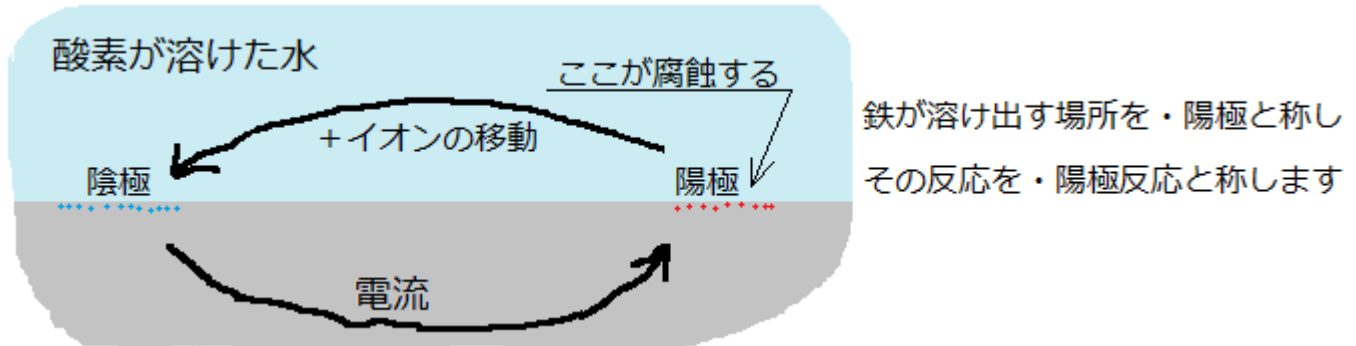


鋼製タンクの防蝕設計

鉄は・水と酸素によって錆び・その反応には必ず・電流が伴います・

水に濡れる事によって・鉄の表面に・自然電位が発生し（その電位は・材質・応力・温度・環境物質の種類や濃度・等々・無数のモノゴトによって・変わるため・その違いによって）アチコチに大小様々な電池が発生し・その陽極で・鉄がイオンになって流れ出る・という・腐蝕機構です・



水中の陽イオンは陽極から陰極へ・鉄中の電流は・陰極の裏側から陽極の裏側に流れます・
出口は裏側から見れば入口ですから・鉄の中と水中では・腐蝕電流の向きが・逆になります。

（乾電池の表側は亜鉛が陰極ですが・裏側は亜鉛が溶け出しているのが陽極です・陰陽は表裏一体です）

陽極部では $2\text{Fe}-4\text{e}\rightarrow 2\text{Fe}^{++}$ という反応で鉄が・イオンになって水中に溶出します・

陰極部では $\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}+4\text{e}\rightarrow 4(\text{OH})^-$ という反応で・水と酸素が OH イオンになります・

この両イオンが合体・沈殿したのが・ $2\text{Fe}(\text{OH})_2$ （赤錆）です。

二つの反応は同時進行し・片方を止めたならもう一方も止まる不可分の関係・という理由で・

二式を一つにまとめたのが・ $2\text{Fe}+\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$ ・です・（電子の記号 e が消えます）

（細かく言えば・ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ も混ざるし・出来た錆も・脱水反応等で・変化しますが・それで・この腐蝕機構が・変わる訳では無いので・枝葉は無視して・話を進めます）

隙間腐蝕も・応力腐食も・塩水腐蝕も・反応式は同じです・説明図も同じです・電池の発現機構が異なるだけです・但し・その・電池の発現機構や構造の違いに応じて・防蝕法は・変化します。

腐蝕は全て・何らかのメカニズムに従って進むので・その何処かを阻止すれば・止まる・というのが・防蝕の原理です・以下の3種が・その・代表的な阻止方法です・

被覆・表面を防蝕膜で覆って・水や酸素と接触させない・或いは・膜で腐蝕電流を遮断する・環境制御・乾燥させる（水を除去する）・酸素を除去する・等・

電気防蝕・当該水中に・別の陽極を設置し・その陰極を鉄に繋いで・腐蝕電池を打ち消す・

耐蝕性構造材を使う・腐蝕の害を防ぐ・といった・別の考え方もあり・それらの中で・最適な方法・を考えるのが防蝕設計ですが・誰が・何を根拠に・最適と決めるのか？・が・難題です・

化学プラントの腐蝕は・防蝕費用とは桁違いの大損害をもたらしますから・民間化学工場の保全係は大抵・仕様選定を・信頼できる専門の施工業者に任せて・失敗したら業者を替える・間接的設計をしています・見積金額の差など・保険料と見做して・重視しません・

専門業者が・気にするのは・天候・工期・対象物の状態・等々の**現場状況**です・理由が有ります・**例えば**・・地下水位が高い場所の**コンクリート槽に**・**水で硬化不良を起こす樹脂を被覆したら**・剥離や硬化不良を招き易いし・劣化した下地に・硬く厚い被覆をしても・剥離が起き易くなります・工期の長短・気温の高低・降雨や結露の可能性等々でも・**適する仕様**が変わります・角が立った**部分**は削る・水が沁み出る**部分**はどうする・ジャンカ**部分**はこうする・配管との繋ぎは・足場は・電源は・吸排気は・といった事全てを・**現場状況に合わせない**といけません・・**仕様見積**を依頼された場合は・**発注者の**・**個別の**・**色々な事情に合わせる**・必要もあります・その具体的な内容は・本文を読んで下さい

腐蝕・防蝕のメカニズムは・**科学的論理なので**・**答は一つ**・知っているか否か・だけの話です・・が・防蝕方法の**選定**には・**普遍的な答の出し方**は有りません・・**私的根拠に基づく**・**私的な答の出し方**が有るだけです・・

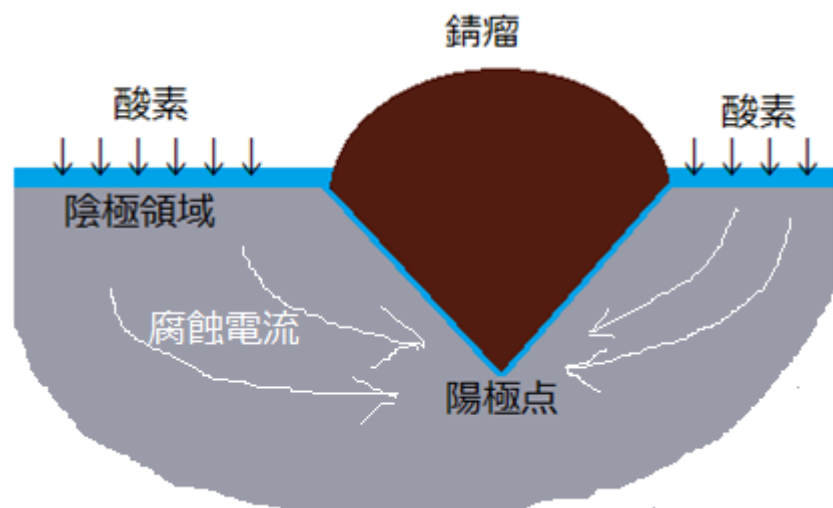
一例として・下水道事業団の**私的**「**防食指針**」は・**認可した防食仕様を**・膜厚で・A・B・C・Dと類別して・同じクラスなら・**どれを選んでも良い**が・**認可・登録・していない仕様は**・**不可**・という**概要**の・ゼネコン向けの・**仕様選定ガイドブック**です・ゼネコン側から見れば・**棚に並べた既製品の中から**・**価格で選べ**・という**指示**です^^（専門的に見れば・アブナイ・設計法です^^）

以下は・それとは考え方が違う・一・**プラント防蝕業者の**・**私的**「**防蝕指針**」です・・**プラントには**・**個別の構造**・**材質**・**設置環境**が有り・それらと**腐蝕形態**には**相関性**があるので・その色々な箇所で・色々な**腐蝕**が起きます・**実害**が無い腐蝕も・**危険な腐蝕**も・**偶発的腐蝕**も・必ず起きます腐蝕も・有ります・もう一つ・**各プラントには**・**役割**・**操業形態**・**保全体制**・**工期**・**予算**・**法律**・といった・別の**問題**も有ります・**防蝕仕様**が・その別の**問題**にも**合っていない**と・色々な**問題**が起きます・だから・そうならないために・**防蝕仕様は**・**個別に作らない**といけない・という**概略内容**です・・要するに・**服は**・**体の細かい違いに合わせて作れ**・という内容です・・

実例で説明します・・ **選んだテーマは**・・

【**危険な物質を貯める鋼製タンクを安全に**・**長期耐用させる**・**防蝕仕様**】・です

予備知識として・・**錆腐蝕**の**腐蝕機構**だけ・理解しておいて下さい・・鉄板に**食い込む**ように進行して・**短期間に**・**富士山形の穴を開ける**・**普通に発生する**・**タチの悪い**・**局部腐蝕**です・・

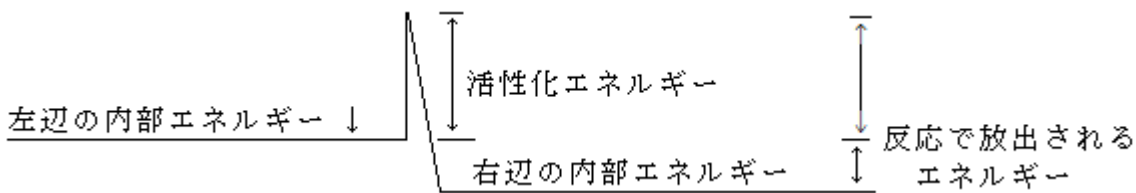


水膜に外気の酸素が溶け込み・・
酸素濃度が高い領域が**陰極**になり・
酸素濃度が低い部分（錆の下）
が**陽極**になる。
水膜内部ではイオンの移動・金属
内部では電子の移動・という形で
陽極・陰極間に**腐蝕電流**が流れる

この腐蝕機構の構成要素のどれかを除去すれば・錆腐蝕は止まります・・例えば・・

- ① 錆を叩き落して酸素濃度差を無くす・・
- ② 撥水剤を塗布して水膜の形成を阻止する・・
- ③ 湿度を低く保って結露を防ぐ・・
- ④ 鋼材表面に塗料や油を塗って水や酸素と接触出来ないようにする・・
- ⑤ 環境の水が酸素を除去する・(例えばボイラーの防蝕は 用水の溶存酸素を除去するのが定番)・・
・・等々です・・

予備知識・追加・・化学反応式の右辺と左辺の間には 活性化エネルギーと称される障壁があるので、この壁を越えるエネルギーを得ない限り、反応は右辺にも左辺にも行けません・・



その活性化エネルギーを・腐蝕電池が供給し・それによって・錆びているので・
酸素と水が有っても・腐蝕電池が無ければ・錆は出来ません・・だから・腐蝕原因を調べる時は・
その電池構造を探します・隙間腐蝕・応力腐蝕・異種金属接触腐蝕・乱流腐蝕・錆腐蝕・貫き錆腐蝕・
貫き錆腐蝕・等々は全て・その電池構造 (≒腐蝕原因) を示した名前です・

以下・本文です・・

鉄が水と酸素で・赤錆になる反応と・酸素で酸化鉄になる反応は・別です。

酸化鉄になる反応は、酸素分子の衝突だけで進みます・・(水も電気も不要です)・・

この反応の活性化エネルギー供給源はその衝突エネルギーだけですから、それが十分に大きくないと・つまり・高温 (=高速) にならないと起こりません・そして・高温になるだけで起こります・
一方・赤錆になる反応の活性化エネルギーは・電池のエネルギーなので・低温でも進み・逆に・水が蒸発する高温域では・反応が止まります・

鋼板の表面に付いている黒皮は製造時に高温の鉄が空気に触れて生じたその酸化鉄です。

酸化鉄生成の反応式は $2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$ $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ の三種類有ります・・「腐食防食用語事典」によれば・・

570°C以上では 黒皮は下から順に $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の三層構造 (高温ミルスケール) になり それ以下の温度では $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ の二層構造 (低温ミルスケール) になるそうです。

(分子運動速度は・正規分布で・バラついていますから・こういった温度は・厳密な数値には・なりません・アバウト・その辺でそうなりはじめる・と・理解して下さい)

この黒皮はどちらも・・ひび割れだらけなのに加え 海水中の自然電位が銅に近いので、海水に浸けるとそのひび割れ部に露出した鉄がガルバニ腐蝕を起こします。

(水中の鉄の腐蝕には全て電気が絡むので・殊更に電気を強調する意味はないのですが・世間の言い方に従います・理屈を言えば・錆腐蝕も・隙間腐蝕も・どれもこれも・錆は・全部・ガルバニ腐蝕です)

黒皮にひび割れが出来る理由は・張力が掛かるためであり・・張力が掛かる理由は・酸化時の体積

増加が小さいためであり・・・体積増加率がある程度以上に大きければ・ひび割れは生じない・・・と言われています・・・(SUS やアルミが腐蝕し難いのは・そのためです)

黒皮という**大面積の陰極**と・ひび割れ部という**微小面積の陽極**が電気回路で繋がったら・その微小部分に電流が集中して・**集中的な腐蝕**が発生します・・・つまり**黒皮は局部腐蝕を誘発助長します**。

だから・・・**船の外板**はそれを防ぐために、この黒皮をサンドブラストで SSPC-SP10 (=Sa2.5) 以上のグレードで落してから塗装する・・・というやり方をします・・・

(錆びるのは構わないが・**局部腐蝕**で・穴が空くのは悪夢だからです)

そうしなければ・昔は・**ロイドの保険が契約出来なかった**そうなので・外洋船の外面のサンドブラストは事実上 法律みたいなものだったそうです・・・今はどうか知りません。

大昔に・**カンカン虫**と称された人達がやっていた・船の外面に生じた**錆瘤**をハンマーでカンカンと叩き落とす作業も・**孔が空く腐蝕 (孔蝕) を防ぐ**・ためです。

石油やガスの**掘削井**に使う**鋼管**も・・・穴が空くと大災害になるので・・・新品を長期間野晒しにして内外面を**わざと錆びさせて黒皮を完全に無くしてから**使います・・・これも防蝕技術の一つです・・・

大深度地下は**酸素濃度が低い**ので・**腐蝕総量**は気にしない・が・**管に穴が空くのは避けたいので**・・・**局部腐蝕の阻止**に集中する・・・という・設計思想です。

プラント防蝕の普遍的目的は・・・**安全操業と保全コストの低減**です・・・が・・・問題はそのコストの考え方です・・・タンク一つとっても・・・鉄で作る・SUS で作る・FRP で作る・RC で作る・等々色々な選択肢があって・・・長所短所も入り組んで・初期価格も維持管理費も・・・トラブルが起きる原因も回避法も全部違います・・・それら諸々を勘案した**総合的コスト判断**をする必要があります・・・**初期費用**だけで判断すると・**安物買いの銭失い**に成る危険性が大きくなります。

(**経理**や**購買係**に防蝕仕様の選定を任せていたら・**将来**どうなるかは・ご想像に任せます^^)

その究極のコストが**災害コスト**です・**災害を防ぐため**・石油掘削会社も・埋設油送配管の防蝕等には・膨大な金を掛けています・が・不測の事故も有り得るので・**保険**でもカバーします・・・

だから・**ロイド**も・防蝕のやり方に注文を付ける→黒皮は悪だ！一切残すな！・という素人好みの**正論**^^が・世間に**爆誕**^^・ホワイトブラスト (SSPC-SP5・=Sa3) というグレードは・広い面積でやってみれば直ぐ分ると思いますが・**非現実的に厳しい**ので・施工業者・音を上げる

→SSPC (米国の**鋼構造物塗装協会**) がブラストグレードを**現実的レベル**に下げる実証試験を・実行→**SP5 と差が出なかった**・のが・先述の SP10 というグレードだ・と・SSPC-SP 原典に・記載されていまして・・・

SP10 の判定法の最後の部分は・**白黒〇×論**を振り回す**リベラル**^^を相手に・世の中とは・こういうものだよと・**現実論**を説く**保守派**^^みたいな文章で・**秀抜**^^

・**敢えて書きません**^^・・・

そういった諸々も踏まえて・この**一見貧乏くさい**・防蝕設計を・じっくり・味わって下さい^^

こういう風に・・・**各プラントにはそのプラントの環境に応じて**・**現実問題**として・**無視しても良い**

無害な腐蝕や・災害に直結する**危険な腐蝕**が・混ざって生じます・・

何が危険か・何がそうでないかは・個別の事情で変わります・・

例えば・土木工事の擁壁なら・孔蝕なんか・無視できます・・

B to B で連続供給しているコンビナートの製造ラインタンクと 普通の保管タンクでは・・例え同じ薬液であっても・・防蝕仕様が変わる事があり得ます・・災害の規模が違うからです・・

自社の生産のラインが止まるだけなら・まだしも・供給先の生産ラインまで止めてしまったら・・シャレになりませんから・予備タンクや・予備配管・等のバックアップも選択肢になります・・

災害を防ぐには・石油業界や・船舶業界の様に・何が危険なのか？を見定めて・その**危険な腐蝕**を・狙い撃ちで防ぐのが・最も効果的です・予測して銃を向けるのですから・予測が不可欠です・が・

無条件の予測は・神様しか出来ません・人が出来る・最も信頼性が有る予測は・**経験的予測**です・**過去に起きた事が未来にも起きる**・という予測です・・

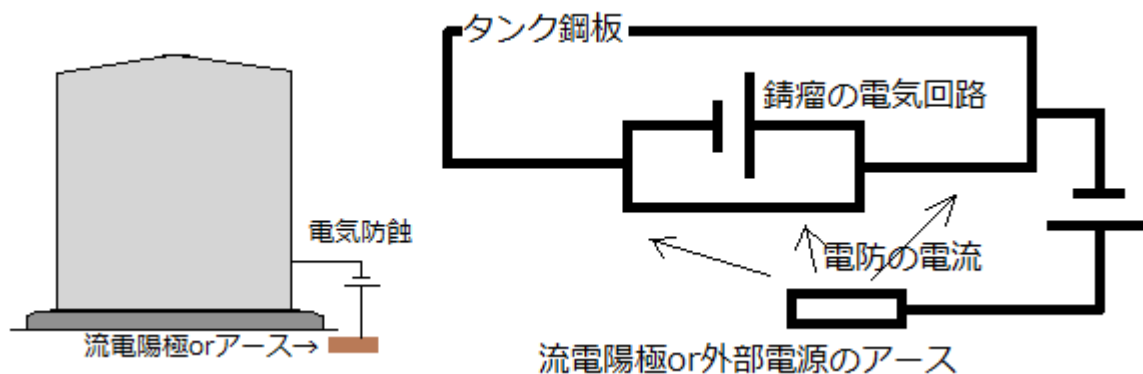
プラントのトラブルは・外部に公表され難いので・本で学ぶ事は・ほぼ出来ません・自分の経験と・他人の経験談・腐蝕事故の報道・等々が情報源です・・

多数の工場・色々なプラント・色々な部分を・細かく・そして大まかに・観察すれば・・色々な腐蝕を・観察出来ますし・その原因やメカニズムも見えてきます・・

それを・狙い撃ちで・防ぐ・わけです・・実例をご紹介します・・

先ず・狙い撃ちになっていない実例から・・

例えば（下図左）は石油タンク**底板の電気防蝕**です。



石油タンクで最も頻繁に起きる災害は**底板腐蝕孔からの漏油**であり・・電防は・その**対策**・と・考えられているのですが・**個人的経験では**・**底板外面に発生する孔蝕は全て錆瘤腐蝕**ですから・**錆瘤腐蝕**に対応した防蝕仕様でなければ・漏油事故は防げない・と・個人的には・考えています。
現状の電防でそれを防げるのか？を考えてみます。

タンクに負電極を繋げば・**タンク全体の対地電位**は**陰極**になりますが・問題は・その**電気の実際の流路**です・防蝕電流が**腐蝕電流**を打ち消せなければ・腐蝕は防げません・が・**錆瘤腐蝕の酸素濃淡電池**は**個々の錆瘤毎に独立した閉回路**になっています・そこに・外部電流は入り込めません・
(逆に・入り込める環境・つまり電防が効く環境・だったら・錆瘤腐蝕は・ほぼ・生じません)
(**前述の錆瘤腐蝕の構造図**でそれを確認して下さい)

(上図右) が・その・錆瘤腐蝕の閉回路と・電防の電気回路の・関係です・・つまり・・
現行の電防は地上タンク底板外面の錆瘤腐蝕には効きません

(電防をしたタンクで・無数の漏油事故が起きています・が・“電防をしていたから・この程度で済んだ”という 電防業者の・証明不可能な^^殺し文句が秀逸^^)

底板外面防蝕の・別の設計例を もう一つ・

タンク基礎を厚いアスコン仕上げにして・地中から沁み上がる水を遮断し・底板張出の端部に**雨水侵入防止措置(シーリング)をする**・のが消防法にも記載された防蝕仕様(環境制御)です・が・

現実には・大型タンクの底板とアスファルト基礎の間には・**建設期間中の降雨や結露によって**・**雨水侵入防止措置をする前に**・大抵・**100Kg**を超える程の**雨水が溜まっています**。

タンクの**建設現場**を見ていれば・或いは・**建設手順**を・理解していれば・自明の事です・が・**現場を知らぬ人たちが指揮棒を振ると^^**・こういう・**?え??**・という事が起きます・**世間には**・良くある事です^^・**脱線して^^他の実例を一つ^^**

弊社の顧客である某社^^・**常々**・**理系**の人間を・**バカと**・見下している・**文系**の偉いさんが・現場視察に来て・**敷鉄板**を見て・

台風で飛んで・**ご近所**の家にぶつかって壊したらどうするのだ!**チャンと杭を打って**・**それに鎖で繋いでおけ!**その程度の事も**気が付かんのか!**君たちは!**と**・**不機嫌に**・**指導**して・**帰った**そうで・

「何これ^^」「いや・偉いさんが・やれって・言うから^^」「敷鉄板吹き飛ばす台風?わはは・飛んだらそんな杭・毛ほども効かんよ^^ご近所さんの家も・電車も上空を・舞っているよ・電柱だって危ないぞ^^」「そんな事・分かっていますよ^^」「説明してやればイイじゃん」「そんな人に・理屈・説明して・理解すると思います?^^」「ん?無理だろな^^」「でしょ^^」「ハイ・分かりました・が・一番・手間が掛からんか^^」「そういう事^^」
・**一方**・偉いさんは・**理系は馬鹿**・と・**再確信**したようです・
タンク底板の話に戻ります^^

6mm tの底板鋼板を10mm φでコア抜きしてこれを全部錆に変えるのに必要な**水と酸素の量**はそれぞれ**1.2g**と**1.056g**(酸素は体積換算で**0.739L**・**酸素濃度20%**の空気で供給すればこの約**5倍の3.7L**)・

つまり・**現実**の底板と基礎の間には・**穴を開けるのに必要な酸素は殆んど無いが**・**水は大抵**・**大過剰に有ります**・

そんな環境の腐蝕量は・**酸素の供給量に比例**しますから・**底板張出部からの侵入を阻止しないといけないモノは雨水**ではなく**空気**です・**ではあるのですが**・雨水侵入防止策は大抵空気侵入も防止しますから・**結果的に**・**それなりの防蝕仕様**には・なっています・

相手は・**常々**「民間人は〇〇だ^^**指導**してやらねばならぬ」と・**確信**している?**現場仕事**など・**した事が無い**・偉いさん達ですから・**?え??^^**と思っても・ハイ分^^以下略^^・

・**ともあれ**・

底板外面腐蝕孔からの貯留物流出事故は・**鋼製タンク共通**の災害です。

土壌汚染を減らすためにも・**貯留物の流出は**・**より**・**確実に**・**阻止**する必要があります。

石油タンクの漏油事故を防ぐ・最適な防蝕仕様は・何か？

結論を先に書きます・・タンク底板内面に・FRPを被覆すれば・漏油はしません。(下図)



(茶色が錆蝕・灰色が底板・緑がFRPです)

内面防蝕が目的なら・・大昔のようなエポキシ塗装でも・・原油国家備蓄タンクのようなフレックコーティングでも・他のものでも良いのですが・・このFRP防蝕仕様には別の目的があります・・一目瞭然・・説明不要・とは思いますが・・

底板外面から錆蝕腐蝕さんがセッセと孔を開けても・・既にFRPで蓋がしてある！！・・という仕掛けです・・先回りして・・漏油の穴を防いでいるのです・・

FRPは膜強度が大きいので・こういう芸当が出来ます・・塗装の類では・ダメです。

大雑把に言えば・#450 ガラスマット一層のFRP被覆は、10mmφの腐蝕孔が開いても10mの高さの水圧に楽々と耐えます・・数十年程度で・これ以上の大きさの穴が開く事は・ほぼ無いので・破れて漏れる可能性は・先ず・ありません。

50年以上前に米国の石油会社 Amoco が始めたやり方のようなのですが・・今は世界に広まりました。力学的に、タンク底板に張力は掛かりませんから・腐蝕孔が幾つ開こうと・強度は・問題無い・という・実用主義が根底に有ります。

鉄屋さんの感覚なら・鉄板に穴が開いたらパチ当て溶接で直すのが常識であり・・実際に昔・消防庁はこれを推奨していましたし・底板内面に生じた多数の孔蝕の深さをピッチングゲージで全数計測して 規定以上の深さのものは 溶接ビードで埋め戻す・修理法まで・やらせていました・が・溶接で修理すれば・溶接部近傍の腐蝕に応力腐蝕が追加されます・つまり・藪蛇です・法的には正しいけれど・防蝕技術的には・やってはならぬ補修方法です・・

(さすがに消防庁も今はこれらの危険な修理法は推奨していません・かといって・代案も示していませんが) 石油施設の運用経験が長い米国では・この溶接修理の危険性が・昔から知られていたようで・・Amoco の資料には 鉄板パチ当て溶接の代案としてFRPパチ当て接着が記載されていた・記憶があります・・

その延長で・・底板全面にFRPライニングをしておくアイデアに到達したようです・・

ちなみに・・彼らが選んだFRP用樹脂はイソフタル酸系不飽和ポリエステル・・価格も・性能も適切な選択なので・今でも使われています・・ただ・・中東のような異常高温地域での施工には・スチレンモノマーの揮発が早すぎて施工し難く・爆発事故も心配です・・そういう問題の解決策として・・シェル化学やチバガイギー等のエポキシ樹脂メーカーが・・エポキシFRPを提案・・

FRP被覆で発生するトラブルは・ほぼ全て剥がれですから・エポキシの方が剥がれ難いし・高温地域での施工も容易で安全・という主張は・話の筋は通っているし・実績も多数有ります・・

(エポキシにもエポキシの問題が有るのですが・・長くなるので・・省きます)

・・・ともあれ・・・

石油タンク底板 FRP 防蝕仕様には・上記のような歴史と・技術的背景が有ります・・・が・・・日本の消防法には・・・タンクは鉄か鉄と同等以上の素材で作れ・・・という記載が有りますから・孔蝕を予知して・先回りして・FRP で孔を塞いでおきます・先見の明です・わはは^^・・・と・消防申請したら・・・工事許可は・下りません^^

FRP で底板内面防蝕をやります・と・申請すれば・・・通ります。

昔から・・・知る人ぞ知る漏油事故予防法と消防申請の裏技です。

最近ついに消防庁も公式に？この先回り孔塞ぎの合理性を認めた？のか・・・改訂消防法では地下タンク内面の FRP 防蝕を義務付けました・・・他の防蝕被覆は認めない←ここ重要^^・・・やらないとタンク使用禁止・と・零細ガソリンスタンドを廃業させかねない・強硬な態度。裏技が表技になった？？のです・・・が・FRP でタンクの孔を塞ぐのは相変わらず不許可です。本音が漏油の阻止・そしてそれに伴う土壌汚染の阻止なのは明白ですが・建前は内面防蝕^^

漏油による土壌汚染は・・・かなり昔から知られていた社会問題です（外国でも多発）・さすがに・・・もうこれ以上放置できない・法の抜け道を使ってでも・・・という事かもしれません・・・が・・・電防を代替処置として認めているのが・・・？意味不明？・他にも幾つか・・・？え？？^^は有るのですが・・・本筋は妥当と思うので^^細部をつつくのは・止めときます^^

日本の役所は・規制の理由や根拠を示さない事が・よく有ります・・・が・理由を示さぬ技術規制は・技術の発展と改善を妨げる側面もあります・民間人は皆・ハイ分りました・と・やってはいますけど^^・・・以下省略^^

最後に 参考のため・・・地上石油タンク底板 FRP 防蝕の細部仕舞・・・を付け足しておきます。コーンルーフトANKのセンターカラムの下は・・・カラムにアングルを仮溶接してここにジャッキを当てて少し持ち上げて・・・FRP 板を差し込んでジャッキダウンします。（接着剤は・板に塗ります）フローティングルーフトANKのルーフトサポーターレグ下も同様で・・・こちらはジャッキアップ用治具を用意しておいて・・・これでレグを次々と・少しだけ・持ち上げて・・・FRP 板を差し込んで・・・ジャッキダウン・・・の・繰り返しです。

余計なお世話ながら・盲目的に行われているサーフェシングマット仕上げは・・・有害無益です。樹脂含有率の増加は FRP の耐クラック性を低下させ・膜厚増加は・接着安定性も損ねます。

この FRP 被覆仕様の真の目的が・漏油を防ぐ構造材・・・である事を理解しないといけません。そもそも石油タンクの内面 FRP 被覆の防蝕性能は大過剰設計なのですから・・・防蝕性能を・更に上げる・・・という理屈は・屋上屋を重ねる蛇足です。

薄いエポキシ塗装ですら何 10 年も耐用しているのに・何をか言わん・・・です

どうしても遮断性能を上げたい・・・と執着するなら・・・塗膜欠陥が出来やすいサーフェシングマットを使うより トップコート塗り重ねの方が合理的であり・遮断性能を上げたいなら・フレックをトップコートにする方が・優ります・・・が・何にせよ・このケースでは・無い方がベター・・・です。

ついでながら・・・フローティングルーフトのシングルデッキ外面も・・・局部腐蝕を警戒すべきエリアです・・・ここに腐蝕孔が開くと・・・無視出来ない量の油が噴出します・・・

錆腐蝕の孔なら・木栓を打ち込んで仮止めしておいて・油面接着エポキシで埋め殺す**応急措置**で止める事は可能です（経験有り・勿論・客の名前は・死んでも言いません^^）

これを・正直に消防申請したら^^多分・絶対・通りません・・溶接で直せ！・**すぐ直せ！**・という事になって・タンク開放・洗浄・検査・修理・検査・というコースに入ったら・臨時出費は・考えたくも無いでしょう・何とか・次の・定期開放検査まで・持たせたい・が・人情・です・・
・が・そんな事・消防署から見れば・・**知った事では無い！！^^**・・です^^

目視が容易な場所ですから・・時々点検して・・錆腐蝕を見付け次第・・防爆ハンマーで叩き落としてタッチアップ塗装・・&・・溶接線近傍の塗装もこまめにタッチアップ修理・・という**防蝕仕様**で・**シングルデッキは・十分に・防蝕出来ます。**

厚塗り防蝕でメンテナンスフリーを目指すのと・どちらが良いか？の判断は・人それぞれ・・状況次第・としか言えません・が・私なら・定期点検&タッチアップを選びます・・

事のついでに・**内面 FRP 被覆“後”の・板厚検査の仕方**・（やれと言われれば・やらざるを得ないし・例え・形式的でも・やれば通るのが・消防検査）

板厚検査は・FRP 被覆の上からでも出来ます（そういう機器は 30 年以上前から有ります）
二つの超音波プローブで・鋼板裏面からの反射と FRP 裏側からの反射を計測して補正する機構（但し・・**実際にやってみると・・局部腐蝕を発見するのは・絶望的に至難**です）

FRP 被覆をすると・その検査に際してやらねばならぬ**剥離コストが大**・これがジレンマです・サンドブラストで落とすなら・フレックが少し有利・エポキシ塗装ならさらに楽・・「そもそも・その検査・**現実的に・何かの役に立っているのか？**・孔蝕は・ほぼ・見付けられないのが現実なのに・・」
という問題提起は・「**何か有ったら・どうするのだ**・やらんよりやる方が良い・に決まっているだろ」という理屈との永久バトルになるので・そこには触れません・・

剥離コストの削減方法は・色々考えられます・・

***溶接線に沿って・必要な幅だけ・剥がしやすくしておく方法**→ プライマーの上に剥離強度の弱い材質の二次プライマーを塗り足しておけば・・カッターで切れ目を入れるだけで・ピーリングで簡単に剥がれます。

（これは・FRP ライニングだからこそ出来る方法です・・特許申請していないので真似はご自由に）

以下は・**ここまでの・長い解説を踏まえて作った・各種鋼製タンクの・私的・防蝕仕様**です・・

溶剤タンクの防蝕

基本的に・・石油タンクと同じです・・つまり・・**流出事故を防ぎたいなら**・・他の部分が何であれ・・**底板だけは**・・例え・**内面腐蝕の心配がゼロでも**・・**FRP 防蝕**・・です。

溶剤タンクの内面は・・既に・・亜鉛・アルミ・等の**金属溶射**で防蝕されている事が多々あります・・トルエン・キシレン・ベンゼン等は多くの防蝕用樹脂の**塗膜を膨潤させる**ので・・**溶剤タンクの防蝕には**・**塗装より溶射を選ぶ**ケースが多く・**実際**・その方が・大抵・長く持つからです・・
その溶射面に・・FRP をチャンと接着出来るかどうかは・・**技術力次第**・・です・・

薬液タンクの内面防蝕

これも・・・少なくとも**底板だけはFRP仕様**にします。

全体をフレークライニングでやりたい場合は・・・底板のFRPライニングのトップコートをフレークにします。

外面は・・・普通の塗装・・・で構いません・・・が・・・**日常点検**では・・・**錆腐蝕**だけは・・・見付け次第・・・ハンマーで叩き落としてタッチアップ塗装で保全します・・・理由は説明済。

保冷タンクの防蝕

底板内面だけはFRPにしておく方が良い・・・これは同じですが・・・

保冷タンクの**外面塗装は**・・・**必ずサンドブラスト**をして・・・**過剰設計気味の塗装仕様**で防蝕します。

【その理由】

保冷材で被覆したタンクはさらに板金被覆されますが・・・空気は邪魔されずに内部に入ってきてタンク表面に結露しますから・・・**保冷タンクの外面は**・・・**早晩**・・・**ビショ濡れ**になります。

もし・・・**黒皮を残したまま塗装**をしたら・・・後々どうなるか？・・・は・・・もう説明しません。

過剰設計気味の塗装仕様にする理由は・・・**断熱被覆したら目視も修理も出来ない**・・・からです。

海洋施設の防蝕と同等・・・つまり・・・**サンドブラスト**→**防錆プライマー刷毛塗り**→**エポキシ塗料**等の多層塗り重ね・・・といったレベルの仕様^{にしておく方が}・・・**結局は経済的**です。

弊社は・・・**フレークライニング**を選んだ事も・・・何回か有ります。

もし・・・**既に**・・・その**やっちゃいけないやり方**で**外面防蝕**をやっていたら・・・**外面から孔が開き**・・・消防署に届けを出して・・・**保温を全撤去**して修理を行い・・・**消防検査**を受け・・・という・・・**将来の大出費**が確定しています・・・

有害な化学物質を漏出させたら・・・責任者の土下座程度では済みません。

お勧めはしませんが・・・^{^^}そうなる前に・・・**内面にさっさとFR**・・・**防**・・・**ムニヤムニヤ**・・・

孔・・・**塞ぐ**・・・等は・・・**消防申請**には・・・**禁句**・・・理由は・・・**石油タンク**の項で説明済。

(早めに・・・**外壁塗装**をやり直すのが・・・王道です)

実は・・・**保冷タンクの内面塗装**は・・・**原理的に**・・・**常温のタンク**より**長持ち**しますから・・・**海水**程度なら・・・**薄い塗装**でも十分・・・なのですが・・・**土下座**を避けるためなら**FRP**です・・・

貯留物の流出を防ぐためにも・・・**保冷タンクの外面**は・・・**本格的に防蝕**しましょう。

その**バックアップ**をしたいなら・・・**内面はFRP**・・・それで心配なら・・・**FRP+フレーク**の複合仕様です。

保温・高温・タンクの防蝕

保温タンク外面は・・・**常温タンク**や**保冷タンク**より**防蝕し易い**・・・のですが・・・**保温材**を被せたら・・・**日常点検**も**メンテナンス**も**出来ません**・・・し・・・**屋外タンク**の**保温材**は・・・**長期的には水**を吸って・・・その**水**は・・・**断熱被覆**の**最下端**に集まってきますから・・・**水抜き部**を作る・・・**タンク下部の塗装の塗り重ね回数**を他の部分より増やす・・・等の・・・**防蝕措置**も必要です。

4回塗りと決めたらどこもここも全部4回塗り・という・やり方では・化学プラントを長持ちさせる事は出来ません・・柱の根元・ボルトやナット・部材の接合部・等々・**場所に合わせ・重要度に合わせて・細かく防蝕仕様を変える**事が・プラント保全の要領です。

保温タンクの大問題は・・**内面の防蝕**です。

保冷タンクとは真逆の関係で・・高温タンク内面の防蝕被覆は・**常温のタンクより早く痛みます**・・**温度が上がれば上がる程・・対策の困難度は急激に上昇し・・お手上げレベルになってきます**。

【トラブルのメカニズム】

分子は全て熱運動をしており・・温度が上がればその速度が増し・・速度が増せば衝突圧も増しますから・・高温の液体と低温の液体が接触したら高温側の分子が低温側に雪崩れ込んで行きます。その原理で・・高温の貯留液分子が・防蝕被覆の表面から・温度が低い裏側に向かって雪崩れ込んで・鋼材の表面で堰き止められて・そこに留まります・・**比喩的に言えば・・鋼材の表面で結露する**・わけです・・その水が・**塗膜を持ち上げる形になって**・・剥がれやブリストアが生じます。温度が上がれば・**塗膜が熱膨張して**・樹脂の内部空間が広がる事も・水の侵入を助長します・・**(保冷タンクの内面塗装は・・この温度関係が逆なので・防蝕は・簡単です。)**

内外**温度差**が大きくなればなる程・この**拡散圧**は大きくなりますから・保温して・この**内外温度差を軽減する**・のが・**対策の一つ**・です・・

(保温に欠陥があれば・その部分の被覆が・すぐに・剥がれます)

他にどんな**対策**が有るのか?・・ここから先はノーコメントです・・

解は・多数有ります・・色々な解を・自分の力でお考え下さい・・

【まとめです】　・・最初に書いた・要約を・もう一度書きます・・

腐蝕・防蝕のメカニズムは・**科学的論理**なので・**答は一つ**・知っているか否か・だけの話です・・が・防蝕方法の**選定**には・**普遍的な答の出し方**は有りません・・**私的根拠に基づく・私的な答の出し方が有るだけ**です・・

プラントには・個別の**構造**が有り・**構造と腐蝕形態**には**相関性**があるので・その色々な箇所で色々な腐蝕が起きます・・大した実害が無い腐蝕も・**構造物の崩壊**や**機能停止**をもたらす危険な腐蝕もあります・・**偶発的腐蝕**と・**必ず生じる腐蝕**が・有ります・・**防蝕仕様は・その・危険性に**応じて・**作るべきであり・そしてまた・そのプラントの**役割・**操業形態**・**法律**・等の・**ヒトの都合に合わせる必要**もあります・・

排水管・シックナー・架台・防液堤・スクラバー・ダクト・熱交換機・排水処理槽・薬液貯留槽・等々・・全ての設備には**個別の役割**と**個別の腐蝕**があり・**危険な腐蝕**が起き易い**箇所**や・**構造**や・**状況**や・**操業法**・等もあります・・その・**個々のプラントを**経済的に・長く・**安全に**・使うためには・**その種の・先人達が現場で積上げてきた知識や経験**を・**参考にして**・・**危険や被害を防ぐ・具体的な方法**を・ピンポイントで・考える必要が有ります・・

現場を見て・或いは設計図を見て・**理論的に**・或いは**経験的に**・危険な腐蝕が起きそうな構造や材質を見付けて・**対策**を考えるのが・防蝕設計である・と・個人的には・思っています・

以上は・あくまで・**個人的な**・一つの考え方はです・

こういう・個別の理由に基づいて個別の色々な答えを出す問題・を・数学では・オープンエンド問題と称します・**答は多数有る**けれど・どれも正解とは称しません・一方・学校で習う数学は・クローズドエンド問題だけであり・これは・**普遍的理由に基づいて**・ただ一つの正解を出す問題です・防蝕設計は・そういう類の問題ではない・という事です・

追記

【金属の酸化被膜を利用した防蝕法の長所と弱点】

黒皮はひび割れだらけで・自然電位が鉄より高いので・**孔蝕の原因**になるから・除去して塗装するのが安全・と・書きましたが・**腐蝕性物質の透過を遮る機能**は・**極めて優れています**。

樹脂塗膜は一見緻密に見えますが・原子の大きさの視点で見れば・高分子という糸が絡まり合った**編み物**みたいなものです・**隙間だらけ**なので・サイズの小さな物質は編目を透過します・だからその透過を軽減するために・**厚さが必要**なのです・図体が大きい腐蝕性物質分子は**重ねた網目**で・**実用上十分に止められます**・酸や塩類は十ー両イオンがセットで動きますから・片方が小さくても相棒がデカければ深くは浸透出来ません・だから・**硫酸は薄い防蝕膜でも防げます**・が・塩酸やフッ素酸のような**両方小さな連中**は・網目を簡単にすり抜けますから・**樹脂で防ぐなら**・膜をもっと厚くする・架橋密度を上げる・ガラスフレーク等の無機質バリアーと複合させる・等々の・**材質や膜構成の工夫**が必要になります。

一方 **金属や金属酸化物皮膜**は・**原子の大きさレベルで**・**緻密**です・蟻の這いこむ隙間も有りません・

無機質膜の**遮蔽機能**は・樹脂とは**次元が違う**レベルで優秀です。

(色々な食品包装の**樹脂フィルム**に酸素透過阻止の目的で・**アルミ**が蒸着されている理由は・ソレです)

だから・**グラスライニング**や **SUS** や**アルマイト**や**ハステロイ**や**チタン**や**タンタル**等には・**先述の熱拡散**という問題は**一切起きません**・高温であろうと温度勾配があろうと平気です。

だから・**保温タンク**にも・裸で・使えます・これが・**防蝕設計の**・**答の一つ**です・

・**が**・**勿論**・**完全無欠では有りません**・**弱点が有ります**・

俗世的弱点は**価格**です・鋼材やコンクリートに比べたら・耐蝕金属は**桁違いに高価**・

最高の耐蝕金属は**キン** (金) ですが・これで**タンク**を作った人は・**居ません**。

(だから・つまり・色々な防蝕手段の**価格を知らない**と・**現実的な防蝕設計**は出来ません)

耐蝕合金は・**均質性**の確保と維持が**難しい事**・も・**弱点**です・

金属は**結晶構造**が変われば物性が変わり・その結晶構造は**熱履歴**と**成分**・及びその**バラツキ**で変わ

ります・・例えば・・溶接した部分とその近傍は・**周囲とは違う金属**になります・・例え・強度的に問題が無くても・・材質の不均一は・**水中で・電位差を発生させる**ので・・腐蝕の原因になります・・例えば・**SUSの溶接部等は・そのまま使うと・海水中では・腐蝕します**・・応力腐蝕をする点も・鉄と同じです・・が・・使えないわけではありません。

防蝕は・○×白黒ではなく・全てがグレーゾーンの世界であり・その中で・使うかどうかを決めます・・どのくらいの期間かけて・どんな形で壊れて行くのか？・を考えて・壊れると**承知の上で**・使う事も・普通であり・・長持ちするものよりも・修理し易いものを選ぶ事もあります・そういった・**現実的な答え**を出せるのは・・**現場の経験者**だけです・・

合金は・単体金属よりも結晶構造が多様なので・**狙い通りの物性**を得るためには・**適切な・熱処理が不可欠**です・・**これを下手にやれば・屑鉄**になります・・性能の**限界**近辺で使う場合の熱処理や加工は・・**名人芸の世界**です・・博士や教授の出る幕は有りません。

熱処理のド素人である防蝕設計者が**常識**として・頭に入れておくべき事は・次の3点・・

① 合金の耐蝕性は・薄い酸化被膜によって・成立している

② **溶接部は別の金属**になる・・→ガルバニ腐蝕に要注意

③ 加熱炉に入れて熱処理すれば戻せるが・・炉に入らない**大型構造物**は無理・

大型で複雑な構造は・・冷却速度のコントロールが難しい

(水没する構造物に使うなら・溶接を避けてメカニカル接合にする・といった逃げ方もあるが・・ボルトやナットの応力腐蝕という別の問題が発生する)

酸化被膜の弱点は・**膜が極めて薄い事**です・・ちょっとした**摩滅**や**溶解**で無くなります・・

(石灰岩・ガラス・コンクリート・金属酸化物・等は・・極微量ですが・・水に溶けます・・溶解度が極めて微小・・溶解速度も遅い・・というだけの事です・**溶け得る環境で・時間が経てば・溶失**します・・)

酸化性環境なら・無くなっても**復活**しますが・そうでなければ・孔蝕か・・**目で見ても分からぬ**・・**粒界腐蝕**が進行します・・その腐蝕メカニズムも・水中なら・鉄と同様に・**電流が介在**します・全てかどうかは・知りません・・

金属の腐蝕は・**不均一が原因**で・**不均一に起こり**・**不均一に進む**のが特徴ですが・その**不均一な腐蝕**を**均一に防ぐ**には・**被覆防蝕が最も優れています**・・環境制御も・有効です・・

電気防蝕で・その不均一な腐蝕を防ぐのは・至難です・

SUS等の酸化膜型耐蝕金属は・大抵・・海水や塩酸など**塩素イオン**を含む水には使いません・・水にほぼ溶けない酸化金属が・(何らかの活性化エネルギーを介して)・水に溶け易い**塩化物**に変わる反応が起きるから・という腐蝕機構が想像されています・・高価な316Lやチタンも・・**許容できない速度で粒界腐蝕が起きる**可能性が有りますし・実際に・起きています・・

金に糸目を付けぬ軍事用ですら・**SUSの潜水艦**を誰も作らないのは・・要するに・**怖くて乗れない**からです・・電防だけで・船を防蝕するのは・神様でも・出来ません・・だから・・

鉄で作って・塗装で防蝕して・補修するのが・最も・安全・・という・一般的結論に至ります・・

・・銅や銅合金は塩素に強いと言われていて・昔から海水用に使われていますが・これも**浸かりっ**

放しで応力が掛かると**粒界がやられます**・・・(ボルトやナットは要注意) 何故・どんな機構で・粒界がやられるのか?は・経験と知識が足りないので・これ以上は言及しません・

見た目は健全・という**腐蝕形態**は・・・**極めて危険**ですから・・・使うなら・・・**定期交換**とセットにする必要が有ります・・・

サリン事件で有名になったハステロイも Cu/Ni 系の・高価な・耐蝕合金の一種で・耐ハロゲン性の優秀さで知られた材料です・・・**フッ酸製造反応槽**等・塩素フッ素系の**苛烈な腐蝕環境**で使われますが・・・これですらも・・・**数か月**の**定期交換**で安全を確保しているそうです・それ以外の方法は・今も多分ないでしょう・・・40年近く前・懇意の顧客に・このハステロイ製フッ酸製造槽の**被覆防蝕**に挑戦してくれと頼まれ・断り切れずに一回だけ・ご要望通り・フッ素ゴムにグラファイトフレークを練り込んで・・・**ダメだろな～こんなじゃ**^^と思いつつ・浸漬用サンプルを提出・**イチコロ**でやられて・ほらね・ダメだったでしょう^^あきらめましょう^^・と言ったら・いいや・ここを見て下さい・この部分は無傷で残っている・**可能性は有る**という事です・再挑戦してください!・と・食い下がられて・困惑・・・こんな・**他に使い道が無い**^^・コアなテーマに関わったら・ヨチヨチ歩きの会社が潰れてしまう・と・アノ手この手で**脱出した事**を・鮮明に覚えています・・・
・今なら・・・やっぱり・逃げます^^

色々なモノゴトが絡む複雑な現象の未来を・**論理的に予測**する事は・人間には出来ません・が・**経験的な予測**は・できます・・・**防蝕被覆**も・**耐蝕金属**も・**経験的な未来予測**なら・可能です・・・その**壊れた理由**を**説明すれば**・壊れ難くする方法も・安全に使う方法も・考えられます・・・

防蝕方法には・・・**無数の選択肢**が有ります・日常点検も・**メンテナンスし易い構造にするのも**・・・FRPタンクを使うのも・耐蝕金属を使うのも・適宜交換するのも・それらを組み合わせるのも・環境制御も・**塗装や樹脂ライニングや金属溶射**をするのも・一切何もしないで放置するのも・・・全て・**選択肢**です・・・どれにするか?・は・自由です・・・が・・・

危険物・有害物を貯留する鋼製タンクの**底板内面**は・・・

・・・**個人的には**・・・FRP被覆という**防蝕仕様**を^^・**強く・お勧めします**・・・

最近有った・**横浜**や**三浦半島**各所の**異臭騒ぎ**・検出された物質は・イソブタン・ヘキサン・ヘプタン・オクタン・等だった・とか(ちなみに全てガソリンの成分) **原因は・不明**だそうです^^
当事者は^^原因・知っているだろうし^^毒物でなければ・それで良いと思います^^
騒げば良いってモノじゃない^^・・・が・しかし^^・・・**再発防止は・必要**カモしません^^
タンク管理者が・この記事・読んでくれれば・良いけれど^^・・・

漏洩事故は・・・何のタンクでも・必ず・起きます・・・**現実に無数に起きています**・・・**底板外面の・錆腐蝕**が主因ですから・貯留物が何であろうと・関係有りません・・・
その底板外面の・確実な防蝕法は・まだ・有りません・・・

・・・が・・・

漏洩事故の・確実な防止法は・有ります・・・というお話です・・・

・・・これは・言うまでもなく・**個人的意見**です・・・

・ ・ 無視する自由は ・ 万人に有ります ^^ ・ ・

長い ・ コア過ぎる文章を ・ 読んでくださって ・ 有難うございます ・ ・

なお ・ これは ・ 弊社にタンク防蝕の仕事を出してくれ ・ というお願いでは ・ ありません。
弊社は ・ この分野からは撤退しましたので ・ 工事のご依頼は ・ お受けしません。
これは ・ この分野を仕事に選び ・ 技術を高める努力をしていらっしゃる方々への ・ 老兵からのエールと思って下さい。 ご健闘を ・ お祈りします ・ ・

株式会社ソテック Tel 047-328-6390 Fax 047-328-6392

〒272-0004 千葉県市川市原木 2165 URL <http://www.bousyoku.com>