

福島第一原子力発電所事故が 日本のエネルギー政策に与える影響

30 August 2011

財団法人日本エネルギー経済研究所

戦略・産業ユニット 原子力グループ マネージャー

村上 朋子

ご報告内容

1. 福島事故の概要と修復の道筋
 - (1)福島第一発電所1～4号機 事故の経緯
 - (2)東海・女川の各ユニットの状態と経緯
 - (3)事故の教訓
 - (4)事故後の日本のプラント運転状況
 - (5)今後の供給力と稼働見通しポイント
2. 日本のエネルギー政策立て直しに向けた論点
 - (1)Why nuclear?
 - (2)エネルギー基本計画
 - (3)What else, if not nuclear?
3. 総括・インプリケーション



1. 福島事故の概要と修復の道筋

- (1)福島第一発電所1～4号機 事故の経緯
- (2)東海・女川の各ユニットの状態と経緯
- (3)事故の教訓と対策
- (4)事故後の日本のプラント運転状況
- (5)今後の供給力と稼動見通しポイント

(1)福島第一原子力発電所1～4号機 事故の経緯

	1号機	2号機	3号機	4号機
炉型	BWR3/MARK-I	BWR4/MARK-I	BWR4/MARK-I	BWR4/MARK-I
出力 (万kW)	46.0	78.4	78.4	78.4
現状 (2011/8/23)	炉心損傷・注水中 CV破損の可能性あり R/Bは水素爆発で大きく損傷 建屋内汚染水除去作業中	炉心損傷・注水中 CV破損の可能性あり R/B開放 建屋内汚染水除去作業中	炉心損傷・注水中 CVは健全 R/Bは水素爆発で大きく損傷 建屋内汚染水除去作業中	炉心に燃料なし SFP燃料に大きな損傷無し R/Bは水素爆発で大きく破損
3/11 14:46	原子炉自動停止、外部電源喪失・EDG自動起動			(定期検査中)
15:42	EDG故障停止→全交流電源喪失 1号機はICで、2・3号機はRCICで炉心冷却 (いずれもタービン駆動、バッテリー要)			
3/12 4:00	IC停止・炉心露出開始	仮設電源でRCIC駆動		
3/12 9:30	CVベント実施			
3/12 11:00		CVベント実施	HPCIで炉心冷却	
3/12 15:36	水素爆発			
3/12 21:00	消火系でRPVに海水注入	RCIC一時停止		
3/13 5:30		RCICで炉心冷却	HPCI停止・RCIC起動失敗	
3/13 9:00			CVベント実施	
3/13 11:55			消火系でRPVに注水	
3/14 11:01			水素爆発	
3/14 23:00		RCIC停止、CVベント		
3/15 6:00		S/P付近で水素爆発		R/B損傷

CV:格納容器
RPV:原子炉圧力容器
R/B:原子炉建屋
SFP:使用済燃料プール

IC:非常用復水器
RCIC:原子炉隔離時冷却系
S/P:サブプレッション・プール
HPCI:高圧注水系

CVベント(格納容器耐圧強化ベント):CV内の蒸気をS/Pを介して大気中に放出する操作。格納容器健全性を確保するために行う「アクシデント・マネジメント」操作の一環。

(2)東海・女川の各ユニットの状態と経緯

- (女川1・東海) 外部電源喪失までは1Fと同じ (女川2・3は外部受電あり)
- (女川2) 原子炉補機冷却系熱交換室が浸水するも、外部受電及びEDG-A起動により問題なし
- (東海) 海水系1系統被水、停止。以降片肺運転

	女川1号機	女川2号機	女川3号機	東海第二
炉型	BWR4/MARK-I	BWR4/MARK-I改良	BWR4/MARK-I改良	BWR5/MARK-II
出力 (万kW)	52.4	82.5	72.5	110.0
現状 (2011/8/23)	原子炉冷温停止中 屋外重油タンク倒壊 損傷したEDG(A)修理完了	原子炉冷温停止中 損傷した補機冷却系ポンプ 修理完了	原子炉冷温停止中	原子炉冷温停止中
3/11 14:46	(運転中) 地震発生、原子炉自動停止 起動用変圧器故障により外部 電源喪失→EDG自動起動	(原子炉起動中) 地震発生、原子炉自動停止 外部受電有り	(運転中) 地震発生、原子炉自動停止 外部受電有り R/B、T/Bブローアウトパネル 開放	(運転中) 地震発生、原子炉自動停止 外部電源喪失→EDG3台起 動。炉心水位L2まで低下、 RCIC、HPCS自動起動
16:00頃?	EDG(A)モータはこのとき 損傷?	ASW熱交換室が浸水、補機 冷却系ポンプモータB・ HPCSポンプモータB損傷		津波発生、DG用海水系1系 統停止でD/G1台使用不能。 以降、D/G2台で電源供給
3/12 0:58	原子炉冷温停止			
3/12 1:17			原子炉冷温停止	
3/12	外部受電復旧			
3/13 19:37				外部予備電源復旧、RHRへ 切り替え
3/15 0:40				原子炉冷温停止

運命の
分かれ目

外部電源/所内交流電源のいずれかが生きていたこと
海水系の被災が限定的であったこと

(3)事故の教訓と対策 ①教訓

- 1～3号機の炉心燃料破損・溶融、数%～数10%が環境へ放出
(37万～63万テラベクレル) → INES-7事故

<教訓>

- 全電源が長時間喪失した際の対策なし
- 海水系の全喪失によるヒートシンク喪失が冷却不全を深刻化
- 格納容器外の水素爆発は想定外
- 建屋破損後の使用済燃料閉じ込めに課題
- 外部事象に対する安全設計の不備・安全規制の仕組みが不十分

<対策例>

- 電源・最終ヒートシンクの多様化・分散化
- シビアアクシデントを想定したアクシデント・マネジメントの充実
- 水素爆発の予防及び影響緩和策の充実（水素再結合器等）

外部事象を含むリスクの見直し、定量的リスク評価手法を確立すると共に、リスク評価の規制への取り込みを検討すべき

出所) 日本原子力学会「原子力安全」専門委員会技術分析分科会、2011年5月21日「福島第一原子力発電所事故に関する緊急シンポジウム」を参考に作成

(3)事故の教訓と対策②短期的/中長期的な対策

<短期的な対策：2011年5月6日原子力安全・保安院確認済み>

- 全交流電源喪失→**移動式電源車**を配備、注水機能を確保
- 非常用電源の多重化（非常用DG常時2台待機を保安規定に追記）
 - 2011年4月9日原子力安全・保安院指示、電気事業者から申請
 - 5月11日 認可
- 海水系など重要な設備に**被水対策・海水ポンプ予備品確保** 等

<中長期的な対策>

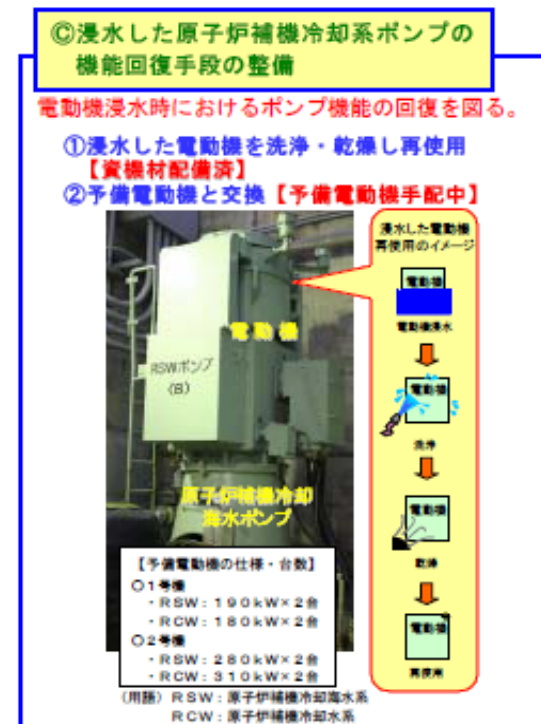
- 外部電源の信頼性強化（**複数の電源線確保・開閉所等の津波対策**）
 - 2011年4月15日
原子力安全・保安院指示
 - 5月16日全電気事業者より報告
- 津波防護策
 - より確実な水密化
 - **防潮堤**の設置
- 空冷式大容量非常用発電機の設置

志賀原子力発電所における更なる安全対策の一例

「原子炉補機冷却系ポンプの機能回復手段整備」

出所) 北陸電力プレスリリース、2011年4月22日

全ての対策完了には2-3年を要する



(3)事故の教訓と対策③長期的な安全基準ポイント

問題は「津波という起因事象」ではなく

「最終ヒートシンクの複数確保」

「全電源喪失時の適切な対応と早期電源復旧」

であり、長期的に検討・改訂すべき安全規制上の要件（候補）は以下の通り。

- ❑ 最終ヒートシンクの多様化—海水系だけでなく淡水系/空気冷却も対象に
- ❑ 全電源喪失を想定したシビアアクシデント・マネジメント要件の整備
- ❑ 共通要因故障を設計要件化

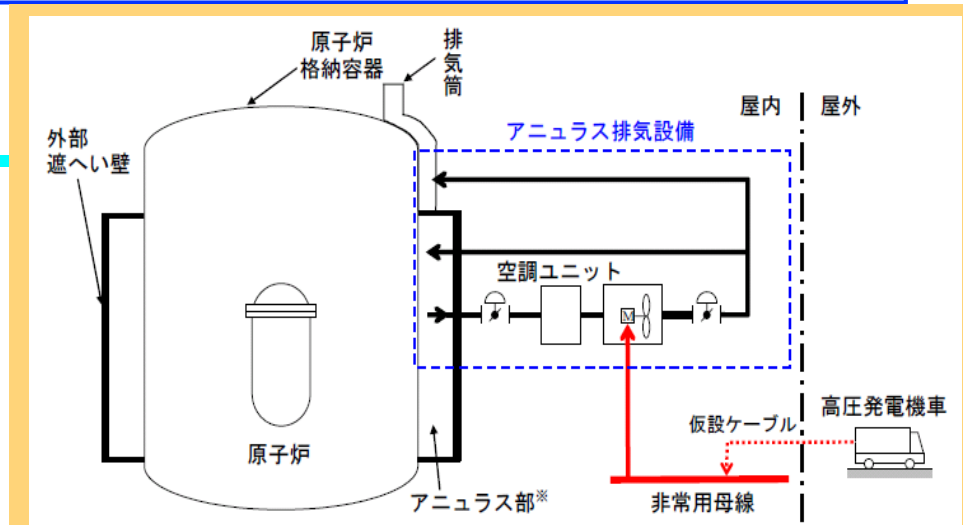
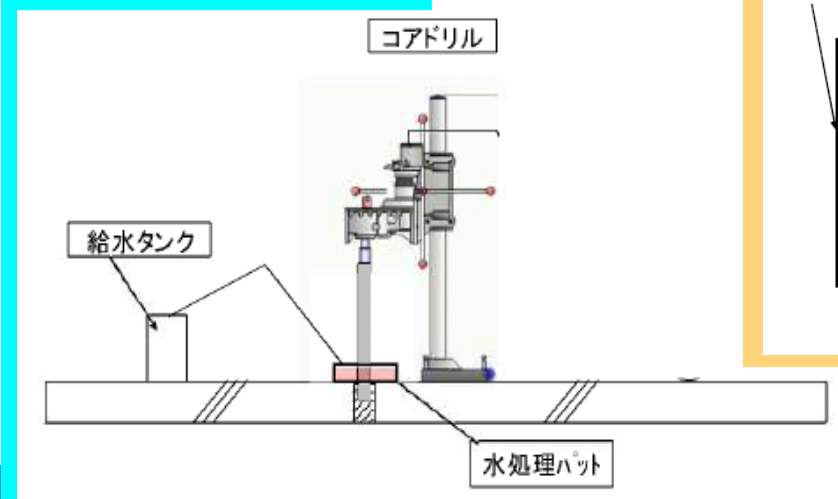
シビアアクシデント・マネジメント対策例—水素爆発防止対策

BWR：建屋への穴あけ作業ができるように資機材を配備するとともに手順書を整備

PWR：電源車からの電源にて、排気設備により水素を外部へ放出するための手順書を整備

BWR:建屋への穴あけ

出典：6月14日中国電力HP



PWR:排気設備による水素の放出

出典：6月14日九州電力HP

(3)事故の教訓と対策④シビアアクシデント対策

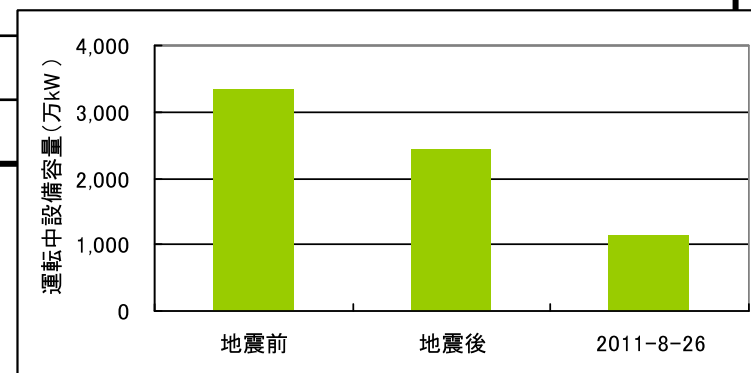
対応項目	教訓	対応内容
(1)中央制御室の作業環境確保	事故時に、中央制御室内の放射線量が高くなり、居住性が低下した。	<ul style="list-style-type: none"> ・長期間の事故対応活動を実施するため、電源車からの給電により既設の中央制御室空調設備を運転して、中央制御室の居住性を維持できるよう手順書を策定。
(2)緊急時における発電所構内通信手段の確保	全交流電源喪失や津波による浸水により、発電所構内での通信機能が低下した。	<ul style="list-style-type: none"> ・既設通信設備の代替通信手段として、トランシーバ等を配備。 ・発電所構内の内線電話の交換機等を浸水の影響を受けない箇所に移設する。
(3)高線量対応防護服等の資機材の確保および放射線管理のための体制の整備	放射線防護に使用する資機材の不足や、放射線管理上の対応の遅れにより、適切な放射線管理ができない状態が発生した。	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線防護に使用する資機材を原子力事業者間で相互に融通することを確認するとともに、高線量対応防護服を手配。 ・放射線管理要員以外の放射線教育を受講済の要員が、発電所構内外の放射線量の測定などの業務を行い、放射線管理要員を助勢するよう社内規定に反映。
(4)水素爆発防止対策	水素が原因とみられる爆発の発生により、事故がより重大なものとなった。	<ul style="list-style-type: none"> ・格納容器に隣接するアニュラス部に水素が滞留しないように、電源車からの給電により既設のアニュラス空気再循環設備を運転する手順書を策定。 ・格納容器内の水素を処理する装置の設置を計画。
(5)がれき撤去用の重機の配備	津波による漂着物により、発電所構内における作業が迅速に実施できなかった。	<ul style="list-style-type: none"> ・がれき撤去用にトラクターショベル（ホイールローダ）を発電所構内の津波の影響を受けない高台に配備済。

(2011年6月14日、経済産業省へ事業者から報告済み)

出所) 四国電力HP

(4)事故後の日本のプラント運転状況

	運転中	状況
地震前	36基	うち1基（泊3号機）2011/3/9より調整運転中
地震後	26基	▲地震により停止10基 (福島第一1～3号機、福島第二1～4号機、女川1/3号機、東海第二)
8/26	13基	○2011/3/13 大飯1号調整運転開始 ▲2011/3/18 大飯3号定検入り ▲2011/4/22 泊1号定検入り ▲2011/4/29 伊方3号定検入り ▲2011/5/7 敦賀2号計画外停止 ▲2011/5/10 川内1号定検入り ▲2011/5/13・14 浜岡4/5号政府命令により停止 ▲2011/5/14 美浜3号定検入り ▲2011/7/16 大飯1号計画外停止 ▲2011/7/21 高浜4号定検入り ▲2011/7/22 大飯4号定検入り ▲2011/8/5 柏崎刈羽1号定検入り ▲2011/8/23 柏崎刈羽7号定検入り ▲2011/8/26 泊2号定検入り
12/末	6基	
2012/4末	0基	



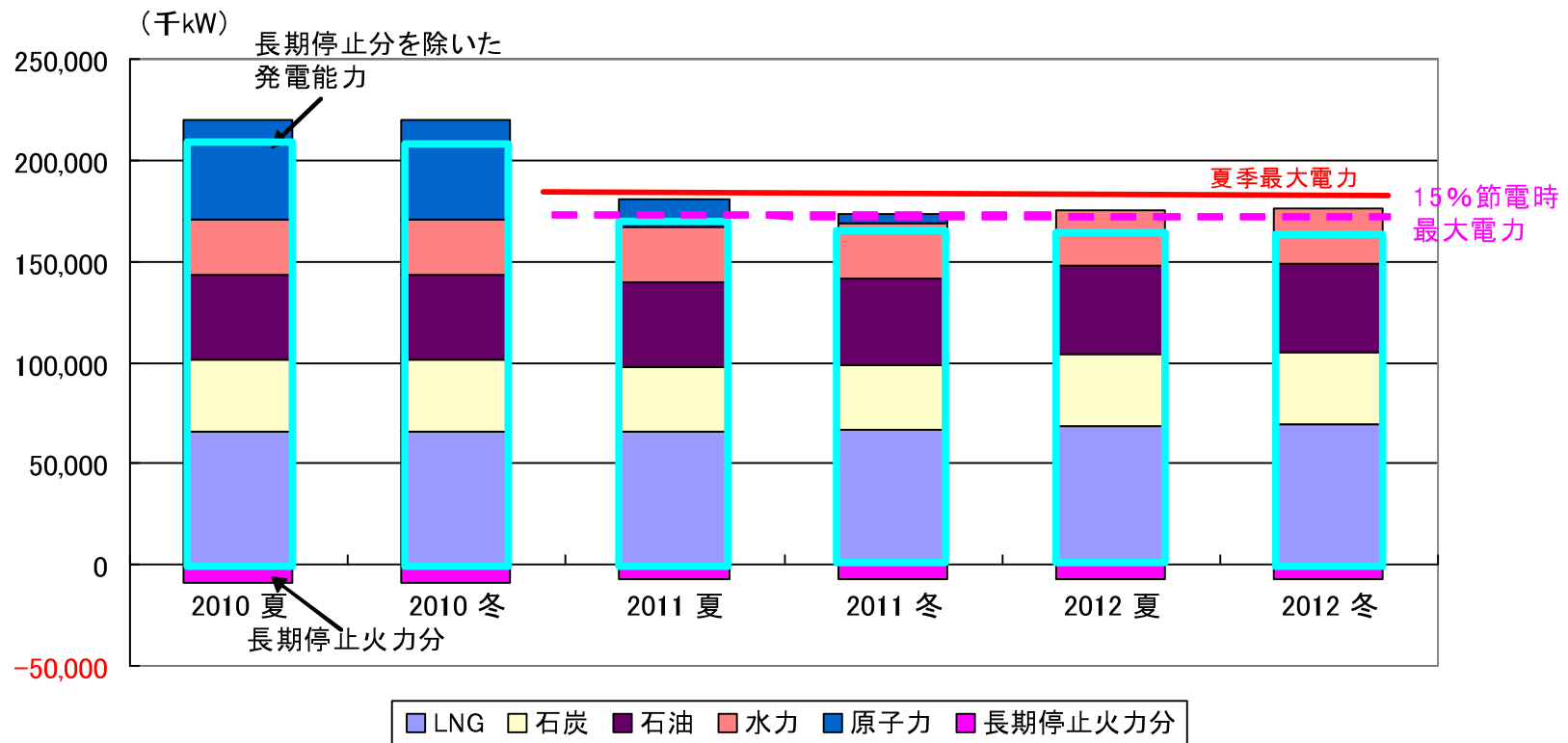
(5) 今後の供給力と稼動見通しポイント

<制度面：福島事故の特別調査委員会設定・議論>


- 事故「要因」はほぼ解明しているが、詳細プロセスや「途中で取れたかもしれないアクション」解析は今後の課題

<政治・慣習面：立地自治体の懸念>

- 「ストレス・テスト」



今後の供給力：2012年夏は2011年夏より更に厳しい状況



2. 日本のエネルギー政策立て直し に向けた論点

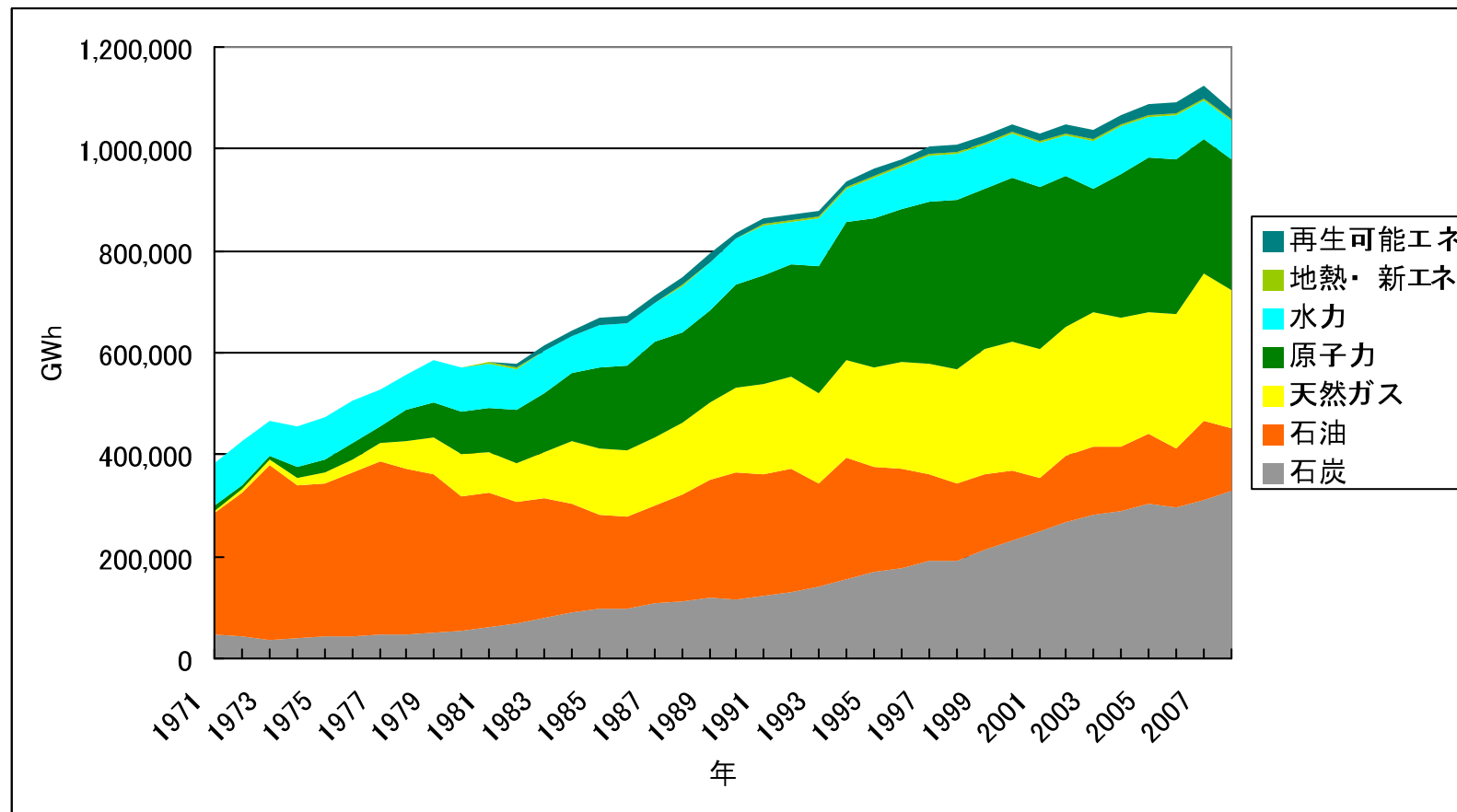
(1)Why Nuclear ?

(2)エネルギー基本計画

(3)What else, if not nuclear ?

(1) Why nuclear ? ①日本の電源別発電電力量構成

- 1970年代以降、原子力と天然ガス導入
→日本の電源は世界でも有数のバランスの取れた電源構成に
- 自給率の低さを電源/供給源多様化とエネルギー消費効率とで補完

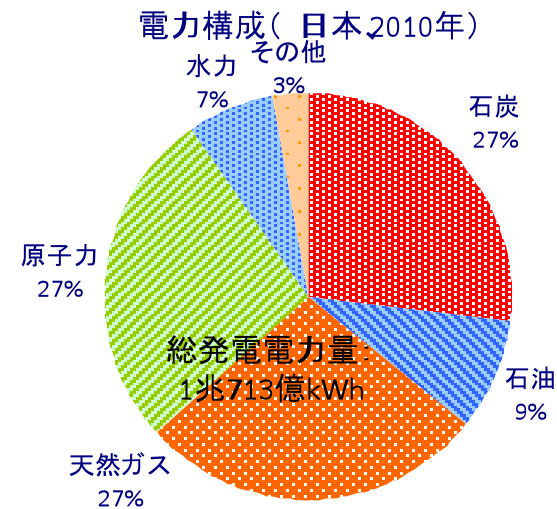
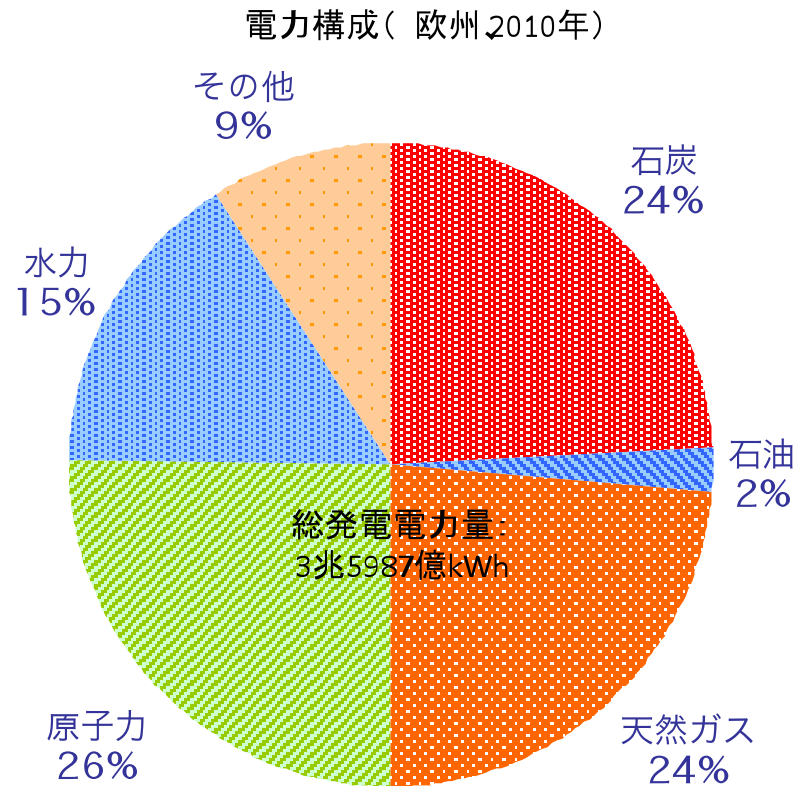


日本の電源別発電電力量推移

出所) IEA 「Energy balance of OECD Countries, Non-OECD Countries

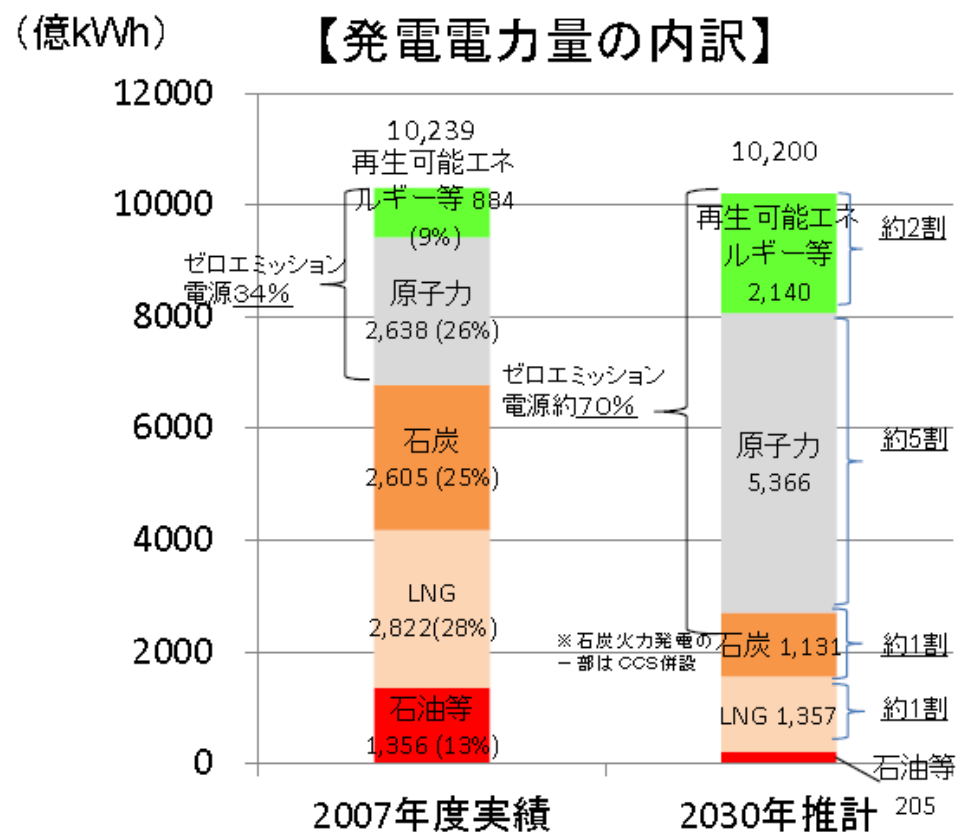
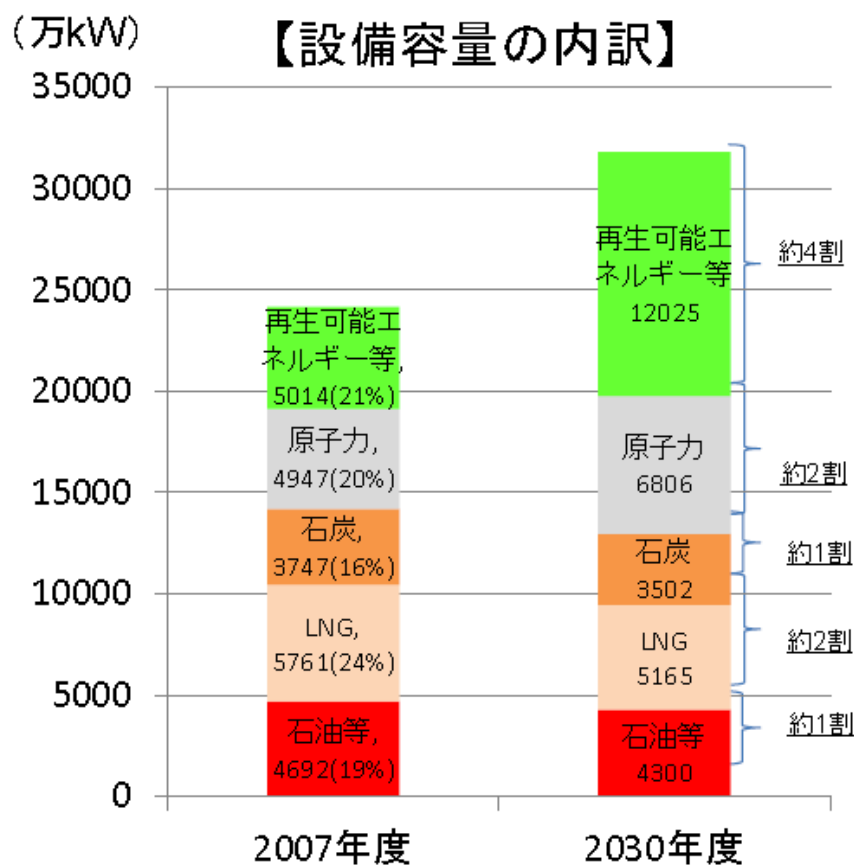
(1)Why Nuclear? ②EU vs 日本

□ OECD欧州の発電電力量構成と日本との比較—極めて類似



(2)エネルギー基本計画①2010年6月閣議決定

- 自主エネルギー比率（現38%）を70%に
- CO2排出量を1990年比30%削減
- ゼロエミッション電源比率（現34%）を70%程度に
 - 原子力発電の新設推進・設備利用率を90%に



(2)エネルギー基本計画②見直しに向けた考慮点

□ 必須条件

- エネルギー安全保障：経済成長と国民の生活水準の基盤
- 世界のモデルとなる低炭素型経済成長の実現
- 合理的なコスト負担で世界のCO2削減に貢献

□ 全てにおいて満点のエネルギーは無い→総合的評価が必要

	エネルギー安全保障	温暖化防止	コスト負担	資源量	取引流動性	エネルギー密度	事故リスク
石油	▲（中東依存）	▲	▲（価格変動）	△	◎	◎	△
石炭	△（自給率低い）	▲	○（価格変動）	○	△	◎	△
ガス	△（自給率低い）	△	△（価格変動）	△	△	◎	△
風力	◎（国産）	◎	▲（市場競争力）	◎	—	▲	◎
太陽光	◎（国産）	◎	▲（市場競争力）	◎	—	▲	◎
地熱	◎（国産）	◎	▲（市場競争力）	◎	—	▲	◎
省エネ	◎	◎	△（限界費用大）	—	—	—	—
原子力	○（準国産）	◎	？	◎	△	◎	▲

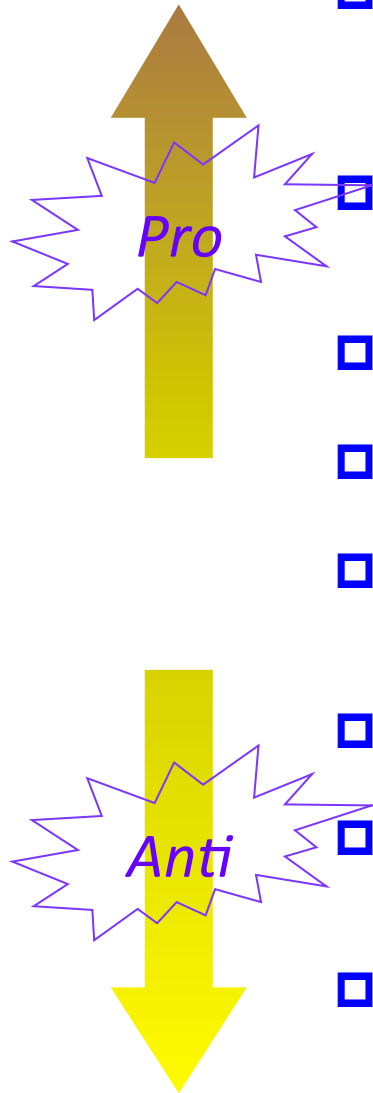
(3)What else, if not nuclear?①原子力代替

□ 設備容量100万kWで各電源を比較

		設備利用率 (%)	発電量 (億k Wh)	CO ₂ 削減量 (百万トン)	初期コスト (億円)	原子力100万kWの代替に必要な	
						設備容量 (万kW)	用地面積
太陽光	100万kW	12	10.5	0.6	5,200	667	山手線内
風力(陸上)	"	20	17.5	1.1	1,900	400	山手線の3.5
風力(洋上)	"	30	26.3	1.6	2,890	267	
小水力	"	80	70.1	4.2	16,000	100	
地熱	"	70	61.3	3.7	6,600	114	
原子力	"	80	70.1	4.2	2,790	100	
山手線内67k ² r							
LNG	"				1,640	100	
石炭	"				2,720	100	

単にコストの問題ではない

(3)What else, if not nuclear?②参考：海外動向

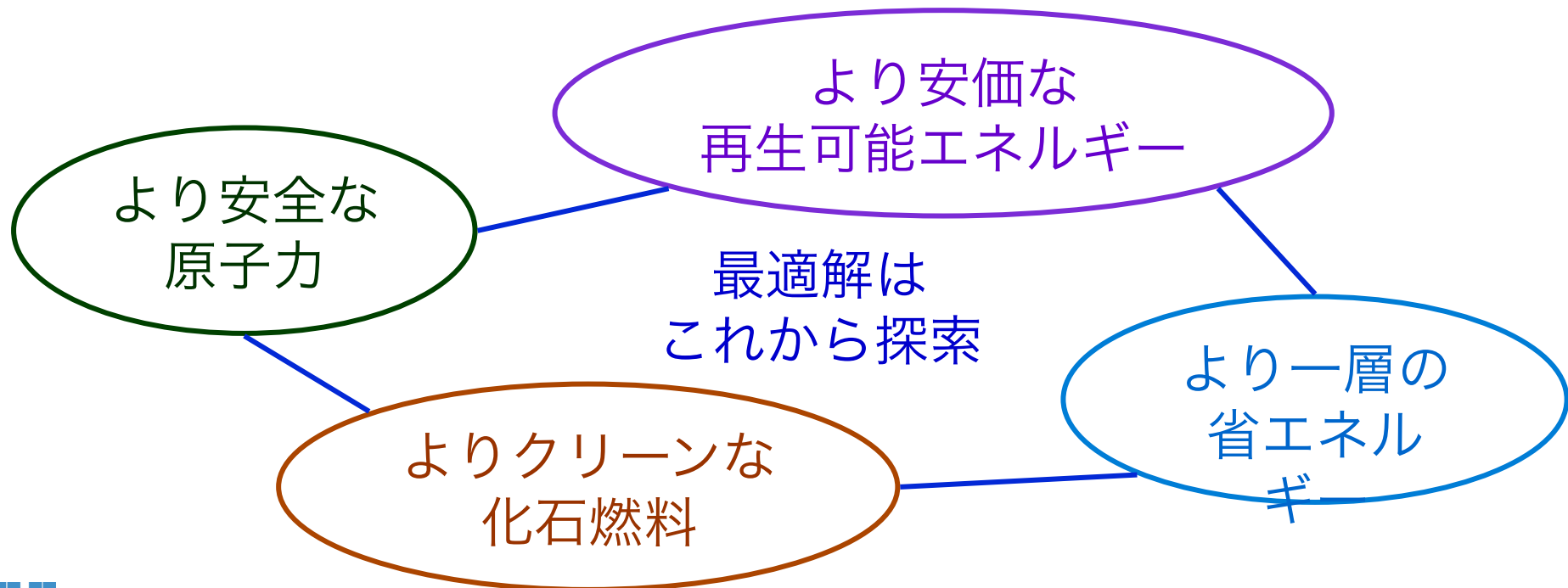


- 中国
 - 安全性確保を前提に積極的な開発方針を堅持。2015年には4,000万kW、2020年には7,000万kWを目指す
 - 8月9日、嶺澳原子力発電所2号機が営業運転開始
- インド
 - 4月26日、シン首相、新設計画引き続き推進を表明
 - 7月18日、ラジャスタン7/8号機着工
- フランス
 - 「エネルギー自給のため原子力の放棄はあり得ない」
- 米国
 - 3月15日、現エネルギー政策の維持を表明
- ロシア
 - 事故後も国内外での積極的な開発姿勢を継続
 - 6月30日、ヨルダンに新規建設提案書を提出
- イタリア
 - 6月13日、国民投票で原子力新設禁止多数
- スイス
 - 5月25日、既設炉の安全性を維持しつつ2034年までに順次廃炉の方針を発表
- ドイツ
 - 6月6日、2022年までの国内原子力発電所全廃止を閣議決定

「お金持ちの国だけが脱原子力を議論できる」
By ウクライナ首相、3月15日

3. 総括・インプリケーション：今後のエネルギー選択

- 原子力選択の是非はエネルギー・産業・経済状況による
- 「お金持ち」 or/and 選択肢のある国は「脱原子力の議論が可能」
 - 国民合意のもとで再生可能電源普及に注力することも可能
 - 安全性検証を理由として既設炉を再稼動保留することも可能
- エネルギー安全保障と温暖化防止は今後とも必須条件
- 完璧なエネルギー源は無い→以前にも増してエネルギー多様化が重要





ご清聴ありがとうございました。

Thank you
Vielen Dank
Merci beaucoup
Tack så mycket