

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

=====

以下は、令和8年度「電気電子部門—電気応用—選択科目Ⅲ—2」を、選択科目Ⅲ論文作成マニュアルの「設問を分解して理解する」「指定された観点に的確に答える」「現状→課題→最重要課題→解決策→波及効果→懸念→対応策を論理的につなぐ」という考え方に沿って整理したものです。特に本問は典型的な**観点指定型**です。マニュアルでも近年は「課題指定型」「観点指定型」が増えているため、基本的な書き方を外さないことが重要とされています。

1. 設問のテーマの社会目的

この問題の社会目的は、

エッジ AI のリアルタイム性とデジタルツインの予測・最適化能力を安全かつ信頼できる形で実設備へ統合し、設備の生産性・保全性・レジリエンスを向上させながら、持続可能で安定した産業活動を実現すること

です。

単に「AI を導入すること」が目的ではありません。

設問文には、

- 自動運転や工場自動化への活用

- 運用最適化
- 異常予測の高度化
- エッジ AI によるリアルタイム制御
- デジタルツインとの統合

という流れがあります。

NIST もデジタルツインについて、設備等を同期した仮想モデルとして表現し、診断・予測・最適化に利用することで、生産性向上、品質向上、コスト低減につながる一方、相互運用性や信頼性、Verification/Validation/Uncertainty Quantification (VVUQ) が重要になると整理しています。(NIST)

したがって答案では、**「高度な AI を導入する」ではなく、「安全・信頼性を確保しながら設備運用を高度化する」**ことを上位目的に置くべきです。

2. 出題者の意図

令和 8 年度の選択科目Ⅲは「選択科目についての問題解決能力及び課題遂行能力」を問う 600 字×3 枚の問題です。

この設問では、特に次の能力を見ようとしています。

第一は、指定された 3 観点を正確に理解できるか。

今回は自由に観点を設定する問題ではありません。

- ①既存設備・既存システムとの整合性
- ②想定外事象に対する動作検証・妥当性
- ③過度な自動化・AI 処理偏重

という 3 観点が指定されています。

第二は、AI を使えば解決するという短絡的な答案にならないか。

特に③は、「AI を高度化する」方向だけではなく、人間、従来制御、安全系、AI を適切に役割分担する能力を問っています。NIST にも、AI と人間の認知を組み合わせで意思決定する Human-in-the-Loop 型のスマート製造アーキテクチャがあります。(NIST)

第三は、電気応用技術者として書けるか。

単なる IT 論では不十分です。

PLC、センサ、インバータ、サーボ、産業ネットワーク、安全 PLC、フェイルセーフ、機能安全、リアルタイム制御など、**実際の電気設備・制御設備との接点**を書く必要があります。

3. 重要な箇所と注意すべき箇所

最も重要なのは次の 5 点です。

設問の表現	読み取るべきこと
「3 つの観点について」	観点を勝手に変更しない
「文頭に…キーワードを 1 つ以上列挙」	各課題の冒頭にキーワードを明示
「AI による判断は想定外の事象に含めない」	②で AI 誤判断を主題にしてはいけない
「クラウド AI との比較は求めない」	クラウドとの通信遅延等を中心論点にしない
「すべての解決策を実行したうえで」	波及効果は 3 解決策を統合実施した結果を書く

特に②が落とし穴です。

ここでいう想定外事象は、例えば、**センサ断線、通信断、電源瞬低、アクチュエータ固着、PLC 異常、モデルと実機の乖離、複合故障、非常停止**などです。

「AI が誤判断する」は設問が明示的に除外しています。

4. 論文作成上のポイント

マニュアルでは、設問 (1) (2) (3) に合わせた章立てが高得点を狙う場合に推奨され、さらに文字数調整等では (3) を「波及効果」「懸念事項」「対応策」に細分化する形式が示されています。今回ユーザー指定のテンプレートは、この A-2 型と整合しています。

また、マニュアルでは「最も重要な課題」は単なる個人的好みではなく、社会・行政・技術動向を踏まえて重要度を判断する考え方が示されています。

本問では、次の論理連鎖を崩さないことが重要です。

現状・問題

エッジ AI+デジタルツインで高度化できる

↓

しかし実設備では異常・故障・モデル乖離が起こる

↓

最重要課題

想定外事象を含む動作検証と妥当性確保

↓

解決策

①デジタルツインによる異常シナリオ検証

②実機を含む段階的 V&V

③独立安全系・フォールバック

↓

波及効果

安全性・可用性・予知保全能力向上

↓

新たな懸念

システム複雑化によるサイバー攻撃面拡大

↓

対応

IEC 62443 等を踏まえた多層防御

この一本線ができれば論文はかなり安定します。

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
テーマ理解	「AI の問題だ」	「実設備へ AI+DT を安全に統合する問題だ」
①整合性	「古い設備だから接続できない」	PLC・センサ・通信プロトコル・データモデルの異種性を考える
②想定外事象	「AI が誤判断する」	通信断、センサ故障、電源異常、機器故障等を考える
③自動化	「AI の精度向上が必要」	AI・従来制御・安全系・人間の役割分担を考える
最重要課題	書きやすいものを選ぶ	人命・設備安全・事業継続への影響で選ぶ
解決策	「AI を高性能化する」	V&V、HIL、フェイルセーフ等の専門技術を書く
波及効果	「生産性が向上する」だけ	安全性→可用性→保全→生産性まで因果で示す
懸念事項	最初の課題を繰り返す	解決策を実施したからこそ生じる新リスクを書く

項目	不合格になりやすい思考	合格者の思考
電気応用	IT 用語中心	PLC、安全 PLC、センサ、アクチュエータ、機能安全等を使う

6. 概要表

マニュアルでも骨子表を「現状・問題・求められる技術課題」「観点・技術課題」「解決策」「すべての解決策を実行した上で生じる波及効果」「懸念事項への対応策」という形で整理しています。

項目	内容
設問の概要（現状・問題）	エッジ AI によるリアルタイム制御とデジタルツインによる設備状態再現・予測を統合することで、運用最適化、異常予測、設備保全の高度化が期待される。一方、既設 PLC・センサ等との接続、想定外事象での安全動作、AI への過度な依存が問題となる。
技術課題①	キーワード：相互運用性、OPC UA、データモデル／観点：既存設備・既存システムとの整合性。異種設備間の相互運用性確保が課題。既設 PLC、センサ、インバータ等では通信方式、データ形式、サンプリング周期等が異なるため、統合時に意味・時刻・単位の不整合が生じる。
技術課題②	キーワード：V&V、HIL、フェイルセーフ／観点：想定外事象に対する動作検証及び妥当性。想定外事象を含むシステム動作の検証・妥当性確保が課題。センサ断線、通信断、電源異常、アクチュエータ故障等でデジタルツインと実機が乖離し、不安全制御に至る可能性がある。
技術課題③	キーワード：Human-in-the-Loop、機能分離、手動介入／観点：過度な自動化・AI 処理偏重。人間・AI・従来制御の適切な機能分担が課題。AI へ判断・制御を集中すると、異常時に運転員の状況認識や介入能力が低下する。
最重要課題	②想定外事象を含むシステム動作の検証・妥当性確保
理由	制御システムの異常動作は、単なる AI 性能低下ではなく、設備破損、感電・火災、人身事故、生産停止へ直結し得る。したがって、安全確保を前提にしなければ他の便益を享受できないため。
解決策①	デジタルツインを用いたシナリオベース V&V。FMEA 等で故障モードを抽出し、センサ断線、通信遅延、電源異常等を Fault Injection してシミュレーションする。
解決策②	SIL/HIL による段階的検証。Software-in-the-Loop から Hardware-in-the-Loop へ段階的に検証し、実 PLC、I/O、センサ、アクチュエータの応答を含めてリアルタイム性・安全性を確認する。

項目	内容
解決策③	独立安全系とフォールバック制御の構築。AI 系とは独立した安全 PLC、インターロック、非常停止等を設け、異常時には AI 制御を切り離して従来制御又は安全停止へ遷移させる。
波及効果	異常予測の信頼性向上、設備停止時間の短縮、予知保全高度化、設備稼働率・生産性向上。検証済みモデルを設備更新・運転員教育にも再利用できる。
懸念事項	AI、デジタルツイン、PLC、センサ、ネットワークの接続拡大によりシステムが複雑化し、サイバー攻撃面が拡大する。改ざんされたセンサ情報等により実機とデジタルツインの整合性が崩れる懸念。
対応策	IEC 62443 を踏まえた Defense-in-Depth。制御ネットワークをゾーン・コンジット化し、認証・アクセス制御、暗号化、ログ監視、ホワイトリスト、署名付き更新等を実装する。安全系は論理的・物理的に分離する。

この骨子で特に重要なのは、①→②→③が単なる言い換えになっていないことです。

①は**「つながるか」、②は「異常時にも正しく安全に動くか」、③は「人間を含めたシステムとして適切か」**という切り分けです。

参考出典

1. ISO 23247-1:2021, Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles
[ISO 23247-1:2021](#)
2. ISO 23247-2:2021, Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 2: Reference architecture
[ISO 23247-2:2021](#)
3. ISO 23247-4:2021, Automation systems and integration – Digital twin framework for manufacturing – Part 4: Information exchange
[ISO 23247-4:2021](#)
4. OPC Unified Architecture – Part 1: Overview and Concepts
[OPC UA Part 1](#)
5. ISO 13849-1:2023, Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design
[ISO 13849-1:2023](#)
6. IEC 62443-3-3:2013, Industrial communication networks – Network and system security – Part 3-3: System security requirements and security levels
[IEC 62443-3-3](#)
7. NIST, Digital Twins for Advanced Manufacturing
[Digital Twins for Advanced Manufacturing](#)

8. NIST, Conceptual Architecture of Digital Twins with Human-in-the-Loop-
Based Smart Manufacturing
[Human-in-the-Loop Digital Twin Architecture](#)

なお、ISO 23247 では製造デジタルツインの枠組み・参照アーキテクチャ・情報交換が規定され、OPC UA はセンサ、PLC、MES 等を含む異種システム間の情報交換・相互運用性を扱っています。(ISO)

7. 1800 文字程度の論文

マニュアルでは、試問事項への回答漏れを防ぐため、設問の(1)(2)(3)に対応して章立てし、(3)を波及効果・懸念事項・対応策に細分化する構成が示されています。以下は指定された章立てに合わせた完成形です。

1. 多面的な観点からの技術課題の抽出

1) ①既存設備・既存システムとの整合性の観点の課題

内容に即したキーワード：相互運用性、OPC UA、データモデル。

異種設備間の相互運用性の確保が課題である。具体的には、既設工場ではメーカーや導入時期の異なる PLC、センサ、インバータ、サーボ等が混在し、通信プロトコル、データ形式、単位、サンプリング周期が異なる。この状態でエッジ AI とデジタルツインを統合すると、データの意味や時刻の不整合により設備状態を正確に再現できない。このため、OPC UA 等を用いて通信インタフェースと情報モデルを標準化し、既存設備との相互運用性を確保することが課題である。

2) ②想定外の事象に対する動作検証及びその妥当性に関する観点の課題

内容に即したキーワード：V&V、HIL、フェイルセーフ。

想定外事象を含むシステム動作の検証・妥当性確保が課題である。具体的には、実設備ではセンサ断線、通信断、電源瞬低、アクチュエータ固着等が複合的に発生する可能性がある。この際、デジタルツインと実設備の状態が乖離したまま制御を継続すれば、設備損傷や人身事故に至るおそれがある。このため、正常時だけでなく想定外事象における制御動作を事前に検証し、その妥当性を確保することが課題である。

3) ③過度な自動化及び AI 処理偏重に対する観点の課題

内容に即したキーワード：Human-in-the-Loop、機能分離、手動介入。

人間・AI・従来制御の適切な機能分担が課題である。具体的には、AI に監視・判断・制御を過度に集中すると、運転員の状況認識や操作技能が低下し、異常時に適切な介入が困難となる。このため、定型的な高速処理は AI に担当させる一方、安全判断や非常時対応では運転員や従来制御系が介入できる構成とすることが課題である。

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「想定外事象を含むシステム動作の検証・妥当性確保」が最も重要な課題と考える。理由は、制御システムの異常動作は設備破損や生産停止だけでなく、感電、火災、人身事故等に直結し、安全を確保できなければ運用最適化等の効果を享受できないからである。

1) デジタルツインによるシナリオベース V&V

異常シナリオを網羅した事前検証が重要である。具体的には、FMEA 等によりセンサ断線、通信遅延、電源異常、アクチュエータ故障等の故障モードを抽出する。これらをデジタルツイン上で Fault Injection し、制御応答、保護動作、停止シーケンスを V&V する。また、実測値との残差を監視してモデルの妥当性を継続評価する。

2) SIL・HIL による段階的な実機検証

実設備との境界条件を含めた段階的検証が重要である。具体的には、Software-in-the-Loop で制御ロジックを検証した後、Hardware-in-the-Loop により実 PLC、I/O、通信機器等を接続する。模擬センサ信号や故障信号を入力し、制御周期、通信遅延、アクチュエータ応答を含め、リアルタイム性と安全性を確認する。

3) 独立安全系とフォールバック制御の構築

AI 制御から独立した安全機能の確保が重要である。具体的には、安全 PLC、インターロック、非常停止回路等を AI 系から独立させる。センサ異常、通信断、モデル乖離等を検出した場合には AI 制御を切り離し、決定論的な従来制御へ縮退させるか安全停止させる。これにより単一故障が重大事故へ波及することを防止する。

3. 解決策を実行した上で生じる波及効果と懸念事項への対応策

1) 波及効果

安全性と設備可用性を両立したスマート保全の実現という効果がある。具体的には、異常シナリオの事前検証と実機検証により設備異常の早期検知と適切な縮退運転が可能となる。その結果、突発停止時間を短縮し、状態基準保全や予知保全を高度化できる。また、検証済みデジタルツインを設備更新や運転員教育へ再利用することで、設備ライフサイクル全体の生産性向上が期待できる。

2) 新たに予測される懸念事項

新たに予測される懸念事項としては、システム複雑化に伴うサイバー攻撃面の拡大がある。具体的には、PLC、エッジデバイス、デジタルツイン等の接続点が増えることで侵入口が増加し、センサデータや制御指令が改ざんされれば、実設備とデジタルツインの整合性が失われ、不安全動作につながるおそれがある。

3) 対応策

対応策としては、IEC 62443 を踏まえた多層防御の構築がある。具体的には、制御ネットワークを重要度に応じてゾーン・コンジット化し、認証、最小権限アクセス、通信暗号化、ログ監視等を実施する。また、安全系を AI 系から論理的・物理的に分離するとともに、ソフトウェア更新時には電子署名を確認する。これによりサイバー攻撃時にも安全機能を維持し、エッジ AI とデジタルツインを安全かつ継続的に活用する。

この論文の得点上の核は、**「②を最重要課題→V&V→SIL/HIL→独立安全系→その結果として安全性・可用性向上→接続増加によるサイバーリスク→IEC 62443」**という因果関係です。

また、①で OPC UA を出すのも有効です。OPC UA はセンサ・アクチュエータから PLC、MES 等までの情報交換を対象とし、情報モデル、通信モデル、適合性モデル等によって相互運用性を支えるため、本問の「既存設備・既存システムとの整合性」と技術的に対応します。[\(OPC UA Online Reference\)](#)

一方、③では「AI 精度向上」を解決方向にしないことが重要です。NIST が Human-in-the-Loop 型のデジタルツイン／スマート製造を提案しているように、人間と AI を競合させるのではなく、役割分担させる方向がこの設問には適しています。[\(NIST\)](#)

以上