

期待される表面技術

増 子 昇*

マテリアルという言葉は「物質」と「材料」の二とおりに訳される。どこに差を付けているかという、働きを与えられて、実用されていれば材料で、実用とは独立に、物性研究の対象などにされている塊が物質ということのようである。

実用されるということは、働きに適した形を持つということであり、物質に形を与える、すなわち物質を材料にするための外的条件が表面ということになる。表面は材料の内と外という全く異なる世界をうまくつなぐ大切な役割を持たされる。

表面処理の技術は人類の誕生とともに生まれた。旧石器時代のアルタミラ洞窟壁面に見られる彩色技法は、何万年も後の現代でも、そのまま使われている歴史の長い方法である。ギリシャの黒絵式陶器は今から 3000 年前に既に焼成雰囲気調節でマグネタイトとヘマタイトを造り分ける技術があったことを証明している。これは現代の科学の眼から見ても巧妙なものである。

材料を上手に使うことが文明を意味するならば、表面処理は人類の誕生とともに生まれ、文明の基盤となった技術といえる。この分野の特徴の一つは、古いものと新しいものの共存であり、歴史的技法であっても、それが古いという理由で捨てられることはなく、時と場合によって、最先端の科学技術と並んで遜色無く使われる。科学技術の基盤は材料にあるということを考えると、表面処理の関与する領域は技術の全域に広がる。鉄鋼材料の表面処理が今日百花繚乱の時代を迎えたということは、まさに鉄鋼材料もようやく本格的な使われかたをされるようになったということであろう。高度機能とファッションの多様化の時代に入り、この表面処理に多くを期待する傾向は今後ますます拍車がかかることになろう。

表面技術分野のもうひとつの特徴は、三次元の世界の中にありながら、二次元の存在であるということからくる取扱いの難しさである。表面はもともと厚みの無いものであり、ギブスによる表面の熱力学的な定義によれば、二つのバルク相における主成分の濃度を内挿して過剰量の無くなるところに分割面を設定し表面とする。厚みが無いということは、自律性を持たずに基板に拘束されていることを意味する。表面の物性ということをも、実体のないものが果たして科学的解析の対象となり得るのか、ということからくる制約を完全に克服することは難しく、表面技術には一方で多くのノウ・ハウの部分が遺される。技術上のトラブルが起こり、原因を追及していった、なお不明として残される部分は最後に表面の責任とされてきた。

しかし近年この傾向は大きく変化し、ギブス表面の束縛から解放されて、表面を厚みのある独立の材料として扱えるようになってきた。このことは超高真空技術の発展と、表面解析手法の充実との御蔭で表面の基礎研究が実態のあるものになってきていることと、高度機能の要求で新しい材料や処理技術が次々に誕生してきたこととの反映と考えられる。手法の見掛けはペンキ塗り、めっき、どぶ漬け、であってもその中身は驚くほど高級であり、そのプロセスは良く制御されている。今回の特集号に掲載されている論文のいずれもが、このような表面技術の流れを如実に物語っている。

厚みのある相すなわち独立の材料として表面が扱われるようになると、新しく界面の二重性が問題に

* 東京大学生産技術研究所教授 工博

なってくる。単純な言いかたをすれば、密着性の面から眺めた下地との界面と、目的とする機能を与える外界との界面とで質の異なる性質を、それぞれ同時に満足しなくてはならないということである。時としてお互いに矛盾する働きが要求されることも生ずる。流行の言葉でいえば、ダブル・バインド（二重拘束）ということである。表面技術の分野の研究者には本質的に二重拘束をくぐりぬけるような才覚が要求される。ニーズに応える手っ取り早い方法は、表面皮膜を何層も重ねて要求を満足させるということで、行きつく先は傾斜機能皮膜ということになる。一方では工程の数を増やすことの不利を避けるために、新しい材料の発見に期待がかかる。

今回のように質量ともに備わった特集号が出せる背景には、表面処理技術自身もまた鉄鋼材料技術に束縛されている他律的な状況から独立して、自律的な技術に発展する内的充実を持ち始めたということであろう。いままさに必要とされていることといえば、多くの要求性能を総合的に満足させ、二重拘束の最適化を図るような技術開発の方法論ということになる。そのような方法論が充実したときに新しい科学が生まれ、ひとり鉄鋼材料に止まらず幅広い分野への新しい表面技術の応用が可能になる。

表面処理にはエピコート (Epicoat) とエンドコート (Endocoat) の二つの方法がある。エピコートは、いわゆる狭い意味での表面被覆で、塗装、めっき、溶射、ライニング、蒸着、イオンプレーティングなどのように処理される基質表面とは異なる物質を使って表面に薄膜を形成することを意味する。特に基質表面の原子配列を遺伝させた構造の薄膜をつくる場合にはエピタキシーという。エンドコートは、いわゆる狭い意味での表面改質で、陽極酸化、拡散浸透、化成処理、イオン注入、パターンニング（表面に微細な描画とエッチングによる幾何構造をつくること）などのように処理される基質の材料が表面薄層の構成材料の成分となるような処理法を意味している。

エピコートでは処理される基板の表面状態がプロセスの成否に決定的な影響を持つため、前処理におけるノウ・ハウが大切であり、必要な情報でありながら、論文には書ききれない部分が存在する。エンドコートでは表面は反応で消費してしまうので前処理よりはバルクの成分や組織の方が大切な因子となる。エンドコートでは基板のバルクでの拡散が処理速度を律速することが多いため、基板温度は表面層成長速度に決定的な影響を与えるが、エピコートの表面堆積速度はプロセスの種類によってさまざまな広い範囲の値をとる。鉄鋼材料で表面処理といえば昔は浸炭、窒化などの表面硬化のためのエンドコートを意味することが多かった。今回の企画では、現在最も社会的要請が大きいことを反映して鉄鋼材料の寿命を保証する防食が主題となっている。

「A という行為をすれば何がおこるか」という問いに答えるのが科学であり、「B を望むとき何をなすべきか」という問いに答えるのが技術であると言われる。表面処理技術では特に同一目的の B に対して原理的に異なる方法の A が数多く存在する。同一目的に対して最も適した表面処理を、原理的に異なる数多くの手法の中から選択する場合に大切なことは寿命設計の思想を満たすような評価法の確立である。適切な評価法がある場合には技術の選択は容易であるが、耐食性のように効果判定に時間がかかるものでは、有効な判定法、試験法の設定ということ自体が一つの大きな問題となる。

技術が先に進み、科学が十分に後を埋めていないような新興の技術分野では、特にこのような評価の面で立ち遅れ、とりあえず主観的なカタログ情報が充満することになる。表面処理目的の達成度の評価のために防食鋼板では実用試験法として数多くの方法が使われているが、科学的な裏付けが必ずしもはっきりしていないので「性能を評価するのに何を調べばよいか」については統一が取れない。このために生ずる無駄には大きなものがある。お互いに激しい技術開発競争を行っている場合でも、評価の「ものさし」の意味を問い直すような基本的レベルではデータを出しあって共同研究をする態勢ができていなければならないと考える。次の特集号の機会にはぜひこの評価法に関する方法論が話題の一つになることを期待したい。