

関西大学における社会連携の取り組みについて¹

篠塚 義弘^{2*}・柴山 耕三郎³・松井 由樹³

About the approach of social cooperation at the Kansai University

Yoshihiro SHINOZUKA^{2*}, Kozaburo SHIBAYAMA³, Yuki MATSUI³

²Bureau of the President, Kansai University

³Community and Business Partnership, Kansai University

Abstract

In addition to education and research, Kansai University regards contributing to society as an important mission. To carry out this mission, “Division of Community and Business Partnerships” (former name: “Headquarters of Public Collaboration”) was founded in 2005 under the direct control of the president in order to contribute to society through industry–university–government cooperation, and community–university–government cooperation. It establishes the policy of social–university–cooperation and promotes some concrete action towards social–university cooperation. To perform its mission further, it was reorganized in 2008 and currently has four underlying centers: “Center for Business, Government, and Universities”, “Center for Intellectual Property”, “Center for Community Collaboration” and “Center for High School and University Partnerships.”

Keywords: Social cooperation, Collaboration among industry, academia and government, Intellectual property

1. 社会連携の基本方針

関西大学の社会連携（産学官連携）の基本方針は以下の通りです。

関西大学では昭和 39 年（1964 年）に松下電器産業株式会社の創業者 松下幸之助氏の寄贈により工業技術研究所を設置して以来、産学協同事業の推進を図ってまいりました。

昨今、大学は「教育」と「研究」に加えて第 3 の使命として「社会貢献」が求められています。この要請にこたえるべく、関西大学では社会との連携をさらに強化し、研究成果の社会への還元・活用を推進すると同時に、社会に貢献する人材を育成するための教育・研究の場を大学と社会の連携のもとで創りあげ、地域社会の発展に積極的に寄与するべく活動しています。

1 関西大学の理念に基づき、本学の資源と学外の資源との融合により、新たな知の創出と活用を戦略的かつ効果的に推進することにより、我が国の社会、産業の発展に貢献する。

2 学術研究成果を知的財産化し、それを産業界等に積極的に技術移転することを通じ、本学における教育と研究の社会的付加価値を高める。

3 共同研究・受託研究の実施、技術相談などによる産業界との持続的な連携を効果的に推進する。

4 研究成果を基礎としたベンチャー企業創出を支援し、新産業の創出に寄与する。

5 公的機関・地方自治体・企業との連携を推進することで、実践的な教育を通して社会の発展に寄与できる人材を育成する。

6 地域社会との連携の中心的拠点として、本学及び地域社会が有する知的・人的資源を相互に活用し、本学及

1. 平成 24 年 6 月 7 日 本会第 128 回例会において発表

2. 関西大学 学長室

3. 関西大学 社会連携部

平成 23 年 6 月 7 日受理

*syakairenkei@ml.kandai.jp

び地域社会の相互の発展に寄与する。

2. 社会連携の体制

関西大学では、学長直轄部門として社会連携部を設置し、その中には企業・行政機関との連携、外部資金・助成金獲得を主業務とする産学官連携センター、研究成果の権利化及び技術移転を主業務とする知財センター、公開講座や地域社会との連携をサポートする地域連携センターの4つのセンターを置いています。

産学官連携センターでは、文部科学省産学官連携コーディネーターを中心として、複数のコーディネーターを配置し、企業からの技術相談や共同研究・受託研究の調整、各種研究プロジェクトの推進、クリエイション・コア東大阪でのものづくりセミナー開催等の活動を行っています。

近畿圏外における活動としては、首都圏での活動拠点として設置された関西大学東京センターには、関東地域での産学官連携をサポートするコーディネーターを配置するとともに、研究発表の場として「技術交流セミナー」等を開催しています。

また、関西大学の理工系3学部を中心とする研究所である先端科学技術推進機構は、研究分野によって4部門に構成されており、学部学科にとらわれない横断的な研究を推進しています。研究所内には複数のコーディネーターを配置し、種々の研究プロジェクト実施に係るサポートを行っています。

3. 関西大学の取り組み

社会連携部では、関西大学の学是である『学の実化』を実践するため、日々産学官連携活動を積極的に進めています。社会貢献が大学の責務である今日、「社会から

見える大学であり続ける」を活動のコンセプトとし、「連携は実際に双方に役に立つものでなければならない」が基本方針です。そのために、教員、産学官連携コーディネーター及びセンター職員が一丸となって、企業に足を運び、直接大学側のシーズを伝え、企業側のニーズを把握して連携を形にする活動をしています。

【取り組み例】

- ◎ 企業・自治体等からの技術相談、共同研究・委託研究等の受け入れ
- ◎ 研究成果の権利化
- ◎ 研究成果実用化を目的とした技術移転
- ◎ 各種セミナー・公開講座による情報発信活動
- ◎ 企業研究会の設立補助・育成
- ◎ 次世代経営者の育成
- ◎ 大学発ベンチャー企業の設立
- ◎ 知財人材の育成
- ◎ 楽聖による地域振興・活性化 等

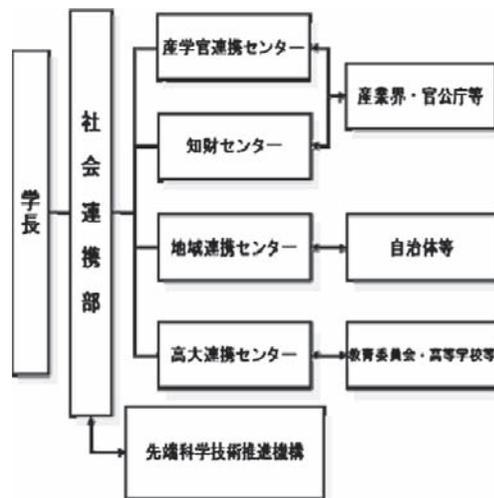


Fig. 1 Organizational chart of Community and Business Partnerships, Kansai University

橋本 和彦^{2*}

Challenge from Kansai TLO – Produce for Industrialization of Intellectual Properties–

Kazuhiko HASHIMOTO^{2*}

²Kansai Technology Licensing Organization Co., Ltd.

Abstract

Kansai TLO (Technology Licensing Organization) started as “wide area type TLO” which work for acquisition of patents of the research accomplishment as intellectual properties of several universities in Kansai area. It has carried out the business transfer of the exclusive licenses to the companies. But later, our business achievement went worse and became having tendency to have chronic deficits. In this study, we introduce the causes of deficit we found after analysis, “produce of research business” method which we introduced successfully and our action plan in the future.

Key words: Industrial-academia collaboration, Technology transfer, TLO

1. 関西 TLO の軌跡

関西 TLO は、1998 年 12 月に「大学等における技術に関する研究成果の民間事業者への移転の促進に関する法律 (TLO 法)」に基づき、文部科学省、経済産業省の承認を受けた技術移転機関です。東京大学 TLO、東北テクノアーチ、日本大学の TLO と同じく、日本の承認 TLO 第一号となりました。

設立当初は、京都大学や大阪大学などの国立大学、同志社大学や立命館大学などの私立大学等、関西圏にある複数の大学の研究成果を知的財産として特許化し、その実施権を企業などにライセンスする技術移転事業を行う「広域型 TLO」としてスタートしました。設立から 4~5 年は、文部科学省や経済産業省の支援を受け、順調にライセンス実績を上げた時期もありました。

2003 年の文部科学省大学知的財産本部整備事業によって、京都大学、大阪大学、立命館大学などの有力大学が知財本部を設けたことにより、関西 TLO を取り巻く環境は激変します。大学で生じた知的財産は大学に帰属されることとなり、大学内に設置された知財本部が一貫して、発明評価からライセンス活動までを行うこととなったため、関西 TLO の存在意義はなくなってしまったのです。知財本部から関西 TLO へマーケティング活動を委託される一部の案件は、知財本部でライセンス活動を試みて成功しなかったものや、明らかにライセンスの見込み

のないものがほとんどでした。

関西 TLO は設立以来、文部科学省や経済産業省の補助金によって黒字を計上していましたが、設立 7、8 年目の 2004 年度、2005 年度には業績不振のため、一挙に赤字に転落となりました。そして、関西 TLO の再建が行われることになりました。

新しい経営陣が先ず取り組んだのは、業績不振の原因分析です。分析の結果、原因は大きく分けて次の三つがあることが分かりました。

一つ目は、不良在庫特許資産の存在です。各有力大学に知財本部が設置される前は、関西 TLO が出願人となって、特許出願を行っていました。当時の関西 TLO 内の出願の基準は極めて甘く、出願可否の判断基準もありませんでした。中にはライセンスの可能性がない発明でも、発明者の要望に応じて出願を行っている案件もありました。その結果、売れない特許を数多く出願することとなり、設立 7 年目となると、この不良在庫特許資産の維持管理費用が、会社の経営を圧迫していたのです。

二つ目は、各大学の知財本部との関係です。当時の関西 TLO と各有力大学の知財本部の関係は最悪の状況でした。業務が重複し、お互い牽制し合っていたため、両者が協力して技術移転活動を行うという状況ではありませんでした。

三つ目は、当時の営業スタイルです。TLO は本来技術移転機関ですので、企業に営業 (ライセンス活動) を行うのが基本です。しかしながら、関西 TLO は自社では営業活動をほとんど行っておらず、営業活動の全ては、外部アソシエイトと呼ばれる企業 OB の非常勤社員約 20 名にアウトソーシングしている状況でした。また、外部

1. 平成 24 年 6 月 7 日 本会第 128 回例会において発表

2. 関西ティール・エル・オー株式会社

平成 24 年 4 月 9 日受理

*hashimoto@kansai-tlo.co.jp

アソシエイトの個人の経験やノウハウに依存しているため、組織としてノウハウ蓄積されず、非常勤社員の退職とともにノウハウがなくなる状態となっていました。この営業スタイルは、企業からの評判は極めて悪く、関西 TLO の評判を落とす最大の原因となっていました。

これまでの業績不振の原因を突き止め、それを除いた上で、さらに関西 TLO を再建させるには、どうすれば良いのか私たちが導き出した新生関西 TLO の目指すべき姿は、「知的財産マーケティング（営業）をコアとした大学共同経営型 TLO」としての再建することでした（Fig. 1 参照）。

これは、各大学の知的財産業務の営業部分を請け負うという方法です。大学の知財本部は知的財産の管理を担当し、関西 TLO は発明の市場性調査、技術移転先を探すマーケティング（営業）を担当します。大学共同経営型とは、業務受託契約を結んだ大学に、関西 TLO への出資をお願いし、株主になってもらうことで、TLO 経営に出資者として関与してもらい、大学と TLO が一体となって取り組むという考え方です。現在では、京都大学、和歌山大学、京都府立医科大学、奈良県立医科大学、立命館大学との 5 大学との間で、業務受託契約を締結し、各大学の知的財産を独占的に関西 TLO が発明の市場性調査、マーケティング（営業）を行う体制を構築しています。

加えて、強力に社内改革を推し進めるために、若手の人材育成、人事制度の改革、営業手法の改革なども進めていきました。

2. 研究の事業化をプロデュースする

当時の関西 TLO のライセンス活動（営業）の手法は、単に大学の特許を企業にライセンスすることでした。これでは、特許内容に興味のない企業とは連携できる見込みがありません。また、大学の発明は基礎的な発明が多く、事業化まで時間がかかることが多いため、発明自身が素晴らしいものであっても、企業様は関心を示すこ

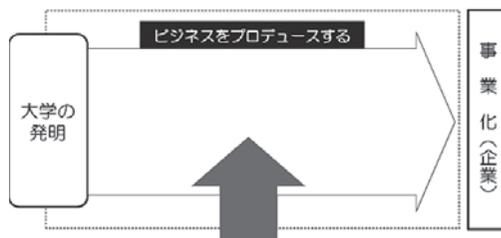
新生関西TLOの構想

「知的財産マーケティング（営業）」をコアとした「大学共同経営型TLO（大学連携型TLO）」を目指す。



Fig.1 New framework of TLO

研究の事業化をプロデュース



この白地に絵を描くことが
産学連携人材（プロデューサー）の仕事

Fig.2 Skills required for associates of Kansai TLO

とは少ないのです。企業が本当に欲しているものは、特許そのものではなく、大学の研究と事業化の溝を埋めること。すなわち「研究の事業化をプロデュース」することなのです。

新しく導入した営業手法「大学知的財産を核とした研究の事業化プロデュース」では、企業の大学技術の導入障壁を低くするために、研究開発資金の乏しい企業には、官公庁系競争的研究資金獲得のお手伝いを行ったり、大学発明の基礎データを蓄積したい企業には、特許ライセンスと共同研究とセットで実施するように提案したり、川上・川下企業などのパートナーが欲しい企業には、川上・川下企業を見つけてきたり、ユーザー企業を紹介するなど、企業が技術導入しやすいようにプロデュースしています。特許をライセンスするのではなく、企業が技術導入しやすいようにビジネスをプロデュースし、結果として特許がライセンスされる、という営業手法に切りかえていきました。大学の発明と事業化の間（空白部分）のビジネスをプロデュースすることが、現在の関西 TLO のアソシエイトに求められている最も重要なスキルなのです（Fig.2 参照）。

3. 事業化プロデュースの成果

関西 TLO で新しく導入した営業手法「研究の事業化プロデュース」によって、技術移転の実績は、ゆっくりではあるが、着実にあがってきました。提携先である京都大学においては、毎年文部科学省より発表される「大学等における産学連携等実績状況（特許権実施等収入ランキング）」で、2010 年度実績で全国第 20 位から第 4 位に大躍進した。さらに昨年度は、第 2 位に上昇しました。

これらの結果は、関西 TLO アソシエイトの「日々の営業努力」と「研究の事業化プロデュース」を実践した結果であり、その「研究の事業化プロデュース事例」をご紹介します。

◆研究の事業化プロデュース①

大学の知財を核として、大学、川上企業、川下企業をマッチングし、最終ユーザを巻き込んだ共同開発を実施した事例

「幾何学立体構造フラクタル日よけ」の開発

京都大学酒井教授が発明した「幾何学立体構造の新しい日よけ」に関する案件になります。本案件のライセンス活動を開始した当初は、この新しい日よけのコンセプトが全く理解されず、約80社へ紹介したものの、ライセンス契約成立には至りませんでした。ライセンス活動断念も検討する中、さらに住宅メーカー、建材メーカー、化学メーカー、プラスチック成形メーカーなど手当たり次第に営業を展開したところ、115社目で、ある大手化学メーカーと鹿児島県の中小企業へのライセンスに成功しました。

しかし、大手化学メーカーと鹿児島県の中小企業へライセンス契約を締結したものの、この「幾何学立体構造フラクタル日よけ」を導入するユーザ企業がおらず、事業化へのハードルは高かったのです。本案件を実用化し、事業化に導くために、ライセンス先の手化学メーカー担当者、鹿児島県の中小企業の社長と一体となって、ユーザ企業の開拓を行い、本発明の成果を設置してくれる事業所を探しました。このような活動の結果、実用化第一号が京都市中京区「新風館」に設置されました。さらに、ユーザ候補企業を「新風館」に呼び込み、本案件の発明の効果を実感させることで、さらなるユーザ企業の開拓を行い、東京お台場「日本科学未来館」、東京豊洲「ららぽーと豊洲」に相次いで設置されることになったのです。また、2011年6月本格事業化しています。

このように、ライセンス活動は失敗するのが当たり前で、

イセンス先が見付かり、ライセンス契約を締結すれば、大学発明者、ライセンス先企業、担当アソシエイトが一体となって、事業化を阻む要因を分析し、解決することで、大学の発明の事業化に向け邁進する。大学の発明の事業化のために、パートナーを発掘し、事業化を成功させるためのビジネスをプロデュースする。我々は、大学の発明の技術移転の成功のカギは、ここにあると考えています。

◆研究の事業化プロデュース②

研究開発資金の乏しい中小・ベンチャー企業に対し、大学特許のライセンスと共に、官公庁系競争的研究資金への共同提案を行い、企業と共同開発を実施した事例

「音声分析/変換/合成キット」の商品化

和歌山大学河原教授が発明した「音声分析/変換/合成キット」に関する案件です。私達の仕事は先生の研究室を地道に回り、各研究室の研究動向を把握した上で、企業に売れそうな案件を発掘して行くことであります。本案件も日々の先生周りの活動により発見したものであり、現状のロボットのような合成音声を、より人間らしい声にすることができる画期的な音声分析/変換/合成技術になります。

国内外の約40~50社にアプローチした結果、あるベンチャー企業がかなり興味を持ちましたが、技術導入するための十分な研究開発資金がないために技術導入するかどうか悩んでいたのです。そこで担当アソシエイトは、官公庁系競争的研究資金を獲得して研究開発を行うことを提案し、NEDO 公募事業への応募を行ったのです。つまり、官公庁系競争的研究資金制度の情報収集、提案書作成サポート、ビジネスプラン作成など多岐に渡るものであり、中小・ベンチャー企業には、まさにかゆいところに手が届くサポートでありました。本応募は採択され、官公庁系競争的研究資金制度のもと、大学研究者、ベンチャー企業が連携し、2年間の共同研究開発を実施し、実用化に成功、2009年4月にサンプル出荷、事業化に成功しました。

このように、研究開発資金の少ない中小・ベンチャー企業は、大学の研究成果を活用して事業化を行うためには、ヒト、モノ、カネのサポートが必要だと考えています。我々の基本的な考え方は、ライセンス先企業が事業化を目指すにあたって、困っているところを全て徹底的に支援するというものであります。これを行うことによって、企業が大学の技術を導入するときのリスクを低くし、導入しやすいように工夫する。そして、大学の発明が事業化に至る可能性を広げているのです。

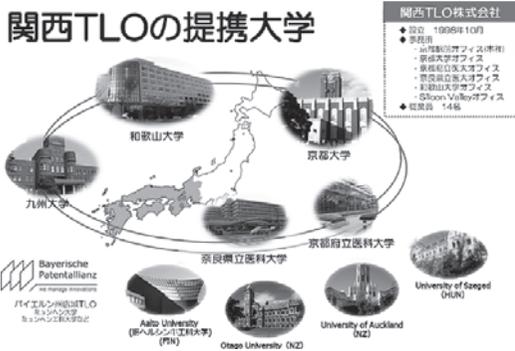


Fig.3 Present situation of Kansai TLO

70~80社にアプローチして、全て断られることは、日常茶飯事です。80社に断られれば、81社目にアプローチし、それも断られれば、82社目にアプローチする。一旦、ラ

4. これからの関西TLO

「新しい価値を創造して、世界を熱くする」

これがわれわれの策定した経営理念です。これを実現するために、関西 TLO は 2015 年までに、国際展開、提携大学の拡大、人材育成の 3 点について、重点的に取り組もうとしています。京都大学、和歌山大学、京都府立医科大学、奈良県立医科大学などの研究成果を国内、海外問わず広く発信し、日本の大学の研究成果の素晴らし

さを世界に知らしめたい。また、関西 TLO が経営改革以降、実践してきた「知的財産マーケティングをコアとし、泥臭く営業する」をベースにし、大学の発明の事業化プロデュースを行い、数多くの大学発のビジネスを仕込んでいきたいと思っています (Fig.3 参照)。

京都産業 21 の取り組みについて¹

吉田 秀之^{2*}

Action of Kyoto Industrial Support Organization 21

Hideyuki YOSHIDA^{2*}

^{2*}Kyoto Industrial Support Organization 21

Abstract

Kyoto Industrial Support Organization 21 is a Public Interest Incorporated Foundation and has been supporting the small and medium enterprises in Kyoto. The outline and the introduction of efforts of industry–university cooperation by Kyoto Industrial Support Organization 21 are introduced in this study.

Key words: Kyoto Industrial Support Organization 21, Kyoto Prefecture, industry–university cooperation, support for enterprises

1. 公益財団法人京都産業 21 とは

(1) 京都府内中小企業の支援機関

- ・ 中小企業支援法(抜粋)

第七条(指定法人)都道府県知事は、次の各号に適合する者を、その申請により、当該都道府県に一を限って指定し、その者（以下「指定法人」という。）に、当該都道府県が行う中小企業支援事業のうち特定支援事業を行わせることができる。

(2) 基本理念

われわれは、顧客とのコミュニケーションを最も大切にし、あらゆる資源の有効活用を図り、中小企業の企業活動に真に役立つ質の高いサービスを提供することにより、京都産業の発展に貢献します。

(3) キャッチフレーズ

Always Together (いつもいっしょに)
～活力ある未来のために～

(4) 基本方針

- ・ 「真に頼れる」経営のベストパートナー
- ・ グローバル化・成長分野へのチャレンジの支援

- ・ 「現場力を活かした」施策の立案への貢献

(5) 所在地と組織 (Fig. 1 参照)

- ・ 本部 京都市下京区(京都市リサーチパーク)
- ・ 北部支援センター 京丹後市峰山町(丹後・知恵のものづくりパーク)
- ・ けいはんな支所 相楽郡精華町(けいはんなプラザ)
- ・ 上海代表処

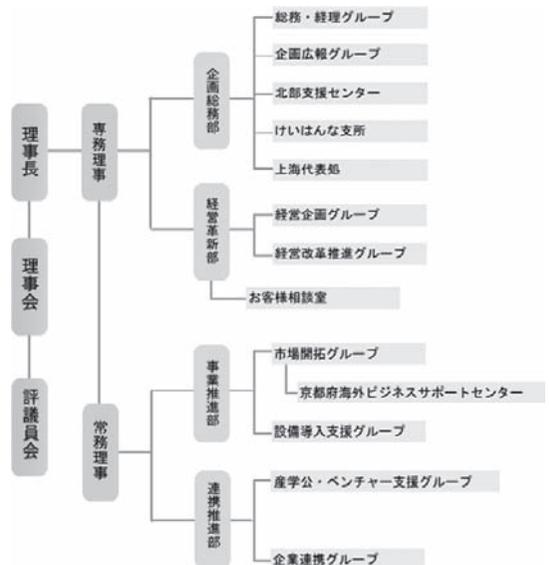


Fig. 1 Organizational tree of Kyoto Industrial Support Organization 21

1. 平成 24 年 6 月 7 日 本会第 128 回例会で発表

2. 公益財団法人 京都産業 21 連携推進部

平成 24 年 3 月 30 日受理

*hyoshida@ki21.jp

(6) 支援フィールド

- ・ 製造業
- ・ 成長分野 (Ex. ICT, コンテンツ, 環境, 試作, ライフサイエンス等)
- ・ 地域資源を活用した事業 (Ex. コミュニティビジネス, ソーシャルビジネス, 農業等)
- ・ 伝統産業
- ・ 商業・サービス業など

2. 産学公連携の取り組みについて

(1) 連携型イノベーション研究開発事業

<産学公連携型>

- ・ 産学公の連携により高度な研究開発を推進するグループに資金支援等を行うことで, 成果の実用化・産業化がより早期に達成され, 京都経済の次代を担う新産業・新事業を創出することにより, 地域経済の活性化を図ることを目的。
- ・ 環境・エネルギー, ライフサイエンス・ウェルネス分野において技術課題を産学連携により解決, その成果の実用を図る研究開発に取り組む中小企業と大学等研究機関が連携したグループが応募可能。
- ・ 京都府内に本社を置く中小企業が提案。
- ・ 大学等研究機関は, 府内に限定しない。

(2) 大学等研究機関と企業の交流促進

- ・ ビジネス交流フェア きょうと連携交流ひろば
連携に取り組んでいる企業・大学・連携グループ・金融機関・産学公研究開発グループ、農商工連携企業などが集い, 経営革新や新事業チャレンジ支援等の事例や成果の発表を提供し, 新たな連携につなげることを目的に開催。
大学等研究成果報告コーナー 15 機関出展
(参考) ものづくり加工技術展、受発注商談会、各種講演会と併設
開催 2 日間 延べ来場者数 8,500 名
- ・ 異業種京都まつり テーブル交流会
幅広い分野の企業や異業種交流グループ等の技術や製品, サービス等の発表・交流の場を創出し, 市

場開拓、ビジネスパートナー発掘をはじめ, 異業種交流や新連携、農商工連携, 産学連携等への取り組みを促進することにより, 京都の新たな産業創出につながることを目的に開催。

産学交流コーナー 12 機関出展
異業種グループ・企業 約 70 ブース

(3) 研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)

- ・ 大学・公的研究機関などの研究成果をもとにした起業のための研究開発を推進。
- ・ 平成 21 年度(独)科学技術振興機構(JST)公募の起業挑戦タイプに提案。
- ・ 採択テーマ「新規γ-グルタミルトランスペプチダーゼ(GGT)阻害剤によって引き起こされる細胞内コラーゲン産生の応用」(平成 21~23 年度)
- ・ 全く新しいコンセプトに基づく画期的なアンチエイジング化粧品(原料)の創製。
- ・ 当財団は側面支援機関として参画。
- ・ メンバーは, 京都大学化学研究所, 大阪市立大学, 起業家, 側面支援機関。
- ・ 事業成果をもとに 24 年 3 月 2 日に会社設立。
- ・ 今後, 特許防衛などを含め, 両大学と設立会社とは密な連携を取りながら, 産学連携を推進。

(4) 京都大学宇治キャンパス産学交流企業連絡会

- ・ 宇治, 城陽, 久御山の 3 企業が発起人となり, ものづくり産業の集積する京都府南部地域を中心に産学連携や企業連携によって技術革新を起こしていくことを目的に, 意思疎通のできる関係を構築するために開催。
- ・ 京都大学宇治キャンパスにある 4 研究所(化学研究所, エネルギー理工学研究所, 生存圏研究所, 防災研究所)との交流会を実施。
- ・ 研究所の研究シーズ発表, 研究所内施設見学
- ・ 会員企業のプレゼンテーション

(5) KIT-KSPF 連携交流会

- ・ KIT…京都工芸繊維大学 (創造連携センター)
- ・ KSPF…京都試作プラットフォーム
- ・ 大学研究者と京都に集積する試作企業との交流・情報交換を促進し, 企業の独自技術を利用して新たな研究テーマの発掘, 新技術の開発, 事業化, 商品化を進めるために開催。
- ・ 大学からのニーズ発表, 施設見学
- ・ 企業紹介, 工場見学

Table 1 Information on support

補助率	期間	資金支援総額	採択数
1/2 以内	2年度間	3,000万円以内 (採択初年度の 上限1,500万円)	2件 程度

湿式処理と溶媒抽出¹芝田 隼次^{2*}

Hydrometallurgical Treatment and Solvent Extraction

Junji SHIBATA^{2*}³Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

Abstract

The solution to be treated comes from the leaching step of concentrates and industrial wastes. Solvent extraction, ion exchange, precipitation etc. are used to separate and recover the valuable metals contained in the raw materials. In order to find out a suitable separation method, it is important to know the dissolved state of chemical species in the solution. By getting the dissolved state of species, we can obtain the separation method without doing a lot of experiments. The idea of ionic equilibrium was developed in US in 1960's. Hydrometallurgical treatment and solvent extraction are briefly explained in connection with ionic equilibrium. The various experiences and ideas on separation science and technology are introduced and discussed.

Key words: Hydrometallurgical treatment, Solvent extraction, Ionic equilibrium, Separation

1. はじめに

目的としている金属イオンを含む水溶液中には他の陽イオンや陰イオンが必ず存在し、目的の金属イオンだけを含む水溶液であることは考えられない。特に湿式製錬の分野で溶媒抽出法やイオン交換樹脂のような分離操作が適用される場合、すなわち1つの浄液法として分離操作が用いられる場合には、対象となる水溶液は鉱石または産業廃棄物の浸出液である。酸浸出液であれば、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- などの陰イオンを含むであろうし、アルカリ浸出液であれば、 NH_4^+ 、 CO_3^{2-} などのイオンを含む。このような種々の性質の水溶液に対して、分離操作をどのように使ってゆくかは、水溶液中での目的金属イオンの溶存状態によって決定されねばならない^{1,5}。水溶液中での金属イオンの溶存状態が明らかになると、使用できる分離操作の方法はかなり限定されるので、多くの分離操作を手当たり次第調べてみるといった労力は軽減できる。

水溶液中での金属イオンの溶存状態は、“イオン平衡”の考えに従って電荷均衡、物質収支や錯体生成定数をもとにして計算する以外に知る方法はない。分析的に測定される金属イオンの濃度は、含まれる金属イオンの全濃度であり、物質の溶存状態を分析的方法により知ることは不可能である。

“イオン平衡”の考え方は1960年代にアメリカで発展した分野で、1965年に発刊されたButlerによるIonic Equi-

riumがおそらく初めての書物と思われる。ここでは、イオン平衡の考え方と関連づけて湿式処理と溶媒抽出について述べる。

2. イオン平衡と湿式処理技術

2.1 電荷均衡¹

すべての水溶液は電氣的に中性であり、溶液中の正電荷の総和は負電荷の総和に等しい。この電氣的中性の原理に従うと、水溶液中の種々のイオンの濃度間に一定の関係を見出すことができ、この関係式を電荷均衡という。

2.2 プロトン条件

添加した物質(HCl, Na_2HPO_4 など)から水溶液中に種々のイオン種が形成される時、プロトンを得て形成されるイオン種とプロトンを失って形成されるイオン種が存在し、この両者には収支が成り立つ。これをプロトン条件という。

2.3 質量均衡

水溶液に添加した物質とその物質が解離や錯形成をして生じた化学種の間には質量均衡が成立する。例えば、 Na_2HPO_4 水溶液について、その添加濃度をC mol/lとすると、次の質量均衡が得られる。

$$C = [\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] + [\text{PO}_4^{3-}]$$

ここで、上記の質量均衡と電荷均衡の式を組み合わせると次式を得る。

$$[\text{H}^+] + 2[\text{H}_3\text{PO}_4] + [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{PO}_4^{3-}] + [\text{OH}^-]$$

どの溶液についても電荷均衡、プロトン条件、質量均衡の関係がつけられるが、この3式のうち2式が独立であるので、普通は電荷均衡と質量均衡を用いる。水溶液中のイオン種の溶存状態の推算は、上記の2式および解離定数、水のイオン積、錯体生成定数等を組み合わせて、これを解くことにより行われる。

1. 平成24年6月7日 本会第128回例会において発表

2. 関西大学環境都市工学部

平成24年3月21日受理

* shibata@kansai-u.ac.jp

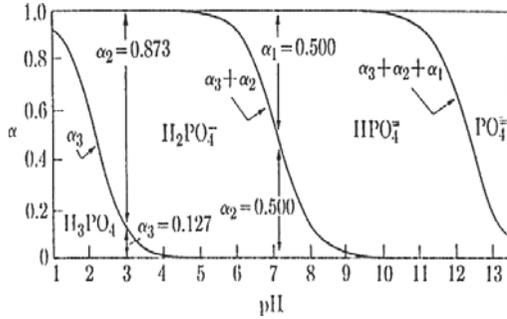
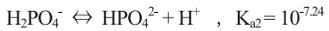
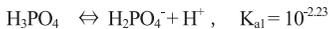


Fig. 1 Distribution diagram of H_3PO_4

2.4 イオン種の分布図

イオン種の溶存状態を表現するとき、モル分率と pH、モル分率と $pL (= -\log[L], L$ は配位子) の関係で図示することが多い。これを分布図という。例えば、 H_3PO_4 水溶液について考えると、その pH を変化させるとイオン状態は pH に応じて変化する。このときの分布図(モル分率 vs. pH) を求めてみよう。必要となる関係式は H_3PO_4 の解離平衡と質量均衡である。



リン酸根の質量均衡は次の通りである。

$$C = [H_3PO_4] + [H_2PO_4^-] + [HPO_4^{2-}] + [PO_4^{3-}] \\ = [H_3PO_4] \{ 1 + K_{a1}/[H^+] + K_{a1}K_{a2}/[H^+]^2 + K_{a1}K_{a2}K_{a3}/[H^+]^3 \}$$

$H_3PO_4, H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}$ のモル分率は次の通りである。

$$\alpha_0 = [H_3PO_4]/C, \quad \alpha_1 = [H_2PO_4^-]/C, \quad \alpha_2 = [HPO_4^{2-}]/C, \\ \alpha_3 = [PO_4^{3-}]/C$$

モル分率 $\alpha_0 \sim \alpha_3$ を pH の関数として計算すると、 H_3PO_4 の初濃度にかかわらず、Fig. 1 のような分布図が得られる。

2.5 沈澱生成および錯体生成反応とイオン平衡¹

2.5.1 水酸化物沈澱

金属イオンは pH を上げると水酸化物として沈澱するが、ある pH に調整したときに残留する金属イオン濃度は金属水酸化物の溶解度積により計算できる。 $M(OH)_2$ を金属水酸化物、 M^{2+} を金属イオン、 K_{so} を水酸化物の溶解度積とすれば、次の関係が成り立つ。



$$[M^{2+}] = K_{so}/[OH^-]^2$$

対数表示すると、次式を得る。

$$\log[M^{2+}] = \log K_{so} - 2\log[OH^-] \\ = \log K_{so} - 2\log K_w - 2pH$$

水酸化物沈澱を生成して液中に残留する濃度 $[M^{2+}]$ について、 $\log[M^{2+}]$ と pH の関係は直線となる。数種の水酸化物について対数濃度線図を書くと、Fig. 2 のようになる。図から Fe^{3+}, Al^{3+} などの金属イオンはかなり低い pH 領域で水酸化物として沈澱することがわかる。金属イオンを水酸化物として沈澱させる場合、溶液の pH が大きくなる程残留する金属イオン濃度は低下するが、ある pH 以上になると水酸化物錯体を生成して、沈澱が再溶解するものがある。 $Zn^{2+}, Al^{3+}, Cd^{2+}$ や Ga^{3+} はこの例である。ここでは、記載しないが、このような

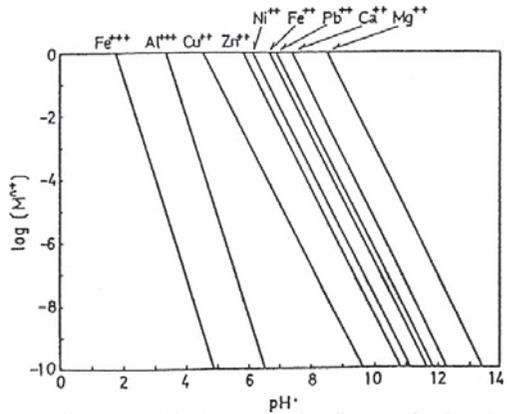


Fig. 2 Logarithmic concentration diagram of hydroxide

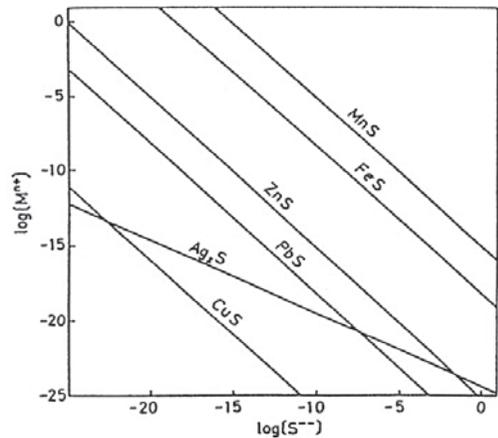
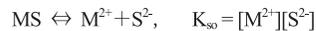


Fig. 3 Logarithmic concentration diagram of sulfides

場合の $\log[M^{2+}]$ と pH の関係は同様にイオン平衡の考え方を適用して計算することができる。

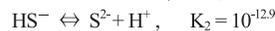
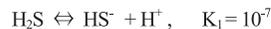
2.5.2 硫化物沈澱

多くの金属イオンは硫化物イオン S^{2-} と強い親和力を有し、溶解度の小さい硫化物を生成する。したがって、水酸化物沈澱法と同様に金属イオンを除去する方法として有効である。



$$\log[M^{2+}] = \log K_{so} - \log[S^{2-}]$$

金属硫化物の溶解度積を使って、 S^{2-} 濃度と硫化物を作って液中に残留する金属イオン濃度との関係を対数濃度線図として表すと、Fig. 3 のようになる。 H_2S は溶液中で解離して次の平衡を生じる。

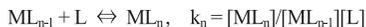


このような H_2S 解離の情報を計算式に組み込むと、 $\log[M^{2+}]$ と pH の関係を得ることができる。

2.5.3 水溶液中での金属錯体の生成⁶⁹

金属イオンと中性分子あるいは陰イオンとから生成される錯体、例えば $Cu(NH_3)_4^{2+}, CdCl_4^{2-}, Ag(CN)_2^-$ などによく知られており、その錯体の安定度は配位子と金属イオンの種類により異なる。

水溶液中に金属イオン M と配位子 L が存在するとき、いくつかの錯体が形成される。



上記の反応および生成定数は逐次生成反応および逐次生成定数とよばれる。錯体の生成は逐次的な反応であるが、計算に用いる場合には、総括生成定数 β で表示する方が都合がよいかもしれない。水溶液中に存在する錯体の濃度を知るためには、上記の錯体生成定数に加えて、金属イオン M と配位子 L について次のような質量均衡式が必要である。

$$T_M = [M] + [ML] + [ML_2] + \cdots + [ML_n] \\ = [M] \{1 + \beta_1[L] + \beta_2[L]^2 + \cdots + \beta_n[L]^n\}$$

$$T_L = [L] + [ML] + 2[ML_2] + \cdots + n[ML_n]$$

ここで、 T_M 、 T_L はそれぞれ金属イオンおよび配位子の全濃度(分析濃度や添加量)である。水溶液中でのイオン種のモル分率 $\alpha_0 \sim \alpha_n$ は上で述べたのと同様にして計算することができる。

3. 溶媒抽出法

金属イオンの溶媒抽出分離は、水溶液中の金属イオンをいったん有機相に移し(抽出操作)、これを再び水溶液中にもどす過程(剥離操作)で、分離および濃縮を行う操作である。したがって、これらの分離操作では溶液化学、有機物の化学や分離の原理についてのちょっとした理解が必要である¹⁰。

3.1 溶媒抽出法の位置づけ

湿式製錬では水溶液中の不要有害イオンを除去することは必要である。これは浸出工程で精鉱や固体資源から目的金属だけを選択的に浸出することが不可能なことから生じる。水溶液から不純物を取り除く操作を浄液操作といい、浄液操作としてつぎのような方法がある。

- 1) 水酸化物沈殿および硫化物沈殿法
- 2) 酸化・還元の利用(酸化剤: MnO_4^- , MnO_2)を用いて
 $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} \rightarrow Fe(OH)_3$, $Co^{2+} \rightarrow Co^{3+} \rightarrow Co(OH)_3$
- 3) 溶媒抽出法
- 4) イオン交換樹脂法
- 5) 膜分離法
- 6) セメンテーション法

3.2 溶媒抽出法とは

溶媒抽出法とは、互いに混じり合わない2液相間(水溶液相と有機相)での物質の分配を利用した分離・濃縮操作である。分離の対象となるのは、水溶液または浸出液中の金属イオンや水溶液中の酢酸やフェノールである^{11,12}。金属イオンは電荷をもち、水とイオンの形で存在している。金属イオンはその電荷と水と水のために、このままではベンゼンやケロシンのような極性の小さい有機溶媒に移すことはできない。金属イオンを有機相中に取り込むには次の2つの条件が必要である。

条件 1: 金属イオンの電荷を中和し無電荷の化学種とする

こと。

条件 2: 金属イオンに配位している水和水をできるだけ除去すること。

この2つの条件が満たされると金属イオンは有機相中に移れるようになる。金属イオンに結合して疎水性を与え、上記の2つの条件を付与するのが抽出剤の役割である。

有機相はつぎの物質、抽出剤/希釈剤/調節剤で構成される。抽出剤は金属イオン、鉱酸などの目的物と安定な錯体、化合物、付加物を形成する有機物で、酸性抽出剤、塩基性抽出剤、中性抽出剤などに分類され、40種以上の工業的抽出剤が知られている。これらの抽出剤は水溶液中での目的金属イオンの溶存状態により使い分けられる。

希釈剤は粘度、比重などの有機相の物理的性質を改善すると同時に、適切な抽出剤濃度に希釈するために用いられる炭化水素溶剤である。芳香族炭化水素、脂肪族炭化水素および脂環式炭化水素の単一成分からなるもの、またはこれらの混合物が用いられる。芳香族成分、脂肪族成分および脂環式炭化水素成分の組成は抽出平衡や抽出速度に影響を与える。引火点 70°C以下のものは第3石油類に分類され、消防法上の規定で有利である。Napoleon 150(引火点 79°C)、Escaid 100(70°C)、Isopar M(93°C)などはよく使われる希釈剤である。

調節剤は第3相の生成、エマルジョンの生成を抑制するために用いられる添加物である。有機相と水相とを機械的に混合攪拌すると、条件によって乳化を起こしたり、どちらの相にも十分に溶解しない第3番目の相ができたりすることがある。この目的のために、経験的にP-ノルフェノール、イソデカノール、2-エチルヘキサノール、TBPなどが用いられる。

水溶液中の金属イオンは、抽出剤との反応によって上記の条件が満たされると、有機相中に安定的に存在できるようになり、有機相に抽出される。これは抽出工程と呼ばれ、金属イオンの相互分離はこの段階で行われる。有機相に抽出された金属イオンは、再び水溶液中に移される。この段階は逆抽出工程(剥離)と呼ばれ、金属イオンの濃縮はこの過程で行われる。抽出反応は可逆的な反応であるから、抽出反応を阻害するような条件を設定すると、逆抽出反応が起こって金属イオンは水溶液中に再分配する。金属イオンの分離と濃縮はこのようにして行われる。抽出工程でも濃縮が行われることがあり、うまくいくと抽出と逆抽出の工程で10倍に濃縮することも不可能ではない。

3.3 溶媒抽出のプロセス

溶媒抽出のプロセスは、抽出、洗浄、逆抽出の3つの工程から成り立っている(Fig.4参照)。抽出工程では、他の金属イオンをできるだけ取り込まないようにして目的の金属イオンを抽出する。抽出工程の目的は主に分離である。不純物との分離は、抽出剤の種類と濃度、溶液 pH などの条件を設定することによって可能になる。しかし、目的成分と不純物との化学的性質が似ている場合には、どのような抽出剤や抽出条件を選んでもうまく分離できないことがある。このような場合には、多段向流抽出法が適用され、抽出装置という機械装置的な面で目的の分離が達成される。

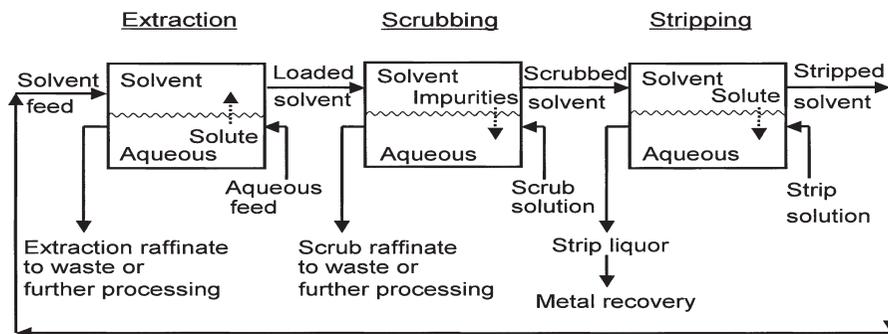


Fig. 4 Common process of solvent extraction

洗浄工程の役割は、抽出工程で有機相中に混入した不純物を水相中に戻して、有機相中の不純物を除去することである。洗浄に用いられる水溶液は抽出剤の種類や金属成分の種類によって異なるので一通りには言えないが、不純物成分が逆抽出されるような水溶液である。洗浄工程から出る水溶液には目的の金属イオンが含まれているので、この液は原料水溶液とともに抽出工程に加えられる。目的成分の分離が容易な系では、洗浄工程を必要としない。

逆抽出工程は有機相中に含まれている目的の金属成分を再び水溶液中にもどす工程で、このときに目的成分の濃縮が行われる。抽出および洗浄工程を経てきた有機相には目的の金属イオンだけが含まれているので、逆抽出工程ではもっぱら目的成分の濃縮がなされる。逆抽出で得られた目的物質を

高濃度で含む水溶液は、電気分解や化学薬品による還元や晶析操作を経て、高純度金属または金属塩に変換される。電解採取によって金属が取り出される場合には、電解尾液が逆抽出液として使われ、電解液は逆抽出工程と電解工程との間で循環する。

溶媒抽出での相互分離の難易度は分離係数で示される。2つの金属イオンの分離係数が1000~5000以上であれば、単段の回分操作で目的成分の分離は十分である。分離係数が50~300程度であれば、目的成分の分離は2~3段の連続向流抽出操作で達成される。これ以下の分離係数であれば、目的成分の分離は多くの段数の連続向流抽出操作を必要とする。

希土類元素の分離のように、1.5~2.0の分離係数を持つ場

Table 1 Commercial extractant

Classification	Chemical name	Trade name	Structure	Maker
Acid type a) Phosphoric acid	Mono-2-ethyl hexyl phosphoric acid	P-204	$\begin{array}{c} \text{HO} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHCH}_2\text{O} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	Shanghai Rare Earth Chemical
	Di-2-ethyl hexyl phosphoric acid (D2EHPA)	DP-8R	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHCH}_2\text{O} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	Daihachi chemical
b) Phosphonic acid	2-Ethyl hexyl phosphonic acid mono-2-ethyl hexyl ester	PC-88A	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHCH}_2 \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	Daihachi chemical
		P-507	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CHCH}_2\text{O} \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	Shanghai Rare Earth Chemical
c) Phosphinic acid	Di-2,4,4-trimethyl pentyl phosphinic acid	Cyanex272	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	Cytec Industries
		P-229	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_2\text{H}_5 \\ \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	Shanghai Rare Earth Chemical
d) Carboxylic acid	Alkyl monocarboxylic acid	Versatic Acid 10	$\begin{array}{c} \text{R}_1 \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{COOH} \\ \\ \text{R}_2 \\ \text{R}_1 + \text{R}_2 = \text{C}_7 \end{array}$	Hexion Specialty Chemicals
Solvation type a) phosphate	Tri-n-butyl phosphate	TBP	$\begin{array}{c} \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{O} \\ \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{O} \\ \\ \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{O} \\ \\ \text{P} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	Daihachi chemical
	Tri-n-octyl phosphate	TBP, TOP	Seem as above	Shanghai Rare Earth Chemical
Chelating type	2-hydroxy-5-nonyl acetophenoneoxime	LIX84-I	$\begin{array}{c} \text{C}_9\text{H}_{19} \\ \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{HO} \quad \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{NOH} \end{array}$	Cognis

合でも、多段の連続向流抽出操作を適用して分離がなしとげられる。化学的性質が似ていて分離が難しい場合でも、抽出剤を選択したり、協同効果を利用することによって、あるいは水溶液の組成をうまく調整することによって分離係数を大きくすることが可能である。

3.4 溶媒抽出の応用分野

溶媒抽出が応用されている工業分野には、銅、ニッケル、コバルトのような一般金属やウラン、ニオブ、タンタル、希土類金属などの特殊金属の精製濃縮といった金属製錬¹³⁻²⁰、メッキ廃水やレーヨン製造工程の廃水からの有価物の回収といった工業廃水処理、フェノールや酢酸やタンパク質やアミノ酸のような有機物の分離濃縮などがあげられる。

銅、ニッケル、コバルトのような一般金属や特殊金属の溶媒抽出は、金属成分を含む固体資源の浸出の後に、浸出液からの目的成分の回収のために用いられる。浄液を終えた水溶液は電解採取や化学的還元または薬品による沈澱によって固体として取り出される。メッキ廃水の処理では、リンス液や廃メッキ液が溶媒抽出によって濃縮および精製される。回収された製品はメッキ浴に再循環される。

3.5 代表的な溶媒抽出装置

工業的に用いられる溶媒抽出装置には、ミキサー・セトラ一型、ロータリー・ディスク・カラム型、パルス・カラム型および遠心抽出機がある。ミキサー・セトラ一型が多く採用されている。ミキサー・セトラ一型抽出装置は攪拌槽と静置槽の2つの部分から成っている。攪拌槽ではインペラーなどの適当な機構により有機溶液と水溶液の混合接触が行われ、静置槽では2種の溶液の比重差による静置分離が行われる。この上相液、下相液がそれぞれ後段、前段の攪拌槽に送られる。攪拌槽中で2種の溶液の接触が充分に行われ、理論平衡値に近い抽出が起こるので、スケールアップの設計が容易である。小型から大型装置まで使える。

3.6 工業的に利用される抽出剤の種類

工業的に利用される抽出剤の1部にはTable 1に示すようなものがある。詳しくは別の資料参照。

3.7 代表的な抽出剤の抽出特性

代表的な抽出剤の抽出特性がFig.5とFig.6に示されている。これらの抽出曲線は抽出剤濃度や金属イオン濃度によっていくらか変動するので、実際に適用するときには目的の金属イオンおよび抽出剤濃度で抽出試験をするべきである。

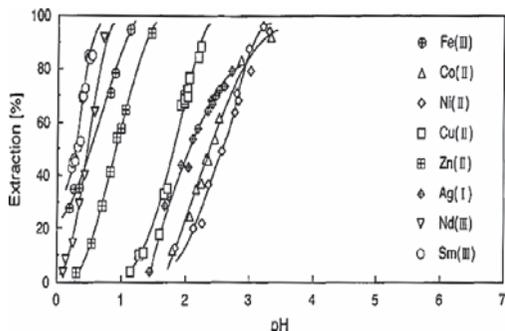


Fig. 5 Extraction curves of metal ions with 1 mol/l D2EHPA

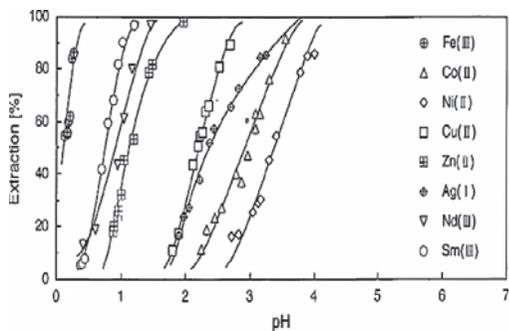


Fig. 6 Extraction curves of metal ions with 1 mol/l PC-88A

3.8 抽出反応

1) 酸性抽出剤による抽出反応 (D2EHPA, Versatic acid 等)



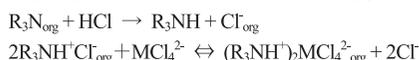
抽出反応は水素イオン濃度(pH)に依存する陽イオン交換反応である。逆抽出には無機酸が用いられる。

2) キレート抽出剤による抽出反応 (LIX, ACORGA 等)

キレート抽出剤は金属イオンに2座配位し、6員環や5員環の安定なキレート化合物を形成する。抽出反応は水素イオン濃度に依存する。逆抽出には無機酸が用いられる。

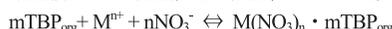
3) 塩基性抽出剤による抽出反応 (第3級アミン、第4級アンモニウム塩等)

第3級アミンはこのままでは陰イオン交換作用をもたないので、無機酸と接触させてアミン酸塩に変換される。抽出は水溶液中の負電荷をもった金属イオンとアミン酸塩中の陰イオンとの陰イオン交換反応によって起こる。



抽出反応は塩素イオン濃度(または他の陰イオン濃度)に依存する。逆抽出には水または希薄な無機酸が用いられる。

4) 中性抽出剤による抽出反応 (TBP, エーテル類等)



抽出は水溶液中の無電荷金属種に対する抽出剤の溶媒和によって生じる。抽出反応は無電荷種 $M(NO_3)_n$ の生成の難易に依存する。したがって、抽出は陰イオン濃度に依存する。逆抽出には水が用いられる。

3.9 分配比と分離係数

分配比は平衡状態となった時の有機相および水相中の金属濃度を C_{MO} , C_{MA} とすると、次式で示される。

$$D = C_{MO}/C_{MA}$$

抽出率 $E(\%)$ と分配比 D は、有機相および水相の体積を V_O , V_A で表すと、次のように関係づけられる。

$$E(\%) = 100 \times C_{MO}V_O / (C_{MO}V_O + C_{MA}V_A) = 100D / (D + V_A/V_O)$$

分離係数は、2つの金属イオンの分配比を D_1 , D_2 とすると、分配比の比として定義される。

$$\beta = D_1/D_2$$

分離係数 β が 10^3 以上であれば1回の抽出操作で分離できる。 β が 100 程度の場合には2~3段の向流抽出により分離できる。 β が 10 以下であっても抽出段数の増加および洗浄工程

を設けることにより分離できる。

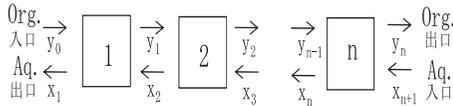
3.10 向流多段抽出操作

工業的には多くの場合に向流多段抽出操作が採用される。実験室的には多回抽出操作もまた利用される。実操業では目的金属の回収率を高め、目的金属の分離性を高くするために、向流多段抽出操作が採用される。

いま、次のような n 段からなる向流多段抽出を考えてみよう。A および O は水相と有機相の流量、 x および y は各抽出段での水相と有機相の金属濃度である。各段における物質収支は次のとおりである。

$$Ax_2 + Oy_0 = Ax_1 + Oy_1, \quad Ax_3 + Oy_1 = Ax_2 + Oy_2, \quad \dots$$

抽出系全体の物質収支は次式である。



$$Ax_{n+1} + Oy_0 = Ax_1 + Oy_n$$

上式より次式が得られる。

$$y_n = A/O(x_{n+1} - x_1) + y_0$$

これは点 (x_1, y_0) を通り、傾き A/O をもつ直線の式であり、物質収支を満足する点の集まりである。この直線は McCabe-Thiele 解析で操作線と呼ばれ、操作線の傾きは A/O (水相と有機相の流量比) を表す。操作線は点 (x_1, y_0) と点 (x_{n+1}, y_n) を条件として与えるか、または点 (x_1, y_0) と点 (x_{n+1}, y_n) を条件として与えると 1 通りに決まる。Fig.7 のように、抽出等温線をあらかじめ求めて、これに操作線を書き込むと分離のための理論所要段数とその操作条件が求められる。この解析は段効率が 100% すなわち各段で完全に抽出平衡になるという条件で得られるものである。ミキサー・セトラ型抽出装置の装置効率は 90% 程度と見積もるのが普通である。逆抽出工程での理論段数、操作条件も同様に決定できる。

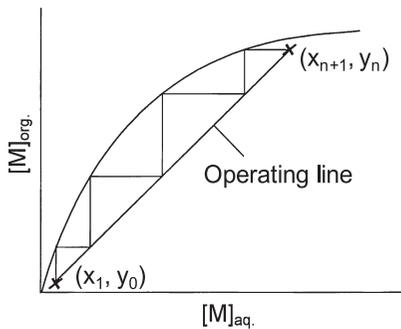


Fig. 7 Determination of theoretical stages

4. おわりに

イオン平衡を基礎にして、湿式処理と溶媒抽出について述べた。十分に記述できていないところが多い。足りない点は、著者の親愛なる同志である馬場教授(宮崎大)、田中関大客員教授(産総研)、吉塚教授(北九州市立大)、後藤教授(九大)らの著作物を参考にされるとよい。

References

1. J. Shibata : Society of Separation Process Engineers, **33**, pp.260-264 (2003)
2. J. Shibata, T. Horiuchi et al. : J. Japan Inst.Metals., **38**, pp.316-322 (1974)
3. J. Shibata and S. Nishimura : J. Japan Inst.Metals, **38**, pp.323-327 (1974)
4. J. Shibata and S. Nishimura : Trans. JIM, **18**, pp.794-802 (1977)
5. J. Shibata, H. Sawai et al. : J. Japan Inst.Metals., **51**, pp.743-748 (1987)
6. J. Shibata, S. Nishimura et al. : J. Japan Inst.Metals, **39**, pp.976-981 (1975)
7. J. Shibata, M. Izutani et al. : J. Japan Inst.Metals, **38**, pp. 847-852 (1974)
8. J. Shibata, H. Kawabata et al. : J. Japan Inst.Metals, **39**, pp.82-87 (1975)
9. J. Shibata and S. Nishimura : J. Japan Inst.Metals, **39**, pp.206-212 (1975)
10. J. Shibata : Resources Processing, **39**, pp.124-129 (1992)
11. J. Shibata and S. Nishimura : Nihon Kyogyokaishi, **94**, pp.815-821 (1978)
12. J. Shibata and S. Nishimura : Trans. JIM, **20**, pp.111-118 (1979)
13. J. Shibata and S. Nishimura : Trans. JIM, **23**, pp.614-619 (1982)
14. M. Sano, J. Shibata et al. : Nihon Kyogyokaishi, **104**, pp.475-478 (1988)
15. M. Sano, J. Shibata et al. : Nihon Kyogyokaishi, **104**, pp.537-541 (1988)
16. M. Sano, J. Shibata et al. : Solvent Extraction Research and Development, Japan, **2**, pp.162-170 (1995)
17. Y. Baba, J. Shibata et al. : Solvent Extraction Research and Development, Japan, **2**, pp.99-101 (1995)
18. M. Sano, J. Shibata et al. : Solvent Extraction Research and Development, Japan, **3**, pp.86-98 (1996)
19. J. Shibata, M. Morikawa et al. : Kagakukougaku Ronbunshu, **28**, pp.339-344 (2002)
20. J. Shibata, M. Morikawa et al. : Kagakukougaku Ronbunshu, **29**, pp.521-525 (2003)

フラクタル日構造の日よけ「エアリーシェード」の産学協同開発¹

山路 克彦^{2*}・酒井 敏³・佐野 健三⁴

“Airy Shade” with Fractal Shapes

Katsuhiko YAMAJI^{2*}, Satoshi SAKAI³ and Kenzou SANO⁴

²SEKISUI HEIM SUPPLY CO., LTD.

³Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

⁴SEKISUI INTEGRATED RESEARCH

Abstract

This paper presents a new technology of sun shade with fractal shapes. This shade consists of many Sierpinski tetrahedron units and blocks 100% of sunshine at a certain direction. The sunshine from other direction partly penetrates through the shade creating a leafy shape under the shade. This shade greatly suppresses its surface temperature comparing with an ordinary flat roof and consequently provides cool environment without strong heat radiation under the shade.

Key words: Airy-Shade, Fractal, Shade, Forest, Cool

1. 結 言

京都大学大学院が研究してきたヒートアイランド現象とその対策についての成果を生かして、積水インテグレートドリサーチが工業化に向けた共同開発をおこない、「電気も水も使わずに森のような涼しい環境をつくる日よけ「エアリーシェード」を積水化学工業から発売するに至った。ヒートアイランド現象を緩和することで冷房電力を削減し、CO₂の発生量を抑制できるだけでなく、近年の猛暑下での熱中症対策にも期待されている。

2. 京都大学大学院の研究成果

夏の日盛りを避けて木陰に入ったときに感じる爽やかな清涼感は、まさに都会のオアシスというべき憩いの場所といえる。なぜ木陰は涼しいのか。通常、木の葉から水分を蒸発さ

せているからと言われている。しかし、水の蒸発潜熱で夏の日射のエネルギーを除去しようとする、京都大学の計算では雨が全て蒸発しても足りないことになってしまう。さらに植物は水分が不足すると気孔を閉じて水の蒸散を止めてしまう性質を持っている。また、葉の光合成でエネルギーを吸収しているとも言われるが、光合成に必要な光の波長は決まっています、それ以外の波長光は吸収されない。しかし、木陰は涼しい。その原因は、樹木の葉の組み合わせ構造そのものにあった。ほぼ相似形で平面状の木の葉が無数に集まって、隙間の多い立体的な形を作っている樹木の構造が、光や熱をさえぎり、風通しをよくして、地面と葉そのものの表面温度を上がりにくくしている。つまり、樹木の葉が直射日光を受け、温度が上昇すると空気が熱を奪っていくという現象を細かく繰り返していたといえる。

こうした樹木の構造は、幾何学の世界ではフラクタル構造（図形の全体と部分が相似形をなす構造。海岸線や樹木の枝分かれなど自然界に広く存在する）と呼ばれ、その代表的な図形として、小さな三角錐が繋がって大きな三角錐を構成する「シェルピンスキー（ポーランドの数学者）の四面体」がよく知られている（Fig.1 参照）。

このフラクタルを日よけとして京都大学大学院人間・環境学研究所の酒井敏教授（2007年度日本ヒートアイランド学会

1. 平成 24 年 6 月 7 日 本会第 128 回例会において発表

2. セキスイハイムサブライ株式会社

3. 京都大学大学院人間・環境学研究所

4. 株式会社積水インテグレートドリサーチ

平成 23 年 3 月 24 日受理

*yamaji002@sekisui.jp

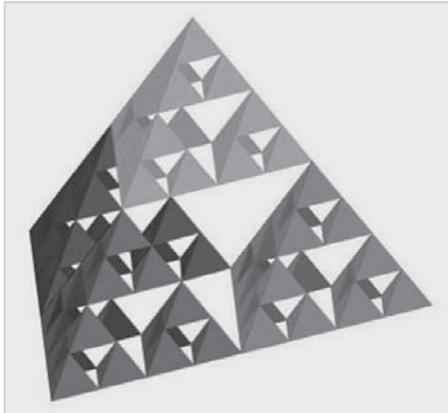


Fig.1 Sierpinski tetrahedron

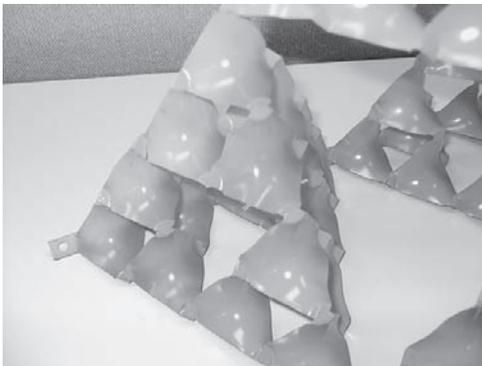


Fig.2 Trial shape created by Kyoto University

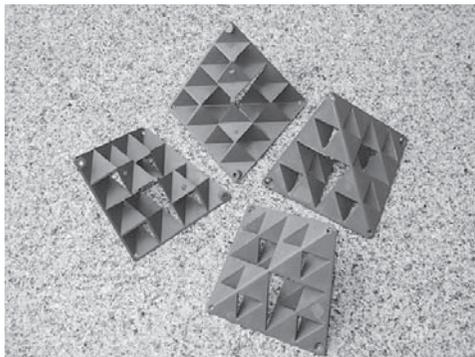


Fig.3 Manufactured shape by Sekisui

の最優秀論文発表賞受賞)が企画考案した¹。

フラクタル日除けは、この「シェルピンスキー四面体」の形に小さな葉っぱを並べることで人工的に木陰の清涼感を再現しようというもので、いわば「人工的な木の葉を作って、都市の環境を穏やかにしようという試み」である。

3. 実用化に向けた共同開発

京都大学大学院は、前記の考案をもとに Fig. 2 のフラクタル日よけを試作した。この形状は複雑であったが、株式会社積水インテグレートリサーチが日除けとしての性能を維持しながら若干の修正を加えて、射出成形を可能にした。射出成形品の形状を Fig. 3 に示す。射出成形できたことで工業生産が可能と判断できるようになった。

4. 開発した技術の立証

日本科学未来館（毛利衛館長、東京都お台場）で展示を兼ねて、フィールドテストを 2009 年 6 月 24 日から 8 月 31 日までおこなった (Fig. 4 参照)。

日本科学未来館におけるフィールドテストとして、メインエントランス前のオープンスペース (250m²) に、ブラウン、ベージュ、グリーン 3 色の成形品をランダムに混在させ、自然の色調にした「フラクタル日よけ」を製作し、人工の葉の温度、比較屋根の温度、木陰の部分の地面温度と直射日光を受ける地面の温度、それぞれの気温を 2 ヶ月間連続測定した。

Fig. 5 は日本科学未来館 7 階のテラスから撮影した写真であり、Fig. 6 は赤外線カメラで撮影した温度である。中央部に比較のために同じ材料で製作した平屋根を設置した。Fig. 6 では、この平屋根が赤くなり、50°Cを超えているがフラクタル日よけ部分は 35~40°Cに抑えられている。来場者も涼しく感じると好評であった²。



Fig. 4 Aspect of field test at Miraikan

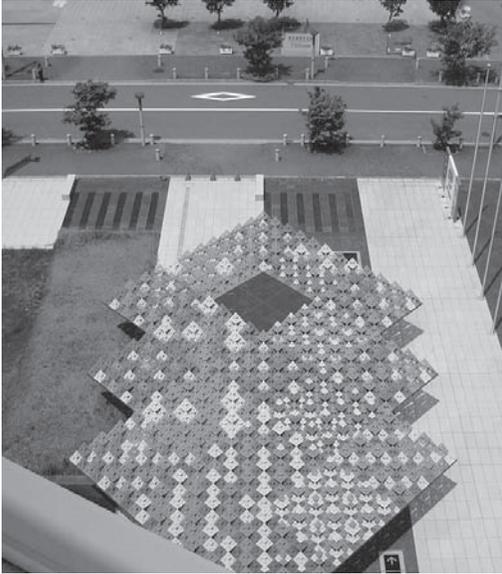


Fig.5 Top view of the fractal shade at Miraikan

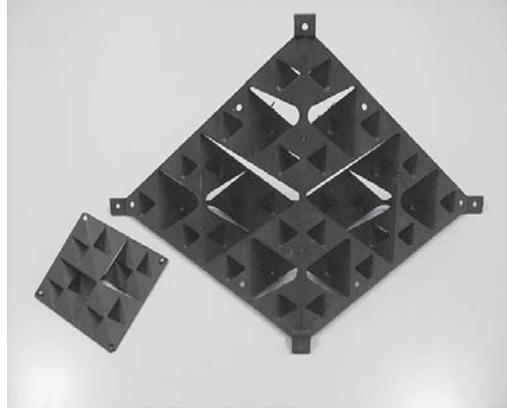


Fig.7 Advanced shape (right)

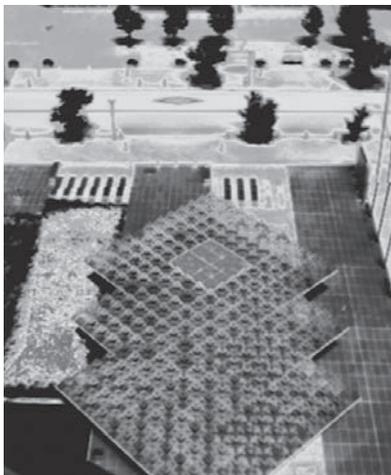


Fig.6 Thermal image of fractal shade of Minamikan

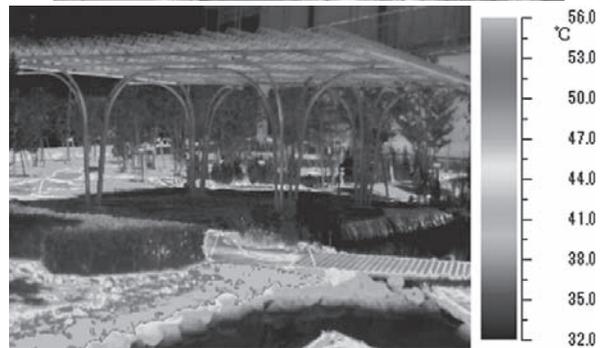


Fig. 8 Aspect and thermal image of garden in Toyosu Raraport, Tokyo

5. 製品化に向けて

日よけとしての性能を立証できたので、2010年には大量生産の準備として、フラクタル構造をさらに1段階高めた成形技術を開発した。Fig.7の左の小型の成形品がFig.3と同じもので、前記の未来館のフィールドテストに使用したものである。Fig.7の右の大型の成形品が、その小型を4個結合してフラクタル構造を1段階高めている。

これで大量生産できる目処を得たので、市場の反応を見るために Fig.8 (東京都豊洲ららぽーと)、Fig.9 (御在所サービ

スエリア上り線)、Fig.10 (同下り線)への設置をおこなった。

それぞれ赤外線カメラで撮影した温度も併記する。日よけとしての効果が立証されている。

6. エアリーシェード

以上の結果をもとに、さらなる日射遮蔽率の向上、強度面の向上および適正化などの検討を経て、2011年6月に「エア

リーシェード」の製品名で発売した。



Fig. 9 Rest area at parking place (1)



Fig. 10 Rest area at parking place (2)

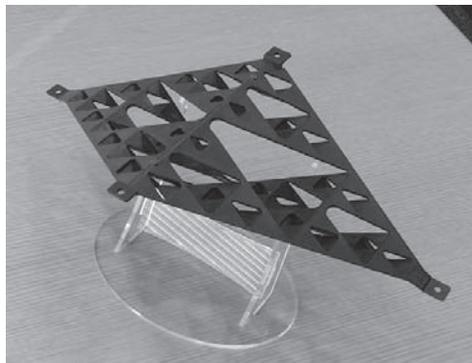


Fig.11 AIRY SHADE

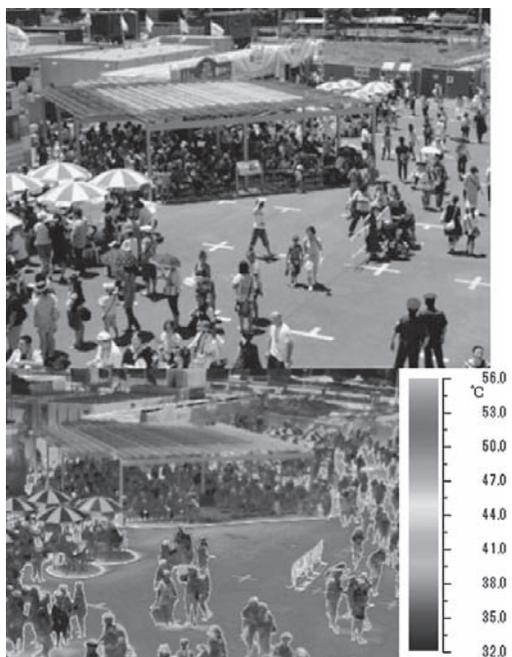


Fig.12 AIRY SHADE in Odaiba

製品（ピース）の写真を Fig.11 に示す。
 2011 年の夏にはフジテレビのお台場合衆国に採用された。
 その写真を Fig.12 に示す。フラクタル日よけ「エアリーシェード」の下は、温度が上昇せず、多くの来客が入っている。

7. 結 言

京都大学のヒートアイランド現象およびその対策の研究成果をもとに工業化の研究を共同で進め、フラクタル構造の日

よけ「エアリーシェード」を製品化することができた。京都大学が基礎データを大量に取得していたこと、高いレベルのシミュレーションを可能にしていたことが、製品開発に非常に役に立った。企業がこれらをすべて自社開発していたら時間も研究費も莫大なものになっていただろう

京都大学は、2007年秋のイノベーションジャパン（東京国際フォーラムにて毎年開催）にFig.2の試作品と実験データを出展した。300社以上が名刺交換し、筆者もその1人だった。その後、50～60社が京都大学を訪問したが、作り方を考えてきたのは3～4人だったそうである。なかには、作り方を大学に質問する人もいたそうで、産学連携をうまく進めるためには企業が役割を認識することが必要といえる。

また、近年は何でも数値目標に置き換える傾向がある。この開発に関して言えば、涼しさ、心地よさなどは数値化しにくい。管理志向でよく言われる「目標を数値化する」ということにこだわっていればうまく進まなかったと思うが、京都大学と積水インテグレートドリサーチ双方に管理志向が新技術開発にマイナスに働きやすいという共通した認識があったことが有利に働いたと考えている。

最近になって気づいたことであるが、大学との連携は企業にとって特許以上の効果がある。大学の出願は基本特許である。大学と連携していない企業が、その特許の回避方法を発見したり、特許を抜けて類似品を作ることができたとしても、企業名や信用を考えれば実行できないだろう。言わば、「お上に楯突く」ということになるからである。この効果は非常に大きいと思われる。

他にも産学連携のメリットはあるが、当日の発表で補足したい。

References

1. S.Sakai, M.Onishi, M.Nakamura, I.Iizawa and H.Tsuiki:
2009 Fractal dimension of trees and turburent transfer of heat and moisture, Turbulence, Heat and Mass Transfer **6**, K.Hanjalic, Y.Nagano and S.Jakirlic (Ed.) pp.881-884(2009)
2. S.Sakai, M.Nakamura, K.Yamaji, K.Tamotsu: Sierpinski's forest
New technology of cool roof with fractal shape Proceedings (2010) (*in press*)

特 別
講 演

リユースを目的としたテープ状部品供給システムに関する研究開発¹

藤本 昌久^{2*}

Study of supply system of tape styled component for reuse of packing material

Masahisa FUJIMOTO^{2*}

²EPI Co., LTD.

Abstract

Tray supply and taping supply are known as the way of parts supply for automatic assembly. The packing material for the parts used for this supply has been thrown away without recycling. We investigated the packing material which is reusable for the parts and supply method using such new packing material. It is expected that this development will bring less wastes by reuse of the packing material and productivity improvement.

Key words: Reuse, Parts protection, Wide variety product in small amount, Space reduction

1. 結 言

精密機器・電子機器の組立工程において、自動組立の為の整列供給及び、変形やキズを嫌う部品を保護する為、トレイ (Fig.1) 供給及び、テーピング (Fig.2) 供給 (電子基板組立工程での供給形式) を多用している。この既存のトレイ供給及び、テーピング供給で用いる梱包材はプラスチック成形品が主であるが、梱包材 (トレイ・キャリアテープ) は1回限りの使い捨てを前提としており、また、材質が混在して廃棄される為、材料リサイクルにできず、焼却又は、埋め立て処理となっている。特にテーピング供給は紙・プラスチックが混ざったゴミとなっており、材料リサイクルができていないのが現状である。トレイに関しては、リユースの動きもあるが、真空成形で製作されたトレイは強度的に弱く、リユースに不向きであり、金型費・トレイ単価ともにコスト高の射出成形品がリユース用として用いられているが、コスト面が課題で多く使われていない。キャリアテープは、製品の封に用いる熱接着式カバーテープを一度開封すると再使用ができないので、すべて使い捨てとされている。

また、昨今の経済情勢により企業・工場の統廃合が進み、企業・工場は生き残りをかけ、生産性向上を急

務として取組んでいる。そのような情勢の中で、生産設備の汎用性向上と省スペース化が望まれている。

そこで、本研究では、自社の既存技術であるキャリアテープ成形技術を応用し、リユース可能なテープ状部品梱包材と、そのテープを用いた省スペース部品供給システムの研究開発を行った。



Fig.1 Tray

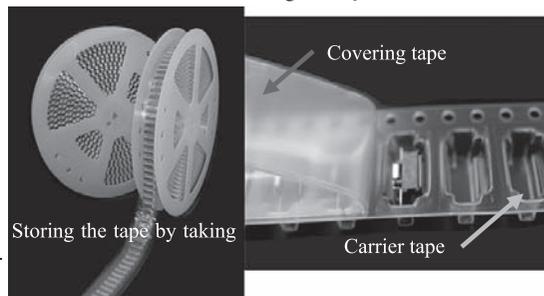


Fig.2 Taping

1. 平成 24 年 6 月 7 日 本会第 128 回例会において発表
2. 株式会社イー・ピー・アイ

*m-fujimoto@epi-kyoto.com

平成 24 年 3 月 29 日受理

2. リユース可能なテープ状梱包材の開発

開発の動機として、自社で使用しているテーピングを電子基板以外の分野へ展開しようとした時、キャリアテープとカバーテープがリユースされず廃棄されていることが他分野で問題視された。電子部品はホコリを嫌う為に、梱包材のリユースという考えが無い為である。多分野（特に自動車関連）では梱包材のリユースは当たり前で、既存テーピング供給は採用できない状況だった。しかし、テーピング供給のメリットである狭小スペースでの供給と、梱包された部品が密閉され人為ミスによる混入が発生しないことが評価され PR を行った企業より開発要望があり開発をスタートした。

リユース可能なキャリアテープの開発にあたり、まずトレイとテーピングのメリット・デメリットについて考えた。

<トレイのメリット>

- ① 1個毎に向きを揃えて梱包できる。
- ② 取扱いが簡単で、手作業、自動化の両方に対応できる。
- ③ 真空成形品は安価。

<テーピングのメリット>

- ① 1個毎に向きを揃えて密閉梱包されており収容物の保護と混入を防げる。
- ② 列状に梱包されており、狭小スペースで使える。
- ③ 専用供給機を用いることで、高速供給（0.1秒/個）が可能。
- ④ 真空成形品の為、安価。

<トレイのデメリット>

- ① トレイ上面が開放されており、取扱い時、部品が飛び出す。
- ② トレイ上面が開放されているので、部品混入など人為ミスが発生する。
- ③ 格子平面状に整列されているので、占有スペースが大きい。
- ④ 通常トレイを積上げて使用するが、自動供給の場合、トレイ供給機が高額となる。
- ⑤ 射出成形品は高価。
- ⑥ 真空成形品は安価であるが、強度が不足しておりリユースに耐えられない。

<テーピングのデメリット>

- ① カバーテープを剥がすと、リユースできない。
- ② テープを扱う為に、専用の供給機が必要。
- ③ 高速で供給する為、寸法精度要求が厳しい。

メリット・デメリットと客先要望を踏まえ、つぎの機能目標を決め、開発を行った。

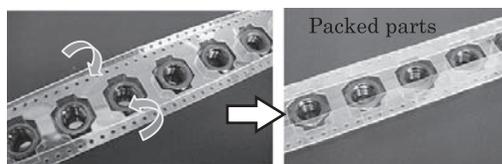


Fig.3 Contrived carrier tape

- ① リユースを可能とする。
- ② 狭小スペースで供給できる。
- ③ 部品混入を防ぐ。

既存キャリアテープでは、カバーテープを熱接着しており、一度剥がすとキャリアテープ・カバーテープとも再接着できなくなり使用できない。そこで、キャリアテープを改良し、カバーテープが無くても部品混入を防ぐキャリアテープ（Fig.3）を考案した。このキャリアテープは、テープ端を折り返すことで、蓋の機能を持たせ、部品混入しない構造とした。

考案したキャリアテープ（商標：F キャリ）は、カバーテープを必要としないので、F キャリはリユースが可能となる。また、F キャリはPETの単一素材の為、PET材リサイクルも可能となった。

単列テープ状とすることで、部品供給のスペースをテーピングと同様に狭小とすることができる。

考案したFキャリを実用化するに当たり、いくつかの課題があり、京都府の産学公研究開発成果展開事業の支援を頂き、構造解析と樹脂がご専門の京都工芸繊維大学大学院 工学科学研究科先端ファイブ科学部門 横山敦士准教授のご協力を頂き、課題解決に取り組んだ。

F キャリは蓋（以下フラップ）を閉じた状態で部品収容し、フラップを開いて収容した部品を取り出す。フラップを閉じた状態から開いた状態にしながら部品を送り出す装置を供給機と呼ぶ。この供給機で供給動作した時にF キャリが振動し、収容された部品が振動し部品姿勢が崩れるという問題があり自社だけでは解決できていなかった。

そこで大学の協力のもと構造解析を行うことで、振動の原因が、テープ構造に起因する座屈であることが判明した。

Fig.4のようにポケット面とフラップ（蓋）端面の展開長の差により、テープを走行させる為にR状に曲げた時にFig.5、Fig.6のようにテープが上方方向に湾曲する。

Fig.7のように、湾曲したテープを供給機の送りローラーが下方方向に押え付ける為に、ポケットとポケットの間で座屈が発生する。

座屈は1ポケット送る度に発生するので、高速で送り動作を行うと、連続して座屈し振動が発生する。

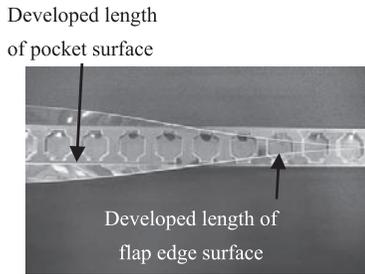


Fig.4 Developed length difference for buckling

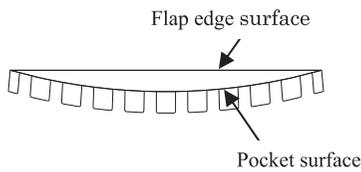


Fig.5 Modeling diagram of developed length difference

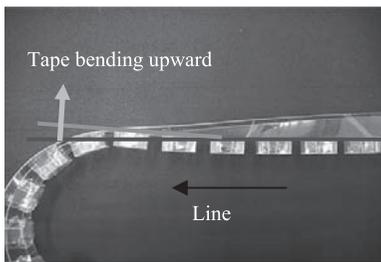


Fig.6 Tape bending

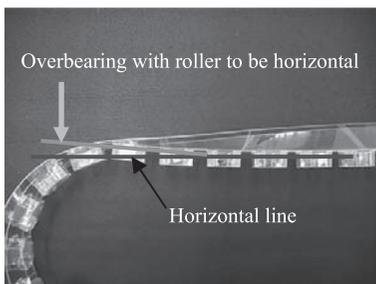


Fig.7 Tape buckling

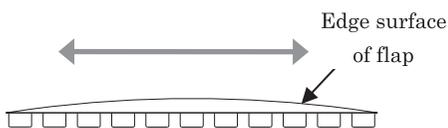


Fig.8 Model diagram of flap elasticity

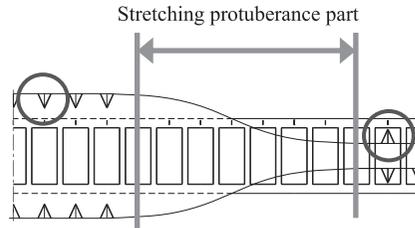


Fig.9 Model diagram of bellows structure

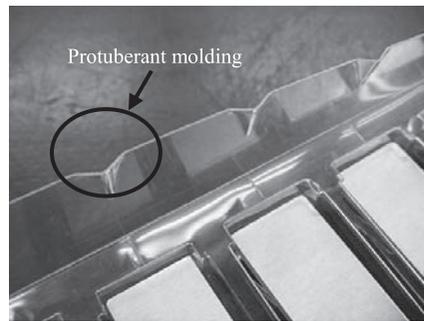


Fig.10 Protuberant molding to flap part

解決方法として、Fig.8に示すようにフラップ部を伸縮させることで、ポケット面とフラップ端面の展開長の差を吸収させることにした。

実際には、Fig.9、Fig.10のようにフラップ端面に突起状の成形を行い、ジャバラのように伸縮機能を持たせることで、展開長の差を吸収することができた。フラップ端部にジャバラ機能を持たせるアイデアは、共同研究の中で、様々な対策方法を検証し最適な形状として実施された。大学との共同研究で、自社だけの取組みに比べ費用・時間ともに大幅に削減されたことが、自社にとってのメリットだった。自社の取組みではトライ&エラーが基本的なやり方だったが、アイデアを図面化し、図面を元に構造解析を行うことで、試作無しに結果が予測できるので、試作回数を減らすことができ、時間と費用削減につながった。

大学の協力を得ることで、リユース可能なテープ状梱包材（Fキャリ）が完成した。

3. 供給機の開発

Fキャリの開発と並行して、供給機（Fig.11）の開発も行った。供給機はFキャリをリールに巻き取った状態の物（以下リール）を搭載し、Fキャリを1ポケット毎にピッチ送りして部品を供給する装置。供給機は単体で使用されることは無く、組立機や部品製造機と組合せて使

用される。

F キャリを使用することで、部品は整列梱包された状態となり、またF キャリに設けたポケットピッチを規格化することで、供給機側の機能を省略している。供給機の機能としては、組立機の要求に応じてF キャリを定ピッチで送るのみである。このように供給機は単機能であるが、リールを交換するだけで様々な部品を供給することが可能となり、品種切替がリール交換のみで完了するので、短時間で品種切替できる（当社比で通常の約 1/5 の時間）。また、供給機は狭小幅なので、組立機の全長を従来比 1/3 に短縮できる。このようにF キャリ用供給機を用いることで、多品種少量生産の生産性を向上させ、組立機全長を短縮することで、スペース面の生産性向上を期待できる。また、組立機に対しても、リール交換で様々な製品を組立てられるので、従来の専用機 (Fig.12) という概念が無くなり、汎用組立機 (Fig.13) という新たなスタイルが確立され、設備コスト削減が期待されている。

例えば、同一商品を何箇所かの工場で生産した場合、生産設備も拠点の数だけ必要となるが、生産設備を現地調達した場合、組立品質を同一に保つことが困難となる。また、先般の災害時のように生産拠点が失われた場合、復旧に時間を要してしまう。

しかし、組立機が汎用機となることで、どこの工場でも生産されても品質が安定し、急な工場移転でもリール(供給部品)の交換と組立プログラムの変更で対応が可能となる。



Fig.11 Aspect of supply machine

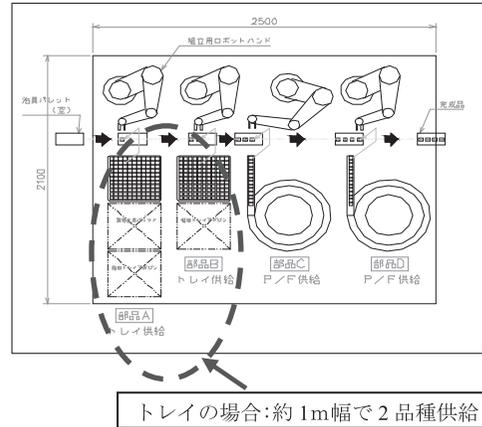


Fig.12 Conventional exclusive assemble mashine

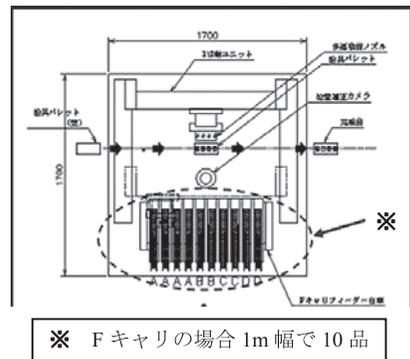


Fig.13 Versatile assembly machine using F Cari™

4. 結 言

今回、リユース可能な部品梱包材を開発することで、自社の既存技術であったテーピング供給を電子部品以外の分野へ展開することが目的であったが、テープと供給機が開発されたことで、汎用組立機という新たなニーズがあることが分かった。電子部品の分野ではチップマウンター（電子部品を基板に搭載する装置で、広く使用されている）という汎用部品実装機が実用化され久しいが、機器組立の分野では、組立機は専用機であり、汎用性は無いのが現状である。

今後、F キャリを用いた汎用組立機というジャンルを確立させることで、リユース可能な梱包材を用いた環境負荷が小さく、生産性の高い生産システムを構築できるよう取組んでいく。

謝 辞

今回の研究開発にあたり、京都産業 21 の平成 22 年度・
23 年度グローバル産学公研究開発成果展開事業のご

支援を頂き、京都工芸繊維大学と共同研究を行うことで
新たな知識や発想を得ることができ、開発を進めること
ができた。深く感謝の意を表します。

混酸廃液からの溶媒抽出によるリン酸の精製回収¹

内野 雄貴^{2*}・井上 興一郎²

Application of Solvent Extraction to Purification of Phosphoric Acid in Waste Acid Mixture

^{2*}Yuki UCHINO and ²Koichiro INOUE

³SANWAYUKA INDUSTRY CORPORATION

Abstract

As one of the etching waste solution discharged from the manufacturing process of the liquid crystal display and the semiconductor, the waste acid mixture containing phosphoric acid as a main component, has the acetic acid and nitric acid as the additives for the etching rate control. By applying a solvent extraction method to that waste acid mixture, the removal of acetic and nitric acid from that waste acid mixture was carried out to obtain the crude phosphoric acid as the raffinate.

The crude phosphoric acid mainly containing the aluminum and molybdenum was purified by ion extraction properties of the alkyl acid phosphate in the concentration of phosphoric acid under 4mol/dm³. This phosphoric acid diluted in water and purified was concentrated to 14.5 mol/dm³ to obtain the phosphoric acid metal-removed. On the other hand, the metal-removal from the solvent phase was carried out to recovery in the concentration of phosphoric acid over 6mol/dm³. This phosphoric acid called "high-metal" was used effectively as the crude phosphoric acid.

Key words: Solvent Extraction, Phosphoric Acid, Waste Acid Mixture, Liquid Crystal, Metal Removal Process

1. 結 言

液晶製造工程や半導体製造工程等から排出されるエッチング廃液の一種として、リン酸を主成分とする混酸廃液がある。このような混酸廃液には、一般に、エッチング速度の調整用として添加された硝酸や酢酸が含まれる。このため、リン酸としての有効利用や転用を考えた場合には、その用途は限られる。そこで、関西大学との共同開発によりこれら酸を分離回収する技術を確立し、「溶媒抽出法による混酸廃液からの酸回収装置」として、科学技術振興事業団 (JST) より成功認定を受けた¹⁻³。

この技術により得られた粗リン酸は、肥料向け原料の他、活性汚泥の餌、または重金属の固定化剤として、廃水処理や焼却灰の処理に利用されている。しかし、数百 mg/dm³ の Al, Mo 等の金属を含んでいたために、用途や顧客は限定的であった。用途拡大のためには、Al, Mo 等の溶解金属を除去する必要があった。

粗リン酸から溶解金属を除去する方法として、酸性リン酸エステル

の金属抽出特性を利用した。酸性リン酸エステルとは、正リン酸の3つの酸性基のうち1~2個がアルキル置換されたリン酸エステル化合物であり、金属イオンとのイオン交換能を有する。また、対象となる水溶液中の酸塩類の組成、濃度、pH等を適正に調整することにより、金属イオンの抽出分配比・分離係数が大きく変化するという特徴を有する。そこで、粗リン酸中における Al, Mo の抽出特性を調べ、利用方法の検討を行った。また同時に、Al, Mo を含む抽出溶媒から金属を効率良く剥離する方法について検討を行った。

本研究では、液晶製造工程や半導体製造工程から排出されるリン酸を主成分とする混酸廃液から、溶媒抽出により硝酸・酢酸を除去した後、さらに金属を除去する方法について検討を行うと共に、プロセス全体の合理化と長期安定性の実現を目的として検討を行ったので、以下に報告する。

2. 実用化における課題と実績

粗リン酸の回収技術を工業的に実用化する為には、分配比・段数計算などの基礎データの他に、多くの考慮すべき課題が残されており、その中でも長期安定性の実現が最大の課題であった。当初、有機相として抽出剤 (TOP) 40vol%・希釈剤 (SOLVESSO 150) 60vol% の混合溶媒を使用していた。しかし、大型実証機による試運転では、わ

1. 平成 24 年 6 月 7 日 本会第 128 回例会において発表

2. 三和油化工業株式会社

平成 24 年 3 月 23 日受理

*y_uchino260@sanwayuka.co.jp

ずか1ヶ月で有機相が赤く劣化し、硝酸・酢酸の剥離工程において、水相との分離が著しく困難となった。分離改善のために NaCl や NaOH を加え、有機相との比重差を大きくすることで運転は継続できたが、長期的に考えると有機相の劣化原因の調査が必要であった。

劣化前後の有機相の IR スペクトルを比較したところ、劣化した有機相では、ニトロ化合物 (NO₂) に相当する波長域に吸収帯が見られた。通常、有機相中の硝酸は水により容易に剥離されるので、この吸収帯は有機相 (特に希釈剤) がニトロ化された物に由来すると考えた。また、有機相の劣化は夏場に顕著であり、温度の影響が大きいことが考えられた。そこで、希釈剤の種類を変えて、有機相の経時間変化を観察した。有機相には、TOP 30ml・希釈剤 70ml の混合溶媒を、水相には、硝酸 7%・酢酸 2%・リン酸 60% の混酸廃液 50ml を使用した。また、水浴中 (35°C) にて攪拌静置を繰り返す行い、2 液相の分離が完了するまでの時間 (分離時間) を計測した。結果を Table 1 に示す。その結果、芳香族系の希釈剤である SOLVESSO 150 の性能劣化が著しいことがわかった。これに対して、脂肪族系の希釈剤である NS Clean 200 や Normal Paraffin N12D では、分離時間の増長が起こらなかった。なお、両者の外観の差 (着色) は、ノルマルパラフィンの純度の違いによるものと推測した。

次に、揮発ロスによる有機相の組成変化の問題があった。ミキサーセトラー抽出装置では、酢酸臭気への対策として、局所排気を設けている (Fig.1 参照)。このため、希釈剤の揮発量が相対的に多くなり、有機相中の TOP 濃度の上昇が起こっていた。そこで、有機相の組成を適切に維持管理する手法を確立した。

最後に、季節毎に水相 (リン酸) の粘度が変動し、分離不良を発生させる問題が生じていた。冬場の朝、特に正月連休明けに液温の低下が著しく、分離不良が頻発した。その原因は攪拌部にあった。装置の断面図を Fig.2 に示す。攪拌部では、粘度上昇により攪拌力が不足して、有機相のショートパスが発生していた。この状態に陥る



Fig.1 External appearance of mixer-settler equipment

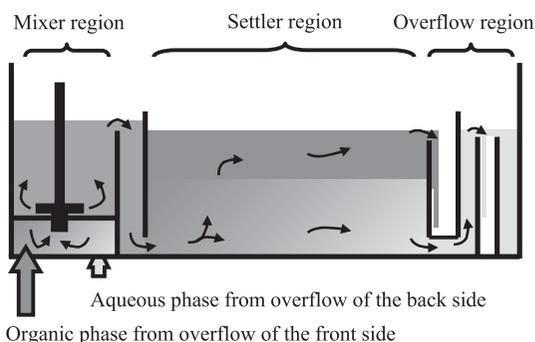


Fig.2 Sectional view of mixer-settler equipment

と、しばらくは運転可能であったが、次第に攪拌部の水相比率が高まり、更なる状態の悪化を招いた。すなわち、水相と適量の有機相が十分に混合されたことで、安定なエマルジョンが形成され、分離不良を引き起こしていた。一方で、強力に攪拌し過ぎた場合も、似たような状態に陥ったが、有機相と水相の比率が保たれていたため、復旧は早かった。後者の分離不良型は主に、粘度が低下する夏場と、2 液相の比重差が小さい剥離工程に見受けられた。

Table 1 Time courses of diluents with TOP and waste acid mixture

Diluent		Time required for phase-separation / External appearance				
Trade Name	Oil Type	1day	2days	3days	6days	10days
SOLVESSO 150	Aromatic Oil	30sec.	30sec.	30sec.	45sec.	Over 60sec.
		Clear	Light yellow	Deep yellow	White turbidness by mixing	
NS Clean 200	Normal Paraffin	45sec.			45sec.	
		Clear			Light yellow	
Normal Paraffin N12D	Normal Paraffin (Purity 99.6%)	53sec.				
		Clear				

Tests were carried out in the water bath at 35°C.

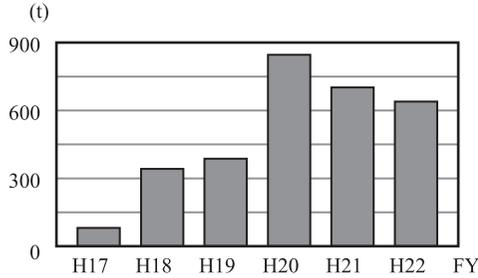


Fig.3 Transition of crude phosphoric acid produced

このようにして、希釈剤の見直し、有機相の組成の維持管理、および、攪拌力の適切な制御により、プロセスの長期安定性が確保され、累積 13,330 時間の稼働実績に繋がっている。粗リン酸の生産実績を Fig.3 に示す。H.20 年からの数量増加は、リン酸価格の高騰を背景に設備が強化されたためである。粗リン酸の回収に関するプロセスフローシートを Fig.4 に示す。混酸廃液 76 t/月の投入量に対して、粗リン酸 70 t/月（リン酸として収率 92%）の回収量が得られている。また、剥離工程から得られる希薄混酸（硝酸 6%・酢酸 2%・リン酸 4%）の回収量は 90 t/月である。希薄混酸は、別途、アルカリ廃液の中和用として有効利用されている。

3. 粗リン酸の精製

得られた粗リン酸は、Al, Mo 等の金属を数百 mg/dm³ 含んでいたため、用途や顧客に限られていた。そこで、金属を除去する方法について検討した。

粗リン酸から溶解金属を除去する方法として、酸性リン酸エステルの金属抽出特性を利用した。酸性リン酸エステルは、その種類、酸塩類の組成、濃度、pH 等の組合せを適正に調整することにより、金属イオンの抽出分配比・分離係数が大きく変化するという特徴を有する。そこで、粗リン酸中における主たる金属成分の抽出特性を調べ、利用方法の検討を行った。その結果、水相中のリン酸濃度を 4mol/dm³ 以下に調整することが、Al, Mo 抽出除去にとって非常に有効であることがわかった (Fig.5)。その効果は、混酸廃液よりも粗リン酸に対して、より顕著に現れることがわかった (Fig.6)。

抽出された Al, Mo の剥離特性を、塩酸、硫酸、またはリン酸で剥離した場合について各々調べ、最適な剥離方法を検討した。塩酸は、全濃度域に渡って分配比 (A/O) が小さく、その変動傾向が Al と Mo で相反するため、剥離には適さないことがわかった (Fig.7)。硫酸は、Al に対する分配比 (A/O) が塩酸よりも高くなったが、Mo を全く剥離しなかった。一方、リン酸は濃度を 6mol/dm³ 以上に調整することで、Al, Mo とともに分配比 (A/O) が

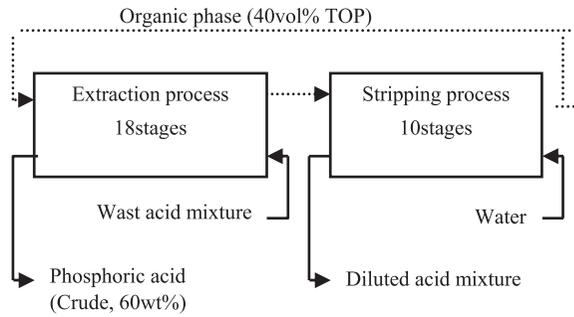


Fig.4 Flowsheet of continuous countercurrent multi stages operation

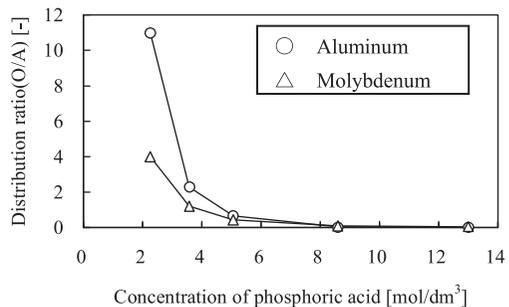


Fig.5 Change in distribution ratios of aluminum and molybdenum in crude phosphoric acid diluted in water with alkyl acid phosphate diluted in N12D(The distribution ratios are to divide conc. in organic phase by conc. in aqueous phase)

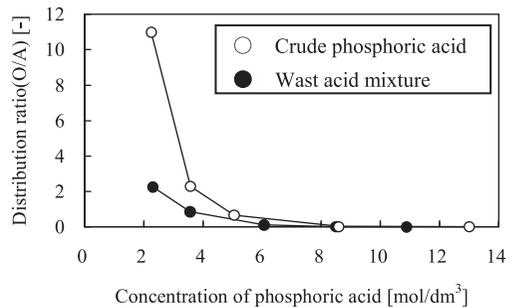


Fig.6 Change in distribution ratios of aluminum in crude phosphoric acid and wasted acid mixture diluted in water with alkyl acid phosphate diluted in N12D (The distribution ratios are to divide conc. in organic phase by conc. in aqueous phase)

飛躍的に向上した (Fig.8)。これにより、少量の濃いリン酸で Al, Mo を同時に剥離することができた。

得られた抽出剥離特性を利用して、粗リン酸からの金属除去プロセスを構築した (Fig.9)。粗リン酸 (60wt%) は、水で 20wt% に希釈された後、ミキサーセトラー抽出装置に供給され、流量比 (A/O) 5.0 で酸性リン酸エステルと接触した。その後、抽残液は濃縮され、金属の除去

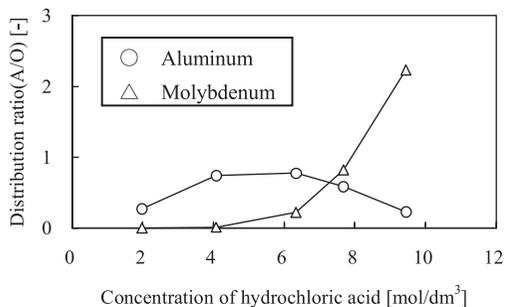


Fig.7 Change in distribution ratios of aluminum and molybdenum in hydrochloric acid diluted in water with alkyl acid phosphate diluted in N12D(The distribution ratios are to divide conc. in aqueous phase by conc. in organic phase)

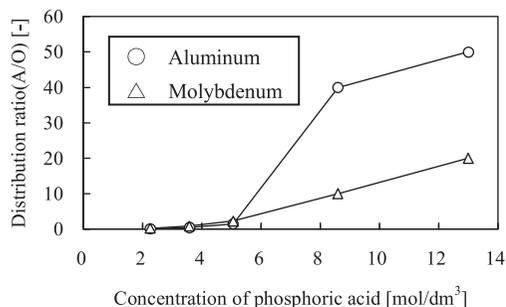


Fig.8 Change in distribution ratios of aluminum and molybdenum in phosphoric acid diluted in water with alkyl acid phosphate diluted in N12D(The distribution ratios are to divide conc. in aqueous phase by conc. in organic phase)

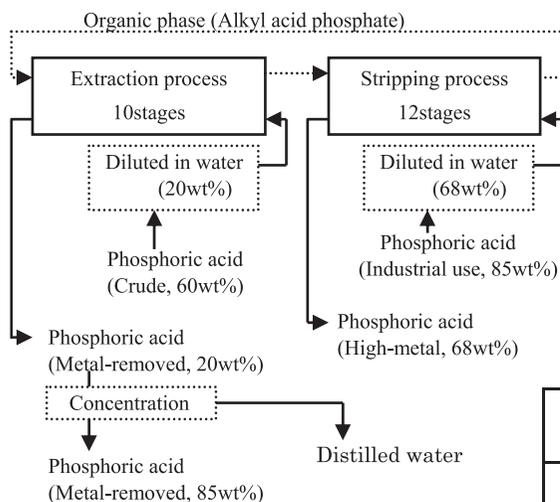


Fig.9 Flowsheet of continuous countercurrent multi stages operation of metal removal process

されたリン酸 (85wt%) が得られた。濃縮に伴い発生した蒸留水は、次の原料 (粗リン酸 60wt%) の希釈に再利用される。一方、金属を含む有機相は、68wt%に調整された工業用リン酸と流量比 (O/A) 2.5 で接触することにより、金属が剥離された。ここで副生した金属含有量の高いリン酸 (68%) は、粗リン酸として有効利用される。

このプロセスの入口と出口のリン酸の金属組成を Table 2 に示す。粗リン酸 (60wt%) に含まれる金属は、Al, Mo の他に Fe, Ca があり、その他の金属は $1\text{mg}/\text{dm}^3$ 以下であった。金属除去率は、Al, Mo とともに 99%, Fe は 96%, Ca は 50%であった。また、得られたリン酸 (85wt%) の一部を、工業用リン酸の代替として、金属剥離に使用することができた。この場合の製品回収率は、リン酸として 65%となった。

4. 結 言

液晶製造工程や半導体製造工程から排出されるリン酸を主成分とする混酸廃液から、溶媒抽出法により硝酸・酢酸を除去して、粗リン酸を回収するプロセスについて、これを工業的に実用化するためには、長期安定性に問題があった。そこで、希釈剤の見直し、有機相の組成の維持管理、および、攪拌力の適切な制御を行い、プロセスの長期安定性を確保した。これにより、累積 13,330 時間の稼働実績、年間 600 t から 800 t の生産実績が上がっている。

粗リン酸は、数百 mg/dm^3 の Al, Mo 等の金属を含んでいたために、用途や顧客は限られていた。そこで、酸性リン酸エステルの金属抽出特性を利用して、金属が低減された 85wt%リン酸を回収した。これにより、回収リン酸のさらなる用途の拡大が期待できる。

一方、得られた 85wt%リン酸 (精製リン酸) の一部を、金属剥離に使用することができた。副生した金属含有量の高い 68wt%リン酸 (副生リン酸) は、別途、粗リン酸として有効利用することができた。

結果として、リン酸の成分収支は、投入された粗リン酸を 100%とすると、精製リン酸 65%、副生リン酸 35%となった。

Table 2 Metal component in phosphoric acid

Phosphoric acid of metal removal process		Metal Component [mg/dm^3]			
		Al	Mo	Fe	Ca
Inlet	Crude, 60wt%	488	320	7	1
	Industrial use, 85wt%	-	-	0.7	0.3
Outlet	Metal removed, 85wt%	8	4	0.4	0.8
	High-metal, 68wt%	1,560	1,020	11	0.6

謝 辞

本研究の一部は、産官学連携事業の一環として、科学技術振興事業団（JST）の助成金により行われました。また、関西大学の芝田隼次教授、山本秀樹教授、村山憲弘准教授にお世話になりました。深く感謝の意を表します。

References

1. J. Shibata, H. Yamamoto, K. Inoue, T. Odu: Hukusu no San ga Kongou sareta Haieki karano San no Bunri Kaisyu Houhou, J. P. Patent 4268092, 2009-05-27
2. J. Shibata, H. Yamamoto, K. Inoue, T. Odu, K. Ishikawa: Sakusan-Shousan-Rinsan Kei Konsan Haieki karano Rinsan no Bunri Kaisyu Houhou, J. P. Patent 4397802, 2010-01-13
3. J. Shibata, M. Morikawa, N. Yoshikawa, T. Yamada, N. Murayama, H. Yamamoto: Separation and Recovery of Acids from Waste Acid Mixture Mainly Containing Phosphoric Acid Discharged in Liquid Crystal Display Manufacturing Process, VOL. 29 NO. 4, pp.521-525 (2003)

藤田豊久^{1*}

Electromagnetic separation in dry atmosphere

Toyohisa FUJITA^{1*}

Department of Systems Innovation, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

Abstract

Dry separation is economically useful for the minerals, wastes and material processing, though the separation size of particle is limited to more than 200mesh. Here, the basic principle and techniques of magnetic, eddy current, electrostatic and triboelectrostatic separations in the electromagnetic separation are discussed. The combination of other separation techniques such as sorting, pneumatic separation is also important in the actual separation process.

Key words: Magnetic separation, Eddy current separation, Electrostatic separation, Triboelectrostatic separation

1. 結 言

本学会では、環境、資源、エネルギー関連の処理工学を含み粒子相互の分離を扱うことが多く、本文では、水を使用しない比較的大きな粒度の固固分離である、乾式電磁力選別について概説する。空気中の水分は湿度で示されるが、この微量水分が微粒子どうしを凝集させて、異なる粒子が1つのまま存在すると単体分離状態が困難になる。一般に空気中で選別する乾式と水を使用する湿式の限界は $75\mu\text{m}^1$ といわれ、200meshの篩で分級した篩上の粒度で、乾式分離が行いやすい。水処理がないということは安価であるが、集塵などの粉塵対策、静電気対策は必要である。

例えば、資源リサイクルからみた廃棄物処理では、廃棄物を運搬収集し、解体と選別後、破碎し篩分けす

る。粗い粒子は、乾式分離工程の、ソーターあるいは風力選別で比重および形状選別する。この後、磁力選別、渦電流選別、静電選別、帯電選別などの乾式電磁力選別が使用され各素材の異なる粒子群に分離される。

体積 V の粒子1個に作用する電磁気力 F は勾配を ∇ として以下の式で与えられる。

$$\frac{F}{V} = (\mathbf{M} \cdot \nabla) \mathbf{H} + (\mathbf{P} \cdot \nabla) \mathbf{E} + \mathbf{J} \times \mathbf{B} + q\mathbf{E} \quad (1)$$

ここで各記号は、磁化 M (Wb/m^2)、磁界強度 H (A/m)、磁束密度 B (Wb/m^2)、電流密度 J (A/m^2)、電荷 q (C/m^3)、分極 P (C/m^2)、電界強度 E (V/m)である。磁力選別では磁化の差異を利用した選別として左辺第一の項、渦電流選別では渦電流の差異を利用した選別として第3の項、静電選別および帯電選別では帯電した電荷の差による選別として第4の項の電磁力を用いる。第2の項は乾式よりも湿式である誘電選別に用いられる。また、電磁界分離における分類を Table 1 に示す。

1. 平成 24 年 6 月 7 日 本会第 128 回例会において発表

2. 東京大学大学院工学系研究科

平成 24 年 4 月 1 日受理

* tfujita@sys.t.u-tokyo.ac.jp

Table 1 Classification of magnetic and electrical separation

Magnetic separation
• Magnetic Separation
DC field・・・Concentration, Purification, Extraction, etc.
AC field・・・Concentration, etc.
•Magnetic filtration
•Electro-magnetic induction・・・(Eddy current separation)
Electrical separation
•Electrostatic separation
•Triboelectrostatic separation

2. 磁力選別

空気中の体積 V の粒子 1 個に作用する磁気力 Fm は以下の式でおよそ表される。μ₀ は真空透磁率、κ は体積磁

$$F_m = \mu_0 \kappa H V \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) = \frac{\kappa}{\mu_0} B V \left(\frac{\partial B}{\partial x} \right) = M V \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) \quad (2)$$

Table 2 Classification of magnetic separator

- Static Low intensity type(less than 0.5T)
Belt type --- Top feed type (Magnetic pulley, OS vanner, Ferrogum separator)
Under feed type (In-line suspended magnet, Cross-belt suspended magnet)
Drum type---Top feed type (YS drum separator)
Under feed type (Gronal drum separator, Multi stage drum separator)
- Static high intensity type(0.5T—2T)
Belt type ---- Top feed type (Eriez rare earth roll, Permroll)
Under feed type (Cross-belt magnetic separator)
Drum type---Top feed type (Dry drum separator, Induced magnetic roll separator, Laurilla high-intensity permanent magnet separator, PERMOS magnetic separator)
High intensity type ---- Dry (Coupled pole separator, High gauss separator)
High gradient type---Electromagnets with iron yoke (Eriez L-4, Eriez HGMS, Jones magnetic separator, Carpc HGMS, Ferrous wheel separator, MRVK magnetic separator)
Solenoid magnets (SALA HGMS, Frantz ferrofilter, SOL magnetic separator, VMS magnetic separator, Dry vibrating magnetic filter)
- Superconducting magnet type(more than 1 T)
Drum type (DESCOS)
High gradient type--- Superconducting HGMS
.....
- AC magnetic field type(less than 0.2T)
Travelling magnetic field type (SC spiral separator, OY table type separator)
Vibrating magnetic field type (DS type separator)

化率（無次元）である。

磁気力に対抗する力として、重力 Fg と流体抵抗力 Fd があり、以下の式で与えられる。磁界勾配がなければ粒子は移動しない。

$$F_g = \rho V g \quad (3)$$

ここで ρ (kg/m³) は密度、g (m/s²) は重力加速度である。

$$F_d = 6\pi\eta b v_p \quad (4)$$

なお、η (Pa・s) は粘度、b (m) は粒子半径、Vp (m/s) は粒子と流体との相対速度である。Fm > Fg + Fd の場合、粒子は磁石に引き寄せられ、磁着物となり、逆の場合は非磁着物となり選別が行われる。選別には回転を用いて磁着物と非磁着物を連続的に分離する連続式と、磁界のオンとオフでそれぞれ分離するパッチ式がある。

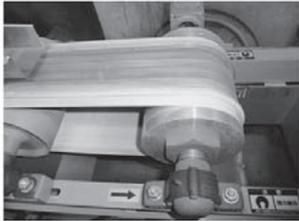
磁界の種類と強度、供給タイプなどによる乾式磁選機の分類を Table 2 に示す¹⁴。

次にいくつかの乾式磁選機の例を示す。Fig.1 にはレアアース磁石をドラムやロール内部に配置し、上部から供給して強磁性物を選別する装置の写真を上部に示す。表面の磁束密度は約 1T であり、ドラムタイプは -25mm+75μm の石英、ジルコン、ガラスカレット、石炭等の精製に使用される。下部の模式図は対極磁選機および誘導ロール磁選機を示す。磁極間の磁束密度は約 2T で、-2mm+100μm の弱磁性の鉄鉱石、鉄マンガン石などの選鉱に使用される。Fig.2 には超伝導磁石を用いたドラムタイプの DESCOS および無冷媒型の冷却方式を用いたソレノイド型の超伝導磁石中に強磁性マトリックスを配置した高勾配磁選機(HGMS)を示す。DESCOS は直径 1.2m、幅 1.5m で表面磁束密度は約 3T であり、超伝導 HGMS は通常約 5T の空芯の磁束密度にマトリックスを入れて使用される。回転式の磁界の ON と OFF による連続式 HGMS も使用される。HGMS では機械的振動を与えて巻き込んだ非磁性粒子を排出

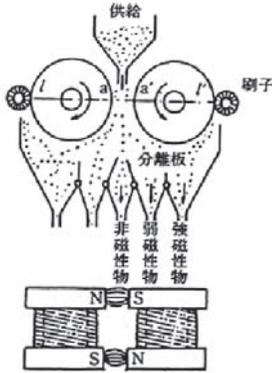
させる方法もある。



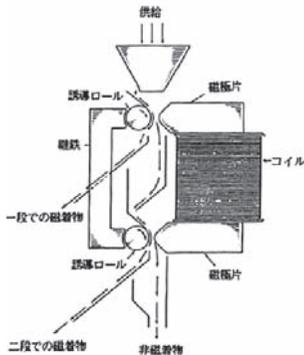
Drum magnetic separator



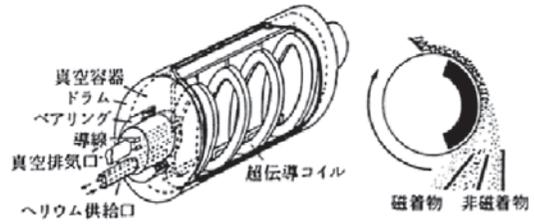
Roll magnetic separator
(Utilization of NdFeB magnet,
(Eriez Magnetics, Inc.)



A coupled-pole
(Nippon Magnetic Dressing Co., Ltd)



Induced magnetic roll
(Carpc, Inc., Eriez Magnetics, Inc.)



DESCOS (Humboldt Wedag AG)



Superconducting HGMS (Cryogenic Ltd.)

Fig.2 Superconducting magnet type magnetic separators

また、交流磁界を利用したリニア型の交流磁選機も非磁性物の巻き込みがなく有用である。

3. 渦電流選別

交流磁界内に導電性金属を配置すると、誘導渦電流が発生し、金属内にはこの誘導電流により交流磁界と反発する磁界が生じて速度 v_y で移動する金属片は(1)式の第3項のローレンツ力による推力 F_x を受ける。金属片に作用する力の模式図を Fig.3 に示す。金属片に流れる電流を J 、片の z 方向の面積を A_z 、片の移動速度を V_y 、片と垂直方向の磁束密度を B 、起電力を ϵ 、密度を ρ 、導電率を σ とすると、

$$F_x = -JA_z \left(\frac{\partial B_z}{\partial x} \right) \quad (5)$$

$$\epsilon = A_z V_y \left(\frac{\partial B_z}{\partial y} \right) \quad (6)$$

$$J \propto \epsilon \sigma \quad (7)$$

Fig.1 Some kinds of magnetic separator

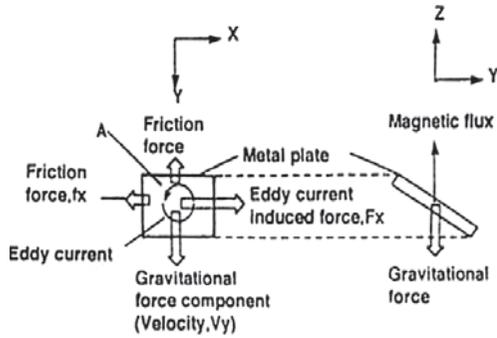


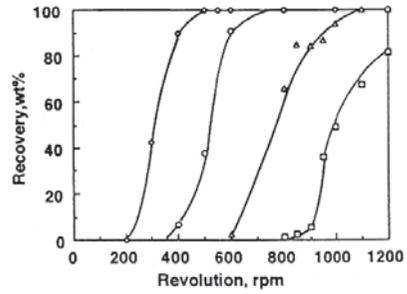
Fig.3 Forces by eddy current in a moving metal

Table 3 Conductivity / density (σ/ρ) of

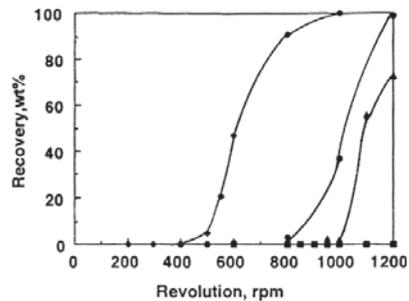
Metal	Density(ρ) (10^3kgm^{-3})	Conductivity (σ) ($10^5\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)	(σ/ρ) ($10^2\text{m}^2\Omega^{-1}\text{kg}^{-1}$)
Al	2.70	374	139
Mg	1.74	225	129
Cu	8.96	599	66.9
Ag	10.50	629	59.9
Zn	7.13	169	23.7
Sn	7.28	91	12.5
Cr	7.19	77	10.7
W	5.65	177	9.2
Ti	4.50	24	5.3
Pb	11.34	49	4.3
Mn	7.44	5	0.7

$F_x > F_g$ であれば金属片が移動し、金属相互の分離が可能となる。すなわち金属の導電率 σ が大きく、密度 ρ が小さいほど移動しやすく分離が容易になるので、金属による σ/ρ を順に並べたものを Table 3 に示す。また、磁束密度の変化が大きいくほど移動しやすくなる。磁束密度の変化は磁石の回転数に比例し、磁石の回転数と Al および Cu の金属片の移動率(recovery)の関係を Fig.4 に示す。磁束密度の変化が大きくなるにつれて、 σ/ρ が小さい金属でも移動させることが可能となる⁵。

渦電流選別では、金属鉄はあらかじめ磁力選別で除去し、ついで、アルミ片が非金属から分離される。実用化されている静電選別機の模式図と写真を Fig.5 に示す。低回転の供給ベルトの下部で、高速回転 (2000rpm 程度) の永久磁石が交番磁界をベルト上部に発生させ、金属片に渦電流を発生させている。



Al movement (15,11,9,7mm)



Cu movement (15,11,9mm)

Fig.4 Effect of magnet revolution on the movement of Al and Cu plate size (Both metal thicknesses are 0.5mm)

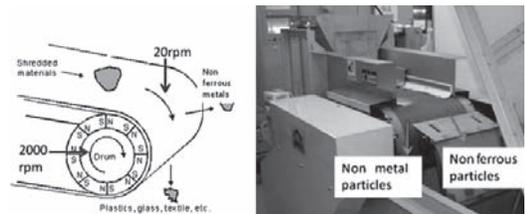


Fig.5 Eddy current separator

4. 静電選別

導電率の異なる物質の分離、絶縁体と金属の分離などに使用される。静電界の電界内における粒子に作用する力 F_{el} は(1)式の第 4 で示される。

$$F_{el} = qE \quad (8)$$

2 枚の並行平板電極にある粒子の模式図を Fig.6 に示す。静電誘導により粒子は電極に接した面に電極と反対

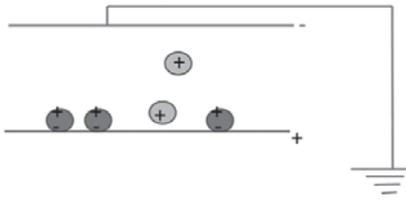


Fig. 6 Particle charge between parallel electrodes

方向の電荷，遠いほうに同種の電荷が生じる。導体粒子では伝導により電極と反対の電荷は中和され，粒子は接触している電極と同種の荷電をする。そして導体粒子は接触していた電極から反発され，反対の電極に向かって吸引される。絶縁体粒子はどちらかの電極に分極して静止したままである。この方式を連続的に分離する装置が Fig.7 に示す静電選別機である。

粒子は上部から供給し，高圧電極間を通過させる。高

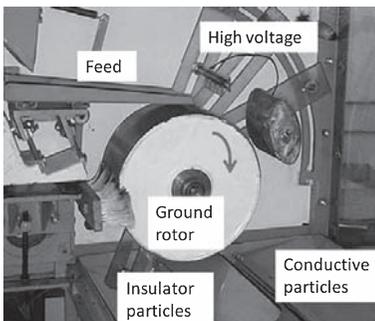
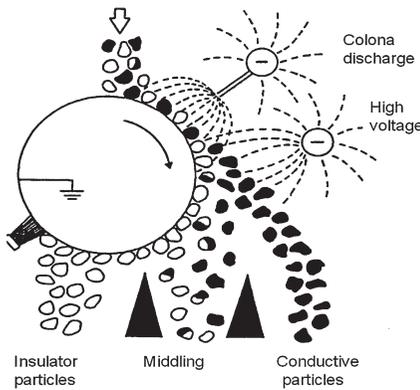


Fig.7 Electrostatic separator

Table 4 Mineral quality in electrostatic separation

Conductive minerals	Insulator minerals
Cassiterite SnO_2	Apatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$
Chromite FeCr_2O_4	Barite BaSO_4
Sphalerite ZnS	Calcite CaSO_4
Galena PbS	Fluorite CaF_2
Magnetite Fe_3O_4	Scheelite CaWO_4
Hematite Fe_2O_3	Quartz SiO_2
Ilmenite FeTiO_3	Zircon ZrSiO_4
Pyrite FeS_2	Monazite $(\text{Ce,La,Nd})(\text{PO}_4)$
Graphite C	Corundum Al_2O_3
Diamond C	Siderite FeCO_3
Rutile TiO_2	Garnet

圧電極側は針のような突起によりコロナ放電させる場合がある。接地した回転ロータに絶縁体粒子は付着し，ブラシで掻き落される。一方，導体粒子は回転ロータから飛ばされ，反対方向の電極に吸引されて落下する。効率よく分離するためには，十分に粒子が乾燥しており，選別機付近の湿度が低いことが重要である。0.3mm 程度に破碎されたプリント基板中の銅粉とガラス粉を分離することができ，金属銅線とプラスチック類の分離などに使用されている。また，静電選別で分離できる導電体鉱物と絶縁体鉱物のいくつかを Table 4 に示す。

5. 摩擦帯電選別

摩擦帯電とは，静電気現象の一種で，異なる二種の物質を擦り合わせることで，一方から他方へ電荷が移動して電位差を生じる現象である。電位差が生じるのは，物質同士が接触するとそれぞれの仕事関数の差によって物質間で電子が移動することが主要な要因である。金属と合成樹脂を接触させると，合成樹脂が帯電する接触帯電という現象があるが，多くの場合，金属は導体であるために電荷が逃げて接地電位に保たれることが多いの

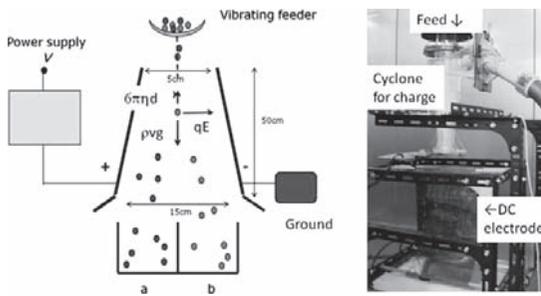


Fig. 8 Triboelectrostatic separator

Table 5 Comparison of triboelectric series

A. F. Diaz	A. Luga	T. Fujita	C. H. Park	M. Ito
↑ Positive charge				
PMMA			PMMA	PC
PC	PMMA	ABS	ABS	ABS
PS	PE	PP	PC	PS
PE	PET	PC	PS	PE
PP	PP	PMMA	PET	PP
PET	PVC	PE	PE	PET
PVC		PVC	PP	PVC
			PVC	
↓ Negative charge				

で合成樹脂だけが帯電したように見える。帯電後は(8)式と同様に、静電力により直流電界中を重力と流体抵抗を受けて落下し、正に帯電した粒子は負極側に、負に帯電した粒子は正極側に落下し、分離される。

帯電方式は摩擦帯電ロール、サイクロン、振動フィーダ、パイプ式など各種あるが、選別方法の模式図とサイクロン帯電による摩擦帯電選別機の写真を Fig.8 に示す。静電選別と同様に効率よく帯電させて分離するためには、十分に粒子が乾燥しており、選別機付近の湿度が低いことが重要である。各種プラスチックを相互に摩擦させ帯電したときの摩擦序列を Table 5 に掲げる。各報告

者により若干の差異が見られる。ABS樹脂は正に帯電しやすく、塩ビは負に帯電しやすい傾向にある。例えば分離したい2種類の樹脂の中間の樹脂を用いて摩擦させると、それぞれ正と負に帯電させ、帯電選別することができる。

6. 結 言

乾式の電界・磁界を利用した物理選別として本文では4種類の選別方式を紹介したが、各種選別の前処理として、単体分離のための解体、破碎は必要である。さらに、ソーター選別、風力選別、形状選別などの前処理との組み合わせも重要であることを考慮して選別工程を計画する必要がある。

References

1. J. Svoboda: *Magnetic Methods for the Treatment of Minerals*, Elsevier, Amsterdam (1987)
2. J. Svoboda: *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2004)
3. S. Yashima, T.Fujita: Magnetic separation (2), *J. of the Soc. of Powder Technology Japan*, Vol.28, No.5, pp.318-328(1991)
4. Edited by H. Masuda et al., *Powder Technology Handbook*, 3rd Edition, Taylor & Francis (2006)
5. T. Fujita et al.,: Eddy-Current Separation with Rotating Permanent Magnets for the Recovery of Nonmagnetic Metals, *Shigen-to-Sozai*, Vol.111, p.177-180(1995)