

SNW対話イン九州工業大学2022 基調講演(1)

原子力産業が電気電子系の 若い技術者に期待すること

2022年10月5日(水) 18:00~18:40 対面

開催会場:九州工業大学戸畑キャンパスGYMLABO

日本原子力学会SNW連絡会

小川 修夫

基調講演(1) 内容

- **日本の原子力開発の経緯**
- **原子力発電は総合システム技術の結集**
- **軽水炉改良標準化と新型軽水炉の開発**
- **福島原発事故の反省と教訓**
- **脱炭素政策と原子力への期待**

自己紹介と子供の頃の夢

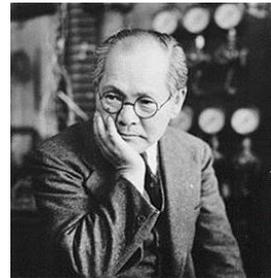
- 昭和戦前2桁の生れ 対米戦争の記憶あり
- 中高校の頃は電気工作の好きなラジオ少年で、ラジオやテレビ、アマチュア無線機器の組み立てに熱中
- 湯川秀樹博士の物理学ノーベル賞受賞(1949年)が子供の頃に強烈な印象を与えた
- 大学は電気工学専攻で、原子力工学の講義もあった
- (株)東芝に入社後は原子力事業部門に配属、原子炉の安全設計、安全解析、新型軽水炉の開発等に従事
- 東芝に35年間勤務、退社後は経済産業省の外郭組織で 原子力関係業務に従事、半世紀にわたり原子力一筋



湯川秀樹博士

戦前の日本に原子力研究があった

- 陸軍委託の「二号研究」(理化学研究所仁科博士の頭文字)
熱拡散法によるウラン濃縮*の研究
- 海軍委託の「F研究」(核分裂Fissionの頭文字 京大荒勝教授)
遠心分離法によるウラン濃縮の研究
- 東大嵯峨根研究室では電磁分離法のウラン濃縮を研究
- 原子炉やプルトニウムの研究には及ばなかった
- 技術、資金、人材、ウラン資源の欠如、空襲等により
米国マンハッタン計画**に全く及びもつかなかった



仁科芳雄博士



荒勝文策教授

注記; * 天然ウランから核分裂性ウラン235の比率を高める物理的プロセス
熱拡散法、遠心分離法、電磁分離法、ガス拡散法、レーザー濃縮法など

** 米国の原爆開発計画で 20億ドル(現在価値4兆円)と延べ50万人を投入

敗戦により原子力研究は禁止

- 敗戦後、米軍により理化学研究所の核物理研究施設は破壊され、研究成果や実験データは全て没収された
- 理研や京大、阪大のサイクロトロン*は核開発施設とされて破壊され、東京湾や琵琶湖、大阪湾に投棄された
その破壊行為は後に米国の物理学者たちにより、「人類に対する犯罪」などと糾弾されている
- 仁科博士が第4代所長に就任した理研は戦後解体された
- 米軍の占領が終り講和条約発効1952/4
まで、原子力研究は一切禁止された

注記； * 核分裂反応を検証する大型実験装置

理研サイクロトロンは
東京湾に投棄された



原子力研究の再開



中曽根康弘
原子力予算を獲得

- サンフランシスコ講和条約の発効で原子力研究は再開 1952/4
講和条約の条項に原子力研究禁止は盛り込まなかった
- 米アイゼンハワー大統領が国連でAtoms for Peaceを宣言 1953/12
- 原子力予算の成立 1954年度補正予算で 2億35百万円計上 (ウラン235)
- 海外調査団の派遣 1954/8 原子力平和利用国際会議(ジュネーブ会議)に参加
- 原子力研究所の設立 1955/11 原子燃料公社も発足
- 原子力三法(原子力基本法等)の公布 1955/12
- 日米原子力協定の締結 1955/12 研究炉JRR-1, JRR-2向け濃縮ウランの貸与
研究炉JRR-3向け天然ウラン、重水の購入
- 原子力委員会の発足 1956/1
正力松太郎(委員長、国務大臣)、石川一郎、湯川秀樹、藤岡由夫、有澤広巳
- 日本初の原子炉JRR-1臨界 1957/8 日本初の原子力発電JPDR 1963/10

実用発電用原子炉の導入

- 英国より黒鉛減速炭酸ガス冷却のコールダーホール型原子炉を初輸入 日本原電(株)東海発電所 1966/7運転開始
- その後は米国から軽水炉を輸入
 - 日本原電(株) 敦賀1号機BWR 1970/3運転開始
 - 関西電力(株) 美浜1号機PWR 1970/11運転開始
 - 東京電力(株) 福島第一1号機BWR 1971/3運転開始 ほか
- 日本メーカー東芝、日立、三菱重工は米国GE社、W社と技術契約し 主要機器の製造や建設を担当し機器国産化や建設の実務経験を蓄積した

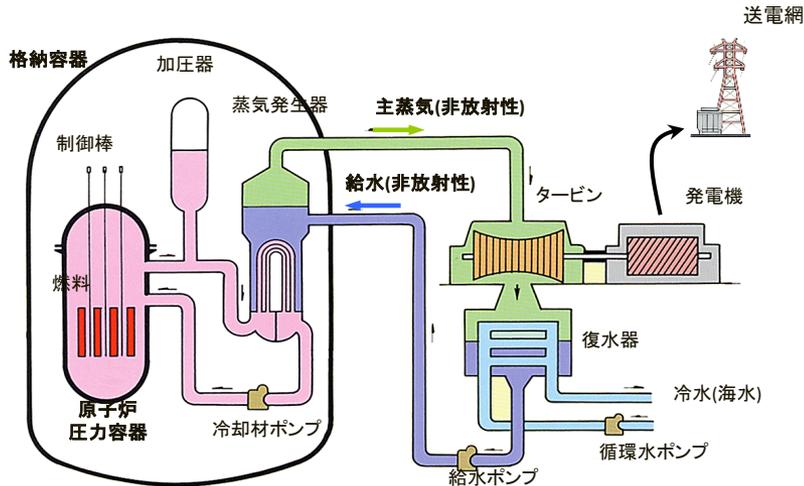
注記; * GE社 ゼネラルエレクトリック社
W社 ウェスチングハウス社

大阪万国博に原子力の灯を！
美浜1号機 初発電 1970/8/8



PWRとBWRの原理と特徴比較

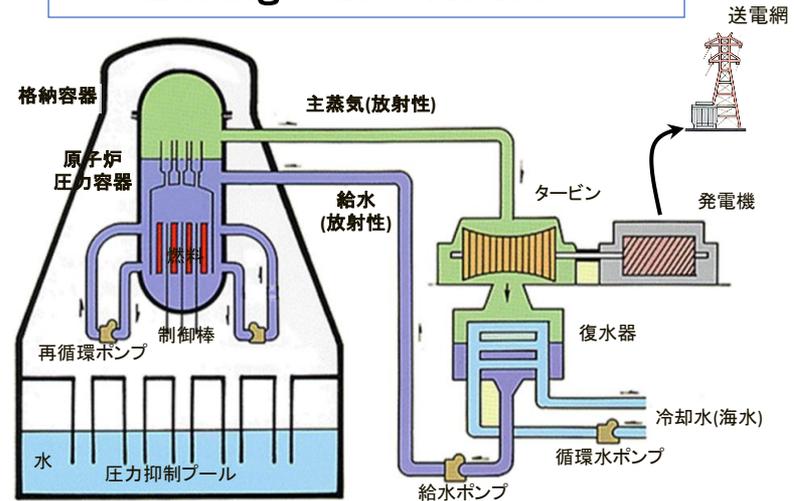
加圧水型軽水炉:PWR Pressurized Water Reactor



冷却系 : 間接サイクル
 原子炉内 : 加圧水
 タービン側 : 非放射線管理
 制御棒挿入 : 上部から(緊急時重力落下)

原子炉メーカー: 三菱重工
 電力会社: 関西電力、九州電力、四国電力、北海道電力、日本原子力発電

沸騰水型軽水炉:BWR Boiling Water Reactor

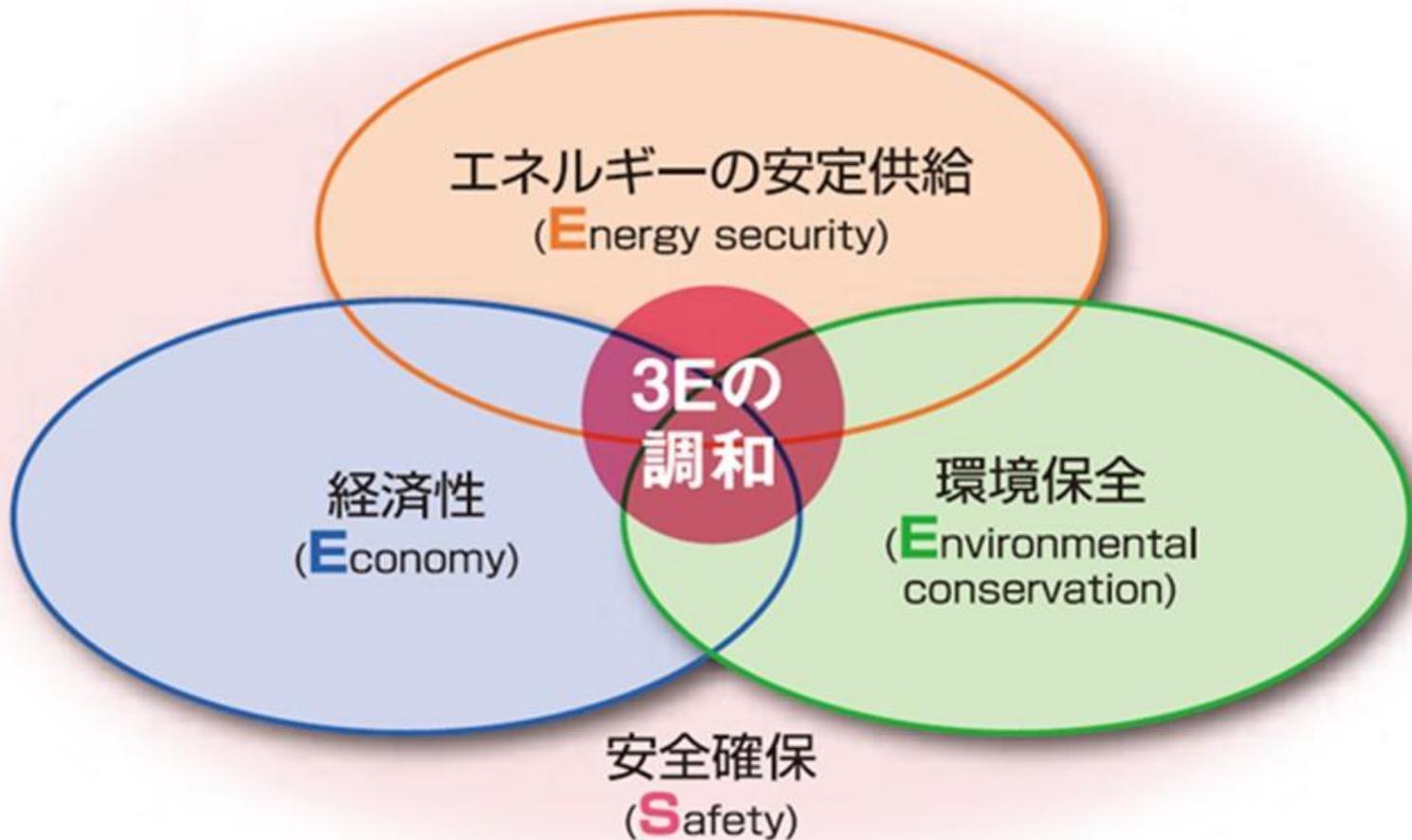


冷却系 : 直接サイクル
 原子炉内 : 沸騰水
 タービン側 : 放射線管理区域
 制御棒挿入 : 下部から(緊急時水圧挿入)

原子炉メーカー: 日立、東芝
 電力会社: 東京電力、東北電力、中部電力、北陸電力、中国電力、日本原子力発電、電源開発

エネルギー S+3Eの原則

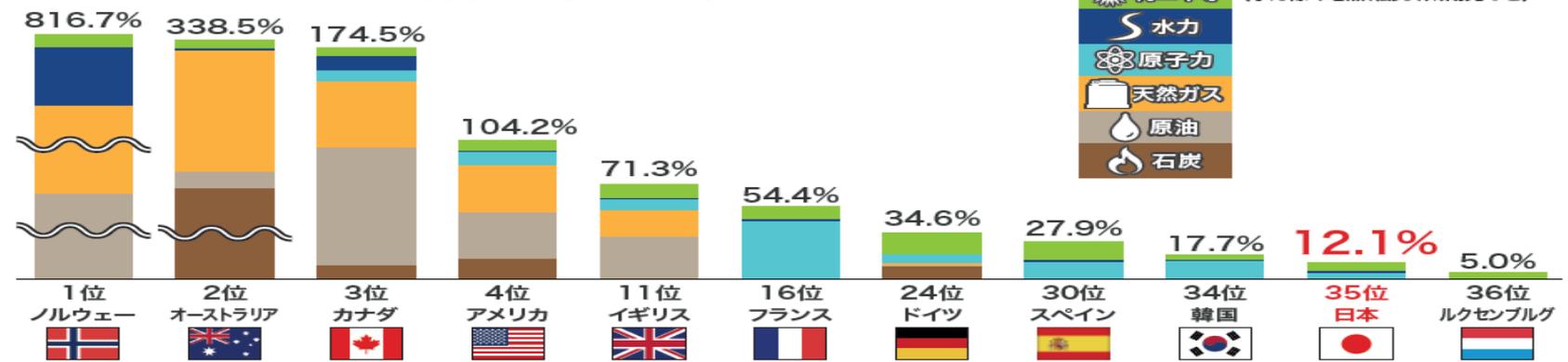
原子力発電は「S+3E」に最も適合するエネルギー



エネルギー安定供給； エネルギー自給率の向上で

「自給率」とは国内での消費量に対する国内で生産や産出し供給できる割合でエネルギーが万一外国から輸入できない事態に備え、自国内で供給できる比率を高めることが重要

主要国の一次エネルギー自給率比較(2019年)



出典:IEA「World Energy Balances 2020」の2019年推計値、日本のみ資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」の2019年度確報値。*表内の順位はOECD36カ国中の順位

我が国のエネルギー自給率



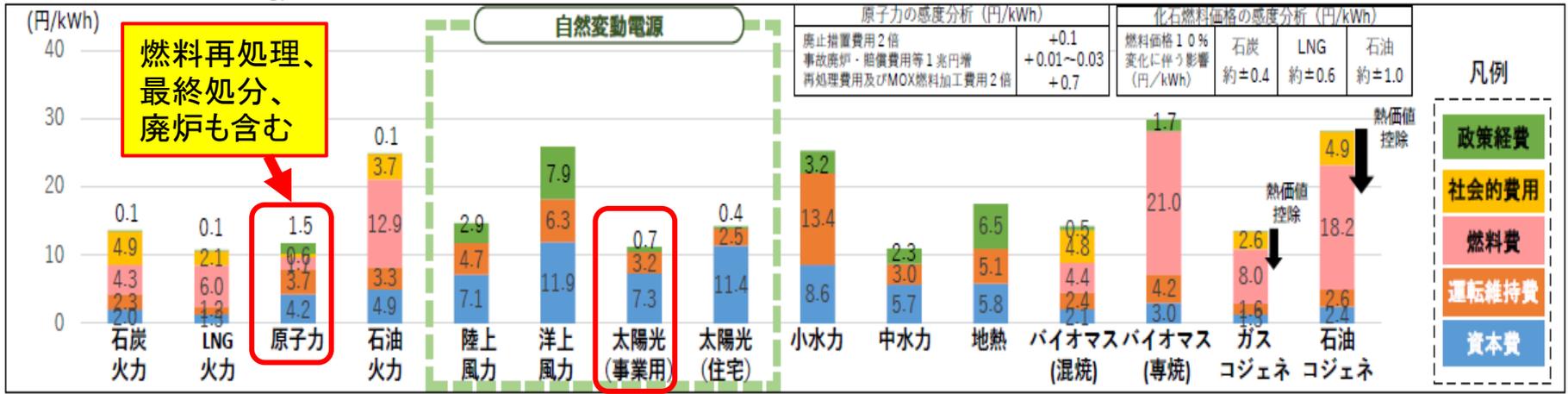
一次エネルギー:石油、天然ガス、石炭、原子力、太陽光、風力などのエネルギーのもともとの形態
エネルギー自給率:国民生活や経済活動に必要な一次エネルギーのうち、自国内で産出・確保できる比率

原子力はウラン燃料は輸入だが、国内原発に現在保有する燃料だけで約3年は運転できるので、準国産の自給エネルギーとしている

経済性(発電コスト); 原子力が最も安価

2030年の発電コスト(円/kWh): 検証WG(2021/7)

単体コスト 再エネ(太陽光・事業用)11.2~原子力11.7

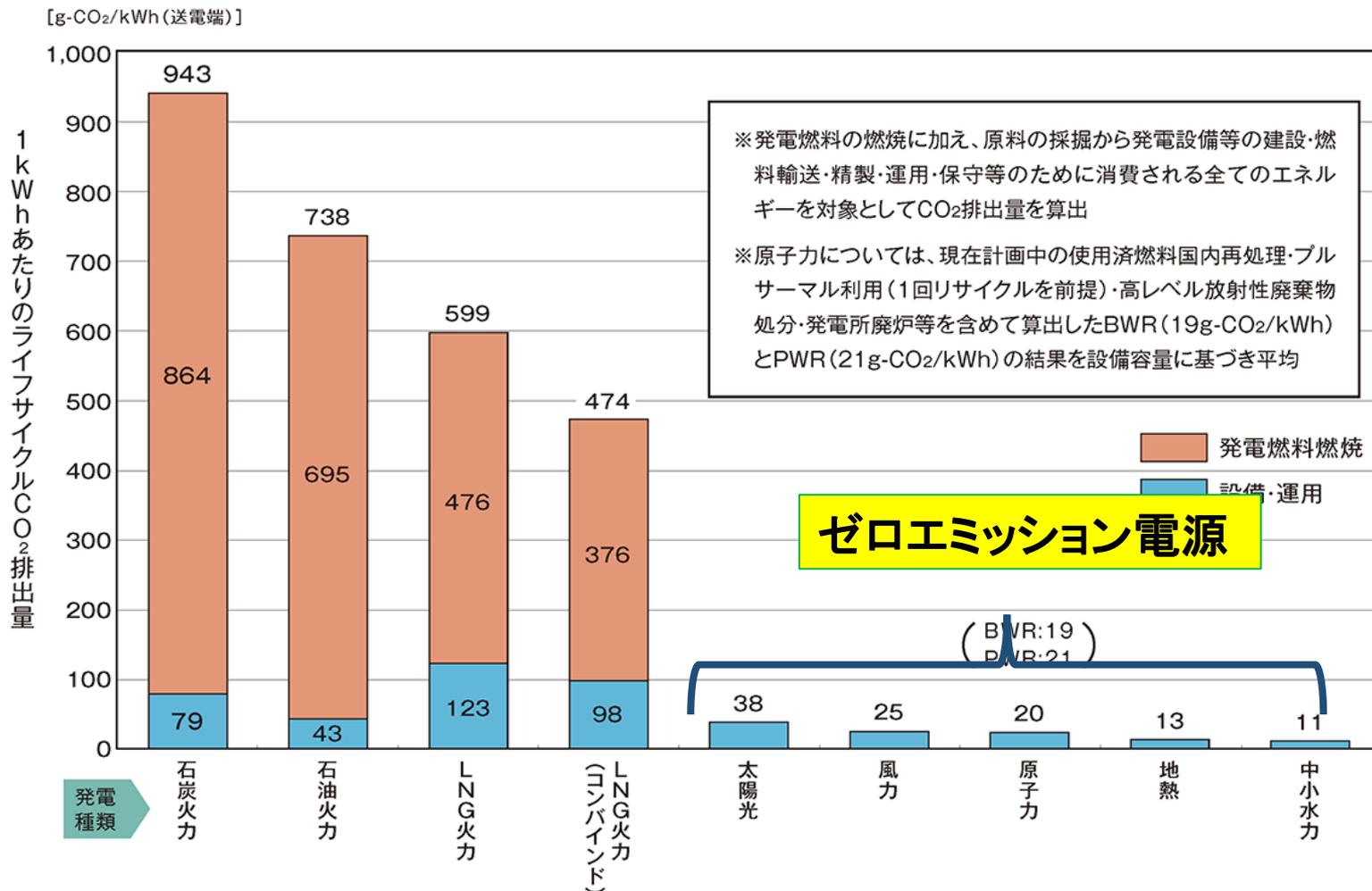


■太陽光・風力(自然変動電源)の大量導入により、電力需給バランスの為に揚水発電、火力バックアップ、送電線追設など追加コスト発生する

統合コスト(システムコスト)
再エネ18>原子力14



環境保全：原子力はCO2排出が少ない



原子力は太陽光や風力よりもCO2排出が少ない

再エネ、原子力、火力の比較評価

3電源の強み(青字)と課題(赤字)

	変動再エネ	原子力	火力(CCUS) *
国益	太陽光パネル、風力発電機導入の際に中国リスクが大きい 国産化が鍵	準国産エネルギーとして優位	世界最高効率火力発電技術を保有
安全性	安全な廃棄物の処分が鍵	再稼働プラントの安全性は実証済み	安全性は実証済み
安定供給	変動性の解決に蓄電池、バックアップ電源が鍵	安定なベースロード電源として優位	電力需給調整に不可欠
経済性	発電コスト、追加コストの大幅低減が鍵	低コスト電源として優位	原子力に次いで安価
脱炭素	優位	優位	脱炭素化(CCUS開発、水素、アンモニア)が鍵
国民理解	優位 ただし環境破壊との反対あり	核燃料サイクルも含め、国民理解が鍵	安定電源として定着

注記; * CCUS; CO2の回収、利用、貯留

原子力発電は 全ての工学を 結集する総合システム技術

- エネルギー原則「S+3E」に則り、原子力発電プラントの設計、製造、建設、運転、保全を推進する
- 原子力発電プラントは機器部品点数が1千万点にも及ぶ巨大総合システム技術の集大成である
 - 発電設備、所内電源設備、計装制御設備、原子炉設備、冷却設備、廃棄物処理設備、原子燃料、建屋構築物等で構成されている
 - 新幹線50万点、航空機20万点、自動車3万点、メガソーラ1万点以下
- 電気電子工学、機械工学、材料工学、化学工学、核物理工学、土木建築工学等の広範囲な技術の結集である
 - 設計業務としては、システム設計、機器設計、配置設計、炉心燃料設計、遮蔽設計、耐震設計、動特性解析、信頼性解析、安全解析、事故解析等が包含され、官庁許認可のための安全性評価を含む
 - 運転・保全に当たっては、運転技術、炉心管理技術、放射線管理技術、廃棄物管理技術、保守補修技術等が必要とされる

軽水炉改良標準化と新型軽水炉の開発

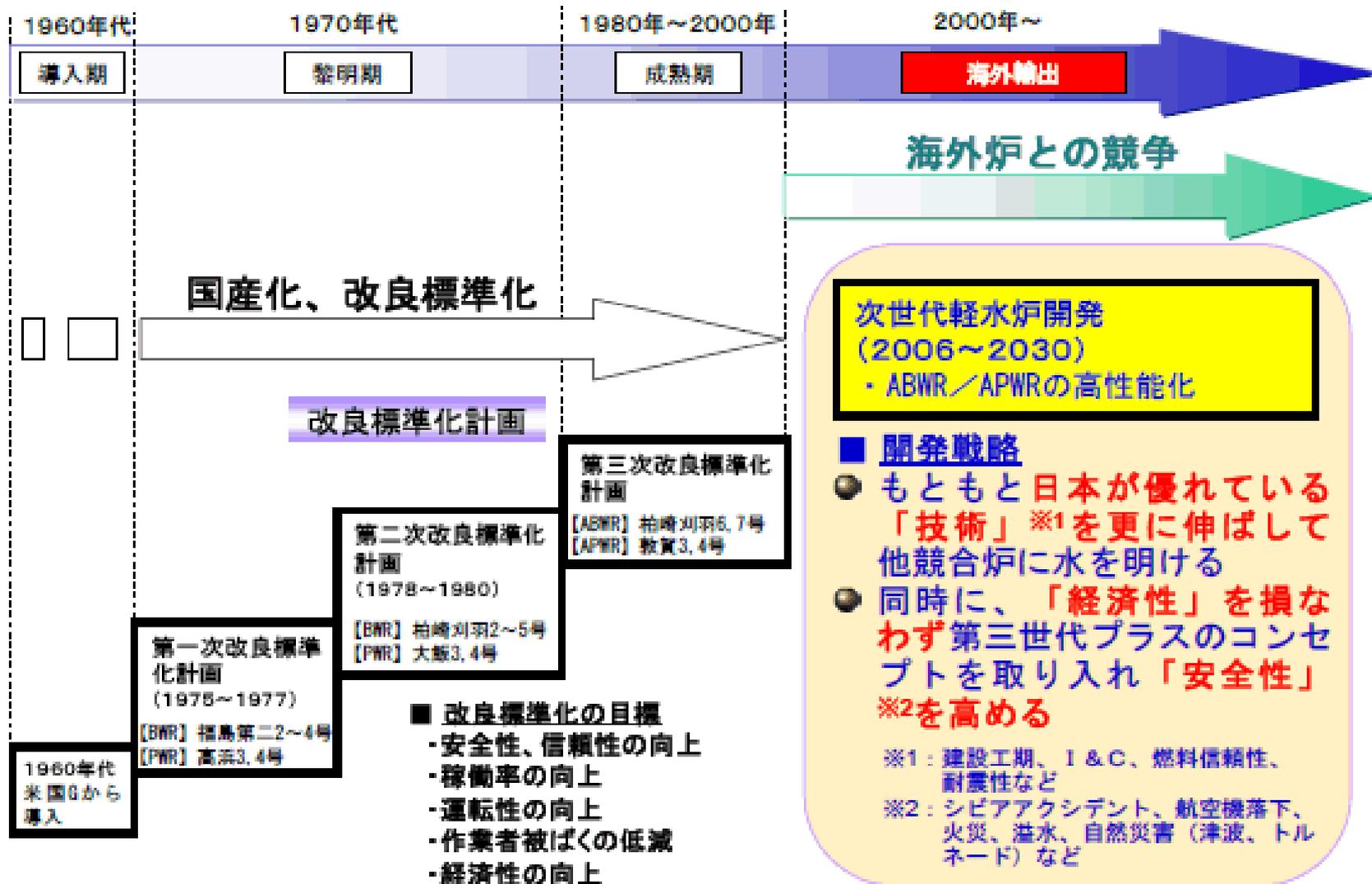
- 軽水炉技術は当初は米国より導入
 - BWR技術 米国GE社と東芝・日立が提携
 - PWR技術 米国W社と三菱重工が提携
- 海外技術への盲信的依存は多くの弊害を生み、国産技術の重要性が再認識された
- 国の指導で軽水炉改良標準化計画がスタート
 - 第1次改良標準化 1975-77 } 信頼性・稼働率向上、被ばく低減を目標
 - 第2次改良標準化 1978-80 } 福島第二2号機、高浜3,4号機から採用
 - 第3次改良標準化 1981-85 } 新型軽水炉 ABWR, APWRの開発
 - ABWR 柏崎6号機、7号機等に
 - APWR 敦賀3号機、4号機に採用
- その後、稼働原発は54基4,885万kwに達し、原子力で電力供給の34%を発電していた（2000年代）

軽水炉改良標準化計画の狙い

		従来のプラント (800, 1100MW級)	第一次改良標準化 プラント (800, 1100MW級)	第二次改良標準化 プラント (800, 1100MW級)	第三次改良標準化 プラント (1300~1500MW級)	改良策の例	
						BWR	PWR
稼働率 信頼性および	時間稼働率	プラントにより かなり異なる	約75%	約80%		・耐SCC材の採用 *	・燃料の改良 (ポーイング対策)
	設備利用率	(同上)	約70%	約75%	約80%	・炉心改良設計 の採用	・蒸気発生器の 改良
定期検査日数		90~100日 (補修工事がない 場合)	約85日 (同左)	約70日 (同左)	約50日 (同左)	・制御棒駆動機 構自動交換機 の採用 ・燃料交換機の 改良	・原子炉容器蓋 一体化構造物 の開発 ・燃料検査シス テムの改良
従業員の被ばく		(100%とする)	約75%	約50%	約40%	・配管機器 ・配管自動ISI機 器の大幅導入 ・コバルトフリー 代替材の採用	・蒸気発生器、 マニピュレー タおよび搭載 装置の開発 ・蒸気発生器水 室用ノズル蓋 の改良
						改良型格納容器の採用 (第一次改良策)	

注記; * SCC; Stress Corrosion Cracking 応力腐食割れ

軽水炉改良標準化計画の流れ

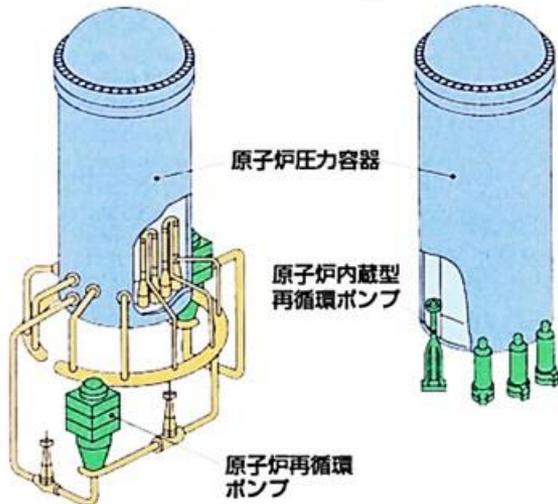


従来型BWRから新型ABWRに改良

- 外部再循環ポンプに代え、内蔵インターナルポンプを採用
- 鋼製格納容器に代え、コンクリート製格納容器を採用
- 制御棒駆動機構を水圧駆動から電動駆動に改良
- 運転制御盤は 最新型デジタル方式を採用

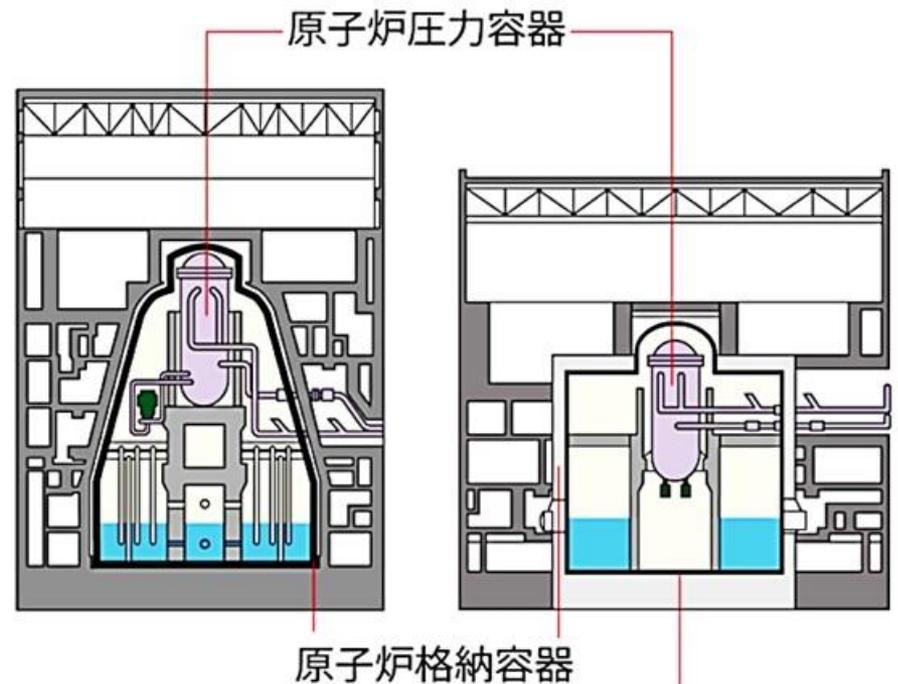
●従来型 BWR

●ABWR



●従来型BWR

●ABWR



原子力発電プラント 運転制御盤の改良

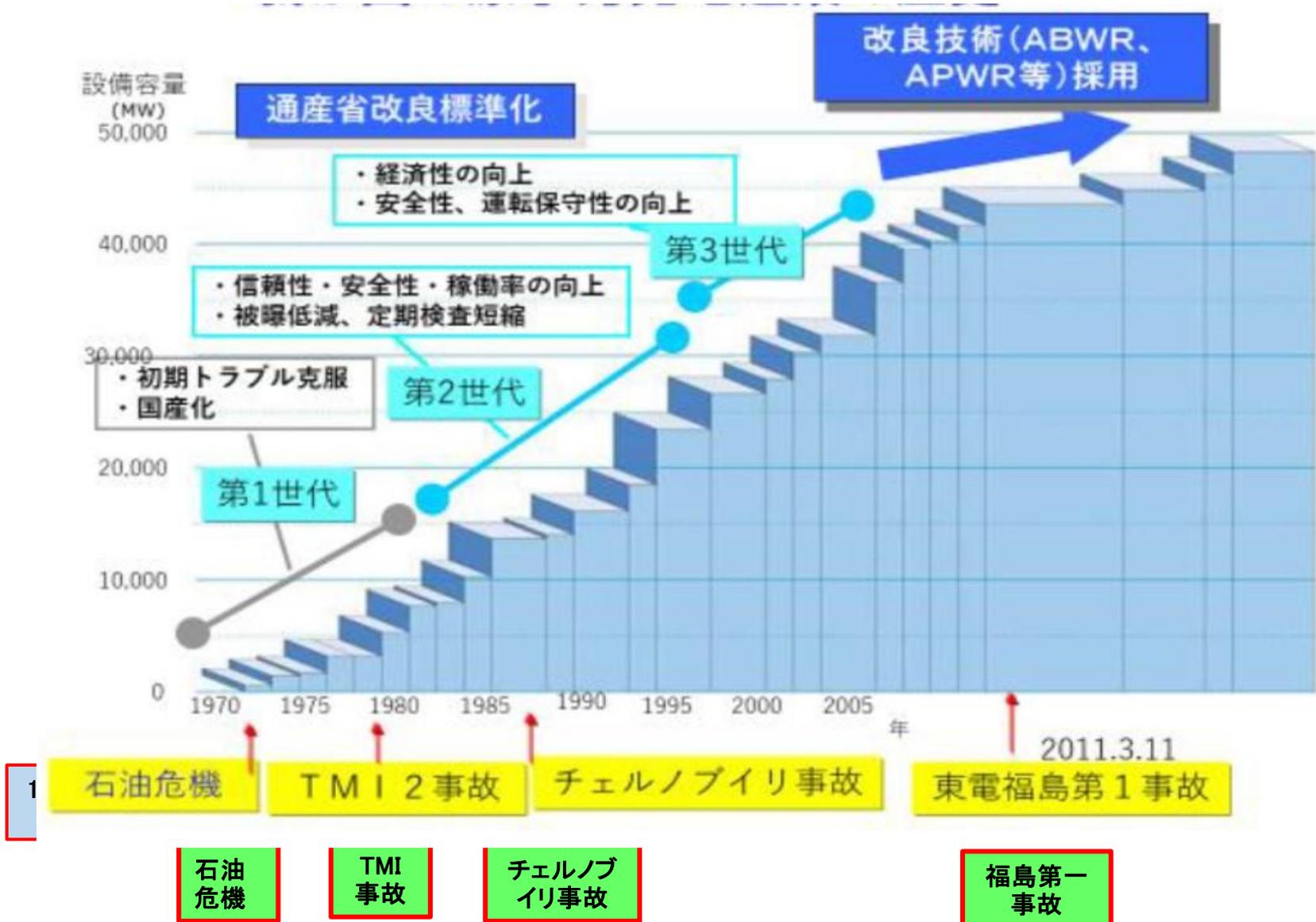


従来型運転制御盤
高浜4号機

最新鋭運転制御盤
柏崎運転訓練センター
ABWRシミュレーター



原子力発電50年の歩みと時代区分



2010年時点での

日本の原発 運転中は54基

■=計画中 ▲=建設中 X=廃止

日本原子力発電 敦賀 (福井県敦賀市) 1号 2号 ■3号 ■4号	関西電力 高浜 (福井県高浜町) 1号 2号 3号 4号
日本原子力研究開発機構 ▲ もんじゅ (同上) X ふげん (同上)	美浜 (福井県美浜町) 1号 2号 3号 大飯 (福井県おおい町) 1号 2号 3号 4号

中国電力
島根 (島根県松江市)
 1号 2号 ▲3号

上関 (山口県上関町)
 ■1号 ■2号

九州電力
玄海 (佐賀県玄海町)
 1号 2号 3号 4号

川内 (鹿児島県薩摩川内市)
 1号 2号 ■3号

四国電力
伊方 (愛媛県伊方町)
 1号 2号 3号

北陸電力
志賀 (石川県志賀町)
 1号 2号

中部電力
浜岡 (静岡県御前崎市)
 X1号 X2号 3号
 4号 5号 ■6号

北海道電力
泊 (北海道泊村)
 1号 2号 3号

東北電力
東通 (青森県東通村)
 1号 ■2号

東京電力
東通 (同上)
 ▲1号 ■2号

電源開発
 ▲**大間** (青森県大間町)

東北電力
女川 (宮城県女川町)
 1号 2号 3号

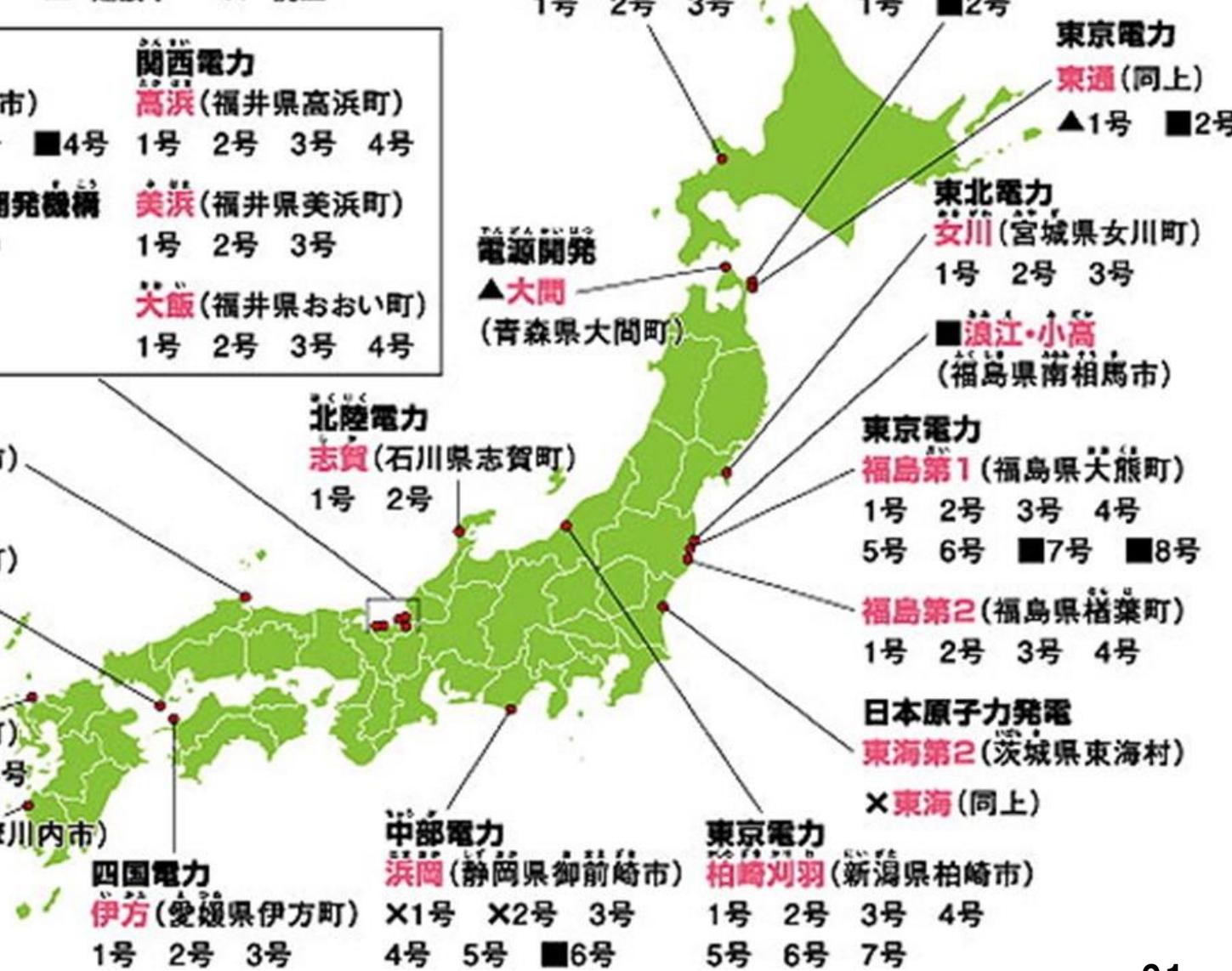
■**浪江・小高** (福島県南相馬市)

東京電力
福島第1 (福島県大熊町)
 1号 2号 3号 4号
 5号 6号 ■7号 ■8号

福島第2 (福島県楢葉町)
 1号 2号 3号 4号

日本原子力発電
東海第2 (茨城県東海村)
 X**東海** (同上)

東京電力
柏崎刈羽 (新潟県柏崎市)
 1号 2号 3号 4号
 5号 6号 7号



原子力産業の国際展開は

- 原子力機器の輸出実績

- 三菱重工/三菱電機 仏、米、ベルギー、フィンランド原発向け蒸気発生器、原子炉容器、同上蓋 中国原発向け原子炉容器、冷却材ポンプ、計装制御機器、タービン発電機 台湾原発向けタービン発電機
- 東芝/IHI 米国原発向け原子炉圧力容器
- 日立 米国原発向け原子炉圧力容器、再循環ポンプ、タービン発電機
- 東芝、日立 台湾原発向け原子炉主要機器

- 原子力プラントの輸出実績

- トルコ、英国等への売込みに鋭意努力するもプラント輸出の実績なし

- 海外原子力メーカーとの合併提携、買収

- 日立 米国GE 社との合併提携で国際展開
- 東芝 米国W社買収 米国原発建設で多大の損失を出し撤退
- 三菱重工 仏Areva/Framatome社との提携

福島原発事故の反省と教訓

福島原発事故の原因 2011/3/11発生

- 福島第一発電所は 震度7の大地震による影響は殆どなかったが、史上未曾有の高さ15mの巨大津波に襲われた
- タービン建屋地下に設置されていた重要電気機器が水没したとりわけ、非常用発電機、直流電源バッテリー、それらの配電盤
- 耐震設計上 建屋内の高い位置への設置が避けられていた
- 米国からの輸入原子炉であり、基本設計は米国の所掌で日本人の知恵、経験は十分に生かされていなかった
- 電気技術者として痛恨に堪えないところである

事故の反省と教訓

- 事故の原因究明とその対策を徹底し、現状では各原発の安全性は最大限に格段と向上している

原子力発電所の新規制基準

〈従来の規制基準〉

〈新規制基準〉

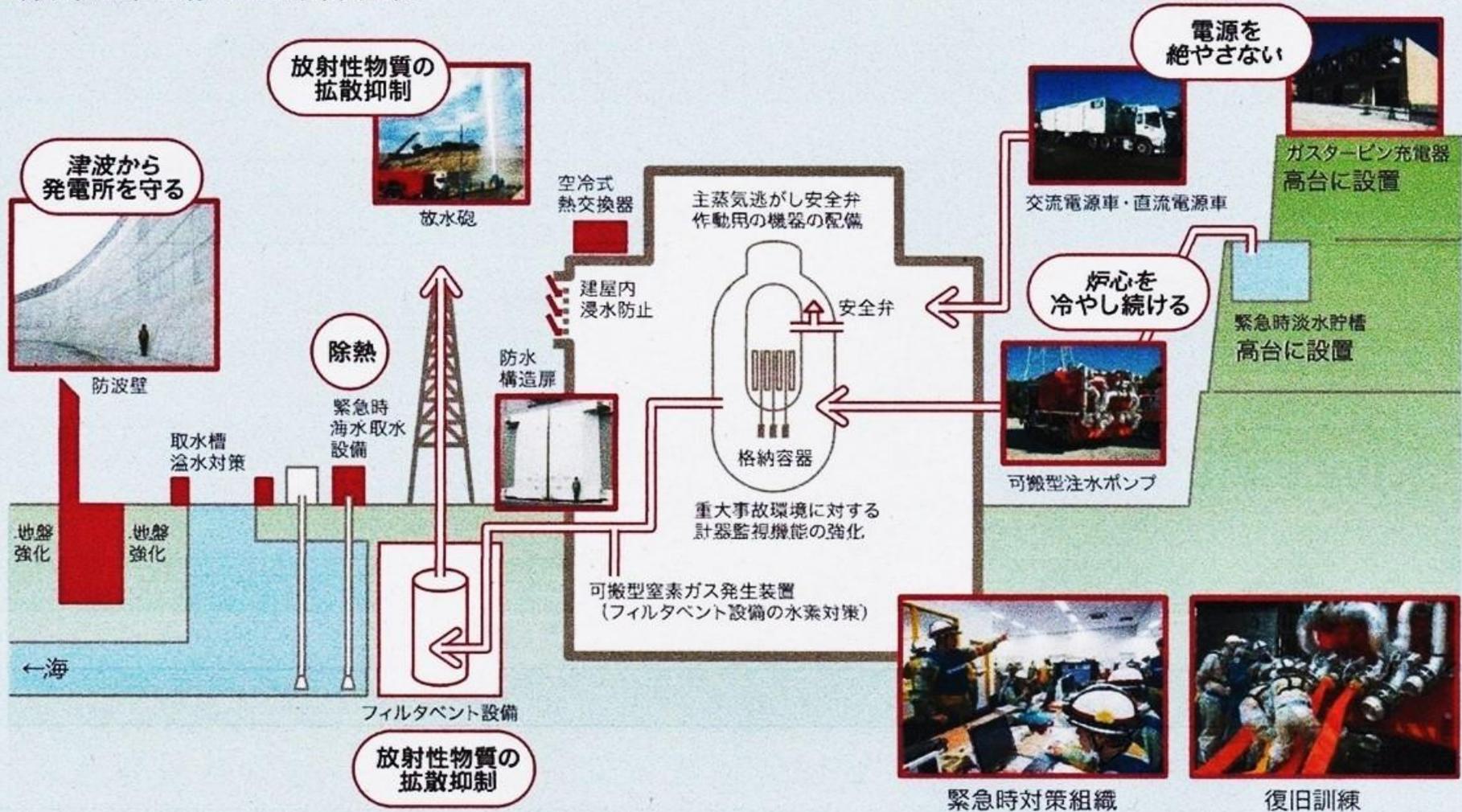
シビアアクシデントを防止するための
基準（いわゆる設計基準）
（単一の機器の故障を想定しても炉心
損傷に至らないことを確認）

自然現象に対する考慮
火災に対する考慮
電源の信頼性
その他の設備の性能
耐震・耐津波性能

意図的な航空機衝突への対応	新設 (ハードウェア) (新設)
放射性物質の拡散抑制対策	
格納容器破損防止対策	新設 (ソフトウェア/ハードウェア) (新設)
炉心損傷防止対策 (複数の機器の故障を想定)	
内部溢水に対する考慮(新設)	強化又は新設
自然現象に対する考慮 (火山・竜巻・森林火災を新設)	
火災に対する考慮	
電源の信頼性	強化又は新設
その他の設備の性能	
耐震・耐津波性能	強化

安全対策の実施例

新規制基準を踏まえた対策実施例



新規制基準で求められる主な対策 [イメージ]

緊急時対策所

- 免震機能
- 現地対策本部として機能
- 1週間活動するための飲料水、食料備蓄

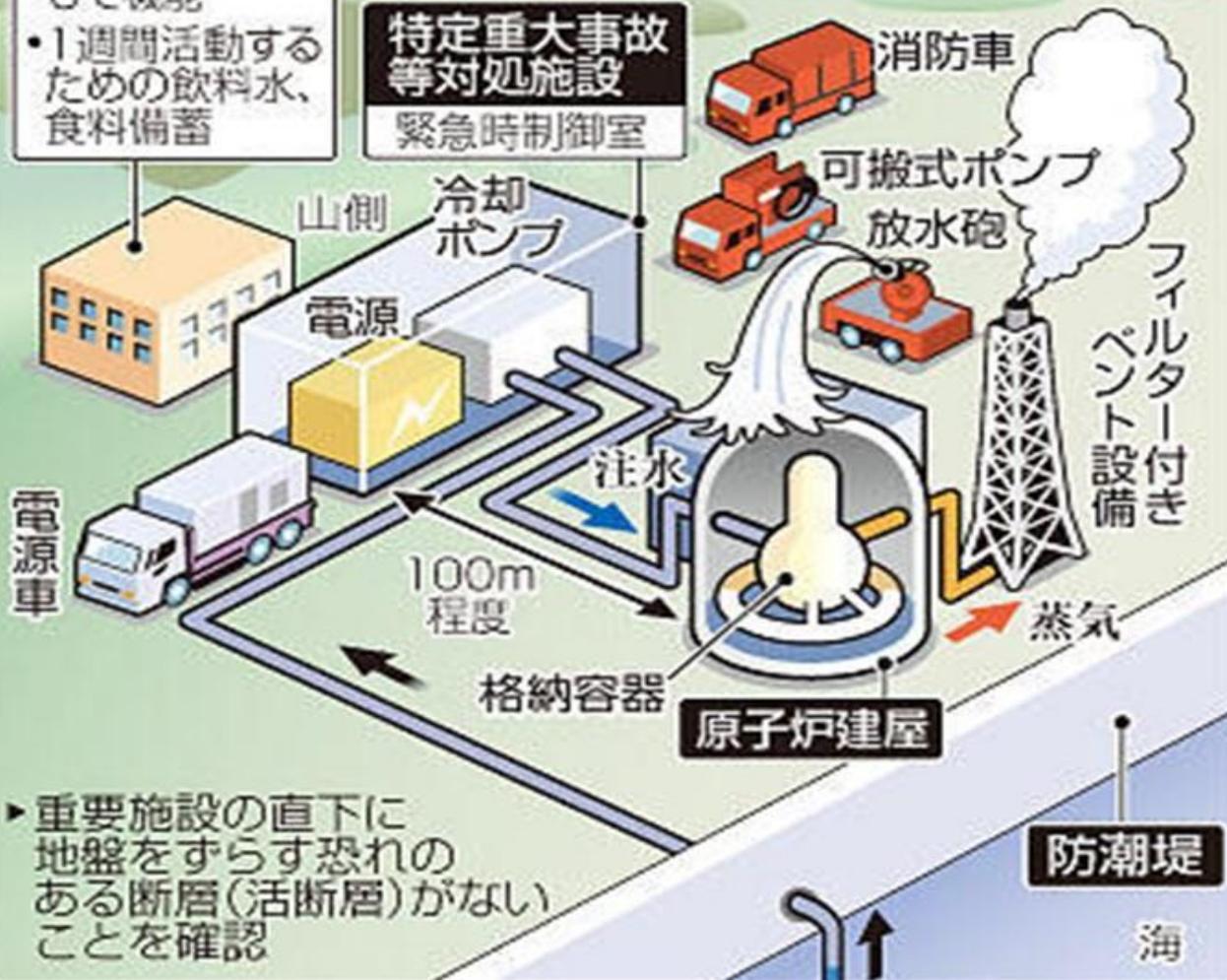
▶ 160km圏の火山の評価

▶ 航空機衝突のテロも想定



特定重大事故等対処施設

緊急時制御室



▶ 重要施設の直下に地盤をすらすら恐れのある断層(活断層)がないことを確認

原子発電所の現状（2022年7月4日時点）

再稼働
10基

稼働中 4基、停止中 6基（起動日）

●プルサーマル4基

設置変更許可+理解表明
4基

（許可日）

設置変更許可
3基

（許可日）

●プルサーマル予定 6基
（うち地元発電所 4基）

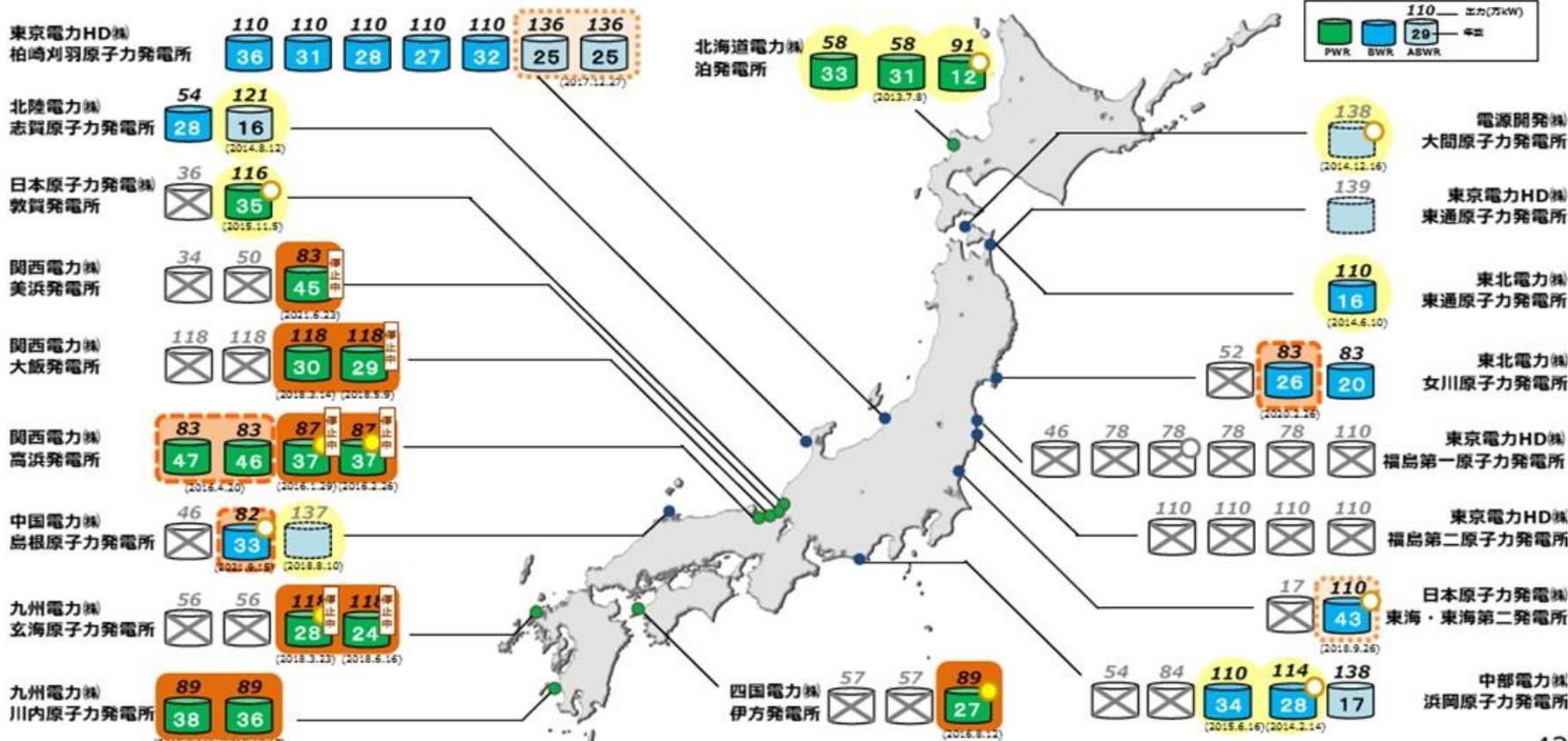
新規制基準
審査中
10基

（申請日）

プルサーマル検討中 6～8基
（文川3号機、志賀1号機、大飯1～2基、東電3～4基）

未申請
9基

廃炉
24基



脱炭素政策と原子力への期待

詳しくは基調講演(2)でお話します

地球環境保護のため脱炭素に向けて

- 2050年炭酸ガス放出を実質ゼロとする画期的な政策(カーボンニュートラル)が進行中
- 再生可能エネルギーを最大限拡大するという方針が打ち出され、原子力も積極活用したいとしている
- しかし原子力を取り巻く環境には厳しいものがある
原子力を忌避する国民感情とか、厳し過ぎる原子力規制による原発再稼働の遅れ、原子力利用長期政策の欠如 等々
- 昨今のロシアのウクライナ侵攻に伴う世界的なエネルギー危機、電力需給逼迫による夏冬のブラックアウトの恐れは喫緊の課題

原子力発電への大きな期待

- これらの解決に向け原子力発電への期待が世界的に高まっている
- 次世代軽水炉や小型モジュール炉SMRの開発研究も進行している
- 岸田総理は原子力政策の大転換を表明

総発電量に占める電源別の割合

再生可能エネルギー
石油 (水力含む)

2019年度
実績



従来の
30年度
政府目標



新たな
30年度
政府目標



目標達成には原発36基
(建設中3基)のうち
30基程度の稼働が必要

総発電量は
省エネで
約1割削減

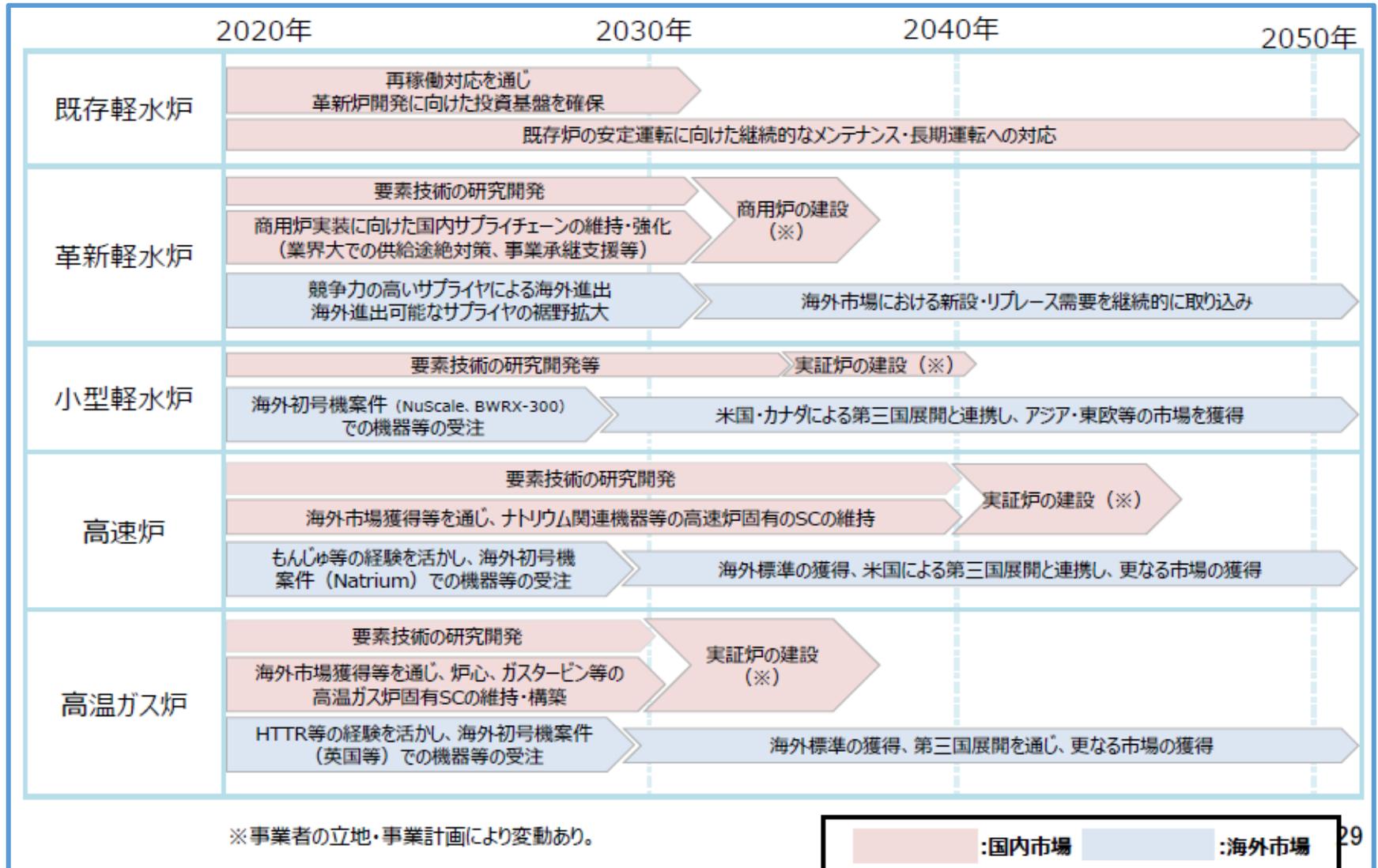
0 2000 4000 6000 8000 10000 12000 (億kWh)

再生エネの内訳



(エネルギー基本計画を基に作成)

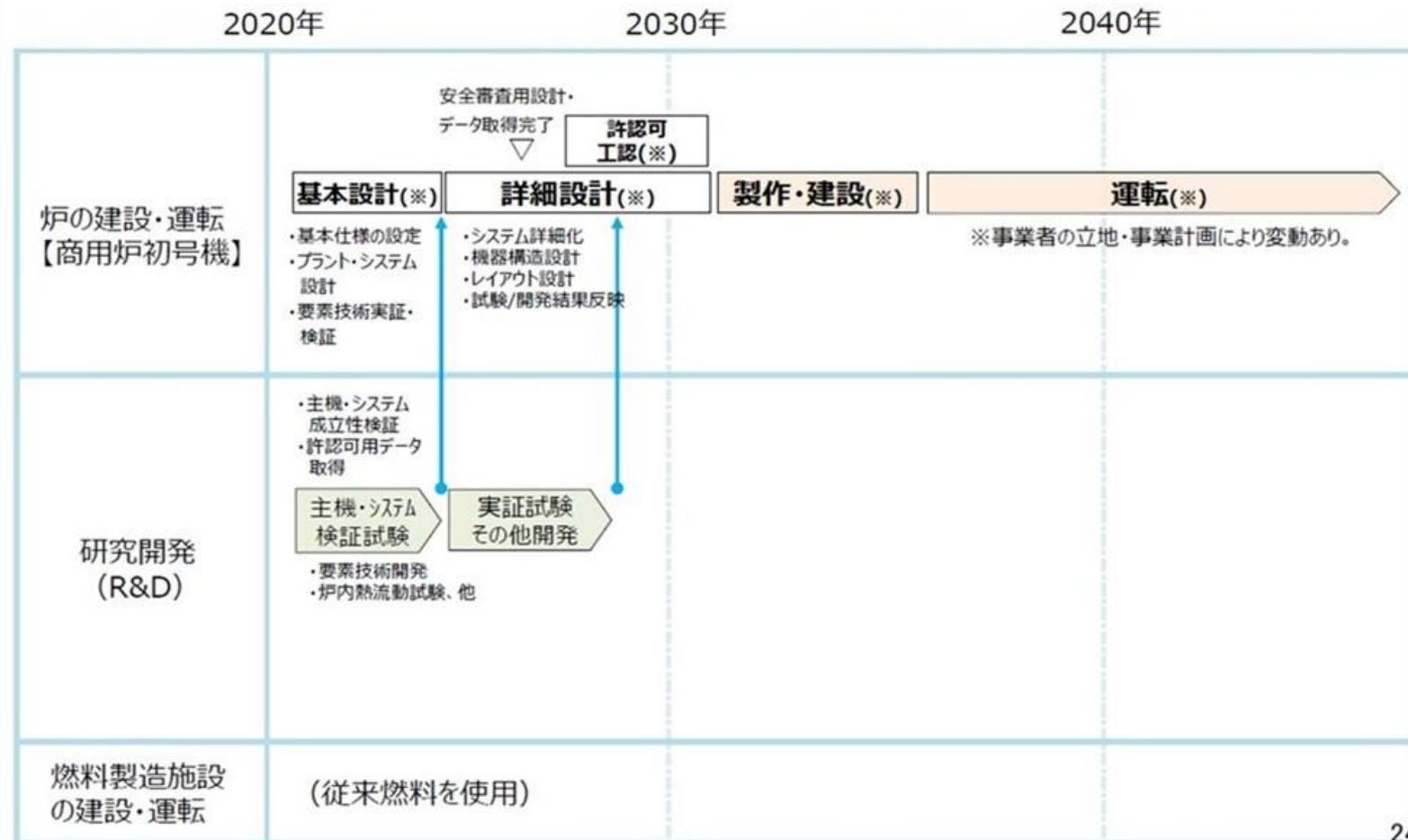
岸田総理 原子力政策大転換を表明 (本年8月GX実行会議)



岸田総理は、本年8月GX実行会議で原子力政策の大転換を表明、次世代革新炉等の開発・建設を検討すると明言

別添

導入に向けた技術ロードマップ^o（革新軽水炉）



導入に向けた技術ロードマップ^o（小型軽水炉）



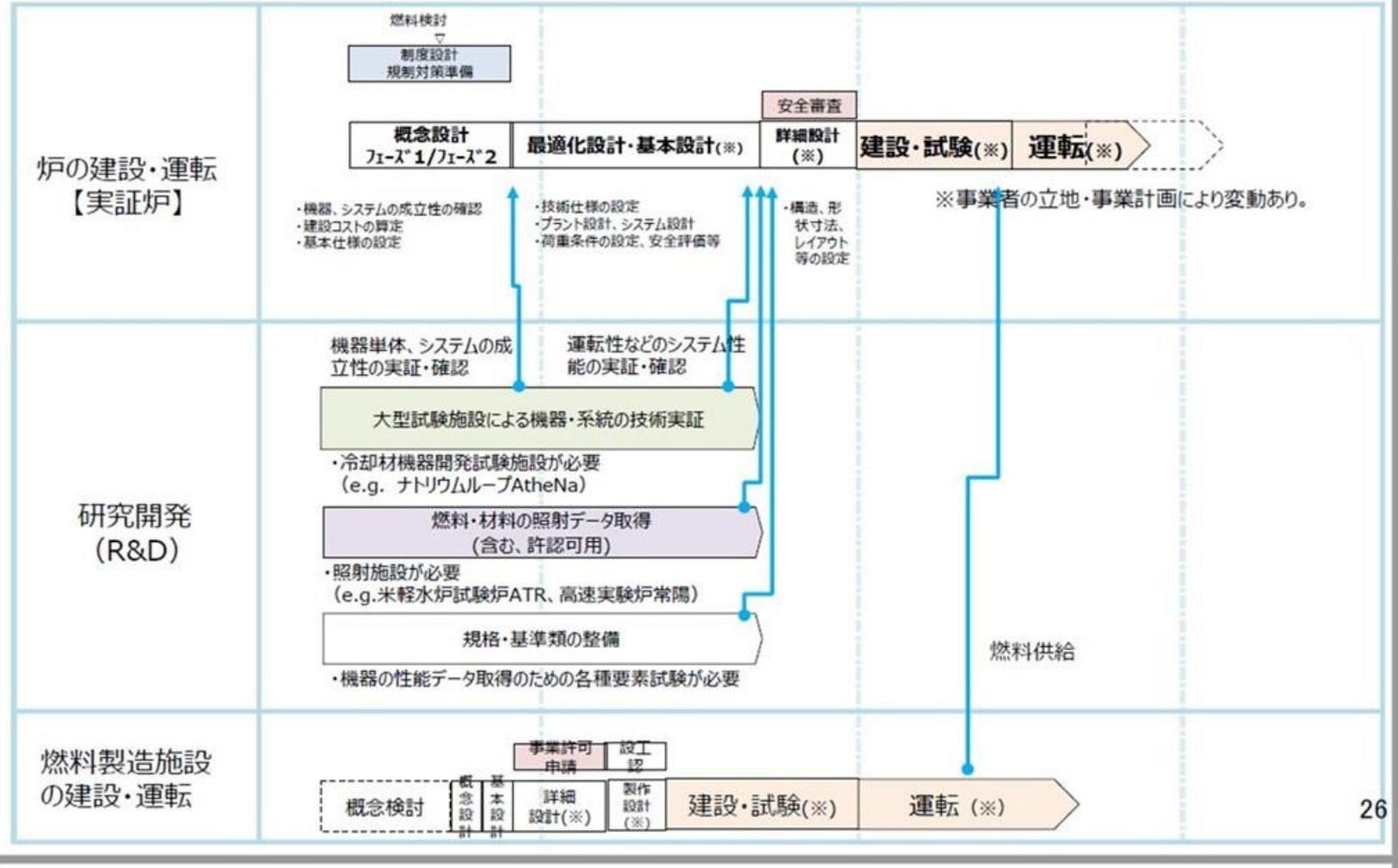
導入に向けた技術ロードマップ^o (高速炉)

2020年

2030年

2040年

2050年



若き技術者に望むこと

- 再生可能エネルギーは主力電源だと言うが、お天道様任せそよ風任せで国が栄え生活が向上するとは到底思えない
- フランス人はアラブの石油に頼らず、フランスの科学技術と技術者を信じて原子力に邁進すると言いきった
- エネルギー危機と脱炭素を解決できるのは原子力しかない
と将来を担う若者こそが自信を持って貢献すべき
- 政府は本年8月原子力政策を大転換、原子力産業は皆様の
ような次世代を担う新進気鋭の若き技術者に大きな期待を
かけています
- 原子力産業界での皆様のご活躍をお待ちしております

ご静聴 有難うございました