

カットタイヤの循環流動層ボイラへの適用と運転実績

Development and Operating Results of Tire Derived Fuel Fired Circulating Fluidized Bed Boiler



國領 繁光
Shigeharu Kokuryo

田口 雄三
Yuzo Taguchi

坂井 俊之
Toshiyuki Sakai

鳥居 功
Isao Torii

明用 和幸
Kazuyuki Myoyo

荒川 善久
Yoshihisa Arakawa

近年、自家用発電ボイラにおける脱化石燃料適用の動きの中で、RPF や木質燃料を燃料として利用する取組みが進められてきた。さらに当社では、廃タイヤを 16 あるいは 32 分割したカットタイヤを燃料として利用するための技術開発を行い、平成 17 年王子製紙(株)向けに蒸発量 250 t/h の循環流動層ボイラを納入した。本ボイラの運用を通じ、燃焼場の炉内圧力分布を最適化することにより、タイヤ中のワイヤを炉外に排出する技術の確立と、良好な排ガス特性(CO, NO_x, SO_x, ダイオキシン類)を確認した。

1. はじめに

1990 年代に環境基本法が法令化、その後 2001 年には循環型社会形成推進基本法が制定され、資源の再利用の動きが加速されている。自家用発電ボイラの各ユーザにおいても、従来までは重油、石炭といった化石燃料を利用してきたが、CO₂ 問題、化石燃料の高騰といった背景も後押しする中で、木質燃料、RPF (Refuse Paper and Plastic Fuel)、タイヤの適用が計画、実用化されている。

当社はこれまでに難燃性及び低品位燃料を燃焼するボイラとして循環流動層 (Circulating Fluidized Bed; 以下CFB) を多数納入している^{(1)~(3)}。これまで既に木質燃料、RPF を実機ボイラに適用しているが、今回は更にカットタイヤを蒸発量 250t/h の王子製紙(株)米子工場向け CFBボイラに、適用・実用化している。本報では、本ボイラにおける開発段階の各種試験や実機における運転状況を紹介する。

2. 研究開発における各種試験

カットタイヤ焚きCFBボイラの開発に際し、以下の検証試験を実施した。

- ① タイヤのCFB燃焼試験
- ② タイヤ中金属異物(ビードワイヤ)の抜出しコールド試験

2.1 燃焼試験

(1) CFB試験装置及び供試燃料

CFBにおけるタイヤの燃焼性を検証することを目的として燃焼試験を実施した。図1に CFB 燃焼試験装置の外観写真を示す。コンバスタのサイズは、断面が0.4m×0.4m、高さ21m である。図2(b)~(e)は燃焼試験で使用した燃料の外観写真を示す。タイヤのワイヤ排出特性については、後述するコールド試験において評価するものとし、本燃焼試験では、ワイヤ類を除去した上で 35mm 以下に破碎したものをを用いた。燃料組成の分析結果を表1に示す。タイヤの組成については、ワイヤ類を除去したものの分析値を示す。

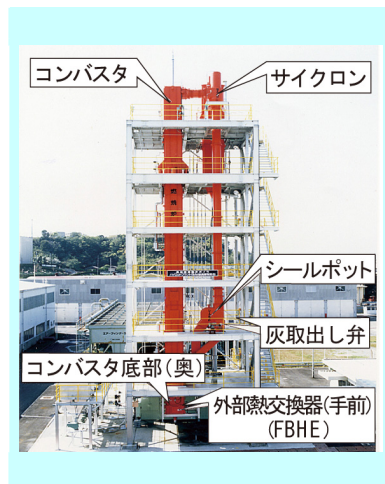


図1 燃料試験装置

表1 各種燃料の分析結果

項 目		タイヤ	RPF	本質燃料	スラッジ
工業分析	水分 (%)	1.2	2.9	30.5	65.9
	灰分 (%)	3.0	7.1	6.2	13.6
	揮発分 (%)	62.2	84.9	52.7	18.4
	固定炭素 (%)	32.6	5.1	10.6	2.1
高位発熱量(受入) (kcal/kg)		8 870	6 460	3 150	910
低位発熱量(受入) (kcal/kg)		8 480	6 060	2 750	440

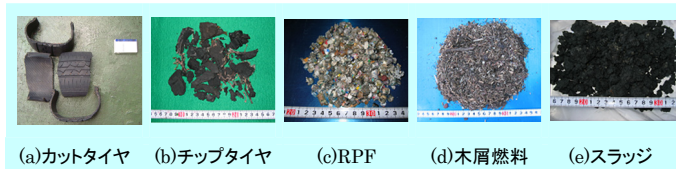


図2 各種燃料の外観写真

(2) 燃焼試験条件及び結果

試験条件を表2に示す。条件1はタイヤ混焼条件であり、条件2ではタイヤ専焼である。条件1の混焼条件は、実機の計画条件に合わせて、タイヤ、RPF、木質燃料、スラッジの入熱比を設定した。コンバスタ運用条件については、両条件において、コンバスタ差圧 14kPa、コンバスタ温度 850℃とした。

表3には各条件におけるサイクロン出口の排ガス計測結果も示す。条件1(計画条件:タイヤ混焼)、条件2(参考条件:タイヤ専焼)共、各ガス濃度について目標を満足する結果であり、高い燃焼効率となることを確認した。また、各試験条件において、コンバスタの圧力分布及び温度分布共に安定していた。

試験終了後にはコンバスタ開放点検を実施し各条件共、高差圧運用下においては、特にアグロメなどの生成は無く健全な状態であり、燃焼性の観点から、タイヤ燃料のCFBボイラ適用の目処を得た。

表2 燃焼試験条件

試験条件	条件1 (ボイラ計画条件)	条件2 (参考条件)
変化条件	タイヤ混焼	タイヤ専焼
入熱比		
タイヤ入熱 (%)	23	100
RPF 入熱 (%)	63	0
木屑入熱 (%)	12	0
スラッジ入熱 (%)	2	0
火炉差圧 (kPa)	14.0	14.0
火炉温度 (℃)	850	850

表3 燃焼試験非ガス計測結果

試験条件	条件1	条件2
変化条件	タイヤ混焼	タイヤ専焼
CO 12%O ₂ 換算 (ppm)	91	119
NO _x 6%O ₂ 換算 (ppm)	67	75
SO _x 6%O ₂ 換算 (ppm)	96	122
HCl 6%O ₂ 換算 (ppm)	136	10
ダイオキシン類 12%O ₂ 換算(ngTEQ/m ³ _N)	<0.1	<0.1

2.2 コールド試験

(1) 試験装置と装置系統

カットタイヤ中ワイヤを炉底部から安定に抜き出しできることを検証するためにコールド試験を実施した。

図3にコールド試験装置の外観を示す。試験炉サイズは、断面 2.6×0.76m、高さ 4.18m である。炉底はフラットボトム構造となっており、流動状態が可視化できる構造である。

炉内に供給されたワイヤと流動材は、スクリーフィーダで炉底から抜き出され、磁選機及び振動篩で流動材からワイヤが分離される。分離されたワイヤは系外に排出され、一方の流動材は、再び炉内に再循環される系統である。炉底からの抜き出し量は、炉内のワイヤ濃度を目標の設定条件に合わせるよう調整する。

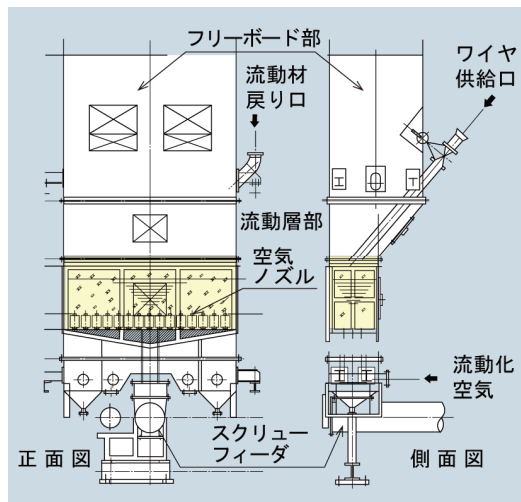


図3 コールド試験装置

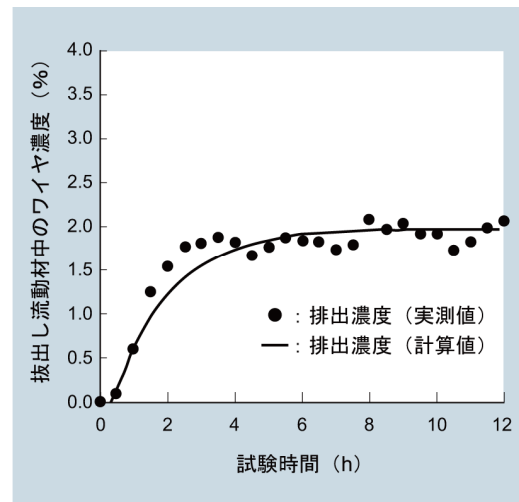


図4 ワイヤ濃度の経時変化

表4 コールド試験条件

項 目		試験条件
空塔速度	(m/s)	1.6
流動材中ワイヤ濃度	(%)	2
試験時間	(h)	12

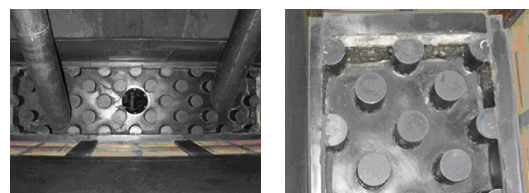


図5 試験炉の開放点検結果

(2) コールド試験条件及び結果

表4にコールド試験条件を示す。流動層における空塔速度は、実缶で想定される最低負荷時を考慮し、1.6m/sとした。流動材中のワイヤ濃度（流動材中のワイヤ重量割合）は実機計画値で設定した。試験時間は12時間であり、流動層中のワイヤ濃度を徐々に計画値まで増加させ、計画条件での安定な抽出性を検証した。

図4に抽出し流動材中ワイヤ濃度の経時変化を示す。同図中で、黒丸がコールド試験による実測値である。ワイヤ濃度は、約3時間経過後から、設定条件の約2wt%で安定的に抽出がされることを確認した。

図5にコールド試験後の開放点検結果を示す。炉底空気ノズル周辺にワイヤの滞留、堆積は見られず、健全な状態であった。

2.3 試験結果及び実缶への適用

カットタイヤ焚きCFBボイラの開発に際し、①タイヤのCFB燃焼試験、及び②タイヤワイヤの抜き出しコールド試験を実施した。

この結果、タイヤの燃焼特性については、当社運用条件において、排ガス及びCFB運用性の観点から健全であることを検証した。

また、ワイヤの抜き出しについても、フラットボトム構造において、実機計画ワイヤ濃度での安定抽出し運用を検証した。実缶設計においては、今回実施した試験条件及び結果を各種設計に反映した。

3. 王子製紙(株)米子工場向けボイラの概要

王子製紙(株)米子工場向け 250t/h CFBボイラは、重油焚きボイラの代替として新設されたCFBボイラで、カットタイヤ・RPF・木質燃料・スラッジといったリサイクル燃料を計画燃料として設計した。

3.1 ボイラ計画仕様

表5にボイラ主要仕様、図6にボイラ計画図を示す。計画条件におけるベースの燃料投入割合は、カットタイヤ/RPF/木質燃料/スラッジ=23%/63%/12%/2%の入熱比率となっている。なお、カットタイヤの最大量入熱比率は34%（設計最大値 7.5t/h 相当）の計画である。

表5 ボイラ主要仕様

形 式	三菱循環流動層ボイラ
蒸発量	250 000kg/h
蒸気圧力	10.8MPag
蒸気濃度	515℃
燃焼方式	循環流動層燃焼
通風方式	平衡通風
燃 料	カットタイヤ, RPF, 木質燃料, スラッジ

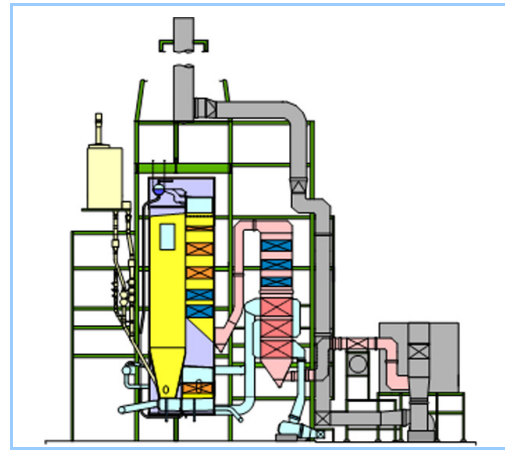


図6 ボイラ計画図

3.2 ボイラプラントの構成

図7にボイラプラントの系統図を示す。ボイラ主要部はコンバスタ・対流伝熱部及び流動層式外部熱交換器(以下 FBHE), サイクロンから構成され, 周辺機器として通風設備(通風機及び空気予熱器), 環境設備(バグフィルタ及び石灰石, 消石灰投入機器, フライアッシュ処理機器), 燃料供給設備, 流動材調整設備を設置する。

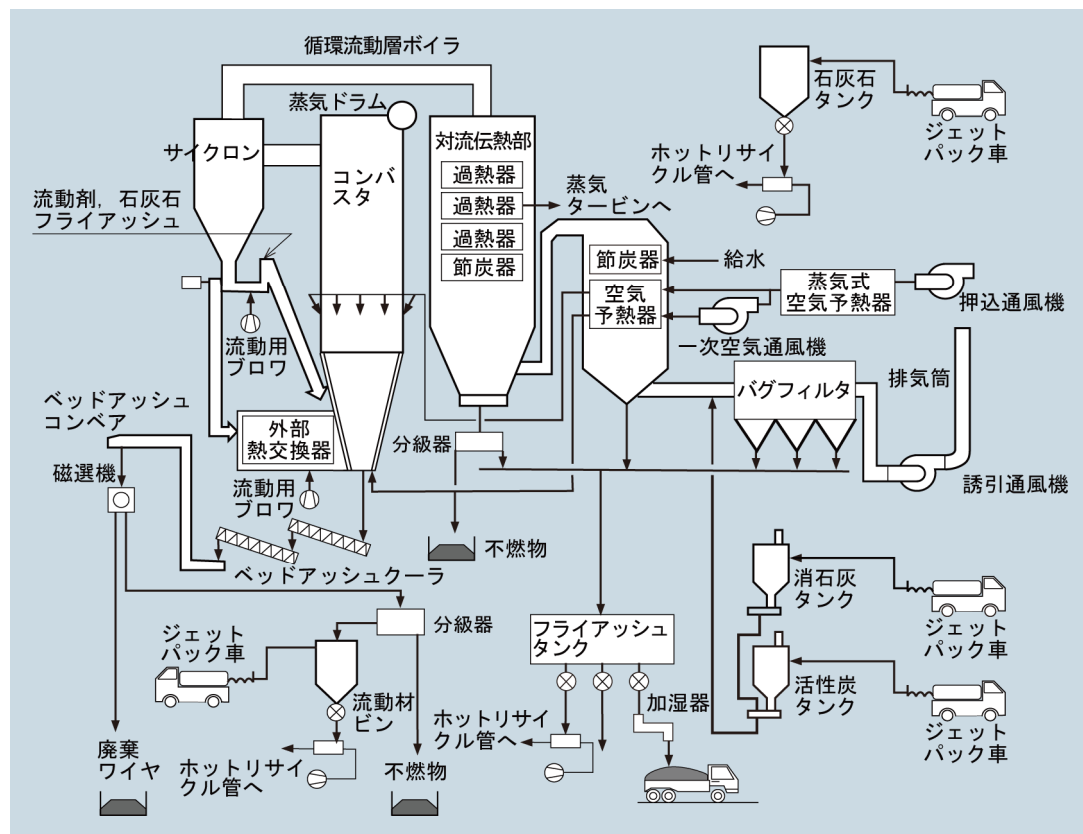


図7 ボイラプラント系統図

3.3 カットタイヤ焚き適用における設計上の特徴

廃タイヤの破碎処理には, 図2(a)に示すようなカットタイヤ(単純に分割切断したもの)と図2(b)に示すようなチップタイヤ(タイヤ中にある線径の太いビードワイヤを抜き取った後に小片に碎いたもの)の2種類がある。

カットタイヤは, チップタイヤに比べて, 前処理の工程が簡易である一方で, タイヤ中に線径の太いビードワイヤが残留したままの状態であること, また線径の細いメッシュワイヤも縊り束ねられた状態にあることから, これらのワイヤがボイラ内にとどまり, 流動層燃焼を阻害することが開発当初には懸念されていた。

ボイラプラントとしての基本的な構成は、石炭焚き循環流動層ボイラ⁽¹⁾⁽²⁾や先行機である王子板紙(株)大分工場向け廃棄物焚き循環流動層ボイラ⁽³⁾と類似の構成であるが、本流動層ボイラの計画では、カットタイヤをボイラで燃焼させるために、以下に示す設計上の特徴を持つ。

(1) コンバスタの高差圧運用

コンバスタを高差圧で運用することによって、炉の流動材粒子濃度が高く維持され、タイヤの有効燃焼領域が広がり、結果として、炉内においてタイヤ及びワイヤが広く、均一に拡散し、燃焼する。

(2) フラットボトム構造と空気ノズル配置

炉底構造については、従来から用いられているフラットボトム構造を採用した。本構造採用に当たり、コールド試験の結果を反映し、空気ノズル噴出孔の位置や炉底周壁部の形状について、改善を行った。

(3) ボトムアッシュの連続排出と流動材の再循環

本ボイラの計画において、カットタイヤ中のワイヤや木質燃料中の小片異物は、コンバスタ内で完全に燃焼し、消失してしまうことはないので、炉外に連続的に排出し、除去する必要がある。本計画では図7のボイラプラント系統図に示されるように、ワイヤ及び小片異物を含んだ流動材をベッドアッシュクーラ及びコンベアによって、炉外に排出し、磁選機及び分級器を用い、ワイヤ及び不燃物を分級した後に再利用可能な流動材を再びボイラへ循環させるシステムを採用する。

なお、本ボイラにおけるベッドアッシュ系統は、カットタイヤの処理量を計画値 5.125t/h、設計最大値 7.5t/h として、その排出容量を決定した。

4. 王子製紙(株)米子工場殿向けボイラの運転結果

4.1 性能確認試験結果

表6にボイラの計画値を示す。図8に性能確認試験時の時間トレンドを示す。試験結果はすべて計画値を満足し、特に環境特性は、NO_x 排出濃度、SO_x 排出濃度、CO 排出濃度及びHCl 排出濃度共に計画値を十分に達成する値を安定して示した。

ボイラマスターはRPFで行い、主蒸気の圧力、温度及び流量共に安定した運転が確認された。コンバスタ温度は、FBHE への循環粒子の流量を灰取出弁によって調整・制御されるが、設定したコンバスタ温度に安定して制御されていることが確認された。

また、ダイオキシン類については、800℃以上の安定したコンバスタ温度と十分な滞留時間により、排ガス中濃度及びフライアッシュ中濃度共に計画値を十分に達成する結果となった。

表6 王子製紙(株)米子工場向けボイラの計画値

	計画値		計画値
蒸発量 (kg/h)	250 000	HCl 濃度 (O ₂ 12%換算) (mg/m ³ _N)	700
蒸気温度 (°C)	515	CO 濃度 (O ₂ 12%換算) (ppm)	100
ボイラ効率 (%)	90.8% ※	ダイオキシン類	
NO _x 濃度 (O ₂ 6%換算) (ppm)	80	排ガス中濃度 (O ₂ 12%換算) (ngTEQ/ m ³ _N)	0.1
SO _x 濃度 (O ₂ 6%換算) (ppm)	60	フライアッシュ中濃度 (ngTEQ/g)	3.0
ばいじん濃度 (O ₂ 6%換算) (mg/m ³ _N)	40		

※:カットタイヤ・RPF・木質燃料・スラッジ混焼時

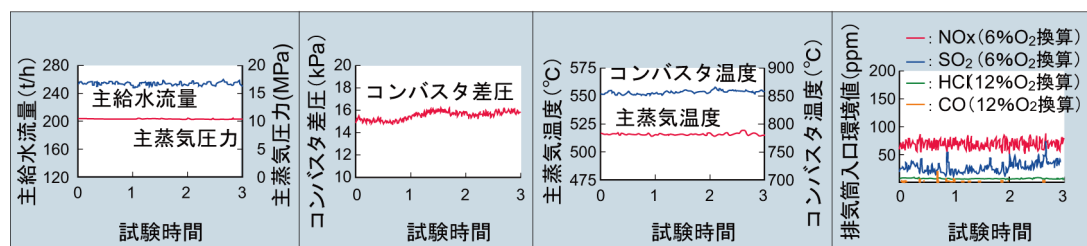


図8 性能確認試験時の時間トレンド

4.2 通常運転状況

通常運転時のボイラ運転状況を図9に示す。主燃料であるRPFは混焼比約 40%以上、廃タイヤは混焼比約 30~50%で安定して使用されている。また、廃棄物燃料専焼のため、後部煙道灰付着が石炭混焼ボイラに比べて進行する傾向はあるが、流動材の適正管理とスツープロワの適正運用を行なうことで、灰付着を軽減し、安定運転を実現させている。

なお、お客様実機運用では、カットタイヤ以外に一部チップタイヤも混入され、廃タイヤの総処理量を計画より高い状態で運用いただいている。

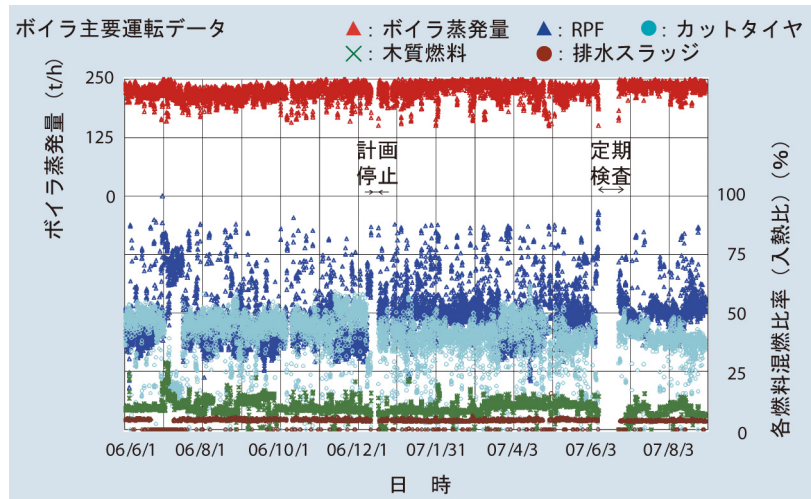


図9 ボイラ運転状況(通常運転時)

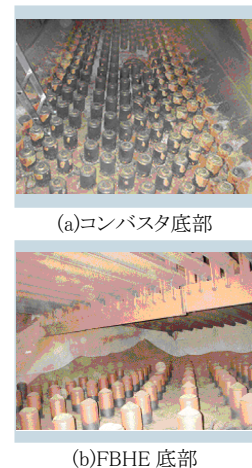


図10 停缶時の炉底点検結果

4.3 ボイラ点検結果

カットタイヤにはビードワイヤを含むため、カットタイヤ燃焼時、コンバスタ及び FBHE 底部にワイヤが滞留し、流動材の流動不良や排出不良が発生することのないよう、本ボイラでは、コンバスタ底部及びFBHE 構造にいくつかの改善策を採用した。ボイラ停缶時のコンバスタ炉底及び外部熱交点検結果を図10に示す。点検の結果、コンバスタ及び外部熱交底部に異物はほとんど残っておらず、ボイラ運転中に流動材の流動不良や排出不良が発生していないことが確認された。

5. まとめ

カットタイヤを、循環流動層(CFB)ボイラで燃焼させる実機ユニットにおいて、ボイラの運用上健全性を確認し、排ガス(CO, NO_x, SO_x, ダイオキシン類)及び灰中ダイオキシン類が排出規制値を下回る運用ができることを検証した。

今後もボイラ燃料としてリサイクル燃料適用のニーズは高まる傾向であり、当社の流動層ボイラ技術を最大限に活用してユーザにご満足いただける設備を提供していきたい。

参考文献

- (1) 長谷川考司ほか, 三菱—ルルギ循環流動層ボイラの計画と運転実績, 三菱重工技報 Vol.27 No.4(1990)
- (2) 石原崇夫ほか, 150t/h 循環流動層ボイラの計画と運転実績, 三菱重工技報 Vol.25 No.3(1991)
- (3) 荒川善久ほか, RPF 焚き循環流動層ボイラの計画と運転実績, 三菱重工技報 Vol.42 No.3(2005)

執筆者紹介



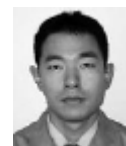
國領繁光
原動機事業本部
ボイラ統括技術部
ボイラ技術二課課長



田口雄三
原動機事業本部
ボイラ統括技術部
ボイラ技術二課主席



坂井俊之
原動機事業本部
ボイラ統括技術部
ボイラ設計課主席



鳥居 功
技術本部
長崎研究所
燃焼・伝熱研究室



明用和幸
技術本部
長崎研究所
燃焼・伝熱研究室



荒川善久
日本ゼオン(株)