

SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES TECHNICAL REVIEW



住友重機械技報

No.188

Aug.2015

ISSN 0387-1304



省エネルギー・環境保全特集

Special Issue for Energy Saving and Environmental Protection

住友重機械技報 No. 188 2015

巻頭言

無限の知恵で、資源の有限性を克服し、持続可能な社会づくりを

高石祐次

省エネルギー・環境保全特集

論文・報告	CFBボイラにおける低品位炭利用技術	渡邊建聖	1
	小型CFBボイラのコセプトと納入実績	藤井大也	5
	CFBボイラにおけるファウリング評価	柴田竜徳	9
	溶融塩中の高温腐食摩耗に関する研究	三津石大貴 吉田和樹 阿川隆一 野際公宏	13
	メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置(低圧損型)	松崎祐子	17
	新しいベルトプレス脱水システム	柄澤俊康	21
	テーバーインペラ式攪拌機Ⅱ	村田圭三	25
	高速凝集沈殿装置 スミシクナーZ (Zone Separator Model)	三井昌文 鈴木 茂 坂本広地	29
技術解説	2016年電力自由化に伴う新電力会社向け小規模火力設備	伊藤一芳	35
新製品紹介	破碎・脱水機構付き垂直スクリュ式除塵機スパイラルカッター		37

新製品紹介

	新型0.9～3.5 t エンジン式フォークリフトQuaPro		38
--	--------------------------------	--	----

For a better sustainable society, overcoming the limit of resources
with limitless wisdom

Yuji TAKAISHI

Special Issue for Energy Saving and Environmental Protection

T/PAPERS	Low Rank Coal Utilization Technology in CFB Boiler	Takemi WATANABE	1	
	Design Concept and Delivery Experience of Small Scale CFB Boiler	Hirokata FUJII	5	
	Fouling Evaluation for CFB Boiler	Tatsunori SHIBATA	9	
	Research on High Temperature Erosion-Corrosion Failure in Molten Salt	Daiki MITSUISHI, Kazuki YOSHIDA, Ryuichi AGAWA, Kimihiro NOGIWA	13	
	Ultra-Fine Bubble Membrane Tube Diffuser System (Low Pressure-Loss Type)	Yuko MATSUZAKI	17	
	New Dewatering System with Belt Press	Toshiyasu KARASAWA	21	
	Tapered-Impeller Type Mixer II	Keizo MURATA	25	
	High-Performance Sludge Blanket Clarifier-SUMI-THICKENER Z	Masafumi MITHUI, Shigeru SUZUKI, Kouchi SAKAMOTO	29	
	T/INVITATIONS	New CFB Applications to New Power Companies for 2016 Japanese Power System Revolution	Kazuyoshi ITO	35
		NEW PRODUCTS	Vertical Screw-Type Screening Equipment with Crushing/Dehydrating Mechanism Spiral Cutter	37

NEW PRODUCTS

New 0.9~3.5 t I.C.E. Forklift Truck QuaPro	38
--	----

省エネルギー・環境保全特集の発行に当たって

無限の知恵で、資源の有限性を克服し、 持続可能な社会づくりを

代表取締役
専務執行役員

高石 祐次



学生時代に読んだ、ローマクラブの「成長の限界」(1972年)が発表されてから四十余年。この間、資源の有限性がもたらすリスクを高める要因として、新興国の経済発展と人口爆発が現実のものとなりました。一方、利用可能な資源の多様化・貯存量拡大と省エネルギーおよび再資源化に関する技術革新によって、成長の限界のハードルは確実に下げられました。「成長の限界」は、発表当時から批判も多かった報告でしたが、世界とりわけ先進国に対して、資源の有限性に関する警鐘を鳴らし、産官学が、今日に至る技術革新に真剣に取り組む契機となったという点では、極めて価値ある報告だったと考えます。

他方、環境保全に関しては、当時から懸念の声はあったものの、現実のものではなかった原子力発電に伴う環境負荷リスクが、三重大事故(スリーマイル島、チェルノブイリ、福島)によって顕在化したほか、地球温暖化の抑制・防止も、人類にとって喫緊の課題となっています。

当社グループでは「顧客に一流商品を提供し続け、互いに謙虚に学びあう企業」という使命の上に立って、環境負荷を低減し、地球環境保全に貢献する技術・商品開発に取り組んでいます。

今回の特集では、当社グループの商品から、省エネルギー、環境保全および再資源化に貢献できる技術・商品を選定しました。間伐材などの未利用バイオマス燃料の収集規模に適した小型CFBボイラ、幅広い種類の再生可能エネルギーの利用可能性を高めるCFBボイラ技術、下水処理プロセスにおける省エネルギーと再資源化を実現する技術などを含む開発成果をご紹介します。

人類が豊かさを追い求める限り、避けて通れない制約である「資源の有限性の壁」をブレークスルーするための技術開発は、今後、ますます重要性を増していきます。当社グループでは、無限の知恵で、省エネルギー、環境負荷軽減に寄与する技術・商品の開発を進め、資源の有限性の壁をブレークスルーし、持続可能な社会づくりに貢献し続ける所存です。

今後とも、皆様のご指導、ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

CFBボイラにおける低品位炭利用技術

Low Rank Coal Utilization Technology in CFB Boiler

● 渡邊 建聖*
Takemi WATANABE

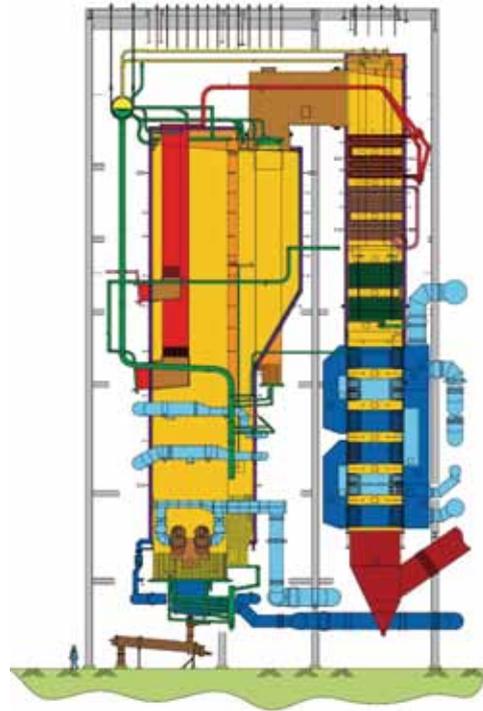


図1 CFBボイラ
CFB boiler

近年、これまでほとんど利用されていなかった泥炭、褐炭および亜瀝青炭などの低品位炭の利用方法に注目が集まっている。低品位炭とは、エネルギー密度の低い石炭である。換言すると、水分や灰分が多いことから利用できる正味の熱量が低い石炭である。また、腐食や伝熱管への灰付着（ファウリング）に関係する成分を有するものもある。

当社の主力製品である循環流動層（Circulating Fluidized Bed CFB）ボイラは、多燃料種が使用できることと、低エミッションであることを特長としている。前述のとおり低品位炭は、一般的な石炭とは異なる特徴を有していることから、CFBボイラで直接燃焼による高効率利用をするには、その特徴を十分に把握することが重要である。

本報では、低品位炭の代表的な特徴と、当社所有のCFBパイロット試験機での燃焼試験や商用プラントでの運転状況を概説し、CFBボイラでの直接燃焼利用技術について報告する。

In the last few years, the effective utilization of low rank coal such as peat, lignite, and sub-bituminous coal has been drawing attention. Low rank coal is the one with low energy density. In other words, in such coal, the actual amount of heat is low because of its high moisture and ash content. Besides, there are types of coal that contain constituents related to corrosion or a fly ash deposition on the heat tube (fouling). Circulating Fluidized Bed (CFB) boiler, a main product of Sumitomo Heavy Industries, Ltd., is featuring the capability of using various types of fuels and low carbon dioxide emission. Low rank coal having different characteristics in comparison with generally used coal as mentioned earlier, it is important to fully understand it for a high-efficiency utilization of such coal in a direct fired system of the CFB boiler. This paper reports utilization technology of the direct fired system of the CFB boiler, describing the typical characteristics of low rank coal and the combustion test done by a pilot test facility of CFB SHI possesses and the operating situations of the boilers in some commercial plants.

1 まえがき

石炭は世界的に広く分布しており、原油・天然ガスなどと比較すると地政学的リスクの少ない燃料である。また埋蔵量も豊富であり、価格も安価で安定している燃料である。近年、世界的なエネルギー需要の増加に伴って、特に中国や

ASEAN諸国にて石炭を利用した火力発電量が増加してきている。これに伴い、これまでほとんど利用されていなかった泥炭、褐炭および亜瀝青炭などの低品位炭のエネルギー源としての利用方法に注目が集まっている。低品位炭は原油や天然ガスと比較すると、固形燃料であることやエネルギー密度が低いことから輸送しにくく、輸出は輸送可能な範囲にとど

表1 低品位炭主要成分
Components of low rank coal

	単位	低品位炭 A	低品位炭 B	低品位炭 C	豪州一般炭 (比較用)
高位発熱量	MJ/kg(気乾)	25.16	22.9	16.4	29.5
低位発熱量	MJ/kg(到着)	15.2	18.1	15.4	25.5
全水分	wt%(到着)	37.5	22.1	14.4	10.5
灰分	wt%(到着)	0.54	4.28	30.3	12.5
硫黄分	wt%(到着)	0.03	0.5	5.12	0.45
燃料比	—	1.04	1.15	1.1	2.2
全アルカリ含有量	mg/kg(乾燥)	14	3760	—	—

表2 CFBパイロット試験機主要仕様
Main specifications of the CFB pilot test plant

	仕様
火炉内径	600mm
火炉高さ	20m
熱出力	1MW



図2 CFBパイロット試験機
CFB pilot test plant

まることから利用可能な地域が限定的であった。

低品位炭とはエネルギー密度が低い石炭であり、換言すると、水分や灰分が多いことから利用できる正味の熱量が低い石炭である。さらには、これら低品位炭のなかには腐食成分を多く含有する炭種もあり、有効利用するにはその特徴を十分に把握することが重要である。代表的な低品位炭であるインドネシア産の褐炭や亜瀝青炭には、全水分が40%を超える炭種もあることから、発電用プラントの熱源として適用する場合には、いかに安定燃焼させるかがプラントの安定運用に直結する。

当社では多燃料種を使用でき、低エミッションであることを特長とするCFBボイラプラントを製造している。低品位炭をCFBボイラの直接燃焼によって有効利用すべく、低品位炭の燃焼特性を各種試験によって把握し、試験結果を商用機設計へ反映させた結果、CFBボイラでの高効率直接燃焼技術を確立することができた。本報では、低品位炭の主要な特徴を整理し、CFBパイロット試験機での評価や商用機での運転結果について報告する。

2 CFB ボイラの特長

図1に、当社の主力製品であるCFBボイラを示す。

CFBボイラ本体は、火炉、セパレータおよび後部煙道の大まかに3つに分けられる。火炉は、燃料の燃焼熱を利用して蒸気を発生させる機能を有している。CFBボイラの火炉内には、伝熱媒体となる循環材と呼ぶ大量の粒子が循環および流動しており、循環材が保有する熱量によってボイラ給水を蒸発させている。火炉上部まで飛散した循環材は、セパレータ内部での遠心力によって排ガスから分離され、分離された循環材は火炉下部へ再度供給される。循環材中の未燃分は、セパレータで回収されて再度火炉内へ供給されることにより、炉内での滞留時間を十分に得ることができる。これにより火炉内

部の燃焼温度が870℃程度の低温燃焼であるにもかかわらず、高い燃焼効率が得られるという特長を有している。また、低温燃焼であるがゆえにサーマルNO_x(NO_x:窒素酸化物)の発生を十分に抑制することができる。さらには、火炉内の運転温度が石灰石を用いた脱硫に適していることから、ボイラ外部に脱硫設備を設けなくても簡易な石灰石吹込み設備のみで脱硫が行える。セパレータを出た排ガスは後部煙道へ流入し、同煙道内に設置された過熱器、節炭器および空気予熱器と熱交換をしてボイラ系外へ排出される。

3 低品位炭の特徴と使用時の注意点

表1に、3種類の一般的な低品位炭の主要成分を示す。

低品位炭Aは、インドネシアの一般的な亜瀝青炭であり、水分が多いことと灰分が少ないことを特徴とする。水分が多いことから、取り出せる正味のエネルギー(低位発熱量)は15MJ/kg程度であり、熱量的には木屑などのバイオマス燃料と同等となる。さらに、この水分量の変動が発熱量および排ガス発生量に多大な変動を引き起こす原因となる。発熱量の変動は、CFBボイラの火炉内燃焼温度や蒸気発生量の変動を引き起こす要因となる。また、排ガス量の変動は、過熱器収熱やボイラ出口ガス温度の変動を招く要因となる。排ガス量の増加は、ボイラ効率の低下だけでなく、火炉内ガス流速増加によるCFBボイラ内部の摩耗を促進する一因となる。

CFBボイラには、おおむね20mm以下まで破碎した石炭を一時貯炭する石炭バンカが併設されている。石炭バンカに蓄えられた石炭は、プラントの運転負荷に見合った量がコンベアなどを介してボイラ内に供給される。水分が多い場合は、バンカや石炭搬送機器内部への石炭微粉による固着や閉塞が生じることも考えられる。石炭搬送システムの不具合は、プラントの安定稼働に直結するので、付着・固着に対しては設備上の対策が必要となる。



図3 インドネシア低品位炭
Indonesian low rank coal



図4 パーム椰子殻
Palm kernel shell

低品位炭Bは、ナトリウムやカリウムなどのアルカリ分を多量に含む亜瀝青炭である。アルカリ分が多い場合、ボイラ内での燃焼時に低融点物質を生成し、伝熱管表面でのファウリングなどの伝熱障害トラブルや腐食を引き起こすリスクがある。CFBボイラに持ち込まれたアルカリ分は循環材中に濃縮することから、循環材中のアルカリ濃度をコントロールできるシステムが必要である。具体的には炉外に燃焼灰を排出する設備、アルカリ分の希釈を目的として珪砂などのフレッシュな循環材を供給する設備が必要となる。

低品位炭Cは、灰分と硫黄分が高い石炭である。燃焼時に発生する燃焼灰や硫黄酸化物(SO_x)が多くなるという特徴を有する。このことから、CFBボイラから燃焼灰を抜き出す設備の容量、排ガス中のSO_x除去設備やSO_xによる低温腐食などへの対策が必要となる。

なお、一般的に低品位炭は炭化度が低いことが多く、これらの石炭の特徴として、空気と接触すると表面で酸化反応が起こり、発生した酸化熱によって自然発火する可能性があることが知られている。石炭の貯蔵および搬送システムにおいては、酸化熱を蓄熱しにくい状況や消火設備などに十分に注意を払うことが非常に重要である。

4 CFB ボイラ設計時の考慮

4.1 石炭成分の変動に対する対策

3章で取り上げたとおり、水分の変動は発熱量変動および排ガス量変動を引き起こすことから、結果として各種主要プロセスの変動やボイラ効率の低下というリスクがあり、プラントの安定運転に影響を及ぼす可能性がある。したがって、CFBボイラの設計において水分の変動に関連する事象への対策が重要になる。

基本的に、設計段階で定期的に複数の石炭サンプリングを行い、成分を分析することで大まかな変動幅は把握でき、想定されるプロセス変動として設計に織り込むことができる。

一方、当社製CFBボイラでは、短期的な石炭成分の変動や炭種変更など運用上の変動に対して複雑な操作は不要である。ボイラプロセスの変化から石炭発熱量を自動的に補正し、ボイラ各所に供給される燃焼空気量も自動で調整され、適正な燃焼状態を維持できるようになっている。

また、排ガス中に水分が増加することはボイラ出口での酸

露点を上昇させる一因となるので、空気予熱器の低温腐食を考慮した排ガス温度や、空気予熱器入口の空気温度を設計段階から織り込んでいる。

4.2 CFBパイロット試験による燃焼特性の把握

当社ではCFBパイロット試験機を有しており(図2)、設計段階では実際に使用する石炭を用いた燃焼試験を実施している。表2に、試験機の主要仕様を示す⁽¹⁾。

CFBパイロット試験での燃焼試験では、低品位炭燃焼時の火炉内温度分布、NO_xおよびSO_xなどの排ガス成分を調べることはもとより、過熱器材質に与える腐食や摩耗の影響、循環材粒子の特性などを詳細に調べることができる。

CFBボイラでは、伝熱媒体として火炉内に一定量の循環材が必要である。一般炭などの灰分が10%を超える石炭では、石炭灰によって自動的に循環材量が確保できるが、インドネシア産の低品位炭のように灰分が数%の石炭では、循環材確保が困難になる場合がある。さらに石炭などに付着した異物が火炉内に持ち込まれる場合や、循環材として適さない粒度帯の燃焼灰が生成される場合は、火炉底から循環材(燃焼灰)を抜き出す必要が生じ、火炉内の循環材量の確保が困難になる。不足する循環材量は、一般的には珪砂などを補給することで必要循環材量が確保できるが珪砂などの準備が必要となり経済的ではない。そこで、いったん抜き出した循環材のうち利用できる粒度帯を再度火炉内に戻すシステムが必要となる。CFBパイロット試験機での燃焼試験では、循環材の粒度分布や石炭灰による循環材発生量を把握できることから、珪砂の補給量や循環材抽出量の経済運転点を評価することができる。

本燃焼試験で得られたすべての運転データを解析・検討することで、不確かな部分やラボベースの分析では測定できない特徴を明確にすることができる。当社製CFBボイラは本燃焼試験の結果を実設計に反映させ、優れた性能を発揮するボイラとして顧客へ提供することができる。

5 商用プラントでの実績

商用プラントでの低品位炭適用例として、2例を紹介する。

5.1 インドネシア産低品位炭の適用例

当社はシンガポールの大手電力会社であるTuas Power Ltd.傘下のTP Utility Pte. Ltd.向けに2設備のCFBボイラ(蒸発



図5 ベトナム低品位炭焼きCFBボイラ
CFB boiler for Vietnamese low rank coal

量450t/h, 10.5MPa, 510℃)を納入した。

本プラントではインドネシア低品位炭(表1 低品位炭A相当)を専焼できるだけでなく、トロピカルバイオマス(パーム椰子殻)や木屑系のバイオマス燃料を熱負荷で20%混焼できる設備となっている。低品位炭とトロピカルバイオマスを混焼するボイラとしては世界最大規模である。図3、図4に燃料の写真を示す。

本プラントにて使用するインドネシア低品位炭は、燃焼速度が速く燃料中灰分が少ないという特徴があり、これらにより火炉内部で温度分布の偏りが生じる懸念があった。また、石炭やバイオマス中の異物混入量ならびに異物除去システムの容量設計の最適値が不明であった。パイロット試験機での燃焼試験結果からこの不明点を確認するとともに、得られた結果を伝熱面積の設計や異物除去システムに反映したことで、安定した運用が可能となった。

5.2 ベトナム産低品位炭の適用例

当社は2005年にベトナム石炭公社(Vinacoal)向けに2設備のCFBボイラを納入した(図5)。本プラントで使用した石炭は表1の低品位炭Cに相当する。この石炭の特徴として、高灰分・高硫黄含有率があげられる。微粉炭焼きボイラは燃焼温度が灰の融点以上となることから、熔融した石炭灰が火炉伝熱面に付着・凝固する現象(スラッキング)が発生する。低品位炭Cのような高灰分の石炭を微粉炭焼きボイラで使用すると、顕著なスラッキングが発生するという不具合が生じることから、微粉炭ボイラには適用できない。一方、燃焼温度が灰の融点以下であるCFBボイラではこのような不具合は生じない⁽²⁾。

また、石炭中の硫黄分が多いことから排ガス中のSO_xは数千ppmとなり、大気汚染防止の観点から排ガスをそのまま大気中に排出することができない。同プラントでは、SO_xの低減対策として火炉内に石灰石を直接噴霧する簡易な設備のみ有している。炉内に吹き込んだ石灰石は排ガス中SO_xと反応して硫酸カルシウムを生成(脱硫反応)することで、SO_xが排ガス中から除去される仕組みである。

前述のとおり、CFBボイラ内部では、燃料灰などによって生成される循環材が炉内の伝熱媒体としての役割を担っている。高灰分の石炭を使用する場合、循環材が過剰になることがあり、ボイラの取熱性能が設計値から乖離することがある。乖離の度合いが大きい場合は炉内の燃焼温度、燃焼効率、環境値および蒸気温度維持に影響を及ぼす可能性がある。本プラントでは、当初より高灰分を想定した伝熱面積の設計にて優れた性能を発揮できている。

6 むすび

- (1) 低品位炭は成分や発熱量だけでなく、燃焼特性においても特徴的な性質を示す石炭である。
- (2) CFBボイラは、一般炭は言うまでもなく、これまで利用されずにいた褐炭や亜瀝青炭などの低品位炭を直接燃焼によって有効利用できるボイラである。
- (3) 当社製CFBボイラは、商用プラントの運転実績やCFBパイロット試験機での燃焼試験を含む各種試験結果を設計へ反映しており、低品位炭の特徴を十分に把握した適切な設計がなされている。このことは、商用プラントの運転実績からも裏付けられている。
- (4) 今後も確かな性能を発揮できるCFBボイラを顧客に提供していく所存である。

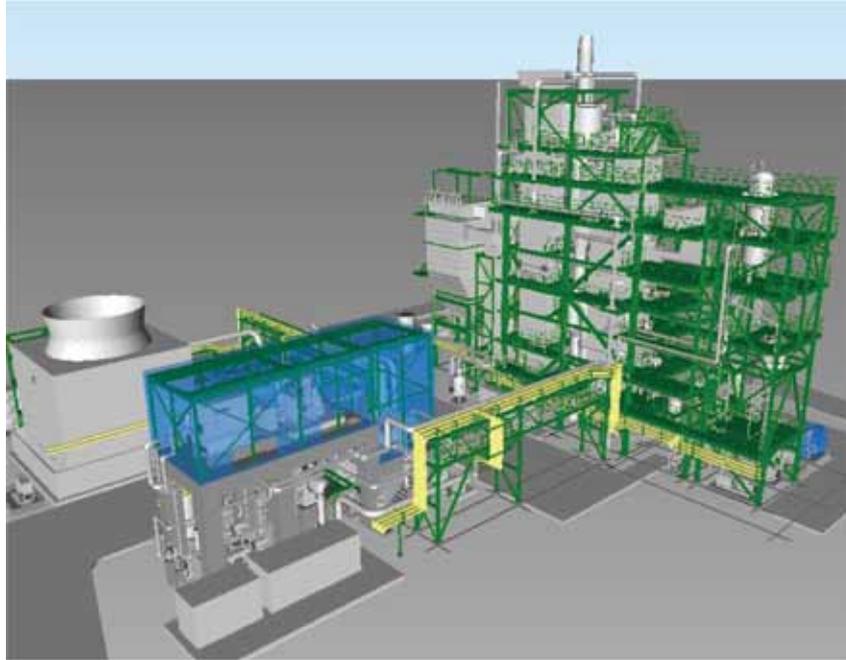
(参考文献)

- (1) 藤井大也, 渡邊建聖, 中谷好宏, 小型CFBボイラ開発の完了, 住友重機械技報, no.177, 2011, p.4.
- (2) Takemi Watanabe, Kazuyoshi Ito, Yoshihiro Nakatani, Industrial solution for utilizing renewable fuels with CFB technology, Renewable Energy World Asia 2010, 2010, p.15.

小型CFBボイラのコンセプトと納入実績

Design Concept and Delivery Experience of Small Scale CFB Boiler

● 藤井大也*
Hirotsuda FUJII



小型CFBボイラを適用した発電設備鳥瞰図
Overview of power plant with small scale CFB boiler

バイオマス燃料は、カーボンニュートラルな燃料であることから二酸化炭素の排出を抑制できるが、広域的に大規模な収集をすることが困難であり、林地残材などとして未利用のまま散在しているのが現状である。

当社は、2011年にCFBボイラの優れた機能を損なわずに、林地残材などの収集規模に適した小型の循環流動層(Circulating Fluidized Bed CFB)ボイラを開発し、これまでに4設備を納入した。小型CFBボイラは、モジュール化設計を採用したことで、ボイラ本体の建設現場までの輸送や建設時の組立て作業が容易となり、受注から納入まで14カ月以下という短納期を実現した。小型CFBボイラの初号機は、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)の認定を受けて、環境負荷に配慮した発電事業に貢献している。

本報では、小型CFBボイラの開発コンセプト(短納期、モジュール設計)および林地残材などのバイオマス燃料の有効利用について報告する。

Biomass fuels are carbon-neutral and therefore they can restrict carbon dioxide emission. The current situation is, however, that a large part of them is left unutilized, and sparsely scattered over a wide area as forest residues because of their difficulty to be collected extensively. In 2011, Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI) developed a small scale Circulating Fluidized Bed (CFB) boiler without sacrificing the superior functions of the original CFB. The small type is suitable for the scale of collection amount of forest residues, and four of them have been delivered up to this time. The modular design adopted to the small scale CFB boiler has made it easier to transport their main body to a construction site, and to assemble their parts. Moreover, this design has realized a quick-delivery that takes 14 months or less from an order intake to its delivery. The first model of the small scale CFB boiler approved by Feed-in Tariff (FIT) is contributing to power generation that is environment-friendly. This paper describes the development concepts of the small scale CFB boiler, such as quick delivery or module design, and an efficient use of biomass fuels, including forest residues.

1 まえがき

エネルギーの利用に伴う環境問題、特に地球温暖化問題への対応が世界的に求められている。そのなかでも二酸化炭素の排出削減が課題の一つであり、カーボンニュートラルの特

性を有するバイオマス燃料の活用に注目が集まっている。しかしながら、バイオマス燃料は石炭などの化石燃料と比較して広域的に大規模な収集が困難であることから、未利用のまま散在している。

代表的な未利用バイオマス燃料として、日本では林地残材、



図1 小型CFBボイラ鳥瞰図
Overview of small scale CFB boiler

表1 小型CFBボイラの基本仕様
Main specifications of small scale CFB boiler

1. ボイラ基本仕様	蒸発量	25 t/h
	主蒸気圧力	5.4 MPa
	主蒸気温度	453℃
2. ボイラ設計	火炉	水冷壁+キックアウト構造
	サイクロン	水冷壁+耐火構造
	火炉底	ステップグリッド, アローヘッド
3. 適用燃料	石炭~バイオマス	
4. 排ガス環境対策	SOx	炉内脱硫, 湿式脱硫 など
	NOx	低温燃焼+2段燃焼, 無触媒脱硝 など
	煤塵	バグフィルタ など

海外では林地残材に加えてパーム椰子殻などの農産物由来バイオマスなどがあげられる。

当社が開発した小型CFBボイラは、多燃料種を高効率で燃焼できるとともに環境負荷が低いというCFBボイラの優れた機能を損なわずに、林地残材などの収集規模に適した出力を実現した。

本報では、日本で有効利用が進みつつある林地残材の特徴および小型CFBボイラに適用した事例を紹介する。

2 林地残材の特徴

林地残材の主だった特徴として、次の2点があげられる。

(1) 水分含有率

林地残材中に含まれる水分は、建築廃材などの一般的な木屑燃料と比較して多く、季節を問わず不安定である。燃料中水分が不安定である場合、利用できる正味の発熱量も不安定となる。

結果として、炉内の燃焼温度および蒸発量が安定しにくく排ガス量が過剰になる。排ガス量が過剰になると、ボイラ効率の低下や炉内の摩耗を助長するリスクが高まることから、水分管理には注意が必要である。

(2) 腐食成分

塩素の含有は少ないが、腐食やデポジット生成の要因となるアルカリ成分が多い。

燃料中のアルカリ含有率が高い場合は、デポジット生成や腐食などを促進するリスクがある。特に、樹皮部分

に多く含まれるアルカリ成分の管理には注意が必要である。

このような林地残材の特徴に対しては、基本的には燃料成分の管理が重要となる。

CFBボイラは、火炉内部に燃焼灰、硅砂や石灰石などを主体とする伝熱媒体(循環材)が循環・流動しており、これらは熱保有量が多いことからバイオマス燃料の不安定な水分含有量や発熱量に対しても燃焼状態に大きな変動を伴わず運転できるというメリットを有している。

また、CFBボイラ火炉内は800℃台の低温燃焼をしているが、バイオマス燃料に多く含まれる傾向があるナトリウムやカリウムなどのアルカリ成分は、炉内温度よりも低い融点を有する低融点物質を生成する一因となる。この低融点物質は、伝熱管への灰付着(ファウリング)の原因となるほか、循環材同士を結合して粗大な粒子を作ることがあり、適切な循環・流動を阻害する要因となる。

小型CFBボイラは、適切な主蒸気温度を選定することでファウリング発生リスクを低減させるとともに、運転中の硅砂補給などによって循環材中のアルカリ分濃度管理や適性な循環材粒度分布を維持できるシステムとなっている。

3 小型CFBボイラの開発コンセプトと基本仕様

小型CFBボイラの鳥瞰図を図1に、基本仕様を表1に示す⁽¹⁾。

3.1 開発コンセプト

小型CFBの開発コンセプトは次の3点である。

表2 納入実績(建設中設備含む)
Delivery record of small scale CFB boiler (Units under construction included)

	蒸発量 t/h	発電量 MWe	タービン入口主蒸気		給水温度 ℃	燃料種	状況 (2015年4月1日時点)
			圧力	温度			
			MPa	℃			
A社	25	5.7	5.0	450	130	木質バイオマス	稼働中
B社	28	ボイラ設備のみ納入			130	木質バイオマス・石炭	稼働中
C社	25	5.7	5.0	450	130	木質バイオマス	稼働中
D社	25	5.75	5.0	450	130	木質バイオマス	稼働中
E社	25	5.75	5.0	450	130	木質バイオマス	(建設中)
F社	25	5.75	5.0	450	130	木質バイオマス	(建設中)
G社	25	5.75	5.0	450	130	木質バイオマス	(建設中)
H社	25	5.75	5.0	450	130	木質バイオマス	(建設中)
I社	25	5.75	5.0	450	130	木質バイオマス	(建設中)

- ① 間伐材に代表される林地残材のように広域に少量ずつ散在している燃料を利用する。
- ② 多種燃料を高効率で利用できるCFBボイラの燃焼技術を適用する。
- ③ ボイラ本体をモジュール構造設計にすることで短納期および製造品質を確保する。

林地残材は広域にわたって少量ずつ散在していることから、収集可能な量が限られており、この量に見合ったボイラサイズの選定が経済的にもボイラ性能上も重要となる。

また、小規模バイオマス発電所の建設立地には、収集が比較的容易な地域が選定されることが多く、必ずしも都市近くの輸送インフラ基盤が整った地域とは限らない。林地残材を利用する発電所などは内陸の山間に建設されることから、ボイラ本体の建設現場までの輸送を簡素化することは、短納期を実現するうえで重要な要素となる。

当社では、ボイラ本体をモジュール設計とすることで輸送の問題を解決するとともに、工場で作製されたボイラ本体の主要部材を、現場にて最小の工数で組立てることができるように設計を行った。結果として、モジュール設計は製品品質の確保と同時に、納期の短縮にも貢献できた。

当社では、ボイラ設備単体だけでなく、タービンや発電機などを備えた発電設備としても提供することができる。ボイラの蒸気条件の選定は、バイオマス燃料の特性、安定的に見込まれる燃料収集量、燃料に含まれる腐食成分などを考慮して蒸発量25t/h、主蒸気温度453℃、主蒸気圧力5.4MPaとした。

3.2 基本仕様

蒸発量はこれまで当社が納入してきた事例と比較すると小規模の25t/h設計であるが、CFBボイラの優れた機能を損なわずにサイズダウンすることができた。

4 実績

4.1 納入実績

表2に、納入実績と建設中の設備を示す。

これまで4設備の稼働を実現し、5設備は建設中の段階にある。CFBの燃焼技術を活用して林地残材、建築廃材および輸入バイオマスなどの木質バイオマスや石炭といった多種燃料に対応している。

4.2 稼働状況

2012年7月に小型CFBボイラの初号機が商業運転を開始した。同プラントは林地残材を利用した発電設備であり、再生可能エネルギーのFIT制度の認定を受けた。

また、2012年11月に納入した設備では、木質バイオマス燃料だけでなく石炭も混焼できることを実証した。これまでに納入した設備では蒸気条件、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)などにおいて環境値を含む所定の性能条件を満足する結果が得られた。

2015年4月の時点ではいずれの設備でも安定した稼働が続いている。

4.3 モジュール設計の効果

小型CFBボイラ本体は、製作工場ではモジュールごとに分割し、そのまま輸送して建設現場で組み立てることが可能なモジュール設計を採用したことで、目標どおりの短納期(発注から14カ月以内)で稼働できる発電設備であることを実証した。同時に、建設現場での溶接などの組立て工数を低減することで製造品質の確保につながった(図2)⁽¹⁾。

5 むすび

- (1) 当社が開発した小型CFBボイラでは、設計コンセプトどおりの短納期(発注から14カ月以内)が実証できた。

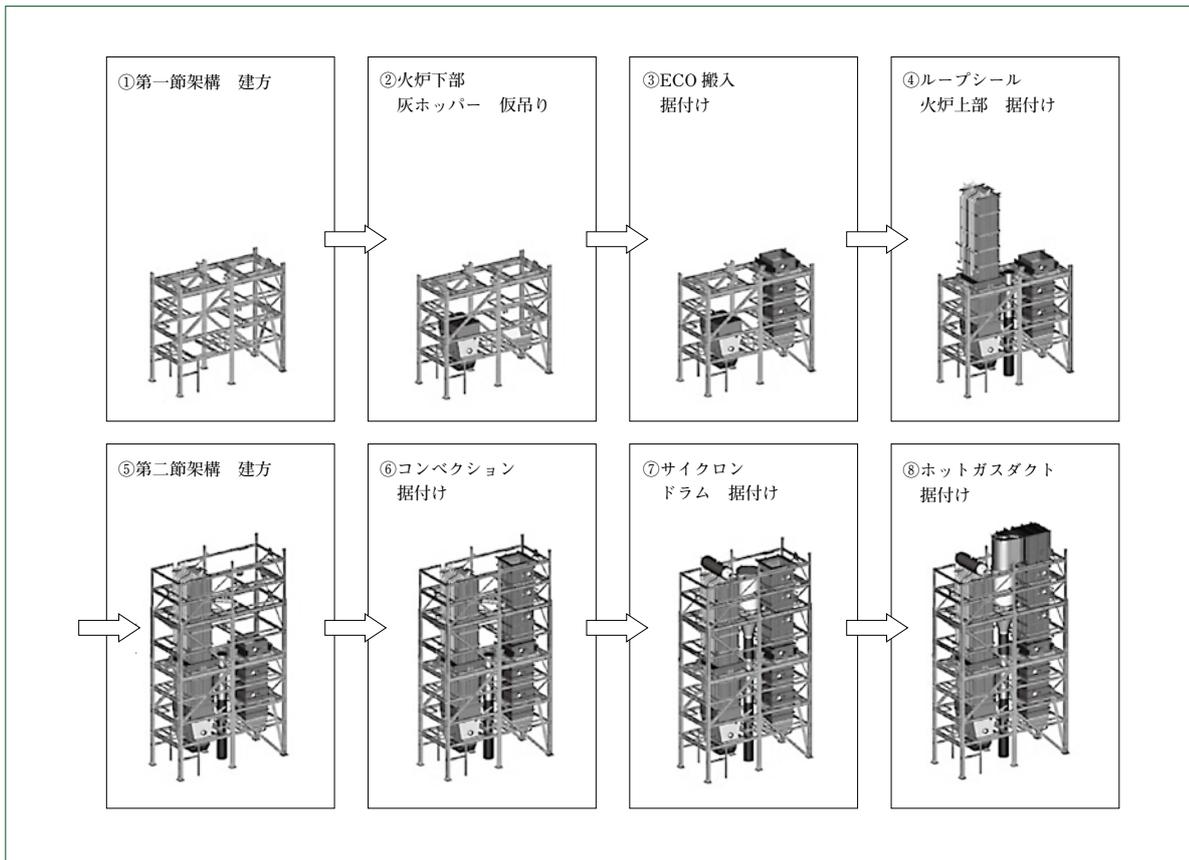


図2 小型CFBボイラの建設工法
Construction flow of small scale CFB boiler

- (2) 小型CFBボイラを利用した発電設備は、日本国内の林地残材を有効活用する手段の一つとして効果的であることが実証された。
- (3) 今後も既納設備の運転状況を把握していくことを継続しつつ、製品の品質を上げていき、環境負荷の低いエネルギーを生み出す設備として顧客へ提供していく所存である。

(参考文献)

- (1) 藤井大也, 渡邊建聖, 中谷好宏, 小型CFBボイラ開発の完了, 住友重機械技報, No.177, 2011, p.4.

CFBボイラにおけるファウリング評価

Fouling Evaluation for CFB Boiler

●柴田 竜徳*
Tatsunori SHIBATA



デポジット評価試験装置
Overview of deposit simulator
test equipment

再生可能エネルギーは、CO₂排出量の少ないクリーンなエネルギーとして発電目的での利用が期待されており、その利用環境は再生可能エネルギーの固定価格買取制度 (FIT) 導入などの取組みにより整備されつつある。

当社は、循環流動層 (Circulating Fluidized Bed CFB) ボイラにおける燃料適用枠の拡大に取り組み、再生可能エネルギーについても、林地残材やパーム椰子殻 (PKS) などのバイオマスの適用実績がある。

バイオマスのなかには、含有成分により深刻なボイラ運転上の問題を発生させ得るものがある。問題の一つである伝熱管の灰付着 (ファウリング) について、当社と Amec Foster Wheeler 社は共同でファウリングモデル「FoulEst」を開発してきた。また当社では、過熱器付着灰 (デポジット) 評価試験装置を用いて定量的なファウリングの評価を行っている。

Renewable energy is expected to be a form of clean energy available for power generation with less carbon dioxide emission. The environment for the usage of renewables has improved by making efforts to introduce Feed-in Tariff (FIT) for the energy. Sumitomo Heavy Industries, Ltd. (SHI) has been working to expand applications of various renewal energies to Circulating Fluidized Bed (CFB) boiler, and successfully used such biomass as forest residues, and Palm Kernel Shell (PKS). Some of biomass fuels could cause serious problems in operating a boiler because of their constituents. To deal with one of the issues, which is a fly ash deposition on the heat exchanger tube (fouling), SHI has collaborated with Amec Foster Wheeler to develop a fouling model “FoulEst”. Moreover, SHI has been conducting a quantitative evaluation on fouling by using test equipment for fly ash on the superheater.

1 まえがき

太陽光や風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーは、化石燃料よりもCO₂排出量の少ないエネルギーとして、地球温暖化や省資源の観点から発電目的での利用拡大が地球規模で求められている。

このような要求に対し、FIT制度の導入を筆頭に再生可能エネルギーの普及に向けた取組みが各国の政府や自治体、研

究機関および民間企業によって行われてきた。その結果、再生可能エネルギーの利用環境が着実に整備されつつある。

当社の主力製品のひとつであるCFBボイラは、幅広い種類の燃料が適用可能であるという特性を生かし、これまでに石炭以外にも再生プラスチック燃料 (RPF) や廃タイヤ (TDF)、スラッジなどを燃料とした数多くの発電プラントへの納入実績がある。再生可能エネルギーについては、林地残材や建築廃材、パーム椰子殻といったバイオマスの適用実績がある。

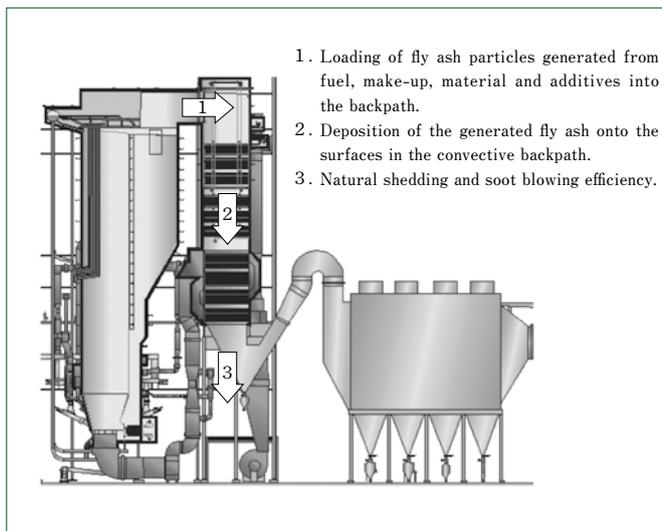


図1 ファウリングモデルの範囲
Scope of fouling model

1. Loading of fly ash particles generated from fuel, make-up, material and additives into the backpath.
2. Deposition of the generated fly ash onto the surfaces in the convective backpath.
3. Natural shedding and soot blowing efficiency.

表1 実機CFBボイラ(CFB1およびCFB2)の燃料分析値
Analysis data of fuels for commercial CFB boilers(CFB1 and CFB2)

Item	Unit	CFB 1		CFB 2	
		Coal	Sunflower	Wood	PKS
Moisture	%, as received	10.6	6.1	53.3	23.0
Ash	%, as received	23.4	4.0	0.9	3.5
Volatile	%, as received	24.6	70.0	38.0	57.3
L.H.V.	MJ/kg, as received	19.33	17.39	7.44	14.33
S	mg/kg, dry	12200	1700	190	300
Cl	mg/kg, dry	4500	1000	100	300
P	mg/kg, dry	569	1300	130	300
Na	mg/kg, dry	5592	110	110	93
Na, pH 3 sol.	mg/kg, dry	2400	18	50	32
K	mg/kg, dry	5703	12600	950	1400
K, pH 3 sol.	mg/kg, dry	230	10300	750	1200
Ca	mg/kg, dry	5066	5700	2800	5100
Ca, pH 1 sol.	mg/kg, dry	4900	5700	2800	5100
Mg	mg/kg, dry	4375	2400	310	540
Fe	mg/kg, dry	12022	440	530	560
Al	mg/kg, dry	40280	490	340	1100
Si	mg/kg, dry	62000	4300	3300	1100

バイオマスのなかには、NaやK、Clといった元素を多く含むものが存在し、CFBボイラにおける炉内循環材による凝集塊(アグロメレーション)の生成や火炉水管および過熱器の腐食、過熱器表面へのファウリングのようなボイラ運転上の問題が危惧され、本報177号⁽²⁾にあるように、各種試験装置による検証評価試験を実施してきた。

ボイラ運転上の問題のうちファウリングについては、燃料や添加剤の組成および設計データなどからファウリングの定量化を主目的として、Amec Foster Wheeler社と共同で2012年よりファウリングモデル「FoulEst」の開発を行ってきた。FoulEstモデルは、実機CFBボイラおよび後述するデポジット評価試験装置から得られたデータをもとに開発された。

本報では、FoulEstモデルの紹介やデポジット評価試験装置によるファウリング評価試験、FoulEstモデル予測値と実機CFBボイラ測定値との比較検証結果について報告する。

2 FoulEst

FoulEstモデルとは、図1に示すようにCFBボイラの後部煙道に設置されている過熱器におけるデポジットのファウリング速度の予測値を算出するモデルのことである。FoulEstモデルでは、以下の手順でファウリング速度が算出される。

- ① フライアッシュ(燃焼飛灰)発生量および灰組成の算出
- ② 後部煙道中過熱器表面上へのデポジット付着速度の算出
- ③ スートブロー(伝熱面に付着したフライアッシュなどの除塵)または自然剥離によるデポジット剥離速度の算出

ファウリング速度は、②および③にて算出されたデポジット付着速度とデポジット剥離速度の差として得られ、式(1)にもとづく。

$$\frac{dm_{deposit}}{A_{SH}dt} = \frac{FA_{gen} \times f_{imp}}{A_{SH}} - k_{shed} \left(\frac{m_{shed}}{A_{SH}} \right)^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

$m_{deposit}$: 過熱器へのデポジット付着重量(t)

A_{SH} : 過熱器表面積(m²)

t : 時間(day)

FA_{gen} : フライアッシュ発生重量(t/day)

f_{imp} : フライアッシュ付着係数(-)

k_{shed} : デポジット剥離頻度(day⁻¹)

m_{shed} : 剥離デポジット重量(t)

α : デポジット剥離過程における次数(現状 $\alpha = 1$) (-)

式(1)中の FA_{gen} は、火炉から後部煙道へ飛散する燃料や炉内循環材、添加剤由来のフライアッシュ粒子発生重量を意味する。また FA_{gen} は、ボイラの形状、火炉および後部煙道における温度分布、ガス流速を含むボイラ設計上のパラメータだけでなく、燃料、炉内循環材、添加物の種類および供給量などから算出される。その際、さまざまな試験装置や実機CFBボイラでの測定結果にもとづき経験的に得られたフライアッシュ発生係数も関係する。フライアッシュ発生係数は、デポジット中に多く含まれる元素(Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Zn, Pb)についてそれぞれ存在し、火炉に供給された燃料、炉内循環材、添加剤中の各元素がフライアッシュ、エアロゾル(排ガス中の液体または固体の微粒子)、気体として火炉から後部煙道へ飛散する割合を示している。

燃料や炉内循環材、添加剤の組成および供給量を入力し、フライアッシュ発生係数による各元素の分配計算を行うことで、火炉から後部煙道へ飛散するフライアッシュの組成およびその発生重量 FA_{gen} が算出される。

後部煙道へ飛散したフライアッシュ(およびエアロゾル、気体)のうち一部は、過熱器表面に付着しデポジットを形成する。その付着量は、経験的に得られたフライアッシュ付着係数 f_{imp} により算出される。フライアッシュ付着係数は、後部煙道へ飛散したフライアッシュのうち、元素ごとの過熱器表面への付着割合を意味する。FoulEstにおけるデポジット付着速度は、式(2)に示すようにフライアッシュ発生重量 FA_{gen} とフライアッシュ付着係数 f_{imp} を掛けることで各元素について計算され、各元素のデポジット付着速度を合計するこ

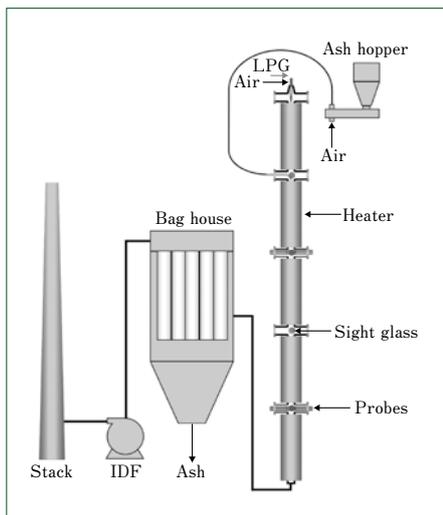


図2 デポジット評価試験装置フロー図
Flow diagram of deposit simulator test equipment

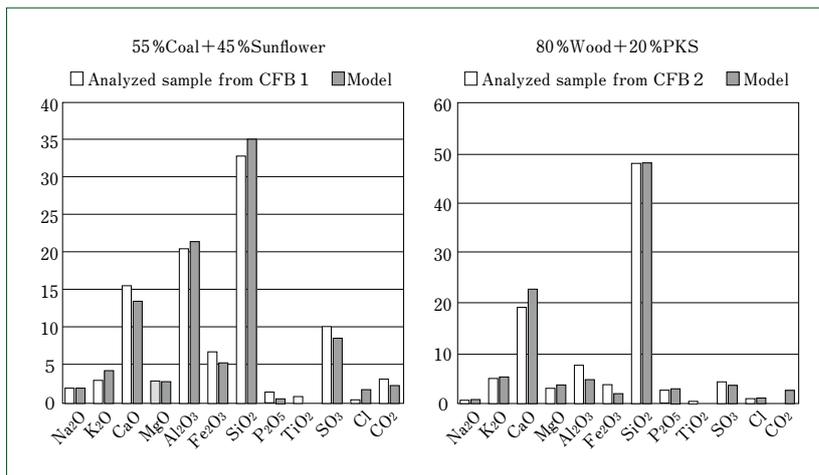


図3 CFB 1 およびCFB2におけるフライアッシュ組成の予測値と分析値の比較
Comparison between estimated and analyzed fly ash compositions in CFB 1 and CFB 2

とで、全体のデポジット付着速度が算出される。

$$\text{デポジット付着速度 (t/day)} = FA_{gen}(\text{t/day}) \times f_{imp}(-) \dots \dots \dots (2)$$

ストブローによる強制剥離や重力などを原因とする自然剥離といったデポジットの剥離現象について、現在のFoulEstモデルでは両方の現象を区別せずひとくりにしている。デポジット剥離速度は、燃料の組合せごとに得られるデポジット剥離係数を用いて計算される。FoulEstにおけるデポジット剥離速度は、式(3)に示すように、粗い粒子と細かい粒子のデポジット剥離速度を合計することで算出される。

$$\begin{aligned} \text{デポジット剥離速度 (t/day)} = & DR_{coarse}(\text{t/day}) \times f_{shed_coarse}(-) \\ & + DR_{fine}(\text{t/day}) \times f_{shed_imp}(-) \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

- DR_{coarse} : 粗粒子付着速度 (t/day)
- f_{shed_coarse} : 粗粒子デポジット剥離係数 (-)
- DR_{fine} : 細粒子付着速度 (t/day)
- f_{shed_fine} : 細粒子デポジット剥離係数 (-)

式(1)から算出されるファウリング速度は、式(2)で算出されるデポジット付着速度と式(3)で算出されるデポジット剥離速度との差を過熱器表面積で除することでも表すことができる。

本報では、石炭 (coal) 55%とヒマワリ残渣 (sunflower) 45%混焼の実機CFBボイラ(CFB 1)および木質燃料 (wood) 80%とパーム椰子殻20%混焼の実機CFBボイラ(CFB 2)にて得られたデータを用いて、FoulEstモデルとの比較検証を行う。表1に、CFB 1 およびCFB 2の燃料分析値を示す。

3 デポジット評価試験

CFBボイラにおけるバイオマス燃料の燃焼によるファウリングを定量的に評価すべく、デポジット評価試験装置による試験(デポジット評価試験)を実施した。図2に、デポジット評価試験装置のフロー図を示す。装置は高さ4.9m、内径78.1mmの円筒縦型電気炉と炉の上端に設置されたLPGバーナおよびフライアッシュ供給用のテーブルフィーダから構成

される。また、炉内には表面温度を制御した過熱器模擬の空冷式プローブを設置し、のぞき窓よりプローブ表面へのデポジット付着状況を観察することが可能である。

デポジット評価試験では、CFB 1 およびCFB 2より採取したフライアッシュを用いた。

プローブは炉内ガス温度が750℃および650℃に制御された箇所それぞれ設置され、すべてのプローブ温度は480℃に制御された。今回実施したデポジット評価試験において、炉内設置時間の異なるプローブがガス温度750℃の箇所にて3本(炉内設置時間34, 66, 100時間)、ガス温度650℃の箇所にて3本(炉内設置時間34, 66, 100時間)それぞれ得られた。これらのプローブ試験片には、すべて同じ材質(10CrMo9-10)を用いた。

試験中のプローブは、のぞき窓より12時間ごとに写真撮影をし、試験後にプローブを炉内から抜き出した後、今度は試験片とガス流れの衝突面を0°として、そこから試験片の円周方向に対して90°ごとに写真撮影を行った。また、試験片に付着したデポジットの重量測定および成分分析についても実施した。

4 検証および試験結果

CFB 1 およびCFB 2について、FoulEstモデルにより算出されたフライアッシュ組成の予測値と実際に採取されたフライアッシュ組成の分析値を比較したところ、値は良好に一致した(図3)。また、フライアッシュ組成に加えて、FoulEstモデルを用いてフライアッシュ発生量の予測も行った。CFB 2の運転にて実際に行った3種類の混焼条件(木質燃料80%と農業系バイオマス20%)について、火炉投入固体(燃料灰、炉内循環材、添加剤)に対する発生フライアッシュの重量割合をFoulEstモデルにより計算した。算出された予測値と各混焼条件の運転データから得られた測定値を比較すると、フライアッシュ発生量の予測値と測定値は、強い相関があるように見える(図4)。

今回実施したデポジット評価試験について、CFB 1のフライアッシュを用いた試験をRun 1、CFB 2のフライアッシュを用いた試験をRun 2とする。両者の試験条件は、試験に用

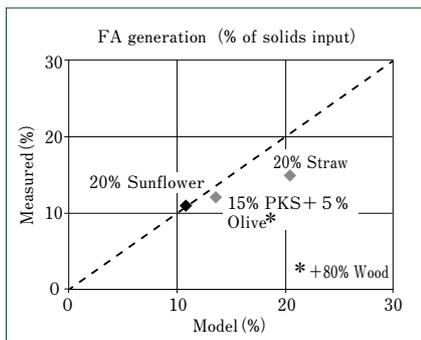


図4 CFB2におけるフライアッシュ発生量の予測値と測定値の比較
Comparison between estimated and measured fly ash (FA) generation in CFB 2

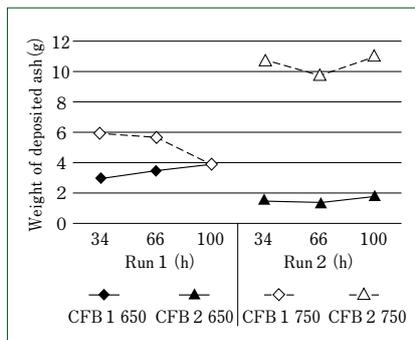


図5 デポジット評価試験におけるプローブ表面へのデポジット付着重量
Measured weight of deposited ash on probes during deposit evaluation test

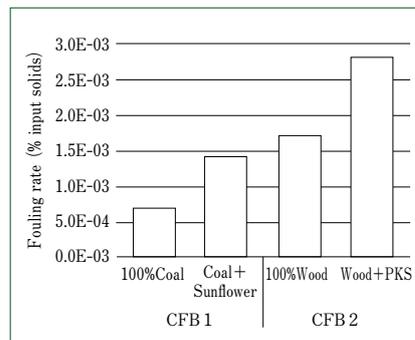


図6 FoulEstモデルにより算出されたファウリング速度の予測値
Fouling rate estimated by FoulEst model

いたフライアッシュの組成を除きすべて同じとした。Run 1では、プローブとガス流れの衝突面およびその180° 反対面にデポジットが多く付着し、Run 2では、プローブとガス流れの衝突面に最も多く付着していた。得られたデポジットはすべて軟らかく、試験片から指で容易に取り除くことが可能であった。図5に、プローブ表面に付着したデポジットの重量を示す。Run 2におけるプローブ表面へのデポジット付着重量はRun 1と比較して、ガス温度750℃においてより多くのデポジットが付着する傾向を示した。

石炭とヒマワリ残渣の混焼により得られたCFB1のフライアッシュは、石炭由来のアルミノケイ酸塩を最も多く含んでおり、ファウリングが少ない傾向を説明できる。木質燃料とパーム椰子殻の混焼により得られたCFB2のフライアッシュは、多くの二酸化ケイ素(SiO₂)を含んでいるが、酸化アルミニウム(Al₂O₃)に対するSiO₂の含有量の比率が高いことから、アルミノケイ酸塩の含有量が少ないことが示唆される。またこれらのフライアッシュには、CaやK、Clのようなファウリング成長に大きく関わる元素が多く含まれていた。

試験機炉内に100時間設置されたプローブから採取したデポジットは、試験片由来とされるFeを多く含んでいることから、試験片の腐食による影響が考えられる。特にガス温度750℃の位置に設置されたプローブの腐食は顕著であり、剥離した試験片を分析するとKおよびClが多く検出された。異なるガス温度(650℃および750℃)にて設置されたプローブから得られたデポジットは、全体的に似た組成であった。また、これらのデポジットは試験に用いたフライアッシュとほとんど同じ組成であったが、ガス温度750℃に設置されたプローブのデポジットは、Cl含有量が少し多かった。

Run 1とRun 2とで比較すると、Run 2にて用いたプローブの腐食が顕著であった。ただし、実機CFBボイラ(CFB1、CFB2)では、過熱器の材質や曝露温度の適切な選択により過熱器の腐食を軽微な状態にとどめられている。

デポジット評価試験から得られた結果は、フライアッシュ付着係数に反映させることでFoulEstモデルに適用された。

図6に、FoulEstモデルにより算出されたCFB1およびCFB2についての相対的なファウリング速度(火炉投入固体に対する付着デポジットの重量割合)を示す。FoulEstモデルによる計算により、石炭または木質燃料に農業系バイオマス

を加えることでファウリング速度が増加し、石炭よりも木質燃料と農業系バイオマスを混合させることで、よりファウリング速度が大きくなること分かる。FoulEstモデルにより算出されたファウリング速度の傾向は、バイオマスを燃料とした実機CFBボイラでのファウリング傾向と一致している。

5 むすび

- (1) 当社は、CFBボイラにおける後部煙道に配置された過熱器表面へのファウリング速度の定量化を目的に、Amec Foster Wheeler社と共同でファウリングモデル「FoulEst」を開発した。
- (2) FoulEstモデルは、燃料や添加剤の組成およびCFBボイラ的设计データなどを用いて、フライアッシュやデポジットの発生量および組成を求め、最終的にファウリング速度を算出する。
- (3) FoulEstモデルにより算出されたフライアッシュおよびデポジットの発生量や組成は、実機CFBボイラから得られた測定値と良好に一致しており、ファウリング速度は、バイオマスを燃料とした実機CFBボイラにおける実際のファウリング傾向をよく示していた。
- (4) デポジット評価試験を用いれば、実機CFBボイラから採取したフライアッシュのファウリング傾向の評価が可能である。デポジット評価試験により、石炭由来のアルミノケイ酸塩を多く含むフライアッシュは、バイオマス由来のフライアッシュと比べファウリングが少ない傾向を示した。
- (5) FoulEstモデルのさらなる改善案として、フライアッシュの発生およびデポジット付着における熱力学計算の応用、また、デポジットの自然剥離とストブローによる強制剥離とを分けて考えることなどがあげられる。

(参考文献)

- (1) Vesna Barišić, Tatsunori Shibata, Edgardo Coda Zabetta, Modeling of fouling in CFB boilers, Proceedings of the 11th international conference on fluidized bed technology, 2014, p.383~388.
- (2) 山下智生, 柴田竜徳, CFBボイラ燃焼技術開発, 住友重機械技報, no.177, 2011, p.5~8.

溶融塩中の高温腐食摩耗に関する研究

Research on High Temperature Erosion-Corrosion Failure in Molten Salt

●三津石 大 貴* 吉 田 和 樹** 阿 川 隆 一** 野 際 公 宏*
Daiki MITSUISHI Kazuki YOSHIDA Ryuichi AGAWA Kimihiro NOGIWA

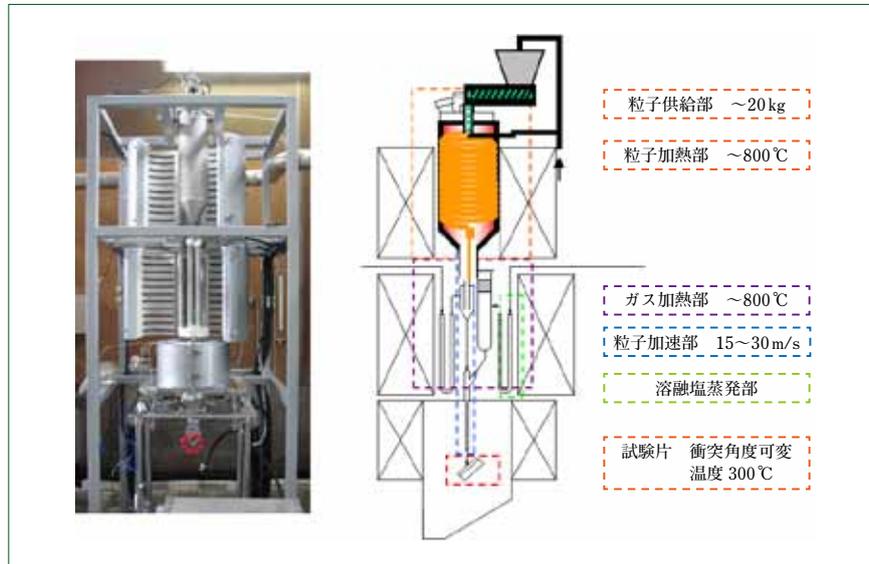


図1 高温腐食摩耗装置
High temperature erosion-corrosion test equipment

近年、循環流動層(Circulating Fluidized Bed CFB)ボイラにおいて、ランニングコスト削減などを目的にバイオマス燃料の使用割合が増加する傾向にある。一方で、バイオマス燃料使用比率が高い場合、燃料中に含まれる塩化ナトリウム(NaCl)や塩化カリウム(KCl)などの溶融塩の影響により、火炉管の損耗速度が増加する可能性が知られている。そのような溶融塩環境中においてもプラントのさらなる安定運転を実現すべく、炉内環境に応じた材料選定技術の開発が求められている。しかしながら、バイオマス燃料を使用したCFBボイラ環境中での損耗現象の詳細は明らかになっておらず、材料選定を目的とする加速試験方法はいまだ確立されていない。

本研究では、今後さらに増加するバイオマス利用CFBボイラ火炉管用材料の選定を可能にすべくCFBボイラ環境を模擬した加速試験方法の確立に取り組んだ。具体的にはボイラ内の環境因子が個別で制御可能な溶融塩雰囲気中高温腐食摩耗試験装置を製作し、損耗に対する各因子の影響度を調査した。

In recent years, while there are an increasing number of the Circulating Fluidized Bed (CFB) boilers utilizing biomass fuel for the purpose of reduction of its running costs, it has become known that a higher percentage of biomass in the fuel could accelerate the pace of erosion-corrosion of their boiler tube because of molten salt such as NaCl and KCl contained in the fuel. To realize more stable operation of the plant despite such an adverse condition, it is required to develop a technology to determine the proper tube material. However, the mechanism of the erosion-corrosion in the CFB boiler still remains unclear, and, therefore, the method of the accelerated test with the aim of the selection of the material has not been established. This paper describes how Sumitomo Heavy Industries (SHI) was working to establish the method of the accelerated test by simulating the conditions in the CFB boilers in order to determine the suitable material for the furnace of the CFB boilers utilizing biomass fuel, of which demand would be increasing in the future. To be specific, SHI produced a test device for a high temperature erosion-corrosion in the molten salt atmosphere, which is capable of controlling each factor of the in-boiler environment independently, and thus of investigating levels of influence of each factor.

1 まえがき

近年、低品位炭やバイオマス燃料を利用することが可能な発電プラントとしてCFBボイラが注目されている。CFBボイラは、炉内に燃料灰、珪砂および石灰石などを主体とした大きな熱容量を保持している循環粒子が流動状態で大量に存在しており、水分などを含んだ発熱量の低い燃料も利用可能

である。また、循環粒子や未燃燃料は、サイクロンで排ガス中から分離され、再び火炉内に戻ることから火炉内で長い滞留時間が得られ、着火点が高い燃料なども利用できるというメリットがある。ただし、その循環粒子の使用により火炉内炉壁に敷設された熱交換用の水冷管(火炉管)の摩耗損耗を考慮する必要がある、あらかじめ想定される損耗量を見込んで火炉管の肉厚設計を行い、定期点検時に減肉分を補修するこ

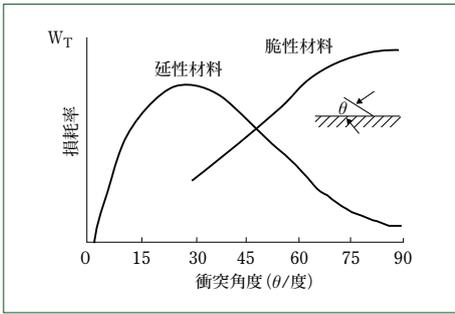


図2 衝突角度と損耗量³⁾
Impact angle and amount of wear

表1 試験条件
Test conditions

試験因子	単位	試験条件			
粒子速度	m/s	15, 20, 25, 30			
粒子総量	kg	9.0, 13.5, 18.0			
溶融塩濃度	mg/m ³	0~300			
粒子衝突角度	度	30			
粒子種類		硅砂	アルミナ	SiC	KClコーティング粒子
粒子硬度	(HV硬度)	1000	1500	3000	1100
粒子密度	g/cm ³	2.65	3.95	3.21	2.65
ガス雰囲気	KCl腐食	大気, 窒素, 大気+窒素中でKCl蒸発させる			
	HCl腐食	KCl蒸発なしで同等濃度のHClガス中			

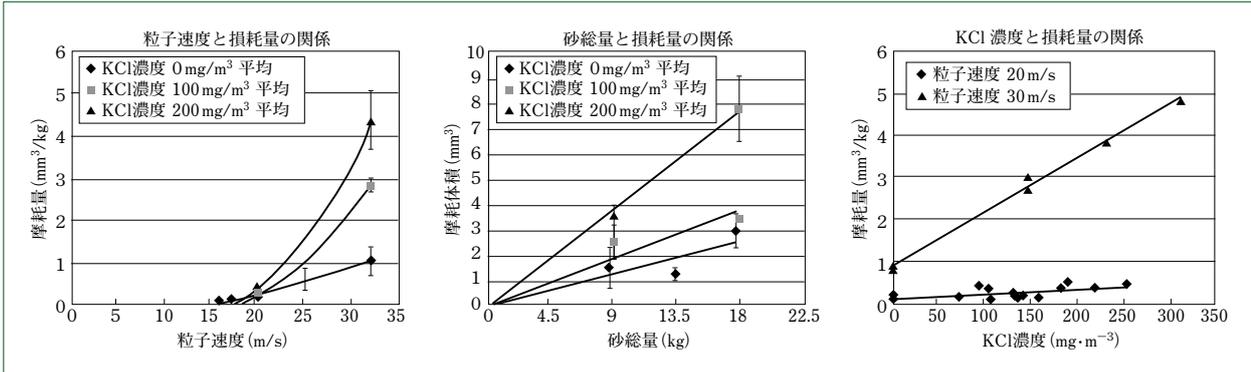


図3 高温腐食摩耗試験結果
High temperature erosion-corrosion test results

となどで対応する。

CFBボイラは石炭焚きが主流であったが、近年、運転コストを低減すべく、建築廃材などのバイオマス燃料の使用割合が増加してきている。一般に、バイオマス燃料の使用が増加すると、石炭燃料使用と比較して火炉管損耗速度が増加することが知られており、バイオマス燃料使用に当たっては、火炉管のメンテナンス費用の低減や、運転中の火炉管の異常損耗による計画外停止の防止に十分な配慮が必要である。

バイオマス燃料使用時のCFB部材の損耗速度増加には、燃料中に含まれるNaCl, KClなどの溶融塩成分が影響していると考えられる⁽¹⁾。しかしながら、そのような溶融塩存在下において火炉管用金属材料が損耗する仕組みにはいまだ不明な点も多い。さらに、今後、多様な燃料の使用も想定されることから、それに対応すべく体系的な材料選定手法を確立しておくべきと考えられる。そこで、CFBボイラ環境を模擬し、溶融塩雰囲気中での高温腐食摩耗現象(エロージョン・コロージョン)を再現できる試験装置(図1)を開発し、これまで検証評価試験を実施してきた。本報では、開発した装置を用いて、火炉環境中で火炉管損耗加速に影響を与える因子と損耗現象の関係を調査した結果について報告する。

2 高温エロージョン・コロージョン試験装置

2.1 火炉におけるエロージョン・コロージョン影響因子

高温エロージョン・コロージョン試験装置は、CFBボイラ内環境を模擬可能であり、さらに損耗に影響を与える因子を抽出および制御して損耗現象を加速できる装置でなければならない。CFBボイラの火炉管損耗には種々の因子が複合的に作用するが、その損耗形態はエロージョン・コロージョンである。したがって、実機環境における循環粒子による摩耗現

象(エロージョン)と高温における腐食現象(コロージョン)を模擬すべく次の損耗理論にもとづき装置を製作した。

2.1.1 エロージョン

粒子衝突による損耗すなわちエロージョン現象については、Bitter⁽²⁾らが式(1)および式(2)に示すモデルを提案している。このモデルは基本的に広く受け入れられており、粒子が衝突したときの運動エネルギーによって材料が塑性変形する損耗量 W_d と粒子の水平方向速度成分により材料表面が切削される損耗量 W_c との和 W_T を全体の損耗量とする考え方である。

$$W_T = W_d + W_c \dots\dots\dots (1)$$

$$W_d = \frac{0.5M(V\sin\alpha - K)^2}{\epsilon} \dots\dots\dots (2)$$

M: 粒子総量 V: 粒子速度 α: 粒子衝突角度
ε: 材料因子 K: 材料因子

このモデルによれば、粒子衝突によるエロージョン損耗量は、材料に衝突した粒子総量M、粒子速度Vの2乗に比例し、材料の硬さに影響される。また、損耗する材料が延性材料と脆性材料で、それぞれ衝突角度に対して図2に示すような損耗量変化を示す⁽³⁾。したがって、エロージョンに関しては粒子総量の制御、粒子速度の制御、衝突角度の制御が重要になる。特に粒子速度に関しては多くの場合、ガス流速などで代用することが多いが、本装置の開発に当たっては、実際の速度を把握することに留意した。

2.1.2 コロージョン

金属材料の腐食による損耗すなわちコロージョン現象については、高温酸化に溶融塩の影響が加わった腐食が考えられる。単純な高温酸化による材料の損耗は酸素が金属表面と反応し金属が酸化し、酸化膜が成長することで損耗が進む。そ

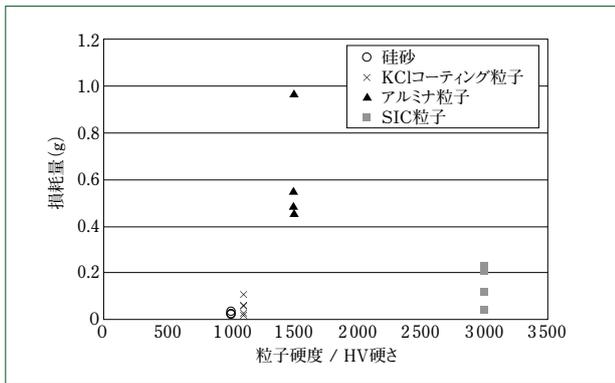


図4 粒子硬度と損耗量の関係
Relationship between hardness of particle and wear amount

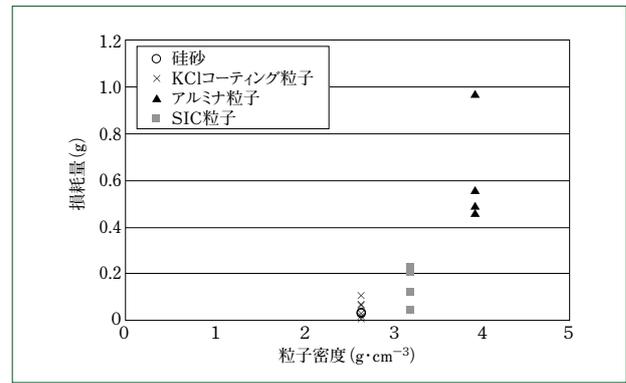


図5 粒子密度と損耗量の関係
Relationship between density of particle and wear amount

の際、酸化膜の成長速度Zは一般に式(3)に示す放物線則によく従うことが知られている。

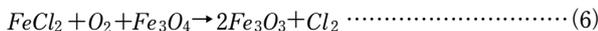
$$Z^2 = C^2 \times k_p \times t \dots\dots\dots (3)$$

$$k_p = A_0 \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

$$k_p: \text{酸化速度定数 } C = \frac{3M_{Fe}}{2M_{O_2} \rho_{Fe}} \quad R: \text{ガス定数}$$

Q: 活性化エネルギー t: 時間

しかしながら、溶融塩がこれに関与した場合、CFBボイラ内部では溶融塩と火炉管材料との間で式(4)～(7)の反応⁽⁴⁾があることが知られており、酸化のみならず塩化現象も考慮しなければならない。



これらの反応式から、コロージョンは溶融塩の挙動が材料損耗に対して大きな影響を持つことが分かる。そこでコロージョンに関しては特にガス中の溶融塩濃度の制御に留意した。次に、開発した評価試験装置の概要について述べる。

2.2 試験装置の概要

エロージョンとコロージョンの理論にもとづき、高温において溶融塩雰囲気制御しながら、粒子衝突による損耗現象を模擬することが可能な装置を製作した。すなわち、粒子総量、粒子速度、粒子衝突角度、粒子温度、溶融塩濃度、雰囲気温度およびガス雰囲気などを制御して損耗評価可能な装置を実現した。

図1に、装置の外観および装置の構成概要を示す。開発した試験装置は粒子供給部、粒子加速部、粒子加熱部、溶融塩蒸発部および試験炉部分で構成されている。

本装置においては、粒子総量の制御を正確に行うべくスクリュューフィーダで粒子を供給する。その後、粒子加熱部において粒子を加速し、加熱する。必要とする速度および温度まで粒子を加速し、加熱するのに十分な滞留時間を取得すべく粒子加熱部配管部はらせん構造とした。また、溶融塩濃度は溶融塩蒸発部において溶融塩試薬を入れたるつぼを加熱し、溶融塩蒸気量と粒子混合気体量を調整して制御する。このよ

うにして、ある濃度の溶融塩蒸気と混合された加速粒子は、試験炉部分に設置されたノズルから噴出され、試験片に衝突し、試験片を損耗させる。試験片の損耗量は試験前後の重量変化から求めた。なお、試験片に衝突した粒子は、試験装置下の捕集缶に回収される。

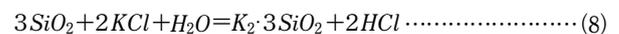
試験片設置台座は角度が可変であり、粒子衝突角度を変更できるようになっている。また、試験片冷却機能を設けており、実機の火炉管と同じ表面温度にすることが可能である。

3 溶融塩雰囲気中における損耗試験

3.1 試験方法

開発した試験装置を用いて、粒子速度、粒子総量、溶融塩濃度、衝突角度、粒子種類(粒子硬度)、ガス雰囲気組成が火炉管材料の損耗に及ぼす影響を調査した。表1に、試験条件を示す。

粒子速度は15～30 m/s、粒子総量は9～18 kg、溶融塩にはKClを使用し0～300 mg/m³の範囲で制御した。衝突角度は30°に固定し、衝突粒子には平均粒子径を200 μmにそろえた硬度の異なる硅砂、アルミナ粒子、SiC粒子を使用した。また、硅砂表面にKClをコーティングした粒子も使用した。KClコーティング粒子を使用した理由は、溶融塩雰囲気中で摩耗試験を行った際に、硅砂(SiO₂)と溶融塩成分であるKClとの間で式(8)の反応⁽⁵⁾が起り、粒子硬度が変化することが考えられたからである。



ガス雰囲気組成は、空気とN₂の混合割合を変えた雰囲気中で溶融塩を蒸発させて摩耗試験を行った。さらに式(8)からHClが存在する可能性も考慮して、KClを蒸発させた場合と同じ当量になるように溶融塩を蒸発させずHClガスを混合した雰囲気においても摩耗試験を行った。試験片材質には火炉管相当材の炭素鋼を使用した。

3.2 試験結果

3.2.1 損耗量に及ぼす粒子速度、粒子総量および溶融塩濃度

図3に、溶融塩雰囲気中で硅砂を衝突させ、粒子速度、粒子総量、溶融塩濃度を変化させたときの損耗量変化を示す。損耗量の増加は、粒子総量に比例し、粒子速度の2乗に比例している。この結果はエロージョンモデル式と同じ傾向である。また、溶融塩濃度に比例して損耗量が増加することを新

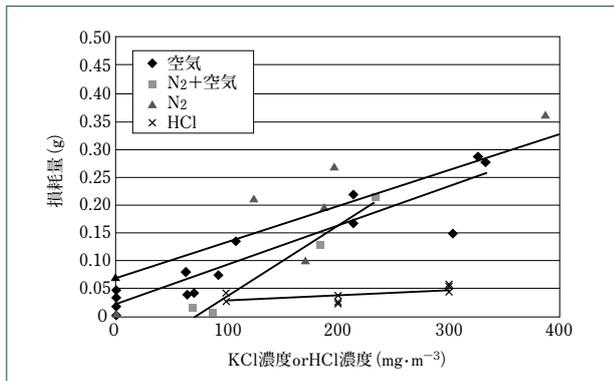


図6 ガス雰囲気と損耗量の関係
Relationship between molten salt concentration or KCl vapor concentration and wear amount

たに確認できた。これらの結果は、燃料に含まれる溶融塩成分が多くなるに従って実機CFBボイラの火炉管損耗速度が増加する傾向に一致する。

3.2.2 損耗量に影響を及ぼす粒子種類

図4に、粒子速度、粒子総量、溶融塩濃度は同条件にし、硬度の異なる粒子およびKClを表面にコーティングした硅砂粒子を使用して、粒子硬度を変化させたときの損耗量変化を示す。

硅砂より硬いアルミナ粒子やSiC粒子を用いた試験でも粒子硬度と損耗量に明瞭な関係はなく、溶融塩コーティング粒子を使用した損耗試験では、硅砂を使用したときの損耗量とほとんど変化がなく、粒子硬度と損耗量に明瞭な関係を見出せなかった。そこで損耗量と粒子密度の関係を調べると、粒子密度が大きくなるに従って損耗量も増加していた(図5)。試験では、各粒子の平均粒子径を一定にそろえているので、粒子密度が大きい粒子ほど衝突の運動エネルギーが大きい。このことから、使用した粒子の材質の範囲では、損耗に対する影響は硬度よりも運動エネルギーの方が大きいと考えられる。

3.2.3 損耗量に影響を及ぼすガス組成

図6に、粒子速度、粒子総量は同条件で、硅砂を衝突させた場合にガス雰囲気組成を変化させたときの損耗量結果を示す。溶融塩存在下では、ガス組成が空気やN₂またはその混合状態のいずれの場合でも損耗量は増加傾向にある。一方、HClガスを混合させた雰囲気では損耗量がほとんど変化していないことが分かる。

この試験結果から、HClは損耗量に影響を与えないことが分かった。また、溶融塩が存在すれば酸素分圧によらず損耗量が同傾向で増加していることから、火炉管材料と溶融塩が直接的に関与する腐食反応が起こっていると推察される。

4 試験片材質と溶融塩濃度の損耗量相対比較試験結果

前述のように本試験装置で火炉管材料損耗に対する試験因子の影響が評価できることが分かった。そこで、いくつかの火炉管候補材の溶融塩雰囲気での損耗量の相対比較を行った。具体的には調査してきた炭素鋼に加え、ステンレス系材料およびNiCr系溶射材について、溶融塩濃度に対する損耗量変化を測定した。図7に、結果を示す。

損耗量は、溶融塩低濃度側では炭素鋼(火炉管相当材)とス

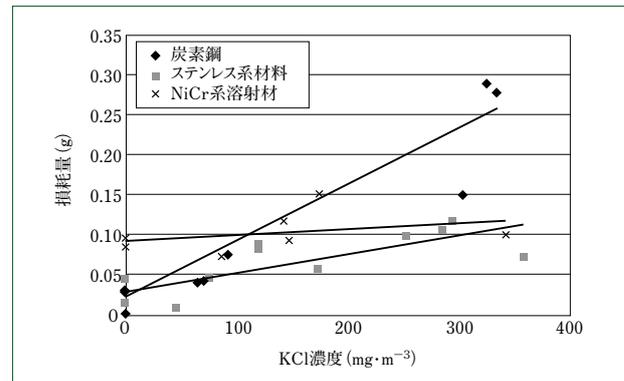


図7 試験片材質と溶融塩濃度と損耗量の関係
Relationship between molten salt concentration and wear amount for SS400, SUS310 and plasma sprayed material

テンレス系材料が同程度で、溶射材が高い値を示しているが、溶融塩濃度に比例して炭素鋼の損耗量が増加している。ステンレス系材料の損耗量も増加しているが、その増加傾向は少ない。溶射材に関してはさらに溶融塩濃度に対して変化が少ない。すなわち、耐腐食系材料であるステンレス系材料や溶射材では高濃度の溶融塩環境における損耗量が少ないと言える。この結果は3.2.3においてガス組成を変化させた試験結果から推定した材料と溶融塩が直接的に関与し腐食反応が起こることで損耗に影響を与えているとの仮説と合致している。

今後も、このような損耗量相対比較データを系統的に収集することで、実機CFBボイラのさまざまな炉内溶融塩濃度に対して、最適な材料を選択することが可能となる。

5 むすび

- (1) 溶融塩雰囲気中での高温腐食摩耗試験を目的とした装置を開発した。この試験装置は、損耗に関係する粒子条件および腐食条件などの試験因子を制御することが可能であり、CFBボイラ炉内環境を模擬した損耗試験を行うことができる。
- (2) 火炉管材料の損耗量は、開発した評価装置により溶融塩濃度、粒子速度の2乗および粒子総量に比例して増加することが確認でき、損耗の原因となる因子の特定と損耗現象との因果関係を明らかにした。
- (3) 試験装置を用いて代表的火炉管候補材料の溶融塩濃度と損耗量の相対比較図を作成した。これよりステンレス系材料や溶射系材料は、従来の火炉管材料と比較して溶融塩濃度が損耗に及ぼす影響が少ないことが確認できた。
- (4) 溶融塩雰囲気中での損耗加速については、溶融塩と火炉管材料で直接腐食反応が起こっていると推察され、今後詳細に調査する予定である。

(参考文献)

- (1) Andreas.W.Rau, CFB Refractory Improvements for Biomass Co-Firing, Power engineering, vol.114, no.7, 2010, p.36.
- (2) J.G.A Bitter, A study of erosion phenomena part I, Wear6.1, 1963, p.5-21.
- (3) Bharat Bhushan, Introduction to Tribology, Wiley, 2002, p.371.
- (4) K.K.Parthiban, Chlorine induced high temperature superheater corrosion in biomass power plants, Venus Energy Audit System, p.20.
- (5) Rademakers, P, Review on corrosion in waste incinerators, and possible effect of bromine., TNO Industrial Technology, 2002, p.18-25.

メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置(低圧損型)

Ultra-Fine Bubble Membrane Tube Diffuser System (Low Pressure-Loss Type)

●松崎 祐子*
Yuko MATSUZAKI



メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置
Ultra-Fine Bubble Membrane tube diffuser system

排水処理プロセスでは、生物処理を行う反応タンクに空気を送るブロワで多くの電力を消費する。この電力消費量を削減すべく、酸素移動効率の高いメンブレン式散気装置が採用されてきたが、従来のセラミック散気装置に比べて圧力損失が高いという問題があった。

本報では、高い酸素移動効率を維持しつつ、セラミック散気装置と同等の圧力損失を達成した低圧損型メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置の概要と導入事例を報告する。

本装置を導入した国内2箇所の下水処理場において、セラミック散気装置に比べ40～50%の空気量削減を達成したほか、安定運転を継続できたことを確認した。

Air blowers used for aeration consume a large amount of power in the wastewater treatment process. Although an Ultra-Fine Bubble Membrane Diffuser with high oxygen transfer efficiency has been adopted to reduce the power consumption, the problem of higher pressure loss in comparison with the conventional ceramic diffuser remained. This paper reports a general description of an Ultra-Fine Bubble Membrane Tube Diffuser System (Low pressure-loss type) that has realized the same level of pressure loss as that of the ceramic one, while keeping the high oxygen transfer efficiency, and also describes some installation cases of the system. It was confirmed that two domestic wastewater treatment plants, in which the system was installed, achieved 40-50% reduction of the airflow in comparison with the ceramic diffuser and were able to keep stable operation of the system without increase of the pressure loss.

1 まえがき

排水処理においては、好気性微生物に酸素を供給し、微生物の働きにより排水中の有機物を分解する処理方法が広く用いられている。この酸素供給を目的として反応タンクに空気を送るブロワでは、多量のエネルギーを消費する。その電力消費量削減に大きく寄与する技術の一つが超微細気泡散気装置である。非常に微細な気泡の発生により酸素を効率的に水に溶解させ、従来の散気装置に比べて送風量を大幅に削減することで、電力消費量および温室効果ガス排出量の削減に貢献できる。

超微細気泡散気装置のなかで一般的なのは、ゴム製の膜

に設けた孔から気泡を発生するメンブレン式と呼ばれる散気装置である。メンブレン式散気装置は効率が高い一方、初期の圧力損失もやや高く、一般的なセラミック製の散気装置と併用する場合、設置高さを上げ、散気水深分の圧力を下げてバランスを取っていた。しかし、全面エアレーション式の設備では、設置高さを上げて底部流速の確保が困難になった場合、散気方式を効率の劣る旋回流式へ変更する必要があるなど、高い効率を十分に生かせないという問題があった。

そこで、10年以上の運転実績を有するミクラス(メンブレンパイプ式超微細気泡散気装置)の低圧損型を新たに商品化した。従来型の特長はそのままに、セラミック製散気装置と同等の圧力損失を実現している。



図1 散気装置仕様
Specifications of diffuser

本報では、低圧損型ミクラスの概要と導入事例を報告する。

2 装置の概要

2.1 適用範囲

反応タンク用散気装置として、新設、増設、改築および更新などに適用する。散気方式は、全面エアレーション式、標準槽旋回流式、深槽旋回流式のいずれにも適用可能である。

2.2 散気設備の全体構成

ブロウにより吸引されてフィルタを通った空気は、空気管を経て反応タンクに送られ、ライザ管およびヘッダ管を通り、散気装置から超微細気泡として散気される。気泡が水中に滞留することで酸素が供給されるとともに、気泡の上昇によって水槽内の攪拌を行うことができる。

2.3 超微細気泡散気装置の概要

図1に、ミクラスの主な仕様を示す。基本寸法や構造・材質は、従来型も低圧損型も共通である。

本散気装置は、ポリプロピレン製の円筒本体の中央に取付け部、両側に散気部を有している。散気部は、本体に特殊シリコンゴム製の円筒状メンブレンをかぶせ、その両端をバンドで締め付けた構造である。メンブレンには超微細気泡を発生するスリットが多数設けられている。

取付け部にある固定金具をヘッダ管の取付け用接続穴に差し込み1点で固定するので、取付けは簡単で、継手や散気装置用架台などは不要である。

装置本体を円筒中空構造にすることで、散気時に生じる装置への浮力を最小にし、振動などを防止するとともに攪拌時の流れの抵抗を抑制する効果がある。

2.4 散気原理

図2に示すように、空気が供給されていないときにはメンブレンが水圧により円筒状本体に密着する。それに伴い、スリットが閉じることで汚水がメンブレン内側に浸入しにくく、目詰まりリスクが低減される。

一方、空気が散気装置中央部のヘッダ管から散気装置に供給されると、装置に設けられた空気分配溝によってメンブレン先端まで均一に分配される。本体とメンブレンの間の空気

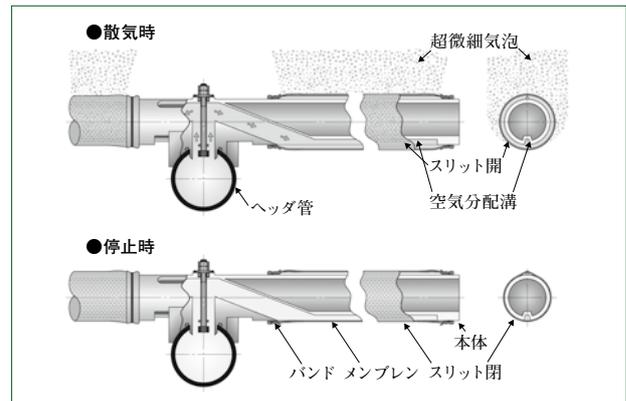


図2 散気原理
Principle of foaming

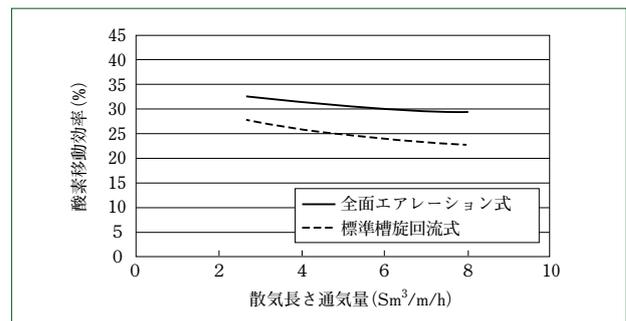


図3 酸素移動効率特性(清水、散気水深5m)
Measurements of oxygen transfer efficiency in freshwater

圧が高くなるとメンブレンが膨張してスリットが開き、そこから超微細気泡が発生する。

水中への酸素移動効率が高くなる理由として、気泡が超微細化することで大きな比表面積が確保され、気泡の水中滞留時間が長くなることがあげられる。

2.5 運転方法

本散気装置は、散気停止時の目詰まりが生じにくく運転可能な通気量の範囲が広いので、間欠運転や負荷変動に合わせた運転なども容易に行うことができる。

3 特長

低圧損型ミクラスは、気泡を発生するスリットの形状を工夫することで、従来型の特長を継承しつつ低圧損化を実現している。

3.1 高い酸素溶解性能

生物処理に必要な酸素を効率的に水中に溶解させることでブロウから供給する空気量を削減でき、ランニングコストの削減と地球温暖化防止に貢献できる。図3に、低圧損型の酸素移動効率特性を示す。清水、散気水深5mにおける酸素移動効率は全面エアレーション式で30%前後、標準槽旋回流式で25%前後と、セラミック散気板(旋回流式で14~16%)⁽¹⁾に比べて大幅に向上している。

3.2 長期の安定運転

高温空気や排水中の油分などによる材質劣化リスクを最小化した高耐久性の特殊シリコンゴム製メンブレンを採用している。さらに、発泡部をスリット構造として、微生物などによる目詰まりリスクを軽減している。

図4に、従来型ミクラスの海外および国内下水処理場にお

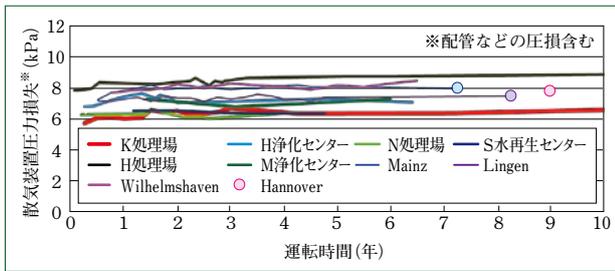


図4 圧力損失の経年変化(従来型ミクラス)
Interannual trend in pressure loss
(membrane tube diffuser, conventional type)

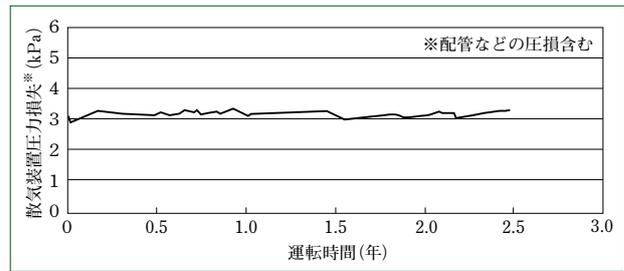


図6 圧力損失特性(G処理場)
Interannual trend in pressure loss(G WWTP)

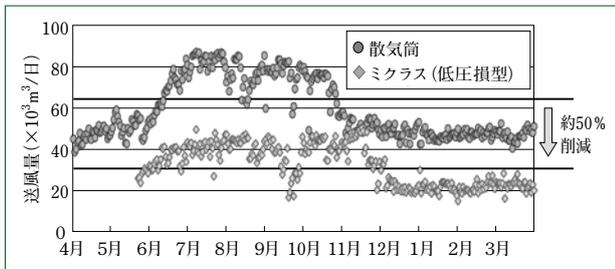


図5 空気量削減効果(G処理場)
Reduction of air volume for aeration by ultra-fine bubble diffuser
(G WWTP)

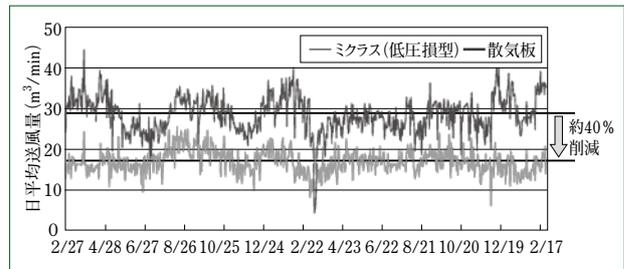


図7 空気量削減効果(T処理場)
Reduction of air volume for aeration by ultra-fine bubble diffuser
(T WWTP)

ける圧力損失の経年変化を示す。圧力損失は、材質劣化や目詰まりが進行すると大幅に増減すると予想されるが、いずれの処理場でも長期にわたって安定している。運転条件はそれぞれ異なるが、目詰まりなどなく運転を継続していると判断できる。低圧損型ミクラスも材質や基本的なスリット構造は同じであり、長期の安定運転が期待できる。

3.3 槽内の確実な攪拌

散気装置には、活性汚泥に酸素を供給するだけでなく、反応タンク内を混合攪拌する機能が求められる。本散気装置は、本体が円筒形状で流れを障害しないことから、深槽式反応タンクなど、限られたスペースに高密度に散気装置を設置した場合でも、槽内を効率的に攪拌できる。風量制御範囲が広く高風量での運転もできるので、処理方式に合わせた設計で効率的な散気・攪拌が可能である。

3.4 更新コストの大幅低減

散気装置の更新時には本体をそのまま使用し、メンブレンのみを交換できる。低圧損型では、他散気装置からの更新でも、既設装置と同水深に設置することでライザ管を最大限活用でき、低コストでの更新および長寿命化が可能である。

また、高い酸素移動効率により必要空気量が減少することから、送風機の更新時には小型化や台数削減による大幅なコスト低減を実現できる。

4 低圧損型の導入事例

国内の公共下水処理場2箇所で、低圧損型ミクラスの空気量削減効果および安定運転性を長期的に調査した。

4.1 G処理場

(1) 設備概要

表1に、G処理場の設備概要を示す。G処理場は標準活性汚泥法の設備で、反応タンクは現有2池のうち1池のみ稼働している。2011年5月より、既設のセラミック散気筒から本散気装置での運転に切り替えた。本設備は、

散気水深約4.1mの全面エアレーション式で、メンブレン式散気装置において一般的に行われる圧損上昇予防操作⁽²⁾は実施せずに運転している。

(2) 水処理状況

本散気装置への更新前後で処理水質を確認した。平均BOD(生物化学的酸素要求量)除去率は2010年度で95.3%、本散気装置に更新後の2011年5月から2012年2月までで96.4%であり、既設と同等以上の安定した処理が可能であった。

(3) 空気量削減効果

図5に、送風量の推移を示す。日平均送風量は、既設散気筒では夏季で約8000m³/日、冬季で約5000m³/日であった。本散気装置への切替え後は、夏季で約4000m³/日、冬季で約2000m³/日となり、本散気装置により年間の必要空気量を約50%削減できたことが分かる。既設ブロワを75kWから45kWに更新することで、大幅な電力消費量の削減を実現した。

(4) 安定運転性

図6に、通気量5~6m³/m/hにおける圧力損失の経時変化を示す。運転開始から2.5年後までの圧力損失は3.3kPa前後で、圧損上昇予防操作を実施しない長期間の運転においても、散気筒の初期圧力損失⁽¹⁾と同レベルで安定していることを確認した。

4.2 T処理場

(1) 設備概要

表2に、T処理場の設備概要を示す。本散気装置が設置されたのは1系6池、2系6池から構成される標準活性汚泥法の施設で、処理方式は2段のステップ流入式多段硝化脱窒法である。本散気装置は1系の2池に設置し、既設のセラミック散気板と並列で、2013年2月から運転を行っている。

散気水深は既設散気板と同じ4mで、散気方式はいずれ

表1 G処理場の設備概要
Outline of G WWTP

流入水量(日最大)	13290m ³ /日
水処理方法	標準活性汚泥法
池形状	7.85(W)×49.9(L)×4.7(H)m
散気装置型式	ミクラス(低圧損型)
散気方式	全面エアレーション式
散気水深	約4.1m
設置状況	

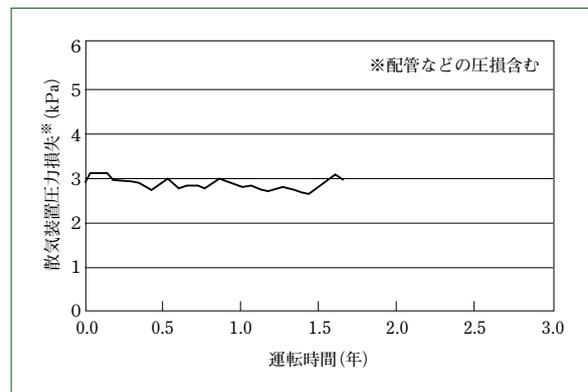
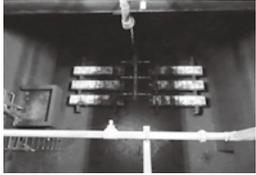


図8 圧力損失特性(T処理場)
Interannual trend in pressure loss(T WWTP)

表2 T処理場の設備概要
Outline of T WWTP

流入水量(日最大)	約7800m ³ /日/池	
水処理方法	ステップ流入式多段硝化脱窒法(2段)	
池形状	5.4(W)×107(L)×5.2(H)m	
散気装置型式	ミクラス(低圧損型)	散気板
散気方式	旋回流式	
散気水深	4m	
設置状況		

れも標準槽旋回流式である。本設備でも圧損上昇予防操作は実施していない。

(2) 水処理状況

本散気装置に更新後、1年間の処理水質を調査した。本散気装置でのBOD除去率は94%以上、窒素除去率は55%以上で、処理水質は既設散気板と同等であった。

(3) 空気量削減効果

図7に、日平均送風量の推移を示す。並列運転で同じ水量を処理しているが、本散気装置への送風量は既設散気板より少なく、平均40%という高い空気量削減効果が得られた。残りの10水路も本散気装置に更新することで、ブロワの運転台数を減らすことができ、38%の電力消費量削減効果および年間約3千万円の電力費削減が期待できると試算された。

(4) 圧力損失

図8に、通気量約3m³/m³/hにおける圧力損失の経時変化を示す。約2年間、圧損上昇予防操作を行わずに運転を行ったが目詰まりなどの傾向はなく、圧力損失は安定していた。既設散気板と同じ散気水深、同じ空気源で安定して運転できることを確認した。

行いながら40~50%の空気量削減を達成した。

(3) 特殊シリコンゴムの採用と目詰まりしにくいスリット構造により、材質劣化や目詰まりを最小化し、長期の安定運転を実現した。

ミクラスは、高い省エネルギー効果と耐久性が評価され、近年採用が増加している。公共下水では大都市も含め全国で80件以上の実績があるほか、民間排水処理向けでも実績を伸ばしている。更新対応性が高い低圧損型ミクラスを商品化したことで、さらに幅広いニーズに対応可能となった。本体形状も、従来のヘッダ管1点取付けタイプだけでなく、ねじ込みで取り付けられるタイプをラインナップに加え、セラミック散気筒のヘッダ管を流用した長寿命化への対応も進めている。

なお、本散気装置は公益財団法人日本下水道新技術機構の建設技術審査証明(下水道技術)を取得している信頼性の高い装置である。

今後も本散気装置を展開し、排水処理分野における地球温暖化対策の推進、ライフサイクルコストの削減に貢献していく所存である。

(参考文献)

- 日本下水道協会, 下水道施設計画・設計指針と解説 後編 2009年度版, 2009, p.93~105.
- 財団法人下水道新技術推進機構, メンブレンパネル式散気装置技術マニュアル, 2005, p.39.

「ミクラス

※ MICRAS」は、住友重機械エンパイロメント株式会社の登録商標です。

5 むすび

- 低圧損型ミクラスの酸素移動効率(清水, 散気水深5m)は、全面エアレーション式において30%前後、標準槽旋回流式において25%前後で、超微細気泡散気装置の高い効率とセラミック散気装置に並ぶ低圧損を両立している。
- 実処理場において、既設散気装置と同等以上の処理を

新しいベルトプレス脱水システム

New Dewatering System with Belt Press

● 柄澤 俊 康*
Toshiyasu KARASAWA



図1 ベルトプレス脱水機
Belt press type dewatering device

地球全体が温暖化している証拠がさまざまな気候指標から得られており、地球温暖化対策はますます重要になっている。また、世界の経済成長と人口増加に伴い資源やエネルギーの枯渇が懸念されている。このような状況のなか、持続可能な環境を維持するには低炭素社会の実現や循環型社会への転換が必要である。下水道はこれまで水の循環と環境保全の役割を担っていたが、近年は下水道にて発生するバイオマスの有効利用も求められている。

下水道では消化槽によりメタンガスを回収し、エネルギーとして有効利用を行っているが、発生する消化汚泥の脱水性の悪さが消化槽設備導入を妨げる理由の一つとなっている。

難脱水性汚泥である消化汚泥に対して、ベルトプレス脱水機を用いた住友重機械エンバイロメント株式会社(SHI-EV)独自の脱水システムにて実証試験を行った。当システムの低含水率化を確認したので本報にて報告する。

As various climate indices indicate that the entire globe is getting warmer, it is becoming ever more important to take countermeasures against the global warming. At the same time, concerns about the depletion of resources and energy are also widespread due to the growth of the world economy and population. Under these circumstances, it is necessary to realize a low-carbon society and to shift to a recycling-oriented society so that a sustainable environment can be maintained. It is also required to effectively use biomass created in the sewerage system, which has been playing a role to circulate water and maintain the environment. Although methane gas that a digestion tank produces in the sewerage system is recovered for efficient use as fuel, a poor dewaterability of digested sludge is one of the reasons to hinder the adoption of digester equipment. SHI Environment has developed its own system adopting a belt press type dewatering device, and we used that system to conduct a demonstration test to digested sludge that is less dewaterable. This paper reports that the test result confirmed that our system achieved a higher reduction of the water content of the sludge.

1 まえがき

地球温暖化対策が求められて久しいが、エネルギー消費型の設備である下水道の分野でも省エネルギー化が求められている。

また、下水道は大きなエネルギーポテンシャルも有しており、下水汚泥を資源・エネルギーとして活用することによる循環型社会への貢献が期待されている。平成24年度の下水道

統計によると、年間230万tを超える汚泥が排出されている。

このような大量の下水汚泥からエネルギーを回収する方法として、一般的には嫌気性消化プロセスが使用されている。嫌気性消化プロセスでは、多種類の嫌気性細菌により下水汚泥中の有機物が分解されメタンガスが発生する。そのメタンガスを回収し、消化ガス発電や燃料電池、最近では水素燃料などに有効利用している。

一方、消化汚泥は脱水しにくく、脱水後の汚泥量は消化し

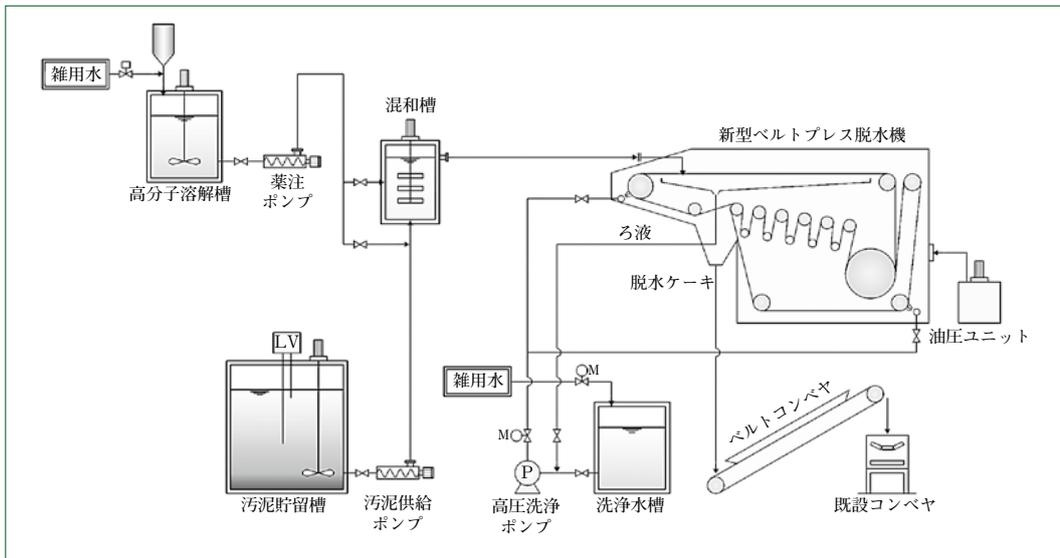


図2 脱水システムフロー
Flow of dewatering system

ない場合と比べてもほとんど変わらない。このことから、多額の設備費をかけて汚泥消化設備を設置するメリットを得にくく、消化槽プロセス自体の採用が見送られるという問題があった。

本報では、難脱水性汚泥である消化汚泥を比較的安定的に処理できるベルトプレスについて、新しい構造を持つベルトプレス脱水機をSHI-EV独自の脱水システムに組み込んで、実証試験を行い性能を確認したので報告する。

2 ベルトプレス脱水機の概要

本報で報告するベルトプレス脱水機は、図1に示すように密閉タイプとしてユニット化されている。脱水機内部の構造は、一般的なベルトプレス脱水機と同様に2枚の無終端ろ布と複数のローラで構成されており、脱水部分では2枚のろ布が重なった状態でローラを巻き込むように組み込まれている。2枚のろ布の間に汚泥を挟み込みローラ間を移動させることで、汚泥にせん断力と圧縮力を加え脱水する。

3 脱水システムの脱水原理

図2に、ベルトプレス脱水機を使用した脱水システムのフローを示す。

3.1 凝集混和槽

ベルトプレス脱水機は、凝集汚泥をろ布で挟み込みローラ間を移動させることで脱水するもので、処理可能な汚泥量や脱水ケーキ含水率は、凝集汚泥の性状に大きく左右される。このことからベルトプレス脱水システムで重要なことは、いかに強い凝集汚泥を作れるかということだと言える。凝集混和槽は、汚泥と高分子凝集剤との完全混合と、生成した凝集汚泥を壊さず排出するという相反する機能を同時に求められている。新しいベルトプレス脱水システムは、凝集混和槽の滞留時間、攪拌強度を自在に設定でき、汚泥性状に合わせた最適な運転条件を選定することで脱水機の性能を最大限に発揮できるシステムとなっている。

3.2 ベルトプレス脱水機

図3に、ベルトプレス脱水機の脱水工程を示す。ベルトプレス脱水機は、無終端のろ布を連続で移動しながら重力ろ過、低压脱水、中圧脱水、高压脱水を経て脱水ケーキとして排出される。その後、ろ布は高压水により洗浄され、再び重力ろ過工程から繰り返す。次に各工程ごとの脱水の仕組みを詳細に説明する。

3.2.1 重力ろ過部

本脱水機の最大の特長は最上段に重力ろ過部分を設け、機器全長を重力ろ過部としたことである。長い重力ろ過部に鋤を効率良く配置することで、凝集汚泥中の水を十分切ることが可能になり汚泥濃度を高くすることができる。

3.2.2 垂直くさび部

垂直くさび部は、重力ろ過により濃縮された汚泥を2枚のろ布の間に供給する部分で、自重による濃縮効果と汚泥の均等供給を期待した機構である。ベルトプレス脱水機は、ベルト幅方向に均一に圧力がかかるので、汚泥が均一に投入されていない場合、汚泥が少ない部分には圧力がかかりにくく脱水が不十分になってしまう。ベルト幅方向に均一に汚泥を投入することは安定した処理を行う上で重要な要件となっているが、垂直くさび部を設けることにより均等分配を実現している。

3.2.3 低压脱水部

ベルトプレス脱水機は、ろ布に張力を加えた状態で複数のローラ間をS字に移動することで圧縮力が加わり、2枚のろ布間に保持された汚泥が脱水される。圧縮力はローラ径に反比例し、ローラ径が大きいと圧縮力は小さくなる。汚泥中の水分が多い場合は流動性が高く、高い圧力で脱水すると横方向に広がることになる。実機ではベルトの側面から汚泥が漏れるサイドリーク現象が発生する。これを防ぐには、初めはできるだけ小さな圧力でゆっくり絞り、水分が抜けていくにつれ徐々に圧力を増加させ脱水する必要がある。重力ろ過直後の汚泥は、水分が多いことから小さな圧力でゆっくり脱水することが求められており、低压脱水部では大口径のローラ

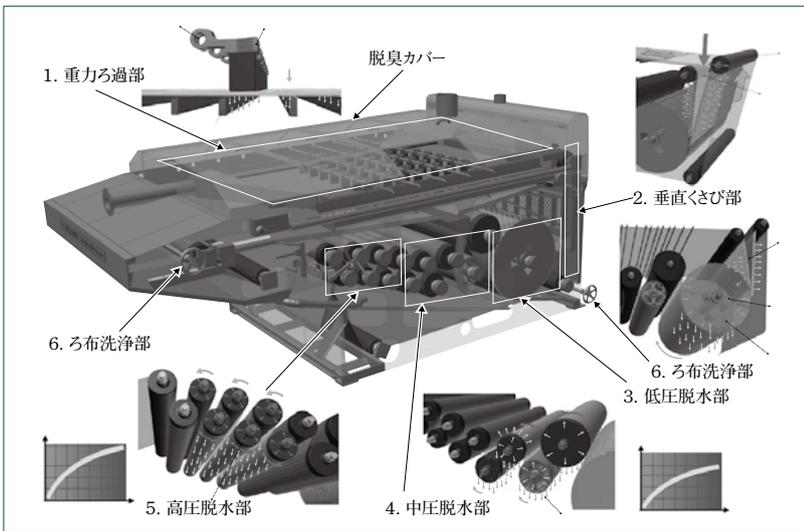


図3 脱水機脱水工程
Dewatering process of belt press

表1 脱水機仕様
Specifications of belt press

項目	仕様
型式	ベルトプレスろ過機
ベルト巾	800mm(有効巾 650mm)
薬注	1液調質 高分子凝集剤
電動機出力	ろ布走行用 2.2kW
	油圧ユニット 0.37kW
電源	400V×60Hz×3φ
数量	1台

表2 汚泥性状
Sludge properties

汚泥種類	蒸発残留物 (TS)	浮遊物質 (SS)	強熱減量 (VTS)	繊維状物 (100メッシュ)
消化汚泥	1.63%	1.24%	71.5%	8.8%

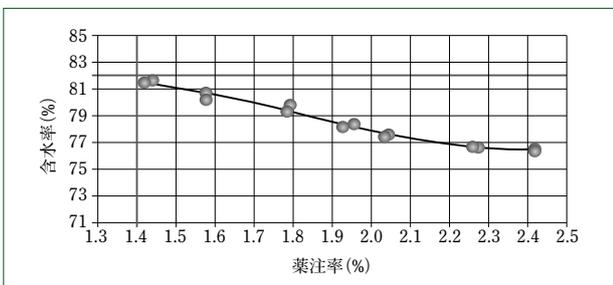


図4 薬注率と含水率
Dosing rate and moisture content

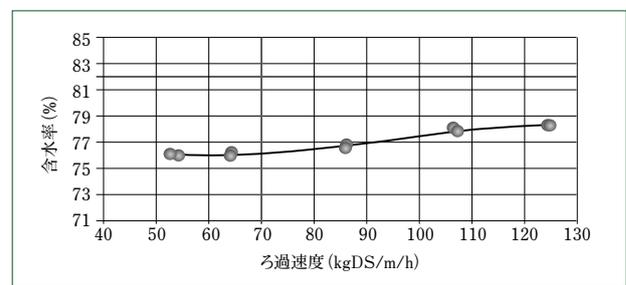


図5 ろ過速度と含水率
Throughput and moisture content

を採用し、低圧でゆっくり脱水している。また、このローラは外面をパンチングメタルとし、内外に脱水ろ液が抜ける構造となっている。ローラ内部に抜けたろ液が再度脱水汚泥に接触しないように、大ローラ最下部に滞留することのない仕組みを採用している。

3.2.4 中圧脱水部

中圧脱水部では、低圧脱水部を経てある程度の圧力でも広がりにくくなっている汚泥を、中間径のローラを使用し、中圧でサイドリークさせることなく脱水を行っている。

3.2.5 高圧脱水部

高圧脱水部では、最小径のローラを使用し、高圧で脱水を行っている。従来のベルトプレス脱水機と比較するとかなり多数のローラを配置し、何度もローラを通すことでせん断と圧縮を繰り返し、効果的な脱水を可能とした。

3.2.6 ろ布洗浄部

脱水された汚泥は、スクレーパによりろ布から掻き落とされ排出される。ろ布洗浄部では、ろ布の目詰まりを解消すべく高圧水により洗浄している。連続洗浄することでベルトプレス脱水機の連続運転が可能になる。

4 ベルトプレス脱水機の構造

4.1 フレーム

フレームは、厚板にローラや受け樋などの構成要素を取り付ける厚板構造となっている。従来型は形鋼の組合せでローラを配置していたが、本機は厚板側面に直接軸受を取り付

ける構造となっており、ローラ設置の自由度が高く、特徴的な脱水ローラの高密度配置を実現している。また、側板がケーシングの役割も担っており、密閉型となっている。

4.2 軸受

ケーシング内に軸受を配置していることから、ベアリングの保護を強化すべく、三重シール構造で内部にグリースを充填したオリジナルの軸受を採用している。

4.3 駆動装置

ギヤボックスを介し、1つの駆動装置で2枚のろ布を同時に駆動させる仕組みとしている。完全にシンクロすることにより、汚泥移送時にせん断力が発生せず確実な移送が可能となる。

5 脱水機運転状況

5.1 脱水設備仕様

表1に、脱水設備仕様を示す。

5.2 対象汚泥

表2に、対象汚泥の分析結果を示す。

5.3 運転結果

5.3.1 薬注率変化試験

薬注率変化試験では処理量3.5m³/hを条件とし、薬注率と含水率の関係を確認した。

図4に、その結果を示す。薬注率1.5%から2.3%までは薬注率を高くするほど含水率が低減し、薬注率2.3%以上で含水率がほぼ横ばいになることを確認した。従来のベルトプレス

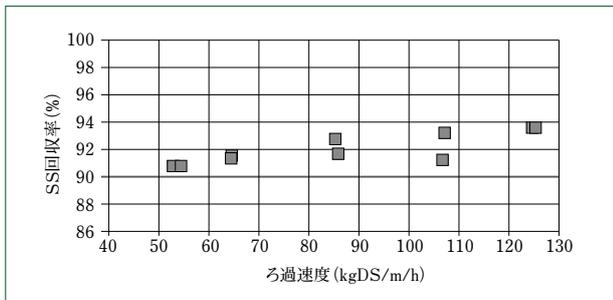


図6 ろ過速度とSS回収率
Throughput and SS recovery rate

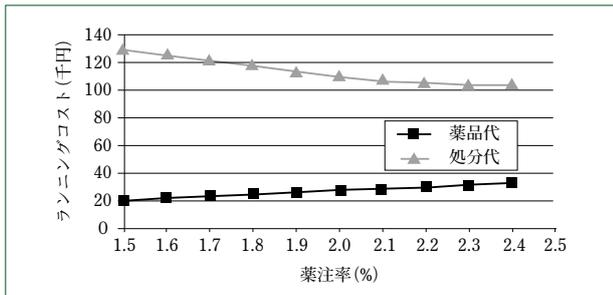


図7 薬注率と薬品代, 処分代
Dosing rate and polymer, disposal cost

では薬注率を増加しても含水率はほとんど変わらないことが多かったが、本機では含水率は大きく低減した。その原因は、脱水に寄与するローラの本数の違いが大きいと推測される。従来機では絞りきる前に排出されることからすぐに含水率の限界となったが、本機では何度も繰り返し脱水するので含水率の低減が可能になったと考えられる。

5.3.2 処理量変化試験

薬注率変化試験における含水率低減の限界値(2.3%)について、処理量と含水率の関係を確認した。

図5に、結果を示す。ろ過速度50~60kgDS/m/hで含水率約76%を確認した。下水道事業団標準仕様書に記載されている数値(消化汚泥濃度1.5%の時の含水率82%, ろ過速度70kgDS/m/h)と比較すると、含水率は同じろ過速度では約5ポイント低減し、試験時最大ろ過速度では125kgDS/m/hで78.4%となり、ろ過速度は約1.8倍、含水率は3.6ポイント低減した。

また、この時の浮遊物質(SS)の回収率は90%以上となることを確認した(図6)。

6 脱水性能向上の効果

6.1 ランニングコスト

表3に、ランニングコスト算出に使用した汚泥条件、コスト条件を示す。脱水ケーキは場外処分とした。図4に示した薬注率と含水率の関係から薬注率ごとの1日当たりの脱水ケーキ量および薬品使用量を計算し、あらかじめ設定した価格により薬品代と処分費を算出した(図7)。

図8に、薬品代と処分費を合計したランニングコストと薬注率の関係を示す。薬注率が1.5~2.3%の間では、薬注率が増えるほどランニングコストが低減する結果となった。ただし、薬注率2.3%以上で含水率の低減効果もなくなることから、ランニングコストが最低となる薬注率があることを確認した。

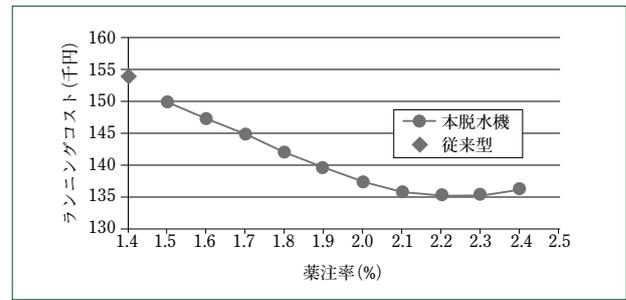


図8 薬注率と1日当たりのランニングコスト
Dosing rate and running cost per day

表3 ランニングコスト算出条件
Calculation conditions of running cost

汚泥量	100m ³ /日
汚泥濃度	1.6%
高分子	850円/kg
処分費	16円/kg

従来は、脱水機の運転コストを下げるべく薬注率を極力抑えて運転することが求められてきた。これは、薬注率を増やすことによる含水率低減効果がほとんど得られず、薬品代を上回る処分費の低減が難しかったからと考えられる。本報で示したように、薬注率を増すことによりランニングコストが最適となる運転ポイントがあることは、これまで考えられなかった結果であり、本脱水システムの大きな成果である。

6.2 維持管理性

実証試験により、高薬注率で維持管理性も向上することを確認した。

- ・汚泥濃度変動に強くなる。
- ・凝集汚泥が強固になり、ろ液が清澄になる。ろ液の再利用による洗浄水量削減につながる。
- ・脱水ケーキが強固になり、剥離性も向上することでSS回収率が向上し、水処理の負荷低減につながる。
- ・脱水機内部の汚れが減少する。

7 むすび

ベルトプレス脱水機を採用した脱水システムにより次のことを確認した。

- (1) 消化汚泥に対し、従来型と比較し含水率の5ポイント低減が可能である。
- (2) これまでより高い薬注率で、ランニングコストが最適になる。
- (3) 高薬注率運転により、維持管理性も向上する。

今後も引き続きさまざまな消化汚泥について実証試験を行い、本脱水システムの優位性を確認し、循環型社会構築に貢献する所存である。

テーパーインペラ式攪拌機Ⅱ

Tapered-Impeller Type Mixer Ⅱ

●村田 圭三*
Keizo MURATA



テーパーインペラ式攪拌機Ⅱ
Tapered-impeller type mixer Ⅱ

近年の下水処理プロセスにおいては、有機物だけでなく窒素やリンを処理対象とした高度処理プロセスの導入が推進されている。従来、嫌気・無酸素槽の攪拌機としては水中攪拌機が多く採用されているが、必要とされる動力が大きく、保守・点検作業の負担も大きいなどの問題が指摘され、駆動部を水槽上部に設置した省エネルギー型反応タンク攪拌機の適用事例も増加してきている。

住友重機械エンバイロメント株式会社(SHI-EV)はテーパーインペラ式攪拌機を商品化しているが、今回、独自に改良を加え、さらに性能を向上させたテーパーインペラ式攪拌機Ⅱを開発した。実施設におけるテーパーインペラ式攪拌機Ⅱの深槽反応タンク攪拌特性評価を行い、良好な結果を得たので報告する。

In recent years, it has been promoted to introduce the advanced sewage treatment process that deals with nitrogen and phosphorus, along with the organic substances, as processing objects. A submerged stirrer has been employed for the anaerobic/anoxic tank operation. However, since that stirrer requires large operational power and a lot of maintenance and inspection work, an energy-saving reaction tank agitator, of which the driving unit can be set above the tank, is increasingly being adopted. Tapered-Impeller type Mixer being put into the market at the moment, we have developed Tapered-Impeller type Mixer Ⅱ with enhanced performance by making the original improvements on the former. This paper reports the positive results from the characteristic evaluation of the agitation functionality of Tapered-Impeller type Mixer Ⅱ working in the deep reaction tank.

1 まえがき

近年の下水処理プロセスにおいては、東京湾などの閉鎖性水域を中心に発生する赤潮の原因となる富栄養化を防止すべく、高度処理プロセスの導入が推進され、水質汚濁物質である有機物のほかに窒素やリンを処理対象としている。下水高度処理プロセスの反応タンクでは、散気装置などにより汚水中に酸素を溶解させ、微生物(活性汚泥)の働きで有機物を分解する好気槽と、酸素が溶け込まない状態で汚泥を混合攪拌させる嫌気・無酸素槽を組み合わせることで、効率的に窒素・リンの除去を行っている。従来、嫌気・無酸素槽の攪

拌機としては、嫌気・好気兼用槽や好気槽としても使用できる水中攪拌機が多く採用されている。しかし、攪拌に必要な動力が大きく、駆動部を含めた装置本体が水中に設置されていることから保守・点検作業の負担が大きいなどの問題が指摘されている。これにより、近年では駆動部を水槽上部に設置し、水中部にはシャフトとインペラのみを配置した省エネルギー型反応タンク攪拌機の適用事例も増加してきている。

SHI-EVは、汚泥消化槽で多くの実績を有するインペラ式攪拌機を反応タンク用に改良して、省エネルギー、省メンテナンスおよび更新が容易であることを商品コンセプトとしたテーパーインペラ式攪拌機を商品化してきた。さらに今回、

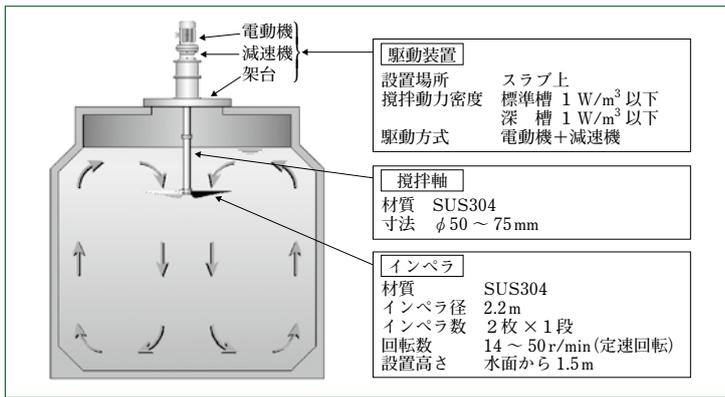


図1 装置の構造
Construction of device

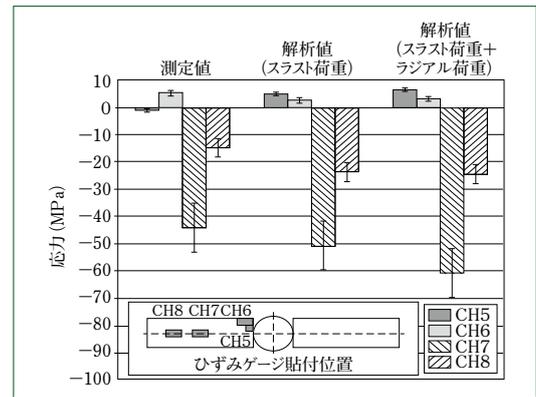


図2 インペラ応力測定値と解析値の比較
Comparison of impeller stress measurement and analysis value

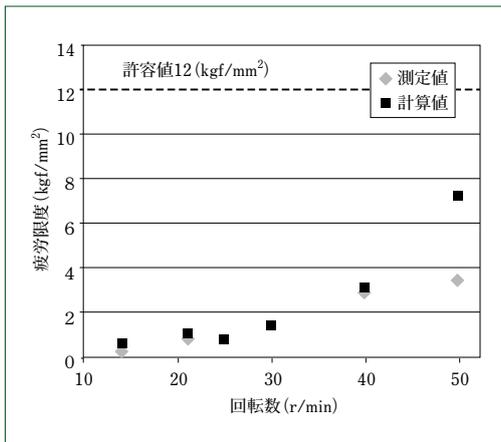


図3 回転数と主軸応力の関係
Relationship between rotational speed and shaft stress

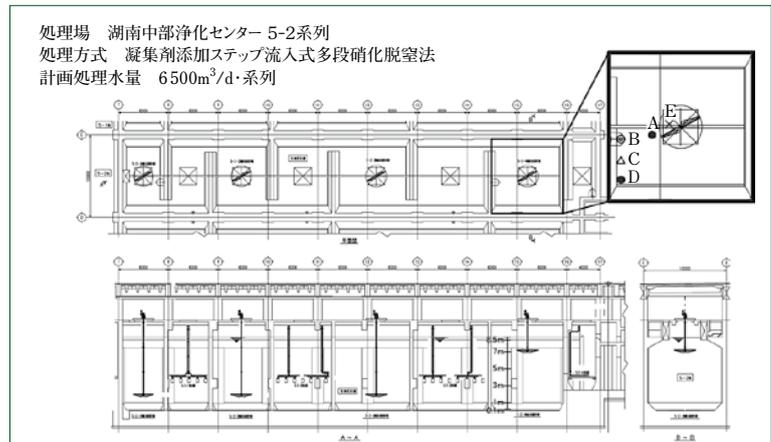


図4 試験場所攪拌機配置図および測定点
Stirrer arrangement diagram and measuring point at test location

独自に改良を加え省エネルギー性を向上させたテーパインペラ式攪拌機Ⅱを開発した。インペラ設置位置を見直したことにより施工性も容易になり、今後増加すると考えられる更新需要への対応性が向上した。

2 装置概要

2.1 テーパーインペラ式攪拌機Ⅱの構造

図1に、テーパインペラ式攪拌機Ⅱの構造を示す。従来機同様に駆動装置、主軸(SUS304)、およびインペラ(SUS304)から構成されている。

従来機は、槽底部(池底からインペラ径程度)をインペラ設置基準位置としていたが、本機ではインペラ形状を最適化することで、より強力な下向流を作り出すことが可能となり、インペラ設置基準位置は水面下1.5mとした。インペラからの下向流は、勢いを保ったまま底部に到達することで汚泥の堆積を防止するとともに、底部から側壁への流れを生み出す。側壁近くでは上昇流、槽水面近くでは主軸への集中流、主軸近くでは下向流となり、槽全体として強い循環流を作り出している。

2.2 テーパーインペラ式攪拌機Ⅱの特長

本機は、従来のテーパインペラ式攪拌機について次に示す改良を行い、攪拌性能の向上と低動力化を実現した。

2.2.1 インペラ形状の最適化

- (1) 従来機の傾斜角を見直し、平板折曲げ形状から曲面円弧形状へ変更
→抵抗力の低減により低動力化を実現した。
- (2) インペラを主軸に対して左右対称から非対称へ変更
→揚力向上により攪拌性能が向上した。

2.2.2 インペラ設置高さの最適化

- (1) 池底からインペラ径程度上側に設置していたものを水面から1.5mの深さに設置することに変更
→インペラ設置位置の曖昧さをなくした。
→主軸の短軸化により軸のたわみ量を極小化し、減速機にかかる曲げモーメントを軽減すると同時に、材料費および据付け工数(軸継手)の減少により、コストを削減することができた。

3 開発設計

3.1 詳細設計

攪拌性能に関するインペラの形状および設置高さの最適化は、流体解析シミュレーション(ANSYS FLUENT)を用いて決定した。また、流体解析シミュレーションからインペラにかかる圧力を算出して得られる荷重、モーメントおよびプロトタイプ試験機運転時のひずみ測定値を入力条件として、駆動部、インペラおよび主軸の設計を行った。

インペラ強度解析に対しては、有限要素法解析シミュレー

表1 試験設備概要
Test equipment overview

	試験対象水槽	比較対象水槽
系列	5-2系列 第7槽	5-1系列 第7槽
槽形状	8.7(W)×9.0(L)×8.85(H)m (693 m ³)	同左
設置位置	水深1.5m	水深7.0m
機 器	形式	テーパーインペラ式 低動力攪拌機Ⅱ
	電動機容量	1.5kW (VVVF)
	インペラ径	2200mm
	回転数	10~30r/min
	概略図	
		2600
		8700

ション(SOLIDWORKS Simulation)を用いて適切な板厚や構成要素の検討を行った。

3.2 設計検証

3.2.1 検証方法

実際の運転中にインペラおよび主軸にかかる力が不明確であることから実機と同スケールの試験機を製作し、運転中のひずみ測定から曲げ応力と軸力を求め、計算値との比較検証を行った。

主軸、インペラにひずみゲージを貼付し、6(W)×6(L)×5.5(H)mの大型水槽に設置して回転数を変化させながら攪拌運転し、応力測定を行った。

3.2.2 検証結果

(1) インペラ

図2に、解析値と試験測定値の比較結果を示す。図中の応力値は、プラス側で引張り応力(インペラ下向きにかかる力)、マイナス側で圧縮応力(インペラ上向きにかかる力)を示す。インペラにかかる応力は回転数とともに増加する傾向であったが、図2は仕様最高回転数である50r/min時の結果である。インペラ中央部のCH7、CH8の圧縮応力が大きいことからインペラ上向きにかかる力が支配的であることが分かる。総じて試験測定値は解析値よりも安全側の値を示し、インペラとボスの接合部近傍のCH5、CH6では試験測定値が解析値を上回る場合があったが、許容値(138MPa)に対して十分小さな値であり、実際上の問題は無いと考えられる。

(2) 主軸

図3に、回転数と疲労限度の関係を示す。主軸にかかる応力は回転数とともに増加することが確認でき、測定値は計算値より安全側の値を示した。総じて計算値と測定値が良好に一致したが、50r/min時に乖離が大きくなった。これは、たわみ測定時に主軸だけでなく架台のたわみも加算している可能性が考えられる。

表2 試験項目
Test items

項目	評価項目・方法	
	攪拌性能	流速
	MLSS	槽内MLSSの変動幅が平均値±10%以内
省エネルギー性	動力	槽内攪拌が十分な条件での攪拌動力密度
水処理性能	水質	水質が比較対象系列と同等

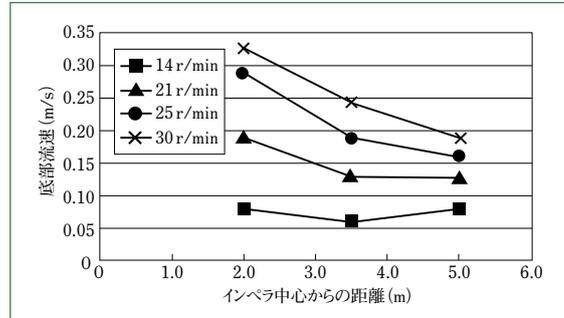


図5 インペラ中心からの距離と底部流速
Distance from the impeller center and bottom flow rate

4 実施設での攪拌性検証

4.1 試験条件

4.1.1 試験実施場所

検証は、滋賀県琵琶湖流域下水道湖南中部浄化センターの5系水処理設備5-2系列反応タンク第7槽(後脱窒槽)(図4)を試験対象水槽とし、既設のテーパーインペラ式攪拌機が設置してある5-1系列反応タンク第7槽(後脱窒槽)を比較対象水槽とした。

4.1.2 試験設備の概要

表1に、試験対象設備と比較対象設備の概要を示す。両水槽とも同形状で、縦横比1:1.03、水深8.85m、容量693m³の深槽式反応タンクである。

攪拌機の仕様の相違点は次のとおりである。

(1) インペラ設置高さ

比較対象機が水深7mであるのに対し、試験対象機の水深は1.5mとした。

(2) インペラ径

比較対象機が2600mmであるのに対し、試験対象機は2200mmとした。

(3) 電動機容量および回転数

比較対象機が定格2.2kW・14r/minであるのに対し、試験対象機は定格1.5kWとし、回転数を変えた測定ができるようにVVVF仕様にして10~30r/minとした。

4.1.3 試験項目

今回の検証試験は2015年3月から実施しており、2016年3月まで継続予定である。

表2に、当初の性能試験で確認した項目を示す。回転数を変化させ、流速およびMLSS(Mixed Liquor Suspended Solids 反応タンク内の浮遊物質濃度)を測定して攪拌性能評価を行った。また、槽内攪拌が十分な条件での攪拌動力密度(水槽1m³当たりの攪拌所要動力)から省エネルギー性を、最適条件設定後の運転における水質分析結果から水処理性能

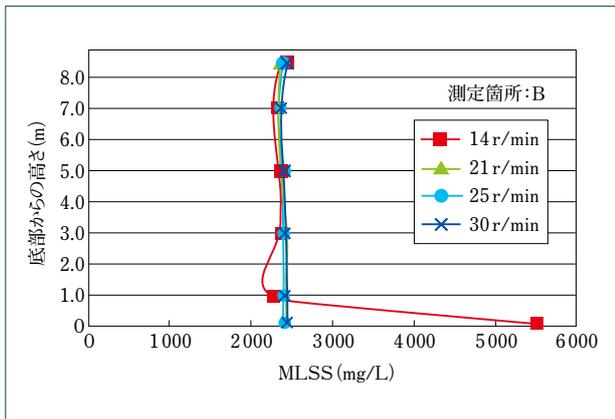


図6 MLSS濃度分布特性
MLSS concentration characteristics

を評価した。

なお、流速とMLSSの測定ポイントは図4に示すA～E点である。測定高さは水槽底部から0.1m, 1m, 3m, 5m, 7m, 8.5mの6点とした。底部流速の評価はA, B, D点で、高さに対するMLSS分布の評価はB, C点で実施した。

4.2 試験結果

4.2.1 流速特性

図5に、インペラ中心からの距離と底部流速の関係を示す。いずれの測定点でも回転数の増加に伴い、底部流速が増加し、インペラ中心からの距離が遠くなるにつれて流速が低下する傾向が確認された。インペラ中心からの距離が最も遠く、汚泥の堆積が心配される底部隅(D点)の流速が、汚泥が堆積しない目安の流速とされる0.1m/s以上を満足する条件は、インペラ回転数が21r/min以上であることが示された。

4.2.2 MLSS濃度特性

図6に、測定点Bの底部からの高さに対するMLSS濃度特性を示す。回転数14r/minでは底部のMLSS濃度が高くなっていることから、攪拌が十分でなく槽底部に汚泥が濃縮されていることが分かる。一方、回転数21r/min以上では槽底部から表層部までほぼ一定のMLSS濃度になり、平均値からの変動幅も±3%以内の範囲に収まっている。測定点Cにおいても同様の結果であることから、21r/min以上の回転数で槽内の攪拌が十分に行えることが示された。

4.2.3 動力特性

図7に、本機の回転数に対するモータ入力動力特性を示す。動力は、回転数の3乗に比例するという一般的な特性を示した。

これまでの結果から、21r/minでインペラを回転させることによって、底部流速が0.1m/s以上を満足し、槽内のMLSS分布も均一に攪拌されることが明らかになった。このときの攪拌動力密度は 0.3W/m^3 であった。

比較対象水槽のテーパインペラ式攪拌機の攪拌動力密度は 1.5W/m^3 程度であり、また従来から多く採用されている水中攪拌機は約 10W/m^3 であることから、大幅な動力削減効果を確認できた⁽¹⁾⁽²⁾。

4.2.4 水質特性

これまでの結果から、21r/minを試験対象水槽の最適運転

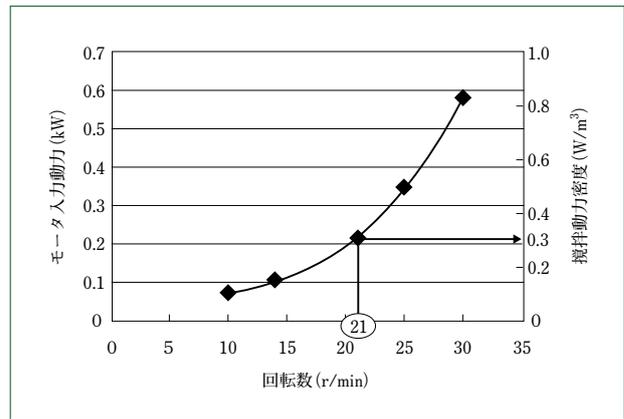


図7 回転数と動力
Rotational speed and power

条件と設定し、本条件下での試験対象水槽と比較対象水槽の第6～8槽の硝酸性窒素濃度を定期的に分析した。両水槽ともほぼ同等の脱窒性能であることが確認できた。

4.3 施工性

今回の試験対象設備は、既設の比較対象機を一時撤去し、架台を流用して駆動部、インペラおよび主軸を入れ替えて試験を実施している。施工に際しては水を抜くことなく短時間で交換作業を実施することができた。本機は施工性が容易であり、今後増加が見込まれる更新需要への対応性が高いことを示している。

5 むすび

実施設の深槽反応タンクにテーパインペラ式攪拌機Ⅱを適用し、攪拌性能、省エネルギー性および水処理性能を評価した。

- (1) 底部流速が0.1m/sを満足し、かつ槽内MLSS分布を均一に維持できる攪拌条件では、攪拌動力密度が 0.3W/m^3 であり、従来のテーパインペラ式攪拌機の1/5程度であった。
- (2) 省エネルギー運転となる最適運転条件において、水処理性能は従来のテーパインペラ式攪拌機と同等である。
- (3) インペラ設置高さの最適化を行い、水を抜くことなく容易に施工できることを確認した。

本報で示した試験結果は、滋賀県との共同研究成果の一部をまとめたものである。本共同研究は2016年3月まで実施する予定であり、今後も知見が得られるよう新しい試験条件の検討などを進めていく所存である。共同研究実施に当たりさまざまなアドバイスや協力を得た、滋賀県琵琶湖環境部下水道課、滋賀県南部流域下水道事務所ならびに日本メンテナンスエンジニアリング株式会社の皆様に心から感謝申し上げる。

(参考文献)

- (1) 鈴木茂, テーパーインペラ式攪拌機, 住友重機械技報, no.177, 2011, p.17~22.
- (2) 林奈夫, 鈴木茂, テーパーインペラ式攪拌機の深槽反応タンクへの適用, 第47回下水道研究発表会講演集, 2010, p.471~473.

高速凝集沈殿装置 スミシックナーZ (Zone Separator Model)

High-Performance Sludge Blanket Clarifier-SUMI-THICKENER Z

●三井昌文* 鈴木茂* 坂本広地*
Masafumi MITHUI Shigeru SUZUKI Kouchi SAKAMOTO



スミシックナーZ (Zone separator model)
SUMI-THICKENER Z (Zone Separator Model)

凝集沈殿は、水処理プロセスのなかで最も広く用いられている重要な処理方法の一つである。近年、一般的に用いられてきた凝集沈殿方式よりも高い水面積負荷での処理が可能な、小型の高速凝集沈殿方式を採用するケースが増えている。

住友重機械エンバイロメント株式会社 (SHI-EV) は、多くの実績を持つスミシックナーの構造と技術を基礎として、高速凝集沈殿方式のなかでも、より清澄な処理水が得られるスラッジブランケット式凝集沈殿装置 スミシックナーZ (Zone Separator Model) を開発した。

製鉄工程の循環水を処理対象として性能を確認し、水面積負荷 $38\sim 52\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ 、無機凝集剤 (PAC) 添加率 $1\sim 5\text{ mg/L}$ 、高分子凝集剤添加率 0.3 mg/L で処理水の懸濁物質 (SS) 濃度は 10 mg/L 程度と、従来よりも高い水面積負荷、少ない薬品添加量で、良好な処理水質を達成した。

Coagulation-sedimentation is one of water treatment methods which are most important and widely used in the treatment process. In recent years, however, a space-saving and high-speed coagulation-sedimentation is increasingly adopted, which can make the treatment with higher surface loading rate than the conventional one. Based on the unique structural features and technologies of SUMI-THICKENER, which various water treatment plants employed, we developed a sludge-blanket-type coagulator, "SUMI-THICKENER Z-Zone Separator MODEL" that has realized the clearer treated water. We evaluated the performance of SUMI-THICKENER Z to treat circulating water for an iron manufacturing, and it was found that the new model produced a treated water of a better quality with higher surface loading rate and lower dosing rate than the conventional coagulation-sedimentation unit: Suspended solid (SS) concentration of the treated water was around 10 mg/L at the surface loading rate of $38\sim 52\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$, the poly aluminum chloride (PAC) dosing rate of $1\sim 5\text{ mg/L}$ and the organic polymer dosing rate of 0.3 mg/L .

1 まえがき

凝集沈殿処理は、薬剤などの添加により排水中のSSを凝集させ、生成した凝集フロックを固液分離する、最も広く用いられている重要な水処理プロセスの一つである。

廃水中の有害物質の除去や回収を行い、所定の許容限界水質以下に処理することを目的とする環境保全処理プロセスに

おいては、処理水基準値以下に処理することに加え、安価で低ランニングコストで管理が容易なことが望まれる。

近年このような要望に応えるべく、従来から一般的に用いられてきた凝集沈殿方式よりも高い水面積負荷での処理が可能な、小型の高速凝集沈殿方式を採用するケースが増えている。スラッジブランケット式凝集沈殿は、高速凝集沈殿方式のなかでもより清澄な処理水が得られ、ろ過器の代用として

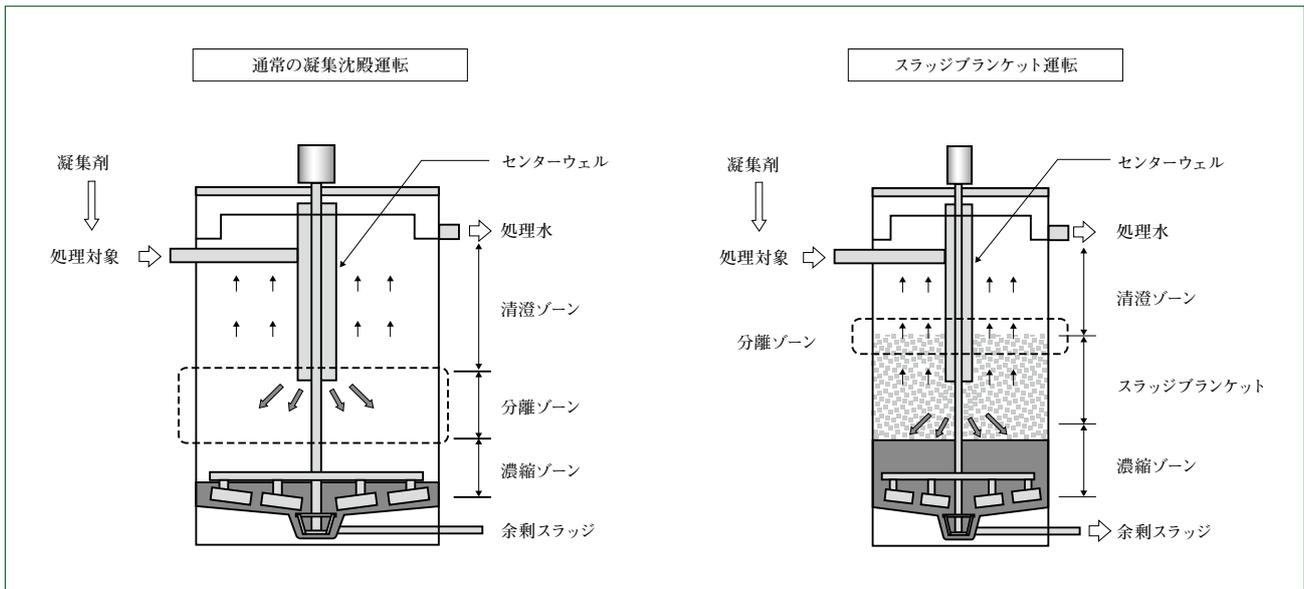


図1 通常の凝集沈殿運転とスラッジブランケット運転
Commonly used coagulation-sedimentation and sludge-blanket clarification

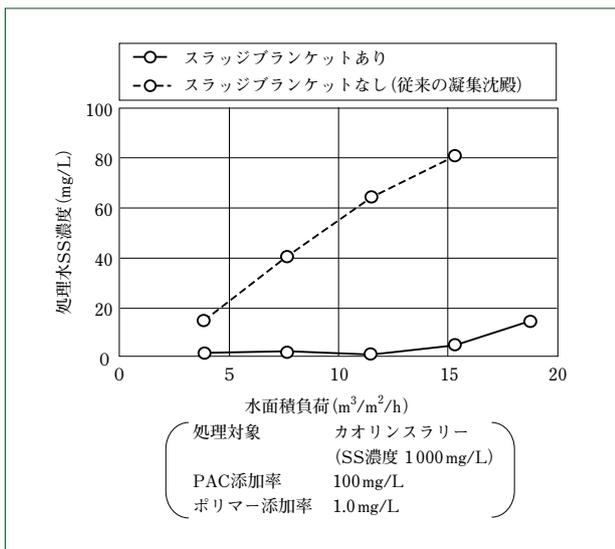


図2 スラッジブランケット運転の効果
Effect of sludge-blanket clarification

用いるなど従来の凝集沈殿処理では達成できなかったレベルの処理が可能である⁽¹⁾⁽²⁾。

本報では、多くの実績を持つスミシクナー⁽³⁾の構造と技術を基礎として開発したスラッジブランケット式凝集沈殿装置スミシクナーZ (Zone Separator Model)を紹介する。

2 スラッジブランケット運転とは

通常の凝集沈殿処理では、センターウェルから放出された流入水が分離ゾーンで固液分離され、清澄ゾーンを通過して処理水として排出される。つまり、沈殿槽内では固液分離工程のみが行われる(図1左)。

スラッジブランケット運転では、流入水がスラッジブラン

ケットに放出され通過する過程で、微細なフロックが既成のフロックに衝突吸合されて一体化し、大きく成長することで沈降速度が速まることから従来の凝集沈殿処理と比較して大幅に高い水面積負荷での固液分離が可能となる。成長したフロックは、スラッジブランケットと清澄ゾーンの間の境界面で固液分離され、清澄ゾーンを通過して処理水として排出される。

このように、沈殿槽内での既成フロックへの衝突吸合と、固液分離の2つの工程を経る点が一般的な運転方法と異なる⁽¹⁾(図1右)。

3 スラッジブランケット運転の効果

図2に、濁度成分の標準物質である無機SSのカオリンと水を混合したスラリー(カオリンスラリー)を対象として、スラッジブランケットを形成した場合と、形成しなかった場合の処理水質を比較した結果を示す。

カオリンスラリーのSS濃度は1000mg/L、無機凝集剤添加率は100mg-PAC/L-原水、ポリマー添加率は1.0mg-粉体/L-原水とした。

スラッジブランケットを形成しない従来の凝集沈殿処理の場合、水面積負荷を大きくするにつれて処理水SS濃度が高くなったのに対し、スラッジブランケットを形成した場合、水面積負荷を大きくしても処理水SS濃度は20mg/L以下でほとんど変化しなかった。

これは、通常の凝集沈殿処理では、凝集フロックに微小なものが存在していることによる。処理水の清澄性を高めるには、凝集剤の添加量を増やしフロックを大きくすることで、分離限界以下の微小フロックを減少させる必要がある(図3左)。しかし、スラッジブランケット運転では、微小なフロックが捕捉されるとともにフロック径が均一化されることで、薬品の添加量を増やすことなく微小フロックを減少させ、清澄な処理水を得ることが可能である(図3右)。

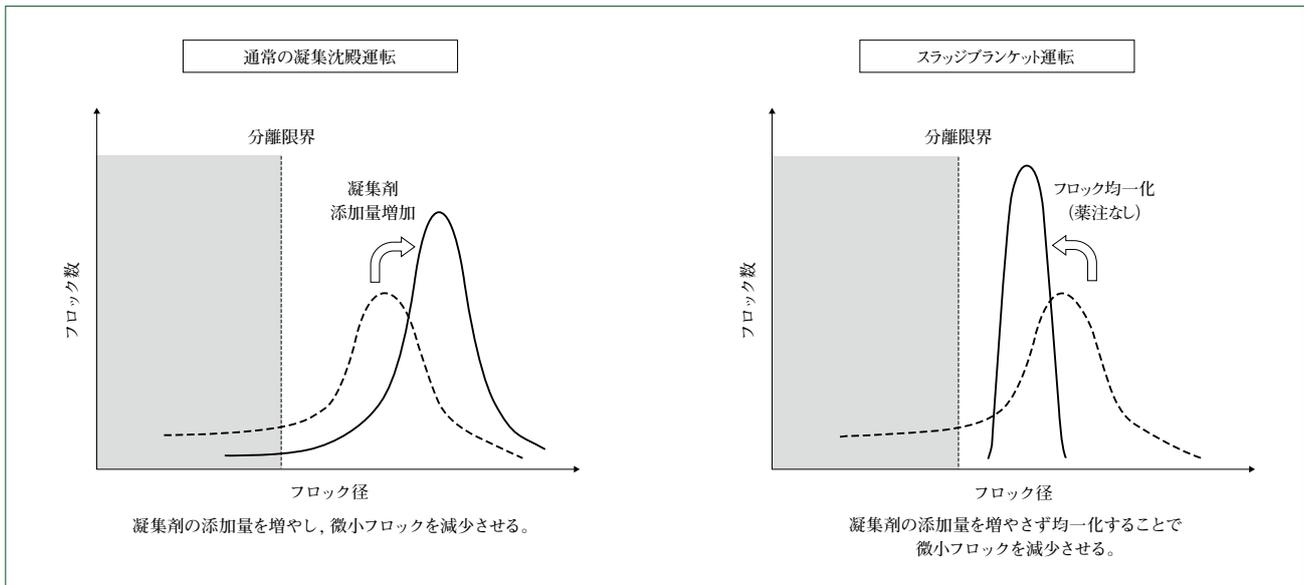


図3 微小フロクを減少させる方法
Method to reduce small size flocs

このように、スラッジブランケット運転を行うことで、①高い水面積負荷で、②清澄な処理水が得られ、③薬品添加量を少なくできるといった効果が期待できる。

4 スミシクナーからスミシクナー Z への改良

SHI-EVの主力商品であるスミシクナーは、回転するディストリビュータを備え、流入水を均一に分散し、従来の凝集沈殿装置の問題点であった不均等な上昇流の発生を防止することで高負荷化を実現した装置で、1983年以来220基以上の納入実績を重ねている。

これらの実績のなかには、スラッジブランケットを形成し固液分離効果を高めた運転を行っているものもあるが、スラッジブランケットゾーンと濃縮ゾーンが区画されていないことから、次の①、②のような問題が起こる可能性があり、処理対象や運転条件が限定されていた。

- ① スラッジブランケット界面のコントロール
界面高さのコントロールを濃縮スラッジの引抜きにより行った場合や、流入水量が変化した場合には界面高さが大きく変化し、処理水質が安定しない。
- ② スラッジ引抜きラインの閉塞
スラッジの滞留時間が長いことにより濃縮されすぎ、引抜きラインが閉塞してしまう。

スミシクナー Z は、スミシクナーの構造と技術を基礎として、このような問題を解消し、スラッジブランケット運転を容易に実現可能な構造に改良した装置である。

5 スミシクナー Z の概要

図4に、装置概要を示す。流入水は、フィードパイプを通り、回転するディストリビュータによりスラッジブランケットゾーンに分散供給される。

スラッジブランケットゾーンは、中間底板と側板によりそ

のほかのゾーンと区画されて独立したゾーンとなっており、凝集フロクが上昇流と均衡した状態で流動し、保持されている。

流入水中の未凝集の粒子や微小フロクは、スラッジブランケットを通過する間に、既成の凝集フロクと接触して捕集され、大きく成長する。

成長したフロクは、スラッジブランケットの界面付近で固液分離され、分離水は清澄ゾーンを通過して処理水として排出される。分離された余剰なスラッジは、スラッジブランケットゾーンから越流して、スラッジ下降ゾーンを通過して濃縮ゾーンに流入し、濃縮後に槽外へ排出される。

6 スミシクナー Z の特長

6.1 回転するディストリビュータ

スラッジブランケットを流動させる方法として、機械的に攪拌する方法と、流入水の流速を利用して攪拌する方法がある。

機械的に攪拌する方法では、流入水が1箇所から供給されたり、中心部と周辺部で攪拌強度が異なったりするので、均等な流動状態を作ることが難しい。

本装置では、スミシクナーの技術を用い、回転するディストリビュータで流入水を均等分散するとともに、ディストリビュータからの吐出流によりスラッジブランケットを均等に流動させている。

6.2 スラッジブランケットゾーンの機能独立

スミシクナーでは、スラッジブランケット界面の安定維持が難しいケースがあった。本装置では、スラッジブランケットゾーンが、濃縮ゾーンと中間底板により区画されていることから、スラッジの引抜きや流量変動時のスラッジの収縮と膨張などの影響を受けにくい。また、常に安定運転に必要な量のスラッジが保持されていることにより、短時間での立

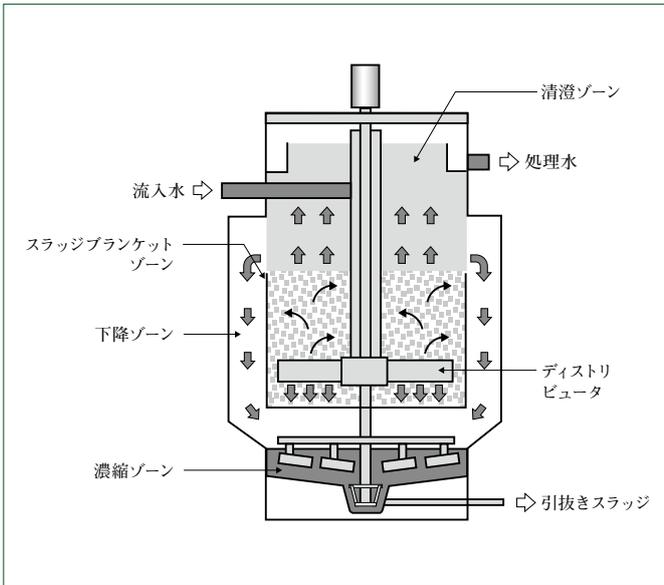


図4 スミシックナーZの概要
Schematic representation of SUMI-THICKENER Z



図5 実証試験機
Pilot plant of SUMI-THICKENER Z

ち上げが可能である。

6.3 スラッジブランケット界面の制御

界面高さを界面計と濃縮スラッジの引抜きによりコントロールすると、従来はスラッジの引抜き量と界面高さの変化のバランスが合わず、界面のコントロールが不安定になり、処理水質が安定しない場合があった。

本装置では、スラッジブランケットの安定維持を目的として、余剰なスラッジを越流させ、界面を一定に維持する構造とした。これにより、スラッジブランケットが膨張傾向の場合は、スラッジが越流して界面が一定に維持される。収縮傾向の場合でも、スラッジブランケットが中間底板により区画されているので過剰な収縮を抑えることができる。

また、界面計とスラッジの引抜きによるコントロールを併用し制御を2重化することで、さらに安全な界面制御を行うことが可能である。

6.4 濃縮ゾーンのバッファ機能

濃縮ゾーンには、スラッジを濃縮するだけでなく、流量変動などがあった場合に、スラッジブランケットから越流した余剰なスラッジを吸収すべくバッファ機能も備えている。

濃縮ゾーンの容量が小さいと、スラッジブランケットの界面変動を吸収する効果も小さいことから、従来のスラッジブランケット式凝集沈殿装置の問題点を改善できない。本装置では、十分な容量の濃縮ゾーンをスラッジブランケットゾーンの下方に設けており、従来のスラッジブランケット式凝集沈殿装置と比較して水量変動に強い。

7 処理性能

製鉄工程の循環水を処理対象として、実証試験機(図5)を用いて運転を行った結果を図6に示す。運転条件は次のとおりである。

- ・処理水量 68～92m³/h

- ・水面積負荷 38～52m³/m²/h
- ・無機凝集剤 添加率 1～5 mg-PAC/L-流入水
- ・高分子凝集剤 添加率 0.3mg-粉体/L-流入水
- ・pH調整剤 添加なし (pH 6.3～9.0)
- ・運転時間 8～9 h/日(運転終了後、設備の稼働を完全に停止)

7.1 立ち上げ時の処理状況

完全に設備を停止した状態から立ち上げた場合、運転開始直後の処理水SS濃度は40mg/L程度と高めだが、10分程度で20mg/L前後、30分程度で10mg/L前後と、短時間で定常運転時相当の清澄な処理水が得られた。

この理由としてスラッジブランケットゾーンに安定運転に必要な量のスラッジがあらかじめ保持されていたことにより、速い立ち上げが可能であったことが考えられる。なお、段階的に負荷を上昇させることで、より清澄な処理水質を維持し、立ち上げることが可能である。

7.2 定常運転時の処理状況

定常運転時の処理水SS濃度は、ほぼ10mg/L以下を維持しており、安定して清澄な処理水が得られた。

薬品添加率は、PAC添加率1mg/L、ポリマー添加率0.3mg/Lで安定運転が可能であった。従来は、PAC添加率30～50mg/L、ポリマー添加率1mg/L前後が一般的な処理条件であったのに対し、大幅に少ない薬品添加率で安定した運転を行うことができた。

7.3 負荷変動時の処理状況

図7に、水面積負荷を20～45m³/m²/hの範囲で急激に変動させた場合の試験結果を示す。処理水SS濃度は一時的に20mg/L程度まで高くなる場合があるが、5分程度の短時間で約10mg/Lになり、水量が大きく変動した場合でも安定した処理が可能であることを確認できた。

なお、負荷を段階的に変動させるなど変動幅を抑えること

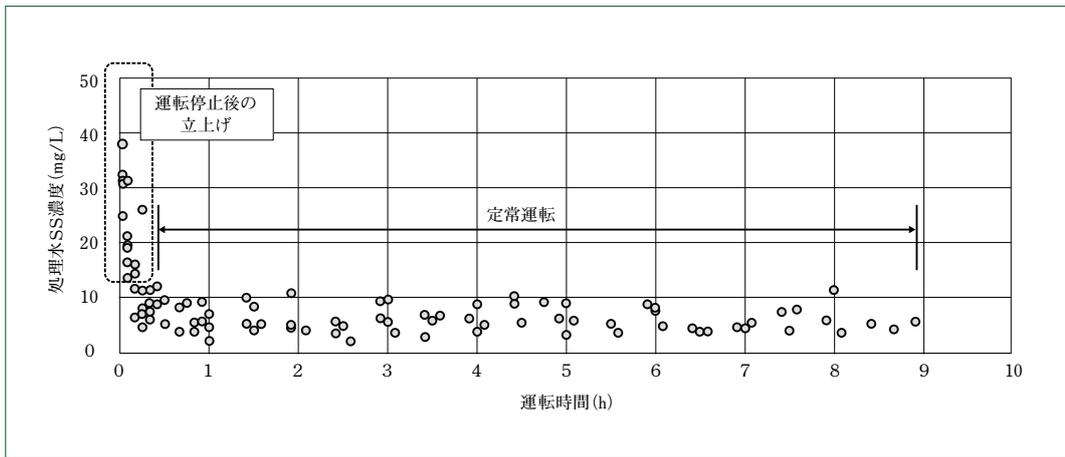


図6 実証試験結果(立上げと定常運転)
Result of pilot testing (Performance in steady-state including start-up)

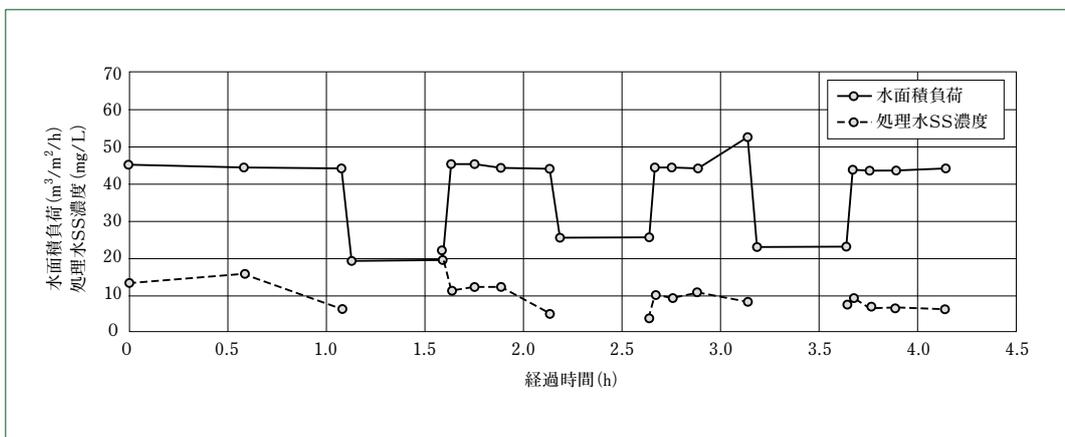


図7 実証試験結果(負荷変動)
Result of pilot testing (Response to load change)

で、より清澄な処理水質を維持することが可能である。

8 スミシクナーZ導入のメリット

本装置は従来の凝集沈殿装置と比較して、①処理水の清澄性、②省スペース、③設備費および薬品使用量の抑制といったメリットがある。これらのメリットは、次のようなニーズに対し効果が期待できる。

- ・凝集沈殿処理だけで清澄な処理水にしたい。
- ・狭小なスペースに設備を設置したい。
- ・ユニット機種を適用して、現地工事を少なくしたい。
- ・杭や基礎工事を少なくして工事費を抑えたい。
- ・薬品使用量およびランニングコストを抑えたい。
- ・ろ過器の代用として用い、ろ材の交換などメンテナンスの負担を軽減したい。

従来型凝集沈殿設備+砂ろ過設備の2段処理から凝集沈殿設備のみとする計画では、本装置のメリットを最も生かすことができると思われる。

9 実設備の検討

SHI-EVでは、設計段階においてCAEを活用し、従来の設計手法よりも短期間で信頼性の高い設計体制を整えている。CAEツールとして、主に3次元CADによる空間設計および3次元CADデータを利用した有限要素解析(FEA)による構造解析を用いている。

スミシクナーZは、水槽内部に回転するディストリビュータや、スラッジブランケットを安定維持する底板およびレーキなどを備えている。従来の沈殿槽に比べて槽内部の機械要素が多いことから、立体的な空間検討と複雑な材料力学・構造力学的な検討が求められる。

FEAを用いることで、従来の設計の妥当性を確認できるとともに、従来の手法では検証が困難だった複雑な部位についても、構造部材に生じる応力分布などを子細にモデル化し検証することが可能である。現在、スミシクナーの設計ノウハウと、CAEを活用した検討を併用し、より高品質な製品を顧客に提供することができるよう設計を進めている。図8に、



図8 有限要素解析 (FEA) の一例
Example of a study on structure with aid of FEA

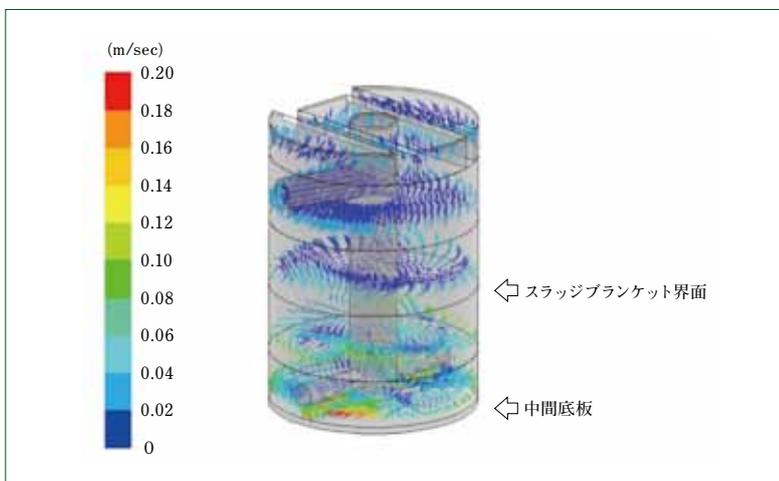


図9 流体シミュレーションの一例
Example of flow simulation

FEA構造解析結果の一例を示す。

また、スラッジブランケット式凝集沈殿では、スラッジの流動状態を適正に維持することが重要である。SHI-EVではディストリビュータからの流入水の分散供給をはじめ、槽内の流動状態について流体シミュレーションを行い、適正な流動状態を作り出すべく検討を行っている。図9に、流体シミュレーションの結果の一例を示す。ディストリビュータ付近には流速が速い部分があるが、スラッジブランケットゾーン内で流速が均一化されるよう設計を行っている。

10 むすび

(1) スミシクナーZは、多くの実績を持つスミシクナーの構造と技術を基礎として開発した商品である。
(2) スラッジブランケット運転を行うことにより、これまでの凝集沈殿処理では成し得なかった水面積負荷と薬品添加率で、清澄な処理水質を達成することが可能である。今後は上水用、3次処理用、工場排水の凝集沈殿用など、さらに適用範囲の拡大を進めることで、顧客のさまざまなニーズに応えられるものと考えている。また、CAEや流体シミュレーション

を活用した設計を行うことで、より信頼性の高い製品の提供に努めていく所存である。

(参考文献)

- (1) 穂積準, 丹保憲仁, 接触高速凝集沈殿池の合理的設計(その1)ー固液分離過程の評価ー, 工業用水, no.192, 1974, p.17~29.
- (2) 三井昌文, 仁村一彦, 鹿子嶋守, 安部俊彦, スラッジブランケット式凝集沈殿装置, 第16回水環境学会シンポジウム講演集, 2013, p.264~265.
- (3) 田中孝一, 高速凝集沈殿装置スミシクナーの海外向けアプリケーション, 住友重機械技報, no.179, 2012, p.33~34.

※「スミシクナー」は、住友重機械エンパイロメント株式会社の登録商標です。

2016年電力自由化に伴う新電力会社向け小規模火力設備

New CFB Applications to New Power Companies for 2016 Japanese Power System Revolution

●伊藤 一 芳*
Kazuyoshi ITO

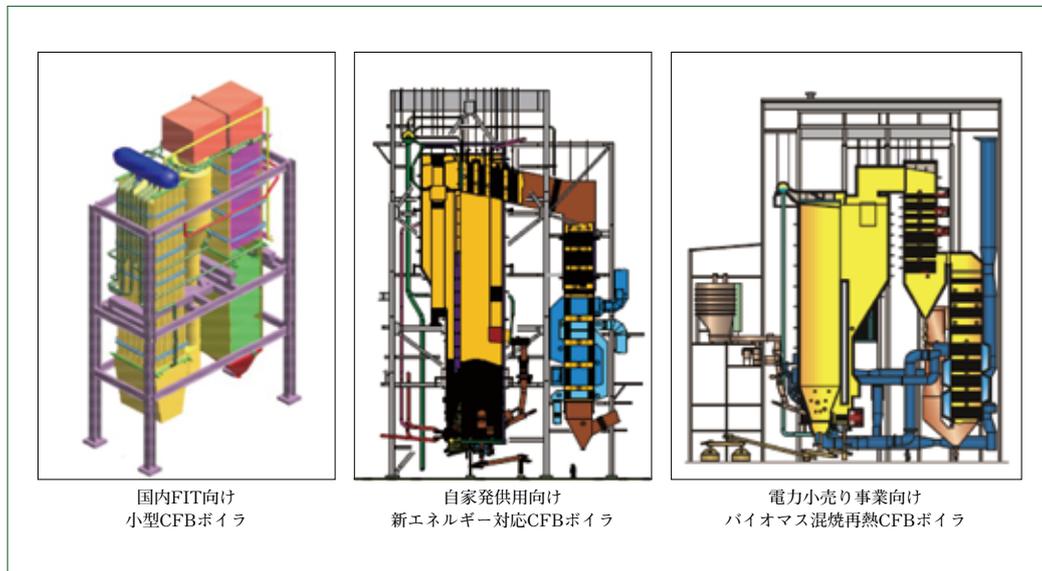


図1 CFBボイラ
CFB boilers for each business model

1 はじめに

国内の電力価格の適正化および広域電源供給による電源の安定化を目的とした「電力システム改革」の第2段階として、2016年には一般家庭も電力小売りの対象となる全面自由化が閣議決定された。

これにより、大手電力会社とは別に小規模点在電源を主軸とした新電力会社の設立が進んでいる。電力価格の適正化要求においては、入手が容易でエネルギー単価の安い石炭が最も有効となるが、その一方で石炭利用にはCO₂発生を助長するという問題が存在する。

大手電力会社は、石炭ガス化複合発電(IGCC)や、将来的には超々臨界圧火力発電(USC)に二酸化炭素の回収・貯蔵(CCS)を利用し、CO₂発生抑制もしくは削減を計画しているが、点在電源の小規模火力設備にそれらの技術は適応しにくい。

当社では、複数の燃料を混合燃焼することで実績のある循環流動層(CFB)ボイラ技術を利用し、IGCCと同等のCO₂発生原単位を実現する発電設備を供給する。

2 新電力市場要求

新電力の市場供給に要求されているのは、低価格電源の供給と環境負荷低減の2点であり、低価格実現の鍵となるのは安価な燃料をより高効率で利用することである。

また、環境負荷低減においては大きく2つの課題がある。Local emission と言うべき大気汚染防止法で規制されている発電所が地元と与える環境負荷と、Global emissionとも言え

る地球温暖化に影響を及ぼすCO₂発生の問題である。そして、今後注目されるのは、CO₂の抑制であることは言うまでもない。

このCO₂の発生を抑制することにおいて有効な方法は、バイオマス燃料の有効利用である。バイオマスの利用については、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)も活用でき、CO₂削減による社会貢献についての法制度も整い始めている。

3 CFBボイラのバイオマス利用モデル

当社では、2002年の電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS法)の制定を契機に、CFB技術を軸として、建設廃材、廃タイヤ、排プラスチックおよびパーク類を高効率利用する発電設備を納入している。

2011年のFIT制度以降、2016年の電力小売りの全面自由化に向けた事業計画では、ユーザ、使用燃料において多様化が進んでいる。そのニーズに応え、実績にもとづいた信頼性の高い設備を提供し、CO₂の削減に貢献することが産業界に求められている。

表1に、現在のFIT制度および新電力市場に対するバイオマス利用モデルを示す。林地残材バイオマスから海外輸入バイオマス利用まで、発電規模により計画が異なっている。

特に、発電端出力100~200MW級の発電設備において高効率の発電設備が要求されており、国内では当社のみが納入実績を持つ再熱式CFBボイラが高バイオマス混焼を実現している。

表1 バイオマス利用モデルと対応するCFBボイラ
Models of biomass fuel utilization and adequate CFB boiler

事業計画別 ビジネスモデル	国内林野 FIT	自家発供用(余剰売電)	電力小売事業(FIT活用)
発電規模	5～6 MW	10～100MW	100～200MW
燃料	バイオマス専焼	多種燃料混焼	石炭・バイオマス混焼
主バイオマス燃料	林地残材	建設廃材・未利用	海外バイオマス
その他		TDF/RPF/廃プラスチック	バイオマスペレット
		石炭	石炭
ボイラ型式	モジュール型 小型 CFB ボイラ	新エネルギー燃料対応型 CFB ボイラ	バイオマス対応 再熱型 CFB ボイラ
送電端効率(代表) 低位発熱量ベース	20～22%	33～35%	38～40%
特長	短納期	腐食・異物対応	高効率・再燃サイクル

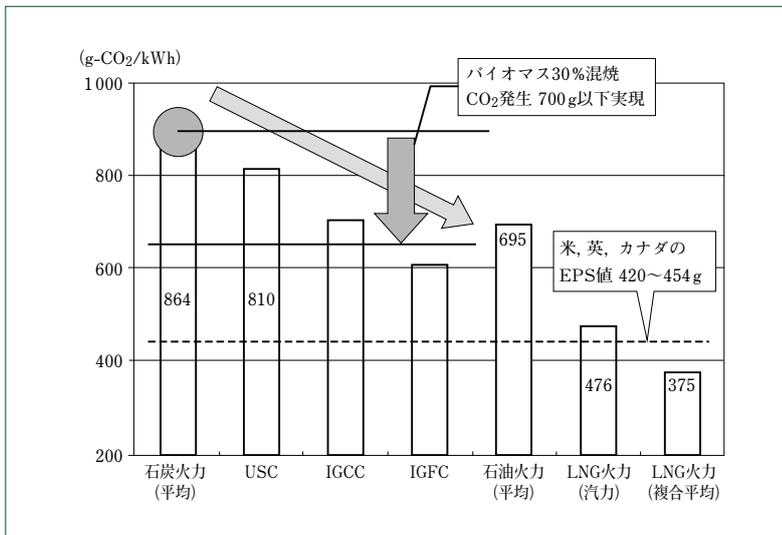


図2 発電燃料におけるkWh当たりのCO₂発生量
Typical CO₂ generation by different fuels

バイオマス混焼率においては、大型発電所設備の目標レベルと同じIGCCと同等のCO₂発生量(図2 資源エネルギー庁の資料⁽¹⁾をもとに加筆)を達成すべく30%以上の混焼を設計ベースにしたモデル(図1)を提案し提供している。

4 おわりに

- (1) 電力自由化に向けた小規模火力発電設備には、これまでの環境規制に加え、地球温暖化対策としてのCO₂削減要求が予想される。
- (2) 当社は、民間でもできるCO₂削減および社会貢献を目指し、実績にもとづいた発電設備を顧客に提供していく所存である。

(参考文献)

- (1) 資源エネルギー庁, 我が国の石炭政策について, 2013, p.30.

破碎・脱水機構付き垂直スクリュ式除塵機スパイラルカッター

Vertical Screw-Type Screening Equipment with Crushing/Dehydrating Mechanism Spiral Cutter



本設備は、下水処理場の沈砂池に使用される破碎・脱水機構付きの除塵機である。

現在中継ポンプ場において、水路内に破碎機を設置して汚水中のし渣を水中で破碎処理し、汚水とともに流下させる破碎流下方式が標準的に採用されている。また、下水処理場の沈砂池においては、後段設備の損傷を防止する目的や水処理の障害となる浮遊物を除去するという観点から、除塵機によりし渣を掻き揚げる除塵方式が一般的に採用されている。

しかし、除塵方式ではし渣と一緒に汚物も掻き揚げることになり、高負荷運転、維持管理作業の軽減および衛生面改善の観点から、できるだけし渣の有機分だけは汚物とともに流下させたいというニーズが高まっている。

また、人口減少による流入汚水量の低下などにより、下水処理場の沈砂池で発生するし渣量が当初計画と比べ大幅に減少している。また、除塵→掻き揚げ→搬送→洗浄→脱水→貯留で行う従来の除塵方式からなる現有のし渣処理設備が十分に活用されないという問題があり、維持管理費の負担を削減すべく、よりスリムなし渣処理方式への変更が望まれている。

そこで、これらの問題の解決を目的として、スクリーン付き破碎機に除塵・脱水機構付き垂直搬出機を組み合わせた「スパイラルカッター」を開発した。

スパイラルカッターは、スクリーン付き破碎機の破碎機後段に垂直搬出機を組み合わせたもので、スクリーン部においてし渣の捕捉および掻寄せ、破碎機で破碎、垂直搬出機では搬送、脱水、排出を行う。し渣を汚水中で破碎することにより、有機分を汚水とともに流下させることが可能となる。汚水はスクリーン部を通過して流下する。

主要仕様

処理水量	0～80.0m ³ /min
電動機	破碎機本体 2.2～3.7kW スクリーン 0.4kW 垂直搬出機 1.5kW

特長

- (1) 本設備1台で流入汚水中のし渣の捕捉、破碎、搬送、脱水および排出を行うことから、従来の処理方式に比べ機器点数が少なくなり、維持管理費の削減が可能となった。
- (2) 搬出機は垂直搬送タイプで、スクリーン付き破碎機と組み合わせても流れ方向の設備寸法が小さいので、省スペース化が可能となり、改築時にも躯体の改造なしに使用することができる。
- (3) スクリーンで捕捉したし渣が汚水中で破碎され、し渣中の有機成分は流下する。これにより、臭気の発生を抑制させる効果があり、作業環境を改善することができる。

※「スパイラルカッター」は、住友重機械エンバイロメント株式会社の登録商標です。

(住友重機械エンバイロメント株式会社 牧 和久)

新型0.9~3.5 t エンジン式フォークリフト QuaPro

New 0.9~3.5t I.C.E. Forklift Truck QuaPro



新型0.9~3.5 t エンジン式フォークリフト QuaProは、ディーゼルエンジン排出ガス規制の新基準への対応を機に、新型クリーンディーゼルエンジンの搭載および新油圧ステアリングシステムの採用のほか、外観に一部変更を加えた。

近年は環境性能や経済性が重要視され、バッテリー車へ移行する動きがあるが、屋外での作業や長時間の連続作業、機動力を重視する作業現場などにおいては、エンジン式フォークリフトが依然として主力となって使用されている。

ディーゼルエンジンに対する排出ガス規制値は順次強化されており、対応は必須である。本車両は、トップクラスの低燃費および低排出ガスを実現した新型クリーンディーゼルエンジンを搭載することにより、特定特殊自動車排出ガス規制2014年基準に適合させた。排気後処理装置は、DPFを使用しない方式を採用することで、車両を止めて行うDPF特有の再生処置の必要がなく、定期的な清掃や交換などのメンテナンスも不要で、使用上の煩わしさや余分な費用が発生しない仕様とした。

油圧システムでは、ステアリング操作に応じて必要なオイル流量を調整して供給するロードセンシング式パワーステアリングを採用することで、エンジンへの余分な負荷を削減し、低燃費化に貢献した。

主要仕様

型式	11FD25PAXIII24D
定格荷重	2500 kg
揚高	3000 mm
走行速度(無負荷時)	19.5 km/h

上昇速度(負荷時)	675 mm/s
牽引力	21600 N
エンジン 型式	V2403
総排気量	2434 cc
定格出力	43 kW / 2400 r/min
最大トルク	199 N·m / 1500 r/min

特 長

- (1) ディーゼルエンジンには、電子制御式コモンレール燃料噴射システム、クールドEGR(排気再循環)、インタークーラ付きターボおよび後処理装置にDOC(ディーゼル酸化触媒)を採用した。高い燃焼効率で低燃費と低排出ガスを両立したほか、DPFレスにより後処理装置をメンテナンスフリーとした。
- (2) 全油圧式ステアリングシステムにロードセンシング式を採用した。エネルギーロスを抑えるとともに、エンジンアイドリング状態での荷役作業性を向上させた。
- (3) カウンタウェイトの意匠を変更し、風穴を左右振り分け形状にすることで、後進時にオペレータが熱風をかぶる不快さを低減した。さらに、ラジエータを通過した冷却風が効率良く車体外へ排出されるようにカウンタウェイトの内部形状にも変更を加え、冷却性能を高めた。
- (4) エンジンの電子制御化を利用し、高精度に走行速度を制御できるスピードリミットオプションを装備した。

※「QUAPRO」は、住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社の登録商標です。

(住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 加藤恭正)

住友重機械技報第188号発行に当たり

住友重機械技報第188号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導いただいている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力をいただくよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、さらに充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご意見賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い申し上げます。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては、変更がございましたら裏面の用紙にご記入のうえ、FAXでお知らせいただきたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2015年8月

〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号 (ThinkPark Tower)

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

(宛先) _____ 住友重機械工業(株) 技術本部 技報編集事務局 行 FAX 横須賀 046 - 869 - 2358	(発信元) _____ 貴組織名 担当部署 氏 名 TEL No. FAX No.
--	--

住友重機械技報第188号の送付先の確認と読后感などの件

送 付 先 変 更	(旧送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____	➔	(新送付先) 送付番号 _____ 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____
----------------------------------	--	----------	--

新 規 送 付 先	新しい部署ができた場合ご記入下さい。 組織名称 _____ 担当部署 _____ 所在地 _____ 〒 _____ <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> 必要部数 _____ 部 </div>
----------------------------------	---

本 号 の 読 後 感 に つ い て	1. 本号で、一番関心を持たれた記事は。 2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(○印でご記入下さい。) 1 興味深かった 2 特に興味なし その理由をお聞かせ下さい。
--	---

キ
リ
ト
リ
線

主要営業品目

変減速機、インバータ

●機械式減速機：[同心軸]サイクロ減速機，サイクロギヤモータ
アルタックス，精密制御用サイクロ減速機，コンパワー遊星歯車
減速機，[平行軸]パラマックス減速機，ヘリカルパディボックス，
プレストギヤモータ，[直交軸]パラマックス減速機，ハイポニック
減速機，アステロ直交ギヤヘッド，ベベルパディボックス，ラ
イタックス減速機，HEDCON ウォーム減速機，小形ウォーム減速
機 ●変速機：[機械式変速機]バイエル無段変速機，バイエル・
サイクロ可変減速機，[電気式変速機]インバータ，インバータ搭
載ギヤモータ，サーボドライブ，DCドライブ
サイクロ，アルタックス，コンパワー，パラマックス，パディボックス，プレスト，
ハイポニック減速機，アステロ，ライタックス，HEDCON，バイエルおよびバイエル
サイクロは，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

プラスチック加工機械

●プラスチック加工機械：射出成形機，射出吹込成形機，ディスク
成形機，セラミックス成形機 ●フィルム加工機：押出機，フィルム製
造装置，ラミネート装置 ●IC 封止プレス ●ガラスプレス ●成
形システム・金型：射出成形用金型，PET システム，インジェクシ
ョンブロー成形システム，インモールドラベリング成形システム

レーザ加工システム

●レーザドリル装置 ●レーザアニーリング装置 ●YAG レーザ
と加工システム

半導体・液晶関連機器

●イオン注入装置 ●成膜装置：(太陽電池，タッチパネル，有機EL
用)プラズマ薄膜形成システム ●精密位置決め装置 XY ステージ
●モーションコーポネント ●ライン駆動用制御システム ●マ
イクロマシン ●レーザアニーリング装置 ●ウエハ研削装置

環境施設

●環境・エネルギー関連プラント：循環流動層(CFB)ボイラ，ロー
タリーケルン式産業廃棄物処理施設 ●大気関連プラント：電気集
塵装置，灰処理装置，乾式脱硫・脱硝装置 ●水関連プラント：上水
処理施設，下水処理施設，浸出水処理施設 ●産業廃水処理装置

加速器，医療機器，精密機器，極低温機器，超電導磁石

●イオン加速器：サイクロトロン，ライナック，シンクロトロン ●電
子線照射装置 ●医療機器：PET診断用サイクロトロン・CYPRIIS，
標識化合物合成装置，陽子線治療システム ●冷凍機：パル
スチューブ冷凍機，4KGM 冷凍機，スターリング冷凍機，MRI
用冷凍機，クライオポンプ ●人工衛星搭載観測装置冷却シ
ステム ●超電導磁石：ヘリウムフリー超電導マグネット
CYPRIIS は，住友重機械工業株式会社の登録商標です。

物流・パーキングシステム

●自動倉庫システム ●高速自動仕分システム ●FMS/FA シス
テム ●無人搬送システム ●機械式駐車場

金属加工機械

●鍛圧機械：フォージングプレス，油圧プレス，フォージングロール，
超高压発生装置 ●工作機械，クーラント処理装置 ●SPS(放電ブ
ラズマ焼結機)

運搬荷役機械

連続式アンローダ，港湾荷役クレーン(コンテナクレーン，タイヤマ
ウント式ジブクレーン，タイヤマウント式LLC)，トランスファクレ
ーン，ジブクレーン，ゴライアスクレーン，天井クレーン，製鋼クレーン，
自動クレーン，ヤード機器(スタッカ，リクレーマ，スタッカ/リクレー
マ)，シップローダ，ベルトコンベアおよびコンベアシステム，リフ
ティングマグネット装置，コークス炉移動機械

船舶海洋

●船舶：油槽船，撒積運搬船，鉱石運搬船，鉱油兼用船，コンテナ船，自
動車運搬船，その他海洋構造物

インフラ整備関連

●海洋・港湾構造物：沈埋函，ケーソン

化学機械，プラント

●一般プラント：紙・パルプ製造装置，化学装置，原子力装置 ●発
電設備：循環流動層ボイラ ●圧力容器：リアクタ，塔，槽，熱交換
器 ●攪拌混合システム：マックスブレンド攪拌槽，スーパーブレ
ンド(同心2軸型攪拌槽)，バイボラック(横型2軸反応装置)
マックスブレンドおよびバイボラックは，住友重機械プロセス機器株式会社の登録
商標です。

建設機械，フォークリフト

油圧式ショベル，移動式環境保全およびリサイクル機械，杭打機，道路
舗装機械，フォークリフト

タービン，ポンプ

蒸気タービン，プロセスポンプ

その他

航空用機器，精密鋳鍛造品，防衛装備品(各種機関銃，機関砲およびシ
ステム)

※文章中のソフトウェア等の商標表示は，省略しております。

事業所

本社	〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号(ThinkPark Tower)	技術研究所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地
関西支社	〒530-0005 大阪市北区中之島2丁目3番33号(大阪三井物産ビル)	技術研究所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号
中部支社	〒461-0005 名古屋市東区東桜1丁目10番24号(栄大野ビル)	(田無)	
九州支社	〒810-0801 福岡市博多区中洲5丁目6番20号(明治安田生命福岡ビル)	技術研究所	〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町5番2号
田無製造所	〒188-8585 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号	(新居浜)	
千葉製造所	〒263-0001 千葉市稲毛区長沼原町731番1号		
横須賀製造所	〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地		
名古屋製造所	〒474-8501 愛知県大府市朝日町6丁目1番地		
岡山製造所	〒713-8501 岡山県倉敷市玉島乙島新湊8230番地		
愛媛製造所			
新居浜工場	〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町5番2号		
西条工場	〒799-1393 愛媛県西条市今在家1501番地		

本号に関するお問い合わせは，技術本部技報編集事務局(電話番号は下記)宛お願い致します。

住友重機械工業株式会社のホームページ <http://www.shi.co.jp/>

技報編集委員

委員	下園 一治	委員	小松 幹生
	石田 浩修		天野 光昭
	平田 徹		岡林 明伸
	井上 千晶		村田 圭三
	秋山 年春		渡邊 建聖
	長部 洋介		小林 裕二
	浅井 一浩		坂根 剛
	雨宮 徳一		石倉 武久
	諏訪 義和		長坂 勇希
	鈴木雄一郎		岩本 和也
		事務局	技術本部
		編集協力	(株)千代田プランニング

住友重機械技報

第188号 非売品

2015年8月10日印刷 8月20日発行

発行 住友重機械工業株式会社
〒141-6025 東京都品川区大崎2丁目1番1号
(ThinkPark Tower)

お問い合わせ電話 横須賀 046-869-2333

発行人 富田 良幸



住友重機械工業株式会社
Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

