

**2021 年度技術士第二次試験**

# **筆記試験問題・合格答案実例集**

## **[金属部門]**

**APEC-semi & SUKIYAKI 塾**

# 問題Ⅰ（必須科目）

問題文およびA評価答案例

## 令和3年度技術士第二次試験問題〔金属部門〕

### 7 金属部門【必須科目Ⅰ】

Ⅰ 次の2問題（Ⅰ－1，Ⅰ－2）のうち1問題を選び解答せよ。（解答問題番号を明記し，答案用紙3枚を用いてまとめよ。）

Ⅰ－1 2017年にパリで開かれた気候変動サミットにおいてカーボンニュートラル宣言が発出され，日本も2050年までに国の温室効果ガス排出をネットゼロに抑えることを「政策公約」とすることに署名し，「カーボンニュートラル連合（The Carbon Neutrality Coalition）」の一員となっている。ライフサイクルアセスメント（LCA）に基づいたカーボンニュートラルの達成へ向けては，様々な産業分野においてCO<sub>2</sub>排出量の抑制や再生可能エネルギーの検討など，多面的な対策が必要となる。

上記の状況を踏まえて，以下の問いに答えよ。

- （1）カーボンニュートラルの実現に向けて，金属系材料産業に携わる技術者としての立場で多面的な観点から3つ課題を抽出し，それぞれの観点を明記した上で課題の内容を示せ。
- （2）抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ，その課題に対する複数の解決策を示せ。
- （3）すべての解決策を実行しても新たに生じうるリスクとそれへの対策について，専門技術を踏まえた考えを示せ。
- （4）上記事項を業務として遂行するに当たり，技術者としての倫理，社会の持続可能性の観点から必要となる要件・留意点を述べよ。

技術士第二次試験 APEC-semi 模擬答案用紙

受験番号	
問題番号	I-1

技術部門	金属
選択科目	金属材料・生産システム
専門とする事項	材料評価技術

※
---

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び専門とする事項の欄は必ず記入すること。  
 ○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

1. 高効率火力発電実現のための課題																								
1.1 高温強度・高耐酸化性両立の材料開発																								
ガスタービン等、熱機関におけるカルノーサイクルの高温側をより高温で運転すると効率上昇することが知られている。高温強度に優れるNi基合金を比較的製造しやすい普通鋳造では、高温強度に対応できない。またガスタービン入口温度は、今後1700℃を目標とし、超合金の耐熱温度を越え、耐酸化性能も現状では限界にきている。高効率火力発電実現には、高温強度、高耐酸化性を両立した材料技術開発が課題である。																								
1.2 製造・加工技術の確立																								
1.1で述べた超高温・高強度の材料は、素材自体の融点が高く、強度が高くなるため、成形が困難となる。また、高温強度上昇は、熱伝導率が悪くなり、従来の切削加工技術では困難となる。この材料での、より大型で複雑形状タービンの製造・加工技術確立が課題である。																								
1.3 マルチマテリアル化実現のための接合技術の確立																								
タービン翼全てを1.1で述べた材料とすることは、コスト高となる。したがって必要な部位のみを開発材料とし、その他は汎用材とするマルチマテリアル化が前提となる。マルチマテリアル化の接合技術は、自動車車体等では、技術確立、適用実績が多いが、高温環境下での耐久性を担保できる接合技術は確立されていない。高温環境下での高温強度材料と汎用材との信頼																								

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

性	(	耐	久	性	)	に	優	れ	た	接	合	技	術	の	確	立	が	課	題	で	あ	る	。		
2.	高	温	強	度	・	高	耐	酸	化	性	両	立	の	材	料	開	発								
	1.	1	で	述	べ	た	課	題	は	、	火	力	発	電	効	率	を	上	げ	、	C	O	2	排	
	出	量	の	更	な	る	低	減	に	つ	な	が	る	低	炭	素	社	会	実	現	の	た	め	の	
	重	要	な	根	幹	技	術	と	な	り	得	る	と	考	え	る	た	め	、	最	も	重	要	な	
	課	題	と	し	て	挙	げ	る	。	以	下	に	解	決	策	を	示	す	。						
2.	1	N	i	基	の	単	結	晶	合	金															
	N	i	基	合	金	は	、	従	来	か	ら	高	温	強	度	材	と	し	て	実	績	が	あ	る	
	る	。	従	来	は	製	造	し	や	す	さ	か	ら	普	通	鑄	造	合	金	、	一	方	向	凝	
	固	合	金	が	適	用	さ	れ	て	い	る	。	し	か	し	更	な	る	高	温	域				
	(	1	7	0	0	°	C	～	)	で	は	、	耐	久	性	が	不	足	す	る	。	こ	れ	は	、
	材	料	強	度	に	不	利	な	結	晶	粒	界	が	含	ま	れ	、	こ	れ	を	起	点	と	す	る
	亀	裂	の	伝	播	に	よ	り	破	壊	に	至	る	リ	ス	ク	が	、	更	な	る	高	温	化	で
	高	ま	る	た	め	で	あ	る	。	し	た	が	っ	て	、	結	晶	粒	界	が	な	い	単	結	晶
	と	し	、	且	つ	耐	酸	化	性	確	保	の	た	め	、	レ	ニ	ウ	ム	(	R	e	)	等	の
	元	素	を	添	加	す	る	合	金	と	す	る	。												
2.	2	耐	酸	化	性	コ	ー	テ	ィ	ン	グ	材													
	熱	膨	張	係	数	が	大	き	く	(	金	属	に	近	い	)	、	熱	伝	導	率	小	の	特	
	性	に	よ	り	、	耐	剥	離	性	を	確	保	し	、	緻	密	な	酸	化	皮	膜	を	形	成	
	で	き	る	イ	ット	リ	ア	安	定	化	ジ	ル	コ	ニ	ア	(	Y	S	Z	)	を	、	合	金	層
	の	上	に	溶	射	あ	る	い	は	電	子	ビ	ー	ム	で	コ	ー	テ	ィ	ン	グ	す	る	こ	
	と	で	、	高	温	下	で	も	安	定	し	た	耐	酸	化	性	を	確	保	で	き	る	。		
2.	3	金	属	間	化	合	物																		
	更	な	る	効	率	化	UP	の	た	め	に	は	、	タ	ー	ビ	ン	翼	の	稼	働	部			
	品	の	軽	量	且	つ	高	強	度	の	両	立	化	が	必	要	と	な	る	。	T	i	A	l	金

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。（英数字及び図表を除く。）

属間化合物は、Ni基合金に対し、比重：1/2、比強度（＝強度/密度）：同等、比剛性（＝弾性係数/比重）：高い。このためNi基合金の代替として、タービンの回転運動の効率化、高圧化実現により、ガスタービンの更なる高熱効率運転を実現達成できる。

3. 解決に共通して新たに生じるリスクと対策

3.1 材料成分のコスト高

ReやYはレアメタルであり高価である。マテリアルインテグレーション(MI)を利活用し、レアメタル添加での性能メカニズム解明から、レアメタルフリーのサステイナブルな元素材料系を検討する。

3.2 実用化遅延

耐久性（特にクリープ強度）といった信頼性評価は時間依存の評価であるため、実用化が遅延するリスクがある。対策として、極限環境における加速試験やシミュレーションの活用が挙げられる。

4. 技術者として必要な要件・留意点

4.1 倫理の観点

MIによる開発では、実験によるデータ入手を軽視するリスクがある。データを十分に理解し、製品の安全性担保を確保した開発を行う必要がある。

4.2 持続可能性の観点

製造プロセスでの省エネ化、製品自体のリサイクル性に優れた環境配慮のものづくりのため、LCA手法で自前検討した上での開発が必要である。 ～以上～



# 技術士 第二次試験 模擬答案用紙

受験番号									
問題番号	—	—							

技術部門	部門	受験申込書に記入した専門とする事項
選択科目	科目	

枚数
枚目
枚中

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び受験申込書の記入した専門とする事項は各用紙とも必ず記入すること。

要	で	あ	る	。	し	た	が	い	、	最	重	要	課	題	は	「	1	.	3	効	率	的	な	生	産	技	術	の	確	立	」	で	あ	る	。	電	子	機	器	に	搭	載	さ	れ	る	基	板	に	適	用	す	る	無	電	解	銅	め	っ	き	を	例	と	し	て	、	具	体	的	な	解	決	策	を	3	つ	示	す	。	2	.	1	装	置	仕	様	の	適	正	化	基	板	に	適	用	す	る	無	電	解	銅	め	っ	き	は	樹	脂	な	ど	の	不	導	体	上	を	導	体	化	す	る	た	め	に	用	い	ら	れ	る	。	無	電	解	銅	め	っ	き	は	、	粗	化	、	洗	浄	、	触	媒	付	与	、	無	電	解	銅	め	っ	き	な	ど	複	数	の	工	程	が	あ	り	、	不	純	物	混	入	の	可	能	性	が	大	き	い	。	触	媒	付	与	工	程	で	過	剰	な	パ	ラ	ジ	ウ	ム	が	吸	着	す	る	と	、	後	工	程	の	無	電	解	銅	め	っ	き	工	程	で	過	反	応	が	生	じ	、	液	の	分	解	や	析	出	不	適	合	が	生	じ	る	。	水	洗	浄	を	強	化	す	る	な	ど	装	置	仕	様	の	適	正	化	に	よ	り	、	効	率	的	な	生	産	技	術	の	確	立	を	図	る	。	2	.	2	基	礎	デ	ー	タ	、	ト	ラ	ブ	ル	シ	ュ	ー	ト	の	作	成	生	産	工	程	の	不	適	合	に	よ	り	製	品	の	良	品	率	が	低	下	す	る	場	合	が	あ	る	。	小	ス	ケ	ー	ル	で	の	試	験	に	よ	り	様	々	な	デ	ー	タ	取	り	を	行	う	こ	と	で	良	品	率	を	改	善	す	る	。	基	礎	デ	ー	タ	、	ト	ラ	ブ	ル	シ	ュ	ー	ト	の	作	成	に	よ	り	、	効	率	的	な	生	産	技	術	の	確	立	を	図	る	。	2	.	3	プ	ロ	セ	ス	の	最	適	化	各	装	置	に	よ	っ	て	液	循	環	や	温	度	分	布	が	異	な	る	た	め	、	薬	液	な	ど	プ	ロ	セ	ス	の	最	適	値	が	異	な	る	。	各	装	置	で	の	洗	浄	や	触	媒	付	与	、	無	電	解	銅	め	っ	き	工	程	な	ど	の	薬	液	面	と	処	理	時	間	や	処	理	温	度	な	ど	の	運	用	面	に	つ	い	て	、	プ	ロ	セ	ス	の	最	適	化	に	よ	り	、	効	率	的	な	生	産	技	術	の	確	立	を	図	る	。
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



技術士第二次試験 APEC-semi 模擬答案用紙

受験番号							
問題番号	I - 1						

技術部門	
選択科目	
専門とする事項	

※

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び専門とする事項の欄は必ず記入すること。  
 ○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

1 . 金属分野でのカーボンニュートラルの実現と課題

1.1 製鉄分野のCO2排出量抑制

製鉄分野でのCO2排出量は我が国全体の約14%であり産業分野の中でもっとも多い。これは鉄鋼石から鉄を取り出す際、コークスに含有する炭素を用いた還元反応を利用しているからである。このためCO2の排出は避けられない。水素を用いた還元法の適用など、CO2の発生を抑制する対策をとることが課題である。

1.2 燃料電池車の普及によるCO2排出量抑制

近年、普及が進みつつある燃料電池車の燃料電池に使用されているセパレータは、腐食性の強い高温多湿で反応ガスにさらされている。このため現状ではカーボン材料が使われておりコスト高の原因となっている。チタンやステンレス鋼に代替するためには、高耐食性を有する皮膜の選定が課題である。

1.3 摺動性向上によるCO2排出量抑制

自動車のエンジンやトランスミッションなどには多くの摺動面が存在する。これらの箇所で発生する摩擦、摩擦による損失エネルギーは、エネルギーロスとなる。摺動性を向上できれば燃費が向上し、CO2排出量が削減できる。摺動性向上のための表面処理方法の検討が課題である。

2 . 最も重要と考える課題と解決策

自動車などの運送機器から発生するCO2は我が国全体の20%近くを占める。摺動性を向上できれば燃費

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。（英数字及び図表を除く。）

が向上し、CO<sub>2</sub>の排出を大幅に削減できる。摺動性を向上させるためには、摺動面に高硬度で摩擦係数の小さい皮膜を成膜することが有効である。これを実現する成膜法として、クロムめっき法と複合めっき法がある。以下にそれぞれについて述べる。

### 2.1 クロムめっき法

クロムめっき浴は無水クロム酸に触媒として硫酸を加えたサージェント浴、フッ化物を加えたフッ化物浴が多用されている。めっき処理物をめっき浴に浸漬し、直流電気分解により表面に皮膜を生成させる。硬質（HV800～950）で摩擦係数が小さいことから、摺動面の摺動性を向上させることができる。

### 2.2 複合めっき法

電気めっきまたは無電解めっき浴中に不溶性の微粒子を分散させ、これらを皮膜中に共析させることで既存のめっき皮膜では得られない高機能性を付与するものである。炭化ケイ素や酸化アルミニウムなどの硬質粒子を添加すれば耐摩耗性を付与できる。

## 3. 新たに生じうるリスクとそれへの対策

### 3.1 成膜不良が発生するリスクと対策

前処理工程の不備により処理物表面に油、酸化物、切削屑などが残留し、これらが原因で成膜不良となるリスクがある。対策は、前処理後に行う検査工程の検査項目や手順を標準化し、処理不十分な製品が次工程に流れないようにすることである。また、画像認識技

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。（英数字及び図表を除く。）

術やセンサ技術を活用した自動判別装置を導入することにより、判別精度の向上を図ることができる。

3.2 原材料の調達に滞るリスク

感染症、自然災害、国際紛争、貿易摩擦などの影響で、サプライチェーンが寸断され、製造に必要な原材料の調達が滞るリスクがある。対策は、分散化した地域から複数のルートで入手できるように、サプライチェーンの強靱化を図ることである。

4. 業務遂行に当たり必要となる要点、留意点

4.1 技術者としての倫理

作業者の安全確保を最優先とし、常に作業現場の環境改善を心掛ける。公衆の安全と健康を守るため、有害物質は関係法規に基づき適切に保管する。また、有害物質を使用しない代替技術の検討を行う。

製造中に不具合や不良が発生した場合は直ちに関係者間で集まり、原因の究明とそれに対する改善策を立案できる体制を構築する。

4.2 社会の持続可能性の観点

製造過程で発生した廃棄物などはすべて回収し、適切に分別し、再利用、再資源化、適正処分を行い資源の有効活用を心掛ける。また、資源のリサイクルを推進する。特にレアメタルなどは高機能部品として製品の一部に組み込まれているため、分離、回収を効率的に行える易解体設計とするなど、設計段階から対策を行うべきである。以上

I-2 計算機による大量のデータ処理が可能となった現代では、これらデータを有効利用する「データ駆動型」システムの構築によって新たな展開を図る試みが、様々な産業分野で進みつつある。金属材料の分野においては、例えば新材料の開発、製造プロセスの高効率化等への適用が考えられる。この流れをさらに加速させるため、産官学の連携体制をより一層強化し、大学・研究機関等の基礎研究データを、いち早く産業へと展開することも重要となる。

上記の状況を踏まえて、以下の問いに答えよ。

- (1) 金属系材料を対象として、データ駆動型システムの構築によって新展開が期待できると考えられる課題を、技術者としての立場で多面的な観点から3つ挙げ、それぞれの観点を明記した上で課題の内容を示せ。
- (2) 抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) すべての解決策を実行しても新たに生じうるリスクとそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。
- (4) 上記事項を業務として遂行するに当たり、技術者としての倫理、社会の持続可能性の観点から必要となる要件・留意点を述べよ。

# 問題文とA評価答案例

(選択科目)

～07-1 金属材料・生産システム～

令和3年度技術士第二次試験問題〔金属部門〕

7-1 金属材料・生産システム【選択科目Ⅱ】

Ⅱ 次の2問題（Ⅱ-1，Ⅱ-2）について解答せよ。（問題ごとに答案用紙を替えること。）

Ⅱ-1 次の4設問（Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-4）のうち1設問を選び解答せよ。（緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し，答案用紙1枚にまとめよ。）

Ⅱ-1-1 金属材料の製造プロセスにおける反応の律速段階について説明せよ。また，見掛けの反応速度を増大させる手段について説明せよ。

Ⅱ-1-2 金属材料の脆性破壊と延性破壊を識別する方法とその根拠を説明せよ。低温脆性及び遅れ破壊の感受性を定量的に評価する試験法について説明し，性能評価の考え方を述べよ。

Ⅱ-1-3 合金の電気伝導度に影響する因子について説明せよ。また電気伝導度を改善する方法を2つ挙げ，それぞれについて記述せよ。

Ⅱ-1-4 結晶構造と化学組成は，金属材料を理解するうえで基本となる重要な物性値である。それぞれについて測定法を2つ挙げ，その具体的な内容と原理を説明せよ。また，2つの測定法を比較してそれぞれの特徴を述べよ。

Ⅱ－２ 次の２設問（Ⅱ－２－１，Ⅱ－２－２）のうち１設問を選び解答せよ。（青色の答案用紙に解答設問番号を明記し，答案用紙２枚を用いてまとめよ。）

Ⅱ－２－１ 金属材料の薄板商品を製造するプロセスに関して，静置した鋳型内へ熔融金属を注入して凝固させる造塊法から，熔融金属を注入した鋳型の底部を徐々に引き抜いて凝固させる連続鋳造法へ鋳造方法を移行させるという課題が与えられた。鋳造から圧延，熱処理までの薄板商品製造プロセス全体を企画する統括責任者として業務を進めるに当たり，下記の内容について記述せよ。なお，連続鋳造には既設の製造設備を利用できるものとする。

- (1) 調査，検討すべき事項とその内容について説明せよ。
- (2) 業務を進める手順を列挙して，それぞれの項目ごとに留意すべき点，工夫を要する点を述べよ。
- (3) 業務を効率的，効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

Ⅱ－２－２ 保有技術の異なる複数の開発拠点で役割分担をして１つの金属材料新商品開発プロジェクトを行うことになった。本プロジェクトの統括責任者として業務を実施するに当たり，下記の内容について記述せよ。

- (1) 調査，検討すべき事項とその内容を説明せよ。
- (2) 開発計画を策定する業務手順を列挙して，各開発拠点での役割分担を勘案し，それぞれの項目ごとに留意すべき点，工夫を要する点を述べよ。
- (3) 業務を効率的，効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

7-1 金属材料・生産システム【選択科目Ⅲ】

Ⅲ 次の2問題（Ⅲ-1，Ⅲ-2）のうち1問題を選び解答せよ。（赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し，答案用紙3枚を用いてまとめよ。）

Ⅲ-1 運輸部門の省エネルギー対策において，輸送機器の軽量化は重要な課題である。例えば，「輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の技術開発事業」においては，革新鋼板，非鉄軽金属材料，炭素繊維複合材料等の高性能軽量材料，異種材料の接合技術，小型・高効率モーターを実現する高性能磁石等の開発が進められている。一方，海外からの資源への依存度が高い我が国にとって，材料の3R（リデュース：廃棄物の発生抑制，リユース：再使用，リサイクル：再資源化）を推進し循環型社会の確立に貢献することは極めて重要である。このような状況を考慮して，以下の問いに答えよ。

- (1) 輸送機器の軽量化を推進していくための方策を循環型社会に適合したものにするため，技術者としての立場で多面的な観点から3つ課題を抽出し，それぞれの観点を明記したうえで，課題の内容を示せ。
- (2) 抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ，その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) すべての解決策を実行しても新たに生じうるリスクとそれへの対策について，専門技術を踏まえた考えを示せ。

技術士第二次試験 APEC-semi 模擬答案用紙

受験番号	
問題番号	Ⅲ-1

技術部門	金属
選択科目	金属材料・生産システム
専門とする事項	材料評価技術

※
---

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び専門とする事項の欄は必ず記入すること。

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。（英数字及び図表を除く。）

1. 軽量化推進方策の循環型社会適合のための課題																								
1.1 高強度と成形性を両立した材料開発																								
輸送機器の軽量化は、移動エネルギー低減実現でき																								
CO <sub>2</sub> 低減につながる。例えば自動車車体の軽量化は、																								
鉄鋼材料の高強度化（ハイテン化）による薄肉化の手																								
法が取られる。しかし、ハイテン化は、延性が低下す																								
る、トレードオフの関係にあり、成形性の低下につな																								
がる。したがって、輸送機器の軽量化実現のためには、																								
高強度と成形性を両立した材料開発が課題である。																								
1.2 マルチマテリアル化接合技術の確立																								
自動車の場合、軽量化した車体は、安全性確保のため、																								
高剛性確保との両立も要求される。剛性は、板厚																								
の3乗に比例するため、高強度化し材料の厚みを薄く																								
すると剛性が低下する。したがって、鉄鋼だけでは、																								
車体の安全性確保と軽量化の両立はできない。そこで、																								
Alは、Feの比重の1/3であり、剛性を確保するため																								
厚みを、鉄鋼の場合の1.4倍にしても、50%の軽量化																								
を達成できる。したがって、車体軽量化は、鉄鋼と非																								
鉄（Al、Mgなど）とのマルチマテリアル化が前提とな																								
る。しかし、AlとFeは熱伝導率が大きく異なるため、																								
スポット溶接（SP）での接合は困難である。したがって、																								
信頼性の高いマルチマテリアル接合技術の確立が課題																								
である。																								
1.3 材料の溶解から廃棄までのCO <sub>2</sub> 低減																								
循環型社会に適合した輸送機器の安全性と軽量化を																								

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。（英数字及び図表を除く。）

両	立	し	た	材	料	開	発	に	あ	た	り	、	材	料	の	原	料	溶	解	～	加	工	～																																		
部	品	組	み	立	て	～	廃	棄	の	全	工	程	に	お	い	て	、	C	O	2	排	出	を	抑																																	
制	さ	せ	、	リ	サ	イ	ク	ル	し	や	す	い	こ	と	を	前	提	と	し	た	材	料	・																																		
製	造	技	術	開	発	が	課	題	で	あ	る	。																																													
2.	最	も	重	要	な	課	題	と	対	策																																															
1.	2	で	も	述	べ	た	と	お	り	、	輸	送	機	器	の	軽	量	化	促	進	の	た	め																																		
め	に	は	、	マ	ル	チ	マ	テ	リ	ア	ル	化	が	前	提	で	あ	り	、	安	全	性	、																																		
リ	サ	イ	ク	ル	性	、	耐	久	信	頼	性	に	優	れ	た	接	合	技	術	の	確	立	が																																		
循	環	型	社	会	へ	の	適	合	効	果	が	最	も	大	き	い	と	考	え	る	。	し	た																																		
が	っ	て	、	マ	ル	チ	マ	テ	リ	ア	ル	化	接	合	技	術	の	確	立	を	最	重	要																																		
課	題	と	し	て	挙	げ	る	。																																																	
2.	1	接	着	材	に	よ	る	接	合																																																
マ	ル	チ	マ	テ	リ	ア	ル	材	料	組	合	せ	例	と	し	て	、	A	I	/	F	e	の	場																																	
合	、	こ	れ	ら	は	局	部	電	池	を	形	成	す	る	た	め	、	異	材	間	腐	食																																			
(	電	食	)	が	懸	念	さ	れ	る	。	そ	こ	で	A	I	/	F	e	間	に	絶	縁	イ	ン																																	
サ	ー	ト	材	を	挟	み	込	ん	だ	上	で	接	合	す	る	、	高	接	着	強	度	・	耐	久																																	
性	と	易	解	体	性	の	相	反	機	能	を	両	立	す	る	接	着	材	を	開	発	す	る	。																																	
2.	2	機	械	的	接	合																																																			
A	I	/	F	e	の	組	合	せ	に	対	し	、	ス	ポ	ット	溶	接	(	S	P	)	を	行	う	と																																
金	属	間	化	合	物	が	生	成	し	や	す	く	、	接	合	強	度	低	下	の	リ	ス	ク																																		
が	あ	る	。	そ	こ	で	、	機	械	的	接	合	(	例	え	ば	、	リ	ベ	ット	(																																				
S	P	R	)	、	ク	リ	ン	チ	ン	グ	(	C	J	)	、	ネ	ジ	(	F	D	S	)	を	適	用	す	る	こ	と	に	よ	り	、	S	P	接	合	の	様	な	リ	ス	ク	発	生	を	回	避	す	る	こ	と	が	で	き	る	。
1.	3	異	分	野	連	携	・	融	合	・	人	材	育	成																																											

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。（英数字及び図表を除く。）

1.1、1.2の接合技術の実現には、化学、機械分野の専門的知見が必要であり、金属以外の他分野との連携、融合が重要である。また互いの知見を持ち寄ることとで、新たな接合技術の開発につなげる。また、多分野の幅広い知見を持ち合わせ、IoT、AI等の新たな技術を活用し、データサイエンスも駆使できる技術者の育成にも取り組む必要がある。

3. 新たに生じうるリスクと対策

3.1 リサイクル促進

製品の廃棄の際、金属資源の有効活用の点で、リサイクル推進が重要である。マルチマテリアルでの接合箇所が多くなると、様々な金属成分が解体時に混入してしまい、カスケード型（品質要求の低い多用途へのリサイクル）のリサイクル材が多くなる。しかし、金属再生材利用促進には、アップグレード型（高品質な物へのリサイクル）が必要である。このため、易解体性を考慮した接合技術、リサイクル材の金属微量成分管理、異物成分の無害化技術の確立を行う必要がある。

3.2 耐久性評価

1.1、1.2で述べた接合法の信頼性確認が重要であり、特に耐久性は経時評価となり、長時間を要し、開発期間増大、さらに製品化遅延のリスクが生じる。したがって、シミュレーションなどのデジタル技術の活用、マテリアルインテグレーション(MI)により、開発期間短縮を図る。 ~ 以上 ~

Ⅲ－２ 従来の合金設計では主要元素からなる母材に種々の元素を添加して、その特性を向上させる手段が取られてきた。一方、近年では、主要元素や添加元素といった枠に捉われず、いくつかの元素を高濃度に組み合わせた多元系合金の研究が進められており、例えばハイエントロピー合金に代表されるような新奇特性の発現を目指した研究開発が注目を集めている。高濃度多元系合金は従来の希薄系合金では発現しえない構成元素間の新たな相互作用を活用して、高強度、耐熱性、耐食性などの諸特性を実現させている。

- (1) 構成元素間の新たな相互作用の探究を通じて新金属材料を探索するにあたり、技術者としての立場で多面的な観点から3つ課題を抽出し、それぞれの観点を明記したうえで、あなたが課題と考えた理由を述べよ。
- (2) 前問(1)で抽出した具体的な課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) 前問(2)で示した解決策に共通して新たに生じうるリスクとそれへの対策について述べよ。

# 問題文とA評価答案例

(選択科目)

～07-2 表面技術～

令和3年度技術士第二次試験問題〔金属部門〕

7-2 表面技術【選択科目Ⅱ】

Ⅱ 次の2問題（Ⅱ-1，Ⅱ-2）について解答せよ。（問題ごとに答案用紙を替えること。）

Ⅱ-1 次の4設問（Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-4）のうち1設問を選び解答せよ。（緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し，答案用紙1枚にまとめよ。）

Ⅱ-1-1 金属表面に耐熱皮膜を形成させる溶射法について，原理，特徴並びに実用上の注意点について述べよ。

Ⅱ-1-2 金属材料の表面分析法について1つ挙げ，原理，特徴並びに分析上の注意点を述べよ。

Ⅱ-1-3 各種材料に金属を被覆するための無電解めっき法について，原理，特徴並びに実用上の注意点について述べよ。

Ⅱ-1-4 大気中での腐食環境を大きく3つに分類し，それぞれの腐食環境の特徴を述べよ。

技術士第二次試験 APEC-semi 模擬答案用紙

受験番号							
問題番号	II-1-1						

技術部門	
選択科目	
専門とする事項	

※

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び専門とする事項の欄は必ず記入すること。  
 ○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

(原理) 図1に溶射法の基本原図を示す。加温溶融した溶射材料は液滴となり、プラズマや燃焼炎により発生した高速ガス流と共に基材に吹き付けられる。基材表面扁平化しながら凝固収縮した層が堆積して皮膜となる。

(特徴) 溶射法の特徴は溶射材料の選択範囲が広く、金属のほかセラミックス、サメット、ガラスなど適用範囲が広い。成膜速度が速く、対象物の大きさに制限がない。現場での施工が可能である。溶射は航空機や火力発電用ガスタービンの燃焼器や動静翼といった高温保安部品には無くてはならない技術である。

(実用上の注意点) 溶射皮膜は液滴が急冷し凝固収縮を伴い積層されるため、皮膜に残留応力が発生する。皮膜が厚くなると、この残留応力の影響が大きくなり、き裂の原因となるため成膜厚みに限界がある。溶射皮膜には空洞が存在しており、防錆を目的とする場合は有害である。このためエポキシ樹脂等で空孔を密閉する封孔処理を行う必要がある。

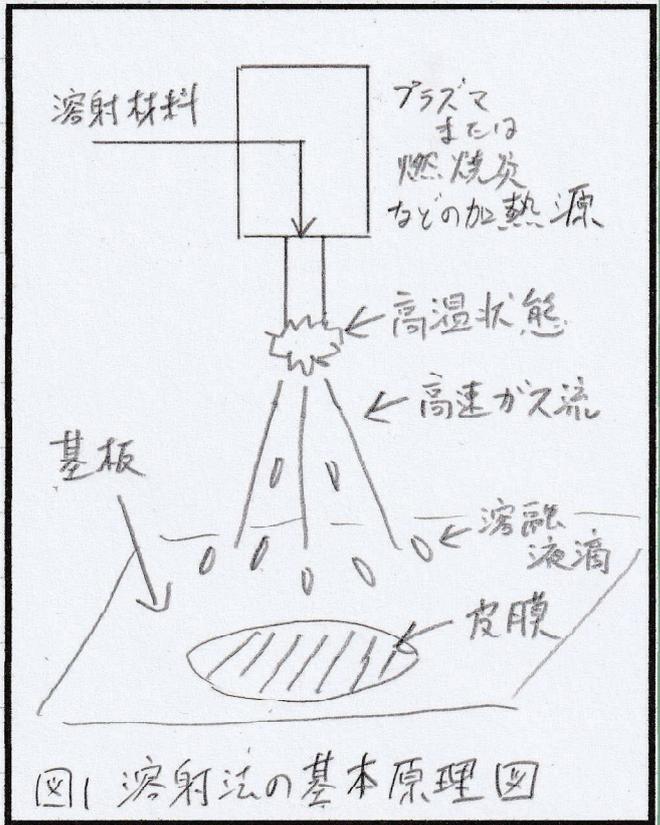


図1 溶射法の基本原図

# 技術士 第二次試験 模擬答案用紙

受験番号							
問題番号	Ⅱ - 1 - 3						

技術部門	部門	受験申込書に記入した専門とする事項
選択科目	科目	

枚数
枚目
枚中

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び受験申込書の記入した専門とする事項は各用紙とも必ず記入すること。

( 1 )	原	理																					
銅	は	電	気	伝	導	率	、	熱	伝	導	率	、	展	延	性	な	ど	に	優	れ	、	電	子
機	器	に	搭	載	さ	れ	る	基	板	の	配	線	材	料	な	ど	に	使	用	さ	れ	て	い
る	。	無	電	解	め	っ	き	法	の	一	つ	で	あ	る	無	電	解	銅	め	っ	き	に	つ
い	て	論	述	す	る	。	無	電	解	銅	め	っ	き	は	基	板	の	樹	脂	な	ど	の	不
導	体	上	に	成	膜	し	導	体	化	す	る	こ	と	で	配	線	を	形	成	す	る	。	無
電	解	銅	め	っ	き	は	、	樹	脂	を	粗	化	し	て	密	着	性	を	付	与	す	る	粗
化	工	程	、	基	板	の	汚	れ	等	を	除	去	す	る	脱	脂	工	程	、	パ	ラ	ジ	ウ
ム	な	ど	の	触	媒	を	付	与	す	る	触	媒	付	与	工	程	、	ホ	ル	マ	リ	ン	な
ど	の	還	元	剤	に	よ	っ	て	銅	イ	オ	ン	を	還	元	し	金	属	銅	を	析	出	さ
せ	る	無	電	解	銅	め	っ	き	工	程	な	ど	か	ら	構	成	さ	れ	る	。			
( 2 )	技	術	的	特	徴																		
硫	酸	銅	め	っ	き	は	電	気	を	流	す	こ	と	で	銅	イ	オ	ン	を	還	元	し	金
属	を	析	出	さ	せ	る	が	、	無	電	解	銅	め	っ	き	は	電	気	を	流	す	必	要
が	な	く	、	樹	脂	な	ど	の	不	導	体	上	を	導	体	化	す	る	こ	と	が	出	来
る	。	ま	た	、	液	中	に	還	元	剤	を	含	む	こ	と	か	ら	、	立	体	物	な	ど
に	対	し	て	の	均	一	電	着	性	に	優	れ	る	。									
( 3 )	実	用	上	の	注	意	点																
無	電	解	銅	め	っ	き	は	工	程	が	多	く	不	純	物	混	入	の	可	能	性	が	大
き	い	。	触	媒	付	与	工	程	で	余	分	な	パ	ラ	ジ	ウ	ム	が	吸	着	す	る	と
無	電	解	銅	め	っ	き	工	程	で	過	反	応	を	生	じ	、	液	が	分	解	す	る	。
各	工	程	間	の	水	洗	浄	を	強	化	す	る	な	ど	装	置	仕	様	の	適	正	化	を
行	う	よ	う	注	意	す	る	。	ま	た	、	還	元	剤	と	し	て	ホ	ル	マ	リ	ン	等
の	有	害	な	薬	液	を	使	用	す	る	場	合	は	、	排	気	設	備	を	設	置	す	る
な	ど	十	分	な	安	全	対	策	を	施	す	よ	う	に	注	意	す	る	。	以	上		

Ⅱ－２ 次の２設問（Ⅱ－２－１，Ⅱ－２－２）のうち１設問を選び解答せよ。（青色の答案用紙に解答設問番号を明記し，答案用紙２枚を用いてまとめよ。）

Ⅱ－２－１ プリント基板の銅めっき表面に欠陥が認められ，その原因と対策を検討することとなった。この業務の担当責任者として進めるに当たり，下記の内容について記述せよ。

- （１）調査，検討すべき事項とその内容について説明せよ。
- （２）業務を進める手順とその際に留意すべき点，工夫を要する点を含めて述べよ。
- （３）業務を効率的，効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

Ⅱ－２－２ 給湯用ステンレス鋼製配管が腐食し漏水が起こったため，その補修を実施することになった。この業務の担当責任者として進めるに当たり，下記の内容について記述せよ。

- （１）調査，検討すべき事項とその内容について説明せよ。
- （２）原因となる腐食事例を１つ挙げ，その補修の際に留意すべき点，工夫を要する点を述べよ。
- （３）業務を効率的，効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

# 技術士 第二次試験 模擬答案用紙

受験番号							
問題番号	Ⅱ - 2 - 1						

技術部門	部門	受験申込書に記入した専門とする事項
選択科目	科目	

枚数
枚目
枚中

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び受験申込書の記入した専門とする事項は各用紙とも必ず記入すること。

( 1 )	調 査	、	検 討	す	べ	き	事	項	と	そ	の	内	容			
1 . 1	表	面	欠	陥	の	形	状									
プリント基板の銅めっき表面に発生する表面欠陥には 基材、無電解銅めっき、硫酸銅めっきなど様々な原因 がある。硫酸銅めっきに発生する表面欠陥においては、 光沢や外観ムラなどの外観不適合や凸状のざらつき、 凹状の未析出やピンホールに加えて、スルーホールの 均一電着性の低下やビアの充填性能の低下などがある。 発生原因の特定のため表面欠陥の形状を調査する。																
1 . 2	表	面	欠	陥	の	発	生	時	の	状	況					
表面欠陥は基材の状態や異物の混入、薬液濃度の不適 合など複数の要因で発生する。表面欠陥発生時の状況 を確認し、基材状態や装置の改造、薬液濃度、薬液温 度などの変化点を確認する。表面欠陥発生時およびそ の前後での各種状況を調査する。																
1 . 3	再	現	試	験	の	検	討									
上記により原因を推測し、小スケールでの試験によっ て再現試験を行う。同様の表面欠陥の再現試験を行っ て、原因の特定と併せて改善策の検討を行う。																
( 2 )	業	務	手	順	と	そ	の	際	の	留	意	点	、	工	夫	点
2 . 1	手	順														
表面形状の確認、発生時およびその前後の状況を確認 し発生原因の特定を行う。小スケールでの試験によっ て、再現試験を検討し、再現が可能であった場合は、 改善策の検討を行う。改善策の結果に基づき、装置の																

# 技術士 第二次試験 模擬答案用紙

受験番号									
問題番号	—	—							

技術 部門	部門	受験申込書に記入した専門とする事項
選択 科目	科目	

枚数
枚目
枚中

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び受験申込書の記入した専門とする事項は各用紙とも必ず記入すること。

適	正	化	お	よ	び	プ	ロ	セ	ス	の	適	正	化	を	行	い	、	表	面	欠	陥	の	対	
策	を	行	う	。																				
2	.	2	留	意	点																			
表	面	欠	陥	の	解	析	に	は	表	面	か	ら	の	解	析	に	加	え	て	断	面	観	察	
に	よ	る	不	適	合	部	の	確	認	が	有	効	で	あ	る	。	断	面	観	察	を	行	う	
こ	と	で	表	面	欠	陥	の	発	生	原	因	や	異	物	な	ど	の	有	無	を	確	認	す	
る	よ	う	に	留	意	す	る	。																
2	.	3	工	夫	点																			
表	面	欠	陥	の	解	析	を	行	う	際	の	断	面	観	察	に	お	い	て	、	異	物	が	
銅	で	あ	る	場	合	は	発	見	が	困	難	に	な	る	場	合	が	あ	る	。	断	面	を	
過	酸	化	水	素	と	硫	酸	な	ど	の	混	合	液	で	エ	ッ	チ	ン	グ	す	る	こ	と	
で	銅	の	結	晶	性	を	確	認	す	る	な	ど	の	工	夫	を	行	う	。					
(	3	)	関	係	者	と	の	調	整	方	法													
技	術	員	を	招	集	し	、	表	面	欠	陥	の	形	状	、	発	生	時	の	状	況	、	再	
現	試	験	の	方	法	な	ど	を	協	議	す	る	。	再	現	試	験	に	よ	り	、	表	面	
欠	陥	の	再	現	を	確	認	し	た	後	、	そ	の	対	策	試	験	に	よ	り	、	表	面	
欠	陥	の	対	応	策	の	検	討	を	行	い	、	必	要	な	対	応	策	を	決	定	す	る	
装	置	の	改	造	が	必	要	な	場	合	は	、	複	数	の	資	材	、	部	材	業	者	か	
ら	見	積	り	を	取	得	し	、	価	格	と	納	期	を	確	認	に	す	る	。	再	度	技	
術	員	を	招	集	し	、	コ	ス	ト	を	含	め	た	改	造	内	容	に	つ	い	て	協	議	
を	行	い	、	最	終	決	定	を	行	う	。	装	置	の	稼	働	状	況	を	確	認	し	、	
社	内	、	顧	客	等	と	装	置	の	停	止	期	間	に	つ	い	て	協	議	を	行	う	。	
計	画	に	し	た	が	い	、	薬	液	の	入	れ	替	え	や	、	装	置	の	改	造	を	行	
っ	た	後	、	試	験	基	板	を	投	入	し	、	実	機	で	の	表	面	欠	陥	の	改	善	
を	確	認	し	、	量	産	を	再	開	す	る	。	以	上										

技術士第二次試験 APEC-semi 模擬答案用紙

受験番号	
問題番号	II-2-2

技術部門	
選択科目	
専門とする事項	

※
---

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び専門とする事項の欄は必ず記入すること。

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

( 1 ) 調査、検討すべき事項とその内容

a) 材質調査：漏水を起こしたステンレス鋼配管の材質を調査する。オーステナイト系ステンレス鋼だった場合、孔食、隙間腐食、粒界腐食、応力腐食割れが発生した可能性があるからである。

b) 環境調査：配管内の水温や稼働状況、塩化物イオン濃度を調査する。粒界腐食が発生しやすい環境であるか確認するために行う。

c) 腐食部分の調査：腐食の種類を明らかにするため、腐食部分を光学顕微鏡等で確認する。

d) 溶接部分の調査：漏水が発生した箇所に溶接した部分があるか調査する。ある場合は応力腐食割れが発生した可能性がある。

e) 評価方法の検討：粒界腐食や鋭敏化組織など腐食の状態を評価する手法を検討する。

f) メンテナンス方法の検討：ステンレス鋼配管の健全性を評価するための方法を検討する。

( 2 ) 原因となる腐食事例および留意点、工夫点

腐食事例としてオーステナイト系ステンレス鋼に発生した応力腐食割れによる漏水の発生について述べる。

応力腐食は、材料、応力、環境が重畳した特定の要因が重畳した特殊な環境で発生する。以下にそれぞれについて述べる。

a) 材料要因：材料要因は鋭敏化組織である。漏水箇所に鋭敏化した組織があるか留意しながら観察する。

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

工夫点は検証実験を行い、鋭敏化組織となるか確認することである。

b) 応力要因：応力要因は溶接箇所には発生する引張残留応力である。工夫点は引張残留応力を発生させないような溶接法を選定することである。また、溶接箇所をブラスト処理することにより残留応力を除去することも有効な対策である。

c) 環境要因：環境要因は塩化物イオン濃度と溶存酸素濃度である。工夫点はこれらの濃度が高い場合は、耐食性のあるステンレス鋼を検討することである。

(3) 業務を効率的、効果的に進めるための調整方策補修を実施するにあたり、工期やコストに配慮しながらも作業者の安全を最優先に考えてスケジュールを作成する。調査、検討項目やスケジュールは共有する。

不具合や不良など不測の事態が発生した場合は、直ちに関係者間で情報共有し原因の究明と改善策を立案できる体制を構築する。

スケジュールや作業内容に変更が生じた場合、工程管理は作業実施者に対し、変更内容を口頭のみで伝達するのは避け、変更内容を相互確認した後、必ず文書化することを徹底するべきである。これにより伝達ミスによる不良品の発生を防ぐことができる。また、定期的に進捗状況を確認し、遅れが生じている場合は担当者と共に解決策を検討し、スケジュールどおり進行するよう注力する。以上

7-2 表面技術【選択科目Ⅲ】

Ⅲ 次の2問題（Ⅲ-1、Ⅲ-2）のうち1問題を選び解答せよ。（赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し、答案用紙3枚を用いてまとめよ。）

Ⅲ-1 近年、AI（人工知能）やIoT（Internet of Things）などをはじめとするデジタル技術の利活用が急速に進展している。金属の表面処理プロセスにおいても、様々なデータをセンサで収集し、AIで解析、自動制御をすることによって、迅速かつ信頼性の高い表面処理加工を実現するなど、さらなる技術の高度化の可能性を有している。このような状況を踏まえて、金属の表面技術者として以下の問いに答えよ。

- (1) AIやIoTを利活用する具体的な表面処理プロセスと表面技術に関するセンシング対象を1つ提示し、表面技術者として多面的な観点から3つ課題を抽出し、それぞれの観点における課題を説明せよ。
- (2) 抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) すべての解決策を実行しても新たに生じるリスクとそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。

Ⅲ-2 健康への配慮から抗菌製品の社会的ニーズは年々高まっているが、昨年世界的なウィルスまん延を受けて、信頼のおける抗菌対策が全世界的に急務として求められている。銅合金や銀合金は抗菌作用を示すことが知られており、これら金属を様々な基材表面に皮膜形成させることが有効な対策の1つとして期待されている。

- (1) 様々な材料表面に抗菌性を付与する金属皮膜の形成技術を1つ提示し特徴を説明したうえで、その技術導入に当たり、表面技術者として多面的な観点から3つ課題を抽出し、それぞれの観点における課題を説明せよ。
- (2) 抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) 前問(2)で示したすべての解決策を実行しても新たに生じるリスクとそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。

# 技術士 第二次試験 模擬答案用紙

受験番号							
問題番号	Ⅲ－２－						

技術部門	部門	受験申込書に記入した専門とする事項
選択科目	科目	

枚数
枚目
枚中

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び受験申込書の記入した専門とする事項は各用紙とも必ず記入すること。

(	1	)	抗	菌	性	を	付	与	す	る	金	属	皮	膜	形	成	技	術	と	そ	の	課	題		
1.	1	抗	菌	性	を	付	与	す	る	金	属	皮	膜	形	成	技	術								
抗	菌	性	を	有	す	る	金	属	と	し	て	、	銅	合	金	や	銀	合	金	が	挙	げ	ら	れ	
れ	る	。	ま	た	、	銅	は	金	属	単	体	に	お	い	て	も	抗	菌	性	を	有	し	て	い	
る	。	抗	菌	性	を	付	与	す	る	金	属	皮	膜	形	成	技	術	と	し	て	硫	酸	銅	め	
銅	め	っ	き	に	つ	い	て	論	述	す	る	。	硫	酸	銅	め	っ	き	は	、	硫	酸	銅	五	
水	和	物	と	硫	酸	を	基	本	成	分	と	し	て	、	そ	こ	に	添	加	剤	と	し	て	、	
塩	化	物	イ	オ	ン	と	微	量	の	炭	素	化	合	物	を	加	え	る	。	陽	極	を	含	リ	
ン	銅	、	陰	極	を	被	処	理	物	と	し	て	電	気	を	流	す	と	、	陽	極	で	は	含	
リ	ン	銅	が	酸	化	さ	れ	て	銅	イ	オ	ン	と	し	て	溶	解	し	、	陰	極	で	は	銅	
イ	オ	ン	が	還	元	さ	れ	て	金	属	銅	が	析	出	す	る	。	硫	酸	銅	め	っ	き	浴	は
浴	は	、	高	銅	濃	度	化	や	高	電	流	効	率	で	あ	る	こ	と	か	ら	、	高	電	流	密
度	加	工	が	可	能	で	、	得	ら	れ	る	銅	皮	膜	は	、	優	れ	た	光	沢	や	展	延	性
を	有	す	る	。	ま	た	、	シ	ア	ン	化	銅	浴	と	比	較	し	て	毒	性	が	低	く	、	ピ
ロ	リ	ン	酸	銅	浴	と	比	較	し	て	管	理	が	容	易	で	あ	る	な	ど	の	特	徴	を	持
つ	。																								
1.	2	技	術	導	入	に	お	け	る	多	面	的	な	課	題										
抗	菌	性	を	付	与	す	る	た	め	の	硫	酸	銅	め	っ	き	に	お	い	て	は	、	美	観	の
維	持	や	不	導	体	に	対	す	る	析	出	方	法	、	立	体	物	に	対	す	る	均	一	電	着
性	な	ど	が	問	題	で	あ	る	。	硫	酸	銅	め	っ	き	技	術	の	導	入	に	お	け	る	、
具	体	的	な	課	題	を	3	つ	示	す	。														
1.	2.	1	酸	化	防	止	膜	の	開	発	に	よ	る	美	観	低	下	対	策						
硫	酸	銅	め	っ	き	に	よ	り	形	成	し	た	銅	皮	膜	は	、	通	常	の	使	用	条	件	下
に	お	い	て	も	容	易	に	酸	化	膜	を	形	成	し	、	美	観	の	低	下	が	問	題	で	あ
る	。	課	題	は	酸	化	防	止	膜	等	の	開	発	に	よ	る	、	美	観						

# 技術士 第二次試験 模擬答案用紙

受験番号									
問題番号	—	—							

技術部門	部門	受験申込書に記入した専門とする事項
選択科目	科目	

枚数
枚目
枚中

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び受験申込書の記入した専門とする事項は各用紙とも必ず記入すること。

の低下対策である。

1.2.2 素材の導体化

硫酸銅めっきは、電解めっきであり、樹脂などの不導体上には成膜することが出来ない。課題は樹脂などの不導体上に対する素材の導体化である。

1.2.3 立体物への均一電着性対策

立体物に対して硫酸銅めっきを行う場合は、均一電着性の低下が問題である。硫酸銅めっきの金属銅の析出速度は陽極と陰極の極間距離で異なる。すなわち、立体物において、極間距離の長い場所は電圧が増加し、膜厚が薄くなる。課題は立体物に対する均一電着性対策である。

(2) 最重要課題とそれへの解決策

樹脂材料は、軽量で成形性に優れることから、ドアノブや手すりを初めとする身近な製品に広く使用されている。したがって、抗菌性を付与する材料として適用範囲が広く、最重要課題は素材の導体化処理である。素材の導体化に対する解決策を3つ示す。

2.1 無電解銅めっき処理

無電解銅めっき処理は、樹脂などの表面を粗化して密着性を改善する粗化工程、表面を清浄化する脱脂工程、パラジウムなどの触媒を付与する触媒付与工程、ホルマリンなどの還元剤を用いて銅を析出させる無電解銅めっき工程などで構成される。樹脂などの不導体上に対して、無電解銅めっき処理により素材の導体化を図

# 技術士 第二次試験 模擬答案用紙

受験番号									
問題番号	—	—							

技術部門	部門	受験申込書に記入した専門とする事項
選択科目	科目	

枚数
枚目
枚中

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び受験申込書の記入した専門とする事項は各用紙とも必ず記入すること。

る。

2.2 スパッタ処理

スパッタ処理は高周波電源を用いて、真空容器内に被処理物を設置し、成膜したい金属（ターゲット）をマイナスに帯電させ、そこにアルゴンガスを導入し、生成したアルゴンプラズマがターゲットに衝突する際に金属が弾き出され、被処理物に付着することで金属を成膜する。スパッタ処理により素材の導体化を図る。

2.3 触媒含侵樹脂の開発

パラジウムなどの触媒を樹脂に含侵させた材料を使用し、UV処理等によって活性化した後、無電解銅めっきを行うことで、工程を短縮化することが可能になる。触媒含侵樹脂の開発により素材の導体化を図る。

(3) 共通のリスクとそれへの対策

無電解銅めっきは多くの工程が必要であり、コストが増加する。スパッタ処理は真空設備が必要であり、導入費が高い。触媒含侵樹脂は開発に人件費や試験費が必要である。したがって、共通のリスクはコストの増加である。その対策として、無電解銅めっきについては、触媒付与工程のパラジウム濃度の低濃度化の検討などにより対応する。スパッタに関しては、設備導入時に複数の部材、資材業者から見積りを取得し、性能を確認した上で初期投資の低減を図る。触媒含侵樹脂については早期開発と共に、量産化と市場定着により低コスト化を図る。以上

技術士第二次試験 APEC-semi 模擬答案用紙

受験番号	
問題番号	Ⅲ- 2

技術部門	
選択科目	
専門とする事項	

※
---

○受験番号、問題番号、技術部門、選択科目及び専門とする事項の欄は必ず記入すること。  
 ○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。（英数字及び図表を除く。）

イオンプレーティング法による抗菌膜の成膜と課題  
 抗菌性を付与する金属皮膜として酸化チタンを、形  
 成技術としてイオンプレーティング法を挙げる。酸化  
 チタンは紫外線の照射による光触媒効果により優れた  
 抗菌作用を示す。新型コロナウイルスに対しても抗菌  
 性があることが報告されている。

イオンプレーティング法は、真空中で成膜材料を蒸  
 発させ、その蒸発粒子をプラズマ中を通過すること  
 プラスの電荷を帯びさせ、マイナス極である処理物に  
 引き寄せられて堆積し成膜される技術である。イオン  
 プレーティング法を用いて処理物表面に酸化チタンを  
 成膜することができるが以下のような課題がある。

1. イオンプレーティング法による酸化チタン成膜  
 1.1 皮膜の脆性に関する課題

基材が軟鋼などの材料であると成膜した酸化チタン  
 にクラックが発生することがある。これはイオンプレ  
 ーティング法はPVD法で成膜されるため厚膜化が難し  
 いため、薄く硬い酸化チタン皮膜が基材の変形に追従  
 できずにクラックが発生するためである。基材の変形  
 を抑制するなどの対策が課題である。

1.2 密着性の課題

酸化チタンは基材との密着性が悪いと剥離してしま  
 い、成膜効果が得られない。基材と酸化チタンの両方  
 に親和性のある中間膜を成膜するなどの対策が課題で  
 ある。

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

1.3 付き回り性の課題

イオンプレATING法は電気めっき法と比較して付き回り性が悪く、複雑形状の基材であると均一な膜厚で成膜することが難しい。自公転する治具を用いるなどの対策が課題である。

2. 最も重要と考える課題と解決策

酸化チタン皮膜が基材の変形によりクラックが発生してしまふと剥離し易くなり成膜効果が得られない。以上の理由から「皮膜の脆性に関する課題」が最も重要と考えた。

酸化チタンの皮膜のクラックを抑制するためには、基材の機械強度を上げその上に成膜することが有効である。軟鋼などの基材の強度を上げる方法として、浸炭、窒化がありこれらを適用することが解決策となる。以下にそれぞれについて述べる。

2.1 浸炭

主に低炭素鋼のような炭素量の少ない鋼に適用される。形状の自由度が高いガス浸炭が多用されている。900～950℃の雰囲気中で炭素を拡散浸透させ、その焼入れ処理することで表面に硬い(Hv700～900)のマルテンサイト層が形成されこれが機械的強度を上げる。

2.2 窒化

アンモニアガスが500～550℃に加温された鋼に接触し、原子状の窒素と水素に分解される。この内窒素が鋼表面から拡散浸透することにより、表面に鉄窒化

○解答欄の記入は、1マスにつき1文字とすること。(英数字及び図表を除く。)

物が形成され硬度を向上させる。また、その下には鉄窒化物を含む窒素の拡散層が形成される。

### 3. 新たに生じうるリスクと対策

#### 3.1 チタンの入手が困難になるリスク

チタンはレアメタルであり、我が国はこれらのほぼ全量を輸入に頼っている。このため、国際紛争や貿易摩擦などの影響により入手が困難になるリスクがある。対策は、チタンに変わる代替材料を探索することである。代替材料を用いることができればチタンの使用量を大幅に抑制できる。また、使用済み製品からリサイクルによる回収を効率的に行えるよう、易解体設計とするなどの対策を進めることも有効な対策である。

#### 3.2 新たな表面処理技術が要求されるリスク

酸化チタンは、太陽光や紫外線ランプなど紫外線の照射を受ける環境であれば、光触媒効果により抗菌効果があるが、紫外線の当たらない場所では抗菌効果は発生しない。このため、夜間など紫外線の当たらない場所でも抗菌効果を求められるリスクがある。対策は、基材の上に銅合金や銀合金を成膜し、この上に酸化チタンを成膜することである。紫外線が当たらない場所では、銅合金と銀合金の効果により抗菌効果が得られる。しかし、これらの合金の表面に汚れが付着すると効果が減少する問題があった。酸化チタンをコーティングすると紫外線が当たっている間は表面の汚れを分解するため、相乗効果により抗菌効果が得られる。

# 問 題 文

(選択科目)

～07-3 金属加工～

令和3年度技術士第二次試験問題〔金属部門〕

7-3 金属加工【選択科目Ⅱ】

Ⅱ 次の2問題（Ⅱ-1，Ⅱ-2）について解答せよ。（問題ごとに答案用紙を替えること。）

Ⅱ-1 次の4設問（Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-4）のうち1設問を選び解答せよ。（緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し，答案用紙1枚にまとめよ。）

Ⅱ-1-1 タック溶接（仮付け溶接あるいは組み立て溶接とも呼ばれる）は定められた位置に部材を保持し，本溶接前に行う作業であるが，本溶接と同様に注意が必要である。なぜ，注意が必要かその理由を述べよ。またタック溶接の施工上の留意点について説明せよ。

Ⅱ-1-2 金属の鑄造法には特殊なものとして遠心鑄造法がある。この方法の概要を説明せよ。また，その特徴を回転軸と鑄型の材質の面から説明せよ。

Ⅱ-1-3 塑性加工により製造される鋼管（パイプ）は大きく分けると継ぎ目があるものと無いもので区別される。それぞれの特徴を製造方法や用途，寸法などの観点から示せ。

Ⅱ-1-4 粉末冶金について，粉末の混合から製品の完成までの工程を説明し，さらに本手法の長所及び短所を述べよ。

Ⅱ－２ 次の２設問（Ⅱ－２－１，Ⅱ－２－２）のうち１設問を選び解答せよ。（青色の答案用紙に解答設問番号を明記し，答案用紙２枚を用いてまとめよ。）

Ⅱ－２－１ 自社の主力である金属加工製品（溶接構造物）の生産性向上活動を行うことになり，技術責任者のあなたはリーダーとして活動に取り組むことになった。製品は顧客の仕様により複数のタイプがある。これまで自動化・ロボット化など技術部門での取組を行ったことはあるが満足な結果につながっていない。

設計，製造技術，生産管理を含めた視点で，さらなる生産性向上への取組が必要である。今回の活動では，大規模な設備投資は考えず，また自社設計であるが材質の変更，形状・寸法の大幅な変更はできないものとする。

- (1) 生産性向上を図る取組を行う上で，設計，製造技術，生産管理を含めた技術的観点，及び活動を立ち上げ，推進する観点から調査，検討すべき事項とその内容について，説明せよ。
- (2) 生産性向上活動業務を進める手順を列挙してそれぞれの項目ごとに留意すべき点，工夫を要する点を技術面含めて述べよ。
- (3) 業務を効率的，効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

Ⅱ－２－２ あなたはある工場で作成している金属製品（鋳造や鍛造等の加工で作成）の品質管理の責任者である。顧客の依頼により作製し，その顧客にのみ納入した製品について，強度の低い製品があると顧客よりクレームがあり，上司よりクレーム品及び工場完成品の検査，さらに原因究明と対策を指示された。

- (1) 製作した金属製品の検査をするに当たり，調査，検討すべき検査事項とその内容について説明せよ。
- (2) この検査業務を進める手順を列挙し，それぞれの項目ごとに留意する点と工夫を要する点を述べよ。
- (3) 業務を能率的，効果的に進めるための関係者との調整方策について述べよ。

7-3 金属加工【選択科目Ⅲ】

Ⅲ 次の2問題（Ⅲ-1，Ⅲ-2）のうち1問題を選び解答せよ。（赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し，答案用紙3枚を用いてまとめよ。）

Ⅲ-1 金属加工分野においても，従来，日本の企業の強みであった製造現場の力が低下していると言われている。環境変化が大きい時代に迅速かつ柔軟に対応するためにも製造現場における中核人材の確保・育成が求められるが，そのために必要なことの1つに，熟練技能の維持・継承がある。

- (1) 金属加工分野における熟練技能の維持・継承を図るうえでの課題を技術者として多面的な観点から3つ抽出し，それぞれの観点を明記したうえで，課題の内容を示せ。
- (2) 抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ，その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) 解決策を実行したうえで生じる波及効果と専門技術を踏まえた懸念事項への対応策を示せ。

Ⅲ-2 近年モノのインターネット化（Internet of Things，「IoT」）やビッグデータ，人工知能（Artificial Intelligence，「AI」），ロボットなどに代表される第4次産業革命と呼ばれる産業・技術革新が世界的に進みつつある。ものづくり分野においても，「生産工程の最適化」「新素材の利用や開発」において新たな展開が必要とされる。

- (1) 第4次産業革命下での取組として先端技術を金属加工分野へ導入する際の課題を，技術者の立場として多面的な観点から3件抽出し，分析せよ。
- (2) 抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ，その課題に対する複数の解決策を示せ。
- (3) すべての解決策を実行して生じる波及効果と専門技術を踏まえた懸念事項への対応を示せ。