1 産業界からの提案

「鉄はまだまだ発展途上の材料なのです」

日本の鉄鋼業は戦後、海外から“連続鋳造”などの技術や設備を導入したが、その後、日本独自の“連続焼鈍技術”などの開発を通じて世界のトップに立った。現在も技術面では世界の最先端を走っている。

鉄鋼産業の市場規模は世界で約100兆円。そのうち日本のシェアは約10%を占める。この数字だけでもこの産業の巨大さが伝わってくるが、さらに自動車産業や機械産業などの日本の基幹産業を支える、“素材産業”としての意味ももっている。ところが、すでに“成熟しきった産業”というイメージが強いせいか、世界で激しい技術競争が行われている実態はあまり知られていない。

新日本製鐵株式会社技術開発本部の潮田浩作さんは、「もう、成長がないのではないかと思われている方も多いようですが、決してそんなことはありません」と断言する。

「世界の鉄鋼需要は中国、インドなどで著しく伸長しており、この傾向はマクロ的に継続すると見られています。また、純粋に材料としても、鉄はその結晶構造や混合物によっていろいろと姿を変える非常に面白いものですし、そのポテンシャルはまだ完全に生かされていません。鉄はまだまだ発展途上の魅力あふれる材料なのです」

トップを走ってきた日本だが中国、韓国の追い上げも激しい

この分野で日本が世界のトップを走ってくることができたのは、産業界自体の努力とともに、かつてこの分野が日本の基幹産業として広く認知されており、産学官全体の強い後押しがあったからだ。鉄鋼産業に関わる大学での教育や研究開発も充実しており、優秀な人材も次々に企業に送りこまれていた。しかし、半導体やエレクトロニクス材料などの機能性材料分野、および新産業の創出に注目が集まるようになり、構造用金属材料分野は、弱体化しつつあるのが現状だ。

「国際競争力の面から見ても、決して安穏とはしていられません。量だけではなく、質的な面でも韓国、中国の追随は著しく、技術力の差は急速に縮まっています」と潮田さん。

すでに粗鋼の生産量では中国が日本を大きく上回っており、日本は技術的に優位な高級鋼材を中心に、輸出を伸ばしている。しかし、韓国と中国での高級鋼材分野の技術力の追い上げは激しい。一方、アカデミアにおいても、日本の強味であったはずの材料科学分野における論文の被引用数で、日本が中国に逆転されるというような事態も起きている。

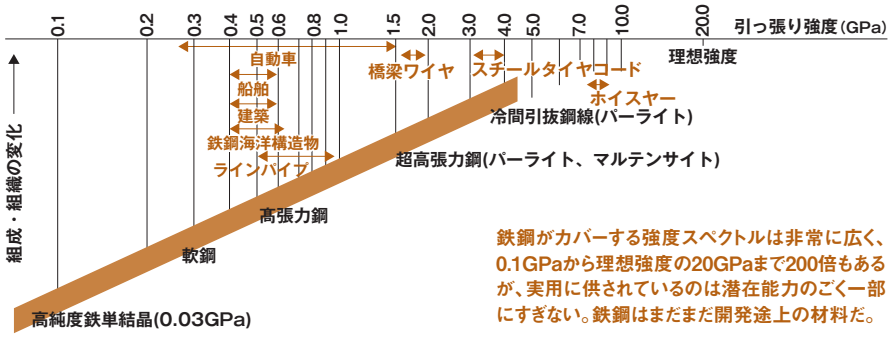
「私たちはこうした現状に非常に強い危機感を抱いています。そして今こそ、基礎基盤研究に裏打ちされたイノベーションを目指さなければならないと考えました」

それを実現しようとするのが、JSTの研究成果展開事業「産学共創基礎基盤研究プログラム」だ。

これは産業界に共通する技術的課題を解決するための基礎基盤研究を「産」と「学」が共同で推進し、日本の産業競争力強化を目指すプログラムだ。具体的には、①JSTが産業界から技術的課題を募集し、「技術テーマ」として設定する②大学等の研究者が、技術テーマを解決するための基礎的な研究を提案し取り組む③技術テーマの解決に向けて産業界と大学等の研究者が対話する「産学共創の場」を設定するという方法で進められる。

技術テーマは最長で10年間継続、1技術テーマあたり、研究課題は10程度設定される。各課題の研究期間は原則2年とされるが、このプログラムのいちばんの特徴は、前述の通り、産業界から新たなブレイクスルーのための技術テーマが提示されることだろう。しかも、一企業では解決できない、産業界全体が強く期待する、基礎的な研究で解決できる技

●鉄鋼がカバーする強度スペクトル



鉄鋼がカバーする強度スペクトルは非常に広く、0.1GPaから理想強度の20GPaまで200倍もあるが、実用に供されているのは潜在能力のごく一部にすぎない。鉄鋼はまだまだ開発途上の材料だ。

イノベーションのための新しい産学連携

「産学共創」で産業競

1つの企業では解決できない産業界共通の技術課題を提案し、大学などの研究者が解決することを目指す「産学共創基礎基盤研究プログラム」。

2 技術テーマの決定・運営

術的課題であることが条件だ。そのため、企業同士の利害が衝突する、競争領域にあるテーマは除外される。さまざまな産業界から提案された技術テーマは、JSTや外部有識者により調査・審議される。設定された技術テーマをもとに、JSTが大学等の研究者から研究課題を公募する。

強度と延性・靭性を両立させた理想の材料を求めて

このプログラムに鉄鋼業界を中心とする金属業界が提案したのは「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」だ。平たく言うと、「従来、均一性を追求してきた金属材料だが、積極的に“不均一性”を取り入れることで、特性の飛躍的向上にチャレンジする」ということだ。

提案者の潮田さんは言う。「鉄鋼の強度を増加させることは比較的簡単ですが、それとひきかえに延性や靭性が劣化します。このトレードオフの関係を克服しない限り、さらなる高強度化は達成できません。高強度化のためのブレイクスルーにつながる重要な概念が金属材料の『ヘテロ構造制御』だと考えています。“ヘテロ構造”、すなわち“不均一性”ですね。従来から“不均一性”は注目されていますが、積極的に制御、活用することができていませんでした。しかし最近では、最先端解析技術や計算科学の援用が期待できる環境にあります。

鉄鋼はまだ、最高でも理想強度の1/4程度までしか到達できていませんが、私たちはこのヘテロ構造に、その壁を破る鍵があるのではないかと期待しています」

鉄鋼の構造材料としてのテーマは、「強度」と「靭性・延性」という、相反する機能の両立だ。たとえば鉄道の線路は長期使用による摩耗が避けられないが、「摩耗によって構造が変化することでかえって強度が増す」という、“特殊な”材料がすでに実用化されている。

プログラムオフィサー（PO）
東京工業大学大学院総合理工学研究科
加藤雅治
かとう・まさはる

構造用金属材料を扱う研究支援プログラムは皆無に等しかった

「産学共創基礎基盤研究プログラム」では、技術テーマの設定と同時に、プログラム運営の責任者となるプログラムオフィサー（PO）が選定される。POのもとには、数人のアドバイザーが置かれ、「産」と「学」の仲介役を務めながら、プログラムを推進していく。

テーマの「ヘテロ構造制御」のPOを務めるのは、東京工業大学大学院総合理工学研究科の加藤雅治教授だ。1983年から同大学で材料科学の研究を続ける第一人者である。

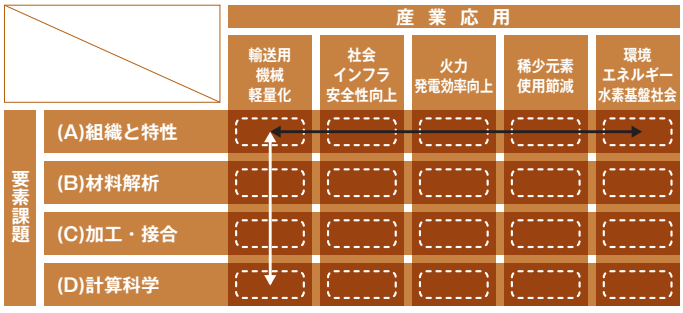
「まず、この技術テーマについて申し上げたいのは、今まで一般の構造用金属材料を扱った国の大きな研究支援プロジェクトやプログラムは、日本にはほとんど皆無だったということです。構造材料は非常に大事であるにもかかわらず、とても地味な分野なのです。たとえば、半導体などの機能材料は脚光を浴びていますが、ものを作るための構造材料にはなかなか日が当たらない。でも、日本を支えているのは構造材料だという自負がありますので、今回、産業界の希望を“学”に伝えてもらって一緒に取り組めるプログラムがスタートできたのは、とてもありがたい話だと思っています」

では、逆に「産」からの提案を受けて、「学」にはどういうメリットが生じるのだろう。

「ともすれば自分の殻に閉じこもり興味本意になりがちな研究姿勢を、このプログラムは変えてくれるでしょう。“学”の研究者は“産”の意見を煩わしいものとしてではなく、貴重なものとして取り入れ、生かす姿勢が必要になってきます」

とはいえ、「学」の側からすると、「産」からの期待が大きすぎて、限られた研究体制と時間ではとても成果を上げることができない可能

●「ヘテロ構造制御の要素技術」と「産業応用」の有機的連携



要素課題は多くあるが、それぞれを解決することで多くの分野の産業応用につながる。要素課題と産業応用分野の組み合わせがつながりあって新たな知見が広く共有され、計画的な研究開発や人材育成が進む。

争力を強化する

今までにない連携スタイルで、基礎基盤研究の活性化と日本の産業競争力強化を目指す、わが国初めてのプログラムだ。

3 大学での基礎基盤研究

性もある。

「ですから、私はPOとして、各々の研究や進捗状況を十分に把握し、“産”と“学”の間の世話役や潤滑油としての役割をお引き受けするつもりです。“楽しまないと、いい研究はできない”というのが私の考えなので、プレッシャーよりもロマンと好奇心で進めていきたいですね」

研究者の視野が広がれば間違いなく研究の質も上がる

もう1つ特徴的なのは、このプログラムの技術テーマがトータルで10年にわたる長期的なものだということだ。その間に世の趨勢（すうせい）が大きく変化し、必要とされる研究課題が変わってくることもあるだろう。

そうした事態を見越して加藤POは「技術テーマに沿った研究課題は、2年間の研究期間が原則です。課題の新旧交代を適宜行い、プログラム自体を新鮮に保つことも大切です。時流に乗った研究を実施する必要があると考えています」と語る。

その一方で、異なる研究課題の間に共通の手法や考え方が見つかる可能性もある。加藤POがこのプログラムに期待をかけるもう1つの理由だ。

「間違いなく研究者の視野は広がるでしょうし、そうなれば、自ずと研究の内容もより高度なものになっていく。わが国の研究者は“失敗を恐れるあまり視野が狭い”といわれますが、このプログラムを利用して、ぜひとも“有機的な連携”を築き、視野を大いに広げていってほしいですね」

ヘテロ構造はすでに生かされているがそれを理解するためのルールがない

では次に、「学」の側からこのプログラムに応募し、実際に基礎基盤研究に取り組む研究者の話を聞いてみよう。

金沢大学理工研究域機械工学系の下川智嗣准教授は、現在37歳の若手研究者だ。「計算機実験による原子スケールから考える材料の力学」をテーマに、理論や実験からではアプローチが難しいナノ（10億分の1）領域で、原子1つひとつの動きをコンピュータでシミュレーションすることにより、新たな知見を得ようとしている。

今回のプログラムでの下川さんの研究課題は「材料科学と固体力学の融合によるヘテロナノ構造金属における高強度・高靭性両立の指導原理確立」だ。ナノレベルで金属材料のヘテロ構造を解析し、強さとしなやかさを併せもたせるための統一的な理論を打ち立てよう――というものだ。

「均一的な金属の構造に関するルール（指導原理）はすでにあるのです。でも、不均一、つまり“ヘテロ”というのは、そのルールからすると、想定外の構造です。ヘテロ構造金属の特質と、それを生かすルールを探さないといけないのに、“産”にも“学”にもそれがまだできていないのです」

かといって、ヘテロ構造金属が、今まで生かされていなかったわけではない。結果的にそういう構造をもつ材料は、すでに数多く実用化されている。

「まだ理論がないので、とりあえず経験的に作って、強度や靭性、延性を確かめて――を繰り返し、トライ・アンド・エラーでよりよい材料を作りましょうというのが現在のやり方です」

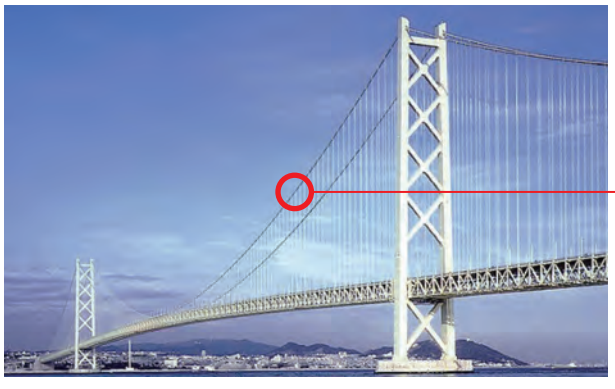
だが、電子顕微鏡や計算機の性能が上がったことで、そうしたトライ・アンド・エラーの結果を、より精密に観察することが可能になってきた。つまり、結果をもとに、原因を考えることも可能になってきたということだ。

「試行錯誤で生まれたヘテロ構造材料を、これからは理論的に作れるようになる。たとえば、“ある町工場の、この人でないと出せない曲線”というような職人芸的な技術も、どこがポイントなのかがわかれば、その人だけではなく、みんなができるようになる。技術伝承というのは、お家芸のようにやっていたらいつかは消滅してしまいます。それを理論化し、データ化しておけば、後世の財産になるわけです」

下川さんのアプローチは計算科学。1つひとつの原子にニュートンの運動方程式を当てはめ、数値的に解くことで原子の動きをシミュレーションしていく、今もっとも注目されている研究分野の1つだ。

「計算機の性能がどんどん上がっているので、時代がそういうことができる環境を用意し

●「高強度」と「高延性・高靭性」両立の指導原理確立へ

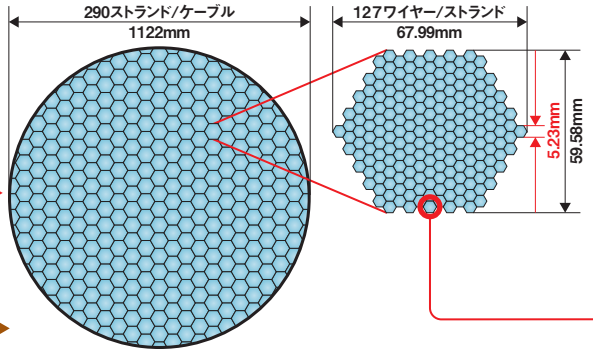


明石海峡大橋

全長3911mにおよぶ世界最長の吊り橋。直径1.122mの鉄製のメーンケーブル2本が橋桁を支えている。

パーライト

メーンケーブルに使われているのが、断面積1㎟あたり180kgの重量に耐える超高強度の鋼「パーライト」だ。



ケーブル断面模式図 直径約1.1m

4 イノベーションへ

てくれた、といえるかもしれません。でも、私ひとりの力で研究が進むわけではありません。計算機シミュレーションに加えて、実際の実験、観察、理論などの知見を総合して初めて、メカニズムの解明につながると思います」

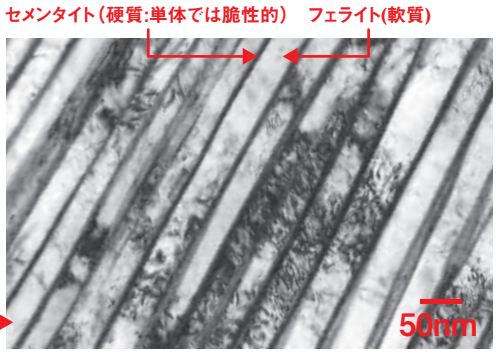
自分ひとりで研究を進めているとだんだん不安になってくる

下川さんの研究チームには、他に九州大学の田中將己助教、東田賢二教授と北見工業大学の大橋鉄也教授が参加している。田中さん、東田さんが実験・観察を行い、下川さんと大橋さんが計算科学を担当するという、双頭の“タンデム体制”で研究を進めている。その対象の1つが「パーライト」だ。これは構造的には非常に薄い板状のフェライトとセメンタイトが交互に並び（つまり、均一ではない）、強度と靭性を併せもつことから、すでに広く実用化されている金属材料だ（下図参照）。

「白いほうがフェライトで、軟らかく小さい力で伸びていきます。黒いほうがセメンタイトで、硬いので伸ばすと途中でぷっつり切れてしまう。ところが、この2つが層状に組み合わさったパーライトは、伸びるけれども切れにくい性質をもちます。“強いけどもろい材料”と“弱いけど伸びる材料”といった、相反するものを合体させることによって、すばらしい材料ができたのです。パーライトは明石海峡大橋のケーブルに使われており、この材料がなければ、明石海峡大橋はできなかったともいわれています」

感覚的にはわかりやすいが、それを理論的に証明するとなると、まったく事情は違ってくるらしい。

「パーライトがなぜそうなるのかわかっていません。ですから、その発現メカニズムを、計算系と観察系が力を合わせて、理詰めで突き止めていこうとしているのが今の段階です。マンパワーが無尽蔵にあれば、あらゆるパターンを実際に試してみることもできるでしょうが、とても無理な話ですからね」



パーライトの電子顕微鏡写真（硬質軟質積層構造）

金沢大学の下川さんの計算機室にて。約1000万個の原子の複雑な動きを数日で計算できる能力があるのだという。

それでも「産」からの協力が得られるおかげで、通常では考えられない研究が可能になっている。「パーライトの実物がほしいとき、POと“産”にお願いしたら、“産”がすぐに届けてくれました。“産”のこれまでの経験から得られた知見も共有できます。“学”同士ではありえない話ですよ」

下川さんは「自分の発想だけで研究を進めていると、方向性は間違っていないと思っても、果たして社会の役に立つのかなと、不安になってきます。“産”にどう受けとめられるか、提案できてありがたい」と言う。「産」のニーズを受け、確固たるテーマをもち、「産」や他の「学」とも協調して研究を進めている現在は、「ものすごく刺激を受けている」と下川さん。「計算結果を解釈し、自分なりのアイデアを“産”の人たちに提案しなければなりません。その解釈の部分が、ぼくの腕の見せどころだと思っています」

発現メカニズムを解明する!

鉄は温度によって結晶構造が変わる。熱して結晶構造が面心立方格子状態になった鉄をゆっくり冷やすと、硬いがもろい「セメンタイト」と、柔らかいが粘りのある「フェライト」が交互に重なったパーライトになる。現象としては以前から知られ、実用化もされているが、その理論化はまだなされていない。下川さんはこの現象をナノレベルで解析し、新たな理論を打ち立てようとしている。「今までは大きく均一な組織で理論をつくろうとしていたので、もっと不均一な構造に焦点をあてて考えてみたいのです」

産学共創の場は「学」「産」双方に役立つものでなければならない

プログラムはスタートしたばかり、しかも長期にわたる基礎基盤研究なので、成果が出るのはこれからだが、早くも「産」「学」両方の活性化につながっている。「学」の自由な発想を尊重しながらも、「産」の要望が取り入れられた研究計画が進められているほか、関係者のみでの意見交換会も行われている。

新日鐵の潮田さんは言う。「これまでの日本の素材産業は、自動車産業などからの厳しい要求に応えようと研究開発に取り組むことで、育て上げられてきました。両者間には信頼関係にもとづく連携があり、互いに刺激しあって日本の産業は強くなってきたと思います。同じことが、“産”と“学”の間にもいえるのではないでしょうか。本プログラムは“産”と“学”を結びつけ刺激しあう、とても重要な役割を果たしています。産業の空洞化はゆゆしき事態であり、これからは“産”と“学”がお互いを刺激しあい、正のスパイラルアップを構築できるように取り組みたいと思います」

そのための鍵を握るのが「産学共創の場」だろう。「産」と「学」が意見交換を行い、新たな展開を生む苗床になる役割も果たす会合だ。4月と10月に行われたミーティングは、「同業他社だけでなく、鉄鋼、アルミニウム、チタンなど、異なる金属業界に属する技術者、研究者が一堂に会する、産業界にとっても非常に貴重な場になった」と加藤PO。

「産学共創の場は、“学”と“産”の双方にとって役立つものでなければなりません。本技術テーマの成功には、“学”の研究者のみならず、“産”の方々の積極的な関与が必要で、POとしては産業界に期待する部分も非常に大きいのです」

「産」の積極的な関与のために重要なのがアドバイザーの存在だ。この技術テーマでは各研究課題に産業界のアドバイザーがついている。研究者から「産」に要望がある場合に担当アドバイザーに声をかければ、実験用サンプルの提供など、最大限の便宜が図られるシステムになっている。技術テーマ提案者のひとり、潮田さんもアドバイザーとして、「産」の要望を「学」に伝えている。

こうした風通しのいい連携を「産」と「学」が保っていければ、「正のスパイラルアップ」が築かれ、イノベーション創出へとつながる公算は大きい。■