

材料物性学講座 構造物性学分野

前任教授である田村剛三郎先生が2008年3月末に定年退職され、平成20(2008)年度の大半は、松田のみが職員として在籍して研究・教育活動を行なった。その研究成果は下記の通りである。

放射光コンプトン散乱測定による低密度 多体電子系の相挙動解明

融点付近の金属液体は、典型的な金属の性質を示し、自由電子ガス近似がよく成り立つ。一方、気体は絶縁性である。このように金属における液体から気体への一次相転移では、金属から絶縁体への電子的性質の転移も同時に起こる。よく知られているように液体と気体の共存線は臨界点で消失する。そこで臨界点を迂回するように温度圧力を変化させると、融点近くの液体から希薄な気体へと、一次相転移を起こすことなく連続的に移り変わることが可能となる。当研究室では、金属の連続転移を実現し、遍歴から局在に至る電子状態の変化に着目して研究を進めている。特に、金属元素の中で最も自由電子近似が成り立つアルカリ金属を対象とし、SPring-8における放射光コンプトン散乱測定を実施している。コンプトン散乱測定は電子の運動量分布を与える強力な手段であり、近年、大型放射光施設の登場により高輝度 X線を用いることが可能となったことから、極端条件下におけるコンプトン散乱測定の精度も格段に向上してきている。

一般に、伝導電子密度の低下に伴い、電子間の相互作用(交換相関)の影響が強く現れる。このような相互作用の効果は、伝導電子の運動量分布にも反映する。コンプトンプロファイルのフェルミ運動量付近には、電子間相互作用を反映して特異なプロファイルが現れる。このプロファイルを解析することにより、低密度の多体電子系の挙動について知見を得ることが可能となる。昨年度は、流体ルビジウムを対象として1100℃までの散乱実験を実施することに成功し、伝導電子の運動量密度分布を導出することができた。プロファイルの解析により求まるフェルミ運動量は、電子数密度の1/3に比例して低下する傾向を示しており、定性的には基底状態の電子ガス相挙動を示している。今後さらに低密度領域で測定を行う予定であるが、そのためには必然的に高温高压条件下の実現が必須となるため、現在、その技術開発を遂行中である。

2009年3月に、辻が教授として着任した。松田は2009年4月より、京都大学理学研究科物理学・宇宙物理学専攻の准教授に転出し、従来の研究をさらに発展させて行く予定である。2009年4月に、寺田が助教として着任した。構造物性学分野では、新たに「構造用金属材料の組織制御と力学特性の解明」を主テーマとして研究活動を推進して行く。鉄鋼材料、アルミニウム合金、チタン合金、銅合金等、我々の社会ではその基盤を支えるために、様々な金属材料が多量に用いられている。この多くは、モノの形を保ったり、重量を支えたりという、力学的な機能を果たしている。我々は、構造用金属材料のナノ/マイクロ組織・構造とその形成機構、そして力学特性を発現する基本原理と組織との相関に関する基礎研究を行なう。当面の個別テーマは以下の通りである。

ナノ組織を有するバルク金属材料の創製

我々が用いているバルク金属材料のほとんどは、数多

くの結晶から構成された多結晶体である。従来の組織制御法では、その平均結晶粒径をせいぜい10 μm 程度までしか微細化することができなかった。これに対し、対数相当ひずみ4~5以上の極めて大きな塑性変形を施す巨大ひずみ加工プロセスを利用すると、結晶粒径を数十~数百nmまで超微細化できることが見出され大変注目されている。我々は、ARB(accumulative roll-bonding)というバルク材に適用可能な巨大ひずみプロセスを独自に開発し、超微細粒・ナノ組織を創製する手法を確立して、鉄、銅、アルミニウム、チタンなどの純金属材料や鋼、アルミ合金、銅合金等の種々の合金材料の組織の超微細化に成功している。また、鋼のマルテンサイトを加工熱処理の出発組織として用いることなどにより、大ひずみを必要とせずに超微細粒組織を得ることができることも見出している。さらに、異種金属の組み合わせに巨大ひずみ加工を施せば、固相状態で合金化が進むバルクメカニカルアロイング(MA)が生じ、金属ガラスなどの非平衡相が形成されることも明らかになっている。

ナノ組織金属の特異な力学物性

結晶粒径1 μm 以下の超微細粒金属やナノ結晶金属は、粒径数十 μm 以上の従来金属とは大きく異なる力学特性を示す。例えば、超微細粒金属は、従来粒径材の4倍にも達する高強度を有する。こうした高強度化には合金元素の添加を必要としないことから、環境負荷軽減の観点からもナノ組織金属は次世代の高強度材料として大いに期待されている。そのほかにも、ナノ組織金属は、純アルミニウムでも降伏点降下現象が現れたり Extra Hardening や焼鈍硬化・加工軟化現象を繰り返すなど、特異な力学物性を発現することが明らかとなっている。我々の研究室では、こうしたナノ組織金属材料の興味深い力学物性の発現原理を明らかにするための基礎研究に取り組んでいる。なお、これらの「超微細粒金属材料に関する研究」に対して、辻は2009年3月に第5回日本学術振興会賞を受賞した。

相変態・析出・再結晶現象の基礎学理の追及

金属材料の力学特性は、そのマイクロ組織に強く支配される。金属のマイクロ組織は、多くの場合、相変態・析出・再結晶といった固相反応により形成される。しかし、種々の相変態・析出・再結晶現象には、数多くの未解明な問題が残されている。我々は、これらの解明を目指し、組織学的・結晶学的アプローチから組織形成原理を明らかにし、力学物性へのつながりを見出すための基礎研究を行なっている。

材料のマイクロ/マクロ局所変形挙動の定量解析

金属結晶の塑性変形は、本質的に不均一である。しかし、そうした不均一な変形が積み重なって、材料の平均的な強度や延性を決定している。また、変形の不均一性は、結晶の構造やマイクロ組織と強く相関していると考えられる。しかしながら、一般的な力学試験では、平均的な強度や延性しか評価することができない。我々は、引張試験時の二方向その場外形変化測定システムや、光学的全視野ひずみ解析システムなどの局所変形を定量評価可能なシステムを構築した上で、変形の不均一性とマクロな力学物性との関わりを基礎的に明らかにすることを目的とした実験研究を行なっている。

教授 辻 伸泰(2009年3月着任)

助教 松田 和博

(2009年4月より京都大学理学研究科准教授)

助教 寺田 大将(2009年4月着任)