

# 環境に配慮した社会インフラ基盤技術と東芝の取り組み

Trends in Environmentally Conscious Technologies Supporting Social Infrastructure Systems and Toshiba's Approach

豊原 尚実

■ TOYOHARA Masumitsu

経済発展は、地球温暖化や大気汚染、天然資源や水資源の枯渇、化学物質による土壌や水の汚染など地球環境に影響を与えている。東芝は、社会インフラ事業を進めるうえで、火力発電の効率向上技術、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の分離回収と有効利用の技術、水素などによる化石燃料を使用しない発電技術の開発をはじめ、省資源化に向け磁石を使用しないモータや磁石から有価元素を回収する技術、水の有効利用技術、汚染環境の回復技術の開発を進めている。これらを通して、地球環境に配慮した社会インフラ向けの製品及びソリューションを提供している。

Economic development has a major impact on the global environment, including air pollution as one of the causes of global warming, the depletion of water and other natural resources, and the contamination of soil and water by chemical substances in various parts of the world.

Toshiba is engaged in the development of the following advanced technologies to offer environmentally conscious products and solutions in its social infrastructure business: (1) technologies to improve the efficiency of thermal power generation systems, technologies for carbon capture and utilization (CCU), and technologies for various non-fossil-fuel type power generation systems; (2) technologies that contribute to resource conservation through the development of advanced motors without magnets and technologies to recover valuable elements from spent magnets; and (3) technologies for effective use of water and environmental remediation of contaminated soil. Based on these core technologies, we are continuing our efforts to deliver a broad range of environmentally conscious products and solutions for social infrastructure systems.

## 社会における環境と資源の課題

### ■ 現代社会の課題

産業革命以降、様々な技術革新は欧米を中心に豊かな社会を実現してきた。20世紀末から経済発展の中心は新興国に移り、21世紀は人口増加が著しいアジアを中心とした国々の社会インフラの整備や生活環境の改善により経済は更に発展すると考えられている。例えば2030年には2010年比で世界のGDP(国内総生産)の総計は約1.3倍に、電力消費量は約1.8倍に、水消費量は1995年比で1.6～1.8倍になると予想されている。

一方で経済発展は、エネルギー消費の増大による大気汚染やCO<sub>2</sub>の排出による地球温暖化、化石燃料や水などの天然資源の枯渇、種々の化学物質の使用や廃棄による水や土壌の汚染など、地球環境に大きな影響を与えている。持続的に成長可能な社会を構築するには地球環境の保全を常に考える必要がある。社会インフラは経済活動を支え、

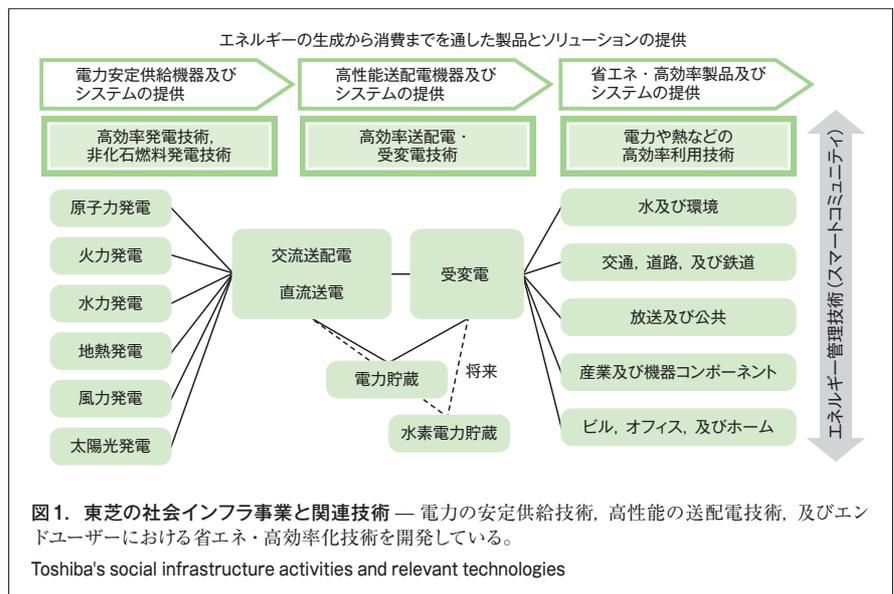


図1. 東芝の社会インフラ事業と関連技術 — 電力の安定供給技術, 高性能の送配電技術, 及びエンドユーザーにおける省エネ・高効率化技術を開発している。

Toshiba's social infrastructure activities and relevant technologies

エネルギーの供給から消費にとどまらず、人、モノ、及び情報の輸送を担う根幹システムである。このため社会インフラ事業を進めるうえで地球環境への配慮は不可欠な課題である。

ここでは、環境と資源の観点からの課題と地球環境に配慮した東芝の社会

インフラ事業に関わる基盤技術開発への取り組みについて述べる。

### ■ 東芝のエコ・リーディングカンパニーへの取り組み

当社は社会的課題を解決することで「安心・安全・快適な社会 - Human Smart

Community」の実現を目指している(図1)。環境保全はもっとも重要なCSR(企業の社会的責任)テーマの一つと位置づけ、エコ・リーディングカンパニーとして様々な製品やソリューションを提供している。環境への影響を測る尺度としてT-COMPASS (Toshiba Comprehensive Environmental Database and Its Practical Application to Simplified and/or Streamlined LCA (Life Cycle Assessment)) と呼ぶコンセプトを導入した<sup>(1)</sup>。これは“資源消費の最小化”, “エネルギー・気候変動問題への対応”, “水資源消費の最小化”, 及び“化学物質リスクの最小化”の4軸から成り、当社の製品やソリューションによる環境への影響低減を目的としている。以下では、環境経営を推進するうえでのT-COMPASSの観点からの課題と、これに対して当社が進めている、エネルギーの供給から使用に至る分野における技術開発の取組みについて述べる。

## エネルギーの利用と気候変動防止の両立への対応

### ■気候変動問題への取組み

IPCC(気候変動に関わる政府間パネル)は、現在のエネルギー消費がこのまま続くと大気中のCO<sub>2</sub>濃度が増加し、2100年には地球の平均気温は20世紀末よりも最大で4.8℃上昇する可能性がある<sup>(2)</sup>。また化石燃料は数十年から約100年で枯渇するとも予測されている。このため化石燃料を使用しない原子力発電や再生可能エネルギー発電も取り入れたエネルギーのベストミックス化への取組みがなされている。

一方、IEA(国際エネルギー機関)によると今後も一次エネルギーの主体は化石燃料と予想されるため<sup>(3)</sup>、火力発電所の発電効率向上やエネルギー使用の効率化により、全体でCO<sub>2</sub>の環境への排出を抑制する取組みが求められる。また発生したCO<sub>2</sub>を分離回収し環境へ排出させないCCS(Carbon Dioxide)

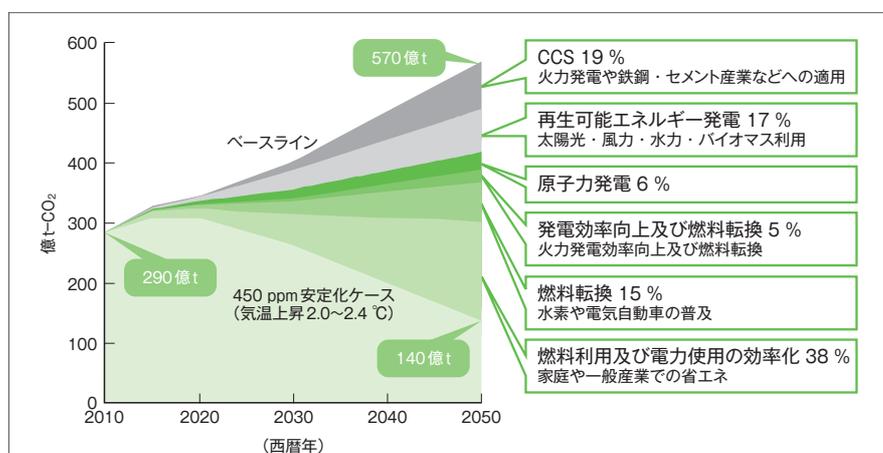
Capture and Storage)の開発も進められている。更にエネルギーの生成や消費に際しCO<sub>2</sub>排出がない水素のエネルギー源としての利用も検討されている。これらにより大気中のCO<sub>2</sub>の濃度を現在の値に維持して気温上昇を抑制するシナリオが提案されている<sup>(4)</sup>(図2)。

### ■東芝のエネルギーベストミックスへの取組み

当社はエネルギーのベストミックスを実現するため、種々の発電技術だけでなく、熱も併用し効率的にエネルギーを

使用できるシステム技術も開発し製品へ適用してきた(図3)。

原子力発電では沸騰水型発電プラントと加圧水型発電プラントを提供している。プラントの安全性向上に関わる技術開発を進め、国内では国と電力会社の方針に沿って原子力発電所の再稼働に向けた取組みを支援している。更に再稼働後のプラントの稼働率を向上させる技術開発も進めている。海外では原子力発電への期待が高いためウェスチングハウス社と協力して各国のニーズを踏まえた技術開発を進めている。また



\*IEA[Energy Technology Perspectives 2010]<sup>(4)</sup>に基づいて作成

図2. 気温上昇抑制に向けたCO<sub>2</sub>排出量低減技術 — 産業革命以降の地球の平均気温の上昇を約2℃に抑えるため、エネルギーの発生から消費に至るまで各分野でCO<sub>2</sub>排出抑制技術が必要になる。

Key technologies to reduce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions for prevention of global warming

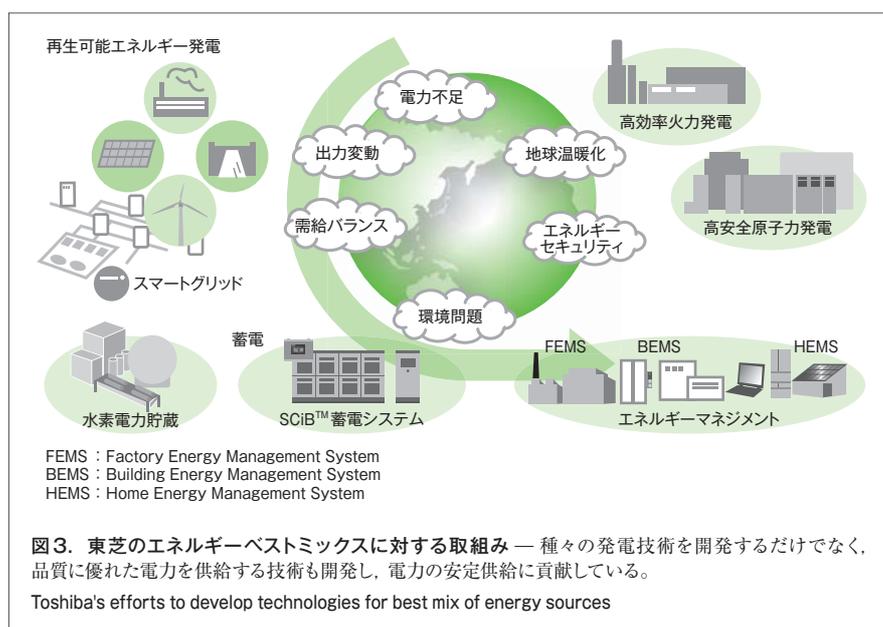
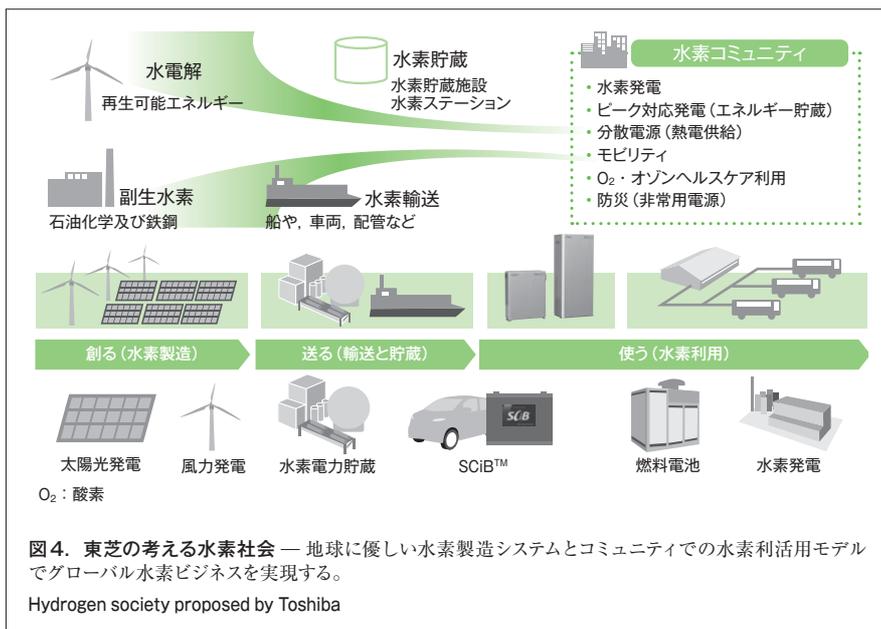


図3. 東芝のエネルギーベストミックスに対する取組み — 種々の発電技術を開発するだけでなく、品質に優れた電力を供給する技術も開発し、電力の安定供給に貢献している。  
Toshiba's efforts to develop technologies for best mix of energy sources



気体や液体の放射性廃棄物の処理技術や、処理に際して発生する二次廃棄物の減容・固化技術を開発し提供してきた。更に使用済み燃料の再処理に関わる技術開発も進めている<sup>(5)</sup>。これらで培われた技術は福島第一原子力発電所(1F)の事故で発生した汚染水の処理に適用するとともに<sup>(6)</sup>、溶融した燃料の取出しに向けて適用を進めている。国と電力会社や関係機関と協力し、1Fの廃止措置に向けた取組みを着実に進める<sup>(7)</sup>。

再生可能エネルギー発電では、水力、太陽光、太陽熱、風力、及び地熱を用いた発電機器やシステムに関わる技術開発を進め、様々な商品に適用している。例えば水力発電では、様々な水量でも高い発電効率を得る技術開発に注力している。CFD(流体解析)の解析時間の短縮と精度向上を進め、水車の開発に適用している。解析で得た水車の構造を実証試験で検証し製品へ適用することで世界最高レベルの効率を達成した<sup>(8)</sup>。このようなCFDは、風力発電における翼の開発や発電所の立地地点における風況予測に適用するとともに、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援を受け、将来のエネルギー源の一つとして期待される海流発電の開発にも適

用している。

将来の水素社会では、水素の製造から貯蔵及び輸送、水素による発電までを俯瞰(ふかん)した技術が必要になる。当社は固体高分子型燃料電池を用いたエネファームを商品化するなど天然ガスや水素を電力に変換できる燃料電池の技術開発を進めてきた。また原子力の熱を利用した高温水蒸気電解法などの水素製造技術の開発も進めてきた<sup>(9)</sup>。これら技術基盤を踏まえ、水素の製造とこれを燃料として発電する燃料電池の開発を加速し、将来の水素社会の実現に貢献する(図4)。当面は、導入が進む再生可能エネルギーによる発電電力を利用して水素を製造し貯蔵して、必要ときに発電する水素電力貯蔵技術を確立し、電力の安定供給に貢献する。また水素による発電技術も開発していく(この特集のp.8-11参照)。当社は水素によるインフラを実現するため、水素エネルギー研究開発センターを2015年4月に開設した。コア技術の実証と水素を活用したソリューションの提供を加速させる。

#### 東芝のCO<sub>2</sub>排出量低減への取組み

当社は火力発電では、ガスコンバインドサイクルプラントなどを提供してきた。

圧縮空気中で天然ガスを高温燃焼させて大きなエネルギーを取り出すガスタービンではGeneral Electric社と技術提携している。一方、ガスタービンの排熱や石炭の燃焼熱による高温かつ高圧の蒸気を利用する蒸気タービン発電システムは自社開発を進め、世界最高レベルの効率を達成してきた。現在は国の支援により主蒸気条件700℃ 35 MPa、二段再熱蒸気720℃で送電端効率46%以上(高位発熱量基準)を目標としたA-USC(先進超々臨界圧)発電の実現に向け、700℃での使用に耐えるロータ用ニッケル基材料を開発し、実証試験を行っている<sup>(10)</sup>。またCFDにより蒸気のエネルギーを有効に活用できる機器やシステムを開発している。発電機ではナノ粒子の分散技術による高い絶縁性と熱伝導性を持つ材料や、発電機で発生する熱を効率的に除去する技術を開発し、熱、電磁気、及び流体を連成した解析技術などにより高効率で高性能を実現している。開発成果は実規模の実証試験で性能を検証し製品へ展開している(図5)。

CCSでは当社はアミン系の化学吸収液を用いた燃焼後回収方式を開発中である。CO<sub>2</sub>回収に要するエネルギーを最小化する吸収液を開発し世界最高レベルの性能を実証した。更に環境に排出されるアミン系吸収液成分の低減や回収したCO<sub>2</sub>の再利用など、いっそうの環境保全に向けた技術開発も進めている(同p.12-15参照)。

新しい発電技術として米国の8 Rivers社、NET Power社、Chicago Bridge & Iron社、及びExelon社と共同で、燃料と酸素をCO<sub>2</sub>存在下で燃焼させてタービンを駆動し発電するとともに、発生したCO<sub>2</sub>を回収する超臨界CO<sub>2</sub>サイクル発電システムの開発も進めている。CO<sub>2</sub>を全量回収しながらガスタービンコンバインドサイクル発電と同等の発電効率を持ち、追加のCO<sub>2</sub>回収設備を不要にする点が特長である(同p.16-19参照)。

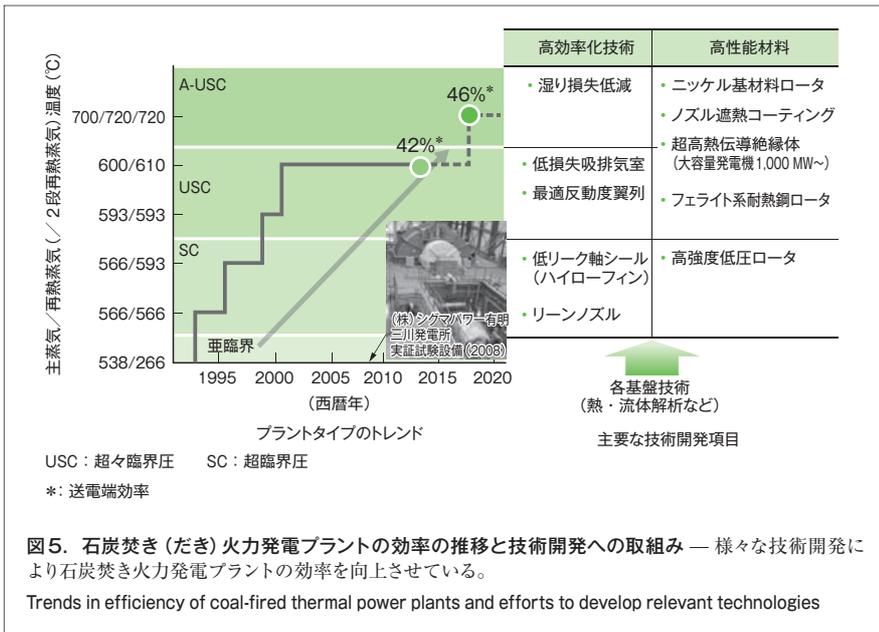


図5. 石炭焚き(だき)火力発電プラントの効率の推移と技術開発への取組み — 様々な技術開発により石炭焚き火力発電プラントの効率を向上させている。  
Trends in efficiency of coal-fired thermal power plants and efforts to develop relevant technologies

システムについても同様に高効率化と小型・軽量化を進めてきた<sup>11)</sup>。

産業用モータでは、独自の熱、電磁界、及び強度を連成した解析技術により効率向上を目指している。またNdやDyを用いた磁石の使用量を低減したモータや磁石自体をまったく使わないモータの開発を進めている(図6)(この特集のp.20-23参照)。更にIE1(標準効率)やIE2(高効率)レベルのモータの取替需要増大に備え、磁石中の有価元素を回収し再利用する技術開発を進めている。原子力発電で発生した使用済み燃料からウランやプルトニウムを分離回収するために開発した技術を適用して、磁石からNdとDyを選択的に溶融塩中に溶解させ、電解反応により回収する技術開発を進めている(同p.24-27参照)。

## 資源消費の最小化

### 資源消費に関わる課題

化石燃料以外の有価資源も現在の消費量が續くと、近い将来には枯渇することが予想されている。このため使用量低減と廃棄時の再利用が必要である。

一方、産業用モータは世界の電力消費量の大きな割合を占めており、各国で高効率モータの開発と普及が加速している(囲み記事参照)。高効率化には様々な技術があるが、磁石材料に有価資源であるネオジム(Nd)やジスプロシウム(Dy)などのレアメタルを使用した高性能磁石が適用されている。これらは産出国が限られ供給リスクが存在する。またこれら元素は鉱脈中の濃度が比較的低い金属として採取するまでに大量の物質が不要物として廃棄され、環境への影響が大きいと言われている。このためレアメタルの使用量を低減した磁石や磁石自体を使用せずに高効率化を図ることが必要である。高効率モータへの取替えも予想され、使用済みモータ中の磁石からレアメタルを回収し再利用する取組みも進められている。

### 東芝の資源消費の最小化への取組み

当社は循環型社会に向けて、製品ラ

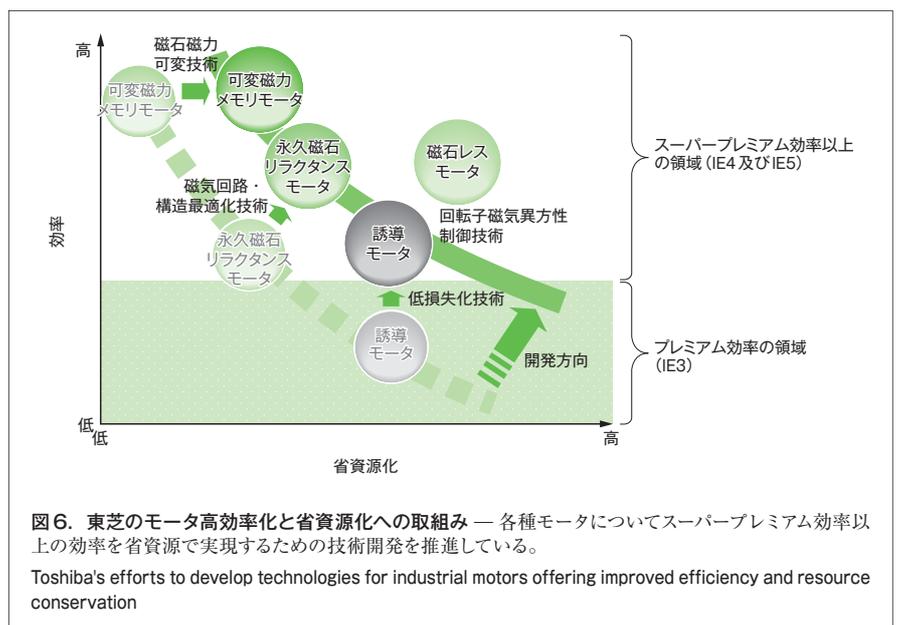
イフサイクル全体にわたり、資源採取が小さく廃棄物が最小になる取組みを進めている。具体的には製品の軽量化、小型化、及び長寿命化、循環資源の製品への再利用、並びに使用済み製品の回収と再資源化であり、製品の企画段階からこの方針を取り入れている。

社会インフラ製品では、送変電や受配電機器の高効率化を図るとともに小型・軽量化に向けた技術開発を推進している。一般産業で使用されるモータや、インバータ、蓄電池などのドライブシ

## 水資源消費の最小化

### 水資源に関わる課題

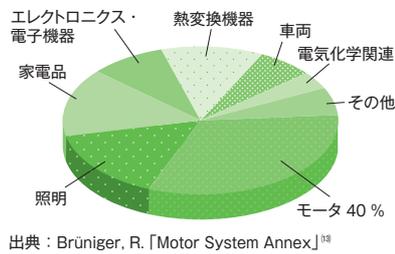
水の供給と利用のアンバランスに起因した資源偏在が世界的な課題になっている。水資源に恵まれない地域だけでなく、経済発展による急激な都市化や農業の進展に水供給が追い付かない問題が生じている。また下水道の未整備や廃棄物の放棄による水源汚染が問題



## 環境問題を考慮した産業用モータの効率化の世界動向

世界の用途別電力使用量の中でモータによる消費電力は全体の約40%を占め(図A)、わが国でも約55%を占めるため、モータの効率向上は省エネに大きな効果がある<sup>13)</sup>。各国で異なっていたモータの効率基準は、2008年にIEC(国際電気標準会議)により、出力ごとに効率が低い順にIE1～IE3の3段階に分類した国際規格が制定された。その後、米国では2010年にIE3のモータが、欧州でも2015年にIE3又はIE2にインバータを適用しIE3相当の効率とすることが義務化されるなど、各国で高効率モータの適用が進められている(図B)。2014年には高効率の基準(IE4)が導入され、規格化の対象となるモータの種類も拡大された<sup>14)</sup>。現在、損失をIE4より約20%下げることが目標とした規格(IE5)も検討されている。

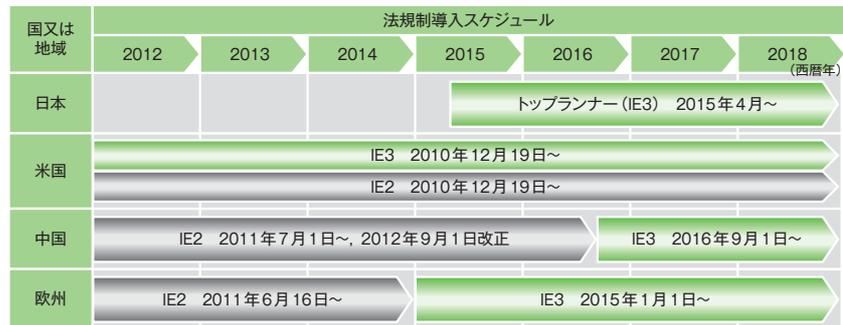
わが国では、使われる周波数が50 Hzと60 Hzに分かれ、両者に共通の設計が求められることや、JIS(日本工業規格)に



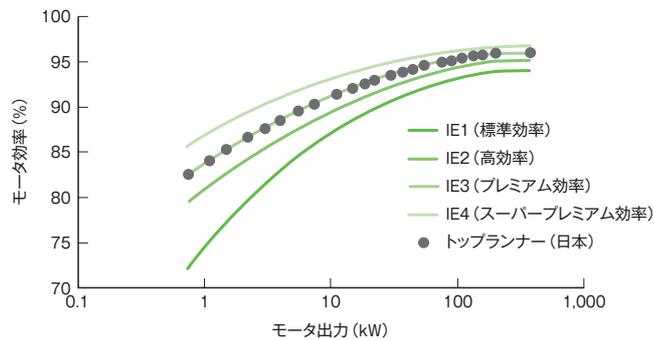
図A. 世界の用途別電力消費量

に拍車を掛けている。水利用の効率化や適切な浄化、再生利用のニーズの高まりに応える取組みが求められる。一方、わが国など水ストレスが高くない地域では総合的な水資源利用コストの低減が望まれている。

わが国では、高度経済成長期に整備された上下水道の老朽化対策や、東日本大震災で施設が被災した経験を踏まえ事業継続計画の観点から施設の耐震化の要求が高まっている。また施設運用に関わる熟練技術者も減少している。このため運営の効率化が求められ、一部



図B. 各国又は地域の高効率モータ法規制導入の動向



図C. IEC規格とわが国の規格(トップランナー)

よりモータの体格が外国に比べ小さく規定されていることなどの理由で開発が難しく、更にユーザーへのPR不足もあって、モータの97%はIE1相当が使用されてきた<sup>15)</sup>。しかし2013年に経済産業省 省エネルギー基準部会の小委員会にて2015年4月から新規製造設備に組み込むモータや既存モータの交換に際しIE3相当のものの供給が義務化された(図C)。モータを省エネ法の特

定機器(トップランナー)に追加するなど関連法案や規格が改正され、一般社団法人 日本電機工業会などもユーザーへの普及を促進している。経済産業省は、国内のモータが全てIE3に置き換わった場合、年間で155億kWhの消費電力(電力消費量の1.5%、CO<sub>2</sub>排出量で約500万t)が削減できると試算している。

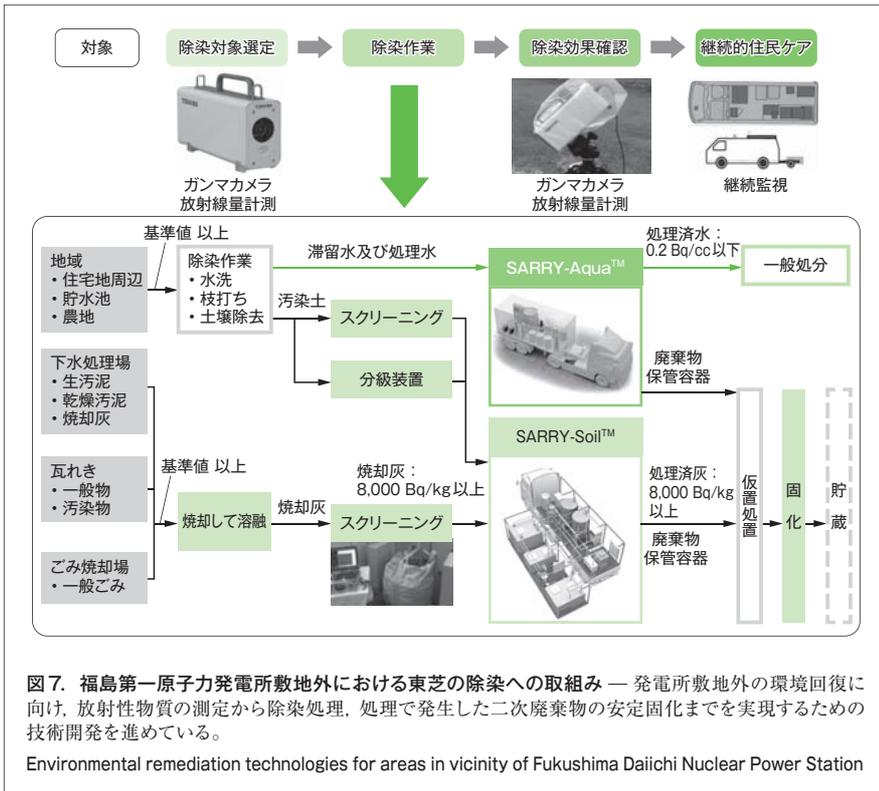
自治体では上下水道のサービスを民間に委託する施設運営業務が増加している。安心して安全な水の使用に関わるサービスを維持しながら、上下水道施設の運転に伴うエネルギーなどの低減、水質の管理と制御を最小の人的資源で行うための取組みが必要になっている。

### ■水資源の課題に対する東芝の取組み

当社は、水資源を効率的に利用する製品やシステムを提供している。このためにオゾンや紫外線による水の浄化技術、配水時の損失を最小化する漏水低

減技術、膜や微生物を使い排水を処理して再利用する技術を開発している<sup>12)</sup>。

利用コストの低減については、顧客ニーズである上下水道事業のサービスを今までと同等以下のコストでも向上させる製品やソリューションを提供するための技術開発を進めている。例えば上水では、汚泥発生低減と薬品コストの低減を両立させるために凝集メカニズムを解明し多様な原水水質に対応できる凝集制御技術の開発を加速している。下水では放流水質の向上と電力コスト低減を両立させる制御技術の開発を進



め、効率運用に貢献する総合的な省エネ技術の実現に取り組んでいる（同28-32参照）。

## 化学物質リスクの最小化

### ■化学物質に関わる課題

持続的に成長可能な社会の実現のためには、製品やサービスの開発段階からライフサイクルを通し環境に対する影響を最小化する必要がある廃棄に際しては廃棄物を最小化できるよう構成部材の再使用・再利用性を検討し、廃棄する物質の環境影響を最小化する取組みが必要である。また汚染した環境を回復するための技術も必要である。

### ■化学物質リスクの最小化への取組み

当社は製品に含まれる化学物質によるリスクを低減するため、随時、規制物質の調査とそれに基づいた独自の化学物質管理基準を定め、全ての製品群に対して全世界共通の化学物質管理を行っている。技術開発の当初からこれら物質を使用しない対応を進めている。

また、原子力発電所や火力発電所に代表されるプラントの建設や運用において、排ガスや排水の放出を抑制する技術を開発し導入を進めてきた。これらの技術を活用し、1Fの事故で汚染された区域の放射線計測や、それに基づいた汚染廃棄物からの放射性セシウムの除去と回収、一般廃棄物の減容処理を提案し環境を回復する取組みを進めてきた（図7）。更に一般の化学物質で汚染された環境の回復技術の開発を進めている（この特集のp.33-37参照）。

## 今後の展望

安心、安全、快適で持続的に成長していく社会を実現するためには、地球環境に配慮した社会インフラの構築が必要である。当社は、エネルギーを創り、ためて、送り、じょうずに使う製品（モノ）と、製品を起点としたサービスやソリューション（モノ+こと）の提供による気候変動問題への対応や、資源消費の最小化、水資源問題への対応、化学物質リスクの最小化などを並行して進め、スマート

ヒューマンコミュニティの実現を目指して技術の開発を進めていく。

## 文献

- (1) 東芝. 2014 環境レポート. 東京, 2014, 74p.
- (2) WGI, the 5th Assessment Report of IPCC. "CLIMATE CHANGE 2013 The Physical Science Basis". IPCC Homepage. <[http://www.climatechange2013.org/images/report/WGIAR5\\_SummaryVolume\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WGIAR5_SummaryVolume_FINAL.pdf)>, (accessed 2015-04-19).
- (3) IEA. World Energy Outlook 2011 Special Report. Paris, France, IEA, 2011, 127p.
- (4) IEA. Energy Technology Perspectives 2010. Paris, France, IEA, 2010, 706p.
- (5) 飯倉隆彦 他. 最新の原子燃料サイクル技術. 東芝レビュー. **62**, 11, 2007, p.23-27.
- (6) 豊原尚実 他. SARRY™による福島第一原発の排水処理. 環境技術. **41**, 6, 2012, p.352-358.
- (7) 畠澤 守. 福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた取り組み. エネルギーレビュー. **34**, 9, 2014, p.38-42.
- (8) Kawajiri, H. et al. "Design optimization method for Francis turbine". 27th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems. Montreal, Canada, 2014-09, The IAHR Local Host Committee. 2014, 7.1.3\_ IAHR2014.
- (9) 松永健太郎. 高温水蒸気電解による水素製造システム. 東芝レビュー. **61**, 4, 2006, p.68-69.
- (10) 今井健一 他. 火力発電システム用蒸気タービンの高効率化技術. 東芝レビュー. **68**, 11, 2013, p.16-20.
- (11) 餅川 宏. パワーエレクトロニクスを支えるデバイスの進化と実装・回路・製品適用技術の発展. 東芝レビュー. **69**, 4, 2014, p.2-7.
- (12) 牧瀬竜太郎 他. 上下水道における省エネ・省資源技術. 東芝レビュー. **67**, 5, 2012, p.16-19.
- (13) Brüniger, R. "Motor Systems Annex". IEA ExCo Meeting. Paris, France, 2008-04, IEA. 2008.
- (14) IEC 60034-30-1: 2014. Rotating electrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code).
- (15) 経済産業省. "中間とりまとめ(案)". 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー基準部会 三相誘導電動機判断基準小委員会(第2回). 2013-01. 2013, 資料4.



豊原 尚実

TOYOHARA Masumitsu, Ph.D.

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 首席技監, 博士(工学)。原子燃料サイクル技術及び化学プロセス機器の開発に従事。日本原子力学会, 化学工学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center