

電力システム分野の研究開発

Latest R&D Activities in Power Systems Company

小林 啓信 福田 祐治 安齋 英哉
 Kobayashi Hironobu Fukuda Yuji Anzai Hideya
 守屋 公三明 池口 隆
 Moriya Kumiaki Ikeguchi Takashi

信頼性の確保・維持・向上へ

電力事業では信頼性の確保・維持・向上が最も重要である。日立グループは、これを支えるために要素研究から実規模での実証試験だけでなく、物理現象の把握・理解のための最新のシミュレーション技術を活用している。このほか、大規模な発電、送変電システム機器だけでなく、分散電源、自然エネルギーの活用や、これらの広域連携および制御システムの開発も同時に進めている。

このため日立グループだけでなく、モノづくりも含めたR&D（研究開発）をパートナーとグローバルに展開しており、技術開発を通じて相互に信頼できるよう配慮しつつ、積極的に取り組んでいる。

なお、東日本大震災による影響について、当社の茨城地区も一部損傷を受けたものの、電力部門の生産はほぼ復旧し、電力不足への対応や安定供給など、電力インフラの復旧に全力で貢献していく所存である（図1参照）。

グローバル化の推進

電力事業全体の取り組み

日立製作所の電力部門の海外売上は平均40%で、とりわけ火力は60%を超えている。このため、各地域・国に拠点を設けている（図2参照）。

また、日立グループだけでなく国内外の大学や研究機関、メーカーと、共同研究、共同開発を進めている。図3に石炭火力分

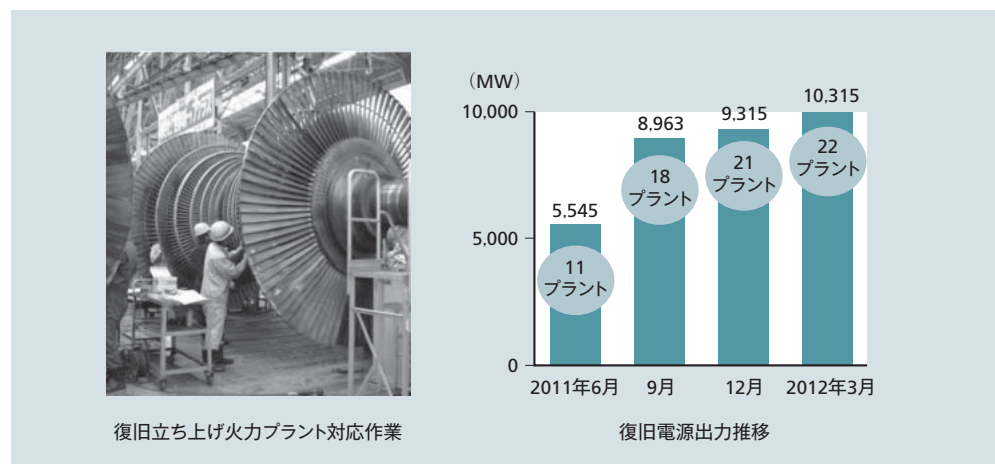


図1 | 電力インフラの復旧計画

茨城県・日立地区は震災によって建屋・生産設備に被害を受けたが、3月29日に操業を再開した。休止火力プラントの早期立ち上げに寄与している。

野の例を示すとおり、地球温暖化対策や環境保全に貢献するため、グローバルな研究開発体制を組織している。

火力事業——石炭火力の取り組み例

石炭は世界に広く分散しており、埋蔵量も豊富で他のエネルギー源よりも比較的安価に入手できることから、石炭火力は世界の発電量の40%以上を占めている。石炭火力では、温室効果ガスであるCO₂排出量をCCS^(a)で削減することや、A-USC^(b)による高効率化を図ることが必須であるが、将来においても基幹電力としての役割を担うことは間違いないであろう(図4参照)。これ以外にも、排出ガスに含まれるNO_x、SO_xの除去技術の開発で、日立グループは世界をリードしている。特に、脱硝触媒に関しては、世界トップシェアを確保するとともに、中国での環境規制強化に対応した生産工場の立ち上げやバイオマス向け触媒の開発にも積極的に取り組んでいる。さらには、ゼロエミッションをめざしたトータル排ガス処理技術(AQCS: Air Quality Control System)を開発、米国での実証も完了し、海外で高い評価を得ている¹⁾。

CCS実証は、現地の電力会社と連携して推進している(図5参照)。こうしたプロジェクトを通じて実用化に向けた課題を着実に克服し、日立グループの開発した技術をグローバルスタンダードとすることで、地球温暖化や環境保全に貢献していく。

電力安定供給に向けた研究開発

石炭火力

石炭焚(だ)きボイラは、(1)NO_xやCOなどの環境負荷物質の排出量が少ないこと、(2)石炭粒子の燃焼効率を高め、単位燃料量当たりのCO₂発生量を減らすことが求められる。そのような性能を有する石炭焚きボイラの開発には、高度な燃焼解析技術が必要である。日立グループは、ボイラ内は非定常で複雑な燃焼反応を伴う流れであるため、流動予測精度の高いLES(Large Eddy Simulation)を採用した解析

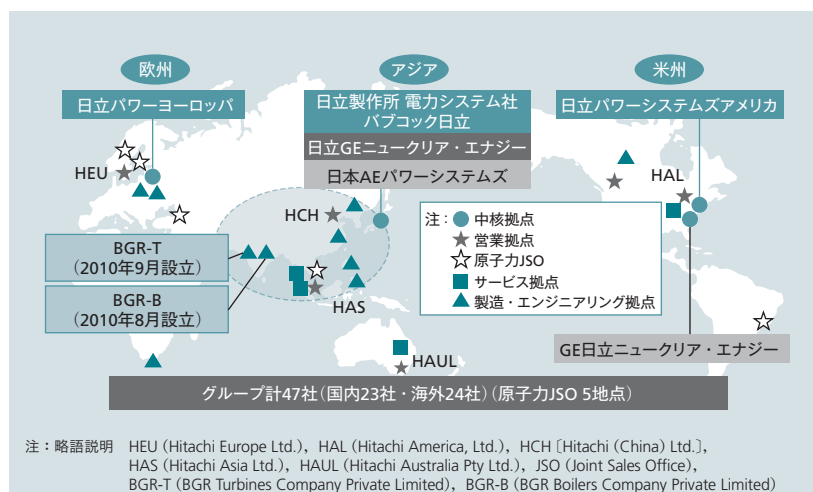


図2 電力システム社のグローバル展開

製造・エンジニアリング拠点を拡充し、海外マーケティングを強化していく。

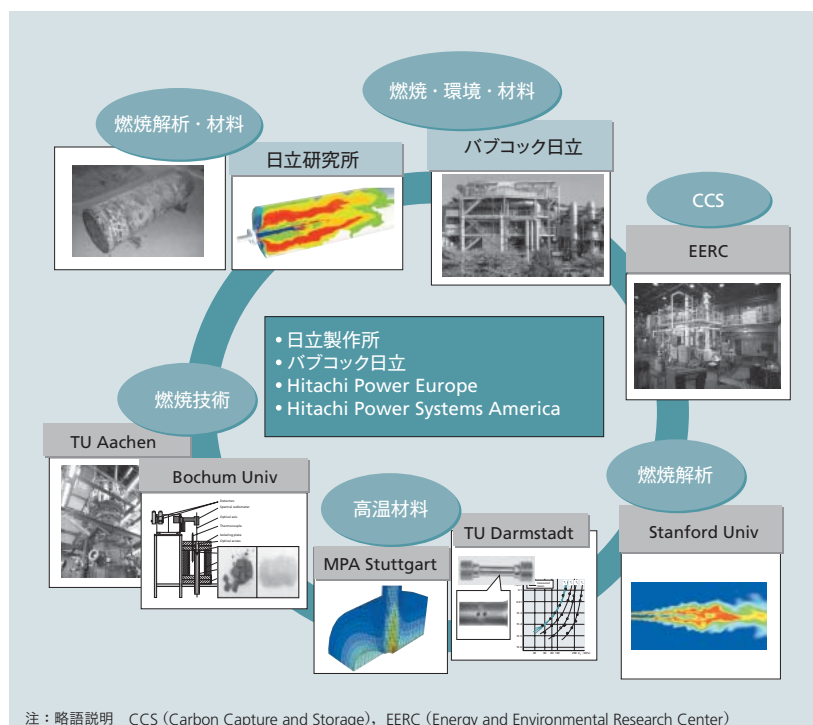


図3 日立グループのCCS技術開発連携

日立グループは、日米欧の各拠点でのCCS技術開発に加え、欧米の大学、研究機関との連携により開発に取り組んでいる。

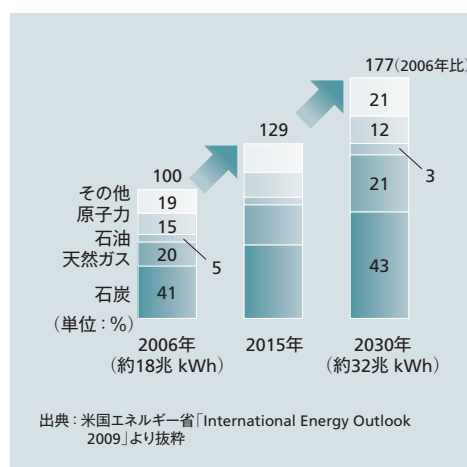


図4 世界の電力需要とその構成

石炭火力は世界の電力の40%を占めており、今度もその構成比に大きな変化はなく、主要電力源として重要である。

(a) CCS

Carbon Capture and Storageの略。火力発電所や天然ガス鉱山などで発生するCO₂を分離・回収し、安定した地層に貯留、あるいは海洋隔離する技術。CO₂の分離・回収方法の主なものとしては、化学吸収法や酸素燃焼法がある。

(b) A-USC

Advanced Ultra-supercriticalの略。先進超々臨界圧発電。石炭火力発電は、石炭の燃焼によってボイラで発生させる蒸気を高温・高圧にするほど効率が高くなる。蒸気温度700℃級になるとA-USCと呼ばれる。

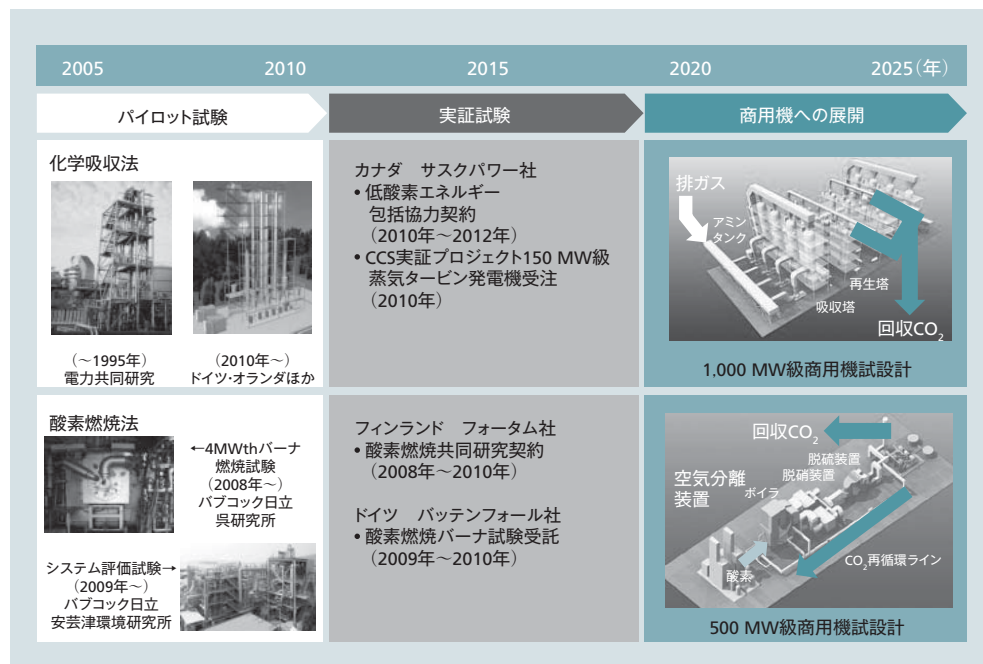


図5 | CCS技術開発における欧米電力会社との連携

化学吸収はカナダの電力会社と、酸素燃焼はフィンランドおよびドイツの電力会社と連携し推進している。

技術を開発するとともに、LESを利用した石炭燃焼解析技術を、世界で初めて実機開発に実用化している。

熱入力20 MWの石炭燃焼ボイラ試験炉のLES燃焼解析結果を図6に示す。バーナ近傍でガス温度が高く、安定した保炎を行っている。また、**オーバーファイアエア (OFA)**^(c)によって、COを完全燃焼させて、CO排出量を低減している。計算結果は実験結果とよく一致しており²⁾、今後、実験に置き換わる解析主導の設計が実現可能と

なった。

この燃焼解析技術の開発は、米国スタンフォード大学の数値解析技術やドイツのアーヘン工科大学の燃焼試験結果を反映して進めている。蒸気タービンの高効率化には、蒸気の熱力学特性と、超音速流れの特性を考慮することが重要である。蒸気タービン中の蒸気は、高圧部では気体と液体の性質を併せ持つ超臨界状態となり、一方低圧部では、非平衡凝縮を伴う気液二相流状態となる。また、低圧タービン下流段では、

(c) オーバーファイアエア (OFA)

燃焼装置に空気を何段階かに分けて供給する際、第二段階で供給される二次空気の種類。燃焼中に新たな空気を供給することで、完全燃焼を促進する。

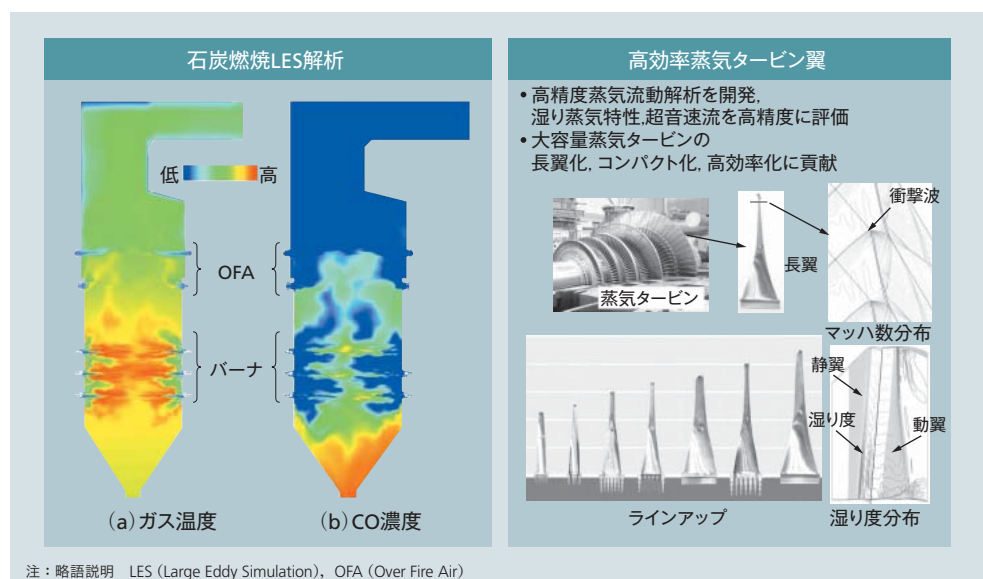


図6 | 石炭火力 (ボイラ・蒸気タービン) 研究開発の一例

数値シミュレーションを駆使して、低NOxバーナや高効率な超臨界圧蒸気タービンの開発を進めている。

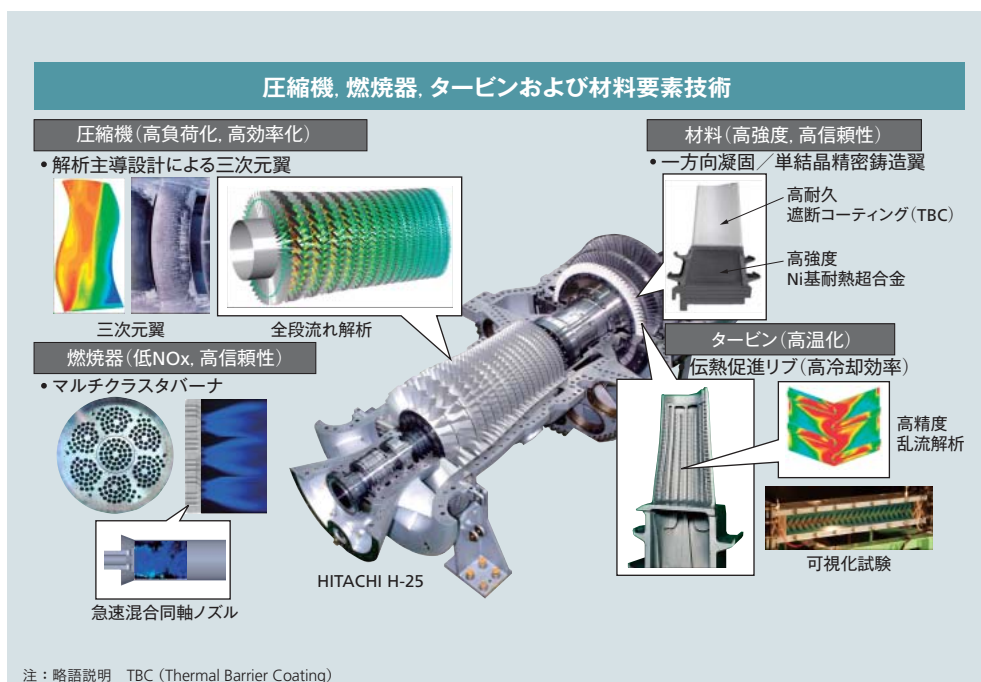


図7 | ガスタービン研究開発の一例

効率向上、環境負荷低減に対応するため、タービン本体に加えて、圧縮機、燃焼器、材料要素技術の研究開発を総合的に推進している。

流れが超音速流れとなり、衝撃波損失の抑制が、高効率化の鍵となる。

日立グループは、超臨界圧から気液二相流状態までの蒸気の熱力学特性を考慮した超音速流れを、高精度に評価できる流体解析技術を独自に開発し³⁾、高効率の翼開発を行っている。特に高効率化に大きく寄与する最終段長翼の流れは、超音速の気液二相流という複雑な流れとなるが、流体解析技術により、高効率の長翼開発が可能となっている（図6参照）。

ガスタービン

ガスタービンの高効率化には、圧縮機・タービンなどの要素効率向上と、高温化・高圧力化による熱サイクル効率向上という二つの方向性がある。前者には、全段解析技術、最適化設計技術などを駆使して三次元翼を開発し、後者に対しては、耐熱超合金や遮熱コーティング、高性能冷却技術を開発し、各種試験で性能および信頼性を検証している（図7参照）。

また、燃焼器については環境負荷低減（低NO_x化）に対応したシングルNO_xマルチクラスターバーナや多種燃料（ガス・油・水素リッチガス、高炉ガス

など）に対応したバーナを開発中である。

新火力発電システム——AHAT

ガスタービン単独でコンバインドサイクルと同等以上の効率と、柔軟な運用性をめざしたAHAT^(d)の開発に取り組んでいる。

2004年から、資源エネルギー庁の補助事業として、財団法人電力中央研究所および住友精密工業株式会社と共同で開発を進めてきた。これまでに、3 MW級システム検証機による試験結果から、発電効率と大気温度特性、部分負荷特性、起動時間など

(d) AHAT

Advanced Humid Air Turbineの略。高温分空気利用ガスタービン。圧縮機からの吐出し空気に低温の高温分空気を加え、排熱を高温分再生熱交換器で回収し、利用するガスタービン発電システム。湿分の増加による出力増、排熱で燃焼空気を予熱することによる燃料削減などにより、効率が向上する。100 MW程度の中小容量機において、ガスタービン単独でコンバインドサイクルをしのぐ効率を実現できる。

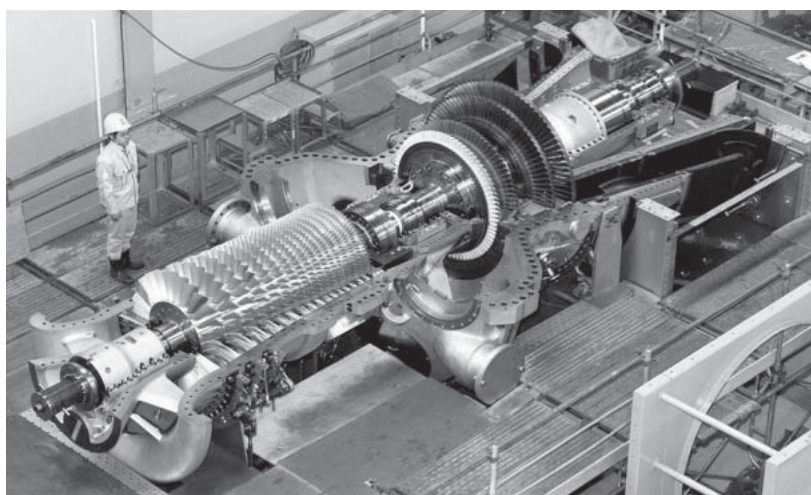


図8 | 40 MW級AHAT (Advanced Humid Air Turbine) ガスタービンの半開放写真
2011年度後半からの試験開始を予定している。

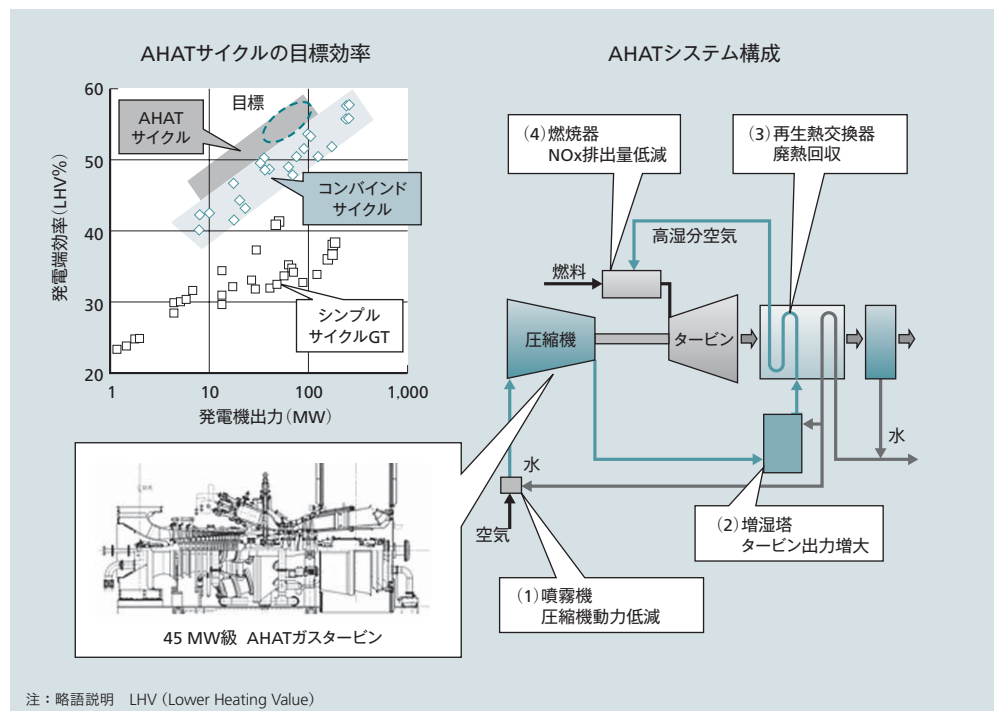


図9 | AHATのシステム構成と効率

ガスタービン単独でコンバインドサイクルと同等以上の効率をめざす。

運用性に優れていることを確認した⁴⁾。現在、40 MW級実用化要素技術試験設備を建設中であり、2011年度後半から運転開始を予定している。その後、実用化に向けた発電効率の向上や、実証機での検証を行い、100～200 MW級の発電出力での市場投入をめざしている（図8、図9参照）。

れる。

ここで造水の一部は飲料水として地域に供給される。この計画は経済産業省の「産油国石油精製技術等対策事業費補助金（産油国産業協力等事業）」の補助を受けて推進している。

原子力分野

原子力分野では、高精度なシミュレーション技術を駆使してBWR^(h)プラントの安全性と信頼性を向上している。

原子炉の開発では、炉心内の燃料の熱的健全性確保が重要であり、熱出力分布を正確に予測できる手法の開発が課題である。日立グループは、中性子のモンテカルロ輸送解析手法を用いて核分裂反応を高精度にモデル化し、核燃料棒単位で熱出力分布を詳細に解析できる新たな手法を独自に開発した（図11参照⁵⁾。また、炉心部の沸騰で生じる蒸気と水の挙動を詳細に評価するため、気液二相流の三次元解析手法の開発にも取り組んでいる。蒸気と熱水の実機圧力・温度条件を模擬できる世界最大級の実証試験設備「多目的蒸気源試験装置（HUSTLE：Hitachi Utility Steam Test Leading facility）」を用いて、シミュレー

(e) CBM

Coal Bed Methaneの略。炭層メタン。石炭の生成過程で生じ、地下の石炭層や、その中の石炭に保持されたメタンガス。これまで炭鉱の爆発事故の原因の一つとなってきたが、近年では資源として活用され始めている。

(f) EOR

Enhanced Oil Recoveryの略。原油増進回収法。自然の排油エネルギーを利用して貯留層から回収する一次回収で採取しきれなかった原油を回収する方法。油層に水、天然ガス、CO₂などを圧入する方法、熱攻法、ケミカル法などの方法がある。

(g) MED

Multi-effect Distillationの略。多重効用法。海水を淡水化する方法の一種で、高効率、低消費電力（逆浸透膜法の40%程度の消費電力）、水質に左右されない安定した性能などを特長とする。

(h) BWR

Boiling Water Reactorの略。沸騰水型原子炉。減速材や冷却材として軽水（水）を用いた軽水炉には、BWRとPWR（Pressurized Water Reactor：加圧水型原子炉）がある。BWRは、原子炉圧力容器内で沸騰させた水から発生する蒸気を、直接タービンに送って発電する方式。

新火力発電システム——トライジェネレーション（電力、蒸気、水）システム

ガスタービンと排熱回収装置を組み合わせたコージェネレーション（熱電併給）システムをさらに進めたものとして、トライジェネレーションシステムがある。これは電気・蒸気に加え、水（純水や飲料水）も併せて供給するものである。

豪州のCBM^(e)採掘現場やベネズエラのEOR^(f)システムでも、このトライジェネレーション技術が注目を集めている。

EORの例を図10に示す。電気と蒸気をつくるコージェネレーション部、湖の原水を受け入れ、ボイラへ給水および飲料水をつくるMED^(g)から構成される。つくった蒸気を長年の採油によって産油量が減少した油井の脇に注入することで、油は暖められて再び採油可能となり、石油が増産さ

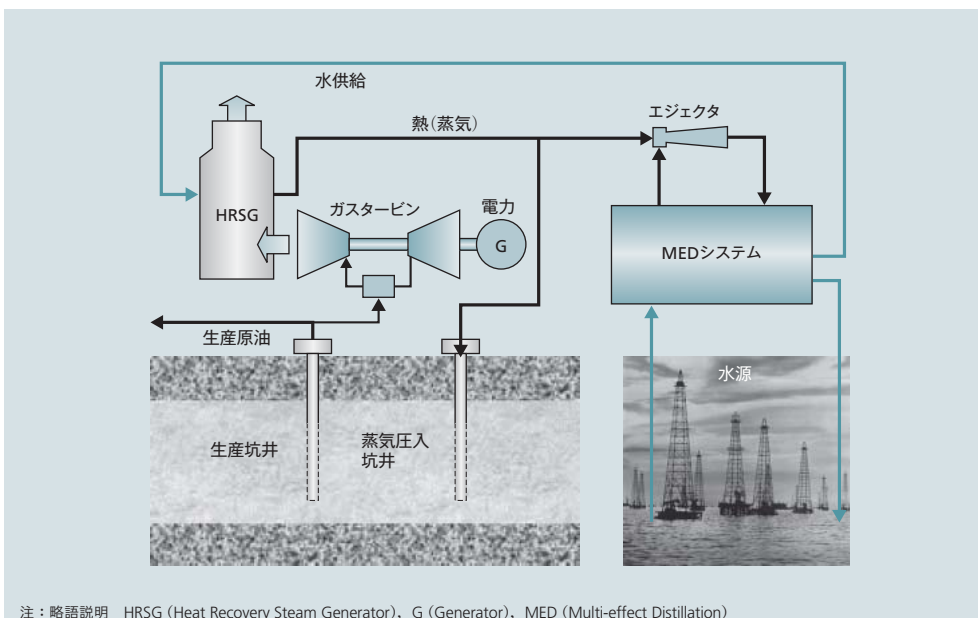


図10 | 電力・熱・水を供給するトライジェネレーションシステム
ガスタービンの排熱を回収し、純水製造に活用する。

ション技術の検証や、高性能・高信頼機器を開発し、最新ABWR⁽ⁱ⁾への適用を進めている。

電力流通分野の研究開発

開閉器・変圧器

社会と産業界からの電力需要を支えるための大容量送電を担い、電力系統制御との

組み合わせにより、安定した電力供給を実現している。高電圧静止器ながら高温高圧、超音速流、放電、高磁場の機器であり、シミュレーションによる現象可視化と最適化で高効率・小型大容量器の開発に貢献している(図12参照)⁽ⁱ⁾。

発電機

電力の源として欠かせない発電機は、電

(i) ABWR

Advanced BWRの略。改良型沸騰水型原子炉。BWRの運転経験に基づく改善と、最先端技術の導入により、熱効率と最大出力を向上させている。原子炉内の冷却材を循環させるポンプを原子炉圧力容器内に取り込んだインターナルポンプ、原子炉出力の制御を行う制御棒を出し入れする改良型制御棒駆動機構、建屋一体型鉄筋コンクリート製格納容器などの採用により、原子炉建屋の体積減少、建設期間の短縮、設備利用率の向上、安全性の向上などが図られている。

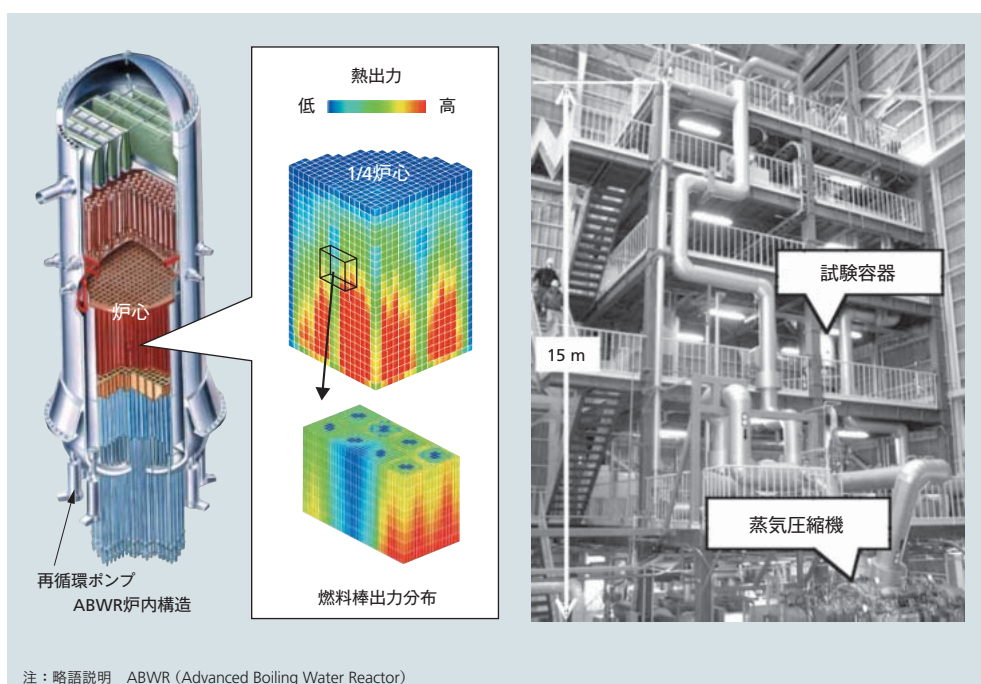


図11 | 原子炉の高度シミュレーション技術と実証試験設備

三次元炉心シミュレーションによる詳細熱出力分布分析や、実機圧力・温度条件での蒸気／熱水流動試験により、高性能・高信頼機器を開発している。

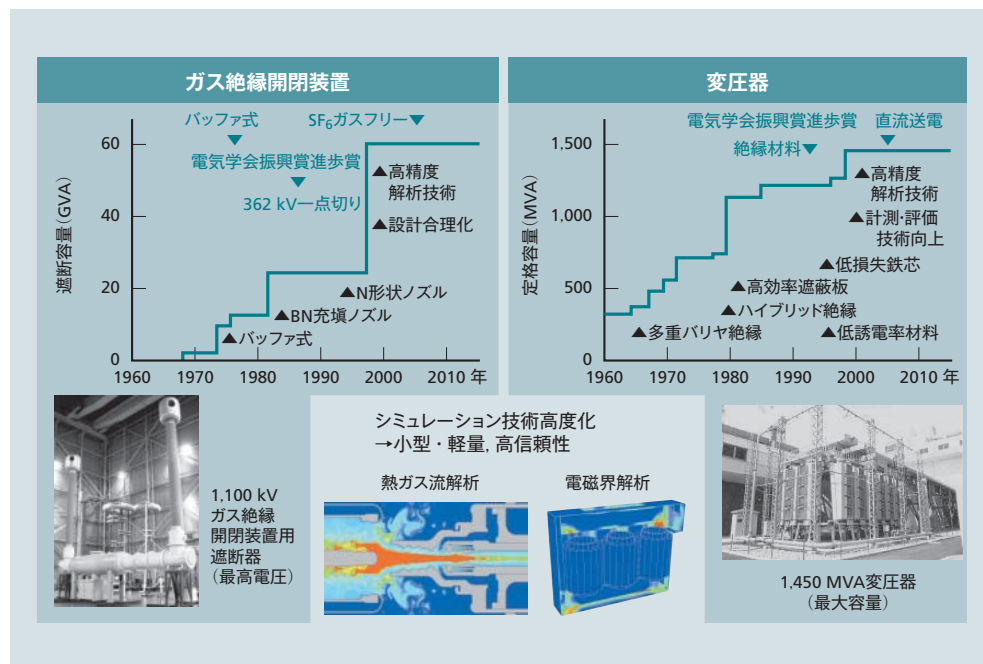


図12 開閉器・変圧器の開発経緯

数値シミュレーションによる現象可視化と最適化によって高効率化、小型大容量化を進めている。

力需要増加に対応した大容量機を柱に、運転保守の利便性がある空冷機や自然エネルギーとして注目されている水力、風力発電機まで幅広い。日立グループでは、製品信頼性確保とともに、発電効率向上、小型化という要求へ迅速に応えるため、シミュレーション技術を積極的に取り入れている(図13参照)。

自然エネルギー利用と系統安定化

自然エネルギー発電システムの提供とともに、大量導入時代の系統安定化問題を踏まえて発電出力変動緩和、系統連系、需給調整など次世代対応技術の開発に幅広く取り組んでいる(図14参照)⁷⁾。

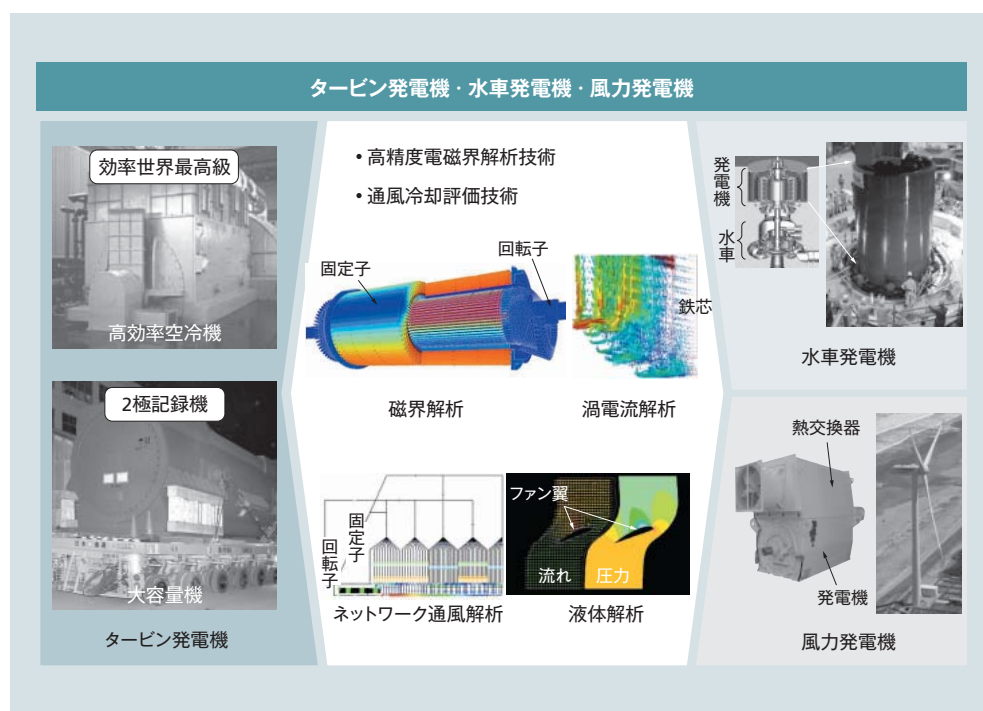


図13 発電機の開発状況

各種発電機の信頼性確保、発電効率向上、小型化の要求に応えるため、シミュレーション技術を積極的に導入している。

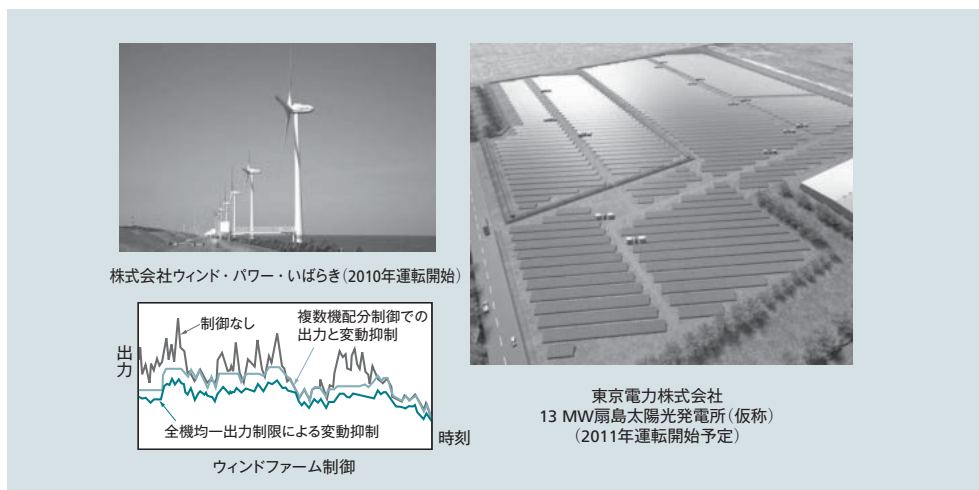


図14 | 自然エネルギー発電システムと系統連系技術
電力系統安定化に寄与する系統連系技術を提供していく。

グローバルな研究開発体制で地球社会に貢献

電力システム社の研究開発状況を説明した。いずれも単なるペーパーデザインではなく、必要に応じて実機規模での実証試験

により信頼性を高めている。

日立グループは、電力インフラの充実とともに、地球温暖化対策や環境保全に貢献するため、今後もグローバルな研究開発体制を維持していく。

参考文献

- 1) 河崎, 外: 環境調和型石炭火力発電に向けた取り組み—CCS (Carbon Capture and Storage) 技術の開発—, 日立評論, 92, 4, 295~299 (2010.4)
- 2) K.Yamamoto, et al.: LES of Pulverized Coal Combustion Furnaces, Proceedings of the ASME 2011 Power Conference (POWER 2011) and the International Conference on Power Engineering 2011(ICOPE-11) July 12-14, Colorado, USA, POWER2011-55367(2011.12)
- 3) S.Senoo, et al.: Computations for Unsteady Compressible Flows in a Multi-Stage Steam Turbine with Steam Properties at Low Load Operations, ASME POWER2010-27096(2010.6)
- 4) H.Araki, et al.: Experimental and Analytical Study on the Operation Characteristics of the AHAT System, ASME Turbo Expo 2011 GT2011-45168(2011)
- 5) T.Hino, et al.: BWR Core Simulator Using Three-Dimensional Direct Response Matrix and Analysis of Cold Critical Experiments, J.Nucl.Sci.Technol., Vol.47(No.5), pp.482-491(2010)
- 6) 逸見, 外: 1,100kV50kA二点切ガス遮断器の開発, AEパワーレビュー, vol1, p.20~23 (2008)
- 7) 内山, 外: 大規模太陽光発電システムの無効電力制御による電圧変動抑制, 電気学会 電力・エネルギー部門誌平成22年3月号, p.297~304 (2010.3)

執筆者紹介



小林 啓信
1982年日立製作所入社, 研究開発本部 日立研究所 エネルギー・環境研究センタ 所属
現在, 火力・原子力・医療の機器システムの研究開発に従事
工学博士
日本機械学会会員, 日本燃焼学会会員



福田 祐治
1979年バブコック日立株式会社入社, 呉研究所 所長
現在, ボイラ, AQCS (排煙処理) の研究開発を指導
日本機械学会会員, 日本金属学会会員



安齋 英哉
1983年日立製作所入社, 日立研究所 材料研究センタ エネルギー材料研究部 所属
現在, 火力・原子力システムの材料開発に従事
腐食防食協会会員, 日本鉄鋼協会会員



守屋 公三明
1980年日立製作所入社, 日立GEニュークリア・エナジー株式会社 所属
現在, BWR技術の改良, 将来型BWRの開発に従事
日本原子力学会会員, 日本物理学会会員



池口 隆
1972年日立製作所入社, 電力システム社 CTO兼技師長
現在, 電力システム社の研究開発を指導
日本機械学会会員, 米国機械学会会員