

<資料>カルシウムフェライトスラグを利用した銅鉍の酸素製錬

著者	宇都宮 公昭, ACUNA C., 矢沢 彬
雑誌名	東北大学選鑛製錬研究所彙報 = Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
巻号	40 1
ページ	77-86
発行年	1984-09-25
URL	http://hdl.handle.net/10097/32860

カルシウムフェライトスラグを利用した 銅鉍の酸素製錬†

宇都宮公昭* C. ACUÑA** 矢沢 彬***

Oxygen Smelting of Copper Concentrate by
Use of Calcium Ferrite Slag.
By Kimiaki UTSUNOMIYA, Cesar ACUÑA and Akira YAZAWA.

1. 緒 言

硫化鉍の溶融製錬法では不足熱を燃料の空気燃焼により補うため、一般に $N_2-CO_2-H_2O$ を主成分とする排ガス量が膨大でその処理に大きな付帯設備を要するほか、熱損失が大きく環境対策の負担も大きい。空気の代わりに酸素を用いると、ガス量低減、 SO_2 濃度上昇、熱的合理化などが期待できるが、純酸素吹きでは空気吹きの場合と逆に熱が余りすぎる傾向にあり、したがって精鉍の酸化の程度が制約を受け生成マットが低品位に抑えられる。

そこで著者の一人は先の報告^{1),2)}で、 SO_2 リサイクル方式によりこれら諸問題の総合的な解決の検討を行った。これは、 SO_2 濃度の高い排ガスをボイラーで熱回収したのち、その一部を循環して純酸素を稀釈し熱的バランスをちょうど実現できる O_2-SO_2 混合気体として炉に導入する方式で、これにより高品位マットの製造を少量の随伴ガスで実現でき、付帯設備や運転費が小さく環境対策も容易なうえ、副産硫黄製品に対しても融通性の大きな製錬方式が可能なが指摘されている。

ところで先の報告においては、精鉍から60%Cu 前後のマットを造る工程を主対象に SO_2 リサイクル方式を考え、生成マットの粗銅への転換には連続製銅方式の炉を想定したが²⁾、もし1段階で75%Cu 前後の白カワの製造が可能であれば、粗銅への転換炉ではスラグを造る必要がなく、合理的なプロセスが実現できそうに思われる。しかしながら従来のシリケートスラグを用いた溶錬方式では、1段の処理工程で直接白カワを造ることは実現が難しいと考えられる。そこでこれまで普遍的と考えられていたシリケートスラグに置き換えて、高いマグネタイト溶解能をもち、その他多くの利点が報告されているカルシウムフェライトスラグ^{3)~7)}を用いることにすれば、高能率の新しい銅溶錬プロセスが誕生する可能性があるものと思われる。

本論文はシリケートスラグを用いた従来の銅溶錬法における SO_2 リサイクル方式の検討に引き続き、カルシウムフェライトスラグを利用した新銅溶錬プロセスとその際の SO_2 リサイクル方式について検討したものである。

† 昭和59年6月6日受理

* 住友金属鉱山(株)新居浜研究所, 東北大学選鉍製錬研究所 受託研究員

** Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chile, 文部省国費留学生

*** 東北大学選鉍製錬研究所

1) 矢沢 彬: 硫酸と工業, **34** (1981), 131.

2) Yazawa, A.; Tozawa, K.: J. Metals, **34** (1982), 39.

3) 武田要一, 中澤重厚, 矢沢 彬: 日本鉍業会誌, **97** (1981), 473.

4) 武田要一, 矢沢 彬: 日本鉍業会誌, **99** (1983), 43.

5) 武田要一, 石渡正治, 矢沢 彬: 日本鉍業会誌, **100** (1984), 103.

6) 武田要一, 石渡正治, 矢沢 彬: 日本鉍業会誌, **100** (1984), 259.

7) 朴 文暎, 武田要一, 矢沢 彬: 選研彙, **39** (1983), 115.

2. 新しい銅溶錬プロセスの基本的概念

従来法と新しい銅溶錬プロセスのモデルを Fig.1 に示した。

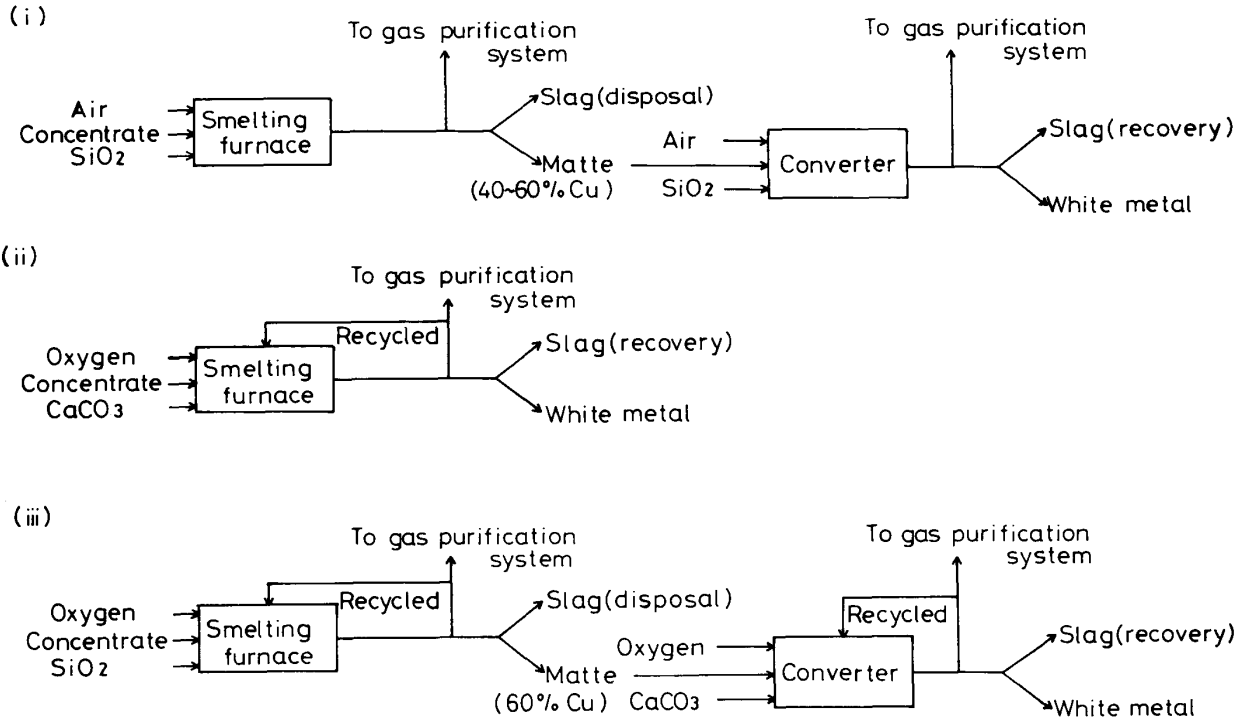


Fig.1 Smelting models of copper concentrate; (i) modernized conventional process, (ii) oxygen smelting of low SiO_2 concentrate with ferrite slag, (iii) oxygen smelting of high SiO_2 concentrate with ferrite slag.

従来の銅溶錬法で用いられたシリケートスラグには一般に次のような欠点がある。

- 1) 酸化鉄保有能が低いためスラグが多量になる。
- 2) 粘性が高い。
- 3) 上記 1), 2) のため有価物のスラグ損失が高くなる。
- 4) 3 価の鉄の保有能が小さいため固体マグネタイトを析出しやすくマグネタイトトラブルを招きやすい。
- 5) 強酸性の SiO_2 が基本になっているため酸性酸化物 (P, As, Sb などの酸化物) の溶解能が低く, As, Sb などが白カワや粗銅まで残りやすい。

さらに上記 4) のため, Fig.1 (i) に示す如くシリケートスラグを用いた銅溶錬方法ではマット溶錬の段階で 1 度, 白カワ製造段階でも 2~3 度のステップに分けてスラグを分離排出する必要があり, 銅溶錬工程を複雑なものにしているばかりでなく省エネルギー, 環境保全の観点からも問題のあるプロセスであると言える。

しかし, SiO_2 含量の低い銅精鉱あるいは将来選鉱技術の進歩により得られるであろう低 SiO_2 含量の銅精鉱に対しては, 溶錬工程で必ずしもシリケートスラグを用いる必要性はなく, 溶剤として珪酸の代わりに石灰石など石灰系溶剤を添加しカルシウムフェライトスラグを造る銅溶錬も可能であると思われる。

Fig.2 にスラグへの銅溶解量に及ぼすマット品位の影響の例⁷⁾を示す。シリケートスラグに比べカルシウムフェライトスラグは, 特に低品位マットのとき, はるかに高い銅の溶解量をもちマ

ット—スラグ間の相互溶解が大きいことがわかる。この結果から、マツト溶錬の段階でカルシウムフェライトスラグを使うことはいたずらにスラグへの銅損失を大きくすることが予想されるが、マツト品位75%前後の白カワになるとシリケートスラグ、カルシウムフェライトスラグに対する銅溶解量の間には差がなくなることは注目に値する。このことは、Fig. 1 (ii) に示す如く高能率の銅溶錬として白カワ直接製造を狙う場合には、カルシウムフェライトスラグの利用が考え得ることを示唆している。

Fig. 3 にシリケート系とカルシウムフェライト系の均一融体範囲の比較³⁾を示す。シリケート系での均一融体範囲が呈する最高の酸素ポテンシャルは $P_{O_2}=10^{-6}$ atm であるのに対し、カルシウムフェライト系では $P_{O_2}=1$ atm まで均一融体範囲が広がっている。したがって、シリケートスラグを用いてこの白カワ直接製造を行うと、とかく急激な酸素ポテンシャルの上昇による固体マグネタイトの析出、そして粘性の増大に悩まされがちで実際には65%以上のマツト製造は望めないが、カルシウムフェライトスラグにおいてはこれらの心配は全くなく、また酸化鉄保有能が高いためスラグ量が2/3以下に減少することが期待できる他、塩基性スラグであるため酸性酸化物を吸収しやすくマツト中のAs, Sb含量が低くなる利点も考えられる。

このように白カワ直接製造を考えるとき、シリケートスラグに較べカルシウムフェライトスラグの優位性が認められ、また1段処理工程であるこの溶錬プロセスにより溶錬総量も少なく省エネルギー製錬となり、不純物の効果的除去も期待でき、環境対策の容易な炉になる可能性も大きいと思われる。

また必要により SiO_2 の高い銅精鉛の処理に関しては、そのプロセスをFig. 1(iii) に示すように従来のマツト溶錬炉で得られるマツトを対象とし、白カワへの酸化時にカルシウムフェライトスラグを利用することにより上述の利点を活かせることは言うまでもない。類似の方法として三菱連続製銅法では、65% Cu マツトを酸化銅含有のカルシウムフェライトスラグと相互反応させることにより一挙に粗銅を得る方法を実現している。しかしながら、不純物吸収能の大きい金属銅を一挙に造るためPb, As, Sbなどの不純物除去

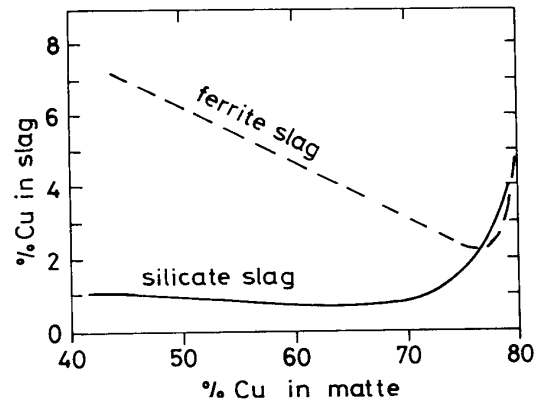


Fig. 2 Copper content in slag in relation to the matte grade.

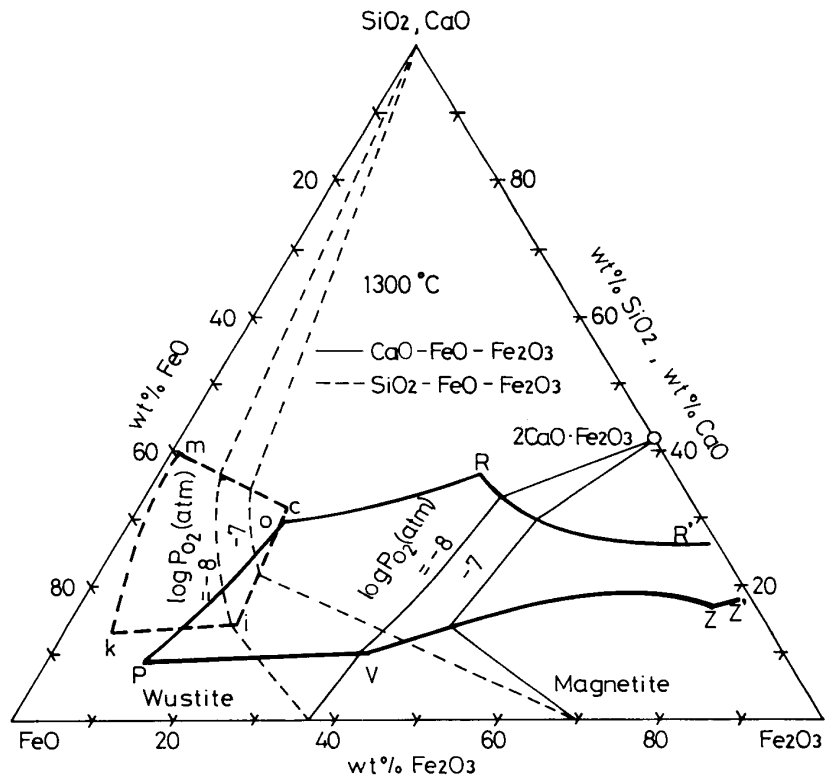


Fig. 3 Liquidus isotherm and iso-oxygen potential line at 1,300°C for the systems of FeO-Fe₂O₃-CaO and FeO-Fe₂O₃-SiO₂.

に問題が残る, また相互反応という微弱な造銅反応を利用することに効率上の懸念も無しとしない. ここで提案しているプロセスのように, 白カワ直接製造により不純物を効率よく気相とカルシウムフェライトスラグに分離し, この白カワをあらためて $\text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu} + \text{SO}_2$ なる強力な反応により粗銅に転換することも検討に値すると思われる.

3. SO_2 リサイクル方式によるフェライトスラグ溶錬法

3.1 精鉱からの白カワ直接製造

前述のカルシウムフェライトスラグを用いた銅溶錬プロセスについて定量的に検討するために, Table 1 に掲げた銅精鉱 A, B に溶剤として CaCO_3 を添加し Cu 品位が75%の白カワを造る場

Table 1 Weight and Compositions of Charge and Products.

	Weight (kg)	Composition (wt %)				
		Cu	Fe	S	SiO ₂	CaO
Copper concentrate A	1,000	30.0	29.0	33.0	1.0	—
Flux	192	—	—	—	—	56.0
Matte	382	75.0	3.6	21.0	—	—
Slag	543	2.5	50.8	2.0	1.8	18.9
Copper concentrate B	1,000	39.0	22.0	33.0	1.5	—
Flux	143	—	—	—	—	56.0
Matte	507	75.0	3.6	21.0	—	—
Slag	402	2.5	50.2	2.0	3.7	18.7

合を考へてみる. 原料銅精鉱Aは CuFeS_2 86.6%, FeS_2 4.6%, FeS 0.8%, SiO_2 1.0%, その他7.0%とし, Cu 含量の高い銅精鉱Bは Cu_5FeS_4 60.6%, CuFeS_2 1.8%, FeS_2 31.6%, SiO_2 1.5%, その他4.5%の組成を持つものとする. マット品位75% Cu の場合, 妥当と思われるマット, スラグ組成をそれぞれ Table 1 に示す. またスラグの S % の内訳として 0.3% は CaS , 0.3% は Cu_2S , 1.4% は FeS としてスラグに固定されるとし, スラグ中の $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ の重量比を1.5, そしてマット中には 0.35% の Ca が溶解するものと仮定した. 物質収支計算により銅精鉱 1,000kg あたりの各々の重量が Table 1 のように算出される.

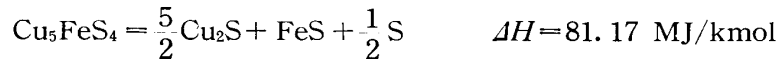
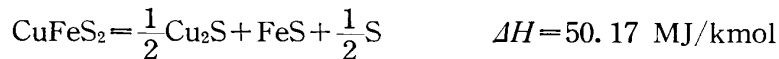
これらの物質収支をもとに, 先の報告¹⁾ にならぬ熱収支計算を行った. 熱収支は 25°C を基準とし, 精鉱 1,000kg について行い, マット, スラグ, 排ガスは 1,300°C で炉を出るとする. 使用ガスは 95% O_2 - 5% N_2 で, 25°C または 300°C に予熱後炉に入るとし, リサイクルガスは排ガスと同組成のもので, 熱回収後 25°C または 300°C で炉に入るものとする. 顕熱を求めるための含熱量 H はガスおよび融体につき Table 2 の値を用いる.⁸⁾

Table 2 Heat Contents of Gases, Matte and Slag.

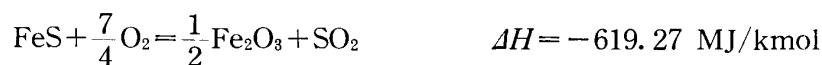
	Gas (MJ/m ³)						Melt (MJ/kg)	
	O ₂	N ₂	Air	SO ₂	CO ₂	H ₂ O	Matte	Slag
$H_{573} - H_{298}$	0.374	0.360	0.363	0.545	0.529	—	—	—
$H_{1573} - H_{298}$	—	1.84	—	2.98	2.93	2.28	0.93	1.58

8) 亀田満雄, 矢沢 彬: 冶金物理化学と製錬基礎論 (吾妻他編) 第3章, (1960), 朝倉.

CuFeS_2 , Cu_5FeS_4 , FeS_2 , CaCO_3 は次のように分解し, 遊離Sは SO_2 に酸化するものとする.



そして次に, FeS と Cu_2S が酸化されるものとする.



その他, スラグ生成熱を CaO 1kg あたり 0.349 MJ とみることにする.

次に比較例として従来の空気吹きを考えると, 不足熱量を重油で補うとして, 84.5% C, 10.5% H, 0.96kg/ℓ の重油を考える.



また熱損失については, その定め方には種々の方法があるが, 空気—重油吹きの場合は精鉛 1,000kg あたり $320 + 0.03 H_T$, 高 O_2 濃度吹きの場合は $260 + 0.03 H_T$ MJ とおくことにした. ただし H_T は総熱量である.

以上の仮定に基づき, 品位75% Cu マットを造る溶錬を次の4つの場合について物量, 熱収支の計算を行った.

- a) 重油燃焼で不足熱量を補う空気吹きの場合
- b) リサイクルガス温度 300°C , 装入ガス (精鉛酸化のための高 O_2 濃度ガス) 温度を 300°C に予熱した場合
- c) リサイクルガス温度 300°C , 装入ガス温度 25°C の場合
- d) リサイクルガス温度 25°C , 装入ガス温度 25°C の場合

a) は SO_2 リサイクル方式を伴わない従来法であり, b), c) については装入ガスを 300°C に予熱する場合と, しない場合, d) はリサイクルガスを 25°C に冷却した場合である. ここでは定量的な検討は行なわなかったが, 排出ガスからの元素硫黄回収の観点からは 25°C のリサイクルガスについて検討することも必要と考えられる.

これらの場合について炉の熱バランスが合うように計算し, 導入, 排ガスの量と組成の関係をまとめて Table 3 に, またそのうち銅精鉛 A の a), c) の場合を図にしたのが Fig. 4 である. 言うまでもないが, 空気吹きの場合はガス量が膨大で排ガスの主成分は N_2 であるのに対し SO_2 リサイクル方式ではガス量が少なく, とくにガス清浄系へ行く量は著しく少ない. また Fe 含有の低い精鉛 B については FeS の酸化が少ないために, 精鉛 A に比べガス量, 熱量とも小さくなり熱バランスをとるためのリサイクルガス量も少なくなる. 精鉛 A について a) を除いたいずれの場合も精鉛 1,000kg あたり, 新たに生成するガス量は 242m^3 であり, この生成ガス量に対するリサイクルガスの割合は b) で 117%, c) で 100%, d) では 82% となる. したがって b) の場合, 熱バランスを合せるためには 1 ステップで得られる生成ガス全量のリサイクルだけでは不足し, 計算上 2 ステップ目から所定量のリサイクルガス量を確保できることになる. このことは, 精鉛

Table 3 Volumes and Compositions of Inlet and Exhaust Gases (per 1,000kg Concentrate).

Concentrate		Inlet Volume (Nm ³)	Inlet Gas Composition (wt%)				Exhaust Volume (Nm ³)	Exhaust Gas Composition (wt%)				Recycled Volume (Nm ³)	Volume in Gas Purification System (Nm ³)
			O ₂	N ₂	SO ₂	CO ₂		N ₂	SO ₂	CO ₂	H ₂ O		
A	a	2,171	20.9	79.1	—	—	2,198	78.1	8.3	8.7	4.9	—	2,198
	b	553	46.3	5.3	38.5	9.9	526	5.6	75.1	19.3	—	284	242
	c	512	50.0	5.2	35.6	9.2	486	5.6	75.1	19.3	—	244	242
	d	469	54.5	5.3	32.0	8.2	442	5.6	75.1	19.3	—	200	242
B	a	1,707	20.9	79.1	—	—	1,715	70.4	19.1	8.7	1.8	—	1,715
	b	379	43.6	3.4	46.3	6.7	360	2.6	85.1	12.3	—	150	210
	c	344	49.9	3.5	40.7	5.9	323	2.6	85.1	12.3	—	113	210
	d	324	54.6	3.6	36.5	5.3	303	2.6	85.1	12.3	—	93	210

- (a) Air smelting with oil combustion,
 - (b) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 300°C,
 - (c) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 25°C,
 - (d) Recycled gas temp. 25°C, charging gas temp. 25°C.
- Charging gas : Enriched oxygen gas for oxidation of ore
 Inlet gas : Recycled gas and enriched oxygen gas.

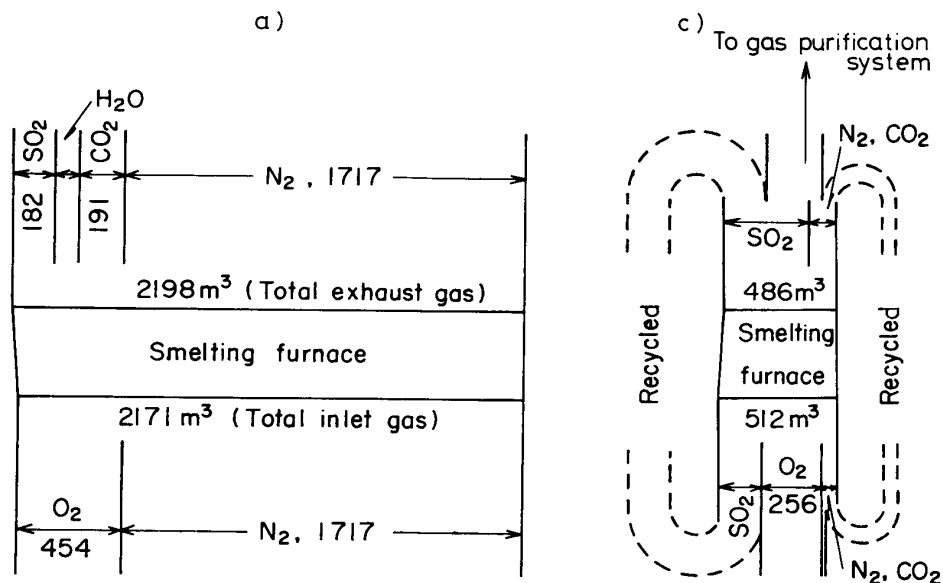


Fig. 4 Relationships between inlet and exhaust gas volumes of concentrate A: (a) air smelting with oil combustion, and (c) oxygen smelting with exhaust gas recycling.

が装入されガス系が定常値に落ち着くまでリサイクルガス量が不足し余剰熱が生じることを意味しているが、実際には炉の立ち上がり時において炉の予熱などが必要でむしろ熱不足となり、この時点でのリサイクルガス量の不足による余剰熱の生成はさほどの問題にはならないと思われる。

Table 3 に示した場合の熱収支の計算結果をまとめたのが Table 4 で、そのうち銅精鉱 A の a), c) の場合を図で示したのが Fig. 5 である。これから a) の空気—重油吹きの場合には高濃度 O₂ ガスを用いる他の場合に比べ、入熱では重油燃焼、出熱では N₂, CO₂, H₂O ガス顕熱が相当部分を占め、とくに反応に無関係で単に加熱され通過するだけの N₂ が相当な割合を占めていることがわかる。このように比熱の高い SO₂ を主成分とする排ガスをリサイクルすることにより大きな余剰熱を伴わず、しかも少量で高い SO₂ 濃度ガスの随伴で白カワを製造することが可能であ

Table 4 Heat Balance Table (per 1,000kg. Concentrate).

Item	Concentrate A				Concentrate B			
	a	b	c	d	a	b	c	d
Oxidation of FeS	2,585 (41.5)	2,585 (83.5)	2,585 (86.9)	2,585 (90.9)	1,893 (44.8)	1,893 (76.2)	1,893 (79.6)	1,893 (81.6)
Oxidation of S dissoc.	543 (8.7)	543 (17.5)	543 (18.3)	543 (19.1)	628 (14.9)	628 (25.3)	628 (26.4)	628 (27.1)
Oxidation of Cu ₂ S	21 (0.4)	21 (0.7)	21 (0.7)	21 (0.7)	15 (0.3)	15 (0.6)	15 (0.6)	15 (0.6)
Decomposition of CaCO ₃	-342 (-5.5)	-342 (-11.0)	-342 (-11.5)	-342 (-12.0)	-255 (-6.0)	-255 (-10.3)	-255 (-10.7)	-255 (-11.0)
Slag formation	38 (0.6)	38 (1.2)	38 (1.3)	38 (1.3)	39 (0.9)	39 (1.6)	39 (1.6)	39 (1.7)
Sensible heat of charging gas	—	101 (3.2)	—	—	—	86 (3.4)	—	—
Sensible heat of recycled gas	—	151 (4.9)	129 (4.3)	—	—	79 (3.2)	60 (2.5)	—
Oil combustion	3,381 (54.3)	—	—	—	1,906 (45.1)	—	—	—
Total	6,226 (100)	3,097 (100)	2,974 (100)	2,845 (100)	4,226 (100)	2,485 (100)	2,380 (100)	2,320 (100)
Matte	858 (13.8)	858 (27.7)	858 (28.9)	858 (30.2)	471 (11.1)	471 (19.0)	471 (19.8)	471 (20.3)
Slag	355 (5.7)	355 (11.5)	355 (11.9)	355 (12.5)	633 (15.0)	633 (25.5)	633 (26.6)	633 (27.3)
SO ₂	543 (8.7)	1,178 (38.0)	1,086 (36.5)	990 (34.8)	257 (6.1)	818 (32.9)	743 (31.2)	694 (29.9)
N ₂	3,159 (50.7)	54 (1.7)	50 (1.7)	46 (1.6)	2,162 (51.2)	57 (2.3)	51 (2.2)	49 (2.1)
CO ₂	560 (9.0)	299 (9.7)	276 (9.3)	251 (8.8)	170 (4.0)	172 (6.9)	151 (6.3)	143 (6.2)
H ₂ O	245 (3.9)	—	—	—	87 (2.1)	—	—	—
Losses	506 (8.2)	353 (11.4)	349 (11.7)	345 (12.1)	446 (10.5)	334 (13.4)	331 (13.9)	330 (14.2)
Total	6,226 (100)	3,097 (100)	2,974 (100)	2,845 (100)	4,226 (100)	2,485 (100)	2,380 (100)	2,320 (100)

(a) Air smelting with oil combustion,

(b) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 300°C,

(c) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 25°C,

(d) Recycled gas temp. 25°C, charging gas temp. 25°C.

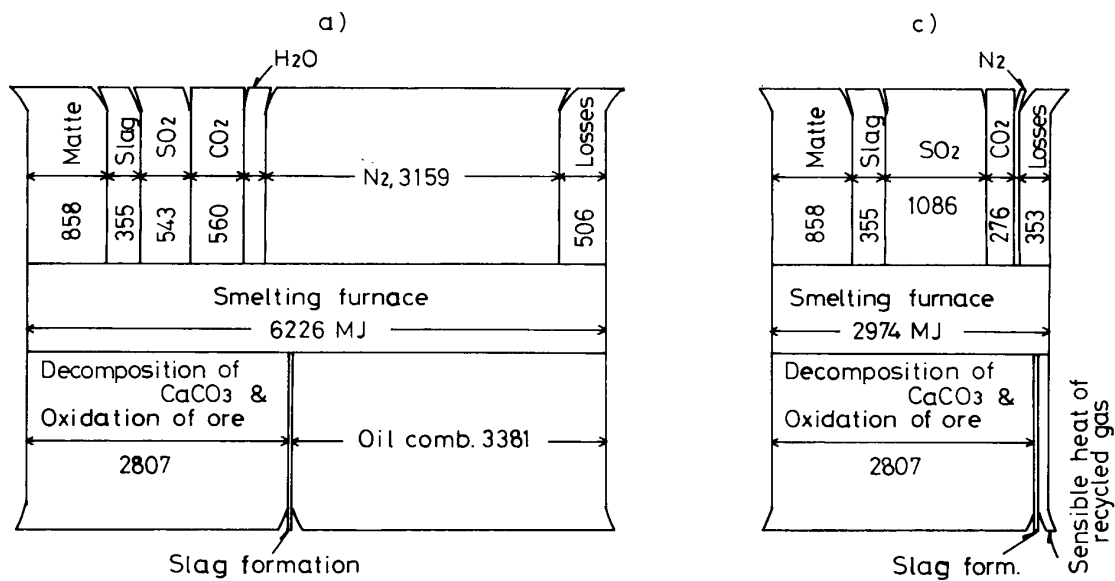


Fig. 5 Heat balance of concentrate A: (a) air smelting with oil combustion, and (c) oxygen smelting with exhaust gas recycling.

ることがわかる。

3.2 マットからの白カワ製造

組成を Table 5 に掲げる SiO_2 含量の高い銅精鉱 C について Fig. 1 (iii) のプロセスで処理した場合を検討した。精鉱 C から 60% Cu 品位のマットを造るまでの過程は前報¹⁾ で詳しく報告しているので、ここではこのマットから白カワ製造までの過程についてのみ前述と同様な方法で計算を行った。物質収支により計算した結果を Table 5 に示す。

Table 5 Weight and Compositions of Charge and Products.

		Weight (kg)	Composition (wt%)				
			Cu	Fe	S	SiO_2	CaO
Smelting furnace	Copper concentrate C	1,000	28.0	27.0	31.0	7.0	—
	Matte	462	60.0	16.0	23.8	—	—
Converter	Flux	45	—	—	—	—	56.0
	Matte	366	75.0	3.6	21.0	—	—
	Slag	111	2.5	54.5	2.0	—	20.4

これらの物質収支をもとに熱収支計算を行った。60% Cu 品位のマットは $1,150^\circ\text{C}$ で装入されるものとし、その時の熱含量を $H_{1423} - H_{298} = 0.84 \text{ MJ/kg}$ とする。また熱損失は総熱量の12%、a)を除く全ての場合について冷剤処理分の出熱を精鉱 1,000kg あたり 62 MJ と見積った。これらの場合について、導入、排ガスの量と組成の関係を Table 6 に、そのうち a), c) の場合を図にしたのが Fig. 6 である。このように転炉操業段階においても空気吹きに比べ SO_2 リサイクル方式では、ガス量が少なく、ガス清浄系へ行く量は著しく少ないことがわかる。

Table 6 に示した熱収支の計算結果をまとめたのが Table 7 で、そのうち a), c) の場合を Fig. 7 に示す。60% マットからの白カワ製造段階においては、空気吹きでは熱不足の傾向にあり、しかも出熱のうちガスの占める割合は37%にも及ぶ。一方、 SO_2 リサイクル方式では出熱のうちガスの占める割合は小さく、転炉操業段階においても SO_2 リサイクル方式でガス量の少ない合理的な製錬ができることがわかる。

Table 6 Volumes and Compositions of Inlet and Exhaust Gases (per 1,000kg. Concentrate).

	Inlet Volume (Nm ³)	Inlet Gas Composition (%)				Exhaust Volume (Nm ³)	Exhaust Gas Composition (%)			Recycled Volume (Nm ³)	Volume in Gas Purification System (Nm ³)
		O ₂	N ₂	SO ₂	CO ₂		N ₂	SO ₂	CO ₂		
a	189	20.9	79.1	—	—	184	81.3	12.8	5.9	—	189
b	91	43.5	5.4	34.9	16.2	86	5.7	64.4	29.9	49	37
c	85	46.4	5.3	33.0	15.3	80	5.7	64.4	29.9	43	37
d	78	50.5	5.3	30.2	14.0	74	5.7	64.4	29.9	37	37

- (a) Air smelting,
 - (b) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 300°C,
 - (c) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 25°C,
 - (d) Recycled gas temp. 25°C, charging gas temp. 25°C.
- Charging gas : Enriched oxygen gas for oxidation of ore
 Inlet gas : Recycled gas and enriched oxygen gas.

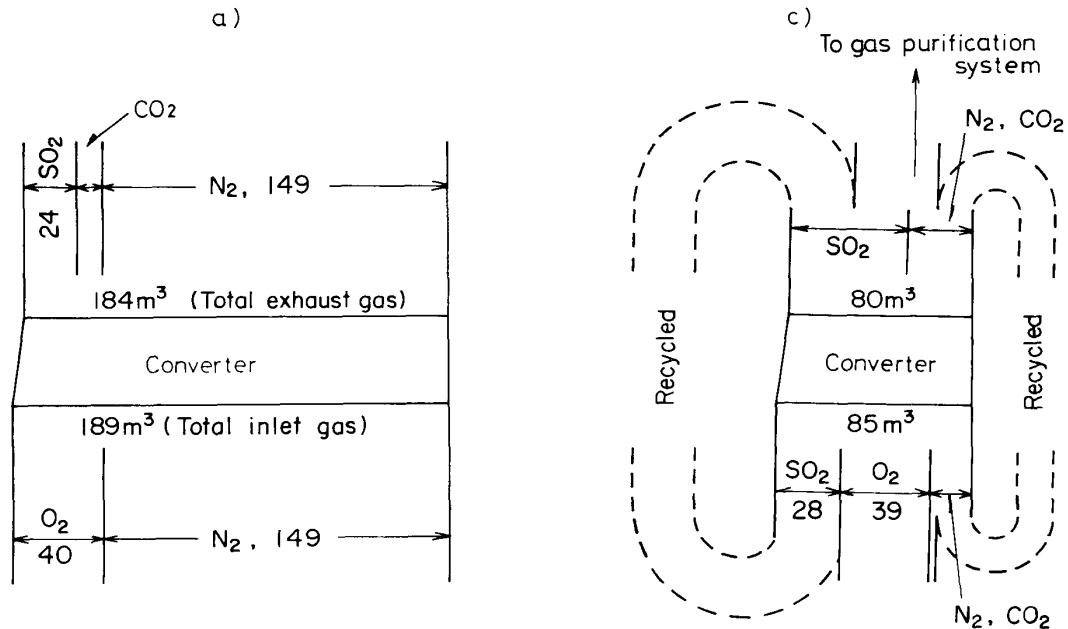


Fig. 6 Relationships between inlet and exhaust gas volume of 60% Cu matte:
 a) air smelting, c) oxygen smelting with exhaust gas recycling.

4. 結 言

種々の銅精鉱に対しカルシウムフェライトスラグを利用した白カワ製造の新しい溶錬プロセスを紹介した。このプロセスにより、マグネタイトトラブルのない、省エネルギーで高い不純物除去の効果をもつ溶錬が期待できる。またこのプロセスについて SO₂ リサイクル方式を物質収支、熱収支で検討した結果、少量で SO₂ 濃度の高い排ガスの随伴のもとで合理的に溶錬ができることが確められた。なお付言するなら、著者らは排ガスから硫酸以外の硫黄副製品を得る場合を考えて SO₂ リサイクル方式を提唱しているものであり、わが国では増酸素空気吹きでフェライトスラグ利用を検討の方が一般的であろう。また本稿では石灰系溶剤として石灰石のみを考えたが、溶錬炉の熱バランスや SO₂ 回収の都合上 CaSO₄、あるいはあらかじめ分解させた CaO の利用なども検討の価値がある。

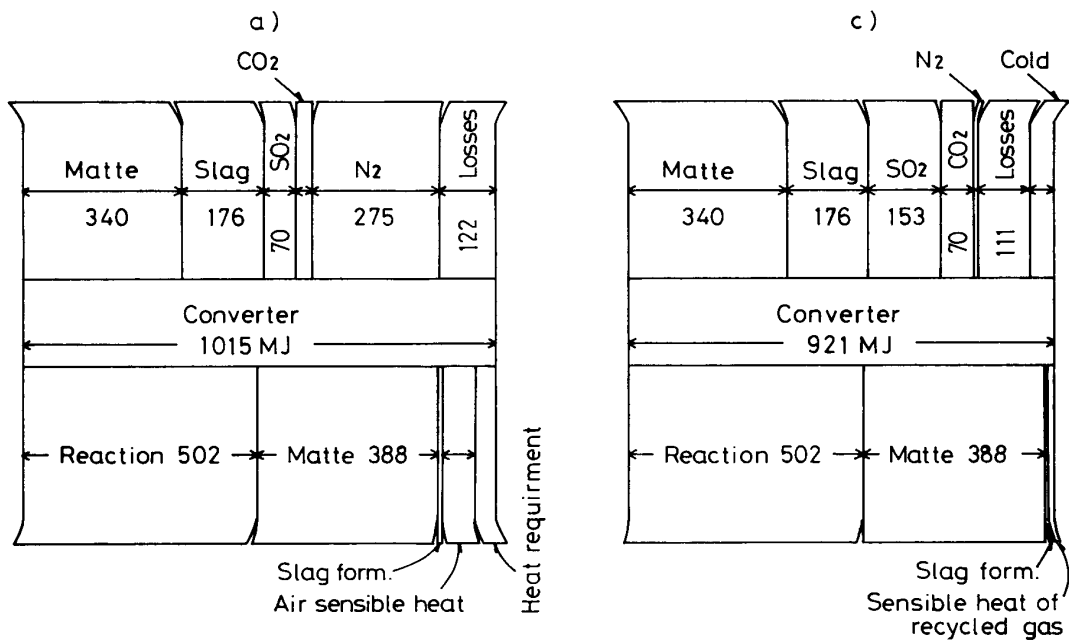


Fig.7 Heat balance of 60% Cu matte: a) air smelting c) oxygen smelting with exhaust gas recycling.

Table 7 Heat Balance Table (per 1,000kg. Concentrate).

Item		a	b	c	d
Heat Input MJ (%)	Oxidation of FeS	578 (57.0)	578 (61.5)	578 (62.8)	578 (64.4)
	Oxidation of Cu ₂ S	4 (0.4)	4 (0.4)	4 (0.4)	4 (0.4)
	Decomposition of CaCO ₃	- 80 (-7.9)	- 80 (-8.5)	- 80 (-8.7)	- 80 (-8.9)
	Slag formation	8 (0.8)	8 (0.8)	8 (0.9)	8 (0.9)
	Sensible heat of charging gas	69 (6.8)	16 (1.7)	—	—
	Sensible heat of recycled gas	—	26 (2.8)	23 (2.5)	—
	Matte	388 (38.2)	388 (41.3)	388 (42.1)	388 (43.2)
	Heat requirement	48 (4.7)	—	—	—
Total		1,015 (100)	940 (100)	921 (100)	898 (100)
Heat Output MJ (%)	Matte	340 (33.5)	340 (36.2)	340 (36.9)	340 (37.9)
	Slag	176 (17.3)	176 (18.7)	176 (19.1)	176 (19.6)
	SO ₂	70 (6.9)	165 (17.5)	153 (16.6)	140 (15.6)
	N ₂	275 (27.1)	9 (1.0)	9 (1.0)	8 (0.9)
	CO ₂	32 (3.2)	75 (8.0)	70 (7.6)	64 (7.1)
	Cold	—	62 (6.6)	62 (6.7)	62 (6.9)
	Losses	122 (12.0)	113 (12.0)	111 (12.1)	108 (12.0)
	Total		1,015 (100)	940 (100)	921 (100)

- (a) Air smelting,
- (b) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 300°C,
- (c) Recycled gas temp. 300°C, charging gas temp. 25°C,
- (d) Recycled gas temp. 25°C, charging gas temp. 25°C.

本稿は昭和58年度文部省科学研究費補助金（課題番号58040007）に負うところが大きく、ここに謝意を表す。