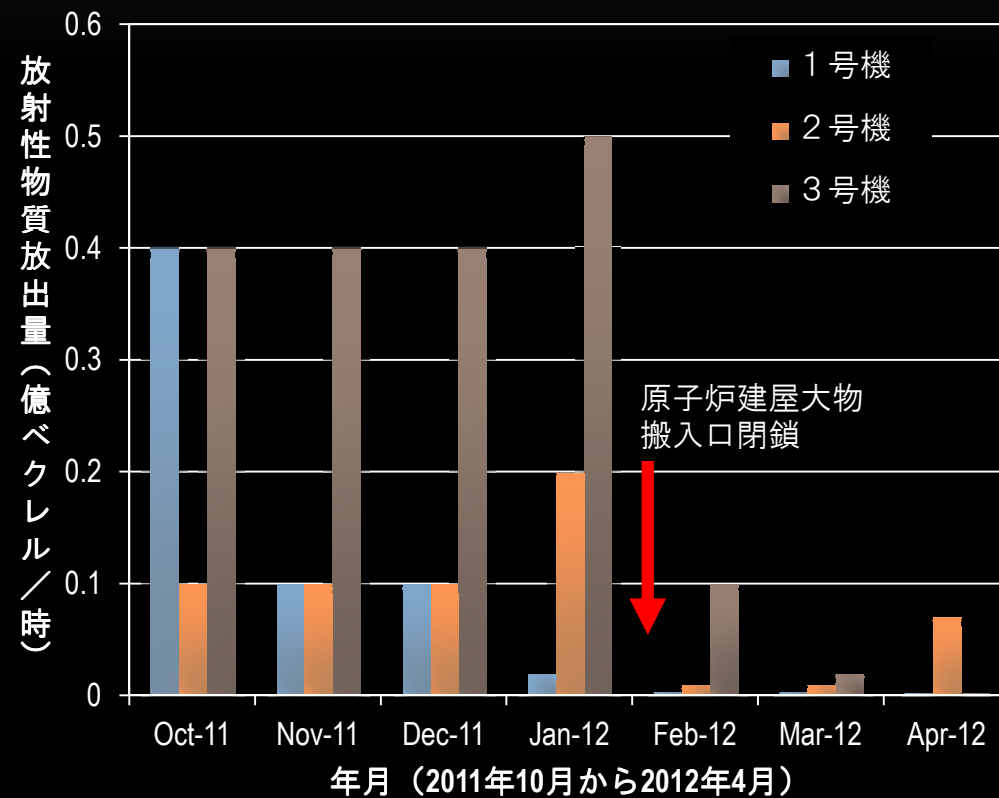
山口 彰

うまくいっているのか

何が心配なのか

今、心配なこと

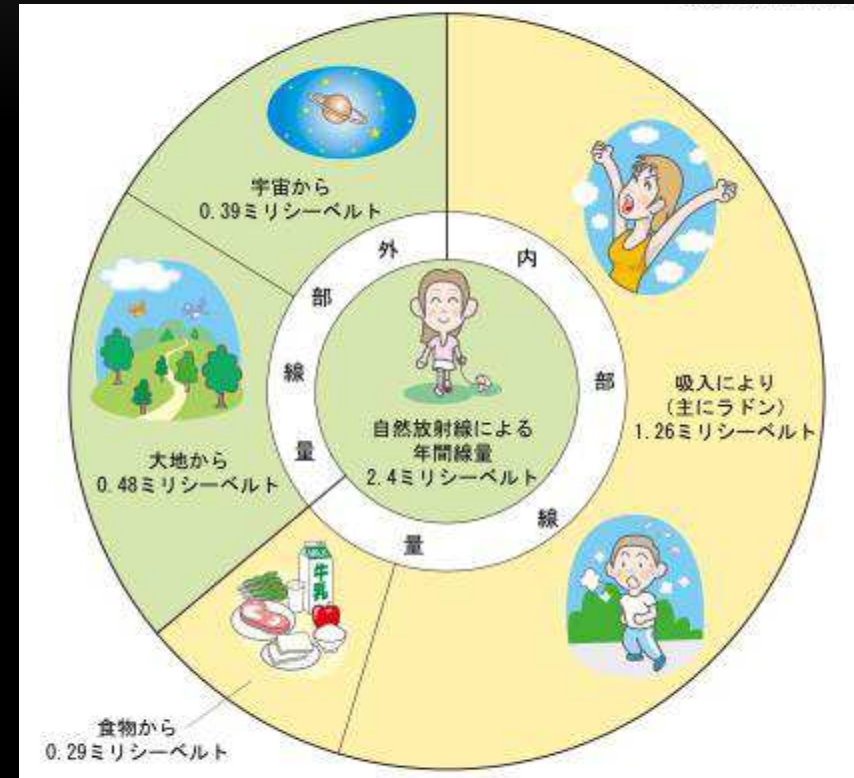
放射性物質は放出されているのか？



- ❖ ダストやがれきなど
- ❖ 原子炉からの新たな放出

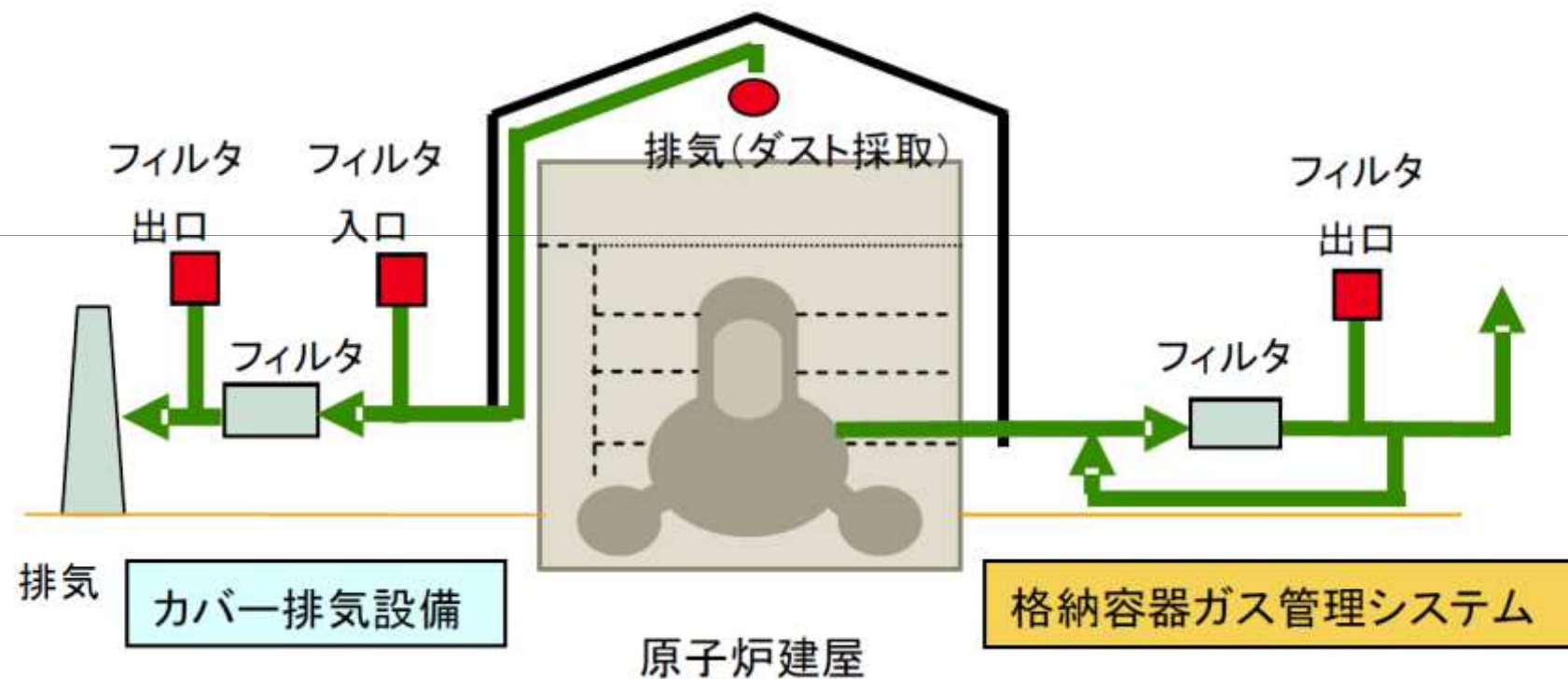
放射性物質の放出の影響は？

- 放出量合計 0.1億ベクレル／時 未満
- 敷地境界線量 0.02mSv／年
- 現在の状態：新たな放出はない
- これまでに放出された放射能の影響
 - がれきなどの撤去、除染
- これからの放出の可能性に対する備え
 - 格納機能
 - 圧力に耐えなくても良い
 - ガスの管理とフィルタリング
 - 濃度などの異常の監視



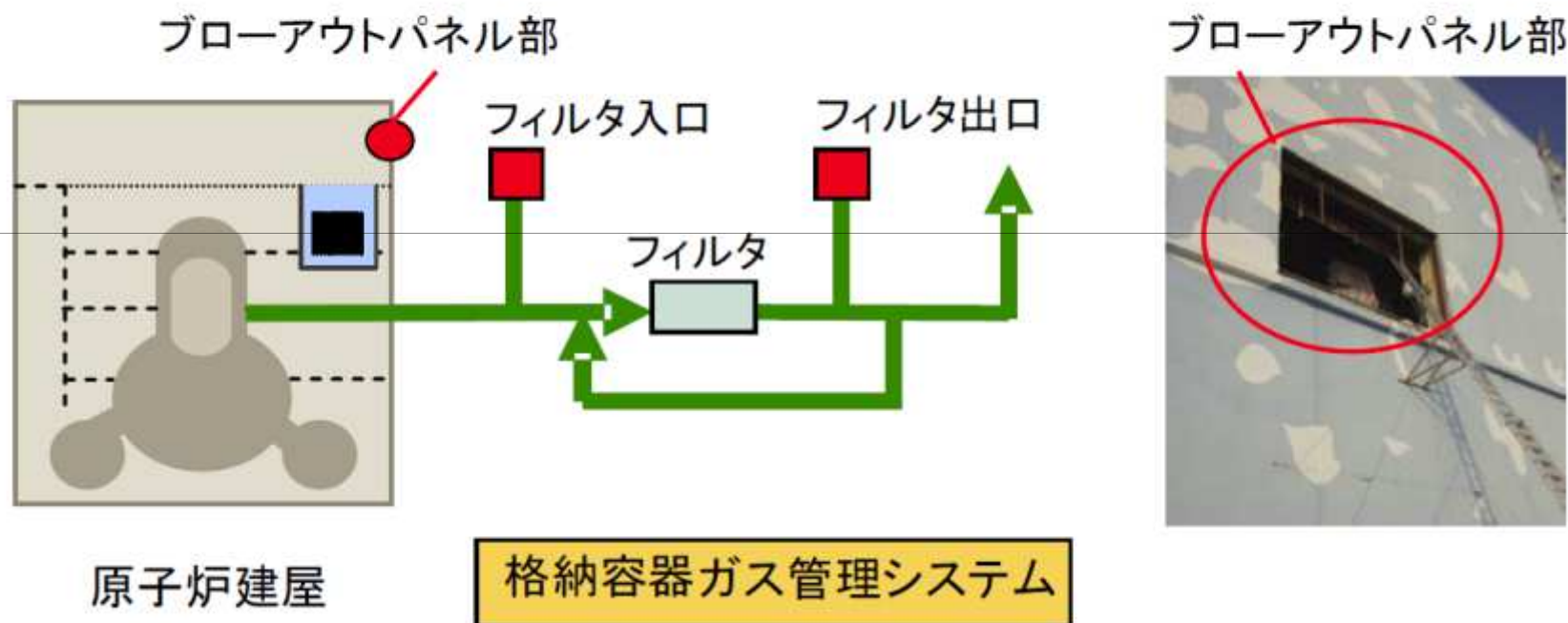
1号機 カバーとガス管理システム

1号機のサンプリング設備概要



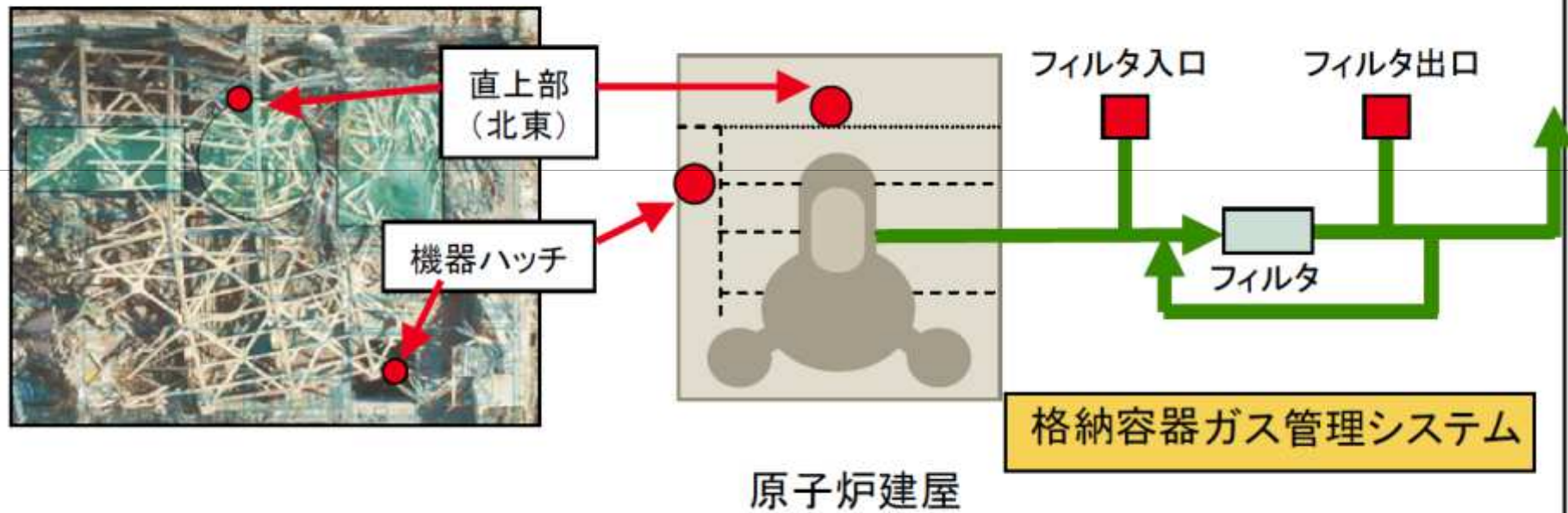
2号機 ガス管理システムが機能、建屋健全

2号機サンプリング設備概要とサンプリング状況



3号機 ガス管理システムが機能

3号機サンプリング概要



4号機 燃料破損なく、水中に貯蔵



今後、放出しないため、安心するために

- 放射性物質を新たに出さない
 - 温度を100℃以下に維持する
- 放射性物質を除去する
 - 空調、ガス管理システムとフィルター
- 放射性物質を閉じ込める
 - 2号機はブローアウトパネルの対処
 - 3号機はがれきの撤去、建屋カバー
 - 4号機はがれきの撤去、プールの燃料取り出しのときに”蔽い”
- 今、心配なことは、“放射性物質を新たに出さない”が確実にできるか

原子炉が臨界になる心配はないのか？

- 中性子再生率（およそ2）
- 原子炉の中の核反応
 - 100万kWの原子力発電所の熱効率33%（100ワット電球 3 千万個）
 - 1個のウラン原子の核分裂 3×10^{-11} ジュール = 0.03 ナノジュール
 - 毎秒 10^{20} 個 = 1 垓（1 京の 1 万倍、1 兆の 1 億倍）の核分裂が発生
- キセノンが測定
 - キセノン、 10^{-5} ベクレル/cm³ 程度
 - 格納容器体積はおよそ4000m³、4万個のキセノン原子が存在
 - 核分裂ので7%として、60万個の核分裂
- 熱の発生で見れば、運転中の1000兆分の6（20マイクロワット、100ワット電球 1/500万個）⇔崩壊熱が800kW（100ワット電球8000個）
- 安全確保には、崩壊熱の除去が何より大切

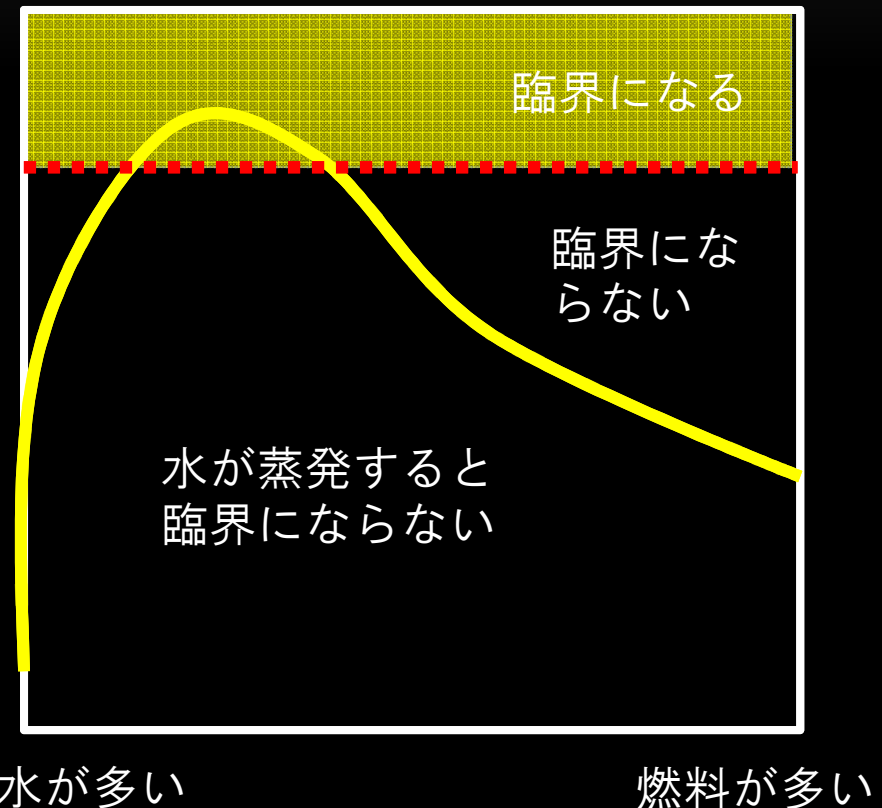
原子炉が臨界になる心配はないのか？

- 中性子再生率はおよそ 2 (2百万電子ボルト→0.025電子ボルト)
 - ウラン238に共鳴吸収されない
 - 燃料の近くにとどまっている
 - 構造材や制御棒などに吸収されない
- 昨年11月のキセノンの検出
 - 通常運転中の1000兆分の6程度
 - 熱の発生で見れば、20マイクロワット
 - 崩壊熱は800キロワット
- 安全確保には、崩壊熱の除去が何より大切

原子炉の臨界とは？

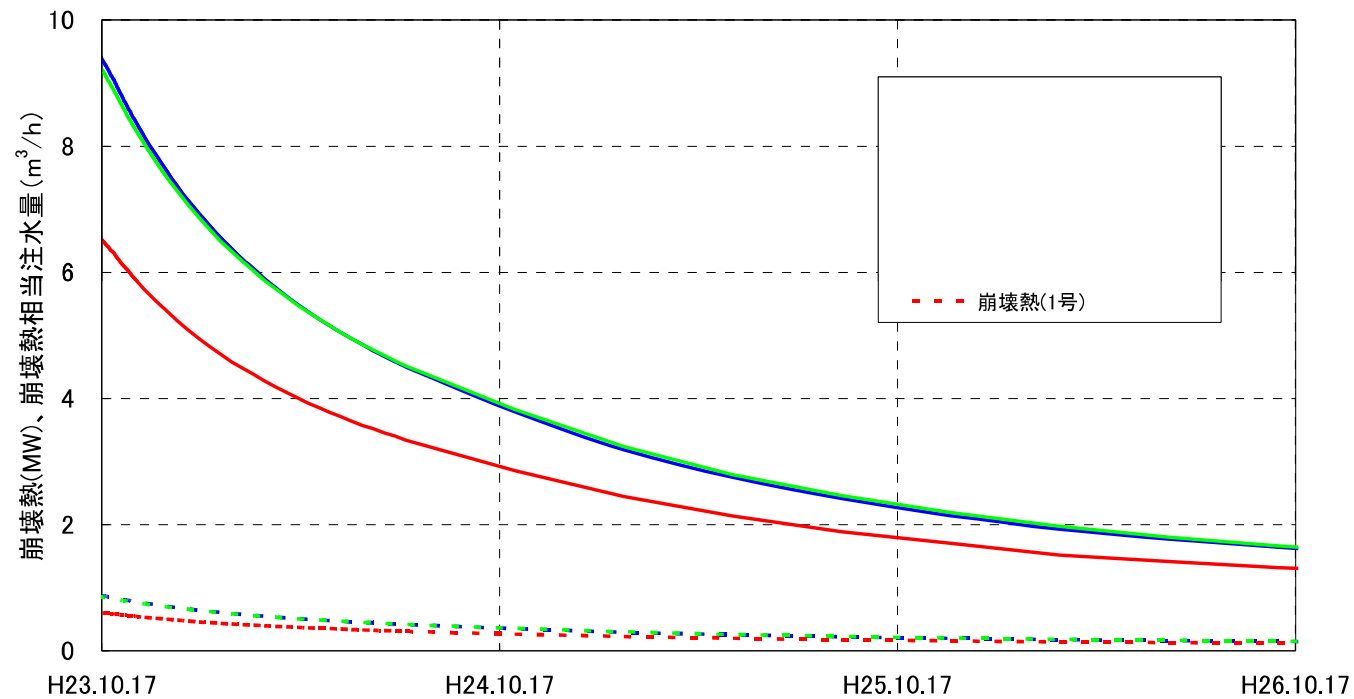
臨界に維持するのは大変

- 臨界となるためには
 - 燃料と水がある割合で混合
 - 制御棒が混ざらない
 - 水に浸されている
 - 燃料が集まっている
 - 中性子が外に漏れない
 - 構造材などが少ない
- 臨界になると何がおこるか
 - 発熱が大きくなる
 - 水が沸騰する
 - 臨界でなくなる



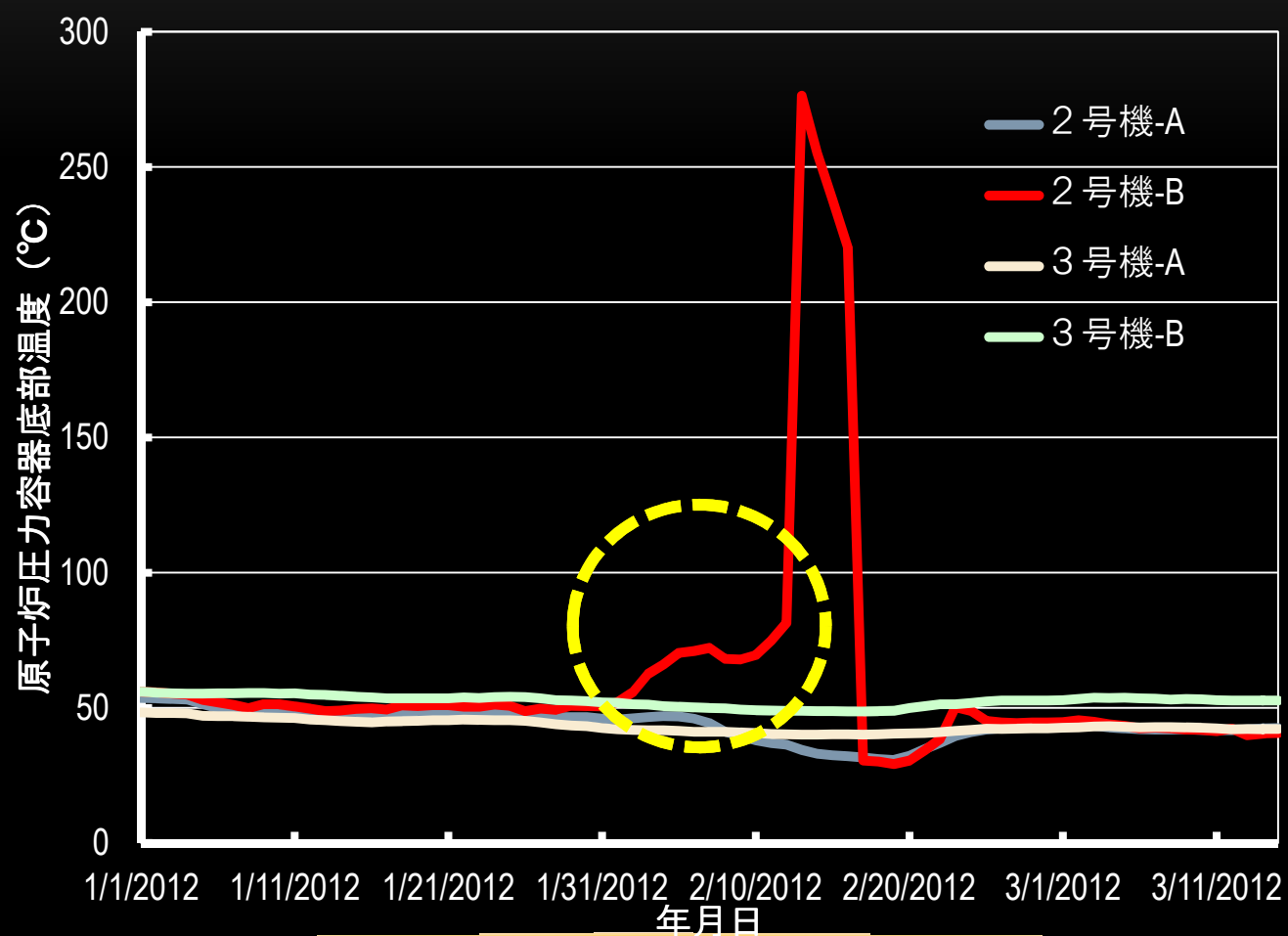
冷却できなくなることはないのか？

図 1-13 崩壊熱及び崩壊熱相当注水量(1～3号機)



CsOHの飽和蒸気圧は100°Cで 10^{-10} Pa（大気圧は 10^5 Pa）

2号機と3号機の原子炉压力容器底部の温度



原子炉はきちんと冷却されているのか

- 原子炉容器底部温度は
 - 1号機40℃台、2号機と3号機60℃台
 - 2月に2号機の温度計Bが上昇
 - 温度計が故障していたことが判明
- 平成24年2月24日、原子力安全・保安院より、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所第2号機の原子炉圧力容器底部における温度上昇を踏まえた対応について（指示）」
- 2012年7月から代替温度計設置工事を開始

地震や津波がきても大丈夫か？

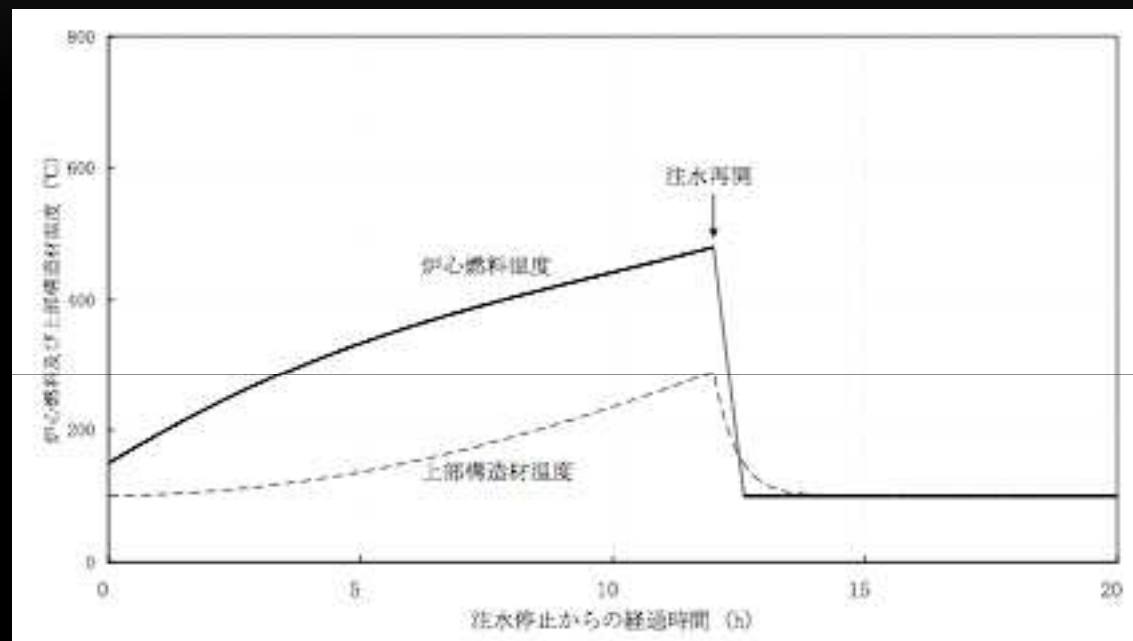
確率論的リスク評価

ハザード発生個所	起因事象	発生頻度（／年）	炉心損傷頻度（／年）	寄与割合（％）
内部事象	常用注水ポンプトリップ	1.5×10^{-2}	1.5×10^{-10}	<1
	注水ライン機能喪失	6.6×10^{-2}	8.2×10^{-5}	38
	一次注水源からの供給喪失	6.0×10^{-1}	6.0×10^{-9}	<1
	外部電源喪失	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-9}	<1
	仮設M/C火災	4.5×10^{-2}	4.5×10^{-10}	<1
外部事象	地震（外部電源喪失）	1.7×10^0	5.1×10^{-8}	<1
	大津波	1.4×10^{-3}	1.3×10^{-4}	62
	合計		2.2×10^{-4}	100

リスクに対してどのように対処するのか

- 大津波事象（注水ラインが喪失）
 - 消防車(事務本館海側駐車場バックアップ 消防ポンプ)の配備
 - 注水ラインの復旧
 - 注水ラインの再敷設
 - この作業について明文化
 - 定期的に訓練する
- 冷却の失敗（地震）
 - 屋外注水ラインの信頼性を向上
 - 常用高台炉注水ポンプによる注水ライン
 - タービン建屋内炉注水ポンプによる注水ライン
 - 復水貯蔵タンク炉注水ポンプによる注水ライン

大津波による冷却阻害



セシウム 134 放出量	約 4.0×10^{11} Bq
セシウム 137 放出量	約 3.5×10^{11} Bq
実効線量	約 3.7 mSv

ロードマップのねらいは何だったのか
うまくいくのか - 深層防護と安全文化
これから心配なこと

ロードマップのねらいは何だったのか？

- 基本方針
 - 原子炉および使用済燃料プールの安定的冷却状態を確立
 - 放射性物質の放出を抑制する
- 冷温停止状態を維持し、中期的安全が確保
 - ステップ1の目標「放射線量が着実に減少傾向となっている」
 - ステップ2の目標「放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられている」
- 冷却、抑制、モニタリング・除染の3分野で5つの課題
 - 原子炉と燃料プールの安定
 - 放射性物質の放出抑制（滞留水、大気・土壌）
 - モニタリングによる確認

うまくいくのか？

不確かさに対する備え

- 予想と異なることは起こりうる
- そのときに適切に対応できること
- 目標を明確にすること
- リスクの評価と備えを実施
- 柔軟な対応こそ有効で備えになる

安全の根本となる枠組みー深層防護

- 深層防護で最も大切なことは何を護るかを定めること
 - 公衆と環境を護ること
 - 放射性物質の有意な放出を抑える
- 深層防護の基本は
 - 発生防止（prevention）
 - 影響緩和（mitigation）
 - 緊急対応（emergency preparedness）
- 深層防護とは不確かさに対する備え
 - 想定の方こう側への備え

安全を確保するための心構えー安全文化

- 安全文化とは何か？理解を共有すること
- 安全確保を完遂するのは個人やチーム
 - 組織として支援することが大切
 - 人間、技術、組織が三要素
- 安全について学び、問いかける姿勢
 - なぜ、〇〇をする必要があるのか／しなくてもよいのか
- 安全文化は進化する
- リスクを抑制することの意味と重要度の理解

まとめ

- 放射性物質の放出は着実に減少し、ステップ2の目標は達成
 - 予想に反することは今後も起こりうる
 - 目標を明確にすること
 - 対処すべきリスクは何か
 - リスク管理の大切さ
 - 想像力と不確かさへの備え
 - 深層防護と安全文化
 - ロードマップの狙いは一貫して放射性物質放出抑制
-