


変形機構の高次制御による超高強度・高延性金属の創成：実験＋計算二刀流人材の育成

	研究代表者	京都大学・大学院工学研究科・教授 辻 伸泰 (つじ のぶひろ) 研究者番号：30263213
	研究課題情報	課題番号：23K20037 研究期間：2023年度～2029年度 キーワード：金属、超高強度、ナノ組織制御、変形機構、変形理論、原子シミュレーション

この国際共同研究の重要性・面白さは何か（研究の目的と意義）

●本研究の背景と目的

金属は、工業材料の中で唯一、高い強度（つよさ）と大きな延性・靱性（ねばさ）を併せ持つことから、力学機能を担う安全な構造材料として社会で幅広く用いられている。建築構造物の巨大化やカーボンニュートラルを目指した輸送機器の軽量化などを背景に、金属には従来の強度レベルをはるかに上回る超高強度化が近年求められている（図1）。一方で、災害・事故時の安全性を確保するために「ねばさ」も重要であるが、一般にあらゆる材料は高強度化するほど延性・靱性が低下し、「つよさ」と「ねばさ」の両立は挑戦的な課題である。本研究では、金属・合金のナノ組織化を通じて超高強度と高延性・靱性の両立を実現することを目的とする。

●本研究の新しさ面白さ

金属材料は、原子が金属結合をして規則正しく配列した結晶構造を有する。しかし金属は原子が完全無欠に並んだ単一の結晶を構成しているわけではなく、種々の格子欠陥により構成される、数nm（ナノメートル＝0.000000001メートル）から数十mmに及ぶスケールの様々な内部組織（マイクロストラクチャ）を有する。研究代表者は、マイクロストラクチャの最も基本的な単位である結晶粒のサイズを1μm（マイクロメートル＝1000nm）以下に超微細化したバルクナノメタル（図2）に関する研究を長年行ってきた。そして、ある種の金属・合金のバルクナノメタルでは、高強度と大きな延性・靱性の両立が例外的に実現されることを見出した。これらバルクナノメタルでは、金属における通常の変形機構である転位すべりが抑制され、普通は生じない他の変形機構（双晶変形、マルテンサイト変態など）が活性化されることも分かってきた。こうした新しい理解をもとに、本研究ではナノ組織化した金属の変形中に異なる変形機構（素過程を）順次活性化することによって、「つよさ」と「ねばさ」を両立した夢の構造用金属材料を実現する独自の戦略（図3）を立てた。バルクナノメタルは従来金属より高い強度を示すとはいえ、理論的な理想強度の10分の1程度にまだとどまっている。世界をリードする研究者からなる国際チームが最先端の実験技術と計算手法を用いて変形機構の活性化や強度・延性への影響などを原子スケールで解明し、理想強度に迫る超高強度と高延性・靱性を両立した金属・合金の設計原理を獲得することを目標として、本研究を遂行する。



図1 構造物の巨大化、軽量化と安全性確保の要求

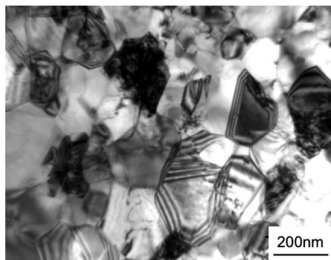


図2 バルクナノメタルの組織例（透過電子顕微鏡像）

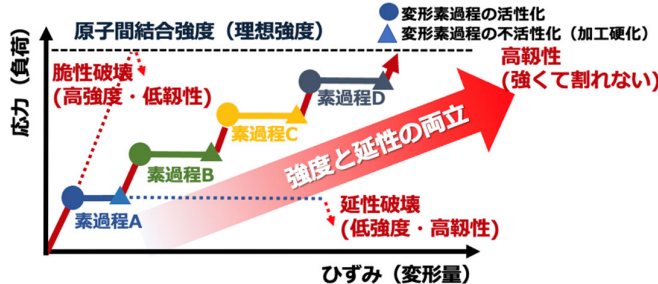


図3 超高強度と高延性・靱性両立の戦略

誰がこの国際共同研究を行うのか（優れたグループによる国際共同研究体制）

本計画の国際共同研究体制を図4に示す。京都大学・辻研究室、大阪大学・尾方研究室、米国・カリフォルニア大学バークレイ校・A.Minor研究室、米国・マサチューセッツ工科大学・J.Li研究室、フランス・リオン大学・D.Rodney研究室、中国・重慶大学・X.Huang研究室が一体となり、強い連携のもとで実験と計算の両面にわたって目標達成のための先導的な国際共同研究を遂行する。各研究室を率いる研究者は、いずれも多数のTop 10%論文を継続的に発表するなど、金属材料科学をリードする国際的研究者である。辻研、Minor研、Huang研が最先端の材料創製プロセス、先端電子顕微鏡法によるマイクロストラクチャ観察・解析、最先端の変形解析手法などを提供して実験研究を遂行し、尾方研、Li研、Rodney研が最先端の力学変形理論、転位論、第一原理計算、原子スケール分子動力学計算などの手法を提供して計算研究を遂行する。本研究を主体的に担うのは、博士課程学生、ポスドク研究者などの若手研究者たちである。若手研究者たちには実験研究と計算研究の両方を日本と海外で経験してもらい、材料科学の未来を担う実験・計算二刀流人材を輩出して行く。

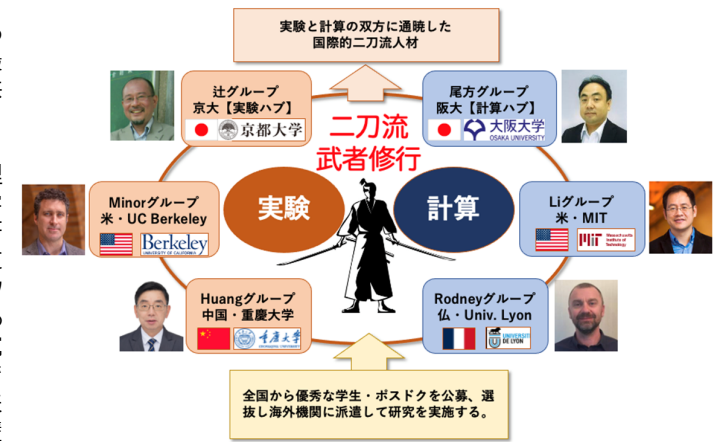


図4 本計画の国際共同研究体制

どのように将来を担う研究者を育成するのか（人材育成計画の内容）

●実験・計算二刀流人材の育成

本国際先導研究の重要な目的は、前述の課題に関する国際共同研究を通じて次世代を担う材料研究者を育成することである。特に本計画では、実験と計算の両方に通じた「二刀流人材」を育成する。米国のメジャーリーグで大谷翔平選手が投手および打者の二刀流選手として優れた成績を挙げてベースボールの常識を変えたように、本計画で養成された二刀流人材が、金属材料科学の常識を変えていくことを期待している。図5に、博士学生（DCコース）、ポスドク（PDコース）のプログラム概要を示す。博士課程学生およびポスドクを日本国内の大学・機関から広く公募し、公平な審査によって選抜して、海外研究機関に長期間派遣し、本課題に関する共同研究を遂行する。選抜された若手研究者を、実験および計算の両サイトに派遣し、それぞれの研究を経験させて様々な二刀流人材を育成する。研究テーマに応じて図4に示した海外4研究室以外にも派遣先を広げ、また辻研・尾方研以外の学生等の指導教員も本プログラムのメンターとして加わっていただき、二刀流育成コンソーシアムを徐々に拡大して行く。博士学生の海外滞在期間は数ヶ月～2年間、ポスドクは2～3年間とし、本プログラムの6.5年間の研究機関に、博士学生・ポスドクをそれぞれ12名以上海外に派遣することを計画している。

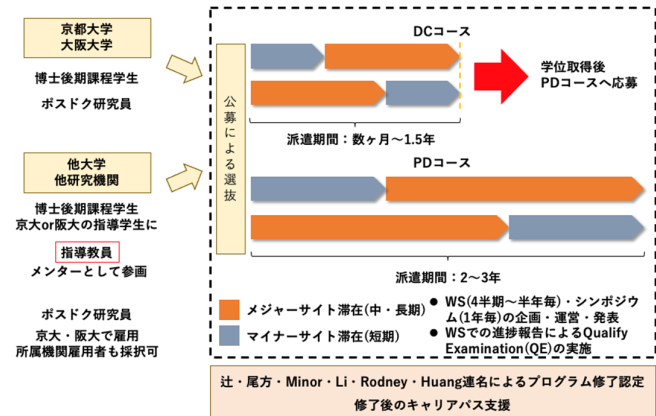


図5 実験＋計算二刀流人材養成海外派遣プログラムの概要