

# 石灰キルンのオイルコークス混焼への燃料転換

宇部興産機械株式会社<sup>\*1</sup> 窯業・粉砕技術部 田中哲明<sup>\*2</sup>

## Fuel Conversion for Lime Kiln

Tetsuaki Tanaka<sup>\*2</sup>

UBE MACHINERY CORPORATION, LTD. <sup>\*1</sup>

### Abstract

UBE Machinery Corporation (UMC), established in 1914 to maintain coal-mining machines, has been supplying products mainly to customers in a variety of industries, including, but not limited to, automobile, ceramics, cement, and steel.

In these industries, there are many examples of fuel conversion from conventional heavy oil to less expensive solid fuel, such as coal, oil cokes, and industrial wastes to be used for the fuel in the combustion facilities.

On the other hand, in pulp industry, which consumes a large amount of heavy oil in the caustic process, the reduction of fuel cost is a major theme; however, the conversion to alternative fuel had not shown advancements.

Accordingly, as a solution of converting fuel from heavy oil to less expensive fuel, UMC has been proposing the co-firing technology of oil cokes, which realized from the combined know-how of vertical mill and kiln, furnace, and dryer technology. As a result, with the first order in 2007 as a starting point, UMC has delivered 6 plants. The co-firing technology of oil cokes, which UMC's supplied fuel-conversion facility plays a core role in, has been receiving outstanding feedback from customers for the fuel cost reduction effect.

### 1. はじめに

宇部興産グループは、創業の地である山口県宇部市の炭鉱開発をルーツに、現在は『化学』・『医薬』・『建設資材』・『機械』・『エネルギー・環境』の5事業を展開している。その一員である宇部興産機械株式会社は、石炭採掘機器のメンテナンスに端を発した1914年の設立以来、ダイカストマシン等の成形機や、セメントプラント、キルン、粉砕機、運搬機械等の産業機械を製造し、自動車、窯業、セメント、製鉄等の業界を主要顧客として製品を納入してきた。これらの業界において、焼成設備の燃料は、従来の重油から石炭、オイルコークス、廃棄物等といったより安価な固形燃料に転換された例が多い。一方、苛性化工程で重油を大量に消費するパルプ産業において、燃料費の削減は大きなテーマであるが代替燃料への転換は進んでいない状況であった。そこで、燃料を重油からより安価な燃料に転換するためのソリューションとして、我々は粉砕機と窯業機が持つ知見を組み合わせることで具体化した燃料転換設備を提案してきた。その結果、2007年の受注を皮切りに、これまで6プラントを納入した。宇部興産機械が納入した燃料転換設備が核となるオイルコークス混焼技術は、燃料差益によるコスト削減効果が大きく、ユーザから高く評価されている。

UMCが納入した石灰キルンの燃料転換設備について紹介する。

### 2. オイルコークスとは

オイルコークスは石油精製から作られ、常圧蒸留残油や減圧蒸留残油などの重質油をコーキングという熱分解処理を行ったときの残渣である。黒色の固体であり、形状は通常 50mm 以下で、外観は石炭と大差ない。主な特徴としては以下の通りである。

[この位置は1ページ目の最下段にお願いします](#)

<sup>\*1</sup> 〒755-8633 山口県宇部市大字小串字沖ノ山 1980

1980, Okinoyama Kogushi, Ube City, Yamaguchi Pref., Japan

- 1) 安価なカロリー単価  
 オイルコークスは石油精製の副産品である為非常に安価であり、単位熱量当たりの価格はC重油の約1/3、LNGの1/4である。
- 2) 安定した供給が可能  
 掘削技術の高度化に伴う石油の重質化と製油所の高度化により、アジアを含め世界各地でオイルコークスの生産(コーカーの新設・拡張)は増加傾向である。
- 3) 石炭と同等程度のハンドリング性  
 輸入ターミナルや船腹や保管設備など、既存の石炭用設備が利用可能である。  
 また、毒性や自然発火の危険が無いため、管理が容易である。
- 4) 灰分が少ない。  
 燃焼後に残る灰分は重油と同等であり、重油と代替してもプロセスに与える影響は少ない。石炭は灰分の量が10%程度と高く、苛性化プロセスのように循環サイクルの場合、そのプロセスへの灰分の残留が無視できない。
- 5) 炭素分が多く、揮発分が少ない。  
 燃焼しにくい為自然発火の危険はないが、燃焼させる場合は非常に微細化して比表面積を増加させねばならない。
- 6) 原料のバラツキ  
 砕き易さの指標である粉碎性指数(ハードグロブ指数:HGI)が大きくばらつき、粉碎機(ミル)での粉碎が不安定になりがちである。

図1. にオイルコークスと石炭の比較表、図2. にオイルコークスの外観を示す。

		単位	重油	豪州炭	石油コークス
工業分析	固有水分	%	0.5	3.5	—
	灰分	%	0.2	13.5	0.5
	揮発分	%	99.3	34	12.8
	固定炭素	%	—	49	86.7
	合計		100	100	100
元素分析	C	%	87.4	82.2	89.8
	H	%	12.1	5.1	4
	O	%	0	10.5	1
	N	%	0.2	1.8	2.3
	S	%	0.3	0.4	2.9
発熱量(LHV)		kJ/kg	41,000	27,000	35,000
粉碎性指数(HGI)			—	50~70	35~90



図1. オイルコークスの性状

図2. オイルコークス外観

キルンの燃料はC重油以外にも様々なものが想定される。それらの中には既に副燃料として利用されているものもあるが、燃料費を大幅に削減するために主燃料として使用するためには制約があり、どの燃料でも良いという訳ではない。キルンの燃料として想定されるものを比較した表を 図3. に示す。

価格の安さから代替燃料として候補となる石炭は、灰分が多いため、石灰キルンのように対象物が循環再生されるプロセスの場合、系内の不純物が多くなりすぎて適さない。セメントキルンの場合は石炭専焼が多いが、これは石炭の灰分がセメント原料として利用されるため、系内への灰の残留が問題とはならない為である。一方、海外において燃料として用いられているLNGは、日本においては価格が高く、コストダウンを目的とした代替燃料とはならない。

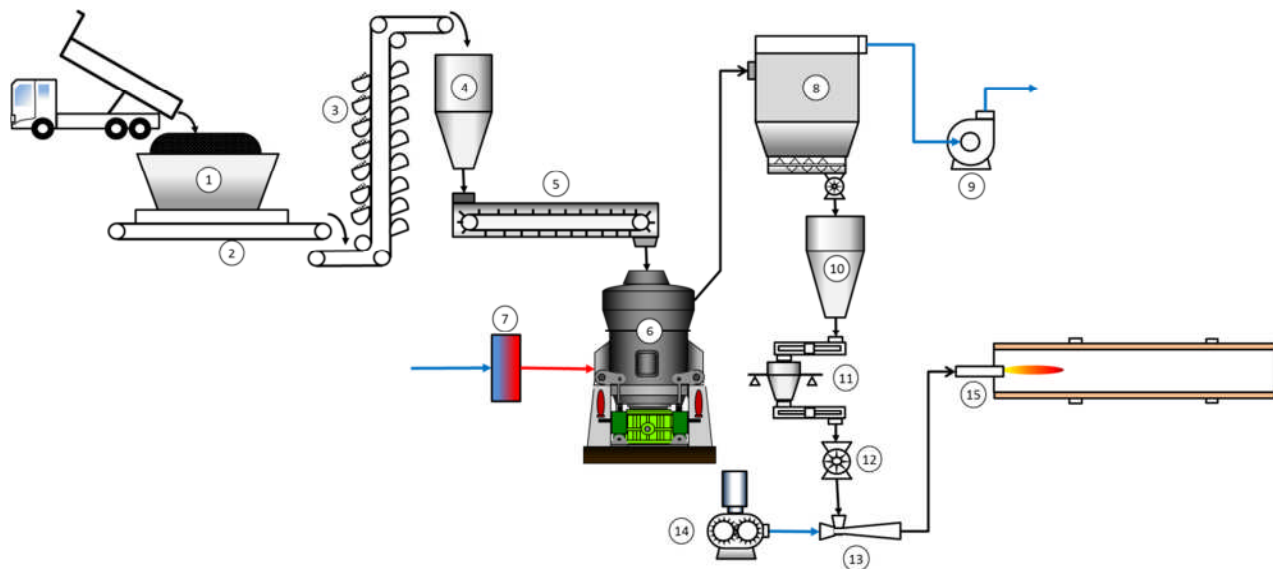
各々の燃料の特性を比較した結果、製紙向け石灰キルンの燃料としてはオイルコークスが総合的にバランスが取れているものとして、これを推奨してきた。

使用燃料	化石系燃料					非化石系燃料 (バイオ燃料)
	C重油	再生油	石炭	天然ガス	石油コークス	木質/生物/食品系
使用形態	液/直接	液/直接	塊/粉	気/直接	塊/粉	塊/粉/炭化/ガス化
発熱量 [kJ/kg]	41,000	41,000	27,000	54,000	35,000	形態により変化 [6,500~37,500]
発熱量当り価格 ※1、※2	1	0.9	0.2	1.3	0.4	1 (バラツキ大)
入手難易度	容易	品質の ばらつき大	容易	容易 (地域による)	容易	難
ハンドリング難易度	容易	容易	容易	容易	容易	難
灰分量	少	少~中	多	無	少	多
処理設備価格	安価	安価	中	中	中	高価
苛性化キルンへの適性	○	△	×	○	◎	×(固体利用) △(ガス化)
※1 発熱量当り価格はC重油を1とした場合の相対値。						
※2 2015年1月の重油価格を基に算出						

図3. 各種燃料比較

### 3. 宇部式燃料転換設備の特徴

石灰キルンの代替燃料に適したオイルコークスであるが、石油精製の副生物であるという性格上、厳格な品質管理は出来ず、燃料として安定的に供給するためには燃料品質のバラツキを考慮した設備構成が必要となる。当初はいろいろなトラブルも発生したが、改良を重ねた結果、宇部式燃料転換設備としてパッケージをまとめたものが図4. に示すフローである。



1) 原料受入設備

- ① 受入ホッパ
- ② ベルトフィーダ
- ③ バケツコンベヤ
- ④ 原料ホッパ

2) 粉砕設備

- ⑤ チェーンフィーダ
- ⑥ 宇部型ミル
- ⑦ 熱風発生装置
- ⑧ バグフィルタ
- ⑨ 排気ファン

3) 計量・バーナ搬送設備

- ⑩ 製品ホッパ
- ⑪ 定量供給機
- ⑫ ロータリーフィーダ
- ⑬ エジェクター
- ⑭ ルーツブロワ
- ⑮ 混焼バーナ

図4. 燃料転換設備 概略フロー

燃料転換設備は1) 原料受入設備, 2) 粉砕設備, 3) 計量・バーナ搬送設備の3つの部分に分けられ、それぞれのパートを独立して運転することが可能である。これは設備全体のロバスト性を考慮したものであり、例えば原料受入設備でトラブルが発生しても粉砕及びバーナへの燃料供給を継続できるようにすることでキルンの安定運転が一定時間可能にしたものである。以下に各設備の特色を述べる。

### 3.1 原料受入設備

オイルコークスの使用量は最大で1日当たり60トンであるので、ストックヤードを設けず、ダンプトラックで毎日輸送してくるケースが多い。ダンプトラックで運ばれてきたオイルコークスは受入ホッパに投入され、そこからベルトフィーダで払い出され、そこから堅型ミルの上部にある原料ホッパまでバケットコンベヤによって搬送される。受入ホッパ、原料ホッパ合わせて16時間分以上の一時貯蔵容量を確保することで、オイルコークスの受入れを日中のみ実施し、夜間の受入は不要である。

オイルコークスは粒度が1~50mmとバラツキがある上、小径の粒子が多い場合、雨水などの水分を含むと付着性が強くなり、ハンドリングが厄介となる。燃料転換設備の成否はミルに安定的に原料を供給できるかどうかを鍵を握ると言っても過言ではないほど、原料受入・搬送設備が重要となる。この部分で発生した原料の詰まりが過去のトラブルの大半を占める為、原料の詰まり対策に対して細心の注意を払っている。具体的な詰まり防止の例として、

- ・ 受入ホッパ①の形状工夫とSUSライナ取付による付着防止対策。
- ・ ベルトフィーダ②のベルト幅を通常より数ランク広く取り、シュート開口サイズを確保。
- ・ バケットコンベヤ③のバケットは付着対策を特に考慮した特殊仕様とする。
- ・ 冬季の結露対策としてバケットコンベヤ③は保温ライニングとベンチレータを装備。
- ・ 原料ホッパ④には、①の対策に加え、閉塞解消用ブラスタ装置を装備。
- ・ レイアウトの工夫による斜めシュート部分の削減。

等の対策を実施している。これらの対策と共に、これまでの経験に基づく助言によってユーザ殿に水分管理の重要性を理解頂き、受入原料の管理を徹底いただいた結果、最新実績においては初号機で苦労した閉塞トラブルが大幅に減少し、ユーザフレンドリーな設備へと改善された。

### 3.2 粉砕設備

揮発分が少なく燃焼しにくいオイルコークスは、一般的な微粉炭の半分程度の大きさである平均粒子径20 $\mu\text{m}$ 程度まで粉砕する必要がある。一方で、オイルコークスは滑りやすい性質を持つ為、難粉砕性の物質に分類される。粉砕し難いオイルコークスを振動を抑制しつつ安定して粉砕することが、燃焼安定の要諦である。UMCの宇部堅型ミル⑥は、独自の構造により、難粉砕物でも安定して粉砕することが出来る。その特徴は以下の通りである。

#### a) 原料の安定供給

付着性のある原料の場合、原料付着によるシュート閉塞、また、付着した原料が熱ガスによって加熱され、着火する危険性がある。対策として、当社では図5に示すようなセンターフィード方式を採用しており、原料の付着なくテーブル上への安定供給が可能である。またミル内において上方に設置しているセパレータからの分級戻り粉はテーブル上に落下するような機構になっているため新規投入原料と同様にテーブル外周に均等に確実にローラに噛み込まれる。

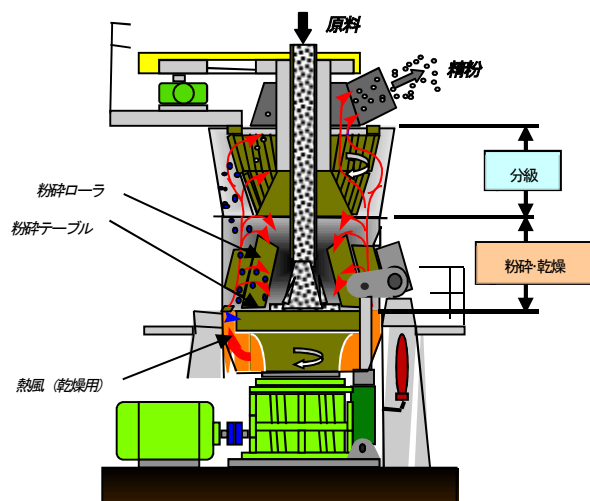


図5. 宇部堅型ミルの構造



図6. 宇部堅型ミルの外観

b) 高い乾燥効率

テーブル外周から熱ガスが供給され、粉碎直後の原料を流動化状態で熱風と接触し乾燥させる。熱風発生装置⑦は、重油換算で20～40L/h程度の小容量のものである。この規模であれば、通常は灯油又はA重油等の、扱いやすいが高価な燃料を使用するが、蒸気を利用した噴霧機構を採用する等の工夫により、キルン燃料であるC重油を使用することを可能にした。最近では重油焚き熱風発生炉から、蒸気を熱源とする熱交換器に変更することにより、更なる重油使用量の削減を実現している。

c) 粉碎力の調整の容易さ

粉碎テーブルの回転数が一定または任意な回転数のまま 粉碎力を自由に調整することが出来る。大きな粉碎力を発生させるには付属の油圧ユニットの吐出圧力の設定変更（中央制御室からの遠隔操作）のみで容易に設定が可能である。

d) 高い分級精度

回転羽根型分級方式を採用することにより、製品粒度の調整が回転速度の調整だけで容易に出来る。

e) 振動の抑制

特許技術である「テーブル回転数制御法」により自励振動を抑制し、オイルコークスのような難粉碎性の原料を粉碎する際も非常に静かな安定運転が可能である。

### 3.3 計量・バーナ搬送設備

微粉碎したオイルコークスも、安定的にキルンに燃料として供給できなければ、息継ぎ燃焼に代表される燃焼不良が生じ、失火による操業不能な事態になりかねない。そのため、定量供給機⑩には、粉体供給で実績の豊富なテーブルフィーダタイプを採用している。さらに、その内部構造は、オイルコークス粉の性状を考慮した特殊仕様としている。先に述べた通り、オイルコークスは非常に小さな粒子に粉碎されている為、空気を含んだ状態ではあたかも液体のように流動性が高く、払出量を制御できずに大量の粉が流出する現象が発生する。この現象をフラッシングと呼ぶが、この対策として特殊なシール構造を採用している。また、ふわふわの状態から空気が抜け（脱気）、粉体が締め固めた状態になると、今度は流動性が非常に悪くなり、固着してしまうので、これを防ぐため、エアバージ装置の装備や、インペラ形状を工夫したものにしている。定量供給機の下流には、搬送空気の影響により計量が不安定になるのを防ぐ目的で、エアロック用のロータリーフィーダ⑫を設置している。ロータリーフィーダはキルンへの供給が脈動することを防ぐように1マスの容量を小さくすると共に、堆積防止を考慮したロータ形状を採用している。

エジェクター⑬は負圧式を採用し、噴き上げと上流からの供給不良を防止する。

## 4. ま と め

ユーザの燃料費削減という潜在的なニーズに対して燃料転換を提案することから始まった本設備は、ユーザ殿の助言により成長していくことが出来た。一見するとシンプルな構成の粉碎プラントではあるが、そこには窯業機・粉碎機の両機種においてこれまで培ったノウハウが生かされている。特に宇部堅型ミルは国内外に500基以上の納入実績を有し、多様な粉碎物についての豊富な知見が安定した操業に寄与している。

宇部興産機械は、これからもニーズを汲み上げて客先とWIN-WINの関係を築くべく、窯業機・粉碎機・運搬機等の多彩なラインナップが持つ知見を最大源に相互に生かし、ソリューションの提供を図っていく。

(了)