

公益社団法人石油学会

2014 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】 次の文は石油学会維持規格作成の背景に関する内容である。文中の（イ）～（ハ）内に最も適する語句を下記のA～Fより選択せよ。

社会的に自主保安による管理が要求され始めたが、自主保安というのは安全に対する自己規制を含む自主管理であり、社会に対し（イ）・公正性等が求められる。すなわち、保安に対する事業所の社会的責任として、設備の維持管理が、社会的にも（イ）高く実行され評価されることが必要となる。

高圧ガス保安法の設備維持検査には定期検査と保安検査があるが、どちらも「構造及び設備が技術上の基準に適合するように維持する」となっていて、法の性能規定化が完了したにも関わらず供用後の維持検査においては、（ロ）が要求されている。

設備の検査・保全等の維持に関する基準については、石油各社固有の社内基準はあるものの、国内には、APIにおける圧力容器検査基準等に見られる様な統一基準が存在しないのが現状である。公共の安全確保と産業育成においては、行政による立法と、業界団体に関係する各社の社内規格を基盤とした業界規格が、上下、左右で十分関連が保たれたものとなるよう官民一体となった取り組みが必要であり、今後の態勢として法と民間規格による各レベルでの標準化を育成してゆく必要がある。こうした状況の中、石油業界では自主維持基準の一つとして、「（ハ）」を作成することとした。

- A 設計時の基準維持 B 設備維持規格 C 透明性 D 劣化に対応した基準維持
E 経済性 F 自主行動計画

問1	イ	ロ	ハ
解答	C	A	B

【問2】 次のA～Hは、空冷式熱交換器における腐食・エロージョン検査の着目点である。エロージョン及びエロージョンコロージョンが発生しやすい箇所として最も適切なものをA～Hの中から4つ選択せよ。

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| A ショルダープラグのガスケット座 | B 液滴を含む気体（初期凝縮の状態を含む）の流路 |
| C フェルール先端部 | D デッドエンド（流れのない隅角部） |
| E チューブ出口部 | F 粒状、粉状の固体を含む流体（スラリーを含む）の流路 |
| G チューブ入口部 | H プラグ打ちにより流れのなくなったチューブ |

問2	順不同			
解答	B	C	F	G

【問3】 次の文章は、石油精製事業所内で使用される圧力設備に発生する腐食・エロージョン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ものを2つ選択せよ。

- | |
|---|
| <p>A 高温酸化とは、FCC再生塔、加熱炉及びボイラのチューブなど、常に高温のガスに曝されている設備の外表面がガス中の高温の酸素により酸化され減肉していく現象をいう。炭素鋼の場合、約300℃以上では急速に減肉が進行し酸化皮膜も厚い脆弱なものになる。</p> <p>B 酸露点腐食は、加熱炉、ボイラなどのSO₃を含む燃焼排ガス系統で、設備の表面温度が燃焼排ガスの露点以下になった場合に生じる。加熱炉対流部チューブなどの外表面温度が露点以下になる場合に、この腐食が問題となることがある。</p> <p>C 高温硫化物腐食は、高温状態にて硫化物が鋼と直接化学反応を起し硫化鉄を生ずる腐食であり、蒸留、脱硫、分解装置の張込み系、反応系の高温部などに発生する。</p> <p>D 異種金属接触腐食は、二つの異なる金属が電解質中で電気的な接触により電位差を生じ、より貴な電位の金属の腐食が促進される現象である。</p> |
|---|

問3	順不同	
解答	A	D

【問4】 次の文章は減肉損傷の評価から次回の内部検査時期を求めたものである。文中の（イ）～（リ）内に該当する語句・数字を下記のA～Pより選択せよ。

なお、ここでは簡単にするため、腐食速度は減肉損傷の検査結果による長期腐食速度を用いる。また、選択肢は複数回選択できるものとする。

ある圧力容器の肉厚測定結果（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 1994年2月15日 24.0 mm
 肉厚測定結果 2014年2月15日 22.0mm （使用期間20年）
 設計圧力、設計温度及び自重などの付加荷重を考慮した必要計算肉厚 21.0 mm
 検査周期設定係数（開放周期決定のための安全係数）は、0.5とする。

長期における腐食速度 = $((\text{イ}) - (\text{ロ})) / (\text{ハ}) = (\text{ニ}) \text{ mm/y}$
 余寿命の計算（2014年2月15日時点）
 余寿命 = $((\text{ホ}) - (\text{ヘ})) / (\text{ト}) = (\text{チ}) \text{ 年}$
 次回の内部検査は、（リ）年2月15日までに実施しなければならない。

A 24.0	B 22.0	C 21.0	
D 0.15	E 0.10	F 0.05	
G 40	H 20	I 10	J 6
K 2045	L 2029	M 2024	N 2020
O 2019	P 2017		

問4	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	チ	リ
解答	A	B	H	E	B	C	E	I	O

【問5】 次の表は、石油精製設備で発生する可能性がある高温劣化損傷、環境による脆化割れ、疲労損傷についてまとめたものである。表中の（イ）～（ニ）に入れる語句として、最も適切なものを A ～ H からそれぞれ選択せよ。

表. 石油精製設備で発生する可能性がある高温劣化損傷、環境による脆化及び割れ、疲労損傷

高温劣化損傷	環境による脆化及び割れ	疲労損傷
水素侵食 クリープ損傷 黒鉛化 (イ) 脆化 475°C脆化 (ロ) 相脆化 等温時効脆化 脱炭・浸炭	塩化物応力腐食割れ アルカリ応力腐食割れ ポリチオン酸応力腐食割れ カーボネイト応力腐食割れ (ハ) 応力割れ 水素誘起割れ アミン応力腐食割れ アンモニア応力腐食割れ (ニ) 水素脆化	熱疲労 振動疲労

A チタン	B 酸化物	C シグマ	D 焼戻し
E 硫化物	F 焼入れ	G ニッケル	H ガンマ

問5	イ	ロ	ハ	ニ
解答	D	C	E	A

【問6】 次の表は、各種劣化損傷に対する検査、評価方法及び劣化損傷対策をまとめたものがある。表中の（イ）～（ハ）に入れる語句として、最も適切なものを A～H からそれぞれ選択せよ。

表. 各種劣化損傷に対する検査、評価方法及び劣化損傷対策

劣化損傷の種類 (主な検査対象鋼種)	検査方法	評価方法及び損傷防止策
水素侵食 (炭素鋼) (C-0.5Mo 鋼)	超音波法 磁粉探傷法 浸透探傷法 金属組織検査法	(イ) Pv 値による評価 Pw 値 (HAT チャート) による評価
ポリチオン酸応力腐食 割れ (オーステナイト 系ステンレス鋼)	浸透探傷法 超音波法 金属組織検査法	TTS 線図による評価 (ロ)
カーボネイト応力腐食 割れ (炭素鋼)	磁粉探傷/浸透探傷法 超音波法 金属組織検査法	(ハ) コーティング/溶射の実施

A A パラメータ法による評価	B J-Factor による評価
C ネルソンチャートによる評価	D ラーソン・ミラー・パラメータによる評価
E 安定化鋼種の採用	F 耐 HIC 鋼の採用
G 2 相ステンレス鋼の採用	H 応力除去焼鈍の実施

問6	イ	ロ	ハ
解答	C	E	H

【問7】 次のイ～ハの文章は、定期検査終了後に実施する総合気密試験について述べたものである。文章の正誤を以下の解答例A～Hより選択せよ。

- イ 構造的に加圧できない機器、逆止弁により圧力がかからない部位及び安全弁に直接圧力がかかるなどの不都合がある場合は、当該機器又は部位を総合気密試験範囲とは分離し、ブロックテストを行う。
- ロ ホットスタートを行う系（脆性破壊の恐れのあるリアクター系など）は、安全のために実ガスを使って総合気密試験を行ってはならない。
- ハ 昇圧の過程で漏洩を発見した場合は、増し締め可否、昇圧の停止・脱圧の可否を検討の上、速やかに必要な処置を行う。

【解答例】

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

問7	C
解答	

【問8】 次の文章は、常圧蒸留装置の運転中モニタリングについて述べたものである。文中の（イ）～（ニ）に入れる語句として、最も適切なものを A～H からそれぞれ選択せよ。

1) 防食運転の監視項目

- ・原油性状の監視（ 運転状態を含む）
- ・NaOH 注入量、中和剤注入量、皮膜剤注入量、水注入量
- ・ 上流、下流部での原油中の塩濃度
- ・上図Aの槽や上図Bのスペア・ポンプから凝縮水を採取し、塩化物濃度、硫化物濃度、PH、アンモニア濃度、 濃度等の分析を行う。

2) 設備の腐食状況の監視方法

- ・ 法
塔頂部配管のノズルから、本体と同材質の試験片を挿入し、定期的（数ヶ月単位）に取出して重量を測定することで、減肉量を確認する。
- ・ 法
配管や本体のノズルからセンサーを挿入し、電気抵抗値を測定することによりリアルタイムで腐食率を得る。
- ・連続肉厚測定法
超音波肉厚測定センサーを機器または配管の一部に固定し、連続的に肉厚を測定して記録することで、残存寿命及び腐食傾向の変化を把握する。

A 加熱炉	B デソルター	C リボイラー	D 鉄イオン
E リン酸	F 水素プローブ	G テストクーポン	H コロゾメータ

問8	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	D	G	H

【問 9】 次の内容は、工事作業上の配慮が必要であった事例である。配慮事項例の説明文中の（イ）～（ニ）に最も適切な語句を下記のA～Fより選択せよ。

	配慮事項例
振動疲労対策	小口径配管の施工時、フランジ合わ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曲げ応力が作用する。このような残留応力が作用している部位では（イ）が低下し、振動による損傷が生じやすくなるので、注意が必要である。
検査下地処理	隅肉溶接線などで検査用の下地処理を行う場合、（ロ）を行うと隅肉を削りすぎる可能性があるため、（ハ）を原則とする。
火気使用時の作業環境	火気使用を行う場合は、可燃性ガスと火気使用場所との確実な遮断、作業環境における運転管理部門と設備管理部門との（ニ）が必要である。

- | | | | |
|---------|--------|------------|--------|
| A 独立性 | B 疲労限度 | C グラインダー処理 | D バフ掛け |
| E 情報の連携 | F 硬度 | | |

問9	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	C	D	E

【問 10】 次の文章は配管の腐食に関するものである。それぞれの説明文中の（イ）～（ニ）に該当する最も適切な語句を下記の A ～H より選択せよ。

- 保温配管では、保温材への雨水浸入などにより保温材下の配管に腐食や損傷が発生する。最も一般的な現象は、炭素鋼では（イ）、オーステナイト系ステンレス鋼では塩化物応力腐食割れである。
- 炭酸腐食は、炭酸ガスを溶解した弱酸性水溶液による腐食であり、全面腐食の形態を示す。炭素鋼の腐食速度は、CO₂ガス分圧が（ロ）なるに伴って上昇する。
- 水硫化アンモニウム腐食は、保護作用のある（ハ）が水硫化アンモニウムとの反応により剥がれるため発生し、流体中の硫化水素濃度、アンモニア濃度および流速が加速要因となる。
- 原油中のナフテン酸によって生じるナフテン酸腐食は、（ニ）の高い原油を処理する石油精製装置において、主に常圧蒸留装置の加熱炉チューブ、トランスファーライン、中段トレイなどの部位で発生する。

- | | | | |
|----------------|---------------|--------------|----------------|
| A 塩素濃度 | B 全面腐食 | C 低く | D 硫化鉄被膜 |
| E 酸化鉄被膜 | F 高く | G 全酸価 | H 局部腐食 |

問 10	イ	ロ	ハ	ニ
解答	H	F	D	G

【問 11】 次の内容は、高温硫化物腐食、湿性硫化物腐食について説明したものである。それぞれの説明文中の（イ）～（ホ）内の語句 A、B のうち、適切な方をそれぞれ選択せよ。

— 高温硫化物腐食

高温硫化物腐食は、高温状態にて硫化物が鋼と直接化学反応を起こし硫化鉄を生ずる腐食であり、蒸留、脱硫、分解装置の張込み系、反応系の高温部などに発生する。水素化脱硫装置の反応系では、水素が投入される（イ：A 上流側、B 下流側）に発生する。

検査点の選定に際しては、一般的に流体温度が高いほど腐食速度が大きくなるが、フランジ部近傍では放熱による温度低下が生じ腐食速度が（ロ：A 上昇、B 低下）するため実際の温度に留意することが必要である。

— 湿性硫化物腐食

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って硫化鉄を生じる腐食である。この硫化鉄は pH が 5 あたりから安定な被膜を形成し、耐食被膜として機能することで腐食を抑制するが（ハ：A pH が 7、B pH が 10）を超えると硫化鉄皮膜はもろくなり腐食が進行する。この環境下では、腐食によって発生する発生期の水素が鋼中に侵入しやすいことから、水素誘起割れが生じやすいので注意を要する。

腐食生成物中に塩化物が濃縮すると（ニ：A 全面腐食、B 局部腐食）を生じることがある。また、流動接触分解装置のようなシアン化合物が共存する環境では、（ホ：A 高流速部、B 低流速部）、乱流部において、硫化鉄皮膜が破壊され、腐食がさらに加速される。

問 11	イ	ロ	ハ	ニ	ホ
解答	A	B	A	B	A

【問 12】 次の **A ~ E** の文章は、検査担当者が配管の滞留部及びスケール堆積部の検査計画時に留意した事項について述べたものである。不適切な記述を **A ~ E** より 2 つ選択せよ。

- A** 通常運転時に他端が閉止状態にある枝管やクーラー出入口ヘッダー両端のキャップ部などは流動がなく、スケールなどの堆積による堆積物下の腐食が生じ易いので当該部位を選定した。
- B** 検査計画策定中に長期間使用停止した行き止まり配管を再使用することを聞いたが、停止時にスチームパージを実施していることから、スケール堆積による腐食の検査対象外とした。
- C** 滞留部と流動部との境界付近は特異な流れ状態となっていることが多く、一様な腐食とはならないと考え、当該部位の測定を追加した。
- D** オフサイトスロップ配管は、色々なスロップ発生元があるが腐食性が変わらないものとして、計画を立案した。
- E** 流れの遅い配管の立上がり部や分岐部近傍の配管下部にスケールが堆積しやすく、スケール堆積部位では水分が凝縮して溜まり腐食しやすい傾向にあると考え、当該部位を選定した。

問 12	順不同	
解答	B	D

【問13】 次の文章は劣化損傷の種類、特徴、評価、検査周期について述べたものである。文中の下線部の語句A～Dのうち誤ったものを1つ選択せよ。

- 配管系で予想される高温劣化損傷としては、A 水素侵食、クリープ損傷、黒鉛化、等温時効脆化がある。
- 疲労割れの余寿命については、B 応力-歪線図などによる推定も可能であるが、亀裂発生後の進展速度がC 速いため、事前に振動などの監視を行い、必要に応じてサポート補強、配管の厚肉化などの対策を講じることが望ましい。
- 樹脂コーティングや溶射による損傷防止策を実施している配管系では、被覆材の耐用期限を管理する必要がある。被覆材料の耐用期限は、被覆材が施工後からその被覆機能を喪失するまでの期間とし、採用被覆材に関するD 公知の耐用期間又は各事業所にて過去に確認された被覆材の標準的な耐用期間によって設定する。

問 13	B
解答	

【問 14】 次の文章は配管の劣化損傷ごとの検査すべき部位について述べたものである。文中の（イ）～（ハ）に最も適切な語句を下記のA～Fより選択せよ。

- ・ 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（イ）となる。
- ・ アルカリ応力腐食割れは、常圧蒸留装置のフィード系、重質油水素化脱硫装置のガス洗浄系の苛性ソーダ環境の配管が対象となる。アルカリ応力腐食割れはこのようなアルカリ環境下で、一定のアルカリ濃度及び温度で、特定の鋼種の（ロ）が存在する箇所が発生する。
- ・ 水素誘起割れ（HIC）は、硫化水素を含む湿潤環境下で使用されている炭素鋼配管が、検査の対象となる。ただしHICは、鋼板の圧延方向に（ハ）に発生するため、複数の割れが階段状に結合し進展することがなければ問題となることはない。

A 圧縮応力 B 垂直 C 平行 D オーステナイト系ステンレス鋼配管
E フェライト系ステンレス鋼配管 F 引張応力

問 14	イ	ロ	ハ
解答	D	F	C

【問 15】 次の文章は配管の検査箇所を選定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) **凝縮部** 蒸留装置の塔頂系、リアクター下流の反応生成物系、高温油のベント配管及び排ガス回収系統などでベーパーが部分的に凝縮する際、凝縮液（特に凝縮水）中に腐食性物質が濃縮し、配管が腐食されることがある。**A**：初期凝縮水は、腐食性物質で希釈されるので腐食速度が小さくなる。 **B**：初期凝縮の起る位置は運転条件、局部的冷却（フィン効果による）の有無などにも影響される。
- (2) **蒸発する箇所** ホットバイパスが混入する箇所、減圧箇所、本管の流れが停滞している場合のジャケット配管、**C**：トレース付き配管などで配管内の液体が蒸発することがある。このとき気相中に腐食性物質が濃縮され、配管が腐食される。**D**：スチームトレースとの接触部は配管内部での液体の激しい蒸発によって、配管内面に形成されていた硫化鉄皮膜が破壊され、エロージョンが発生した事例があるので注意が必要である。またスチームコンデンセートの部分フラッシュにより**E**：調節弁上流では、エロージョンが発生することがある。

問 15	順不同	
解答	A	E

【問 16】 次の文章は構造設計上の配慮事項に関するものである。それぞれの説明文中の（イ）～（ハ）に該当する最も適切な語句を下記の A ～ F より選択せよ。

- 応力腐食割れ対策として、スチームパージを行う配管で苛性ソーダやアミン配管及びこれらが混入する恐れのある配管は、濃度、温度に関係なくすべて（イ）を行う。
- 圧縮機周りの高温となる配管で振動応力解析によるサポート増設などの対策を実施する場合は、（ロ）についても考慮する必要がある。
- 腐食性流体の配管はティーエンドキャップをエルボにするなどして、極力（ハ）を作らない構造とする。

A 膜応力 B 溶接後熱処理 C デッドスペース D 気液境界部
E 熱応力 F 予熱

問 16	イ	ロ	ハ
解答	B	E	C

【問17】 金属がイオンになりやすいかどうか（腐食しやすいかどうか）は、金属種により異なり、イオン化傾向として知られる。図に、海水中における金属・合金の腐食電位列としてガルバニックシリーズを示す。表中の（イ）～（ニ）に最も適する金属名を下記のA～Dより選択せよ。

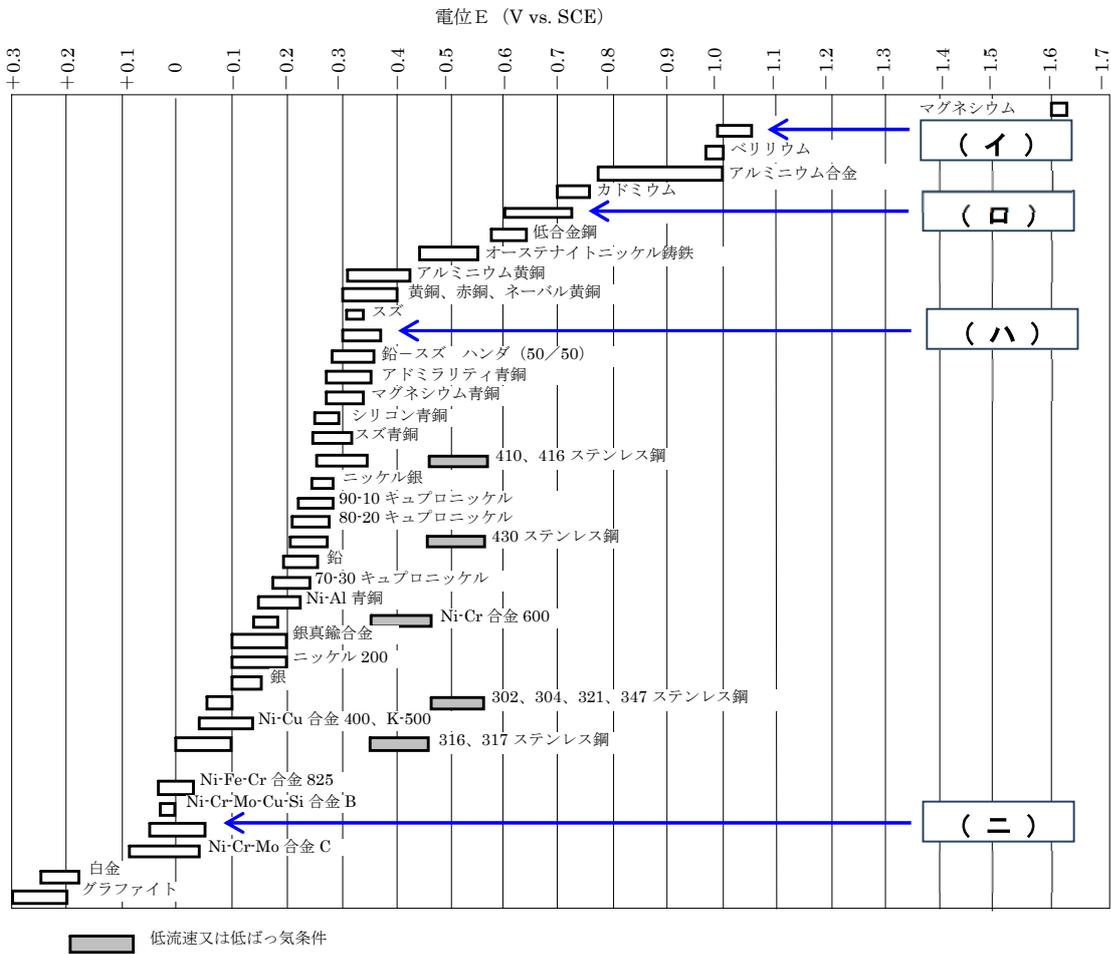


図 海水中における金属・合金の腐食電位列

- | | | | |
|---------|------|-------|-----|
| A 炭素鋼、鉄 | B 亜鉛 | C チタン | D 銅 |
|---------|------|-------|-----|

問17	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	A	D	C

【問18】 次の文章は、CUI（保温材下腐食）の発生原因となる水膜の形成機構について述べたものである。文中の（イ）～（ハ）内に入れるべき最も適切な語句を下記のA～Fより選択せよ。

CUIは配管表面と保温材の界面に形成した水膜を介して、（イ）的に発生し、進行する。水の供給源としては、次のようなものがある。

- ① 降雨や冷却水の飛沫など外部から浸入する雨水
- ② 温度差による水分の結露
- ③ 保温材と鋼表面間の微細なすきまでの（ロ）による水分の結露
- ④ 海塩粒子及び保温材などからの溶出不純物の（ハ）による水分の結露

②～④は大気中の水分の凝縮により配管表面に水膜が形成するプロセスで、大気中の**相対湿度**が重要となる。結露は朝昼の温度差や温度が高い主配管表面とそれより温度が低い枝管、ノズルなどとの温度差などにより**相対湿度**が100%を超えたときに起こる水膜形成プロセスである。（ロ）は保温材と鋼表面間の微細なすきまに水分が凝縮する水膜形成プロセスで、（ハ）は海塩粒子及び保温材などから溶出する不純物により生じる化学凝縮に基づく水膜形成プロセスである。ここで（ロ）と（ハ）は**相対湿度**が100%以下でも起こる。

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| A 触媒化学 | B 潮解 | C 毛管凝縮 | D 電気化学 |
| E 昇華 | F 初期凝縮 | | |

問18	イ	ロ	ハ
解答	D	C	B

【問 19】 次の文章は、減圧蒸留装置の減圧残油系についての説明である。文中の(イ)~(ヘ)に入れるべき最も適切な語句を下記の A ~ J より選択せよ。なお、イ、ハ、ニ (下線部) には次頁の工程図中の⑧~⑫のストリーム番号を選択せよ。

塔底部より抽出された(イ)減圧残油は、(ロ)留分であり高温下でコーキングしやすいために、ポンプで昇圧された後原料油と熱交換し、その一部を(ハ)クエンチオイルとして塔底部にリサイクルしてコーキング防止を図っている。残りの減圧残油は、更に原料油と熱交換し、冷却器で所定の温度まで冷却され製品として系外に抽出される。また、塔底部には(ニ)スチームがインジェクションされ、減圧残油に同伴した(ホ)留分を除去している場合もある。この系の温度はかなり高く、また、プロセス流体中に含まれる硫化物の量が多いため、高温硫化物腐食と(ヘ)腐食対策として 5Cr-0.5Mo 鋼以上の低合金鋼、また蒸留塔においては 13Cr 鋼又は SUS 316 鋼のクラッドが用いられる。

A ⑧	B ⑨	C ⑩	D ⑪	E ⑫	F 高沸点
G 軽質	H 塩酸	I 硫酸	J ナフテン酸		

問 19	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	ヘ
解答	C	F	D	E	G	J

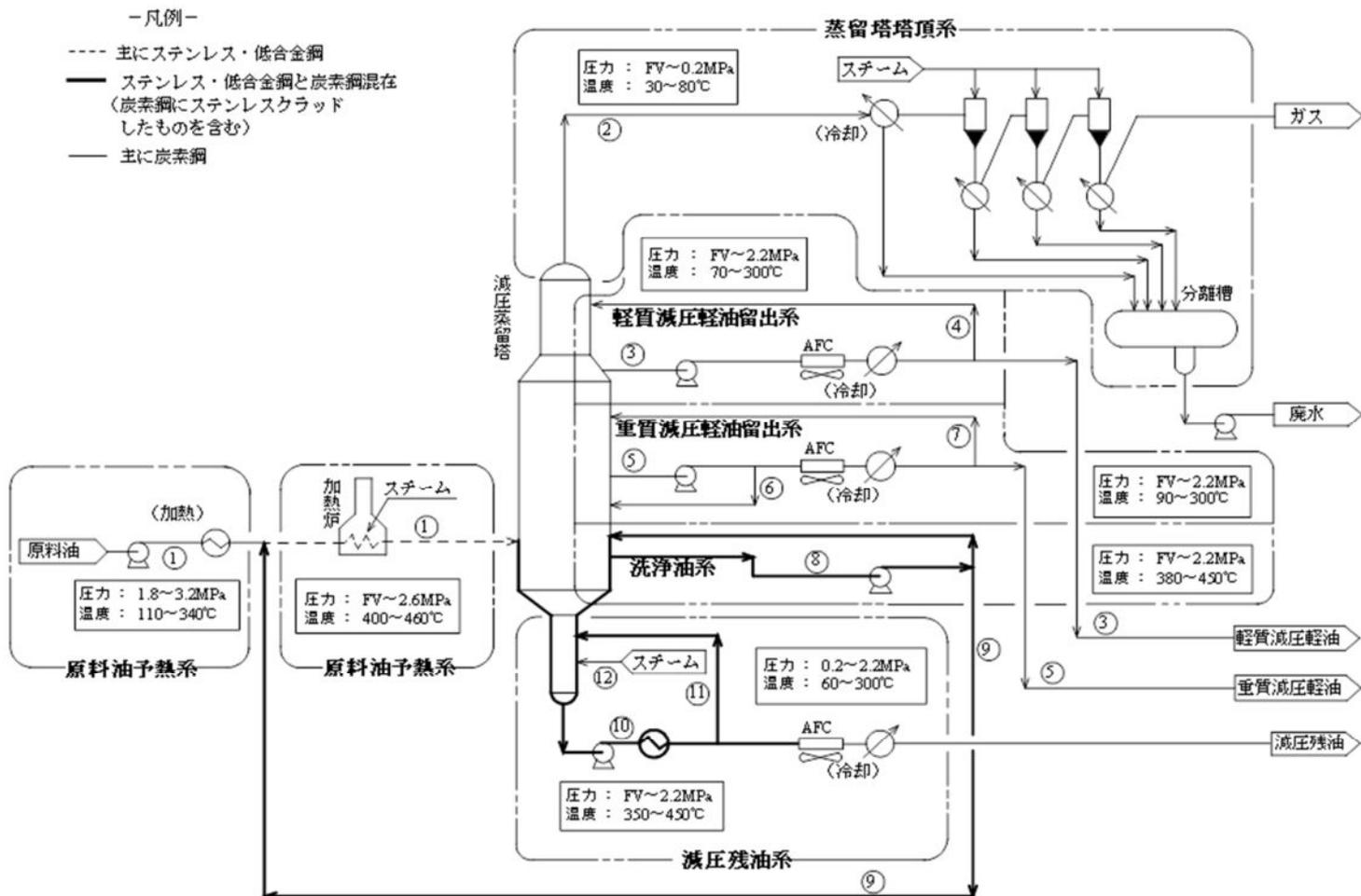


図. 減圧蒸留装置工程図

【問 20】 次の図は、代表的な腐食形態の分類を示したものである。図中の（イ）～（ホ）内に入れるべき最も適切な腐食形態を下記の A ～ E より選択せよ。

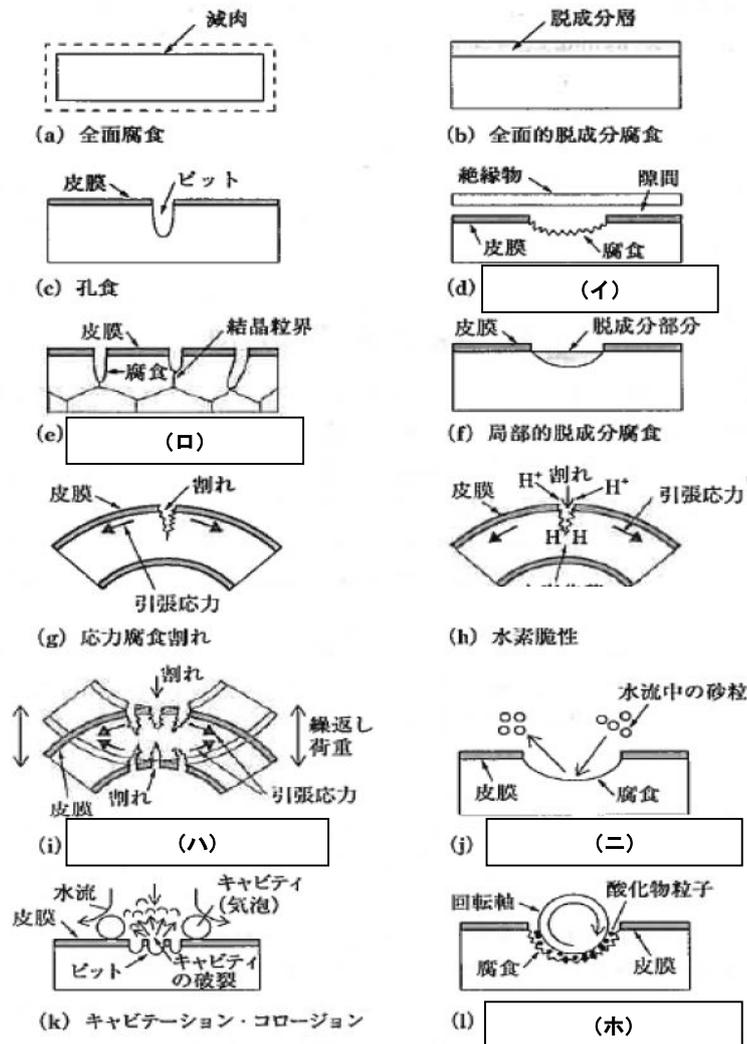


図. 腐食形態の分類

- | | | | |
|---|--------------|---|----------------------|
| A | 腐食疲労 | B | 擦過腐食 (フレッティングコロージョン) |
| C | 粒界腐食 | D | 隙間腐食 |
| E | エロージョンコロージョン | | |

問 20	イ	ロ	ハ	ニ	ホ
解答	D	C	A	E	B

【問 21】 次の文章は浸炭の特徴を述べたものである。文中の（イ）～（ニ）に入れる語句として、最も適切なものを、以下 **A~G** からそれぞれ選択せよ。なお、**A~G** の選択肢は複数回使用しないものとする。

- (1) 浸炭は、炭素鋼又は合金鋼が高温の CO/CO₂ 雰囲気又は炭化水素雰囲気に曝されたとき、金属中に炭素が浸入・拡散することで、（イ）などの機械的性質を低下させる現象である。
- (2) 浸炭は雰囲気中の炭素活量 a_c に依存し、 a_c の温度依存性は雰囲気ガスの種類によって異なる。（ロ）の場合は温度が高くなるほど不安定となって炭素が生じやすくなることから高温ほど a_c が大きくなるが、（ハ）の場合は高温ほど a_c が小さくなる。
- (3) 一方、鋼中への炭素の浸入、炭化物形成は（ニ）。この結果、CO ガスの場合は 700℃ 付近が最も浸炭速度が大きくなる。

- | | | |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| A CH ₄ ガス | B CO ガス | C 引張強さ |
| D 延性・靱性 | E 高温ほど促進される | F 低温ほど促進される |
| G 温度に影響を受けない | | |

問 21	イ	ロ	ハ	ニ
解答	D	A	B	E

【問 22】 次の文章はクリープ損傷について述べたものである。文中の下線部（イ）～（ホ）の正誤を以下の解答例のA～Eより選択せよ。

(1) クリープ損傷の評価には、使用材料ごとに応力で整理した（イ： Larson Miller パラメータ）のマスターカーブが使用される。これのパラメータは次式で表される。

$$\text{（イ： Larson Miller パラメータ）} = A \times (C + \log B)$$

式中の（ロ： Aは使用温度（絶対温度）、Bは使用時間）、Cは定数である。

(2) Cr-Mo 鋼のクリープ損傷評価には硬さ測定が用いられる。Cr-Mo 鋼の硬さはクリープ損傷が大きくなるほど（ハ：上昇）する。これは炭化物の凝集粗大化などの組織変化が大きな要因と考えられる。

(3) 組織検査による寿命評価は、レプリカ法等により材料組織からクリープ損傷の程度を評価する方法であり、その評価法には（ニ：Aパラメータ法）、ボイド面積率法、組織対比法などがある。

(4) 寸法計測による寿命評価を行う場合、Cr-Mo 鋼製の加熱炉管では（ホ：10～15%）の周方向ひずみが管理基準となり、それを超えるとクリープ歪みが急激に増加する。

【解答例】

A	イ 正	ロ 正	ハ 誤	ニ 正	ホ 誤
B	イ 正	ロ 正	ハ 誤	ニ 正	ホ 正
C	イ 誤	ロ 誤	ハ 正	ニ 正	ホ 正
D	イ 誤	ロ 正	ハ 誤	ニ 誤	ホ 誤
E	イ 正	ロ 誤	ハ 正	ニ 正	ホ 正

問 22	A
解答	

【問 23】 次の文章は水素侵食の特徴を記載したものである。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) ネルソン線図は、材料ごとに水素侵食が発生する条件を（イ：A 水素濃度と温度、B 水素分圧と温度）の線図として表したものである。
- (2) （ロ：A C-0.5Mo 鋼、B 炭素鋼）はネルソン線図から管理曲線が削除されているため、 P_v , P_w パラメータなどによる管理が必要である。
- (3) 水素侵食の進展とともに、脱炭、マイクロフィッシャー、（ハ：A 粒界ポイド、B ストライエーション）が発生し、割れや材料劣化を生じる。
- (4) 水素侵食の感受性は母材と溶接部で異なる。溶接部の水素侵食感受性は溶接後熱処理（PWHT）の有無によって（ニ：A 影響を受ける、B 影響を受けない）。

問 23	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	A	A	A

【問 24】 次の文章および図は疲労損傷に関する事項を説明したものである。文中の(イ)~(ハ)に入れる語句として、最も適切なものを、以下のA~Fからそれぞれ選択せよ。なお、A~Fの選択肢は複数回使用しないものとする。

疲労寿命の計算は、以下の(イ)を用いて行うのが一般的である。疲労き裂の進展には、応力拡大係数範囲(ΔK)がある一定以上のレベルとならないと進展が開始しないしきい値が存在し、これを K_{th} と呼ぶ。 ΔK が(ロ)を超えるとただちに高速破壊に至る。 ΔK が K_{th} 以上で(ハ)以下の場合には、 ΔK に対し 1cycle 当たりのき裂進展幅は、指数的な直線関係を示し、次の関係式で示される。

$$1\text{cycle 当たりのき裂進展幅} = (\text{ハ}) = C \Delta K^m$$

- ここに、
 a : き裂深さ
 N : 繰り返し回数
 m : 定数 (実験室的に m の値は、2~6 程度である)
 C : 定数

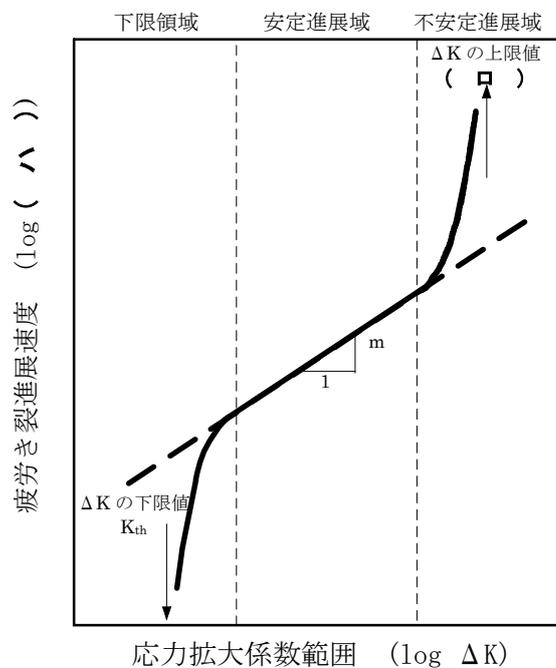


図 疲労き裂進展特性

- | | | |
|----------------|-----------|----------------|
| A Paris 則 | B S-N 線図 | C 破壊靱性値 K_C |
| D 応力拡大係数 K_I | E da/dN | F $a \times N$ |

問 24	イ	ロ	ハ
解答	A	C	E

【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。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 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±0.1～0.3mmである。曲率の小さい部位または薄肉の部位を検査する場合は振動子の径を小さくする方が良い。
- ロ 超音波法は、超音波の音速が温度により変化するため、高温部での測定では音速の補正を行う必要がある。
- ハ 渦流探傷法は、銅合金、オーステナイトステンレス鋼など非磁性体チューブを対象に用いられる。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±1.0～1.5%前後である。
- ニ リモートフィールド渦流探傷法は、励磁コイルと検出コイルを管径の2～3倍以上離して配置し、間接磁場で探傷する方法である。内外面の腐食を区別でき、探傷感度はほぼ同程度である。

A イ、ハ

B ロ、ニ

C ハ、ニ

D イ、ロ、ハ

E イ、ハ、ニ

問 25	C
解答	

【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。A～Eの中から不適切な文章を1つ選択せよ。

- A 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としては渦流探傷法が多用されている。
- B 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疑似信号となる。よって、前処理（チューブ内外面清掃）は検査品質を決定する重要なものである。
- C 超音波水浸法は、内外面の損傷を同時に計測でき、測定値が高精度である。
- D 超音波水浸法の特徴の一つに、渦流探傷法と比較して針状の孔食なども検出しやすいことが挙げられる。
- E リモートフィールド渦流探傷法は、バッフルプレートおよびチューブシート直下および近傍の損傷については検出することができないことに留意すべきである。

問 26	D
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) 水素浸食の進行度のうち、クラスⅡ（脱炭や粒界マイクロフィッシャーが発生し、肉厚方向に進行した状態）での検査方法として、超音波音速比法、（イ： A 超音波後方散乱法、 B 超音波水浸法）などが適用できる。
- (2) 水素誘起割れの評価方法は、リガメント厚さ、HIC 発生面積率などで評価されており、（ロ： A 超音波垂直探傷法、 B 放射線法）が適用できる
- (3) オーステナイト系ステンレス鋼溶接部のシグマ相の析出状況には（ハ： A 浸透探傷検査、 B フェライトメーター）が適用できる。

問 27	イ	ロ	ハ
解答	A	A	B

【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。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) 配管の架台接触部を検査する手法として、超音波表面波法、（イ： A 超音波斜角探傷法、 B 超音波透過法）などがある。
- (2) 保温材下外面腐食検査を行う際のスクリーニング手法の一つに、保温材外装板の外側から検査可能な（ロ： A パルス渦流磁気検査法、 B ガイド波超音波検査法）がある。
- (3) 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（ハ： A 磁気飽和渦流探傷法、 B 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。
- (4) パルスエコー法、フェーズドアレイ法による超音波探傷では、1台の探傷装置に複数の（ニ： A モニター、 B 探触子）を装着した多チャンネル型探傷装置も利用されており、45度、60度などの斜角探傷の他、クリーピングウェーブ探傷などを併用し探傷能率を上げる場合が多い。

問 28	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	A	A	B

【問 29】 次の A ～ D の文章は、供用段階にある静機器の耐圧試験の試験前の確認事項、及び圧力の測定方法について述べたものである。文中の下線部において不適切な記述が含まれているものを 2 つ選択せよ。

- A 試験に先立ち、縄張り、立て看板などの必要な安全措置を講じる。また、試験を行う場所及びその付近は、良く整頓して、緊急の場合の避難に支障がないようにする。特に耐圧試験の昇圧過程および試験圧力に保持されている間は、周囲の人との間に保安距離を確保する必要がある。
- B 試験に使用する圧力計は、1年以内に校正済みのもので、目盛盤の径は100mm以上、圧力計の最大指度は、試験圧力の3～5倍のものとする。
- C 試験圧力は、試験時の試験体の頂部における圧力とし、2個以上の圧力計を原則として別の位置に取付けて試験中の圧力を測定する。逆止弁がある場合は、その上流側ではなく必ず下流側に圧力計を取り付け、試験中の圧力を測定する。
- D 圧力は常に安全な場所から読み取る。それが難しい場合は、圧力センサーを使用して遠隔で測定する等の安全対策を講じる。

問 29	順不同	
解答	B	C

【問 30】 次の文章は、供用段階にある静機器の耐圧試験における圧力について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内に最も適した用語を下記の A～J より選択せよ。

- (1) 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（イ）の 1.5 倍以上（気圧試験圧力は（イ）の（ロ）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（イ）の 1.3 倍以上（気圧試験圧力は（イ）の 1.1 倍以上）とする。
- (2) 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（ハ）の（ニ）を超えてはならない。

- A 設計圧力 B 常用圧力 C 1.5 倍 D 1.25 倍 E 1.1 倍
 F 90% G $\frac{2}{3}$ H 許容応力 I 引張強さ
 J 降伏点又は 0.2%耐力

問 30	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	D	J	F

【問 31】 次の A ～ D の文章は、供用段階にある静機器及び配管の耐圧・気密試験時の昇圧の方法及び試験媒体について述べたものである。不適切な記述を 1 つ選択せよ。

- A** 気密試験に使用する媒体は、危険性のない気体とする。ただし、配管系及び機器類の検査により、異常がないことが確認され、漏れ、破損などによる事故の危険がないと判断される場合は、貯蔵又は処理される実ガスなどを使用してもよい。この場合、圧力は段階的に上げ、異常のないことを確認しながら昇圧すること。
- B** 耐圧試験は、法規その他の個別仕様で規定されていない限り、試験圧力まで昇圧し、規定の時間保持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。
- C** 非高圧ガス配管の気圧試験にあつては、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、配管の歪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。
- D** 耐圧試験に使用する液体又は気体の温度は、試験体が脆性破壊を起こすおそれのない最低許容温度以上とする。水などの安全な液体によって耐圧試験を行う場合の加圧温度は、実ガスによって加圧する場合と比べて安全であるため、最低許容温度を設定する際の余裕温度は差引いてもよい。

問 31	
解答	D

【問32】 次のイ～ホの文章は、ガスケットの選定及びフランジ締付け時の注意事項について述べたものである。最も適切な文章の組合せを下記の A～G より選択せよ。

- イ ボルト・ナットは、予め手入れをし、潤滑剤（錆付き・焼付き防止剤）を塗布しておく。
- ロ 平形金属被覆ガスケットの M&F（メール&フィメール）タイプ及び T&G（タンク&グループ）タイプのフランジへの装着方法は、ガスケットの折り返しの有る側の面を凸側フランジ面に向けて装着する。
- ハ フェライト系の炭素鋼又は低合金鋼製のリングジョイントガスケットを使用する場合、フランジよりもガスケットの硬度の方を軟質とする。
- ニ リングジョイントガスケット以外のガスケットについては、原則として機器・配管開放時などフランジを緩めた場合には取替えを実施する。
- ホ リングジョイントガスケットは、光明丹などを用いて、フランジのリングジョイント溝の底部と切れ目なく当たりがあることを確認する。

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

問 32	
解答	E

【問 33】 次の文章は、JPI-8R-15-2013 におけるガスケットを有するフランジ用のボルト締付け力の計算について記載したものである。A ~ D の中から下線部が不適切な記述を 2 つ選択せよ。

- フランジ締付時の必要締付力（下限）は、[JIS B8265 で規定された必要締付力] × [安全率] × [リラクゼーションファクター] で定める。
 - JIS B8265 で規定された必要締付力は、[使用状態における必要な最小のボルト荷重 (W_{m1})] 又は [ガスケット締付時に必要な最小のボルト荷重 (W_{m2})] のうち大きい方である。
 - 使用状態における必要な最小のボルト荷重 (W_{m1}) は、[内圧によってフランジに加わる全荷重 (H)] + [気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力 (H_p)] である。
- A ここで、安全率とはボルト軸力のばらつきを考慮して計算値に対して見込む余裕代である。
- B ここで、安全率はトルク管理を行う場合は 1.05、軸力管理を行う場合は 1.2 とする。
- C ここで、リラクゼーションファクターとは高温時のボルトの降伏に伴う締付け力の弛緩を考慮して予めボルトの締付力を上乗せする割増係数をいう。
- D ここで、y 値（最小設計締付圧力） は [ガスケット締付時に必要な最小のボルト荷重 (W_{m2})] の計算に必要で、m 値（ガスケット係数） は [気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力 (H_p)] の計算に必要である。

問 33	順不同	
解答	B	C

【問 34】 次の文章は、フランジ締付けに関する注意点と事故事例の特徴を記載したものである。

A ~ D の中から不適切な記述を 1 つ選択せよ。

- A フランジのガスケット当り面にナビンが設けられている場合、使用中の経年劣化（打傷、減肉など）によりシール性能が低下する可能性があるため、ナビンの適切な管理が重要である。なお、設計時の配慮事項として、フランジ設計においては、極力、ナビン構造としないことが望ましい。
- B 運転停止時等に、ボルトの温度低下よりフランジ本体の温度低下が大きくなると、ボルトよりフランジ本体の熱収縮量が大きくなり、締付力が低下し、漏洩する可能性がある。
- C スペーサー付きフランジは、スペーサーを挟んでボルトを締付けることからボルトが長くなるため、温度変動によるフランジ部材の熱膨張差の影響を受けやすく、また、片締めによる不均一な締付力になりやすい。
- D フランジ締め付け力への一時的な雨や風の影響を極力少なくするためには、ウェザー・シールの設置が有効である。ウェザー・シールは密閉構造として外部からの空気の流れを防ぎ、内部の温度を均一に保つ必要が有る。

問 34	
解答	D

【問 35】 次の A ~ E の文は、溶接後熱処理（PWHT）に関連する内容について述べたものである。

不適切な記述を含むものを 1 つ選択せよ。

- A PWHT の代替法には、テンパービード法、インコネル系溶接材による溶接、溶接後のショットピーニングなどがある。
- B アルミニウム系合金、銅系合金及びチタンを母材とする溶接部は PWHT を行う。
- C HIC 発生環境で使用される耐 HIC 鋼製の機器は、硫化物応力割れ発生の懸念もあるため PWHT を行う。
- D 炭素鋼で NaOH、DIPA、DEA、K₂CO₃ を取扱うなど、アルカリ雰囲気を使用する機器、配管などの溶接部は PWHT を行うべきである。
- E 機器、配管などの現場補修における局部 PWHT では、変形や座屈を防止するために、サポートリングなどの十分な補強を行って実施する。

問 35	
解答	B

【問 36】 次の文は、供用後設備の溶接補修を行うに当たっての前処理（準備）に関して記述したものである。文中の（イ）～（ニ）に最も適した内容を下記の A～Hより選択せよ。なお、A～Hの選択肢は複数回使用しないものとする。

- (1) 溶接補修に有害となる欠陥（割れなど）は、アークエアガウジング、グラインダーなどで除去しなければならない。除去後は、（イ）を行い、欠陥が完全に除去されたことを確認する。開先面及び開先部付近は、溶接に先立ち、油脂、ペイント、不純物、水分などを完全に除去する。
- (2) Cr-Mo 鋼の（ロ）は溶接性そのものは低下させないが、潜在欠陥部に溶接又は熱処理時の熱応力が作用して脆性破壊を起こす可能性がある。（ロ）は可逆的であり、580℃以上に加熱すると脱脆化できる。
- (3) 対象物の使用環境から水素吸蔵の可能性について検討し、水素吸蔵の可能性がある場合、（ハ）による溶接性改善、（ニ）による確認を実施する。

- | | | | |
|----------------|------------------|----------------|----------------|
| A 焼戻し脆化 | B テンパービード | C 試験溶接 | D 脱水素処理 |
| E 脱脆化処理 | F シグマ脆化 | G 非破壊検査 | H 目視検査 |

問 36	イ	ロ	ハ	ニ
解答	G	A	D	C

【問37】 次のA～Dは、溶接時に注意すべき割れや劣化について述べたものである。下線部に不適切な記述を含むものを1つ選択せよ。

- A オーステナイト系ステンレス鋼の溶接部は、オーステナイト単相のため柱状晶が粗大化しやすく、また、熱膨張係数が大きいことなどの理由で高温割れが極めて起りやすい。オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属中に約 5%程度のデルタフェライトが含まれていると、割れ防止に効果がある。
- B 亜鉛汚染されたオーステナイト系ステンレス鋼は、溶接により割れを生じ、ステンレス鋼溶接部の品質確保の観点から大きな問題となる。亜鉛系材料に使用したグラインダーなどの使用は避け、亜鉛系材料との接触も避ける。また、亜鉛系塗料による塗装をしないことなどの注意が必要である。
- C 炭素鋼及び低合金鋼は、PWHTにより強度低下を生じる。PWHT一回当たりの強度低下はテンパーパラメータを用いて推定できるが、このテンパーパラメータは熱処理条件（加熱温度と保持時間）の関数である。
- D 遅れ割れは、炭素当量 Ceq（又は割れ感受性組成 P_{CM}）が高く、継手の拘束度（又は板厚）が小さく、溶接時の冷却速度が大きく、水素量が多い場合に起りやすい。

問 37	
解答	D

【問38】 次の文章は焼き戻し脆化とホットスタート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) 焼き戻し脆化現象は低合金鋼を360～575℃の温度域に保持した場合に、（イ：A 炭化物、B 不純物元素）が結晶粒界に拡散偏析することにより、粒界強度が低下する現象である。
- (2) これまでに焼き戻し脆化への影響因子の研究が多数報告されており、2.25Cr-1Mo鋼では（ロ：A J-Factor、B 炭化物サイズ）をもとに鋼材の脆化感受性が評価されている。
- (3) 焼き戻し脆化感受性は、1.25Cr-0.5Mo鋼よりも2.25Cr-1Mo鋼の方が（ハ：A 高い、B 低い）。
- (4) 焼き戻し脆化した機器は、（ニ：A 脆性破壊、B 延性破壊）を起こさない温度域で加圧する、いわゆるホットスタートの検討を行う必要がある。

問 38	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	A	A	A

【問 39】 次の文章は低合金鋼製の圧力設備の最低加圧温度について記述したものである。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。

下図は、約 7 年間運転された 2.25Cr-1Mo 鋼の靱性劣化の度合を、脱脆化処理により靱性を回復した材料と比較評価した例である。シャルピー衝撃試験及び破壊靱性値 (K_{IC}) 計測試験から求めた靱性遷移温度曲線は、共に (イ: A 低温度側、B 高温度側) へ遷移しており、長期運転時の焼戻し脆化の進行が認められる。

最低加圧温度を決定するうえで、これらの 2 種類の靱性遷移温度曲線の破面遷移温度、及び (ロ: A 下部棚、B 上部棚) 靱性値を示す遷移温度は、重要な材料特性値となる。

下図において、シャルピー衝撃試験の延性脆性遷移温度 = 最低加圧温度とすると、7 年間運転後の最低加圧温度は約 (ハ: A 230K、B 370K) となる。

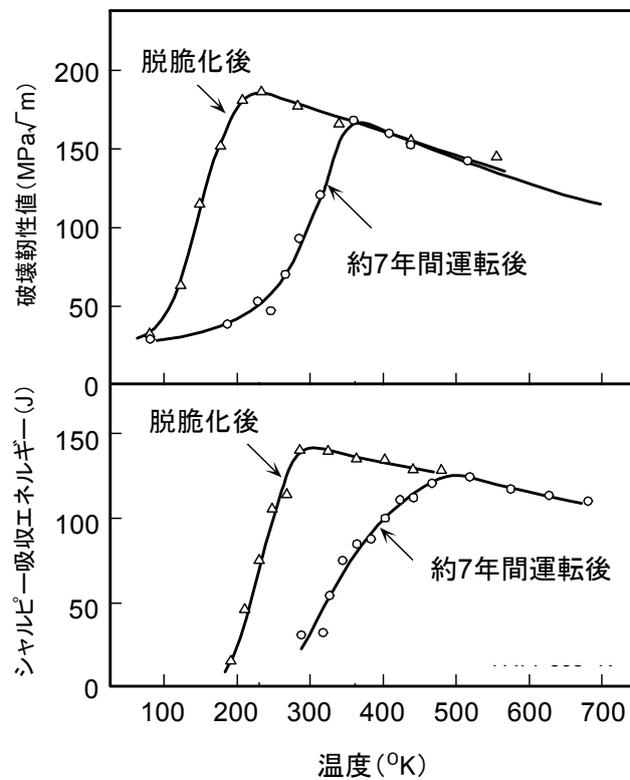


図 420°Cで約 7 年間運転された 2.25Cr-1Mo 鋼圧力容器材における運転後と脱脆化後の K_{IC} 及びシャルピー吸収エネルギーの遷移挙動

問 39	イ	ロ	ハ
解答	B	B	B

【問 40】 次の文章は、応力拡大係数 (K_I) の算出に関して述べたものである。文中の括弧の中の数値について、**A~D**のうち正しいものを選択せよ。

応力拡大係数 (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、下式 (1) のとおり表される。

$$K_I = A\sigma\sqrt{\pi a} \dots\dots\dots (1)$$

ここに

σ ; 負荷応力 【MPa】

a ; き裂寸法 【m】

A ; き裂の位置や形状による係数

負荷応力 σ 、き裂寸法 a 及びき裂の位置や形状による係数 A が以下のとおりの条件で与えられている場合、 K_I は (**A 3.6、B 36、C 180、D 1152**) 【MPa \sqrt{m} 】 と算出される。

(計算に際しては、必要に応じて $\sqrt{\pi}=1.8$ 、 $\sqrt{10}=3.2$ として計算する)

σ ; 100 【MPa】

a ; 40 【mm】

A ; 1

問 40	B
解答	