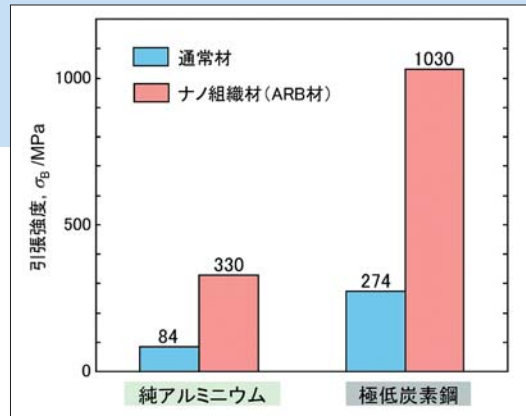


# 強度、延性、衝撃特性のいずれにも優れた ナノ組織鉄鋼材料を開発

—輸送機器の軽量化、構造物の安全性を大幅に向上—

平均粒径 $1\mu\text{m}$ （マイクロメートル、 $10^{-6}\text{m}$ ）以下の超微細粒組織を複相化<sup>(注1)</sup>することにより、単純な化学組成で従来の高強度鋼に相当する静的強度を実現しました。さらに、十分な延性と優れた衝撃変形特性を持つ鉄鋼材料（Nano-DP鋼）の創製に成功しました。自動車等の輸送機器の軽量化や、構造物の耐震性が大幅に向上します。

- 自動車をはじめとする輸送機器用の材料には、軽量化、高強度化とともに、衝突時の安全性を確保するために動的変形特性の向上が強く求められています。本研究では、マトリクス<sup>(注2)</sup>の結晶粒径を $1\mu\text{m}$ 以下に超微細化するとともに（従来の最小粒径は約 $10\mu\text{m}$ ）、組織を複相化した新しいナノ組織鉄鋼材料（Nano-DP鋼）の開発に成功し、求められる特性を達成しました。
- 本技術開発により、高い静的強度とともに、大きな加工硬化に基づく高延性や、衝撃変形時の高い強度とエネルギー吸収能のすべてを満足させる性能を得ることができました。



▲図1 従来の粒組織（青）および超微細粒組織（赤）を有するアルミニウムと極低炭素鋼の引張強度の比較。超微細粒材は従来材の4倍に達する高強度を示す。

## 競合技術への強み

	静的強度（引張強度）	動的強度（衝突安全性）	加工性
析出強化型高強度鋼（従来技術）	○ 600MPa級まで	○ 静的強度と動的強度の差が小	○ まずまず良好
複合組織型高強度鋼（従来技術）	◎ 980MPa級まで	○ 静的強度と動的強度の差が小	△ 大きなスプリングバックなどの難あり
高強度アルミニウム合金（従来技術）	△ 軽量化が強度の絶対値小	× FCC金属のため静的強度と動的強度の差が小	× 成形性、溶接性に難あり
Nano-DP鋼（本技術）	◎ 微細化強化+複合組織強化、1GPa以上も可	◎ 静的強度と動的強度の差が大、吸収エネルギー大	○ (検証必要)

▲高強度鋼における従来技術と本技術との比較

- ①高強度：結晶粒超微細化に伴うベース強度の向上により、1GPa以上の静的引張強度も可能です。
- ②軽量化：高強度化により、部材の薄肉化が可能のため、大幅な軽量化が実現できます。
- ③高い延性・靱性：25%以上の引張延性、15%以上の均一伸びを実現しています。さらに靱性も向上しました。
- ④高い動的強度：従来高強度鋼に比べ、動的変形時の強度上昇分が大きく、優れた衝突吸収エネルギーを示しています。
- ⑤優れた加工性：十分な延性を保持していることから、加工性にも優れていることが期待されます。

## 成果の概要

通常用いられる金属材料は、多数の結晶粒が集合した多結晶体です。多結晶体の結晶粒のサイズを細かくすると、強度や靱性が向上することが知られていました。それに対して約10年前、我々はARB(Accumulative Roll Bonding)と呼ばれる巨大ひずみ加工法を独自に開発し、種々の金属材料の結晶粒径を $0.1\mu\text{m}$ 程度まで超微細化することに成功しました。本研究では、超微細化された鋼の組織を複相化することにより、強度と延性の両方に優れた材料を創製することに成功しました。また、この複相超微細粒鋼（Nano-DP鋼）は、動的強度（高速変形特性）にも優れることが明らかとなりました。

Nano-DP鋼の簡便な作製法に関しても、貴重な知

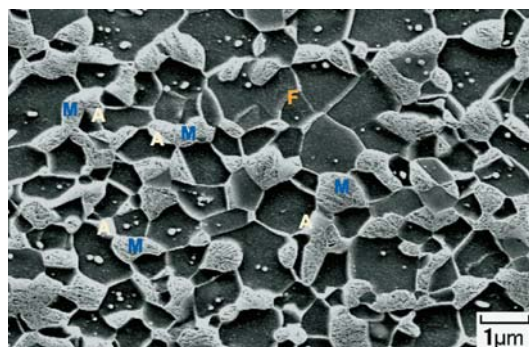
見が得られました。合金元素を必要としない単純な化学組成で、高い静的強度、動的強度（優れた衝突安全性）、十分な延性・加工性を併せ持つNano-DP鋼が構造物材料として広く用いられることにより、安全で省エネルギーを実現し、持続可能な社会の実現に寄与できるものと期待しています。

## ブレイクスルーのポイント

図1に示すように、超微細粒金属は従来粒径金属の4倍にも達する高強度を有しますが、引張延性が乏しいという欠点があり、実用化に対しては悲観的な意見が多い状況でした。我々は、超微細粒材の引張延性が乏しい理由が、加工硬化の欠如による塑性不安定の早期発現によることを基礎研究により明らかにしました。こうした知見をもとに、我々は、組織を複相化すれば、超微細粒組織であっても大きな延性が得られるであろうと予測しました。これらの基礎的アイデアのもと、高強度と優れた衝突安全性を共に有する鉄鋼材料を探索していた自動車メーカーと連携しながら研究を進めることにより、高強度と高引張延性の両立が可能であることを実証し、優れた力学特性を有するNano-DP鋼（図2）を実現できました。超微細粒金属材料の創製とその基礎物性の解明に関する研究代表者の成果は国際的にも高く評価され、その関連論文総引用数は2500回を超えています。また、2009年には、「超微細粒金属材料に関する研究」に対し、第5回日本学術振興会賞が授与されました。

## 今後の展開（研究面について）

Nano-DP鋼の実用化に向けては、その加工性・成形性を明らかにする必要があります。そのためには、①研究室レベルで作製される板材よりも大きな、幅広く長尺の材料を作製し、種々の材料試験を系統的に行なう、②Nano-DP鋼の溶接・接合性を明らかにする、③



▲図2 本研究で得られた平均粒径 $1\mu\text{m}$ 以下の複相ナノ組織（Nano-DP）鋼の電子顕微鏡写真。F=フェライト相、M=マルテンサイト相、A=残留オーステナイト相。

Nano-DP鋼の量産を可能にするため、製造プロセスを確立する、④加工熱処理工程とともに材料の化学組成を最適化する、ことが必要となります。こうした課題の一部については、いくつかの企業とともにすでに共同研究を開始しています。

## 産業応用の可能性

### 【これまでの企業との共同研究歴】

- 本田技術研究所との、超微細粒複相鋼の製造方法と高速変形特性に関する共同研究。
- 高炉メーカーとの、巨大ひずみ加工に伴うナノ組織形成に関する共同研究。
- 電炉メーカーとの、超微細粒鋼の基礎特性に関する共同研究。
- 電機メーカーとの、ステンレス鋼の組織超微細化に関する共同研究。
- リロールメーカーとの、超微細粒薄帯の製造方法に関する共同研究。
- 化学メーカーとの、スパッタリングターゲット材の組織制御に関する共同研究。
- 自動車部品メーカーとの、超微細粒金属の加工性に関する共同研究。

### 【これから応用展開の可能性を探索してみたい業界・企業】

- 超微細粒金属に関する研究開発に興味のあるアルミニウム、チタン、銅などの非鉄素材メーカー。
- 超微細粒金属を応用できる種々の部品メーカー。

## 産業界へのアピール

大学の使命は、基礎研究と地道な人材育成であると考えます。一方、工学研究科（工学部）で研究・教育活動を行う以上、研究成果がいずれ応用され、社会に貢献することを強く願っています。産と学、それぞれの目指すものの違いを理解し、それぞれのメリットを自覚した上で、お互いを尊重し合うフラットな関係に基づく産学連携を推進します。

(注1) 複相化とは、材料を形成している組織をフェライト+セメンタイトのように、複数の相からなる組織にすること。



プロジェクトID・研究テーマ名・年度

05A27502d「高強度・高安全性を有する複相超微細粒（Nano-DP）鋼板の創製」（平成17年度第2回公募）

代表研究者・所属機関・所属部署名・役職名

辻 伸泰 京都大学 大学院工学研究科 教授