—第79回渡辺賞受賞—
銅製錬工程を利用した

シュレッダーダストリサイクル技術の確立*

西脇道雄¹ 林庄作²

Stabilization of Recycling Technology for Shredder Residue
in Copper Smelting Process.

by Michio NISHIWAKI^{a*} and Shosaku HAYASHI^a

a. Onahama Smelting and Refining Co. Ltd., 1-1, Nagisa, Onahama, Iwaki-shi, Fukushima,
971-8101, Japan (*Corresponding author: E-mail shousaku@mmc.co.jp)

Recycling of shredder residues (SR) has been started in 1992 and was expanded the capacity in 2000 by charging them directly into two reverberatory furnaces which we have used for copper concentrates smelting since 1965. Directly charging SR into the reverberatory furnaces was so unique operation that a lot of technical problems arose after the expansion, such as dust troubles in boilers and electrostatic precipitators, corrosion of boiler tubes, damage to refractory of the furnaces and etc. SR treatment has increased due to overcoming such troubles, the amount of SR treatment reaches at 140,000 t per year in 2004 and Onahama Smelter and Refinery is one of the largest plants to treat SR in Japan.

KEY WORDS : Shredder Residue, Reverberatory Furnace, Recycling, Copper Smelting

1. はじめに

小名浜製錬所は、昭和40年に国内初の共同製錬所として福島県いわき市小名浜において操業を開始した。電気銅年産25万t、硫酸47万tの設備能力を有し、平成16年度の実績として51万tの銅鉱石を処理し、23万tの電気銅を生産している。Fig.1に工程を、Table.1に主要設備能力を示す。

製錬炉の中では熱効率の面で比較的不利な反射炉を用いていることから、昭和40年代末の石油危機を経験した後、Fig.2に示すように積極的にエネルギー回収、資源リサイクルを推進してきた。昭和55年に廃タイヤの乾溜燃料化を開始して、最盛期には月間1万tを処理した。また同じ年、当時月間5,000klを消費していた重油の殆どを石炭に代替する技術改善を成功させた。当所では、その後専ら埋立て処分されていた、廃自動車あるいは廃家電等から発生するシュレッダーダスト(以下SR)に着目して、燃料としての熱とともに、僅かながら含有する銅等の有価金属を回収することを目的に、平成5年に反射炉における直接処理を開始した。SRの平均的な構成をFig.3に示す。

平成12年にはSR投入設備を中心に新規投資を行い、SR増処理を目指した。幾多の難問に遭遇しながらも着実に技術改善を実施し現在その処理量はFig.4に示すように年間14万tに達している。都市鉱石とも言えるこれらの資源から熱および有価金属を回

収して、かつリサイクル率100%を果たしている。

2. SR増処理の背景

銅製錬業の環境としてアジア地域での急激な電気銅増産が進み買鉱条件の悪化、一方、国内での銅需要や硫酸・鍍といった銅製錬の副産物の需要が飽和する流れの中で日本国内の各製錬所の競争力が試される様になってきた。国内の銅製錬所で唯一反射炉法を採用している小名浜製錬所は、その労働生産性やガス処理コストにおいて国内での競争力を失いつつあった。

そのような中で反射炉は炉床面積が広く多量のSR燃焼能力がある事、多量に使用している化石燃料の代替になる事、エネルギーだけでなくマテリアルリサイクルも完全に行われる事、銅製錬過程で生成するSO₂ガス共存下でダイオキシン生成が抑制される事、等反射炉でのSR処理メリットが考えられた。従って従前のような鉱石増処理による収益改善でなく、むしろ鉱石処理を下げて収益改善できるようにSR増処理を決断した。

3. SR増処理起業

2基の反射炉にSRを直接投入し燃焼させるという方式は変えずに処理速度を月間2,000-3,000tから6,500tに増強する為、平成12年に次のような設備投資を実施した。その主な仕様をTable.2に示す。

3・1 SRストックヤード・SR搬送設備

SRのストックヤードとして新たに2,850tの能力を持つヤードを建設したが、このヤード内に2基のホッパーを設置しそれぞれ1号反射炉又は2号反射炉上の投入シュートまで切り出し量を制御しながらコンベヤーで直接繋げられてい

西脇道雄氏

林庄作氏

*2005年7月7日受付 2005年7月28日受理 本会第128次通常総会において第79回渡辺賞受賞

1. 普通会員 小名浜製錬(株)小名浜製錬所 副所長(現 細倉製錬(株))

2. 普通会員 小名浜製錬(株)小名浜製錬所 技術部 部長
[著者連絡先] FAX:0246-53-3951(小名浜製錬・林)

E-mail: shousaku@mmc.co.jp

キーワード: シュレッダーダスト, 反射炉, 銅製錬, リサイクル

Fig.1 Flow Sheet of Onahama Smelter and Refinery.

Table 1 Production Capacity.

Cu Concentrates	55,000 (t/M)	Reverberatory (2 units) PS Converter (5 units)
SR	12,000 (t/M)	Reverberatory
Electrolytic Cu	21,500 (t/M)	
Fine Cast	8,000 (t/M)	
Sulfuric Acid	39,000 (t/M)	
Gypsum	32,000 (t/M)

Fig.2 Fuel Constitution of Reverberatory Furnace.

る。

反射炉上には1炉当初8基の投入シュートが炉の天井に配置したが、その後の燃焼方法の改善により1炉当り2基に減らしている。SR投入シュートは直径500mmで天井の貫通部はその周囲に設置されている銅製水冷ジャケットにより保護され、内部はSRの燃焼用空気を兼ねた空気を炉内に吹込むことでシールされている。搬送されてきたSRはタイマーにより個々のシュートに振分けられる。Fig.5にSR搬送設備、SR投入シュートの概略を示す。

3・2 酸素プラント

反射炉の排ガス処理は従来の設備を使用するのでSR燃焼により発生する排ガス量に相当する部分の主燃料である石炭を削減する必要がある。SRはFig.3に示すように約20%の不燃物を含有し1t当りの発熱量(低位発熱量)は16.0-16.5MJ/kgである。反射炉の排ガス温度は1,300℃以上必要であるが増処理ベースでのSR

Fig.3 Constitutional Figure of SR.

(1000 t/Year)

Fig.4 Annual amount of SR treatment.

の空気による燃焼は反射炉の熱バランスを著しく悪化させる事となる。従ってその対策として微粉炭バーナーやSR燃焼空気の酸素富化が必要となり、従来のPSA式3, 750Nm³/h(80%O₂)に代えて深冷式12,000Nm³/h(80%O₂)を設置し運転した。現状、その内の40%を反射炉で使用し残る60%を転炉での鉱石処理に使用している。

3・3 転炉鉱石処理設備増強

反射炉でSR処理を増強することにより排ガス処理の関係から主燃料である石炭使用量を下げる事となる。これにより反射炉での銅鉱処理が減少する事が予想されたので転炉での銅鉱直接処理を更に推進すべく、銅鉱乾燥設備の増強と気流輸送設備の増強を実施した。

4. 増処理起業後の技術改善

4・1 排ガス処理設備

SRの増処理の結果、最も著しい変化を示したのはボイラー、コットレルといった排ガス処理設備であった。

4・1・1 ダスト対策 SR増処理に伴いボイラーやコットレル内のダストの付着性が強くなった。ボイラーは各反射炉に2基ずつ設置されているがその概略図をFig.6に示す。ボイラー内においては火炉内側壁、天井及びカーテンウォールでのスラッシング、ボイラー後部(過熱器管、本体蒸発管)でのファウリングが著しくボイラーの連続運転が1ヶ月程度という状態になった。この現象はSRに由来する成分によるダスト成分の変化がダストの融点、又は、軟化点を下げた事によると考えられている。付着したダストの除去方法を強化し、運転を継続するという目的で次の対策を採った。

- (1) 火炉側壁と天井に槌打装置を設置し火炉での熱吸収を回復し火炉出口のガス温度を下げる。
- (2) 人手によるダスト除去を容易にするためにボイラー側面にマンホールを大型化し増設する。運転中のボイラー内部の観察を強化し早期発見、早期対処を実施する。
- (3) ボイラー内部のガス温度の管理(高温を避ける)、スーツ

Table 2 Specification of Main Equipment.

Equipment	Quantity	Specification
SR Stockyard	1	Cap. 2400 m ² (2850 t)
Feed Hopper	2	Cap. 25 m ³
Feed Conveyor	2	Cap. 20 t/h
Belt Conveyor		Cap. 20 t/h
1RF	3	Total length of Conveyers
2RF	3	228.0 m
Weigher	2	0 ~ 30 t/h
Shuttle Conveyor		Cap. 20 t/h
1RF	1	15.6 m
2RF	1	16.7 m
Charging Chute		
1RF	8	Diameter : 500 mm
2RF	8	Diameter : 500 mm
Water Cooled Jacket	32	Material : Copper
		Dimension (mm) : 1200×540×180t
Blower for Incineration	3	350 kW, Cap. 800 m ³ N/min
Oxygen Plant		Cap. 12000 m ³ N/h
		Cryogenic Air Separation

Fig.5 SR feeding conveyers and SR charging chutes.

Fig.6 Cross-sectional figure of a boiler of reverb.

ブローの運転管理（スーツブローによるカッティング防止の
為のプロテクター設置と噴出蒸気量の調整）を強化する。

これらの対策で現在 8 ヶ月程度の連続運転が可能となっている。

コットレルについても放電極と集塵極に付着したダストが落とせず、頻繁に荷電不良となった。強力な槌打装置を取り付けるべく検討したがその改造が非常に大規模になることとなり、既設のコットレルに代えて除塵性能を重視したコットレルに更新することとした。現在 6 基の内 2 基がその新しいタイプであるが期待通り除塵性能に優れ安定した荷電状態を維持しており、今後も継続して既設の更新を計画している。

4・1・2 ボイラー管の腐食対策 SR 増処理に伴い排ガス中の塩素 (HCl) 濃度が高くなり 1,000-3,000ppm となった。元来銅製鍊炉のボイラーでありダスト中の重金属は多種多量に存在する中で塩素濃度の上昇による腐食は予想した以上に厳しいものであった。特に腐食環境が著しいのは火炉入口天井部の炉からの高温ガスに曝される部分と過熱器管である。過熱器管では 4MPa の飽和蒸気を 380-400℃まで過熱している。従来の一般的なボイラー用低合金鋼 (STBA24, STB35E) では減肉量が増加した。過熱器管の腐食例について Fig.7 に腐食部の断面を示すが塩素と酸素が 0.1mm 程度内部まで侵入しているのが分る。対策としてこれら最も過酷な部位には Ni-Cr 系の溶射コーティング又はステンレス系の材質をテストしており結論はまだ下せないが、現在ある程度の効果を期待できる状況である。

Fig.7 EPMA analysis for a super-heater tube with high temperature corrosion.

Fig.8 Blowing SR with high pressure air.

4・2 SR 燃焼技術の改善

SR 増処理起業前は旧チップタイヤ燃焼設備を一部改造して使用していた。増処理設備検討に当り種々のテストを実施し SR 燃焼空気を酸素負荷することで燃焼速度が増加すること、各炉投入シュートに 8 基ずつ設置することで従来の石炭を熱量的に全て代替する迄 (SR20,000T/M) 処理可能と判断した。

4・2・1 SR 燃焼の問題点 増処理起業後 SR 燃焼空気を酸素負荷したが結果として局部的に高温部が発生し SR シュート近傍の天井煉瓦の損耗が著しく進行した。SR 燃焼空気の酸素富化を止めざるを得ない状況となったが、このことは SR の燃焼速度を低下させ SR 未燃物の堆積が生じ易くなり SR 処理量の低下となった。

4・2・2 SR 燃焼の改善 SR の燃焼を改善する為に、反射炉の広い炉床を有効に使うこと、酸素を SR 燃焼に効率的に使用し煉瓦への影響を最小化することを追求した結果 次のような方策が有効であった。

(1) SR の落下位置付近を炉壁部に設置したノズルを用いて水平方向に高压空気で掃射し SR を反射炉内に散らし SR の燃焼密度を下げる (Fig.8)。

(2) 微粉炭バーナーの中央に酸素ノズルを設置し微粉炭バーナーのフレームの一部を酸素により SR 未燃物の堆積に向けて下向きに吹き付ける。

これらの手法を適用するのは 8 基の SR のシュートの内バーナー側に最も近い 2 基のシュートに限定されるが、燃焼改善の結果

Fig.9 Replaced amount of refractory bricks for ceiling and required time for the replacing work of the ceiling.

1 炉当たり 2 基のシュートで 12t/h の処理が可能となった。この改善により様々なトラブルを誘発した SR 未燃物の炉内での堆積という問題がほぼ解決された。

4・3 反射炉煉瓦の損耗と対策

4・3・1 煉瓦損耗増大の原因 SR の増処理起業後反射炉の天井煉瓦・側壁煉瓦の損耗が激しくなった。その原因として次のような事が考えられた。

- (1) 酸素の使用量が過剰となり炉内が高温となった。
- (2) 未燃 SR が堆積した結果天井煉瓦の直近で SR が燃焼した。
- (3) SR に含まれる土砂・ガラス成分が飛散し煉瓦と反応し、スラグ化して煉瓦を熔損させた、及び 煉瓦内部に浸透しスポーリングを起こさせた。

4・3・2 煉瓦耐用延長対策 前述の SR の燃焼改善により

(1), (2) の問題は解決されたが (3) に対して幾つかの対策を講じた。

- 1) **煉瓦仕様の変更**: 従来から天井煉瓦は $\text{MgO}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ 系の非焼成煉瓦を使用していたが、スラグ成分の煉瓦内部への浸透を防ぎ且つスラグによる熔損を抑制する目的で高 Cr_2O_3 化焼成煉瓦とした。
- 2) **ブロック単位での吊替**: 反射炉の天井煉瓦は炉上を横断する横梁に渡された H 鋼から吊下げられた鉄パイプ製の枠に S 字型の金具で 1 本の金具に 2 枚の煉瓦が吊下げられ、損耗した煉瓦はその S 字型金具から下を交換する。反射炉の天井の内、バーナー壁から 4-5m 離れた位置から炉の中央部迄 (SR シュートでは No.3-No.8 及びその後ろ数 m の部分、Fig.5) が特に煉瓦の損耗が激しく煉瓦頻度が多い。しかしこの特に煉瓦損耗が激しい部分には炉上に SR シュートや SR 搬送設備が設置され、作業スペースが狭い中 交換の為の煉瓦搬送が側方から 2 枚ずつ手渡しというように非常に作業効率が悪く 1 回の作業 (4-5 時間) で 6m^2 (煉瓦 600 枚) 程度に留まった。従って 煉瓦損耗が激しく交換頻度が高いことと交換作業効率が悪いことにより炉修時間の大きな部分を占めていた。

SR の燃焼改善により SR の投入を No.1 と No.2 の 2 箇所集約できたことで No.3 から No.8 の SR 投入シュートを撤去可能となり、更に SR 搬送コンベヤを炉上から炉側方上部に移設可能となり前記の煉瓦損耗が激しい部分に対し「ブロック吊り」という方法が採用できるようになった。これは炉上の横梁に渡した H 鋼を天井クレーンで吊り上げて交換するもので約 250 枚分の煉瓦を 1 回のクレーン操作で交換でき

る。新しい煉瓦を炉修前に予め組み上げておくことで煉瓦の交換作業を短時間で完了でき、同一面積を交換するのに従来の 1/3 程度の時間で可能となった。又、同時にまとまった面積を交換できるようになった事で煉瓦の平均耐用も延びた。これは交換した部分の煉瓦はその外側の煉瓦残寸が小さいため、底面だけでなく側面からも炉内雰囲気曝されることから熔損が激しくなることとなるが、同時に大面積を交換することでそういった境界部の煉瓦の比率が小さくなるからと考えられる。

- 3) **側壁のジャケット化**: 当所の反射炉は炉の前半部分は装入された銅鉍が側壁を保護しているが、炉の後半部分は天井煉瓦と同じように炉内雰囲気に曝されている。SR 増処理に伴い、炉の後半部分の側壁も天井煉瓦と同様に損耗が早くなった。側壁の煉瓦交換は天井と異なり長時間を要し操業ロスに与える影響が非常に大きいので、煉瓦の材質の変更と更に水冷ジャケットの挿入による耐用延長を図っている。

これらの改善により天井や側壁の煉瓦の交換頻度が削減され、Fig.9 に示すように SR 増処理後 1 ヶ月に 100 時間程度となった炉修時間が現在 40 時間程度に削減されている。

4・4 転炉での銅鉍処理強化

SR 増処理後の反射炉での銅鉍処理は予想された以上に減少することとなり転炉での銅鉍処理を強化することが急務となった。当所の転炉での銅鉍処理の歴史は古く 1980 年代前半からテスト操業が行われ、そして 1980 年代後半に実操業に入った。転炉での銅鉍処理は反射炉で重油から石炭へと燃料転換したことにより低下した反射炉での銅鉍処理能力を挽回する目的で実施されたが、当時銅需要が低迷するという外部環境の中で転炉での余熱を利用する範囲に留まっていた。その後 1991 年に PSA 式酸素プラント ($3,750\text{Nm}^3/\text{h}(80\%\text{O}_2)$) を設置し本格的に銅鉍増処理に向けての操業を開始した。その後 SR 増処理起業での酸素プラントの強化等の設備改善と転炉での処理技術改善により現在では、Fig.10 に示すように全銅鉍処理量の内 56% を転炉で処理している。

5. ま と め

銅および各種金属の製錬を本業として 40 年の歴史を持つ小名浜製錬所は、その設備と技術を活かして SR 処理 10 年の実績と低コスト、100% リサイクルにより社会貢献ができるものと自負している。ガス化熔融炉、ロータリーキルン、流動床炉が主流の廃棄物処理施設にあって、銅製錬炉での直接処理は特異ではある

Fig.10 Cu concentrates treatment in reverbs. and converters.

が、時代の流れの中で反射炉法ゆえに可能なことでもあった。又、20年以上前に開発を始めた転炉での銅鉍処理技術が銅製錬とSR処理の両立には不可欠な要素でもあった。さらなる改善による最適操業を目指すとともに資源回収と環境保全に一層の努力を傾注し、持続型・循環型社会の構築に向けて社会貢献に邁進していきたいと考える。

最後に荣誉ある渡辺賞を戴きましたことは非常に光栄なことで、資源・素材学会の関係各位には厚く御礼申し上げます。また、数々の問題に立ち向かい改善を成し遂げてきた当所社員を含む関係者にも感謝の意を表したい。