

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。

=====

以下では、令和 8 年度の試験制度と「選択科目Ⅲ論文作成マニュアル」の考え方を基準に
しつつ、PFAS に関する規制・技術情報については 2026 年 8 月時点の公的資料で補強して
整理します。

選択科目Ⅲは、「社会的なニーズや技術の進歩」に伴うエンジニアリング問題について、
選択科目に関わる観点から技術課題を抽出し、多様な視点から分析して問題解決手法と遂
行方策を提示できるかを見る問題です。評価項目は「専門的学識、問題解決、評価、コミ
ュニケーション」です。

また、マニュアルでは特に（1）が重要で、「観点→技術課題」の順で示すこと、設問の
メインキーワード・サブキーワードを分解して捉えることが重視されています。

1. 設問テーマの社会目的

この設問の社会目的は、

**PFAS 由来の環境・人体への長期的なリスクを低減しつつ、高分子材料が担っている社会・
産業機能を維持すること**

です。

PFAS は強固な C-F 結合に起因して環境中で分解されにくく、環境への継続的な放出は長期
的な蓄積につながります。一方、PFAS には高分子量のポリマーも含まれ、耐熱性、耐薬品
性、耐候性、低摩擦性等を利用して幅広い産業で使用されています。したがって、「PFAS
だから全部やめる」という単純な問題ではなく、**環境安全性と材料機能・産業継続性を両
立させる技術的トランジション**が社会目的になります。（ECHA）

2. 出題者の意図

出題者が確認したいのは PFAS の知識量だけではありません。

中心となるのは、**高分子化学の専門家として PFAS 規制という社会的問題を高分子材料の問題へ落とし込み、「問題→技術課題→解決策→新たなリスク→対策」を論理的につなげられるか**です。

特に重要なのは次の 4 点です。

- PFAS 規制を「化学物質規制」の一般論ではなく、**高分子化学の問題として扱うこと**
- (1) で異なる観点から 3 課題を抽出すること
- (2) で最重要課題を選択し、**高分子化学の専門技術を用いた解決策を提示すること**
- (3) で解決策を無条件に肯定せず、実施後に発生する新しい技術リスクを予測・評価すること

これはマニュアルが示す「現状→課題→解決策→リスク→対応策」という骨子そのものです。さらに、この骨子を逆方向に「なぜなら」で確認して論理性を検証する考え方が有効です。

3. 重要な箇所と注意すべき箇所

最重要語句は、**「高分子化学を専門とする技術者の立場」**です。

環境政策、法制度、企業経営だけを書いてはいけません。例えば「規制を強化する」「補助金を増やす」では、高分子化学の専門性が弱くなります。

次に重要なのが、**「多面的な観点から 3 つの技術課題」**です。マニュアルどおり、

〇〇の観点で考えれば、△△の推進が課題である。

という構造にします。

さらに注意したいのが「PFAS 規制の対象となる高分子」です。本答案では、将来的な包括規制への対応を論じやすい**PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）**を採用します。OECD の広い PFAS 概念では高分子 PFAS も議論対象であり、EU の包括的 PFAS 制限案ではフルオロポリマーを一律に一般除外する扱いではありません。もっとも、これは「日本で現在 PTFE 自体の製造・使用が原則禁止されている」という意味ではありません。日本の PFOS、PFOA、PFHxS 等に対する現行規制と、EU 等で検討されている包括的 PFAS 規制を混同しないことが重要です。[\(OECD\)](#)

4. 論文作成上のポイント

この問題は、次の一本の「物語」にすると安定します。

PFAS の難分解性・残留性が問題

- PTFE 等のフルオロポリマーにも包括規制への対応が必要
- 代替材への転換だけでなく、性能確保とライフサイクル排出抑制が必要
- 最重要課題を「非フッ素系代替高分子材料への転換」とする
- 分子設計と複合化・表面改質で要求性能を実現
- しかし代替材の耐久性低下による交換頻度増加という新たなリスク
- 加速劣化試験と LCA によって対策する

この一本線を崩さないことが重要です。

5. 不合格者と合格者の思考の違い

設問を読んだとき	不合格になりやすい思考	合格につながる思考
PFAS と聞く	PFAS の有害性を詳しく説明しよう	社会問題を高分子化学の技術問題に変換しよう
高分子の例	とりあえず PTFE を書く	PTFE を選び、その後の課題・解決策までつなげる
多面的な観点	課題を 3 個思いつく	まず異なる観点を 3 つ決める
技術課題	「代替材料が不足している」	「非フッ素系代替材料への転換の推進」と能動形にする
解決策	PFAS を禁止する	分子設計、共重合、複合化、表面改質等を使う
専門性	環境問題として説明する	構造—物性相関を高分子化学で説明する
リスク	PFAS の有害性をもう一度書く	解決策によって新たに生じる問題を書く
対策	管理を徹底する	加速劣化試験、LCA 等の具体的技術で対応する
全体構成	各設問を別々に回答する	現状→課題→解決策→リスク→対策を因果でつなぐ

6. 概要表

項目	概要
設問の概要 (現状・問題)	PFAS は強固な C-F 結合を有し、難分解性・残留性を持つものが多く、環境・健康影響への懸念から世界的に規制が進展している。一方、フルオロポリマーは耐熱性、耐薬品性、低摩擦性等に優れ、半導体、化学装置、自動車等で

項目	概要
	重要な機能を担う。このため環境負荷低減と材料機能維持の両立が必要である。
PFAS 規制の対象となる高分子の例	PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）。本答案では EU 等の包括的 PFAS 規制への対応を念頭に置く。
技術課題 ①：材料設計の観点	非フッ素系代替高分子材料への転換の推進。PTFE は C-F 結合に由来する耐熱性、耐薬品性、低表面エネルギー、低摩擦性を有するため、単純な材料置換では同等性能を確保しにくい。分子構造・高次構造を制御し、要求機能を代替する必要がある。
技術課題 ②：製造・品質の観点	代替材料に適合した成形加工・品質保証技術の確立。材料変更に伴い、熔融粘度、結晶化挙動、成形収縮、界面接着性などが変化するため、既存プロセスをそのまま適用できない。加工条件の最適化と信頼性評価が必要である。
技術課題 ③：ライフサイクルの観点	フッ素系高分子のライフサイクル全体での環境放出抑制。製造・加工・使用・回収・廃棄までを対象として、PFAS 及び関連物質の排出を最小化し、回収・再資源化を進める必要がある。
最も重要な技術課題	非フッ素系代替高分子材料への転換の推進
理由	材料そのものを PFAS に依存しない構造へ転換できれば、製造から廃棄までのライフサイクル全体で PFAS 使用量・潜在的排出源を源流から低減できるため。また規制強化時の事業継続性確保にもつながる。
解決策①	分子設計による非フッ素系高分子の高機能化。PEEK、PPS、PI 等のスーパーエンブラを用途に応じて候補とし、芳香環、エーテル結合、スルフィド結合、イミド結合等を利用した分子設計、共重合・ポリマーブレンド等により耐熱性・耐薬品性を確保する。
解決策②	複合化・表面改質による機能分担。フィラー複合化、ナノコンポジット化、DLC 等の表面処理を利用し、バルク材に機械強度・耐熱性、表面層に低摩擦性・耐摩耗性等を分担させ、PTFE が単一材料で担っていた複数機能をシステムとして代替する。
リスク	代替材料の耐久性不足によるライフサイクル環境負荷の増大。PTFE より耐薬品性・摩擦特性等が劣れば部品寿命が短くなり、交換頻度、材料使用量、エネルギー消費量、廃棄物が増加し、PFAS 削減による環境便益の一部を相殺する可能性がある。
対策	加速劣化試験と LCA による総合評価。温度、薬液、応力、摩擦等を組み合わせた加速劣化試験から寿命を予測する。同時に原料調達—製造—使用—交換—廃棄までの LCA を実施し、PFAS 削減だけでなく GHG 排出量、資源消費量、廃棄物量等を総合評価して材料を選定する。

参考とした公的資料

1. OECD, “Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance”
[OECD 資料・URL](#) (OECD)
 2. European Chemicals Agency (ECHA), “Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)”
[ECHA 資料・URL](#) (ECHA)
 3. European Chemicals Agency (ECHA), “ECHA supports PFAS restriction with targeted derogations”
[ECHA 資料・URL](#) (ECHA)
 4. U. S. Environmental Protection Agency, “TSCA Section 8(a)(7) Reporting and Recordkeeping Requirements for Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances”
[U. S. EPA 資料・URL](#) (US EPA)
 5. 経済産業省「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）」
[経済産業省・化審法資料 URL](#) (経済産業省)
 6. 環境省 “Act on the Evaluation of Chemical Substances and Regulation of Their Manufacture, etc.”
[環境省・化審法資料 URL](#) (環境省)
-

7. 1800 字程度の論文

以下は、上記の骨子を答案用紙 3 枚に展開することを想定した答案例です。選択科目Ⅲでは「問題解決能力及び課題遂行能力」、すなわち複合的な問題を把握し、多様な視点から分析したうえで問題解決のための課題と遂行を論理的・合理的に説明する能力が問われます。

1. 多面的な観点からの技術課題の抽出

○ PFAS 規制の対象となる高分子の例

PFAS 規制の対象となる高分子の例として、フルオロポリマーである PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）を挙げる。PTFE は強固な C-F 結合により、耐熱性、耐薬品性、低摩擦性等に優れ、半導体製造装置、化学装置、摺動部品等に広く利用されている。

1) 非フッ素系代替高分子材料への転換

材料設計の観点で考えれば、非フッ素系代替高分子材料への転換の推進が課題である。具体的には、PTFE は C-F 結合と低い分子間力に由来する優れた耐薬品性、耐熱性及び低表面エネルギーを有する。このため、単純な材料置換では要求性能を満足できない。そこで、分子構造や高次構造を制御し、PFAS を使用せずに必要な機能を発現させる必要がある。

2) 成形加工・品質保証技術の確立

製造・品質の観点で考えれば、代替材料に適合した成形加工・品質保証技術の確立が課題である。具体的には、PTFE から他の高分子へ変更すると、熔融粘度、結晶化挙動、成形収縮、界面接着性等が変化する。このため、射出・押出成形等の温度、圧力、冷却条件を最適化するとともに、長期信頼性を保証する評価技術を確立する必要がある。

3) ライフサイクル全体での環境放出抑制

環境負荷の観点で考えれば、フッ素系高分子のライフサイクル全体での環境放出抑制が課題である。具体的には、最終製品だけでなく、原料製造、重合、成形加工、使用、回収及び廃棄までを対象として PFAS 及び関連物質の排出を抑制する必要がある。そのため、工程内回収、クローズド化、マテリアルフロー管理及び適切な廃棄・再資源化を推進する。

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「非フッ素系代替高分子材料への転換の推進」が最も重要な課題と考える。理由は、PFAS に依存しない材料へ源流から転換することで、製造から廃棄までのライフサイクル全体における PFAS 使用量と潜在的な環境放出源を低減できるからである。

1) 分子設計による非フッ素系高分子の高機能化

スーパーエンブラ等の分子設計による高機能化が重要である。具体的には、用途に応じ PEEK、PPS、PI 等を候補とし、芳香環やエーテル結合、スルフィド結合、イミド結合等を利用して主鎖構造を設計する。さらに、共重合、ポリマーブレンド及び結晶化制御によって耐熱性、耐薬品性、靱性等を最適化し、PTFE からの代替可能範囲を拡大する。

2) 複合化・表面改質による機能分担

複合化と表面改質によって複数の要求機能を分担させることが重要である。具体的には、ガラス繊維等のフィラーとの複合化やナノコンポジット化によって機械強度、寸法安定性、耐摩耗性を向上させる。また、DLC 等の表面処理により低摩擦性や耐摩耗性を付与する。このようにバルクと表面で機能を分担し、PTFE が単一材料で担っていた複数機能を材料システムとして代替する。

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、代替材料の耐久性不足により、製品のライフサイクル全体の環境負荷が増大することがある。具体的には、非フッ素系材料の耐薬品性、摩擦・摩耗特性等が PTFE より劣る場合、部品寿命が短縮する。その結果、交換頻度、原料使用量、製造エネルギー及び廃棄物が増加し、PFAS 削減によって得られる環境便益を一部相殺するおそれがある。

2) 対策

対策としては、加速劣化試験と LCA による代替材料の総合評価がある。具体的には、温度、薬液、応力、摩擦等の実使用環境を考慮した加速劣化試験を実施し、物性変化や寿命を予測する。また、原料調達、材料製造、製品使用、交換、回収及び廃棄までをシステム境界とした LCA を実施する。これにより、PFAS 使用量だけでなく GHG 排出量、資源消費量、廃棄物量及び製品寿命を総合的に評価し、環境安全性と要求性能を両立する代替材料を選定する。

8. この答案で特に評価されやすい部分

最大のポイントは、「PFAS は危険だから代替する」という環境論で終わらず、「C-F 結合→PTFE の特性→代替困難性→分子設計・高次構造制御→複合化・表面改質」という高分子化学の論理に落としたことです。

また、リスクを「PFAS による環境汚染」としてしまうと、設問冒頭の問題を繰り返しただけになりやすいです。今回は、**PFAS を代替するという解決策を実施したからこそ発生する「耐久性低下→交換頻度増加→ライフサイクル環境負荷増大」**を新たなリスクとしています。これによって「解決策→リスク→対策」の因果関係が明確になります。マニュアルで重視されている、骨子を逆方向に「なぜなら」で確認しても成立する構造です。

なお、試験答案では「EU で PTFE が既に全面禁止されている」と断定しないことが重要です。2026 年 3 月時点で ECHA の RAC 最終意見・SEAC 意見案は EU 全体の PFAS 制限を支持しつつ、用途に応じた適切な適用除外等も論点としており、包括規制の制度形成が進行中です。[\(ECHA\)](#)

以上