

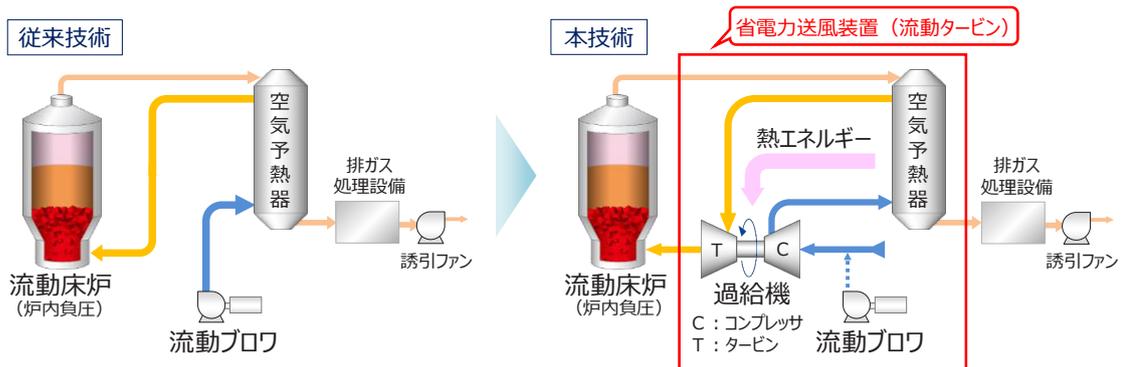
日本産業機械工業会会長賞
「省電力送風装置（流動タービン）」
を用いた下水汚泥焼却設備
 愛知県／日本下水道事業団／
 メタウォーター株式会社／株式会社クボタ

1. 装置の詳細説明

本装置は、下水汚泥を焼却する流動焼却炉（以下、流動床炉という）に省電力送風装置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（送風機）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、焼却設備に占める約4割の流動ブロワ消費電力を削減するものである。流動ブロワの消費電力削減によって、電力由来CO₂の排出量も削減される。

図表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。このとき、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。

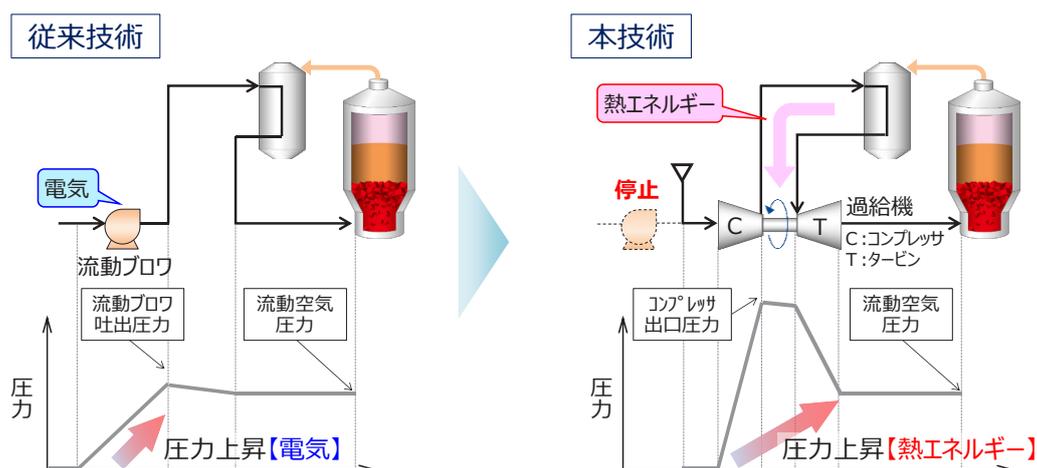
図表2に燃焼空気経路の圧力挙動を示す。燃焼空気は過給機を通過する際に、コンプレッサで加圧された後にタービンで減圧する。過給機入口（=コンプレッサ入口）より過給機出口（=タービン出口）の圧力が上昇した分だけ、過給機の効果で流動ブロワの負荷を軽減して、消費電力を削減する。



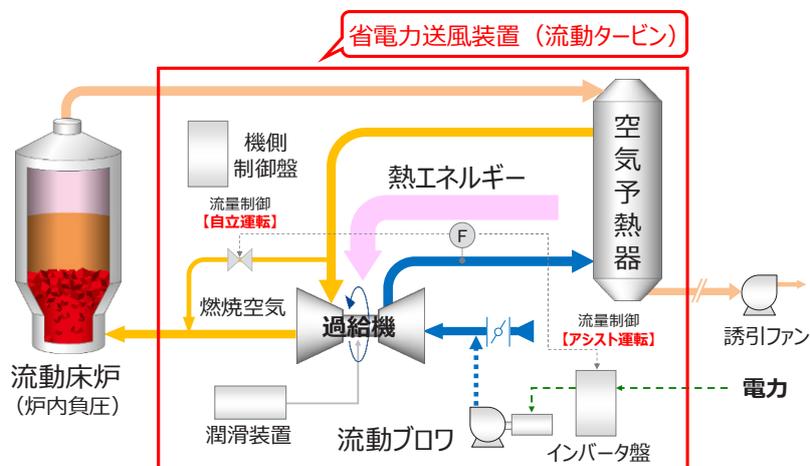
図表1 省電力送風装置(流動タービン)を用いた下水汚泥焼却設備

省電力送風装置の機器構成を図表 3 に示す。同装置は、流動ブロワから流動床炉へ向かう燃焼空気経路に「過給機」を組み込み、焼却排ガスの熱エネルギーを利用して過給機を駆動することで、流動ブロワの機能を代替するものである。主要機器は、過給機と空気予熱器、インバータ駆動の流動ブロワである。また、補機として過給機の軸受保護を目的とした潤滑油供給設備や運転状態に応じて送風経路の切替え等を制御する機側制御盤等も備える。

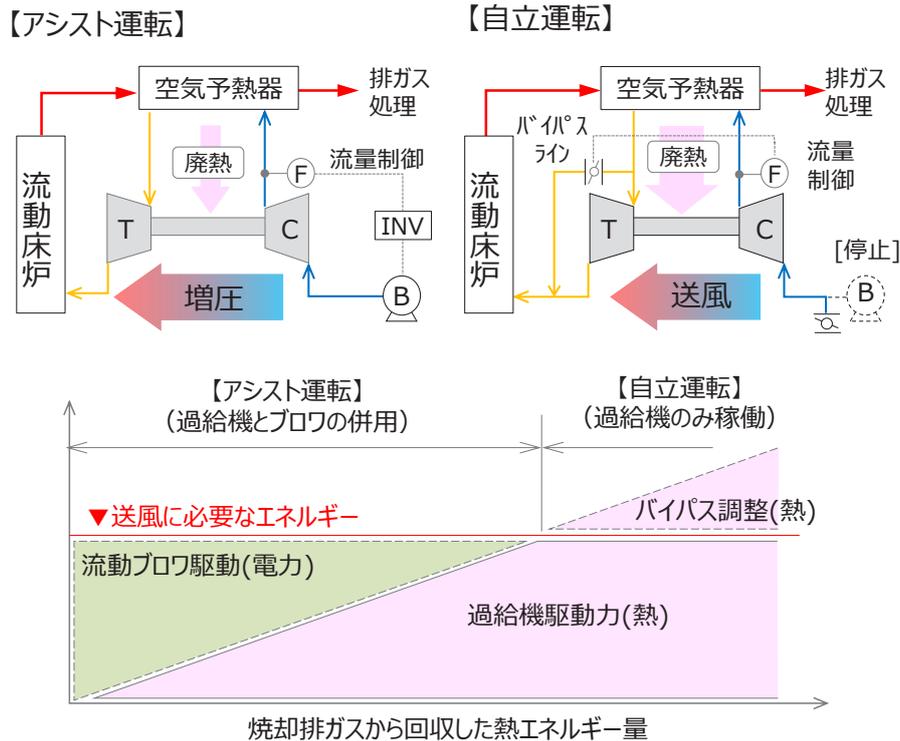
省電力送風装置は、焼却排ガスから回収した熱エネルギー量に応じて、2 種類の運転制御方法を自動的に切替える(図表 4)。熱エネルギー量が少ない場合、過給機と流動ブロワを併用して、過給機での「増圧」分に対して流動ブロワで不足分を補い燃焼空気量を調整する。インバータによって流動ブロワの出力を抑えた分だけ省電力を図ることができる。過給機と流動ブロワを併用して運転する状態を「アシスト運転」と称する。熱エネルギー量が増加し、流動ブロワの補助を必要としない状態になると、過給機単独で送風する。その場合、タービンをバイパスする高圧空気の量を制御して、燃焼空気量を調整する。このとき、流動ブロワを停止しているの、よ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。



図表 2 燃焼空気経路の圧力挙動



図表 3 省電力送風装置の機器構成



図表 4 過給機の運転状態

2. 開発経緯

下水汚泥については、1994 年の下水道法改正による汚泥減量化の努力義務規定の創設や、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の建設が進み、うち約 9 割の焼却施設で流動床炉が採用されている。

流動床炉は、炉内に珪砂を充填し(以下、砂層という)、炉下部より燃焼空気を供給して砂層を流動化することで、高温の砂粒子と脱水汚泥との接触により効率的に焼却処理するものである。砂層の流動状態を安定維持するために必要な流動ブロウは、炉入口で 20~25kPa 以上の圧力が必要となるため、流動ブロウ(送風機)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。そのため、流動床炉の省電力化は長年の課題となっていた。

一方で、世界規模で気候変動対策が求められるようになり、下水道分野では 2014 年 7 月に国土交通省の下水道政策研究委員会がとりまとめた「新下水道ビジョン」に基づき、水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化を目指して、下水処理場の省エネ・創エネなどの取組みが進められてきた。さらに 2017 年に策定された「新下水道ビジョン加速戦略」では、概ね 20 年で下水道事業における電力消費量の半減を目標とすることが示された。

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、流動床炉(負圧)の安全性をそのままに流動ブロウ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(流動タービン)に関する共同研究を行った。

(1) 開発経緯

2014 年度～	メタウォーター(株)及び(株)クボタは、過給機を用いた省電力送風装置に関する開発を各々開始
2018 年度～2021 年度	愛知県、日本下水道事業団、メタウォーター(株)、(株)クボタは、過給機を用いた省電力送風装置(流動タービン)に関する共同研究を実施。実証フィールドを愛知県流域下水道豊川浄化センターとし、省電力送風装置を 3 号焼却設備(70wet-t/日)に設置して約 2 年間の実証試験を実施
2021 年度	第 1 号機納入

(2) 共同開発

本装置は、愛知県、日本下水道事業団、メタウォーター株式会社、株式会社クボタが共同で開発を行った。それぞれが担当した開発の内容は、次のとおりである。

- ・愛知県：
既設焼却設備の運転及びデータ取得、維持管理性と省エネ性に関する性能評価と改善立案、運転技術の確立
- ・日本下水道事業団：
共同研究の統括、実証試験全体の計画立案と性能評価、普及展開に向けた経済性評価と技術確立
- ・メタウォーター株式会社：
実証試験設備の運転及びデータ取得、実証結果(性能、維持管理性等)の評価と改善、設計手法の確立、実証設備の設計・建設
- ・株式会社クボタ：
実証試験設備の運転及びデータ取得、実証結果(性能、維持管理性等)の評価と改善、設計手法の確立

(3) 技術導入

無し

3. 独創性

(1) 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

省電力送風装置を用いた焼却設備は、従来の流動床炉と同様に焼却炉内及び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し、焼却設備の消費電力を約 4 割削減するものである(図表 5 参照)。

焼却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、従来と同様に排ガスの漏れ出しリスクが無く、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も過給機を回転させるため、故障リスクが低い。

(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、従来焼却

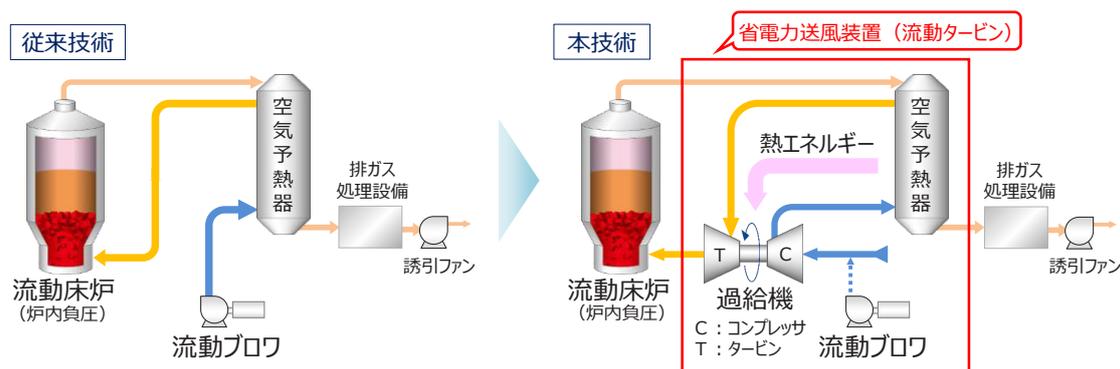
設備と同様の設置位置である。よって、本技術は、新設だけでなく、既設設備への増設にも導入可能である。この場合、流動炉本体や排ガス処理設備は既設設備を利用し、流動ブロワはVVVF化(インバータ化)が必要である。

(3) 幅広い焼却炉への適用

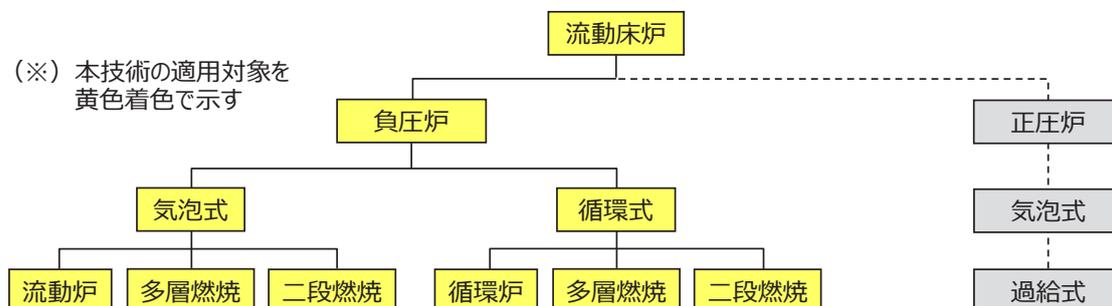
省電力送風装置は、焼却炉内及び排ガス経路が負圧の流動床炉に設置する流動ブロワの代替機能を有する。よって、全国焼却設備の約9割を占める「焼却炉内圧力が負圧の流動床炉(気泡流動床式、循環流動床式)」に適用可能である(図表6)。

(4) 過給式流動焼却システムとの比較

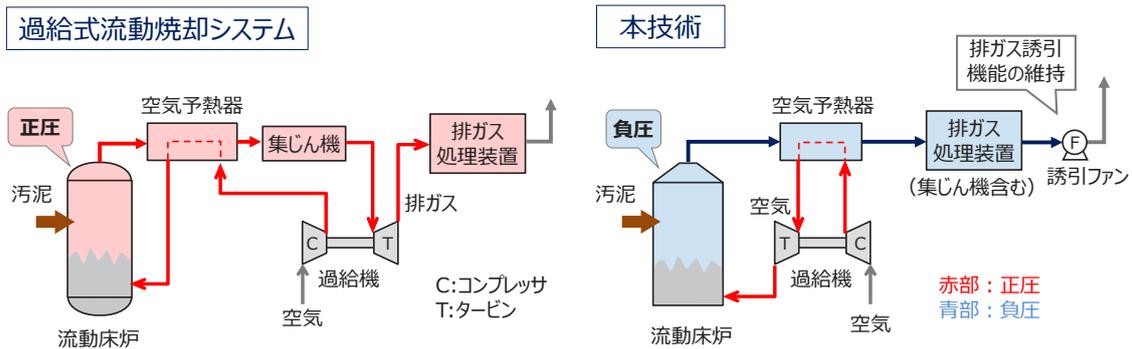
焼却設備に過給機を用いた別のシステムとして過給式流動焼却システムがある。このシステムは、高温排ガスを直接、過給機へ供給し、過給機の駆動エネルギーとして利用するもので、誘引ファンを使用せず排ガスを流動床炉外へ送り出すため、流動床炉内及び排ガス経路は正圧となる。一方で、省電力送風装置を用いた焼却設備は、過給機の設置位置が異なり(図表7参照)、空気予熱器を介して間接的に熱回収した高温空気を過給機の駆動エネルギーとして過給機へ供給するものであり、流動床炉内及び排ガス経路は負圧で運転可能である。



図表5 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(再掲)



図表6 本装置の適用先



項目	過給式流動焼却システム	本技術
炉内圧力	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
既設設備導入	全面改築が必要	既設部分改造で導入可能

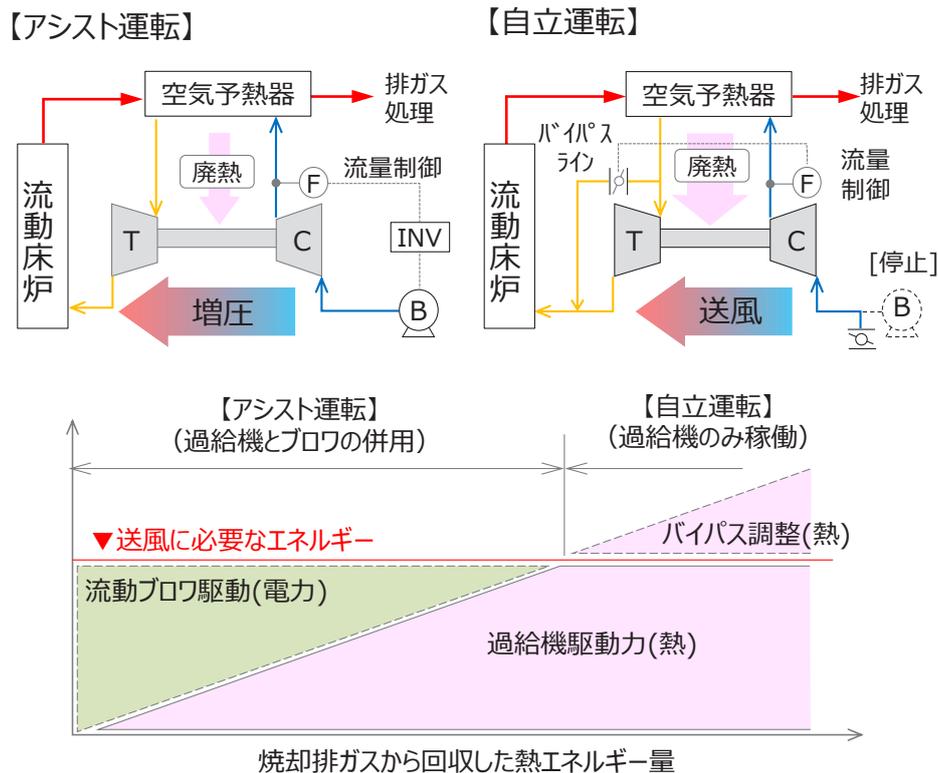
図表 7 過給式流動焼却システムとの比較

このように、省電力送風装置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無い。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、省電力送風装置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、昨今の下水道事業の財政難に鑑みた場合、既存設備を延命化しながら省電力を図ることも可能である。

(5) 燃焼空気量の安定性

前述の通り、省電力送風装置は、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て使い分ける(図表 8)。従来の焼却設備は流動ブロワに電力を供給して燃焼空気を流動床炉へ供給していたが、本技術は排ガスが持つ熱エネルギーを空気予熱器により間接的に回収して過給機の駆動源とするため、焼却排ガス量(熱エネルギー量)の変化に応じて、必要となる燃焼空気量を安定供給する技術が必要であった。そこで、「自立運転」のために過給機タービン部(T)をバイパスするラインを設け、「アシスト運転」のために流動ブロワをインバータ駆動とすることで、熱エネルギー量の変化に応じて応答よく無段階に燃焼空気量を制御することが可能となった。また、回収する熱エネルギー量に応じて自動的にアシスト運転と自立運転を切り替える機能も設け、従来同等の運転操作(燃焼空気量の設定)を実現した。



図表 8 過給機の運転状態(再掲)

4. 特許の有無

次のとおり、特許 8 件を取得済み、4 件を出願中。

①メタウォーター株式会社 (特許 4 件、出願 2 件)

特許番号：第 6301676 号 / 名称：廃棄物処理設備

特許番号：第 6266440 号 / 名称：廃棄物処理設備および廃棄物処理方法

特許番号：第 6683531 号 / 名称：廃棄物処理設備

特許番号：第 6765842 号 / 名称：廃棄物処理設備

出願番号：特願 2021-202271 / 名称：焼却システム

出願番号：特願 2021-202272 / 名称：焼却システム及び潤滑油供給システム

②株式会社クボタ (特許 4 件、出願 2 件)

特許番号：第 6490466 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の操炉方法

特許番号：第 6580398 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の運転方法

特許番号：第 7156922 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の運転方法

特許番号：第 7156923 号 / 名称：廃棄物処理設備及び廃棄物処理設備の運転方法

公開番号：特開 2019-39582 / 名称：廃棄物処理設備の運転方法及び廃棄物処理設備

公開番号：特開 2021-96040 / 名称：廃棄物処理設備の異常検出方法、廃棄物処理設備の異常検出装置及び廃棄物処理設備の操炉方法

5. 性能

(1) 流動ブロワの消費電力削減効果

省電力送風装置は、焼却排ガスの熱エネルギーにより過給機を駆動させることで流動ブロワを停止し、流動ブロワの消費電力を100%削減可能である。

【実証試験結果】

豊川浄化センター3号焼却設備(設備規模：70t/日-wet)を用いた実証試験における、流動ブロワの消費電力削減効果を図表9に示す。実証試験は2020年2月から2022年3月まで約2年間において、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。図表9に示すとおり、いずれの試験においても、過給機は自立運転(流動ブロワ停止状態＝流動ブロワ回転速度指令0%)により流動ブロワの消費電力は100%削減を達成した。但し、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。

実証試験結果を用いて、70t-wet/日処理時の年間(330日)消費電力削減量、及びCO₂削減量を試算した。技術導入前の流動ブロワの消費電力は、各試験の燃焼空気流量の平均値4,640m³/hより95kWとした(この消費電力は、焼却設備全体の約36%を占める)。また、技術導入後の消費電力は、補機設備等の実績値8kWとする。以上より、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、年間を通して自立運転だったことから689,040kWh/年となった(図表10)。電力由来CO₂の年間削減量は、電力由来のCO₂排出係数を0.318kgCO₂/kWhとして、約219t-CO₂/年となった。

(2) 焼却性能

本技術は従来の流動床炉に省電力送風装置を組み合わせるものであるため、本技術は排ガス性状に影響せず、組み合わせる流動床炉の焼却性能に依る(例：N₂O排出量)。また、過給機タービン部(図表11の「T」部)を通過する空気は回転力を得るために温度が低下するが、過給機タービン部の出口空気を排ガスで間接加熱することで(図表11)、流動床炉の燃料使用量は導入前と同等になる。そのため本技術導入前後の焼却性能は、導入前の性能と同等である。

図表9 流動ブロワの省電力効果

試験名	汚泥 投入量 [t/日]	燃焼空気 量 [m ³ /h]	フーボード 上部温度 [°C]	流動ブロワ 回転速度 指令 [%]	導入前 消費電力 ① [kW]	導入後 消費電力 ② [kW]	消費電力 削減率 ※ [%]
冬季(2020年2月)	70	4,520	849	0	94	8	92
春季(2020年5月)	70	4,490	855	0	94	7	93
夏季(2020年7月)	70	4,800	864	0	97	7	93
秋季(2020年11月)	70	4,550	849	0	94	8	92
冬季(2021年2月)	70	4,800	860	0	97	8	92
春季(2021年5月)	70	4,700	861	0	96	7	93
夏季(2021年8月)	70	4,610	845	0	95	7	93
平均値	70	4,640	—	0	95	8	92

※) 流動ブロワの消費電力削減率(③) = (① - ②) / ①

なお、実証試験より、焼却設備に関する排ガス性状、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。

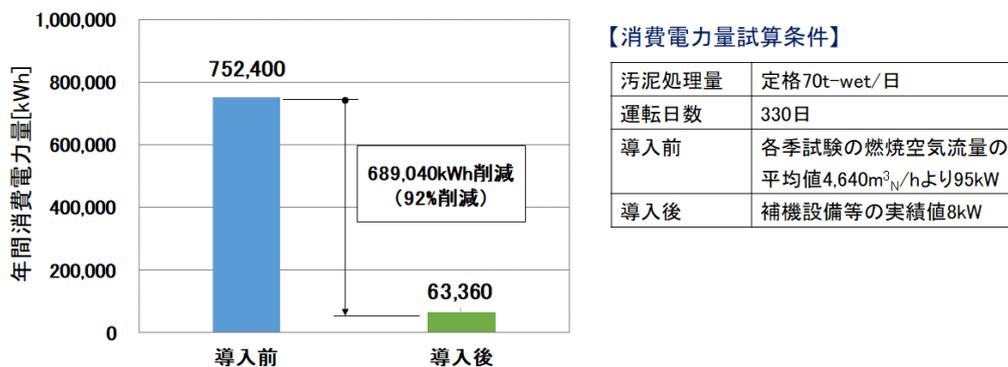
(3) 耐久性・安全性

省電力送風装置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。そのため、軸受への潤滑油供給機能を有し、過給機製造会社が規定する圧力や温度を満足するために、潤滑油ポンプや各種制御を構築する。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共に、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を要する。これらの対策により、過給機軸受は、過給機整備間隔とする1年以上の耐久性を有する。

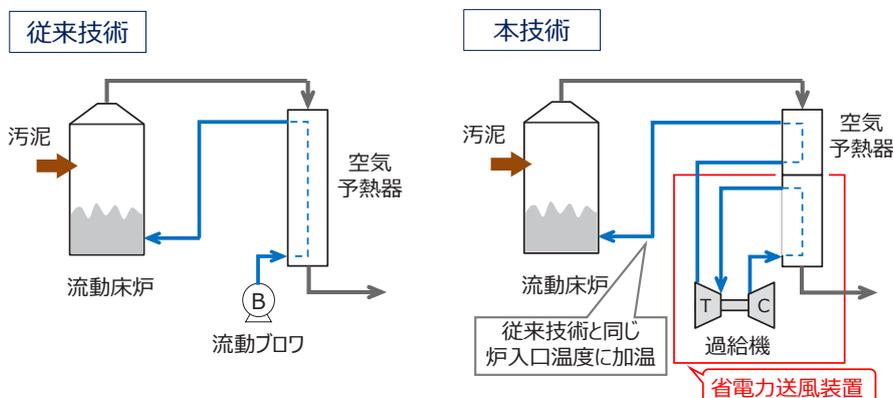
省電力送風装置以外の機器構成は従来の流動床炉と同様であるため、同装置以外の機器に関する耐久性、安全性は、従来の焼却設備と同等である。

(4) 運転操作性、維持管理性

省電力送風装置は、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従来どおりで、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。



図表 10 3号焼却設備の年間消費電力削減量の試算



図表 11 流動床炉の燃料使用量を従来同等とする方法

6. 経済性

省電力送風装置を導入した場合の費用回収年試算結果を図表 12 に示す。全国に設置されている焼却炉の設備規模を考慮して、焼却設備規模 100t-wet/日として試算した。本技術導入に伴う増加費用は電力費の削減分により回収可能であることを確認できた。なお、図表 12 の建設費は新設の場合に増加する費用を例示しており、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。

図表 12 費用回収年試算結果例

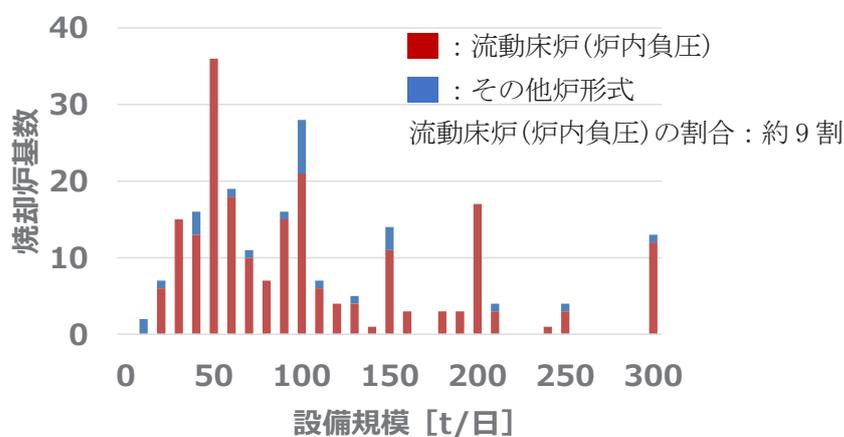
項目		単位	導入後	備考
電力費削減	流動ブロワ 電力費 ^{注1)}	百万円/年	-13.7	運転日数330日/年 電力単価15円/kWh
建設費増加	自治体負担費	百万円	66.7	補助率2/3
	自治体負担費	百万円	90.0	補助率0.55
補修費増加	平均費用	百万円/年	4.5	
回収年数	補助率2/3	年	7.3	建設費÷ (電力削減費-補修費)
	補助率0.55	年	9.8	

注1) 従来焼却設備100t/日の流動ブロワ消費電力125kWに対し、削減率92%を加味し115kWhの電力費削減とした。

7. 将来性

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も今後加速される中、全国の下水処理場に設置されている焼却設備の省電力は重要な課題である。また、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。

全国の下水処理場に設置されている流動床炉(炉内負圧)の基数は、焼却設備全体の約9割を占める(図表13)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。



図表13 全国の焼却炉基数 [2021(令和元)年度 下水道統計より]