

さびを科学する

鉄は自然環境のまま放置すると、さびる(腐食する)という宿命ともいえる性質があります。なぜ鉄はさびるのでしょうか。そもそも、さびとは何者なのでしょう。さびの正体を探ってみましょう。

Q1 どうして鉄って、さびるの？

A1 鉄は鉄鉱石の状態に戻りたいから、さびるのです。



図1 さびのメカニズム



図2 鉄鉱石から鉄鋼材料、鉄鋼材料からさびへのダイアグラム

鉄の表面に酸素や水があるとき、化学反応によって表面から浸食される現象を「腐食」といいます。この腐食によって溶け出した鉄と酸素や水が結びついたものが「さび」なのです(図1)。鉄がさびることは、実は自然界ではごく普通のことなのです。

もともと鉄の原料である鉄鉱石は、大気中の酸素と結び付いて、酸化鉄として地球上に存在しています。クルマやビルなどに使われる鉄鋼材料をつくるため、製鉄所の高炉で鉄鉱石とコークス(石炭を蒸し焼きにしたもの)を化学反応させ、鉄鉱石に含まれている酸素を奪い(還元)、人工的に鉄を取り出しています。

こうしてできた鉄は、再び酸素を取り入れて、元の自然な姿である鉄鉱石の状態(酸化鉄)に戻ろうとするため、さびていきます(図2)。つまり鉄のさびは、自然の法則に従って安定状態に戻ろうとする現象なのです。

Q2 さびるのは、鉄だけなの？

A2 鉄だけではなく、金属のほとんどがさびます。

	大 ← イオン化傾向 → 小																	
	リッチに 貸そうか な ま あ あ て に すん な ひ ど す ぎる 借 金																	
イオン化列	Li	K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	H ₂	Cu	Hg	Ag	Pt	Au	
常温の空気中での反応	すみやかに酸化される					酸化される 表面に酸化物の皮膜を生じる								酸化されない				
水との反応	常温で反応する					熱水と反応	高温の水蒸気と反応する				反応しない							
酸との反応	塩酸や希硫酸と反応して水素を発生する												硫酸や熱濃硫酸に溶ける			王水には溶ける		

図3 元素におけるイオン化傾向の大小

金(Au)や白金(Pt)などは、さびない金属として知られています。しかし銅(Cu)やアルミニウム(Al)など、ほとんどの金属は空気中に置くと、やがて鉄(Fe)と同じように表面から金属特有の光沢が失われ(皮膜の発生)、さびます(図3「常温の空気中での反応」)。

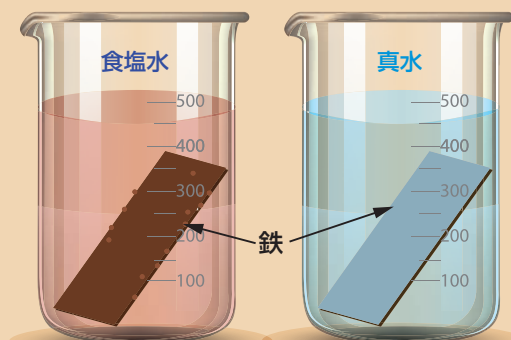
金属のさびは、金属が空気中の酸素や水分と反応して酸化することによってできますが、酸化すると金属を構成している原子からいくつかの電子が取り去られ、陽イオンになります。これを金属のイオン化といいます。

金属のなかには、常温の水と反応するもの(図3「水との反応」)もあれば、酸としか反応しないもの(図3「酸との反応」)もあり、金属の種類によってイオン化しやすさは異なりますが、イオン化傾向の大きい金属ほどさびやすいことがわかっています(図3「イオン化列」)。イオン化しやすい順に元素を並べると、「リッチに貸そうかな、まあ、あてにすんな、ひどすぎる借金」と語呂合わせで覚えることができます。

実はイオン化傾向の違いを応用して、めっきと呼ばれる防食技術が確立されています。例えば建築などで使われているトタンの屋根は、鉄板に亜鉛(Zn)をめっきしたものです。めっきが疵ついて部分的に鉄が露出した場合もイオン化傾向の大きい亜鉛が鉄よりも先に溶けていくため、鉄がさびるのを防いでいます。

Q3 真水と海水では、なぜ海水のほうがさびやすいの？

A3 塩分に酸化反応を助ける働きがあるからです。



同じ時間経過した場合

さびは、鉄の表面に付着した水分と反応して発生しますが、このとき塩分が含まれていると水が電気を通しやすくなり、さびを起こさせる反応が早く進行するようになります。そのため真水の中より海水の中のほうがさびが多く発生します。

それでは海水よりも塩分濃度がさらに高い環境では、より早く簡単にさびてしまうのかというと、実はそうではありません。海水の塩分濃度は3%と偶然にも鉄が最も腐食しやすい水準になっており、海水の塩分濃度より高くなると水の中に溶ける酸素の濃度が低くなるため、むしろ鉄のさびる速度は遅くなります。だから海水よりも塩分濃度が高い死海(イスラエルとヨルダンの国境にある湖)のような水に鉄を浸しても、鉄が早くさびることはありません。

Q4 さびって、どんな種類があるの？

A4 赤色、緑色、黄色、茶色、黒色など、いろいろあります。



写真1 自由の女神像

ニューヨークの自由の女神像は、鉄の骨組みの外側に銅の板を貼り合わせてできています。1886年建造当時は銅色をしていましたが、空気中の酸素に触れたり風雨にさらされたりすることで酸化して、現在の緑色となりました(写真1)。銅の緑色のさびは「緑青」と呼ばれ、発生すると銅の表面を薄い膜のように覆い、酸化が進まないようにする働きがあることで知られています。

鉄もまた、例えばコルテンと呼ばれる鉄鋼材料は、塩分の少ない環境では緻密なさびを表面に形成して、安定した保護皮膜のように覆うことで、鉄がボロボロになって朽ちてしまうのを抑えることができます。コルテンは、初め普通の鉄と同じように赤くさびるのですが、時間が経つにつれて赤茶色、こげ茶色、黒褐色へとさびの色が移ろっていきます(写真2)。これはあらかじめ鉄に添加した合金元素の働きによって、表面に緻密なさび層をつくっていく過程で、さびの厚さや結晶の大きさが変わっていくため、さびの色が変化して見えるのです。

このように表面を覆って酸素や水分を侵入させずに、さびを防ぐという原理を活かして、さまざまな「さびにくい鉄」がつくられています。

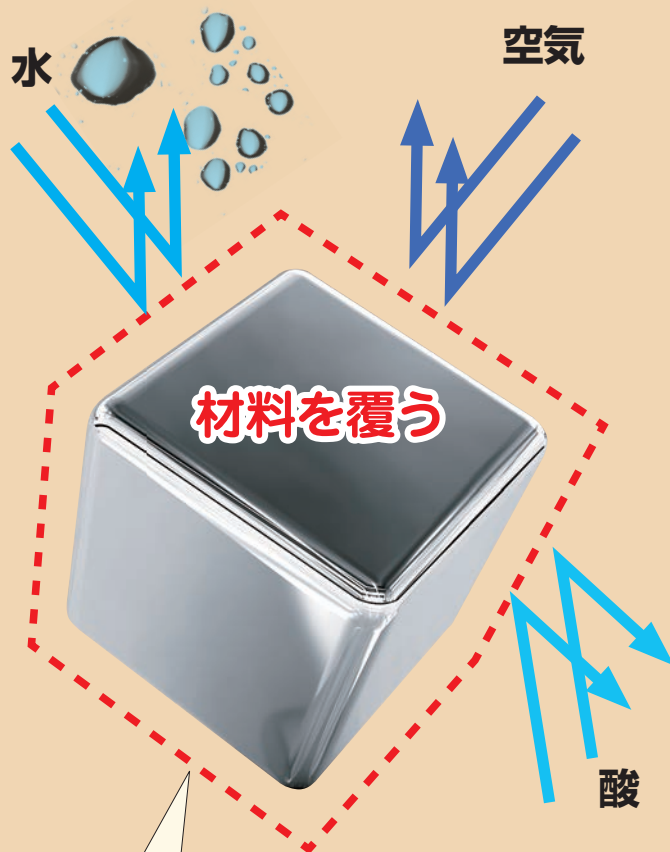


写真2 北海道百年記念塔 (左から 1969、73、91、2010 年)

Q5 さびないようにするのって、できないの？

A5

材料を覆う防食技術を取り入れたり、さびにくい環境をつくったりすることも大切です。



さびは金属の表面から発生するため、まず酸素や水が直接触れないように表面をコーティングによって覆いつくせば、腐食を防ぐことができます。これを被覆防食と言います。

鉄の被覆防食には表面を塗装したり、樹脂を貼り付けたりする方法があります。またスズやクロムなど耐食性の高い金属でめっきしたり、チタンやステンレス、アルミニウムといった異なる金属を貼り合わせたり(クラッド材)、ガラス質のセラミックスで覆ったり(ほうろう)すれば、さびを防ぐことができます(図4)。

また鉄がさびにくい環境をつくることも大切です。例えばpH(酸性・アルカリ性の程度を示す水素イオン指数)を調整することで、腐食量は大きく異なります。pHの低い酸性ほどさびやすい一方、pHの高いアルカリ性ではさびにくくなります。強アルカリ性のコンクリート中の鉄筋がさびにくいのは、このためです。

点検・補修など手入れをして維持・管理された鉄橋などは、100年を超えて今もなお現役で活躍しています。防食技術を取り入れたり、さびにくい環境をつくったりすることの大切さをまさに証明しています。

図4 さびを防ぐため材料を覆う防食技術の例

クラッド

(例：鉄とチタンを貼り合わせる)

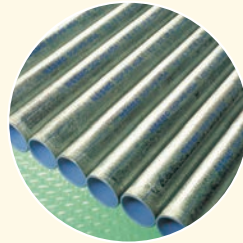


亜鉛めっき



ライニング

(例：ポリエチレン皮膜)



スズめっき



塗装



ほうろう

(ガラス質の被覆)

