

日本原子力学会 安全部会 2017年 夏季セミナー
「規制および現場の課題解決に必要な研究と開発に係る論点」



福島第一廃炉に係る研究開発の
連携強化について

法政大学 デザイン工学研究科 客員教授

日本原子力学会東京電力福島第一原子力発電所廃炉検討委員会委員長

宮野 廣

福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発 目次

1. 一般論としての研究開発への取り組み方
2. 原子力発電分野での研究開発の特徴
3. 福島第一廃炉での研究開発
 3. 1 廃炉の体制と役割分担
 3. 2 ロードマップ
 3. 4 技術分野と重要な課題
 3. 3 開発組織とその連携
4. まとめ

福島第一原子力発電所の廃炉における研究開発の論点

講演の概要を以下に示す。

1. 一般論としての研究開発への取り組み方

- ・研究開発に向き合う姿勢はいかにあるべきか。

2. 原子力発電分野での研究開発の特徴

- ・特に「原子力」の利用に関する研究開発は、「原子力安全」という重要な視点が欠かせない。

3. 福島第一廃炉での研究開発

- ・世界で初めて取り組む、大きな損傷を受けた事故炉の廃炉であり、TMIをしのぐものであり、チェルノブイリでは取り組めなかったものである。
- ・初めての取り組みとして、国際社会への義務として国を挙げた取り組みが必要であるが、プロジェクト体制をどのように組むべきか。
- ・今こそ、ロードマップによる管理が重要であるが、達成できないことを慮った名ばかりのものとなっていないか。
- ・工法の想定と必要な技術開発をオープンな場での議論と開発への参加を促すべきである。

どんな論点があるのか、共に考えてみたい。

1. 一般論としての研究開発への取り組み方

- 研究開発に向き合う
- 倫理と開発
- 方法論(目標達成型、シーズ創造型)
- Forecast と Backcast によるロードマップの構築
- 演繹的追求、帰納的追求
- 強み、弱み分析 技術分野展開、部品構成分野展開

「無駄が重要。無駄から創造が生まれるのも事実である。」

無駄と思われるような研究、開発を目を瞑って認めなければ、いいものは生まれてこない。

しかし成果は厳しく求めなければならない。

これが、研究開発のマネジメントである。成果を着実に生むためのリーダーの役割、リーダーシップである。

以下に方法論を示したい。

1. 一般論としての研究開発への取り組み方

○ 研究開発に向き合う

- ・ 個人的な研究開発への取り組みの歴史

研究時代

1970年代 流体振動問題への取り組み、燃料集合体開発、機器の国産化

1980年代 ABWR RIP/炉内構造/一次系システム開発

研究から設計へ

1990年代 大型PJ(シュラウド取り換え、再循環ポンプ開発、レーザシステムなど)
プロジェクト管理から経営に

2000年代 経営品質向上、規格基準化

大学へ転身

2010年代 福島第一の事故の解明と対応を支援

- ・ “死の谷”と向きあう研究開発

米国では、研究開発とは多くの失敗から成り立つとして、“死の谷”と称してきた。この谷を越えるわずかな成功が向こう岸にたどり着き、製品とするための開発に着手することができる。しかし、この開発も成功するものは多くはない。

日本では、効率的開発を目指すことが多い。失敗しないことを求められることから画期的なものは得にくい。「既存の技術」が求められ、改良研究・改良開発に注力することが多い。“死の谷”は知っていても、そんな無駄は許さない、科学技術総合立国構想「イノベーション・スーパーハイウェイ構想」を生んだ。

個人の活動を通じて、研究開発、設計、経営に関連する活動で得られた、「伝えたいこと」を話したい。

研究と言えば、「死の谷」問題である。日米での取り組みの基本姿勢が国情により大きく異なる。その結果、産業構造にどんな違いをもたらしているのか。

日本では、裏でやるR&Dを米国では、正々堂々表で失敗するのを許す。

「無駄が重要。無駄から創造が生まれるのも事実である。」

取り組んできた研究開発、
設計・保全、規格基準の活
動の全貌

日本におけるBWR原子力発電所の経緯

- 宮野 の研究開発・設計・規格基準化への取り組み -

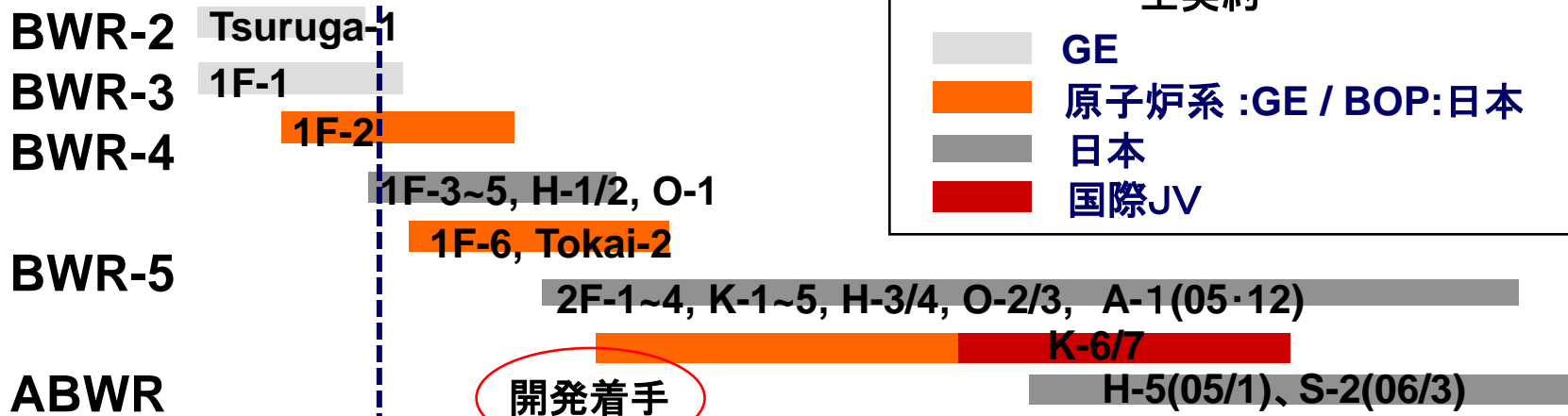
1960 1970 1980 1990 2000

建設

BWRの開発の概要を以下に示す。

主契約

- GE
- 原子炉系 : GE / BOP: 日本
- 日本
- 国際JV



開発着手

ABWR 1次系の開発・インターナルポンプシスム

国産化

輸入+国内下請製造

輸入+国産化

国産化

GEとの共同研究Pr

導入以来、設計の把握には多くの技術者が交流した。
協働で研究する活動は、この時期から開始され、
約25年間継続し、毎年交流会があった。

改良標準化



イベント

★ SCC
★ チャンネルウェア

★ TMI

★ チェルノブイル

★ 美浜2号 SGTR

もんじゅ

シュラウド取替

★ 美浜3号配管減肉

トラブルと対応のための研究開発
ABWRの研究開発
新たな保全への取り組み

流体関連振動の研究・トラブル解決

再循環システムの開発とシステム設計

1F-1シュラウド亀裂

保全の体系化・規格基準

トラブル要因となった流体関連振動問題

原子力に関連した流体関連振動現象発生 の例

(構造物の振動)

- ・ 特殊な流れによる振動 ……BWR炉心フライパンロー励起振動
- ・ 単管の振動 ……もんじゅ熱電対さや管
- ・ 管群振動 ……PWRほか熱交換器
- ・ 膜振動 ……スーパーフェニックス、ドライヤスカート
- ・ すきま流れ振動 ……ジェットポンプ、PWR炉心
- ・ 圧力波の共振 ……BWR炉内センシングライン
- ・ 弁・配管系の音響振動 ……主蒸気弁・仕切り弁
- ・ 二相流振動 ……BWR燃料集合体

(流体の振動)

- ・ 二温度流体混合による温度変動……RPVノズル、ポンプシャフト
- ・ スロッシング ……FBRタンク炉、燃料プール

トラブルの花盛りの時期であり、世界のBWR、PWR多くで流体関連振動による損傷があった。研究会(FIV研究会等)で勉強会を持ち、世界の研究者、技術者が連携して解決を図ってきた。

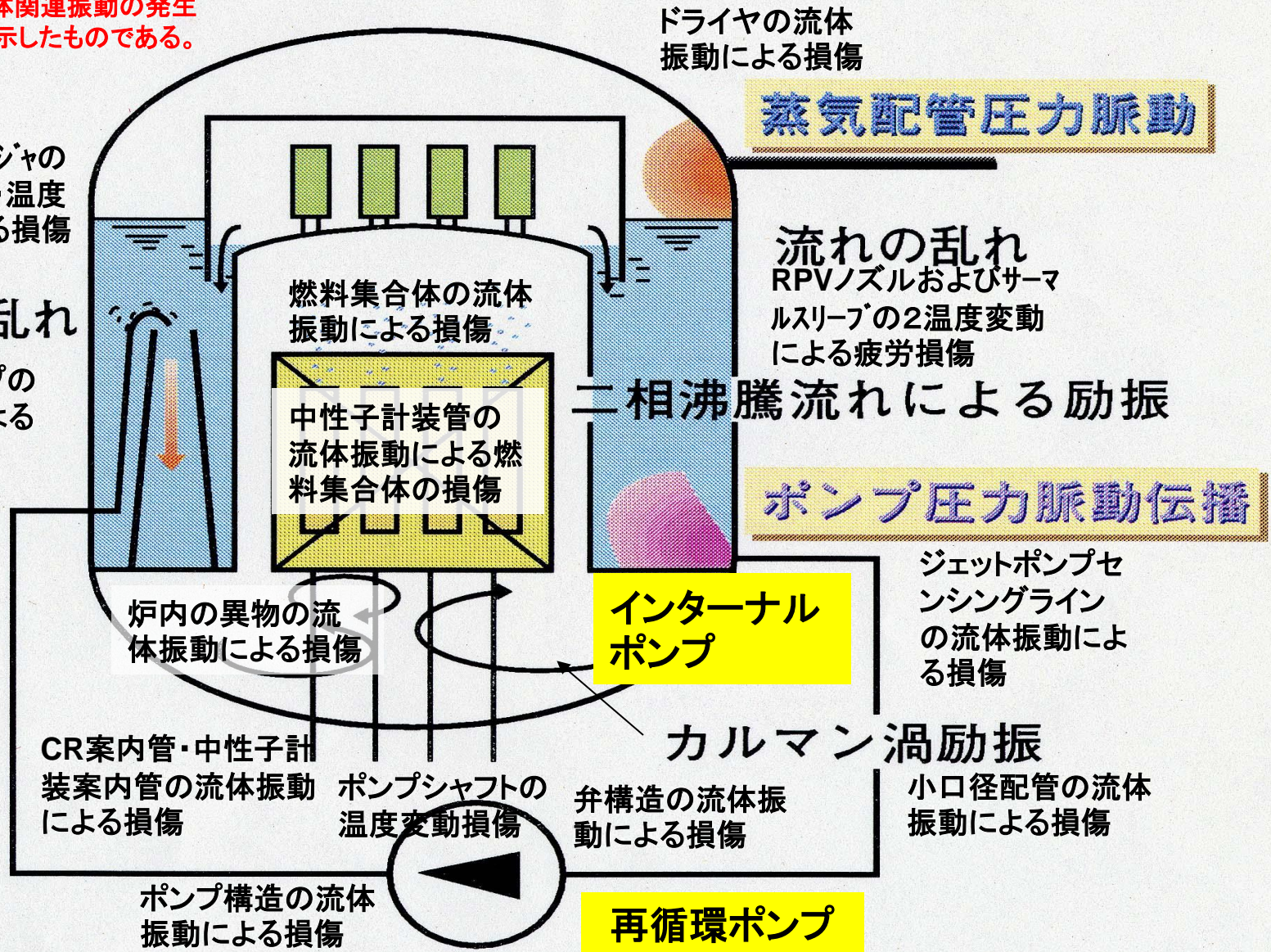
現在は、多くの問題は解決された。しかし、新しいシステムを開発すると、必ずこの問題は起きると思っていなければならない。

「流体との連成振動問題を忘れてはならない」

世界の軽水炉はもちろん開発されていた高速炉でも、多くのトラブルを計敬してきた。これは、流体と構造との連成による振動、変動問題によるトラブル要因の現象とそれを経験した機器、系統である。

流体振動現象・流体励振力の解明

先にあげた、流体関連振動の発生位置と現象を図示したものである。



- ・直交流
- ・平行流
- ・隙間流
- ・圧力波(伝播)
- ・共振
- ・二相流
- ・二温度流体混合

研究活動での感想

福島第一での経験でも、予兆があったと言える。女川の15mを主張した平田技士の調査。スマトラ津波のインド原発の被災、仏国ルブルイエ原発の浸水被災、など。水につかることは何をもちたらすのかは知っていたことだが、現実となり得ることを見過ごしたのではないか。そこに研究者・技術者としての「見識」を磨くことがいかに重要であるかがわかる。

- **“予兆”は、必ずある。**見失うことのないように見識を備えること。
「中性子計装波形の異変」がきっかけであった。
もっと早く気付いていれば、燃料の損傷までには至らなかった。
2F3PLRポンプの仕切り板脱落
何回も発生していながら、原因推定が不十分、共振現象まで計算していながら、大事故を防ぐことができなかった。
- 研究分野の国際交流へのチャレンジ
専門家間の意見交換を徹底すること
(FIV原・金子研究会、班目流体関連振動研究会、D&D岩壺研究会など)
若手の育成が重要
これからは異分野間の交流が必要なのではないか。(例:シンビオ研究会)
- **3%のunder the table**を認めよ。
研究には縛られない、自由な物が必要。時間、金ともそれを与えるべき。
- 成果は、「製品」か「標準」にすべき。

この活動が若手の育成と、国際交流にどれだけ貢献したか。力のある研究者のリーダーシップを進めてほしい。

「無駄」、「無謀」、「遊び」と思われるような研究も認めなければ新たな創造的な研究はできない。

一方成果の出ない研究は認めるな。成果とは「製品」であり、「標準」である。それに結びつく物をだせ。

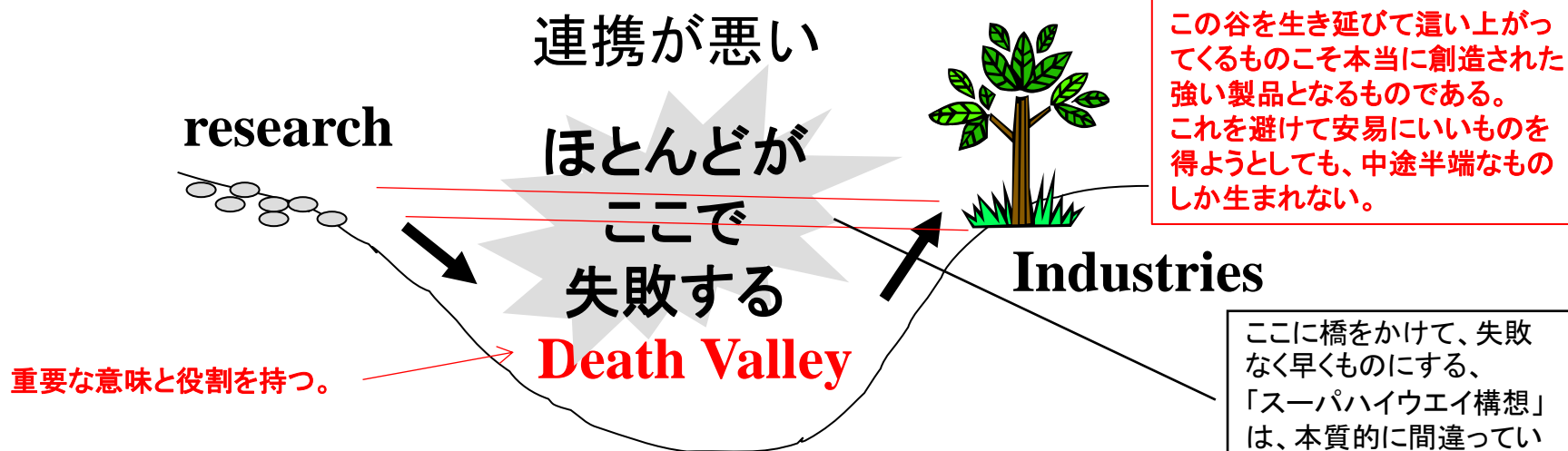
異分野との交流を是非、お願いしたい。工学分野での交流は比較的、進められてきたが、文系の分野との交流も大切である。

研究開発における“死の谷”理論

ここにはいろいろな解釈があると思うが。

研究開発に投資をすれば成果が上がるというものではない。

川上 (research) と川下 (応用・開発・サービス) との Gap



米国流・・・ 多産多死 : 目的志向、Stage-Gate System
(ロードマップ、マイルストーン達成管理方式)

日本流・・・ 少産少死 : 目利き、Serendipity
(意外性、個人資質に依存の一発達成方式)

「日本でうまく行かないのは、研究開発にもマネジメントが必要だが、それができていないからではないか。一発達成方式では、管理は不可。」

イノベーション・スーパーハイウェイ構想」とは

科学技術創造立国の実現に向けて、イノベーション^(注1)を創出する仕組みを強化するため、

(1)双方向の知の流れの円滑化、

(2)異分野の融合、

(3)出口(価値創造)との効果的なつながり

の構築を推進するもので、「経済成長戦略大綱」^(注2)と、「新経済成長戦略」^(注3)において達成する。

→ 2005年に“イノベーション・スーパーハイウェイ構想”を設定

(注1)「イノベーション」・・・単に「技術革新」に留まらず、広く経済活動全般において、新しい方法を取り入れて革新していく。経済学者のシュンペーターの提唱。

《 新製品の開発、新生産方式の導入、新市場の開拓、新原料・新資源の開発、新組織の形成 》

(注2)「経済成長戦略大綱」・・・人口減少が本格化する2015年度までの10年間に取り組むべき施策について、財政・経済一体改革会議でとりまとめたもの。

「イノベーション・スーパーハイウェイ構想」は、1.「国際競争力の強化」、2.「我が国の国際競争力強化」、3.「科学によるイノベーションを生み出す仕組みの強化」で提示されている。

(参考)<http://www.meti.go.jp/topic/data/e60713aj.html>

(注3)「新経済成長戦略」・・・「国際競争力の強化」と「地域経済の活性化」を二本柱とし、継続的に人口が減少するという逆風下における「新しい成長」の方向性を示したもの。(経済産業省産業構造審議会新成長政策部会で取りまとめられた)

「イノベーション・スーパーハイウェイ構想」は、「国際競争力の強化」(国際産業戦略)、「世界のイノベーションセンター」の「イノベーションの加速化」で提示されている。

(参考)<http://www.meti.go.jp/press/20060609004/20060609004.html>

1. 一般論としての研究開発への取り組み方

○ 倫理と開発

- ・原子力分野での研究開発には、「倫理観」が強く求められる。

「Integrity」という“正直であれ”という精神である。

“マネジメント”の発案者である経済学者ピーター・ドラッカーの愛弟子と言われるジャック・ウエルチの姿勢を学んできた。

社会に貢献する科学者・技術者の生き方の基本と言えるもので、私達日本人の「倫理観」に一致するものである。

- ・トラブル対応

米国の姿勢は、常にオープンで取り組む。問題解決には、力を結集する姿勢。ミス、失敗は必ずあることを認め、顕在化した時は迅速に適切に対応することこそが重要な対応策である。

日本では、“ミスや失敗はあってはならないこと”であり、表に出さず解決していまう、ことが全ての分野に共通であった(のではないか)。

ジャック・ウエルチは、多くを教えてくれた。個人的には感謝している。技術者のみならず、必ず守らなければならないのは、「Integrity」だ。これは「安全文化」の根源でもあると考える。もう一つは、「リーダーシップ」の重要性である。

GE ジャック・ウエルチ(1981-2001) が提唱した社是

「Integrity」とはなにか→正直であれ、誠実、ごまかすな、——最も重要なことである。

第1は、インテグリティ。必ず守らなければならないのはインテグリティ。

第2は、変革・改革へのチャレンジ。

第3は、顧客の重視。—これがすべての出発点になる。

問い合わせからアフターサービスまで(受注から納入まで)の全スパンで対応。

第4は、新しい技術への果敢な取り組み。リスクを恐れずに進む。

第5は、情報に支えられたグローバルな世界では、スピードが重要。(IT・ISの重視)

第6は、リーダーシップが重要、その土台になるのは、インテグリティ。マネジメントの真髄はリーダーシップである。

加えて、スピーディな活力、組織の牽引力、判断力、実行力、の4点

第7は、経営手腕のトレーニングについて。数値を基に考える(シックス・シグマ)の活用。

第8は、「人材」について。つねにその分野で最適な人材の活用・登用。

第9は、「形式にとらわれないこと」。(官僚主義の打破)

役職にかかわらず、全社員が問題に対処できるオープンな組織。

第10は、それぞれの分野での差別化の確立。

仕事の品質

- 研究計画の策定にチャレンジしてきた。
仕事をした年月だけ先を読むことができるはず。

常に、自ら先を読むことが必要。
自らのロードマップを策定していなければならない。

(10年経過した人は10年先まで計画を立てられなければならない)

小林一三：百歩先の見えるものは、狂人あつかいにされる。五十歩先の見えるものは、多くは犠牲者となる。十歩先の見えるものが、成功者である。現在が見えぬのは、落伍者である。

“研究計画” ロードマップに基づいた研究の実施と成果のフォロー。

- CDPは1970年代から実施。
業務計画の自己申告・評価制度
定量的成果評価システム

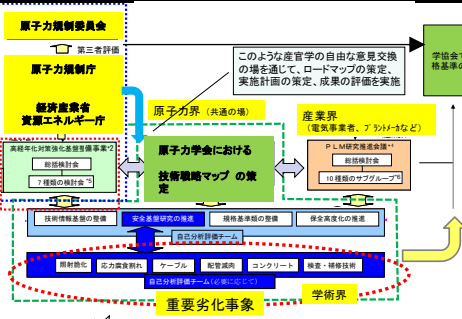
「ロードマップ」は、単なる防引きではない。導入シナリオを分析にニーズに基づき必要な技術マップを整備し、その上で誰の責任でいつまでに重要なマイルストーンを達成させるか、それをまとめたのが「ロードマップ」である。

- 研究者にはDrを。設計者にはTE (Technical Engineer) の資格を取らせる。
ASME N-stampの取得(物づくりだけでなく、設計・技術部門の業務にも)。
ISO9001「品質マネジメントシステム」、当時は「品質管理」と言われたが、営業、人事、総務、研究所、購買、設計 全ての組織で仕組みを導入した。全ての繋がりの中での業務に、“間違いを無くすこと”を目指した。

人材育成は、リーダンも役割である。

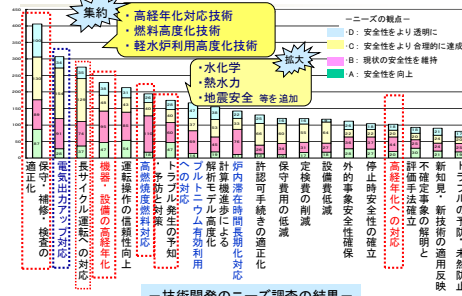
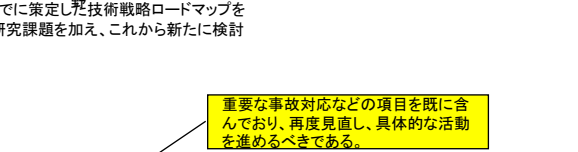
原子力発電は総合工学である。どの役割も間違いがないように活動してこそ、全体としての信頼のあるシステムが出来上がる。

全ての業務は、INとOUTのつながりであり、「誰からどんな情報をもらって、誰にどんな成果を渡すか」それを常に明確にしておくことが大切なことである。

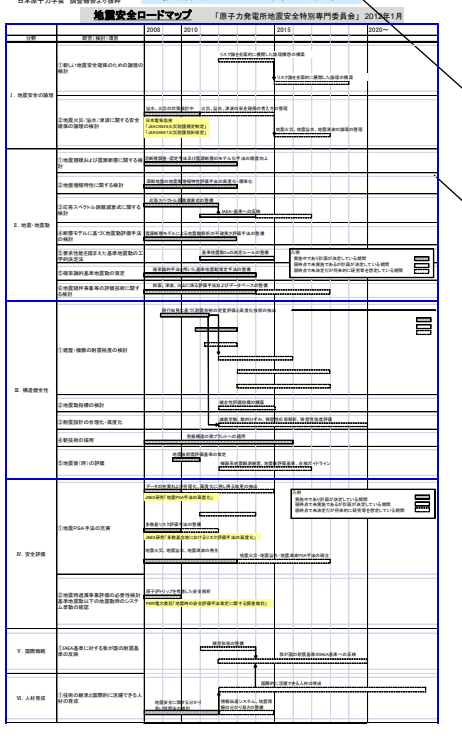
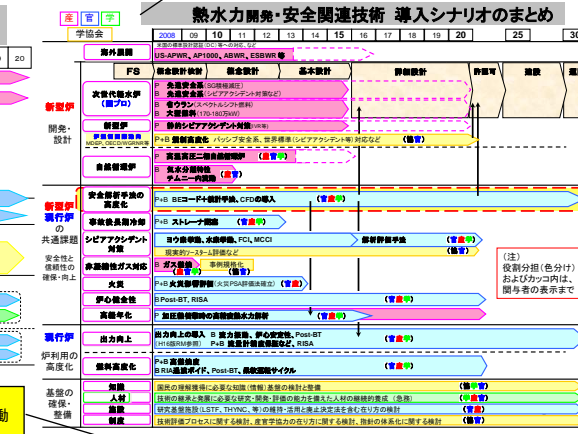
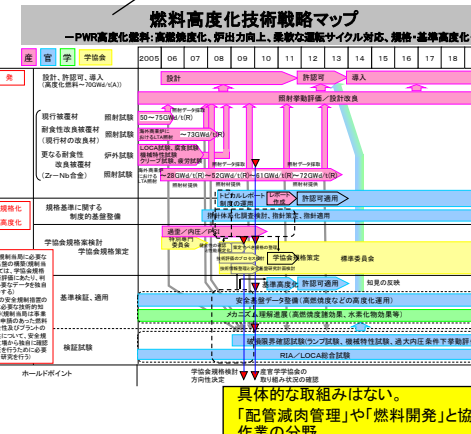


- (1) 研究開発の検討の体制と進め方
産学での総合的な取組みの目的は
① 原子力安全の確保
(例: 基本的な安全確保のための研究
国際基準の策定のための研究等
実施計画の策定、成果の評価を実施)
- ② 国策としてのシステムの高度化による輸出促進
例: 炉心評価コード、安全評価コード
などの **フランスシミュレータの開発**、
FBR、処理処分の必要分野の開発等
にある。
- * 原子力安全・資源エネルギー庁が責任母体の研究開発
 - * 原子力安全庁が責任母体の研究開発を分離することが必要であり、連携は、技術戦略マップ(ロードマップ)によるものとし、管理する母体を明確にする。

(注) 本資料は、研究開発の方向性を明らかにするために、これまでに策定された技術戦略ロードマップを参考に、昨年2011-3-11の事故の教訓から、新たに加わった研究課題を加え、これから新たに検討が必要な研究課題をまとめる参考になるようとりまとめた。



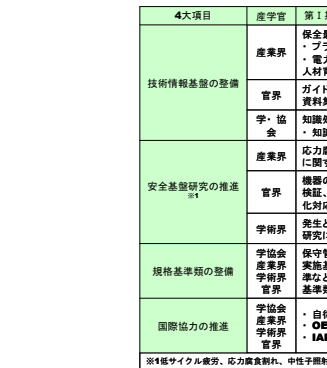
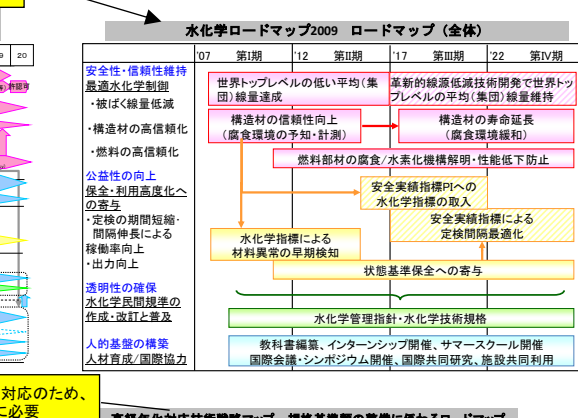
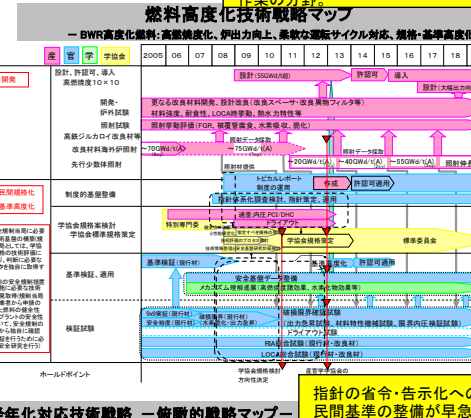
- (2) 各技術分野、システム分野の研究開発のロードマップは図示のとおりである。
- 燃料高度化**
高燃焼度
水化学
高経年化
耐震
- (3) 11以降のプラントの課題
○シビアアクシデント対策
○運転プラントのシステム安全
○バックフィット方法
○津波対策
などが新しく加わった。
- (4) 3, 11以降の周辺課題
○除染対策
○放射線研究
○ロボット・自動機
○事故プラント処理・処分技術
○廃炉技術
など



産学で必要な研究・開発事項のニーズを再度見直し、明確にすることが必要

耐震関連の研究・開発事項の具体化を図る。また、これに津波対応を加えて、新たなロードマップとする。
本件は、耐震では産学およびJNESの課題は集約されているが、これに津波対応を加えて新たなロードマップとする。

高経年化の研究・開発事項は、23年度から新たに運転プラントの安全評価(PSR)の見直し研究の一環がスタート。
燃料の見直しもスタートした。



4大項目	産学官	第1期(2005-2009)5年間の成果	第2期(2010-2019)10年間	第3期(2020-2029)10年間
技術情報基盤の整備	産業界	安全最適化の推進 ・プラント運転データベースの整備 ・電力共通基盤の整備 人材育成	電力共通基盤の整備 ・リスク情報活用による安全高度化 重要情報の抽出と活用 ・技術情報ネットワークの高度化 50年目技術評価の妥当性確認 人材育成	80年運転の可能性検討情報分析 次世代設計ガイドライン(Ⅱ) (材料選定と設計改良) 人材育成
	官界	ガイドライン、標準審査要項、技術 知識の蓄積	ガイドラインの策定 標準審査要項の策定 技術情報ネットワークの構築	標準審査要項の策定 技術情報ネットワークの構築
	学協会	知識の蓄積、活用システムの構築 知識の蓄積・標準化研究等	知識の蓄積、活用システムの構築 知識の蓄積・標準化研究等	知識の蓄積、活用システムの構築 知識の蓄積・標準化研究等
安全実証研究の推進	産業界	応力腐食割れ対応検査・評価・補修に 関する研究等	応力腐食割れ対応検査・評価・補修に 関する研究等	応力腐食割れ対応検査・評価・補修に 関する研究等
	官界	構造的健全性評価、民間研究成果の 検証、材質劣化を中心とした高経年 化対応研究	構造的健全性評価、民間研究成果の 検証、材質劣化を中心とした高経年 化対応研究	構造的健全性評価、民間研究成果の 検証、材質劣化を中心とした高経年 化対応研究
	学術界	劣化と進展メカニズム解明等の基礎 研究による潜在的現象の抽出	劣化と進展メカニズム解明等の基礎 研究による潜在的現象の抽出	劣化と進展メカニズム解明等の基礎 研究による潜在的現象の抽出
規格標準等の整備	学協会 産業界 官界	保守管理規程・指針、高経年化対策 実用基準、定期安全レビュー実施規 程等の策定(41件エントリス)	保守管理規程・指針、高経年化対策 実用基準、定期安全レビュー実施規 程等の策定(41件エントリス)	保守管理規程・指針、高経年化対策 実用基準、定期安全レビュー実施規 程等の策定(41件エントリス)
	産業界	各種研究成果の規格化 民間規格の技術評価(センターズ) 国際規格化戦略	各種研究成果の規格化 民間規格の技術評価(センターズ) 国際規格化戦略	各種研究成果の規格化 民間規格の技術評価(センターズ) 国際規格化戦略
	学協会 産業界 学術界	各種研究成果の規格化 民間規格の技術評価(センターズ) 国際規格化戦略	各種研究成果の規格化 民間規格の技術評価(センターズ) 国際規格化戦略	各種研究成果の規格化 民間規格の技術評価(センターズ) 国際規格化戦略
国際協力の推進	学協会 産業界 学術界	・自発的国際協力、共同研究推進 ・OECD/NEA、IAEA対応 ・IAEA IGGAL等	・自発的国際協力、共同研究推進 ・OECD/NEA、IAEA対応 ・IAEA IGGAL等	・自発的国際協力、共同研究推進 ・OECD/NEA、IAEA対応 ・IAEA IGGAL等
	産業界	・実用化を用いた国際共同研究 ・OECD/NEA 活動の継続 ・IAEA IGGALへの積極的参加	・実用化を用いた国際共同研究 ・OECD/NEA 活動の継続 ・IAEA IGGALへの積極的参加	・実用化を用いた国際共同研究 ・OECD/NEA 活動の継続 ・IAEA IGGALへの積極的参加
	学協会 産業界 学術界	・実用化を用いた国際共同研究 ・OECD/NEA 活動の継続 ・IAEA IGGALへの積極的参加	・実用化を用いた国際共同研究 ・OECD/NEA 活動の継続 ・IAEA IGGALへの積極的参加	・実用化を用いた国際共同研究 ・OECD/NEA 活動の継続 ・IAEA IGGALへの積極的参加

実施内容	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
燃料高度化																						
水化学																						
安全																						
規格標準																						
国際協力																						

1. 一般論としての研究開発への取り組み方

研究開発に役立つ手法を示す。

設備を機器ごとに分解し、必要な開発を進める「構造最適化」方式から、求める設備の機能を展開して必要な開発を進める「機能最適化」方式に転換している。

○ 方法論（目標達成型とシーズ創造型）

- ・ 研究開発には、「目標達成型」と「シーズ創造型」がある。

目標達成型は、目指す目標を定めて、それを実現するために何をすべきか、を考え、実行する。市場に投入するための製品の開発に多い方法である。

シーズ創造型は、専門分野での技術や製品を幅広く、もしくは抜けている部分に特化して開発に取り組む方法である。研究分野ではこの取り組みが多い。

○ Forecast と Backcast によるロードマップの構築

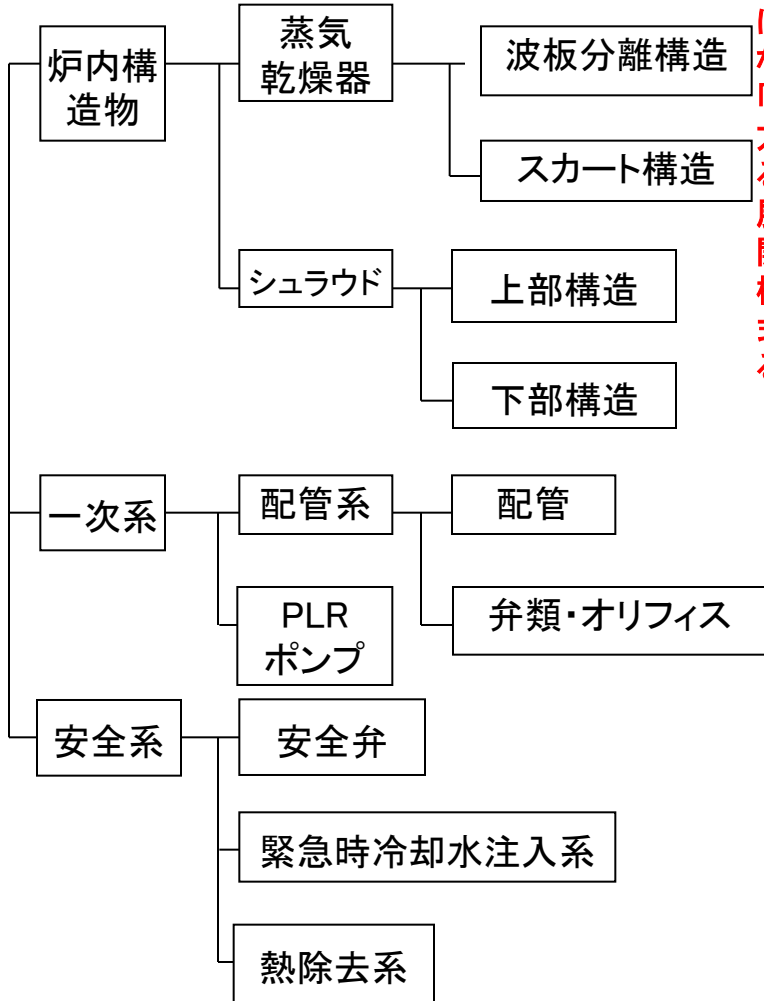
- ・ 研究開発の姿勢は、「目標達成型」か「シーズ創造型」であるが、これをどのように実現して行くのかのステップ、ロードマップを構築しなければならない。
- ・ 過去の実績を基に将来の目指すところを設定して、実現のステップを構築する。いわゆる“Forecast”の進め方である。
- ・ 全く異なる思考による目標の設定や状況分析によるあるべき姿を求めての目標の分析などに基づき、目指す目標を明確に設定して、そのために何を達成すべきかを明確にする逆進的に実現のステップを構築する。いわゆる“Backcast”の進め方である。
- ・ 最近では、両方を駆使して、より明確に開発計画を構築するケースも現れている。

Backcastによるニーズからの展開を組みかえて何をいつまでに開発して、成果を次につなげるか、Forecastの発想でロードマップにまで組み立てる。（参考に示した図は、未採用のPJ提案であるが、あえて掲載した。）

研究開発の進め方ー機器・構造分類、機能分類による着目

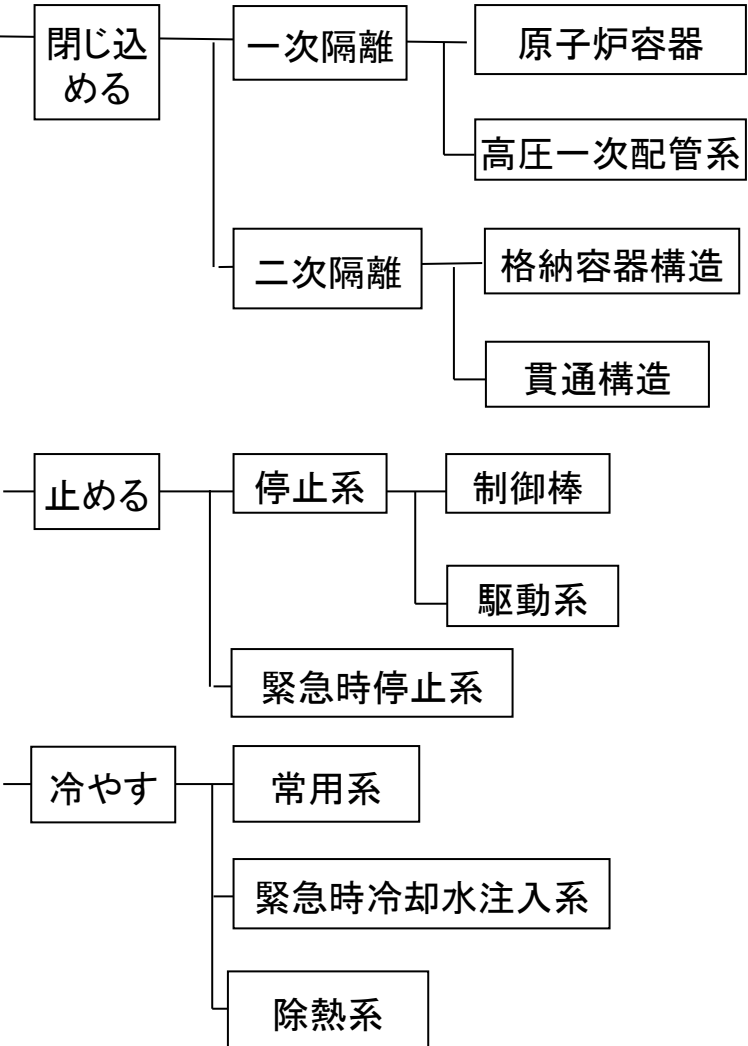
世界最高(機能、コスト、安全、..)の原子力発電システムを開発しよう!

構造から最適化を図る



設備を機器ごとに分解し、必要な開発を進める「構造最適化」方式から、求める設備の機能を展開して必要な開発を進める「機能最適化」方式に転換している。

機能から最適化を図る



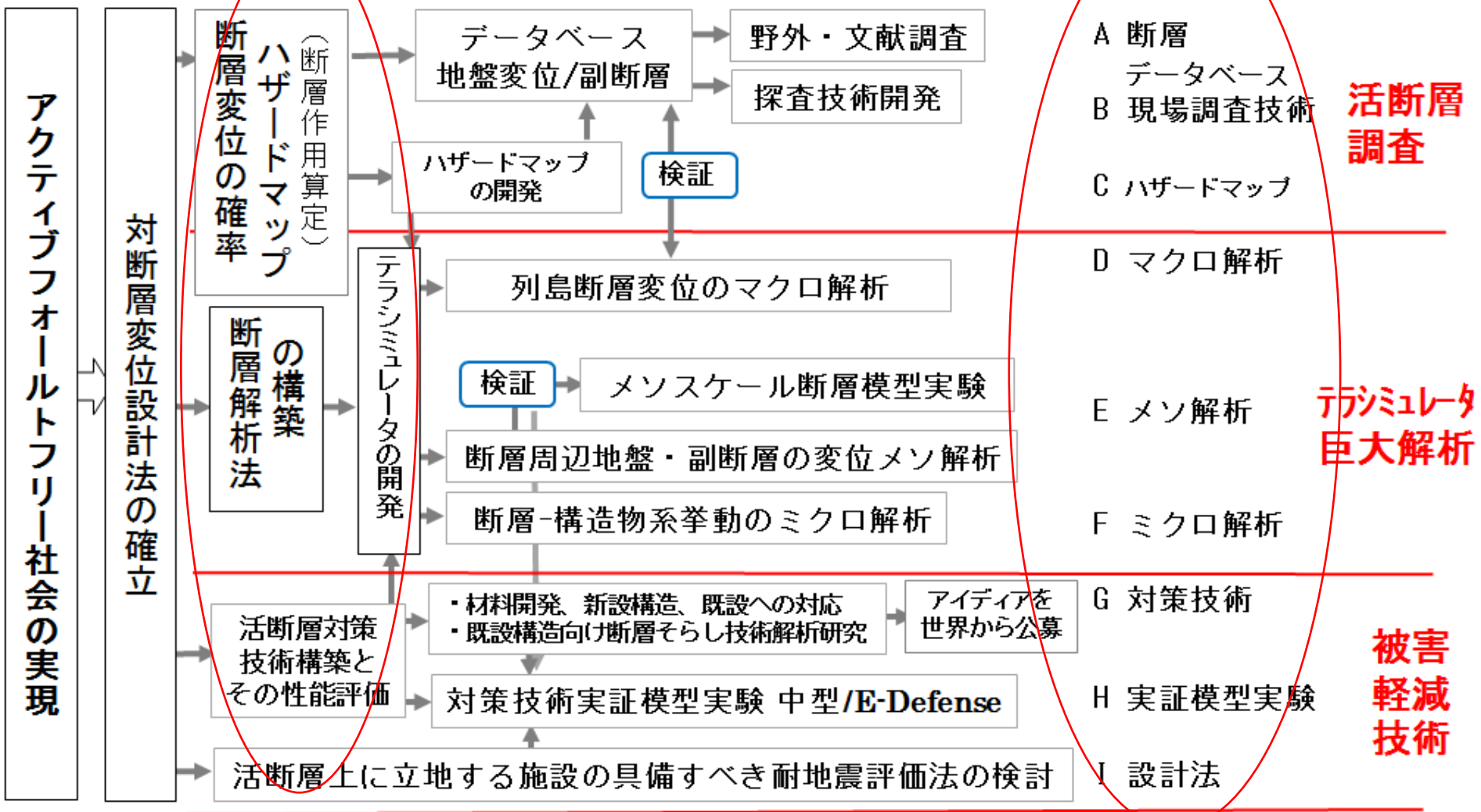
研究計画立案のバックキャストिंग（例）

目標の設定

→ 必要な要素技術への展開

→ 必要なR&Dへの展開

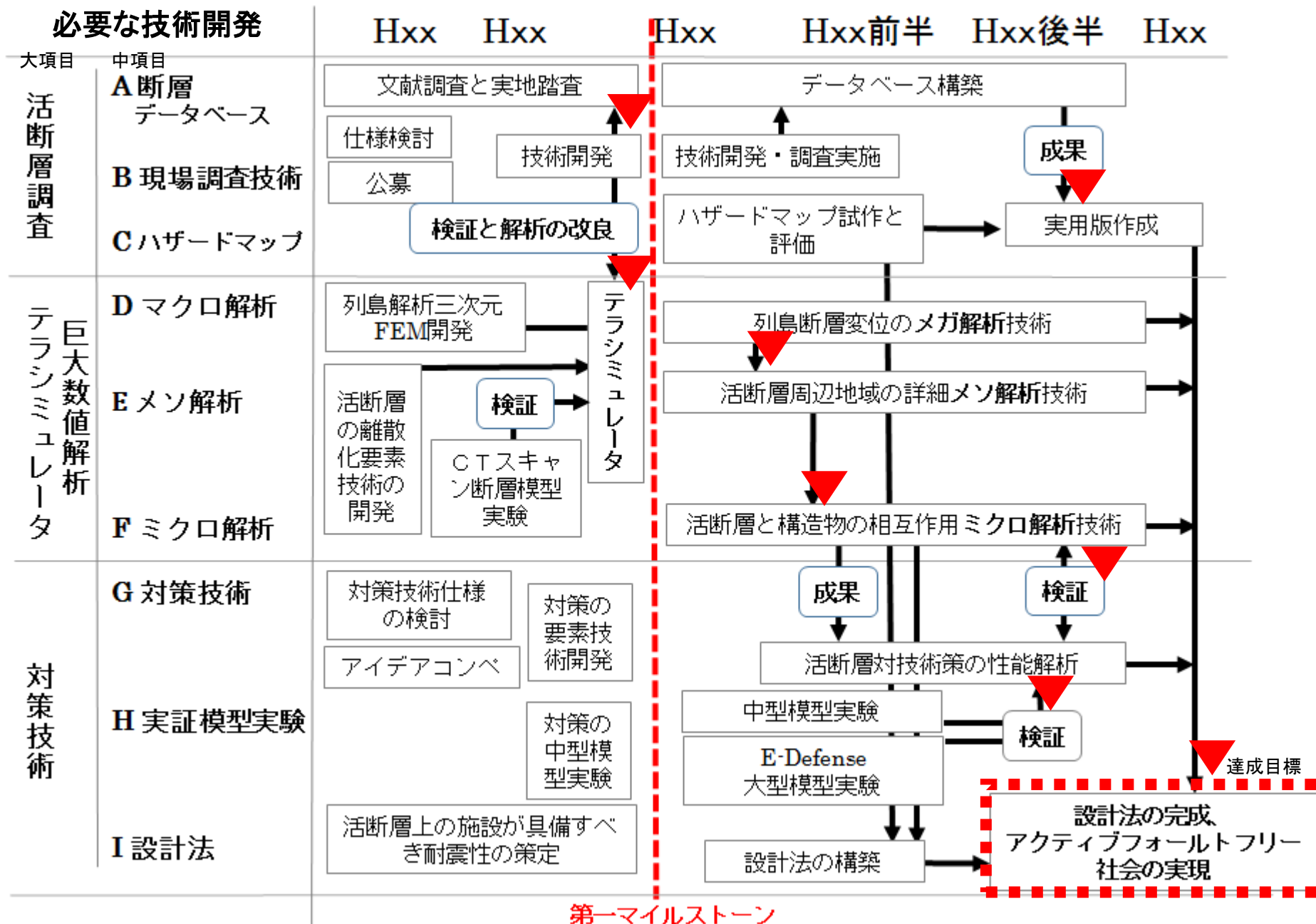
→ 必要なR&D



Backcasting による必要なR&Dへの展開

フォアキャストによる研究の流れ・ロードマップへの展開（例）

“Backcastで得られた結果を、Forecastでロードマップに展開する。”



1. 一般論としての研究開発への取り組み方

研究開発に役立つ手法を示す。

○ 演繹的追求と帰納的追求

- ・トラブルや製品開発での課題の解決には、演繹的方法と帰納的方法がある。
- ・一般には、帰納法が用いられる。すなわち、様々なデータを取得、分析して、それに基づき、論理を構築して解を得ようとする方法である。
演繹法は、解を予測して論理を構築し、それが妥当か否かをデータに照らして確認する方法である。

○ 強み、弱み(SWOT)分析 — 技術分野展開と部品構成展開

- ・研究開発の方法の一つである。
“強み、弱み分析”は、選択する時の手法として用いる。対象とする製品や技術、手法の特徴を把握するもの、特に、この弱みを捉える事が重要なポイントである。
- ・現状の把握の方法として、技術の広がりに合わせて展開して対象とする技術を明確にする方法や、製品の部品を機能に合わせて展開することで対象とする製品・機能を明確にする方法がある。

これらの手法を選択して、研究開発の対象とする製品や技術に合った方法を取ることで、効果的な研究開発ができる。

研究開発への取り組み方

データベースの取り組み

帰納的取り組み・・・SCC研究、サイジング技術

多くの実験データから、現象評価の式を導出して、
現象を把握する仕組みを構築する。

論理ベースの取り組み

演繹的取り組み・・・トラブル対応

起きた事柄から、魚の骨で要因分析を行い、現象を推定する。
推定した現象を実験、解析により検証する。

一般に社会に受け入れられるものの開発の分析に用いる

SWOT分析とは、

強みと弱みを以下の内部環境(内的要因)と外部環境(外的要因)、それぞれで導き出すことからスタートする。

- ・強み(Strengths) 開発の目的が達成さえると何がいいのか
- ・弱み(Weaknesses) その弱み(障害)は何か
- ・機会(Opportunities) どこから求められるのか
- ・脅威(Threats) 障害は何か

以上の要因を分析し、その結果から仮説を立て、検証して、判断をする。

内的要因で洗い出す項目: 資源、顧客サービス、効率性、インフラ、品質、価格、材料、
経営管理、輸送時間、ブランド、環境など

外的要因で洗い出す項目: 政治、市場トレンド、株主の期待、競合他社の行為、科学技術など

2. 原子力発電分野での研究開発の特徴

原子力発電は、事故を起こすと放射性物質を放出し、重大な問題をもたらす。安全を確保するためには、リスクを管理すること、総合工学としてNetworking Technologyを構築すること、深層防護を基本として取り組みを作り上げることが有効である。

○ 事故に至ると「原子力安全」を脅かす

- ・ 原子力の関連設備に係る研究開発は、以下の点に留意しなければならない。不具合の発生や事故により、放射性物質を環境に放出するようなことが起きないようにしなければならない。すなわち、機能喪失に至るような場合には、いち早くそれを把握できることが必要とされる。

○ 「原子力利用」は誰の判断か — 民間投資か国策か

誰が研究開発を管理すべきか

国策として、今後は更に重大な取り組み、国際調整も進める必要がある。

- ・ 「原子力利用」は基本的に国策である。”核“の利用は国の許可の下に運用されるものであり、法律上の制約が多い。安全確保もその内の一つである。
- ・ 国策であり、国の長期計画では原子力発電所の数を決めたり、発電量の割合の目標を決めたりしている。一方、実施は民間であることから、守られたことはない。
- ・ 原子力利用は国の判断であること、全体として国が管理すること、であるなら研究開発も、国の管理の下で実施されるべきなのか。

○ 実機では失敗は許されない — 実証された技術とする必要がある

- ・ 実使用には実証が不可欠と言われる。
- ・ “実機で確認する”ことは許されない。

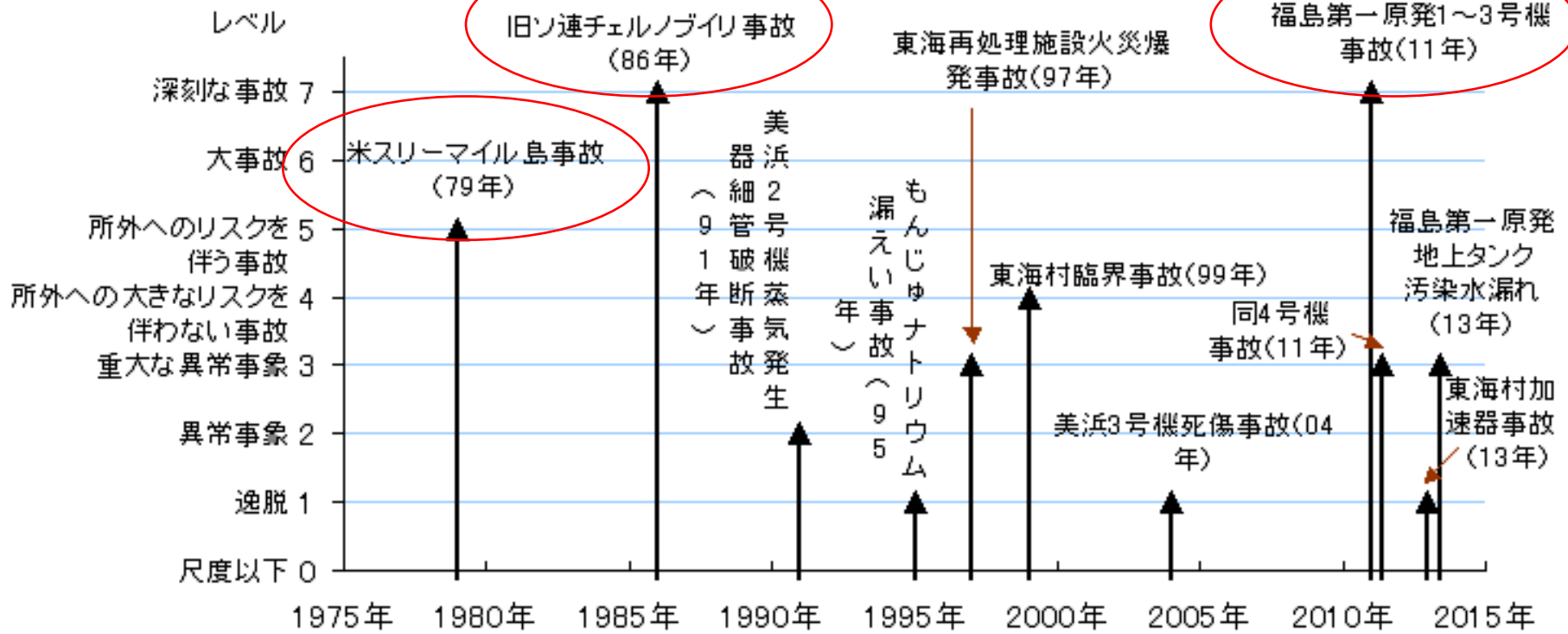
安全設備、システムの検証も含めてどのように進めるべきか、改めて議論が必要となろう。

その他、様々な特徴があるが、既存との整合や、社会とのコンセンサスなど

わが国の原子力安全に関する主な事故・事象

(原子力施設の主な事故の「国際原子力事象評価尺度」INES)

ここに現れるだけでも多くの事故・以上h事象が発生した。その度に、「安全文化」の強化策が取られてきた。



20年以上も品質問題の解決ができなかった

(注) 政府は、4月12日、福島第一原発事故国際評価尺度をレベル5(暫定)からレベル7(暫定)に引き上げ
 (資料) 東京新聞2011.3.21「世界の原発事情」、毎日新聞2011.4.12、東京新聞2013.8.21(13年タンク漏れレベル未定)

福島第一の事故をこの一つの事故とするのではなく、なぜ、をもっと深く追求する必要があるのではないかと。特に、福島第一の事故の根本原因をしっかりと解明して、それを取り除くことをしなければならない。

原子力発電分野での研究開発の特徴

- **リスクへの対応** 常に“安全か”に目を届けさせるためにも「リスク評価」を継続的に行う姿勢が必要である。
どの事業にもリスクはある。しかし、「原子力の平和利用」においては、“**原子力リスク**”は他のリスクと異なり、慎重に、明確に扱わなければならない。
- **原子力発電は総合技術である。** Networking Technologyとはなにか、図示する。つながりである。結びつける技術、評価する技術である。
つながりを捉えて活かした開発にしなければならない。
「Networking Technology」として捉えることが必要である。
- “設計者”として強い責任感が、「絶対安全であるものを作る」意識となり、完璧にしようとしてしまったのではないか。
ドイツが“日本の設計でも事故になってしまった”と原子力は発電を止める気になったのは、設計者として理解はできる。
- “**全ての責任は設計者にある**”は、メーカーとしては当然のこと。
- **「深層防護」**が基本。
- 更に、「**レジリエンス**」の思想も取り入れたものとして行くことが必要になってきた。

安全向上のために行うべきこと

設計の限界:

低頻度シナリオは検証が困難（知識の限界）
最悪シナリオは任意性があり、規定できない

新知見と運転経験

リスクヘッジ

全ての可能なシナリオ

高頻度シナリオ

低頻度深刻シナリオ

不確かさの考慮

リスク評価
(安全目標との整合)

リスク
(安全目標を満足)

安全を確認

日々新知見が得られる。それをどのように安全確保に反映していくべきか。リスク評価を継続的に行うことで、新たな知見に遅れことなく対応できる。これが、福島第一事故で得られた重要な教訓であろう。

不確かさが大きいからこそ、リスク評価が有効なものとなる。

だからこそ、
深層防護の
第4層、第5層
に意味がある

安全向上とは日々獲得される新たな知見への対応

リスク評価は数値だけの問題ではない。
シナリオや環境、条件など様々な情報を総合して判断するものである。

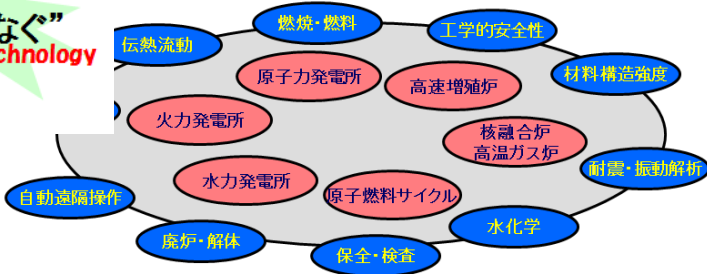
原子力に必要な Networking Technology 一つなく技術

様々な「つなぐ技術 (Networking Technology)」を駆使するのが「原子力技術」である。

プラント建設における技術分野と特徴

— 原子力発電・火力発電・水力発電・設備など —

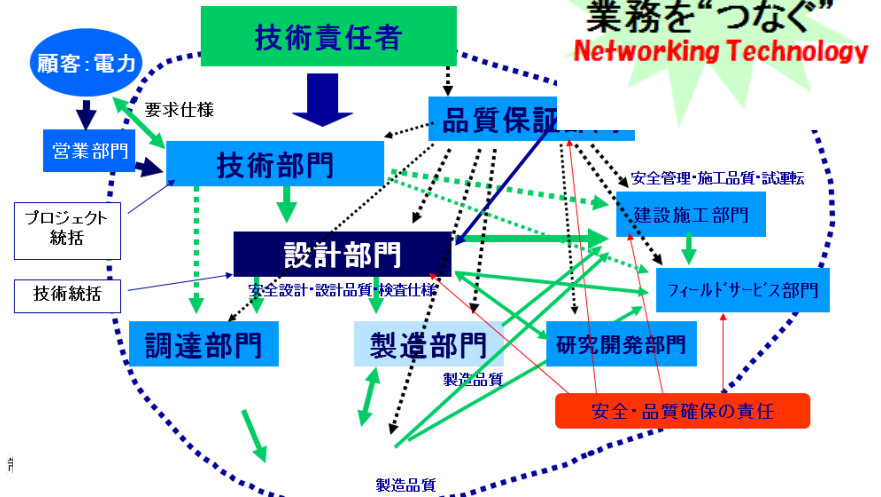
技術を“つなぐ”
Networking Technology



プラント設計・建設は総合技術

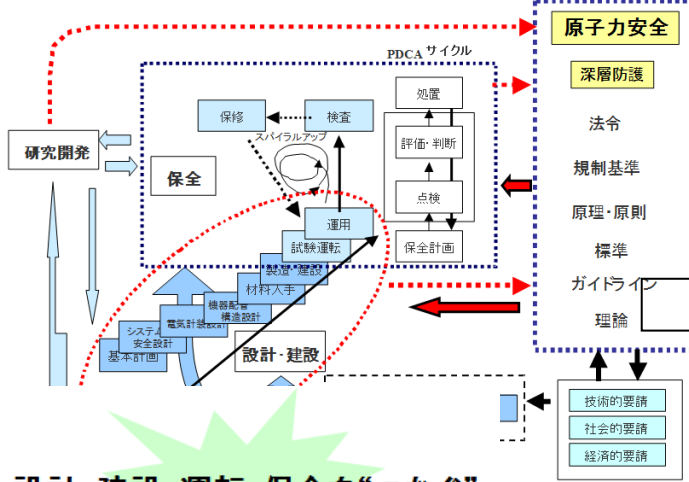
- 特徴・最新の技術に基づく詳細解析
耐震設計、解析による設計 (Design)
・ 実証による妥当性確認、各種データ
・ 安全性、保守・検査性を考慮した設計
・ 先行トラブルの対策反映

プラントメーカーの部門 (設計・施工など) の役割

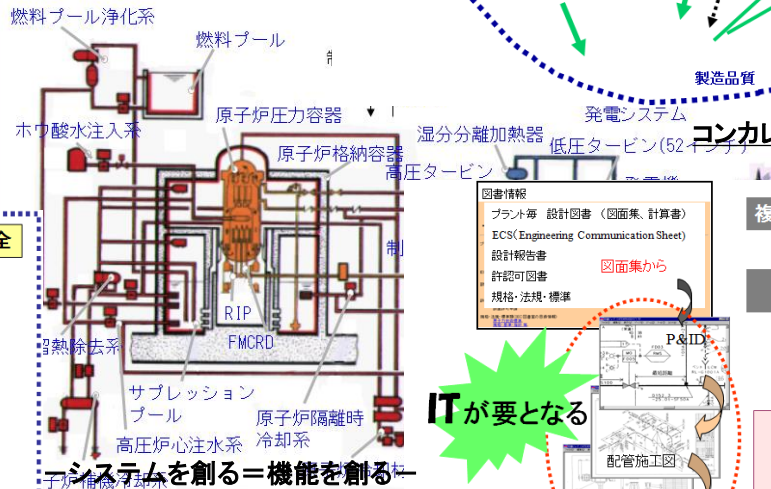


業務を“つなぐ”
Networking Technology

プラント造りでの設計・建設から保全の流れ (PLM)



設計・建設・運転・保全を“つなぐ”
Networking Technology



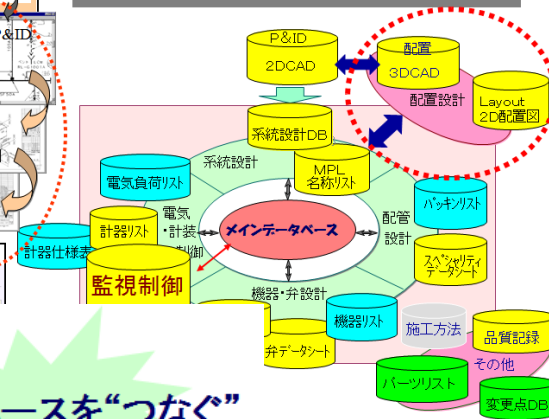
システムを創る = 機能を創る
原子力発電所のシステム設計とは

機器を“つなぐ”
Networking Technology

コンカレントエンジニアリングの構築

複雑・多様な構成、時間の誓約、信頼性の確保

コンカレントエンジニアリング・設計



データベースを“つなぐ”
Networking Technology

事故の本質論

—福島第一事故の本質を捉え対応しなければ、安全は確保できない。

1. 本質に取り組む

「安全」確保の本質 を考える

研究開発に役立つ手法を示す。

2. 社会として、組織としての行動の迅速性

取り組まなければならない、「安全」確保への取組みは、誰が対応・行動するのか。
役割分担を明確にし、それぞれが責任を持って果たす。

3. 科学的想像力を受容する風土の形成

過去のデータにとらわれることなく、科学的な演繹的手法—
“科学的想像力”に目を向ける姿勢が必要である。

一つの方策が、“リスク評価”の活用である。

と同時に、 それを受け入れる安全風土を形成しなければならない。

福島第一の事故の反省をまず必要である。

安全の確認をどこまで行うべきか

→実証をどこまでするか

安全対策を、どのレベルまで行うべきか

→リスクで考える。-5乗までか、-6乗までか。

誰が責任を取るべきか

→経営の責任と異なる、技術の責任を考える

どのように考えるべきか。どう行動すべきか。

想定外とは・どう対処すべきか

「想定外」の分類 (木下京大名誉教授の分類より)

福島第一の事故は「第2」の“想定外”だったのか。 → 「学会のせい」にはできない。
判断ミス、経営判断のミスと言える
のではないか。

第1: 発生確率が低く、想定から外した。

例: 隕石の落下への対応、大きな地殻変動はない

第2: 発生確率はある程度はあるが、学会として問題ないと判断した。

例: ガリレオの地動説の排除、土木学会での津波高さの想定

第3: 発生確率の存在は理解できるが、他の外部要因とのトレードオフした。

例: 安全とコストの比較、対津波工事とSCC対策工事のバランス

第4: 発生確率が存在するのに過信、慢心、不安を意識から追いやるために外した。

例: 安全設計指針27の決定時の無事故の実績による慢心

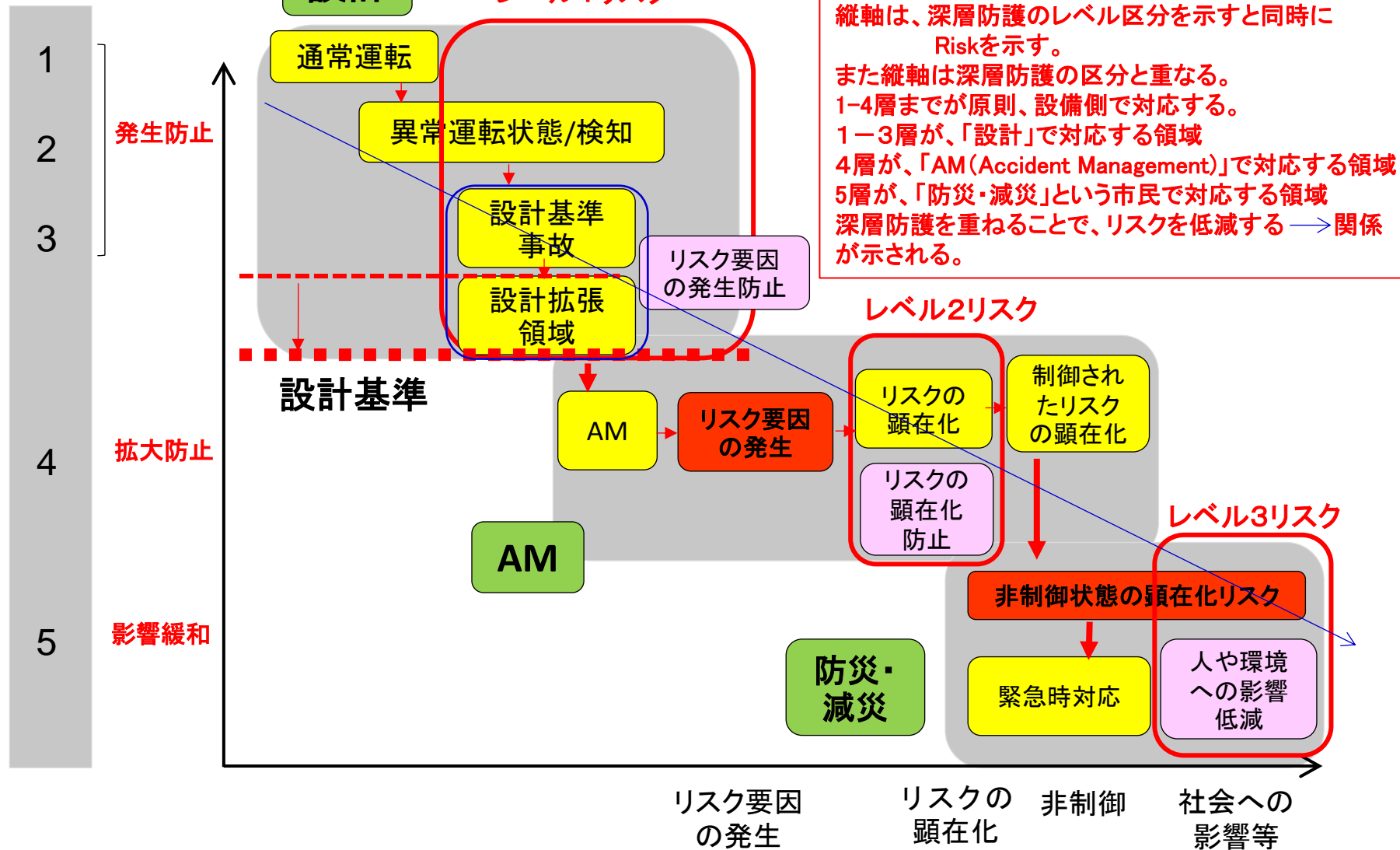
第5: 発生確率が存在すること自体、気がつかなかった。(勉強不足)

例: 安易に周囲に合わせる、原子力発電所が巨大津波に弱いとは

なにを、どこまで「想定」するか、それが「想定」の極意

深層防護による安全確保の基本的考え方(一般論)

深層防護のレベル

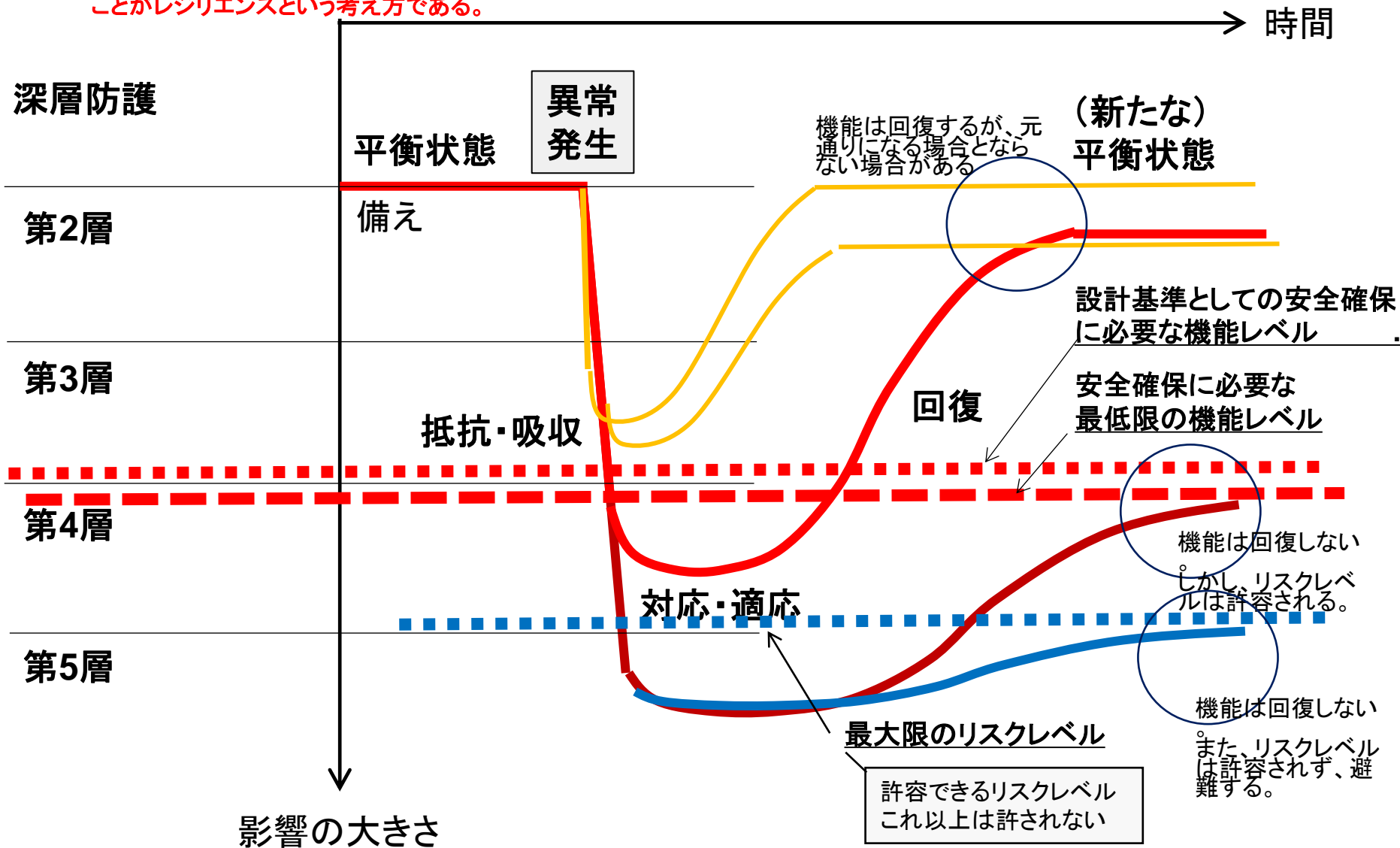


深層防護を示す図である。
 横軸はConsequence(影響)、
 縦軸は、深層防護のレベル区分を示すと同時に
 Riskを示す。
 また縦軸は深層防護の区分と重なる。
 1-4層までが原則、設備側で対応する。
 1-3層が、「設計」で対応する領域
 4層が、「AM(Accident Management)」で対応する領域
 5層が、「防災・減災」という市民で対応する領域
 深層防護を重ねることで、リスクを低減する → 関係
 が示される。

深層防護とレジリエンス

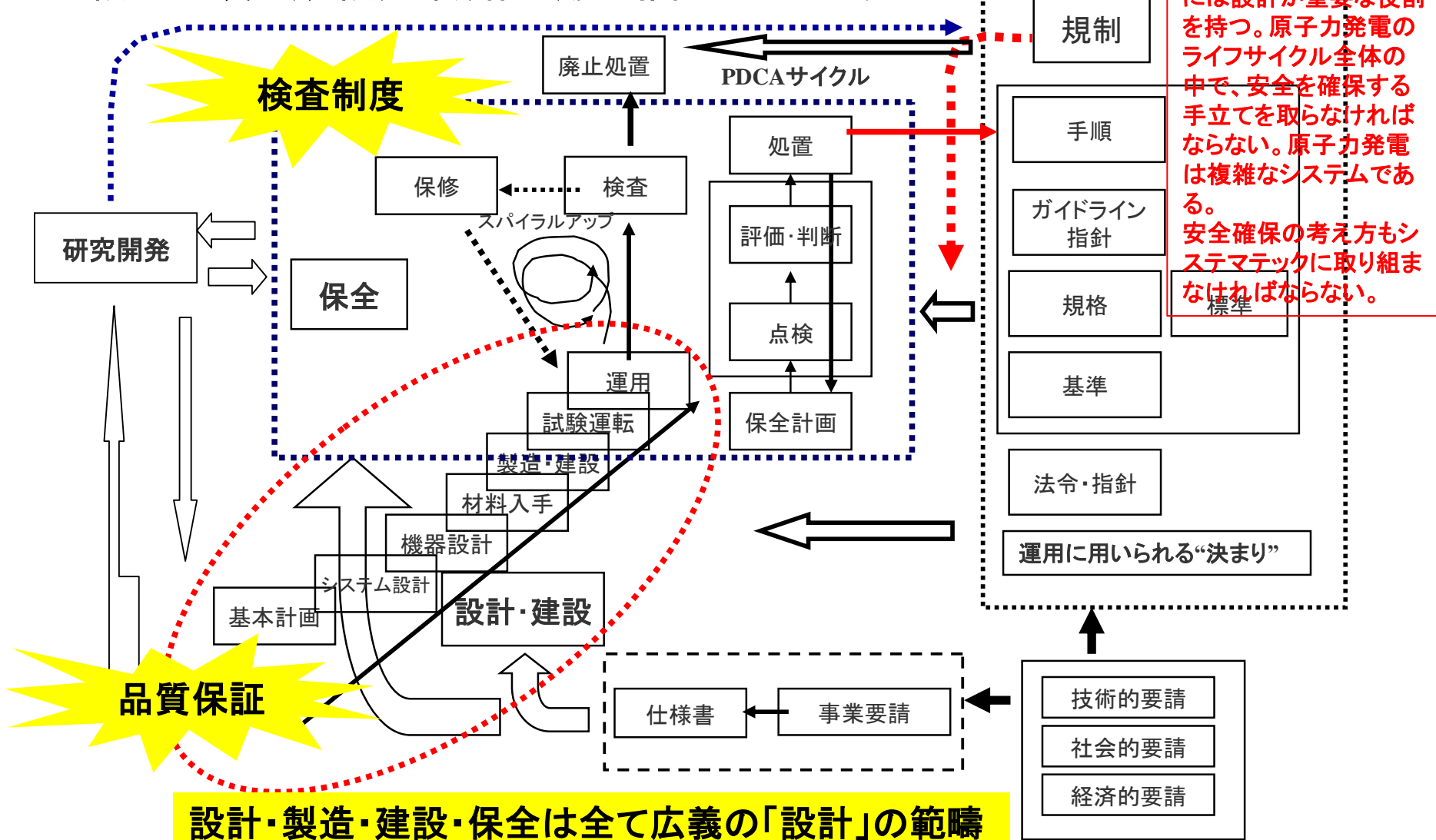
以下の様々な事態を想定した対応策、機能の回復策、確保策を事前に考え、準備しておく。

事故時の対応だけではなく、異常の発生から事故に至り、回復が進められる場合と進めても安全が回復しない場合など様々な結果をもたらすことが予想される。対策から、回復までを事故以前に完投してこの回復の処置を準備しておくことがレジリエンスという考え方である。



「設計」の重要性の認識

—設計から製造、建設、運転、保全、廃止措置までPLMの流れ—



設計・製造・建設・保全是全て広義の「設計」の範疇

(注) 全て設計作業の中で検討してプラントの生涯を通じての品質確保を図っている。深層防護の第1層から第3層までの「設計」の領域である。「保全」における「運用」は、設計を超える活動でもある。

「夢」は夢物語ではない。実現するものが「夢」である。実現するための努力が必要である。
研究者・技術者は「夢」を持って取り組むことが必要だろう。

21世紀の予言(1901年元旦の夢 報知新聞より)

666

夢は現実になる

日本機械学会誌 第90巻 第823号

曾祖父と祖父の未来予測

現代をとらえる

Great Grandfather's and Grandfather's Future Forecasts

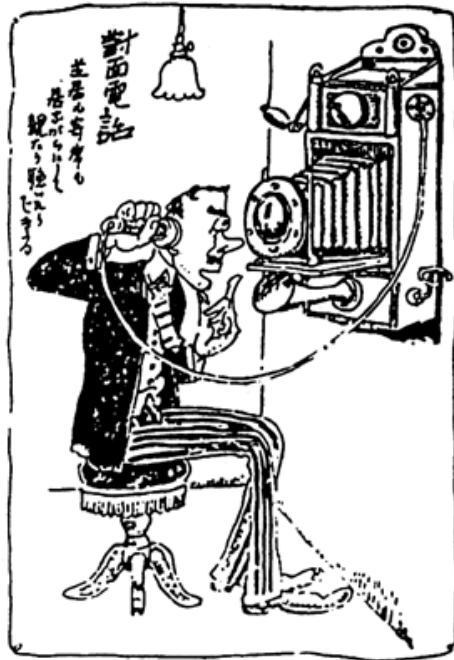


図1 対面電話^① (現在はTV電話、TV会議)

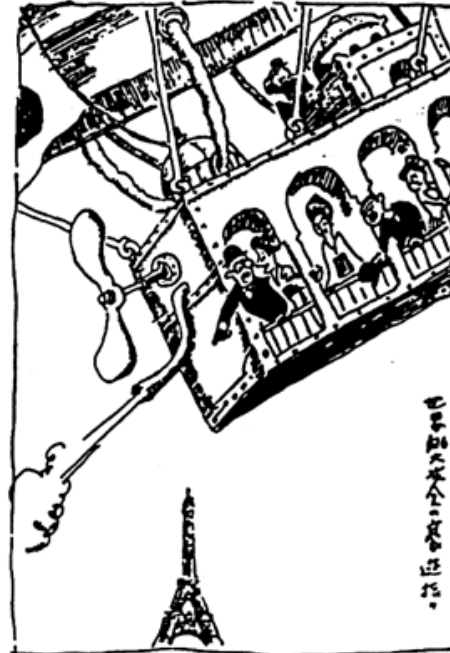


図2 世界的大金の豪遊ぶり^②
(現在はジェット機のバック・ツアー)

20世紀の予言 (1901年1月2, 3日付【報知新聞】)

3. 福島第一廃炉での研究開発

- 3. 1 廃炉の体制と役割分担
- 3. 2 ロードマップ
- 3. 3 技術分野と重要な課題
- 3. 4 開発組織とその連携

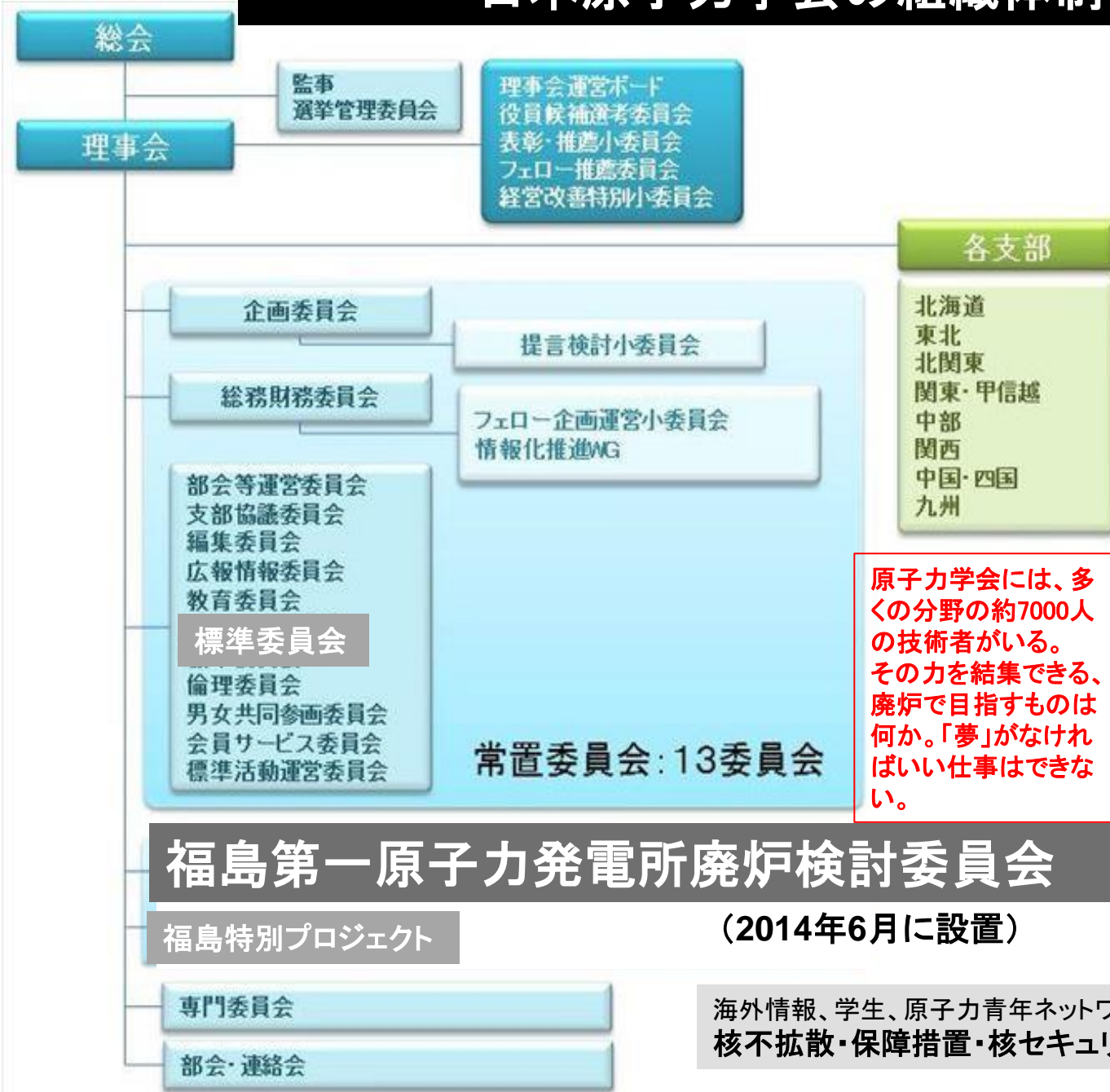
我々原子力界は、福島第一の事故の反省を本当にしたのか反省を踏まえて、福島第一事故炉の廃炉に取り組まなければならない。
負の遺産を如何に、将来の技術者が夢を持つ活かした遺産にしなければならない。

今こそ新しい時代を築く研究開発に取り組むべきである。

データの自動取り込み、作業員全体の動き、作業の進展を自動管理する自動計測の仕組みを開発導入し、日々どの作業がどれくらい進展したのか、管理部門で把握でき、設定されたロードマップに照らし、必要な対応策が取れる体制を構築する、仕組みの開発に取り組んではいかがだろうか。

このPJは、建設とは直接関係がない。情報を共有することには抵抗はないだろうし、国際社会の共有とすべきでもある。役割分担を行い成果は全て共有という条件で参画を求めてもいいのではないだろうか。

日本原子力学会の組織体制



部会・連絡会

- 炉物理
- 核融合工学
- 核燃料
- バックエンド
- 熱流動
- 放射線工学
- ヒューマン・マシン・システム研究
- 加速器・ビーム
- 社会・環境
- 保健物理・環境科学
- 核データ
- 材料
- 原子力発電
- 再処理・リサイクル
- 計算科学技術
- 水化学
- 原子力安全
- 新型炉

原子力学会には、多くの分野の約7000人の技術者がいる。その力を結集できる、廃炉で目指すものは何か。「夢」がなければいい仕事はできない。

海外情報、学生、原子力青年ネットワーク、シニアネットワーク、核不拡散・保障措置・核セキュリティー

3. 福島第一廃炉での研究開発

3.1 廃炉の体制と役割分担

○ 現在取り組みの体制の認識

- ・ 一貫性のない体制 責任が見えない
経産省・エネ庁：国としての計画策定
→ NDF：全体のとりまとめ
(→ IRID：研究開発の国内実行機関)
→ 東京電力廃炉：廃炉作業機関

その組織がどこまでの責任をとり、運営の管理を誰がするのか明確ではない。特に、研究開発のニーズの把握と目標達成の責任体制が全く見えない。要求仕様が不明確では、取り組みようがないはずだが、どこまでできたか、明確にされていない状態では、全てが達成できたことになる。

- ・ 学会として何を支援すべきか。

○ 体制はどうあるべきか(経営判断、PJ判断は誰が)

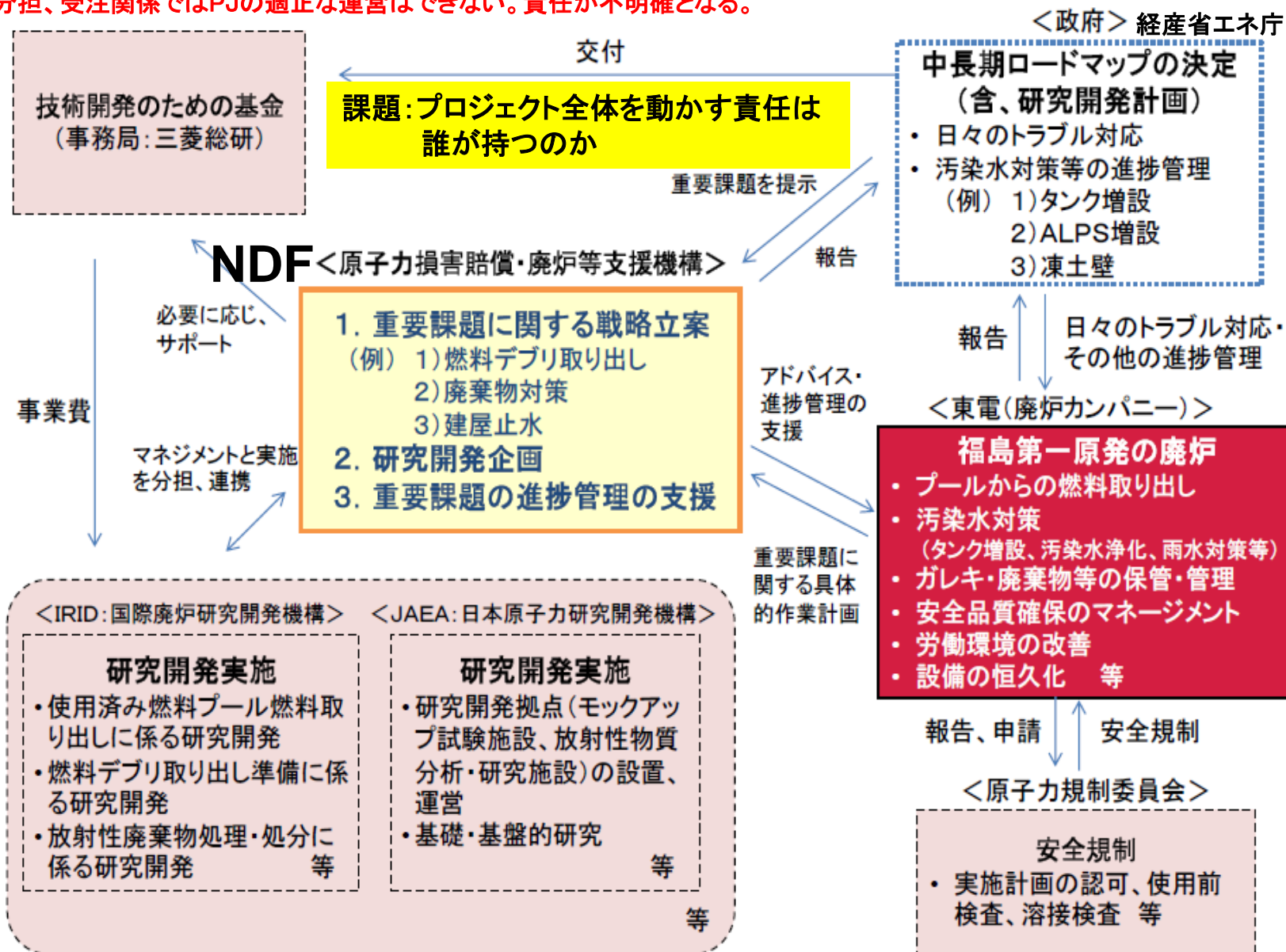
- ・ 研究開発の体制は、IRIDで一本化されたのか？
- ・ 海外からの公募を受け付けるのは単なるポーズか？
- ・ 本来は、国際社会と連携した取り組みであるべきではないか

本当に国際協力を受け入れるなら、それなりの体制と仕組みとする必要
がある。

国を挙げてのプロジェクトと言う割には、そういう体制となっていない。
米国のアポロ計画は国家プロジェクトとして、国をあげた体制をとった。それで成功した、と言える。
エネ庁からNDF、IRID、東電までの、予算化、ロードマップ策定から研究開発、現場の工事までを一貫した組織として責任を明確にすることが必須である。

廃止推進に関する組織体系

役割分担、受注関係ではPJの適正な運営はできない。責任が不明確となる。



出典: 原子力損害賠償・廃炉等支援機構ホームページ資料より抜粋

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 2 ロードマップ

当面のロードマップでは、全体の把握ができず、手戻りを多くしてしまう。エンドステートを見据えたBackcastingが必要ではないか。

○ 福島第一原子力発電所の廃炉のロードマップは(別紙参照)

・ その概要と課題

○中長期ロードマップは、平成27(2015)年6月12日に改訂された。

○目標工程(マイルストーン)の明確化

【燃料デブリ取り出し】

- | | |
|----------------------|-----------|
| ・ 号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定 | 2017年夏頃目処 |
| ・ 初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定 | 2018年度上半期 |
| ・ 初号機の燃料デブリ取り出しの開始 | 2021年内 |

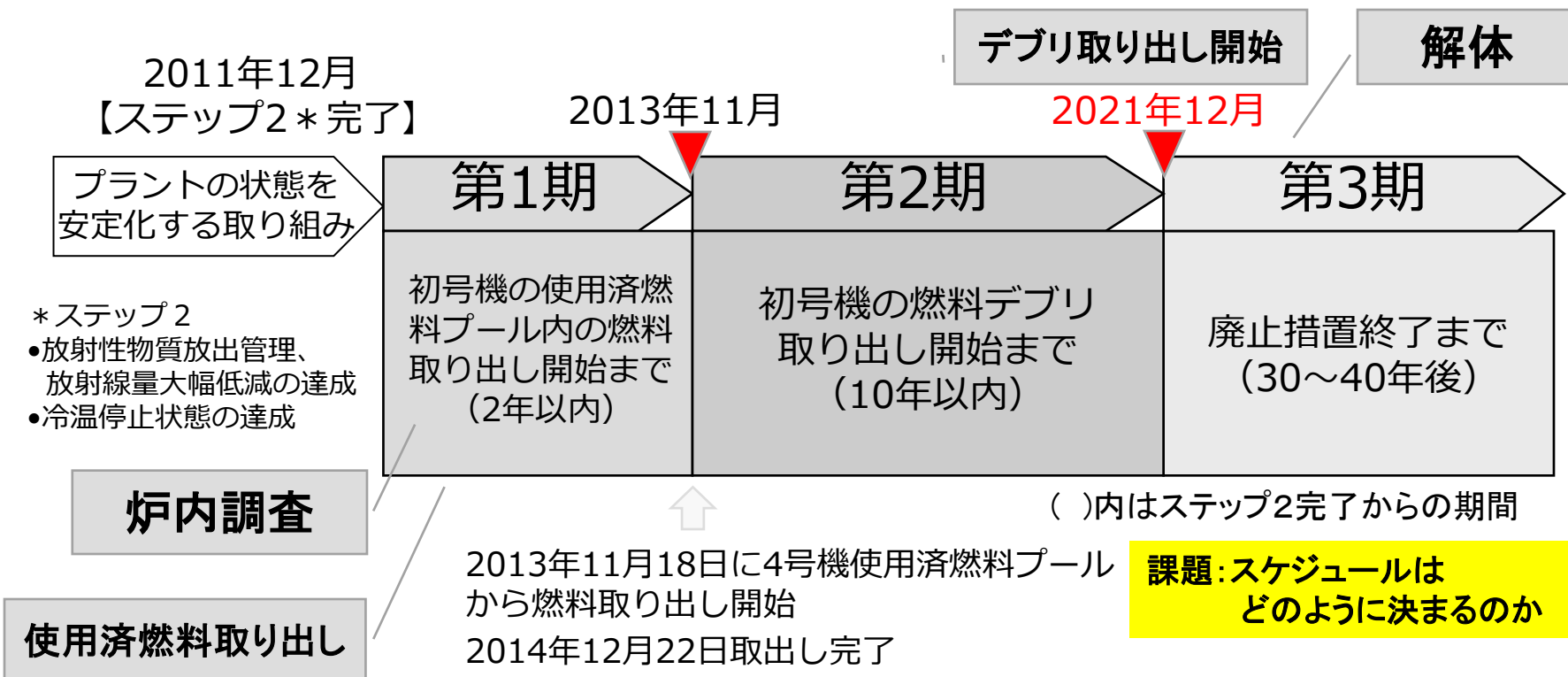
2017年の方針決定は成されたが、議論がある。どの程度内部で議論されたのか。具体的な反省と、理由を付けた見直しが重要である。

○ 本来のあるべきロードマップとは

「ロードマップ」は適切に随時見直すべきだが、理由と責任を明確に示すことが必要である。

ロードマップによるプロジェクト全体の目標・成果管理が必要である。

廃炉の全体概要 開発のポイント (中長期ロードマップの概要)



○中長期ロードマップは、平成27(2015)年6月12日に改訂された。

○目標工程(マイルストーン)の明確化

【燃料デブリ取り出し】

- ・号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定 2017年夏頃目処
- ・初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定 2018年度上半期
- ・初号機の燃料デブリ取り出しの開始 2021年内

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 3技術分野と重要な課題

○ 現在の開発・技術の状況

- ・ 周辺の状況：汚染の低下
- ・ 冷却循環水の処理：順調な汚染水処理。**閉循環未完成。大量の処理水問題。**
- ・ SFPから燃料の取出し移動保管：4号機完了。3号機に着手。
- ・ PCV内燃料デブリ調査ほか：1, 2, 3号機それぞれに実施。**デブリ調査未完。**

以下のように課題は残しているが、
安定な冷却、高放射線状況の把握、
炉心燃料の溶融状況が把握された。

○ リスクによる管理の意味

- ・ リスクの最も少ない方法でシナリオを組み立てる。
- ・ リスクとはなにか
- ・ どのリスクに着目してシナリオを構築すべきか
- ・ 福島第一の廃炉での「安全目標」はなにか
これによる設計基準の設定が可能となる。その基となる。

リスクを見ながら管理する方法が考
えられるが、適切なリスク評価手法
を考えなければならない。

先の多くの課題を明確にすることが
必要である。

長期間の成果・知見の蓄積と活用法の仕組みが必要

40年以上の運用後の、今後さらに40年を越すかもしれ
ない廃止措置での健全性をどのように確認すべきか。

これまでの知見、サイトでの測定結果などこれからのデー
タ、知見を含めて、効果的な活用を図るべくデータベースの
整備とその活用プログラムを構築しなければならない。

地区汚染と汚染水

安定した冷却、地下水の除染などが進んでいるが、確認の手法、検査商法確立しなければならない。

対策の基本方針

方針1. 汚染源を取り除く

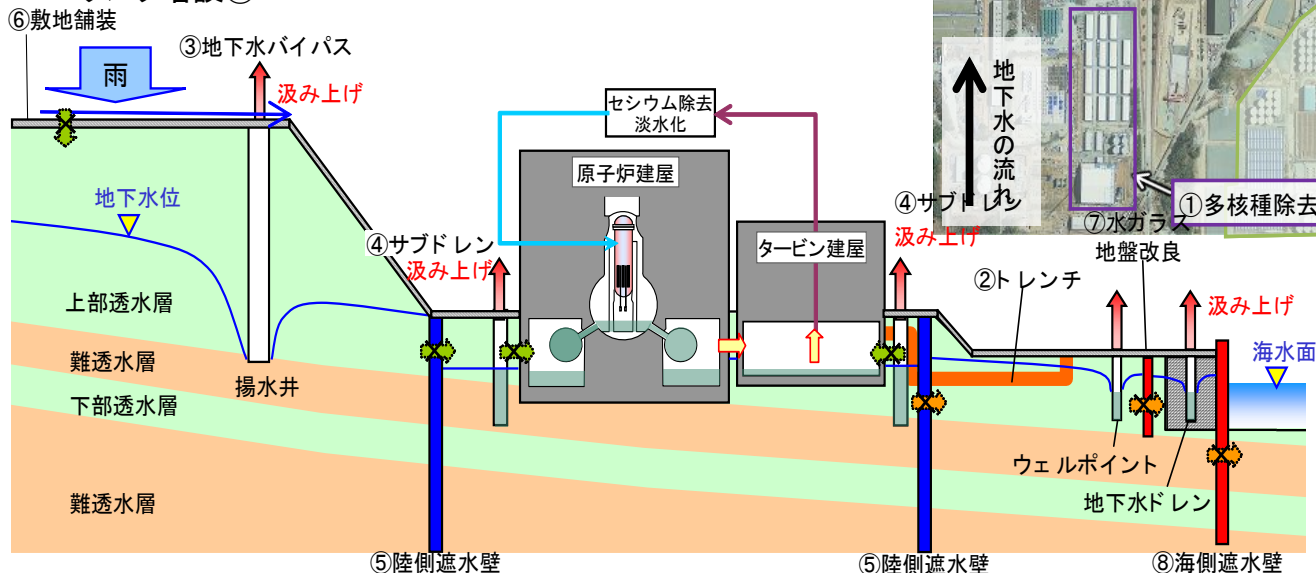
- ・多核種除去設備等による汚染水浄化①
- ・トレンチ内の汚染水除去②

方針2. 汚染源に水を近づけない

- ・地下水バイパス③、建屋近傍井戸④
- ・凍土方式凍結0℃完成(2016年10月)⑤
- ・敷地舗装⑥

方針3. 汚染水を漏らさない

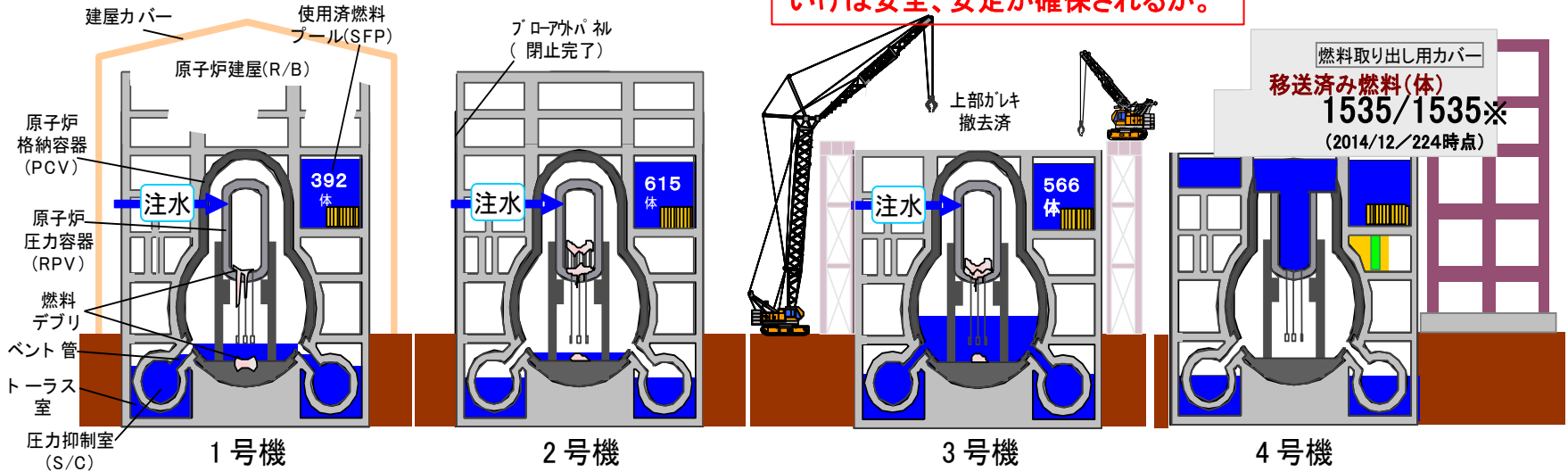
- ・水ガラスによる地盤改良⑦、海側遮水壁⑧
- ・タンク増設⑨



原子炉、建屋の現状

■ 各号機ともに冷温停止状態を継続

安定状態は大きくは変わらない。
この安定な状態をどのように崩していけば安全、安定が確保されるか。



圧力容器底部温度	
1号機	18°C
2号機	21°C
3号機	21°C

格納容器内温度	
1号機	18°C
2号機	22°C
3号機	20°C

燃料プール温度	
1号機	18.4°C
2号機	19.2°C
3号機	18.6°C

原子炉注水量	
1号機	注水量:2.5m ³ /h
2号機	注水量:2.1m ³ /h
3号機	注水量:1.9m ³ /h

2016年12月21日 現在

※4号機使用済燃料プール内の燃料は2014年12月22日に取り出し完了済み
出典:東京電力ホールディングスHPより

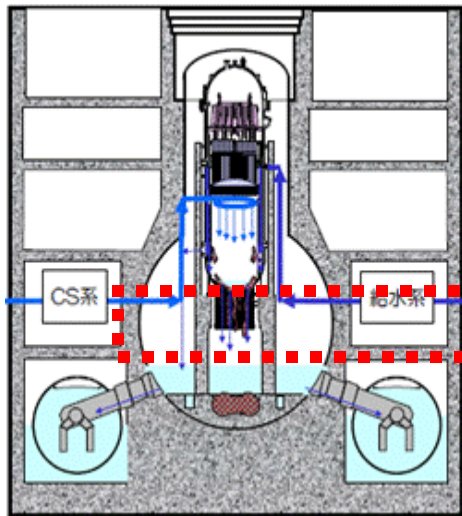
福島第一の廃炉の論点

福島第一原子力発電所各号機の状況

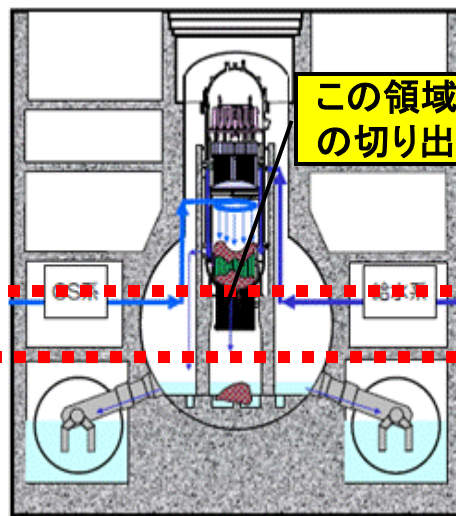
1～3号機の炉心・PCVの状況推定(*1)より、開発方針を以下に設定

課題は、高放射線、大きな損傷、炉心燃料の破壊溶融、格納容器の損傷への対応である。

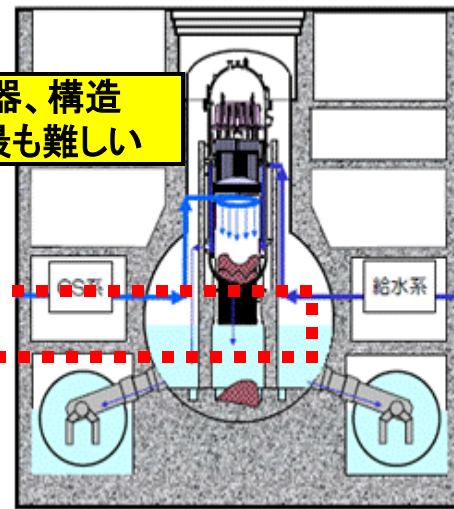
【1号機】



【2号機】



【3号機】



- ・溶融した燃料は、ほぼ全量がRPV下部プレナムへ落下しており、元々の炉心部にはほとんど燃料が存在していない。

↓ 開発方針

- ・燃料デブリがペDESTAL外側まで広がっている可能性があり、**ペDESTAL外側の調査を優先**して開発を推進する。

- ・溶融した燃料のうち、一部はRPV下部プレナムまたはPCVペDESTALへ落下し、燃料の一部は元々の炉心部に残存していると考えられる。
- ・尚、3号機では従来の予測よりも多くの燃料がPCV内に落下していると推定。

3号機ではPCV内下部構造の損傷がひどく、溶融燃料が散乱状態。

↓ 開発方針

- ・1号機と比べると、燃料デブリがペDESTAL外側まで広がっている可能性は低く、**ペDESTAL内側の調査を優先**して開発を推進する
- ・尚、3号機はPCV内の水位が高く、1・2号機で使用予定のペネが水没している可能性があり、別方式を検討する必要がある。

*1：【出典】東京電力ホールディングス(平成25年12月13日)「福島第一原子力発電所1～3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討第1回進捗報告」より抜粋

福島第一の廃炉の現在の論点

— 現在解決が求められている事柄 —

(1) リスク低減

各種放射性物質のリスクについて、**定量評価** により全体リスクの低減を図る。

→ シナリオの見えない事象のリスク評価の在り方

(2) 建屋・構造の長期健全性

→ 大きく損傷した建造物の健全性評価の在り方

(3) 特に燃料デブリ取り出しにおける遠隔操作技術の重要性

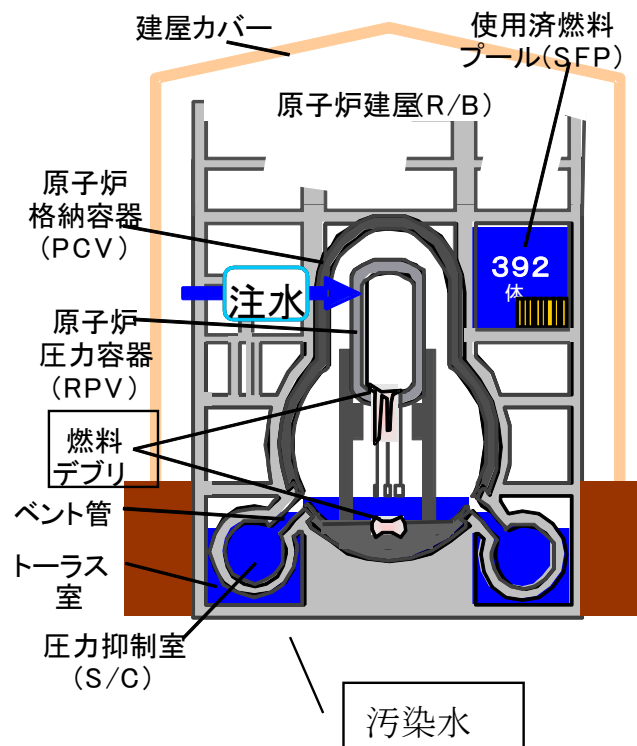
→ 高放射線場での作業ロボット・システムの開発

(4) 汚染水対策、廃棄物処理処分

→ 長期、場所の制限を含めて対策の在り方

(5) 学として技術課題

→ 事件事象の未説明問題への対応



福島第一の廃炉の課題

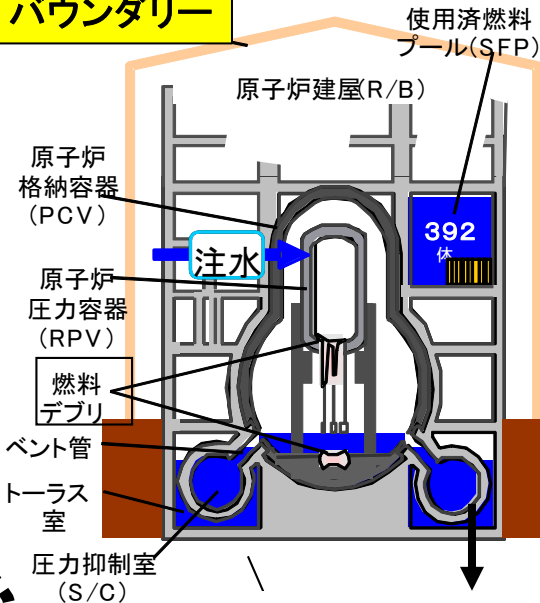
もう一度、何が課題なのか、図を見ながら考えていると

課題はなにか

発電所敷地

バウンダリー

バウンダリーからの漏えいによる飛散



港湾

汚染水の漏えい

発電所敷地境界

地表等の汚染の飛散

課題1: エンドステート(30年後の姿)をどのように

- ・想定するか。
- ・その先を考えるか

課題2: どんなリスクを考えるのか

- ・敷地境界での放射線量を規定するか(安全目標)
- ・飛散・拡散総量を規定するか
- ・設備の安全基準はどのように定めるか

- (1) 放射線リスク …… 周辺環境の汚染と作業員の被ばく
- (2) 発生費用のリスク …… 対策工事費用(税金、電力料金の投入)
- (3) 対策工期のリスク …… いつまでになにをしなければならないのか

課題3: 作業の条件はなにか

- ・監視、計測の項目はなにか

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 3技術分野と重要な課題

○ 廃炉では、どんな技術が必要とされるのか

これですべてではないが、これらに答える技術開発が必要である。

(1) リスク低減

- ・福島第一の廃炉作業における「安全目標」は、なにか、どこにあるのか。
- ・止める・・・再臨界の**管理の基準**はなにか
- ・冷やす・・・**最小限**でいいのか。AMとしての**機能要求**は、どこまで行うのか。
- ・**閉じ込める**・・・格納機能のない今、どこまで求めるのか

(2) 建屋の長期健全性

- ・建屋だけではない、構造全体の健全性はどこまで求めるのか。
- ・**健全性の判断基準**はなにか。
- ・長期(30年?)これまでの**使用期間を超えて運用する健全性の評価**の在り方は。

(3) 除染・設備撤去および燃料デブリ取り出しでの遠隔操作技術の開発

- ・**設計基準**を明確にする必要がある。
- ・実証試験などを、現場と一体となった組み込み、**高放射線下、遠隔**での「**原子力安全**」の確保を前提とした**工法**の検証に取り組むべき。

(4) 汚染水対策、廃棄物処理処分

- ・廃棄物の管理を含めた、**安全確保の基準を明確にした取り組み**が必要。
- ・**エンドステート**をにらんだ**工法**の開発が必要。

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 3技術分野と重要な課題

○ 廃炉では、どんな技術が必要とされるのか

大枠として以下の分野をあげる。
これですべてではないが、これらに
答える技術開発が必要である。

(1) リスク低減

シナリオの見えない事象のリスク評価の在り方

(2) 建屋の長期健全性

大きく損傷した構造物の健全性評価の在り方

(3) 除染・設備撤去および燃料デブリ取り出しでの遠隔操作技術の開発

高放射線場での作業ロボット・システムの開発

(4) 汚染水対策、廃棄物処理処分

長期、場所の制限を含めて対策の在り方

廃炉の工程を考えるー私案ー

私案として例示する。

○ 何を目標とすべきか

→ 「原子力安全」の確保では、現状を把握して、目指す管理値を明確にする。
敷地境界での放射線増加を管理する。(1mSv、トータルで10mSv 以下)

→ 環境への放出量(管理目標)を定め、管理する。
作業員への放射線影響を把握し、管理する。

○ リスク管理は、第一が、放射性物質の放出

運転炉ではないので、放射性物質の更なる放出リスクは大きくはない。
したがって他のリスクへの対応を考える必要がある。

第二は、作業員の放射線被ばくと人身事故の可能性

第三は、コスト多大化の可能性

第四に、工期遅れ

第五に、人材供給不足

○ 廃棄物の処分方針を定めて、それに従い廃棄物の取り出し、処理方法を考える。
まったく手がついていない現在、廃炉に取り掛かれるのか。

○ 放射性物質の放出の可能性の除去

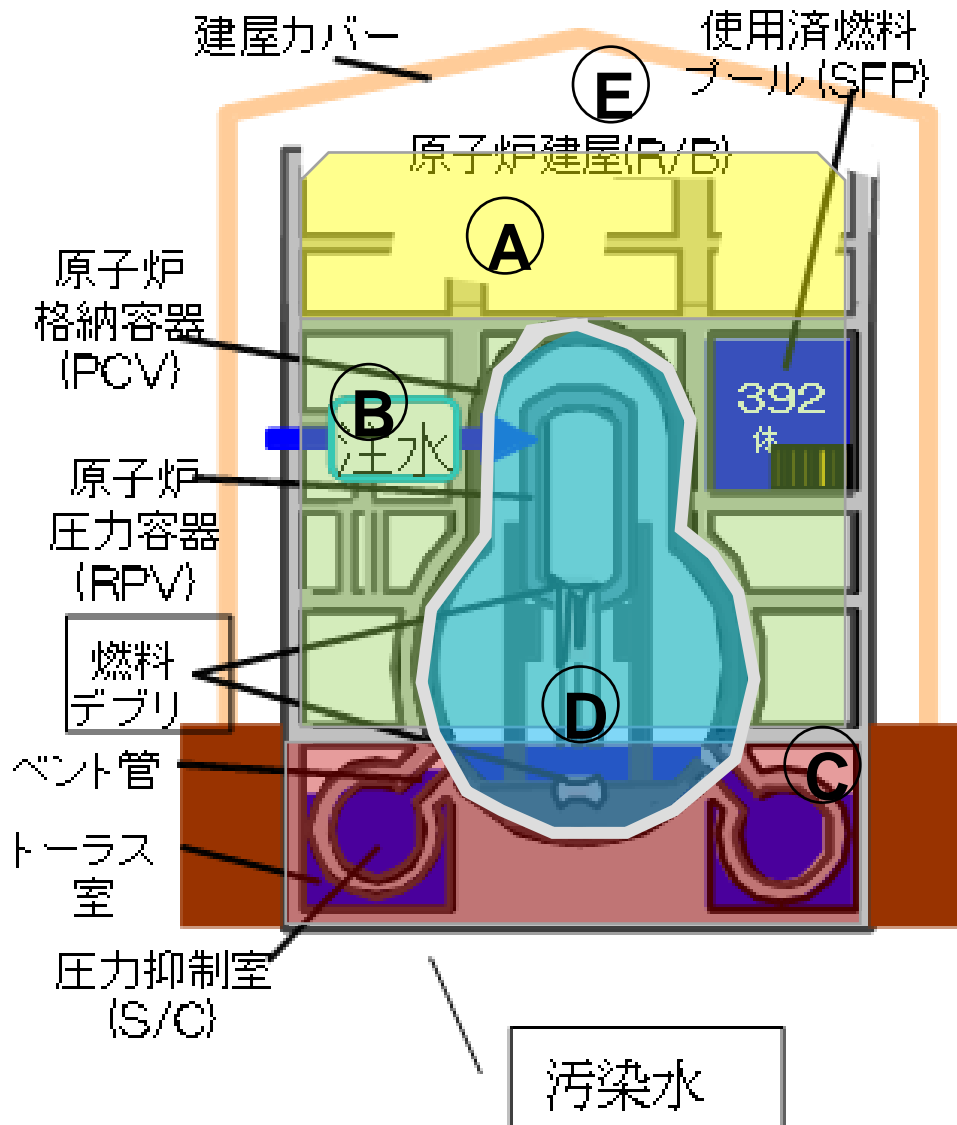
高放射線下での作業の低減 のために、周辺部からの除染廃棄を進める。

周辺への放射性物質の追加放出への対応はもちろんだが、高放射線下での作業員の被曝を考えないと放射線下での作業ができる人材が大きく不足するなど重大な問題を生じさせることになる。

以下に手順を検討する。

福島第一廃炉の対象区分

領域を下図のように分類する。



基本的な考え方

- ① 建屋カバーは、二次バウンダリを形成するものとして構築する。この領域を (E) とする。
- ② 建屋内の機器フロア一部を (A)
- ③ その下、建屋内1階フロア以上を (B)
- ④ トーラス室内 (C)
- ⑤ 一次バウンダリとしてのPCV内を一括して (D) とする。

として、区分除染。廃棄する。

福島第一廃炉の手順例と課題

① バウンダリー(二次)の構築

二次バウンダリーの性能をどれだけとするか。
得に、水系の二次バウンダリーは、構築施工が難しい。

(a. カバーの設置と隔離管理、b. 水域のバウンダリーの構築)

(注) 区域を分割し管理する

- A 機器エリア(開放空間)
- B 建屋内
- C トーラス室(二次バウンダリー)
- D 格納容器内(一次バウンダリー)
- E 建屋カバー内(二次バウンダリー)

どの位置にどれだけの廃棄機器配管があるか現地での把握が必要となる。

② 建屋内格納容器外の機器配管類の除染と撤去

一次バウンダリーの構成には、補修する必要があるが、調査して工法を確立しなければならない

③ 格納容器補修・補強とバウンダリー(一次)の構築

④ 以下の手順選択で格納容器内の除染・機器撤去・デブリ除去

- 選択1) X1 冠水工法
- X2 一部冠水工法

具体的工法を選択、手順の例を私案として例示する。

- 選択2) Y1 化学除染
- Y2 水除染
- Y3 ブラスト除染
- Y4 除染なし

- 選択3) Z1 順次方式 工法Z1-1: RPV内→RPV→PCV内→PCV
工法Z1-2: PCV内上部→中部→下部→PCV
- Z2 燃料デブリ優先

⑤ 廃棄物の管理 (最終の処分の考え方により決定[細分化、切り出し等])

エンドステートを決めることにより、様々な手順の基準が出来上がる。

福島第一廃炉作業での管理項目

管理項目

安全目標や管理値を設定することにより、管理する項目を把握する方法、計測法などを開発し、管理値を決めなければならない。

- 1) 環境放出放射能管理 a.敷地境界での測定、b.地下水の測定
- 2) 二次バウンダリ内放射能管理 放射線モニタ
- 3) 各エリア毎の放射線モニタ
- 4) リスク管理
 - ・リスク項目の設定と優先順位の設定
 - ・各リスク算定法の決定と公開

(注)

「放出放射能」 現実、この項のみがリスク評価の対象となる。
以下の項目は、日管理、週管理で週、月、年の予測管理をする。

- ・投入費用(発生費用)
- ・投入工数(ニーズと供給可能量予測)
- ・工程(遅延)

福島第一廃炉の開発工法

どんな工法を開発、選択すべきか

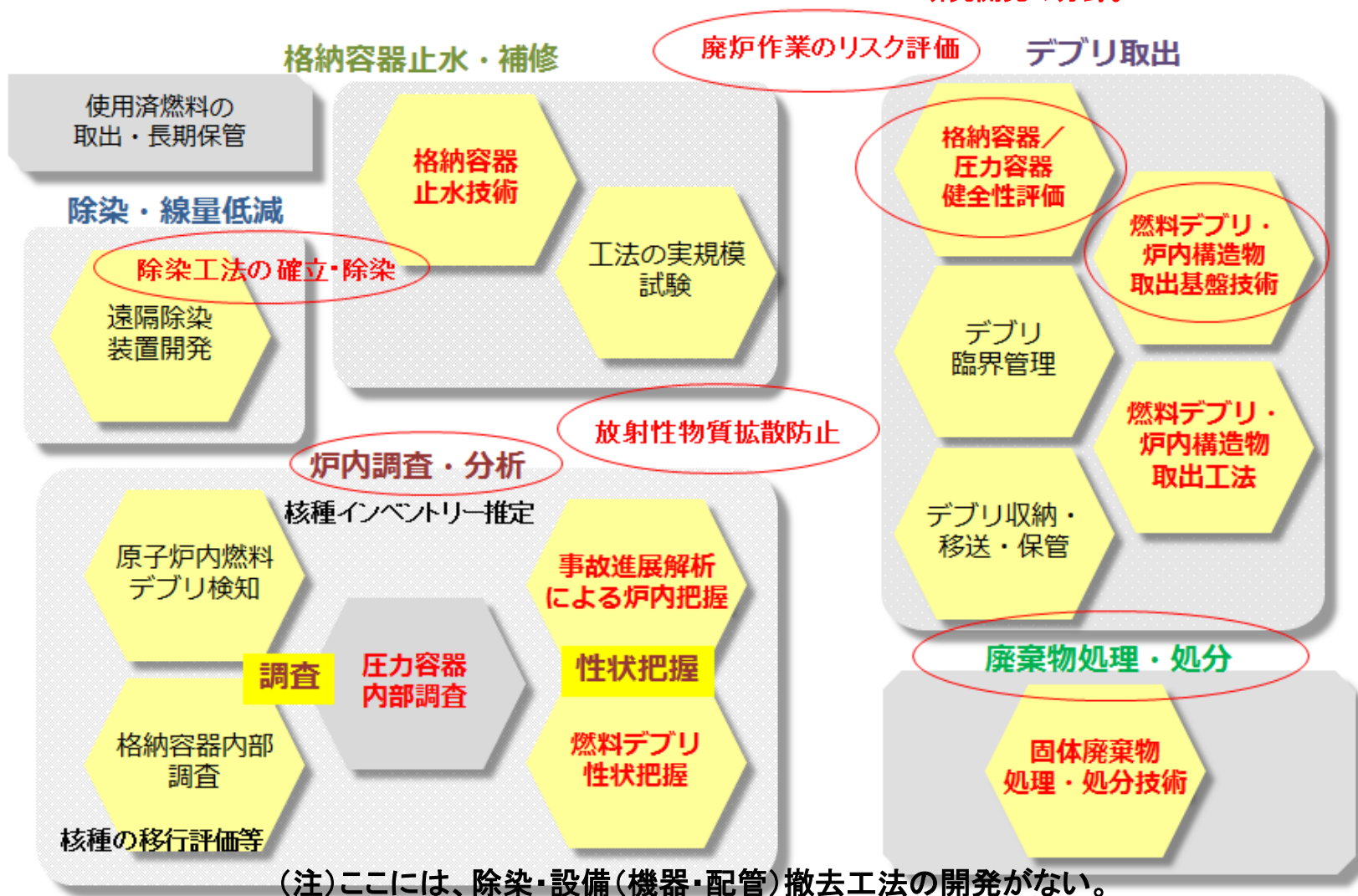
1. 二次バウンダリの工法・・・建屋カバーの設置
トールラス室水密化
2. 各エリアの除染工法・・・方法と自動機(ロボット)の開発
3. 各エリア設備の撤去工法・・・機器・配管撤去工法
4. 各選択工法・・・冠水管理法、化学除染法、PCV内設備撤去工法等
5. 監視・モニタリング方法

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 3技術分野と重要な課題

○ 取り組まれている研究・開発分野

以下は現在取り組まれている国の研究開発の分野。



(注)ここには、除染・設備(機器・配管)撤去工法の開発がない。

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 3技術分野と重要な課題

○ これまでの実績・成果

先に図示したとおり、以下の成果を挙げている。

- ・ 海側への汚染水の放出が大幅に低減された
- ・ 汚染水と地下水の混合の回避措置(遮水壁の完成)
- ・ 冷却循環水除染システムの運用と汚染水処理
- ・ 周辺瓦礫処置、汚染物質飛散防止措置
- ・ PCV内目視調査

○ 重要な課題

先にあげたとおり、重要な開発課題の項目は以下の通りである。

- ・ 周辺汚染設備の除去(建屋内)
- ・ 施設隔離方法
- ・ PCV漏えい対策
- ・ トーラス室漏えい防止隔離
- ・ 燃料デブリ取出し方法(切り出し工法)
- ・ 炉内構造物取出し方法

福島第一の廃炉の課題

これですべてではないが、これらに答える技術開発が必要である。

- (1) リスク低減・・・シナリオの見えない事象のリスク評価の在り方
 - ・福島第一の廃炉作業における「安全目標」は、なにか、どこにあるのか。
 - ・止める・・・再臨界の**管理の基準**はなにか
 - ・冷やす・・・**最小限**でいいのか。AMとしての機能要求は、どこまで行うのか。
 - ・閉じ込める・・・格納機能のない今、**どこまで求める**のか（除染を含めて考えるべき）
- (2) 建屋の長期健全性・・・大きく損傷した構造物の健全性評価の在り方
 - ・建屋だけではない、構造全体の健全性はどこまで求めるのか。
 - ・**健全性の判断基準**はなにか。
 - ・長期(30年?)これまでの**使用期間を超えて運用する健全性の評価**の在り方は。
- (3) 主作業 燃料デブリ取り出しでの遠隔操作技術の開発の見込み
 - ・・・高放射線場での作業ロボット・システムの開発
 - ・**設計基準**を明確にする必要がある。
 - ・実証試験などを、現場と一体となった組み込み、高放射線下、遠隔での「**原子力安全**」の確保を前提とした**工法**の検証に取り組むべき。
- (4) 汚染水対策、廃棄物処理処分・・・長期、場所の制限を含めて対策の在り方
 - ・廃棄物の管理を含めた、**安全確保の基準**を明確にした取り組みが必要ではないか。
 - ・**エンドステートをにらんだ工法**の開発が必要。

その他

作業管理を電子化し、ロードマップの全工程を取り込み、日、週、月管理を行う。これによりロードマップの管理と修正、判断を容易にする。トップから現場まで一括した体勢とすれば、管理は可能となる。

- ・**ロードマップによるプロジェクト全体の目標・成果管理**を行うべき。
- ・**長期間の成果・知見の蓄積と活用法の仕組み**が必要である。

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 3技術分野と重要な課題

○ 重要な課題

廃炉作業での課題

リスク要因の考え方を以下に示す。

- (1) 放射線リスク ……周辺環境の汚染
- (2) 発生費用……………対策工事費用(税金、電力料金の投入)
- (3) 対策工期……………いつまでになにをしなければならないのか

(1) 放射線リスク

- ・事故炉の廃炉への「安全目標」の考え方がポイント
- ・燃料を内在したままでの廃炉の手順
- ・『止める』『冷やす』『閉じ込める』の考え方

(2) 発生費用

- ・「安全」が確保されるなら、発生費用が重要なリスク対策となる
- ・発生費用をどのように管理すべきか
- ・この作業でのエンドステート(最終状態)を定めなければ、決まらない

(3) 対策工期

- ・いつまでにどこまで進めなければならない、目標が必要である
→ロードマップの運用とフォローの責任は誰が担うのか
- ・30年40年の長期工事での責任体制をどのように構築するか
→全体のプロジェクトの期間限定の責任者が必要である
- ・この作業でのエンドステート(最終状態)を定めなければ、工法の議論にならない⁵⁵

3. 福島第一廃炉での研究開発

3. 4 開発組織とその連携

○ 必要な研究・開発とその進め方

- 研究開発の組織
IRIDを中心とした取り組み・・・東電と国内のプラントメーカーが中心
JAEAの参画の在り方 **国際協力が名ばかりとなっている。もっと組織化すべきではないか。**
JAEAの参画は中途半端ではないか
- 連携のあり方
国際協力の在り方・・・入札での一部専門企業の参画
IRIDとの関係が課題 **国際入札もやるなら中途半端ではなく、仕様書も明確にすべき。**
一致した国際協力体制となっていない
- 協働組織、国際協力での技術開発の開発した技術の帰属問題
福島第一の廃炉は国際協力を中心とすべきであり、NDFへの参画か、参加費を支払ってのプロジェクトへの参画を求めた波動だろう。
- 産業分野、学術の分野間での協力体制はどうあるべきか
他の学術分野から参画できる方策を考えべき。予算を学会につけることで、学術として積極的な参画ができるのではないか。
工夫が足りない。原子力界は閉鎖的というそのものとなっている。

福島第一原子力発電所 復興・廃炉に係わる論点(1)

これは、説明していないが、参考としていただければ幸いである。

1. ロードマップの課題

- ・PDCAを回す仕組みができているのか
- ・誰が責任を持って回しているのか。反映する仕組みができているか。

2. 福島第一事故炉の廃炉における安全確保の条件

- ・通常炉との類似と相違・・・燃料の内在。損傷を受けている事実。
- ・安全確保の条件・・・冷却と離隔。重要なのは離隔のみ。←これが安全目標
- ・健全性確保の必要性・・・破損を設計条件とするか。「破損」の条件とは。

3. リスク管理の意味と方法

- ・「リスク」とはなにか。→「離隔」の条件。漏えいを制限する←これを性能目標とする。
漏えいは、住民にどのような影響を与えるのか←これがリスクの「影響」となる
- ・廃炉の手順を仮に定め、選択肢によるリスクへの影響を求め、リスクの大小で判断
- ・プログラム化の研究を早急に立ち上げる
- ・廃炉の期間やコストはリスク評価に入れるのか←評価はするがリスクとはならない
- ・細かくリスク管理による工程管理を行う仕組みを構築することが必要
- ・長期運用における健全性評価とリスクへの反映

4. 社会の安心との関連

- ・リスク評価における Hazard x Fragility/Resilience
- ・「安心」への取り組み

→ 文系、社会学、心理学・・・など人に関連した学との連携 「安心」は得られるか

5. 人材育成のニーズ

- ・学のニーズと技能のニーズ・・・とくに技能のニーズを明確にし育成が求められる
- ・期間(30年をみる)・・・長期の育成期間と成長の見込み

福島第一原子力発電所 復興・廃炉に係わる論点(2)

これは、説明していないが、参考としていただければ幸いである。

1. 燃料デブリの取出し

- ・物理的性状が把握できていない

硬く 機械式破断装置では、削る量と破断歯等の装置の損耗量が同じになる

- ・性状把握と破断装置などのロボットの開発

高放射線・水環境、見えない、支持部がない、などの厳しい環境での操作

→ システム化が重要(ロボットでなくてもよい)

2. 耐高放射線機器(見る[TV]、計測、電子機器、電気機器)

- ・全ての機器、部品に耐放射性が要求される。

(10MGy,100KGy/h程度まで[現状の1桁アップ])

- ・小型化、耐久時間との関係で要求仕様が決まる

3. 漏えい防止策の確率

(現状)・大気への飛散の状態を把握

- ・冷却水の漏れの評価と把握

(目標)・安全目標より、大気への漏えい・飛散を定める

- ・冷却水の漏えいを定める・・・密封化と管理方法を定める

4. 構造健全性の確保と確認

- ・どこまで健全性を求めるか・・・特に耐震性の確保の基準と限界

- ・安全確保すべき原子力設備とするなら、長期運用管理のための評価を求めるか

- ・劣化事象をどこまで取り組むか、その検証はどのようにすべきか

5. 放射性廃棄物の保管と管理

- ・大量の高レベル、低レベル等の廃棄物の処理を行うか

- ・大量の廃棄物の処分・保管をどのように行うか

福島第一原子力発電所 廃炉に係わる技術的課題

これですべてではないが、これらに答える技術開発が必要である。

技術的課題

挙げた課題をまとめるとこのようになる。

- ・ 目標とすべき安全とは何か(性能目標、基準)
- ・ リスク評価技術(何をリスクとすべきか、シナリオレス、データレス条件下)
- ・ 燃料デブリの性状把握の方法
- ・ 放射性物質の閉じ込め方法と漏えいの把握と管理方法
- ・ 困難な環境での遠隔操作(自己位置同定、固縛方法、可視化不可条件など)
- ・ 固形化したデブリの切削・切断技術(レーザー、研削共に課題大)
- ・ 除染範囲と工法(高放射線場での工事と密封化)
- ・ どこまで廃棄するか、エンドステートの見込み
- ・ 放射性物質(燃料)の計量管理の課題と方法

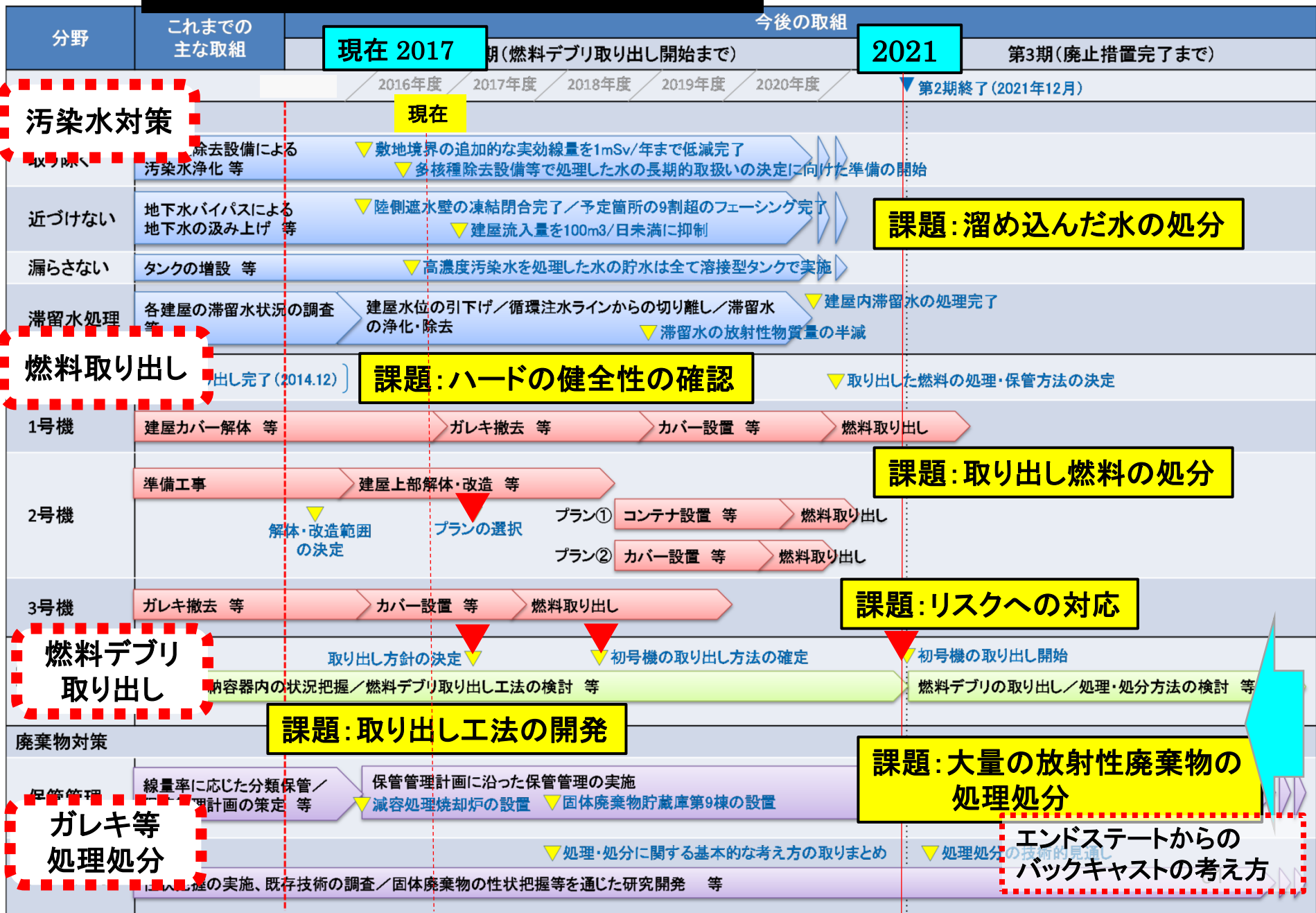
4. まとめ－福島第一の廃炉の論点

基本的には福島第一の廃炉技術の研究開発にどのように取り組むか
これは、わが国として、**国として取り組むべき国家プロジェクト**である。

- 福島第一の廃炉は国としてのプロジェクトである。このプロジェクトを動かす**全体の責任は誰が持っているのか**。責任ある体制を明確に作るべきであろう。**”リーダーシップ“を持った責任者を置くことが必要**。
- 特別の**廃炉の「安全目標」を明確にすることが必要**である。
放射線リスク、発生費用、工期、設計基準を明確にしなければならない。
- **エンドステートを見据えた廃炉のシナリオが必要**であり、総合的な放射性廃棄物の取り扱いを考えて進めなければならない。
- **実効性のあるロードマップによるプロジェクト管理が必要**である。
- 下記の技術課題がある。
 - ・シナリオの見えない事象のリスク評価の在り方
 - ・大きく損傷した構造物の健全性評価の在り方
 - ・高放射線場での作業ロボット・システムの開発
 - ・長期、場所の制限を含めて対策の在り方

福島第一の廃炉の論点

これは見直し前のものである。
ロードマップ と その課題



福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発 概要

ここで述べてきたことの概要

1. 研究開発の取り組み

一般論としても研究開発における倫理問題は重要な論点である。
限界も間違いも正しく伝えることが研究者の姿勢でなければならない。

2. 原子力発電分野での研究開発の特徴

「原子力」利用は、許可により行われる。「原子力安全」は一企業の問題ではない。
「原子力安全」が最優先されなければならない。
「原子力安全」は、国、国際社会の最重要課題でもある。

3. 福島第一廃炉での研究開発

今の体制では、うまく行かないのではないか。無責任体制となっている。
プロジェクトとして、全体に責任を持つリーダーシップを持つ“リーダー”が必要である。
ロードマップは、守るためのものでなければならない。
ロードマップは、目標の共有であり、これを目指して全ての組織が活動する。
重要な開発が求められる課題は明確である。
研究開発の明確な仕様、目標を示して、実行する組織を選択すべきである。
組織連携も必要だが、プロジェクトの視点で重要なのは“リーダーシップ”である。

機械技術者の役割－機能を織りなしてシステムを創る－

織りな

技巧の上達を祈念する中国の「乞巧」（きつこうでん）に由来し、奈良時代に伝来した『七夕』の行事を、「たなばた」と称したのは、この日に捧げる御衣を「棚機」（たなばた）で織り上げたことから、この訓を当てたものと言われている。

わが国は科学技術創造立国を標榜し、世界のフロントランナーとして国際的な責任を果たすことを目標にしている。技術の中核を担う機械技術を発展させ、新たな価値創造、ものづくりを進める必要がある。機械技術がどのようにして社会や産業の健全な発展に役立てるかを広く社会と共に思考し、機械技術者の果たす役割を浮き彫りにして社会のより一層の理解を得ていかなければならない。

機能を織りなしてシステムを造る。
物事は全てこのようにシステムとして構成されている。

日本原子力学会 安全部会 2017年 夏季セミナー
「規制および現場の課題解決に必要な研究と開発に係る論点」
福島第一廃炉に係る研究開発の連携強化について

ご静聴ありがとうございました。

関連ポータルサイト

経産省 資源エネルギー庁 HP
原子力賠償・廃炉等支援機構 (NDF)
国際廃炉研究開発機構 (IRID)
日本原子力研究開発機構 (JAEA)
東京電力ホールディングス (TEPCO)
「CUUSOO」

以上、多くの説明を加えた。参考としていただければ、幸いである。