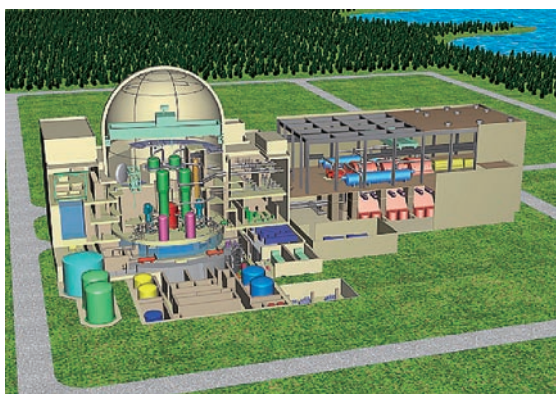


特集論文



# 原子力発電プラントの普及拡大に向けた最新の取組み 原子力総合カンパニーとしてグローバルな展開により地球温暖化対策に貢献

## The Recent Activities of Nuclear Power Globalization Our Provision Against Global Warming by Global Deployment of Our Own Technologies as "Integrated Nuclear Power Plant Supply Company"

山内 澄\*1 鈴木 成光\*2  
Kiyoshi Yamauchi Shigemitsu Suzuki

当社は“原子力総合カンパニー”として、“エンジニアリング力”、“ものづくり力”、“技術サポート力”を軸に原子力発電プラントの普及拡大に向けて取組んでおり、主要機器輸出の実績も多く有している。現在、“大型戦略炉 US-APWR”の投入、“中型戦略炉 ATMEA1”の AREVA との共同開発、そして“小型戦略炉 PBMR”の開発を軸に、グローバル展開を加速している。また、核燃料サイクルも国際展開を図っている。世界のエネルギーの問題、環境問題の解決の一翼を担うべく、これら当社の原子力事業のグローバル展開に関する最新動向について紹介する。

### 1. 地球温暖化対策における原子力発電の役割

1997年12月、京都で開催された気候変動枠組条約会議（COP3）において、温室効果ガスの削減目標が決められた。我が国の場合、エネルギー消費や電力等へのエネルギー転換時に発生する、エネルギー起源のCO<sub>2</sub>が温室効果ガスの9割を占めており、省エネルギーや新エネルギーの推進と共に、発電時にCO<sub>2</sub>を全く排出しない原子力発電は最も効果的な対策の一つと考えられている。

原子力の発電電力量当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、石炭・石油火力はもちろん、太陽熱、風力等の自然エネルギーに比べても極めて少なく（図1参照）、温室効果ガスの削減に大きく貢献できる。

地球温暖化問題は世界共通の最優先課題となりつつあり、石油価格の高騰が続く中、欧米各国でも原子力発電を再評価する動きが活発化している。米国ではスリーマイルアイランド（TMI）原子力発電所事故以来、30年近く新規原子力発電所の建設が途絶えていたが、2005年に包括エネルギー法案が可決されたことを契機に、新規に20-30基の原子力発電所を建設する計画が進んでいる。欧州でも各国で新設建設に向けた動きが急速に広がりつつある。中国やインドでは、急増する電力需要に応えるために原子力発電の建設計画を推し進めており、東南アジアの国々でも中長期的に原子力発電を計画している国が増えている。2007年12月

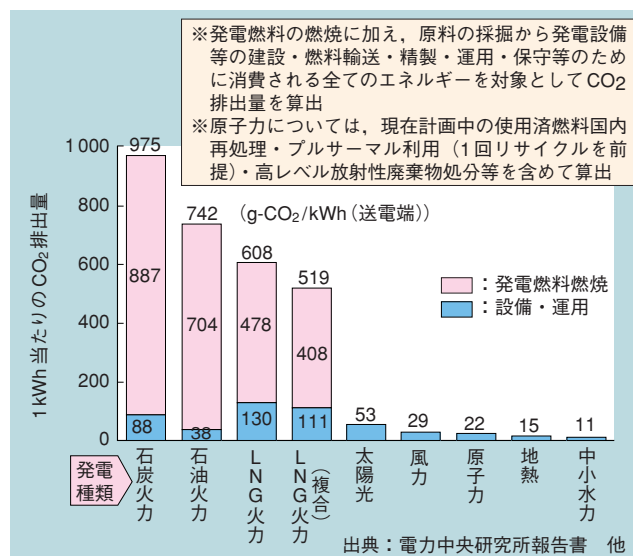


図1 各種電源別のCO<sub>2</sub>排出量  
電事連のホームページより <http://www.fepec-atomic.jp/library/zumen/pdf-data/all02.pdf>

に東京で開催された、アジア9カ国の原子力担当相らによる、アジア原子力協力フォーラムの大臣級会合では、温暖化対策のために原子力発電を推進すべきとする共同コミニケが採択された。京都議定書に続く温暖化ガス削減の次期枠組み（ポスト京都議定書）で原子力発電を温暖化ガス削減の有効な手段として認めるよう共同で国際社会に働きかけていき、原子力発電の新規導入や増設計画が相次ぐアジア地域への協力の加速をねらいとしている。

\*1 原子力事業本部原子力技術センター長  
\*2 原子力事業本部原子力技術センター原子力技術部長

このように、“原子カルネッサンス”とも呼ばれる世界で高まる原子力発電のニーズに対して、プラント建設やメンテナンス業務を継続し蓄積してきた当社の原子力技術への期待は大きく、事業のグローバル化を推し進めることとしている。

## 2. グローバル化を支える技術

原子力の利用では安全・安心の社会ニーズに応じて社会に受け入れられることが最も大切であり、このためにはプラントライフのすべてをカバーした総合技術力が重要である。当社は、“原子力総合カンパニー”として、これを“エンジニアリング力”，製造・建設の“ものづくり力”，保全を中心とした“技術サポート力”を軸に具現化しており、これらがグローバル化を支える基幹部分と考えている。

### 2.1 エンジニアリング力

当社の持つ世界的に誇れる技術として、原子力プラントの根幹である炉心設計技術、安全解析技術がある。原子炉やプラントがいかに安定的に運転制御できるか、また、異常が生じた場合に原子炉安全保護系や安全設備が作動して、原子炉やプラントの安全がいかに確保されるかの解析などがその例として挙げられる。

また、プラントの開発設計技術としての三次元データ活用の経験は長く、プラント全体の膨大なデータを正しく効率的に活用するためのシステムを確立し、その運用ノウハウを蓄積している。これにより材料の調達はもとより、CAM (Computer Aided Manufacturing) による製造、各種検査での承認、また、建設工程管理などを通して高精度な製作と短工期での建設、また、ヒューマンエラーの防止などに大きく役立っており、優れた品質保証体制／品質マネジメントシステム (QMS) の確立につながっている。

PWR 燃料の開発・設計においても、豊富な供給実績と高い信頼性を誇っている。2007 年末で累計約 18 000 体の燃料集合体の製造実績があり、海外燃料に比べ 1 桁低い破損率を達成している。また、電気事業者のニーズに応え燃料の高燃焼度化を着実に進めてきており、現在は 55 GWd/t 高燃焼度燃料まで実用化されている。今後更なる高燃焼度化に向け 70 ~ 80 GWd/t の燃料開発に世界の先陣を切って挑戦する予定である。燃料の開発では、設計以外にも炉心設計、安全評価、プラント設備への影響評価、輸送容器の設計、燃料加工の検討などの、全ての分野に経験をいかして取り組んでいる。

### 2.2 ものづくり力

原子力の製造技術は広範囲にわたっている。例えば、原子力特有の大型機器の加工に対する技術として、最

新鋭の加工技術である電子ビーム溶接を適用するなどして高精度の確保、信頼性の向上を図っている。

プラント建設技術は製造技術と同様に、経験による技術の蓄積としての“ものづくり力”が要求される。当社では、鋼板コンクリート (SC) を使った工法やプレハブ大型ブロック化により、建設工期の短縮を実現している。図 2 は日本最新の PWR プラントである北海道電力 (株) 泊 3 号機の原子炉格納容器上部を据付けるところである。直径約 40 m もの原子炉格納容器上部を現場で組み立て、超大容量クレーンで吊り上げ、原子炉格納容器の円筒部と周長で数 mm 以下の精度での据え付けを行うもので、2005 年 9 月に完了した。

また、泊 3 号機に納入した蒸気発生器は、当社の製作累計 100 基目の蒸気発生器となっている。



図2 ものづくり力 (プラント建設技術)  
北海道電力(株)泊3号機の格納容器建設。

### 2.3 技術サポート力

“エンジニアリング力”，“ものづくり力”に加えて、電気事業者のニーズに応える“技術サポート力”も重要な技術力である。既設プラントを最大限に有効活用するため、プラントの保全分野で、プラントの稼働率向上に寄与する高度な検査、総合予防保全の提案、補修工事、そして機器の取替えなどプラント全体を熟知しているからこそ出来る技術サポートが当社の“技術サポート力”である。

保全技術の集大成が大型機器の取替えである。当社は製造技術とプラントの総合エンジニアリング技術の融合により、作業員が放射線下で作業する時間を最短で済ます短工期の大型取替工事を数多く実現している。

## 3. 主要機器輸出の実績

表 1 は機器輸出実績を欧州、米州 (含む中米、南米)、アジア別に並べたものである。米州向けは既設プラントの取替え用に上部原子炉容器や蒸気発生器を数多く



表 1 主要機器輸出の実績

	欧州	米州	アジア	合計
原子炉容器	1 (1)	-	2	3 (1)
上部原子炉容器	3	16 (5)	-	19 (5)
蒸気発生器	16 (8)	6 (4)	-	22 (12)
1次冷却材ポンプ	-	-	8 (4)	8 (4)
タービン	2	2	8 (4)	8 (4)

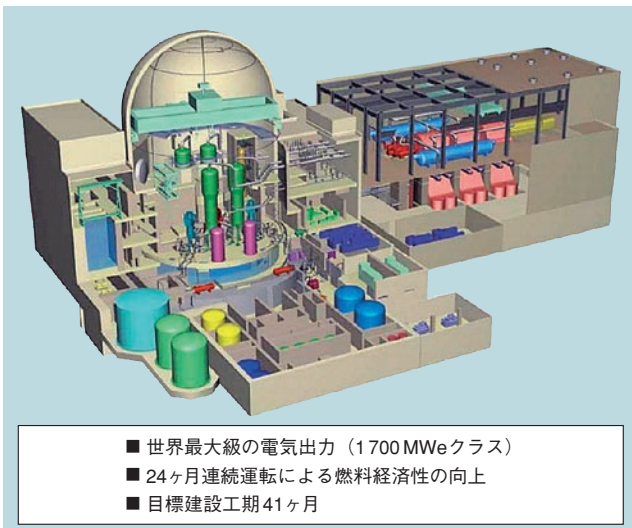
( ) : 製造中または据付前の内数

納入している。欧州向けはフィンランド ERP 初号機の原子炉容器やフランスやベルギーへ蒸気発生器の実績がある。最近では2007年9月末に中国向けのタービン2基を、2007年11月にはブラジル電力公社向けの上部原子炉容器を受注している。世界の原子力発電所の70%近くがPWR型であることから、今後当社の機器製造技術と品質保証体制に対する期待はますます高まるものと考えている。

#### 4. 世界戦略炉の開発と市場投入

##### 4.1 大型戦略炉 US-APWR

現在、米国許認可が順調に進んでいるUS-APWRは、米国電気事業者の早期建設ニーズに応えるため、日本国内向けにすでに基本設計が固まっているAPWRをベースに米国市場に投入した。単機の電気出力1700MWeは世界最大の大型炉であり、24ヶ月連続運転が可能な炉心により、従来よりウラン消費量が18%少ない燃料経済性に優れたものになっている(図3参照)。また、最も優先されるべき安全性については、パッシブ技術とアクティブ技術を組み合わせた安全系や航空機衝突対策など、世界トップレベルの安全性を有している。さらに、建設費低減という電気事業者の強いニーズに応え、建設工期も41ヶ月を目指し、総合技術を結集して現地状況を加味した検討に入っ



- 世界最大級の電気出力 (1700 MWeクラス)
- 24ヶ月連続運転による燃料経済性の向上
- 目標建設工期41ヶ月

図3 大型戦略炉 US-APWR

ている。US-APWRの主要技術は1700MWe級の高出力と燃料経済性の両立、及び安全性・信頼性・保守性の向上である。

US-APWRは、2006年7月から米国原子力規制委員会(NRC)とDC(Design Certification:設計認証)に向けた事前レビューを実施しており、国内審査済みのプループンな軽水炉であることが認められ、米国NRCや米国電気事業者とのコンタクトを加速した結果、2007年12月末に短期間でDC申請を行い、DCおよびそれに続くCOL(combined Construction Operating License;建設運転同時認可)の審査を並行して実施する計画である。

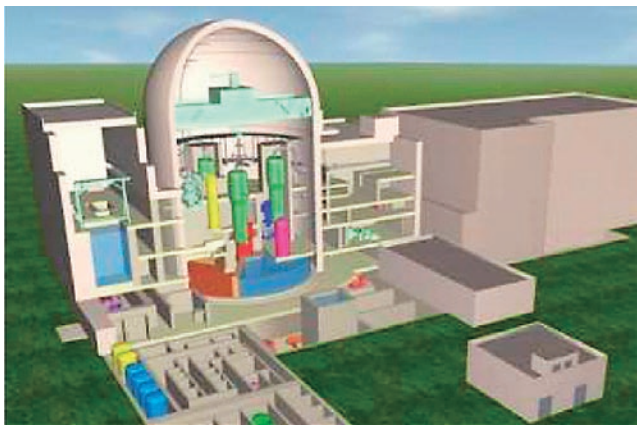
本年、7月1日には当社100%出資の現地法人“三菱原子力システムズ”(Mitsubishi Nuclear Energy Systems Inc.:略称MNES)をワシントンDCに設立し、DC取得手続きに関する現地業務と共に、新規プラントの受注活動及び取替用大型機器の供給事業も担当し、米国における当社原子力事業の総合的な拠点としての役割を担うべく営業を開始している。2012年にはUS-APWRの1号機をルミナント社コマンチエークサイトに建設開始を期待しており、今後米国での後続プラントの建設についても活動していく予定である。

##### 4.2 中型戦略炉 ATMEA1

次に、AREVA社と共同開発中の“中型戦略炉 ATMEA1”について紹介する。当社とAREVA社は共に開発・設計・製造・建設・保守の全分野をカバーする総合原子力メーカーである。世界トップの総合力を持つ2大原子力メーカーが協調することで、魅力ある原子力プラントを非常に短い開発期間で市場投入するため現在開発を進めており、ATMEA1の開発でシナジー効果が期待できる。両社で12の原子力工場を持っており、機器製作などでのボトルネックを回避できる。また、トータル120基を超える原子力プラント建設の経験、ノウハウを統合して、IAEA、米国、欧州、日本の規制に適合させ、幅広い建設サイトの送電線条件に柔軟に対応できる1100MWeの出力とした。航空機衝突にも耐え、シビアアクシデント時も原子炉格納容器の健全性を長期にわたり確保できることを設計コンセプトとしており、世界中で建設・運転可能な原子炉に作り上げる。既に、プラントの概念設計は完了しており、11月に設立された合弁会社ATMEAで開発と受注活動を加速する(図4参照)。

##### 4.3 小型戦略炉 PBMR

“小型戦略炉 PBMR”は、炉心溶融のないペブルベッド燃料を用い、冷却媒体には放射化しないヘリウムガスを使う原子炉である。ペブルベッド燃料は酸化ウランを黒鉛と混合して直径約6cmの球状に圧縮成型し



- 三菱重工とAREVA社のシナジー効果で開発期間短縮
- 設計・拡販のためのJV：ATMEA社を設立：2007.11
- 電気出力：1100MWeの送電端出力

図4 中型戦略炉 ATMEA1

たものである。当社は2001年からプロジェクトに参加しており、当社のガスタービン技術、原子力機器設計・製造技術とPBMR社のガス炉技術を融合してプロジェクトを推進している。電気出力は165 MWeで地域ごとの電力需要に応じて増設可能なモジュール型としており、分散型電源として需要が期待されている。PBMRは南アフリカの電気事業者であるESKOM社がケープタウン西方のクバーク原子力発電所サイトに建設予定で、2013年までに運転を開始する計画である(図5参照)。また、米国への展開も計画しており、NRC向けにDCの事前説明を行っている。

### 5. 核燃料サイクルの確立と国際展開

最後に核燃料サイクルの確立と国際展開について紹介する。核燃料サイクルの確立に関して当社は高速増殖炉(FBR)分野や六ヶ所再処理工場に代表される核燃料サイクル分野で長年の広範囲な実績があり、豊富な経験と最先端の技術で取り組んできた。

#### 5.1 核燃料サイクルの確立

FBRの実用化に向けて、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」で当社は重要な役割を果たしてきた。経済性の両立を実現したコンセプトであることが認められ、当社は国のFBR開発の中核会社として選定された。これを受け、実証炉と実用炉の開発・設計を実施するエンジニアリング会社として、新たに三菱FBRシステムズ(MFBR)を設立し、2007年7月より事業を開始した。

#### 5.2 核燃料サイクルの国際展開

米国においてプルトニウムなどを燃焼させるための先進リサイクル炉(ARR:Advanced Recycling Reactor)と、使用済み燃料を再処理・再利用するための設備である統合核燃料取扱センター(CFTC:

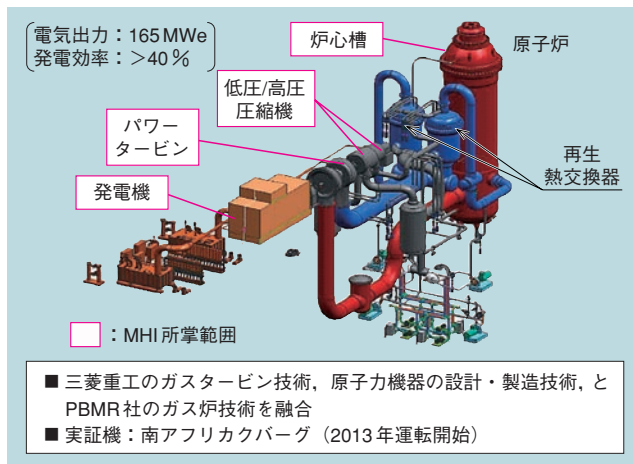


図5 小型戦略炉 PBMR

Consolidated Fuel Treatment Center)の一括提案を募集する米国エネルギー省(DOE:Department of Energy)の“国際エネルギーパートナーシップ”(GNEP:Global Nuclear Energy Partnership)構想にAREVA社、日本原燃(株)と共同で提案し選定された。本提案は米国の構想への参画を決定した日本政府の意向を踏まえたもので、日本が開発を推進している高速増殖炉のコンセプトが世界標準となることを目指して取り組んでいる。

## 6. おわりに

今後、世界で高まる原子力発電のニーズに対して日本の原子力メーカーの活躍の場はグローバル化している。当社は、原子力利用では“安全・安心”が最優先と考えており、原子炉設備、プラントシステム、機器、燃料、タービンを自前の技術で供給し続けており、その経験を活かして世界のニーズに応えたいと考えている。また、これらの経験に基づくノウハウの蓄積を有することによって、海外展開に於ける海外企業の活用を確実にできると考える。更にグローバルな設計認証の取得や海外での建設経験の蓄積は、国内電気事業者の信頼に応えるためにも重要と考えている。今こそ“原子力総合カンパニー”として、日本での高度な規制や厳しい品質要求などで培われた経験をいかして、“自前の技術”で世界の期待に応えて原子力のグローバル化に取組み、世界のエネルギー問題、環境問題の解決の一翼を担いたいと考えている。



山内澄



鈴木成光