

日本原子力学会 原子力発電部会  
「次期軽水炉の技術要件検討」  
ワーキンググループ(フェーズ2)

【第4回議題】

次期軽水炉の重要コンセプトに関する議論  
(経済性向上)

2022.12.21

本資料は議論用のものであり、今後も継続して議論を行っていくため、来年度発行予定のWG報告書と内容が若干変更になる可能性があります。

## はじめに

---

本資料は、「次期軽水炉の技術要件検討」WG(フェーズ2)報告書(案)の4.8節の内容を纏めたものである。

### 4.8 経済性向上

- 4.8.1 建設工期短縮
- 4.8.2 設備利用率の向上
- 4.8.3 長期運転
- 4.8.4 経済性向上のまとめ

## 4.8 経済性向上

### ● 発電コストを左右する主要な要素に着目

発電コスト(円/kWh) = 総費用(資本費 + 運転維持費 + 燃料費 + 社会的費用)

／総発電電力量

- 資本費: 建設費、固定資産税、設備廃棄費用等
- 運転維持費: 人件費、修繕費、諸費等
- 燃料費: 化石燃料の価格、核燃料サイクルの費用
- 社会的費用: CO2価格、1F事故の賠償費用、政策経費(技術開発の予算、立地交付金など)等
- 総発電電力量(kWh): 出力 × 稼働年数 × 設備利用率で算出

(※)METI「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告(令和3年9月)」発電コスト検証WGを参照

### ● 本節で検討する内容は、経済効率性に係る技術要件として設計段階より計画・適用することが望ましい要素であり、かつ、発電コストへの影響が大きいと考えられる要素を選定

- ・総費用のうち大きな比率を占める初期投資(建設費)に係る「**建設工期**」
- ・総発電量に影響する「**稼働年数**」及び「**設備利用率**」

3

Intentionally Blank

4

## 4.8.1 建設工期短縮(1/8)

### ① プラント建設における現地工事について

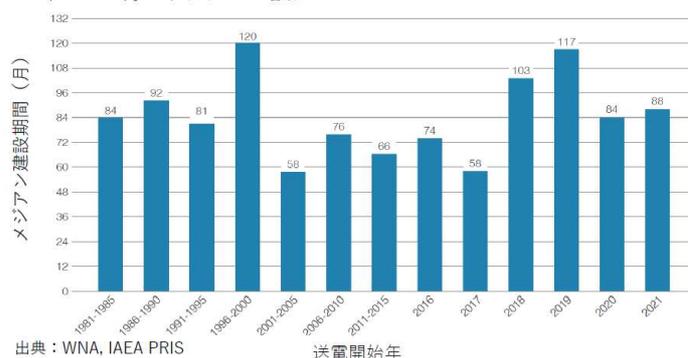
現地工事 { 敷地造成工事: サイト条件に依存・影響 → 本WGでは検討対象外  
建設工事: 本WGでの検討対象

### ② 海外の建設期間の状況

海外プラントの建設遅延の要因は設計管理・品質管理等のマネジメントに起因するところが大きいと考えられるため、本WGでは検討対象外。ここでは次期軽水炉の技術要件として**工程短縮に関わる建設工法技術を主体に検討**

図11. 原子炉建設期間の中央値（メジアン）  
（1981年～）

2021年に送電開始した原子炉の建設期間の中央値（メジアン）は88か月で、2020年の84か月からわずかに増加



出典: WNA, IAEA PRIS

送電開始年

(参照) 日本原子力産業協会2022年8月: 世界原子力協会「世界の原子力発電所運転実績レポート2022」  
WNA “World Nuclear Performance Report 2022” (2022年7月発表) 図表紹介 (仮訳)

5

## 4.8.1 建設工期短縮(2/8)

### (1) 軽水炉発電プラントの設計の特徴

#### ● 軽水炉発電プラント建設における特別配慮すべき設計

**遮へい設計**: 放射線をコンクリートや鉛などで遮へい

**耐震設計**: 建物・設備が壊れないように設計

また、建物に設置される機器や設備も床・壁に固定

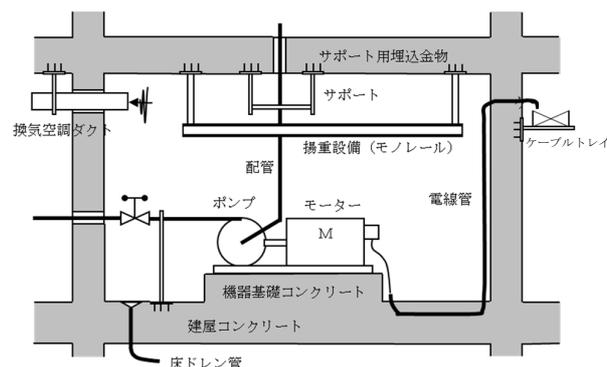
**区画分離**: 想定する事象に対し安全性確保のため独立性を強化

#### ● 原子炉建屋の基本設計の特徴

・ **床や壁の厚さは約1mと厚く、また、強度確保の観点で鉄筋量も多い**

・ **埋込金物や貫通部スリーブ等の埋設物が非常に多い**

・ **機器や設備の設置場所は小部屋単位で仕切られている**



6

## 4.8.1 建設工期短縮(3/8)

### (2) 軽水炉発電プラント建設における基本工法・工程(1/2)

- 軽水炉発電プラントの建設工事の特徴
  - ① 建築工事と機械・電気工事が長期間並行して実施
  - ② 工事物量が大きく、工事期間が長期
  - ③ 品質管理上の要求から細部にわたって試験・検査を実施

建設工事全体の流れとしては、  
 原子炉格納容器及び原子炉建屋の主要設備の建設がクリティカルパス  
 (次頁に、原子炉格納容器/原子炉建屋の建設工程イメージを示す)

- 現地工法における工程短縮の主な着目点
  - ① 建築工事と機電工事の同時進行かつ輻輳回避  
 可能な限り、建築工事期間中に先行据え付けを実施  
 それにより建築工事と機電工事の同時進行かつ輻輳回避を可能
  - ② ブロック化・モジュール化の適用  
 工場あるいは現地加工場でのブロック化・モジュール化  
 それにより現地作業量の低減または並行作業の拡大

7

## 4.8.1 建設工期短縮(4/8)

### (2) 軽水炉発電プラント建設における基本工法・工程(2/2)

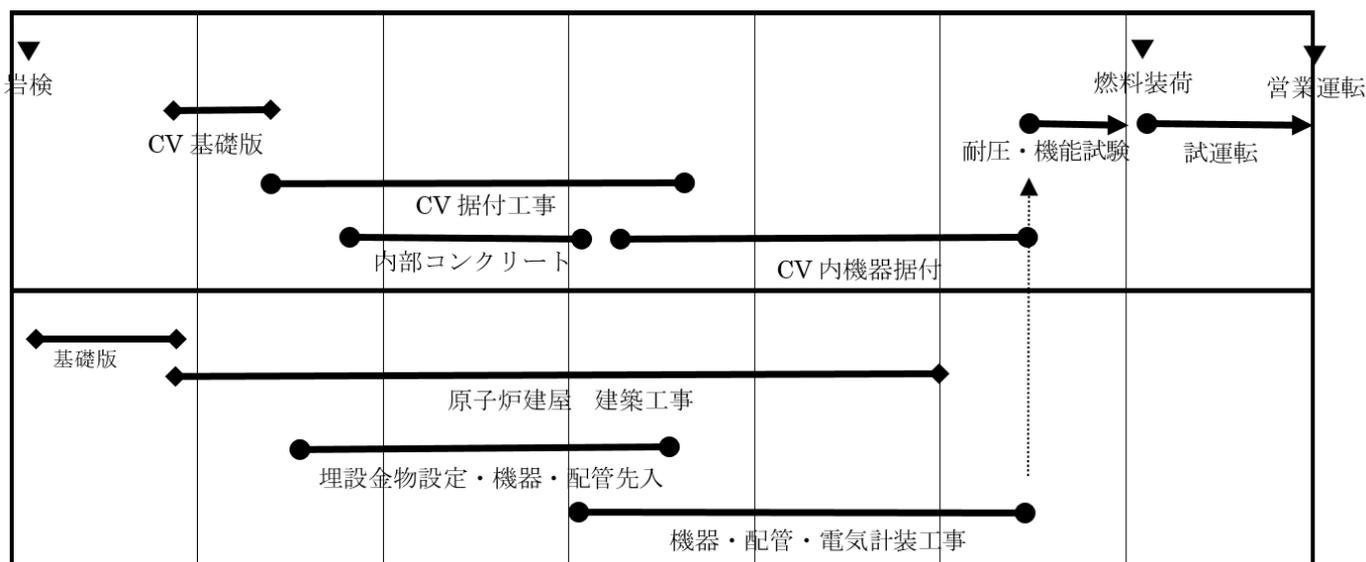


図 原子炉格納容器及び原子炉建屋の建設工程イメージ

8

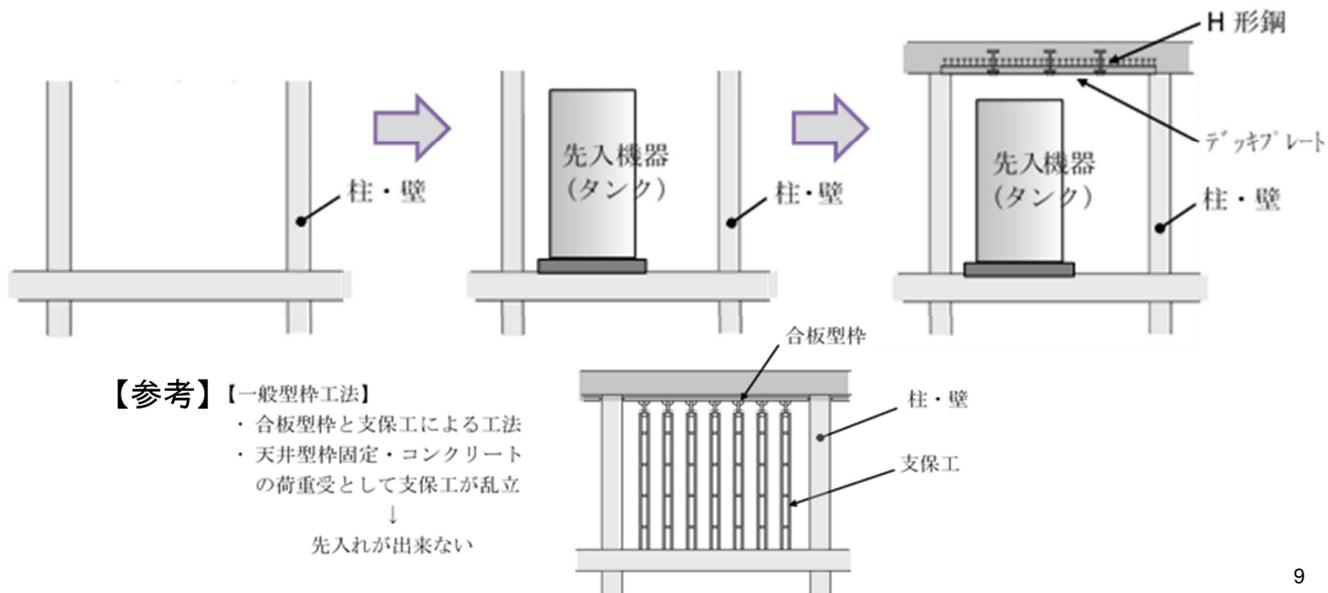
## 4.8.1 建設工期短縮(5/8)

### (3) 次期軽水炉の工程短縮技術

#### ① 先入れ品の拡大:無支保工(天井デッキプレート)工法

- ・ 従来より実績のある工法
- ・ 天井にデッキプレート工法を採用 → 無支保工とし機器の先入れが可能
- ・ タンク・熱交換器・配管類等以外にも大型回転機器や電気品も含め先入れ品の範囲を拡大

【先入れ工法イメージ図】(デッキプレート工法)



9

## 4.8.1 建設工期短縮(6/8)

### (3) 次期軽水炉の工程短縮技術

#### ② ブロック化・大型モジュール化工法

- ・ 予め工場あるいは現地加工場でブロック化・モジュール化
- ・ 大型のクレーンにより一体で設置位置に吊り込み

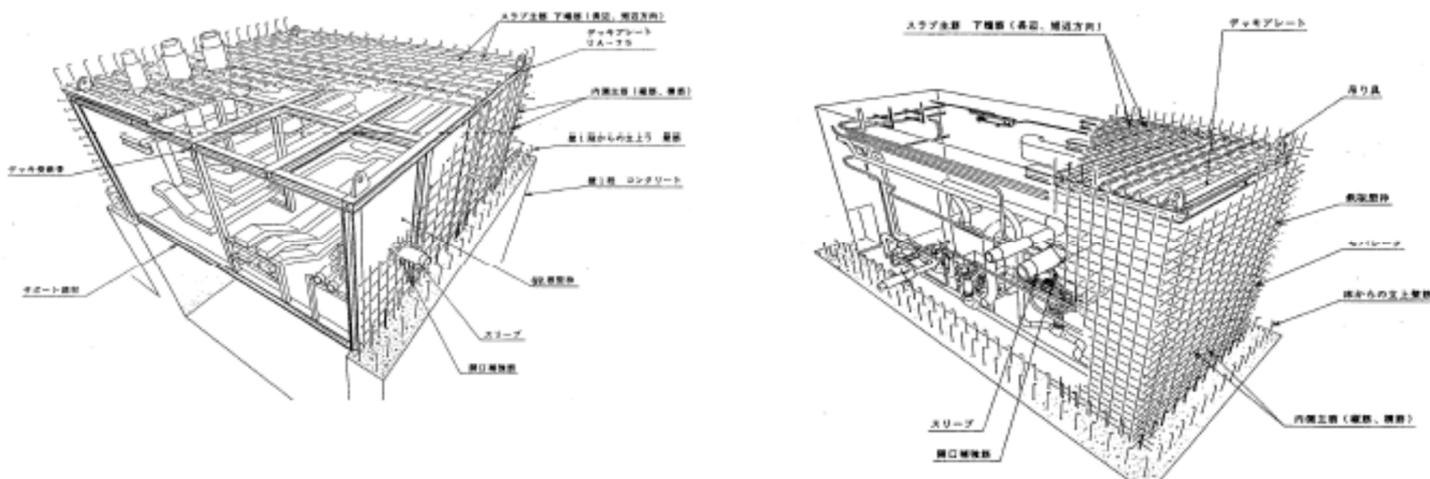


図 一般モジュール (現地組み 弁・配管類、配線設備等の例)

10

## 4.8.1 建設工期短縮(7/8)

---

### (4) 作業効率化・合理化に係る技術

- 建設コストは工事期間×人件費で構成  
ここでは人件費の低減アイデアについて検討
- 無人化やIT化を導入 → 作業の合理化・効率化  
(例)
  - ・ 溶接作業にロボット技術を導入
  - ・ 建屋周囲の埋め戻し作業に先進の通信システムを採用  
夜間も含めた作業の自動化
  - ・ 躯体工事(鉄筋)の検査に画像処理技術を用いた自動化システム
- これら合理化技術の採用により作業員の削減、作業の効率化に寄与  
クリティカル作業の回避 → 結果的に工程短縮にも貢献

11

## 4.8.1 建設工期短縮(8/8)

---

### (5) 次期軽水炉の工程短縮に関するまとめ

- 最近の海外状況では、不適合の発生等で建設工事が予定より大きく遅延している事例が確認されており、次期軽水炉においては教訓反映の上、品質管理/工程管理を徹底しプロジェクト推進していくことが重要
- 次期軽水炉は、新規制基準に対応した新設プラントであり、安全性向上を目指し、多重性・多様性・独立性の強化、外部ハザードへの耐性を強化しているためプラント全体の物量は増加傾向
- 従って、本項で紹介したような工法技術を採用することにより作業の効率化・合理化を図り、工程短縮を図ることは重要
- 以上より、次期軽水炉では、設計段階から最新工法・合理化技術を盛り込むことで、建設工事の長期化を防止する効果に期待

12

## 4.8.2 設備利用率の向上(1/7)

- 発電プラントとしての設備利用率は、総発電量に依存し、定格出力で稼働した場合には運転日数(時間)に比例
- 運転日数はサイクル長に依存し、サイクル間に実施される定期検査の間にも依存
- ここでは設備利用率に影響する**サイクル長**と**定期検査期間**について考察(下表のとおり、長サイクル運転や定検期間短縮で設備利用率90%以上達成可能)

表 サイクル長及び定検期間を変更した場合の設備利用率(試算)

サイクル長区分	運転期間(日)	定検期間(日)	設備利用率(%)*
13ヵ月以内	390	60	86.7
	390	30	92.9
18ヵ月以内	540	60	90.0
	540	30	94.7
24ヵ月以内	720	60	92.3
	720	30	96.0

\*: 運転期間中は定格出力にて運転を継続すると仮定

13

## 4.8.2 設備利用率の向上(2/7)

### (1) サイクル長(1/2)

- 定期検査の間隔として、13ヵ月以内、18ヵ月以内、24ヵ月以内の3つの区分が法令で規定(現状、国内プラントは全て13ヵ月以内に区分)
- 定検間隔を延長して別区分にするには、以下の課題を解決する必要あり

#### ① 集合体最高燃焼度を考慮した燃料費への影響

- **サイクル長によっては** 取出し平均燃焼度が低くなり、**使用済燃料体数も増加し、燃料費の観点で経済性が悪化**  
そのため、集合体最高燃焼度制限に依りて、取出し平均燃焼度をなるべく高くするような**最適なサイクル長設定の検討が重要**
- **更なる高燃焼度燃料(5%超濃縮度燃料など)の導入により、長サイクル炉心への柔軟な対応が可能**。更なるプラントの設備利用率の向上と燃料費の低減に期待。
- また、次期軽水炉の新設ならでの対応としては、**将来の炉心・燃料の運用計画を踏まえ、設備条件(ほう酸タンク容量、余熱除去系の容量など)を設計段階から盛り込むことも可能**

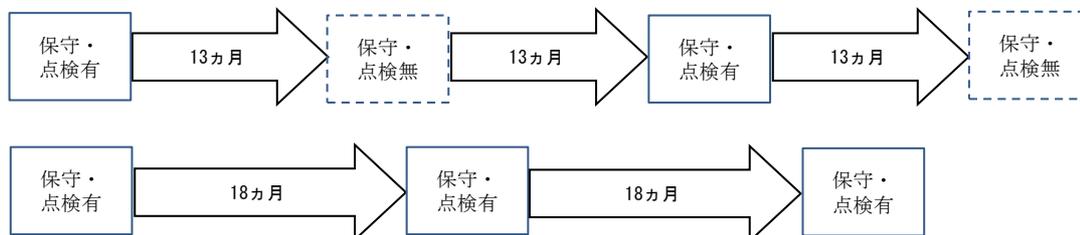
14

## 4.8.2 設備利用率の向上(3/7)

### (1) サイクル長(2/2)

#### ② 保守・点検間隔及び連続運転期間の延長による各設備への影響

- ・ 保守・点検の間隔の延長により、当該設備の健全性に問題がないか確認が必要
- ・ 保守・点検の間隔の延長が困難な場合、例えば2定検に1回（26ヵ月毎）の保守・点検としている設備を18ヵ月運転のプラントに適用する場合には、保守・点検の頻度が増加（保守・点検コスト増加）



- ・ また、連続運転期間の延長により、当該設備の健全性に問題がないか確認が必要
- ・ したがって、設備の健全性の確認及び、設備の保守・点検に必要なコストも勘案してサイクル長を設定する必要あり

15

## 4.8.2 設備利用率の向上(4/7)

### (2) 定期検査期間(1/2)

- 定期検査のクリティカル工程を短縮できれば定検のトータル期間を短縮することが可能（次頁に、「一般的なPWRの定期検査工程」を示す）
- 次期軽水炉では以下のような工程短縮に寄与する工法・工具を採用
  - ・ 燃料取扱装置の高速化や自動化
  - ・ 蒸気発生器伝熱管の渦電流探傷検査の高度化
  - ・ ポンプ類のローテーション など
- 更なる工程短縮として、次期軽水炉では設計段階からリスク情報を活用し、運転中保守(OLM\*)によるプラント稼働率向上の効果とあわせて最適な設計及び運用の計画が可能
- さらに、次期軽水炉では設計段階から作業性向上に配慮した配置設計が可能であることから、待機除外期間(AOT\*\*)中のリスク低減が期待でき、OLM適用に対しても有利に作用

(\*) OLM: On-Line Maintenance

(\*\*) AOT: Allowed Outage Time

16

## 4.8.2 設備利用率の向上(5/7)

### (2) 定期検査期間(2/2)

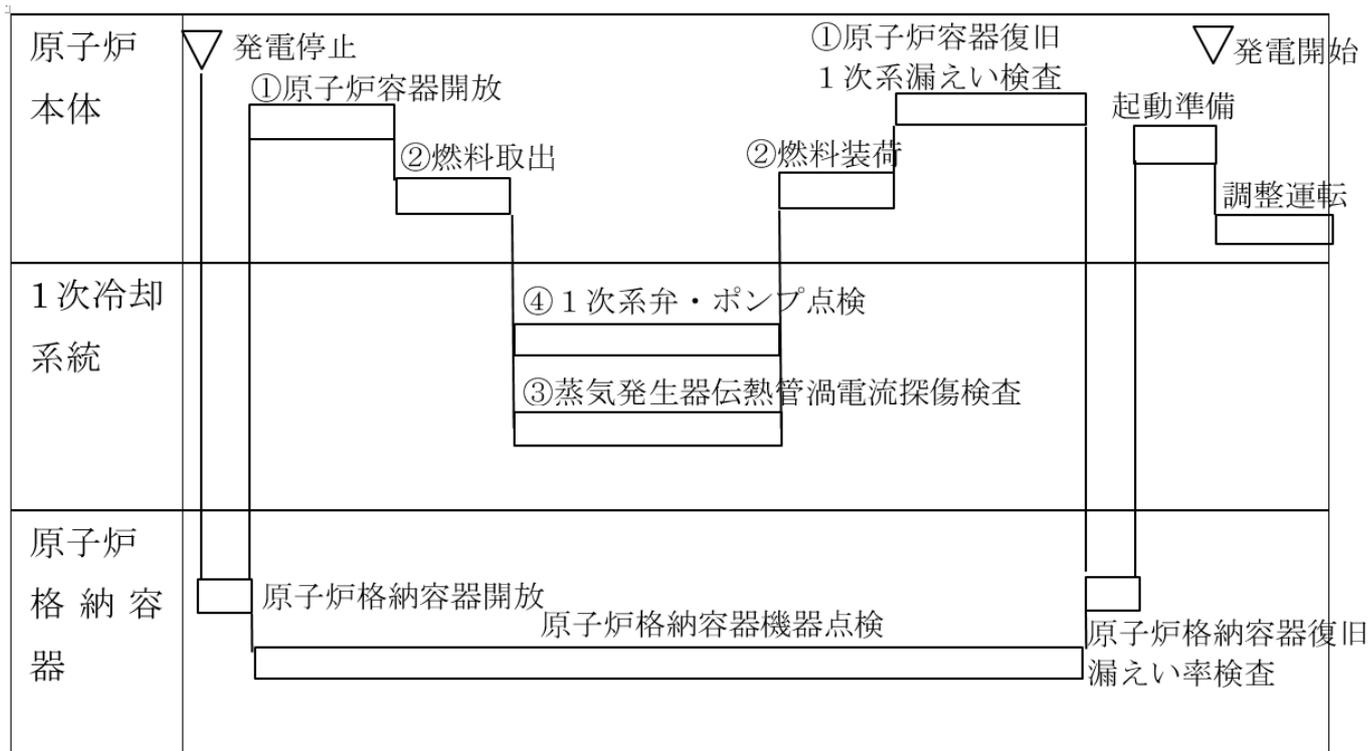


図 PWRの定期検査工程 (参考)

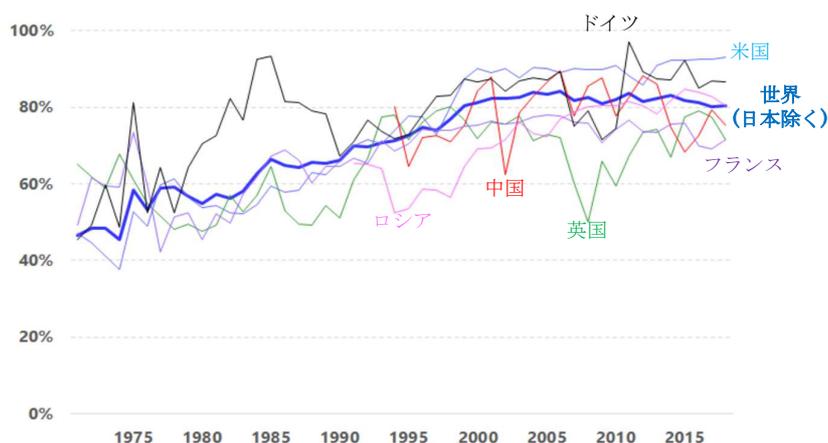
17

## 4.8.2 設備利用率の向上(6/7)

### (3) 海外の状況

#### ① 設備利用率について

- 各国の設備利用率(右図参照)は2000年以降、世界平均でも80%以上を維持
- 特に米国では概ね90%という高水準で推移



#### ② サイクル長について

- 海外では13カ月を超えた長サイクル運転が主流

国	平均サイクル長
米国	約18カ月
フランス	約15カ月
ドイツ	約13カ月
韓国	約17.5カ月

#### ③ 定検短縮(OLM)の実施状況について

- 米国South Texas Project(PWR)では、リスク情報を活用し、AOT活用のOLMを実施。OLM導入により、計画停止期間が3か月程度から1か月余りに短縮

18

## 4.8.2 設備利用率の向上(7/7)

---

### (4) 次期軽水炉の設備利用率の向上についてのまとめ

- 設備利用率の向上にはサイクル長の延長と定期検査期間の短縮が有効
- サイクル長については、燃料費などの観点から最適なサイクル長を設定し、またサイクル長の延長に伴う保守・点検にかかるコスト増加にも留意して、設備利用率向上の効果とあわせた検討が必要
- また、定期検査期間については、設備の自動化や高速化などの新技術の導入により短縮が期待
- 新設ならではの特長を生かして、設計段階から最適なサイクル長を設定して、それに応じた保守・点検の計画を立案し、OLMの適用も視野に入れたプラント設計、運営計画の立案をすることで、設備利用率の向上が期待
- さらに、新知見や新技術の開発の動向を注視し、長サイクル化や定期検査期間の短縮に有益だと考えられる知見・技術を適宜採用

---

Intentionally Blank

### 4.8.3 長期運転(1/5)

#### (1) 次期軽水炉での耐用年数に関する基本的な考え方

- 国内既設炉においては、60年運転の認可取得プラントあり
- 次期軽水炉においては、既設炉での運転経験を踏まえ、設計段階から信頼性向上や保守性向上等の対応策を適切に取り込んでいくことが重要

#### (2) 海外の長期運転に関連する制度設計の最新動向

- 近年、原子力利用国では規制当局が運転開始時に認可した原子力発電所の運転期間を延長・更新しての長期運転が本格化
- 米国では、最初の運転認可期間は40年、規制機関の審査により20年間の運転延長が可能。運転期間延長の申請回数には上限なし。60年運転は自然な流れ、80年の長期運転に移行しつつあり
- 仏国や英国などでは、運転認可期限は規定されておらず、10年に1度の定期安全レビューを実施。運転継続について規制当局の審査を受け承認を得ることで延長が可能

21

### 4.8.3 長期運転(2/5)

#### (3) 長寿命化に関する対応技術(1/3)

次期軽水炉として、信頼性・保守性の向上の観点より設計段階から配慮していく事項は、①設備の信頼性向上、②保全活動への配慮、③長期運転を想定した設計条件の設定

##### ① 設備の信頼性向上

- 基本的な考え方は設備を長寿命化して長期運転を実現
- そのため、過去に経験した腐食や疲労等の経年劣化事象への対応策をその時点での最新知見も含めもれなく設計に反映
- 設計段階から経年劣化対策等の信頼性向上施策を検討し取込むことを基本。既設プラントの主要機器において取替の主要因となった部位と劣化モードを明確にして適切に対処
- また、次期軽水炉では十分なメンテナンススペースの確保、アクセス性へ配慮した配置設計が設計段階から可能であることから、将来の新知見対応が発生した場合においても改造工事等が比較的容易に実施可能

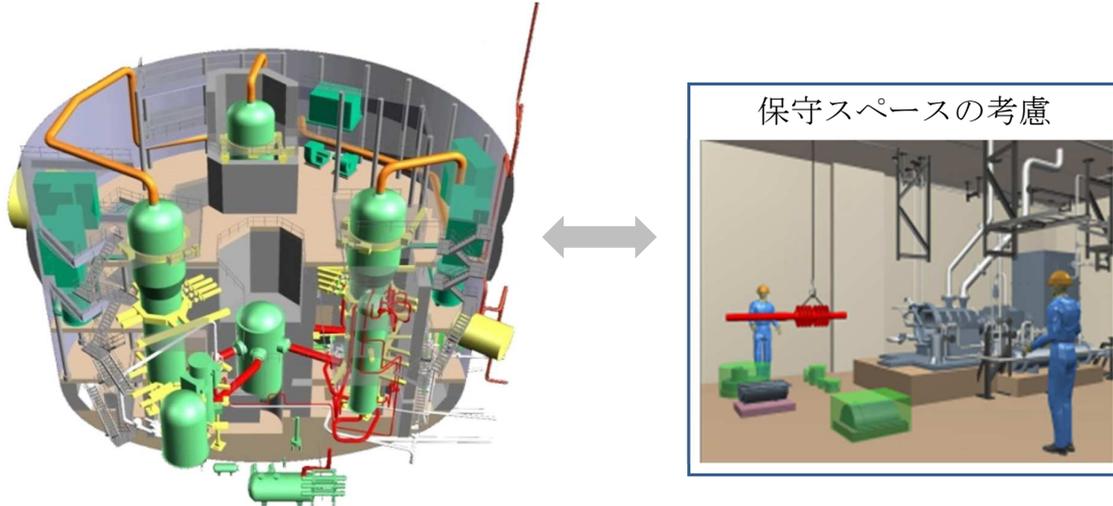
22

## 4.8.3 長期運転(3/5)

### (3)長寿命化に関する対応技術(2/3)

長期運転に備えたプラント設計の例

- 保守・保全経験に基づく保守性に優れたプラント設計
- 3D-CAD等を活用した最適設計
- 運転、保守を考慮した配置の最適化



23

## 4.8.3 長期運転(4/5)

### (3)長寿命化に関する対応技術(3/3)

#### ② 保全活動への配慮

- 運転開始後は、長期保全計画に基づいた計画的な保全活動を前提に設計段階よりプラント設計に適切な配慮をしていくことは重要
- 設備の取替に配慮した配置設計や揚重設備等の諸設備を予め配備
- 経年変化の把握及び状態監視が容易に実施できるよう設備設計に反映
- 国内の60年運転の認可に際して必要な経年劣化対応として以下のような特別点検があり、この様な試験が容易に実施可能となるよう処置
  - 原子炉容器の胴部の超音波探傷試験
  - 1次冷却材ノズルコーナー部の渦電流探傷試験 等

#### ③ 長期運転を想定した設計条件の設定

- 設計段階では設備設計のための前提となる設計過渡条件を設定(従来は40年間)
- 次期軽水炉ではさらなる長期運転を想定した設計過渡条件での疲労評価が必要

24

### 4.8.3 長期運転(5/5)

---

#### (4) 次期軽水炉の長期運転についてのまとめ

- 次期軽水炉においては、設計段階から経年劣化事象への対策や運転開始以降の検査・評価への対応を的確に行える処置を設計に取り込むことで技術面では60年～80年運転を想定することが可能
- 新設ならではの長を生かして、設計段階から適切なプラント寿命を設定し、それに応じた保守・点検の計画を立案することで、設備利用率の向上が期待できる

25

### 4.8.4 経済性向上のまとめ

---

- 次期軽水炉の経済性向上について、プラント建設の工法技術、定期検査技術や設備の信頼性向上技術等の様々な技術の適用を検討
- 引き続き今回取り上げた事項以外の以下の点についても検討を実施し経済性向上への対応を充実していく
  - ・ 建設費に影響する設備物量
  - ・ 発電量に影響する出力や熱効率等の技術事項
- さらに、今後の既設炉の廃止措置の経験を踏まえ、次期軽水炉の廃止措置に係る技術事項について設計段階からの配慮が重要
- さらなる経済性向上を目指して将来の新知見・新技術の適用も視野に入れ、それら動向を注視していくことも重要
- さらに、運転段階での新知見・新技術の適用を見据えて、改造工事等への対応を比較的容易に行えるように、機器の搬入経路や作業スペースの確保といった作業性やアクセス性に対する事前の配慮も重要

26