

第17回 原子力規制庁殿と日本保全学会との意見交換会資料

安全性向上と稼働率向上を目指した 近未来における原子力発電所の運用改善 に関する検討

2023年4月17日

(一社)日本保全学会
原子力規制関連検討会

目次

1. 世界の原子力発電所の設備利用率、定検日数と保全の特徴
2. 我国原子力発電所の保全と運転の特徴
3. 現状の問題意識
4. 保全適正化への取り組み
 - 4.1 保全作業の年間平準化
 - 保全作業を年間平準化することの意義
 - 4.2 保全方式/保全方法の適正化
 - ① 保全方式/保全方法の適正化（ベストミックス化）
 - ② 分解点検周期の適正化（周期延長）
 - ③ 状態監視保全（CBM）の導入
 - ④ 運転中保全（OLM）の導入
 - ⑤ 入替点検の導入
 - ⑥ 定検期間の適正化（定検短縮）
 - ⑦ 運転サイクル長さの適正化（サイクル長さの延長）
5. 近未来における発電所運用の改善目標
6. まとめ

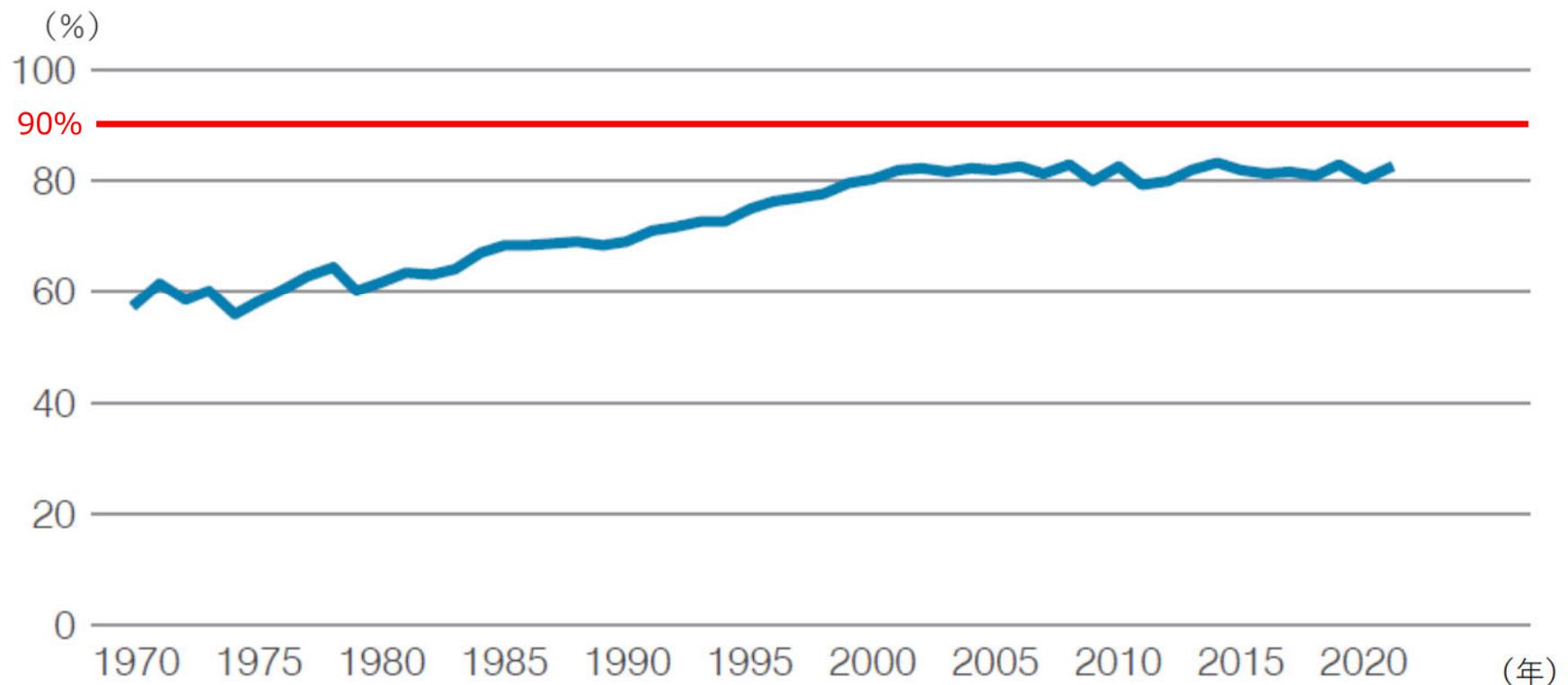
1. 世界の原子力発電所の設備利用率、定検日数と保全の特徴

| 区分 | 項目 | 年度 | | | | | | 保全の特徴 |
|----------------|-------------|--------------------------------------|------|------|------|------|-------|--|
| | | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2020 | |
| 世界 | 運転プラント数 (基) | 約400 | | | | | 約440 | ①CBM ②OLM実施 ③入替方式 (多) ↓ 定検時作業量 (少) |
| | 設備利用率 (%) | 約80 | | | | | 約80.3 | |
| | 平均定検日数 (日) | 約70 | | | | | 約65 | |
| | 運転サイクル | 独国 (約12ヶ月) / 仏国 (約15ヶ月) / 韓国 (約18ヶ月) | | | | | | |
| 米国 | 運転プラント数 (基) | 約100 | | | | | 約97 | ①CBM ②OLM実施 ③入替方式 (多) ↓ 定検時作業量 (少) |
| | 設備利用率 (%) | 約90 | | | | | 92.5 | |
| | 平均定検日数 (日) | 約40 | | | | | 約20 | |
| | 運転サイクル | 約18ヶ月～約24ヶ月 | | | | | | |
| 欧州 (フィンランド) | 運転プラント数 (基) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | ①CBM ②OLM実施 ③入替方式 (多) ↓ 定検時作業量 (少) |
| | 設備利用率 (%) | 95.4 | 95.6 | 95.3 | 96.0 | 93.5 | 90以上 | |
| | 平均定検日数 (日) | 15 | 13 | 14 | 12 | 19 | 17 | |
| | 運転サイクル | 約12ヶ月 | | | | | | |
| 国内 | 運転プラント数 (基) | 約55 | | | | | 約9 | ①TBM (高頻度) ②OLM無し ③入替方式 (少) ↓ 定検時作業量 (多) |
| | 設備利用率 (%) | 69.9 | 60.7 | 60.0 | 65.7 | 67.3 | 13.4 | |
| | 平均定検日数 (日) | 約165 | 約165 | 約200 | 約110 | 約115 | 約300 | |
| | 運転サイクル | 約13ヶ月 | | | | | | |

出典：保全学会にて作成

1.1 世界の原子力発電所の平均設備利用率の推移

2021年の世界の原子力平均設備利用率は、82.4%（前年から2.1ポイント増）。2000年以降、世界的に原子力の設備利用率は高い傾向が続いている



出典：WNA, IAEA PRIS

1.2 米国の原子力発電所の平均設備利用率の推移

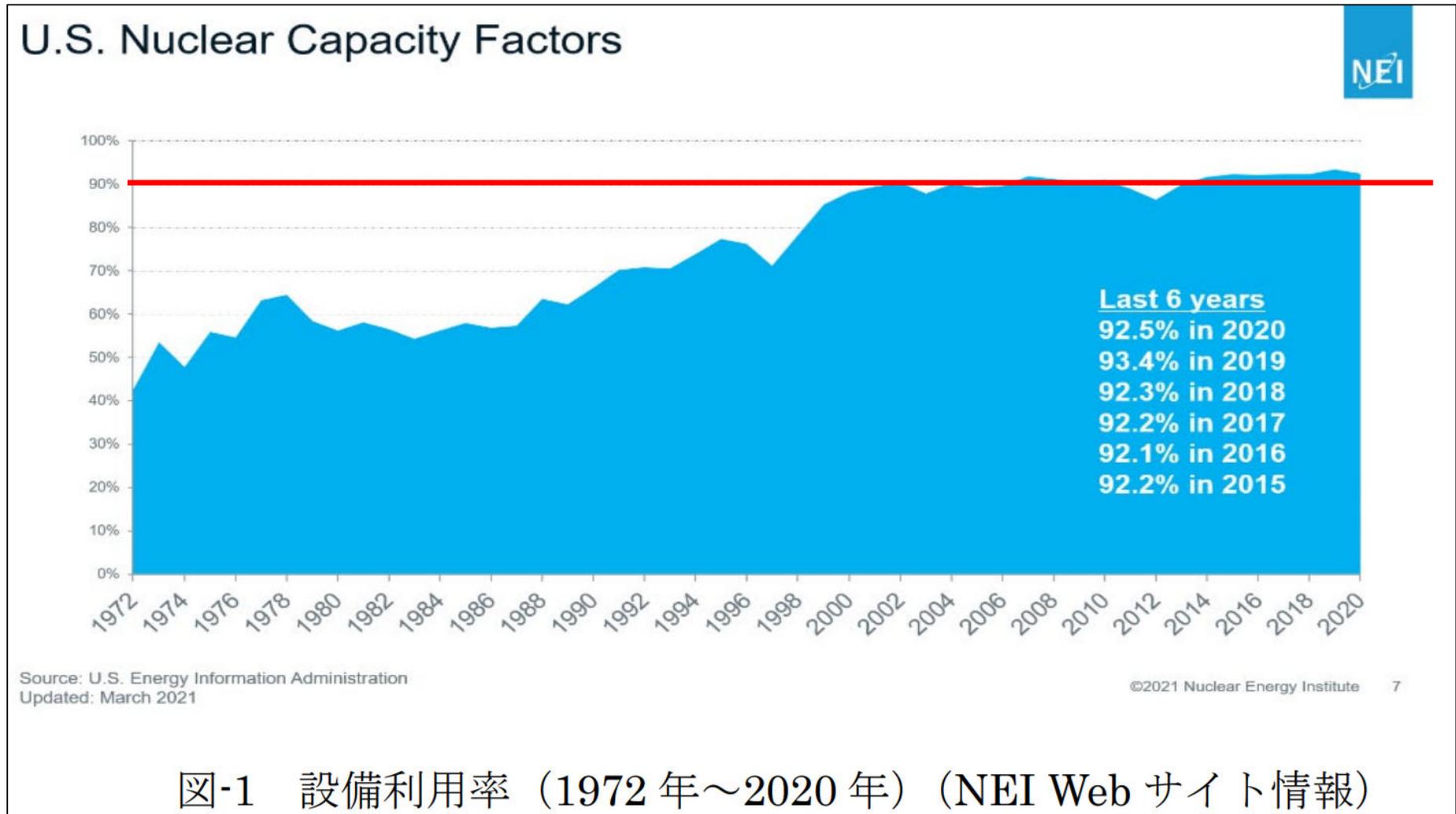
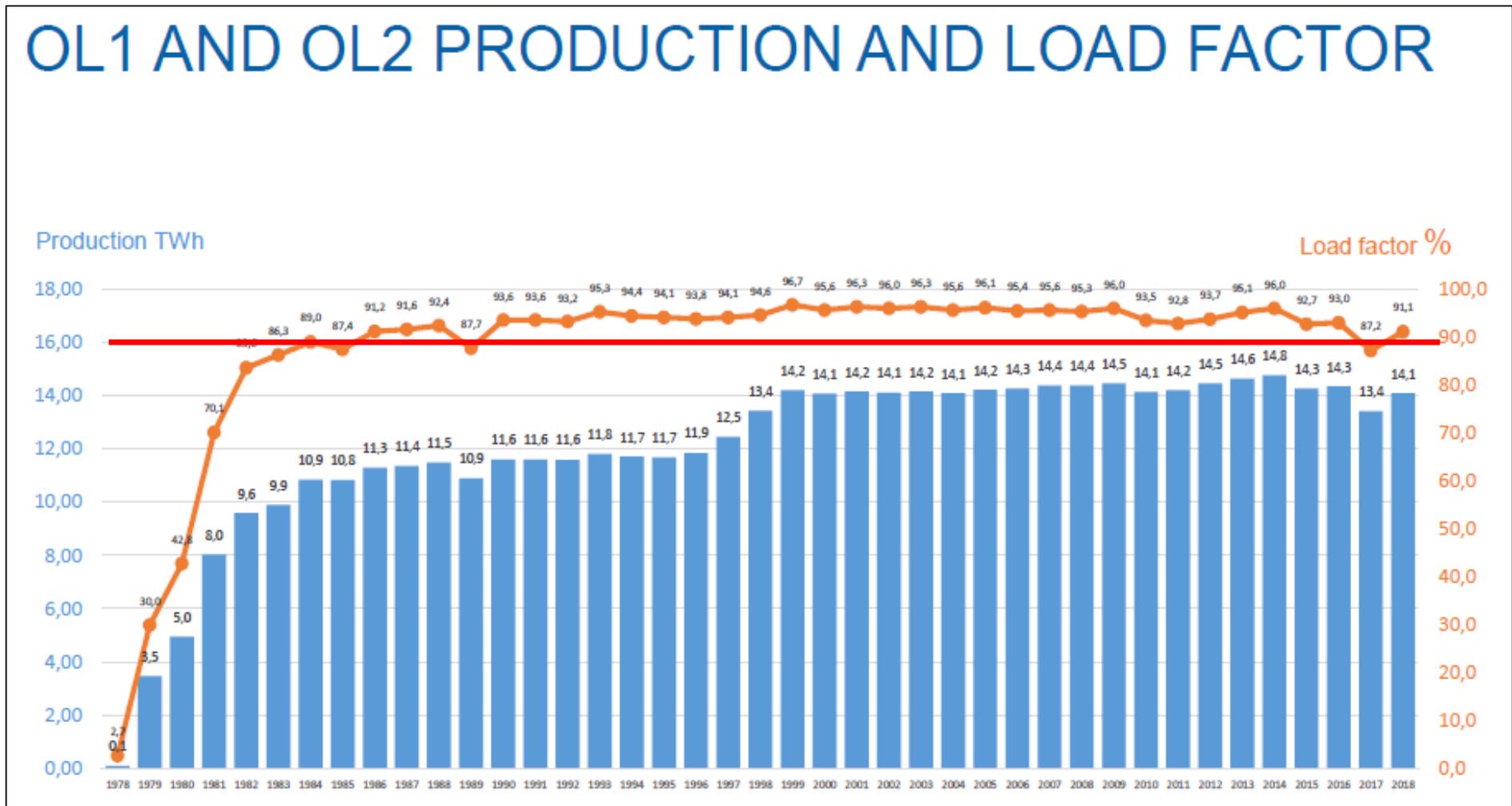
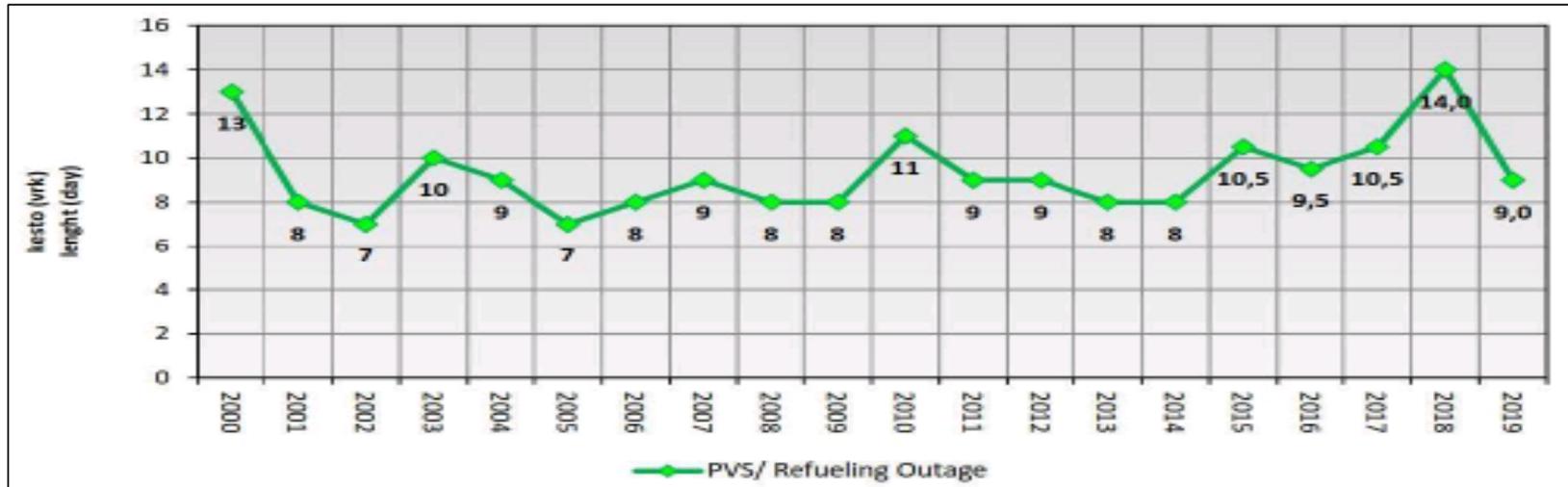


図-1 設備利用率（1972年～2020年）（NEI Web サイト情報）

1.3 欧州（フィンランド）の原子力発電所の平均設備利用率の推移

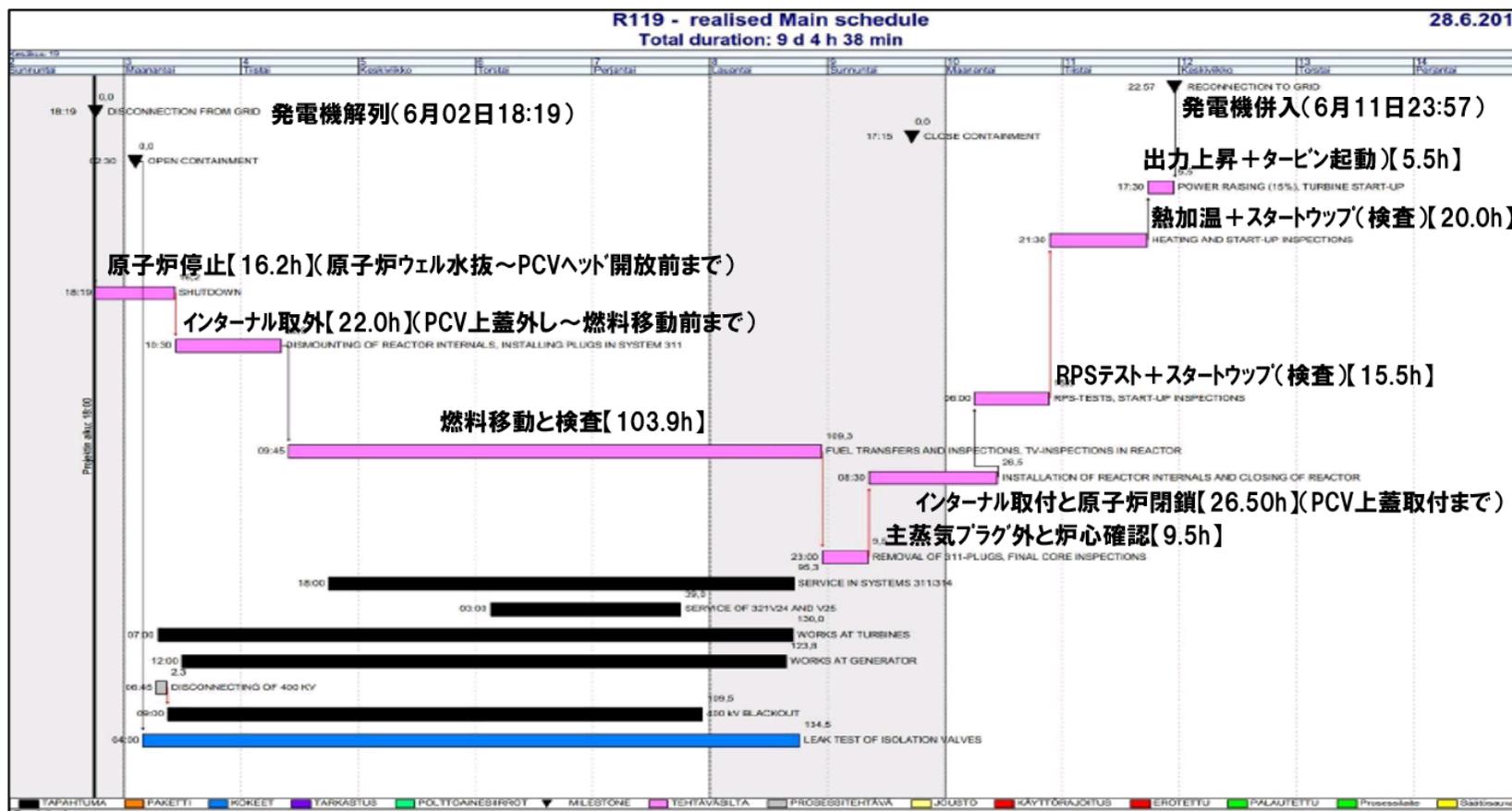


1.3 欧州（フィンランド）の原子力発電所の定検期間の推移

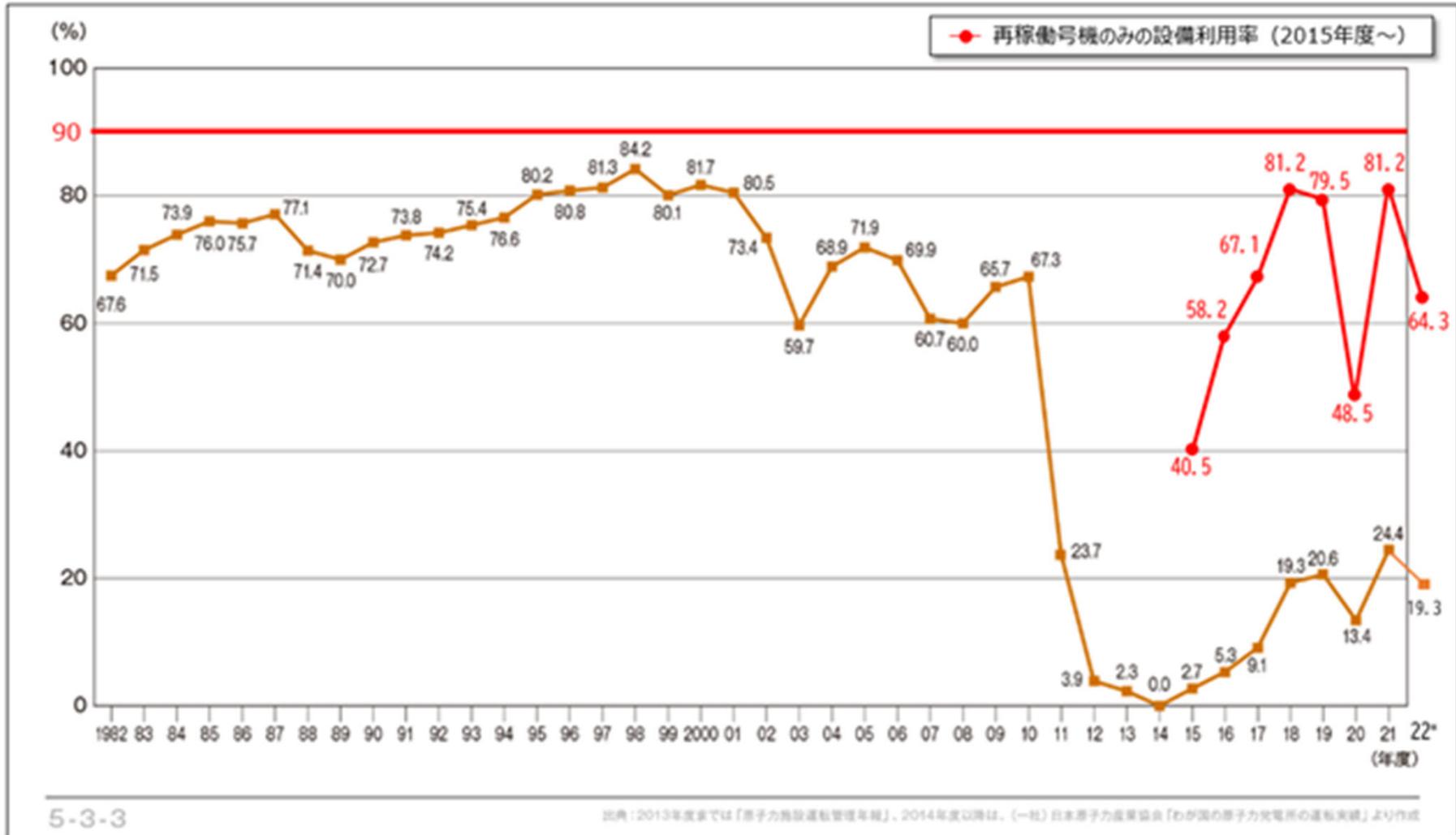


1.3 欧州（フィンランド）の原子力発電所の定検期間の実績

- 2019年の定期検査期間は、**ルキルト1が約9日と4時間38分**である。
- **ルキルト2が約24日と22時間18分**である。



1.4 日本の原子力発電所の平均設備利用率の推移

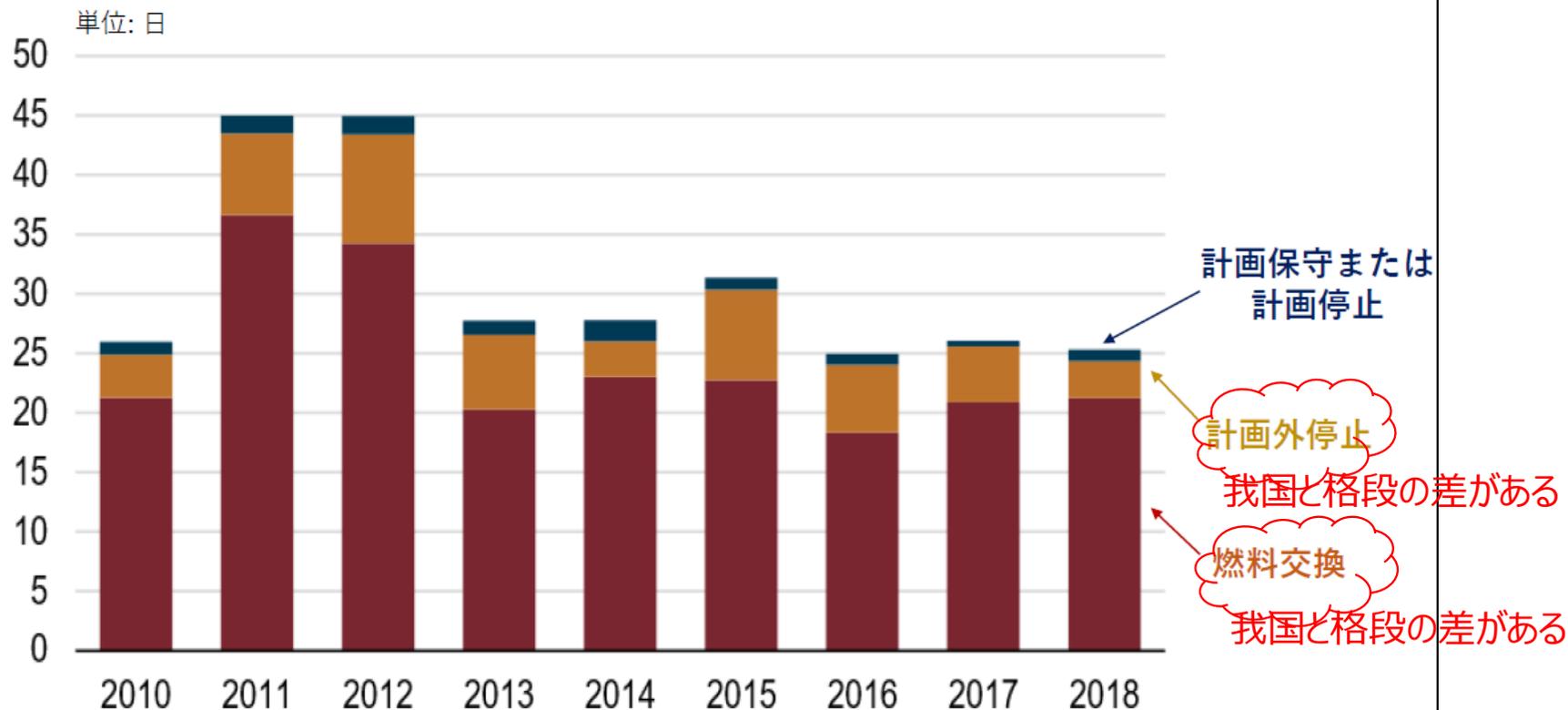


出典：保全学会にて作成

*2023/4/11の日本原子力産業協会公表値に基づく外挿

1.5 米国の原子力発電所の平均停止期間

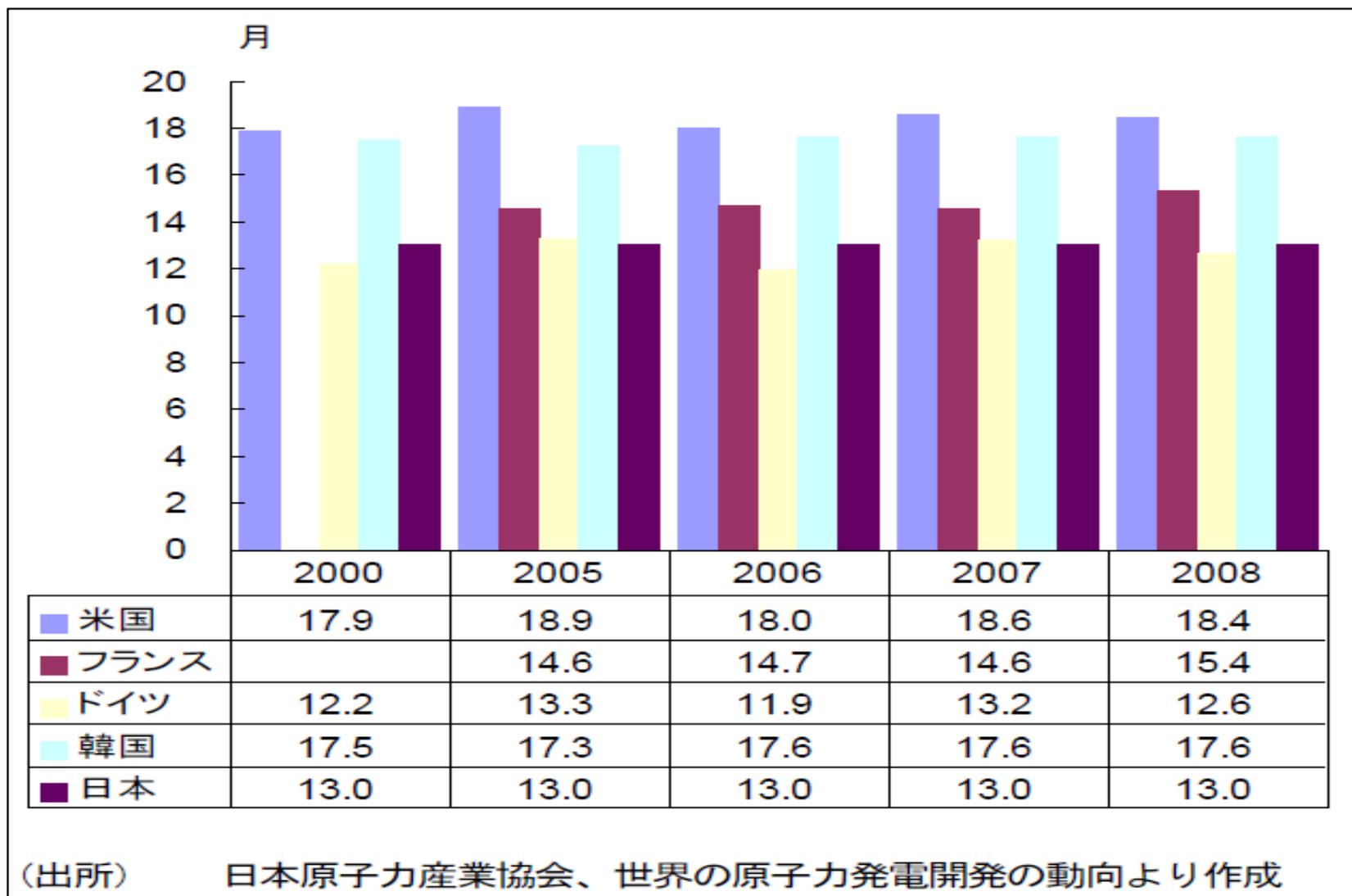
米国の原子力発電所の平均停止期間



過去3年間の米国における原子力発電所の平均停止期間は25日程度
これは平均年間運転時間が約340日となり、約93%の高い時間稼働率となる



1.6 世界の原子力発電所の運転サイクル動向



2. 我国原子力発電所の保全と運転の特徴

- ◆我国では時間基準保全（TBM）を基本としてプラント停止時に定期検査（以下、定検）を集中実施してきた。このため、定検時における保全作業量が膨大であった。また、水力・火力からの伝統を踏襲し、年1回の定検を実施するとの考えから運転サイクルが短かった（13ヵ月運転）
- ◆一方、米国及び欧州（フィンランド等）の先進諸国は、平均設備利用率が非常に高い実績を持っている。その理由として下記が考えられる。
 - 長い運転サイクル（13ヶ月→15ヶ月→18ヶ月→24ヶ月）
 - 短い定検停止期間/少ない計画外停止

また、定検期間が短い理由は、下記が考えられる。

- 状態監視保全（CBM：Condition Based Maintenance）
- 運転中保全（OLM：On-Line Maintenance）
- 入替点検・検査
- 分解点検周期延長

2.1 定期検査時における保全作業量の日米欧比較（最新）

| 保全タスク | 項目 | 日本の例 | 米国の例 | 欧州の例 |
|------------------|---------------|--------------|--------------------|--------------------|
| 定期検査期間 | 標準工程（短縮定検の標準） | 約60日 | 約20日以下 | 約10日以下 |
| | 平均の定期検査期間 | 約140日 | 約40日 | 約20～30日（推定） |
| 運転期間 | 定検間の運転期間 | 13ヶ月 | 18～24ヶ月 | 12ヶ月～15ヶ月 |
| 定期点検時の 本格点検物量 | CRD | 7年 （約27体） | 10～15年 （まとめて実施） | 10～15年 （まとめて実施） |
| | ポンプ（定検時の点検員数） | 約50台 | 数台 | 数台（推定） |
| | モータ（定検時の点検員数） | 約100台 | 数台 | 数台（推定） |
| | 弁（定検時の点検員数） | 約1,800台 | 約100台以下 | 約100台（推定） |
| 分解点検等の 周期 | PLRポンプシール点検 | 1サイクル | 数サイクル | 特に規程なし |
| | RPV漏えい検査 | 1サイクル | 必要に応じ | 必要に応じ |
| | タービン開放点検 | 2サイクル | 7～8サイクル（CBM） | 特に規程なし（CBM） |
| | 格納容器漏えい率検査 | 1サイクル | 約15サイクル | 約10サイクル（推定） |
| 設備運用方法 | 停止時RPV冷却方法改善 | 保守的な手法 | 冷却時間最小化 | 米国と同等（推定） |
| | 燃料取出方法の効率化 | 燃料取出最大化 | 燃料取出最小化 | 米国と同等（推定） |
| | 炉心確認 | 従前の方法 | 炉心確認効率化 | 米国と同等（推定） |
| | CRD取替装置の効率化 | 自動化 | 手動のまま | 手動のまま（推定） |
| | FHM装置の効率化 | 自動化 | 手動のまま | 手動のまま（推定） |
| 大型工事の 期間など | 低圧タービン取替（日数） | 約110日 | 約25日 | 詳細不明 |
| | シュラウド取替（日数） | 約270日 | 実施せず | 実施せず |

出典：保全学会にて作成

3. 現状の問題意識

- ◆ 我国の原子力発電所の保全是、**平時において**発電所の信頼性を高く維持し、安全性を一定レベル以上に確保する上で最も重要な活動の1つである。
- ◆ **事故時においても**、機器の復旧や運転可否の判断のための診断など、**レジリエンス力の中核**を為す極めて重要な活動である。
- ◆ 我国の原子力発電所は、水力や火力の保全の影響が強く、プラントを停止して実施する分解点検を主体とする定期検査を現在でも踏襲しており、定期検査期間内に**先進諸外国と比較して5倍から10倍の保全作業を集中実施**している。
- ◆ 一定期間内に保全作業を集中実施する場合、大きな実施体制で多数の要員や各種管理、大量の情報取り扱いと管理などが必要となり、保全関係者が多忙を極め、通常運転時と比較して**リスクが高く、保全品質を確保しにくい状況**となっている。
- ◆ これまで定期検査時における保全作業とその管理で大きな問題が生じたことはないが、安全性向上の観点から喫緊の課題となっている。

定期検査中の現場の混雑と情報錯綜

プラント定検マスター工程表

| 系統 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
|-------|---|--------|------------------------------|---|-----------------------|---|----------------|--|
| 主要規制 | 保安規定、所内ルール等からの規制事項 | | | | | | | |
| 工程 | 原子炉停止 PCV,RPV 開放 | 燃料取出 | CRD 交換等 燃料装荷、CRD 試験、炉内点検等 | | PCV,RPV 復旧、RPV 耐圧試験、等 | | 原子炉起動 | |
| 工数 | [Bar chart showing workload distribution across days] | | | | | | | |
| 原子炉系 | 機械 | 隔離、水抜き | | | | | 各機器の保全工事(請負工事) | |
| | 電気 | 隔離 | | | | | 各機器の保全工事(請負工事) | |
| | 制御 | 隔離 | | | | | 各機器の保全工事(請負工事) | |
| | 機械 | 隔離、水抜き | | | | | 各機器の保全工事(請負工事) | |
| | 電気 | 隔離 | | | | | 各機器の保全工事(請負工事) | |
| | 制御 | 隔離 | | | | | 各機器の保全工事(請負工事) | |
| 電源系 | 隔離 | | 隔離 | | 全停工事 復旧 | | 系統復旧 | |
| | 隔離 | | 隔離 | | 全停工事 復旧 | | 系統復旧 | |
| タービン系 | 機械 | 隔離、水抜き | | | | | 各機器の保全工事 | |
| | 電気 | 隔離 | | | | | 各機器の保全工事 | |
| | 制御 | 隔離 | | | | | 各機器の保全工事 | |

数多くの現場作業、多種多様な現場作業が同時並行で実施される

工事工程や現場作業エリアの観点から多数の工事が干渉しないように事前調整するしかし、それでも現場混雑、情報錯綜する

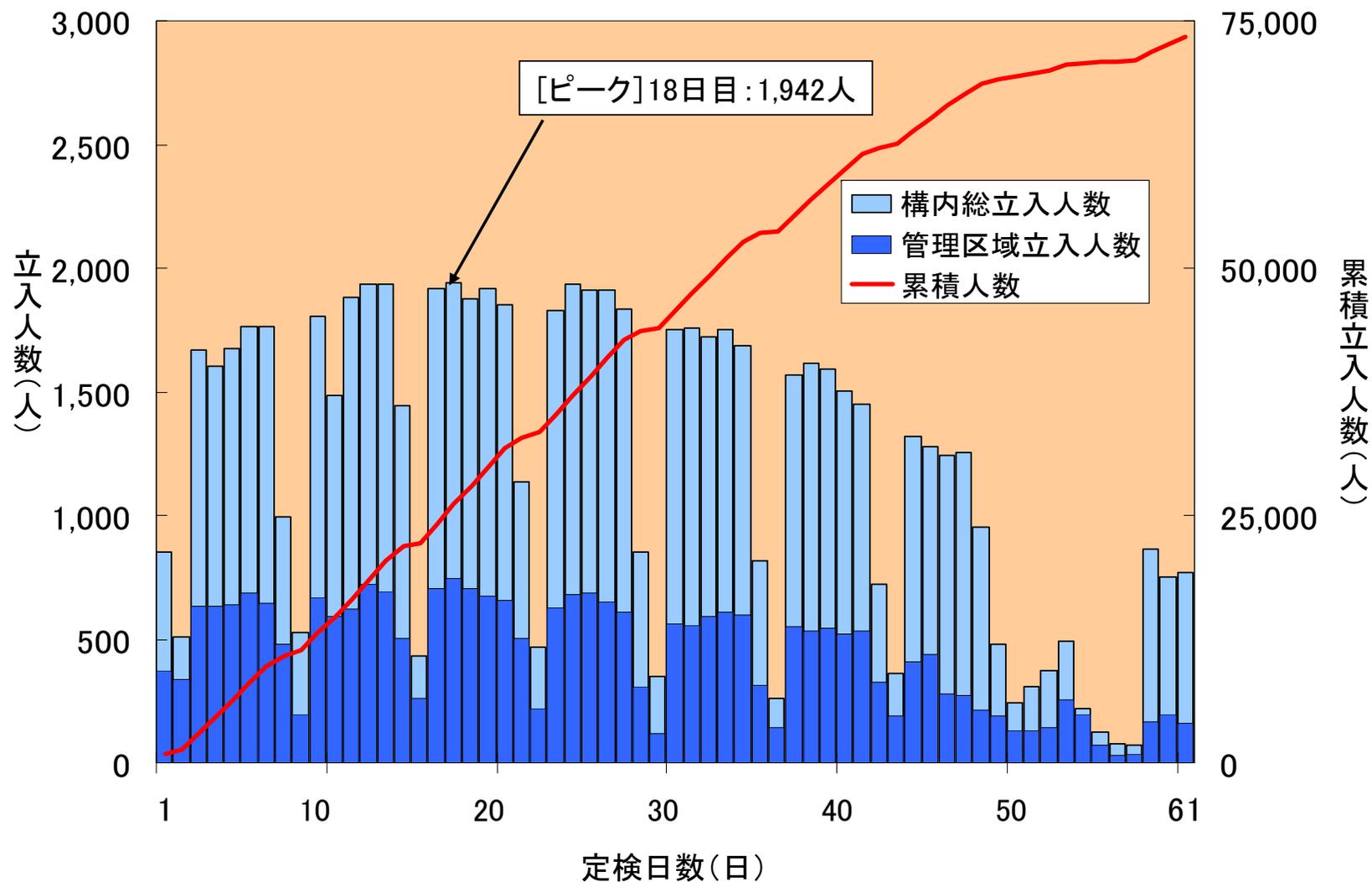
現場混雑、情報錯綜の中で実施する安全作業は相対的にリスクが高い



保全作業量

- ◆ 保全対象とその数：機械、電気、制御、土木・建築の各種構造物・系統・機器（多数）
- ◆ 保全タスク内容：
 - ①保全計画立案
 - ②保全作業関係者の入域手続き
 - ③現場エリア設定、資機材搬入等の諸準備
 - ④保全作業（分解、点検・検査、手入れ、組立、消耗品取替、..）及びQA/QC管理や放射線管理等の諸管理
 - ⑤単体試験や系統試験
 - ⑥資機材搬出、後片付け
 - ⑦総合負荷試験
- ◆ 保全作業量 = \sum_i 作業実施体制_i × 所要時間_i
(i：作業件名、1,000件以上にもなる)

PWR定検 構内立入人数の例



4. 保全適正化への取り組み

- 4.1 保全作業の年間平準化
- 4.2 保全方式/保全方法の適正化
- 4.3 定検期間の適正化（定検短縮）
- 4.4 運転サイクル長さの適正化

4.1 保全作業の年間平準化

- ◆ 我国の原子力発電所は、プラントを停止して実施する定期検査において年間保全作業の大部分を集中実施する、それも分解点検を主体とする保全を実施する慣習を踏襲してきた。
- ◆ これは原子力発電に先行する火力発電等のやり方を踏襲するものであった。
- ◆ 原子力発電所は、火力発電所と異なり、待機系である安全系機器が数多くあり、定検時の保全作業量を膨大なものとしていた。
- ◆ 定期検査という一時期に膨大な保全作業を集中実施する場合、個々の機器の現場作業が同時期に、しかも同一エリア近くで実施される可能性が高くなり、担当者が複数の機器の保全を並行して担当する等の状況となる。
- ◆ このような状況下で安全かつ確実に現場作業を実施するには、高度な各種の管理とリスク管理が必要となる。
- ◆ このため、保全作業の年化平準化は「**安全性向上**」の観点からも極めて重要な課題となっている。

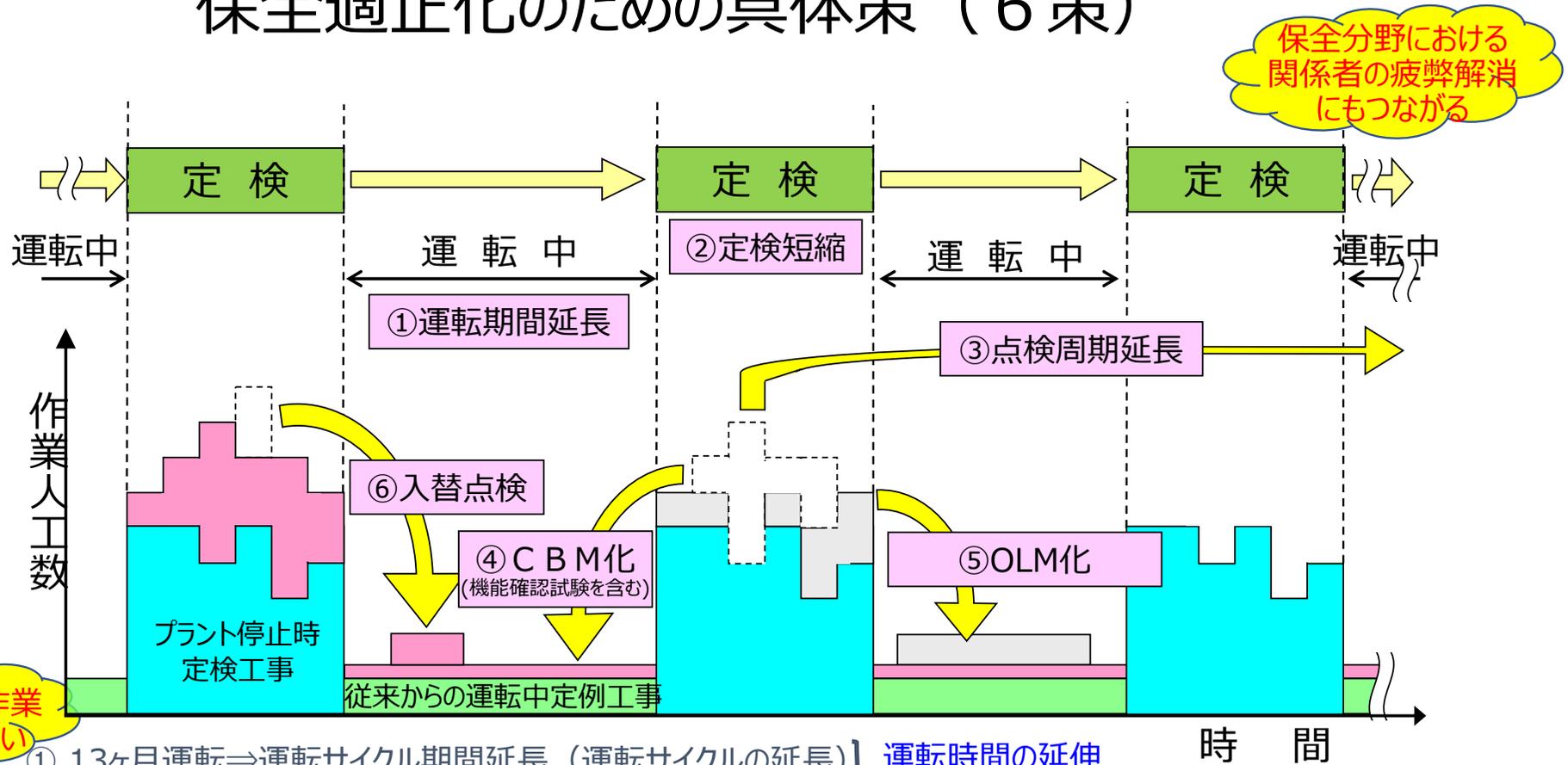
保全作業を年間平準化することの意義

- ◆ プラント安全性向上、安全リスク（PRAリスク）及び労働安全リスク低減のため、**保全作業量の年間平準化をすぐにでも積極的に推進すべきである。**
- ◆ 定期検査時の保全作業量を低減すると、保全作業のための各種の管理が格段に容易になり、管理レベルの高度化につながる。
(現状は電力会社の保全担当者が同時並行で数件から10件程度の作業件名の監理を行っており、下請会社の作業指導員も同様の状況にある。)
- ◆ 熟練作業員の確保による作業品質の向上、QA/QC管理等の管理レベルの向上、OJTによる人材育成などが期待できる。
- ◆ 下記が期待できる。
 - プラント停止時の保全作業が増加し、年間を通じた安定的な雇用の実現
 - OLMにより安全リスク（PRAリスク）に精通した人材の増加、リスクに対する感度・感受性の向上

4.2 保全方式/保全方法の適正化

- ◆ 高い保全品質の確保を実現してプラントの安全性を向上させるため、**本来あるべき保全の在り方（保全適正化）**を追求する
 - 保全対象機器に合った保全方式/保全方法を採用 ⇒TBM、CBM、BDMのベストミックス追求
 - 劣化兆候を見ながら必要となった時点で必要な保全を実施⇒CBM採用
 - 過度の保全（高頻度の分解点検）をやめ、必要な保全のみ実施することにより年間保全作業量を大幅に低減⇒TBMの周期延長、CBM化、OLM化、入替点検採用
 - 保全作業の集中実施による現場作業の錯綜、無理な各種管理を避け、適切な現場環境下で余裕を持って保全作業を実施⇒OLM採用
 - 十分な準備期間を確保して用意周到な準備（適切な保全作業要領書、技量・経験の十分な保全作業員、適切な資機材）を実施⇒設備上問題ない範囲で運転サイクルの延伸（13ヵ月→18～24ヵ月）
 - 緊張感・集中力を維持できる定検期間を追求⇒無理のない定検短縮の追求
- ◆ 上記はすでに先進諸外国で長年の実績があり、安全性が確認されている

保全適正化のための具体策（6策）



定検短縮しても作業密度は増大しない

③～⑥で定検時の作業量は1/5～1/10

- ① 13ヶ月運転⇒運転サイクル期間延長（運転サイクルの延長）
- ② プラント停止期間の短縮⇒定検短縮
- ③ 頻繁な分解点検（いじり壊し）⇒機器の分解点検周期延長
- ④ 機器の分解点検 ⇒ TBM、CBM、BDM、ISTのベストミックス追求（特にCBM導入）
- ⑤ プラント定検中の方が高リスクあるいは同等の分解点検⇒運転中保全（OLM）
- ⑥ プラント定検中の分解点検⇒プラント運転中の分解点検（入替点検）

運転時間の延伸
 停止時間の短縮
 保全作業量の年間平準化
 保全作業量の削減
 （安全性の向上につながる）

4.2 保全方式/保全方法の適正化（ベストミックス化）

- ◆ 保全方式（TBM, CBM, BDM）に優劣はない、それぞれ一長一短がある
- ◆ 要は、対象機器の機能を低下・喪失させる経年劣化を予兆段階で検知できる技術/信頼できる技術があるか否か、その中で経済合理性のある技術はどれか、で決定される
- ◆ 本来、保全対象機器の仕様・特性などに合った保全方式、保全技術が選定されるべき
- ◆ 機器には、部品毎に特有の異常/劣化があり、それを検知できる異なる技術がある（次頁、次々頁参照）
- ◆ CBMを採用したからと言って分解点検をその後ずっと実施しないという事ではない、CBMでは検知できない異常/劣化があるので、いつか分解点検しなければならない時期が来る

異常兆候とその検知技術（ポンプの例）

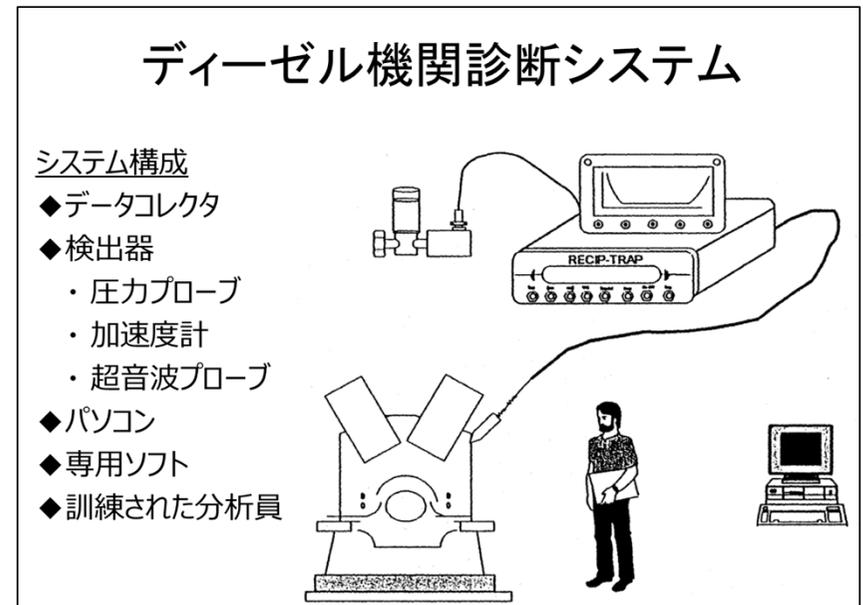
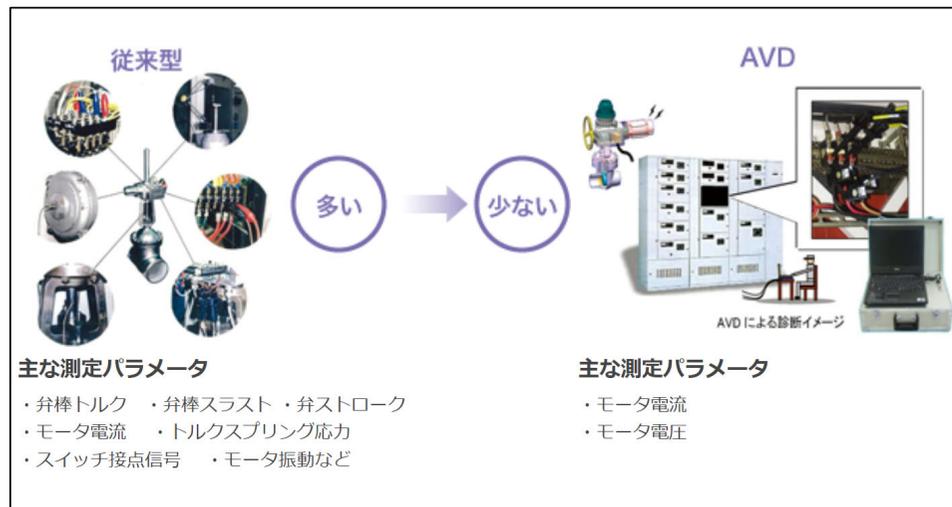
| ポンプの各種機能 | | 部品 | 異常/劣化の種類 | 顕在化する症状 (異常兆候) | 異常兆候を検知できる既存技術 | |
|----------|---------|---------------------|------------------|---------------------|--------------------------|----------------|
| QH性能 | エネルギー伝達 | 主軸 | アンバランス 芯ずれ | 振動の異常 | 振動診断技術 | |
| | | | き裂/破断 | | | |
| | エネルギー変換 | 軸継手 | アンバランス 芯ずれ | 振動の異常 | 振動の異常 QH低下 | 振動診断技術 機能試験 |
| | | | | | | |
| | | ケーシングリング | 腐食/浸食 | QH低下 | 機能試験 | |
| | | | 浸食による減肉 | | | |
| 軸支持 | 軸受 | 内輪/外輪/回転体の疵 潤滑不良 | 振動の異常 油の劣化/異物 | 振動診断技術 油分析 | | |
| | 軸受箱 | ボルト締付ゆるみ | 振動の異常 | 振動診断技術 | | |
| 圧力障壁 | 耐圧 | ケーシング | 内面の腐食/浸食 | 減肉/損傷 | 分解点検時の目視 検査 | |
| | | ケーシングボルト | 腐食 | 漏えい(フランジ部) 減肉/破損 | 分解点検時の目視 検査又はUT 検査 | |
| | シール | ガスケット・パッキン | へたり | 漏えい(フランジ部) | なし(定期取替) | |
| | | メカニカルシール グラントシール | 劣化、へたり | 漏えい率増加 | 漏えい率計測技術 又は目視検査 | |
| 機器支持 | 支持 | 支持脚/台板 | 腐食 | 減肉 振動の異常 | 目視検査 | |
| | | 基礎ボルト | 腐食 | 減肉 振動の異常 | 目視検査 | |

4.2-① 分解点検周期の適正化（周期延長）

- ◆ 順調に運転されている調子の良い機器を既定の時間が来たからといって停止し、分解点検すると、停止操作中や分解点検によってトラブルが引き起こされる場合が多い。
- ◆ 我国の保全は、世界で稀にみる分解点検を多用する保全を実施しており、その周期も世界で稀に見るような短い周期となっている。（**これが大きな負担となっている**）
- ◆ 分解点検の多用と短周期を改善しようとの取り組みは古くから為されており、「**いじり壊し**」と言われるようになって久しいが、実現していない。
- ◆ 基本的に事業者の一段と真剣な取り組みが期待されるが、それを促す環境整備も必要である。
 - 機器に異常兆候が発生した場合のOLMの実施
（安全系機器以外も含む予防保全的OLMの導入）
 - マイナーな異常兆候が発生した時の広報改善
（原子力界全体として一貫性のある対応）
- ◆ 分解点検周期延長の判断ガイドラインを当「原子力規制関連検討会」で検討する。

4.2-② 状態監視保全（CBM）の導入

- ◆ 順調に運転されている調子のよい機器を時間が来たからといって無闇に分解点検せず、診断技術でモニタリングしながら分解点検時期を決定するのが合理的
- ◆ これがCBMである
- ◆ 海外の機器の保全方式は、基本的に状態監視保全（CBM）であり、長年の活用で有効性が実証されている。
- ◆ ただし、現在利用可能な診断技術では検知できない異常/劣化があるので注意要



使用されている状態監視技術（例）

| No | 機種区分 | 主要劣化モード | 適用可能CBM技術 |
|----|-----------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1 | ポンプ, ファン | 軸受劣化 機能低下 | ●振動, 油分析 ●性能検査(QH確認) |
| 2 | 熱交換器 | 伝熱管劣化 機能低下 腐食 | ●熱効率計算(出入口温度計測) ●肉厚測定 |
| 3 | モータ | 軸受劣化 絶縁低下 | ●振動または油分析 ●絶縁診断技術(高圧モータのみ) |
| 4 | 容器 | SCC(可能性低い) 腐食 | ●UT ●肉厚測定 |
| 5 | 配管 | SCC(可能性低い) 腐食 | ●UT ●肉厚測定 |
| 6 | 弁 | 機能低下(アクチュエータ) 腐食 シートパス | ●診断装置(MOVDAS), 逆止弁, AO弁 ●肉厚測定 |
| 7 | 炉内構造物 | — | — |
| 8 | ケーブル | 絶縁低下 | ●絶縁測定/UT |
| 9 | 電気設備 | 絶縁低下 | ●サーモグラフィ |
| 10 | タービン設備 | 軸受劣化 腐食 | ●振動, 油分析 ●肉厚測定 |
| 11 | コンクリート | 機能低下 | ●強度確認(シュミットハンマーテスト等) |
| 12 | 計測制御設備 | 機能低下/絶縁低下 | ●サーモグラフィ |
| 13 | 空調設備(冷凍機) | 機能低下 | — |
| 15 | 電源設備(MCC,トランス等) | 機能低下/絶縁低下 | ●サーモグラフィ |
| 16 | 非常用ディーゼル | 機能低下 | ●特定診断装置 |
| 17 | 圧縮機 | 機能低下 | ●特定診断装置 |

4.2-③ 運転中保全（OLM）の導入

- ◆ プラントの運転中・停止中を問わず、年間を通じてできるだけ平準化した保全作業量とすることができれば、たとえ、特定機器のOLMによって一時的にPRAリスクが上昇したとしても、**オペレイショナル・リスクを含む「全体リスク」の低減**につながる場合がある。（詳細は別途説明）
- ◆ OLMによってPRAリスクが低減される場合（例：EDG）はもとより、オペレイショナル・リスクを含む全体リスクが低減できる場合は、**優先順位をつけて積極的にOLMを導入すべきである。**
- ◆ 予防保全OLMの導入により、機器故障につながる予兆を確認してから準備等の対応が可能となり、その間、兆候から故障に至るまでの劣化特性や耐力を知ることが可能となる。貴重な知識の蓄積や技術革新、ひいては安全性の有意な向上につながることを期待される。（DiagnosisからPrognosisへ）
- ◆ OLMの経験は、実質的な安全性の向上につながるだけでなく、関係者のリスクに対する感性・感度を向上させ、潜在的なリスク源・ハザード源の発見や自主的安全性向上の精神を高揚させることが期待される。
- ◆ なお、OLMは規制当局との調整が必要な面もあるので、規制当局には必要な対応をお願いしたい。

4.2-④ 入替点検の導入

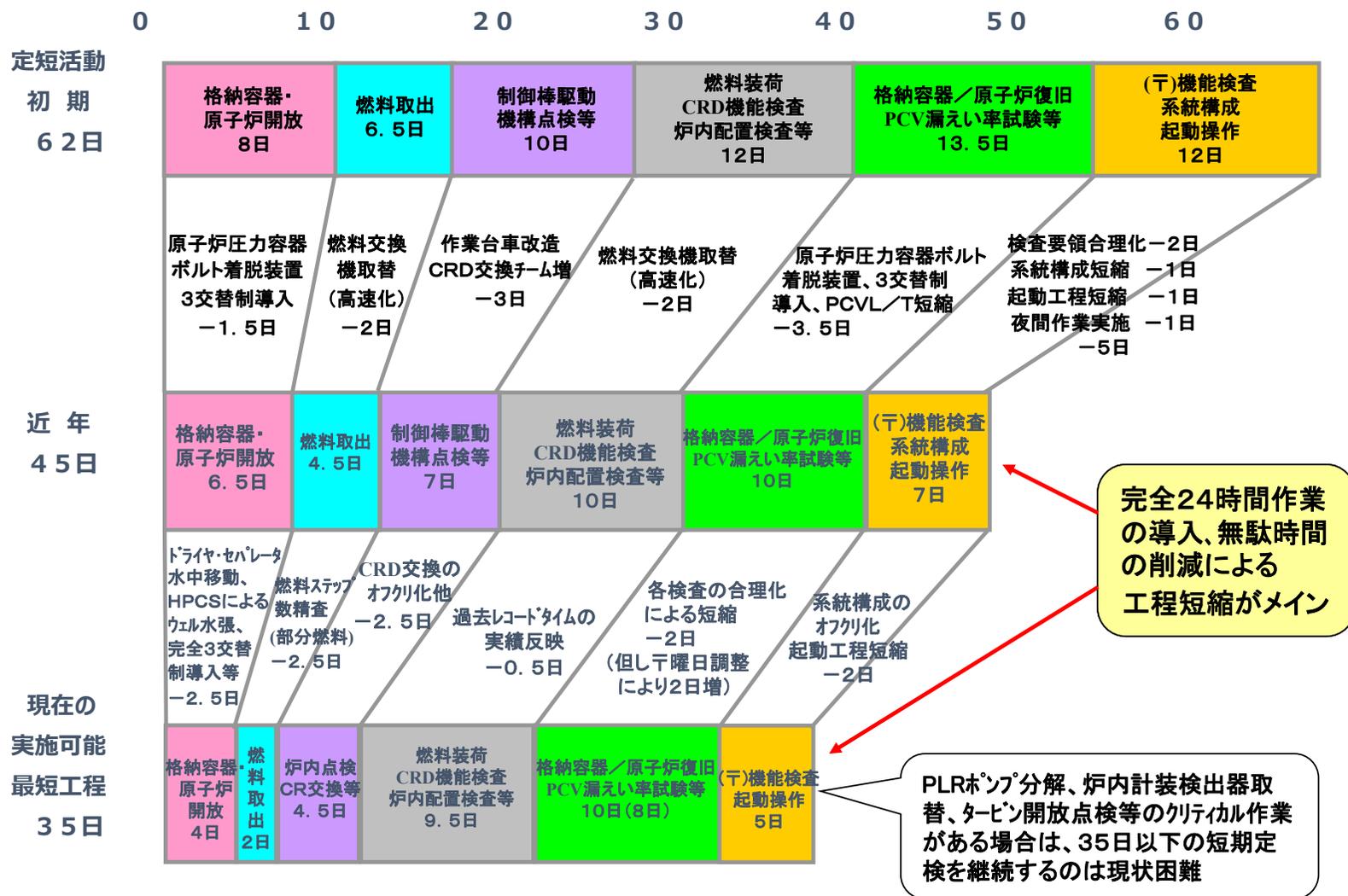
- ◆ 定検時においては、整備した予備品と取り替え、取り外した機器は運転中に保全する、いわゆる「入替点検」は定検時の作業ピークを低減する手段として有効
- ◆ ピーク低減効果の大きい機器、定検短縮等のコスト効率化につながる機器を対象に積極推進すべき
- ◆ 規制上の手続が必要なものは、手続きの簡便化を期待

| 入替点検対象機器 (予備品保有対象機器) | 機器・部位 | 型式 | 総員数 | 点検周期 | 定検時の 点検員数 | 予備品保有 員数 (例) |
|-------------------------|----------|--------------|-------------|---------|--------------|-----------------|
| 制御棒駆動機構 (CRD) | 本体 | BWR | 185 | 7サイクル | 27 | 27 |
| 制御棒駆動機構 (FMCRD) | 本体 | ABWR | 205 | - | 3 | 3 |
| | スプールピース | | 205 | 10サイクル | 21 | 21 |
| | モータ | | 205 | 10サイクル | 21 | 21 |
| 水圧制御ユニット (HCU) | セレクト弁 | BWR /ABWR | 185 /205 | 7サイクル | 27 /30 | 27 |
| | スクラム弁 | | | | | |
| | アキュームレータ | | | | | |
| PLRポンプ | メカシール | BWR | 2 | 1サイクル | 2 | 2 |
| 原子炉インターナルポンプ (RIP) | インペラ | ABWR | 10 | 5サイクル | 2 | 2 |
| | モータ | | 10 | 5サイクル | 2 | 2 |
| SRV | 本体 | BWR /ABWR | 15~18 | 1サイクル | 15~18 | 15~18 |
| MSIV | 弁体 | | 8 | 2~4サイクル | 2~4 | 2~4 |

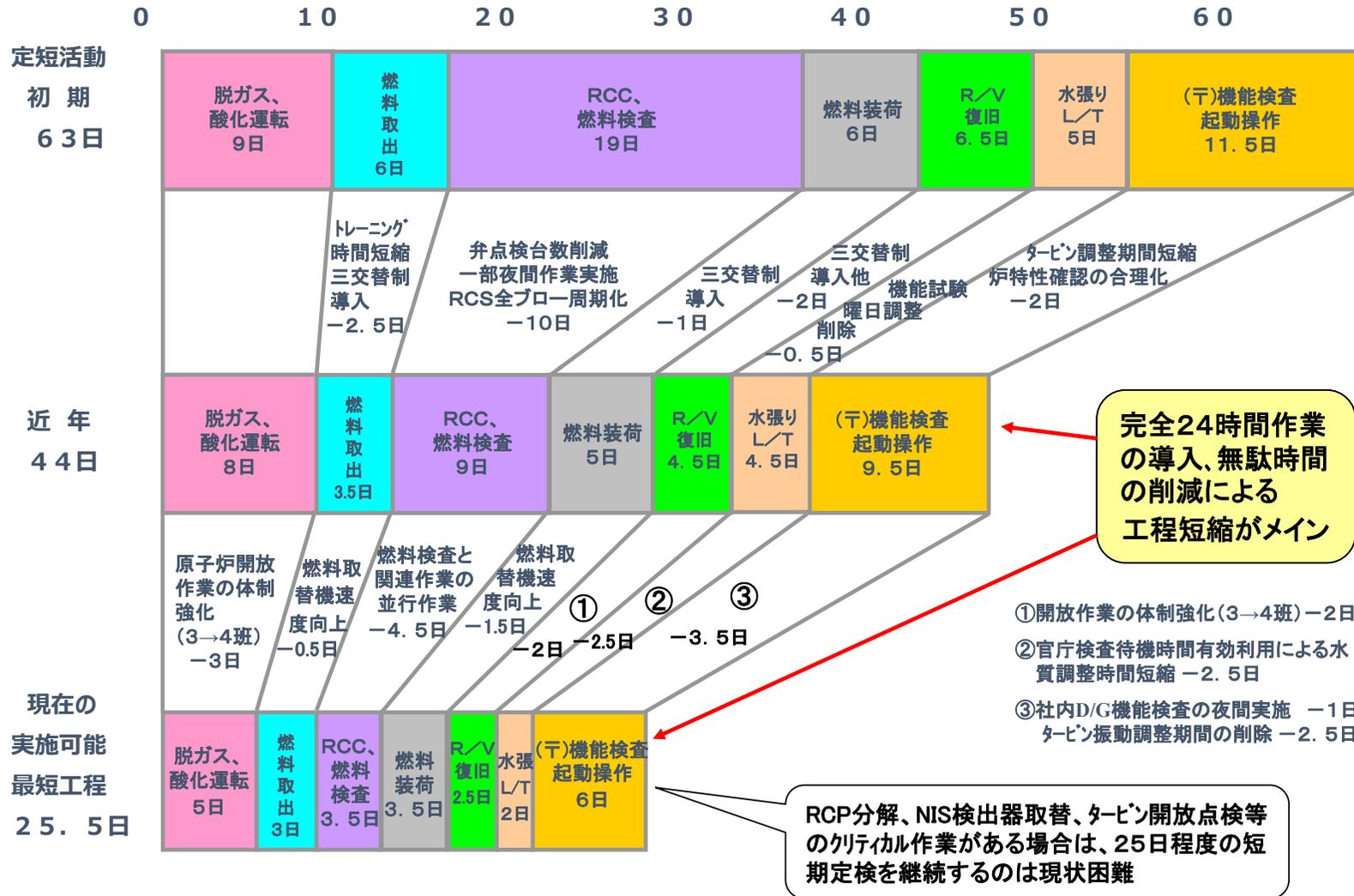
4.2-⑤ 定検期間の適正化（定検短縮）

- TBM周期の適正化、CBM導入、OLM化、入替点検導入で定検時の保全作業量は大幅に低減するので、**必然的に定検期間は短くなる**
- 保全作業員の緊張感と集中力の維持の観点すると、定検期間は短い方が良い
- これらの保全適正化を実施していなかった過去においても定検短縮は実際にある程度進んでいた（次頁以降参照）
- 先進諸外国はすでに定検短縮を達成しており、長年の経験からその安全性は実証されている
- 定検短縮が達成されている主な理由は下記である
 - 長い分解点検周期（先進諸外国の周期は我が国と比較して格段に長い）
 - 状態監視保全（CBM：Condition Based Maintenance）
 - 運転中保全（OLM：On-Line Maintenance）
 - 入替点検

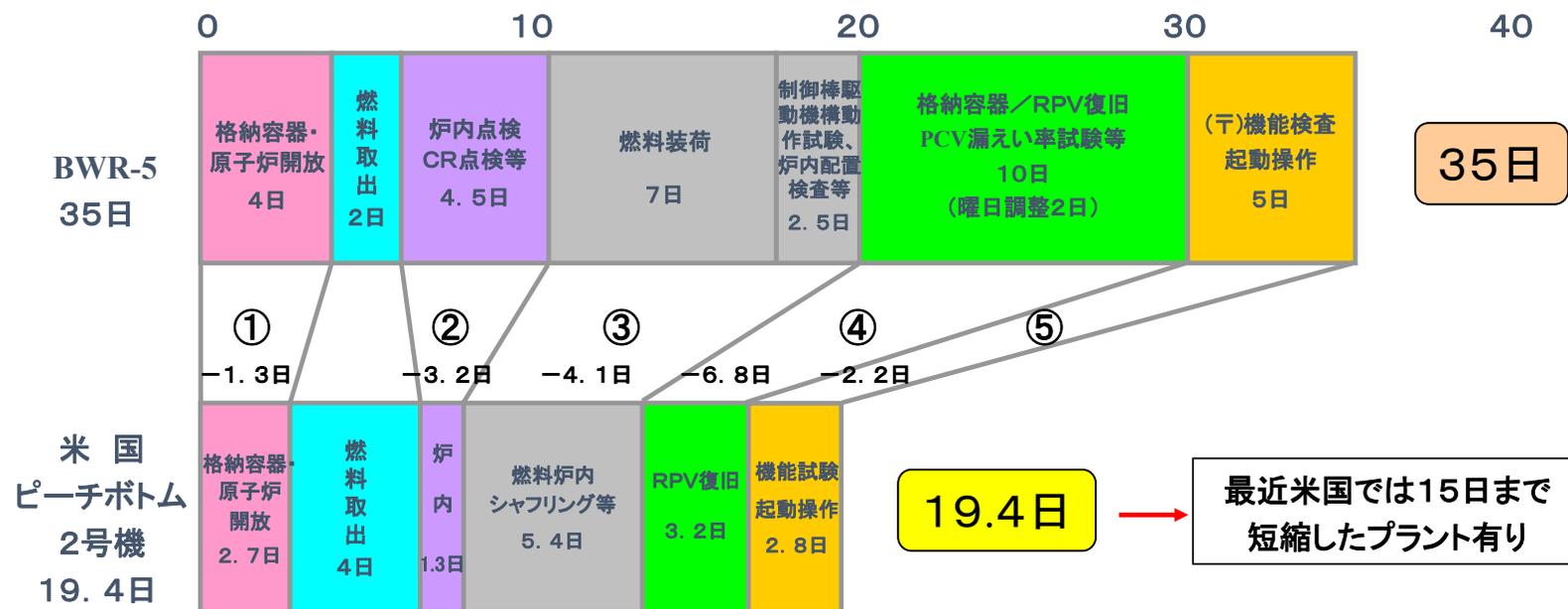
定検短縮 (BWR-5の例) 【事業者の達成目標】



定検短縮（PWR-4ループの例）【事業者の達成目標】



米国との工程比較 (将来の達成目標工程)



- ① 解列前の準備作業着手 (遮へいプラグ取外し等)
原子炉停止数分後でN2パージ中にPCVエントリー
- ② CRD点検無し
- ③ CRDスクラム試験実施時期の違い (起動操作中に実施) など

- ④ 予、G検査なし、MSTの使用など (PCV全体漏えい率試験なしなど)
- ⑤ 試験実施時期の違い (タービン過速度試験等の停止操作時実施)

4.2-⑥ 運転サイクル長さの適正化（サイクル長さの延長）

- ◆ 機器の集合体である原子力発電所全体も、個々の機器同様、運転継続できる状態にあるときに出力変動や停止の操作をすると、それによってトラブルが引き起こされることが多い。このため、**運転サイクル長さは、燃料設計等の制約から限界はあるものの、その範囲内でできるだけ長く運転する方が好ましい。**
- ◆ 良好な保全品質を確保するため、1つの定検が終わると、すぐに次の定検のための、多大な労力と時間を要する「準備」を開始する。このため、保全関係者は休む暇がなく、疲労感・負担感がつのっているのが実態である。**運転サイクル期間を延ばすと、保全関係者に余裕ができ、用意周到な計画や熟練作業員、良質な資機材などの確保が容易となり、結果として保全品質の高い、良好な機器状態が期待できる。**
- ◆ 我国では電気事業法に基づき、当初より1運転サイクル長さは1年を原則とし、13ヵ月を超えないように運用されてきた。現在は原子炉等規制法の下、その制約はなくなっているが、運転サイクルの延長は実現していない。
- ◆ 欧米先進諸外国では、すでに18ヵ月～24ヵ月運転が実施され、安全性が確認されているが、1F事故前の我国においても、長い運転経験と技術的評価に基づきその運用を開始すべく準備を進めていた。
- ◆ 当時の技術検討では、ほとんどの機器の分解点検周期は基本的に24ヵ月以上であり、その間の連続運転を阻む機器はないが、たとえば、BWRのPLRポンプメカニカルシールのように一部対策が必要な機器がある、との結論であった。
- ◆ 一部機器の対策を実施し、諸準備が整った東北電力(株)東通1号機において16ヵ月を目指した試みが実施されようとしていた時に1F事故が発生し、本計画はストップした。

運転サイクル延長実現のための準備確認

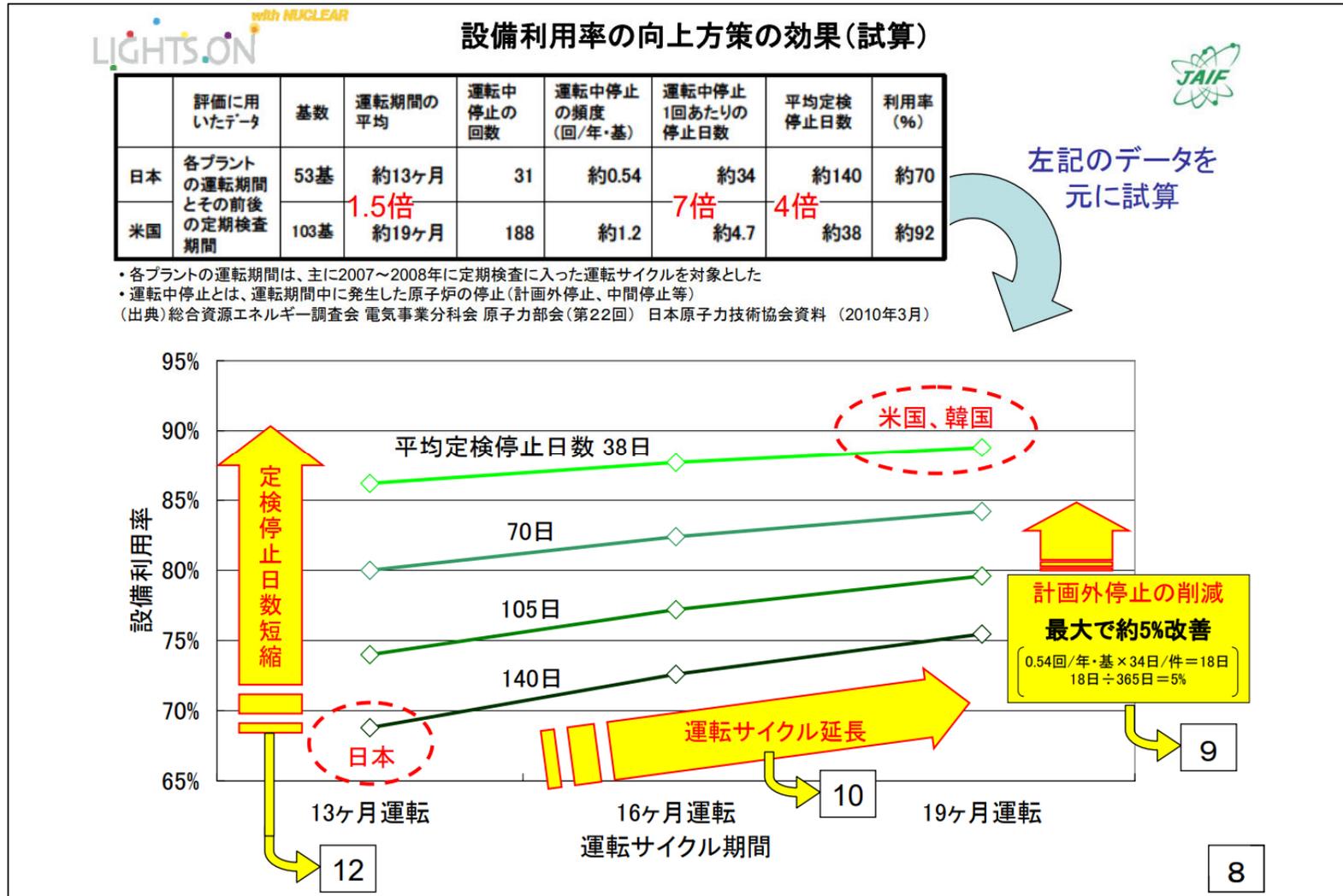
- 今後、改めて確認が必要な定期事業者検査対象の機器及び検査について問題がないことを確認する必要がある。
- 規制当局においては、運転サイクル延長に問題がないことを確認いただきたい。

| 1 F事故以前に 検討対象となっていた 機器及び検査 | 員数 | 点検・検査周期 | | 検討内容 | 検討結果 |
|----------------------------------|-------|---------|----------------|--|-----------------|
| | | 日本 | 米国・欧州 | | |
| PLRポンプメカシール 分解点検 | 2 | 1サイクル | 数サイクル | <ul style="list-style-type: none"> ● 国内での運転実績無し ● 海外では運転実績有り | ● 従来評価で確認済み |
| SRV分解点検 SRV機能検査 SRV設定値確認検査 | 15～18 | 1サイクル | 数サイクル | <ul style="list-style-type: none"> ● 国内での点検実績無し ● 海外では点検実績有り | ● 従来評価で確認済み |
| PCV漏えい率検査 | 1式 | 1サイクル | 15サイクル (米国) | <ul style="list-style-type: none"> ● 国内での点検実績無し ● 海外では点検実績有り | ● PCVの健全性より問題無し |
| RPV漏えい検査 | 1式 | 1サイクル | 10サイクル (米国) | <ul style="list-style-type: none"> ● 国内での点検実績無し ● 海外では点検実績有り | ● RPVの健全性より問題無し |

5. 近未来の発電所運用の目標

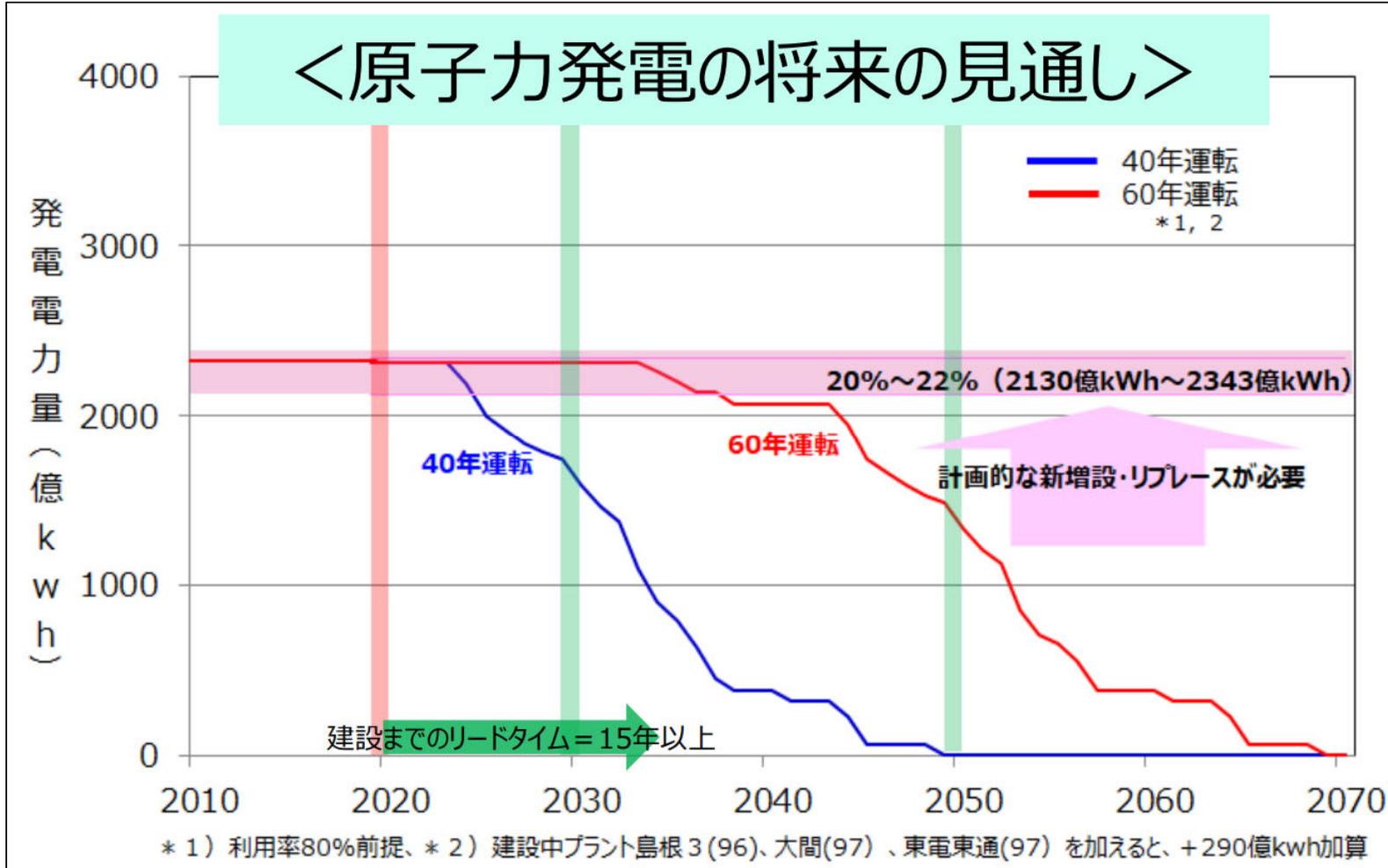
| No | 保全関連事項 | | 現 状 | 将来達成目標 | |
|----|-----------------|--------|----------|----------------------------|---|
| 1 | 運転中 | 運転サイクル | 運転期間 | 毎年（13ヶ月） | まずは「18カ月」実現を目指す |
| | | | 設備利用率 | 81～82% | ～90% |
| | 保全関連 | | 工事量（人工数） | 多数の作業員で実施 | 保全作業の効率化（周期延長/CBM） |
| | | | 分解点検 | 広範囲／短周期 | 限定範囲／長周期化 |
| | | | CBM導入 | 技術・技量の高度化が進んでいない | 大幅導入 |
| | | | OLM導入 | 安全系機器の故障時に限定（AOT内の赤旗/青旗運用） | 予防保全OLMの導入 （兆候段階で積極保全） |
| | | | 入替点検 | 一部機器に留まり限定的に実施されている | 積極導入 <small>（保全作業の年間平準化、定検短縮、コスト低減に寄与する機器）</small> |
| 2 | 定検中 （プラント停止） | 保全関連 | 定検日数（平均） | 80～90日 | ～30日 |
| | | | 工事量（人工数） | 米国の数倍～10倍 （2～3万人日） | まずは「半減」を目指す |
| | | | 分解点検 | 広範囲／高頻度 | 大幅削減（周期延長/CBM化/入替点検） |
| | | | 国の検査 | 標準定検要領書の検査 | |
| 3 | トラブル | 対象 | － | 重要度の軽重で差がない | Graded Approachの徹底、SDPの明確化 |
| | | トラブル処理 | 原因調査 | 標準化が十分でない | 標準化による無駄なリソースの低減 |
| | | | 対策 | 応急対策が活用されていない | 応急対策の活用 |

設備利用率の向上方策の効果



原子力発電の将来の見通し

—現状では運転期間を60年に延長しても2040年には電源比率20%確保困難—



6. まとめ

- ◆ 「保全適正化 6 策」の実現を阻害する大きな技術的課題はない。すでに先進諸外国で実現されており、過去20年以上にも及ぶ運用で安全性は実証されている。
 - ① 分解点検周期の適正化（延長）
 - ② 状態基準保全（CBM）の導入
 - ③ 運転中保全の導入
 - ④ 入替点検の導入
 - ⑤ 定期検査期間の適正化（短縮）
 - ⑥ 運転サイクルの適正化（延長）
- ◆ **保全適正化 6 策は、基本的に安全性向上にもつながり、積極的に進めるべきである。**
- ◆ 運転中保全等、多少の規制上の課題はあるものの、解決は可能であり、保全適正化は事業者の覚悟で積極的に進められる状況にある。
- ◆ ただし、保全適正化 6 策の実施に関連してトラブルが発生する可能性があることは否定できないので、従来同様、ステークホルダーにその旨発信し続けながら前進する必要がある。
 - 現状は、重要度の高くないトラブルでもマスコミや一般社会に大きく取り上げられる傾向にあるので、産官学の関係組織及び専門家は、それぞれの立場から、安全重要度や判断根拠を明確にし、分かりやすく発信するよう努めるべきである。
 - 重要度の高くないトラブルが過大に取り上げられる傾向が今後も継続すると、事業者の改善活動や安全性向上活動を委縮させる可能性があるため、産官学の関係組織及び専門家は、このような風潮が無くなるように、それぞれの立場で活動・発信すべきである。

ご清聴ありがとうございました。