

駒場リサーチ  
キャンパス公開講演

## 講演

# 「走るレアメタル，働くレアメタル，エネルギーをつくるレアメタル」

岡部 徹（生産技術研究所 教授）

皆さん、おはようございます。生産技術研究所の岡部徹と申します。

先ほど先端研の神崎所長からお話がありましたように、「働く」、「走る」、「エネルギー」などが、これからの豊かな社会にはとても重要なキーワードとなるでしょう。皆さんは、おそらく、これらのキーワードに関係する“材料”というのは、普段あまり気にすることはないでしょう。しかし、“材料”は非常に地味な分野ではあるのですが、今後はとても重要な分野となります。ここでは、これから大事になる“材料”についてご紹介させていただきます。今日、講演を行うに当たって、酒井先生からは、「あまり真面目な話はするな。わかりやすく“ゆるく”いってくれ」と依頼されました。初めは、今の演題よりも、もっと専門的な講演タイトルだったのですが、今日は、このような“ゆるい演題”として話題提供させていただきます。

### ◎岡部博士の略歴紹介：Dr. Toru Okabe's footwork

自己紹介をさせていただきますと、私は東大には15年くらい前からおりまして、生研では、非常に楽しく活動させていただいています。もともとは、京大に居たのですが、MIT、東北大、東大と、転々としております。これは、レアメタルが流行って活躍しているから転々としているのではなく、むしろその逆です。「そんなことやっていても食っていけないよ」と言われていたから、居場所がなく、転々としてきました。何をやってきたかと申しますと、この25年以上、ひたすらチタン、レアメタルの研究を行ってきました。私の卒論のテーマはチタン、修論のテーマもチタン、ドクター（博士）のテーマはニオブ・タンタル、あとチタンとレアアースでした。

米国のMITでは、レアメタルの一つであるタンタルの研究を行っていました。これらのレアメタルは、岡部研では実際に手に取って触ることができますので本日の公開でご覧になってください。東北大のときは、レアアースのリサイクルなどの研究をしていました。当時、材料の専門家の研究所に在籍していたのですが、専門家集団の中でさえ「おまえ、なんでそんな意味のない馬鹿なことをやっているのだ？」と言われていた時代です。東北大の研究生活のあと東大に招かれました。場所は転々としていますが、い

つもレアメタルの製錬・リサイクルという同じ研究をしています。

### ◎未来材料・チタン・レアメタル

一般公開でも一貫して常に「未来材料：チタン・レアメタル」というテーマで研究紹介をしています。今では、皆さんから「いい研究をやっているね」と言ってもらえるのですが、東大に赴任したころは、「こんなマイナーなテーマ、東大に来てやるの？」と言われたこともありました。私に先見性があったから、レアメタルの研究に取り組んだわけではありません。実を言いますと、私の恩師である先代、またその恩師である先代もまったく同じテーマの研究を続けてきました。当時は「非鉄冶金・特殊金属精錬」という看板を掲げてレアメタルの研究を行っていましたが、今でも本質的には同じ看板を掲げて、一子相伝で先代のテーマを引き継いで同じことをひたすらやっているのです。

代々引き継がれている「伝統のそば屋」と同じようなものと考えていただいたら分かりやすいかと思います。そういうのが私の仕事です。とても地味ですが、非常に大切な研究分野です。

### ◎持続型エネルギー・材料統合研究センター

今日、私の研究の話をするよりも先に紹介すべき大事なことが一つあります。先ほど藤井所長にもご紹介いただきましたが、「持続型エネルギー・材料統合研究センター」という新しい研究センターについてです。この新センターは、昨年度までは「サステイナブル材料国際研究センター」という名前で、材料や素材の製造やリサイクルなどのプロセスに関する研究を中心とするセンターでした。高機能なものを作ったり、使用済み材料をリサイクルしたりする研究を行い、アカデミアを中心として一連の活動を世界に向けて打ち出すことが、この国際研究センターの役割でした。

大学人が国際的に活躍することは東大のミッションでもあるのですが、それと同時にもう一つ大事な使命があります。国内を中心とする非鉄金属産業を発展、活性化させることです。特に、リサイクルは日本が世界に誇れる非常に強い産業分野で、非鉄金属産業は重要な役割を果たしてい

ます。これを産学連携という形で、JX 金属様から多額の寄付をいただきまして、既に5年間、活動を続けており、今後もおそらく継続していくことになると思います。

非鉄金属素材の代表格である銅、鉛、亜鉛のリサイクルは意外に地味な分野なのですが、関連技術や産業は貴金属をリサイクルしたり、レアメタルを精製したりするのに応用でき、今では非常に大事な分野となっています。配布しました資料には、今年の9月に開催される E-scrap シンポジウムの案内がありますが、このようなシンポジウムを開催すると200人以上の人が集まります。年初には、貴金属シンポジウムを開催したのですが、このコンベンションホールに250人もの聴衆が集まって、会場に入りきれない状況でした。今後も、非鉄金属製錬やリサイクル技術、環境技術の重要性を一般にアピールするべく頑張って活動していきますので、是非ともご支援ください。

関連する研究分野について、今日の一般公開でも一部の研究室が公開していますので、ご興味のある方はF棟に出向いて行ってご覧になっていただけたらと思います。先端研で行っているような未来を感じられる最先端の研究は一般の方や学生をアトラクトできるのですが、私たちの研究分野はどうも地味すぎます。このような機会を利用して、学生や若手研究者に対して、非鉄金属に関する研究分野が大事であることを伝えるべく、非鉄産業の施設見学会を開催したり、様々な取り組みを行ったりしてこの分野の重要性を広める努力をしています。

### ◎浅草寺／ガンダム

今からは、私の好き勝手に講演をさせていただこうと思うのですが、このスライドを見て、「あ、また岡部、この話だ」とわかる人はどのくらいおられるのか、ちょっと手を挙げていただけますか。今、手を挙げているのは藤井所長と私の娘くらいですね。

このスライドを見て、「うん、なるほど、今日はこの話か」と思ったら、皆さん、合格です。しかし、このスライドをみて何の話かわからないようでしたら、皆さん、レアメタルに関しては不合格ですので、きょうはレアメタルの一般的な話をしようと思います。

今日、お題をいただきました「走るレアメタル、働くレアメタル、エネルギーを作るレアメタル」、あと「空飛ぶレアメタル、泳ぐレアメタル」などの話です。藤井所長は海中工学がご専門ですから、まさに「泳ぐレアメタル」を多量に使っていただいています。

話は変わりますが、「派手なレアメタル」といったら何でしょう？皆さん、パッと思い浮かぶレアメタルはありますか？

では、「地味なレアメタル」と言ったら何でしょう？何か、思い浮かびませんか？これからは、この類のレアメタルの話をしようと思います。

### ◎いかにも東大生＝いか東 今どき東大生＝イマ東

最近では、「いかにも東大生」は、「いか東」と言い、「今どきの東大生」は、「イマ東」と呼ぶそうです。これにあやかって、「いかにもレアメタル」や「今どきレアメタル」、すなわち「いかレア」や「イマレア」というネタを、楽しく話そうかと考えておりました。しかし、この会場に両所長がおられて、あまり「いい加減な話」ばかりしていたら、クビを切られるのではないかと、ちょっと心配になってきました。今日は、ここではあまり深く踏み込みませんが、こういうレアメタルにご興味がある方は岡部研の一般公開にお出ましく下さい。

### ◎日本経済新聞

レアメタルといいますが、2005年あたりから大手新聞の第一面に大きく載るようになりました。皆様も、このころからレアメタルの重要性が認識されるようになったと思います。

### ◎レアメタルは豊かな生活に不可欠

ハイテク機器にはレアメタルが多量に使われており、高性能な電子機器には不可欠な素材となっています。ただ、その頃は、価格が急激に上がったレアメタルが多くあり、供給障害が心配されました。当時は、オイルショックならぬ「レアメタルショック」が起こるのではと騒がれました。このような状況から、私自身も「クローズアップ現代」をはじめ、いろいろなテレビに呼ばれて、スタジオにもレアメタルを持ち込んで解説を頻繁に行っていました。

「クローズアップ現代」では、ニオブというレアメタルのとて大きなインゴットをスタジオに持ち込んで、その前で私が解説する予定でした。しかし、実際に現場に置いてみると、ニオブのインゴットがあまりに大きすぎて「レア感がない」し、写真写りが悪いからNGだと言われて、放映時には収録現場から撤去されたというエピソードもあります。今も岡部研には、大きなレアメタルの塊がたくさん置いてありますので、是非とも出向いて触ってください。中には、皆さんが、いままで触ったことが無いような“非常に重たい”レアメタルもあります。

### ◎尖閣諸島領有問題から発展

社会人の方にとっては、レアメタルは2005年あたりから新聞等で騒がれたため、その重要性を認識していただいたものと思います。しかし、女性や子どもまでもがレアメタルの重要性を認識するようになったのは、中国がレアメタルの一つであるレアアースの輸出を突然止めて日本の産業が一時期パニックになった頃からです。レアアースは、高性能磁石の製造には不可欠な元素であったからです。

日本はハイブリッド自動車や携帯電話に超高性能の磁石を使っています。それにはレアアースが必要です。中国

からのレアアースの供給が突然停止し、日本のハイテク産業がパニックになったところは、私は、元東大総長の小宮山先生に呼ばれて長時間のテレビ番組に出演したり、ニュースに出たり、ありとあらゆるところで、いわゆる“引っぱりだこ”になりました。こうした意味では、今は、レアメタルを取り巻く環境は落ち着いております。

### ◎レアメタルの用途別の分類

しかし、メディア的には落ち着いていても、今後も、レアメタルの多くは、一層重要となります。最先端の分野ではレアメタルは不可欠です。自動車がハイテク化すれば多量のレアメタルを消費します。エネルギー関係の産業が成長するとさらにレアメタルの需要が増大します。日本では、上手く進んでいませんが、原子力関連産業もレアメタルを多量に使います。このように、レアメタルの重要性はこれからさらに伸びます。そういった背景もあって、レアメタルの一つであるレアアースの話題が2012年には大手新聞を賑わすようになりました。

### ◎走るレアメタル

それではここから、いただいたお題の「走るレアメタル」の話に入りますが、そもそも「レアメタルとは何か」について、ご存じのない方がいらっしゃると思いますので、あらためて説明させていただきます。

### ◎そもそもレアメタルとは？

レアメタルというのは、すべての金属の中から鉄や銅、鉛、亜鉛などの汎用金属を除いたものです。(末尾の図1, 2参照)要は、ベースメタル、すなわちコモンメタル以外の金属で、マイナーのものはすべてレアメタルです。厳密な定義はないのですが、白金、インジウム、ガリウム、タンタルなど、資源的に少ない金属、すなわち本当に“レア”な金属はレアメタルです。しかし、意外に知られていないのは、チタン、シリコンなど資源的に豊富な金属の中にもレアメタルに分類されているものがあることです。

チタンは、実を言うと資源的には無尽蔵です。酸素とか鉄などの元素を多い順にカウントすると、チタンは地球の地殻の構成元素の中で9番目に多い元素です。資源的にはいくらでもある金属です。資源は無尽蔵なのに、なぜ、レアメタルに分類されるかと言うと、今もなお技術的に金属にするのが難しく生産量が少ないからです。技術革新が進めば、将来、チタンなどはコモンメタルになっていくと思います。

その他に、スカンジウムやバナジウムなどもレアメタルに分類されます。バナジウム天然水で有名なバナジウムは、資源量としては多いのですが、地殻中に広く散らばっており濃度が薄くなっていて集めるのが難しいため、レアメタルに分類されています。

その他、超高純度のメタルや特殊なものをレアメタルに分類することもあり、様々な定義があるのですが、これらの細かいことは忘れてください。要するに、鉄、銅、鉛、亜鉛などのコモンメタルを除いたメタルの総称がレアメタルです。

また、最近話題になったレアアースは、周期表の中では番外に位置するところに記載されているマイナーなメタルです。高校の先生の中には、「これは受験に出ないから覚えなくていい」と指導する方もおられるようですが、このレアアースは産業上とても大事なレアメタルです。特に、ネオジムとかジスプロシウムなどのレアアースは日本のハイテク産業にとって非常に大事なものです。

### ◎走るレアメタルについて

それでは、「走るレアメタル」についてご紹介します。「走るレアメタル」という言葉を、私は、講演がある度に何回も使っています。なぜなら、「走るレアメタル」という言葉は、私が作った言葉であると信じていたからです。自分が作った新しい言葉と先見性について一時期、各所で自慢していたのですが、あるとき、東京大学の畑中先生から「岡部さん、君は“走るレアメタル”という言葉、自分でつくったと言っているけど実際は違うよ」と言われて、驚きました。なんと、このスライドに示す、「レアメタル」という競走馬の馬券を、そのとき私に下さいました。なんと2009年には、すでに“レアメタル”という競走馬が元気に競馬場を走っていたのです。レアメタルという競走馬は、最初勝てなかったようですが、地方競馬で大活躍。実際にパカパカ走っていたようです。そういった意味では、私は訂正しなければなりません。「走るレアメタル」という概念や言葉をつくったのはこの馬主の方です。

### ◎鉄鋼材料(特殊鋼、ハイテンなど)

私が重要性を主張している“走るレアメタル”の多くは、自動車などの高性能な鉄鋼部材にも多く使われています。さらには、高性能モーターなどを多量に使うハイブリッド車には、多量のレアメタルが必要です。岡部研の展示で、レアアースの合金できている超強力磁石を体感してみてください。

さらに、排ガス浄化触媒にも白金族金属などのレアメタルが不可欠です。商業的に利用できる白金族金属の資源はアフリカとロシアにしかないのですが、日本は白金族金属を含むスクラップを世界中から集めて精錬して白金に戻し、膨大な富を生んでいます。また、超長寿命電池や軽量材料として、チタンやスカンジウムが使われることがあります。

ここでご紹介した“走るレアメタル”は、10年、15年走った後には、スクラップになるので、リサイクルしなければなりません。レアメタルのリサイクルに関する分野は、これからとても大事な分野となります。

### ◎大雑把に言うと、自動車1台には……

レアメタルや貴金属の使用量を大雑把に説明します。車1台には、金は0.2～0.5gを使うそうです。自動車が使う金の量は、意外に少ないようです。普通、金は接点材料として使われるのですが、使用量をかなり低減しています。銅はレアメタルではないのですが、ハイブリッド車になると、驚くことに銅を50kgも使うようです。この50kgの銅を作るには、200倍以上の銅鉱石が必要です。1トンの車1台を製造するに、10トン以上の銅鉱石を処理しなければならぬのです。

自動車の排ガスを浄化するために数グラムの白金が必要です。白金の末端価格は現在1グラム4,000円ですから、自動車の排ガス浄化触媒だけで、2～3万円分の白金が使われることになります。ですから、今、非鉄金属関係の企業は、自動車排ガス浄化触媒のスクラップのリサイクルを一生懸命に行っています。

### ◎走るレアメタルの解説

走るレアメタルについて、真面目な話を延々と話していても皆さん寝てしまわれるかも知れません。『自動車技術ハンドブック』には、走るレアメタルのことも詳しく書いてありますので、真面目に勉強したい方はこの本を参考書としてください。

### ◎ちなみに携帯電話1台には

皆さんは、自動車よりも携帯電話に使われるレアメタルの方に興味があるのではないのでしょうか。携帯電話は、レアメタルや貴金属の使用量の絶対値は非常に少ないです。ただし、品位（濃度）は高いのです。したがって、仮に携帯電話を沢山回収して、1トン分集めたら、同じ重さの金の鉱石の何百倍の価値があります。だから、リサイクルが大事なのです。

これらのことも、先に紹介した自動車技術ハンドブックを参考にすれば分かりますので、ご覧になってください。「走るレアメタル」や電子機器はレアメタルの塊であることがよく分かります。

### ◎レアメタル便覧

さらにレアメタルの勉強を究めたい方には、『レアメタル便覧』の「レアメタルの製造」というところに、レアメタルの製造方法やリサイクル方法の解説があります。これほどつまらない文章はなく、皆さんにとっては、強力な睡眠剤になります。ちなみにこの解説を書いているのは私ですが。

『レアメタル便覧』の「レアメタルの製造」ではどんなことを書いているかということ、自動車排ガス触媒を抽出する合理的なプロセスの解説や現在行われているリサイクル手法等の説明等、つまらないことが延々書かれています。

もっとも、一般にはつまらないことでも、この分野はこれからとても重要となります。

### ◎働くレアメタル

次に、「働くレアメタル」の話をします。このネタになると、皆さん、分かりますね。機動戦士ガンダム。これが何で出来ているかと訊かれたら、「プラスチックだろう」と夢の無いことを言っただめです。これは、「レアアースとチタンの合金である「ルナチタン」で作られている」と答えてください。ちなみに、最近のガンダムはEカーボンというカーボンでできていて、レアメタルを使わないそうで、レアメタルオタクの私にはちょっとしたショックです。でも、多種多様のハイテク材料を使ったロボットが活躍する未来が開けています。

### ◎ロボットには多くのレアメタルが使われる

ロボットは高機能・高性能が進むとレアメタルを多量に使用します。高性能モーターはレアアースの塊ですし、高性能電池、センサ、基板類、照明、液晶等は、レアメタルが無くては作れません。したがって、これらを使うロボットはレアメタルの塊になります。

皆さんはこれから、先端研や生産研で、沢山のハイテクなものをご覧になりますね。今日は視点を変えて、どこにどんなレアメタルが使われているのだろうかという観点で見学してみてください。

### ◎ターミネーターとレアメタルの関係は？

ちなみに、SFを見ていると、沢山のレアメタルが出てきます。たとえば、ターミネーターのアンドロイドはタンタルでできています。今日は細かい話はしませんが、こういうことに興味があったら、タンタルとは本当はどのようなものなのか、岡部研に見学に来てください。

### ◎空飛ぶレアメタル

「空飛ぶレアメタル」、これも大事です。東京大学は軍事に関することは一切関与してはいけなくて、戦闘爆撃機等についてはコメントしませんが、高性能な航空機はレアメタルを多量に使います。ちなみにこの飛行機はチタンの塊で、外側はほぼすべてがチタン合金でできています。

もっと明るい話でいきますと、民間の大型旅客機も多くは、空飛ぶレアメタルです。皆さんの中には、「大型旅客機はレアメタルを使うと岡部さんは言うけど、最近の新鋭機はカーボンファイバでできていて、レアメタルを機体に使っていないのではないかと考えている方も多いと思います。たしかにカーボン素材の機体そのものにはレアメタルを使っていないのは事実です。ハイテクの大型機の機体は、金属材料からカーボン素材に代わっていています。ただし、そういった飛行機でも総重量のうちの1割くらい、

10 トンくらいはチタン合金を使っています。どこに使っているかという点、車輪等を支える足回り、さらには、ジェットエンジンの回転ディスクやファンケースなどには、チタン合金が不可欠です。これらの部品は現状では、炭素材料に置き換えることができないので、実際には、航空機業界のチタンの需要は今どんどん増えています。そういった意味では、空飛ぶレアメタルの将来は、今後も明るいのです。

### ◎泳ぐレアメタル

「泳ぐレアメタル」も考えてみました。藤井所長はもともと船舶工学の海中工学がご専門です。海中に潜っていろいろなセンシング（計測）をするのがご専門です。このスライドにある「しんかい6500」はまさに多量のチタン合金のコア（球殻）を構造体として用いているハイテク海中ロボットです。チタン合金を使う理由は、単にチタンが硬くて軽いだけではなく、チタンは抜群の耐腐食性があり、錆びないからです。海洋は塩水なので、通常の金属や合金は放っておいたらすぐ錆びます。腐食にともなう様々なエラーやトラブルが起こると大変なので、耐腐食性において最強のチタンが海洋技術に重要な役割を担っています。

### ◎派手なレアメタル？

今日は、とっておきの演題も用意しています。まずは「派手なレアメタル」を紹介します。皆さん、このスライドの建築物は見たことがありますね。フジテレビの本社ビルの外観の写真ですが、この球殻の外装はチタンです。このスライドの東京ビックサイトの外装もチタンです。私は訪問したことはないのですが、スペインの Bilbao にある Guggenheim 美術館の外壁はまるごと全部チタンだそうです。このスライドの中国・北京にある丸い巨大ドーム（中国国家大劇院）の外板もチタンらしいです。派手ですね。

一連の「派手なレアメタル」の話を今日、初めて知った方、手を挙げていただけますか。（挙手多数）私はとても、嬉しいです。今日、私が講演者としてここにお招きいただきました甲斐がありました。

### ◎地味なレアメタル？

次の話題に移ります。今度は「地味なレアメタル」の話です。

このスライドの写真は何でしょう？これは、浅草の浅草寺の素焼きの屋根瓦の写真なのですが、どこがチタンでしょうか？実を言うと、この瓦全体がチタンで出来ています。見た目は素焼きの屋根瓦の“ふり”をしています。チタンを使うと均一な色が出せるのですが、わざわざ素焼きの瓦特有の“焼きムラ”の色を表面に焼き付けています。チタンの板で瓦をつくると、のっぺりとした、全く同じ色とな

りますが、素焼きの瓦は焼きムラがあり瓦ごとに色が違うので、わざとチタン板にプラスト処理（砂や金属の吹き付け処理）を施し、色調を変えて色ムラをつけて、あたかも重そうに見せているのです。

この瓦は、実際は0.1ミリのとても薄いチタン箔でできており、チタン箔の下は空っぽです。チタン箔の下が空っぽだと踏むと凹むので、チタン箔の下には構造体・補強材として木材が使われています。素焼きの瓦のように重たいものではなく、チタン箔と木でできている屋根なので、実際は極めて軽い屋根になっています。このようにチタンは瓦の“ふり”をして地味に使われています。

この事実を、知っていた方？手を挙げてください。（挙手ごく少数）嬉しいです。皆さん、ご存じなかったのですね。

### ◎羽田国際空港

もう一つの話題を紹介します。皆様は羽田のD滑走路から離陸されることもあるかも知れませんが、このD滑走路は、新しく出来た滑走路で、川の流れを止めないように海に浮いている部分が一部あります。この滑走路の海に浮いている部分の構造体の天井裏にはなんとチタンが約1,000トン使われているのです。これも薄い板が使われています。滑走路は大きいので、凄い使用量となります。チタンは1トンあたり、ウン百万円もしますから、これに1,000トンの量を掛け算すると、すごい額になりますね。一体、総額、幾らになるのでしょうか。

チタンを張った構造物を海に沈めて、チタンを使った旅客機がこの上を離着陸していることとなります。D滑走路の構造体のすべてがチタンではありません。このスライドにある垂直の柱の部分は海水に長年接していても錆びない特殊なステンレス鋼を使っています。私としては、チタンを構造体としてジャンジャン使って欲しいところですが、現時点ではチタンは素材の価格が高すぎるので一部しか使われません。垂直に立った柱の部分は、仮に腐食しても船を接岸してすぐ補修等ができるので、メンテナンスが難しい屋根裏の部分などにチタンが使われているのです。

### ◎浅草 浅草寺

皆さん、今度、浅草寺に行ったときに知ったかぶりをして自慢してください。「屋根瓦は実はチタンで出来ているんだよ」と。これからは、浅草寺と言わずに“チタン寺”と呼ぶようにしましょう。薄いチタン箔で出来た瓦構造の中に木が入っているということです。浅草寺に使われたチタンの瓦の実物は1階ピロティに展示してあります。勝手に持っていかないでくださいね、私のお宝ですから。ただ、手で直に触れるようになっていと思います。中は木材で、表面を薄いチタン板でカバーした構造です。これだと絶対錆びない、永遠にもちます。あと、とても軽い屋根となる

ので、地震に対しても強い建築物となります。さらには、屋根の下の木造建築の負荷を下げられる。でも、これがチタンのおかげであることを、皆さんはご存知ないのですね。

### ◎広がるチタン屋根

一般にはさらに知られていないことをご紹介します。京都に行くと北野天満宮という神社があり、昔は、屋根材として銅箔を張っていました。銅箔を屋根に張るとしばらくして表面に深い青色をした緑青（ろくしょう：銅の錆）が出て、風合いのある綺麗な屋根となります。しかし、この緑青は少しずつ雨で溶けますので、周りの木々が銅のイオンのせいで枯れてしまいます。実を言うと、今の北野天満宮の屋根は、銅箔でできているのではなく、チタン箔葺きになっています。チタンなのに、表面処理をして、緑青がついた銅箔のふりをしているのです。これは意外と知られてない事実です。

なんと金閣寺の茶室もチタンを使っているらしいのです。文化庁も、最初は、これを許すか困惑したことでしょう。「文化財たるもの、木や土や紙などを使って補修しなさい」となっているでしょうから、“木や土や紙など”の“など”にチタンが入るかという微妙な議論があったものと思います。私は入ると思います。チタンは役に立つのですから、“など”に入れてもよいと思っています。

今日、「働くレアメタル」「地味なレアメタル」などの話をさせていただきました。また、航空機産業が成長するとチタン産業もどんどん伸びていくことも述べました。さらに一つ申し上げたいのは、日本はチタンの生産大国、技術超大国であるということです。日本は、全世界の約2割のチタンを作って海外に輸出しています。これも意外と知られていないですね。多量のチタンをアメリカやヨーロッパに輸出しているのです。

### ◎エネルギーを作るレアメタル？

「エネルギーをつくるレアメタル」、これはあまりに種類が多いのでここで詳しくお話することはできませんが、基本的に、太陽光発電はレアメタルの塊です。それ以外にも電気を交流から直流に変換したり、一瞬溜めたり、送電したり、これら全てにレアメタルを多量につかう電子機器が不可欠です。バッテリー（蓄電池）は、まさにレアメタルの塊です。これらのハイテク分野の研究は、私のみならず、他の研究者の方々もやっていますので、お配りしたパンフレットをご覧ください。

### ◎持続型エネルギー・材料統合研究センター

残された時間で、こういったレアメタルのみならず、4月に新設された研究センターが今後何をやっていくのか、レアメタルを絡めてご紹介します。私が今取り組んでいる研究は、レアメタルのプロセス技術の開発で鉱石からレア

メタルを取り出して作ったり、スクラップから回収したりする研究です。今後は、センターとしては、エネルギーを溜めたり、変換したりする、それを社会実装していく、といった幅広い分野の研究を展開していく予定です。

最近、新たにバッテリーや電気化学が専門の八木先生が新センターに加わりました。また、ガラスの専門家である井上先生、グラフェンの研究をされている星先生もメンバーとなりました。新センターには、新たな人材も加わりますが、同時に抜けていく方もいらっしゃいます。今後も、個別の研究だけでなく、研究センターという集合体としても研究を打ち出していく予定です。こうした意味では、新センターと寄付研究部門、これはまさに両輪で、学術・国際、国内の産学連携がお互いにリンクして展開しております。

私が今後、何をやって行くかといいますと、先ほどの「走るレアメタル」のみならず「空飛ぶレアメタル」「電気を溜めるレアメタル」、などに関連する研究を展開しようと考えています。

### ◎生産技術研究所の組織とサステイナブル材料国際研究センター

今の新センターの前身である、サステイナブル国際研究センターは、このスライドに示す経緯で発足しました。今日は、思いがけず、先ほど所長が時間を割いて説明してくださったので割愛しますが、サステイナブル国際研究センターは、12年前に立ち上がった研究センターです。

当初は前田先生がセンター長でして、温暖化地獄をアピールしていた山本先生と温暖化の嘘・欺瞞をアピールしていた渡辺先生という両横綱の先生がおられました。当時、私は、准教授としてセンターの運営に走り回りながらこの状況に困惑していた感もありましたが、今ではその頃のセンターが懐かしいです。当時は、エネルギーに関する分野は、研究スコープとしては入っておらず、新規高性能材料や超長寿命材料の開発や、物質の世界規模での循環の解析などが主な研究テーマでした。

ここでいう“物質”には、いろいろなものがあります。今日は美しい話ばかりでしたが、実を申し上げますと、高性能な物をつくる時には多くの場合、害悪な物質がたくさん発生します。いわゆる有害物ですね。その処理や無害化に関する研究も一生懸命やらなければなりません。日本は、そういった有害物の処理、環境技術に関しても世界のトップランナーです。日本の非鉄各社は、非常に厳しい環境規制の中でも、多大なコストをかけて環境調和型のプロセスを駆使して先端素材を製造しています。日本には、高い環境コストを払ってでも、十分に富を生み出すくらいの技術力があります。今後は、この優れた環境技術を全世界に展開していくことになるのではないかと考えています。

### ◎グローバル連携拠点網構築事業

国際展開という意味では、生研のセンターは海外にオフィスを設けて、いろいろところで連携活動をかなり盛んに行っています。一例として、大学のミッションとして世界各所に国際連携でオフィスをつくったり、共同シンポジウムを開催したりしています。私は一連の国際連携活動を2004年頃から本格的に開始し、今では非鉄金属寄付研究部門とも連携して推進しています。

非鉄金属寄付研究部門は、寄付者であるJX金属様に敬意を表してJX金属寄付ユニットと私たちは呼んでいますが、JX金属寄付ユニットとサステナブル材料国際研究センター、今は、持続型エネルギー・材料統合研究センターが強く連携して、とても上手く両輪として回って機能して活動していることをご報告させていただきます。

ちょっと、講演内容が、真面目な話になってきましたね。あまり真面目な話はしないつもりだったのですが、どんな具体的な研究をやっているかをご紹介させていただくためにスライドも用意しました。

### ◎新センターの活動の具体例

新しいセンターでは、メタルだけではなくて、ポリマー、エネルギー材料など、多様な材料を扱います。さらに、現時点では、低エネルギー消費社会のための基盤工学に関する研究分野は、人員的にも不十分なのですが、将来的には、生研の鹿園先生方にご協力いただき、エネルギー関連の分野も重点化していこうと計画しております。今後は、このスライドに示すような新しい研究分野にも熱心に取り組んでまいります。

このスライドに示す「レアメタルのリサイクル」は私の研究テーマです。これについては、岡部研見学時にくわしくご覧ください。

吉江尚子先生は、副センター長として、生分解性ポリマーや、自己修復ポリマーなどの研究をされております。この研究については、F棟の2階で吉江研が一般公開を行っています。

最近、ハイテク関連では、エネルギーを変換するパワーデバイスの研究が重要となっています。例えば、SiCとかAlNなどです。これらの新材料については、吉川先生が研究に取り組んでおられます。これからは、この研究分野は特に重要となってくると考えられます。吉川研は、F棟の7階で一般公開しています。もちろん、生研、先端研の別の研究室ではそれらを使ったさらにハイテクな機器、ロボットなどが展示されていると思いますが、これらのハイテク分野にも目を向けていただけたらと思います。

現時点では、まだセンターのメンバーではないのですが、今後、鹿園先生に新センターに加わっていただき、エネルギー、発電、燃料電池の研究を推進していただければと考えております。これらのエネルギー機器は、まさにレアメ

タルの塊でもあります。さらに今後は、エネルギー関連の材料技術なども重点的に強化していこうと考えております。

すでにエネルギーの分野は鹿園先生らの研究グループが世界をリードしているようですが、私どもは新たな研究分野と連携することによって、材料とエネルギーの研究分野を両輪として運営するべく、多角的な研究に取り組んでいけたらと思います。

さらに、社会実装を目指すことも大切だと考えております。新センターでは、エネルギーの分野を加えて展開していくといった研究計画についてはお配りしたパンフレットに説明があります。

よく「新センターにはどんな先生がおられるのですか」と質問されることが多いので、パンフレットやこのスライドにチャートとしてまとめました。エネルギー関連の研究を行なっているのは吉川先生、八木先生、前田先生。私はリサイクルですから、図の中では、こちらの円に入ります。全体図を俯瞰すると、明らかにエネルギー関連の研究分野が弱いのですが、おそらく2年後くらいには関連の先生方に加わっていただいてエネルギーに関する研究を幅広く展開していこうと思います。2年後、生産技術研究所の公開に来ていただいてどのように発展しているかを見ていただければと思います。

もう一つ大事なミッションがあります。研究は、私たちはプロとしての仕事として取り組んでいますが、大学人としてはやはり“人材の育成”，これも大事な仕事です。今後も、高度な世界レベルの研究と人材育成の両方に、鋭意取り組んでいこうと思っております。

岡部は「派手なレアメタル」と「地味なレアメタル」の話しかせず、実際の研究の話はまったくしなかった、と言われたらちょっと問題がありますので、最後に、残された時間で、私の研究の取り組みを幾つかご披露させていただきます。

### ◎循環資源立国への挑戦

レアメタルといえば、ハイテク機器等、良いものを作って使うというイメージが先行します。良いモノを作るのはいいのですが、これらもいつかは捨てられます。機器によりますが、大体10年後には廃棄されます。その中のレアメタルを取り出してリサイクルするのはとても重要です。このような背景から私は、レアメタルをリサイクルする研究に一生懸命取り組んでいます。

たとえば、白金を廃棄物の中から抽出して分離する場合、今は、王水とか塩素などの強力な酸を使わなければならず、有害な廃液が多量に発生するため環境への負荷が大きくなります。この状況を打開するため、たとえば、私たちは、ゴミの中の白金に、ちょっとした前処理を施すだけで、あとは塩水をかけるだけで簡単に溶かして分離できる環境調

和型のリサイクル技術を開発しています。このような夢のある新技術に関する研究を行っています。白金を塩水で簡単に溶かす新技術が開発されれば、まさにこれは環境調和型のリサイクル技術として利用できます。実際、王水を使わずに白金を溶かすことは学術的には可能でして、この内容をプレスリリースしたら日経新聞で大々的に報道していただけました。

それ以外にも、スクラップの中の白金を効率良く、分離・回収する新技術の開発を行っています。白金は高価なので、使う量が少なく、多くの場合、スクラップの表面付近にあります。白金は、もともとは、磁石につかないのですが、鉄などと化合すると磁石につくようになるので、スクラップ中に微量に存在する白金を鉄と合金化させて、白金を磁石につけて高効率で集める技術の開発を行っています。これも環境調和型、省エネルギーを目指したレアメタルのリサイクル技術の研究の一例です。このような研究を一生懸命やっています。

貴金属以外の研究も紹介します。今、ハイテクの自動車はレアアースを高性能磁石の材料として多量に使います。自動車が廃車になったとき、これらのレアアースはどうなるかという、リサイクルされずに捨てられています。現状では、一切回収されていません。これはなぜかという、中国から新しいレアメタルを買ってくるほうが圧倒的に安いからです。近年、レアアースの値段が高くなったといっても、捨てるほうが楽でコスト的にも有利です。

しかし、私の信念として、また、“レアメタルを愛する人間”として、少々お金がかかってもこれは再利用すべきだ、地球環境を保全すべきだと主張し、レアメタルのリサイクルに関する研究を行っています。レアアースのリサイクル技術の開発に関する研究は1995年から延々と行っているのですが、当時は「そんな意味のない研究をやって何になるの」と否定的に言われていました。しかし、今は研究の中身を言わなくても「いい研究やっているね」と言われるようになりました。私がやっていることは変わらないのですが、時代や世間が変わったということです。

これまでに、どのような研究をしているかという一例を紹介しますと、磁石スクラップの中のレアアースを選択的に効率良く分離・回収するプロセス技術の開発があります。レアアースを含む磁石スクラップを特殊な条件で処理すると、効率よく選択的にレアアースだけを抜き出すことができるので、そのような環境調和型の高効率リサイクルプロセスの開発を行っています。

要するに、私たちは、鉱石から金属を抽出する研究だけではなく、スクラップの中から有価なレアメタルを選択的かつ効率的に、分離・回収する技術の開発を行っています。日本でリサイクルする場合には、その過程で環境を乱さないで手取り早くとることが重要ですので、そのような技術開発を一生懸命やっております。延々とこうい

う研究に取り組んでいるのが私の仕事です。これはまことに地味な研究で流行らないのですが、とても重要な研究と信じています。

### ◎Value of Nature

今日は、一般の方が多いということなので、“Value of Nature”という概念をご紹介します（末尾の図3参照）。レアメタルのみならず、金属を含む鉱石の多くは“Miracle of the earth”です。奇跡的に生まれた鉱石の中で、地表にあるものを都合良く、手取り早く、タダ同然で利用して消費しているのが、今の人間の経済活動です。そのようなことを続けていると、何が起こるかという、非常に安く金属を生産できます。だから、自動車とかロボットとかハイテク機器、iPhoneも含め、非常に安く高機能なモノが生産でき、皆が便利に使っているのです。

実際には、金属を生産するための採掘コスト、製錬コストはそれなりにかかりますが、大本の鉱石の生産コストが低いので金属の価格はかなり安く抑えられています。また、金属生産にともなう廃棄物の処理コストが非常に低く抑えられているのも現状です。これらのコストを積み上げていくと材料のコストになります。

一方、日本でスクラップ中の金属をリサイクルしようとすると、大きな回収コストがかかります。回収してもゴミの中に混じっていますので、それを分別して精錬、抽出するコストがかかります。このプロセス技術の開発や解析に関する研究は私の本業です。それと、リサイクルしようとすると同時に、廃棄物がたくさん出ます。この廃棄物の処理コストが日本では高いのが実情です。

スクラップ中の金属をリサイクルするコストを積み上げていくと何が起こるかという、貴金属、あるいは、まとまった量が集められる金属以外は、日本では、リサイクルをすればするだけ経済的には損失となります。だから、現状では、リサイクルは進みません。経済原理を優先するとこうなります。しかし、私がこの場を借りて申し上げたいのは、実際は、鉱石というのは Value of Nature が非常に高いことです。これはこの図では、このように低い値として示していますが、実際は、非常に高いのです。

しかも、皆さんの目に見えない海外では、鉱石を製錬する工程で、膨大な量の廃棄物がタダ同然で捨てられています。これらの廃棄物を、日本と同様の環境基準で適正に処理しようとすれば多大なコストがかかります。

このように全体的に考えてみると、皆さんが有効利用しているレアメタルのみならず、材料というのは Value of Nature が本当は非常に高く、貴重であることを認識すべきです。したがって、“レアメタルは多少コストがかかっても、地球環境のためにリサイクルすべきである”，というのが私の主張なのです。しかし、「大学人は、金とは関係ないから好き勝手言っていられるよね」と言われている



のが現実です。経済合理性を追求すると、現状では、天然鉍石を原料として金属素材を得る方法を選べば、多くの場合、一番コストが低く済みます。でも、Value of Nature を考えると、スクラップ中の金属をリサイクルすべきなのは当然です。

レアメタルの中でもレアアースは、中国で貴重な鉍石の一部がゴミとしてタダ同然で捨てられています。また、製錬の工程で、有害な廃棄物が多量に発生しています。一般には知られていませんが、これが現状だということを申し上げたいと思います。これを何とか止めなければいけないということで、私は昔から一生懸命、レアアースをはじめとするレアメタルのリサイクルに関する研究に取り組んでいるのです。今後も、関連する研究に延々と取り組んでいきますので、ご支援いただけたらと思います。

もう一つ、私はレアメタルをはじめとする非鉄金属のリサイクル技術の重要性について活発に世界に向けて発信しております。この研究分野は日本が誇る非常に強い技術分野ですので、これからも一生懸命続けていくべきです。

### ◎山中研デザイン展示の紹介

せっかくの一般公開ですし、あと5分くらい残されていますので、一般の方々への研究所のアピールをさせていただきます。私はチタンをはじめとするレアメタルの専門家ですが、日本のトップデザイナーである山中（俊治）教授とコラボして、チタンを使ったデザイン展を開催させていただきました。

何年前かに、山中教授という素晴らしいデザイナーの先生に生研に来ていただきましたので、このスライドに示すような、デザイン展示を行いました。このアートのようなチタン製品は、超高純度のチタンです。これは先ほど紹介させていただいた“地味なレアメタル”である“チタンの瓦”ですが、これらも、山中研に置けば、素晴らしいアートになってしまうのです。

今は、これらの展示は行っていないのですが、このスライドはチタンの溶解インゴットの写真です。これもアートになってしまう。この写真は、チタンの原料の写真ですが、これもアートやデザインの作品として使うこともできます。

### ◎S棟「はじめての真空展」

今日の一般公開では、もちろん山中研も公開しています。また、山中研が展示を行なっているS棟では、「はじめての真空」展を開催しています。真空技術はレアメタルのプロセス技術にも応用されているのですが、その関連の展示もあるようです。皆さん、S棟に行って確かめてください。

あともう一つ、山中研とその関係者が今日行っているのは、このスライドに示す「MAKING MAKE」という展示

です。これはまさにプロのデザイン展ですね。トップデザイナーの集団がこういったプロトタイプをいろいろ作ってやっている。工学研究分野においても、デザインを重視するのは、非常に良いことだと私は思います。

### ◎ナポレオンに献上されたこの彫像は何で出来ていますか？

そろそろ予定の時間になりましたので、皆さんに改めて考えてもらうべく、いつも私が使うスライドを持ってきました。一連の話聞いて、この彫像物は何でできていますか、という質問です。「岡部さんの話だから、チタンとか、レアメタルだろう？」というのが大方の皆さんの答えですね。ただ、この彫像が作られたのは1858年で、皇帝ナポレオン3世に献上されるほどの高級なものでした。皆さん、「チタンだろう、やっぱり」と思いますね。当時は、チタンは元素としては発見されてはいましたが、精錬技術が不十分で、高純度の金属は作ることはできませんでした。チタンは精錬がとて難しく、なんと、当時は金属としてのチタンは存在していなかったのです。

皆さん、この彫像が何で出来ているかお分りでしょうか。この中でこれがわかる方はどのくらいいらっしゃるのでしょうか？手を挙げてもらえますか。（挙手ごく少数）

意外に少ないですね。答えはアルミニウムです。アルミニウムは、当時は超レアなレアメタルでした。だから、皇帝ナポレオンが愛したのです。その後、アルミニウムの精錬技術にイノベーションが起こり、レアメタルからコモンメタルになりました。そのイノベーションとは、アルミナ（酸化アルミニウム）を高純度化する技術と電気を安く作るダイナモの技術、アルミナを電気分解して金属にする技術、もう一つは戦争のための軍事技術です。これらの技術革新により、アルミニウムはコモンメタルに変身しました。

なぜ私がこのような話題を持ち出しているかということ、ハイテク製品に使われるチタン、これも将来、私はレアメタルからコモンメタルに変わると信じて疑っていないからです。私の研究は、レアメタルのリサイクルの研究、プロセス技術の研究ということもありますが、イノベーションによってレアメタルをコモンメタルに変えることも一つの夢です。

今日の公開のテーマも「未来材料：チタン・レアメタル」ですが、このような壮大な思いを込めて一般公開を行なっています。チタンは、今はまだ何万トンしか作られていませんが、将来、イノベーションが起こればチタンがコモンメタルになり広く普及します。こうしたビジョンを踏まえ、今後とも皆さん、私の研究をご支援いただけたらと思います。

将来のハイテク製品（自動車、ロボット、航空機）はレアメタルを多く使うようになるでしょう。今は、チタンは

価格が高いからあまり使われませんが、多量に使われるようになると技術も進歩し、価格が低くなっていくでしょう。

将来、レアメタルがどんどん使われる時代が来ると思いますので、皆さん、楽しみにしててください。きょうの一般公開では、レアメタルを使う多量なハイテク機器が沢山展示されていると思いますので、皆さん、ご覧になってください。ご清聴、ありがとうございました。(拍手)

司会 岡部先生、ありがとうございました。ご質問等ある方、いらっしゃるかと思いますけれども、本日と明日と2日間、展示がございますので、岡部研はFw棟の3階ですね。ピロティにも展示がありますので、展示の場所で活発なディスカッション等いただければと思います。

**レアメタルとは**

- ①資源的に、希少な金属 (賦存量が少ない元素)  
→白金族金属(PGMs), インジウム(In), ガリウム(Ga), タンタル(Ta), ジスプロシウム(Dy), ...
- ②資源的に豊富でも、メタルを得るのが困難な金属  
→チタン(Ti), シリコン(Si), マグネシウム(Mg), ランタン(La), セリウム(Ce), ネオジム(Nd)...
- ③資源的に豊富でも、鉱床の品位が低い金属  
→スカンジウム(Sc), パナジウム(V), ...

図1 レアメタルの定義と分類

**レアメタルの用途別の分類**

- ① 電子材料レアメタル  
→半導体(Si, Ge, GaAs)  
→各種電子材料(In, Ta, Li, Ba, Sr, ...)
- ② 合金用レアメタル  
→工具用特殊合金(W, Co, Ta, ...)  
→鉄鋼添加用(V, Cr, Mo, Nb, ...)
- ③ 航空・宇宙材料用レアメタル (空飛ぶレアメタル)  
→航空機材料(Ti, Ni基超合金, Al-Sc合金, ...)
- ④ 自動車用レアメタル (走るレアメタル)  
→合金添加元素(Mo, V, Nb, Ti ...)  
→磁石材料(Nd, Dy, Sm, Co), 電池材料(Li, Co, Pt, Ni, ...)  
→触媒(Pt, Pd, Rh, ...)
- ⑤ エネルギー関連レアメタル (新エネ・レアメタル)  
→太陽光発電用材料(Si, Ru, Ga, In ...)  
→発電・変換・送電・蓄電・制御用の材料
- ⑥ 原子力レアメタル  
→原子炉用材料(Zr, Hf, 特殊合金...)  
→放射性廃棄物(PGMs ...)
- ⑦ 医療・生体用レアメタル  
→生体材料(Ti, Nb, Ta, ...)  
→医薬品・健康食品

岡部研は、レアメタルの製錬・リサイクルの研究を続けている

今後、一層発展するレアメタル

図2 レアメタルの用途別の分類

**Value of nature について**

(a) 現在の経済原理によるレアメタルの(見かけ上の)価値

(b) Value of Nature を考慮したレアメタルの価値

Value of Nature を考慮しない場合、廃棄したほうが経済的な利得が大きい

リサイクルによるコスト損失

リサイクルによる価値の創出 (天然資源の保全: Value of Nature の散逸の防止と富の創出)

Value of Nature を考慮すると、廃棄物の処理コストも大きくなる

※ 上記図中、斜線の部分は、海外で行われる処理・工程が多い

図3 金属素材の価値の考え方. 現在の社会システムでは Value of Nature について考慮されていない.