

日本原子力学会・原子力安全部会  
「福島第一原子力発電所事故に関するセミナー」  
問題提起用説明資料 部会長 阿部清治

1. 安全設計についての問題(I)、(II)  
守屋さん:福島第事故からのプラント設計における教訓と対策(資料3)
2. シビアアクシデント対策についての問題  
浦田さん:PWRにおける安全確保対策(資料4)  
松井さん:BWRにおける安全確保対策(資料5)
3. 原子力防災についての問題  
本間さん:緊急事態への準備と対応に関する教訓(資料6)
4. PSA、運転経験、安全研究についての問題  
更田さん:安全研究を巡る議論について (資料7)
5. その他の諸問題  
宮野さん:原子炉の寿命問題(資料8)

# 1. 安全設計についての問題(I)

## 1.1 外的誘因による機器故障の発生防止

- 安全に係わる構築物・システム・機器(SSC)の故障・損傷は、内的誘因によっても外的誘因によっても起きる。
- ここで内的誘因とは、設計・製造・運転・保守等、システムや機器に内在する原因。近年特に重視されているものとしては、人的因子、経年劣化等。
- 外的誘因とは、地震、溢水、火災、航空機の墜落、タービンミサイル等、SSCの外部から与えられる特定の衝撃。
- 各SSCは、それらの安全上の重要性に応じ、それらが運転中に受けると考えられる荷重条件、環境条件に対して十分な信頼性を有するように設計される。

## 外的誘因対処設計に共通の考え方

- それぞれの外的誘因について、まずはハザード評価を行う。ここでハザードとは、地震動の強さごとの発生頻度や津波の高さごとの発生頻度。
- それぞれの外的誘因について、発生頻度を評価して防護設計の必要性を判断。例として、原子力安全・保安院の審査内規である航空機落下評価基準。
- ハザードのレベルに応じた防護設計。例として、設計基準地震動を定めての耐震設計、設計基準津波を定めての耐津波設計。

## 過小評価だった設計基準津波

- 原安委「設計指針」指針2:「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」
- 同・解説:「予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件」とは、「過去の記録の信頼性を考慮のうえ、少なくともこれを下回らない苛酷なものであって、統計的に妥当とみなされるものをいう」
- 土木学会「原子力発電所における津波評価技術」(2002年2月):評価の基になっているのは、1611年～1978年(約400年間)の歴史津波。
- 福島第一の設計基準津波(自主的に強化):5.4～5.7m
- 「数百～千年に1度」の事象に防護がなければ、必然的に、我が国の安全目標とかけ離れた結果になる。

## 外的誘因に対する安全設計

- 地震動：10万年に1度の地震動まで想定。
- 航空機落下：1000万年に1度（従来からの切捨て基準）以上なら対処設計。ただし、意図的衝突は対象外。
- 津波：せいぜい1000年に1度の津波しか想定せず。それより高い津波には設計対応なし。
- 設計基準津波は、信頼できる「歴史津波データ」に基づくだけでは不十分。それを超える期間について、専門家の判断が必要。
- しかし、10万年に1度の津波など、想像不能。それよりも、建屋のドアを水密化するとか、高所に非常用電源を設置するような対策の方が現実的。

## 1.2 「多様性」の重要さ

- 安全設計において「共通原因故障」の防止は最重要課題。ここで共通原因故障とは、ひとつの原因で複数の機器が同時に故障すること。
- 地震、津波、航空機落下といった「外的誘因事象」は、共通原因故障をもたらす代表例。
- 共通原因故障を防ぐ最大の手立ては「多様性」。ここで多様性とは、原安委「設計指針」の定義によれば、「同一の機能を有する異なる性質の系統または機器が2つ以上あること」。すなわち、異なる原理の設計を指している。

## 福島事故で見られた「多様性」の重要性

- 福島事故では、同一の安全機能を果たす多重の設備の多くがそれぞれ同一の高さに設置されていたため、津波によって同時に機能喪失した。
- 6号機のEDGは、高所に設置されていて、浸水による機能喪失を免れた。「電源融通」により5号機も救った。
- 2号機と3号機で、電動の炉心注水設備がすべて失われたあと、炉心はタービン駆動の炉心注水設備によって一定期間冷却された。
- すなわち、多様性の重要性も再認識された。
- ただし、「異なる原理の設計という多様性」だけでなく、「据付位置の多様性」も重要であることが認識された。

## 「多様性」に関する今後の検討課題

- メーカーが安全設計をするに当たり、また、規制当局が安全設計の妥当性を審査するに当たり、「異なる原理」だけでなく、「据付位置」など、他の要素も含めて、十分な多様性があるか考慮すること。
  - その場合、単一の外的誘因についてのみ考えるのは不適切。津波と航空機落下等、考えられる外的誘因について広く考えることが必要。
  - (「多重性」については「単一故障の仮定」によって要求内容が具体化されているが、)多様性について、どのような条件を満足すれば十分かの検討も必要。
- 電力会社の津波対策や、安全設備の多重化、多様化、シビアアクシデント対策については、セッション3でまとめて紹介。



# 1. 安全設計についての問題(II)

## 1.3 計測に関する問題

- シビアアクシデントの進展に関し、原子炉水位(及びそれに直接影響する炉心冷却系の作動・不作動)は決定的に重要。
- 福島事故では、1号機、2号機で、直流電源の喪失で通常の計測系は喪失した。計測系が失われることはこれまで想定されてこなかった。
- 持ち込んだバッテリーをつないでの計測で(1、2号機)、あるいは、本来の計測器で(3号機)、測定された原子炉水位は、事故進展期間を通じて信頼できるものではなかった。

## 1.4 フェイルセーフの設計に関する問題

- 1号機の非常用復水器(IC)や2,3号機の炉心隔離時冷却系(RCIC)の作動の有無確認は最重要だった。
  - IC隔離弁はフェイルクローズ。事故調中間報告では、運転員がこれを十分理解していなかったとの指摘。
  - 「受動安全性」にも共通の問題。プラントが、「設計者が安全側だと思う方向に」自動的に動いた時に、運転者がそれを理解しない場合があり得る。
- 計測やフェイルセーフに関する問題について、守屋さんの解説。

## 1.5 不十分だった発電所停電事故の想定

- 原安委「設計指針」指針27:「原子力施設は、短時間の全交流電源喪失に対して、原子炉を安全に停止し、かつ、停止後の冷却を確保できる設計であること」
- 同・解説:「長期間にわたる全交流電源喪失は、送電線の復旧または非常用交流電源設備の修復が期待できるので考慮する必要はない」
- この「期待」は従来の経験データに基づいたもの。今回の事故のように、津波で復旧や修復、あるいは代替電源の運び込みが困難になる状況は想定せず。
- 統計で得られていない範囲まで対象として、外的誘因を広く検討し、専門家の判断に基づいて設計基準事故における想定を見直すことが必要。

## 1.6 原子炉に直結しない設備の設計基準

- 福島事故では、使用済み燃料プール(SFP)内の燃料溶融も心配された。SFPの安全設計要件の再検討が必要。
- 外的誘因事象に対する防護設計(津波に対する防潮堤など)を考えるなら、その安全重要度や安全設計要件を定めることが必要。
- アクシデントマネジメントや防災に必要な設備(SPDSなど)についても、その安全重要度や安全設計要件を定めることが必要。
- 安全設計においても設計審査のための基準整備においても、継続的改善(Continuous Improvement)とそのため組織とが必要。

## 2. シビアアクシデント対策についての問題

- 1979年3月の米国スリーマイル島原子力発電所の事故の後、各国はシビアアクシデント対策を検討。
- 我が国は1992年以降、全原子力発電所でシビアアクシデント対策(アクシデントマネジメント:AM)を実施。ただし、規制要件ではなく、事業者の自主的活動。
- AM策は、代替電源(隣接号機からの電源融通など)、代替注水(消火系ポンプなどを使っての注水)、原子炉減圧の自動化(原子炉水位低下だけで自動減圧系作動)、耐圧強化ベント(格納容器圧力が過大になったとき格納容器内気体を放出して減圧)など。
- しかし、福島事故ではAM実施に多くの困難があった。  
→電力会社の安全確保対策について、浦田さん、松井さんから紹介。

# シビアアクシデント対策に関する今後の検討課題

- シビアアクシデント対策の規制要件化
- 既設炉に対するバックフィットのあり方
- 外的誘因の影響(e.g. AM設備の損傷)やシビアアクシデント時の事象・現象(e.g. 水素爆発)の影響についての考慮
- 安全設計から、敷地内に用意する設備である対応、敷地外から持ち込む設備である対応までの、一貫した対応策の整備
- 原子炉以外の設備(使用済み燃料プールなど)での過酷事故への対応。

### 3. 原子力防災についての問題 我が国の原子力防災の本質的弱点

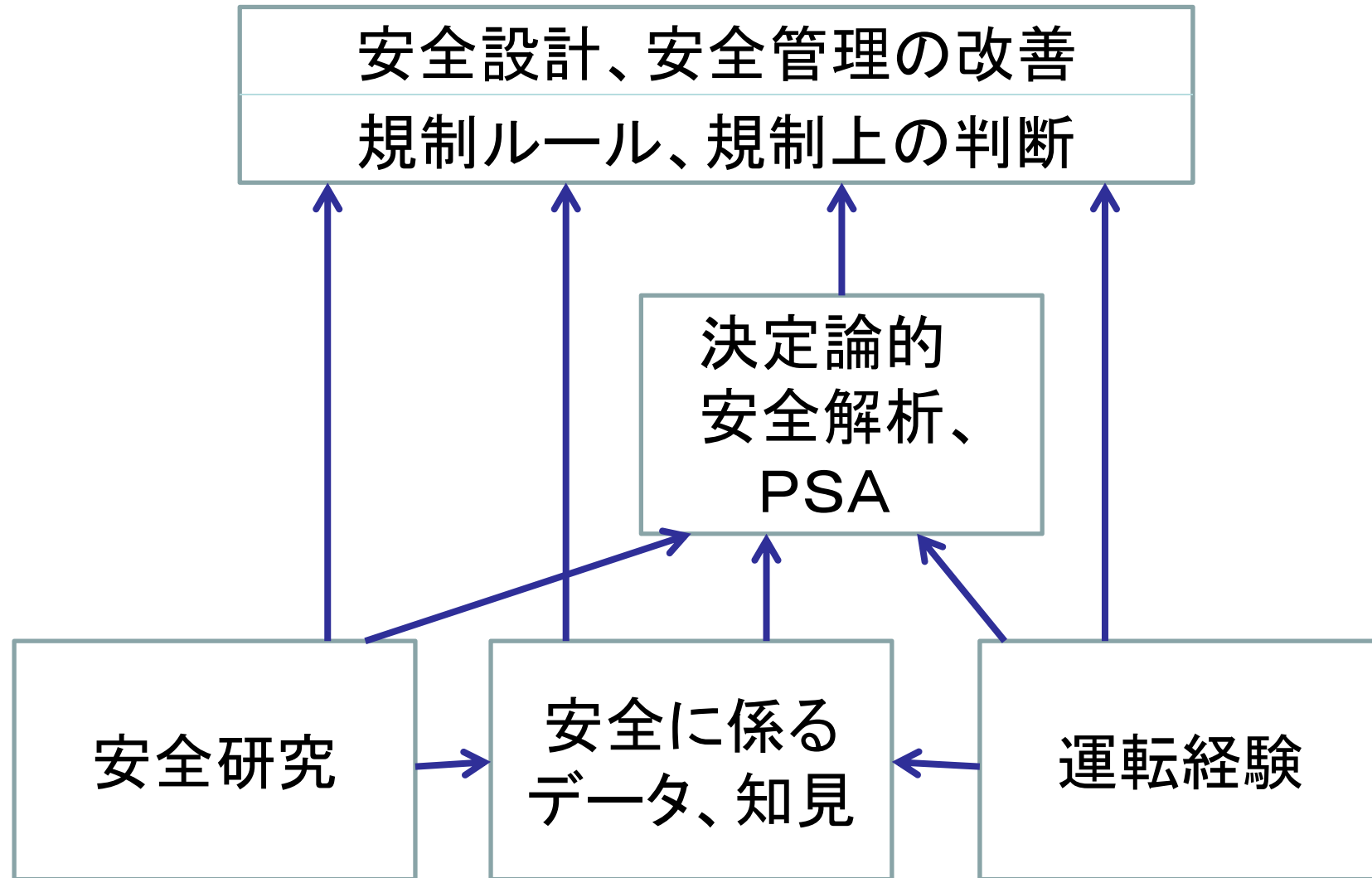
- 我が国の原子力防災は計算コード頼み。事故のさ中に、事故進展と放射性物質の放出量(ソースターム)はERSSで計算し、それを基にSPEEDIで線量予測をし、その結果に沿って避難・退避するというもの。
- 防災訓練も、計算結果の読み上げで進められてきた。
- 国際通念とはかけ離れたやり方。国際通念は、緊急時に直ちに判断ができるような事前の準備が重要とであり、計算コードに頼るのは不適切というもの。
- 地震時の防災、津波時の防災など、防災に影響し得る困難な状況も検討されず。

## 福島で事故で実際には

- ERSSは地震動で故障。何のデータも送れなかった。
  - ソースタームは結局、測定された線量からの逆算。  
INES評価もそうして得られたソースタームによるもの。  
こういう逆算にはSPEEDIが有用。
  - 今になっても、事故解析によるソースタームの精度良い評価はなされていない。
  - 緊急時の情報伝達にしても、避難すべき人に適切な情報が適時に伝わったとは思えない。
  - 1999年の東海村JCO臨界事故で課題となった災害弱者への対応も不十分。
- 防災に関する諸問題について本間さんが解説。

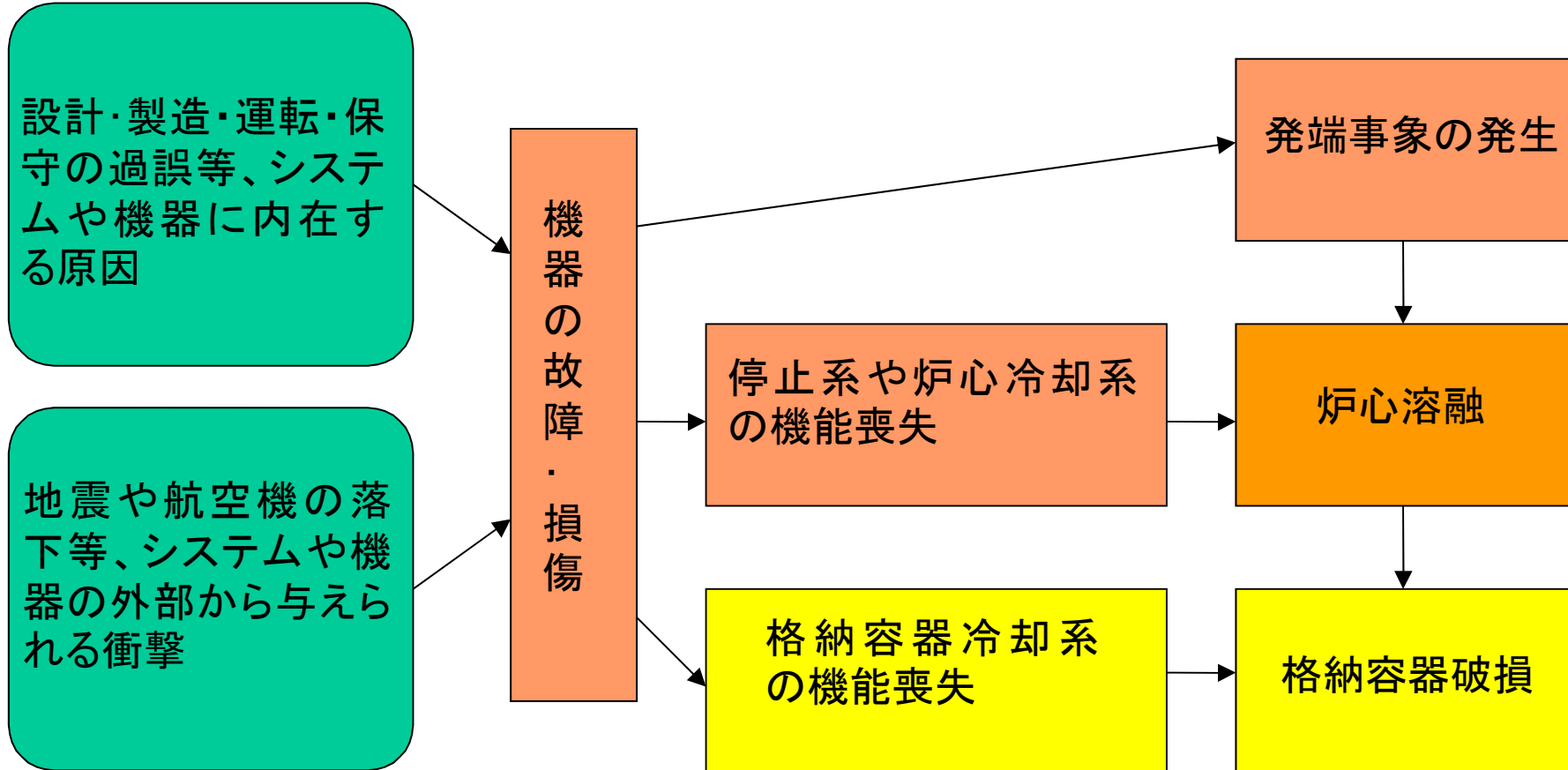


## 4. PSA、運転経験、安全研究についての問題

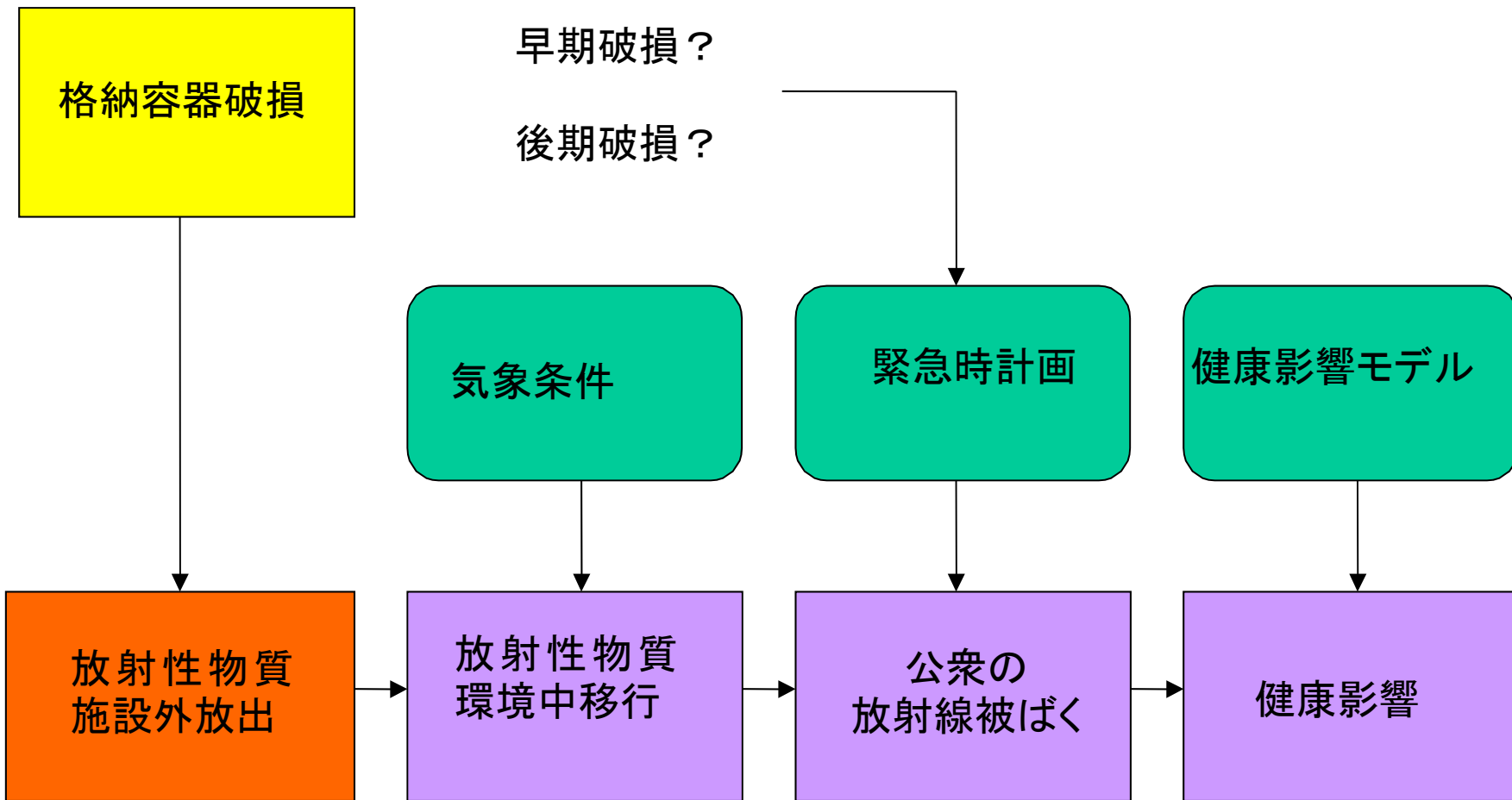


PSA、運転経験、安全研究の役割

# 4.1 PSAの反映について



PSAの手法(その1)



## PSAの手法(その2)

# PSAに関する課題

- PSAの方法論そのものは、全体として、福島で起きた多くの出来事をその通りに予測。
- ただし、これまでなされてきたPSAは、内的事象（ランダムに起きると考えられる事象）と地震だけ。（航空機落下については、落下確率を評価して防護設計の必要性を判断するのには利用。）
- 津波、火災、テロ等、外的事象を広く対象としてのPSA(IPEEE)の実施が必要。
- 歴史津波・歴史地震等の経験データを設計基準に反映することは当然必要だが、それを超すハザードについても生起確率を考慮して設計基準ハザードを決定することが必要。

## 4.2 運転経験の反映について

- TMIの事故以降、運転経験(特に、前兆事象)を分析・評価してその結果を設計・運転・規制に反映することの重要性は、国際的共通認識。
- 産業界のINPO、WANO、IAEAのIRS、OECD/NEAのCNRA/WGOE等の活動も継続されている。
- しかし、事象の重要性は的確に把握されているか？  
また、適切な対応(Implementation)が採られているか？

経験しないことに人は皆傲慢である。

幸田文、「ちぎれ雲」

- 美浜3号2次系配管破断事故を経験して初めて対応した事象(それまでは放置)
  - サンプ閉塞
  - 制御室の居住性
- 「外的浸水」事象の前兆事象
  - フランス・ルブレイエ炉、河川の増水で浸水(1999)
  - インド・マドラス炉、インド洋大津波で浸水(2004)
- 運転経験は、分析・評価だけでは不十分。結果を受けての対応(Implementation)が重要(IRS議長)。
- IRS報告書は、事象の内容以上に、採られた対応について書くべし(元CNRA議長)
- 「我が国では\*\*\*のような事故は起きない。」

## 4.3 安全研究について

- 「安全研究は本来、とても難しい研究。何が難しいかという、『実用にならないといけない』ということ。」
  - 平成19年3月9日、安全委安全研究セミナーでの私の発言
- 「原研に来てとても大事なことを学んだ。大きな箱の中に、中くらいの箱を隙間なく詰める。それぞれの中くらいの箱の中に、小さな箱を隙間なく詰める。そういうことが大事だと学んだ。」
  - 旧原研への出向者が期間満了で帰ったときの言葉
- 安全研究はどうすればより役立つものになるか。組織間のギャップ、技術分野間のギャップはどうすれば埋められるか。
- →安全研究のあり方について更田さんが論点を紹介。

## 5. その他の諸問題

(セミナー参加者からの問題提起を歓迎)

- 国民一般や地元住民への原子力の必要性和安全性の説明はどうあるべきか？
- 安全目標でも、「生命」だけでなく、「生活」への影響を考えるべきではないか？
- 規制の独立性、特に、政治からの独立性は保たれるか？
- 事故後に、経済性を無視するような提案や、不必要な規制要求はなされていないか？
- 「原子力の国際展開」はどうあるべきか？
- 新たな「神話」は生じていないか？



## 5.1 規制の独立性について

- 保安院は、2007年6月にIAEAの総合規制レビューサービス(IRRS)を招へい。チームリーダーはフランス規制当局(ASN)のラコスト委員長。
- 日本IRRSで特に厳しい批判は、①保安院の「形まで含めての」独立性がないことと、②規制機関である保安院が自ら安全審査のための判断基準を作っていないこと。
- 「独立性を論じる場合、原発業界からの独立と、政府からの独立という2つの側面がある。・・・我々は、政治の圧力に左右されずに、国民を保護するために適切な決定を下すには、独立性が欠かせない。」  
(ラコスト委員長の談話。昨年9月6日の朝日朝刊)

## 規制の独立性について(続き)

- 環境省の下部組織として原子力規制庁が設置されることで、推進側(資源エネルギー庁)からの「形まで含めての」独立性は当然達成される。
  - 原安委と保安院の統合で、規制機関が自ら安全審査指針のための基準を作ることになる。継続的な基準改善のための責任組織が明確になる。
  - 政治からの独立性は、技術的根拠なく、また、安全委や保安院での検討を踏まえることなく、「浜岡は危険だがそれ以外は安全」、「ストレステストが必要」、「原子炉の寿命は40年」と言い出したりする政府の下では期待し難い。
- 「原子炉の寿命」問題に関しては宮野さんが解説。