

量子ビームを使った永久磁石保磁力機構解明

矢野正雄

トヨタ自動車株式会社 先端材料技術部 〒410-1193 静岡県裾野市御宿1200

要旨

電動車モーター用永久磁石の重希土類フリー高保磁力（高耐熱）化を目指し保磁力機構解明に臨み、磁石内部の磁区分析のために量子ビームを使った手法を進展させた。永久磁石の磁区を可視化するためのX線顕微鏡、定量化のための中性子小角散乱法を確立したことで、高保磁力化に必要な組織要件を明らかにすることにつながった。

1. はじめに

今後も需要の高まりが予想されるハイブリッド車、燃料電池車や電気自動車などの電動化車両は、動力源であるモーター性能が走行性能やエネルギー効率を左右する。このモーター中に使われている永久磁石には希土類元素であるネオジム（Nd）の他に、使用温度での磁石性能を発揮させる重希土類元素が使用されている。重希土類を用いることで高温での不可逆な磁力の低下を抑えられることがわかっているが、添加量に伴い磁力が低下するという問題と、埋蔵量が少なく産出地が偏在しているために資源リスクが高いという問題がある¹⁾。また、今後も電動化車両の継続的な需要拡大が予想されることから重希土類だけではなくNdについても供給不足の可能性が考えられている。このような背景の下、永久磁石中の希土類元素の働きを理解し、耐熱性（保磁力）発現のための方策を得ることを目的に研究を行ってきた。

現在主流のネオジム磁石（Nd-Fe-B）はNd₂Fe₁₄B相の結晶が集めた多結晶体であり、この結晶の周囲にはNd比率の高い相が存在する。Nd₂Fe₁₄B磁石の保磁力は結晶粒径に強く依存することが知られていることから、永久磁石の保磁力には結晶の物性値だけではなく、組織形態も大きく影響する²⁾。

磁石は小さな磁区の集合体であり、磁石中の全ての磁区が同じ向きの時に磁力が最大となる（Fig. 1）。この磁石に減磁場（磁石の磁化と逆方向の磁場）を与えると、磁石内部の一部の磁区が反転することで、磁力はその分減少する。さらに大きな減磁場を与えると、反転部分の体積が増加し、磁石の磁力は相殺されてゼロとなる。このときに与えた減磁場の大きさが保磁力と定義される。そのため、磁化反転箇所の特徴とそこでの組織特徴の定量化ができれば、保磁力発現機構解明と高保磁力化のための理想組織を描くことが可能となる。しかし、これまで磁石内部の磁区を分析する手法がなかったために、永久磁石の保磁力発現機構解明が進んでいなかった。

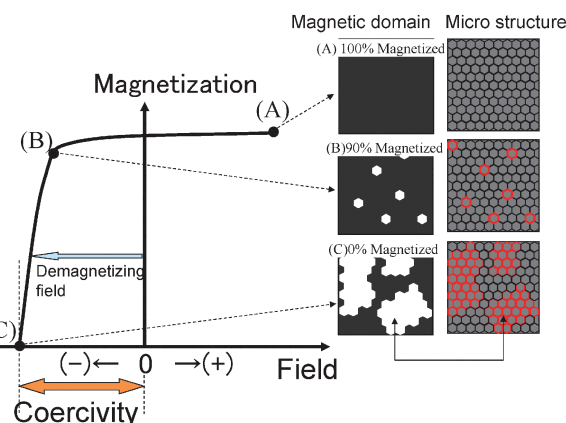


Fig. 1 (Color online) Magnetic field dependence of magnetization (left) and corresponding magnetic domains (right).

2. 手法の選定

磁石内部で生じる磁化反転の起点とその伝播を引き起こす箇所がどこにあるか、これを知ることが課題であり、磁石の磁区を観察・定量化する手法の開発が求められていた。2007～2008年にかけて、光電子顕微鏡（PEEM）による磁区観察ができるようになり³⁾、磁石組織と磁区の対応付けが進むかに見えた。しかし、磁石組織のナノスケール制御技術の進展による高い空間分解の要求、表面敏感なPEEM情報が本来必要な磁石内部の情報を反映していないのではという疑念の付きまといがあったため、新たな手法の開発に臨んだ。2010年頃は結晶粒径が10 μm～数 μmの磁石が主流であったが、結晶粒を細かくすることで磁石の保磁力が増加することが経験的に知られており、磁石粉碎技術の向上、液体急冷法などによる新たな組織制御法の実用化により、結晶粒は100 nm程度にまで微細化できる見通しがあった。そのため、磁区分析に必要な分析深度として結晶粒径以上の100 nmが必要と考えた。その他には、磁場印加ができること、組織と対応した磁区情報が得られることが必要と考え、透過X型線顕微鏡を使った分析技術を進展させた。しかし、材料を薄片化することによ

り製品の中で起こっている磁区の状態とは異なってしまふと考えられることから、より磁石内部の磁気的情報を抽出できるプローブとして中性子を使った分析にも着手した。中性子の高い透過性と磁気応答性を利用し、中性子小角散乱による磁区分析の手法を開発することとなった。

各量子線を使うメリットは

放射光 X 線：エネルギーの連続的可変性により元素選択的な電子・磁気状態分析が可能

中性子線：高透過性により内部の組織・磁気情報の取得が可能

電子線：磁場による絞りにより高い空間分解能で局所情報取得が可能

と考えている。これらを相補的に利用することで磁石内部での磁化反転挙動の本質に迫ることができるようになる。本報では磁石組織と磁区の間を、X 線顕微鏡と中性子小角散乱の両面から明らかにした例を紹介する。

3. 実験方法

3.1 走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM)

Nd-Fe-B 磁石は一方向に磁力を発生する性質（一軸異方性）があるため、減磁場による反転磁区の伝播挙動は、磁化容易軸（便宜上今後 c 軸と呼ぶ）に平行方向と垂直方向で異なることが知られている⁴⁾。このような性質の磁性体の磁区観察を行う場合、c 軸と平行方向の磁区観察はローレンツ顕微鏡、垂直方向は X 線顕微鏡が適しており、磁石内部における磁区構造の総合的な理解のためには両者からの結果を組み合わせるとより有益な議論が可能となる。本報では、c 軸と垂直方向の磁区観察を Fig. 2 に示す走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM: Scanning Transmission X-ray Microscope) を用いて行った^{5,6)}。この手法では、試料に含まれる元素固有の X 線吸収エネルギーに調整した放射光 X 線を入射すると、その元素が存在している場所で X 線の吸収が起こるため元素の存在位置を知ることが

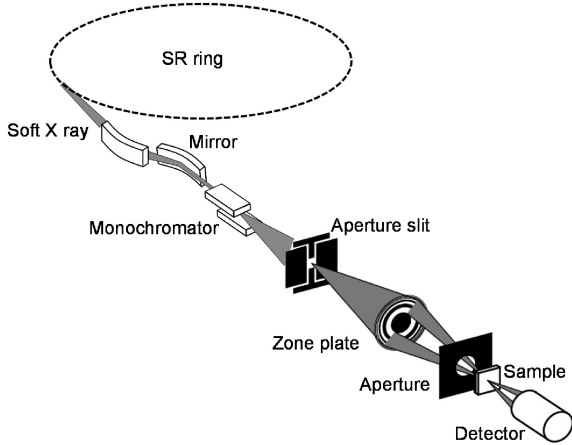


Fig. 2 Layout of STXM measurement

できる。STXM の空間分解能は X 線を集光させる素子であるゾンプレートの加工精度によって決まっており一般的に数十 nm とされている。また、入射光として円偏光 X 線を用いることで特定元素の磁気状態もわかる。これは、磁性に敏感な吸収端に合わせたエネルギーの X 線を用い、磁気モーメントの向きと円偏光の向きが平行の場合と反平行の場合で X 線の吸収量に差が出ることを利用したもので、磁気モーメントの向きが同じ領域 (= 磁区) の空間分布を知ることが可能である。また、STXM 用に加工した試料は透過電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscope) 観察が可能のため、同一の試料について TEM で結晶構造などの組織を観察し、STXM で試料の磁区構造、化学状態分布を観察することで、組織構造と磁区構造変化の相関を高分解能で調べられるという特長がある。

STXM による磁区観察は Paul Scherrer Institut (PSI) にある放射光施設スイスライトソース (SLS) の PoLux ビームライン⁷⁾にて行った。今回、高精度に加工したゾンプレートを X 線を試料上の 30 nm 程度の微小スポットへ集光し、試料を動かしながら X 線の吸収強度を試料位置ごとに検出することでマッピングを行った。Nd 磁化の空間分布を表すため、入射光として Nd M4 吸収端のエネルギーの円偏光 X 線を用い、左右円偏光を入射したときの吸収強度の差分の分布を取得した。また、海外施設でも利用できる持ち運び可能な試料への磁場印加機構を作製したことで、磁性材料の磁化反転挙動の観察が可能となった。

この STXM を用いて結晶粒径の違いによる反転挙動の違いを明らかにするため、液体急冷粉の熱間加工歪速度を変えることにより、結晶粒径を約 900 nm とした試料 (a)、結晶粒径を約 200 nm とした試料 (b) を作製した (Fig. 3)。また、外部磁場に対して安定な磁区構造とするためには、減磁場による反転単位を小さくすることが有効で、反転磁区同士の間を切ることで有効という仮説があったことから、反転磁区同士を分断するために結晶粒間に非磁性の粒界相を増やすことを狙い、試料 (b) に Nd-Cu 合金を

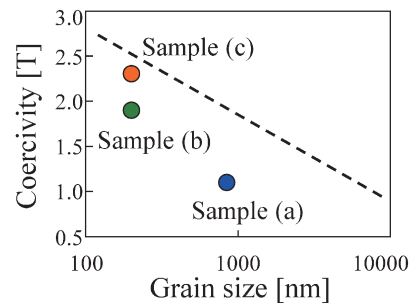


Fig. 3 (Color online) Relation between coercivity and mean grain size of (a) low strain rate hot deformation, (b) normal hot deformation, (c) normal hot deformation and Nd-Cu alloy infiltration.

接触させた状態で熱処理した試料(c)を作製した。この手法では低融点のNd-Cu合金を融解させることで、粒相へのNd-Cu合金の浸透が可能であり、主相の結晶粒径を変えずに結晶粒間の分断性を担保することが可能である⁴⁾。その結果、保磁力は1.9 Tから2.3 Tに増加した。

磁区観察のための試料薄片化には収束イオンビーム(FIB: Focused Ion Beam)を使用し、c軸と垂直方向を観察面とした厚さ約100 nmへと試料を加工した。磁石材料研究が始まった当初に比べて、FIBは大電流による加工速度アップ、低加速イオンによる表面ダメージ層除去ができるようになったことで、20 μm \times 20 μm 程の面積を均一に薄片化・清浄化できるようになったこともSTXMによる磁区反転分析を可能にした一因であると考えている。FIB加工後、c軸方向に+10 Tの磁場を印加することで着磁を行い、無磁場中で着磁状態の磁区観察を行った。その後、試料をSTXM装置から取り出し、c軸方向に-1 Tの磁場を印加することで減磁を行い、再び無磁場中で減磁状態の磁区観察を行った。

3.2 中性子小角散乱 (SANS)

中性子小角散乱(SANS: Small-Angle Neutron Scattering)による磁区分析はPSIにある中性子施設SINQ中のSANS-Iビームライン⁸⁾にて行った。SANSビームラインは線源から試料までの距離が50 m程度、試料から検出器までの距離が最大で20 m、検出器の入った管は直径約2 mである。さらに放射線遮蔽のためコンクリートのブロック壁がいたるところに設けられていることもあり、X線実験施設に比べてスケールが大きい。中性子は透過力が高いため、バルクのまま実験可能であり、磁石試料は0.5 mmの厚さのものを用いた。中性子ビームの照射エリアは直径8 mmで、今回の実験では非偏極中性子(中性子のスピンの揃っていないビーム)を用いて室温で実験を行った。実験は入射中性子ビームの方向は磁場方向(=試料のc軸方向)と垂直になる配置にて行った。試料と検出器間の距離は試料内部のどれくらいのサイズを知りたいかによって変えるものである。例えば、試料と検出器間距離を20 m近くにすると数百nmというスケールの情報が、距離を2 mとすると数十nm~数nmというスケールの情報が得られる。今回、磁区サイズの大きさである数百nmの情報を得るために検出器を18 mの位置に置くことによって0.02から0.2 nm^{-1} のq領域について測定した。磁化反転過程の測定のため+5~-5 Tの外部磁場を超電導磁石により印加した。測定は結晶粒と磁区サイズが検出可能な試料(b)と(c)について行った。

4. 結果

4.1 走査型透過X線顕微鏡(STXM)⁹⁾

Fig. 4に結晶粒径の異なる試料(a), (b)について磁区と組織の観察結果を示す。左側のNd磁区像は着磁後磁場を

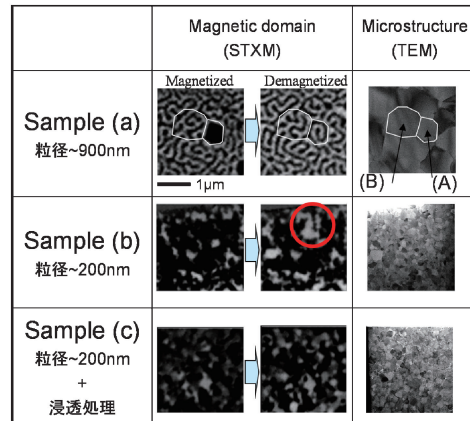


Fig. 4 (Color online) STXM (left) and TEM (right) images of corresponding samples in Fig. 3.

ゼロにした状態である。黒い部分は着磁(+)磁場と同じ向きの磁気モーメント、白い部分はそれと逆向きの磁気モーメントが存在していることを示す。試料(a)についてTEMから得られた結晶粒輪郭の一部を磁区像上に示した。粒径が比較的大きい試料(a)は、900 nm程度の結晶粒で構成され、これと同一視野の磁区像を見比べると、Fig. 4中試料(a)の(A)粒に示す中央右側に結晶粒に対応した黒い磁区像が見られる。減磁状態ではこの磁区は白と黒に分かれ、ひとつの結晶粒の中に複数の磁区が存在した「多磁区」状態に変化したことがわかる。一方、他の結晶粒(例えば試料(a)の(B)粒)では着磁状態でも多磁区状態を示し、磁区は複数の結晶粒をまたいでつながっている。(B)粒は結晶粒内において着磁状態と減磁状態で磁区模様に変化しており、試料(a)のような多磁区構造は、外部磁場に対して変化しやすく、減磁しやすいことを示している。

この多磁区構造に対して、試料(b)では結晶粒径とほぼ同じ大きさで磁化反転が生じる「単磁区」状態となることが確かめられた。これより、試料(a)では多磁区構造のため1.1 Tであった保磁力が、試料(b)では結晶粒の微細化により1.9 Tに増加したことは、単磁区化することによって磁区の外部磁場に対する安定性が増加したことによるものと考えられる。

主相の結晶粒が微細な試料(b)の反転磁区が単磁区であることがわかったが、Fig. 4の試料(b)の減磁状態にある円で取り囲んだ部分のように、広範囲で反転している部分が見られる。この部分は複数の反転磁区同士が磁氣的に結合しているために反転領域が大きい。これは、微細結晶粒であるにも関わらず結晶粒同士が磁氣的に結合し、あたかも大きな結晶粒径となったかのように、外部磁場に対して影響を受けやすい状態となっているものと考えられる。

Nd-Cu合金の浸透処理を行った試料(c)は結晶粒間の粒相相量が増加し、結晶粒同士がNd-Cu合金により分断さ

れたことが確かめられた。これにより Fig. 4 の試料(c) のような磁区が見られ、試料(b)で見られたような反転磁区同士の結合は少なく、減磁状態でも磁区同士の連結はほとんど見られなかった。このように、粒界相量を増やすことによって減磁場を受けたときの磁区同士の連結が抑制され、2.3 T という高保磁力化につながった理由であると考えられる。

4.2 中性子小角散乱 (SANS)¹⁰⁾

STXM で見えたようなナノ結晶磁石の磁区の連結性を定量評価するため、中性子小角散乱を実施した。熱間加工磁石と浸透処理をした試料の SANS パターンの磁場依存性を Fig. 5 に示す。試料の c 軸と印加磁場の方向は水平方向であり、中性子線はこれと垂直方向の配置である。SANS パターンは水平方向に伸びた異方的な形状をしている。これは電子顕微鏡観察からも知られているように⁴⁾ 熱間加工磁石を構成する c 軸方向が短い異方的な粒子形状に起因していると考えられる。SANS パターンは核散乱と磁気散乱の両方を含んでいるため、着磁状態の +5 T の強度を引き算することで、磁気散乱成分を抽出した。抽出した二次元散乱パターンを c 軸と垂直方向成分の強度積分を行い、その散乱ベクトルの大きさ q 依存性から c 軸と垂直方向の磁区の様子を知ることができる。

SANS 強度を q の関数として表す場合には様々なモデルが存在する。その中で我々は、複雑な磁区の結合状態を評価できる可能性のある、マイクロエマルジョンなどの定量化に用いられている Teubner-Strey モデル¹¹⁾ を適用し、孤立性パラメータ C_3 を導出した。この C_3 は磁区の相関長と周期の比に依存する量となっており、反転単位が小さく周期が短い場合は C_3 の値が大きくなると理解されている。 C_3 の値は Fig. 6 に示すように着磁方向への 1 T 印加状態で最大、保磁力状態で最少となった。熱間加工試

料と浸透試料を比較すると、 C_3 の値は浸透試料の方が明らかに大きく、磁区の孤立性が高いことを反映していると考えられる。また、保磁力状態では C_3 の値が最小となっており、磁区の孤立性が低く、磁区同士が複雑に連結し合っていると考えられる。これを X 線顕微鏡の結果と対応付けると、Fig. 7 のように浸透試料に見られる反転磁区の孤立性が高いと C_3 の値が大きく、反転磁区同士が連結していると C_3 の値が低い傾向が見られる。このことから、磁区の孤立性を評価する手法として SANS によって導出される C_3 値は有効と思われる。

これらの結果から、熱間加工試料では磁化反転が生じたあとに隣接する粒子を巻き込みながら反転が起こるのに対し、浸透試料では磁化反転が生じても離れた場所で次の反転が起こるような孤立的な反転モードとなっていることが考察された。浸透処理が組織に与える影響は粒界相量の増加と粒界相 Nd の高濃度化 (Fe 分率の低下) であることが確認されていることから、結晶粒間隔を広げることと結晶粒間の磁化を低下させることが、保磁力増加に有効であ

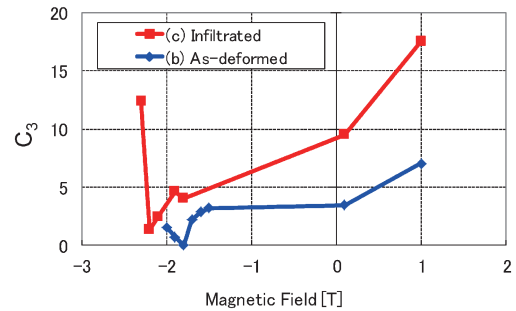


Fig. 6 (Color online) Magnetic field dependence of the order parameter (C_3) estimated by fitting the Teubner-Strey model for the samples (b) and (c).

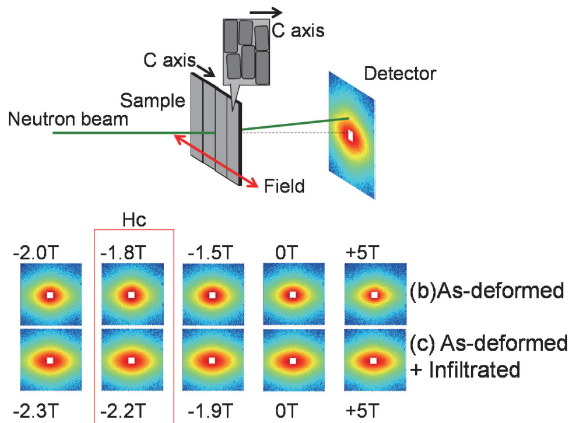


Fig. 5 (Color online) (Upper) Schematic of the SANS experimental setup. (Lower) SANS intensities of both samples at different magnetic fields. The magnetic field was applied along the horizontal direction, which was parallel to the c axis of the sample. Each coercive field is described as 'Hc'.

		(b)As-deformed	(c)As-deformed + infiltrated
H=0	SANS C_3	3.4	9.5
	STXM		
H~ -Hc	SANS C_3	0	1.4
	STXM		

Fig. 7 Relation between the order parameter (C_3) estimated from SANS and corresponding STXM images ($5 \times 5 \mu\text{m}$) for the samples (b) and (c). Upper rows are the remanent state and lower rows are the state in coercive field.

ることが示され、材料開発のための指針の一つが得られえる結果となった。

5. 残課題

今回、磁石を分析対象とした分析事例を紹介したが、その他の自動車用材料において低価格かつ高性能を両立する材料の実現のため、マルチプローブを使った分析に加え、開発期間短縮が期待できるマテリアルズインフォマティクス(MI)といったデータ駆動型材料開発が求められている。MIのためには大量のデータが必要であるが、大量のデータ生成のためには、材料合成から量子ビームによる測定・解析までの短時間化により、単位時間あたりの取得情報量を増やすことが課題である。課題解決には測定のための試料加工、測定までのリードタイム、計測、解析といった一連の時間を短縮していくことが必要である。特に計測については、本当に知りたい量と、その量の導出に必要な統計精度を明らかにするといったことだけでも、時間短縮の実現ができると思われる。これにより、個々の計測時間を短縮することができれば、ビームタイムに余裕が生まれるはずである。通常は申請から測定まで半年もかかっているが、この計測時間短縮により、突発的に発生した分析依頼に対応することもできるようになるだけでなく、採択課題数の増加も期待できる。今後競争力のある材料を開発し続けるためには、量子ビームが必要不可欠であるため、計測・解析法の発展は不可避と考えている。

6. まとめ

永久磁石内部の磁区構造観察手法、磁区孤立性の評価手法を確立した。これにより磁区の磁場変化と組織の対応付けが可能となった。永久磁石の高保磁力化のためには、結晶粒の微細化が有効で、微細化により外部磁場に対して安定な単磁区状態になったことを確かめた。しかしながら結晶粒の微細化のみでは予想保磁力を下回っており、磁区観察からその原因は反転磁区の連結にあることを示した。粒界相量を増やすNd-Cu合金の浸透処理により減磁状態における反転磁区同士の孤立化が確かめられた。これらの結果から、永久磁石の高保磁力化のためには、結晶粒の微細化と結晶同士の分断が必要であることが示された。

謝辞

本報の内容は、高エネルギー加速器研究機構の小野准教授、武市助教、斉藤研究員(現PSI)、上野研究員(現QST)、Paul Scherrer InstitutのDr. Raabe, Dr. Kohlbrecher, 株式会社豊田中央研究所の荒木様(現Diamond light source)、原田様、野崎様と、トヨタ自動車株式会社の真鍋、加藤、庄司との共同研究により得られたものです。関係者の方々にお礼申し上げます。また、この成

果の一部は、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)の委託事業未来開拓研究プログラム「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」の結果得られたものです。

余談

以上の成果を得るまでの経験を余談として記す。
試料：PSIでのSTXM実験にかかわる細かい部分として、試料の着磁がある。超電導磁石で10 T着磁した試料をSTXM分析すると、反転領域が多すぎる結果となっており一同がっかりしたこともあった(数百nmの磁区は放射光でしか見えないため、事前に着磁されたかどうかのチェックができなかった)。その原因は、超電導磁石で10 Tからゼロ磁場にする過程で、試料位置に逆向きの磁場がかかってしまったことであった。この経験から、パルス着磁器を選択した。パルス着磁器ではコンデンサに蓄電し、一気に大電流を流すことで瞬間的に10 Tを出すのだが、放電時にそれなりに大きい音がする。時間とお金をかけて加工した $20\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ (肉眼では見えない)の試料がなくなっていないか、いつもヒヤヒヤした。このように加工と着磁を無事に済ませた試料が、スイスまで形を保って存在しているか願うような気持ちで現地の顕微鏡で試料チェックをしていたことを思い出す。

装置：実際のSTXM測定では、試料を探すことに多くの時間が費やされていた感覚がある。試料位置をスキャンさせながら、試料っぽいところに当たるまで探し続けるのだが、これは地味に時間がかかる。どうしても見つからない時は試料が本当に付いているのかと思い、装置の真空を破っての確認が必要だった。また、取得画像の端の方は画像が流れる(縦横に引き伸ばされたような状態)現象が見られることがあり、場所によって試料のスキャン量が異なることが原因だった。これは致命的な問題で磁場印加前後の変化を詳細に比較することができないことから、時間をかけたデータも使えないものとなってしまった。これらの問題はKEK武市さんがPFに導入したSTXM¹²⁾では完全に解消されており、大変使いやすいSTXM装置となっている。

実験文化：瞬間的に働き、よく休むというスイスの文化なのか、ビームラインサイエンティストの方が深夜に働くことはない。不具合があったとしても、自宅からリモートで対処できる仕組みが整っている。また、休憩を重んじており、実験室ごとにあるコーヒーマシンを使って皆コーヒブレイクをしていた。私がよく見るスタイルは、コーヒ+雑談(30分くらい)を朝の出動後、10時くらい、昼食後、15時くらいに欠かさずに行い、だいたい夕方5時くらいには仕事を切り上げる。それでいてもしっかり成果を出しているのだから、この国の幸せ指数も高いことが納得できる。よりよい成果創出のためにも、日本の実験施設にもせめてコーヒーマシンだけでも設置をお願いできないか

と思っている。

PSI での休憩時間には、実験場にある液体窒素とドリルを使って、即席のアイスクリームを作ることもしばしば。液体窒素や実験場に放置されていたバケツに不純物がないかどうか非常に気になるころではあるが、バケツにスイスの牛乳と液体窒素を入れ、電動ドリルの先端を変えたもので混ぜる。フレーバーはクッキーや抹茶、生姜など様々。バケツ一杯のアイスクリームがすぐに出来上がり、近くの人たちに振る舞われる。一緒に作り、食すことでよい関係になれた気がした。たかだか20-30分だが、時間を成果よりも人のつながりのために使うのも悪くないと思った。

食事：PSI では休日の食料をどう確保するかという問題も付きまっていた。出張に行く荷物のほとんどは、レトルトごはんとかレーで、同行者の間でごはんの米の産地やカレーの種類を披露し合うことも小さな楽しみだった。そんなある日、PSI 宿舎のダイニングで食事していると、手作りの肉じゃがのようなものを巨大なタッパーに入れて食べている日本人がいた。今回の企画者の本田さんである。毎日カレーライスを食べている僕たちを横目に、おいしそうな手作り和食を食べているので、勝手にライバル視するようになっていた。この肉じゃが対カレーの無言の戦いはしばらく続き、PSI ではお互いに言葉を交わすことはなかった。そんな本田さん、今では一緒に仕事をさせていただいている。初対面の方との接し方で、初めからライバル視

するのも、長い目で見るとそんなに悪くないということを学べたことに感謝。

参考文献

- 1) K. Hono and H. Sepehri-Amin: Scripta Materialia **67**, 530 (2012).
- 2) S. Bance *et al.*: J. Appl. Phys. **116**, 233903 (2014).
- 3) R. Yamaguchi *et al.*: IBM J. Res. and Dev. **55**, 12 (2011).
- 4) H. Sepehri-Amin *et al.*: Acta Materialia **61**, 6622 (2013).
- 5) K. Ono *et al.*: IEEE Trans. Mag. **47**, 2672 (2011).
- 6) 小野寛太 他：まてりあ **50**, 379 (2011).
- 7) J. Raabe *et al.*: Rev. Sci. Instrum. **79**, 113704 (2008).
- 8) V. K. Aswal *et al.*: Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **586**, 86 (2008).
- 9) 矢野正雄 他：自動車技術 **69**, 56 (2015).
- 10) M. Yano *et al.*: J. Appl. Phys. **115**, 17A730 (2014).
- 11) M. Teubner and R. Strey: J. Chem. Phys. **87**, 3195 (1987).
- 12) 武市泰男：放射光 **29**, 282 (2016).

著者紹介

矢野正雄

トヨタ自動車株式会社

E-mail: masao_yano_aa@mail.toyota.co.jp

専門：永久磁石、分光、回折、散乱

【略歴】

2008年大阪大学基礎工学研究科物質創成専攻卒業。2008年よりトヨタ自動車株式会社。

Clarifying coercivity mechanism on permanent magnet by quantum beam

Masao YANO Advanced Material Engineering Div., Toyota Motor Corporation
1200, Mishuku, Susono, Shizuoka, 410-1193, Japan

Abstract Both the local analysis by STXM and the averaged analysis by SANS have been developed. The results indicated that grain size and grain isolation strongly affect domain structure and coercivity of permanent magnets.