

# 廃タイヤ焚き高温高压流動床ボイラの実用化

## Commercialization of Fluidized Bed High-Temperature and Pressure Boiler with Waste Tires as Fuel



寺澤良則\*1  
Yoshinori Terasawa

白幡竹彦\*2  
Takehiko Shirahata

大谷浩\*3  
Hiroshi Ootani

内藤廣一\*4  
Kouichi Naitou

横式龍夫\*5  
Tatsuo Yokoshiki

荒川善久\*6  
Yoshihisa Arakawa

本設備は、化石燃料の代替として廃タイヤを用いた気泡型流動床ボイラで、高温高压の蒸気を発生させることが可能である。廃タイヤ中には10～20%のスチールワイヤが含まれるが炉底にワイヤを堆積させることなく流動床炉から安定して排出でき、さらに当社独自のM-STAR (Mitsubishi Multi-Stage Air Re-firing Method) 燃焼方式<sup>(1)</sup>によりNOx低減とダイオキシン類低減を同時に達成できる。また、木くず、スラッジ等との混焼が可能で、廃タイヤを代替燃料として用いることで化石燃料の使用量を削減でき、CO<sub>2</sub>排出量の低減につながる。ここでは、大型流動床炉を用いた検証試験結果を基に本設備の実用化状況について報告する。

### 1. はじめに

廃タイヤの発生量は、2002年度で1億500万本(重量104万トン)で、このうち熱・発電利用は56%(57万9000トン)である<sup>(2)</sup>。廃タイヤは石炭より安価で、更に発熱量も高い。したがって、廃タイヤを化石燃料の代替とすることで燃料費を削減できると同時にCO<sub>2</sub>排出量の低減が可能となる。一方、タイヤ中にはスチールワイヤが10～20%程度含まれるため、これらを流動床で安定燃焼させるためには流動層内でワイヤが堆積すること無く安定して炉外へ連続排出しながらタイヤを燃焼させる技術が必要となる。そのため当社ではこれまで環境装置分野で培ってきた廃棄物流動焼却技術と原動機での高温高压流動床ボイラ技術を融合し、これらの課題を解決する当社独自のタイヤ焚き高温高压気泡型流動床ボイラを開発した。以下にその際に行った大型流動床炉試験設備を用いた検証試験状況を中心にその実用化状況について報告する。

### 2. 廃タイヤ燃焼での特徴と課題

#### (1) 高発熱量で安価

表1に示したように、廃タイヤの発熱量は、33910 kJ/kgと一般炭の28870 kJ/kgに比較して約20%程度高く、値段も安価であり、石炭代替燃料

として好適である。

#### (2) 高硫黄分

硫黄含有量は約1.5%と、重油なみで還元域での硫化腐食が懸念されるが、火炉の還元域に耐火材を施工することで対策可能である。

#### (3) スチールワイヤの含有

表1に示される通り、タイヤ中には10～20%のスチールワイヤが含有される。スチールワイヤには線径が1～1.5mm程度と太いビードワイヤと燃焼によりその大部分が酸化・粉化するメッシュワイヤ

表1 石炭と廃タイヤの性状比較

項目	石炭	廃タイヤ
発熱量 (kJ/kg) (総発熱量 wet) (kcal/kg)	28870 (6900)	33910 (8100)
水分 (%)	9.00	0.29
灰分 (%)	13.85	2.62
炭素 (%)	71.0	86.5
水素 (%)	4.56	7.66
窒素 (%)	1.72	0.41
硫黄 (%)	0.52	1.48
塩素 (%)	-	0.04
酸素他 (%)	8.35	1.29
タイヤ種類	-	乗用車/大型
ビードワイヤ (%)	-	3.6 / 7.5
メッシュワイヤ (%)	-	7.7 / 13.2
投入サイズ	< 50 mm	16分割 / 3.2分割

\*1 技術本部横浜研究所環境装置研究推進室主席

\*2 横浜製作所原動機技術部ボイラ設計課主席チーム統括

\*3 横浜製作所原動機技術部ボイラ設計課主席

\*4 横浜製作所原動機技術部主幹プロジェクト統括

\*5 原動機事業本部ボイラ技術部ボイラ技術二課長

\*6 原動機事業本部ボイラ技術部次長

がある。これらのワイヤ（主にビードワイヤ）の流動床内への堆積による流動不良に起因する流動床燃焼阻害を防止するために以下の技術を確認することが必要となる。

#### ワイヤ安定排出

層内でのワイヤ堆積防止を図るために、ワイヤの流動特性及び安定排出条件（炉床構造、流動材抽出方法等）の把握。

#### 循環流動材中のワイヤ分離

流動床から排出されたワイヤを含む流動材（循環流動材）の搬送と流動材中からのワイヤ分離。

#### (4) 投入サイズが大きい

図1に示したように、一般に乗用車タイヤは16分割(200mm程度)、大型タイヤは32分割(330mm程度)の大きさで供給されており、これらの流動床内での安定燃焼条件を確認する必要がある。

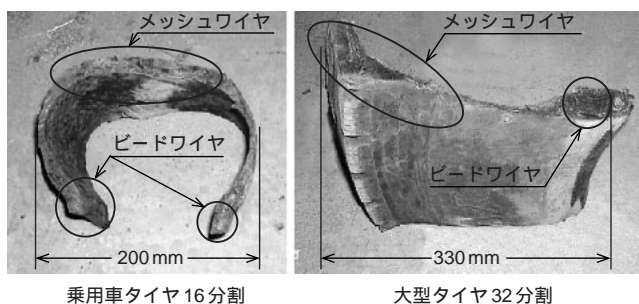


図1 廃タイヤ外観 乗用車タイヤは16分割され大きさは約200mm 大型タイヤは32分割され大きさは約330mm。

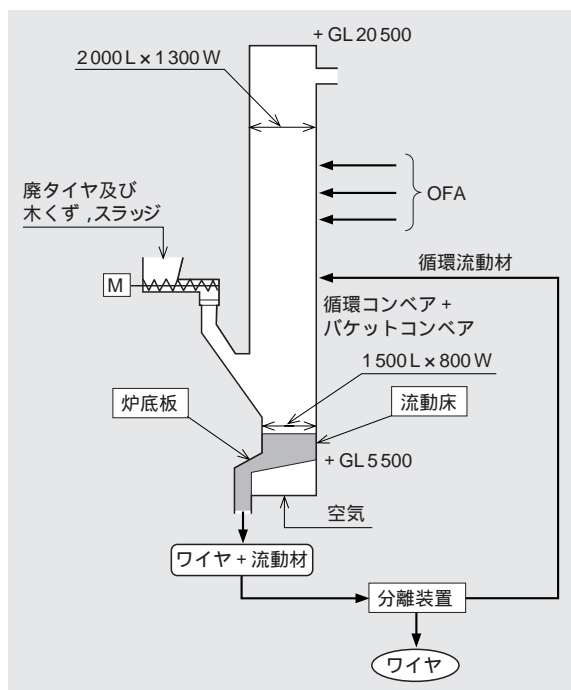


図2 試験装置炉回りフロー 廃タイヤはスクリーフィーダで供給され、砂と共に炉底から排出されたワイヤは分離装置で分離される。

### 3. 実燃焼試験

廃タイヤ焚き高温高圧流動床ボイラの実用化のため上記課題を検証する必要があるため大型流動床炉試験設備を用いて実際の廃タイヤ（カットタイヤ）による燃焼試験を行った。

#### 3.1 試験設備概要

試験装置は、図2に示したように、炉床寸法1500mm×800mm、高さ15000mmの気泡型流動床炉試験設備を用いた。廃タイヤほかの供試燃料は、流動床上部のスクリーフィーダから供給され、流動材とワイヤは連続的にシュートから抜き出され、ワイヤは分離装置により流動材から分離され、流動材はバケットコンベアと循環コンベアにより炉内へ戻される。また、フリーボード部では、流動床から発生した未燃分を完全燃焼できるようにOFA（Over fire air）が複数設置してある。

#### 3.2 試験結果

本試験で用いた供試燃料性状を表2に示す。試験では、廃タイヤ燃焼時のワイヤ排出性を確認するとともに併せて実機での運用を想定して、スラッジ、木くずとの混焼を行った。発熱量は、廃タイヤが38340kJ/kgと最も高く、1.48%の硫黄分が含まれる。また、スラッジ中には0.2～0.4%程度の硫黄分と0.2～

表2 供試燃料性状

品名	廃タイヤ	スラッジA	スラッジB	木くずチップ
水分 (%)	0.29	64.1	52.4	17.1
灰分 (%)	2.62	28.1	43.4	0.75
可燃分 (%)	97.38	71.9	56.6	99.25
炭素 (%)	86.5	33.9	24.1	48.6
水素 (%)	7.66	4.51	3.15	6.13
窒素 (%)	0.41	1.04	0.88	0.58
全硫黄 (%)	1.48	0.39	0.24	0.05
全塩素 (%)	0.04	0.49	0.15	0.09
酸素他 (%)	1.29	31.57	28.08	43.8
総発熱量 (kJ/kg)	38340	13140	8370	19380
真発熱量 (kJ/kg)	36630	12100	7660	18000
特記	・水分は到着ベース、他は全乾ベース ・灰分、可燃分は、800 × 2h 強熱処理 ・タイヤ成分は、ワイヤを除いた部分の全乾ベースの分析値			

表3 試験条件

項目	設定条件	
燃料供給量	廃タイヤ (kg/h)	150
	スラッジ (kg/h)	500
	木屑 (kg/h)	50
流動床温度 ( )	800 ~ 850	
炉出口O <sub>2</sub> 濃度 (%)	6	

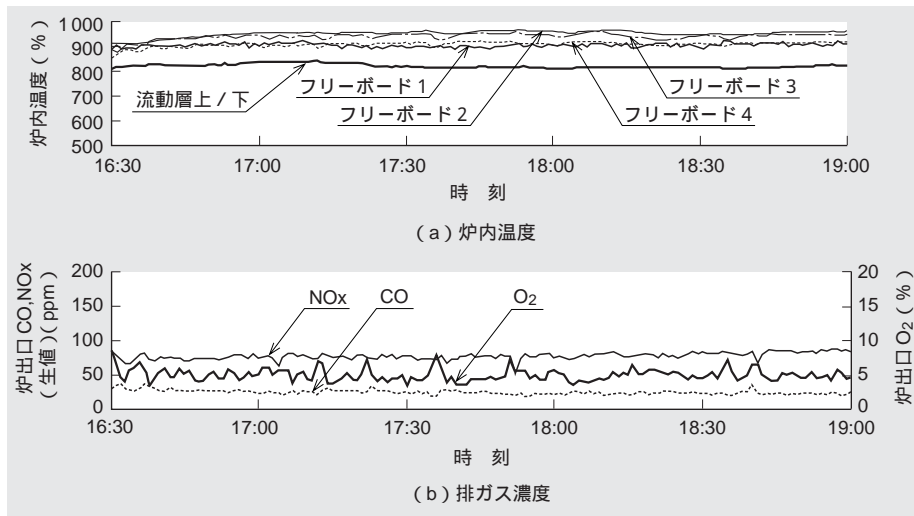


図3 炉内各部温度と炉出口排ガス性状経時変化 流動層及びフリーボード温度、炉出口ガス性状とも安定しており、燃焼が安定していることが分かる。

表4 炉出口排ガス性状

項目	測定値
O <sub>2</sub>	(%) 5.6
CO <sub>2</sub>	(%) 13.3
CO (@O <sub>2</sub> 12%)	(ppm) 4
NO <sub>x</sub> (@O <sub>2</sub> 12%)	(ppm) 45
HCl	(ppm) 10
SO <sub>x</sub>	(ppm) 310
DXN s (@O <sub>2</sub> 12%)	(ng - TEQ/m <sup>3</sup> N) 0.028

表5 ワイヤ収支

項目	比率
排出流動材中 (%)	84.3
層内帯留分 (%)	11.9
飛灰中 (%)	0.4
合計 (%)	96.6

0.5 %程度の塩素分が含まれる。表3に試験条件を示す。

### 3.2.1 運転安定性

図3に炉内各部温度と炉出口排ガス性状の経時変化を示す。流動層温度はほとんど分布も無く平均815℃、フリーボード温度888～843℃、炉出口平均O<sub>2</sub>濃度5.7%、CO濃度20～38 ppm (O<sub>2</sub> 12%換算値12～22 ppm)、NO<sub>x</sub>濃度68～78 ppm (O<sub>2</sub> 12%換算値40～46 ppm)と安定燃焼が行われていることが分かる。

### 3.2.2 燃焼特性

表4に炉出口排ガス性状の手分析測定結果を示した。NO<sub>x</sub>濃度45 ppm、DXN濃度0.028 ng-TEQ/m<sup>3</sup>N (いずれもO<sub>2</sub> 12%換算値)と、廃タイヤ燃焼時においてもM-STAR燃焼法を適用することにより同時低NO<sub>x</sub>、低ダイオキシンを達成できることが確認された。また、HCl、SO<sub>x</sub>については従来型の乾式及び湿式排ガス処理方式にて対応可能である。

### 3.2.3 ワイヤ排出特性

ここでは、流動層を完全混合モデルと見なして、すなわちある濃度域においては、ワイヤは流動材中に均一分散していると考え、以下の理論式<sup>③</sup>を基にワイヤ排出挙動を検討した。

$$C = C_{in} (1 - \exp(-Q t / V))$$

ただし、

C : 流動層内ワイヤ濃度 (wt %)

C<sub>in</sub> : 投入ワイヤ濃度 (wt %)

Q : 砂拔出し量 (kg/h)

V : 流動層砂量 (kg)

t : 運転時間 (h)

図4にワイヤ排出濃度経時変化を示す。約20時間

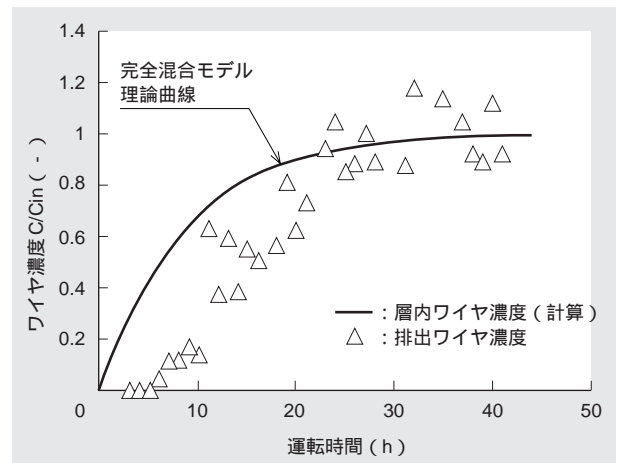


図4 ワイヤ排出濃度経時変化 約20時間で排出濃度は理論曲線と一致し、ワイヤが層内にほぼ均一分散して排出することが確認できる。

で排出濃度は理論曲線と一致し、ワイヤが層内にほぼ均一分散して排出されることを確認した。また、試験実施後の開放点検で確認されたワイヤ収支を表5に示した。投入タイヤ総量から算出されるワイヤ量に対して回収率96.6%となり、図4に示された結果の妥当性が確認できた。廃タイヤ中のメッシュワイヤの大部分は流動層温度800℃以上という燃焼場で図5に示すように酸化・粉化される。運転中に回収された比較的大きなワイヤは図6のように一部の粉化されなかったメッシュワイヤと大部分のビードワイヤであった。

### 3.2.4 ワイヤ磁選分離性

図7にドラム磁選機でのワイヤ回収効率を示す。ドラム磁選機の高温でのワイヤ分離性能を確認するために磁力を450G程度の高温使用時に合わせ低下させた。本条件でもワイヤ磁選効率は95%以上であることが確認できた。



図5 回収砂中メッシュワイヤ  
循環砂中から回収したメッシュワイヤは砂粒径程度に酸化・粉化している。

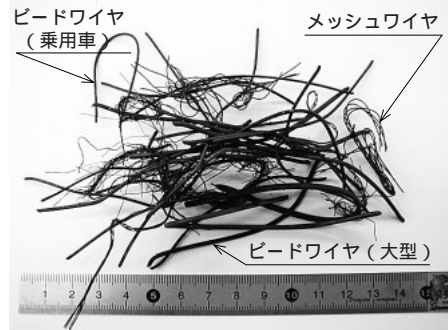


図6 排出ワイヤ外観  
メッシュワイヤは一部粉化されずに排出され、ビードワイヤは全て粉化されずに曲った状態で排出される。

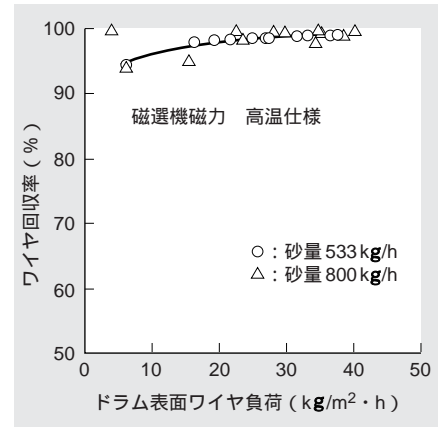


図7 ワイヤ磁選分離性能  
磁力を下げ高温砂を模擬した磁選試験からワイヤ磁選効率は95%以上であることが確認された。

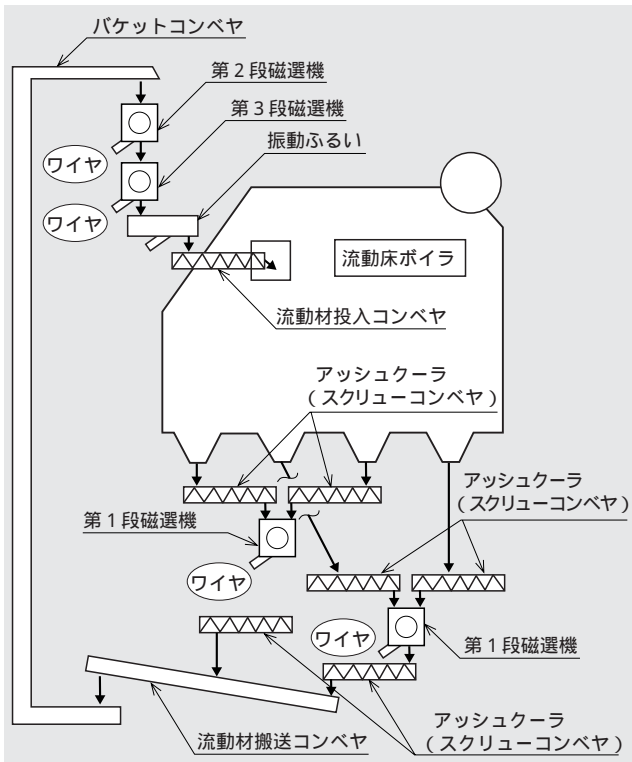


図8 実機概略フロー  
炉底から排出された流動材とワイヤは水冷式コンベヤで冷却され、ワイヤは磁選分離され、流動材は炉内へ戻る。

#### 4. 実用化状況

図8に実機概略フローを示す。実機では、上記試験結果を踏まえ以下のような仕様とした。

炉底には、大型異物抜出しで実績のある丸型分散ノズルを採用した。ワイヤ磁選効率及び後流側補機の保護を考え、水冷式スクリュウコンベヤで2段階で流動材とワイヤを冷却する。ほとんどのワイヤは1段階磁選機で回収可能と考えられるが、流動材中のワイヤを極力回収するため複数段の磁選機を設置する。

これまでに、上記課題のほか、廃タイヤほかの

安定燃料供給及びボイラ運転制御方法、高効率熱回収のための層内伝熱パネル構造改良等の検討を完了し、実用化中である。

#### 5. ま と め

廃タイヤ実燃焼試験より、廃タイヤを燃焼する気泡型流動床ボイラでの安定燃焼とM-STAR燃焼法の採用により排ガス性状も良好であることを確認した。また、その時に発生するスチールワイヤの排出挙動を明らかにし、炉底へのワイヤ堆積、分散ノズルへの絡み付きも無くワイヤが排出できることを検証した。

#### 参 考 文 献

- (1) 荒川善久ほか、ダイオキシン規制に適合した製紙スラッジだき流動床ボイラの計画と運転実績、三菱重工技報 Vol.38 No.2 (2000) p.80
- (2) TIRE INDUSTRY OF JAPAN, THE JAPAN AUTOMOBILE TYRE MANUFACTURES, ASSOCIATION INC. (JATMA) (2003) p.17
- (3) 橋本健治、反応工学、培風館 (1979) p.164



寺澤良則



白幡竹彦



大谷浩



内藤廣一



横式龍夫



荒川善久