

原子力プラントにおける最新技術動向

Trends in Advanced Technologies for Nuclear Power Plants

佐々木 則夫

SASAKI Norio

当社は大きな環境変化のなか、これまでの原子力事業の実績に基づき、将来の更なる環境変化と技術の展開をにらみつつ、次世代の原子力発電事業を支える技術開発を進めていく。建設プラントにおいては、スケールメリットとブレイクスルー技術により経済性と社会的受容性の両立を目指し、既設プラントにおいては、価値向上に向けた技術開発を推進していく。また、核燃料サイクルの完結に向けて、長期的なバックエンドのコストミニマム化に資する技術開発を進めるとともに、更に、エネルギーの有効利用と環境との調和を目指し、原子力先端技術の開発とその応用技術の実用化に取り組んでいく。

Toshiba has established a technology development strategy to consolidate future nuclear power business based on its experience accumulated up to now and perspectives for major changes in the world. In the field of plant construction, we are managing, from both the economic and social reliability standpoints, to take advantage of the merits of scale and advances in breakthrough technologies for operating plants to develop technologies with the aim of realizing improved value.

Toward the completion of the nuclear fuel cycle, we are developing technologies that will contribute to minimized back-end costs in the long run. Furthermore, aiming for harmony of effective energy use and the environment, we are concentrating our efforts on the development of cutting-edge technologies and their realization as applied technologies.

原子力を取り巻く環境

原子力発電プラントは、これまで、スケールメリットによる経済性追求が主要課題ととらえられ、大出力プラントの建設が進められてきた。しかしながら、世の中の動きは単なる量を求める時代から、投資に見合ったリターンが重視される時代に推移し、更に多様化が求められるところとなり、原子力発電事業を取り巻く環境は大きく変化している。また、電力自由化の進展に伴い経済性向上への要請が高まる一方で、地球環境への負荷低減やエネルギーセキュリティの観点から、原子力の役割は高度かつ複雑になっている。

この状況に対応していくためには、原子力を有効に活用していくための技術の維持・向上が必要であることはもちろん、放射性廃棄物や万一のトラブルによるリスクへの対応など、将来を見通した革新的な技術開発が望まれて

いる(囲み記事参照)。すなわち、時代の要請に応えられる技術を確立しておくことが肝要である。

当社はこの現状認識に基づき、21世紀の原子力技術をリードすることを目指して、技術開発にまい進している。以下に当社の取組みについて述べる。

革新的プラントコンセプト

当社は、これまでに国内の約1/3に当たる軽水炉の建設を手がけ、現在も、同時に2プラントの建設工事を順調に進めている。これらの実績を踏まえて、今後の計画プラントにおいては海外市場も視野に入れて、経済性の更なる向上、立地の多様化、社会受容性の向上などへの努力を継続していく。

■ 次世代炉の開発

2010年代後半以降の実用化を目標とした次世代炉に関しては、スケールメ

リットによる大幅な経済性向上を追求した改良型沸騰水型原子炉-II(ABWR (Advanced Boiling Water Reactor) - II)と、ブレイクスルー技術により経済性と社会受容性の両立を狙った革新的中小炉の開発に取り組んでいる。

● ABWR - II

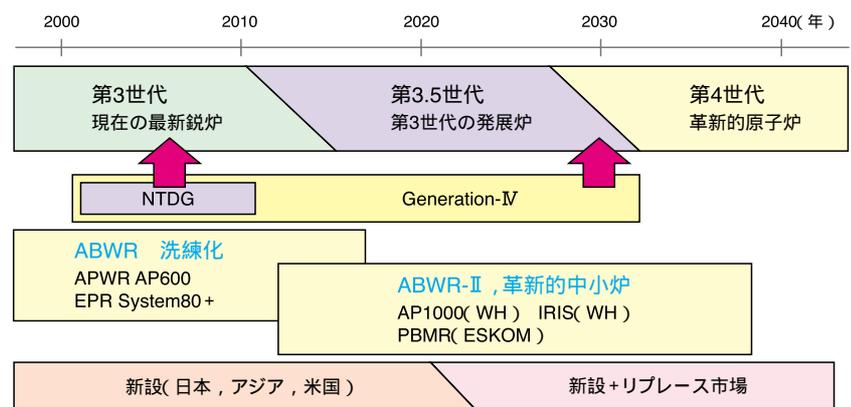
電力会社と共同で開発を進めており、他電源に対抗できる経済性と世界標準の安全性を兼ね備えた出力1,700 MWe級の大出力炉で、建設工期も30か月に短縮することを目標としている。

要素技術の開発にあたっては、開発期間の短縮と開発コストを低減させるため、大規模シミュレーション統合解析を適用して、Design by Analysisのコンセプトの下、合理的に試験への依存性を低減させていく(図1)。

● 革新的中小炉

超臨界圧水冷却炉(SCPR)、超長期運転・簡素化BWR(LSBWR)、小型ナトリウム(Na)高速炉の開発を進めてい

計画プラントの技術環境



NTDG: 短期導入グループ APWR: 改良型加圧水型炉
EPR: ヨーロッパ加圧水型炉 IRIS: 一体型加圧水型炉
PBMR: ベブルベッドモジュール炉

計画プラントの開発動向

1950年代末に産声を上げた実用軽水炉は、初期の技術導入期、国産化を経て、現在、ABWRを中心とする第3世代にあり、次代を担う第4世代では、2030年頃の実用化を目指して更なるスケールアップによる経済性向上を狙っている。

当社では、電力会社と協調し ABWR-II の開発を通じてこの目標の達成を目指していく。

同じく第4世代の狙いとして、最近の電力需要動向や設備規模に適合する立地多様化が挙げられ、分散電源対応などに向けた革新的中小炉の開発を進めていく。また、昨今の社会情勢から、立地を促進する社会受容性向上への要請があり、世界標準の安全性を確保するとともに、究極の目標である No Evacuation と Zero Release の達成に向けて注力していく。

く。

SCPRは、超臨界圧水を用いて、大幅な熱効率の向上(44%)とシステムの簡素化を実現させるものである。LSBWRは、自然循環炉心で超長期運転サイクルを可能とした出力300MWe級の小型BWRで、大幅な物量低減と量産効果で大型炉並みの経済性を可能とするものである。小型Na高速炉は、出力50MWe級の核不拡散性に優れた小型分散電源で、30年間燃料無交換運転ができ、メンテナンスフリーかつ運転が容易という特長がある。

次期炉への取組み

2010年代前半までを対象とした次期炉では、ABWRの更なる洗練化によるコストダウンと工期短縮を目指して、システム・機器の合理化、建設工期の短縮、出力ラインアップの構築に取り組んでいる。

・システム・機器の合理化

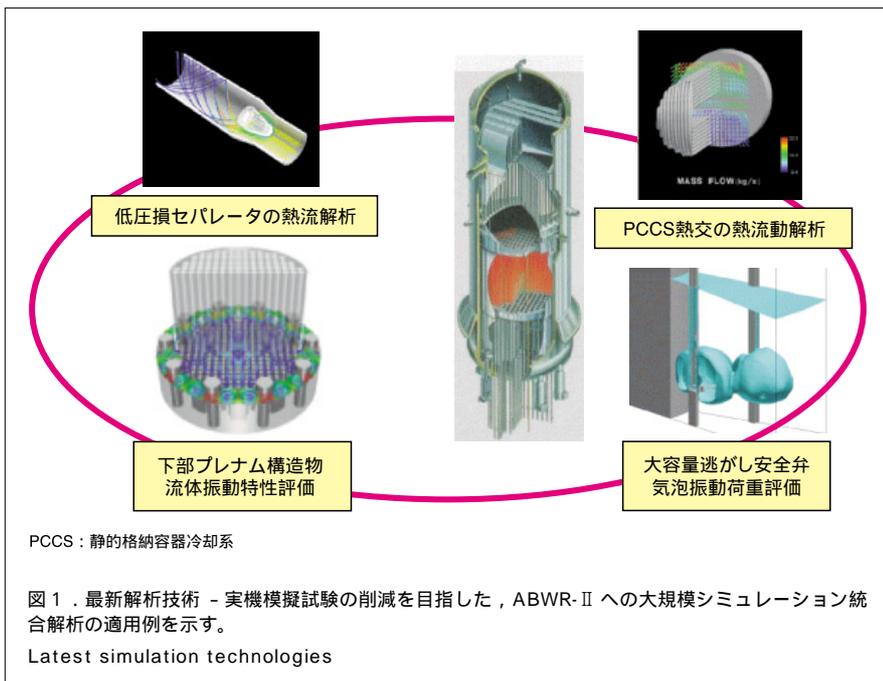
設計思想に立ち戻った設計裕度の最適チューニング、スケールメリット造出に向けた新技術の開発、及び個々のシステム・機器での効率改善による発電効率の最大化を達成することにより経済性の向上を図る。

・建設工期の短縮

岩盤検査から運転開始までの現状の48か月を、建築と機電を融合させた建設工法などにより36か月に短縮させ、更には30か月工期も視野に入れた検討を進めていく。

・出力ラインアップの構築

電力需要や送電システムの規模に応じてニーズへのフレキシビリティを持たせるもので、現行のABWRから高出力側はスケールメリットによる経済性向上、低出力側は物量低減効果を極大にする“しきい値効果”でスケールデメリットを克服することを目指していく(図2)。



運転プラントへの取組み

運転プラントを取り巻く環境として



図2 . 800 MWe 級 ABWR の概念 - しきい値効果を採用した低出力型 ABWR の概観。物量低減によりスケールデメリットを克服する。

Conceptual figure of 800 MWe advanced boiling water reactor (ABWR)

は、まず2003年には電力自由化の更なる進展が想定されている。また現在、国内運転プラントの最長運転年数は31年、平均運転年数ではBWRプラントで約17年となっており、今後更に高経年プラントが増加していくことになる。

一方社会環境から、原子力に対する規制緩和が進みにくいが現状で、このような環境の中で運転プラントの経済性の向上と安定運転の確保が強く求められている。具体的には、出力増加、状態監視及び保全技術の三つを柱に技術開発を進めており、経済性向上をサポートしていく。

■ 経済性向上

他電源に勝る競争力維持向上のための出力増加と状態監視による保全物量の低減は、原子力発電における大きな目標である。

出力増加については、近々運用が期待される定格熱出力運転に加え、比較的小規模な改善による出力増加と、熱出力自体の増大も含めた大規模な設備改善による大きな出力増加が考えられ、それぞれのステップのなかで、個別のプラントに対して投資対効果を最大化するポイントを検討し、具体策策定に注力していく(図3)。

また、保全物量の低減のために、これまでの時間計画保全から状態監視保全への移行を実現させる技術を提供する(図4)。更に、オンラインメンテナンスの範囲拡大により、定検時の点検物量を低減し、負荷平準化の推進をサポートしていく。

保全業務を更に効率的、効果的に実施できるよう、当社は保全計画や保守作業にかかわる時間、距離、情報のギャップを小さくしていくため、「IT(情報技術)の活用」に積極的に取り組んでいる。

■ 安定運転の確保

各設備の重要度に見合った効果的

な保全への取組みが必要である。例えば、原子炉内保全については、従来から重要度や損傷確率に応じた優先順位をつけて予防保全を行ってきたが、昨今の維持基準や点検ガイドラインの動向に合わせた計画的な検査と、損傷を発見した場合に必要な事後保全技術を開発してきている。また、そのほかの主要機器に対しては、状態監視により対応の必要な機器だけに効果的保全を行い、電気計装品などについては、製品寿命を考慮した計画的リプレースを推進していく。

省力化、高品質、スピードアップの実現による環境の革新を目指し、総合保全管理システムの構築とインターネットのウェブベースでの保全技術の遠隔支援に注力して、運転プラント支援を進めている。

サイクル・バックエンド

サイクル・バックエンドでは、国の長期計画などでもうたわれているとおり、原子力発電の拡大に伴って核燃料サイクル完結の必要性が高まり、原子力発電所の安定運転維持のためにも、ますます関連技術の開発が必要となっている。

当社では、経済性の高いリサイクル技術の開発や、これまでに培ってきた

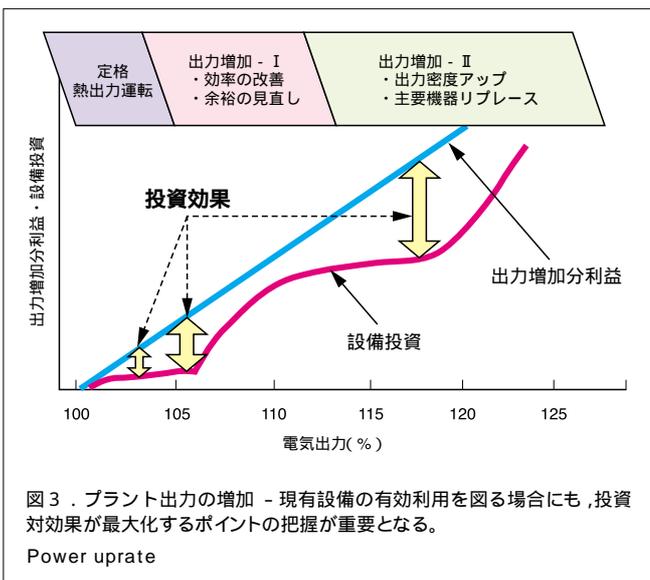


図3 . プラント出力の増加 - 現有設備の有効利用を図る場合にも、投資対効果が最大化するポイントの把握が重要となる。

Power uprate

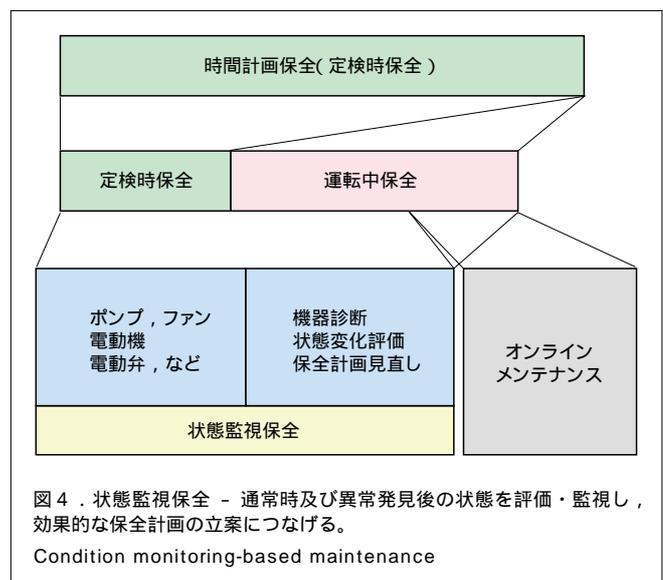
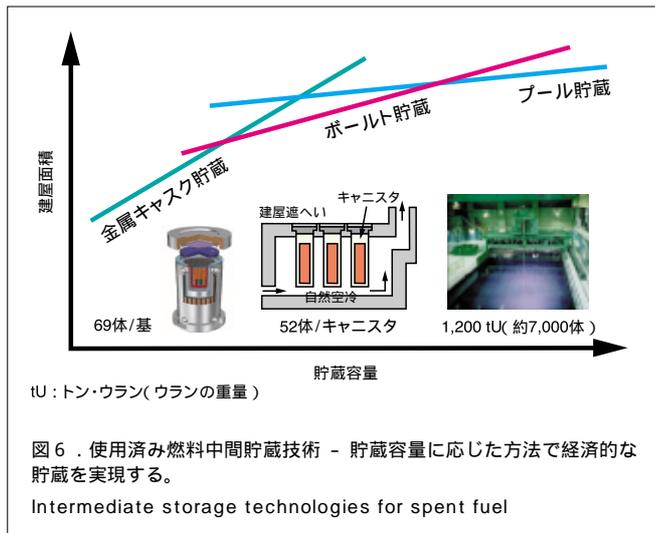
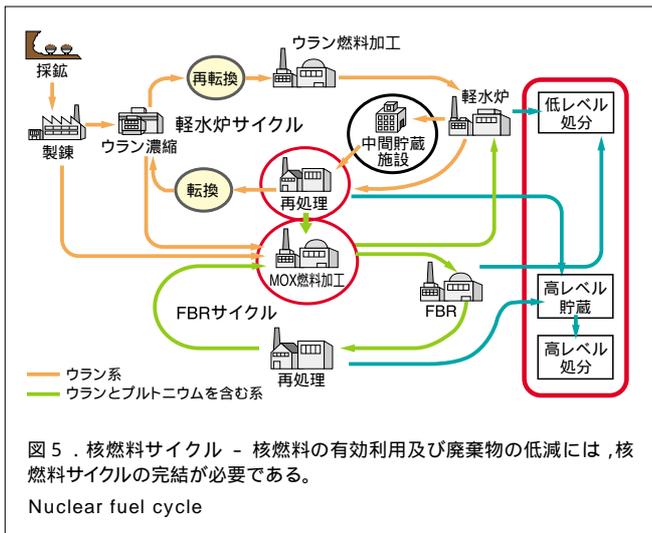


図4 . 状態監視保全 - 通常時及び異常発見後の状態を評価・監視し、効果的な保全計画の立案につなげる。

Condition monitoring-based maintenance



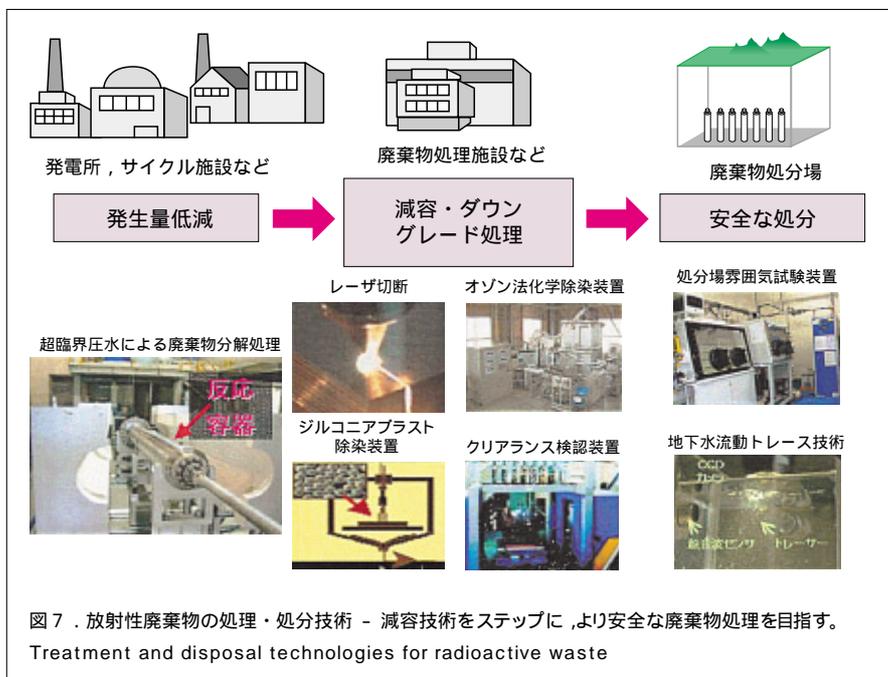
技術をベースとした混合酸化物 (MOX) 燃料加工への展開, 多様なニーズに応える合理的な中間貯蔵技術の提供, 更には廃棄物量の低減と安全な処分への対応技術の開発により, 長期的なバックエンドのコストミニマム化の実現に向けて努力を続けていく。

核燃料サイクル

核燃料サイクルを完結させるという観点から, 当社は, 日本原燃(株) (JNFL) の六ヶ所再処理工場の建設に積極的に協力するとともに, 更に経済性の高い次世代再処理技術として, 熔融塩電解法による乾式再処理技術及び振動充填による燃料製造技術について精力的に開発を推進している。原子力による持続的なエネルギー供給としては, 再処理工場から得られたプルトニウムやウランの有効利用が必須であり, これまで当社が培ってきたウラン燃料加工技術や, 再処理施設でのプルトニウム取扱設備設計技術を駆使し, MOX 燃料加工技術への展開を図っていく(図5)。

使用済み燃料中間貯蔵技術

原子力発電を安定に継続するために, 使用済み燃料の中間貯蔵の必要性が高まっている。当社では, これまでに実績のある金属キャスク貯蔵, プー

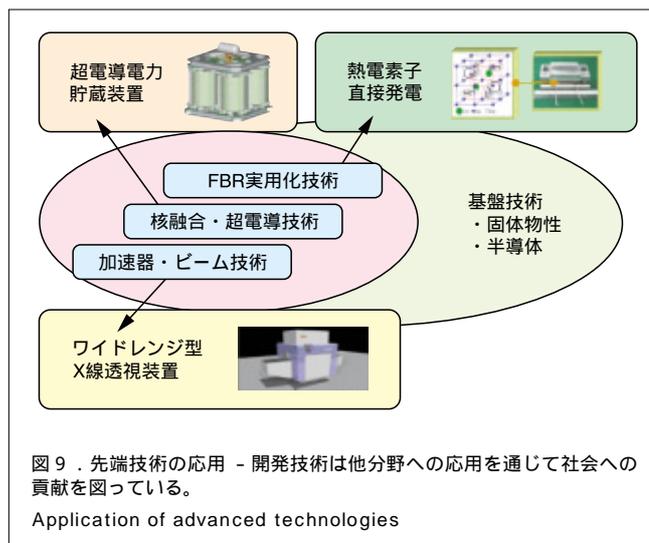
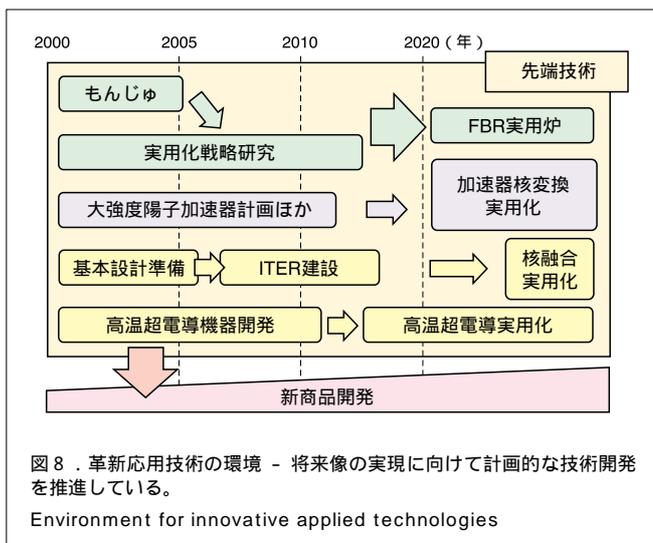


ル貯蔵に加え, ポールト貯蔵のための高性能金属キャスクの製造技術の開発も行っており, 複数の技術オプションの中から, ニーズに応じてフレキシブルに対応していく(図6)。

放射性廃棄物の処理・処分技術

原子力発電所やサイクル施設などから発生する放射性廃棄物については, 発生量を抑制する技術に加え, 廃棄物を合理的に減容する技術として, 超臨界圧水を用いた廃棄物分解処理技術や, 将来のクリアランス化をにらんだ

除染, 放射能検認技術についても開発を行っており, とともにほぼ実用化段階にある。また, 最終的には廃棄物を安全に処分することが重要であり, 当社では, 処分場における核種の挙動に関する研究や, 地層処分場を選定する技術として, 1年間に数センチという非常にゆっくりとした地下水の流動を計測する技術の開発も行っており, このようなオリジナル技術を用い環境負荷の低減に向けて努力を続けていく(図7)。



革新応用技術

国の原子力長期計画で将来のエネルギーの重要な選択肢と位置づけられる高速増殖炉(FBR)については、“もんじゅ”の早期再起動と実用化概念の確立が急務である。また、未来のエネルギー選択肢の幅を広げる核融合の開発、原子力科学技術発展の観点から大型加速器計画などが進行中であり、技術の更なる高度化への挑戦が必要である。当社は、これらのプロジェクトに積極的に参画し、主要部分を担当するとともに、更に、これらの経験の上に、将来の超電導電力システムの実用化に向けた電力会社や国の超電導技術開発プロジェクトに取り組んでいる。

■ 先端技術

FBRでは、もんじゅの再起動への取り組みを通して、Na技術の蓄積や燃料技術の検証を行うとともに、国際協力による小型Na高速炉の早期開発に注力している。また、実用化戦略研究に向けて、小型Na高速炉と共通な革新技術である電磁ポンプと一体化した冷却系機器を、効果的に適用してスケールアップしていき、コンパクトで経済性の高い中大型炉の開発を推進している。核融合では、国際熱核融合実験炉(ITER)が計画されているが、当社は、

ITERで最大のR & D(Research and Development)である中心ソレノイドモデルコイルの製作を担当した。ここで培った強制冷却超電導技術を活用して、ITERの建設や超電導電力貯蔵システムなどのプロジェクトを推進していく。更に、世界トップクラスの高温超電導マグネットの製作実績を基に、電力貯蔵装置の技術開発を行っていく。

また、加速器の分野では、当社は大型放射光施設(Spring-8)をはじめ種々の大型システムの建設に参画し、主要機器を製作してきた。そこで培った大口径大型電磁石や大出力高周波技術は、大強度陽子加速器の建設のためのキ・技術となっている。更に将来は、加速器技術とFBRの液体金属技術を組み合わせることにより、核廃棄物の消滅処理へ向けた加速器核変換炉の開発も視野に入れて、今後の技術展開を図っていく(図8)。

■ 先端技術の応用

当社は、原子力分野で培ってきた固体物性及び半導体などの基盤技術やFBR、核融合で培ってきた超電導、加速器ビームなどの原子力先端技術をベースに、一般産業分野に展開する新商品の開発にも取り組んでいく。

熱電素子による直接発電では、モジュール効率10%という世界最高効率を

達成し、焼却炉などの排熱利用発電への適用を見込んでおり、将来的には原子炉と組み合わせ、タービンレスの直接発電の実現を目指していく。

超電導技術の応用では、大口電力需要家での瞬時電圧低下防止を狙って、当社オリジナル技術のBi2212高温超電導導体を用い、コンパクトで安定性、信頼性に優れた超電導電力貯蔵装置(SMES)を開発していく(図9)。

次世代原子力技術を目指して

次期・次世代炉の経済性向上、運転プラントの価値増大、バックエンドのコストミニマム化の実現、及び原子力先端技術の実用化と先端技術の応用による新商品開発を通じて、ニーズに合った原子力技術を提供し、21世紀をリードしていくことを目指した新技術の開発と技術改良に取り組んでいく。今後とも皆さまの変わらぬご指導とご鞭撻(べんたつ)をお願いする次第である。



佐々木 則夫
SASAKI Norio

電力システム社 原子力技師長。
Power Systems & Services Co.