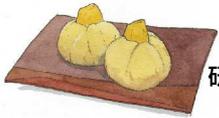


"Capillary Metallurgy" の構築を目指して



研究室紹介

田中敏宏*

Toward achievement of "Capillary Metallurgy"

Key Words : Surface Science, Recycling, Value-add materials, Exergy

1. Metallurgy と都市鉱山

Metallurgy (メタラジー) という語は「冶金学 (やきんがく)」といい、その歴史は古く、青銅器・鉄器時代から現代に至るまで、その時代の先端を走った社会や地域では100%このMetallurgyの知識と技術を活用している。Metallurgyは、基本的には、鉱山に眠る鉱物から有価金属を抽出する技術として定義されている。金属材料が工業の発展には不可欠であるために、いまでも先進諸国においてMetallurgyは重要な工業分野として大きな規模で行われている。ただし、これらの金属を素材として機能性材料を作り、さらには機能性材料を使ってより高い付加価値のあるものを創り出すことに注意が向けられるため、Metallurgyは古典的なイメージを持つことが多い。特に日本の場合には鉱石を輸入して素材を作り、製品を輸出するという形式が確立したため、「天然資源」が少ない国として一般には認識されている。

しかしながら、この「天然資源」から素材を経て付加価値の高い工業製品となった後、日本国内にもかなりの量の有価金属元素が「都市鉱山」として蓄積されている。また最近では「レアメタル問題」と呼ばれ、工業製品に欠かせない色々な金属の鉱山が局所的な地域に偏っているために、それらの国が資源の輸出を規制した場合、日本での工業活動に支障

を来すことが懸念されている。一方、日本の「都市鉱山」における有価金属の蓄積量については天然資源の量と比較しても、世界でトップクラスに日本がランクされている金属元素も多数存在する。このような背景を考えると、「天然資源」から有価金属を抽出するMetallurgyだけではなく、「都市鉱山」に存在する有価金属の抽出・分離・再資源化を目指した「21世紀型のMetallurgy (メタラジー)」は新たな工業として発展する可能性は否定できない。また、日本の場合にはそのフロントランナーになりうる立場にもある。また、「レアメタル」問題に対処するために、「コモンメタル」と呼ばれる地殻内に多く存在する身近な元素・金属成分をレアメタルに置き換えて、従来の工業製品と同格以上の特性を持った製品を作ろうという動きもすでに活発に行われている。

2. 材料の表面・界面と "Capillary Metallurgy"

ここで「身近な存在」として、コモンメタルに着目するのも一つの考え方であるが、筆者らの研究室では、「材料」を眺めた際、常に存在する「表面」あるいは、材料内部に存在する「界面」を「身近な存在」として着目している。基本的には、表面や界面は内部と異なる原子構造を有し、また内部に比べると「高いエネルギー」を必ず有し、「何らかの有益な仕事ができるエネルギー」を持った「非常に身近な存在」として考えることができる。そこで、この「表面・界面」に着目し、付加価値の下がってしまった工業プロセスにおける副生物の再資源化に対しても、表面・界面の特性を適用し、付加価値の高い材料を創製する新たなMetallurgyの分野を構築しようというのがCapillary Metallurgyの考え方である。Capillaryは単純に和訳すると「毛細管」になるが、ここでは、毛細管に限らず、表面・界面のも



* Toshihiro TANAKA

1957年4月生
大阪大学 大学院工学研究科 博士後期課程修了 (1985年)
現在、大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授 工学博士
界面制御工学・材料物理化学
TEL: 06-6879-7504
FAX: 06-6879-7504
E-mail: tanaka@mat.eng.osaka-u.ac.jp

つ特性を有効に活かすことを意味している。本稿では、筆者の研究室において実施している Capillary Metallurgy のコンセプトに沿った研究活動の事例を紹介する。

3. 鉄鋼プロセスや廃棄物熔融炉、廃ガラスからの高付加価値材料への再資源化プロセスの試み

付加価値の高い材料を創製することは材料工学における重要な視点の一つであるが、[付加価値が高い]ことはどのように評価すれば良いのであろうか？その指標として、 $Exergy = \Delta H - T_0 \cdot \Delta S$ で示される「エクセルギー」がある。この式は、常温 T_0 を基準として、エネルギー ΔH が高く、エントロピー ΔS が小さい状態あるいは材料であるほど、エクセルギーが高く、有益な仕事をすることができ、付加価値の高い状態あるいは材料であることを意味している。例えば、材料に着目すると、金属は発熱反応によって酸化物になるので、金属のほうがエネルギーが高く、エクセルギーが大きい。また混合状態では乱雑さが増えてエントロピーが高くエクセルギーが低いことになる。このことから、図1に示すように、常温にある多数の酸化物が原子あるいはイオン状態で混合したスラグやガラスはエクセルギーが非常に低く、付加価値の高いものへ再資源化することは非常に難しいことがわかる。しかしながら、図1に示すようにスラグやガラスに界面を導入し、「微細孔材料」を作ることができれば、この微細孔材料は、断熱材や不純物除去用のフィルターに利用できエコ社会構築に寄与できる。ただし、この微細孔材料作製のためには、(1) 省エネルギー等、環境負荷が小さなプロセスであること、(2) 自己組織的にこの微細孔組織が形成されるなどの条件を満たす必要がある。そこで筆者らは、図2に示すように、250℃前後の温度とオートクレーブ内で得られる高圧下の水熱反応によってガラス組織中に H_2O を溶解させ、その後、図3に示すように、常圧下で再度、加熱すると、このガラスが200℃前後でガラス軟化温度を有する場合には、当初ガラス内に溶解した H_2O が放出される際に自発的に膨張ガラスが得られ、微細孔組織材料を作ることができることを示した。この一連の反応では、廃棄ガラスを素材にし、 H_2O を利用し、工場の排熱である 200 ~ 300℃ の温度で自己組織化によって付加価値材を作製でき、上述の2つの条件

を満たしている。このように特殊な元素を加えなくても、「界面」を導入することによって付加価値の高い材料を創製することができる。この事例は、Capillary Metallurgy の典型的な一例である。詳細は参考文献 [1] をご参照いただきたい。

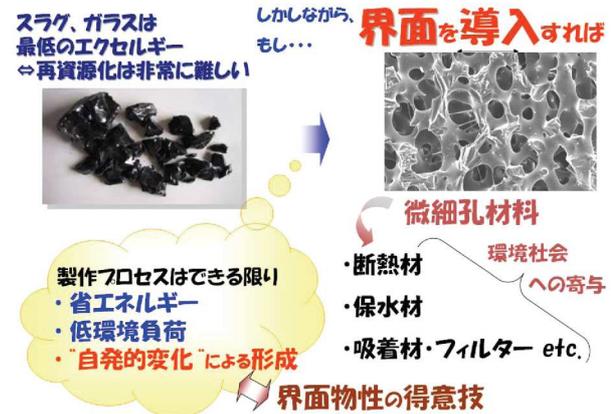


図1 再資源化に際し、付加価値の低い素材から「界面」の導入によって高付加価値材を創る試み

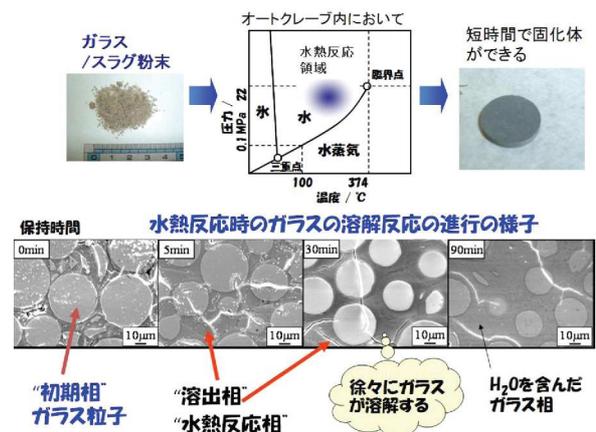


図2 水熱反応による H_2O 含有ガラスの作製プロセスの概要

水熱処理したガラスの常圧下・再加熱による膨張

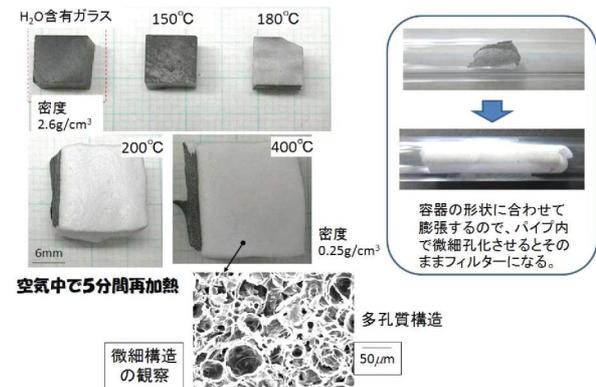


図3 水熱反応によって作製した H_2O 含有ガラスの常圧下における膨張による微細孔材料作製の概要

4. おわりに

本稿では、筆者らが新たな学問分野としてその構築を目指している Capillary Metallurgy の考え方とその事例を紹介した。微細孔を利用した他の事例としては、次のような研究も行っている。

(1) 金属の酸化・還元による表面微細孔組織の作製とそれによる特異拡張濡れを利用した金属の接合技術の開発 [2] ならびに輻射エネルギーの吸収材料の開発 [3]

(2) 石灰石の微細孔組織を利用して浸透現象によって不純物を吸収・除去する溶鋼の精錬技術 (Capillary Refining) の開発 [4]

筆者の研究室では、界面の導入によって付加価値の低い素材からいかにして付加価値の高い材料を創製するか? について常に焦点を当てて研究活動を行っている。そのためには、表面・界面物性の理解も重要であるため、次のような基礎研究も併せて実施している。

1. 金属・合金・各種化合物の表面・界面自由エネルギーの測定と推算 [5]

2. 平衡状態図計算と表面・界面自由エネルギーの推算を組み合わせたナノ粒子系相平衡の検討 [6] 詳細は、研究室のホームページに記載の研究論文一覧をご参照いただければ幸いである。

参考文献:

- [1] T. Yoshikawa, S. Sato and T. Tanaka : ISIJ International, 48(2008), 130.
- [2] N. Takahira, T. Yoshikawa, T. Tanaka and L. Holappa : Materials Transaction, 48(2007), 3126.
- [3] M. Suzuki, T. Yamamoto, Y. Katayama, S. Kuwata and T. Tanaka : Materials Transactions, 53 (2012), 1556.
- [4] T. Tanaka, Y. Ogiso, M. Ueda, and J.H. Lee : ISIJ International, 50(2010), 1071.
- [5] T. Tanaka, T. Kitamura and I. Back : ISIJ International, 46 (2006), 400.
- [6] T. Tanaka : Materials Science Forum, 653 (2010), 55.

