

# 腐食種々相

柳原護

## 1. 腐食現象

私たちが目にする腐食の現象は

- A. 生成物が表面に残っているさびや変色
- B. 生成物が残らない溶解
- C. 腐食に伴って起きる穿孔や破損

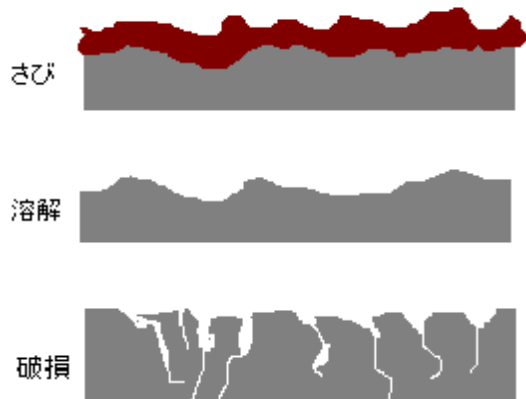
の電気化学現象による場合が大部分を占めていて、この他にも高温酸化とか、力学的要因の方を食として取り扱われる。Cの現象は腐食と力学的要因が重なったときには短時間で進行する。

ここで、AとBについては全面で進行する場合と局部に集中する場合があります、さらに全面腐食でも見かけ上均一な場合と不均一な場合がある。

見かけ上均一に進行し、できた生成物が非導電性で、割れ目がなく、密着している、との条件を全て満たすことができれば腐食の進行は止まる。

ここに上げた3つの現象は、その起きる場所によって大気中での腐食、水中での腐食、土壌中での腐食などに分けられ、また後に述べるようにその形態ごとに名前が付けられているが、全て同じ現象に集約することができる。

腐食現象を知ることによってさびないような対策も立てられるので、基本的な原因と、よく見かける現象についてまとめてみよう。

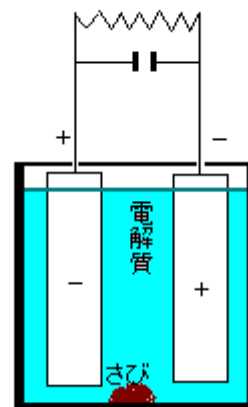
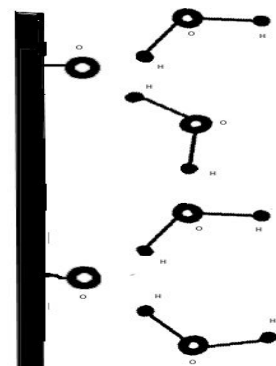


## 2. 腐食の原因とその機構

1. で述べた3つの腐食現象は、迷走電流による溶解（電食）を除いて、空気中でも水中でも土の中でもさびの起き方は基本的には同じである。すなわち、非常に乾燥した状態におけばほとんどの金属はさびないということである。金属を侵すとされている塩素ガスや硫化水素のガスの雰囲気中ですら、乾燥状態ではほとんど腐食は進行しない。

大気中におかれた金属の表面には単分子層の水が吸着し安定な状態になっている。すなわち、 $M-O-H_2O$ または $M-(OOH)_2$ と表わされる不働態皮膜ができていて、乾燥状態では侵され難い。湿った雰囲気ではその外側に自由水がつくので水中や土の中と似た状態になる。液中と違うところは、溶けている電解質や空気の通りやすさだけである。

上に述べた腐食の機構は図のような電池を想像してもらえば全て当てはまる。通常の電池は、その構成によっていろいろな電気化学反応の組み合わせでできているが、腐食の場合には、カソード反応（電池で見ると+極の反応、電気化学的には-極の反応）が水素イオンか酸素の還元であることが多い。アノード反応（反対の極での反応）は金属のイオン化による溶解がおき、溶けだした金属は沖合いで水酸化物や硫化物などの沈殿を作る。これがさびであって、塩化物や硫酸塩などは多くの場合溶解した状態にいるのでさびには含まれない。さびの分析から腐食環境を推定するのが困難な理由はここにある。



図の電池をもう一度見直してみよう腐食が進行するためには電池ができるだけではだめで、必ず放電が起きていなくてはならない。つまりアノードとカソードはある抵抗を介してショートしていることが腐食の進行には欠かせない。電解質溶液、カソード、アノード、それと両極がショートしているとの条件の1つでも欠けると腐食は起こらない。では、きれいな水の中に単一の金属を入れるとどうなるかとの疑問が当然起きることと思う。答えはやはりさびるのである。普通の金属は、原子が一定の並び方をした結晶から成り立っている。そしてその結晶がいくつか集団になったものが多い。この結晶の表面に向いた面が違えば、原子や電子の密度が違っているので溶けやすさも各面で違っている。溶けやすい面はアノードに、溶けにくい面はカソードになりやすい。また結晶と結晶の境目（粒界）は原子の並び方が違う面の境であるから、アノードになりやすい。金属内の抵抗は非常に小さいからショートに関しても問題がない。問題は水の方で、純水の電気抵抗は非常に大きいのであるが、水分子の酸素と水素はお互いの相手が全て固定しているわけではなくしょっちゅう交換している。また、水の一部は水素イオンと水酸化物イオンに分かれている。このことによって、空気中の成分や接触したものをイオンとして溶かす性質を持っている。少しでも溶けだしてしまうとこれは電解質水溶液になる。

ここに述べたことは次のような実験をするとよくわかる。

- a. 亜鉛の板や棒をよく磨いてからごく薄い硫酸に浸すと泡を出して溶ける。
- b. 軟鋼の板をよく磨いて硫酸銅の水溶液に浸すと銅が板の上につく。硫酸銅が濃い場合にはついた銅が剥がれてくる。この液の一部を取りアンモニア水で中和すると褐色の沈殿ができ鉄が溶けていることがわかる。

どちらの場合も材料の表面の光沢は消え凹凸ができていくことがわかる。泡の出る部分や、銅の析出する部分がかソードで溶けだした部分がアノードである。カソードの反応は通常の腐食の場合には酸素であることが多いが、この実験では水素または銅を使ったので、さびは生成しない。析出した銅がさびに相当する。

通常の空気中での腐食は、酸素の水中での拡散によってその速度が支配されるので表面の水の層が非常に厚いと水中の腐食と同じになり、薄い場合には自由水が少なく溶けだしたイオンの移動が不自由なので遅くなる。一番腐食速度の早い水の層の厚みは約  $0.1 \mu\text{m}$  であると言われている。水の層の厚さにむらがあると酸素の供給量にむらができるので厚い部分が腐食され中間の部分にさびを作る。酸素の補給を妨げる障害物のある場合も同様である。水の層に電解質が溶けていると電気抵抗が小さくなったり、溶けだしたイオンが表面から持ち去られたりするので腐食速度は当然速くなる。ただし、水中での腐食の場合には、高濃度のイオンを含むと酸素の溶解量が減少するので、必ずしも腐食は早くならない。5%の塩水噴霧試験の方が20%の塩水噴霧試験より腐食が激しいのはこのためである。

これも実験で確かめてみよう

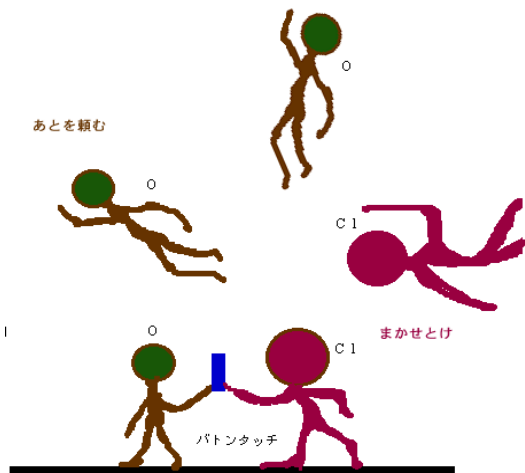
\*. 海水くらいの濃さの食塩水をよく沸騰させて溶けている空気を追い出した後空気に触れないようにさます。酸素が多いとカソードがたくさんできて先の銅の析出のような状態になるので見にくくなるからである。これにフェノーフタレン指示薬を1滴垂らしておく。この指示薬はpH9以上のアルカリ性でピンクになりカソード領域がわかる。できれば少量のフェロシアンカリウムを加えておくとアノード領域も青く見ることができ。よく磨いた軟鋼板の上にこの溶液を1滴スポイドで垂らし、乾かさないうちに湿ったところにしばらく置く。滴の大きさが適当だと中央が青（フェロシアンカリウムを加えた場合）、その外側が茶色、一番外がピンクになる。一番空気の通りの良い外側で酸素が還元され水酸化物イオンができpHが上がる。一番内側ではアノードとなって鉄が溶けだし、フェロシアンカリウムがあれば青くなる。その中間では溶けた鉄が水酸化物イオンと反応して沈殿を作るので茶色になる。実際の腐食では、さびが空気の流通を妨げるのでさびの下に新しいアノードができさびが進行する。

この実験でわかるようにさびの成分は硫化物のように環境物質と反応して沈殿を作る場合を除き腐食環境に左右されないのでもこれを分析しても環境を知ることは難しい。

塩化物イオンがあるとさびるとよく言われるが、塩化物イオンは、金属の表面に吸着して、不動態膜の酸素と置き換わる性質がある。表面が塩化物膜になると、塩化物は水に溶けやすいので水があると金属の表面が裸になる。裸になると溶解が容易になりさらに塩化物イオンによって溶けたものが持ち去られるので進行型の腐食となる。

これらの例でわかるように腐食の進行はカソード反応によって決まることが多く、腐食生成物が溜まるか取り除かれるかは環境物質で決まる。進行型の腐食の場合には、アノード反応の面からとけ出したイオンが環境物質によって他に運ばれ、カソード生成物とくっついてさびになっていることが多い。

水中での腐食の場合には、この他に流速や浮遊物の影響がある。



### 3. いろいろな腐食

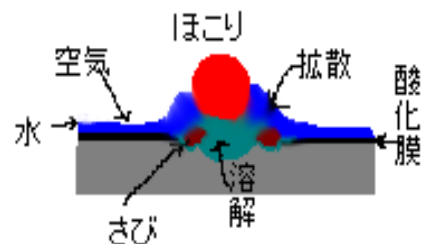
高温酸化や、銅アセチリド生成のようなガスとの直接反応の場合を除いて、これまでに述べたように腐食は水が関係している。従って大抵の腐食は水分と遮断することで防止できるのである。しかし、どのような場合にどのような形態またはメカニズムで腐食が起きたり進行しているかを分類しておいた方が便利なので、いろいろな名前が付けられている。一番おおざっぱな分類は、大気中、水中、土壌中に分けられているが、ここでは、メカニズムと形態で分け、比較的ポピュラーなものについて述べる。ただ腐食のメカニズムは多くの場合その表面の状態や電解質濃度などが進行に伴って変わるし、天然の状態は常に変化しているから、それに伴って変化しているから、1つの分類で述べられるのはごく短時間に限られる。ただ普通の場合には常に通気差電池の生成はからんでいる。

#### A. 通気差電池による腐食

(隙間腐食、マクロセル、もらいさび)

図に隙間腐食の一例を示した。この腐食は環境によってはステンレス鋼でも簡単に起きる。

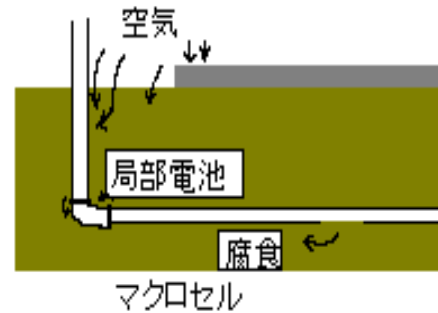
ここでほこりと書いたところは材質は何でもよく、金属でもプラスチックでも砂ほこりでも綿埃でもさびでも起きる。結露による腐食と考えられているもの、室内に放置してできるさびなどはこれの典型的なものである。実際に隙間腐食と呼ばれているものは例えば湯沸かし器のレベルメータなどのように狭い隙間をもった構造の製品の場合であるが、機構的には図のような場合も全く同じなのでここでは広い



意味でこの腐食も隙間腐食と呼ぶことにする。2で述べたようにほとんどの金属は表面に薄い親水性の酸化物の層ができて外気と遮断されている。その内側にもう少し厚い酸化物層があることもある。水の層が非常に薄い場合には水の層を酸素が容易に通る抜けることができ、平衡が成り立っている。ところが、水の層がもう少し厚くなると酸素の供給に遅れが出るため、酸化物層から水の方へ酸素が供給される。さらに水の層が厚くなると金属面に酸素の供給がなくなり、裸の金属が水にさらされた形になる。しかし、他にカソード反応をするものがなく、金属表面の組織に極端な差がなければ腐食は起きにくくなる。腐食試験をしようとして瓶の底に

鉄釘を入れて密栓して置いてもなかなかさびないのはこのせいである。しかし、図の例のように薄い水の層と空気の流通を妨げるものがあると、空気の流通の悪いところがアノード、空気の流通の良いところがカソードになってアノードが溶解する。溶解したものは先の実験のようにカソードとアノードの間でさびこぶを作る。さびの下は空気の流通が悪くなるから同じようにアノードになる。つまり腐食はどんどんと進行する。

マクロセルと呼ばれる土の中のさびや液中のさびも原理的には同じである。ただアノードになる部分とカソードになる部分が遠く離れているため、マクロセルと呼ばれる。よく見られるのは埋設されたパイプライン（ポピュラーなところでは家庭用の水道管）に一部分深い孔があく現象で、泥炭のような保水性と導電性が良く通気性の悪い土壌のところ起きやすい。通気性の良い表面に近い部分がカソードになり、遙か離れた深いところやコンクリートで覆われたところがアノードとなる。我が国では粘土質

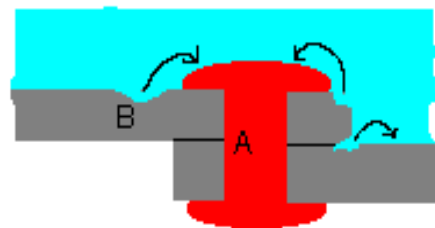


でかつ肥料などの電解質で汚染された地下水のあるところできやすく、引き込みの水道管程度のパイプに孔があくの約3ヶ月ぐらいかかる。周りが比較的きれいで、孔の周りにさびこぶができどちらかというと下側が腐食しているのが特徴である。よく電食（迷走電流による腐食）ではないかと持ち込まれるが、電食の場合には孔の周りもきれいなことが多いので見分けがつく。比較的研究されているので大きな工事などではほとんど見られなくなっている。土の質が問題なので地域に限られる。

もらいさびでよく見られるのはステンレスのシンクに落ちたヘアピンの下がさびる現象で、同じく通気差電池によるものである。カソード反応が鉄の還元だとする人もいるが、実際には通気差の影響の方が大きい。

### B. 接触腐食

全ての金属は、持っている電子のうちいくつかの中を自由に移動できる。この電子はさらに、界面の外に受け入れるところがあったり、強い刺激を受けると金属外へも移動することができる。電子不足になった界面の金属原子は、電子の供給がなければイオンとなって金属から離れる。これが溶解で、アノード現象に相当する。イオンはどこか電子過剰な場所があるとここで電子を受け取って金属に戻ろうとする。これがカソード現象である。



アノード現象とカソード現象の速度が等しくなると記を平衡状態と呼ぶ。このとき、イオンの持つエネルギーと金属の持つエネルギーの差は、電子の出入りに必要なエネルギーに相当するから、適当な物差しを決めれば物差しとの間の電圧として検出することができる。物差しとして、水素原子と水素イオンの間のエネルギー差を取りこれをあらゆる温度で0と決め、各金属の $1\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ のイオン溶液とのエネルギー差と水素のそれとの大きさの違いを298Kにおいて

電圧の形で測定したものを金属のイオン化の標準平衡電位と呼ぶ。標準平衡電位の値をマイナスの大きなものから順番に並べたものがよく知られているイオン化傾向である。2種類の金属が、各々その $6.22 \times 10^{23}$ 個のイオンを含む溶液に接しているとき、2種類の金属は一方がアノード他方がカソードとして働き電池となる。この電池の起電力は298Kにおいて各々の標準平衡電位の差となる。

標準電極電位に対し、いろいろな温度、濃度、反応環境、イオンの状態などを考慮に入れて、

同じく水素の変化を物差しとして電圧で表わしたものを単に平衡電位と呼ぶ。相対的な表現であるが、この平衡電位がマイナス方向に大きいことを電気化学的に卑、プラス方向に大きいことを電気化学的に貴と呼ぶ。

平衡電位の値は、液中のイオンの濃度や温度によって変動するし、反応の過程が変わると別の平衡電位となる。塩酸のようなほとんどの金属が単純なイオンになって溶解するような溶液中では、金属Aと金属Bが接触するとほぼイオン化傾向の順序で標準電極電位の卑な金属の方がアノードになって溶解する。仮に金属Aの方がイオン化傾向の小さい貴な金属とすると接続して希塩酸中に浸すと、金属Bが溶解して金属Aに付くか、金属A上で水素イオンの還元が起きる。このときの電流は金属内ではAからBに、液中ではBからAに流れる。

実際の腐食においては、希塩酸中のようなわけにはゆかないので、必ずしもイオン化傾向の小さいAの方が貴になるとは限らない。その溶液のその温度におけるある時点で平衡電位の卑な金属の方がその時点では腐食することになる。特別のイオンや化合物を作るものを含まない水溶液中で、イオンの濃度が $10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ になる場合を仮定して電位とpHの関係を水との反応においてPourbaix（プールベ）が計算したものがプールベダイアグラムとして出版されており、腐食を見積もる上で非常に参考になるが絶版で手に入らないので、引用されている図書か大学の図書館などで見てほしい。計算も可能であるがここでは計算法までは述べない。特別のイオンを含む場合は、海水中での場合が研究されており、腐食されやすさの序列が求められている。

接触腐食とは呼ばないけれど、この腐食は単一の金属でも起き、加工度の大きいところ、ひずみのある部分、結晶粒界などが卑な金属にあたる挙動をする。このことから、普通の腐食の場合には、異種金属によるものの他に単一金属面でもカソード領域アノード領域ができてることが多い。この単一金属のみの部分を局部電流と呼ぶ。

接触腐食が問題となるのは、常に水溶液に触れているパイプラインや容器とか水中構造物のことが多く、大気中では結露した液滴で常につながっている部分に複数の金属がある場合に限られる。大気中では、多くの場合通気差電池の方が優先したり、通気差に移行することが多い。このような状態になるところは、ジョイント、リベット、ねじ止めなど段差や隙間のある部分である。

水溶液中以外で、接触腐食がもっともよく見られるのは、めっきされたものの腐食で、表面の金属に傷が付いたり、腐食孔が下地に達したときにこの状態になる。耐食性を目的にしためっきを多層にするのはこのためで、もっとも弱い層だけを腐食させて素地を護ろうとするものである。

土中や水中のパイプラインなどでは、修理をして新しいパイプをつなぐと新しいパイプの方が短期間に侵されることがよくある。これも接触腐食の一種で、新しいパイプの品質が悪いわけではない。古いパイプはすでに腐食を受けているから、腐食されやすい卑な部分が失われ、全体的に新しいパイプより電気化学的に貴になっている。そこへ新しいパイプをつなぐと新しいパイプの方がアノードになって溶解する。

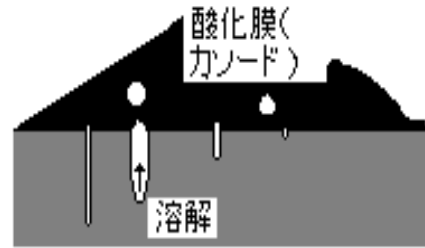
接触腐食は、極端に電位の差がありかつ表面の変化の少ない金属を選んで逆に利用し、目的の金属を保護するためにもよく使われる。日常生活で我々がよく目にするものは亜鉛めっきである。そして、よく知られているものは船舶の亜鉛陽極である。この目的には亜鉛がよく使われるが、この理由は価格が安いばかりでなく、アルミニウムやマグネシウムのように不働態化して電位が逆転することがないからである。（亜鉛も条件次第では不働態化することがある。空气中に露出している亜鉛めっきパイプが黒っぽくなって亜鉛がなくならないのはこのためである）

### C. 孔食

前の2つは腐食機構から命名されているが、孔食はその形態から名付けられている。腐食機構が何であれ、一番恐ろしい腐食である。さびが浅くて広い場合には、材料の機能や強度に致



命的なダメージを与えることは少ない。ところが、肉厚方向に深い孔があくとたとえそれが肉眼で見えなくてもパイプなら液漏れとかガス漏れを起こすし、力が掛かると応力集中により破壊が起きる。しかも、この腐食は通常耐食性とされている金属に起きやすい。しかも狭い範囲に集中するため非常に進行が早い。塗膜のピンホール、テープ巻きの隙間などのできる腐食も現象的には孔食であるが、これらは非電導性皮膜であるから普通の通気差電池による隙間腐食の一種である。



ここで問題にしたい孔食は、表面に緻密な薄い酸化膜（不働態）ができて通常は腐食が起これらなくなっているとされている金属に生じる孔食である。鉄族金属、クロム、アルミニウムやチタンなどの軽金属などがこれにあたる。普通の鋼の不働態は比較的容易に酸素を放出して活性態になりやすいので孔食になることは少ない。よく見られるものはステンレス鋼に起きる孔食であるからこれを例にとって説明する。

ステンレス鋼の表面はクロムの酸化物に緻密に覆われている。この皮膜は、耐薬品性が強く、電気抵抗も比較的大きい。このため見かけ上さびたり溶解しないことからステン（さび）レス（ない）と呼ばれている。この皮膜の欠点は塩化物イオンなどのハロゲン化物イオンに弱いことで、これらのイオンが吸着することによってこの場所の皮膜が可溶性となって破壊する。空気との遮断や大きな電流で陽極にしても破壊するが、塩化物イオンによる破壊の例が圧倒的に多い。皮膜が破壊して小さな点状の皮膜のない部分ができるとここがアノードとなって溶解が始まる。カソードは皮膜の残った広い面積の部分であるから、大きな電流が流れることができ狭い孔の底に電流の集中が起きる。このような状態になると孔はますます深くなってゆく。

ステンレス鋼に力が掛かっていると孔食が少し進行すると力がここに集中して割れることがある。体積の増すガス発生などがあるとなおさら起こりやすい。これを応力腐食割れと呼びプラントなどでおそれられている。応力腐食割れは航空機のアルミニウム合金やチタン合金でも知られている。塩化物イオン以外では硫黄化合物が関与するとも言われているが、筆者は塩化物以外については経験がない。

#### D. その他の腐食

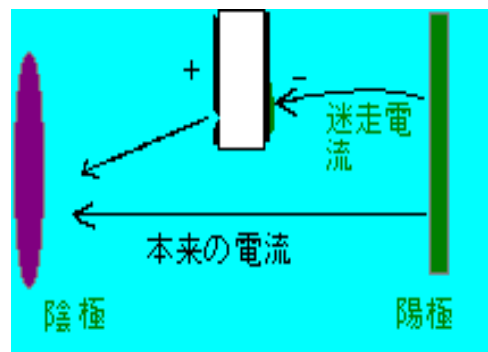
（迷走電流、バクテリア、キャピテーション・エロージョン、ガス）

我々が通常目にする腐食はほとんどが通気差電池によるものでその次が接触腐食によるものである。この項に述べる腐食は原因がはっきりしているので予防が容易である。それだけに議論になることが少ないが時々見られるので注意が必要である。

##### a 迷走電流による腐食（電食）

土中または液中で起きる腐食で、腐食部分以外は比較的きれいでさびこぶがでにくいのが特徴

である。これの起きる条件は、高圧または大電流の直流が近くにあることだけである。直流で走る電車の線路沿い、アーク溶接の近くが知られている。直流と平行に設置されたパイプに誘導電流が流れて腐食する場合もあるが、多くは直流が漏れだして途中にある金属内を電流が流れることの方が多い。これは電池ではなく外部から電流を供給して電氣的に溶解した場合に相当する。工場内ではままた見かけることがあり、電気めっき工場の蒸気加熱パイプがそう内で孔があいた例もある。電気めっき工場ではこの逆に金属製のそうやパイプにめっきが付くことが



多い。この場合にはアノードになった部分は不働態化することで溶解しなかったもので、電食と同じ現象である。

#### b バクテリア

バクテリアも数多く知られており、普通はカソード反応をバクテリアが受け持つ。この中で問題になるのは航空機の燃料タンクを腐食するバクテリアで、顕微鏡で胞子を見ることができる。

一般の人が問題にする必要のあるバクテリアは、鉄バクテリアとかいおう還元バクテリアと呼ばれるもので非常に多くの種類が見つかっている。土中や水中で硫黄の還元エネルギーで繁殖するもので、硫酸イオンや硫化水素などの硫黄化合物の存在するところで見られ、常温から湯ぐらいの高温で増えてゆく。夏になると茶色の水垢が増え、冬になると減るようなところでは大抵住んでいると考えて良い。硫黄の還元反応がカソード反応となって鉄の腐食を促進する。腐食した鉄は、バクテリアに取り込まれたり付着したりして茶色の水垢を作り腐食孔付近に溜まる。大きなさびこぶを作るのが特徴である。このさびこぶを酸に溶かすと硫化水素を発生する。簡単な分析法でもいおうが検出できるので容易に他の原因と見分けられる。

#### c キャビテーション、エロージョン

これは腐食というよりも機械的な破壊であるが、新鮮な表面が露出するのでこの部分がアノードになりやすい。気体が関与する場合をキャビテーション、固体が関与する場合をエロージョンと呼ぶ。溶液中に気体がとけ込んでいる場合、流速や流れの方向が変わるときに分離して気泡になる。気泡は溶解しているときに比べ体積が大きいから、気泡のできた部分の圧力が増す。これが流れに乗ってぶつかるため、気泡のぶつかったところの金属の表面が削られる。これをキャビテーションと呼び、船のスクリュウ、パイプの曲がり部分の内側に見られる。パイプの場合には、流入口から数えて2番目のカーブにできることが多い。気泡による丸いくぼみやオタマジャクシのような形のくぼみがたくさんできる。

気泡でなくゴミやスケールのような固体がぶつかって削られるときこれをエロージョン（壊食）と呼び、流線に沿って細長く侵される。これらの現象に普通の腐食が加わると深い孔食の集団がしやすい。

#### d ガスによる腐食

600 K以上のような高温の気体にさらされるときは、金属とガスが直接反応して表面に酸化物、窒化物、塩化物、硫化物などの皮膜ができる。皮膜中にとらえられたガスは拡散によって金属の内部に向かって成長する。例外的に銅とアセチレンのようにほとんど室温で反応するものもあるが、多くは高温が必要で、普通には薄い皮膜で止まり性能に影響したり極端な変色を示すことはまれである。普通ガスで腐食しましたと言われるものも、水分の存在によってイオンとなり電池構成で腐食が進行することが多い。極めて腐食性の強いとされる塩素や硫化水素、2酸化硫黄等ですら、乾燥状態では金属を侵すことはほとんどない。これらがわずかでも湿ると非常に激しい腐食が起きる。つまり、乾燥状態では、金属とこれらのガスの間の電子のやりとりができないので、単なる吸着で終わってしまうのである。

### 3 相談で多いさび、変色

#### 屋外

\*埋設管：最近では建設業の皆さんの知識が豊かになったためほとんどなくなってきた。プラスチック管やコーティング管の使用も多くなっている。外側からの腐食はほとんど全部マクロセルによるものである。土の通気性が悪く電気抵抗の小さい保湿性のよい場合におきる通気差電池による腐食で特定の場所に集中して起きるのが特徴である。確認には土の性質を調べるとよいが、ほとんどの場合腐食した場所と埋設状態を見ればわかる。対策は通気性と水はけのよい土を管の周りに入れるとよい。部分的に新しい鋼管を使うと接触腐食によって新しい方が腐食することがあるので注意が必要。



\* 構造物：腐食防食の研究の中心でメーカーや学会における専門家が多いので我々のところには相談が少ない。個人の住宅の雨樋や銅屋根などの腐食があるが、ほとんどが降水物や埃によるミクロな通気差電池である。最近では酸性雨等によって雨水の導電性が上がっているので起きやすい。嫌気性醗酵や重油ボイラー排気ガスに起因する硫化物による腐食もある模様である。

\* 輸送中の腐食：もっとも多い相談で、めっきされた部品であることが多い。原因はほとんど梱包方法にある。輸送時には各種の環境中を通過するわけであるから、それに梱包方法をあわせなくてはならない。理想的には、十分乾燥した埃のない部屋で密閉型の梱包を行うとよいが、温度の高いときの相対湿度が低くても低温環境では高湿度である場合があるから、船便などで遠方へ輸送するときには途中の温度変化などに注意する必要がある。絶対湿度で管理すればこの問題は解決するが通常の湿度計では困難である。ただし、亜鉛めっきした製品は、クロメート皮膜中に水分を含む必要があるので湿度図表などを調べて最適湿度で梱包しなくてはならない。

金属のみでできている場合には、だいたい加湿器のないエアコンの部屋でよく掃除をしてポリエチレンなどの袋詰めをして密閉する程度で問題は起きにくい。木材や紙製品と組み合わせられている場合は別の考え方が必要である。木材や紙はその特性から湿度が上がると吸い込み、下がると吐き出すことによって環境の湿度を一定に保つので、寸法を常に変えている。そのため、過剰乾燥は製品の変形などの問題が起きやすく、金属単独のように乾燥を強くすることができない。塗料や接着剤から出る揮発性の物質も問題になる。このような場合には半開放型の梱包の方が密閉型より有利な場合も多い。ただ、あまり高湿度になると木材や紙に接触した側で水中腐食と同様の現象が起きるし、端と中の通気差の違いから見えない部分が腐食されることが多い。耐食性を考慮した表面処理を選定する必要がある。

## 屋内

\* 一般屋内：環境がマイルドだから、厨房器具、水周りを除いて割合問題が起きにくい。システムキッチンなどの厨房器具は湿度の多い環境におかれ、かつ調味料、飲料水などの付いた手でさわられることが多いので、室内用の金具を流用すると問題が起きる。また、木材に取り付けられることが多いので輸送の項で指摘したような腐食が起きやすい。意外な盲点はシンクなどのステンレス鋼製品で、もらいさびが出やすいことはよく知られているが、深絞りで一体成型されているので、側面と底などの性質が違うこともある。底には磁石が付かないのに側面に磁石が付くことがある。家庭用では主婦が手入れをするので問題ないが手入れの行き届かないところでは要注意である。

\* 工場：一番問題の多いのは工場内の保管状態や、作業環境が悪い場合である。飲料を飲みながら等と言うのは論外として、汗を拭き拭き作業しているのではさびの元を作っているようなものである。木綿の手袋はしばしば使われているようであるが、頻繁に交換洗濯乾燥を行わないと汗や汚れを品物に転写することになる。品物に触れるところは少なくともゴムかプラスチックを使いたい。

工場内や保管場所の砂ぼこりもしばしばさびの原因になる。ほこり自体に腐食性のものが含まれなくても、空中の水分がここに集まり、通気差電池を形成する。空気中に腐食性のものがあればなおさらである。よく掃除をしてエアコンディションした場所を材料や製品の保管場所にあてたいものである。

## 装置内配管

ほとんどの場合、スケールと流速のバランスが崩れた場合に起きている。塩素ガスや硫化水素ガスの配管に水蒸気が混入して腐食が起きた例もあるがこのようなことはまれで、水や湯を送る配管に孔のあく場合が多い。腐食した部分を観察すると、回りに厚いスケールが付着していることが多い。スケールは適当な厚みならば配管を保護する働きがあるが、厚くなると剥が

れやすくなる。流速の変化する場所があると、キャビテーションが起きたり、異常にスケールが成長したりして厚くなったスケールの脱落が起きる。脱落したスケールは流れに乗って運ばれ、ぶつかった場所のスケールに傷を付ける。裸になった金属の部分はアノードとなって集中して腐食される。

#### 耐薬品

特殊なケースが多いので、その都度調査する必要があるが、高耐食材料の応力腐食割れなどの相談もまま見られる。

#### その他

最近では電子機器などの接点の変色の相談が増えてきている。接点は貴金属でできていることが多く、しかもマイルドな雰囲気ですで使われることが多いにもかかわらず相談が多いのは、加工中の移動距離が長くなり、いおう化合物の増加など大気も汚れてきていることによるものと思われる。これについては、日本材料学会で文献調査を行って出版しているので詳しくは、そちらを参照されたい。