省電力送風装置（流動タービン）を用いた下水汚泥焼却設備

愛知県
建設局下水道課
担当課長　山口 泰志

日本下水道事業団
技術開発室
主任研究員　村岡 正季

メタウォーター株式会社
R&Dセンター 資源再生技術開発部
部長　小関 泰志

株式会社クボタ
水循環プラント設計部
坂田 晃治

1．はじめに

下水汚泥については、1996年の下水道法改正により設けられた汚泥減量化の努力義務や、埋立処分地の不足による汚泥処分費の高騰などを受けて、その減量化・安定化を目的とした汚泥焼却設備が建設され、その設備の約９割は焼却炉の圧力が負圧の流動床炉が採用されている。

流動床炉の下部には砂層と呼ばれる珪砂が充填された層がある。砂層下部より燃焼空気を供給して砂層を流動化させることで、脱水汚泥は高温の珪砂粒子と効率的に接触されながら焼却処理される。一方、砂層の流動状態を安定維持するために、流動ブロワ（送風機）では、炉の入口で20～25kPa以上の送風圧力が必要となるため、流動ブロワの消費電力量は焼却設備全体の中で最も多く、約４割を占める。焼却設備の省電力化のために、流動ブロワの消費電力削減が長年の課題となっていた。

また、世界的な潮流である脱炭素社会の実現に向けて、下水処理場の脱炭素化を要求される中、全国の下水処理場に設置されている焼却設備の省電力化は重要な課題である。

このような背景のもと、愛知県、日本下水道事業団、メタウォーター株式会社、株式会社クボタは、2018年度から2021年度にわたり、炉内を負圧にして運転する流動床炉の安全性をそのままに流動ブロワの消費電力を削減することを目的に、過給機を用いた省電力送風装置（以下、「流動タービン」という）に関する共同研究を実施した。

2．装置の概要

本装置は、焼却炉の圧力が負圧の流動床炉に流動タービンが組み込まれた下水汚泥焼却設備である。流動床炉への燃焼空気経路に流動ブロワと「過給機」を直列に配置し、送風に必要な負荷を焼却排ガスの熱エネルギーで駆動する過給機が担うことで、流動ブロワ消費電力を削減する。

図１に焼却設備の概略フローを示す。燃焼空気は、まず空気予熱器（熱交換器）に流入する前に「コンプレッサ」で加圧され、さらに空気予熱器において燃焼排ガスの熱エネルギーで加熱される。そして、高温高圧となった燃焼空気は「タービン」を駆動した後に、流動床炉へ送風される。過給機は熱エネルギーで駆動されるため、送風に必要な負荷を過給機で負担した分だけ、流動ブロワが必要としていた電力を削減することができる。

図２に燃焼空気経路の圧力挙動を示す。燃焼空気は、コンプレッサで加圧された後にタービンで減圧する。過給機入口（＝コンプレッサ入口）より過給機出口（＝タービン出口）の圧力が上昇した分だけ、過給機の効果で流動ブロワの負荷を軽減して、消費電力を削減する。

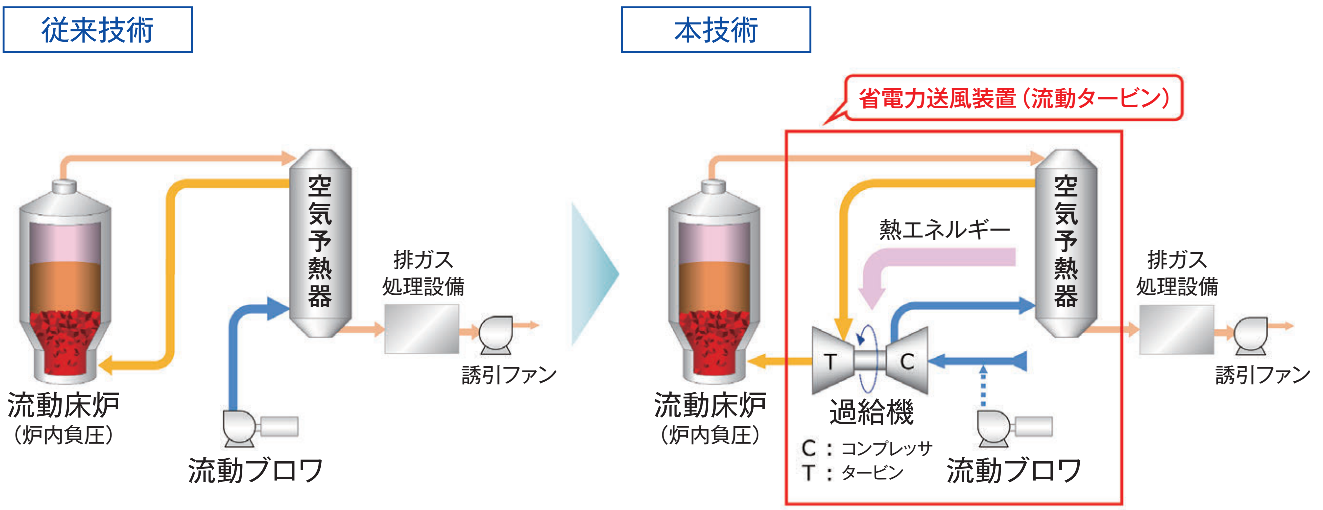


図１　省電力送風装置（流動タービン）を用いた下水汚泥焼却設備

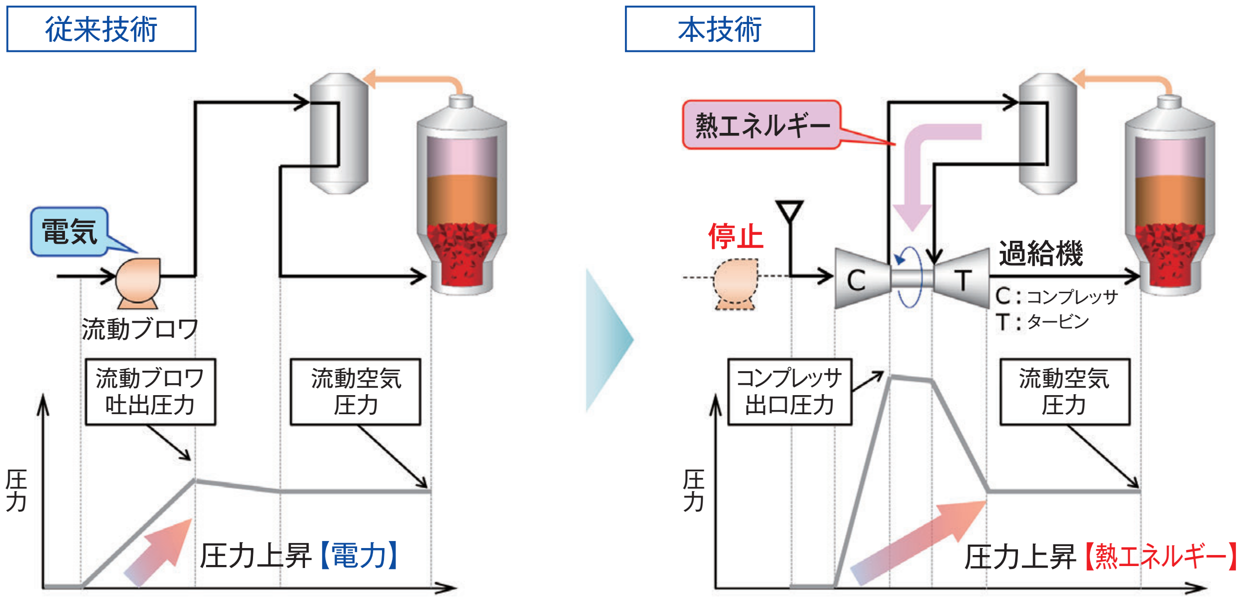


図２　燃焼空気経路の圧力挙動

流動タービンは、焼却排ガスから回収した熱エネルギー量に応じて、２種類の運転制御方法を自動的に切替える（図３参照）。熱エネルギー量が少ない場合、過給機と流動ブロワを併用して、過給機での「増圧」分に対して流動ブロワで不足分を補い燃焼空気量を調整する。インバータによって流動ブロワの出力を抑えた分だけ省電力を図ることができる。過給機と流動ブロワを併用して運転する状態を「アシスト運転」と称する。熱エネルギー量が増加し、流動ブロワの補助を必要としない状態になると、過給機単独で送風する。その場合、タービンをバイパスする高圧空気の量を制御して、燃焼空気量を調整する。このとき、流動ブロワを停止しているので、より一層の省電力を図ることができる。過給機単独で運転する状態を「自立運転」と称する。この運転モードの切り替えを自動制御することにより安定的な燃焼空気の供給が可能となる。

3．独創性

⑴　流動床炉の安全性をそのままに焼却設備の消費電力を削減

流動タービンを用いた焼却設備は、流動床炉や排ガス経路は負圧のままで、焼却排ガスから回収した熱エネルギーで過給機を駆動して流動ブロワの消費電力を削減するため、流動床炉の安全性はそのままに焼却設備の省エネを図るものである。流動床炉や排ガス経路の圧力は従来どおり負圧で運転することができるため、排ガスの漏れ出しリスクがなく、また、過給機は従来の燃焼空気経路に設置しクリーンな空気で過給機を回転させるため、故障リスクが低い。

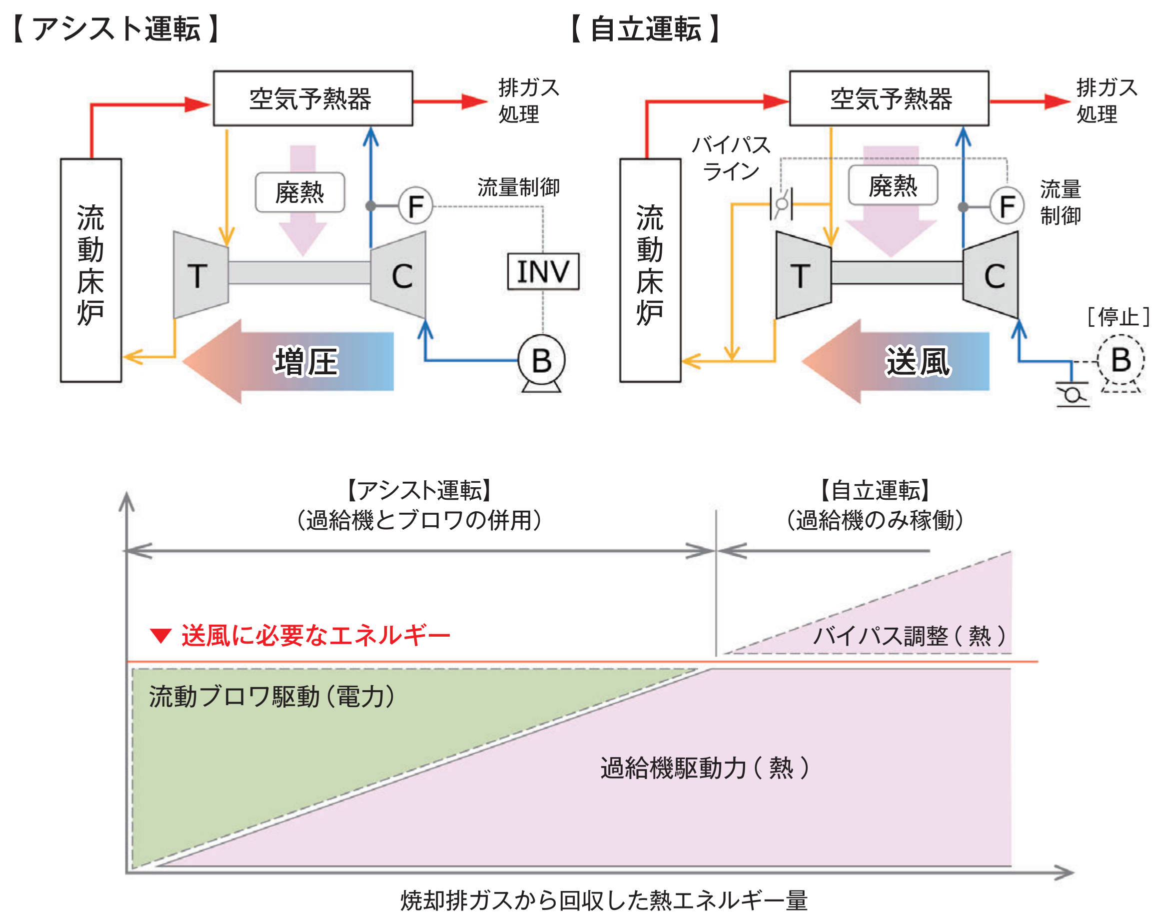


図３　過給機の運転状態

(2) 既設焼却設備への適用が可能

焼却排ガスから熱エネルギーを回収するために排ガス経路に設ける空気予熱器は、従来の焼却設備と同様の位置に設置される。よって、本技術は、新設だけでなく、既設設備への増設にも導入可能である。この場合、流動床炉や排ガス処理設備は既設設備を利用し、流動ブロワはVVVF化（インバータ化）が必要である。

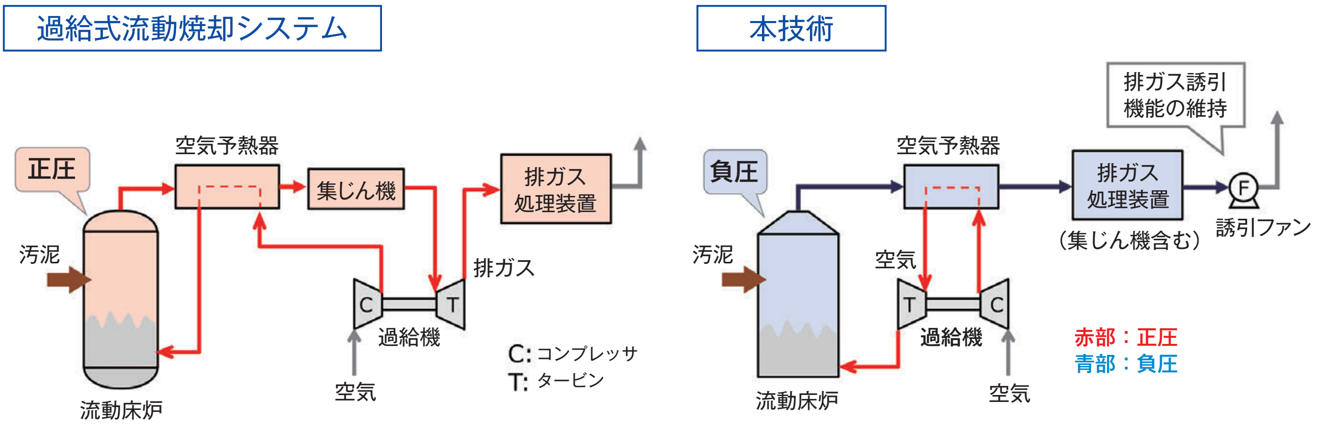
(3) 幅広い焼却炉への適用

流動タービンは、焼却炉内及び排ガス経路が負圧の流動床炉に設置する流動ブロワの代替機能を有する。よって、全国焼却設備の約９割を占める「焼却炉内圧力が負圧の流動床炉（気泡流動床式、循環流動床式）」に適用可能である。

(4) 過給式流動焼却システムとの比較

焼却設備に過給機を用いた別のシステムとして過給式流動焼却システムがある。このシステムは、炉内が正圧の流動床炉から排出される高温高圧排ガスを過給機へ供給して、過給機の駆動エネルギーとすることで、流動ブロワを代替するとともに、誘引ファンを使用せずに排ガスを流動床炉外へ送り出す。そのため、流動床炉内及び排ガス経路は正圧となる（図４参照）。一方で、流動タービンを用いた焼却設備は、過給機の設置位置が異なり、空気予熱器を介して間接的に熱回収したクリーンな高温高圧空気を過給機の駆動エネルギーとして過給機へ供給するものであり、流動床炉や排ガス経路は負圧で運転可能である。

このように、流動タービンを用いた焼却設備は、過給式流動焼却システムのように正圧運転でなく、従来の焼却設備と同様に負圧で運転するため、排ガスの漏れ出しリスクがない。また、過給式流動焼却システムは排ガスで過給機を回転させるが、流動タービンを用いた焼却設備では、クリーンな空気で過給機を回転させるため、故障リスクが低い。さらに、既設焼却設備に適用する際の改造範囲は、過給式流動焼却システムに比べて大幅に少ないため、大規模な改築の必要がなく、既存設備を延命化しながら経済的かつ効果的に省電力を図ることも可能である。



項目	過給式流動焼却システム	本技術
流動床炉の圧力	正圧（120～140kPaG）	負圧（排ガスの漏洩リスクなし）
過給機の駆動流体	排ガス	空気
装置の導入	全面改築が必要	既設の部分改造でも導入可能

図４　過給式流動焼却システムとの比較

4．性能

⑴　省電力性能

愛知県豊川流域下水道豊川浄化センター３号焼却設備（設備規模：70 t-wet/日）を用いて実証試験を実施した。実証試験期間は2020年２月から2022年３月までの約２年間であり、季節変動への対応性を評価する試験と１年間の長期運転確認を実施した。過給機は四季を通じて自立運転（流動ブロワ停止状態）を行い、流動ブロワの消費電力（95kW）を100％削減した。ただし、流動ブロワ駆動用インバータ盤の待機電力や補機設備の消費電力が８kW程度必要なため、これらを考慮すると、流動ブロワの消費電力削減率は92％程度であった（この消費電力は、焼却設備全体の約36％を占める）。よって、技術導入による省電力効果は差し引き87kWとなり、流動ブロワ消費電力の年間削減量は、689,040kWh/年となった（図５参照）。電力由来CO_2の年間削減量は、電力由来のCO_2排出係数を0.318 kg CO_2/kWh（2019年度関西電力の排出係数実績）として、約219 t-CO_2/年となった。

⑵　焼却性能

流動タービンは従来の流動床炉に組み合わせるものであるため、排ガス性状等に影響することなく、焼却性能（N_2O排出量等）は組み合わせる流動床炉による。

なお、実証試験より、排ガス性状、騒音、振動、悪臭、水質などの環境性能は、従来と同等であることを確認している。

⑶　耐久性・安全性

流動タービンに用いる過給機は高速回転機器であることから軸受の保護が必要である。過給機製造会社が規定する圧力や温度で潤滑油を供給するために、潤滑油ポンプや各種制御を構築する。約２年間の運転において、過給機軸受は、過給機の整備間隔とする１年以上の耐久性を有することを確認した。また、非常停止や停電などの異常時には、過給機を速やかに停止させるとともに、過給機軸受を保護するために潤滑油の供給を継続するなどの配慮が必要である。なお、流動タービン以外の機器構成は従来の流動床炉と同様であるため、同装置以外の機器に関る耐久性、安全性は、従来の焼却設備と同等である。

⑷　運転操作性、維持管理性

流動タービンは、焼却排ガスの熱エネルギー量変化に応じて、過給機単独の「自立運転」と流動ブロワ併用の「アシスト運転」を自動的に切り替える。燃焼空気量の設定などの運転操作はこれまでと変わらず、従来の運転維持管理に関わる人員で設備運用が可能である。

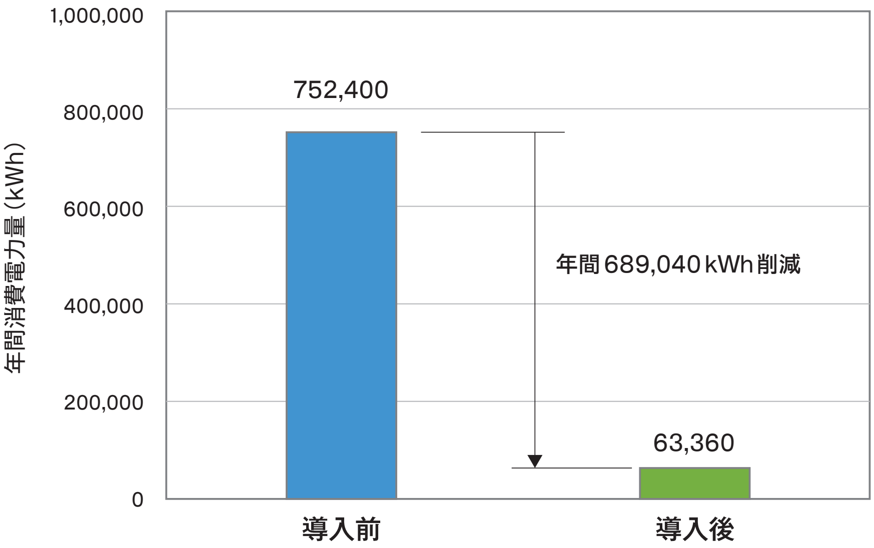


図５　流動ブロワ消費電力量の年間削減効果

5．経済性

焼却設備規模100t-wet/日の新設において、本技術の費用回収年数を試算した。本技術導入に伴う増加費用（建設費、補修費）は電力費の削減分により約7.3年で回収可能であることを確認した（電力単価15円/kWh、補助率2/3を考慮）。なお、既設設備に導入する場合は、設備実態に応じた検討が必要となる。

6．おわりに

国土交通省は地方公共団体に対し、「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」（国水下事第38号：2017年９月15日）を通知し、下水道事業における省エネルギー、創エネルギーの推進を図っている。このような中、愛知県衣浦西部流域下水道衣浦西部浄化センターにおいて、設備規模60t-wet/日の流動床炉と本技術を組み合わせた焼却設備が2022年３月に竣工し、焼却設備の消費電力量とCO_2排出量の削減に寄与している。焼却炉の圧力が負圧の流動床炉の基数は、全国焼却設備の約９割を占めることから、本技術の適用対象は多く、脱炭素社会の実現に向けてエネルギー効率の優れた本技術の普及が期待できる。