

原子力委員会  
2013年7月17日(水)

# 福島事故後の中国原子力開発

日中科学技術交流協会  
元JAEA北京事務所所長  
永崎 隆雄

# 内容

1. 中国の原子力開発の特徴と基本方針
2. 原子力発電と核燃料工業の現状
3. 原子力開発と規制体制の特徴
4. 福島事故後の原子力開発計画
5. 第3世代炉開発と輸出戦略
6. 新型炉開発
7. 中国の課題
8. 参考

# 1. 中国の原子力の特徴と基本方針

エネルギー消費世界一 日本の6倍、石炭70%過多、原子力1%低率 発展  
余地

経済発展と国防核能力の維持(軍転民 自力国産化堅持)の両得

海外技術導入(引進來) 国産化(国内産業化と中国知財権化)

国際展開(走出去)

三歩走戦略 軽水炉(原則PWR) FBR・再処理リサイクル 核融合

原子力発電と核燃料生産の一体発展 アジアの燃料供給

3大原子力事業者 激しい競争

電力の地域独占なし 発電と送電の分離 原子力は100%買取(安定経営)

3大原子力設備メーカー + 2大重工(巨大集約化 臨港化) 激しい競争

メーカーに設計エンジニア機能無し、電力側にあり

# 2. 原子力の現状

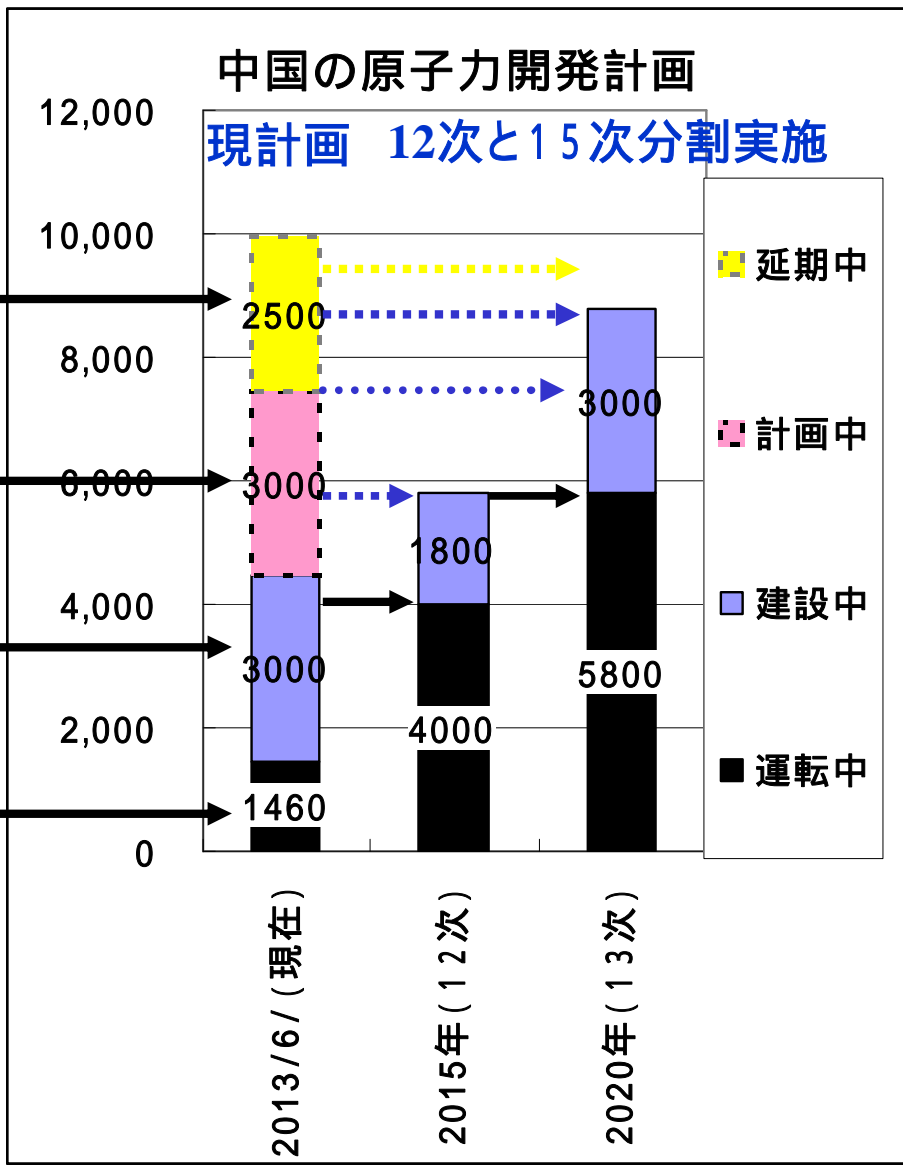
内陸計画中 (2015年以降に延期)  
20基 2,500万kW

•計画中 29基 3,000万kW

•建設中 28基 3,000万kW

•運転中 19基 1,460万kW  
高速実験炉と高温ガス実験炉を含む  
2012年全電力 114,400万kW  
の1.3%

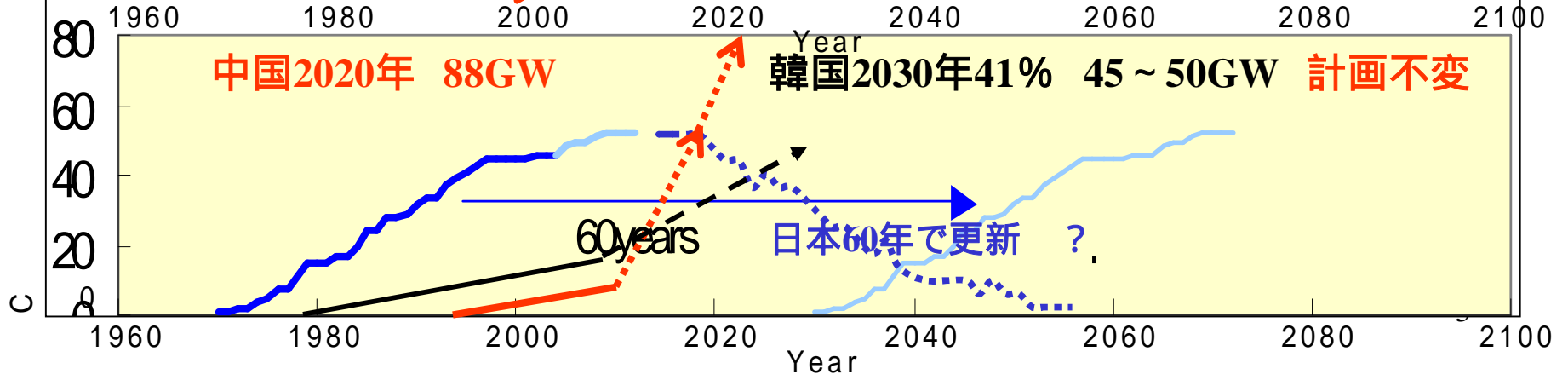
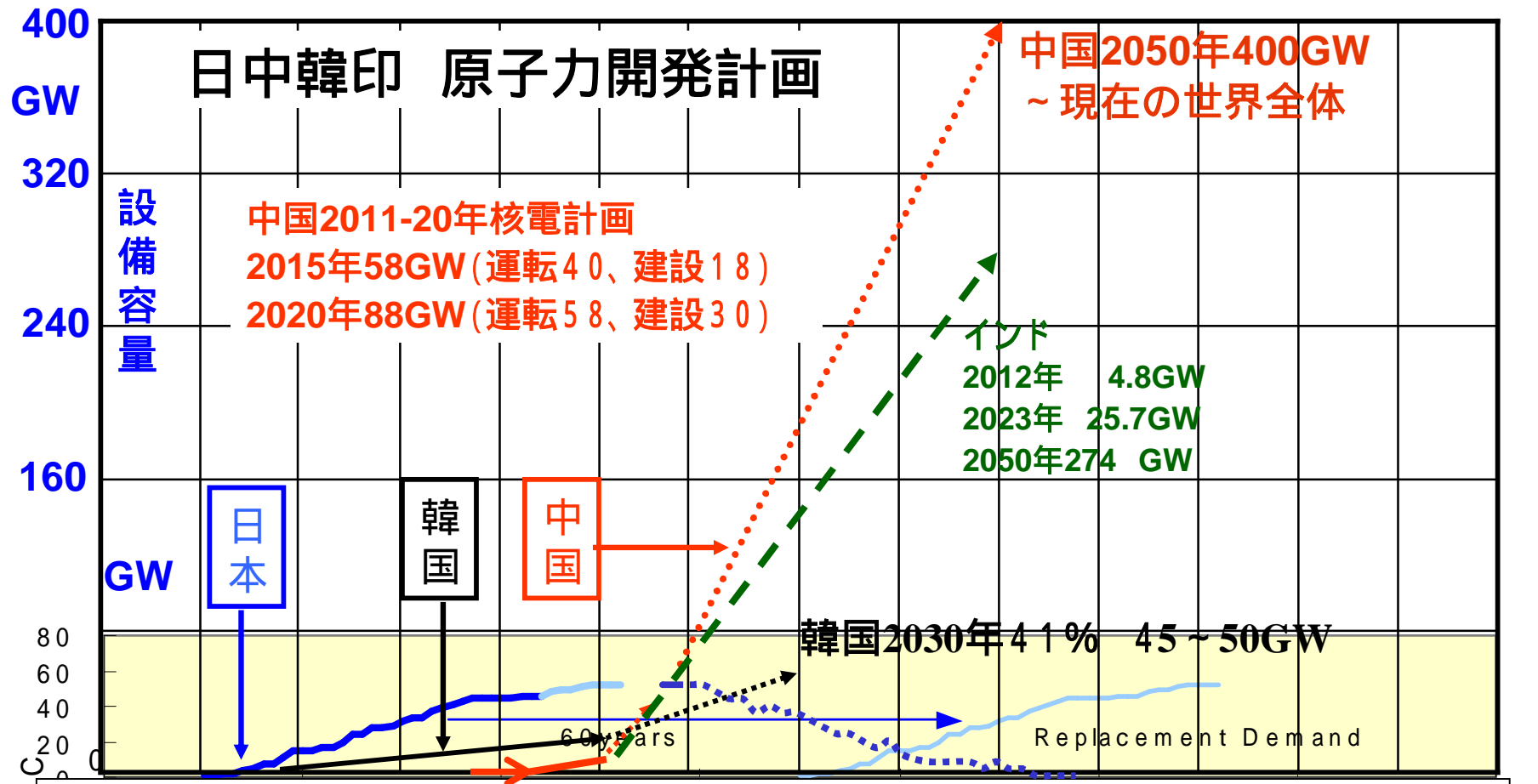
現状2013年6月



建設中と計画中は世界一の規模

原子力停滞せず

# 日中韓印 原子力開発計画





# 原子力発電の稼働率

東電事故対応の影響？

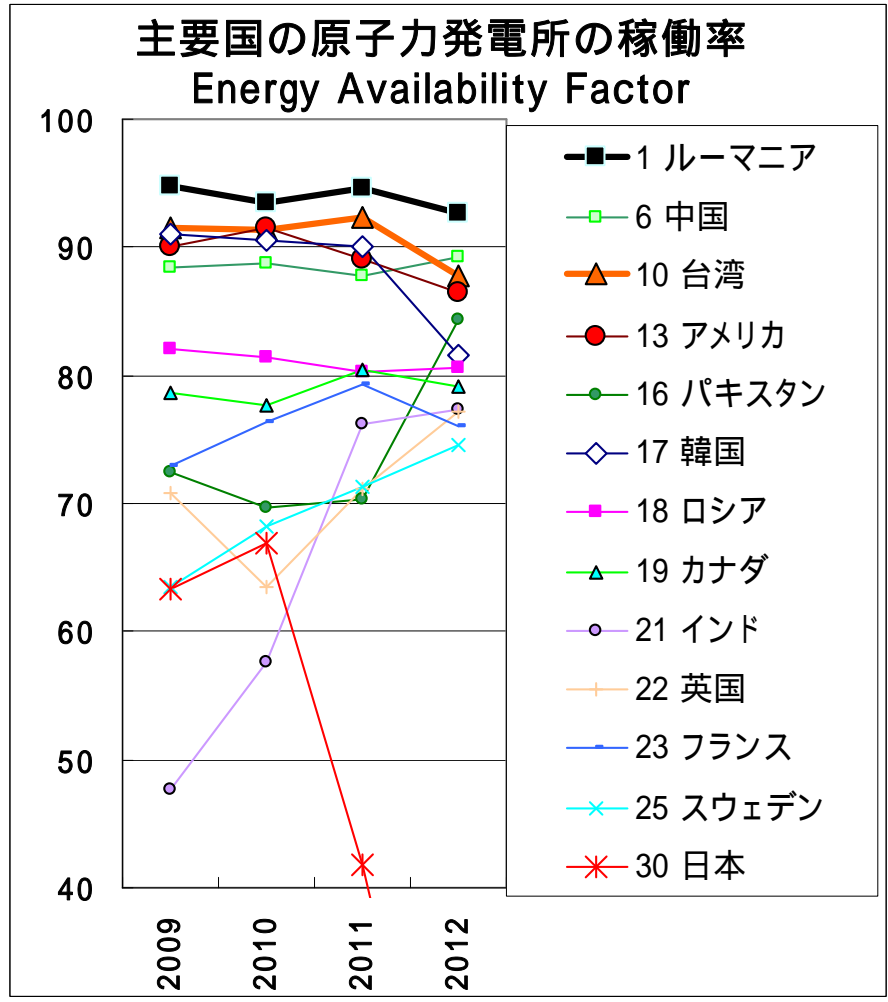
中国は高稼働を維持 向上

米国・台湾・韓国稼働率が低下

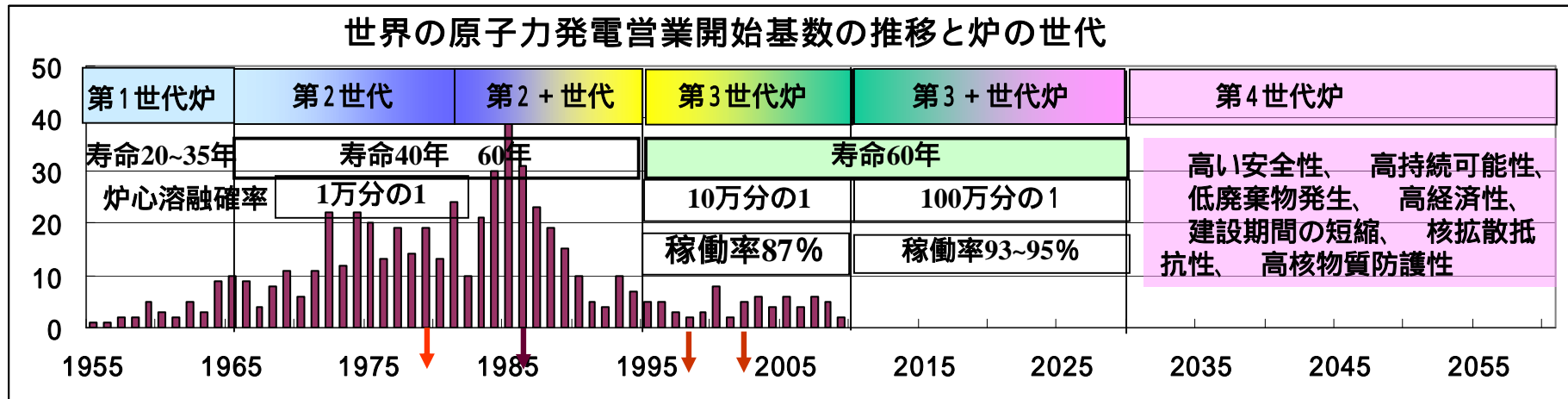
日本は事故前から悪化、事故で急降下

順	国	稼働率 Energy Availability Factor			
		2009	2010	2011	2012
1	ルーマニア	94.8	93.5	94.6	92.6
2	ブラジル	80.7	83.8	95.7	92
3	フィンランド	95.2	91.9	92.8	91
4	ドイツ	73.6	76.7	82	90.5
5	スロヴァキア	86.7	87	90.6	90.4
6	中国	88.4	88.8	87.7	89.2
7	ハンガリー	87.6	88.6	88.9	89
8	スペイン	77.5	90.1	83.2	88.7
9	ブルガリア	86.7	84.3	90	88.5
10	台湾	91.5	91.4	92.4	87.7
11	オランダ	95.1	88.9	92.1	86.9
12	スロベニア	90.8	89.3	98.6	86.5
13	アメリカ	90.1	91.5	89	86.5
14	チェコ	79.6	81.6	81.8	86
15	スイス	92.2	88.6	89.5	84.8
16	パキスタン	72.5	69.7	70.3	84.3
17	韓国	91.1	90.6	90	81.6
18	ロシア	82	81.4	80.3	80.6
19	カナダ	78.7	77.6	80.4	79.1
20	南ア	74	82.9	81.3	77.4
21	インド	47.7	57.6	76.2	77.3
22	英国	70.8	63.4	71.2	77.1
23	フランス	72.9	76.4	79.3	76
24	ウクライナ	74.5	76	75.6	75.2
25	スウェーデン	63.4	68.2	71.3	74.5
26	ベルギー	87.3	87.5	88.7	74.1
27	アルゼンチン	93.1	81.9	72	71.7
28	アルメニア	69.8	69.7	73.7	66.4
29	メキシコ	88.5	53.6	80	62.6
30	日本	63.3	66.9	41.8	9.8

IAEA PRIS database



# 中国原子力発電の技術レベル 後発最新導入



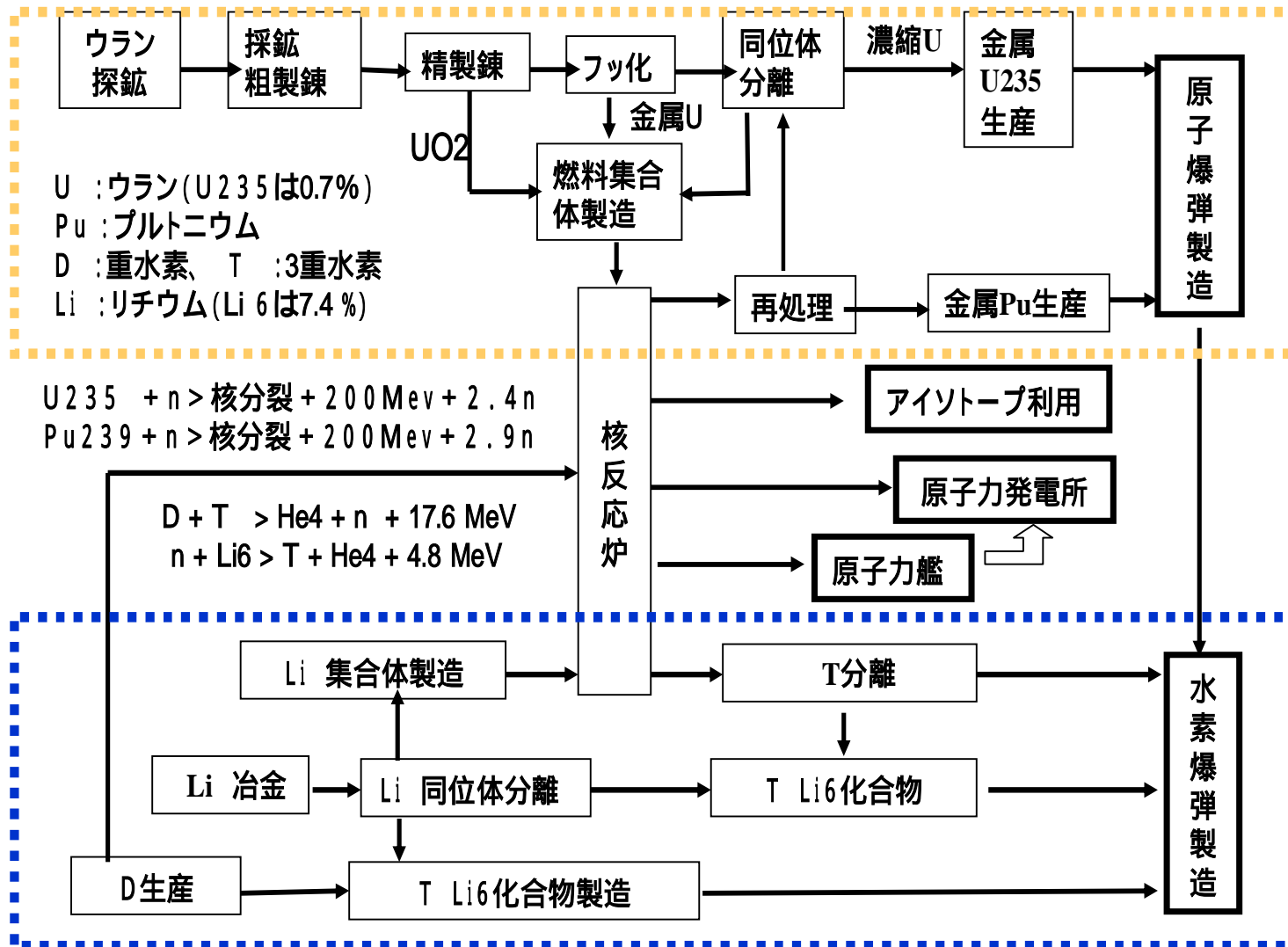
1979 TMI事故    1986チェルノブイリ事故    1998 インド・パキスタン核実験    2001 アメリカ同時多発テロ事件

世代	第2 : 1	第2+ : 3 2基	第3 : 5基	第3+ : 4 8基	第4 : 5基
運開	1994 ~	1994 ~	2002 ~	2013年 ~	実証炉2015年 ~
特色	商業炉	運転中改良	進化的改良軽水炉	進歩的設計	革命的設計
運転中	CNP300 : 1基	M310 : 2基 CPR1000 : 6基 CNP600 : 4基	CANDU6 : 2基 VVER1000 : 2基		高速実験炉:CEFR 高温ガス実験炉 HTR-10
建設中		CPR1000 : 1 8基 CNP600 : 2基	VVER1000 : 1基	EPR1700 : 2基 AP1000 : 4基	HTR-PM石島湾 1基
計画		中止 第3+化	CPR1000+ : 2基 VVER1000 : 1基	AP1000 : 2 8基 CAP1400 : 2基 ACPR1000 : 8基 ACP1000 : 2基 ACP100 : 2基	BN600 : 2基 Th溶融塩炉(決定)



# 核燃料工業

## 中国の1987年代の核工業 軍転民



# 中国と日本の核燃料サイクル比較

国	原子力発電規模	ウラン需要2013年	ウラン確認埋蔵量	採鉱製錬	転換	濃縮	再転換	成型加工
単位	万kW	トU/年	トU	トU/年	トU	トUSWU/年	トU	トU
中国	運転中 19基 1,461 建設中 28基 3,047 合計 47基 4,500 世界占有率 9.73%	需要6000 生産1500 輸入:カザフ、ニ ジェール、加、仏、 豪	確認埋蔵量109,500 推定追加 56,600 合計 166,100 世界シェア2.3%	衡陽1100 撫州1100 生産1500	包頭 2000	漢中 500 蘭州1500 2013年遠心 機国産化	包頭 200 宜賓 400	包頭 CANDU用 200 AP1000用 200 HTR-PM用 30万球体 研究炉用 金属U 宜賓 PWR用 450
日本	運転中 2基 236 停止中 48基 4379 建設中 4基 442 合計 54基 5057 世界占有率10.76%	需要4425 生産 0 輸入:豪、加、ナミ ビア、ニジェール、 米他	確認 7,701	輸入	輸入	六ヶ所1050	三菱原子燃 料 450	GNF-J BWR用750 MNF PWR用440 NFI熊取 PWR用284 NFI東海 BWR用250

## 中国:原則国産化政策

- ウラン資源:原則国産 不足 輸入
- 製錬転換再転換:国産 包頭:UO<sub>2</sub>、金属U、HTR、研究炉
- 濃縮: 国産 遠心機も国産化
- 成型加工:導入国産
- 再処理:国産 小規模試験中  
商業用 2020年仏より導入
- 低レベル:国が定める区域において浅地層処分 西北と北龍
- 地層処分:サイト北山地域選定

## バックエンド

### 高レベル廃棄物処分計画 集中的深地層処分

国(環境保護部)と各事業者の共同責任事業  
 中核清原環境技術工程公司  
 地方政府は支援義務

	再処理	低レベル廃棄物	高レベル廃棄物
	トU/年	m <sup>3</sup>	
中国	玉門(504) 2013年 50 2020年 800	処分場 北龍8800 西北6000	立地:北山地区 現在:立地評価中 2020年地下研完成 2030年実証試験 2040年処分実施
日本	東海 約80 六ヶ所 800	六ヶ所 80,000	立地:未定 幌延深地層研究センター 東濃地科学センター 東海: エントリー 10 東海: クオリティー

# 中国の核燃料サイクル立地

# 戦時体制配置の痕跡

## 中国核施設

中ソ対立 ハルビン工場分散

戦争想定 核燃料工場の分散

対米・台湾 核燃料工場内陸設置

ハルビン

玉門  
酒泉  
再

包頭  
転

北京

蘭州

漢中

上海

成都

宜賓

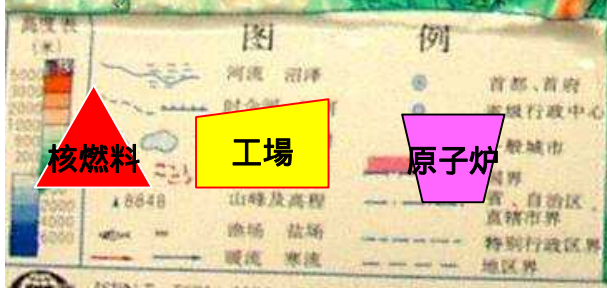
徳陽

衡陽

核燃料

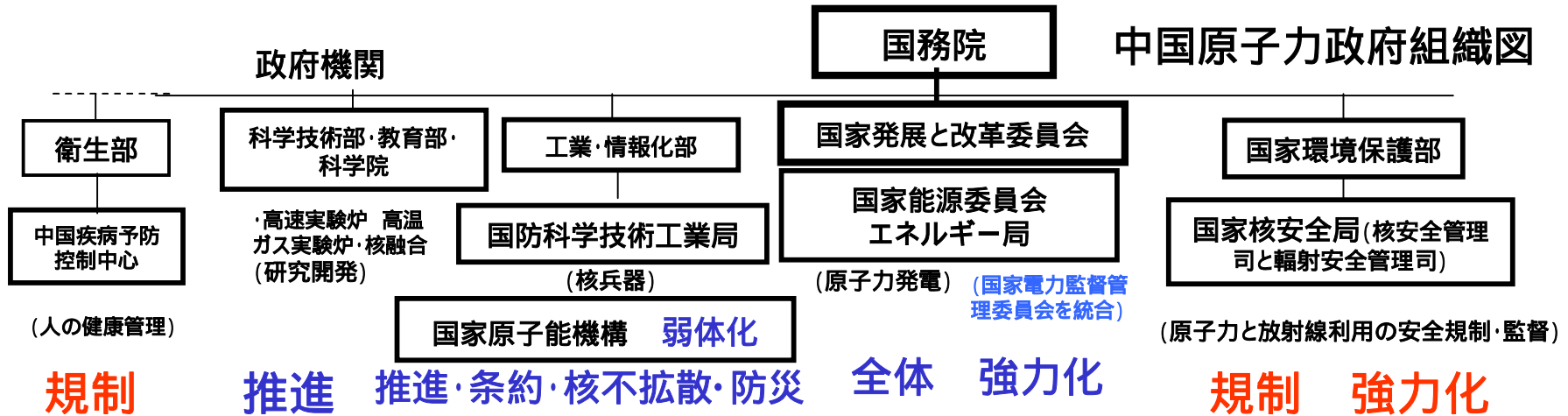
工場

原子炉



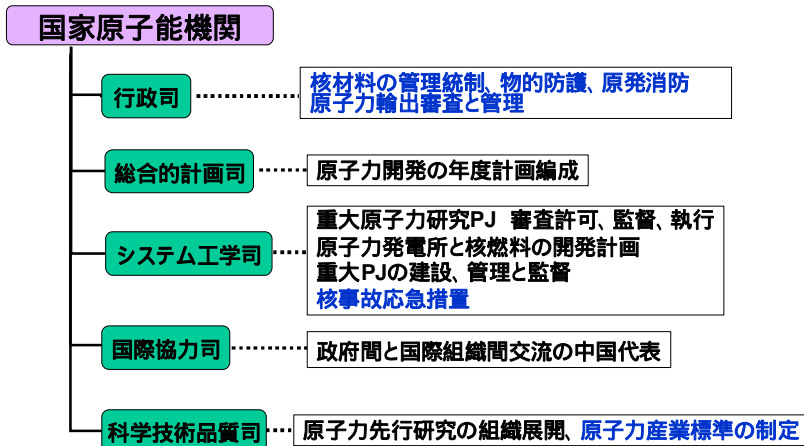
# 3. 原子力開発と規制体制の特徴 日本との差？

2013年4月

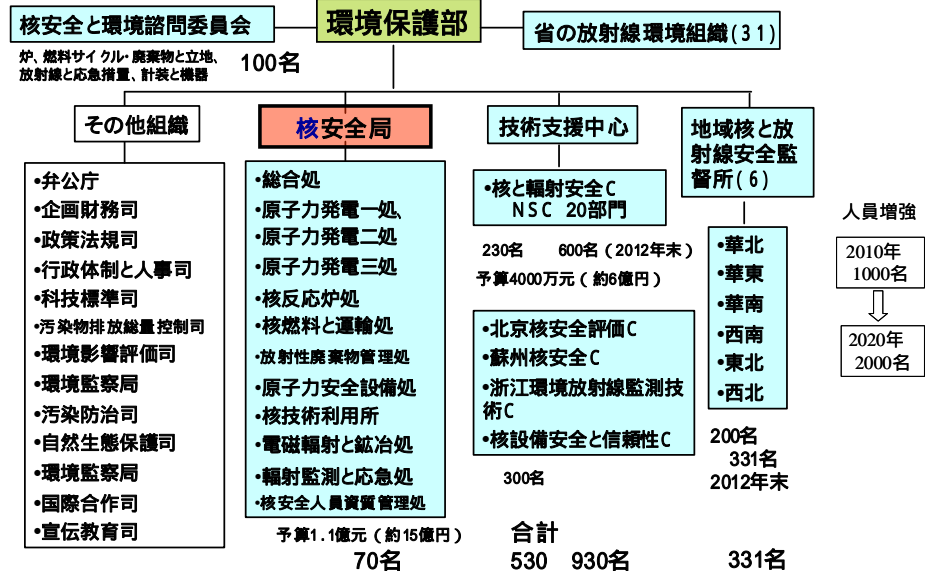


・軍が絡む 事故対応は戦争時対応

## 国家原子能機構の担当と組織 (原子力平和利用 事業規制) (行業規章)



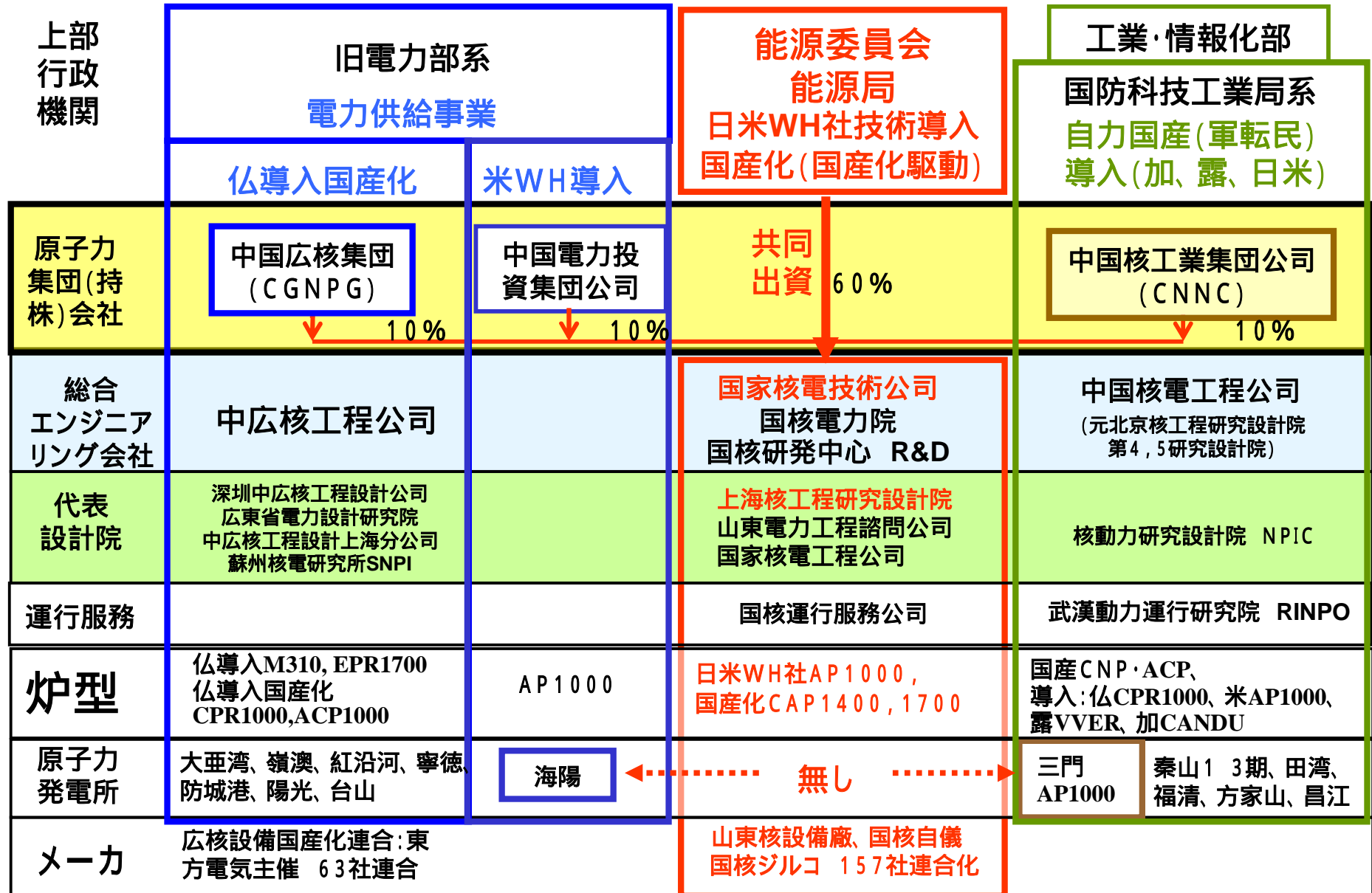
規制と推進は分離済み



国家エネルギー局 核電安全規画」と核電管理条例の編纂  
国家核安全局; 原子力と放射線安全監督能力建設方案

# 中国原子力産業組織図の特徴

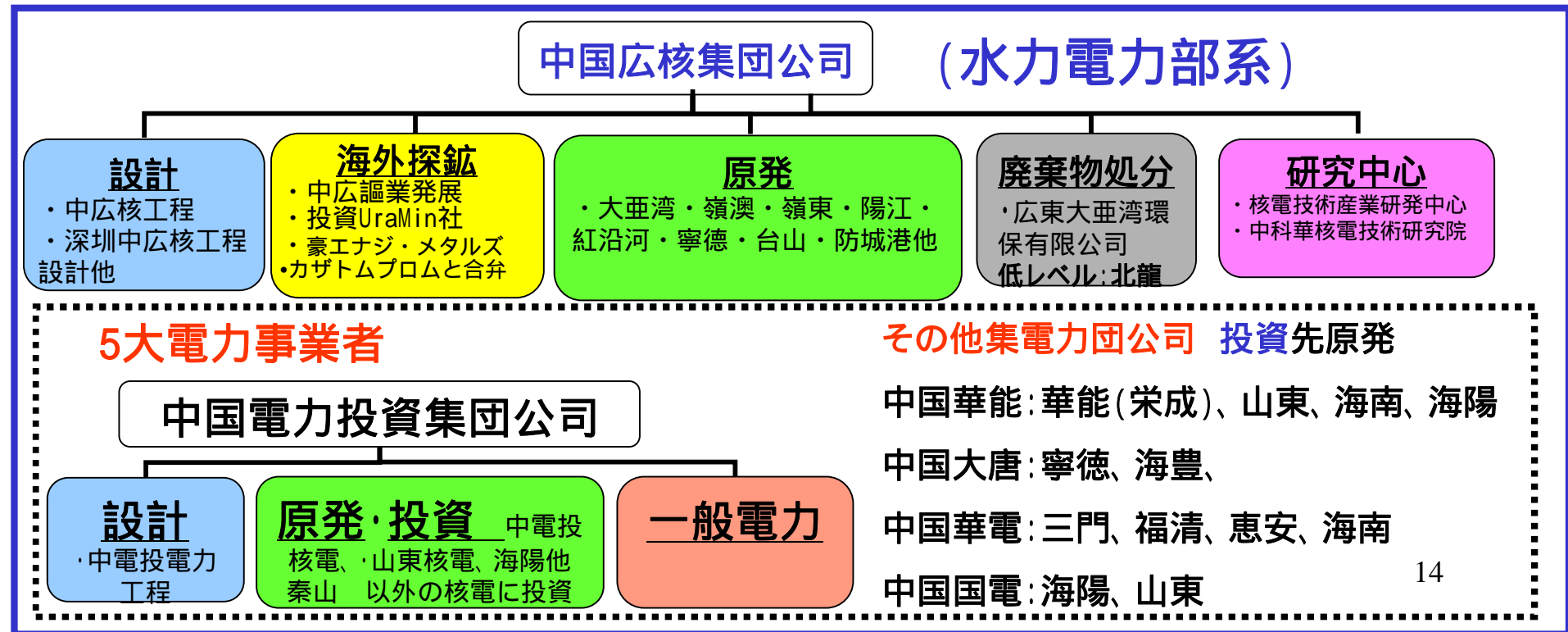
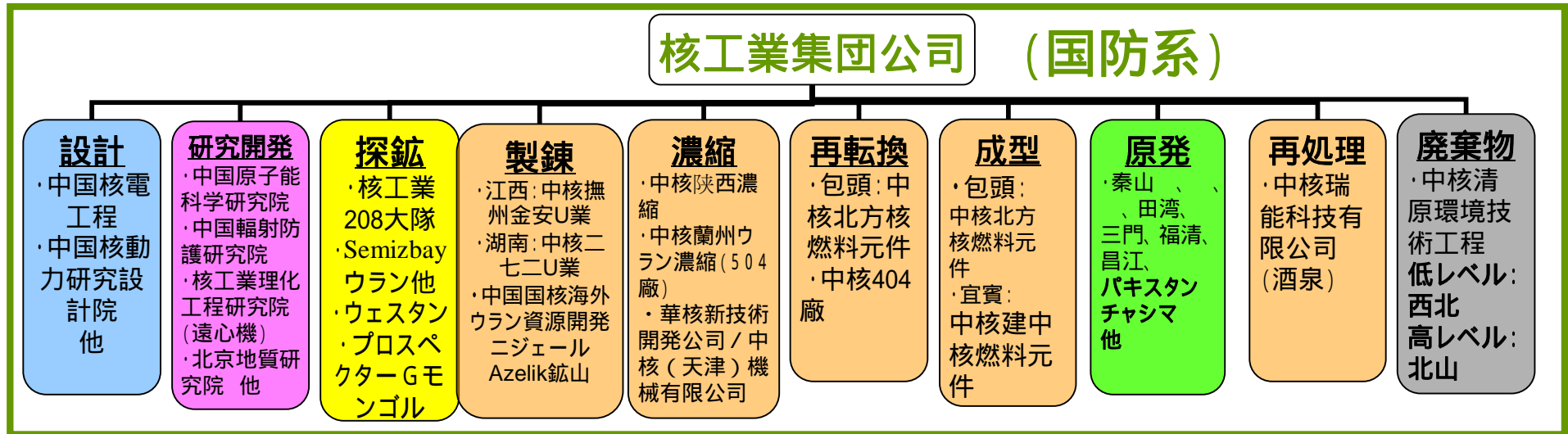
2013年4月



日本 電力に総合エンジ無く、メーカーにあり    メーカーなくして安全無し    受注無くしてメーカーなし    海外展開必須

# 中国原子力事業者体制

# 設備製造企業は別会社



# 原子力発電設備製作集団の能力集約化状況

2013年

	上海電気集団 上海電気重工集団		東方 電気集団	ハルビン 電気集団	第一重型 機械集団	第二重型 機械集団	その他	
原子炉圧力容器 蒸気発生器	上海重型 機器廠	上海電気 核電設備	東方鍋炉 広州重型機械	ハルビン鍋炉廠 秦皇島重型装備	一重 核電 石化 大連	二重 鎮江 基地	山東 核設 備廠	
蒸気タービン 発電機	上海電気 電站設備(有)		東方汽輪 東方電機廠	ハルビン汽輪 ハルビン電機				
炉内構造物	上海(電気)第一機廠		武漢核設備					
制御棒駆動			東方汽輪					
主配管等	上海(電気)重型機器廠		東方鍋炉		中国 一重	二重 徳陽 基地	中船 重工	重慶 ポンプ
ポンプ類	上海電気KSB核電ポンプ		東方アレバ核ポンプ	ハル電交直流電機				潘陽 送風機
計装設備	上海電気電站設備		東方電機廠	ハルビン電機	北京核儀工廠	中核武漢核電 運行技術股份	北京広利核 系統工程	
燃料交換機	上海電気 機重運送機械廠							
環状クレーン							大連 重工・起重	太原 重型機械
バルブ類	中核蘇閩バルブ	航天總公司研究所	西安核設備	ハル電站バルブ ハル電交直流電機	江蘇神通バルブ	大連大高バルブ		
土木建設	核工業建設集団		核工業華興建設有限公司	第22建設公司(CNI22)				

上海電気:臨港工場に集約

ハルビン電気:ハルビン3大動力廠と秦皇島重型装備 基地改造

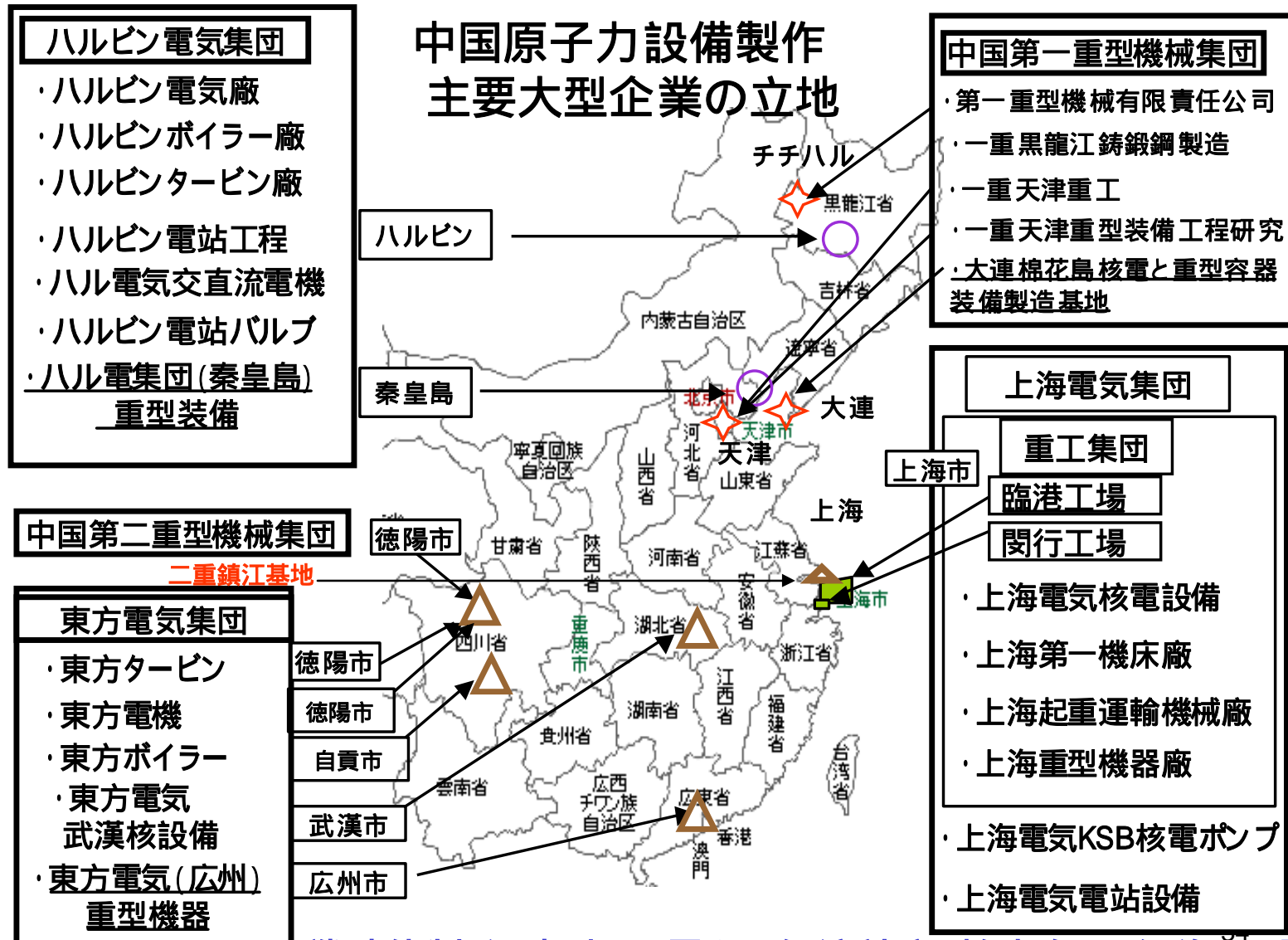
二重:徳陽と  
鎮江へ

東方電気:四川徳陽と広州南沙と武漢に分散と集約化

一重:チチハルと大連綿花島へ集約化

# 中国主要原子力メーカーの工場立地

集約ワンストップ工場化と重工の沿海臨港埠頭付き工場への移設が進んでいる



戦時体制(深内陸)配置から経済効率・輸出向け(沿海)配置へ



## 4 . 福島事故後の原子力開発計画

事故後の対応の流れ: 1 大方針決定 2 検査 3 評価 4 計画決定 5 実施

2011年3月15日事故後4日、大方針決定「原発は改善し発展させる」 迅速決定

全面総点検・評価実施: 運転継続(停止のリスクを回避)

新規の建設 審査/許可 一時停止

再開: 原子力安全計画の決定公布、原子力発電中長期発展計画の調整改善公布後

2011年12月9日 環境保護部 原子力安全計画 承認可決 国務院審議付議

「核安全と放射性汚染防止“12-5”計画と2020年長期目標(草稿)」

2012年2月8日 国務院 総合安全検査報告を審査、改善措置発令

2月20日 能源局 原子力発電安全技術研究開発計画(運転・建設中核電の改善)

5月31日 温家宝総理 原子力安全計画を原則承認 (前の3つの報告を統合)

6月15日 原子力安全計画公表 公聴へ

2012年10月24日 原子力安全計画と原子力中長期計画 公布

新核電の建設審査/許可停止を解除

2013年1月1日 エネルギー発展第12-5計画 発布

# 原子力安全中長期計画とエネルギー発展12-5計画

2015年までに798億元(約1兆円)

## 12-5(2011年～2015年)計画

運転中と建設中施設安全改造 完成

第3世代化、堤防かさ上げ、耐震強化、

新規原子力発電: 第3世代炉規準適用

炉心損傷確率(CDF) <  $10^{-6}$ /炉年

大規模初期放射性物質放出確率(LERF) <  $10^{-7}$ /炉年

原発建設と核燃料工業発展の適合化

中低レベル放射性廃棄物処場完成

緊急時指揮、対応、モニタリング、技術支援能力を建設、物資装備配備充実

国級安全監督技術研究開発基地 基本建設完成: 監督技術支援プラットフォーム創設、安全分析評価、核計算と実験検証能力を備え、全国放射線環境モニタリング連絡網の建設完了、モニタリング能力の建設基準100%達成

大型加圧水型炉、高温ガス冷却炉と使用済燃料再処理の重大専門プロジェクトの成果活用

## 13-5(2016年～2020年)計画

原子力発電安全を国際先進レベルに向上、放射性污染防治レベルを高め、放射線環境品質を向上。

放射性物質大量放出実質ゼロ化

HLW処理処分最終設計完成

地下実験室建設完了

日本類似の地上実験室エントリー/クオリティ建設

全面完成

全面完成

## エネルギー発展12-5計画

重点実証P(CAP1400,ACP100,HTR-PM,CDFR) 重大科技研究P(トリウム炉), 再処商業プラント

# エネルギー発展第12-5計画の原子力開発方針

**内陸部建設中止** 沿海に実証済炉少数調和建設 規制・製作・燃料・人材育成等の発展速度調和

新規建設：**世界最高安全水準の第3世代炉標準で建設**、百万kW級の先進加圧水型原子炉を主 事故発生を100分の1化 損失10兆円を100分の1化

**安全強化で経済性向上 安全と経済性の同時成立**

原子力発電の建設リズムを**ゆっくりと秩序よく(有序)**調和させる

**再処理技術領域を重点**に技術実証を加速、早期実用生産化(2020年商業化)

**機器設備の国産化達成**

近代的な原子力発電産業体系の**原子力発電強国を樹立**

中国広核電設備**国産化**聯合研究開発センター企業集団

国家核電技術公司**AP1000全設備製作企業連携**

**高温ガス炉や商業高速増殖炉と小型炉など新技術を積極開発** 重点実証Pと重大科技研究プロジェクト

国際協力深化 引進來、**走出去(輸入導入と輸出)**

# 第3 + 世代炉の例 AP1000

## 安全性と経済性の同時成立例

電気がなくても自然に止まり、自然力で冷却継続

AP1000の固有安全対策例(全電源喪失時)

発生水素は触媒式水素再結合器と電池式着火器

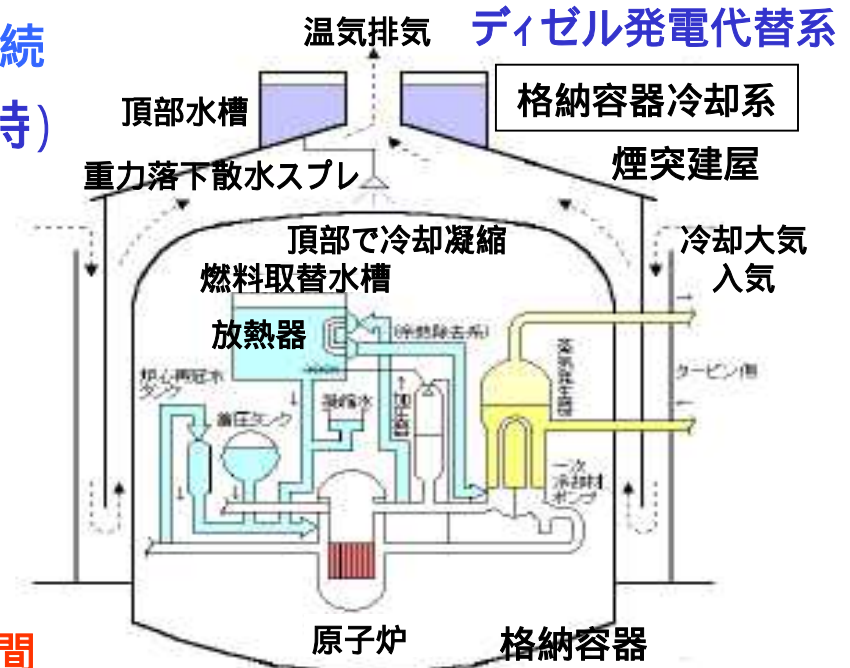
制御棒重力落下 炉の核反応緊急反応停止

燃料取替プール利用 自然対流力冷却 能力2時間

燃料取替プール水蒸発 格納容器散水冷却 72時間

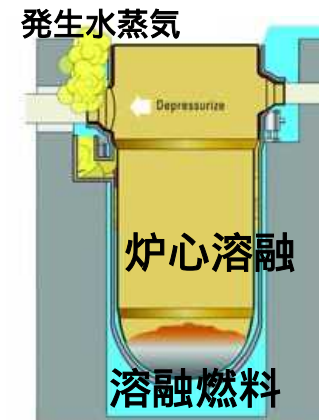
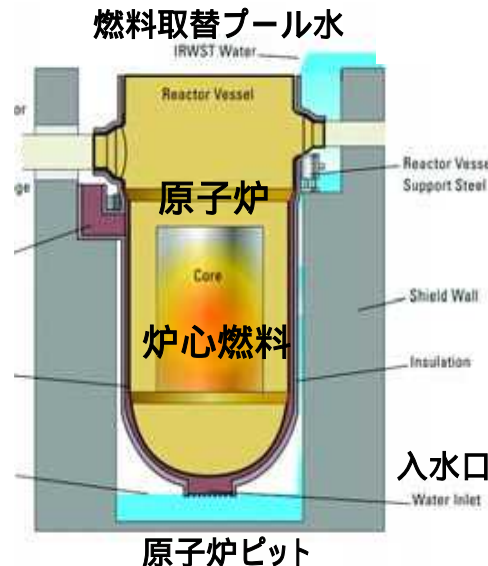
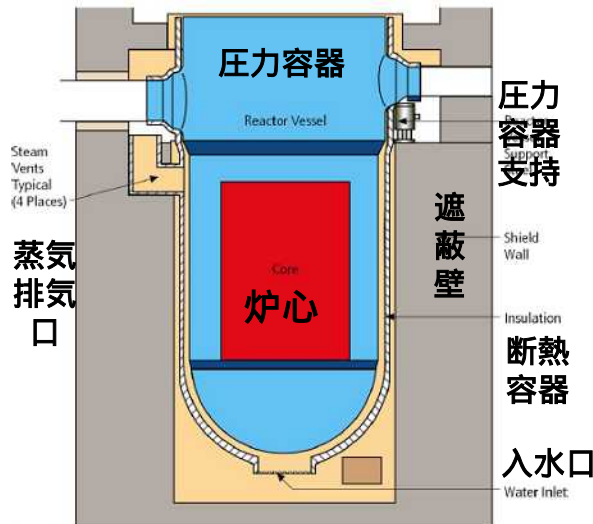
水蒸気凝縮再利用 格納容器空冷 無限時間

燃料溶融 炉外殻注水 格納容器空冷無限時間



炉心冷却系は全て格納容器内設置

炉心溶融物の炉内保持・冷却



WH社提出  
安全強化で  
経済性も向上  
簡素化が  
同時成立解

## 5 . 第3世代炉開発と輸出戦略

### 1歩 自力国産化と海外導入国産化 海外導入が順調

自力開発 : 核工業集団 パキスタンへ輸出

海外導入 : 中国広核集団(仏) 核工業集団(カナダ、露)

### 2歩 国内市場で熟成練磨 引進來

第2 + 世代の普及 自主CNP600(核工業), 導入国産CPR1000(中広核)

第3 + 世代の導入消化 米国AP1000(核工業と中電投)と仏EPR(中広核)

設備製造や燃料供給事業の整備 外国企業誘致 国内企業との合併

2012年192社(仏59社、米34社、独32社、伊14社、日・英・露各9社他)進出

### 3歩 海外市場進出 走出去

導入先海外企業と連合 : AP1000(東芝WH社-国家核電)、EPR(アレバ社-中広核)

中国知財権炉を独自輸出 : 第2 + 世代CNP650(核工業)

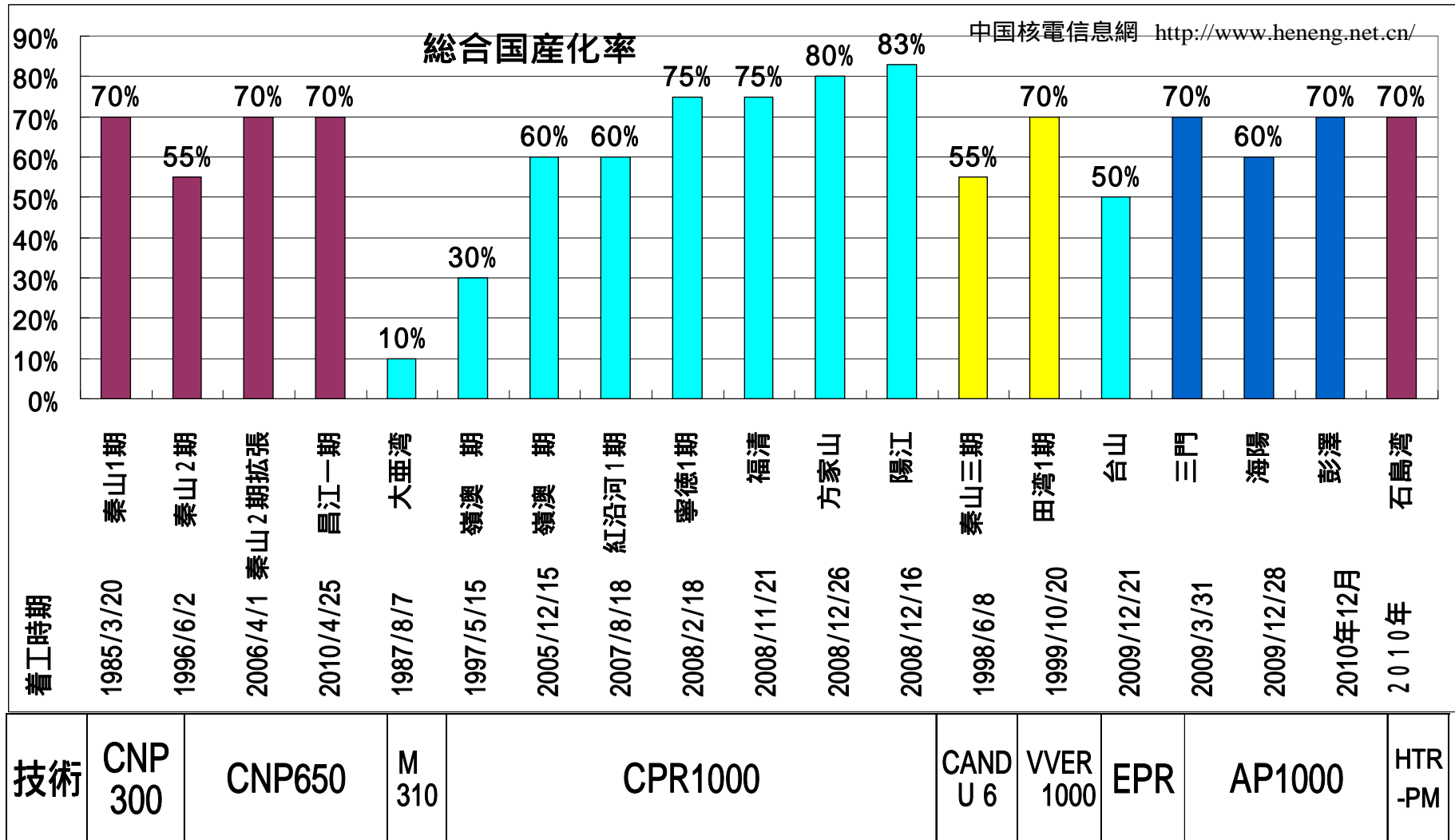
### 4歩 東電福島事故で第3 + 世代 必須化で輸出

中広核 第2 + 世代CPR1000を中国知財権化 第3 + 世代化 ACPR1000

国家核電 第3 + 世代 AP1000の中国知財権化 CAP1400、1700

核工業集団 第2 + 世代CNP650 第3 + 世代化ACP1000、ACP100

# 国産化率(設備金額ベース)



# 第3 + 世代炉AP1000の国産化状況

AP1000設備国産化 受注企業			出典: 国家核電技術公司 WNFC Mtg, Singapore, Apr.10.201			
設備名	発電所名	三門1	海陽1	三門2	海陽2	
原子炉冷却ポンプ	RCP	EMD	EMD	EMD	EMD	沈鼓、ハル電
Squip バルブ	SV	SPX	SPX	SPX	SPX	蘇閥
原子炉圧力容器	RPV	Doosan	Doosan	一重	上海核	
蒸気発生器	SG			ハル電		
炉内構造物	RVI		Newington	上海一機床	上海一機床	
制御棒駆動装置	CRDM	Newington	Newington	国核設備		国核設備
炉蓋一体化構造物	IHP	PCC	PCC	国核設備		国核設備
クレーン	Crane	PaR	太原重工	大連重工		太原重工
燃料交換機	FHM	WEC	大起	上海起重		大起
格納容器	CV	WEC / SNPTC	国核設備			
炉冷却配管	RCL	渤船重工	二重		渤船重工	
加圧器	PRZ	上海核	東方	上海核		東方
アキュムレーター	ACC	上海輔				
蓄圧器	CMT	上海核	ハル電	上海核		ハル電
RPV/SG支持体	RPV/SG Supporter	二重 / 東方 / 東方				
AP1000国産化 平均55%			第4号海陽2		70%	

国内製作は可能 知財権は米国

→ 自主知財権化 = 規模140万kW以上拡大 CAP1400開発

→ 規模140万kW拡大で固有安全性は達成できるか

# 中国の原子力発電輸出

<p><b>パキスタン</b> チャシマ</p>	<p>CNP300: 1, 2号(運転中) 3,4号(建設中) ACP1000?: 5号 2013年2月合意書締結。 更に2030年までに8GW建設計画有、中国輸出大</p>	<p>中国核工業集団 国家核電技術公司(上海核工程研究設計院)</p>
<p><b>アルゼンチン</b> アトーチャ</p>	<p>「中国能源局と原子力協力協議」協定締結2012年6月 中国資金でACP1000建設の共同研究実施。 ACP1000 入札予備審査通過証書 南米全体の原子力市場の共同開発策の共同調査</p>	<p>核工業集団</p>
<p><b>トルコ</b> イグネアーダ</p>	<p>イグネアーダ(Igneada)原発の建設等で協力。 原子力平和利用協力協定を締結(2012年4月9日)</p>	<p>核工業集団? 東芝WH社・国家核電連合?</p>
<p><b>イギリス</b> 仏/米と連合</p>	<p>EPR4基 :Hinkley Point and Sizewell: 英エネルギー社投資 Horizon社のOldburyとWylfa原発 AP1000対ERR対VVER1200対ABWR の競争 2012年10月GE日立がHorizon買収 ABWR勝利</p>	<p>仏アレバ・中広核連合 仏アレバ・中広核連合 東芝WH社・国家核電連合</p>
<p><b>イラン</b> Darkhovin</p>	<p>CNP300:1992年 2基輸出直前で中国が延期 Isfahan原子力技術センター研究炉4基を中国は供給</p>	<p>核工業集団</p>
<p><b>南ア</b></p>	<p>CAP1000:電力計画2010-2030で採用検討。福島事故で第2世代炉採用は困難化 ACP1000開発後は可能性有。</p>	<p>中広核</p>



# 各国との原子力平和利用協定等の締結状況

## 1. 2国間原子力平和利用協定等の締結の必要性

膨大な建設資金の国際ローン調達

大亜湾1・2号建設費4072百万\$ 国際ローン(大亜湾3672百万\$)

技術や部品の海外輸入

輸出

## 2. 現在までの締結国 25カ国

フランス、ドイツ、英国、日本、アルゼンチン、パキスタン、韓国、カナダ、ロシア、  
米国、豪州等 25カ国

日本: 米国、英国、カナダ、豪州、フランス、中国、欧州原子力共同体、カザフス  
タン、韓国、ベトナム、ヨルダン及びロシア) 11カ国1共同体の2倍以上

## 3. その他国際条約の締結

IAEA(1984年)加盟

保障措置協定(1985年)

包括的核実験禁止条約CTBT(1996年)署名

NPT追加議定書(2002年)締結

原子力供給国G(NSG)(2004年)加盟

輸出 平和利用協定締結 核兵器転用を縛る 核(兵器)不  
拡散 原子力発電輸出と核不拡散が同時成立

# 6. 新型炉開発

第12次エネルギー5カ年計画

## 重点実証プロジェクト

自主知的財産権のある先進加圧水型原子力発電炉

CAP1400 国家核電技術 2014年4月石島湾 着工

ACP1000 核工業集団 福清5、6号

ACPR1000 中国広核 2014年末 紅沿河、防城港、寧徳

モジュール式小型軽水炉

ACP100 核工業集団 2013年漳州1,2号着工、2016年運開

20万kWモジュール式高温ガス炉 2012年石島湾着工

HTR-PM 清華大学(教育省) + 華能集団(5大電力)

高速増殖炉

60万kWPFBR 原子能科学研究所(核工業系) 2017年三名着工

## 重大科技研究プロジェクト

トリウム溶融塩炉 科学院上海応用物理研

2MW実験炉 2020年までに建設

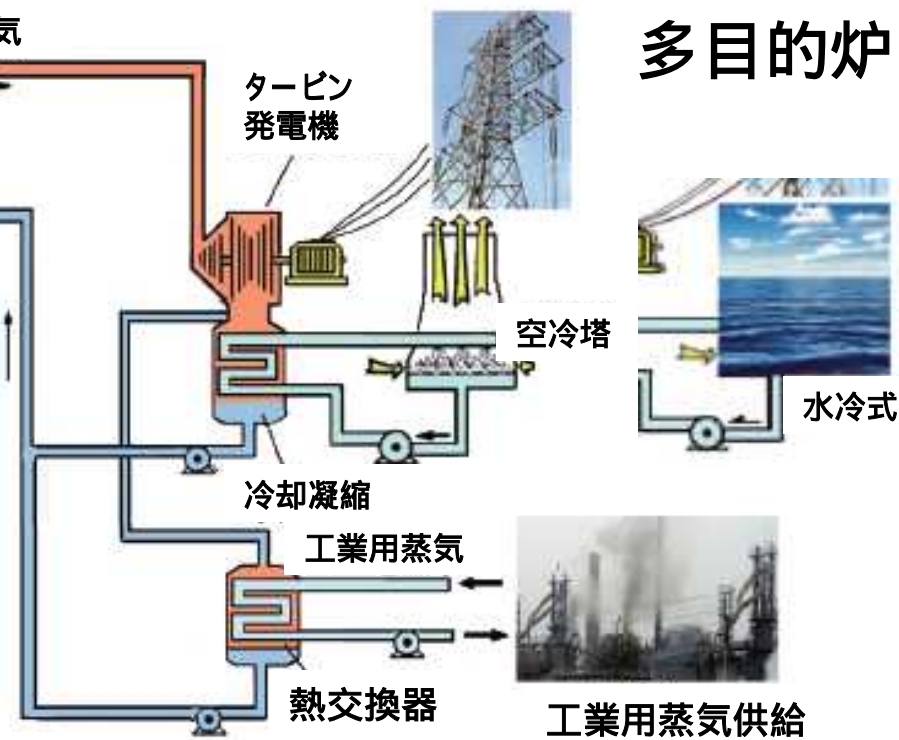
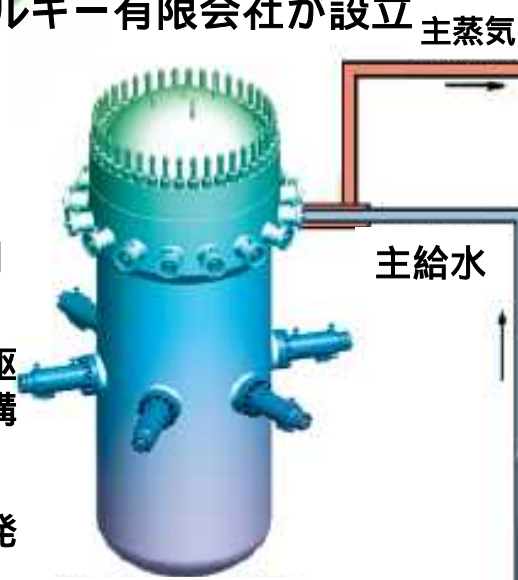
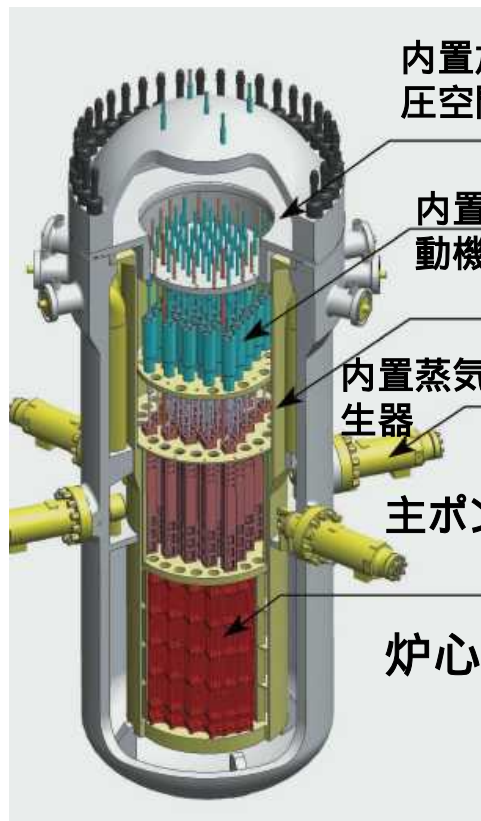
# 山東石島湾CAP1400実証プロジェクト



# 小型モジュール式加圧水型炉ACP100実証P

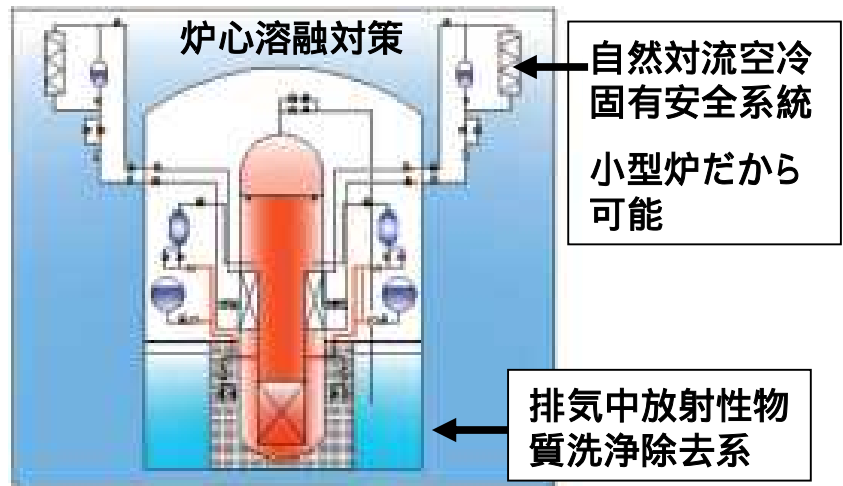
2011年4月 中核新エネルギー有限公司が設立  
 2013年 着工予定  
 福建省漳州

多目的炉



形式	一体型加圧水型炉
炉熱出力	38.5万kWt
電気出力	12万kWe
内径	3.1m
炉心部高さ	2.1m
原子炉冷却温度	305
圧力	15MPa
燃料交換	2年
燃料集合体	17×17SCF
集合体数	57体
最大蒸気供給能力	毎時504t
海水淡水化	日産14.4万t
建設期間	36ヶ月

沸騰水型炉に酷似しているが、制御棒駆動装置を上部に置いてあり、自然落下で炉が止まる様にしてある。



# 中国高速炉実証プラントCDFR-600

## CDFR-600計画

2014年 2月 概念設計  
 2015年12月 基本設計  
 2017年12月 詳細設計  
 2023年12月 運転開始  
 2030年100万kW商業炉運開

## 高速炉実証プラント緒元

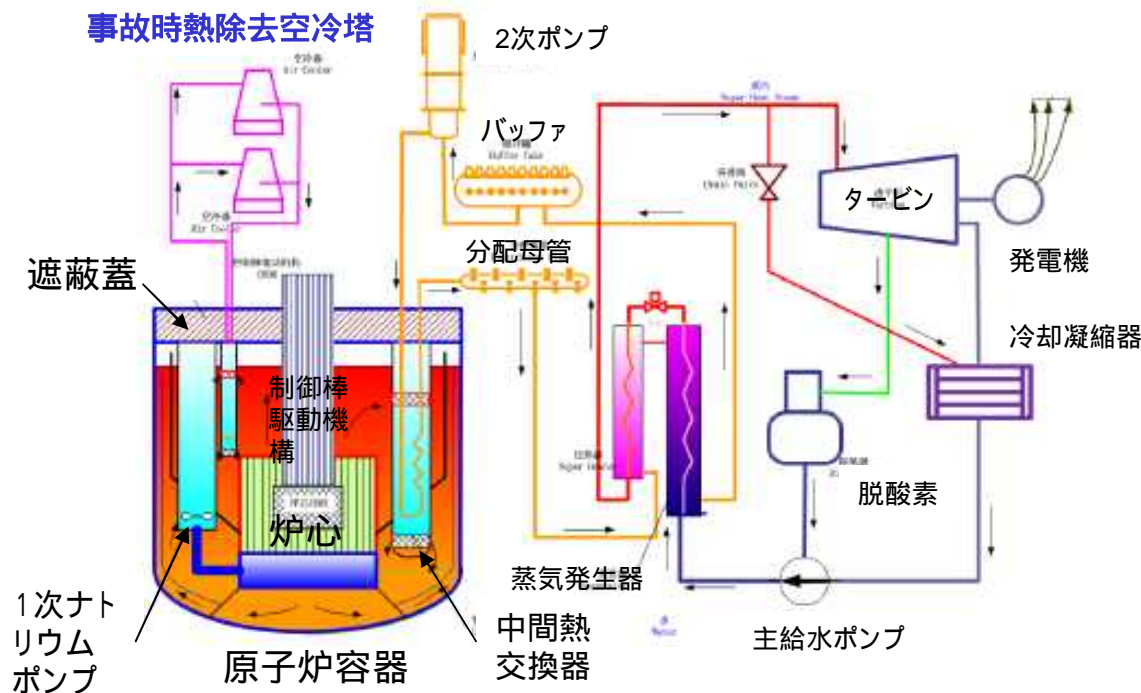
形式	タンク型
熱出力	150万kWt
電気出力	60万kWe
熱効率	41%
設計稼働率	80%
燃料	混合酸化物MOX
燃焼度	100 MWd/kg
増殖率	1.2
ループ / 回路	2 / 2
CDF	$10^{-6}$ / 炉年以
LERF	$10^{-8}$ / 炉年以下

## 中国の新規原子力発電建設基準 = 第3世代炉基準

- ・炉心損傷確率CDF  $10^{-6}$  / 炉年以
- ・大規模初期放射性物質放出確率 LERF  $10^{-8}$  / 炉年以下

## 安全デザイン

1. 負のフィードバック係数 (暴走高温時の反応低下)
2. 追加の受動原子炉停止機能
3. 崩壊熱除去設計: 受動系と能動系の両方を備える
4. 炉容器下部に炉心溶融物受を設置
5. 過酷事故の結果を緩和するよう閉じ込め機能を設計



# 高温ガス炉 HTR-PMの安全性

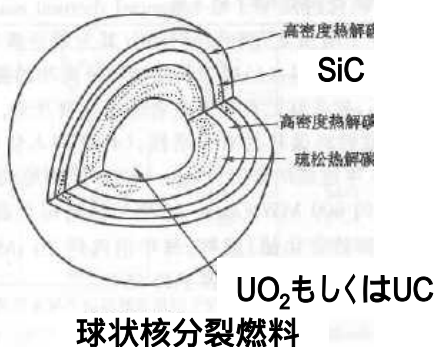
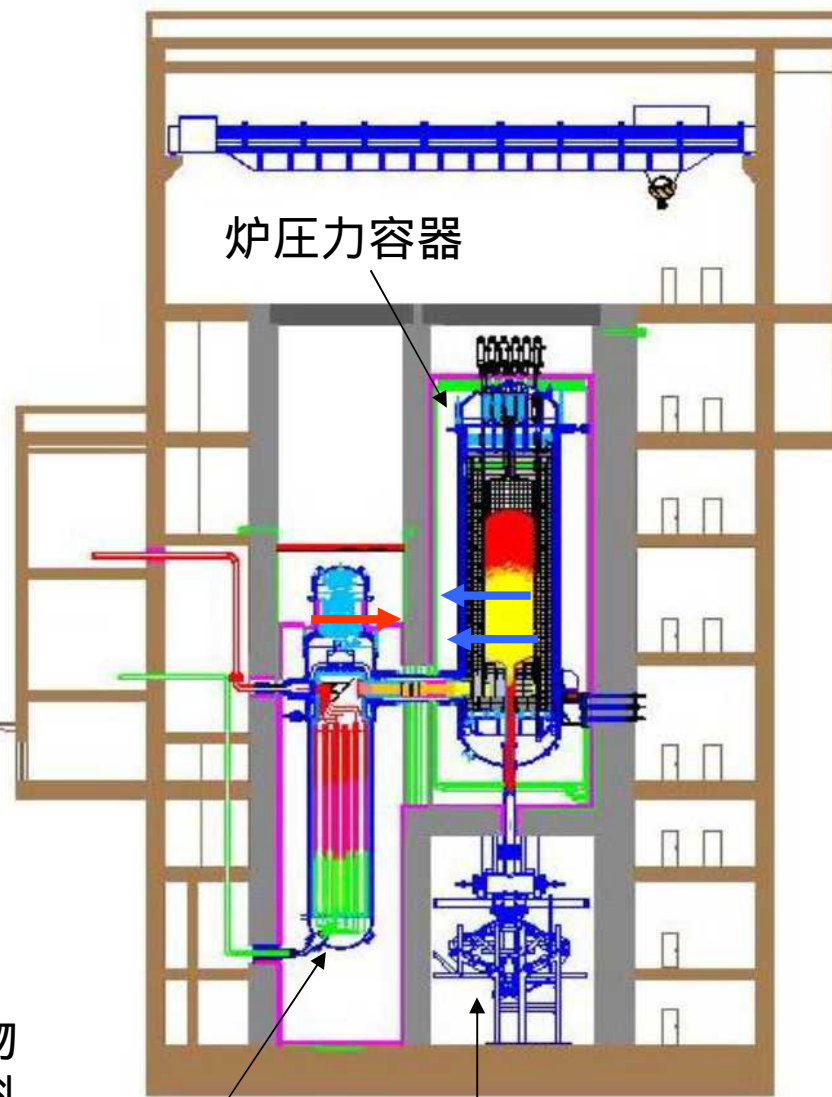
原子炉建屋

## 諸元

電気出力	21.1万kWe
炉心熱出力	25.0万kWt
モジュール数	2
炉心直径	3 m
炉心高さ	11 m
ヘリウム圧	7 MPa
炉心出口温度	750
炉心入口温度	250
燃料濃縮度	8.5%
球状燃料	ペブルベット式
蒸気圧	13.25MPa
蒸気温度	567

## 安全性

- (1) 制御棒重力落下式炉停止  
およびボロン球を炉心外周反射体に落下)
- (2) 大きな負の燃料温度係数  
原子炉冷却材循環喪失事故時炉停止
- (3) 炉室側壁の表面冷却器(水冷パネル)  
主冷却系熱除去不能時、熱伝導および熱輻射で残留熱除去可能
- (4) 炭化珪素の硬い球状殻被覆燃料粒子によるFP閉込め機能  
事故時でも燃料温度が1600以下なので燃料からのFP漏れは殆どない



実物燃料

熱交換器

顆粒燃料取り出し  
検査選別

# トリウム溶融塩炉 重大科技研究P

## Th 232-U233増殖炉系原理

中国科学院 上海応用物理研究所  
 2012年5月米国オークリッジ研究所(ORNL)と協力  
 2020年までに以下の2方式の2MW実験炉建設

中国Th資源量 = 希土類資源3600万tの2~3% = 72~100万t  
 インドTh資源量 = 2.9万t ThO<sub>2</sub>; 出典: 原子力eye2011年4月西川有司

- T. 1 **U235の核分裂**  $n + \text{Th}232 \rightarrow \text{Th}233$
- T. 2  $\text{Th}233$  崩壊  $\text{Pa}233$  崩壊  $\text{U}233$   
 半減期22分                      半減期27日
- T. 3  $\text{U}233$ の核分裂  $n + \text{Th}232 \rightarrow \text{U}233$

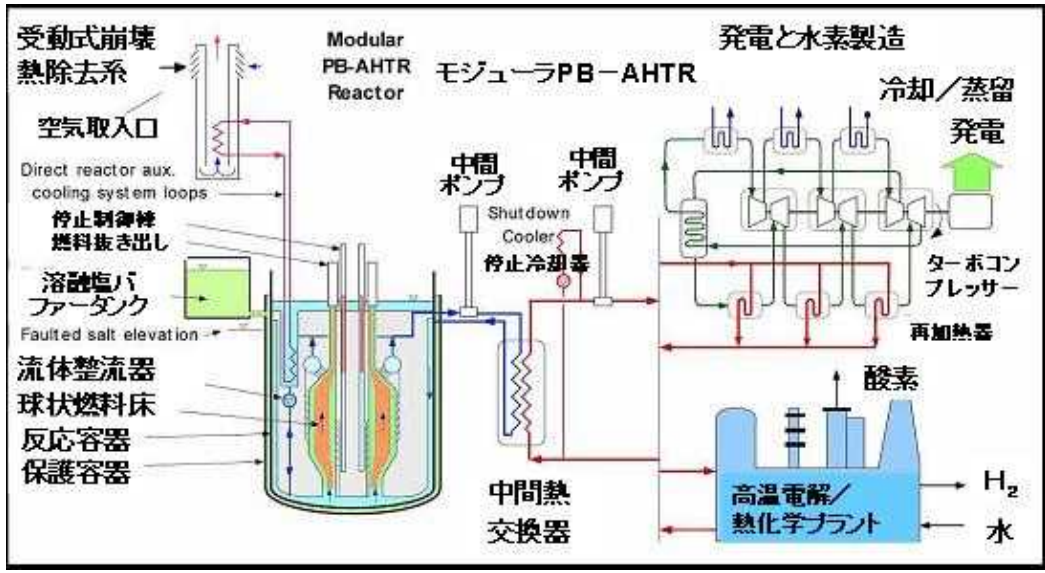
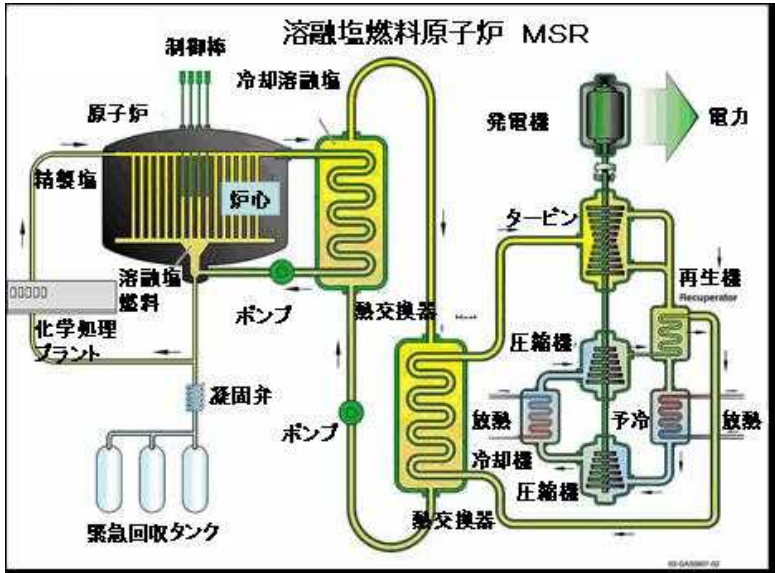


### 1 溶融塩トリウム燃料炉

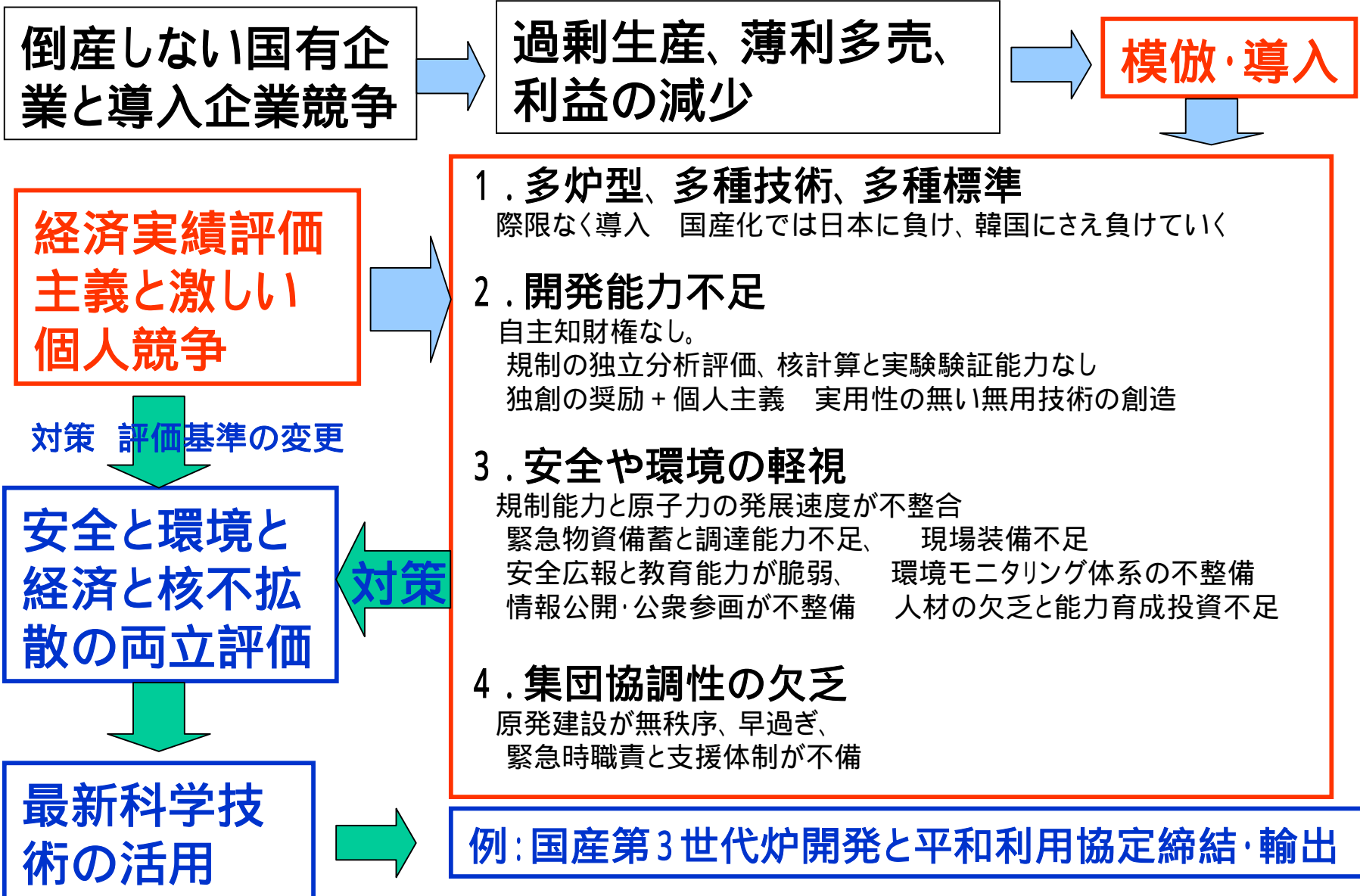
- 1950年から1956年 米国オークリッジORNL熱出力2.5MW小型炉研究開発 1976年増殖炉開発凍結
- 最近: 米国主導の第4世代炉推進計画で検討対象化
- 難点: 高放射性溶融燃料が系全体を巡回、汚染拡大  
 インライン化学処理系が未確立

### 2. フッ化物塩冷却高温炉

- 2005年より米国オークリッジで研究開発  
 高温ガス炉の冷却ガスを溶融塩に置き換えたもの  
 小型化可能 経済性と安全性向上
- 清華大学とDOE、科学院の共同研究
- 強放射性溶融燃料でないの系は綺麗で補修容易



# 7. 中国の課題



倒産しない国有企業と導入企業競争

過剰生産、薄利多売、利益の減少

模倣・導入

経済実績評価主義と激しい個人競争

1. 多炉型、多種技術、多種標準  
際限なく導入 国産化では日本に負け、韓国にさえ負けていく

2. 開発能力不足  
自主知財権なし。  
規制の独立分析評価、核計算と実験検証能力なし  
独創の奨励 + 個人主義 実用性の無い無用技術の創造

3. 安全や環境の軽視  
規制能力と原子力の発展速度が不整合  
緊急物資備蓄と調達能力不足、現場装備不足  
安全広報と教育能力が脆弱、環境モニタリング体系の不整備  
情報公開・公衆参画が不整備 人材の欠乏と能力育成投資不足

4. 集団協調性の欠乏  
原発建設が無秩序、早過ぎ、  
緊急時職責と支援体制が不備

対策 評価基準の変更

安全と環境と経済と核不拡散の両立評価

対策

最新科学技術の活用

例: 国産第3世代炉開発と平和利用協定締結・輸出



# ご清聴ありがとうございました



# 参考

# 中国の原子力発電運転中と建設中



秦山



秦山



秦山



田湾



大亜湾



嶺澳



嶺澳



中国高速実験炉



紅沿河



寧徳



福清



陽江



方家山



三門



台山



海陽



石島湾



昌江



防城港

営業中  
建設中

表-5 運転中の原子力発電

主株主	名称		導入	タイプ	万kW	基数	合計出力 万kW	着工	売(発電)電
核工業 集团公司 CNNC	秦山	Qinshan	国産	CNP300	30	1	30	1985/3/20	1994/4/1
	秦山	Qinshan		CNP650	65	4	260	1996/6/2	2002/4/15
								1997/4/1	2004/5/3
								2006/4/28	2010/10/25
	秦山	Qinshan	カナダ	CANDU6 重水炉	72.8	2	145.6	2007/1/28	2012/4/8
								1998/6/8	2002/12/31
	田湾	Tianwan	露	VVER AES-91	106	2	212	1998/9/25	2003/7/24
高速実験炉	CEFR	露	FBR	2	1	2	1999/10/20	2007/5/17	
							2000/9/20	2007/8/16	
中国広 核集団 有限公司* CGNPG	大亜湾	Daya Bay	仏	M310	98.4	2	196.8	2000年着工	(2011/7/21)
	嶺澳	Ling Ao		CPR 1000	99	2	198	1987/8/7	1994/2/1
								1988/4/7	1994/5/6
								1997/5/15	2002/5/28
								1997/11/28	2003/1/8
	寧徳	Ningde		108	1	108	2005/12/15	2010/9/15	
紅沿河	Hongyanhe	108	1	108	2006/6/15	2011/8/7			
清華大 合計	高温ガス炉	HTR10	国産	HTGR	0.25	1	0.25	2008/2/18	2013/4/18
						1	1,461	2007/8/18	2013/6/6
								1995/5/1	2003年1月送電

\* 2013年5月15日中国広東核電集団は中国広核集団 China General Nuclear Power Group 改名

持株比率:国資委82%、広東省10%、中国核工業集団8%

# 建設中 28基 約3050万kW

表-6 中国の建設中原子力発電 28基 3047.1万kW 2013年6月

運営事業者	共営	運転会社	発電所名		型式	単機 万kW	建設 基数	全出力万kW		着工	運開予定
核工業 集団		福建福清核電	福清1, 2, 3, 4	Fuqing	CPR 1000	108	4	432	1130	2008/11/21 2009/6/17 2010/12/31 2012/11/17	2013/2 2014/8 2015/ 2017
		秦山核電	方家山1, 2	Fangjiasha n	CPR 1000	108	2	216		2008/12 2009/7	2013/12 2014/10
		三門核電	三門1, 2	Sanmen	AP1000	125	2	250		2009/4/19 2009/12/15	2013/12 2014/10
	華能	海南核電	昌江1, 2	Changjian g	CNP600	65	2	130		2010/4/25 2010/11/21	2014、 2015、
		江蘇核電	田湾3	Tianwan	VVER	102	1	102		2012/12/27	2018 /2
中国電力 投資集団		山東核電	海陽1, 2	Haiyang	AP1000	125	2	250	250	2009/9/24 2010/6/20	2014/5 2015/3
中国広 核集団	中電 投	遼寧紅沿河核 電	紅沿河2, 3, 4	Hongyanhe	CPR1000	108	3	324	1646	2008/3/28 2009/3/7 2009/8/15	2013、 2013、 2014、
	大唐	福建寧徳核電	寧徳2, 3, 4	Ningde	CPR1000	108	3	324		2008/11/12 2010/1/8 2010/9/28	2013、 2014、 2014、
		陽江核電	陽江1, 2, 3, 4	Yangjiang	CPR 1000	108	4	432		2008/12/16 2009/6/4 2010/11/15 2012/11/17	2013/8 2013 2014 2017
		広東台山核電	台山1, 2	Taishan	EPR1600	175	2	350		2009/11/18 2010/4/15	2013、 2013、
		広西防城港核電	防城港1, 2	Fangcheng gang	CPR 1000	108	2	216		2010/7/30 2010/12/28	2015 / 2015 /
華能電氣 集団	清華 大学	華能山東石島湾 核電	石島湾1	Shidaowa n	HTR-PM	21.1	1	21.1	21.1	2012/12/9	2015年 37

表-7 中国の計画中原子力発電 29 基 3,042 万kW 2013年6月

運営者	共同 運営	運転会社	発電所名		型式	単機 万KW	建設 基数	全出力万kW	着工	運開予定
核工業集団		江蘇核電	田湾4	Tianwan	VVER-1000	106	1	106	2013/10/13	2018
		福建三明核電	三名1, 2	Sanming	BN-600	60	2	120	2013年	2019, 2020
		江蘇核電	田湾5, 6	Tianwan	AP1000, VVER, ACPR	108	2	216	2013/8/	
		福建福清核電	福清5, 6	Fuqing	ACP1000	110	2	220	2014年	
		三門核電	三門3, 4	Sanmen	AP1000	125	2	250	?	
	大唐	遼寧徐大堡核電	徐大堡1, 2	Xudabao	AP1000	125	2	250		
	国電	中核新能源	漳州1, 2	Zhangzhou	ACP100	10	2	20	2015年	
中国広核集団		陽江核電	陽江5, 6	Yangjiang	CPR1000+	108	2	216	2013年	2017
		広西防城港核電	防城港3-6	Fangchenggan	ACPR1000	108	4	432	2014年遅く	
		中広核陸豊核電	陸豊1, 2	Lufeng	AP1000	125	2	250	2014年遅く	
		福建寧徳核電	寧徳5, 6	Ningde	ACPR1000	108	2	216	?	
	中電投	遼寧紅沿河核電	紅沿河5, 6	Hongyanhe	ACPR1000	108	2	216	2013?	2016-
中電投		山東核電	海陽3, 4	Haiyang	AP1000	125	2	250	250	
華能		華能山東石島湾	石島湾1, 2	Shidaowan	CAP1400	140	2	280	280	2014/4/ 2018
合計						29	3,042			

表8 内陸立地原子力発電 2016年以降着工 20 基 2500 万kW

運営者	運転会社	発電所名		型式	単機 万KW	建設 基数	全出力 万kW	投資
核工業集団	湖南桃花江核電	桃花江	Taohuaijiang	AP1000	125	4	500	4基670億元
	浙江龍游核電	龍游	Longyou	AP1000	125	2	250	4基600億元
	江西万安煙家山核電	万安	Wanan	AP1000	125	4	500	4基900億元
中国電力投資集団	中電江西核電	彭澤	Pengze	AP1000	125	2	250	4基600億元
	湖南核電	小墨山	Xiaomoshan	AP1000	125	2	250	4基700億元
中国広核集団	中広核湖北核電	大磧	Dafan	AP1000	125	2	250	4基600億元
	安徽蕪湖核電	蕪湖	Wuhu	AP1000	125	2	250	2基230億元
	韶関核電	韶関	Shaoguan	AP1000	125	2	250	4基560億元
合計						20	2500	

# 総点検結果と安全計画での現状評価

## 安全法令・基準や体制の基礎確立

### 原子力安全法規体系確立

法律 1、条例 7 規定 34、安全指針 81、技術文書 > 180

### 企業と行政の分立、推進規制の分立

原子力発電会社 23社と親会社 3社

産業監督 3機関

原子力安全監督 3機関

原産協会 303社

外企 192社

(仏59、独32、米34、伊14、日9、英9、露9、西5、韓4、)

### 原子力事故緊急管理体制は基本確立

3級構成：国級、立地省級、発電所級が存在

### 継続整備事項

#### 32大学

安全監督部門の審査監督能力の向上

周辺環境放射線モニタリング連絡網整備

### 実績：四川省汶川地震対応

事故や災害は戦争と同じと考え

果敢な政策決定と高效率行動

自然災害派生の原子力リスクを解消。

## しかし安全脅威情勢もある

### 安全管理上の難度

- 多炉型6種
- 多種技術
- 多種標準：米仏露IAEA等

### 原子力安全研究開発能力不足：

総合計画欠乏、現有資源分散、人才欠乏、研究開発能力不足、法規標準制(改)訂での科学技術支援不足、基礎と応用技術研究の国際先進レベル格差が大、安全レベルの高度化を制約。

### 原子力事故緊急管理体系不備：

- 事業者と事業者間の緊急時職責と支援体制不備
- 緊急物資備蓄と調達能力不足
- 地方政府の支援能力不足
- 原子力事故緊急計画の実行可能性が不明。

### 規制監督能力不足：

- 規制能力と原子力の発展規模速度が不整合
- 規制の独立分析評価、核計算と実験検証欠乏
- 現場装備不足
- 全国放射線環境モニタリング体系の不整備
- 原子力安全広報と教育能力が脆弱
- 原子力安全国際協力、情報公開・公衆参画が不整備
- 規制人材の欠乏と能力育成投資不足。

# パキスタン

出典: 国家核電技術公司 WNFC Mtg, Singapore, Apr. 10. 2013



Chashma 1



Chashma 1, 2



Chashma 3



Chashma 4



# アルゼンチン

Embalse CANDU 6

Atucha アトウーチャ

1(独Siemens1974年開始)

2(独Siemens 2013年送電開始予定)

3,4 仏、露、日、韓、中へ提案中

中国核工業集団:ACP1000



# トルコ

新興国は基盤なし

電力会社設立が参入条件

中国 核工業集団ACP1000 ?

アレバ 三菱ATMEA 1

伊藤忠商事、仏電力会社GDFスエズ、トルコ発電会社(EUAS)



ロシアVVER

アックユ発電会社(AEG) (ロスアトムの子会社)

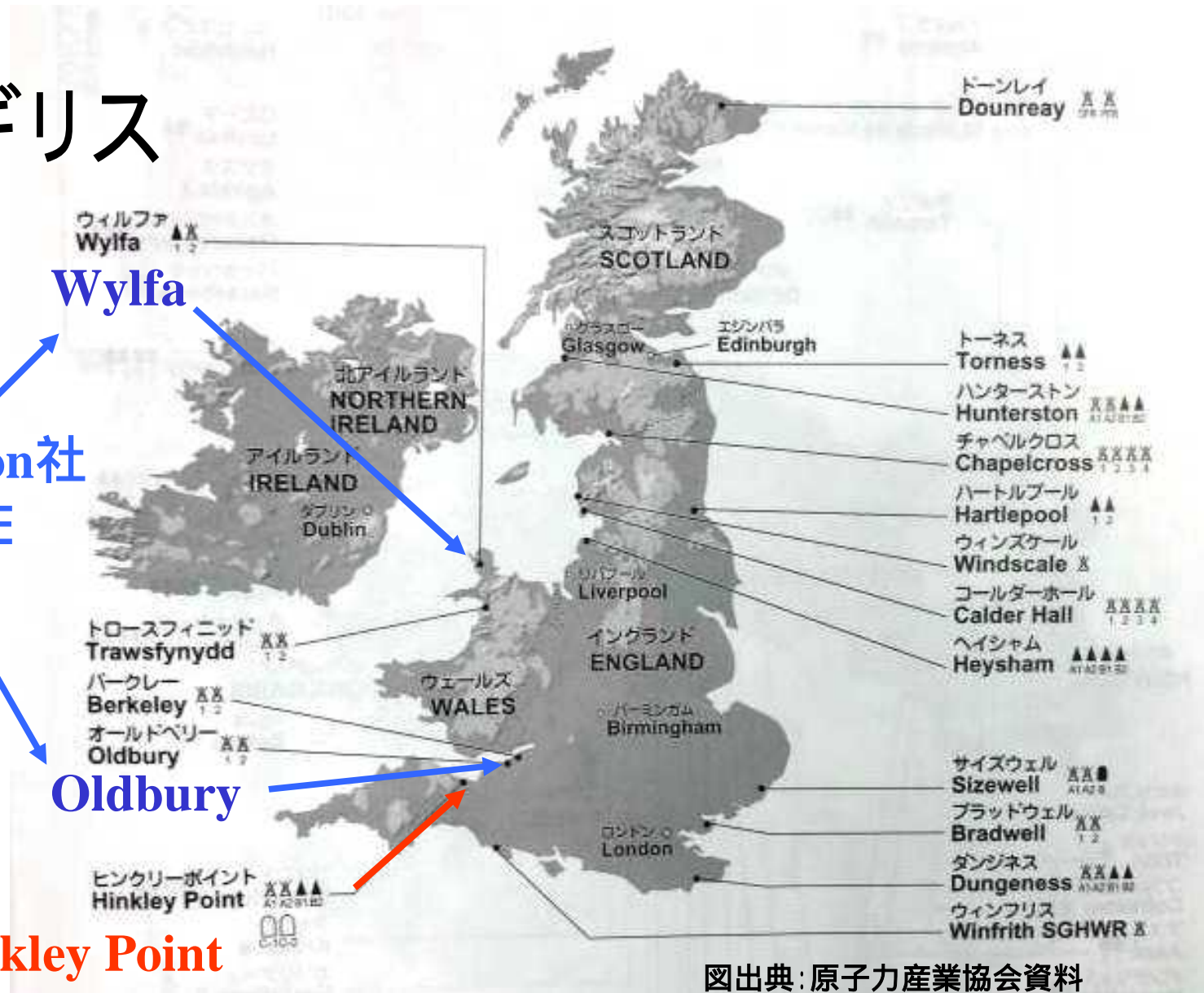
# イギリス

Horizon社  
日立GE

Wylfa

Oldbury

Hinkley Point



図出典:原子力産業協会資料

英エネルギー社 EPR アレバ 中広核

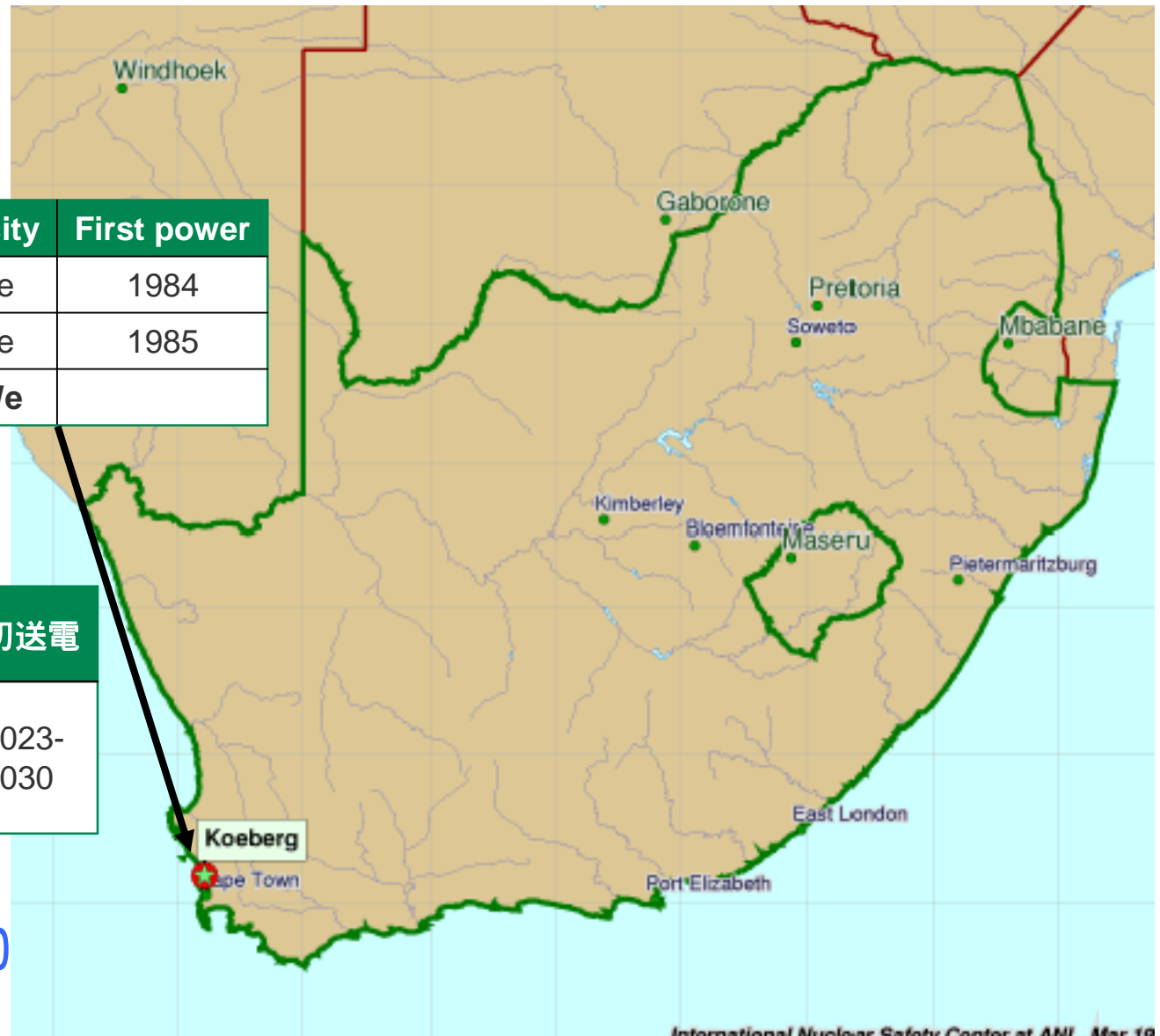
# 南アフリカ

運転中	Type	Net capacity	First power
Koeberg 1	PWR	900 MWe	1984
Koeberg 2	PWR	900 MWe	1985
<b>Total (2)</b>		<b>1800 MWe</b>	

仏Areva

提案	炉型	出力	初送電
<b>Thyspunt (total 6 or more)</b>	PWR	<b>9600 MWe</b>	2023-2030

仏ArevaのEPR  
米WH社AP1000



高価 ↓

中国広核のCPR1000 第3世代化 ACPR1000

# 中国の高温ガス炉 開発

- 清華大学を中心に高温ガス炉の開発を進めている。

ドイツや日本の協力を得て、清華大学を中心に高温ガス炉の研究開発を進めている。  
その中心となるのがHTR - 10である。

実証プラント**HTR-PM** : 電気出力20万kWモジュール型 山東省石島湾に建設 2009年着工  
予定が延期中 2012年10月解除、2012年12月着工 発電と実証P建設で日本を追い越す。

## HTR - 10 (ペブルベッド型)

設置主体：清華大学

設置場所：北京市海淀区清華園

熱出力：10 MW 電気出力：2.6 MW

燃料：17%濃縮の二酸化ウラン燃料

燃料の型式：直径6cmたどん型  
(ドイツ同様)

炉心容量：直径180cm×高さ197cm  
27,000個装荷

冷却材：ヘリウムガス

炉出口温度：900 を目標

沿革:1992年 建設決定

2000年 臨界

2003年 初送電開始

## 第4世代炉 高温ガス炉HTR-PM

20万kW 商業実証炉

2009年8月 核安全局の安全審査終了

2009年9月 正式着工が、延期中

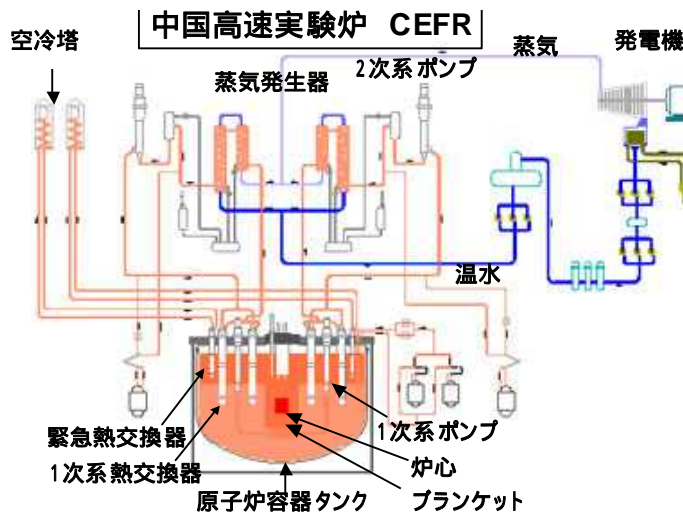
2011年3月11日福島事故の影響で建設許可延期

2012年12月 建設着工

理由：運転事業主体の華能電気集団の原子力発電事業参入資格がない。  
福島事故で延期

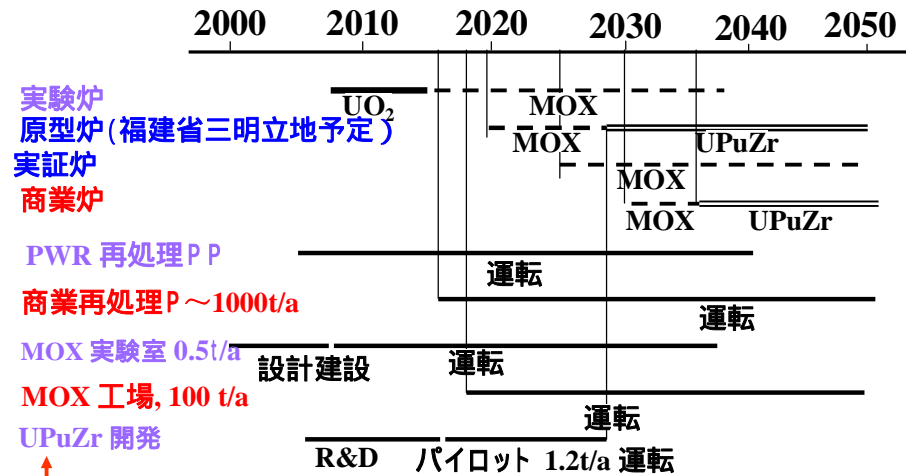
高温ガス炉は、当初、米国、ドイツで開発が進められ、1989年には原型炉(米国35万kWe  
フォート・セント・ブレイン炉)(ドイツ30万kWeのT H T R -300)の運転を終了している。  
中国はドイツの球状燃料方式を継承している。

# 中国の高速実験炉CEFR



中国原子能科学研究院 Xu Mi 氏論文2005年3月

## 中国高速炉核燃料サイクル計画



### 金属燃料の利点

中性子経済上優 高増殖、高熱伝導、耐酸化腐食合金。乾式高温冶金再処理直結。

実験炉 (CEFR) 2万kWe (運転中)

沿革: 2000年着工

2010年7月21日 臨界

2011年7月電気出力40%に上昇成功

2012年 電気出力75%上昇成功

2014年 フル運転予定

場所: 北京市

中国原子能科学研究院 (CIAE)

熱出力: 65 MW (日本の常陽は140 MW)

電気出力: 20 MW (日本の常陽は発電せず。もんじゅは電気出力280 MW)

建設費: 3億2500万ドル超

初装荷燃料: 露輸入 UO<sub>2</sub> 燃料 (19.6%及び64.4%濃縮ウラン)

取替燃料: プルトニウム-ウラン混合酸化物 (MOX) 燃料

燃焼度 60000 MWd/t (初装荷 Max) ~ 100000 MWd/t

燃焼度 60000 MWd/t (初装荷 Max) ~ 100000 MWd/t

燃焼度 60000 MWd/t (初装荷 Max) ~ 100000 MWd/t

燃焼度 60000 MWd/t (初装荷 Max) ~ 100000 MWd/t

燃焼度 60000 MWd/t (初装荷 Max) ~ 100000 MWd/t

燃焼度 60000 MWd/t (初装荷 Max) ~ 100000 MWd/t