

日立 総研

特集

レアメタルと資源循環

vol.3-1

2008年7月
発行

表紙題字は当社創業社長(元株式会社日立製作所取締役会長)駒井健一郎氏 直筆による

日立 総研

vol.3-1
2008年7月発行

2 巻頭言

4 対論 ～ Reciprocal ～

特集

レアメタルと資源循環

寄稿

10 レアメタルを中心とする資源の動向と
将来あるべき資源循環の姿 中村 崇

寄稿

18 Will Material Recycling End the Current Minor Metals Panic? Alfons Buekens
- The Situation at Large and in the E.U. in Particular

寄稿

32 地上資源で生きる持続可能社会 馬場 研二

日立総研レポート

40 レアメタルパニックの現状にみる将来の資源確保策のあり方 上田 真稚

44 研究紹介

46 先端文献ウォッチ

事業活動における環境負荷とレアメタルの位置

(株)日立総合計画研究所
取締役社長

八丁地 隆

資源と環境に関する、新しい議論と話題の提供がなされずに、世界の一日が終わることはないといつてよいほど、この二つの問題はブームであり、21世紀の世界の行く末を想定する上で欠かすことはできない。私は、ここ数年環境を含むCSR活動にかかわった者として、専門的な議論と解決策の提示の前に、当社グループの一つの位置を示しておきたい。

日立グループのCSR報告書は、1990年代からの伝統のある環境報告書とCSR活動の報告を合体させる構成で、2005年から発行されている。事業活動こそCSRの基本であるとの信念で構成を始めたことに、当時の担当者の一人として誇りを持っている。また、グローバルこそ日立の方向であるので、2005年から日本語に加えて、英語、さらに、中国語での発行を始めて今日に至っている。

もとより、CSRも環境も、日立グループとしての立ち位置から透明性の確保に努めてきた。特に、環境負荷情報に関しては、日立グループ国内外250社が事業活動を進めるに当たり、投入している資源の量と、排出している環境負荷の最新のデータで示している。これによると、「INPUT」面から見ると、2006年度の国内の総資源投入量は、金属1,556トンであり、レアメタルが含まれる「その他非鉄金属」は、その8.3%にあたる129トンである。「OUTPUT」面では、レアメタルは再資源化されている部分と、最終処分されている部分に含まれるだろう。前者は、廃棄物発生量の97%、後者が2.8%を占める。廃棄物発生量の

75%がマテリアルユース、7%がサーマルリサイクルとなっている。この再資源化量、最終処分量に含まれるレアメタルを、いかに利活用できるかが肝である。すなわち、一年間の事業活動の「フロー」としてのレアメタルのとらえ方である。

加えて、日立が事業活動の結果、世界の市場で提供され、利用されている製品にも、レアメタルが含まれる。これは、いわば「ストック」としてのレアメタルである。

グループ、グローバル、そして、フローとストック、この4点から判断して、基本的な方向付けを試みたいのである。

「Others」との出会いから、 新しい発見が生まれる

オークランド大学教授 ヒュー・ウィッタカー 氏

ウィッタカー教授は、高校を卒業してアメリカに留学後、日本に至って「Others」（価値観の異なる人々）に出会ったといいます。その理解をきっかけに多国籍のキャリアを重ね、研究の中で継続的に日本企業をウォッチしてこられました。1998年に日立を研究対象とされたときに初めてお会いしましたが、過去から現在に至る企業の変遷を細部まで見つめつつ全体を俯瞰する手法に、強くインスパイアされました。それからの10年間には、同志社大学で先駆的なビジネススクールの立ち上げをリードされるなど、いっそう活動領域を広げておられます。今回は教授が来日された機会にお願いし、あらためて経営論を中心にお話を伺いました。教授は過去に日本での留学経験があり、現在はニュージーランドのオークランド大学の教授であると同時に、同志社大学でも講義されていることから、日本語も達者です。このため今回の対論は日本語で行いました。

「Others」に出会う旅

八丁地 ウィッタカー先生(以下「先生」)は、ニュージーランド、米国、英国、日本でのキャリアをお持ちであり、産業社会学というご専門から経営と社会と技術の接点を研究されています。その中で日本社会の変化をつぶさに見てこられて



D. Hugh WHITTAKER

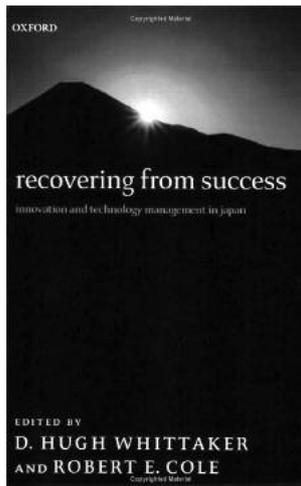
1983年国際基督教大学卒業。88年ロンドン大学インペリアルカレッジで博士号(産業社会学)を取得。88年にタフツ大学、ハーバード大学研究員を経て、89年よりケンブリッジ大学で12年間教鞭をとる。2000年東大、02年同志社大学大学院ビジネス研究科教授。06年オークランド大学教授。専門分野は技術・組織イノベーション、中小企業・起業。ニュージーランド出身。

著書に『ザ・ニュー・コミュニティ・ファーム』『スモールファームズ・イン・ザ・ジャパニーズ・エコノミー』など多数。

います。私の手元に先生の恩師であるドーア先生¹が書かれた『イギリスの工場・日本の工場』がありますが、下巻に日立製作所が紹介されています。この本をもとに先生が日立の事例を研究されたことがきっかけとなり、10年前から私どもと交流いただいております。その労作『ザ・ニュー・コミュニティ・ファーム』で書かれた企業における計画支援やコミュニティのあり方は大変参考になりました。この本の中で日本企業、日本の社会に対して20年前から視点を変えずに、日本人が見過ごしそうな細部から全体を俯瞰するというアプローチが印象に残っています。「神は細部に宿る」という言葉がありますが、まさにブリティッシュ・コモンウェルスの伝統的なアプローチを実践されていると思っています。先生が日本に興味を持たれたのは、どのようなきっかけだったのでしょうか。

H.W 『ザ・ニュー・コミュニティ・ファーム』に対する八丁地さんの見方は適切だと思います。なぜ日本に興味を持ったかということですが、最初はニュージーランドで高校を卒業後、1年くらいアメリカに留学したあとにニュージーランドに戻り、電気工学を勉強しようと考えていました。それが長じてアメリカからヨーロッパ、そして日本へと足を伸ばすことになりました。つまり来日するまで日

本のイメージはまったくなかったのです。アメリカでも別な感覚がありましたが、日本に来て「Others」との出会いが初めてあった気がしました。私と違う考え方、価値観のもとで論理性、倫理性、世界観を持っている人たち、つまり「Others」をどう理解するか。これは自分にとって大きなチャレンジだと考えて日本の大学に入りました。そこで、農耕民族と狩猟民族、『菊と刀』のベネディクトの恥の文化と罪の文化に代表される文化的な違いによる解釈を知りました。しかし一方で、果たしてそうだろうか、自分の中にも罪の部分も恥の部分もあり、日本の文化に同感する部分もあるとの思いもありました。だから文化論だけで考えるのは間違いで、共通点を認めて社会的な観点からもっと勉強したいと思いました。それまでの社会学の研究としては、エズラ・ボーゲル²の日本の新中流階級社会論において、日本のサラリーマンの生活が書かれています。私は、一昨年出版した『Recovering From Success: Innovation And Technology Management in Japan』の共著者のロバート・コールのように、仕事の設計、労働組合の構造的な違いから比較できるのではないかと考えたわけです。しかし当初は日本の工業化、近代化を勉強して何が日本独特なものなのだろう、終身雇用が果たしてそうなのか分かりませんでした。それは比較する材料がなかったためです。シーモア・M・リブセット³は、著書『American Exceptionalism: A double-edged sword』の中で「ひとつの国、ひとつの社会しか知らない人は何の社会も知らない」といっていますが、そのとおりだと思いました。そこで、最初に工業化したイギリスに行って研究しようかと考



『Recovering From Success: Innovation And Technology Management in Japan』
オックスフォード大学出版局刊

えました。ドーア先生の『イギリスの工場・日本の工場』で展開した厳密な比較の方法が好みに合っていたので、先生に卒業論文と手紙を送ったら「ロンドン大学のインペリアルカレッジに登録すれば指導できます」との連絡をいただきました。最初は「社会の工業化プロセス」で博士号をめざそうと思ったのですが、テーマが大き過ぎるためドーア先生に相談したところ「技術革新と雇用の絡み合いの比較研究をやったらどうか」とのご意見を頂きました。この研究以外にも「対立的な労使関係のイギリスと協調的な日本の比較」や「NC (Numerical Control) 工作機械の登場で熟練工の技能は敗退するか立て直せるのか」なども考察しました。

¹ ロナルド P.ドーア: 比較社会学者として日本に関する研究多数。著書に『国際・学際研究システムとしての日本企業』『江戸時代の教育』『誰のための会社にするか』など
² アメリカの社会学者。著書に『日本の新中間階級 - サラリーマンとその家族』『ジャパン・アズ・ナンバーワン』など
³ アメリカの政治学者。著書に『政治のなかの人間 - ポリティカル・マン』『革命と反革命 - 歴史の断絶と連続性を考察した《国際比較研究》』など

日立はどこから来て、どのようにして大きくなったか

八丁地 日本の会社や工場の研究ではどこに注目されたのですか。

H.W まず大企業と中小企業、量産型工場と受注型工場の違いもあるので、どのように比較するかを検討しました。例えば日本において、大企業と小さい工場で働く人は全く異なるマインドを持っており、雇用環境も大きく異なります。大企業とは異なる町工場をどう考えるべきか、ずいぶん研究をしました。1990年代後半には、東大の稲上先生と雇用関係の変化について議論して、一緒に本を書くことになりました。私はケーススタディーを担当しようと思い、『イギリスの工場・日本の工場』の日立がどうなっているか、1960年代末からの変化を調べたら現在までの変遷も明らかになり、よりよい研究になると思いました。そのとき比較対象だったイギリスの会社はその後GEC⁴に吸収され、そのGECも現在はほとんど残っていません。日立はどうか。ドーア先生は1970年代初めに多賀工場と日立工場を研究し

ましたが「もはや家電は主体ではない、半導体を勉強したらどうか」と。日立は時代の変化とともに半導体、コンピューター、ITにシフトしており、その変化に関心を持ちました。1990年代の日本型経営、生産性の議論と同時に長期的に変化を見るべきだろうと思って研究し始めましたが、1998年に日立が大きな赤字を出した時期に重なったのは、日立の方々は大変だったと思います。私の研究対象としては非常に適切でした。会社はどこから来たか。何で大きくなったか。何で赤字を出すに至ったか、歴史に沿って研究を始めたのですが、とんでもなく難しい研究になりました。

八丁地 今振り返って、何が日立をこんなに大きくしたとお考えですか。

H.W 私の考えるところでは四つの要因があったと思います。一つ目は、日本経済の発展をとらえて起業家的な精神で発展したことです。野武士の集団、開拓者精神ですね。1910年代の第一次世界大戦時に大型の利根発電向け設備にチャレンジし、1920年代には自分より大きい工場をどんどん吸収し、第二次大戦後も発電と家電のブームにうまく乗って大きくなりました。二つ目は、



トップダウンとボトムアップのイノベーションの非常に賢い仕組みができています。例えばMI (Management Innovation) 運動、エンジニアの集中的な投入、そういう仕組みですね。三つ目は、ドーア先生が指摘されたコミュニティのような雇用関係です。田舎から金の卵が日立の訓練校で勉強しながら働く、住宅を提供して夢を与える。その夢で会社も大きくなっていくからパワーを発揮できました。四つ目は、金融。革新的というよりも主に銀行経由で安定的な資金を投入したことです。株主は余りうるさく言わないため、資金の面で成長を支えました。

4 イギリスの家電メーカー。アメリカのGEとは無縁

プロジェクト型とライフワーク型の比較

八丁地 1980年代、1990年代のイギリスは、脱工業化で過酷な経験をしています。結果的に成功したけれども、その方法しかなかったんだらうかと考えるのですが。

H.W 1979年にサッチャーが登場し、インフレ、労働組合と闘いました。公定歩合を上げたことで3年間に製造業の雇用のうちの4分の1が消えました。その人たちは一体どうなったか、やっぱり捨てられたとしか言えません。失業率が政治的争点になると、定義をどんどん変えて、失業手当から社会保険的な扱いにすることで公の統計からも消えました。中年以上は大きな打撃を受けました。市場原理が働かなければイギリスは回復できないということでしたが、もっと賢いやり方があるのではないかと、それを日本に期待していましたね。結果的にイギリスの製造業は、海外からの直接投資で助かった側面がある。資本市場の自由化で、消費するほうに恵みが来て経済がよく見えるようになりました。北海油田があったことも一因です。でも、長期的な視点での技術の蓄積という側面は非常に弱くなったと思うのです。来年イギリスで出版する本では、10年ぐらい研究してきたアントレプレナーシップ(起業家精神)の日英比較を主題にしています。イギリスはプロジェクト型で、会社を興す場合、特にハイテク系では1人ではなく、3人くらいで始め

ます。最初は、新しいことができて楽しかったけれども、2〜3年たって会社が大きくなると経営に関する業務が増え、つまらなくなります。こうなると競合相手も厳しいから合併や調整を常に行うスタイルになります。自分に合っているか定期的に確認してベストであればやるし、それをサポートする市場改革があるからそれが可能なのです。早く変化できるという強点ではありますが、長期的な技術の蓄積はあまりない。日本はライフワーク型です。会社を頻繁に変わる人は信用されないし、製品や技術だけでなくその人ががむしゃらに働いているかどうか重要視されます。また、そこにコミットメントがないと評価されません。つまりライフワーク型とはコミットメントの論理で立てられているといえます。このスタイルは成長が遅いが、苦勞して技術的な基盤を少しずつ築いていくのでしっかりしています。わたしは両方に長所と短所があり、バランスが必要だと考えています。

八丁地 先生はシリコンバレーのイノベーションやビジネスモデルも研究されていますね。

H.W シリコンバレーの起業家は極端にプロジェクト型ですね。シリコンバレーは起業するためのインフラが整備されており、専門的なサポートが補うので会社の成長は早いです。ただし、ベンチャーキャピタルを投入すると3年か5年で最高潮に持っていかなくちゃいけない。その目標のために社会関係を築かなければいけない。日本は、社会関係がある中で会社をつくっていく。シリコンバレーとは逆なのです。

八丁地 社会関係をつくるというか、仕組みをつくってからです。

H.W そうですね。シリコンバレーは新しいビジネスモデルと技術の接点は見事ですが、コミットメントの中でビジネスモデル誘導的発想もあって、それに従って社会関係を築くことに日本人は疑問を持っています。技術に基づいたビジネスモデルはアメリカから学べます。日本の技術の強みは、外からの刺激を常に受けていれば、新しいビジネスチャンスが生まれ、企業が成長していけることです。

同志社大学での研究コラボレーション

八丁地 先生のそうした問題意識が働いて、同志社でビジネススクールITEC(同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター)の立ち上げに強く関与されたのでしょうか。

H.W 日本型経営について遠くから意見を述べるだけではいかなものか、日本に来て参加しながら勉強したり意見を言ったりするほうが妥当かなと思いました。同志社が新しいビジネススクールをつくるというのでこれはいい機会だなと、その中で反映すべきだと思っていました。ITECは、(株)オムロンが寄付金を出して設立されました。それとは別に京セラ(株)、(株)村田製作所など、その他の京都を拠点とする企業から2002年ごろにMOT(Management Of Technology)をカリキュラムに取り入れてもらえないかという要請を受けました。ちょうど経済産業省がMOTコンソーシアムをつくった時期です。このビジネススクールはファイナンスと製造を重視しています。私は、京都に拠点を置く企業は、京都の独自性を組み込んだ日本型経営が強みだから、手放してはだめだと以前から考えていました。改革はすべきだけれども過去を捨てちゃいけない、そのためにもっと提案できる研究をしたいと思っていました。同じ頃、文部科学省の「21世紀COE(Center Of Excellence)プログラム」⁵(以下「COE」)を通じて、ITECでもMOTの研究が始まっています。同志社大学のビジネススクールはエンジニアリングの概念だけじゃなく、広い意味でガバナンス、日本型経営、特に技術系企業に役に立つ研究に幅を広げることになりました。MOTについては、以前にも八丁地さんと議論しましたが、黒船的なものなのか、昔から日本にある常識のものかいろんな意見がありました。私の考えとしては、アメリカの人が考えているMOTと、日本人の学者や企業の人が考えているMOTと一緒に議論したほうが、新しい発想が生まれると思って国際チームでやることにしました。日本の歴史を意識しながら外の意見も取り込

むという試みだったのです。私が以前在籍したケンブリッジ大学のビジネスリサーチセンターとも協定を結んで、いろいろなプロジェクトに入ってもらいました。

八丁地 国を越える研究コラボレーションがないと国際水準が達成できないということですね。現場で国境を越えたコラボレーションをとりあえず実現していくと。

H.W そうです。考え方の違う研究者の間で議論をされることが、意味のある共同研究を生み出すためには重要だと思っています。

八丁地 ビジネススクールだから文科系としての限界があります。人間と科学の接点のようなものが理解できないとわからない。極めて日本的なコミットメントの発想だと思いました。同志社が打ち出している文理融合型、文理横断的な多国籍の総合研究集団というコンセプトは、日立にぴったりだという感じがしました。

H.W 当時はビジネススクール発想とエンジニアリング発想の両方がありました。ビジネススクール発想は、技術者の皆さんにとって抽象的で役に立たないと思われがちです。これは文科系の人、社会科学系の人だけでMOTを議論すると、技術論の部分に限界があるため、技術者の信用を得ることが困難だからです。一方、エンジニアリング発想はビジネス性がやや乏しいところがあり、大局的な視点での議論が少ないという傾向があります。両方の長所を生かすため、なるべく技術系と社会科学系が一緒に議論できるようにしました。外国人と日本人の共同研究よりも、技術と社会科学のほうが難しいと思いますね。使っている言葉も発想が違う。社会科学系の人たちはどれだけ技術を理解できるか。技術者はいかに社会科学者に通訳できるかが大きなポイントだと思うのです。そういう切磋琢磨をやったほうが健全だと思います。

八丁地 そういう集団を運営するには、秘訣が必要なんですか。

H.W いろいろあるかとは思いますが、少なくとも両方から尊敬されることは必要ですね。

八丁地 私も前に同志社の研究討論会に呼んでいた

だきましたが、関西で企業経営のトップを経験された方が勉強に来ていますよね。しかも技術者としても一流の方ばかりです。感動半分、驚き半分でした。

H.W それはすばらしいことだと思いますね。企業のトップが参加すると社会学者には大変な刺激になるし、大学の研究者が持っているよさを評価してくれるので、いい循環になるということ、同志社で初めて見ることができました。当時は私も同じようにびっくりしました(笑)。

5 日本国内の大学に、世界最高水準の研究教育拠点を形成するための、重点的な支援を行う文部科学省の事業

大学と企業のインタラクション(交流)のすすめ

八丁地 そうした伝統は根付くと思われませんか。

H.W 続くといいですね。大学は、世界から新しい発想を吸収する。企業のトップの人たちとのインタラクションで起業のチャンスに変えていく仕組みが、これからより重要になってくると思うのです。今、ニュージーランドのオークランド大学で、いかに企業のトップを含む多くの企業人とインタラクションをつくらせて研究ができるようにするか考えています。

八丁地 結局は個人個人の信頼関係と、ビジネススクールなりCOEなりが研究のハブになって交流し、インスパイアしたり、されたりしながらやっていく場が必要だなとつくづく思います。ケンブリッジでも、研究コミュニティと企業の交流の場をつくるのが位置づけられていると同ったのですが。

H.W 大学に対する政府の見方は、これからはオープンイノベーションが重要であり、改革に基づいて技術を大学の中で作り出し、それをどう移転するかに重点が置かれています。そのためにハブとなっているような意見を議論する、インタラクションを奨励する場所である。その考え方が重要だと思います。また大学のハブ機能には、例えば、海外の人たちとインタラクションを重要視するなどいろんな機能が存在します。

八丁地 日立もそういうハブ機能を持てるようにしたいですね。組織は文理融合型の多国籍型ですので、古川社長が掲げる「協創」、コラボレー

ションしながらクリエーションをしていこうというのは、まさしくその発想とよく似ていると思います。そのためにも、もっと同志社と交流したいですね。

H.W 日立グループには博士が1,200人、技術だけでなく社会科学系研究者も日立総研にいらっしゃるし、企業でこれほどの組織はないでしょうね。研究者同士の交流をどう奨励していくか、そうしたハブをつくることができたら大学以上に効果的かもしれないですね。日立には共通目標がより鮮明にあります。それは強みです。長いスパンで見ると弱点もありますが、インタラクトをする意義が最初からあるんですね。

八丁地 そういっていただくと心強いですね。責任と使命感をもってやりたいと思います。

ラグビーをめぐる理性と感情の葛藤

八丁地 先生がニュージーランドのご出身ということで、今日は絶対にラグビーの話をもっと聞いておきたいと思っていました。ラグビーは私も好きなスポーツです。先生のポジションはフランカーですね。優れた状況判断が求められるポジションだと思います。ラグビーから今の研究の思想に一貫しているものがありますか。

H.W ラグビーを研究に生かすのは実はとても難しいのです(笑)。理性的にはニュージーランドではラグビーは社会的宗教のようなものだと思って抑制していますが、感情的にはラグビーが好きで、自宅からイーデンパーク⁶に歩いていけるので、今日は研究しようか見に行こうか。いつも葛藤しているのです(笑)。

八丁地 現在、日本代表のヘッドコーチをしているジョン・カーワンを尊敬しているし、日本が強くなることを期待しています。

H.W もちろん彼は日本代表を強くするでしょう。ただ彼のオールブラックスでのポジションはバックスでしたから、日本代表が強くなるためには優れたフォワードコーチも必要でしょうね。カーワンは、ニュージーランドでうつ病の反差別運動にも協力しています。テレビCMで「わたしもそうだったんだよ。落ち込むよりもちゃんとアドバイスを求め

ようじゃないか」と語る姿は人間的にも尊敬できます。

八丁地 今回の対談で印象に残ったのは、先生の研究が「Others」を探す旅であるということですね。「Others」の中に入らないと自分自身も認識できない。「Others」の歴史や文化を認識することが重要だという点です。こういった考え方は社会改革のエンジニアリングの原動力として重要だと思います。またそのためにいろいろな暮らしに挑戦し、他人との相対的な関係の中で自分を知っていく先生の人生に、非常にインスパイアされました。また日本はライフワーク型は捨ててはいけなく、少し時間はかかってもだんだん発酵されてくれば、いい味が出ると思います。日立もハブ型、融合型を目指していますので、先生のネットワークと我々のネットワークの交流が今後も継続することを願っています。本日はありがとうございました。

⁶ ニュージーランドのオークランドにある同国最大のスタジアム

対論後記



ウィッター先生の研究は三つの柱から構成されています。徹底かつ20年以上という長期にわたる公開情報の収集、当事者へのヒアリング、それに現場への踏査です。日立製作所のプレスリリースやメディア情報のすべてに眼を通され

ており、本社の部長数名とは何度も議論をされました。私もそのひとりです。また、川崎市や大田区の中小企業の親父さんに馴染みが多いのにも驚かされます。現場に足を運び、じっと見ているとわずかな変化も見えて来るというのが、先生の「英国流」の研究です。

今回は、先生の研究の発端が"others"に出会い、自己を知ることだったという興味深いお話も伺うことができました。こちら、長い熟成の時間をかけて進められることでしょう。

ところで、ふた月もすれば、日本もラグビーの季節になります。青い秋空と白いわし雲の下、真っ青な芝生の秩父宮にカーワンジャパンが戻って来ます。先生、日本代表の応援に行きましょうね。

レアメタルを中心とする資源の動向と将来あるべき資源循環の姿

東北大学 多元物質科学研究所 教授
中村 崇

CONTENTS

- はじめに
- 資源の動向
- 資源循環のための人工鉱床作成の試み
- まとめ

(なかむら たかし) 1977年九州大学大学院工学研究科博士課程 単位取得退学。九州工業大学工学部教授、東北大学素材工学研究所教授などを経て、2001年から現職。専門は、リサイクル工学。著書に、レアメタルの代替材料開発とリサイクル技術など、リサイクル技術や環境規制物質の処理技術に関する科学論文多数。現在、小型電子・電気機器のリサイクルの促進を目指し、回収の社会実験ならびにリサイクル技術の開発を行っている。

1. はじめに

“レアメタル”を考える場合、その範疇に何を含めるかが重要である。端的に言えば、鉄、アルミニウム、銅、亜鉛、鉛以外はある意味ですべてレアメタルとなり、レアメタルの捉え方は立場に寄って大きく変わる。資源エネルギー庁で所管の総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レアメタル部会では、備蓄を行っている7鉱種 (Ni, Cr, Co, Mn, W, Mo, V) に加えて図1にあるような31鉱種をレアメタルとしている⁽¹⁾。

ただ、備蓄7鉱種は、鉄鋼の添加元素としての必要量が大きく、一般のレアメタルのイメージとは異なるかもしれない。多くの人のレアメタルに対するイメー

ジは、元素としての発見が新しく製造プロセスが困難であり、そのためにコストが高く生産量が少ないということであり、必ずしも絶対必要量や資源量ではない。例えば希土類金属はそれほど資源の絶対量として少ないわけではないが、地域的に偏在し、その意味では資源確保上のリスクが大きい。資源確保リスクの場合、どのような国が資源を寡占しているかが重要である。

Nbなどは大変な寡占状態であるが、現実に供給障害が起こるとは考えにくい。資源の供給制約ならいわゆる銅、亜鉛、鉛の非鉄金属の方が厳しい可能性もある。その点を考慮し、最近はクリティカルメタルの表現をとることも行われている⁽²⁾。

元素の周期表

| | | レアメタル31鉱種 (レアアースは17元素で1鉱種) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------|-------------------------------|------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|--------------|-------------|-------------|---------------|------|-------|---|
| 族 | I A | II A | III B | IV B | V B | VI B | VII B | VIII | | | | | | | | | | I B | II B | III A | IV A | V A | VI A | VII A | O |
| 周期 | アルカリ族 | アルカリ土族 | 希土族 | チタン族 | バナジウム族 | クロム族 | マンガン族 | 鉄族(4周期) 白金族(5・6周期) | 銅族 | 亜鉛族 | アルミニウム族 | 炭素族 | 窒素族 | 酸素族 | ハロゲン族 | 不活性ガス族 | | | | | | | | | |
| 1 | 1 H 水素 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He ヘリウム | | | | | | |
| 2 | 3 Li リチウム | 4 Be ベリリウム | レアアース(RE) | | | | | | | | | | | | | | 5 B ホウ素 | 6 C 炭素 | 7 N 窒素 | 8 O 酸素 | 9 F フッ素 | 10 Ne ネオン | | | |
| 3 | 11 Na ナトリウム | 12 Mg マグネシウム | | | | | | | | | | | | | | | 13 Al アルミニウム | 14 Si ケイ素 | 15 P リン | 16 S イオウ | 17 Cl 塩素 | 18 Ar アルゴン | | | |
| 4 | 19 K カリウム | 20 Ca カルシウム | 21 Sc スカンジウム | 22 Ti チタン | 23 V バナジウム | 24 Cr クロム | 25 Mn マンガン | 26 Fe 鉄 | 27 Co コバルト | 28 Ni ニッケル | 29 Cu 銅 | 30 Zn 亜鉛 | 31 Ga ガリウム | 32 Ge ゲルマニウム | 33 As ヒ素 | 34 Se セレン | 35 Br 臭素 | 36 Kr クリプトン | | | | | | | |
| 5 | 37 Rb ルビウム | 38 Sr ストロンチウム | 39 Y イットリウム | 40 Zr ジルコニウム | 41 Nb ニオブ | 42 Mo モリブデン | 43 Tc テクネチウム | 44 Ru ルテチウム | 45 Rh ロジウム | 46 Pd パラジウム | 47 Ag 銀 | 48 Cd カドミウム | 49 In インジウム | 50 Sn スズ | 51 Sb アンチモン | 52 Te テルル | 53 I ヨウ素 | 54 Xe キセノン | | | | | | | |
| 6 | 55 Cs セシウム | 56 Ba バリウム | 57~71 ランタノイド | 72 Hf ハフニウム | 73 Ta タンタル | 74 W タングステン | 75 Re レニウム | 76 Os オスマニウム | 77 Ir イリジウム | 78 Pt 白金 | 79 Au 金 | 80 Hg 水銀 | 81 Tl タリウム | 82 Pb 鉛 | 83 Bi ビスマス | 84 Po ポロニウム | 85 At アスタチン | 86 Rn ラドン | | | | | | | |
| 7 | 87 Fr フランシウム | 88 Ra ラジウム | 89~103 アクチノイド | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

図1 総合資源エネルギー調査会工業分科会レアメタル部会指定のレアメタル31種

レアメタルには、日本の産業を支えるハイテク機器の鍵となる部品を構成している元素であるイメージが大きい。その一例を表1に示す。確かに情報通信のハード産業を支えている元素が多い。沈静化したが、爆発的なフラットパネルディスプレイの伸びでITOの原料であるInの価格高騰があり、レアメタルの重要性の認識が強まった。この価格の高騰は必ずしも需給バランスから来ているわけではなく、金属資源が世界の金融不安から流動的資金の流れ先の一つとして考えられているためである。図2にレアメタルの代表である希土類金属の世界需要と輸入価格の関係を示す³⁾。実線は、実測データにそって描いた曲線で、波線は、この調査で調べた範囲で需要が少ない点と最近の需要が拡大した点を直線で描いたものである。これから一時需要増で価格が低下したことがわかる。この本質は、中国の中小の企業の乱立により、一時生産過多になったためと思われる。最近の価格高騰は、確かに中国の輸出規制の影響であるが、一時異常に供給過剰の状態が起り、価格が低下したが、需要の増加により適正価格に戻ったとも言える。近年価格の高騰により、古い鉱山の再開や新しい鉱山開発や製錬所の建設が計画されているので、再度価格の低下もありうるが、投機対象から外れても十年前のような低価格でいつでも手に入るとの認識は改める必要がある。

レアメタルは日本の競争力が強い高級特殊鋼、電子部品産業の原料であり、その一部に、中国などをはじめ

めとして一国に集中している資源がある。資源の確保先を多様化していないとリスクが大きくなる。国内に存在するスクラップは本質的に資源を持たない日本の備蓄の一部であると考えer必要がある。本資料では、レアメタル資源の現状とリサイクル促進を図るための新しい収集システムの紹介を行う。

表1 機能性部材に使用されるレアメタルの事例

| 鉱種 | 用途 |
|---------|----------------------------|
| インジウム | 液晶用材料、蛍光体、低融点合金、半導体素子、撮像管 |
| タンタル | タンタルコンデンサー(携帯電話、デジカメ、パソコン) |
| ニオブ | 超伝導材、真空グレードニオブ合金(航空機エンジン) |
| レアアース | 永久磁石、セラミックコンデンサ、ブラウン管ガラス |
| ガリウム | 半導体(ガリウム砒素)、LEDチップ(ガリウム燐) |
| リチウム | リチウム電池正極材、弾性表面波フィルター |
| 白金族 | 燃料電池触媒、自動車用排ガス触媒、電気接点、熱伝対 |
| ストロンチウム | ブラウン管、フェライト磁性材料、光ガラス、 |
| ジルコニウム | 圧電セラミックス、核燃料被覆管 |

2. 資源の動向

前述した比較的採年数が短い非鉄金属を含む、一部レアメタルの価格の経年変化を図3に示す。2006年から急激な高騰が見られる。指数表示であるから高騰しているのは、銅、亜鉛、鉛などの非鉄金属の方が高く見えるが、当然絶対価格は、レアメタルが高く、ここでは一度沈静化したNiなどは、また高騰が見られる。貴金属は、高価格で安定しており、これからも大幅な低下は考えられない。

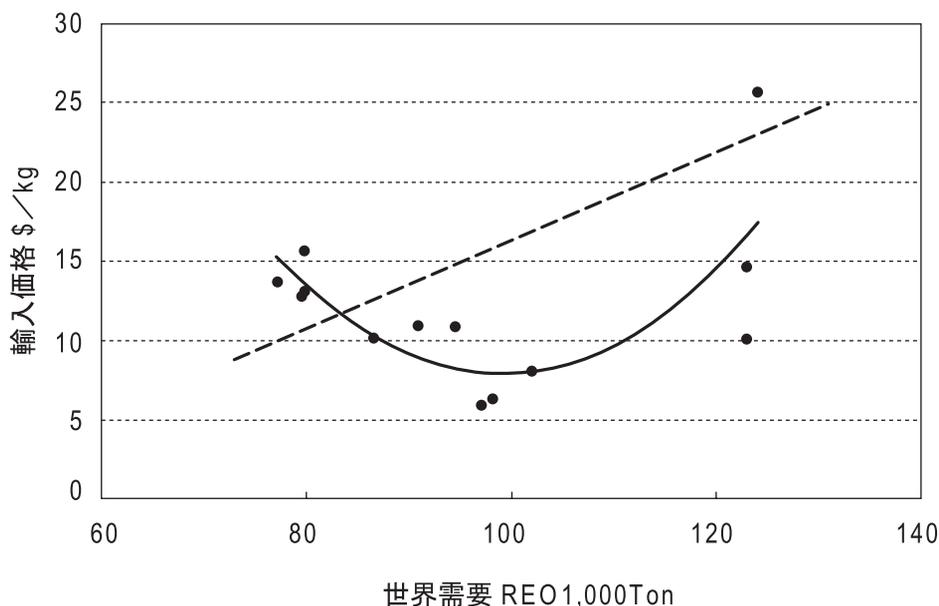


図2 希土類金属の世界需要と輸入価格の関係

・銅、亜鉛、ニッケル、コバルト、金、白金：2003年5月をベース(1.0)として、2007年8月までの価格推移を表示。
 ・2007年8月の価格と2003年5月からの上昇率はおよそ以下のとおり。
 Cu: \$7,513/t (456%), Zn: \$3,252/t (419%), Ni: \$27,654/t (332%), Co: \$63,110/t (262%), Au: \$665/oz (187%), Pt: \$1,265/oz (194%)

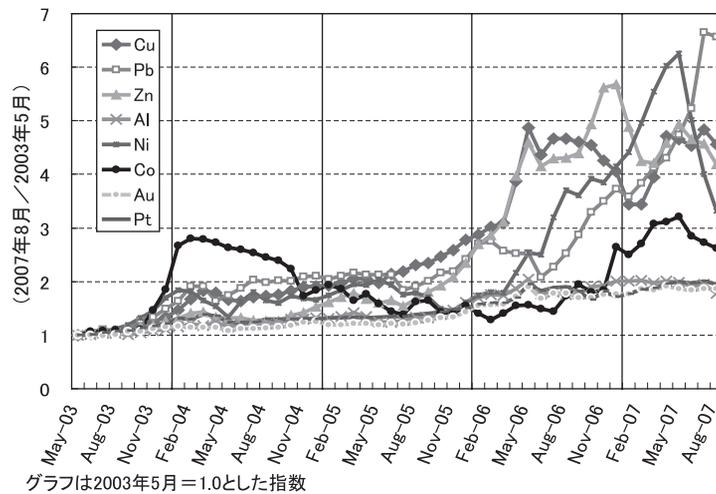


図3 最近の金属価格高騰の例

レアメタルの問題を議論するときその資源の偏在性が取り上げられる。経済産業省がまとめた資源の偏在の例を図4に示す⁽⁴⁾。確かにかなりの元素が特定の国に集中している。この場合も何を対象にするかで議論の内容が大きく異なる。現在、問題となっているのは主に中国に頼ってきた希土類、W、In などであり、同じように偏在している Ta、Nb はそれほど大きな問題となっていない。表2に備蓄元素を中心としたレアメタルの最近の輸入状況を示す⁽⁴⁾。これからかなりの部分が中国から輸入されていることがわかる。最近の危機意識は、中国の資源政策の転換によるもので、場合によっては中国に

とって戦略物質と認識されたら全面的な輸出禁止になる可能性があり、そのことが供給を受ける側の最大のリスクといえる。その対策は経済産業省資源エネルギー庁内の総合資源エネルギー調査会鉱業分科会レアメタル対策部会で検討され、おおもね下記の4つの総合対策が重要との結論になった⁽⁴⁾。

- ① 探鉱開発の推進 レアメタル探査の強化を中心とした海外資源の確保
- ② リサイクルの推進 いわゆる都市鉱山の開発
- ③ 代替材料開発 特殊な希少金属を使用しなくても機能を出現させる材料の開発
- ④ レアメタル備蓄

それぞれ、効果の出る時間軸が異なり、速効性は④の備蓄で、それから②リサイクルの推進、③代替材料開発、①探鉱開発の推進と続く。本来資源が関与する政策は、長期的視野が重要であり、このように時間軸を考慮し、長期的な対策まで明示したことは大きな意味がある。

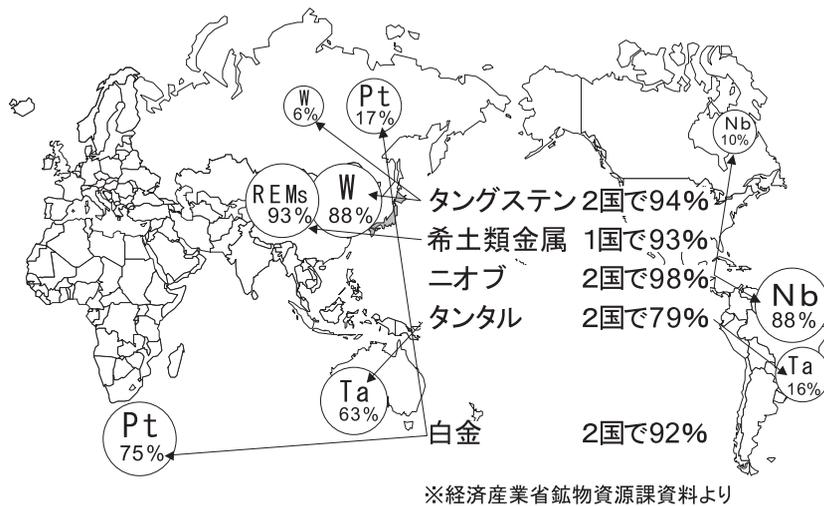


図4 レアメタルの生産地域の偏在性

表2 主要レアメタルの輸入動向

| 鉱種 | 主要生産国 (2005年) | 主要輸入先 (2005年) | 中国の動向 | 備考 |
|-----------------|----------------------------|---|----------------------------------|---|
| ①ニッケル (備蓄) | 露22% 加15% 豪14%等 | インドネシア(44%)、フィリピン (14%)、ニューカレドニア(13%)等 から調達 | ステンレス生産の拡大を受け、 輸入が急増。海外調達を積極化 | ・LME上場金属 ・我が国企業による探鉱開発あり |
| ②クロム (備蓄) | 南ア43% インド19% カザフ19%等 | 南ア(49%)、カザフ(26%)、インド (9%)から調達 | 輸入量は年々拡大 | フェロクロム生産では日本企業が 南ア進出例あり |
| ③タングステン (備蓄) | 中国90% | 中国からの輸入が79% | 増値税還付率を削減し、 国内需要を優先 | 中国の付加価値政策(鉱石→中 間製品へ)で、鉱石としての輸入 は激減 |
| ④コバルト (備蓄) | コンゴ31% ザンビア17% 豪13%等 | 加工後の製品を、フィンランド、豪 州、カナダ等から調達 | 中国国内の二次電池需要が拡大 し、コンゴ等からの輸入が増加 | ・銅及びニッケルの副産物 ・我が国企業により探鉱開発あり (ニッケル) |
| ⑤モリブデン (備蓄) | 米34% チリ27% 中国17%等 | チリ(45%)、中国(15%)等から調達 | 中国は輸出国の一つ | ・多くは銅の副産物 ・我が国企業による探鉱開発あり (銅) |
| ⑥マンガン (備蓄) | 南ア22% 豪14% ガボン13%等 | 南ア(47%)、豪州(23%)、中国 (19%)から調達。なお、中間製品 のシリコマンガンは中国に依存 | 輸入が急拡大中 | ・マンガン鉱石確保で、南ア・サマ ンコール社との提携あり ・シリコマンガン生産で中国進出例 あり |
| ⑦バナジウム (備蓄) | 南ア42% 中国34% 露21%等 | 南ア(49%)、中国(25%)から調達 | 国内は大手2社で9割の生産 (詳細は不明) | フェロバナジウム生産で南ア進出 例あり |
| ⑧インジウム | 中国55% 日本15% 加11%等 | 輸入の7割が中国。また、亜鉛の 海外鉱から国内製錬所で抽出 | 詳細は不明 | ・亜鉛の副産物 |
| ⑨レアアース | 中国93% | 輸入の9割が中国 | 内蒙古、華南で生産 | |

(出典) 主要生産国:WBMS2006、MCS2006 主要輸入先:日本貿易統計

3. 資源循環のための人工鉱床作成の試み

都市鉱山の概念は、東北大学選鉱製錬研究所 南条⁽⁵⁾によって1987年に提唱された。当時は、まだ現在のよ
うな金属資源の供給不安、それによる価格高騰が起
こっていない段階で、金属資源のリサイクルの重要
性を指摘した大変画期的な提案であった。我々は、そ
の後20年経過した今、都市鉱山の重要性を再確認し
ながらRtoS(Reserve to Stock、「人工鉱床構想」)を
提唱し、新たなリサイクルの構築について検討してい
る⁽⁶⁾。今までのリサイクルは、基本的に廃棄物の削減
を目的とし、有価金属を回収しその処理費用を少しで
も削減しようという思考の中から行われてきた。これ
に対し、「人工鉱床構想」は、金属資源の循環をより
全面に押し出し、より多くの金属資源を回収する考え
方を推進してみようとする試みである。

この構想を進めることを考慮し始めたのにはいくつ
かの背景がある。一つは、非鉄メジャーの巨大化によ
り、少数の企業による資源の寡占化が進んできたこと
や、いくつかの国において金属資源について国家管理
が始まってきたことにより、我が国の産業界が容易に

資源を買い求めることについて困難になりつつあるこ
とである。二つめは、一部の国々に偏在するレアメタ
ル類が我が国の高度な工業生産品を支えており、これ
らの金属の消費は世界的に見ても日本が最大消費国で
あるにもかかわらず、それらを回収できるリサイクル
システムが根本的に存在しないという事実である。そし
て、これら金属を含むいわゆるハイテク製品は、使用
後アジア圏に流出してしまうことにより、共存する有
害元素の管理や回収工程で使用される物質の管理も主
導的にできないようになりつつあることである。これ
らを象徴する出来事は最近のニュースにも多く、一部
金属の供給不安がでたり、中国での金属回収過程で有
害物質の漏洩があったりということは記憶に新しい。

レアメタル類のリサイクルを考える場合には社会の
変化を十分に考えておく必要がある。すなわち、鉄や
銅、亜鉛やアルミニウムといったベースメタルは電力
や構造物などの都市インフラを構築するものとして利
用されてきており、比較的一定品質のものが大量に集
めることも可能で、現在のリサイクルのシステムが構
築されてきた。一方、レアメタル類は最近のハイテク
製品の中に使用されることが多く、個人消費財として

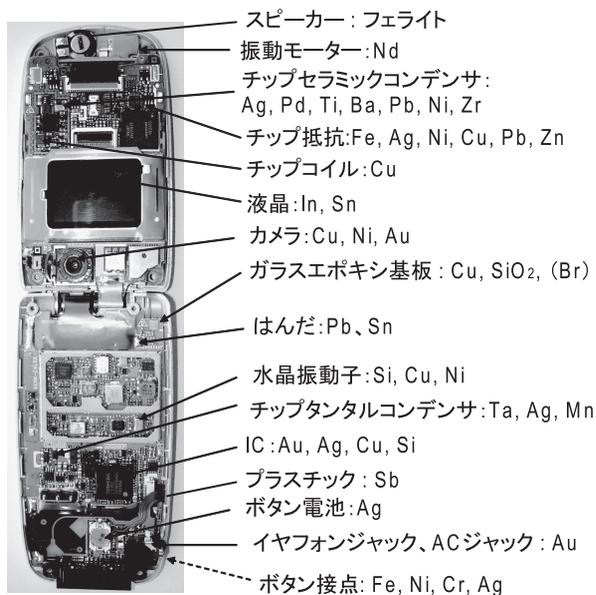


図5 携帯電話中に使用されている希少金属の例

広く薄く社会に拡散している事実がある。一例として携帯電話のレアメタル使用状況を見ると図5のようになる。現状、その中でも比較的集めやすいもの、かつ、既存のシステムで回収可能な金・銀・銅が回収されているが、既に経済的に限界にきており、そこからはずれたものは廃棄物となるか、あるいは環境規制が厳しくない近隣国に流れる結果になっている。

1998年のデータによれば、EUにおいて国民一人当たり年間14kgのWEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment、「廃電気・電子機器」)を廃棄しており、年間総計600万トンとされていた⁽⁷⁾。WEEEが当時より毎年3~5%増加しているという報告から推定すると、現在ではこの数字は、年間20kgに迫るものと推定できる。我が国における廃棄量を推定するに当たって、実際に国民一人あたりの排出がどのようになっているかは、重要と考えられる。このような集計は行われていないため、まず、この重量試算を行った。その手法は、非常に粗いが、製品の出荷統計から推定を行った。詳細は報告しているのでそちらを参照していただきたい⁽⁸⁾。結果の一例として推定した金属量を表3に示す。プリント基板とその関連配線での使用が多いCu・Pb・Snおよび貴金属について、マテリアルフローの不明分との比較を示した。これには各金属のリサイクル率も考慮してある。この際、リサイクル率が推算されている例もあったが、ほとんどのものは明確でなかった。したがってここでは、EEE

(Electrical and Electronic Equipment)として製品となって市場に出たものがWEEEとなった場合のポテンシャルを算定することが目的のため、工程スクラップなどでリサイクルされるものは、WEEEに関与しないと、一般的には使用量の20~30%程度を除いたものがEEE化されるとした。

マテリアルフロー上⁽⁹⁾では、Cuは電線・伸銅、Pbは、はんだ、Snは、はんだ・電子部品・伸銅品に使われたとされるものとの比較である。このマテリアルフローでの電線・伸銅部の電線は、いわゆる送電のためのものを含まないが、EEE以外の使用先も含まれている。マテリアルフローでの使用量410,000tに対し⁽⁹⁾、WEEE中のCuの回収ポテンシャルは、約110,000tとなった。Pbについては、はんだでの使用量13,000tに対し、積算値で約10,000tとなり、近いものとなった。ただし、WEEE積算側にはブラウン管などに使用されるPbガラスが含まれているため、はんだ由来は5,300t程度と想定されること、また、諸外国でよく言われるWEEE中のPbの環境負荷を論ずる場合には、塩ビ・塗料に含まれWEEEに使われるPbも考慮しなくてはいけないことについて注意しておく必要がある。Snははんだと伸銅(真鍮)なので、CuやPbより近接した値がでた。比較的用途が明確で大量に使用されている金属の比較では具体的に説明できる範囲の結果となったため、この前提条件を貴金属類にも当てはめて実施した結果も合わせて表3に示した。

これらの金属は使用量が少ないが、用途に対する使用量がある程度はつきりしているため、WEEE積算を行った結果はPt、Pdでは近いものとなった。しかしながら、今回の積算結果はAuでは少なめ、Agでは多めとなった。Auではマテリアルフローでのカテゴリーが電気通信・機械部品であることや、Agでは、酸化銀電池のWEEE中での使用量があいまいなことが原因としてあげられる。

述べてきた推算結果は、各ステージで多くの仮説が入っており、その精度は高いとは言えないし、その一つ一つの仮説について細かく議論することは意味のないことであると考えられる。ただし、各非鉄金属のマテリアルフローの不明は、おのおのの金属で若干の違いはあるにせよ、WEEEの非鉄金属ポテンシャルと明確に関連があることはわかった。次に注目しておきたい

表3 電気・電子機器に含まれる金属の推定量

| 種類 | カテゴリー | 国内流通 (t) | リサイクル率※ | マテリアルフロー 不明量(t) | 積算推計値 (t) | 備考 |
|-----------------------|----------------|-------------|---------|--------------------|--------------|-------------------------------|
| Au | 電気通信・機械部品 | 134 | 40% | 80.4 | 42 | |
| Ag | 電気通信・コネクター・電気管 | 672 | 30% | 470.4 | 670 | マテリアルフロー中の酸化銀電池を考慮した値ではない |
| Pt | 電子部品 | 1.9 | 30% | 1.33 | 1.5 | |
| Pd | 電子部品 | 7 | 30% | 4.99 | 3.7 | |
| Cu | 電線・伸銅 | 1,530,000 | 90% | 153,000 | 110,000 | |
| Pb | はんだ・ガラス・塩ビ・塗料 | 39,000 | 30% | 27,300 | 10,300 | 塩ビ・塗料が含まれる値(はんだのみ13,000t) |
| Sn | はんだ・電子部品・伸銅品 | 12,400 | 30% | 8,680 | 5,300 | |
| Zn | 電池 | 6,800 | 25% | 5,100 | 11,900 | リードフレーム、鉄板などを考慮していない |
| Ni | 電池 | 4,800 | 25% | 3,600 | 7,000 | 板類などを考慮していない |
| Cd | 電池 | 600 | 25% | 450 | 220 | |
| Co | 磁石・VTR・電池 | 11,070 | 20% | 8,856 | 未完成 | |
| Ga | GaAs, GaP | 53 | 20% | 42.4 | 23 | |
| In | はんだ・蛍光体・液晶プラズマ | 486 | 90% | 63 | 46 | ITOターゲット(470t)から90%回収されていると仮定 |
| Ge | 蛍光管・光通信 | 7,700 | 20% | 6,160 | 未完成 | |
| Ta | コンデンサーなど | 205 | 20% | 164 | 133 | |
| RE (Nd, Sm, Dy, Laなど) | 磁石 | 4,000 | 20% | 3,200 | 未完成 | |

※ リサイクル率は想定値、該当カテゴリーは、一部基板などとして銅製錬などに入ってしまった(銅精錬でとれるかどうかは別問題として)としている。

のは、その絶対量である。Cu について言えば、年間消費量 140 万 t のうち、推定値で 11 万トンが WEEE 起因、Pb については、1 万トンであり、管理されるとはいえ環境面での考慮が必要である (Pb については RoHS 指令により、今後改善する可能性が想定される)。また、Au については推定値で 40t が廃棄されてしまっていることになることはこの金属の価値や、エコロジカルリユクサックの大きさから考えると、経済的にも環境的にも問題である。このため、より回収を強化して、リサイクル率を高めていくことが重要である。

そのため、RtoS 研究会では、WEEE のうち家電リサイクル法で回収されない小型の機器である廃小型電子機器 (Small Domestic Applicant, SDA) について、リサイクル技術の開発試験に供する機器の対象年度を決定すると共に、試験試料を得る目的で回収試験を 2006 年度実施した。この試験は秋田県の協力を得て、秋田県大館市 (人口 8 万人) において全市民を対象とした一種の社会実験である。大館市に白羽の矢が立ったのは、市内に家電リサイクル工場があり、産業廃棄

物の中間処理・最終処分場、製錬の前処理などができる一連のインフラがあったため、市が一般廃棄物の取り扱いを認めることで、どのような事態にも対処できると考えられたからであった。

2006 年 12 月末から 3 月末までの 3 ヶ月間実施した SDA 収集予備試験では、集荷された重量は約 7t、個数は約 5,000 個であり、重量の 85% は不燃ゴミ、15% は一般設置ポスト、個数では、不燃ゴミ 36%、一般設置ポスト 64%、公民館 18% であった。地域性や一般設置ポストなどが市の全域に行き渡っていないことなどもあり、電気製品の生産量 = 廃棄ポテンシャルの推計結果と比較し、量的には充分とは考えられないが、予備試験の結果からは以下のようなことがわかった。詳細の結果を表 4 に示す。

- ① 実施した粗大ゴミからの家電品ピックアップと一般設置ポスト収集方式ではそれぞれの特徴があるが、両方を合わせることで全商品範囲の収集には有効であること。また、収集に関して盗難など大きなトラブルはなかった。
- ② 収集品の解析では、市場的に消滅している商品の

表4 収集試験で得られた各種廃棄物の量と廃棄ポテンシャルとの比較

| 品目 | 2005年推計 国内台数 | 平均重量 (kg) | WEEE 発生量 (kg) | WEEE 発生量 (kg/3ヶ月) | 大館市 人口換算 (kg/3ヶ月) | 大館 回収実績 (kg/3ヶ月) | ポテンシャル 回収率 |
|---------------|-----------------|--------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| MDプレーヤー | 223,000 | 0.1 | 22,300 | 5,575 | 4 | 8 | 223.5% |
| チューナー | 417,000 | 3.0 | 1,251,000 | 312,750 | 203 | 245 | 120.3% |
| VTR | 1,093,000 | 3.8 | 4,153,400 | 1,038,350 | 675 | 729 | 108.1% |
| 扇風機 | 555,000 | 2.6 | 1,443,000 | 360,750 | 235 | 196 | 83.4% |
| CDプレーヤー | 1,709,000 | 0.4 | 683,600 | 170,900 | 111 | 81 | 73.3% |
| HiFiスピーカーシステム | 747,000 | 4.2 | 3,137,400 | 784,350 | 510 | 290 | 56.9% |
| ヘッドホンステレオ | 20,000,000 | 0.1 | 1,000,000 | 250,000 | 163 | 62 | 38.2% |
| 電子・電気オープン | 89,000 | 5.9 | 525,100 | 131,275 | 85 | 28 | 32.9% |
| ステレオセット | 1,004,000 | 11.0 | 11,044,000 | 2,761,000 | 1,795 | 499 | 27.8% |
| HiFiチューナー | 145,000 | 1.3 | 188,500 | 47,125 | 31 | 8 | 26.1% |

廃棄が急激に行われており、より早く収集システムを構築しなければ、これらに含まれる金属資源がノーリターンとなる危険があること。

- ③ 小型家電の廃棄品はかなり年数に幅があり、技術開発の資料の絞り込みも今後必要であるとともに、その解析のための試料の総量はまだ不足していること。

これらのことから、一般廃棄物としてのノーリターン化や海外流出を防ぎつつ、社会システムの構築のためのデータを得るためには、早期に範囲を広げていくことが重要である。幸いにも大館市内では市民権を得てきており、新たな仲間として、ニプロ、ニプロファーマの工場と、デンコードー、K'sデンキの電気量販店が加入、皆が何とかできるシステムを作ろうというポテンシャルが内在していると考えられる。

2007年は北秋田エコタウン（40万人）の範囲で実験を行い、2008年は秋田市を中心とした県中央地域、大曲・横手を中心とした県南部地域に試験範囲を広げて、より詳細なデータを得ることを計画している。

そのほか、2009年からは従来の経済産業省だけでなく、環境省の支援も受け、新たな地域での収集実験の拡大を検討中である。また、回収後の資源化技術については、2007年から経済産業省の補助金を受け、独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構の中で解砕、その後の個体分離、さらに最終的な製錬技術の一部まで一貫したプロセスの開発を目指し、研究を推し進めている⁽¹⁰⁾。

4. まとめ

レアメタルの資源状況の概説を行い、これからは以前のような安価な資源が簡単に手に入る状況には戻らないことを示し、その対応策として鉱山開発やリサイクル促進、代替技術開発の必要性を強調した。

以上の状況で我々が提案している RtoS は、金属資源を廃棄物からではなく鉱石として扱うことで、リサイクル可能性の拡大、将来への備蓄の概念、環境負荷低減を実施できるようにするためのパラダイムの転換である。これには、今回取り上げた WEEE（廃電気・電子機器）以外にも、より低品位なものを回収することも含まれる。

今回示したように WEEE について言えば、充分な金属ポテンシャルを持ちながら廃棄物とされ、行き場がなくさまよっている対象物といえる。今後よりリサイクルを推進し、環境的な配慮を行っていくとともに、我が国の産業を支える資源の確保を行おうということに対しては総論として反対はないと考える。今後、各論としてそれを経済的にも許容できる範囲で実施するための議論が必要である。社会が時々刻々と変化していることを考えると、現在までの廃棄物からたまたまできるものだけをピックアップしてくるという考えではなく、包括的な資源戦略も考慮し、金属資源をどのようにしてリサイクルしていくかから考えることが必要で、RtoS の考え方を示した。

今後、我々は実際に WEEE に相当するものが社会

からどのような比率で集まるかを実際のフィールドで調査を行い、現実の製品含量をより詳細にしていくことなどとともに、少量で回収システムのないレアメタル類などに対しては「資源」(Stock)として考慮できるまで「蓄積」(Reserve)することができるような分離・濃縮システムなどを研究することを既に計画している。さらに、経済性や制度面も今後とも多くの意見を聞きながら実効性のあるものとしていきたい。

参考文献

- (1) 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構、
③『レアメタル備蓄データ集(31鉱種)』(2005)
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/organization/japan/g3/shiryo_haihu_page/haihu.html
- (2) 技術同友会、クリティカルメタル対策に関する提言(2007)
- (3) 経済産業省 資源エネルギー庁 鉱物資源課、平成19年度鉱物資源対策調査報告(2008)
- (4) 平成18年度 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会 資料(2006)
- (5) 南条道夫:東北大学選鉱製錬研究所彙報 vol.43、pp.239(1987)
- (6) 白鳥寿一、中村崇:資源と素材、Vol.122、pp.325-329(2006)
- (7) Questions & Answers on EU Policies on Electric and Electronic Waste EU Press Release MEMO/05/248,Brussels,11 July 2005
<http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?>
- (8) 白鳥寿一、中村崇:資源と素材、Vol.123、pp.171-178(2007)
- (9) 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構、
鉱物資源マテリアル・フロー2005(2005)
http://www.jogmec.go.jp/mric_web/jouhou/material/2005/mineral_resource.pdf
- (10) 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構、
廃小型電子・電気機器からの希少金属の回収技術開発(2007)
http://www.jogmec.go.jp/jogmec_activities/technology_metal/recycling/index.html

Will Material Recycling End the Current Minor Metals Panic? - The Situation at Large and in the E.U. in Particular

Alfons Buekens*

Professor Emeritus
The Vrije Universiteit Brussel

* Alfons Buekens was Invited Professor e.g. at Tohoku University and (at present) Zhejiang University. As a consultant, he served numerous institutions, such as the E.U., UNIDO, WHO, Industry, as well as Banking. His research focuses on thermal and metallurgical processes, in particular from an environmental viewpoint.

SUMMARY

Minor Metals embrace a heterogeneous group of elements, used in much lower amounts than conventional metals. Some of their uses are situated in traditional sectors, such as glass, ceramics, catalysts, alloys, or special metals, others move to the forefront of electronic, photo-electric, optical, magnetic, green energy, or aerospace applications.

For several years the price of many minor metals has been escalating, following that of most other commodities, including oil, gas, and agricultural products, as well as major metals and gold. Still, the case of quite a few minor metals is somewhat peculiar for a number of reasons, such as scarcity, somewhat opaque market conditions, rapid development of new and promising applications, as well as strategic value and marked geopolitical imbalances. Most minor metals must be imported into Europe (or Japan), for refining, conversion and use. The USA, once a prominent mining state, has lost its leading position, e.g. in Rare Earth Elements (REE). According to the US Geological Survey, the USA in 2006 (1992) was a net importer of 65 (42) mineral commodities; in the same time period the number of mineral commodities entirely imported rose from 8 to 17.

In numerous cases China comes to be the largest consumer, the largest producer (Bi, Sb), or both at the same time (e.g. REE and cobalt).

Since the end of the colonial era metallurgical industry in the E.U. has shifted from ores towards secondary materials as a feed. As minor metals must be imported, there is a case to be made for less dissipation and for more collection and recycling. Legal E.U. initiatives in the field of Waste Electric & Electronic Equipment (WEEE) or automotive shredder residue (ASR) may help promoting this trend.

HISTORICAL EVOLUTION

Metallurgy is as old as mankind. Native gold and silver were worked very early and easily indeed. In archeology, the terms Bronze and Iron Age characterize early, even prehistoric stages of human technical development. Yet, actual large-scale mining, moving, and milling enormous masses of ores and extracting their metal content by beneficiation and eventual smelting of ores or by hydro-metallurgical extraction and physicochemical separation methods sustained striking developments during most of the twentieth century. The last major metal to be developed, in 1825, was energy-intensive aluminum. Before electrolytic processes were developed, the metal was more expensive even than gold! The last of the minor metals to be isolated was rhenium in 1925 (John Emsley, *Nature's Building Blocks*, Oxford U. Press, 2001).

Today, the production and markets of base metals, such as iron, steel, aluminum, copper, lead, nickel, tin, zinc, and their alloys are regarded conventional and well-established. These metals have been provided to the world markets on a basis of global production, highly competitive pricing, as well as a rising attention

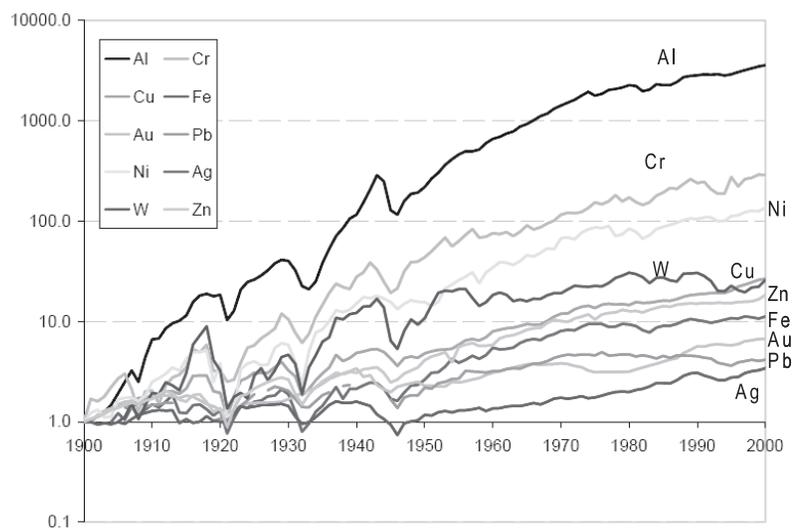


Figure 1 Global 20th Century Metal Use

for developing higher added-value or even niche markets. Figure 1 shows the evolution of metal use in modern times using an exponential scale.

- Nonferrous Metals in Europe

Some metals (Au, Ag, Cu, Fe, Pb, Sb, Sn) were mined, produced and worked since antiquity; other major (Al, Mg, Ni, Zn) and most minor elements are more recent creations, following early, yet systematic research on chemical elements, their nature, structure, and properties. High purity metal is only required in electric conductors and in particular applications. Most mechanical properties of metals are improved by appropriate alloying; in many cases only traces of added elements are needed to profoundly alter the crystalline metal structure and confer the desired internal constitution to steel, aluminum, etc. Some minor metals are extensively used in such applications. Major ferroalloys have mainly Mn and Si/Mn, Al, B, Ce, Cr, Mg, Mo, Nb, Ni, P, W Si, Ti, V, W as alloying elements. Improved production, refining, and quality control methods have given rise to innumerable new impulses and achievements in the field of material sciences.

Eurometaux is the voice of non-ferrous metals industry in Europe (<http://www.eurometaux.org/content/default.asp>) in all areas of policy and legislation that affect this industry. Members' activities encompass mining, metallurgy, and downstream processing into intermediates as well as finished products. The metals involved include aluminum, copper, lead, nickel, zinc, high-tech and precious metals. Eurometaux enterprises contribute 1.1% of the European Union's GDP, employ more than 400,000 people directly and another 800,000 indirectly, generating an average annual added value of 91,000 euro per employee.

The London Metal Exchange (<http://www.lme.co.uk/>) trades contracts for future delivery of *exchange traded metals*. It may add futures or a clearance system for steel, molybdenum, ferrochrome and cobalt to its exchange, for reducing the risk of volatility of both price and availability of such critical raw materials. Contracts imply delivery of physical metal on the contract's expiration date. Exchange members may be producers, trading companies, financial institutions as well as end-users. It requires the existence of a warehouse inventory level consistent with maintaining an *orderly market*.

- Nonferrous (and minor) metals in Belgium

On the European Continent, Belgium enjoyed early industrial development, not in the least in metallurgy, even, during the reign of Napoleon, starting first with the industrial production of zinc. In 1958, the country hosted a World Exhibition, while still a colonial nation with direct access to the natural resources of Congo, including its rich deposits of e.g. copper, cobalt, coltan (= columbium or niobium + tantalum), diamonds, gold, nickel, tin, uranium, vanadium, and the Rare Earth Elements (REE). Since, it has been largely cut off from these exclusive and rich resources and surviving metallurgical industry has successfully shifted from using ores, re-focusing on recycling residues and scrap. Originally a mining company (Union Minière du Haut Katanga), Umicore (www.umicore.com) now regroups former metallurgical enterprises. In Hoboken it produces 17 different metals from int. al. Waste Electric & Electronic Equipment (WEEE), catalytic mufflers and scrap batteries, along with conventional dross, speiss, matte, anode sludges, slag and fly ash. Metallo-Chimique (www.metallo.com), starting from a wide range of metal-bearing scrap, waste and residues, converts these entirely into saleable metals (Cu, Sn, Pb), dense slag used in civil works, and dust (crude ZnO). Compagnie Métallurgie de la Campine recycles lead batteries (<http://www.campine.be/>), buys antimony (mainly in China), and supplies antimony-based fire-retardants. Hydrometal (<http://www.hydrometal.be/>) treats zinc bearing residues using wet methods. Sadaci (<http://www.sadaci.be/>), originally specializing in calcium carbide and ferroalloys, now treats molybdenum ores and packs moly-catalysts for recycling. It is part of the Molymet group (Chile).

MINOR METALS

Fifty years ago, even stainless steel was still considered a very expensive material and its working into technical equipment a privilege of few construction companies only. Since then, exotic cladding materials and metals have widely been introduced, mainly on behalf of our chemical, oil refining and petrochemical industries. High temperature creep puts severe constraints on even refractory metals. Gas turbine engines powering a plane have an amazing mix of elements contained in their alloy blades, including Cobalt, Molybdenum, Tantalum, Tungsten, Chrome, Titanium, Hafnium, Zirconium, Rhenium and, soon, Ruthenium with Nickel, Cobalt, or Titanium as a base

Superalloy metal. New elements that half a century ago hardly had any significant outlet have since appeared in numerous and differing electronic, optical, magnetic, medical and aerospace applications. Many of them are low in volume but high in value and almost all have extraordinary and sometimes exclusive properties.

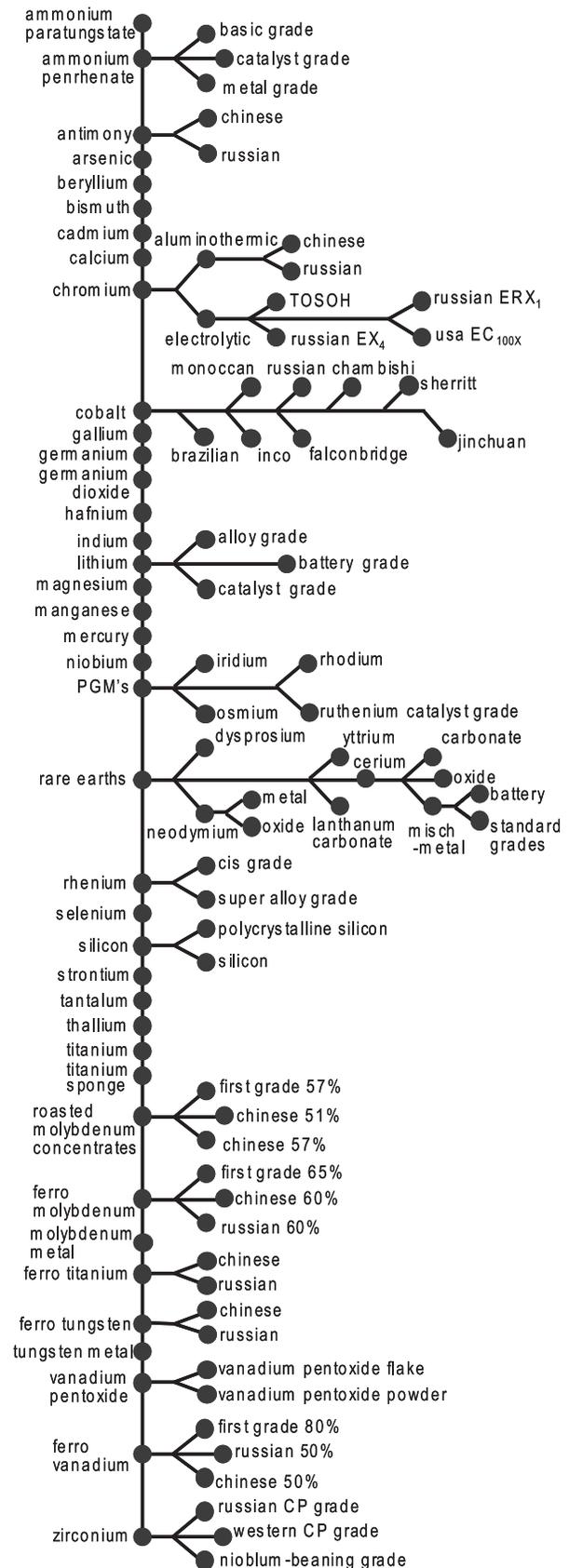
Minor metals are all around now: in mobile phones, TV screens, computers, or cars. Powerful, yet miniature magnets require special Rare Earth Elements (REE). Mundane objects, such as spectacle frames, golf clubs and tennis rackets, share this inclination towards minor metals. Hi-tech answers to environmental questions are also provided by minor metals, such as Germanium, Gallium or Indium for photovoltaic cells, batteries for hybrid electric vehicles, or cobalt-catalysts for gas-to-liquid (GTL) fuel conversion technology. They are, however, a heterogeneous group of elements, appearing in the most varied types of applications (<http://www.lipmann.co.uk/>).

- Definition of Minor Metals

Minor Metals are a group of over 35 elements that have rather unlike characteristics. They may be defined [<http://www.resourceinvestor.com/pebble.asp?releid=37893>], e.g. as any primary metal:

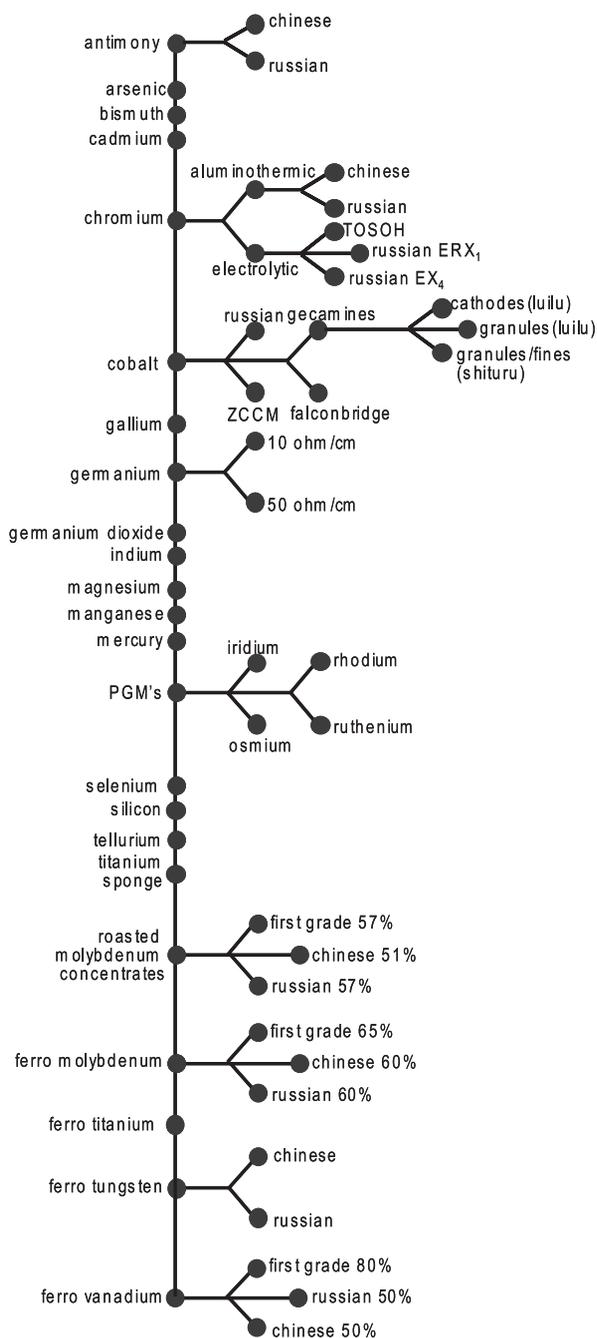
1. for which no exchange traded futures contract exists at a global commodities exchange, e.g. the London Metal Exchange or NYMEX;
2. not produced in quantities greater than e.g. 150,000 Mg (Mg = metric tonne) per year;
3. for which there are rather few uses;
4. very difficult to separate from other metals, and hence has limited availability and uses as pure metal;
5. produced as a by-product and therefore having very limited supply elasticity, or
6. defined as such by the Minor Metals Trade Association of the UK.

The Minor Metals Trade Association (MMTA) is a worldwide industry association based in London, whose members are involved in over 35 metals in their various forms and that are not traded on exchanges. The MMTA does not host a marketplace for minor metals or publish price information. The inclusion, or not, in the scope of the Minor Metals Trade Association (MMTA) seems based on pragmatism rather than on some paradigm involving the selected elements, their



Source: <http://www.mmta.eu/norms/individual.aspx>

Figure 2a Individual Metal Norms



Source: <http://www.mmta.eu/norms/sampling.aspx>

Figure 2b Sampling and Assaying

uses, position in the Periodic Table of Elements (some minor metals are, in fact, metalloids!), or other good technical, scientific, or economic grounds.

Individual minor metals (Ag, Au, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Li, Mg, Mn, Mo, Nb, Re, Ru, Sb, Se, Ta, Te, Ti, U, V, W, Zr), Rare Earth Elements (REE), ferro- and super alloys, are synthetically discussed in Monographs:

<http://www.mmta.eu/economicsFacts/miningJournalReview.aspx> and

<http://www.mmta.eu/economicsFacts/metalBulletinMonthly.aspx>

To inform traders, consumers and producers in distant corners of the globe what qualities to expect when entering a contract, the MMTA provides standards across a wide range of minor metals (Figure 2a). Professional sampling is as important as the quality of the ensuing chemical analysis. Sworn samplers have codes of practice and rules but for most metals and scraps it is hard determining whether the results obtained are really fully representative.

The MMTA worked closely with samplers and assayers to publish some guidance in this field (Figure 2b).

Some elements that share scarcity and numerous novel applications, yet do not pertain to the scope of MMTA, are often also considered as minor metals. The Platinum Group Metals (PGM) consist of 6 elements sharing scarcity, high cost and high melting point: ruthenium Ru, rhodium Rh, palladium Pd, osmium Os, iridium Ir, and platinum Pt. Members of the London Platinum & Palladium Market include producers, traders and – not in the least – financial institutions (<http://www.lppm.org.uk/>).

A Japanese counterpart of MMTA is the Japan Society of Newer Metals (JSNM). Its voice is heard in Europe by the good services of *Roskill's Letter from Japan* providing mining & metal information, translated from Japanese (<http://www.roskill.com/>). JSNM monitors the implications of the E.U. Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Directive, e.g. with respect to Cu-Be alloys in electronics.

Major Minor Metals are also those metals, listed in China in an open-ended decree, that meet some or all of the above criteria, and in the production or processing of which ownership is forbidden to foreign corporations or individuals. This classification is of great significance to the Chinese government, due to the high technology drivers for many minor metals produced in China, such as tungsten, indium and the rare earth metals. Another factor of influence is the limiting quota fixed by China on its exports of strategic minerals and metals. Such measures sometimes contribute to creating an artificial scarcity and disrupt the established equilibrium between offer and demand.

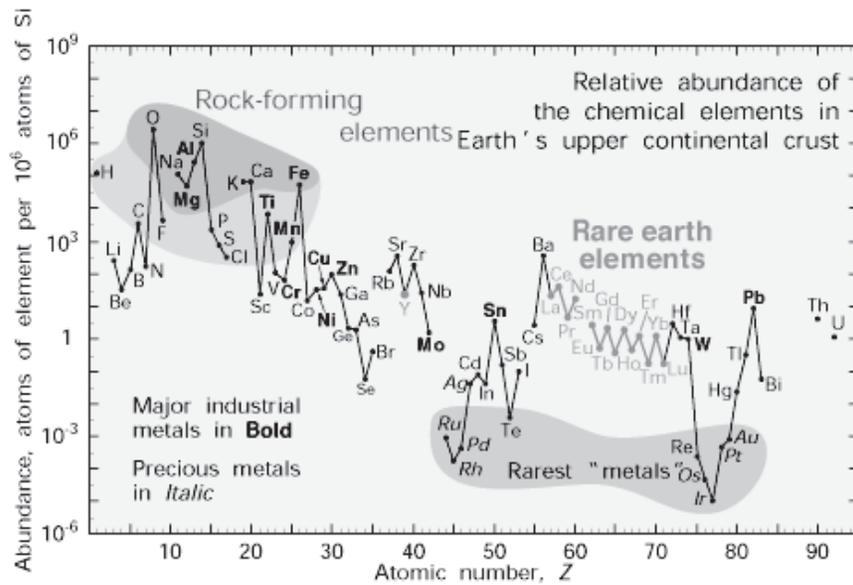


Figure 3 Specific Abundance in the Terrestrial Crust

- Scarcity and Supply of Minor Metals

Obviously, each element has a specific abundance in the terrestrial crust (Figure 3). A number of minor metals are relatively rare; yet others are much more plentiful than is implicitly assumed, judging from meager annual production figures or after their name (REE). The rarest elements on earth are the platinum group metals, together with Rhenium, Gold, and Tellurium, as follows from tabulated data

[http://en.wikipedia.org/wiki/Abundances_of_the_elements_\(data_page\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Abundances_of_the_elements_(data_page)).

Much more important than scarcity in the terrestrial crust is the relative abundance of ores that can be economically mined. For each element, such ores and their related geological context are quite specific to the minor metal considered. These are treated in some detail by the US Geological Service (<http://www.usgs.gov/>).

For a number of minor metals, specific ores can be identified, jointly with their geological context. These are covered in the aforementioned MMTA-site Monographs.

Some of these Minor Metals assume considerable economic, strategic or military importance and, hence, historically have been stockpiled in the USA or are increasingly subject to restrictive regulations in China. Following the collapse of the Soviet Union the USA started selling military stockpiles and today only relatively small amounts of beryllium, chromium, cobalt, ferrochromium and -manganese, germanium, iridium, tantalum, and tungsten remain (<https://www.dnsc.dla.mil/>) in store.

[dnsc.dla.mil/](https://www.dnsc.dla.mil/)) in store.

Many of these elements in recent years have seen their prices rising in a way to cause concern regarding safe supply and economic usage. This has caused disquiet e.g. in Japan, a leading country in the development of optical, electronic and magnetic devices.

Remarkably, the US-government assumes a distinct and diffident attitude, based on the principle that market forces alone will lead to equilibrating the required demand/supply balances. Still, in 2007, in a document "Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy" the National Academy of Sciences issued a warning, discussing concepts of criticality, supply restriction and associated risks related to mineral resources:

http://www.resourceinvestor.com/MediaLib/Downloads/critical_minerals_final.pdf (Figure 4)

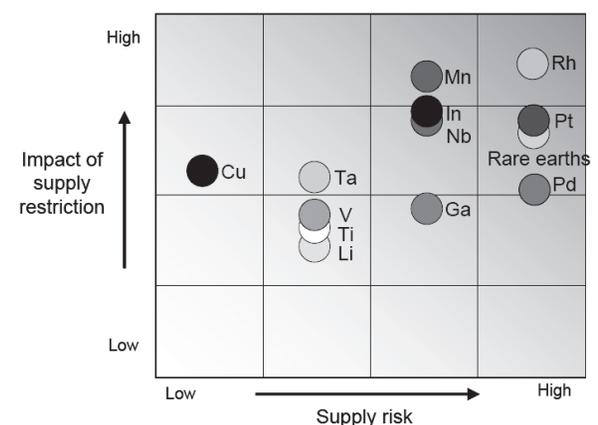


Figure 4 Criticality for US Industry

Conversely, the US Geological Service, remains at the level of general concepts in its policy document:

<http://pubs.usgs.gov/fs/2007/3109/fs2007-3109.pdf>

Past and present supply sources are exposed in inventories prepared by the US Geological Service. In his series, Mr. J. Lifton discusses current mining developments, designed to supply new and desirable minor metal resources. Nevertheless, developing mining operations is a complex venture that takes sometimes decades to complete, at least, when attempted in the middle of nowhere. In more 'advanced' countries, complicated licensing procedures may delay if not entirely jeopardize such enterprise. Mining is no longer considered a sustainable activity. It is an apt target of green activists. Public opposition is always to be expected and delays projects significantly, often rendering these even impossible to implement.

In some cases, metals may be mined from historical tailings or slag, derived from former metallurgical activities. The now defunct Magnola project produced magnesium from mining tailings from out-of-use asbestos quarrying (<http://www.metsoc.org/virtualtour/processes/magnola.asp>), while in Uganda and Zambia copper/cobalt tailings provide feed for around 15-20% of global cobalt production!

In other and more frequent cases, however, the minor metal mainly appears as an accompanying element of a major metal, such as copper, zinc, lead, or tin, thus emerging only as a by-product at the level of, e.g., froth flotation schemes, in electrolytic anode slimes, filter dust, slag, or other side streams.

Economically, this is a complicating factor, insofar that the increased demand required by a new application can hardly be met by enlarging the supply, since the latter is entirely contingent upon the extraction of a different, major metal, with distinct markets, supplies, demand, and cost factors. Examples of such elements (main source) are: molybdenum, rhenium, selenium, tellurium (copper), cadmium, germanium, thallium (zinc), bismuth (lead), cobalt, platinum group metals (copper, nickel), osmium (gold)...

A somewhat similar consideration arises in the case of joint mining reserves, e.g. gold, combined with REE. Evaluating the economic feasibility of mining becomes more complicated, when the future evolution of a large number of unrelated commodities appears at the revenue side of a balance sheet.

The distinction between ore scarcity, amount of ores mined (production) and amount of mineable ores

(reserves) can now be illustrated by some examples: the total world production of new gallium is only ca. 80 Mg per year. In the earth crust lithium is about as abundant as gallium (Figure 3). Nevertheless, 21,000 Mg of new lithium, or ca. 250 times more were produced globally in 2006. Despite its low production rate, gallium is better represented in the earth crust than lead, a metal already mined in the Bronze Age. Nevertheless, even today, worldwide production and consumption of lead is still increasing, as is the global inventory of lead in use. The highly organized Roman Empire extensively exploited lead mines using the metal in water pipes (cf. <http://en.wikipedia.org/wiki/Lead>) and covering temples with lead sheet. Still the total inventory, accumulated by the Roman Empire is far less than the total annual lead production of about 8 million tonnes, or roughly 100,000 times that of the ampler element gallium. About half of this lead is produced from recycled scrap, mainly batteries. For gallium, a comparatively new metal, there are as yet no sizeable secondary sources available for recycling to draw from.

Very recent (2008) mineral commodity summaries have been prepared by the USGS: e.g.

<http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2008/mcs2008.pdf>

<http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vanadium/myb1-2006-vanad.pdf>

- Inventories

As more metal ores are mined the available inventory of metal-in-use is steadily rising, sometimes even to almost alarming amounts. Some scientists established methods for material flow analysis and quantified specific inventories:

<http://www.scientificjournals.com/sj/lca/Pdf/aId/6852>.

Prof. Brunner pointed out that the amount of copper residing in Vienna, the Capital City of a comparatively small Austria, amounts to some 300,000 Mg! Such inventories are reassuring when one considers that these eventually can again be tapped and reused or recycled, if not as such, at least after re-melting or – when really required – refining. Fortunately, as far as some specifications are met, most impure metals can be reused directly, most likely as an alloy. When required, sorting at the source may contribute to a grouping into internally compatible categories of alloys.

Less optimistic was a simulation of the global

system by Randall and Meadows in their Report to the Club of Rome, "Limits to Growth". For sure, humanity was doomed, since – depending on the hypotheses and numerical values used – it would disappear, either because of lack of food and raw materials, following an explosive growth of population, or maybe even worse, because of prevailing pollution, generated by industrial activity, as well as by careless consumption and dissipation patterns of toxic metals at the end of the lifetime of commodities and utensils involved.

In such a model, it is clear that the land, the air, as well as the seven seas end by being polluted beyond repair since all use entrains some dissipation. Belgium, the first zinc producer worldwide, grew into a universal center of competence in cadmium-caused poisoning and related pathology. Japan likewise was painfully confronted with mercury discharged in its Minamata Bay!

- Use of Minor Metals

Minor Metals have an incredible list of applications, as follows from numerous monographs, cited before. For the sake of example, a few minor metals are now briefly highlighted.

A number of minor metals have a very low melting point, e.g.: Bi, Cd, Ga, Hg, In, Se, Sn, Tl. The five refractory metals are: Tungsten (W), Molybdenum (Mo), Niobium (Nb), Tantalum (Ta), and Rhenium (Re). Also Ru (2,334°C), Ir (2,446°C), and Os (3,033°C) melt well above 2,000°C.

Bismuth is used in low melting point alloys for safety fuses, solders for temperature-sensitive electronic assemblies and as an alloying element in free-cutting steels, aluminum alloys, and malleable cast irons. Its low toxicity has boosted its application as a substitute for lead.

Copper beryllium (CuBe) alloy is used as conducting spring material in a range of electronic connectors, IC sockets, switches, relays, and micro motors.

Cobalt is essential in numerous applications, such as super alloys for jet engines, rechargeable batteries, magnets, and pigments...

Indium is used to seal electronic assemblies, scientific instruments and in cryogenics, as exemplified by its use in body scanner technology, due to its malleable nature and maintenance of mechanical strength down to very low temperatures. Other applications include lead-free solders, batteries, SOX

lamps, bearings, low melting-point alloys and as a sacrificial element in cathodic protection systems.

There is a soaring demand for indium metal, as indium tin oxide coating on flat-panel displays. It is deposited as a thin layer by sputtering from a target and acts as a transparent electrode enabling LCDs, PDPs and OLEDs to be activated. Other applications are in mobile telephones, navigation devices and displays. Major consumers in Japan, Korea, Taiwan and China include LG Philips, Samsung, Sharp and Matsushita.

Niobium is used mainly in HSLA-grade steel products (pipelines, frames, structural members for automobiles and trucks) and in a wide variety of applications, such as aerospace and aircraft turbines, superconducting wire... A titanium alloy is suitable for magnetic coils for medical magnetic resonance imagery (MRI) equipment. Niobium chemicals are used in high-refractive index lenses, high-dielectric, multilayer ceramic capacitor formulations; and in the manufacture of lithium niobate for surface acoustic wave (SAW) filters for electronic circuitry in cell phones, and for catalytic conversion of palm oil into biodiesel fuels. Niobium carbide is used in the manufacture of cutting tools and in wear-resistant applications.

REE are mainly used (2005) in permanent magnets and NiMH batteries (hybrid vehicles), catalysts (vehicle emission controls), polishing powders and phosphors (LCD and PDP displays), glass additives (digital cameras, fiber optics). Further uses are in petroleum fluid cracking catalysts; metallurgical applications; and television, lighting, and X-ray intensifying phosphors.

Selenium is a semi-conducting metalloid, recovered as a by-product of electrolytic copper refining. Major end-uses of selenium are glass manufacturing, chemicals, pigments, metallurgy (SeO), electronics, agriculture etc.

Tantalum capacitors are used in electronic circuits owing to their high capacitance in a small volume, reliability, and temperature stability. Tantalum is applied in such products as cell phones, DVD players, personal computers, digital cameras, gaming platforms, LCD monitors, wireless devices, telephone switch boards and computer networks because of its unequalled capacity to store and release electrical charges. Other electronics applications are in PC memory chips, igniter chips for car air bags and other automotive electronics. In addition, it is used in the manufacture of super alloys for jet engines, turbines, space vehicles, nuclear reactors, power plants and chemical equipment due to

its extreme hardness; in the manufacture of carbides for cutting tools, drill bits, excavator and bulldozer teeth and the forming of dies; in sputtering targets for use as optical coatings, memory chips and silicon wafers for use in micro-compressors; in military and recreational ammunition and in the manufacture of a variety of other products such as rayon fibres, heat shields, ink jet printers, x-ray film, hip and knee replacement systems (because of its non-corrosive nature) and in the manufacture of surgical instruments and appliances.

Tellurium is mainly used as an alloying agent with iron and steel, in catalysts and chemical uses, alloyed with non-ferrous metals and in a variety of electronic applications.

Glass coloring is a complex theme, the resulting color varying with the kind of glass, its redox potential, the identity of the alkaline ions present and numerous other factors. Relevant elements are in this context: As, Ce, Cr, Cu, Fe, Mn, Sb, Sn (all of these redox dependent), further Co, Er, Nd, Ni, Pr (only one valence), and the pairs Fe/S, Mo/S, Fe/Se, Ce/Ti, Ce/Pb, Ce/Cu. Dense elements, such as Pb and Ta, influence upon the refractive index of glass.

- Dissipation

Minor metals are used in numerous applications, often involving only small amounts of material, e.g. ferrous and mother-alloys, glass, ceramics, coatings, colorants, pigments... They are affected by dissipation, since many applications are based on only immeasurable amounts of material. Hence they are diluted beyond repair, once stuck in their final application. Since most minor metals are applied only since a short while, their presence is not too well known by the public. Dissipation will result, unless they can be collected in each important application and recycled efficiently. The only effective countermeasure, advocated already by the Report to the Club of Rome, is recycling!

Batteries are recovered very intensely in Belgium, following a threat with a mandatory deposit, formulated in the context of the 'Ecotax' Law. The example since has spread over more countries (www.rechargebatteries.org).

- Production

Production of minor metals can be subdivided into primary production, derived from ores or from mining tailings that were stockpiled in the past and secondary

production derived from new or obsolete scrap. An extended series of contributions in Resource Investor (Mining industry news, reviews and interviews - News That Trades!), deals with the fate of minor metals worldwide, analyzing market trends and tendencies from mainly an investor's viewpoint, stating the current status of supply and demand, scrutinizing either active or still pending projects as well as demand developments. Their author is Mr. Jack Lifton, a consultant focusing on the sourcing of nonferrous strategic metals, minerals, and chemicals. The next Table 1 is adapted from the first of his series of papers that can be downloaded freely.

Table 1 Primary Production of Selected Minor Metals

| Metal | 2006 Mine production (Mg) |
|------------------------|------------------------------------|
| Antimony | 170,000 |
| Beryllium | 130 |
| Bismuth | 5,600 |
| Boron | 59,500 |
| Cadmium | 18,000 (significant recycling) |
| Cobalt | 57,500 |
| Gallium | 80,000 |
| Hafnium | 610 |
| Indium | 480 |
| Lithium | 21,000 |
| Mercury | 1,400 |
| Molybdenum | 180,000 |
| Niobium | 45 (market dominated by chemicals) |
| Rare earths (in total) | 123,000 |
| Rhenium | 45 (significant recycling) |
| Ruthenium | 30 |
| Selenium | 1,390 |
| Tantalum | 1,290 |
| Tellurium | 168 |
| Titanium | 55,000 |
| Tungsten | 73,300 |
| Vanadium | 62,400 |
| Yttrium | 8,900 |
| Zirconium | 38,000 |

(<http://www.resourceinvestor.com/pebble.asp?relid=37893>)

The metals showing the lowest production figures are Rhenium and Niobium, totaling an annual production of only 4.75 Mg and 45 Mg. The first element is very rare indeed in the earth's crust (cf. Figure 3); the second's scarcity is situated between those of copper and lead.

- Primary and Secondary Metal Production Technology

Also metallurgical production plays an important role in the context of minor metals, via its intrinsic potential of extraction, enrichment and separation methods, related technology and process flow sheets,

each with their own specific selectivity and yield.

Integrated iron & steel industry is relatively straightforward. Starting with iron ore mining, ore sintering and/or pelletizing, metallurgical coke, production quarrying of limestone, it continues with a fixed sequence involving blast furnaces, converters, hot and often cold rolling. Nonferrous metal industry is much more diversified than steel production. Almost every plant is unique, adapted to the composition of specific and often complex ores, or certain ranges of metal scrap and/or residues. Particular processes and plant lay-outs are determined by (1) ore composition, including the amount and nature of its intrinsic accompanying impurities and their own markets and value, and (2) the required purity of the resulting products and other technical or environmental specifications. Depending on the process principle and flow sheet, the occurrence of accompanying elements is either beneficial – since their separation is easy and their contribution to turnover substantial – or pernicious, in the opposite case. This leads to highly diversified flow sheets and operating conditions, in which some plant recovers a wide range of additional elements, separating these one by one, and other plant merely removing these as undesirable impurities, e.g. in the slag. Such choices are made on the basis of economic, logistic, as well as technical reasons. The first evolve constantly with market conditions, at both the supply (ores, scrap, residues) and demand (metals, oxides, or salts) side.

Once a choice is made, it can later still be altered; yet, such changes require substantial investment, as well as several years to be implemented.

Again, some examples may illustrate these factors.

Copper is a valuable element, and silver even more so. Yet, during electrolysis silver is precipitated willfully with the slimes, since it is separated easily, sold profitably, and moreover its continued presence lowers the quality of electrolytic copper. Nickel similarly is highly valuable and yet its presence in a copper smelter may turn into a real nuisance: when it appears, it cannot be separated so easily and still must be sluiced out. The resulting bleed stream co-entrains quite a bit of copper in order to safeguard copper standards. Of course, some dedicated smelters operate schemes that allow separating these two valuable metals, but these smelters may be situated far away and not too much interested in custom co-treating such an occasional mixed Cu/Ni-stream. Getting value for less

usual or more complex flows is not so evident and the picture of offer and demand for such services is often unfavorable and continuously evolving!

In 1887 the Hoboken plant of Umicore started as a silver smelter owned and operated by Degussa. Today, acting as a custom-refiner it is the world's largest recycler of platinum group metals. Electronic scrap is subdivided in richer and leaner streams, a dividing line roughly situated at a level of 100 g gold-equivalent per Mg of feedstock. For rich flows Umicore competes with Nord-Deutsche Affinerie and Boliden in Europe. The heart of the plant was entirely revamped, applying Australian ISASMELTTM technology first ever in this context. Its downstream separation scheme is worldwide unique.

Lean electronic scrap cannot be treated economically at Umicore, since the processing fee would well exceed the value of recovered metals, even though the efficiency of their recovery is outstanding. A suitable answer may be provided by a different smelter, Metallo-Chimique. Scrap, residues, and WEEE, lean in gold or PGM can be treated there simply and economically, with wide-ranging reuse of values: the contained plastics provide fuel, iron acts as a reducing agent, and glass serves to lower the slag melting point and economizes supply of sand, otherwise required for constituting a slag!

- Limits to Recycling

The same example also illustrates possible distinctions and a potential dilemma between economy and ecology. Metallo-Chimique is quite capable tackling WEEE, treating it in an almost optimal way, while recovering almost all copper, lead, and tin in its process feed. Zinc and cadmium concentrate in the filter dust, whereas precious metals emerge as anode slimes during electrolysis. Even indium is sluiced out after a proprietary treatment. This unique enterprise thus takes nondescript residues and converts these entirely into marketable products, since slimes, filter dust, slag ... all is sold. One major limitation exists at the entry: the content of organics is restricted in its operating permits, in-line with the prevention of emissions that – technically speaking – can perfectly be managed by providing post-combustion and adsorption of dioxins and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Activated Carbon prior to the filter.

Nevertheless, recycling has its limits. Even though collection efficiency may be optimized for almost all

base metals treated, there will likely be exceptions, albeit in the domain of minor metals!

Metallo-Chimique absorbs Cathode Ray Tubes (CRT) after negligible pretreatment, recovering the lead contained in Pb-rich glass and using the balance as an easily melting slag. Yet, perfectionists in Green Parties or Government will argue that some other elements, i.e. the REE used as phosphors (transition metal or rare earth compounds of various types, used in CRT displays and fluorescent lights) on the CRT-screens are lost in the slag, preferring a costly mechanical pre-separation of Pb-glass, Ba-glass, and coatings. A feasible option, yet destroying value!

This example illustrates the tension field between industrialists and green parties. Industry will argue that the Rare Earth Elements are perhaps not all that rare, that the profits of further recovery of REE – given the minute amounts involved – do not weigh against the extra cost of developing, testing and employing supplemental separating methods and that anyway the classical CRT is in the process of being replaced by flat screens with different characteristics and composition.

- Required Purity and Other Specifications

Minor metals show some particular characteristics that are different from those of the more usual metals and render them more specific. Some are used as a metal, others more as oxides or salts. A few are rather to be classified as metalloids. Some are really scarce, or difficult to separate and produce under a pure form and – whenever possible – used as a mixture. A classical example is the group of Rare Earth Elements (REE), a group of lanthanides, which were isolated one after another, starting historically from common ore bodies. One of their trade forms is mischmetal, referring to the German for mixed metal and containing various lanthanides roughly in their original proportions. As for other ores, such proportions vary geographically with substantial differences in composition and hence commercial value. For particular applications a few of these are required in a pure form, which creates a high demand for a number of REE, unmatched by that for others. As a consequence, there has been an incongruent situation with some elements in short supply, while there is a surfeit of others. Neodymium is driving the REE-market at present, whereas cerium must still be stockpiled.

- Ethical Considerations

Another example of an often common occurrence and difficult separation is Coltan, an ore originating in some part at the center of fighting in Eastern Congo and hence associated with ethical issues regarding its procurement. Belgium is similarly confronted with blood diamonds, arising in Sierra Leone.

ECONOMIC CONSIDERATIONS

- Basic Principles

In a free market economy, the cost of commodities is in the first place determined by factors such as offer & demand and their expected evolution, scarcity, perceived value, marketing efforts, etc. The cost of production is composed of fixed and variable cost factors and needs to remain lower than the selling price, in order to generate gross margin. Before creating net profit, depreciation and taxes must still be deducted.

- Trading - Prices

Minor metals are traded in much smaller amounts than the traditional metals and often the number of potential suppliers and users is rather limited. Users cover a great proportion of their needs via long-term contracts, leaving only smaller amounts to be purchased via spot markets. Some buyers tend to stockpile materials during price dips or because of uncertain or lengthy supplies. Sometimes it is quite difficult to establish or identify a published market value, e.g. if the spot market is very small. Examples of such elements without clearly defined market value are, e.g.: tantalum, uranium and certain individual rare earths.

Some enterprises pursue a vertically-integrated approach to production, others limit their ambition to the role of refining, whether as a custom-refiner or for their own account.

Pricing scarce and non-renewable commodities shows specific features. Most industrial activities are repetitive in nature: an integrated pulp & paper operation uses trees that are renewable and renewed after a number of years. After an ore is mined, it is depleted and will never return to the mine. In a highly cyclic context of prices and with historically decreasing mineral and metal values a suit-able compensation should still be provided for the considerable financial risks to be taken while scouting ore deposits and developing a mine. Still, in a global context there is little pricing power at the mining level. Smelters often

operate on the basis of a refining premium. Integrated mining-smelter-refiner enterprise is not widespread in the E.U.

The evolution of cost, uses and other important factors affecting price (historical values until 1998) has been compiled for numerous metals, together with other relevant information in:

http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/metal_prices/metal_prices1998.pdf

Much more recent information is to be found in the Monographs cited earlier.

Trading may also be hampered by all kinds of restrictions: Chinese producers are using limited tonnage allocation to export higher valued rare earths, thus restricting supplies of lower-price materials like cerium and lanthanum, which are critical to the production of automotive emission control catalytic converters and of nickel metal hydride batteries.

Within the minor metals sector some prices recently have escalated spectacularly, e.g. that of indium: in January 2003 indium was selling for around \$60 per kilogram, whereas in August 2006 it was valued at over \$1,000 per kilogram. The selenium price has also performed spectacularly, increasing from US\$ 2.5/lb in early 2000 to US\$ 50/lb in mid-2005 as a result of demand exceeding supply by a substantial margin. This reflects increased world demand for glass in construction projects, for electronic devices and, in particular, new uses in solar cells. Also an increase in production of manganese resulted in higher selenium demand, since it is used to increase the yield of manganese during electrolytic refining.

- Supply and Demand

The supply side is determined either by the output of operating mines, or by available production or refining capacities. In case the metal is won as a by-product of a major metal, supply is less flexible. In some cases primary production can be completed by secondary production, from either prompt or obsolete scrap.

Demand for minor metals is a particularly complex topic and can only be tackled for each individual metal and each application separately. For a more detailed discussion it is referred to the aforementioned MMTA monographs. In numerous cases, some particular minor metal is really an unrivaled choice, and difficult to substitute in particular applications due to its unique chemico-physical properties. When only marginal

amounts of metal are required to satisfy the existing demand, it will be the choice of excellence. In other cases, when there are alternatives, it can at times be substituted by cheaper competitors, so that a trade-off arises between the needs and the cost to fulfill these. Example: during 2004-2006 the amount of cobalt in nickel metal hydride batteries (NiMH) was reduced from 15% to 5% and replaced by cheaper manganese and nickel.

Minor metals often play an essential role in high-range and demanding applications, however requiring only minimal amounts, yet of exceptionally high purity or other particular requirements or specifications. No mineral is more widespread than silica sand, yet in its reduced form of elementary silicon and satisfying demanding specifications it may command astronomical prices when in short supply. The amounts consumed in lower ranking or even trivial applications may be much larger. Zircon sand, compared to the metal, is such a commodity.

Some metals, such as tantalum or titanium are that expensive that they are mainly used as a cladding, rather than as massive metal.

Some minor metals are so unique in their physical characteristics that there is simply no conventional alternative. This applies in particular to a number of magnetic and optical properties. For some of these markets open competition may be curtailed by patent restrictions or commercial agreements. Neo Materials Technologies Inc. is a producer, processor and developer of Neopowders, rare earths and zirconium based engineered materials and applications through its Magnaquench and Performance Materials business divisions. It is the dominant company in neodymium-boron-iron magnets, although with the expiration of patents, other firms soon will be producing them.

Successful substitutes have always been devised in times of need and proposed throughout our history, from the beet sugar developed during the Continental Blockade of Napoleonic Europe to the numerous German Ersatz products sustaining daily life during World War II.

- Substitution

Substitutes will be tracked and researched, as soon as some commodities are rare, expensive and their sustained supply no longer guaranteed. With a combination of new markets, intrinsic scarcity and falling primary supply, the tellurium price is predicted

to increase significantly in the long term. Tellurium can, however, be substituted in most of its applications, which may happen if the price rises to a level that makes substitution attractive. In its major end-use, as an alloying agent with steel, tellurium can be substituted by bismuth, calcium, phosphorus, lead, sulfur or selenium. Other catalysts can replace tellurium-based catalysts in chemical processing, and selenium or sulfur can perform as vulcanizing agents in rubber compounding. However, this is usually accompanied by a loss of performance or production efficiency.

- Labor Cost Considerations – Geographical Moves

In the affluent part of the world, social protection has developed tremendously, so much that hard and dirty work is no longer of interest to the lower trained or less inspired fraction of our Community, which remains permanently unemployed. On the one hand, there was also a massive influx of foreign workers with lower skills and also initial requirements; on the other hand manual work and alas also much spirit of initiative – given factual conditions - migrated to low-cost countries. The largest reservoirs of cheap labor have been China and India.

- Economy of Scale

Since the Korean War, the price of commodities has continuously spiraled downwards, until this nefarious tendency was reversed only few years ago. To survive in a context of high labor cost and dwindling access to ores, industry in Europe, the USA and Japan had to reorganize its operations, taking distance from basic ore resources and moving to operations offering considerable flexibility, as well as economies of scale, and/or to find refuge in rather exclusive niche markets, such as sophisticated, specialized and high-tech products.

China is an important source of mineral resources, especially REE. The literature cited draws attention to its roles as a major source and industrial sink of numerous minor metals. Often, the Chinese industrial mining and metallurgical picture still seems much fragmented. Between 130 and 160 REE firms in China currently exist, but within 10 years this figure would likely shrink to around five or six major companies plus around 15-20 specialized companies. A frequent reason for closure or revamping of operations is no different from elsewhere: environmental problems!

- Environmental Issues

Mining industry historically has had a poor record of creating lunar landscapes and of spreading pollution all over the place, including air, soil and water. Environmental issues associated with mining (storage of burden, retention of water, avoiding the spreading of dust and of contaminated water, landscaping and eventual rehabilitation...), crushing & milling (power consumption), ore beneficiation, smelting... (air pollution) are another factor of rising importance.

Industrial operations must take these factors fully into account. Pollution considerations also require using an appropriate abatement technology, taking to account that purely preventive measures are rather difficult while operating flexible and versatile recycling processes. Cleaning off-gases containing mercury, thallium, arsenic... demands appropriate dust collection, scrubbing, or sorption technology; its absence will limit the range of ores, concentrates or scrap and residues that can be treated within an ethical framework, as well as that of operating permits. Today, trespassers are rapidly identified: earlier in 2008 for several days a cloud containing mercury was identified over Brussels (Belgium), before its origins were traced to a small operator recovering batteries, apparently after deficient sorting at the source!

Thermal metallurgical techniques are also almost often afflicted by the generation of dioxins and other Products of Incomplete Combustion (PICs), such as Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), and by that of fine particles and aerosols. These must be corrected by appropriate preventive and curative measures, requiring continuous monitoring, as well as periodic inspection.

Certain minor metals have been blacklisted because of inherent toxicological and environmental issues. The RoHS-Directive closely associated with the WEEE-Directive targets a number of toxic and otherwise hazardous compounds and elements, such as Cd, Hg, Pb. This has created a specific context, in which substitutes need to be developed. Numerous specific outlets of these elements are banned, yet others exempted from such ostracism, including Ni/Cd- and lead batteries, suitable alternatives still failing. Of course, also other elements are hazardous, e.g. thallium and osmium. Conversely, some essential elements are added to animal fodder supplements, e.g. Mo, Se, Zn.

An unusual yet somewhat similar issue is the presence of radioactive elements, such as thorium, in

some ores and accompanying the elements desired. This occurrence has caused the closure of mining operations at the Molycorp Mountain Pass rare earth mines, shut down due to environmental concerns over naturally occurring radioactive thorium residues being produced and stored on site during ore concentration. At the Umicore Olen plant, complex residues of early radium treatment are still stored in a local landfill. Belgium used to be a huge producer of phosphoric acid. The Rupel Chemie plant features our sole production of uranium, separated from crude acid by organic solvent extraction.

RECYCLING – THE PROPER ANSWER?

- Recycling

Recycling is as old as humanity.

In the USA (Washington, D.C.) the Institute of Scrap Recycling Industries, Inc. (ISRI), a private, non-profit trade association, represents more than 1,350 private, for-profit companies that process, broker, and industrially consume scrap commodities, including ferrous and nonferrous metals, paper, electronics, rubber, plastics, glass, and textiles (<http://www.isri.org/Content/NavigationMenu/AboutISRI/default.htm>). Its Brussels counterpart is the Bureau International de la Récupération. <http://www.bir.org/>

A number of interesting recycling papers appeared as a U.S. Geological Survey Circular, e.g.:

- Antimony Recycling in the United States in 2000: <http://pubs.usgs.gov/circ/c1196q/c1196q.pdf>
- Beryllium Recycling in the United States in 2000: <http://pubs.usgs.gov/circ/c1196p/c1196p.pdf>
- Tungsten Recycling in the United States in 2000: <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1028/2005-1028.pdf>

The International Association of Electronics Recyclers is interested in all phases of activity associated with the recycling and reuse of electronics products, parts, and materials. <http://www.iaer.org/>

RECHARGE represent the interests of Members, who are manufacturers of portable rechargeable batteries (PRB: Pb-acid, Ni-Cd, Ni-MH, Li-Ion, new systems...), original equipment manufacturers (OEMs), recyclers, and raw materials suppliers to the battery industry.

http://www.rechargebatteries.org/Microsoft_PowerPoint_-_WIAUX_JP__WEEE__BD_Syn__Exp_June_25_.pdf

Relevant literature treats numerous examples of recycling of production waste, arising e.g. in the

production of magnets. The actual recycling processes and yields of batteries are less well documented. A positive example is to be found in:

http://www.arnoldmagnetics.com/mtc/tech_presentations.htm

http://www.arnoldmagnetics.com/mtc/pdf/WEEE_ROHS_060113a.pdf

- Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

Directives 2002/95/EC on the Restriction of the use of certain Hazardous Substances (RoHS) in electrical and electronic equipment and 2002/96/EC on waste electrical and electronic equipment (WEEE) are designed to tackle a fast increasing waste stream. Recycling of WEEE will limit the total quantity of waste going to landfill. Producers are responsible for taking back and recycling, thus providing incentives to design electrical and electronic equipment in an environmentally efficient way, without shifting the burden of waste management to the consumers. These may return their equipment free of charge. Directive 2002/95/EC requires the substitution of various heavy metals (lead, mercury, cadmium, and hexavalent chromium) and of brominated flame retardants in new equipment. Exemptions, still are numerous and far reaching, e.g. for Ni/Cd-batteries. As a supplier of electronic and optical equipment, Japanese corporations have monitored this development from the start. The implementation of the WEEE Directive has been uneven in the E.U., as discussed in numerous reports, e.g.

http://www.us.tuv.com/downloads/Perchardsreport_November05.pdf, including exemptions from the requirements of Article 4(1) on the use of hazardous elements, e.g.

<http://www.epa.ie/downloads/advice/waste/rohs/rohs%20exemptions%2010-2006.pdf>

Almost all electronics contain lead and tin (as solder) and copper, as wire and Printed Circuit Board (PCB) tracks. The use of lead-free solder is spreading rapidly and has been covered in patent and technical literature:

http://www.balverzinn.com/downloads/Solder-SN100C-SN100Ce_en.pdf

WEEE contains major elements (aluminum, copper, carbon, iron, lead, silicon, and tin) as well as a host of minor metals: americium, antimony, arsenic, barium, beryllium, bismuth, boron, cadmium, cobalt, europium, gallium, germanium, gold, indium, lithium, manganese,

mercury, nickel, niobium, palladium, platinum, rhodium, ruthenium, selenium, silver, tantalum, terbium, thallium, thorium, titanium, vanadium, and yttrium. Typical uses for these elements are:

- Aluminum: heat sinks, electrolytic capacitors.
- Americium: smoke alarms (radioactive source).
- Antimony: a flame retardant, used alone or in combination with brominated compounds.
- Beryllium oxide: filler in thermal interface materials, thermal grease on heat sinks for CPUs and power transistors, X-ray-transparent ceramic windows, heat transfer fins in vacuum tubes and gas lasers, magnetrons.
- Cadmium: Ni/Cd-batteries, corrosion resistant alloys for marine environment, light-sensitive resistors.
- Carbon: steel, plastics, resistors.
- Copper: wire, printed circuit board tracks, component leads.
- Germanium: 1950s–1960s transistorized electronics (bipolar junction transistors)
- Gold: connector plating, primarily in computer equipment
- Indium is part of LCD TVs. Combined with gallium it is a key component of futuristic solar panels.
- Iron: steel chassis, cases and fixings.
- Lead: solder, lead in glass CRT monitors, acid batteries.
- Lithium: lithium-ion and lithium-polymer battery.
- Mercury: fluorescent tubes (numerous applications); tilt switches (pinball games, thermostats).
- Nickel: nickel-cadmium batteries.
- Silicon: in glass, transistors, ICs, printed circuit boards.
- Tantalum: in cell phones.
- Tin: solder, coatings on component leads.
- Zinc: plating for steel parts.

Non-metal components include the most various plastics (including epoxy resins, polyvinyl chloride and thermosetting plastics) and fiberglass. Polychlorinated biphenyls (PCBs) occur in almost all 1930s–1970s equipment including capacitors, transformers, wiring insulation, paints, inks, and flexible sealants.

OUTLOOK

A rapid surge in consumption of specific minor metals is not always balanced by an appropriate and proportional rise in supply. Hence, price escalation was inevitable and lasting higher price levels may well be expected. However, as fast as prices rise in moments of

scarcity, they return to more reasonable levels once that threats of further regular supply being interrupted are receding.

Some minor metals are essential in new electronic, optical, and magnetic applications; others play an important role in more conventional markets, such as glass, ceramics, or specialty metals. In both cases stable sources of supply, development of cheaper, yet performing substitutes and alternatives are pursued and evaluated. A comprehensive treatment is precluded by the complexity of the situation, the number of individual minor metals and that of their various and often very different applications. For this reason, numerous sources are cited, giving access to more detailed Data Sheets, facts, and their relentless evolution.

ACKNOWLEDGEMENT

The text was critically reviewed by Prof. Takashi Nakamura (Tohoku University), Dr. Egbert Lox (R&D Director, Umicore), Mr. Fabrice Rivet (Federation of the Glass Industry), Mr. Stan Jansen (Director, Metallo-Chimique), and Mr. Roland Chavasse (Executive, Minor Metals Trade Association MMTA).

地上資源で生きる持続可能社会

(株)日立プラントテクノロジー 環境ソリューション本部長
馬場 研二

CONTENTS

- 1 地球環境問題の捉え方と資源問題
- 2 地上資源リサイクルの概念
- 3 温暖化問題と資源問題の緩和戦略
- 4 地球規模の炭素循環に学ぶ

本稿は地球環境問題の中で、主として資源枯渇問題の解決策について、温暖化問題との関係にもふれつつ論じる。地下の金属資源は化石燃料とともに急速に採掘・消費され枯渇してゆく。しかし、金属資源は存在場所を地下から地上に移行しただけであって、地球上から消えてなくなったわけではない。したがって、地上に移行した資源をリサイクルするしかない。これを「地上資源リサイクル」と定義する。地上の資源は地下資源ほど便利に使えるものではないが、地下資源が枯渇する以上、地上資源に依存するしかない。この物理的事実から、著者は「地上資源で生きる持続可能社会」を提唱する。

1. 地球環境問題の捉え方

地球温暖化問題、資源枯渇問題を地下資源の消費と地上への移行という切り口で図式化すると図1のようにあらわすことができる。すなわち、地球環境問題を、I. 地球温暖化問題（「再生不能資源」問題）、II. 資源枯渇問題（「再生可能資源」問題）、これらに加えて、III. 環境汚染問題に分類した。これら3つの問題は一つ一つが地球規模の環境問題であり、かつ、相互に影響しあう問題である。

Iの地球温暖化問題は、地下に眠っていた石油や石炭などの化石燃料が地上に出て、燃料中の炭素が燃焼して二酸化炭素となり、大気中の二酸化炭素濃度が上がり、その結果、海面上昇や気候変動等を引き起こす問題である。二酸化炭素の増加を地球規模で物理的に捉えると、「地下」に眠っていた炭素が「地上」に移行して「二酸化炭素」となり大気に拡散する現象と捉

(ばばけんじ) 1978年北海道大学大学院工学研究科衛生工学専攻卒業、同年(株)日立製作所日立研究所入社、水処理システムの監視制御システムの研究開発に従事後、研究開発本部、環境システム推進本部を経て、2002年から(株)東京エコリサイクル代表取締役社長、2008年1月から(株)日立製作所地球環境戦略室兼務、同年4月(株)東京エコリサイクルならびに北海道エコリサイクルシステムズ取締役兼務。家電リサイクル事業の経験に基づき、地上資源リサイクルによる持続可能社会構築を提唱。21世紀型の製造業のあり方を追求。主な著書「地上資源が地球を救う」（技報堂、2008年、6月）

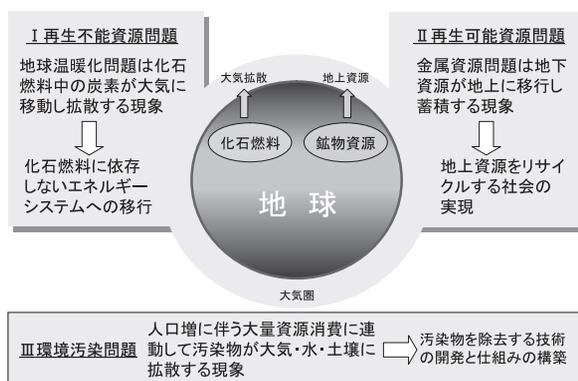


図1 地球環境問題の捉え方

えられる。つまり、炭素が「地下」から「地上」に移行することになる。

IIの資源枯渇問題については、産業革命以来、鉄鉱石、銅鉱石、ボーキサイトなどの地下資源が採掘、製錬されて金属となり、あらゆる工業製品、生活用品が製造・生産されている。この地下の金属資源が加速度的に消費されてゆく中で、重要なポイントは、地下資源で製造した製品は地上で使用され廃棄されているが、地球にある金属の絶対量は、地球のマテリアルバランスからして過去も未来も変わることがなく、存在場所が地下から地上に変わるだけであるという点である。

「地下資源」とは「経済的に採掘可能な地殻に存在する資源」である。鉄、銅、鉛、金の可採年数に関して、可採年数の最も長い鉄は1962年に四百数十年だったのが、現在は約1/4の100年前後になった。銅、鉛、金の可採年数は徐々に減少し、2000年の可採年数はわずか二十数年しかない。そう遠くない将来には、可採年数がさらに10年を切るのは避けられない。

鉄、銅、アルミニウムなど生活に欠かせない金属資源は、あらゆる工業製品を作る際の原料になるが、化石燃料から作るプラスチックも同様に工業製品の原料である。主に金属とプラスチックで製造される携帯電話、デジタルカメラ、冷蔵庫、テレビ、掃除機、自動車、列車、新幹線、飛行機、火力発電所…、現代文明を支えているのはこれらの工業製品である。これらが地上にある資源である。

Ⅲの環境汚染問題は、大気汚染、水質汚染、土壌汚染、食料汚染など地球上のあらゆるものが、人類活動の影響を受けて、緩やかに進行する問題である。これは環境に放出する物質と自然の浄化能力との競争ともいえる。生態系の保全は計画的に進めなければならないが、Ⅲについては本稿ではふれない。

2. 人口と資源の推移

人口と資源に関して図2と図3を示す。産業革命の頃まで、地球の人口はおおむね10億人だったが、地下からエネルギーを手にした人類は、加速度的に人口を増やしている。このような系は自然界に存在したことはない。過去100年の様子と近未来100年後を見よう。図3は1900年から2100年までの地球の人口と資源量の推移を概念的に示す。すでに2008年では約65億人強の人間が地球上に暮らしている。この勢いは今後、少なくとも20年間程度は止めることは出来ないと言われており、自動車がブレーキをかけてすぐに止まれないように、今、出生率を激減させたとしても、現在の子供達が成人し結婚すれば子供が増えるからである。

一方、地下資源であるが、採掘を続ければおのずと生産量は減ってゆく。図3は石油、鉄、ボーキサイト（アルミニウムの原料）の地下埋蔵量の推移例であり、情報処理科学技術センターの資源枯渇係数[1]を元に推算した。銅の資源量は絶対量が小さいのでこの図からは割愛した。2020年頃、石油生産がピークを迎えるという説もあるように、21世紀半ばには、新たな大規模油田が発見されない限り、石油生産量が減少に転ずることは避けられない。鉱物資源も同様である。新たな資源がいくら発見されても、いつかは枯渇する。

したがって、現行の需要・供給のバランスから、石油も鉱物も価格が高騰するのは避けられない。2003年から2008年までを見ると、石油も鉱物資源もレア

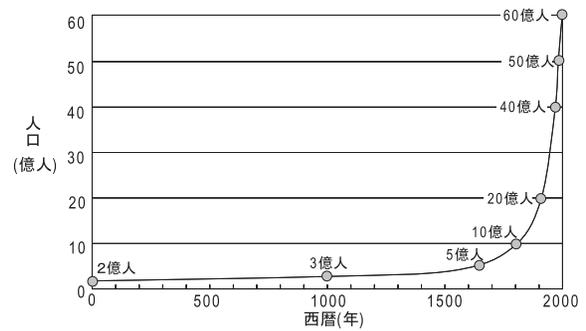


図2 人口と資源の推移

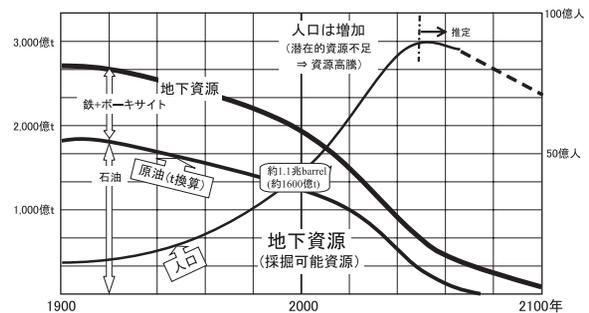


図3 人口の増加と資源の枯渇

メタルもほぼ4倍程度に高騰してきた。現代文明は地下資源に依存しているので、すべての物価が21世紀中葉までは上昇してゆく可能性が高い。実際は、心理的な投機現象も加算されているので、資源価格はしばらく増減を繰り返すだろう。

3. 資源は地下から地上に移行する

図4は図5を地下資源と地上資源に分けて描いた図である。点線で示したのは地球の地下資源量と地上資源量の総和を示す。地下資源量は20世紀中葉から劇的に減少し始め、これが21世紀の中長期的な危機感となっている。

地下資源が鉱物資源の場合は、地上資源は地上で使われている製品類や地表近くに埋められた廃棄物である。金属は、月や惑星を探索するロケットや人工衛星を除けば地球上の量は一定であって減ったり増えたりしているわけではない。地球の物質収支は成り立っていて、存在場所が地下から地上へ移行しただけである。

そこで、図4の地上資源のみを反転させてみると図5になる。つまり、地上資源は次第に増えていく。したがって、この地上資源を循環利用する社会システムを構築してゆけば、資源枯渇緩和することができ、かつそれが持続可能社会に不可欠な仕組みになると期待される。

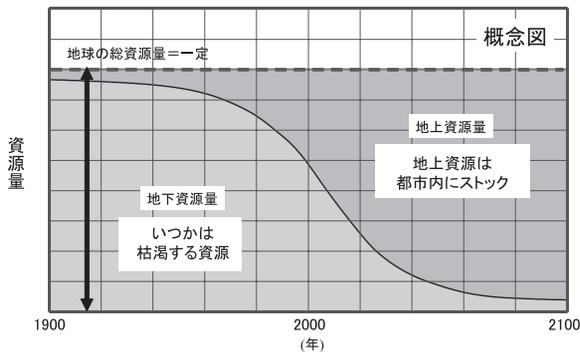


図4 地下資源は枯渇するが地球の総資源量は一定

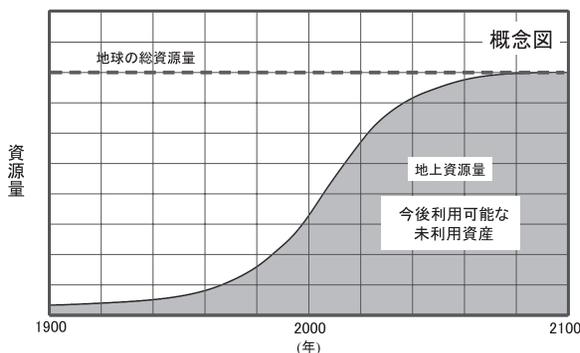


図5 地上資源は増加する（未利用の経営資産）

もし、地下資源として鉄がなければ自動車を生産できず、銅がなければ電線がさえ作れない。インジウムが枯渇すれば液晶テレビが生産できず、パラジウムがなければ触媒も作れない。現代文明は破綻の危機を迎えかねない。しかし、ないのは地下資源であって、この地下資源を使わなければよい。地下資源を使わないで自動車や液晶テレビを作ることは不可能ではなく、原料を地上から調達するのである。図5はそのための地上資源量を表している。このように、地上資源はむしろ増えてゆき、これは再生可能な資源であるから「地上経営資源」と言える。

4. 地上資源リサイクルの概念

地上資源の中で、金属に着目した「地上資源リサイクル」の概念図を図6に示す。地下資源である鉱石を製錬して金属が得られ、この金属を使って製品が製造される。製品は都市で使用された後、従来は、廃棄物やスクラップ（リサイクル）になってきた。

一方、家電リサイクルに代表されるように、資源循環型インフラでは、使用済みの製品は回収され、分解・選別されて部品あるいは素材にブレイクダウンされる。これらは金属の原料となり再び金属としてリサ

イクルされる。この循環が金属についての地上金属資源のリサイクルである。

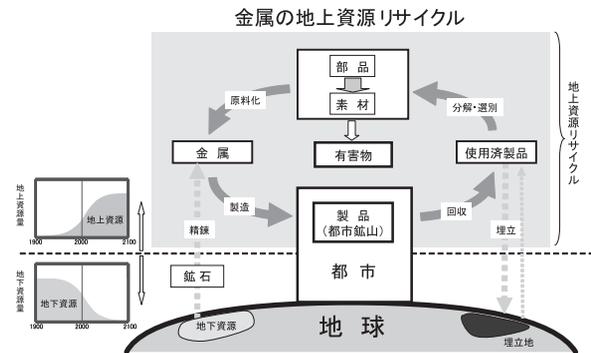


図6 地上資源リサイクルの概念図

化石燃料である石油でも同様である。図6の中で、「地下資源」を「油田」に、「鉱石」を「石油」に、「金属」を「プラスチック」に各々置き換えればよい。これら、化石燃料と金属から作られるのが工業・電機・電子製品であり、都市に眠る「都市鉱山」である。

地下資源量は金属も化石燃料も21世紀には急激に減少してゆく。一方、地上資源量は金属を中心に、地上で蓄積あるいは循環して増加してゆく。埋立地は、現在、一方通行のシンクになっているが、地下資源が枯渇してゆけば、将来、埋立地も鉱床の役割を果たすだろう。今は埋立地から資源を採掘することは試行的に実施される例があるものの、現実的方策とはみなされていない。むしろ、掘り出した埋め立て物を選別・焼却して埋め戻すという、埋立地不足を緩和する面が強い。

埋立地は地表に存在するので、埋め立てたものを「地上資源候補」とみなそう。そう遠くない将来、点線で示すように、埋立地から採取してこの「地上資源候補」を循環ルートに乗せる時代が来るかもしれない。過去の負債を地球経営の資産に変えるのである。

5. 地上資源リサイクルのメリット

地下資源を使わないことのメリットを述べる。地下から採掘する場合は、例えば、鉱石の数倍量の土砂と岩石を剥離し、多量の廃棄物を生み出し、管理が行き届かなければ環境も破壊しやすい。廃棄物については、銅を例にとると、銅鉱石の中の銅含有率は約0.5%である。したがって、0.5万トンの銅を生産するには99.5万トンの廃棄物が発生する。また、製錬過程では

大量のエネルギーを消費し、かつ、製錬所の環境対策にもエネルギーを使う。

製錬過程での廃棄物は鉱山や製錬所近くで処分されることが多いが、都市の主に家庭で使用された電機・電子製品は都市周辺の埋立地に処分されることが多い。これは、埋め立て空間という、地球の有限資源を消費している意味でも改善を要する。この改善を実行するには廃棄物を資源に変えることである。

エネルギー面で見ると、鉄の場合には、地上資源から回収した鉄スクラップを電炉で溶かして生産するエネルギーは、原鉱石から生産するよりも3.5倍のエネルギーを節約できる [2]。銅は約1/7で済み、アルミニウムは約1/20以下である [2]。つまり省エネ型である。また、省資源面では、鉄鉱石から粗鋼1トンを生産するには鉄鉱石約1.5トン、石炭約0.8トン、石灰石約0.2トンが使用される [3]が、これらを使わない。このように、鉄スクラップの電炉受け入れは本質的に省エネ・省資源型の生産方式である。

鉄鋼業ではすでに製品の1/3以上が鉄系スクラップから作られている。鉄に限らず、アルミニウムや銅も地上資源に依存する割合が次第に増えている。つまり、都市は20世紀から、すでに市場原理に基づき地上資源に依存し始めてきた。

さて、リサイクルは資源を無駄に使わないという面が強調されている。しかし、その間接的な効果は地球温暖化防止である。資源のリサイクルと地球温暖化とはすぐには結びつかないように感じられるが、地下資源を使わないで製品を作ることは、先に述べたエネルギーを節約でき、さらに造工程での二酸化炭素排出量も大きく減らすことに貢献できる。

この度合いを家電リサイクルを例に試算した。東京エコリサイクル(株)では、2006年度の1年で家電品を約13,000トンリサイクルした。東京エコでは、2002年以來、処理量の約98%を資源に戻し、1.9%を焼却し、0.1%が埋め立てている実績がある [4]。13,000トンの家電からマテリアルとして回収した金属やプラスチックを、鉱石や石油から生産した場合に比べた効果を、LCA (Life Cycle Analysis) という手法で試算した。

地下資源からプラスチックを作るには、採掘、輸送、精製、重合の段階が必要である。一方、リサイクルでは人手により選別し、粉碎機で原料ペレットを生産し、樹脂ペレットを経て利用される。その結果、東京エコ

リサイクルでは、この二酸化炭素削減効果は約12,000トンであった。ほぼ、家電品に匹敵する二酸化炭素量を削減できた。この効果は、原料である石油の値段や、エネルギー原単位が増加すればさらに顕著になる。石油が有限である以上、将来になるほどリサイクルが推奨されるべきである。廃棄物問題はエネルギー問題とも密接に関係しているからである。

6. 持続可能社会への漸近方法

環境問題を解決するための目標として、持続可能社会、循環型社会、低炭素社会という言葉がある。しかし、いずれも社会が目指すべき目標として並列的に位置づけられているように思われる。そこで、目標と手段に分けると図7のように、目標が持続可能社会であり、それに近づく手段が、(1)再生不能資源である化石燃料を使わない低炭素社会の実現であり、(2)再生可能資源である金属資源を節約する循環型社会の実現である。手段はこの二つ以外にも複数の手段があるだろう。

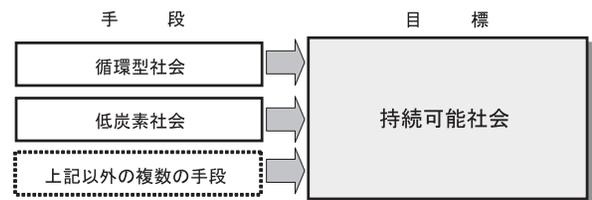


図7 持続可能社会へのアプローチ

さて、これら低炭素社会と循環型社会を実現するキーを図8に整理した。図8は資源を、一般的な定義としての再生可能資源と再生不能資源に分類し、かつ、利用方法としてフローとしての散逸の利用と、ストックとしての保存的利用に分類したものである。

| 資源の分類 | 低炭素社会のキー | 循環型社会のキー |
|---|--|--|
| | 燃料(エネルギー) (散逸的利用) | 素材 (保存的利用) |
| 再生可能資源 (Renewable Resource) 繰り返し利用可能な資源 | エネルギー (発電) 燃料 発電 再生可能エネルギー | — 自然資源 木・紙 飲料水等 土壌 食料 |
| 再生不能資源 (Non-renewable Resource) 地下から採掘すれば 地下へは戻らない資源 | 燃料 — 燃料 再生不能エネルギー | — 化学合成原料 プラスチック — 金属 地上資源 |

図8 低炭素社会と循環型社会のキー

再生可能資源とは繰り返し使える資源であり、再生不能資源とは地下から採掘すれば地下へは戻らない資源と定義されている。まず、低炭素社会を実現するには、資源が再生可能か不能かにかかわらず、資源の燃料としての散逸の利用を減らすのが低炭素社会のキーである。化石燃料やウランの消費を抑制するだけでなく、太陽、風、波、木、水を利用する再生可能エネルギーへの依存度を高めてゆくことが求められる。

次に、循環型社会を実現するには、再生可能資源である木、紙、水、土壌、食料などの自然資源を循環利用し、これまで再生不能資源に位置づけられているが地上資源である化学合成用原料、プラスチック、金属などを極力リサイクルすることが重要である。

すなわち、金属とプラスチックからなる機械、電機・電子製品、紙や木を原料とする製品、飲料水や生活排水、あるいは食料残渣など、これらをリサイクルしてゆくことが循環型社会への具体的手段である。

ところで、金属やプラスチックは地下鉱床や油田へは戻らないため、一般的に再生不能資源と定義されている。しかし、地上では再生可能な資源であるから、再生可能資源と定義するのがより妥当と考えた。そこで、著者は、図8の分類を、再生可能エネルギーを除いて、図9に示すように再定義した。

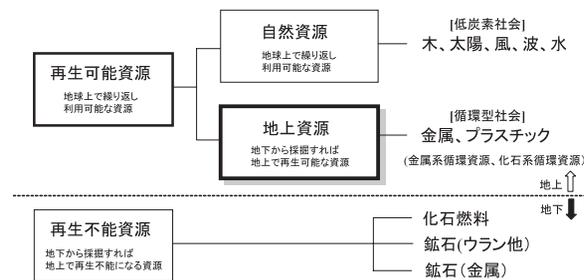


図9 地上資源の定義

次に、「持続可能な開発」についてふれたい。1987年に国連の「環境と開発に関する世界委員会」は「持続可能な開発」を「将来の世代のニーズを満たす能力を害することなく、現在の世代がそのニーズを満たすことができるような発展」と定義した。「持続可能な開発」を進めるには、エネルギー、資源などの問題を総合的に視野に入れなければならない。特に、化石燃料問題と金属資源問題は相互に影響しあう問題であるので、独立した問題として政策化するのではなく、目標である持続可能社会の実現のために、両者の複合的アクションプランを立案することが求められる。

7. 温暖化問題と資源問題の緩和戦略

大気への二酸化炭素放出量を減少させるにはどうしたらよいだろうか。それを、図10の式で考えてみる。

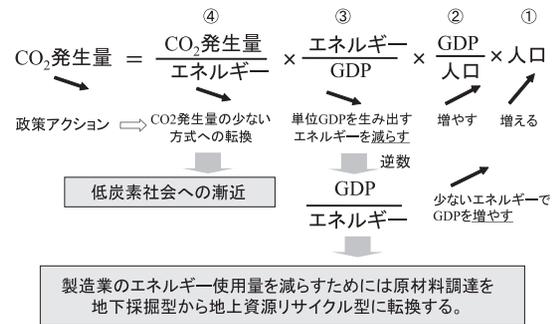


図10 地球温暖化の対策指針

この式は、左辺の二酸化炭素排出量と右辺全体は恒等になっている。左辺の二酸化炭素排出量を減らすには、右辺①の人口と②の一人当たりのGDPを減らせばよいが、実態は逆に①と②は増えている。これを打ち消すためには、③の単位GDPを生み出すのに必要なエネルギー消費量を減らし、④の二酸化炭素排出量の少ないエネルギーにシフトすべきことを示す。③は省エネ社会の実現であり、④は発電システムの省エネと化石燃料に依存しないエネルギーシステムへ移行である。これを実行できれば、低炭素社会へ漸近することができる。

次に、廃棄物をなくすにはどうしたらよいかという観点から資源消費を抑える道を考えてみたい。図11を見ていただきたい。これは図10と同じ構造の式である。左辺の廃棄物発生量とは地球（または国）の廃棄物発生量である。これを減らしたいのだが、逆に、右辺①の人口は増加し、②の一人当たりのGNPを増やしたい。したがって、③の単位GDPを増やすための資源消費量を減らし、④の資源使用時の廃棄物を減らすしか道はない。

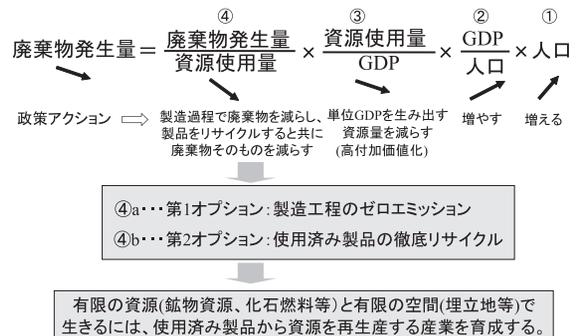


図11 廃棄物問題の対策指針

③を実行する方策の一つが、長く使える製品を設計・製造し、消費者は製品を長く使うということである。いわゆる Reduce である。これまで、消費を善とする消費型社会では、湯水のごとく製品を製造し、使用後は廃棄してきた。逆に、丈夫で長持ちの製品を作ることが善であると信じている企業もあった。これからの消費者が後者の製品を選択することが資源枯渇の緩和に役立つ。

④を実行する方策には、④ a の製造工程のゼロエミッションと、④ b の使用済み製品の徹底リサイクルとがある。④ a は各企業がすでに積極的に目指しているが、④ b の適用範囲はまだかなり限定的である。しかし、④ a と④ b はすでに実行可能な射程距離内にあると考える。具体的な方法としては、例えば使用済み製品から資源を循環し、原料として再生産する産業を育成することが挙げられる。つまり、地下資源に依存しない静脈統合型の製造業を目指すのである。

次に、エネルギー問題との関連について述べる。図 10 の③エネルギー/GDP を「減らす」には、逆数の GDP/エネルギーを「増やす」ことである。GDP を減らすことは避けたいので、製造時のエネルギー使用量を減らすことが重要になる。製造に使う原料は、主に地下資源であり、この採掘に要するエネルギーは地下資源の枯渇と共に高騰してゆく。鉱石の品質や場所など条件の悪い鉱山しか残っていないからである。したがって、リサイクルによって省エネ・省資源型の産業を育成することが、エネルギー問題、資源問題の緩和に役立つ。

8. 炭素の自然循環はエコサイクル

二酸化炭素は化学的に安定であり利用先は限られる。二酸化炭素を吸収・同化する植物の役割がより重要になる。対策としては植林などがあるが、現実には、それにも増して森林伐採が進んでいると言われている。

地球での炭素の循環を模式的に図 11 に示す。ただし、図 11 では前述した海洋との相互作用は省略した。大気中の二酸化炭素の総量は約 7,090 億トンあり、化石燃料の燃焼で 1 年間に排出する炭素量は約 70 億トン程度とされている [5]。植物は太陽光と大気中の二酸化炭素を吸収して、光合成により炭水化物を合成している。同時に、地上で命の尽きた植物や動物を分解する微生物群は大気に二酸化炭素量を排出している。

これらの二酸化炭素移動量は共に 500 ～ 600 億トンでバランスしている。

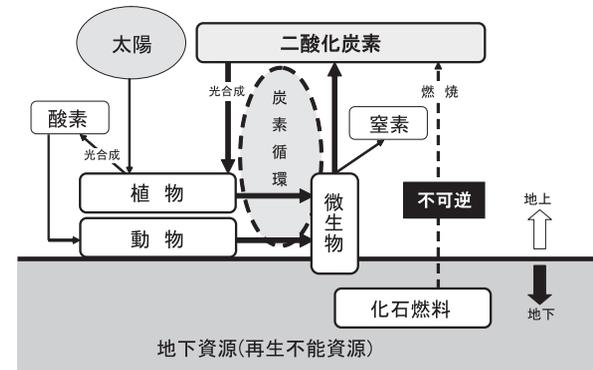


図 12 地球生態系の炭素循環 (エコサイクル)

植物を増やせば大気から地上に固定する炭素量は増える。これ以外に、大気中の二酸化炭素濃度を下げするために、現状、選択できる方法は、人類活動による二酸化炭素排出量を減らすか、出るものについては発生源で回収して封じ込めることである。回収した二酸化炭素を地下に隔離・貯留することが EU で真剣に検討されている。このポイントは、隔離・貯蔵にエネルギーを要することだが、この方式がどの程度、持続可能かを調査・研究し理解しておくことが重要である。本書ではこの詳細にはふれない。

微生物は土壌中にも存在していて、動植物の死骸のアンモニアなどを一旦酸化して硝酸イオンや亜硝酸イオンにする。次に、嫌気性微生物（酸素を嫌う微生物群）が脱窒（だっちつ）とよばれる還元反応で、それらを還元して窒素を生産する。

植物の生産する酸素と、微生物が生産する窒素とが地球の大気を満たしている。その結果として、大気中の窒素と酸素濃度は平衡を保ってきた。これが自律的に運動するエコサイクルである。

しかし、数億年で蓄積された化石燃料を四百年程度の短期間で燃やしてしまえば多量の二酸化炭素を生成し、植物や海洋の吸収速度を超えて大気中に蓄積する。すべての化石燃料を燃焼し尽くせば、大気中の二酸化炭素濃度は高い濃度で安定する。この結末が極限の地球温暖化である。

地球の物質収支から見れば、一旦、二酸化炭素になったものは、すぐには化石燃料にはならず、数億年以上かかって植物に同化させ、石油や石炭に戻すしかないが、これは残念ながら、今は人類にはできない。

9. 資源の人為的循環はエコリサイクル

前章で述べた、地球の炭素循環（エコサイクル）のアナロジーで、金属資源を中心に21世紀以降は「地上」でこれらを循環してはどうかというのが本稿の主題である。図13は左に生物による炭素循環（エコサイクル）、右には金属を中心とする資源の循環を示す。これは地下から地上に移行した地上資源の循環である。

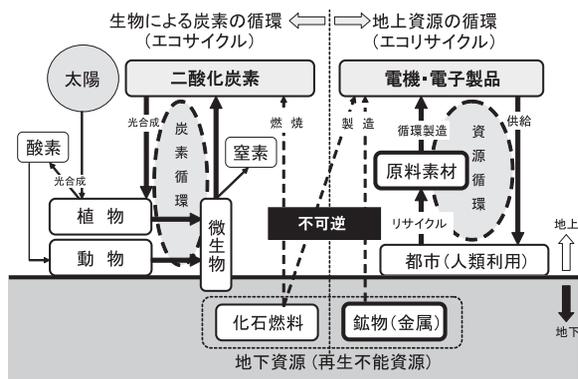


図13 エコリサイクルの概念

まず、地下の金属資源や化石燃料から電機・電子製品を製造し、これを都市に供給し、リサイクルにより原料素材を生産する。この原料素材を使って電機・電子製品を製造するのである。この電機・電子製品はレアメタルなどの高価値元素も含む貴重な地上資源である。しかも、地下資源より高密度であり、省エネ・省資源でリサイクル可能である。したがって、地下資源に依存することなく、金属とプラスチックでできた製品から資源を回収して地上で循環するのが、地上資源リサイクルのコンセプトである。

地下資源である化石燃料と地下の鉱物とは、再生不能資源であるからいつかはなくなる。これらを地下から極めて短期間に採掘して地上に移行させているのが人類である。地上に出すのは仕方ないが、出てきたならばこれを循環利用するしか道は残されてない。人類に必要な電機・電子製品を製造してゆくためには、この地上資源の循環が不可欠である。

この循環を持続可能なものにするには、地上資源の循環が「経済的に」成立しなければならない。エコロジーとエコノミーの両立は、農業時代には生態系と地域経済でよかったが、現代は工業化・情報化されたグローバル経済になり、地球経済は地球の生態系に大きな影響を与えている。そこで、環境と経済を両立させ

たいわけだが、この二つは相反する目標としてとらえられることが多い。しかし、その実現なくして人類社会は持続可能にならない。

その具体的な方法について提言したい。モデルは家電リサイクルである。日本の家電リサイクルはリサイクル料金を市民が払うことが大きな成功要因になっている。経済的対価を払わなくして、持続可能な便益は得られない。環境を守るために経済を駆動させる、つまり、エコロジーとエコノミーとの両立を求めるために、リサイクル料金を支払う仕組みを作るべきだと考える。

この条件を満たしつつ地上資源をリサイクルすることを、生態系の「エコサイクル」をモデルにして、「エコリサイクル」ということにする。生態系の「エコサイクル」は自律的に動いているが、「エコリサイクル」能動的に動かさなければ回らない。しかし、人間がやる以上、能動は可能であるから、「エコリサイクル」の実現は可能であると考え。その一つのオプションは、地上資源の経済的循環を政策にインストールし、地上資源循環産業を育成することである。

10. レアメタルのリサイクル

ベースメタルである鉄は産業革命以来、地球の機械文明化を牽引してきた。電気製品が登場し、電気や熱を伝える金属として銅が使われ、軽量化を加速したのがアルミニウムである。金、銀、銅、鉛、亜鉛が工業製品に使われ、電子機器の時代になって、高度の機能を発現させる元素としてレアメタルが重要な役割を果たすようになった。

携帯MDプレイヤー、デジタルカメラ、携帯電話などには、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、パラジウム(Pd)などが含まれている。ハイテク電子機器は金、銀、銅、レアメタルの宝庫である。リチウム(Li)やコバルト(Co)は燃料電池に採用され、白金(Pt)やパラジウム(Pd)は自動車触媒として不可欠である。白金(Pt)とルテニウム(Ru)は磁気ディスクのターゲット材に使われる。インジウム(In)は液晶テレビやプラズマテレビの透明電極に、タングステン(W)は超硬工具、アンチモン(Sb)は難燃助剤に必要である。レアアースとして分類されるネオジウム(Nd)やディスプレイシウム(Dy)は、ハイブリッドカーやハードディスクなどの高精度モーターに利用される。

このように、地球の環境保全のための環境産業、情報産業の発展にはレアメタルとレアアースは不可欠であり、未来の製造業にとってこの調達は重要な課題である。ここで、金属と合金の歴史を振り返って見たい。

金属の複合利用と文明の発展とは密接な関係があり、鉄文明から青銅文明へ、真鍮やステンレスの発明、半導体の発明へと続いてきた。鉄や青銅は古くから武器に使用されてきた。合金は文明を変革する律速資源だったのである。鉄は国家であり、合金は文明である。現代では、鉄・ステンレス・銅・アルミニウムなどのバルク材料に加えて、今やレアメタルを使用した高機能材料・部品が文明を支えている。

鉄(Fe)、銅(Cu)、錫(Sn)、鉛(Pb)、金(Au)、銀(Ag)の可採年数と、主要レアメタルの可採年数を表1に示す[6]。鉄は約100年、銅、錫、鉛は約30年未満である。金と銀は20年以下である。レアメタルの可採年数は総じて数十年未満でインジウムは10年を切っている。可採年数は、実際には鉱脈・鉱床の発見により変化し、消費速度によっても変化する。したがって、可採年数後に資源がなくなるわけではない。しかし、中長期的には地下資源は枯渇してゆき、価格は必ず上昇する。

表1 金属の可採年数

| ベースメタルと希少金属 | | レアメタル | | | |
|-------------|------|--------|------|-------|-------|
| 鉄(Fe) | 94.6 | インジウム | 5.8 | ニッケル | 41.3 |
| 銅(Cu) | 31.3 | アンチモン | 13.0 | モリブデン | 48.0 |
| 錫(Sn) | 22.3 | ガドミウム | 25.8 | セレン | 59.0 |
| 鉛(Pb) | 19.9 | タンタル | 33.3 | コバルト | 121.7 |
| 金(Au) | 16.8 | タングステン | 39.0 | テルル | 164.0 |
| 銀(Ag) | 13.8 | マンガン | 40.0 | リチウム | 194.3 |

金、銀 希少金属 出典：DOWAエコシステム株式会社(埋蔵量を消費量で割った数値)
(可採年数(年) = 埋蔵量(t) ÷ 採掘速度(t/年))

このように見てくると、地上資源のリサイクルは、単に地下資源の枯渇を防ぐというだけでなく、文明の発展に不可欠なレアメタル材料を地上で調達するという側面を持つことがわかる。レアメタルを使う高機能製品は、利便性を増すという面に加えて、結局、省エネや省資源にも役立つ場合が多い。それゆえ、地上資源リサイクルは、持続可能社会のための不可欠の社会インフラに位置づけられるだろう。

11.地上資源のリサイクルは可能か

地上資源は家電製品や電子機器、工業製品である。これら空間的に分散する資源を経済的に回収し、リサイクルすることは可能だろうか。それに答えるには、現行の家電リサイクルを見るのがよい。現在、冷蔵庫、洗濯機、テレビ、エアコンの4品目がリサイクルされている。この結果、金属やプラスチックを資源として生産するようになってきた。この前例から考えると、地上資源リサイクルは可能なのではなく、すでに始まっているといえる。

12.あとがき

資源が有限である以上、持続可能社会を目指すには資源の循環再利用しか道がない、という観点から、特に、地上に移行した資源をリサイクルする重要性を指摘した。化石燃料は中長期的には枯渇してゆくので、エネルギーを極力消費しないためにも、地上資源のリサイクルは重要である。

日本は家電リサイクルで、海外諸国より一歩先行している。この経験を生かして、政府が資源問題に着目した持続可能戦略を立案することを訴えたい。それは、日本がグローバルに貢献する道でもある。

参考文献

- [1] 社団法人環境情報科学センター：
<http://www.ceis.or.jp/>
- [2] ノーマン・マイヤーズ、ジェニファー・ケント 監修・執筆：65億人の地球環境、pp.118-119、産調出版(2006)
- [3] 環境省編：平成19年版環境循環型社会白書、pp.92
- [4] 馬場研二：家電リサイクル分野でのゼロエミッション達成、S-S7-3、電気学会 誘電・絶縁材料研究会(2004)
- [5] 広瀬立成：地球環境の物理学、pp.150、ナツメ社(2007)
- [6] DOWAエコシステム提供

レアメタルと資源循環

日立総研レポート

レアメタルパニックの現状にみる将来の資源確保策のあり方

研究第二部 主任研究員 上田 真稚

1 はじめに

ニューヨーク原油先物相場が139ドル/バレル(6月6日)まで高騰している。原油のみならず、鉱物資源、穀物、さらには鉄スクラップ価格までもが、過去に類をみない記録的な高値水準で推移している。本稿で取り上げるレアメタルも同様に高値推移しているものが多い。これら資源価格の高騰は製造業のみならず、すべての産業において喫緊の対策課題である。しかし、対策を考える上で重要なことは、まずは問題の背景を正しく理解することであり、その上で自己のポジションを正しく理解した対策を実施すべきである。本稿ではレアメタルを事例とした資源価格高騰への対策、さらには将来の資源確保策のあり方について詳述していく。

2 レアメタルとは

レアメタルとは「地球上の存在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難である鉱種等を指す」(経済産業省)とされており、1987年に鉱業審議会レアメタル総合対策特別小委員会にて31元素が特定された。以降、日本国内では、これら31元素をレアメタルと呼んでいる(表1)。

表1 レアメタル31元素の定義(網掛30鉱種+レアアース)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 1 | H | | | | | | | | | | | | | | | | He | |
| 2 | Li | Be | | | | | | | | | | B | C | N | O | F | Ne | |
| 3 | Na | Mg | | | | | | | | | | Al | Si | P | S | Cl | Ar | |
| 4 | K | Ca | Sc | Ti | V | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Se | Br | Kr |
| 5 | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In | Sn | Sb | Te | I | Xe |
| 6 | Cs | Ba | La系 | Hf | Ta | W | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl | Pb | Bi | Po | At | Rn |
| 7 | Fr | Ra | Ac系 | | | | | | | | | | | | | | | |

注：レアアースは17元素を1鉱種と定義
資料：経済産業省総合資源エネルギー調査会資料を基に日立総研作成

3 2回目のレアメタルパニック

昨今のレアメタル問題は、「レアメタルパニック」と称されることが多い。しかし「レアメタルパニック」は過去にも発生している。1979年の第二次石油危機の影響を受け発生した「第一次レアメタルパニック」は、その後、1991年の旧ソ連崩壊を受けて市場流出

した鉱物資源、また中国の外貨獲得目的での鉱物資源輸出拡大の影響により沈静化した。その後、需給は緩和し価格はいったん下落する。第一次レアメタルパニックで問題となった元素は、鉄鋼添加剤として使用されるコバルト、モリブデンなどが中心であった(これらは石油精製プロセスでも触媒として使用される)。しかし、2004年頃から始まった今回の「第二次レアメタルパニック」は、需要側要因は、旧来の鉄鋼添加剤系用途に加え電子材料系の用途が拡大していること(図1)、さらに供給側要因は、産出国の偏在性、資源ナショナリズムという特殊要因が挙げられる。これらの影響により結果としてレアメタル価格が高騰している。

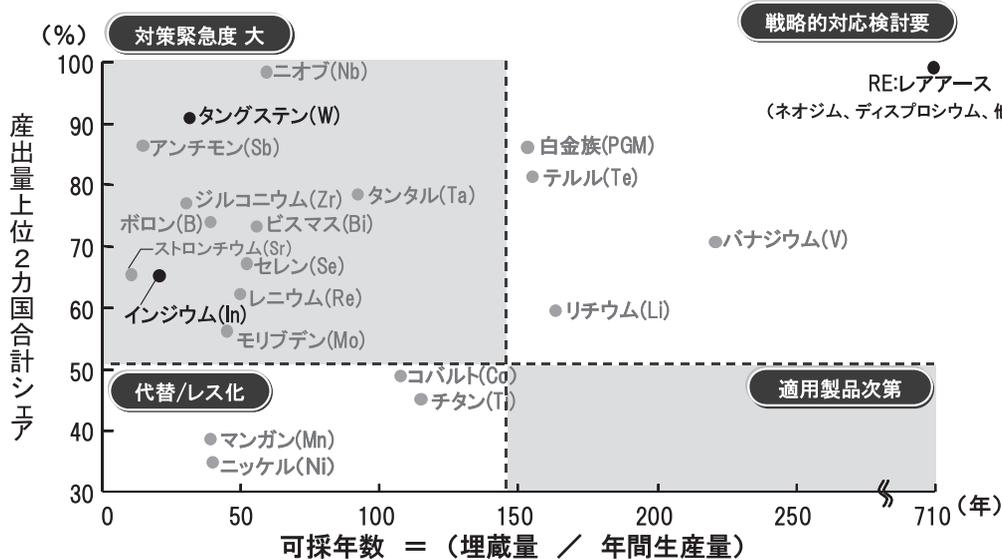
| | | 継続用途 | 新規用途 | 将来用途 |
|--------|----------------|-------|-------|------|
| 鉄鋼添加剤系 | マンガン(Mn) | 鉄鋼添加剤 | | |
| | モリブデン(Mo) | 鉄鋼添加剤 | | |
| | コバルト(Co) | 鉄鋼添加剤 | 電池正極材 | |
| | ニッケル(Ni) | 鉄鋼添加剤 | 磁性材 | |
| 電子材料系 | ルビジウム(Rb) | ブラウン管 | | |
| | インジウム(In) | | 薄型テレビ | 太陽電池 |
| | ネオジム(Nd) | | 永久磁石 | |
| | Dysprosium(Dy) | | 永久磁石 | |

資料：「レアメタル(産業技術総合研究所著)」、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構資料を基に日立総研作成

図1 レアメタル用途の変遷

4 供給側要因 ~産出国の偏在性と可採年数~

供給側要因を分析する上ではU.S. Department of the Interior(アメリカ合衆国内務省)傘下のU.S. Geological Survey(アメリカ地質調査所)より年1回発行されている「Mineral Commodity Summaries」が参考になる。鉱物資源81鉱種の全世界埋蔵量などをまとめたデータベースであり、2008年1月30日より2008年度版がインターネット上で公開されている。鉄、銅、亜鉛、アルミニウムといったコモディティだけでなく、レアメタルを含めた鉱物資源を全網羅的にまとめた資料である。図2では、上記資料を基に縦軸には各鉱種産出国上位2カ国の合計シェア、横軸には「埋蔵量÷年間生産量」から得られる可採年数を取り、それぞれの鉱種をプロットした。



資料：Mineral Commodity Summaries 2008 を基に日立総研作成

図2 レアメタルの供給国偏在性と可採年数

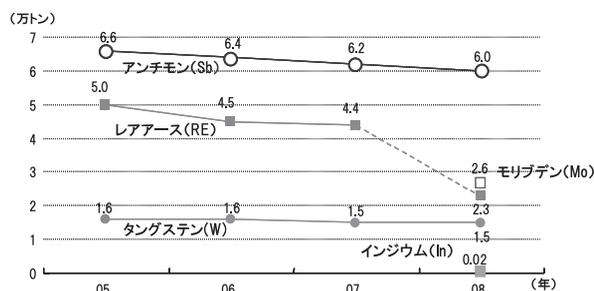
図2右上の第一象限は、特定数カ国による寡占状態にあるも、埋蔵量は比較的豊富であり現在の生産量ペースで採掘を続けても可採年数は150年以上残されている鉱種である。しかしながら、産出国の政治的思惑などにより供給量が左右される状態にあり戦略的な対応策が必要となる。左上の第二象限は、特定数カ国による寡占状態にあり、かつ現在の生産量ペースで採掘を続けると、数十年程度で埋蔵量を使い果たすこととなる鉱種である。産出国の政治的思惑の影響に加え、可採年数の問題もあり、需要側としては代替/使用量削減(レス化)と産出国への対応といった双方向からの対応策が必要となる。左下の第三象限は、産出国寡占の問題は比較的少ないながらも、可採年数の問題は残る。第二象限の鉱種と同様、代替/使用量削減(レス化)を中心とした対応策が必要である。

5 中国の供給政策 ~供給国から需要国へ~

レアメタル供給側の特殊性を語る上で、中国の事例を述べる。中国は、レアアース(RE)、タングステン(W)、アンチモン(Sb)などで、全世界産出量シェア80%以上を占める。第二次レアメタルパニックにおいては、主要なレアメタルの供給国でありながら、一方では自国の旺盛な需要を背景に輸出を制限している。具体的には①特定レアメタルの増値税還付廃止(=付加価値税。輸出の場合、通常は全額還付)、②輸出関税率の引上げ、③輸出許可制度(E/L: Export

License)の強化による輸出総量規制といった政策を実施している。

図3には、E/Lによる輸出許可量の推移を示している。ネオジム磁石などに使用されるネオジム(Nd)やディスプロシウム(Dy)を含有するレアアースにおいては、2005年以降段階的に輸出総量が引き下げられている。2008年の輸出許可総量2.3万トン、第1回許可量であるが、第2回許可量が今後公示されるかどうかは、現段階では未定である。



資料：中国人民政府公式サイトを基に日立総研作成

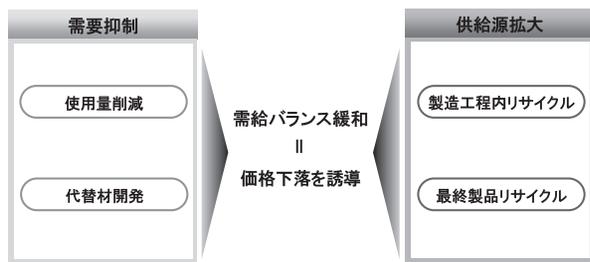
図3 中国輸出許可制度(E/L)のレアメタル許可量推移

6 資源高騰への対応策

上述のようなレアメタルの特殊性を再度まとめると、①需要側：旧来からの鉄鋼添加剤系用途に加え電子材料系の用途が拡大している、②供給側：中国などの主要産出国が政治的思惑などから供給量を制限している、といった背景から需給がひっ迫し、その結果価

格が高騰している。しかし、裏返せば需給バランスを緩和させることこそが価格高騰への対策であり、結果として価格下落を導き出すことが可能となる。

具体的には、①製造工程などにおける使用量の見直しを進める、②レアメタルを使用しない代替材の開発を進めるなどの対策が考えられる。また、現在の鉱山からの供給に頼ることなく、新たな供給源を拡大させるために需要者の取り組みとしては、③製造工程の材料リサイクル、④最終製品からの資源リサイクルなどを検討することが肝要である（図4）。



資料：各種資料を基に日立総研作成

図4 資源価格高騰への対応策

7 代替材開発の推進

国家プロジェクトである「元素戦略プロジェクト(文部科学省)」「希少金属代替材料開発プロジェクト(経済産業省)」が2007年からの5年プロジェクトで動き出している。これらプロジェクトにおけるレアメタルの使用量削減や、他元素への切り替え研究の推進、さらには研究成果の積極的PRは、レアメタル産出国へのけん制材料となり得る。

表2 希少金属代替材料開発プロジェクト

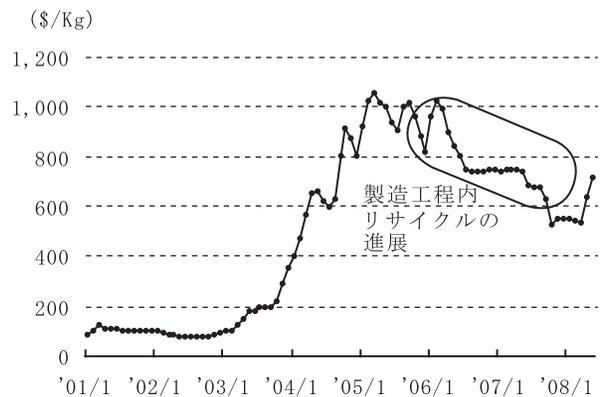
| 元素名 | 採択事業者 | 概要 |
|-----------|-----------|----------------|
| インジウム | 東北大学 ほか | 使用量削減 |
| インジウム | (独)産総研 ほか | 代替材開発 |
| ディスプレイシウム | 東北大学 ほか | 使用量削減 |
| タングステン | (独)産総研 ほか | 使用量削減 代替材開発 |

資料：経済産業省資料を基に日立総研作成

8 製造工程内リサイクル ～インジウムの事例～

液晶パネルの製造工程において、透明導電膜形成に使用されるスパッタリングターゲット材の酸化インジウムスズ(ITO: Indium Tin Oxide)は、主要元素であるインジウム(In)の全世界生産量の約50%を中国

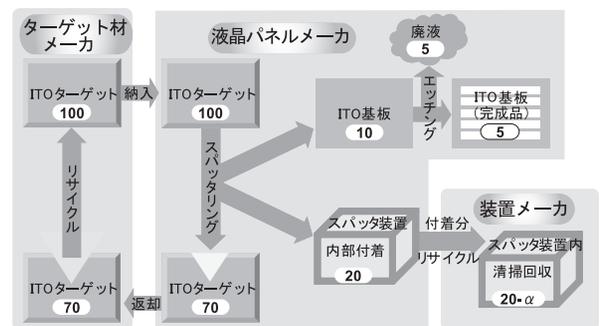
に依存している。元来インジウムは、亜鉛(Zn)の生成過程においてバイプロ(副産物)として得られていた鉱種である。しかし、薄型テレビの技術革新により液晶パネルなどの製造過程において使用されるようになったため、亜鉛精錬会社を中心に旧来は需要がなかったインジウムを抽出しはじめた。また、薄型テレビの需要拡大への期待も重なり、インジウム価格は2004年以降急騰している(図5)。



資料：各種資料を基に日立総研作成

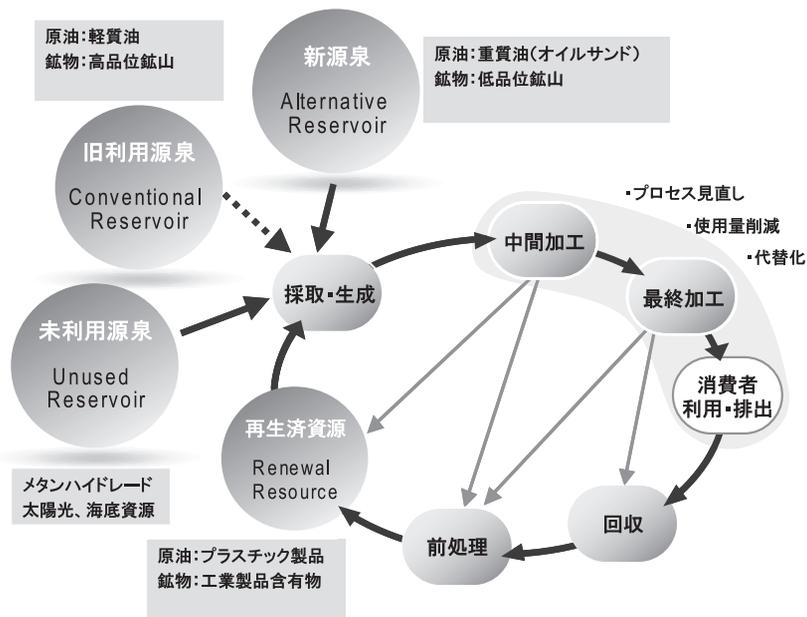
図5 インジウム(In)価格推移

しかし、2006年以降は製造工程内リサイクルとして、ITOターゲット材のリサイクルが進展(図6)したことにより、一次産品としてのインジウム需要は減少し、2006年以降は需給調整局面に入り価格は下落した。2008年4月以降、再度上昇基調にはあるが、ようやく一次産品の在庫が調整されたとも見られる。



資料：資源エネルギー庁鉱物資源課資料等を基に日立総研作成

図6 ITOターゲット材のリサイクルフロー



資料：各種資料を基に日立総研作成

図7 資源価格高騰による源泉の多様化

9 最終製品リサイクル ～地上資源活用～

原油と同様、地球上の鉱物は有限の資源であり無尽蔵ではない。しかし、言い換えれば地下から得られた資源は形を変えて地上に現出した物質であるともいえる。昨今の資源価格高騰下においては、これら地上に現出したといえる原材料、中間加工材、最終製品などに含まれる資源を再度原材料として有効利用するリサイクル技術が、経済採算性をともなう水準に近づきつつあるといえる。

一方で、資源価格高騰は、経済採算性を伴わなかった未開拓の新源泉から得られる原材料も、マーケットへ流出させる。

さらには、現時点では未利用な源泉やエネルギーから現代産業に必要な原材料や素材を作り出す場合、経済採算性が成り立つかもしれない。

このように、資源価格が高騰することによりさまざまな源泉からの採取活動が活発化するが、需要者側の取り組みとしてできることは、前述の製造工程内リサイクルに加えて最終製品リサイクルである。これらにより供給源が拡大し、産出国へのけん制材料になるのみならず、能動的に再生済資源を原材料として確保することにつながる（図7）。

10 終わりに

新興国の経済発展などの影響によりレアメタルのみならず、すべての資源の需給バランスがひっ迫している。その結果、価格高騰はいまだかつてない水準に達しており、モノづくり技術を誇る日本においては根幹を揺るがす事態となっている。早急に対応を進めるとともに、将来起こりうる資源枯渇の本質を正しく捉えた取り組みをとる必要がある。

製造工程リサイクルや最終製品リサイクルは、決定的な対応策とはなりえないかもしれないが、今ある地球環境を永続的に維持するための、いわば人類に課せられた使命であり、決して避けては通れない選択肢である。

今後、全世界が地上資源の活用を前提にした産業構造へ緩やかに移行していく過程においては、例えば製品設計段階からのリサイクル性思想の導入、採算性のあるリサイクル抽出技術の研究推進、さらには最終製品発生地から極力輸送エネルギー負荷を必要としない近傍地域での小型分散のリサイクル抽出設備も望まれるであろう。さらには、法的な規制なども含めて、消費者が適正な回収ルートへと製品を排出する動機付けや規制も重要となる。全方位的に取り組むべき喫緊の課題であり一刻の猶予もないことを理解しなくてはならない。

研究紹介

知識労働の生産性向上に向けたフロンティアの開拓

研究第二部 部長
松本 洋人

これまで、ホワイトカラーの生産性向上は、重要な経営課題であり、さまざまな取り組みがなされてきました。特に、工場における生産管理や流通業の販売・在庫管理、銀行の決済業務など、膨大なデータ処理を伴う業務は、ITの利活用により、効率性と正確性が飛躍的に向上しました。また、情報サービスやコールセンターなど、ある程度の定型化が可能な業務では、ネットワークの活用により、オフショアでの分業が拡大しています。

一方、質の高いアウトプットが求められ、定型化が困難な創造型知識労働は、ITの利活用が不十分であり、さまざまなイノベーションが期待される領域となっています。日立総合計画研究所(以下「日立総研」)ではこれまで、創造型知識労働の生産性向上を目指した研究を進めてきました。

その一つが、コミュニケーションの促進を志向したオフィスレイアウトの研究であります。本研究では、イントラブログなどのITツールとの融合も合わせて行い、組織内における知識の共有・活用とともに、外部との知識交流を進めやすくする環境を研究しました。その成果は、現在の日立総研のオフィスに反映され、新たな知的創造空間の構築に活用されています。

また、創造型知識労働の業務プロセスを可視化するプロジェクトにも取り組んできました。その目的は、成功した時の仕事の進め方を定量的に把握・分析し、秘けつを学ぶことです。

従来、標準化や定型化が困難な業務の生産性を分析するには、対象者へのインタビューやアンケート調査、観察しか手段がなく、十分な情報を得ることが困難でした。ところが、昨今のセンサー技術や無線技術の進歩により、人間の行動パターンを可視化できるようになり、生産性研究の新しい分野が広がっています。日立総研では、日立製作所中央研究所と基礎研究所が開発したビジネス顕微鏡を用いた実証実験を行いました。実証実験では、まず、研究員同士のコミュニケーション時間や活動状況を可視化し、組織のコミュニケーションの全体像を俯瞰(ふかん)するとともに、個人別のコミュニケーションの実態を把握するを行いました。この結果、活発で質の高いコミュニケーションのあり方や対面コミュニケーション(一回当たりの対面時間や対面人数、一日当たりの回数など)と創造型知識労働の活性度の関係など、コミュニケーション強化による生産性向上の方向性を示すことができました。

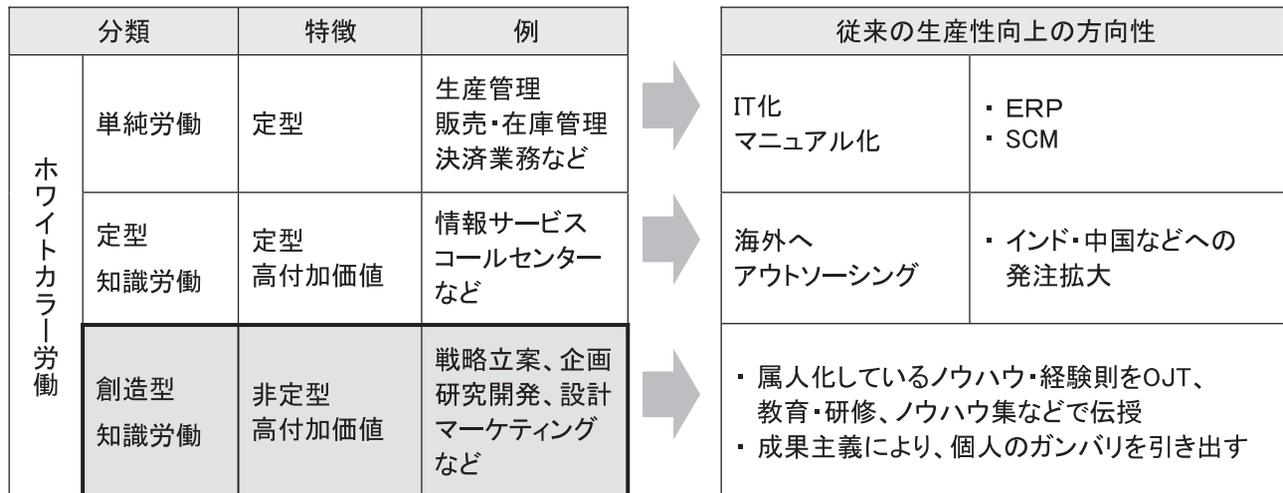


図1 ホワイトカラー労働の分類と生産性向上の方向性

また現在は、創造型知識労働のアウトプットの質を向上するための研究を進めています。基本的に生産性は「アウトプット÷インプット」で算出されますが、創造型知識労働では、インプットの削減よりも、アウトプットの質の向上が優先されると考えられます。ところが、知識・アイデア・情報などといった創造型知識労働のアウトプットの質を測定することは困難です。このため、「顧客が求めている付加価値は何か」を、いかに定量的に把握できるかが、生産性向上の第一歩となります。

また、インプットについても、「付加価値を実現するために、インプットすべきものを投入する」ことがポイントとなります。つまり、人員数や労働時間、経費など、インプットの節減が、アウトプットの質の悪

化を招かないように留意することが求められます。もちろん、アウトプットの提出期限を守ることが前提とし、個々のインプットから最終アウトプットに至るまでのプロセスを可視化し、設計することが、不可欠となるでしょう。

このように、創造型知識労働の生産性向上には、さまざまな視点と課題があり、新しい研究アプローチが求められています。例えば、①先ほどご紹介したセンサーネットワーク技術の応用のように、リアルな世界を把握するためのデータの収集や、②収集した膨大なデータを分析して、業務プロセスを改善することなどです。

ここに研究の新たな領域があると考え、フロンティアを切り拓く研究を進めています。

“Social Business and the Future of Capitalism” by Muhammad Yunus

研究第二部 部長 松本 洋人

2006年のノーベル平和賞受賞者でバングラデシュ人、グラミン銀行の創設者ムハマド・ユヌス氏の近著(2008年1月8日 米 Public Affairs 社刊)である。

グラミン銀行は、『貧者のための銀行』として知られ、1983年に創設され、ユヌス氏とともに、ノーベル平和賞を授与された銀行である。受賞理由は、貧困層を対象にした低金利の無担保融資を行い、貧しい人々の経済的厚生向上に大きな貢献をした功績であった。本書によれば、グラミン銀行は現在、バングラデシュ内78,000の村で、700万人以上の貧者(97%が女性)に融資しているとのことである。

グラミン銀行での取り組みが、貧困撲滅策として高く評価され、他の新興国にも拡大しているのは、ユヌス氏自身が「マイクロ・クレジット革命」と表現しているように、その仕組みの革新性にあると考えられる。

ユヌス氏は、貧困の構造を理解し、その悪循環を断ち切るための施策に取り組んできた。そのきっかけは、彼がバングラデシュの貧しい村を回った際の、竹細工の制作・販売で生計を立てていた女性グループとの出会いであった。彼は、彼女たちが材料購入資金も、作業物の買い取りも村の高利貸しに依存しているため、搾取され続けている現実直面する。これをきっかけに、無担保での少額融資を可能とするグラミン銀行を創設し、多くの人々に貧困から脱出するチャンスを与えてきたのである。

ユヌス氏の考え方や実践してきた活動は、多くの点でそれまでの常識を覆すものであった。第一に、伝統的な銀行では成立しえなかった貧困層に対する無担保での少額融資を始めたこと。通常、銀行は、既に資金を確保し、事業を立ち上げた人には、容易に融資するが、もともと資金を持たず、担保も持たない貧困層に対しては、融資することは困難となる。そのような状況下では、貧者は、永遠に貧しい生活から抜け出せない。

ところが、貧困層は与信リスクが高いという固定概

念は、実は間違いであったことをユヌス氏は証明したのである。これが第二の革新性である。ユヌス氏自身にとっても、意外であったとのことであるが、貧者たちは、毎回、期限通りに返済し、その返済率は、一般よりも高かったのである。これまで融資の対象から除外されてきた貧困層が、実は融資するに値する優良な市場であることを証明したのである。

第三の革新性は、貧困解消の担い手を、男性ではなく、女性とした点である。男性は稼いだお金を自分のために使ってしまうが、貧困のつらさが身にしみている女性は、家族全員、特に子供のために融資を有効に使うという点に着目したのである。

また貧困層を、単なる賃金労働者として認識するのではなく、起業家としてとらえる点が四つ目の特徴である。たとえば世界銀行は、融資もするが、同時に事業計画や専門能力習得などの指導をする。このため、融資を受けた者は、世界銀行から与えられた規定を守ることだけに専念することになるが、それでは真の自立とはいえない。また、そのような事業は地域の真のニーズに応えたものとならず、長続きしないことが常のようである。これに対し、グラミン銀行は、貧困者各人の内面にある創造性を引き出すことを重視し、融資をどのように使うかの決定は、借り手に任せている。

ユヌス氏は、「ものごとがうまくいかないのは、“市場の失敗”が原因ではない。・・・自由市場主義は“考え方の失敗”の悪影響を受けている」と述べている。現場におもむき、視点を変えて現実を見ること、そして実践することで、それまでの固定概念を打ち破ることができ、資本主義を前提とした「貧者のための銀行」といった一見矛盾するビジョンを実現することができたのではないと思われる。

また、ユヌス氏は、このようなグラミン銀行での実験を、本書の副題ともなっているソーシャル・ビジネス(社会的事業)として、さらに拡大・発展させるこ

にも尽力している。ソーシャル・ビジネスとは、既存の利益の最大化を目的とするビジネスに対し、経済的価値ではなく、社会問題や環境問題の解決への貢献を目標とする新しいタイプのビジネスと定義されている。その特色は、①ソーシャル・ビジネスが上げた利益は、資本家に配分されず、再投資に回される。つまり、フィランソロフィーと違い、一度融資され、事業がうまくいけば、拡大を続ける活動であること。②利益ドリブンではなく、存在意義ドリブンであること。③社会的なベネフィットを生み出す製品やサービスを創造することにフォーカスすること。④収益性を重視し、社会的な目的を損なわない限り、利益を追求すること。出資者への返済を可能とすること、そして長期的な社会目的を達成することがその理由である。

本書の中では、ソーシャル・ビジネスの典型例とも言えるグラミン銀行の関連企業群 25 社が紹介されている。

たとえば、1996年に設立された Grameen Shakti (グラミン・エネルギー)。当社は、70%のバングラデシュ国民がまともな電力サービスを受けられていないという問題の解決を存在意義とし、そのための活動として、巨額な資金を要する電力網を整備するのではなく、地球環境に配慮したクリーンエネルギー技術の提供を行っている。一つは、貧困家庭向けに、ソーラーパネルとコンバーターからなる 50 ワットの発電ユニット（四つの電球で 4 時間に相当）を低価格で販売していること。もう一つがバイオガス・プラント建設で、2007 年半ばまでに、1,300 のプラントを設置し、毎月 150 づつ増やしている。

また、Grameen Danone (グラミン・ダノン) は、フランスの食品飲料大手ダノンとの合弁で、バングラデシュでの栄養補助食品の生産・販売を行うことを存在意義としている。その他、主なグラミン関連企業は下記の通りである。[] 内は、設立年。

Grameen Trust[1983]:マイクロ・ファイナンスの啓蒙
Grameen Krishi[1994]:農業生産性向上研究と訓練
Grameen Uddog [1994]:バングラデシュ伝統織物の輸出

Grameen Telecom[1995]:貧者向け、電話サービス
Grameen Phone[1996]:セルラーフォン・サービス
Grameen Cybernet[1996]:インターネット・サービス
Grameen Shikkha[1997]:貧困家庭の教育支援
Grameen Bitek[2002]:電子製品の製造
Grameen Healthcare Service[2006]:貧者向け医療

マイクロ・クレジットにしても、ソーシャル・ビジネスにしても、説明されればなるほどと思える点が多いが、やはりユヌス氏が実際にこれらを形にしていることが、その意義の何よりの証明である。ユヌス氏は、グラミン銀行の成長過程で受けたさまざまな中傷や非難に対して一切反論をせず、行内にも「議論で勝つことに意味はない」と言い続けたとのことであった(2004年5月24日 日本経済新聞)。

本書とムハマド・ユヌス氏の今後の取り組みは、以下の三つの点で注目される。一つは、経済発展と地球課題への対応、公共の利益と個人の権利など、両立・共存が困難と考えられてきた課題の解決に向けた重要な取り組みであり、現場主義に根ざし、固定概念にとらわれない社会制度のイノベーションであること。二つめが、これらの課題の解決にとって、イノベーションの担い手として、ソーシャル・ビジネスや企業の役割を重視していること。さまざまな事業での実例は、その考え方の説得材料となっている。そして三つめが、貧困層の規模の大きさである。2007年に世界銀行グループが発表したレポート「THE NEXT 4 BILLION (次なる 40 億人)」によれば、世界人口 56 億人のうち 70%以上、約 40 億人が年間所得 3,000 ドル未満であり、市場規模を換算すると 5 兆ドル以上にのぼるとされている。これらの低所得者層を従来の援助の対象としてではなく、市場経済のプレーヤーとして取り込み、新たな巨大市場ととらえる視点として注目されること。

ユヌス氏の活動にみられるように、固定概念にとらわれずイノベーションを起こし、実践していくことの重要性を痛感させる一冊である。

日立 総研

vol.3-1
2008年7月発行

発行人 八丁地 隆
編集・発行 株式会社日立総合計画研究所
印刷 日立インターメディアックス株式会社
定価 1,000 円（税、送料別）
お問合せ先 株式会社日立総合計画研究所
東京都千代田区外神田四丁目 14 番 1 号
秋葉原 UDX 〒101-8010
電話：03-4564-6700（代表）
e-mail：hri.pub.kb@hitachi.com
担当：主任研究員 坂本 尚史
<http://www.hitachi-hri.com>

All Rights Reserved. Copyright© (株)日立総合計画研究所 2008 (禁無断転載複写)
落丁本・乱丁本はお取り替えいたします。

日立 総研

www.hitachi-hri.com