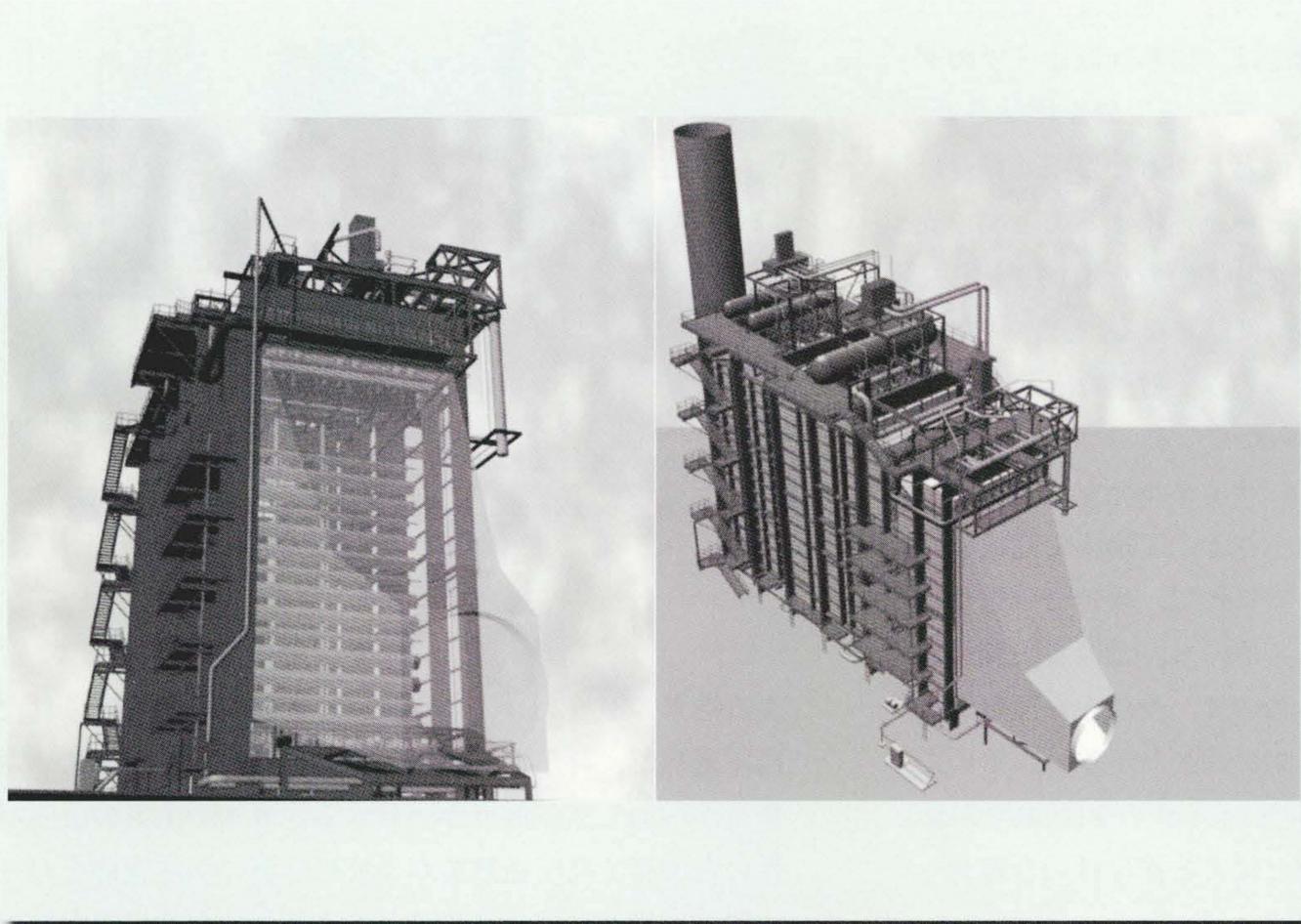


コンバインドサイクル発電用排熱回収ボイラの新技術

—助燃バーナ付き排熱回収ボイラ的设计およびブロック化工法—

State of the Art Heat Recovery Steam Generator for Combined Cycle Power Plant

上 廣 勝 信 Masanobu Uehiro 武 永 和 弘 Kazuhiro Takenaga
早 稲 田 功 Isao Waseda 武 蔵 貢 Mitsugi Musashi



助燃バーナ付き排熱回収ボイラの三次元モデル
排熱回収ボイラ的全景(右)と助燃バーナ設置部分(左)を示す。

高効率で周辺環境にも負担が軽いガスタービン コンバインド サイクル発電は、天然ガスの有効性が認識されるにしたがって世界的に注目を浴びるようになり、新規設備だけでなく、従来型火力からのリプレースにもこの方式が選ばれる傾向にある。

海外、特に米国では、排熱回収ボイラに助燃バーナを設置することにより、電力需要のピーク時に出力を増加できる設備が主流となっている。このような助燃バーナ付き排熱回収ボイラでは、バーナ燃焼の影響を設計段階で十分に考慮する必要がある。

また、現地据付け作業の軽減を目的として、排熱回収ボイラ本体をいくつかのブロックに分割し、その範囲で完成品に近い状態まで組み立てて輸送、現地据付けを行うブロック化工法のニーズが高い。ブロックの輸送に際しては、寸法および質量制限、輸送時の強度などの検討が必要となる。

日立製作所とバブコック日立株式会社は、コンバインドサイクル発電用排熱回収ボイラのニーズに対応するために、技術開発を行ってきた。

1 はじめに

ガスタービン コンバインド サイクル発電は、従来型の火力発電方式よりも熱効率が高く、燃料として主に天然ガスを使用するため、SO_x、ばいじんなどの排出量が少なく、環境への負担が軽い。また、負荷応答性もすぐれており、電力需要のピークに合わせた中間負荷対応運用では、最もすぐれた発電方式の一つと言える。現在

1,300℃級ガスタービンと再熱三重圧蒸気サイクルを組み合わせた発電システムが主流となっており、国内外で数多くのプラントが運転され、計画、建設されている¹⁾。中でも、パイプラインによる天然ガスの安定供給が容易な海外では、この発電設備が好まれる傾向にあり、主要機器の一つである排熱回収ボイラの需要も高まっている。

ここでは、特に計画・建設が目立つ北米用の排熱回収ボイラの、従来と異なる設計上の考慮事項について述べる。

2

海外コンバインドサイクル発電設備の建設動向

海外での発電プラントの出力および運用に対する計画条件は、ユーザーによって多種多様であり、設備の立地条件も大きく異なることから、それぞれの案件に適したシステム構成を選定する必要がある。例えば、米国のコンバインドサイクル発電設備では、排熱回収ボイラのダクト内に助燃バーナを設置し、蒸気発生量を増加させ、蒸気タービンの出力増加を可能としたものが見受けられる。このように、助燃バーナを運用することで、売電価格の高い電力需要のピーク時に出力を増加させるなど、電力需要への柔軟な対応が可能となる。しかし、排熱回収ボイラは、バーナ火炎からのふく射熱など新たに過酷な条件に対応しなければならない。

ガスタービン コンバインド サイクル発電設備はプラントを構成する機器が比較的小さく、工場内で完成に近い段階まで組み立てて輸送することで、現地での据付け作業を軽減することができる。他の大容量発電設備に比べて短時間で運用を開始できるので、受注から運転開始まで約2年といった短納期プロジェクトが多い。そのため、機器の中で最も大きな排熱回収ボイラについては、伝熱管パネルのブロック化などによる据付けの合理化への要求が高い。

3

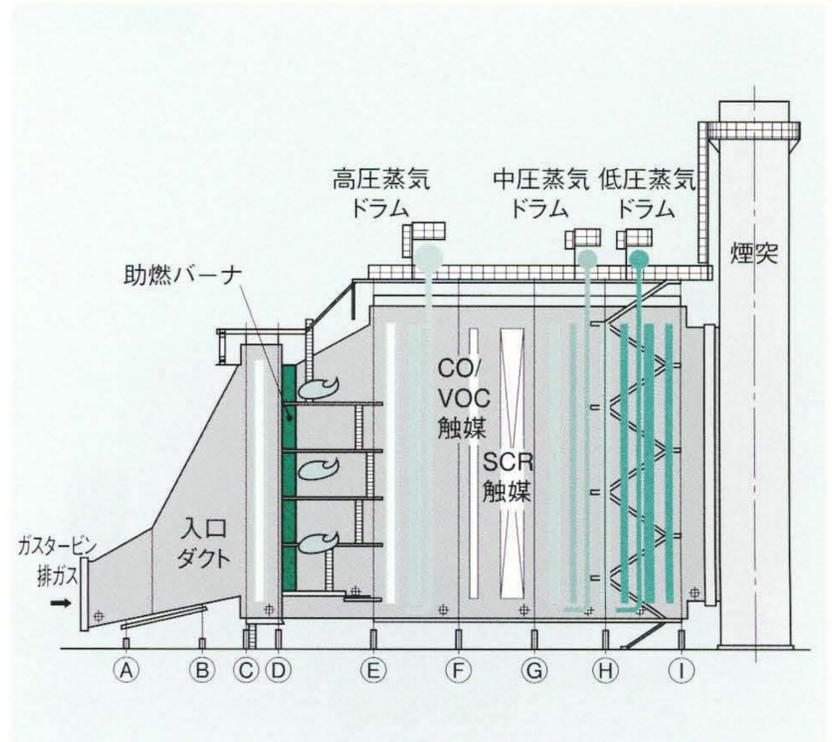
助燃バーナ付き排熱回収ボイラの設計

先に述べたように、米国などでの排熱回収ボイラには助燃バーナ設置を要求される場合が多い。助燃バーナ設置による、設計上の考慮事項について以下に示す。

3.1 助燃バーナの設置場所

助燃時での良好な燃焼と効果的な蒸発量増加を実現するためには、助燃バーナの設置場所が重要となる。典型的な助燃バーナ付き排熱回収ボイラの側面を図1に示す。

助燃バーナは入口ダクトの中間に設置し、その前流には高圧過熱器、再熱器管群の一部が設置されている。これらの管群により、ガスタービンからの排ガスが整流されてバーナ部に送られるため、バーナ後流部での排ガス温度偏差が小さく、バーナからのNO_x、COの排出量が少ない安定した燃焼状態が得られる。また、助燃バーナの火炎が伝熱管群に接触することがないように、バーナ後流部に5~7mの燃焼領域を設ける必要があるが、入口ダクトの一部をバーナ燃焼域とすることで、排熱回収ボイラ全体の長さを短縮することができる。助燃バーナに



注：略語説明 CO/VOC (Carbon Monoxide/Volatile Organic Compound)
SCR (Selective Catalytic Reduction System)

図1 助燃バーナ付き再熱三重圧排熱回収ボイラの側面

助燃バーナは、入口ダクトの中間に設置されている。

よる排ガス温度上昇により、バーナ後流部に設置された高圧過熱器、再熱器、高圧蒸発器の熱吸収量が増え、蒸発量が増加し蒸気温度が上昇する。ガスや蒸気の温度特性に合わせて高圧過熱器および再熱器の伝熱管群をバーナ前後で最適に配分することにより、助燃時に過大な減温水を注入することなく蒸気量を増加させることが可能となる。

3.2 助燃バーナによるふく射熱対策

助燃バーナ後流側のダクト、伝熱管群の設置にあたっては、バーナ入熱による温度上昇だけでなく、火炎の長

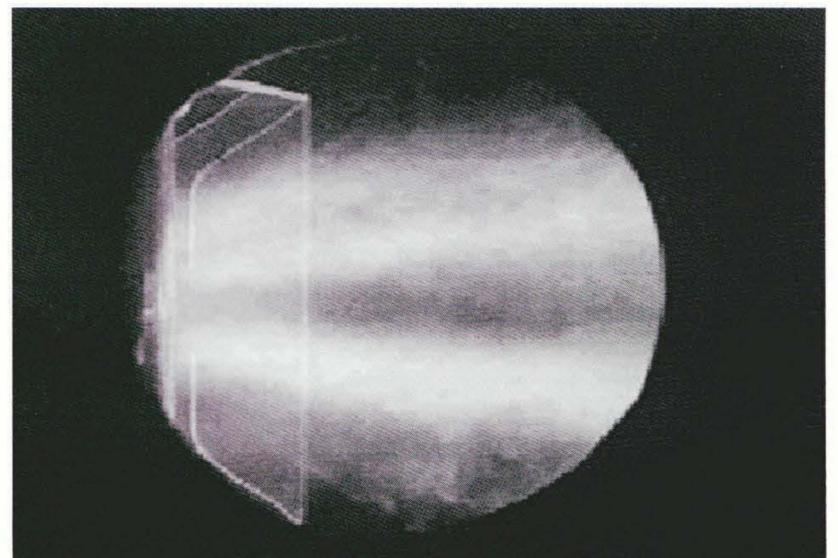
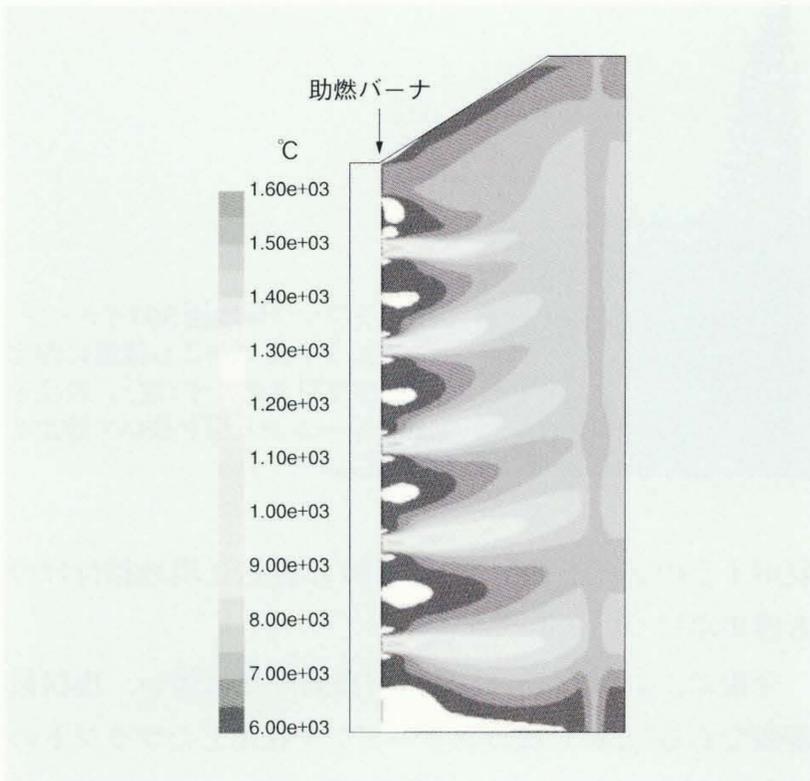


図2 燃焼試験中の助燃バーナ

助燃バーナ燃焼試験により、ガス温度分布、ふく射量などを測定し、実機の設計に反映した。



注：略語説明 CFD(Computational Fluid Dynamics)

図3 助燃バーナ後流排ガス温度分布(側面)

助燃バーナ後流側の排ガス温度分布についてCFD解析を行った結果を示す。

さ、ガス温度分布、火炎からのふく射熱による局所的な温度上昇などを考慮する必要がある。そのため、助燃バーナの燃焼試験やCFD(Computational Fluid Dynamics)解析などを行っている。

燃焼試験中の助燃バーナを図2に、コンピュータによる助燃バーナ後流排ガス温度分布のCFD解析結果を図3にそれぞれ示す。これらの試験・解析結果をベースにダクト内面のライナ材質や伝熱管仕様の検討を行い、ライナ材質としてはSUS304またはSUS309を選定し、バーナ後流の管群に裸管を用いるなどの対応を図っている。

4 ブロック化工法と輸送

4.1 ブロック化工法

ブロック化工法とは、排熱回収ボイラをいくつかのブロックに分け、そのブロック範囲に含まれる製品をあらかじめ製作工場で完成品に近い状態に組み立て、現地にブロック単位で搬入し据え付ける工法である。

ブロック化工法の利点は、現地据付け作業の軽減、据付け費用の低減である。国内の火力発電所建設では、建設地が海岸にあるため、大型ブロックをバージ船によって輸送し、水切りしやすいことから広く実施されている。

日立製作所とバブコック日立株式会社は、排熱回収ボイラをガス流れ方向に2分割し、質量最大約1,800 tの大型ブロック化を実施した実績を持つ。

上記の利点から、輸出製品でも米国など人件費が高い地域では、ブロック化のニーズが強い。しかし、輸出製品では外洋での海上輸送に加え、貨車およびトレーラでの内陸輸送などの制約があるので、国内並みの大型化は難しい。そのため、プラントごとの製品仕様や輸送制限に対する顧客の要求に合わせたブロック化工法を実施している。

4.2 ブロックサイズ

輸出製品については、据付け地点までの内陸輸送制限を考慮してブロックのサイズを決定している。例えば1,300℃級ガスタービンコンバインドサイクル用排熱回収ボイラは、伝熱管パネルを炉幅方向に2または3ブロックに分割し、ガスの流れ方向については伝熱管群の配置と輸送制限により、6~12ブロックに分割して輸送している。

伝熱管パネルブロックは、製品サイズが長さ約26 m、幅約3~4.5 m、高さ1.5~4 m、質量が最大約180 tとなり、そのまま据付け地点まで輸送される。

伝熱管パネルブロックには、フィン付き伝熱管パネルが3~8パネル、パネルに接続する連絡管などの圧力部品、パネルの支持梁(はり)や支持部品、ケーシング、保温材などの非圧部品が完成品の寸法で組み込まれ、輸送のときはこれを輸送フレームで固定してブロック化する(図4参照)。

排熱回収ボイラの伝熱管パネルは、上部ケーシングに設置する支持梁だけで吊り下げて支持する構造にしているため、輸送時は伝熱管パネルを輸送フレームに固定する必要がある。また、輸送時の揺れに対する輸送フレ

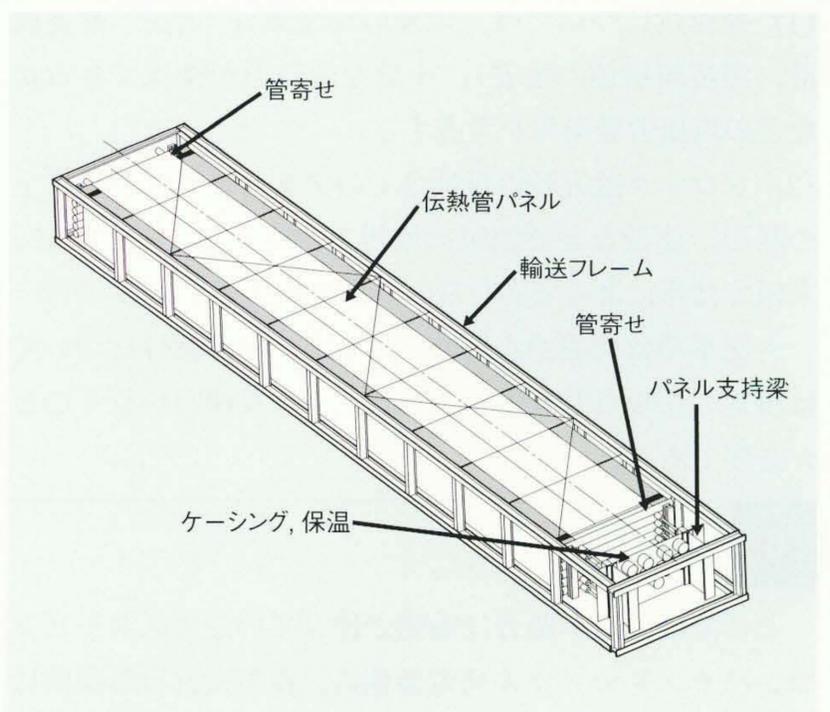


図4 伝熱管パネルブロック

伝熱管パネル、パネル支持梁を組み込み、輸送フレームで固定する。

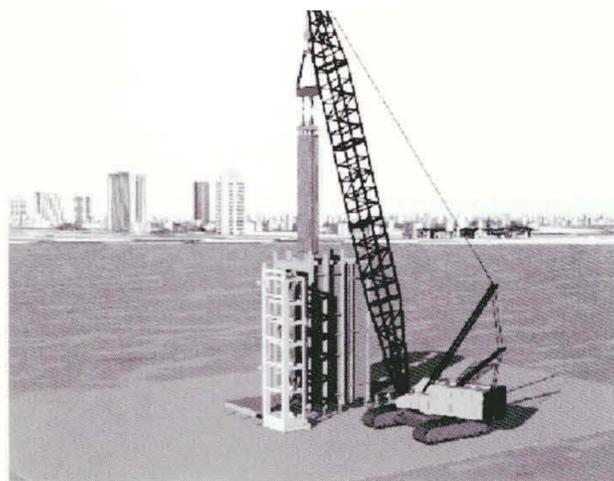
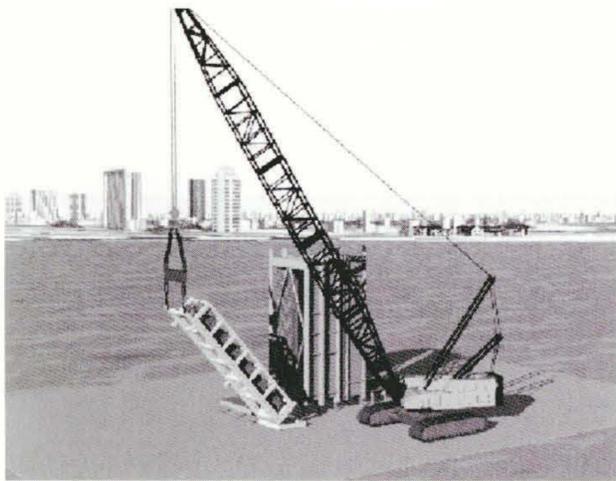


図5 ブロック現地据付けイメージ
ブロックを立て起こし装置に固定し、重機で引き起こす(左)。製品を輸送フレームから引き抜いて設定を行う(右)。

ムの強度検討が重要となる。

4.3 ブロック化工法による現地据付け

建設現地に到着したブロックは、立て起こし装置に固定された後、重機によって引き起こされる。起き上がった状態で製品ブロックだけを吊り上げ、輸送フレームと分離する。現地ではあらかじめ側面のケーシング、上部の大梁を組んでおき、上部から製品を挿入して設定を行う。設定は、ブロック側の支持梁を現地組立の大梁にボルトで接合した後、ケーシングの接合を行う(図5参照)。

すべてのブロックを設定後、上部に配置するドラム、歩道ブロック、配管スキッドを順次吊り上げて設定していく。

このブロック化工法を実施することにより、炉内上部での高所作業がなくなるほか、足場の設置、解体作業も不要となり、工期の短縮にもつながる。

5 海外現地据付けに対する考慮事項

海外現地での据付けについては、以下のことを考慮する。

(1) 据付けについては、現地の環境条件(気候、耐震設計、環境規制値、治安)、十分な労働力が確保できるかなどの現地労働条件を考慮する。

(2) ブロック搬入時の現地までのアクセス方法、輸送上の制限、建設など許認可の取得方法を考慮する。特に、米国では州によって異なるので注意が必要である。

上記事項は代表的なものであるが、海外案件については現地の法規などもよく調査し、十分な検討を行うことが必要である。

6 おわりに

ここでは、近年顕著に需要が伸びているガスタービンコンバインドサイクル発電設備の、海外における動向について述べた。また、米国では主流となっている助燃付き排熱回収ボイラに関する設計の概要、さらには排熱回

収ボイラのブロック化工法に関する輸送と現地据付けの考慮事項について述べた。

今後は、コンバインド発電の高効率化に伴い、現状最新鋭である1,500℃級ガスタービンを採用したプラントの需要も高まってくるものと考えられる。

日立製作所とバブコック日立株式会社は、こうしたさまざまな需要に迅速に対応できるように、これまでの成果を生かして計画から据付け・試運転までの工程を合理化し、信頼性の高い製品を供給していく考えである。

参考文献

- 1) 川内, 外: アドバンスドコンバインド発電プラント, 日立評論, 79, 3, 247~254(1997. 3)

執筆者紹介



上 廣 勝 信

1998年バブコック日立株式会社入社, 呉事業所 火力設計部所属
現在, 排熱回収ボイラ基本計画業務に従事
E-mail: uehiro-m@kure.bhk.co.jp



早 稲 田 功

1996年バブコック日立株式会社入社, 呉事業所 火力設計部所属
現在, 排熱回収ボイラ本体計画業務に従事
E-mail: waseda-I@kure.bhk.co.jp



武 永 和 弘

1992年バブコック日立株式会社入社, 呉事業所 火力設計部所属
現在, 排熱回収ボイラ基本計画業務に従事
E-mail: takenaga@kure.bhk.co.jp



武 蔵 貢

1970年バブコック日立株式会社入社, 呉事業所 火力設計部所属
現在, 排熱回収ボイラ基本計画業務に従事
E-mail: musasi@kure.bhk.co.jp