



慶應義塾大学ビジネス・スクール

バッテリー業界とリサイクル

5

新産業電池株式会社の環境保全部長である村上氏は、インタビュアーの質問に対して次のように説明した。

「自動車バッテリーのリサイクルにかかるコストは、回収費用や解体、再精錬費用など決して小さくはありませんが、バッテリーを製造・販売している以上、これらのリサイクル費用の負担も当然のこととされています。しかし、本当に我々自動車バッテリーメーカーだけが負担しなければならないのでしょうか？」

10

例えば、自動車バッテリーの原材料となる鉛の再精錬費用を考えてみて下さい。鉛は、原料となる鉱石から高純度な鉛にするために精錬を行って初めてバッテリーに利用できるようになります。そして、一度精錬した鉛をリサイクルのために再精錬するのも、初めて鉛を精錬する設備で同じように出来ます。

15

我々自動車バッテリーメーカーは、回収したバッテリーに入っている使用済みの鉛を、鉛を精錬・販売している企業に引き渡して、同時に再精錬手数料を支払っていますが、この手数料は特にバッテリーの回収業者の経営を継続させるためのものです。従って、儲けの少ない回収業者が鉛のリサイクルのために新たに増設した設備のための充当という意味もあります。

20

しかし、処女鉛を精錬している企業は、本来リサイクルのための新規設備投資が必要ないので、我々自動車バッテリーメーカーから再精錬手数料をもらう必要はないのです。逆に言えば、再生鉛を自前の処女鉛の精錬用の設備で処理することで、鉛の精錬企業はリサイクル費用の一部を負担できるはずなのです。」

25

1. 事例の経緯

本事例は慶應義塾大学経営管理修士の石川禪が同大学の姉川知史の指導の下に、クラス討議の資料として作成したもので、経営管理の適否を例示することを目的としたものではない。

30

©1998, Keio University, Graduate School of Business Administration

1) 鉛リサイクルの推移

自動車バッテリーに含まれている鉛のリサイクルは、鉱物資源としての鉛が次のような特徴を持っていたことから、バッテリーメーカーによるサポートが無くとも、市場メカニズム
5 によって一時期には98%のリサイクル率^{注1}まで達成し、『リサイクルの優等生』とまで言われるほどであった(表1)。

表1. 鉱物資源リサイクルにおける鉛の優位性^{注2}

-
- 10 a) 精錬が容易(従来の鉛精錬工程で除去できる不純物だけを含む)
b) 耐食性がよくて飛散せず、金属として回収可能(劣化しないために原理的には半永久的に使用できる)
c) 集荷、販売ルートが確立済
d) Sbを含むものはそのまま電池用となる
15 e) バッテリーの比較的単純な構造と鉛含有量の大きさ(自動車用は約10kg)
f) 処女(Virgin)原料の価格が割高
(処女鉛価格:最高時22万円、同時期再生鉛価格:9万円)
g) 鉛の加工処理が簡単なものであることから、回収や再加工が容易
-

20

しかし、旧共産圏において軍事物資として大量に備蓄されていた鉛が、1992年頃から外貨獲得のために大量に市場に放出されたことや、円高の急激な進行によって処女鉛の価格が大幅に下落しはじめたため再生鉛の相対的な優位性が薄れてきた。

さらにメンテナンスフリー(以下MF)^{注3}バッテリーの需要の増加に伴って、再生鉛に対する
25 需要が処女鉛にシフトして、再生鉛の需要は激減した。例えば、国内における自動車用バッテリーのリサイクル率は、1990年には90%であったが、1993年度には約60%にまでリサ

注1 日本蓄電池工業会が算出・公表しているバッテリー製造における再生鉛の利用率のこと。

一次精錬および再生鉛メーカーが収集した再生鉛の量を、国内におけるバッテリー販売量から新車搭載分を除いた、実質的な取り替え需要量で除して計算されている。

30 [鉛のリサイクル率 = 再生鉛の使用量 ÷ (蓄電池販売総量 - 蓄電池新車搭載分)]

注2 社団法人資源・素材学会資源リサイクリング部門委員会『資源リサイクリング』日刊工業新聞社、1991.10.25発行

注3 メンテナンスフリーとは、それ以前までのバッテリーのように希硫酸を追加注入する必要がないバッテリーのことであり、これによりユーザーはバッテリー液の補充をする必要がなくなった。

イクル率が低下した。

この環境変化によって、再生鉛の市場価格が下落（東京市況における最低時の売買価格：約7万円弱）してバッテリーから鉛を取り出しても、再生鉛メーカーや回収業者は利益が得られなくなった。このため、再生業者は転廃業を余儀なくされることとなり、1990年には約40社あった再生鉛業者は、20社程度にまで減少してしまった。

また生き残った再生業者も、それまで買い取っていた使用済のバッテリーを、逆有償つまり廃棄する側が廃棄のための費用を支払う形でなければ引き取らなくなっていった。

2) 各種法規制

1990年前後において自動車バッテリーを含む各種の廃棄物の問題が顕在化するにつれて、廃棄物に関連する日本国内外の法規制や取り決めが次々に制定されてきたが、以下の規制をその代表例として挙げることができる。

a) 有害廃棄物の越境を規制する国際条約（1989.04発効、通称：バーゼル条約）

1994年3月、有害廃棄物の輸出入規制を強化することが、ジュネーブでの国際会議において決定された。自動車バッテリーはこの条約の中で有害廃棄物に指定されたために、1998年度から原則として、使用済みのバッテリーなど有害廃棄物を先進国が発展途上国に輸出することが全面禁止となった。

b) 再生資源の利用の促進に関する法律（通称：リサイクル法）

当該法律の目的は、「主要原料の大部分を輸入に依存しているわが国において、近年再生資源の発生量が増加し、その相当部分が利用されないで廃棄されている状況から、資源の有効な確保を図り、廃棄物の抑制および環境保全を行う」ことにある。

ここでいう『再生資源』とは、「一度使用され、廃棄された物品のうち、有用なものであって、原材料として利用することが出来るものまたはその可能性のある物」となっており、また事業者の責務を「（製造、販売、加工などの）事業を行う者は、再生資源を利用するよう努めると共に、廃棄された後その全部または一部を再生資源として利用することを促進するよう努めなければならない」と定めている。

一方国民には、「消費者は再生資源の利用を促進するよう努めると共に、国、地方公共団体および事業者が、この法律の目的を達成するために行う措置に協力するものとする」ことが求められている。

5 c) 廃棄物の処理および清掃に関する法律（通称：廃掃法）

当該法律は、「廃棄物の排出を抑制し、廃棄物の適正な分別・収集・運搬・再生・処分などの処理をして、国民生活の向上を図ることを目的とする」ためのものであり、『廃棄物』は「占有者が自ら利用し、また他人に有償で売却できないために不要になったもの」、特に『産業廃棄物』は「事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃えがら、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類その他政令で定めるもの」と定義されている。

事業者は、「その事業活動に伴って生じた廃棄物を自らの責任において、適正に処理しなければならない。その製品、容器に係わる廃棄物の適正な処理の方法についての情報を提供するなどにより、廃棄物になった場合に適正な処理が困難にならないようにしなければならない」とされ、国民は「廃棄物の排出を抑制し、再生品の使用などにより廃棄物の再生利用を図り、廃棄物を分別し排出するなどにより廃棄物の減量その他適正な処理の施策に協力しなければならない」となっている。

20 d) バッテリーメーカーの取り組み

リサイクル率の低下と有害廃棄物の輸出規制から国内におけるバッテリーの放置が増加すると判断した厚生省の担当セクションは、通産省に対してカーバッテリーのリサイクル率を上げるように要請し、これを受けた通産省は上記の各種法規制とともに、1994年10月、廃バッテリーによる環境汚染の防止と資源の有効活用を業界に促したのであった。

25 各自動車バッテリー製造企業は、通産省からの通達を受けてリサイクル率向上のための基本方針を以下のように掲げ、リサイクル率の向上に努めることとした。

- (1) 系列の販売店を利用し、新たに回収ルートを構築する。
- (2) 使用済バッテリーからの再生鉛を市況価格より高値で買い上げる。

30 回収ルートは、既存の回収業者の他に、販売店などが使用済品を無償で引取で回収するという商品流通経路を遡るルートを利用し、また再生された鉛を蓄電池メーカーが積極的に再利用する事で円滑なリサイクルフローを促そうとした（図1参照）。

バッテリーのリサイクルコストの負担は、消費者から費用を徴収する方式ではリサイクル

率の一層の低下を招く恐れがあり、逆に使用済品を買い取る方法では廃掃法の規制に合致しなくなってしまう。

従って、『現状では蓄電池メーカー各社の負担無くして、本件のような環境問題の円滑な解決はおぼつかないことを鑑み、処女鉛より高価な再生鉛の活用を積極的に行うこととした』^{注4}。

5

一例を挙げれば、処女鉛価格が1995年2月以降の急激な円高とも重なって急落し、大口の電池各社の実際購入価格は73,000円前後であったが、代表的な再生鉛である三号故鉛の市況価格は、85,000円程度だった。

蓄電池メーカーは、この再生鉛の価格に回収費用として1トン当たり15,000～20,000円程度上乘せした1トン105,000円前後を買取価格としたが、このプレミアムは、回収業者の経営を継続させることが出来る最低利益額から算出されたと考えられた。

10

2. 蓄電池メーカーの現状

15

上述の取り組みによって、鉛のリサイクル率は回復の兆しを見せたが、日本国内でバッテリーを製造している企業、すなわち新神戸電機、日本電池、古河電池、松下電池工業、湯浅電気工業の5社にとっては、リサイクルの費用負担が増大した。

例えば、新神戸電機では「処女鉛と再生鉛の価格差は環境に対するコストとして割り切った」としているが、国内で年間に出荷される自動車用バッテリーは鉛量換算で約27万トン(H.6.9～H.7.8実績)であり、メーカーはその全量回収を目標としているため、仮に市況価格より1トン2万円高く購入するとして計算すると、総額54億円を負担しなければならない換算となった。

20

さらに、バブル崩壊後のデフレ傾向のため、低価格品に対する需要が増加してノーブランドの海外輸入品が低価格で日本国内市場に浸透し、国内需要量の約10%にまで売上を伸ばしてきていた。

25

自動車バッテリーの輸入品と国産品との区別は簡単にはつかないため、国内各社は再生費用同様、売上シェアに比例して輸入バッテリーも回収する方針をとった結果、バッテリーの輸入が増えるごとにシェアの減少とシステム維持費用の増大という二重のダメージを受ける

30

注4 (社)日本蓄電池工業会『自動車用および二輪車用鉛蓄電池のリサイクルについて』

構造になっていた。

さらに、厳しいシェア争いのために最終製品価格へのコスト転嫁が容易には出来ないために、海外からの輸入品に対する国内蓄電池メーカーの競争力がますます低下する^{注5}という悪循環に陥っていた。

5 3. 自動車用バッテリーの市場環境

1) 蓄電池の種類

電池には、ニッカド電池やリチウム電池といった、寿命がきたら使い捨てる一次電池と、
10 外部から電気を注入、充電して再び放電が出来る二次電池、すなわち蓄電池（バッテリー）の
2種類が存在する。

蓄電池の電極板には、1860年の蓄電池開発当初から鉛が使用されており、日本では「バッ
15 テリー」といえばすなわち「鉛蓄電池」を指すことになっており、この「バッテリー」とは、
供給する側（+）と受け取る側（-）の一組を指すため、野球のバッテリーの語源にもなっ
ている。

鉛蓄電池の現在の最多の最終用途は、自動車やオートバイの始動用であり、世界中の蓄電
池全体の生産高の約70%を、この自動車用が占めている。

また、自動車は電圧よりも大電流を必要とするために鉛蓄電池が非常に有用であったこと
20 から、積極的に自動車用として使われるようになり、大きさや重量も改良を重ねて現在のよ
うな自動車に適切な小型で比較的軽量な形に至っている。

次いで用途として多いのが非常用電源（約13%）としてであり、フォークリフト、ゴルフ
カート、電気自動車などの電動車輛用が約10%、一次電池（＝乾電池）と競合するポータブ
ル機器用が約5%を占めている。

25 なお、蓄電池全体の生産高に対する割合は、約80%が鉛蓄電池、約20%がニッケル・カド
ミウム（アルカリ）蓄電池となっている。

2) 鉛蓄電池の利点

30 現在生産されている蓄電池のほとんどが、鉛蓄電池とニッケル・カドミウム蓄電池で占め

注5 日本蓄電池工業会発表、日本産業新聞 1995年 5月12日朝刊

られているが、これは、これまで各種の新型電池の開発が活発に行われてきたにもかかわらず、性能と経済性の点で勝る新型の電池が現れないためである。この鉛蓄電池の利点には、次のような項目を挙げることが出来る（表2）。

5

表2. 鉛鉛物の蓄電池製造原料としての優位性^{注6}

-
- a) 活物質も放電後の生成物も実質的に不溶性であり、電極の構造が安定に保たれる。 10
 - b) 正負両極の反応が本質的には同じ化学物質、つまり鉛、硫酸、および水によって行われる。従って、正極と負極を分離しておくための特別なセパレータが不要である。
 - c) 充放電反応の可能性が高く、副反応が起こりにくいため80%以上のエネルギー効率が容易に出せる。 15
 - d) 2Vのセル電圧は、現在市販されている水溶液系の電池では最高である。
 - e) 反応物（Pb、PbO₂、H₂SO₄）の電動性が比較的高い。
 - f) 鉛の硫酸中での耐蝕性が高い。
 - g) 作動温度範囲が広く、通常-20～+50℃の範囲で使用でき、場合によっては-40～+70℃まで使える。 20
 - h) 材料が安価で、入手が容易である。
 - i) 電池の製造工程、保守・管理、使用法が簡単である。
 - j) 比較的安価で、かつ信頼性が高い。
-

25

またこの他にも、使用済みのバッテリーから鉛を取り出すことによって、簡単に再生鉛として全く劣化しない鉛を利用できるリサイクルシステムが、日本において実現していることも重要だと考えられる。

30

注6 社団法人資源・素材学会資源リサイクリング部門委員会『資源リサイクリング』日刊工業新聞社、1991.10.25発行

3) 日本における鉛蓄電池製造

日本における蓄電池の製造は、1884年に京都市河原町の一角の工場で、京都帝国大学の教授の指導のもと、鉛蓄電池の製造ならびに手直しが始められたのが始まりとされる。

- 5 日本の鉛蓄電池が世界的に注目されるようになったのは、1920年の島津源蔵の島津式鉛粉製造法の発明に基づくが、これは鉛の小塊を空気気流中でボールミル形式で粉砕する方法であった。この製造法によると、鉛蓄電池としての特性の優れた亜酸化鉛粉が容易に得られ、そのためこの製造法は日本はもちろん世界各国の特許として登録された。

- 10 また、これによって日本の鉛蓄電池の製造技術は飛躍的に向上し、すでに1920年代に日本の鉛蓄電池の品質は、先進欧米諸国の製品を上回って世界一となった。

鉛蓄電池の生産量は、以前から鉛の使用量によって表わされてきたが、これはいろいろなサイズの製品があるために個数での表示では実態が把握できないためであり、これはタイヤの製造量がゴム量で表されるのと同様の方法である。

- 15 第2次世界大戦終了直前の鉛蓄電池の生産量は年産2,000トンであったが、終戦と同時に軍需が消滅して年産1,000トンとなり、その後の自動車産業の急激な発展と足並みをそろえるように生産量が急増して、1957年には戦前の生産量である年産2,000トンの水準に戻り、1996年では年産300,000トンに達している。

また、現在日本で鉛蓄電池を生産しているのは、新神戸電機（株）、日本電池（株）、古河電池（株）、松下電池工業（株）、湯浅電気工業（株）の5社となっている。

20

4) 鉛蓄電池の性能向上

- 25 日本企業が作るバッテリーの性能は、1960年代以降の日本の急激な自動車産業の発展とともに著しく向上し、現在も着実に改善が進められてるが、この性能の向上は、主に使用材料の軽量化、電池構造の合理化、活物質（電池反応物質）の利用率の向上によってもたらされた。

- 30 例えば1960年頃には、バッテリーの重量当たりのエネルギー密度の向上や電極の薄型化によって、バッテリーにおける鉛の使用量が低減された。また、1975年頃には自動車の発電機がDCダイナモからオルタネータに転換されたことなどで、電池の電力負担域が大幅に削減され、バッテリーの所要容量が少なくて済むようになり、小型化及び鉛使用量の低減につながった。

カーバッテリーの進歩の上で画期といえるのが、メンテナンスフリー型電池（MF電池）の開発であり、これは、それ以前までのバッテリーのように希硫酸を追加注入する必要がないため、ユーザーの夢とまで言われていた。

バッテリーメーカー各社は、蓄電池にこれまで使用していた鉛-アンチモン合金を鉛-カルシウム合金に代えることによってMF電池の開発に成功した。このMF電池は1975年から生産が始まったが、もう一つの特徴として、自己放電率が小さいという特性も兼ね備えていた。

MF電池の普及率は米国では50%を超えている。日本や欧州の普及率は10%強と推定されているが、今後急速に普及が進むものと考えられる。そのためには、より一層の小型、高性能、高信頼性で、かつ低コストのメンテナンスフリー型電池の開発が必要となってくる。

ただし、これまでのバッテリーに使用していた鉛-アンチモン合金は、中小の再生鉛メーカーが用いる乾式加工によっても作れるが、MFバッテリーに必要な鉛-カルシウム合金は、一次精錬メーカーや大規模な再生鉛メーカーの大型施設を利用した湿式加工によらなければならない。

このため、既存の中小の再生鉛メーカーからの再生鉛の買上量は年々減少してきている。仮にそれらの企業が、鉛-カルシウム合金を供給しようとするれば、湿式加工のための大規模な設備投資が新たに必要となることになる。

5) 自動車用バッテリー

バッテリーの耐久年数は自動車用で1.5~4年とばらつきが大きいですが、平均すると2.5年で買い換えられていると考えてよい。ただし、暖冬が続くとバッテリーの交換が進まず、需給バランスが崩れることもある、と業界内では言われている。

自動車用バッテリーには、まず第一に小型かつ軽量でエネルギー密度が高いことが必要である。これによって車に搭載することが簡単になる。次に、安全性も重要で、漏液しないこと、爆発しないこと、熱変形しないこと、振動や衝撃に対して頑丈なこと、使用済みの廃電池の処理が誰にでも出来ることが求められる。

さらに、自己放電率が低く長期間放置できること、蓄電池の内部抵抗が低く充電効率が高いこと、低温での出力特性が高く始動性能がよいことも重要であり、同時に寿命が長く製造コストが低いことが要求される。

特に近年海外からの輸入品が日本市場に増加したために、この輸入品に対抗するため製造コストは出来る限り低くしなければならず、大量生産によるコストダウンが可能なカルシウム合金が原料として好まれている。

また、最近の傾向としては、蓄電池への希硫酸の追加注入が必要ないメンテナンスフリー
5 (MF型)であることが、ユーザーに対しての重要な訴求ポイントとなっている。

1975年から20年の間に、数多くの新種蓄電池の開発が、多額の資本と多くの人員の投入のもとに行われてきたが、これらの開発は電気自動車、ロードレベリング、コードレス電源
10 など新しい用途に向けてのものがほとんどであって、新しい自動車用蓄電池の開発を直接目指した例は皆無に等しかった。

これはつまり、現在使用されている鉛蓄電池の構造が非常に優れていて、改善する余地がほとんど無い為であった。そして、現在のような自動車の始動用電池（カーバッテリー）が
15 すべて鉛蓄電池で占められる状況は、当面は続くであろうと考えられている。

15

4. 鉛の供給状況

1) 国内精錬メーカーの現状

20 鉛の一次精錬とは、鉛鉱石を精錬して鉛の地金を作ることを指し、日本国内では東邦亜鉛、三井金属鉱業、三菱マテリアル、日鉱亜鉛の4社による事実上の寡占状態になっている。

国際相場商品である鉛は、地金価格、鉱石価格、精錬会社の取り分である精錬手数料のすべてが原則的にドルベースで決められているが、円高の影響で日本の精錬会社の円換算の収入は減少している。加えて、鉱石需給が締まっていることから鉱石価格が上昇し、このため
25 ドルベースの精錬手数料自体も減る傾向にある。

このような状況下において、1994年、三菱マテリアルと日鉱亜鉛が、鉛の一次精錬事業から撤退して東邦亜鉛に生産委託することを決定した。

国内生産の採算が悪化している精錬の生産性を向上させるには、設備操業率を上げる必要があるのだが、鉛は主要な顧客である自動車生産が海外にシフトしているために、国内需要の
30 大幅な拡大が望めず、しかも精錬設備への初期投資が膨大であるために海外移転が容易に進まないことから、業界全体で集中生産することにしたものといえる。

1995年には三井金属鉱業も自社生産を諦めたため、日本では唯一の実質的な一次精錬

メーカーとなった東邦亜鉛の青木常務は、「生き残りのために原料などの川上分野と加工などの川下分野を強化し、トータルでの黒字化を目指す」と語っている^{注7}。

一方、三菱マテリアルの子会社である細倉製錬は、鉛地金の94年度の月間生産量1800トン^{注8}のうち半々だった鉱石と廃バッテリーの使用比率を、できるだけ早く廃バッテリー100%に切り替える方針を明らかにした。このためには、廃バッテリーを壊して鉛と硫酸、プラスチックなどに分解する前処理に数千万円の設備投資を行っていくと発表した。

同様に、三井金属鉱業の子会社の神岡鉱業は、廃バッテリーからの鉛地金の商業生産技術にめどをつけ、1995年の2月から再生鉛の製錬事業を開始した。

鉱石からの地金精錬では焼結、溶鉱などの工程を経て粗鉛、さらに電解して電気鉛を作るのに対し、バッテリーからの再生では、使用済みの鉛を溶解し、電気製錬でアンチモンなどの微量成分を取り除いた後で、合金にしてバッテリーメーカーに戻す。国内で発生する廃バッテリーを利用するため円高の影響がなくなり、安定した製錬手数料を確保できるものとしている。

リサイクル事業自体は収益面で課題は多いが、

- a) 収益が為替変動に左右されない
- b) 国内の雇用が確保できる
- c) 国内設備は減価償却が終わっているためコスト競争力がある
- d) 産業廃棄物処理料などの処理手数料が入るなどの利点が考えられる^{注9}。

上記のメリットの実現には、バッテリーメーカーによる回収ルートの確立や、非鉄金属各社による廃家電・自動車からの非鉄金属の再生システム^{注10}の構築が鍵となると思われる。

2) 鉛を含む鉱物資源を取り巻く現況

日本は地質学的には鉱物資源に恵まれた国と考えることが出来る。しかし、鉛の国内埋蔵量に比べると、非常に多量の鉛地金を我々の経済活動において消費するため、国内生産のみで供給することは困難となり、結局海外輸入品に頼ってしまうことになっている。

注7 日経産業新聞 1995年5月17日付 朝刊

注8 日経産業新聞 1995年4月21日付 朝刊

注9 日経産業新聞 1995年8月15日付 朝刊

注10 非鉄金属各社の閉鎖済みの自社鉱山や精錬所を、回収した非鉄金属の再生に利用して国内の雇用確保と資源リサイクルの実現を目指す取り組みで、通産省が1996年から進めている。

しかも、現在推定されている世界の鉛の埋蔵量と年間の鉛生産量から鉛の可採年数を割り出すと、計算上ではあと15年ほどで鉛鉱石は枯渇する。そのため、地層の深層部や深海の海底部など、発見・採掘の困難な場所に採掘現場を移行させなければならなくなっており、資源開発や処理加工に莫大な資金が投入されることになる。つまり、供給不足と投資コストの増大から、資源価格が将来的には上昇することが見込まれる。

日本では、鉛を採取・精錬して供給するコストが高くなったために、国内生産品の価格が海外からの輸入品の価格を上回り、結果的には鉛供給の海外依存率が80%を超えるほどにまでなってしまった。

しかし、鉱物資源の有限性と将来価格を考えると、人類が末永く資源を活用し続けるためにも、資源の節約を実現する「資源リサイクル」が不可欠である。

5. 再生鉛メーカーと鉛リサイクルの問題

1) 鉛の再生プロセスと再生鉛メーカーの経営状況

処女鉛の地金価格が高かった時代には、割安な再生鉛への需要も継続的に存在していたため、再生鉛メーカーの経営も比較的容易であった。

その理由としては、以下の2点が挙げられる。

- 鉛の融点が327℃と低く、酸化しにくいというえに鉄と溶け合わないため、鉄鍋を用いて溶融することが出来、大規模な設備投資をせずとも再生鉛の製錬が容易であること
- 溶鉱炉による亜鉛精錬法（ISP）では、鉛と亜鉛の同時精錬が可能であるため、両者のスクラップや混合ドロス、スラッジなどを炉頂から装入して回収できる^{注11}というメリットが存在したこと

鉛を再利用するルートは2つあり、1つは鉛を精錬したり加工したりした時に発生するくず鉛を回収して再精錬するルートであり、もう1つは廃バッテリーから鉛極板を取り出して再利用するものである。

精錬時のくず鉛を利用する場合は、一次精錬業者の鉛地金をつくる工程において発生するため、結局自社内で再利用されることが多く、トタン板などの最終製品を作った時に残る鉛くずなどは、回収業者に引き取られて再生鉛メーカーに集荷される。

注11 日本化学会著『(一億人の化学5) リサイクルのための化学』大日本図書、1991.10.16

廃バッテリーから鉛をリサイクルするプロセスは、回収、解体、選別、鉛製錬、精製の5つから成っており、まず廃バッテリーを、回収業者が、a) 廃車業者、b) 中古車業者、c) 電装業者、修理・解体業者、d) GS (ガソリンスタンド)、e) 量販店 (オートバックス等) などから集めて再生鉛メーカーに持ち込む。

再生鉛メーカーでは、廃バッテリーから希硫酸を抜いて、電槽を破砕機で壊し解体する。この段階でバッテリーは鉛とプラスチックに大別され、破砕されたプラスチックは、別の処理業者燃料などに利用するために転売されることになる。

極板、極柱、電槽、蓋などに使用されている鉛は、溶解炉に入れられて溶解炉の上部に浮いてくる不純物を取り除かれたり、焼却釜で燃やされたりして、純度を高められてインゴットの形にされ、故鉛の軟鉛として再びバッテリーメーカーに販売される。

ただし、バッテリーメーカーによっては自社内での処理が少なくすむアンチモン鉛での納品を要求するために、アンチモン加工を施す場合もある。この場合は、通常の鉛の取引価格に10,000円/t程度の上乗せになって、再生鉛メーカーの重要な収益源となる。

しかし、近年の処女鉛価格の下落とともに、一次精錬メーカーしか作れないカルシウムバッテリーへの需要増加によって、再生鉛メーカーの作る軟鉛やアンチモン鉛への需要が減ったため、再生鉛メーカーの経営は圧迫される一方となってきている。

鉛の再生事業に最低限必要なコストは、回収や処理場までの輸送費が約7,000円/t、溶解炉に約50百万円、環境基準達成のための設備投資としておよそ300百万円、さらに人件費や売上金回収までの運転資本、処理施設用の土地の取得などがある。ある企業はバッテリー換算で

$$2,000 \text{ 個/日} \times 10\text{kg/個} \times 20 \text{ 日/月} = 400\text{t/月}$$

の採算を取るためには、最低でも4万円/tのメーカーからの支払が必要ともいう^{注12}。

2) 鉛のリサイクルにおける問題

バッテリーには電解液として希硫酸が使用されており、これが鉛を含んだまま地表や地下水に流入して人体に入った場合には、健康被害をもたらすことがある。

例えば、日本の使用済みバッテリーは、環境規制の格差と日本の再加工処理に必要な人件費の高騰のため、一部が台湾の再生工場に輸出されていた。しかし、工場周辺の地域住民の

注12 著者インタビューによる

血液中の鉛濃度が非常に高くなって健康被害が出るという事件が発生した。

台湾政府は、この事件をきっかけに廃バッテリーの受け入れに関して硫酸入りのものを禁止するなどの対応措置を1990年に実施したが、日本はその後規制のないインドネシアに輸出をはじめ、結局インドネシアでも同様な被害をもたらした。

5 このような有害廃棄物の国際間でのたらい回しが、先進各国と発展途上国の間で後を絶たないため、現在ではバーゼル条約によって有害廃棄物の越境が禁止され、各国が自国内で廃棄物を処理しなければならないように規制されるようになった。

10 前述の村上氏は鉛のリサイクル事業を次のように説明する。

「鉛を含む天然資源の埋蔵量は有限ですから、人類が消費することによって確実に減少し、その傾向は近年強まる一方です。しかも、ローマクラブの報告によって「成長の限界」が示されたにもかかわらず、この傾向は続いています。今後、発展途上国での資源消費量が経済発展と共に増加していくことを考えれば、人類が将来にわたって永久に資源を利用し続ける

15 ことは不可能だと考えました。

一方、産業廃棄物や都市ごみの中には再利用可能な物質（二次資源）が多量に含まれておりますが、これらを地上に堆積し続ければ、やがては我々の生活環境が破壊される恐れがあります。

20 これらのことから、鉛のリサイクリングを進めて再生資源を最大限に活用していくことは、「資源の延命」と「生活環境の保全」という、我々が直面する2つの問題解決につながるのです。地球規模で考えて、未利用の一次資源の有限性を考えれば、リサイクルが実施されなければならないと思います。」

25 「今、資源保存や資源の有効利用の観点からリサイクルが期待されていますが、鉛のリサイクルが経済的に成り立つのであれば、それも可能になるでしょう。

………環境保全を目的とした場合、一次資源を処理して同一の原料や材料を生成する場合に比べて、運搬費・設備費・処理費などを含めた総経費が高くつくことになっても、安全な環境が保たれる効果を考慮してリサイクルされなければならないのです。」

<問題の要約>

1. 鉛バッテリーを例として、資源リサイクルが抱えている問題は何か？
2. 問題を解決するためにはどのような方策が考えられるか？
3. 2の解決策に対して、下記の様々な利害関係者はどのように反応すると考えられるか？

5

—利害関係者—

- 鉛の一次製錬企業
- バッテリーメーカー（国内及び海外）
- バッテリー販売店
- 一般消費者
- 使用済バッテリーの回収業者
- 再生鉛メーカー

10

4. 資源のリサイクルは一般社会にとってどのような意味をもつか？
またリサイクルを定着させるためには、どのようにすればよいか？

15

20

25

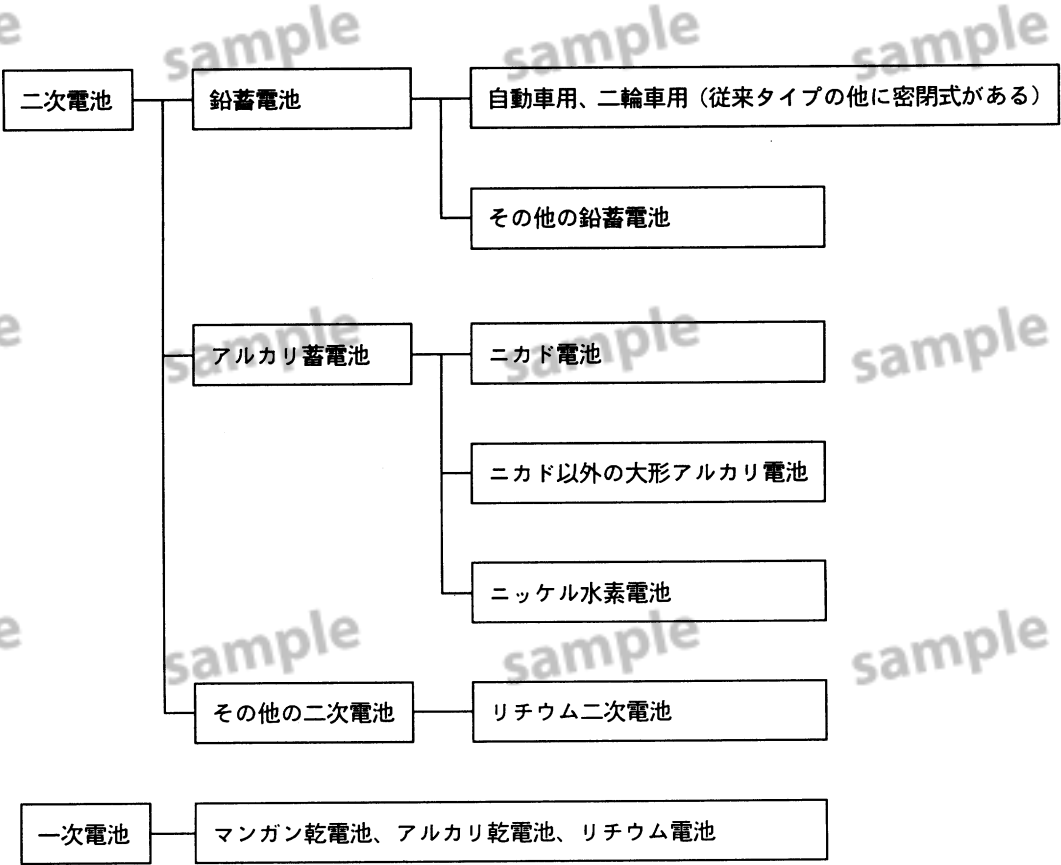
30

自動車用及び二輪車用鉛蓄電池の概要

1. 電池の分類

私たちの身の回りでは、いろいろな電池が使われている。一般に電池と言われるものは、一次電池、二次電池およびその他の電池に分類することが出来る。二次電池は、電池内の電気を使用（放電）後に充電して、再び使用できる電池の総称である。一般に使用されている二次電池は、使用されている材料から、鉛蓄電池とアルカリ蓄電池に大別される。鉛蓄電池は、陽極（正極）に鉛の酸化物、陰極（負極）に海綿状鉛、電解液として希硫酸を使用した電池である。その中で、最も多く使用されているのが、自動車用、二輪車用鉛蓄電池で、バッテリーと通称されている。自動車用鉛蓄電池は建設機械用、農機用など、種々の用途にも使われている。

図 電池の分類



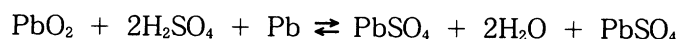
2. バッテリーの内容

(1) バッテリーの原理

バッテリーの公称電圧は、単電池あたり2Vで、6Vまたは、12Vのモノブロック電池として日本工業規格に制定されている。

バッテリーの充放電は、両極の活物質の酸化・還元反応により行われる。充電状態においては、陽極（正極）活物質は二酸化鉛（ PbO_2 ）、陰極（負極）活物質は海綿状鉛（ Pb ）である。放電すると、陽極活物質は還元され、また陰極活物質は酸化され、それぞれ硫酸鉛（ PbSO_4 ）になる。電解液は、放電すると、硫酸（ H_2SO_4 ）が消耗し、水（ H_2O ）が生成される。充電では、放電の時と逆の変化が起こる。以上の電気化学反応を式で表すと、次の通り。

放 電



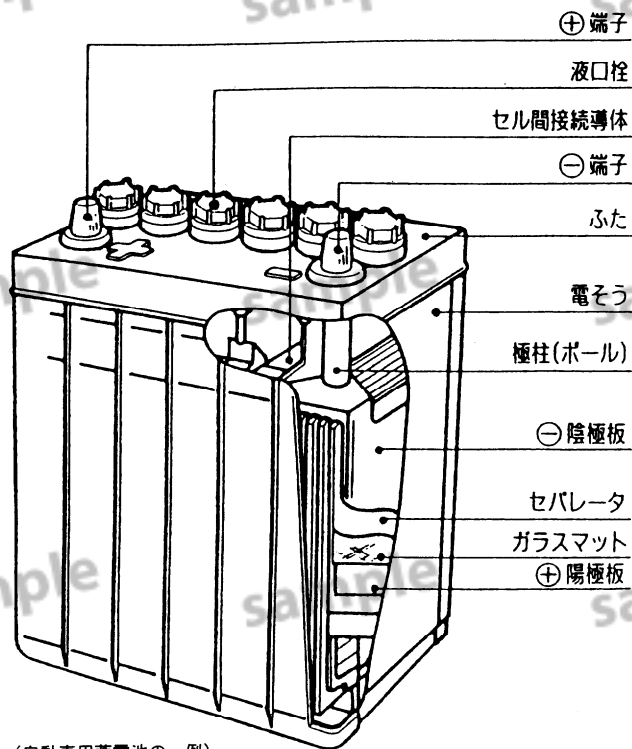
充 電

蓄電池は、一般に余分な充電をすると、酸素ガス及び水素ガスの発生を伴う。密閉式バッテリーの場合は、充電時に発生するガスがバッテリー内部で処理されるように工夫されており、密閉構造にすることが可能になっている。

(2) バッテリーの構造

従来タイプ、密閉式とも基本的な構造は同じで、次のようになっている。

構成部品	内 容
極 板	陽極（正極）板は鉛酸化鉄、陰極（負極）板は海綿状鉛を主体としたもの。各極板の格子は鉛合金。
セパレータ	パルプ繊維、合成繊維などを材料としたもので、ガラスマットと併用することが多い。密閉式は微細繊維マットを使用。
電 解 液	希硫酸。密閉式はセパレータと極板に保持され流動しない。
電 槽 ・ 蓋	合成樹脂
安 全 弁	密閉式に組み込まれているもので、耐酸性ゴムからなり、内部の異常上昇期にこの弁が開かれバッテリーを保護する。
端 子	テーパ方式、リード線、ボルト・ナット方式など。



(自動車用蓄電池の一例)

図 バッテリーの構造

(3) バッテリーの要領

バッテリーはエンジン始動用だが、経済性に富み汎用性があることから、各種の電源として使われている。自動車用および二輪車用バッテリーは、日本工業規格 JISD5301 - 1991、JISD5302 - 1991 に規定されている。

5

(出典：(社)日本蓄電池工業会「自動車用および二輪車用鉛蓄電池のリサイクルについて」)

10

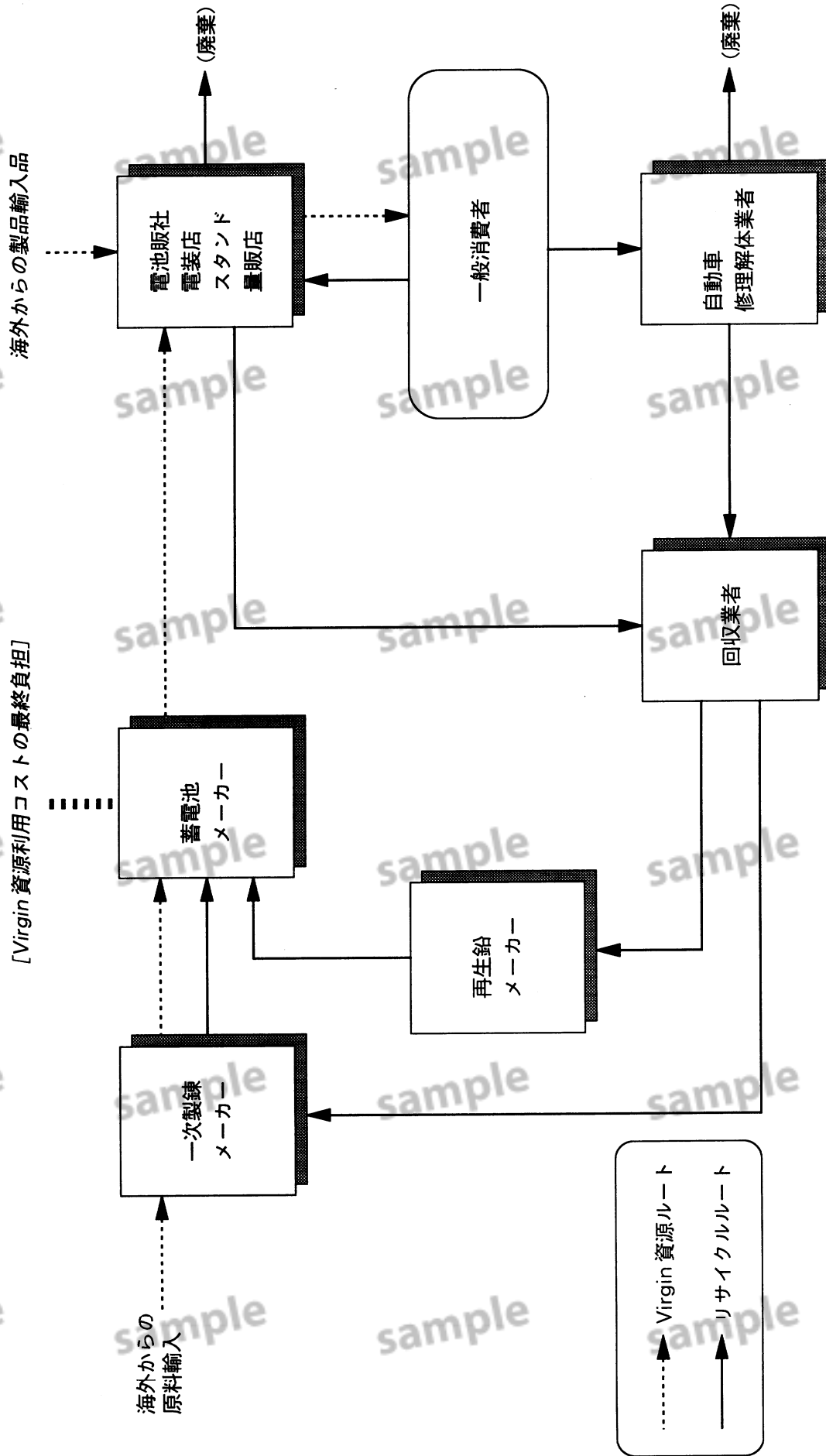
15

20

25

30

図1 バッテリーと鉛の流通モデル



鉛蓄電池販売データ

年月	数量 (千個)			鉛量 (t)			金額 (百万円)		(千円/t) 販売単価	
	生産	輸入	販売	在庫	生産	販売	在庫	生産		販売
1993.										
1	4,467	1,523	4,709	5,801	20,751	20,792	32,695	14,689	14,786	711.14
2	4,807	1,685	4,879	5,738	21,726	21,775	32,658	15,320	15,518	712.65
3	5,166	1,976	5,387	5,521	23,910	25,593	30,979	17,047	18,937	739.93
4	4,712	1,630	4,573	5,664	19,245	17,733	32,513	13,142	12,758	719.45
5	4,707	1,777	4,443	5,956	20,106	17,770	35,051	14,329	12,512	704.11
6	5,304	1,965	4,967	6,313	23,294	20,825	37,873	16,524	14,333	688.26
7	5,316	2,085	5,061	6,570	22,592	21,914	38,748	16,312	15,710	716.89
8	4,463	1,806	4,527	6,508	19,940	20,423	38,326	14,944	15,392	753.66
9	5,206	2,042	5,634	6,076	24,873	28,906	34,264	18,926	21,868	756.52
10	4,863	1,908	4,708	6,250	23,011	21,583	35,807	16,204	15,011	695.50
11	5,163	1,957	5,252	6,179	23,738	25,484	34,038	17,851	18,260	716.53
12	4,881	1,891	5,544	5,494	21,958	27,130	29,008	17,236	20,740	764.47
1994.										
1	4,347	1,737	4,296	5,541	18,116	19,204	27,861	13,309	13,612	708.81
2	4,399	1,688	4,499	5,442	19,268	19,465	27,674	13,841	13,915	714.87
3	5,311	2,215	5,316	5,433	22,410	24,009	26,909	16,055	16,716	696.24
4	4,795	1,733	4,512	5,730	19,405	17,097	29,211	13,274	11,837	692.34
5	4,358	1,805	4,038	6,061	18,443	16,003	31,630	12,821	11,000	687.37
6	4,996	2,061	4,798	6,212	21,269	20,177	32,216	14,263	13,948	691.28
7	4,969	1,765	5,467	5,157	21,440	23,554	27,221	15,888	16,482	699.75
8	4,672	1,960	5,085	4,750	21,177	23,117	25,365	15,643	17,095	739.50
9	5,471	2,230	5,869	4,369	24,722	27,853	22,207	18,158	20,399	732.38
10	5,414	2,149	4,678	5,117	25,201	23,917	23,615	17,989	15,791	660.24
11	5,319	1,804	5,392	5,053	24,286	25,876	22,063	17,052	18,775	725.58
12	5,271	1,891	5,371	4,973	25,450	26,443	21,376	18,794	19,791	748.44

(出所：前出『機械統計年報』)

鉛と蓄電池の需要供給推移

(単位：t)

年	鉛建値 (千円)	- 処女鉛 -		- 再生鉛 -		- 鉛故くず (使用済み鉛) -		蓄電池販売量
		生産量	蓄電池用需要	生産量	蓄電池用需要	回収量	蓄電池用需要	
1978	164.1	228,442	113,510	53,537	60,550	82,643	6,194	185,410
79	288.7	221,247	120,640	53,376	71,231	93,315	6,684	200,967
80	238.5	220,934	125,485	74,187	83,775	110,277	7,278	221,176
81	193.0	226,242	119,723	80,046	85,243	132,837	8,805	224,909
82	173.8	223,858	111,470	71,490	81,103	128,786	8,079	213,364
83	138.8	241,304	122,091	75,727	84,680	129,587	8,746	221,552
84	143.7	278,494	142,570	81,083	96,297	133,187	9,788	252,714
85	131.3	285,372	151,824	79,716	101,429	110,457	10,141	268,836
86	101.3	283,142	159,401	75,040	102,641	96,105	11,555	276,819
87	118.7	268,452	170,488	67,591	89,074	99,268	13,021	277,369
88	118.2	267,395	188,019	70,006	97,395	111,761	13,175	297,947
89	131.1	259,978	183,004	71,686	95,890	106,863	14,446	294,304
90	158.4	261,016	195,953	64,588	98,668	97,063	15,654	314,680
91	110.5	272,592	202,134	58,208	92,450	81,614	14,427	311,501
92	103.0	270,296	200,023	58,324	84,295	84,485	13,846	296,999
93	78.6	258,128	180,096	50,149	76,127	59,398	13,113	269,928
94	91.8	234,253	179,087	56,869	60,083	84,162	11,747	266,715

(出所：通商産業大臣官房調査統計部『資源統計年報』、『機械統計年報』)

蓄電池用鉛の需要と価格

(単位：t)

年 月	電気鉛需要	再生鉛需要	鉛故くず	合 計
1993. 1	13,905	6,396	1,050	21,351
2	13,948	6,215	1,176	21,339
3	14,558	6,282	1,130	21,970
4	14,707	6,551	1,151	22,409
5	12,843	6,083	932	19,858
6	14,986	6,593	1,002	22,581
7	15,730	6,244	1,055	23,029
8	13,118	5,704	952	19,774
9	16,441	6,488	1,121	24,050
10	16,696	6,886	1,276	24,858
11	18,508	6,764	1,180	26,452
12	14,626	5,921	1,088	21,635
1994. 1	12,798	5,292	838	18,928
2	13,110	5,318	962	19,390
3	14,251	5,532	912	20,695
4	13,795	5,656	1,090	20,541
5	12,851	5,145	848	18,844
6	15,586	6,307	951	22,844
7	14,552	5,470	972	20,994
8	14,301	3,867	881	19,049
9	16,763	4,002	987	21,752
10	17,307	4,702	1,082	23,091
11	17,604	4,296	1,157	23,057
12	16,169	4,496	1,067	21,732

再生鉛と需給と鉛価格

(単位：t)

年	月	国内価格(千円/t)	生産量	蓄電池用需要
1993.	1	92.3	3,804	6,396
	2	90.8	3,516	6,215
	3	85.0	4,216	6,282
	4	85.0	4,543	6,551
	5	84.1	3,683	6,083
	6	81.3	3,903	6,593
	7	80.0	4,711	6,244
	8	80.0	3,882	5,704
	9	78.5	4,503	6,488
	10	76.4	4,627	6,886
	11	77.0	4,450	6,764
	12	79.5	4,311	5,921
1994.	1	83.1	3,784	5,292
	2	82.9	4,014	5,318
	3	81.1	4,564	5,532
	4	81.0	5,228	5,656
	5	82.1	3,796	5,145
	6	83.0	4,526	6,307
	7	83.9	4,716	5,470
	8	84.7	4,149	3,867
	9	89.5	5,097	4,002
	10	90.0	6,034	4,702
	11	98.0	5,192	4,296
	12	99.0	5,769	4,496

電気鉛の国内建値動向

(単位：千円/t)

年 月	月平均電気鉛建値	月平均再生鉛価格
1993. 1	89.1	92.27
2	85.3	90.78
3	80.0	85.00
4	80.0	85.00
5	78.7	84.13
6	75.3	81.32
7	75.2	80.00
8	74.0	80.00
9	72.4	78.50
10	73.5	76.36
11	75.5	77.00
12	83.7	79.48
1994. 1	90.2	83.09
2	89.1	82.87
3	83.2	81.10
4	82.0	81.00
5	85.2	82.13
6	89.0	83.00
7	91.0	83.85
8	92.2	84.74
9	96.5	89.50
10	99.1	90.00
11	102.5	97.98
12	102.0	99.00

電気鉛の需給と鉛価格

(単位：t)

年	月	国内価格(千円/t)	生産量	蓄電池用需要
1993.	1	89.1	22,026	13,905
	2	85.3	21,034	13,948
	3	80.0	23,477	14,558
	4	80.0	21,921	14,707
	5	78.7	21,636	12,843
	6	75.3	21,835	14,986
	7	75.2	17,897	15,730
	8	74.0	19,574	13,118
	9	72.4	21,752	16,441
	10	73.5	22,083	16,696
	11	75.5	21,844	18,508
	12	83.7	23,049	14,626
1994.	1	90.2	22,413	12,798
	2	89.1	20,922	13,110
	3	83.2	22,288	14,251
	4	82.0	21,132	13,795
	5	85.2	19,968	12,851
	6	89.0	19,439	15,586
	7	91.0	15,979	14,552
	8	92.2	16,060	14,301
	9	96.5	17,498	16,763
	10	99.1	19,008	17,307
	11	102.5	19,145	17,604
	12	102.0	20,401	16,169

不 許 複 製

慶應義塾大学ビジネス・スクール