

# 公益社団法人石油学会

## 2016 年度設備維持管理士

### -配管・設備-

## 試験問題・解答用紙

受験番号	(会場を○で囲む) 関東・関西	配管			
受験者氏名					
生年月日	1.昭和                      年（西暦                      年）      月      日生 2.平成				
就業業種	(番号記入)				

**業種分類コード（出向中の方は、出向先の業種を記入願います）**

010	大学・高専	110	道路・アスファルト
020	官公庁	120	電力・電気
030	団体・学協会	130	バルブ・フランジ・ポンプ
040	資源開発	140	設備保安・検査
050	石油備蓄	150	鉄鋼・機械・金属
060	石油精製	160	自動車
070	石油製品・絶縁油	170	商社
080	石油化学・化学	180	情報・コンピューター
090	添加剤・触媒	190	計装・計器の製造
100	エンジニアリング・建設	500	その他

【問1】下記のA～Pは各種団体で発行された規格のタイトルを表示したものである。(公社)石油学会で設備維持規格として発行された基盤規格や共通技術基準でないものを3つ選択せよ。

A 防食管理	B 計装設備維持規格	C 電気設備維持規格
D 空冷式熱交換器の構造	E 耐圧気密試験	F 劣化損傷の評価と対応
G 設備維持規格	H 屋外貯蔵タンク維持規格	I ホットスタート
J 発電用火力設備規格	K フランジ・ボルト締付管理	L 圧力容器の構造
M 回転機維持規格	N 溶接補修	O 検査技術
P 配管維持規格		

問1	順不同		
解答	D	J	L

**【問2】** 次の表は、代表的な各腐食の種類と注目すべき腐食減肉箇所との関係を示したものである。○印は腐食などの種類による注目すべき腐食減肉発生箇所を示す。表中の**イ～ヌ**のうち、○印に該当するものの組合せとして最も適切なものを、**A～D**の中から選択せよ。

腐食減肉の発生 予想箇所 主な腐食 などの種類	高流速部、乱流部	堆積物を生ずる 停滞部	局所的な温度勾 配のある箇所	異種金属、異種 組織の接触部	気液境界部
高温硫化物腐食	<b>イ</b>	<b>ロ</b>	<b>ハ</b>	<b>ニ</b>	<b>ホ</b>
湿性硫化物腐食	○	○		○	
ナフテン酸腐食	○				
湿性塩化物腐食		○	○	○	○
硫酸腐食	○	○			○
酸露点腐食		○	○	○	
炭酸腐食	<b>へ</b>	<b>ト</b>	<b>チ</b>	<b>リ</b>	<b>ヌ</b>
腐食・減肉の形態 (具体的な発生箇所)	エロージョンコロージョンによる局部減肉(高流速部、乱流部、衝撃部、流速加速部、フラッシュ部、スラッグフロー・プラグフロー部、スラリー・固体移送系)	堆積物下の局部腐食(低流速部、滞留部、流速低下部、重合物の発生部、析出部)	温度変化による局部腐食(滞留部、初期凝縮部、偏流部、外部からの冷却部、局部加熱部)	局部腐食[異種金属接触部、溶接部(溶接金属、HAZ)]	局部腐食(気/液境界部など)

- |                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| <b>A</b> イ、ロ、ト、チ、リ | <b>B</b> イ、ニ、ホ、へ     |
| <b>C</b> イ、へ、チ     | <b>D</b> ハ、ニ、ホ、チ、リ、ヌ |

問2	<b>C</b>
解答	

**【問3】** 次の文章は、設備維持規格で定義されている用語の説明である。それぞれの説明文中の（イ）～（へ）に該当する最も適切な用語を下記のA～Kより選択せよ。なお、用語の重複使用は不可とする。

- （イ） 設備の耐圧部材外表面より内側の領域を対象とする検査
- （ロ） 設備、部品の余寿命を推定することを目的として、実施時期を事前に計画して定期的に実施する検査
- （ハ） 運転中の設備の異常や劣化状態を、日常的に五感又は検査器具を用いて定量的又は定性的に確認する検査
- （ニ） 恒久補修が行われるまでの間、十分な健全性を回復して、安全運転を継続するために行う補修
- （ホ） 爆発、火災、毒性物質の放出など環境・健康への影響、経済的損失などの大きさを定性的又は定量的に評価した設備の危険性・重要性の指標
- （へ） 設備を破壊せずに腐食・劣化損傷状況を確認する検査手法であり、予想される腐食・劣化損傷に対応した各種の検査手法

- |        |        |            |        |
|--------|--------|------------|--------|
| A 定期検査 | B 臨時検査 | C 応急補修     | D 日常検査 |
| E 開放検査 | F 内部検査 | G 非破壊検査    | H 破壊検査 |
| I 重要度  | J 保護板  | K 開放周期設定係数 |        |

問3	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	へ
解答	F	A	D	C	I	G

【問4】 次の（イ）～（ハ）の文章は、空冷式熱交換器の外部検査および機能確認検査について述べたものである。適切な文章の組み合わせを、A～Eから1つ選択せよ。

- (イ) チューブ外面はそのほとんどがフィンに保護されているため検査の必要はないが、フィンについてはその汚れやつぶれが熱交換を阻害するため、点検が必要である。
- (ロ) ファンリングやファンデッキの取り付けボルトについて、ファンの振動による緩みや雨水などによる経年的な痩せ、破断などに注意が必要である。
- (ハ) ヘッダー仕切り板について、ショートパス防止のためガスケット座とガスケット溝のはめ合いの確認を行う。

A イ、ロ、ハ  
C イ、ハ  
E ハ

B イ、ロ  
D ロ、ハ

問4	D
解答	

【問5】 次の表は、設備で予想される高温劣化損傷、環境による脆化及び割れ、疲労損傷についてまとめたものある。表中の（イ）～（へ）に入れる語句として、最も適切なものを A ～ F よりそれぞれ選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

表 設備で予想される劣化損傷

高温劣化損傷	環境による脆化及び割れ	疲労損傷
（イ） クリープ損傷	塩化物応力腐食割れ アルカリ応力腐食割れ	熱疲労 振動疲労
（ロ） 焼戻し脆化 475℃脆化 シグマ相脆化	ポリチオン酸応力腐食割れ カーボネイト応力腐食割れ （ニ） （ホ）	
（ハ） 脱炭・浸炭	アミン応力腐食割れ アンモニア応力腐食割れ （へ）	

A 硫化物応力割れ	B チタン水素脆化
C 水素誘起割れ	D 水素侵食
E 黒鉛化	F 等温時効脆化

問5	イ、ロ、ハ (順不同)			二、ホ、へ (順不動)		
解答	D	E	F	A	B	C

【問6】 次の表は、「変更に伴うトラブルと配慮事項例」の一部と、規格に反映する基となった事例である。文中の（イ）～（ニ）に入れる語句として、最も適切なものをA～Iよりそれぞれ選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

表 変更に伴うトラブルと配慮事項例

変更の内容	トラブル内容	配慮事項例
運転	（イ）装置の脱ブタン工程で、供給油中の塩素を除去する設備の不調により、精留塔塔頂系への持込み塩素量が増加し、塔頂系の空冷式熱交換器チューブが（ロ）部で開口漏洩した。 <small>（事例10）</small>	運転条件の変化により腐食環境が苛酷になる恐れがある場合は、（ハ）と設備管理部門で監視項目と基準値を超えた場合の措置を決め、決定事項のフォローアップを確実に行う。本ケースでは、塩素除去設備のソーダ循環比の監視強化と塔頂凝縮水の監視項目に（ニ）濃度を追加した。

（8S-2 事例10）

平成15年11月神奈川県にある製油所の（イ）装置の脱ブタン工程で当該工程への供給油中の塩素を除去する設備の不調により、腐食環境が過酷になり空冷式熱交換器のチューブが（ロ）部で開口漏洩した事例がある。（石連事事故事例報告書 保安 No.65）

A 連続再生式接触改質	B 水素製造	C 流動接触分解
D 運転部門	E 初期凝縮	F 保安管理部門
G 溶存酸素	H 滞留	I 鉄イオン

問6	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	E	D	I

【問7】 次の表は、石油精製における代表的な加熱炉チューブに関する一般的な使用材料及びそれらに発生する腐食・劣化損傷形態について述べたものである。表中の（イ）～（ハ）に最も適する語句を下記のA～Fより選択せよ。なお、選択肢の重複使用は不可とする。

機器名称	使用材料	腐食・劣化損傷形態
水素製造装置 改質炉	HK40 HP	（イ） 高温酸化
重質油水素化脱硫・ 水素化分解装置 反応塔入口加熱炉	SUS321 SUS347	シグマ脆化 クリープ損傷 （ロ）
常圧蒸留装置 主蒸留塔入口加熱炉	炭素鋼 1.25Cr-0.5Mo 鋼 5Cr-Mo 鋼	高温硫化物腐食 （ハ）

<b>A</b> クリープ損傷	<b>B</b> 水素侵食	<b>C</b> アミン SCC
<b>D</b> ポリチオン酸 SCC	<b>E</b> ナフテン酸腐食	<b>F</b> 湿性硫化物腐食

問7	イ	ロ	ハ
解答	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>E</b>

【問8】 次の文章は熱交換器チューブの内外面減肉検査の留意点について述べたものである。A～Dの中から不適切な記述がある文章を1つ選択せよ。

- A パス毎に流体温度が異なるため、高温硫化物腐食、アルカリ腐食環境などでは高温部を選定し、湿性塩化物腐食、炭酸腐食環境などでは凝縮部を選定する必要がある。
- B インレットアタックを防止するためにフェルールを採用している場合は、フェルール先端部のチューブ減肉に注意する必要がある。
- C 内部流体が循環式冷却水の場合、流速が極端に遅い又は速いチューブに留意する。
- D 工業用水などの冷却水を使用する場合、一般的に、チューブ内面側が冷却水となる環境の方が、チューブ外面側が冷却水となる環境と比較して腐食が厳しい。

問 8	D
解答	

【問9】 供用後の配管系の維持管理は、各事業所にて策定する設備等維持管理計画に基づき実施しなければならない。次の項目は設備等維持管理計画の立案及び実行に当たっての考慮事項である。文中の（イ）～（ニ）の語句A、Bのうち、より適切な方をそれぞれ選択せよ。

- (1) 検査計画は、適用法規、保全履歴に加え、配管系の（イ：A 重要度 B 複雑度）並びに運転実績などを考慮して立案・策定する。
- (2) 確認された腐食・劣化損傷状況の分析結果によって検査の周期、内容、範囲などの（ロ：A 運転計画 B 検査計画）を立案する。
- (3) 配管系の腐食・劣化損傷の発生・進展に影響を与える（ハ：A 施工条件 B 運転条件）に関する情報を積極的に入手する必要がある。また、配管系の腐食・劣化損傷状態に関する情報が、運転管理業務の中で適切に配慮がなされるように努める。
- (4) 配管の変更、配管に予測される腐食・劣化損傷の変更などが生じた場合は、都度変更の内容を（ニ：A 設備管理帳票類 B JPI設備維持規格）に反映させるとともに配管維持管理計画の再評価を実施する。

問9	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	B	B	A

【問10】 次の表は、配管系の耐圧性能を確認するために肉厚測定を行う点について説明したものである。(イ)～(ニ)内に最も適する点の名称を下記のA～Dより選択せよ。また、語句の重複使用は不可とする。

分類	目的と設定方法
(イ)	系の腐食性を評価することを目的として設定され、他の点の増減や頻度検討に関して指標的な意味合いを持ち、測定結果によっては検査計画の見直しを提起する点である。一般的には、腐食因子、運転条件、流動条件などの運転条件の変更や運転変動を的確に補足できる部位を選び、各腐食系に対して1箇所以上設定する。
(ロ)	検査箇所において肉厚測定を行う特定された点であり、単一の測定点を示すものではなく、複数の測定点のまとまりからなる。これらは定常的な管理と変更管理の側面から設定されるべきであり、(イ)(ハ)(ニ)の3種類に分類される。
(ハ)	配管系の中で潜在的な腐食部位を把握するために、(ニ)のような固定観測的な管理に加えて設定する点をいう。また、検査結果から既存点の有効性評価も行う。
(ニ)	腐食の進行が確認され継続的に監視が必要となる部位に設置され、監視する配管系としての余寿命評価の役割を担う。この点は詳細検査などにより現に腐食・エロージョンが進行していると認められる箇所に設定する。

A 検査点    B 代表点    C 定点    D 移動点

問10	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	A	D	C

【問11】 次の（イ）～（ハ）の文章は、腐食の種類と発生範囲について述べたものである。各文章の正誤を以下のA～Hより選択せよ。

- （イ） 湿性硫化物腐食は、湿潤環境下で硫化水素が解離し、これが鋼と反応することにより硫化鉄を生じる腐食である。この硫化鉄は耐食被膜として機能することで腐食を抑制するが、pHが7を下回ると、硫化鉄被膜はもろくなり腐食が進行する。
- （ロ） 常圧蒸留塔・塔頂系の湿性塩化物腐食は、特にストリップングスチームの凝縮部で腐食が加速される。
- （ハ） 原油中のナフテン酸によって生じるナフテン酸腐食は、全酸価（TAN）の高い原油を処理する装置において発生する。

A	（イ）正	（ロ）正	（ハ）正
B	（イ）正	（ロ）正	（ハ）誤
C	（イ）正	（ロ）誤	（ハ）正
D	（イ）正	（ロ）誤	（ハ）誤
E	（イ）誤	（ロ）正	（ハ）正
F	（イ）誤	（ロ）正	（ハ）誤
G	（イ）誤	（ロ）誤	（ハ）正
H	（イ）誤	（ロ）誤	（ハ）誤

問 11	
解答	<b>E</b>

【問12】 次の文章は減肉損傷の評価から次回の検査時期を求めたものである。文中の(イ)～(へ)内に最も適切な語句・数字を下記のA～Kより選択せよ。なお、ここでは簡単にするため、減肉損傷の検査結果による長期腐食速度を用いる。また、語句の重複使用は不可とする。

ある配管の肉厚測定結果（最も減肉している検査点における同一測定点）

使用開始時	1996年3月15日	20.0mm
肉厚測定結果	2016年3月15日	18.0mm
必要計算肉厚		16.6mm

長期における腐食速度 =  $(20.0 - 18.0) \text{ mm} / (\text{イ}) \text{ 年} = (\text{ロ}) \text{ mm/y}$

余寿命の計算（2016年3月15日時点）

余寿命 =  $((\text{ハ}) - (\text{ニ})) \text{ mm} / (\text{ロ}) \text{ mm/y} = (\text{ホ}) \text{ 年}$

次回の検査は、(へ)年3月15日までに実施しなければならない。

ただし、検査周期決定のための安全係数は0.5とする。

A	20.0	B	19.0	C	16.6	D	0.1	E	0.2
F	18.0	G	16.0	H	14.0	I	35.0	J	2030
K	2023								

問12	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	へ
解答	A	D	F	C	H	K

【問13】 次の文章は、劣化損傷の種類と特徴について述べたものである。A～Dの下線部において、不適切な記述が含まれているものを1つ選択せよ。

《クリープ損傷》

クリープ損傷は、高温クリープ領域（低合金鋼の場合 450℃以上）における継時的な損傷であり、クリープポイドからマイクロクラックへと成長し、最終的に破損に至る現象である。A この現象は、非常に長時間をかけて進展するため、一般的に採用されているクリープ破断試験による評価やS-N線図を利用した累積損傷量の計算で安全サイドの評価ができる。ただし、減肉で局部的に応力が高くなっている配管や疲労又は熱疲労との相乗作用が想定される配管については全寿命が短くなることがあるので、クリープ破断寿命の再評価と非破壊検査などによって確認する。

《塩化物応力腐食割れ》

塩化物応力腐食割れの検査の対象は、蒸留、脱硫、改質装置の蒸留塔塔頂系及びガス分離系の湿潤塩化物環境において使用されるオーステナイト系ステンレス鋼配管となる。スタートアップ過程でB ドレン水が凝縮される箇所、保温材下及びサポート接触部の配管外面についても注意する。

《硫化物応力割れ》

硫化水素を含む湿潤環境下で使用されているC 炭素鋼配管のフランジ継手溶接部などのカーボン当量が高く溶接部及び熱影響部の硬度が高くなる部位は注意する。また、当該配管系に高強度部材が使用されている場合には、その部分も検査の対象とする。

《熱疲労》

流体が激しい温度変化を繰り返すことによって、構造部材が繰り返し熱応力を受けて疲労し、割れを発生することがある。D 温度差のある流体の合流部近傍では局部的にこの現象が生じ、熱疲労割れを発生することがある。

問 13	
解答	A

【問14】 次の表は、配管の腐食・劣化に対する構造設計上の配慮事項例についてまとめたものである。配慮事項として、不適切な記述2つを下記のA～Eから選択せよ。

記号	事 象	構造設計上の配慮事項例
A	架台接触部の外面腐食	裸配管のサポート接触部は、サポートとの隙間に雨水が浸入しても、早く乾燥するために、配管と架台は直置きする構造が良い。
B	内面腐食	水流化アンモニウム、塩化アンモニウム腐食の環境の空冷式熱交換器の入口／出口の配管は偏流を防止し適正な流速に維持するため、左右対称なトーナメント構造とする。
C	応力腐食割れ (SCC)	スチームパージを行う配管で苛性ソーダやアミン及びこれらが混入するおそれのある炭素鋼配管は、SCC防止のために濃度、温度に関係なく溶接後熱処理を行う。
D	熱疲労	温度差のある流体の合流部は、直ちに混合して温度差を生じないように、インナーノズル方式は採用しない。
E	振動疲労	本管からの小口径取出し配管でシールポットなどの重量を持った容器を設置する場合は、本管の振動が増幅されて伝達されるため、適切なサポートを設置する。

問 14	順不同	
解答	A	D

【問15】 次の文章はホットボルティングに関して述べたものである。文中の（イ）～（ニ）の語句A, Bのうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

ホットボルティングは（イ：A スタートアップ B シャットダウン）時における（ロ：A 降温・降圧 B 昇温・昇圧）過程で生じるフランジ部のボルト・ナット、ガスケットなどの（ハ：A 応力弛緩 B 応力増加）によって（ニ：A 常温 B 高温）で締付けたボルトの締付力が不足し漏洩の原因となることを防止するために実施するものである。

問 15	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	B	A	A

【問16】 次の文章は工事作業上の配慮事項について述べたものである。配慮事項として不適切な文章の組合せを下記のA～Hより選択せよ。

- (イ) 隅肉溶接線などで検査用の下地処理を行う場合、バフ掛け処理を行うと隅肉部を削りすぎる可能性があるため、グラインダー処理を原則とする。
- (ロ) 外面腐食部へ防食塗装、防食テープ施工を行う場合には、確実なケレンを行なったうえで施工する。なお、著しい錆こぶなどがある場合は、ケレン前に液抜き等の環境設定作業に配慮する。
- (ハ) 小口径の配管施工時にフランジ合せ面に芯ずれが生じている状態でフランジを無理に固定すると配管に圧縮応力が作用する。このような圧縮応力が作用している部位では疲労限度が低下する。
- (ニ) 火気使用において周辺に可燃性ガスが残存している場合は、窒素等の不活性ガスで希釈すると共に運転管理部門と設備管理部門の情報の連携が必要である。

A	イ、ロ	B	イ、ハ	C	イ、ニ	D	ロ、ハ
E	ロ、ニ	F	ハ、ニ	G	イ、ロ、ハ	H	イ、ハ、ニ

問 16	
解答	H

【問 17】 次の各説明は、防食技術について述べたものである。文中の( イ )~( ニ ) 内の語句 **A**、**B** のうち、適切な方をそれぞれ選択せよ。

(1) 腐食抑制剤は一般に防食剤とよばれ、少量を環境物質中に加えることによって、金属の腐食速度を効果的に減少させるような化学物質である。防食皮膜の特性によって防食剤を大別すると、(イ : **A** 拡散浸透型、**B** 沈殿皮膜型)、吸着皮膜型、酸化皮膜型に分類される。

(2) 水素製造装置でベンフィールド溶液 (炭酸カリ + D E A) を使用している脱炭酸系は、水素製造装置の中で一番腐食環境が激しく、アルカリ腐食、アルカリ応力腐食割れ、(ロ : **A** カーボネイト応力腐食割れ、**B** 硫化物応力割れ)、エロージョンコロージョンを考慮して使用材料を選定する必要がある。

(3) 防食剤の注入を行うノズルで現在最も一般的に用いられているのはクイル型である。クイルの特徴は流体ガス配管の中央部分にノズルのカット部が位置するように設置し、ノズルのカット面を流体ガス (ハ : **A** 上流、**B** 下流) に向ける。防食剤を十分に (ニ : **A** 濃縮、**B** 希釈) した溶液を流体ガス中に注入する際に、流体ガスの流速を利用してクイルの先端から溶液を霧状に分散させる。

問 17	イ	ロ	ハ	ニ
解答	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

【問 18】 次の文章は、軽質油水素化脱硫装置の液・ガス分離系についての説明である。文中の（イ）～（チ）に入れるべき最も適切な語句を下記のA～Pより選択せよ。なお、イ～ホ（下線部）には次頁の工程図中の①～⑩のストリーム番号を選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

この系は、エフルエントを未反応水素、液及び反応により副生されるガス分に分離するセクションである。（イ）エフルエントはクーラーで冷却され、（ロ）未反応水素ガスを主体とする循環水素ガスと（ハ）液とに分離される。この（ハ）液は減圧されて低圧分離槽に入り、溶解しているガス分が（ニ）オフガスとして系外に送られ、（ホ）液は精留系へ送られる。

この系で発生する防食上の問題点としては、以下のようなものがある。

- ・ **水素誘起割れ** 低温域での硫化水素は、腐食性が緩やかで一般には炭素鋼が用いられる。湿性硫化水素雰囲気では、水素誘起割れ発生の可能性があるため、機器のシェルには（ヘ）を用いることがある。
- ・ **水硫化アンモニウム・塩化アンモニウム腐食** 生成した水硫化アンモニウム、塩化アンモニウムなどのアンモニウム塩の析出・堆積による閉塞防止や活性な腐食環境を緩和するため（ト）などの方策が、この系ではしばしばとられている。熱交換器チューブのように高速で流体が流れる部位や停滞部においてしばしば激しい腐食が発生する。腐食抑制のためには、流速管理や（チ）ドレン水の NH<sub>4</sub>HS 濃度管理が重要である。

A ①	B ②	C ③	D ④	E ⑤	F ⑥	G ⑦	H ⑧
I ⑨	J ⑩	K 触媒注入	L 耐HIC鋼	M 水注入			
N 分離槽	O 低合金鋼	P 反応塔					

問 18	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	チ
解答	E	A	F	B	G	L	M	N

- 凡例 -

- 主にステンレス・低合金鋼
- ステンレス・低合金鋼と炭素鋼混在  
(炭素鋼にステンレスクラッドしたものを含む)
- 主に炭素鋼

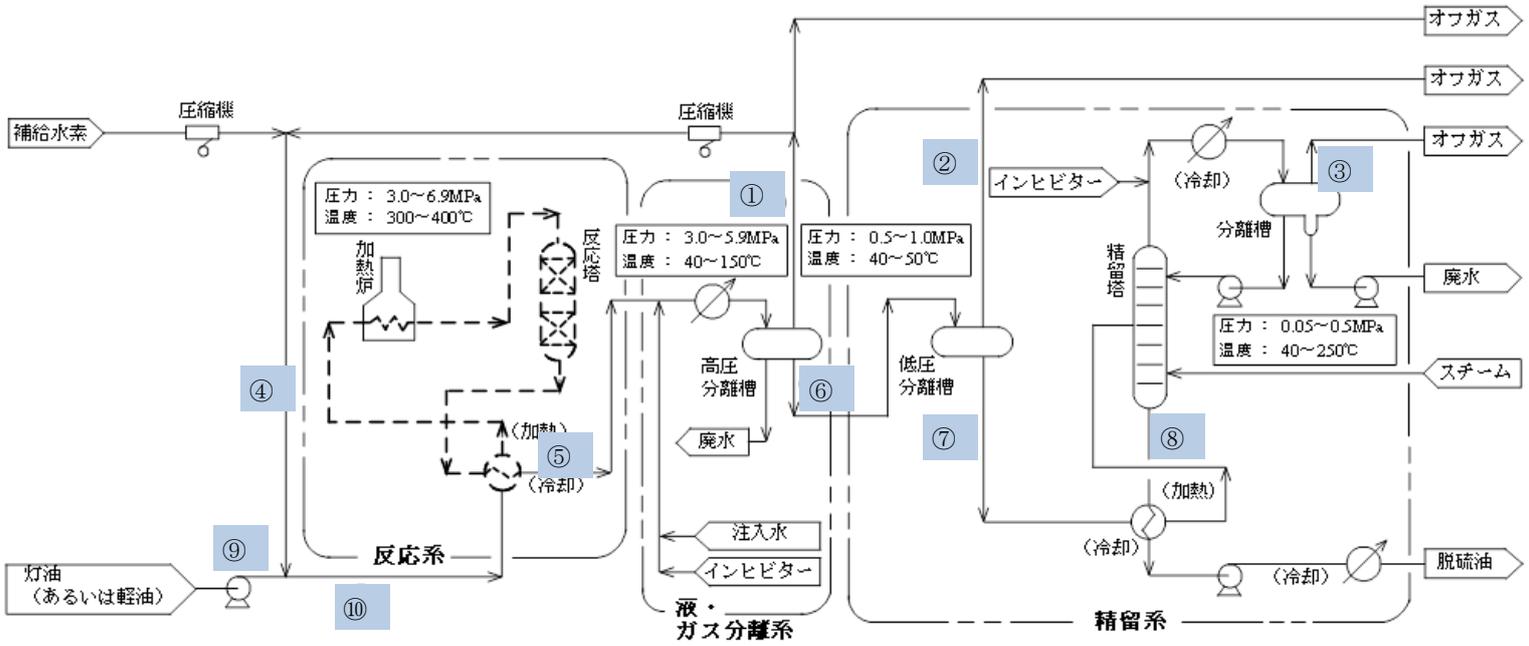
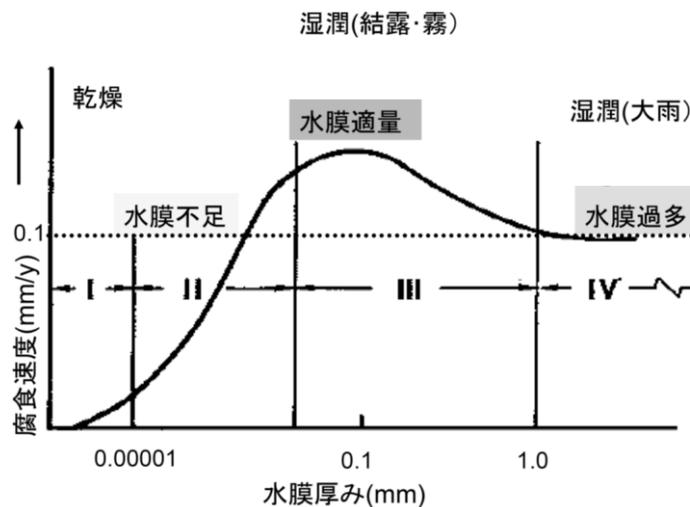


図 軽質油水素化脱硫装置工程図

【問 19】 次の文章は、CUI（保温材下腐食）に影響を与える水膜厚さについて述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内に入れるべき最も適切な語句をA～Fよりそれぞれ選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

CUIは配管表面と保温材の界面に形成した水膜を介して進行する。鋼表面に形成した水膜の厚さは電気化学反応を起こし、進行させるための最も重要な要因である。図は水膜厚さと腐食速度の関係を表す模式図である。

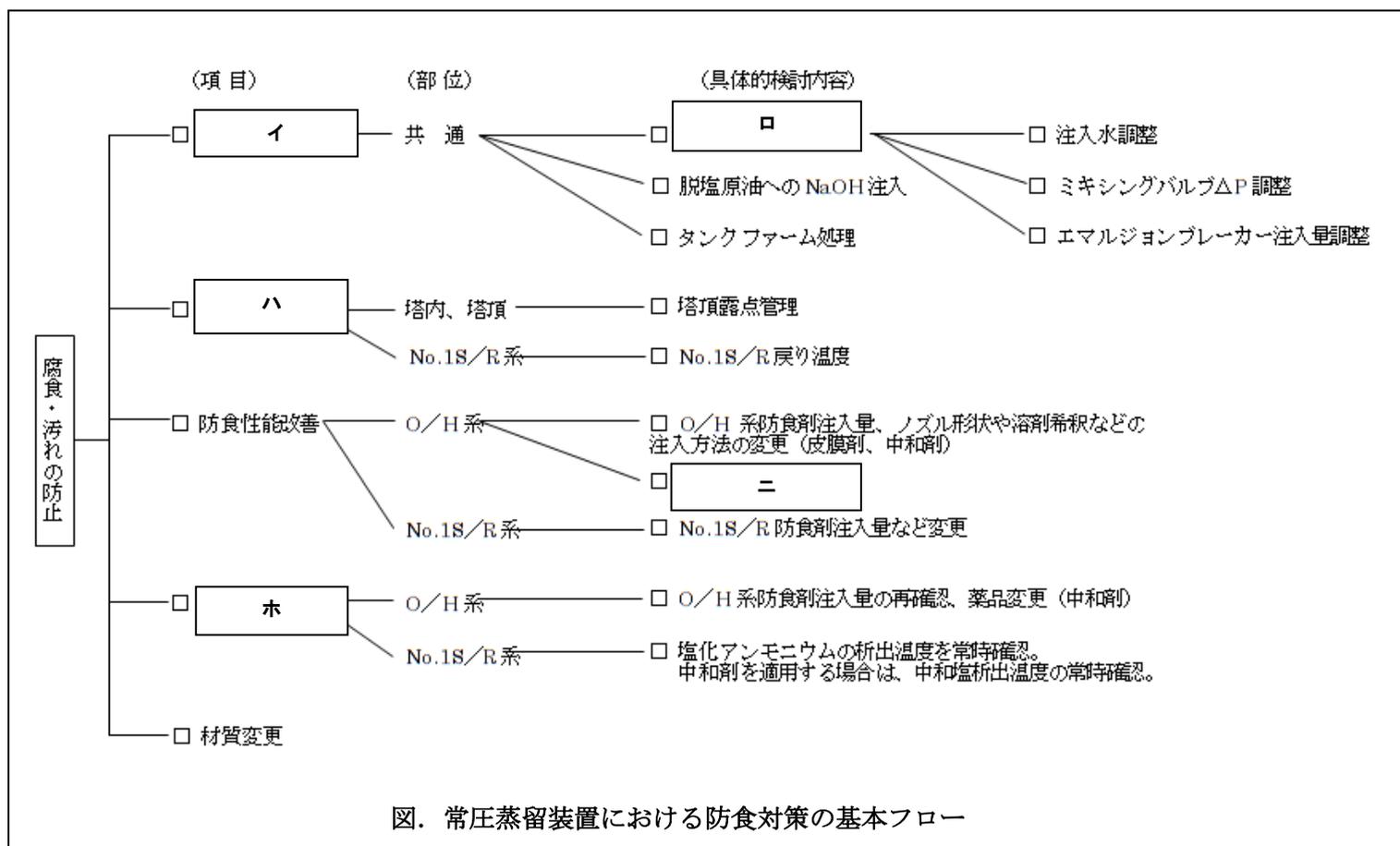
（イ）程度の水膜厚さで、腐食速度にピークが生じることが大気腐食の特徴である。水膜は薄いほど、鋼表面への酸素の（ロ）速度は大きい。しかし領域Ⅱのように水膜が（ハ）以下と薄いと、電気化学反応を長期的に維持するには水膜量が不十分である。一方水膜厚さが（ニ）以上となる領域Ⅳでは、水膜量は十分であるものの、酸素の（ロ）速度が小さくなるため腐食速度は約0.1mm/y以下に低下する。水中での腐食と同等の領域であり、雨水がたまり、常にぬれた状態の腐食に相当する。したがって溶存酸素の（ロ）速度と水膜量がバランスよい水膜厚さのところ腐食速度のピークが生じる。



- |        |         |       |        |
|--------|---------|-------|--------|
| A 1 μm | B 0.1mm | C 1mm | D 10mm |
| E 供給   | F 酸化    |       |        |

問 19	イ	ロ	ハ	ニ
解答	<b>B</b>	<b>E</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

【問 20】 次の図は、常圧蒸留装置における防食対策の基本フローを示したものである。図中の **イ** ~ **ホ** に入れる語句として、最も適切なものを **A** ~ **E** よりそれぞれ選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。



- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| <b>A</b> 水析出防止        | <b>B</b> Cl 量の低減   |
| <b>C</b> 洗浄水量適正化      | <b>D</b> デソルター運転改善 |
| <b>E</b> スケール、中和剤析出防止 |                    |

問 20	イ	ロ	ハ	ニ	ホ
解答	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>E</b>

【問21】 次の文章は、水素侵食について述べたものである。下線部に不適切な記述がある文章を以下のA～Dの中から1つ選択せよ。

- A 水素侵食は、高温高圧の水素雰囲気中で、鋼材に侵入した水素と鋼中の炭素との反応によりメタンが生成し、結晶粒界等にマイクロフィッシュが発生し、割れ又は材質劣化を起こす現象である。
- B 基本的にはネルソン線図に基づいて管理すべきであるが、C-0.5Mo 鋼については、ネルソン線図から管理曲線が削除されているため、Pv, Pw パラメータなどによる管理が必要である。
- C ネルソン線図は設備の使用実績に基づいてたびたび改訂されており、第8版（2016年発行）では溶接後熱処理していない1.25Cr-0.5Mo 鋼溶接部の限界条件が、損傷事例にもとづいて見直された。
- D C-0.5Mo 鋼については、水素侵食の感受性が鋼中の炭化物の形態により異なることが知られており、金属組織観察法による感受性の評価が有効である。

問 21	C
解答	

【問22】次の文章はシグマ脆化に関する事項を説明したものである。文中の(イ)~(ハ)内に最も適した用語を下記のA~Gより選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

- (1) シグマ脆化は、材料を長時間高温加熱することによりシグマ相が形成されることで生じる脆化現象である。(イ)の溶接部は、通常高温割れ防止の目的で(ロ)のデルタフェライトを含んでおり、デルタフェライトからシグマ相が生成することで、高温でシグマ脆化を生じやすい。
- (2) シグマ脆化した材料の溶接補修に際しては、脱脆化の目的で(ハ)が割れ防止に有効である。

- A フェライト系ステンレス鋼及びマルテンサイト系ステンレス鋼  
 B オーステナイト系ステンレス鋼      C アロイ800  
 D 5~10%      E 40~60%      F 安定化熱処理      G 固溶化熱処理

問 22	イ	ロ	ハ
解答	B	D	G

【問23】 次の文章は、ポリチオン酸応力腐食割れ（以下SCCと記す）の対策について述べたものである。A～Dの中から不適切な文章を1つ選択せよ。

- A ポリチオン酸 SCC が懸念される設備で耐圧部材にオーステナイト系ステンレス鋼を使用する場合、Ti/C(又は Nb/C)を成分調整した安定化ステンレス鋼を使用することが望ましい。
- B 装置停止中の機器の保管又は開放時においては、酸素侵入の防止、水分侵入の防止や中和洗浄などもポリチオン酸 SCC の発生防止に有効である。
- C 安定化熱処理は、304 系ステンレス鋼のポリチオン酸 SCC 防止に有効であり、鋭敏化温度域で使用される設備については実施することが望ましい。
- D 安定化ステンレス鋼は素材が安定化熱処理されていても、溶接熱影響部は効果が減少するため、溶接後にも安定化熱処理を実施するのが望ましい。

問 23	C
解答	

【問 24】 次の文章は、浸炭について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内の語句 **A**、**B** のうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

- (1) 浸炭は、炭素鋼又は合金鋼が高温の CO/CO<sub>2</sub> 雰囲気又は炭化水素雰囲気に曝されたとき、熱解離により炭素が生成し、鋼表面の（イ：**A 酸化皮膜**、**B 粒界炭化物**）の局部的破壊部より金属中に炭素が浸入・拡散する現象である。
- (2) CO ガス環境では、（ロ：**A 低温**、**B 高温**）であるほど CO が安定となって炭素が生じにくくなり、炭素活量が小さくなる。一方、鋼中への炭素の浸入、炭化物形成などの過程は（ロ）ほど促進される。
- (3) 一般的に材料が浸炭すると、伸びや延性が低下するが、浸炭した材料は特に（ハ：**A 常温**、**B 高温**）時の靱性が低下している。
- (4) 浸炭部がグラファイト、金属、炭化物、酸化物などの粉体となって離脱する現象を（ニ：**A 黒鉛化**、**B メタルダスティング**）と呼ぶ。

問 24	イ	ロ	ハ	ニ
解答	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>

【問25】 次の文章は腐食・エロージョン検査について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内の語句A、Bのうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

- (1) 超音波法の反射法は、超音波パルスが板中を1往復する伝播時間を測定することにより厚さを求める方法で、実機の測定精度は（イ： A ±0.1~0.3mm、 B ±0.5~1.0mm）である。
- (2) 超音波法の反射法を用いた高温部での測定では、（ロ： A 音速、 B 反射率）の補正を行う必要がある。
- (3) 放射線法は、X線または（ハ： A β線、 B γ線）の写真作用、蛍光作用及び電離作用を利用して観察する方法であり、材質にあまり左右されず、保温材などで遮蔽された部位などに適用できる。
- (4) 銅合金、オーステナイトステンレス鋼などのチューブを渦流探傷法で検査する場合、腐食形態（形状、寸法等）に影響されるが、推定減肉率の精度は（ニ： A ±1.0~1.5%、 B ±10~15%）前後である。

問 25	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	A	B	B

【問26】 次の文章は、熱交換器チューブ検査について述べたものである。不適切な記述がある文章の組み合わせを以下のA～Fの中から1つ選択せよ。

- (イ) 検査方法は磁性を有する材料と非磁性の材料とによって大別されており、非磁性の材料のチューブには渦流探傷法（リモートフィールド渦流探傷法を除く）が一般的に適用されている。
- (ロ) リモートフィールド渦流探傷法は、内外面の損傷を区別できるが、バッフルプレート・チューブシート直下及び近傍の損傷については検出できない。
- (ハ) 超音波水浸法は、検査精度は良好であるが、内外面の損傷を区別できず、また針状の孔食などは検出することはできない。
- (ニ) レーザ形状測定法を用いて孔食を計測する場合、孔食内にスケール、スラッジなどの堆積物だけでなく、油、水などが溜まっていないことに留意すべきである。
- (ホ) 炭素鋼チューブはさびなどのスケールを生成しやすく、このスケールは多くの場合、検査の測定精度に影響を与える。よって、前処理（チューブ清掃）は検査品質を決定する重要なものである。

A	イ、ロ	B	イ、ハ	C	ロ、ハ
D	ロ、ニ	E	ハ、ホ	F	ニ、ホ

問 26	C
解答	

【問27】 次の文章は、劣化損傷の検査について述べたものである。文中の（イ）～（ハ）内の語句A、Bのうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

- (1) 水素誘起割れは、リガメント厚さ、HIC 発生面積率などで評価されており、（イ： A 金属組織観察法、 B 超音波垂直探傷法）が適用できる。
- (2) クリープ損傷に対して、診断部位の組織をレプリカなどにより転写し、ボイドが生成している粒界の割合を求める（ロ： A ボイド面積率法、 B Aパラメータ法）が適用できる。
- (3) 水素侵食の進行度のうち、クラスⅡ（脱炭や粒界マイクロフィッシュが発生し、肉厚方向に進行した状態）での検査方法として、（ハ： A 超音波音速比法、 B 放射線透過試験）、超音波後方散乱波法などが適用できる。

問 27	イ	ロ	ハ
解答	B	B	A

【問28】 次の文章は特殊部位の検査技術、データ処理技術について述べたものである。下線部に不適切な記述がある文章の組み合わせを以下のA～Eの中から選択せよ。

- (イ) 埋設配管、海底配管のピグ検査では、事前にキャリパーピグ、プロファイルピグなどにより配管内径形状、変形状況、ベンド部貫通性(通過性)などに関する調査が必要である。
- (ロ) 探傷面に接触することなく、高速で被検査物の減肉に関するデータを採取可能という利点を活かした TOFD 法は、タンク底板等の広範囲の検査に用いるシステムと、長大配管の全長検査等に用いるシステムがある。
- (ハ) 保温材下外面腐食に対するスクリーニング手法として、ガイド波超音波検査法、パルス渦流磁気検査法、中性子水分計による水分測定などがある。
- (ニ) 配管を吊り上げることなく配管架台接触部を検査する代表的な手法として、クリーニングウェーブ法がある。

A イ、ロ      B ハ、ニ      C イ、ハ  
D ロ、ニ      E ロ、ハ

問 28	
解答	D

【問 29】 次の文章は、供用段階にある設備等の耐圧試験の試験圧力について述べたものであるが、**A**～**E**の下線部の内容で誤っているものを2つ選択せよ。

- (1) 法規による指定がない場合、設備の耐圧試験圧力は **A** : 常用圧力以上とする。
- (2) 高压ガス設備及び導管の液体を使用する耐圧試験圧力は **B** : 常用圧力の 1.5 倍以上 (気圧試験圧力は常用圧力の 1.25 倍以上)とする。ただし、特定則第 2 条第 17 項に規定する第二種特定設備にあつては、液体を使用する耐圧試験圧力は **C** : 常用圧力の 1.3 倍以上 (気圧試験圧力は常用圧力の 1.1 倍以上)とする。
- (3) 労働安全衛生法の圧力容器構造規格に定める鋼製の第 1 種及び第 2 種圧力容器の水圧試験圧力は **D** : 常用圧力 (最高使用圧力) に  $(\sigma_n / \sigma_a)$  を乗じた圧力とする。
- $\sigma_n$  : 試験温度における材料の許容引張応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_a$  : 使用温度における材料の許容引張応力 (N/mm<sup>2</sup>)
- (4) 耐圧試験時に発生する計算で求めた一次一般膜応力強さは、材料の **E** : 降伏点又は 0.2%耐力の 90%を超えてはならない。

問 29	順不同	
解答	<b>A</b>	<b>D</b>

【問30】 次の文章は、供用段階にある設備等の耐圧試験の試験圧力及び昇圧の方法について述べたものである。文中の（イ）～（ハ）内の語句A、Bのうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

- (1) 耐圧試験とは、設備の構造健全性を確認する試験であり、試験圧力で有害な変形を生じない（残留変形のない）ことを確認する試験である。（イ： A 気体による耐圧試験時には、B 試験媒体に関わらず耐圧試験時には）、法規その他の個別仕様で規定されていない限り、試験圧力に達したときに圧力の降下がないことを確認し、再び常用圧力以上の圧力まで下げ、この圧力において異常の有無を調べる。
- (2) 非高圧ガス配管の気圧試験にあつては、（ロ： A 試験圧力の1/10、B 試験圧力の1/2）又は170kPaのいずれか小さい方に達するまで徐々に昇圧し、予備チェック後、配管のひずみが均等になるよう段階的に十分な時間を保持しながら徐々に試験圧力まで昇圧する。また、常用圧力が103kPa未満のNon Codeの容器については、（ハ： A 耐圧試験を省略できる、B 個別にリスクを検討して昇圧要領を規定することができる）。

問 30	イ	ロ	ハ
解答	B	B	B

【問 31】 次の文章は、供用段階にある設備等の耐圧試験の試験媒体について述べたものである。A～Dの中から不適切な記述を含む文章を1つ選択せよ。

- A** 水の凍結又はその他悪影響を及ぼす可能性がある場合、若しくはテスト流体が汚染され、その廃棄が環境問題を起こす可能性がある場合を除き、耐圧試験の試験媒体は、原則として水（工業用水又はボイラー給水）などの安全な液体を使用する。ここで、“水などの安全な液体”とは、水に加えて、次にあげるものをいう。
- － 耐圧試験における液体の温度が、当該液体の沸点未満であるもの
  - － 可燃性の液体を使用する場合にあっては、当該液体の引火点が 43℃以上で、かつ、耐圧試験中における当該液体の温度が常温以下であるもの
- B** 装置停止中に水で耐圧試験を行う場合、耐圧試験時に試験体が脆性破壊を起こさないよう、水温は JPI-8R-17（ホットスタート）で規定する最低加圧温度とする。
- C** オーステナイト系ステンレス鋼製設備の耐圧試験に使用する水は、Cl<sup>-</sup> イオンによる応力腐食割れを防止するため、水分中に含まれる Cl<sup>-</sup> イオンの濃度を管理する。
- D** ポリチオン酸応力腐食割れの対象となる鋭敏化したオーステナイト系ステンレス鋼製設備については、テスト流体としてアルカリ性水溶液の使用を検討する。

問 31	
解答	<b>B</b>

【問 32】 次の文章は、ガスケットペーストについて述べたものであるが、**A**～**D**の下線部の内容で誤っているものを2つ選択せよ。

- (1) ガスケットペーストは、装置、流体、ガスケットの種類に応じて選定され、**A**：必ず塗布した方が良い。
- (2) ガスケットペーストは、**B**：フランジの孔食深さの2倍以上を目安にして、ガスケットに均一に塗布する。
- (3) ガスケットペーストの使用目的の一つは、**C**：ガスケットとフランジ当り面の密着性を良くし、シール性能を向上させることである。
- (4) ガスケットペーストの使用目的の一つは、**D**：ガスケットのフランジ面への焼付きによるフランジ面の損傷を防ぎ、また、ガスケットの取外しを容易にすることである。

問 32	順不同	
解答	A	B

【問33】 次の文章は、供用段階にあるフランジの締付力の計算について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内の語句A、Bのうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

- (1) フランジの締付力の計算において、必要締付力（上限）は、（イ： A フランジ強度、ボルト強度、B フランジ強度、ボルト強度、ガスケットの許容締付圧力）を考慮した締付力のうち、最も小さい締付力とする。この際、ボルトのリラクゼーションファクターを（ロ： A 加味する、B 加味しない）。
- (2) フランジの締付力の計算において、必要締付力（下限）は、（ハ： A ボルト最小締付力、ガスケットの必要最小締付圧力を考慮した締付力のうち小さい方の締付け力、B ガスケットの必要最小締付圧力を考慮した締付力）とする。この際、ボルトのリラクゼーションファクターとボルト軸力のばらつきに対する安全率を（ニ： A 加味する、B 加味しない）。

問 33	イ	ロ	ハ	ニ
解答	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>A</b>

【問 34】 次の文章は、供用段階にあるフランジの漏洩につながるメカニズムを記載したものである。A～Dの中から不適切な記述を含む文章を1つ選択せよ。

- A** 電気系統トラブルを発端とした全停電などによる緊急運転停止の場合、運転操作によっては、フランジ本体の温度低下がボルトのそれを上回る場合があり、締付力の低下を招き漏洩した事例が有る。
- B** 運転条件の変更あるいは非定常作業に伴い内部流体温度が急激に変化したために締付力の低下を招き火災に至った事例がある。
- C** フランジ継手に激しい雨や風があたったため、フランジ本体とボルトの温度差が大きくなり、その結果、漏れを生じた事例がある。このような現象は特に、スペーサーが設置されている等、フランジ間のボルトが長い場合に注意が必要である。
- D** 配管及びフランジに保温が付いていない場合、運転開始時の配管内部流体温度上昇時には、フランジ本体がボルトよりも先に暖められ、一時的にフランジ本体とボルトの温度差が大きくなる。その結果、ボルトの熱伸びがフランジ本体の熱伸びよりも大きくなり、ボルトの締付力が低下する。

問 34	D
解答	

【問 35】 次の文章は、溶接仕上げについて述べたものである。文中の（イ）～（ニ）に入る語句として、最も適切なものをA～Hからそれぞれ選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

- アーク溶接の始点及び終点は、（イ）、割れなどの溶接欠陥が発生しやすく、注意が必要である。
- クリープ発生環境、繰返し応力の発生する環境などで使用される場合、溶接ビードをグラインダーでスムーズに仕上げることにより応力の（ロ）を避ける。
- ビードの仕上げ形状は、一様で（ハ）などが付着していないことを確認する。また、すみ肉溶接においては、（ニ）が設計どおりであることを確認する。

- |             |           |
|-------------|-----------|
| A 脚長        | B アンダーカット |
| C スラグ、スパッター | D 局部的残留   |
| E ブローホール    | F 溶け込み    |
| G 局部的集中     | H オーバーラップ |

問 35	イ	ロ	ハ	ニ
解答	E	G	C	A

【問 36】 次の（イ）～（ハ）の文章は、ステンレス鋼の熱処理について述べたものである。それぞれが表している鋼の種類として最も適切なものを以下の A ～ C より選択せよ。なお、選択肢の重複使用は不可とする。

（イ） デルタフェライト量が高いため、600℃以上の温度域での脆化速度が速いこと、熱影響部の耐食性が母材に比べ劣ることなどから、溶接に際しては入熱量を低くし、予熱はせずパス間温度もなるべく低く（170℃以下）することが望ましい。また、シグマ脆化及び475℃脆化を防止するため、PWHTは通常行わない。

（ロ） 急冷により硬化し割れが発生することがあるので、通常 200～400℃の予熱が必要である。また、延性・靱性・適正硬度確保などの目的で、PWHTが必要である。

（ハ） 鋭敏化防止と高温割れ防止のため、通常、予熱は行わず、パス間温度を150℃以下に保ち、かつ過大な入熱を避ける必要がある。

- |   |                |
|---|----------------|
| A | オーステナイト系ステンレス鋼 |
| B | 二相ステンレス鋼       |
| C | マルテンサイト系ステンレス鋼 |

問 36	イ	ロ	ハ
解答	B	C	A

【問37】 次の文章は、溶接補修方法の検討の例である。文中の補修要領（イ）～（ハ）について、それぞれの正誤の適切な組合せをA～Hより選べ。

### 重油直接脱硫装置 高圧ドラム鏡板の水素誘起割れ（HIC）

#### 1. 設備仕様

機器名 : 直接脱硫装置、低温高圧セパレーター  
材質、板厚 : SB42(SB410 相当)、2,500<sup>ID</sup>mm×52<sup>t</sup>mm

#### 2. 運転条件

使用期間 : 約7年  
温度、圧力 : 40℃、6.86MPa (70kgf/cm<sup>2</sup>G)  
内部流体 : 水素、硫化水素、重質油

3. 損傷状況 図に示す通り、インレットノズル側鏡板母材の内面上部に MT で微小なインジケーションが多数検出された。更に、外面から UT を実施した結果、それらのきずは内面から最大深さ 18mm に達していることが確認された。

なお、胴本体、ブーツ部などその他の部位できずは検出されなかった。

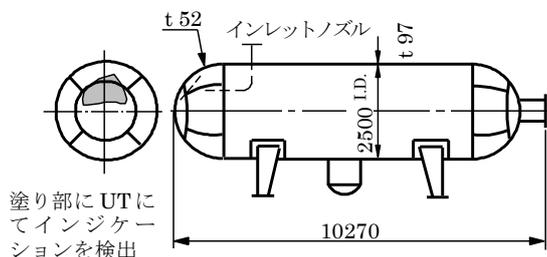


図. 低温高圧セパレーター概略図

4. 原因推定 使用状況から判断して、HIC が生じ、進展して内表面に開口した微小なきずが多数生じたものと推定される。また、当該鏡板部にのみ発生した原因としては、インレットノズルからの流体が直接当たり、エロージョンコロージョンのために腐食が加速されたためと推定される。

5. 処置 以上から総合的に判断し、応急補修として欠陥除去および溶接肉盛補修を行うこととした。

## 6. 補修要領

- (イ) 材質および内部流体から、脱水素処理は不要と判断した。
- (ロ) 遅れ割れ防止のため、低水素系溶接棒を採用し、予熱および直後熱を行った。
- (ハ) 材質が炭素鋼であるため、溶接後熱処理を省略した。

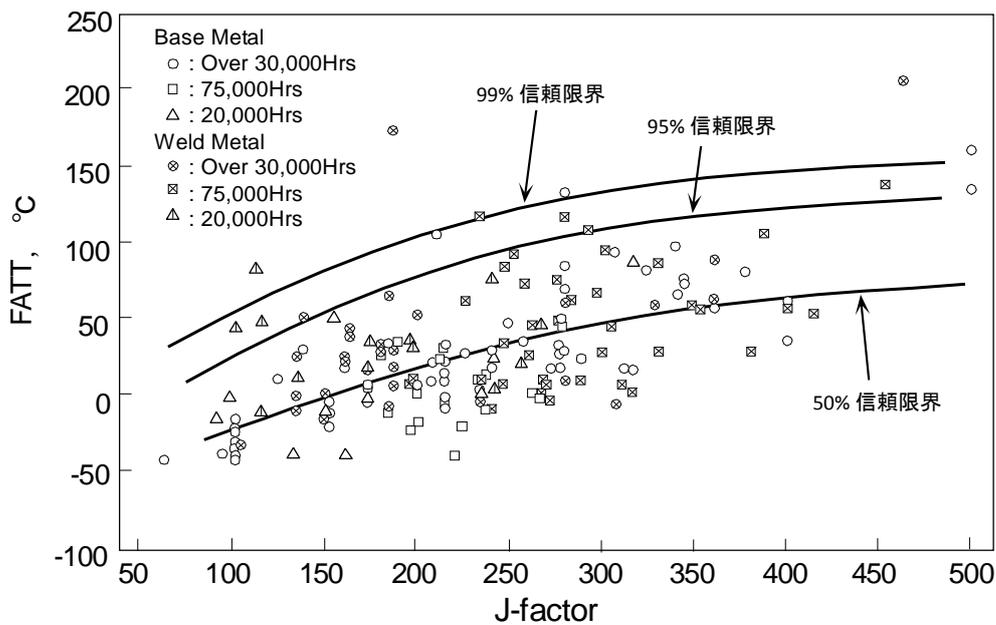
A	(イ)	正	(ロ)	正	(ハ)	正
B	(イ)	正	(ロ)	正	(ハ)	誤
C	(イ)	正	(ロ)	誤	(ハ)	正
D	(イ)	正	(ロ)	誤	(ハ)	誤
E	(イ)	誤	(ロ)	正	(ハ)	正
F	(イ)	誤	(ロ)	正	(ハ)	誤
G	(イ)	誤	(ロ)	誤	(ハ)	正
H	(イ)	誤	(ロ)	誤	(ハ)	誤

問 37	
解答	F

【問38】 次の文章は焼き戻し脆化について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）に最も適する語句を下記A～Iより選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

- ・ 焼き戻し脆化は低合金鋼、特に（イ）鋼でその傾向が顕著であるが、その程度は、J-Factor及びX-barで表されるパラメータと相関があることが知られている。
- ・ J-Factorは式(1)で表される。  

$$J\text{-Factor} = ( \square ) \dots\dots\dots (1)$$
- ・ 下図は（イ）鋼のJ-Factorと長期使用した材料の延性脆性遷移温度FATTの関係を示した図である。この図から、J-Factor=250の鋼材の長期使用後のFATTは、99%信頼限界で見た場合、（ハ）であると推定される。
- ・ 一方、不純物濃度を下げたJ-Factor=100の鋼材の場合、FATTは99%信頼限界でも（ニ）であることがわかる。



図（イ）鋼のJ-FactorとFATTの関係

- A C-0.5Mo    B 2.25Cr-1Mo    C  $(C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14) \times 10^2$   
 D  $(Si+Mn) \times (P+Sn) \times 10^4$     E 約-30°C    F 約20°C  
 G 約50°C    H 約120°C    I 約150°C

問 38	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	D	H	G

【問39】 次の文章は最低加圧温度について述べたものである。文中の（イ）～（ハ）内の語句A、Bのうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

- (1) 機器スタートアップ時に、加圧によって（イ：A 脆性破壊、B 延性破壊）を発生させないために必要な最低の加圧開始温度は、最低加圧温度と呼ばれる。
- (2) 焼戻し脆化は、鋼を 360～575℃の温度域に保持した場合、鋼中の不純物元素の粒界偏析により、脆性破壊が生じやすくなる現象であり、この結果、靱性遷移温度曲線は（ロ：A 低温側、B 高温側）へ遷移する。
- (3) 最低加圧温度の導出法には、破壊力学的解析法、（ハ：A 破面遷移温度、B 設計圧力）による導出法のほか、簡便導出法（ライセンサーリコメンデーション、ステップクーリング試験結果により算出する方法等）がある。

問 39	イ	ロ	ハ
解答	A	B	A

【問 40】 次の文章は、応力拡大係数 ( $K_I$ ) について述べたものである。文中の (イ)、(ロ) 内に最も適した語句を下記の A~F より選択せよ。なお、語句の重複使用は不可とする。

・破壊力学的解析法で用いる  $K_I$  は破壊に関与するき裂先端の応力場の大きさを表す力学パラメータであり、(1) 式のとおり表すことができる。

$$K_I = (\text{イ}) \dots\dots\dots (1)$$

ここに

$\sigma$  ; 負荷応力

$a$  ; き裂寸法

$A$  ; き裂の位置や形状による係数

・この式から、 $A$  と  $\sigma$  を一定とすれば、き裂寸法が 2 倍になった場合、 $K_I$  は (ロ) 倍になる。

- |                           |                           |                        |
|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| A $A\sigma\sqrt{\pi a}$ 、 | B $A\pi\sqrt{\sigma a}$ 、 | C $Aa\sqrt{\pi\sigma}$ |
| D 0.5 倍                   | E $\sqrt{2}$ 倍            | F 2.0 倍                |

問 40	イ	ロ
解答	A	E