

■ シリーズ特集 ■ 各部門における省エネルギー対策 (15)

# 銅製錬における省エネルギー

## Energy Saving in Copper Smelter and Refinery

柳 田 節 郎\*  
Tokio Yanagida

### 1. プロセス概観

日本における銅製錬プロセスは、硫化鉱を原料として、アノードまでの乾式熔錬工程と、アノードから電気銅（カソード）までの電解精製工程と大きく2つの工程から成っている。

日本における現状を念頭において、前段の熔錬工程、後段の電解工程における省エネルギーについて、その考え方を述べる。

#### 1.1 熔錬工程

銅精鉱から中間製品である鉱を経て、粗銅を製造、乾式精製して、アノードに铸造するのが熔錬工程である。

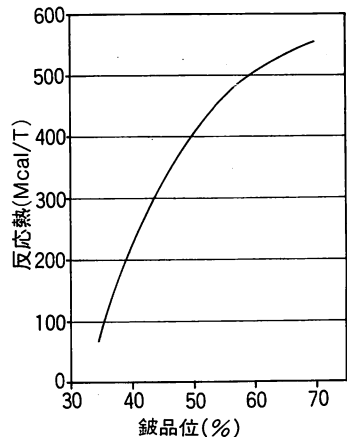
熔錬方式には、あとで紹介するごとく、種々の方式があるが、概括して、銅熔錬プロセスのもつ特徴として、以下の項目が挙げられよう。

- (1) 鉱石自体の酸化反応熱が大きく、有利に利用できる。
  - (2) 排ガス中に、SO<sub>2</sub>を含むため、硫酸、石コウ等に固定する必要がある。
  - (3) 電解工程まで含めると、電力、蒸気が大量に必要で、熔体を扱うため、保全電力も確保する必要がある。その反面排ガス中の熱量よりの蒸気回収、回収蒸気による発電が、有効に利用できる。
  - (4) 従って単なる熔解工程のみでなくガス処理工程を含めたトータルプロセスとして考える必要がある。
- これらの特徴に対してそれぞれの熔錬方式が、それぞれの考え方で成り立っており、ここでは、まず日本における主要な熔錬方式の、それぞれの考え方について述べ、次に、各プロセスの特質を明らかにするため標準的な鉱石を仮定し、各プロセスを単純モデル化し、鉱石処理40%における熱バランスを示すことにする。

この際、実際の操業データと細かい点で相違がある

うが、プロセスの特徴を明確にしておく必要がある。

特に、(1)に挙げた反応熱は、鉱石自体が主として、Cu, Fe, Sの成分から成っており、Fe, Sを酸化して粗銅を生成する過程で発生する。プロセス全体で発生する反応熱は、ほぼ一定だが、熔錬工程の中間品であ



鉱石組成 Cu 28% Fe 26% S 30% SiO<sub>2</sub> 8%

図-1 鉱石T当り反応熱 (鉱石→鉱)

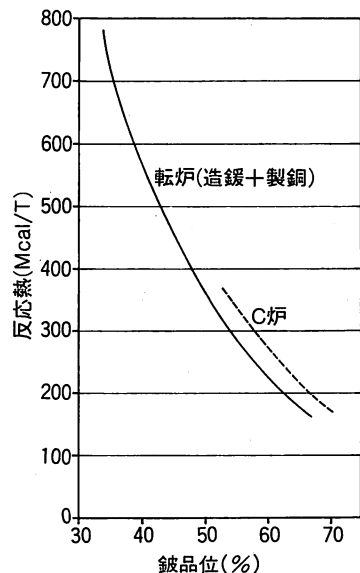


図-2 鉱石T当り反応熱 (鉱→粗銅)

\*三菱金属(株)直島製錬所 所長  
〒761-31 香川県香川郡直島町4049の1

る鍍の品位により、鍍を生成する工程で発生する熱量と、鍍から粗銅を生成する工程で発生する熱量の割合が異なる。鍍品位による、鍍を生成する工程と、粗銅を生成する工程で発生する熱量の変化を、それぞれ図-1、図-2に示す。特に反応熱の利用の仕方が、熔錬方式の差の重要な要素となっている。

1.1.1 反射炉法

反射炉は、原料を燃料の燃焼熱によって溶解し、鍍と鍍を生成する方法であり、原料をそのまま装入する方法をグリーンチャージ反射炉法と称し、原料を焙焼して生成したカルサインを装入する方法を、カルサインチャージ反射炉法と称する。生成された鍍は、転炉へ送り、空気によって酸化し、粗銅とする。粗銅は、精製炉で、酸化、還元した上で、アノードに鑄造し、電解工程へ送られる。

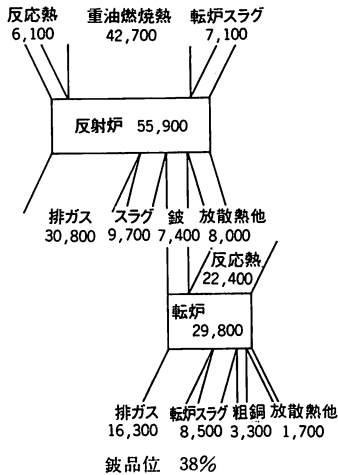


図-3 反射炉法（グリーンチャージ）熱バランス [Mcal/H]

グリーンチャージ反射炉法における熱バランスを、図-3に示す。反射炉及び転炉の取扱い熱量は、他の方式に比して大きい。又、重油燃焼熱の割合が大きく、排ガス量も多い。従って、排熱ボイラーにより、排ガスから蒸気を回収し、電解工場を含めた銅製錬所は、電力、蒸気を大量に使用するから、発電、タービン送風機、工場蒸気等に有効に利用される<sup>1)</sup>。又、燃料使用量が多いだけに代替燃料の使用については、積極的である<sup>2),3)</sup>。

転炉へ送られた鍍は、空気により酸化される。転炉は反射炉から、レードルにより送られた鍍を、バッチで処理する。従って多量の鍍を処理する場合、複数の転炉を並行して運転する。図-3の熱バランスには、単位時間に生成された鍍が、連続して処理された様に表

現されている。

他の方法に比べ、鍍品位が低く、反応熱量が多いので、転炉での熱負荷は、最も多い。このことは、他の方式に比べて転炉でスクラップ、電解工程からの残基銅等の冷材を無燃料で多量に溶解できることを意味している。

カルサインチャージ反射炉法におけるエネルギーバランスを図-4に示す。焙焼工程では、反射熱を利用し

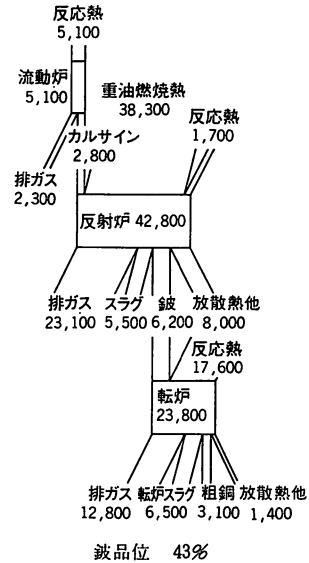


図-4 反射炉法（カルサインチャージ）熱バランス [Mcal/H]

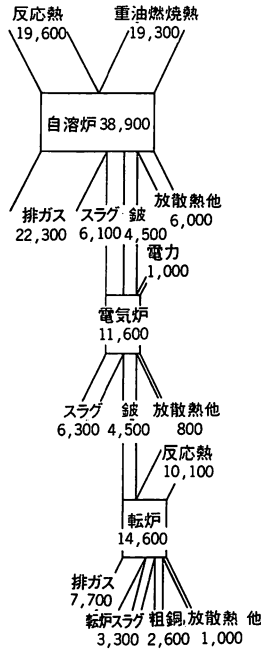
燃料燃焼は必要ない。生成したカルサインの温度も高く、反射炉における熔解効率が高い<sup>4)</sup>。グリーンチャージ反射炉より、燃料使用量は少ない。排熱ボイラーにより、蒸気を回収、発電を行っている。又、代替燃料への転換も進んでいる<sup>5)</sup>。

転炉における熱バランスは、グリーンチャージ反射炉に比べて、鍍品位がやや高く、反応熱量がやや少ない。

1.1.2 自熔炉法

自熔炉における熱バランスを、図-5に示す。乾燥した原料を炉内へ空気、又は酸素富化空気を吹込み、酸化反応熱を鉱石の熔解に利用し、燃料の使用量は少ない。鍍品位は、約50~60%となっている。

反射炉法に比して、トータルガス量が少なく、排ガス処理が前提の銅製錬において、現在、主要な製錬法となっている。更に、燃料減、排ガス量減をはかり、高効率な製錬をめざし高温送風、酸素富化が行われている<sup>7,8,9,10,12)</sup>。

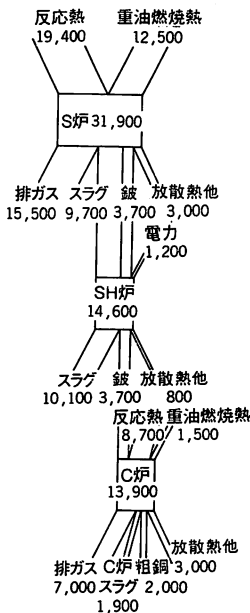


鍍品位 55% 自溶炉 O<sub>2</sub> 25%

図-5 自溶炉法熱バランス [Mcal/H]

鍍品位を上げると反応熱は増し、燃料の使用量は減少する。更に、鍍品位を上げ、反応熱を利用して燃料を減らす試験も行われている<sup>6)</sup>。

又、一般に鍍中の鍍を分離するため、電気炉が設置されている。



鍍品位 65% S炉 O<sub>2</sub> 40% C炉 O<sub>2</sub> 26%

図-6 連続製銅法・熱バランス [Mcal/H]

鍍品位が高いため、転炉における反応熱は、反射炉法に比して小さい。

自溶炉自体に電極を設置し、排ガス量を減らし、電気炉も不要とした方式もある<sup>11)</sup>。

### 1.1.3 連続製銅法

連続製銅法における、熱バランスを図-6に示す。

乾燥した原料をS炉内の熔体中へ酸素富化空気と共に吹込み、他の方法に比べて最も高い65%の鍍を生成、反応熱を最大限に利用し、熔体の攪拌により鉍石を効率的に溶解している。

酸素濃度にもよるが、補助的に少量の燃料が使用される。

鍍、鍍は電気炉(SH炉)で分離され、鍍は転炉に当るC炉へ桶によって連続的に送られる。従って、C炉では転炉と異なり、連続的に粗銅が生成されている。図-6に示す様に、全体の熱量は小さく、排ガス量は少ない<sup>13,14)</sup>。

### 1.2 電解工程

高品質の銅を得るため、かつ、銅中のAu, Agを分離回収するため、乾式精製されたアノードから電解により、カソード上に銅を析出させる。約300 KWH/Tの電解電力と電解液の液温を維持するための蒸気を必要とする。

消費電力量: P (KWH/T=WH/kg)は次の様に表わされる。

$$P = q_0 \cdot V / \epsilon$$

$$q_0 = \text{理論電気量 (844 AH/kg)}$$

$$V : \text{電槽電圧 (V)}$$

$$\epsilon : \text{電流効率}$$

つまり、消費電力は電槽電圧、電流効率に依存する。

電流密度が低い程電槽電圧は低く、電流密度が低く、面間距離が大きい程、電流効率に最も影響する短絡に対する感度は低下するが、生産設備としては単なる電解電力のみでなく、以下に示した電解工程の特質を含め、総合的に高品質の電気銅を低コストで製造すべく設計されている。

- (1) 反応速度が遅く、Cu, Au, Agの滞留量が多い。
- (2) 反応速度が遅く、大規模な電槽が必要で、設備費が高い。
- (3) 電極の入替等、マテリアル・ハンドリングに人手がかかる。

日本における主な電解方式について、従来方式に対する特徴を述べる。

1.2.1 従来法

アノード重量300g~380kg, 極間距離97~110mm, 電流密度190~250A/m<sup>2</sup>の範囲で操業条件は各社それぞれである<sup>16, 17, 18</sup>。

1.2.2 PRC電解法

350A/㎡程度の高電流密度で電解し, 周期的に短時間反転電流を流し, 不動態化と樹枝状ないし粒状の折出物を抑制する方法で, 同一の電槽における生産性が高く, 設備費が安く, 金属滞留量は少ない。一方, 電槽電圧の増加により, 電力消費量が増加するが, ジュール熱が大きく, 電解液温を保つための蒸気使用量は少ない<sup>11</sup>。

1.2.3 ジャンボタンク方式

薄型アノードを用い, アノードライフを短かくして滞留量を大幅に減らし, 従来の分割された電槽を巨大な電槽に集約し, かつマテリアル・ハンドリングを大幅に機械化し, 省力化を徹底的に追求している<sup>19</sup>。

2. 省エネルギーの現状

2.1 熔錬工程

2.1.1 排ガス顕熱の回収

銅製錬排ガスより, 排熱ボイラーによって熱回収をはかる場合次の点を考慮されねばならない。

- (1) pb, Zn等揮発性不純物, 機械的な飛散物等のダストが多く, 粘着性のダストが多い。
- (2) SO<sub>2</sub>が高く, SO<sub>3</sub>の生成と凝縮を避けねばならない。

従ってボイラーの設計に当っては, ダストの付着し難い構造かつ付着ダストを落し易い構造とし, かつガスを急冷し, 管壁温度を高く保ちSO<sub>3</sub>の凝縮を避ける考慮が必要である。炉の操業方法を含めた立上り煙道, ボイラーのダスト及びSO<sub>3</sub>対策が効率の良い回収につながる<sup>11, 12, 20, 21, 22</sup>。

更に転炉ボイラーは, 操業がバッチであり, 上に述べた条件の他に負荷変動が大きい。以前は用いられなかったが, 休止中のボイラーを保温する等考慮され, 現在ほとんどの転炉にボイラーが設置されている<sup>11</sup>。

2.1.2 排ガスの繰り返し

ドライヤーは, 通常重油燃焼ガスを多量の空気で希釈しており, 精製炉, 電気炉, 保温炉, プレヒーター, 独立蒸気加熱器等のガスは, 鉍石ないしは石炭ドライヤー用熱風に混合することができる。ドライヤーには, ダスト除去設備があるため含塵排ガスはそのままドラ

イヤーへ導入もできる<sup>23</sup>。

ある程度酸素を持ったガス, 例えば鉛焼結炉排ガスの様なガスに酸素を富化した上, 反射炉燃焼用二次空気として利用した例がある。低SO<sub>2</sub>でかつ硫酸着色の原因となる有機物を含む排ガスを反射炉内に導入し, 有機物を燃焼させた後ガス処理系へ送る。硫酸の脱色工程が不必要となり, かつ硫酸向排ガス量が大幅に減少した<sup>33</sup>。

2.1.3 酸素富化操業

酸素富化により, 燃料が減り, 窒素及び燃料排ガスが減り, トータル排ガスが減る。これにより, 排ガス中のSO<sub>2</sub>濃度は上昇し, 排ガス量減と合わせ排ガス処理が容易になる。一方, 排ガス量減にともない回収できる蒸気量は減る。

又, 酸素利用で反応速度も上昇し, 能率の高い酸化, 溶解も実現する。プラント新設の場合, ガス処理系がコンパクトとなりトータルでコストが安くなるし, 既設プラントではガス処理系に大きな変更なしに増産を

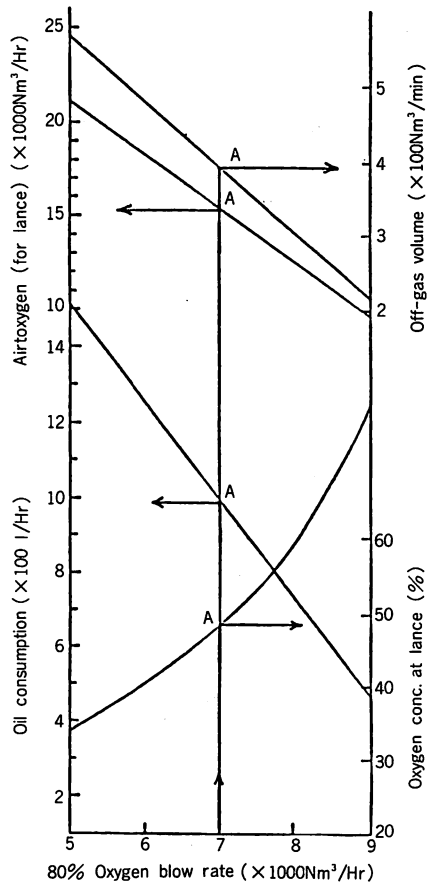


図-7 Operating parameter at S-f'ce (at feed rate of 40mt/hr)

はかり、全体として能力を上げコストダウンをはかることができ、近年、自熔炉、連続製銅炉における酸素富化が急速に進みつつある<sup>7,8,9,10,13,14,15</sup>。

図-7に連続製銅S炉における酸素濃度と、排ガス量、燃料使用量の関係を示す<sup>15</sup>。酸素濃度を上げてゆくと無燃料で操業可能な領域に入る。現に純酸素を用いて鉱石を酸化、反応熱のみで溶解する、カナダのINCO炉の例もある。反射炉では酸素バーナーを利用、溶解能力を上げ、ガス中SO<sub>2</sub>濃度を上げた例がある<sup>24</sup>。

2.1.4 熱風送風

熱風送風は、炉内で燃焼する燃料を減少させ、燃料燃焼排ガスを減少させる。これにより、炉排ガス中のSO<sub>2</sub>濃度は上昇し、排ガス量減と合わせ排ガス処理が容易になる。一方、排ガス量減により、回収蒸気量は減るが、ガス処理を含めたトータルコストは削減される。自熔炉では、限られた空間で反応をすみやかに進行させ、能率良く鉱石を溶解しかつ、排ガス量を減少させるため、熱風送風が単独、又は酸素富化と併用で採

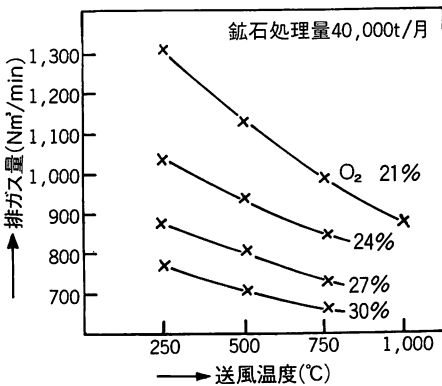


図-8 送風条件と排ガス量（炉出口）の関係

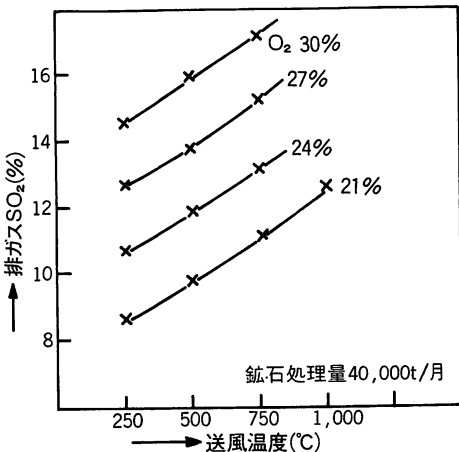


図-9 送風条件と排ガスSO<sub>2</sub>濃度の関係

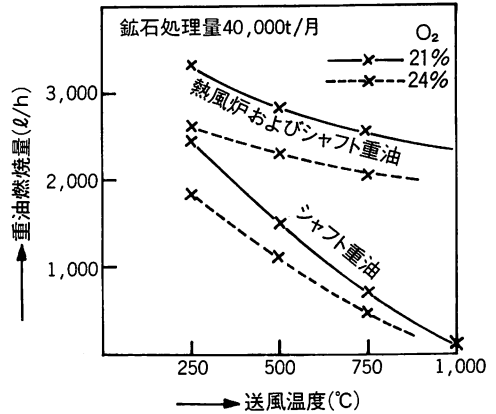


図-10 送風条件と重油燃焼量の関係

用されている<sup>7,8,9,10,12</sup>。図-8、図-9、図-10にそれぞれ自熔炉における送風温度と排ガス量、SO<sub>2</sub>濃度、重油燃焼量の関係を示す<sup>7</sup>。

熱風の発生装置として、独立した熱風発生炉を用いる場合は、別に燃料を必要とするので燃料の合計量は減少しない。ボイラーで回収した蒸気を熱風加熱用に利用し熱交換後、蒸気を再びボイラーへ循環するシステムも実用化されている<sup>25</sup>。

熱風温度としては250~450℃が多いが、蓄熱式熱風発生炉による1,000℃の高温送風の例もある<sup>7,8</sup>。

自熔炉の他、反射炉、溶鉱炉においても熱風送風が行われている<sup>26</sup>。

2.1.5 代替燃料の使用

本質的な省エネルギーとはならないが、オイル等の高価なエネルギーから、低価なエネルギーへの変換によるエネルギーコストの削減が、オイルショック以後銅製錬業界においても活発に実施された<sup>31,32,33</sup>。銅製錬においては、硫酸設備が設置されているところから燃料中のSは高くても問題とならない。表1に各種代替燃料の発熱量の例を示す。

表1 代替燃料の例

燃 料	真 発 熱 量 (Kcal/kg)	*有 効 熱 量 (Kcal/kg)
C-重油	9,900	4,000
石 炭	6,700	2,500
オイルコークス	8,300	3,200
タ イ ヤ	7,800	2,900

\* 空気比 1.2 ガス温度 1,200℃として

反射炉においては、元々燃料使用量が多いことから微粉炭への切替は速かった<sup>5</sup>。更にタイヤの燃焼については、タイヤチップの直接炉内投入に加えて乾留炉

を設置、乾留ガス、回収オイル、カーボンの利用を行っている例がある<sup>2,3)</sup>。自熔炉においては微粉炭、コークス粉を精鉱バーナーから燃焼しており<sup>31,32,33)</sup>、連続製銅炉においては、バーナー燃焼の他、微粉炭をベッディングヤードで鉱石に混合、処理している。これにより熔体への効率的、熱移動が可能となった<sup>13)</sup>。燃料の選択は、そのプロセスの特質と輸送費他ローカルコンディションを考慮した上でなされるべきであろう。

2.1.5 その他  
特に銅製錬特有な問題ではないが各設備、送風機<sup>29)</sup>、排ガスブロワーポンプ<sup>28)</sup>等の仕様の見直しと、適正化、又、排ガスブロワー等での回転数制御の採用<sup>27)</sup>等が行われている。

一方、操業面では特に転炉、精製炉等のバッチプロセスでは、生産計画に合わせた経済的な操業サイクルの検討が重要である。

## 2.2 電解工程

それぞれの方式において、設定された条件下で電流密度、電解液の温度、添加剤、各イオン濃度、給液量、アノードの不純物、重量を一定に管理し均一な分布に保つことが電力消費量の低下と品質維持につながる。又、以下のような対策が行われている。

### (1) カソードの平板性

薄い種板をプレス加工したり、ロール加工することにより種板の曲がりを矯正し、平板性を保たせることが行われる。

外国では電槽に入れて2日後位はやや厚くなった時点で曲がりを矯正するWet Flappingを行う例がある。

### (2) アノードの平板性、垂直性

アノードの曲がりをプレスで矯正する。又、電槽中で吊り下げた状態なるべく垂直性を保つため、両耳下部の構造を互に逆テーパにしたり、耳下部を半円状に切削することも行われている<sup>17)</sup>。

### (3) アノード重量、厚さの均一性

アノードの鑄造精度の向上が重要であるが、(2)のプレスや耳部加工の際、重量、厚みをチェック、選別している例がある<sup>16)</sup>。

(1)(2)(3)の項目は、面間距離が均一に保たれ、電流分布が均一に保たれるので異常電圧や異常析出を防止する上で有効である。

### (4) 短絡の検出

カソード表面での異常析出による短絡は、通常人手によりフラックス・メーターで監視されるが赤外線カメラ等で検知し処理される例がある<sup>18)</sup>いずれにせよ

迅速な発見と処置が電流効率の低下を防止する。

### (5) 接触抵抗の低下

ディストリビューターと極の間の接触抵抗を下げ電槽電圧を下げるため、ディストリビューターを常に湿らせておくWet Contact法や、アノードの耳下部を切削加工すること<sup>17)</sup>が行われている。

電解液の液温維持に要する蒸気量は電槽の保温、電槽表面のシート掛け<sup>30)</sup>等により減らす努力が払われている。

## 3. 省エネルギーの今後

これまで述べてきた省エネルギーの考え方を今後極限まで追求していく中で、私見ではあるが今後進むであろう方向を以下に挙げる。

(1) メインプロセスの高酸素濃度操業。

(2) プロセスの連続化と環境排ガスの減少。

(3) 徹底した熱回収。

(4) 排ガス処理を含めたエネルギーコストの低減。

(1) 高酸素濃度化にともない、ガス中SO<sub>2</sub>濃度は上昇し、ついには硫酸製造のためわざわざ薄めて処理しなければならない。高SO<sub>2</sub>濃度排ガス処理について硫酸・エレメンタル・サルファー・液化SO<sub>2</sub>他、Sの固定に適した経済的ガス処理プロセスの開発も合わせて望まれる。

(2) 環境排ガスは、特に転炉等の熔体のレードルによる運搬、熔体の受入、抜出時、発生するもので多量の電力を要する。例えば、プロセスの連続化で熔体は、密閉された樋を連続的に輸送され、環境排ガスは大幅に減少される。

(3) 熱回収の主体である炉排ガスは硫酸工場へ送られるが、熱回収設備でSO<sub>3</sub>の凝縮による腐蝕を避けるため、せいぜい300~400℃程度までしか温度は下げられない。その他環境排ガス等ドライヤーに利用しきれないガスは多量にある。一方、ジャケット排水、緩水砕水等の排水も多量に排出される。これら低温排ガス・低温排水からの熱回収システムの開発も重要な課題となろう。

熔体保有熱からの熱回収という点では、現在水砕されているスラグについて、鉄鋼業界で開発された風砕と熱回収システムの応用に関するテストが現在業界協同で進められつつある。

自熔炉、連続製銅炉等能率の高い炉は、部分的にジャケットによる冷却がなされている。例えば、蒸気回収等のシステムを組み込めば、炉自体の放散熱

はほとんど回収できよう。

- (4) トータルエネルギーコスト低減を追求していく過程で、特に注目すべきエネルギーの内訳の変化である。表2に反射炉法と連続製銅法のガス処理・酸素

表2 反射炉法，連続製銅法のエネルギーコスト内訳

費目	反射炉法	連続製銅法
燃料費	100	33
電力費	13	19
計	113	52

・転炉燬処理・蒸気クレジット等すべてを含めたエネルギーコストの相対値を反射炉法・燃料費を100として示す。ローカルコンディションは考慮されなければならないが、表2で明らかな様に、エネルギーコスト削減の方向として燃料（熱エネルギー）を極限まで削減し、酸素等の電気エネルギーへの転換が示唆されているといえよう。

#### 参 考 文 献

- 1) 永野；「小名浜製錬所における反射炉製錬——主としてエネルギーの有効利用について」日本鉱業会，1966
- 2) H. Kohno, H. Asao and T. Amano; "Use of alternate fuel at Onahama" 11th AIME Annual Meeting in Dallas, USA, February 14-18, 1982
- 3) 天野，西山，清水；「代替エネルギーを使用した最近の反射炉操業」日本鉱業会誌97, 1119 ('81-5) 413-416
- 4) 市田；「高効率設備と完備した反射炉法による直島新製錬所の設計ならびに建設」日本鉱業会誌/87, 1001 ('11-7) 509-514
- 5) 諸集「直島製錬所における反射炉への微粉炭使用について」日本鉱業会東北支部，第30回非鉄製錬所研究懇談会，昭和57年12月
- 6) 未永；「自熔炉における自熔煉について」日本鉱業会，昭和54年度全国地下資源関係学協会合同秋季大会
- 7) 安藤；「高温度酸素富化送風による大型自熔炉の開発について」日本鉱業会誌/88, 1013 ('72-7) 411-415
- 8) 大宮司；「自熔炉の高温度酸素富化操業について—2.3の考察—」日本鉱業会，昭和48年度合同秋季大会，分科研究会
- 9) 横松，渡辺；「自熔炉への酸素増量について」日本鉱業会誌/99, 1142 ('83-4) 328-329
- 10) 藤井；「省エネルギーへの高濃度酸素を使用した自熔製錬」日本鉱業会誌/98, 1133 ('82-7) 567-574
- 11) 北村；「自熔炉および高電流密度電解法による玉野製錬所の建設ならびに操業の確立」日本鉱業会誌191, 1049 ('75-7) 465-471
- 12) 村尾；「日本における自熔製錬法の発展」日本鉱業会誌/90, 1037 ('74-7) 473-478
- 13) M. Goto, N. Kikumoto and T. Igarashi; "Utilization of coal and oxygen in Mitsubishi Continuous Process" The 4th MMIJ-AIME Joint Meeting, Nov. 4-8, 1981
- 14) T. Suzuki, T. Yanagida, M. Goto, S. Kawakita, T. Echigoyo and N. Kikumoto; "Test operation for smelting more tonnages of Copper Concentrates at the Mitsubishi Continuous Copper Smelting and Converting Process." The 112th AIME Annual Meeting in Atlanta, Mar. 6-10, 1983
- 15) M. Goto and N. Kikumoto; "Intensive operation of the Mitsubishi Process" will be published on Oct. 1984.
- 16) 川端，門前，渡辺，本間；「佐賀製錬所の新電解工場について」日本鉱業会誌/99, 1142 ('83-4) 326-328
- 17) 今沢，木下；「東予電解工場における電解条件の改良」日本鉱業会誌/92, 1058 ('76-4) 326-328
- 18) 佐藤；「日立鉱山第2電解工場の建設について」日本鉱業会誌/89, 1022 ('73-4) 267-270
- 19) 松原，小松，泉；「小名浜製錬所における第3電解工場の概要」日本鉱業会誌/94, 1082 ('78-4) 308-314
- 20) 鳥居，小灘，佐藤；「黒鉱製錬への自熔炉の応用—自熔炉ボイラーについて—」日本鉱業会，昭和48年度合同秋季大会，分科研究会
- 21) 石川，日比野；「小名浜製錬所における反射炉廃熱ボイラー運転—クリンカーダスト対策について—」日本鉱業会誌/87, 1001 ('71-7) 509-514
- 22) 安川；「自熔炉ボイラーについて」日本鉱業会誌
- 23) 細井，佐藤，小灘，毛利；「気流乾燥操業の合理化について」日本鉱業会誌/92, 1058 ('76-4) 324-326
- 24) 後藤，藤原；「小名浜製錬所における反射炉製錬」日本鉱業会，昭和48年度合同秋季大会，分科研究会
- 25) 東郷；「自熔炉の非熱回収について」日本鉱業会，1967
- 26) 門田，沢田，田中；「熔鉱炉における燃料転換」日本鉱業会誌/99, 1142 ('83-4) 323-325
- 27) 安藤；「省エネ対策としてのVVVF試験について」日本鉱業協会，第29回全国鉱山・製錬所現場担当者会議工務講演集，189-208
- 28) 長岡；「硫酸工場増湿塔循環ポンプ改造による省エネルギー及び保全費の低減」日本鉱業協会，第31回全国鉱山・製錬所現場担当者会議工務講演集，9-14
- 29) 前田，井上，池田；「転炉送風機の電力原単位低減について」日本鉱業会誌/97, 1119 ('81-5) 413-416
- 30) 加藤；「シートカバーによる電解槽の保温について」日本鉱業会誌/94, 1082 ('78-4) 307-308
- 31) 日本鉱業会；冶金専門委員会「1980年の展望—銅」日本鉱業会誌/97, 1117 ('81-3) 157-158
- 32) 日本鉱業会；冶金専門委員会「1981年の展望—銅」日本鉱業会誌/98, 1129 ('82-3) 205-206
- 33) 日本鉱業会；冶金専門委員会「1982年の展望—銅」日本鉱業会誌/99, 1141 ('83-3) 169