

第2章 基礎的知識

2.1 火災・爆発事故の基礎知識

2.1.1 燃焼・火災・爆発の現象について

燃焼とは、酸化反応(物質が酸素と化合すること)により、熱を発生し、急激な温度上昇とともに光を発生させる現象をいいます。

火災とは、人の意図に反して発生し若しくは拡大し、又は放火により発生して消火の必要がある燃焼現象であって、これを消火するために消火施設又はこれと同程度の効果があるものの利用を必要とするものをいいます。

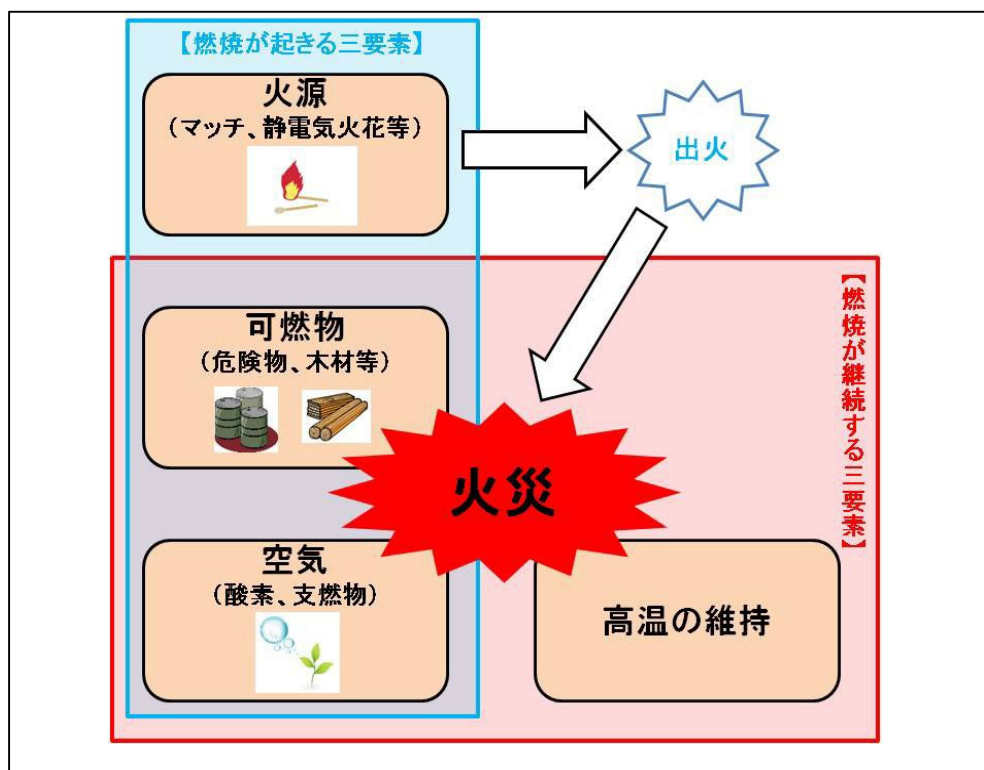
爆発とは、化学的変化(燃焼)又は物理的変化(圧縮された気体の開放あるいは液体の気化)により発生した現象で爆鳴を伴うものをいい、建造物の破壊や火災を発生させる場合があります。

なお、化学的変化による爆発は、急速に進行する燃焼反応によって多量のガスと熱とを発生し、急激な圧力の上昇を伴います。

2.1.2 燃焼が起きる条件である三要素と燃焼の継続に必要な高温の維持

燃焼が起きる条件として①可燃物があること、②火源(発火エネルギー)があること、③周囲に空気(酸素)があること、の三つの要素が必要です。

これらを燃焼が起きる三要素といい、どの要素を欠いても燃焼は起きません。次に、燃焼の継続には、可燃物、空気及び高温の維持の三要素が必要です。燃焼が起きる三要素と高温の維持を合わせて、燃焼の四要素といいます。



燃焼の四要素

2.1.3 主な火源(発火エネルギー)

火災の主な火源には次のものが挙げられます。

(1) 高温表面熱(煙突、電気器具、電球など)

可燃性混合ガスが高温物体と接触すると、その表面から熱を供給されて高温になり、発火に至ります。例として加熱炉や高温配管などがあります。

発火のしやすさは、可燃性混合ガスの温度上昇のしやすさによるので、物体の表面の形状、規模、熱伝導度などの影響を受けます。

(2) 静電気火花

異種の2物体が接触すると、その界面で電荷の移動が起こります。その後2物体が離れる際それぞれの物体に互いに異なる正負の電荷が残留し、これが静電気となります。

発生した静電気は大気や地中に流れて電荷が減少しますが、発生量が多くなると電荷が過剰となり、他の物体との間で放電が起こります。その際の放電エネルギーが可燃性混合ガスの最小発火エネルギーより大きければ火源となります。

二酸化炭素消火器も噴出時に生成されるドライアイスがノズルなどとの摩擦によって強く帯電します。消火に用いる場合のように既に着火し燃焼している可燃性液体に噴射する場合には問題ないのですが、可燃性の蒸気が滞留している空間での放出では着火源となる危険性があり、実際に、消火装置の試験運転が原因で石油タンクが火災となった例が海外で報告されています。

(3) 電気火花

電気火花は、電気の直流、交流を問わず、電気設備のスイッチの開閉、電気配線の断線、接触不良、ショート、漏電などで発生します。その際の火花のエネルギーが可燃性混合ガスの最小発火エネルギーより大きければ火源となります。

(4) 裸火(火気)

バーナー等の作業用火気、ストーブ、マッチ等の一般の火気、ボイラー等の火炎は可燃性混合ガスと接触することにより火源となります。

(5) 摩擦熱、衝撃火花

グラインダー、ブレーキ、ハンマーによる打撃などで生じる摩擦熱や衝撃火花が火源となります。

(6) 断熱圧縮による温度上昇

高圧ガス設備のバルブを急激に開くと、低圧側の配管や装置に高圧ガスが急速に流入し、圧力調整器などの部分で断熱的に圧縮されて高温になり火源となることがあります。

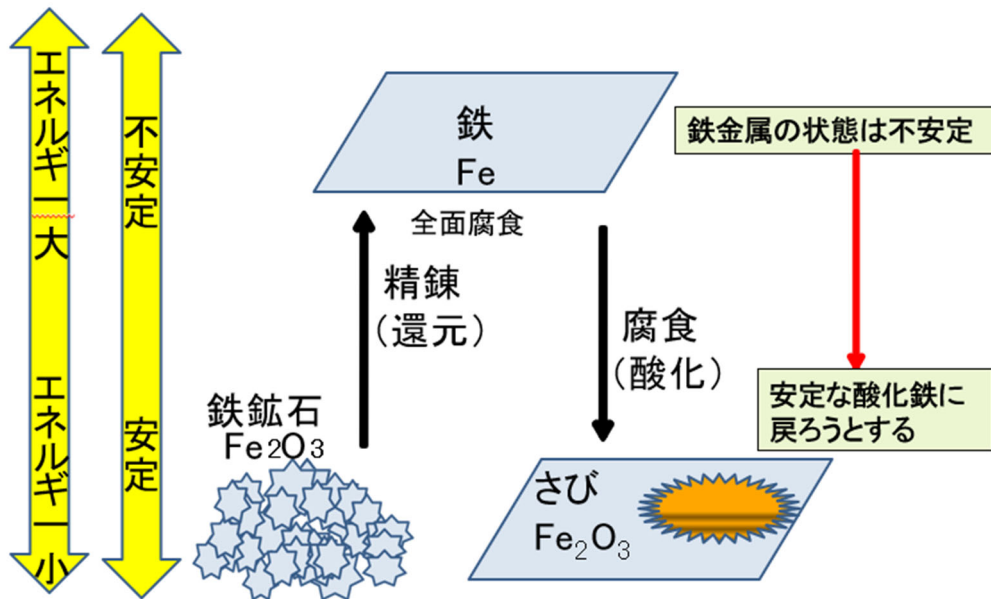
2.2 漏えい事故の基礎知識

2.2.1 腐食の定義

金属がそれを取り囲む環境によって、化学的あるいは電気化学的に酸化されること

【例】鉄(Fe)が腐食すると酸化鉄(Fe_2O_3)となる
(さび)

自然界に存在する鉄鉱石(Fe_2O_3)を精錬(還元)することで作り出した鉄(Fe)は、金属としては不安定な状態であり、より安定な酸化鉄(Fe_2O_3)(さび)に戻ろうとします。



2.2.2 腐食の種類と腐食要因

腐食は、乾食と湿食に分類されます。乾食は、水の存在を必要としない腐食で、高温酸化、高温ガス腐食などがあります。湿食は、水の存在を必要とする腐食です。

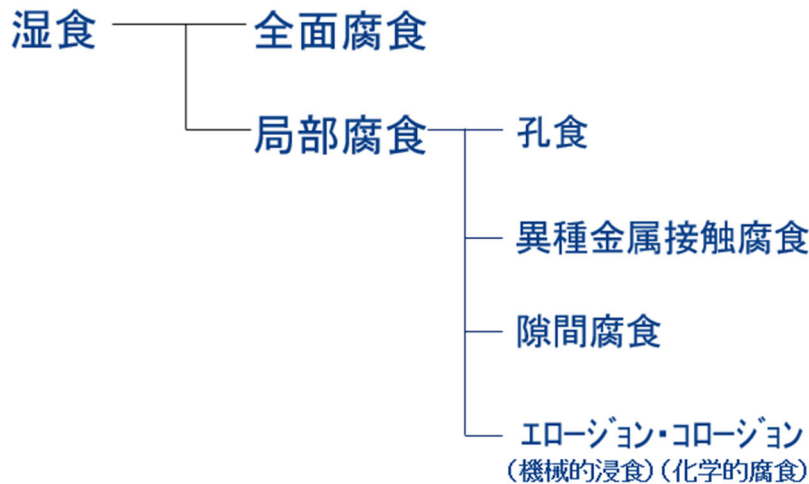
種類	腐食要因	腐食速度
乾食	酸素のみ	常温では極めて遅い (高温酸化)
湿食	酸素と水	電気化学作用で常温でも進行 (塩分は、腐食の促進要因)

乾食の代表的なものに高温酸化があります。

○高温酸化

高温の酸化性気体との接触により化学的に反応して、金属表面に酸化物スケール(酸化皮膜)を生じ、スケールの割れ、剥離により進行していく腐食です。

湿食は以下のように分類することができます。



○全面腐食

金属表面が一様に減肉する腐食で、弱酸性の電解質水溶液に接触している炭素鋼と低合金鋼の表面が、全面的に減肉する腐食形態をとる場合が典型です。ほぼ、均一に減肉する場合を均一腐食、凸凹が大きい場合を不均一腐食といいます。

○局部腐食

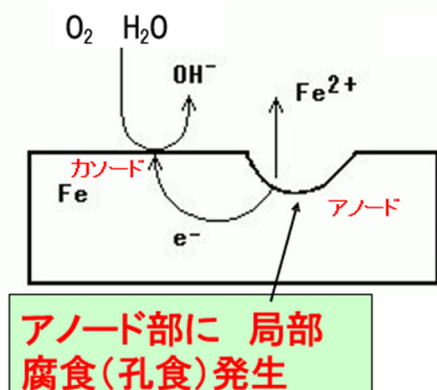
全面腐食に対して、金属表面が局部的に腐食する場合の総称です。孔食、異種金属接触腐食、隙間腐食などが典型例で、保温材内部に雨水が侵入し多湿環境を形成することにより、配管の外面が局部腐食して開孔に至る事例などがあります。この事例は、保温材下腐食(CUI: Corrosion under Insulation)と呼ばれ点検を困難にします。

・孔食

孔食は、金属表面の不動態被膜の破壊によって生じる局部腐食である。塩化物を含む水環境において不動態化した金属表面に、凹み状の溶解箇所(腐食ピット)が拡大していく腐食形態です。孔食が肉厚貫通すれば、漏えいとなります。

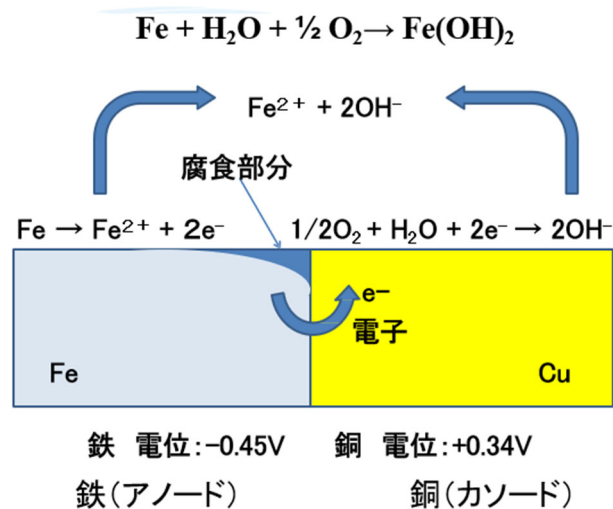


屋外貯蔵タンク底板(内面)の孔食例



・異種金属接触腐食

腐食電位が大きく異なる2種類の金属が、電解質溶液を介して電氣的に接触する場合に、電極電位の違いにより生じる腐食です。

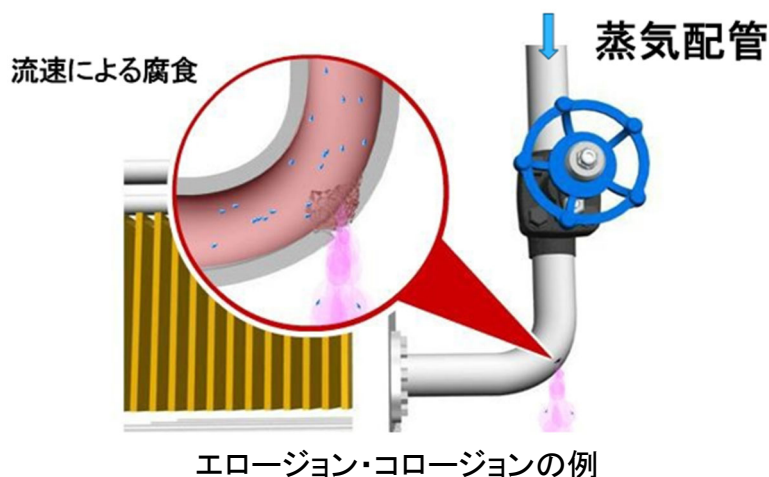


・隙間腐食

金属表面の異物付着部分又は構造の隙間部分に生じ、酸素濃淡電池の作用による腐食です。酸素濃淡電池は、通気差電池ともいいます。電解質溶液の溶存酸素の供給が部分的に断たれると、その部分をアノード(負極)、周囲の溶存酸素の供給がある部分をカソード(正極)とするマクロ腐食電池が形成され、アノード反応で腐食します。炭素鋼配管の錆こぶ下の孔食が、この例です。

・エロージョン・コロージョン

金属、流体の流れ、環境の因子が重なり合って生じます。壊食(エロージョン)と腐食(コロージョン)の相乗効果による減肉事象です。流体の流れはエロージョンのみによって金属表面を損傷することがなくても、金属表面の保護被膜(腐食生成物)を除去することにより、壊食部分をアノードとするマクロ腐食電池を形成し、腐食が生じます。エロージョン・コロージョンの特徴は、壊食部分には腐食生成物が付着せず、それ以外の部分に腐食生成物が付着します。配管などの曲がり部分、バルブの下流部分、管径の減少部分などのように、局所的な流れの乱れと過大な流速がある箇所、エロージョン・コロージョンが生じます。



2.2.3 その他の漏えい要因

・応力腐食割れ

応力腐食割れは、腐食の種類に分類されることがあるが、応力腐食割れと腐食は、形態とメカニズムが異なることから、本手引きにおいては腐食の種類には入れず、その他の漏えい要因として記載します。

応力腐食割れは、腐食環境、材料の感受性及び引張応力の三つの因子の重畳効果によって生じ、特に、外力の作用なしで、残留応力のみによって生じることに特徴があります。代表的な応力腐食割れに、オーステナイト系ステンレス鋼SUS304などで、溶接熱影響部に生じる「粒界型応力腐食割れ」があり、溶接残留応力が応力腐食割れに寄与します。

・ウォーターハンマー現象(水撃作用)

管路において、流速が急激に変化するとき、管内圧力が変化する現象をウォーターハンマーといいます。これは、水の流れを急激に止めることにより、行き場を失った水の持つ運動エネルギーが瞬間的に圧力エネルギーに変わり、圧力波が発生するもので、この時の圧力上昇は、管路を閉鎖する速度がある速度以上になるとき著しくなります。ウォーターハンマーが激しい場合、配管等の設備を破損する場合がありますためバルブ等の操作は努めてゆっくり行う必要があります。

・材質、内容物の熱膨張

機器等の材質や内部を流れる内容物の熱膨張により、当該機器等が破損することがあります。配管内に内容物が入った状態で上流側バルブと下流側バルブ等が閉止されると、内容物の逃げ場がなくなり(これを液封といいます)、この状態で内容物が加温されると、内容物の熱膨張により配管の内圧が上昇し、フランジ継手のガスケット等が損傷するなど漏えいに至ることがあります。加温はスチームトレース等による場合や太陽光による自然現象によることもあります。また、配管内に水分が存在した状態で、外気温の低下に伴う水分の凍結による体積膨張によって、機器等が破損し漏えいに至る場合もあります。

鋼鉄製の配管本体の熱膨張や熱収縮により配管長が変化し、機器に損傷を与える場合があります。

さらに、熱交換器等の高温で運転される機器においては、ボルトの熱膨張・熱収縮によりフランジ継手に緩みが生じ漏えいに至ることがあります。そこで、高温で使用される機器のフランジ継手のボルトを締付ける際には、高温状態で増し締めを行う必要があります。これをホットボルティングといいます。ホットボルティングの実行には、予めフランジ、ボルト、ガスケットの温度分布の経時変化を解析する必要があります。

・硫黄の固化

硫黄の融点は約 120℃であり、配管等の温度が低下すると、配管内で硫黄が固化するため、そのままの状態では運転を継続すると内圧が上昇して配管等が損傷することがあります。

参考文献

第2章

『自衛防災組織等の防災要員のための標準的な教育テキスト』
自衛防災組織等の教育・研修のあり方調査検討会(2018)

『有機被覆による防食の原理』 危険物保安技術協会

『高圧ガス事故の統計と解析 事故知識の伝承と活用【改訂版】』
特別民間法人高圧ガス保安協会(2023)

『消防ポンプ』 財団法人全国消防協会(1994)

手引き最終章の後ろに記載