石炭をバインダーおよび還元剤として団鉱した 硫化亜鉛精鉱の還元律速過程*

——亜鉛炭化団鉱の還元律速過程に関する研究(第2報)——

張 傳 福¹ 真 保 良 吉²
朝 倉 岩 三³ 小 川 修⁴

[UDC 669.531]

The Rate-Controlling Step for the Reduction of Zinc Sulfide Concentrate Briquetted by Utilizing Coking Coal as a Binder and a Reducing Agent

——Studies on the rate-controlling step for the reduction of zinciferous coked briquettes (2nd Report)——

by Zhang Chuan-fu¹, Ryokichi SHIMPO², Iwazo ASAKURA³ and Osamu OGAWA⁴

The rate-controlling step was examined for the reduction of zinc sulfide in a coked briquette which was prepared from zinc sulfide concentrate, calcium oxide (or calcium carbonate) as a sulfur-scavenging agent, and coking coal as both a binder and a reducing agent. It has been found that the obtained data are best fitted by assuming the rate-controlling step of the reaction to be the diffusion of gases involved in the sulfur-scavenging reactions through pores in the solid calcium sulfide layer formed on the surface of a calcium oxide particle. From the temperature dependency of the reduction rate of zinc sulfide, the apparent activation energies of the diffusion were found to be 47.3 kcal/mol for the briquette prepared with calcium oxide and 28.5 kcal/mol for that prepared with calcium carbonate, respectively. The difference in the values has been supposedly attributed to the different sizes of pore diameters in the calcium sulfide layers. Though these activation energies seem too large for the pore diffusion of gases, no other rate-controlling step has been found which can better fit the data in the present study, can take into account the non-particulate shape of the carbon in the briquette, and can explain the difference between the effects of calcium oxide and calcium carbonate.

1. Assist. Prof., Dr., Dept. of Non-ferrous Metallurgy, Central-South University of Technology, China; Foreign Research Staff, Faculty of Engineering, The Univ. of Tokyo.
2 ~ 4. Faculty of Engineering, The Univ. of Tokyo.
2. Research Associate, Dr. 3. Research Associate 4. Associate Prof., Dr.

1. 緒 言

著者らは既に、強粘結性の石炭をバインダーおよび還元剤として用いることにより、亜鉛の酸化焼鉱および硫化精鉱いずれの場合にも、高強度でしかも還元性の良い炭化団鉱が得られることを報告し^{1)~3)}、また、前報⁴⁾では炭化団鉱中の酸化亜鉛の還元律速過程について考察を行なった。

本報では、炭化団鉱中の硫化亜鉛の還元律速過程を検討した結果について述べる。

2. 実 験

2・1 実験方法

前報⁴⁾とほぼ同様な方法で、石英反応管内に下方から室温基準で2 cm/sec程度の流速で窒素を流しながら、還元に伴う団鉱の重量変化を測定し、次章に記す方法で還元率に換算した。ただし、本研究では実験の自動化と精密化を図るため、試料の重量減を電子天秤で連続的に測定したデータをパソコンによって10 sec刻みで記録させ、律速過程の解析に利用した。装置の概略を図1に示す。還元温度は1,000~1,200℃とした。

還元を用いた団鉱は全て最適な条件²⁾³⁾で製造されたもので、酸化カルシウムを含む団鉱の組成比はモル比でC:CaO:ZnS=2.5:1.5:1、炭酸カルシウムを含む場合はC:CaCO₃:ZnS=3.0:1.2:1で、形状はいずれも直径13 mm、高さ約15 mmの円柱形

* 1988年5月12日受付 1989年3月13日受理

1. 正会員 工博 中国・中南工業大学講師・東京大学外国人研究員 工学部金属工学科
2. 正会員 工博 東京大学助手 工学部金属工学科
3. 正会員 東京大学助手 工学部金属工学科
4. 正会員 工博 東京大学助教授 工学部金属工学科

Fig. 1 Schematic of apparatus for the weight-loss measurement.

であった。

3. 試料の重量減と還元率

試料の重量減を硫化亜鉛の還元率に換算する方法は以下の通りである。

3.1 酸化カルシウムの場合

平衡計算によれば、 $\text{CO}_2(\text{g})$ の分圧は $\text{CO}(\text{g})$ の 0.35% 以下である⁵⁾ から、総括還元反応は次式で与えられるとしてよい。

初めの試料の重量を W_i 、亜鉛の含有率を C_{Zn} (wt%) とすれば、初めの試料中に含まれる亜鉛の重量 W_{Zn} は

$$W_{\text{Zn}} = W_i \cdot \frac{C_{\text{Zn}}}{100} \quad \dots\dots (2)$$

である。(1)式により、1モルの $\text{ZnS}(\text{s})$ が還元されると1モルの $\text{Zn}(\text{g})$ と1モルの $\text{CO}(\text{g})$ が試料から揮発するので、試料全体としての重量減を ΔW とすると、そのうち $\text{Zn}(\text{g})$ の揮発によって減少した分 ΔW_{Zn} は、前報⁴⁾ の酸化亜鉛の場合と同じく

$$\Delta W_{\text{Zn}} = \Delta W \cdot \frac{M_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}} + M_{\text{CO}}} \quad \dots\dots (3)$$

で与えられる。ただし、 M_{Zn} および M_{CO} はそれぞれ亜鉛及び一酸化炭素の分子量である。硫化亜鉛の還元率を $R = \Delta W_{\text{Zn}} / W_{\text{Zn}}$ で定義すると、(2)および(3)式から

$$R = \left(\Delta W \cdot \frac{M_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}} + M_{\text{CO}}} \right) / \left(W_i \cdot \frac{C_{\text{Zn}}}{100} \right) \\ = \left(\frac{100 \Delta W \cdot M_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}} + M_{\text{CO}}} \right) / (W_i \cdot C_{\text{Zn}}) \quad \dots\dots (4)$$

によって還元率が計算できることになり、これは酸化亜鉛の場合と一致する⁴⁾。

3.2 炭酸カルシウムの場合

平衡計算によれば、このとき $\text{CO}_2(\text{g})$ の分圧は $\text{CO}(\text{g})$ の 0.3% 以下である⁵⁾ から、このときの総括還元反応は次のようになると考えてよい。

この場合、試料から揮発する $\text{Zn}(\text{g})$ と $\text{CO}(\text{g})$ のモル比は 1:3 になるので

$$R = \left(\frac{100 \Delta W \cdot M_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}} + 3M_{\text{CO}}} \right) / (W_i \cdot C_{\text{Zn}}) \quad \dots\dots (6)$$

によって還元率を計算できる。ただし、(5)式を用いるのは、還元率を団鉱の重量減から計算する際だけで、後述するように還元反応の律速過程を考察する際には、 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ はかなり速やかに熱分解して $\text{CaO}(\text{s})$ になると考えた。すなわち、 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ の分解圧 (CO_2 分圧) は 900℃ 程度で 1 atm を越え、本報で炭酸カルシウムを含む場合に採用した最低の還元温度 1050℃ で約 18 atm に達するので、大部分の $\text{CaCO}_3(\text{s})$ は試料の昇温中に分解すると思われる。一方、団鉱内での平衡 CO_2 分圧を見ると、900℃ において約 0.02 atm に過ぎず、さらに温度が上昇すれば急速に減少する⁵⁾。また、後述するように試料の昇温は速いので、化学平衡が成立していると仮定する限り、 $\text{CO}_2(\text{g})$ の揮発が試料の重量減に影響するような状態は還元実験中に殆ど存在しなかったと結論できる。

4. 結果および考察

10 sec 刻みでパソコンに記録させた重量減を(4)および(6)式によって還元率 R に換算し、パソコンのプリンターによって還元時間に対して 100R (%) をプロットさせたところ図2および図3のようになった。還元開始後暫くの間は下に凸の曲線となり、その後次第に上に凸の曲線に移って行く傾向があるのは、前報でも述べたように⁴⁾ 試料の温度が所定値に達するまでの遅れによるものと思われる。しかし、図2および図3における各曲線上の、上に凸の部分還元率ゼロに外挿してみると、試料が所定温度に到達するまでの時間は高々 2 min と見積もられ、この程度の昇温時間の遅れは後述する Arrhenius プロットには殆ど影響しない。

また、本研究の炭化団鉱は、硫化亜鉛と還元剤および硫黄固定剤が団鉱全体に分布していること、および試料の昇温時間が上述のように高々 2 min であることを考えると、還元反応は団鉱全体にわたってほぼ一斉に進行するものと推測される。また、この炭化団鉱は、団鉱中の石炭を炭化する際²⁾³⁾ に石炭から発生するガスによって、粒子と粒子の間にガスの通路が豊富に形成されて

Fig. 2 Temperature dependence of reduction rate of ZnS briquetted with CaO.

Fig. 3 Temperature dependence of reduction rate of ZnS briquetted with CaCO_3 .

いたことを考えると、前報⁴⁾で述べたように、還元反応で生じたガスが粒子の間隙を通して団鉱外に出て行く過程は律速過程になり得ないと思われる。以上のことから、本研究における還元反応の律速過程については、前報⁴⁾の酸化亜鉛の場合と同様、団鉱内の個々の粒子と気体の反応に着目して検討を行なった。

本研究の炭化団鉱中に存在する炭素以外の固体は、主として ZnS(s) と CaO(s) 、または $\text{CaCO}_3(\text{s})$ で、これ以外にも少量の不純物が含まれているが、還元反応に与える不純物の影響は無視してよいであろう。また、既に述べたように $\text{CaCO}_3(\text{s})$ はかなり速やかに分解して CaO(s) になると思われるので、律速過程を解析する際に $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 粒子は考慮しなかった。

一方、本研究の還元反応においても、前報⁴⁾の酸化カルシウムの場合と同様に Boudouard 反応

が介在している。しかし、前報でも述べたように C(s) は粒子とは見なし得ず、以下に記すような固体球形粒子に基づく未反応核モデルは適用し難い。

したがって、まず律速過程は ZnS(s) 粒子と気体、または CaO(s) 粒子と気体の反応であると仮定した。この場合には(1)式の総括反応を上の(7)式、および以下の(8)~(11)式のように分けて考える必要がある。

(8)式および(9)式から分かるように、 ZnS(s) の分解反応および CO(g) による還元反応はいずれも生成物は気体のみであるから、このいずれかの反応が律速過程であるならば、前報⁴⁾の収縮して行く ZnO(s) の場合と同じ様に、粒子表面における化学反応律速の式

$$kt = 1 - (1-R)^{1/3} \quad \dots\dots\dots (12)$$

または、ガス境膜拡散律速の式

$$kt = 1 - (1-R)^{2/3} \quad \dots\dots\dots (13)$$

が適用できなければならない。しかしながら、図2と図3のデータはどちらの律速過程にも当てはまらない。したがって、(10)または(11)式の反応、すなわち CaO(s) 粒子の外側に CaS(s) が生成する反応について検討した。

ここでもまた、 CaO(s) を球状粒子と仮定して未反応核モデルを適用する。既に述べたように化学反応律速の仮定は成り立たな

いから、この場合には CaO(s) 粒子の表面に生成した CaS(s) 層の細孔内を、反応生成ガス [$\text{S}_2(\text{g})$, CO(g) , COS(g) , $\text{CO}_2(\text{g})$] が定常状態で拡散する過程が律速段階と考えなければならない。このときは、例えば Levenspiel⁶⁾によれば、

$$kt = 1 + 2(1-R) - 3(1-R)^{2/3} \quad \dots\dots\dots (14)$$

の関係があるが、これを図2と3のデータに適用してみると、図4と5に示したようになりに良く直線に載っている。図4に比べて図5の直線性が、特に温度が低い場合に劣るのは、炭酸カルシウムの熱分解反応と(10)および(11)式の反応が還元の初期において競合するためであると考えられる。以上のことから、硫化精鉱の還元反応における律速過程は、硫黄が固定される反応で生成する CaS(s) 層の細孔内におけるガスの拡散であると結論できる。

Abramowitz⁷⁾は、試薬の ZnS(s) を C(s) と CaO(s) で直接還元した実験に対する考察として、彼らの実験条件では $\text{S}_2(\text{g})$ よりも COS(g) の方が多量に存在するはずなので、 COS(g) の関与する反応の方が起こり易いとしている。本研究の場合も彼らの実験条件に近いので、(9)および(11)式の反応が主なものと考えてよい。しかし、ここでは $\text{S}_2(\text{g})$ の関与する反応を取って否定する必要はなく、むしろ単純に $\text{S}_2(\text{g})$ と COS(g) が同時に介在して反応が進むとした方が自然であろう。

Fig. 4 Relationship between $[1 + 2(1-R) - 3(1-R)^{2/3}]$ and reduction time for ZnS briquetted with CaO .

Fig. 5 Relationship between $[1 + 2(1-R) - 3(1-R)^{2/3}]$ and reduction time for ZnS briquetted with CaCO_3 .

植田ら⁸⁾は(1)式の総括反応を律速するのは ZnS(s) と CaO(s) の固体間反応によって ZnO(s) が生成する速さであることを実験的に示し、また、Abramowitz らが提案した COS(g) を中間生成物とする反応機構に対しては、平衡的に PCOS が非常に小さいこと、および(9)式の反応に必要な CO(g) の起源が説明しにくいことの2点を挙げて理解し難いとしている。しかしながら、植田らの固体間反応による ZnO(s) の生成速度が、 ZnS-C-CaO 混合試料における ZnS(s) の還元速度に近いものになったのはかなり偶然的なものと考えられる。なぜなら、植田らは ZnO(s) の生成実験を ZnS(s) と CaO(s) のみによって行なったが、もし還元剤が共存していたならば、生成した ZnO(s) が還元され、 Zn(g) および CO(g) となって系外に出るために空洞を生じ、その結果として ZnS(s) と CaO(s) の接触が不十分になり、 ZnO(s) の生成反応そのものが阻害されたはずである。したがって、還元が順調に進むという事実を説明するためには、やはりAbramowitz らのように還元を促進する気体種の存在を考える必要がある。(9)式の反応で得られる PCOS は確かに小さいが、(11)式の反応によって COS(g) が消費されれば反応は右に進行する。また、初めの CO(g) の起源は、系内に微量存在していた空気と炭素の反応、あるいはこの場合こそ、固体間反応によって生成した ZnO(s) が、それと接触している固体炭素と反応したと考えることもできる。こうして一旦 CO(g) が生成すれば、以後は(10)式あるいは(11)式の反応によって CaO(s) が酸素の供給源となる。

図4、5の曲線を最小二乗法で直線近似したときの勾配と、各々に対応する温度の逆数との関係から、図6および図7によって見掛けの活性化エネルギーがそれぞれ47.3 kcal/molおよび28.5 kcal/molと与えられる。炭酸カルシウムを用いた場合に活性化エネルギーが小さいのは、同じ CaS(s) 層の細孔内におけるガスの拡散であっても、細孔の径が異なるために拡散の様子が同一でないことによるものであろう。すなわち、団鉱内で炭酸カルシウムの熱分解によって生成する CaO(s) は、 $\text{CO}_2(\text{g})$ が抜け出した分だけ試薬の酸化カルシウムより径の大きい細孔を有すると考えられ^{a)}、したがってその CaO(s) の表面に生成する CaS(s) 層も同様に試薬の酸化カルシウム上に生成するものよりは径の大きい細孔を有していたためであると思われる。

さらに、 CaS(s) の生成に関連して次のことも検討しておく必要がある。すなわち、 CaO(s) が CaS(s) になる際には20~50%の体積増加があり³⁾、そのために表面の細孔が潰れてしまうことも考えられる。そして、もしこのようなことが起きるのであれば、

Fig. 6 Arrhenius plot for the reduction of ZnS briquetted with CaO.

CaS(s) によって覆われた CaO(s) と、 $\text{S}_2(\text{g})$ や COS(g) との反応は非常に遅くなるであろう。しかし、実際には図2および図3に示されているように反応は滞りなく進行した。この理由として考えられるのは、 CaS(s) 層の内側に新しい CaS(s) が生成する際には外側の CaS(s) 層を押し広げなければならない、このために CaS(s) 層には絶えず新しい亀裂が生じ、それがガス拡散経路になるということである。このことはまた、反応の進行につれて CaS(s) 層内の細孔の構造が変化して行くことにもつながり、これが見掛けの活性化エネルギーに影響を与えている可能性も否定できない。

なお、Abramowitz ら⁷⁾は、 ZnS(s) を粒状の C(s) と CaO(s) で還元する際の見掛けの活性化エネルギーとして 50.12 ± 4.00 kcal/molを与えており、これは本研究で試薬の酸化カルシウムを用いた場合の値に近い。しかし、彼らはこの活性化エネルギーを、Boudouard 反応の見掛けの活性化エネルギー(約80 kcal/mol)が何らかの物質移動過程の効果で低めに見積もられたものと推測しており、さらにまた、彼らの C(s) が粒状であることを考慮すると、本研究の結果と直接には比較できない。一方、本研究で得られた見掛けの活性化エネルギーは、細孔内でのガス拡散にしては大き過ぎるという難点があり、前報⁴⁾でも述べたように、マトリックス形態の C(s) に対して適当な還元速度式を導くことでさらに合理的な考察が可能であるかもしれない。しかし、前報とは異なり本研究の場合には、酸化カルシウムと炭酸カルシウムとの差も説明できるものでなければならず、そのような速度式を求める見通しは全く立っていない。

5. 結 言

亜鉛の硫化精鉱と石炭によって製造された炭化団鉱における硫化亜鉛の還元律速過程を調べた結果、最も確からしい結論として、硫黄を固定するために添加した CaO(s) の表面に生成する CaS(s) 層の細孔内を、反応生成ガス $[\text{S}_2(\text{g}), \text{CO(g)}, \text{COS(g)}, \text{CO}_2(\text{g})]$ が定常状態で拡散する過程が律速過程となっていることが示された。

Fig. 7 Arrhenius plot for the reduction of ZnS briquetted with CaCO_3 .

a) 試薬の酸化カルシウムも石灰石の熱分解によって製造されるが、ブロック状のものを実験に際して乳鉢中で粉碎したため、得られた酸化カルシウム粉末表面の細孔はかなり潰れていたはずである。

見掛けの活性化エネルギーは、酸化カルシウムを含む場合が 47.3 kcal/mol、炭酸カルシウムを含む場合が 28.5 kcal/mol であった。これらの値は細孔内のガス拡散に対するものとしては大き過ぎると考えられるが、その理由は不明である。一方、後者の見掛けの活性化エネルギーの方が小さい理由は、炭化団鉱内で $\text{CaCO}_3(\text{s})$ の熱分解で生成する $\text{CaO}(\text{s})$ の方が、試薬の酸化カルシウムを粉砕して得た $\text{CaO}(\text{s})$ より径の大きい細孔を有するため、それらの表面に生成する $\text{CaS}(\text{s})$ 層内の細孔径にも差が生じ、したがって、細孔内でのガス拡散という点では同じであっても、拡散の様子が異なっているためであると推論した。

終りに、本研究の遂行に際して貴重なご助言を頂いた東京大学工学部金属工学科・中村 泰教授にお礼申し上げ、また、分析に協力された同学科・木村久雄技官に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 張傳福・彭容秋・小川 修：日本鉱業会誌，103 [1198]，865～869，(1987)
- 2) 張傳福・朝倉岩三・小川 修：日本鉱業会誌，104 [1205]，469～474，(1988)
- 3) 張傳福・朝倉岩三・小川 修：日本鉱業会誌，104 [1209]，837～841，(1988)
- 4) 張傳福・真保良吉・朝倉岩三・小川 修・彭容秋：105 [4]，335～337，(1989)
- 5) 張傳福：東京大学学位論文，pp. 21～23，(1987)
- 6) Levenspiel, O.: Chemical Reaction Engineering, 2nd ed., pp. 364～366, (1972), John Wiley & Sons (New York)
- 7) Abramowitz, H. and Rao, Y. K.: Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. C), 87, pp. 180～188, (1978)
- 8) 植田安昭・中村 崇・野口文男：日本鉱業会誌，99 [1140]，127～132，(1983)

●人事異動 (Cはセンターの略)

○東邦亜鉛 (3月31日付)

長沢宗男 技術開発事業本部エンジニアリング部長

村川 暁・田村寿朗・鉄村武士・内田京一・大崎 巖 技術開発事業本部エンジニアリング部主任技師

○日鉄鉱業 (4月1日付)

吉田 慧 専務取締役 社務一般統轄
坂橋 弘 常務取締役 資源事業本部長
吉田 純 常務取締役 研究開発C所長
山田雅之 取締役 資源事業本部副本部長
細谷登喜雄 取締役 経理部，情報システム部，地熱開発部担当

河野良彦 取締役 研究開発C副所長

杉中利弘 取締役 鉱石・金属・商品営業部長

相馬三三 取締役 研究開発C副所長

○古河鉱業 (4月1日付)

高松剛毅 副社長 建機本部長

加藤精三 理事 建機本部副本部長兼外国営業部長

嘉村 豊 環境業務部長

阪根和男 環境業務部大峰事務所長

山本敏夫 産機本部ポンプ部副部長

鞍馬邦明 建機本部外国営業部副部長

高橋信一 産機本部小山工場副工場長

藤井俊司 同本部同工場副工場長

石川茂二 環境業務部下山田事務所副所長

江刺家康之 建機本部国内営業部部長代理

伊藤隆士 産機本部小山工場工場長代理

加畑東一 さく岩機本部高崎工場長代理

最上国丸 同本部古井工場工場長代理

奈良晃男 同本部同工場工場長代理

近藤英之 建機本部開発設計部部長代理

鈴木郭司 電子材料本部いわき工場長代理

鈴木 茂 足尾さく岩機部出向

朝夷 真 古河建機販売部出向

内海 克 金属本部原料部原料課長

加藤和民 産機本部小山工場プラント設計課長

笹谷達夫 同本部同工場生産管理課長

伊達 武 建機本部壬生工場業務課長

北村昌彦 大阪支店建機課長

鈴木義守 産機本部ボーリング部主任技師

岡部茂次 同本部足尾工場主任技師

○住友金属鉱山 (4月1日付)

小野長城 取締役 電子事業本部長兼技術C長

霜田利一 電子事業本部副本部長

弥久末友邦 同本部事業室長兼機能性結晶開発事業部事業室長

加藤善久 同本部技術C兼営業管理部勤務

武田節夫 同本部営業第2部長

斉藤紀夫 同本部総務部長兼事業室勤務

一瀬 明 同本部東京工場長

北見義明 同本部TAB事業推進部長兼技術C勤務

○日本鉱業 (4月1日付)

汲田敬一 資源開発本部鉱物資源部主席技師長

高橋 是 日立製鍊所新素材生産部長兼同所回路材料生産部長

浅沼 潤 取締役 新素材加工事業部長

佐藤茂雄 新素材加工事業部企画管理室長

内田勝人 新素材加工事業部企画管理室主席技師長

武居政幸 東邦チタニウム(株)事業開発室主席技師長

加藤英二 金属事業本部管理室参事兼日本鉱業協会出向

獄山輝夫 豊羽鉱山(株)・兼北進鉱業(株)出向

海江田 怜 佐賀製鍊所生産管理部管理課情報システム担当課長

笠原秀外 日鉱探開(株)出向

塚本勝美 動力炉核燃料開発事業団出向

加賀谷晴己 NEDO出向

石井重成 取締役 総合事業開発推進室企画調査部長，光関連事業推進部長

島田誠司 研究開発本部特殊材料開発部開発営業担当副部長 (4/15付)

○三菱金属 (4月1日付)

渋谷 實 米国銅製鍊所建設本部建設部長
春日 進・菊本伸夫・高橋淳悦 米国銅製鍊所建設本部建設部長附

小島 賢 知識産業C所長

山上純夫 〃 課長

組橋義之 取締役技術部長 E.C. 所長

今井田雅文 E.C.E. 第2部長

諸裕裕行 E.C. プロセスE. 部長

栗山正一 E.C. 事務課長

菅 福彦 特許部製鍊・新素材グループ・リーダー

中津義弘 製鍊事業本部製鍊技術部次長

小松一郎 出向・三菱コミンコ製鍊(株)

斎藤英臣 生野工場次長

梶原 宏 新素材事業部長附

千葉 誠 新素材事業部高純度材料部課長

梅沢 力 新素材事業部化成部課長

清野 暁 大阪製鍊所所長附

向山金六 中央研究所企画部長

伊藤嘉郎 那珂原子力開発C安全管理課長

吉田武司 大阪製鍊所課長・三田工場駐在

田中美則 直島製鍊所熔鍊課長

四谷俊雄 桶川第2製作所品質管理課長

協田三郎 桶川第2製作所精密鑄造開発課長

塩川幸三 転社・三菱原子燃料(株)

野下敏雄 原子力技術C技術第3部課長

毛利憲三 化成品開発C試作製造第2課長

荒井 博 堺工場建設本部建設部建設課長・大阪製鍊所駐在

(E.C.: エンジニアリングセンターの略)