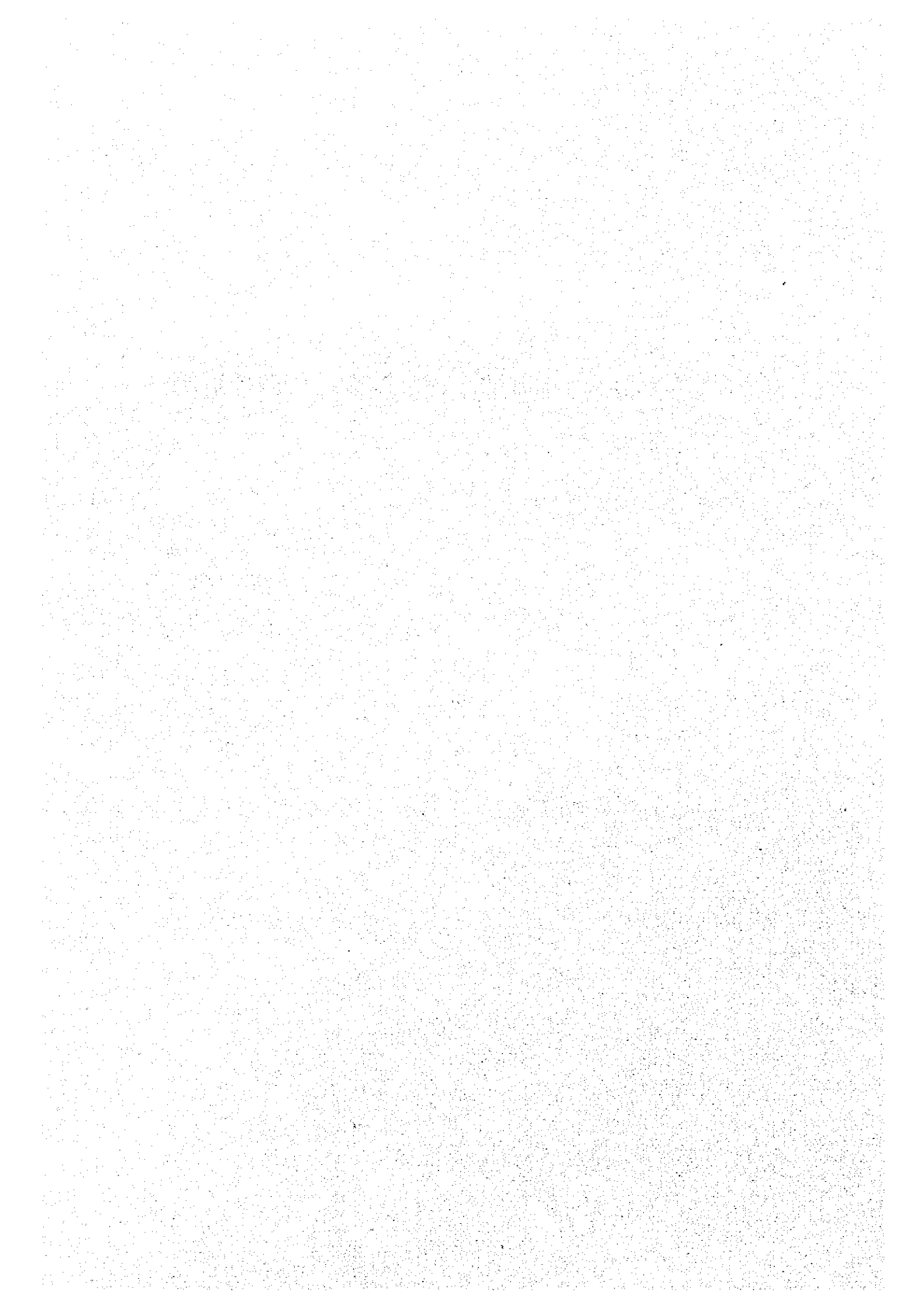


## 第6章 IDB めっきセンターの改善計画



## 第6章 IDB めっきセンターの改善計画

### 6.1 IDB めっきセンターの技術・技能向上計画

本調査ではめっきセンターの技術向上計画を次の4つのカテゴリーに分類して策定した。即ち将来に予測される公害を未然に防ぐためにめっき排水の処理技術の普及、金属加工業の発展を促すためのめっき技術の向上、それに対応するめっきセンターの組織・機能の強化、およびめっきセンターの日常活動の改善からなっている。Table 6-1にその全体計画項目を示した。

Table 6-1 IDB めっきセンターの技術向上・普及計画  
(めっき排水処理技術およびめっき技術)

排水処理技術の普及	
めっきセンターの排水処理技術向上	(1) 排水処理基礎技術の習得 排水分析・測定技術の習得 (2) 排水回分処理技術の確立
めっきセンターの対外活動	(3) 排水処理技術に関する広報活動 (4) 排水処理技術の技術指導・技術移転 (5) モデルプラント設置計画の推進 (6) 業界の排水実態把握と排水基準改定案の提案 (7) 排水処理技術訓練コースの開設
めっき技術の向上	
めっきセンターの技術向上	(8) めっき加工基礎技術の向上 (9) 光沢ニッケルめっき技術の向上 (10) めっき製品検査測定技術の確立 (11) メンテナンス技術の習得
めっきセンターの対外活動	(12) 技術訓練コースの再編成 (13) 内外めっき製品の比較評価 (14) めっき加工の技術指導・技術移転
めっきセンターの組織機能強化	
組織機能向上	(15) 技術スタッフの強化 (16) 組織・機能の整備 (17) コミュニケーション手段の増強
めっきセンターの日常活動改善	
日常活動改善	(18) 技術情報の収集 (19) 作業員の継続的訓練 (20) 生産管理・設備管理の日常的実施



## 6.2 排水処理技術の普及

### (1) 排水処理基礎技術の習得および排水分析・測定技術の習得

めっき加工から排出される排水はシアン系・クロム系・酸アルカリ系に分別し、それぞれに適した処理をしなければならない。排水処理の基礎を習得するのを目的として必要な実験装置・分析機器を装備し、それぞれの排水の処理を実験的に確かめ、技術を確立する。

めっきセンターの技術向上計画の中で優先度の高いのは技術スタッフのめっき技術および排水処理技術の実能力の向上である。そのため現在ある分析実験室あるいはめっき作業場と研磨作業場の間の予備空間に一連のめっき加工および排水処理ができるベンチプラントの設置を提案する。

この設備は生産設備ではなく、技術習得・技術開発のための実験室規模の装置であり、1993年の「工業分野開発振興計画調査報告書」で提案されたものよりは小さなものを想定している。

このベンチプラントの具体案を Appendix 1 に示した。技術スタッフは海外研修や研修経験を基にこのベンチプラントでめっき加工および排水処理の実際を経験的に習得することができる。またこの装置を利用すれば、めっきセンターの技能訓練コースなどでも訓練生に実際にめっき加工および排水処理を体験させるのに利用することができる。

めっき排水を実験的に処理する処理槽はガラス製ビーカーでよいが、PVC製の専用槽を作製してもよい。被処理液のpHや温度をコントロールする機器のほか若干の測定機器が必要である。

排水の分析はデータを蓄積するだけでなく、これを利用して、工程を改善して汚染物質の排出量の低減に資するようしなければならない。

### (2) 排水回分処理技術の確立

めっきセンターの排水処理は、排水をシアン系・クロム系・酸アルカリ系に区分して一定量まで貯留したあと回分式で処理する方式を取るべきである。排水を貯留処理する設備は、現在の作業状況では排水処理を必要の都度行えば、大型のものは不要で、既存の設備を利用して一部を新規に作り足せばよい。回分式方法をとることによって排水処理方法の原理や意味合いが自動連続処理よりもよく理解できる。排水処理作業は、危険を伴うことがあるので、技術スタッフの明確な作業指示と指導の下で作業員が行うようしなければならない。Appendix 2 に回分式の排水処理方法を図解した。回分式排水処理のモデルプラントと考えてよい。

### (3) 排水処理技術に関する広報活動

排水処理はそれを実施すればめっき業者の費用負担は確実に増加する。しかしそれに見合う利益はない。しかし環境汚染、人間の健康への影響を考えると排水処理はめっき業者として実施しなければならない。排水処理の重要性と処理技術・処理方法・処理費用などについてめっき業界を啓蒙していかなくてはならない。

めっきセンターは一般のめっき工場の技術より高レベルの技術を有するようになるから、それを以て中小めっき工場を指導し、あるいは技術移転しスリ・ランカ国全体のめっき排水処理技術の向上に資するようにしなければならない。

### (4) 排水処理技術の技術指導・技術移転

排水処理技術をめっき業者に理解させるのに効果的なのは実験装置を用いたワークショップの実施である (Appendix 1)。

ワークショップへの参加者はシアン系・クロム系・酸アルカリ系の排水を実際に処理して排水処理技術の概要を学び、めっきセンターは個々のめっき業者に適した具体的な処理方法を指導することが必要である。

### (5) モデルプラント設置計画の推進

排水処理のモデルプラントは、めっき作業量が不安定なめっきセンターよりも、めっき作業量が安定し、したがって排水の量も質も比較的予測できる工場に設置するのがよい。モデルプラントの設置にはめっき業者の協力が必要であるが、実装置での排水処理はほかの業者に大きな影響を及ぼす。めっきセンターはこの計画を推進し、技術的支援をする。

### (6) 業界の排水実態把握と排水基準改定案の提案

CEA はめっき業 (金属表面処理工業) を環境高汚染産業として指定しているが、CEA 自身めっき業者の数や生産量について信頼できるデータを把握していないし、廃棄物についての正確なデータもない。業界組織があればめっきセンターは環境問題に対しても最も基礎的なデータ、即ちめっき業者の数やめっきの種類・生産量・排水量・排水処理の状況、固形廃棄物の種類・発生量などを、業界組織を通して収集し、環境行政に協力できるであろう。それはめっき業界の健全な発展にも寄与することになる。

めっきセンターは、排出処理の必要性という現実的問題から出発して、業界の組織化を支援し、めっき業者の現状、排水処理の実態を把握して実際に遵守できる排出基準案を検討するのがよい。公害防止とめっき業界の育成とを調和させた現実的な排出基準改定案を

CEA に提案することも IDB/めっきセンターの役割である。

個々のめっき企業で構成する業界組織は広報活動、技術の普及を効率よく行うためにも便利である。めっき業界の発展には、業界が一つの組織にまとまって要求したり、行動したりすることが大切である。めっきセンターにはそうした民間組織の設立を支援する意図があるようであるから、その動きを促進することが望ましい。

またスリ・ランカのめっき企業にとってコスト上の問題である輸入薬品の高価格に対しても一括共同購入によってコスト引き下げの可能性もあると考える。

#### (7) 排水処理技術訓練コースの開設

めっきセンターが現在実施している技能訓練コースはめっき技術に重点を置いているが、排水処理技術だけを取り上げた訓練コースの開設を提案する。コースへの参加者はめっき技能訓練コースと合わせて受講するのが望ましいが、排水処理技術訓練コースだけでも受けることができる。具体的な指導項目は Appendix 3 を参照されたい。





## 6.3 めっき技術の向上

### (8) めっき加工の基礎技術の向上

ベンチプラントの設置を(1)項で提案した。この小規模装置を用いてめっきの基礎技術を理解し、めっき作業の諸条件を検討して、操作条件の最適化を図る。ベンチプラントに設置する装置・機器は Appendix 1 に示した。比較的簡単な装置で実験が可能であるので技術スタッフは、基礎実験からトラブルシューティング、開発実験・試作に至る広い範囲の仕事ができる。

### (9) 光沢ニッケルめっき技術の向上

既存設備を整備する過程で、改修しなければならない箇所が見つかるようになる。これらの改修には予算措置が必要な場合があるが、調査団が見た主要な改修項目を Appendix 4 に示す。この中にはスリ・ランカのめっき技術では行われていない引掛けの製作、めっき浴の温度測定、ポリ塩化ビニルの溶接などが含まれているが、めっき加工の基本的技術として不可欠のものである。

限られた予算の中では、これらのすべてを一時に改修することは困難であろう。したがって調査団は次のように提案する。即ち最もめっき需要が多いと思われる光沢ニッケルめっき系列だけを集中的に近代化する。光沢ニッケルめっきはニッケルめっき技術として最も普及している技術であり、この技術の習得を通してめっき技術全般の基礎をスリ・ランカに定着させる狙いを持っている。基礎技術が定着すればほかの金属めっきにも応用できる部分は多いし、高度めっき技術を導入する足掛かりともなる。

具体的な設備改善項目として、フィルターの設置（常時使用）向流洗浄槽の設置、引掛けの採用、空気攪拌の実施は必須である。

### (10) めっき製品検査・測定技術の確立

めっき品質に対する要求レベルが高くなることは、将来的には確実である。スリ・ランカが輸入するめっき部品を国内加工品で代替しようとするならば、否応なくめっき品質を向上させなくてはならない。そのためには製品の検査機器は不可欠なものである。また製品の品質は検査とは関係なくめっき工程の中で作り込まなければならない。めっき工程の管理レベルが品質レベルに反映されるので、管理用の分析機器も必要になる。排水の処理後の水質も分析を行って確認する必要がある。重金属類については、決められた原子吸光光度計に変わって日常の管理は簡易分析計で行い、定期的に両者の比較を行う必要がある。

ベンチプラントで実験をし、あるいは既設めっき設備のめっき浴管理、排水処理管理を

するためには実験室に基本的な分析検査機器等を整え、実際に活用しなければならない。それらを Appendix 1、5 および 6 にリストアップする。<sup>10)</sup>

めっき工程、めっき製品、排水処理の分析・検査技術を確立したならば、データを蓄積し、これを解析して工程改善にフィードバックすることが大切である。分析・検査は、Appendix 6 の走査型電子顕微鏡や原子吸光分析装置を除けば特殊なものはないので、現在の技術スタッフで十分対応できる。

#### (11) メンテナンス技術の習得

設備機器の日常的なメンテナンスは (20) 項に述べるが、ここではめっき設備に不可欠な引掛けの製作および PVC の溶接技術の習得を強調したい。いずれもめっき技術を向上させる上で必要な技術であり、めっきセンターがこの技術を習得して業界に普及すれば、業界全体の技術水準は向上するであろう。

#### (12) 技術訓練コースの再編成

めっきセンターが現在実施している 2 日間の技能訓練コースに加えて、ベンチプラントでの実技訓練を含むより高度の技能の習得を目標にした技能工養成プログラムを提供する。

総合的な技術講習コースのカリキュラムを Appendix 3 に示した。このコースの履修は約 6 ヶ月を要する本格的な中堅技術者養成プログラムである。Appendix 3 のカリキュラムの中で、実務的に特に重要と考えられる課目に○印を付した。○印のついた課目だけでもこのカリキュラムでは 420 時間を要する。1 日 6 時間の授業として 70 日、約 3 ヶ月のコースになる。めっきセンターが行う技能工養成プログラムでは訓練に許容される期間、受講生の能力、期待される技術レベルに応じて取捨選択して適正なプログラムに再編成するのがよい。

#### (13) 内外めっき製品の比較評価

めっき技術、排水処理技術がほかの中小めっき工場より優れ、分析機器も整ったならば、めっきセンターは、国内外から種々のめっき製品のサンプルを集めて評価し、結果をまとめて、めっき業界にこの国の技術レベルを認識させることが必要である。

製品品質に対する関心が高まればめっき液の分析、製品検査、新製品の開発試作などの要望を生むであろう。めっきセンターがその能力の一部を一般のめっき業者に提供し、有償で分析試験・開発試作を行うこともできる。めっきセンターの将来の収入源にもつながるし、中小企業を圧迫することもない。受託する品質評価項目としては、めっき厚さ、耐

<sup>10)</sup> 実験室機能を維持する上で常識的に必要なものとして実験台・棚、電源およびコンセント・水道および流し、ガス (LPG)、換気設備なども整備する必要がある。

食性、密着性等がある。

スリ・ランカ国にはめっき品質に関する国家標準はまだない。めっき技術が向上しめっきの品質に対する要求が厳しくなってくれば、品質に対する標準が求められる。品質標準がなければ、品質の向上も技術の向上も目標が定まらない。標準の制定は標準局 (Sri Lanka standards) の仕事であってもめっきに関してはめっきセンターが標準の内容を実質的に決める中核になるべきである。輸入代替も国内の品質標準ができ、それに合格する品質ができるようになって初めて現実的になる。

めっきセンターは各国の品質標準とスリ・ランカの技術水準、市場の要求水準を勘案し、めっき品質の指針としての標準の原案を作成することが望ましい。

#### (14) めっき加工の技術指導・技術移転

めっきの基本的な理論、基本的なプロセス・設備に基づく合理的な作業が日常的に実施され、一定の生産管理が定着した段階で、新しいめっきプロセスの導入・消化が可能になる。基礎的なめっき技術が十分実施できない段階で新しい技術を導入しても、技術の消化不良を起し、品質のよい製品はできないし、工程にトラブルが発生しても対処できない。

例えば IDB が望んでいる無公害技術としての非シアンめっき、プラスチックめっき技術、硬質クロムめっき技術、および陽極酸化技術の技術移転については、これらの基本となる技術・作業が実施できるようになっていなければならないというのが基本的考え方である。これらの技術については Appendix 7, 8, 9 および 10 に解説する。

高度めっき技術の導入では思いつきや興味本意でなく、需要予測、重点指向で選定し、新しいめっきの方向を誤らないようにする。どんな機種がどのくらい生産され、それにどんなめっきが必要かを、産業動向を調査した上で決める。安易な判断は無駄な設備投資を呼ぶことになるので、注意が必要である。

第 2 次現地調査の結果、硬質クロムめっきについては、硬質クロムめっきを施したロールの修理 (めっきを剥がして再めっきする) に需要があり、めっき後の表面の精密研磨は専門企業でできる状況を確認できた。陽極酸化、プラスチックめっきについても需要動向を見極めながら、高度めっき技術の導入を段階的に進めるべきであろう。

新しいめっき技術 (プラスチックめっき、硬質クロムめっき、陽極酸化など) を導入するためには必要な実験装置、試験・検査機器を備えることが必要になる。これらの装置・機器は技術水準の向上、めっき対象の変遷に排水処理の状況を合わせて拡充していけばよいが、一般的に必要と考えられる装置・機器のリストを Appendix 6 に示す。

めっきセンターが習得した技術や新しい技術の紹介は、めっき工場の巡回指導、技術相談、セミナーの開催などによって広く伝えられる。めっきセンターの技術スタッフは自ら実験して身につけた技術を教えるのであるから実践的な指導ができるはずである。

情報収集活動を通して得た世界の新しい技術や市場動向も伝えられる。こうした活動によって国全体のめっき技術が向上すれば、めっき産業振興の基盤が整えられる。

## 6.4 めっきセンターの組織機能強化

### (15) 技術スタッフの強化

めっきセンターはめっき業を志す人あるいはめっき技能を高めたい人のための国内唯一の指導訓練機関であり、めっき技術の導入・開発・普及機関であるとすれば、それらに対応する機能が要求される。

めっきセンターには3名の技術スタッフが在籍しているが、めっきセンターの機能の強化はまず人材の補強が急務である。少なくとも化学系好ましくは電気化学を専攻した化学技術者1名の補充を提言する。さらにめっきセンターとして独自のメンテナンス担当者を最低1名は配置して、めっき装置・排水処理設備・実験分析機器のメンテナンスに当たられせることを提案する。特殊な整備・修理は外注するが、小さな補修・政策・工事はめっきセンター内でできるようにする。機械・電機の基礎を学び実務経験のある人材（工業高校卒業レベル以上）が望ましい。

主任以下5名の陣容は将来の対外活動を含め最小の要員である。めっきセンター全体の管理統轄1、めっき技術・排水処理技術および技術指導／普及2、実験／分析検査1、メンテナンス1。ただし管理統轄業務およびメンテナンス業務を除いて各担当分野の業務は技術スタッフ間で固定せずどの業務も遂行できるようにすべきである。

最も重要なのは技術スタッフがめっき・排水処理・生産管理・分析試験検査に関する専門的な技術を学ぶと同時に、それらについて実技を習得することである。もしそれが習得されているというならば、基本的な知識・技術を実際の作業に応用することが重要である。実務に適用できない知識はそれを持っていないのに等しい。スリ・ランカ国にはスリ・ランカの労働習慣や労働区分があると思われるが、少なくとも実験室規模では技術スタッフ自らがめっきや排水処理の実際を体験しなければ、実効のある指導も訓練も実施できない。技術・実技の習得は技術スタッフの主担当職務によって重点の置き所は異なっても、技術スタッフ全員に課せられるべきである。

具体的な研修方法としては、めっきセンターの技術スタッフの海外派遣研修を輪番で実施する。研修期間は受入側の研修プログラムによるが、最低6ヶ月程度は必要である。海外からの専門家の受入・指導は技術スタッフの技術が一定レベルにまで高まり、設備的にもベンチプラントが設置され特定系列の設備が改修された時期以降が適当である。専門家の派遣は短期間（1～2週間）の滞在を何回も繰り返し、進捗状況をチェックしながら指導する方法が適していると思われる。

めっき技術の基本を理解すれば、めっき浴を管理することは必然の帰結となる。めっき

浴を定期的に分析し、記録し、管理図に表し、それに基づいてめっき浴を一定の状態に保つよう必要な薬品を補填し、めっき製品の品質を一定に維持する一連の過程を確立しなければならない。

基礎的なめっき・排水処理・生産管理などの技術が習得されて始めて新しい技術を受入、消化する態勢が整い、独自の技術を開発することも可能になるであろう。

### (16) 組織・機能の整備

めっきセンター本来の役割を果たすために技術スタッフを強化することは前述に述べたが、組織上は新たに設備・機器をメンテナンスする機能を持つようにする。

めっきセンターの組織の中に設備・機器のメンテナンスを担当する機能はなく、設備・機器のメンテナンス状態はよくない。メンテナンス担当要員をめっきセンターの組織に取り入れ、設備・機器のメンテナンスに専任させる。

めっき加工の装置には、酸・アルカリに耐性のあるポリ塩化ビニル（PVC）材料がよく使用されるので、その補修のために、メンテナンス担当はPVCの溶接技術を習得しておくべきである。

めっき対象物に適した引掛けの製作（絶縁コーティングを含む）も重要な仕事となるであろう。

提案する組織図を Figure 6-1 に示す。

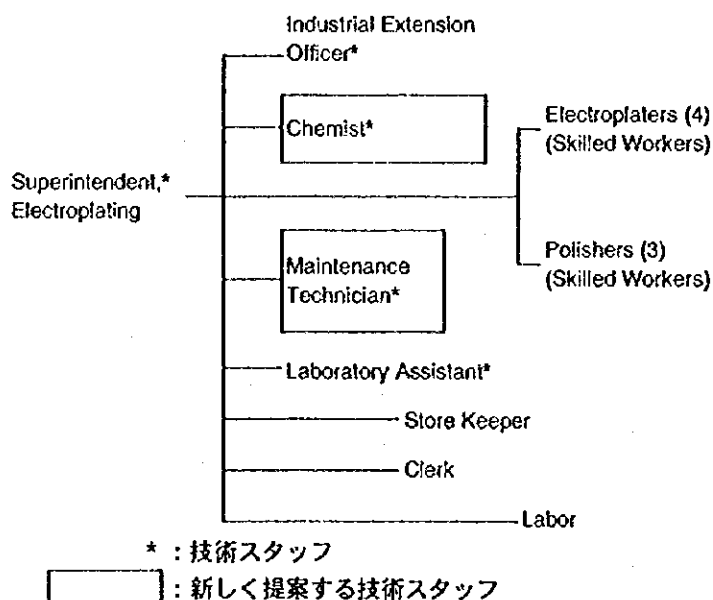


Figure 6-1 めっきセンターの組織強化

(17) コミュニケーション手段の増強

めっきセンターはIDB本部から離れて位置しているため、両者間の連携を一層密なものにするために電話回線の増設、ファクシミリの設置、移動用車両1台は必要であろう。

移動用車両はIDB本部あるいはめっきセンターに常駐させ、本部-めっきセンター間の移動に使用するだけでなく、現在および近い将来の対外活動にも活用できる。IDB本部とめっきセンターの連携の強化はめっきセンター従業員の意識にも変化をもたらし、めっきセンターの活性化につながると考える。





## 6.5 めっきセンターの日常活動改善

### (18) 技術情報の収集

技術水準を高めるためには、現在のめっきセンターの技術水準を正しく認識するとともに、国内外の技術水準、技術動向を把握する必要がある。したがって第一には現在の世界のめっき技術がどんなものであるか、何が問題になっているのかを文献・雑誌などを通して収集することが重要である。情報源として大学の図書館、関係研究機関、関係学会、協会などが利用できるであろう。海外研修などで知り得た知人・友人や薬品サプライヤの技術者も有力な情報源となり得る。

関係学会・討論会・講演会などへの出席、関係学会・協会への入会、学会・協会誌の購読も情報源である。スリ・ランカの民間企業で米国・英国の7つの関係学会・協会に加入しているところもある。これらの情報源への接近によって、めっき技術が環境問題と深く関わっている状況が認識され、世界のめっき技術の動向が把握されるであろう。

めっきセンターが単独ですべての問題を解決する訳にはいかない。めっきセンターはIDB 本部、大学、研究機関、学会、協会などとの連携を深めこれら機関の協力・支援を得ながら積極的に活動し、自らの目的を達成する必要がある。

### (19) 作業員の継続的訓練

技術スタッフが習得した技術・技能はまずめっきセンターの作業員達に伝授され、その作業レベルを向上させることが大事である。めっきセンターの技術レベルは一般のめっき工場の技術レベルより優れているものでなければならない。作業員に訓練すべき項目は多いが、Appendix 3 にリストアップした項目から専門実技に重点を置いた OJT (on the job training) が实际的である (Appendix 3 では○印で表示)。現在いる作業員を対象とするのであるから、それぞれの能力に合わせて順次、教育・訓練項目を増やしていくのが無理もなく、作業員にも達成感がある。

めっきセンターでは研磨工とめっき工とは別々に区分されて、互いにほかの作業は行っていない。スリ・ランカ国独自の事情があるのかもしれないが、訓練して作業員が複数の作業を担当できる能力を持つようにすべきである。作業員の潜在能力を可能な限り引き出して活用すれば、労働生産性は向上する。

### (20) 生産管理・設備管理の日常的实施

めっきセンターは指導機関としてめっき技術だけでなく、生産管理/設備管理の面でも規範とならなければならない。めっき業者がめっきセンターを見学すれば生きたモデルと

して参考になるよう実践してみせることが大切である。

生産性向上運動が IDB 本部を中心に推進されようとしている。それに呼応してめっきセンターでも 5S 運動を展開するとよい。5S とは整理 (seiri)、整頓 (seiton)、清潔 (seiketsu)、清掃 (seiso)、躰 (sitsuke) を日本語で表記したとき、5 つの実践項目の頭文字が S で始まることに由来している。生産性向上の基礎として日本で始められ NIEs ASEAN など各国で行われている。

工業的生産は製品品質のバラツキを少なくすること、究極的には零に近づけることを目標としている。そのためには原料品質および生産加工の各工程の作業条件をできる限り一定に保たなければならない。手作業の多いめっき加工では、特に個人差をなくするために作業の標準化、マニュアル化に取り組む必要がある。

作業指示を作業指示書で明確に示すことは、品質レベルを向上させるだけでなく、作業の安全上も是非とも必要なことである。提案中であるという作業管理システムの改善が早急に関係者の合意を得、実施に移されることを望みたい。

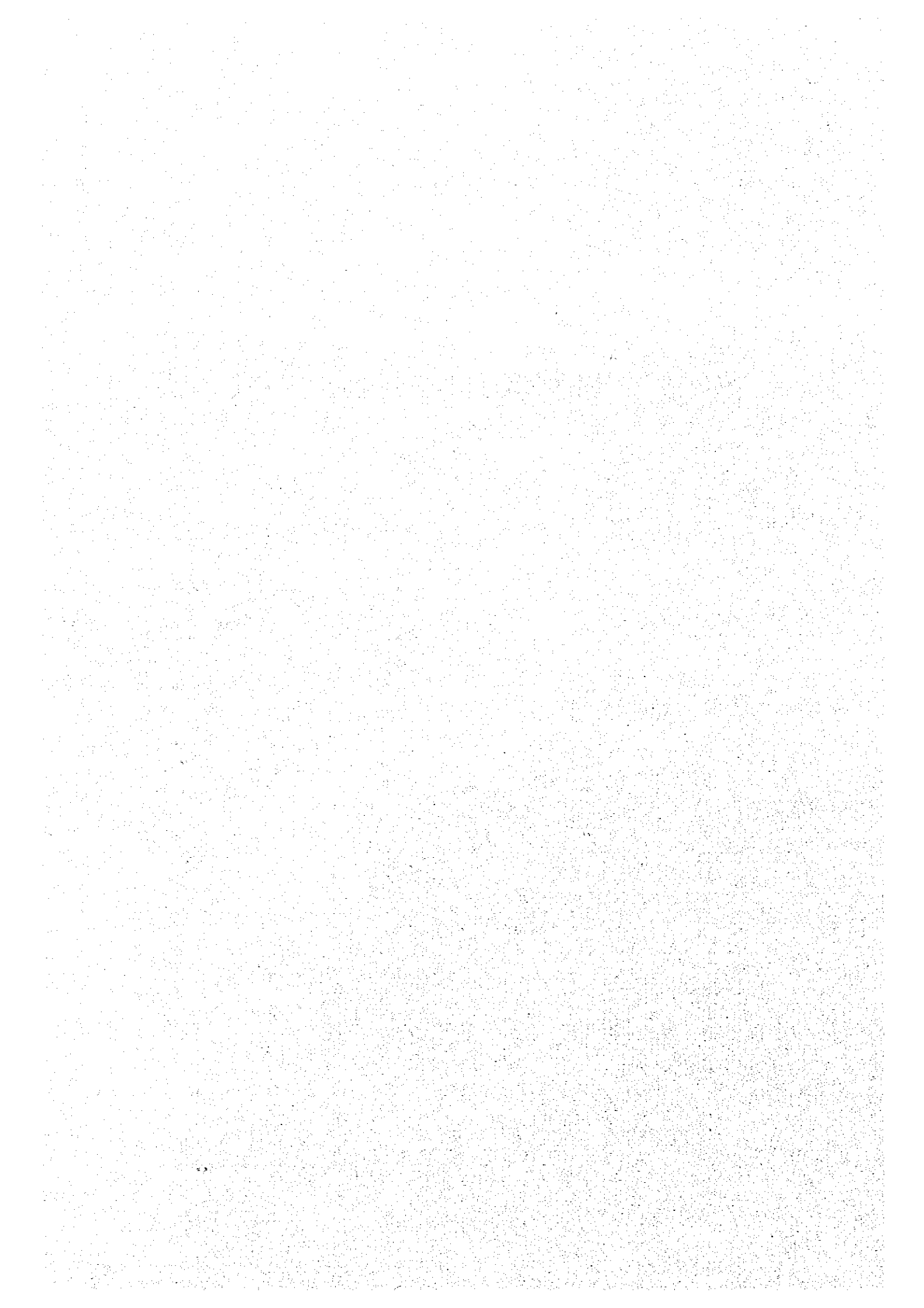
各種の分析・試験検査方法についても同様に標準化する。標準化の考え方はどの作業にも適用できるものである。顧客が要求する製品品質に応じて、技術スタッフは的確な作業指示を作業員に与えなければならないが、この作業指示も標準化された文書で行うことによって正確に伝達できる。

これらの標準化・マニュアル化作業は、技術スタッフの手によって行われるが、作業員の意見も反映して改訂することが望ましい。作製された標準書は技術指導・訓練の際にも利用でき、技術の普及にも役立つ。

設備の管理に関してはまず既存の研磨・めっき・排水処理設備、実験機器を可能な限り修理・整備し設置当初の状態に近づける努力をすること。そして修理・整備した後は予算を確保して日常のメンテナンスを怠らず実施することである。めっきセンターの設備は、設置以来 10 年を経て老朽化・陳腐化しているといわれるが、日本の中小企業でも設備の更新を常に行っているわけではなく、古い設備を使いこなしているのが大部分である。基本的な装備 (引掛け、浴温度制御、浴攪拌、浴液の循環濾過など) はしているが、設備を能力いっぱい働かせるために、日常の点検・保守を欠かさない。メンテナンス技術とその実践の有無がスリ・ランカと大きく異なるところである。

したがって設備の古いのが問題なのではなく、めっき技術・技能の向上とめっきセンターの対外活動に必要な設備・装置の充実を最優先にする。既存の設備についてはメンテナンスが大事であり、過去の不十分な設備メンテナンスを挽回し、不都合な箇所を改修することを提案する。

## 第7章 関係機関およびIDBのとりべき方策



## 第7章 関係機関およびIDBのとりべき方策

### 7.1 工業開発省(MID)

#### (1) 金属加工産業の振興

めっきは金属加工製品(めっきを必要としないものもある)を製造していくいくつかの工程の中でも最終工程に属するものであり、現にスリ・ランカの多くの企業では自社の最終製品を製造する一つの工程としてめっき設備を保有しめっきを行っている。

このことから分かりますとおり、めっき業を奨励・育成・振興する努力をしてもめっきの素材(めっきを必要とする金属加工製品)の多様化、品質・性能の向上なしにはそうした努力は報われない。前記問題点を解消する努力ももちろん必要であるが、金属加工業を先ず奨励・育成・振興することが必要である。金属加工業が発展すれば、製品の多様化・多量化・品質向上、性能アップが計られ、それにつれてめっきの多様化、技術向上、品質向上への要請が強まり、自らめっき業の発展が図られるほか、現在自社保有設備にてめっきを行っている企業も製品の多様化・多量化の結果、自社内でのめっきを効率性の観点から外注へ切り替えざるを得なくなり、これを誘因としてめっき専業の企業群(めっき産業)が現れるようになる。

金属加工産業は全ての産業をサポートするとともに、国民の日常生活に必要な機材を提供するなど、その製造する品目は極めて多岐にわたる。それらすべての品目を限られた期間内に国産化し、品質・性能を国際水準にまで向上させ、できれば輸出商品に仕上げるとはスリ・ランカの現状から判断して不可能であるといわざるを得ない。したがって、例えば一般家庭が必要とする家庭用品とか、(輸出産業にまで成長した繊維産業を支援するため)繊維機械用部品とか、特定の金属加工品目に限って手厚い振興政策(技術面・情報面・資金面等)を講じ、それらが効果を現した暁には次の目標(品目)を設定しこれに注力していくというように、金属加工産業の振興を段階的に進めるのが有効と考えられる。

金属加工業の振興策については、先にJICAよりスリ・ランカ政府に提出された“工業分野開発振興計画に関する報告書”第三部に述べられている。同報告書記載の諸事項を実践することが極めて有用であり、それによりスリ・ランカにおいても金属加工産業が必ず振興され発展するものと思われる。

同報告書(金属加工産業振興策)の提案を要約すれば、以下のとおりである。

- 1) 国として、金属加工産業の重要性を認識し、その育成に力を入れることを明確にする

こと。

- 2) 金属加工振興専門の部署を工業開発省（当時は工業・科学・技術省 MIST, Ministry of Industries, Science and Technology）に置き、現存する振興政策の徹底と、各省間の行政の調整を計ること、また拡充すべき政策を立案・実施すること。
- 3) アクション・プログラム（同報告書中に提案されている）を作成すること。

なお、上記報告書がスリ・ランカ側に提出されてから2年半経過していることでもあり、それがスリ・ランカの工業分野開発振興政策にどのように反映されているか、フォローアップ調査を試みた。その結果判明した事項は以下のとおりで、工業分野を振興させるため各種施策が実行されているが、「金属加工業」という特定の業種のみを対象とした施策は未だ実行されていない。

- 1) 上記報告書がスリ・ランカ側に提出された時（現地調査時も）工業科学技術省（MIST）が産業振興の担当省庁であったが、1994年11月の省庁再編により現在は工業開発省（MID）がその任に当たっている。

この関連からか、JICA 報告書を専門的にフォローする部署は現在の MID にはない。しかし、関連する部局がそれぞれの分野において報告内容を吟味・研究し、以下 3) に述べるところからも分かるように部分的にはあるが、具体化している。

- 2) 現在、工業開発省の下部組織として産業振興を主たる任務とする工業開発庁（IDB）は当時、観光・地域開発省（Ministry of Tourism and Rural Development）の下部組織として主に地域開発に関連する業務を行っていた。
- 3) JICA 報告書が総括的に配慮されるべき課題としてあげた諸点についてスリ・ランカ側（工業開発省）より得た回答・説明は次のとおり。

(a) 工業分野振興の重要性の再認識

その後、次のような施策を採って工業分野振興を図っている。

- a) 輸出や生産性改善に関し、輸出促進や投資促進、技術開発への支援を行うスリ・ランカ・ドイツ民間部門促進プログラム（Sri Lanka - German Private Sector Promotion Programme）が1995年から開始された。
- b) 民間部門の技術力・輸出市場拡大能力の向上のため USAID の支援の下に TIPS（Technology Initiatives for Private Sector）が活動している。
- c) 農業機械の開発と品質向上のために農業機械開発計画（技術援助）が実施されている。
- d) 地域レベルではあるが、中小企業の起業家精神高揚のためのプログラムが実施されている。
- e) 工業開発大臣へ産業振興の政策と実施に関し勧告するタスクフォースが組成された。

- f) 南部地域開発のため国家運営会議 (National Steering Committee) により工業・投資委員会が設立された。
- g) 1996年が生産性向上の年と宣言され、生産性向上関連のプログラムが多数実施されている。
- h) 科学工業研究所 (Ceylon Institute of Science and Industrial Research, CISIR)、NERD (National Engineering Research Development) センター等の協力を得て、保有技術・ノウハウの移転のためのプログラムが開始された。
- i) 企業の研修・訓練計画を奨励・支援するために、技術開発基金 (A Skills Development Fund) が間もなく設立される。
- j) 工業開発庁 (IDB) において鑄造産業の直面する諸問題に対応しうる計画が現在進行中である。

(b) 工業開発政策の具体化

- a) 工業政策の妥当性を観察する目的で運営委員会 (Steering Committee) が設置されたほか、産業のための諮問会議 (Advisory Council for Industry) は調査結果を政策に反映させるべく各産業部門別に活動振り等について調査を行い、間もなく完了する予定である。
- b) (財政・金融制度に関しては) 先進技術の取得に際し投資促進の観点から機械設備に優遇税制 (5年間の免税) が適用されている。

(c) 総合的インフラ整備の推進

インフラ整備計画が BOT/BOO スキームにて実施される予定である (新工業化戦略に明記された)。

(d) 環境整備の推進

- a) 皮革なめし工場の配置換え計画が外国援助により行われている。
- b) 繊維・ゴム部門の環境問題の調査研究がある会社の協力の下に進行中である。

(e) 工業分野振興のための資金的助成

- a) 中小企業のみを対象とするものではあるが、1979年に SMI Loan Scheme を創設、以後現在に至るまで4次にわたり同融資制度を継続、中小企業の振興に大いに活躍している。
- b) 環境関連では、工業化委員会 (Industrialization Commission) が中心となって環境防止関連機器の設置や技術の取得に必要な資金に対する「公害コントロール・削減資金」融資制度が創設され、1996年4月より実施されている。これ (ドイツの復興開発金庫 (KfW) の贈与資金を基に創設された) は資金枠が少額であり膨大な資金需要に

応じきれていない。関係省庁とも協議の上、外国援助資金を利用するなどして同融資制度のさらなる充実を目指している。

## (2) IDB への支援

IDB は産業振興政策の実施における中核体として多くの業務を負託されており、中には現業部門が自己金融体制の下ではなし得ない業務や非現業部門のみが行い得る業務もある。IDB がこうした業務を引き続き行っていくには多くの人材と資金を要するので、自己金融体制が確立された場合でも、MID は IDB を積極的に支援していく必要がある。

また、IDB が産業界を代表して関連する政府・政府機関に対し意見を具申するような場合には、これを側面的に支援することも必要である。



## 7.2 中央環境庁 (CEA)

### (1) 産業の実態を考慮した環境行政

スリ・ランカ的环境政策・環境基準は工業国のそれと比較してみても遜色がない程よく整備されている。環境行政の仕組みも中央環境庁に全権限が集中しており、一部の工業国よりも簡潔で、効果を十分発揮し得る体制が採られている。しかし、環境基準・標準はあまりにも厳しすぎて、国の産業の実態からやや遊離しているとの印象は拭い得ない。

「環境保護の推進」と「産業の振興」というある意味では相反することを同時に進めるという工業国でも例を見ない難しい事業を実施しようとするスリ・ランカの態度は敬服するに値するが、ある場合には産業の振興を優先するといった例外措置を講ずることも必要と考える。

即ち、特定の産業に対して環境基準・標準の適用を一定期間免除する、あるいは軽減するなど当該産業の発展を阻害しない環境行政も必要と考えられる。

### (2) 排水基準の見直しと運用の適正化

スリ・ランカの一般基準はほかの国に比べて厳しい。環境基準はその国の工業の実状を考慮して、努力すれば可能な範囲で段階的に厳しくしていくことが望ましい。産業の発展にともなって発生する公害を未然に防ぐ、汚染された河川を浄化するには、汚染した年月の何倍もの期間が必要であることから、必要なことである。しかし既設の工場に対して実際にはほとんど不可能に近い厳しい規制は、環境改善に役立たぬことが多い。めっき産業に関連する基準値の見直しおよび規制の緩和措置についての検討内容を以下に示す。参考までに2.2.1で示した各国の排水基準を抜粋してTable 7-1に再掲示する。

Table 7-1 各国の排水基準 (mg/L) (抜粋)

Component	Sweden	France	Sri Lanka		Japan (General)
			(General)	(Proposed)	
Cr <sup>6+</sup>	0.1	0.1	-	-	0.5
CN (free)	0.1	0.1	-	-	-
CN (total)	1	1.2	0.2	1.0	1.0
Cr (total)	1	2	0.1	-	2.0
Cr <sup>3+</sup>	-	-	-	1	-
Ni	-	1	3	1.5	-
Cu	1	2	3	1	3.0
Zn	2	5	5	1.5	5.0
F	15	-	2	-	15

### 1) 一般基準の見直し

一般基準で、内水面は一律基準になっているが、人の健康の保護に関する有害物質以外は利水目的で要求される水質に相違があるものと考えられる。同じ河川においても上流と下流で基準が異なる場合もあり、沿岸地域においても目的によって基準が異なるべきであろう。より合理的なきめ細かい基準の検討が望まれる。

一般基準の規制項目に、Total Cr が 0.1ppm と厳しく規制されているが、有害な Cr<sup>6+</sup>の規制がない。ほかのほとんどの国で行っているように Cr<sup>6+</sup>と Total Cr の双方で規制すべきである。

### 2) 特定工業に対する排水基準の見直し

表面処理工業排水の Proposal standard で、特定工場排水の基準は一般基準より規制項目が減り、緩くあるべきであると考えられるが、CN は緩められているが、Cu、Ni、Zn 等の重金属はむしろ厳しくなっている。また Cr は Cr<sup>3+</sup>のみであるが、Cr<sup>6+</sup>および Total Cr で規制すべきと考える。

### 3) 小規模工場に対する規制緩和

表面処理工業の Industrial Pollution Control Guidelines には各工程からの発生源、排出を少なくする対策、排水処理法について詳細に記述されている。そして Cd、CN あるいは Cr<sup>6+</sup>を使用していない小規模工場（重金属の排出量が年間 20kg 以下）はオランダで行っているように排水規制を適用しない。あるいは 20kg 以上を排出する工場も濃厚排水は集めて中央処理場に運んで処理をする。250kg 以上を排出する大規模工場は 50kg までは許容されている。また日本では、排水量が 50m<sup>3</sup>/日以下の小規模工場には Cd、CN あるいは Cr<sup>6+</sup>等の健康に係わる有害物質以外は規制されていない。これらの小規模工場についての規制緩和の検討が必要であろう。即ち CN、Cr<sup>6+</sup>、Cd など人の健康に係わる有害物質を排出しない工場は、重金属の排出量に基準を設け、例えばオランダのガイドラインにあるように年 20kg 以下の小規模工場には重金属の規制は適用しないというような規制緩和が必要と考える。新設、増設の場合はともかく、既設の小規模工場に対しての考慮の検討が必要であろう。ただし CN、Cr<sup>6+</sup>などの有害物質を排出する工場は、たとえ少量であっても一律の排水基準によって規制されなければならない。

## (3) 融資制度の拡充

公害防止用技術・機器など環境保護・改善のための技術の導入や機器の据え付けには売上増・利益増に直接結び付かない膨大な資金の投下を要する。これがために多くの企業は環境保全のため（自己の排出する）公害を防止する機器設置の必要は認識しながらも、なかなか実際行動に移し得ない状況にある。

こうした状況を踏まえて動き出した融資制度（PCAF）が利用者の好評を得て、制度創設

以来わずか半年間で資金枠の 70%を使いきるという事態となっている。これは資金枠が小さすぎるといふこともあろうが、いかに企業が環境保護の必要性を認識しながらも資金面の制約から実際行動に移し得なかったか物語るものである。

環境の保護・保全是地球的規模で緊急に行われるべき事業であり、国際金融機関・先進援助国が支援対象として現在最も力を注いでいる分野である。そうした金融機関・国へスリ・ランカの取り組み姿勢や現状・資金援助の必要性などを説明の上、援助要請を行えば必ず援助・支援が期待でき、それらの資金をベースに上記融資制度が今後も継続されることが望まれる。

(参考) 第二次現地調査中の 11 月 15 日付 Daily News は“World Bank Funded Industrial Waste Plant”という見出しで、「世銀の 12 百万ドル融資により工業排水処理プラントがまもなく建設される。このプラントは最も公害の激しいジャエラ (Ja-ela)、ラトゥマラナ (Ratmalana) 両工業団地に繋がり両地区からの公害物質の排出削減に大いに役立つ」と報じている。

#### (4) 法令・規則の徹底

環境保護の必要性は広く認識されているが、遵守されるべき基準・要件については個別企業にまで徹底していないように思われる。CEA は環境基準を全産業へ徹底させ、その結果として全産業に環境保護ライセンスを取得させる要あり。人材不足・予算不足といった言い訳は許されない。与えられた条件の中でいかにすればよいかを考え取り組むべきである。



## 7.3 工業開発庁 (IDB)

### (1) 負託業務への制約の排除

スリ・ランカは独立後、長年の植民地型経済からの脱却を目指して工業化路線を採用してきており、その基本は各種産業の奨励・育成・振興であった。そして産業振興法が制定されそれに基づき全国的に産業を奨励・育成・振興する機関として IDB が設立された訳であるが、先述したように IDB は 1986～1994 年の間、観光・地域開発省の傘下に置かれ特定地域の産業開発に関する業務を行っていた。確かに地域開発も重要であり IDB に負託された業務ではあるが、同国唯一の産業振興機関が長期間本来行うべき業務（全国規模の産業振興）の一部しか行い得ない状況に置かれていたということは今日に至るも同国で産業が十分に発展していない大きな要因であると考えられる。

一度政策決定が行われそれに変更がない限り、IDB のような政策実施機関の業務に制約を加えるような組織変更は行われるべきではない。

### (2) 中小企業の声を反映した自己改革案づくり

IDB は自己改革案 (Self Reform Programme) を作成中である。その目的は、自己金融 (Self-financing) の達成と効率的な組織の構築にある。

市場経済体制の下では企業は市場にうまく対応できないと倒産という形で消滅するが、政府機関といえども消滅の危機がない訳ではない。負託された業務が十分に達成され存在意義がなくなった場合はともかくとして、負託された業務を満足に行い得ない場合や利用者からそっぽを向けられ業務を行えない場合、あるいは貴重な財政資金を効率的に使わず納税者から厳しい批判の声を浴びせかけられる場合のように、その存在価値がなくなった政府機関は閉鎖・消滅となるケースが多い。

かかる意味で、IDB が自ら改革案を作成し実行しようとしている点は高く評価できる。

ただ、現在の自己改革案の作成状況を見ると、IDB 内部の意見聴取・状況判断・議論に重きを置いた改革案作りと考えられる（上部機関である工業開発省から意見・指示が出されているかもしれない）。利用者、特に中小企業が IDB に何を期待しているのか、IDB の業務内容や業務方法にどんな意見を持っているのかを広く聴取し、それらを踏まえた IDB 改革案とするべきである。

### (3) 民間との競合の回避

現業部門は今後、自己金融達成のため、それぞれの生産活動を増強し収入を増やすことを要求される。この実現には相当の困難を伴うものと思われ、IDB の今後の動きが期待されるが、次のような意見もあることに留意されたい。

IDB は産業を振興させるために設立された政府機関であることから、現業部門を有して

いるからといって民間企業と競合したり、民間企業を圧迫してはならないことは当然である。自己金融の実現のためではなく、IDB に負託された業務の一環として現業部門が行動する過程で、民業との競合や民業圧迫という事態が一時的に現れるといった形での現業部門の活動が望ましい。

即ち、IDB は先進技術を導入しそれを駆使した新製品を現業部門で製造・加工・販売することにより、国内市場の品質・性能に対する意識を高める。その時、国内企業より同製品の製造・加工・販売の希望が寄せられた場合には、これを積極的に支援し、IDB は同製品の製造・加工・販売から撤退していく。そしてIDB は次の新製品・新技術に注力していく。

こうすることにより、国内市場の品質・性能意識の高揚と新技術・製品の国内企業への紹介・移転が計られ、結果として国内産業の振興に資するほか、IDB の自己金融も達成できることになる。

#### (4) めっき業界への環境規制の適用に関する CEA との協議

表面処理工業の公害規制ガイドラインは、前述したようにまだ法的に有効とはなっていない。CEA は、関係機関からの意見表明を待っているとのことであるので、IDB はめっき業界の実状を考慮した規制の段階的な運用、規制値の緩和を CEA と協議することが望まれる。

## 第8章 提言と勧告

## 第8章 提言と勧告

### 8.1 めっき産業振興計画

第6章IDBめっきセンターの改善計画および第7章関係機関およびIDBのとりべき方策をもとにめっき産業振興に関する提言と勧告を述べる。めっき産業振興のためには、何をおいても産業の指導育成機関であるIDBの技術・技能の向上が必要条件である。IDBめっきセンターの技術・技能向上計画を関係機関の支援のもとに、プログラムとして推進することを提言する。

#### (1) IDBめっきセンター技術・技能向上プログラム

めっき産業の主役は各めっき向上であるが、産業振興においてIDBの果たすべき役割は重要である。IDBめっきセンターの技術・技能向上計画はめっきセンターが中心になって行わなければならないが、プログラムとしてIDBの各組織はもとより、工業開発省、中央環境庁など関係機関の支援・連携のもとに推進することが望ましい。

#### (2) 工業開発政策の一環としてのめっき産業

めっき産業の振興は、金属加工産業の振興、工業振興政策と関連する。工業開発省は、金属加工産業の振興に一層の努力をする中で、めっき産業が工業発展のボトルネックにならないように、上部機関としてIDBめっきセンター技術・技能向上プログラムを支援・促進することが望まれる。

#### (3) 産業振興と両立する環境政策

めっき産業はまだ規模も小さく環境問題も発生していないが、めっき産業の排水問題を軽視することはできない。めっき産業の発展には、正しい排水処理は欠かせない。中央環境庁は、IDBめっきセンター技術・技能向上プログラム、特に排水処理技術の普及計画に関心を持ち、めっき産業の発展を考慮したきめ細かい政策をとることが望まれる。



## 8.2 IDB めっきセンター技術・技能向上プログラム

めっき産業振興計画の中核となるプログラムとして提案する「IDB めっきセンター技術・技能向上プログラム」は次のとおりである。

### 8.2.1 プログラム実施の前提条件

IDB が実施する計画の提案に当たり、提案の前提条件および別途検討すべき事項は下記のとおりである。

#### (1) 既存設備の活用

現在めっきセンターが所在する場所（Peliyagoda）で、既存の設備を活用する。設備の改造、補修、追加、レイアウトの変更などによる設備改善を実施し、全面的な更新は考えない。工程改善や設備改善に伴ってスペースが必要になる。既存設備の必要性を検討し、不要のものや、修復の見込みのない設備を整理（取り外し・廃棄）することを勧告する。

#### (2) 組織機能の強化・明確化

6.4 (15) および (16) に述べた技術スタッフの強化、組織・機能の整備を検討し、最小限の技術スタッフを強化する。

めっきセンターがめっき作業の受託加工を実施することは、実際のめっき作業によって技術改善の効果を確認することを考えて実施すればめっきセンターの収入を増やすためだけでなく意味のあることである。ただしめっきセンターの業務を、技術向上・指導の業務と、めっき作業の業務に区分して管理できるようにすることを勧告する。作業員は主にめっき作業に従事するであろう。技術スタッフは、技術向上・指導とめっき作業の両方の仕事をしなければならないが、その区分は明確にすることが望ましい。技術向上・指導の業務を軽視しないように、薬品、消耗品やメンテナンス費用などは、煩雑にならない範囲で経費の区分をするのがよい。

## 8.2.2 IDB めっきセンター技術・技能向上プログラム

### (1) 概要

IDB めっきセンターのめっき・排水処理技術の向上およびそれらの普及のために、提案するプログラムの課題および目標を Table 8-1 に示す。

Table 8-1 IDB めっきセンター技術・技能向上プログラムの課題・目標

課 題		目 標
排水処理技術の普及	めっきセンター排水処理技術向上	めっきセンターの技術スタッフ自身で、適正な排水処理条件の検討、設定ができるようにする。 めっき排水が少なくなるような作業方法で、めっきができるようにする。 排水処理が技術スタッフの定めた条件で、実施されるようにする。
	めっきセンターの対外活動（排水処理技術の普及）	めっき業界における適正な排水処理計画の実施を推進する。
めっき技術の向上	めっきセンターの技術向上	めっきセンターの技術スタッフ自身で、適正なめっき条件の検討、設定ができるようにする。 めっき作業が、技術スタッフの定めた条件で実施されるようにする。 めっきした製品の検査データが記録され、工程改善に活用できるようにする。
	めっきセンターの対外活動（技術の普及・指導）	金属加工業界の要請に対応できるようにめっき技術を向上させる。

Table 8-2 にプログラムのアクションプランを示す。各プロジェクトの内容は第 6 章の該当する項目を参照されたい。

Table 8-2 めっきセンター技術・技能向上プログラムのアクションプラン

課	題	プロジェクト	設備改善計画	達成目標	備考	
排水処理技術の普及	めっきセンターの排水処理技術向上  めっきセンターの対外活動 (排水処理技術の普及)	排水処理基礎技術の習得	実験装置・分析装置の整備	排水処理に関する基礎技術の習得	6.2 (1)	
		排水分析測定技術の習得	排水測定機器の整備	排水分析データの測定法の習得、データの蓄積による工程改善への応用	6.2 (1)	
		排水回分処理技術の確立	既存排水処理設備の改善・整備	排水基準に合格する排水処理の実施	6.2 (2)	
		排水処理技術に関する広報活動(セミナー実施を含む)		めっき業界に排水処理の重要性、排水処理方法の知識の概要を周知させる	6.2 (3)	
		排水処理技術の技術指導・技術移転	実験装置によるワークショップ	めっき業者に適正な処理技術を指導する	6.2 (4)	
		モデルプラント設置計画	定期的な作業を行っているめっき工場を選び排水処理のモデルプラントを設置する	めっき業界に代表的な処理技術を指導する	6.2 (5)	
		業界の排水実態把握と排水基準改定案の提案		排水処理の実態把握、実際に守れる排出基準案の検討、CEAへの提案	6.2 (6)	
		排水処理技術訓練コースの開設		排水処理の実務の指導訓練	6.2 (7)	
		めっき加工の技術向上	めっき加工の基礎技術の向上	ベンチプラントの整備	めっき加工の基礎技術の理解、めっき条件の検討	6.3 (8)
			光沢ニッケルめっき技術の向上	既存設備の整備・改修 ラックの製作 めっきラインの整備	光沢ニッケルのめっき技術を通じて、正しいめっき技術に習熟	6.3 (9)
			めっき製品検査測定技術の確立	めっき厚み測定器 密着性試験設備 腐食試験設備	めっき製品の検査技術の習熟、データの蓄積による工程改善への活用	6.3 (10)
			メンテナンス技術の習得	ラック製作工具 塩化ビニール溶接工具	メンテナンスの基礎技術の習熟	6.3 (11)
			めっきセンターの対外活動 (技術の普及・指導)	技術訓練コースの再編成  内外のめっき製品の比較評価	現行訓練コースより高い内容による業界関係者の再訓練  めっき製品のサンプルを求め検査結果をまとめて、技術レベルを認識させる	6.3 (12) 6.3 (13)
			めっき加工の技術指導・技術移転		めっき業者の技術高度化へ向けての指導	6.3 (14)

## (2) プログラムの実施スケジュールおよび設備改善費用

上述の技術・技能向上プログラムの実施機関は、大略5年間を目標とし、前期および後期に区分する。前期3年はまずめっきセンターの技術向上計画に力を注ぎ、プライオリティーの高い項目を重点的に実施する。その結果を見て後期2年は技術の向上計画と普及・指導計画を並行させる。Table 8-3 にプロジェクトのプライオリティー、実施スケジュール、設備費用の見積額を示す。(Appendix 11 に見積額の詳細を示す)。

Table 8-3 めっきセンター技術・技能向上・プログラムの実施スケジュール案

課 題	プロジェクト	プ リ オ リ ティ	スケジュール 0 3 7	設備改善費用見積額 (千円)	技術協力項目
めっきセンターの排水処理技術向上	排水処理基礎技術の習得	AA	—		研修、専門家
	排水分析測定技術の習得	AA	—	1)	研修、専門家
	排水回分処理技術の確立	A	—		(専門家)
めっきセンターの対外活動 (排水処理技術の普及)	排水処理技術に関する広範活動 (セミナー実施を含む)	A	—		
	排水処理技術の技術指導・技術移転	A	—		
	モデルプラント設置計画	B	—		(専門家)
	業界の排水実態把握と排水基準改定 案の提案	B	—		
めっきセンターの技術向上	排水処理技術訓練コースの開設	B	—		(専門家)
	めっき加工の基礎技術の向上	AA	—	2)	研修、専門家
	光沢ニッケルのつき技術の向上	AA	—	3)	研修、専門家
	めっき製品検査測定技術の確立	A	—		研修、専門家
	メンテナンス技術の習得	A	—		研修、専門家
めっきセンターの対外活動 (技術の普及・指導)	技術訓練コースの再編成	B	—		(専門家)
	内外のめっき製品の比較評価	B	—		(専門家)
	めっき加工の技術指導・技術移転	B	—		
合 計				5,841	

研修： 国外研修  
 専門家： 専門家の指導 (主要項目)  
 (専門家)： 専門家によるアドバイス

注 1) Appendix 1 (5)の排水処理用測定機器 (Appendix 5 (4)ORP計を含む)

2) Appendix 1 (1)~(4)のベンチプラント用機器

3) Appendix 4 既存設備の整備および改修関連機器

### (3) 技術協力

プログラムの推進はIDBが主体性をもって進めなければならない。さらにプログラムを実施する場合に、先進国への研修および専門家による指導など適切な技術協力が得られれば、計画の効率的な推進、成果の向上が得られると予想される。

#### 1) 技術スタッフの国外研修

めっきセンターの技術スタッフは、めっきセンター入所時に英国、およびインドで実習を受けてから、新しい技術に接する機会がほとんどない状態である。当時習得した技術はもはや古くなっており、排水技術を含めてめっきの基礎技術を身につける必要がある。めっきセンターの技術スタッフが增強される機会に、国外の工業試験所などで実務を中心とした研修を受けられれば、次項に述べる専門家による指導の理解を助け、技術改善に効果的である。

#### 2) 先進国の専門家の指導受入

プログラムの重点はまずIDBの技術レベルの向上であるが、できるだけ短期間に効率的に技術レベルを向上するには、技術の進んだ先進国の専門家による一定期間の指導が望ましい。専門家の指導内容は、基礎的な技術を中心として実務的な内容を確実に指導を受けることが好ましい。ただし、作業員の訓練、対外活動などについては、専門家はアドバイスや示唆を与える立場であり、IDB自体が積極的に実施しなければならない。

Table 8-4 に技術協力を受けるのが望ましい項目について例示した。

Table 8-4 技術協力を受けるのが望ましい項目の例

技術協力の種類	項目	方法・期間・人数など
技術スタッフの国外研修	研修項目 ・めっき加工および排水処理の基礎技術の習得 ・工場におけるめっき技術および排水処理の実際の見学を含む	1人3~4ヶ月間、国外の工業試験所などIDBと類似した機能をもった機関で研修する。時期をずらして2~3人実施できれば効果的である。
先進国の専門家の指導受入	指導項目 ・排水処理基礎技術 ・排水分析測定技術 ・排水回分処理技術（設計・運転） ・めっき加工基礎技術 ・光沢ニッケルめっき技術 ・製品検査技術（工程改善への活用） ・ラックの技術（設計、製作） 技術スタッフに対する基礎技術の訓練に重点をおく	当初の1年程度は、2~3ヶ月毎に2週間程度の指導を繰り返すことが現実的である。この間に指導に必要な設備の詳細（仕様、設置場所、スリ・ラン力側の実施事項など）を準備する。 その後2人位の専門家が2年間程度派遣される

#### (4) プログラム実施にあたり留意すべき事項

プログラムの推進にあたり、留意しなければならない事項を下記に掲げる。

- 1) 薬品その他の経常的に必要な費用、メンテナンスに必要な費用などめっきセンターの活動に必要な経常予算を確保すること
- 2) プログラムの実行スケジュールは最短の期間を考えているので、スタッフの能力や予算の規模などにより変更してもよいが、正しい技術の習得に継続的な努力を積み重ねること
- 3) 経済の発展や技術の進歩にともなってめっき加工に対する需要も変化するので、計画の実行に当たってはプライオリティーの見直しなど重点化を考えた柔軟な対応をすること
- 4) 計画の実施は IDB 自身による自助努力が基本であり、技術協力を受ける場合には積極的な態度で派遣専門家に協力し指導を受けること

#### 8.2.3 日常活動として継続実施すべき事項

下記事項は、技術技能の維持・向上の基本となる事項であるが、現在は余り実施されていない。めっきセンターの日常の計画に取り上げて継続的に実施しなければならない事項である。詳細については、第6章 6.5 に述べたとおりである。

##### (1) 技術情報の収集

開発途上国では、現状の改善が進まない一方で、どうしても目新しい技術の導入に目を向ける傾向がある。世界の技術の方向を見定めておくことは、新しい技術の価値を判断する場合に非常に重要なことである。

##### (2) 作業員の訓練

めっきセンターの役割は産業界に技術を指導・普及することであるから、めっきセンターで行われている作業は産業界のモデルとなるものでなければならない。また作業員の訓練方法のモデルにななければならない。世界共通の一般的な訓練の方法が開発されているが、その国や社会の特殊性を無視しては効果が上がらない。作業員は慣れている現在の作業方法を変更することに抵抗感を持つものである。技術の進歩にともなって、日常の業務として技術スタッフが作業員の訓練を継続する環境や仕組みを作らないと、めっきセンターの技術が進歩しない。

### (3) 生産管理・設備管理

めっきセンターは生産管理・設備管理などの管理面でもモデルとならなければならない。即ち試作をしたり、めっき加工の受託をしたりすることを通じて、生産管理・設備管理についても指導できる能力をつけるようにする。また民間企業の中には、管理面で様々な工夫をしている企業もあるので、そのような企業と協力して国全体の生産効率をあげるようにする。作業員の安全・衛生の面の改善も日常的に実施すべき重要なことである。

#### 8.2.4 プログラムに引き続き推進すべき計画

めっき産業の振興のためには、下記の計画の推進も必要である。これらの計画については、提言したプログラムが進捗し成果の達成状況が見られた時点で、計画の実行に着手するのがよい。

##### (1) 集中排水処理計画の推進（業界の組織化支援）

第4章および第5章で零細・小企業は個別に排水処理装置を設置することは現実的には困難があり、集中排水処理が望ましい解決法であることを説明した。この方法の実施には、技術的なこととともに、経営管理的に難しい問題があり、問題の解決のために業界を組織化する必要がある。少なくとも集中処理に参加しようとする企業の組織化は計画推進の前提条件である。IDB は集中処理計画の技術面だけでなく、業界の組織化も支援することが望ましい。

##### (2) 無公害めっき技術の導入計画

公害対策は、有害物質の処理のみでは解決されない。薬品の持ち出し減少、めっき液の回収などによる排水量の削減が重要である。さらに亜鉛めっき浴の非シアン化あるいは低濃度化の導入も検討されなければならない。ただし、亜鉛めっきの非シアン化は、光沢ニッケルめっき技術が確立しなければ導入は難しい。

##### (3) 高度めっき技術の導入計画

めっきセンターは、硬質クロムめっきや非電解めっきの導入を考えている。スリ・ランカにもすでにこれらのめっきの需要もある。これらの高度めっき技術で要求される品質のめっきをするためには、引掛けや電極の配置など光沢ニッケル技術よりも複雑なめっき条件を管理しなければならない。光沢ニッケルめっき技術の確立を強調する理由である。

またニッケルめっきや亜鉛めっきと、クロムめっきは部屋を分けるべきであり、めっきセンター全体の整備拡充計画を考えて導入することが望ましい。



### 8.3 工業開発省（MID）への勧告

勧告内容の詳細については7.1を参照されたい。

#### (1) めっきセンター技術・技能向上プログラムに対する支援

金属加工産業が発展していく中で、めっき産業がボトルネックになって発展を阻害しないように国内のめっき企業を育成強化しなければならない。工業開発省は上部機関としてIDBを引き続き指導・支援することはもちろん、IDBの現業部門が推進するめっきセンター技術・技能向上プログラムについて人材、資金などの面から支援・促進することを勧告する。

#### (2) 金属加工産業の振興策の推進

めっき産業の育成強化を図っても、金属加工産業が発展しなければめっき産業の振興は進まない。金属加工産業の発展が、めっきに対する品質向上、技術向上の要請になってめっき産業の近代化の誘因となる。現在進めている工業開発政策の一環として金属加工産業の振興策にも力を入れることが、めっき産業のためにも望まれる。

## 8.4 中央環境庁（CEA）への勧告

勧告内容の詳細については7.2を参照されたい。

### (1) 産業振興を考慮したきめ細かい環境政策

めっき産業はまだ規模も小さく環境問題も発生していないが、めっき産業の排水問題を軽視することはできない。めっき産業の発展には、正しい排水処理は欠かせない。中央環境庁は、IDB めっきセンター技術・技能向上プログラム、特に排水処理技術の普及計画に関心を払い、環境保護とめっき産業の産業振興に対する寄与を考慮したきめ細かい規制の適用と、IDBと協力して排水処理を普及指導することを勧告する。

### (2) 金属表面処理工業に対する適正な基準の設定

現在の環境基準の適用は、薬品の使用量や排水量の大小にかかわらず、一律な排水基準になっているが、規制が意味を持ち企業が守りやすいように、一定の規模以下の企業を適用除外にするなどの措置を講じることを提案する。また、現在中央環境庁が提案中の金属表面処理工業に対する基準には、厳しすぎる点や不備な点があると思われるので、業界あるいはIDBと協議し適正な基準を設定するように勧告する。

### (3) 公害防止に関する融資制度の拡充

現在実施されている公害コントロール・削減資金による融資制度は、規模も小さくまだめっき産業では利用者がいない。めっき企業が本格的に排水処理に取り組むようになれば、公的な融資制度に対する要請が高まるであろう。大蔵省のみの問題とせず、中央環境庁、工業開発省も制度の拡充、資金の増大に監視を払うとともに、めっき業界の排水処理促進のために制度活用を助言することを勧告する。

## 8.5 工業開発庁 (IDB) への勧告

勧告内容の詳細については 7.3 を参照されたい。

### (1) 中小企業に配慮した自己改革

IDB が自己を改革しようとする姿勢は高く評価されるが、利用者、特に中小企業の意見・要望を反映した改革案づくりとすべきである。

### (2) 民間企業との競合の回避

IDB は政府機関であるので、民間企業との競合や民業を圧迫するような業務は行うべきではない。あくまでも先進技術の導入・指導・普及や新製品の紹介など民間企業の業務に資する活動を行うべきである。

### (3) めっき業界への環境規制に関する CEA との協議

めっき業界の実状を考慮した段階的な規制の運用、規制値の緩和を CEA と協議することが望まれる。

## 第9章 結論

## 第9章 結論

### (1) めっき産業の現状

- 1) スリ・ランカのめっき産業は規模が小さく、めっき産業というにはほど遠いものである。金属加工産業が未発達で、めっきに対する需要が少なく、めっき製品に対する市場の品質要求は低い。
- 2) 排水を適正な処理装置で確実な処理を実施しているめっき工場はない。全く処理していない工場もかなりある。排水水質は中央環境庁の定めた環境基準値を越えているが、排水量が少ないので目に見える事故は発生していない。
- 3) めっき技術は遅れている。ニッケルめっきは、無光沢ニッケルめっきが主体でめっき後パフ研磨をしている。市場の品質意識が低いので工程改善の意欲は薄い。めっき技術、排水処理の基本技術の知識が不足している。

### (2) めっき産業の問題点

- 1) めっき工場の課題は、水洗工程の改善、排水処理の実施、めっき工程・前処理工程の改善、製品検査の実施（品質管理の実施）である。
- 2) IDB めっきセンターの問題点は、技術スタッフの技術力および作業者の訓練の不足、業界に対する技術指導力の不足である。

### (3) あるべき姿

- 1) IDB と協議して、提言を行うに当たっての方向は、工程改善により環境汚染の負荷を減少することと、めっきの技術と品質の向上と定めた。
- 2) めっき工場の将来目標は、排水負荷の軽減と排水処理の実施、およびめっき技術の改善向上である。

排水負荷の軽減は水洗工程の改善（発生源対策）、排水処理は個別企業ごとに処理装置を設置することである。小企業の排水は集中処理を検討・実施する必要がある。

めっき技術の改善向上はめっき工程が中心であるが、前処理・水洗工程を含む全行程の改善である。特に光沢ニッケルめっき技術（めっき技術の基本）の確立である。

当面の到達目標は、将来目標の第1段階として水洗工程の改善、排水処理、引掛けの採用、濾過と攪拌に絞り込む。

- 3) IDB めっきセンターはめっき企業に対して技術指導を行い、国全体としてのめっき産業の水準を引き上げる役割を担っている。このような役割期待からめっきセンターはめっき技術およびめっき排水の処理技術については、スリ・ランカでは最高・最新の技術を持った研究・開発、試験・検査、普及・指導機関であるべきである。

(4) IDB めっきセンターの技術・技能向上プログラム

- 1) めっき企業のあるべき姿の実現には、工業技術の指導・普及機関である IDB にあるめっきセンターの技術力を向上することが必要である。めっきセンターの技術力向上と普及活動を内容とする「めっきセンター技術・技能向上プログラム」の実施を提言する。
- 2) プログラムの推進は IDB が主体性を持って進めなければならないが、先進国の技術協力を受けることにより、効率的な推進、成果の向上が得られるであろう。

(5) 関係機関への勧告

- 1) 工業開発省への勧告は、金属加工産業の振興策の推進、IDB そのものおよびめっきセンターの技術・技能向上プログラム実施への支援である。
- 2) 中央環境庁への勧告は、産業の発展と調和した環境行政、環境規制適用の適正化、環境基準の周知・徹底である。大蔵省などと連携し公害防止の投資に対する融資制度の拡充も望まれる。
- 3) IDB に関連した勧告は、IDB 業務の継続性、利用者を考慮した自己改革案の検討、民間企業との競合回避である。

# 補遺

補遺-1 めっき技術

---



## 補遺-1 めっき技術

### (1) 基本原理

めっきそのものの起源は古いですが、電気めっきが金属加工製品に工業的な規模で、行われるようになったのは、70～80年前からである。ニッケル、亜鉛等の水溶性金属塩にほかの電導性薬品を加え、水溶性としたものを電解液とし、それぞれのめっきする金属を陽極（+極）とし、めっきしようとする品物を陰極（-極）として直流で電解し、陰極上に金属を析出させるのを電気めっきと呼んでいる。

したがって、銅めっき液には硫酸銅、シアン化銅、ピロリン酸銅等が使われ、それぞれ酸性、アルカリ性、弱アルカリ性のめっき液となっている。ニッケルめっき液は硫酸ニッケルが主体となった酸性の液であり、クロムめっき液も無水クロム酸が主体である酸性の液である。

また、陽極は銅めっきでは電解銅が主に使われたが、最近では、電解、とくに極表面が溶解しやすいように微量なほかの金属を加えたりしたものも使われている。ニッケルも同様であるが、陽極表面積を大きくするため、小さいボタン状のものも使われている。亜鉛やカドミウムは鋳造した板状または棒状の極板が使われている。ただ、クロムの場合は鉛に微量のスズまたはアンチモンを加えた板状の陽極があり、表面を波状にし、表面積を増大させる工夫がしてある。

めっき液の種類によっては、伝導度を上げたり、pHの調整のための緩衝溶液を加えたり、光沢、平滑性をあげるため、脆性を抑えるため、等の目的のため種々の添加剤を加える。さらに、pH、温度はめっき液によって異なるが、80℃以上の高温にすることはない。

電気めっきは、直流による電解であるから、学問的には電気化学の分野である。めっき金属の析出にはファラデーの法則が適用され、

- 1) 電解によって析出あるいは溶解する金属の量は、その反応を行うときに流れた電気量に比例する。
- 2) 同一の電気量によって析出あるいは溶解する金属の量は、その化学当量に比例する。  
したがって、電気めっきの反応においては、電解槽に流れた電気量を測定することによって析出する金属の量を求めることができ、またある金属の化学当量を知ることによって一定の電気量によって析出する金属の重量を求めることができる。

即ち、硫酸銅溶液の銅は原子価が2価であるから、このめっき液からの銅の電着は、1Ah当たり1.186gであり、シアン化銅溶液からの銅は原子価が1価であるため、銅は1Ah当たり2.372gで2倍となる。ここで銅の密度は8.93であるので、

$$\text{厚さ} (\mu\text{m}) = \frac{\text{析出量 (g)} \times 10,000}{\text{めっき面積 (cm}^2\text{)} \times \text{密度 (g/cm}^3\text{)}}$$

上述のように、析出しためっきの重さを品物の表面積と密度で割ると厚さが計算できる。  
 しかし、実際にはめっきの際、陰極から水素、陽極から酸素が出たりするので、理論ど  
 おりの数値にはならない。

したがって、

$$\text{電流効率} = \frac{\text{実際の金属析出量 (g)}}{\text{理論析出量 (g)}} \times 100 (\%)$$

上式によって実際に析出するめっき量は修正されなければならない。

銀めっきは最も電流効率が高く、次いで硫酸銅めっきが高いが、クロムめっきは電解中  
 にガスの発生が多く、普通のめっき液では10~18%であるといわれている。

Table S1-1 金属の電気化学当量

金属	原子価	原子量	密度 (g/cm <sup>3</sup> 20℃)	電気化学当量 (g/Ah)	めっき浴
Ag	1	107.870	10.50	4.024	シアン化銀浴
Au	1	196.967	19.29	7.348	シアン化金浴
Au	3	196.967	19.29	2.4495	—————
Cd	2	112.40	8.64	2.097	酸性およびアルカリ性 カドミウム浴
Co	2	58.9332	8.83	1.099	クロム酸浴
Cr	6	51.996	6.95	0.323	クロム酸浴
Cu	1	63.54	8.93	2.372	シアン化銅浴
Cu		63.54	8.93	1.186	硫酸銅浴
Ni	2	58.71	8.90	1.095	硫酸ニッケル浴
Pb	2	207.19	11.34	3.865	酸性およびアルカリ性浴
Pt	4	195.09	21.45	1.819	塩化白金浴
Sn	2	118.69	7.28	2.213	酸性すず浴
Sn	4	118.69	7.28	1.106	すず酸ソーダ浴
Zn	2	65.37	7.13	1.219	酸性、アルカリ性亜鉛浴

(2) 脱脂

1) 浸漬脱脂

めっき工程前の製品は各種多量の油で覆われている。亜鉛めっきするボルト・ナットなどは、ねじの切削・転造の工程で油の中に浸漬した状態である。このような製品についている油を鹸化、乳化したり、固着した油は膨潤させて取り除くのが、浸漬脱脂である。この工程は、煮沸脱脂、予備脱脂、アルカリ脱脂とも呼ばれている。付着している油には、やし油、パーム油、牛脂、鯨油などやこれらから製造される脂肪酸のような鹸化性油脂と、グリース、パラフィン、ケロシン、重油のような不鹸化性油脂がある。

これらの油脂は、防錆性、切削性、加工性をよくするために塗布されている。近年のめっきは、いろいろな添加剤のためにやや脆くなっているため、塗膜の場合よりもずっと脱脂に配慮しなければ密着力が落ちる。一般に市販の脱脂剤を使用しているが、排水処理の点からいえば、組成のわかったものを使うのがよい。

Table S1-2 アルカリ浸漬脱脂液

脱脂剤	(g/L)			
	鉄鋼用	鉄鋼用	軽金属用	軽金属用
水酸化ナトリウム	15	20		
珪酸ナトリウム	45	30	45	35
磷酸ナトリウム		15	45	45
炭酸ナトリウム	35	30		10
石鹼・活性剤	5	5	10	10

## 2) 電解脱脂

浸漬脱脂は予備脱脂であり、全めっき工程からいえば最初の段階で、電解脱脂は仕上げ脱脂の分類に入る。したがって電解脱脂は、浸漬脱脂で取り除けなかった微細な凹凸面に付着したバフかすや油を除去したり、焼き入れのスケールを除いたり、錆を除いたりする能力が求められる。

公害面を考慮して非シアン型が使われている。陰極脱脂の場合、鉄の電着を防ぐため、鉄イオンを封鎖するキレートタイプのもので、鉄をキレート化しないで、沈澱させるものがある。鉄が付着すると、めっきの密着不良の原因となることがある。キレート化しないタイプは、常時濾過をしていないとざらつきを生ずることがある。

電解脱脂の老化液は、浸漬脱脂槽に補給してもよい。

## (3) 銅めっき

鉄素地の装飾クロムめっきの下地めっきをする場合、無光沢ニッケル（フラッシュ）→硫酸銅めっき→研磨→ニッケルめっき→研磨→クロムめっきの工程が普通の方法であったが、1945年～50年頃からはシアン化銅めっきが行われるようになり、鉄素地に直接銅めっき

が行われるようになって、銅→ニッケル→クロムの三層めっきとなった。シアン化銅浴には低中高濃度の三種類のものが考えられたが、中濃度浴が効率、作業性から見て最も使いよいことから中濃度浴が広く使われるようになった。光沢剤としては亜セレン酸ナトリウムが主として使われたが、当時回転変圧整流機のベルトローを使用した。PR法や低サイクル交直流併用法が普及して光沢剤によるめっきに代わる方法がとられた。その後、シアンが毒性が強いことより、ピロリン酸銅浴が使用されるようになった。

ただ、鉄素地への直接密着性のよいめっき方法が得られず、シアン化銅ストライクが必要であった。その後プリント基板のスルーホールめっきに用途が広がった。

光沢シアン化銅めっきについては、後述の光沢ニッケルのめっき浴の実用化研究が進み、これが刺激となったが、同時にめっき液の濾過、pH管理、めっき液の分析管理、特に遊離シアン化ナトリウムの分析、不純物除去、攪拌、加熱、アノードバッグの使用などが相次いで現場に採用され、急速にめっき技術が進んだ。

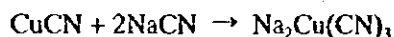
#### 1) 硫酸銅めっき

硫酸銅めっきは古くから用いられ、その組成が単純であり、電圧が低くてよく、乾電池でもめっきができることから小中学校での実験に応用されることも可能であった。めっき浴組成とめっき条件を Table S1-4(1)に示す。シアン化銅めっきが普及したので、酸性の強いこのめっき液は使われなくなったが、光沢剤の出現で抜群の光沢銅ができるようになり、プラスチック上へのめっきに使われたが、その後プリント基板のスルーホールめっきに利用されるようになった。

#### 2) シアン化銅めっき

代表的なシアン化銅めっき浴を Table S1-4(1)に示したが、これは中濃度浴であり、次に示すように典型的な錯塩浴である。

シアン化銅は白色粉末で、水に難溶性であり、少量の水で練り上げたものを、水溶性のシアン化ナトリウムの水溶液に加え、よくかき混ぜるとこれに溶解する。これは可溶性錯塩であり、次の式のとおりである。



即ち、1モルの CuCN を溶解するには2モルの NaCN が必要であり、実際には、この反応を安定させるため余分の NaCN を加える。この余分の NaCN が遊離 NaCN (フリーシアン) といい、分析値でも示され、めっき作業上重要な数値となる。

この関係を重量比で表すと、

$$\frac{2 \text{モルの NaCN}}{1 \text{モルの CuCN}} = \frac{98\text{g}}{89.57\text{g}} \approx 1.1$$

このため、CuCN の重量の約 1.1 倍の重量の NaCN を使えばよいことになり、少し余分に加えた NaCN が遊離 NaCN である。遊離 NaCN が多いと陽極の溶解がよくなり、少ないと溶解しにくく、黒色の皮膜に覆われ電流が流れなくなる。

実際の調整の手順は、前述のとおりであり、pH を調整するため水酸化ナトリウム（カリウムでもよい）を加えるが、建浴時に加えておけば、それ程変動はしない。

光沢剤はあまり光沢を期待できないので、むしろ PR 法によってレベリングのよいめっきを付けた方がよい。PR 法を利用することも平滑なめっきを得るために必要である。

活性炭濾過は建浴時から必要であり、濾過機中に助剤（珪藻土）とともに入れて濾過する。作業中は、陽極のアノードバックや空気攪拌ももちろん必要である。

忙しいめっき現場では、午前・午後に各 1 回ずつ遊離 NaCN を分析するが、遊離 NaCN は少しずつ減少する。Free NaCN 5~15g/L であるから、この値より下がれば、NaCN を補給する。また pH 値も低下する傾向にあり、NaOH を適量加えて pH12 に保つ。pH があまり低くなると遊離 NaCN が加水分解して、HCN がガスとして発生するから、時々 pH を調べるとよい。

浴中の炭酸塩濃度（ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）が少しずつ増加するが、80g/L 以上になると、操作範囲が狭くなったり、陽極の溶解が悪くなるので、50~60g/L 以下に保つのが望ましい。これには①あまり高温にしない、② pH を極端に高くしない、③陽極面積を大きくして陽極の溶解をよくするようにする。

一般に銅めっきは、古くは鉄上の銅の研磨が研磨工数から見て、鉄素地の下地研磨より有利であり、鉄とニッケルの間にある層として軟質で歪を吸収すると考えられていた。その後ニッケルの多層めっきが活用されるようになり、大気暴露試験と CASS などの腐食試験との関係を調べたところ、銅めっきの存在はかえって耐食性を悪くすることが明らかになった。電気化学的に銅が貴な金属であるため、局部電池による腐食の促進が影響したものと思われる。

これにより銅めっきは装飾-防食めっきから姿を消してしまった。

したがって、シアン化銅めっきは亜鉛ダイカスト上めっきに銅ストライクを行い、その上に 5~7  $\mu\text{m}$  のシアン化銅めっきをつけることが、今なお行われているが、そのほか浸炭窒化防止など特殊な用途を残すだけとなった。

### 3) 銅ストライクめっき

仕上げ脱脂を行った後、次のめっきの直前に行う。シアン化浴による銅ストライクめっきは、つきまわりが秀れている。これは低濃度のめっき浴を使い、通常のめっきの作業条件より高い温度、高い電圧（4~6V）即ち高い電流密度で短時間（20~60 秒）めっきする。浴中では、すぐにガスの細かい気泡が出ると同時に銅めっきがつく。このため、電解脱脂を併せて行う工程であると考えがちであるが、あくまでも薄いめっき皮膜をつ

けるために行うもので、亜鉛ダイカストや深絞り品、鋳肌の悪い鋳物、複雑な形状のもの、さらには普通のめっき電流ではつきにくい合金等にはこの方法が利用される。

この方法によりかなり密着性がよくなる。空気攪拌の必要はないが、循環濾過を行う。

#### (4) ニッケルめっき

ニッケルめっきは 1892 年に日本に輸入されたといわれるから、すでに 100 年以上の歴史を持っているわけである。耐食性がよく、しかも機械的強度も優れ、鉄鋼や銅合金の上に単独にめっきしても、防食と装飾の機能を果たすものとして有用なめっきである。ただ長期に放置すれば、空气中で変色するので、クロムめっきの下地として使われている。

このほか、装飾用の金そのほかの貴金属めっきの光沢下地として使われたり、電子工業ではコネクタ用金めっきの拡散防止層として重要な役割を果たしている。古くは SP 盤のレコード原盤の電鍍金型を始め、プラスチックポットやゴム長靴用成型金型にも使われている。

##### 1) ワット浴

1950 年前後の一時期までは、硫酸ニッケルに塩化アンモンとホウ酸を加えた浴が使われていたが、その後ワット浴が一般となった。

めっき浴組成とめっき条件を Table S1-4(2)に示す。

硫酸ニッケル、塩化ニッケルともに緑色ないし黄緑色の細かい結晶で水に溶けやすいものになっている。ホウ酸は無色の微細結晶であるが水に対する溶解限が低いので、限度いっぱい (40g/L) 加える。溶解時には少量ずつよく攪拌しながら加える。pH の緩衝剤として使われ、内部応力、物性面でも改善される。

ニッケルめっき液の調整

- a) 予備槽に所要量の 3/5 程度の水を入れ、50~60℃に加熱する。
- b) プロペラ攪拌をしながら、薬品を少量ずつ加えて溶解させる。加える順序は、ホウ酸、硫酸ニッケル、塩化ニッケルとする。
- c) 薬品が完全に溶解してから、2~3g/L の活性炭を加え約 1 時間攪拌する。その後一晩放置する。
- d) 翌日濾過機により上澄液をめっき槽に移す。めっき液量を調節し、pH 調整した後、0.5~1A/dm<sup>2</sup> の低電流密度で約半日間空電解する。

##### 2) 光沢ニッケルめっき

ワイスベルグ (Weisberg) 浴が検討されたこともあったが、光沢はよいが管理が難しいので長続きしなかった。

今日では、ほとんどの工場が市販品の光沢剤を使っているので、光沢剤の種類は明らかではないが、おおよそ Table S1-3 のようなものが使われている。

Table S1-3 添加剤の種類と作用

分類	薬品例	濃度	作用
第一光沢剤	ナフタリンスルホン酸塩 サッカリン	5~10g/L 1~2g/L	第二光沢剤の効果を助け、内部応力を抑制する。
第二光沢剤	1・4ブチンジオール プロパギルアルコール	0.1~0.2g/L 0.1~0.2g/L	光沢とレベリングを与える。
ピット防止剤	ラウリル硫酸ナトリウム	適量	水素気泡の離脱を容易にする。

第二光沢剤は吸着性のよい化合物で、ニッケルと共析してめっきに光沢とレベリング効果を与えるが、これだけではめっきにピット、引張り応力、むら、脆いめっきとなり、第二光沢剤だけでは使えない。

第一光沢剤を加えると第二光沢剤の副作用は緩和されて実用的なめっきとなる。

もし第一光沢剤だけを単独に加えても、本光沢にはなるが、レベリング効果はない。しかし、ニッケル析出物の引張り応力を減少させ、圧縮応力に転じる作用があるので応力抑制剤とも呼ばれる。第一光沢剤と第二光沢剤を上手にバランスさせることが、優れた光沢を得るのに必要なことである。

ピットの防止には、原則として空気攪拌を行う。ピット防止剤は界面活性剤で、これの添加で界面張力を下げ、水素気泡を晶物の表面から放れやすくし、ピットを防ぐ働きがある。ただし、空気攪拌をすると泡立ちが起き、プスパーでの火花に引火して暴発が生ずるので、空気攪拌が使えない場合だけ使用する。

作業条件としては、液温を上げると高電流密度が使え、水素気泡によるピットは生じにくい。光沢剤の分解も促進される。

加熱には石英ヒーターもしくはチタニウム製熱交換器によるスチーム加熱も広く使われている。

空気攪拌をすることにより、より高い電流密度が使え、ピット防止ができる。

循環濾過を行い、液中の固形微粒子を除去し、液を清澄に保つと同時に活性炭粉末を濾過機にプレコートすることにより、液中の有機不純物を除去できる。濾過は毎時3回転以上がよいとされている。

### 3) 電極 (陽極)

ニッケル陽極には、電解ニッケル、サルファーニッケル、カーボナイズドニッケル、デボライズドニッケルなどの種類がある。高電流密度で陽極がよく溶解するように、電解ニッケルを加工したものである。

陽極の形状には、電解ニッケルなど板状のものほかに、オーバル形、ピレット状、

ボタン状のものがある。陽極の溶解を正常に保つためには、陽極面積を大きくし、陽極電流密度を低くしてめっきするのがよい。そのためには、ピレット状、ボタン状などに加工した陽極ニッケルをチタンの籠に入れ、外側をアノードバッグで包んでアノードスライムが落下したり、液中に浮遊しないようにする。アノードスライムが液中に浮遊するとめっきにざらつきが生じる。

#### 4) めっき作業

ニッケルめっき液はそれぞれのめっき工場で決定した回数にしたがって定期的に分析する。これは、めっきする品物の形状、数量、めっき時間により異なる。

ニッケル陽極電流効率は100%に近いが、陰極電流効率は多少落ちるので、理論的にはニッケル濃度は少しずつ上がるはずであるが、実際は品物を取り出すときの液の汲み出しがあるので、濃度は下がる。そのため、ニッケルめっき後、めっき槽からめっき物を取り出し回収槽に入れて水洗いすると、汲み出し液を回収すればニッケル濃度はむしろ増大する。

光沢剤のうちで第二光沢剤は、使用電気量に比例して消耗するので、電気量より補給することができる。第一光沢剤は吸光光度法により分析し、調整する。

pHが低くなると、水素の発生が盛んになり、ピットを生じる。pHが高すぎると高電流密度部に焦げを生じやすく、内部応力が大きく、めっきは硬くなる。

陽極の溶解が正常な場合は、pHは少しずつ高くなるので、連続的にめっきする場合は、pHを試験紙で測りながら作業する必要がある。

pHを下げるには、希硫酸を添加するが、分析の結果塩化ニッケルが不足している場合は塩酸を加えてpHを下げる。

めっき作業中にpHが下がる時は、前工程からの酸の持ち込みか、陽極の溶解が悪いため、陽極表面に酸素が発生しているかのいずれかである。pHを上げるには炭酸ニッケルか水酸化ニッケルを水に混ぜて加える。

#### 5) 不純物の影響とその除去

##### 金属不純物

ニッケルめっき浴中には、前工程の液、めっき品より溶けだした金属、即ち、下地めっきの銅、鉄があり、槽底に落ちためっき品が溶けだしたり、低電流密度の裏側より溶けたダイカストの亜鉛などの金属不純物が入り、低電流密度部のニッケルの光沢が消え、灰黒色になる。

銅イオンは空電解を行うことにより除去できる。この場合、 $0.5\sim 1\text{A}/\text{dm}^2$ で電解する。

亜鉛イオンの混入は、銅イオンの場合と同様、低電流密度部が灰色になり、空電解で除去できる。除去率は銅に比べて低い。

鉄の汚染は、第一鉄 ( $\text{Fe}^{2+}$ ) が光沢不良をもたらす。第二鉄 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) はニッケル浴の



場合 pH4~4.5 により水酸化第二鉄  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  の沈澱として濾過除去され、空気攪拌により第一鉄は第二鉄に酸化されるので、大量に入らなければ大きな問題になることはない。多量の第一鉄イオンの混入があった場合は、作業を中断し、少量の過酸化水素を加え pH5 に上げ、攪拌しながら循環濾過すれば除去できる。

何等かの事故で油が混入したり、浴中の有機添加物の分解による有機不純物の蓄積が原因の光沢不良や、ピットの発生があった場合は、ほかにあけ替えることのできる槽を用意し、濾過機を通してめっき液をこれに移し、活性炭をここに入れて (2~3g/L) で 1 時間攪拌し、放置した後、上澄液を濾過機を通してめっき槽に戻す。めっき槽は、この間に清掃しておくことはもちろんである。この場合、あけ替えためっき液の沈降した活性炭沈澱部分はそのままにしておき、注意して清澄液だけを採取することが肝要である。

その部分の濾過を強行すると、必ず活性炭粉末がめっき液に入り、めっきのざらつきの原因になり、短時間にはとれなくなる。

活性炭処理により吸着除去された光沢剤の成分については、ハルセル試験をして不足分を調べ、追加補給しなければならない。

ニッケル浴の問題に次のようなことがある。

- a) 光沢範囲を広げるために高電流とするが、ピットが発生する。
- b) 角部や凸部に電流が集中し、ざらつきが出る。
- c) つきまわり不良が起こる。
- d) 光沢はよいが脆い。

これらのことは、いずれもめっき液に対し前記の処理をしておけば解決できる。

## (5) クロムめっき

クロムめっきは、外観が美しく、大気中で変色せず、硬度が高いため傷が付きにくく、大気中で変色しない。さらに塩酸以外の酸、アルカリに強く腐食しにくい。

しかし、ほかのめっきに比べて脆く、割れができやすいので、下地に銅、ニッケルなどのめっきをつける。このためクロムとしては  $0.25 \mu\text{m}$  程度の薄い皮膜でよいことになっている。この性質を利用してマイクロクラッククロムめっきのように微細な割れを作って素地の鉄の保護ができる方法も考えられた。

一方では、厚いめっきにより耐摩耗性の高い機械部品を作るのに利用されているが、これを工業用クロムめっきと呼んでいる。

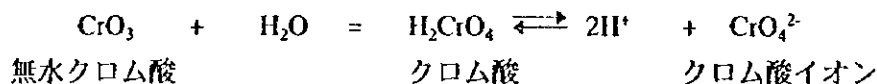
### 1) クロムめっき浴

クロムめっき浴の主成分は、無水クロム酸であり、いわゆる六価のクロムである。これに触媒根として硫酸を用い、日本ではサージェント (Sargent) 浴が普及している。

めっき浴組成とめっき条件を Table SI-4(3) に示す。

クロムめっきは、ほかの金属のめっきと異なり不溶性の陽極を使うが、鉛を主体とし、これに適度な硬さをもたせるためのアンチモンまたはすずを入れたものがある。

無水クロム酸は、水に溶けやすく、クロム酸となりクロム酸イオン（錯イオン）となる。



陽極が不溶性金属であるから、めっき作業とともに液中の Cr イオンは減少するので、無水クロム酸を補給しなければならない。

硫酸は触媒根として添加されるが、このほかふっ化物やほかの有機酸も使われたが、一長一短があり一般的ではない。

めっき浴の調整に当たって、低電流密度で電解すると硫酸が触媒として働き  $\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$  六価のクロムが還元され三価のクロムとなる。2~7g/L が適量といわれる。適量の三価のクロムを作って初めてクロムめっきがつく。このほか薬品により還元するか、三価クロムを含む化合物を添加することもある。三価クロムは光沢電流密度範囲、液抵抗、被覆力に影響する。

なお、陰陽両極とも鉛を用いる。

サージェント (Sargent) 浴は、普通浴と呼ばれ、無水クロム酸は 250g/L、硫酸は無水クロム酸の 1%、即ち 2.5g/L とされているが無水クロム酸の純度によっては硫酸を含有している場合があり、このようなときには硫酸量を減らす。

無水クロム酸の含有量が低い場合は、電流効率がよく、つきまわりもよいが、浴の電導度は低下する。高濃度の場合は、硫酸との比率はあまり影響しないが、すくい出しが多く排水処理問題が起きやすい。中濃度のめっき浴の場合、電流効率は最も大で硬いめっきが得られる。均一電着性は低濃度の方がよい。

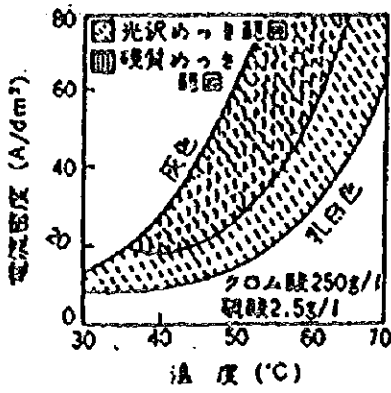
硫酸の無水クロム酸に対する比率は、重量比として 1:100 であるが、硫酸含有量の少ないときは被覆力が大きく、低電流密度でめっきが可能で割れの少ない析出となる。また硫酸が多いときは、光沢が良好で同一温度で電流密度を上げることができる。

浴温と電流密度の関係は、45~60℃、10~100A/dm<sup>2</sup> の範囲でよいめっきが得られるが、浴温が高ければ、高い電流密度がとれる。

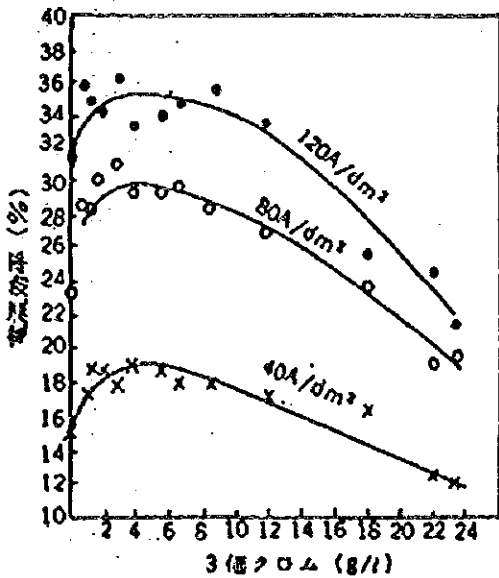
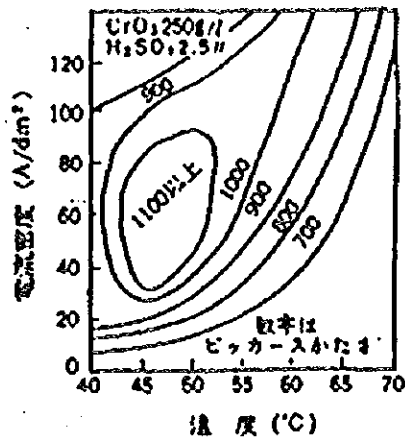
45℃で 10~25A/dm<sup>2</sup>、50℃で 15~40A/dm<sup>2</sup>

55℃で 25~60A/dm<sup>2</sup>、60℃で 40~100A/dm<sup>2</sup>

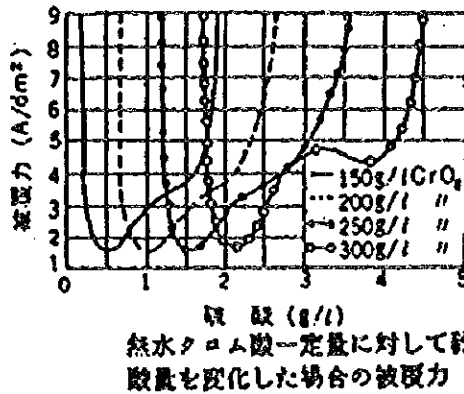
電流効率は、温度が一定のときは電流密度が大きくなるほど、一定電流密度では、温度が低いほど増大する。通常は電流効率は 10~18% の範囲である。



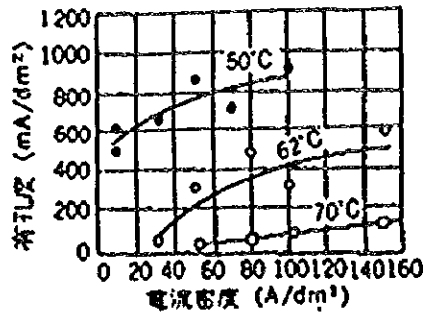
温度と電流密度と光沢の関係



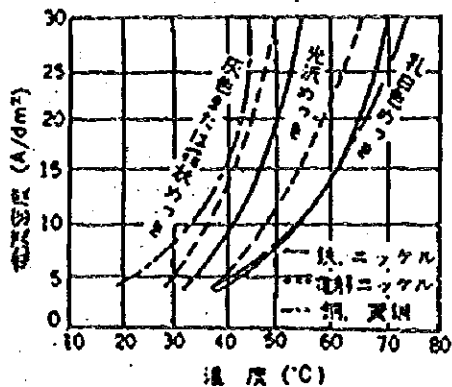
3価クロムの含有量と電流効率の関係



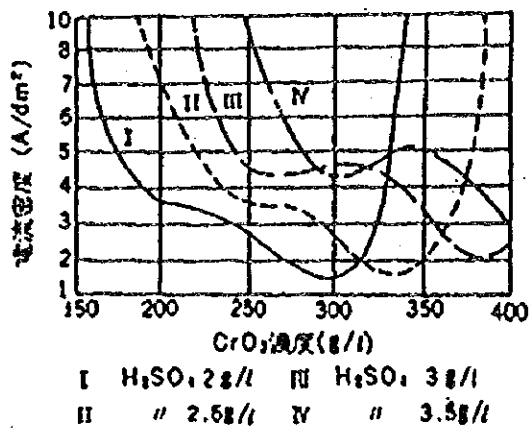
無水クロム酸一定量に対して硫酸量を変化した場合の被覆力



電流密度と有孔度との関係



光沢めっき範囲におよぼす地金属の形質 (CrO₃: 250g/l, H₂SO₄: 2.6g/l)



クロム酸濃度をかえた場合のクロム被覆力の変化

Figure S1-1 クロムめっき浴の諸条件

## 2) クロムめっき作業

### (a) 装飾クロムめっきの下地（素地と下地めっき）

装飾クロムめっきの下地は主としてニッケルめっきであり、鉄鋼、亜鉛合金、アルミニウム合金に対して防食上のめっきをすることは稀である。

クロムめっきを行うための下地ニッケルめっきを施す目的は、

- a) クロムめっきの欠点である被覆力の不十分さを補う。
- b) 防食的価値を高める。
- c) クロムめっきの厚づけは高価になる。
- d) 複雑な形状のものにクロムを厚くめっきすると、突出部や周縁が焦げる。

などの理由による。したがって、下地のニッケルめっきは十分に被覆した状態にし、無めっき部分がないように注意すること。耐食性の関点からすれば、ニッケルめっきは厚くしなければならぬし、できれば二層あるいは三層ニッケルめっきとするべきである。

### (b) 引掛け

引掛けはめっき浴中の品物に対し、ブスパーから電流を流すのであるから、

- a) 太い導体を使い、電流の損失がないようにする。  
主骨は銅の平帯あるいは線を使い、枝骨は品物とよく接触するようにばね式の接点とし、品物の形状を考えてデザインする。  
表面はPVCペーストレジン（あるいはフッ素樹脂等）で被覆し、枝線の先端だけ削り取って品物に接触できるようにする。ペーストレジンは密着力が低いので銅材の上に接着剤を塗しておく。
- b) 品物相互の電流分布の均一化を図り、重なり合ったり、接触しないようにする。同じ引掛けの周縁部にある品物には電流が集中しやすい。このような場合は、高電流密度部に焦げが生じたり、めっき厚さがほかの部分よりも大になる恐れがあるので、これを防ぐ方法を考える必要がある。
- c) ガスだまりができないようにし液のすくい出しのないような位置を決める。装飾クロムでは補助陰極はあまり使わないが、必要な場合は補助陰極あるいは補助陽極を使わねばならない。

### (c) 陽極

クロムの陽極は、液組成のバランス上使わない。市販されている鉛極板は、表面に凹凸の波が縦につけてあり、7%のすず、あるいは25~30%のアンチモンを含む鉛合金が使われる。

陽極と陰極の面積比率は1:1~2:1がよく、3価のクロムの生成に関係がある。陽極の表面は黒褐色の過酸化鉛の皮膜ができる。めっき作業が終了したら取り出して軽く

ブラシをかけ水洗しておくといよい。クロムめっき浴中に放置しておくとい黄色のクロム酸鉛に変化して電導性が悪くなる。

## (6) 亜鉛めっき

亜鉛めっきは、電気めっきのほかにはホットディッピング (Hot Dipping) またはガルバナイズング (Galvanizing) と呼ばれる溶融亜鉛浴があるが、めっき析出物の厚さ、結晶構造が違ふ。亜鉛めっきは鉄素地に対する自食作用のため、鉄の防錆法として従来使用されてきたが、最近では亜鉛自体の耐久性も考慮してクロメート処理を行うようになった。

クロメート処理液は、無水クロム酸あるいは重クロム酸ナトリウムを主体とする溶液で、これに亜鉛めっき後、被処理物を浸漬しクロメート皮膜を作ることをクロメート処理と呼んでいる。

クロメート皮膜には、光沢クロメート (青味を帯びた光沢皮膜)、虹光あるいは褐色の光沢のある有色クロメート、黒色または暗緑色のクロメート等があり、それらのクロメート処理液には各種の組成、濃度のものが使われている。

1950年代の朝鮮戦争の一時期に、ニッケル不足の時代があり、ニッケルクロムめっきの使用が制限され、その時、代用めっきとして亜鉛めっきのクロメート処理が行われるようになり、亜鉛めっきハンドルの自転車が生産された。

その後、ジープを始め自動車の防眩めっきの風潮が出て、暗緑色や黒色のめっきが行われるようになった。また家電製品、例えばTVのシャシーやTVアンテナ金具に虹色の濃い有色クロメートが広く使われるようになった。

その主な目的は鉄製部品に耐食性をもたせるための表面処理であったが、美観も加味され、クロメート処理皮膜の色調にも厳しい注文が出されるようになった。

クロメート皮膜がよい色調、光沢を出すには亜鉛めっき皮膜自体に問題があり、高純度の清浄な亜鉛めっきでなければよい光沢は得られない。

### 1) 亜鉛めっき浴

亜鉛めっき浴には、従来用いられてきたシアン浴があるが、シアンが有毒であることが知られ、低濃度浴を使うか、シアンを使わないジンケート浴、さらには酸化亜鉛浴、塩化亜鉛浴、ピロ燐酸亜鉛浴があり、そのほかほうふっ化亜鉛浴、アミン浴がある。

これらの亜鉛めっき浴にも低、中、高濃度浴があり、またクロメート処理液にも種々の組成がある。最も代表的なシアン浴を Table S1-4(4)に示す。

シアン浴も最近はその排水処理方法が確立され、正しいめっき工程と排水処理システムを使えば、無公害化されるようになり、シアンは再び使われるようになった。

シアン化亜鉛めっき浴は、めっき速度は遅いが、つきまわりはよく、浴管理は一番容易であり、めっきの展延性もほかの浴に比べてよい。前処理についても、脱脂が容易である。クロメート処理も容易であるが、鋳物へのめっきは酸性浴の方がよい。

## 2) めっき浴の建浴

シアン化亜鉛は水に溶けにくい。したがって可溶性のシアン化ナトリウム水溶液に攪拌しながら少しずつ溶かす。

まずシアン化ナトリウムの所定量を採取し、予備槽にめっき槽の容量の 1/3 量の水を入れて溶かし、次にシアン化亜鉛の必要量を秤取し、これに水を少量加えてペースト状にしたものを予備槽のシアン化ナトリウム水溶液中に加えて溶かす。

全量を溶かし終えたならば、次に亜鉛末 (zinc dust) を 1~2g/L 加え、液中に溶けている銅などの重金属類を置換析出させる。さらによく攪拌しながら活性炭粉末 2~3g/L を加えてから静置沈降させる。

その後、上澄液を濾過機により濾過しながらめっき槽に汲み入れ、水を加えて所定の液量にする。濾過機には助剤をプレコートしておくが、槽の底に吸引側のホースの先端をつけて濾過してはならない。活性炭粉末が微量でもめっき槽の中に混入すれば、めっきのざらつきが生じ、この除去には長い時間を要するから十分注意して作業を行うこと。

最後に、亜鉛めっき液の分析を行い、各組成、濃度を確かめ、同時に M 比を計算する。M=2.7 になるようにめっき液濃度を調整する。

めっき液は、ほかの銅めっき浴の場合と同様作業時間中は連続してよく濾過をし、液は清澄でめっき槽の底までよく透過できるようにしなければならない。亜鉛陽極も、アノードバッグをかぶせ所定の位置間隔通り吊ること。極棒は炭酸塩が固着するのでよく拭いておくこと。

陰極となる品物は、ひっかけにつけ、決められた電流密度 (少なくとも  $1\text{A}/\text{dm}^2$ ) でめっきし、規定された厚さになるよう計算した時間を守り、めっきが終わったならば、よく水洗し、クロメート処理液に入れる。この時、ひっかけにつけたまま入れ、液中でよく上下に揺り動かしクロメート皮膜の生成が均一となるようにすること。

クロメート処理後の水洗も同様である。できれば、この時の水洗槽も空気攪拌できるようにするとよい。クロメート後のクロム酸水溶液の汲み出しはかなり多量であるので排水処理に注意すること。クロメート処理後の品物は、熱風乾燥ないしは急速に天日乾燥すること。熱湯に入れると皮膜の一部が溶出するので色が淡くなる。乾燥前にクロメート皮膜に指を触れてはならない。

Table S1-4(1) 銅めっき浴組成およびめっき条件

硫酸銅浴		標準浴
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	g/L	200~250
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	g/L	30~75
金属銅	g/L	50~62
浴温	℃	20~50
D <sub>K</sub>	A/dm <sup>2</sup>	1~10 (陰極) 0.5~5 (陽極)
攪拌		空気またはカソードロッカー
陰極電流効率	%	95~100
陽極/陰極 (面積)		1:1
陽極板		電気銅
電圧	V	5V 以下

シアン浴		ストライク浴	中濃度
CuCN	g/L	20~45	60~80
NaCN	g/L	27~65	70~98
金属銅	g/L	14~32	42~56
Free NACN	g/L	5~15	5~10
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	g/L	30	15
KNAC <sub>4</sub> H <sub>6</sub> · 6H <sub>2</sub> O	g/L	60	45
KCNS	g/L	-	-
pH		10.2~11.0	12.4~12.6
浴温	℃	40~55	60~70
D <sub>K</sub>	A/dm <sup>2</sup>	1.0~2.5	8 以下(1~3)
攪拌		空気またはカソードロッカー	
陰極電流効率	%	30	80~95
陽極/陰極 (面積)		2:1	2:1
濾過		連続	連続
電圧	V	6V 以下	6V 以下

Table S1-4(2) ニッケルめっき浴組成およびめっき条件

		Watt 浴		無光沢浴
NiSO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O	g/L	240	300	150
NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	g/L	45	30~60 (45)	
NH <sub>4</sub> Cl	g/L			15
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	g/L	30	30~40 (35)	15
Brighteners				
pH		4.5~5.5	3.0~4.8	5.8~6.2
陽極電流効率	%	95~100	95~100	95~100
陽極/陰極 (面積)		1:1	1:1	2:1
電圧	V	6~12	6~12	4~6



Table S1-4(3) クロムめっき浴組成およびめっき条件

		Sargent 浴		
		低濃度	標準濃度	高濃度
CrO <sub>3</sub>	g/L	150	250	450
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	g/L	1.5	2.5	4.5
浴温	℃	40~50	45~55	45~60
D <sub>k</sub>	A/dm <sup>2</sup>	10~40	20~60	20~60
陰極電流効率	%	Approx. 13	Approx. 13	12~15
陽極/陰極			1:2	
電圧	V	4~15	4~15	4~15
陽極		Pb-Sb (7%)	Pb-Sb (7%)	Pb-Sb (7%)
Cr <sup>3+</sup>	g/L	2~7	2~7	2~7

45~60℃, 10~100A/dm<sup>2</sup>

45℃,	10~25 A/dm <sup>2</sup>
50℃,	15~40 A/dm <sup>2</sup>
55℃,	25~40 A/dm <sup>2</sup>
60℃,	40~100

CrO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:200/1 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.5%)

ワレ	少ない
低電流密度	可能
被覆力	大

CrO<sub>3</sub>: 100~500 g/L

	低濃度	250 g/L	高濃度
電流効率	よい	大	
つきまわり	よい		
電導度	下がる		
硬さ		大	大
すくい出し浴の変動	少ない (装飾)		
電着速度			大 (工業用)

100/1 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1%)

均一電着性	大
電流効率	大

50/1 (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2%)

光沢	良
光電流密度	可能

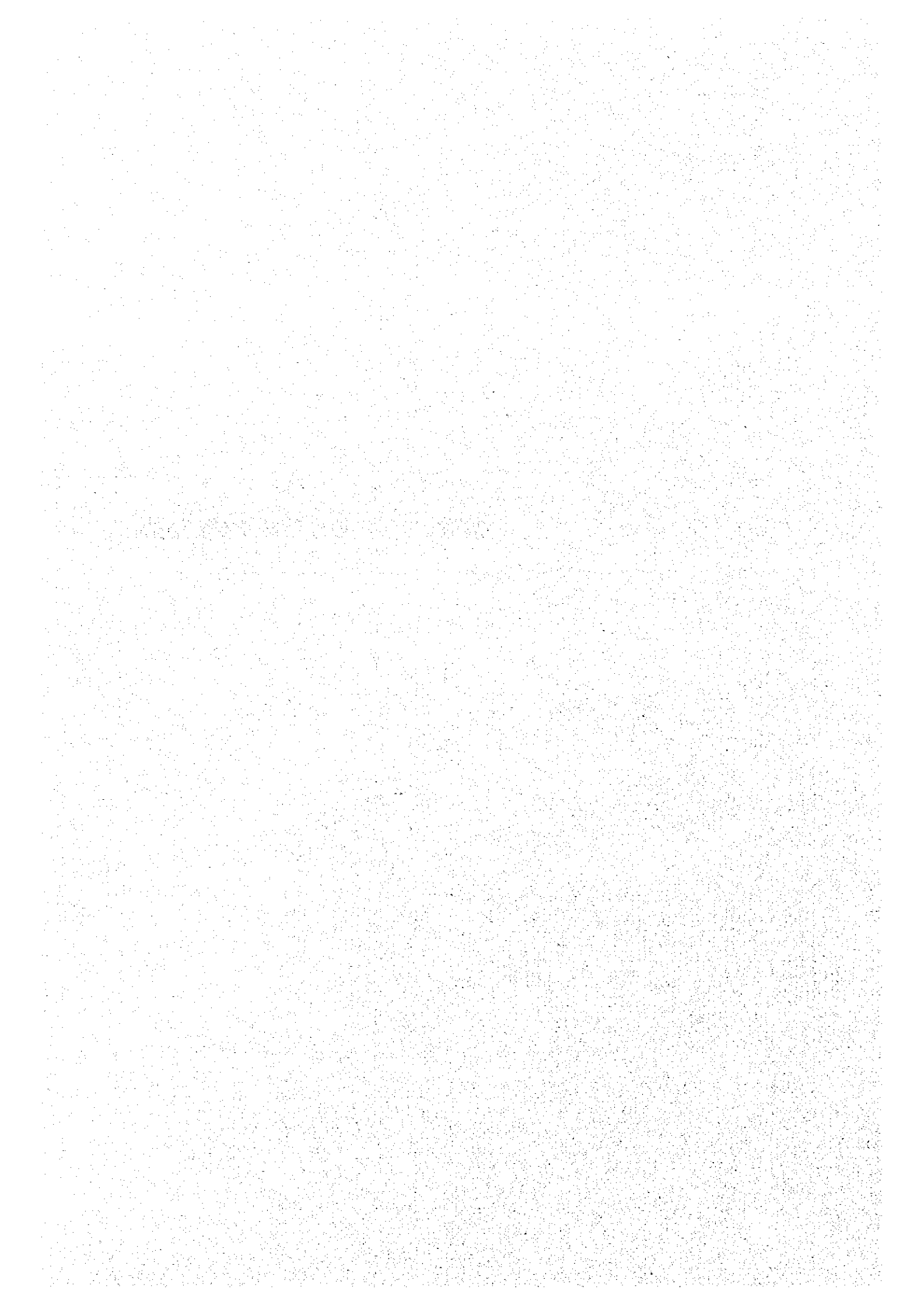
CrO<sub>3</sub> 300g/L : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 許容範囲が最も広い

Table S1-4(4) 亜鉛めっき浴組成およびめっき条件

めっき液組成			普通浴	
シアン化亜鉛	Zn(CN) <sub>2</sub>	g/L	60	
酸化亜鉛	ZnO	g/L		42
金属亜鉛	Zn	g/L	33.8	33.8
シアン化ナトリウム	NaCN	g/L	42	93
水酸化ナトリウム	NaOH	g/L	80	38
硫化ナトリウム	Na <sub>2</sub> S	g/L	0.005	0.005
チオ尿素	(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CS	g/L	0.5	0.5
添加剤		g/L		
全シアン化ナトリウム	T-NaCN	g/L	92.3	92.3
M 比			2.7	2.7
pH			13 以上	13 以上
浴温		℃		常 温
D <sub>K</sub>		A/dm <sup>2</sup>		2.1~3.1
電圧		V		6
Zn(CN) <sub>2</sub>	分子量：117		金属含有量：55.8%	
ZnO	分子量：81		金属含有量：80.3%	

## 補遺-2 めっき排水処理技術

---



## 補遺 2 めっき排水処理技術

### (1) めっき工程の改善

排水処理を確実に容易に行うためには、排水の発生源であるめっき工程が適正に管理されていることが前提条件になる。排水処理が不完全になる事例の多くは、めっき作業管理の不徹底によるものといっても過言ではない。

経済的に処理を行うためには、発生源である薬品、水洗水量を削減、回収を図ることが重要で、めっきコストの低減にもなる。

従来は洗浄に多量の水を使用し、排出された多量の有害物質と汚染された水を化学的に処理し、これによって生じた多量のスラッジを処理、処分していた。このため有用な薬品を多量の水とともに廃棄し、廃棄するのに多額の処理薬品を使用し、かつ発生したスラッジの処分にさらに多額の費用をかけていた。最近海洋投棄の禁止、埋立の投棄場所がなくなっているため、価格の高騰ばかりでなく、処分の可否が危ぶまれている。公害対策費が水のコストアップ、環境規制の強化にともない年々上昇し経営を圧迫してきている。

経済的な排水処理は、いかに排水量を少なくするかにある。排水量を低減し、薬液の持ち出しを少なくし、老化廃液の減少、薬品、水の回収再利用を図ることにより資源の節約と公害防止処理費の低減が可能となり、処理の信頼性を高めることができる。

#### 1) リサイクルとクローズドシステム

めっき工程から排出される有害な排水に含まれる物質は、各処理工程で処理を行うための有価物質である。この有価物質が水洗によって希釈されることにより有害となるもので、排出された薬品、洗浄に使用した水をすべて回収、再利用できれば経済的であるし、無排水、無公害となる。

自然循環システムでは蒸発量が水洗水量以上なければならず、工業用クロムめっきの一部以外では不可能である。

一般的に蒸発量に比べ水洗水量の方が多いので、水量を蒸発量以下に少なくするために各種濃縮機を用いて強制的に循環するシステムが用いられている。Figure S2-1 に循環システムを示す。

#### 2) 水洗

水洗とは希釈である。部品に付着している前工程の液を次の工程に差し支えない程度まで希釈するのが目的である。必要以上に多量の水で希釈すれば、後工程の液の汚染は少なくなるが水量が多くなり、水の無駄と同時に排水処理も不経済となる。少なすぎれば後工程の液を汚染してしまう。水洗水の許容汚染度は各工程で異なる。即ち、脱脂の後酸洗の前の水洗は、酸洗液は脱脂液の持ち込みによる汚染に対し敏感でないので、希釈を多くする必要はないが、めっき液は汚染に敏感であるので、めっき前の水洗は希釈を大きくしなければならない。したがって各工程での水洗はそれぞれ必要な希釈を行う

に必要な水量に制御しなければならない。

調査した会社の多くが溜水、一段水洗あるいは流し掛け水洗であって、めっき品質から、また排水処理の面からも水洗を根本的に改善する必要がある。

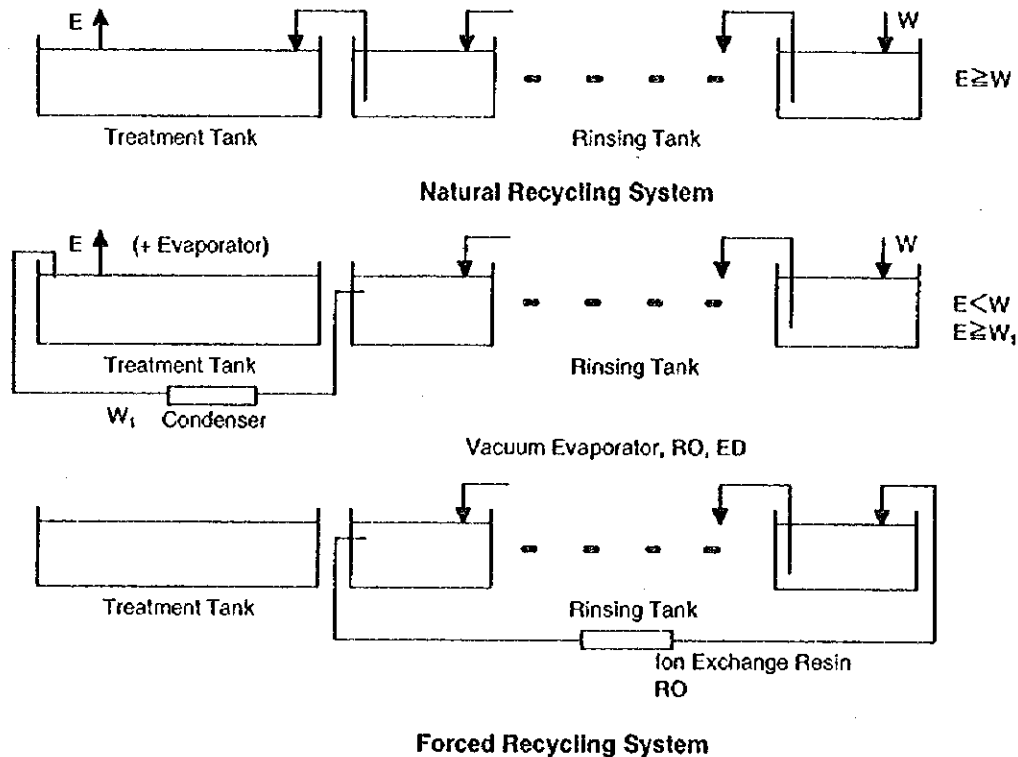


Figure S2-1 循環システム

### 3) 節水の原則

水洗に必要な希釈を行うために必要な水量は、持ち出される薬液の量、即ち、液濃度と持ち出される液量、および水洗方式によって異なる。

液濃度は作業に差し支えない範囲で低濃度にする、めっき液を回収する、液の回収はできるだけ濃厚な状態即ち少量で回収する。このため空槽の上で液切り、少量のスプレー水洗により回収、また回収槽を用いて回収する。回収液を濃縮してめっき液に戻したり、回収液から金属を回収して金属濃度を下げることにより、回収液濃度を下げ水洗槽への持ち出しを減少させる。Figure S2-2 に回収方法を示す。

液の汲み出し量を少なくするには、液の表面張力を下げる、引き上げ速度を遅くする、液切りを十分に行う、引っかけ方を考慮することにより行われる。Figure S2-3 に汲み出し量におよぼす因子を示す。

水洗方式により最終水洗水の汚染度を同じにするために必要な水量が大幅に異なる。一槽のみの水洗は莫大な水量が必要となり、二段にすれば極端に少なくてよく、三段に

すればさらに低減させることができる。多重と多段では多段の方が水量が少なくて済む。したがって少なくとも二段、できれば三段向流水洗にすべきである。多段パッチは最も水量が少なくてよいが、最終水洗水濃度即ち始めの水洗水のあげ換え時期の管理が一般に困難である。Figure S2-4 に水洗の理論式を、Figure S2-5 に向流水洗における段数による水量の差を、Table S2-1 に水洗方式による水量の相違例を示す。

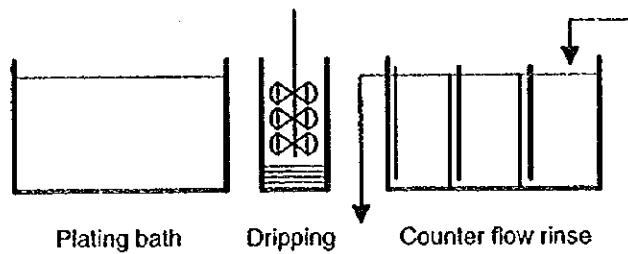


Figure S2-2 回収方法

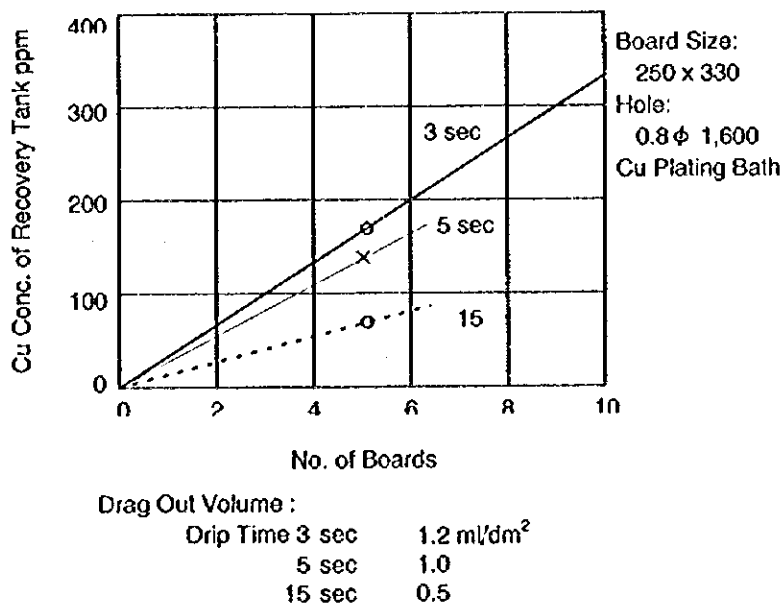
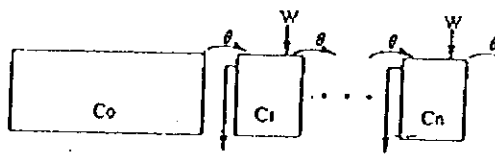


Figure S2-3 汲み出し量と液切り時間

I. Multiple-Step Rinsing

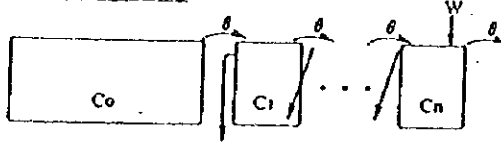


$C_0$  : Concentration of Bath  
 $C_{1-n}$  : Concentration of Rinse Tank  
 $\theta$  : Drag out Volume  
 $W$  : Volume of Water supply

$$C_0 / C_n = (1 + W / \theta)^n$$

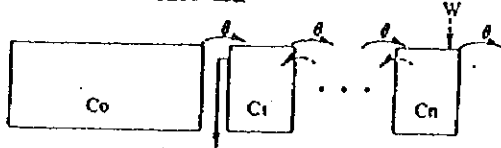
$$W = \theta \sqrt[n]{C_0 / C_n} - \theta$$

II. Counter Flow Rinsing



$$C_0 / C_n = (W / \theta)^{n+1} - 1 / (W / \theta) - 1$$

III. Batch Multiple-Step Rinsing



IV. Counter Flow Rinsing and Circulation by Ion Exchange Resin

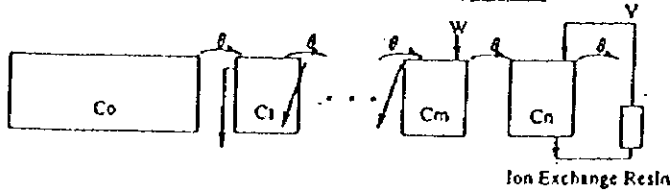


Figure S2-4 水洗理論

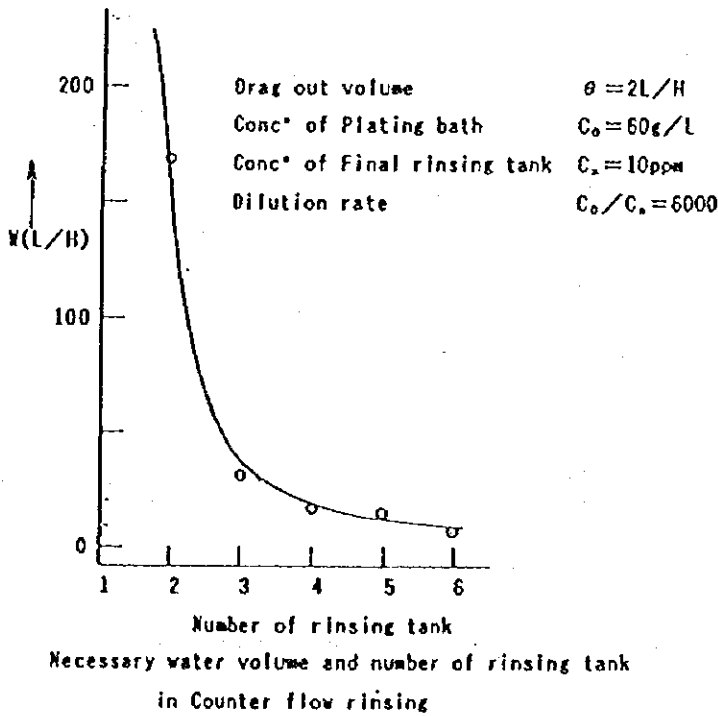


Figure S2-5 向流水洗における水量



Table S2-1 水洗方式による水量の相違

Θ: 2 L/H x 6,000 Dilute			x 60,000
Number of rinse Tank	I	II	IV (2 Stage Counter)
1	12,000 L/H		
2	304	154 L/H	
3	102	36	21 L/H
4		18	

スプレー水洗では、平板で 15ml/dm<sup>2</sup> の水量で約 90% の洗浄が可能である。向流水洗の各段の間にスプレー水洗を入れると 50% 以上の節水ができる。Figure S2-6 にスプレー水洗の効果を示す。

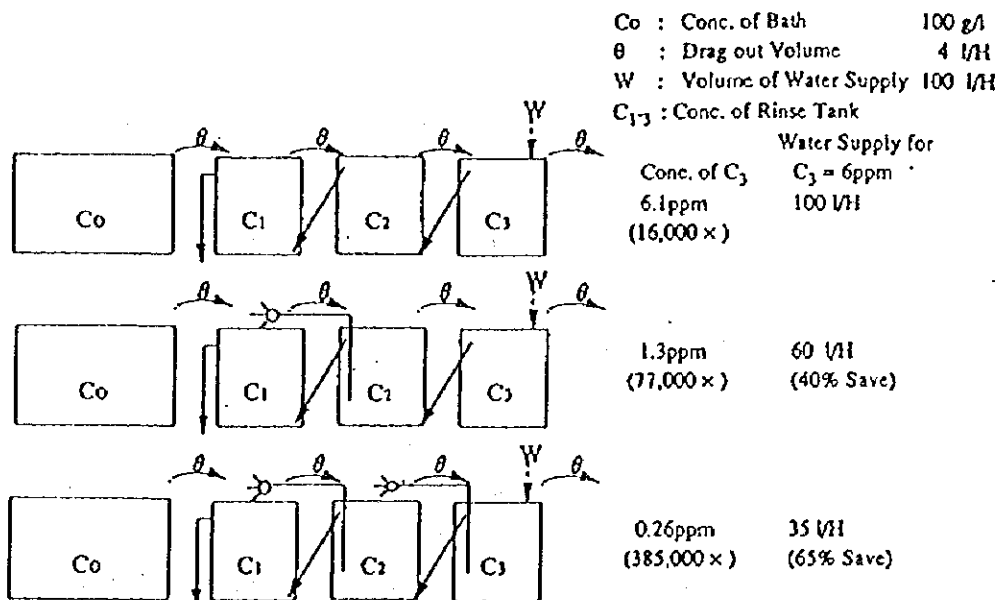
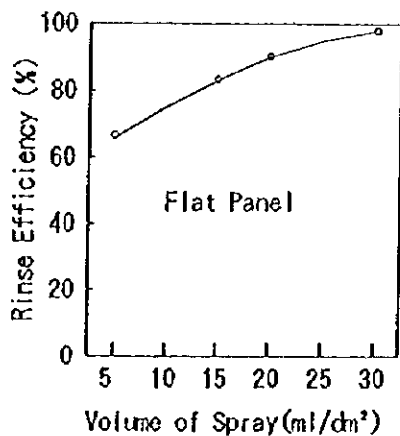


Figure S2-6 スプレー水洗の効果

## (2) 処理技術

めっきの排水処理は、対象となる有害物質の種類が多く、有害成分によって処理法が全く異なる。シアンとクロムの処理では、シアンは酸化分解であり、クロムは還元処理であるため、シアン系排水にクロム系排水が混入したり、クロム系排水にシアン系排水が混入すると、混入したシアン、クロムが全く処理できずに排出されてしまう。

また酸、アルカリ系排水にこれらが混入しても処理されずに放流されてしまう。

シアン排水に酸洗排水のような鉄イオンを含んだ排水、ニッケルめっき排水のようなニッケルイオンを含んだ排水が混合すると、鉄あるいはニッケルのシアン錯体が形成され、これらの錯体の処理が極めて困難であったり、別の処理をしなければならない。

その他重金属含有排水とキレート含有排水が混合されると、金属がキレートを作り通常の pH 調整では処理されず重金属が放流される。金属のキレートを含む排水は特別の処理をしないと重金属が処理できない。これらの錯体が生成されないよう排水の分別を確実にしなければならない。

排水は水量的に大部分を占める濃度の薄い水洗水と、間欠的の排出される液量は少ないが、濃度の高い更新液および回収液がある。処理排水の濃度の平均化を計るため、濃厚液を希釈水と混合して処理する。

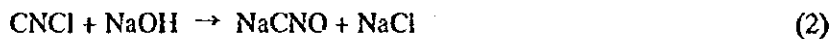
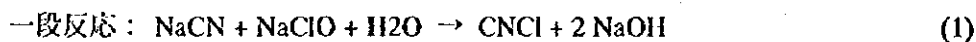
### 1) シアン系排水の処理

シアンの処理には、アルカリ塩素法による酸化分解、鉄塩によるシアンの無毒錯塩化、電解酸化、酸燃焼分解、加圧加水分解、活性汚泥による分解、オゾンによる酸化分解、アルデヒド、ケトン、酸性通気による分解処理等があるが、アルカリ塩素法が最も確実な方法として広く行われている。鉄錯塩はこの方法では処理できないので、鉄塩による無毒錯塩化で、濃厚液には電解法、加熱分解法が用いられている。

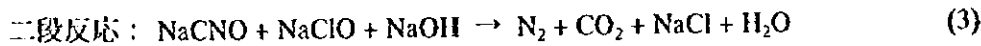
アルカリ塩素法は、アルカリ性のもとで塩素を用いてシアンを酸化分解する方法である。かつては塩素ガスを水に溶解して使用していたが、取扱の容易さから NaClO 溶液が用いられている。

NaClO によるシアンの処理は、シアンを CNO に分解する一段反応と、CNO をさらに N<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> に分解する二段反応の二段階で行われる。

シアン排水に NaClO を添加すると、



(1)式の反応で生ずる CNCl はなお毒性のあるガスで、これはアルカリで容易に(2)の反応で加水分解して(2)式に示すように CNO になる。したがって毒性の揮発性の CNCl を発生させずに CNO とするには、pH を 10.5 以上に保つ必要がある。



(3)式の反応は pH が高いほど遅く、pH7.5~8.0 で 10 分程度である。

シアン 1g を処理するに必要な  $\text{Cl}_2$  の理論量は一段反応の CNO までで 2.73g、二段反応の  $\text{N}_2$  と  $\text{CO}_2$  までには 6.83g 必要で、NaClO 中の有効  $\text{Cl}_2$  は約 10~12% であるので、それぞれ約 27g、68g が必要となる。

NaClO の添加量の制御は ORP によって行う。液中に酸化体と還元体が存在する中に不活性電極を浸漬すると、液中の酸化体と還元体の活量（濃度）比に比例した電位が発生する。対極に基準となる比較電極を入れると、両極の間に電位差が生じる。この電位差（ORP）は

$$E = E_o + 0.05916/n \cdot \log [\alpha_o] / [\alpha_r] - 0.05916 \text{ pH} \quad (4)$$

$E_o$  は標準酸化還元電位で、反応系で決まる常数、 $n$  は反応に預かる電子の数、 $\alpha$  は活量系、 $O$  は酸化体、 $R$  は還元体。

Figure S2-7 に  $\text{Cl}_2$  による CN の分解と ORP を示す。

CN を含む溶液に ORP 電極を入れると、CN は還元体のため負の電位を示す。この液に酸化剤の NaClO を添加すると、添加量に応じ CN が酸化され酸化体の CNO になるため、液中の  $[\alpha_o] / [\alpha_r]$  は増加する。CN のすべてが CNO になった時点で電位の飛躍的増加が見られる。この液に NC が入ってくると電位は低下する。したがって急変する電位を設定電位とすれば、NaClO の添加を制御することができる。ORP は(4)式に示すように pH により変化するので、ORP 制御の際同時に pH も制御しなければならない。

CN のみでは  $\text{Cl}_2$  が CN の 2.73 倍で CN は CNO となる。CN 溶液に Cu が存在すると、金属も酸化されるため  $\text{Cl}_2$  が若干余分に必要になる。Ni、Fe の錯体が存在すると、遊離 CN が分解したところで ORP が飛躍的に上昇する。これらイオンは妨害イオンとなるので、混入を避けねばならない。

Zn、Cu めっきのライニングしていない鉄槽、鉄部品を槽内に落としたまま放置すると鉄シアン錯塩が生成する。スリ・ランカでは塩化ビニール板の溶接ができないためこれらの槽が鉄槽のままであるが、溶接技術を導入しライニングするか、スリ・ランカでも可能な FRP にすることが望ましい。

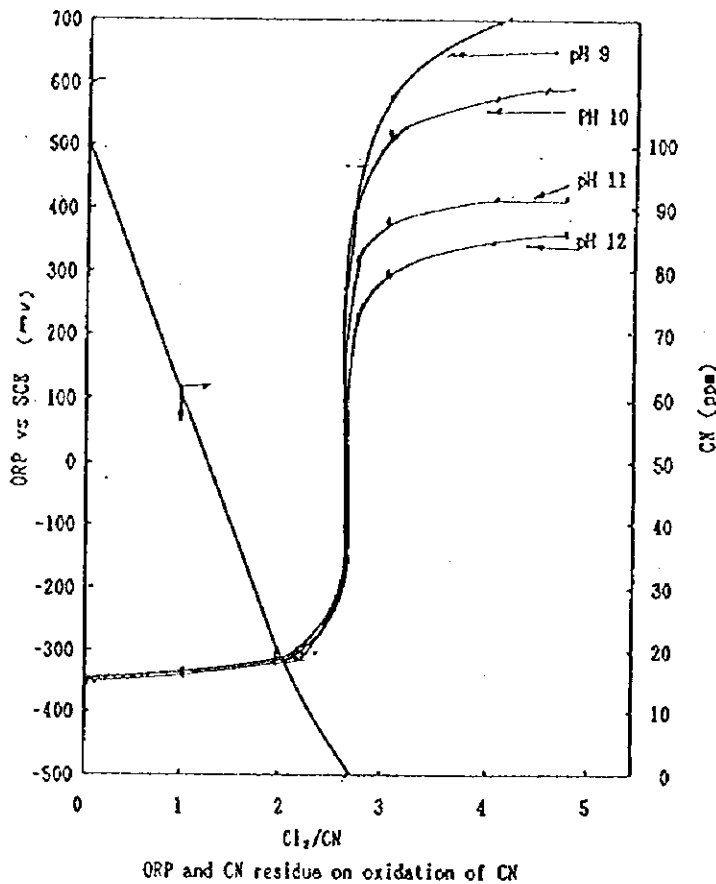


Figure S2-7  $Cl_2$ によるCNの分解とORP

一段反応におけるORPは

$$E = 0.97 + 0.03 \log \frac{[CNO]}{[CN][OH]}$$

制御は、pH:10.5~11.0、ORP:300~350mv

二次反応におけるORPは

$$E = 1.36 + 0.03 \log \frac{[Cl_2]}{[Cl]}$$

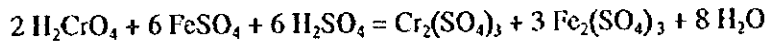
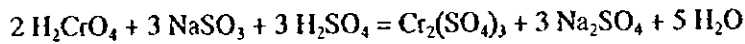
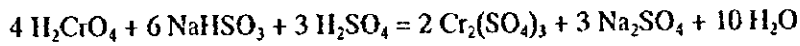
制御は、pH:7.0~8.0、ORP:600~650mv

酸化剤が過剰であると $Cr^{6+}$ の還元後の排水と混合されたとき $Cr^{3+}$ が酸化され $Cr^{6+}$ に戻るため、 $NaClO$ の適正添加量の制御が必要である。

## 2) クロム系排水の処理

クロム系排水の処理は、まず還元剤を用いて $Cr^{6+}$ を $Cr^{3+}$ に還元した後、アルカリを加えて $Cr(OH)_3$ の沈澱を作り、沈澱分離する。

還元剤には NaHSO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>、FeSO<sub>4</sub>・7H<sub>2</sub>O であるが、NaHSO<sub>3</sub>が一般に用いられる。



CrO<sub>3</sub> 1kg を還元するのに要する薬品量は

NaHSO <sub>3</sub>	1.56kg	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.74kg
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1.89kg	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.47kg
FeSO <sub>4</sub> ・7H <sub>2</sub> O	8.43kg	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.94kg

CrO<sub>3</sub> はアルカリ性では CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、酸性では CrO<sub>7</sub><sup>2-</sup>が生成する。CrO<sub>7</sub><sup>2-</sup>は容易に還元されるが、CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は還元されにくいので、酸性で還元処理を行う。

pH が低いほど反応が早く進行する。pH2.5~3.0 で行う。NaHSO<sub>3</sub>の添加により pH があるので H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を加えて一定にする必要がある。還元剤の添加の制御は ORP で行う。

還元剤が過剰になると、次の Cr(OH)<sub>3</sub>の沈澱の生成が妨害されるので適正添加の管理が必要である。

Cr<sup>6+</sup>の溶液の中に ORP 電極を入れると、Cr<sup>6+</sup>は酸化剤であるので、ORP はプラスを示す。これに還元剤を入れていくと、Cr<sup>6+</sup>濃度が減少し、還元されて生じた Cr<sup>3+</sup>濃度が増加していき、[Cr<sup>6+</sup>]/[Cr<sup>3+</sup>]は減少していき、Cr<sup>6+</sup>のすべてが還元された時点で電位の急激な減少が起きる。再び Cr<sup>6+</sup>が入ってくると、[Cr<sup>6+</sup>]/[Cr<sup>3+</sup>]が増加する。したがって急激に減少する電位のところでは制御すればよい。

還元反応は pH:2.5~3.0、ORP:200~250mv で行う。

還元で生じた Cr<sup>3+</sup>はほかの重金属同様アルカリを加えて Cr(OH)<sub>3</sub>の沈澱として排水から分離する。Figure S2-8 に還元剤添加による Cr<sup>6+</sup>の処理における ORP の変化を示す。

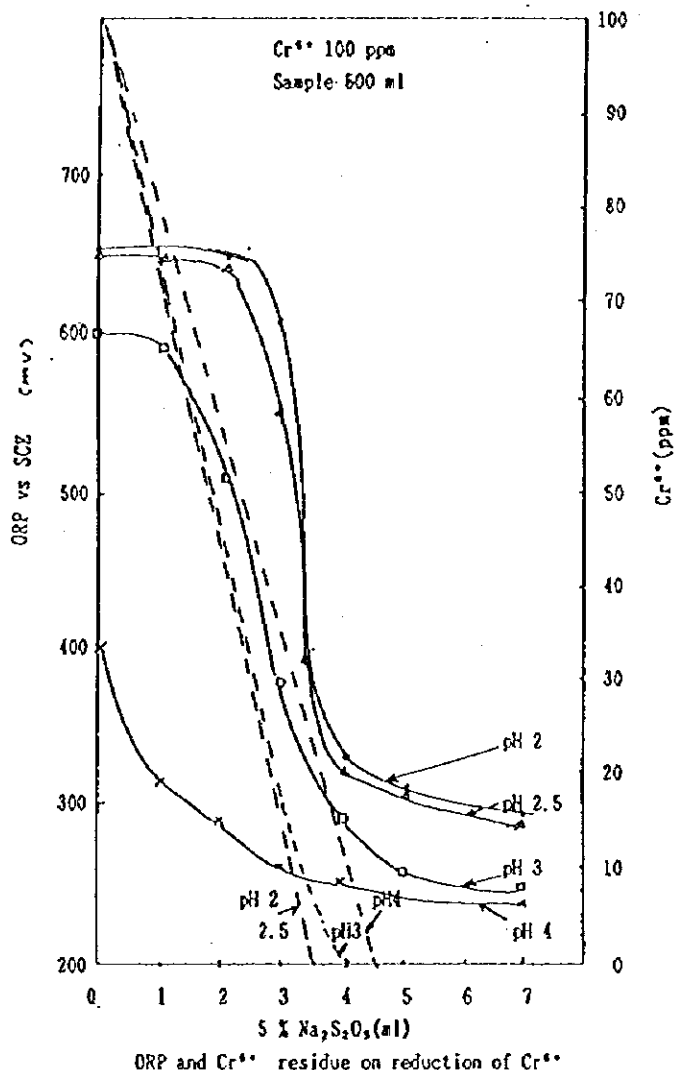
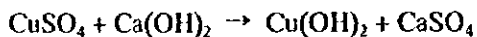
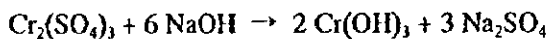


Figure S2-8 還元剤添加による Cr<sup>6+</sup> 残量と ORP

### 3) 重金属排水の処理

重金属イオンは通常 pH 調整により水に難溶性の金属水酸化物を生成させて、凝集沈降により排水と沈澱を分離し、上澄み液または濾過水を排水の規制値に中和した後放流する。



pH 調整のためのアルカリには NaOH あるいは Ca(OH)<sub>2</sub> が用いられる。Ca(OH)<sub>2</sub> の方が沈澱の沈降性がよいが、溶解度が小さいため沈澱が多くなる。NaOH と Ca(OH)<sub>2</sub> を混合して使用する場合もある。

金属を金属水酸化物として除去するための pH 領域は、金属の種類および使用するアルカリの種類によって異なる。

Zn, Cr, Al は NaOH を用いた場合、pH が高くなるとコンプレックスを作って再溶解する。Zn は 11 以上、Cr は 11.5 以上で再溶解するが、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  を用いれば再溶解がない。通常 pH9.0~9.5 で行なう。

pH 調整によって生成した金属水酸化物はその沈澱を粗大フロックとし、沈降速度を大きくするために凝集剤を用いる。通常有機高分子系アニオンまたはノニオン系が多く用いられる。粗大フロックは破壊され易いので、強い攪拌、ポンプ、落差による移送は注意しなければならない。

沈降分離槽は排水量の 3 時間以上の容量とし、汚泥が引き抜ける機構を設ける。

規制値が厳しい場合は、沈降槽の上澄水に含まれる金属水酸化物をさらに精密に除去する必要があり、砂濾過等で濾過する。

スラッジは濃縮機で濃度を約 3 倍以上に濃縮し、脱水機はフィルタープレスあるいは真空脱水機で含水率 80% 以下に脱水する。