

PRO+ MATERIAL STORIES —Main Story—

01 特殊鋼

ブレークスルーは、連綿と磨き上げてきた 組織・組成制御技術から探り出した独自のTiN微細化技術。

当社は、お客さまの高度な要求や課題に応える最適素材を創出し、それを量産レベルまで引き上げて提供するサイクルを継続することで、ユニークで高機能かつ高品質の素材を次々と誕生させ、新しい用途や新しい市場領域へと展開してきました。独自の金属組織・組成制御技術を軸に、お客さまとの協創によるスパイラルアップをしている事例として、CVTベルト材の開発とその技術をベースに航空機関連材料に本格参入に挑戦する特殊鋼をご紹介します。

1 価値創造の源泉となる 金属組織・組成制御技術

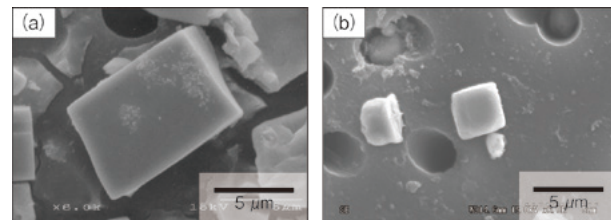
新たな製品や事業を生み出す上で、価値創造の源泉となるのが長年培ってきた金属の組織・組成制御技術です。これは靱性、耐摩耗性、耐熱性、加工性など、金属材料の特性を決定する微細組織を加工熱処理や添加元素の最適化を通じて制御していく技術です。金属を構成する化学成分が同じでも、組織・組成制御技術を深めることで多彩な特性を持たせることができます。自動車エンジンのCVT(無段変速機)ベルト材も、組織・組成制御技術を駆使して開発された部品材料の一例です。CVTベルトとは、7~8mm幅の金属の平板ベルトを10枚程度重ねた帯状のもので、エンジンの動力をタイヤに伝えるトランスミッション機能をつかさどっています。ギアではなくベルトを介して動力を伝達するため、変速時のショックがなく、エンジン回転に合わせた無段階変速が可能であるため、燃焼効率が良いことが特徴です。自動車メーカーが低燃費化を進める中でその需要も拡大してきました。現在、当社は世界トップシェア(当社推計)を誇っています。



CVTベルト材

2 材料開発力への高い評価から CVTベルト材の量産へ

当社は、自動車領域において、エンジンバルブの鍛圧材を中心に過酷な環境下で使用される難度の高い特殊材料の開発を通じて、日系自動車メーカーとの間に協創関係を構築してきました。そこで醸成された信頼関係は、お客さまが新製品開発時に当社を開発パートナーとして選ぶ動機づけになっています。当社では、1990年代からエネルギー領域向けに組織・組成制御技術を活用して金属内に含まれる窒化物(TiN)の成長を抑える技術の開発を行ってきました。CVTベルト材開発も、当社の材料開発力を評価していた日系自動車メーカーから、TiNを微細化したCVTベルト材ができないかと依頼されたことがきっかけです。自動車の使用環境に対応する1,000万回以上の回転数でも耐えうる疲労強度を獲得するには、材料表面の欠陥をなくすだけでなく、金属の内側でも異物を極力なくし、組織を制御していくことが求められます。特にTiNの粒子サイズが大きいと疲労強度が下がるため、従来の半分程度となる10ミクロン未満に抑えるという非常に難度の高い要求に応える必要がありました。



CVTベルト材組織

特殊鋼材料とは？

特殊鋼とは、用途や必要な特性に適した性質を発揮させるように合金元素を添加して調整した鋼の総称です。普通鋼は、鉄と2%以下の炭素を主成分とする鋼であるのに対して、特殊鋼は硬度や耐摩耗性、耐熱性、耐腐食性などの特性を特化させるために、ニッケルやクロムなどの特殊な元素を添加したり、成分を調整したものです。

主要製品



3 困難な課題を解決へと導いた 独自のTiN微細化技術

TiN微細化技術がお客さまの要求水準に達するまでには、3年の月日を要しました。量産開始当初は、TiN寸法規格に対する合格率は10%程度であり、歩留まり改善のための技術開発を続けました。その過程で、同じ室素レベルでもサンプルによってTiNサイズが異なり、品質が不安定になるという新たな課題に直面しました。しかし、製造プロセスを根気よく評価・検証し、TiNサイズは材料中のマグネシウムの含有量と関連性があることを突き止めました。技術的バックグラウンドの解明を受けて、さらにメカニズムを分析し、積極的にマグネシウムを活用した品質コントロールによって、安定した量産への道が開かれたのです。自動車の低燃費化に貢献する当社のCVTベルト材は、多くの自動車メーカーで採用されました。お客さまからの金属内の不純物の無害化などの新たな要望にも、これまでの技術開発で培ったさまざまな検証結果や知見をもとに対応を重ねることで、2010年以降はさらに搭載車種が増え、当社の業績を牽引する代表的な製品となりました。



航空機エンジン

4 組織・組成制御技術で 新たな未来を切り拓く

CVTベルト材の開発で培われたTiNの微細化技術は、航空機関連材料への応用という新たな展開を迎えています。当社は、次の事業の柱として、中長期的に市場拡大が見込まれる航空機関連材料の育成に注力してきました。合併会社である日本エアロフォージ株式会社の設立と世界最大級・油圧式5万トン型打鍛造プレスの導入、当社安来工場(島根県安来市)および桶川工場での大型投資(経済産業省・供給確保計画認定投資を含む)。など、成長に向けた施策を着実に実行してきました。こうした取り組みを進める中で、自動車のCVTベルト材の技術を応用する形で、航空機ジェットエンジンのシャフト向け素材の開発依頼を受けました。航空機関連材料で求められる性能は、自動車向けとは大きく異なりますが、その技術開発を通じて確立した制御技術によって、安定した疲労強度コントロールが可能になり、航空機の市場領域でも、比較的早期に製品展開を実現しました。

このように組織・組成制御技術は同じ素材でも異なる特性を生み出すことができる大きな特徴があり、その技術を磨き続けてきたことで新たな領域での事業展開につながったのです。今後も金属のポテンシャルを最大限発揮させる組織・組成制御技術を進化させ、お客さまの課題解決に貢献する最適材料を提供していきます。



安来工場

02 軟磁性材料

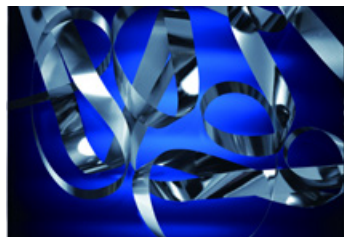
研究開発で培ってきた材料技術と応用技術、そして研究者の熱意が生み出した、世界初となるナノ結晶軟磁性材料。

1988年に当社が世界で初めて製品化したナノ結晶軟磁性材料ファインメット®。特性に優れ、スマートフォンをはじめさまざまな電子機器の小型化、省エネルギー化に大きく貢献しています。しかし、その道のりは平坦ではなく、金属を中心とした組織・組成制御技術と広範なお客さまとの強固な関係性によってつくりあげてきました。

1 ナノ結晶軟磁性材料ファインメット®とは

当社が世界で初めて開発したナノ結晶軟磁性材料ファインメット®は、鉄を主成分にシリコンとボロンおよび微量の銅とニオブを添加した独自組成でナノサイズの結晶構造を持つ薄帯（リボン）です。高温融液を約100万℃/秒で急冷固化して製造したアモルファス（結晶構造を持たない物質の状態）合金薄帯を熱処理することでナノサイズ（10nm程度）の結晶粒を組織中に作り出します。当時の常識では、アモルファス合金が一般的な金属（結晶構造をもつ金属）よりも磁気特性に優れると考えられていました。しかし、当社はナノサイズの結晶粒を持たせることで磁気特性が飛躍的に向上するという驚きの事実を発見し、1988年に当社が世界に先駆けてナノ結晶軟磁性材料を製品化しました。

ファインメットが製品化されるまでは、パーマロイやCo基アモルファス合金が一般的な結晶構造を持つ金属よりも優れた特性を持つとして、電源装置や電子回路などで使用されていました。しかし、透磁率*1が非常に優れているものの飽和磁束密度*2が十分でないものや、飽和磁束密度は高いものの透磁率が十分ではないものなど、一長一短がありました。そこに、飽和磁束密度が高く、透磁率にも優れ、さらにコアロス*3も少ないファインメットが登場したことで、スマートフォンをはじめさまざまな電子機器の小型化、省エネルギー化に大きく貢献することになりました。



ナノ磁性材料ファインメット

2 実験第一主義のDNAと開発者の熱意が世界初の開発に結びついた

1970年代後半に、アモルファス金属*4などの新素材開発に世界の注目が集まりました。その当時、当社の磁性材料研究所でも、今後の成長の柱としてエレクトロニクス関連の新素材開発をめざしていました。しかし、新素材としての磁性材料の開発は難度が高く、実用化は至難の業です。なぜなら磁性材料の特性は、原子レベルでの現象が関係し、組成の組み合わせも何万とおりにもなります。そのため開発は、実験をただひたすら繰り返すことが唯一の糸口でした。その中で後に世界が驚く現象が訪れました。アモルファス合金は、一般的に熱処理をすると結晶化し、軟磁気特性が劣化することが常識でした。しかし、1980年代前半に当社研究員が実験を繰り返す中で、偶然にもアモルファス合金の磁気特性よりも良好なデータを得ました。最初は実験ミスと思われたこの現象を見逃すことなく、特許の取得と製造方法の確立を推進し、1988年にファインメット®の製品化に成功。この成果は、実験第一主義のDNAと金属を中心とする組織・組成制御技術による強みにより得られたものでした。



ファインメット コモンモードチョークコア/コイル

次世代たたら協創センターにおける取り組み

次世代たたら協創センター（NEXTA）は、島根県の産官学金プロジェクトである「先端金属素材グローバル拠点の創出 -Next Generation TATARA Project-」において、研究開発と人材育成の中心的な役割を担う施設として、島根大学に設置されました。このセンターでは、「次世代たたら文化」を創造することを究極の目標として、金属材料の革新と向上に焦点を当てています。プロテリアルは社員が本プロジェクトの事業責任者および、本センターの副センター長を務めることに加え、軟磁性材料分野では「アモルファスモーターコアの量産化」プロジェクトに参画しています。

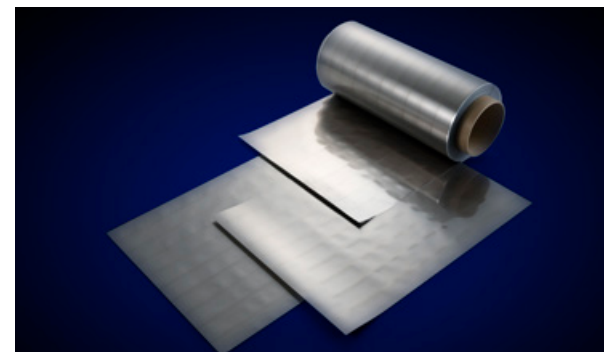


写真提供：島根大学

3 生産効率向上と時代のニーズが合致し、新たなステージへ

ナノ結晶軟磁性材料ファインメット®は、製品化されてもすぐには需要が広がりませんでした。特性が圧倒的に優れているのは分かっていたとしても時代を先取りしすぎた製品で使用するための工夫が必要でした。また少量生産で価格も非常に高くせざるを得ませんでした。2000年代になると電磁波のノイズ規制が強化され、これが需要の刺激となりお客さまとファインメット®の用途について対話する機会が増えましたが、まだ価格が高く爆発的な普及には至りませんでした。しかし、お客さまとの対話から、必ず世の中がこの製品を求める時代がくると予見し、この時期にナノ構造制御技術や製造設備の改良を重ね、大幅に生産効率を向上。そして、2008年になるとスマートフォンにワイヤレス充電機能が搭載されることになり、そのニーズを捉えたファインメット®の需要が劇的に増加しました。また、欧州では自動車のxEV化に伴って、電磁ノイズ規制が強まり、さらなる追い風が吹いています。

ファインメット®は、軟磁性材料として他の材料より大幅に先行することになりました。そのため、使いこなす技術や用途が追いついてくるまで10年ほどを要しましたが、今ではなくてはならない存在になりました。

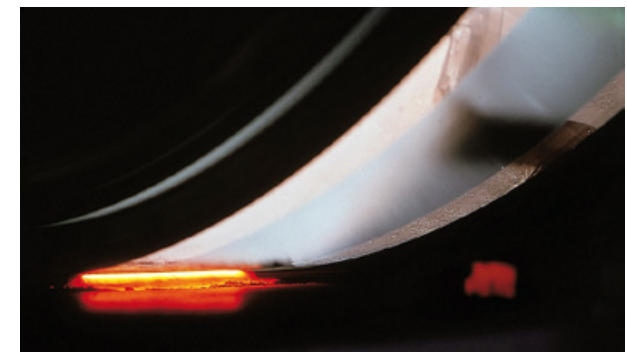


磁気シールド

4 脱炭素社会の実現に向けて、軟磁性材料がますます重要に

現在、さまざまな分野で機器の省エネルギー化、小型・軽量化、高性能化、低ノイズ化が進められています。その中で軟磁性材料材料の重要性がさらに高まっています。特にファインメット®は、軟磁性材料として飽和磁束密度と透磁率が共に高く、コアロスが少ないという大きな特長があり、ますます用途が広がっていくと考えられます。プロテリアルは、脱炭素社会の実現に向けてファインメット®をはじめとする軟磁性材料を提供することで社会の課題解決に貢献していきます。

- *1 透磁率：磁性材料の磁束の通りやすさを表す尺度です。ファインメットの透磁率はCo（コバルト）基アモルファスと同等です。
- *2 飽和磁束密度：磁性体が保持できる最大の磁束密度のことであり、磁気飽和するとインダクタンスが急激に低下し、過電流が流れて機器や回路の異常や故障の原因となります。ファインメットの飽和磁束密度はFe（鉄）基アモルファスと同等です。
- *3 コアロス：ファインメットのコアロスはFe基アモルファスの1/5以下、かつCo基アモルファスと同等の値のため、省エネルギー化につながります。
- *4 アモルファス金属：結晶構造を持たない物質の個体金属。普通の金属では原子が規則正しく並んだ結晶構造を持つが、アモルファス金属は原子配列が不規則であり、高い耐摩耗性や高硬度、磁力を通しやすい高透磁率、電磁気エネルギーを機械エネルギーに変換する高磁歪性を持つ。



ファインメットの製造