

鉄鋼材料の基礎

ものづくり基礎講座（第61回技術セミナー）

『金属の魅力をみなおそう 第4弾 機能編 第1回 鉄鋼材料』

Trans-Regional
Corporation Center

Trans-Regional
Corporation Center

Trans-Regional
Corporation Center

東北大学金属材料研究所

正橋直哉

masahasi@imr.tohoku.ac.jp

2019.10.31 (Thurs.) 14:05～14:35

Trans-Regional
Corporation Center

クリエイション・コア東大阪 南館3階 技術交流室

Trans-Regional
Corporation Center

Trans-Regional
Corporation Center⁶



Trans-Regional
Corporation Center

鉄を象徴する建造物

第61回技術セミナー
2019 Oct. 31, 14:05~14:35 正橋直哉



東北大学



アトミウム (1958年)

高さ103mで、鉄の結晶構造（体心立方格子構造）を1650億倍に拡大したモニュメント



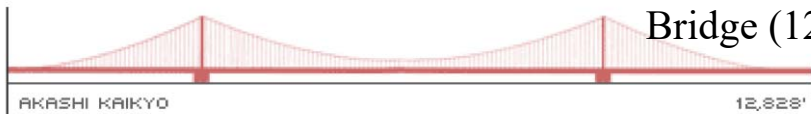
北海道開拓百年記念塔 (1970年)

高さ100mで、外壁は茶色の厚さ4.5-6.0ミリメートルの耐候性高張力鋼板で被覆 7



全長3911m、中央支間1991m

Akashi Kaikyo
Bridge (12828)



Golden Gate
Bridge (8981)

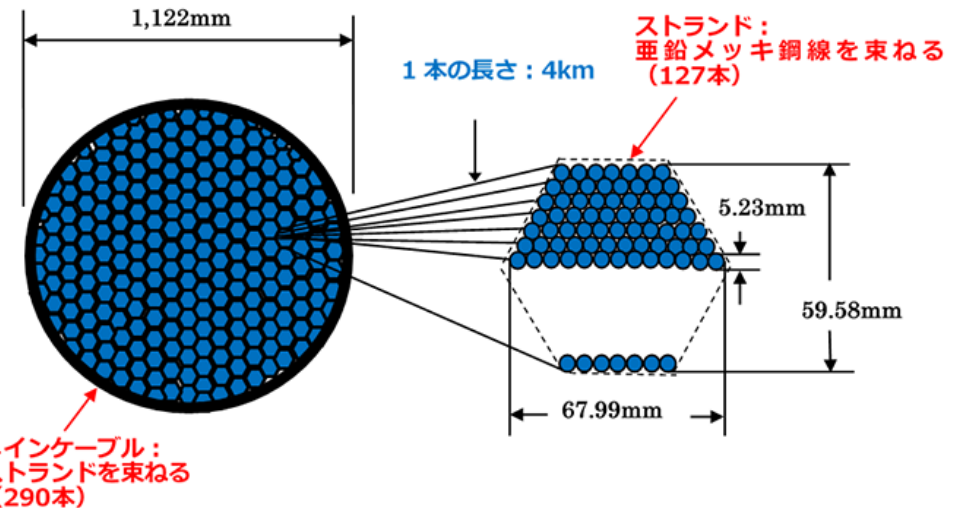


Brooklyn Bridge (3460)

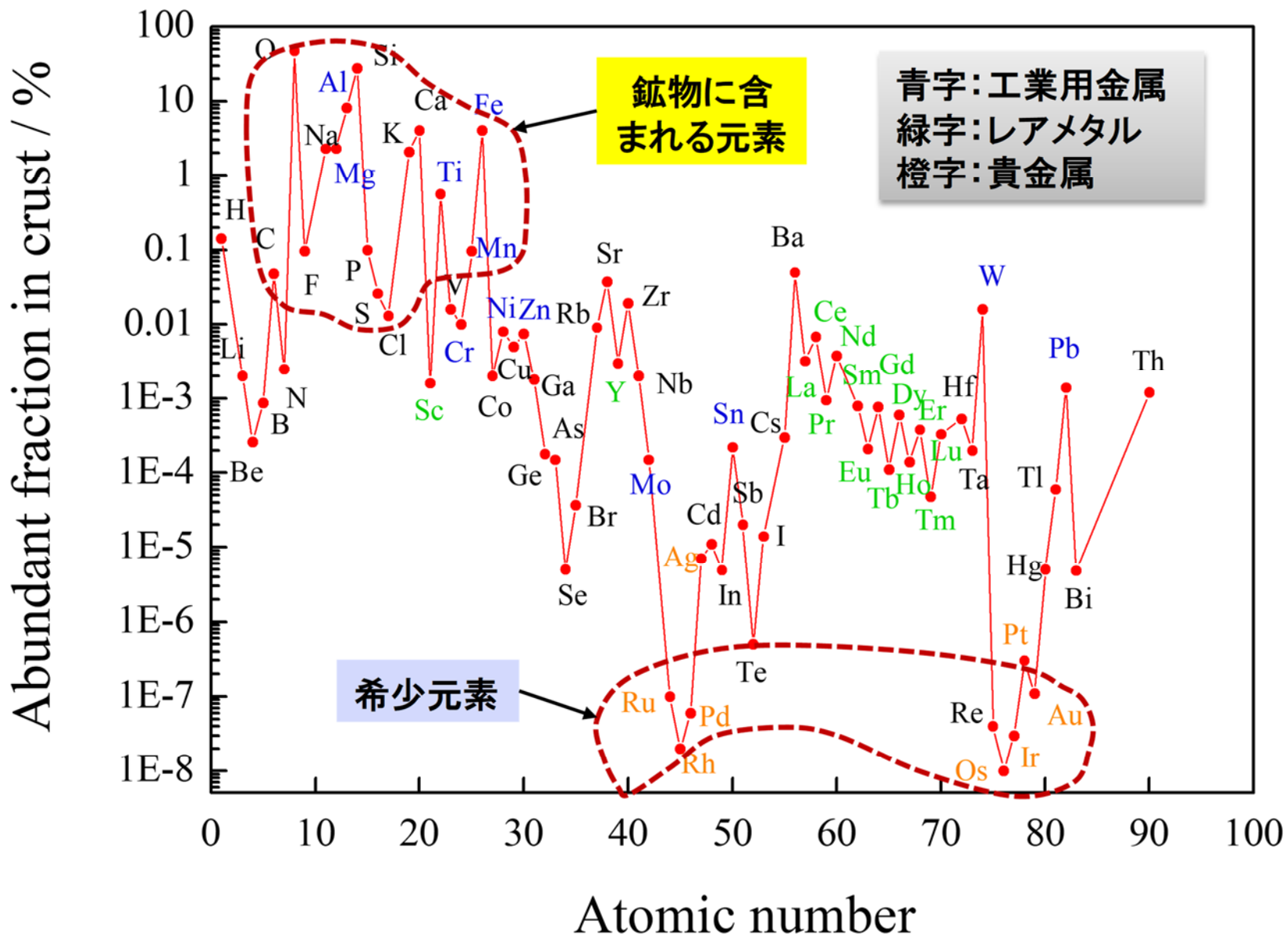


Iron Bridge 100' Iron Bridge (100)

アイアンブリッジ：378 tの鑄鉄製（3.25C-1.48Si-1.1Mn）で約800個の部材からなり1779年設立。30.63 mの鉄橋で1986年に世界遺産。



メインケーブルは、線径5mmで強さ1.8GPaの鋼線を127本束ねたストランドを290本(合計36,830本)束ねて直径が1.1mとする。



酸素、シリコン、アルミニウムに続き、鉄は地殻中では4番目に多い元素

JFEと神戸製鋼の財務内容を分析する 世界は鉄余り、鉄鋼業は再び「冬の時代」が到来か？

次ページ >

小宮 一慶：経営コンサルタント 著者フォロー

2013/07/02 6:00

シェア 0 ツイート 印刷 コメント 0



鉄鋼メーカーは厳しい局面に（写真は新日鉄住金の君津製鉄所、撮影：小河真与）

国内大手の鉄鋼メーカー、神戸製鋼所（以下、神戸製鋼）が、2017年度（平成29年度）をメドに神戸製鉄所の高炉を休止すると発表しました。鉄鋼事業の赤字が2年続いているため、コスト削減に踏み切ったのです。

ただし、業績が悪化しているのは神戸製鋼だけではありません。中国などの海外メーカーとの競争が激化していることや、鉄鋼市況そのものが弱音んでいることで、国内の鉄鋼業は厳しい局面に立たされています。今後、回復の見込みはあるのでしょうか。今回は、鉄鋼大手の神戸製鋼とJFEホールディングスの財務内容を分析していきます。



燃費規制に伴う電気自動車（EV）シフトや自動車軽量化の流れを受け、鉄がアルミや炭素繊維などに代替される動きが出ている。素材の盟主は自動車業界のパラダイムシフトにどう対応していくか。新日鉄住金の進藤孝生社長に聞いた。

— 欧州各国が2040年以降のガソリン車の販売を禁止する方針を表明し、中国も追随する動きを見せています。

EV普及で「鉄」はいらない？



新日鉄住金社長
進藤 孝生氏

48年 一橋大学、新日本製鉄ラジビエ部で全国大会ベスト（現新日鉄住金 入社、総務や4に。秋田県出身、68歳）

使用量減っても質に商機

「欧州などでEVを増やすという方針が出ている。電気を使うと確保するの、コストを引く。鋼材は軽くて強い高張力鋼板（ハイテン）の需要が伸びていく。モーターには電磁鋼板が使われる。EVの流れるが、いれど多いと思うが、EVが今より普及するとは間違いない。鉄を代替する動きは、鉄を代替する動きに進むことについては懐疑的だ。」

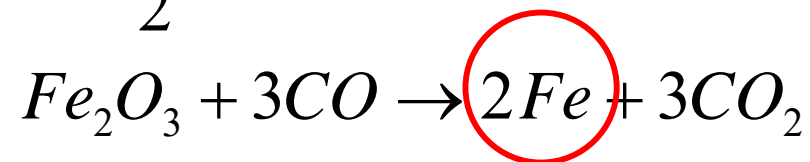
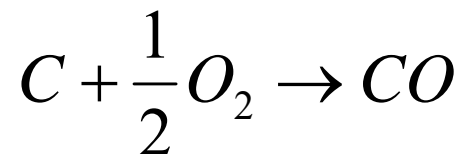
「欧州などでEVを増やすという方針が出ている。電気を使うと確保するの、コストを引く。鋼材は軽くて強い高張力鋼板（ハイテン）の需要が伸びていく。モーターには電磁鋼板が使われる。EVの流れるが、いれど多いと思うが、EVが今より普及するとは間違いない。鉄を代替する動きは、鉄を代替する動きに進むことについては懐疑的だ。」

「EVでは鉄鋼製品が使われるエンジンやトランスミッション部品がなくなる。我々の蓄積した高い技術を生かせるので、全体として自信を持って我々に有利な材料と見なしている。」

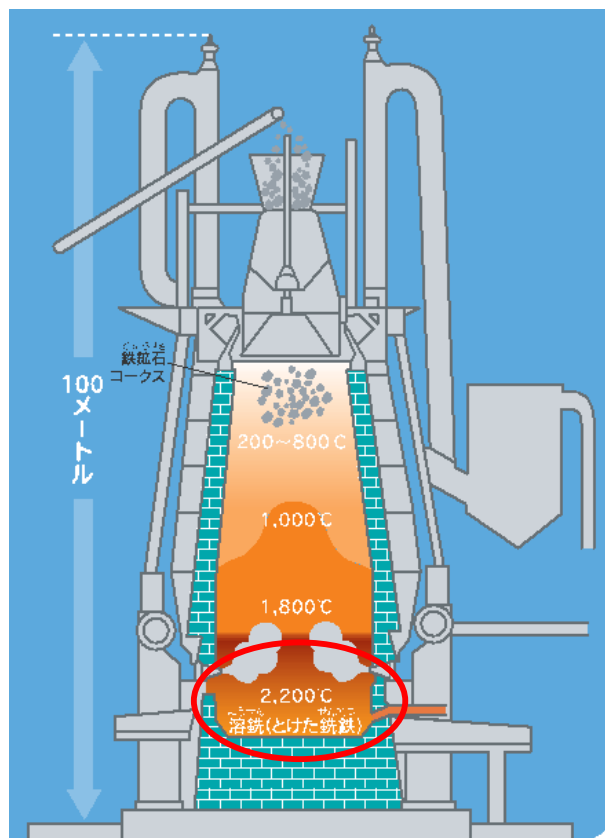
開室手から一言

海外鉄鋼と競争 利益面で戦略を 米エネルギー省は自動車材料のうち、重量比で7割超を占める鉄の比率が30年以内には4割強に低下すると分析する。調査機関によつて見方は分かれるが、アルミや樹脂など複数の素材を組み合わせる。国内のインフラの更新需要はこれから出てくる。内需が減少するのかもしれない。見極めた方がいい。」

石灰石 (CaCO₃) 鉄鉱石 (Fe₂O₃) コークス



鉄鉄1トン作るには
鉄鉱石1.6トン
コークス0.4トン
石灰石0.1トン
が必要



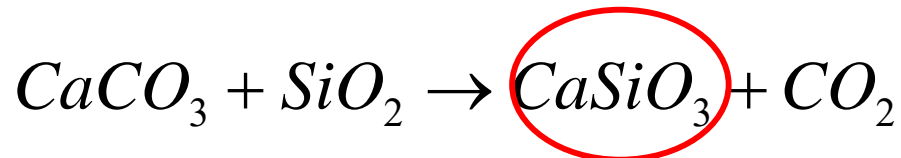
鉄鉱石が還元されてCO₂が発生し、2200°Cまで昇温する

銑鉄＝炭素が多く脆くて加工ができない

ブラジルの鉄鋼石はシリカやアルミナが少なく、オーストラリア鉄鉱石は多い。



石灰石を添加し軽量低粘性のスラグにする。



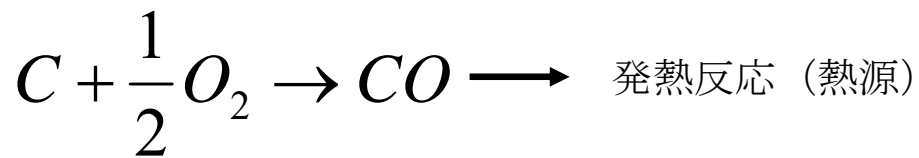
高炉セメント・道路路盤材、舗装材・
建築用断熱材・イネ育成用ケイ酸肥料

銑鉄を入れる

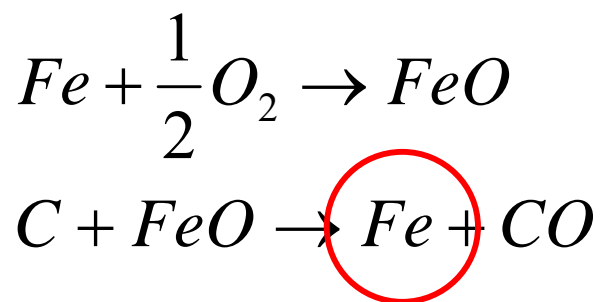
酸素を吹き込む



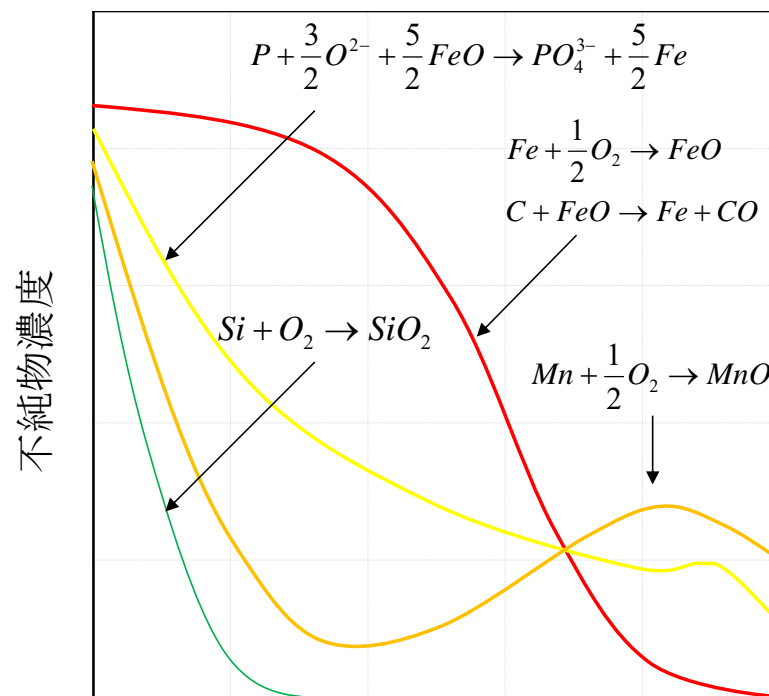
300トンの炉の中に
銑鉄とスクラップ
を入れて、不要な
炭素を酸化除去

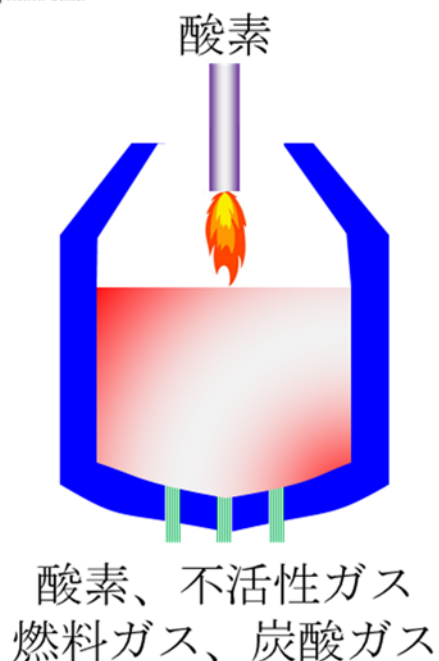


転炉の中の温度をCの燃焼熱で高める

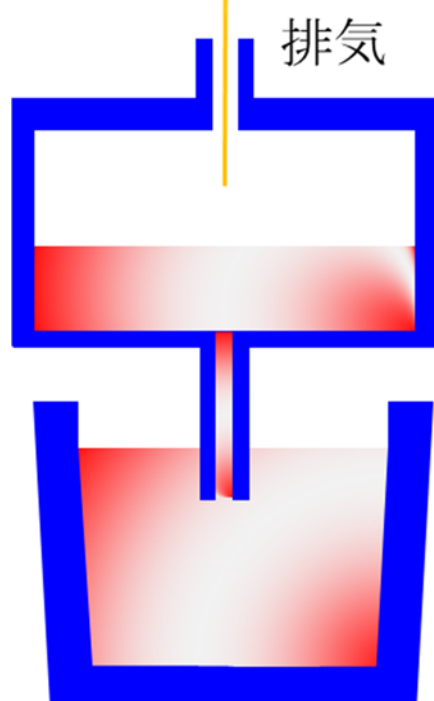


二次精錬により鋼（炭素が1.7%未満）
とし、加工性を付与する





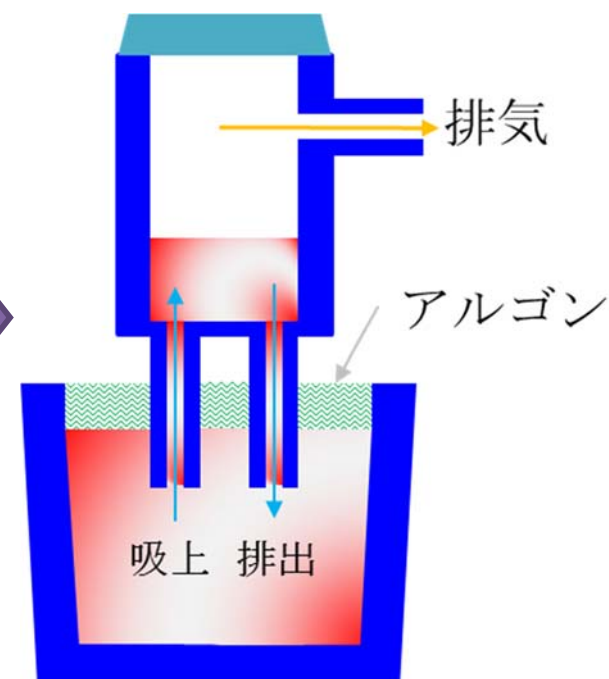
純酸素上吹転炉



DH真空脱ガス法

DH: Dortmund Horder
1959年八幡製鉄導入

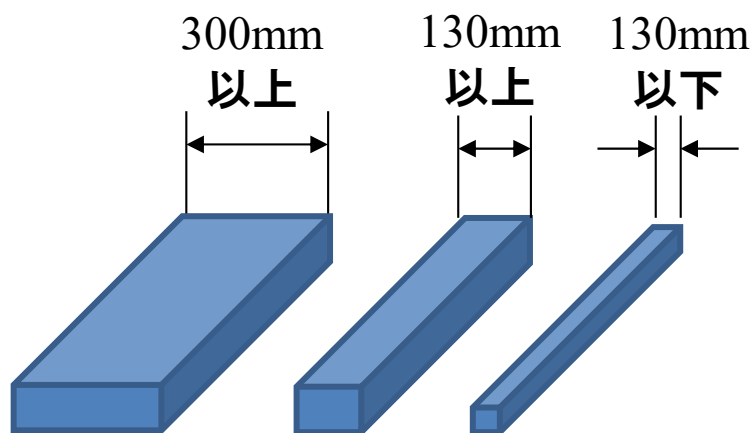
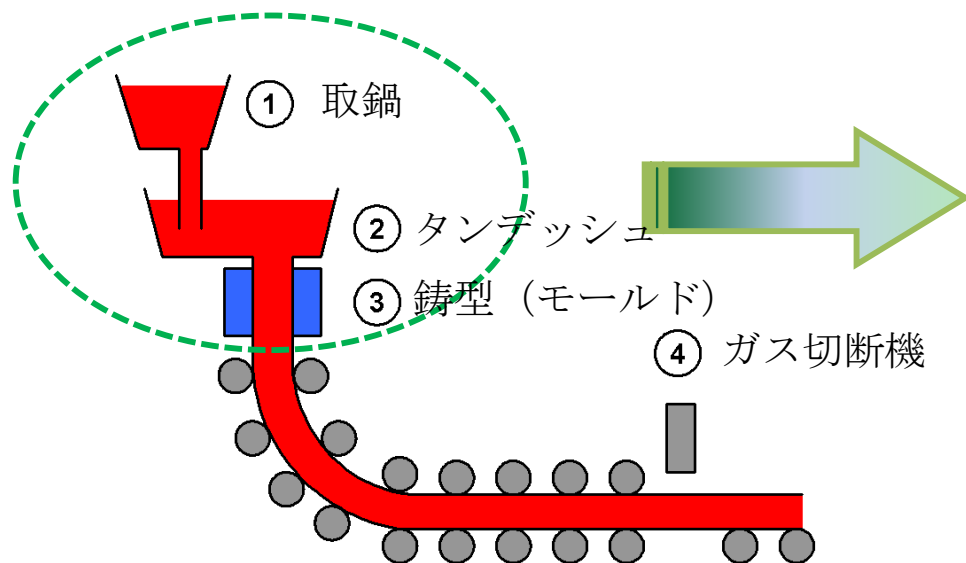
RH: Rheinstahl
-Hüttenwerke
1961年富士製鉄導入



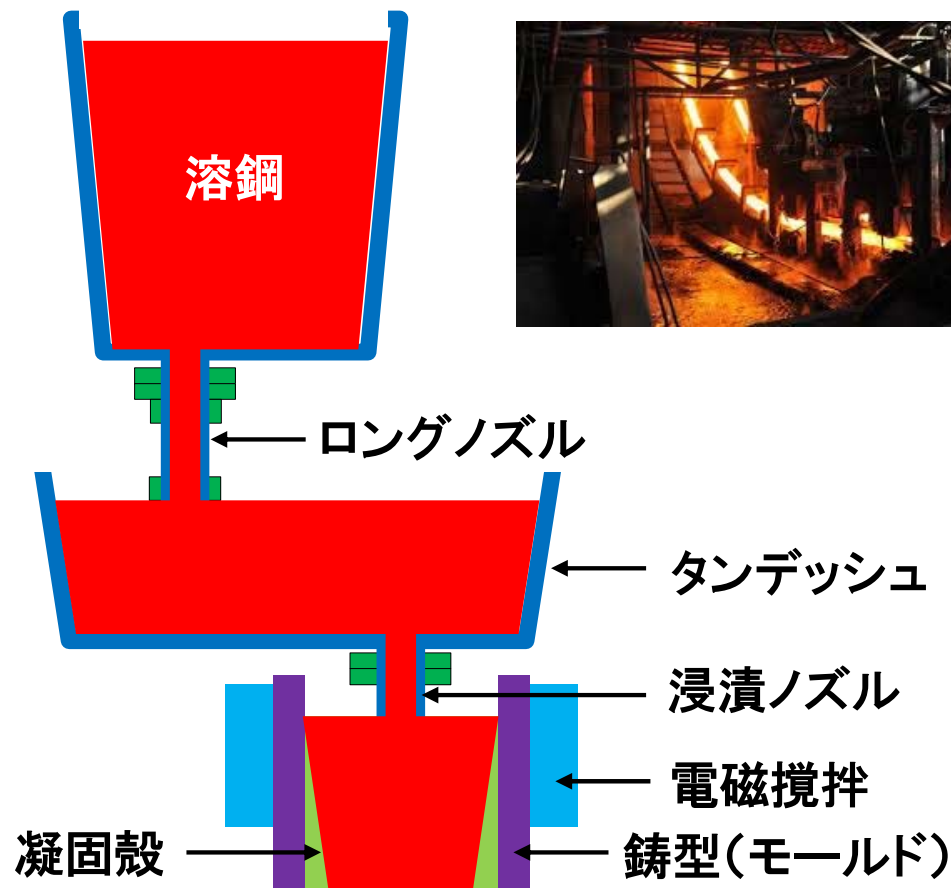
RH真空脱ガス法

元素	プロセスの組み合わせ	含有量	製品
[C]	純酸素上吹転炉→RH	[C] < 20 ppm	深絞り用鋼板
[P]	溶銑処理→純酸素上吹転炉→RH	[P] < 70 ppm	合金鋼、高圧容器
[S]	溶銑処理→純酸素上吹転炉→RH	[S] < 30 ppm	ラインパイプ
[N]	純酸素上吹転炉→RH	[N] < 20 ppm	連続焼鈍用鋼
[O]	溶銑処理→純酸素上吹転炉→LF→RH	[O] < 10 ppm	軸受鋼
[H]	溶銑処理→純酸素上吹転炉→RH	[H] < 1.5 ppm	ラインパイプ等厳格材

底の開いた長い鑄型で溶融金属を凝固し、底部から連続的に引出して切断する鑄造法

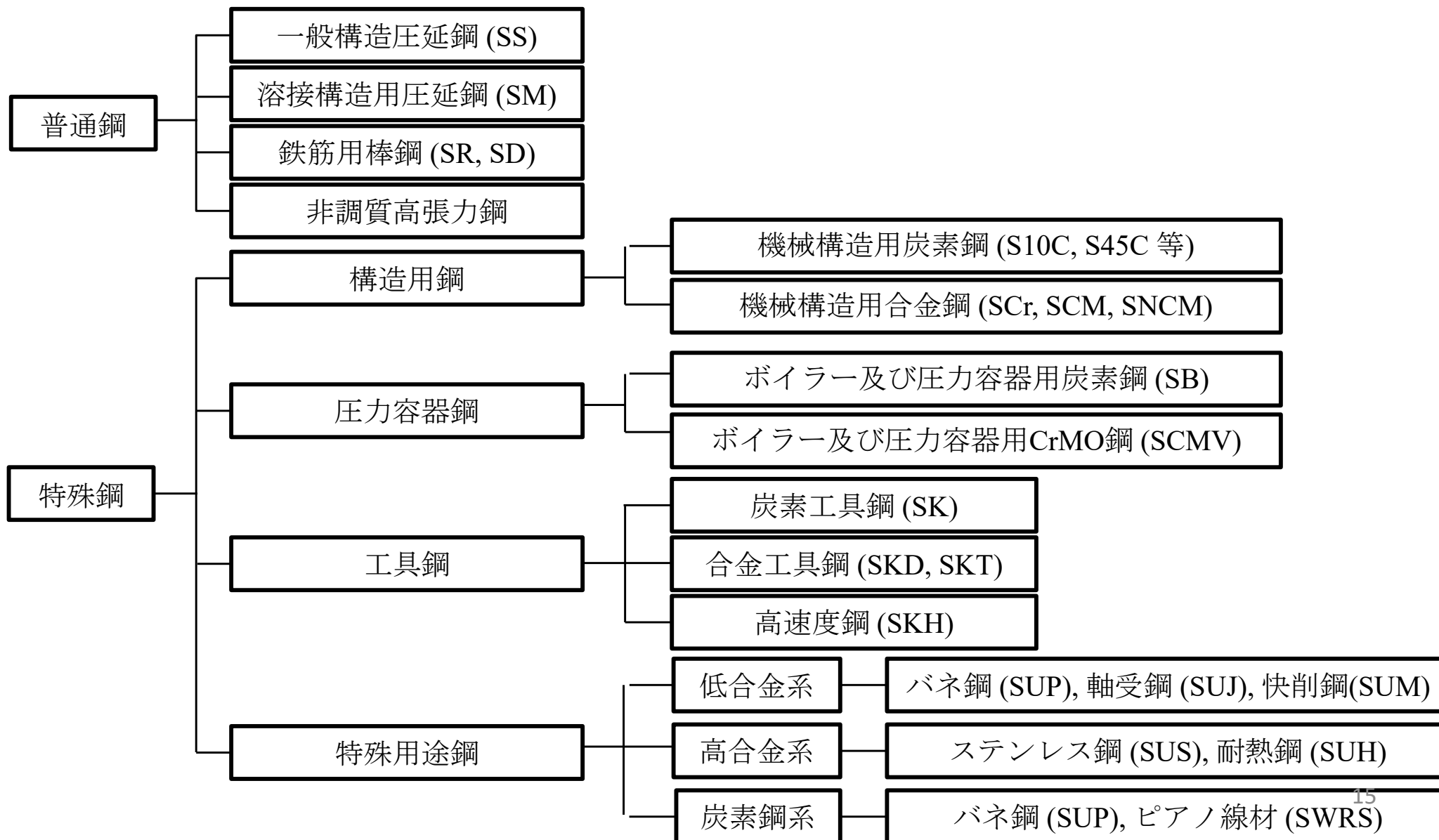


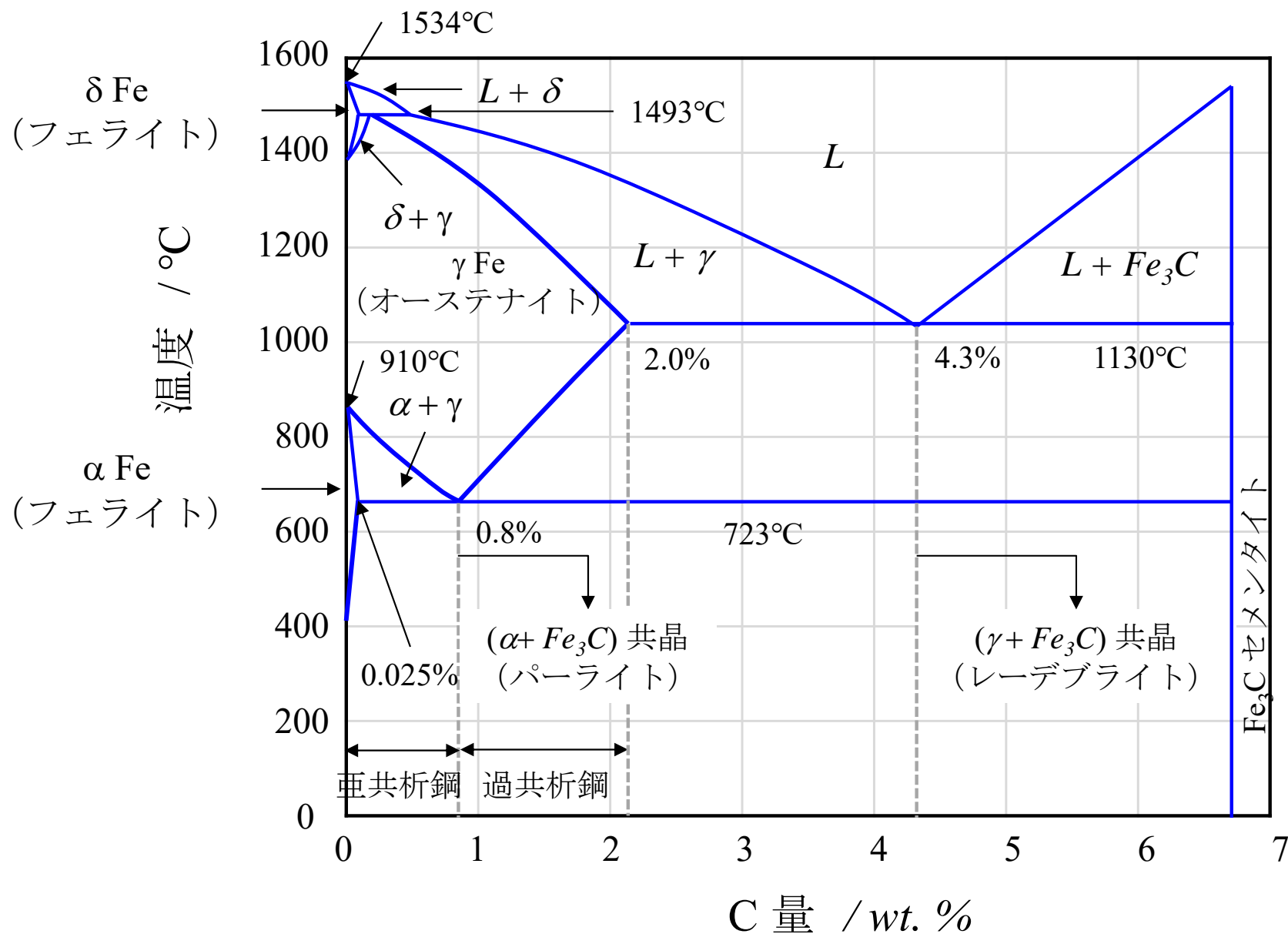
スラブ ブルーム ビレット
分塊鑄造の形状



熱いうちに熱間圧延工程に送られるが、厳しい用途に使用される鋼は、表面・内部欠陥の検査のため、冷却後に圧延工程に送られる

特殊鋼は普通鋼（非調質Fe-C合金）に対する用語で、NiやCrなどの元素を添加したり成分調整したもので、耐熱性・耐食性に優れ、厳しい環境下で使われる。（金属の百科辞典 丸善）


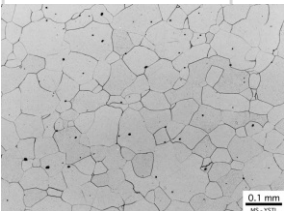

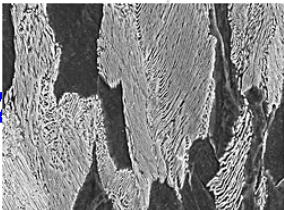
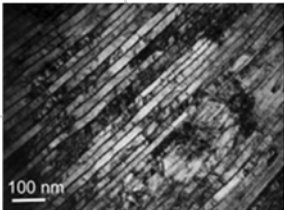

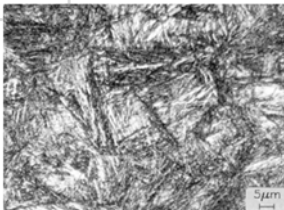
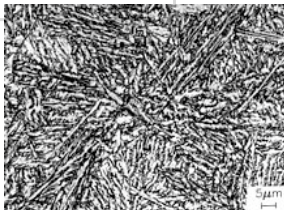

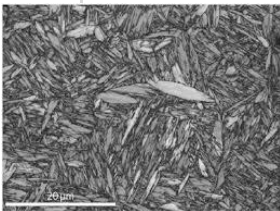


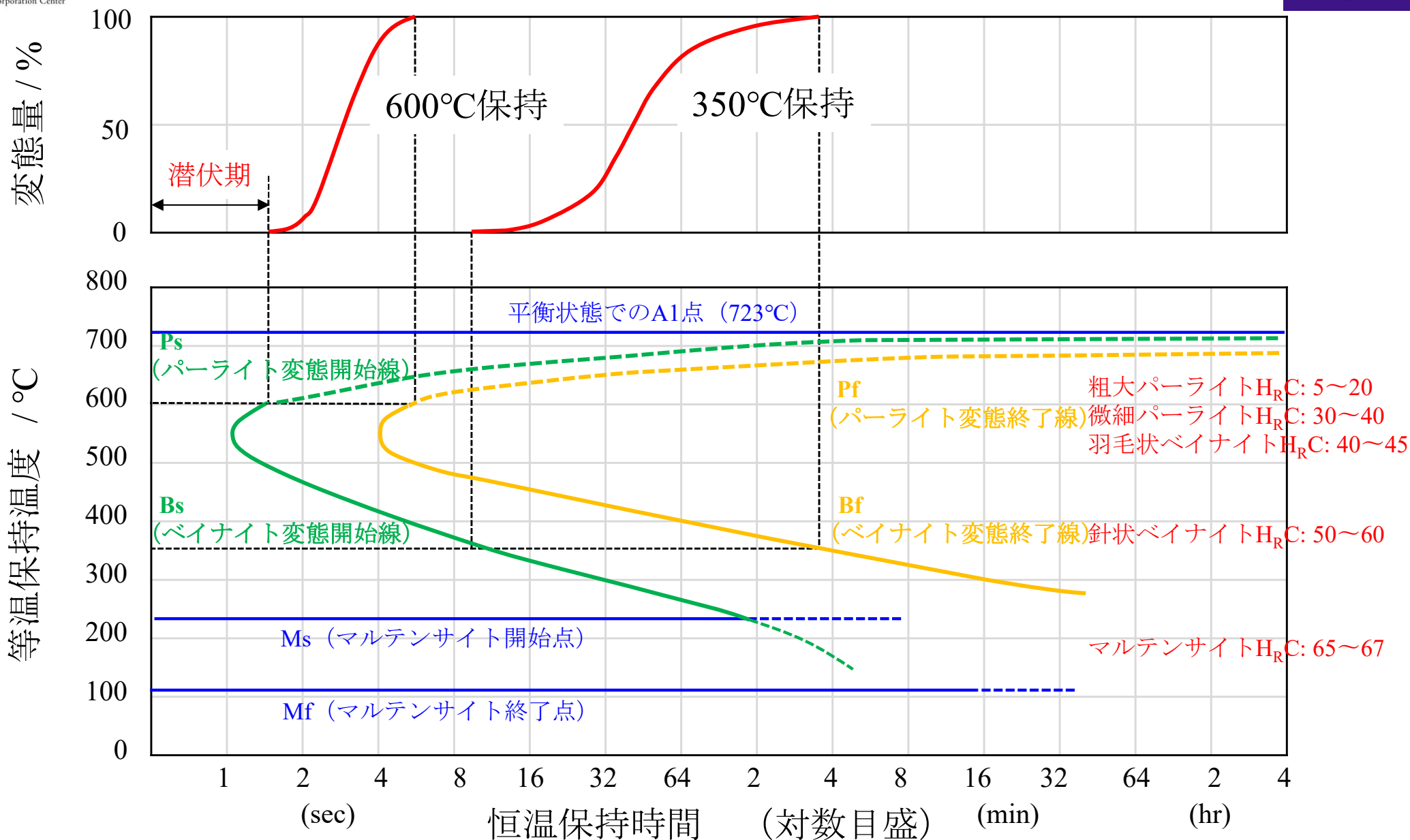


炭素量：工業用純鉄 (<0.007)、鋼 (0.007~1.2)、鋳鉄・銑鉄 (2.0~4.5)

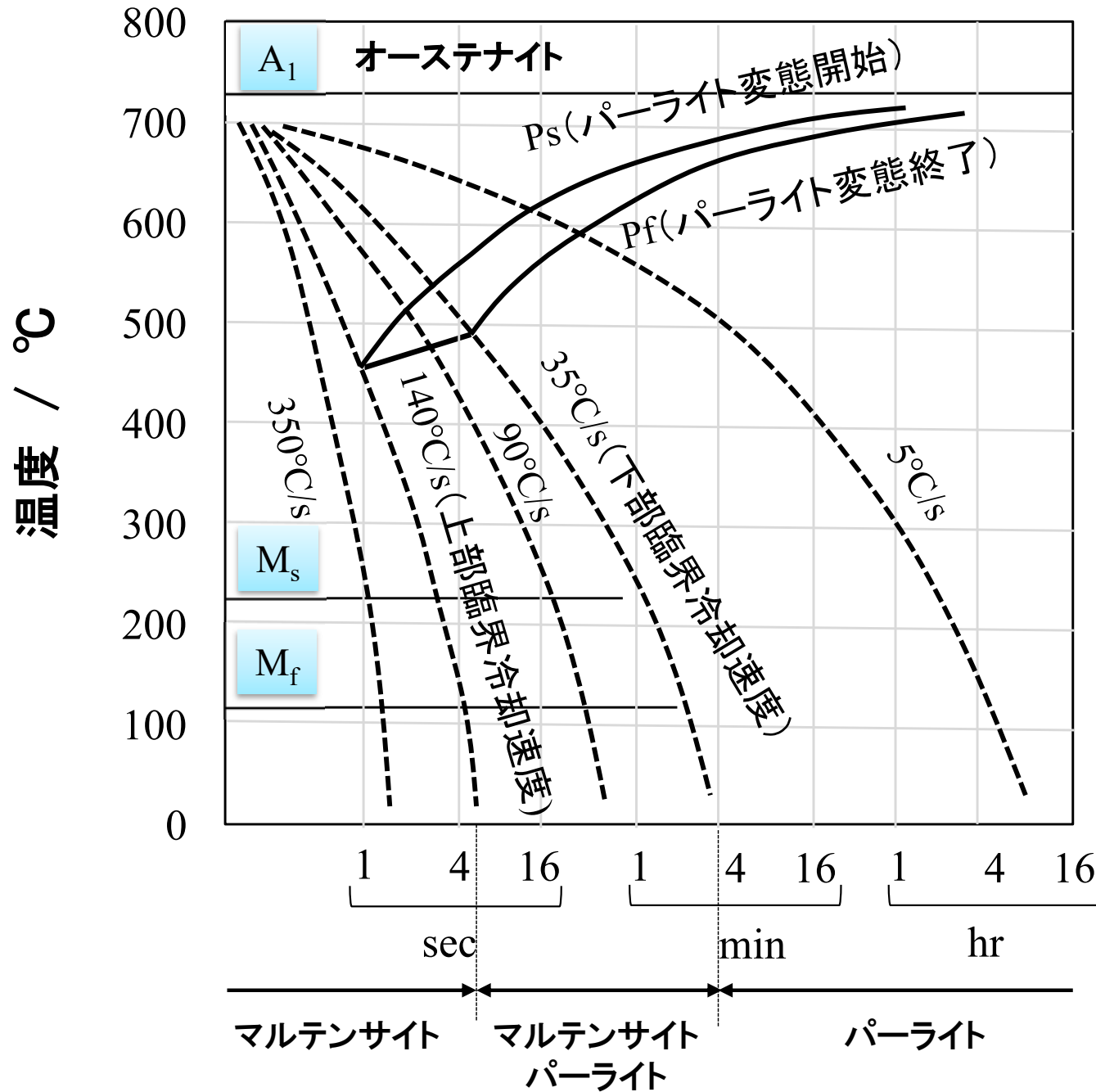
引張強さ / GPa

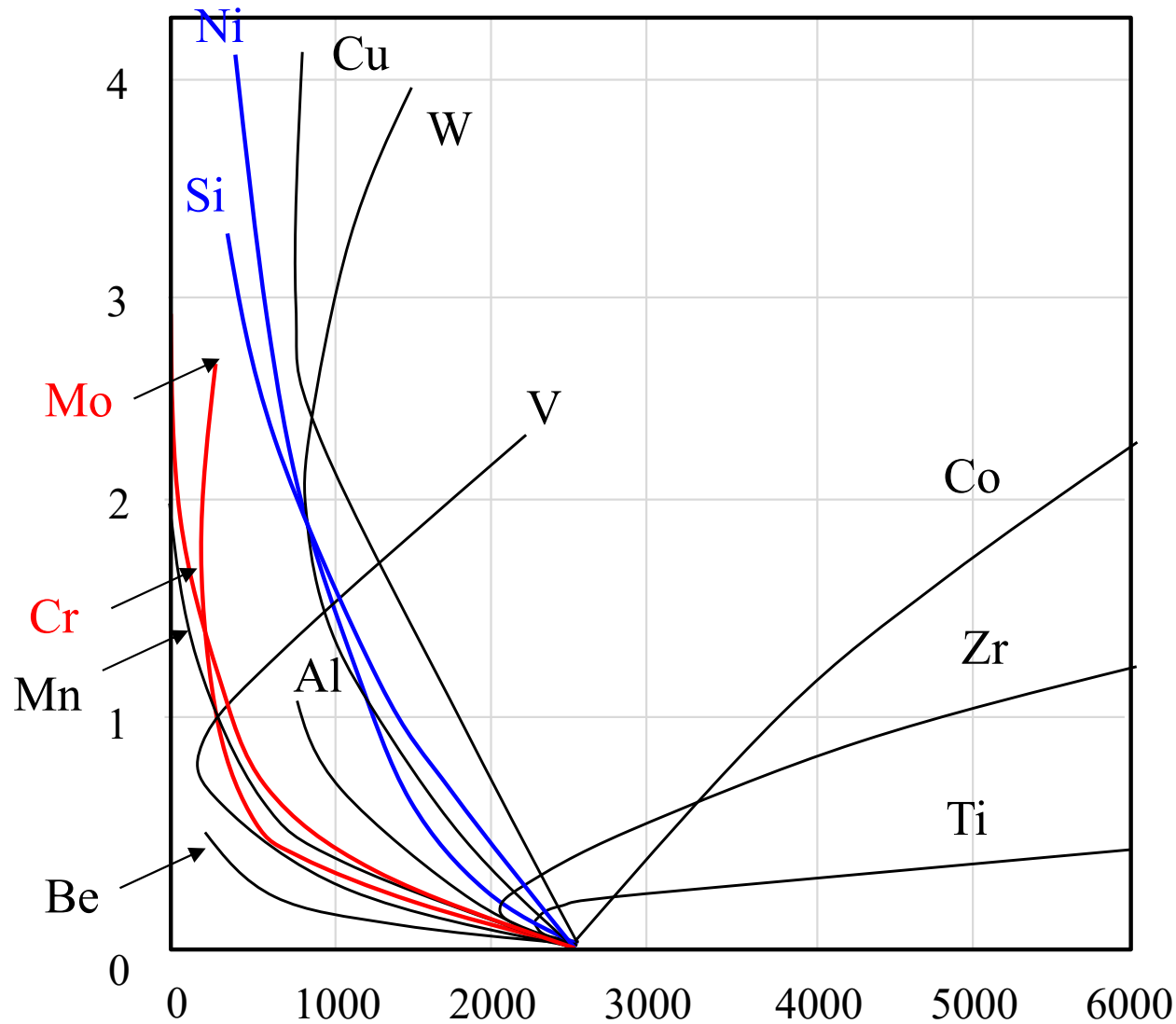
0 1 2 3 4 5 6

<p>フェライト 微量C (0.0004%) を固溶したαで、ラテン語の鉄Ferrumにちなむ</p>			
<p>パーライト 0.8%C鋼がA_1点で生じた共析晶。αとFe_3Cの薄層が交互に並びパールに類似しパーライトと呼ぶ。</p>			<p>ピアノ線 0.65~0.95%C鋼をパテンティング処理+して微細パーライトにし、冷間引抜後300°C焼鈍し</p> 
<p>ベイナイト γを焼入れしA_{r1}点とM_s点間で等温処理すると得られる組織。</p>		 <p>下部ベイナイト</p>	 <p>上部ベイナイト</p> <p>+線材や鋼線をA_3点以上に加熱し、連続的にPb浴等で急冷し、高強度と靱性を得る処理。</p>
<p>マルテンサイト 1891年マルテンズに発見された組織。Cを固溶したαで、γ急冷したときの無拡散変態組織。</p>		<p>炭素鋼、合金鋼、マルエージング鋼*、TRIP鋼#</p> <p>* C以外の合金元素で金属間化合物相をマトリックスに整合析出させた鋼。</p>	<p># 鋼板に応力を印加してオーステナイトをマルテンサイトに変態する鋼。</p> 



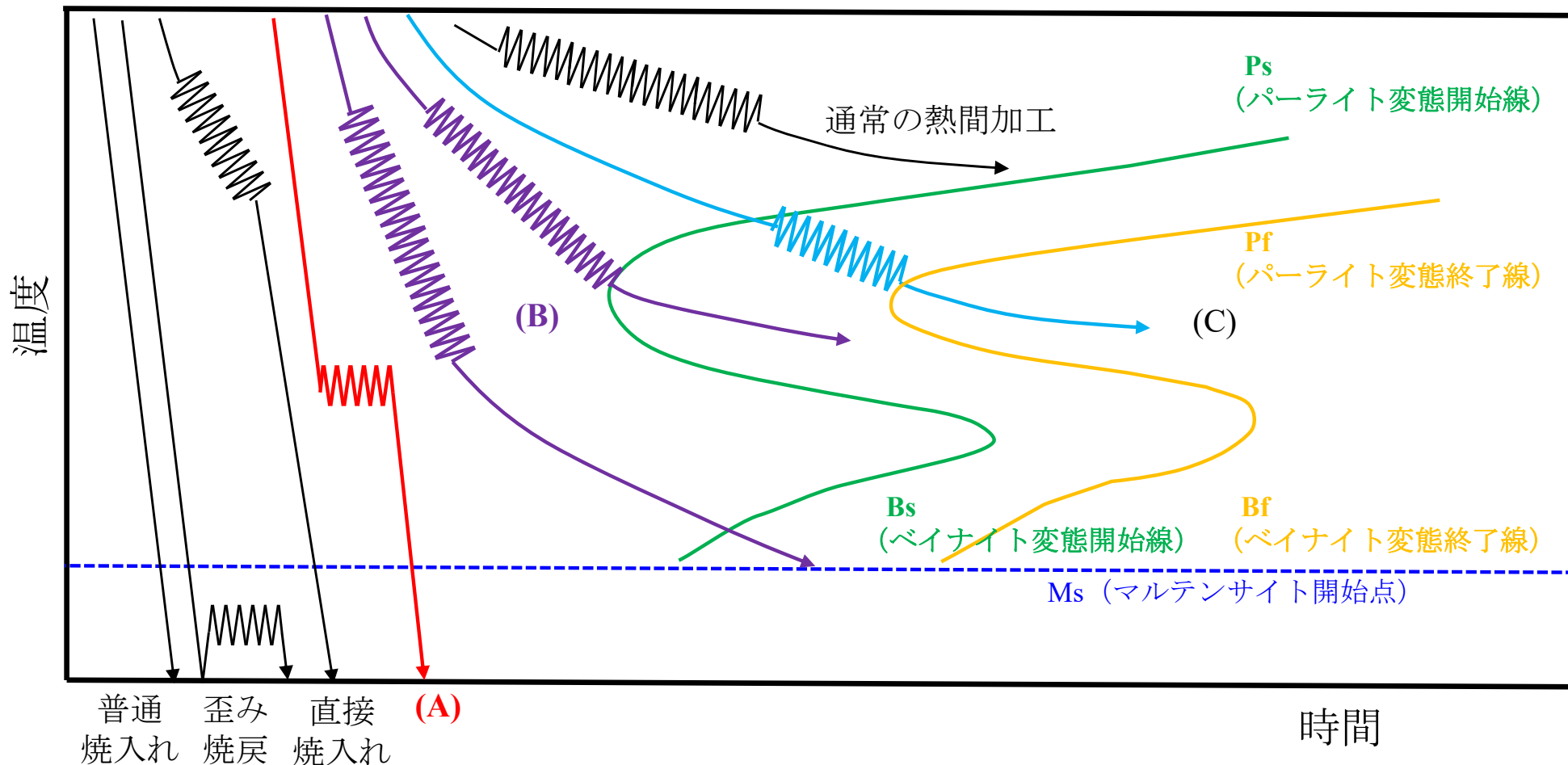
P_s や P_f は A_1 点以下では長時間を要するが、過冷度が増すほど変態時間は短縮し500°C近くで鼻を示し、それより低温では拡散速度が遅くなるので変態速度は再び小さくなる⁸





上部臨界冷却速度 (α が出現しない最少冷却速度) / °C/s

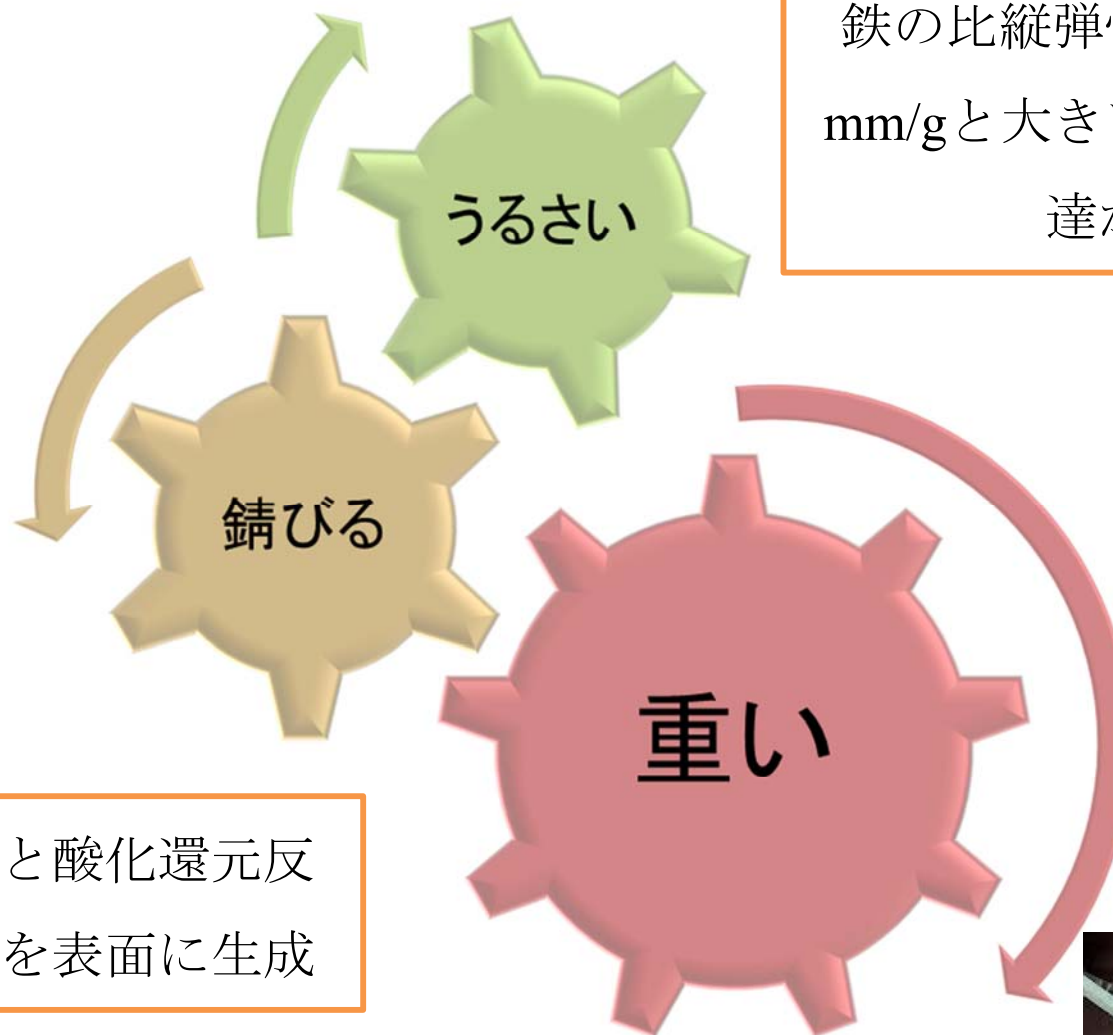
Coを除きほぼすべての元素は臨界冷却速度を小さくすることから焼入れ性を向上させる



- (A) オースフォーミング：焼入れ温度からの急冷途中の再結晶温度以下でMs点以上の準安定オーステナイトで加工し焼入れを完了する → 強力マルテンサイト
- (B) 制御圧延：低温のオーステナイト域や未再結晶域で圧延し、圧延終了温度をA₃点近くまで下げて結晶粒を微細化する → 高張力鋼
- (C) アイソフォーミング：パーライト、ベイナイト変態中に加工し球状化促進する → 軸受鋼

「うるさい・錆びる・重い」は本当か？

鉄の比縦弾性係数 $26.7 \text{ kN} \cdot \text{mm/g}$ と大きい
ため、振動伝達が速い

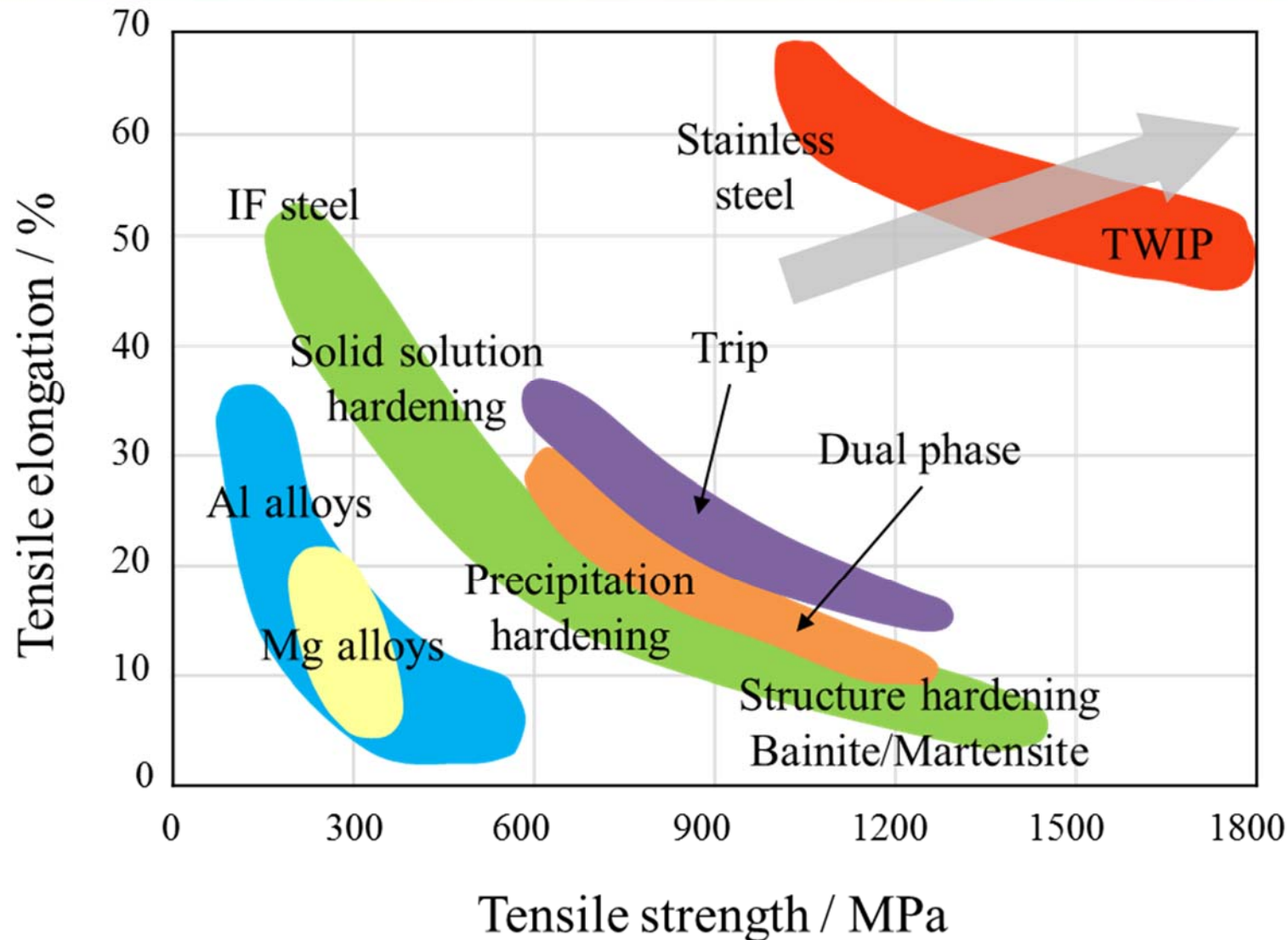


鉄は酸素や水分などと酸化還元反応（腐食）し腐食物を表面に生成

鉄の密度は 7.874 g/cm^3 で96元素のうち43番目に重い

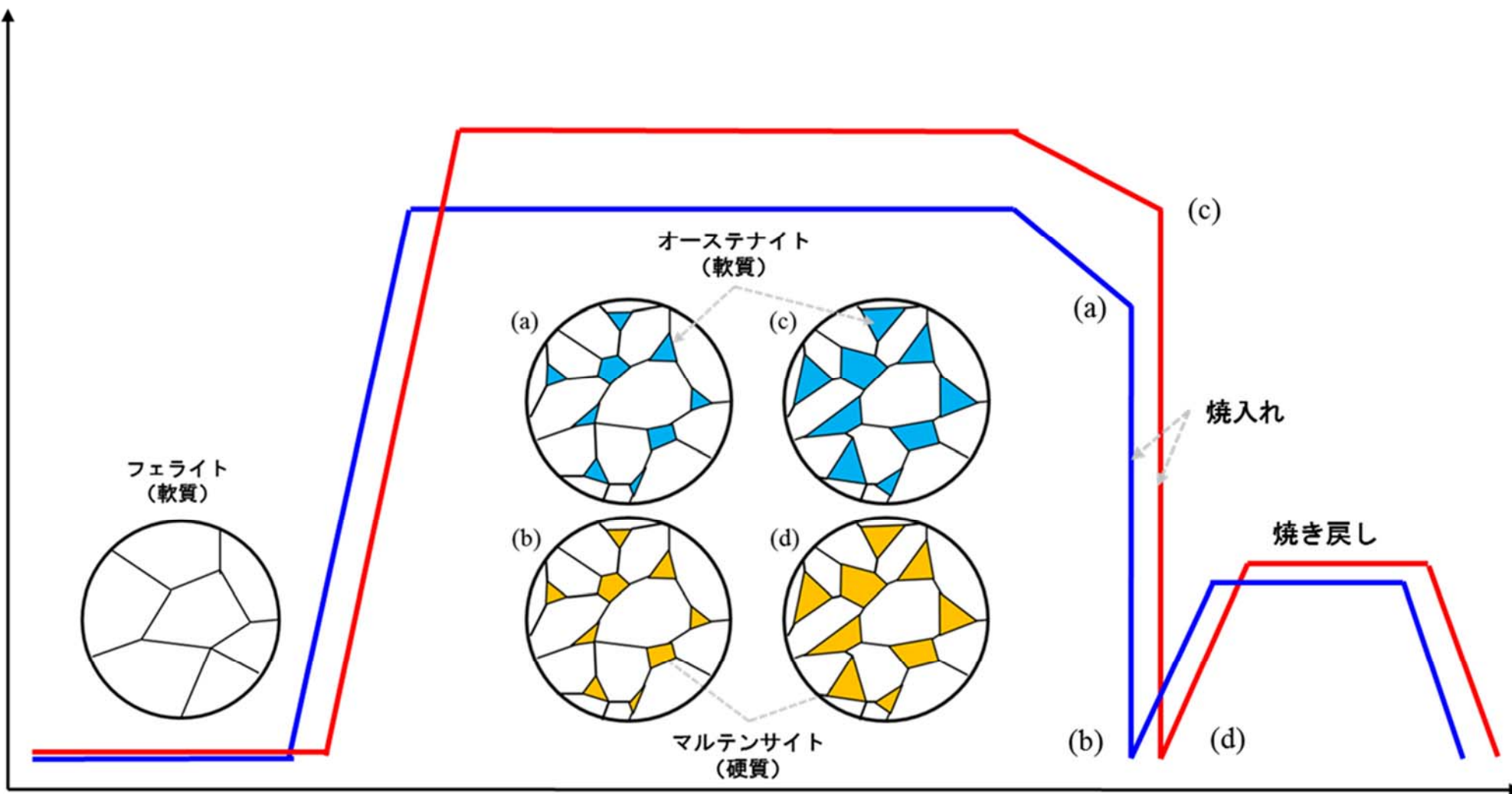
https://kunisan.jp/gomi/element_property_chart.html



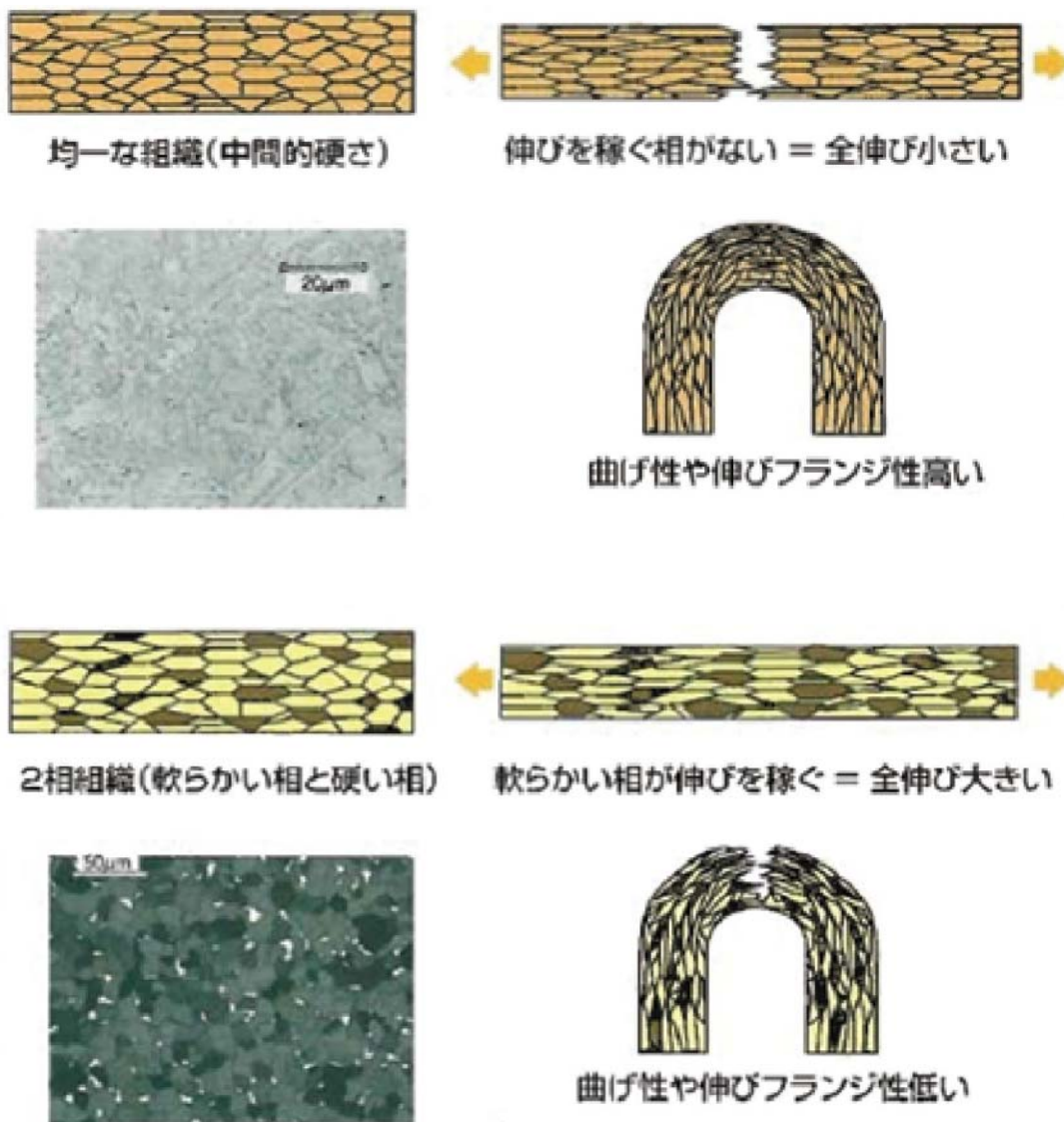


- ✓ 高強度化は合金元素や炭素増加で可能だが溶接性や加工性、コストが課題
- ✓ 素材の密度と強度を加味した比剛性で比較するとAlとsteelはほぼ同等

温度



- ① 低温焼き戻し(青線):硬質マルテンサイト量多い 曲げ変形部材用
- ② 高温焼き戻し(赤線):硬質マルテンサイト量少ない 絞り変形部材用



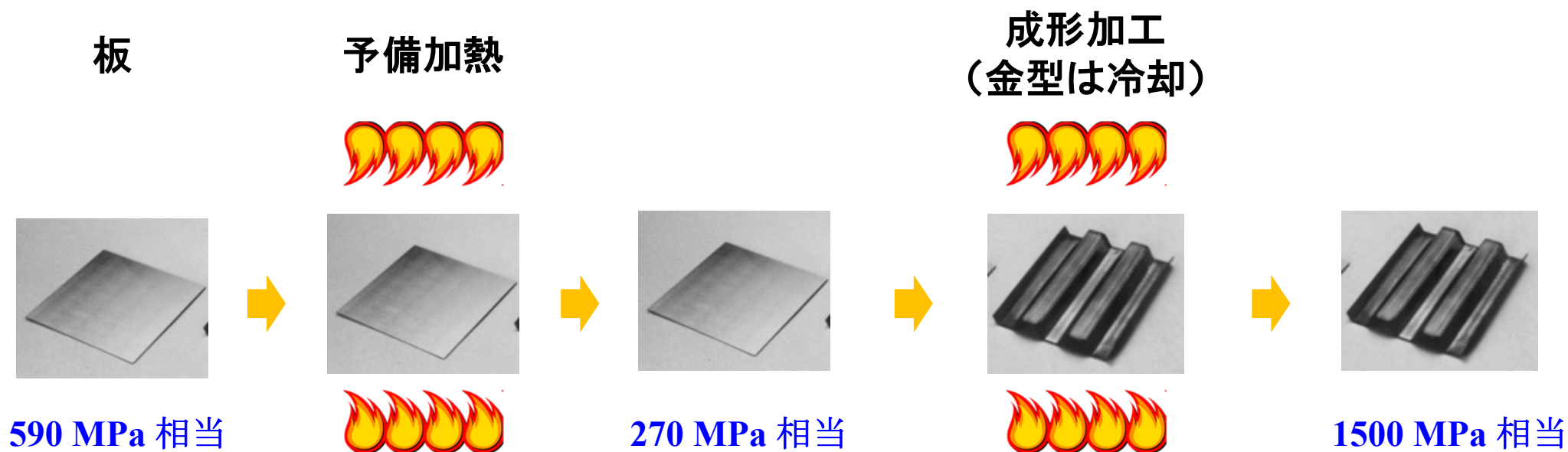
①高強度と成形性を両立させるために、**軟らかい組織の中に固い組織を分散させる複合組織化**を採用する。

☞ **複合組織の有効性**

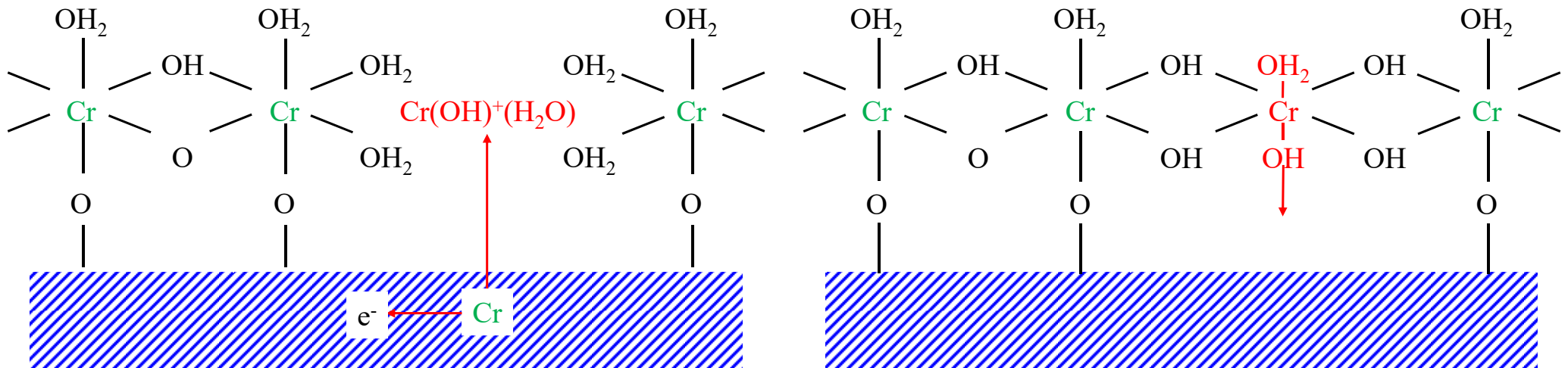
②局所的に大きな変形が必要なフランジ成形性や曲げ性が要求される、骨格構造材やシャシー系部材では、**応力集中回避可能な均一組織が有利**。

☞ **均一組織の有効性**

オーステナイト変態点(830° C) 以上に加熱した鋼板を金型にて成形と急冷却を同時に行うことで成形と焼入れ処理を施す成形技術で、1500 MPa級の強度を有する。

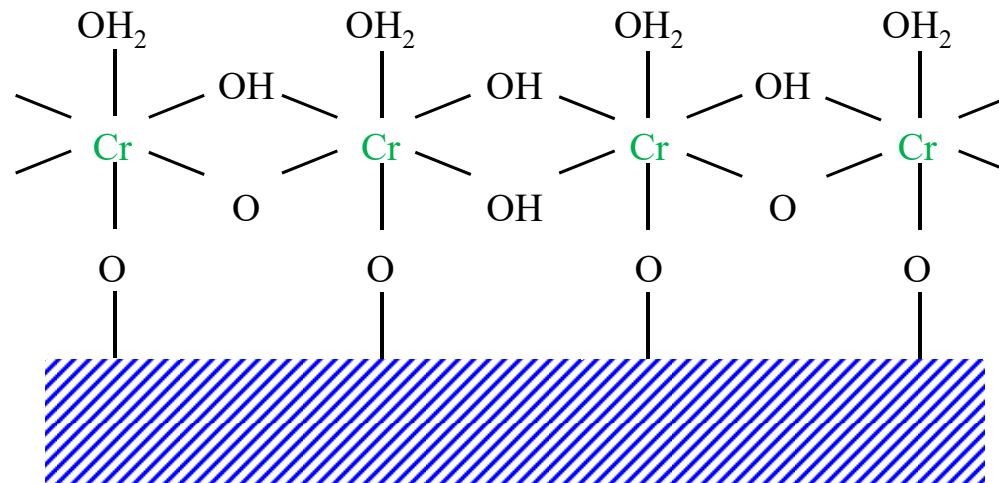


- ①金型内での冷却には10秒程度の時間が必要なため、冷間成形に対し生産性が低い。
- ②焼入後の製品は高強度であるため、金型による後加工では治具の損耗が激しい。
- ③大型連続加熱炉やレーザー設備の投資額が大きい。

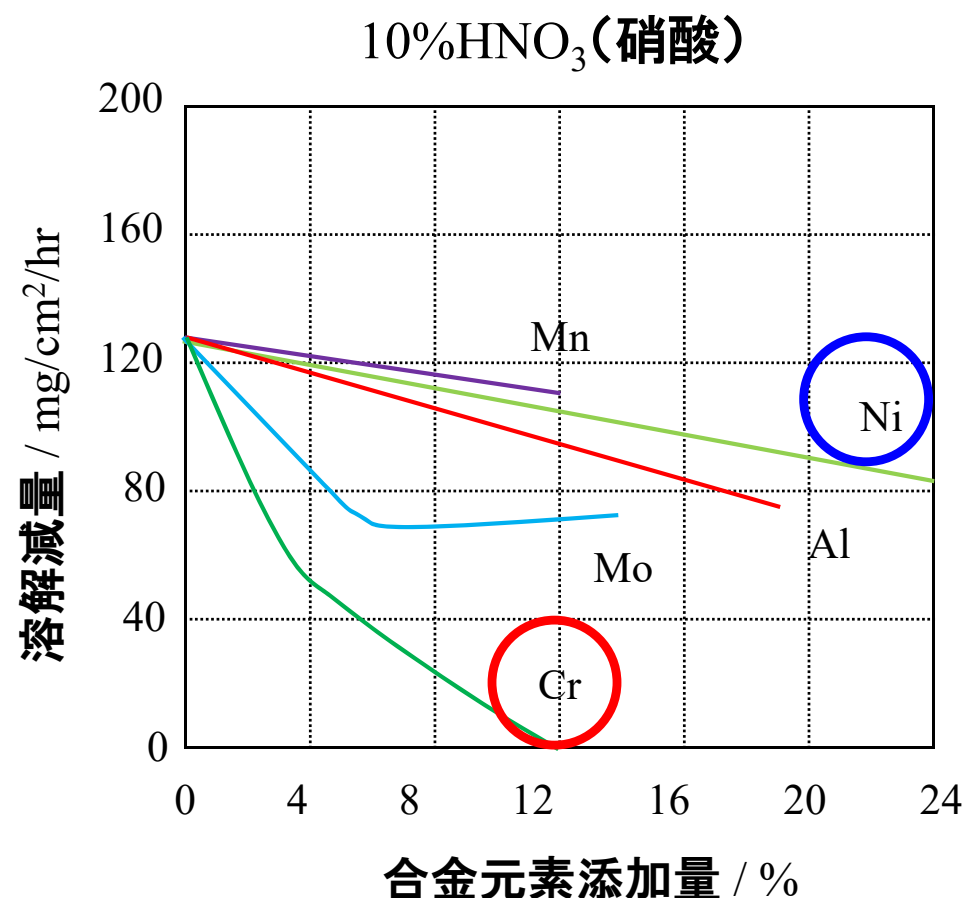
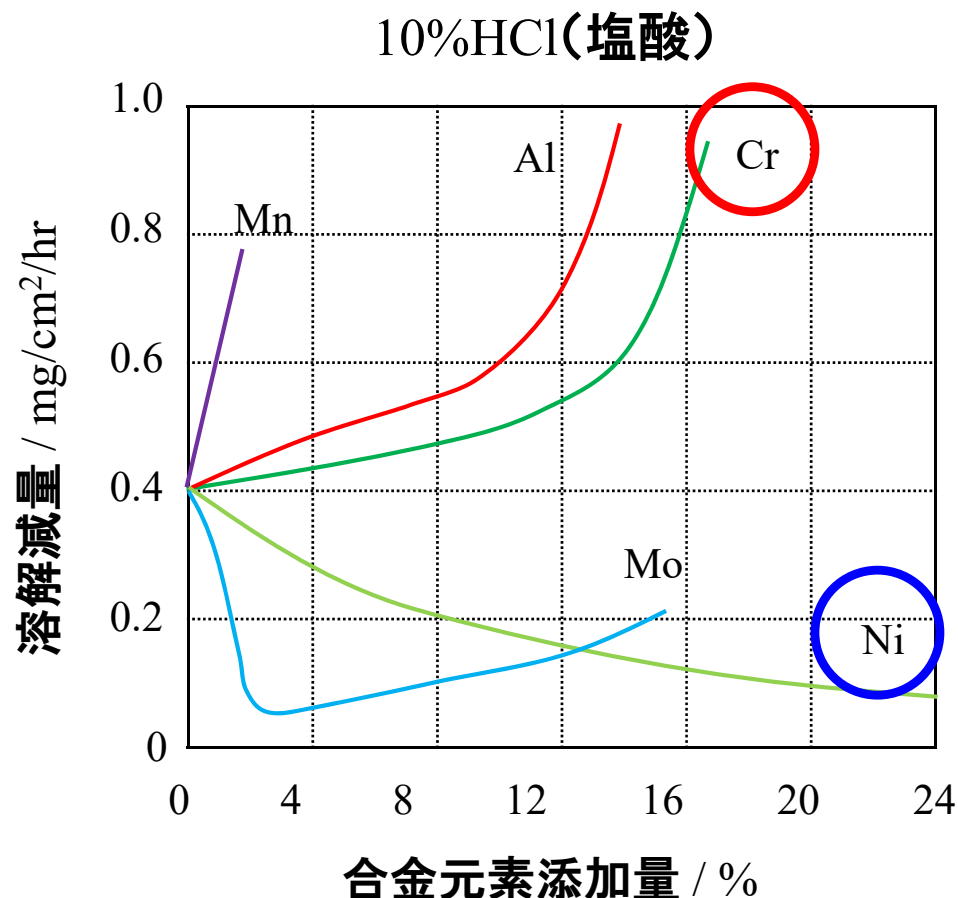


① 皮膜が破れると、鋼中のCr(クロム)と大気中の酸素、水が反応。

② 不動態皮膜を瞬時に形成する。



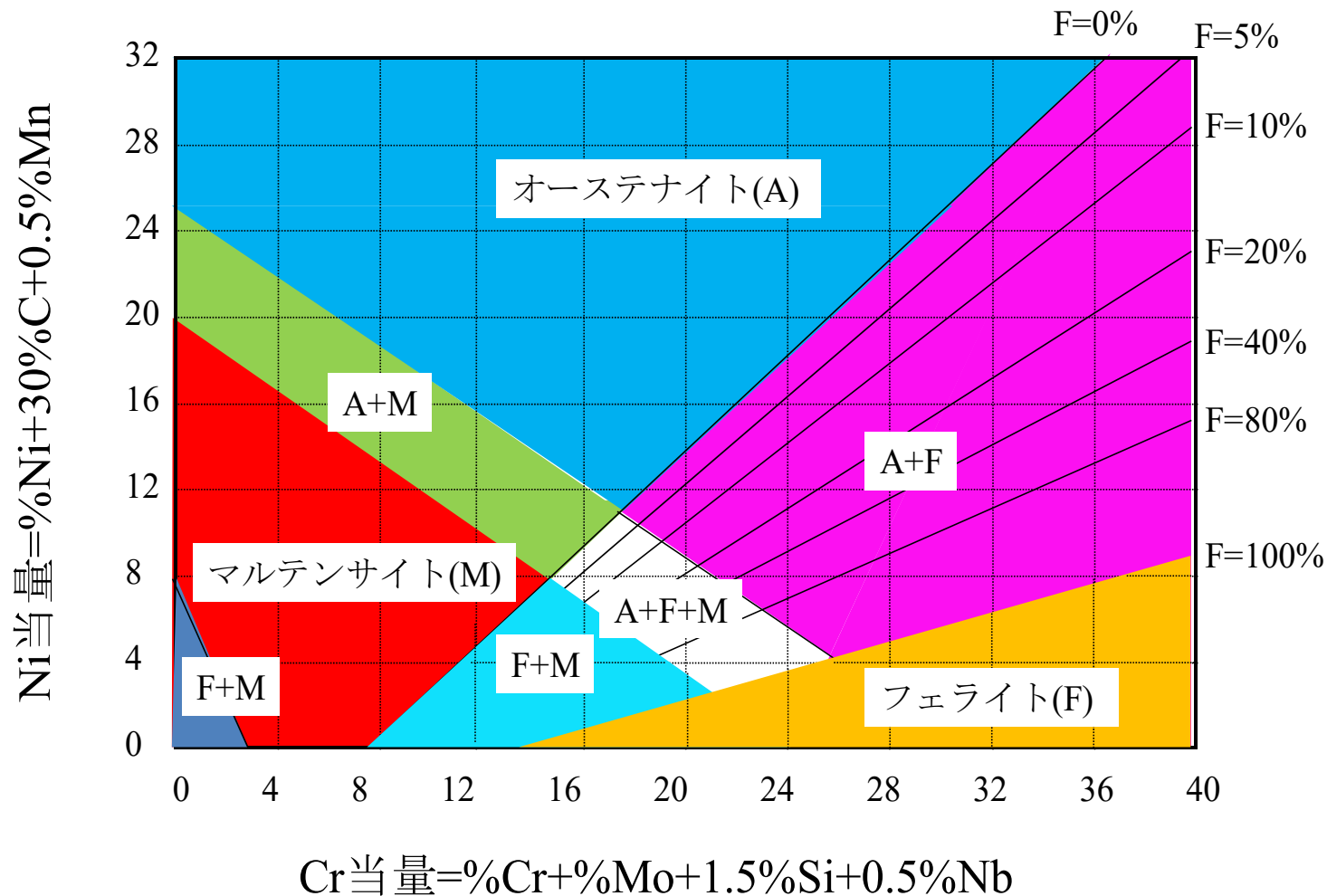
③ 何度でも不動態皮膜は再生するため、錆を発生させない。



Fe(鉄)-X二元合金の10%HCl(塩酸)と10%HNO₃(硝酸)水溶液中溶解速度の添加量依存性

☞ Cr(クロム)は酸化性酸(硝酸)中では耐食性に優れるが、非酸化性酸(塩酸)中では耐食性が悪い。またNiは非酸化性酸中でも耐食性を改善する。

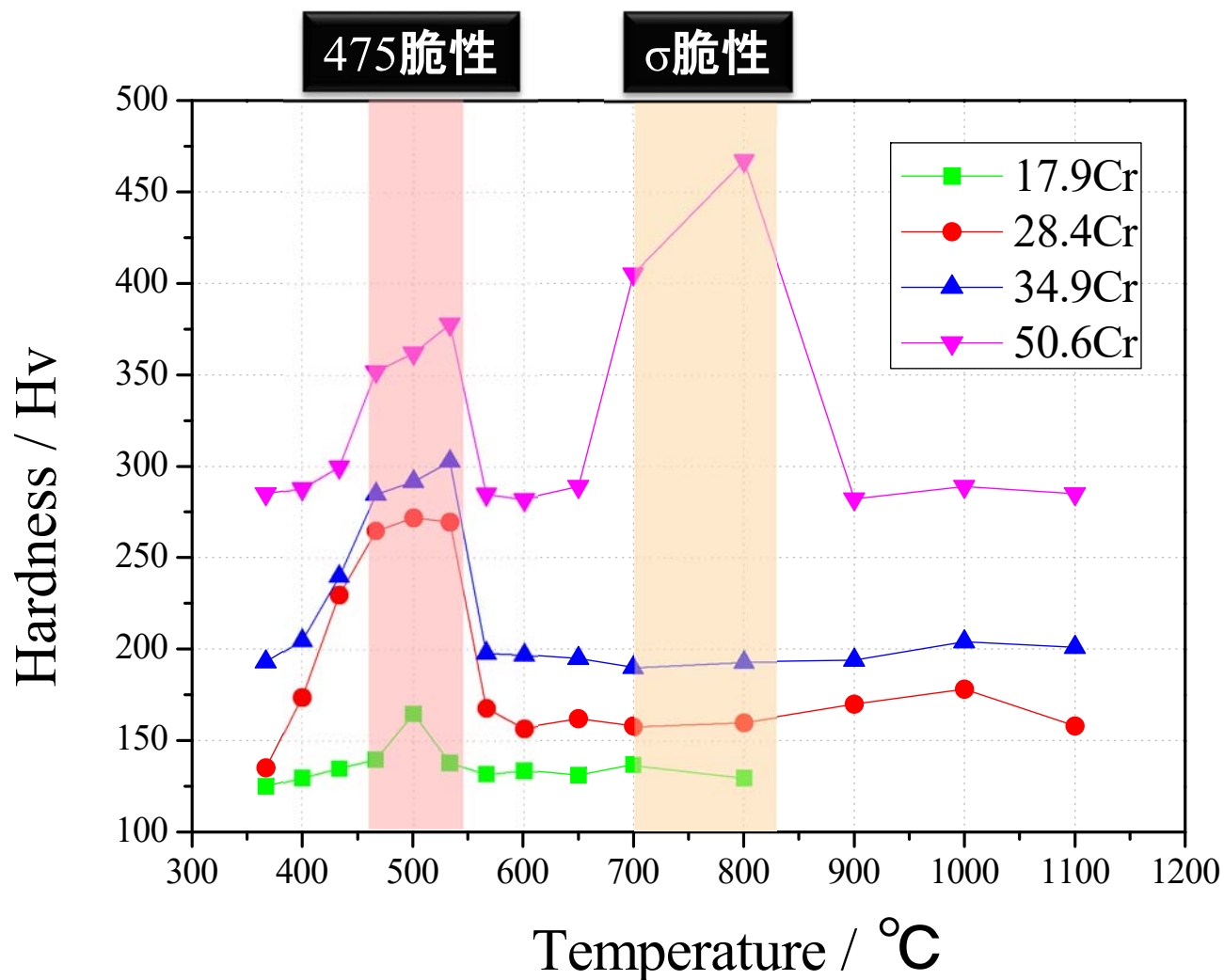
シェフラーの組織図：溶接金属中に含まれる α (フェライト)量を化学成分から推定する方法



高いNi(ニッケル)を最小限
にオーステナイト単相にする

18Cr(クロム)-8Ni(ニッケル)
(以前はC \div 0.15、Mn \div 1%)

18Cr-10Ni-0.05C
304Lへ



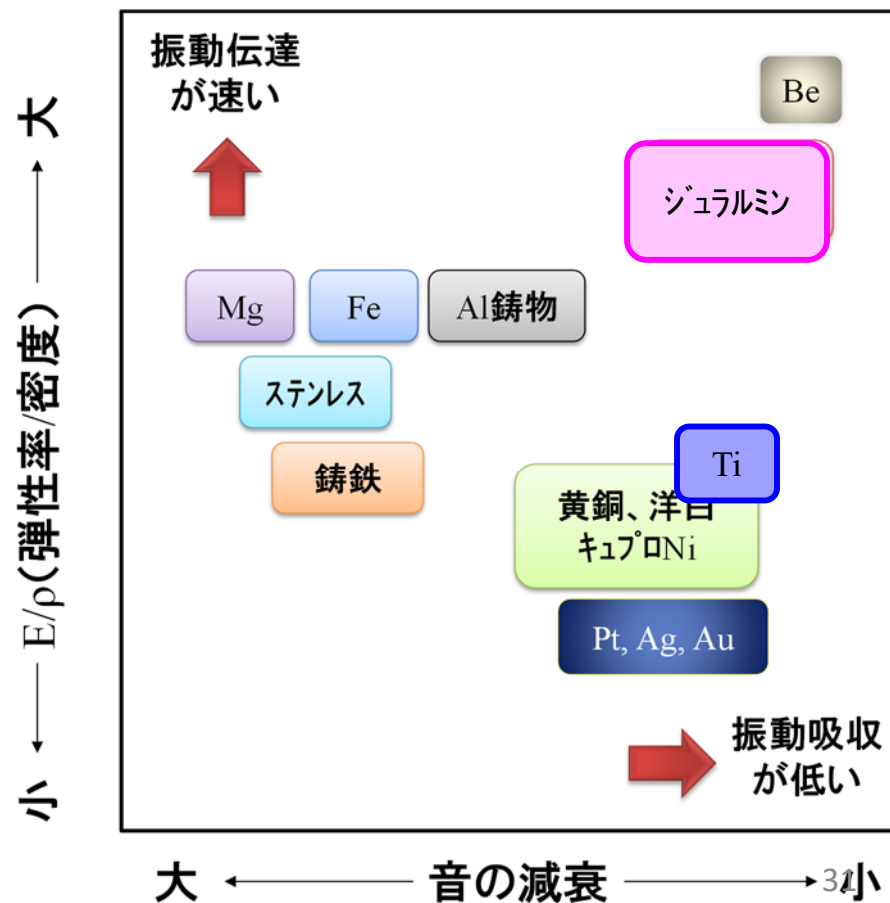
Fe-Cr合金の硬度の熱処理温度依存性

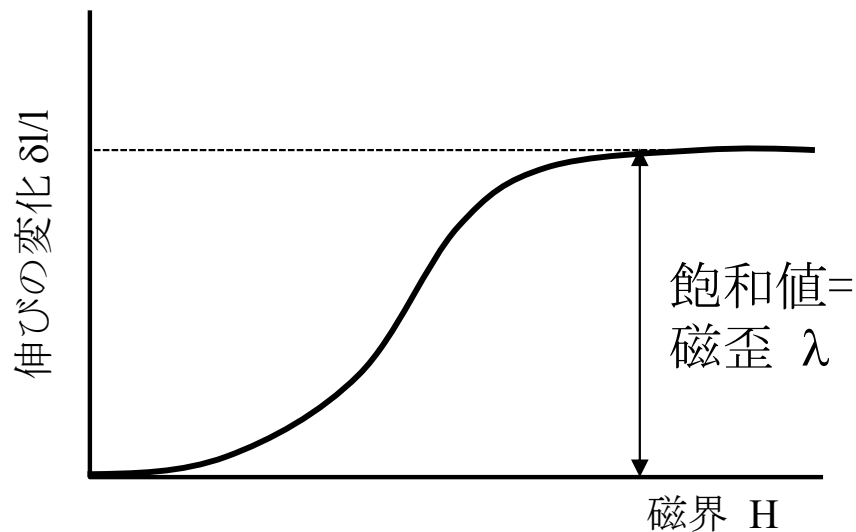
☞ Fe(鉄)-Cr(クロム)合金は、475°C脆性と σ (シグマ)脆性があり、
熱処理や高温使用温度に注意が必要

音: 金属の振動を通して空気が振動することで音が発生する

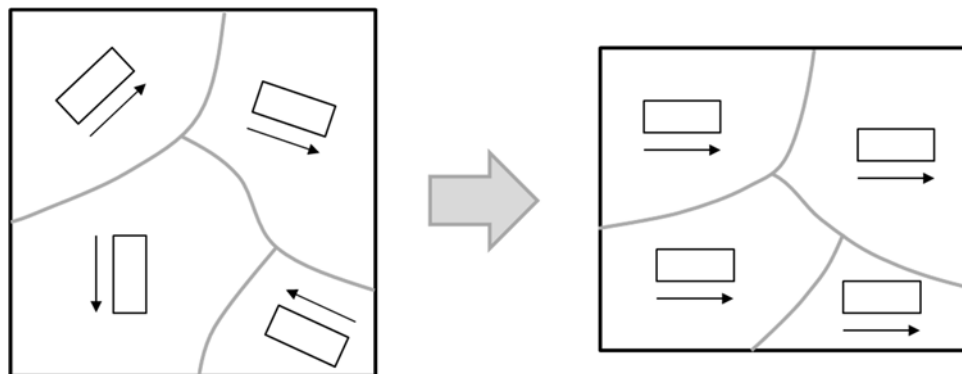
- ① 対数減衰率が小さい(原子振動の熱エネルギー変換が小さい)ほど振動が吸収されにくく音は伝達し、大きいほど振動が吸収されやすく伝達しづらい。
- ② E (縦弾性係数) / ρ (密度) 値が高い(軽くて変形し難い)ほど音速が速くなる。

金属	E (縦弾性係数)/ ρ (密度)	対数減衰率 $\times 10^{-3}$
Mg	25.7	290
片状黒鉛鋳鉄	23.2	98
Fe-0.8C	26.7	19
SUS304	24.4	4.2
A7075	25.6	1.8
Cu-Zn	11.5	1.0
一種チタン	23.5	0.9

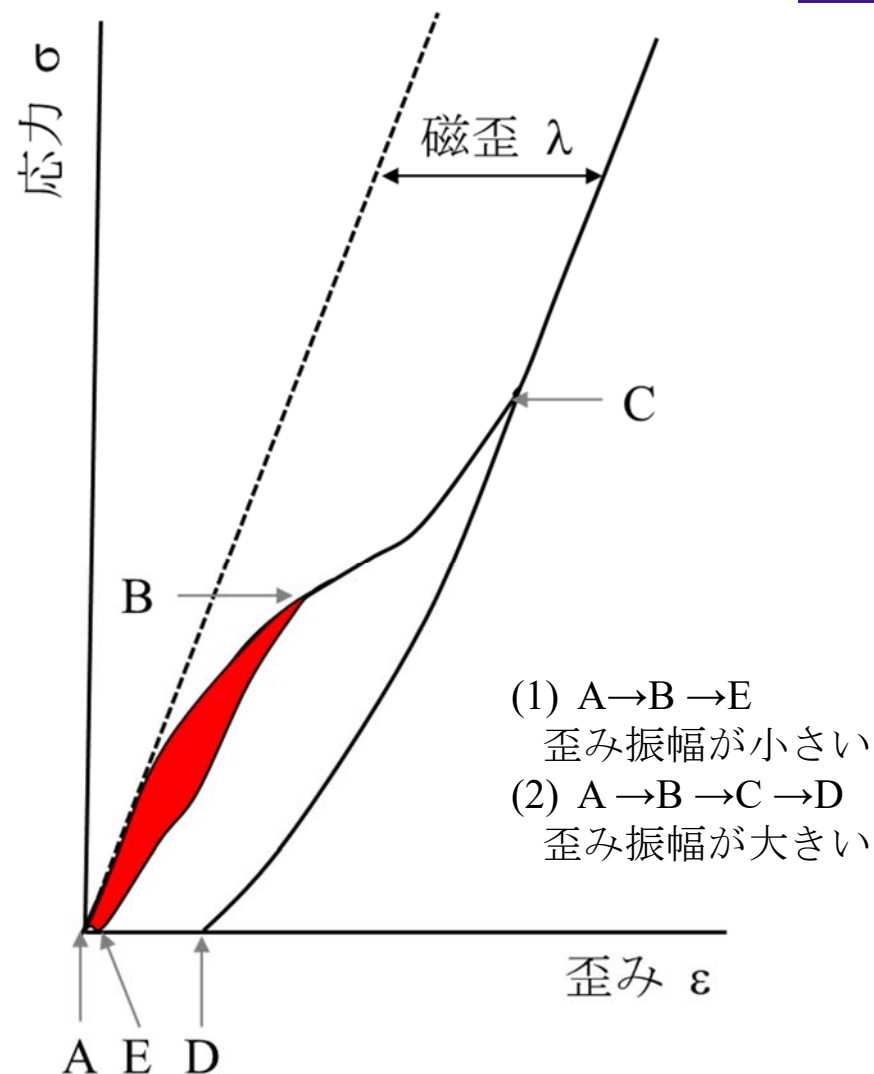




磁界による強磁性体の長さの変化



磁化による各磁区内の自発ひずみの変化



強磁性合金の応力とひずみのヒステリシス曲線

強磁性制振合金(Fe-Cr, Fe-Cr-Al, Fe-Cr-Al-Mn)が電化製品、車両、床材に使用



御清聴有難うございました