

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

=====

以下では、令和8年度・電気電子部門「電力・エネルギーシステム」選択科目Ⅲ—1について、**選択科目Ⅲ論文作成マニュアルの「現状・問題→観点→技術課題→最重要課題→複数解決策→リスク→対策」**という**骨子形成**に沿って整理します。マニュアルでは、技術課題を書くには「現状の問題点」「解決策の概要」「観点」を先に整理し、解決策が書けるところまで問題分析を深掘りすることが重要とされています。

また、令和8年度の選択科目Ⅲは、まさに「問題解決能力及び課題遂行能力」を評価する科目であり、多様な視点から分析して技術課題を抽出し、問題解決手法と遂行方策を論理的・合理的に説明できるかが問われています。

1. 設問のテーマの社会目的

この設問の社会目的は、

再生可能エネルギーの大量導入、電源構成の多様化、広域連系の進展という電力システムの構造変化の中でも、事故の連鎖・波及を抑止し、大規模停電を防止して電力の安定供給を維持すること

です。

重要なのは、単に「停電事故に備える」ことではありません。

設問には、

- 「緊急時だけでなく平常時」
- 「事故波及に至る要因を少なくしておく」
- 「政策面ではなく技術面から」

とあります。

したがって社会目的は、平常時から電力系統を事故波及しにくい状態に維持し、事故が発生しても広域停電へ発展しないレジリエントな電力システムを形成することと捉えるべきです。

実際、2025 年 4 月 28 日のスペイン・ポルトガル大停電について、ENTSO-E の最終報告は、単一原因ではなく、振動、電圧・無効電力制御上の問題、急激な出力低下、発電機脱落、安定化能力の偏在など複数要因の相互作用によって広域停電に至ったとしています。
([ENTSOE](#))

2. 出題者の意図

この問題では、単なる「停電対策の知識」を聞いているものではありません。

選択科目Ⅲで評価される問題解決能力・課題遂行能力に照らせば、出題者は主として次の能力を確認しています。

確認される能力	この設問での表れ方
複合問題の認識	大停電を単一故障だけで説明しない
多面的分析	周波数・電圧・潮流など異なる観点から課題を抽出
専門的学識	慣性力、短絡容量、FRT、系統安定度、PMU 等を適切に使用
問題解決	最重要課題に対して異なる原理の複数解決策を提示
評価	全対策実施後にも残る新たなリスクを抽出
論理性	現状→問題→課題→解決策→残留リスク→対策を一貫させる

つまり、

「事故が起きたらどうするか」ではなく、「平常時から事故波及しにくい系統をどう作り、事故発生後も連鎖脱落をどう防ぐか」

を技術者として論じる問題です。

3. 重要な箇所・注意すべき箇所

特に重要なのは次の部分です。

①「緊急時だけでなく平常時も踏まえて」

事故後の保護リレーや負荷遮断だけを書いてはいけません。平常時から慣性力、短絡容量、無効電力、送電線潮流、安定度余裕等を適切に確保する発想が必要です。

②「広域な停電を防止」

局所的な停電防止ではありません。電源脱落→周波数低下→追加電源脱落→連鎖的な周波数低下、あるいは送電線事故→潮流転移→過負荷→追加送電線脱落といった**事故波及**を論じる必要があります。

③「多面的な観点から3つ」

「設備」「設備」「設備」のような似た観点では弱くなります。本回答では、

周波数安定性／電圧安定性／広域系統安定性

という異なる物理現象で切り分けます。

④「政策面ではなく技術面」

容量市場、補助金、電気料金制度などを主役にしません。GFM、同期調相機、FRT、蓄電池、PMU、広域安定化システム等で答えます。

⑤「すべての解決策を実行しても」

(3)は単なる「解決策の欠点」ではありません。

複数対策を全部実施した結果として、**高度化・複雑化したシステムだからこそ新しく生じるリスク**を考えるのがポイントです。

4. 論文作成上のポイント

この問題は、最重要課題を**「低慣性・低短絡容量化する系統の安定化」**とすると非常に組み立てやすくなります。

2026年3月のOCCTO資料でも、太陽光・風力等のインバータ電源増加と同期電源減少により短絡容量が低下すると、事故時の電圧・周波数変動が拡大し、インバータ電源の停止から連鎖脱落、大規模停電へ発展する可能性が示されています。[\(オクタ\)](#)

したがって論文全体を、

再エネ拡大

→同期電源減少

→慣性力・短絡容量・同期化力低下

→事故時の電圧・周波数変動増大

→IBR の連鎖脱落

→広域停電

という因果関係で理解しておくといえます。

解決策も、

①GFM インバータ

②同期調相機＋蓄電池

③FRT・系統監視制御高度化

のように、異なる技術原理から構成すると専門性が出ます。

5. 不合格者と合格者の思考の違い

設問を読んだ場面	不合格になりやすい思考	合格答案につながる思考
イベリア停電を見る	イベリア停電の原因説明を書こう	これは複合要因による事故波及の例だ
「広域停電防止」を見る	送電線を増強しよう	周波数・電圧・潮流の各安定性から分析しよう
「平常時」を見る	予備力を増やせばよい	平常時から慣性・短絡容量・安定度余裕を管理する必要がある
「多面的」を見る	ハード・ソフト・人材	電力系統固有の物理現象で観点を分けよう
課題を書く	慣性力が不足している	低慣性系統における周波数安定性の確保
解決策を書く	再エネを減らす	GFM、同期調相機、蓄電池、FRT 等を組み合わせる
(3)を見る	サイバー攻撃が心配	全対策を統合した結果の相互干渉・共通モード故障を考える
全体	知っている用語を並べる	現状→問題→課題→解決策→残留リスクを一本につなぐ

6. 概要表

マニュアルでは、骨子表によって「現状・問題・求められる技術課題」「観点・技術課題」「解決策」「リスク等」を整理してから論文化する方法が示されています。

項目	骨子
現状・問題	再エネ等の IBR (Inverter Based Resources) が増加する一方、同期発電機が減少し、系統の慣性力、短絡容量、同期化力が低下する。また、地域間連系・市場取引拡大により広域潮流が複雑化する。事故時には電圧・位相・周波数変動によって IBR が一斉脱落し、潮流転移、周波数低下、電圧不安定化が連鎖して広域停電へ発展するおそれがある。
技術課題①	観点：周波数安定性。課題：低慣性系統における周波数安定性の確保。 IBR 増加と同期機減少により慣性力が低下すると、電源脱落時の RoCoF が増大し、周波数 Nadir が低下する。平常時から必要慣性量・高速調整力を確保する必要がある。
技術課題②	観点：電圧安定性。課題：低短絡容量系統における電圧安定性の確保。 同期機減少による短絡容量・無効電力供給能力低下により、事故時の電圧・位相変動が増大する。電圧上昇・低下による IBR 連鎖脱落を防止する必要がある。
技術課題③	観点：広域系統安定性。課題：広域潮流のリアルタイム監視・制御の高度化。 地域間連系線の利用拡大により、一設備の脱落后に潮流が広範囲へ転移し、過負荷・電力動揺・追加設備脱落が生じる可能性がある。平常時から N-1/N-k 事故後の安定度余裕を監視する必要がある。
最重要課題	低慣性系統における周波数安定性の確保。 周波数は系統全体の需給不均衡を表し、周波数低下による電源脱落が追加の周波数低下を引き起こすため、広域停電へ波及する起点となり得るからである。
解決策①	GFM (Grid Forming) インバータの導入。 系統電圧・周波数に追従する GFL だけでなく、自ら電圧・周波数を形成する GFM を蓄電池・再エネ PCS へ導入し、仮想慣性、一次調整力、同期化力を提供する。
解決策②	同期調相機＋系統用蓄電池の配置。 同期調相機により慣性力・短絡容量・無効電力を確保し、BESS の高速周波数応答 (FFR) により電源脱落直後の周波数低下を抑制する。
解決策③	FRT・広域監視制御の高度化。 IBR の FRT 要件を高度化し、事故時の不要脱落を抑制する。さらに PMU による同期位相計測、WAMS による広域監視、オンライン動的安定度評価を用いて事故波及を早期検出し、系統分離・電源制限等を実施する。
リスク	GFM、BESS、FRT、WAMS 等の多数の高速制御装置を広域導入すると、制御器間の相互干渉、制御モードの共振、通信遅延・誤情報等により、従来想定していなかった共通モードの不安定現象が発生するリスクがある。
対策	EMT 解析と実系統相当の HIL 試験により多ベンダー機器の相互作用を事前検証する。PMU で広域振動を常時監視し、適応型 PSS・POD 等で減衰させる。通信喪失時にもローカル制御で自律安定運転できるフェイルセーフ設計とする。

この構成は、マニュアルが重視する「現状の問題点→観点→技術課題→解決策」という因果関係を明確にする形です。

参考出典

1. ENTSO-E, “Expert Panel Final Report on 28 April 2025 Blackout in Spain and Portugal”
[ENTSO-E 最終報告公表ページ](#)
2025 年の大停電が、電圧・無効電力制御、振動、発電機脱落等の複数要因の相互作用で生じたことを確認する資料です。(ENTSOE)
2. 電力広域的運営推進機関「『再エネ主力電源化』に向けた技術的課題及びその対応策の検討状況について ～FRT 要件の見直しの検討状況～」
[OCCTO 第 117 回調整力及び需給バランス評価等に関する委員会 資料 3](#)
同期電源減少、短絡容量低下、IBR 停止、FRT と大規模停電リスクの関係を示す重要資料です。(オクタ)
3. 資源エネルギー庁「第 7 次エネルギー基本計画」
[第 7 次エネルギー基本計画](#)
再エネ主力電源化、系統整備、蓄電池、DR 等の方向性を確認できます。(エネルギー庁)
4. 電力広域的運営推進機関「広域系統長期方針（広域連系系統のマスタープラン）」
[広域系統長期方針](#)
全国大での広域連系系統の長期的な設備形成を整理した資料です。(オクタ)
5. NEDO「NEDO 再生可能エネルギー分野成果報告会 2025」系統安定化対策関連資料
[NEDO 再生可能エネルギー分野成果報告会 2025 資料](#)
同期調相機＋蓄電池等による系統安定化技術の検証結果が示されています。(NEDO)
6. 電力広域的運営推進機関「日本版コネクト&マネージの検討」
[OCCTO Connect & Manage](#)
N-1 電制や系統混雑時の運用など、既存系統の有効活用に関する資料です。(オクタ)

7. 1800 文字程度の論文

1. 多面的な観点からの技術課題の抽出

1) 低慣性系統における周波数安定性の確保

周波数安定性の観点で考えれば、低慣性系統における周波数安定性の確保が課題である。具体的には、太陽光・風力等のインバータ電源（IBR）の増加に伴い、火力等の同期発電機が減少している。これにより系統慣性が低下するため、大規模電源脱落時には周波数変化率（RoCoF）が増大し、周波数最低値（Nadir）が低下する。その結果、周波数保護によ

る電源の連鎖脱落から広域停電へ波及するおそれがある。このため平常時から必要慣性量と高速調整力を確保する必要がある。

2) 低短絡容量系統における電圧安定性の確保

電圧安定性の観点で考えれば、低短絡容量系統における電圧安定性の確保が課題である。具体的には、同期発電機の減少に伴い短絡容量及び無効電力供給能力が低下する。このため系統事故時の電圧・位相変動が増大し、PLL を用いる IBR が急峻な周波数変動として検出して一斉脱落する可能性がある。また、無効電力不足による電圧崩壊も広域停電につながる。このため平常時から短絡容量及び無効電力余裕を確保する必要がある。

3) 広域潮流のリアルタイム監視・制御の高度化

広域系統安定性の観点で考えれば、広域潮流のリアルタイム監視・制御の高度化が課題である。具体的には、地域間連系及び電力取引の拡大により広域潮流が複雑化している。このため一送電線の事故でも潮流転移によって他設備が過負荷となり、追加脱落、電力動揺、系統分離へ連鎖するおそれがある。したがって平常時から N-1 事故等を想定し、過渡・電圧・周波数安定度の余裕を把握する必要がある。

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「低慣性系統における周波数安定性の確保」が最も重要な課題と考える。理由は、周波数低下は広域に伝搬し、電源の連鎖脱落を通じて系統全体のブラックアウトへ急速に波及する可能性があるからである。

1) GFM インバータの導入

Grid Forming (GFM) インバータの導入が重要である。具体的には、系統電圧に追従する従来の Grid Following 方式に加え、蓄電池や再エネ PCS に GFM 制御を導入する。仮想同期発電機制御等によって自ら電圧・周波数を形成し、仮想慣性及び一次調整力を供給することで、事故直後の RoCoF 及び Nadir の悪化を抑制する。

2) 同期調相機と系統用蓄電池の活用

同期調相機と系統用蓄電池 (BESS) の活用が重要である。具体的には、同期調相機を低短絡容量箇所に配置して慣性力、短絡容量及び無効電力を確保する。同時に BESS の Fast Frequency Response を用いて電源脱落直後に高速で有効電力を注入し、周波数低下を抑制する。これにより同期機とパワーエレクトロニクス双方の特長を生かす。

3) FRT 及び広域監視制御の高度化

IBR の事故時運転継続 (FRT) 及び広域監視制御の高度化が重要である。具体的には、事故時の急峻な電圧・位相・周波数変化でも IBR が不要脱落しない FRT 性能を確保する。また PMU による同期位相計測と WAMS を活用して広域系統の周波数、位相角、電力動揺をリアル

タイム監視する。安定度余裕が低下した場合には電源制限や系統分離等の緊急制御を実施し、事故波及を遮断する。

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、多数の高速制御装置間の相互干渉による新たな系統不安定化がある。具体的には、GFM、BESS、FRT 機能等を異なるメーカーの制御装置で大量導入すると、制御器間の相互作用による低周波・高周波振動や共振が発生する可能性がある。また WAMS への依存度上昇により、通信遅延やデータ異常が広域制御の誤動作につながるおそれがある。

2) 対策

対策としては、制御システム全体の相互作用検証と自律分散型のフェイルセーフ化がある。具体的には、導入前に電磁過渡現象（EMT）解析及び Hardware-in-the-Loop 試験を行い、多ベンダー機器を含めた制御安定性を検証する。また PMU で広域振動を常時監視し、PSS や Power Oscillation Damping 制御により振動を抑制する。さらに通信異常時には各設備がローカル情報のみで安定運転を継続できる自律制御へ移行させる。これにより単一故障を広域停電へ波及させない強靱な電力系統を構築する。

この論文で特に重要なのは、第 1 章の 3 課題が「周波数・電圧・広域潮流」という異なる観点になっていること、そして第 2 章から第 3 章までを「IBR 増加に伴う系統安定性」という一本の技術ストーリーでつないでいることです。

また、マニュアルでは課題抽出過程に根拠となるデータ・数値を入れることも推奨されています。そのため、さらに得点力を上げるなら、次の段階ではこの答案に**「2040 年度の再エネ比率」「IBR 増加量」「同期電源減少」「必要慣性量・短絡容量等の具体的な数値」**を厳選して 2～3 か所追加すると、より具体性の高い答案になります。

以上