



华龙国际核电技术有限公司

Hualong Pressurized Water Reactor Technology Corporation, Ltd.

改良型能動的&受動的PWR
能动与非能动技术相结合的先进压水堆

HPR1000のご紹介

“华龙一号”介绍

華龍國際原子力技術(株)

华龙国际核电技术有限公司

2018年4月

内容 目录

01

概要
概述

02

プラント設計
技术方案

03

プロジェクトの進捗状況
工程进展

04

まとめ
总结

01

概要

概述

1.1 HPR1000の概要

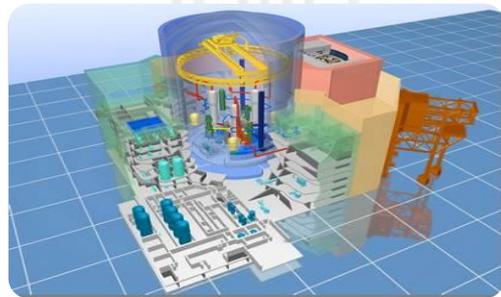
华龙一号概述

1.2 R&D(研究開発)

プロセス
研发历程

1.1 HPR1000の概要 华龙一号

- HAF、IAEA SSR、EUR、URDおよび福島事故後の安全要件に従って開発された進化的な改良型PWR原子力技術
 - 全世界の運転中および建設中のPWR NPPから得た経験に関するフィードバックを考慮に入れ、国の法令に歩調を合わせながら実績のある技術を駆使
 - HPR1000の安全性、信頼性および経済性を改善
-
- 作为渐进改进式先进压水堆技术，满足HAF/IAEA SSR/EUR/URD，以及福島事故后新的安全要求；
 - 华龙一号采用成熟技术，充分考虑了全球在建/在运压水堆的经验反馈；
 - 华龙一号系统性地提升了安全性、可靠性和经济性。



1. 概要 概述

(2/2)

1.2 国内におけるPWRの開発ロードマップ および海外展開

研发历程

ACP1000(CNNC)およびACPR1000+(CGN)は、R&D、製造、建設にまつわるNPPの30年を超える経験および運転経験に基づき開発されている。**HPR1000**はACP1000およびACPR1000+に端を発する。



CNP300の自主設計
自主建造秦山一期
(CNP300)



CNP600の自主設計
自主建造秦山二期
(CNP600)



CNP1000/CPR1000の自主設計
自主建造CNP1000/
CPR1000



CP1000/ACPR1000の自主R&D
研发具有自主知识产权的CP1000/ACPR1000



ACP1000/ACPR1000+の自主R&D
ACP1000 三代核电技术
ACPR1000+ HPR1000

“华龙一号”是由华龙国际公司在ACP1000和ACPR1000+技术的基础上进一步优化形成的三代核电技术。



M310の導入(大亚湾原子力発電所)

引进大亚湾核电站技术



嶺澳原子力発電所フェーズIの共同建設

合作建设岭澳一期



VVERの導入

引进VVER核电站技术



EPRの導入

引进EPR核电站技术



AP1000の導入

引进AP1000核电站技术

02

プラント 設計 技术方案

2.1 技術特性

技术特征

2.2 一般的なパラメータ

主参数

2.3 設計上の特徴

设计方案

2.4 福島事故のフィードバック

福島事故反馈

2. 設計上の特徴

技术方案

2.1 技術特性 (1/2)

技術特征

- 12フィートの改良型燃料集合体177体
- 能動的かつ受動的な安全措施
- 原子炉熱出力3180MWt
- 公称出力 ≥ 1200 MWe
- $CDF < 1 \times 10^{-6}$ /炉年
 $LRF < 1 \times 10^{-7}$ /炉年
- 安全裕度 $\geq 15\%$
- 単一ユニット配置
- SSE: 0.3g
- 二重胴の格納容器

- 177个12英尺燃料组件的反应堆;
- 能动与非能动相结合的安全措施;
- 堆芯热功率3180 MWt, 机组额定功率不小于1200MWe;
- 概率安全目标: $CDF < 1 \times 10^{-6}$ /堆·年、 $LRF < 1 \times 10^{-7}$ /堆·年;
- 堆芯热工裕量 $\geq 15\%$;
- 单堆布置;
- 安全停堆地震0.3g;
- 大自由容积双层安全壳



2. 設計上の特徴

技术方案

2.1 技術特性 (2/2)

技術特征

- 大型民間航空機落下に対する防護
- 60年の設計寿命
- 燃料取替サイクルは18~24か月
- 平均プラント稼働率 $\geq 90\%$
- 不干涉時間は最低でも30分
- 設計拡張条件に適した設計上の特長
- DCSおよび改良型 MCR
- 炉心上部から挿入される改良型炉心計装
- IRWST(格納容器内燃料取替用水タンク)
- LBB(破断前漏えい)
- 放射性固体廃棄物の量 $< 50 \text{ m}^3/\text{炉年}$
- 職業被ばくにおける集団線量 $< 0.6 \text{ 人}\cdot\text{Sv}/\text{炉年}$
- 抗大型商用飞机撞击
- 60年设计寿命
- 18~24个月换料周期
- 电厂平均可利用率 $\geq 90\%$
- 操纵员不干预时间不低于30分钟
- 完善的设计扩展工况应对措施
- 全数字化仪控系统
- 堆芯测量从堆顶引入, 取消反应堆压力容器下封头贯穿件
- 安全壳内置换料水箱
- 破前漏技术
- 放射性废物离堆处理, 待处置固体废物年产生量小于 $50\text{m}^3/\text{堆}\cdot\text{年}$
- 职业照射集体剂量小于 $0.6\text{人}\cdot\text{Sv}/\text{堆}\cdot\text{年}$

2. 設計上の特徴

技术方案

2.2 一般的なパラメータ (1/2)

主参数

炉心定格出力	堆芯额定功率	3180 MW
公称出力	机组额定功率	1200 MW
RCS運転圧力	一回路运行压力	15.5MPa (abs)
RCS設計圧力	一回路设计压力	17.23 MPa (abs)
RCS平均温度	一回路平均温度	310°C
RCS設計温度	一回路设计温度	343°C
公称一次系流量(最良推定値)	反应堆冷却剂系统最佳估算流量	~25000 m ³ /h/ループ
燃料有効長	堆芯活性段高度	12 フィート
燃料集合体数	燃料组件数	177
平均線出力密度	平均线功率密度(冷态)	181.2 W/cm
制御棒集合体数	控制棒组件数	69

2. 設計上の特徴

技术方案

2.2 一般的なパラメータ (2/2)

主参数

SGの伝熱面積 SG换热面积	~6500 m ²
二次側設計温度 SG二次側设计温度	316 °C
原子炉格納容器の設計圧力 安全壳内壳设计压力	0.52MPa (abs)
原子炉格納容器の設計温度 安全壳内壳设计温度	145°C
原子炉格納容器の自由体積 安全壳自由容积	>73000 m ³
タービン回転速度 汽轮机转速	1500 r/分
補助電源の電圧 厂用电电压等级	10 kV

2. 設計上の特徴

技术方案

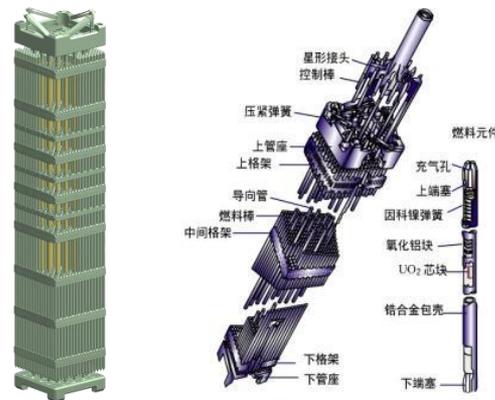
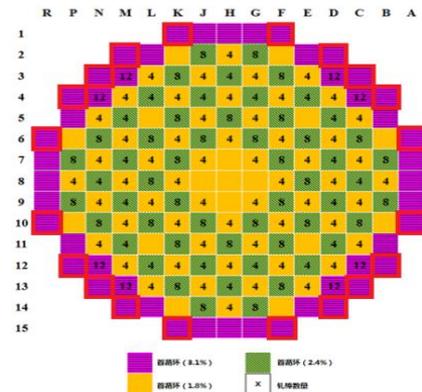
2.3 設計上の特徴

设计方案

● 炉心設計 堆芯设计

- 燃料有效長12フィートの燃料集合体が177体
- 低中性子漏えい燃料装荷パターン、燃料取替サイクルは18~24か月
- 燃料集合体取出平均燃烧度 ≥ 45 GWd/tU
- 負荷追従能力および低出力運転能力
- MOX燃料を用いた燃料サイクルの可能性

- 177組12英尺燃料组件
- 低泄漏换料堆芯装载模式，换料周期为18~24个月
- 组件的平均卸料燃料 ≥ 45 GWd/tU
- 具备负荷跟踪和低功率运行能力
- 具备使用MOX燃料的能力



2. 設計上の特徴

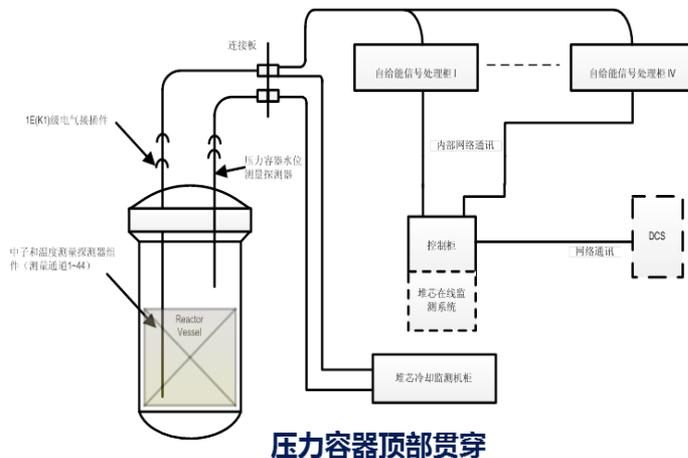
技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

● 炉心設計 堆芯设计

- 69体のRCCA(制御棒クラスタ集合体)
- SPND(ガンマ温度計付き中性子検出器)を備えた炉内中性子測定系統
- 炉内計装は頂部据付、RPV下蓋に貫通部なし
 - 69組制御棒组件设计
 - 采用SPND技术的堆芯测量系统
 - 堆内仪表采用从堆顶插入堆芯的方式



2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

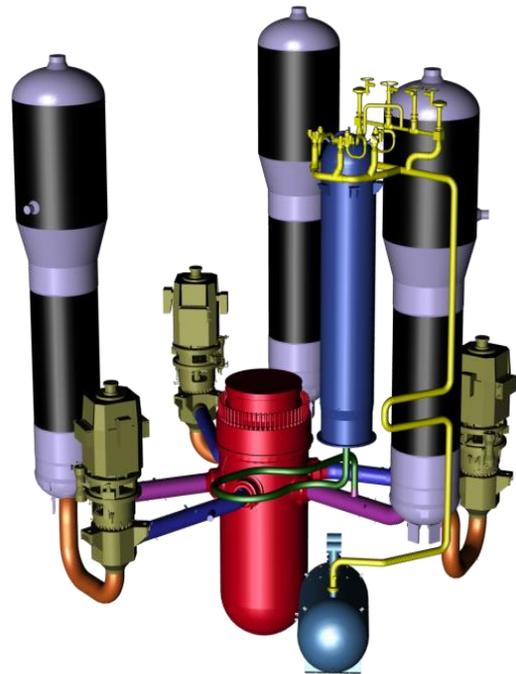
● 原子炉冷却系

反应堆冷却剂系统

HPR1000のRCSは3ループ設計。各ループにSGとRCPが各1台。電気ヒータ付きの加圧器が1ループに接続。

- 3ループ構成
 - 安全弁および高速減圧弁が装備された加圧器
 - 立形逆U字管型のSG
 - 軸封型原子炉冷却材ポンプ
 - 鍛造原子炉冷却材管
-
- 三环路
 - 稳压器设有安全阀和严重事故卸压阀
 - 轴封型主泵
 - 立式倒U型蒸汽发生器
 - 锻造的冷却剂管道

华龙一号的RCS采用三环路设计，每个环路包含一个SG和一个反应堆冷却剂泵。采用电加热器的稳压器连接在其中一个环路上。



2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

● 原子炉構造 反应堆结构

原子炉压力容器

压力容器

- RPVの設計寿命は60年。縦方向に溶接されていない鍛造型の主要機器
- RPV下部に貫通部のない、頂部据付型の高度な炉内測定アセンブリ
- 制御棒集合体は69体
- RPVにおける高位排気

- RPV设计寿命60年，压力容器主要部件整体锻造，无纵焊缝；
- 一体化堆内测量组件从RPV顶盖引入，RPV底部无贯穿件；
- 反应堆本体结构包括69组控制棒组件
- 高位排気。



2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

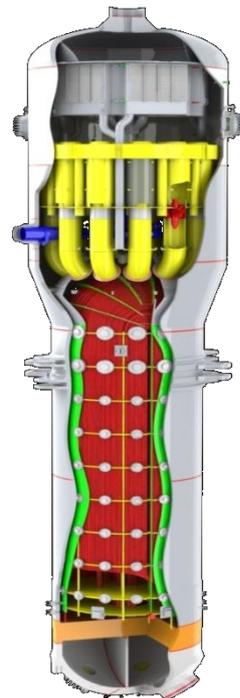
设计方案

● 原子炉冷却系 反应堆冷却剂系统

蒸気発生器

蒸汽发生器

- 立形逆U字管型の自然循環SG
- SGの二次側の液体インベントリおよび蒸気体積が大きい
- 二段型の湿分分離器
- 60年の設計寿命
 - 立式倒U形管自然循环蒸汽发生器
 - 大的二次侧汽空间和水空间
 - 两级汽水分离装置
 - 设计寿命60年。



2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

● 原子炉冷却系 反应堆冷却剂系统

加压器 稳压器

- 立形円筒状の胴。全半球形鏡板によって2か所の末端部を密閉
- 低炭素合金鋼
- 大量の蒸気および水
- 直接浸漬型のPRZ(加压器)電気ヒータ
 - 采用立式圆柱形稳压器
 - 采用低合金钢制造
 - 足够大的汽水空间
 - 稳压器电加热器采用直接浸入式结构



2. 設計上の特徴

技术方案

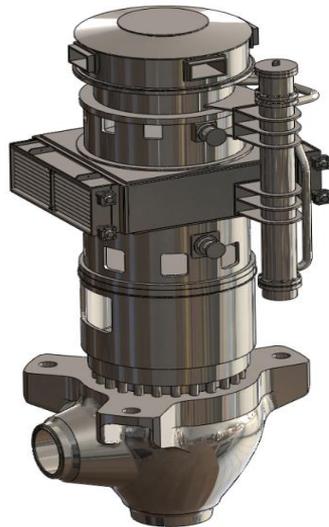
2.3 設計上の特徴

设计方案

● 原子炉冷却系 反应堆冷却剂系统

原子炉冷却材ポンプ 反应堆冷却剂泵

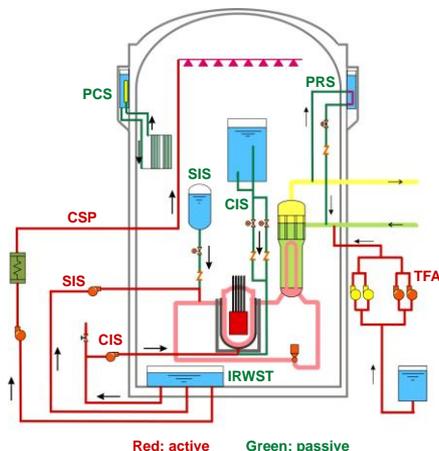
- 一段型、垂直シャフト
- 信頼性と効率性の高い軸封構造
- 静止型の密封系統で、SBO(全交流電源喪失)状態における一次系の健全性を72時間以上維持
 - 単級、立式结构;
 - 采用成熟高效的轴封设计;
 - 安装有停车密封系统,可确保全厂断电工况下72小时内边界完整。



2. 設計上の特徴 技术方案

2.3 設計上の特徴 设计方案

● 安全系 安全系統



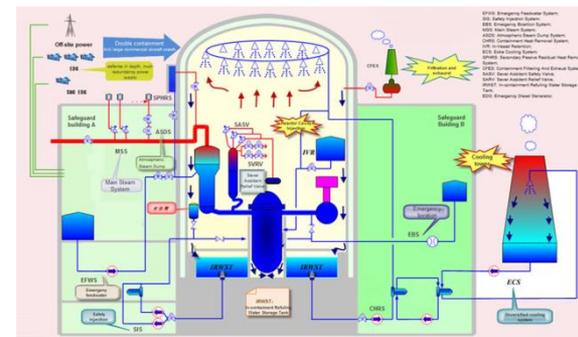
オプション1 选项一

2つの能動的トレン+受動的機能
“二列能动安全系列+非能动安全系統”



オーダーメイドの安全系で顧客の要求
に適合

可根据用户需求选择使用。



オプション2 选项二

3つの能動的トレン+受動的機能
“三列能动安全系列+非能动安全系統”

2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

● 安全系 安全系统

■ DBC(設計基準条件)対抗措置

设计基准工况应对系统

多重防護(レベル3)
纵深防御第3层次

■ DEC-A対抗措置 DEC-A 应对措施

多重防護(レベル4a)
纵深防御第4a层次

■ シビアアクシデント緩和措置

严重事故缓解措施

多重防護(レベル4b)
纵深防御第4b层次

- 安全注入系 安注系统
- 補助給水系 辅助给水系统
- 格納容器熱管理系 安全壳能量管理系统
- 大気蒸気ダンプ系 大气排放系统
- 非常用ディーゼル発電機 应急柴油发电机

- SG二次側からの受動的冷却 二次側非能动余热排出系统
- SBOディーゼル発電機 SBO电源
- 非常用ほう酸注入系 应急硼注入系统
- 多様化作動系 DAS系统
- 多様化冷却源 多样化冷源

- 多様化格納容器冷却系 多样化安全壳热量导出系统
- RCS用高速減圧系 一回路快速卸压系统
- 格納容器水素制御系 安全壳消氢系统
- 原子炉キャビティ注入冷却系 堆腔注水冷却系统
- 格納容器除去排気系 安全壳过滤排放系统
- 過酷事故計装制御および大容量バッテリー 严重事故专用仪控系统与大容量蓄电池
- 所内非常用補給水および可搬式ディーゼル発電機 厂区应急补水与移动电源

2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

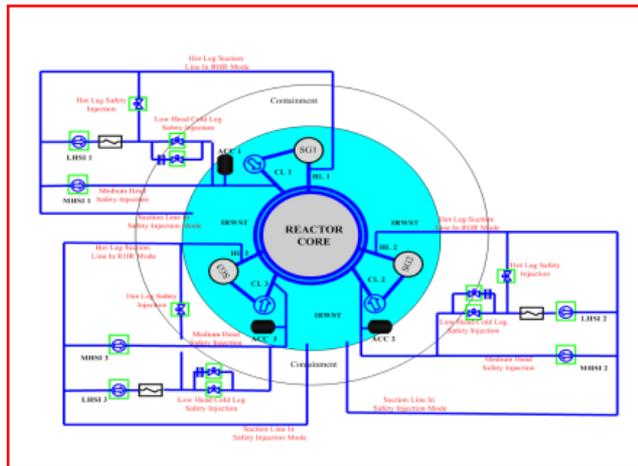
● 安全系 安全系統

■ 設計基準条件对抗措置

设计基准工况应对系统

構成の改善:

- 独立MHSI
- IRWST
- 大規模ACC...
- サンプストレナ改良型
- 大容量大気蒸気ダンプ



SGの過剰充填を防ぐための設計を強化

- 給水流量の自動調整
- 給水管の冗長自動隔離
- 事故対応の追加的なSGブローダウン

2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

- **安全系** **安全系统**

- **DEC-A对抗措置**

- DEC-A 应对措施

典型的多重故障 典型多重故障	安全機能 安全措施
ATWS(原子炉停止機能喪失事象) 未能紧急停堆的预期瞬态	非常用ほう酸注入系 应急硼注入系统
全交流電源喪失(SBO) 全场断电	SBOディーゼル発電機 / 主ポンプの静止型密封 SBO柴油发电机/主泵停机轴封
U.H.S(最終ヒートシンク)喪失 丧失最终热阱	補助給水+大気蒸気ダンプ/SG二次側からの受動的冷 却 辅助给水系统+大气排放/二次侧余热排出系统
保護系の共通モード故障 保护系统共模失效	多様化作動系 多样化驱动系统

2. 設計上の特徴

技术方案

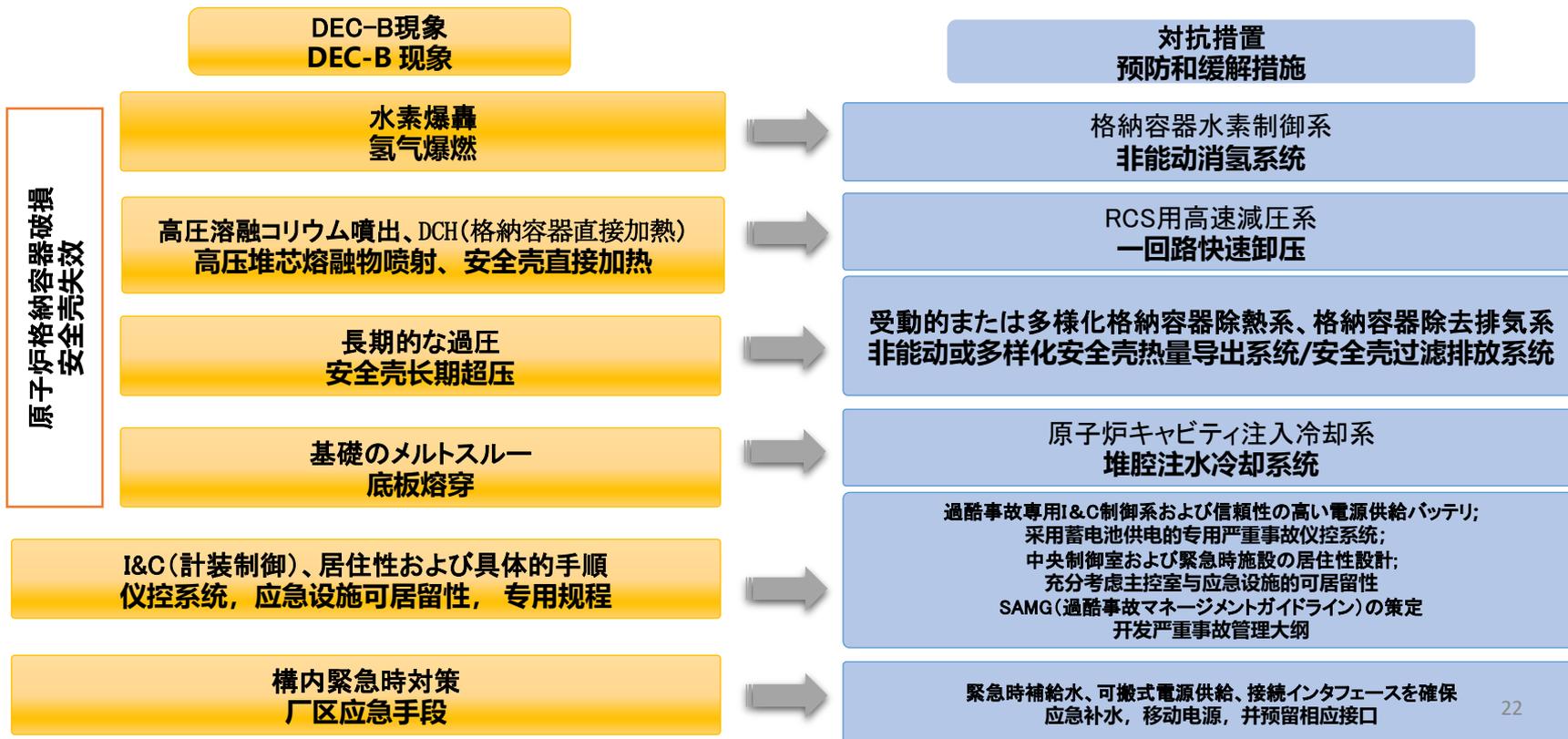
2.3 設計上の特徴

设计方案

● 安全系

■ 過酷事故緩和措置

严重事故缓解措施



2. 設計上の特徴 技术方案

2.3 設計上の特徴 设计方案

- 電源供給の多様性

多样化电源系统



2つの独立した所外電
源供給

两路独立厂外电源



非常用ディーゼル発電機
+2時間分のバッテリー

应急柴油发电机



SBOディーゼル発電
機/DECバッテリー

SBO柴油机/
直流电源



可搬式電源供給

移动电源

2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

● I&C設計 儀控系统

- 最適化されたDCSシステムおよび改良型運転員情報システム
- DCSソフトウェアCCFを処理するDAS(多様化作動システム)
- シビアアクシデント制御システム
- 中央制御室の居住性向上を目的とした排気系の改善

- DCS系统及操纵员信息系统;
- DCS软件发生共模故障时采用DAS系统
- 严重事故控制系统
- 提升主控室可居留性



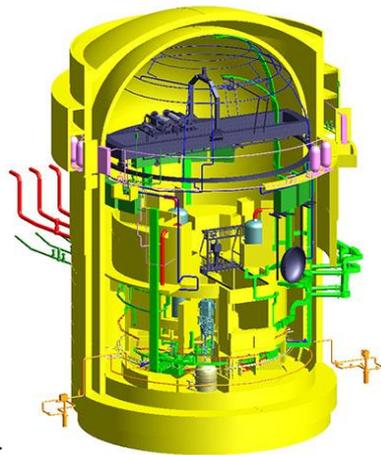
2. 設計上の特徴

技术方案

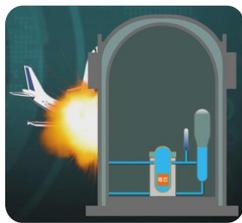
2.3 設計上の特徴

设计方案

- ニュークリア・アイランドの配置 核岛总体布置
- 単一プラント配置
- 二重胴構成の格納容器
- 安全注入系の水吸込切替の失敗を防ぐためのIRWST
- 安全建屋間の距離を確保
- 系列間の物理的分離
- 検討されるサイトに関連するすべての自然事象および人的起因事象
- 内部ハザード発生時に必要な防護措置



- 単堆布置
- 双层安全壳
- IRWST, 消除长期阶段安注水源切换风险
- 各列安全厂房区域分隔
- 不同系列之间实体隔离
- 考虑了所有与厂址相关的外部自然事件以及外部人为事件
- 也对内部灾害进行了分析并采取了必要的措施



外部事象に対抗する高度な防護

加强的外部灾害防护措施

- SSE: 0.3 g
- 大型民間航空機落下に対する防護
- 外部の洪水
- 安全停堆地震0.3g
- 抗商用大飞机撞击设计
- 外部水淹

2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

● 実証試験

试验验证

■ 原子炉冷却系

主系统

- ◆ 主要な機械システム(例:RPV)は、既存のPWR NPPから得られた長期的な工学的慣行の検証に基づいて革新的な改善が行われている。
- ◆ 設計改善は試験(例:炉内構造物の流れ誘起振動模擬試験)によって検証される。
- ◆ 华龙一号主系统(如压力容器等)基于现有压水堆核电站长期工程验证开展渐进性改进设计;
- ◆ 具有试验验证。



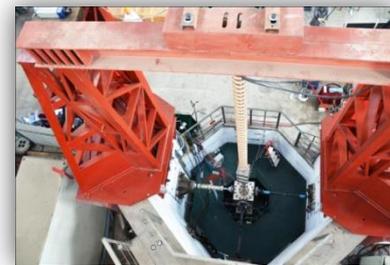
炉内構造物の流れ誘起振動模擬試験



炉水入口流量圧力降下試験



原子炉容器ダウンカマ
の混合試験



制御棒駆動ライン(CRDL)の
耐震試験

2. 設計上の特徴

技术方案

2.3 設計上の特徴

设计方案

● 実証試験

试验验证

■ 安全系

安全系统

- ◆ 通常運転系および「能動的な」工学的安全機能の構成および運転は既存のPWR NPPから得られた長期的な工学的慣行に基づいて検証されている。
- ◆ 「受動的な」安全機能向けに適用される設計概念および技術は個々の実験/試験に基づいて検証されている。

- ◆ 正常运行系统和能动专设安全设施经过现有压水堆核电厂长期工程经验验证;
- ◆ 非能动安全系统设计的理念和技术已经过专门的试验验证。



原子炉キャビティ注入
冷却系の試験

堆腔注水冷却系统性能
试验



二次側の受動的残留
熱除去試験

二次側非能动余热导出
系统试验

2. 設計上の特徴 技术方案

2.4 福島事故のフィードバック 福島事故反馈

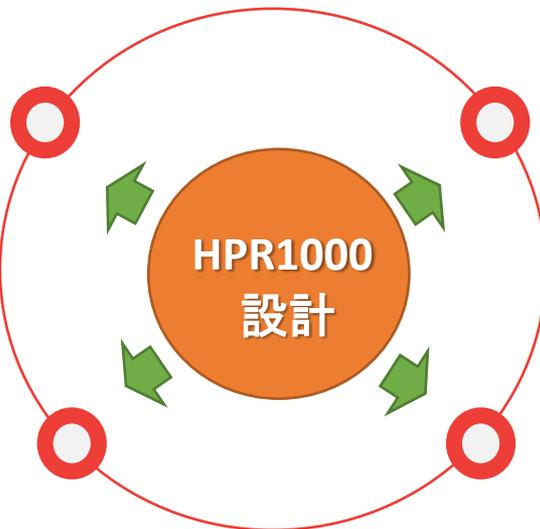
1. 外部ハザード 外部災害

- 耐震設計
- 洪水設計
- 早期警戒メカニズム

- 抗震能力
- 防洪能力
- 灾害预警机制

3. DEC对抗措置 DEC工况应对措施

- 堅牢な格納容器設計
- DEC对抗措置
- SAMGの策定



- 坚固的安全壳设计
- DEC工况应对措施
- 制定严重事故管理导则
- 辐射监测和应急响应能力
- 应急设施可用性

2. 安全機能および事故緩和

- 多样化或非能动设计
- 电源多样化与纵深防御
- 应急补水策略
- 乏燃料池冷却与监测

安全功能和事故缓解

- 多様化または受動的設計
- 多様な電源供給および多重防護
- 非常用補給水戦略
- 使用済燃料プール冷却および監視機能

4. 緊急時施設および緊急時対応

应急设施与应急响应

- 放射線監視および緊急時対応
- 緊急時施設の可用性

03

プロジェクト
の進捗状況

项目进展

3. プロジェクトの進捗状況 (1/4)

项目进展

福清原子力発電所5・6号機 福清5&6号机组

5RX内部構造物の建設完了
5RX内部结构施工完成



2017.05.03

最初のSGの導入
首台蒸汽发生器引入



2017.11.10

原子炉压力容器の据付
压力容器安装完成



2018.02.14

商業運転
商运

2020.01.15

2017.05.25



ドームのホイスト
完了

穹顶吊
装完成

2018.01.11



5RX原子炉格納
容器の屋根密封

5RX内层安
全壳封顶

2020.01.15

燃料初装荷
首次装料

3. プロジェクトの進捗状況 (2/4)

项目进展

防城港原子力発電所3・4号機 防城港3&4号机组

最初のアキュムレータの導入

首台安注箱引入



2017.10.05

内部構造物建設の段階的進展

内部结构11.6m板施工完成



2017.12.12

3号機の設備デ
バッグ開始
3号机开始调试

2020.02.29

3号機の燃料
初装荷
3号机首次装料

2020.10.31



2017.10.16

設備据付開始

核島安装开始



2017.12.31

格納容器ホイス
トの段階的進展

钢衬里筒体第九层吊装完成

3. プロジェクトの進捗状況 (3/4)

项目进展

国内のその他のプロジェクト

其他国内项目



漳州 フェーズI

漳州一期工程

寧徳 フェーズII

宁德二期工程

太平嶺 フェーズI

太平岭一期工程

昌江 フェーズII

昌江二期工程

プロジェクト前の作業はスムーズに進んでいる。

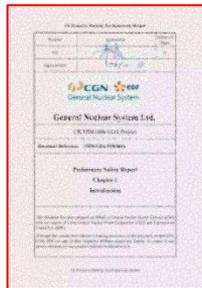
目前项目的前期工作正按计划顺利推进。

3. プロジェクトの進捗状況 (4/4)

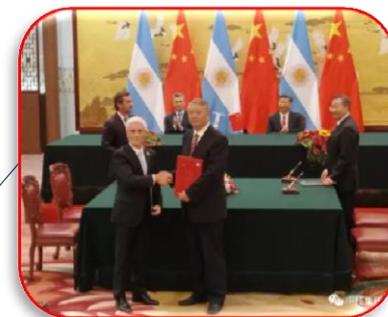
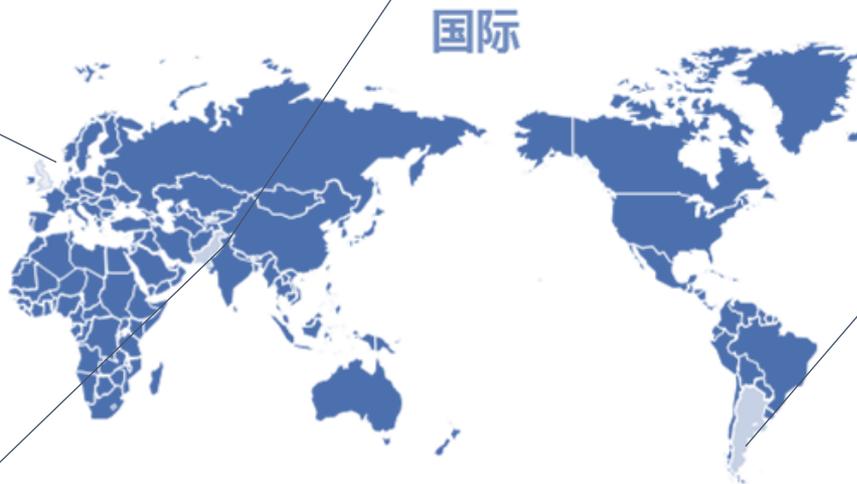
項目進展



- C5の通商交渉に署名。
- 恰西玛5号机组签订合同。



- UK HPR1000 GDAはステップ2のフェーズに突入。
- 目前，华龙一号通用设计审查已经进入STEP2阶段



HPR1000の建設開始についてアルゼンチン原子力発電会と合意。



- パキスタンK2プロジェクトにおいてNIの据付開始。
- 巴基斯坦K2项目正处于核岛设备安装阶段
- 根据约定，阿根廷将开工建设一台百万千瓦级“华龙一号”压水堆核电机组。

04

まとめ

总结

4. まとめ

总结

- HPR1000は、関連するIAEA安全規格を考慮に入れつつ、最新の中国の原子力安全規格に適合している。
- 福島事故のフィードバックおよび、原子力安全に関するウィーン宣言 (Vienna Declaration on Nuclear Safety)に基づいたその他の良好事例を包括的に勘案している。
- HPR1000は安全かつクリーンであり、経済性と信頼性に優れたエネルギー・ソリューションである。
- HPR1000满足最新的中国的核安全法规,同时参考了IAEA最新的安全标准;
- 按照《维也纳核安全共同宣言》的要求,考虑了福島事故反馈并酌情考虑了其他良好实践。
- HPR1000是安全、清洁、经济和可靠的能源解决方案。

ありがとうございました

华龙国际核电技术有限公司

地址：北京市海淀区西三环中路8号院

邮编：100036

电话：010-5723 4705

传真：010-5723 4774

www.hpr.com.cn

Hualong Pressurized Water Reactor Technology Corporation, Ltd.

A:No.8,West 3rd Ring Road, Haidian District,Beijing,100036

T:010-6836 1692

F:010-6836 1677

www.hpr.com.cn