

随想

素材の可能性を追求する研究開発を ～磁性材料に対する素人の好奇心～

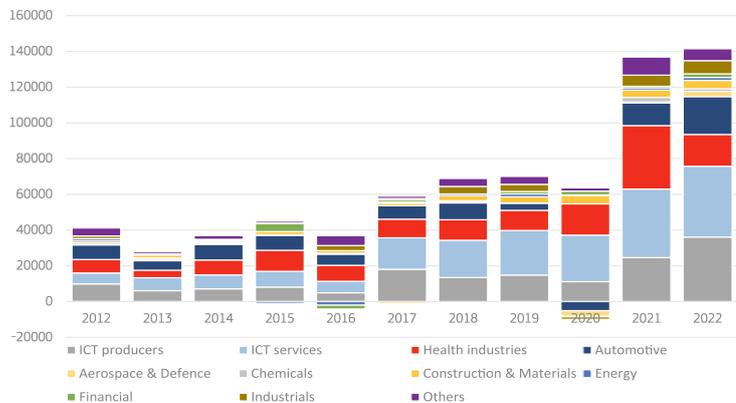
狩野 隆*



世界の民間研究開発投資の状況を報告する「2023年度EU産業研究開発投資スコアボード（EU Industrial R&D Investment Scoreboard）」が、2022年の世界の研究開発投資額が、1兆2,497億ユーロと過去最高を記録したと報告しています。過去10年間を通して、情報通信技術（ICT）の製造分野およびサービス分野と、医療、自動車の4つのセクターへの研究開発投資が拡大し続けている（図1）という内容ですが、EUが自動車分野の研究開発をリードし、米国はICT関連分野と医療分野に多額の投資をおこなっていること、および、中国では、ICT関連分野と医療分野での研究開発投資が急速に拡大していることなど、産業構造の違いによって研究開発投資分野に違いが生じていることも分析されています。日本は、もちろん、自動車産業を基幹産業とする産業構造となっているので、昨今のCO₂排出量削減など環境負荷軽減への社会的要請や原油や資源価格の高騰などを背景に、日本の研究開発投資が内燃機関やxEVなど自動車関連技術に集中しているということも示されています。

当社の研究開発投資も自動車関連技術に集中していて、年間約40億円が投下されていると概算されます。内燃機関に関係する材料の研究開発は減少傾向にあります。xEVの駆動や制御、通信に関わる機能性材料の研究開発投資が増えている状況です。自動車産業は、関連材料の研究開発が構造材料から機能材料へと対象が変化してはいますが、引き続き、高機能材料やその製造プロセスの開発によって、新たなイノベーションを起こしている成長産業であると言えます。

10年ほど前までは、内燃機関を含む自動車構造物用の材料開発では、過酷な使用環境下での強度や耐熱、耐食性などを高めることを目的として、材料力学や熱力学、反応速度論、材料組織学などの知識を基盤とした理論計算を行ったうえで、多くの試作と特性評価を繰り返すという、手間も時間もかかる作業をおこなっていました。ミクロ組織や非金属介在物を制御して特性を改善することはできましたが、革新的材料を創出するような研究開発



Source: The 2023 EU Industrial R&D Investment Scoreboard. European Commission, JRC/DG R&I.

図1. 分野別の研究開発投資の年間名目増加額 (単位: 百万ユーロ).*

* 大同特殊鋼(株) 執行役員

プロセスではなく、素材の可能性に限界を感じることもありました。しかし、昨今のxEVの駆動や制御、通信に関わる機能性材料の研究開発ニーズが、材料の開発のスタイルを変えています。もちろん、自動車分野だけでなく、半導体製造装置などのICT製造分野や医療、航空宇宙、クリーンエネルギー分野でも革新的機能性材料の創出によって解決したい課題が具体化しており、その結果、計算科学やAI技術と、膨大な実験データから得られるビックデータを組み合わせたマテリアルズ・インフォマティクス(MI)の実装が促されているという印象を持っています。特殊鋼(鉄鋼材料)の相変態や塑性変形の物理機構はまだ完全には解明されておらず、特殊鋼の研究開発におけるMIの実装は、例えば、水素脆化挙動に関して、まったく新しい性能を持った鋼材を生み出す可能性を広げると思いますし、個人的には、磁性材料の開発に関して、特に第4周期遷移金属の鉄(Fe)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)の可能性に対する理解を深める助けになることを期待しています。

コバルトとニッケルは、特殊鋼に耐熱性や耐食性、耐水素脆化特性を付与する主要元素として活用され、コバルト基、ニッケル基の耐熱、耐食、耐水素脆化材料などが開発されてきました。鉄-ニッケル合金や鉄-ニッケル-コバルト合金は低熱膨張という機能も有し、半導体のリードフレームや電子部品のガラス封入材料としても高機能化してきましたが、今後、xEVの駆動や制御、通信用の材料としてさらに進化させるべく、この低熱膨張特性を説明する「磁気体積効果」も、鉄、コバルト、ニッケルと、これらの合金の特徴として、好奇心の対象になっています。

第4周期遷移金属という点では、フントの規則では説明されない、スピンの角運動のベクトルが同じ方向を向きやすい理由や、M殻3d軌道の不対電子数から計算される磁気モーメントと実際に発現する磁気モーメントの差異が生じる理由などは、基礎物理(量子力学)と計算科学、MIを活用して理解を深めたいと考える対象としては定番でしょう。強磁性や電子スピンの角運動に対する理解を深めることで非常に先進的な合金の開発につながるかも知れない、と考えるのは自然で、スピン流を調整して磁気体積効果を制御する強磁性合金が磁歪アクチュエータやマイクロマシンの駆動装置として、xEVや超微細半導体の製造装置などの技術革新に寄与することを期待します。つまり、今流行のスピントロニクスの進展を支える素材の開発です。

磁性材料の開発では、当社は、既に特殊鋼の範疇を超える材料の開発もおこなっていますが、ネオジム・鉄・ボロン磁石は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 正方晶化合物で、鉄を主成分とするものの、合金でさえありません。この金属間化合物の磁気異方性を高めるために添加するジスプロシウム(Dy)とテルビウム(Tb)は、実は極低温では強磁性らしいのですが、これを知り、添加元素の磁気特性と金属間化合物の磁気異方性の関係が気になりました。電子スピン流に応じた弾性体積変化が非常に大きい物質として知られる金属間化合物もDyとTbを主成分としますし、おそらく、DyとTbの他、ホルミウム(Ho)やエルビウム(Er)などのランタノイドの電子スピンの角運動には、スピントロニクスに適した特性があるだろうと想像しています。

こういった好奇心を駆動力にした研究開発が、特殊鋼の研究開発の領域を必然的に金属間化合物や酸化物にも広げ、MIの実装と相まって、想定していたものとは違う「素材技術」を生み出していくと思います。磁性材料に興味を持つと、xEVは開発ネタの宝庫で、超高密度の磁気記録媒体の読み取り技術として期待される磁気抵抗効果がパーマロイの数百万倍にもなる物質(ペロプスカイト型Mn酸化物など)や、水素液化技術としての活用研究が進んでいる磁気熱量効果を利用した磁気冷凍用材料など、未来のxEVの関連技術として検討したい技術が数多くあることが理解でき、自動車産業のイノベーションを起こす力が、「新しい素材」を生み出していく基盤であるということを改めて認識します。

新しい「素材技術」の応用領域として、医療、航空宇宙、クリーンエネルギー、環境産業などへの適用の検討も進め、社会変革の速度に与えるインパクトの大きさを示し、素材の可能性を追求した「あたらしい素材技術」が、地球の未来、人類の持続的発展に不可欠であることを認めてもらいたいと思います。そのために、特殊鋼の領域を超えて素材の可能性を追求していくことも躊躇しない、好奇心が駆動する研究開発を応援していきたいと思っています。

(April 9, 2024)

* Nindl, E., Confraria, H., Rentocchini, F., Napolitano, L., Georgakaki, A., Ince, E., Fako, P., Tuebke, A., Gavigan, J., Hernandez Guevara, H., Pinero Mira, P., Rueda Cantuche, J., Banaclouche Sanchez, S., De Prato, G. and Calza, E., The 2023 EU Industrial R&D Investment Scoreboard, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/506189, JRC135576.