

TODAY

ナノの世界をマクロに



東北大学 大学院工学研究科
 知能デバイス材料学専攻 教授

東北大学 レアメタル・グリーンイノベーション
 研究開発センター センター長

杉本 諭

私が所属している学科では、研究室に配属されて研究の一端を担うようになってきた学部4年生への教育のために、発表や討論の方法および聴く態度を修得するとともに必要な工学倫理や人類への福祉などの知識・情報を自ら摂取し、講演・論文の主旨や問題点を正しく把握する能力を養成して卒業研修で養うべき能力を理解させるための「材料科学総合基盤研修」という授業科目があります。本研修では学生各自が外国語文献を読んで教員や学生の前で紹介することだけでなく、各界の著名人をお招きしてご講演をお願いしています。今年の10月1日に、日本鉄鋼協会「経営トップによる大学特別講義」によって新日本製鐵住金株式会社 代表取締役副社長 技術開発本部長である宮坂明博氏に、「未来に挑戦する鉄づくり ―ナノレベルで特性を制御して、キロメートルで造り込む―」と題したご講演をお願いしました。そのご講演は、例に明石海峡大橋などをあげられ、鉄鋼材料の組織、特にナノレベルの組織を制御することによって材料特性をあげ、それをふまえた材料プロセス技術を構築することによって大型構造物の性能を上げていく、という内容で、学部4年生にも大変わかりやすく、また、研究意欲を掻き立てる素晴らしいお話でした。私もご講演題目を見てドキッとさせられ、興味をもって聴かせていただいた一人でした。

実は東北大学工学部・工学研究科の教員・学生・卒業生及び仙台工業高等学校卒業生と工業教員養成所卒業生をもって組織する同窓会である青葉工業会という

ものがあります。この青葉工業会では、毎年青葉工業会ニュースというものを発行しており、ここには新任の教授の抱負が掲載されます。私も教授に昇格した2006年(平成18年)4月に抱負を書かせていただきましたが、その時の題目が「新しき実用磁性材料の開発を目指して ～ナノの世界をマクロに～」で、宮坂氏のご講演題目の「・・・ナノレベルで特性を制御して、キロメートルで造り込む」を見て初心を思い出させていただいたわけです。また、今でもいつも頭の片隅には「使われるのが「材料」という恩師である東北大学名誉教授である本間基文先生と岡田益男先生の言葉と、お世話になった同名誉教授の西澤泰二先生の「材料は組織を制御して初めて材料となる」という言葉があり、宮坂氏のご講演はこれらの先生方からいただいた教えともマッチして興味をそそられたものといえます。

この観点で私が専門とする磁石材料、特に世界最強の磁石で1983年に佐川真人博士によって発明されたNd-Fe-B系磁石に目を向けてみると、発明からの35年間で本系磁石はハードディスクのVCM、HEVやEVの駆動モータ、エアコンや冷蔵庫のコンプレッサなどの多くのアプリケーションに用いられるようになり、鉄と同じように私たちの生活には欠かすことができない材料となっています。まさに実用材料です。その高い磁気特性を生み出す磁化は主相であるNd₂Fe₁₄B相の体積分率とその結晶構造と各元素の原子配置といったアトミックレベルが関係します。一方、磁石材料として必要な保磁力も、その機構が逆磁区の核生成で決定されるため、Nd₂Fe₁₄B相と粒界相であるNd-rich相の間に存在する数nmの界面が関係し、そこには酸素や添加元素などの存在もからんできます。すなわち、ここに潜む現象を理解するための科学は、磁性材料学だけでなく、組織学、界面物性学、希土類元素と酸素が絡むので製錬学(高温融体学)、粉末を用いるので粉末冶金学などからなる総合的な科学であり、まさに金属学といえます。近年では、JRCMの皆様が中心となって実施しているNEDO「未来開拓技術実現プロジェクト「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発(MagHEM)」」が連携して進めている文部科学省「元素戦略プロジェクト「元素戦略磁性材料研究拠点」」の研究もあって、従来、磁石材料の研究

では用いられてこなかった新しい技術、例えば、電子顕微鏡、アトムプローブ、放射光、中性子を駆使した解析技術、フェーズフィールド、第一原理計算、マイクロマグネティクスなどの計算科学、などの躍進により、サブナノレベルからマクロレベルまでに生じる現象の理解が深まっています。このようなスケールレベルにおける現象の理解をもとに、各種添加元素によるNd₂Fe₁₄B相とNd-rich相界面の組織制御、溶解鑄造技術ではストリップキャストリング、粉末作製では水素処理法やジェットミル法、高耐熱・保磁力化ならびにDy削減では粒界拡散法や結晶粒微細化、などを可能とする新技術が日本の研究者によって生み出され、Nd-Fe-B系磁石の特性は向上してきました。まさに新たなアプリケーションへの応用が始まり、高いポテンシャルを生み出す現象をマルチスケールで理解することが

可能となり、さらには高い磁気特性をうまく引き出すためのプロセス技術が確立してきたといえます。

このようなことから考えると、今後、将来の材料における特性の向上、または新たな材料の開発のためには、さらに一歩進んだナノレベルの組織を解析して構築できる技術と、そもそも不均一な形態をもっている材料組織を、如何にマクロスコピックでも理想形態となるように制御する技術の開発が必要といえます。まさに西澤泰二先生がおっしゃっていた「材料は組織を制御して初めて材料となる」です。私自身も、研究者の一人として絶えずこのことに携われるよう日々努力していこうと思います。宮坂氏のご講演を聴かせていただき、初心にもどって思いを新たに致しました。

JRCMの方々には、今後ともご指導ご鞭撻のほど、よろしく願い申し上げます。

JRCM REPORT

革新的な省エネルギー技術の開発を目指して

～未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発プロジェクト～

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 研究戦略部長
未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発プロジェクト プロジェクトリーダー

小原 春彦

経済産業省のプロジェクト、「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発プロジェクト」は有効利用されずに捨てられている熱を減らすための技術開発を目的として平成25年から開始され、今年度で三年目を迎えます。今年度からプロジェクトは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に移管され、早期の実用化を目指して研究開発が加速されています。JRCMは国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研）とともにプロジェクトの中で調査事業を担うとともに、未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合（TherMAT）の事務局としてプロジェクト運営に貢献しています。本稿では、プロジェクトの概要とともに最近の研究内容について報告します。

国内のエネルギー需給を見てみると、東日本大震災以降一次エネルギーにしめる化石燃料の割合が高くなり、化石燃料を輸入に頼る日本では経済的に大きな負担となっています。また中長期的には二酸化炭素排出量の増大という大きな課題を抱えています。昨年11月にはパリで、気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）が開催されました。その中で2020年以降の新しい温暖化対策が議論されました。COP21に先立ち、政府は昨年7月に長期エネルギー需給見通しを発表しました [1]。この中で省エネルギー対策については「産業部門、業務部門、家庭部門、運輸部門において、技術的にも可能で現実的な省エネルギー対策として考えられ得る限りのものをそれぞれ積み上げ、2030年度に

は最終エネルギー消費で5030万kl程度の省エネルギーを実施する」と記載され、省エネルギーに対して大きな目標が掲げられています。

図1は国内のエネルギーフローを最終消費に至るまで示したものです。石油、天然ガスなどの一次エネルギーは最終エネルギー消費に至るまでに、発電などによって約3割のエネルギーが失われます。さらに最終エネルギー消費において有用なエネルギーとして使われるのはその一部で、やはり多くのエネルギーが熱として有効利用されずに捨てられています。これらの未利用の熱エネルギーは一次エネルギーの約6～7割と試算されています [2]。このような未利用熱を減らすことが出来れば大きな省エネルギー効果が期待できますが、過度の省エネルギー化は経済活動を制限する可能性があります。経済成長との両立が省エネルギー対策の大きな課題ですが、新たな省エネルギー技術開発は一つの打開策となりえます。すなわち、新たな省エネルギー技術は経済活動を制限せずに大きな省エネルギー効果が期待できるだけでなく、開発された技術・製品は海外にも展開できるので日本の産業競争力の向上にも資するからです。

一方、省エネルギー技術開発には長い歴史があり、新たな技術開発は容易ではありません。開発のリスクも大きく民間企業だけに頼ることができません。そこで国は中長期的な視点から省エネルギー技術の開発に取り組んでいます。本稿で紹介する「未利用熱エネルギーの革

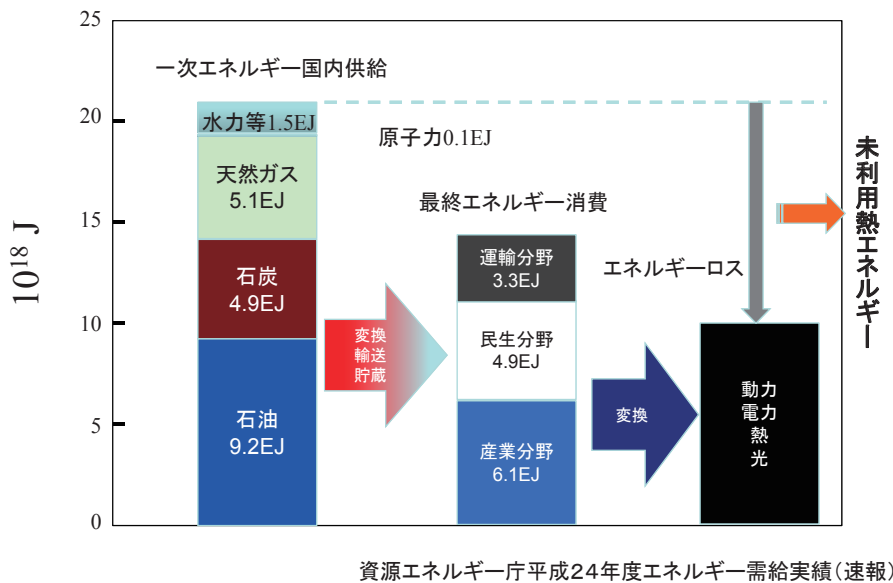


図1 日本における一次エネルギー供給から最終消費に至るエネルギーフロー

不足している場合があります。特に寒冷地ではその影響が顕著で実質的な燃費を低下させています。有効な対策としては余った排熱を蓄え、暖機時や暖房の熱が足りないときに活用することが考えられますが、そのためには自動車の限られたスペースで十分な熱を蓄えられる蓄熱モジュールが必要となります。プロジェクトでは高密度の蓄熱材料の研究開発を行っています。同時に蓄熱材料の低コスト化、蓄熱モジュールの熱放出速度の改善にも取り組んでいます。これまでに有望な蓄熱材料の候補を検討し、その性能向上に成功しています。

「新活用技術研究開発プロジェクト」はその一つです。このプロジェクトは経済産業省と文部科学省が連携して進める「未来開拓研究」の一環として平成25年度から10年間の予定で開始されました。プロジェクトでは未利用熱を減らす技術に関して、材料、機器、システムの飛躍的性能向上を目指しています。具体的には熱の3R (Reduce, Reuse, Recycle) をキーワードとして蓄熱、遮熱・断熱、熱電変換、排熱発電装置、ヒートポンプといった各要素技術について、平成34年度末に高い目標値を設定して研究開発を進めています。また、要素技術のみならず自動車の熱マネジメント技術開発にも取り組んでいます。プロジェクトには18の民間企業、JRCM、産総研の2機関が参画し技術研究組合を構成しています。さらに多くの大学、公的研究機関が共同研究先として参画する体制をとっています。図2は熱の3Rと研究開発体制について示したものです。

熱の使用量を減らす (Reduce) 技術としては、蓄熱、遮熱、断熱技術を取り上げています。蓄熱は長い技術開発の歴史がありますが、昨今自動車分野で蓄熱のニーズが高まっています。自動車は暖機後には排熱がある一方、暖機や暖房時には熱が

遮熱・断熱技術は無駄な排熱を減らすためには効果的で期待も高いのですがコスト、重量、強度など断熱性能以外の性能との両立も必要です。プロジェクトでは、超高精度なナノ積層技術を使って、従来の技術では困難であった透明性と遮熱性を兼ね備えた遮熱フィルムの開発を行っており、光学設計に目処がたっています。また工業炉用として強度と断熱性を兼ね備えたファイバーレス断熱材料の開発を行っています。ファイバーレス断熱材の需要は法規制もあり今後高まるものと期待されています。

熱を再利用 (Reuse) する技術としてヒートポンプ技術を取り上げています。ヒートポンプは排熱を利用し

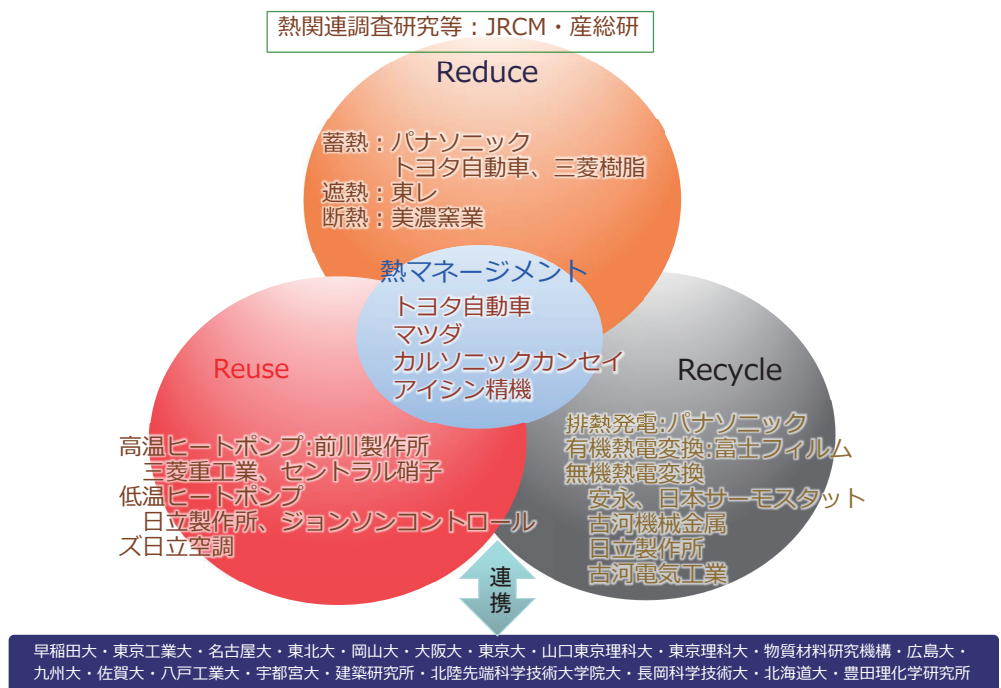


図2 熱の3Rとプロジェクトの研究開発体制

て少ないエネルギーで高温の熱を作り出すことが出来るので、省エネルギー効果は大きく、特に産業分野で利用されている燃料炊きのボイラーが高効率のヒートポンプで置き換わると一次エネルギー消費の削減につながります。プロジェクトでは機械・化学産業分野や食品分野における 200℃程度の熱配給に適したヒートポンプの開発を行っています。このような高温ヒートポンプは未だ実用化していないので、地球温暖化係数の低い新しい冷媒の開発も必要となり、これまで有望な冷媒の候補を選定して開発を進めています。また排熱を利用した吸収冷凍機も省エネルギー機器として期待が持てますが、そのために低い温度の排熱でも駆動できる吸収冷凍機の研究開発を行い、プロトタイプの冷凍機の運転に成功しています。

熱を電力に変換して利用 (Recycle) する技術として、熱電変換、排熱発電の開発に取り組んでいます。熱電変換は排熱発電技術として期待が持たれていますが、変換効率やコストの面で性能が十分でなく、大規模な実用化には至っていません。プロジェクトでは、飛躍的に高い性能を持つ熱電変換材料の探索を行っています。また比較的高い性能が実現している無機系の熱電材料だけでなく、フレキシブルな熱電モジュールを実現できる有機系の熱電材料の開発にも取り組み、曲面へ適用可能な熱電モジュールの実現に向けた材料の高性能化、モジュール化技術の開発を行っています。すでに高い電気的な性能を持つ有機材料の開発や、フレキシブルモジュールの試作に成功しています。

排熱発電に関してはまず発電容量の小さい 10 kW 以下のオーガニックランキンサイクル (ORC) 発電の開発に取り組んでいます。プロジェクトではまず 1kW クラスの小規模の ORC 発電装置の高効率化、低コスト化に取り組む、すでに高い発電効率を実証しています。1kW クラスの ORC 発電装置は分散する産業分野の排熱発電に有効な技術です。

これまで述べた熱の 3R に関する要素技術の研究開発を統合する目的でプロジェクトでは熱マネジメント技術の開発を行っています。熱マネジメント技術の対象としては、近年排熱活用のニーズが高まっている自動車を中心としています。この中で、高効率な熱輸送技術や排熱利用の小型冷凍機の開発を行い、将来的には要素技術との統合によって自動車の実質的な燃費向上を目指しています。自動車分野における熱マネジメント技術はコスト、サイズ、重量などに高い性能が要求されるので、開発された技術はその後産業分野、民生分野への応用も期待できます。

このプロジェクトの参画民間企業は 18 社と多く、業

種もまちまちです。そこでこれらの技術開発を横断的につなぎ、各技術開発のシナジー効果を生むための取り組みも行っています。その一つが排熱の実態調査で JRCM と産総研が担当しています。日本における排熱の大規模な実態調査は 1993 年度から 8 年計画で行われた「広域エネルギー利用ネットワークプロジェクト」(通称 エコ・エネ都市プロジェクト) [3] で 2001 年にまとめられた調査以来行われていません。特に、その後の産業構造の変化や東日本大震災の影響など、排熱の実態が変わっている可能性があります。プロジェクトで開発する技術の適用先を検討し、より有効な研究開発資源の投入を行うために排熱の実態調査はきわめて重要で、産業界、さまざまな業界団体の協力のもと調査事業を行っており、現在アンケート調査等で集められたデータを分析、集計しているところです。

「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発プロジェクト」は開始されてからまだ実質的に 2 年しか経過していませんが、すでに材料や機器で具体的な成果があがっています。詳しくは TherMAT のホームページをご参照下さい [4]。このプロジェクトは技術革新によって大きな省エネルギー化を実現しようとするものですが、同時に日本が強みを発揮しているエネルギー効率の高い部材、製品につながる技術開発です。プロジェクト期間は 10 年を想定していますが、得られた成果はプロジェクト途中でも順次実用化を図っていく予定です。

一方、最近では世界的な景気の減速の懸念、シェールガス、シェールオイルなど非在来型資源の開発によって原油、天然ガスの価格が下がっています。化石燃料を輸入に頼る日本にとっては一次エネルギーの価格が下がることにメリットはありますが、省エネルギーに対する取り組みが後退する懸念もあります。COP21 での議論が注目されましたが、経済の持続的な発展と地球環境の保全を両立することを目指して省エネルギー技術開発を継続的に進めていくことは日本はもとより世界にとって非常に重要です。引き続きプロジェクトに対する関係各位のご助力、ご理解を頂ければ幸いです。

参考文献

- [1] 経済産業省ニュースリリース
<http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004.html>
- [2] 平田 賢; 省エネルギー論, (1994), オーム社.
- [3] 棚澤一郎監修; エコ・エネ都市システム, (1995), 財団法人省エネルギーセンター.
- [4] プロジェクトの概要、最近の成果は下記 URL に掲載
<http://thermat.jp>

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第 351 号

内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複製・複製・転載することを禁じます。

発行 2016 年 1 月 1 日
発行人 小紫 正樹
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター
〒 105-0003 東京都港区西新橋一丁目 5 番 11 号 第 11 東洋海事ビル 6 階
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285
ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>
E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp