

原子力事業の海外展開

第51回原産年次大会

2018年4月10日

三菱重工業株式会社

原子力総合メーカーとして50年以上の実績とたゆまぬ革新

1958 三菱原子力工業(株) 設立

1970 美浜1号運開(国内初PWR)

1972 原子力機器工場建設

1974 ASME Nスタンプ取得

1986 初の海外向けコンポーネント納入(中国秦山I期向け原子炉容器)

1995 初の海外向け蒸気発生器納入(ベルギー/ティハンジュ1号)

2007 ATMEA社設立(日仏JV)

2008 EPR初号機向け原子炉容器納入(フィンランド/オルキルオト3号)

2009 泊3号運開(国内PWR24基目)

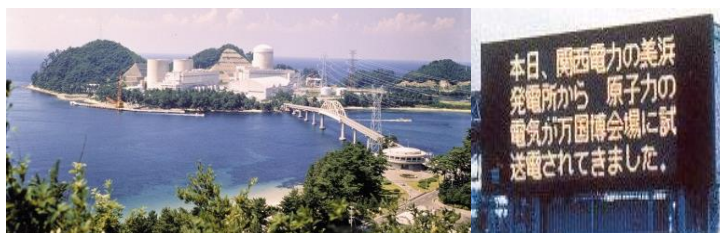
2011 東電福一事故⇒総力を挙げ安全性向上対策及び福島安定化に取り組む

2012 ATMEA1 ASNレビュー完了

2013 トルコシノップ ATMEA1の優先交渉権獲得(日土政府間合意)

2015 川内1/2号 新規制基準に基づく再稼働を達成

2018 Framatome社及びOrano社へ出資。EDF/Framatomeと戦略的協業



美浜発電所(大阪万博 原子力の灯)



蒸気発生器取替工事



北海道電力(株)泊発電所3号建設風景



川内原子力発電所

研究開発、設計、製造、据付、保全まで一貫したサービスを提供

総合保全訓練センター



NDC(ホットラボ)



総合研究所



設計開発センター



原子力サービスセンター



泊発電所3号機(建設風景)



神戸・二見工場(主機製造)



シミュレーターセンター

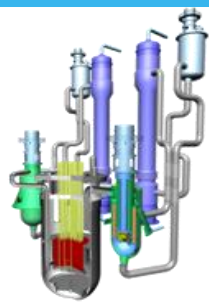
原子力総合メーカーとして原子燃料サイクルへ幅広い貢献

国内軽水炉プラント



燃料

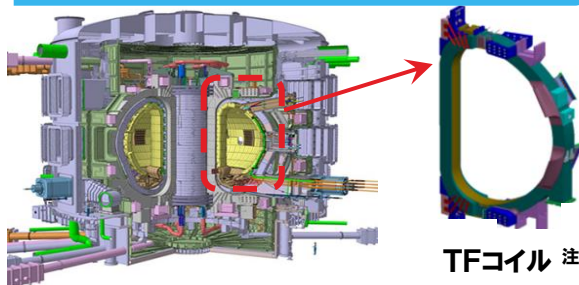
高速増殖炉 (FBR)



三菱原子燃料(株)

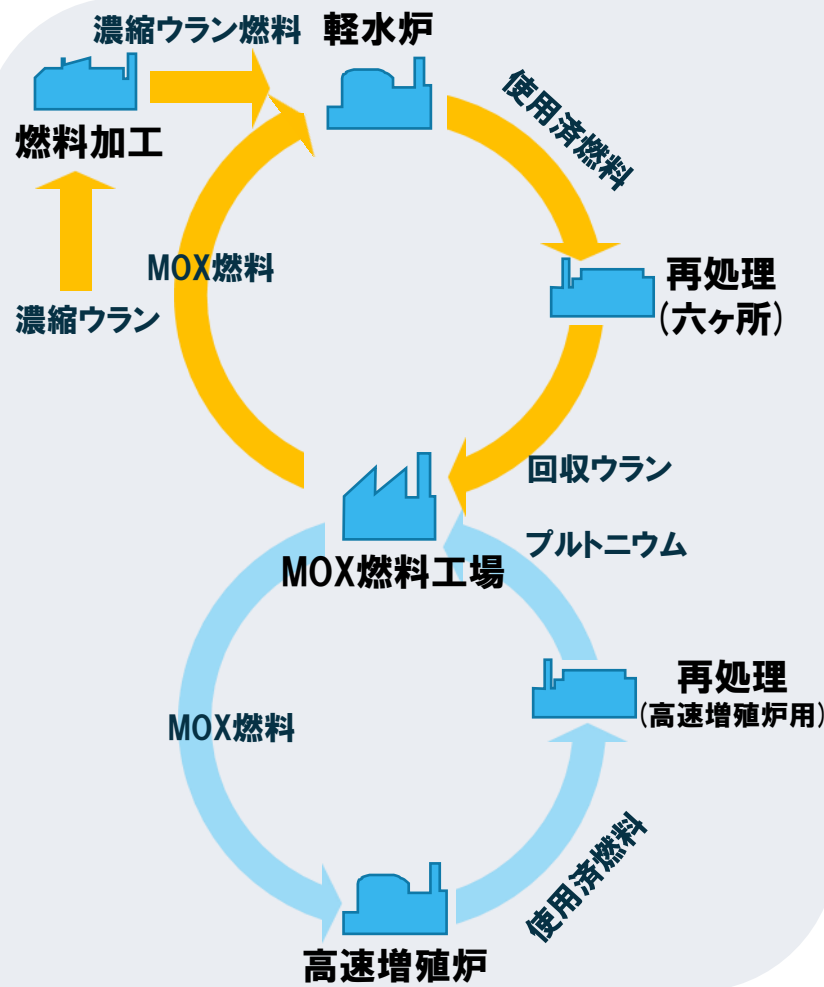
出典: "JAEA-Research 2006-042",
図 2.1.1-4, p. 69 (2006)

国際熱核融合実験炉(ITER)



TFコイル 注

TFコイル: Toroidal Fieldコイル。
プラズマを閉込める為の
磁場発生用超電導コイル



海外軽水炉プラント



原燃サイクル



再処理工場

使用済燃料中間貯蔵



中間貯蔵乾式キャスク

軽水炉

24基 2,028万kWe

- 1970年の美浜1号運開以来、国内PWR 24基の全てを納入。技術改良に努め、安全性、信頼性、経済性、運転保守性のあらゆる面で世界に誇れるPWRを提供。

再稼働への取組み

- 安全性/耐震性を強化して、世界最高水準の新規制基準に適合。

川内1/2号、高浜3/4号、
伊方3号、大飯3号、玄海3号
が再稼働を達成

- 先行しているPWRでの審査経験を活かし、国内原子力全体をサポートする観点からBWR電力殿も支援中。

六ヶ所原燃サイクル

- 取り纏めメーカーとして、六ヶ所再処理工場のメインプロセスを担当
- MOX燃料加工工場の機電メーカー取纏め、燃料棒加工以降の工程を担当



日本原燃殿 六ヶ所再処理工場



日本原燃殿 MOX燃料加工工場

福島第一

- 福島第一中長期ロードマップに従い対応中（作業用ロボット・デブリ取出し技術開発、汚染水タンク納入等）



作業用ロボット

海外事業の主な取組み

➤ 豊富なコンポーネント輸出実績

(原子炉容器4基、原子炉容器上蓋22基、蒸気発生器31基、加圧器1基、タービン12基、1次冷却材ポンプ8基)

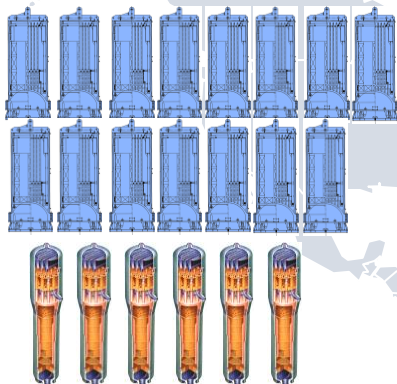
➤ PWR向け保全サービスにも着実に取り組み(直近2年でインコネル600合金対策工事を3件施工)



米国

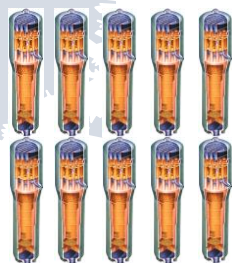
ウルフクリーク/キャラウェイ発電所向け
ウォータージェットピーニング工事
(2016年/2017年施工)

原子炉容器上蓋×15基
蒸気発生器×6基
加圧器×1基



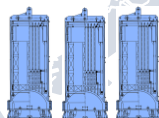
ベルギー

蒸気発生器×10基



スウェーデン

リンガルス原子力発電所3号機向け
加圧器管台取替工事(2016年施工)
原子炉容器上蓋×3基



フィンランド

原子炉容器×1基



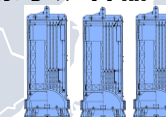
スロベニア

タービン×1基



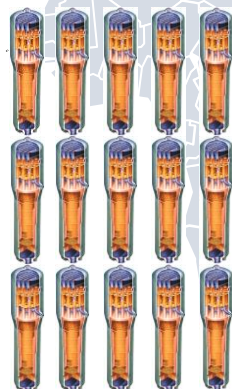
韓国

原子炉容器上蓋×3基



フランス

蒸気発生器×15基



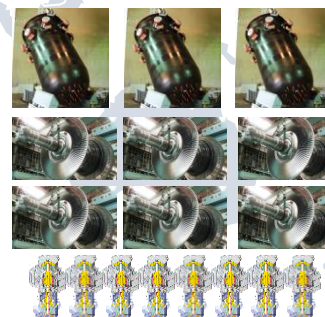
スペイン

タービン×1基



中国

原子炉容器×3基
タービン×6基
1次冷却材ポンプ×8基



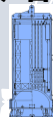
メキシコ

タービン×2基



ブラジル

原子炉容器上蓋×1基



台湾

タービン×2基



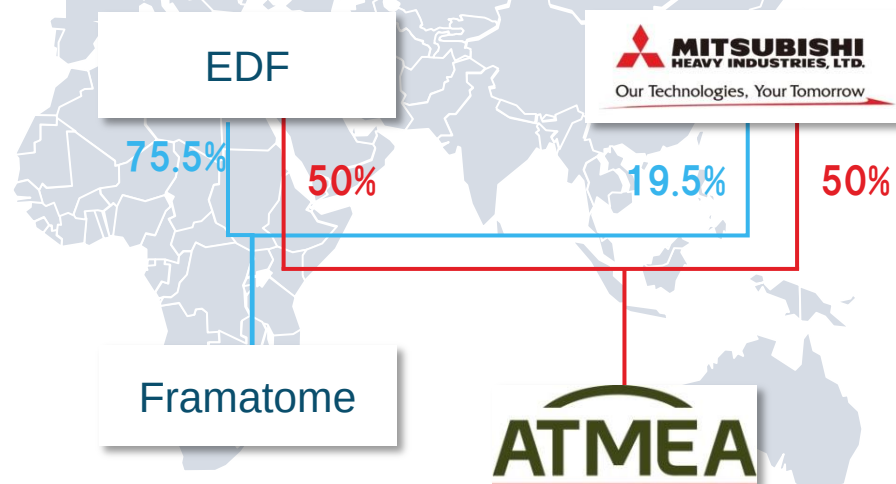
※ コンポーネント: 主要機器のみ記載

※ 保全サービス: 直近の案件のみ例示

- 2007年11月 当社とAREVA(現Framatome)で、ATMEA1開発・拡販のためATMEA社を設立。
- 仏原子力産業界の再編により、2018年1月 FrametomeはEDFグループの一員となり、当社もFramatomeへ出資(19.5%)。ATMEA社はEDFとの合併会社となった。
- 当社は、EDF及びFramatomeとの戦略的協業を通じて、ATMEA1の拡販をはじめ、最新の安全性と信頼性を両立した原子力発電技術のグローバル展開を進める。



世界最高水準の安全性を誇る
日仏共同開発のGeneration III⁺ 中型炉



ATMEA1プラントコンセプト

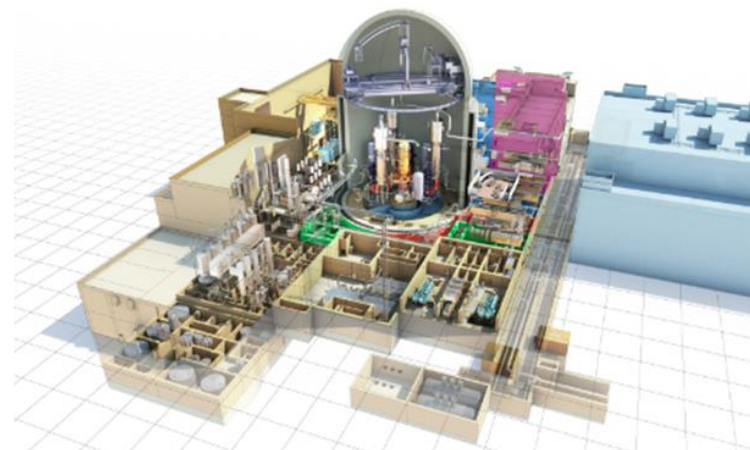
- 日仏PWRプラント全ての経験を取り込んだ最新設計の第三世代+世界戦略炉。
- 運転性、運用・保守性に関し先行の豊富な運転経験を反映。
- 先進技術を採用、シビアアクシデントを含む設計想定外事象への対策を織込み。



最先端の安全設計

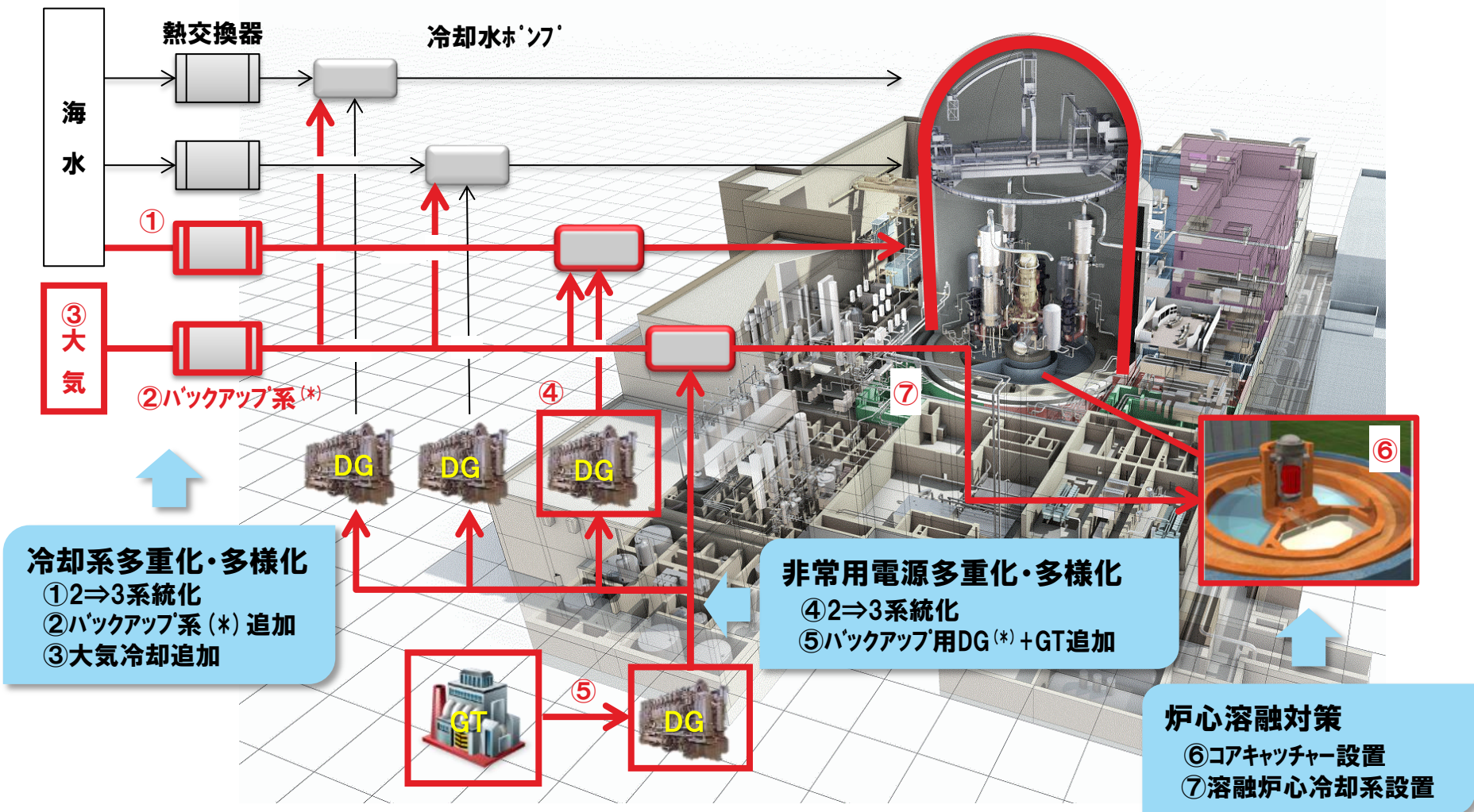
第三世代+プラントとして最高レベルの安全性

三菱重工とFramatomeの実証された
技術・経験を反映した最新設計



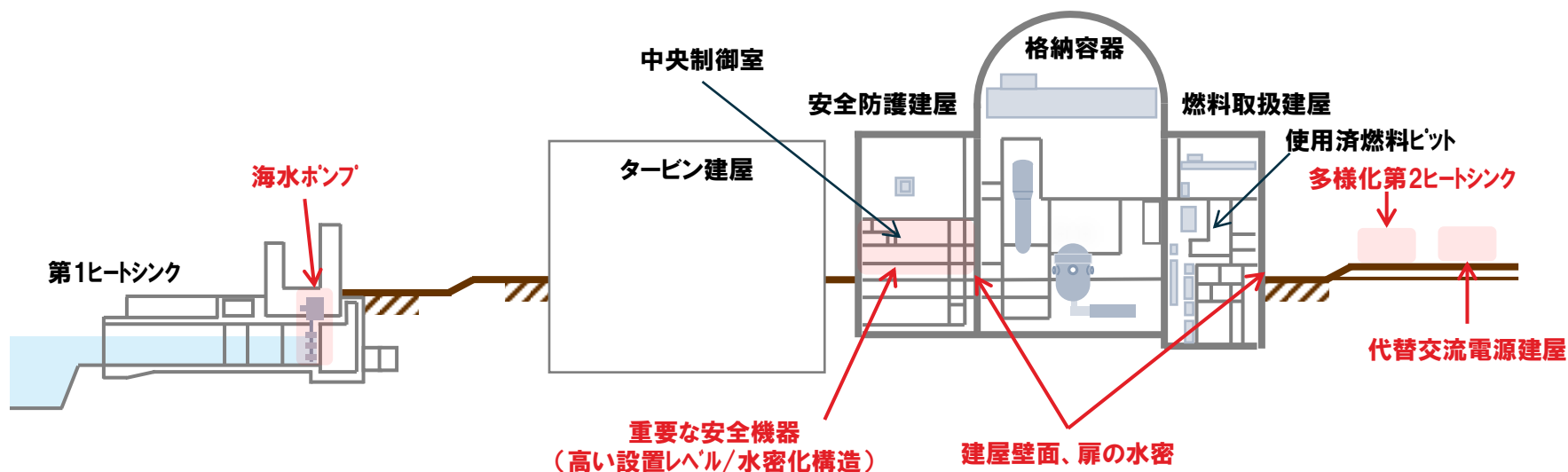
ループ構成	3ループPWR	安全系	3トレン構成、信頼性の高いアクティブ系主体、パッシブ系も採用
電気出力	1,200MWe級	多重化・多様化設備	冷却系、電源系、I&C系統等の多重化・多様化
炉心	集合体157体 (14ft)	シビアアクシデント対応設備	コアキャッチャー、水素再結合装置
主蒸気圧力	7MPa以上	航空機衝突対応設備	プレ・ストレス・コンクリート製格納容器
		I&C設備	フルデジタル化

冷却水系、電源系の多重性/多様性



津波・洪水対策

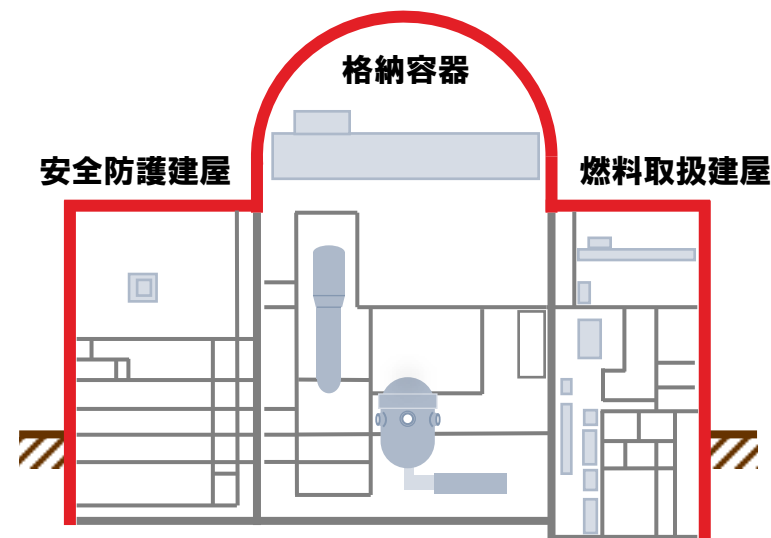
- 電気機器やI&C設備は建屋の高層階に設置
- 海水ポンプ建屋壁面/扉の水密化構造
- 津波による影響回避の為、サイト固有条件を考慮してグラウンドレベル設定、さらに安全系建屋壁面や扉の水密化構造等の設計対応



航空機衝突対応設計

- 世界の規制動向を反映し、大型商用機、軍用機の衝突に耐える設計
- 格納容器、安全防護建屋、燃料取扱建屋の外壁を厚くした設計
- 非常用電源は、Div. A/B用の建屋と、Div. C/X用の建屋を十分に距離を置いて配置。1つの建屋が影響を受けても他の建屋には影響が及ばず、十分な容量（100%×2）の非常用電源を維持。

Div. A/BとDiv. C/Xの非常用電源を十分に距離を置いて配置

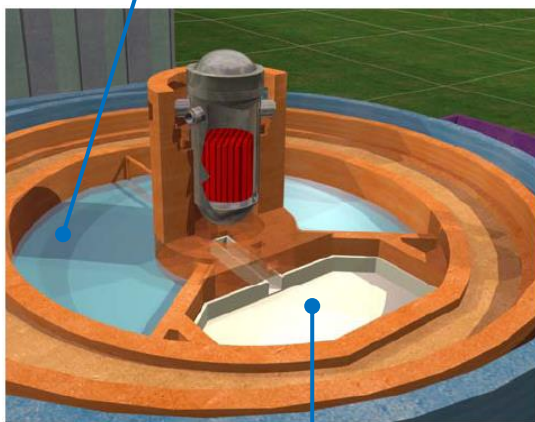


APC: Airplane Crash(航空機衝突)

シビアアクシデント時の格納容器閉じ込め機能強化

プレ・ストレストコンクリート製ライナー付き
格納容器による耐圧機能強化

格納容器内燃料取替用水ピット



コアキャッチャー

シビアアクシデント時、長期的に冷却維持

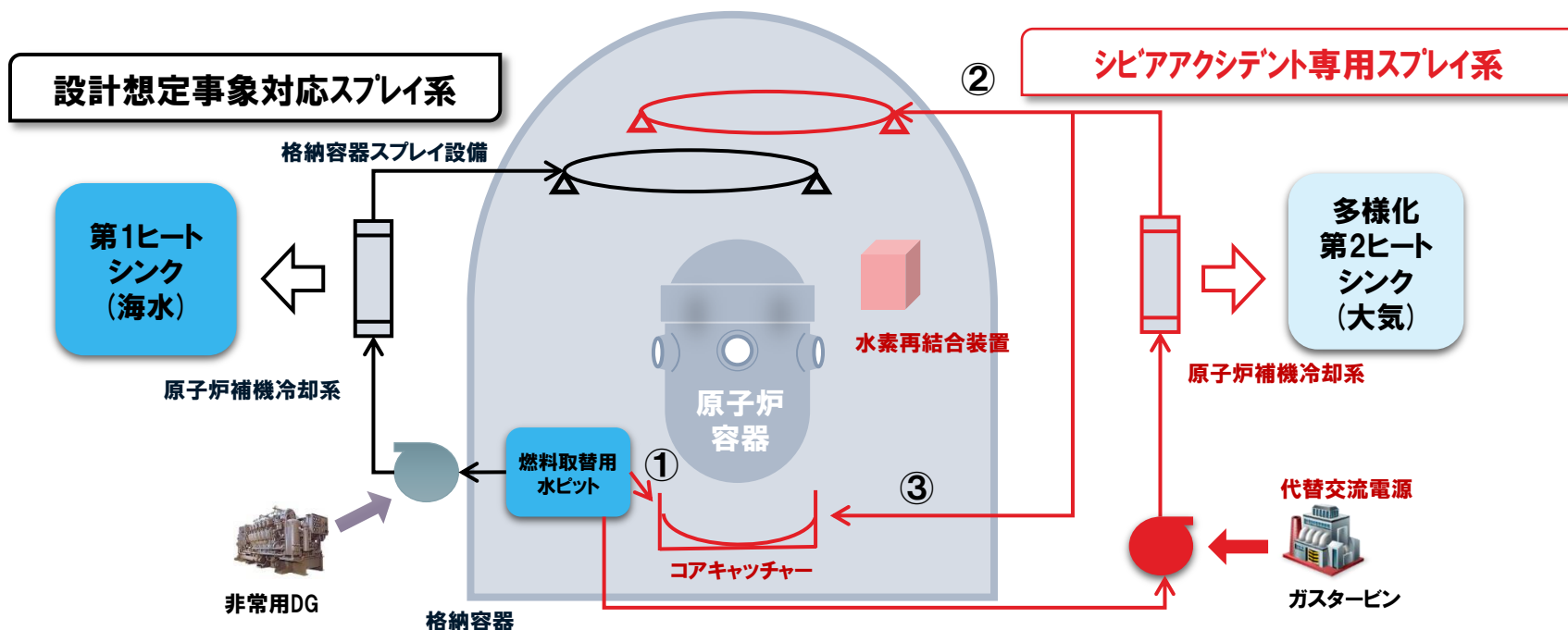


アニュラス

- 負圧設計
- シビアアクシデント時は、
チャコールフィルターを
通して放射性物質放出を
抑制

シビアアクシデント時除熱システムにより、 長期に亘る溶融炉心冷却/格納容器健全性維持

- ① 燃料取替用水ピットからコアキャッチャーへのパッシブな冷却水供給（初期）
- ② シビアアクシデント専用スプレイ系による格納容器内圧上昇抑制
（設計想定事象対応スプレイ系とは独立設置）
- ③ ポンプ、冷却器（大気）、代替交流電源による長期的な冷却水供給
（格納容器下部に落下した炉心の安定冷却）



概念設計段階

基本設計段階

シノップ先行設計段階

IAEA レビュー
(2008)

ASN レビュー
(2010-2012)

CNSC レビュー
(2012-2013)

IAEA高耐震レビュー
(2016)

IAEAの結論

- ATMEA1 はIAEAの安全原理だけでなく、キーとなる設計及び安全評価要求に対応
- ATMEA1は原子力発電所の安全設計に対する要求と一致したアプローチ

安全性に対するASNの評価結果

- ATMEA1設計の安全の基本方針は充分なもの
- ATMEA1の基本方針と関連する安全設計は仏テクニカルガイドラインに整合

安全系

格納容器

航空機衝突対策

主機設計

東電福一事故対策

カナダ規制への適合性レビュー結果

- ATMEA1はカナダに建設可能
- 設計基準を超える外部ハザードやシビアアクシデントに対する方針は、第III世代炉へのカナダの要求を十分満足
- ATMEA1の設計はCNSCの規制要求を満足し、新型炉に対するカナダの期待にも適合と評価

IAEA SEED ミッションの結論

- 高震度サイトに対するATMEA1の耐震設計手法は、IAEA安全要求に適合
- 耐震設計手法は、国際的な耐震知見・経験を反映。かつ広範な試験結果に基づき検証されている

ASN : フランス規制当局
CNSC : カナダ原子力安全委員会
SEED : 立地評価・安全設計レビュー

トルコ シノップ案件への取り組み状況

2013年5月 IGA*¹締結。
日本に優先交渉権が与えられる。

*1) IGA (Intergovernmental Agreement) : 日本政府とトルコ政府間の合意文書

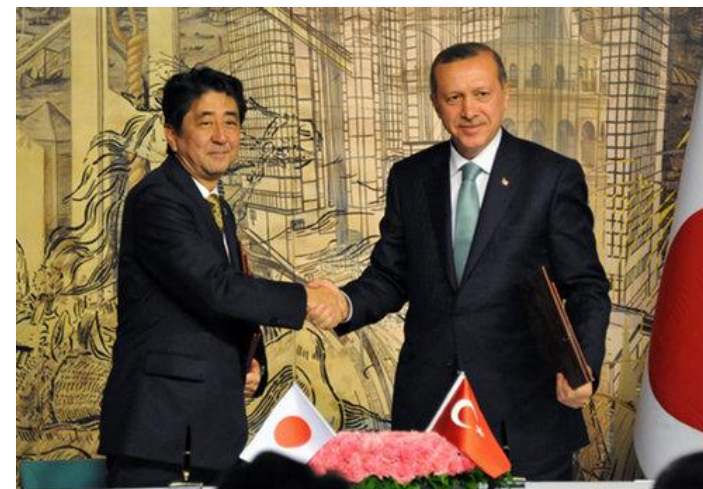
2013年10月 HGA*²大枠合意。

*2) HGA (Host Government Agreement) : トルコ政府とFS用事業会社間の契約

2014年10月 IGA/HGAをトルコ国会に提出。

2015年4月 トルコ国会本会議で承認。閣議
決定他、トルコ国内手続きが完了。
2015年7月 外交手続を経て批准手続完了。

現在フィージビリティスタディを実施中。



HGA合意を歓迎し、「原子力エネルギー及び科学技術分野における協力に関する共同宣言」に署名した安倍首相とエルドアン首相（2013年10月29日 於トルコ・アンカラ）

©首相官邸ウェブページ

(http://www.kantei.go.jp/jp/96_abe/actions/201310/29turkey.html)

第三世代+原子炉 ATMEA1×4基を、黒海沿岸のシノップ地区に建設する計画



日仏協調のベストチームでEPCを強力に推進

一次系 機電工事



Framatome社出資による戦略的協業を通じ、最適な協力体制を協議中



EDF

Framatome

二次系 機電工事



土木建築 工事



他炉型のLessons Learnedを踏まえ、フェーズドアプローチによりリスクを低減しながら、EPCプロジェクトを推進していく。

フィージビリティスタディ

実機向け詳細設計
(EWC/FEED)

EPC



許認可

- トルコ原子力庁(TAEK)と定期的にワークショップを開催
- 建設認可や規制側の立会・検査への考え方を確認中

設計・エンジニアリング

- ATMEA1標準設計にシノップ固有条件を反映した3D-CADモデルを構築中

調達

- 実績がある国内パートナー及び欧州のサプライチェーンを主体に活用
- 国産化の要求に対し、製造能力、品質管理を見極め、トルコベンダー活用を推進

建設

- 原発新規導入国のトルコでのプラント建設に向け、建設手順、工程を段階的にブラッシュアップ
- ICTを積極的に活用

機器調達・工事でのローカライゼーション
比率向上に向け検討中

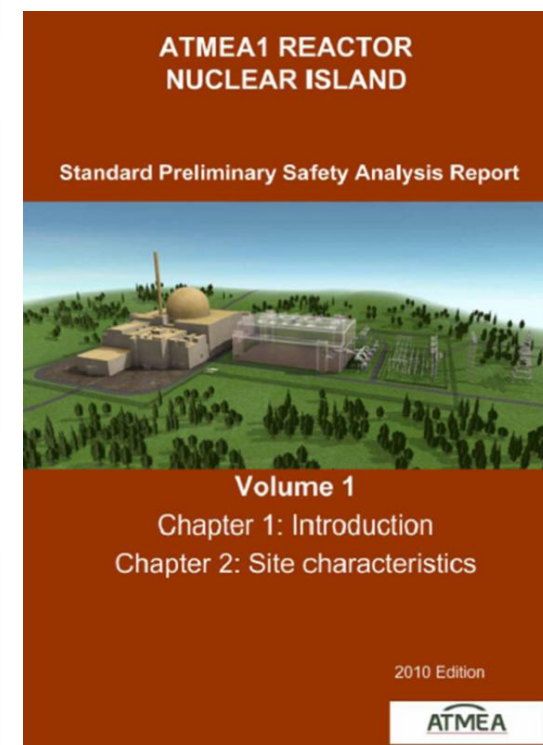
他炉型のLessons Learnedを
継続的に分析し重点アクションに反映

トルコ原子力庁 (TAEK) とワークショップを実施、許認可申請・審査内容を確認中

ATMEA1標準予備安全解析書 (SPSAR) を通じ、
シノップの申請内容、審査のポイントをTAEKと共有。

耐震設計については、トルコは地震国であり、
高耐震国の日本の実績を踏まえた最適設計
手法を適用 (一次系建屋配置設計最適化、
建屋-ループ連成評価等)。安全解析書 (PSAR) に加えて、
耐震設計のトピカルレポートをTAEKへ提示予定。

トルコ規制のひとつに、機器製造者承認、製作着手承認、
並びに製作中の検査、に関する要求あり。
必要な手続き、申請書類の内容など、詳細確認中。



先行エンジニアリングにて、ATMEA1標準設計にシノップ固有条件を反映、シノップ向け3D-CADモデルを構築中

標準設計

ATMEA1標準設計の3Dモデルを構築

- 系統・機器設計
- 放射線防護要求
- 配置要求, etc.

先行エンジニアリング Sinop-Pre Engineering (SPE)

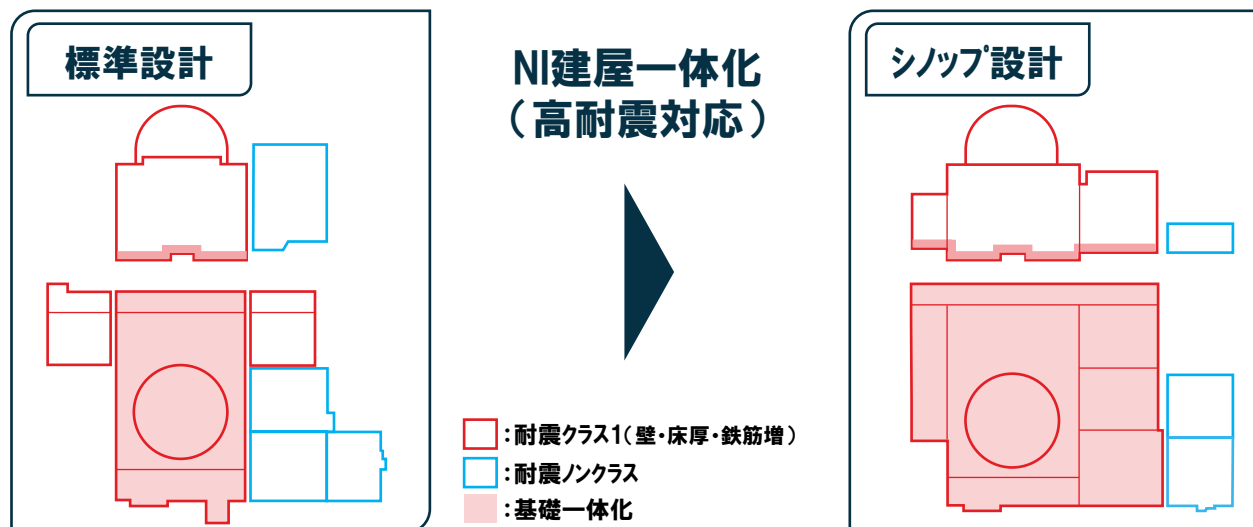
シノップ固有条件(耐震等)を加味し、3Dモデルをシノップ向けにアップデート

- 系統・機器設計
- NI建屋一体化・低層化(高耐震対応)
- 見積用地震動による建屋構造解析

シノップサイトでのプロットプランを作成

実機向け詳細設計 (EWC/FEED)

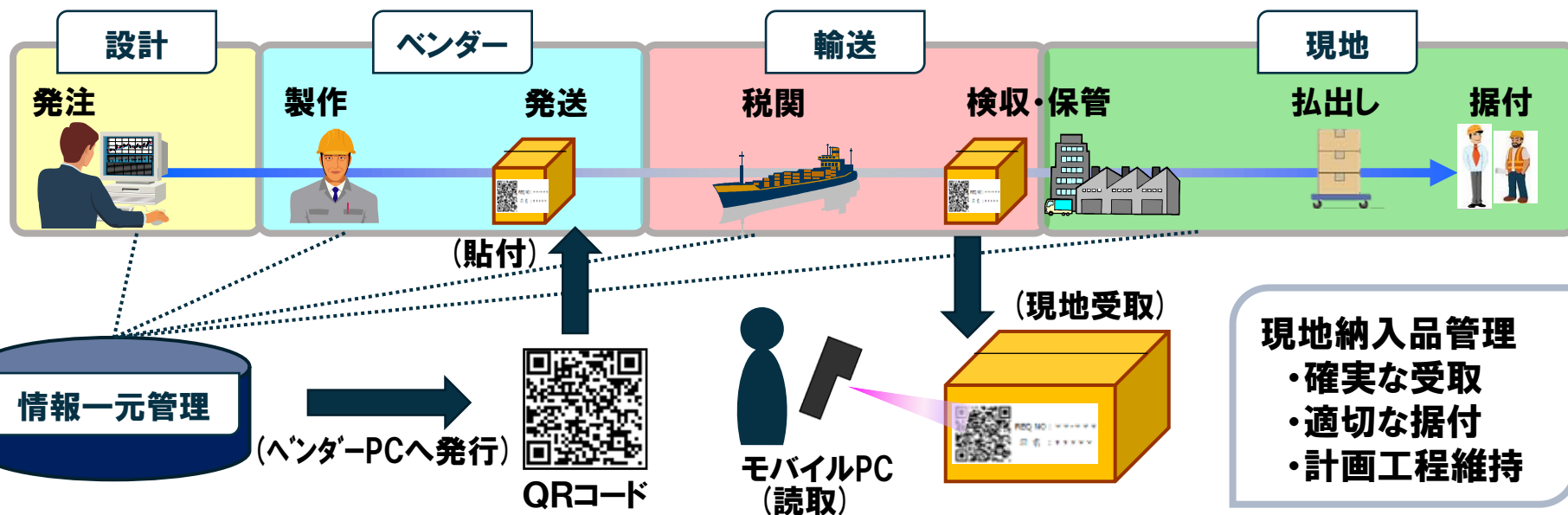
- サイトライセンス取得後に建屋機器の耐震設計をファイナライズ
- ベンダー情報を反映して3D-CAD最終化
- ファーストコンクリート前に設計フリーズ



EWC: Early Work Contract
FEED: Front End Engineering Design

- 安全設備については、EPRで納入実績の豊富なEDF/Framatomeの欧州サプライチェーンを積極的に活用し、QCD向上を目指す
- 国産化要求に対しては、製造能力・品質管理を見極め、トルコベンダーの活用を推進(現地ベンダー向けQAセミナー開催等)
- 設計～調達(ベンダー)～現地据付までの物品情報一元管理システムを開発。ICT技術を活用し、QRコードにより、発送～払出～現地据付までオンタイムに物品を管理。

国内再稼働工事で運用展開中



フィージビリティスタディ

実機向け詳細設計
(EWC/FEED)

EPC

①基本工事計画 (Phase-1)
国内ゼネコンとの共同検討

建設経験豊富な
大成建設・大林組と
建設工程を検討

②基本工事計画 (Phase-2)
EDFとの共同検討

EDF知見(EPR経験)
を入れ工事計画を
ブラッシュアップ

③詳細工事計画
トルコ企業との共同検討

トルコ据付業者と共同で、
ワーカーの能力、労働条件を
踏まえて建設計画の最終化

④建屋機電工事

- 原子力新規導入国のトルコで確実に建設を行うため、ワークパッケージ(WP)を整備する。
- 設計図面・取扱説明書は、MHIがビジネスパートナー (BP) へ貸与。図面管理システムで”最新版”を確認。
- 施工要領書等は、現地BPが作成、MHIが雛形提供し承認する (BPのレベル向上も必要)。
- 現場作業に必要なWPは、日々のツールボックス ミーティング(TBM)で確認。
- 承認された施工要領、最新図面にに基づき、定型フォーマットで漏れのない品質記録を採取し、確実に保管・管理する(“説明責任”が重要)。

図書管理システムで
最新図書を確認

TBM(毎日)で
作業員と確認

品質記録として
保管・管理

① 設計図面

② 取扱説明書

③ 施工要領書 (手順書/QAチェックシート = トラベラー)

施工/検査手順・要領、判定基準、参照図書、記録フォーム、立会程度等が規定され、承認済のもの。

④ 安全作業指示書

当日の作業内容、安全・衛生上の注意事項、必要資格等が記載され、承認済のもの。

⑤ 作業許可書

特殊作業(異物管理区域作業、火気作業、高所作業等)の実施申請が承認済のもの。

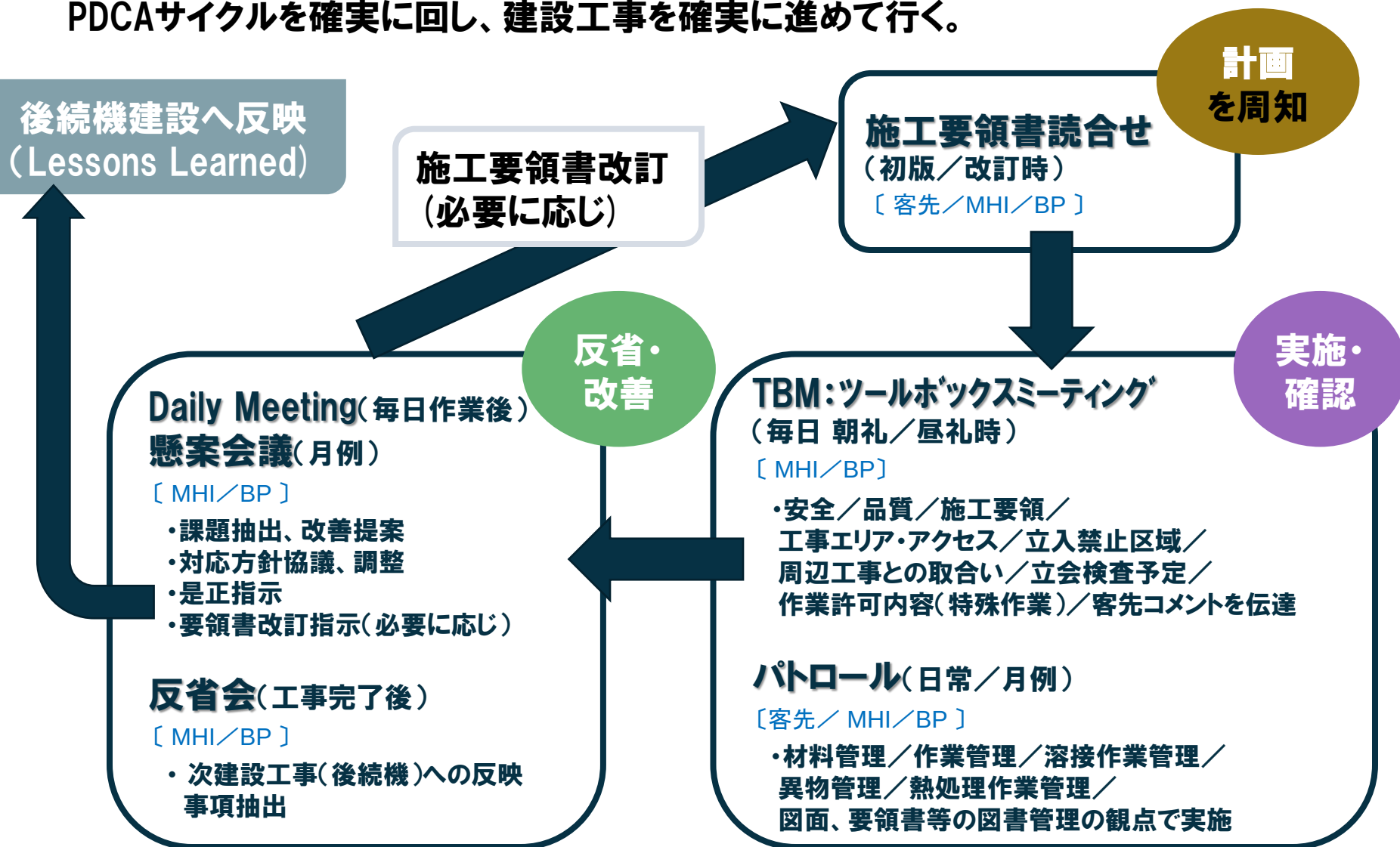
据付記録

- ・寸法記録
- ・溶接記録
- ・非破壊検査記録等

ワークパッケージ

備考: 規制局の検査は、客先(電力)にて準備、受検し、記録作成

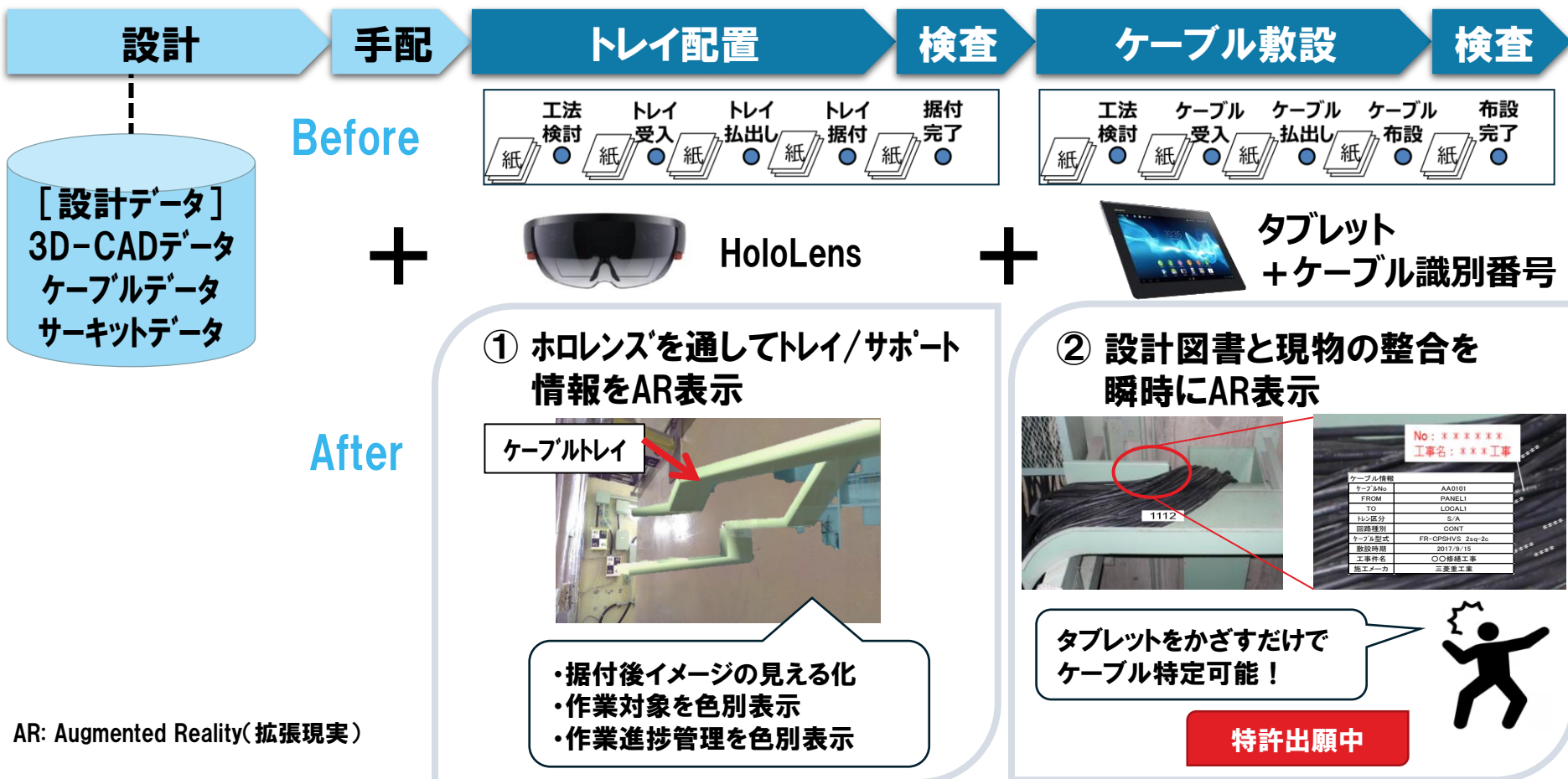
- 施工計画をBP(ビジネス パートナー)へ伝達、実施させ、日々確認・改善することでPDCAサイクルを確実に回し、建設工事を確実に進めて行く。



- ICTを積極活用。工事支援システムを適用し、確実に建設を進める。
(本年より国内工事へ適用開始)

ケーブル工事の例

①ケーブルトレイ配置、②ケーブル敷設作業プロセスの改善

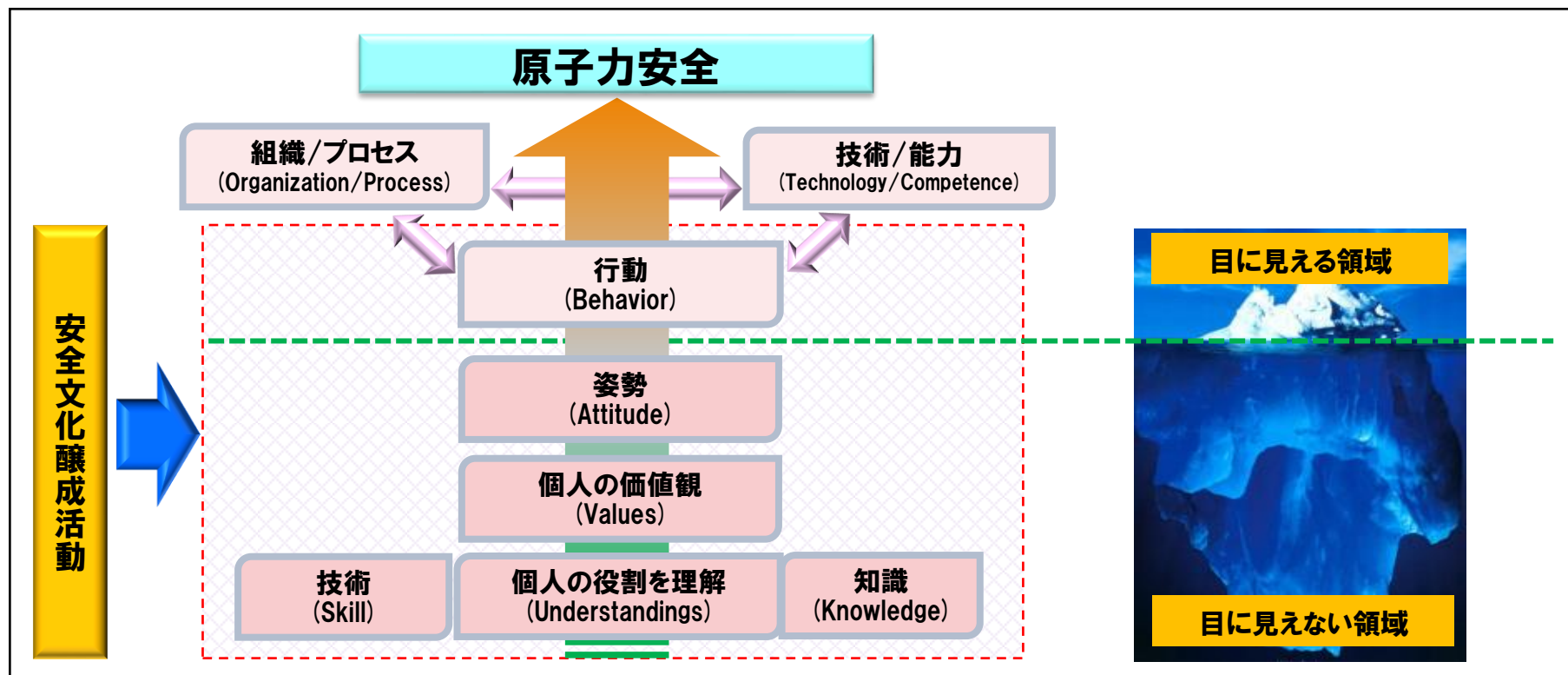


原子力安全文化の醸成

安全文化はQMSの実効性を上げ、**原子力安全をより高い次元で達成**するもの

- (i) 決められたプロセスに従って活動を行う意識をもつこと
- (ii) 組織、個人ともに原子力安全に責任を持つこと

安全文化は全ての活動の基盤であり、トルコ企業を含む**サプライチェーン全体で推進**する。



当社は国内の豊富なプラント建設、保全サービスを通じ、原子力プラントメーカーとしての総合力を培ってきた。

海外展開については、1986年の中国向け原子炉容器輸出を皮切りに、欧米をはじめ様々な国へ主要コンポーネントを輸出し、各国規制・規格、品質管理、図書管理等に対応してきた。

更にプラントでは、10年以上にわたる日仏共同でのATMEA1の開発を通じて、欧米の規制対応力を培ってきている。

これらの総合力を基に、今後はEDFとの戦略的な協業を通じ、トルコシノッププロジェクトの玉成を目指すと共に、世界各国にATMEA1を展開し、グローバル事業の更なる飛躍を目指す。

MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**