

極限状態(磁場・静水圧・応力)下の材料特性



研究室紹介

掛下知行*, 福田 隆**, 寺井智之***

Properties of materials under extreme conditions
(magnetic field, hydrostatic pressure and stress)

Key Words : magnetic field, hydrostatic pressure, phase transformation

我々の研究室の研究内容は極限状態下での材料特性に関するものである。すなわち極端に大きな外場(温度・応力・静水圧・磁場・電場など)を付加して、物質の性質・構造相変態・磁気転移等がどのように変化するかを調べている。その結果を学問的に体系化するとともにそれらの外場に応答する相変態・相転移を利用した新しい材料の創製を目指している。

その具体例として、近年行っている研究内容の幾つかを以下に紹介する。

1) 変位型構造相変態に及ぼす強磁場および高静水圧効果

変位型構造相変態、特に金属・合金、セラミックスで見られるマルテンサイト変態は、構造材料のみならず機能性材料においても現在広く利用されている。マルテンサイト変態が関与したこれらの材料は、今後、宇宙・海底・地底などの極端な条件下で使用される可能性があるがこれら極限状態下(強磁場・極低温・高応力・超真空など)での変態挙動に関する研究は極めて少ない。

*Tomoyuki KAKESHITA

1952年4月生
1978年北海道大学大学院理学研究科物理学専攻修士課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科・マテリアル生産科学専攻、教授、理学博士、材料物性学
TEL 06-6879-7482
FAX 06-6879-7485
E-mail: kakeshita@mat.eng.osaka-u.ac.jp



**Takashi FUKUDA

1964年3月生
1988年大阪大学大学院工学研究科金属材料工学専攻博士前期課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科・マテリアル生産科学専攻、講師、博士(工学)、材料物性学
TEL 06-6879-7483
FAX 06-6879-7522
E-mail: fukuda@mat.eng.osaka-u.ac.jp



***Tomoyuki TERAI

1972年11月生
2001年大阪大学大学院工学研究科マテリアル科学専攻博士後期課程修了
現在、大阪大学大学院工学研究科・マテリアル生産科学専攻、助手、博士(工学)、材料物性学
TEL 06-6879-7484
FAX 06-6879-7522
E-mail: terai@mat.eng.osaka-u.ac.jp

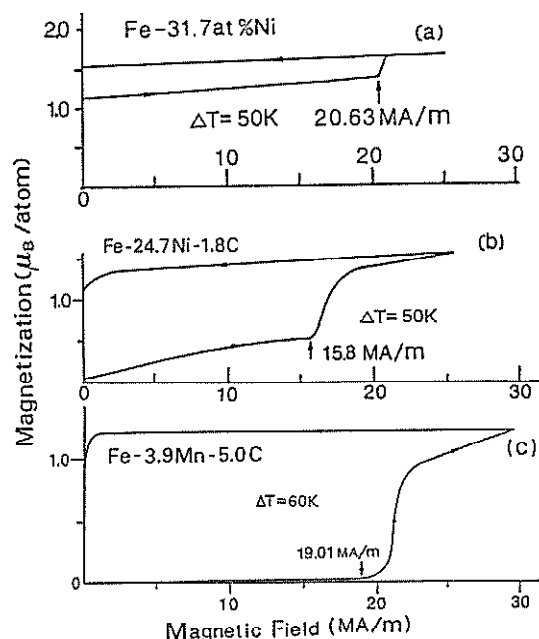


図1 鉄基合金における磁場誘起マルテンサイト変態。変態温度より ΔT だけ高い温度において磁場を印加。矢印で示した磁場でマルテンサイトが誘起される。

本研究室では、外場として強磁場および超高静水圧を用いて、これら外場のマルテンサイト変態に及ぼす影響について系統的に調べている。その結果、磁場ならびに静水圧はマルテンサイト変態温度に著しい影響を与えることが解った。例えば、図1は鉄基合金のマルテンサイト変態温度より ΔT だけ高い温度で磁場を印加した際の磁化曲線であり、図中に矢印で示した磁場でマルテンサイトが誘起されていることを示している。この値からわかるように磁場により鉄基合金のマルテンサイト変態温度は著しく上昇する。一方、鉄基合金に静水圧を加えると変態温度は低下し、Fe-Ni合金の場合、約1.5 GPaの静水圧で約100 Kも降下する。これらの実験事実を考慮して、変態開始温度の磁場依存性ならびに静水圧依存性を決める式を新たに導出すると同時に、この変態の核生成・成長と関連する変態のカイネティクスに関して、統計熱力学的手法に基づいた新しい理論を構築した。詳細は解説記事[1-3]を参照されたい。

2) 強磁性形状記憶合金における磁場誘起巨大歪

物質の形状は、温度・応力はもちろんのこと磁場により顕著に変化する。特に、磁場による歪は良く知られておりその機構として、スピン・軌道相互作用を通じた格子の弾性歪と磁気転移による体積磁歪がある。ところが、この機構とは全く異なる結晶学的ドメイン(バリエント)の再配列による磁場誘起歪が1996年にNi-Mn-Ga強磁性形状記憶合金において見出された。この合金における磁場誘起歪の大きさは従来の磁歪材料に比べ1桁から2桁大きく、その応用に関心が寄せられている。

本研究室では、Ni-Mn-Ga系以外で数%もの磁場誘起歪が Fe_3Pt ならびにFe-Pd合金において発現可能であることを世界に先駆けて見出した。図2はこれら3種の強磁性形状記憶合金単結晶における磁場誘起

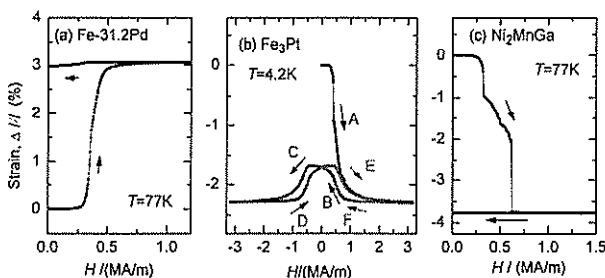


図2 3種の強磁性形状記憶合金における磁場誘起歪。磁場方向に平行に歪を測定している。

歪の例である。また、本研究室では、強磁性形状記憶合金について系統的な研究を行い、磁場によりバリエント再配列が起きるために必要な条件を明確に示した。詳細は解説記事[4]を参照されたい。

3) 拡散変態と組織形成に及ぼす磁場の影響

磁場は、上記(1),(2)で述べたようにマルテンサイト変態温度やマルテンサイト組織に影響する。これらは、原子の拡散が関与しない過程であるが、磁場は、原子の拡散が関与した固相変態にも影響を及ぼすと期待できる。本研究室では、10T級の超伝導マグネットに熱処理炉を組み込み、磁場下での拡散変態とその際に生成する組織に及ぼす磁場の影響を調べている。これまでに磁場によりCoPtの組織が極めて良く制御できることを見出した。CoPtは高温では不規則A1型構造をとり、低温では規則L1₀型構造をとる。L1₀相には3種のバリエントが生成するが、磁場下で熱処理を施すと磁場方向を磁化容易軸とするバリエントのみを生成させることが可能であることを見出した。また、純鉄の相平衡温度に及ぼす磁場効果についても調べている。

4) マンガン酸化物の電気的・磁氣的性質

希土類の一部をアルカリ土類金属イオンに置換したペロブスカイト型マンガン酸化物 $\text{R}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ (R:希土類イオン, Aアルカリ土類金属イオン)は電荷、スピン、軌道の自由度と格子の自由度すなわち結晶構造の間に強い相関がある。本研究室では、置換する希土類イオンおよびアルカリ土類金属イオンのイオン半径を変えることにより結晶構造と電気的磁氣的性質の関係を系統的に調査し、ペロブスカイト型マンガン酸化物の電気的磁氣的性質がイオン半径から求まる公差因子 t とイオン半径分布の分散 σ^2 で整理できることを示した。また、超巨大磁気抵抗と呼ばれる大きな負の磁気抵抗に関して多結晶体の磁気抵抗と粒径の関係を調べ、この磁気抵抗が粒界における伝導電子のトンネルによって説明できることを示した。近年は電荷整列相転移と呼ばれるマンガンイオンの e_g 軌道電子が規則的に整列する現象について結晶学的な微細組織と磁場の関係および磁性・電気伝導との関係を調べている。さらに層状ペロブスカイト型マンガン酸化物の層状構造と磁気構造ならびに電気伝導の関係についても研究を行っている。

5) Dy系金属間化合物の磁気転移

近年、希土類と遷移金属からなる金属間化合物は、

新しい機能材料, 特に磁性材料ならびに磁気冷凍材料として大きく期待されている. その例として, 強力な磁石合金のSmCo₅およびNd₂Fe₁₄Bが挙げられる. その特性は, f元素とd元素を組み合わせることにより始めて発現する. したがって, f電子とd電子あるいはs電子との相関を明瞭にすることが重要課題となっている. 本研究室では, この相関についての知見を得るために, Dy系金属間化合物, 特にDyCuとDyAgの磁気特性を調べている. これらの基底状態は3つの<110>を伝播ベクトルとし, 磁気モーメントが<111>を向いたtriple-qと呼ばれる特異な磁気構造であり, 図3に示すように強磁場印加により多段階のメタ磁性転移を示す. その転移磁場を磁化測定から求め, 磁気構造を中性子回折により調べることにより, 磁気的相互作用についての新しい情報を得ている.

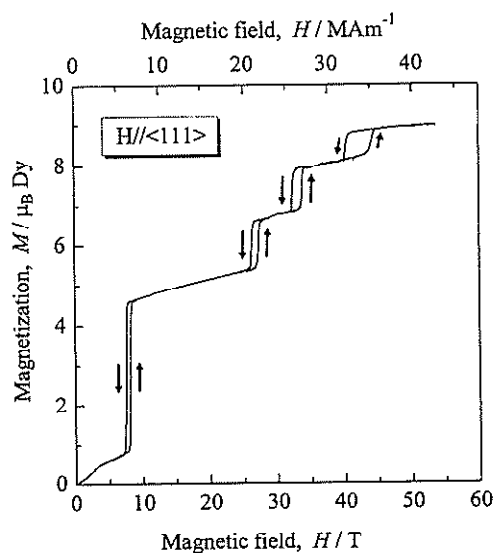


図3 DyCuの多段階メタ磁性

6) 相安定性と電子構造の関係

材料科学の分野で対象となる相変態あるいは相転移の起源ならびに相安定性を電子論的な立場から理解することは非常に重要である. しかしながら, 現段階では相変態の起源ならびに相安定性についての解釈は電子論的な立場でなく, むしろ現象論的な立場からのものが多い. 本研究室では, Ti-Ni系, Fe-Pt系, Fe-Pd系, Au-Cd系合金の相安定性と電子状態の関係を明らかにするために第一原理計算からのアプローチをしている.

最後に, 当研究室における研究は, 大阪大学極限科学研究センター, 大阪大学超高压電子顕微鏡センター, 大阪大学低温センター, 大阪大学工作センターのスタッフの皆様をはじめとして, 多くの方々の協力の上に成り立っています. 日頃より研究を支えていただいている皆様に感謝いたします.

参考文献

- [1] 掛下知行, 佐分利敏雄, 金道浩一, 遠藤将一: 「マルテンサイト変態のカイネティックス」日本物理学会誌51(1996)498-505.
- [2] 掛下知行, 福田 隆: 「鉄基合金のマルテンサイト変態に及ぼす磁場効果」鉄と鋼91(2005)363-375.
- [3] T.Kakeshita, T.Saburi, K.Kindo and S.Endo: "Martensitic transformation in some ferrous and non-ferrous alloys under magnetic field and hydrostatic pressure" Phase Transitions, 70(1999) 65-113.
- [4] 福田 隆, 掛下知行, 竹内徹也: 「強磁性形状記憶合金における磁場によるマルテンサイトバリヤントの再配列と巨大歪」まてりあ, 44(2005) 285-291.

この記事をお読みにになり, 著者の研究室の訪問見学をご希望の方は, 当協会事務局へご連絡ください.

事務局で著者と日程を調整して, お知らせいたします.

申し込み期限: 本誌発行から2ヵ月後の月末日

申し込み先: 生産技術振興協会 tel 06-6944-0604 E-mail seisan@maple.ocn.ne.jp

必要事項: お名前, ご所属, 希望日時(選択の幅をもたせてください), 複数人の場合はそれぞれのお名前, ご所属, 代表者の連絡先

著者の都合でご希望に添えない場合もありますので, 予めご了承ください.