

TODAY

熱力学から見た研究開発活動について



新日本製鐵株式会社  
技術開発本部

フェロー 潮田 浩作

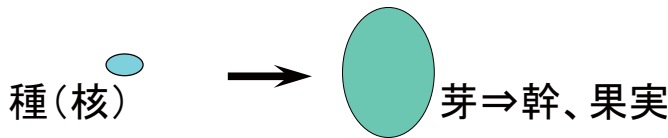
資源の無いわが国においては原料を輸入し、ものづくりを行い、付加価値を高めて商品を売ることが基本である。そのような中、わが国の鉄鋼業は世界のフロントランナーであるが、将来に亘り生き延びるためには新技術を先駆けて開発し続けることが必須であり、研究開発の責務も従来以上に大きい。

入社以来、鉄鋼材料の研究開発に携わる者として、シーズを発掘し成長させそれを結実させるにはどうすればいいのか、自問自答してきた。組織制御の基本原則をベースに、研究開発活動を統一的に考えてみることを試みた。いささかこじつけの感もあるのでご批判いただければと思う。得られた結論は、「成果＝戦略×技術力×情熱」であり、その考え方を下図にまとめた。

新技術の種がある場合には、早く発芽させ、しっかりとした幹と枝葉からなる大樹に育て、果実をとることになる。この場合には、成長速度 (V) を高めることが勝負となる。熱力学の原理によれば  $V = M (\text{易動度}) \times \Delta G (\text{駆動力})$  である。M は研究者／組織の技術レベルの高さやコミュニケーションの良さ等に相当すると考える。一方、 $\Delta G$  は研究者の情熱や好奇心そして夢であり、あるいは研究者／組織のハングリー精神や危機感等である。どれだけ技術レベルが高い研究者であっても、情熱が無ければ V はゼロになる。また、どれだけ強い思いがあっても、技術レベルが低ければあるいは風通しの悪い組織であれば、V はゼロになる。また、V が大きくても、方向を間違えれば元も子もなくなる点に留意する必要がある。社会ニーズに合致し、高い志に立脚した戦略とシナリオの共有化が成功の前提である。

一方、シーズが無い場合には、シーズ創出、言い換えれば核生成のプロセスが必要となる。これは、なかなか大変である。古典的核生成理論によれば、 $I (\text{核生成頻度}) \propto N \cdot \exp(-\Delta g^* / RT)$  である。ここで、N: 核の数、 $\Delta g^*$ : 臨界核の大きさ ( $r^*$ ) において越えるべき山の高さ、R: ガス定数、T: 温度、である。また、 $\Delta g^* \propto (\sigma)^3 / (\Delta G)^2$ 、ここで  $\sigma$ : 界面エネルギーである。R&D マネジメントとのアナロジーで考えると、創造力の高い人 (N) が、情熱や思いを強く持ち ( $\Delta G$ ) あるいは議論や異分野交流 (T) を通していくつかのシーズを提案し、その中から社会ニーズや趨勢に適合した ( $\sigma$ ) シーズのみが淘汰されて残ると考える。一方では、新技術を自分の足で見つけ出し、適正なルールに従い導入することも立派な行為と考える。

詰まるところ人材であり、やる気をもって取り組み能力を十二分に発揮できる環境や機会を作ることが肝要である。この意味で、指導者の責務は大きい。人材育成は JRCM が目指す所でもあり、今後の活動に期待したい。



新技術の誕生(核生成)

$I (\text{核生成頻度}) = N \times f(\Delta G, \sigma)$   
 N(核の数): ・創造性の高い個人の数  
 $\Delta G (\text{駆動力}) \uparrow \rightarrow f \uparrow$   
 $\sigma (\text{界面エネルギー}) \downarrow \rightarrow f \uparrow$   
 +  
 新技術の導入

前提

- ①戦略・シナリオの共有化
- ②新シーズの保有

新技術の発展(成長)

$V (\text{成長速度}) = M \times \Delta G$

- M(易動度): ・高い技術力  
・組織の壁を越えた風通しの良いコミュニケーション
- $\Delta G (\text{駆動力})$ : ・ハングリー精神、・危機感  
・執念、・夢、好奇心、情熱

成果 = 戦略 × 技術力 × 情熱

# ナノ微粒超硬合金を用いた精密金型の開発

非鉄材料研究部加工グループ長 木曾 徳義

## 1. はじめに

超硬合金とは、周期律表の2a, 3a, 4a族金属 (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W) の炭化物粒子と鉄族金属 (Co, Fe, Ni) を結合材に用いて焼結した複合合金である。これらの炭化物はいずれも高融点、高硬度で酸化抵抗に優れている。9種類の炭化物と鉄族金属の組み合わせにより、数多くの超硬合金が得られるが、それらのうち機械的性質に最も優れているWC-Co系合金を指して、普通、超硬合金と称している。現在、WC-Co系、WC-TiC-Co系、WC-TiC-Ta(Nb)C-Co系等が使われている。

一方、金型の寸法精度は金型材料の結晶粒径と結晶面異方性に大きく依存する。例えばWC-Co系超硬合金のWC粒度(粒径)の決定因子は①原料WC粒度の平均粒度と粒度分布②WC量またはCo量(WC微粒が焼結初期にCo相中へ溶解し、粒度分布が狭くなる)③焼結時の粒成長(オストワルド成長)であり、つい最近までは0.5~0.6 $\mu\text{m}$ の結晶粒径の合金しか得られていなかった。超硬合金の粒成長は、オストワルド成長機構によって起こる。すなわち、液相中への分散固相の平均溶解度は、固相粒子の粒径が小となるほど大となることに基づいて、小粒子の液相中への溶解→溶質の液相中への拡散→大粒子上への析出の3過程を繰り返すことは一般的に認められている。この異常粒成長を抑制し、0.1 $\mu\text{m}$ 以下の原料粉を用い、十分に緻密化した0.1 $\mu\text{m}$ の超硬合金が得られれば、 $\pm 0.1\mu\text{m}$ の金型寸法精度を得ることが可能となる。

(財)金属系材料研究開発センター(JRCM)では、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託を受けて「精密部材成形用材料創製・加工プロセス技術開発プロジェクト」(実施期間平成14年度~18年度)において、高精度成形加工を安定に行うため、高強度、高韌性等を有すると同時に微細加工性に優れた金型用超微細粒WC粉末原料製造技術の開発と、焼結時の不均質な結晶粒成長を抑制する粒成長抑制焼結技術の開発を実施してきた。株式会社アライドマテリアルが70ナノメートル径のWC粉末(図1)を開発し、富士ダ

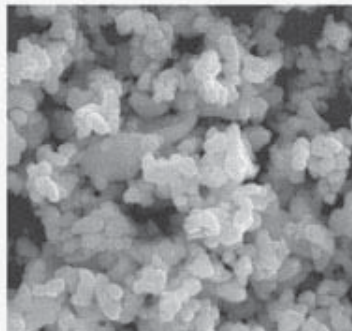


図1 70ナノメートル径のWC粉末

イス株式会社が粒径0.1マイクロメートルの超微細な超硬合金

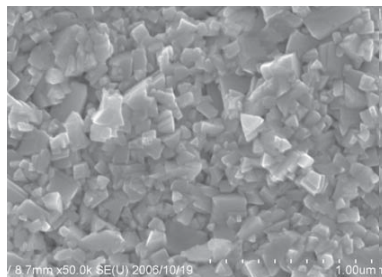


図2 粒径0.1マイクロメートルの超微細な超硬合金

(図2)の開発に成功した。

(図3)に比較として、市販されている最も微細な超微粒超硬合金の組織写真を示す。世界最小径のWC微細粉であり、世界最小の結晶粒径の超硬合金(以下、ナノ微粒超硬合金という。)で

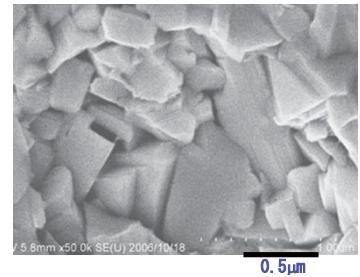


図3 超微粒超硬合金の組織写真  
ある。

開発したナノ微粒超硬合金は、市販されている最も微細な超微粒超硬合金に比べ、ビッカース硬さは15%、3点曲げ強さは20%高く、優れた耐摩耗特性と韌性を併せ持つ合金である。ナノ微粒超硬合金はCo結合相の厚さが薄い(WC粒子の間隙が小さい)。摩耗はコバルト結合相部分で優先的に生じる。また欠損も同様にWC粒子の大きさに依存する。例えばSUS304(75 $\mu\text{m}$ 板厚)に直径18 $\mu\text{m}$ の穴あけ加工した時のピンの欠損に至るまでのショット数は200万回以上の結果を得ている。一方、市販の超微粒超硬合金のピンによる同様の実験では50万回で欠損に至っている。

前述の様にナノ微粒超硬合金は、市販の超微粒超硬合金比べ、優れた特性を有するが、原料粉末が70ナノメートルと極小であり、ナノ粉末と型との間で摩擦力が大きいため粉末の流動が拘束され、圧粉成形が単純な円柱状しか出来ない等の問題に直面しているのが現状である。

## 2. 研究開発の概要

本プロジェクトは、関東経済産業局の「戦略的高度化支援事業」の委託を受けて平成19年度から3年間をかけて「ナノ微粒超硬合金を用いた精密金型の

開発」を実施し、前述の課題を克服すべく、圧粉成形工程におけるニアネットシェイプ成形加工技術の開発と、離型性に優れ、より平滑性、潤滑性を期待できるDLCの表面処理技術を開発し、市販の超微粒超硬合金と同程度の金型加工コスト実現を目指す。

金型業界は、中国をはじめとした東南アジアの攻勢に対し、競争に打ち勝つため、精密金型に活路を見出してきた。また部品、部材産業も更なる高付加価値品で、競争力を保有してきている。金型は、一つの部品で大量の転写物を生産する、非常に合理的な製造法といえる。特に部材の精密化、小型化、軽量化、そして何よりも高品質化、高機能化が進展している現在、金型の占める比重は計り知れない。金型を使用した高品質部品、高機能部品は、直接的にはエレクトロニクス、光エレクトロニクス産業、部材産業に大きく貢献するが、それはまた日本の自動車産業、材料産業等を支えているといっても過言ではない。金型がマイクロメートルのオーダーからサブマイクロメートル、ナノメートルオーダーへの精度、複雑形状を確保できる技術の効果は、医療分野にも及ぶことが期待できる。

光エレクトロニクスのキーデバイスであるガラス非球面レンズは、光ディスク用ピックアップレンズや、LBP（レーザープリンタ）用コリメートレンズ、光通信用カップリングレンズ、各種センサー用結像レンズ、CCD、CMOS（相補性金属酸化膜半導体）素子用撮影レンズ等に使われている。非球面レンズは球面収差を発生させることなく、短焦点を実現するレンズであり、優れた結像性能を持つが、医療用等、更なる高性能化が望まれており、結像レンズで形状精度はナノメートルの要求がある。

(図4)にガラス非球面レンズ金型を示す。

情報家電分野 情報家電の分野



図4 ガラス非球面レンズ金型

では硬脆材料の切断が多用されている。LCD（液晶パネル）、PDP（プラズマディスプレイパネル）、FPD（フラットパネルディスプレイ）に代表される板ガラス基板や、セラミックコンデンサーや多層セラミック基板の切断等、電子部品のバリ、欠けのない高品質な切断や溝入れ加工が求められている。またユーザーのニーズは生産性向上へと向いており、摩耗によるバリの発生のない、高耐摩耗性、刃の欠損にともなう欠けのない高耐欠損性を要求されている。前述の様にナノ超微粒超硬合金はCo結合相の厚さが薄い。摩耗はCo結合相で優先的に生じ、欠損も同様にWC粒子の大きさに依存する。優れた耐摩耗性とナノ微粒ゆえの優れた耐欠

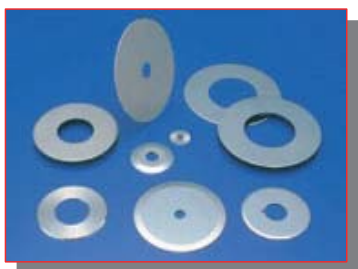


図5 硬脆材料切断刃

損性を有するナノ微粒超硬合金を用いた切断刃が要求されている。(図5)に硬脆材料切断刃を示す。更には同様の理由でマイクロドリル(図6)への適用も加速される。

本研究開発によって、世界最



図6 マイクロドリル

高レベルのハイテク用金型が実現することにより、我が国のデジタルカメラ、内視鏡等の光学機器、インクジェット・プリンタ、液晶ディスプレイ等の先端技術産業製品の高機能化、低コスト化や国際競争力強化に大きく貢献することとなる。さらに、本研究開発の成果である超硬合金技術を用いて、各種の新金型の開発が進むこととなる。

また、中国、その他のアジア諸国からの追い上げに苦しんでいる我が国の金型製造産業や同金型を用いた超精密加工業の製品の高精度化、高付加価値化、高技術化による国際競争力強化に大きく貢献する。

タングステン等の稀少金属は我が国が国内の産業分野を支えている甲付加価値な部材の原料であり、近年需要が拡大している。途上国においても著しく需要が拡大していることや、そもそも他の金属と比較して、金属自体が稀少であり、また代替性も著しく低いとともに、その偏在性ゆえに特定の産出国への依存度が高い等から、我が国に中長期的な安定供給確保に懸念が生じている。これに対する具体的な対策として、平成18年6

月、資源エネルギー庁から報告された「非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略」において、①探鉱開発の推進、②リサイクルの推進、③代替材料の開発、④備蓄、等が整理され、現在それぞれの具体的な対策が進められている。経済産業省の「稀少金属代替材料開発プロジェクト」のロードマップの一つとして示されているように、本研究開発は、工具寿命向上施策に合致しており、我が国の中長期的な「非鉄金属資源の安定供給確保に向けた戦略」に資するものであり、大きく貢献するものである。

### 3. 研究開発の体制

JRCMでは、関東経済産業局からの委託を受け、富士ダイス株式会社他、複数のハイテク大手企業の支援を得て研究開発を行う。

## 活動報告

#### ■環境・プロセス研究部

(社)日本鉄鋼協会、環境・エネルギー工学部会、資源循環フォーラムが主催して、「鉄鋼業および鉄鋼業と異業種間における資源循環」と題するシンポジウムが、1月18日(金)の午後、神田のハーモニーホールにて開催された。

東北大学の長坂教授が基調講演を行い、有価金属の回収技術関連で4件、資源エネルギーの再生技術関連で4件の講演があった。出席者は約80名。この中で、JRCMからは環境・プロセス研究部の永浜が「製鉄プロセスガス(コークス炉ガス)利用水素製造技術」の概要を報告した。今後、地球環境問題への対応、持続可能な社会の実現が必要とされる中、鉄鋼業界を

始めとして、関連業界が連携を密にして、資源とエネルギーの両面から、その保有技術と廃熱等のポテンシャルを活用した有機的な繋がりや、技術開発の必要性を改めて感じた。(永浜次長)

#### ■非鉄材料研究部

【白金族等レアメタルの高効率回収システム技術シーズの育成調査】を開始

NEDOからの平成19年度の受託事業として、東京大学生産技術研究所が有する高効率・低環境負荷の白金族等レアメタルの新回収技術シーズ(気相処理を利用した廃棄物からの高効率回収法)について、基礎データを取得し、周辺技術・特許、事業化に当たっての課題分析、市場調査を実施し、本技術シーズの事業化可能性を分析し、パイロット規模による研究計画を策定する事業を開始しました。平成20年3月中には取りまとめを行う予定と。(木曾G長)

【断面変化中空押し出し製造システムの開発に関するF/S事業】の開発委員会を開催

本事業は、(財)機械システム振興協会からの受託事業で行うもので、これまで断面変化押出技術に関しては、ラボ実験による基本原理の確認を終え、その有効性の目処を得た。ただし、実用化にあたっては、いくつかの開発項目が残っている状況にある。

このため、本スタディでは、断面変化する押出型材を高精度で容易に製造し、軽量と強度を両立する最適断面を持つ基本構造部材をできるだけニアネットシェープで安価に製造できる革新的機械システムを実現し、アルミニウム型材の採用による自動車軽量化での燃費改善、CO<sub>2</sub>

量の削減に寄与することを目的に実施している。第二回の開発委員会(1月8日:神戸市)を、京都大学松原教授他の出席で開催した。プロジェクト全体の進捗は概ね計画通りであり、3月初めの成果の取りまとめに向けて更にピッチを上げ開発を進めていくことが確認できた。プレス本体、駆動装置、制御システム等今回導入予定の設備を見学しながら、委員からは、「オリジナルの機械の将来性について」、「非対称での材料の流れのコントロールについて」、「実用化・事業化ステージでの課題について」、など多くの質問、意見をいただいた。現在、モーター等駆動装置の単体試運転中であり、終了しだい装置組み込みを行う予定としており、1月末にはサンプルの作成を行う。(小林部長)

#### ■NPOLED照明推進協議会

NEDO民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価事業」として、「ネオンサイン等大型広告看板照明のLED化による省エネ促進F/S事業」を開始

当推進協議会は、NEDOからの平成19年度の補助事業として、「ネオンサイン等大型広告看板照明のLED化による省エネ促進F/S事業」を開始しました。本事業は、最新のLEDを用いた大型広告看板照明を試作、その実用性について従来のネオン照明と比較評価、分析を行い、LED照明の事業化の条件等を明確化することを目的とするものです。平成20年1月10日、11日には、ネオン及びLEDによる計11枚の広告看板用パネルを会員企業の工場敷地内に設置し、約200名の方の参加を得て、両方式による視認性の評価確認を実施した。

The Japan Research and Development Center for Metals

JRCM NEWS / 第256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。  
本誌は地球環境保全を考慮し再生紙を使用しています。  
本書の内容を無断で複製・複製・転載することを禁じます。

発行 2008年2月1日

発行人 小紫正樹

発行所 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

T E L (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](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)