

水力発電の技術動向

Technological Trends in Hydroelectric Power Systems

篠原 朗 森 淳二

SHINOHARA Akira

MORI Junji

水力発電は、どの国においても国内資源であるという優位性があり、かつ地球環境に影響する排出ガスを出さないクリーンな自然エネルギーを利用した発電システムである。水力発電では、これまで揚水機器の高落差化、大容量化に向けた技術開発が脚光を浴びてきたが、東芝は、国際的な地球温暖化防止の動きや電力自由化によって多様化する電源設備に対応して、効率的運用、安定した電力供給が叫ばれる現状を踏まえ、エネルギーの有効活用、系統寄与、あるいは設備簡素化、運用・保守の省力化といったニーズに応える技術開発にも力を注いでいる。

The advantages of hydroelectric power are that it is a domestic resource, and that it utilizes clean natural energy without discharging gases that would adversely affect the earth's environment. Taking diversification of power supply sources and effective operation of electric power systems into consideration in the context of the trends toward global warming prevention and electric power liberalization, Toshiba is developing technologies that promote the effective use of energy, contribute to the power system, simplify the equipments, and improve maintenance, rather than focusing primarily on technologies for higher head, larger output, and higher speed machines.

電力需要と水力発電

わが国の電力需要は、高度成長期のように前年比10%というような大幅な伸びは期待できないが、今後もIT(情報技術)化の進展に伴い、家庭用や業務用を中心に年1.5%程度の成長が見込まれている。

一方、世界に目を転じてみると、エネルギー消費の約半分を占める北米や欧州での需要の伸びは鈍化しているものの、アジアを中心とした発展途上地域では、経済成長に伴って電力需要も大幅に伸びると推定されており、平均として年2.4%程度の成長が見込まれている。

着実に増えていく電力需要に対応して、安定した電力を供給するため、様々な施策が模索されているが、化石燃料の枯渇や二酸化炭素(CO₂)による地球温暖化などの環境問題が叫ばれるなかで、クリーンで再生可能な自然エネルギーを利用した水力発電にかかる期待は大きくなっている。

世界の包蔵水力は、135千億kWhと

も言われているが、これは全世界の発電量を賄えるほどのエネルギーがあることを示している。包蔵水力が豊富なアジア、中南米地域では、新設プラントの建設が盛んで、今後も着実に開発が進められると考えられる。なかでも中国での水力開発は盛んで、高落差、大容量の揚水発電所が数多く計画されている。

日本国内の包蔵水力は1,350億kWhで、このうち約70%は既に開発済みである。未開発地点は2,700か所以上あるが、大規模開発に適した地点の建設はほぼ完了しており、今後の新規開発地点は中小規模が中心となる。一方、既開発済みの発電所も1,800か所以上あり、老朽化した設備の改修や更新計画が増えている。このような場合も、電気事業法の改正に伴う電力自由化の流れのなかで、合理化や設備の価値向上が求められており、今後もいっそうこの傾向が強くなると考えられる。

これら多様化するニーズに応えるため、東芝では、様々な研究開発に取り組んでいる(図1)。以下にその概略を述べる。

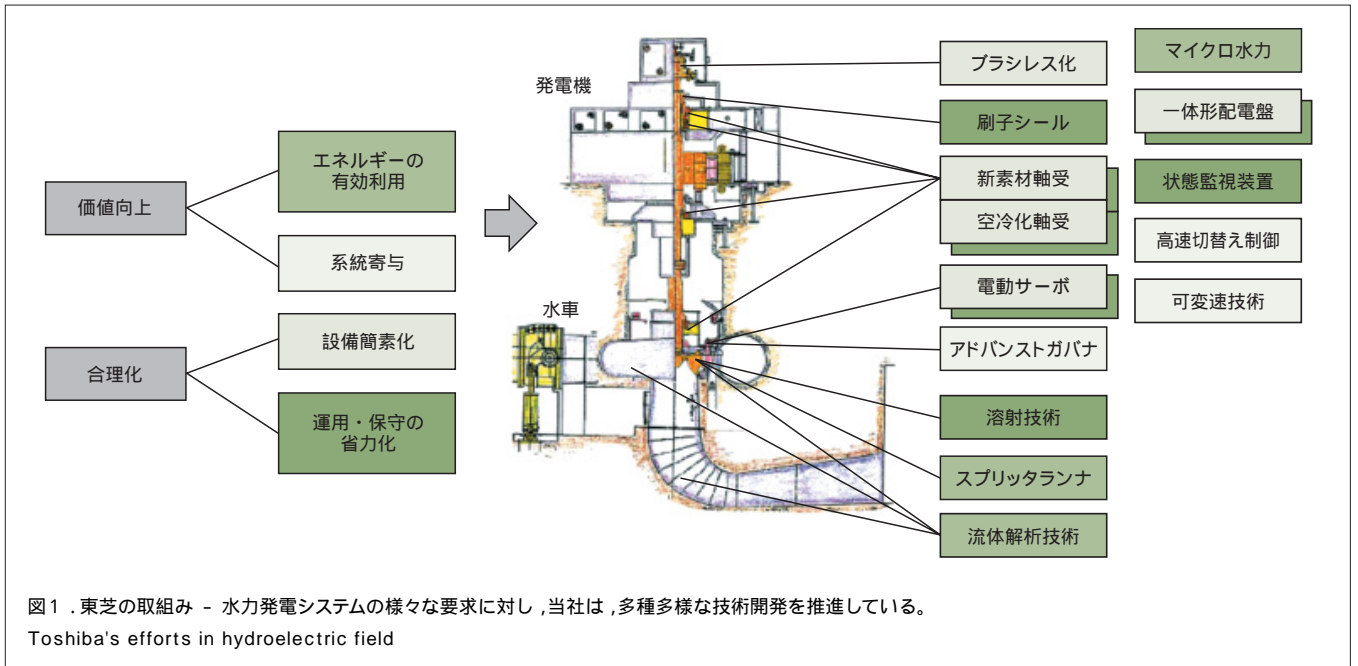
東芝の取組み

これまで、水力発電では、大容量の電力貯蔵機能を持ち、電力需要変動への即応性に優れた発電システムである揚水発電の高落差化や高速・大容量化に関する技術開発が注目を集めており、当社は常にその技術をリードしてきた(図2、図3)。

しかし当社は、昨今の世界情勢をとらえ、環境に優しい水力発電設備として、合理化や価値向上を目的に、エネルギーの有効活用、系統寄与、設備の簡素化、運用・保守の省力化など、世界に通用する技術開発にも積極的に取り組んでいる。

エネルギーの有効活用

貴重な水資源から少しでも多くの電力を得るということを目的に、発電効率の向上や運転範囲の拡大が求められている。当社は、それらの技術開発はもちろんのこと、これまで水を利用していながら発電を行っていない事業者にも適用してもらえらるマイクロ水力も開



発, 実用化した。

CO₂排出量の少ない水力発電での発電電力量が増加すれば, 化石燃料の使用量を減らすことができ, 環境保全につながる。

次に当社の取組みの状況を述べる。

・水車・ポンプ水車

水車効率の向上や運転範囲の拡大を実現するためには, キャビテーション特性, 水圧脈動特性の改善が必要である。

これらの開発プロセスの中で, 模型試験開発と並び重要な位置を占めてい

るのが流体解析(CFD)技術である。

CFDでは, 近年, 流路要素ごとの解析に加え, 各要素を一体化したモデルとして解析を行うことも可能となり, 流路要素間の流れの影響も考慮した乱流解析などの高精度な解析を実施している(囲み記事参照)。

これにより水車・ポンプ水車の性能は飛躍的に向上している。

図4は, 各社の吸出し管の流体解析技術を評価したもので, IAHR(The International Association of Hydraulic engineering and Research)が

主催した流体解析のコンペティションにおいて, 当社の解析結果がもっとも精度が高いとの評価を受けた。

将来的には, 水車流路全体をモデル化した高精度性能予測手法による数値模型試験, すなわち, 模型試験に代わるバーチャル模型試験を目指して技術開発を進めている。

また, 新構造ランナとしてスプリッターランナを開発し, 実機にも適用している。

スプリッターランナは長翼と短翼を交互に配置したもので, 短翼による整流効果とランナ入口部翼負荷減少により,

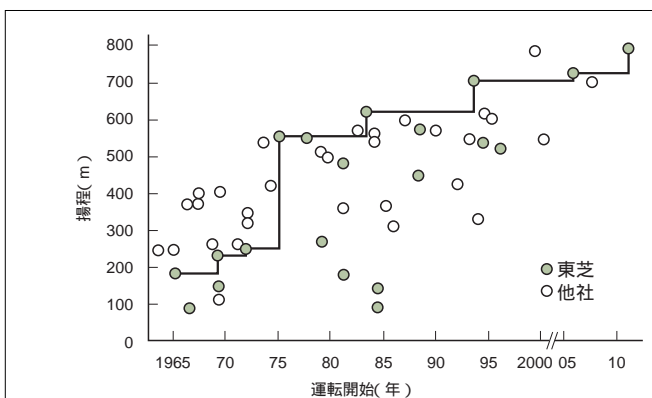


図2 . ポンプ水車の高揚程化の変遷 - 時代とともにポンプ水車の高揚程化が進み, 当社は常にその技術をリードしてきた。
Progress of pump-turbine pumping head

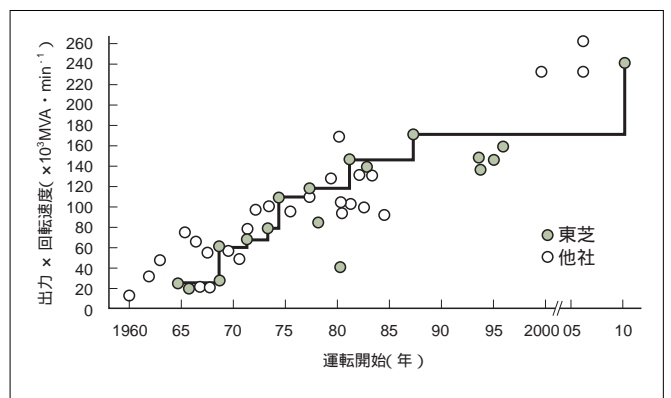


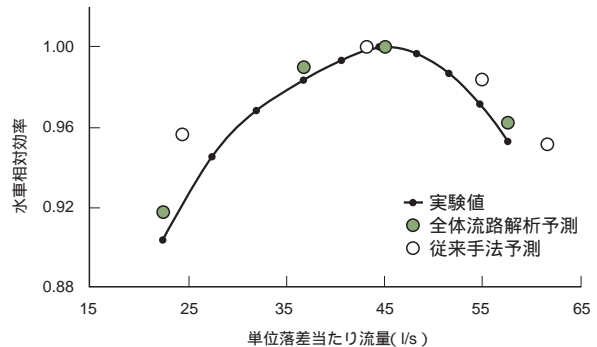
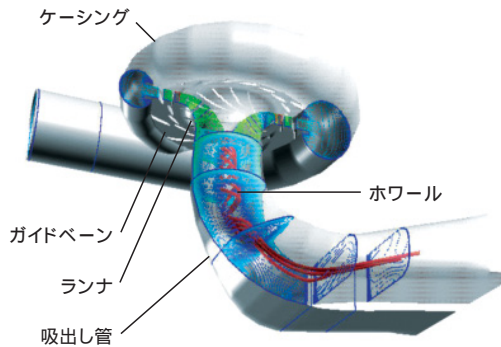
図3 . 発電電動機の高速・大容量化の変遷 - 発電電動機においても高速・大容量化が進み, 当社は常にその技術をリードしてきた。
Progress of generator-motor output x speed

全体流路流体解析技術

水車はケーシング、ガイドベーン、ランナ、吸出し管から構成されているが、従来は、回転するランナと静止部とを同時に解析することが困難であったことと計算機容量の制限から、個々の部品ごとに解析を行っていた。しかし、最近では計算機性能も向上し、解析手法も高度化してきたことにより、上記

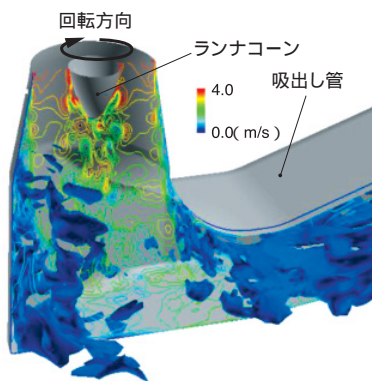
流路全体を一括で解析することができるようになってきた。これにより、流路の入口境界条件の精度が向上するとともに、構成部品間の干渉効果をより忠実に模擬できるため、水車性能、特に部分出力側や最大出力側での性能の予測精度を大幅に向上させることができるようになった。また、キャビ

テーション特性や水圧脈動などの非定常特性も予測可能となっており、今後は、この技術をベースにして、現在行っている模型試験に代わる数値試験であるバーチャル模型試験の実現を目指している。

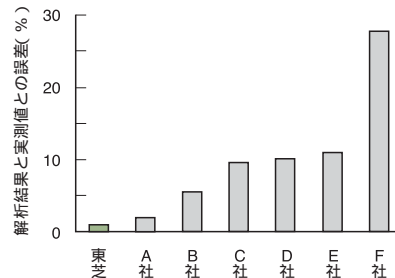


全体流路流体解析例 全体流路流体解析では静止部と回転するランナを一括に解析し、複雑な流れを精度よく把握することができる。

水車性能予測結果例 全体流路流体解析の適用により水車性能の予測精度を大幅に向上できる。



解析結果(速度分布)



各社解析結果比較

データ出典：Turbine99 ERCOFTAC Workshop on Draft Tube Flows 2001(IAHR主催)

図4 吸出し管流体解析 - 各社が水車吸出し管内流れの流体解析を実施した結果、当社の解析結果がもっとも実験結果に近く、高い評価を受けた。

Results of fluid analysis of draft tube flow

部分負荷や低落差領域での二次流れの損失と不安定流れを抑制し、大幅な性能向上を実現している。

性能向上技術は新規プラントだけでなく、既設プラントへの適用も可能である。特に流況など運用状況により、運転頻度の高い運転領域での効率を優先させる設計とすることで、発生電力

量を増加させることが可能であり、既存エネルギーの有効活用としての効果も大きい。

● 発電機・発電電動機

発電機効率の向上を実現するため、当社では様々な施策を検討している。その一つが軸受損失の低減である。当

社は、新素材軸受を開発し、その適用を推進している。新素材軸受は、すべり面材料に充填(じゅうてん)材を添加した四フッ化エチレン樹脂(PTFE)系材料を適用しており、従来のホワイトメタル(WJ2)を適用したものに比べて摩擦・摩耗特性に優れている。そのため、高面圧化が可能で軸受を小型化できるため、軸受損失を低減することができる。

また、当社では風損や銅損の低減施策や解析精度向上にも力を入れており、従来よりも、発電機効率の向上が可能となってきている。

● マイクロ水力

昨今の電力自由化 地球温暖化防止、分散電源化の動きに対応して、マイクロ水力発電設備 Hydro-e KIDS™を開発した。現在利用されていない上下水道、農業用水、工場排水、ダム放流などの水力エネルギーを利用することも可能であり、様々な分野での活用が期待されている。

■ 系統寄与

水力発電は、始動時間が3～5分程度と他の大型発電設備と比べて極めて短く、運転中は数秒オーダーのすばやい出力調整が可能という特長があり、電力需要のピーク負荷を担う重要な設備である。

更に、揚水発電は電力設備で唯一調整可能な大型の負荷で、始動に数日かかる大型火力や原子力を、夜間などの軽負荷時にも出力を落とさずに効率的な運転をさせることで、化石燃料の使用量を減らすことができ、環境保全につながる。

次に、水力発電が更に系統安定に寄与できるための技術開発について述べる。

・ アドバンストガバナ

大型の水力発電所ではAFC(Automatic Frequency Control)指令に対する応答性が求められている。しかし、従来は、出力を変えると水路系の慣性の影響でサージタンクの水位が大幅に変動することから、AFCに対する応答性を上げられない場合があった。そこで当社は、最適制御理論によるサージ抑制とフィードフォワードによるAFCへの応答性向上の2自由度制御を適用したアドバンスト制御ガバナ(調速機)を開発し、模型での検証試験でその効果を確認した。今後、実機への適用が期待されている。

・ ポンプ水車の高速切替え制御

揚水発電機において、揚水から発電への高速切替え機能を持たせることで、揚水運転中も発電予備力として計算できることから、今後、アンシラリーサービスとしてのニーズが期待されており、当社ではその技術開発にも取り組んでいる。

・ 可変速技術

更に系統の品質向上に寄与するシステムとして、可変速揚水発電システムが

ある。これは、定速機では不可能だった揚水運転時の入力調整を可能にし、加えて、適正な回転速度を選定できることで定速度機よりも水車性能が改善するために、発電出力調整範囲も大きくとることができる。

また、系統安定装置として、可変速技術を応用したフライホイール発電機も開発し、実用化している。

■ 合理化

設備の簡素化や運用・保守の省力化にかかわる技術開発も、今日においては重要な開発項目である。

ここでは、特に環境保全にかかわる技術について述べる。

・ “レス化”技術

中小水力機を中心に、設備の簡素化や運用・保守の省力化のため、圧油レス化、冷却水レス化、ブラシレス化が推進されており、これらの適用範囲拡大を進めている。当社では、更に“ オイルベーパーレス化 ”技術についても技術開発し、製品化した。

発電機軸受油槽からの油霧(オイルベーパー)や漏油により、熱交換器の汚れによる冷却能力低下や温度上昇、機内の汚れによる清掃の手間など保守の煩雑化を招いている。

当社はこの問題を解決するため、刷子シールを開発した。刷子シールは樹脂製の刷子を主軸に直接接触させ、油霧や油滴の漏れを大幅に抑制するもので、漏れや摩耗がほとんどなく、メンテナンスフリーと長寿命化を実現した。発電機のほか、電動機にも取付け可能なため、適用拡大を推進している。

また、水車ガイドベーンやカプラン水車ランナベーンを操作するサーボモータを電動操作化した“ 電動サーボモータ ”の適用も推進しており、いわゆる圧油レスの適用範囲拡大を図っている。圧油レスは、制御油をなくしたことで油流出のおそれを極小化でき、環境保全にも寄与する技術である。

・ 長寿命化技術

土砂を多く含む河川に使用される水車の流水部は摩耗損傷を受け、その結果、性能低下や部位の寿命低下をきたし、頻りに部品を交換する必要がある。当社は超高速フレーム溶射(HP・HVOF : High-Pressure, High-Velocity Oxygen-Fuel)を用いた最適皮膜材料を開発し、耐食・耐摩耗性を大きく向上させている。この表面改質技術は、水車の長寿命化や保守周期の延長に大きく貢献している。

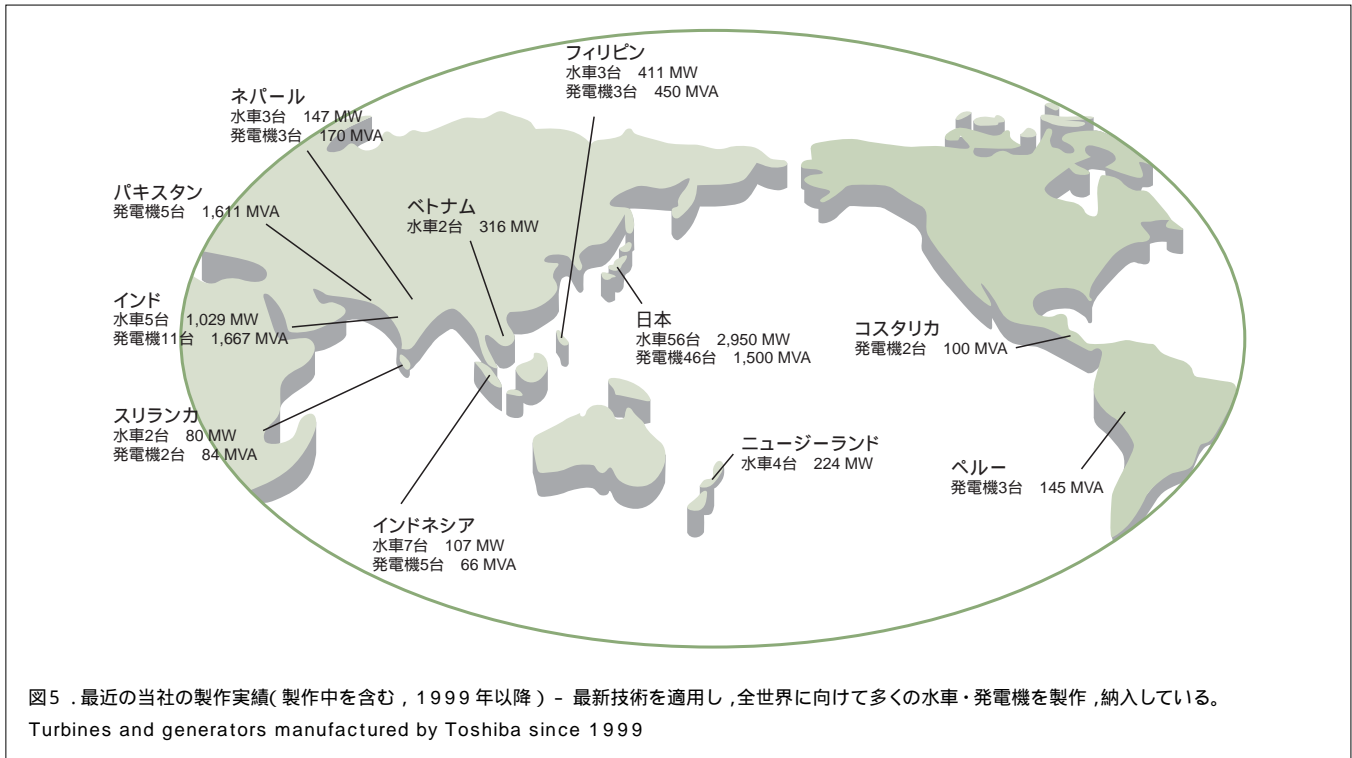
また、新素材軸受は、効率向上施策としてだけでなく、耐摩耗性に優れているため寿命も2倍以上が期待できる。更に、オイルリフタの省略や損失低減による空冷化適用範囲の拡大など、設備の合理化にも寄与する。

長寿命化や設備の簡素化は、資源の有効利用という意味で環境保全に寄与していると言える。

このほか、主機制御を担うAVR(Automatic Voltage Regulator)、ガバナ、シーケンス制御と発電機保護、テレコン(遠隔監視制御装置)までを一体化した一体型制御盤、独自のネットワークコンピューティング端末を用いた状態監視装置などのデジタル制御機器の開発、製品化も行っている。これらを適用することで、設備の簡素化、保守の省力化が期待できる。

■ 水力発電システムのリーディングカンパニーとして

当社は、水力発電に要求される様々なニーズに応え、日本国内のみならず、海外に向けても優れた水力発電機器を提供し続けている。近年の当社の実績を図5に示す。また、海外プロジェクトにおいては、開閉機器などの電気品やクレーン、消火設備といった発電所内付帯設備を一括含めた契約が多い。当社は、ここで述べている技術開発に加え、国際調達力も含めたプラント工



エンジニアリングの強化にも努めている。

水力発電は,国内資源であるという優位性を持ち,かつ地球環境に影響する排出ガスを出さないクリーンな自然エネルギーを利用した発電システムである。エネルギーの持続性,安定供給及び技術的な成熟度など優れた特長を持っている。

国内での新規水力発電開発の計画は中短期的には減少しているが,長期的には一定の割合で増加していくと考えられ,世界市場での水力発電のニーズは衰えていない。当社は,マイクロ水力といった小規模発電から揚水発電所のような大規模発電システムまで,多様なニーズに応えるべく技術開発を続けており,この分野における技術リ-

ダーとして,今後もその役割を担っていく所存である。

文献

- (1) 大河原透, 電力需要の長期展望, 総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会資料 . < http://www.meti.go.jp/policy/electricpower_partialliberalization/page2.html > (参照 2003-03-17) .
- (2) 藤目和哉, 世界の2030年までのエネルギー展望 : World Energy Outlook 2002(国際エネルギー機関著, IEA)の概要(その一)総論 . (財)日本エネルギー経済研究所 . < <http://eneken.ieej.or.jp/data/pdf/584.pdf> > , (参照 2003-03-17) .
- (3) 資源エネルギー庁, 我が国の水力エネルギー量 . < <http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/data/index.html> > (参照 2003-03-17) .
- (4) 山形一郎, ほか . 進化する揚水発電 . 東芝レビュー . 54, 12, 1999, p.34 - 39 .



篠原 朗
SHINOHARA Akira

電力・社会システム社 火力・水力事業部 水カプラント技術部主幹。水力発電プラントのエンジニアリング業務に従事。日本機械学会, 電気学会会員。
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.



森 淳二
MORI Junji

電力・社会システム社 火力・水力事業部 水カプラント技術部主務。水力発電プラントのエンジニアリング業務に従事。
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.