

TODAY



本来の研究環境を取り戻そう！
 一般社団法人日本伸銅協会
 専務理事 亀井 隆徳

(想定する研究の種類)

この冊子をご覧になる方々は、一口に研究と言っても段階（基礎、応用、実用化）や目的、アウトプットの種類などによって色々な分類がされるということは良くご存じだと思います。本稿で取り上げるのは、それらの内、「新たな発見を期待したり、仮説を証明するために行うような研究」を考えます。

(管理のための管理に陥っている)

ここで研究管理と言っているのは、企業内、大学内あるいは研究資金の交付組織などでの研究管理のことです。研究管理の手法に関してはこれまで色々な議論を経て進歩してきていると思いますが、最近の研究管理を見聞きして一番の問題だと感じることを指摘したいと思います。それは、研究管理の手法が形式的、硬直的になり過ぎており、まるで管理を行うことそのものが目的と化していることです。

例えば「研究期間途中での計画の変更は原則として認めない。」という風潮はその最たるものです。本稿の最初に規定したような種類の研究においては、研究の進捗に伴い新たな発見、現象や新たな仮説が生まれますが、それこそが貴重な成果であり、それを更に追求するために新たな方法を工夫することが最も重要なのです。つまり、より良い成果を得るためには、適宜適切な研究計画の変更こそが真の知的創造をもたらすとも言えましょう。

ところが、最近の研究管理の典型は、あらかじめ決めたことを定めた期間で定めた費用で過不足なく実施することを求めています。これ

では作業管理や工程管理になってしまっています。

(研究管理の第一の目的は)

本来、研究管理の目的は、期待される研究成果を効率的に生み出すことを促進、支援することに有るのであり、計画に定めた通りに実施する（させる）ことは、手段の一つに過ぎません。管理のための管理は本末転倒です。

(改善への提言)

まず第一は、研究管理を行う者に、研究を成功させたいという動機付けを行うことが重要です。海外の多くのファンディングボディー（研究資金の交付を行う組織）は、その組織自体が当該分野の研究の実施機関であるため、この動機を強く有しています。研究管理者が研究管理自体にしか行動の動機付けがなされていないならば何をか言わんやですね。

第二は、研究管理を行う組織（部署）の上級管理者が本問題を正しく認識するだけでなく、現場の管理業務実施部隊にその意識を丁寧に教育、指導することが必要不可欠なのです。事件は現場で起こっています。

そして第三は、本問題に気付いた研究者は、機会を捉えて粘り強く研究管理の不合理な点を指摘し続けることです。不合理な管理手法の改善をあきらめて無言で受け入れることが、事態をさらに悪化させる誘因となりかねません。

(賞味期限切れの日本文化からの脱皮に向けて)

一億総中流社会として標準化、規格化、統一化を優先事項として教育、伝承してきた日本人が、画一的な管理を行う能力に優れた時代は賞味期限切れです。これからのグローバルな競争社会のなかで勝ち抜いていくためには、創意工夫、柔軟、変化、先取りなどに価値を見出す新しい日本文化を目指していくことが最も求められているのです。

省エネルギー戦略に寄与する“ヘテロナノ”超高強度銅合金材の開発
 ～革新的な組織制御技術による超高強度金属材料創製への挑戦～

国立大学法人 豊橋技術科学大学

教授 三浦 博己

現在、地球温暖化対策として、「脱炭素社会」・「省エネルギー化」を目指した各種プロジェクトが全世界で強力に取り組まれている。その未来図の一つとして「水素社会」が挙げられ、水素を燃料とした輸送機器とインフラ開発が行われている。しかし、水素社会の実現に重要な喫緊の課題の一つとして、「耐水素脆化材料」の開発がある。実は、水素は金属材料を脆くさせ破壊しやすくする「水素脆化(ぜいか)」という性質を有し、水素社会実現のためにはその対策が極めて重要である。一般的には、ステンレス鋼に希少金属であるニッケルを大量に添加し、あるいは水素圧力を著しく低くする、等の対策が講じられている。しかし、それでも水素脆化や水素の漏れを完全には抑制できないばかりか、希少金属ニッケルの大量添加は水素ステーション等のインフラ建設費を高騰させ、その拡充の大きな障害となっている。一方、銅と銅合金は水素脆化を起こさない素材として古くから知られている。しかしながら銅と銅合金はステンレス鋼に比べて強度が低く、その代替構造材料としての利用は困難と考えられていた。日本伸銅協会を中心とする研究グループは、この難題に対し産学官の総力を結集させ、ステンレス鋼の代替材としての「水素脆化の無い超高強度銅合金」の開発を目指し、NEDOプロジェクト「省エネルギー戦略に寄与する“ヘテロナノ”超高強度銅合金材の開発」を2018年10月からスタートさせた。目標実現のためには、従来の材料設計思想とは全く異なる、金属・合金の強化手法と組織制御手法に対する革新的な指

針が必須であった。

これまで多くの金属・合金の高強度化技術が開発され、実際の工業的大量生産に活用されている。最も有効な高強度化法としては図1に示す、

- (1) 結晶粒を細かくして強度を上げる「結晶粒微細化強化法」、
- (2) 各種元素の添加による「固溶強化法」、
- (3) 加工ひずみを加える「加工硬化法」、
- (4) 微細な粒子を分散させて強度を上げる「析出強化/分散強化法」、

等が挙げられ、これらは教科書な知見でもある。しかし、より高まる構造材料・機能材料の高強度化や電子部品等の微細集積化による加工性の改善等の要求、さらには耐水素脆化超高強度銅合金の開発目標に対し、従来の強化方法ではこれらニーズに応えられなくなってきた。同時に、中国の輸出規制によって戦略物質となった希土類や希少金属の価格高騰、

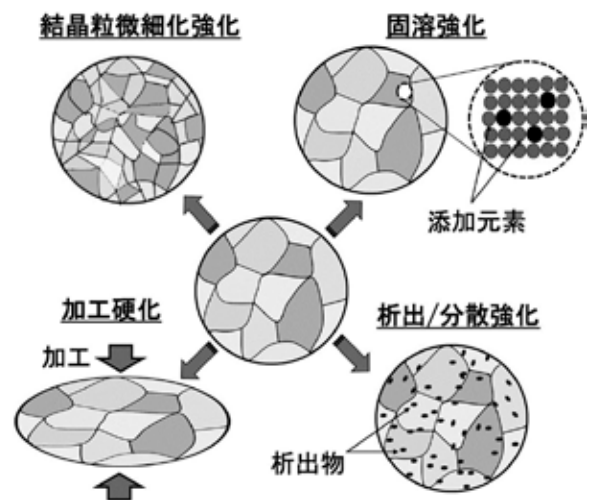


図1 金属・合金の主要な強化機構の模式図

持続的成長への社会的要求によるリサイクル性の向上等によって、大量の元素添加に頼ることなく各種力学特性と機能性を向上可能な革新的な手法が必要となっていた。

近年、金属・合金の大幅な特性改善を目標として、「巨大ひずみ加工法」を用いた研究が世界中で行われている。これは、金属・合金に数百～数千パーセントもの極めて大きな加工ひずみを加えて、結晶粒を超微細化する手法であり、実際に旧来の加工熱処理法では達成が困難な平均結晶粒径 1 ミクロンメートル以下の超微細粒組織が達成されている。しかし、適用可能な試料サイズに限界があり、また、加工プロセスの複雑さ等の理由もあり、工業的な大量生産には不向きであった。さらに、巨大ひずみ加工法によって獲得できる特性は従来材料の延長線上にあり、劇的な特性改善が困難であることが明らかになってきたことから、急速に研究活動が減退しつつある。このため、革新的な材料設計指針と、それに基づく超微細粒組創製のための簡便な新プロセスの開発が強く望まれていた。

この様な背景の中、日本伸銅協会を中心とする研究グループは、上述の巨大ひずみ加工材を凌ぐ各種特性を、工業的生産に利用される「冷間圧延」によって獲得する研究を継続的に行ってきた。冷間圧延は様々な金属・合金の生産加工に使われる汎用的な手法であり、このような古典的手法による目標の達成は困難と予想されていた。しかし最近、「変形双晶」と呼ばれる超微細な針状組織を雪崩現象的に高密度に導入する技術を開発するに至り、材料設計と製造上のブレークスルーをもたらした。これら組織は、圧延によって形成される一般的な組織とは大きく異なり、全てが変形誘起（ヘテロ）のナノサイズ組織であることから、「ヘテロナノ組織」と命名された。例として、Cu-Al 合金中に発達したヘテロナノ組織を図 2 に示す。粗大だった初期結晶粒が変形双晶によって分断された「ヘリンボーン状」組

織が発達し、その結晶粒径は数十ナノメートルと超微細で、巨大ひずみ加工法で得られる組織と同等以下のサイズであった。

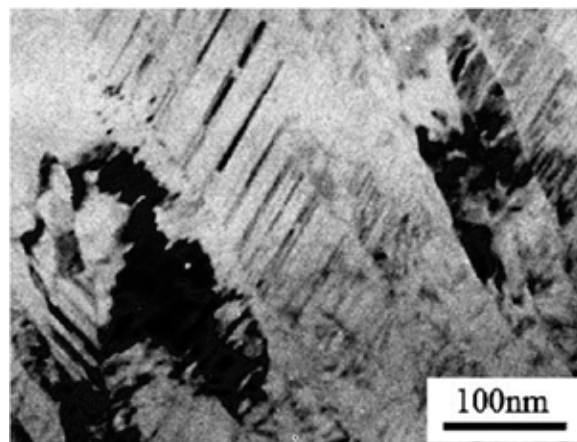


図 2 Cu-Al 合金中に高密度に発現した針状の変形双晶と、それによって形成されたヘテロナノ組織の透過型電子顕微鏡写真

さらに、これらヘテロナノ組織は、従来の常識を越える異常な高強度と優れた延性のバランスを有することが明らかとなった。図 3 に引張試験結果の例を示す。比較のため、巨大ひずみ加工法の一つである多軸鍛造 (MDF) 加工した Cu-Al 合金試料のデータも示した。図 3

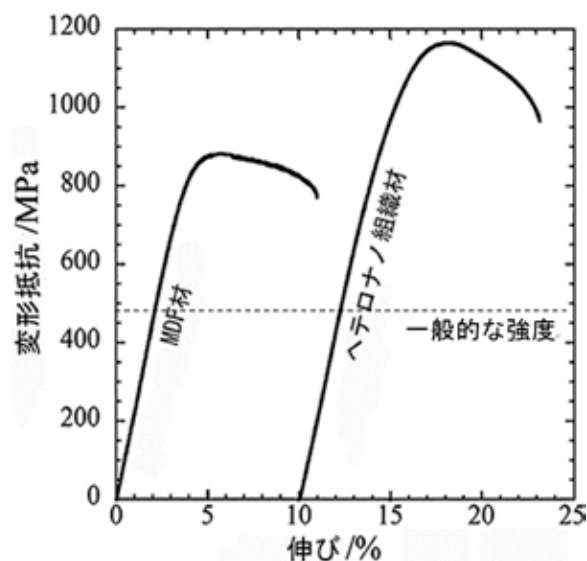


図 3 Cu-Al 合金のヘテロナノ組織材と多軸鍛造 (MDF) 材の引張挙動の比較。後者が圧倒的に高強度である。ヘテロナノ組織材は、一般的な Cu-Al 合金の 2 倍以上の強度を有す。

より、ヘテロナノ組織材の方が多軸鍛造材より圧倒的に強度が高く、また極めて優れた強度と延性(伸び)バランスを有することが明らかである。一般的なCu-Al合金の引張強度は約450MPa程度であるので、延性を大きく損なわずに2倍以上の強度が達成されたことになる。一般的に、金属・合金の強度が上昇すると、延性は低下する。したがって、ヘテロナノCu-Al合金は、従来の材料とは大きく異なる「異常に優れた材料特性」を有することが明らかである。

ヘテロナノ組織による金属・合金の高強度化法は、希少金属添加量の削減や製造加工熱処理プロセス数を低減、さらにリサイクル性向上等にも寄与する。ヘテロナノ組織は、強度と延性の優れたバランスの他に、高疲労強度、高耐衝撃特性、耐水素脆性、高耐摩耗性、高耐腐食性、等々の極めて優れた特性をあわせ持っていることが明らかになりつつあり、各種業界で大きな注目を集めている。そして、超高強度銅合金の他に、超高強度ステンレス鋼や超高強度純チタンの研究開発も併せて進められている。ヘテロナノ組織は極めて強度が高く、例えばSUS316Lステンレス鋼では板材としては世界最高の引張強度2.7GPa^[1]、またCu-Be合金では1.8GPa^[2]、Cu-Ti-Co合金強圧延材はTi添加量がわずか2%で引張強度1.2GPa^[3]が達成された。上述ヘテロナノSUS316Lはマルエージング鋼より機械的特性が優れ、Cu-Be合金は高強度鉄鋼材料より強度が高い。またCu-Ti合金ではTi添加量が少ないため、導電率15%、伸び15%、と優れたバランスの特性も達成された。ヘテロナノ組織は、他種のステンレス鋼や銅合金、さらにはマグネシウム合金でも確認された。この様に、

ヘテロナノ組織は従来材の特性の延長線上には無い常識を越えた優れた特性を有する、ことが明らかにされつつある。

これまでの研究結果から、単純な冷間圧延によるヘテロナノ組織の導入によって、金属・合金への添加元素の種類や量を減らしつつ、種々の特性を高いバランスで両立できる可能性が示された。単純強圧延による超微細粒組織形成は、容易に工業的に活用可能な技術と考えられ、しかもプロセス数低減による生産コスト削減のメリットも大きい。

本技術は、NEDO研究費での「省エネルギー戦略に寄与する”ヘテロナノ”超高強度銅合金材の開発(2018.8から、5年間)」と「ヘテロナノ組織を活用した革新的”超”高強度銅合金の設計技術及び製造技術の研究開発(2017.4から2018.3)」として産学官連携による研究開発が進行中である。繰り返しになるが、特に前者の「省エネルギー戦略に寄与する“ヘテロナノ”超高強度銅合金材の開発」では、近い将来の「水素社会」を見越して「水素脆化の無い超高強度銅・銅合金」を開発し、素材・機器・インフラ産業ひいては我が国のエネルギー戦略に資することを目的とし、全力を挙げて研究開発を行っているところであり、既にステンレス鋼と同等の強度の銅合金を開発しつつある。一般的な圧延機を用いての大量生産が可能であるため、プロセス数低減による大幅なコスト低減が可能である。さらに、今後様々な合金素材への展開も期待されることから、波及効果が極めて大きな革新的技術として注目される。

参考文献

- [1] H.Miura et al., Scr. Mater., Vol.133, (2017) pp.33-36.
- [2] 三浦博己 他, 銅と銅合金, Vol.52, (2013) pp.121-125.
- [3] 三浦博己 他, 銅と銅合金, Vol.54, (2015) pp.15-20.

The Japan Research and Development Center for Metals
JRCM NEWS / 第394号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM総務企画部までお寄せください。
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2019年8月1日
発行人 小紫正樹
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285
ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>
E-mail jrcm@oak.ocn.ne.jp