



南米産業開発協力(鉱業関係)

プロジェクト巡回指導報告書

— チリ、ペルー、ボリビア —

昭和54年4月

国際協力事業団



1000

南米産業開発協力(鉱業関係)
プロジェクト巡回指導報告書
——チリ、ペルー、ボリビア——

JICA LIBRARY



1026059[4]

昭和54年4月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 84.4.10	704
登録No. 03220	66.1
	MIT

ま え が き

産業開発協力事業として協力実施中の中南米地域の鉱山・鉱物資源関係プロジェクトの中より、チリ共和国銅製錬開発技術協力事業、ペル共和国鉱山保安技術育成プロジェクトおよびポリビア共和国亜鉛等有価鉱物回収プロジェクトについて年次計画策定および目標管理指導のため、54年3月2日より3月24日まで巡回指導チームを派遣した。

本報告書は、巡回指導チームが各国において討議・指導した内容を取りまとめたものである。巡回指導チームは、次の2班より構成された。

・銅製錬関係班（チリ）

	(氏名)	(担当)	(所属先)
団長	後藤佐吉	総括	東京大学工学部教授
団員	矢沢 彬	製錬	東北大学選鉱製錬研究所教授
団員	大久保 宏明	業務調整	国際協力事業団 鉱工業開発技術課

・年次協議班（ペルー、ポリビア、チリ）

	(氏名)	(担当)	(所属先)
団長	和田雅夫	総括	国際協力事業団 鉱工業開発技術課長
団員	村越俊雄	機材	国際協力事業団 機材第一課長
団員	長澤良平	プロジェクト アナリシス	通商産業省 経済協力課

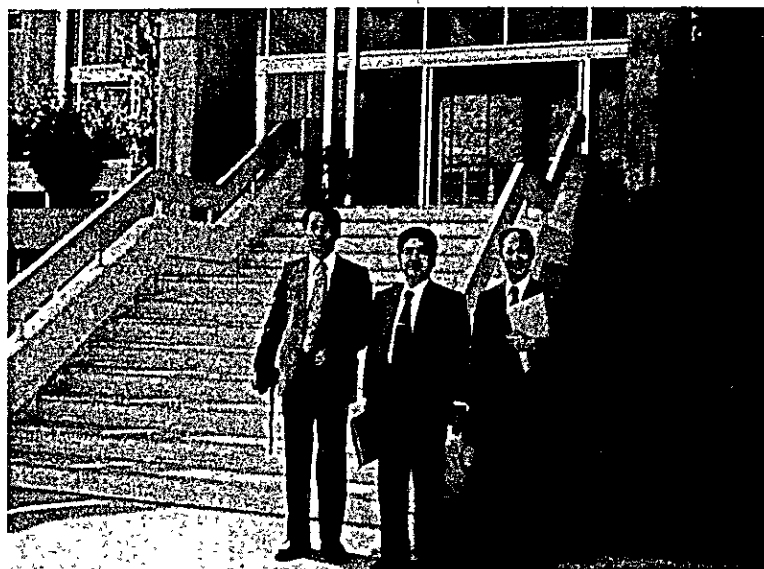
本巡回指導の実施に際して御協力・御指導を頂いた現地各国政府関係機関および各国駐在のわが方専門家ならびにわが国の外務省・通産省・日本鉱業協会・関係業界の関係各位に対し、ここに厚くお礼を申し上げます。

昭和54年4月

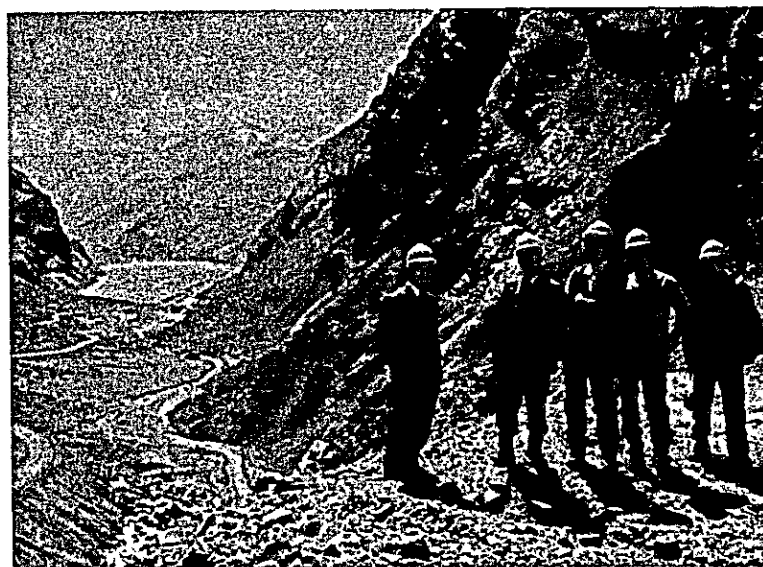
国際協力事業団

理事 吉川 佐吉

チリ



・ C I M M 玄 関 に て

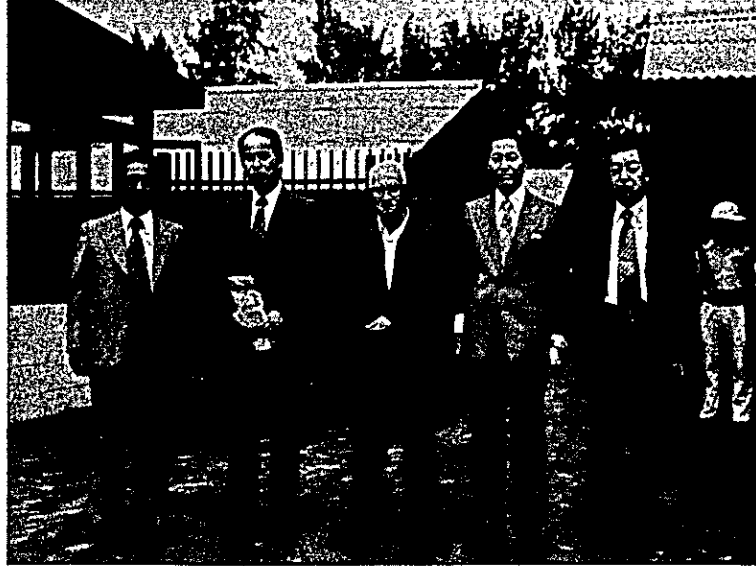


A N D I N A 銅 山

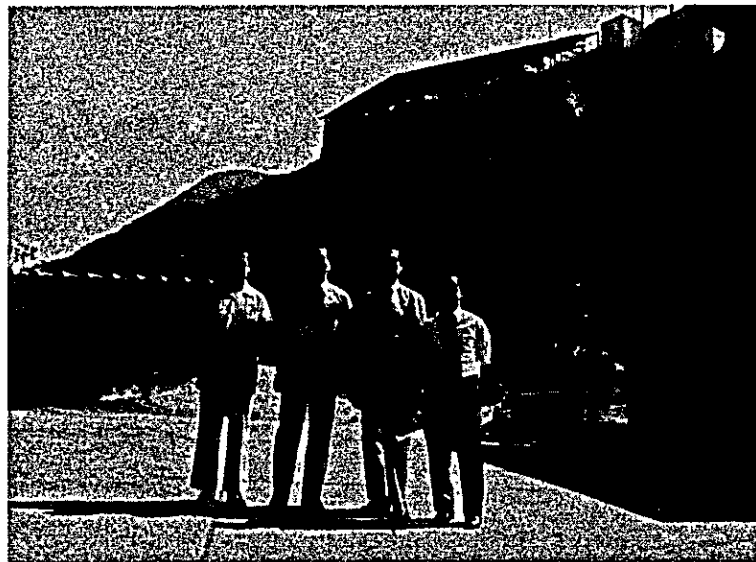


•

ペルー

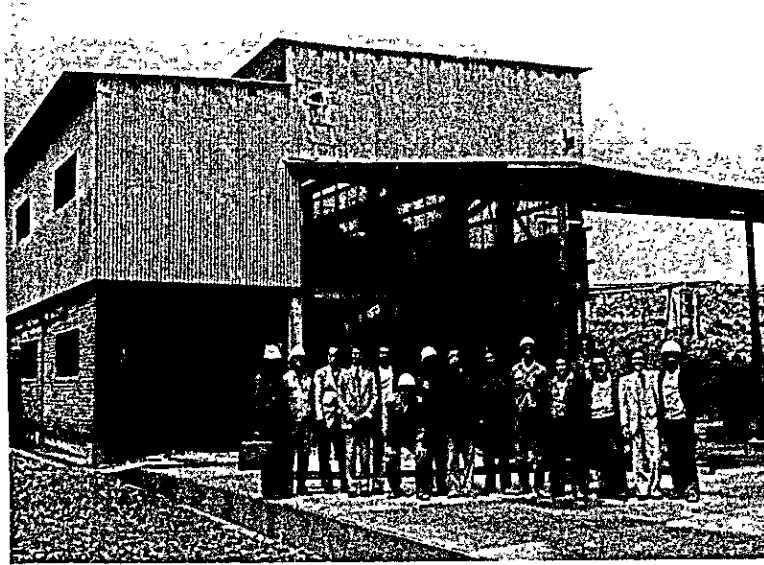


CENTROMIN 入口にて



工科大学 選鉦研究所

ボリビア



ポリパール鉞山浮選プラント



ポリパール鉞山の全景

目 次

ま え が き

I 巡回指導チームの派遣	1
1. 派遣の目的	1
2. 派遣の日程	2
3. 一般所感	4
II 各国における協議・調査・指導内容	5
1. チリ共和国	5
1-1. プロジェクトの概要	5
1-1-1. 調査団の派遣	5
1-1-2. 専門家の派遣	5
1-1-3. 研修員の受入れ	6
1-1-4. 機材供与	6
1-2. 調査団業務内容および結果	7
1-2-1. 調査項目	7
① 機材関係	7
② 帰国研修員	8
③ 派遣専門家	8
1-2-2. 打合せ事項	9
① 今後の専門家派遣	9
② 研修員の受入れ	9
③ 本年度機材の供与	9
④ 専門家の援助する研究範囲	9
⑤ プロジェクトの期間	12
1-2-3. 指導項目	12
① 派遣専門家に対する指導助言	12
② C I M M研究者に対する指導助言	12
③ 一般講演	12
1-3. 工場視察	15
1-3-1. アンディナ鉱山	15
1-3-2. ラスペンタナス製錬所	15
2. ベルー共和国	18

2 - 1. 先方との協議	18
2 - 2. 機材供与関係	23
3. ポリビア	27
3 - 1. 先方との協議	27
3 - 2. 機材供与関係	28
参 考 資 料	31
(チリー)	
資料 1. RECORD OF THE VISIT OF THE JICA TECHNICAL GUIDANCE TEAM	31
資料 2. Analysis of copper smelting process by an equilibrium calculation between multi component system	41
資料 3. Distribution of Various Elements between Copper Matte and Slag by Akira Yazawa	81
(ペルー)	
資料 4. 1974年協力計画 (ペルー) 鉱山総局長からの要望書および仮訳	94
資料 5. ペルー共和国「鉱山保安技術育成プロジェクト」(巡回指導関係ペーパー) ...	97
(ポリビア)	
資料 6. PROPOSED ANNUAL WORK PLAN FOR FY 1979 (ポリビア)	106
資料 7. ポリビア共和国「亜鉛等有価鉱物回収プロジェクト」 (巡回指導関係ペーパー)	107
(一 般)	
資料 8. 各国概況	119

I 巡回指導チームの派遣

1. 派遣の目的

53年度末現在、産業開発協力事業として協力実施中の中南米地域にある鉱山・鉱物資源関係プロジェクトは次の通りである。

- (1) チリ共和国銅製錬開発技術協力事業
(昭和51年11月29日R/D署名)
- (2) ボリビア共和国亜鉛等有機鉱物回収協力事業
(昭和52年2月21日R/D署名)
- (3) ベルギー共和国鉱山保安技術育成協力事業
(昭和52年10月28日R/D署名)
- (4) ブラジル連邦共和国鉱物資源開発協力事業
(昭和52年7月21日R/D署名)

このうち、上記(1)～(3)のプロジェクトについて、今後の計画を円滑に推進する為の討議、年次計画の打合せ、現地に派遣されている専門技術者に対するアドバイス、相手側技術者に対する指導と共に、供与機材運転状況および日本人専門家の生活ならびに日本人専門家に対する使宣供与状況の調査を目的として、本チームを派遣した。

2. 調査団の派遣日程

2-1 銅製錬関係班調査日程

日 順	月 日	曜 日	行 程	宿 泊 地	指・甲・乙地等別		移 動
					日 当	宿 泊	
1	3/11	日	東京 → Los Angeles	ロスアンゼルス			移 動
2	12	月	Los Angeles → Santiago	機 内			移 動
3	13	火	Hotel → C IMM	サンチャゴ			移動・大使館と打ち合せ 午前：大使館と打ち合せ 午後：C IMM表敬・見学
4	14	水	" → "	"			C IMMと打ち合せ
5	15	木	Santiago → Andina	"			Andina 鉱山視察
6	16	金	Santiago → Las Ventanas	"			Las Ventanas 製錬所視察
7	17	土	Hotel → C IMM	"			調査団内打ち合せ
8	18	日	" → "	"			カウンタムートおよび派遣専門家の指導 チリ国銅製錬関係者(C IMMを含 む)に講演
9	19	月	Santiago → New York	機 内			午前：C IMM研究 指導 午後：大使館と打ち合せ・移動
10	20	火	" → "	ニユーヨーク			移 動
11	21	水	New York → 東京	機 内			"
12	22	木					"
13	23	金					
14	24	土					

2-2 年次協議班調査日程

日順	月日	曜日	行程	宿泊地	指・甲・乙地等別		調査内容
					日	宿泊	
1	3/2	金	成田発				移動
2	3/2	金	メキシコ・シティ着	メキシコ・シティ			JICA事務所との打合せ
3	3/3	土	" 発	機内			移動
4	3/4	日	リマ着	リマ			移動
5	3/5	月	リマ市内	リマ			鉱山省, CENTROMIN, INGEMMET表敬, 大使館訪問
6	3/6	火	リマ発アレキパー着	アレキパー			移動
7	3/7	水	アレキパー	"			セロヘルデ鉱山視察
8	3/8	木	アレキパー発リマ着	リマ			移動
9	3/9	金	リマ発ラパス着	ラパス			水産加工センター訪問
10	3/10	土	ラパス	"			大使館との打合せ
11	3/11	日	ラパス発オールドロ着	オールドロス			移動
12	3/12	月	オールドロ発ボリパール視察ラパス帰着	ラパス			ボリパール鉱山視察
13	3/13	火	ラパス	ラパス			COMIBOL表敬, 大使館訪問, 胃腸センター訪問
14	3/14	水	ラパス発サンチアゴ着	サンチアゴ			CIMM表敬, 視察, 大使館訪問
15	3/15	木	サンチアゴ	"			CIMMとの会議
16	3/16	金	"	"			アンデューナ鉱山視察
17	3/17	土	"	"			ラス・ベントナス製錬所視察
18	3/18	日	サンチアゴ発	機内			移動
19	3/19	月	ロスアンジェルス着	ロスアンジェルス			JICA事務所との打合せ
20	3/20	火	ロスアンジェルス発	機内			移動
21	3/21	水	成田帰着				

3. 一般所感

今回ペルー・ポリビア・チリの3鉱業関係プロジェクトを、それぞれ短時日ながら巡回指導して、特に強く感じたところは次のとおりである。

- (1) わが方派遣専門家が各人現地側にとけこんで、一致団結、それぞれの分野で活躍、技術協力の実を大いに挙げつつあること。
- (2) それにより先方政府およびわが方大使館よりのJICA技術協力に対する期待が益々高まりつつあること。
- (3) そこで各プロジェクトの効果を一層上げるためには、R/Dで約束した機材の早期一括供与と共に、研修員受入（特にキー・ポストにある人を）の効果的活用が必要であること。
- (4) なおこれまで技術協力を通じて築き上げてきた彼我の信頼関係、友好のきずなを絶やさず、更に鉱業振興を通ずる国づくりに協力するためには、現在協力中のプロジェクトに続くべき効果的な次期プロジェクトを早目に発掘し準備をととのえる必要があること（これに関連し、無償対象国については、無償資金協力確保のため、数年前から現地政府ならびにわが方大使館等への根回しが必要であること）

Ⅱ 各国における協議・調査・指導内容

1. チリ共和国

1-1. プロジェクトの概要

現在まで行われてきた、本プロジェクトの概要は、次のとおりである。

1-1-1. 調査団の派遣

協力要請 1974年11月15日付公信第634号による。

1975年1月24日付公信第40号による。

事前調査団の派遣 黒子元鉦工業開発協力部長を団長とする5名の調査団が、1975年7月から30日間に渡り事前調査を実施した。その詳細は事前調査団報告書（昭和51年1月）に記述されている。

長期調査員の派遣 大官司弘昌（日本鉦業）以下2名の長期調査員が1976年3月から6月に渡り派遣された。（長期調査員報告書，昭和51年7月）

実施調査団の派遣 堀田元鉦工業特別嘱託を団長とする7名の実施調査団が派遣され本プロジェクトを実施する為の調査が行われた。（実施調査団報告書，昭和52年1月）

R/D署名 今までの各種調査に基づき、日本及びチリ両国の間で正式なR/Dの文書が署名された。（1976年11月）

計画打合せチーム派遣 1977年11月に18日間にわたりR/Dに基づく協力の具体的内容の詳細をチリ側と協議する為、吉沢（東京大学）安木（鉦工業開発協力部）の2名が派遣された。（計画打合せチーム報告書，昭和52年11月）

1-1-2. 専門家派遣

A. 今までの実績

西田 潤 一，3号，機材据付，52年10月3日より30日間，

津野 康 夫，4号，機材据付，52年10月10日より52年12月23日まで

小野 芳 喜，5号，機材据付，52年11月25日より，52年12月23日まで

朝倉 健太郎，5号，操作指導，昭和52年11月25日より，昭和53年2月3日まで，

岡村 周 良，1号，チーフアドバイザー，昭和53年3月15日より昭和53年6月11日まで，

瀧沢 宗 治 特号，分析技術，同上，

田 村 稔, 1号, 製錬技術, 同上,

今 泉 益 正, 特号, 品質管理, 昭和53年3月20日より昭和53年4月9日まで,
で,

宮 内 一 郎, 特号, 品質管理, 昭和54年1月6日より昭和54年2月6日まで,
で,

B 現在派遣中の専門家

岡 村 周 良 1号-2, チーフ・アドバイザー 昭和53年10月4日より昭和55年10月3日まで

日 井 宗 雄 1号-1 電錬, 昭和54年2月10日より昭和55年10月3日まで

1-1-3. 研修員受入れ

50年度 Mr. R. Gasarinin 50年11月15日より50年12月19日まで

Mr. G. A. Rivera 50年11月15日より50年12月19日まで

52年度 高級 Dr. Sutulov Alexander 52年6月4日より52年6月30日まで

準高級 Mrs. Hilde Rohland Hebel 53年2月23日より53年3月27日まで

一般 Mr. Fernande Greene Quzda 53年1月26日より53年4月28日まで

53年度 " Mr. Quintana 53年9月29日より53年11月2日まで

" Mr. Bustos 53年9月29日より53年12月2日まで

" Mr. Zarate 53年9月29日より53年12月23日まで

1-1-4 機材供与

53年度までの主な 機材供与のリストを次にかかげる

◦ 供与先 Centro de Investigacion Minera y Metalurgica.
Avda. Parque Institucional, Santiago

◦ 第1回 52年9月 79,790千円。オンライン電算機制御装置付 X線マイクロアナライザー(JXA-50A)及びスペアパーツ2年分。同上コンピューターシステム
(日本電子機空送管前者1,211千円後者500千円)

- 第2回 52年4月 原子吸光分析装置(光度計・分先器・附属品)AA-650
5,600千円(島津製作所製 空送費800千円)
- 第3回 53年10月 契約先日世貿易 7,850千円
純水製造装置2式,マルチポイント記録器10台,記録計10台,電卓8台,
試料埋込プレス・樹脂1台,試料琢磨機1台・消耗品1式(海送費300千円)
- 第4回 53年11月 契約先明治産業 2,615千円
炭化ケイ素電気炉用電源1式,炭化ケイ素発熱体30本,送液ポンプ5台,分
光光度計1台 (海送)
- 第5回 53年12月 ニッサンパトロール 1,238千円
- 第6回 54年2月 記録用ペン,ルツゴ,ホロカソードランプ 500千円
- 第7回 54年3月予定 島津製原子吸光/フレイム分光光度計附属品
4,395千円 (携行機械)

(53年度完了)

1-2. 調査団業務内容及び結果

1-2-1 調査項目

① 機材関係

前の機材供与の項であげた主な機械及び自動車等の利用状況及びに保守管理の現状について調査を行った。

A-X線マイクロアナライザー及び同上の付属コンピューターシステム…この機械はチリ全国で1台しかない装置であるばかりでなく近隣の諸国にもまだ納入されていない新鋭機である。従ってチリ国内のみでなく,外国からの依頼分析がずい分来ているようである。適正な費用を取り研究所以外の分析にも応じていて,大変に使用頻度は高い。しかし,あと2~3年後には機械のオーバーホールが必要であり,その為の費用の捻出を今から苦慮しているようである。

鉍石の分析,中間産物の分析,スラグ,粗銅の分析等に威力を発揮していた。

B-原子吸光分析装置,及びその付属品…この装置は小畑専門員の派遣の上,益々有効に使用されることが期待されている。特にチリ産銅精鉍中にはヒ素やアンチモン等の不純物の含有物が高く,後に述べる各種の研究を進める上に,なくてはならない機械として役立っている。

C-純水装置…今までチリにはこの種類の純水の製造装置がなく,分析並びに湿式製錬の研究に支障をきたしていた。能率の良いこの装置により,たいへんに研究能率が向上している。

D-試料の埋め込みプレス及び琢磨機…X線マイクロアナライザー及び顕微鏡用の試料作成の為の機械であり,大変に有効に利用されている。

E - 記録計及び電卓…温度の自動記録，電解実験の電圧の記録，及び実験研究データの処理にこれら機械は有効に使われていた。

F - 炭化けい素電気炉用電源…スラグの溶解や粗銅中の不純物除去の研究に有効に利用されていた。

G - 分光光度計及び送液ポンプ…分光光度計は鉍石中及びスラグ，メタル中の不純物の分析にはなくてはならない機械であり，これらも有効に利用されていた。又送液ポンプは電解実験や，湿式の研究にはなくてはならない装置であり，これらも有効に利用されていた。

H - 自動車（日産パトロール）…これはジープ形式であるので，鉍山等道路の整備されていない地域用に有効に利用されているようであった。

以上，我国からチリの研究所に供与されたすべての機械は，いずれも有効に働き，大変に喜ばれていた。機械の保守にもほとんど言う所がなく，こんご長期に渡り，有効に利用されるであろう。しかし，X線マイクロアナライザーをさらに有効に利用する為の日本側からの専門家の派遣が要望された。

又，日本からチりに送られたこれらの機材は，送られてから実際に稼動するまでの期間は，一般に長く，税関その他なるべく早く研究所に輸送されるようにチリ国内における，受け入れ体制の整備が一層に望まれる。

② 帰国研修員

前に述べた50年度から53年度までの研究員の内，今回C I M Mで会う事ができたのは，所長のDr Sutulov Alexander，研究員のMr. Fernande Greene Quzda Mr. Quintana，Mr. Bustos，Mr. Zarateであり，他の研修員については，その職業が変わった為もあり，会う事ができなかった。

日本の習慣と異なり，職業が変わるのは，普通の事であり，その事について苦情を述べるのは，いささか的是ずれかもしれないが，少くとも本プロジェクトの続いている間ぐらひは，同じ職場にいて日本で研修した成果がただちに有効に役立つようなチリ側の体制を望みたい。しかし，長い目で見た場合には，日本で研修を受けた研究員の成果はチリの技術向上に役立っていると思われる。

また，今まで日本に派遣されてきた研修員の中には日本滞在中における，生活一般に対し大変な，いわゆるカルチャー・ショックを受けたようであり，その成果が充分上ったとは，思われぬものもいたようであるが，研修員を受け入れる際には，事前にチリ側と十分に打合せをすることが必要である。特に日本における実習内容の詳細，及びに生活環境について十分にチリ側研修員に事前の知識を与える事が必要である。

③ 派遣専門家

調査期間中、岡村、臼井両専門家がC I M Mに派遣されていて、両専門家から充分に、チリ側のサービスその他の便益について聞く事ができた。兩人とも研究所の中に、個室を持ち、個室には、電話も付属し、又、1人ずつではないがタイプライターその他の事務を助ける女性の秘書を使えるような体制にあった。又、自動車も兩人とも持っているが、自動車のない時にはC I M M側で朝夕の送り迎えをしてくれたようであった。

「技術協力に関する日本国政府とチリ共和国政府との間の協定」に従って日本人専門家の待遇の実際につき調査した結果は次の通りである。

・第5条第1項（事務所、現地要員、出張旅費、公用通信費）については、不十分なから実施されている。

第2項（交通・住宅・医療の費用）については、ほとんど実施されているとは考えられない状態であるが、交通については上記のように専門家が車を持つ前、及び短期専門家については、ホテル（又は自宅）→C I M M間の送迎は実施されている。

第6条第1項～第5項（所得税免除、無税通関、査証無料等）は実施されている。

第⑦条（免責条項）については、現在まで専門家はこういう状態に遭遇していない。

1-2-2 打合せ事項

別紙7付属資料（英文）に記述されている報告（チリ側Sutulov所長、日本側後藤団長によって署名）のような打合せが行われた。その報告の内容につき説明する。

① 今後の専門家派遣

1979年度の計画では、次のような専門家派遣が行われる予定であることが、チリ側に説明され、チリ側の賛成が得られた。

- 1) 分析 — 分析専門家として小畑氏、(日本鉱業) 54年3月31日から3ヶ月間派遣される予定であり、さらにC I M Mと国際協力事業団の間で、賛成が得られれば、9月から1年間の予定で同氏が再派遣されることになる。
- 2) 品質管理 — 適当な専門家が1979年9月から、それぞれ1ヶ月半ずつ2回派遣され講義・教育をすることになっている。講義の内容については、すでに派遣された今泉及び宮内専門家の意見を十分に聞いた上、立案されることになった。
- 3) X線マイクロアナライザー — もし適当な候補者が見つければ、2～4ヶ月間、主に定量分析に関する専門家の派遣がチリ側から要望された。
- 4) 製錬及び電解専門家 — この両分野に関する専門家の派遣は、岡村、及び臼井両専門家がすでに、この分野の専門家として、充分に活躍されているので、さらに派遣しないこととなった。

今後、派遣される専門家のスペイン語又は英語に関する能力は国際協力事業団によって証明されたいという要望がチリ側から出された。

② 研修員の受入れ

C I M M は、次の 4 人の研修員の受け入れを要請した。

- 1) C I M M の副所長を約 1 ヶ月間、できれば、5 月中に派遣したい。
- 2) 鉱山部門の主任を約 6 週間、鉱山及び輸送設備を見学したい為に派遣したい。
- 3) 分析に関する専門家（副所長格）を、6 週間、日本の分析研究設備見学の為に派遣したい。
- 4) 電気設備の保守の為に技術者を 3 ヶ月間日本で訓練させたい。

これに対し、日本側としては、1～3 ヶ月の 3 人の研修員を受け入れる予定である。ということの説明をした。さらに、今までの研修員の受け入れの経験からして、次の項目は、研修員が日本に派遣される前に双方で充分意見を交換する必要がある事が確められた。

- 1) 研修員の研修題目、カリキュラム、及び日程等は、前もって国際協力事業団に希望を申し出ること。
- 2) J I C A 側は、日本側での受け入れ先を決め、さらに、研修内容を受け入れ先と充分話し合った後、日本の専門家を通しチリ側に返事をする。
- 3) チリ側で J I C A の作った内容をさらに確認する。
- 4) その上で、正式の要請書（A 2, A 3, F O R M）を日本大使館に提出する。
- 5) 双方の同意なくしては、プログラムの変更は認められない。

③ 本年度機材の供与

チリ側で要求する機材は、別紙 1 に示されている。優先順位に従って、供与される事が望ましい。しかし、あくまで日本の予算の範囲内において供与されることが確認された。

④ 専門家の援助する研究の範囲

C I M M に長期に滞在する日本の専門家は次の研究に対し援助を行うことが双方で確認された。

I 乾式冶金

i - I スラグ

- a 粘性測定 — 溶融スラグの粘性はスラグの銅損失に大きな影響を及ぼす因子であり粘性測定装置の製作およびその測定に対して援助を行うものである。
- b スラグの機械攪拌 — スラグ中に硫化鉄を入れて、スラグ中の銅の損失を減少させたり、スラグに還元剤を吹き込んだりする際に、スラグを機械的に攪拌する操作が必要となるが、そのための研究を援助する。

i - II 溶銅の乾式精製

チリでは、電解精製のほか、乾式法で銅を精製して、不純物を除去する方法も古くから行われているが、そのために必要な研究に対する援助である。とくに、熱力学平衡計算による方法、酸素ポテンシャルの測定、ガス分析等を主とする。

i - III ガス—固体間反応

- a 焙焼 銅精鉱の完全焙焼
- b セグレゲーション
- c ヒ素，アンチモンの問題

これからは，いずれも，銅精鉱を完全に焙焼し，さらに，炭素，食塩等を加えて，金属銅として銅を回収するための基礎研究をなすものであり，その際の不純物の挙動等についても研究を行う。

ii 電気冶金

- ii - i 電解液からのヒ素の除去
- ii - ii 高純度セレン
- ii - iii 銅熔錬，電解からの副産物の回収
- ii - iv 電解精製の改良

銅の電解精製の際の上記諸問題の研究につき援助を行う。

iii 化学分析

iii - i 浮選試薬の分析

a) 起 泡 剤

アルコール，クレゾール酸，ユーカリ油，パリン油，グリコール，トリエトキシブタンその他

b) 捕 収 剤

ジチオフォスフェート，ジチオ磷酸，メルカプトベンゾチアゾール，ザンセート，ジチオカルバメート，その他

iii - ii 排水中の微量成分の分析

iii - iii 銅電解添加剤

iii - iv 原子吸光分析

iii - v 高純度セレン

iii - vi 石炭，コークス

iii - vii 溶媒抽出剤の分析（例 L I X）

iii - viii 鉱石または溶液中のウラニウム

iii - ix 電解分析

iii - x 分析値のコンピューター解析

iii - xi 湿式製錬へ利用されるオン・ラインのプロープ

iii - xii DTA (Differential Thermal Analysis) の利用

iii - xiii 分析の自動化

iii - xiv 分析用標準試料

iii - xv 銅の品質管理（とくに化学テストと物理テストの間の相関）

III-XVI 公害防止のための分析技術等，ほとんど，すべての分野にわたって援助の要請が出されている。このうち，特に，浮選剤，銅電解添加剤，原子吸光分析，高純度セレン，電解分析，コンピューター，公害防止のための分析，標準試料，銅の品質等に関する項目が優先的に研究したい項目として挙げられたが，一人の専門家でこれら，すべてのものをカバーすることは不可能に近いことであり，近く派遣される小畑専門家に充分調査して貰うようにした。

⑤ プロジェクトの期間

双方の話し合いによって，プロジェクトの期間は最初の研究指導専門家（短期として岡村ほか二名の専門家がチリに派遣された1978年3月17日から3年，即ち1981年3月16日までとすることに意見の一致を見た。

1-2-3 巡回指導チームの指導項目

① 派遣専門家に対する指導助言

② CIMM研究員に対する指導助言

これらを研究項目別に分類すると，次のようである。

i スラグ中の銅，モリブデンの回収

ii 燐鉍石他，粘土質鉍石の湿式処理 - 濃硫酸による低温焙焼，オートクレーブ浸出等考えられることをのべる。

iii SO₂の湿式酸化による希硫酸の製造

IV PR電解の可能性

V アノード不働態

IV 添加剤

VII 電解液からのヒ素の除去

VIII 焙焼によるヒ素の除去機構

IX 熔銅の還元ガスによる脱酸

X 銅精鉍の焙焼

各研究室を派遣専門家と共に巡回し，研究について，質疑応答を行った。大変に熱心な質問があり，十分な成果があった。

③ 一般講演

後藤，矢沢両氏により，次の講演が行われた。

午前

i) 平衡計算による銅熔錬の解析：後藤佐吉

午後

ii) 銅熔錬における各種元素の挙動：矢沢彬，（講演の要旨を巻末としめす。）

なお，受講者は，チリ全国の銅製錬所から24名ならびにCIMMの職員15名，計39名に達し，講演後も熱心な討論が行われた。CIMM以外の当日の出席者を次にしめす。

LISTA DE ASISTENTES A LAS CHARLAS DE LOS
PROF. GOTO Y YAZAWA

Div. Chuquicamata:

Sr. Edgardo Louit M.	Ayud. Superint. Fund. Conc.
Sr. Sergio Demetrio	Metalurgista Jefe Fund. Conc.

Div. El Teniente:

Sr. Galvarino Vera	Superintendente Fundición
Sra. Edith Torres	Ingeniería Metalúrgica
Sr. Rolando Campos	Ing. Diseño de Procesos
Sr. Humberto Yanes	Jefe Centro Convertidores
Sr. Luis Torres	Jefe Centro Reverberos
Sr. Julio Buchi	Ing. Metalurgista
Sr. Jorge Godoy	Jefe General Planta Filtros
Sr. Francisco Barros	Ing. Consultor Santiago
Sr. Jorge Casanova	Ing. Consultor Santiago

ENAMI-Ventanas:

Sr. Luis Albert	Ing. Administrador
Sr. Juan Scheib	Superintendente General
Sr. Higinio Traslavina	Superintendente Producción
Sr. Mario Debernardi	Jefe Depto. Fundición
Sr. Iván Aravena	Jefe Ing. Procesos
Sr. Miguel Sáez	Ing. de Procesos
Sr. Roberto Martínez	Ing. de Procesos

ENAMI-Paipote:

Sr. Rubén Gómez	Ing. de Procesos
Sr. Nicolás Basic	Ing. de Procesos

Universidad de Concepción:

Sr. Antonio Luraschi	Prof. Investigador
Sr. Igor Wilkomirsky	Prof. Investigador
Sr. Alejo Sagredo	Prof. Investigador

Universidad Técnica:

Sr. Jaime Rauld

Prof. Investigador

CODELCO-Central:

Sr. Gerardo Munoz

Ingeniero Metalúrgico

Sr. Marcelo Lira

Ingeniero Metalúrgico

1-3 工場視察

1-3-1 Andina 鉱山,

3月16日朝ホテルを出発し、CIMM副所長De La Barra 氏他の案内でCODELCO傘下のAndina 鉱山に向う。Andina は地図に示すように、Santiago 北東50 kmに位置した中規模の坑内掘の銅山である。1966年にアメリカのCerro Corp, によって開発され、1971年にチリ国営化された比較的新しい鉱山であり、現在CODELCOに属する。海拔3900 mに長さ600 m、巾400 m、深さ400 mにわたる鉱床で、埋蔵鉱量は1億1千万トンで、現在12,000 t/日の粗鉱（平均品位Cu 1.35%）を生産している。従業員は約2100人でうち、1000人が鉱山、200人が選鉱工場で働いている。破碎、粉砕、選鉱は、すべて坑内で行われている。見学当日の選鉱工場にお選鉱の成績は次のようであった。

粗鉱Cu%	精鉱Cu%	屑鉱Cu%	銅回収率%
1.52	33.5	0.22	86.09

生産された銅精鉱のほとんど全量は日本に輸出されている。

1-3-2 ラスペンタナス製錬所

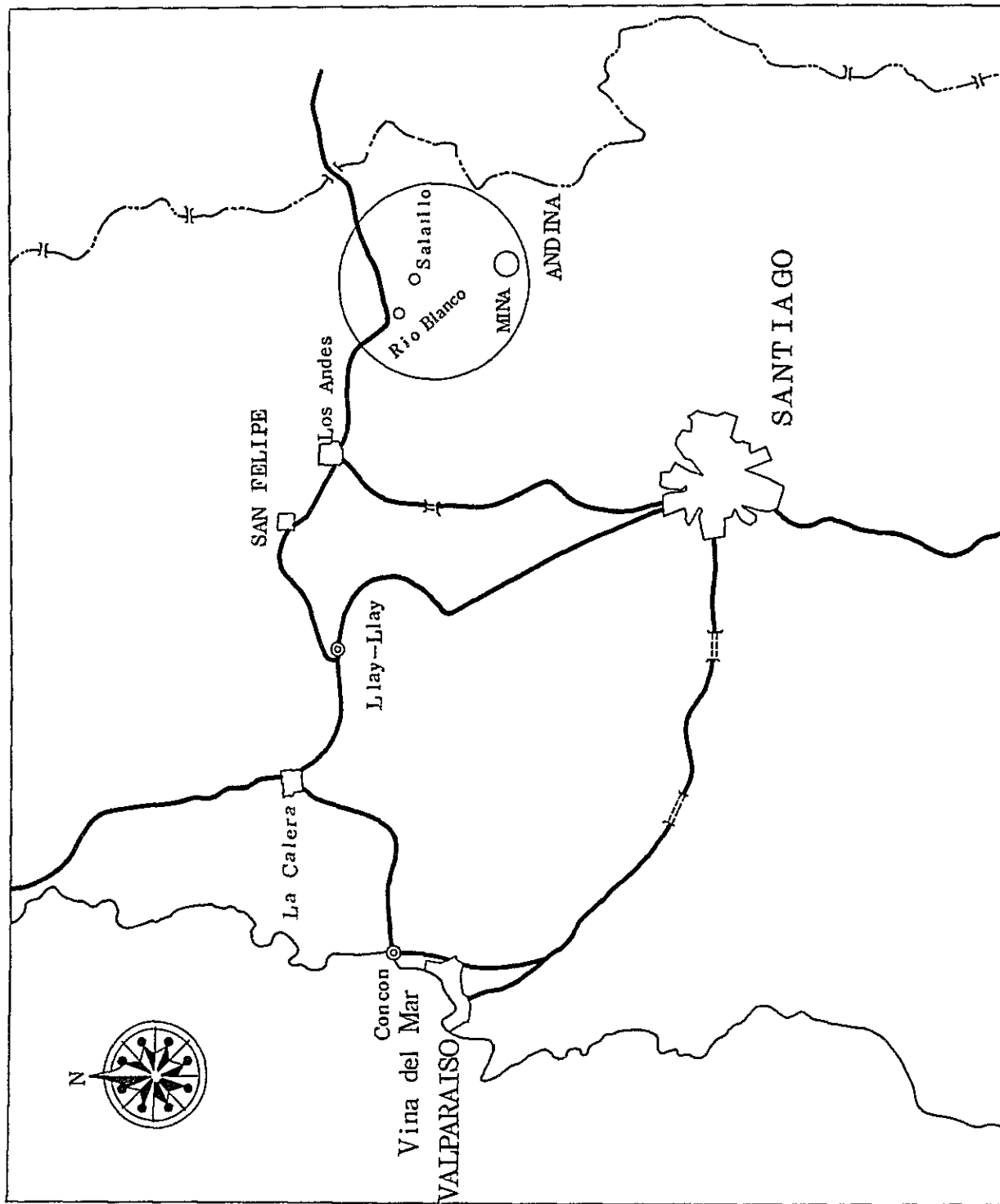
今回訪問した製錬所はラスペンタナスのみであったが、同製錬所については本プロジェクトの調査団が毎回訪問しており、とくに事前調査団の報告書¹⁾、長期調査員の報告書²⁾に詳細な見学記が載っており、さらに実施調査団の報告書³⁾にも附加的な記述がある。したがって本報告ではレイアウトや設備的な説明は省略するが、細部については若干変わった点もあるので、以前の報告との重複は免れないものの、ひととおり簡単に述べることにする。今回の訪問にあたっては、主としてJ. Seheib氏（superintendente general）から懇切な説明と案内をいただいたが、同氏は従来の調査団の見学にも常に接遇の任に当たられた方である。

① 概況

ラスペンタナスは1964年、西ドイツの技術により建設された、チリでは最新鋭の製錬所で、当初は年間40,000 tonの粗銅電解から始まったが、現在では反射炉溶錬部門が年産粗銅量100,000 ton、電解部門が電気銅年産150,000 tonの能力を有する。

② 乾式溶融製錬

原料の40～50%は大鉱山からの精鉱であるが、50～60%は数十に上る小鉱山から集めた精鉱で、平均品位は33～36% Cu、これを35 m×8 mのグリーンチャージ型式の反射炉1基で処理する。生成マット品位は48±2%、スラグは34% SiO₂, 36% Fe, 6% Fe₃O₄, 0.6～0.7% Cu、温度1180°Cである。MgO 3.5%,



Cr_2O_3 0.6%とのことで、これはスラグの粘性、ひいては含銅量に影響していると思われる。燃料は120 ℓ /t (グリーンチャージ) で、空気は140°Cに予想している。懸案となっていたNa 3ボイラーが完成しており、従来の報告で指摘されていたガス漏洩などは、かなり改善されているようであった。ボイラーからは所内電力の30%が回収されている。ダストは転炉関係を含め全量が反射炉に繰返されている。

転炉は3×8mのPS型3基で、2基常用、スラグは22~24% SiO_2 、22~24% Fe_3O_4 、3% Cuで、反射炉に戻る。転炉でのcold dope処理の割合は約15%のことであった。転炉のライフは350~400回と平均的である。反射炉-転炉を通じ約85%のAsはガスとスラグに除かれるという。将来、400t/dの硫酸工場を持つ予定とのことであった。

③ 乾式精製

3基の反射炉をもち、うち1基をアノード炉、1基を棹銅炉として常用している。アノード組成は $\text{O}_2 < 1500$ ppm, S 30, As 300-400, Ni 250, Sb 150 ppm, 程度。鑄銅はオートクランプ式自動秤量のWalkerタイプで、温度も±4°C程度に制御されており、アノードも棹銅も外観はなかなか立派である。棹銅は一部国内消費のほか、ブラジル、アルゼンチン、西独、イタリー、米国などに輸出される。

④ 電解精錬

かねて建設していたNa 4電解を加え、40槽で1単位のグループを32 (全部で1280槽) 有する。Na 4電解は将来PR電解を予定した装置になっている。現在は電流密度240, 245 A/m², 電解液組成40~42g Cu, 180~185g H_2SO_4 , 6~8g Ni, 6g As, 0.5~0.6g Sbで、以前にくらべるとNi, Asなど低くなった。添加剤としてはチオ尿素、アビトンを用いており、立派な外観の電気銅を得ている。カソード中Sは2~3 ppmという。以前セバランを用いたが成績不良であった由。

種板槽母板はチタンであるが、成績良好で不良品が8%から1%に減った由、寿命は4年使ってなお大丈夫という。電解液処理は脱銅電解を終局的には0.5g Cu/ ℓ までやり、Asを含むblack acidは他に売ってしまう。硫酸銅、硫酸ニッケルを副産している。

スライムは空気酸化脱銅後、オートクランプ方式の硫酸浸出を行ない、Seを回収したのち、銀電解、そのスライムを硝酸パーティングして金電解を行なう。

- 1) チリ共和国銅製錬開発技術協力事前調査団報告書 (昭和51年1月), 国際協力事業団, p.66~67
- 2) チリ銅製錬技術協力長期調査員報告書 (昭和51年7月), 国際協力事業団, p.119~129
- 3) チリ共和国銅製錬開発技術協力実施調査団報告書 (昭和52年1月), 国際協力事業団, p.25

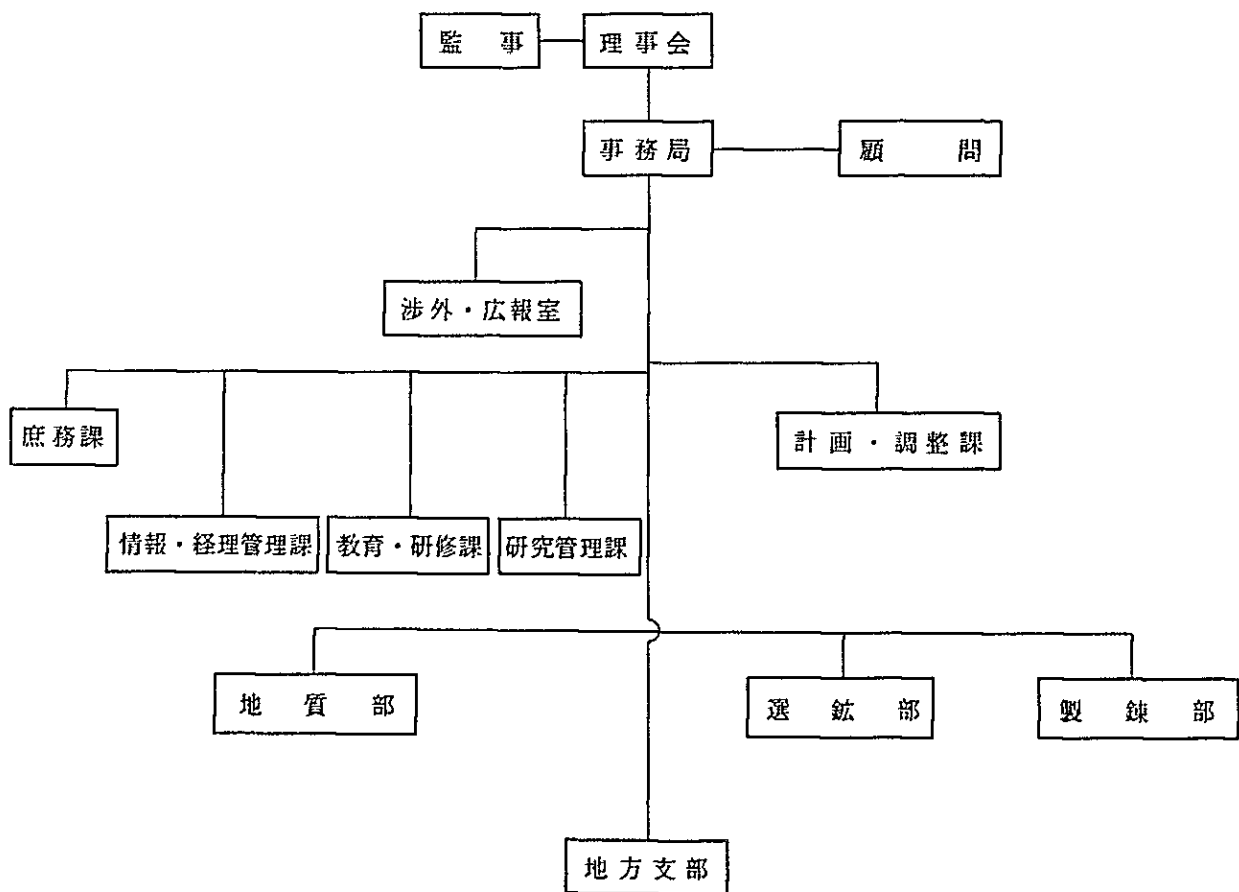
2. ペルー

2-1 先方との協議

2-1-1 ペルーにおいては、長崎大使表敬（内田書記官同席）のほか、動力鉱山省鉱山総局長 Ing. Villegas , CENTROMIN（ペルー中央鉱山会社）中央計画部長 R. A. Palao および INGEMMET（注）（国立地質選鉱製錬研究所）F. Sotillo 教授を順次表敬訪問し、わが方鉱山保安プロジェクト運営進捗等につき意見交換するとともに、54年度年次計画につき協議した。その結果は次の下記(ウ)のとおりであり、わが方案に対する先方要望ないしコメントは別添の鉱山総局長からの要望書 "Visita al Peru - Su plan 1979" のとおりである。

（注） INGEMMETは Institut Geologico-Minero - Metalurgico（国立地質選鉱製錬研究所）の略であり、従来の INGEOMIN（地質選鉱研究所）と INCITEMI（鉱山科学技術研究所）が合併したもので、総裁は Ing. M. Samame B. である。その機構図および理事会の構成は次のとおり。

ペルー国立地質・選鉱・製錬研究所（INGEMMET）機構図



INGEMMET 理事会の構成

1979. 3. 6. 現在

総 裁：ING. マリオ・サマメ・ボギオ

副総裁：DR. カルロス・ガマラ・ウガス

鉱業権登記所長

動力鉱山省総務総局長

理 事：DR. ホルヘ・コルネホ・クラッシュマン 動力鉱山省人事局長

ING. マニュエル・フォルノ・エンリケス 動力鉱山省総務総局

計画部国際技術協力課長

ING. ビクトル・アロ・コラレス 商工観光総合省選鉱課長

ING. マリアーノ・イベリコ・ミランダ ベルー鉱山公社プロジェクト部長

ING. フランシスコ・ソティージョ・パロミーノ 国立工科大学鉱山学部長

ベルー国立大学協会代表

ING. マルコ・アウレリオ・セバジヨス・イ・ムニス 内閣調査会調査官

2-1-2 54年度年次計画

① 長期専門家の派遣継続

54年度においては、現在派遣中の4専門家（堀田・向井・久賀・中村）を派遣継続する。但し10月に任期の切れる久賀専門家については、業務上の必要（注）、予算その他の考慮も必要なので、追って慎重に検討することとする。

ベルー側としては、同専門家が技術協力の実をあげてきていることにも鑑み、出来れば留任ないし交替者の派遣を希望している。

（注） 久賀専門家の主要な任務は、ベルーの鉱山保安体制について、特に行政上、法制上の現状と問題点を調査し、長期、中期、短期の改善策を提言することである。

② 短期製錬チームの派遣

54年3月末から3名の専門家チームを40日間派遣する。

ベルー側として、右チームをCENTROMINのオロヤ、MINERO

PERUのイロの両製錬所に受入れるべく諸準備を進める。

③ 巡回指導チームの派遣

9、10月頃4名から成る巡回指導チームを約3週間派遣する。右メンバーには、塵肺関係の専門家を含め、53年度において好評であった塵肺関係の調査指導を行わせる計画である。

ベルー側として、右チームに対し十分な便宜供与を行う。

④ 研修員受入れ

2名の研修員を6月頃から6か月間受入れる計画である。

ペルー側としては、ペルー人技師の日本研修の重要性に鑑み、右2名に加え、2名の短期研修員の受入れを要望する（具体的には、実力者たるVillegas 鉱山総局長およびCENTROMIN Palao中央計画部長の鉱山および関連施設視察のための短期受入れが本件プロジェクトの円滑運営上最も効果的と判断される。）

⑤ 機材供与

予算上の制約からこれまでは携行機材の供与にとどまっていたが、54年度においては予算の重点的配分により、本件プロジェクトのため、4,000万円の浮選選鉱試験プラントを供与する。

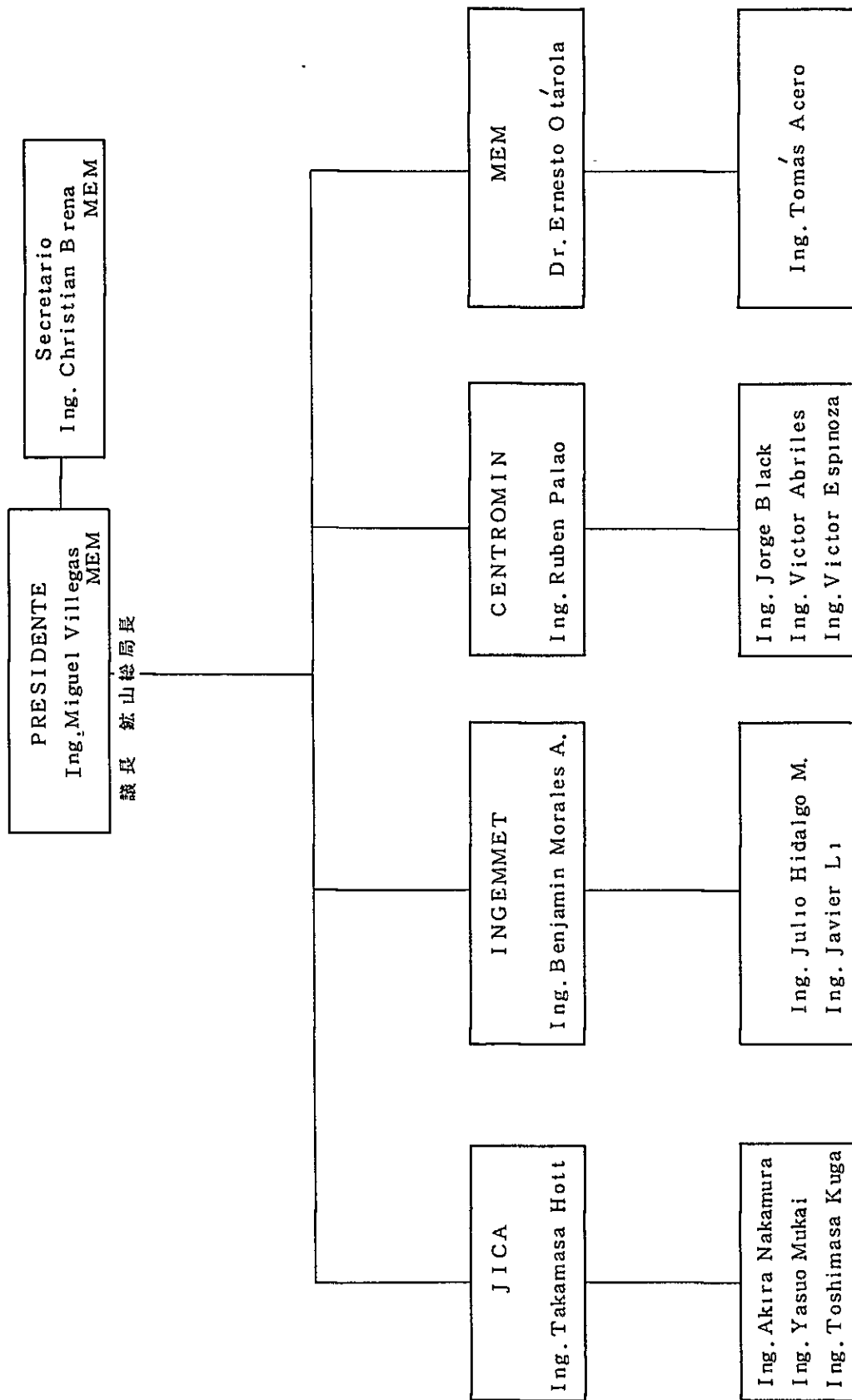
ペルー側としては、R/Dに証載された機器の可及的速やかな供与を熱望しており、今回決定の浮選プラントに加え、ラボラトリー機器の追加供与を検討してほしい。

⑥ 合同委員会の随時開催

本件プロジェクトの実施運営のため、JICA専門家、動力鉱山省、INGEMMETおよびCENTROMINから成る合同委員会が設立されており、これまで8回の会合を開いたが、今後も随時会合を開く予定である。

その構成および開催の実績は次のとおりである。

鉾山保安プロジェクト合同委員会の構成



合同委員会開催の実績

回	開催月日	場 所	主たる出席者	会 議 内 容
1	1978-4-3	動力鉱山省 会議室	鉱山省総局長 同上管理局長 インシテミイ総局長 セントロミン計画部長 日本人専門家3名	プロジェクトチームの編成につ き構成メンバー決定の打合せ及 び当計画推進に関する討議・検 討
2	1978-4-11	同 上	鉱山省総局長 同上管理局長 インシテミイ総局長 セントロミン計画部長 日本人専門家2名 ベルー人カウンターパート	第1回合同委員会議事様の確認 事務所開設に関する事項の討議 調査費用等について
3	1978-5-11	同 上	鉱山省総局長 同上管理局長 インシテミイ総局長 セントロミン前保安部長 JICA副所長 日本人専門家3名 ベルー人カウンターパート	日本派遣研修員人選についての ベルー側要望、次回セントロミ ン社サンクリストバル鉱山調査 の双方確認 その他
4	1978-6-28	同 上	鉱山省総局長 同上管理局長 セントロミン前保安部長 インシテミイ調査開発部長 日本人専門家3名 ベルー人カウンターパート	セントロミンサンクリストバル 鉱山通気調査報告質疑応答 次回セントロミン社コブリサ鉱 山の調査を実施すること双方確 認 その他
5	1978-8-9	同 上	鉱山省総局長 同上管理局長 インシテミイ総局長 インシテミイ調査開発部長 セントロミン計画部長 房村・佐野博士 日本人専門家3名 ベルー人カウンターパート	肺ミッションの紹介 珪肺調 査活動計画の打合せ セントロミン社コブリサ鉱山通 気調査報告 その他

6	1978-11-14	動力鉱山省 会議室	鉱山省新総局長 前 鉱山省管理局長 インシテミイ総局長 セントロミン計画部長 珪肺専門ゲルミー博士 日本人専門家3名 ペルー人カウンターパート	前鉱山総局長マギラール氏に代って ビジェガス氏が総局長就任その 紹介並びに各担当者の紹介 前 鉱山省管理局長ガルシア氏の 訪日報告 珪肺専門ゲルミー博士より珪肺 調査に対する要望あり、その他
7	1978-12-7	同 上	鉱山省総局長 同上管理局長 インシテミイ調査開発部長 セントロミン計画部長 日本人専門家3名 ペルー人カウンターパート	セントロミン社セタデバスコ 鉱 山調査報告 1979年度調査計画説明 珪肺ミッション報告書につき西 語訳付して概要説明報告
8	1979-1-31	同 上	鉱山省総局長 インシテミイ計画部長 珪肺ルイス、ゲルミー博士 日本人専門家4名 ペルー人カウンターパート	新任の選鉱関係中村専門家の紹 介セントロミン社オロヤ及びマ ールトンネル選鉱場の粉塵調査 結果報告、珪肺ミッション報告 書を西語訳文にてゲルミー博士 が報告、1979年度ペルー側 予算について日本側より要望を 行なう。 その他

2-2 機材供与関係

2-2-1 供与済み機材について

鉱山保安プロジェクトの機材供与については、後述するように54年度に本格化する計画がたてられており、初年度に当る53年度にはCIF価格で4,760千円分が供与されたのにとどまっている。機材の内容も下記のように本プロジェクトを推進する規模ではなく、理科学測定器類および1台の車輛に限られている。

なお、53年度供与分は、われわれ調査団の訪問時にはカヤオ港で引取り手続中にあたり、現地での使用は4月以後になる予定である。

53年度供与済み機材

- ポータブル毒性ガス測定器及びモニター 計3台
- 騒音計・振動計・電位差計・照度計・風向風速計 各1台
- その他気流検査器等消耗品少量
- トヨタランドクルーザーFJ55LV-KC1台及びスベアパーツ

2-2-2 54年度共与計画について

当該プロジェクトに対する機材供与計画は第2年次の本年度に本格化するが、ペルー側よりは下記の順位及び内容により計180,000千円分の要請が非公式に行われている。日本側としては、とりあえず本年度は第1順位の浮選パイロットプラント約40,000千円(CIF価格)を考えており、それに関する国内手続を進めている。

このプラントは、銅・鉛・亜鉛素の含有鉱石を1時間当り20Kg粉碎、選遊し、それぞれ精鉱するものであり、後述の鉱山動力省研究所の冶金部の主要機材となるものである。

鉱山保安プロジェクト

機械・器具その他

第1順位

銅・鉛・亜鉛用連続浮選パイロットプラント

第2順位

コロナ・ステーション・ワゴン 1台

第3順位

選鉱基礎試験設備

秤 : 50Kg台秤 精度 10g

体重計

2Kg片持天秤, 精度0.1g

1Kg天秤, および分銅, 精度0.1g

PHメーター: 工業用(2)

実験室用, デジタル型(1)

ガラス電極, その他(6)

測定計器: テスター(電流・電圧・抵抗等測定用)

回転計

電流計, 可搬・稼働時測定用, 50A, 60Hz

真空計 0-10Kg/cm²

温度計(高温用) 120°Cまで

実験室用浮選試験機

アジテーター型 1ℓ, 2ℓ 容量可変

デンプー型 1ℓ, 2ℓ "

精選用小型浮選機 250ml, 1000ml

浮選試験用小型ボールミル 500g用 (2)

ワーク・インデックス測定用ボールミル

第4順位

選鉱基礎試験設備

高磁場湿式磁選機
低磁場湿式磁選機
実験室用ジグ
ウィルフレー・テーブル実験室用 (600×1250mm, 1/5H°)
ジェー・ス・テーブル実験室用
サイクロ・サイザー
空気圧縮器 (2), 1/2 HP
真空ポンプ (1), 1/2 HP
粒度分析装置 (沈降式)
静電 (高張力) 分離機
実験室用真空フィルター
定量供給ポンプ (2)
マグネチック攪拌器
加圧浮上浮選機
バルブ濃度計
試料分割器 (リップル型) 大小 (2)
高温温度計 最高 1,200℃
流量計 (気体用)

第5順位 (可変)

顕微鏡, コニバーサル型
示差熱天秤
X線回折および螢光計 (共用)
電子管X線マイクロ・アナライザー
同真空蒸溜装置等
原子吸光分析装置
赤外分光光度計
紫外線ランプ
計 算 機 (記録型)
記 録 計 (3)
ゼロックス複写器
そ の 他

以上合計総括

第1順位 (パイロット・プラント)

¥36,000,000

第2順位(コロナ・ステーション・ワゴン)	1,700,000
第3順位(選鉱試験設備)	7,755,000
(1979年供与希望分)	(以上計 45,455,000)
第4順位(選鉱試験設備)	42,145,000
第5順位(マイクロ・アナライザー等)	79,400,000
(その他)	12,745,000
総計	180,000,000

2-2-3 鉱山動力省研究所

この研究所はINGEMMETに属し、リマ工科大学構内に所在し、前頃の浮選プラントの設備場所として予定している。

われわれはこの研究所を訪問し、そこで使用されている各種測定分析機器及び実験機材類を通覧した。鉱石の分析部間は建屋も新しい本格建築で、中に設置された機器類も島津製作所製の熱分析計DT-20Bの他、自前で購入した東ドイツ製の回折装置、分光分析計あるいはレーザー光線を使用する機器も備えられていた。しかし、冶金、選鉱等の部間については建屋も設備も前記部間にくらべてかなり見劣りした。設置された機材には小林理化製の純水装置、東京衡機の直示天秤など6年ほど前に導入された小型の機器類が目についたが、それ以外はかなり年代物で、今回供与が予定されている機材のいわば前身である浮遊選鉱材は米国DENVER 7で粉砕能力も1時間20kgで約20年前の製造になるものであった。

2-2-4 機材の通関、引取りについて

3月時点で53年度分の機材はカヤオ港で通関手続中であったが、ペルーへの機材の通関、引取りには海港・空港とも長期間も要する実状は従来と変りはない。

手続的には所轄大臣から大蔵省に無税通関許可を申請するが、それに約1カ月を要し、次にカヤオ港での引取り事務に約半月を要するが、実際はそれぞれの手続きにさらに何日かが加わっている。

機材によっては港での盗難、あるいは時期的には発錆の怖れがあり、円滑に引取れる基本的な取り決めが待たれる次第である。

3. ポリビア

3-1 先方との協議

3-1-1 ポリビアにおいては、林屋大使表敬（熊倉書記官同席）のほか、鉱山冶金省 Ing. G. Murguia S, 鉱山総局長および COMIBOL（ポリビア鉱山公社） Ing. Vega 副技師長（Navarro 財務部長ほか同席）を表敬訪問し、わが方垂鉛等有価鉱物回収プロジェクトの運営進捗ぶりにつき意見交換するとともに、54年度年次計画につき意見交換した。先方は、浮遊選鉱プラントの建設・諸機材の据付が当初計画どおり進み、来る3月27日鉱山大臣、鉱山公社総裁、林屋大使ほか関係者多数の参列を得て、盛大な開所式を開く運びになったことに感謝し、更に今後右プラントの運転保守、それを活用しての諸実験の指導にとどまらず、ポリビア鉱業全般の興隆のための技術協力を強く期待している旨強調した。

3-1-2 54年度年次計画

① 長期専門家の派遣継続

3月27日の開所式の終わった時点で、浮遊選鉱パイロットプラントの据付・調整・試運転の監督指導のため派遣されていた3専門家（工藤・小山内・加賀）は帰国するが、右プラントを使つての垂鉛等有価鉱物回収技術の指導・試験研究のための3専門家（大日方・将積・桜庭）は、本件R/Dの終了する55年2月20日まで引続き派遣する。

② エバリュエーション・チームの派遣

本件協力期間の終り近くに、プロジェクトの進捗りと所期の技術移転の達成度、引継後の自力運営の体制等の確認評価のためのミッションを派遣する計画である。

ポリビア側として、今後1年近くの協力期間内に、浮遊選鉱パイロット・プラントの自力運営の能力は十分つけうるものと確信しているが、右プラントの能力を1日50トンから100トンに増強したいので、そのための追加的機材供与を要請したいので、予め御検討おき願ひ、そうした問題も含めて、エバリュエーション・チームの来られた際協議することとしたい。

③ 研修員受入れ

2名のカウンタパートを受入れる。うち1名はCOMIBOLの高官（技師長を予定）を鉱山および関連産業視察のため、3週間受入れる。他の1名は、選鉱技術研修のため3か月受入れる計画である。

ポリビア側として、早急に後者の人選を進めることとしたい。技師長は喜んで日本の招待を受けるであろう。

3-1-3 パイロット・プラント建設の状況

ポリパール鉱山（注）内の浮遊選鉱パイロット・プラントの建設は、ポリビア側・日本側（据付専門家3名、選鉱専門家2名）双方関係者のたゆまざる努力により計画どおり進捗し、建屋の建設は完了、日本より送付の機材（約2億円）の据付調整もほぼ終了し、3月27日の開所式に向けて着々と最後の仕上げが進められていた。

（注） 12年前に国有化されたC級鉱山で、日産50トン。現在はソ連の volatarization 方式で錫のみ回収している。従業員400人、鉱山の住民5,000人、学校1,200人、病院に医師2名、海拔4015メートル。

3-2 供与済み機材について

ポリビア亜鉛鉱物等回収開発プロジェクトに対する機材は一基の浮遊選鉱パイロット・プラントであり、昭和52年12月に120,255千円分、53年8月に52,377千円分が作製、納品された。この大型プラントは事前調査団の現地調査にもとづき仕様が決まり、日産50トンの粉砕能力を持つもので、同和鉱業エンジニアリングが設計、製作を担当した。（フローシート別添Ⅱ）

このプラントはボールミル・クラッシャーなど容積が10メートル以上におよぶ大型重量物であり、現地の内陸輸送には特に注意が払われた。輸送ルートは横浜を出航し、チリーのアントファガスタ港へ入り、そこからポリビア国境のウニ鉄道輸送され、そこで通関を受け、ポリビア側に引取られた。鉄路輸送に当っては、何か所かのトンネルの許容断面積などあらかじめ調査し、ボールミルには下半身のみ木箱梱包を施し、上半身はビニールで被覆することによって問題を解決した。この横浜からウニまでで要した輸送経費は52年分は17,750千円、53年分は7,438千円で計25,188千円を要している。

さらに、このプラント機材はウニ駅からトラックでプロジェクトサイトのポリパール鉱山まで運ばれ、据付けられたが、据付け条件の劣る山間地であり、期間は準備を含めて6.5カ月を要している。

日本からは同和エンジニアリングより専門家が3名赴任し、ポリビア側からは技師作業員6名〜20名程度が加わったが、ポリビア側要員の労働力の欠陥等を日本側が補うなどして昭和54年3月に据付けを完了した。始動式は3月27日に挙行・ポリビア側からは鉱山大臣、COMIBOL総裁、日本側からは在ポリビア林屋大使が参列し、試運転も成功した旨の報告を受けている。

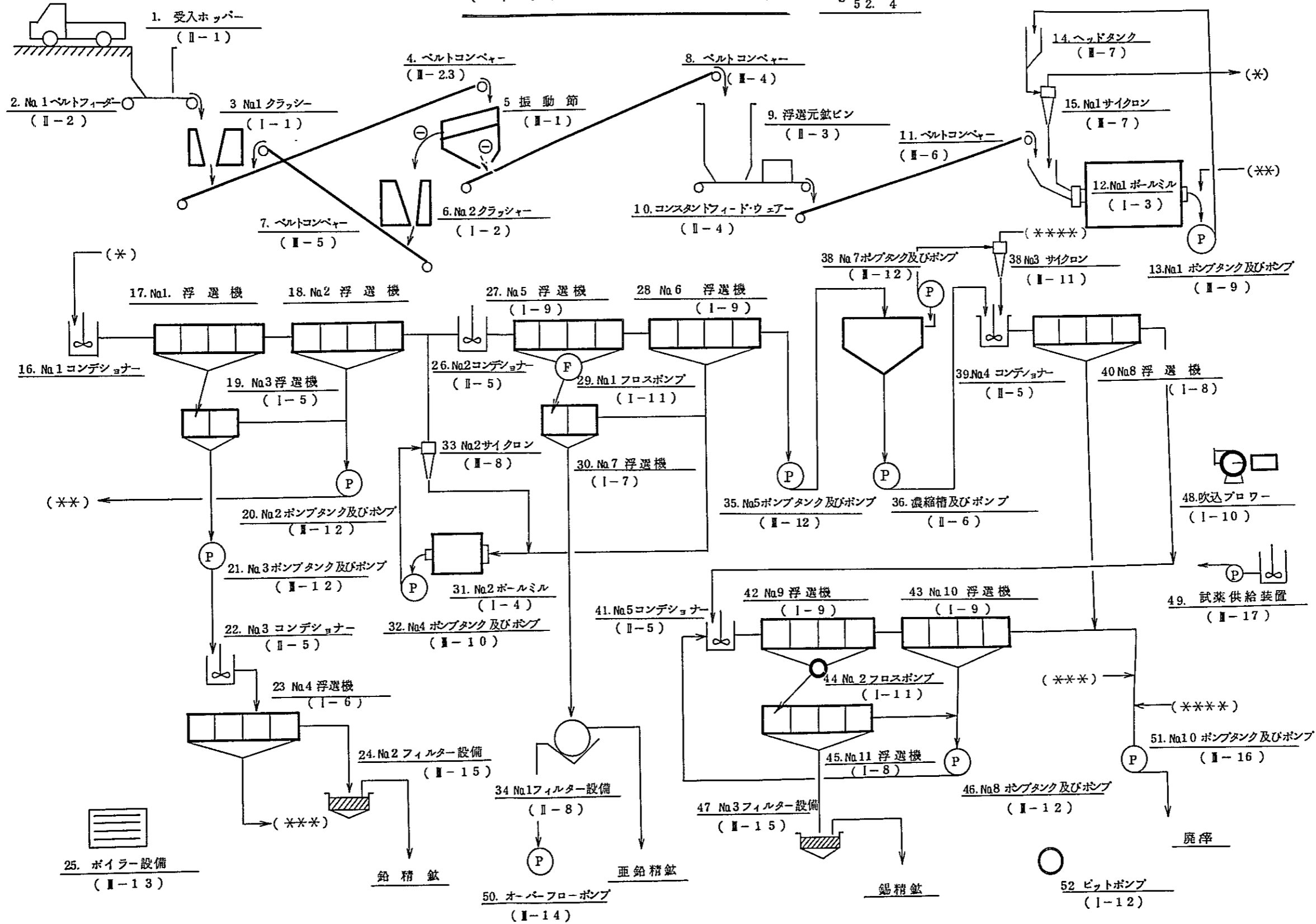
ポリビアの当該プロジェクトはこのパイロット・プラントの運転成績にその成否はかかっているが、プラントの保安・修理及び浮選成積の算定・操業コスト及び経済性の算定等の課題で引続き協力が必要であり、3名の専門家が現地指導に当たっている。

さらに、ポリビア側は当プラントの運転状況をみて将来は日産100トンの生産プラントに本格化したい希望を持っている。

別添 II

(パイロット・プラントのフローシート)

S 52. 4



RECORD OF THE VISIT OF THE JICA TECHNICAL GUIDANCE TEAM

- 1.- In accordance with Article IX of the Record of Discussions signed on November 29, 1976 at Santiago, the Technical Guidance Team of JICA headed by Prof. S. Goto visited the Republic of Chile from March 13 to 21, 1979.
- 2.- The Team had frank discussions and exchanged views with the Executive Director of CIMM and his staff on the progress and future tasks of the technical cooperation project on copper smelting and refining. The Team also availed itself of the opportunity of visit Andina Mine of CODELCO-CHILE and Las Ventanas Smelting and Refining Plant of ENAMI.
- 3.- Both sides discussed the following items for the Annual Work Plan for FY 1979. CIMM requested that most favourable consideration should be given by JICA to the actual needs and applications as far as budgetarily or otherwise possible.

(1) Assignment of Japanese Experts

1) Analysis

Mr. Obata will be assigned for 3 months from March 31, 1979 and be re-assigned, if agreed between CIMM and JICA for 1 year from about September, 1979.

2) Language

In future experts should prove a working knowledge either of Spanish or English language, certified by JICA.

3) Quality Control

Suitable experts will be assigned twice for 1.5 months each, after September, 1979.

4) Electron Microscope

A research microscopist will be assigned for 2 to 4 months if a suitable candidate is available.

5) Smelting and Refining Operations

Experts on the above need not be assigned, as Okamura and Usui are concurrently working as such.

(2) Acceptance of Chilean Counterparts

1) While the Team offered to accept 3 counterparts each for 1 to 3 months, CIMM requested that the following 4 be accepted for success of the project.

a) Executive Deputy Director for 1 month for general observation of mining and related industries, preferably in May.

b) Head of Mining Division for 6 weeks to familiarize with Japanese mining and transportation equipment.

c) Subdirector for research service for 6 weeks to familiarize with analytical equipment and laboratories in Japan.

d) Technician for Maintenance of Electronic equipment for 3 months.

2) Both sides agreed the following procedures for acceptance of Chilean counterparts.

a) Proposed themes, curricula and itineraries to be notified to JICA well in advance.

b) Confirmation by JICA of the possibilities of acceptance.

c) Confirmation by CIMM of the terms of acceptance.

d) Official submittance of Forms A2 and A3 to the Embassy.

e) No change of programs without official consultations.

These programs should be made with common accord.

(3) Provision of Equipment and Materials

Equipments and materials will be provided according to the order priorities as shown in the list (Annex I) to the extent of budgetary allocations for the project. A transportation car has lower priority.

(4) Fields of Research Works in JICA Project

The agreed fields are shown in Annex II. It was, however, acknowledged that the JICA experts are ready to give advice on any other subjects or fields.

4.- Both sides agreed that the cooperation period stipulated in the R/D should be 3 years from the date of arrival of Mr. Okamura, and 2 other experts (March 17, 1978 to March 16, 1981).

5.- Professors Goto and Yazawa delivered lectures on the following titles and gave technical guidance to the members of CIMM and other interested institutions.

1) Prof. Goto : Analysis of copper smelting process by an equilibrium calculation between multi component systems.

2) Prof. Yazawa : Distribution of various elements between copper, matte and slag.

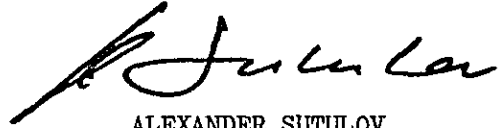
6.- Both sides pledged that they would further cooperate for the successful execution of the project and for the promotion of goodwill and friendship between the two countries.

7.- Tye Team expressed its appreciation to the cooperation and hospitality extended by CIMM to the Team during its stay in the Republic of Chile.



SAKICHI GOTO

Leader of the Technical
Guidance Team,
Japan International
Cooperation Agency



ALEXANDER SUTULOV

Executive Director
Centro de Investigación
Minera y Metalúrgica

Santiago, March 21, 1979

A N N E X I

MATERIALS AND EQUIPMENTS REQUESTED BY CIMM FOR THE FISCAL YEAR 1979.

I.- PYROMETALLURGY

a) Materials

- 1.- Common materials
- 2.- Cryptol
- 3.- Electronic parts

b) Equipments

- 1.- Transformer 15 KVA
- 2.- Portable Orsat (made of metal)
- 3.- Gas Analyser (GC or IR)
- 4.- Viscometer
- 5.- Volume meter (Density meter)
- 6.- Gas volume meter
- 7.- Wind furnace (complete or part)
- 8.- Rotary kiln (part)
- 9.- Arc furnace
- 10.- Induction furnace
- 11.- High temperature microscope

II.- ELECTROMETALLURGY

	<u>Amount</u>
1.- P.V.C. Sheets thickness : 4 mm	10
1 x 2 m ² thickness : 2 mm	10
2.- Mercury destilator for polarographic aid	1
3.- Accessories for autoclave	
titanium capsul, 1 lt	1
teflon capsul, 1 lt	1
titanium strirrer	1
titanium thermometer sheath	1

- 4.- Rubber stopper
 packages of different sizes
 size selected
 top diameters (mm) = (4,5), (9), (10.5), (16),
 (22.5), (31), (40.5), (51),
 (74), (102)

- 5.- Constant ampere supply RCC
 10 A, 20 V, \pm 0.1 A

- 6.- Polarograph

III.- Transportation Car

IV.- Chemical Analysis

Shown in the following table.

ITEM	QTY.
Asbestos Cloth	50 m ²
Balances, Top Loading, \pm 10 mg, weighing range 160 g	2
Balances, analytical, \pm 0.1 mg, weighing range 160 g	3
Set of masses for calibrating balances (analytical) (0.1 mg 100 g)	2
Weighing bottles (30 x 40 mm)	50
Weighing scoop (for analytical balances)	10
Weighing dishes (for analytical balances)	10
Teflon Beaker with cover (400 ml)	21
Digestion bomb (for dissolving silicates, rocks and refractory materials in hidrofluoric and other strong acids without volatilisation losses)	20

Standard Platinum, Electrodes for electrogravimetry (platinum gauze cilinder) (anode and cathode)	5 couples
Pressure regulator for acetylene (two stage) (with fine pressure control knob)	3
Apparatus for cleaning and destillating mercury	1
Globes, asbestos, with individual fingers and thumb	10 pairs
Stainless steel spatules for analytical work	50
Ammonia electrode (sensing electrode for determination of ammonia)	2
Cyanide electrode (sensing electrode for cyanide)	2
Fluoride electrode (sensing electrode for fluoride)	2
Nitrate electrode (sensing electrode for nitrate)	2
Sulfur dioxide electrode (sensing electrode for SO ₂)	2
Gas cylinder cart (for displacing gas cylinders)	2
Glassware Dryer (oven) (capacity higher to 45 x 60 x 76 cm) (L x W x H)	2

A N N E X II

I.- PYROMETALLURGY

- 1.- Slag
 - a.- Viscosity measurement
 - b.- Mechanical agitation of slags

- 2.- Liquid Copper (Gas Refining)
 - a.- Metallurgical computation
 - b.- Oxygen Potential measurement
 - c.- Gas Analysis

- 3.- Gas - Solid
 - a.- Roasting
Fluosolid roasting a copper concentrate at various oxydizing conditions.
 - b.- Segregation
Behaviors of minor elements
application to miscellaneous materials
 - c.- Arsenic and Antimony Problems

II.- ELECTROMETALLURGY

- 1.- Arsenic removal from electrolyte

- 2.- High purity selenium production

- 3.- Recovery of by-products from smelter and refinery

- 4.- Improvement of refining operation

III.- CHEMICAL ANALYSIS

- a) Determination of micro and macro amounts of flotation reagents :
- a-1) Frothers such as :
- Alcohols
 - Cresylic acid
 - Eucalyptus oil
 - Pine oil
 - Glycols
 - Triethoxybutane
 - etc.
- a-2) Collectors such as :
- Dithiophosphates
 - Dithiophosphoric acid
 - Mercaptobenzothiazole
 - Thiocarbonilide
 - Thionocarbonate
 - etc.
- a-3) Others :
- Polyacrylamides
 - Polysacharides
 - etc.
- a-4) Xanthates, Dithiocarbamates and Organotrithio-carbonates.
- a) With special reference to the determination in waste water and flotation liquors.
- b) Determination of additives used in copper refineries. such as thiourea, avitone, glue, etc.
- c) Applications of flameless Atomic Absorption to the analysis of elements in metallurgical products (ores, minerals, concentrates, metals, etc.)

- d) Determination of Selenium in high-grade Selenium (we need the most accurate method).
- e) Methods of analysis of coal, coke and impurities.
- f) Determination of LIX Extractives in Solvent Extraction processes.
- g) Determination of Uranium in ores and leaching solutions.
- h) Electroanalytic methods of analysis of different elements in metallurgical products.
- i) Computational methods applicable to AAS and other instrumental techniques.
- j) On-line probes (v.g. based on specific ion detectors) applicable to bacterial leaching and/or Solvent Extraction Hydrometallurgical processes.
- k) DTA possibilities related to copper mining and metallurgy.
- l) Automation of some techniques of analysis (classical and instrumental).
- m) Computational methods of statistical analysis of chemical assays.
- n) Information standard samples of a wide variety of elements and products primarily related to copper mining and metallurgy.
- \bar{n}) Quality control of copper. Chemical test and mainly general information about physical test.
- o) Pollution Control : Analytical methods of analysis of water, soils, and gases.

Special emphasis should be made on the following points :

- a-4) b, c, d, h, i, m, \bar{n} , o.

Analysis of copper smelting process by an equilibrium calculation
between multi component systems

by Sakichi Goto^{*}

Introduction

The equilibrium calculation in chemical systems has been done easily by the development of computer. Propulsion power was obtained by explosive reaction of fuels with oxygen in NASA of USA, so the methods for calculation of equilibrium composition in only gaseous phase have been developed. The equilibrium calculation in only single phase was explained in various publications but I don't think that this method is applicable to the equilibrium calculation between multi phases.

Almost every process for smelting includes more than one condensed and gaseous phases. The examples of the practical applications which include one to several phases are followings.

- (1) One phase. Reduction of smelter gas by methane for making elementary sulfur.
- (2) Two phases. 1. Reduction of smelter gas under excess amounts of solid carbon, 2. slag fuming process, 3. refining of crude metals without formation of slag phase.
- (3) Three phases. 1. Copper smelting which includes three phases such as matte, slag and gas, 2. slag cleaning furnace, 3. slag blow of copper converter, 4. refining of crude metals with slag phase such as LD converter for steel making, refining furnace of copper and softening furnace of lead.
- (4) Four phases. 1. Smelting of lead ore which includes lead bullion, matte, slag and gas, 2. the initial blister blow of copper converter which includes white metal, blister copper, slag and gas.
- (5) Five phases. Blister blow of copper converter which includes white

* Professor, Department of Metallurgy and Materials Science Faculty of Engineering, the University of Tokyo, Tokyo, Japan

metal, blister copper, magnetite, slag and gas.

Even if reactions in a practical furnace proceed very rapidly an equilibrium state between all the elements charged in a furnace cannot be achieved in a furnace. It is very useful, however, to know the compositions of each phase in an equilibrium state.

Method of Calculation

The method of calculation is the so-called Goto model which is the modified Brinkley-Newton method. This method is explained by using the most simple example of reduction of smelter gas which includes SO_2 by methane.

Theory of Brinkley¹⁾

There are five elements, such as S, O, C, H and N in this system. The following compounds are assumed to exist in the equilibrium gas, that is,

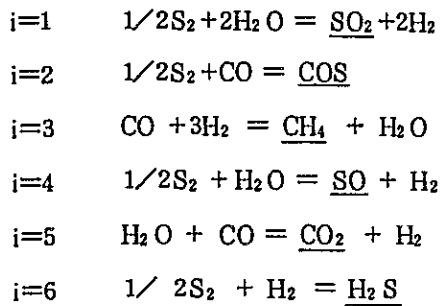
S_2 , H_2 , CO , N_2 , H_2O , SO_2 , COS , CH_4 , SO , CO_2 and H_2S .

All the components mentioned above are classified as independent and dependent components, the number of independent components being taken as the same as the number of elements in this system. In this example, five components are selected as independent ones.

The dependent components are obtained from the mass action equations and the equilibrium constants of these reactions. This is the so-called Brinkley theory which can be explained by the principle of matrix.

S_2 , H_2 , CO , N_2 and H_2O are selected as the independent components in this case and the others are the dependent ones. Mass action equations, which obtain dependent components from independent ones, are listed in table 1.

Table 1 Mass action equation to obtain dependent components



The number of moles of the dependent components are calculated from the next generalized equations.

$$n_i = K_i (P/n_g)^{\sum \nu_{it}} \prod n_t^{\nu_{it}} \quad (1)$$

where, n_i is mole of dependent component, K_i is equilibrium constant of equations in table 1, P is total pressure, ν_{it} is parameter listed in table 2, n_g is total moles in equilibrium gas, and n_t is mole of independent components.

Table 2 Parameter, ν_{it}

	SO ₂	COS	CH ₄	SO	CO ₂	H ₂ S
S ₂	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5
H ₂	-2	0	3	-1	-1	1
CO	0	1	1	0	1	0
N ₂	0	0	0	0	0	0
H ₂ O	2	0	-1	1	1	0

$$n_g = \sum_i n_i + \sum_t n_t \quad (2)$$

Materials Balance

All the materials charged in the system are distributed to components after equilibrium state is reached. The numbers of the gram-atoms Q_k of the elements in a charged materials must satisfy the next mass balance equations after the attainment of equilibrium.

$$Q_k = \sum_i a_{ik} \cdot n_i + \sum_t a_{tk} \cdot n_t \quad (3)$$

where, a_{ik} and a_{tk} are the numbers of g-atoms of the k-th element per equivalent formula of components.

Newton-Raphson iterated method for calculation

Equation 1 is substituted for n_i in equations 2 and 3, and equations, which include n_t and n_g as unknown variables, are obtained. The Newton-Raphson method is applied to solve these equations, the necessary steps being summarized belows.

1. The initial values of n_t and n_g are set arbitrarily.
2. The moles of dependent components n_i are calculated from equation 1.
3. If the values of n_t and n_g are correct, equation 3 must be satisfied. The initial values, in general, are not correct, so residual functions are defined as equation 4 and 5.

$$F_k = \sum_i a_{ik} \cdot n_i + \sum_t a_{tk} \cdot n_t - Q_k \quad (4)$$

$$F_g = \sum_t n_t + \sum_i n_i - n_g \quad (5)$$

Residual functions are calculated from the above values from the steps 1, 2 and 3.

4. Newton-Raphson equations are obtained from residual functions 4 and 5. F_k and F_g are only functions of n_t and n_g and the following relations should be satisfied, if the correction terms are added to the initial values of n_t and n_g .

$$F_k(n_t + \Delta n_t, n_g + \Delta n_g) = 0 \quad (6)$$

$$F_g(n_t + \Delta n_t, n_g + \Delta n_g) = 0 \quad (7)$$

Taylor's expansion is applied to F_k and the second-order terms are neglected, that is,

$$F_k(n_t + \Delta n_t, n_g + \Delta n_g) = F_k(n_t, n_g) + \left(\frac{\partial F_k}{\partial n_t} \right)_{n_t, n_g} \cdot \Delta n_t + \left(\frac{\partial F_k}{\partial n_g} \right)_{n_t, n_g} \cdot \Delta n_g$$

From equation 6, the next equation is obtained.

$$\left(\frac{\partial F_k}{\partial n_t}\right)_{n_t, n_g} \cdot \Delta n_t + \left(\frac{\partial F_k}{\partial n_g}\right)_{n_t, n_g} \cdot \Delta n_g = -(F_k)_{n_t, n_g}, \dots \quad (8)$$

where,

$$\frac{\partial F_k}{\partial n_t} = a_{tk} + \sum a_{ik} \nu_{ik} \frac{n_i}{n_t} = \frac{1}{n_t} (a_{tk} n_t + \sum a_{ik} \nu_{ik} \cdot n_i)$$

$$\frac{\partial F_k}{\partial n_g} = \sum a_{ik} (1 - \nu_{it}) \cdot \frac{n_i}{n_g}$$

The same equation is obtained in F_g function.

5. The linear simultaneous equations 7 and 8 are solved by the sweeping method or any other methods, and n_t and n_g are obtained. The functions $\Delta \ln(n_t)$ and $\Delta \ln(n_g)$, which are equal to $(\Delta n_t)/n_t$ and $(\Delta n_g)/n_g$, are more convenient for the interative calculation. The new sets of the dependent components $n_t = \exp(\ln(n_t) + \Delta \ln(n_t))$, and $n_g = \exp(\ln(n_g) + \Delta \ln(n_g))$ are used.
6. $n_t(\text{new})$ and $n_g(\text{new})$ are used for the next calculation from the step 1.
7. If $\Delta \ln(n_t)$ and $\Delta \ln(n_g)$ are smaller than the predetermined convergence threshold values, n_t and n_g are regarded as the true values and the calculation is terminated.

The flow diagram of this calculation is shown in figure 1.

Results of Calculation

The free energy change of formation of each component for calculating the equilibrium constant K in equation 1 are listed in table 3.

Table 3 Gibbs free energy change of formation

S ₂	G(1)=0.
H ₂	G(2)=0.
CO	G(3)=-26700.-20.95*T
N ₂	G(4)=0.
H ₂ O	G(5)=-58900.+13.1*T
SO ₂	GI(1)=-86750.+17.30*T
COS	GI(2)=-49560.-2.25*T
CH ₄	GI(3)=-16520.+12.25*T*ALOG10(T)-15.62*T
SO	GI(4)=-6550.-1.35*T
CO ₂	GI(5)=-94200.-0.2*T
H ₂ S	GI(6)=-21580.+11.81*T

The composition of smelter gas which are used for this calculation are shown in table 4.

Table 4 Composition of Smelter Gas

	SO ₂	H ₂ O	CO ₂	O ₂	N ₂
A gas	12.0	2.3	2.6	1.2	81.8
B gas	40.0	0.38	0.42	-	59.0

A gas in table 4 is exit gas which is produced by using a normal air and 2% of heavy oil in a furnace such as flash smelting furnace. B gas is exit gas which is estimated to be produced by using the air enriched with oxygen, which includes 50% of oxygen, and 0.1% of heavy oil per concentrations.

The equilibrium gas composition is shown in figure 2 when variable amount of methane is reacted with 100 moles of A gas at 1250°C. Distribution of sulfur in SO₂, H₂S, S₂ and COS is shown in figure 3. When a small amount of methane is added, SO₂ in equilibrium gas remained unreacted. The yield of elementary sulfur becomes maximum, when 8 moles of methane is added. The effect of temperature on the composition of equilibrium gas is shown in figure 4 and 5. The higher the temperature is, the larger the yield of elementary sulfur becomes.

At Outokumpu, kelosine is added to smelter gas and elementary sulfur is recovered at 1300°C. The gas composition of Outokumpu after the reaction is compared with the calculated results of 8 moles of methane which is reacted with 100 moles of A gas at 1250°C. The results are shown in table 5.

Table 5 Comparison of the calculated results with the practical composition at Outokumpu

	S ₂	H ₂	CO	H ₂ O	SO ₂	COS	CO ₂	H ₂ S	N ₂
Calculation	3.7	2.4	3.3	11.7	1.2	0.1	5.7	1.5	70.2
Outokumpu	4.4	-	3.4	-	2.9	0.1	-	0.6	-

Even if the reducing agent and the reaction temperature are different between both cases, the resultant gas have almost the same composition. These calculation are considered as the very effective method for estimation of gas composition in such an example.

The results by the same calculation which is obtained from B gas, are shown in figure 6. The yield of elementary sulfur becomes maximum 72.4% at the conditions of 20 to 25 moles of methane, added, and 1250°C.

Figure 7 shows the results of the calculation of the reduction by CO gas at 1200°C. Figure 8 and 9 show the effect of temperature on the composition of equilibrium gas. The yield of elementary sulfur is maximum 83.2% at 1000°C. Content of COS in equilibrium gas becomes high at lower temperature than 1000°C.

The reduction by solid carbon is shown in figure 10 to 11. In this calculation, amount of carbon, which is consumed during reaction, is also calculated and the results are shown in table 6.

Table 6 Consumption of Solid Carbon reacted with A Smelter Gas

Temperature C	Carbon consumed mols	Total Gas, mols
600	23.33	110.1
800	30.65	118.2
1000	31.24	121.4
1200	31.29	122.8
1250	31.30	123.0

Calculation of Copper Smelting Process²⁾

Elements in charged materials Nine elements are assumed in a furnace charge, that is, Cu, S, Fe, Pb, Zn, O, N, C and H.

Components in matte, slag and gas The components, which are formed in matte, slag and gas, are assumed to be as shown in table 7.

Table 7 Components in Matte, Slag and Gas

Phase	Components
Matte	Cu ₂ S, FeS, PbS, FeO, ZnS, Fe ₃ O ₄ , Pb,
Slag	FeO, ZnO, Fe ₃ O ₄ , Cu ₂ O, PbO, Cu ₂ S, FeS,
Gas	SO ₂ , N ₂ , CO, H ₂ , O ₂ , PbS, PbO, ZnS, S ₂ , CO ₂ , Zn, H ₂ O, SO, Pb

The components of slag such as SiO₂, Al₂O₃, MgO and CaO are assumed to be inert materials which do not react with matte and gas, so these materials are not considered in equilibrium calculation, but amounts of these materials are necessary for calculation of mole fraction of other component in slag. The compounds of copper which dissolve in slag are assumed to be Cu₂O and Cu₂S. It is said, however, that copper dissolves as CuO_{0.5} instead of Cu₂O³⁾ but the difference between these two forms of copper oxide only affect the activity coefficients in slag, because the standard free energy change for formation of Cu₂O is twice of that of CuO_{0.5}.

Dependent and independent components As described before, components in matte, slag and gas are classified into independent and dependent components, and the following nine components are chosen as independent ones;

Cu₂S, FeS and PbS from matte phase

FeO and ZnO from slag

SO₂, N₂, CO and H₂ from gas.

Every species of the elements must be included in these independent components. The other components are dependent ones and these can be expressed by the equilibrium constant of mass action equations in table 8.

Table 8 Mass Action Equations for Dependent Components from Independent Ones

matte phase		
i=1	FeO	$\text{FeO (s)} = \underline{\text{FeO (m)}}$
i=2	ZnS	$\text{FeS (m)} + \text{ZnO (s)} = \underline{\text{ZnS (m)}} + \text{FeO (s)}$
i=3	Fe ₃ O ₄	$10/3 \cdot \text{FeO (s)} + 1/3 \cdot \text{SO}_2 = \underline{\text{Fe}_3\text{O}_4\text{(m)}} + 1/3 \cdot \text{FeS (m)}$
i=4	Pb	$\text{PbS (m)} + 2/3 \cdot \text{FeO (s)} = \underline{\text{Pb (m)}} + 2/3 \cdot \text{FeS (m)} + 1/3 \cdot \text{SO}_2$
slag phase		
s=1	Fe ₃ O ₄	$10/3 \cdot \text{FeO (s)} + 1/3 \cdot \text{SO}_2 = \underline{\text{Fe}_3\text{O}_4\text{(s)}} + 1/3 \cdot \text{FeS (m)}$
s=2	Cu ₂ O	$\text{Cu}_2\text{S (m)} + \text{FeO (s)} = \underline{\text{Cu}_2\text{O (s)}} + \text{FeS (m)}$
s=3	PbO	$\text{PbS (m)} + \text{FeO (s)} = \underline{\text{PbO (s)}} + \text{FeS (m)}$
s=4	Cu ₂ S	$\text{Cu}_2\text{S (m)} = \underline{\text{Cu}_2\text{S (s)}}$
s=5	FeS	$\text{FeS (m)} = \underline{\text{FeS (s)}}$
gas phase		
l=1	O ₂	$2/3 \cdot \text{FeO (s)} + 2/3 \cdot \text{SO}_2 = \underline{\text{O}_2} + 2/3 \cdot \text{FeS (m)}$
l=2	PbS	$\text{PbS (m)} = \underline{\text{PbS (g)}}$
l=3	PbO	$\text{PbS (m)} + \text{FeO (s)} = \text{FeS (m)} + \underline{\text{PbO (g)}}$
l=4	ZnS	$\text{FeS (m)} + \text{ZnO (s)} = \underline{\text{ZnS (g)}} + \text{FeO (s)}$
l=5	S ₂	$4/3 \cdot \text{FeS (m)} + 2/3 \cdot \text{SO}_2 = 4/3 \cdot \text{FeO (s)} + \underline{\text{S}_2}$
l=6	CO ₂	$1/3 \cdot \text{FeO (s)} + 1/3 \cdot \text{SO}_2 + \text{CO} = 1/3 \cdot \text{FeS (m)} + \underline{\text{CO}_2}$
l=7	H ₂ O	$1/3 \cdot \text{FeO (s)} + 1/3 \cdot \text{SO}_2 + \text{H}_2 = \underline{\text{H}_2\text{O}} + 1/3 \cdot \text{FeS (m)}$
l=8	Zn	$1/3 \cdot \text{FeS (m)} + \text{ZnO (s)} = 1/3 \cdot \text{FeO (s)} + 1/3 \cdot \text{SO}_2 + \underline{\text{Zn (g)}}$
l=9	SO	$1/3 \cdot \text{FeS (m)} + 2/3 \cdot \text{SO}_2 = 1/3 \cdot \text{FeO (s)} + \underline{\text{SO}}$
l=10	Pb	$\text{PbS (m)} + 2/3 \cdot \text{FeO (s)} = \underline{\text{Pb (g)}} + 2/3 \cdot \text{FeS (m)} + 1/3 \cdot \text{SO}_2$

s:slag , m:matte phase , g:gas phase

The mols of the dependent components are obtained by the following generalized equations,

$$n_i = 1/\gamma_i \cdot K_i (P/n_g)^{\sum \nu_{it}} (n_m)^{1 - \sum \nu_{ij}} (n_{sg})^{-\sum \nu_{ip}} \cdot \prod_{j,p,t} \{ (\gamma_j n_j)^{\nu_{ij}} (\gamma_p n_p)^{\nu_{ip}} n_t^{\nu_{it}} \} \quad (1)$$

$$n_s = 1/\gamma_s \cdot K_s (P/n_g)^{\sum \nu_{st}} (n_m)^{-\sum \nu_{sj}} (n_{sg})^{1 - \sum \nu_{sp}} \cdot \prod_{j,p,t} \{ (\gamma_j n_j)^{\nu_{sj}} (\gamma_p n_p)^{\nu_{sp}} n_t^{\nu_{st}} \} \quad (2)$$

$$n_l = K_l (P/n_g)^{\sum \nu_{lt}} (n_m)^{-\sum \nu_{lj}} (n_{sg})^{-\sum \nu_{lp}} \cdot \prod_{j,p,t} \{ (\gamma_j n_j)^{\nu_{lj}} (\gamma_p n_p)^{\nu_{lp}} n_t^{\nu_{lt}} \} \quad (3)$$

$$n_m = \sum_j n_j + \sum_i n_i \quad (4)$$

$$n_{sg} = \sum_p n_p + \sum_s n_s + \text{Other} \quad (5)$$

$$n_g = \sum_t n_t + \sum_l n_l \quad (6)$$

where, n_i , n_s and n_l are the amounts of mol of dependent components.

n_j , n_p and n_g are the amounts of mols of independent components.

K_i , K_s and K_l are the equilibrium constant of the mass action equations in table 8.

r_i , r_s and r_l are the activity coefficients of the dependent components in each phase.

r_j , r_p and r_t are the activity coefficients of the independent components in each phase.

n_m , n_{sg} and n_g are the total mols of components in each phase.

ν_{ij}, \dots , etc. are the parameters as shown in Table 9. These parameters are derived from the mass action equations.

Table 9 List of Parameters in Equations 1, 2 and 3

(List of $\nu_{ij}, \nu_{sj}, \nu_{lj}, \nu_{ip}, \nu_{sp}, \nu_{lp}, \nu_{it}, \nu_{st}, \nu_{ll}$)

	i=1	2	3	4	s=1	2	3	4	5	l=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	FeO	ZnS	Fe ₃ O ₄	Pb	Fe ₃ O ₄	Cu ₂ O	PbO	Cu ₂ S	FeS	O ₂	PbS	PbO	ZnS	S ₂	CO ₂	H ₂ O	Zn	SO	Pb
i=1 Cu ₂ S	ν_{ij} 0	0	0	0	ν_{sj} 0	1	0	1	0	ν_{lj} 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 FeS	0	1	-1/3	-2/3	-1/3	-1	-1	0	1	-2/3	0	-1	1	4/3	-1/3	-1/3	1/3	1/3	-2/3
3 PbS	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
p=1 FeO	ν_{ip} 1	-1	10/3	2/3	ν_{sp} 10/3	1	1	0	0	ν_{lp} 2/3	0	1	-1	-4/3	1/3	1/3	-1/3	-1/3	2/3
2 ZnO	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
t=1 SO ₂	ν_{it} 0	0	1/3	-1/3	ν_{st} /	0	0	0	0	ν_{lt} 2/3	0	0	0	2/3	1/3	1/3	-1/3	2/3	-1/3
2 N ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 CO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4 H ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Materials Balance

The numbers of g-atoms Q_k ($k=1-9$) of the elements in a charge must satisfy the next mass balance equations after the attainment of equilibrium.

$$Q_k = \sum_j a_{jk} n_j + \sum_i a_{ik} n_i + \sum_p a_{pk} n_p + \sum_s a_{sk} n_s + \sum_t a_{tk} n_t + \sum_l a_{lk} n_l \quad (k=1-9) \quad (7)$$

where, a_{jk} , etc., are the number of g-atoms of the k-th element per equivalent formula of components. These are listed in table 10.

Equations 1, 2, and 3 are substituted for n_i , n_g and n_l in equations 4-7, so equations, that include the unknown valuables such as n_j , n_p , n_t ,

n_m , n_{sq} , and n_g , are obtained. The Newton-Raphson method is applied to solve these equations.

Table 10 List of a_{jk} , a_{ik} , a_{pk} , a_{tk} , a_{lk} in equation 7

		K=1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Cu	S	Pb	Fe	Zn	O	N	C	H
a_{jk}	1 Cu ₂ S	2	1	0	0	0	0	0	0	0
	2 FeS	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	3 PbS	0	1	1	0	0	0	0	0	0
a_{ik}	1 FeO	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	2 ZnS	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	3 Fe ₃ O ₄	0	0	0	3	0	4	0	0	0
	4 Pb	0	0	1	0	0	0	0	0	0
a_{pk}	1 FeO	0	0	0	1	0	1	0	0	0
	2 ZnO	0	0	0	0	1	1	0	0	0
a_{sk}	1 Fe ₃ O ₄	0	0	0	3	0	4	0	0	0
	2 Cu ₂ O	2	0	0	0	0	1	0	0	0
	3 PbO	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	4 Cu ₂ S	2	1	0	0	0	0	0	0	0
	5 FeS	0	1	0	1	0	0	0	0	0
a_{tk}	1 SO ₂	0	1	0	0	0	2	0	0	0
	2 N ₂	0	0	0	0	0	0	2	0	0
	3 CO	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	4 H ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	2
a_{lk}	1 O ₂	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	2 PbS	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	3 PbO	0	0	1	0	0	1	0	0	0
	4 ZnS	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	5 S ₂	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	6 CO ₂	0	0	0	0	0	2	0	1	0
	7 H ₂ O	0	0	0	0	0	1	0	0	2
	8 Zn	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	9 SO	0	1	0	0	0	1	0	0	0
	10 Pr	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Gibbs Free Energy Change for Formation

The equilibrium constant K_i , K_s and K_l are calculated from the values of the Gibbs free energy change for formation of each component. They are mainly taken from work of Schuhman, Richardson and Jeffes and so on. The values are listed in Table 11. 4) - 9)

Table 11 Free Energy Change for Formation

#	Components	cal/mol
j=1	Cu ₂ S	-25,460+3.0T
j=2	FeS	-28,476+9.14T
j=3	PbS	-33,420+16.13T
i=1	FeO	-54,890+10.55T
i=2	ZnS	-89,160+47.5T
i=3	Fe ₃ O ₄	-260,870+72.24T
i=4	Pb	0
p=1	FeO	-54,890+10.55T
p=2	ZnO	-110,140+47.35T
s=1	Fe ₃ O ₄	-260,870+72.24T
s=2	Cu ₂ O	-28,920+8.26T
s=3	PbO	-46,630+18.57T
s=4	Cu ₂ S	-25,460+3.0T
s=5	FeS	-28,476+9.14T
t=1	SO ₂	-86,570+17.30T
t=2	N ₂	0
t=3	CO	-26,700-20.95T
t=4	H ₂	0
l=1	O ₂	0
l=2	PbS(g)	27,430+3.71T logT+0.00197T ² -38.63T
l=3	PbO(g)	14,280+12.67T logT-57.39T
l=4	ZnS(g)	-25,197+19.6T
l=5	S ₂	0
l=6	CO ₂	-94,200-0.2T
l=7	H ₂ O	-58,900+13.1T
l=8	Zn(g)	0
l=9	SO	-6,550-13.5T
l=10	Pb(g)	46,345+4.503T logT-37.88T

Activity Coefficients of Components in Matte and Slag

Activity coefficients of components in matte and slag should be known to obtain the composition of matte and slag by equilibrium calculation. There are many papers about activity of components in matte and slag. Compositions, however, are not given as mole fraction against activity, so some of the activity coefficients can not be obtained directly from the previous papers and some of these were obtained as formula, which are functions of mole fractions of components, by the author.

Activity of FeS in matte Activity of FeS in matte has been measured by various authors as shown in figure 12¹⁰⁾. Mole fraction, however, can not be calculated from this figure, because matte contains some amount of magnetite and ferrous oxide. Korakas measured oxygen content in matte as a function of wt% iron/wt% copper in matte as shown in figure 13. He also stated in his paper that the ratio of oxidized Fe^{3+}/Fe^{2+} was approximately unity, that is, the molar amount of FeO and Fe_3O_4 in matte was equal. Mol fraction of Cu_2S , FeS, FeO and Fe_3O_4 can be obtained from figure 13 by using the above relation, and activity coefficient of FeS can be obtained by combining these values with activity data of figure 12. B line in figure 12 was selected as an activity of FeS in matte.

Mole fraction of components in matte were calculated from figure 13 by following relations.

$$O_w + Fe_w + Cu_w + S_w = 100 \quad (9)$$

$$Fe_w/Cu_w = a \quad (10)$$

$$Cu_w/63.54/2 + Fe_w/55.85 - O_w/16/5 - O_w/16 \cdot (3/4) \cdot (4/5) = S_w/32.066 \quad (11)$$

where, Cu_w , Fe_w , O_w and S_w are weight % of each element in matte, and a in equation 9 is obtained from figure 13. The first term of the left side of equation 11 is mole amount of Cu_2S , the second term is total iron in moles, the third term is mole amount of iron as FeO, the fourth term is mole amount of iron as Fe_3O_4 . The results of the calculation are shown in table 12.

Table 12 Activity Coefficient of FeS in matte
(From the data of Rosenqvist and Korakas, combined)

wt%Fe/wt%Cu	Mol fraction FeS	Activity of FeS	Activity Coefficient FeS
0.5	0.36	0.23	0.64
0.75	0.43	0.32	0.75
1.0	0.47	0.38	0.81
1.25	0.49	0.41	0.83
1.5	0.51	0.45	0.88
1.65	0.51	0.47	0.93

The relation of mole fraction against activity coefficient of FeS is plotted in figure 14. The equation of the relationship between FeS and N_{FeS} can be outlined by the regression method as follows;

Activity coefficient of Cu_2S in matte Activity coefficient of Cu_2S in matte is calculated from the results which was diagrammed in figure 15 by Asano¹²⁾, combined with the data of Korakas¹⁰⁾. The results, which were calculated, are shown in figure 16. Activity coefficient of Cu_2S in matte is found to be approximately unity.

Activity coefficient of FeO and Fe_3O_4 in slag Iso-activity curves of FeO and Fe_3O_4 in liquid region of FeO- Fe_2O_3 - SiO_2 ternary system were determined by Muan¹³⁾, Michal and Schuhmann¹⁴⁾, and Korakas¹⁰⁾. The mole fractions of FeO, Fe_3O_4 and SiO_2 were calculated from Korakas's diagram at 1270°C and the relation between the mole fraction and the activity of FeO and Fe_3O_4 was obtained. Iso-activity curves, which were taken from Korakas, were shown in figure 17. Activity of FeO against mole fraction of FeO are plotted in figure 18. A- and B-points in this figure are the solubility limit of FeO at 1270 and 1300°C. A and B points in figure 18 correspond to B and D in figure 17 respectively.

Activity coefficient of FeO was calculated and plotted in figure 19. The similar relation were obtained from the data of Michael and Schuhmann¹⁴⁾ which is the case of slag saturated with silica. Table 13 is calculated results which were obtained from the data of Michael and Schuhmann. Activity coefficient which were calculated as shown in table 13 are plotted in figure 19.

Table 13 Activity Coefficient of FeO and Fe₃O₄ from the data of Michael and Schuhmann

P _{CO2} /P _{CO}	mole fraction			activity		activity coefficient	
	Fe ₃ O ₄	FeO	SiO ₂	a _{Fe₃O₄}	a _{FeO}	γ _{Fe₃O₄}	γ _{FeO}
0.131	0.00328	0.558	0.439	—	0.4	—	0.72
0.244	0.00443	0.553	0.443	0.01	0.395	3.05	0.71
0.247	0.00443	0.559	0.437	0.01	0.395	3.05	0.71
0.658	0.00720	0.556	0.437	0.025	0.39	3.47	0.70
1.48	0.0118	0.548	0.440	0.05	0.388	4.24	0.71
4.15	0.0190	0.545	0.436	0.10	0.380	5.26	0.70
31.2	0.0565	0.508	0.435	0.50	0.340	8.85	0.67
44.4	0.0711	0.498	0.431	0.67	0.330	9.42	0.66
18.2	0.0409	0.502	0.416	0.33	0.353	8.07	0.66
65.6	0.0922	0.480	0.428	1.0	0.310	10.85	0.65

The next equation for the relationship between γ_{FeO} and mole fraction of FeO can be written by regression method as follows;

$$\gamma_{\text{FeO}} = 1.42 \times N_{\text{FeO}}^{-0.044} \quad (13)$$

Lower solubility limit of N_{FeO} is 0.45 at 1270°C, so the value of activity coefficient in equation 13 does not become minus value.

Activity coefficient of Fe₃O₄ is calculated from the data of Korakas which is shown in figure 17 and activity coefficient of Fe₃O₄ against mole fraction of Fe₃O₄ is plotted in figure 20, and against mole fraction of SiO₂ is plotted in figure 21. As shown in these figures, activity coefficient depends on both mole fraction of Fe₃O₄ and SiO₂ in slag, and the next empirical equation can be obtained by regression method.

$$\gamma_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 0.69 + 5.45 N_{\text{SiO}_2} + 5.68 N_{\text{Fe}_3\text{O}_4} \quad (14)$$

The comparison between the values of measurement from figure 18 and 20 and the ones which were obtained from equation 14 are shown in table 14.

Table 14 Comparison between empirical formula
and data from Korakas

mole fraction			$\gamma_{\text{Fe}_3\text{O}_4}$	
Fe ₃ O ₄	FeO	SiO ₂	fig. 17	equation 14
0.0236	0.606	0.370	4.24	4.05
0.0434	0.666	0.290	4.61	4.70
0.0528	0.609	0.339	5.68	5.54
0.0242	0.636	0.339	4.13	3.91
0.1111	0.544	0.345	9.00	8.88
0.1197	0.680	0.200	8.35	8.58

Activity coefficient of FeO and Fe₃O₄ in matte Some amount of Fe₃O₄ and FeO dissolve in matte as described before. Activity coefficients of these materials in matte are necessary for obtaining the amount of FeO and Fe₃O₄ by equilibrium calculation. The activity of FeO and Fe₃O₄ in matte should be equal to the activity of FeO and Fe₃O₄ in slag which is equilibrated with matte, and activity coefficients of these in matte are obtained from the activity data of these components in slag which is equilibrated with this matte. The composition of slag equilibrated with matte were determined by Korakas¹⁰⁾, Kuxmann and Bor¹⁵⁾, and recently Bailey¹⁶⁾.

The author has calculated activity coefficients of FeO and Fe₃O₄ in matte from the data of Korakas, and Kuxmann and Bor. In the experiment of Korakas, air was blown in the melts of matte and slag in alumina crucible, so I don't think an equilibrium condition was obtained during this experiment. In Kuxmann's experiment, data was obtained in silica crucibles under one atmosphere of SO₂.

One of the experimental results from Korakas is shown in figure 22¹⁰⁾. Oxygen content and mole fractions of components such as FeS, Cu₂S, Fe₃O₄ and FeO can be obtained from figure 13 as shown before. Slag composition in figure 22 can be obtained also by assuming the other component as FeO. The results of calculation are listed in table 15 and the relation between activity coefficient and mole fraction of FeO are shown in figure 23.

Table 15 Calculation of activity coefficients FeO and Fe₃O₄ in matte from the data of Korakas combined with the data of figure 17

mol fraction(Korakas data)						date from figure 17			
$a_{\text{Cu}} = \frac{\text{wt}\% \text{Fe}}{\text{wt}\% \text{Cu}}$	N _{Cu2S}	N _{FeO}	N _{Fe3O4}	N _{FeS}	a_{FeO} (slag)	$\frac{a_{\text{FeO}}(\text{slag})}{N_{\text{FeO}}(\text{matte})}$	a_{Fe3O4} (slag)	$\frac{a_{\text{Fe3O4}}(\text{slag})}{N_{\text{Fe3O4}}(\text{matte})}$	
0.0275	0.958	0.003	0.003	0.0362	0.481	160	0.395	132	
0.0275	0.958	0.003	0.003	0.0362	0.533	178	0.602	200	
0.037	0.937	0.004	0.004	0.0543	0.505	126	0.312	78	
0.037	0.937	0.004	0.004	0.0543	0.555	139	0.506	127	
0.074	0.867	0.005	0.005	0.123	0.541	108	0.208	41.6	
0.074	0.867	0.005	0.005	0.123	0.592	118	0.371	74.2	
0.0703	0.887	0.011	0.011	0.090	0.536	48.7	0.223	20.3	
0.0703	0.887	0.011	0.011	0.090	0.586	53.3	0.388	35.3	
0.1295	0.799	0.016	0.016	0.169	0.566	35.4	0.151	9.4	
0.1295	0.799	0.016	0.016	0.169	0.655	40.9	0.188	11.8	
0.148	0.799	0.018	0.018	0.185	0.573	31.8	0.137	7.6	
0.148	0.799	0.018	0.018	0.185	0.630	35.0	0.252	14.0	
0.270	0.638	0.015	0.015	0.332	0.588	39.2	0.108	7.2	
0.270	0.638	0.015	0.015	0.332	0.659	43.9	0.249	16.6	
0.259	0.655	0.018	0.018	0.309	0.588	32.7	0.108	6.0	
0.259	0.655	0.018	0.018	0.309	0.657	36.5	0.185	10.3	
0.289	0.629	0.018	0.018	0.335	0.589	32.7	0.104	5.8	
0.289	0.629	0.018	0.018	0.335	0.679	37.7	0.135	7.5	
0.350	0.590	0.027	0.027	0.335	0.597	22.1	0.092	3.4	
0.350	0.590	0.027	0.027	0.335	0.663	24.6	0.168	6.2	
0.370	0.577	0.030	0.030	0.363	0.599	20.0	0.088	2.9	
0.370	0.577	0.030	0.030	0.363	0.667	22.2	0.161	5.4	

The empirical formula is obtained from the line in Figure 23 by regression method and it can be expressed as follows;

$$\log \gamma_{\text{FeO}} = -0.044 - 0.901 \times \log N_{\text{FeO}} \quad (15)$$

This formula, however, can not be used in a iterated calculation, because N_{FeO} does't converge to the true value when equation 15 is used in the calculation.

The relation between activity coefficient of FeO and mole fraction of Cu_2S are plotted in figure 24, and a empirical formula between activity coefficient of FeO and mole fraction of Cu_2S are obtained by regression method as follows;

$$\gamma_{\text{FeO}} = \exp(5.10 + 6.20 \times \ln N_{\text{Cu}_2\text{S}} + 6.41 \times (\ln N_{\text{Cu}_2\text{S}})^2 + 2.80 \times (\ln N_{\text{Cu}_2\text{S}})^3) \quad (16)$$

Activity of Fe_3O_4 against mole fraction of Fe_3O_4 or Cu_2S are plotted in figure 25 to 26. The best fit relations are obtained by regression method as follows;

$$\log \gamma_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = -1.86 - 1.60 \times \log N_{\text{Fe}_3\text{O}_4} \quad (17)$$

$$\gamma_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = \exp(4.96 + 9.90 \times \ln N_{\text{Cu}_2\text{S}} + 7.43 \times (\ln N_{\text{Cu}_2\text{S}})^2 + 2.55 \times (\ln N_{\text{Cu}_2\text{S}})^3) \quad (18)$$

Results of activity coefficients, which were obtained from the data of Kuxmann and Bor, are plotted in the same figures, and the best fit-line about activity coefficient of Fe_3O_4 against mole fraction of Cu_2S is calculated as follows;

$$\gamma_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = \exp(3.67 + 3.01 \times \ln N_{\text{Cu}_2\text{S}} + 1.23 \times (\ln N_{\text{Cu}_2\text{S}})^2 + 0.23 \times (\ln N_{\text{Cu}_2\text{S}})^3) \quad (19)$$

(from Kuxmann and Bor's data)

Activity coefficients of PbS and ZnS in matte The activities of PbS and ZnS in matte were measured by dew-point method at low content of PbS¹⁷⁾ and ZnS¹⁸⁾ in melt of Cu_2S .

There is no data about activity of PbS and ZnS in FeS- Cu_2S melts. Activity coefficient of PbS is assumed as 1.0 and 0.3 in this calculation and the distribution of lead between matte, slag and gas will be compared

in both cases. Activity coefficient of ZnS is assumed as 1.

Activity coefficient of Pb in matte A small amount of lead dissolves as metallic form and the activity coefficient of metallic lead in matte is assumed as 23 from the recent experiment¹⁹⁾.

Activity coefficient of Cu₂O in slag Copper content of slag equilibrated with molten copper metal under various oxygen pressures were measured by Ruddle²⁰⁾, Altman and Kellogg²¹⁾, Toguri²²⁾ and Bailey¹⁶⁾. These results are plotted in figure 27.

Recently, copper was found to dissolve as both elemental and oxide forms in my laboratory²³⁾. It is, however, assumed copper dissolves only as oxide form in this calculation. Activity coefficient of Cu₂O in slag was taken from Ruddle²⁰⁾ as follows;

$$r_{\text{Cu}_2\text{O}} = 174 \cdot P_{\text{O}_2}^{0.28} \quad (20)$$

Activity coefficients of ZnO and PbO in slag Activity of ZnO in slag at reducing atmosphere was measured by Davenport²⁴⁾, Azuma and Goto²⁵⁾. Kellogg²⁶⁾ used the activity coefficient as the following equation in his calculation of slag fuming process.

$$r_{\text{ZnO}} = \exp(920/T) \quad (21)$$

However, activity coefficient of ZnO was assumed as 1.2 in this calculation.

Activity coefficient of PbO was taken as following formula by Kellogg.

$$r_{\text{PbO}} = \exp(-3926/T) \quad (22)$$

Activity coefficients of Cu₂S and FeS in slag Some part of copper in slag, which is equilibrated with matte, dissolves as Cu₂S as described by Yazawa²⁷⁾, Wiese²⁸⁾, Senalek and Imris²⁹⁾, and Nagamori³⁰⁾.

Nagamori stated that solubility of Cu₂S decreases by increasing matte grade as shown in figure 28. Senalek and Imris explained that more amount of Cu₂S dissolves in slag when copper content of matte equilibrated with this slag becomes high as shown in figure 29. Solubility of copper in slag equilibrated with matte which is saturated with iron by Yazawa is shown in

figure 30³¹). More copper dissolves in slag, even if oxygen pressure is very low as metallic iron exists as shown in figure 30 by Yazawa. The experimental results by Wiese are also shown in figure 31.

The value of activity coefficient of Cu₂S can not be derived from the previous papers, because mole fraction of Cu₂S in matte and slag was not given in these papers. The activity coefficient of Cu₂S in slag was assumed to be 250 to 350 in this calculation.

Solubility of FeS in matte is also obtained from Weise as shown in figure 31. Here, activity coefficient of FeS in slag was assumed as 70-100 in this calculation.

The activity coefficients of all components in matte and slag explained in the previous sections were listed in table 16.

Table 16 Activity Coefficient (1323-1573 K)

<u>Component</u>	<u>Activity coefficient</u>
in matte	
Cu ₂ S	1.0
FeS	$0.54 + 1.41 \log N_{\text{FeS}} + 0.52 N_{\text{FeS}}$
PbS	0.3
FeO	$\exp(5.1 + 6.2 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}}) + 6.41 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}})^2 + 2.8 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}})^3)$
Fe ₃ O ₄ ***	$\exp(4.96 + 9.90 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}}) + 7.43 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}})^2 + 2.55 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}})^3)$
Fe ₃ O ₄ ****	$\exp(3.67 + 3.01 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}}) + 1.23 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}})^2 + 0.23 (\text{In} N_{\text{Cu}_2\text{S}})^3)$
ZnS	1.0
Pb	23
in slag	
FeO	$1.42 N_{\text{FeO}} - 0.044$
ZnO	1.2
Fe ₃ O ₄	$0.69 + 5.68 N_{\text{Fe}_3\text{O}_4} + 5.45 N_{\text{SiO}_2}$
Cu ₂ O	$174 (\text{P}_{\text{O}_2})^{0.28}$
PbO	$\exp(-3926/T)$
Cu ₂ S	250
FeS	70

*This is calculated from the data of Korakas. **This is from Kuxmann and Bor's data.

Application of Copper Smelting Process

The calculation mentioned above was applied to copper smelting process. The effects of the amount of air, flux, fuel on the compositions of matte, slag and gas can be calculated by this method, when all the materials, which

are charged in a furnace, are considered to react perfectly with each other in a furnace.

One example of the calculation is shown in the following.

The compositions of concentrates and fuel which were used in this calculation are shown in table 17. The equilibrium compositions are also shown in this table.

Copper loss in slag One of the results of the calculation about dissolution of copper oxide and copper sulfide is shown in figure 32. The conditions for the calculation are as follows; fuel consumption is 3% of concentrates and mole ratio of Fe/SiO₂ in slag is kept constant at 1.5 by controlling the amount of silica flux, and the temperature is 1523 K. The solid and the chained line in this figure show the amount of dissolution of copper in slag when activity coefficient of copper sulfide in slag is assumed to be 350 and 300 respectively. Dotted line shows dissolution of copper as sulfide form when activity of sulfide was assumed as 300. The practical data of copper loss in slag are shown in figure 30 from various papers. One of the results of Mitsubishi continuous smelting process about copper loss in slag from cleaning furnace is 0.54% at 64.7% of copper in matte.

Distribution of lead in matte, slag and gas Lead, which is included in charged materials, is distributed in matte, slag and gas in practical operation. Distribution of lead can be calculated by using this equilibrium calculation. One of the results by using the data shown in table 17 are shown in figure 33. Fuel is used 3% of concentrate in this calculation instead of 5% of table 17. When activity coefficient of PbS in matte was assumed to be 1.0, the distribution of lead becomes as shown in figure 34.

Table 17 One Example of Equilibrium Calculation
Temperature 1523 K

Composition of Concentrates; Cu 20.5, S 28.0, Pb 3.8, Fe 28.0, Zn 4.1,
SiO₂ 12.0 wt %

Air; 150 Nl/100 g. concentrates

Heavy oil; 5 g/100 g. concentrates (C 4.27 g., H 0.61 g.)

Initial mole of elements in furnace charge: Cu 0.3226, S 0.8732, Pb 0.0183,
Fe 0.501, Zn 0.00627, O 2.679, N 10.714, C 0.356, H 0.605, SiO₂ 0.1997

Equilibrium amounts, calculated

Components	Mol	Mole fraction	Weight %	Activity coefficient
in matte				
Cu ₂ S	0.159	0.679	74.6	1.0
FeS	0.0497	0.212	12.9	0.450
PbS	0.00735	0.0313	5.17	0.30
FeO	0.00237	0.0101	0.501	33.02
ZnS	0.0101	0.0431	2.90	1.0
Fe ₃ O ₄	0.00576	0.0246	3.93	8.09
Pb	9.5x10 ⁻⁵	4.0x10 ⁻⁴	0.0579	23.0
in slag				
FeO	0.350	0.50	48.3	0.667
ZnO	0.0319	0.0457	4.99	1.2
Fe ₃ O ₄	0.0271	0.0389	12.08	5.1
Cu ₂ O	1.6x10 ⁻⁴	2.28x10 ⁻⁴	0.044	0.76
PbO	0.0023	0.00328	0.983	0.076
Cu ₂ S	0.0019	0.00271	0.580	250
FeS	9.5x10 ⁻⁴	0.00136	0.160	70
SiO ₂	0.285	0.407	32.9	-
in gas				
SO ₂	0.597	0.0896	-	-
N ₂	5.357	0.804	-	-
CO	0.0362	0.00543	-	-
H ₂	0.0120	0.0018	-	-
O ₂	2.5x10 ⁻⁸	3.8x10 ⁻⁹	-	-
PbS	0.00842	0.00126	-	-
PbO	1.85x10 ⁻⁴	2.8x10 ⁻⁵	-	-
ZnS	2.38x10 ⁻⁴	3.6x10 ⁻⁵	-	-
S ₂	0.0189	0.00284	-	-

Components	Mol	Mole fraction	Weight %	Activity coefficient
CO ₂	0.319	0.048	-	-
H ₂ O	0.291	0.048	-	-
Zn	0.0205	0.00307	-	-
SO	3.7×10^{-4}	5.6×10^{-5}	-	-
Pb	0.00194	2.9×10^{-4}	-	-

Weight % of elements in matte and slag

	Cu	S	Pb	Fe	Zn	O	SiO ₂
Matte	59.56	21.36	4.54	11.4	1.94	1.197	-
Slag	0.502	0.176	0.913	46.38	4.01	-	32.9

Activity of magnetite in slag; 0.199

Distribution of Pb and Zn in matte, slag and gas

	Matte	Slag	Gas %
Pb	40.6	12.5	46.9
Zn	16.1	50.9	33.0

Application to slag cleaning furnace Slag is tapped in slag cleaning furnace after smelting process such as flash smelting, Mitsubishi smelting process or Kennecott new smelting process. All amount of matte and slag are charged in electric furnace, where matte and slag are separated with each other, in case of Mitsubishi smelting process. In case of flash smelting furnace, only slag, which includes some amount of suspended matte, is charged in electric cleaning furnace. In Kennecott process³²⁾, high grade of matte with about 73% of copper is produced in smelting furnace and slag is treated in cleaning furnace or flotation process.

The equilibrium calculation can be applied for analyzing slag cleaning furnace, where some amount of carbon and pyrite are charged into slag.

The composition of matte which is produced in smelting furnace was assumed to have a following composition;

Cu 77.7%, S 20.1%, Fe 0.8%, and Pb 1.1%.

Slag is assumed to be contaminated by suspended matte and the composition of slag before cleaning was assumed as follows;

Cu 1.13%, S 0.24%, Pb 3.1%, Fe 50.0% and SiO₂ 32.1%.

Equilibrium calculation together with slag, carbon and pyrite was done and the results are shown in table 18. Addition of carbon without pyrite is not effective for eliminating copper from slag. Pyrite is necessary to

reduce copper content, because low grade of matte is produced by addition of pyrite as shown in table 18.

Table 18 Example of Slag Cleaning Furnace (1573 K)

additional amounts			%	composition (%)				
FeS ₂	carbon			Cu	S	Pb	Fe	SiO ₂
-	-	initial slag	1.13	0.24	3.1	50.0	32.1	
0	0	slag matte	0.96 77.7	0.14 20.0	3.1 1.1	44.9 0.79	32.1 -	
1.0	0	slag matte	0.37 52.4	0.14 20.0	2.85 12.2	45.5 11.9	32.3 -	
0	1.0	slag matte	0.98 77.6	0.14 20.1	3.1 1.21	44.9 0.82	32.1 -	
0	2.0	slag matte	0.99 77.5	0.14 20.1	3.1 1.3	44.9 0.86	32.1 -	

Conclusion

The equilibrium calculation between multi components and multi phases, based on the Brinkley theory, was developed by the author and applied to the analysis of copper smelting process and slag cleaning furnace. The necessary values of the activity coefficient of the components in slag and matte were obtained from the various papers.

Copper content in slag, and distribution of lead in matte, slag and gas which were calculated by this method were shown in this paper.

Acknowledgment

The author is indebted to many researchers, who measured the activity coefficients in matte, slag systems.

References

1. Brinkley S. R. Jr. Calculation of the equilibrium composition of systems of many constituents. *J. Chem. Phys.*, 15, 1947, 107-10
2. Goto S. Equilibrium calculations between matte, slag and gaseous phases in copper smelting, copper metallurgy, Theory and practice, IMM. 23 1972
3. Altman R. and Kellogg H.H. Solubility of copper in silica-saturated iron silicate slag, *Trans. Inst. Min. Met. C Sep.* 1972 163-175
4. Schuhmann R. Jr. A survey of the thermodynamics of copper smelting. *Trans. Am. Inst. Min. Engrs*, 188, 1950, 873-84.
5. Richardson F.D. and Jeffes J.H.E. The thermodynamics of substances of interest in iron and steel making from 0°C to 2400°C. 1-Oxides. *J. Iron Steel Inst.*, 160, 1948, 261-70.
6. Kelley K.K. Contributions to the data on theoretical metallurgy, III. The free energies of vaporization and vapor pressures of inorganic substances. *Bull. U.S. Bur. Mines*, 383, 1935, 132p.
7. Hsiao C.M. and Schlechten A.W. Volatility and stability of metallic sulphides. *Trans. Am. Inst. Min. Engrs.* 194, 1952, 65-9.
8. Pogorelyi A.D. Thermal dissociation of cadmium and zinc sulphides. *Zh. fiz. Khim.*, 22, 1948, 731-45. (Russian text)
9. Veselovskii B.K. Vapour pressures of antimony, lead, cadmium and zinc sulphides. *Zh. prikl. Khim.*, 15, 1942, 422-35. (Russian text)
10. Korakas N. Magnetite formation during copper matte converting *Trans. Inst. Min. Metall.*, 72 1962-63, 35-53.
11. Rosengvist T., from the papers of No. 10.
12. Asano N. Some problems in copper smelting. Paper presented at copper smelting symposium held by Kansai Sec. of Min. Met. Inst. Japan, 1972 (in Japanese)
13. Muan A. Phase equilibria in the system FeO-Fe₂O₃-SiO₂ *Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng.* 203, 1955, 965-76.
14. Michal E.J. and Schuhman R. Jr. Thermodynamics of iron-silicate slag, saturated with solid silica, *J. of Metals*, 4, 1952, 723-8.

15. Kuxmann U. and Bor F.Y. Untersuchungen zur Loslichkeit von Sauerstoff in Kupfersteinen unter kieselsauregesattigten Eisenoxidschlacken, *Erzmetall*, 18, 1965, 441-50.
16. Bailey J. and Brown N.E. Equilibrium studies concerning the copper matte smelting process. *Advances in extractive metallurgy and refining*. Inst. Min. Met. 1972.
17. Azuma K., Goto S. and Takebe N. Thermodynamic studies of PbS in copper mattes. *J. Min. Metall. Inst. Japan*, 86, 1970, 35-40 (in Japanese)
18. Ibid. Thermodynamic studies of ZnS in copper mattes. *J. Min. Metall. Inst. Japan* 84, 1968, 1082-8.
19. not published yet.
20. Ruddle R.W. and Taylor B. and Bates A.P. The solubility of copper in iron silicate slags. *Trans. Inst. Min. Metall. Sect. C* 75, 1966, 1-12.
21. Altman R. and Kellogg H.H. Solubility of copper in silica-saturated iron silicate slag *Trans. Inst. Min. Metall. Sect. C*, Sept. 1972, 163-175.
22. Toguri J.M. and Santander N.H. Distribution of copper between Cu-Au alloys and silica-saturated fayalite slags *Metall. Trans.* 3, 1972, 586.
23. not published yet.
24. Davenport W. and Samis C. Activity of ZnO in ZnO-FeO-CaO-SiO₂ slags. Paper presented at AIME annual meeting, 1962.
25. Azuma K., Goto S. and Ogawa O. Thermodynamic studies of zinc oxide in slags. *J. Min. Metall. Inst. Japan* 81, 1965, 686-90 (in Japanese)
26. Kellogg H.H. A computer model of the slag fuming process for recovery of zinc oxide. *Trans. AIME.* 239, 1967, 1439-49.
27. Yazawa A. and Kameda M. *Tech. Repts., Tohoku Univ.* 19, 1954, 1-22.
28. Wiese W., *Uber die Loslichkeit von Sulfiden in Schlacken*, *Erzmetall* 16, 1963, 377-386.
29. Senalek F. and Imris I., Slags from continuous copper production, *Advances in extractive metallurgy and refining*, *Inst. Min. Metall.*, 1971, 39-62.

30. Nagamori M., Metal loss to slag, part 1. Sulfidic and oxidic dissolution of copper in fayalite slag from low grade matte, Metall. Trans., 5, 1974, 531-8.
31. Spira P. and Themelis N.J. The solubility of copper in slags, J. of Metals, April, 1969, 35-42.
32. Ammann P.R., Kim J.J. and Brown F.C., The Kennecott slag cleaning process, preprint Annual Meeting, AIME. 1976.

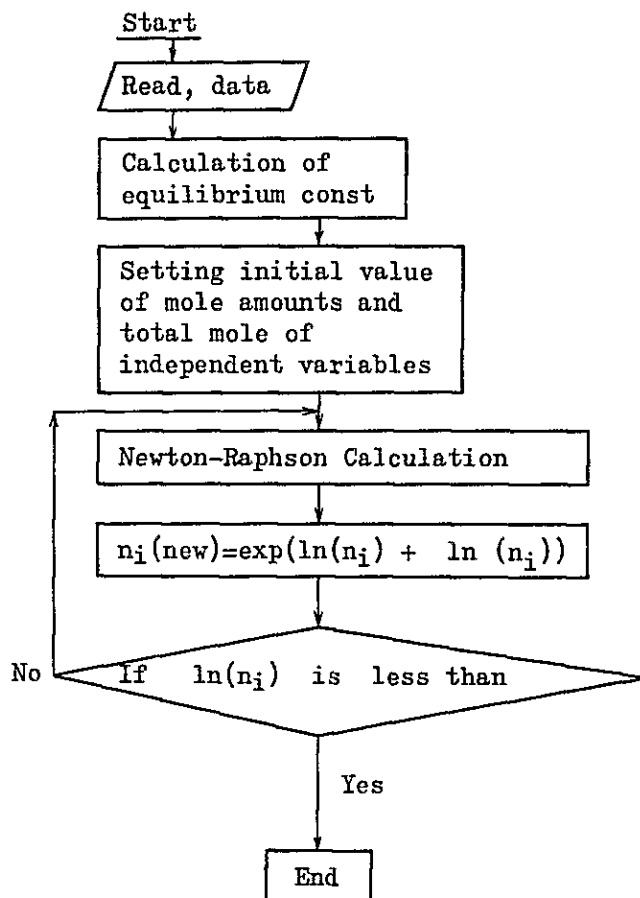


Figure 1 Flow diagram of calculation

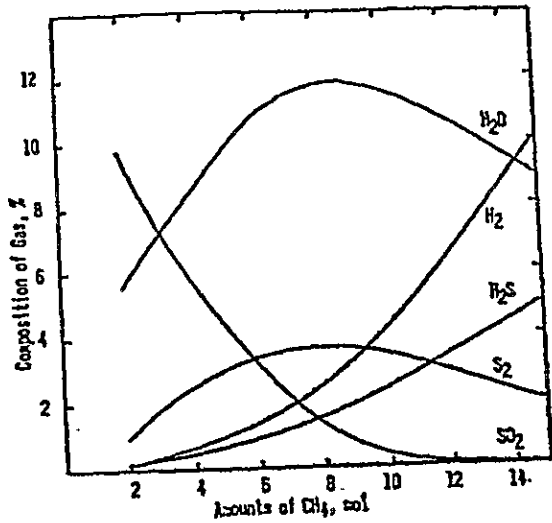


Fig. 2 Change of Gas Composition against Amounts of CH_4 , mixed, at $1250^\circ C$

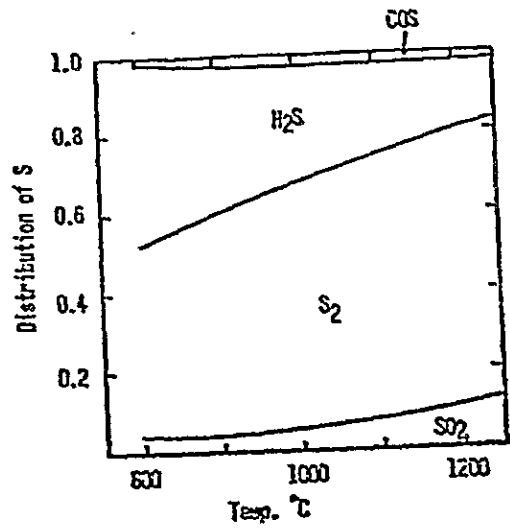


Fig. 5 Distribution of S in Equilibrium Gas CH_4 8 mol/100 mol Smelter Gas

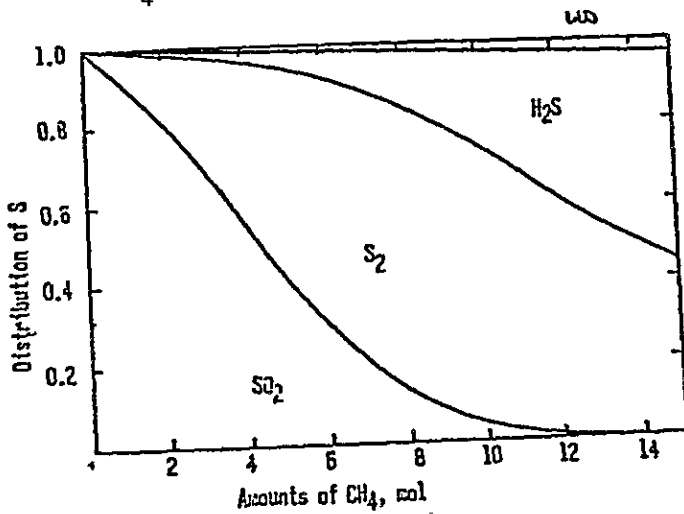


Fig. 3 Distribution of S in Equilibrium Gas against Account of CH_4 , mixed, at $1250^\circ C$

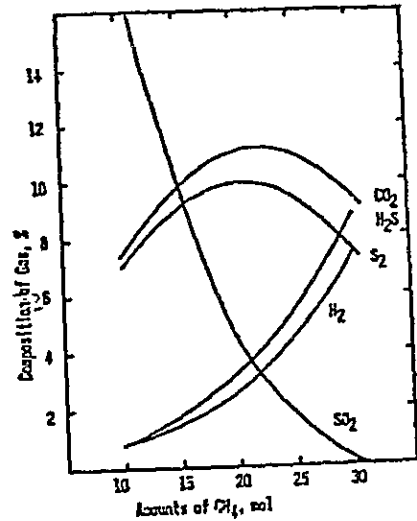


Fig. 6 Change of Gas Composition against Accounts of CH_4 , mixed, at $1200^\circ C$ (8 Gas)

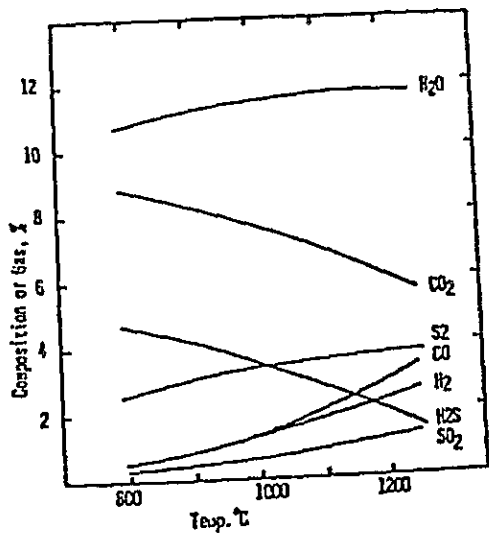


Fig. 4 Change of Gas Composition against Temp. CH_4 8 mol/100 mol Smelter Gas

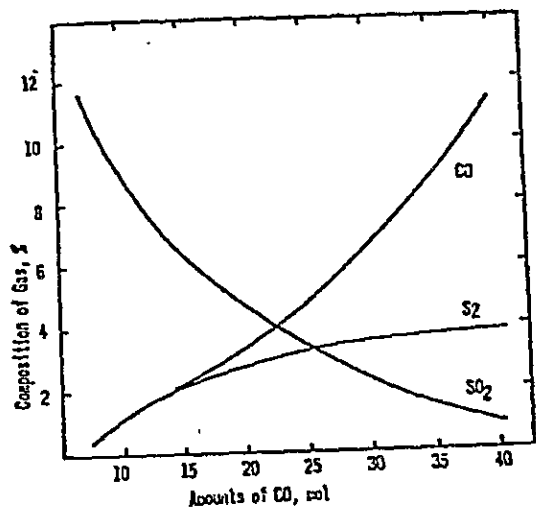


Fig. 7 Change of Gas Composition against Accounts of CO , mixed, at $1200^\circ C$

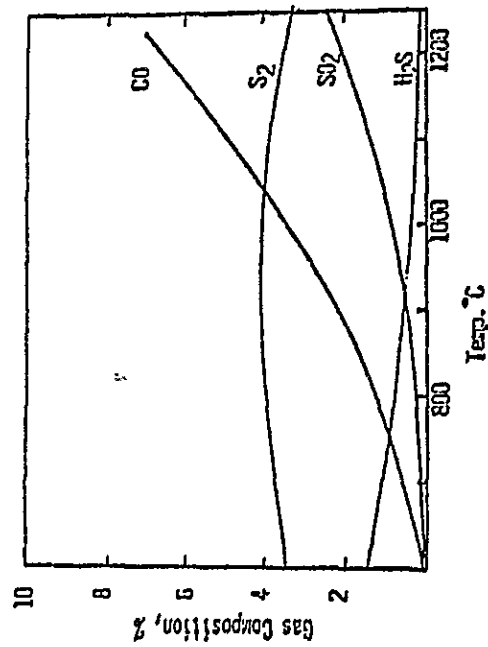


Fig. 8 Change of Gas Composition against Temp. °C
(CO 30 mol/100 mol Smelter Gas)

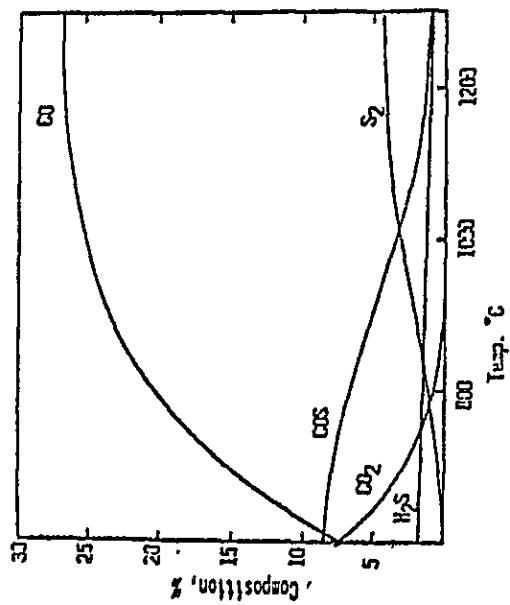


Fig. 10 Change of Gas Composition against Temp.
(by Solid Carbon)

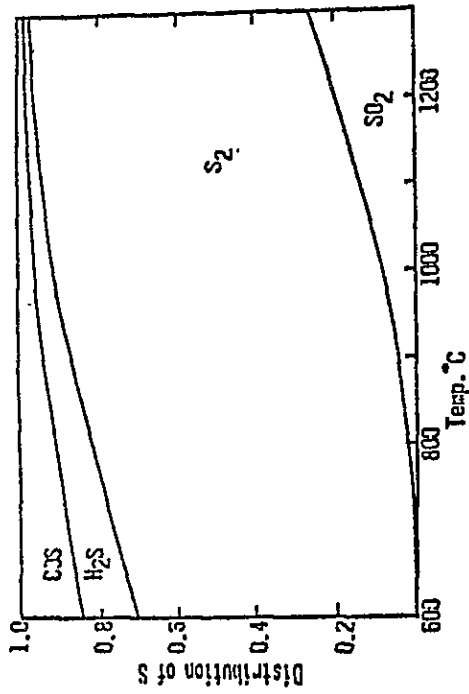


Fig. 9 Distribution of S in Equilibrium Gas against Temp.
(CO 30 mol/100 mol Smelter Gas)

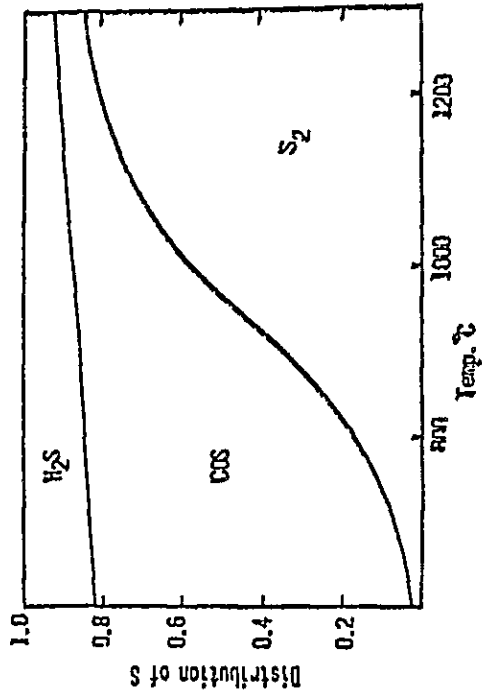


Fig. 11 Distribution of S in Equilibrium Gas
against temp. by Reduction of Solid Carbon

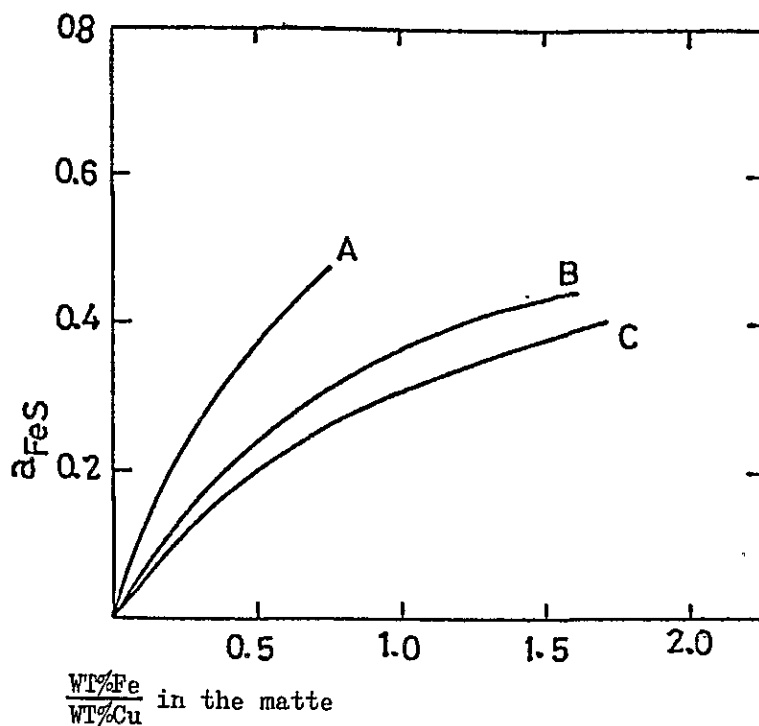


Figure 12. Activity of FeS in matte¹⁰⁾

- A: Rosenqvist and Hartig, Matte saturated with Fe_3O_4 1135 C¹¹⁾
- B: Rosenqvist and Hartig, Matte saturated with Fe_3O_4 1135 C¹¹⁾
- C: Rosenqvist, Matte in equilibrium with silica-saturated slag 1245 C¹¹⁾

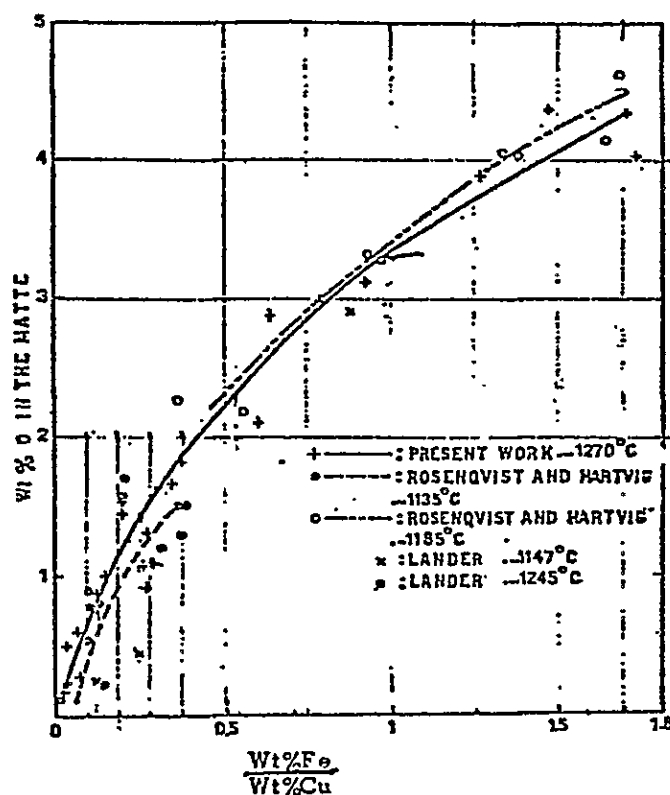


Figure 13. Wt%Fe/wt%Cu in matte¹⁰⁾ (Korakas)

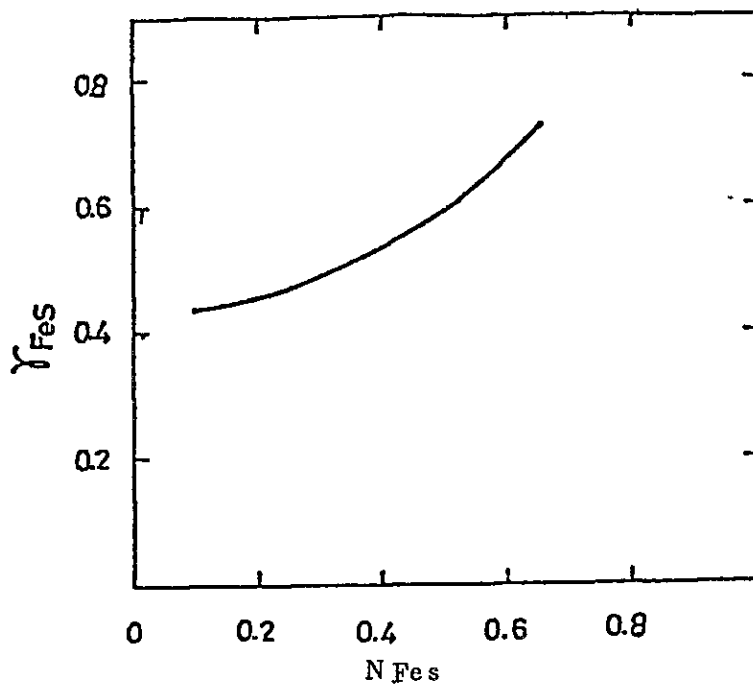


Figure 14. Activity coefficient against mol fraction of FeS in matte

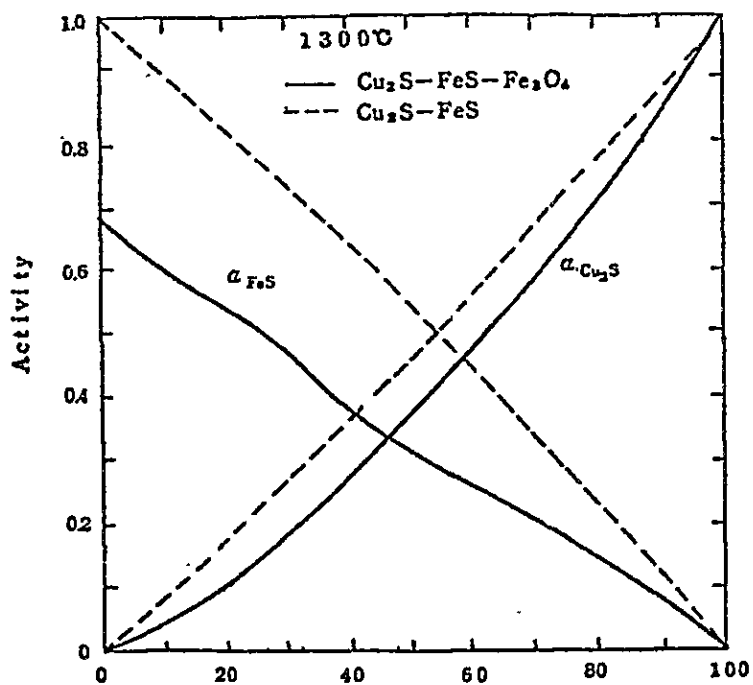


Figure 15. Activity of Cu₂S and FeS in matte against wt% Cu₂S in matte 12)

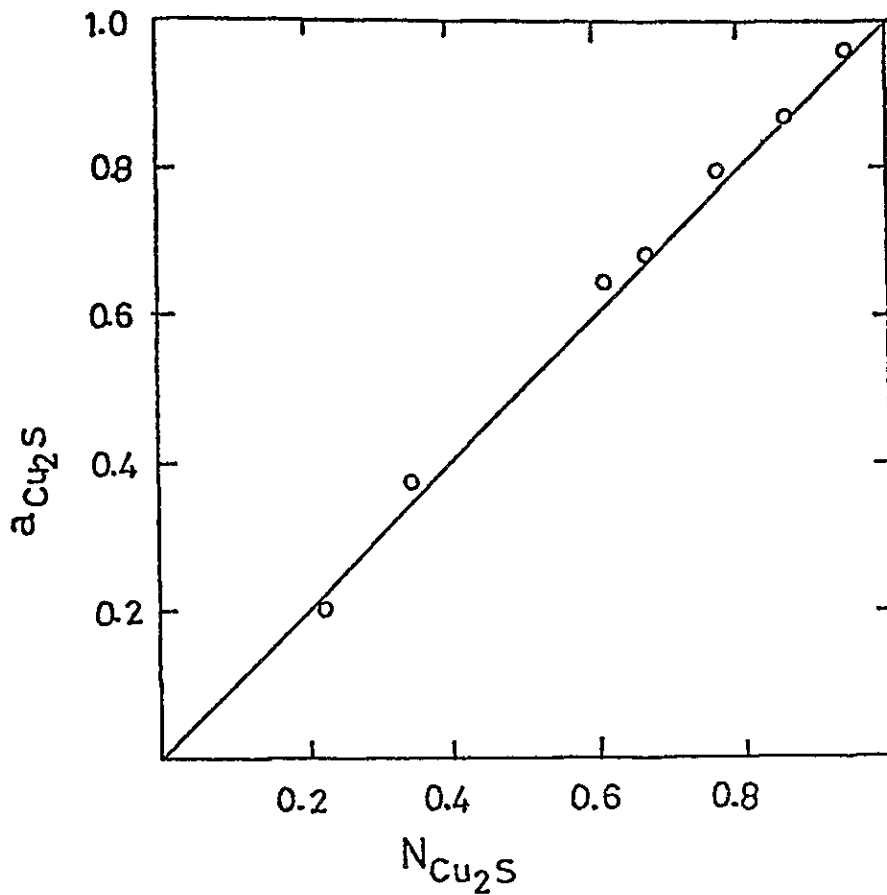


Figure 16. Activity of Cu₂S against mol fraction of Cu₂S in matte

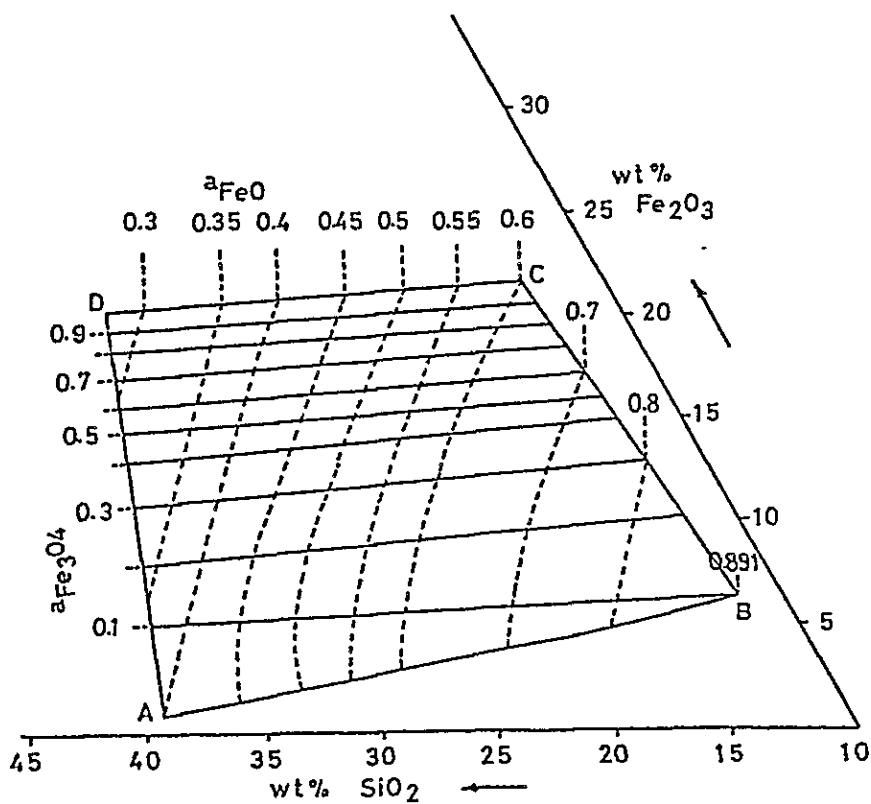


Figure 17. Iso-activity curve of FeO-Fe₂O₃-SiO₂

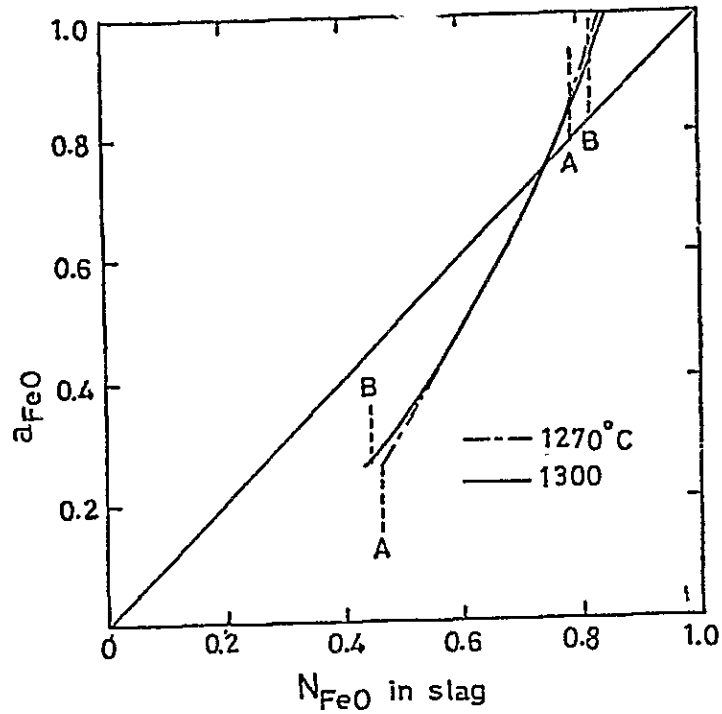


Figure 18. Activity of FeO against mol fraction of FeO in slag

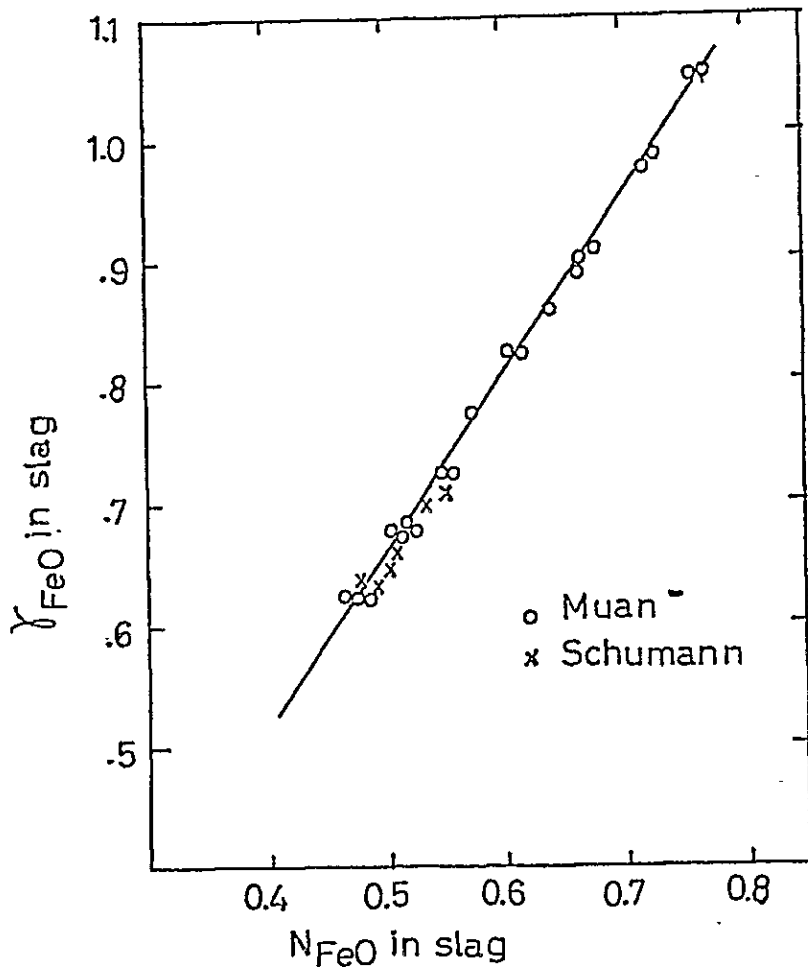


Figure 19. Activity coefficient against mol fraction of FeO in slag at 1270 C

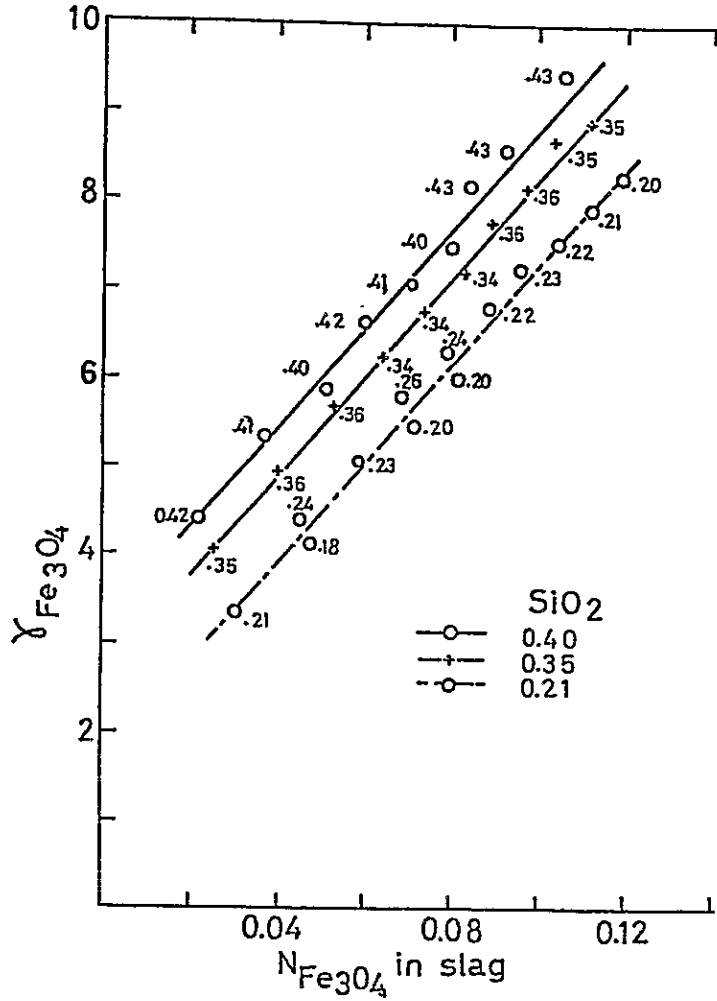


Figure 20. Activity coefficient against mol fraction of Fe_3O_4 in slag

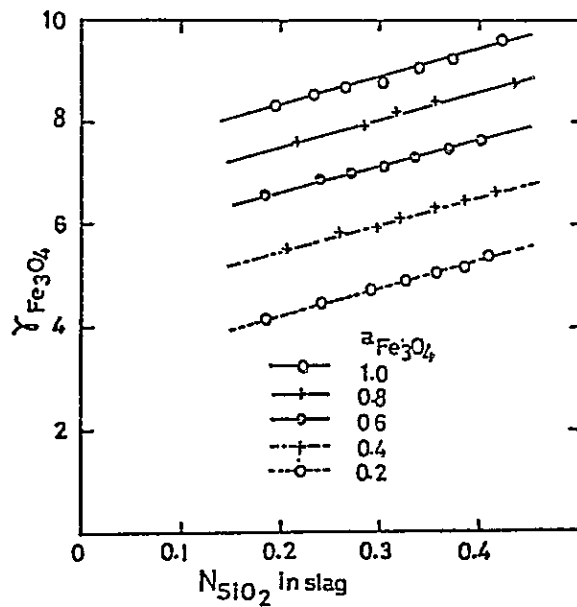


Figure 21. Activity coefficient of Fe_3O_4 against SiO_2 in slag

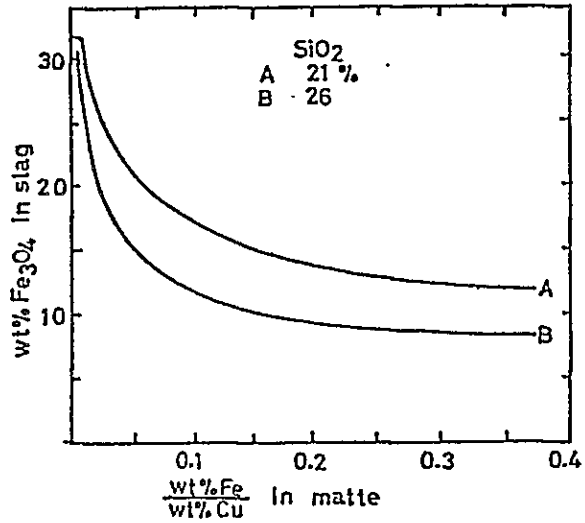


Figure 22. Wt% Fe₃O₄ against matte degree at 1250 C¹⁰⁾

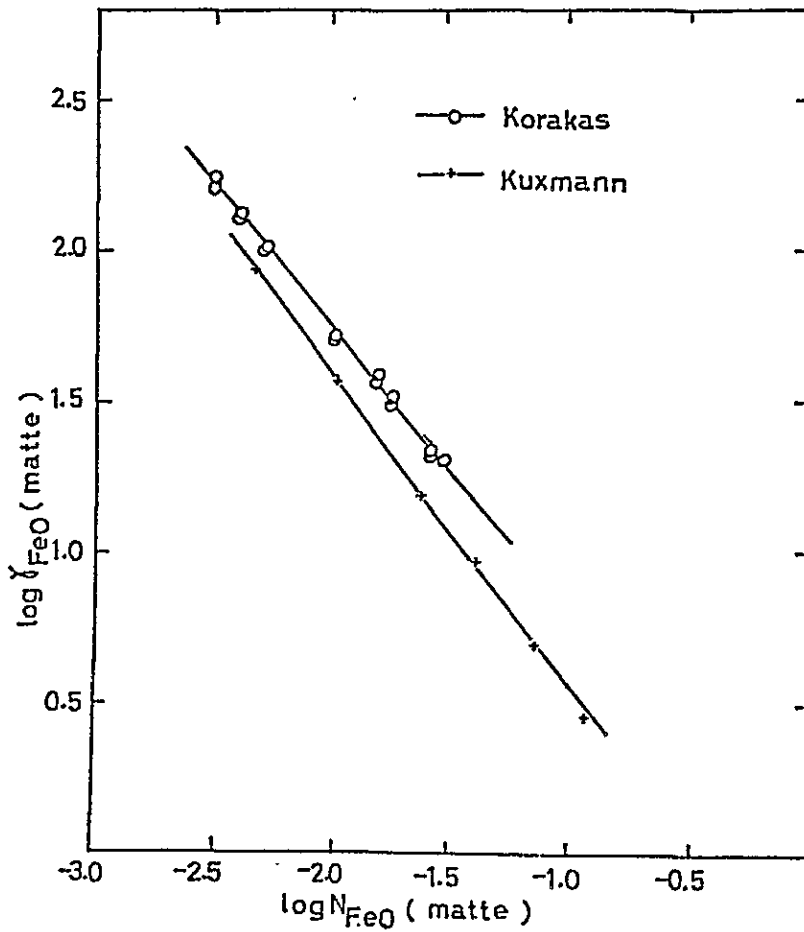


Figure 23. Activity coefficient of FeO against mol fraction of FeO in matte

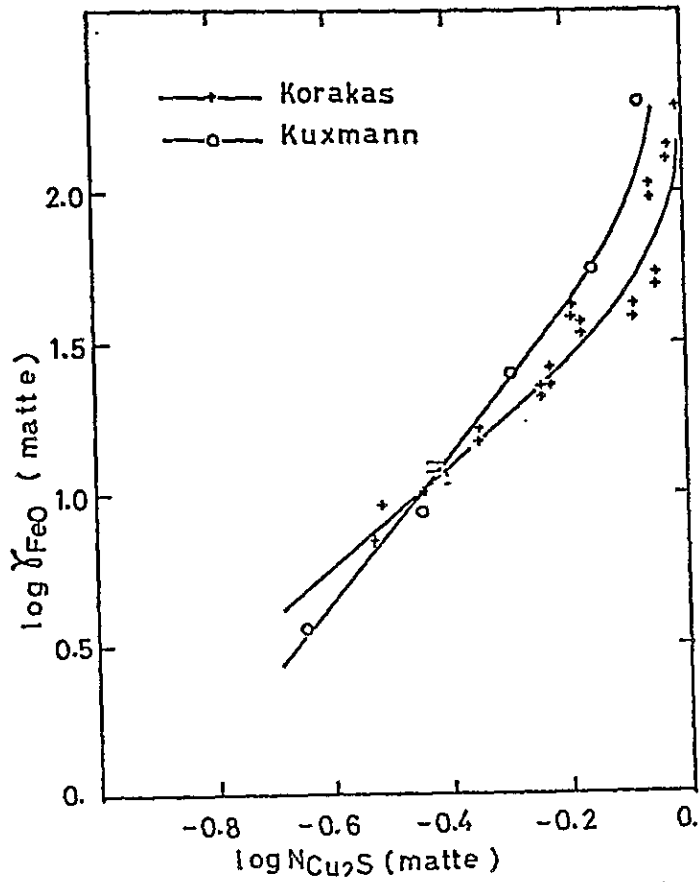


Figure 24. Activity coefficient of FeO against mol fraction of Cu_2S in matte

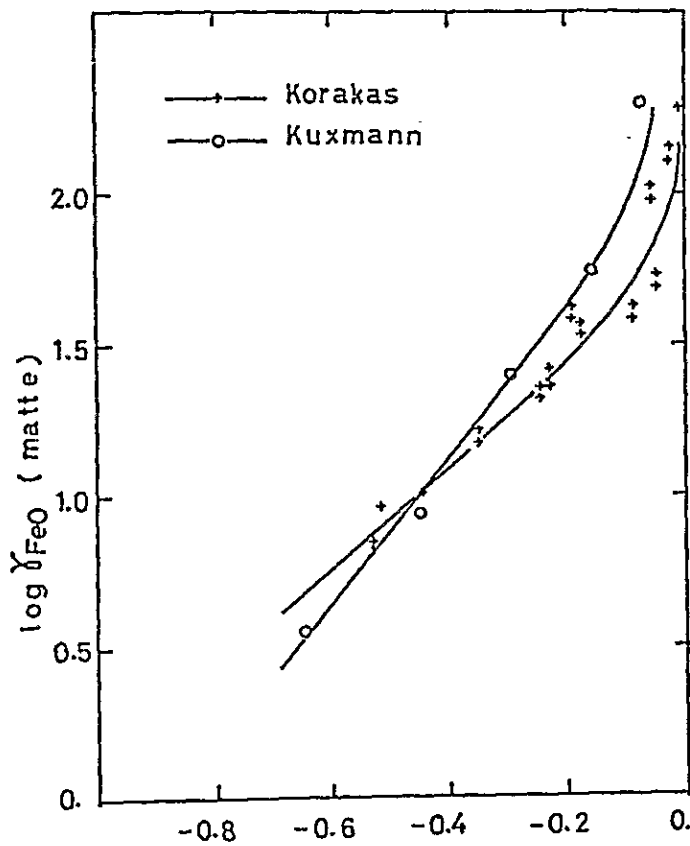


Figure 25. Activity coefficient of Fe_3O_4 against mol fraction of Fe_3O_4 in matte

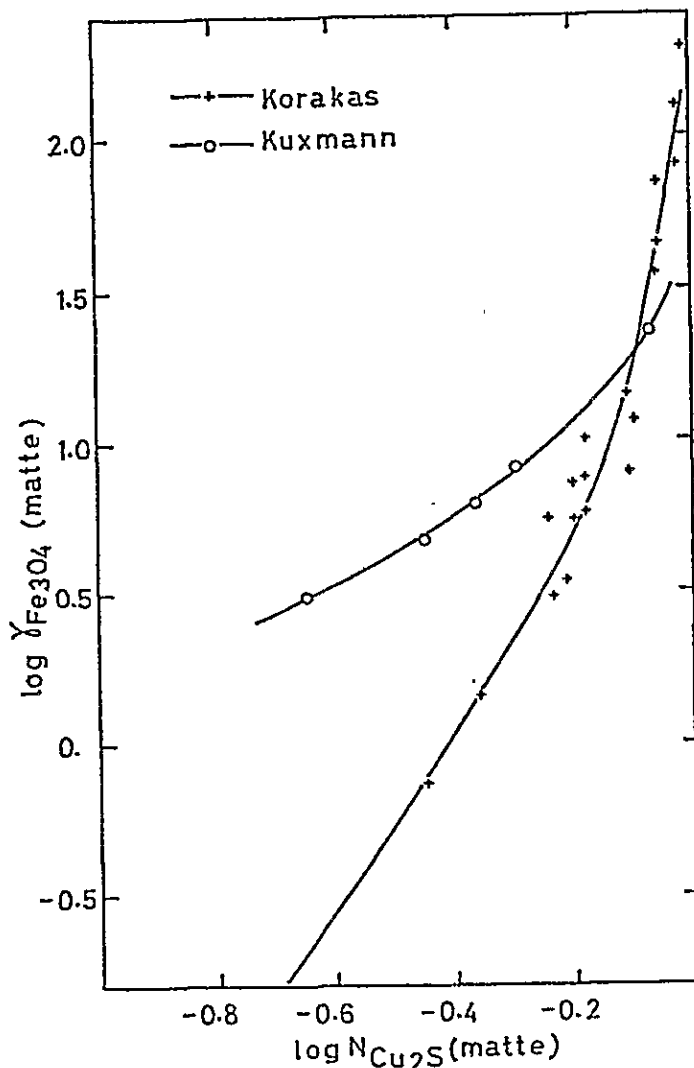


Figure 26. Activity coefficient of Fe_3O_4 against mol fraction Cu_2S in matte

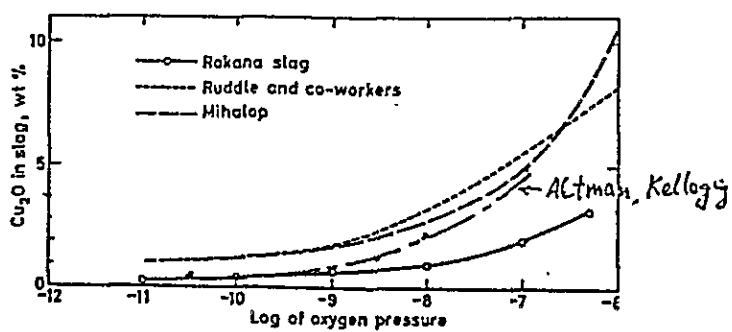


Figure 27. Effect of oxygen pressure on the content of Cu_2O in slag equilibrated with copper

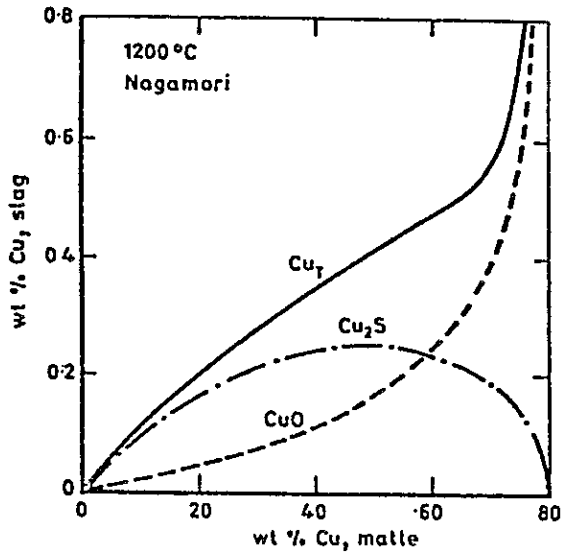


Figure 28. Nagamori's model of dissolved copper in slag³⁰⁾

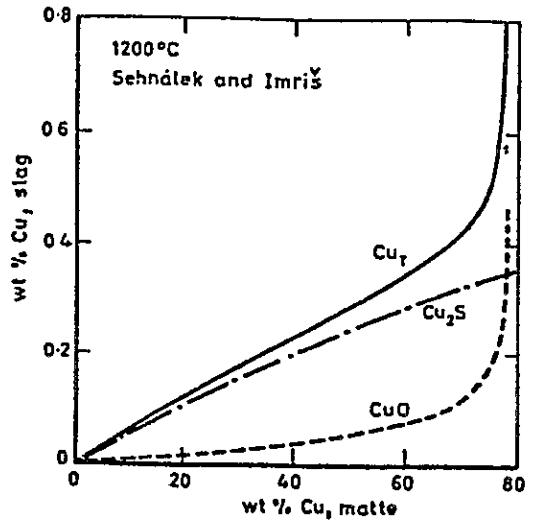


Figure 29. Results of Senalek and Imriš about the dissolution of copper in slag²⁹⁾

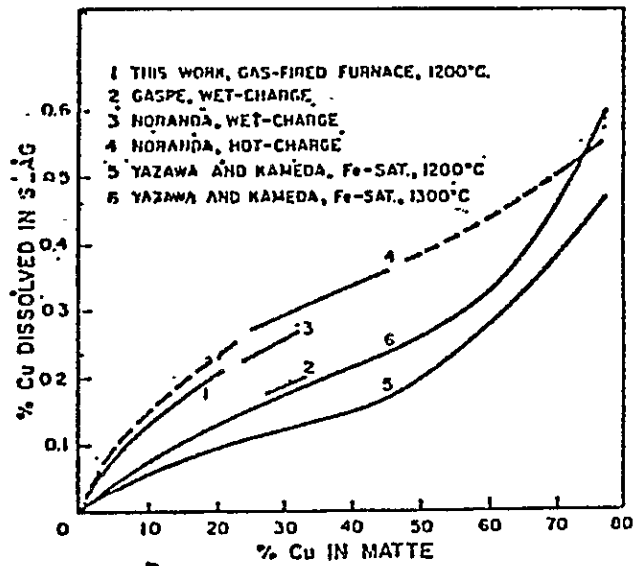


Figure 30. Dissolved copper in slag against matte grade³¹⁾

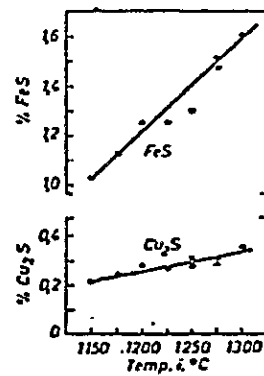


Figure 31. Wt% of Cu_2S and FeS in slag against temperature

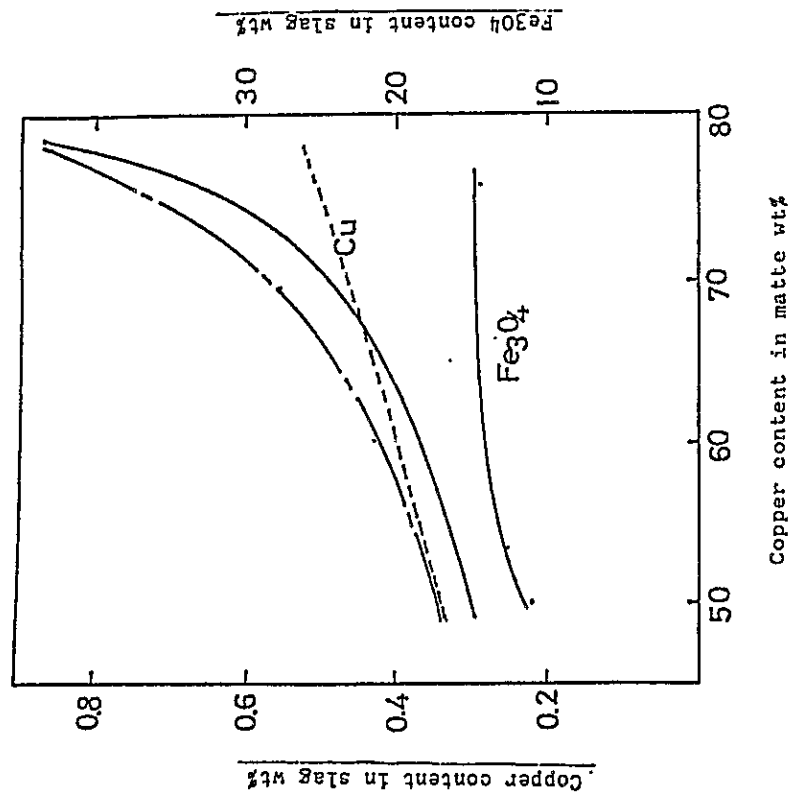


Figure 32. Copper and Fe₃O₄ content in slag against copper content in matte at 1523 K

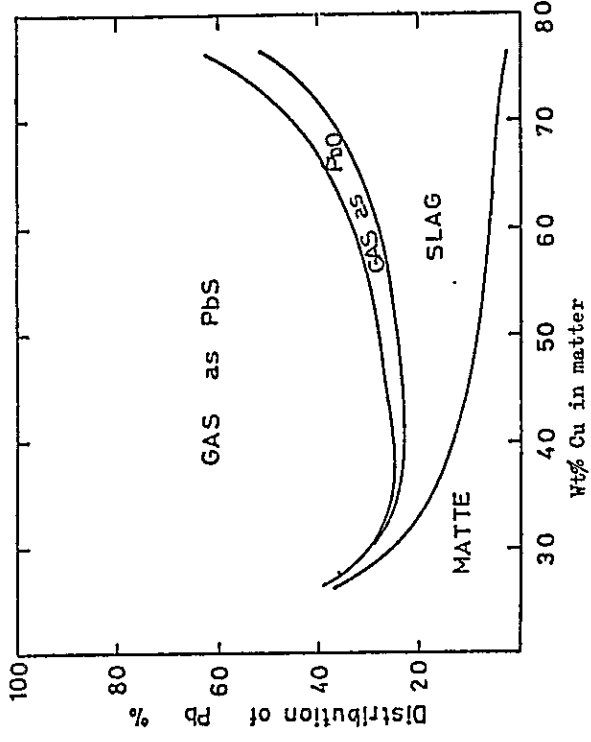


Figure 34. Distribution of lead when activity coefficient of PbS is 1.0

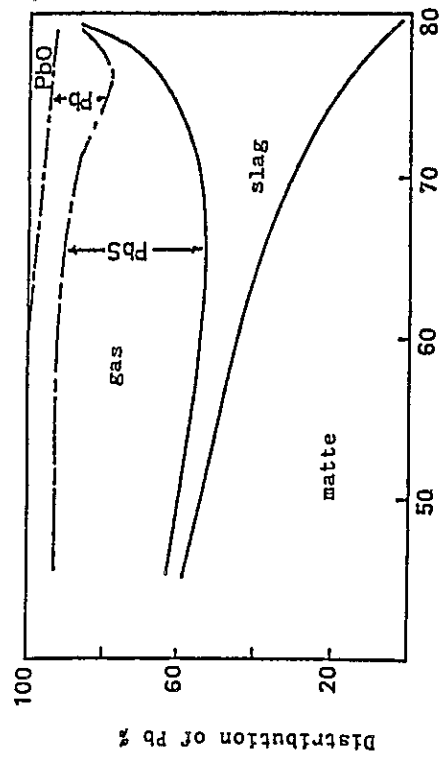


Figure 33. Distribution of lead in smelting furnace in matte, slag and gas at 1250 C by using the data of table 17

Distribution of Various Elements
between Copper, Matte and Slag
by Akira Yazawa*

1. Introduction

In copper smelting, the behaviour of Cu, Fe, S, O and SiO₂ is undoubtedly the most fundamental, but there remain considerable discrepancies among the literatures. Moreover, differing from lead smelting, impurity behaviour is very important in copper smelting; and especially recently in connection with scrap treatment and direct or continuous smelting, the behaviour of impurities is recognized to be one of the most important factors for deciding on the method of copper smelting. However, the behaviour of impurities differs greatly depending on the stage of copper smelting, that is, matte smelting, converting, refining, scrap melting, etc. Thus, it is necessary to discuss such problems for each classified case as shown in Table 1.

2. Thermodynamic Classification for Copper Smelting Processes

To understand the thermodynamic feature for each case in Table 1, the phase relations will be conveniently explained in combination with the chemical potential diagram presented in Fig. 1¹⁾. In this figure, the sulfur-oxygen potential diagram for copper smelting for 1300°C is reproduced.

Case No. 1 in Table 1 is the usual matte smelting process possibly including the first stage of the converting process and corresponds to the region between A and B in Fig. 1. The variations in the oxygen and sulfur potentials are not very significant even when the matte grade reaches 70 per cent copper. The system is essentially composed of five components with the gas, slag and matte phases in coexistence. To carry out thermodynamic experiments, silica crucibles are conveniently used; and this condition is accepted to approach practical conditions.

* Professor, Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy,
Tohoku University, Sendai, Japan.

Therefore, two freedoms remain to be fixed under a given temperature for establishing equilibrium. Examples are P_{SO_2} and P_{S_2} or P_{SO_2} and per cent copper in matte.

Case No. 2 corresponds to reducing matte smelting in a blast furnace or a settling furnace under relatively low oxygen potentials. In extreme cases, this corresponds to the line qrC' in Fig. 1 at metal saturation. On the line qr , the matte and the slag coexists with solid iron and iron crucibles are available for experiments. When the matte grade is more than 50 per cent, the metal phase will be a liquid copper-iron alloy as represented by the line rC' . If the melts are saturated with both metal and silica, just one freedom remains which may be the copper content in the matte. All equilibrating gas partial pressures are so low that the gas phase may be reasonably replaced by nitrogen for equilibrium experiments. Using these simple conditions, the author carried out various experimental studies²).

The typical process corresponding to case No. 3 is the direct production of copper in a single stage as in the Noranda copper mode process carried out previously. However, the converting process of white metal to blister copper is included if liquid slag coexists. In Fig. 1, it is expressed by point C, where the coexistence of three liquid phases is a prominent feature. The system is very important in discussing the direct copper production process; and as suggested by Table 1, it is also interesting from an experimental standpoint because various information among various phases are obtained by simply regulating the SO_2 partial pressure.

In the Mitsubishi converting furnace calcium ferrite slag is used with the exclusion of the white metal phase. Under simplified conditions, this system can be considered as the quaternary system shown in case No. 4. If we use CaO crucibles the regulation of oxygen potential alone will be enough to establish equilibrium for experiments.

Case No. 5 corresponds to scrap melting or black copper smelting from oxide ore under the coexistence of a fayalite type slag. The system also excludes sulfur as an essential component and is rather simple to investigate.

If the process does not include SiO_2 or CaO , the melting of copper metal will reduce to a ternary system corresponding to case No. 6 and

includes the usual refining processes such as the anode furnace, the cathode furnace and the finishing stage of converting.

Because sulfur is not an essential component in cases No. 4, 5 and 6, variations occur only in oxygen potential as noted in the lefthand copper-slag region in Fig. 1.

3. General Behaviour of Principal Elements During Oxidation Smelting

Before discussing the distribution of impurities for each respective case, the general behaviour of the principal elements such as Fe, S, O and especially the distribution of copper must be understood. If the smelting process is carried out under a fixed SO_2 potential of 0.1 atm., the variation of the compositions of these elements is reproduced in Fig. 2³) where the percentages are plotted against oxygen potential for 1300°C. In this figure, the matte smelting stage is restricted to the extreme left region because the variation of oxygen potential is very small; and this is followed by the first stage converting process to produce white metal. In these stages corresponding to case No. 1, the dissolution of copper in slag is less than 1 per cent.

From the standpoint of oxygen potential the second stage converting process covers a rather wide range and a considerable increase is observed in the copper content in slag even in the variation of copper in the matte phase is very small.

At around a $\log P_{O_2}$ of -6.3, conversion of white metal to blister copper takes place and corresponds to the Noranda copper mode carried out under the coexistence of a slag. The distribution of the principal elements are given also in Table 1 and shows that Cu metal, 60% Cu white metal and 6 to 7% Cu silicate slag coexist.

The Mitsubishi converting furnace will be under operation at a $\log P_{O_2}$ of -5.5 with the coexistence of 99% Cu metal and 10% Cu ferrite slag. The content of sulfur in the melts is so small that is negligible as shown in case No. 4.

During the oxidation period in the anode furnace or cathode furnace refining, the oxygen potential will be a little higher in order to decrease impurities. Therefore, the coexisting slag must contain more copper, approximately 20 to 40 per cent; and this corresponds to case No. 6.

4. Distribution of Various Elements for Each Case

To date, there have been many practical observations for the distribution of various elements in the copper smelting system. However, little data is available from the strict thermodynamic sense. In the author's laboratory, an experimental study was completed mainly for case No. 3 in Table 1. To discuss the whole area of copper smelting by referring to previous data, an explanation will be given by starting at case No. 6 and gradually returning back to case No. 1.

In case No. 6, the slag is in copper ferrite system; and the phase diagram for the $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ binary was constructed in the author's laboratory, which is represented in Fig. 3⁴⁾. It should be noted that up to 15 per cent of Cu_2O can dissolve in Fe_3O_4 as a solid solution, and this solid slag corresponds to the finishing stage in the converting process. Depending on the oxidation degree, i. e., oxygen content in molten copper, the Cu_2O content in the equilibrating solid magnetite varies. However, if the melt is over blown, liquid slag must appear. This liquid Cu_2O slag is the principal melt in the anode or cathode furnace slag although some SiO_2 or even CaO is added in practice to decrease the Cu_2O content in the slag.

If the distributions of the other metals are taken into account in case No. 6, the Cu-M-O system is the most fundamental, and various experimental studies are found in the literature⁵⁾. Accompanying the recent development for the use of solid electrolytes, further data will be accumulated in this field.

For case No. 5, several experimental data are available with excellent agreement⁶⁾. Because copper dissolves in the slag in the form of CuO , the content of copper in slag is proportional to P_{O_2} . Nagamori⁷⁾ also carried out experiments for the distribution of various impurities between molten copper and slag.

For case No. 4, few data are available. In Fig. 4, the copper content in ferrite slag saturated with CaO is plotted against $P_{\text{O}_2}^{1/4}$, and also suggests linear relation. In comparison with silicate slags, the results are considerably lower at the same oxygen potential. Although a homogeneous liquid iron silicate slag is limited by Fe_3O_4 separation at 10^{-6} to 10^{-7} of P_{O_2} , the ferrite slag is not limited by the troublesome separation of solid magnetite. The ratio of $\text{Fe}^{\text{III}}/\text{Fe}^{\text{II}}$ in the ferrite slag is one order higher than that in the silicate slag as shown in Fig. 5.

Equilibrium experimental data is not yet available for the distribution of minor elements between copper and ferrite slag, but these experiments are being initiated at this time in the author's laboratory. Because the activity relations in ferrite slag differ from those in silicate slags as shown in Fig. 6⁸), the impurity behaviour must also be quite dissimilar.

Experimental studies were carried out in the author's laboratory for case No. 3⁹,10). Using a silica crucible, copper, white metal and slag were brought into equilibrium at 1300°C under a definite SO₂ pressure which corresponded to oxygen potential. To confirm equilibrium, a copper-silver alloy was used periodically instead of pure copper. Some of the results obtained for the basic Cu-Fe-S-SiO₂ system are used also in Fig. 2. Distributions of minor elements such as As, Sb, Ni, Pb and Co were investigated using a similar technique, and the results were plotted against log Pso₂ using the distribution ratios defined as follows:

$$L_x^{\frac{c}{s}} = \frac{\%X \text{ in metal}}{\%X \text{ in slag}} = \frac{K' \cdot \gamma_{x0}}{P_{SO_2}^{\frac{1}{2}} \cdot \gamma_x}$$

$$L_x^{\frac{c}{w}} = \frac{\%X \text{ in metal}}{\%X \text{ in white metal}} = \frac{K' \cdot \gamma_{xs}}{\gamma_x}$$

$$L_x^{\frac{w}{s}} = \frac{\%X \text{ in white metal}}{\%X \text{ in slag}} = \frac{L_x^{\frac{c}{w}}}{L_x^{\frac{c}{s}}} = \frac{K' \gamma_{x0}}{K' \gamma_{xs} P_{SO_2}^{\frac{1}{2}}}$$

were, k' and k'' are constants derived by free energy data, γ_{x0} , γ_{xs} and γ_x are the activity coefficients of X₀, X_S and X in the slag, white metal and copper metal, respectively, when X is the divalent minor element. The detailed explanations are given in a separate report¹⁰). When we plot $L_x^{\frac{c}{s}}$ against log Pso₂, the experimental results will be expected to show linear behaviour with a slope determined by the dissolved species in the slag. As shown in Fig. 7, the results obtained for cobalt and lead suggest that these elements dissolve in slag as CoO and PbO. The slope for copper is in agreement with the form, CuO_{0.5}, and the horizontal line for silver suggests metallic dissolution in slag. However, the experimental results for As and Sb represent lower slopes

that expected for the form of $XO_{1.5}$, and do not necessarily show straight lines. Nagamori⁷⁾ claimed that both As and Sb must dissolve in slag in the metallic state and not as an oxide. The present author estimates that at lower oxygen potentials these elements are dissolved in the metallic state with roughly $L_{As}^{c/s} = 200$ and $L_{Sb}^{c/s} = 30$. However, at higher oxygen potentials the contribution in the form of $XO_{1.5}$ will gradually increase.

The general tendency shown in Fig. 7 agrees well with the data of previous investigators obtained in the two liquid copper-slag system. The order of concentrations in the metal phase can be arranged as:

As, (Ag) (Cu) Sb Ni Pb Co

The detrimental elements, arsenic and antimony are highly concentrated in the metal phase while the valuable cobalt tends to be lost into the slag.

Judging from the equation described above and using thermodynamic data, the activity coefficients of respective oxide in silica-saturated slag can be derived as follows:

$$\gamma_{PbO} = 0.25, \quad \gamma_{NiO} = 3, \quad \gamma_{CoO} = 0.8, \quad \gamma_{SbO_{1.5}} = 0.4$$

If we can assume that the activity coefficient of the oxides are reasonable, the contents of the elements in slag may be estimated without experiment.

Fig. 8 shows the distribution ratios between copper and white metal plotted against $\log P_{SO_2}$. The ratios are all greater than unity, and therefore these elements are concentrated in the metal phase rather than white metal. The order of the ratios is given below and the general trends agree well with those obtained by Asano¹¹⁾ and Nagamori¹²⁾.

As Sb Pb, Ni, (Ag). Co, (Cu)

It should be noted that the experimental results in Fig. 8 are horizontal and do not show any appreciable dependence on $\log P_{SO_2}$. This tendency is expected from the equation described above where the ratio, $L_x^{c/w}$, is simply proportional to γ_{xs} / γ_x .

At first sight, the derivation of the value, γ_{xs} , in white metal seems possible from the experimental results. In fact, it is nearly impossible because most part of the As, Sb, Ag, and even Pb and Ni, may exist in white metal in metallic form.

The distribution ratios between white metal and slag which are

combinations of $Lx^{c/s}$ and $Lx^{c/w}$, are illustrated in Fig. 9 and the order is as follows:

(cu), (Ag) As Sb Ni Pb Co

As suggested from the equation 3, the dependence on P_{SO_2} is also observed, but because of the complexity of the existing form a detailed discussion is difficult.

A detailed explanation for distribution of impurities are given above for case No. 3 corresponding to point C in Fig. 1. where the conditions are approximately fixed except for a small variation in SO_2 pressure. However, it is quite interesting to consider these distribution ratios when the oxygen potential decreases, when the metallic phase is excluded, or when the matte grade decreases. These questions correspond to cases No. 2 and No. 1.

In the region rC' in Fig. 1, three liquid phases, copper alloy, matte and slag coexist. However, because of the very low oxygen potential in comparison with point C, the distribution of impurities will differ considerably. In the author's laboratory, the data was obtained for lead as illustrated in Fig. 10 where the distribution ratios for lead are plotted against copper grade in matte. In the figure, the points at 80 per cent Cu matte correspond to the data from case No. 3, i. e., in Fig. 7, 8 and 9. The decreased oxygen potential in the region $C'r$ decreases the content of Pb in slag; and as a results, the ratio, $L_{Pb}^{c/s}$, increases sharply and the ratio, $L_{Pb}^{m/s}$, also increases. However, it is interesting that the ratio, $L_{Pb}^{c/m}$, remains constant at around 3.7, suggesting that the distribution ratio between copper and matte is not influenced by oxygen potential as already suggested by the horizontal behaviour shown in Fig. 8.

If the matte grade is less than 50% Cu corresponding to qr in Fig. 1, γ -Fe must be present instead of the molten copper alloy. In this region, the experimental results show a rather definite distribution ratio between matte and slag, i. e., $L_{Pb}^{m/s}$ value of around 11 to 15, but decreases slightly with decreasing matte grade. This corresponds to the minimum oxygen potential in equilibrium between matte and slag. In practical matte smelting, the oxygen potential is in a higher region around AB in Fig. 1 corresponding to case No. 1. In the author's laboratory, data were obtained under 1 and 10% SO_2 as illustrated in

Fig. 10, suggesting that the $L_{Pb}^{m/s}$ value is nearly constant at around 6. These distribution ratios between matte and slag are agreeable with data in practice.

5. Conclusions

The behaviour of minor elements in the copper smelting system is rather complicated, and there remain many problems to be investigated experimentally. Undoubtedly, it is greatly influenced by the existence of a copper metal phase and by oxygen potential. If a copper phase is present, various detrimental impurities tend to concentrate in the metallic copper¹³⁾. Higher oxygen potentials seem to enhance the oxidation of impurities into the slag; but at the same time, this results in a higher copper loss in the slag and tends to create a metallic copper phase. Although the distribution of impurities in the gaseous phase, i. e. elimination by volatilization, has not been discussed in this article, the detrimental elements must be removed initially during matte smelting by volatilization¹⁴⁾ if proceeding from the concentrate. Even so, practical engineers are sometimes forced to try to remove detrimental elements from liquid copper. The change of distribution ratios by additions such as soda or lime are well known practical techniques. Therefore, the distribution ratios must be investigated under varying conditions.

References

- (1) A. Yazawa : *Can. Met. Quart.* 13 (1974), 443.
- (2) A. Yazawa and M. Kameda : *The Technology Reports of Tohoku University*, 18 (1953), 40; 19 (1954), 1; 239, 251; 21 (1956), 31.
- (3) A. Yazawa : *Erzmetall*, 30 (1977), 511.
- (4) A. Yazawa and M. Eguchi : *Extractive Metallurgy of Copper*, edited by J. C. Yannopoulos and J. C. Agarwal, 1976, AIME.
- (5) F. Pawlek et. al : *Erzmetall* 12 (1958), 267; 14 (1961), 520; 17 (1964), 550; *Metall*, 17 (1963), 1103
- (6) C. Diaz : *The Thermodynamic Properties of Copper-Slag Systems*, 1974, INCRA.
- (7) M. Nagamori, P. J. Mackey and P. Tarassoff : *Met. Trans.* 6B (1975), 295.
- (8) Y. Takeda and A. Yazawa : Unpublished paper.
- (9) M. Eguchi and A. Yazawa : *Trans. Japan Inst. Metals*, 18 (1977), 353.
- (10) M. Kashima, M. Eguchi and A. Yazawa : *Trans. Japan Inst. Metals*, 19 (1978), 152.
- (11) N. Asano et. al : *Suiyokaishi*, 14 (1962), 467; 16 (1968), 385.
- (12) M. Nagamori, P. J. Mackey and P. Tarassoff ; *Met. Trans.* 6B (1975), 197.
- (13) P. J. Mackey, G. C. Mckerrow and P. Tarassoff : Paper presented at the 104th AIME Annual Meeting, New York, Feb. 1975.
- (14) A. Yazawa and T. Azakami : *Can. Met. Quart.*, 8 (1969), 257

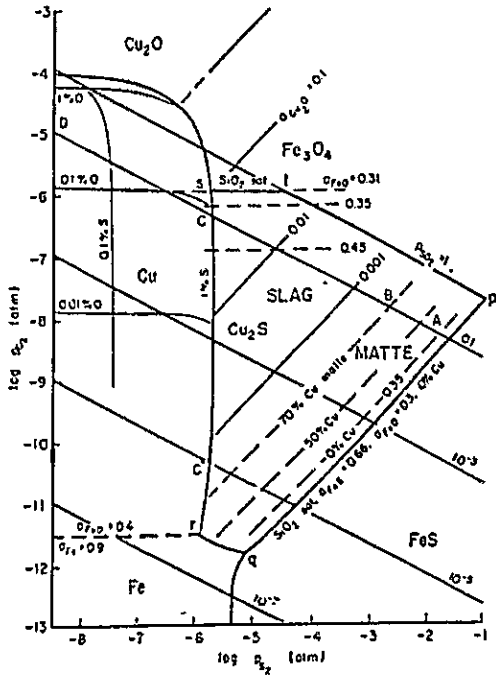


Figure 1. Sulphur-oxygen potential diagram for the system Cu-Fe-S-O-SiO₂ at 1300°C.

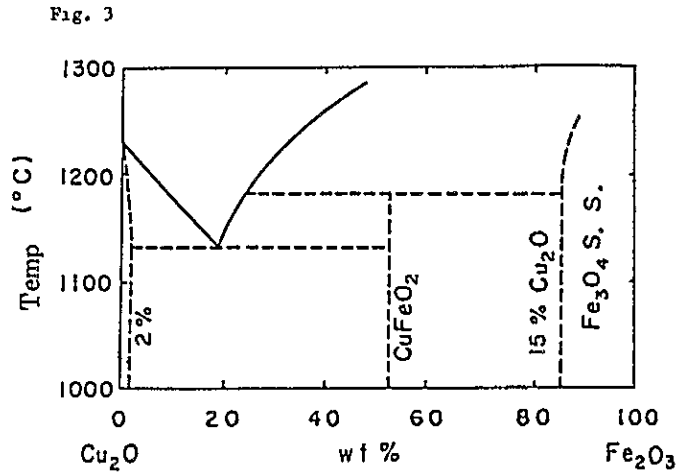


Fig. 2

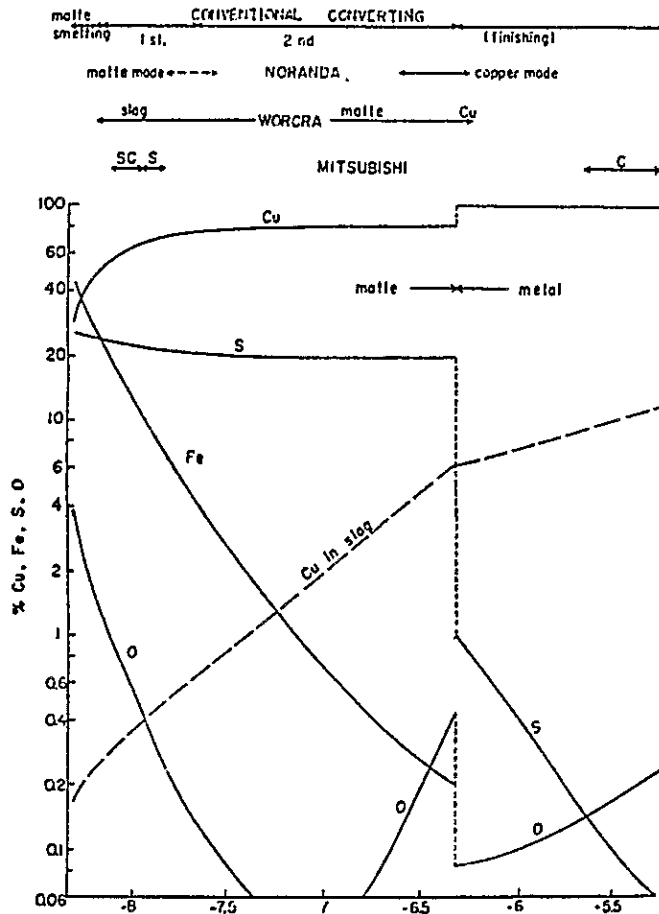


Fig. 3

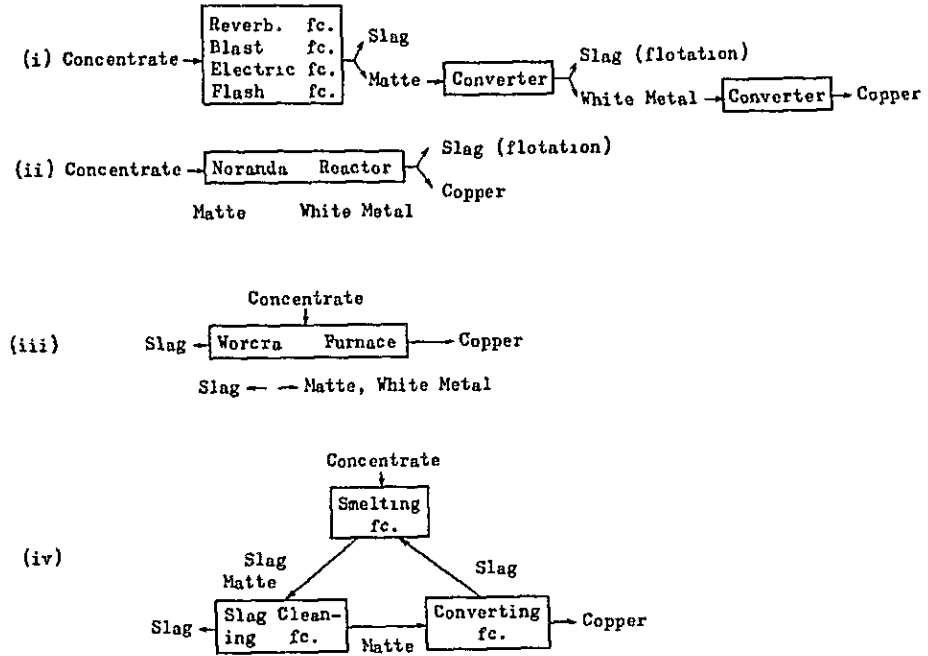


Fig. 4

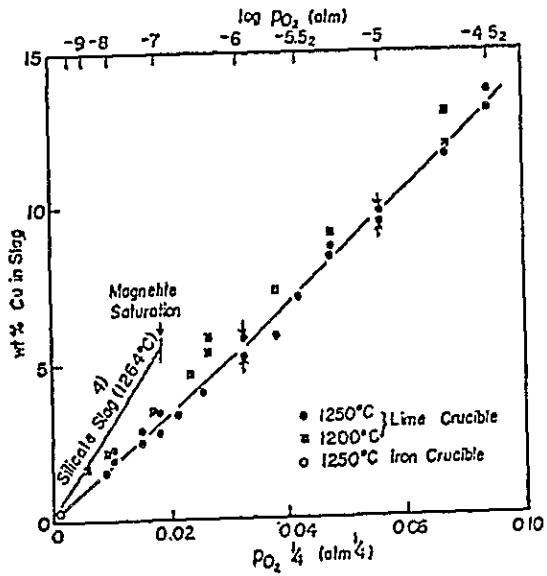
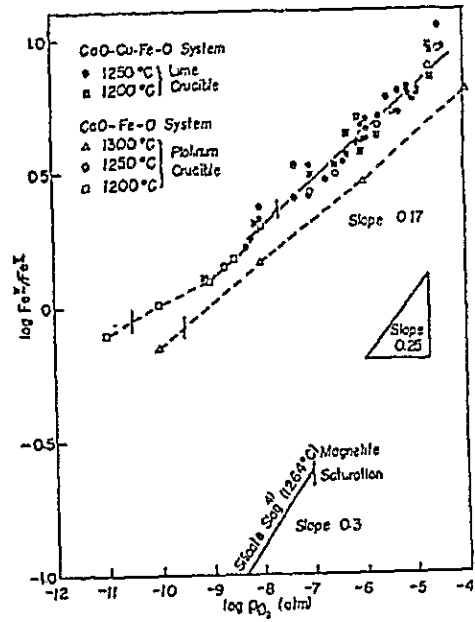


Fig. 5



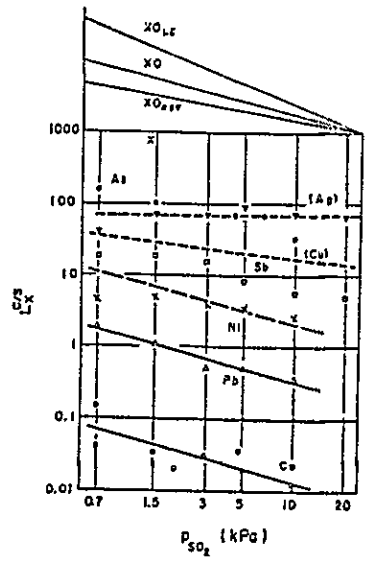
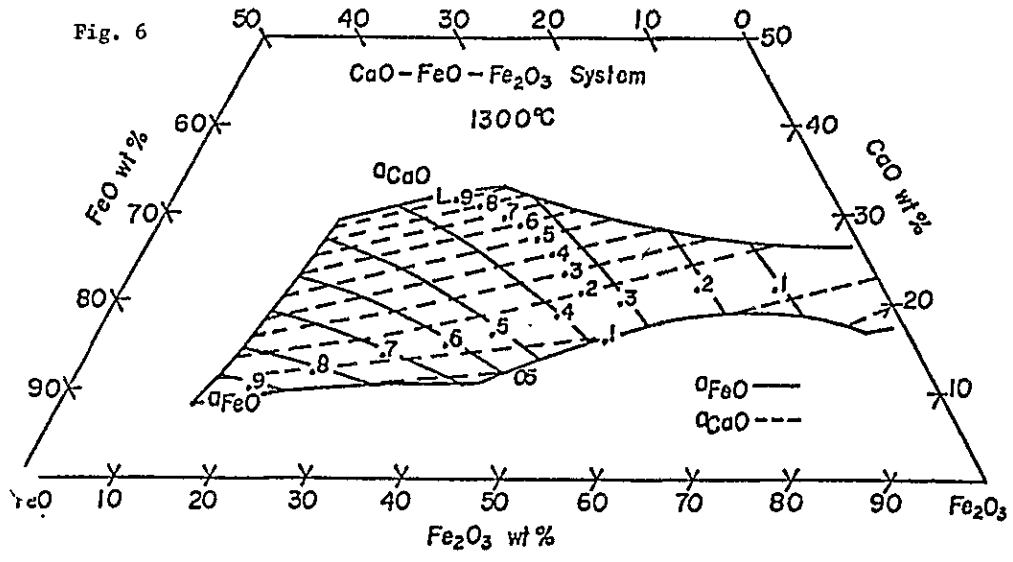


Fig. 7 The relation between $L_X^{c/s}$ and P_{SO_2} for minor impurity elements.

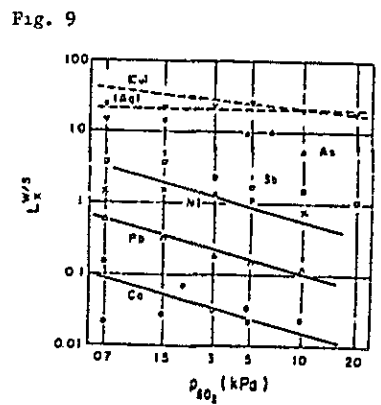
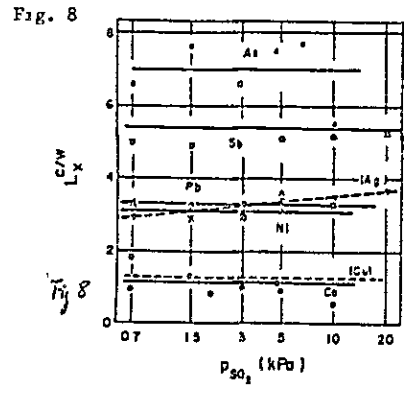
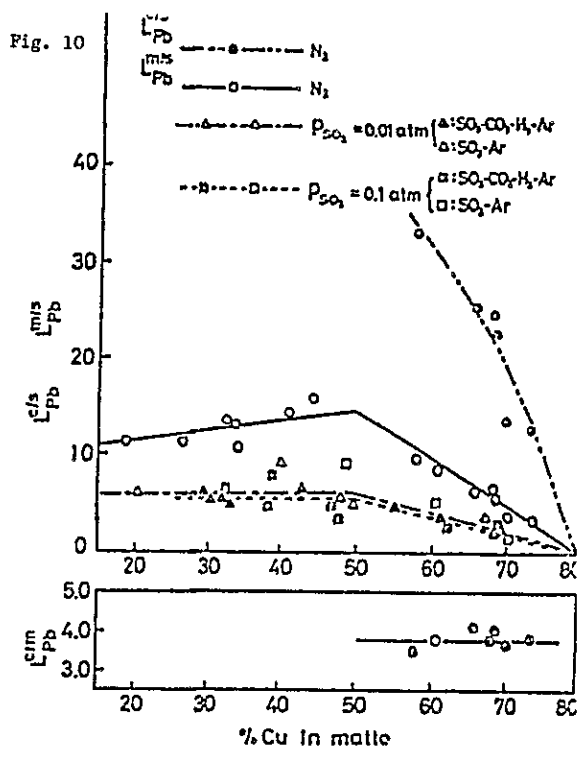


Table 1 Classification of Copper Smelting Processes

No.	1	2	3	4	5	6																			
Process	Matte Smelting Lst. Converting (Oxidation)	Matte Smelting Reducing Bl. fc Settling fc.	Noranda Copper Mode	Mitsubishi Converting fc.	Scrap, Black Copper Melting	Refining																			
Component	Cu-Fe-S-O-SiO ₂	Cu-Fe-S-O-SiO ₂	Cu-Fe-S-O-SiO ₂	Cu-Fe-O-CaO	Cu-Fe-O-SiO ₂	Cu-Fe-O																			
Phase	<table border="1"> <tr><td>Gas</td></tr> <tr><td>Slag 0.2~0.7 Cu ~60 FeO</td></tr> <tr><td>Matte 30~70 Cu 40~5 Fe 3~0.2 O</td></tr> </table> (SiO ₂)	Gas	Slag 0.2~0.7 Cu ~60 FeO	Matte 30~70 Cu 40~5 Fe 3~0.2 O	<table border="1"> <tr><td>Gas</td></tr> <tr><td>Slag</td></tr> <tr><td>Matte</td></tr> </table> (SiO ₂)(Metal)	Gas	Slag	Matte	<table border="1"> <tr><td>Gas</td></tr> <tr><td>Slag 6~7 Cu ~60 FeOx</td></tr> <tr><td>White Metal 80 Cu 0.5 O</td></tr> <tr><td>Copper 99 Cu 1 S</td></tr> </table> (SiO ₂)	Gas	Slag 6~7 Cu ~60 FeOx	White Metal 80 Cu 0.5 O	Copper 99 Cu 1 S	<table border="1"> <tr><td>Gas</td></tr> <tr><td>Ferrite Slag ~10 Cu 65 Fe₃C₄</td></tr> <tr><td>Copper 99 Cu 0.1 S</td></tr> </table> (CaO)	Gas	Ferrite Slag ~10 Cu 65 Fe ₃ C ₄	Copper 99 Cu 0.1 S	<table border="1"> <tr><td>Gas</td></tr> <tr><td>Slag</td></tr> <tr><td>Copper</td></tr> </table> (SiO ₂)	Gas	Slag	Copper	<table border="1"> <tr><td>Gas</td></tr> <tr><td>Fe₃O₄-Cu₂O</td></tr> <tr><td>Copper</td></tr> </table>	Gas	Fe ₃ O ₄ -Cu ₂ O	Copper
Gas																									
Slag 0.2~0.7 Cu ~60 FeO																									
Matte 30~70 Cu 40~5 Fe 3~0.2 O																									
Gas																									
Slag																									
Matte																									
Gas																									
Slag 6~7 Cu ~60 FeOx																									
White Metal 80 Cu 0.5 O																									
Copper 99 Cu 1 S																									
Gas																									
Ferrite Slag ~10 Cu 65 Fe ₃ C ₄																									
Copper 99 Cu 0.1 S																									
Gas																									
Slag																									
Copper																									
Gas																									
Fe ₃ O ₄ -Cu ₂ O																									
Copper																									
Freedom at T	3 (2)	3 (1)	2 (1)	2 (1)	2 (1)	1																			
Controlling Atmosphere	SO ₂ , S ₂ (SO ₂ , % Cu)	Replaced by N ₂ (% Cu)	SO ₂ (=O ₂)	Po ₂	CO-CO ₂ (=O ₂)	Po ₂																			

Lima, 5 de Marzo de 1979.

OFICIO N° 118/DGM-DCFM

Senores: Masao Wada
Ryohei Nagasawa
Toshio Murakoshi

Miembros del Equipo Consultor Técnico de JICA

A asunto: Visita al Perú - Su plan 1979

Me es grato dirigirme a Uds. para darles la bienvenida a nuestro país y al mismo tiempo reiterar por escrito nuestra satisfacción por los acuerdo a que hemos llegado en la mañana de hoy con respecto al asunto de la referencia.

- 1) La Dirección General de Minería recibirá con mucho agrado su visita las veces que Uds. lo soliciten para tratar sobre las actividades del Proyecto de Cooperación Técnica Peruano-Japonesa sobre Seguridad Minera.
- 2) Es de mi conocimiento y cuenta con mi aprobación el Plan de Trabajo para 1979 presentado por la Misión Japonesa.
 - a) El Ingeniero Toshimasa Kuga, integrante del actual Equipo de Expertos Japoneses, durante su permanencia en el Perú ha colaborado y dado muestras de eficiencia profesional. Por lo tanto, solicito a Uds. se prorrogue su permanencia al frente del Proyecto, y en caso de no ser posible, sea reemplazado por otro experto.
 - b) La contraparte peruana tiene programada y dispuesta la realización de estudios en la Fundición La Oroya de Centromin-Perú y en la Fundición de Cobre de Ilo de Minerero Perú, con nuevos expertos metalurgistas del Japón que llegarán en el mes de Marzo, 1979.
 - c) Este Despacho dispondrá lo necesario para que los Guías Japoneses, al llegar en Setiembre u Octubre, encuentren amplia colaboración de la contraparte peruana.

- d) Considerando la necesidad de perfeccionamiento y capacitación técnica de profesionales peruanos en el Japón, en las especialidades de Seguridad e Higiene Minera, solicito se amplíe a cuatro el número de becas para 1979, en períodos variables de duración.
 - e) Para este año estamos a la espera de equipos e instrumentos, anotados en el Convenio de Cooperación Técnica firmado en Octubre de 1977; por otro lado, siendo necesario para los trabajos de INGEOMET disponer de una planta piloto metalúrgica y equipos de laboratorio, es conveniente incrementar el presupuesto asignado para este rubro, sujeto a la opinión de expertos japoneses residentes.
- 3) La Dirección General de Minería, les hace presente su mayor agradecimiento por la cooperación y ayuda brindada por el Gobierno Japonés y aprovecha la oportunidad para expresarles los sentimientos de su especial consideración.

Dios guarde a Uds.

公文書番号 №118/DGM-DCFM

J I C A テクニカル・ガイダンス・チーム

和 田 雅 夫 殿

長 良 平 殿

村 越 俊 雄 殿

件 名 : ベルー御訪問と1979年計画について

謹啓 このたびはようこそ御来秘下さいました。

首題の件で今朝ほどあなた方と話し合ったことに関し私の考えをここに文書にして差し上げたいと存じます。

- 1) 日本政府による対ベルー鉱山保安技術育成プロジェクトの実施のため御来秘下さることいつでも当鉱山総局は歓迎いたします。
- 2) 日本ミッションにより御提案のあった1979年の実施計画について私方としては概ね次のとおり考え、かつ希望いたします。
 - a) 日本人派遣専門家のうち、久賀俊正氏の任期のことにつきましては、同氏がよくその技術協力の実をあげておられることに鑑み当初が任期が満了しても更に延長されることを望みます。これが不可能な場合には同氏に代る専門家を任命されるよう希望いたします。
 - b) 1979年3月に御来秘される製錬所調査チームについては、ベルー側カウンター・パートはセミトロミン社のオロヤおよび、ミネロベルーのイロの両製錬所における調査を実施されるべく準備が出来ております。
 - c) 当鉱山総局としては、9月もしくは10月に御来秘されるテクニカル・ガイダンス・チームに対し充分な便宜供与をさせていただきます。
 - d) ベルー人技師の日本における研修の重要性に鑑み、1979年の研修生受入れは4人に拡大していただき2種類の期間（短期2人、長期2人の意）で受入れをお願いする次第です。
 - e) 機材供与の件につきましては、1979年10月調印の協定（R/Dの意）の記載された機器を期待しており、今回はINGEMMETが選鉱パイロットプラントとさらに、ラボラトリーでの機器等を必要としていますので現在お考えなられている予算額（40百万円）を若干増額して頂けるならば幸甚の至りであります。
- 3) おわりに、当鉱山総局としては皆様方に日本政府による本件技術協力に大変感謝しておりますことをこの機会を借りて申し添える次第です。

敬 具

1. 巡回指導上の重点

このプロジェクトで扱う鉱山保安の仕事は次の特色を持っている。

- i) 仕事の範囲が極めて広範囲であること。即ち人に対する危害の防止にとどまらず、施設、環境の保全、資源の有効利用まで含む。
- ii) 対象とする鉱山が千差万別であること。立地、鉱物の種類、含有量、採掘法などの生産方式、操業規模等においてそれぞれ差がある。
- iii) 仕事に限度がないこと。保安という仕事の性格上これで良いという限界がない。本プロジェクトにつき、保安関連各部門について技術的にこまかい数値的目標の設定は論理上必要ではあるが、現実的には個々の数値について合意点を求めることは困難と考えられるので、当面はむしろ技術協力の本筋として各部門にきつく保安マインドと技術をもち、将来自立発展の気構えをもった現地カウンターパートを養成確保することに力点をおくよう指導することが重要と考えられる。

なお、今回の巡回指導・調査の結果は本年9月頃予定の本格的巡回指導チーム（4名、約3週間）派遣の際十分活かすことが考えられる。

2 プロジェクトの概要

1976年4月	在ペルー大使館から要請書受理	
1977年3月	事前調査団派遣 団長房村早大教授	(4名-25日間)
1977年7月	長期調査員派遣	(3名-43日間)
1977年10月	実施協議チーム派遣 団長房村早大教授	(5名-27日間)
1977年10月28日	R/D署名, 協力期間	
	77年10月28日~81年10月27日	(4年間)

技術協力はペルー、動力鉱山省、鉱山総局を協力機関として、別表1の全体計画に従い実施している。

3. プロジェクトの現在までの実施状況

1) 調査団派遣について

ペルー共和国鉱山保安技術育成技術協力事業

I 事前調査団 52.3.1 ~ 52.3.25

	(氏名)	(担当)	(所属機関名)
団長	房村 信雄	総括	早稲田大学理工学部資源工学科教授
団員	鞍掛 素	選鉱・冶金	日本鉱業協会技術部
"	国田 敏彦	保安技術	通商産業省立地公害局鉱山課
"	堀田 高正	採鉱・業務調査	国際協力事業団

II 長期調査員 52.7.1 ~ 52.8.12

堀田 高正	(担当業務) 地質	特別囃宅	52.7.1 ~ 52.8.12
堤 貞夫	機器分析	早稲田大学教育学部助教授	52.7.1 ~ 52.7.30
久賀 俊正	鉱山保安技術	金属鉱業事業団	52.7.11 ~ 52.7.30
谷口 永恭	鉱山保安技術	通産省立地公害局 鉱山課	52.7.22 ~ 52.8.12

III 実施協議チーム 53.10.7 ~ 53.11.2

団員名	担当業務	所属先	派遣期間
団長 房村 信雄	鉱山保安総括 R/D署名	早稲田大学理工学部教授	10月16日~11月2日 (18日)
団員 堀田 高正	採鉱保安技術	国際協力事業団鉱工業開 発協力部	10月7日~11月2日 (27日)
" 沼倉 秀雄	鉱山保安技術	仙台鉱山保安監督部 鉱務監督管理官	10月16日~11月2日 (18日)
" 池田 陽次郎	製錬保安技術	日本鉱業協会技術部	10月7日~11月2日 (27日)
" 鈴木 憲二	プロジェクト立案 企画業務調整	国際協力事業団鉱工業開 発協力部	10月16日~11月2日 (18日)

2) 専門家派遣について

◎ 別表2の53年度専門家派遣実績表に示す長短期の専門家派遣を実施してきており、3月に予定している短期の製錬チームの派遣が実現すれば、ほぼ年次計画に沿ったものになる。

◎ この中昨夏派遣した塵肺調査チームに対する反響が大きくペルー側の関心の度が伺われる。

佐野 辰雄	塵肺検診	(財)労働科学研究所	53.6 ~ 31 (26日間)
房村 信雄	" 検診	早稲田大学理工学部	" "

◎ 現在派遣中の長期専門家は次の4名である。

氏名	担当業務	所属先	派遣期間
堀田高正	チーフ・アドバイザー	国際協力事業団 (日本鉱業(株)出身)	53. 2. 24 ~ 55. 8. 24
向井靖雄	採鉱保安技術	三井金属鉱業(株)	53. 3. 17 ~ 55. 4. 30
久賀俊正	鉱山保安体制整備	通産省	53. 4. 28 ~ 54. 10. 28
中村明	選鉱技術	国際協力事業団 (日本鉱業(株)出身)	54. 1. 21 ~ 56. 1. 21

◎ 3月に予定する製煉分野の短期専門家チームの派遣については別表3のとおり。

3) 研修員の受入れについて

これまで2回に分けて3名を受入れた(いずれも53年度)。

◎ 第一次受入れ

53年9月24日～10月15日 動力鉱山省鉱山統制局長

Mr TEODRO GARCIA BRASQUEZ LARA

本プロジェクトのペルー側運営責任者である本人に我が国の鉱業事情、特に鉱山保安について認識、理解を深めさせ、今後の一般研修費の選択を含め、全体として適正かつ効果的なプロジェクト運営を可能ならしめるように研修・視察を施した。

◎ 第二次受入れ

53年11月10日～54年3月27日 動力鉱山省 労働科学技術研究所標準化推進部長

Mr. JAVIER LI ROBLES

54年1月13日～54年3月27日 ペルー中央鉱山公社 坑内通気主任技師

Mr VICTOR RAUL ESPINOSA SUELDO

前者の研修は鉱山保安、特に環境汚染対策、災害防止、保安規則を中心として技術理論と応用に関する研修、機器類の標準化、品質管理の研修、後者は坑内通気技術についての研修を現在実施中である。

いずれも極めて真剣な態度で研修に臨んでおり、十分所期の目的は達成できたものと判断されるが、今回現地において帰国後の活躍ぶりにつき確認する。

4) 機材供与について

これまで機材予算は予算の制約上、携行機材にとどまっている。

携行機材の主たるものは次のとおり。

- (イ) 長期専門家関係分 — デジタル粉塵計、日立分光光度計、粉塵料等(金額約292万円)
- (ロ) 長期調査員 # —
- (ハ) 塵肺調査チーム # — 風速計、粉塵計(金額約12万円)

以上合計 304万円

なお停電・断水による支障はあるが、その場合の対応策(発電機、ポンプ等)は出来て

いるか確認する。

5) 技術移転の進行状況(体制・要員両面における)

基礎的保安技術の移転、釧山保安体制の整備を当面の課題として実施しており、53年度下半期は次頁の計画表によっており、右進捗状況の調査確認は今回の巡回指導チームの一目的である。

5. 54年度年次計画について

54年度年次計画として次の要素を含むものを計画しており、今回ベルー側関係者およびわが方大使館、JICA事務所、長期専門家の意向を確認した上で、帰国後draftを作りベルー側に提出して双方署名交換する手順を考えている。

- 1) 長期専門家の派遣継続 4名
 - 2) 短期製錬チームの派遣 3名
 - 3) 塵肺調査指導チームの再派遣 3名
 - 4) 巡回指導チームの派遣 4名(10月頃、約3週間)
 - 5) 機材供与(携行機材はこのほか) 4,000万円を実行計画に計上 — 機種, 数量, 優先順位別要望聴取する。
 - 6) 研修員受入れ 2名(6か月, 6月より) — 具体的分野, テーマ等要望聴取する。
- 4) の中に3) を含める方向で検討中

6. 半期技術指導計画について

長期専門家の技術指導目標管理については、53年度下半期分より別表4のとおり試行しているが、右の進捗状況、計画どおり行かない場合の問題点等につき調査・評価するとともに、右反省に立って第2回分(54年度上半期分)案を作成し、JICA本部の承認を求めよう指導することとする。

7. R/C規定事項遵守ぶりについて

R/Dに規定された次の事項につき遵守ぶりの実情・問題点につき確認し、必要な協議を行う。

- 1) 専門家に対する事務所、カウンタパート、本件プロジェクト運営予算
- 2) 専門家に対する特権免除便益(所得税、荷物、住宅、医療、出張手当、免責条項、最恵国待遇ほか)
- 3) 供与機材の無税通関、迅速な引取り
- 4) 合同委員会の運営ぶり
- 5) 以上に関連し、日本ベルー技術協力協定の交渉・批准ぶり、見透しにつき確認する。

8. 専門家の身分・待遇等について

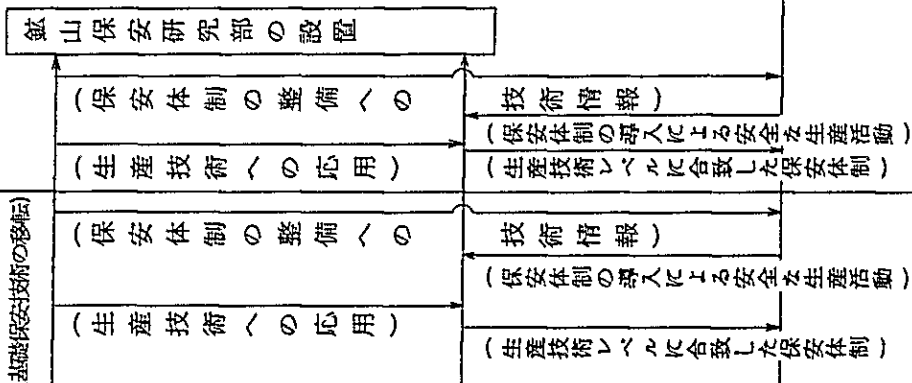
対JICAとの関係において身分・待遇（諸手当）・制度（研修・休暇ほか）等について
専門家の生の声を聴取する。

ペルー 鉦山保安技術育成プロジェクト

別表 1

全体計画

技術協力分野	1977会計年度 4月1日より 3月31日まで	1978会計年度 同 左	1979会計年度 同 左	1980会計年度 同 左	1981会計年度 4月1日より 12月31日まで	協力参加機関
1. 基礎的保安技術の移転						
(1) 坑内通気技術						
(2) 肺塵症対策技術						
(3) 天盤制御及び岩石力学						
(4) 露天掘保安技術						
(5) 鉦山災害防止技術（坑水、騒音、騒音、鉦煙等）						
(6) 鉦山災害防止技術（火薬取扱・運搬等）						
2. 保安技術の生産技術への応用						
(1) 採鉦技術						
(2) 選鉦技術						
(3) 製錬技術						
3. 鉦山保安体制の整備						
(1) 鉦山における保安管理機構						
(2) 鉦山保安監督体制						
(3) 鉦山労働者への保安教育						
(4) 保安技術職員及び鉦務監督職員の養成						
(5) 各鉦山の保安規程						



技術協力分野
I及びIIについては鉦山科学技術研究所及びペルー
中央鉦山公社

技術協力分野
IIIについては動力鉦山省鉦山総局

ベールー共和国鉱山保安技術育成技術協力事業 専門家派遣計画・実績表(53年度)

53/4	5	6	7	8	9	10	11	12	54/1	2	3
			①チーフ・アドバイザー(堀田高正専門家) 53/2 ~ 55/8 まで(2年6ヶ月)								
			②採鉱分野における鉱山保安技術指導専門家 (向井靖雄専門家 53/3 ~ 55/4 まで, 2年1ヶ月)								
			③塵肺対策指導 短期専門家チーム (房村信雄専門家, 佐野辰雄専門家)								
			④選鉱分野における保安技術指導および保安技術を組みこんだ選鉱技術の指導・育成 (中村明専門家, 54/1 ~ 56/1 まで: 2年)								
			⑤製錬分野における保安技術指導 短期専門家チーム (3名, 30-40日)								54/3 中旬より約1ヵ月 期間派遣予定
			⑥鉱山保安体制の整備に関する技術指導 久賀俊正専門家 53/4 ~ 54/10 まで, 1年6ヶ月)								

製錬分野における保安技術指導 短期専門家チームの派遣について

Ⅰ. 派遣に至る経緯

昭和52年10月28日付 本プロジェクト第1次“年次計画書”(52/10~54/3)における第1年次の技術協力内容は概容以下の通りとされている。

- (1) 通気並びに坑内ガス、酸欠状況調査
- (2) 鉱石の産状並びに上・下盤変質状況調査
- (3) 発破状況調査スラリー爆薬の適用性検討
- (4) 鉱石の性状研究
- (5) 既存の熔錬，電錬技術の検討
- (6) 現鉱山保安体制の検討

上記「(5)既存の熔錬，電錬技術の検討」に関する技術協力については，昭和52年8月本プロジェクトの協力対象機関であるセントロミン・ペルー社より文書を以て協力実施方要望が出された。(別添書類参照) それによれば，オロヤ製錬所を対象とした通気及び労働環境制御に関する技術指導を当面の協力内容として実施して欲しい旨要望している。

Ⅱ 今次専門家チームの業務内容及び構成等

前記要請を踏まえ，今次専門家チームの業務内容を以下の通り設定した。

1. 業務内容(オロヤ製錬所を対象として)

- (1) 鉛，銅，亜鉛の各サーキットにおけるガス，粉じん，ヒューム等の実測
- (2) 上記実測値及び先方提供の諸データに基づく解析及び問題点の把握
- (3) 各工程における環境収塵設備，除害設備等に関する診断
4. 上記(1)，(2)，(3)に基づく総合診断及び改善計画等の呈示

2. チーム構成

- (1) 製錬専門家(業務担当 ガス，粉じん，ヒューム等の実測及び諸データに基づく解析及び問題点の把握とアドバイス)
- (2) " (各工程における環境収塵設備，除害設備等に関する診断)
- (3) " (総合診断及び改善計画案等の呈示)

計 3名 (現在入選中で，日鉱その他の混成となる見込)

3. 派遣期間

54年3月中~下旬より約40日間予定

4. その他

本チームは，粉じん等の科学的計測を行うため，下記機器を携行機材として持参する。

- (1) デジタル粉じん計P-3形 2台
- (2) ローボリューム・エア・サンプラー 2台

ベトナム共和国鉱山保安技術育成技術協力事業 半期技術指導計画 (53年度下半期) (執行第1回分)

R/Dとの関連	指導項目	具体的業務内容	同圧スケジューリング	指導方針的手段等	相手国の対応状況	機械供与計画との関連	研修員受入れ計画との関連	特記事項
I. 基礎的保安技術の移転	① 坑内通気改善及び一般保安指導	セロアベコ 鉱山通気測定 全上 通気解析 全上 報告書作成 全上 報告書提出	53. 10 54. 11 54. 12 54. 1 54. 2 54. 3	ディーゼル機関の排気状況調査、通気系統の適否検討	車輛、宿舍をセントロロミンが提供 通気測定機器の一部をセントロロミンが提供	必要機材一部未供与	セントロロミンより1名 本年度受入れ予定 明年度以降、本分野の研修員受入れを実施するか否かは未定)	
	② 鉱山保安を主体とした坑内合理化総合計画立案指導	チャビー 鉱山調査 全上 坑内合理化検討 全上 報告書作成 全上 報告書提出		鉱山調査、鉱山に見合ひ探検・運送方法の総合検討及び通気改善に対する助言・勧告	動力鉱山省、インシデより各1名が参加	必要機材一部未供与	明年度以降受入れ予定	
	③ オロヤ製錬所を対象として通気及び労働環境対策の指導 (新たに派遣される短期専門家を担当)	1) 鉱山-キット 2) 銅サーキット 3) 亜鉛サーキットのそれぞれについて、通気及び労働環境対策面の調査及び助言・指導			2名の短期専門家チームにより業務実施(1ヶ月程度)	動力鉱山省、インシデ、セントロロミンの技術者参加を予定	必要機材一部未供与	
II. 鉱山保安体制の整備	鉱山保安体制の整備のための助言・指導	今期は、 ① ベルネーにおける鉱山保安体制の現状調査と、次のスケッチとしての ② 問題点の抽出を主要業務とする。		① 監督するサイド(政府)の制度・標準運営の問題及び② 監査されるサイド(各鉱山)の体制・機構・運営等の問題 ③ 保安機器メーカー等に対する指導・監督体制の問題につき、それぞれの現状把握と問題点の抽出	(未定)	直接的な関連はなし	インシデより派遣の Ing. J. L. Robres が部分的に関連	

PROPOSED ANNUAL WORK PLAN FOR FY 1979

1. Assignment of Japanese Experts

The present team of long-term experts, namely Messrs. Shiro Obinata, Kazuo Shojaku and Masanori Sakuraba be kept until February 20, 1980.

2. Dispatch of an evaluation team

An evaluation team would be dispatched to La Paz toward the end of the cooperation period to evaluate the progress of the project and ascertain the degree of the intended transfer of technology.

3. Acceptance of Bolivian counterparts in Japan

A high ranking officer of COMIBOL would be accepted in Japan for 3 weeks for an observational trip of mining and research facilities.

Another counterpart would be accepted in Japan for 3 months for practical training in mining.

March 13, 1979
at La Paz

Leader of the JICA
Technical Guidance Team

1. 巡回指導上の重点

鉱工業開発技術課

本プロジェクトは従来ボリビアでは回収出来ずに無駄に捨てられた価値鉱物を回収出来るようにする技術協力であるが、その成否はわが方専門家の指導、本邦での研修により現地カウンターパートがR/D期間内に本件技術を吸収消化し、将来自立して供与したパイロットプラントを順調に連続して稼働させうるかどうかにかかっているため、そうした技術と気構えをもったカウンターパートの養成確保に力点をおくよう指導する。

また供与した機材が立地を始めとする現地事情（設置場所が海拔4,000mを超える特殊な場所であることを含む）にマッチした設備的に十分なものであるか、またボ側として自主的に保守、維持していく体制にあるかを調査し、今後の協力実施上の問題点把握に努める。

2. プロジェクトの概要

1976年2月 ボ国鉱山公社（COMIBOL）の要請書受理
 1976年3月 事前調査団派遣 同和鉱業 森吉団長 （30日間－4名）
 1977年1月 実施協議調査団派遣 " " （30日間－5名）
 1977年2月21日 R/D署名、協力期間 1980年2月20日まで 3年間
 本件技術協力は、ボリビア鉱山公社（COMIBOL）を協力機関として別表1のプロジェクト・マスタープランに基づき実施している。

3. 現在までの実施概況

1) 調査団派遣

◎ 事前調査団

1977. 3. 30～4. 29

団員名	担当業務	所属名
森吉恒夫	団長・総括	同和鉱業株式会社 取締役鉱山部長
佐原猛	浮遊選鉱	同和鉱業株式会社 鉱山部参与
村上智夫	鉱業技術・ 鉱業行政	通商産業省・資源エネルギー庁 長官官房鉱業課
高栄浩一	業務調整	国際協力事業団・鉱工業開発 協力部・鉱工業開発技術課

◎ 実施協議調査団

1977. 1. 27 ~ 2. 25

団員名	担当業務	所属名	調査参加期間
森 吉 恒 夫	団長・総括・ RD署名	同和鋳業株式会社 (取締役鋳山部長)	1月27日~2月25日 (30日間)
橋 本 滋	浮遊選鋳	同和鋳業株式会社 (中央研究所・参事)	"
石 渡 耕 治	協力企画	外務省経済協力局 技術協力第二課	2月11日~2月25日 (15日間)
高 崎 邦 昭	重液比重選鋳	通商産業省資源エネルギー 庁・長官官房鋳業課	2月 3日~2月25日 (23日間)
高 栄 浩 一	業務調整	国際協力事業団・鋳工業 開発協力部・開発技術課	1月27日~2月25日 (30日間)

◎ 巡回指導チーム

1978. 5. 27 ~ 6. 11

団員名	業務担当	
西 田 一 久	団長(選鋳技術総括)	同和鋳業(株) 鋳山部選鋳担当部長
大日方 司 郎	選鋳技術	同和鋳業(株) 中央研究所
工 藤 良 広	機械技術	同和エンジニアリング(株) プラント建設部課長
鈴 木 憲 二	業務企画・調整	国際協力事業団, 鋳工業開発協力部

2) 専門家派遣

コルキル原鋳石の試験と研究	52/1~52/8	金谷専門家
ポリパール " "	52/1~53/1	大日方専門家
パイロットプラント設置打合せ	52/12~	工藤, 小山内専門家
パイロットプラント据付, 試運転	52/10~54/3	工藤, 小山内, 加賀専門家
パイロットプラント運転 試験	53/3~54/3	将積専門家
パイロットプラント成績推定及び 工業規模操業の考察	53/11~55/2 54/3 ~55/2	大日方専門家 桜庭専門家

尚, 将積専門家は短期を長期に切替え, 55年2月まで延長滞在の予定で, 現在据付関係3名と運転試験関係3名の計6名がボ国に滞在中。

3) 研修員受入れ

52年度研修員

酸化鋳の浮選技術の研修	52/3 ~ 52/6	鋳山公社 (OOMIBOL) Juan EscaleraV. 技師
-------------	-------------	--------------------------------------

Francisco Bermudez L. 技師

53年度研修員

ポリバール鉱の浮選分離技術 53/9 ~ 53/12 COMIBOL

Lisandro URQUIDI 技師

Armando EUCINAS 技師

協力実施期間中（3年）各会計年度毎に2名宛の受入れを計画し、現在まで上記4名の研修員を受入れた。

研修は同和鉱業㈱中研並びに小坂・花岡両鉱山に於いて主として行った。

所期の目的は達成出来たものと評価出来、帰国后プロジェクトの推進上相応の成果をあげているものと判断されるが、この点現地にて確認する。

4) 機材供与

供与機材は別表2. パイロットプラントの位置づけに示された範囲

即ち、 破砕設備（受入ホッパー、フィダー、クラッシャー、振動篩、ベルトコンベヤー）

磨鉱設備（貯鉱ビン、コンスタントフィードウェア、ボールミル、サイクロン、ポンプ）

浮選設備（コンデショイナー、浮選機、デスライミングタンク、ポンプ、試薬設備）

付帯設備（電源設備、脱水設備、造粒設備、ボイラー）から成る。

機材は52年度並びに53年度の両年度に亘って供与され、支出実績は別表3.のとおり。

所要の機材の購送は全て完了しており、輸送中のトラブルも試薬フィーダー1台の破損にとどまり（保険求償済み）、予定通り54年2月末据付完了、3月1日から試運転に入れる見込み。

携行機材は53年後半に、選鉱試験機、小型ボールミル、PHメータ（計895,700円）を購入し現地に向けて送付済み。

5) 工事進行状況

ボ国側で担当した土木、建築工事のうち建屋工事がおくれ、雨期にかかってトラブルとなったが、関係者の努力で克服出来、予定どおりの進行状況にある。別表4.の建設計画工程参照。

以上まとめれば別表5.の実施状況表のとおりである。

4. 機材関係調査項目

1) 機材仕様について

電源、使用材料、ねじ規格等は十分現地事情を配慮したものとなっているか高地対策、メンテナンス、保険対策は十分であるかどうか。

2) 予備品について

突発故障に対する対策は、部品類の現地調達可否の調査は特殊品の在庫等の準備は出

来ているか。

3) 保安全管理の態勢について

組織、教育、資料の整備等はどうなっているか。ボ側の態勢は十分か、今後の計画は？

4) 輸送方法について

梱包は防水、防錆、破損等に対して十分であったか。二年次に亘る供与は組合せ、発送順等においてトラブルはなかったかどうか。

5) 施工時期について

雨期、氷結期等の問題がなかったかどうか。

6) 受入体制について

輸送、保管、等ボ側の仕事に水ぬれ、破損、盗難防止、輸送方法、時期等に不十分な点はなかったか、施工上は？ 供与機材についてのボ国側の反応なり、注文は？

7) 停電・断水について

突発的な停電・断水はよくあるが、その場合の対策策は出来ているか（発電機、ポンプ等）

5. 54年度年次計画について

54年度年次計画については、次の要素をふまえつつ、ボ側および大使館、専門家の意向を確認した上で、帰国後 draft を作り、ボ側に提出して双方署名交換する手順を考えている。

1) 協力期間

本プロジェクトR/Dにより協力期間は52年2月21日～55年2月20日となっており、54年次において完了する。これまでのところプロジェクトの進行は計画通りであり、今後特に大きな問題が生じない限りプロジェクトの延長の必要性はないものと判断される。

とはいいながら、これまでの2年間の協力はいわば協力の準備段階であって、プラントの連続運転が実施される54年度に本プロジェクトの正念場があるといえる。

その意味で慎重に今後の技術移転、カウンターパートの育ちぶり、自立についての心構え、体制、自立達成の見透し等を見極めた上で対処せねばならず、単発の専門家派遣によるフォローアップ等の必要性・可能性につき検討したいと考えている。

2) 専門家派遣

前述した様に任期のくる将積専門家の55年2月までの長期に切替えて、所要の専門家は全て派遣済みで新に派遣の計画はない。

但しプロジェクトの終了後に於いて単発専門家（フォローアップ）派遣について検討することは前述のとおり。

3) 機材供与

機材については既述の如く、プラント建設に必要なもの 全ての購送は完了している。従って54年度には機材供与費の計上は無い。

ただしプラントの円滑且つ効果的な操業に資するために使用される若干の機材の追加が必要となるような場合は、現地専門家チームとの緊密な連絡のもとに携行機材費での対応等の可能性につき検討する考えである。

4) 研修員受入れ

54年度研修員受入れについては2名が予定されている。これについては、選鉱プラント視察のためCOMIBOL（ポリピア鉱山公社）技師長を高級研修員として受入れるという考えがある。希望の有無、時期、期間（1か月）等につき確認する。また他の1名（選鉱技術）についても候補者氏名、分野、テーマ、期間（3か月）等について打合せる必要がある。

5) エバリュエーション

54年次予算においては、本年プロジェクトに対する調査団（エバリュエーション）の予算が計上されていないが、彼我の協力、技術移転ぶり、自立達成の見透し等につきR/Dの期間終了間近かにエバリュエーションを行って、フォローアップの必要性の有無についての検討が重要な課題としてある。このため単発専門家の派遣（3名、55年1月頃）による対応を考えているが、場合によってはブルー巡回指導チームの派遣（本年秋）の際、その前後にポリピアに立寄り、これを行うこともありうる。

6. R/D規定事項遵守ぶりについて

R/Dに規定された次の事項につき遵守ぶりの実情、問題点につき確認し、必要な協議を行行。

- 1) 専門家に対する事務所、カウンタパート、本件プロジェクト運営予算
- 2) 専門家に対する特権免除便益（所得税、荷物、住宅、医療、出張手当、免責条項、最恵国待遇ほか）
- 3) 供与機材の無税通関、迅速な引取り
- 4) 以上に関連し、日本ポリピア技術協力協定（53. 3. 22署名同時発効）の運用の実際につき確認する。

7. 専門家の身分・待遇等について

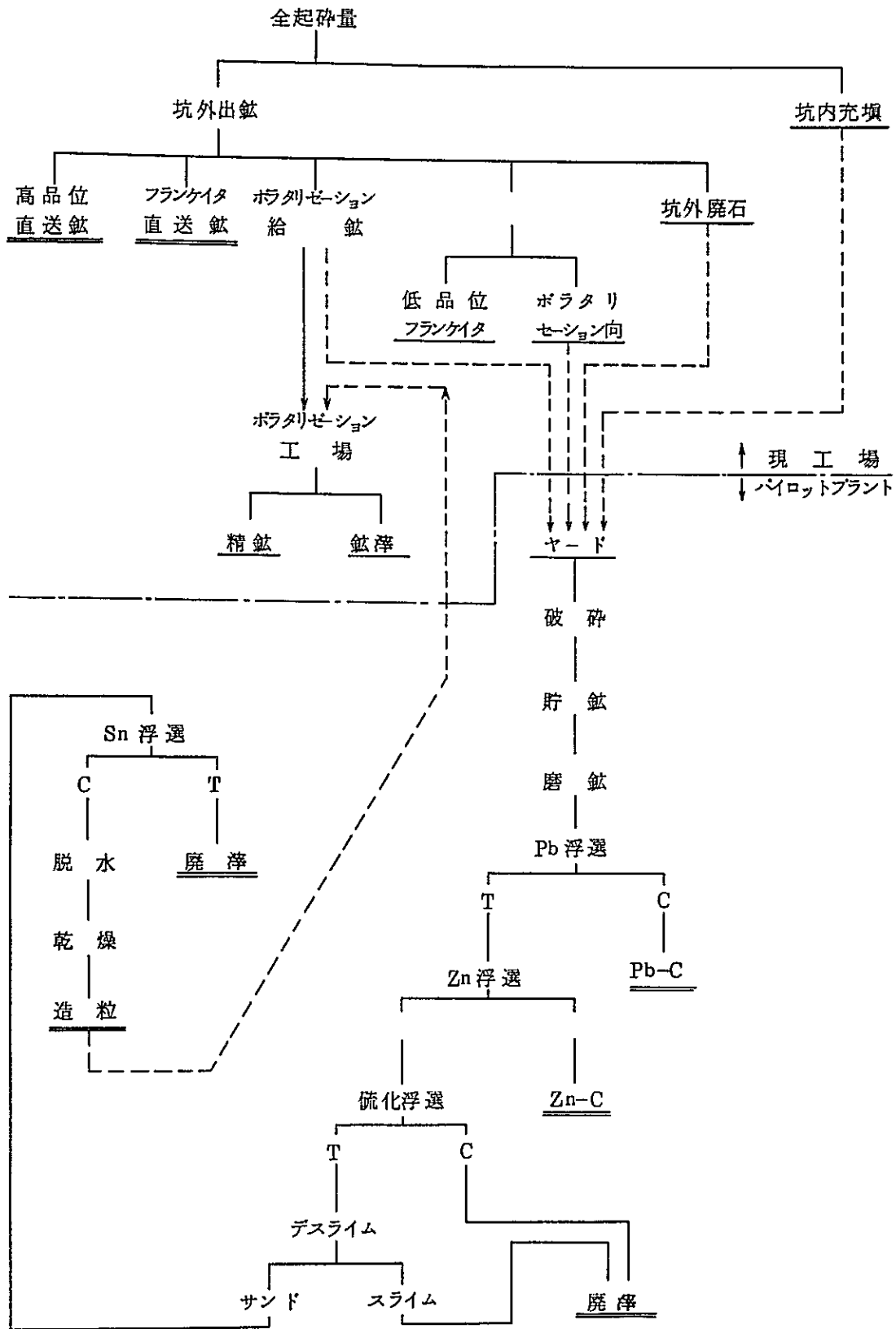
対JICAとの関係において身分・待遇（諸手当）・制度（研修、休暇ほか）等について専門家の生の声を聴取する。

対 象	項目	会計年度	1976年度	1977年度(1977年1月~1978年3月)	1978年度(1978年4月~1979年3月)	1979年度(1979年4月~1980年3月)	1980年度	
コ ル キ リ 鉱 山	I. コルキリ原鉱石に関する試験、研究と技術指導	実態調査と技術協力実施準備作業	1 浮選による錳石と鉄閃亜鉛鉱の分離試験 (1) 鉱石の完全分析 (2) X線回折、X線マイクロアナライザーによる工型鉱物の同定 (3) 小型回分式浮選試験機による浮選試験 (4) 浸漬機稼働時の選鉱成績および採集コストの推定	2 その他の技術事項の指導と情報サービス				
			3 浮選によるポリバール原鉱石の分離試験 (1) 鉱石の完全分析 (2) X線回折、X線マイクロアナライザーによる主要鉱物の同定 (3) 小型回分式浮選試験機による浮選試験 (4) 分離条件、選鉱プロセスの決定 a. 濁江調整粒度の決定 b. 分離底試験 c. 粒度別フロー・シビリティの検討 d. 分離試験(顆粒分級)					
キ リ バ ン 鉱 山	II. バイロット・プラントの設置 III. バイロット・プラントの運転と成績測定	実態調査と技術協力実施準備作業	4 バイロット・プラント設置のための準備 (1) 規模・フロンツートの決定 (2) レイアウトの決定・詳細設計の完成 (3) 採材額の明細の決定および日本領供与分の決定 (4) 採材額の設計・仕書書作成・費用見積 (5) '77年度供与分採材の発注・検収・輸送) 予定地の整地・建物高價の算出および労務力の確保・所要電力と工業用水の整備	5 '77年度供与分採材の発注・検収・輸送) 予定地の整地・建物高價の算出および労務力の確保・所要電力と工業用水の整備	6 バイロット・プラント用地整地完了 7 建物・設備の施工完了 8 所要電力と工業用水の整備完了 9 '77年供与分採材の発付・試運転('78年度供与分採材の発注検収輸送)	10 プラント・オペレーションとメインテナンスに関する基礎的知識と技術の指導 11 バイロット・プラント成績の推定 (1) 選鉱成績の推定 (2) 採集コストおよび経済性の推定	12 1977年・1978年の試験結果のバイロット・プラントでの試験 13 '78年度供与分採材の発付・試運転 14 バイロット・プラントの総合・運統運転と成績測定 (1) 選鉱成績の算定 (2) 採集コストおよび経済性の算定 15 プラント・オペレーションとメインテナンスに関する応用知識と技術の指導 16 工業規模採集のための技術的・経済的考察 (1) 工業プラントの有用効果の検討 (2) その選鉱成績の推定 (3) その採集コストおよび収益性の推定 (4) マーケット・リサーチ	工業プラントの建設・試運転 ↓ 採 集 本 業
			5. 情報サービス・技術サービス					

注、以下の項目は本技術協力終了後ポリバール側のオプションで実施されるべきものである。

- カリビアン側でのバイロット・プラントの自主的運営
↓
工業プラント建設のための準備
(1) 関係機関からの許可取得
(2) 予算措置
(3) 工場用地の確保
(4) 必要機材の手当
(5) 所要電力・工業用水の確保
(6) マン・パワーの確保

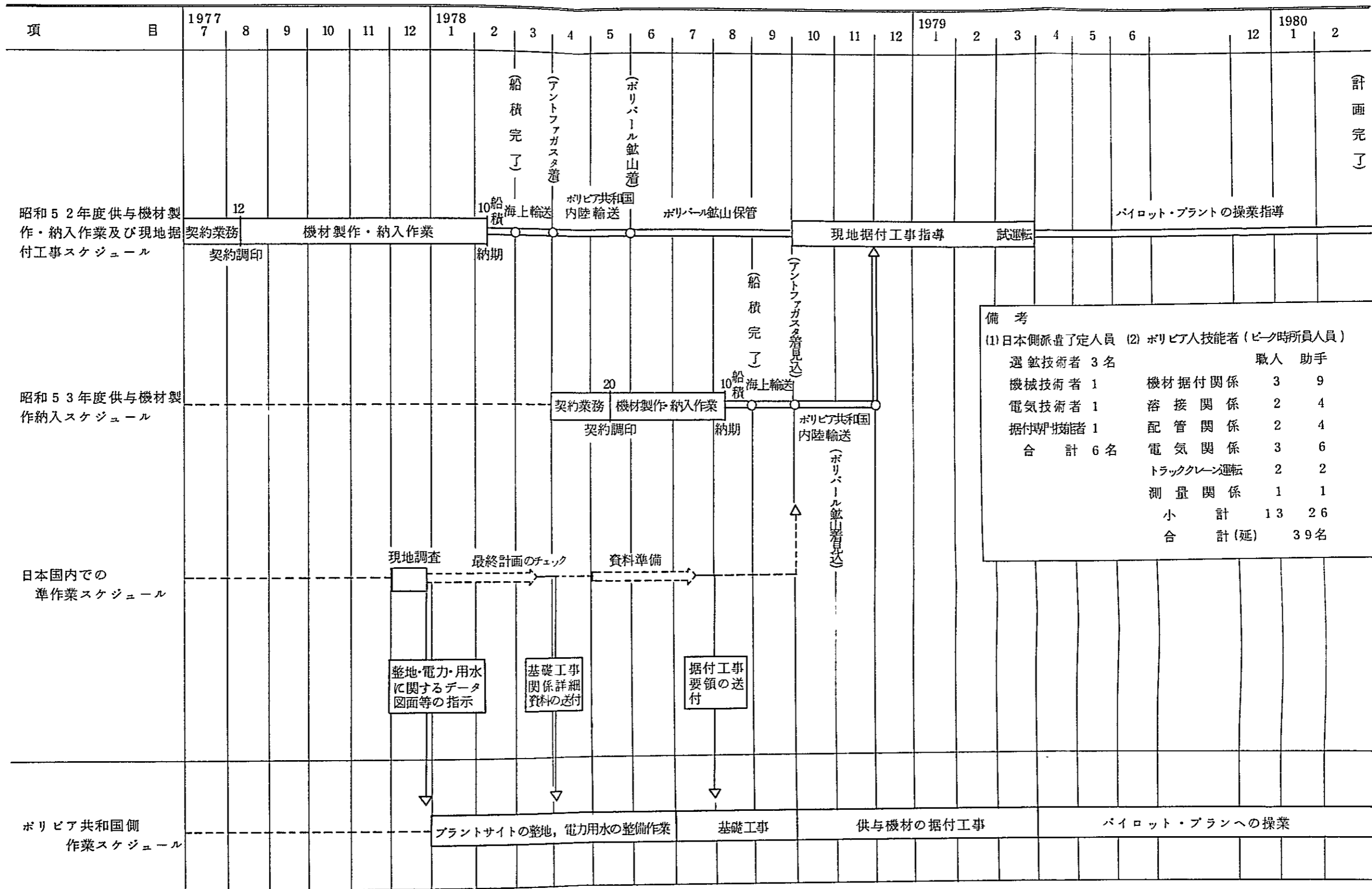
別表 2
パイロットプラントの位置づけ



ポリピア，亜鉛等有害鉱物回収技術協力事業
 供与機材費 支出実績

◎52年度	実行予算	契約金額	支出金額
	51年度繰越予算 85,000,000円	機材購入費 80,900,000円 [Ⓐ]	機材購入費 80,900,000円 [Ⓐ]
	52年度予算 58,000,000円	機材購入費 32,200,000円 輸出梱包費 5,242,000 国内運賃 1,913,000 計 39,355,000円 [Ⓑ]	機材購入費 32,200,000円 輸出梱包費 5,242,000円 国内運賃 1,913,000円 計 39,355,000円 [Ⓑ]
		(Ⓐ+Ⓑ) 120,255,000円	(Ⓐ+Ⓑ) 120,255,000円
		運送契約費用 19,954,954円 [Ⓒ]	運送契約費用 17,750,074円 [Ⓒ]
	既往支出実績額	Ⓐ+Ⓑ+Ⓒ	Ⓐ+Ⓑ+Ⓒ 138,005,074円
◎53年度	60,288,000円	機材購入費 52,377,000円 輸送費 7,437,952円 計 59,814,952円	
	52. 53両年度合計	197,820,266円	

ボリビア共和国パイロット・プラン建設計画工程表



備考

(1) 日本側派遣予定人員 (2) ボリビア人技能者(ピーク時所員人員)

職人	助手
選鉱技術者 3名	3
機械技術者 1	9
電気技術者 1	4
掘付専門技能者 1	4
合計 6名	6
機材掘付関係	2
溶接関係	2
配管関係	2
電気関係	2
トラッククレーン運転	2
測量関係	1
小計	13
合計(延)	26

ポリビア・亜鉛等鉱物回収開発技術協力事業 実施状況表

	履 行 事 項	履 行 事 項 細 明 細	51年度	52年度	53年度	54年度
実施協議チーム 巡回指導チーム I 専門家派遣	R/D署名 年次計画(53年度)の協議その他		52/2		53/5	
	1. コルキリ原鉱石に関する試験・研究と技術指導	(1)浮選による錫石と鉄閃亜鉛の分離試験およびその他技術指導 a) 小型回分式浮選試験機による浮選試験 b) 連続操業時の選鉱成績および操業コストの推定 (2)その他の技術事項の指導と情報サービス	52/金谷専門家 52/8			
	2. ポリバール原鉱石に関する試験・研究と技術指導	(1)浮選によるポリバール鉱石の分離試験およびその他技術指導 a) 小型回分式浮選試験機による浮選試験 b) 分離条件、選鉱プロセスの決定 (2)上記試験結果のパイロット・プラントでの試験	52/1大日方専門家 53/1			
	3. パイロット・プラントの設置	(1)1977年度供与分機材の据付・試運転 (2)1978 "	プラント設備打合せ フラント据付チーム 52/12 53/9及び53/10 54/3 工業専門家(機械) 工業専門家(機械) 小山内(電気) 加賀(機械) 53/3 相模専門家 54/3 (延長予定) 55/2 (選鉱)			
	4. パイロット・プラントの運転と成績測定	(1)プラント・オペレーションとメンテナンスに関する知識と技術の指導 (2)パイロット・プラントの総合・連続運転と成績測定	53/11大日方専門家 55/2 (選鉱) 54/4 松庭専門家 55/2 (選鉱)			
	5. パイロット・プラントおよび本格的工業プラントの成績測定 6. その他	(1)パイロット・プラント成績の推定 (2)工業規模操業のための技術的、経済的考察 情報サービス・技術サービス	研修員2名 Juan Escalera V. Lisandro URQUIDIA (Francisco Bermudez L. Armando ENCINAS/研修員1~2名)			
II 研修員受入	1. ノコギリ原鉱石に関する試験・研究と技術指導	(1)浮選による錫石と鉄閃亜鉛の分離試験 a) 鉱石の完全分析 b) 主要鉱物の同定 c) 小型回分式浮選試験機による浮選試験 (2)その他の研修・研究	52/3	52/6	53/9	53/12
III 機材供与	2. ポリバール原鉱石に関する試験・研究等	(1)浮選によるポリバール鉱石の分離試験 a) 鉱石の完全分析 b) 主要鉱物の同定 c) 小型回分式浮選試験機による浮選試験 (2)その他の研修・研究	52/2	53/2	53/6	53/10 54/3 54/4
ポリビア側 履行事項	パイロットプラントの設置 (設置計画の詳細は別添のとおり)	(1)1977年度分、機材の供与 (2)1978年度分、機材の供与	機材製作等 53/2 据付 53/6 53/10 54/3 54/4 機材製作等 53/5 53/8 53/11 輸送			
	1. 供与機材の輸送 2. 予定地の整地、建物設備の資材確保・所要電力と工業用水の整備等 3. 基礎工事及び設置工事の管理 4. 連続運転試験のための資材・人員の確保 5. その他	アソファガスター→ポリバール鉱山までの供与機材の輸送 (1)プラント・サイトの整地、電力・用水の整備 (2)ポリビア側負担資材の調達 (3)ポリビア側据付スタッフの決定、作業員備入計画の策定 (1)基礎工事 (2)建物工事 (3)プラント据付工事の総合監理 (1)連続運転試験に必要な選鉱試薬その他の資材の確保 (2) " 人員の確保 (1)プロジェクト運営のための予算確保 (2)専門家受入れ体制の整備(宿舎、事務室、秘書、運転手のサービス等)	機材(1977年度分)輸送 53/4 機材(1979年度分)輸送 53/10 53/11 整地、電力、用水の整備 53/1 ポリビア側負担設置機材の調達 53/1 ポリビア側据付スタッフの決定等 53/4 基礎工事 53/5 53/7 建物工事 53/9 53/11 プラント設置総合監理 53/10 必要資材、人員等の確保 53/3			

各 国 概 況

事 項	国 名	6. チリ共和国 (Republica de Chile)	
1. 独立年月日		1810年9月18日	
2. 国 祭 日		9月18日(独立記念日)	
3. 首 府 人 口 (1976年)		サンチャゴ 3,600千人	
4.(1) 人 口 (1976年) (内日系人及び 邦人数)		10,300千人 (2231人)	
(2) 人口密度		138人/km ²	
(3) 人 種		スペイン系 75% 米の概欧州系 20% 移住民系 5%	
5. 面 積		741,767km ²	
6. 気 候		北部：砂漠地帯で亜熱帯気候 中部：概ね温帯 南部：寒冷地帯	
7. 宗 教		カトリック教(信教の自由の保障はある)	
8. 言 語		スペイン語	
9. 略 史		1541年 ビサロの部下ペドロ・デ・バル デイビアガサンティアゴ市を創設 1810年 独立(但し、事実上の独立はオ イヒンズ將軍がスペイン軍を破って、 1818年に達成したが、その後も政 情不安が続く。 1932年 アレクサンドリ大統領就任によ り政局は安定、以後民主的切替が続く 1973年9月11日 アジェンデ社会主義政權 下における政治経済の混乱に不満をも つ軍部がクーデター。その後も軍政下 にある。	
10. 政 治			
(1) 政 体		共和制(軍人が構成する執政評議会立 法、行政権を行使)	
(2) 元 首		大 統 領 アウグスト ビノチエット	
(3) 政 党		1973年9月11日のクーデター以来 諸政党は解散、政治活動も禁止	
(4) 主要加盟 国際組織		UN. OAS. LAFTA SELA IBRD IMF (8条国) GATT	
	(5) 対外関係	(1) 反共、自由主義を旗印とし、社会主 義国とは中国、ルーマニアを除き、 国交関係はない (2) ボリヴィア、アルゼンチン間に領 土問題あり (3) 人権問題をめぐり国連の批判決議 を受ける。	
	11. 軍 事	総兵力 85,000人(うち徴兵21,600人) (1) 軍 隊 (陸) 50,000人(# 20,000人) (海) 24,000人(# 1,600人) (空) 11,000人 (2) 国防予算 (1977年) 109.3億ペソ(614百万ドル)	
	12. 領 海	200カイリ	
	13. 予 算 (1975年)	歳入 7,703.5百万ペソ(1,483.4百万ドル) 歳出 7,242.3百万ペソ(1,394.6百万ドル)	
	14. 経 済		
	(1) 国内総生産 (1976年)	9,518.5百万ドル	
	(2) 1人当り国 内総生産 (1976年)	881ドル	
	(3) 経済成長率 (1976年)	5.1%	
	(4) 生計上昇率 (1976年)	174.3%	
	(5) 通 貨	ペソ(Pesos) (1米ドル=2356ペソ) (1977年9月4日現在)	
	(6) 主要産業	(鉱業) 銅鉱石、鉄鉱石、硝子 (工業) 金属工業、木材	
	(7) 経済開発計画		
	概 要	アジェンデ時代の社会主義化政策により、チリ経済は破綻した。現政権は国有化政策を転換し、貿易の自由化と内外民間資本の活用により経済開発を進めている。	

		主要輸出相手国				16. わが国との関係	
(8) 外国貿易 (一九七六年推定単位百万ドル)	輸出総額 2,013.1		輸入総額 1,737.9		(1) 承認 (外交開始) 1977年9月25日 年月日 (再開) 1954年4月28日		
	西独	275.7	米 国	557.7	(2) 公館設置状況 (設置年月日)		
	日 本	268.7	アルゼンティン	196.5			
	ブラジル	264.2	サウディアラビア	94.2			
	米 国	222.3	エクアドル	93.3			
英 国	138.4	西 独	92.6				
アルゼンティン	130.9	ベ ル ー	91.1	わが方公館	公使館 (1909年) 大使館 (1957年)		
(輸出) 主要輸出品目		(輸入)		先方公館	公使館 (1899年) 大使館 (1957年)		
銅	1,246.5	原料・中間財	1,118.9	(3) 要人の来訪			
木材・紙等	135.9	一般機械	238.1				
金属工業製品	115.6	輸送機器	1,720				
食品等	110.0	非耐久消費財	1,438				
鉄	86.3						
農産品	86.2			(4) 協定締結状況			
(9) 対日貿易 (単位千ドル)	輸出総額	298,261	輸入総額	77,169	査証免除協定 (1969年)		
	鉄 鉱 石	138,268	原 動 機	3,922	(5) 経済技術協力		
	銅 鉱 石	72,586	鉄 鋼	3,821			
	銅マット・地金	58,603	重電機器	3,707			
			機 維 品	3,340			
			自 動 車	2,034			
			テ レ ビ	1,931	経済協力 (イ) 円借款 商品援助1件 27億円 (1972件) (ロ) 債権繰延 1件 22.48億円 (リファイナンス) (1965年) (ハ) 債務救済 3回 15,948 ドル (1972.74.75年)		
① 経常収支 (貿易収支)		43 (665)		技術協力 (1976年末)			
② 資本収支		291					
③ 基礎収支		414					
④ 総合収支		262					
⑤ 外貨準備高 (1976年末)		453.5					
15. 対外公的債務 (単位百万ドル)		3,631.3 (1976年末)		企業進出 8社 (銅山, F.Y.H. エレクト ロキミカ, サンタクララ鉱山, 同和サ ンタローザ社, 他海運, 商事会社)			
うち米国政府		1,638.5					
仏 "		268.6					
I D B		213.5					
西 独		194.9					
アルゼンティン		154.7					
ブラジル		137.7					
I B R D		135.7					

事 項	国 名	23. ペルー共和国 (Pepublica del Peru)	10. 政 治
1. 独立年月日		1821年7月28日	(1) 政 体 共和制(現在は軍政下)
2. 国 祭 日		7月28日(独立記念日)	(2) 元 相 大統領 フランシスコ モラーレス・ヘルムーデス・セルッティ
3. 首府人口 (1976年)		リマ 約 4,000 千人	(3) 政 党 1968年軍事政権成立以来, 政治活動は認められていない。
4.(1) 人 口 (1976年) (内日系人及び 邦人数)		16,100 千人 (67,252 人)	(4) 主要加盟 国際組織 UN. OAS. LAFTA ANCOM SELA. IMF(8条国), IBRO GATT
(2) 人口密度		12.5人/km ²	(5) 対外関係 ソ連, 中国, キューバ, その他社会主義諸国と相次いで外交関係樹立 アンデス諸国統合を推進 近隣諸国との関係強化
(3) 人 種		インディオ 50% (ケチュア族, アイマラ族) 混 血(白人・インディオ) 38% 白 人 12%	11. 軍 事 総兵力 70,000人(うち徴兵 40,000人) (1) 軍 隊 (陸) 46,000人(* 40,000人) (海) 14,000人(含海兵隊 1,000人) (2) 国防予算 (1977年) (空) 10,000人 300.3億ソル(406百万ドル)
5. 面 積		1,285,215 km ²	12. 領 海 200カイリ
6. 気 候		海岸地帯 最高 28℃ 最低 11.3℃ 山岳地帯 最高 27℃ 最低 2.4℃ 森林地帯 最高 38.5℃ 最低 20.0℃ 湿度平均 85%	13. 予 算 歳入 111,397百万ソル (1976年) 歳出 175,933百万ソル
7. 宗 教		カトリック教	14. 経 済
8. 言 語		スペイン語 ケチュア語 アイマラ語	(1) 国内総生産 (1976年) 11,126百万ドル
9. 略 史		1821年7月 スペインから独立, ボリ ヴィアと連邦形成 1825年 共和国として分離 1866年 ボリヴィア, エクアドル, チリと共同戦線を張り, 奪還を試みるスペイン軍 を破り, 独立を安泰とす る。	(2) 1人当り 国内総生産 (1976年) 691 ドル (3) 経済成長率 (1976年) 3.0 % (4) 生計向上率 (1976年) 33.5 % (5) 通 貨 ソル(Soles) (1米ドル=103,217ソル(1977年 11月2日現在)1977年10月より変動 制に移行) (6) 主要産業 (鉱業)鉄鉱石, 銅, 鉛, 亜鉛, 石油 (漁業)魚粉

(7) 経済開発計画				15. 対外公的債務(単位 百万ドル)	3,641 (1976年末)
概 要	国家開発計画 (1977~78年)			16. わが国との関係	末詳
	1) 経済の安定, 貯蓄の増大 2) 後進地域の開発 3) 農産物の増産 4) 国際収支の改善, 外貨準備の増加 1977~80年の中期計画を検討中				
外 国 貿 易 (一 九 七 六 年 単 位 百 万 ド ル)	(8) 主要輸出入相手国				(1) 承認 (外交開始) 1973年6月19日 (再開) 1952年6月17日
	輸出総額	1,495.8	輸入総額	1,982.3	(2) 公館設置状況(設置年月日)
	米 国 (推定)	367.9	米 国 (推定)	630.3	わが方公館 兼任公使館 (1897年 5月) 公使館 (1921年12月) 大使館へ (1957年)
	日 本	211.2	日 本	158.5	先方公館 公使館 (1919年 4月) 大使館へ (1957年)
ソ 連	120.4	西 独	148.5	(3) 要 人 1970年 モーターニュ首相 来 訪 1971年4月 ゴラスコ 大統領夫人 1975年7月 デ・ラ・フロール 外務大臣 1976年6月 マリアテギ漁業大臣 1976年9月 パルア経済財政大臣	
チ リ	82.8	ヴェネズエラ	109.4	(4) 協定締結状況 1961年 5月 通商協定 1969年 7月 債務繰延へ取極(第一次) 1970年12月 (第二次) 1971年12月 査免取極 1976年 6月 水産加工センター協定	
英 国	66.5	ブラジル	88.2	(5) 経済技術協力	
(輸出) 主要輸出品目 (輸入)				経済協力 (イ) 円借款 送電線, 肥料工場, マイクロウエーブ等4件 245億円 (1971年 72年 76年) (ロ) 債務救済 2件 15.1百万ドル	
銅	226.9	原料・中間財	1,081	技術協力 (イ) 研修員受入 359名 (1976年度末) (ロ) 専門家派遣 315名	
亜鉛	191.5	資本財	675	企業進出 55社(貿易, 鉱業, 水産, 食品等)	
魚粉	177.5	消費財	176		
銀	145.1				
砂糖	91.1				
(9) 対日貿易(単位 千ドル)	輸出総額	2321	輸入総額	1439	
国 際 収 支 (一 九 七 六 年 単 位 百 万 ド ル)	亜鉛 鉍	76.9	機 器	775	
	鉄 鉍 石	45.9	金 属 品	330	
	銀・銅合金	42.7	化 学 品	11.3	
	鉛 鉍	10.1	軽工業品	10.0	
	銅 鉍 石	10.1			
① 経常収支(貿易収支)	△ 1,191(△740)				
② 資本収支	1,198				
③ 基礎収支	△ 347				
④ 総合収支	△ 320				
⑤ 外貨準備高(1976年末)	330.2				

事 項	国 名	4. ボリヴィア共和国 (Republique de Bolivia)	10. 政 治	
	1. 独立年月日	1825年8月6日	(1) 政 体	共和制(現在は軍政下)
2. 国 祭 日	8月6日 (独立宣言記念日)		(2) 元 相	大統領 ウーゴ・パンセル・スアレス
3. 首府人口 (1976年)	ラ・パス 654千人		(3) 政 党	軍事政権のため、議会は閉鎖されて おり、政党活動は認められていない
4.(1) 人 口 (1975年) (内日系人及び邦 入数)	5,630千人 10,801人 但し、1976年6月1日現在)		(4) 主要加盟 国際組織	UN. OAS. LAFTA. ANCOM SELA. IBRD IMF(8条国)
(2) 人口密度	5.1人/km ²		(5) 対外関係	米、近隣諸国との関係は緊密
(3) 人 種	白人 16% 混血 35% インディオ 49%		11. 軍 事	
5. 面 積	1,098,581 km ²		(1) 軍 隊	総兵力 22,500人 (陸) 17,000人 (海) 1,500人 (空) 4,000人
6. 気 候	(標 高)(平均気温)(年間雨量) 3,000m以上 7~10℃ 600~620mm 1,000m以上 17~18℃ 500~650mm 1,000m以下 23~26℃ 1,300~1,800mm		(2) 国防予算 (1977年)	74.2百万ドル(15億ペソ)
7. 宗 教	殆んどカトリック教		12. 領 海	なし(内陸国)
8. 言 語	スペイン語 ケチュア語 アイマラ語		13. 予 算 (1977年)	歳入 483百万ドル 歳出 483百万ドル
9. 略 史	1825年8月 スペインより独立 1883年 チリとの太平洋戦争に より海岸線を失う 1935年 パラグアイとの戦争に よりチャコ地方を失う。		14. 経 済	
			(1) 国民総生産 (1976年)	2,416百万ドル
			(2) 1人当り 国民所得 (1976年)	382ドル
			(3) 経済成長率 (1976年)	6.7%
			(4) 生計費上昇 率(1976年)	12%
			(5) 通 貨	ペソ(Pesoo) (米ドル=20ペソ)
			(6) 主要産業	(鉱業) 錫, アンチモン, タング ステン, 鉛, 亜鉛, 石油 (農業) 綿花

(7) 経済開発計画 経済社会開発計画(1976~80年) 1) 高度経済成長の達成 2) 輸出拡大 3) 食糧自給 4) 雇用機会の拡大 (1976~80年総投資額 34億ドル)				15. 対外公的債務(単位 百万ドル) うちIDB 237.8 米 国 214.7 IBRD.ID.A 166.8 ブラジル 61.8 O A F 47.4	1,492 (1976年末)
(8) 外国貿易(一九七六年推定 単位 百万ドル)	主要輸出相手国			16. わが国との関係	
	輸出総額	408.77	輸入総額	586.50	(1) 承認 年月日 (外交開始) 1914年4月13日 (再開) 1952年12月20日
	米 国	108.64	米 国	147.84	(2) 公館設置状況(設置年月日)
	アルゼンチン	89.38	ブラジル	110.60	
	英 国	39.47	アルゼンティン	73.64	わが方公館 兼任公使館 (1919年2月) 公使館へ (1955年) 大使館へ (1961年)
	西 独	25.31	日 本	71.00	先方公館 公使館 (1918年6月) 大使館へ (1961年)
	日 本	24.62	西 独	51.07	(3) 要人の来訪 1972年12月 グティエレス外務大臣 1975年 9月 トリゴ運輸通信大臣 1976年 6月 セラヤ鉱山冶金大臣
	(輸出) 主要輸出入品目 (輸入)				(4) 協定締結状況 移住協定(1956年8月)
	錫	226.2	資本財	235.7	(5) 経済技術協力
	石 油	112.6	原料・中間財	195.8	
天然ガス	5.49	消費財	118.7		
亜鉛	39.1				
タングステン	3.48				
アンチモン	3.13				
銀	2.43				
(9) 対日貿易(単位 千ドル)	輸出総額	27,047	輸入総額	64,425	経済協力 (イ) 円借款 道路建設 36.8億円 (1775億) (ロ) 水害見舞 2件 134ドル 技術協力 (イ) 研修員受入 145名 (ロ) 専門家派遣 150名 (1976年末) 企業進出 12社(鉱業, 林業, 工業, 商業等)
	亜鉛	5,999	機械機器	39,299	
	織 維	5,528	金属製品	15,090	
	銅	2,416	織 維 品	4,430	
(10) 国際収支(単位 百万ドル)	① 経常収支(貿易収支)	△	119.4	(3.4)	
	② 資本収支		166.6		
	③ 基礎収支		115.9		
	④ 総合収支		23.6		
	⑤ 外貨準備高(1976年末)		167.9		

