

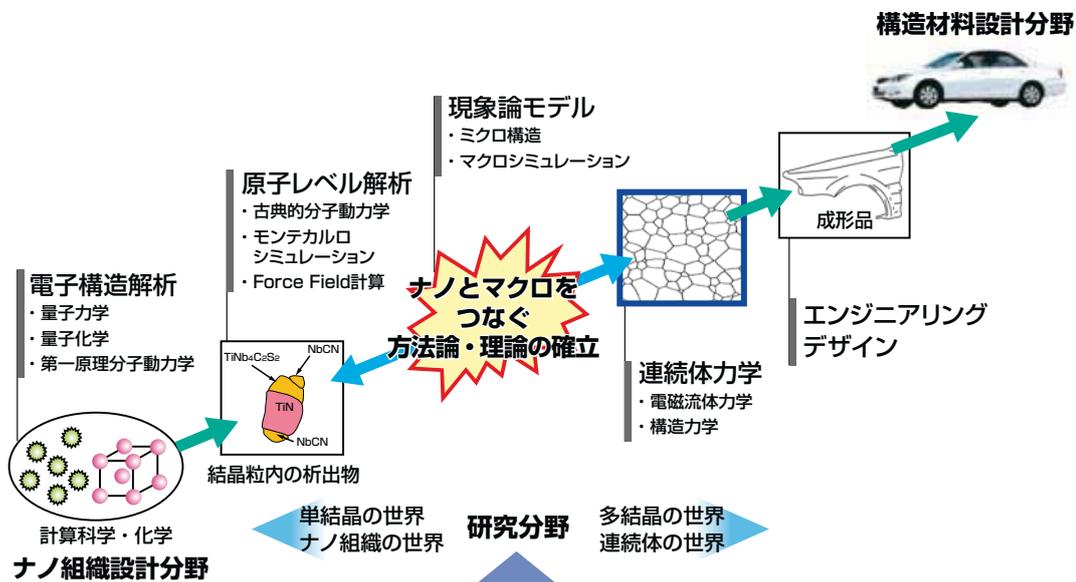
多彩な技術開発で「鉄」を極める(3) 原理原則から 新たなブレイクスルーを目指す

2つのアプローチを深化・
連携させ、現象を本質的に理解

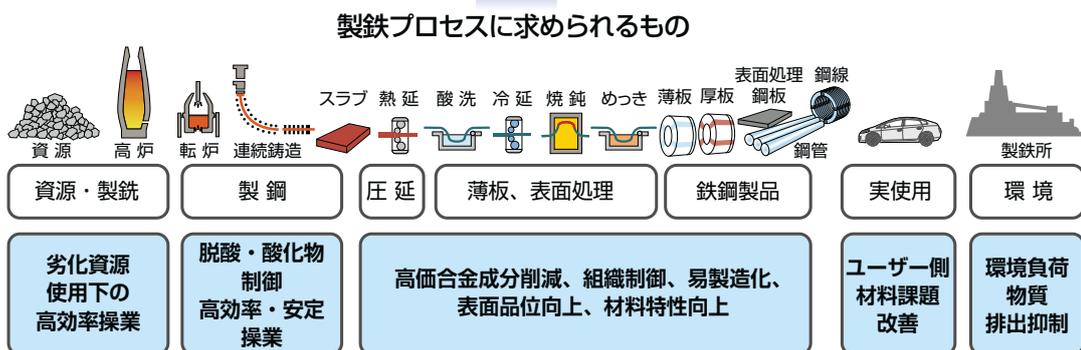
近年、鋼材の複合機能化や抜本的なコスト低減ニーズが高まる中で、より緻密で複雑な鋼材組織のつくり込みやプロセス制御が求められるようになってきている。先端技術研究所では現在、物質・現象そのものの高度解析を行う物質解析科学(解析科学研究部)と、現象に潜む数理を抽出して定量予測する数理科学(数理科学研究部)の両輪で製品・プロセス開発の高度化とスピードアップを目指している。前者は複雑に絡み合う現象の一場面を基礎現象として観察・定量化するのに対して、後者は複雑な現象を全体的・連続的に捉えるもの。鉄鋼業界の解析研究において、この2つの科学分野がそれぞれ専門性を持ちながら、組織的・有機的に連携しているケースは他にはない。

解析科学と数理科学が深化しつつ連携することで、例えば、ナノ・ミクロの解

図1 解析科学と数理科学の連携によるナノからマクロレベルの解析技術



新日鉄では新商品開発やプロセス開発に対して、メタラジー、分析・解析技術、数値解析・数学応用(数理科学)、現象解析技術など、複合的な観点から取り組んでいる。グローバル競争が激化し、鋼材の差別化やコスト低減ニーズがさらに高まる中、すべての研究開発の共通基礎基盤となる解析技術の果たす役割は大きい。今回は、多彩な解析技術を駆使して原料から最終製品までの製鉄プロセスの「原理原則」を極め、現象の本質に迫る解析研究者たちの姿を追う。





先端技術研究所 解析科学研究部
主任研究員
金橋 康二 (かねはし・こうじ)
(化学専攻、1998年入社)

鉄鋼製品の源である銑鉄を生み出す高炉では、石炭を蒸し焼きにしたコークスで銑石を還元しているが、最近ではコストダウンのため、コークスの投入量を低減し比較的安価な微粉炭を吹き込むこと(PCI)が盛んに行われている。石炭を直接高炉に入れるため石炭自体の構造や性状が高炉の還元効率に影響する上、近年石炭の品質が多様化する中で、さまざまな山元の石炭を使用する操業リスクを最小化する必要がある。新たに使用する石炭を事前評価する解析技術を確認した解析科学研究部の金橋康二は語る。

独自開発の解析手法で 多様な原料品質を精査

析で得られたパラメータ(素因数)を組み合わせるシミュレーション(数理・計算予測)を行い、原理原則を解き明かして、実際に得たい鋼材特性を導き出すことができる。それにより一つ一つのデータを積み上げる従来型の研究開発の延長線上にない技術イノベーションが生まれ、ジャンプ感・スピード感のある製品・プロセス開発が可能になる(図1)。

ここではそうした理念のもと、コストダウンに直結する原料品質評価(製銑分野)や鋼材特性のつくり込み(製鋼・圧延分野)、数学応用による鋼材品質・プロセスの最適化に挑む若手研究者の開発事例を紹介する。

「私は石炭中の有機質の構造と無機質(灰分)の構造に着目し、石炭を評価する方法を開発しました。有機質の構造を明らかにすることによって、石炭の燃えやすさを定量化できます。一方、溶けてスラグ化した灰分は閉塞などの原因になり得ることから、詰まりやすさを構造から判断するための指標化を行いました。これらの新たな評価技術を用いて、世界中から調達する石炭サンプルを解析し品質を確認しています」

金橋は入社後、化学・製薬分野で活用されていたNMR※1(写真1)を、複雑な成分で構成される石炭やスラグの高度解析に適用するため、新たな測定手法の開発に着手し、実用材料解析に展開してきた。特に、固休材料中のアルミニウムやマグネシウムなど、これまで構造解析が困難だった元素に対し、磁場強度やラジオ波の当て方などを精査して解析精度を飛躍的に高め、同一元素のわずかな構造差を精緻に観察する独自技術を確認した。

「当社の無機材料固体NMR解析技術力は国内トップレベルですが、アメリカへの留学経験を活かし、最近では約1500℃の溶融スラグをその場で観察できる高温高断熱検出器を導入するなど(図2)、常に先を見た解析シーズの開発・提供に取り組んでいます。今後は原料・スラグ品質の課題解決に加え、複雑な成分解析ができるNMRの機能をさらに高度に利用し、資源分野全般での貢献を目指していきます」(金橋)。

図2 高温高断熱検出器およびそれを用いたスラグの測定例

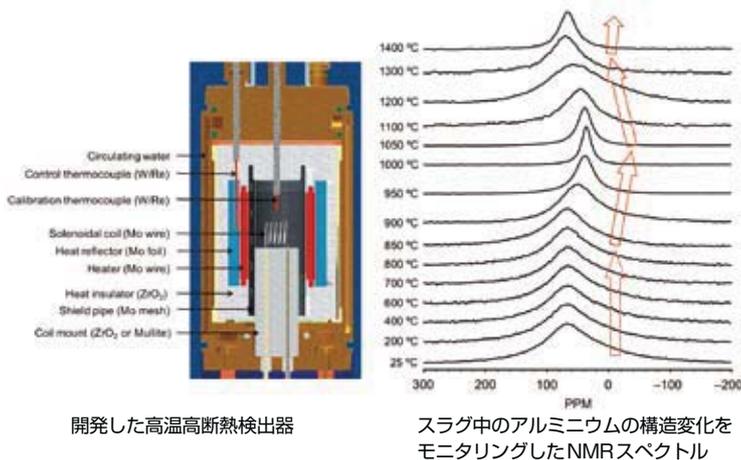


写真1 NMR装置



※1 NMR：核磁気共鳴。超伝導磁石の中に入れた試料にラジオ波を照射してその共鳴現象を見る。共鳴の周波数により狙った元素だけの構造を識別できる。

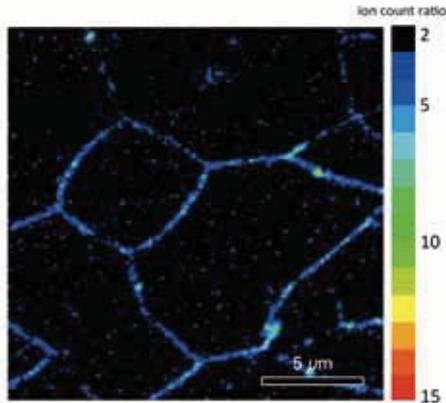


先端技術研究所 解析科学研究部
主任研究員
小林 由起子 (こばやし・ゆきこ)
(材料物理学専攻、2005年入社)



先端技術研究所 解析科学研究部
主任研究員
田中 智仁 (たなか・ともひと)
(材料学専攻、2004年入社)

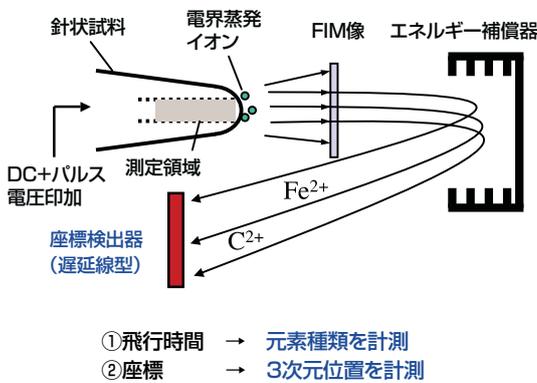
写真2 FIB-SIMSによるボロンの
粒界偏析マッピング



原子からマクロ組織まで
幅広い視野で本質に迫る

ミクロ組織で決まる鋼材特性は、粒界偏析などの現象解析まで遡ったところに原理原則がある。例えば結晶組織の粒界に何の元素がいかにかに偏析し、どのような析出物(化合物)が存在するのかといったミクロ・ナノオーダーでの原理原則を突き詰めなければ技術イノベーションは生まれない。FIB-SIMS※2で結晶組織粒界の解析に取り組み解析科学研究部の田中智仁は、鋼材強度を大きく左右するボロンの偏析挙動を明らかにした。「ボロンを使うと高価な合金元素に頼らず、比較的少量で強度などの鋼材特性を

図3 3DAPの測定原理



向上させることができますが、少しでも量がばらつく狙った特性値が出ません。従来は偏析のメカニズムや制御条件がわからず具体的な材料設計の指針を持っていませんでしたが、その現象把握によりピンポイントで狙った特性を現現させることが可能になると期待できます(写真2) また、粒界にはボロンなどの元素が濃縮するだけでなく炭化物や窒化物などの析出物が生成するが、その種類によりボロン自体の偏析量が変わり鋼材特性も変化するため、さらに微細な原子レベルでの解析が不可欠になる。原子1個ずつの種類と配列を観察できる3次元アトムプローブ(3DAP)※3(図3)を活用し、ナノレベルの微細析出物や固溶原子の配置などの観察から強化機構の研究に取り

数学を共通言語に、
技術イノベーションに挑む

一方、「計算機シミュレーション」と「数学応用技術」に大別される数理科学研究では、近年、従来から積極的に活用されてきた前者に加え、複雑な現象が絡み合う製造現場の課題に対して、限られた計測データをもとに、数学で現象の本質を抽出して解決を図る数学応用技術の研究を強化している。従来はベテランオペレータの手で判断していた自動車用鋼板の加工部品のわずかな表面歪みに対する定量評価技術の開発に携わった数理科学研究部の小杉聡史は、その意義について語る。「数学応用には、一見無関係と思える数学的知見の適用が課題の本質的解決に繋がる可能性を持つという魅力的なメ

組む解析科学研究部の小林由起子は、「これまで観察が難しかったクラスタや微細析出物による強化機構を、実験を通して明らかにしつつあります。これがわかれば、新しい鋼材設計などに役立てられると思います。一方で、3DAPのように汎用でない技術を使う場合は特に、正しい測定、つまりその材料の本当の姿の観察ができているか注意が必要です。基礎データを積み重ね、この分野の世界第一線の技術者とも議論し、鉄鋼材料への適用について正しい解釈ができるように努めています」と語る。

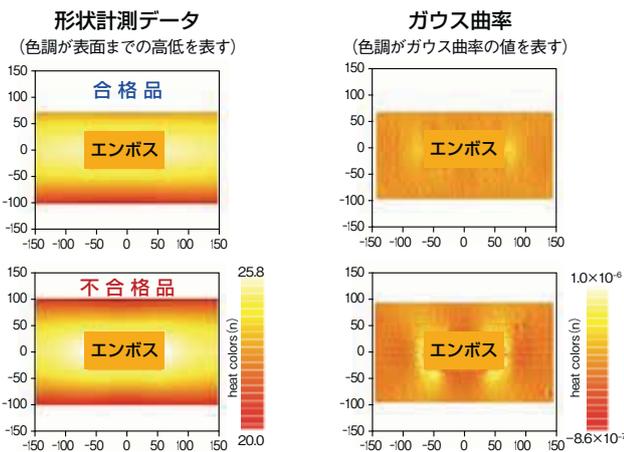
※2 FIB-SIMS：集束イオンビーム二次イオン質量分析法。イオンビームを当てて試料表面から生成した二次イオンの飛行時間(重量)計測と試料表面の連続的なスキャン(走査)で、試料表面に存在する元素の種類と位置を特定することができる。

※3 3次元アトムプローブ：針状試料に高い電圧をかけることによって、試料表面の原子を1個ずつイオン化して検出し、その原子の種類と空間的配列を調べる分析装置。

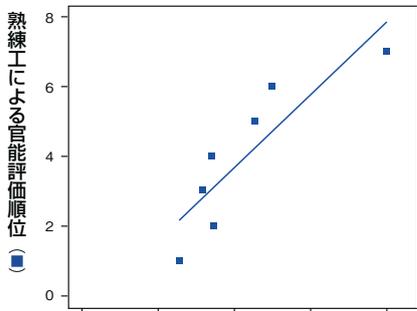


先端技術研究所 数理科学研究部
主任研究員
小杉 聡史 (こすぎ・さとし)
(数学専攻、2008年入社)

図4 自動車用鋼板の加工部品の表面歪み定量評価



形状を計測した画面データだけでは、微妙な色調の違い(歪み)が判別困難だが、ガウス曲率で示すと、曲率の不均一さから、歪み部分が強調される。



ガウス曲率を用いた定量評価値(ガウス曲率の面積和)(実線)

ガウス曲率での評価値は熟練工による官能評価順位と良好な相関がある。

「多様な技術を組み合わせることで現象を定量化する解析科学と、数理科学の計算シミュレーション(理論)を組み合わせることでモデル化し、早期に開発成果を生み出していきたいと思っています」

今後先端技術研究所は「目利き」として、製鉄分野における課題・ニーズを解析シーズに置き換えて、さまざまなアプローチから商品・プロセス開発の新たなフィールドを切り拓いていく。

リットがあります。この事例では、基準面からの距離を計測した鋼板表面形状の離散データを統計的に補間し、さらに数学者には馴染みのある「ガウス曲率」(※4)で歪みの特徴を代表する特性値を表現できるのではないかと思ひ提案したところ、鋼板加工部品における歪みの定量評価技術の一つとして実用化されました。このような取り組みは鉄鋼業界では初めての試みです(図4)。小杉は入社した2008年以後、全製鉄所に赴き、現場技術者・研究者のニーズをつかみ、逆問題(※5)などの数学応用による課題解決に挑んでいる。現在は、鉄鋼製造プロセスの品質・操業安定化と最適化に寄与する逆問題適用技術の確立に取り組む。

「各分野で実績を持つ当社の研究者や、さまざまな現象を経験知で理解している現場技術者との議論を通して異分野知識の融合を図り、技術イノベーションを生み出したいと思っています。今後も数学者として常に実際の現象・課題をイメージしながら、多様な学問の共通言語である数学の新たな可能性に挑戦し続けていきます」(小杉)。

「目利き」として、研究開発の新たな可能性を切り拓く

鉄鋼材料分野の解析では、マクロ特性を支配している要因は何か、つまり物性を決める領域を見ることが大切だ。現在、

解析技術開発はさらに微細な電子レベルに向かうのではなく、組織の全体像をきちんと見るために必要なミリレベルの領域も重視するようになってきている。また一方で、3DAPによる原子の位置情報(原子レベル)、FIB-SEMによる析出物の分布情報や電子顕微鏡によるそれらの集合組織情報(ナノミクロンレベル)、それぞれのスケールで断片的に得られたこれらの物質解析情報をつなぎ、ナノ・ミクロ現象からマクロ特性まで連続かつ定量的に表現する手法(マルチスケールシミュレーション)の確立が求められている。そこでは数理科学を駆使して、原子挙動を解きつつマクロ特性を決めるファクターをモデル化する知恵や、時間軸を入れた4Dでの解析など、見えない現象を観察する技術を磨くことも重要だ。

解析科学研究部の田中智仁は原子からマクロ組織までの広い視野で本質を見抜く力を高めたいと抱負を語る。

※4 ガウス曲率：曲線で考えられる曲率を曲面の場合に拡張したもので、曲面の曲がり具合を表す量の一つ。ドイツの数学者C.F.ガウス(1777~1855年)が考案。
 ※5 逆問題：起こった現象(結果)からその原因となる条件を求める問題、および、そのような問題を取り扱う応用数学の一分野。