

機械工学科

キーワード

形状記憶材料、鉄鋼材料、磁性（磁石）材料、超伝導材料、組織制御、構造機能の物性、電子論、第一原理計算



教授 / 理学博士

掛下 知行

Tomoyuki Kakeshita

学歴

北海道大学 理学部 物理学科、北海道大学 大学院 理学研究科 物理学専攻 修士課程、大阪大学 大学院 基礎工学研究科 物理系専攻 博士課程中退

経歴

大阪大学助手、助教/准教授、大阪大学教授、大阪大学 教育研究評議員、工学部長・工学研究科長、経営協議会委員、大阪大学名誉教授/金属学会会長 金属学会賞(2018)

相談・講演・共同研究に応じられるテーマ

構造・機能材料に関する基礎から応用(作製も含む)の講演と技術相談、X線・中性子線による結晶学と動的解析ならびに電子顕微鏡、SEM等に関する解析評価

メールアドレス

kakesita@fukui-ut.ac.jp



主な研究と特徴

「変位型構造相転移に及ぼす強磁場および超高静水圧効果」

変位型構造相転移、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、原子の拡散を伴わずにその連携的な運動により引き起こされる典型的な一次の構造相転移である。この変態は、構造材料のみならず機能性材料において現在広く利用されていることもあり、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、これら極限環境下（強磁場、極低温、高圧力、超真空など）での変態挙動に関する研究は極めて少ない。

本研究では、外場として、強磁場（60T）および超高静水圧（100GPa）を用いて、これらが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開始温度に著しい影響を与えることがわかった。たとえば、32MA/m（40T）の磁場印加はFe-31.7at%Ni合金のマルテンサイト変態温度を約75Kも上昇させ（図1）、逆にFe-29.9at%Ni合金に1.5GPaの圧力を負荷すると、マルテンサイト変態温度を100K程度も下降させる（図2）。これら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圧力依存性を決める式を新たに導出するとともに、この変態の核生成・成長と関連する変態のkineticsを説明できる統計熱力学的手法に基づいた新しい理論を構築した。また、磁場は上述した変態温度だけではなく、マルテンサイト晶のマクロな分布に影響を及ぼすことを見出した。このことは、組織が磁場で制御されることを示唆している。その組織のフラクタル次元は1.8次元となり、拡散変態の1.6次元とは異なっている。さらに、磁場印加中だけマルテンサイトが生成する“磁気弾性マルテンサイト変態”の存在を初めて見出すとともにFe基強磁性形状記憶合金において、極めて低い応力で数%もの巨大ひずみが見られることを見出した。

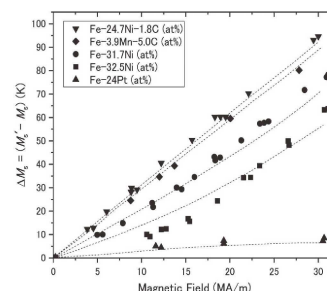


図1. Fe基合金におけるマルテンサイト変態開始温度と臨界磁場の関係。点線は計算値。

「Dy 系金属間化合物の磁気転移」

近年、希土類金属と遷移金属からなる金属間化合物は、新しい機能性材料、特に磁性材料ならびに磁気冷凍材料として大きな期待が寄せられている。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。これら優れた特性は、f元素とd元素を組み合わせで初めて発現する。すなわち、f電子とd電子の相関がおおのこの元素の特性を最大限、あるいはそれ以上引き出しているといっても過言ではない。したがって、機能性発現機構に関連するf電子とd電子の相関を明瞭にすることが今後の重要な課題である。

本研究では、この相関に関する知見を得るためDy系金属間化合物、特に、DyCuとDyAgの磁気特性を詳細に調査している。その結果以下の知見を得ている。(1) DyCuの基底磁気構造は<111>のtriple-qである。この磁気状態に強磁場を印加すると多段のメタ磁性転移が観測される。(2) 常磁性状態のC₄₄はT_N点近傍でソフト化するが、C_BとC'はソフト化しない。このことは、四極子モーメントが、Γ₅対称性を有するO_{yz}, O_{zx}とO_{xy}であることを示している。(3) メタ磁性転移磁場に対して平均磁場近似を用いて解析した結果、四極子相互作用係数は、K(0)・|Q₂|/k_B = -16.8 Kと評価された。また、K(0)が負であることから、四極子相互作用が、Γ₅対称性を有する反強磁性的な相互作用であることがわかった。

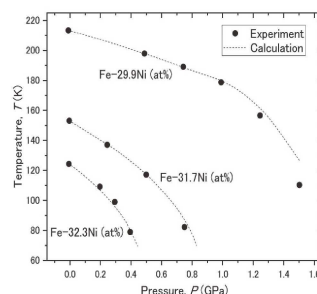


図2. Fe-Ni合金におけるMs温度の静水圧依存性。●は測定値、点線は計算値。

今後の展望

以上に述べたように、磁場印加ならびに静水圧負荷は、相変態に著しく影響を与える。すなわち、それらは、相平衡、生成相の組織ならびに変態のカイネティクスに影響を与える。これらの影響を考慮すると、磁場下および静水圧下で相変態を調査することは、相変態の基礎的な問題である核生成・成長ならびに変態のカイネティクスと変態起源の問題を明確にする有効的な手段となる。

また、磁場ならびに静水圧を生産プロセスに用いると、高い臨界温度（T_c）を有する超伝導材料や高いキュリー温度（T_c）と保持力を有する磁石材料などの新規機能性材料の創製とともに、より高強度でより高じん性を有する構造材料の創製が期待できる。さらに、今後、宇宙、海底、地底などの極端な条件下で使用される材料がこれまで以上に望まれるため、強磁場ならびに高圧力下の材料特性の調査は、その材料開発に必要な情報を与えることにもなる。

上述した構造相転移ならびに磁気転移に関する基礎研究および強磁場ならびに高静水圧付加により構造相転移ならびに磁気転移を制御した新機能性材料・構造材料の開発を、今後の研究展望にする。

所属学会

公益財団法人 日本金属学会会員	(昭和53年～現在まで)
一般社団法人 日本物理学会会員	(昭和53年～現在まで)
一般社団法人 日本鉄鋼協会会員	(平成5年～現在まで)
Materials Research Society(MRS)会員	(平成4年～現在まで)
The Minerals & Materials Society(TMS)会員	(平成6年～現在まで)
日本高圧力学会会員	(平成17年9月～現在まで)

主要論文・著書

T. Kakeshita, T. Saburi, and K. Shimizu
 "Effects of Hydrostatic Pressure and Magnetic Field on Martensitic Transformations"
 Materials Science and Engineering, **A273-275** (1999) 21-39.

Kakeshita, T. Terai, T. Sonomura, H. Yasui, M. Kida, T. and Hagiwara, M.
 "Magnetization processes in rare earth intermetallic compound DyCu"
 Physica B: Condensed Matter, **420** (2013) 32-35.

「理工系の量子力学」 掛下 知行、糟谷 正、中谷 亮一著 大阪大学出版会 (2018年 ISBN978-4-87259-608-3C3042)