

公益社団法人石油学会
2011 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) 東京・大阪	配・設			
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）内に最も適切な語句を下記のA～Hより選択せよ。

高圧ガス保安法の設備維持検査には定期自主検査と（イ）がある。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」となっており、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、設計時の基準維持が要求されていた。

1997年施行の高圧ガス保安法の目的の中では「保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する」と、初めて（ロ）の精神が盛り込まれた。意味するところは、事業者の保有技術と自己責任原則により最適な設備管理を行うことにより、さらなる保安レベルの向上と生産の合理化を実現させることである。

また、（ハ）が制度化され、運転中及び停止時の（イ）を事業者自ら実施可能となるとともに、高圧ガス施設の連続運転期間は事業者が自らの申告により2年を超える連続運転が可能となった。

2005年3月には、（イ）の方法について省令改正が実施され、高圧ガス保安協会作成の民間規格（KHKS-0850「保安検査基準」）が初めて告示化された。

2011年3月には、さらに、高圧ガス保安協会作成の（KHKS-0851「高圧ガス設備の供用適性評価に基づく耐圧性能及び強度に係る次回検査時期設定基準」）が告示化され、寿命評価に基づく次回検査周期設定が可能となった。

- A 認定完成検査実施者 B 認定保安検査実施者 C 労働基準監督署 D 官による管理
E 保安検査 F 自主保安 G 設備維持規格 H 製作時の検査

問1	イ	ロ	ハ
解答	E	F	B

【問 2】 次の内容は、設備維持規格で定義されている用語であるが、それぞれの説明文中の **イ ~ ニ** に該当する用語を下記の **A ~ I** より選択せよ。

- 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をいう。
- 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実施する検査をいう。
- ハ** 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・重要性の指標をいう。
- ニ** 算出された余寿命から次回の検査時期を決定するときに、余寿命に乗ずる係数をいう。

- A** 定期検査 **B** 臨時検査 **C** 日常検査 **D** 目視検査
- E** 内部検査 **F** 内部検査周期設定係数 **G** 非破壊検査 **H** 重要度
- I** 外部検査

問2	イ	ロ	ハ	ニ
解答	E	A	H	F

【問3】 次の内容は、設備維持規格で定義されている用語であるが、それぞれの説明文中の**イ～ホ**に最も適切な用語を下記の**A～J**より選択せよ。

- イ** 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をいう。
- ロ** 個々の設備等の耐圧性能が確認され、その系統が全て復旧、接続されて運転開始の工事準備が完了した時点で、各系統又は全ての装置を含めた範囲にてその気密性能を確認するために行われる気密試験をいう。
- ハ** 被検査材から試験材を採取し、材料の強度などを破壊によって調べる検査をいう。
- ニ** 通常の使用状態において、高圧ガス設備に作用する常用圧力（当該圧力が変動する場合にあっては、その変動範囲のうちの最高の圧力）
- ホ** 腐食、エロージョン、エロージョンコロージョン、高温劣化、応力腐食割れ、疲労割れなどの、減肉、割れ、材質劣化などの現象をいう。

- | | | | |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|
| A 気密試験 | B 非破壊検査 | C 腐食・劣化損傷 | D 応急補修 |
| E 常用の圧力 | F 恒久補修 | G 総合気密試験 | H 破壊検査 |
| I 最高使用圧力 | J エロージョン | | |

問3	イ	ロ	ハ	ニ	ホ
解答	D	G	H	E	C

【問4】 次の内容は、防食管理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）に最もふさわしい語句を下記のA～Jより選択せよ。

設備の防食対策は、通常、設計、建設段階にて実施されているが、設備稼動後に計画どおりの（イ）が発揮・維持されていることを確認しなければならない。また、設備の改造、運転条件の変更などの環境変化が生じた場合には、防食対策の有効性の（ロ）を行い、必要によりその改善策を検討しなければならない。

石油精製プロセスにおいて、主に硫化物、塩化物による凝縮相での腐食環境改善を目的としてアンモニア、苛性ソーダなどの（ハ）及び鋼材表面の腐食環境を遮断する皮膜剤の薬液が使用される。

海水、工水を使用する設備（熱交換器、ストレーナーなど）では、（ニ）を適用する場がある。（ニ）の方式には、（ホ）方式及び外部電源方式がある。

- | | | | |
|--------------|-----------------|---------------------|----------------|
| A 塗装剤 | B イオン化傾向 | C 犠牲陽極（流電陽極） | D 界面活性剤 |
| E 中和剤 | F 耐食性能 | G 耐水素侵食性 | H 再評価 |
| I 変更 | J 電気防食 | | |

問4	イ	ロ	ハ	ニ	ホ
解答	F	H	E	J	C

【問 5】 次の文章は、加熱炉チューブの腐食・エロージョン検査について述べたものである。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～Iより選択せよ。

- ・コンベクション部の燃焼ガス温度が低い箇所では、（イ）により著しく減肉することがあるので注意して点検する。
- ・肉厚測定 of 定点を決めるときは、形状及び測定位置を考慮し、腐食の発生するおそれのある箇所及び（ロ）箇所を選び測定する。
- ・チューブとチューブサポートの接触部では運転中の（ハ）が生じていないか点検する。
- ・局所的な偏肉腐食や溝状腐食の発生が懸念されるチューブは、（ニ）などで減肉状況を確認し、寿命予測を行う。

- | | | |
|--------------------|--------------------|------------------|
| A 腐食状況を代表する | B 割れの発生しやすい | C 振動による磨耗 |
| D 放射線透過試験 | E 浸透探傷試験 | F ハンマーテスト |
| G 硫酸露点腐食 | H 高温硫化物腐食 | I エロージョン |

問5	イ	ロ	ハ	ニ
解答	G	A	C	D

【問6】 次の文章は、石油精製事業所における供用後の保全事例に基づく設備の設計配慮事項で、設備の信頼性向上に有益と判断される事項について記したものである。A～Dの中から下線部に不適切な記述がある文章を2つ選択せよ。

- A スチームパージを行う容器で苛性ソーダやアミン及びこれらを含む流体に触れる部分は応力腐食割れ対策として濃度、温度に関係なく溶接後熱処理を行う。
- B オーステナイト系ステンレス鋼でオーバーレイをした機器のガスケット面の最終層オーバーレイはσ脆化対策として溶接後熱処理前に行う。
- C 水素を含み 200℃以上の流体箇所のフランジ部は降雨時の急激な冷却による漏洩を防止するため、フランジ部に密閉構造の雨よけを設置する。
- D リアクターの応力集中の割れを抑制するためにリングジョイントグループコーナーのRに対する配慮を行う。

問6	順不同	
解答	B	C

【問7】 次の文章は、石油精製事業所内における熱交換器チューブの検査に際して留意すべき事項を記したものである。文中の（イ）～（ハ）内の語句A、Bのうち正しい方をそれぞれ選択せよ。

- ・パス毎に流体温度が異なるため、内部流体がプロセス流体の場合は腐食速度が最も大きくなる温度域の部位を選定する。高温硫化物腐食、アルカリ腐食環境などでは（イ：A 低温部、B 高温部）を選定し、湿性塩化物腐食環境、炭酸腐食環境などでは（ロ：A 凝縮部、B 気相部）を選定する必要がある。
- ・工業用水などの冷却水環境では、一般的に（ハ：A チューブ外面側、B チューブ内面側）が冷却水となる方が、より厳しい腐食環境となる。

問7	イ	ロ	ハ
解答	B	A	A

【問 8】 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～F 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、総合気密試験を省略しても良い。
- 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、安全のために窒素などの不活性気体を用いた総合気密試験を行わなければならない。
- 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・脱圧の要否を検討の上、速やかに必要な処置を行う。ただし、運転上影響の無い場合はこの限りで無い。

【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	誤	ハ	誤
E	イ	誤	ロ	正	ハ	誤
F	イ	誤	ロ	誤	ハ	誤

問 8	F
解答	

【問9】 次の内容は、2010年度に追補として追記された「変更管理」が必要であった事故事例である。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～Hより選択せよ。

変更の内容	トラブル内容	配慮事項例
運転	数年間、未使用であった原油揚油配管に対し、仕切り板等による縁切りならびに油抜きを行っていなかったため、スケール堆積下で内部滞留していた油中の水分などが滞留、孔食の発生、進行、穿孔により原油が漏洩した。	配管系を長期間にわたって使用を休止する場合は、（イ）の腐食進行を防止するため仕切り板による縁切りや油抜きなどの防食対策、および健全性の確認に関する事項などの対応を決め、決定事項の（ロ）を確実に実行する。
設備	常圧蒸留塔のインナーノズルの設置により、本体接続の安全弁取付配管の腐食環境が大きく悪化し、高温硫化物腐食による著しい減肉を受け、開口部から原油が漏洩した。	設備改造を行う場合には、（ハ）でプロセス環境の変化の有無、変化が腐食・劣化損傷、汚れなど運転継続のための（ニ）を検討し、対応案の策定、モニタリング方法の選定、健全性の確認に関する事項などを決め、決定事項のフォローアップを確実に実行する。

A 気相部	B 計画段階	C フィードバック	D 阻害要因
E 促進要因	F フォローアップ	G 滞留部	H 試運転段階

問9	イ	ロ	ハ	ニ
解答	G	F	B	D

【問 10】 次の文章は配管の腐食・劣化損傷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）、オーステナイトステンレス鋼では塩化物応力腐食割れである。
- 水や薬品を注入する箇所では注入流体の拡散が十分でない場合は、注入点より上流方向へは管径のおよそ3倍、下流方向へは（ロ）倍の範囲が腐食範囲となる。
- エルボやベンドなどの流れ方向が急激に変化する箇所では、流速の増大、偏流及び旋回流が発生し、（ハ）に大きい腐食・エロージョンを生じることがある。
- 蒸留装置の塔頂系、リアクター下流の反応系などでベーパーが部分的に凝縮する際、凝縮液中に腐食性物質が（ニ）され、配管系が腐食されることがある。

A 希釈 B 全面腐食 C 5 D 均一
E 20 F 局所的 G 濃縮 H 局部腐食

問10	イ	ロ	ハ	ニ
解答	H	E	F	G

【問 11】 次の内容は、ナフテン酸腐食、水硫化アンモニウム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）～（へ）内の語句 A、B のうち、適切な方をそれぞれ選択せよ。

一 ナフテン酸腐食

原油中のナフテン酸によって生じるナフテン酸腐食は、（イ：A 硫黄分、B 全酸価）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、減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。

ナフテン酸と鉄の腐食反応生成物は、（ロ：A 油溶性、B 水溶性）であるため安定な皮膜の形成がなされず系外に溶出する。従って、腐食速度は流速にも影響される。ナフテン酸腐食は約 390℃まで、温度の上昇とともに腐食は増加傾向を示す。これ以上の温度では、ナフテン酸は分解するといわれている。また、（ハ：A 320℃未満、B 220℃未満）では、腐食速度は極めて低くナフテン酸腐食の問題は生じない。

一 水硫化アンモニウム腐食

水素化脱硫、脱窒素反応などにより反応塔生成油中に生じた硫化水素とアンモニアが水硫化アンモニウムとなり、冷却の過程にてエフルエントクーラーなどに析出し、閉塞や腐食を引き起す。

水硫化アンモニウム腐食は、濃度の高い水硫化アンモニウムを含む（ニ：A 湿潤環境、B 高温環境）において、保護作用のある硫化鉄皮膜が水硫化アンモニウムとの反応により剥がれるため腐食を引き起すもので、流体中の硫化水素濃度、アンモニア濃度及び流速が腐食の要因である。

特に（ホ：A 高流速部、B 低流速部）又は乱流部において腐食が促進される。一方、（へ：A 高流速部、B 低流速部）や滞留部でも、堆積物下に水硫化アンモニウムの高濃度部位が生じ腐食することがある。

問 11	イ	ロ	ハ	ニ	ホ	へ
解答	B	A	B	A	A	B

【問 12】 次の文章は、配管系の検査箇所を選定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。

高温硫化物腐食は、高温状態にて主に硫化水素が鋼と直接化学反応を起こし硫化鉄を生じる腐食である。一般的に流体温度が（イ：A 高い B 低い）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 増大 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。流速が速いと硫化鉄皮膜が剥離し、（ハ：A 硫化物応力割れ B エロージョンコロージョン）が発生する。

なお圧力配管用炭素鋼鋼管(STPG)には、Siの含有量が（ニ：A 極端に多い B 極端に少ない）製品が混在していることがあり、（ニ）製品の場合には高温硫化物腐食に対する耐食性が劣るので注意を要する。

問 12	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	B	B	B

【問 13】 次の表は、設備の劣化・損傷に対する評価方法または損傷防止対策についてまとめたものである。このうち不適切な内容が含まれているものを 2 つ下記の **A～E** から選択せよ。

記号	劣化損傷の種類	評価方法または損傷防止対策
A	水素侵食	ネルソンチャートによる評価 Pv 値による評価 Pw 値 (HAT チャート) による評価
B	塩化物応力腐食割れ	オーステナイト系ステンレス鋼の採用 二相ステンレス鋼の採用 コーティングの実施
C	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)	鋭敏化 (TTS 線図による) 評価 安定化鋼種の採用
D	硫化物応力割れ	硬度対割れ感受性評価 高強度材の採用 応力除去焼鈍の実施 コーティング/溶射の実施
E	アミン応力腐食割れ	コーティング/溶射の実施 応力除去焼鈍の実施

問 13	順不同	
解答	B	D

【問 14】 次の文章は特定配管の検査について述べたものである。文中の（ イ ）～（ ニ ）に最も適切な語句を下記の A ～ Hより選択せよ。

- ・ 回転機械などに接続され振動が認められるねじ込み配管で、緩みによる漏洩や疲労損傷の恐れのあるものは、防振策の実施、当該部の（ イ ）および溶接継手への変更を検討する。
- ・ 電気防食が施工されている埋設配管は、（ 口 ）を測定し、その（ 口 ）が規定値を満足していることを確認する。
- ・ 大気放出している安全弁放出配管は、（ ハ ）により配管内面スケールが閉塞しやすいので注意を要する。
- ・ アルミニウム及びアルミニウム合金が（ ニ ）に腐食する環境において、溶融アルミニウムめっき配管を使用する場合、検査による腐食速度の予測が困難な場合があることから、採用に際しては注意が必要である。

A 厚肉化 B 全面的 C 局部腐食 D 局部的
E 絶縁電位 F 大気腐食 G 薄肉化 H 対地電位

問 14	イ	口	ハ	ニ
解答	A	H	F	D

【問16】 次の文章は高温劣化損傷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。

- 水素侵食は、高温・高圧の水素雰囲気中で鋼中に拡散した水素原子が鋼中の（イ）と反応してメタンを生成して鋼材の脆化、割れを生じる現象である。
- クリープ損傷は高温クリープ領域（低合金の場合（ロ）℃以上）における経時的な損傷であり、クリープポイドからマイクロクラックへと成長し、最終的に破断に至る現象である。
- 黒鉛化は炭素鋼または（ハ）が450℃程度以上に長時間曝されたときに、金属組織内の炭化物が分解・凝集過程を経て黒鉛化し、強度低下を招く現象である。
- 等温時効脆化は低合金鋼が400℃を超えて長時間使用された場合、機械的性質、特に延性及び靱性の低下を示す現象であり、微細な炭化物が鋼材の（ニ）地に析出することにより発生する。

A 鉄原子	B C-0.5Mo 鋼	C 550	D マルテンサイト
E 450	F フェライト	G 炭素鋼	H 炭化物

問16	イ	ロ	ハ	ニ
解答	H	E	B	F

【問 17】 次の文章は防食設計に関する事項を述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内の語句A、B、Cのうち、最も適切なものをそれぞれ選択せよ。

設備の防食に対する（イ： A 設計、B 運転、C 保守）上の配慮事項は、使用材料の選択、ライニングの適用、薬品や（ロ： A 洗浄油、B 洗浄ガス、C 洗浄水）の注入、（ハ： A 有機化学、B 分析化学、C 電気化学）的な制御などがあり、これらを単独又は複数組み合わせ、腐食と材料劣化を抑制させる。石油学会設備維持規格 8R-11 では、材料選択による手法、環境遮断による手法及び（ニ： A 検査、B 環境、C 耐圧）条件制御による手法の 3 つに分類し解説している。

問 17	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	C	C	B

【問 18】 次の文章は重質油水素化脱硫装置・水素化分解装置の反応系高温部に関する事項を述べたものである。文中の（イ）～（ハ）として最も適切な語句を A～I の中からそれぞれ選択せよ。

高温高圧の硫化水素と水素による腐食対策として 18-8 系ステンレス鋼を、配管及び加熱炉管の場合は単体で、反応塔などの容器には強度部材の内面に張り合わせたクラッドとして選定している。ただし、装置の開放点検などで空気又は水分に触れた際に、高温で僅かに生じた硫化鉄から（イ）が生成し、18-8 系ステンレス鋼の溶接熱影響部などでしばしば結晶粒界において（ロ）が発生することがある。この対策として 18-8-Nb ステンレス鋼（SUS347）又は 18-8-Ti ステンレス鋼（SUS321）などの（ハ）を使用するのが一般となっている。

- | | | |
|----------------|---------------|-----------------|
| A 蟻酸 | B 水素脆化 | C 低炭素鋼 |
| D 全面腐食 | E 安定化鋼 | F ポリチオン酸 |
| G 高クロム鋼 | H 塩酸 | I 応力腐食割れ |

問 18	イ	ロ	ハ
解答	F	I	E

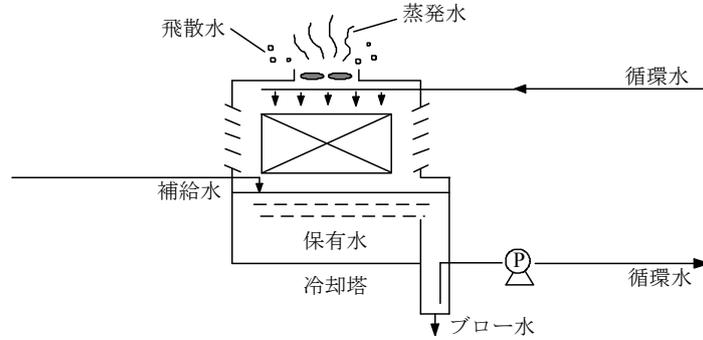
【問 19】 次の文章は、腐食を評価する方法について述べたものである。文中の（イ）～（ハ）内の語句 **A**、**B** のうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

腐食原因調査を行い、その腐食を抑制する手段として色々な手法が開発されている。評価する方法としては、テストクーポン、電気抵抗法、水素プローブ、分極抵抗法などがあるが、電気抵抗法で（イ：**A 蒸留塔オーバヘッド**、**B 蒸留塔ボトム**）系の腐食を調べるには最終凝縮液で調べるよりも、露点付近の流体をバイパスしてその凝縮水で調べる方がよく、分極抵抗法は局部腐食傾向の測定には不適當で電気抵抗法がよい。また、（ロ：**A テストクーポン**、**B 水素プローブ**）は連続測定ができ、かつ記録性に優れている利点がある。

一方、腐食スケールを（ハ：**A X線**、**B 超音波**）解析することによって腐食生成物を特定し、それにより腐食原因等を推定する方法もある。

問 19	イ	ロ	ハ
解答	A	B	A

【問 20】 次の図A及び表Bは、開放循環式冷却水系における水の収支と、関係する一般的な用語及び略号をまとめたものである。次の文中の(イ)～(ハ)として最も適切な記号を表BのR、H、…、Mの中から選択せよ。



図A 開放循環式冷却水系における水の出入

表B 開放循環式冷却水系における水収支に関する用語及び略号

変数名と記号	単位	用語の意味
循環水量 (R)	m ³ /hr	ポンプで送っている時間当たりの総水量。
保有水量 (H)	m ³	配管、冷却水貯留槽など冷却水系全体で保有している水量。
蒸発損失量 (E)	m ³ /hr	蒸発によって失われる時間当たりの水量。
飛散損失量 (W)	m ³ /hr	冷却塔外に飛沫となって飛散し失われる時間当たりの水量。
強制ブロー量 (B)	m ³ /hr	濃縮管理のため強制的に系外に排出している時間当たりの水量。
補給水量 (M)	m ³ /hr	冷却水系に補給している時間当たりの水量。

濃縮倍数 (N) は、循環水中の塩類濃度が補給水に比較して何倍になっているかを示す指標で次式で定義される。ここに、C_R：循環水中の塩類濃度、C_M：補給水中の塩類濃度。

$$N = \frac{C_R}{C_M} \dots\dots\dots (1)$$

系が定常状態で運転されている場合には、(イ)とともに系内に流入してくる溶存塩類の量と(ロ)及び(ハ)に含まれて系外に排出される溶存塩類の量は等しくなるので、次式が成立する。

$$C_M \times (イ) = C_R \times \{(ロ) + (ハ)\} \dots\dots\dots (2)$$

この式を変形すると最終的に次式が得られ、冷却水系の水収支からもNを求めることができることがわかる。

$$N = \frac{E+B+W}{B+W} \dots\dots\dots (3)$$

		順不同	
問 20	イ	ロ	ハ
解答	M	B	W

【問 21】 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（イ）～（ニ）内の語句A、Bのうち正しい方をそれぞれ選択せよ。

- クリープ損傷の発生機構は、高温域において金属材料に一定の荷重が加わった状態が続くとき、時間の経過とともに変形が進行し、結晶粒界で（イ：A クロム炭化物、B ボイド）が発生、結晶粒界割れへ進展、最終的に破断に至る現象である。
- クリープ損傷は各種の余寿命予測方法が確立されており、代表的なものとして（ロ：A Pv/Pw パラメータ、B Larson-Miller パラメータ）を利用した計算による余寿命予測方法がある。また、寸法検査により、クリープ歪みとクリープ損傷度の関係曲線から余寿命を推定する方法では、継続的な調査が必要であり、Cr-Mo 鋼製加熱管の場合、（ハ：A 2～3%、B 8～10%）程度の周方向歪量が管理基準となる（その後急激に歪量が増加して破断するため）。
- Cr-Mo 鋼の硬さは、クリープ損傷が大きくなるほど（ニ：A 上昇する、B 低下する）。これは、炭化物の凝集粗大化（C 固溶量の低下）などの組織変化が大きな要因と考えられる。

問 21	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	B	A	B

【問 22】 次の文章は、水素脆化について述べたものである。文中の（イ）～（ハ）内の語句A、Bのうち正しい方をそれぞれ選択せよ。

- 水素脆化は、金属中に固溶した原子状水素による脆化であって、引張強度や硬さには目立った変化はないが、（イ：A 200～300℃、B 常温付近）での材料の伸び・絞りが低下する現象である。
- 高温高压で水素を扱う設備で、オーステナイト系ステンレス鋼がクラッドやオーバーレイとして使用されている場合、オーステナイト系ステンレス鋼は水素の拡散速度が母材部（Cr-Mo 鋼）と比べて（ロ：A 大きく、B 小さく）、母材部（Cr-Mo 鋼）は厚肉のため、境界層の水素が放出されにくくなる。
- 水素脆化は運転停止時の設備鋼材中の残留水素が原因で発生することから、その対策として、運転停止操作時の冷却過程で、運転中に吸収された水素を圧力容器外に散逸させ、鋼材中に水素が残留しないように冷却速度の低減、（ハ：A 高温、B 低温）での脱圧・保持操作などに効果が認められる。

問 22	イ	ロ	ハ
解答	B	B	A

【問 23】 次の文章はアミン応力腐食割れ（以下、アミン SCC）の発生機構に関する事項を述べたものである。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。

アミン SCC は、（イ：A 予熱処理、B 溶接後熱処理）を実施しない炭素鋼の溶接部や冷間加工部に発生しやすい。この発生は H₂S、CO₂ ガス濃度、pH、温度などに影響される。割れ形態は（ロ：A 粒内、B 粒界）割れが中心で、実験室的には活性／不動態電位領域のみで発生する。割れ感受性に対する H₂S 濃度については、H₂S 濃度の（ハ：A 低い、B 高い）（ニ：A リーン、B リッチ）アミン溶液中で SCC が発生しやすいとされている。

問 23	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	B	A	A

【問24】 次の文はチタン水素脆化の発生機構に関する事項を述べたものである。文中の(イ)～(二)内の語句A、Bのうち適切な方をそれぞれ選択せよ。

常温におけるチタン中の水素固溶度は20～50ppm程度であり、これ以上の水素を吸収すると、次の反応により(イ：A 水酸化物、B 水素化物)を析出し、(ロ：A 鋭敏化、B 脆化)するとされている。



チタン中の水素の拡散速度は、水素脆化に関して重要な因子であるが、温度及び(ハ：A 鉄、B 炭素)量に支配され、(ニ：A 80℃、B 180℃)以上で急速に大きくなる。チタン表面層の(ハ)汚染は、チタンの水素吸収を促進しやすく、これは(ハ)が水素の吸収サイトとなるためと説明されている。また、硫化水素もチタンの水素吸収を促進する環境因子とされている。

問24	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	B	A	A

【問 25】 次の文は腐食・エロージョン検査に用いられる非破壊検査方法について述べたものである。文中の下線部に誤りのある組合せを以下の A～E より選択せよ。

- イ 超音波法は、10 k Hz～数百 k Hz の周波数を持つ超音波を利用し、被検体と同材質の元厚試験片（対比試験片）などを用い超音波の音速を調整し、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。
- ロ 放射線法は、X線またはγ線の写真作用、蛍光作用及び電離作用を利用して腐食・エロージョンなどを観察する方法であり、材質に余り左右されず、複雑な形状を持つ部位や遮蔽された部位にも適用できる。
- ハ 渦流探傷法は、導体に近づけたコイルに交流電流を流すとコイルの周りに交流磁界が発生し、導体内に渦電流が誘導される現象を利用した検査方法である。主に熱交換器チューブの腐食・エロージョン検査に適用され、位相解析法による推定減肉率の精度は、腐食形態により影響されるが±1～5%前後である。
- ニ 漏洩磁束法は、被検体を磁化し、減肉部から漏洩する磁束を検出する探傷法で、漏洩磁束の検出には、サーチコイル、半導体磁気検出子および磁気テープが用いられ、熱交換器のオーステナイト系ステンレス鋼などのチューブの検査に適用される。

A イ、ハ B ロ、ニ C イ、ロ、ハ D イ、ハ、ニ
E イ、ロ、ハ、ニ

問 25	D
解答	

【問 26】 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）～（ニ）に最も適切な語句を下記のA～Jより選択せよ。

- ・ シグマ相の析出状況は、硬度測定検査、金属組織検査またはこれらの組合せにより検査されている。また、（イ）の溶接部に対してはフェライトメーターなどによる磁気検査が適用できる。
- ・ 高温で使用されるオーステナイト系ステンレス鋼の鋭敏化の程度は金属組織検査法（SUMP 法）、電気化学的再活性化法（EPR 試験）で評価できるが、（ロ）では定量的な評価は困難である。
- ・ チタンの水素脆化の兆候、進展度の検査は、金属組織検査法、電気抵抗法、渦流探傷法、硬度測定で評価されるが、電気抵抗法、渦流探傷法はチタンの（ハ）のチタンに対する比抵抗の上昇を利用したものである。
- ・ クリープ損傷の進展状況を確認する為の組織対比法は、被検体の金属組織を標準組織写真と対比することで損傷量を求めるもので、ボイドや（ニ）の発生状況を総合的に評価して余寿命を算出する。

- A 炭素鋼 B 低合金鋼 C フェライト系ステンレス鋼
 D オーステナイト系ステンレス鋼 E 金属組織検査法 F EPR 試験
 G 酸化物 H 炭化物 I 硫化物 J 水素化物

問 26	イ	ロ	ハ	ニ
解答	D	E	J	H

【問 27】 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。文中の（イ）～（ホ）内の語句A、Bの正しい方をそれぞれ選択せよ。

- 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検査方法が大別されている。非磁性の材料では（イ：A 超音波水浸法、B 渦流探傷法）が多用されている。磁性材料のチューブの検査手法としては、レーザ形状測定法、リモートフィールド渦流探傷法などがある。
- 超音波水浸法は、渦流探傷法による検査の補完として従来から使用されている。超音波水浸法は、内外面の損傷を同時に計測でき、測定値の精度が（ロ：A 高い、B 低い）。但し、測定しようとする損傷が、ある程度の（ハ：A 面積 B 深さ）を有していることが測定の必要条件となる。
- リモートフィールド渦流探傷法は、相互誘導型の励磁コイルと検出コイルを用いて、チューブ外面を伝播する間接伝播磁場が支配的な領域で探傷を行なう手法である。このため、（ニ：A ノズル B バッフルプレート）の近傍の損傷については検出できないことに留意する。また、浸透深さを確保するためチューブ肉厚または透磁率の増加に伴って探傷周波数を（ホ：A 上げる B 下げる）が必要である。

問 27	イ	ロ	ハ	ニ	ホ
解答	B	A	A	B	B

【問 28】次の文章は、水素侵食を検出する超音波法について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内の語句A、Bの正しい方をそれぞれ選択せよ。

- 超音波減衰法は、鋼中に伝播する超音波のエネルギーの低下が、水素侵食を起した材料では健全材に比べて（イ：A 大きく B 小さく）なることを利用して、水素侵食の有無を検出するものである。
- 超音波後方散乱波法では、水素侵食の有無を検出するためには、通常の探傷よりも感度を（ロ：A 上げた B 下げた）探傷が行なわれる。このため、非金属介在物からのエコー又は組織的なノイズエコーも検出されることになることから、水素侵食によるエコーと識別することが必要である。（ハ：A 水素侵食 B 非金属介在物）の場合、エコーの立上りがシャープで個々に分離可能であるのに対し、（ニ：A 水素侵食 B 非金属介在物）の場合、エコーは個別に分離不可能で、底面エコー近傍における内面エコー（後方散乱波）が、段々と高くなる様子が認められる。

問 28	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	A	B	A

【問 29】 次の文章は、供用段階にある静機器の耐圧試験前の準備および試験圧力の測定について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）内の語句A、B又はA、B、Cのうち正しいものをそれぞれ選択せよ。

- スプリングハンガーで支持されている配管の水耐圧試験を行う場合、スプリングのロックが（イ：A セットしてある、B 外してある）ことを確認した後水張りを行う。
- 試験圧力は、試験時の試験体の（ロ：A 頂部、B 底部）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用いて試験圧力を測定し、その記録（必要に応じて写真撮影）をとる。ただし、配管ルートに高低差があり、水圧等テスト圧力に静圧が加わる場合は、系内の（ハ：A 最高部、B 最低部）にも圧力計を取付け、また、逆止弁がある場合は、必ずその（ニ：A 上流側、B 下流側、C 前後）に圧力計を取付け、試験圧力を確認する。

問 29	イ	ロ	ハ	ニ
解答	A	A	B	C

【問30】 次の文章は、耐圧試験の試験媒体および試験圧力の注意点を記載したものである。

A ~ Dの中から不適切な記述を2つ選択せよ。

- A 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許容温度未満とする。
- B オーステナイト系ステンレス鋼製設備の耐圧試験に用いる水は、Cl⁻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⁻イオンの濃度に留意する。
- C 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は、試験媒体として純水を注入することでポリチオン酸応力腐食割れの可能性を無くすることができる。
- D 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、材料の降伏点又は0.2%耐力の90%を超えてはならない。

問30	順不同	
解答	A	C

【問 31】 次のA～Dの文章は機器の耐圧気密試験時の機種毎の注意事項について述べたものであるが、不適切な記述を1つ選択せよ。

- A 塔の耐圧試験に先立ち、水張り後の重量に対して基礎に問題が出ないか、図面と計算書で確認した。
- B 塔の部分改修工事後の耐圧試験に先立ち、試験圧力が改修部以外を含めて塔全体に掛かるため、改修部以外についても母材の材質劣化や腐食等による減肉の有無を確認した。
- C フローティングヘッド型熱交換器において、フローティングヘッドカバーのボルトはシェルカバーを閉めた後は増締め不可能であるため、ボルトの緩みがないか特に入念にチェックした。
- D 長距離配管の放置法による気密試験において、試験区間内に安全弁が無かったため、全てのブロックバルブに仕切板を入れることによって代替措置とし、昇圧直後と24時間放置後に配管内の圧力を計測した。

問 31	D
解答	

【問 32】 次の文章は、配管フランジ用のガスケット選定時および締付け時の考え方を記載したものである。A ~ Eの中から不適切な記述を2つ選択せよ。

- A 締付力によって、ガスケット材が変形してフランジの接合面になじむガスケットを選定した。
- B 気密性を保つために、フランジより硬質なガスケットを選定した。
- C 使用する流体条件において、熱安定性、化学的安定性を有し、また、フランジ接合面を腐食させないガスケットを選定した。
- D PTFE ソリッドガスケットはコールドフロー（クリープ）特性を有するので、高温運転に入った後で、大きな締付力で増し締めを行った。
- E 圧力変動、温度変動などに追従し、接合面における締付応力の変動が少ないガスケットを選定した。

問 32	順不同	
解答	B	D

【問 33】 次の文章は、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 ~ Eの中から不適切な記述を2つ選択せよ。

- A** リラクゼーションとはボルトが降伏点を越えた時の締付け力の弛緩を言い、リラクゼーションファクターとはリラクゼーションを考慮して予めボルトの締付け力を上乘せする割増係数をいう。
- B** フランジ締付け時の必要締付け力（下限）は、[JIS B8265 で規定された必要締付け力] × [安全率] × [リラクゼーションファクター] で定める。
- C** JIS B8265 で規定された必要締付け力は、[使用状態における必要な最小のボルト荷重 (W_{m1})] 又は [ガスケット締付け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。
- D** 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。
- E** m 値（ガスケット係数）は [ガスケット締付け時に必要な最小のボルト荷重 (W_{m2})] の計算に必要で、 y 値（最小設計締付け圧力）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	A	E

【問 34】 次の文章は、フランジ締め付けに関する最近の事故事例の特徴と注意点を記載したものである。A ~ Dの中から不適切な記述一つを選択せよ。

- A スペーサー付きフランジはボルトが長くなるため、温度変動による影響を受け易く、不均一な締め付けになりやすい。
- B 急激な運転停止で、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場合には、ボルトよりフランジ本体の熱収縮量が大きくなり、締め付力が増大するために、ガスケットの変形を生じやすく漏洩の原因となる。
- C フランジを有する機器本体で、フランジ継手部が異材フランジとなる構造があるが、フランジ材質の違いにより熱膨張差が生じ、ボルト締め付力が低下する場合があります、より精密な締め付管理を行うことが重要である。
- 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・シールは密閉されない構造とした上で、円周方向には部分的でなく全周にわたって囲むことが望ましい。

問 34	B
解答	

【問 35】 次の文章は、溶接時の注意事項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2つ選択せよ。

- A 対象物の使用条件における環境条件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、脱水素処理による溶接性改善又は試験溶接による確認を実施する。
- B 炭素鋼や Cr-Mo 鋼における水素侵食は可逆的現象であり、熱処理により材質や溶接性が回復可能である。水素侵食の可能性がある場合は、事前に回復熱処理を実施する必要がある。
- C ステンレス鋼の場合、清浄作業に用いるワイヤーブラシは、黄銅製を使用することが望ましい。
- D アークの始点及び終点は、ブローホール、割れなどの溶接欠陥が発生しやすく、注意が必要である。これらの欠陥の発生を避けるために、後退スタート法の採用、終点のクレーター処理などが実施されることがある。

問 35	順不同	
解答	B	C

【問 36】 次の内容は溶接施工時の気象条件について、制限している内容である。(イ) ~ (ニ) に最も適した語句を下記の A ~ H より選択せよ。

次のいずれかの気象条件の場合には、被覆アーク溶接を行なってはならない。ただし、適切な防護処置（風雨対策、予熱など）を施す場合は、この限りではない。

- ・ **降 雨** (イ) 以上のとき（降雪時を含む）
- ・ **風 速** 風速 (ロ) 以上のとき（TIG溶接は 除く）
- ・ **気 温** (ハ) 以下のとき
- ・ **湿 度** 相対湿度 (ニ) 以上のとき

A 大雨 B 小雨 C 7m/s D 2m/s
E +5℃ F -5℃ G 50% H 90%

問 36	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	C	E	H

【問 37】 次の文章はオーステナイト系ステンレス鋼の溶接における留意事項について述べたものである。文中の（イ）～（ニ）に最も適した語句を下記の A ～ I より選択せよ。

一般的なオーステナイト系ステンレス鋼（安定化鋼を除く）は、（イ）の温度範囲の加熱で鋭敏化し耐食性が劣化する。また、オーステナイト系ステンレス鋼の溶接においては、高温割れ防止のため溶接金属に通常 5～10%の（ロ）を含有させる。

550℃以上の高温サービスで使用されるオーステナイト系ステンレス鋼を FCAW により溶接を実施する場合には、フラックス中に含まれる（ハ）が、溶接施工性を損ない運転中に損傷（再熱割れ）を発生する場合がある。

（ニ）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。現場溶接では（ニ）汚染の機会が多く、（ニ）系材料に使用したグラインダーなどの使用は避ける。

A 800～900℃

B 500～800℃

C 1100～1200℃

D タングステン

E チタン

F ビスマス

G 亜鉛

H マルテンサイト

I δフェライト相

問 37	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	I	F	G

【問 38】 次の文章は、最低加圧温度の算出に関する方法を記したものである。文中の括弧の中の数値 **A**～**C** のうち正しいものを選択せよ。

最低加圧温度の算出方法の一つに、製作時の衝撃試験やステップクーリング試験結果より算出する方法があり、下式 (1) により算出される。

$$\text{最低加圧温度} = \text{FATT} + \alpha \cdot \Delta\text{FATT} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

FATT ; 機器製作時の衝撃試験から得られる 50%脆性－延性破面遷移温度 (°C)。

ΔFATT ; ステップクーリング試験から得られる FATT の上昇量 (°C)。

α ; 長期供用時の靱性変化度合の補正係数。

機器製作時の FATT、 ΔFATT ならびに補正係数が以下のとおりの条件における最低加圧温度は (**A** 20°C、**B** 25°C、**C** 30°C) と算出される。

材料 ; 2.25Cr-1Mo 鋼

機器製作時の衝撃試験から得られる 50%脆性－延性破面遷移温度 (°C) ; - 20°C

ステップクーリング試験から得られる FATT の上昇量 (°C) ; 15°C

補正係数 ; 3.0

問 38	B
解答	

【問 39】 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。文中の文字式 **A** ~ **C** のうち正しいものを選択せよ。

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。この式から、 K_I は負荷応力に対して比例し、き裂寸法の 0.5 乗に比例することが分かる。

$$K_I = (\text{A} : A\sigma\sqrt{\pi a}、\text{B} : A\pi\sqrt{\sigma a}、\text{C} : Aa\sqrt{\pi\sigma}) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

- σ ; 負荷応力
- a ; き裂寸法
- A ; 欠陥の位置や形状による係数

問 39	A
解答	

【問 40】 次の文章は、焼戻し脆化に関する事項を記述したものである。文中の (**イ**) ~ (**ニ**) 内の語句 **A**、**B** のうち正しいものをそれぞれ選択せよ。

- ・焼戻し脆化による靱性値の低下が懸念される場合、装置のスタートアップ、シャットダウン時の操作手順として、スタートアップ時は (**イ** : **A** 昇圧、**B** 昇温) 先行型、シャットダウン時は (**ロ** : **A** 降圧、**B** 降温) 先行型が望ましい。
- ・鋼材の経年的な焼戻し脆化は、一般に (**ハ** : **A** ある一定の時間で飽和する、**B** 時間の経過とともに進行し続ける) ことが知られている。
- ・低合金鋼の焼戻し脆化対策として、焼戻し脆化の促進元素である (**ニ** : **A** Al や Zn、**B** P や Sn) の低減が有効である。

問 40	イ	ロ	ハ	ニ
解答	B	A	A	B