



随筆

界面(インターフェイス)について

原 茂 太*

Interface

Key Words : Surface, Social science, Technology socio-Industry Interface

はじめに

鉄鋼の精錬を終生の研究テーマと決めて研究を行ってきた筆者が、界面を取り扱うようになったのは、恩師荻野和己先生の一言からである。1998年の初頭だと思うが、先生が講座名称を冶金物理化学講座から界面制御工学講座に変えることになったと宣言された。驚いた筆者は大いに抵抗したが、先生のお人柄と「鉄鋼精錬も界面を通して進行するのだから君の行っている鉄鋼精錬反応の制御も鉄鋼スラグの泡立つ現象も界面制御工学の一分野だよ」と言われて矛をおさめた。だが、最近になってしきりに思い起こされるのは、先生の決断のすばらしさである。それから、2004年4月大阪大学を退官するまで、界面とは何であろうかと考え続けてきた。それと同時に、1997年から鉄鋼協会に新設された社会鉄鋼工学部会に参加を誘われ、後にはその部会長として製造業と社会とのインターフェイスに起こる多くの問題を取り上げることとなり、社会問題としてのインターフェイス、製造業と社会、産業間、製造業と地球環境、製造業とユーザーとしての個人等々、多くの問題のキーワードとして界面(インターフェイス)のあり方を深く考える機会を与えられた。界面制御工学において考えてきた物質とそれを取り巻く外界との問題としての界面、ついで、産業界とその外界との界面について述べることにしたい。

材料の素顔を見る - 材料表面の観察 -

我々が素材と接するときのその印象は、表面、恐らくは表面より数原子層の情報で決まる。だが、ナノ結晶でなければ、材料としての特性は、表面よりも内部の性質との関連が大きい。厚化粧美人では、ちょっと内部の性質が関わるとメッキが剥がれることとなる。材料を処理するプロセスにおいても界面が顔を出す現象は少なくない。固体上を液体が広がる現象、固体表面に原子や分子が付着や吸着する現象、液体中を気体や固体、液体が分散するエマルジョンやサスペンション、溶液表面において局所的な表面張力の大小から誘起される流動現象(マランゴニー効果)などがその例である。物体の表面には、我々が表面張力として認知できる過剰表面自由エネルギーが存在する。無重力状態において中空に浮かぶ液体が球状を成すのは、その表面積を最小にして表面の過剰エネルギーを極小化するためであることが良く知られている。しかし、シャボン玉のように気液界面積が大きい系がなぜ安定で存在できるかは、古くから科学者の関心を引いてきた。気体法則のボイル、万有引力の発見者ニュートン、物理学の泰斗レイリー卿、液体窒素・液体ヘリウムなどの貯蔵容器に名前を残す物理学者デュアールなどの研究が有名である。

窓ガラスを濡らす水滴、ハスの葉の上をコロコロと転がる水滴、水面に浮かぶアメンボウなど全て液体表面の過剰エネルギー、表面張力のなせるわざである。我々は、このように表面の過剰エネルギーは、表面原子の持つダングリングボンド(Dangling Bond, 他の原子と結合していない結合手)に起因することを知っている。また、表面原子の持つ過剰エネルギーは、表面原子の結晶位置からのずれ(緩和構造)や新たな安定構造(再構成構造)、表面に接する外界にある原子や分子を吸着することなどにより減少する。単結晶Si(111)面の(7×7)構造は、再構成した表面



* Shigeta HARA
1940年12月生
昭和38年大阪大学工学部・冶金学科卒業
現在、福井工業大学・機械工学科、
教授・大阪大学名誉教授、工学博士、
界面制御工学
TEL 0776-22-8111
FAX 0776-29-7890
E-Mail s_hara@ccmails.fukui-ut.
ac.jp

構造の代表例である。このような表面構造が1981年チューリッヒのIBM研究所においてBinnigとRohrer博士により開発されたSTM(走査型トンネル顕微鏡)で視覚的に観察された。これから表面科学の新たな展開が始まった。

著者らは、SPM(走査型プローブ顕微鏡)の大きな可能性に注目し、金単結晶の表面上で起こる電気化学反応、特に電析析出の初期過程を直接観察することとした。電析は、析出金属の溶液中のイオン濃度で定まるネルンスト電位で始まるとされる。これは、金基板上に金が電析する場合は正しい。だが、金基板上に銅が電析する場合には、銅イオンの示すネルンスト電位より貴な電位で銅原子の電析(UPD, Under Potential Deposition)が始まる。これは、析出する銅が基板である金原子の影響を受けるからである。このように、表面原子は強く外界の影響を受けて振舞う。UPDプロセスの研究からは、外界の表面原子への影響は、電界の場合、高々1~2原子層である。このように溶液中で起こる電気化学プロセスのその場観察には、原子間力顕微鏡(AFM, Atomic Force Microscopy)が適している。そこで、さらに進めて、金の単結晶表面に、金と結晶構造の異なるカドミウムを電析によって一原子層ずつ積み上げながら表面観察をした。1層目のカドミウムは、下地となる金の表面構造に支配されて形成されるが、2層、3層と積み上げるとそれとは異なる構造が現れる。さらに積み上げ20~30層に達すると、カドミウム本来持つ6方晶系構造が現れてバルク相となる。このように、2相が界面で接し母相結晶のマッチングが良くない場合、界面に発生する格子歪を緩和するための中間層が形成される。このような界面の形成様式は、金属の酸化過程でも、同じである。酸化の初期過程では、ギブスの等温吸着式が仮定する単原子層吸着をAFM観察は支持する。だが、単原子吸着した層が、我々が新しい酸化物相が生成したと認められる相にまで成長する過程については未だ不明なことが多い。

一般的に、母相表面に薄い異相を形成する場合、薄層の構造は母相の表面構造に大きく支配される。たとえば、黒鉛層間に厚さ1~2原子層のパラジウム2次元に拡がる薄膜を作ると、黒鉛の表面構造の影響を受けて原子間距離の少し引き伸ばされた3回対象を持つバルク相にはない新規構造ができる。この

構造を持つパラジウムは、バルク相と異なり磁性を示す。構造や結合様式が大きく異なる2相を強く接合する場合、中間緩和層を作るか、一相の厚さを薄くすることが肝要である。そうでなければ、歪が緩和できずに界面近傍で割れが生ずる。若い人たちが結婚する場合、両家の親の影響(干渉)が強いと上手く行かないことと、何か似ている。よく、金属とセラミックスとは強固に接合しないとされるが、1つの相が非常に薄い場合は、必ずしもそうではない。ステンレス鋼の表面酸化物や、アルマイト処理により形成されたアルミニウム表面層を機械的に剝離することなど到底無理である。

素材製造業と社会との界面(インターフェイス)

製造業でも家電製品やファッション製品、日用雑貨など大衆消費財を作る産業では、製品が消費者に受け入れられるために、製品-消費者のインターフェイスが強く意識されてきた。しかし、そのようにして作り出された品物が、持続的発展のための環境調和型社会の構築を目指している社会とどのような界面で折り合っていくかが、21世紀での新たな課題である。

筆者が長年関わってきた鉄鋼業に代表される素材製造業は、他の産業に素材を供給してきたことから、産業間の界面には大きな関心と配慮を行ってきた。それに対して、雇用の問題を除けば、産業と市民、産業と社会との界面については必ずしも強く意識していなかったように思える。1997年12月京都で開かれた「気候変動に関する国際連合枠組み条約締結国」第3回会議(COP3)は、環境問題を取り巻いて産業と社会の界面に多くの問題が内在することに気付かせた。日本鉄鋼協会は、産業と社会との界面が21世紀における重要なテーマであることに気付き、COP3開催の数年以前から、鉄鋼業と社会との界面で起こる問題を研究し、提言する機構として社会鉄鋼工学部会を立ち上げた。この部会で取り上げた問題は、環境対応能力を考えるための鉄鋼産業のコアコンピタンスに関わるもの、技術転移論と鉄鋼産業と世界戦略など鉄鋼産業と諸外国との関係、省資源、省エネルギー、環境汚染物質の排出抑制など地球環境問題、産官学連携の在り方、人材活用、人材育成、工学倫理、市民教育、技術伝承、産業法、技術発展の歴史など、産業と社会との界面で起こる問題である。

2000年6月、大阪大学吹田キャンパスで開催の「鉄鋼環境国際会議—持続可能な社会のための鉄鋼業」では、その活動成果が披露された。この会議の概要は、本誌第53巻題2号(2001)で述べたので繰り返さないが、産業革命以来展開してきた「大量生産—大量消費—大量廃棄」という動脈系のみを生産システムは、産業活動の範囲が地球規模にまで成長するとともに見直しの時期に来ており、その見直しには、国際的枠組み、産業を越えた枠組み、産業、教育機関、市民、政府の枠組みを超えた取り組みが必要だとの共通認識である。

以上のように見てくると、経済活動をテーマとして活動してきた製造業が社会との界面において、以前にも増して歪の少ない界面構造を構築する必要がある。この場合、素材界面でのインターフェイス構築の手法が適用可能なように思えてならない。界面をうまく繋ぐためには、界面に対する母相の影響を出来るだけ小さくすることである。即ち、界面から発想し母相へ少ない歪でつなぐシステムである。現在、多くの分野で自発的に発足しているNPO(非営利の市民組織)は従来にない新しい発想で活動を展開しているが、そのような組織をうまく活用して、

今までにないインターフェイスを構築することは、市民の立場から界面を見直すよい方法であろうと思う。

おわりに

材料の界面と素材産業と社会の界面についてなんだか、とりとめの無い話となった。振り返ると、近代社会は、発生するさまざまな界面の問題を一方的に決めてきたように思える。たとえば、パソコンを例として考えてみれば分かるが、ローマ字のタイプを打てることを前提としている。このように、いわゆるハイテク機器の多くは、「近代人はこの位のことには出来て当然」と使用サイドに歪を与える界面を構築している。健常者でもそうであるから、ましてハンディーを持つ人はさらに大きな努力を要求する。一度、逆転の発想は出来ないのでしょうか？人間と機械とのインターフェイスを考えると、「人間はこのような振る舞いが自然である、だから界面の構造は？」と言う発想である。このような場合、界面について自然から学ぶべきことも多い。このようなインターフェイスのサイエンスが学問としてひとり立ちする時代が来ているのではないだろうか。

