

## IV. 原子力発電開発の歴史

### 1. 韓国の重化学工業近代化と、その後の原子力産業の育成の経緯

#### 1) 重化学工業の近代化

- ・韓国は、1965年6月に結ばれた「日韓基本条約」による、日本からの3億ドルの無償供与、2億ドルの借款供与、3億ドル以上の民間借款で、朝鮮戦争の荒廃からの復興に向かう原資を得た（当時の韓国の国家予算は3.5億ドルだった）。

- ・1973年になり朴正熙大統領は「重化学工業政策宣言」を発表、軽工業から重化学工業への転換を図った。この過程で政府は、重点産業への参入は特定の財閥にのみ認め、そこに限られた資源を集中投入した。金融や税制などでも優遇措置をとった。また政府の保証による格安また巨額の借り入れが可能となったことから、主要な財閥は傘下にあらゆる業種のいわゆる「フルセット型」の企業群を抱えることになった。

#### 2) 韓国の原子力発電開発

- ・韓国の原子力発電開発では、日本の企業との資本や技術の提携はなされず、「欧米企業との提携+自力更新」の基本方針がとられた。

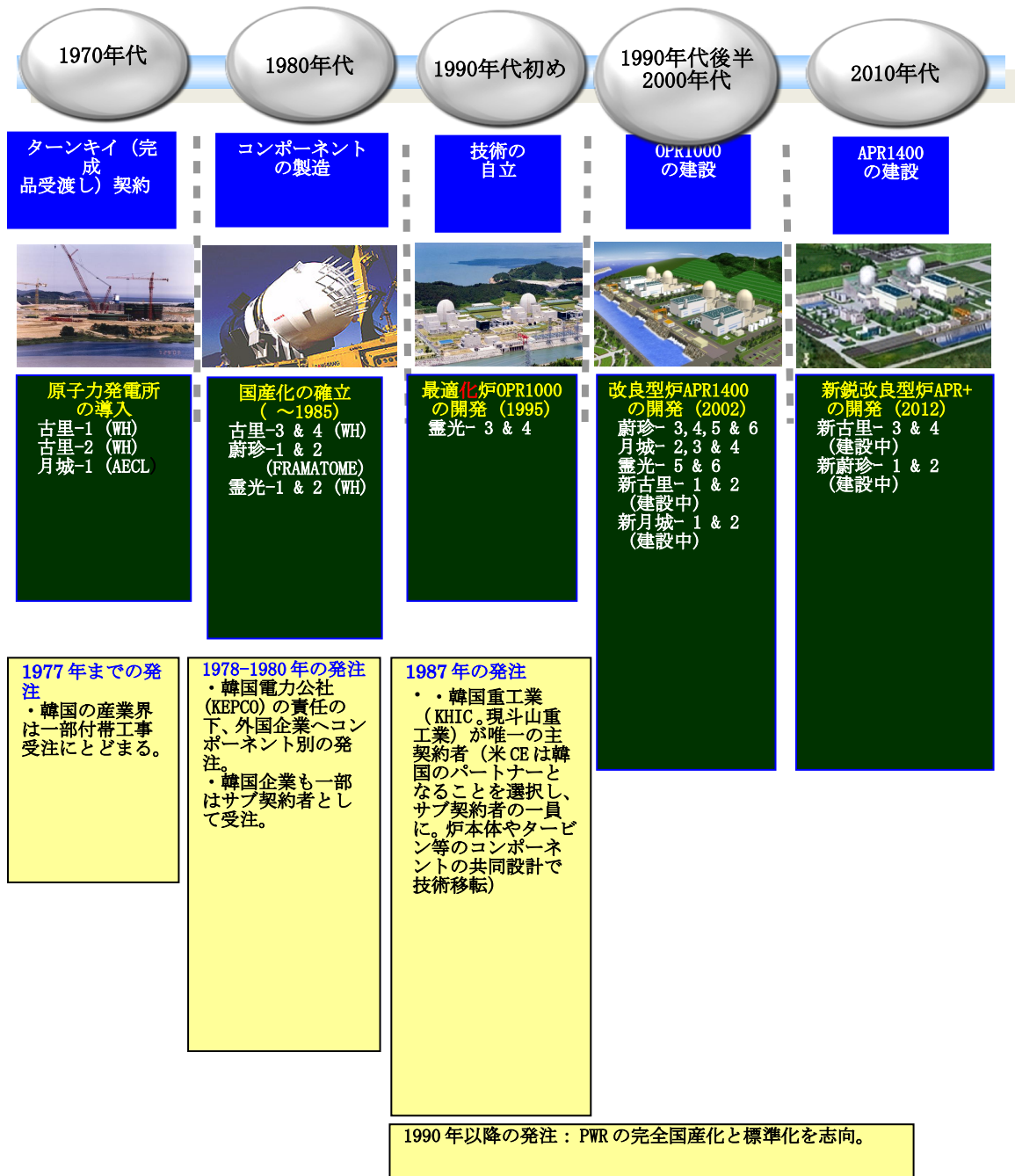
注：原子力関係の制度や法令・基準等は日本から多くをとり入れながら、採用した原子力技術は、米（かつてのWH、またCE）、加（AECL）、仏（かつてのFRAMATOME）であった。

- ・1980年、政府は「一業種一社育成方針」により、原子力機器製造分野で先行していた現代洋行(株)を核に韓国電力(株)の子会社として、韓国重工業(株) (KHIC または韓重 HANJUNG の略称)を設立した。さらに2001年にKHICの民営化で株式を公開し、斗山重工業(株) (DOOSAN) が設立された。

#### 3) 軽水炉国産化・標準化に向けての取り組み

- ・まず、韓国の原子力発電プラントの国産化・標準化の歩みを、図により概括する。

図表 12：韓国の原子力発電開発の軌跡



(出典：2009年10月26-27日「第30回日韓原子力産業セミナー」開会セッションでのキム・ジュンス KHNP 上席副社長の発表「韓国の原子力発電の現状と将来展望」等)

①韓国の加圧水型軽水炉 (PWR) の国産化・標準化計画の策定：1983年

・韓国では、原子力発電所標準化計画を1983年に策定、100万kW級PWRの国産化・標準型炉

\*開発から開始した。

\*当初、「韓国標準型原子炉（Korea Standard Nuclear Plant: KSNPあるいはKSN）」と呼称、その後「最適化炉（Optimized Power Reactor: OPR）」と改称。

図表 13：韓国の 100 万 kW 級 PWR 標準化の計画とその実際の進展の概要

開発段階	時期	計画事項	実際の進展
フェーズⅠ	1983年4月 ～85年7月	・標準化プラント（KSNP）の概念の F/S	
フェーズⅡ	1985年9月 ～87年8月	・建設・運転の経験をレビュー ・先端技術を調査 ・設計改善項目を特定	
フェーズⅢ	1989年2月 ～91年4月	・靈光3・4号炉（1989年6月着工）を、標準炉のベースとなる参照炉（Reference Reactor）/基本炉（Base Reactor）に決定 ・国産化設計項目の絞り込み	・米国電力研究所（EPRI）の新型軽水炉電力要求文書を検討 ・韓国標準化要求文書（電力からの要求）と韓国標準化安全解析報告書（KSSAR。サイト条件は含まず）を作成
フェーズⅣ	1991年4月 ～2006年	・靈光3・4号の建設を利用、KSNPの第一次設計を終了	
		・標準型先行炉（とりあえずKSNPとみなせるもの）として蔚珍3・4号機を着工（1992年5月）。	・蔚珍3・4号機の建設過程で設計を改良、標準化を完成。一応「実証炉」の扱いながら、過剰に安全装置を付けた「試行錯誤機」のためコスト高。
		・コビ-生産向け炉の設計は、靈光5・6号機（1996年9月着工）や蔚珍5・6号機（1999年1月着工）から。	

- ・とくにフェーズⅢで「EPRIの新型軽水炉電力要求文書」検討の結果、靈光3・4号機の設計作業からのフィードバックも取り入れて、韓国標準型炉の設計を次のように進めた。

#### <設計の考え方>

- －（運転性、保守性の観点から）単純化を図る。
- －（システムやコンポーネントの）信頼性を高める。
- －（モジュール化等）建設工法の効率化を図る。
- －（事故防止や過酷事故対応のために）設計裕度を十分にとる。また許可設計基準と安全裕度基準を統合する。
- －（運転員に適切な応答時間を確保する等）マン・マシーン・インターフェイスの改良を図る。

- － (いままでの建設や運転の経験により) 実証された技術を採用する。  
設計者が陥りがちな「革新的な機器・システム」の採用は抑制する。

#### <性能目標の設定>

- － 核燃料の熱的余裕度：5 %以上
- － 炉心損傷の防止：
  - ＋ 停電時の保持時間は8時間
  - ＋ また代替交流電源確保と安全システムの機能強化
- － 過酷事故に対する十分な損傷低減対策が施されている設計
- － 安全裕度基準を過酷事故におく
- － 稼働率：80～87 %
  - \* これは核燃料取替周期(当時12～15カ月)の長期化(12～24カ月を目標)により変動した。
- － 計画外停止回数：年1回以内
- － 設計耐用年数：40年(在来炉では30～40年)
- － 計画的負荷追従運転：可能に

#### ②「原子力研究開発中期計画」で国産化目標を設定：1992年

- ・ 1992年6月、韓国原子力委員会は「原子力研究開発中期計画(1992～2001年)」で、「2006年以前に完成する原子力発電所を対象に軽水炉の改良を進め、これを基に経済性と安全性に優れた次世代原子炉技術を開発する」ことを発表した。

その作業スケジュールは次のとおり。

- － 1994年末まで：過酷事故対応、制御、設計寿命延長の各技術開発
  - － 1997年末まで：基本設計の完了
  - － 2001年末まで：標準詳細設計の完了、標準安全性に関する解析報告書作成
  - － 2007年：初号商用炉の運転開始
- ・ これに基づき、「95 in 95」(1995年に95%の国産化を!)のスローガンの下に、次の目標が設定された。

図表 14 : 「95 in 95」 国産化計画

担当機関	分野	国産化目標 (1995年)
韓国電力公社 (KEPCO)	総合プロジェクト管理	98 %
韓国原電燃料 (株) (KNFC)	核燃料製造	100 %
韓国原子力研究所 (KAERI)	原子炉系統設計	100 %
	核燃料設計	95 %
韓国重工業 (株) (HANJUNG=KHIC)	原子炉系統機器製造	87 %
	タービン発電機設計・製造	98 %
韓国電力技術 (株) (KOPEC)	総合設計	95 %
建設業各社	土木・施工	100 %
		全体の国産化率 95%

・この計画による実績は、以下のようになった。

図表 15 : 韓国原子力発電プラントでの国産化率の推移

(%は技術料を加味した金額ベース。1995年6月現在)

原発	古里 1	古里 2	月城 1	古里 3&4	霊光 1&2	蔚珍 1&2	霊光 3&4
運転開始年	1978	1983	1983	1985/86	1986/87	1988/89	1995/96
国産化率	8.0 %	12.8 %	13.9 %	29.0 %	35.0 %	40.0 %	74.0 %

注：図表 14 も 15 も、ともに KEPCO 提供の資料ながら、霊光 3・4 の国産化率に相違がある。1994 年 6 月の報道では、霊光 3・4 号機の初装荷燃料は、韓国での製造能力不足により、WH から購入せざるを得なくなったことによるとされる。

注：国産化計画遂行過程で、敢えて国産化を遅らせた資機材についての説明は、以下のとおりであった。

- 蔚珍 3・4 号機（各 1998 年 8 月/1999 年 12 月に運開）まで、ジルコニウム燃料管、PWR 用の主冷却材ポンプ (RCP)、CANDU 用の特製弁が必要な 1 次伝熱ポンプ、圧力管、重水精製装置、重水等が製造されなかった。理由は、製造設備購入費等を考えると、購入するほうが経済的だった品
- 制御棒駆動装置 (CRDM) と RCP は、霊光 5・6 号機（202 年 5 月・12 月運開）では国産化した。
- 圧力容器は霊光 3・4 号機（1995 年 3 月/1996 年 1 月運開）から、鍛造材料から国産化している
- 蒸気発生器 (SG) も霊光 3・4 号機で国産化を達成した。

(出典：1995 年 6 月時点での KEPCO 対外電力事業団長の説明)

注：以上の、韓国での PWR 国産化をめぐる動きのさらなる詳細データは、巻末の参考資料 5：韓国の PWR 国産化・標準化計画の概要を参考。

### ③韓国標準型原子炉（KSNP）としての「システム80+」の開発

- ・前述のように、1987年4月の霊光3・4号機の発注では、米国のコンバッション・エンジニアリング社（CE）をサブ・コントラクターとして選任した。
- ・これにより韓国側は、CEが開発し、米国アリゾナ州パロヴェルデ原子力発電所1～3号機で採用された「システム80」（130万kW級炉PWR）を、韓国の国情に合うように100万kWにスケールダウンする等の改良で、韓国標準型原子炉とする方針を立てた。
- ・この開発では、KEPCOが運転管理者、KAERIが炉心設計者、KOPECが2次系設計者の役割を担うことになった。
- ・この時期に、CEが同じく「システム80」の安全性と経済性を大きく向上させる「システム80+」という名称の改良型炉開発プロジェクトを実施中であったため、米英のエンジニアリング社や電力に混じってKEPCOも参加した。

注：「システム80」は、原子炉冷却系統2ループ構成（蒸気発生器2基、一次冷却材ポンプ2基）の炉で、後にこの2ループ構成の特徴はウェスチングハウス・エレクトリック社（WE）のAP1000にも採用された。

注：韓国でもこの「システム80」の韓国導入用改良炉を「システム80+」と命名したため、「システム80+」の米国版は130万kW級、韓国版は100万kW級と容量は異なるが、混乱があった。

注：この開発作業の詳細は、参考資料6：「システム80+」と韓国標準型原子炉（KSNP）の混乱」を参照。

### ④韓国次世代炉KNGR\*の開発：設計寿命は60年、建設単価は15%低減

\*次世代炉は、当初 Korea Next Generation Reactor (KNGR) と呼称、後に1400MW（140万kW）の Advanced Power Reactor (APR1400) と改称。

- ・2000年4月、経済危機により中断していた大型次世代炉開発の再開が発表された。
  - ・韓国では、1992年末から「次世代原子炉技術開発事業」として、改良型大容量PWRの開発が行われていた。当初は130万kW級「韓国次世代型炉（KNGR）」、後に140万kW級「改良型炉（APR1400）」という名称が付けられた。
- KHNP、KAERI、KOPEC、DOOSANなど、産学および研究機関から約2,300名が研究開発に参加し計2,340億ウォンが投入された。
- ・APR1400は、KSNPと同じく、CEの「システム80+（米国版）」（130万kW）をベースに開発したものもある。

- ・開発スケジュールでは、1999年2月に基本設計を完了、2001年12月に詳細設計を完了、2010年に初号機運転開始となっていた。
- ・この開発スケジュールに則り、新古里3・4号機（2007年9月着工）および新蔚珍1・2号機（2010年6月掘削開始予定）にAPR1400が採用された。

図表 16：新古里3・4でのAPR1400の建設風景



（出典：2009年10月26-27日「第30回日韓原子力産業セミナー」開会セッションでのキム・ジュンス KHNP 上席副社長の発表「韓国の原子力発電の現状と将来展望」等）

- ・韓国側では、CEとの建設によって、PWRの国産化を推進したが、その過程で「炉心設計コード、一次冷却材ポンプRCP、計測制御システムMMIS」の3大コア技術の自立化の重要性を認識し、これを「APR+」という炉として達成することにした。
- ・2008年8月27日の「第一次国家エネルギー基本計画」の中で、原子力を輸出産業化するとの明確な目標によって、「APR+」の開発を当初計画の2015年完了から、2012年完了に前倒しすることが決定された。
- ・2010年3月30日、KHNPは、原子力発電プラント設計の要である炉心設計コードを韓国原子力燃料(株) (KNF)を中心とする研究開発機関が、韓国の力のみで開発したことを発表した。

注：炉心設計コードは、炉内の核燃料の状態を把握・予測するソフトウェアで、核燃料の装填量や交換時期等の決定に重要な役割を果たす。KHNPでは、今回開発した炉心設計コードを新古里3・4号機に適用する予定でいる。

## 2. 韓国「国産炉」に対する WE からのライセンス問題の提起

- ・ 2009 年の年の瀬に、（現代建設の CEO を務めた）李明博大統領のトップセールスの手腕を華々しく伝える「アラブ首長国連邦（UAE）での 400 億ドルの原子力発電プロジェクトを韓国受注」の衝撃的なニュースが世界を駆け巡った（詳細は後述）。
- ・ しかし米国 WE 側は、韓国と UAE の交渉段階から、これまで曖昧にされてきた韓国の「国産炉技術」は、輸出に関しては、ライセンス上 WE に規制権があることを強調していた。

### 1) WE からの韓国標準型原子炉開発での知的財産権の主張

①従来からの韓国と WE の主張は次のとおりであった。

- － WE : OPR や APR1400 は、CE の「システム 80+」（130 万 kW 級 PWR）の技術をベースにしたものであり、その輸出には、（CE を吸収統合した）WE の承認が必要。
- － 韓国側 : OPR も APR1400 も、純然たる韓国の国産開発技術である。

注 : 韓国の PWR 国産化ならびに標準化は、霊光 3・4 号機の発注（1987 年 4 月）に際して、韓国重工業（HANJUNG）を主契約者とし、技術的に進んだ米国の CE や GE 等をサブ・コントラクターとする技術移転によって具体化した。当時の協力関係は、以下のとおりである。

- － 原子炉本体 : CE－HANJUNG
- － タービン発電機 : GE－HANJUNG
- － アーキテクト・エンジニアリング（AE） : サージェント&ランディ（S&L）－KAERI/KEPCO（後に KOPEC）

②（韓国の UAE への超大型原子力商談の成功によってこの決着が必要となった）

2010 年 1 月 21 日、米国連邦議会調査局（CRS）が、「米国－韓国の世界原子力市場における協力：政策上の主要検討事項」\*と題する報告書を公表した。

\* U.S. and South Korean Cooperation in the World Nuclear Energy Market: Major Policy

Consideration Mark Holt. 11p. (R41032) [http://assets.opencrs.com/rpts/R41032\\_20100121.pdf](http://assets.opencrs.com/rpts/R41032_20100121.pdf)  
)

- ・ CRS の報告書の執筆者は、「KSNP は 1997 年 5 月に米国 NRC の標準設計承認を受けた CE のシステム 80+ をベースにしている」と判断してる。

### 2) 韓国と WE の知的財産権の争いの波及

- ・ 現段階の米国政府の解釈では、アラブ首長国連邦（UAE）を含め、OPR や APR の輸出は「米国オリジンの原子力発電技術の移転」とされ、米国政府の「810 承認」といわれる個別承認が必要となる。



- 2014年の米韓原子力協力協定の改訂に際しても、原子力貿易を規定した「原子力法 123 条」に抵触する部分の修正が求められる。
- 2009年11月18日、KEPCOは米国内へのAPR1400の輸出に備えて、米国NRCとAPR1400の標準設計承認を申請するための「予備的会談」をもち、「システム 80+（米国版）」と韓国のAPR1400の開発の経緯、設計の違い等を説明した。NRC側では、予算・人員の制約からAPR1400の審査は少なくともここ2年間は無理としている。

注：この問題のさらに詳細な情報は、巻末の参考資料7：韓国標準型炉に関する「CEのライセンス」の取り扱い問題を参照。