

中華人民共和國德興銅鉍山 鉍廢水處理計画詳細設計調査

最終報告書

1998年3月

中国 德興銅鉍山鉍廢水處理計画
詳細設計調査共同企業体
代表者 千代田デイムス・アンド・ムーア株式会社
構成員 千代田化工建設株式会社

JICA LIBRARY



J 1142408(2)

鉍調査
JR
98-097

国際協力事業団
中国有色金属工業総公司

中華人民共和國德興銅鉍山 鉍廃水処理計画詳細設計調査

最終報告書

1998年3月

中国 德興銅鉍山鉍廃水処理計画
詳細設計調査共同企業体
代表者 千代田デイムス・アンド・ムーア株式会社
構成員 千代田化工建設株式会社



1142408 [2]

序 文

日本政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国の徳興銅鉍山鉍廃水処理計画詳細設計調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成8年7月から平成10年3月までの間、6回にわたり千代田デイムス・アンド・ムーア株式会社の島津康弘氏を団長とし、千代田デイムス・アンド・ムーア株式会社及び千代田化工建設株式会社の団員から構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は、中華人民共和国政府関係者と協議を行うとともに、現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対して、心から感謝申し上げます。

平成10年3月

藤田 公郎

国際協力事業団

総裁 藤田 公郎

国際協力事業団
総裁 藤田 公郎 殿

伝 達 状

拝啓 貴事業団におかれましては益々ご清栄のこととお慶び申し上げます。

ここに謹んで中華人民共和国徳興銅鋳山鋳廃水処理計画詳細設計調査に関する報告書を提出いたします。本調査では、先に実施された同計画調査において実施された現地調査、概念設計に基づき、徳興銅鋳山において鋳廃水処理実証試験を行い、その結果を反映して新規廃水処理設備の詳細設計を実施いたしました。本報告書は、実証試験結果及び新規廃水処理設備の詳細設計書をまとめた本編と要約版ならびに設計図書により構成されています。

本詳細設計調査においては、先の計画調査で提言され、中国側から高い評価を受けております「銅鋳山の鋳廃水（酸性廃水、アルカリ性廃水）を空気攪拌により二段階中和するプロセス」は、現地における約4ヶ月にわたる実証試験において、その効果が確認され、いくつかの設計諸元を得ることができました。また、この実証試験においては、日本側技術者の指導のもとに中国側技術者、運転員により実証実験が実施され、廃水処理技術、実験・運転要領、機器・計器の取り扱いなどの技術移転、研修が有意義に実施されました。さらに詳細設計においては実証試験の結果を反映し、設備の中核である一段中和槽をはじめ処理設備は概念設計に比べ大幅なコスト削減が可能な設計ができたものと確信いたしております。

本年2月、北京での最終報告会において、徳興銅鋳山に設置・供与されました実証試験装置の有効活用計画、および新規廃水処理設備の建設計画について、中国側から説明を受けました。廃水処理設備は、建設予定地の造成にはじまり付帯設備を含めると高額の建設資金の調達が必要となり多難が予想されます。

足掛け10年近くになる日本の協力も本詳細設計調査をもって終わりますが、私たちは一日も早く徳興銅鋳山に新規廃水処理設備が完成し、鋳山街を流れる川に清流が復活する日のくるの願うものです。

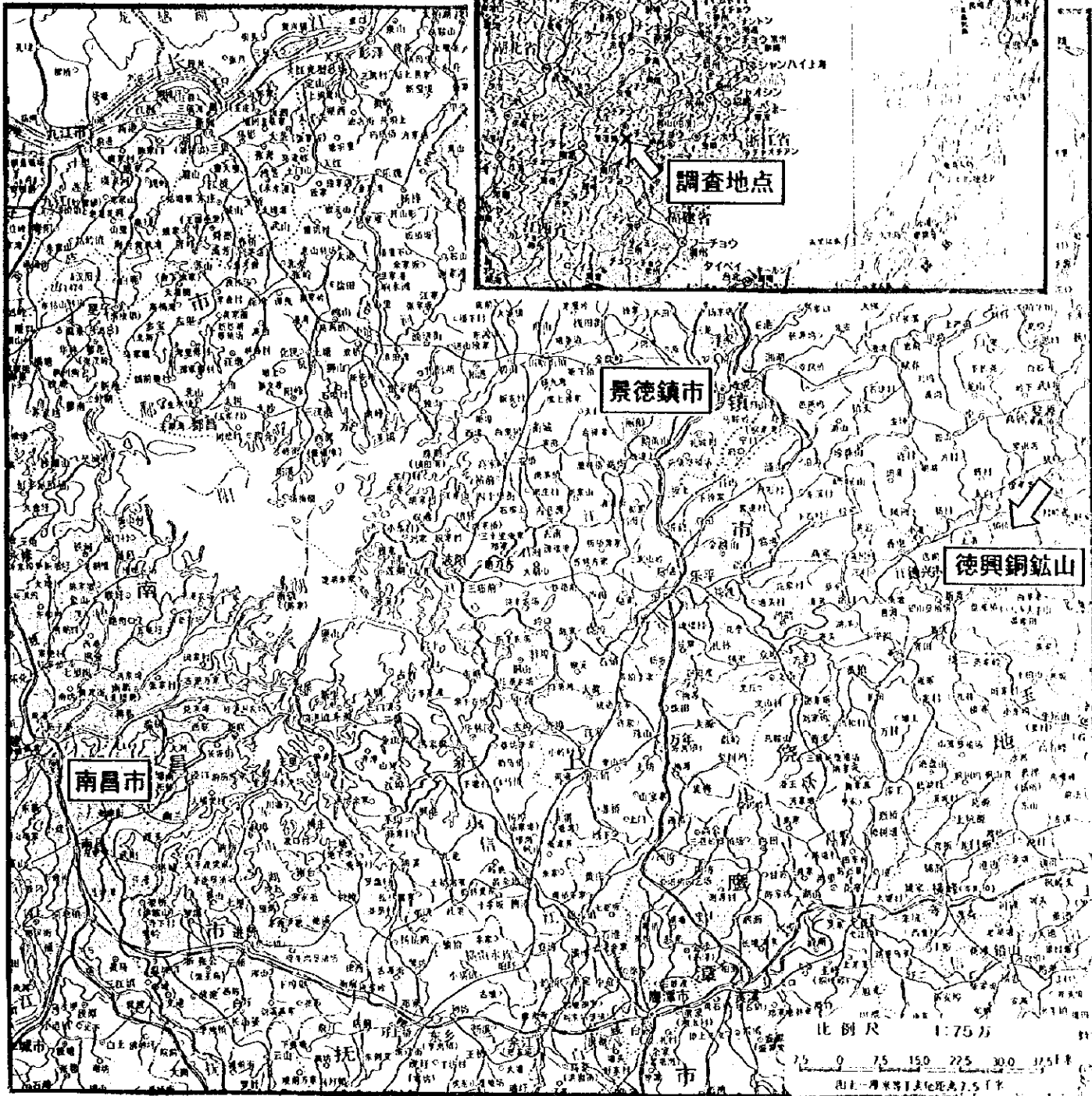
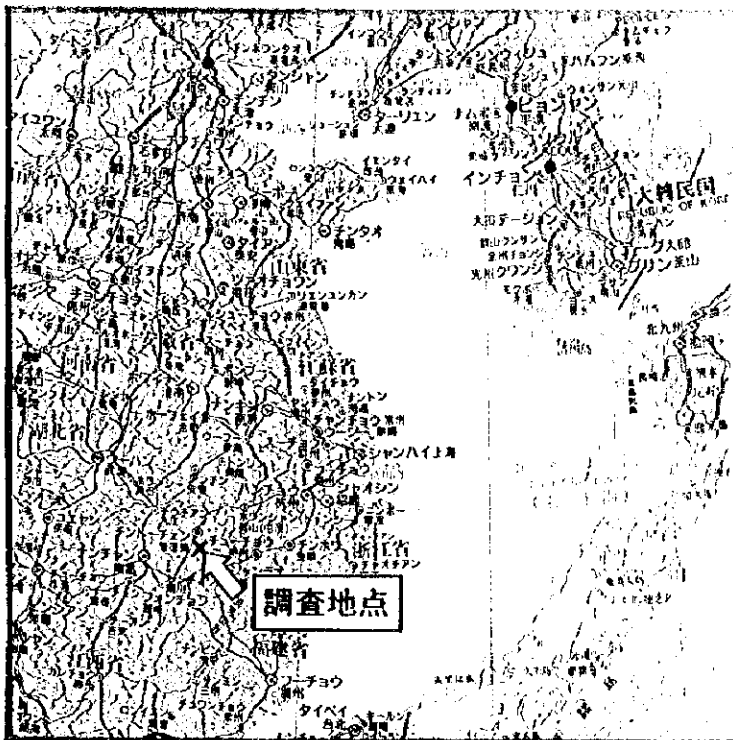
最後に、このような意義のあるプロジェクトに参加する機会を与えていただいたことに、まず感謝申し上げますとともに、二年間にわたりご指導、ご協力いただいた外務省、通産省、国際協力事業団・同中華人民共和国事務所および中国有色金属工業総公司、北京有色冶金設計研究総院ならびに徳興銅鋳山の関係者各位に、この場をお借りして深謝申し上げます。

敬具

1998年 3月

中国徳興銅鋳山鋳廃水処理計画詳細設計調査
調査団長 島津 康弘

調査地点位置図





写真一 1 2.4km x 2.4kmの銅鉱石露天掘り現場



写真-2 第三選鉱場遠景



写真-3 第三選鉱場内部

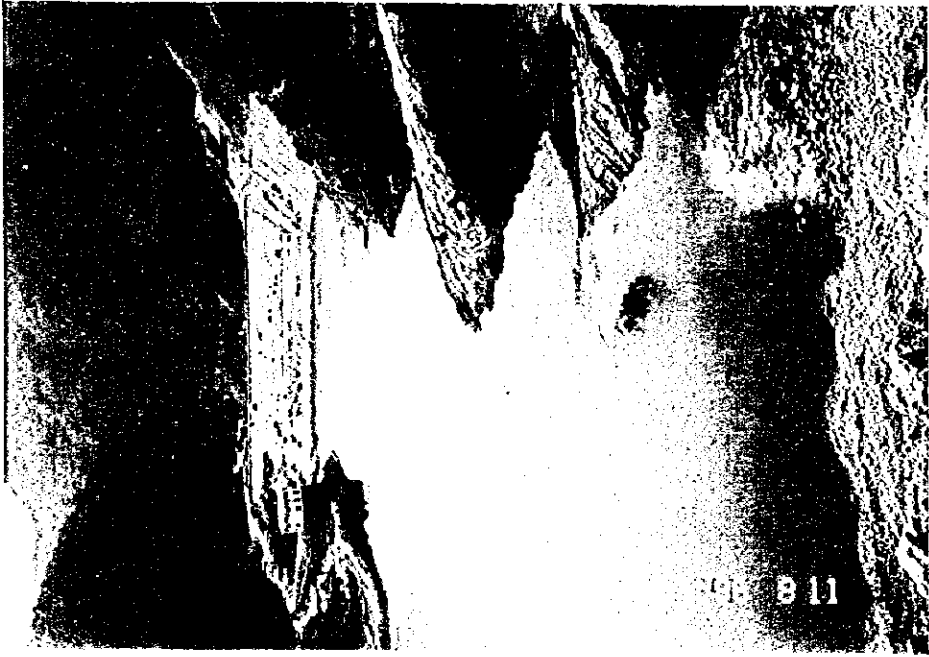


写真-4 酸性水ダム



写真-5 酸性水ダム



写真-6 広大な第四尾鉱庫、
左の緑の中に新規廃水処理施設が建設される予定

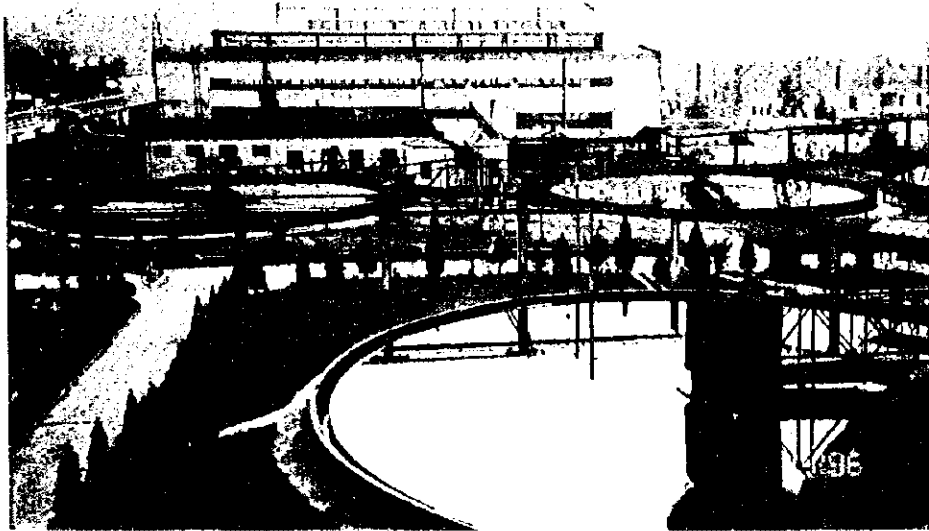


写真-7 既設廃水処理設備と有価物回収設備



写真-8 高架の中和槽と沈殿池



写真-9 徳興銅鉱山街を流れる大塙川



写真-10 酸性廃水とアルカリ性廃水が合流する

中国徳興銅鉍山鉍廃水処理計画詳細設計調査

最終報告書

全体 目次

第1章 序論

1-1	調査の目的	1-1
1-2	調査の背景、経緯	1-1
1-3	これまでに実施された調査内容	1-2
(1)	本格調査	1-3
(2)	詳細設計予備・事前調査	1-3
1-4	詳細設計調査の内容	1-4
(1)	第1年次(1996年度)	1-4
(2)	第2年次(1997年度)	1-4
1-5	調査団の編成と調査日程	1-6

第2章 実証試験装置の設計

2-1	はじめに	2-1
2-2	実証試験装置の設計	2-1
(1)	設計期間	2-1
(2)	設計範囲	2-1
(3)	実証試験予定地	2-2
(4)	配置計画	2-2
(5)	プロセス概要	2-2
(6)	設計条件	2-3
(7)	設計内容	2-4
(8)	設計上の配慮点	2-5
(9)	機器リスト、計器リスト	2-6
(10)	機器製作・調達、据付工事	2-6

第3章 実証試験

3-1	目的	3-1
3-2	実証試験の実施	3-2
(1)	実験場所と廃水	3-2
(2)	実証試験期間	3-2
(3)	実証試験の役割分担	3-2

3-3	実証試験前の予備試験	3-2
(1)	調整・研修運転	3-2
(2)	改造工事	3-4
3-4	調整運転	3-5
3-5	実証試験	3-6
1.	予備実験	3-6
2.	空気攪拌実験（空気吹込管比較）	3-8
3.	空気攪拌実験（適正空気吹込量）	3-11
4.	滞留時間変化実験	3-14
5.	一次中和pH 3.5の実験	3-18
6.	サイクロン部品交換による実験	3-19
7.	一次中和槽排泥循環実験	3-20
8.	一次中和槽排泥循環追加実験	3-22
9.	最適条件での実験（デモンストレーション）	3-24
3-6	廃水の評価	3-26
(1)	酸性廃水	3-26
(2)	アルカリ性廃水	3-28
3-7	計測機器について	3-29
(1)	計器等について	3-29
3-8	その他	3-30
(1)	スケールについて	3-30
(2)	アルカリ性廃水の詰まり	3-31

第4章 新規廃水処理設備の詳細設計

4-1	目的	4-1
4-2	基本方針	4-1
(1)	基本的な考え方	4-1
(2)	準拠すべき資料	4-1
4-3	基本計画	4-2
(1)	建設予定地	4-2
(2)	処理システムの概要	4-2
4-4	設計条件	4-3
(1)	設備一般	4-4
(2)	処理する廃水	4-4
(3)	廃水の量と質	4-5
(4)	処理水の基準	4-7

4-5	全体設計	4-9
(1)	全体配置	4-9
(2)	プロセスフロー図	4-10
(3)	エンジニアリングフロー図	4-10
4-6	機器（水槽）等の設計	4-12
(1)	廃水供給管（参考）	4-12
(2)	酸性水貯槽（S-01）	4-12
(3)	尾鉍溢流液分配槽（S-02）	4-14
(4)	一段中和槽、二段中和混合槽への供給配管	4-16
(5)	一段中和槽（S-03A、B、C）	4-20
(6)	循環返泥槽（S-05A1、A2、B1、B2、C1、C2）	4-24
(7)	排泥溝（X-01A、B、C、X-02A、B、C）	4-26
(8)	二段中和混合槽（S-04）	4-27
(9)	二段中和混合槽流入、流出配管、結合井	4-29
(10)	一段中和槽用鼓風機（B-01A、B、C、D）	4-29
(11)	攪拌用空気配管	4-31
4-7	その他	4-33
(1)	非常用発電機計画	4-33
(2)	土木設計用データ	4-35

第5章 結論と提言

5-1	本詳細設計調査の結論	5-1
(1)	実証試験装置の設計	5-1
(2)	実証試験	5-2
(3)	新規廃水処理設備の詳細設計	5-4
5-2	新規廃水処理設備の建設に係る提言	5-5
(1)	今後中国側が実施する詳細設計に係る留意事項	5-5
(2)	運転マニュアル作成及び維持管理上の留意事項	5-7
5-3	その他	5-8
(1)	現場詰所の設置	5-8
(2)	実証試験装置の活用	5-8

第1章 序 論

第1章 序 論

目 次

1-1	調査の目的	1-1
1-2	調査の背景、経緯	1-1
1-3	これまでに実施された調査内容	1-2
(1)	本格調査	1-3
(2)	詳細設計予備・事前調査	1-3
1-4	詳細設計調査の内容	1-4
(1)	第1年次(1996年度)	1-4
(2)	第2年次(1997年度)	1-4
1-5	調査団の編成と調査日程	1-6

第1章 序 論

1-1 調査の目的

中国徳興銅鉍山において、鉍山で発生している鉍廃水及び今後発生するであろう鉍廃水を中和処理し、公共用水域の水質改善に寄与する廃水処理設備の建設が計画されている。本調査は、この計画に際し日本の鉍廃水及び類似する廃水処理技術を活用して実証試験を行い、適切かつ経済的な処理システムを確立し、概念設計で行われた設計指針に基づき新規廃水処理設備の詳細設計を行うものである。

また日中協同で行う本調査を通じて、日本の先端鉍害対策及び関連する技術を中国側技術者へ移転することにより、中国の鉍山鉍害対策計画を推進実行する技術面の人材を育成し、同国における類似鉍山等の廃水処理対策を実施する際に中心的役割を担うことができるよう期待するものである。

1-2 調査の背景、経緯

中国においては、日本の高度成長期の歪みで生じた公害問題を注視し、1970年代に全国規模の環境会議が開かれ、1979年には環境保護法（試行）が公布されている。第8次5ヶ年計画の重要課題の一つとして環境保護が加えられており、1992年に関われた共産党大会でも十大政策の一つに取り上げられている。具体的には公害防止に関しては「三同時」（生産と公害防止とは同時に計画し、施工し、そして稼働させる）が義務づけられている。

一方、国家計画委員会と環境保護局との連名により、中国全国の公鉍害排出工場、事業場のリストが公表され、緊急に対策を講ずべき旨の指示が出されている。その中に、本調査の徳興銅鉍山の名前があり鉍廃水処理の未整備が指摘されている。一方、徳興銅鉍山では銅の需要増に応え、現在増産工事を実施または計画中であり、鉍廃水処理設備の整備は緊急の課題となっている。現地へ行ってみると、徳興銅鉍山街の中心を流れる大塢川は、酸化鉄でまっ茶色に染まった酸性の水が流れ、生物がまったく棲めない川となっており、数キロメートル下流で合流する楽安川では魚類の生息も減少したといわれている。楽安川は更に流下し、中国最大の淡水湖である鄱陽湖へ流れ込み、水質汚濁の影響が顕在化しつつある。また、洪水や地下水汚染による周辺の水環境汚染と土壌汚染が拡大し、農作物の被害、住民の健康に深刻な影響を与えているとの指摘もある。

現在、一部の廃水は中和処理され放流されているが、同鉍山では鉍廃水処理の計

画、設計に関する技術の蓄積は乏しく、今日に至るまで抜本的な対策がたてられていない。このような事態を重くみた中国政府は、早急に徳興銅鉍山に廃水処理設備を建設するため、処理設備計画、設計に関する技術協力を日本政府に要請してきた。

要請された主な内容は次の通り。

- (1) 水質環境の実態把握
- (2) 廃水処理技術の選定及び技術の提供
 - 1) 処理方法
 - ・バクテリア酸化法
 - ・中和法
 - ・泡沫処理法
 - ・溶媒抽出法
 - 2) プロセスの自動制御
- (3) 実験室規模の基礎試験
- (4) 現場での拡大試験
- (5) 機材の提供

日本政府は、この中国政府の要請に応じて1991年7月に鉍工業環境プロジェクト確認調査団を派遣し、このプロジェクトを正式協力事業とする旨確認した。

更に1992年3月、国際協力事業団（JICA）による予備調査団が具体的な調査内容の確認、徳興銅鉍山の現地調査、資料収集を行い、今後本件実施に向けて協議を継続する旨確認した。

前提条件であった「低品位銅鉍石のダンプリーチング計画」の検討を経て、1992年11月、事前調査団が派遣された。そこで本件の実施内容、範囲等について具体的な協議が行われ、実施細則（S/W）及び協議議事録の確認、署名が行われ、1993年3月から本格調査が実施される運びとなった。

1-3 これまでに実施された調査内容

S/W（1992年11月20日付）及び合意議事録（1994年3月20日）に基づき「実効性のある廃水処理計画を策定し、新規廃水処理施設の概念設計並びに既設廃水処理施設の改善提案を行う」ものとして本格調査が実施された。なお、調査の詳細は下記の報告書にまとめられている。

・中華人民共和国徳興銅鉍山鉍廃水処理計画調査 最終報告書

1995年3月 国際協力事業団

(1) 本格調査

本格調査は次の4段階で実施された

1) 第1段階 (1993年3月)

現地概況把握調査

2) 第2段階 (1993年6月～9月)

現地詳細調査

3) 第3段階 (1993年10月～12月)

廃水処理の基本方針の策定

4) 第4段階 (1994年7月～1995年3月)

概念設計

なお、本格調査は徳興銅鉛山鉛廃水処理計画調査共同企業体として下記の調査団で実施された。

代表者；三井金属資源開発株式会社 (団長 長浜達也氏)

構成員；同和工営株式会社

(2) 詳細設計調査 予備・事前調査 (1996年1月～3月)

1993年3月から1995年3月にかけて実施した本格調査において、徳興銅鉛山から排出される鉛廃水の処理方法として提言された酸性廃水とアルカリ性廃水を「空気攪拌による二段階中和法」は中国側から高い評価を受けた。しかし、設計を担当する中国有色金属工業総公司是、同提言に基づき中国側で独自に詳細設計に着手するには技術レベルが不十分であるとして、1994年11月に日本側に以下の3点に係る詳細設計調査の協力を要請してきた。

- 1) 酸性廃水およびアルカリ性廃水を二段階反応にて処理する二段階中和法
- 2) 比重が大きく時間の長い反応に有効な空気攪拌技術
- 3) 水質、水量変動の大きい反応のモニタリング技術

これを受けて国際協力事業団は、1995年6月鉛工業選定確認調査団を派遣し中国側と協議を重ね、本詳細設計に係る要請を平成7年実施案件として採択した。

1996年1月予備調査団が、3月に事前調査団が派遣され、詳細設計調査に関する調査内容、範囲等について中国側と協議し、協議議事録に署名、詳細設計調査が正式に実施されることになった。なお、詳細は下記の報告書に記載されている。

・中華人民共和国徳興銅鉛山鉛廃水処理計画詳細設計

予備・事前調査報告書

1996年5月 国際協力事業団

1-4 詳細設計調査の内容

詳細設計調査で実施した調査項目を以下に示す。

(1) 第1年次(1996年度)

1) 国内準備作業

- ①関連資料、情報の収集、整理・分析
- ②実証試験装置の基本設計準備
- ③実証試験実施計画の策定
- ④着手報告書の策定

2) 第1次現地調査

- ①着手報告書の説明、協議
- ②徳興銅鉱山の現況調査
- ③新規廃水処理施設の関連施設建設状況、今後の計画調査
- ④実証試験装置の立地条件の確認
- ⑤詳細設計に必要な中国国内の工業規格、安全規格等の調査

3) 第1次国内作業

- ①将来の廃水処理全体計画の検討
- ②実証試験装置の設計
 - ・製作、調達に必要な図書類の作成
 - ・購入仕様書の作成
- ③実証試験装置の製作、調達に関する事業団への助言
- ④実証試験装置建設に係る基礎工事の図面及び指示書の作成
- ⑤実証試験装置の現地据付作業計画の策定
- ⑥進捗報告書の作成
- ⑦実証試験計画書の作成

4) 第2次現地調査

- ①進捗報告書の説明
- ②現地据付業者の情報収集

5) 第2次追加現地調査

- ①据付工事業者詳細協議
- ②据付工事金額の決定、契約

(2) 第2年次(1997年度)

1) 第3次現地調査

- (a)実証試験装置の現地据付け作業の監督
- (b)実証試験装置の試運転
- (c)実証試験

- ①設計諸元に係るデータの取得
 - ・中和反応時間等
 - ・水量、水質変動に対する制御技術
 - ・空気攪拌に対する設計諸元
 - ・スケール付着、腐食に関するデータなど
- ②廃水処理設備の運転に関する教育訓練
 - ・計装機器の取り扱い
 - ・廃水処理プロセスの運転管理
 - ・空気攪拌設備の維持管理など

2) 第2次国内作業

- ①廃水処理設備設計諸元の決定
- ②中間報告書の作成

3) 第4次現地調査

- ①実証試験最終段階の立ち会い
- ②運転員教育の訓練成果の確認
- ③実証試験終了後の施設の活用法の検討
- ④中間報告書の説明・協議

4) 第3次国内作業

- ①新規廃水処理施設の詳細設計
 - ・全体図（配置図、プロセスフローシート、エンジニアリングフローシート）
 - ・機器図（水槽類）
 - ・土木基礎データ
 - ・回転機器等技術仕様書
 - ・電気計装設備関係図（単線結線図、計器信号系統図、計器データシート）
- ②新規廃水処理施設建設に係る提言
- ③最終報告書案の作成

5) 第5次予備現地調査

廃水処理設備の詳細設計に関する中間説明、協議

6) 第5次現地調査

- ・最終報告書案の説明・協議
- ・詳細設計図書のレビュー、確認

7) 最終報告書提出

第5次現地調査における協議に基づき修正し、最終報告書として印刷・製本の後、所定部数提出する。

1-5 調査団の編成と調査日程

本詳細設計調査の調査団は、千代田デイムス・アンド・ムーア株式会社を代表者とし、千代田化工建設株式会社を構成員とする共同企業体であり、調査団のメンバーを表1.1に示す。

また、調査日程を図1.1に示す。中国側の要望を考慮し調査を円滑に進めるため、当初の調査予定に対して、下記の変更、追加を行った。

(1) 実証試験の運転指導期間の延長

実証試験における調査団の任務は、実験に立ち会い運転指導し「設計諸元に係るデータの取得」と「廃水処理設備の運転に関する教育訓練」を行うこととされており、当初の計画では1997年7月～11月の実験期間中、4回（最初と最後、途中2回、0.5ヶ月×4=計2ヶ月）実証試験担当者が現地で実験に立ち会う予定であった。

これに対して中国側から、予め提出された実験計画に基づき中国側は実験を行う予定であるが、実験中に起こる現象の詳細な観察を行うこと、実験結果を踏まえた実験計画の変更を適切に判断すること、効果的な運転指導、研修のために、実験期間を通じて日本人技術者が常駐して欲しい旨強い要望があった。調査団も中国側の主旨を理解し、事業団も「実験の全期間を通し日本人技術者が常駐すること」を承認し、実施された。

(2) 現地調査の追加

1) 第2次追加現地調査

実証試験装置の据付工事は、中国側から紹介された現地業者に委託することが規定されており、現地の据付業者に工事範囲、工事仕様などを理解してもらい適正な金額での契約を行うため追加現地調査を実施したものである。これは中国側から提出された見積金額、単価が概念設計で示されていた予算額、工事単価と余りにも違ったことを確認することでもあった。

2) 第5次予備現地調査

1997年11月実証試験を終え、実験の結果を踏まえて新規廃水処理設備の詳細設計に着手した。詳細設計を進める過程で概念設計を変更する個所、中国側の要望点などに関し、中国側とFAXによる綿密な交信を重ね、意見交換・協議を行いながら詳細設計を進めてきた。1998年2月に予定されている最終報告会で中国側から設計変更の要望が出た場合、時間の制約もあってその対応は難しいため、設計方針が決まり主要装置の概略設計が終了した段階で、北京において中国側の設計担当である北京有色冶金設計研究総院担当者と事前・予備協議を行った。

表 1-1 調査団の編成

氏名	担 当	主たる業務内容及び任務	所 属
島津康弘	団長・総括	総括 鉦山廃水処理プロセス設計	千代田デ'イム'アント' ・ム'ア株式会社
高橋弘二	プロジェクトマネー ジャー 設計 実験	空気攪拌/機械設備設計 ・実証試験装置の設計、調達 ・実証試験装置据付工事監督 ・実証試験装置試運転、実験 ・プロセス、機械設備の詳細 設計	千代田デ'イム'アント' ・ム'ア株式会社
斉藤 肇	電気計装 設計	モトリングシステム/ システム制御・電気設備設計 ・実証試験装置の設計、調達 ・実証試験装置電気計装工事 監督 ・電気計装設備詳細設計	千代田デ'イム'アント' ・ム'ア株式会社 (千代田計装 株式会社)
間篠善一	プラント技術 実験	実証試験/プラント技術全般 ・基礎実験 ・中和反応・腐食対策 ・実験結果の解析	千代田化工建設 株式会社
柳川 木	土木・建築 設計	実証試験装置設計、詳細設計 ・土木、建築設計 ・プロジェクト管理	千代田デ'イム'アント' ・ム'ア株式会社
安川剛正	実 験	実証試験 ・運転、 ・教育訓練	千代田化工建設 株式会社
荒井敬之	実 験	実証試験 ・運転、 ・教育訓練	千代田デ'イム'アント' ・ム'ア株式会社
横内 廉	通 訳	現地調査における通訳 国内作業における翻訳	株式会社翻訳センター バイオニア

図 1-1 調査スケジュール

調査担当	調査内容 / 氏名・所属	1996年度												1997年度											
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
第1次現地調査	着手報告、現地踏査	□																							
第2次現地調査 補足現地調査	進捗報告、掘付情報収集 掘付工事説明、ネゴ			□																					
第3次現地調査	掘付工事/実証試験																								
第4次現地調査	実験立会い、中間報告																								
予備現地調査	詳細設計事前協議																								
第5次現地調査	最終報告書案説明・協議																								
総括/鉱山陸水処理プロセス設計	高津康弘 千代田システム・ム-7	☆	☆	☆	☆	☆															☆				
空気搅拌/機械設計設備	高橋弘二 千代田システム・ム-7	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆				
モータリウム/制御電気設備設計	斉藤 肇 千代田計装	☆	☆	☆	☆	☆															☆				
実証試験/プラント技術全般	間篠善一 千代田 化工建設	☆	☆	☆	☆	☆																			
本体施設/土木・建築	柳川 木 千代田システム・ム-7	☆	☆	☆	☆	☆															☆				
実証実験/運転技術指導	安川剛正 千代田 化工建設																								
実証実験/運転技術指導	荒井敬之 千代田システム・ム-7																								
通 記	横内 廉 翻訳センター バイオニア	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆				

第2章 実証試験装置の設計

第2章 実証試験装置の設計

目 次

2-1	はじめに	2-1
2-2	実証試験装置の設計	2-1
(1)	設計期間	2-1
(2)	設計範囲	2-1
(3)	実証試験予定地	2-2
(4)	配置計画	2-2
(5)	プロセス概要	2-2
(6)	設計条件	2-3
(7)	設計内容	2-4
(8)	設計上の配慮点	2-5
(9)	機器リスト、計器リスト	2-6
(10)	機器製作・調達、据付工事	2-6

第2章 実証試験装置の設計

2-1 はじめに

概念設計において、新規廃水処理設備の処理プロセスとして適用を予定している「二段階中和プロセス及び空気攪拌技術」に関する主要設計諸元は、実証試験装置（パイロットプラント）による現地実験で確認され、決定されるものであることが提言されてきた。これを受けて、新規廃水処理設備の詳細設計に先立ち「実証試験装置」の詳細設計を行った。

2-2 実証試験装置の設計

実証試験に使用する装置の設計および製作、機器・資材の調達は日本側が担当することになっている。調査団は第1回現地調査において徳興銅鉱山の生産現場、廃水源、環境対策等現場の現況を把握し、廃水処理計画方針、内容・条件など中国側と協議した。実証試験装置の設計は、概念設計で示されている計画に準拠し、現地調査の結果を加味して検討し実施設計を行った。

(1) 設計期間

1996年9月から11月30日

(2) 設計範囲

実証試験装置の設計範囲については、1996年3月26日付け協議議事録に示されている。基本的には、地上（基礎の上）に設置されるものについて日本側が設計を行うものである。

1) 塔槽類・回転機器・配管類の設計

2) 電気・計装設備の設計

(計装用圧縮空気設備を含む)

3) 土木・建築設計

*付帯設備（計器室建物、及び実証試験設備までの電源、用水・廃水の供給及び排水の排出）については中国側が行う。ただし、計器室については日本側は計画図を提出する。

(3) 実証試験予定地

実証試験装置の建設予定地は、4号加圧ポンプステーション下の空き地が予定されており、第1次現地調査において日中双方で現地踏査を実施した。予定地は一部平坦地があるものの、全体ではなだらかな斜面草地であるが、道路に近く実証試験装置建設の適地であることを双方で確認した。ただし、近くに送電線が走っており、調査団は、そのことが法規上、施工、実験に不具合のないことを確認した上で決定するよう申し入れた。

その後、中国側は測量を実施し再検討の結果、アルカリ性廃水の供給の容易さなどを考慮して、北へ約30m（道路、ポンプステーションに近い方へ）建設予定地を変更した（下記図面を参照）。

添付資料1.2 図(1) 「実証試験装置 位置図」

(4) 配置計画

実証試験装置の配置は下記の図面による。

添付資料1.2 図(2) 「実証試験装置 平面配置図」

添付資料1.2 図(3) 「実証試験装置 側面図(1/2)」

添付資料1.2 図(4) 「実証試験装置 側面図(2/2)」

(5) プロセスの概要

廃水処理プロセスは、概念設計において示されたフローに準拠し設計した。

添付資料1.5 図(5) 「実証試験装置 プロセスフローシート」

- ①酸性廃水、アルカリ性廃水については、中国側から供給を受けて、それぞれ酸性廃水受入れ槽（SUS304製）、アルカリ性廃水受入れ槽（鋼板製）に受入れられる。
- ②アルカリ性廃水は粗粒子を除くためにサイクロンを設置し、分級した溢流液を放射線密度計で固形分濃度を測定した後、前記アルカリ性廃水受入れ槽に貯留する。またサイクロンの底流液は直接処理液受槽（SUS304製）へ送られる。
- ③酸性廃水受入れ槽から一定量（100ℓ/min）に制御された酸性廃水が自然流下で一次中和槽（SUS304製）へ流入する。
- ④アルカリ性廃水受入れ槽からアルカリ性廃水が一次中和槽へ自然流下で加えられる。その流量は一次中和槽の中和液がpH4になるようにpH調節計からの信号で流量制御されている。
- ⑤一次中和槽は1槽4室×2槽（計8室）の角槽（SUS304製）からなり、流入した廃水は各室を順に流れる間に槽底から吹込む空気によって混合、中和され約pH4になる。

- ⑥一次中和槽各室の底は逆角錐になっていて汚泥の一部は沈降する。汚泥中の未反応の炭酸カルシウムを有効利用するため槽底に沈積した汚泥を抜き出し、排泥樋（SUS304製）で集めて繰り返し排泥槽（SUS304製）に受ける。この汚泥は繰り返しポンプにより一次中和槽入口へ返送する。
- ⑦一次中和槽においてpH 4付近に中和された一次中和液は二次中和混和槽（SUS304製）へ流下する。ここでアルカリ性廃水受入れ槽からアルカリ性廃水が加えられる。二次中和混和槽は水路に数枚の邪魔板が設けてあり、廃水は流れながら迂流攪拌、中和されてpH7~9になって処理液受槽へ流下する。
- ⑧処理液受槽では、二次中和処理液とサイクロンの底流液及び酸性廃水・アルカリ性廃水の溢流液が流入し、その混合液は4号加圧ポンプステーションへ返送される。

(6) 設計条件

1) 廃水の処理量と水質

(a) 処理水量

- ・酸性廃水 = 100 [ℓ/min]
= 新規廃水処理設備処理量の約1/300
- ・一次中和アルカリ性廃水 = 上記廃水をpH 4付近にする量
- ・二次中和アルカリ性廃水 = 一次中和液をpH 7~9にする量

(b) 廃水の水質

表 2-1 酸性廃水の水質

項目	水質
pH [-]	2.3 (1.5~3.0)
Cu ⁺² [mg/ℓ]	95
T-Fe [mg/ℓ]	2,670
Fe ²⁺ [mg/ℓ]	760
Al ³⁺ [mg/ℓ]	640
SO ₄ ²⁻ [mg/ℓ]	9,680
8.4AX [mg/ℓ]	8,580
SS [mg/ℓ]	3,100
液比重 [-]	1.02

表 2-2 アルカリ性廃水の水質

項目	水質
pH [-]	11.7 (11~12)
4.3BX [mg/ℓ]	2,290
CaO [mg/ℓ]	2.32
CaCO ₃ [mg/ℓ]	5.54
Fe [mg/ℓ]	4.31
SS濃度 [%]	10 (5~10)
<200mesh [%]	82 (70~99)
液比重 [-]	1.10

2) 処理液水質

表 2-3 処理液の水質

項目	一次中和液	二次中和液
pH [—]	4.0 (3.5~4.5)	7.0 (6.5~9.0)
SS濃度 [%]	10 (5~15)	10 (5~15)
<200mesh [%]	82 (70~99)	82 (70~99)
液比重 [—]	1.10	1.01

(7) 設計内容

実証試験装置に関する次の設計を実施した。

1) 機械設備関係

(a)全体設計

- ①配置図
- ②プロセスフローシート
- ③エンジニアリングフローシート

(b)個別設計

- ①機器製作図
 - ・一次中和槽など水槽図面
- ②配管図
 - ・平面図、側面図
- ③鉄架構、階段、操作ステージ、手摺など
- ④水槽類等製作仕様書
- ⑤回転機器類、配管資材購入仕様書
- ⑥機器リスト、データシートほか
- ⑦据付け工事仕様書

2) 電気計装設備関係

- ①制御盤設計、購入仕様書
- ②計器、電気機器類購入仕様書
- ③電気工事施工図
- ④計装工事施工図
- ⑤リスト、データシートなど
- ⑥電気計装工事仕様書

3) 運転関係

- ①試運転計画書
- ②運転要領書
- ③実験計画書

(8) 設計上の配慮点

1) 全面操作ステージの設置

実験装置は運転中に観察、測定、採水、運転操作などのために装置周辺を歩くことが多く、実装置以上に操作しや易いことが望まれる。この点を考慮して「2つの廃水受槽、サイクロン、一次中和槽、二次中和混和槽」は架台を組んで、その上に設置し、周囲を操作ステージで囲み階段を設け、運転操作・点検が容易にできるように設計した。

2) 仮組み計画

水槽類、運転操作ステージ、階段等及びこれらを搭載し取付ける鉄架構は現地中国人作業員でも容易にかつ確実に、短い工期で据付工事ができるように、製作工場でボルト締めで仮組みするものとして設計、製作仕様書に規定した。

3) 一次中和槽

一次中和槽の大きさは、概念設計では約1.0m x 1.0m x 1.5mH（垂直部）で10室を、設置することになっていた。10室で設計することは、製作、運搬上の問題、現場据付けの難易さを考慮するとあまり経済的でないので、容積（表面積）を変えないで「（2室 x 2室） x 2槽 = 計8室」に設計変更することにした。1室を正方形とし、その1辺をaとすると

$$[(1.0\text{m} \times 1.0\text{m}) \times 10\text{室}] = a^2 \times 8\text{室} \quad a = 1.15 \rightarrow 1.15\text{m}$$

となり、

- ・ 1室 = $1.15\text{m} \times 1.15\text{m} = (1.32\text{m}^2)$
- ・ 1槽 = $4\text{室} (1.15\text{m} \times 2) \times (1.15\text{m} \times 2) = 5.29\text{m}^2$
- ・ 2槽 = $5.29\text{m}^2 \times 2 = 10.58\text{m}^2$

とした。

4) 輸送制限

中国国内の輸送は貨車輸送が予定されており、次の大きさ、重量制限が指定された。各水槽類、鉄架構、階段などは、梱包の後この寸法以内になるよう設計上考慮した。輸送制限は下記の通り。

- ・ 大きさ： 長さ12m x 幅3m x 高さ2.7m
- ・ 重量： 50ト

なお、一次中和槽（4室）は幅、高さとも大きさ制限一杯であった。

(9) 機器リスト、計器リスト

主要な機器、計器を、それぞれ表 2-1 機器リスト、表 2-2 計器リストに示す。

(10) 機器製作・調達、据付工事

実証試験装置を構成する機器類、計器類、資機材は日本で製作・調達され、現地へ輸送された後、日本からの役務提供調査団員の技術指導により現地据付業者により施工された。

表 2-1 機器リスト

NO	機器名称	数量	材質	寸法・仕様ほか
VE-01	7ℓ加性廃水受入れ槽	1基	鋼板	円筒型 内径1.55m x 2.0mH
VE-02	酸性廃水受入れ槽	1基	SUS304	円筒型 内径1.55m x 2.0mH
VE-03 AB	一次中和槽	2槽	SUS304	角型、底部逆角錐 1室：1.15m x 1.15m x 1.5mH 1槽：2.3m x 2.3m x 1.5mH 空気吹込管
VE-04	二次中和混和槽	1基	SUS304	角型横置 0.6mW x 2.0mL x 0.8mH 水平迂流式攪拌
VE-05	繰り返し排泥槽	1基	SUS304	角型横置 0.6mW x 2.0mL x 0.8mH 空気攪拌
PU-01 AB	繰り返しポンプ	1台	ゴムラインク	遠心横型ワマンポンプ 0.4m ³ /min x 15mH x 3.7kw
B-01	ブロー	1台	鋳鉄	ローターブロー 7.0Nm ³ /min x 3.0mAqx7.5kw
X-01	7ℓ加性廃水攪拌機	1台	SUS304	縦型、350rpm x 0.75kw
X-02	処理液受槽攪拌機	1台	SUS304	縦型、350rpm x 1.5kw
C-01	計装用空気圧縮機	1台		0.075m ³ /min x 8.5kg/cm ² x 0.75kw、ベピコン

表 2-2 計器リスト

NO	計器名称	数量	寸法、材質、仕様など
—	制御盤	1面	鋼板製自立型 1.0mW x 0.9mL x 2.1mH
FR-1	流量記録計	1台	4B7ℓ加性廃水、電磁流量計
FR-2	流量記録計	1台	1-1/2B7ℓ加性廃水、電磁流量計
FR-3	流量記録計	1台	1-1/2B酸性廃水、電磁流量計
FI-101	流量指示計	1台	4B7ℓ加性廃水、電磁流量計
FI-102	流量指示計	1台	4B7ℓ加性廃水、電磁流量計
FI-103	流量指示計	1台	2B循環排泥、電磁流量計
LICA-1	液面指示調節計	1台	超音波液面計、VE-05
LIA-2	液面指示警報計	1台	超音波液面計、VE-01
LIC-3	液面指示調節計	1台	超音波液面計、VE-02
LIA-4	液面指示警報計	1台	超音波液面計、VE-06
AR-1	pH記録計	1台	電極式、浸漬型ブラシ洗浄器付、VE-01
AR-2	pH記録計	1台	電極式、超音波洗浄器付、VE-02
ARC-3	pH調節計	1台	電極式、浸漬型ブラシ洗浄器付、VE-03
AR-4	pH記録計	1台	電極式、浸漬型ブラシ洗浄器付、VE-04
LICAV-1	調節弁	1台	2B、循環排泥
LICV-3	調節弁	1台	1-1/2B、酸性廃水
ARCV-3	調節弁	1台	1-1/2B、アルカリ性廃水
PI-1	圧力指示計	1台	7ℓ加性廃水、ダイヤフラム式
DR-1	密度計	1台	放射線密度計、AMDEL型 中国昆明冶金設計院製

表 2-2 計器リスト (2/2)

NO	計器名称	数量	寸法、材質、仕様など
FI-105~112	流量計	8台	1B、ガラスロータメータ
PI-1	圧力指示計	1台	アルカリ性廃水、ダイヤラム式

第3章 実証試験

第3章 実証試験 目 次

3-1	目的	3-1
3-2	実証試験の実施	3-2
(1)	実験場所と廃水	3-2
(2)	実証試験期間	3-2
(3)	実証試験の役割分担	3-2
3-3	実証試験前の予備試験	3-2
(1)	調整・研修運転	3-2
(2)	改造工事	3-4
3-4	調整運転	3-5
3-5	実証試験	3-6
1.	予備実験	3-6
2.	空気攪拌実験（空気吹込管比較）	3-8
3.	空気攪拌実験（適正空気吹込量）	3-11
4.	滞留時間変化実験	3-14
5.	一次中和 pH 3.5 の実験	3-18
6.	サイクロン部品交換による実験	3-19
7.	一次中和槽排泥循環実験	3-20
8.	一次中和槽排泥循環追加実験	3-22
9.	最適条件での実験（デモンストレーション）	3-24
3-6	廃水の評価	3-26
(1)	酸性廃水	3-26
(2)	アルカリ性廃水	3-28
3-7	計測機器について	3-29
(1)	計器等について	3-29
3-8	その他	3-30
(1)	スケールについて	3-30
(2)	アルカリ性廃水の詰まり	3-30

第3章 実証試験

3-1 目的

実証試験は、徳興銅鉱山の鉱山廃水処理において「空気攪拌による二段階中和法」を実証し、技術的に最適で、かつもっとも経済的な規模の新規廃水処理設備を設計するために必要な設計諸元を得ることを目的として、次の試験および技術指導・移転を行うものである。

(1) 二段階中和法に関する試験

廃水の性状変化に対応する中和処理技術を確立するために、試験では様々な性状の廃水を供給し実験、観察する。そのため複数の一次中和槽を通した連続試験を行い、各槽における処理水のpH値の変化をモニタリングする。併せて処理水が環境基準値に達するまでの中和反応時間を求める。

(2) 空気攪拌技術の確立のための試験

空気攪拌が大量の尾鉱粒子を含む廃水に対して有効に働くことを確認する。また、最適な送風空気量を得ることにより、空気攪拌装置の建設コスト及びランニングコストを最小にするものである。

<以上、1996.3.26 実施細則より>

(3) 実験の技術指導

日本側が実証試験を指導して、中国側への技術移転を中心に進め、詳細設計のための諸データの蓄積を図る。

<以上、1996.2.1 協議議事録より>

(4) 計測・制御技術

基本設計データを収集するとともに、流量季節変化に対応したpH値制御の方法を確認する。

<以上、1996.2.1 協議議事録 別添1より>

3-2 実証試験の実施

(1) 実験場所と廃水

実験場所及び実験に使用する廃水については事前調査において決定されており、本格調査の踏査において確認されたものである。

1) 実験場所

四号加圧ポンプステーションD

2) 実験に使用する廃水

- ・酸性廃水： 楊桃う酸性廃水
 - ・アルカリ性廃水： 4号加圧ポンプステーション（西方分級ステーション）
- 【注】 両廃水とも新規廃水処理設備で処理対象とする廃水ではない。

(2) 実証試験期間

1997年7月14日～11月3日（調整、研修試験を含む）

(3) 実証試験の役割分担

1) 実証試験の技術指導

<日本側調査団>

- ①実験全般：高橋弘二 安川剛正 荒井敬之
- ②個別：（室内実験）間篠善一、（電気計装）齊藤肇

2) 実証試験の運転担当

<北京有色冶金設計研究総院>

刘 荣仁 孔 荟 刘 成 胡 宝和

<德興銅磁>

熊 报国 董 家輝 詹 幼鸿 刘 泳玉

3-3. 実証試験前の予備試験

(1) 調整・研修運転

1) 目的

本実験に入る前に、下記の目的で調整・研修運転を実施した。

- ①供給を受ける酸性廃水、アルカリ性廃水、および中和液の概略の性状を把握する。
- ②機器・計器の作動、性能の良否を把握する。

- ③長期連続試験を行う上で不具合と思われる点を洗い出す。
- ④その結果、不具合な個所があれば、その対策案を作成する。運転で解決が難しい個所に対して改造計画を立案する。
- ⑤中国側の実証試験の中心になる技術者と、運転要員として現地採用された運転員（女性）に対して装置の運転に習熟してもらう。

2)試験期間

- ・1997年7月14日(月)～7月22日(月)：昼間だけ
- ・1997年7月23日(火)～8月8日(金)：3直3交替による24時間連続運転

3)装置の運転性状の確認内容：

①廃水の受入れ、排出

- ・酸性廃水、アルカリ性廃水の供給、受入れ
- ・サイクロンによるアルカリ性廃水の分級
- ・サイクロン底流（Underflow）の連続抜き出し、詰まり
- ・処理液／余水／汚泥の排出

②一次中和試験

- ・pH4一次中和試験
- ・攪拌空気の供給と混合状態
- ・槽の余裕深さ
- ・排泥

③二次中和

- ・pH7～9二次中和試験
- ・邪魔板による損失水頭

④回転機器の作動、調整

- ・繰り返しポンプ、処理液ポンプ、ブロワ、攪拌機（2台）

⑤計器・制御盤の作動、指示、調整など

- ・制御盤、流量計、液面計、pH計、調節弁など

4)成果

①調整運転

アルカリ性廃水の供給、およびサイクロンでの分級など、主としてアルカリ性廃水中の粗粒子による堆積・詰まりに起因する不具合により、長時間の連続運転が困難であることが明らかになったので、日中ともそれぞれ改造計画を作成・協議し、改造を行うことにした。

②研修運転

装置の運転要領、個々の機器・計器の調整法など、また実際に発生した、あるいは予想されるトラブルに対する処置要領など、現場において実地指導を

続運転で行う実験に移行する上での不安がほぼ解消された。

(2) 改造工事

調整運転の結果、連続運転を行う上で主としてアルカリ性廃水の粗粒子による配管の詰まりが発生するなどの不具合な個所が認められた。この点に対して改造計画案を作成し、日中協議の後、次の改造工事を実施した。

1)改造工事期間

1997年8月9日(土)～11日(月)

2)改造内容

- ①固形分濃度の高いサイクロン底流 (Underflow) の配管閉鎖を防止するために、底流をファンネルで受けた後、単独の傾斜配管で処理液受槽まで配管した。
(改造前：・サイクロンの底流、・酸性廃水受入れ槽、アルカリ性廃水受入れ槽溢流液・繰り返しポンプによる余剰汚泥排出、が1本の配管で処理液受槽へ送られていた。)
- ②サイクロン底流と同じ配管に接続されていた酸性廃水、アルカリ性廃水の溢流管 (Overflow) を切り離し、それぞれ直下の繰り返し排泥槽へ流下するよう配管した。
- ③繰り返しポンプの吐出側配管を、単独で処理液受槽まで配管した。
- ④繰り返し排泥槽内に、汚泥堆積防止のための傾斜板を取付けた。
また、攪拌用空気吹込管の位置を移動させた (期間前に実施)。
- ⑤定水位槽の撤去ほか、アルカリ性廃水の安定供給、処理液の放流のための改造が行われた (中国側)。

3-4 調整運転

〔調整運転〕

改造工事を行ったことより、運転上の不具合が解消され、長期連続運転が可能であることを確認する。

(1) 期間

1997年8月12日(火)～15日(金)、3直3交替24時間連続運転

(2) 目的

改造結果の確認

(3) 実験条件

- ・酸性廃水： 95～100[l/min]
- ・一次中和： pH 4
- ・二次中和： pH 7～9
- ・攪拌空気吹込量： 200[l/min]
- ・空気吹込管： Js (末端が3/4Bの直管)
- ・一次中和槽排泥： 2時間に1回、濃縮泥を排出

(4) 成果

1) 改造工事

改造工事の成果が確認でき、連続運転を行うことができることが確認できた。

①配管

それぞれ改造の効果があり、アルカリ性廃水系の配管の詰まりが解消され、連続運転を行う上で支障がないことが確認できた。

ただし、サイクロン底流 (Underflow) 濃度が高く、詰まりの懸念があるため、常時希釈用に工水をファンネルに注水することで対処した。

②繰り返し排泥槽

槽底部に汚泥が堆積することが防止され、繰り返しポンプの吸込み管が詰まることがなくなった。

2) 全般

1次中和、2次中和とも、ほぼ所定のpHで中和反応が行われており、「空気攪拌による二段階中和」による酸性廃水・アルカリ性廃水の中和処理が容易に可能であることが確認された。

3-5 実証試験

1. 予備実験

調整試験運転で長期連続運転が可能であることが確認できたので、運転条件を設定し、実験データをとる予備実験を行った。

(1) 期間

1997年8月18日(月)～22日(金)

(2) 実験内容

前週の調整運転の条件を引継いで1週間の連続運転を行い、「予備実験」としての実験データをとった(添付資料1.6表-1参照)。

(3) 実験条件

「調整運転に同じ」

(4) 主な実験結果

1) pH

- ・酸性廃水： pH 2.60 (2.56～2.63)
- ・アルカリ性廃水： pH 11.87 (11.82～11.92)
- ・処理液： 1次中和= pH 3.97
2次中和= pH 8.01

2) 重金属の除去

	廃水	一次中和 (除去率)	二次中和
Cu	77.5[mg/l]	→ 35.0[mg/l] (25.6%)	→ <0.5[mg/l]
TFe	1244[mg/l]	→ 494[mg/l] (34.5%)	→ <0.5[mg/l]
Fe ²⁺	450[mg/l]	→ 501[mg/l] (-10.2%)	→ <0.5[mg/l]

ただし、アルカリ性廃水にはCu、TFe、Fe²⁺は含まれていないものとして計算している。

3) 炭酸カルシウム利用率： 77.0% (68.5～87.0%)

4) 酸性廃水に対するアルカリ性廃水の消費比率

- ・一次中和： 一次アルカリ性廃水量／酸性廃水量 = 0.65
- ・二次中和： 二次アルカリ性廃水量／酸性廃水量 = 2.89

合計 アルカリ性廃水量／酸性廃水量 = 3.54

(5) 評価

1) 全般

- ①空気攪拌効果もよく、1次、2次中和とも順調に行われていることが確認できた。
- ②中国側技術員、運転員とも、実験装置の運転操作、運転データ記録にも少しずつ慣れてきて、採水、分析も順調に行われた。
- ③前週の調整運転で確認されたが、実証試験装置は一週間、実験を停止するようなトラブルの発生はなく連続運転できた。

2) 分析結果

- ①一次中和槽における一次中和（pH4）では
 - ・炭酸カルシウムの利用率は80%弱であり、
 - ・Cu、TFeはそれぞれ1/4、1/3除去された。
 - ・しかし、Fe²⁺は逆に増加していた。
- ②二次中和混和槽の処理液中の重金属は、いずれも0.5[mg/l]以下まで処理されていた。

3) 成果

実証試験装置の運転要領、中和処理の概要が把握することができた。これからの実験を行うにあたり、実験条件の設定・調整、運転データの確認・記録、採水・分析の要領など、特に問題がないことが確認できた。特に、実験装置を昼夜にわたり連続運転する中国側運転員が、期待していた以上に運転要領をよく習熟し運転してくれたので、今後の各種実験を進めていく上での不安が解消された。

2. 空気攪拌実験 (空気吹込管比較)

用意した4種類の空気吹込管の中で、どのタイプの空気吹込管が適切であるか選定する。

(1) 期間

1997年8月25日(月)～9月3日(水)

(2) 実験内容

2種類の空気吹込管比較実験

- ① [Run 1301] J1型 (直管径大) ノズル: Js型 (直管径小) ノズル
- ② [Run 1303] T1型 (T型管太) ノズル: Ts型 (T型管細) ノズル
- ③ [Run 1305] Js型 (直管孔小) ノズル: Ts型 (T型管細) ノズル

(3) 空気吹込管

1) 材質:

PVC管 (硬質塩化ビニル管)

2) 寸法

形状	管径	孔径 (面積)	孔数	吹出速度
J ℓ 型直管	1B (25mm)	2.5cm(4.91cm ²)	1	6.8[m/sec]
Js型直管	3/4B(20mm)	2.0cm(3.14cm ²)	1	10.6[m/sec]
T ℓ 型多孔管	1B (25mm)	1.0cm(0.79cm ²)	4	10.6[m/sec]
Ts型多孔管	3/4B(20mm)	1.0cm(0.79cm ²)	4	10.6[m/sec]

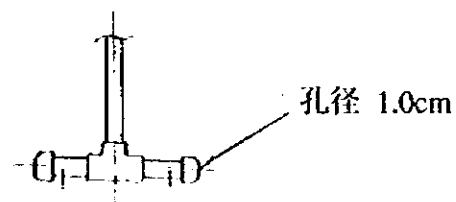
[注] 吹出速度は、空気吹込み量 $Q=200[\ell/\text{min}]$ の場合

3) 形状

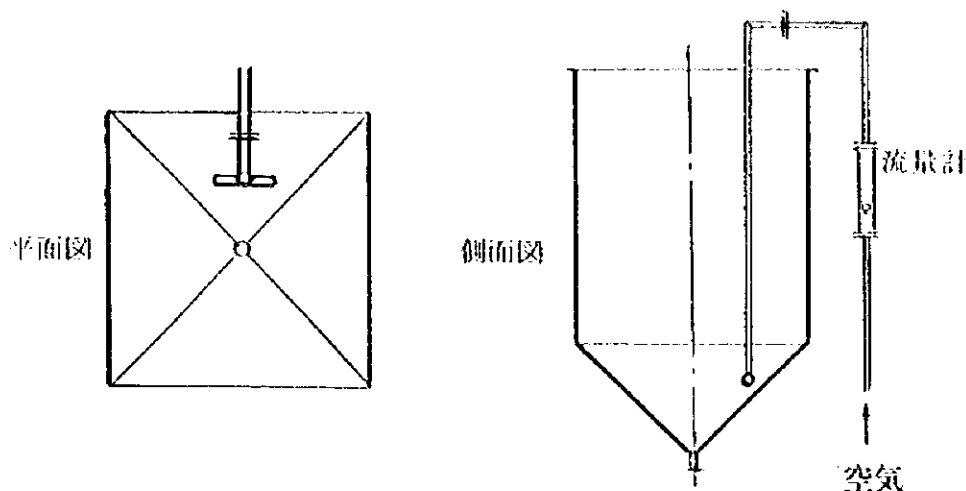
J型空気吹込管



T型空気吹込管

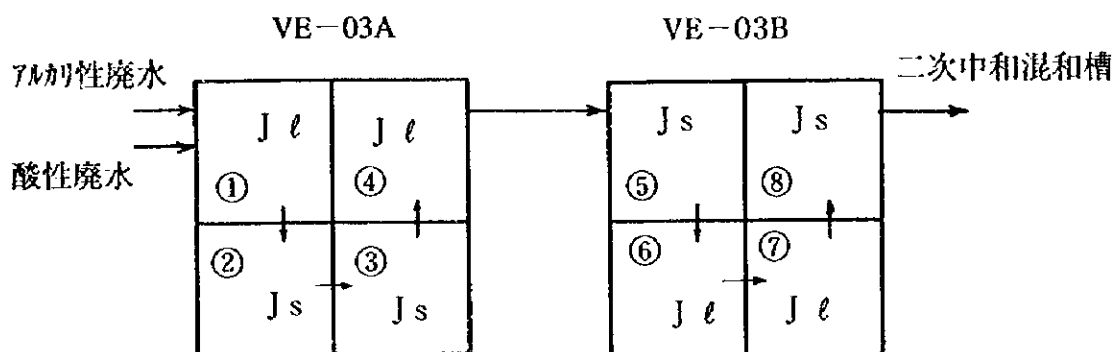


4) 取付図



(4) 実験方法

空気吹込量は、これまでの実験で妥当ではないかと思われる $200[\text{l}/\text{min}]$ を採用した。空気吹込管は一次中和槽各槽に下記のように設置し、下図に示す上下槽での性能の相対比較を行った（例：①と②の比較、④と③の比較）。



(5) 効果判定方法

攪拌効果を表す絶対評価基準としては、槽内の水平面および垂直方向の濃度分布、速度分布の測定などによらなければならないが、測定は難しく時間もかかるため、またそれほど厳密な結果が要求されるものではないので、下記の簡便法による相対的性能比較で優劣の判定を行った。

<運転中>

- ①水槽表面 3ヶ所の固形物濃度を測定し、その均一性
- ②攪拌空気による水面の盛り上がりの輪の大きさ

<運転停止、水抜き後>

・槽底の堆積汚泥量、面積の少なさ及び分布の偏り

(6) 結果

1) 優れた空気吹込管

槽内濃度の均一性と槽底の汚泥堆積状態から、

「J型とJS型」ではJS型が、また、

「T型とTS型」ではTS型がやや優れていると判断された。

次に、優れた「JS型とTS型」同士の比較ではTS型がやや優れていると判定された。しかし、4種類の空気吹込管の間では、それほど大きな優劣の差は見られなかった。

2) 中和実験結果

2種類の異なる空気吹込管を使って行った中和実験のため、分析結果からは空気吹込管の優劣を判断する結果は得られない。従って、以下は中和実験としての参考値として示すものである（詳細は添付資料1.6表-2参照）。

(a)酸性廃水に対するアルカリ性廃水の消費比率

RunNO. 1301/1303/1305

・一次中和： 一次アルカリ性廃水量/酸性廃水量 = 0.60/0.87/0.72

・二次中和： 二次アルカリ性廃水量/酸性廃水量 = 2.67/3.33/4.19

合計 アルカリ性廃水量/酸性廃水量 = 3.27/4.20/4.91

(b)一次中和炭酸カルシウムの利用率と重金属除去率

Run NO.	1301	1303	1305
1)炭酸カルシウム利用率 [%]	0.82	0.73	0.74
2)重金属除去率 [%]			
・Cu	20.6	30.9	14.1
・TFe	37.5	25.0	21.8
・Fe ²⁺	3.0	7.6	0.7

[注] 重金属については、酸性廃水にのみ含まれているものとして計算している（以下、同じ）。

なお、二次中和後の重金属濃度は、いずれも0.5[mg/l]以下である。

(c)1週間の運転で硫酸カルシウム（石膏=CaSO₄・2H₂O）の付着が観察された。空気吹込管の外側はもちろん、J型吹込管では管内部（末端から数cm）、T型吹込管では孔の内側に石膏のスケールの付着が見られた。T_s型（多孔管型）空気吹込管が優れた結果を示したが、石膏による孔の詰まりが心配される。

3. 空気攪拌実験 (適正空気吹込量)

前の実験で選定したT_s型空気吹込管を用いて空気の吹込量を変化させ、最適な空気吹込量を求める。

(1) 期間

1997年9月3日(水)～12日(金)

(2) 実験内容

T_s型空気吹込管を使用して空気吹込み量を変えて実験し、最適な空気吹込量を求める。

- ・ [Run NO.1306] 空気吹込量：Q=200[ℓ/min]
- ・ [Run NO.1307] 空気吹込量：Q=250[ℓ/min]
- ・ [Run NO.1308] 空気吹込量：Q=150[ℓ/min]

(3) 効果判定

1) 外観を主とする判定

前記「空気吹込管実験」に同じ。

2) 中和効果

一次中和における炭酸カルシウム利用率と重金属の除去率

(4) 結果

1) 外観を主とする判定

空気の吹込量が多ければ槽底の汚泥堆積量が減るであろうと予想していたが、予想に反して、これまで実験してきた200[ℓ/min]の汚泥堆積量が少なく、混合攪拌状態も変わらないため、空気吹込量 200[ℓ/min]が優れていると判定した。

2) 中和効果

(a)酸性廃水に対するアルカリ性廃水消費比率：

偶然かと思われるが、空気吹込量 200[ℓ/min] (Run NO.1306) の場合のアルカリ性廃水の消費量が少なかった。これは酸性廃水のpHが高かったことも一因ではないかとも思われる (添付資料1. 6 表-3 参照)。

Run NO.	1305	1306	1308
空気吹込量 [ℓ/min]	150	200	250
酸性廃水 pH [-]	2.49	2.66	2.53
7M加性廃水 pH [-]	11.48	11.50	11.56

[アルカリ性廃水消費比率]

- ・ 一次中和：一次アルカリ性廃水量 / 酸性廃水量 = 0.76 / 0.63 / 0.66
- ・ 二次中和：二次アルカリ性廃水量 / 酸性廃水量 = 4.19 / 2.83 / 4.25
- 合計 アルカリ性廃水量 / 酸性廃水量 = 4.95 / 3.46 / 4.91

(b)炭酸カルシウムの利用率と重金属除去率

- ①一次中和槽における炭酸カルシウムの利用率に関しては、空気吹込量の多い (Q=250[ℓ/min]) の利用率が高かった。
- ②一次中和槽での重金属の除去率は、空気吹込量 Q=200[ℓ/min]のケースの Cu、TFeの除去率が小さかったが、Fe²⁺の除去率は他のケースに比べ大きかった。しかし二次中和後ではいずれの重金属も0.5[mg/ℓ]以下になった。

RUN NO	1305	1306	1307
1)炭酸カルシウム利用率 [%]	64.3	64.8	80.2
2)重金属除去率 [%]			
・ Cu	30.8	21.9	26.3
・ TFe	29.2	21.6	27.4
・ Fe ²⁺	3.0	9.5	3.4

(5) 評価

1) 実験の結果

運転中の一次中和槽の攪拌状態、水を抜いて槽底に堆積している汚泥量の観察の結果から、空気吹込量 200[ℓ/min] と 250[ℓ/min]とはほとんど差がなく、むしろ空気の吹込量が少ない 200[ℓ/min]の方が、適していると判定された。

炭酸カルシウムの利用率、重金属の除去率は、3ケースに多少違いがあるが空気吹込量の違いによって利用率、除去率に差が出たものと判断できるものではない。空気吹込量の違いによる効果の判定は、水槽上部の濃度の均一性と水抜き後の汚泥堆積状態からの結果を優先した。

2) 単位面積当りの空気量

(a)最適として求められた空気吹込量Q=200[ℓ/min]を単位面積当りに換算すると次のようになる。

$$\begin{aligned} 0.2[\text{m}^3/\text{min}]/(1.15\text{m}\times 1.15\text{m}) &= 0.15[\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}] \text{ (at 2m-スクリュー)} \\ &= 0.15 \times (1+0.2) \times (1.1) \\ &= 0.2[\text{Nm}^3/\text{m}^2/\text{min}] \text{ (at 0m-H}_2\text{O)} \text{ ---(1)} \end{aligned}$$

一方、概念設計では日本国内の鉱山廃水処理で使用されている実績から、必要な空気吹込量として次の値を採用している。

$$Q=0.7[\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}] \text{ ---(2)}$$

(b) 化学工学便覧 (改訂三版) によると、ガス吹込みによる攪拌強さを規定する

単位面積当りの噴出空気量の基準値として次の値が示されている。

(引用文献：Quillen, C.S.: Chem. Eng. 61, No. 6, 178 (1954))

- ・弱い攪拌 $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$
- ・中程度の攪拌 $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ ----- (3)
- ・激しい攪拌 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$

(c) 実証実験で得られた「 $Q=0.2[\text{Nm}^3/\text{m}^2/\text{min}]$ 」は、文献の値と比較すると「弱い攪拌」に相当するが、この空気量を吹き込んだ本実験では、外観上、誰の目にも「中程度か激しい攪拌」に見えた。これは約1 m角の狭い面積で、水平距離より垂直距離が大きいいため壁面の影響を受けて比較的良好な攪拌が行われていたことも一因と考えられる。

(d) また参考までに、繰り返し排泥槽の空気攪拌状態をみると、汚泥堆積防止用で約700[l/min]を吹き込んで水槽内に激しい攪拌を与えている。単位面積当りの空気吹込み量を計算すると

$$Q = 0.7[\text{m}^3/\text{min}]/(1\text{m} \times 1.5\text{m})/(1.0\text{m}/1.1\text{m}) \\ = 0.42[\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}]$$

となり、文献の数値と比較すれば「中程度の攪拌」に相当するが、見た目には明らかに「激しい攪拌」であった。

(e) 概念設計で採用された「 $Q=0.7\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ 」は、文献の値と比較すると「中程度以上、激しい攪拌」に相当する。

(f) 今回の実証実験に使用しているアルカリ性廃水の濃度は、新規廃水処理装置のアルカリ性廃水の濃度に比較して小さいことが中国側から指摘されている。アルカリ性廃水（尾鉍）濃度の増加は、一般に尾鉍の平均粒子径の増大になると思われるので、同様の混合攪拌効果を得るためには今回の実験結果よりは多い空気量を必要とすることが予想される。

単純に平均粒子径の増加分（仮に20%とする）だけ粒子の沈降速度が増加すると仮定すると、その粒子群が沈降しないために増加する空気量は

$$\cdot \text{沈降速度の増加分} = (1.2d)^2/d^2 = 1.44$$

（沈降速度はストークスの式によると粒子径の2乗に比例する）

となるので、約50%の空気吹込量を増やす必要があることになる。

4. 滞留時間変化実験

T_s空気吹込管を用いて、空気吹込量 200[l/min]で運転を行い、一次中和槽の滞留時間を変えて実験し、適切な滞留時間を求めた。

(1) 期間

1997年9月15日(月)～26日(金)

(2) 実験方法

一次中和槽の隔壁に設けてあるゲートの開閉と酸、アルカリ性廃水の注入点を変更して、次のように滞留時間を変化させて実験した(下図参照)。

1) 1次中和槽1槽当りの滞留時間の計算

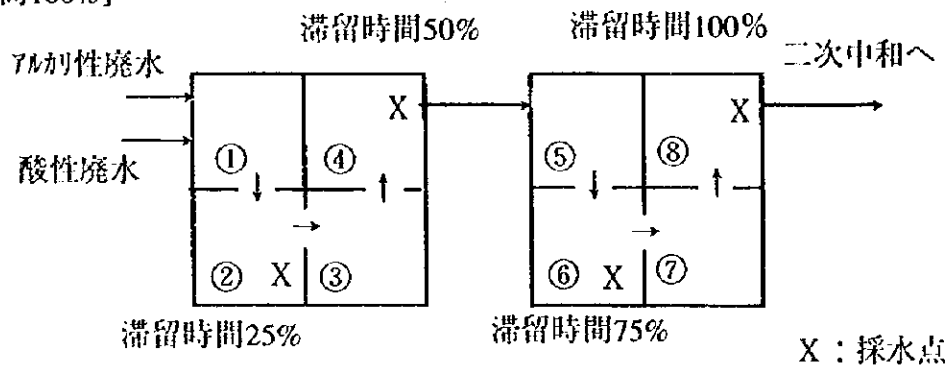
水槽下部の逆角錐部分は滞留時間に含まないものとする。

- ・ 実験中の平均「酸性廃水+アルカリ性廃水」流量 = 135[l/min]
- ・ 1次中和槽容積 = 1.15m x 1.15m x 1.3m (直線部平均有効水深)
= 1.72[m³]
- ・ 1槽の滞留時間 = 1.72[m³]/0.135[m³/min]
= 12.74→13[min]

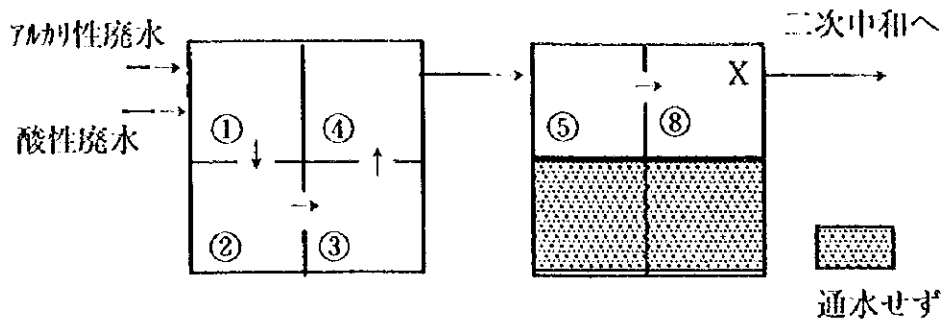
2) 一次中和槽の使用方法

- ① 滞留時間 100% (約104分) : VE-03A①～④+VE-03B⑤～⑧
- ② “ 75% (約 78分) : VE-03A①～④+VE-03B⑤&⑧
- ③ “ 50% (約 52分) : VE-03B⑤～⑧
酸、7M加注入点を⑤に変更
- ④ “ 25% (約 26分) : VE-03B⑤&⑧
酸、7M加注入点を⑤に変更

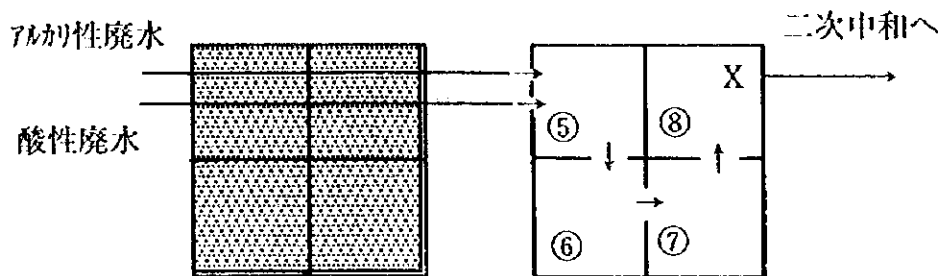
[滞留時間100%]



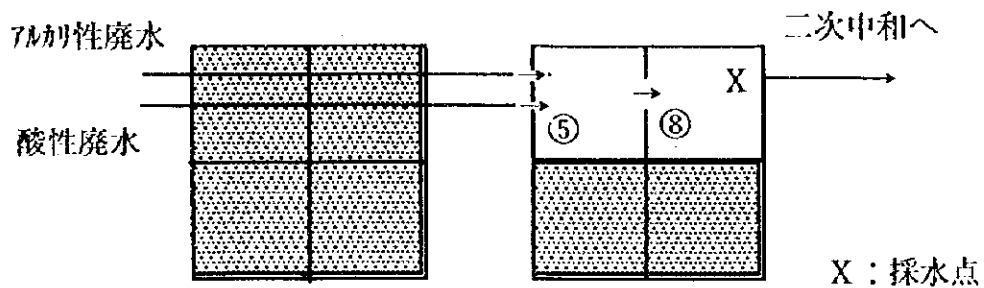
[滞留時間 75%]



[滞留時間 50%]



[滞留時間 25%]



(3) 効果の判定法

- ①一次中和槽炭酸カルシウム利用率
- ②一次中和槽各槽のpHの変化
- ③一次、二次中和後の重金属の除去率
- ④二次中和処理液の沈降特性

(4) 実験結果

1) 炭酸カルシウムの利用率

滞留時間100%の実験では、途中の滞留時間25%、50%、75%の所で採水し、1回の実験で滞留時間の変化を調べた(9/15~17)。その後の実験では一次中和槽の使用室数を減らし、実際の滞留時間を変化させて実験した。

(a)滞留時間100%のケースでは、どちらの実験でも炭酸カルシウムの利用率は84、85%ともっとも高い利用率を示した。

(b)他の3ケースも、(9/15、滞留時間75%のデータ)を除いて計算すると、いずれも利用率80%以上であった。

従って、滞留時間のもっとも短い25%(約26分)のケースでも炭酸カルシウムは有効に利用されていることがわかった。

①滞留時間100%実験(採水点変化9/15~17)における炭酸カルシウム利用率
添付資料1.5 図-1参照

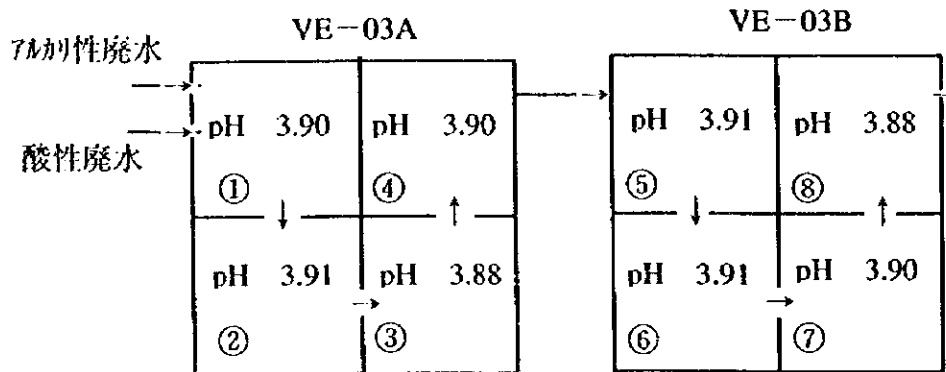
②それぞれの滞留時間実験(9/16~9/26)における炭酸カルシウム利用率
添付資料1.5 図-2.1参照

2) 一次中和槽各室のpHの変化

一次中和槽各室のpHを測定し、第1室から第8室まで滞留時間が変わることによるpHの変化を調べたが、いずれの滞留時間でも入口(第1室)と出口(第8室=二次中和槽入口)の間でもpH 0.1程度しか変化しておらず(増加の場合と減少の場合がある)、滞留時間が一番短い25%(約26分)でも中和反応はほぼ完了していると判断された。

[9/17 10:00の測定結果]

一次中和槽各槽のpH



3) 一次中和による重金属(Cu、T-Fe、Fe²⁺)の除去率

滞留時間が変わっても特徴ある結果は見られなかった。滞留時間100%の場合のCu、TFeの除去率が他のケースにくらべ劣っていたが、滞留時間によるものとは考えにくい。いずれにしても重金属はpH 7~9にする二次中和で水酸化物となってほぼ完全に析出する。そのため一次中和での重金属の除去率は参考としてみるべきであろう。

添付資料1.5 図-2.2 参照

4) 二次処理液の沈降試験

二次中和処理液を採水して静置沈降試験を行った結果は、滞留時間が最短の25%のケースの沈降性ももっともよかったが、4時間後の汚泥界面高さは4ケースともほとんど変わらなかった。

(5) 評価

以上の結果を総合的に判断した結果、一次中和槽の滞留時間は25%（約26min）でもよいとの結果が得られた。廃水の性状変動を考慮しても滞留時間は約30minで十分であろうと判断される。ただし、槽下部逆角錐部分は滞留時間に含まないものとする。ちなみに、概念設計で計画されている一次中和槽の滞留時間は30minである。

5. 一次中和pH3.5の実験

pH3.5で一次中和することで、炭酸カルシウムの利用率向上、アルカリ性廃水の使用量削減が可能かどうか確認する。

(1) 期間

1997年10月5日(日)～7日(火)

(2) 実験方法

一次中和槽は全室を使用し、滞留時間50%(約52分)100%(約104分)のところで採水し、分析した。

(3) 効果の判定

- ①炭酸カルシウム利用率
- ②アルカリ性廃水の使用量
- ③一次中和での重金属除去率

(4) 実験結果

①炭酸カルシウム利用率

滞留時間100%、50%とも炭酸カルシウムの利用率は80%を越えていた。

- ・滞留時間100%のとき：平均80.4%(57～93)
- ・ 50% : 平均82.0%(69～88)

②酸性廃水に対するアルカリ性廃水の使用比率

pH3.5での一次中和のため、アルカリ性廃水の消費量は1/2～1/3になった。その分、二次中和でアルカリ性廃水が消費されたため、全体ではほとんど変わらない使用比率となった。

- ・一次中和：一次アルカリ性廃水量/酸性廃水量 = 0.23
- ・二次中和：二次アルカリ性廃水量/酸性廃水量 = 4.18

合計 アルカリ性廃水量/酸性廃水量 = 4.41

③重金属の除去率

TFe、Fe²⁺の除去率は、これまでの実験とそれほど差がなかったが、Cuの除去率が著しく低下した。

- ・Cu / TFe / Fe²⁺の除去率： 9.8% / 25.1% / 9.2%

(5) 評価

炭酸カルシウムの利用率は80%を越えており、アルカリ性廃水の総添加量はpH4での一次中和とくらべ変わらない結果であった。短時間の実験のため「石膏スケールの生成削減効果」の確認はできなかったが、中和反応、炭酸カルシウムの利用率の結果からみると、一次中和のpHを4に固執する必要はないと考えられる。

6. サイクロン部品交換による実験

(1) 底流 (Underflow) 調整のアベックスインサートの交換

(2) 流入部調整のためのボルテックスファインダーの交換

により、溢流 (Overflow) 濃度、分級粒子径を変えて実験した。

(1) 期間：

1997年10月 8日～10日、13日～15日

(2) 実験内容

サイクロン部品交換による溢流液の流量、濃度変化の把握

(3) 実験結果

サイクロンの分級性能を把握するもので、溢流液 (実験に使用するアルカリ性廃水=尾鉱) の濃度変化、すなわち平均粒子径を変化させる実験である。

1) サイクロン分級実験

添付資料 1. 6 表-5 を参照のこと。

2) 中和試験結果

サイクロンの分級実験期間中の分析結果は以下の通り。

①アルカリ性廃水使用量

	10/8～9	10/9～10	10/13～15
・一次中和：一次アルカリ性廃水量/酸性廃水量 =	0.48	0.48	0.54
・二次中和：二次アルカリ性廃水量/酸性廃水量 =	3.69	3.13	3.58
合計	アルカリ性廃水量/酸性廃水量 = 4.17	3.61	4.12

②炭酸カルシウム利用率と重金属除去率

項 目	10/8～9	10/9～10	10/13～15
炭酸カルシウム利用率[%]	87.3	90.3	78.0
重金属除去率			
Cu 除去率 [%]	5.1	8.6	20.6
TFe 〃 [%]	26.9	30.3	23.3
Fe ²⁺ 〃 [%]	6.6	9.8	3.4

7. 一次中和槽排泥循環実験

一次中和槽の槽底から連続的に排泥し、繰返しポンプにより排泥を一次中和槽入口部へ返送し、炭酸カルシウムの利用率を上げるとともに槽底の汚泥堆積を防止する。

(1) 期間：

1997年10月20日（月）～24日（金）

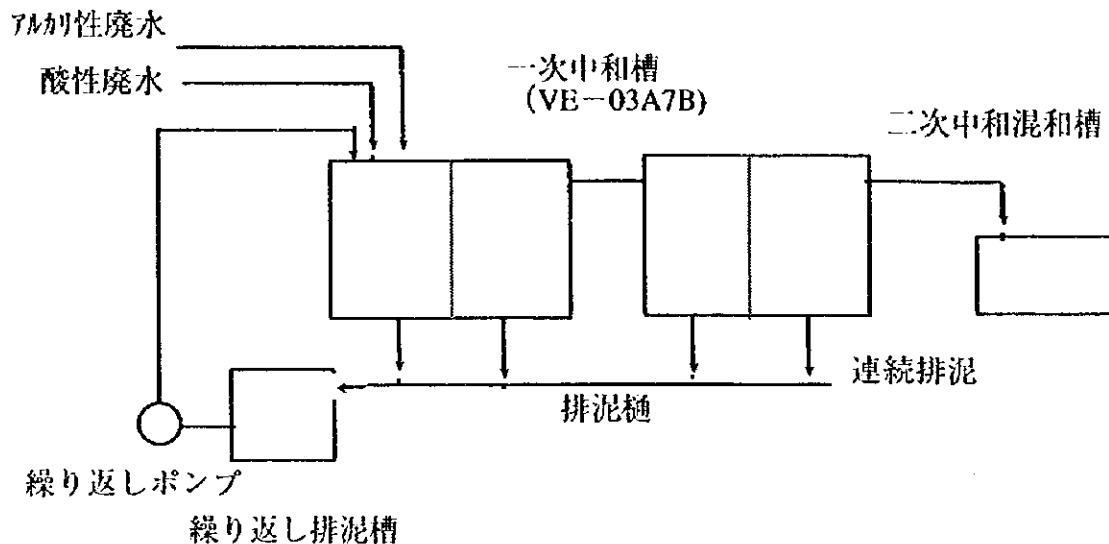
(2) 改造工事

前週（10/16～18）次の改造を行った。

- ・一次中和槽の流入・流出口の改造（上下流）
- ・空気吹込管を中央下部へ移設（VE-03A②④、VE-03B⑤⑧）
- ・常時、一次中和槽排泥以外は繰返し排泥槽に入らないようにアルカリ性廃水、酸性廃水の溢流液（Overflow）配管の変更等

(3) 実験内容

一次中和槽排泥循環実験 排泥循環率 = 50%（連続）



(4) 効果の判定

- ① 運転停止・水抜き後、槽底の汚泥堆積状態の観察
- ② 炭酸カルシウム利用率、重金属除去率

(5) 実験結果

1)汚泥堆積状態

運転を停止した後、一次中和槽の水抜きを行った結果、槽底には汚泥の堆積は見られず連続排泥の効果が確認された。

2)中和試験結果

アルカリ性廃水の使用量はこれまでの実験と変わりなかったが、炭酸カルシウム利用率は高く約90%あり、重金属の除去率もよくなっていて、一次中和槽から底泥を抜き出し循環することの効果が確認された。

(a)アルカリ性廃水使用比率

	10/20~22	10/22~24
・一次中和：	一次7L加性廃水量／酸性廃水量 = 0.72	0.68
・二次中和：	二次7L加性廃水量／酸性廃水量 = 3.14	3.48
合計	7L加性廃水量／酸性廃水量 = 3.86	4.16

(b)炭酸カルシウム利用率と重金属除去率

項 目	10/20~922	10/22~24
炭酸カルシウム利用率[%]	86.4	90.3
重金属除去率		
・ Cu 除去率 [%]	50.7	27.6
・ TFe 〃 [%]	33.6	41.5
・ Fe ²⁺ 〃 [%]	17.1	29.9

(6) 評価

一次中和槽の槽底から汚泥の一部を連続的に抜き出し循環することは、一次中和槽の槽底の汚泥堆積を防止し、炭酸カルシウムの利用率を増加させる効果が優れていることが確認された。実験では汚泥の循環量を約50%（約70[l/min]）で行った。これは現在の実験装置が自然流下による抜き出し方法のため、排泥管のところで詰まりが起りやすく連続して均一に定量抜き出すことは難しい。感覚的ではあるが、排泥率は半減以下にできると思われる。

8. 一次中和槽排泥循環追加実験

一次中和槽の槽底から連続的に排泥し、繰り返しポンプによる一次中和槽への汚泥返送を基本とし、「酸：アルカリ＝1：1」、空気吹込量 100[ℓ/min]などの運転条件の変更を行った。

(1) 期間：

1997年10月27日（月）～31日（金）

(2) 実験内容

一次中和槽排泥循環実験 排泥循環率＝50%（連続）を基本とし

①酸性廃水：アルカリ性廃水の流量比＝1：1で一次中和を行う。

（空気吹込量＝200[ℓ/min]）

②同上の条件で、空気吹込量を 100[ℓ/min]に減らす。

(3) 効果の判定

①運転停止水抜き後、槽底の汚泥堆積状態の観察

②炭酸カルシウム利用率、重金属除去率

(4) 実験結果

1) 酸性廃水：アルカリ性廃水の流量比＝1：1の実験

①アルカリ性廃水の量を増やしたため、一次中和槽のpHは4.24に上昇した。
そのために重金属の除去率は大幅に増加した。

②炭酸カルシウムの利用率については、実験がわずか数時間（9:00～16:00）であったため、安定した運転状態での結果であるかどうか多少疑問はあるが、利用率は低く70%を割っていた。

2) 空気量を 100[ℓ/min]に下げた実験

一次中和槽のpHは更に増加し、約4.5になった。炭酸カルシウムの利用率は上昇し78%に、重金属の除去率は更に増加した。

運転を停止した後、一次中和槽の水抜きを行った結果、空気吹込量を減らして100[ℓ/min]としたにもかかわらず、槽底には汚泥の堆積はほとんど見られなかった。槽底の汚泥堆積防止は、空気吹込量を増やして激しく攪拌することも効果的であるが、連続排泥の効果が大きいものと思われる。

3) 中和試験結果

この週の実験ではアルカリ性廃水の使用量が減っているが、これは酸性廃水がpH2.7を越えており、酸性の度合いが弱くなった影響と思われる。

炭酸カルシウム利用率は一次中和のpHが高くなって低下し、逆に重金属の除去率は当然ながらよくなった。

(a)アルカリ性廃水使用比率

	10/27～30	10/30	10/30～31
・一次中和：一次7ℓ加性廃水量／酸性廃水量＝	0.58	0.99	0.99
・二次中和：二次7ℓ加性廃水量／酸性廃水量＝	2.46	1.96	1.91
合計 7ℓ加性廃水量／酸性廃水量＝	3.04	2.95	2.90

(b)炭酸カルシウム利用率と重金属除去率

項 目	10/27～30	10/30	10/30～31
炭酸カルシウム利用率[%]	83.1	68.0	78.3
重金属除去率			
Cu 除去率 [%]	18.5	68.5	80.2
TFe 〃 [%]	40.4	50.5	53.9
Fe ²⁺ [%]	17.0	30.2	35.0

9. 最適条件での実験（デモンストレーション）

これまでの実験結果を踏まえて、最適と考えられる運転条件で連続運転を行い、調査団の最終立会い、確認運転とする。

(1) 期間：

1997年11月3日（月）～5日（水）

(2) 実験内容

これまでの実験結果から下記の運転条件でデモンストレーション実験を行う。

- ・ 滞留時間 = 100[%]、104[分]
- ・ 一次中和槽排泥循環率 = 50%（連続）
- ・ 一次中和 = pH 4
- ・ 二次中和 = pH 7～9
- ・ 空気吹込管 = Ts型、
- ・ 空気吹込み量 = 200[ℓ/min]

(3) 効果の判定

- ① 運転停止水抜き後、槽底の汚泥堆積状態の観察
- ② 炭酸カルシウム利用率、重金属除去率

(4) 実験結果

1) 汚泥堆積状態

VE-03A④の槽壁から剥離した石膏片が槽底の排泥管にたびたび詰まり、汚泥の抜き出しが十分でなかったため、この室はかなり堆積泥が見られた。その他の室では、一次中和槽の槽底への汚泥堆積はほとんど見られず問題はなかった。

2) 中和試験結果

- ・ アルカリ性廃水の使用量が減っているが、やはり酸性廃水の酸性度の影響と思われる。
- ・ 炭酸カルシウム利用率は約80%で、ほぼこれまでの平均的な値である。
- ・ 重金属の除去率は比較的高い除去率を示した。

(a) アルカリ性廃水使用比率

アルカリ性廃水の使用比率は非常に少なかった。

- ・ 一次中和：一次アルカリ性廃水量 / 酸性廃水量 = 0.52
- ・ 二次中和：二次アルカリ性廃水量 / 酸性廃水量 = 2.33

合計： 2.85

(b)炭酸カルシウム利用率

CaCO₃利用率： 81.0[%]

(c)重金属除去率

Cu 除去率： 34.7[%]

TFe ≪ ： 40.6[%]

Fe²⁺ ≪ ： 13.9[%]

(5) 評価

- 1) 酸性廃水に対するアルカリ性廃水の消費量が非常に少なく、一次中和では酸性廃水量のわずか約1/2であった。これは酸性廃水の酸度が弱かったことに起因するものと推定される。
- 2) 中和実験の結果では処理液のpHは安定していた。また炭酸カルシウムの利用率も80%を越えており、「空気攪拌による二段階中和プロセス」が優れたプロセスであることが確認できた。
- 3) 一次中和槽の空気の吹込み量は200[l/min]で実験したが、攪拌効果は十分であると認められる。
- 4) VE-03A④では、壁面に付着した石膏スケールが剥離して排泥管を詰まらせた。このような現象の発生は実装置でも懸念されるため、詰まった場合の対策が取れるようにしておくことが必要であろう。

3-6 廃水の評価

実験期間中は、1日1回以上、酸性廃水、アルカリ性廃水の水質分析を行った。全分析データを表にまとめ、週単位で平均値を計算し、添付した。バラツキもみられるので、週単位にまとめた分析値について、以下にまとめ概念設計（2003年予測値）と比較する。（添付資料1.8参照）

(1) 酸性廃水

1) 酸性の度合

項 目		平均値（最小 [] ~ 最大 []）
pH [-]	実証試験結果	2.66 (2.43 ~ 2.89)
	概念設計予測値	(1.95[渴] ~ 2.11[豊])
8.4AX [mg/l]	実証試験結果	8,547 (7067 ~ 10,989)
	概念設計予測値	(9,129[渴] ~ 11,476[豊])
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	実証試験結果	12,107 (11,540 ~ 15,650)
	概念設計予測値	(10,022[渴]~12,266[豊])

〔注〕 概念設計予測値：(P.67)による。

〔渴〕は渴水期、〔豊〕は豊水期を示す。

[評価]

今回実験に使用した酸性廃水の水質について概念設計で予想している水質と比較すると、

- ① pHは、概念設計にくらべかなり高い。
- ② 8.4AXは、概念設計にくらべやや小さい程度である。
- ③ SO₄²⁻濃度は、概念設計にほぼ等しい。

pH値が1.0違うということは水素イオン濃度で10倍の違いである。このことから、詳細設計で計画するアルカリ性廃水の比率（使用量）は、この実証実験で得られた「酸性廃水：アルカリ性廃水」の比率よりは大きくなるものと考えておく必要がある。

2) 重金属類

項 目		平均値 (最小[] ~ 最大[])
Cu ²⁺ [mg/l]	実証試験結果	53.3 (20.3 ~ 147.4)
	概念設計予測値	(13.4[渴] ~ 56.4[豊])
T F e [mg/l]	実証試験結果	1,483 (1,161 ~ 1,763)
	概念設計予測値	(1,869[豊] ~ 2,617[渴])
Fe ²⁺ [mg/l]	実証試験結果	1,049 (571 ~ 1,549)
	概念設計予測値	(90[渴] ~ 122[平])
Al ³⁺ [mg/l]	実証試験結果	609 (420 ~ 696)
	概念設計予測値	(557[渴] ~ 590[豊])

[注] 概念設計予測値：(P.67)

[渴] は渴水期、[豊] は豊水期、[平] は平水期を示す。

[評価]

今回実験に使用した酸性廃水中の重金属類の濃度について概念設計の予測値と比較してみると、次のようになる。

- ① Cu²⁺、Fe²⁺濃度は、概念設計に比べかなり高い濃度である。
- ② 逆に T F e 濃度は、やや小さい。
- ③ Al³⁺濃度については、概念設計にほぼ等しい。

特に、Fe²⁺については、今回の実験結果が概念設計時の予測値にくらべ1桁大きい濃度である。このことから、実装置では不溶性の水酸化銅、鉄の生成が実証試験の時に比べ、少なくなるものと予想される。

(2) アルカリ性廃水

1) アルカリの度合

項目		平均値 (最小～最大)
pH [-]	実証試験結果	11.97 (11.53～12.40)
	概念設計予測値	11.97 (11.3～12.3)
4.3BX [mg/l]	実証試験結果	6,627 (5,008～7,845)
	概念設計予測値	5,643 (3,287～9,882)

[注] 概念設計予測値：東方分級の尾鉾 (P.98)

2) 濃度

項目		平均値 (最小～最大)
固形分 [mg/l]	実証試験結果	11.3 (10.4～12.4)
	概念設計予測値	18.0 (12～22)
CaCO ₃ [%]	実証試験結果	3.8 (2.02～5.83)
	概念設計予測値	5.52 (3.95～6.83)

[注] 概念設計予測値：(東方分級) 最終報告書 P.98

[評価]

実証試験で用いたアルカリ性廃水のアルカリの度合は、概念設計で計画している東方分級溢流液の値に近い。しかし、固形分濃度、CaCO₃の濃度はかなり小さい値であった。

中和反応においては、pH、4.3BXの値の方が、固形分濃度、CaCO₃濃度よりも影響するものと考えられるので、一次中和、二次中和処理においてはそれほど実証試験結果と違った結果にはならないと考えられる。

固形分濃度の違いについては、詳細設計において配管、槽類などでの沈積、詰まり防止、及び詰まりが起った時の対策など、慎重な考慮が必要であろう。

3-6 計測機器について

(1) 計器等について

1) 水量、水質の変動に対応した制御技術に関する基本設計データ

実証試験設備は次の制御技術を使用しており、実プラントへの適用性について検討した。

詳細設計で考慮しなければならない主な事項は次の通り。

(a) 液面指示調節計 (LICA-1)

繰り返し排泥槽の液面を一定レベル範囲に保つために、繰り返しポンプ吐出側から繰り返し排泥槽への戻り配管につけた自動調節弁の開閉により、戻る流量を調整するものである。

①超音波発信器の発信面に「空気攪拌で生じるアルカリ性廃水の気泡、飛沫」が付着して汚れたために誤指示、誤表示を起した。

②発信器から発信される超音波には有効角度があり、その角度内に障害物がないよう設計、施工上、注意しなければならない。

(b) 液面指示調節計 (LIC-3)

酸性廃水受入れ槽が満水で流入配管のバルブを締め切ると、酸性廃水供給元で不具合が生じるため「手動運転」で使用している。なお、当初の設計では「フロート弁」を設置する予定であったが、中国側の強い要望で「自動調節弁」に変えたものである。

(c) pH指示記録調節計 (ARC-3)

①PID制御

一次中和槽のpHを測定し、一次中和液がpH4になるようにアルカリ性廃水の注入量を調節するものである。制御方式は「サンプル値PI制御」を採用している。これは測定した結果をフィードバック (Feedback) し、その結果が現れる一定時間 (T) は操作信号を送らない方式で、現在T=10分 (当初は40分) に設定されている。

通常、時間遅れが大きい系では「サンプル値PI制御」か、場合によっては

「フィードフォワード (Feedforward) 制御」が用いられる。しかしながら実証試験においては、酸性廃水、アルカリ性廃水とも比較的安定した pH で供給されていたためか、サンプル時間や P、I、D のパラメータ値をいろいろ変化させても常に良好な制御結果を示していた。従って、新規廃水処理設備においても、一次中和槽の pH 制御は通常の PID 制御が適用できる。

②一次中和槽は、pH 3.8～4.1 で安定した運転が行われており、計装上の問題はない。(ただし、一次中和供給アルカリ性廃水の注入量が少なくなると詰まる傾向にある。)

③ pH 計取付け位置

一次中和槽各室の pH を測定した結果、第 1 室以降の pH 変化が少ないので、pH 計はさらに前の方に設置し、早めに流量調整信号を送った方がよいと思われる。当初、pH 計は一次中和槽の出口 (VE-03B⑧) に取り付けていたが、滞留時間が 1 時間以上あるため、フィードバックが非常に遅れる。そこで中間点付近 (VE-03B⑤、廃水流入後約 50 分後) 入口部に移設した。

④電極の洗浄法

酸性廃水以外は、pH 電極を定期的に王水を駆動力とした回転ブラシで洗浄しているが、まずまずの洗浄効果が発揮されているように思われる (酸性廃水は超音波洗浄器による)。しかし、一次中和槽の pH 計では、洗浄ブラシにも石膏スケールの付着がみられる。そのため、毎週初めに行う pH 計の検量の際に汚れ具合を確認し、専用のブラシで洗浄すること、また、定期的に部品を取り替えを行う必要がある。

3-8 その他

(1) スケールについて

実証試験において一次中和槽の壁面、廃水配管内面 (酸、アルカリとも)、空気吹込管内外面などにスケールの付着が確認された。また、酸性廃水受入れ槽の槽底には相当量の鉄錆の堆積が確認された。

これらのスケールの生成は

①酸性廃水にアルカリ性廃水を加えるた中和反応で生成する石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

によるもの

②酸性廃水中の溶解鉄が酸化されて発生するもの

とある。後者のスケール被膜はそれほど厚く成長しないが、前者の成長は著しく中和槽の壁面、配管内のスケール付着を完全に防止することは難しい。

詳細設計にあたっては、実験の結果や既存の知見を参考に、スケールの発生・付着防止について検討するが、「スケールが付着しても除去しやすい構造、材質」に配慮した設計を行うことを基本とする。

(2) アルカリ性廃水の詰まり

アルカリ性廃水中の尾鉍粒子による詰まり、堆積は、アルカリ性廃水配管系のすべてで発生し、あるいは発生の可能性があった。主な個所は次の通り。

- ①アルカリ性廃水供給管（詰まり、流量低下）
- ②サイクロン底流管（詰まり）
- ③サイクロンバイパス管、ドレン管（詰まり）
- ④アルカリ性廃水受入れ槽（堆積）
- ⑤アルカリ性廃水受入れ槽ドレン管、溢流管（詰まり）
- ⑥一次中和槽供給管（詰まり、流量低下）
- ⑦二次中和槽供給管（詰まり、流量低下）

また中和後の汚泥についても、堆積、詰まりの心配がある。

- ①一次中和槽槽底（堆積）
- ②一次中和槽ドレン管（詰まり）
- ③一次中和槽槽間の連通管（詰まり）
- ④二次中和混和槽（詰まり）
- ⑤処理液受槽（堆積）
- ⑥処理液受槽ドレン管（詰まり）
- ⑦繰り返し排泥槽（堆積）
- ⑧繰り返し排泥槽ドレン管（詰まり）
- ⑨繰り返しポンプ吸込管（予備ポンプ、詰まり）

⑩繰り返しポンプ吐出管、戻り管（詰まり）

以上のように、アルカリ性廃水系の配管のすべてで詰まり、堆積が起っている。特に、常時使用しない配管（予備、バイパス管など）が詰まる。

詳細設計においては、アルカリ性廃水系配管、水槽類の尾鉍粒子の詰まり、堆積防止と、詰まった時の処置が取りやすいようにするなど考慮した設計が要求される。

特に、予備の配管、ノズルなど常時使用しない、廃水が流れない個所に対しては、例えば、圧力水（工水）が送り込めるように配管しておく、できるところは使用しない時には水抜きができるようにするなどの対策をとる必要がある。