

和鉄の道・Iron Road 「鉄の惑星 地球」「鉄をよく知ってもらうために」

鉄はどんな金属・・・ どうして作るの? 2021.7.10.



「地球に鉄がなかったら」

現在の地球環境も 人間を含めた生命体も存在しえず 人の歴史も生まれなかった」

「かけがえのない鉄」「鉄は五金の王」

「鉄は産業の米」「鉄が文化を運び 歴史を作った」

◎ 恩師 田村今男先生から 教えられた言葉-

鉄は剛柔にして 時に応じて、その態を変える

「バリンバリンのカチカチ」から「にゅにゅ〜と伸びる」それが なんともいえず ええんや。

◎ 「鐵」「鉄」は金属の王なり

「和鉄の道・Iron Road」何時も頭にあった「鉄をもっと判りやすく、みんなに伝えたい。鉄野不思議 おもしろさ そして 鉄の惑星地球と人とのかわわりを よく知ってもらいたい」との思い。

2021 年コロナ禍の家籠りの中で、6・7 月 足を骨折して入院中に ホームページを読み返しつつ、「断捨離」を念頭に整理をはじめた。

東工大名誉教授永田和宏先生著「人はどのように鉄を作ってきたか 4000 年の歴史と製鉄の原理」を久しぶりに読み返していて、第 2 章「鉄を作る」とはどうゆうことか の章で、実に簡潔明瞭に「鉄」について記述されているのを見つけました。

和鉄の道・Iron Road でも、何度か「鉄」の紹介はしていますが、鉄全体を取りまとめ紹介しているとはいいがたく、再度 永田和宏先生の視点でまとめられた「鉄」のベース紹介を採録紹介。

「和鉄の道・Iron Road」に何度も出てくるキーワード。鉄の理解の一助になればありがたいです。

抜き書き From Kobe 2021.7.1. Mutsu Nakanishi

鉄の惑星 地球 誕生からの宇宙の鉄の歴史 概要

抜き書き 東工大名誉教授 永田和宏著 「人はどのように鉄を作ってきたか
4000 年の歴史と製鉄の原理」第 2 章「鉄を作る」より

■ 鉄は金属の王

鉄は「鐵」と書く この字を分解すると「金属の王なるかな」となる

鉄は約 4000 年の昔、トルコ半島のアナトリア地方に住むプロト・ヒッタイトと呼ばれる人たちが発明して以来、人類の文明を支える主要な材料になってきた。

金・銀・銅・アルミニウム・チタンなど金属には沢山の種類があるが、それらの中で、もっとも沢山使われてきた金属が鉄である。

硬くも軟らかくもでき、鋳込みや鍛造で様々なかたちにもできる。

磁石や触媒など様々な機能性材料としても使われている。本来、錆びがたい性質も持っている。

日本刀のように表面に模様を出すこともでき、インドで作られたダマスス刀は表面に美しい渦巻模様があることで知られる。

私たちの周りを見回しても、いたるところで 鉄を目にすることができる。

鉄には他にも鋼、鋳物など様々な呼び名がある。

針金一般に軟らかく簡単に曲げられる

ピアノ線は非常に硬く弾力があり、曲げるのに力がいる

一般に軟らかいのを軟鉄 硬いのを鋼と呼ぶ

鉄は 炭素の含有量(%C) によって次のように分類されている

工業用純鉄 0.02%C 以下 鋼 0.02%~2.1%C 鋳鉄・銑鉄 2.1%C 以上

鋼には 炭素だけを主に含む炭素鋼のほか、炭素以外の元素を加えた合金鋼や特殊な用途に使う特殊鋼がある。一般には0. 3%C 以下の軟らかい鋼を普通鋼と呼んでいる

■ 鉄は宇宙で生まれた

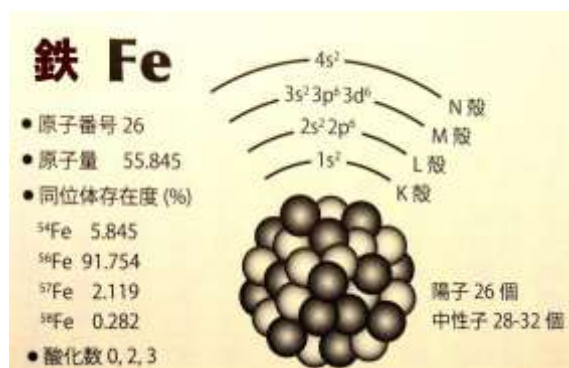
138億年前、ビッグバンにより宇宙が始まったと言われている。

この時できた水素(H: 原子番号 1) とうしが衝突して核融合が起こり、ヘリウム(He: 原子番号 2) を生成した。その後、星の形成と爆発を繰り返し、核融合で、次第に質量の大きな原子ができると共に核分裂も起き、最終的に原子核のエネルギーが最も低い鉄になった。

宇宙には隕鉄と呼ぶ鉄塊が飛び回っており、地球にも時折落ちてくる。

宇宙には水素が最もたくさんあり、次いでヘリウムがある。それ以外の元素のうち、4の倍数質量数を持つ元素が宇宙に多く存在する。例えば、炭素は12で鉄は56である。

隕鉄には鉄原子の仲間のニッケルが数%含まれている。



Periodic Table of the Elements

現代の製鉄の主要鉄原料 「鉄鉱床」ならびに日本の「砂鉄」の形成について

地球の中心にある核は鉄でできており、地球の質量の 1/3 をしめる。

核はケイ酸塩鉱物のマントルで覆われており、その表面に地殻の陸と海がある。

クラーク数(地表から 16km までの地殻に存在する元素の推定割合)では

酸素が半分、シリコン、アルミニウムに次いで、鉄は 4.7% で 4 番目に多い。

重い鉄が多いのは他の元素と違って鉄が酸素や硫黄、ヒ素、炭酸ガスなど様々な元素と化合物を作って、軽くなり、火山の噴火によって地表に出てくるからである。

46億年前 地球が生成したころ 地球の大気は炭酸ガスで、マグマに含まれた鉄はイオンとなって、水に溶けて海に流れ込んだ。その後 海中で、光合成⑦おこなう原始生物(シアノバクテリア)によって作られた酸素と結びつき、溶けていた鉄イオンは海底に沈み岩石になった。その海底が隆起して大陸になり、「赤鉄鉱(ヘマタイト)」の鉱脈ができた。したがって、赤鉄鉱は大陸で採れる。

日本列島は火山国なので、赤鉄鉱石はほとんどない。しかし、火山から

噴出したマグマは風化して、砂となって河川に流れ込む。この中に含まれている砂鉄が「磁鉄鉱(マグネタイト)」で、比重が大きい川のよどみや海岸にたまる。これがたたら製鉄の原料になる。



林立する「こぶ」はシアノバクテリアの集合体 表面に密集したところから、酸素の泡が出ている



シアノバクテリアによる集合体の構造がわかる化石 ストロマトライト

■ 鉄は銅と同じぐらいの温度で溶ける

純鉄は1536℃で溶ける。この温度を融点という。

鉄は炭素を溶解させると融点は次第に下がる。これは融点降下と呼ばれる。

含まれる炭素濃度4.2%で、融点は1154℃まで下がるが、これ以上炭素濃度を増しても融点は下らない。

銅が溶ける温度は1084℃で、青銅器を作る温度に近い。

人類は木炭を用いて銅を溶かした。鉄が炭素を吸収すると融点が下がり、木炭で溶かすことができた。

このことは青銅器文明から鉄器文明への発展を容易にした。

宇宙で生成される元素の内、鉄と炭素の組み合わせは絶妙である。

永田教授が説かれるごとく、木炭を燃料にした銅製錬と鉄製錬は本当に近いところにあると言えるだろう。

また、人工鉄の発明は従来 ヒッタイトが発明したと言われていたが、ヒッタイト以前の地層から小鉄塊や鉄滓が出土することや銅生産地に近いことなどの新しい知見から、ヒッタイト以前(永田教授のいうプロトヒッタイト?)から、人工鉄は西アジアにおける銅製錬の副次的産物で生まれたとする愛媛大村上恭通教授らの説が有力になっている。

この西アジアの銅生産現場で副次的に生まれたとする人工鉄の生成プロセスについて、

永田和宏教授も冶金学の専門の立場から そのプロセスを解析紹介しているが、それについては別の項で示す。

また、上記したごとく炭素を含んだ鉄と銅がほぼ同じ温度で溶融・半溶融することを記述したが、銅と鉄にもう一つ「銅と鉄とは互いに交じり合わず、合金を作らない」という面白い特徴がある。

したがって、銅と鉄が共存溶融しても、冷却過程で銅と鉄の別相に分離して、高温で固まる鉄の周りに銅が覆う形で固まる(包晶反応)。これらのことから、銅製錬過程で鉄が混入すると製錬過程で鉄が顔を出すことも十分考えられる。

■ 鉄は魔術師 鉄の(変態)組織 鉄は硬くも軟らかくもできる大変便利な金属である

鉄は温度によって結晶構造が変わるという大変珍しい金属である。

結晶構造によって性質も大きく変わる。

人類が4000年ものあいだ鉄を使ってきた大きな理由の一つは、この性質を利用して、目的に最も適する鉄器を容易に作ることができたからである。

◎ 「 γ -鉄」と「 α -鉄」

912~1394℃の鉄は γ -鉄と呼ばれる。

γ -鉄は鉄の原子が最も密に詰まった状態で、金・銀・銅・アルミニウムなどと同様の、原子が移動しやすい結晶構造(面心立方晶)をとる。したがって軟らかく加工しやすいため、赤く熱した鉄は人がハンマーで打つことで容易に形成することができる。

912℃以下では α -鉄と呼ばれる結晶構造(体心立方晶)に変化する

α -鉄の決勝は γ -鉄に比べて隙間の多い並び方をしており、原子が移動しにくく、 γ -鉄より硬くなる。

実際に鋼を真っ赤に加熱して鍛造する際は温度が下がり暗赤色になると急に硬くなり、加工が難しくなる。

γ -鉄には α -鉄のほぼ100倍の炭素が溶け込むことができる。

◎ 鉄の変態組織変化 焼き入れ と 焼きなまし

【1】焼き入れ 800℃ぐらいから急冷 硬い鋼 マルテンサイト組織

そこで、鋼を800℃ぐらいに真っ赤に加熱して水中に急冷すると、 γ -鉄中に溶け込んでいる炭素が α -鉄になっても鉄原子の間に過飽和に溶け込んだままになる。(炭素を含む鋼では 加熱によって均一 γ -鉄に変化する温度領域が低下するので、800℃前後が最適な均一に γ -鉄に変化させる最適温度となる)すると鉄原子が歪み、動きにくくなるので、非常に硬くなる。

これを焼き入れといい、この硬い組織をマルテンサイトと呼ぶ。

刃物の刃は焼き入れで硬くなり、よく切れるようになる。

【2】焼きなまし 800℃から徐冷 軟らかい鋼 パーライト組織

α -鉄とセメンタイト(Fe_3C 化合物の混合組織) パーライト

一方、 800°C ぐらいの温度から、ゆっくり冷却すると 727°C で、 α -鉄とセメンタイトと(Fe_3C 化合物)の混合組織に分解する。これを「焼きなまし・焼鈍し」

また、この混合組織はパーライトと呼び、軟らかいので、鍛造で様々な形に造形できる。

さらに室温で鍛造すると、結晶が細くなり、粘りが出る(靱性)

このように、鉄は硬くも軟らかくもできる大変便利な金属である。

■ 鉄はどのようにして作るか

鉄の原料は鉄鉱石である。

鉄鉱石は鉄原子と酸素原子からなる化合物(酸化物)なので、酸素を除去すれば、鉄にすることができる。

この反応を還元反応といい、 1000°C 以上の温度が必要である。

(1)鉄の原料

鉄鉱石は鉄と酸素が結びついた酸化物で **赤鉄鉱**と**磁鉄鉱**の2種類ある。

◎赤鉄鉱(ヘマタイト) Fe_2O_3

赤鉄鉱は砕いた状態では赤みを帯び、磁石にくっつかない。

赤鉄鉱石は磁鉄鉱より少し隙間の多いランダム構造をとる

◎磁鉄鉱(マグネタイト) Fe_4O_3

磁鉄鉱は黒みを帯びており、磁石にくっつく。

磁鉄鉱の結晶構造は鉄と酸素の原子が最も密に配列しており、スピネル構造と言われる

したがって、酸化鉄を鉄にする還元反応では赤鉄鉱の方がより酸素を取り除きやすく、

磁鉄鉱は難還元性である。

還元しやすい赤鉄鉱は主に大陸に鉄鉱床として大量に存在しており、露天掘りなどで大規模に採掘される

◎砂鉄

砂鉄は火山の噴火でできた花崗岩や安山岩の中に含まれており、岩石が風化して谷に落ち、川の流れの中で、比重の重い砂鉄が川床や海岸にたまったものである。

我が国は火山島なので、砂鉄はどの河川や海岸でも採取できるが、羅期鉄鉱はほとんどない。

(2)高温を得る

鉄鉱石を還元して鉄を作るには、 1000°C の高温が必要である。

この温度を得るために、炉の中で木炭や石炭(コークス)に空気を吹き込んで燃焼させる。

木炭は人類にとって最も身近で、4000年前には恐らく高温を得るための唯一の方法であった。

木炭は原料となる樹木の種類によりその性質が異なる。

製鉄用の木炭はクヌギやコナラなどの雑木を炭焼窯で蒸し焼きにして作った

◎ブドワー反応 **鉄鉱石還元に必要な高温のCO ガスを作る**

木炭やコークスの炭材を燃焼すると発熱し、高温が得られるとともに、炭酸ガス(CO_2)を発生する



炭酸ガスは高温に加熱された炭材と反応して、一酸化炭素ガス(CO)になる



これらの一連の反応をブドワー反応という

このCO ガスが酸化鉄中の酸素を奪い、鉄に還元する

(3)鉄ができる原理

鉄鉱石はブドワー反応で発生したCO ガスで順次還元され、鉄(Fe)になる。



コークスは 1000°C 以上で、ブドワー反応を起こすため、Fe への還元は 1000°C 以上で起こる。

気孔が多い木炭をつかったばあいは、反応性が高いので、600℃前後からブドワー反応が始まり、赤鉄鉱石は還元され、800℃以上で鉄が生成する。

鉄の製錬というと、一般的に高炉から流れ出る溶けた銑鉄を思い浮かべると思うが、木炭とコークスのどちらの反応も鉄の融点以下で起こるので、たたら炉や高炉の上部では固体のままで鉄に還元されることに注意しよう

(4)鉄を溶かす 吸炭

還元された固体の鉄は、そのままでは大きな塊にならない。

溶解して液体になると表面張力と呼ばれる表面積を小さくする力が働くので、液体の粒の凝集が起こり、炉底に流れ落ちる。それが凝集すれば大きな塊を作ることができる。

鉄は炭素を吸収すると融点が低下するので、より低い温度で溶ける。

そこで、還元された鉄に炭素を吸収させると、容易に鉄を溶かすことができる。

これを吸炭という。

◎吸炭の現象 鉄はどのようにして炭素を吸収するのか

最初、還元された鉄粒と炭材はどちらも固体同志なので、点で接触する。

小さな銑鉄の液滴は固体の鉄と炭材の両方に接するが、固体の鉄と引き合う界面張力の方が、炭材と引き合う力より大きいので、固体の鉄に向かって非常に速い流れが起きる。(マランゴニー対流)

この流れに乗って炭素が固体の鉄側に供給され、急速に銑鉄の液体が生成する。

生成した銑鉄は鉄と炭材間の海面を満たし、接触面積を増加させるので、銑鉄の生成が加速される。

■スラグを見れば鉄の作り方がわかる

鉄鉱石にはシリカ(SiO₂)やアルミナ(Al₂O₃)などの微細な鉱物の脈石が混在している。

脈石とは鉱石の中に含まれている酸化鉄以外の成分で、経済的に価値のない、言わば不純物である。

還元した鉄中にはこれら脈石が残っており、鉄が炭素を吸収して溶融するときに、木炭の灰分に含まれる石灰(CaO)と反応して「スラグ」として分離する。

溶鉱炉では石灰石を加えている。スラグは鉱滓とも呼ばれ、たたら製鉄では「ノロ」と呼んでいる。

スラグは鉱石の種類や、炉や製法の違い、炉内の温度の違いによって成分が異なる。

かつての製鉄所跡や炉の遺跡に残されているスラグの成分を調べることで、どのように鉄をつくっていたかを詳細に知ることができる。

■鋼を作る 製錬鍛冶炒・炒鋼

焼き入れができる鋼や低炭素濃度の軟らかい鋼を作るために、銑鉄の脱炭を行う。

そこで生成した溶融酸化鉄(FeO)と銑鉄中の炭素COガスを生成し、脱炭が進行する

このようにして温度を上げながら脱炭するとともに、大きな鉄塊や溶鋼を作る



鋼塊は鍛造して製品にする

■鉄と炭素と温度を操る 簡単入る高温を得るための術 鉄と炭素の組み合わせは絶妙であった

初めて鉄を作った4000年前から今日に至るまで、1000℃以上の高温を得るために人類はずっと炭材(炭、石炭)を使ってきた。身近で簡単入る高温を得るための術は、木炭や石炭を燃やすしかなかったからだ。しかし、それ以上に鉄と炭素の組み合わせは絶妙であった。

炭素は炉を高温にするだけでなく、自らが鉄と化合している酸素と結びつくことで、鉄の融点を下げることでもできるうえ、溶解量を調節することで、望みの硬さにできる。

さらに温度によって結晶を変化させ、鉄の性質を変えたり、「焼き入れ」によって鋭い刃物も作ることができた。人類が製鉄法を発見してから4000年にわたる長い間 鉄を作る人々は炉の温度と炭素の振る舞いに細心の注意を払ってきた。しかし1000℃を越える高温である。温度計もない時代に、何を目安に鉄を作ってきたのだろうか？

以上

東工大名誉教授 永田和宏著 「人はどのように鉄を作ってきたか

- 4000年の歴史と製鉄の原理」第2章「鉄を作る」- より 抜き書き

「和鉄の道・Iron Road」の掲載記事について、いつも頭にあるわかりやすい「鉄」の根幹「鉄はどんな金属・・・ どうして作るの？」を誰にでも読んでもらえる判りやすい概説に出会え、書き抜きしてご紹介させていただきました。

なお、図面は補足的にHP7インターネットから採録させていただきました。

2021.7.10. from Kobe Mutsu Nakanishi

【参考資料】 日本製鉄HP モノづくりの原点 科学の世界より 採録

◎ 日本製鉄の新・モノ語り <https://www.nipponsteel.com/company/story/index.html>

◎ ものづくりの原点 科学の世界 VOL 1～15

<https://www.nipponsteel.com/company/science/index.html>

ものづくりの原点 科学の世界 より 関係資料抜粋

VOL.15 鉄の起源

<https://www.nipponsteel.com/company/nssmc/science/pdf/V15.pdf>

VOL.30 金属の中の鉄(1)

https://www.nipponsteel.com/company/publications/monthly-nsc/pdf/2006_10_162_19_22.pdf

VOL.31 金属の中の鉄(2)

https://www.nipponsteel.com/company/publications/monthly-nsc/pdf/2006_11_163_13_16.pdf

VOL.8 鉄鉱石から鉄を生み出す(上)

<https://www.nipponsteel.com/company/nssmc/science/pdf/V8.pdf>

VOL.11 鋼を生み出す(その1)

<https://www.nipponsteel.com/company/nssmcscience/pdf/V11.pdf>

■ 日本製鉄HP ◎ものづくりの原点 科学の世界

<https://www.nipponsteel.com/company/science/index.html>

VOL1 軟らかくて強い鉄への挑戦

VOL2 鋳との戦い(上)

VOL3 鋳との戦い(下)

VOL4 形を造り込む(上)

VOL5 形を造り込む(下)

VOL6 鉄と鉄をつなぐ(上)

VOL7 鉄と鉄をつなぐ(下)

VOL8 鉄鉱石から鉄を生み出す(上)

VOL9 鉄鉱石から鉄を生み出す(中)

VOL10 鉄鉱石から鉄を生み出す(下)

VOL11 鋼を生み出す(その1)

VOL12 鋼を生み出す(その2)

VOL13 鋼を生み出す(その3)

VOL14 鋼を生み出す(その4)

VOL15 鉄の起源

VOL30 金属の中の鉄(1)

https://www.nipponsteel.com/company/publications/monthly-nsc/pdf/2006_10_162_19_22.pdf

VOL31 金属の中の鉄(2)

https://www.nipponsteel.com/company/publications/monthly-nsc/pdf/2006_11_163_13_16.pdf