

【構成員】

教授：千葉 晶彦／助教：松本 洋明、李 云平／産学連携研究員：小田原 忠良、Ika Kartika、小野寺 恵美
／教育研究支援者：黒須 信吾、劉 彬／大学院生[10名]／研究生[3名]

【研究成果】

近年、CO₂排出削減に対する要求から輸送機器の軽量化が重要視される、軽量金属材料であるチタン合金の需要が世界的に伸びている。我々はこれまでに新しいタイプの構造用 α' マルテンサイト型チタン合金を提案している。これまでに基礎的に α' マルテンサイト型チタン合金の塑性加工により製造した板材のヤング率の異方性は H. C. P. の結晶方位依存性で説明でき、変形過程で $\langle a+c \rangle$ すべりが活発に活動することを報告した(Ref. 1)。また、冷間溝ロール加工により新しいタイプの構造用 α' マルテンサイト型チタン合金を製造することで HCP の底面内方位が加工方向に平行な繊維集合組織形成と組織微細化制御で世界最高レベルな低弾性率-高強度 Ti-V 系合金の開発に成功した(Ref. 2)。

生体用金属材料として規格化されている Co-Cr-Mo 合金は、鋳造品として実用される場合が多い。人工股関節・膝関節などは、精密鋳造法によって作製されるが、鋳造時に形成される様々な凝固欠陥により強度の低下が問題となっていた。本研究では、精密鋳造用の新規 Co-Cr-Mo 系合金の開発を目指し、これまでの問題点を解決し、既存の規格合金の凌駕する力学特性を備えた合金開発に成功した(Ref. 3)。次世代の生体用 Co-Cr-Mo 系合金のにおいて、鍛造用の生体用開発を目指し、高クロム-高窒素-Co-Cr-Mo 合金の高温での機械的特性を報告したものである。この開発合金の高温での機械的特性は加工温度とひずみ速度依存性を示す。また動的ひずみ時効(DSA)が発現することにより、延性が顕著に高まることを明らかにした。これらの挙動は、通常の金属合金において発現する DSA と力学的特性には観察されないものであり、本開発合金の熱間および温間における塑性加工性能の改善に大きく寄与するものと期待される(Ref. 4)。現在 Co-Cr-Mo 合金の成型品は、鋳造法による溶製材が主であり加工性に乏しい。塑性加工性を改善するための Ni 添加はアレルギーの原因となるため、Ni フリーとした新しい Co-Cr-Mo 合金の作製法が求められている。本論文では強度改善に有効とされる窒素に着目し、粉末冶金法による窒素の導入法を検討するとともに Co-Cr-Mo 合金における窒素の影響を調査した。調査の結果、窒素は Co-Cr-Mo 合金に対し γ 相安定化と σ 相の抑制効果があることが明らかとなった(Ref. 5)。

Ref.1 H. Matsumoto, A. Chiba and S. Hanada, “Anisotropy of Young’s modulus and tensile properties in cold rolled α' martensite Ti-V-Sn alloys”, *Material Science and Engineering A*, **486** (2008), 503–510.

Ref. 2 松本洋明、小平和生、千葉 晶彦、“ α' プロセッシング法で塑性加工した α' マルテンサイト型チタン合金の組織と機械的特性”，*日本金属学会誌*, 72 (2008), 989-996.

Ref.3 Sang-Hak Lee, Naoyuki Nomura and Akihiko Chiba, “Significant Improvement in Mechanical Properties of Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Combination of N Addition and Cr-Enrichment”, *Materials Transactions*, 49, (2008), 260-264.

Ref. 4 Tadayoshi Odahara, Hiroaki Matsumoto and Akihiko Chiba, “Mechanical Properties of Biomedical Co-33Cr-5Mo-0.3N alloy at Elevated Temperatures” Materials Transactions, 49, (2008),1963-1969.

Ref. 5 佐藤嘉、野村直之、千葉晶彦、“ホットプレス法により作製した生体用 Co-Cr-Mo 合金粉末焼結体の組織におよぼす窒素含有の影響”、日本金属学会誌、第 72 巻、第 11 号、(2008) 875-880.

【研究計画】

エネルギー製造用材料、省エネルギー材料、環境負荷低減材料、生体材料などの高機能構造材料は人類社会の持続的発展のために必要不可欠な社会・福祉基盤材料である。当部門では、航空・宇宙用エンジン材料、自動車用軽量高強度・耐熱材料、及び長寿命人工関節などの Co 系を中心とした金属系生体材料の研究開発を以下に示す研究計画に基づいて推進する。

1. 新規な社会基盤材料の研究開発

1.1 塑性変形能に優れた耐熱材料の開発

従来の航空機エンジンや発電用のガスタービン材料は γ' 相と呼ばれる $L1_2$ 型金属間化合物の析出により高温強化されている。当研部門では転位と溶質元素との相互作用（鈴木効果）に基づく転位拡張やナノツインの形成による高温強化機構の可能性、 DO_{19} 型化合物相による析出強化機構の可能性を追求する。これらの高温強化機構を最適に組み合わせることにより、塑性加工性に優れ、ユビキタス元素から成る新規な耐熱材料の開発を目指し、より耐熱性の高い合金設計と最適な加工プロセス技術の開発を行う。

1.2 超高弾性・高耐食性・高（耐疲労）強度金属材料の開発

エネルギー製造装置、半導体製造装置、自動車部品、超精密機械部品などに使用される金属材料は、高温腐食環境という過酷な条件で使用されることが多い。さらに、力学強度特性として、単純に引張り強度特性が高いだけでなく、用途によっては高い弾性率が求められる。Co 基合金は、以上の要求項目を満足する合金系として可能性が高い。そこで、開発中の Co-Ni 基合金を基本組成とする合金をベースとして更なる高強度・高弾性率化の可能性を追求する。

1.3 産業用チタン合金の新加工プロセス- α' プロセッシング-の提案とその高機能化

CO₂ 排出削減などの環境問題から近年、航空機や自動車などの輸送機器の軽量化が重要視され、軽量金属材料であるチタン合金の需要が世界的に伸びている。その様な状況を踏まえ、当部門では α' 型チタン合金の優れた特徴を利用した新しい加工手法「 α' プロセッシング」を提案している。産業用チタン合金の新しい加工プロセス技術として適用するための研究開発を行う。なお、本研究テーマは当部門が平成 20 年度～平成 23 年度に実施する NEDO の産業技術研究助成事業（若手研究グラント インターナショナル分野）を中心に推進する。

2. 医療・福祉基盤材料の高機能化に関する研究（金属系医療用材料の開発）

近づく高齢社会において、高度先進医療技術の発展が不可欠である。それを支える金属系生体材料の高機能化は重要な研究開発テーマであると考えられる。当部門では生体硬組織代替用金属材料として生体に無害な Ni フリー Co-Cr-Mo 系合金を提案しており、以下の研究課題を推進する。

2-1 閉塞鍛造技術による人工股関節のネットシェイプ加工

金属加工技術として古くて新しい熱間鍛造法をベースとしたネットシェイプ加工による Co-Cr-Mo 合金の人工股関節システムの製造技術の確立を目指す。開発中の Co-Cr-Mo 合金の高温変形挙動を詳細に調べ、熱間鍛造条件を Processing Map を構築して最適化する。3D-FEM 解析による鍛造加工シミュレーションを取り入れ、Co-Cr-Mo 合金製人工股関節システムのネットシェイプ加工法を確立する。

2-2 動的再結晶による微細組織形成技術を利用した生体用 Co-Cr-Mo 合金の高機能化

本合金系は熱間加工温度においても積層欠陥エネルギーが低いために、低ひずみ（50%程度）加工でも熱間加工の際に発現する動的再結晶によりナノオーダーの微細結晶粒組織が得られることを見出した。このような特徴を利用し、熱間鍛造条件の最適化により人工関節などの生体材料の高機能化を実現する加工プロセスを開発する。

2-3 人工股関節シミュレーターを用いた metal-on-metal 型人工股関節の開発

金属/金属の摺り合わせからなる人工股関節の開発は、同種材料同士の擦り合わせ磨耗が発生しない合金の開発により可能となる。300 トンプレス機を用いて様々な組織制御した Co-Cr-Mo 合金を作製し、得られた合金素材から作製された人工関節を人工股関節シミュレーターを用いて磨耗評価する。これにより耐磨耗特性に優れた最適な合金組成と合金組織に関する知見を得る。

以上の研究は文部科学省「都市エリア産学官連携促進事業（発展型）」（平成 19 年度から平成 21 年度）の主要な研究課題として実施する。

3. 各種社会基盤材料の熱間鍛造性の最適化法—Processing Map—の高精度構築のための材料科学

熱間鍛造加工は金属材料の成形加工技術としてはもとより、結晶粒微細化などの組織制御技術として重要な加工プロセス技術である。加工温度、加工速度、加工ひずみの組み合わせにより、熱間加工組織が一義的に決まるとする動的材料モデル(Dynamic Material Model)に基づき、最適熱間加工条件を示す Processing Map の構築に関する研究を行う。これにより、鉄鋼材料に代表される、各種社会基盤材料の熱間加工条件の最適化の定量的理解が可能となり、各種材料加工シミュレーション技術を導入した、サイエンスベースドな低環境負荷型の金属材料加工プロセス技術の開発を目指す。