

# 原子力

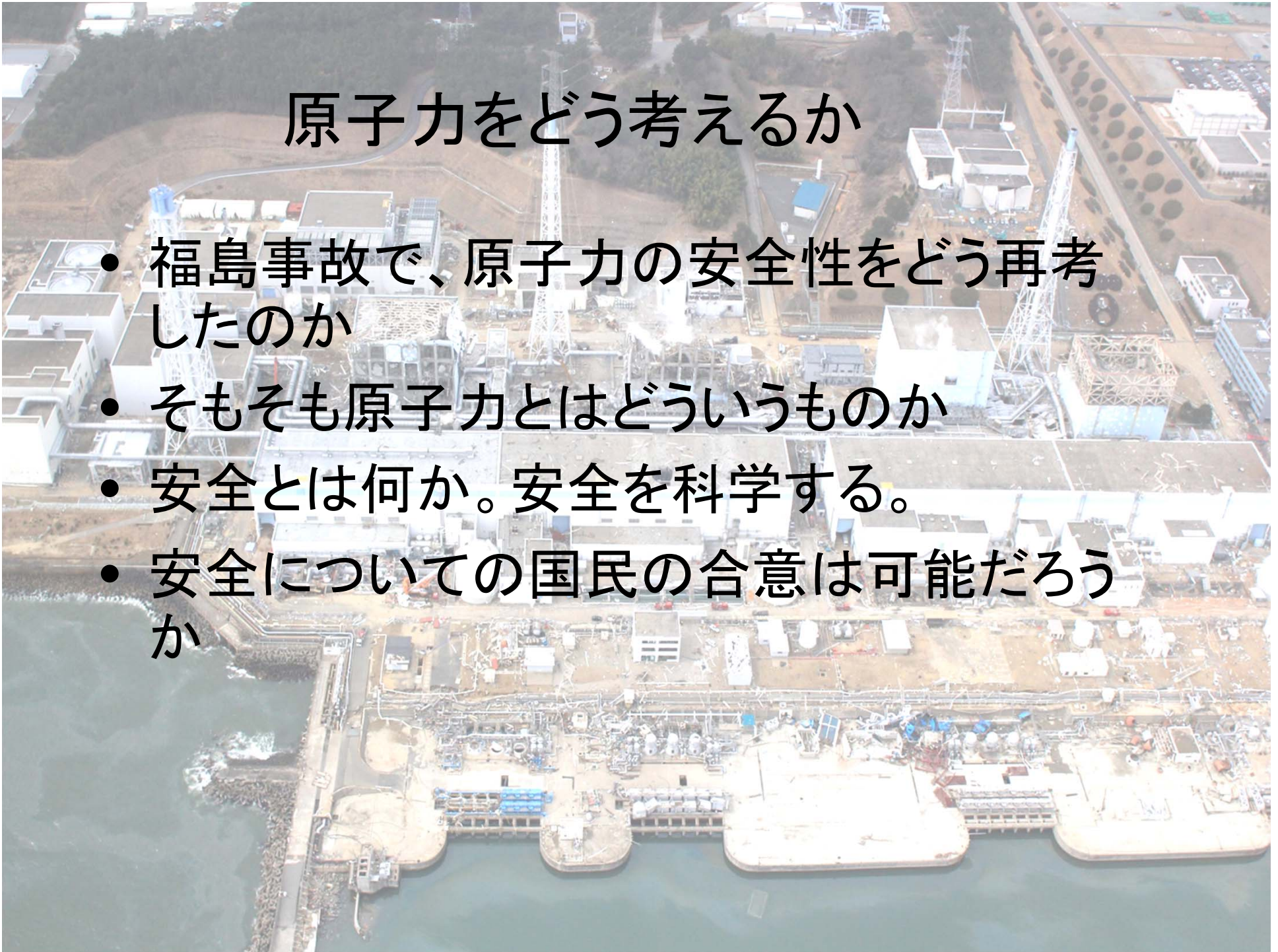
九州大学

環境と科学技術

平成27年5月13日

# 原子力をどう考えるか

- 福島事故で、原子力の安全性をどう再考したのか
- そもそも原子力とはどういうものか
- 安全とは何か。安全を科学する。
- 安全についての国民の合意は可能だろうか



# 異なった意見

## 鹿児島地裁判決

- 新基準の合理性
- 国内外の最新の研究成果や調査結果等を踏まえ、福島事故の経験も考慮した最新の科学的知見に照らして不合理な点は認められない。
- 基準地震動
- 地震のメカニズムについての知見(地域の地震の様式、規模、頻度)等に照らせば、地域的な傾向を考慮することは相当。過去に超えた地震が不合理性を裏付けるものでない。耐震安全上の余裕があることは、実証試験やストレステストの結果等からも裏付けられている。

## 福井地裁判決

- 新基準の合理性
- 深刻な災害を引き起こす恐れが万が一にもないという厳格な内容を備えていること。新基準は緩やかで合理性を欠く。
- 基準地震動
- 基準地震動を超える地震はあってはならない。過去に想定を超える地震があった。基準地震動を超える地震が到来すれば炉心損傷に至る危険が認められる。

# 授業の内容

- 原子力の基礎知識
- 福島事故を科学的に考える。
  - ✓ 福島事故の教訓は何か。新規制基準とは何か
  - ✓ 原子力のリスクをどう評価するか。
  - ✓ そもそもリスク評価とは何か。
  - ✓ 原発の被害をどう考えるか。
- 原発の経済的価値を考える。
  - ✓ 日本における必要性(現在、将来)。
  - ✓ 原発がない場合の問題点はなにか。
  - ✓ 原発の課題(汚染水、高レベル放射性廃棄物、事故被害・賠償)をどう評価するか。

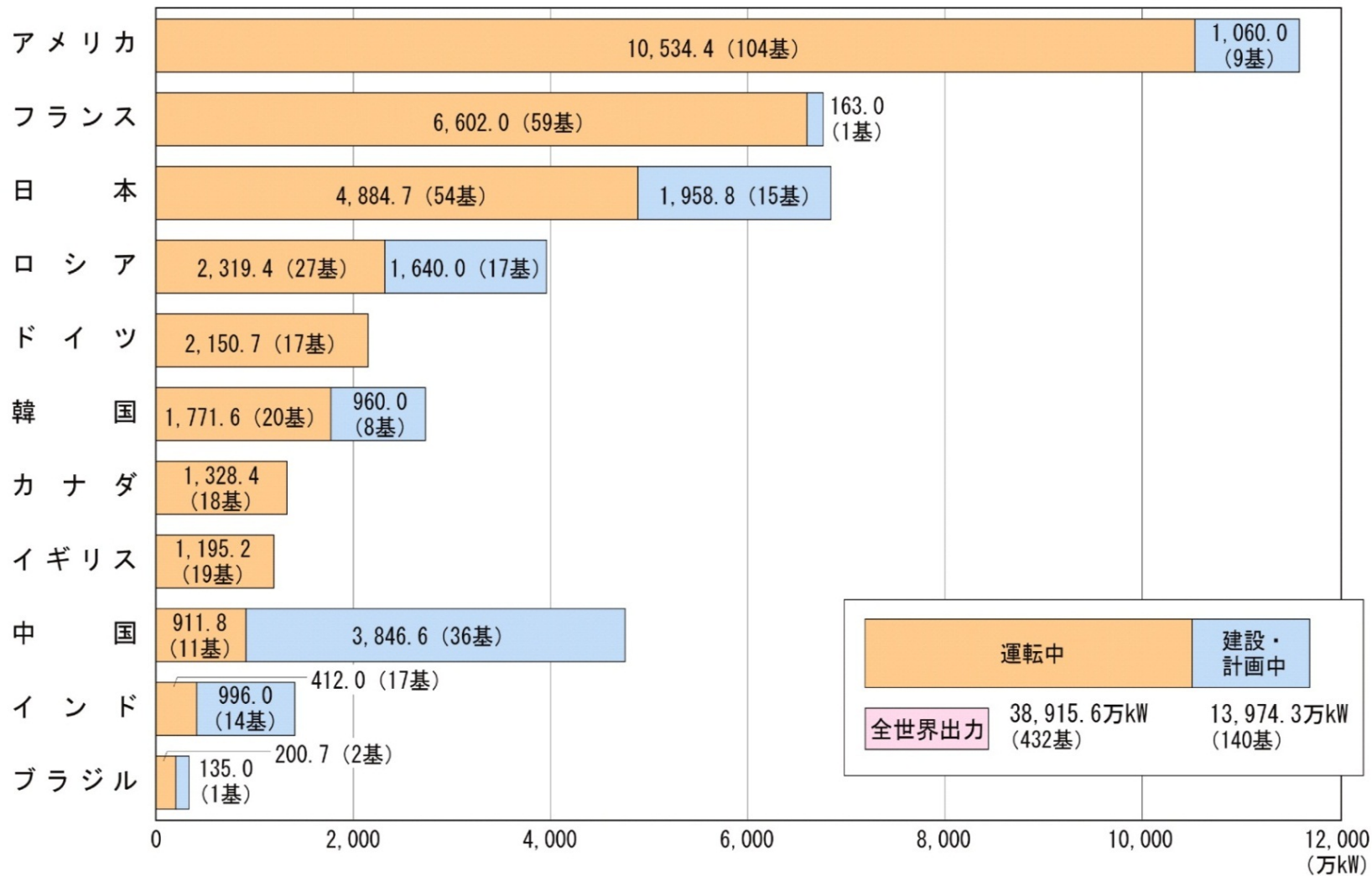
## 歴史(橘川、2011をもとに作成)

- 1966年、東海発電所、最初の商業炉
- 1971年、福島一号機
- 1973年、第一次石油危機
- 1974年～大量導入期(85年まで10基新設, 17基増設)
- 1979年、スリーマイル島原発事故、
- 1986年、チェルノブイリ原発事故
- 1986年～中断期(1994年まで2基新設、以後新設なし)
- 1995年、もんじゅ、ナトリウム漏れ事故
- 1997年、京都議定書締結
- 1999年、JCO加工施設臨界事故
- 2003年～原子力カルネッサンス期



# 主要国の原子力発電設備

(2010年1月1日現在)



# 各国の原子力政策の変化

<p>原子力政策を変更していない国</p>	<p>アルゼンチン、アルメニア、ブルガリア、ブラジル、カナダ、中国*、チェコ、フィンランド、フランス**、ハンガリー、インド、韓国***、リトアニア、オランダ、パキスタン、ポーランド、ルーマニア、ロシア、スロバキア、スロベニア、スペイン、スウェーデン、台湾、ウクライナ、英国、米国、</p>	<p>* 中国は内陸部の原発は凍結                  ** フランスは75%から50%に低減                  *** 韓国は原発拡大目標の修正にむけて検討中</p>
<p>原子力目標を変更した国</p>	<p>ベルギー                  ドイツ                  日本                  スイス</p>	<p>2025年までに廃止                  2022年までに廃止                  中長期的に原子力への依存度を低減                  2034年までに廃止</p>
<p>原子力導入をおくらせる国</p>	<p>泰、マレーシア、フィリピン、インドネシア</p>	
<p>遅らせない国</p>	<p>トルコ、ベトナム</p>	

出典:IEA, ETP, 2012

# 東アジア地域における原子力発電所建設の状況

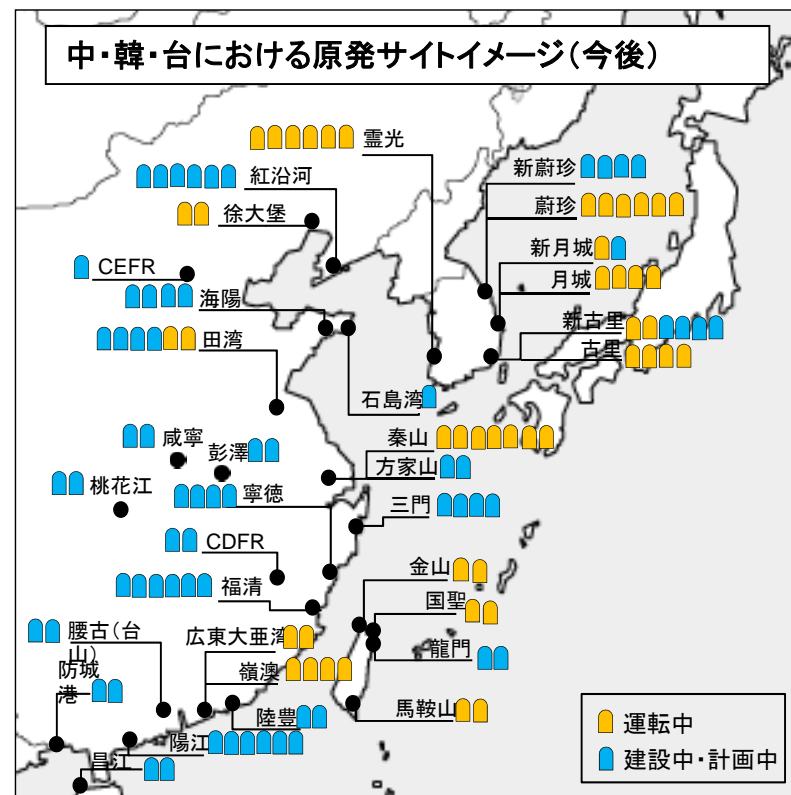
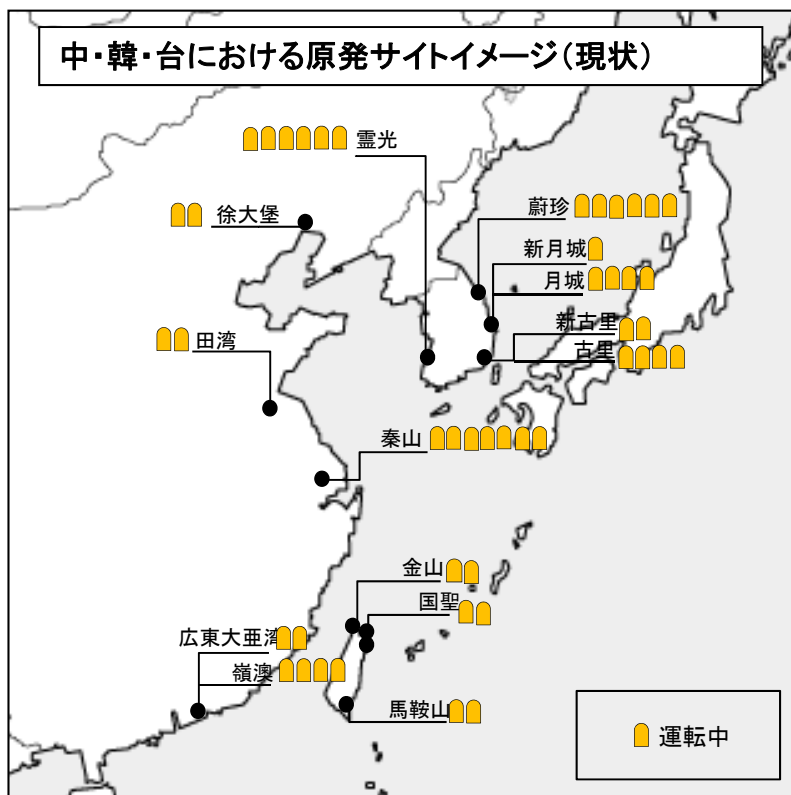
- (1) 今後も、中・韓・台をはじめ、アジアの諸国においては、原子力発電所建設が進む。  
 (2) 地域全体で、原子力発電所の安全な運転をいかに確保していくかが大きな課題。

## 運転中の原発基数

(中国) 17基  
 (韓国) 23基  
 (台湾) 6基

## 運転中+建設中・計画中の原発基数

(中国) 17基 + 54基  
 (韓国) 23基 + 9基  
 (台湾) 6基 + 2基



「世界の原子力発電開発の動向2013年版」参照



# 事故リスクに関する自然科学と社会科学

- 自然科学
  - リスクの最小化、炉の固有のリスク対策
  - どういうリスクがあるかを考える。地震、津波、火山、テロ、リスクの高い場所は避ける
  - よりリスクの少ない炉にする
- 社会科学
  - リスクはゼロにはできない
  - 費用対効果：選択とは他の事象との比較をすること
  - しかし問題はリスクや費用対効果がゆがめられること（予断を持たずにものを見ることby島崎氏）

# 事故の教訓は何か

- 
- 事故をどのように評価するか
  - なぜ事故は起きたのか
  - 今後の事故リスクをどう評価するか

# 東京電力福島第一原子力発電所事故概要(1～4号機の状況)

## 1. 事故当時の状況

(1)

1号機



2号機



3号機



4号機



## 2. その後の状況

(1)平成23年12月16日には、1号機～3号機の原子炉内の温度が概ね100℃以下となり、放射性物質の放出量が大幅に抑制され、放出を管理できる“冷温停止状態”を達成した旨を原子力災害対策本部において確認。以後、事態の安定を目指す段階から廃炉に向けた段階に移行。

(2)同年12月21日、第1回政府・東京電力中長期対策会議にて「中長期ロードマップ」を決定。



# 福島事故をどう評価するか

## 政府事故調報告(2011. 7)

### □ 主要な問題点

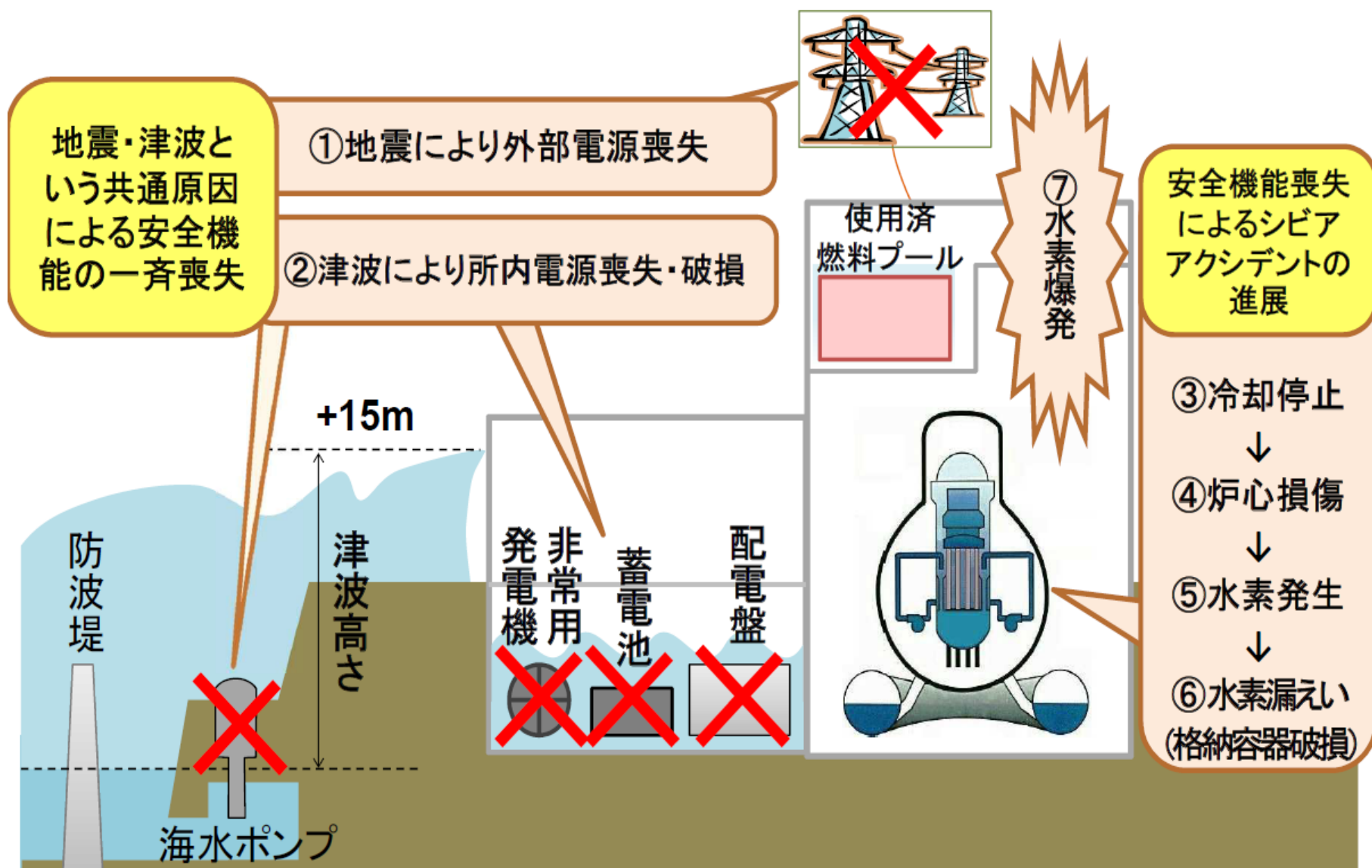
- 被害の対処
- 総合的リスク評価の必要性(施設の置かれた自然環境特性に対応してリスク評価をすべき)
- リスク評価を踏まえたシビアアクシデント対策

### □ 重要な論点

- 関係者での検討
- 複合災害 (地震+津波 と 自然災害+人災 )
- リスク認識の転換
- 被災者の視点一欠陥分析
- 想定外一確率の低い事象は除外する発想からの脱却

## 福島第一原発における教訓

- 福島原発事故では地震や津波などの共通要因により安全機能が一斉に喪失。
- さらに、その後のシビアアクシデントの進展を食い止めることができなかった。





## 福島原発事故以前の安全規制への指摘

- 福島原発事故以前の安全規制の問題点として、福島原発事故以前にはシビアアクシデント対策が規制の対象とされず十分な備えがなかったこと、また新たな基準を既設の原発にさかのぼって適用する法的仕組みがなく、常に最高水準の安全性をはかることがなされなかったことなどが指摘された。
- 外部事象も考慮したシビアアクシデント対策が十分な検討を経ないまま、事業者の自主性に任されてきた。(国会事故調)
- 設置許可された原発に対してさかのぼって適用する(「バックフィット」といわれる)法的仕組みは何もなかった。(国会事故調)
- 日本では、積極的に海外の知見を導入し、不確実なリスクに対応して安全の向上を目指す姿勢に欠けていた。(国会事故調)
- 地震や津波に対する安全評価を始めとして、事故の起因となる可能性がある火災、火山、斜面崩落等の外部事象を含めた総合的なリスク評価は行われていなかった。(政府事故調)
- 複数の法律の適用や所掌官庁の分散による弊害のないよう、一元的な法体系となることが望ましい。(国会事故調)



# 福島後の安全対策の対応

- IAEAへの報告(2011.6):得られた教訓
- 1)シビアアクシデント防止策、2)事故対応、3)災害への対応、4)安全確保の基盤、5)安全文化
- (1)シビアアクシデント:①津波の設計が不十分、浸水影響を防止する構築物の設計、②電源確保、多様な非常用電源、環境耐性の高い配電設備、③冷却機能、代替注水機能、水源多様化、④プールの冷却機能、⑤アクシデントマネジメント、確率論的評価手法、⑥複数炉立地の課題、炉の独立性、⑦施設の配置、事故の影響の拡大を防止できる施設の配置
- (2)事故対応:①水素爆発防止、(想定外)、②ベントの操作性の問題、③制御室などの放射線遮蔽、④個人被爆管理、⑤連絡体制、⑥計装系(情報)、⑦資機材、レスキュー部隊、
- (3)災害対応:①自然災害との複合対応、長期化への対応、②モニタリング体制、③現地と中央の役割分担、④放射能影響のリスクコミュニケーション、⑤国際協力体制、⑥SPEEDの活用、⑦広域避難範囲、防護基準
- (4)安全確保の基盤、①規制行政、②法体系見直し、⑤PSAの活用

# 何がなされたか(緊急対策)

- 2011.3.30緊急安全対策指示
- 2011.4.15外部電源信頼確保指示
- 2011.6.7シビアアクシデント対策指示
- 2011.4.19福井県要望、2011.6.8原子力発電関係(所在県)協議会要望
- **1.シビアアクシデント**:①浸水影響防止:防潮堤(福井県要望、東海第二、敦賀は計画)、30m立地(1-4年以内に実施)、開閉所は30mに移設、②電源確保:電源車、複数送電回線(敦賀、伊方をのぞき措置)、GT発電機、送電線対策強化(福井県要望●)、③代替注水:消防車・ホース配置(措置)、空冷機能(福井県要望○)、④、⑤AM(電源車相互融通措置)、⑥複数炉立地:設備の独立(2-4年以内に整備)、⑦、⑧防水扉(福井県要望○)
- **2.事故対応**:②ベント、⑤訓練、他は措置
- **3.災害対応**:⑥SPEED(協議会要望)、⑦広域避難見直し(福井県要望、協議会要望)
- **4.安全確保基盤**:①行政(協議会要望)、②法体系(高経年化対策見直し)(福井県要望、協議会要望)

## 安全対策の対応(2)

- ◆ 原子力規制委員会(2013年7月に新しい安全基準を策定)
- ◆ 考慮すべき外部事象の考え方(2012年10月、有識者会議)
  - 考慮すべき外部事象の明確化:地震、津波、テロ、航空機事故etc
  - 発生頻度(超過確率 $10^{-4}$ 以上(EU基準)、発生頻度一千万年に一回( $10^{-7}$ )以下(英)など)cf活断層定義問題
  - 設計基準を超える自然現象に対して更に安全性を向上させる

# 実用発電用原子炉に係る 新規制基準について

—概要—

平成25年7月  
原子力規制委員会

## 新規制基準の前提となる法改正（H24年6月公布）

- 昨年6月に事故の教訓を踏まえた法改正が行われ、人の安全に加え、環境を守ることを目的に追加するとともに、シビアアクシデントを規制対象とすること、新基準を既設の原発にさかのぼって適用する制度などが規定された。
- また、改正法の施行は、原子力規制委員会が設置された日から10か月以内（本年7月18日が期限）とすることが定められた。

### ○ 法目的の追加

- ・ 「大規模な自然災害及びテロリズムその他の犯罪行為の発生も想定」
- ・ 「国民の生命、健康及び財産の保護、環境の保全並びに我が国の安全保障に資することを目的」

### ○ 重大事故も考慮した安全規制への転換

- ・ 保安措置に重大事故対策（シビアアクシデント対策）が含まれることを明記し、法令上の規制対象に
- ・ 事業者による原子力施設の安全性向上を図るために総合的な安全評価を定期的実施し、その結果等の国への届出及び公表を義務づけ

### ○ 最新の知見を既存施設にも反映する規制への転換

- ・ 既に許可を得た原子力施設に対しても最新の規制基準への適合を義務づける、「バックフィット制度」を導入

### ○ 原子力安全規制の一元化

- ・ 電気事業法の原子力発電所に対する安全規制（定期検査等）を、原子炉等規制法に一元化
- ・ 原子炉等規制法の目的、許可等の基準から原子力の利用等の計画的な遂行に関するものを削除し、安全の観点からの規制であることを明確化

## 新規制基準の基本的な考え方

- 新規制基準では、「深層防護」を基本とし、共通要因による安全機能の一斉喪失を防止する観点から、自然現象の想定と対策を大幅に引き上げ。
- また、自然現象以外でも、共通要因による安全機能の一斉喪失を引き起こす可能性のある事象(火災など)について対策を強化。

### ① 「深層防護」の徹底

目的達成に有効な複数の(多層の)対策を用意し、かつ、それぞれの層の対策を考  
えるとき、他の層での対策に期待しない。

### ② 共通要因故障をもたらす自然現象等に係る想定的大幅な引き上げとそれに対する防 護対策を強化

地震・津波の評価の厳格化、津波浸水対策の導入、多様性・独立性を十分に配慮、  
火山・竜巻・森林火災の評価も厳格化

### ③ 自然現象以外の共通要因故障を引き起こす事象への対策を強化

火災防護対策の強化・徹底、内部溢水対策の導入、停電対策の強化(電源強化)

### ④ 基準では必要な「性能」を規定(性能要求)

基準を満たすための具体策は事業者が施設の特性に応じて選択



# 従来の基準と新基準との比較

- ▶ 従来と比較すると、シビアアクシデントを防止するための基準を強化するとともに、万一シビアアクシデントやテロが発生した場合に対処するための基準を新設

## ＜従来の規制基準＞

シビアアクシデントを防止するための基準(いわゆる設計基準)  
(単一の機器の故障を想定しても炉心損傷に至らないことを確認)

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

## ＜新規制基準＞

意図的な航空機衝突への対応
放射性物質の拡散抑制対策
格納容器破損防止対策
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)
内部溢水に対する考慮(新設)
自然現象に対する考慮 (火山・竜巻・森林火災を新設)
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

(テロ対策)  
新設  
(シビアアクシデント対策)  
新設

強化又は新設

強化

# 自然現象以外の事象による共通要因故障への対策（その1）

- 自然現象以外に共通要因による安全機能の一斉喪失を引き起こす事象として、停電（電源喪失）への対策を抜本的に強化。

## 新基準と従来の基準との比較（電源）

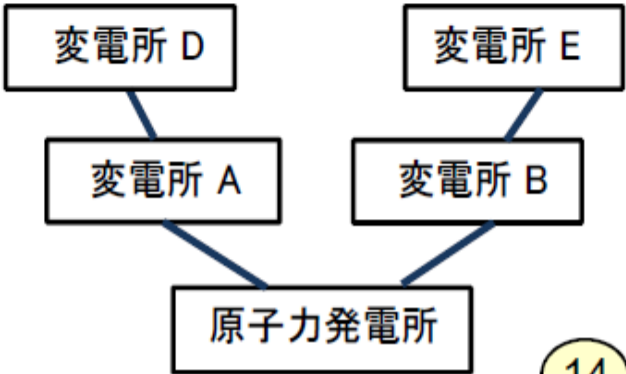
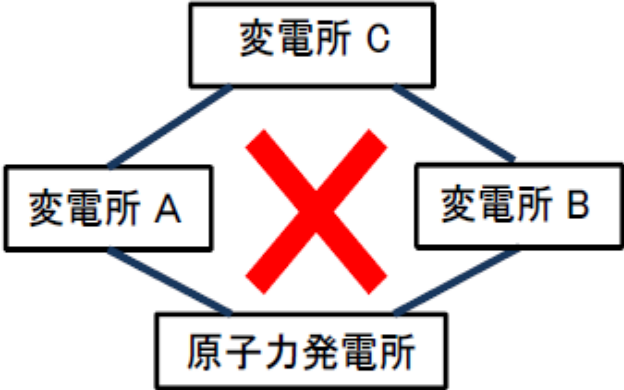
	従来	新基準
外部電源	2回線（独立性の要求なし）	2回線（独立したものを要求）
所内交流電源	恒設2台（非常用ディーゼル発電機）	左記に加え、恒設1台追加、可搬式（電源車）2台追加、7日分の燃料を備蓄
所内直流電源	恒設1系統（容量は30分）	左記の容量増加（24時間）、可搬式1系統及び恒設1系統を追加（いずれも24時間分）

※上記の他、電源盤等についても共通要因で機能喪失しないことを要求



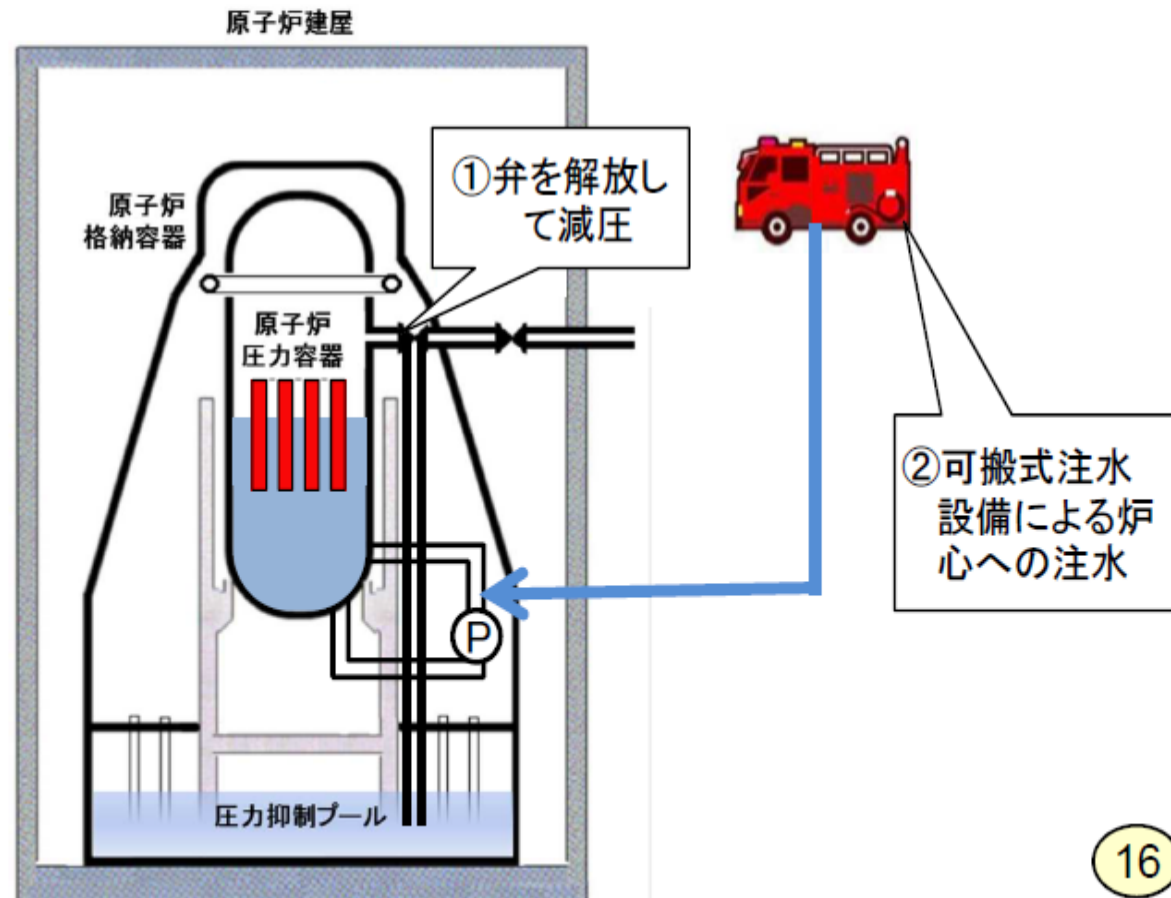
高台への電源車の配備（可搬式交流電源）

外部電源系の強化（独立した異なる2以上の変電所等に2回線以上の送電線により接続）

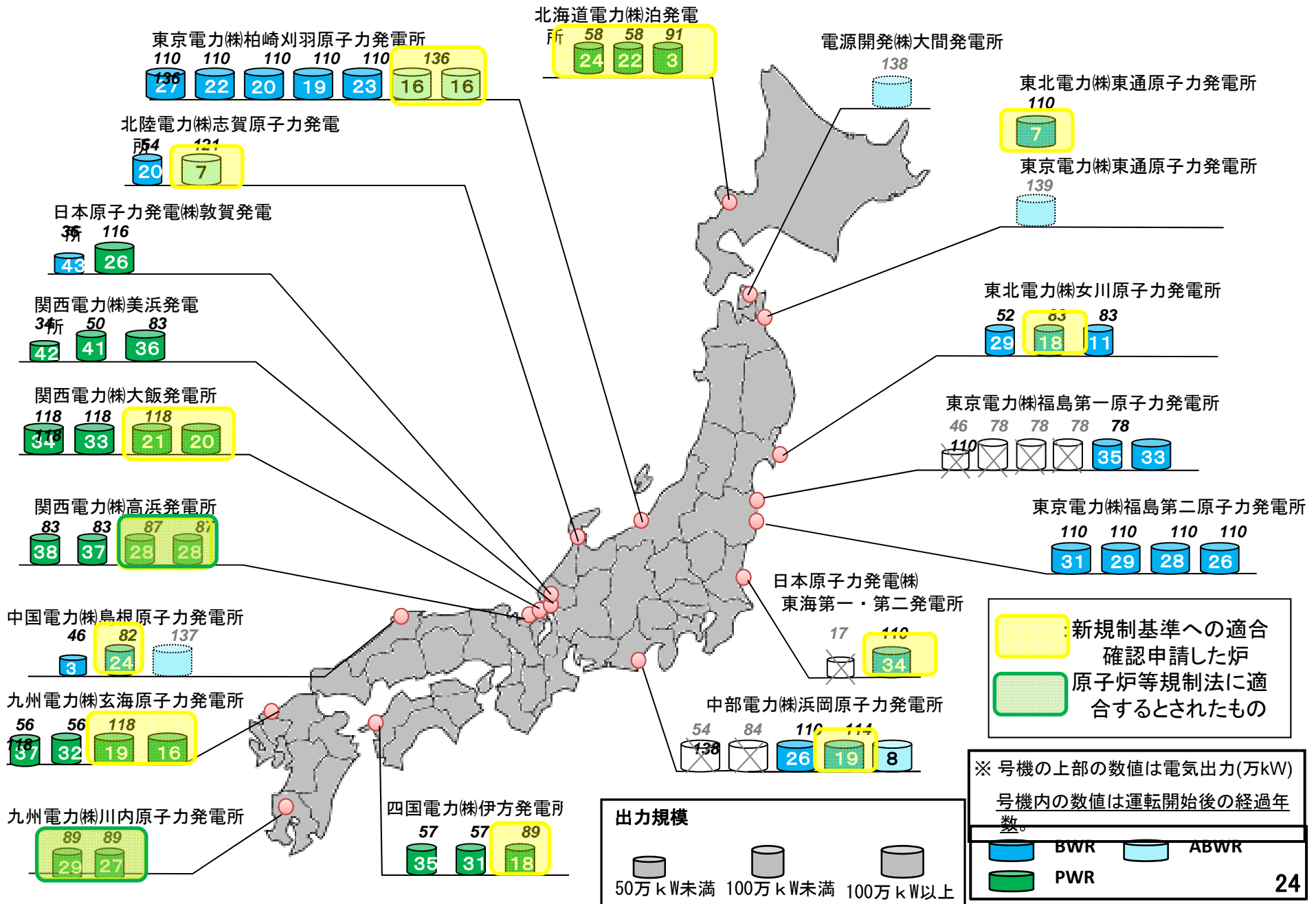


## 炉心損傷防止対策

- 万一共通原因による安全機能の一斉喪失などが発生したとしても炉心損傷に至らせないための対策を要求。
  - (例1) 電源喪失時にも可搬式電源等により逃がし安全弁を解放し、可搬式注水設備等による注水が可能となるまで原子炉を減圧(BWR)。
  - (例2) 原子炉を減圧後、可搬式注水設備により炉心へ注水。



# 各原発の現状 (平成27年5月時点)



# 原子力の事故リスク

- 炉の安全対策:シビアアクシデント対策
  - 電源系統:複数電源、非常用電源+
  - 炉の構造:ベント、給水(次世代炉)+
- 立地地点のリスク
  - 地震
  - 津波:太平洋側
- 事故対策
  - 過酷事故時対策
  - 避難対策
  -

## 「原子力のリスク・アセスメント」に関するWGでの議論

1. PRAは、設計の想定を超える事象に対するプラントの安全性の網羅的評価、脆弱点抽出、対策の効果の定量化ができ、プラントの安全性向上に有効である。
2. 事業者はこれまでPRAを一部で使ってきたが、リスクがゼロでないことを示すことになることから、重大事故が起こるのだと言われることを恐れ、積極的には活用に至らなかった。また、社会とのリスクコミュニケーションも避けてきてしまった。
3. PRAは安全を確認する手段ではなく、不確かさを明らかにする手段である。リスク評価をしないというのは不確かさに目を瞑ること。PRAによって我々の知識のない部分、不確かな部分が明らかになることにより、未解決の安全問題が明示され、それに対する解決策を求めていく。これが継続的安全性向上であり、原点である。
4. PRAをともかくやることで自己満足するのではなく、結果をどう解釈し、具体的に何をどうするのか、どうコミュニケーションするかというところに展開するのが重要。
5. レベル3PRA(放射性物質の敷地外への放出による公衆へのリスクを評価)のリスク情報は、リスク・インフォームドな緊急事態の対応で役立つ。リスクは距離の関数で遠いところは小さくなる、防護対策をとる際には優先度がある、そのようにリスクを示すことに役立つ。 ※PRA: 確率論的リスク評価 (Probabilistic Risk Assessment)



## 安全目標について

- 規制が実現しようとする目標として諸外国において設定がなされている「安全目標」に関しては、我が国においては、旧原子力安全委員会にて決定がなされていなかった。
- 原子力規制委員会はこの検討を進め、本年4月に合意に至った。

①旧原子力安全委員会安全目標専門部会における検討結果(※)を議論の基礎とする

※炉心損傷頻度  $10^{-4}$ /年程度

格納容器機能喪失頻度  $10^{-5}$ /年程度 等

②放射性物質による環境への汚染の視点も取り込むこととし、  
事故時のCs137の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度は、  
100万炉年に1回程度を超えないように抑制されるべきである  
(テロ等によるものを除く)

③安全目標は、全ての発電用原子炉に区別無く適用するべきである

④安全目標は、原子力規制委員会が原子力施設の規制を進めていく上で達成を目指す目標である

⑤安全目標に関する議論は、今後とも引き続き検討を進めていく

# 今日の問題

## 福島事故の教訓

- なぜ、冷却水が止まってしまったのか。
- 冷却水が途絶したことによって何が起きたのか。
- 放射能の拡散は、水素爆発。なぜ、水素爆発が起きたのか。
- 福島事故は何があったら防げたのか。

## 原子力の事故リスクをどう評価するか

- 危険はリスクを評価することによって得られる。リスクとは何か。
- 福島事故の教訓から新しく採用された考え方は。
- 規制委員会が新しく求めた対策は何か。
- 将来の事故のリスクをどう考えるか。

# 炉の安全対策

- 止める(非常用停止装置、制御棒)
- 冷やす(緊急炉心冷却装置、受動的冷却方法)
- 閉じこめる(
- 多様性のある電源、対策
- 静的安全炉: 人的な操作ではなく、炉に本来備わった機能で停止させること(高木、2000)
- AP1000

# 立地のリスク

- 地域によるリスクの評価
  - 太平洋岸（津波と地震は別物）
  - 日本海側
  - 中国の原子力政策
    - 中長期発展計画：2015年まで沿海部でのみ建設進める、内陸部は建設を認めない
- 集中立地のリスク（欧米の立地）
- 海岸からの高さ

# 再掲、異なった意見

## 鹿児島地裁判決

- 新基準の合理性
- 国内外の最新の研究成果や調査結果等を踏まえ、福島事故の経験も考慮した最新の科学的知見に照らして不合理な点は認められない。
- 基準地震動
- 地震のメカニズムについての知見(地域の地震の様式、規模、頻度)等に照らせば、地域的な傾向を考慮することは相当。過去に超えた地震が不合理性を裏付けるものでない。耐震安全上の余裕があることは、実証試験やストレステストの結果等からも裏付けられている。

## 福井地裁判決

- 新基準の合理性
- 深刻な災害を引き起こす恐れが万が一にもないという厳格な内容を備えていること。新基準は緩やかで合理性を欠く。
- 基準地震動
- 基準地震動を超える地震はあってはならない。過去に想定を超える地震があった。基準地震動を超える地震が到来すれば炉心損傷に至る危険が認められる。

# 大飯原発差し止め訴訟

森嶋昭雄名古屋大学名誉教授

福井地裁判決

- 身体や生命の危険がある場合に、経済的、科学的な議論を否定するならば、事故を起こしかねない車は運転できず、墜落の可能性のある飛行機も飛ばせなくなる。
- 新しい技術が潜在的に有する危険性を許さないとなれば社会の発展はなくなるから、新しい技術の有する危険性の性質やもたらす被害の大きさが明確でない場合には、その技術の実施の差し止めの可否を裁判所において判断することは困難を極める。しかし、技術の危険性の性質やそのもたらす被害の大きさが判明している場合には、技術の実施に当たっては危険の性質と被害の大きさに応じた安全性が求められることになるから、この安全性が保持されているかの判断をすればよいだけであり、危険性を一定程度容認しないと社会の発展が妨げられるのではないかといった葛藤が生じることはない。原子力発電技術の危険性の本質及びそのもたらす被害の大きさは、福島原発事故を通じて十分に明らかになったといえる。



# 今後のいくつかの問題

- 信頼の問題
- 話しの内容ではなく、人間の信頼性の問題である(柴田、2005)
- 補償の問題＝
- 環境問題はリスクをゼロにはできない、補償の概念が必要、環境における補償問題については、5月に講義予定
- いまの対応で欠けているもの(人と環境を守るという視点)
- 水俣病の教訓
- 事故対応の発想(全体の利益と個々の利益)
- 補償(新幹線・航空機騒音訴訟)
- パンナム機のリビアによる撃墜事件
- アスベスト被害(中皮腫、肺がん)

# 事故とは何か

## ➤ 津波

- 釜石市立釜石小学校：津波到達まで30分、全生徒避難、生徒被害者なし
- 石巻市立大川小学校：津波到達まで50分、全校生徒108人中7割死亡

## ➤ 原発事故

- 福島第一：1号炉12日15時水素爆発、3号炉14日11時水素爆発、
- 福島第二：3号炉12日12時冷温停止、1,2,4号炉14~15日冷温停止
- 東海第二：

# 本当の原発対策とは (斉藤、2011より)

- 古い炉を廃止して新しい炉を  
石橋氏の先駆的論文
- 立地場所に応じた安全対策(地震、津波、)  
貞観地震、
- あらゆる想定で議論を  
本当に想定外？2006年衆議院内閣委員会での質疑  
(海水系注入、水素爆発)
- 国民の間でのリスク概念の共有化  
説明が変わることの問題＝信頼感の喪失を招く

# 推奨図書

## ➤ 原子力の歴史

- 橘川武郎(2011)『原子力発電をどうするか』名古屋大学出版会

## ➤ 原発問題

- 齊藤誠(2011)『原発危機の経済学』日本評論社

経済学者が分析した技術論

- 加藤尚武(2011)『災害論』

哲学者が分析したリスク論

- 高木仁三郎(2000)『原発事故はなぜ繰り返すのか』岩波新書

反原発の立場の著者が論じた技術論

## ➤ 安全リスク

- 中西準子(2012)『リスクと向き合うー福島原発事故以後』中央公論新社

# 参考文献

- 齊藤誠(2011)『原発危機の経済学』日本評論社
- 加藤尚武(2011)『災害論』世界思想社
- 高木仁三郎(2000)『原発事故はなぜ繰り返すのか』岩波新書
- 橘川武郎(2011)『原子力発電をどうするか』名古屋大学出版会
- 政府事故調査委員会(2011)最終報告
- 国会事故調査報告書(2012)
- 原子力安全保安院(2011)緊急安全対策指示ほか
- 原子力規制委員会(2012)発電用軽水型原子炉の新安全基準に関する検討チーム配布資料、
- 同(2013)第13回規制委員会配布資料
- IEA(2012)Energy Technology Perspective   ほか