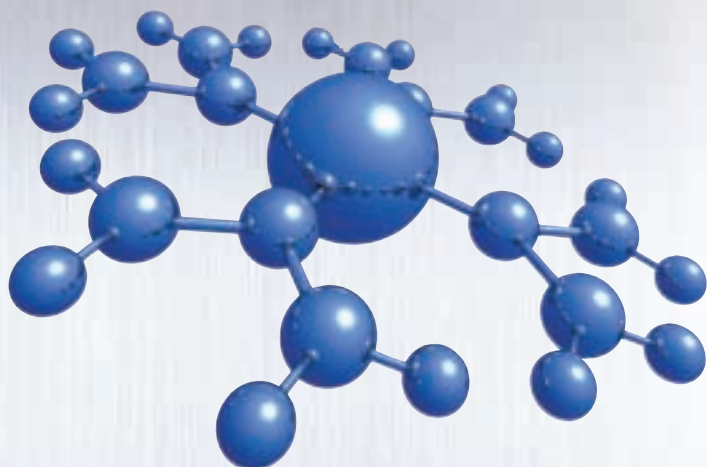


「技術立国日本」再生のカギは、日本のコア・コンピタンスである技術開発力と、それに裏打ちされた“モノづくり”の強化にある。そして、その原点は、日本の製造業が真摯に取り組んできた基盤研究と技術開発への挑戦にある。

新シリーズ企画では、当社が蓄積してきた世界トップレベルの技術力を、そのバックボーンにある“科学の世界”から解き明かしながら、「新日鉄のモノづくりの原点」を探る。

## 軟らかくて強い鉄への挑戦



1台の乗用車重量の約70%を占める鉄。ボディ用の鋼板からボルト1本に至るまで、使用目的に合わせて100種類以上の鉄材料が使われている。そして、その中でも最も技術革新が進んでいる領域が、「高強度」「加工性」「防錆性」などのさまざまな性能が要求されるボディ用鋼板だ。

そこでは、「高い強度」と「良加工性」といった相反する特性の両立が求められる。そうした難題を、新日鉄は組織制御などの優れたテクノロジーで克服している。そしてその背景にあるのが「鉄の結晶構造」というサイエンスの世界だ。

第1回目は自動車ボディ用鋼板を例にあげ、鉄の性質を変幻自在に変えながら「軟らかいが強い」「軽いが強い」などの多彩な鉄を可能にしている「鉄の結晶構造」を自由にあやつる「材質のつくり込み」の科学に迫る。

「曲がるけれど強い」  
相反する機能を追求

自動車ボディ用の鋼板に求められる材質は、1980年頃まで、丸みを帯びたスタイルデザインを可能にする鋼板の軟らかさ、つまり加工・成形性の向上が最大のテーマだった。さらには、ボディの外側全体（サイドパネルアウトター）を一体で成形しようという過酷な加工・成形ニーズに応えられる軟らかい鋼板が追求された（図1）

1970年代後半からは加工・成形性ととともに、薄く、そして軽くて強度の高い鉄（ハイテン材：High Tensile Strength Steel）が求められるようになった。アメリカの排ガス規制「CAFE」（注）の実施以降、排ガスによる環境汚染が世界的にクローズアップされ、自動車の燃費向上を図るための車体軽量化が求められるようになったからだ。

日本でも1980年初頭の第2次オイルショックを機に、自動車メーカーによる燃費改善が積極的に進められた。さらに1990年代になると、環境問題に加えて衝突安全性の向上が叫ばれ、材料のハイテン化率は年々上がり、今日に至っている（図2）

“加工・成形性＝軟らかく加工しやすい鉄” “高強度＝薄くても強い鉄”。次に、これらの一見相反する機能を追求し、それを実現してきた材質の科学を紹介しよう。

たわみをずらしながら  
変形する鉄

物質を形づくる結晶。通常、結晶は原子が規則正しい配列（格子）をつくって並んでいるが、鉄の結晶はきちんと並んでいない。並び方が乱れた「転位」と呼ばれる部分がある（図1）。実は、この「転位」が鉄の加工・成形に欠かせない役割を果たしている。

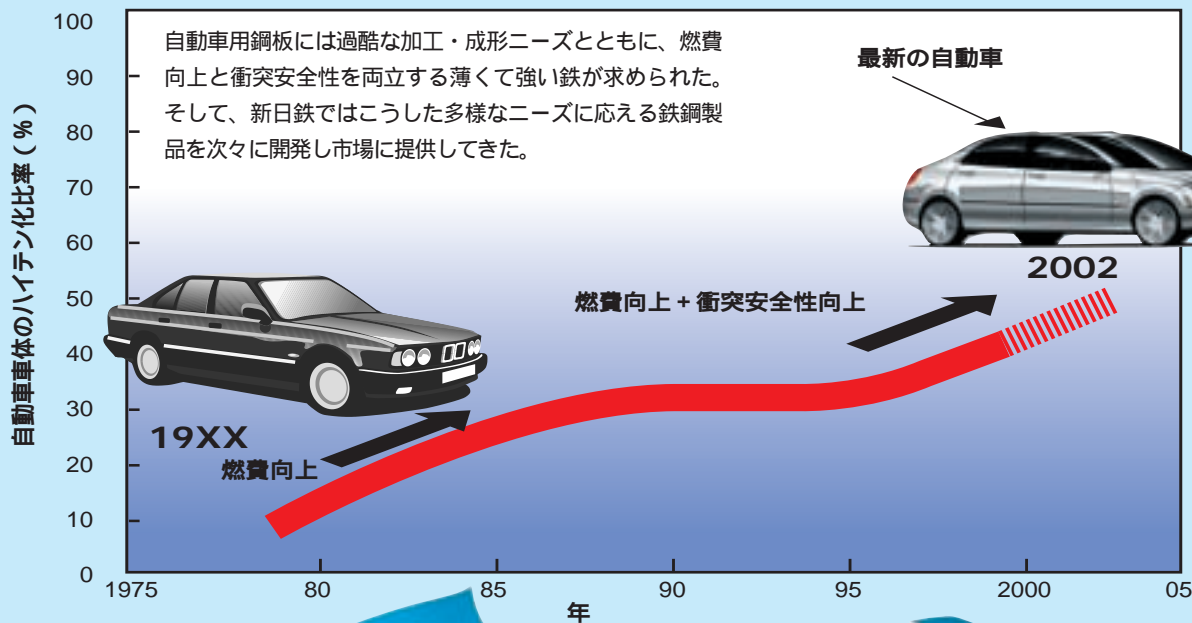
鉄を変形させるために力を加えると、構造的に不安定な「転位」が押されて原子のつなぎ替えが起こる。そして、この「転位」がズレて移動していくことで変形していく。もし仮に結晶がきちんと並んで構造が安定していれば、全体を一気にずらす必要があり、一度に大きな力を加えなければ変形させることができない。鉄の場合は「転位」が力を吸収しながら移動し、その乱れが伝わり変形していく。この「転位」があるからこそ簡単に変形させることができる。理論的には、安定した結晶構造のものを変形させる力の1,000分の1の力で済むと言われる。

例えば、大きな絨毯を移動させようとしたとき、端を引っ張って一度に移動させようとしてもなかなか動かない。しかし、高さ10cmぐらいのたわみをつくり、そのたわみを横にずらして移動させていけば、軽い力で絨毯を動かすことができる。原理はそれと同じだ。実は鉄の加工・成形は、すべてこの「転位」を利用して行われている（図3）

\*CAFE：Corporate Average Fuel Economy

# 進化する自動車用鋼板

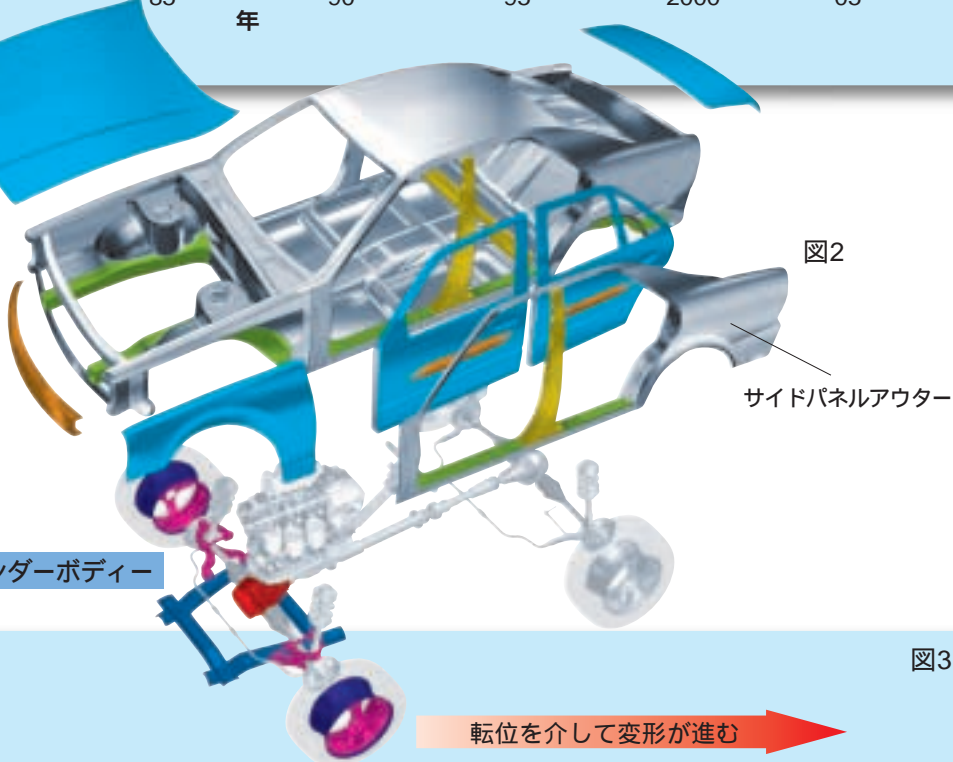
図1



## ハイテン化が進む自動車用鋼板

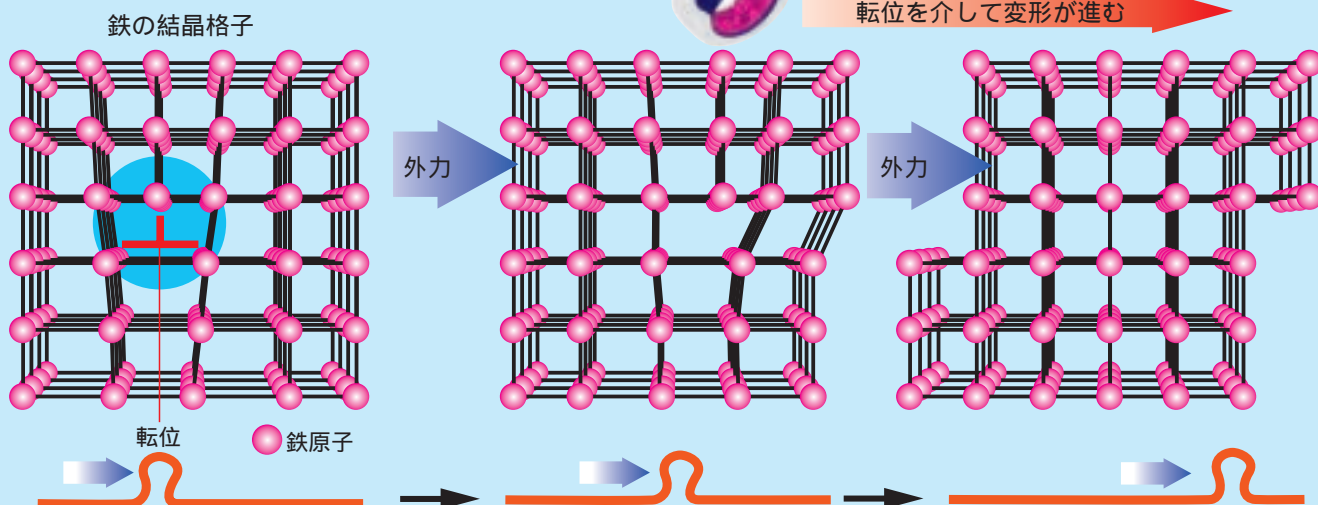
図2

TS(N/mm <sup>2</sup> )	ボディー	アンダーボディー
軟鋼		
340~370		
390~440		
590~780		
980~1270		
	400~440	
	490~540	
	590	
	690	
	780	



## 変形しやすい鉄

図3



鉄の結晶には並び方が乱れた「転位」があり、外力が加わるとその転位が押されて原子のつながり替えが起こる。じゅうたんをずらすように、その現象が移動していくことによって鉄は変形していく。

## 炭素や窒素に 変形の邪魔をさせない

しかし鋼材はその製造過程で、結晶格子の間に窒素や炭素が入り込み、それが転位部分に集まってくる。変形力を吸収しやすい乱れた部分が埋まることによって結晶構造が安定してしまい、転位が動きにくくなり硬くなってしまふ(図4)。常温状態でもそうした現象が簡単に起きることから、たとえ製造直後は柔らかくても製品を輸送して自動車メーカーでプレスする際に硬くなってしまふこともあった。それをなくすためには鋼材に入り込んだ炭素や窒素を減らすとともに、それらが転位部分に集まらないようにする必要がある。一般的に、炭素の量が多いと鋼材は硬くなる。

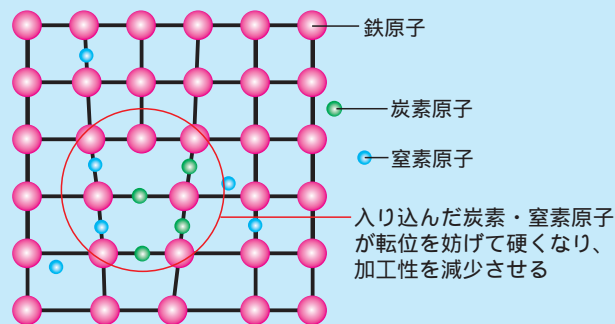
新日鉄では、自動車のボディデザインの多様化による加工・成形性の向上ニーズに対して、高炉から生まれた銑鉄(炭素を1.7%以上含有した鉄)に含まれる炭素や不純物を、製鋼段階(二次精錬)で徹底的に減らし、チタンやニオブを添加して、鋼材に残った炭素・窒素を化合物に変えて、転移部分への移動を抑えることによって変形が邪魔されない「IF鋼(Interstitial Free: 極低炭素)」を開発。(図5) この「IF鋼」の登場によって、過酷な加工を必要とするボディの一体成形が可能になったのである。このように、1980年頃までの材質のつくり込みは、鋼材に含まれる炭素・窒素をいかに無害化するかという戦いであり、それが加工・成形性向上のキーポイントとなっていた。

## 結晶の変化で さらに強い鉄を

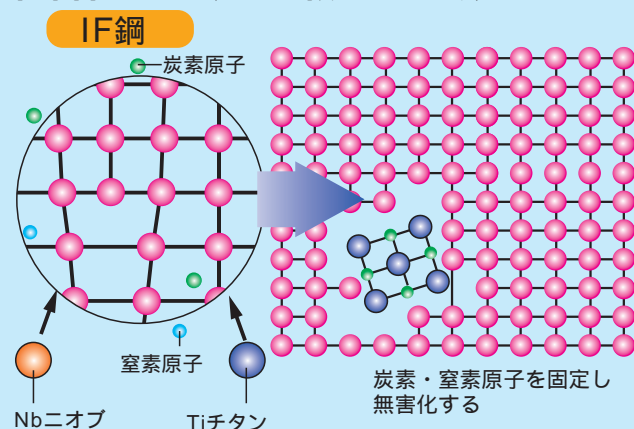
強く硬い鉄(ハイテン材)をつくるためには、逆に、この転位部分を動きにくくしてやればよい。多量の炭素・窒素を入れる、または転位部分で鉄原子に置き換わるシリコン(Si)やマンガン(Mn)などの元素を入れる(固溶強化)ことで、45kgf/mm<sup>2</sup>(1mm<sup>2</sup>当たり45kgまでの力を加えても切れない)の強度を持たせることに成功した(図6)。そして、さらに硬く強くするために、より大きい析出物を入れて転位をさらに動きにくくしたり(析出強化、80~100kgf/mm<sup>2</sup>)(図7)、熱処理を加えて結晶格子を伸ばした(歪ませた)部分に炭素や窒素を多量に入れて硬くする(変態強化、150kgf/mm<sup>2</sup>まで)(図8)などの材質のつくり込みを実現した。これによってハイテン材の強度は著しく向上した。

転位部分を手押し車に例えると、引っ張るときに小石がたくさんあると動きにくく(固溶強化)、大きな石があると容易に先へ進めず(析出強化)、さらに坂道などの悪条件の中で小石がたくさんあるとほとんど動けない(変態強化)といった状態に似ている。

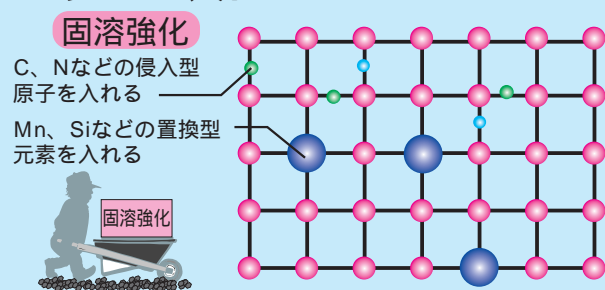
## 炭素や窒素が入り込み、硬くなる鉄 図4



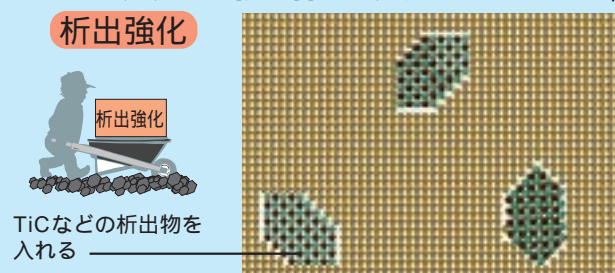
## 化合物をつくって軟らかい鉄に 図5



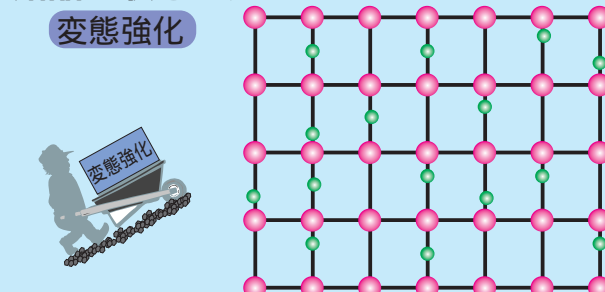
## SiやMnを入れる 図6



## さらに大きな析出物を入れる 図7



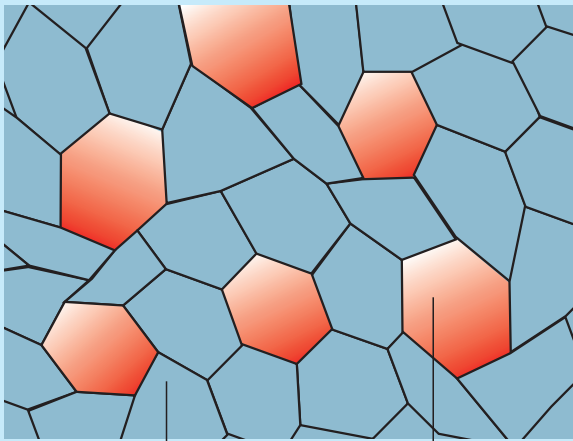
## 結晶の状態を変える 図8



## 硬い部分と軟らかい部分が共存

図8

### DP鋼



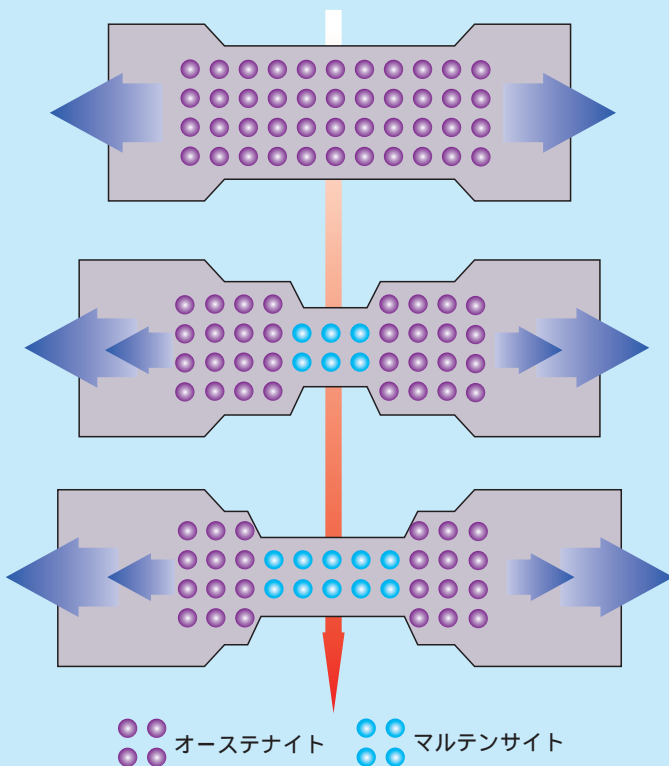
フェライト マルテンサイト

構造が安定した硬いマルテンサイトの結晶。軟らかく変形しやすいフェライトの結晶を共存させて、強く加工・成形性の良い鋼材を開発。

## 一瞬変形してすぐ固くなる

図9

### TRIP鋼



緻密な温度調整によって鋼材内部にオーステナイトを残しておくと、その部分は少しの力が加わるだけで安定した硬いマルテンサイトに変わる。その原理を利用して、加工後、または衝突後すぐに硬くなる鋼材を開発した。

## 成分・温度の仕掛けで多彩な鋼材をつくる

現在ハイテン化ニーズが高まる中で、強くしながら成形・加工性も向上させる鋼材開発が求められている。この難題への挑戦は、新日鉄の実際の開発商品を例に説明するとわかりやすい。

例えば、「DP鋼 (Dual Phase = 2相)」。その名のとおり、結晶の状態を変えて変態強化した硬い部分と変態強化させていない軟らかい部分を共存させて、プレス成形による変形は軟らかい部分で行うというものだ(図8)。同じ鋼材の中で相反する性質を持たせた画期的な商品だ。

また「TRIP鋼 (Transformation Induced Plasticity)」は、力を加えたときに結晶格子が伸びて一瞬変形するがすぐに硬くなる、つまりプレス成形した後にその変形部分が急激に硬くなるというもの。その原理はまず、鋼材を加熱(約900℃)して、常温では存在しない、いわば不安定だが伸びの良い結晶格子(オーステナイト)にする。その温度をうまく常温にまで下げると、安定した硬い結晶格子(マルテンサイト)に戻るが、その際にすべて元に戻るのではなく、鋼材にオーステナイトが残った状態になる。そして、その残存したオーステナイトは結晶格子が少し伸縮するだけでマルテンサイトに変わるので、プレスなどの力を加えると、オーステナイトの特性によって一瞬伸びるが、すぐに安定した硬いマルテンサイトに変わり、変形部分の強度が高まる(加工誘起変態)(図9)。

通常は1カ所に力を加え続けると、変形した部分が最終的にくびれて切れてしまう。TRIP鋼の場合は、変形部分がすぐに硬くなるので、周囲に力が伝わり変形が広がっていくという性質がある。それによって硬くても伸びがいい鋼材ができた。また、衝突の際にボディが破れたり潰れたりしそうになると硬くなって強度が高まることから、衝突安全性においても優れた機能を発揮する。

材質のつくり込みとは、このように添加元素の成分調整や加熱・冷却(温度調整)の仕掛けをつくっていくことで、鉄の性質を変幻自在に変えていくことだ。これがいわゆる鉄の組織制御だ。

