構造用金属材料の特徴と重要課題および先端的研究動向について

京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻
辻 伸泰

構造材料とは、構造物の形を保ち、重量を支え、機械的動作を保証するために、その力学的機能を最も重要視する材料群であり、現代社会の維持と発展および安全性の保証のために不可欠である。三大工業材料である金属、セラミクス、ポリマーのうち、金属のみが高い強度と大きな展延性・靭性を両立することができ、実際に実用金属材料の大部分は構造材料として用いられている。また金属材料は様々なスケールのミクロ組織（microstructures）を有するが、加工や熱処理を通じてミクロ組織を変化させることができ、それに伴い同一の化学組成でも特性を幅広く制御できるという特徴がある。近年、輸送機器の燃費向上や地球温暖化ガス排出量の削減を目指した軽量化、さらには建築・構造物の巨大化などを背景に、構造用金属材料には従来の強度レベルを凌駕する超高強度が要求されるようになってきている。同時に、金属材料には部材を作製する際の加工性や、事故・災害時にエネルギーを吸収するための靭性も必要とされる。しかし金属を含む材料一般においては、強度を高めると延性・靭性は低下するというトレード・オフ関係が生じる。如何にして超高強度と高延性・靭性を両立させるのかという点が、現在の構造用金属材料における最重要課題の一つである。こうした中、先進高強度鋼、バルクナノメタル（超微細結晶粒バルク多結晶金属材料）やハイエントロピー合金といった新しい金属材料も開拓され、世界中で活発な研究が展開されている。

材料の力学特性は、非常に複雑な現象である。すなわち、変形は材料に力を加えた際にそれへの応答として生じる動的な現象であり、力学場中の材料の構造は無荷重下での静的な構造とは異なることから、種々の機能特性とは異なり、材料の力学特性を（静的な）物性から予測することは難しい。金属結晶の塑性変形機構としては、転位（dislocation）のすべり運動、変形双晶、マルテンサイト変態などが知られているが、転位、双晶、マルテンサイトなどは、金属結晶中で膨大な数で発生して互いに力学的相互作用を生じ、またその振る舞いは上述のミクロ組織によっても異なる。すなわち、構造材料の力学物性は、古くからある重要研究課題である一方、莫大な未開拓領域を残している。近年、コンピューターの高性能化に支えられた計算材料科学と材料解析手法の発達がめざましく、材料科学・材料工学における先端研究を大きく加速している。放射光 X 線や中性子線などの量子ビームによる材料解析は、先端材料解析手法の中でも重要な位置を占めている。ここでは、局所的な材料の構造、組成や結合といったものの測定に加え、力学場中での材料の動的な振舞いの解析も期待されている。本講演では、発表者自身が近年行ってきた構造用金属材料の変形中その場回折実験の成果なども織り交ぜ、構造材料研究のさらなる発展の可能性を議論したい。