

様々な排ガス源に対応可能なCO₂分離回収技術

Carbon Dioxide Capture Technology Applicable to Various Emitters of Flue Gas

北村 英夫 KITAMURA Hideo

地球温暖化対策の一つとして、火力発電所などの燃焼排ガスに含まれる二酸化炭素(CO₂)を分離回収して地中に隔離・貯留するCCS(Carbon Dioxide Capture and Storage)が注目されており、近年は産業分野からのCO₂排出への対策という点でも、必要性が広く認識されつつある。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、CO₂分離回収技術の開発と実用化に向けて、化学吸収法による燃焼後回収方式を用いたパイロットプラントを(株)シグマパワー有明 三川発電所内に設置し、性能の検証や、運転性・運用性・保守性について評価を実施してきた。得られた知見を基に、清掃工場の排ガスからCO₂を分離回収するプラントを佐賀市に納入した。また、発電所の排ガスから500 t/日以上CO₂を分離回収できる大規模実証設備の建設も進めており、CCSの実現に貢献する。

As a countermeasure against global warming, attention has been focused in recent years on carbon dioxide capture and storage (CCS) technologies that can separate and capture carbon dioxide (CO₂) in flue gas emitted from various sources, including not only thermal power plants but also industrial sites, and isolate and store such CO₂ underground.

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has been engaged in the development of a post-combustion capture method using chemical absorption and has been verifying the performance of this method, as well as its usability, operability, and maintainability, at a pilot carbon capture facility constructed at the Mikawa Power Plant of Sigma Power Ariake Co., Ltd. Based on the knowledge accumulated through these efforts, we have installed a carbon capture system capable of stably separating and capturing CO₂ from flue gas at a waste incineration plant in Saga City. We are also engaged in the construction of a large-scale carbon capture demonstration facility capable of capturing more than 500 tons of CO₂ per day in the flue gas emitted from thermal power generation, aimed at the practical realization of CCS technologies.

1. まえがき

地球温暖化への対策として、火力発電所や産業分野で発生する排ガスに含まれるCO₂を、分離回収して地中に隔離・貯留するCCS(Carbon Dioxide Capture and Storage)の早期実現が期待されている。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、CCSで重要な役割を果たすCO₂分離回収技術の開発と実用化を進めている。ここでは、CO₂分離回収技術の開発、及び佐賀市清掃工場に納入したCO₂分離回収プラントや環境省委託事業の一環として実施しているCO₂分離回収実証設備の建設について述べる。

2. CO₂分離回収技術の開発

火力発電所を対象とするCO₂分離回収技術は、燃焼後回収方式、酸素燃焼方式、及び燃焼前回収方式の三つに大別される(図1)。燃焼後回収方式は、煙突手前の排ガスからCO₂を回収する。酸素燃焼方式は、空気分離設備で空気から酸素だけを取り出してボイラーで燃焼させ、この

とき排ガスの大半がCO₂と水分となるため、これを冷却してCO₂を分離する。燃焼前回収方式は、主としてIGCC(Integrated Gasification Combined Cycle:石炭ガス化複合発電)に適用することを前提としたものであり、石炭をガス化した合成ガス中の一酸化炭素を水蒸気と反応させてCO₂と水素に改質し、CO₂を回収するものである。CO₂回収後のガスは、ガスタービンに供給して発電に利用する。

当社は、これらの方式のうち燃焼後回収方式を採用している。この方式には、排ガス発生源が新設と既設の双方に対して適用できる、火力発電所や産業分野に幅広く適用できる、排ガス中CO₂の一部分だけを回収できるといった柔軟な運用が可能である、などの多くの利点がある。

2.1 化学吸収法による燃焼後回収方式

燃焼後回収方式には幾つかの種類があるが、CO₂濃度が比較的低く、常圧の排ガスからの回収に適した化学吸収法を採用し、主に、CO₂と選択的に反応し吸収するアミン系吸収液を用いている。

化学吸収法のフローを図2(a)に示す。CO₂を含んだ排ガスは、吸収塔下部から導入され、吸収液は上部から供給さ

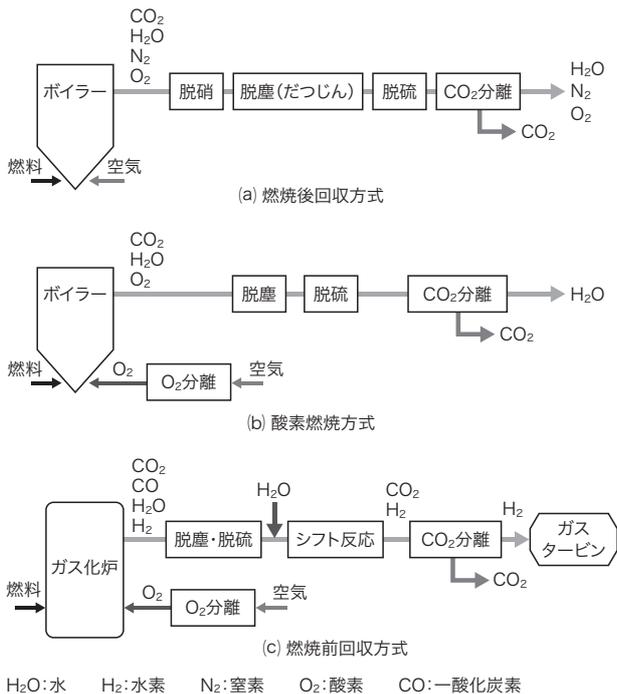


図1. 火力発電向けのCO₂分離回収技術の比較

燃焼後回収方式、酸素燃焼方式、及び燃焼前回収方式の三つに大別される。
Comparison of CO₂ capture technologies applied to thermal power plants

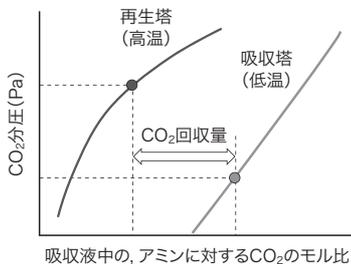
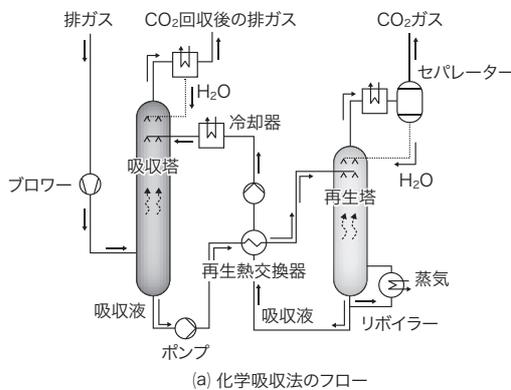


図2. 化学吸収法によるCO₂分離回収フロー及びアミン系吸収液の特性

吸収液がCO₂分離回収システム内を循環し、吸収塔でCO₂吸収反応、再生塔でCO₂放出反応が、連続的に発生する。

Flow diagram of CO₂ capture system and characteristics of amine solvent

れる。このため、塔内では対向流として両者が気液接触し、低温でCO₂を吸収するアミン系吸収液の特性により、CO₂が気相から液相に移行する。CO₂を含んだ吸収液は、途中の再生熱交換器で昇温され、再生塔に移送される。

再生塔では、高温で放出反応が起こるアミン系吸収液の特性により、CO₂が液相から気相に移行する(図2(b))。この反応は吸熱反応なので、反応熱を供給し続けるために蒸気などの熱源が必要なため、リボイラーという熱交換器を介して蒸気から吸収液に熱伝達を行う。CO₂を放出した吸収液は、再生熱交換器で冷却されて吸収塔に送られる。

このように、吸収液はプラント内を循環し、CO₂の分離回収を連続的に行う。回収したCO₂は冷却後に再生塔上部から送出されるが、用途に応じて脱水などの後処理を実施することも可能である。

2.2 開発・検証・適用のフロー

CO₂分離回収技術の開発・検証・適用のフローを、図3に示す。

CO₂分離回収プラントには、低エネルギー消費や、機器のコンパクト化、低コスト化などの要求がある。CO₂分離回収プラントでは、吸収塔、再生塔、再生熱交換器、及びリボイラーの四つが主要機器であり、主要機器やプロセスの最適設計、及び吸収液の性能向上により、これらの要求に応える。

図3のフローでは、ラボスケールからベンチスケール、更にはパイロットスケールへと、プロセスシミュレーションや数値流体解析を適宜活用しながらスケールアップし、得られた知見を反映して実機規模のプラントの設計を行う。このスケールアップの中で特に重要なのは、福岡県大牟田市にある(株)シグマパワー有明三川発電所(出力50 MW)内に設置したパイロットプラント(図4)を用いた検証である。

このパイロットプラントは、2009年に同発電所内に設置したものであり、発電所の排ガスの一部を処理して10 t/日のCO₂を分離回収する能力がある。このパイロットプラントを用いて、システム性能や、実排ガスの状態や含有される不純物が吸収液の性能などに及ぼす影響、運転性・運用性・保守性などを検証し、その結果を実機規模のプラントに適用している⁽¹⁾。

例えば、再生塔で反応に必要な熱を供給するために、一般的には発電用蒸気の一部を抽気して熱源として用いるが、処理する排ガス量が膨大なので必要な供給熱量も非常に大きく、発電効率を低下させる原因となる。これを抑制するために、反応熱の小さい吸収液を開発するとともに、熱回収プロセスの採用や再生熱交換器の最適設計によって、プラント内での回収熱量の増加を図っている。

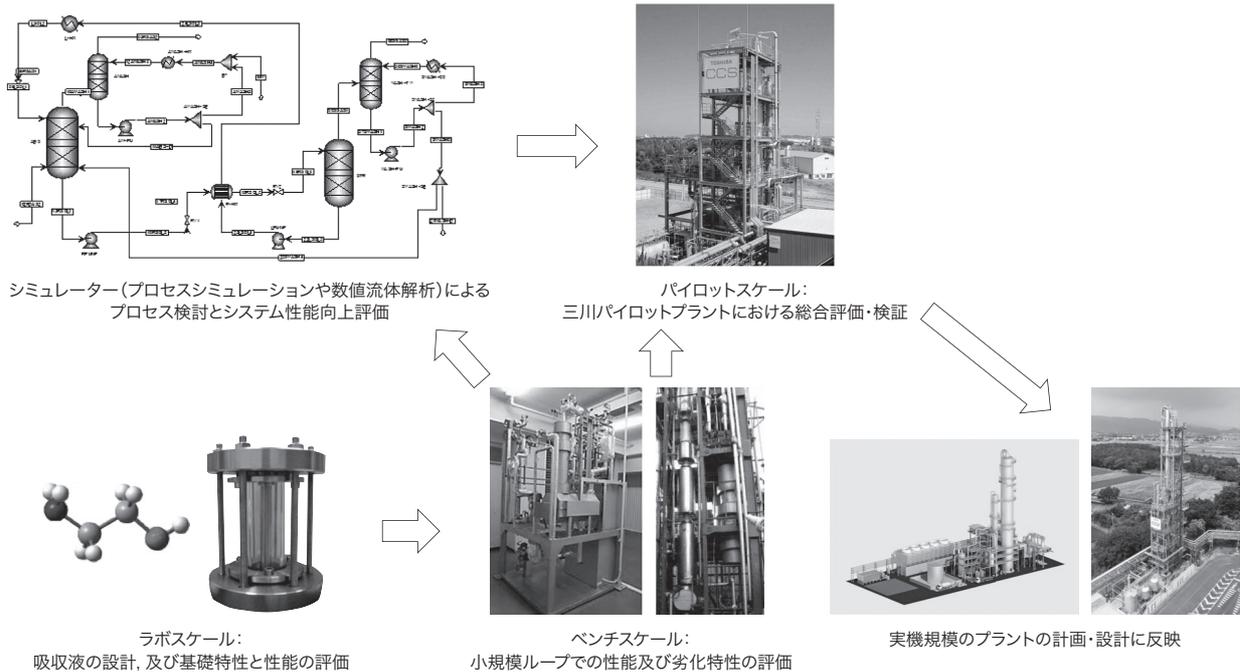


図3. CO₂分離回収技術の開発・検証・適用フロー

三川パイロットプラントでの検証を経て、開発した技術を実機規模のプラントに展開する。

Flow of processes for development, verification, and application of CO₂ capture technologies

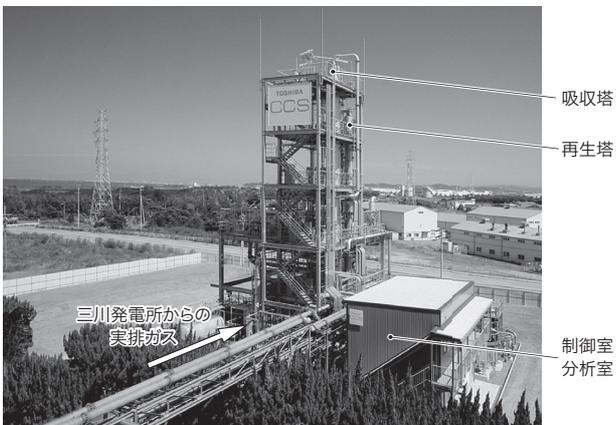


図4. 三川パイロットプラント

システム性能の検証や、実排ガスが吸収液の性能などに及ぼす影響の検証、運転性・運用性・保守性などについて検証を行う。

Pilot carbon capture facility at Mikawa Power Plant

また、アミン系吸収液を用いた化学吸収法では、吸収塔から大気へ排出されるCO₂回収後のガスに吸収液由来の微量のアミン成分が含まれ、これが環境に影響を与える可能性が指摘されており、CO₂回収後のガスの実態調査及びアミン成分を削減する技術の開発を進めている。

図5にこの調査の一例を示す。これは、吸収液としてモノエタノールアミン(MEA)水溶液を用いた三川パイロット

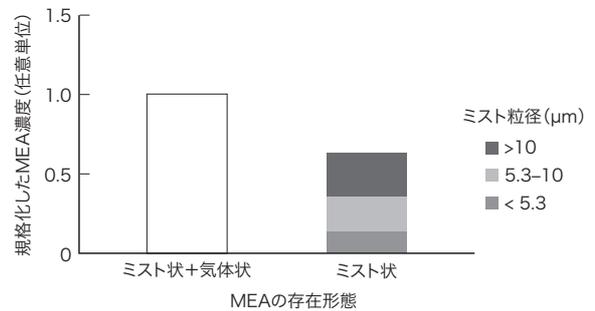


図5. 吸収塔出口のCO₂回収後のガスに含まれるMEAの存在形態

MEAの存在形態は、ミスト状と気体状の2種類が存在し、ミスト状のものが1/2以上を占める。

States of monoethanolamine (MEA) in flue gas at outlet of absorber

ラント試験において、吸収塔出口のCO₂回収後のガスに含まれるMEA濃度を示したものである。アミンの存在形態としては、ミスト状と気体状の2種類があるが、ミスト状の割合が全体の1/2以上を占め、また、ミスト状の中では粒径10 μm以下のものが1/2以上を占めることが分かる。ただし、これらの割合は、吸収液の種類や吸収塔入り口排ガスの性状に依存する。

このように、除去が難しい、微細なミスト状のアミンが少なからず含まれる場合があることが明らかになり、これに対応した削減技術の開発を進めている。

3. 佐賀市清掃工場のCO₂分離回収プラント

化学吸収法により分離回収したCO₂を隔離・貯留するだけでなく、有効利用する方法もあり、これをCCU (Carbon Dioxide Capture and Utilization)と呼ぶ。当社は、清掃工場の排ガスに含まれるCO₂の有効活用を検討するための佐賀市の「清掃工場バイオマス利活用促進事業」に参画し、2013年10月に、CO₂回収量が10～20 kg/日の小型実験プラントを、佐賀市清掃工場に納入した⁽²⁾(図6)。

佐賀市の清掃工場での運用を通じて、回収したCO₂の純度が高く、農業向けなどに提供可能であることが分かった。一方で、清掃工場の排ガスは、これまで当社が取り扱ってきた火力発電所の排ガスとは異なる成分を含有している。特に、ごみの中の塩化物由来の塩化水素(HCl)が、排出基準値内ではあるが数十mg/Nm³(注1)の濃度で含まれるため、吸収液劣化対策だけでなくプラント構成部材の腐食対策が必要になることが分かった。また、火力発電所とは異なり、排ガス中のCO₂濃度の変動が非常に大きいことも明らかになった。

この小型実験プラントの運用で得られた知見と、種々の濃度のCO₂含有排ガスをテストできる三川パイロットプラントでの知見とを組み合わせることで、清掃工場の排ガスから一定量のCO₂を安定して分離回収できる見通しが得られた。佐賀市の提案は、環境省の「二酸化炭素回収機能付き廃棄物発電検討事業」に採択され、また、当社は佐賀市の公募に対して回収量10 t/日のCO₂分離回収プラントを提案し、これを受注した。

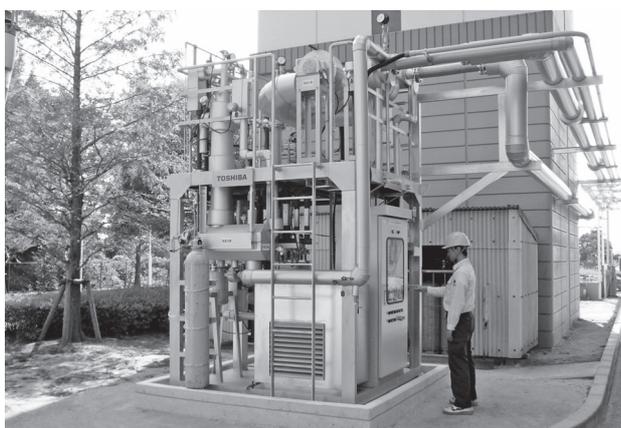


図6. 小型実験プラント(佐賀市清掃工場内)

2013年10月に納入したプラントで、CO₂回収量は10～20 kg/日である。

Small pilot and test system at Saga waste incineration plant

(注1) Nm³は0℃、1気圧の状態に換算した体積。

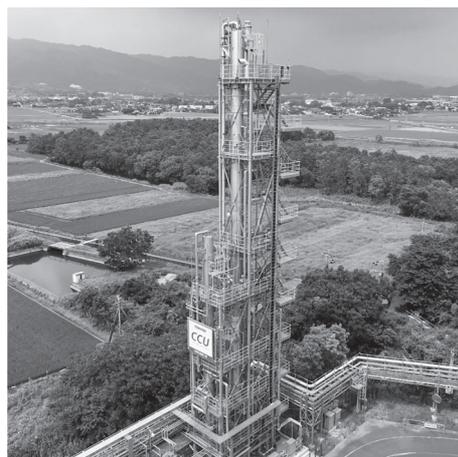


図7. CO₂分離回収プラント(佐賀市清掃工場内)

CO₂回収量は10 t/日であり、2016年8月に稼働を開始した。

CO₂ capture system at Saga waste incineration plant

2016年8月から稼働を始めたこのプラントは、清掃工場で商用利用される世界初⁽³⁾のCO₂分離回収プラントであり、回収したCO₂は藻類の培養などに活用するために、佐賀市が事業者売却している。

図7にこのプラントの外観を示す。主に排ガス中のHClを除去する排ガス前処理設備、CO₂を分離回収するCO₂分離回収設備、及び圧縮したCO₂を貯蔵して適宜必要量を需要家に供給するCO₂貯留設備から構成される。清掃工場からは、排ガスに加えて蒸気の供給を受けて、吸収液のCO₂放出反応に必要な熱量を確保している。

4. CO₂分離回収実証設備

現在、当社は三川発電所の隣接地に、発電所の排ガスから500 t/日以上CO₂を分離回収する大規模実証設備を建設中である。

これは、環境省の「環境配慮型CCS実証事業」として、みずほ情報総研(株)を取りまとめ機関とする複数の法人で採択された事業の一環であり、CO₂分離回収実証設備の設計・建設を当社が担当している⁽⁴⁾。

この実証設備の特徴は、以下の2点である。

まず、回収するCO₂の量が、火力発電所から排出されるCO₂量の50%以上にあたることであり、これは、世界的にも数少ない高い値である。このような高い回収率でCO₂を分離回収する際は、必然的に大量の発電用蒸気を抽気することになり、火力発電システムの発電効率などへの影響が大きい。そこで、この実証事業では、火力発電の定常運転だけでなく、将来、再生可能エネルギーが大量導入されたときに、火力発電所に頻繁に要求されるであろう出力変動

運転時における、発電システムへの影響を検証することも目的の一つとしている。

次の特徴は、三川発電所は、石炭だけではなくパームやし殻 (Palm Kernel Shell) を主燃料としたバイオマス発電に対応する設備であり、実証設備の完成時には、世界に先駆けた実用規模のCO₂分離回収設備付設のバイオマス発電所となる予定である。

化石燃料である石炭の燃焼に伴って発生するCO₂を分離回収して貯留することは、地中に存在していた炭素成分を気相中に開放し、これを回収して地中に戻すことになるので、炭素循環の観点から見ると“カーボンニュートラル”になると考えられる。一方、大気中のCO₂を光合成で固定化したバイオマスを燃焼し、これに伴って発生するCO₂を分離回収して貯留すれば、大気中に存在していた炭素成分を地中に隔離することになるので、炭素循環の観点からは“カーボンネガティブ”となり、大気中のCO₂量を削減できることになる。

後者の手法はBECCS (Bio-Energy with CCS) と呼ばれ、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) が発行した第5次評価報告書では、地球温暖化抑制のために重要な役割を果たせる技術の一つとして位置付けられている。

この実証設備の完成予想図を図8に示す。

実証設備の設計では、三川パイロットプラントや佐賀市清掃工場向けCO₂分離回収プラントで得られた知見を、十分に反映している。機器の納入・据え付け・試運転を経て、2020年に実証運転を開始し、技術や、性能、コストなど

の評価を行う予定である。また、環境影響も評価項目に挙げており、三川パイロットプラントで開発したアミン成分排出抑制技術を組み込み、この効果も検証する予定である。

5. あとがき

CO₂分離回収技術の開発と実用化に関する当社の取り組みを述べた。地球温暖化を抑制するには、火力発電所から排出されるCO₂を大気中から隔離することはもちろん、産業分野で排出されるCO₂への対策についても、その必要性が広く認識されつつある⁵⁾。

当社が採用している化学吸収法による燃焼後回収方式は、その適用範囲の広さと技術成熟度の高さから、これらのCO₂排出源に好適であり、大規模CCSの早期の実現に向けて開発・実証を進めていく。

文献

- (1) 北村 英夫 ほか. 石炭火力発電所排ガスからのCO₂分離回収パイロットプラント試験. 東芝レビュー. 2010, 65, 8, p.31-34.
- (2) 東芝. “佐賀市発で世界初 最先端のCO₂分離回収プラント”. Toshiba Clip. <<https://www.toshiba-clip.com/detail/3646>>, (参照2019-02-12).
- (3) 東芝. “佐賀市清掃工場向け二酸化炭素分離回収プラントが稼働を開始”. ニュースリリース. <http://www.toshiba.co.jp/about/press/2016_08/pr_j1001.htm>, (参照2019-02-12).
- (4) 東芝エネルギーシステムズ. “大規模CO₂分離・回収実証設備の起工について”. プレスリリース&ニュース. <https://www.toshiba-energy.com/info/info2017_1215.htm>, (参照2019-02-12).
- (5) Global CCS Institute. The Global Status of CCS: 2017. Australia, 2017, 82p. <<https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2017/12/2017-Global-Status-Report.pdf>>, (accessed 2019-02-12).

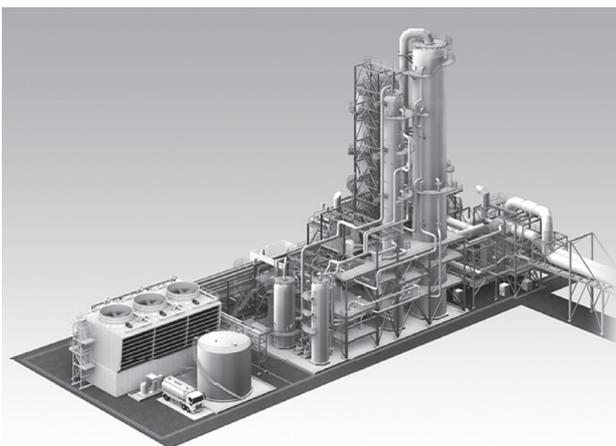


図8. CO₂分離回収実証設備の完成予想図

環境省「環境配慮型CCS実証事業」の一環で、CO₂回収量が500 t/日以上以上の設備として三川発電所の隣接地に建設中であり、2020年に実証運転を開始する予定である。

Rendering of large-scale carbon capture demonstration facility at Mikawa Power Plant



北村 英夫 KITAMURA Hideo
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 火力サービス技術部
化学工学会会員
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.