

「課題先進国」日本におけるモノづくりと「知の構造化」

新日鉄では、「製造実力向上」と「世界ナンバーワンの技術」を目指し、鋼材の安定供給と世界をリードする先進的な高付加価値商品の開発に挑戦し続けている。新春の特別対談では、国立大学法人化という転換期に、細分化・分散化が進む学術領域の体系化を図る「知の構造化」を提唱されている東京大学総長小宮山宏氏を代表取締役副社長で技術開発本部長の奥村直樹がお招きし、モノづくりのトップランナーをめざす日本企業の研究開発や、進むべき方向について話し合っていた。



東京大学総長 小宮山 宏氏

21世紀、世界がクオリティを要求し始めた（小宮山総長）

奥村 あけましておめでとうございます。

小宮山 あけましておめでとうございます。

奥村 昨年は、国内製造業全体の経営状況が好転して、おかげさまで当社の中間期決算発表でも史上最高益を達成することができ、年度決算も4,950億円の経常利益を達成できる見通しです。

その中で以前と変わってきたのは、汎用品種は供給過剰気味で、自動車や船舶に使用される高級鋼材は需給が逼迫している点です。市場の中で「質の変化」ともよめる「二極化」がかなり鮮明になってきました。当社としては、汎用品種は今年3億トンまで粗鋼生産を伸ばすと見られる中国を含む海外ミルの動きも踏まえて適切に対応し、一方でより多くの高級鋼材を確実に開発・生産・供給していく必要があります。

小宮山 私の専門は化学システム工学ですが、多くの友人や卒業生が鉄鋼業に携わっています。昔から新日鉄とはお付き合いも深いので、最近の動きを見ると、史上最高益を出されて当然だと感じていますし、大変うれしく思います。

好調の理由は、中国やアメリカを中心に世界経済が堅調に推移する中で、日本企業が体力強化を図ったことにあるのでしょうか。また、奥村さんが言われた「二極化」は大きな潮流であり、21世紀、そして世界全体がクオリ

こみやま・ひろし

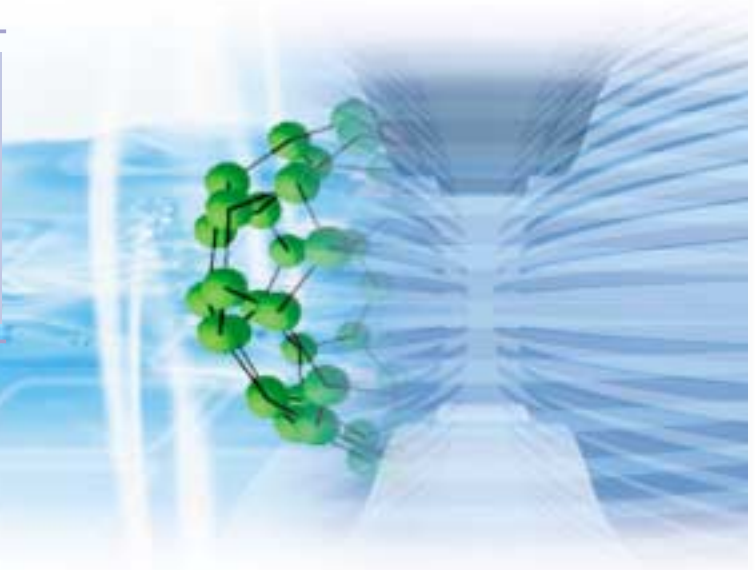
1944年東京都生まれ。1967年、東京大学工学部化学工学科卒業。1972年、東京大学工学系研究科化学工学専門課程博士課程修了。2000年に大学院工学系研究科長・工学部長。その後副学長を経て、2005年4月より現職。機能性材料プロセスやCVD反応工学など専門の化学システム工学を軸に、「知の構造化」の提唱者として地球環境問題のような超域的で複雑な問題の解決に注力している。著書・編書・監修は、『機能性材料プロセス工学』（オーム社）、『地球持続の技術』（岩波新書）、『動け！日本 イノベーションで変わる生活・産業・地域』（日経BP社）、『知識・構造化ミッション』（日経BP社）他多数。

出席者 東京大学総長

小宮山 宏氏

新日本製鉄(株) 代表取締役副社長
技術開発本部長

奥村 直樹



ティーを要求し始めたという面も見逃せません。例えば、以前はあまり重視されなかった自動車の燃費向上ニーズがクローズアップされるなど、さまざまな分野で高機能化が求められています。それによって、「モノづくり」が活性化され、そこに日本製造業が蓄積してきた実力が活かされるようになってきたのだと思います。

奥村 製造業は日本のGDPの2割強を占めていますから、加工貿易国である日本にとって、「モノづくり」の大切さは従来と何ら変わりません。当社にとってのモノづくりは主に「鉄鋼製品」であり、ここでいう「モノ」は、お客様の要求すべてに応えるものでなければなりません。そういった意味で、鉄鋼製品には機械的な特性に加えて、寸法・形状、外観、荷姿、納期などさまざまな要素が求められます。しかも高級鋼材は、材料として特に高い特性が求められるため、製造が難しく、材料設計、製造プロセス上の制御など多岐にわたる技術が必要となります。私は、このようなさまざまな技術・要素の集合体から生み出された成果物こそが私たちの求める「モノ」だと考えています。

小宮山 世界の粗鋼生産量(グラフ1)を見ると、急激に伸びた中国は別として、日米欧は1億トンレベルで並んでいます。その中身は大きく違いますね。一時期、ビルや橋などに使う鉄鋼製品はスクラップを再生させたもので十分だと言われ、資本の論理に従ったアメリカでは鉄鋼製品のほぼ半分がスクラップから電炉で作られています。私も高付加価値技術が伸びる分野は医療や化学



新日本製鉄(株) 代表取締役副社長
技術開発本部長

奥村 直樹

だと思っていたので、鉄鋼の分野で高付加価値技術が伸びるとは予想外のことでした。日本の製鉄業が最先端技術で品質への挑戦を続けていることは素晴らしいことです。

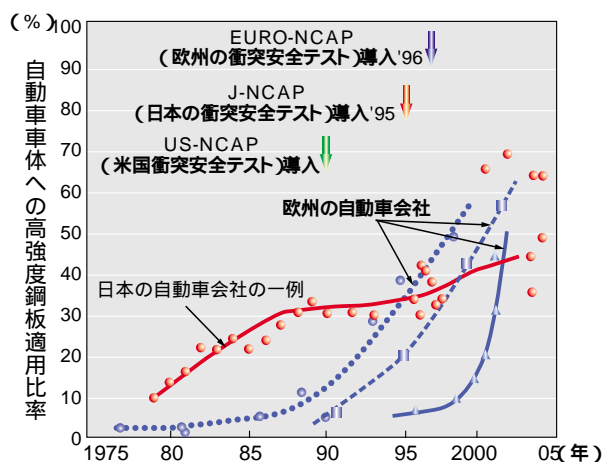
奥村 まさにご指摘の通りで、例えば、自動車では「衝突安全性」が重視されると同時に、地球温暖化問題を背景に「燃費向上」につながる車体の軽量化ニーズが高まりました。安全性を確保するために汎用鋼材で車体を頑丈にすると、板の厚みが増して重くなるため燃費が悪くなります。そこで当社では、材料としての強度を高めつつ軽量化を図る（安全性と燃費向上の両立）「ハイテン（高強度鋼：High Strength Steel）」を開発しました。ハイテンは多くの自動車メーカーで採用され、使用比率が大きく伸びています（グラフ2）。良質のハイテンを生産できる鉄鋼メーカーは、当社を含めて世界でも限られているため、需給は逼迫しています。商品開発から供給体制まで、世界トップレベルの技術力でお客様のニーズに応じています。

ナノ～サブミクロンとキロメートルを同時に制御する「鉄」の技術(奥村)

小宮山 10年ほど前の調査ですが、地球上には百数十億トンの鉄鋼製品が蓄積されているという報告がありました。大雑把に言うと、海底に沈んでいるものは別

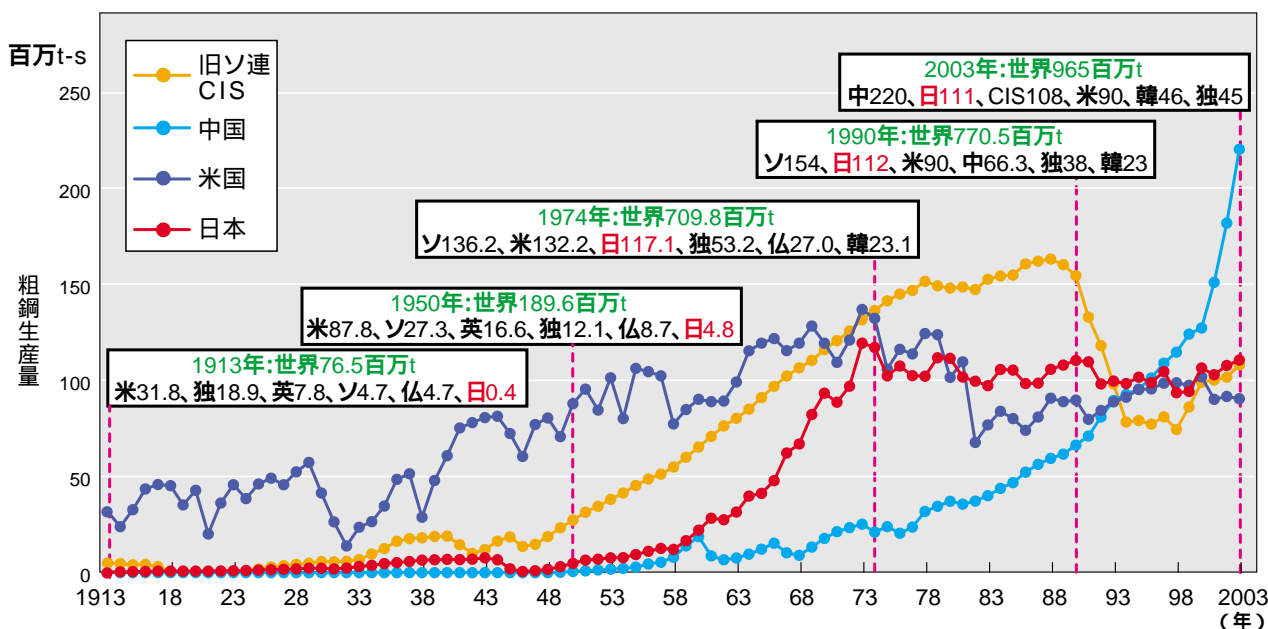
として、高炉で還元して作られた大量の鉄が地上に残っているわけです。このまま生産し続けると、2050年頃には十数億トンのスクラップが発生することになります。高機能鋼材は従来通り鉄鉱石を高炉で還元して製造するとしても、できるだけ水平にリサイクルし、資源としての鉄がうまく循環するような仕組みづくりも必要ですね。現在、新日鉄は技術力を活かして差別化された高機能鋼材を提供し、確固たる地位を築かれています。世界を考え、リードする鉄鋼メーカー」というメンタリティーを引き続きお持ちだと思えます。スクラップの有効活用についてはどのようにお考えですか。

グラフ2 自動車車体へのハイテン鋼の使用比率推移



NCAP (New Car Assessment Program)
J-NCAP (国土交通省と自動車事故対策機構の自動車アセスメント)

グラフ1 国別粗鋼生産量の推移



奥村 当社でも省資源・省エネルギーの観点から、スクラップを使用しておりますし、さらなる有効活用を検討しています。ただし、スクラップ多量使用には、さまざまな不純物が鋼材に混ざることが課題です。このため、お客様から求められるハイレベルの高機能鋼材には、現状では使用量に制約があります。多少の不純物があっても品質に影響を与えないよう、スクラップ利用の課題解決に向けて挑戦を続けています。

小宮山 極論ですが、以前に高分子（ポリマー）リサイクルの議論をした際、他成分を使わずポリエチレンだけの微細構造の制御で物性を出せば、品質が劣化せず100%リサイクルできると考えたことがありました。高級品種である自動車鋼板の場合は、添加物となる他成分の影響も大きく、機能を発現させる組成と微細構造の制御も難しいのでしょうか。

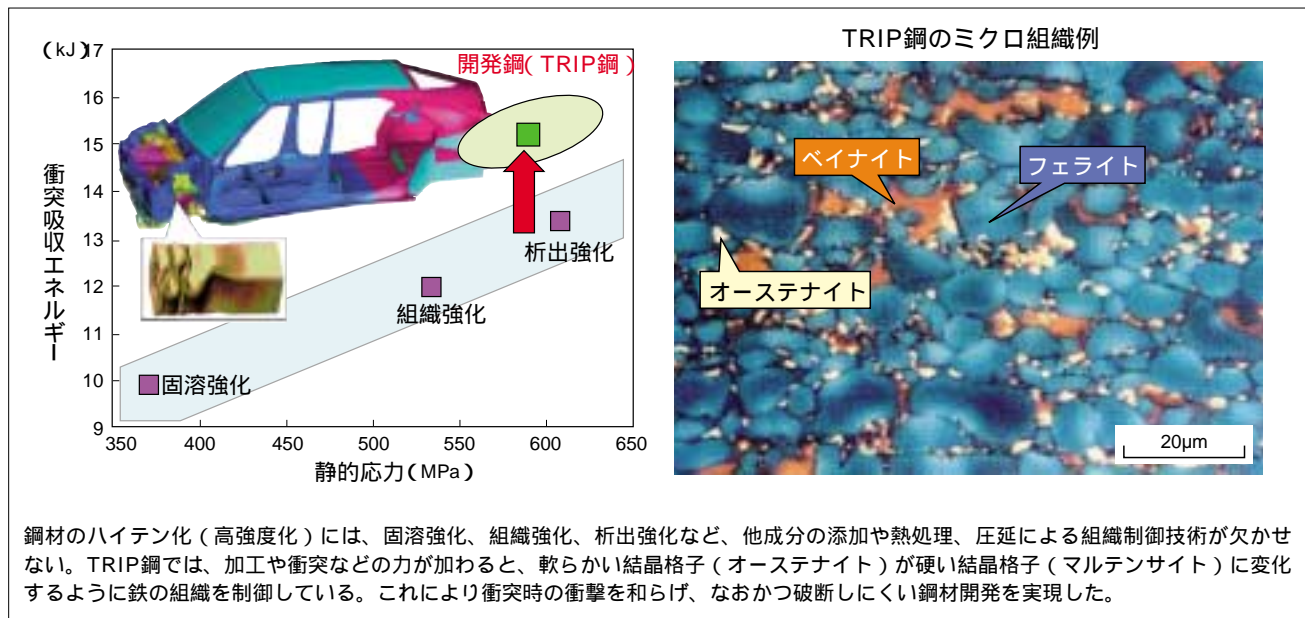
奥村 そうですね。添加物の影響に加えて、さらに製造プロセスでの圧延温度をはじめとする加熱・冷却などの熱処理の条件も重要です。鉄の世界でも、できるだけ他の元素を抑制しながら必要な機能を持たせることが本来の望ましい方向です。例えば、当社は「TRIP鋼（変態誘起塑性型ハイテン：Transformation Induced Plasticity）」を世界で初めて実用化しました。この鋼材は加熱・圧延条件を工夫して、加工や衝突などの力が加わると、微細に分散した軟らかい鉄の結晶格子（オーステナイト）がナノサイズの転位の作用によって硬い結晶格子（マルテンサイト）に変わるよう

に制御（図1）し、強度と伸び（延性）を両立させたものです。これは自動車向け鋼材として高い評価をいただいておりますが、こうした微細構造の制御による「材質の作り込み」が鉄の技術開発では基本となっています。

また、当社の強みは、鋼材の製造において、微細構造などナノ～サブミクロン単位の制御を、現場の巨大な設備をうまく活用することによって重さ数十トン、長さ数キロメートルものコイル全体で実現できることです。いわゆる多くのナノテク材料のようにナノサイズの小さいものを少量作るのではなく、小さな単位で材質制御し、大きな単位の製品として連続的に仕上げる技術こそが、製鉄技術の面白さであり、私どもの強さだと言えます。

小宮山 モノづくりは、「組成」「構造」「速度」「プロセス」の4要素で成立します。まず組成と、今言われたコイル全体といった形も含めた構造のコントロールで「機能」が決まります。あとは速度とプロセスの易しさ、難しさで「生産性」が決まり、最適なモノづくりが追求できます。こうした要素をコントロールするところが、モノづくりの面白さです。しかし一般的に、ダイヤモンドの薄膜など新しいことは面白がるのですが、鉄に関しては「しょせん使い古された技術だろう」という先入観があり、薄板数キロメートルの範囲でミクロンの微細構造が制御されていることのすごさ、面白さ、新鮮さを知らない人が多いように思います。

図1 TRIP鋼



地球規模の課題を先取りしている 「課題先進国」、日本（小宮山総長）

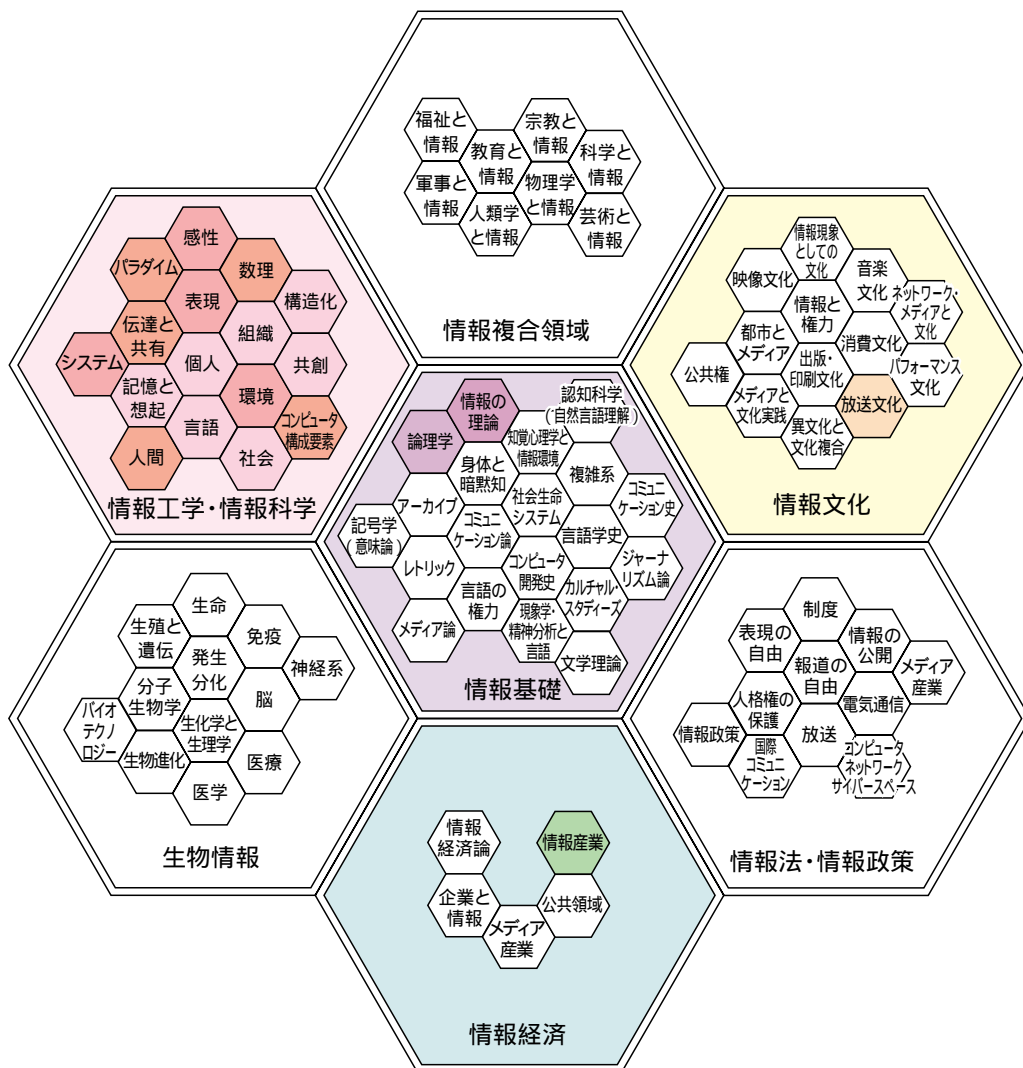
奥村 最終的に高品質な美しいコイルを作るためには、きちんと組成を設計し、的確に加熱・圧延し、冷却するといったさまざまな技術・知識が必要になります。まさに技術や知識を統合化していく取り組みが、小宮山先生が提唱されている「知の構造化」につながるものだと思います。

小宮山 そうですね。「知の構造化」(図2)が必要とされる背景には、「日本」「人類全体」の2つの視点があります。日本は資源が少なく、全体の80%ものエネルギーを輸入している上に、少子高齢化、環境汚染など直面する課題が山積していますが、本質的には資源のない島国で、人口密度が高く、一人ひとりの生活レベルが高い先進国だということに端を発しています。考えてみると、これは21世紀の地球そのものです。今

後、中国やインドが成長を続ければ、地球全体で人口密度と人々の生活レベルが上がり、資源は枯渇します。資源大国と言われたアメリカでさえ、昨年は石油の62.8%を輸入に頼るようになってきています。そういう意味で、現在日本が抱える課題は地球規模の課題を先取りしているわけです。私は今の日本を「課題先進国」と呼んでいます。そして現在では、そういった課題に対して優れた解決策が出てきています。例えば、自動車軽量化の徹底などは21世紀のスタンダードですが、その要求に応える材料を世界に向けて供給できる企業が日本の鉄鋼メーカーなのです。

新しいもの、最終的にはより良い社会システムを作るために、知識をどれだけうまく動員できるかということが重要です。これは人類全体の問題です。私は日頃、医療分野を例に、半導体チップ、化学チップが融合した人間ドックのチップシステムなどの話をしますが、そこには半導体をはじめ、バイオテクノロジー、通信、ナノテクノロジーといったさまざまな技術・知

図2 課題志向科目の構造図（情報分野例）



東京大学では、細分化する学術領域の体系化を図る「知の構造化」に取り組んでいる。その一環として、課題志向の講義選択を容易にする構造図も考案された。左図は情報分野の各テーマによる分類。色の濃淡は科目数に対応している。講義に含まれないテーマが一目でわかり、講義で得られる知識と独学が必要な知識を判断できる。



識が必要です。製鉄プロセスでも同じようなことが言えます。

「価値観と志の共有」をこころざし（奥村）

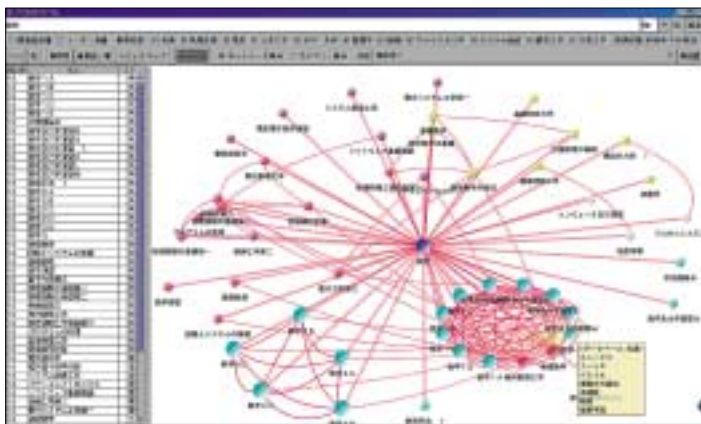
奥村 鉄の世界の専門技術は多彩です。あまりにも広い分野が鉄の世界を支えているため、たった一人ですべての分野に精通することは不可能です。それを補っているのが社員の間での「価値観や志の共有」です。扱う専門技術は違って、例えば「お客様が求める厳しい特性をすべて満たす美しい鋼材製品を作ろう」といった志の高い人材がたくさんいることが、当社、そして日本のモノづくりの強さにつながっています。材料設計の思想が高度化し、製造条件の制御が難しくなる中で、研究者だけではなく製造現場の一人ひとりが価値観を共有しているからこそ、高品質・高機能の鋼材を提供することができます。

小宮山 『ジャパン・アズ・ナンバーワン』が書かれた1980年代前半、アメリカは日本を徹底的に調べ、製造システムなど日本の長所を吸収しながら、地位を逆転させました。そして現在、日本が再び良くなってきているのは、課題を明確化し、その対策を講じてきたからです。「知の構造化」ではハードウェアとして、ITを活用して膨大な知識をドキュメンテーション化し、お互いに使えるようにしています（図3）。しかし、ITだけで知識は共有化できません。インターネット社会になればなるほど、これまで日本人が大切にしてきたFace to Faceの重要性が見えてきます。最先端のIT

とFace to Faceの両方を包含できるようになれば、日本はさらに強くなるでしょう。そのためには欧米の長所を探すのではなく、日本の良い部分を探すという発想が大切です。今後、日本は「課題先進国」として先頭に立って課題に取り組み、与えられた資源をいかにうまく活かしていくかということに挑戦していくことになると思います。

奥村 さまざまな知識をいかに統合させていくかというときに、ITの活用は欠かせませんが、あわせて、全ての関係者がそのネットワークに参加し、対話を通してその仕組みをレベルアップさせ続けていく視点も重要です。そして何よりも、自然の産物である鉄を扱う点で、自然界の複雑さ、未知の世界の多さに謙虚であることが大事です。既存情報のIT化だけで割り切れる世界ではありませんね。

図3 MIMA SEARCHによる科目間構造図



東京大学のIT活用例。学際領域にある各講義がどのようにリンクしているのかを示している。球の色は学科の違いを表し、内容が似ているほど球の位置が近い。関連性が強いほど太い線で結ばれている。「履修の順序を知りたい」など利用者の目的に応じて最適なデザインで表示される。



製造技術を 原理原則から見つめ直す（奥村）

奥村 製鉄業は現在、数学、物理、化学などの基礎科学や金属、機械、電気などの広範な技術群を活用していますが、それぞれの科学・技術が大いに進歩しているわけで、進化し続けていく製鉄技術を、もう一度そうした基本や視点から見つめ直すと、面白いことを見つけられる可能性があると考えています。基本に立ち返ることは、言うはやすく、実行には努力がいるのですが。

例えば、先ほどご紹介した「TRIP鋼」の研究開発の源は20年以上前に遡ります。実は、開発当時は「市場のニーズに合致していないんじゃないか」といった意見も多く、日の目を見ませんでした。しかしそうした状況下でも、理想的な鉄の強度と加工性を持つ鋼板を経済性のあるコストで大量生産するには、どのようなマイクロ組織構造が適しているのかという、基礎からのアプローチを地道に行っていた研究者がいたわけで

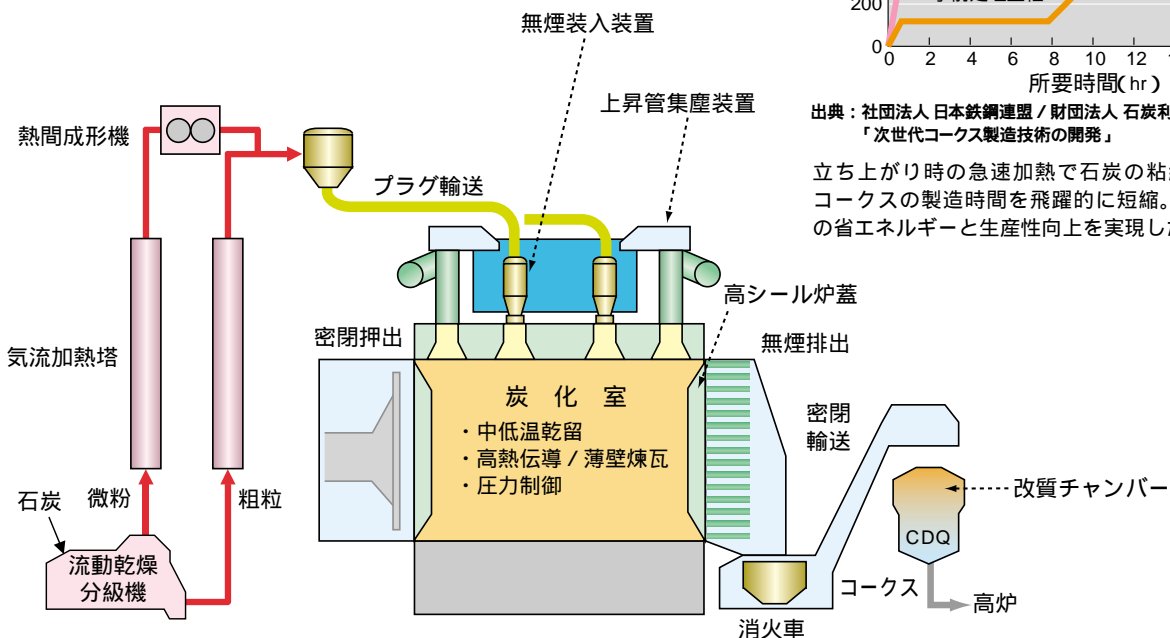
す。原理原則に立ち返り、課題を見つめ直すことの大切さを教えてくれます。

小宮山 基礎的研究の大切さについてはまったく同感です。例えば、自己組織化、核発生・成長などで組織構造がいかに関与するのかというメカニズムもまだ解明されていませんし、そこに面白さがあります。しかし、全ての研究者がやりたいことをやっていたら企業の研究開発は成り立たなくなってしまいます。基礎的研究をどのように評価し、取捨選択するかということがポイントです。

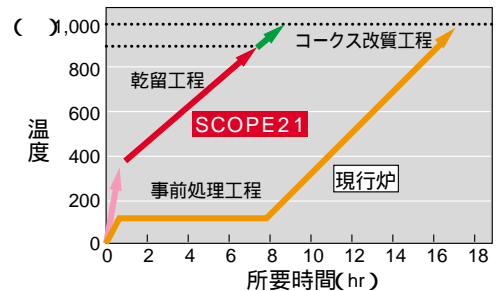
奥村 そうですね。まずは取り組む課題を明確にする必要があります。例えば「次世代コークス製造技術（SCOPE21）」の開発という事例があります（図4）。鉄の還元に必要なコークスの製造技術は、大きくは変わっていませんが、ある研究者が基礎的研究からアプローチすることによって石炭をコークスにする製造時間を飛躍的に短縮することができました（グラフ3）。塊にするための粘結性が劣る石炭でも、ある温度まで急速に加熱すると粘結性が発現するという発見から生まれた技術です。コークス炉の飛躍的省エネルギーと

図4 SCOPE21の全体図

「事前処理」「乾留」「コークス改質」から成るコークス製造工程を基本原理から見つめ直し、各工程を徹底的に検証・分析することで、石炭を高温急速加熱処理し改質する事前処理技術を確認した。それによってコークスの生産性を3倍に高めるコンパクトなコークス炉が開発された。



グラフ3 SCOPE21の乾留概念



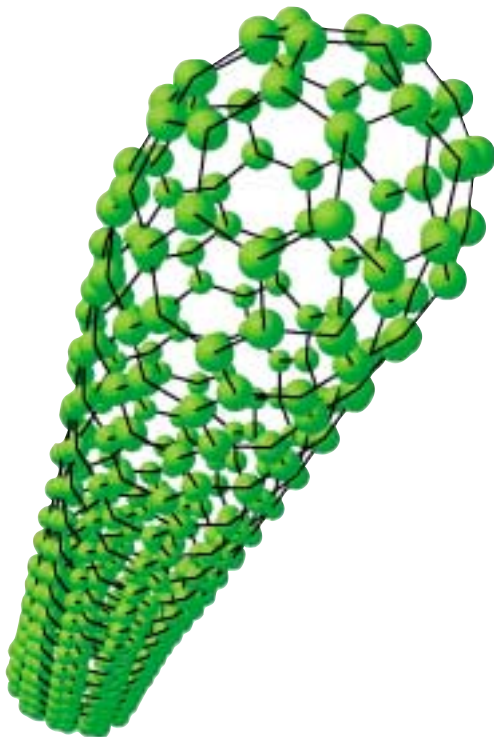
出典：社団法人日本鉄鋼連盟 / 財団法人石炭利用総合センター「次世代コークス製造技術の開発」

立ち上がり時の急速加熱で石炭の粘結性を高め、コークスの製造時間を飛躍的に短縮。コークス炉の省エネルギーと生産性向上を実現した。

生産性向上を実現するこの研究は、鉄鋼業界全体の一大プロジェクトとして、すでにパイロットプラントでの実証を終え、大分製鉄所の新コークス炉への適用が予定されています。やはり、きちんと現象を見つめている研究者は発見を生み出します。自然現象の微妙な変化をきちんと観察・検証している研究かどうかということが一つの選定基準になると思います。

この研究でもう一つ画期的だったことは、急速加熱による粘結性向上のメカニズムを、生体・医療分野で利用されている「MRI（磁気共鳴イメージング：Magnetic Resonance Imaging）」を使って、ある研究者が解明したことです。当初、必要とされる400以上に加熱してMRI観察するという奇想天外な発想であったため、大学の先生に相談に行っても関心を持ってもらえませんでした。そこで担当研究者は、苦労を重ねてこの加熱観察装置を作り上げ、観察に成功したのです。課題認識を持って異分野の技術を取り込む大切さを示す好例です。

写真1 カーボンナノチューブ



カーボンナノチューブ：網目状に結び付いた炭素原子がストローのような筒状になっているナノ素材。普通の炭素素材とは異なるさまざまな特性を持ち、合成方法によって金属になったり半導体になったりする。

「実験手法」に基づく発見と「知の構造化」を結びつける (小宮山総長)

小宮山 私は、今お話のあった「実験手法」と「知の構造化」を結びつけることで大きな成果が生み出せると考えています。以前在籍していた研究室では、若者を中心にコバルトとニッケルなどの二元触媒の種を付けてカーボンナノチューブを垂直に「はやす」研究をしました。私は学生にそれを「知の構造化」、つまり既存の知識を総動員してやるように指示しました。組成と密度のコントロール、原子挙動などさまざまな知識を活用し、一度でより多く検証できる実験手法を考案した結果、1回でカーボンナノチューブを垂直かつ高密度にはやすことに成功しました（写真1）。

この事例は成功した中身よりも、実験手法と知の構造化の組み合わせがうまくいったことに意味があります。人間はすでにさまざまな知識を持っているのですが、多くの人が幅広い分野でやってきた知見をうまく集めると、迅速に大きな成果が得られるという「知の構造化」の成功例だと考えています。

奥村 研究を進める上で、現象観察に基づく発見と、知識の集積・構造化で新たなものを生み出すという両方のアプローチが必要でしょうね。

小宮山 理想としては、研究者は集積された知識に支援されながら、さらに新しい仕事に取り組むという形が望ましいですね。現在は逆に、既存の知識を使いこなせない状況も生まれていますので、知の構造化をベースに、人間のネットワーク、コミュニケーションをうまく融合させて、いかにすばらしい仕事をしていくかということだと思います。2本立ての努力が必要です。

奥村 私どもは鉄鋼業ですので研究の狙いは「モノづくり」に尽きます。時代の変化に伴って変わるお客様の要求に応えたモノづくりが問われますが、ポイントはその変化を先取りし迅速に対応できるか否かです。当社としては、今後とも市場の変化をにらみつつ、多岐にわたる知の構造化と人間のネットワークを通じて、常に変化を先取りしていきたいと考えています。

小宮山 そこがトップランナーと2番手の大きな違いでしょうね。2番手は追いつくことはできたとしても、

そこから上に行く、変わるということは不得手のような気がします。

奥村 変化するからこそ厳しくもあり、面白いのだと思います。逆に、厳しくないと克服への意気込みも湧きませんので「変化」は大歓迎です。鉄鋼の特性は、組織制御など製造プロセスでの塑性加工や熱履歴をすべて背負った結果なので、製品の成分を分析しただけではプロセスをまねできません。製造プロセスまで含めた広範なノウハウこそが、鉄鋼技術の特徴であり、同時に当社の強みとなっています。

科学技術やモノづくりの面白さを伝える努力を（奥村）

奥村 日本の技術、モノづくりの力をさらに高めていくためには、その基盤となる人材育成が不可欠です。小宮山先生はどのようにお考えですか。

小宮山 鉄鋼業を含めた「モノづくり」に、若い人をいかに惹きつけていくかが大きな課題です。かつてOECD（経済協力開発機構）の会議に参加したときも、最大の関心事が若者の科学技術離れであり、三十数カ国の先進諸国、特に大国のほとんどが直面するテーマでした。そうした現象は、科学技術やモノづくりの面白さを伝えるための大学や企業の努力が足りなかったことにあると思います。知識量が増大した現代では、若者に俯瞰像を与え、頭の中で「知の構造」を描きながら、細部に取り組む意欲を持てるようにする必要があります。そうすることで細部を的確に選択でき、学



ぶことの面白さが感じられるようになるでしょう。

最近、東京大学では「学術俯瞰講義」を始めました（写真2）。4本ほどのテーマで行う予定ですが、その1本目が「物質」です。最初に、ノーベル物理学賞を受賞した小柴昌俊名誉教授と理学系研究科の佐藤勝彦教授が「物質はどのようにできたのか」を、次に物性研究所の家泰弘教授が「どのように物の性質は生まれるのか」を講義し、最後は私が「モノづくり」について話します。私の講義の第1回目に例として取り上げたのが鉄です。今の学生は「鉄なんて古代史の中の遺

写真2 東京大学での「学術俯瞰講義」の様子（2005年12月19日）





物」と思っていますし、新日鉄の社名すら知らない若者も多いようです。そこで今日お話があったようなことも含めて、基本原理をベースとした人間の知恵や工夫による成果について、できるだけ実物を見せながら説明してみました。「こんなことをやっているのか」「モノづくりとはそういうことか」と感じてもらえたのではないのでしょうか。講義を充実させるために新日鉄には教材提供など事前にご協力いただき、ありがとうございました。

奥村 ささやかながらお役に立てて光栄です。モノづくりも突き詰めれば最後は「人」です。将来を担う若者に製鉄業の面白さを理解してもらうように企業も努力しなければなりませんね。教育者としての小宮山先生のお立場からは、学生はどのような価値観に基づき自分の職業・仕事を決め、社会や企業はどのように彼らを受け入れるべきだとお考えですか。

「本質をとらえる知」 「他者を感じる力」 「先頭に立つ勇氣」を（小宮山総長）

小宮山 今の学生は、少子化の流れの中で一人っ子が増えています。昔と違い親は子供に手をかけられるよ

うになりました。親が保護し、塾に通い、IT化で人付き合いの範囲が狭まっており、個性が生まれにくい状況にあります。個性とは、親に怒られるような余計なことをする「経験」から育つものです。「親はなくとも子は育つ」と言われた昔と違い、「親がいるから子が育たない」時代になりそうです。そうした学生に「今の若者は……」と言っても仕方ありません。受け皿である社会は、その状況を前提として何ができるのかを考えなければなりません。私は、若者に経験を積ませることが最も大切だと考えています。例えば、大人が働く姿を見せる意味でも、企業との連携による本格的なインターンシップは非常に有意義です。また、社会全体でそうした取り組みを支援していく意識も必要です。新日鉄とは、学術俯瞰講義などへのアドバイス・教材提供や最先端分野での共同研究など、広がりのある産学連携が実現することを期待しています。

奥村 当社も年間80名前後のインターンを受け入れています。彼らの感想を聞いてみると、「モノづくりの現場がこんなに面白いとは思わなかった」という声が多くあります。お話の通り、IT化で二次情報があふれ、原体験の少ない現代の若者に対して、目的・目標を持ち、面白さを実感してもらえるような機会を与える工夫が必要です。当社もその責任の一端を担いたいと思います。そこで大切なことは、理屈ではなく何よりも実体験ですね。特にモノづくりの現場では、苦しみながらもその中で達成感や楽しさを実感できます。また、もう一つ大切なことは、自分の研究だけではなく、対話を通して現場の人々と志や価値観を共有できる人間関係を築く能力も磨かれるということです。研究だけで「モノ」はできません。現場と一体となってモノづくりができる人材を育てることが私の仕事です。

小宮山 私が今後4年間、入学式で言い続けようと思っていることは、「本質をとらえる知」「他者を感じる力」「先頭に立つ勇氣」です。その思いは、企業も大学も同じですね。

奥村 今年もお知恵をいただきながら、モノづくりの魅力を社会に発信していきたいと思います。本日はありがとうございました。

（対談は2005年12月に東京・紀尾井町で行われました）