

デジタル時代を見据えた 小型モジュール炉(SMR)の開発

JAIF 2018
東京
2018年4月10日

© 2018 Rolls-Royce plc

本書に記載される情報は、ロールス・ロイスの専有情報であり、ロールス・ロイスの書面による明確な合意がない限り、第三者への複製、伝達あるいは本書の供給目的以外でのいかなる使用は許されておられません。

本情報は、ロールス・ロイスが入手する最新情報に基づき同社の善意により提供されており、当該情報に関して何らかの保証または表明が与えられるものではなく、ロールス・ロイスまたは同社子会社、関連企業に対する契約上またはその他誓約上の拘束力を持つものではありません。

Trusted to deliver excellence

Rolls-Royce 専有情報



Rolls-Royce

当社事業



民生用原子力

潜水艦



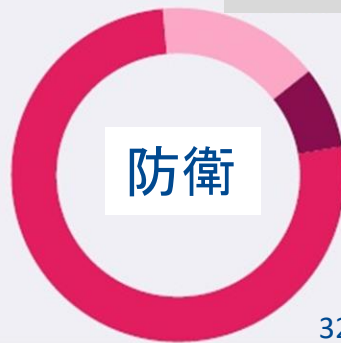
民生用
航空機

80億 英ポンド



発電
システム

31億 英ポンド



防衛

32億 英ポンド



Rolls-Royce

原子力の概要

原子力
(高い技能を有する4,100人の従業員)

防衛用原子力

潜水艦



- 原子炉プラント設計および供給
- 運転許可サイトの運営
- 燃料製造
- ライフサイクルを通じたサービス

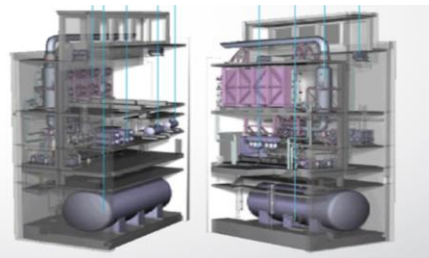
計装・制御



- 原子炉保護システム
- 制御棒制御システム
- 中性子測定システム
- プラント監視システム
- 炉内計装システム

民生用原子力

原子力サービスおよびプロジェクト



- 非常用ディーゼル発電機
- 液体廃棄物処理システム
- サービス：点検、予防保全、インベントリ管理

小型モジュール炉 (SMR)

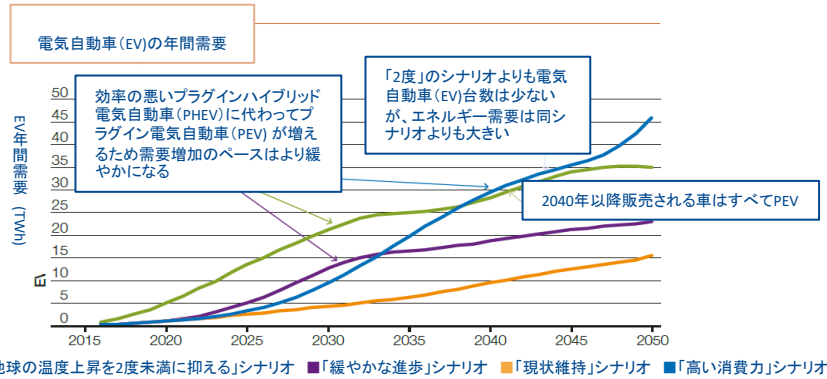
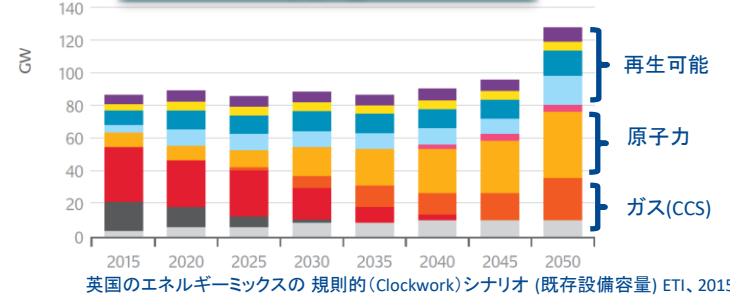


- SMR発電所の設計および開発

新たな低炭素電力発電への明確な需要増

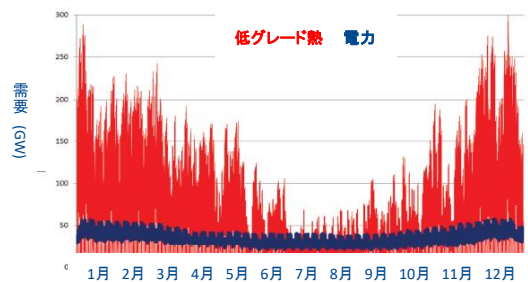


発電

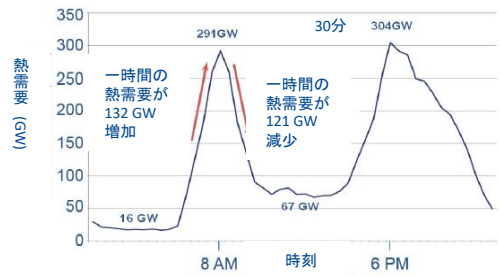


発熱

2010年の30分毎の英国電力および低グレードの熱需要の変動



冬季のピーク熱需要 — 2010年12月18日



- 2010年の30分毎の英国の電力および低グレードの熱需要の変動
— インベリアル・カレッジ Robert Sansom氏
- 冬季のピーク熱需要 — インベリアル・カレッジ、Robert Sansom氏によるデータ提供



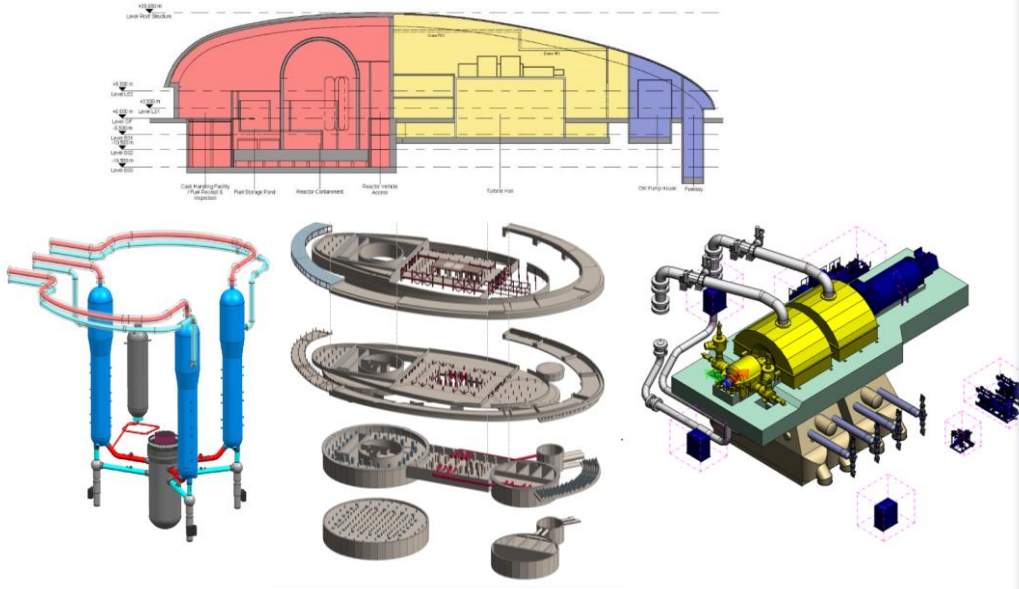
ロールス・ロイスのSMR開発における主な考慮点

政府補償のない電力会社にとって商業的な投資価値がなければならない

- SMRは廉価な電気を提供できなければならない
- 許認可手続き、製造、建設、運転、廃炉を考えた設計
- 建設方法 (モジュール式など)によって高リスク・高コストの部分 (サイト活動など)に対処しなければならない
- 運転の確実さがなければならない – つまり、不具合の残る初号機 (FOAK) であってはならない
- 大型・高額 of 製造施設を避ける (製造ラインのアプローチが必要)
- モジュール式は牽引要素ではなく、ソリューションであって、最適化しなければならない

$$\text{電力コスト (£/MW時)} = \frac{(\text{投資} + \text{運転・保守} + \text{燃料コスト} + \text{資金調達コスト})}{\text{発電ポテンシャル} \times \text{設備利用率}}$$

要求主導による設計で、高い費用効果と安全なソリューションを促進



許認可手続きを考えた設計

- 可能な限り実証済みの技術 / 低い規制リスク

製造を考えた設計

- 製造プロセスの簡素化
- 管理された工場環境での製造最適化
- 施設およびサプライチェーン投資への責任

建設を考えた設計

- 可能な限りサイトでの活動を排除 (リスク低減)
- 建設時間短縮とリスク低減
- 陸上輸送が可能なモジュールによって、時間短縮とリスク低減
- プラント全体がモジュール式のアプローチ

運転と廃炉を考えた設計

- 最低限のコストで最大限の発電
- デジタル化された製品

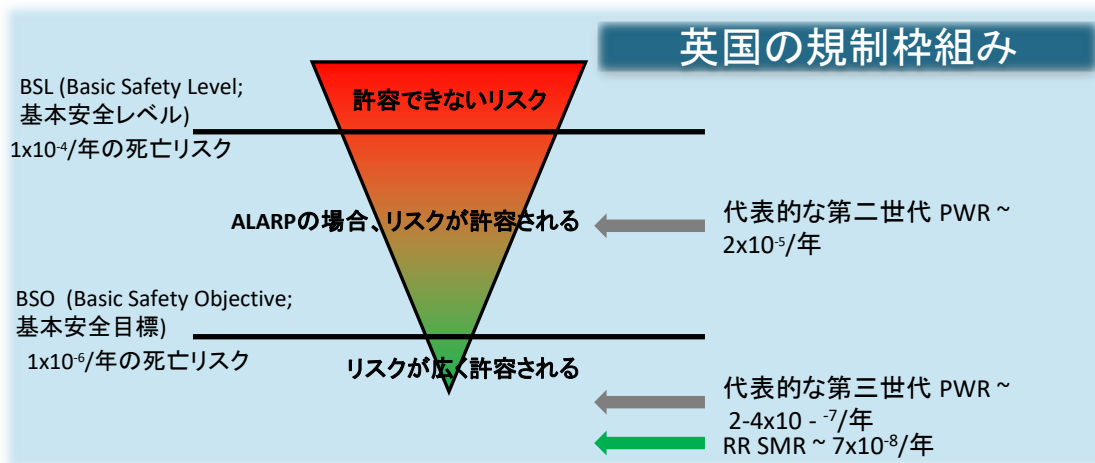
ライフサイクル全体を通じた安全性が社会的受容性の秘訣

原子力安全

従来の
安全衛生

セキュリティ

環境



英国原子力規制局



Office for
Nuclear Regulation

英国環境庁



Environment
Agency

英国安全衛生庁

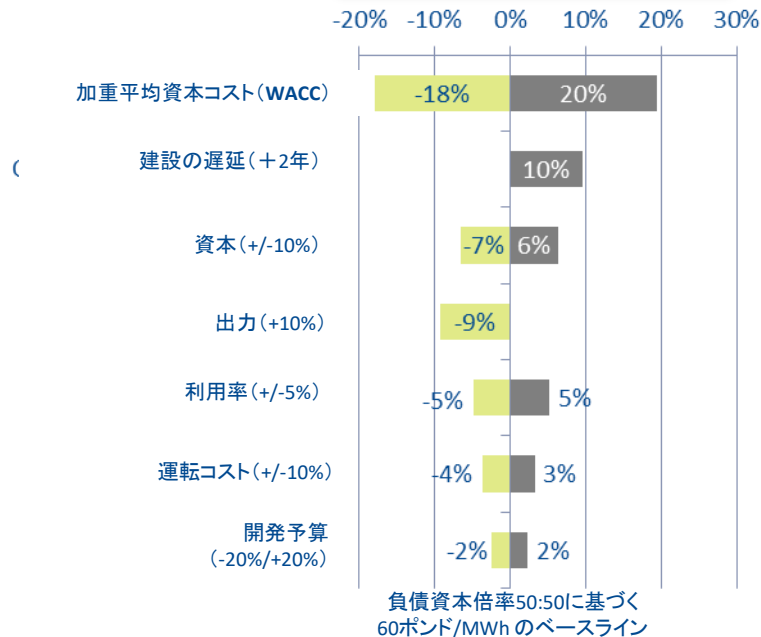


Health and Safety
Executive

事業ケースは、納入の確実さが圧倒的にものをいう

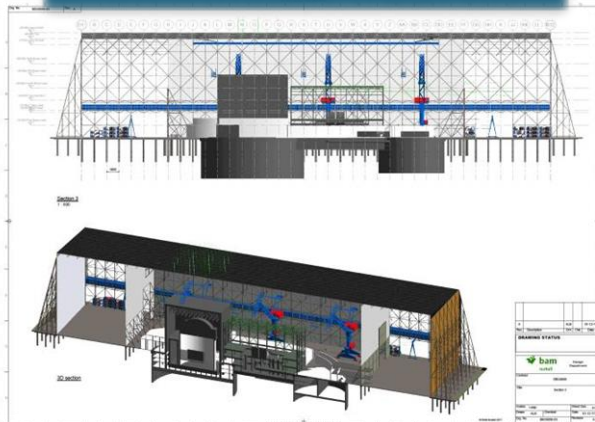
- これまでの原子炉は、以下を根拠に経済メリットを得るために出力の大型化を追求してきた。
 - ユニット一台の資本に対する出力増大は均等化発電原価 (Levelized Cost of Electricity : LCOE) に極めて大きな影響を与える
 - 運転コストの一部は固定で、出力に比例しないため、出力が大きい方が経済性が高い
- しかしこれは、主な LCOE への影響を犠牲にして成り立っている
 - 構造の複雑さは資本コストを引き上げる
 - 建設期間が長くなると、資金調達される総建設費は高くなる
 - リスクプロファイルが大幅に高くなることで借入時の金利が高くなる
- ここから、政府介入に対する要件増大につながり、資金調達が難しくなる
- そのため、当社SMR設計では、簡素化と短期建設、プログラムの確実さが重要不可欠な要素となっている

LCOE への影響

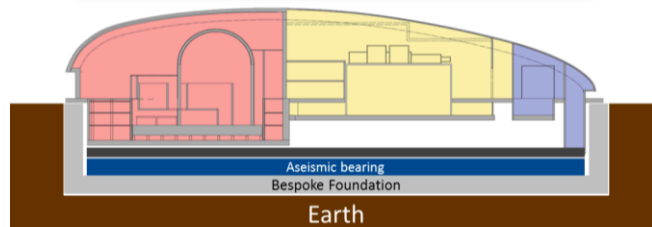


確実な構造

ロールス・ロイスのSMRサイト建設シェルター



ロールス・ロイスのSMRの2段階建設

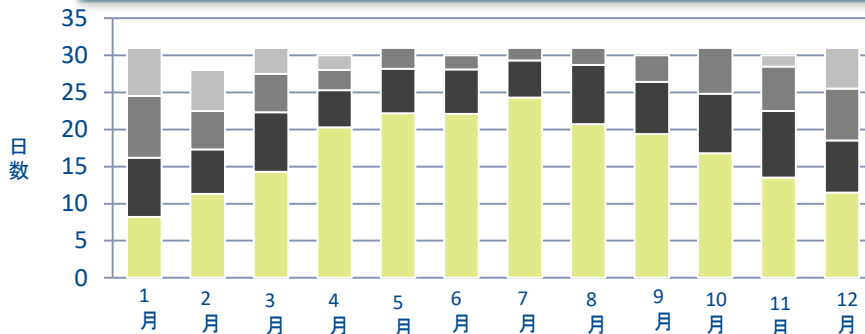


耐震マット
建屋基礎
地盤

Rolls-Royce 専有情報

- 建設工期の遅れは、重大なコスト増加につながる
- 当社のSMRは2段階で建設される
 - サイトの建屋基礎と耐震マットの建設工事
 - 発電所の標準モジュール組み立て – 所外での系統・機器製造
- 両段階とも作業中はカバーに覆われた状態で行われ、天候条件による影響を受けない

Wylfaの平均天候評価 - 2014年9月



- 雪および/または地表の霜によって作業できない日数
- 10メートル/秒超の強風によって作業できない日数
- 雨で作業できない日数の合計
- 一か月の作業日数



Rolls-Royce

確実な構造

- 短期間の建設に確実さは欠かせない
 - 初回ユニットの建設工程順序を確立するために7年という期間を想定している
- 習熟曲線から、NOAKプラントについては以下の期間を想定している
 - サイト準備と耐震マットに2年
 - モジュール納入、設置および試験の「工場プロジェクト」に2年
- 当社の設計は革新的な財務調達オプション / 建設モデルを導入することを目指している
- リスクを下げるためにプロジェクトを2段階に分け、高い資本コストの配分をさけるオプションを設けている

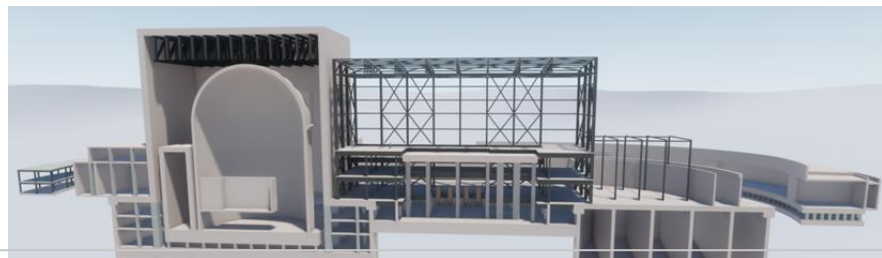
プロジェクト1: 建屋基礎作業と耐震マットの敷設

- ~2億5,000万英ポンド、期間2年
- サイトと地面の状態による不確実さから、リスクがより高いプロジェクト

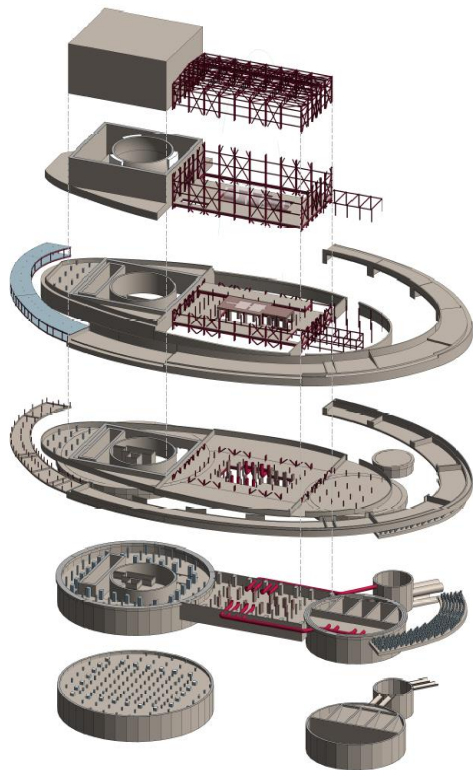


プロジェクト2: モジュール納入、設置および試験

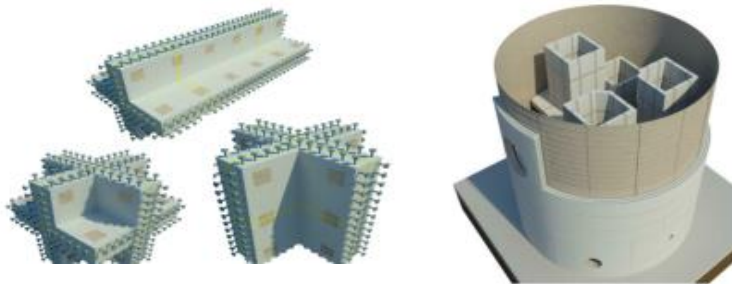
- ~12億5,000万英ポンド、期間2年
- サイトから独立したモジュール (サイト条件による影響を受けない)
- 工場製造の組み立てラインのプラントと機械類
- 民生モジュール施設からの民生モジュールが含まれる



デジタル建設



- モジュール式の建設アプローチはコストの削減、建設期間短縮、リスクプロファイル低下につながる(土木構造物のサイトから工場化)
- そのため資金調達コストが削減される
- 鋼製格納容器のモジュール式設置
 - プレハブ式強化コンクリートパネルを用いた内部構造物(一次側回路支持部)
 - 原子炉アイランドの地階と壁スラブ(耐震適合構造物)にもプレハブ式強化コンクリートパネルを用いる
 - 原子炉アイランド地下のMEPモジュール
- 円滑で調和のとれた製造・建設・設置プログラムを実現するため、設計とプログラム開発段階は、すべて4Dデジタル環境でモデルが作成される



Rolls-Royce

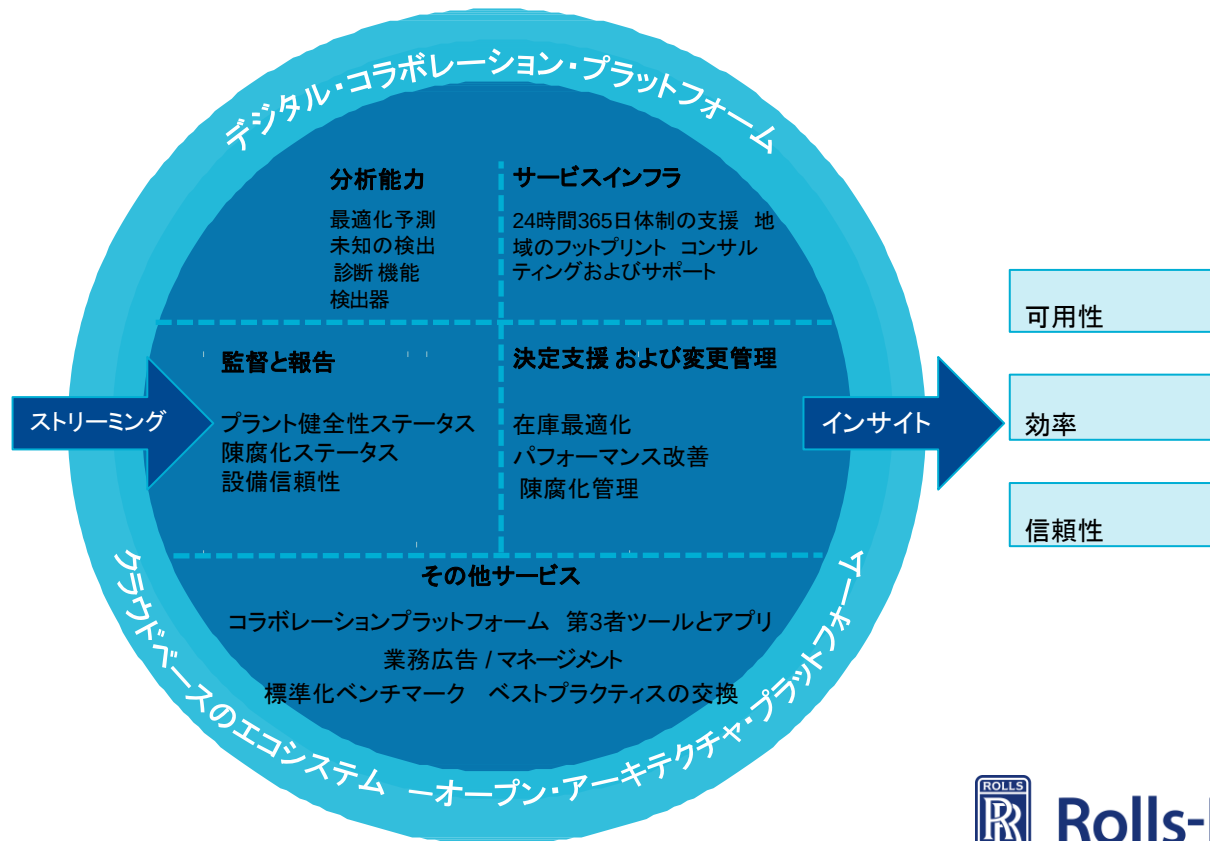
既存のデジタル・オペレーション – 最初のステップ...

履歴動向

運転プラント
データ

保修データ

暗黙知

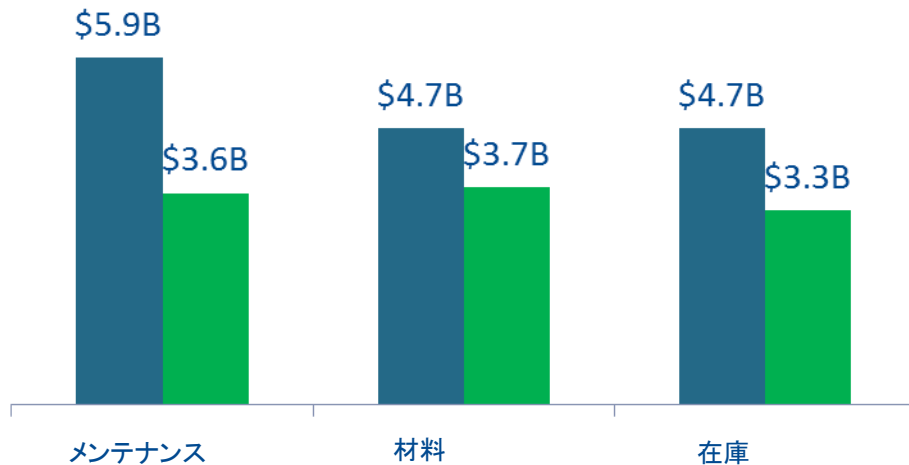


予知診断

デジタル・オペレーション – ポテンシャル

英国市場のみ

■ 現状
■ デジタル支出



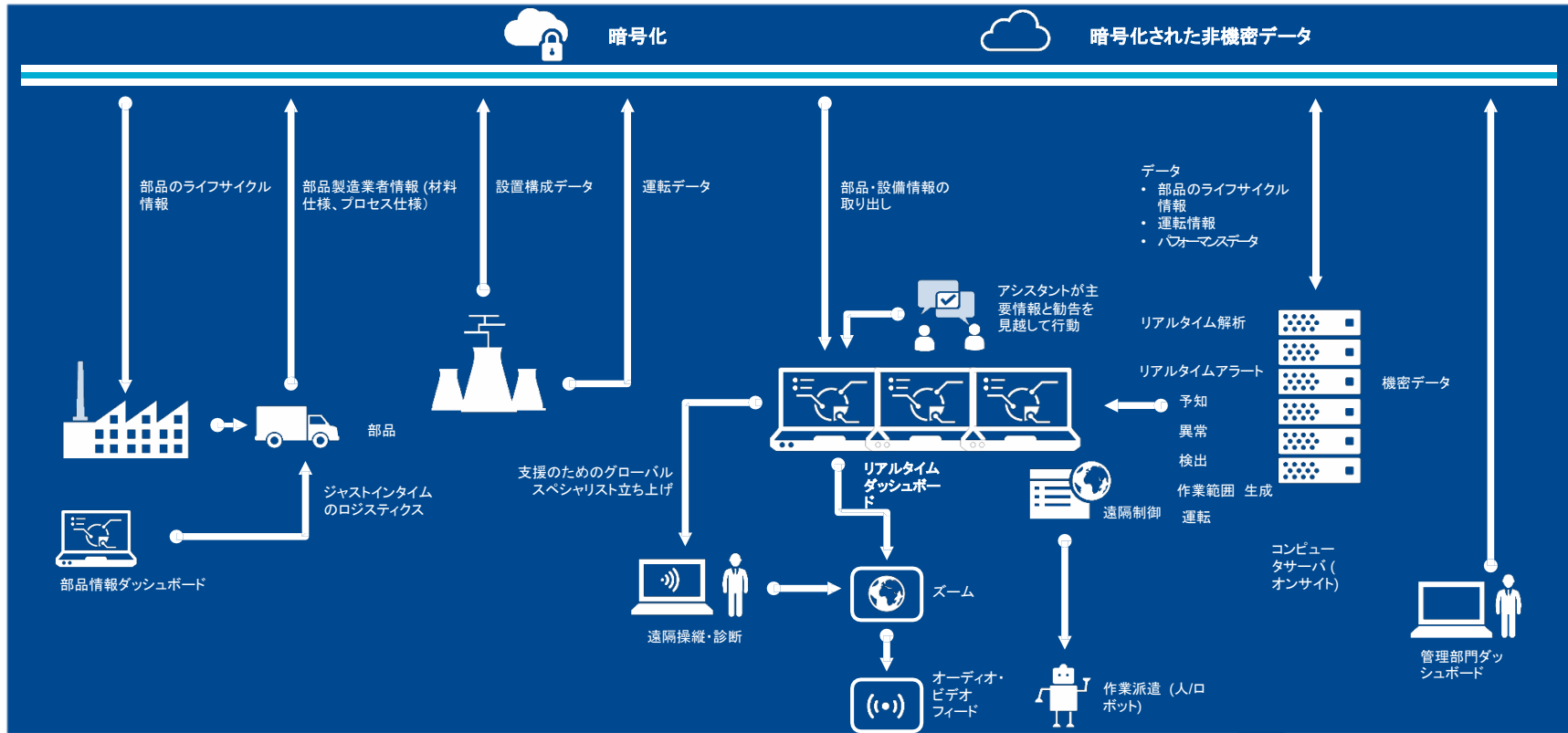
業界インパクト (3年間)

- 33億ドルの運転コスト削減
- 14億ドルのキャッシュフローパフォーマンス改善
- 設備信頼性改善

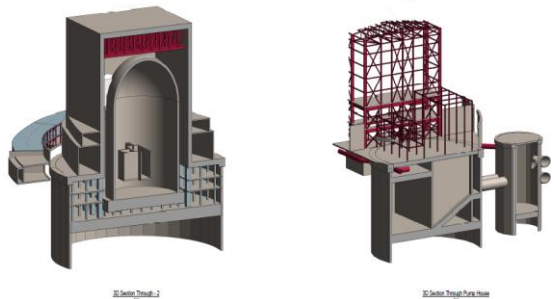
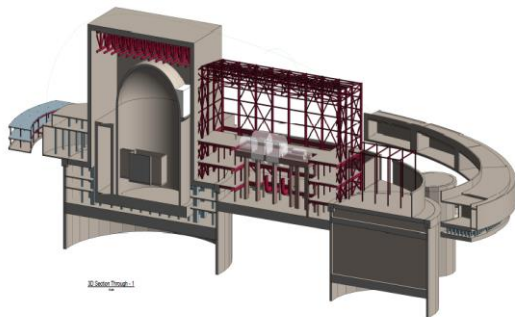
市場評価

- 既存文化の変革が遅い業界
- 時間ベースのデータに基づく削減 – 予測インテリジェンスの利用による業界運転・保守コストの転換
- 運転・保守コストを競争力あるレベルまで引き下げるための業界の資源・資産合理化を実現する機会

進化したデジタル・オペレーション (SMRを含む)



廃炉



- 廃炉費用は運転コストに含まれている廃炉税によって賄われる
- 当社のモジュール式構造には廃炉のための設計が組み込まれている (すなわち、モジュール式の解体)

主な利点:

- 運転期間を通じてゼロ排出を目標
- モジュール式解体
- 機器とシステムの全体数を最小化
- 鋼製格納容器等、材料選定上の利点に重点が置かれる
- 従来のPWR燃料
- 廃棄物処理の流れはすべて既存の英国の処理施設に適合

確実な廃炉へのLCOEの影響

ベースライン

ベースライン200%での廃炉
税- £13.88m p.a.

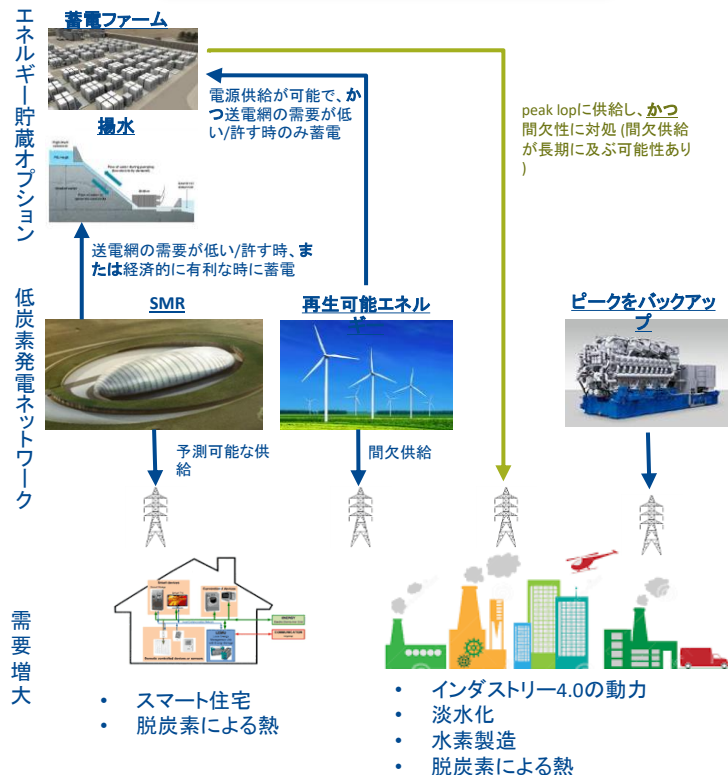


Rolls-Royce

統合的なシステムアプローチ

- エネルギー貯蔵はどのエネルギー形態にとってもメリットがある
- 間欠供給と異なり、SMRはいつ「充電」し、いつ送電網に電力を供給するかを選べる
- そのため、好条件時に発電と「充電」の両方を行うため、容量追加のための追加資本の必要がなくなる
- これにより、蓄電池・エネルギー貯蔵と組み合わせることにより、SMRは負荷追従性能を供給する送電出力を「peak lop」へ回すことができる
- 蓄電池への貯蔵、揚水、水素製造はすべてSMRに適しており、経済性の向上に寄与する
- ある特定の地理条件によってはSMRによるプロセス熱を「Free(無料)」で得られ、経済性が大幅に高くなる
- 同様に、ある特定の国際マーケットでは、SMRによって淡水化のための効率的な動力が提供される

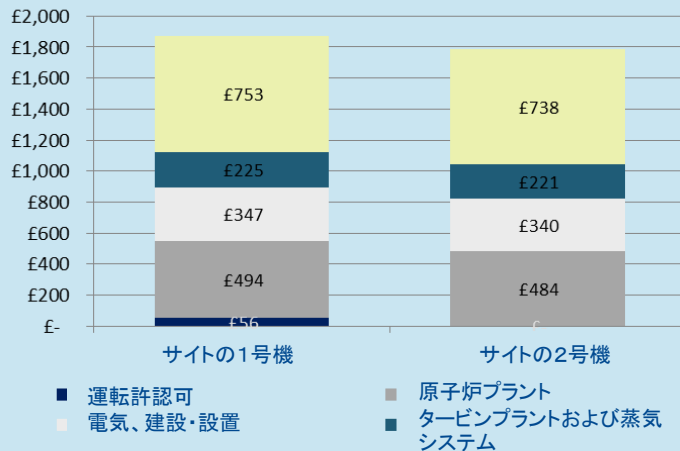
エネルギーネットワークにおけるSMR



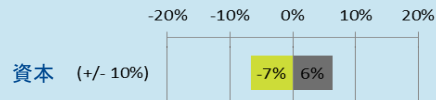
- 目標資本コスト20億英ポンドを達成
- LCOE <£60 MW時を達成
- ツインユニットサイトが経済的に優位
- 財務調達コストの削減と革新的な設計適用の組み合わせにより、インストールベース容量MWe当たりのコストに競争力が生まれている

	建設単価	
サイトでのSMR 1号機	£1,874m	£4.23/MW
サイトでのSMR 2号機	£1,784m	£4.03/MW

価格の内訳



資本によるLCOEへの影響



注1: <https://workspace.imperial.ac.uk/icept/Public/Cost%20estimates%20for%20nuclear%20power%20in%20the%20UK.pdf>

注2: <http://textlab.io/doc/5703003/hpc-and-uk-nuclear-new-build>

密連結型(Close coupled) 440MWe PWR SMR

- 事業者の要望に基づいた設計
- 原子炉にとどまらない発電所設計
- 最低限のコストで最大の出力(最低のLCOE)
- 市場投入までの時間:
 - 低い規制リスク
 - 実証済みの技術
 - 製造・建設のための設計
- 受動的安全性の向上
- コンパクトなモジュール式设计
- 設備容量の経済性
- ライフサイクルの運営を考えた設計

