

# 新たに提供できる環境関連技術の紹介

## Newly added Environmental Technologies and Products



成澤道則\*  
Michinori Narisawa

現在廃棄物焼却炉は、焼却工程で排出される焼却灰中に熱灼減量として残存する未燃分を除いて、廃棄物の持つ化学的なエネルギーを約99%の燃焼効率で熱エネルギーへ変換できる高効率な燃焼装置となっている。国内では様々な廃棄物が排出されているが、一般廃棄物の場合、1年間で焼却処理される量は、熱量換算で天然ガス生産量の約2.6倍に相当する。天然ガスは国内消費量の97.6%が輸入され、廃棄物は100%国内で確保されている自給エネルギー資源であるが、“廃棄物燃料”という言葉は使われない。廃棄物は化石燃料と比較すると燃焼ガス中に腐食性ガスが混合しているなど同様に扱うことはできない厄介な燃料であり、燃料利用対象として軽視されるのはやむを得ない。しかし、地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>削減や低水準で推移するエネルギー自給率向上のためには、この扱いにくい燃料である廃棄物の高効率利用はますます重要になってくる。当社は流動層技術を基盤として、ガス化溶融技術とガス化燃焼技術を確立し、廃棄物のみならず木質バイオマスを燃料とした発電所へその技術を適用し、高効率発電普及への貢献も社会的使命と位置付けている。当社は2019年1月1日より、株式会社IHIのグループ会社で廃棄物処理関連の事業領域を担当してきた株式会社IHI環境エンジニアリング(IKE)と事業統合した。IKEの保有技術を引継ぎ、技術を融合させることで、両社が得意とする技術分野をさらに充実させ、両社が補完し合うことで競争力を強化する体制を構築した。本稿では新たに当社の製品メニューとなったIKEの技術について紹介する。

Presently, excluding combustible matter in ash that remains after the incineration process, the chemical energy of waste can be converted into thermal energy with combustion efficiency of 99% in highly efficient waste incinerators. There are many types of waste produced in Japan but, for general waste, the amount of heat generated in one year by incineration is approximately equivalent to 2.6 times the amount of natural gas produced in Japan. 97.6% of natural gas consumed in Japan is imported. Although domestic waste is a self-supplied energy resource, the word “waste fuel” is not used. When comparing waste with fossil fuels, gas produced through waste incineration contains corrosive elements so it cannot be used the same way, which has caused the opinion of waste produced gas as energy to be low. As a countermeasure for global warming, in order to achieve reduction in CO<sub>2</sub> concentration within the atmosphere and the improvement of the currently low rate of self-sufficiency energy, waste will become a further important energy source. We are applying the gasified ash melting furnace and the gasified combustion furnace with fluidized bed combustion to waste and the biomass-fired power boilers to contribute to the dissemination of highly efficient energy as, one of our important missions. As of January 1st, 2019, IHI Environment Co., Ltd. (IKE), which had supplied products related to waste disposal in IHI, has merged with us. By inheriting the technologies of IKE and merging them with ours, we can improve our technological specialties and complement each other to improve competitiveness. This paper describes our new environmental products and technologies of IKE.

## Key Words :

回転ストーカ式焼却炉  
ドラム缶破碎混合輸送装置  
小規模分散型熱利用装置  
粉体燃料供給装置  
配管洗浄剤

Rotary stoker type incinerator  
Drum Shredding-Mixing-Pumping system  
Water heater for distributed small scale  
Pulverized fuel injection system  
Plant derived scale solvent

## まえがき

機械の省エネや高効率化が世の中に浸透し、低炭素燃料への代替など根本からCO<sub>2</sub>削減を狙った低炭素化も進められているが、国連環境開発会議（地球サミット）が開催されてから四半世紀が経過した2015年には世界の大気平均CO<sub>2</sub>濃度はいよいよ400 ppmを超え<sup>1)</sup>、増加のスピードは減速するどころか若干速まっているように見える。一方、太陽から受ける地球のエネルギー収支として、地表や大気に残るエネルギーは、入射エネルギーの内わずか0.17%との結果<sup>2)</sup>もありCO<sub>2</sub>濃度増加と温暖化への影響については、議論の余地がある。しかしこのような大気中CO<sub>2</sub>濃度の変化は、温暖化など大気環境への影響に止まらず、海洋酸性化や長い年月を掛けた地球規模の循環により海洋環境への影響も懸念されている<sup>3)</sup>。CO<sub>2</sub>対策は、排出量削減だけでなく、積極的に回収、利用するなど濃度削減を進めるべき岐路に立っている。

こうした社会的な背景から、SDGsへの取り組みやESG投資への動向が注目され、国内では石炭火力の新設計画停止や化石燃料からバイオマス燃料への転換もCO<sub>2</sub>削減策として選択されるケースも見られる<sup>4)</sup>。大規模なバイオマス燃料利用の発電所では、燃料を国内で全て確保できず海外から輸入している場合もあり、国内に存在するバイオマス燃料を十分活用して、低水準のエネルギー自給率<sup>5)</sup>を向上させることも依然として課題となっている。

廃棄物は価値が無いものとして生活環境保全の目的で焼却などの方法で処理されるが、燃やせば熱を発生し決して良質な燃料ではないものの、使い方によっては国内で確保できる貴重なエネルギー資源である。平成28年度実績で、一年間に国内で排出される一般廃棄物の量は4100万tである。その内80%に相当する3294万tが直接焼却処理されている<sup>6)</sup>。廃棄物の低位発熱量を8.5 MJ/kgに見積もると、焼却工程で発生する熱量は約280 PJ/年となる。参考として国内で生産される天然ガス量は28億 m<sup>3</sup><sup>7)</sup>で、消

費量の2.4%に相当する。天然ガスの低位発熱量を38.3 MJ/m<sup>3</sup><sup>8)</sup>とすると107 PJ/年となり、一般廃棄物は天然ガス生産量の約2.6倍の熱量を有していることになる。発電利用を考えた場合、廃棄物燃焼は燃焼ガス中に腐食性ガスを含むため発電効率が低いと言う欠点はあるが、国内に存在するエネルギー資源としての十分なポテンシャルはある。

SDGsについて機械学会としてもっとも取り組むべきテーマについてアンケートを行っている<sup>9)</sup>。集計によればもっとも関心が高かったのは「NO.9産業と技術革新の基盤を作ろう」で33%、続いて「NO.7エネルギーをみんなにそしてクリーンに」で17%となっている。廃棄物処理場は、自国で発生する廃棄物を適正に処理することによって生活環境を清潔に維持するだけでなく、産業活動の最終工程を担い産業の基盤を支える役割を果たしている。また焼却処理工程で発生する熱エネルギーを適正に活用することで電気や熱を周囲へ面的に供給する役割も担っている。正に関心が高いSDGsへの具体的な取り組みと言える。このような廃棄物処理場に対する処理拠点とエネルギー供給拠点の役割に加え、最近では多発する豪雨などの災害対策の観点から、防災拠点としての役割も期待されている。今後は直面しているエネルギー問題や環境問題への対応として、廃棄物処理施設に対する期待や役割は高まるものと考えられる。廃棄物から利用可能なエネルギーへの変換効率の向上やLCCの低減に関わる技術開発、さらに少子高齢化への対応からさらなる省力化の技術開発も進めて行かねばならない。こうした中2019年1月1日より当社は株式会社IHI環境エンジニアリング(IKE)と事業統合し、IKEの保有する技術は当社で受継がれることになった。これまで当社が得意として来た流動層炉関連の技術とIKEが保有するストーカ技術、また両社が培ってきた施設の維持管理などサービス事業を有機的に融合することで、高度化する廃棄物処理技術と施設の長期的な安定操業維持へ対応する。本稿ではIKEの保有する廃棄物関連の技術と、

オープンイノベーションにより専門技術を有する他社と協力して開発を進め実用化ステージにある周辺技術についても紹介する。

## 1. 新たな製品メニュー

### 1.1 回転ストーカ式焼却炉

IKEは当社と同様に流動層炉専門メーカーと言われて久しいが<sup>10)</sup>、1977年の初号機以降、独自の回転ストーカ式焼却炉も手掛けている。その堅牢な構造を特長として、一般廃棄物だけでなく産業廃棄物の焼却処理分野や海外でもその技術は活かされている。回転ストーカ式焼却炉は、円筒を横置きにした構造で、鋼製の水管とフィン状の板を交互に溶接により接合して円筒炉壁を構成する。主燃焼領域の炉壁に耐火物を使用しないことが特長である。炉壁を構成する水管には、図1に示すように高温（約250℃）のボイラ水を循環させる。回転ストーカ式焼却炉は単独で強制循環ボイラとして機能し、燃焼熱量の10～20%を収熱し蒸気を発生することができる。ボイラ水循環構造により炉壁は一定の温度に保たれ、低温腐食（約150℃以下）と高温腐食環境（約350℃以上）から保護される。これが廃棄物焼却工程の厳しい腐食環境下でメンテフリーの鋼製炉壁を実現する原理である。炉壁をボイラ水管で構成する利点は、腐食対応だけではなく幅広い廃棄物の性状に適応することにも役立っている。廃プラの混合割合が多いなど発熱量が高い廃棄物を焼却する場合は、火炎からの輻射伝熱が高い一次燃焼領域において炉壁が収熱することで、水噴霧冷却などの手段を用いることなく燃焼温度の平準化が行われる。逆にピット底のように発熱量が低い廃棄物进行处理する場合は、火格子である炉壁の過加熱を心配することなく高温の予熱空気を導入して、積極的に乾燥を行うことができる。

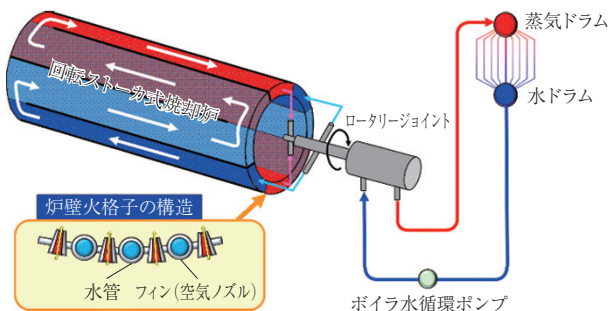


図1 回転ストーカ式焼却炉のボイラ循環水系統  
(2胴式の例)

円筒炉壁の下部には、中心軸方向と円周方向にそれぞれ複数に分割された風箱が配置されている。風箱に供給された燃焼空気は、炉壁を構成する板に開けられた無数の空気孔から炉内へ導入され、回転する炉壁が火格子の役割をすることから回転ストーカ式と呼ばれている。図2は国内最大級（φ3.6 m）の回転ストーカ式焼却炉が現地へ搬入された状況である。

図3に回転ストーカ式焼却炉を一次燃焼装置に採用した場合の排熱ボイラ付き焼却炉を示す。廃棄物はプッシュ式の給じん装置によって炉内へ供給され、上流から下流に向かってなだらかな斜面となる廃棄物層を形成する。炉内へ供給された廃棄物は、1時間に1回転程のゆっくりとした炉壁の回転によって下流へ送られ、給じん装置側となる上流側から乾燥、熱分解、一次燃焼が順次進行するマス燃焼が



図2 回転ストーカ式焼却炉搬入状況

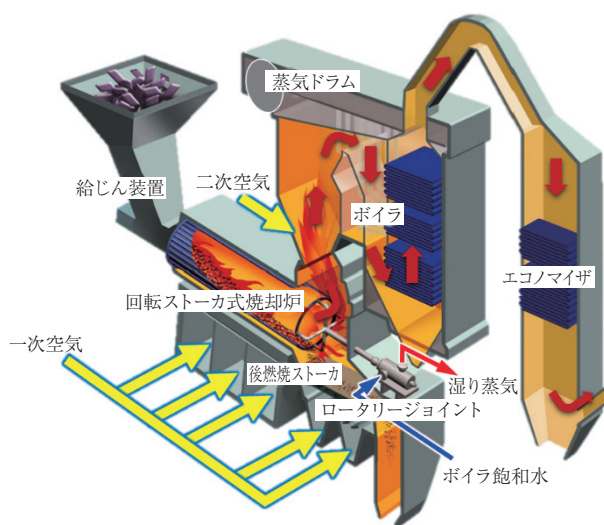


図3 回転ストーカ式焼却炉

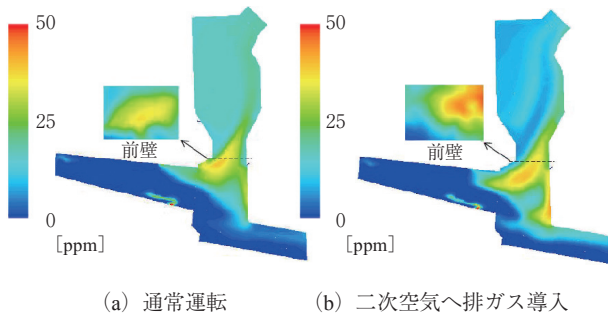


図4 排ガス再循環によるNO濃度への影響

行われる。高温の一次燃焼領域を円筒炉の最下流側に形成することで、上流の乾燥、熱分解領域から排出される水分、熱分解ガス、さらに余剰の空気は一次燃焼領域を通過する過程で速やかに混合燃焼するため、余剰空気の少ない低空気比燃焼が行われる。廃棄物燃焼の場合、もっとも排気ガス滞留時間の長い燃焼領域となる二次燃焼室の雰囲気温度は900℃程度である。そのためNO<sub>x</sub>排出量におよぼすサーマルNO<sub>x</sub>の寄与は小さく、ほとんど廃棄物中窒素起源のフューエルNO<sub>x</sub>である。一次燃焼領域での低空気比燃焼は、排ガス量の低減によるボイラ効率の向上以外にも、燃料中窒素分の酸化を抑制し、低NO<sub>x</sub>化へ効果的に作用する。図4は通常運転（空気比1.5）と二次空気供給位置へ排ガスを導入した場合（空気比1.3）のNO濃度の燃焼解析結果である。いずれの条件でも回転ストーカ炉内でのNO生成は低く、低NO<sub>x</sub>燃焼が行われている。二次空気供給位置で生成されるNOについても排ガス循環により低NO<sub>x</sub>化が図られ、二次燃焼室内のNO濃度は低減していることがわかる。

回転ストーカ式焼却炉の燃焼機構は、回転による廃棄物の送りと、廃棄物層への適切な燃焼空気の導入で制御される。きわめて単純な燃焼機構を採用していることから、運転が容易なことも特長であるが、早くから高度化された燃焼制御を取入れており<sup>11)</sup>、安定した廃棄物発電の実現や省力化が図られている。

近年急速に普及が進むIoT技術を活用したプラントの遠隔監視・運転支援システムの運用も開始している<sup>12)</sup>。本システムは、各施設で運用されている中央制御システムをモニタ監視できる機能を、図5に示すように遠隔地である監視拠点（例えば、本社）に設ける。現場と監視拠点間で、運転データ、画像を共有することで、遠隔地でも運転状態を速やかに把握でき強力に運転支援することが可能となった。本システムの特長としてプラント診断・故障予測機



図5 遠隔監視室の様子

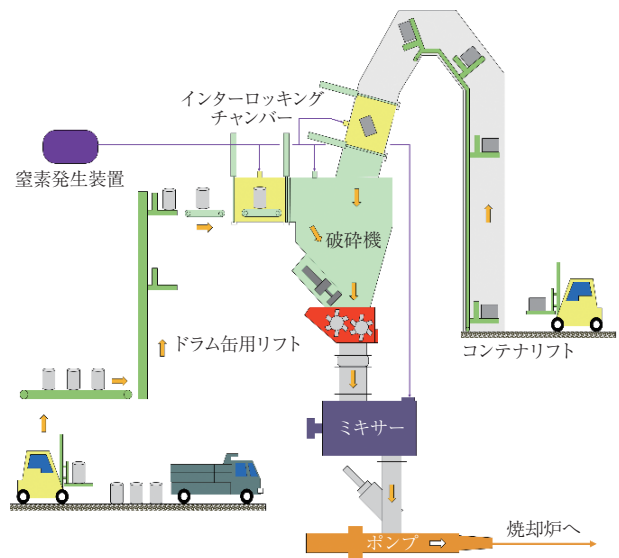


図6 ドラム缶破碎システム

能を有し、様々な運転データから通常時と異なる状況を見出し故障予防することは、計画的な操業の支援に有効である。今後はさらにデータを蓄積し予測機能を充実させていく。

### 1.2 ドラム缶破碎システム

産業廃棄物処理場においては、排出形態として比較的ドラム缶が多く、ドラム缶廃棄物の処理工程における安全性の確保と省力化が課題であった。ドラム缶廃棄物は性状が多岐に渡るだけでなく、時には上面が蓋になっているオープンドラム缶で天地を反転しても内容物が排出されず手間がかかるなど、可燃性で取扱いに注意が必要な場合がある。このようなドラム缶廃棄物を焼却炉へ供給する前に、安全に破碎混合し焼却炉へ供給する前処理装置が、ドラム缶破碎システムである。

本装置は図6に示すように、破碎機、ミキサーおよびピストンポンプの主要機器から構成されてい

る。本装置では器内に窒素を供給することにより、酸素濃度の低い可燃限界以下の雰囲気中で、内容物入りのドラム缶を処理することを特長としている。低酸素雰囲気の器内と大気は、破碎機入口に設けられた二重ゲート式のインターロッキングチャンバーで仕切られている。破碎機にはこのほか、一斗缶やペール缶、建設廃棄物などのバラ物も供給できるように別系統でインターロッキングチャンバーが装備されている。大気環境で待機中のドラム缶は、ローラコンベヤによりインターロッキングチャンバー内へ送られ、チャンバー内へ窒素を供給することで、破碎機内と同様の低酸素雰囲気が形成されると、破碎機へ移動する。破碎機へ導入されたドラム缶は、低酸素雰囲気で内容物入りのまま細かく破碎処理される。様々な性状からなる破碎物は後段のミキサーで混合され、ピストンポンプによって配管を通過して炉内へ供給される。ミキサー内での性状を均一に保つことが、後段のピストンポンプによる輸送工程の安定性に影響する。試運転当初は、破碎されたドラム缶片と内容物が分離する輸送不適現象を招くこともあったが、現在は安定輸送が可能となっている。ミキサー内の混合物の輸送性の指標として、ミキサー攪拌機の動力とミキサー重量から算出されるミキサー係数を独自に導入し、長距離輸送と安定操業を実現させている。長距離輸送が可能になったことで、既設の焼却設備において、利用可能な空間へ併設することができる。このような装置の特長が評価され、現在は国内の3施設で稼働を続けている。この内2施設は既設の焼却設備へ後付けで併設されている。図7は本システムの全景であり、写真手前はドラム缶が待機しているローラコンベヤである。

### 1.3 小規模分散型熱利用装置

平成22年12月にバイオマス活用の推進を図るため政府によって策定された「バイオマス活用推進基本計画」は、5年後の平成28年9月に見直しされている<sup>13)</sup>。廃棄物系バイオマスの中で農作物非食用部であるもみ殻や稲わらは、年間の発生量は林地残材よりも多いが、5年間の内ですき込みを除いた利用率が30%から32%とほとんど進んでいないことが明らかになっている。これらの農業廃棄物系バイオマスは、身近に存在する物であり、燃料として有効活用できれば化石燃料使用量の削減と地産地消によるエネルギー自給に繋がる。しかしもみ殻を例にしてバイオマス排出側の状況を見ると、これらは広大な土地から広く分散して発生している。もみ殻は比重も軽いため大量使用に当たっては輸送システムの整備

も課題となり、現状では少量利用が現実的である。温浴施設やハウス加温など身近な熱需要側から見ると、熱出力の小さい化石燃料を利用した小型燃焼装置が多く利用されている。このような農業廃棄物系バイオマス資源の排出側と熱需要側を満足させる装置として、バイオマス資源を粉体燃料化しバーナ燃焼可能な小規模分散型の熱利用装置(KoCona-Series)をラサ工業株式会社と開発した。図8は、農業ハウスへ設置した小型熱利用装置の実証試験時の様子である。

もみ殻などのバイオマス燃料は、小型の粉碎機で粉碎し粉体燃料とする。粉体化することで比重は3倍となり輸送・貯蔵性が改善し、燃焼性も飛躍的に向上する。もみ殻は揮発分が多く、粉体化されることで炉床が不要なバーナ燃焼を実現し、従来の小型燃焼装置において液体燃料からバイオマス燃料への



図7 ドラム缶破碎システム全景



図8 小規模分散型熱利用装置 (KoCona-HOT)

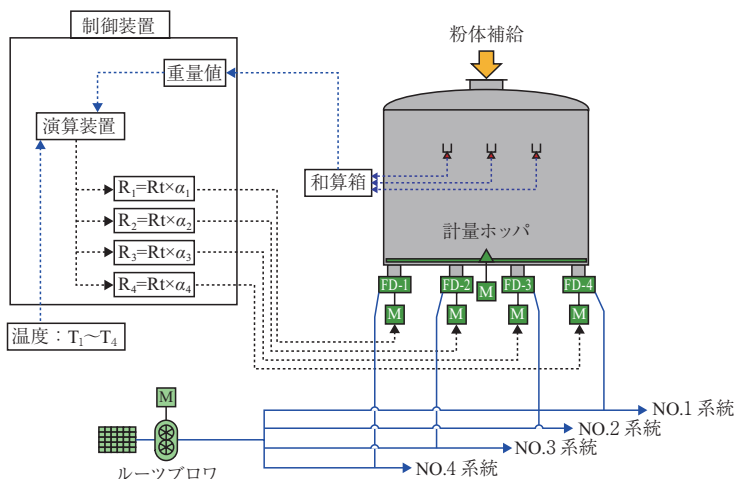


図9 粉体燃料供給装置



図10 粉体廃プラ燃料（プラコール）

転換が可能となった。小型の燃焼装置へ利用されている液体や気体の化石燃料とバイオマス燃料との大きな違いは、燃焼後に灰が排出されることである。もみ殻はバイオマス資源の中でも灰分割が高く、20%にもなる。もみ殻燃焼灰の主成分は、 $\text{SiO}_2$ である。もみ殻灰中  $\text{SiO}_2$  は、燃焼環境下で長時間高温に保たれると呼吸器への障害が懸念されているクリストバライトへ結晶化されることが明らかになっている。もみ殻を燃焼利用する場合には、燃焼灰の非結晶化対策も課題となるが、本装置では、粉体化燃料を燃焼させることでこの課題を解決している。本装置では煙管式温水発生装置の入口でバーナ燃焼を行い、バーナから噴出する燃焼ガスは燃焼灰を含んだ状態で煙管内にて急速冷却される。バーナによる急速燃焼とボイラでの急速冷却により、高温保持時間を短くすることで  $\text{SiO}_2$  の結晶化が回避される。非結晶質の燃焼灰は、融雪剤として利用できるだけでなく、多孔質性を活かして土壌への混合など農業資材としても利用可能である。この熱利用装置は、農業ハウスでの実証試験を経て現在販売を開始し、東北地方の温浴施設への導入を予定している。

新たな農業廃棄物系バイオマス資源への適用拡大として、アグリル株式会社も加わり、採卵鶏糞の燃料化も進めている。採卵鶏糞は粉体化しても、もみ殻と燃料性状が異なり固定炭素が多く、同様なバーナでは燃焼することはできない。現在流動層付きの新型バーナの開発を行い、採卵鶏糞の燃料化も可能となっている。今後は本技術による小規模発電や空調利用など熱の多目的利用への要望に応えたいと考えている。

#### 1.4 粉体燃料供給システム

多量の熱を消費する各種製造装置では、燃料費削減のため固体燃料である石炭やコークスを微粉化して利用される場合がある。大型の燃焼装置では、複数の系統から燃料が供給される。時々刻々と変化する炉内状況に応じて、燃焼炉として必要な総熱量を保ちながら系統毎に燃料供給量を制御する必要がある。固体燃料の場合は、制御弁などの摩耗により、液体や気体燃料のように系統毎に個別の流量制御をすることは難しい。本システムでは一つのホッパに複数台の定量供給機を取付け、ホッパ重量の変化量から供給量を算出し、燃焼炉として必要な燃料供給の総量は供給機の回転数 (Rt) を操作することで制御する。各供給機の操作入力値には、炉内温度などの運転指標を基に炉況に応じた重み付け係数 ( $\alpha_i$ ) を Rt に乗じることで、系統毎に供給量を変化させることが可能となる。本制御機構を組込んだ粉体燃料供給システムのフローを図9に示す。本システムは、大型の焼成炉で粉体オイルコークスの供給装置として利用されている。

粉体燃料関連では、固体燃料 (RPF) を製造する株式会社関商店とともに、廃プラ原料から高品位の粉体廃プラ燃料 (プラコール®) の製造と熱利用技術開発に取り組んでいる。図10に示すプラコールは粒径1.5 mm 以下、低位発熱量38 MJ/kg の粉体燃料である。焼却炉の二次燃焼室において空間燃焼が可能で、廃液を燃焼させる際のA重油等の代替となることが確認されている。国内で生産される高品位の廃棄物燃料として、燃料多消費産業での燃料コスト削減に貢献してまいりたい。

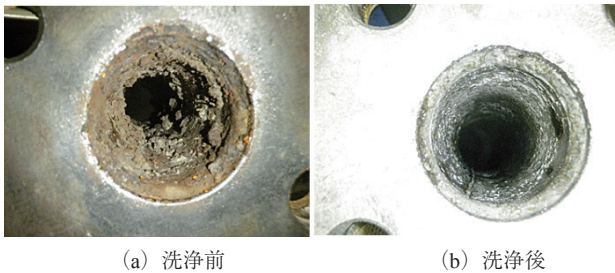


図11 配管洗浄剤の効果

### 1.5 配管洗浄液

各種工場や製造プラントの機器冷却水は、薬剤によって水質管理されているが、経年的にスケールや錆が冷却水配管内に付着成長することがある。配管付着物は、希釈塩酸水などの薬剤で除去されるが、古い設備では除去作業中に薬剤が漏洩する恐れもあり、周辺の立入制限や機械を停止させるなど対策が必要となる。

当社で扱っている配管洗浄・溶解剤（Batten）はpH1.6程度の強い酸性を示すが、植物由来の成分で構成された安全な液である。塩酸のような強い反応で短時間にスケールを根こそぎ除去する訳ではなく、穏やかにスケールを溶解除去するため塩酸除去よりも作業時間は掛るが、スケール除去作業中に万が一漏洩しても周囲が汚染されることがなく、安全に作業を進めることができる。当社では、熱負荷の高い冷却装置などの冷却水流路洗浄に活用している。図11の配管洗浄例から、スケールが除去されていることが確認できる。

### むすび

現在、廃棄物の焼却処理は、安定操業を実現し我々の生活や産業活動を底辺から支えており、その意味で成熟した技術と言える。成熟技術の中でも、近く到来する少子高齢化による労働力不足への対応として省力化の技術開発はもちろんのこと、廃棄物を処理しながら全て資源として有効活用する究極の廃棄物処理技術も夢から現実へ近づけたいと考えている。1990年～2005年に稼働開始した焼却炉の調査によれば<sup>14)</sup>、当社の占める国内シェアは件数別と処

理能力別でそれぞれ5%と4%である。IKEとの統合後は件数別で8%、処理能力別で7%となり、文献記載23社の内7番目の位置から新たにスタートすることになるが、さらに社会から必要とされる企業へと成長することで統合効果を証明してまいりたい。本稿での技術紹介が読者の皆様の興味を掻き立て当社への期待となり、ともにイノベーションを創出し新たに社会貢献できる技術や製品を提供し続けるパートナーとして相応しいと評価頂けるように果敢にチャレンジしていく所存である。これまで同様、新生、株式会社神鋼環境ソリューションへご愛顧を賜れば幸いである。

### [参考文献]

- 1) 気象庁：地球全体の二酸化炭素の経年変化，  
[https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2\\_trend.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html)
- 2) NASA：The New 2016 Revision 7 Earth'S Energy Budget Lithograph.
- 3) 木元克典：海洋酸性化と生物影響，日本機械学会誌，Vol.121，No.1199，2018，p.18.
- 4) THE SANKEI NEWS: 石炭火力の撤退加速 強まる「訴訟リスク」  
<https://www.sankei.com/west/news/181013/wst1810130006-n2.html>.
- 5) 資源エネルギー庁：国内エネルギー動向，エネルギー白書2018，p.136.
- 6) 環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成28年度）について，
- 7) 資源エネルギー庁：国内エネルギー動向，エネルギー白書2018，p.152.
- 8) 環境省：平成12年9月環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会資料・燃料報告書.
- 9) 日本機械学会：JSME Graphics，日本機械学会誌，Vol.121，No.1199，2018，p.9.
- 10) 環境施設：大手ストーカ炉メーカー流動床炉に進出，NO.57，1994，p.20.
- 11) 石森敬三，木通秀樹，斎藤俊明，成澤道則：石川島播磨技報，回転ストーカ炉のインテリジェント制御，NO.40-6，2000，p.315.
- 12) 富浜宗三，坪谷徹史，小寺宏和，奥野輝幸，小林淳，中森慎太郎：プラント運転監視・運転支援システムの運用と活用事例，第38回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集，p.67.
- 13) 農林水産省：バイオマス活用推進基本計画，平成28年9月.
- 14) 環境施設：焼却炉，7万トンの老朽化対策を追い更新・新設，基幹改良工事・延命化工事で4万トン超，NO.153，2018.9，p.34.