

以下の論文は、ChatGPT をカスタマイズした「技術士二次試験三上塾 AI 論文作成ツール」

<https://suninfo.co.jp/g2gpt/>

が作成した「概要論文」なので、一般的な合格論文と異なります。

勉強の進め方としては、以下の資料を元に論文の方向性を掴みつつ、概要表や出典などを参考に以下の概要論文を修正すると短時間で効率的な勉強ができます。以下の出典の URL をクリックしてもサイトが表示されない場合は、出典名をネット検索してください。

以下の論文では、観点と課題を章の最初に書いていますが、課題などを最後に書きたい場合は、テンプレート（プロンプト）を変更すれば最後に書くことが可能です。

設問は以下のサイトをご覧ください。

https://www.engineer.or.jp/c_categories/index02022.html

=====

この設問は、単なる「デジタルツインの説明問題」ではありません。**長期使用・寿命限界使用が進む機器に対して、材料強度・信頼性の専門技術を CPS にどう実装し、残存寿命・健全性を信頼できる形で評価するか**を問う選択科目Ⅲです。

令和8年度の選択科目Ⅲは、社会・技術の複合的問題を把握し、多様な視点から分析して、技術課題とその遂行を論理的・合理的に説明する能力を問う位置付けです。また「材料強度・信頼性」の範囲には、材料力学、破壊力学、構造解析・設計、機械材料、安全性・信頼性工学等が含まれます。

1. 設問のテーマの社会目的

社会目的は、

CPS を活用して長期間使用する機器・設備の劣化状態と残存寿命を高精度に把握し、安全性・信頼性を確保しながら寿命限界近くまで有効利用すること

です。

もう少し上位目的まで上げれば、

「安全・安心」と「設備・資源の有効利用」を両立し、持続可能で強靱な社会・産業基盤を実現すること

となります。

これは Society 5.0 が目指す、サイバー空間とフィジカル空間の融合による経済発展と社会課題解決の両立とも整合します。内閣府も Society 5.0 において、フィジカル空間の情報をサイバー空間に取り込み、デジタルツインとして構築してフィジカル空間へ反映する方向を示しています。[\(内閣府ホームページ\)](#)

2. 出題者の意図

大きく 4 点あります。

第一に、**CPS そのものではなく「材料強度・信頼性技術者として CPS をどう使うか」**を問っています。

第二に、「当初想定より長期間使用」「寿命限界近くまで使用」という条件から、従来の時間基準保全だけではなく、**実機状態に基づく状態基準保全（CBM）、予知保全（PdM）、残存寿命（RUL）評価**への転換を考えさせています。

第三に、センサを取り付ければ終わりではありません。取得した実機データと、疲労・破壊・クリープ・腐食等の物理モデルを融合し、**デジタルツインによる健全性・残存寿命評価の信頼性をどう保証するかが**核心です。デジタルツインによる意思決定にはモデルの信頼性が不可欠であり、NIST も V&V や不確かさ定量化（UQ）を含む VVUQ の重要性を指摘しています。[\(NIST\)](#)

第四に、選択科目Ⅲですから、知識量だけでなく、「**問題→技術課題→最重要課題→複数解決策→解決後の新リスク→対策**」まで一貫した問題解決能力が評価されます。これはマニュアルの骨子表の考え方とも一致します。

3. 重要な箇所と注意すべき箇所

特に重要なのは次の箇所です。

設問中の言葉	読み取るべきこと
「当初想定より長期間使用」	経年劣化、想定外履歴、材料特性変化への対応
「寿命限界近くまで使用」	安全余裕だけではなく高精度な RUL 評価が必要
「CPS を構築」	計測→データ→モデル→評価→実機保全の閉ループ
「残存寿命評価や健全性評価」	材料強度・信頼性の専門性を前面に出す
「多面的な観点」	3 課題を同じ観点にしない
「最も重要」	3 課題から必ず 1 つ選び、理由を書く

設問中の言葉	読み取るべきこと
「すべての解決策を実行しても」	解決前の問題をリスクとして繰り返さない
「新たに生じうるリスク」	解決策実施後だからこそ発生・顕在化するリスクを書く

特に注意したいのが、課題を「センサが不足している」「データが不足している」のような**問題点の表現**にしないことです。

例えば、

×「高品質なデータが不足していることが課題である。」

より、

○「実機劣化状態を高精度に把握するセンシングの高度化が課題である。」

とします。

4. 論文作成上のポイント

この問題では、3つの課題をGPSの情報の流れに沿って整理すると論理が通ります。

①フィジカル空間：実機を正確に測る

→ ②サイバー空間：実機を正確に再現・予測する

→ ③両空間の連携：予測結果を安全な保全判断へつなげる

この構造なら3課題が重複しません。

また、解決策では材料強度・信頼性らしさを示すため、

AE、超音波、ひずみ計測、SHM、FEM、破壊力学、Paris 則、疲労累積損傷、確率論的破壊力学、ベイズ更新、RUL、V&V、UQ

などを適切に使用します。

5. 不合格者と合格者の思考の違い

項目	不合格になりやすい思考	合格者の思考
テーマ認識	「CPSについて書く」	「CPSで長期使用機器の安全と有効利用を両立する問題」
専門性	AI、IoT、クラウド中心	疲労・破壊・劣化・RUL 中心
課題	センサ不足、データ不足	センシング高度化、予測モデル高精度化
3 課題	似た課題を 3 つ	計測・予測・運用等で多面化
最重要課題	書きやすいものを選ぶ	社会目的への寄与で選ぶ
解決策	AI 導入、DX 推進	SHM+破壊力学+データ同化等
リスク	サイバー攻撃だけを書く	解決策実施後の新リスクを因果で考える
全体構成	キーワードの羅列	社会目的からリスク対策まで一本の因果関係

マニュアルでも、最重要課題は「社会目的の実現に最も効果がある」「その課題を先に進めないと他課題を進められない」などの理由で選定する考え方が示されています。

6. 概要表

項目	内容
設問の概要 (現状・問題)	機器・設備の有効利用のため、当初想定以上の長期使用や寿命限界近くまでの使用が求められている。一方、長期使用では疲労、クリープ、腐食、摩耗等の複合劣化が進み、設計時の想定だけでは健全性・残存寿命を精度良く評価できない。このため実機データとデジタルツインを融合した CPS による高精度な健全性・RUL 評価が必要である。
技術課題①	観点：計測・状態把握／課題：実機劣化状態を高精度に把握するセンシングの高度化。長期使用では局所き裂、腐食減肉、塑性ひずみ等が進展するため、AE、超音波、ひずみ、振動等による SHM を高度化する。
技術課題②	観点：解析・予測／課題：実機状態を反映したデジタルツインの高精度化。材料ばらつき、荷重履歴、環境条件、複合劣化等によるモデル誤差を低減し、RUL 予測の信頼性を高める。

項目	内容
技術課題③	観点：信頼性・保全判断／課題：不確かさを考慮した健全性評価・保全意思決定の高度化。寿命限界付近では小さな予測誤差が重大事故につながるため、確率論的評価を用いて検査・補修・交換時期を決定する。
最重要課題	実機状態を反映したデジタルツインの高精度化
理由	センサデータを取得しても、デジタルツインが疲労・破壊等の実機劣化挙動を再現できなければ RUL を適切に予測できず、安全確保と寿命限界までの有効利用を両立できないため。
解決策①	物理モデルの高度化。FEM、弾塑性解析、破壊力学、Paris 則、疲労累積損傷則等を組み込み、き裂進展や疲労損傷を再現する Physics-based Digital Twin を構築する。
解決策②	実測データによる逐次更新。AE、超音波、ひずみ、振動等の SHM データを取得し、カルマンフィルタやベイズ更新によるデータ同化を行い、材料特性・荷重条件・損傷状態を逐次補正する。
解決策③	VVUQ によるモデル信頼性確保。Verification、Validation 及び Uncertainty Quantification を実施し、材料ばらつき、計測誤差、モデル誤差を確率分布として RUL へ反映する。
リスク	高精度化したデジタルツインへの依存が高まり、モデルの適用範囲外の未知損傷、センサ異常、サイバー攻撃等による誤データを正常と判断した場合、RUL を過大評価し、寿命限界を超えて使用するリスクが生じる。
対策	デジタル評価のみで保全判断せず、定期 NDT との二重化、複数センサによる冗長監視、異常検知、適用範囲外判定を導入する。さらに CPSF 等に基づき認証・アクセス制御、通信暗号化、ネットワーク分離等を実施し、フェイルセーフ側に保全判断する。

参考出典

1. 内閣府「Society 5.0」
[内閣府 Society 5.0](#)
2. 内閣府「第 5 期科学技術基本計画」
[第 5 期科学技術基本計画](#)
3. 内閣府 SIP「フィジカル空間デジタルデータ処理基盤 研究開発計画」
[フィジカル空間デジタルデータ処理基盤 研究開発計画](#)
4. NIST, “Credibility Consideration for Digital Twins in Manufacturing”
[NIST Digital Twin Credibility](#)
5. NIST, “Maintenance and Operations of Manufacturing Digital Twins”
[NIST Maintenance and Operations of Manufacturing Digital Twins](#)

6. 経済産業省「サイバー・フィジカル・セキュリティ対策フレームワーク（CPSF）」

[経済産業省 CPSF](#)

7. 1800 文字程度の論文

以下は、指定された章立てに合わせた答案例です。マニュアルで示されている「観点→技術課題」「最重要課題→複数解決策→解決後のリスク・対策」の流れに合わせています。

1. 多面的な観点からの技術課題の抽出

1) 実機劣化状態を把握するセンシングの高度化

計測・状態把握の観点で考えれば、実機劣化状態を高精度に把握するセンシングの高度化が課題である。具体的には、機器を当初想定以上に長期間使用すると、繰返し荷重による疲労き裂、腐食減肉、クリープ損傷等が進行する。特に寿命限界付近では微小な損傷進展が健全性を左右する。このため、AE、超音波、ひずみ、振動等を用いた構造ヘルスマモニタリング（SHM）により、損傷位置や進展量を連続的かつ高精度に取得する必要がある。

2) デジタルツインによる寿命予測の高精度化

解析・予測の観点で考えれば、実機状態を反映したデジタルツインによる残存寿命予測の高精度化が課題である。具体的には、長期使用機器では材料特性のばらつきに加え、設計時に想定していない荷重履歴、温度、腐食環境等が重畳する。このため、初期設計条件のみの解析では実機の劣化挙動との乖離が拡大し、寿命限界付近で残存寿命（RUL）を正確に評価できない。

3) 不確かさを考慮した保全判断の高度化

信頼性・保全判断の観点で考えれば、不確かさを考慮した健全性評価・保全意思決定の高度化が課題である。具体的には、寿命限界付近まで機器を使用する場合、材料強度のばらつき、計測誤差、モデル誤差等によるわずかな寿命予測誤差が重大事故につながる。このため、決定論的な寿命値だけでなく破損確率等を考慮して検査、補修、交換時期を判断する必要がある。

2. 抽出した技術課題のうち最も重要と考える技術課題と解決策

私は「デジタルツインによる寿命予測の高精度化」が最も重要な課題と考える。理由は、実機データを取得しても、モデルが実機の損傷進展を再現できなければ RUL を適切に予測できず、安全確保と機器の有効利用を両立できないからである。

1) 物理モデルによる損傷進展予測

材料強度に基づく物理モデルの高度化が重要である。具体的には、FEM による応力解析と弾塑性解析を行い、応力集中部を特定する。さらに破壊力学に基づく応力拡大係数と Paris 則等を用いて疲労き裂進展を逐次計算し、実機の損傷機構を反映した Physics-based Digital Twin を構築する。

2) 実測データによるモデルの逐次更新

実機データを用いたデータ同化が重要である。具体的には、AE、超音波、ひずみ、振動等の SHM データを IoT により収集する。これらと解析結果を比較し、カルマンフィルタやベイズ更新により荷重条件、材料特性、き裂寸法等のモデルパラメータを逐次補正する。これにより実機とデジタルツインの乖離を抑制し、RUL 予測精度を向上させる。

3) VVUQ によるモデル信頼性の確保

デジタルツインの信頼性を定量的に保証することが重要である。具体的には、Verification により数値解析の実装を検証し、Validation により実機計測値との整合性を確認する。さらに Uncertainty Quantification により材料特性、荷重、計測及びモデルの不確かさを定量化し、モンテカルロ法等によって RUL を確率分布として評価する。これにより過度に楽観的な寿命判断を防止する。

3. 解決策を実行しても新たに生じうるリスクと対策

1) リスク

リスクとしては、高精度化したデジタルツインへの過度な依存による寿命限界超過がある。具体的には、モデルの適用範囲外となる未知の損傷モードや、センサ故障、通信異常、サイバー攻撃等による異常データを正常値と判断した場合、RUL を過大評価する可能性がある。その結果、デジタルツイン上では健全と判断しているにもかかわらず、フィジカル空間では損傷が限界状態に達するおそれがある。

2) 対策

対策としては、デジタル評価と実機検査を組み合わせた多重防護がある。具体的には、デジタルツインの評価結果だけで運転継続を判断せず、超音波探傷等の定期 NDT によって妥当性を確認する。また、異種センサを冗長配置して相互診断を行い、学習・解析範囲外を検知した場合は安全側の寿命値を採用する。さらに認証、アクセス制御、通信暗号化及びネットワーク分離により CPS への不正侵入やデータ改ざんを防止する。これらにより、安全性・信頼性を確保しつつ、CPS を活用して長期使用機器を寿命限界近くまで有効利用する。

この答案で特に重要なのは、「CPS の論文」ではなく、最後まで「材料強度・信頼性の論文」になっていることです。AI や IoT を主役にせず、疲労・破壊力学・SHM・RUL・VVUQ を主役にして、CPS をそれらを統合する手段として位置付けるのが、この問題では強い構成です。

以上