

# 「原子力のリスクと対策の考え方」 - 社会との対話のために -

## (2) 「リスクに基づく合理的な安全の考え方について」

キヤノングローバル戦略研究所 原子力安全研究会

氏田 博士 キヤノングローバル戦略研究所

村松 健 東京都市大学

富永 研司 原子力安全推進協会

安藤 弘 原子力安全システム研究所

# □ 「システム安全」の考え方

□ システム思考「部分最適は全体最悪をもたらす」の認識

過不足のないバランスの取れたシステムの設計と運用

□ 安全目標「どこまで安全なら安全と言えるか？」

“How safe is safe enough?”

- 確率論的リスク評価、PRA
- リスクコミュニケーション

□ 技術システムの選択「有用感と安心」

- リスクベネフィット解析
- リスクコミュニケーション

□ リスクマネジメント

□ 社会との対話

# □ 確率論的リスク評価、PRA

- プラントシステムの安全性のバランスを把握する有効なツール
- 起因事象と有効な対策の洗い出しによりシナリオの網羅性が大切
- 安全性の問題の特徴は、「部分最適は全体最悪をもたらす」可能性があること
  - バランスの良い安全設計・運用のために、システムの安全対策の過不足を定量的に把握する
  - 1F事故後に採用したSA対策の有効性も含めたトータルシステムに対する統一的なPRAを実施し定量化することにより、対策の十分性や過剰対策か否かなどの判断が可能となり、本当の意味で安全評価が達成可能
  - 米国では、規制局であるNRCのリスク情報を活用した実績に基づく規制(RIPBR)宣言
- 電気事業者が今後の自主的安全性向上活動の中で実現して行くことに期待
  - コストベネフィット解析を活用することにより、無用な設備投資を回避しつつ安全上重要な施設に資源を集中的に投入可能

# PRAの実施方策の日米比較

米国	日本(福島事故以前)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● NRCは1990年代にRisk-Informed Performance-Based Regulation導入               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ PRAは、決定論的評価の補完的位置付けだが実効的に活用</li> <li>➢ 規制の合理性(経済合理性)向上</li> </ul> </li> <li>● IPE(内的事象)とIPEEE(外的事象)(個別プラントのPRA)安全向上に活用(リスク認識)</li> <li>● ASME/ANSによるPRA手順の規格整備が進展</li> <li>● 運転段階でのリスク情報活用が進展</li> <li>● 安全目標/性能目標を既設炉でのリスク情報活用時の判断基準設定や型式認証で活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 安全評価は確定論を堅持               <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ リスク情報活用の方針は示されたが、実際の適用は足踏み</li> </ul> </li> <li>● 個別プラントのPRA(IPE相当)をAM策検討に活用、ただし内的事象のみ</li> <li>● 外的事象への適用が遅れた</li> <li>● 福島第一では研究として津波ハザード評価実施(評価のみ、反映なし)</li> <li>● 原子力学会によるPRA実施基準整備は進展中</li> <li>● 運転段階でのリスク情報活用は検討に留まり進展無</li> <li>● 安全目標は(案)のまま活用されず</li> </ul>

- 日本人の安全に対する意識 金太郎飴的発想、言霊意識の問題
  - リスクで考える習慣が不足し、安全問題を本質的に考えない
  - RIPBRへ転換するチャレンジの機会
  - 推進-規制-電力-メーカーの制度設計の問題(メーカーの製造責任の不在)
- 型式認定(メーカー) & サイト評価(電力)

# メリットの例

## リスクインフォームド規制による供用期間中検査

系統	要素数	現行ASME Section- XI 検査要求箇所	リスクベース評価により	
			検査要求箇所	被ばく量 (従来比)
原子炉冷却系	890	161	16	1/15
低圧注入系	644	32	20	2/3

(原子力安全研究協会による調査報告書より)

# 関西電力(株)原子力発電所の確率論的リスク評価の概要

H27.12.09

SA対策考慮なし！

対象プラント/実施目的		炉心損傷頻度 (／炉年)				炉心損傷頻度 (／炉年) 停止時PRA
		内部事象 出力時PRA	地震PRA	津波PRA	合計	
美浜3号	PSR(従来)	$3.7 \times 10^{-7}$	—	—	$3.7 \times 10^{-7}$	$2.8 \times 10^{-7}$
	安全審査*	$6.1 \times 10^{-5}$	$2.3 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-7}$	$8.4 \times 10^{-5}$	$4.9 \times 10^{-4}$
高浜1,2号	PSR	$4.6 \times 10^{-7}$	—	—	$4.6 \times 10^{-7}$	$4.3 \times 10^{-8}$
	安全審査	$6.6 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-5}$	$1.6 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-4}$
高浜3,4号	PSR	$1.4 \times 10^{-7}$	—	—	$1.4 \times 10^{-7}$	$1.4 \times 10^{-8}$
	安全審査	$6.1 \times 10^{-5}$	$3.3 \times 10^{-6}$	$1.9 \times 10^{-5}$	$8.4 \times 10^{-5}$	$6.1 \times 10^{-4}$
大飯3,4号	PSR	$1.3 \times 10^{-7}$	—	—	$1.3 \times 10^{-7}$	$1.4 \times 10^{-7}$
	安全審査	$6.4 \times 10^{-5}$	$2.8 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-7}$	$6.7 \times 10^{-5}$	$4.2 \times 10^{-4}$

\* (収束シナリオの妥当性)

キャノングローバル戦略研究所  
The Canon Institute for Global Studies

性能目標: 炉心損傷頻度(CDF)  $10^{-4}$  (／炉年)

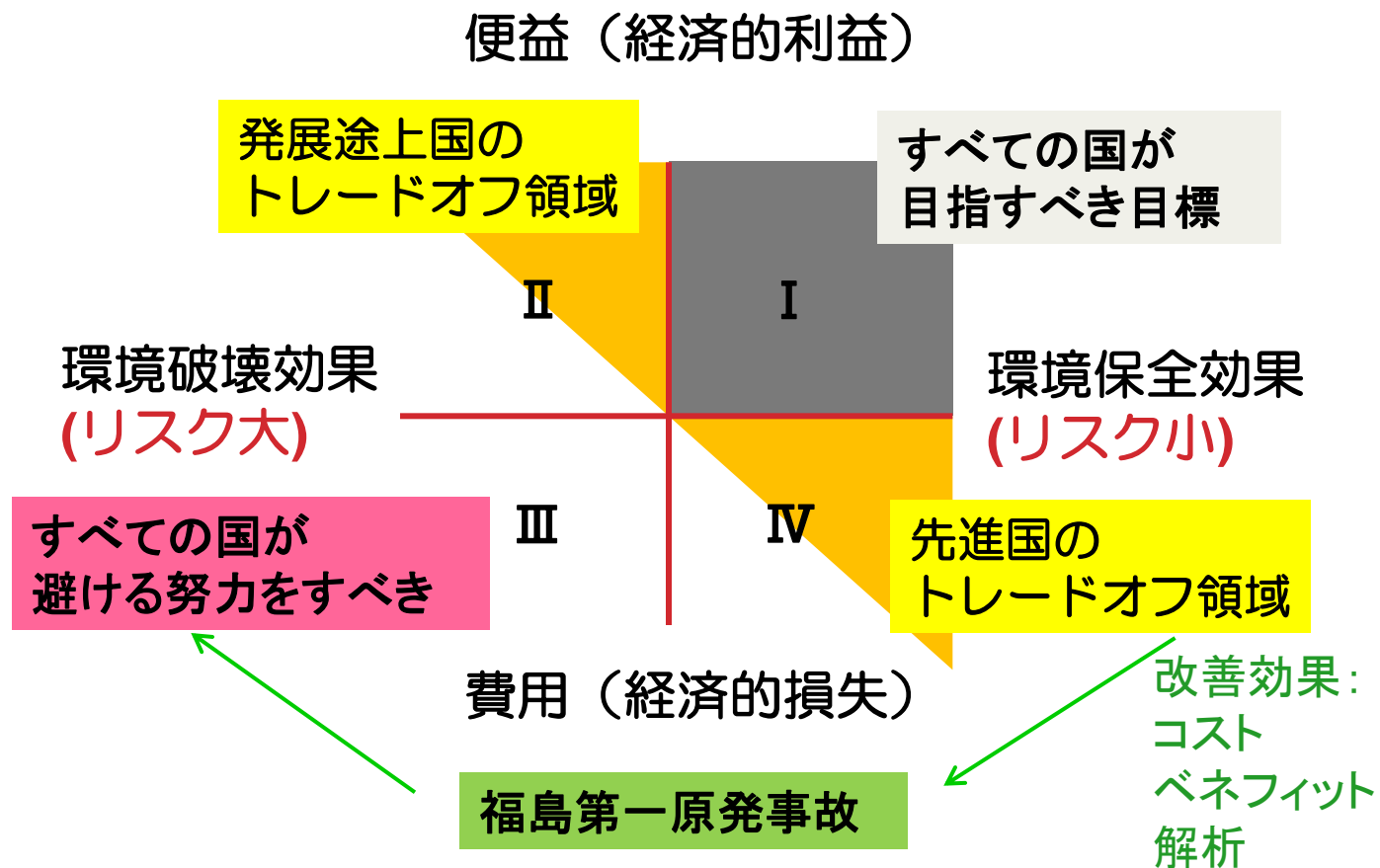
# リスク評価のメリットを活かすことの必要性

## 「部分最適は全体最悪をもたらす」の認識

- 新規制基準におけるPRAの活用方法は、その適用範囲の限界や不確実さを踏まえた適切なもの
- 今後は、**リスク評価のメリットを再認識し活用を図るべき**
  - 事業者と規制者の対話のためのツール
    - ◆ 安全設計・運用対策の最適化のための共通の検討手段
    - ◆ 規制の予見性、整合性を高めることができる
  - 事業者・規制者と公衆との対話のツールとなる
    - ◆ どこまで安全になったのか？（可能な限りリスクを明示する）
    - ◆ どのように努力しているのか？

# □ リスクベネフィット解析に基づく 環境保全と経済性の関係

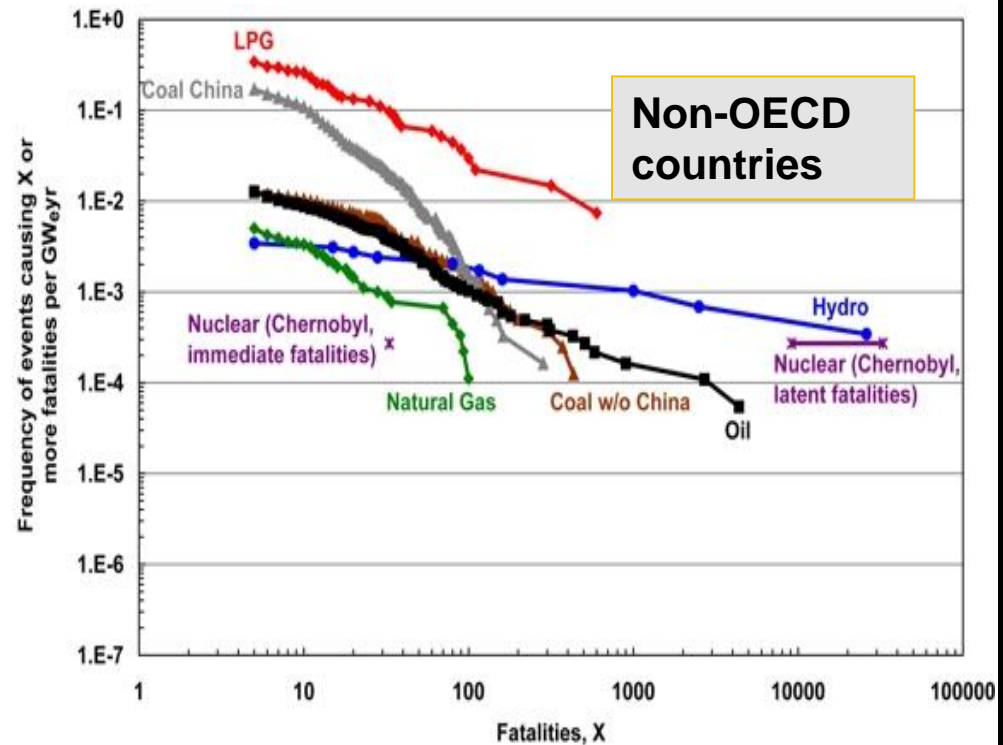
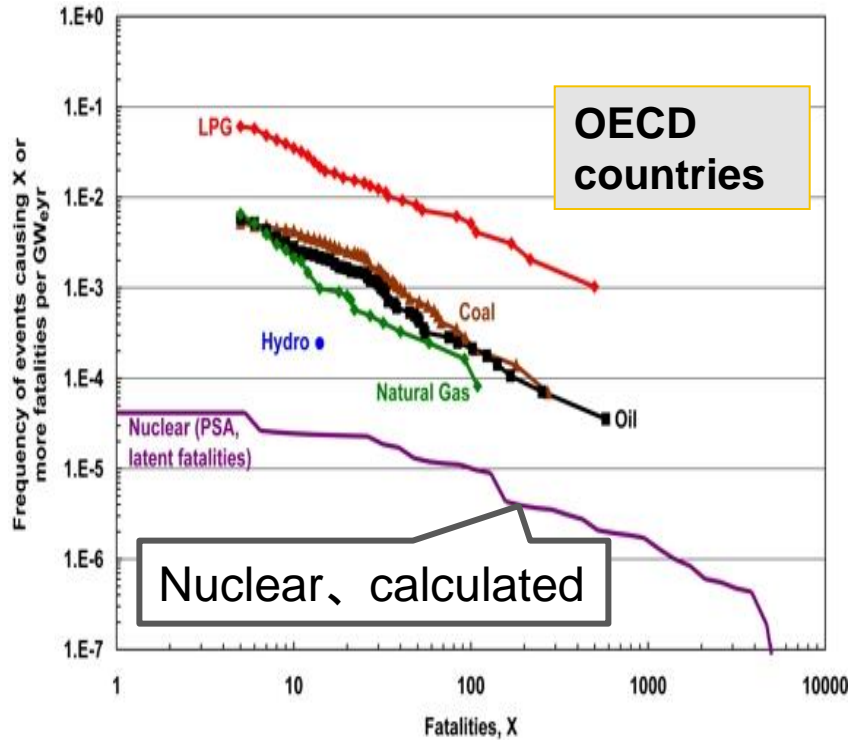
(氏田、2015)



システム選択：リスクベネフィット解析



# エネルギー産業の事故リスク比較



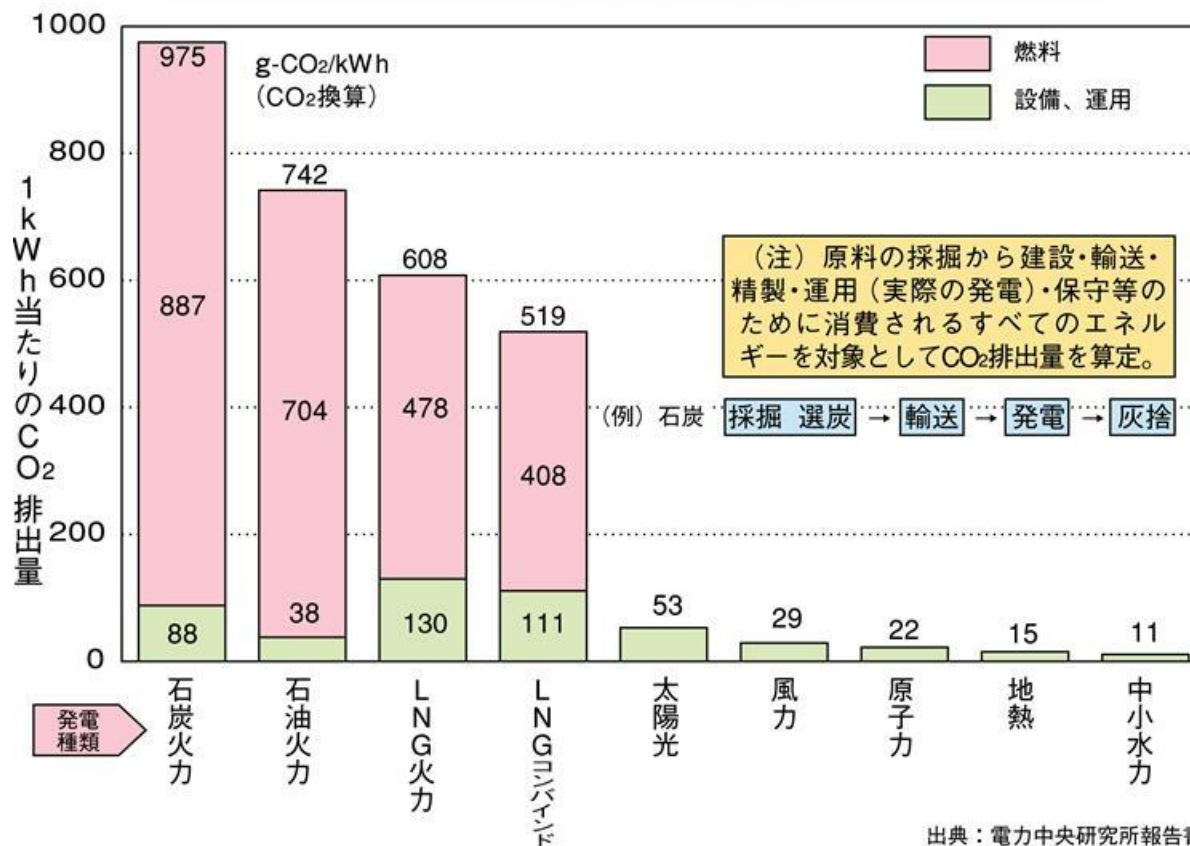
•Fukushima?  
•TMI?

1969年から2000年の間に様々なエネルギー生産手段により世界で発生した死亡者数の大きい事故(5人以上)の発生頻度の比較(急性死亡のみ考慮)

OECD/NEA6862、2010 by Swiss Paul Scherrer Institute

# CO2排出量

## 各種電源別のCO2排出量



出典：電力中央研究所報告書 他

# 気候変動問題の特徴

## 環境影響の様々な時間遅れ

反応の大きさ

将来世代に負の遺産を残さない

平衡に達する時間

CO2排出量のピーク

←海面上昇(氷融解)  
数千年

←海面上昇(熱膨張)  
数百年~千年

←気温の安定化  
数百年

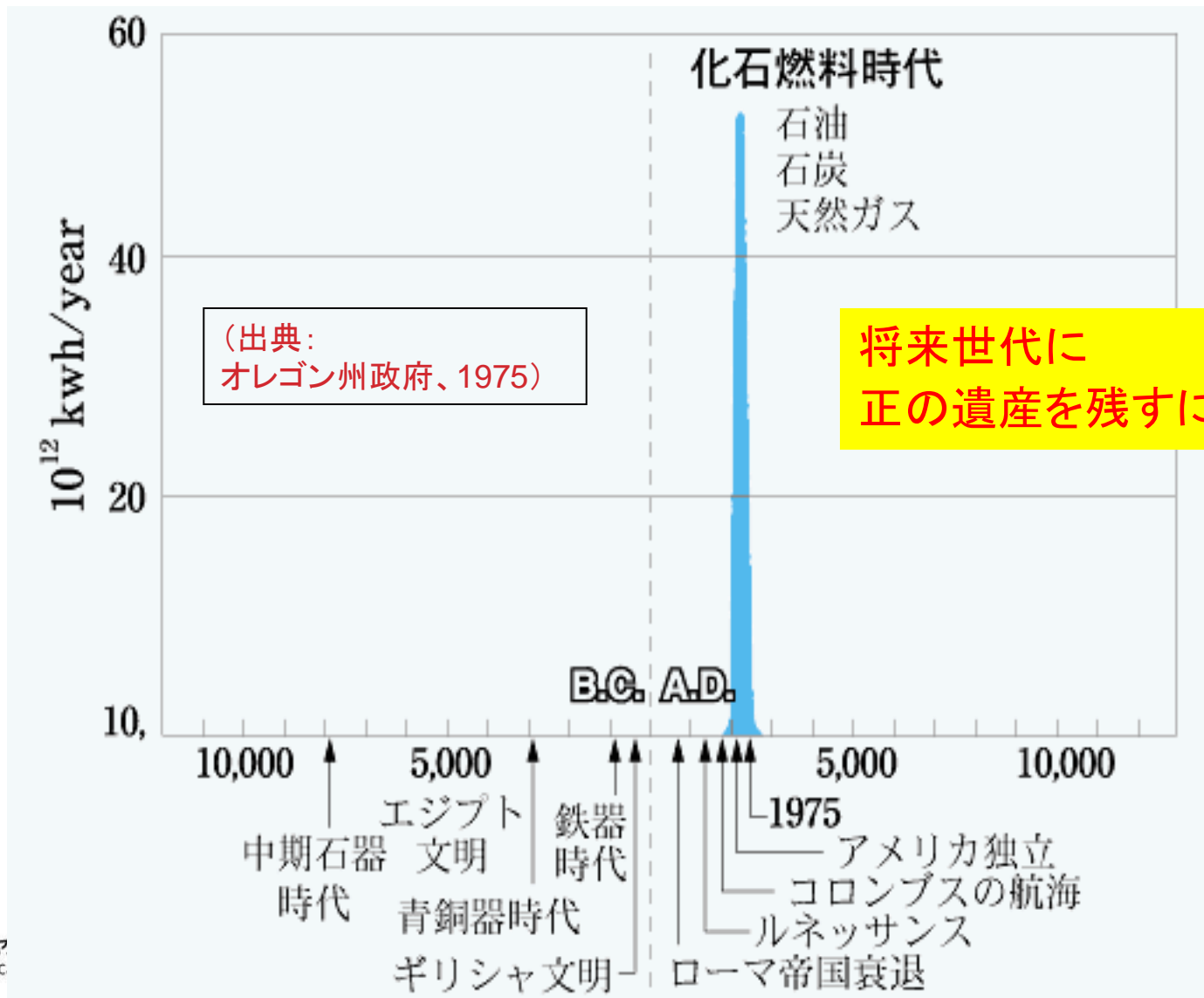
←CO2の安定化  
百年~3百年

←CO2排出量

現在 百年

千年

# □ エネルギー資源問題の特徴 —瞬の化石燃料時代



# ウラン鉱石の埋蔵量と燃料サイクル

	資源量	利用可能年数 (2012年の発電量、発電効率において)	
		軽水炉 ワンスルー (U235利用)	高速増殖炉 核燃料サイクル (Pu利用、100倍)
既知在来資源	764万t-U	142年	14、200年
総既知在来資源	1、533万T-U	288年	28、800年

**世代間倫理-長期的価値の保存  
:一万年の長期エネルギー源の確保**

Uranium 2014: Resources, Production and Demand, OECD NEA & IAEA,

# ロ リスクとベネフィット比較/長期的価値評価

評価指標		化石エネルギー	原子力	再生可能エネルギー
リスクとベネフィット	廃棄物発生量	×× 脱硫排煙、灰	◎ 放射能	◎ 酸
	健康リスク	×× SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、粒子	◎ ガン	-
	事故リスク	×(××@LPG)	◎	-
	CO2排出量	×× 燃料 (○CCS付) 設備・運用	◎ 設備・運用	◎ 設備・運用
	エネルギー密度	◎ 需要の2ケタ上	◎ 需要の2ケタ上	×× 需要以下
	EPR	○	○	×
	エネルギー自給率	× 輸入	○ 準国産	△ 国産だが寄与少
長期的価値	資源	× 資源枯渇	◎ Uは資源枯渇があるが、Pu利用で1万年に延長	△ 永久に存在するが量的制約
	CO2、廃棄物	×× 地球温暖化環境問題	○ 消滅処理により百年オーダーで処分可能	◎

基幹電源

分散電源

# まとめ

- 「部分最適は全体最悪を生む」の認識に基づき、システムのバランスを見て総合的に安全性を向上させる「システム安全」の考え方が重要
  - システムを過不足なくバランス良く設計し運用して安全を作り上げる
- 原子力は社会性が高いため、システムを合理的にとらえるリスクマネジメントの視点で安全を評価し社会と対話を図ることが必要とされる
  - リスクを定量化するリスク分析(確率論的リスク評価)
  - それが安全目標を満足するか対策が必要かを判断するリスク評価
  - 評価結果に基づき社会と対話するリスクコミュニケーション
- システムを合理的に比較評価できるリスクベネフィットの解析も必要
  - 合理的な安全対策のレベルであることを確認する
  - エネルギー構成として、どのシステムをどの程度受け入れるかをリスクコミュニケーションに基づき決める
- 人間は緊急事態や想定外事象の発生にも的確に対応できるレジリエンス能力を持っており、事象によって対応に時間余裕がある場合にはこれを安全対策として積極的に活用すべき

おわり

お疲れさまでした

