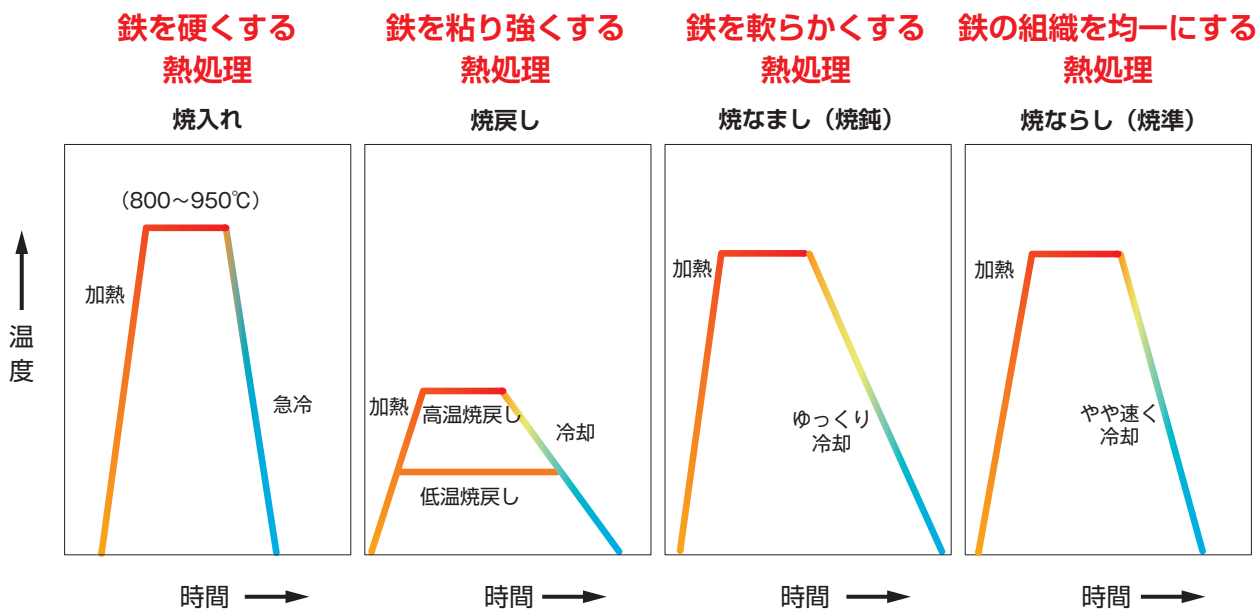
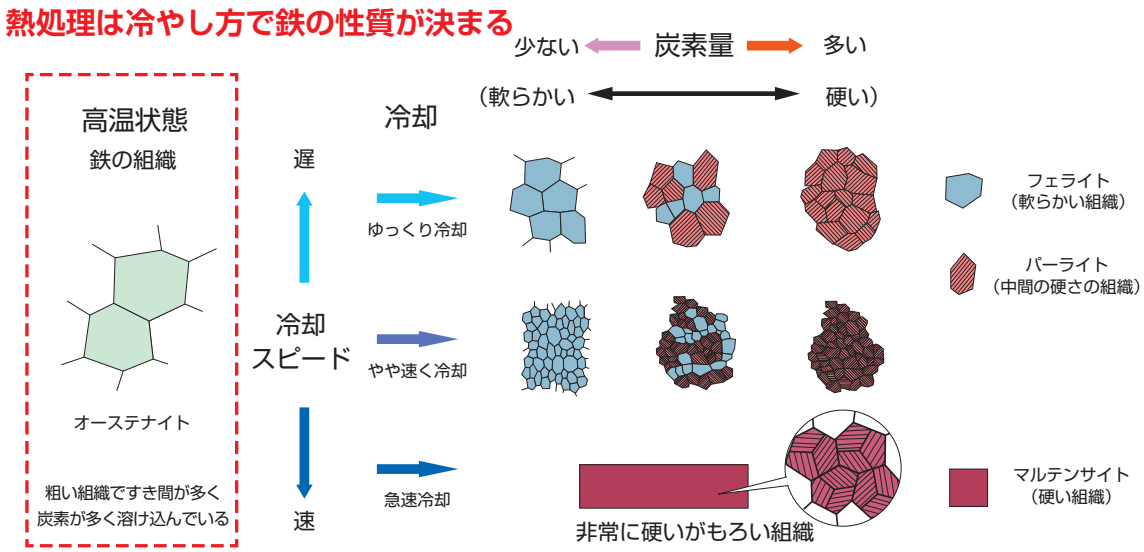
鉄の特性を引き出す熱処理の科学

私たちの暮らしや産業に欠かせない鉄は、熱して冷ます「熱処理」という技術が駆使されています。では熱処理とは一体どんな技術なんでしょうか。一緒に考えてみましょう。

図1　鉄の特性を引き出す熱処理の4つの基本パターン





さぁ！ それぞれの技術を詳しく見てみよう

Note No. 1

Q1. 熱して冷ます「熱処理」って、どんな技術だったかな？

A1. 軟らかかったり、硬かったり、粘り強かったり、
さまざまな鉄の特性を引き出す技術だよ。

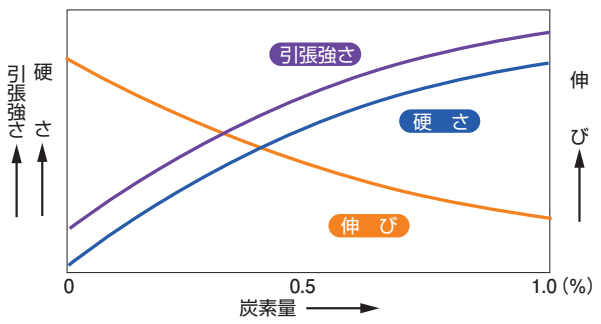
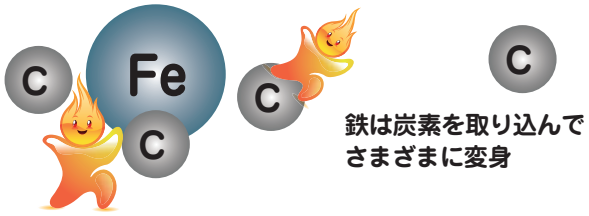


図2　鉄に含まれる炭素量と鉄の性質



鉄は炭素を取り込んで
さまざまに変身

熱処理は英語で「ヒート・トリートメント(heat treatment)」と呼ばれます。髪を洗ったあとリンスやコンディショナーを使って、ツヤや滑らかさなど髪が本来持っている性質を取り戻したり、引き出したりするのと、まさに同じような効果があります。

熱処理にもいろいろな種類(**図1**)があり、熱したあと急に冷やす「焼入れ」、焼入れしたあと行う「焼戻し」、逆に熱したあとゆっくり冷やす「焼なまし」、やや速く冷やす「焼ならし」など、熱したあとの冷やし方によって、さまざまな特性が出るのです。

また、鉄の熱処理を見ていくには、「炭素」の存在も欠かせません(**図2**)。鉄に含まれる炭素の量が多いほど、引張強さや硬さは高まりますが、伸びは逆に小さくなり、硬くてもろい性質になります。一方、炭素量が少ないほど、引張強さや硬さは低くなりますが、伸びは逆に大きくなり、軟らかく加工しやすい性質になります。

このように熱処理や炭素量を操ることによって、目に見えない鉄の内部で炭素原子の存在形態が変化して、さまざまな鉄の個性がつくり込まれています。

Note No. 2

Q2. 硬い鉄をつくるためには、どうしたらいいかな？

A2. 「焼入れ」をすれば、硬くなるんだよ。

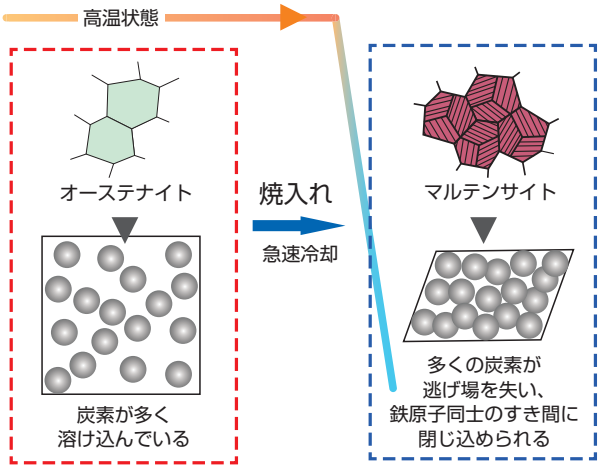
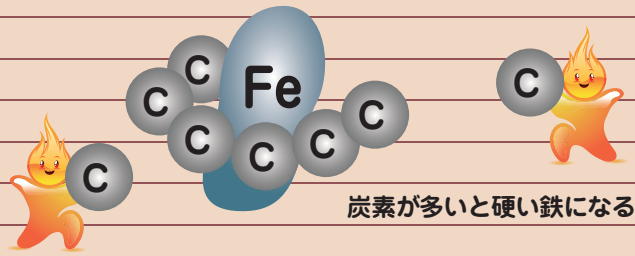


図3　焼入れの結晶構造の変化

C → 多いと硬い

少ないと軟らかい ←

鉄は温度によって原子の並び方(結晶構造)が変わります。鉄を高温に加熱すると、フェライトからオーステナイトと呼ばれる構造に変わります(**図3**)。オーステナイトでは鉄原子のすき間に多くの炭素が入り込みます。これを冷やすと炭素は鉄原子のすき間から外に逃げ出し、結晶構造はオーステナイトから元のフェライトに戻ろうとします。しかし急に冷やすと、炭素が出ていくよりも速く結晶構造が変わるため逃げ場を失い、鉄原子同士のすき間に閉じ込められてしまいます。こうして満員電車のように炭素は身動きが取れなくなり、鉄の構造が硬いマルテンサイトに変わるため、「焼入れ」をすると鉄が硬くなるのです。



炭素が多いと硬い鉄になる

Note No. 3

Q3. 「焼入れ」で硬くなった鉄は、もろくて割れやすい。どうしたら改善できるかな？

A3. 焼入れをしたあと「焼戻し」をすれば、粘り強い鉄になるんだよ。

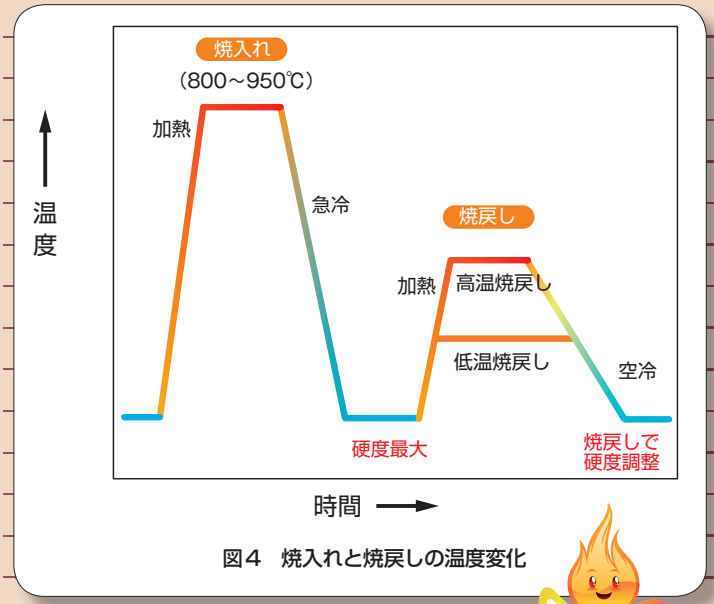


図4　焼入れと焼戻しの温度変化

焼入れを行ってマルテンサイトになった場合の硬さは鉄に含まれる炭素の量で決まり、炭素量が多いと硬くなります。しかし焼入れで生成したマルテンサイトは非常に硬いものの、もろくて割れやすくなります。原因はオーステナイトを急に冷やしたとき、逃げ場を失った炭素が結晶構造をひずませているからです。そのため焼入れをしたあと、多くの場合「焼戻し」をします(**図4**)。

「焼戻し」は、焼入れで得られたマルテンサイトを再び熱したあと冷やすことで、硬くてもろいマルテンサイトから、炭素を鉄・炭素の化合物(セメンタイト)として吐き出し、粘りのある焼戻しマルテンサイトへと変化させます。より靭性(粘り強さ)を必要とする場合には、高温(例：650～700℃)で「焼戻し」を行います。より硬さを必要とする場合には、低温(例：150～200℃)で「焼戻し」を行います。このように狙いの靭性と硬さに応じて炭素量と熱処理の温度を変えています。

焼戻しの温度設定で鉄の性質が変わる

Note No. 4

Q4. 軟らかい鉄をつくるためには、どうしたらいいかな？

A4. ゆっくり冷やす「焼なまし」をすれば、軟らかくなるんだよ。

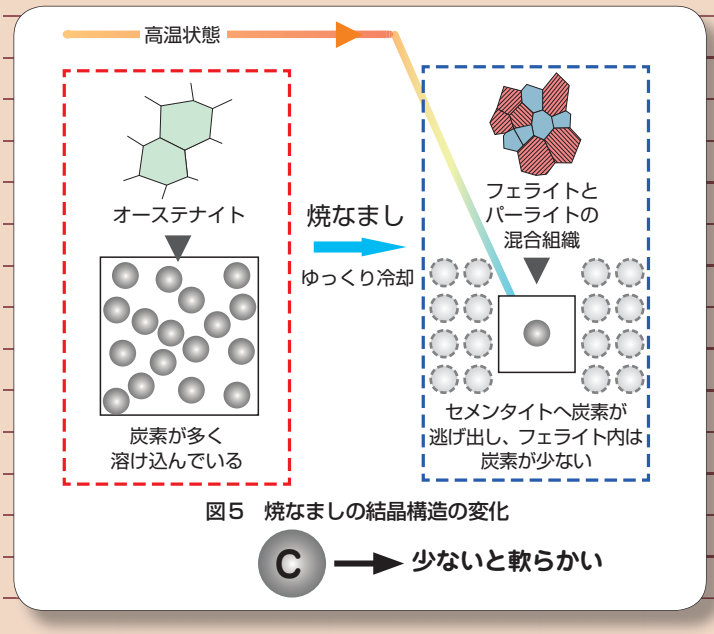
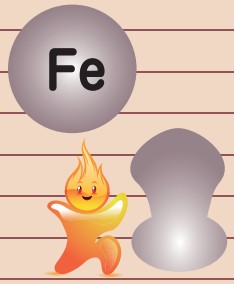


図5　焼なましの結晶構造の変化

オーステナイトを急に冷やす焼入れでは、炭素が鉄の結晶から逃げ出せませんでした。しかし炭素は本来とても足が速く、ゆっくり冷やす「焼なまし」では鉄の結晶から逃げ出し、鉄・炭素の化合物(セメンタイト)をつくります。そのため鉄の結晶はオーステナイトからフェライトとパーライト(フェライトとセメンタイトの層状組織)の混合組織に変わります(**図5**)。フェライトは軟らかい組織、パーライトはマルテンサイトよりは軟らかい組織であるため、「焼なまし」をすると鉄が軟らかく加工しやすくなるのです。



軟らかくなった鉄は
さまざまな形に加工しやすくなる

Note No. 5

Q5. 加工などを経てひずみが生じた鉄の組織を一度の熱処理で元に戻すには、どうしたらいいのかな？

A5. 少し速く冷やす「焼ならし」をすれば、いいんだよ。

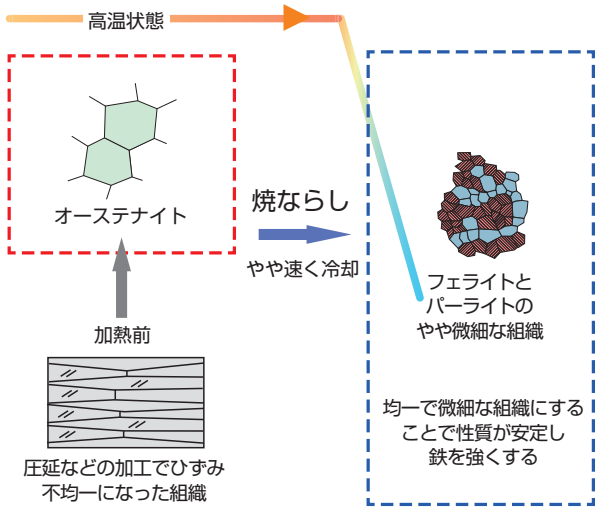


図6　焼ならしの結晶構造の変化

焼ならしは英語で「ノーマライジング(normalizing：標準に戻す)」と呼ばれています。薄く引き延ばす圧延、たたいて成形する鍛造、型に流し込んで成形する鋳造などの工程で加工された鉄は、結晶粒が粗大化したり、組織が不均一になったり、ひずみの残った状態になったりします。これを元の状態に戻すため、「焼ならし」が行われます。

「焼ならし」は、まず加工された鉄を熱することで、不均一な結晶粒が新しいひずみのない結晶粒のオーステナイトとなります。そして、やや速く冷やすことで結晶粒が比較的微細なフェライトとパーライトに変化します(**図6**)。延ばされた組織が元の状態になるため、「焼ならし」をすると本来、鉄が持っている強度、延性にすることができます。

「焼ならし」で仕上げる製品は少ないですが、鍛造によって粗く成形した中間製品の切削加工を容易にするため、よく使われる熱処理です。切削によって形状を整えた中間製品は、改めて「焼入れ」と「焼戻し」を行ってニーズに合った硬さにして製品となります。

Note No. 6

Q6. それぞれの熱処理の技術って、どんなものに使われているの？

A6. ありとあらゆる身の回りの製品に用いられ、暮らしや産業を支えているんだよ。

熱処理された鉄製品の代表例

「硬い鉄（焼入れ効果）」
→ベアリング (軸受け)、自動車などの変速機に使われる歯車

「粘り強い鉄（焼戻し効果）」
→油井管、ラインパイプ、ボルト

「軟らかい鉄（焼なまし効果）」
→ブリキ缶、針金

「基本強度の鉄（焼ならし効果）」
最終製品ではなく、焼入れされる製品の切削加工前に施されることが多い

例えば、自動車、鉄道のレールや車輪、エアコンや冷蔵庫など家電製品のローラーやモーター、スパナやドライバーといった工具、包丁やナイフといった生活用品、缶ビールや缶飲料に使われるスチール缶などを、鉄鋼材料でつくるとき、鉄を薄く引き延ばしたり、たたいて成形したり加工する際に熱処理技術が施されています。

また製鉄所で鉄鋼材料をつくるときにも熱処理技術が駆使されています。例えば厚みが20センチ以上もある鉄の塊(スラブ)を加熱して圧延機で数十ミリまで薄く延ばし鋼板をつくる圧延工程などをはじめ、全ての品種で用いられ、高品質な鉄鋼材料の生産に寄与しています。

鉄は熱処理によってさまざまな性質を持つ鉄になり社会に役立っている