

# 確率論的リスク評価(PRA) における人間信頼性解析の 位置づけと課題

東京大学大学院工学系研究科  
リスク俯瞰工学講座  
高田 孝

# 発表内容

- 確率論的リスク評価 (PRA\*) における位置づけ
  - ✓ PRAについて
  - ✓ PRAの流れ
  - ✓ PRA評価例 (レベル1)
  
- 人間信頼性解析 (HRA\*\*) の課題
  - ✓ 既存のモデルに関する課題
  - ✓ より一層の安全性向上に向けて
  
- まとめ

\* Probabilistic Risk Assessment

\*\* Human Reliability Analysis

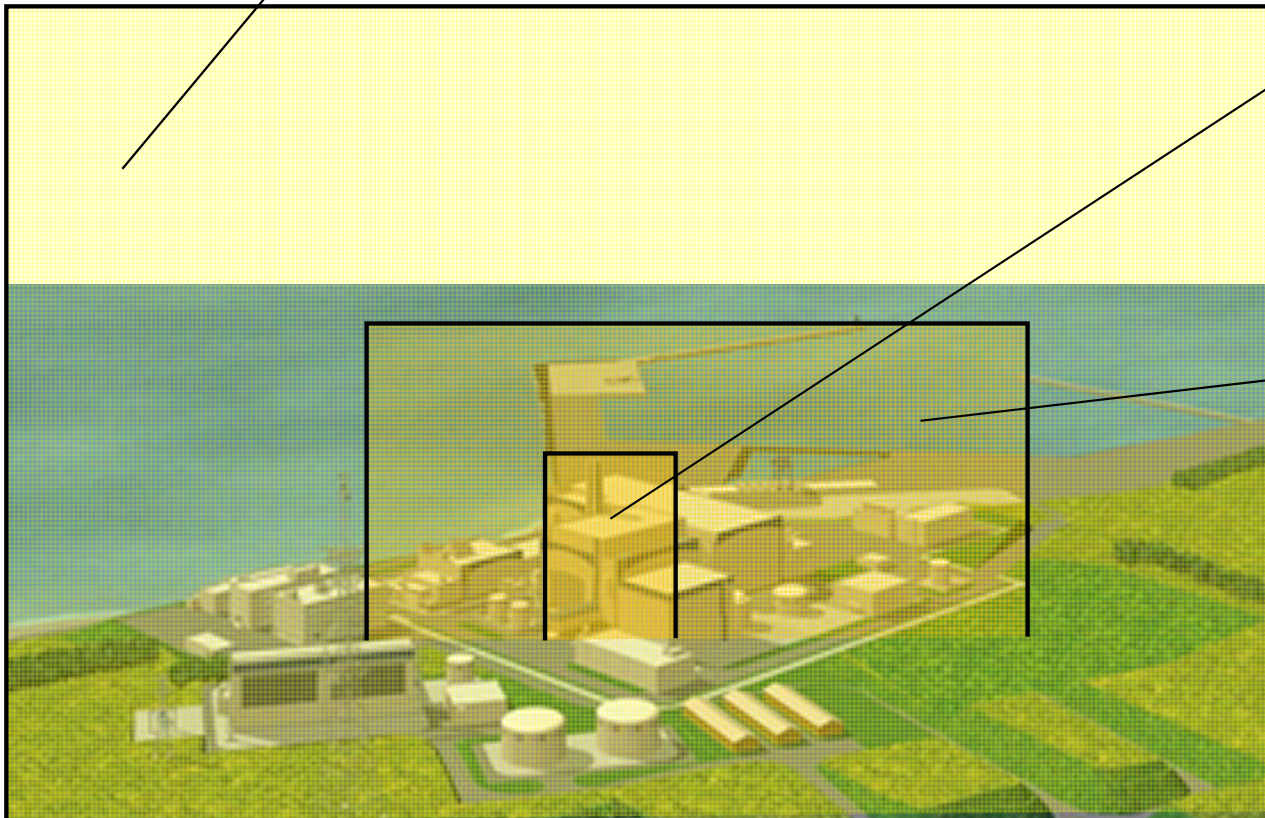
# 確率論的リスク評価(PRA)について

## ➤ それぞれのレベルとPRA

周辺の住民、環境への被ばくを防ぐ

**レベル3PRA**

指標：被ばく量等



炉心の損傷を防ぐ

**レベル1PRA**

指標：炉心損傷頻度

放射性物質を外に出さない

**レベル2PRA**

指標：格納容器機能喪失頻度、早期大規模放出頻度

イメージは大間原子力発電所完成予想図

<http://www.pref.aomori.lg.jp/sangyo/energy/0001oma.html>

# PRAの流れ

\* 通常の運転状態を妨げる事象であって、炉心損傷、格納容器機能喪失、及び／又は放射性物質などの放出を伴う事故へ波及する可能性のあるもの

## 起回事象\*評価

(起回事象)  
圧力容器破損、  
配管破断によるLOCA、  
故障や誤操作による  
過渡事象、  
等

## 事象進展評価 (イベントツリー手法)

安全系A

安全系B

安全系C

(成功)

安全停止

(失敗)

安全停止

安全停止

炉心損傷

(安全系Aの機能喪失)

## 分岐確率評価

(系統A1の機能喪失)

(系統A2の機能喪失)

(機器1の  
機能喪失)

(機器2)

(機器3)

(機器4)

## (フォールトツリー手法)

炉心損傷事故  
シーケンス  
の発生頻度

外的/内的外乱

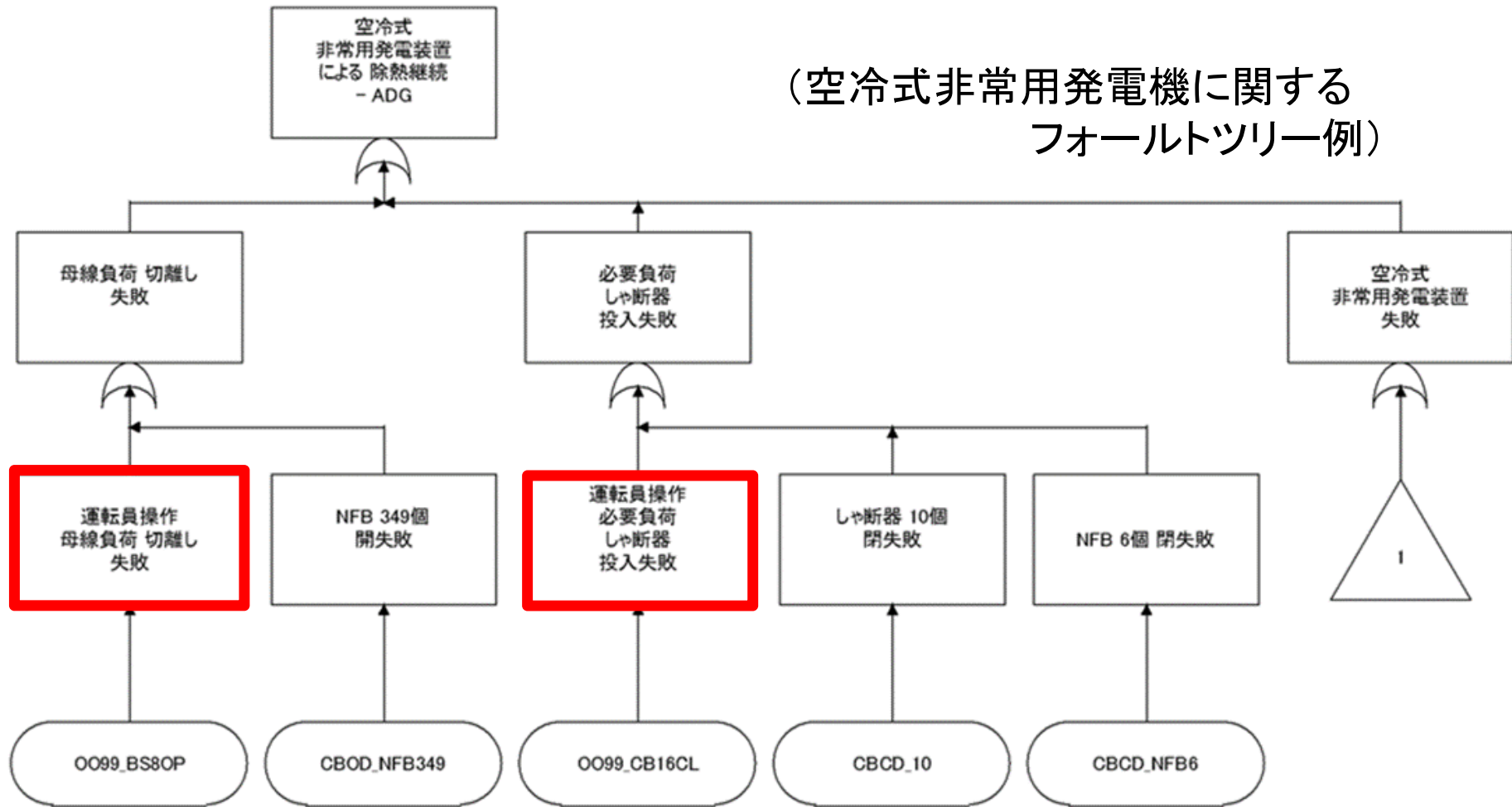
人的過誤

機器故障

日本原子力学会誌, 48, 4, 2006

人的過誤(人間信頼性解析)は起回事象評価、分岐確率評価に主に使われる

# 分岐確率(フォールトツリー)の例



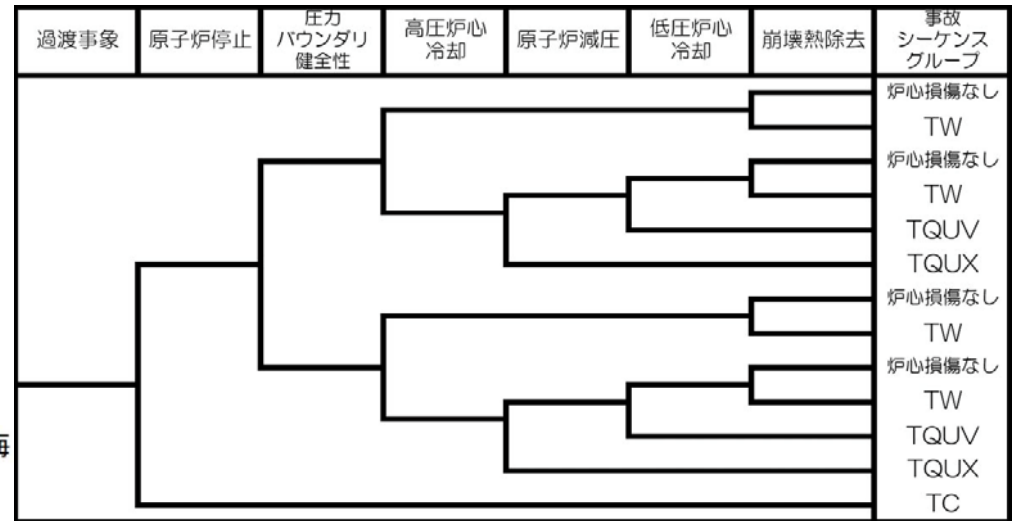
人間信頼性解析により失敗を確率として評価

# PRA評価例(レベル1)

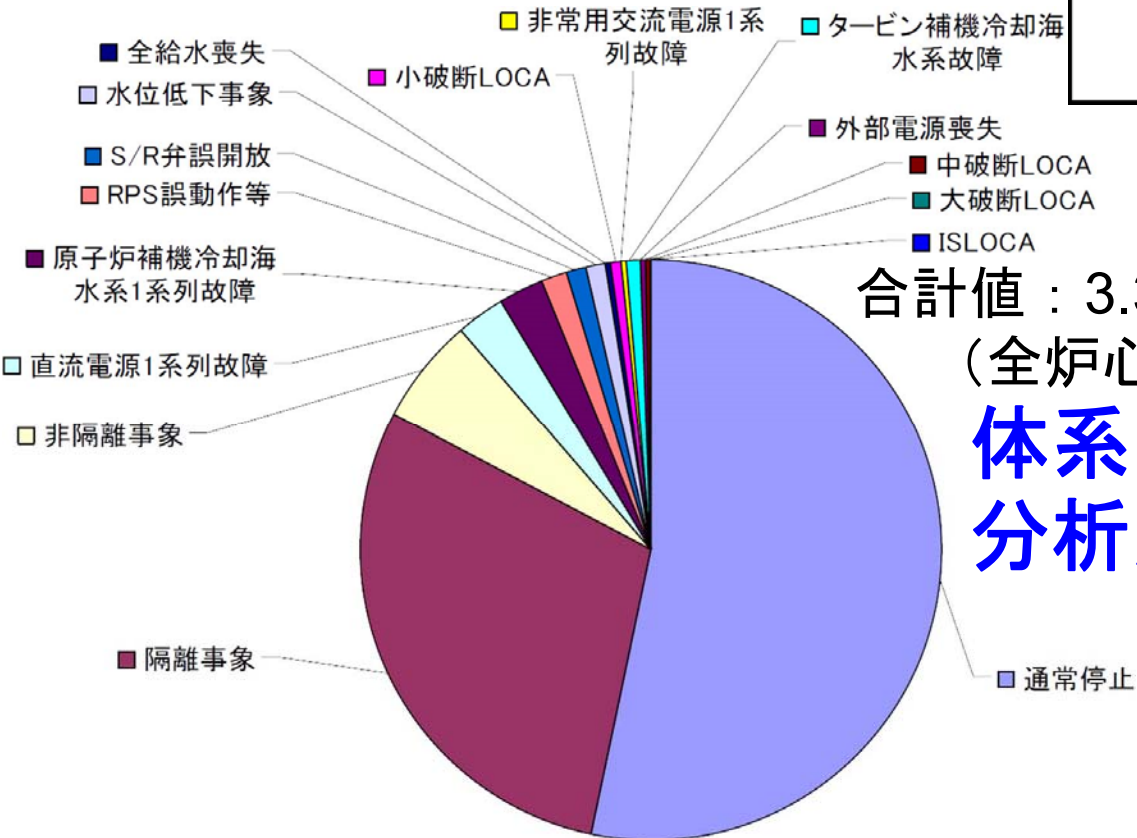
## 炉心損傷頻度

(起因事象別割合)

- S/R弁 : 安全逃し弁(Safety Relief)
- RPS : 原子炉保護系(Reactor Protection System)
- LOCA : 冷却材喪失事故  
(Loss Of Coolant Accident)
- ISLOCA : インターフェイスシステムLOCA



(イベントツリー例)



合計値 :  $3.3 \times 10^{-6}$  (1/炉年)

(全炉心損傷頻度)

**体系的 (論理的) なシナリオ  
分析が可能**

第125回原子力発電所の新規制基準適合性に係る  
審査会合(2014.7.22) 資料3-1より抜粋  
[http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts\\_140722\\_03-j.pdf](http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140722_03-j.pdf)

# 重要度解析

システム内部のリスクに対する重要性の体系的（論理的）かつ  
定量的評価が可能（PRA実施の大きなメリットの一つ）

## ➤ Fussell-Vesely(FV)重要度

対象となる機器、機能が完全に動作した場合の指標の  
低減を評価 ⇒ 改善効果の重要度ランク

$$FV = \frac{R - \text{ある機器が絶対に壊れない時の}R}{R}$$

R: リスク指標

\* 共通の原因によって、同時又は短期間のうちに2つ以上の機器に発生する故障。共通原因故障とも呼ばれる。

| 順位 | 基事象 (機器名-故障モード)               | FV重要度                |
|----|-------------------------------|----------------------|
| 1  | 原子炉補機冷却水系 電動ポンプ運転継続失敗 共通要因故障  | $3.1 \times 10^{-1}$ |
| 2  | 原子炉補機冷却海水系 電動ポンプ運転継続失敗 共通要因故障 | $2.3 \times 10^{-1}$ |
| 3  | 原子炉補機冷却海水系 電動ポンプ起動失敗 共通要因故障   | $1.4 \times 10^{-1}$ |
| 4  | 残留熱除去系 系統操作失敗 (認知/操作失敗の人的過誤)  | $8.0 \times 10^{-2}$ |
| 5  | 原子炉補機冷却水系 電動ポンプ起動失敗 共通要因故障    | $4.5 \times 10^{-2}$ |

第125回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(2014.7.22) 資料3-1より抜粋

共通要因故障\*と併せ、人的過誤はリスク抑制改善効果が大きい

- ・ HRAの精度 (ロジックの観点)
- ・ 確率決定に関するデータの精度
- ・ そもそも人的過誤の確率は不確実さ(不確かさ)は大きいもの



# 人間信頼性解析の課題

## 確率論的リスク評価における人間信頼性解析(HRA) (人的過誤)の課題

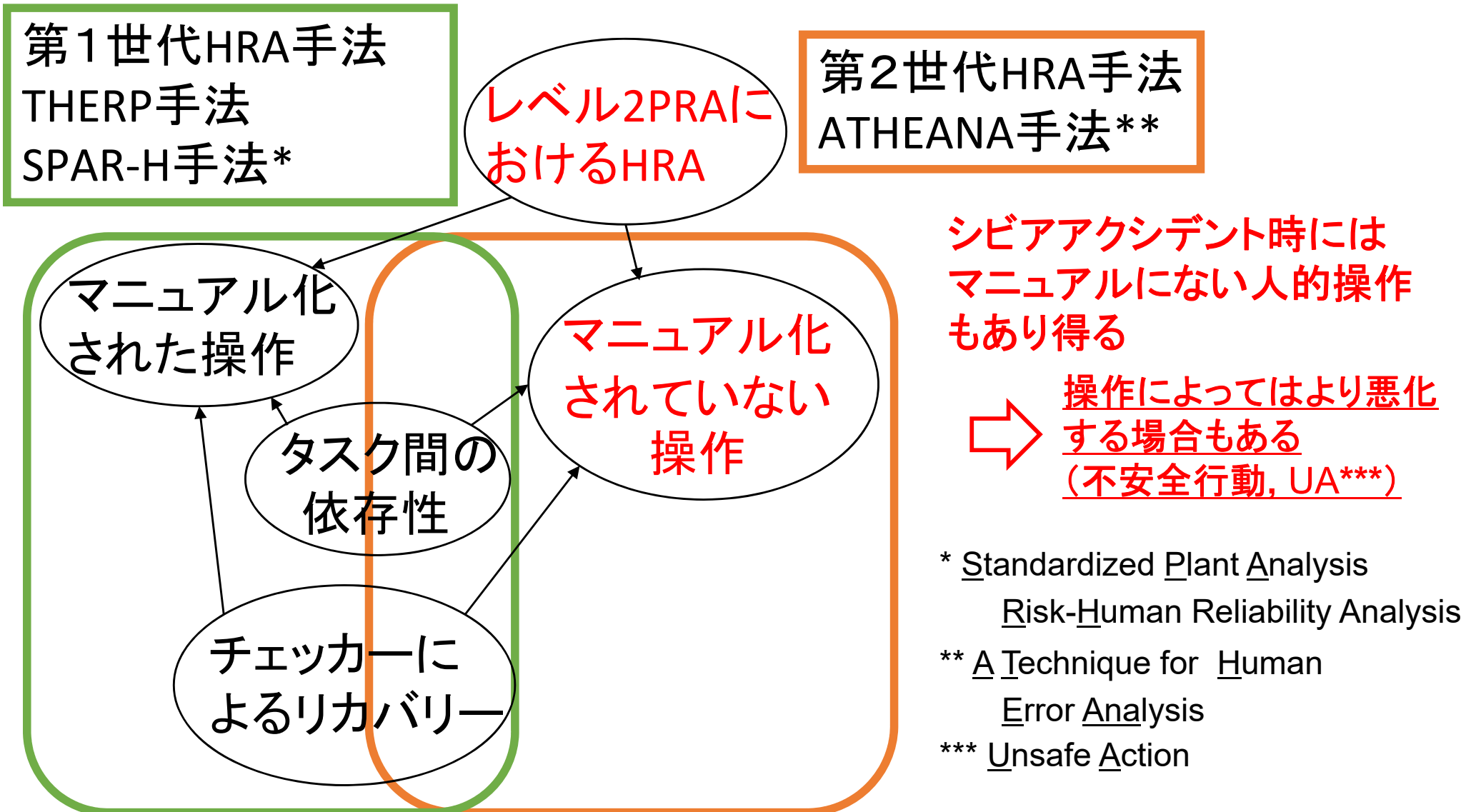
- 既存のモデルに関する課題
  - ✓ モデル化(手順書ベース)
  - ✓ データ収集(エラー率)
  - ✓ リスク情報活用としての考え方(数値だけに拘らない)
- より一層の安全性向上に向けて
  - ✓ 緊急時の技術支援
  - ✓ 人が介在することによるポジティブな側面  
(第二種の安全, Safety-II)



# 既存のモデルに関する課題

## ➤ モデル化(手順書ベース)

現状、PRAでよく用いられるモデルは、手順書ベース(第1世代)



# データ収集(エラー率)

エラー率は統一的な考え方で全体を俯瞰する必要がある  
(現在もTHERPが用いられている一つの理由)

- ✓ 国内におけるHRAに関するデータベースは不十分
  - ⇒ データ整備の考え方、収集方法の検討、実施  
(例えば、韓国ではHuREXフレームワークを実施\*)

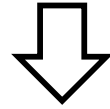
\* J. Park, et al., ASRAM2017-1047, 2017.

⇒ HRAに関する訓練、実験等からのデータ推定

# リスク情報活用としての考え方

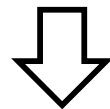
---

モデルとしてのHRAの精緻化は重要



PRAはリスクの数値化だけではなく、  
リスク情報に資することが最も重要

- ✓ もともと人的過誤（失敗確率）は不確かさが大きい
- ✓ 重要度分析からの弱点の克服（訓練等への反映等）



数値だけではなく、実体としての安全性向上

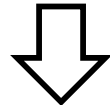
# より一層の安全性向上に向けて

## ➤ 緊急時の技術支援

シビアアクシデント時の対応を含む原子炉主任技術者の役割を明確化するとともに、その役割を踏まえた必要な資格要件を検討する

第21回発電用軽水型原子炉の新規制基準に関する検討チーム、  
平成25年4月4日より

Shift Technical Advisor (STA)\*と同じ発想 \* NUREG-0737, 1980.



- ✓ 技術支援の具体的な内容についての議論が必要
- ✓ STAの最適化(定性、定量的モデル化)
  - ⇒ 過誤回復へのモデル化(PRAへの適用については要議論)

# 人が介在することによるポジティブな側面

本来PRAは最確評価が基本

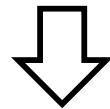
⇒ 人間の介在は失敗だけではなく、ポジティブな側面もある  
(大規模、複雑システムを完全自動化しない理由の一つ)

(第二種の安全、Safety-II)

✓ 東京電力福島第一原子力発電所事故での対応例

○ 消化系(FP)を用いた代替注水経路の構築

- 16:55 現場確認第一回目 格納容器扉の前で既に高線量のために一旦中操に
- 17:19 現場確認第二回目 消火ポンプ室でポンプの動作を確認
- 18:30過ぎ ライン構成作業開始



- この段階では津波警報は継続中(現場の判断)
- これ以降であれば線量が上昇し作業は不可能

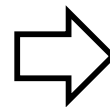
(出典: 死の淵を見た男  
吉田昌郎と福島第一原発  
の500日, 門田隆将, PHP)

# 東京電力福島第一原子力発電所事故での対応例(つづき)

## ○ 荷揚げ中の重油タンカー沖出し

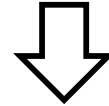
- 地震発生時、発電所の港では重油タンカーが荷下ろし中
- 手順書通りでは間に合わないと判断し、オイルフェンスを切断
- 結果として、津波が到達する前に、沖への避難に成功

日本経済新聞 朝刊, 原発安全の支柱は現場力  
危機に備え組織づくりを, 2014/10/13付



# ポジティブな側面の「見える化」

技術支援と同様にPRAへの直接的な反映には要議論だが、これらの定性、定量的な評価手法の構築は「見える化」として重要



- ✓ 作業員の意識やポテンシャル、総合的な組織力強化の目標となり得る(数値に固執しすぎないことに留意)
- ✓ 定性、定量化はポジティブな側面の強化に資する
- ✓ 継続的な安全性向上や安全文化の醸成にも寄与

多方面から人間信頼性を評価することにより  
単なるリスク評価上の数値としての取り扱いだけでなく、  
如何に安全性向上に寄与できるかが重要

# まとめ

確率論的リスク評価(PRA)における人間信頼性解析について

- PRAにおける評価の流れ、位置づけの概要
- 既存のモデルに関する課題について
  - ✓ モデル、データの精緻化
  - ✓ リスク情報としての考え方
- より一層の安全性向上に向けて
  - ✓ 人間が介在(支援含む)することによるプラスの効果

実践的な安全性向上に人間信頼性解析の果たす  
役割は大きく、今後の研究成果に期待



---

ご清聴ありがとうございました

# 失敗確率評価(人間信頼性解析, HRA)

## ➤ THERP\*1手法

(THERP手順)

1. 必要な情報の収集
2. タスク分析
3. HRA\*2イベントツリーの構築
4. エラーモードによる基準エラー率(HEP\*3)の割当て
5. 行動形成因子(PSF\*4)の評価
6. タスク間の従属性の評価
7. 過誤回復の評価
8. タスク失敗確率の計算

課題  
(後述)

$$HEP = HEP_n \cdot \prod_i PSF_i$$

代表的な条件でのHEP(ノミナル値と呼ぶ)

行動形成因子の影響を表現する補正係数

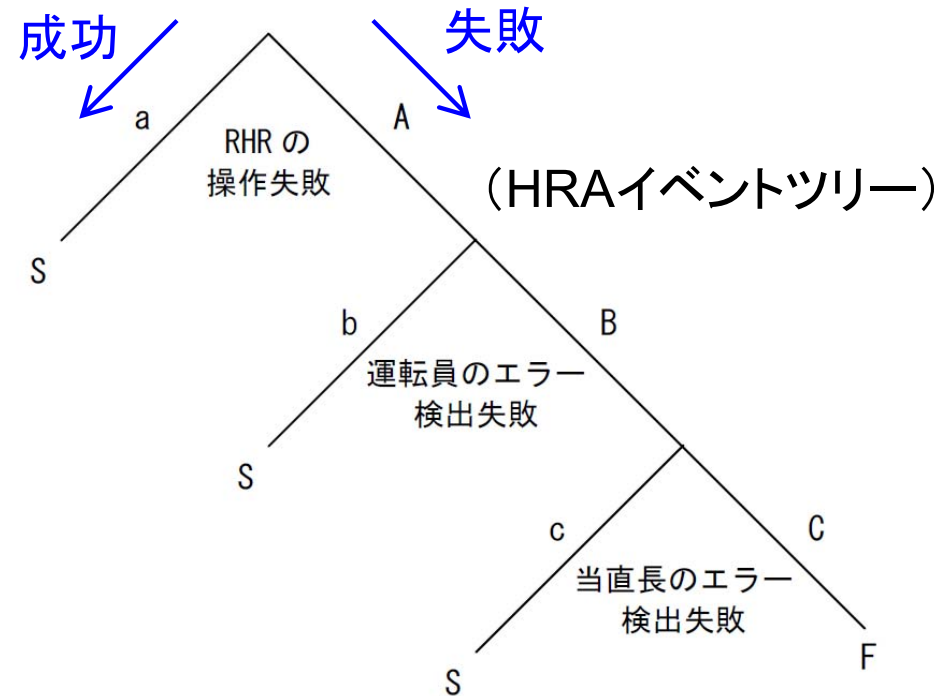
PSFとして考慮する個々の影響因子

\*1 Technique for Human Error Rate Prediction  
(現行のレベル1PRAでよく用いられている)

\*2 Human Reliability Analysis

\*3 Human Error Probability

\*4 Performance Shaping Factor



原学会標準より  
(AESJ-SC-P008:2013)