

専門(記述式)試験問題

注 意 事 項

1. 問題は 27 科目あり、この問題集の裏表紙に科目別構成の詳細、解答方法が記載されていますので、解答開始前によく読んでおいてください。
2. 解答時間は 3 時間です。
3. 答案用紙の記入について
 - (ア) 答案は濃くはっきり書き、書き損じた場合は、解答の内容がはっきり分かるように訂正してください。
 - (イ) 答案用紙の第 1 次試験地、試験の区分、受験番号、氏名の各欄にそれぞれ必要事項を記入してください。
 - (ウ) 答案用紙の枚数は選択した問題により異なります。裏表紙で確認した上で、それぞれの指示どおりに答案用紙に記入してください。
 - (エ) 試験の公正を害するおそれがありますので、答案用紙の氏名欄以外に氏名その他解答と関係のない事項を記載しないでください。
4. 下書き用紙(白紙及び方眼紙)はこの問題集の中央部にとじ込んであります。試験官の指示に従って、試験開始後に問題集から下書き用紙だけを慎重に引きはがして使用してください。なお、誤って問題集を破損しても、問題集の交換はできませんので注意してください。
5. この問題集で単位の明示されていない量については、全て国際単位系(SI)を用いることとします。
6. この問題集は、本試験種目終了後に持ち帰りができます。
7. 本試験種目の途中で退室する場合は、退室時の問題集及び下書き用紙の持ち帰りはできませんが、希望する方には後ほど渡します。別途試験官の指示に従ってください。なお、試験時間中に、この問題集から下書き用紙以外を切り取ったり、問題を転記したりしないでください。
8. 下欄に受験番号等を記入してください。

第 1 次試験地	試験の区分	受験番号	氏 名
	工 学		

指示があるまで中を開いてはいけません。

科目 1. 建築設計[No. 1]、**科目 2. 都市設計**[No. 2]

次のうち、いずれか **1 題** を選び、解答してください。

No. 1 防災拠点となる複合公共施設 (1～6 ページ)

No. 2 都市機能誘導区域での駅前集合住宅の整備計画 (7～12 ページ)

【No. 1】 防災拠点となる複合公共施設

以下の内容を踏まえ、要求図書を答案用紙の所定の解答欄にまとめよ。

〔I. 設計条件〕

大都市近郊のベッドタウンとしての役割を担うある地方都市において、駅前に、発災時には防災拠点となる複合公共施設を建設することとなった。

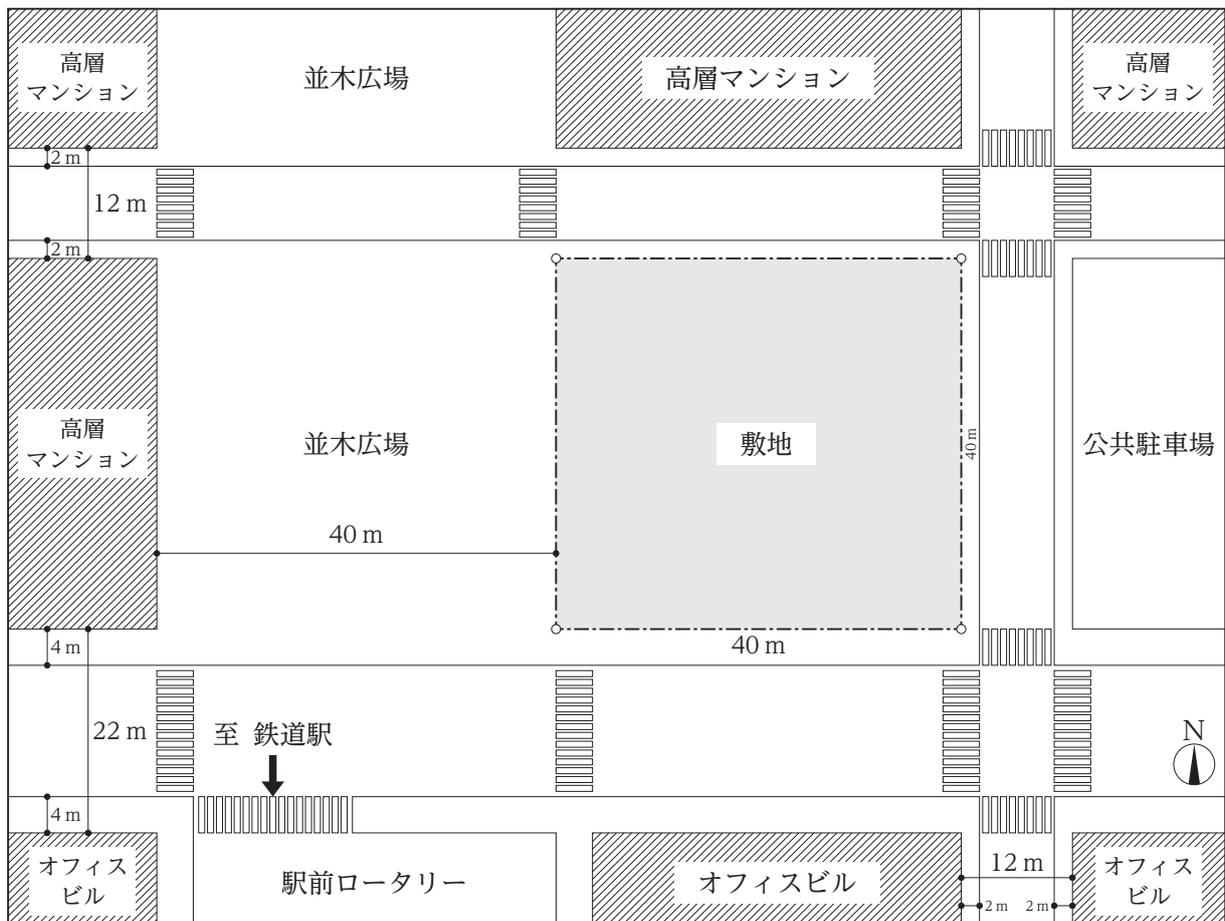
この施設は、市が管理・運営し、平時には防災課派出事務所、公民館、送迎保育ステーション[※]として機能する。また、地震や風水害等の発災時には防災課派出事務所が自ら災害応急対策活動を行うほか、協定を結んだ他の機関の応援部隊の活動場所としても機能する。

本課題では、以下の条件に基づき、防災拠点となる複合公共施設の企画及び基本設計を行う。企画及び基本設計に際しては、来館者の利便性、職員の業務効率、敷地周辺の環境、施設の安全性、経済性、バリアフリー、セキュリティ、フレキシビリティ、メンテナンス、環境負荷の低減等に十分配慮し、設計条件に記載のない条件等については各自で想定して解答すること。

※送迎保育ステーションとは、児童が保育所等に登園するまでの間と、降園してから保護者が迎えに来るまでの間、その児童を一時的に預かる保育施設である。送迎バスで送迎保育ステーションと保育所等の送迎を行う。日中は、保育所等に在籍していない児童等を一時的に預かる、一時預かり事業を行う。

1. 敷地及び周辺の条件

- (1) 敷地及び周辺の状況は、敷地周辺図のとおりである。なお、敷地周辺の高層マンションの低層階にはテナントが入居している。また、敷地周辺図中の横断歩道の幅員は、いずれも4 mである。
- (2) 敷地は平坦で、周辺との高低差はない。また、歩道の切り開きは、1か所当たり6 mまでできる。
- (3) 敷地は商業地域及び防火地域に指定されており、建蔽率の限度は80%、容積率の限度は500%である。なお、高さの制限及び日影規制は考慮しなくてよい。
- (4) 車及び自転車で来訪する来館者及び職員は、道路を挟んで敷地東側にある公共駐車場を使用する。なお、公共駐車場は、来館者及び職員の人数に対し、十分な台数を停められるようになっている。
- (5) 鉄道駅は敷地から徒歩1分の場所にある。
- (6) 電気、ガス及び上下水道は完備している。
- (7) 地盤は良好であり、基礎についての特別な配慮は必要ない。
- (8) 気候は温暖であり、積雪についての特別な配慮は必要ない。
- (9) 洪水・内水氾濫により想定される最大規模の浸水深さは2.0 mである。そのほかに水害のリスクはない。



敷地周辺図

2. 建築物

- (1) 地上2階建て、1棟とし、構造種別は鉄筋コンクリート造のラーメン構造(一部を鉄骨造としてもよい。)とする。
- (2) 経済性に配慮し、床面積の合計が大きくなり過ぎないように計画する。
- (3) 建築物内は2方向避難経路を確保する。
- (4) 開館日時は、防災課派出所事務所、公民館、送迎保育ステーションで異なり、それぞれ独立して使用できるよう計画する。なお、共用エリアは、どの部門も使用できるよう計画する。
- (5) 発災時に使用する室は、洪水・内水氾濫により浸水しないよう計画する。
- (6) 要求室及びその条件は下表のとおりであり、全て設計に含めること。

区分	室名	床面積	特記事項
派出所 防災課	<u>・発災時は他の機関の応援部隊の受け入れや近隣住民への物資の提供等に係る事務を行う。</u>		
	防災課事務所	約 60 m ²	
	専用会議室	約 20 m ²	・防災課事務室に隣接して設ける。
	備蓄倉庫	約 40 m ²	
公民館	講堂	約 140 m ²	・短辺を $\frac{1}{2}$ 以上の整形とし、高さ5mの無柱空間を確保する。 <u>・発災時は他の機関の応援部隊の活動場所として使用する。</u>
	和室	約 20 m ²	
	調理室	約 30 m ²	
	図書館分館	約 90 m ²	
	管理事務室	約 30 m ²	・エントランスホールに隣接して設ける。
ステーション 送迎保育	保育室	約 80 m ²	
	保育事務室	約 30 m ²	・保育室に隣接して設ける。
	職員休憩室	約 20 m ²	
共用エリア	エントランスホール	適宜	・風除室を設ける。
	共用会議室	約 50 m ²	<u>・発災時は他の機関の応援部隊の活動場所として使用する。</u>
	授乳室	約 20 m ²	
	トイレ	適宜	・各階に男女別トイレ及び車椅子利用者用トイレを設ける。
	エレベーター	適宜	・1基以上設ける。
	設備機械室	約 70 m ²	<u>・発災時も使用する。</u>
<ul style="list-style-type: none"> ・その他必要と思われる室、什器等<small>じゅう</small>があれば、適宜計画してもよい。 ・トイレ内の詳細な平面及び各種設備機器は、<u>記入しなくてよい。</u> 			

3. 屋外施設

- (1) 敷地内は歩車分離を確保する。
- (2) 屋外施設及びその条件は下表のとおりであり、全て設計に含めること。

屋外施設名	特記事項
園庭	・保育室に隣接して、屋外又は2階の床レベル(1階の屋上)に、50 m ² 以上設ける。
車寄せ	・児童がスムーズかつ安全に送迎バスに乗降できるよう計画する。
・その他必要と思われる屋外施設、スペース等があれば、適宜計画してもよい。	

〔Ⅱ. 要求図書〕

下記 1., 2. の要求図書を作成せよ。

1. 企画

(1) 設計コンセプト

設計に当たってのコンセプトを記述せよ。

(2) 設計コンセプトを実現するための具体的な方策

(1)で提案した設計コンセプトを実現するための具体的な方策を、次の①, ②, ③に掲げた全ての項目について、その理由とともにそれぞれ記述せよ。

- ① ゾーニング及び動線計画について工夫したこと
- ② 洪水・内水氾濫時の浸水対策について工夫したこと
- ③ そのほかに工夫したこと(例 構造計画で工夫したこと、設備計画で工夫したことなど)

(3) 概念図

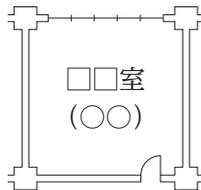
(2)を補足する概念図を、次の①, ②に掲げた全ての項目について、それぞれ記入せよ。なお、必要に応じて、概念図中及び余白部分に補足説明、スケッチ等を書き込んでもよい。また、概念図の記入には、赤及び青鉛筆を用いてもよい。

- ① (2)①を補足する、ゾーニング及び動線計画のイメージを記した図
- ② (2)②を補足する、建築物の断面形状のイメージを記した図

2. 図面及び面積表

下表に従い、要求図面等をそれぞれ作成せよ(フリーハンドでもよい)。なお、必要に応じて、図面中及び余白部分に補足説明、スケッチ等を書き込んでもよい。

要求図面等	特記事項
(1) 配置図兼 1 階平面図 (2) 2 階平面図 (縮尺は共に 1 : 200)	<ul style="list-style-type: none"> ・各平面図には、次の①～④を図示又は記入する。なお、③, ④は、下記記入例を参考に記入すること。 ①柱、壁、窓、出入口等(それぞれの違いが分かるように記入する。) ②建築物の主要寸法(スパン割り及び床面積等の算出に必要な程度。) ③全ての室の室名 ④要求室の床面積(床面積が適宜とされている室を除く。) ・配置図兼 1 階平面図には、屋外施設、通路、囲障、植栽等を記入する。 ・2 階平面図には、1 階の屋根、^{ひさし}庇等となる部分を記入する。
(3) 面積表	<ul style="list-style-type: none"> ・1 階及び 2 階の床面積(算定式を含む。)並びにその合計を記入する。 ・床面積の算定においては、ピロティ、塔屋、バルコニー、屋外廊下(外気に有効に開放されているものに限る。)、屋外階段及び屋上設備スペースは、算入しない。ただし、ピロティ等を屋内的用途に供するもの(駐車場、設備スペース等)については、床面積に算入する。



室名及び床面積の記入例
(○○ m² の□□室の場合)

(答案用紙見本)

C1
C2-2024 科目 1. 建築設計 [No. 1] 答案用紙

第1次試験地	試験の区分	受験番号	氏名
	工学		

※

※印の欄は記入しないでください

防災拠点となる複合公共施設

1. 企画

(1) 設計コンセプト

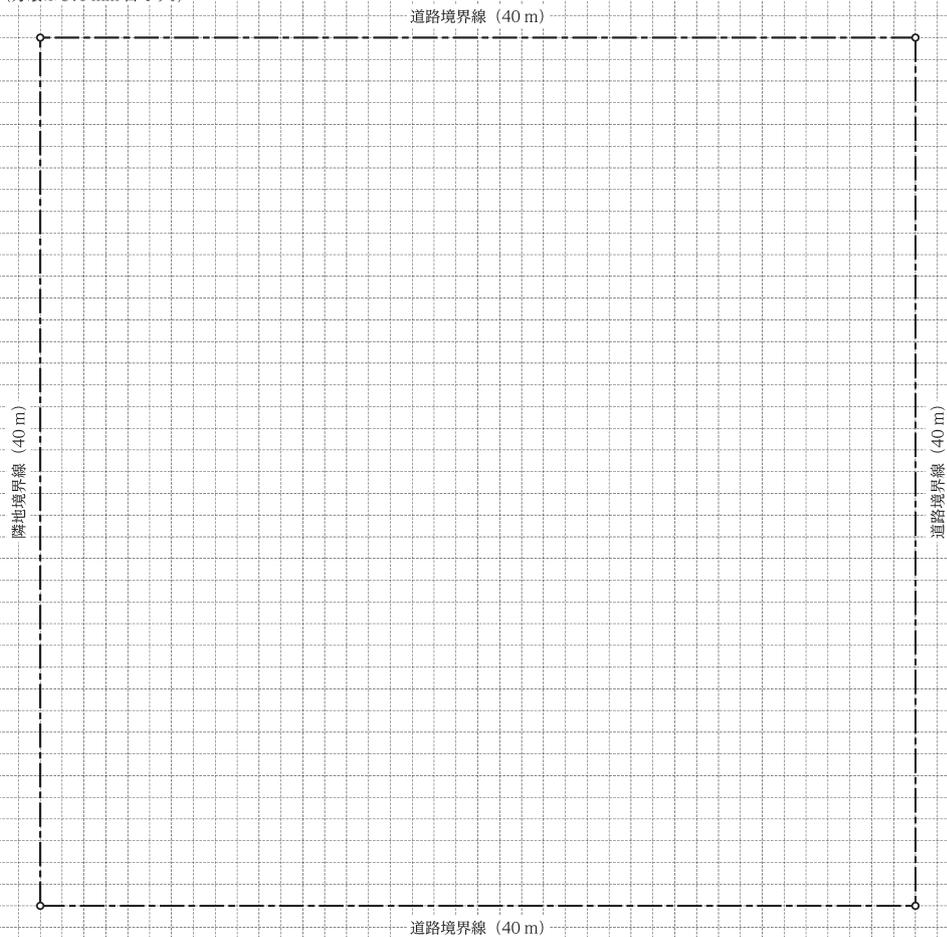
(2) 設計コンセプトを実現するための具体的な方策

①ゾーニング及び動線計画について工夫したこと

②洪水・内水氾濫時の浸水対策について工夫したこと

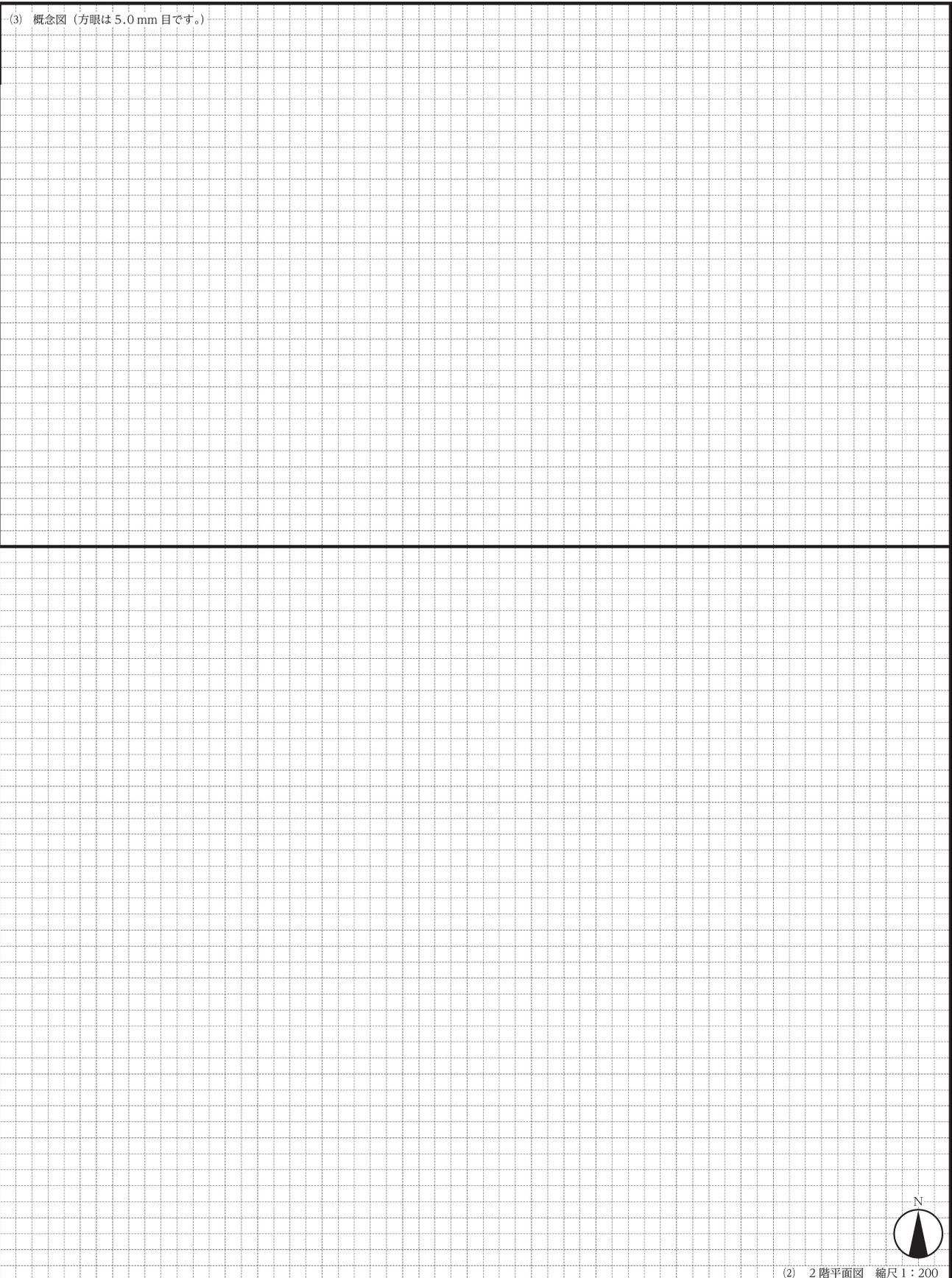
③そのほかに工夫したこと (例 構造計画で工夫したこと、設備計画で工夫したことなど)

2. 図面及び面積表 (方眼は 5.0 mm 目です。)



(1) 配置図兼 1 階平面図 縮尺 1 : 200

(3) 概念図 (方眼は5.0mm目です。)



(2) 2階平面図 縮尺1:200

(3) 面積表	1階床面積：(算定式)	m ²	2階床面積：(算定式)	m ²	1階及び2階の床面積の合計	m ²
---------	-------------	----------------	-------------	----------------	---------------	----------------

【No. 2】 都市機能誘導区域での駅前集合住宅の整備計画

以下の内容を踏まえ、要求図書を答案用紙の所定の解答欄にまとめよ。

〔I. 設計条件〕

近年、コンパクトシティ実現のために、都市部の駅などの交通結節点に都市機能の誘導政策が展開され、公共施設などの都市機能を集約することで、公共交通の利用増強を図り、魅力的な居住地整備を誘導することに注目が集まっている。本課題は、地方都市の駅近敷地を対象に、都市機能誘導によって喚起された住宅需要から、集合住宅、高齢者施設、保育施設等の整備を計画するものである。周辺施設との円滑な接続を実現しつつ、ゆとりある住宅地を供給し、高齢者施設と保育施設を整備することで、持続可能な地域コミュニティ形成に資する計画とする。

1. 計画対象地区周辺の現況(図Ⅰ)

- (1) 計画対象地区のある市は、県庁所在地の都市から約 20 km 離れた地方都市で、人口は現在約 20 万人である。
- (2) 計画対象地区は、市の中心部から南東に約 7 km 離れ、最寄りの駅から 350 m ほどの至近距離にあり、都市間をつなぐ国道から 600 m ほど離れた場所に立地している。計画対象地区から市の中心部までは、自家用車が主な交通手段であるが、公共交通機関を利用する場合は鉄道となる。計画対象地区の周囲には住宅が密集しており、駅の南側地域には狭隘な道路がある。
- (3) 計画対象地区の北側には、鉄道が通っている。計画対象地区の南側には、近隣公園が立地している。計画対象地区の東側には、国道へと接続する県道が南北に通り、鉄道をオーバーパスしている。この県道のロードサイドには、ショッピングセンターのほか、数軒の店舗が立地している。計画対象地区の西側にある最寄り駅の周辺には、都市機能誘導により整備された病院や図書館などの公共施設が立地している。

2. 計画対象地区の現況(図Ⅱ)

- (1) 破線で囲まれた部分を計画対象地区とする。
- (2) 計画対象地区の面積は約 23,500 m²、用途地域は第一種住居地域であり、建蔽率の限度は 60 %、容積率の限度は 200 % に指定されている。
- (3) 計画対象地区には、従前、樹林地と住宅が数軒立地していたが、現在、樹林や住宅が全て撤去された更地となっている。
- (4) 計画対象地区の北側には、鉄道と平行して、地盤面より深さ 1 m 程掘り込まれ、護岸壁で囲まれた小河川が流れており、その川沿いには歩道が設置されている。なお、水害のリスクは低い地域である。
- (5) 計画対象地区は、平坦な地形となっており、周囲との高低差はない。

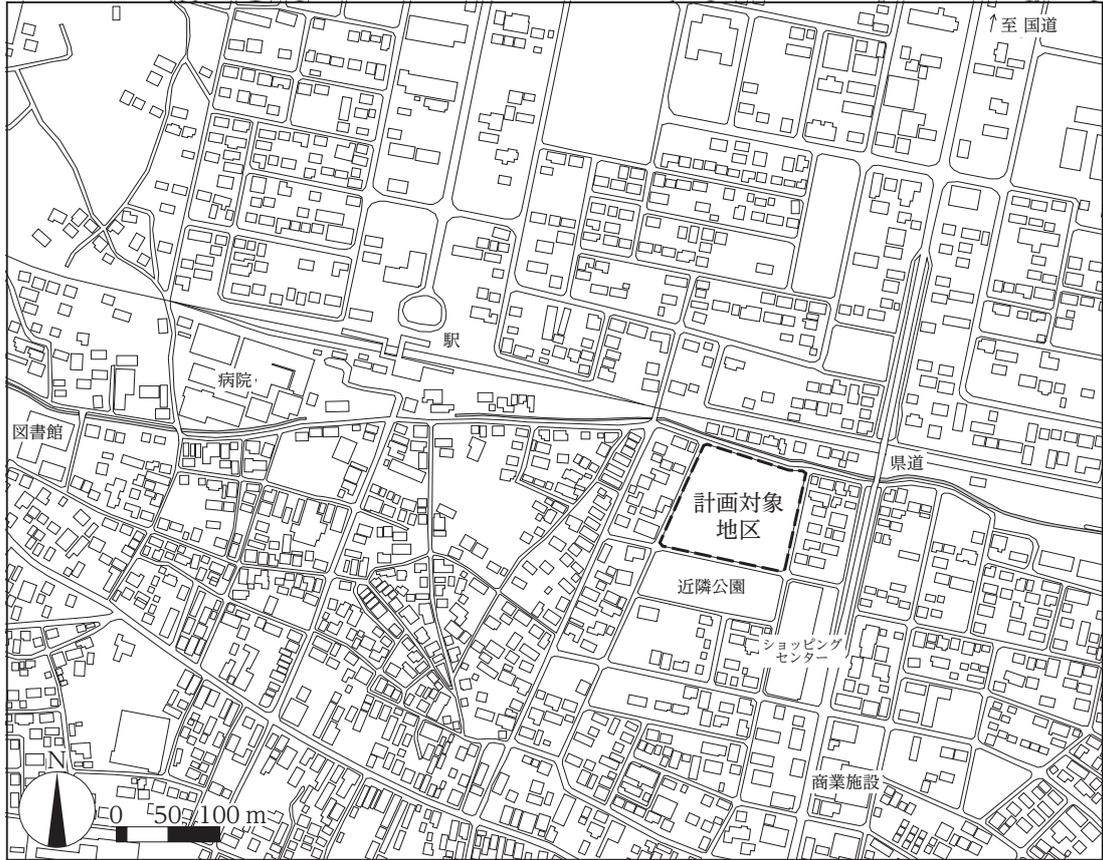


図 I 計画対象地区周辺現況図

(注)「地理院地図/GSI Maps」(国土地理院)を基に作成



図 II 計画対象地区平面図

(注)「地理院地図/GSI Maps」(国土地理院)を基に作成

3. 各施設等の計画条件

計画対象地区内に、以下の(1)~(5)に示す条件を満たすよう、各施設等の計画を行うこと。

(1) 集合住宅

周囲の環境に調和した集合住宅を計画する。住戸は全て分譲形式で、棟数は自由とし、各住戸の床面積は80~90 m²、住戸数の合計は80~100戸とする。また、集合住宅の敷地(複数の住棟に分ける場合は、各住棟の敷地)を設定した上で、その敷地内に、その集合住宅の居住者用の駐車場を住戸数の50%に当たる台数分、駐輪場を住戸数の200%に当たる台数分、それぞれ設ける。さらに、住棟とは別棟にして、集合住宅の敷地(複数の住棟に分ける場合は、いずれか一つの敷地)内に、計画対象地区内の居住者の誰もが使用できる、床面積の合計が250 m²程度の集会所を1か所設ける。

(2) 保育施設

床面積の合計が400 m²程度の保育園を1か所設ける。建築物とは別に床面積の50%に当たる園庭を確保する。保育園設置に当たっては、集合住宅とは分離して計画する。また、保育園の敷地を設定した上で、その敷地内に施設スタッフの駐車及び施設利用者の送迎のための駐車場を10台分以上、駐輪場を10台分以上設ける。

(3) 高齢者施設

床面積の合計が100 m²程度の高齢者の通所介護のためのデイサービス施設を1か所設ける。デイサービス施設には、食堂と機能訓練室が設置され、高齢者は午前中に来所し、夕方に帰宅する。デイサービス施設設置に当たっては、集合住宅とは分離して計画しても、一体型で計画してもよい。ただし、集合住宅と一体型で計画する場合は、建築物内の動線は別にすること。また、集合住宅と分離して計画した場合は、デイサービス施設の敷地を設定した上で、その敷地内に施設スタッフの駐車及び送迎車のための駐車場を5台分設ける。集合住宅と一体型で計画した場合は、その集合住宅の敷地内に施設スタッフの駐車及び送迎車のための駐車場を5台分設ける。

(4) オープンスペース

計画対象地区内のアメニティ向上のためのオープンスペース(広場・緑地や緑道など)を計画する。以下の①及び②の合計面積が1,000 m²程度となるように計画し、これを満たしていれば、これらは分割して設置することができる。

① 広場・緑地

計画対象地区内の居住者のほか、周辺住民、来訪者も日常的に訪れて憩うことができる、周辺環境に調和した広場や緑地を1か所以上設け、その敷地を設定する。

② 緑道

周辺環境と調和した緑道を設ける。

(5) 地区内通路

誰もが利用できる通路を計画する。この通路は原則として歩行者優先とし、車両の通行は、計画対象地区内の居住者の所有する車両、施設利用者・関係者の車両、緊急車両、搬出入車両のみ認めるものとする。

〔Ⅱ. 要求図書〕

下記 1., 2. の要求図書を作成せよ。ただし、「1. 整備計画の基本方針」で提案したものは、「2. 整備計画」において具体的に表現すること。なお、要求図書の作成には赤及び青鉛筆を用いてもよい。

1. 整備計画の基本方針(以下「マスタープラン」という。)

(1) 整備計画の基本的な考え方

計画対象地区の整備計画の基本的な考え方について、必要と思われる内容を設定し、分かりやすく説明せよ。ただし、以下の事項については、必ず盛り込むこと。

- ① 都市における位置付けと機能
- ② 土地利用計画(ゾーニング)
- ③ 集合住宅、保育施設及び高齢者施設の配置計画
- ④ 歩行者と車両の動線計画及び周辺との接続
- ⑤ 造園計画
- ⑥ 施設ボリューム及び景観形成並びに周辺との調和の方針
- ⑦ その他、整備計画において特に配慮すべき事項及びその内容

(2) 計画コンセプト図(縮尺 1 : 3,000)

(1)に基づき、計画コンセプト図を作成せよ(フリーハンドでもよい)。必要に応じて、図中及び余白部分に補足説明、概念図、スケッチ等を書き込んでもよい。

2. 整備計画

(1) 整備計画の具体的な考え方

マスタープランを踏まえ、I. 3. (1)~(5)に示した各施設等について、具体的な整備計画を説明せよ。

(2) 整備計画図(縮尺 1 : 1,000)

(1)に基づき、整備計画図を作成せよ(フリーハンドでもよい)。必要に応じて、図中及び余白部分に補足説明、断面図、スケッチ等を書き込んでもよい。ただし、以下の条件を満たすように表現又は記入すること。

- ・集合住宅(複数の住棟に分ける場合は各住棟)、集会所、保育施設及び高齢者施設は、配置、形態、主要な出入口の位置、基準階(集合住宅のみ住戸割りと共用部分(階段、廊下等)が分かる程度)、外構、敷地境界等を表現し、名称、主要寸法、敷地面積、建築面積、床面積の合計、建築物の高さ、階数、住戸数等を記入する(敷地面積、建築面積、床面積の合計等は、おおよそ整合していればよい)。また、駐車場は台数が分かる程度に区画線を表現し、駐車場及び駐輪場は形式(平面、機械式等)及び台数を記入する。図中及び余白部分に表等を書き込んでもよい。
- ・オープンスペースは、配置、形態、主要な出入口の位置、植栽、通路、広場、舗装、敷地境界等を表現し、名称、主要寸法、面積等を記入する。
- ・地区内通路は、配置、形態等を表現し、名称、幅員等を記入する。
- ・樹木などを適宜記入し、地区内通路、建築物周囲の外構等を分かりやすく示すこと。
- ・I. 3. (1)~(5)に示した各施設等の面積等について、項目を整理して面積表を作成する。面積表は、表形式にするなど、分かりやすくまとめること。

(答案用紙見本)

C1
C2-2024 科目 2. 都市設計 [No. 2] 答案用紙

第1次試験地	試験の区分	受験番号	氏名
	工学		

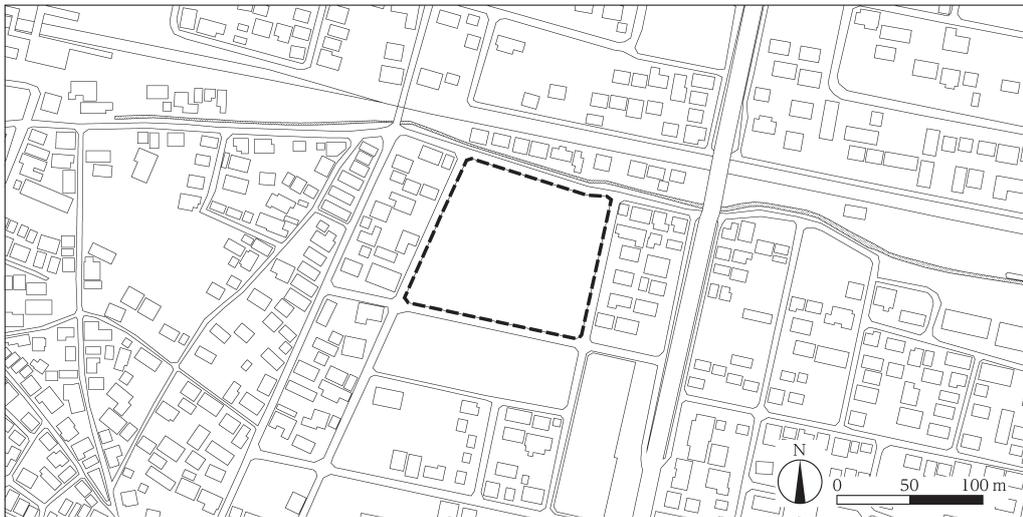
※

※印の欄は記入しないでください

都市機能誘導区域での駅前集合住宅の整備計画

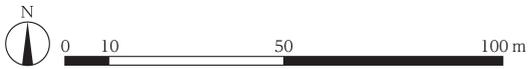
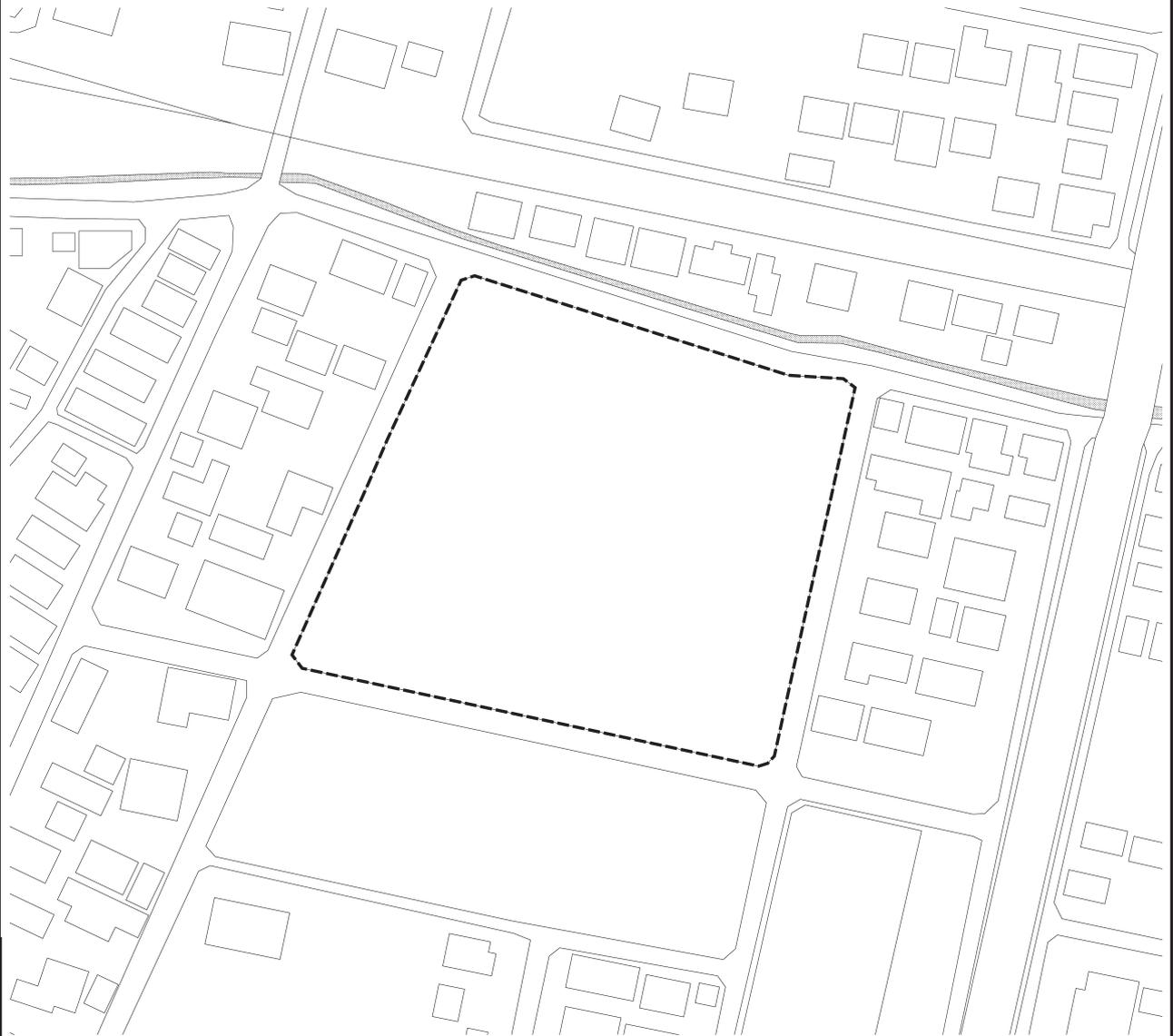
<p>1. 整備計画の基本方針(マスタープラン)</p> <p>(1) 整備計画の基本的な考え方</p>	<p>2. 整備計画</p> <p>(1) 整備計画の具体的な考え方</p>
--	--

1. 整備計画の基本方針(マスタープラン) (2) 計画コンセプト図(縮尺1:3,000)



(注) 「地理院地図/GSI Maps」(国土地理院)を基に作成

2. 整備計画 (2) 整備計画図(縮尺1:1,000)



(注) 「地理院地図/GSI Maps」(国土地理院)を基に作成

(面積表)

面積表	

科目 3. 計測工学 [No. 3]

【No. 3】 光の計測に関する以下の設問に答えよ。

(1) 次の記述の㉗～㉚に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

「国際単位系(SI)では 個の のない定義定数を定めて、任意の単位が、定義定数そのもの、若しくは、定義定数の積又は商のいずれかによって記述できるようにしている。

そのような定義定数の一つである は量子効果を、真空中の光の速さ c は時空特性をそれぞれ決定するものであり、あらゆる環境、あらゆる尺度で、あらゆる粒子及び場に等しく影響を与える。

や真空中の光の速さ c は自然界の基礎的な定数であるが、定義定数の中には周波数 $\times 10^{12}$ Hz の単色放射の のように人工的に作られた定数も採用されている。

その特性が定義定数にも採用されている光は、時間や物体の長さ、物質の分析などの計測において、様々な方法で活用されている。

例えば、測距においては、地球と恒星との距離のような遠距離に対して、光が空間を する性質を応用した が利用されている。一方で、地殻変動のような微小変位の計測に対しては、光の 性を応用して波長の 10 分の 1 程度の分解能まで測定可能な が利用されている。精度が高く広い領域に対応できる光計測の特性を活かし、現在日本では、協定世界時に同期した原子時計及び が長さの国家標準(特定標準器)として指定されている。」

[語句：5、6、7、12、22、32、440、540、640、誤差、残差、不確かさ、

プランク定数 h 、微細構造定数 α 、ジョセフソン定数 K_J 、視感効果度 K_{cd} 、

太陽光度 L_\odot 、第一放射定数 c_1 、直進、回折、波動、粒子、三角測量法、

光パルス伝播時間測定法、光波干渉法、光周波数コム装置、メートル原器、

よう素安定化ヘリウムネオンレーザ装置]

(2) 単色計(モノクロメータ)の指示値(単色計が表示している波長の値)と実際に単色計から出射した光の波長の相違を点検する目的で、図 I のような測定システムを気温 20℃ の大気中に構築した。白色光源が発生した光は単色計を出射後に、その断面の強度分布が一様で直径 13 mm の円形をしている平行光束の光ビームに成形される。平面鏡にて鉛直方向に偏向した光ビームは、ハーフミラーにて二つの光路に分けられ、反射した成分は吸収体で完全に除去される。一方、直進した成分は光ビームの断面の直径よりも十分に大きな口径をもつ平凸レンズに入射する。平凸レンズは同じ材質で作られたシャーレの中に、球面状の凸側を下にして平面がシャーレと平行になるように置かれている。平凸レンズ及びシャーレ表面にて反射された光ビームは、ハーフミラーにて一部が反射され、イメージセンサの固体撮像素子に直接入射する。イメージセンサ出力を解析することで反射した光ビームの二次元強度分布を取得した。

単色計の指示値をある値に固定して光ビームの断面の中心と平凸レンズの中心を一致させると、二次元強度分布は中心部が暗くなり、それを囲むように同心円状の明暗の縞が観測された。

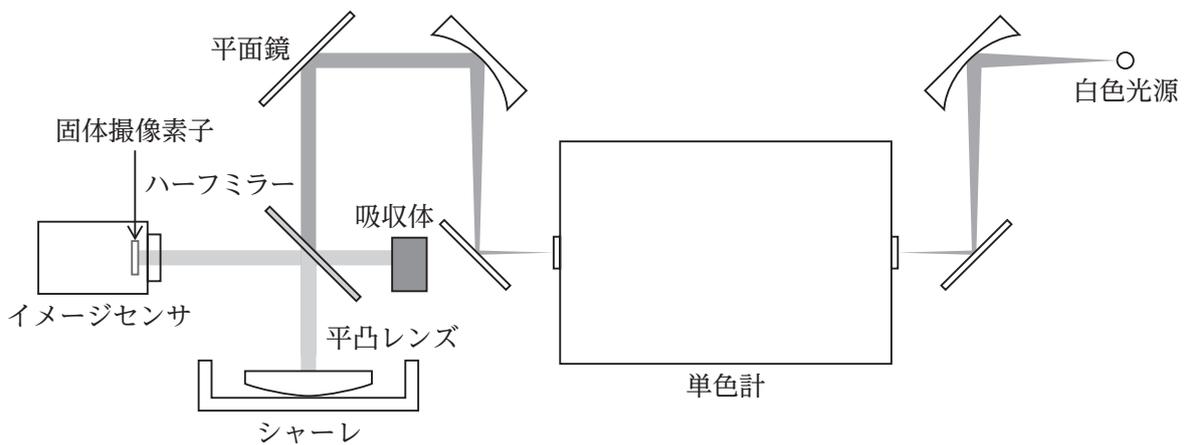


図 I

- (a) 平凸レンズ球面の曲率半径を R 、光ビームの波長を λ 、中心から m 番目の暗環の半径を r_m と表したとき、 $R \gg r_m$ であれば次の近似式が成り立つ。この近似式を導出せよ。

$$n \frac{r_m^2}{R} = m\lambda$$

ただし、 m は正の整数であり、 n は大気の屈折率である。

- (b) この測定システムを使用して 1 番内側の暗環半径 r_1 を測定し、あわせて他の方法でそのときの曲率半径 R を測定する。次の表は、同じ光源で測定を 4 回実施したときの暗環半径 $r_1(i)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) と曲率半径 $R(i)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) の測定結果をまとめたものである。

なお、 i は測定番号であり、 r_1 と R の測定は互いに独立しているものとする。

- (a) の近似式を用いて、各測定回における光ビームの波長、即ち単色計の出射波長 $\lambda(i)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) を有効数字 3 桁で求めよ。

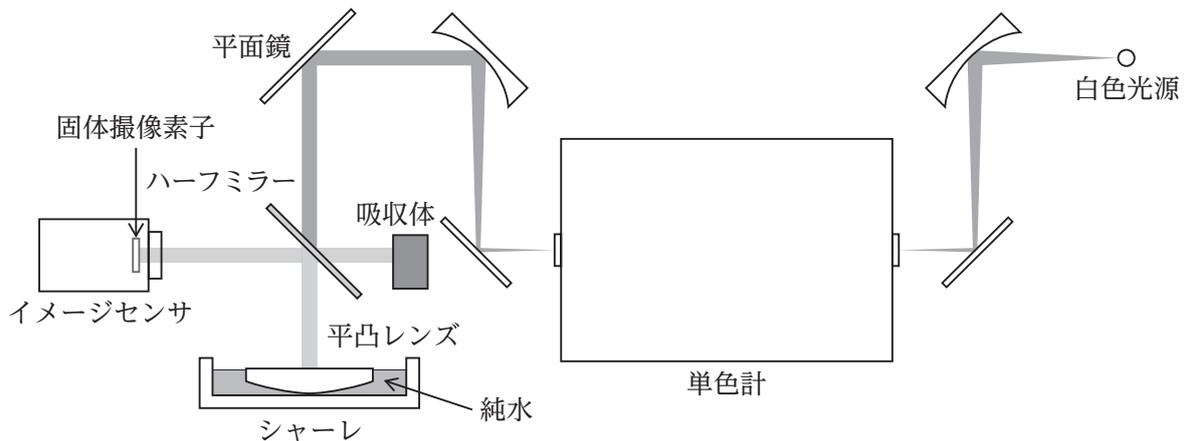
ただし、この波長近傍における大気及び平凸レンズの屈折率は定数と見なすことができ、それぞれの値は 1.00 及び 1.51 である。

	i	1	2	3	4
暗環半径	$r_1(i)/\text{mm}$	4.00	3.97	4.01	3.97
曲率半径	$R(i)/\text{m}$	25.0	24.4	24.9	25.1

- (c) 光ビームの直径 13 mm の円内において観測された明環の本数を求めよ。
 (d) この測定から得られた単色計の出射波長 $\lambda(i)$ の平均 $\bar{\lambda}$ 及び実験標準偏差 $s(\lambda(i))$ を求めよ。
 (e) この測定から得られた $\bar{\lambda}$ の標準不確かさ $u_{\text{ran}}(\bar{\lambda})$ を求めよ。

(3) (2)の実験において、単色計の指示値と $\bar{\lambda}$ は一致していた。そのため、以降の実験では単色計の指示値を利用して光ビームの波長(単色計の出射波長)を調整することにした。

次に、図Ⅱのように、(2)の測定システムにおいて、水面が平凸レンズの平面の直下になるまでシャーレに純水を静かに注いだ。



図Ⅱ

(a) 純水を注いだことによって、イメージセンサにて観測される光ビームの二次元強度分布に変化が生じた。この変化について定性的に述べよ。

ただし、光ビームの波長における純水の屈折率は 1.33 であり、純水による光の吸収や散乱は無視できるものとする。

(b) 1 番内側の暗環の半径を、(2)にて測定した暗環半径 $r_1(i)$ の平均 \bar{r}_1 と一致するように単色計の出射波長を調整したところ、その波長は 849 nm であった。このとき、平凸レンズに入射する光ビームの断面の強度分布及び位置の変化は無視できる程度であった。

調整前及び調整後における光ビームの波長分類として適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。ただし、同じ語句を二度選択してよい。

[語句：赤外線、可視光線、紫外線、X 線]

(c) ある無機塩を物質濃度が $1.00 \times 10^3 \text{ mol m}^{-3}$ ずつ増えるようにシャーレに加えて完全に溶かし、1 番内側の暗環半径が \bar{r}_1 と一致する単色計の出射波長を測定した。この実験から得られた物質濃度と出射波長の測定結果の関係を次の表に示す。

	i	1	2	3	4	5	6
物質濃度	$c(i)/(\text{mol m}^{-3})$	0.00×10^3	1.00×10^3	2.00×10^3	3.00×10^3	4.00×10^3	5.00×10^3
出射波長	$\lambda(i)/\text{nm}$	849	856	862	867	872	878

物質濃度と出射波長の関係を線形式

$$\lambda(i) = ac(i) + \lambda_w$$

と表現するとき ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$)、最小二乗法を用いて傾き a 及び切片 λ_w の最確値を求めよ。

なお、以下の計算結果を使用してよい。

$$\sum_{i=1}^6 c(i)^2 = 55.0 \times 10^6 \text{ mol}^2 \text{ m}^{-6}$$

$$\left(\sum_{i=1}^6 c(i) \right)^2 = 225 \times 10^6 \text{ mol}^2 \text{ m}^{-6}$$

$$\sum_{i=1}^6 \lambda(i)c(i) = 13059 \times 10^{-6} \text{ mol m}^{-2}$$

$$\sum_{i=1}^6 c(i) = 15.0 \times 10^3 \text{ mol m}^{-3}$$

$$\sum_{i=1}^6 \lambda(i) = 5184 \text{ nm}$$

科目 4. 制御工学 [No. 4A, 4B]

【No. 4】 次の **A, B** いずれか一つのみ に答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 伝達関数により制御系を設計する場合の不安定極と不安定零点の相殺について考える。

図に示すシステム A、システム B、システム C について、以下の問いに答えよ。

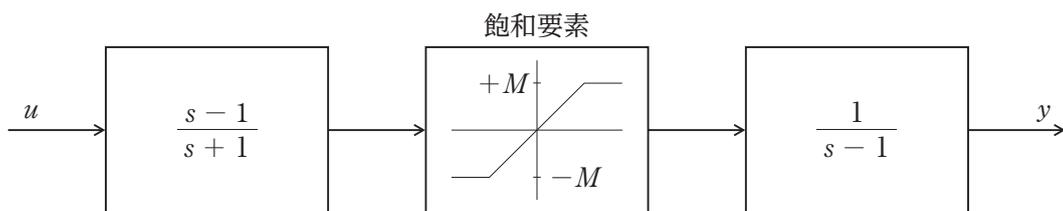
ただし、 s はラプラス演算子、 M は正の実数、伝達関数 $G_1(s) = \frac{1}{s-1}$ 、 $G_2(s) = \frac{s-1}{s+1}$ とする。

なお、飽和要素とは、飽和値 M を正の実数とするととき、その入力 $u(t)$ と出力 $y(t)$ の関係が以下のようなになるシステムである。

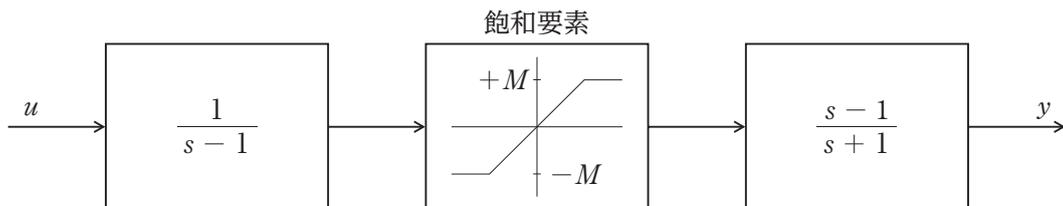
$$y(t) = \begin{cases} M & (u(t) > M) \\ -M & (u(t) < -M) \\ u(t) & (\text{上記以外}) \end{cases}$$



システム A



システム B

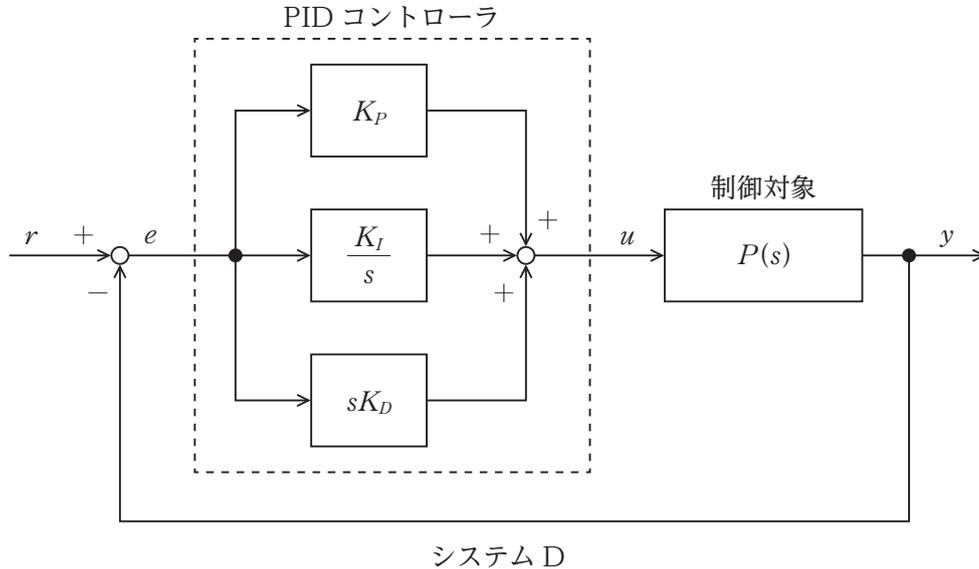


システム C

- (a) システム A において、入力 u に単位ステップ信号を印加したときの出力 y の時間関数を求め、その時間応答の概形を描け。
- (b) システム A の二つの伝達関数の位置を入れ替え、間に飽和要素を挿入したシステム B を考える。
- ただし、システム B においては、飽和値 M の値を 1 とする。
- システム B において、入力 u に単位ステップ信号を印加したときの出力 y の時間関数を求め、その時間応答の概形を描け。
- (c) システム A の二つの伝達関数の間に飽和要素を挿入したシステム C を考える。
- (i) 伝達関数 $G_1(s)$ に単位ステップ信号を入力したときの $G_1(s)$ の出力の時間関数を求めよ。
- (ii) (i)の結果と対数関数を用いて、 $G_1(s)$ の出力が飽和値である M になる時刻 t_s を求めよ。
- (iii) 伝達関数 $G_2(s)$ に振幅が M であるステップ信号を入力したときの最終値を求めよ。
- (iv) 飽和要素の入力信号と足し合わせると、飽和要素の出力信号となるような信号を $d(t)$ とする。
- $\Delta t = t - t_s$ とし、伝達関数 $G_2(s)$ に $d(t)$ を入力したときの $G_2(s)$ の出力を Δt の関数として求めよ。ただし、求める関数は $\Delta t \geq 0$ の範囲のみの関数でよい。
- (v) システム A の結果と(iv)の結果を用いて、システム C において、入力 u に単位ステップ信号を印加したときの出力 y を Δt の関数として求めよ。ただし、求める関数は $\Delta t \geq 0$ の範囲のみの関数でよい。
- また、システム C 全体の時間応答 ($t \geq 0$ における時間応答) の概形を描け。ただし、時間軸における t_s の位置が分かるようにすること。

(2) 図のような PID コントローラを用いて二次系の制御対象を制御するシステム D を考える。

ここで、 r は目標値、 e は偏差、 u は入力、 y は出力であり、 K_P 、 K_I 、 K_D は定数、 s はラプラス演算子とする。なお、目標値 r は 1 回微分可能である。



(a) 図の制御対象 $P(s)$ が次の式で与えられるとき、以下の問いに答えよ。

$$P(s) = \frac{1}{(s+1)(s+2)}$$

- (i) 目標値 r から出力 y までの伝達関数 $H_c(s)$ を求めよ。
- (ii) 伝達関数 $H_c(s)$ が安定であると仮定し、その定常ゲインを求めよ。
- (iii) $K_P = 1$ 、 $K_D = 2$ とするとき、閉ループ系が安定となる K_I の条件を求めよ。
- (iv) PID コントローラと制御対象の間に(1)で考えた飽和要素が挿入された系を考える。飽和要素が存在すると PID コントローラの積分器の値が大きくなり、制御対象の出力がオーバーシュートするなど応答が悪くなることがある。このような現象を積分器のワインドアップという。

PID コントローラをコンピュータで構成することを考えるとき、このワインドアップ現象を回避し、できるだけ積分動作が悪影響を与えないような PID コントローラの動作の修正方法について説明せよ。

ただし、 K_P 、 K_I 、 K_D の値は定数のままとし、入力 u の飽和値 M は既知であるとする。

(b) 図の制御対象 $P(s)$ が次の式で与えられるとき、以下の問いに答えよ。

$$P(s) = \frac{s}{(s+1)(s+2)}$$

- (i) 目標値 r から出力 y までの伝達関数が安定であると仮定し、その定常ゲインを求めよ。
- (ii) 目標値 r が一定値であり、かつ、 K_I が正の一定値である場合、閉ループ系の問題点を述べよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 図は直流サーボモータの模式図である。

電機子回路においては、インダクタンス、抵抗及び発生する回転速度に起因する逆起電力の影響を考慮して、その電氣的な動特性は、

$$v = L \frac{di}{dt} + Ri + K \frac{d\theta}{dt}$$

で表される。ここで、 L はインダクタンス、 R は抵抗、 K は定数である。

一方、この回路からの電流による発生トルク Ki が印加される形で、回転体としての力学的な動特性は、

$$Ki = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt}$$

で表される。ここで、 J は慣性モーメント、 D は粘性摩擦係数である。

このとき、直流サーボモータの制御に関する以下の問いに答えよ。

(a) 回路に印加される電圧 v を入力 u とし、回転角度 θ を状態 x_1 、回転角速度 $\frac{d\theta}{dt}$ を状態 x_2 、回路電流 i を状態 x_3 として三次元の状態変数ベクトルを採用した場合の状態方程式を記述せよ。

(b) 通常は、電気系の動特性は機械系の運動より速いことが多く、その場合には静特性として近似することも多い。そこで、 $\frac{di}{dt} = 0$ として近似を行い、状態変数ベクトルを二次元に低次元化した場合の状態方程式を記述せよ。

ただし、(a)と同様に回転角度 θ を状態 x_1 、回転角速度 $\frac{d\theta}{dt}$ を状態 x_2 とする。

(c) (b)で求めた二次元の状態方程式に対し、回路と回転体の各諸元を次のように設定する。

$$L = 2 \text{ H}, R = 2 \text{ } \Omega, K = 2 \text{ Nm/A}, J = 1 \text{ kg m}^2, D = 1 \text{ (kg m}^2\text{)/s}$$

ここで、次のように重み付けされた状態応答の二乗積分と操作量の二乗積分の和を考える。

$$J_r := \int_0^\infty \left(4x_1^2 + 2x_2^2 + \frac{1}{4}u^2 \right) dt$$

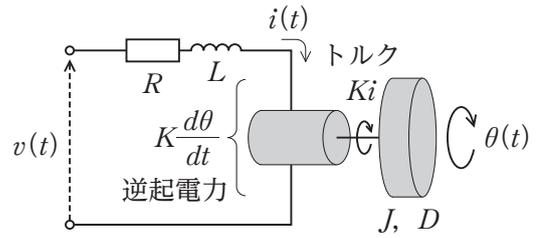
また、この二乗積分の和を最小にして、かつ、閉ループ系を安定化する $u = -f_1 x_1 - f_2 x_2$ の形の状態フィードバックゲインを $F = (f_1 \ f_2)$ とする。

(i) リカッチ方程式の解を $P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{12} & P_{22} \end{pmatrix}$ と表記する。このリカッチ方程式は対称であるため、リカッチ方程式を構成する方程式の本数は、本質的に(1, 1)要素、(1, 2)要素、(2, 2)要素に関する3本である。これら3本の方程式を P_{11} , P_{12} , P_{22} を用いて表せ。

(ii) リカッチ方程式を解いて正定解 P を求めよ。

(iii) J_r を最小化する状態フィードバックゲイン F を求めよ。

(iv) (iii)で求めた状態フィードバックゲイン F を実装し、初期回転角度 π [rad]、初期回転角速度 $\frac{\pi}{2}$ [rad/s] のとき、 J_r の最小値を求めよ。



- (v) 初期回転角度、初期回転角速度ともに 0 とし、(iii)で求めた状態フィードバックゲイン F に対し、

$$u = -f_1 x_1 - f_2 x_2 + \gamma$$

であるような一定値 γ のバイアスをかけて実装する。このとき、モータの回転角度 θ の定常値を $\frac{\pi}{2}$ [rad] とするための γ を求めよ。

- (2) 次の最小実現の状態方程式で表される線形時不変システムを考える。

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix}}_{\dot{x}} = \underbrace{\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 8 & 6 & -3 \end{pmatrix}}_A \underbrace{\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}}_x + \underbrace{\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}}_B u$$

$$y = \underbrace{\begin{pmatrix} 6 & 5 & 1 \end{pmatrix}}_C \underbrace{\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}}_x$$

- (a) 入力 u から出力 y までの伝達関数を求めよ。
 (b) このシステムの極と(無限遠点ではない有限の)零点を求めよ。
 (c) この線形時不変システムに対し、次式のような外乱 d が印加される状況を考える。

$$\dot{x} = Ax + Bu + \underbrace{\begin{pmatrix} 1 \\ -1 \\ h \end{pmatrix}}_H d$$

外乱 d から出力 y への伝達関数の相対次数が、入力 u から出力 y への伝達関数の相対次数より大きくなる条件を満たす h を求めよ。なお、以降の問いはこの条件を満たす h を用いるものとする。

- (d) (c)の状況に対して、状態フィードバック制御則 $u = -Fx$ により、

$$\dot{x} = (A - BF)x + Hd$$

$$y = Cx$$

とした閉ループ系を構成する。ただし、状態フィードバックゲインを $F = (f_1 \ f_2 \ f_3)$ とする。

このとき、対 $(C, A - BF)$ を不可観測にすることができ、不可観測な状態変数の数(不可観測な極の数)の最大値は 2 である。

- (i) 不可観測な状態変数の数を最大である 2 とするような状態フィードバックゲイン F が満たすべき拘束条件を f_1, f_2, f_3 を用いて表せ。
 (ii) 状態フィードバックゲイン F が、不可観測な極を 2 個、可観測な極を 1 個配置し、また、 λ を任意の実数として、可観測な極は $-\lambda$ に配置するものとする。

このとき、可観測な極 $-\lambda$ は、対 $(A - BF, H)$ の不可制御な極になることを示せ。

- (iii) (ii)において、 $\lambda = 1$ としたとき、状態フィードバックゲイン $F = (f_1 \ f_2 \ f_3)$ を求めよ。
 (iv) (iii)で設計した状態フィードバックゲイン F を実装し、外乱 d を印加したとき、出力 y はどのようなになるか、理由とともに説明せよ。

科目 5. 電磁気学・電気回路 [No. 5]

【No. 5】 電磁気学・電気回路に関する以下の設問に答えよ。

(1) 電磁気学に関する以下の問いに答えよ。

ただし、導出過程も示すこと。

(a) 電荷のつくる電界及び電位に関する以下の問いに答えよ。

ただし、真空中の誘電率を ϵ_0 、無限遠の電位を 0 とする。

(i) 真空中において、点電荷 q が xyz 座標上の原点 $(0, 0, 0)$ に置かれているとき、その電荷が任意の位置 (x, y, z) につくる電位 ϕ を求めよ。ただし、この問いは答えのみでよい。

(ii) 図 I のように、真空中に二つの点電荷 $q, -q$ が d だけ離れて置かれているとき、二つの点電荷が任意の位置 (x, y, z) につくる電位が $\phi \simeq \frac{p}{4\pi\epsilon_0} \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$ で表されることを示せ。

ただし、 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ は d に比べて十分に大きいものとし、以下の近似が成り立つものとする。

$$\left(z \pm \frac{d}{2}\right)^2 \simeq z^2 \pm zd, \quad \left(1 \pm \frac{zd}{r^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \simeq 1 \mp \frac{1}{2} \frac{zd}{r^2}$$

また、 p は双極子モーメントの大きさを表し、 $p = qd$ とする。

(iii) (ii)と同様の条件において、任意の位置 (x, y, z) における電界の x 成分 E_x 、 y 成分 E_y 、 z 成分 E_z を求めよ。

その際、 $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ において、以下の関係が成り立つことを利用してもよい。

$$\frac{\partial}{\partial x}(r^n) = nxr^{n-2}$$

(iv) 図 II のように、 $x \leq 0$ に接地された十分に大きな導体板が置かれている。双極子モーメントの大きさ p の電気双極子を、中心位置が $(a, 0, 0)$ 、正電荷の位置が $z > 0$ となるように z 軸に対して平行に置くとき、導体板の表面の任意の位置 $(0, y, z)$ に誘導される電荷密度 σ を求めよ。

ただし、 a は、電気双極子の電荷間の距離に比べて十分に大きいものとする。

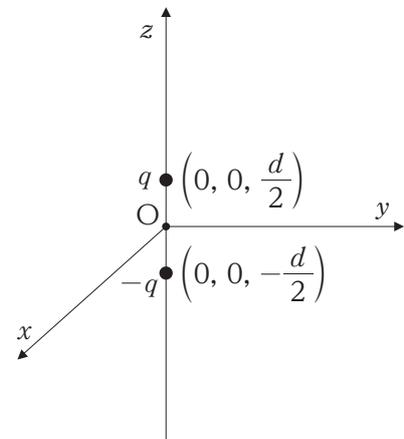


図 I

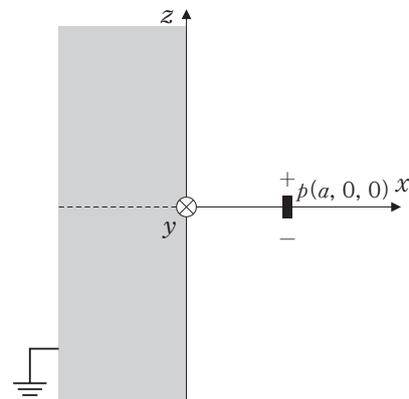


図 II

(b) 平面電磁波に関する以下の問いに答えよ。

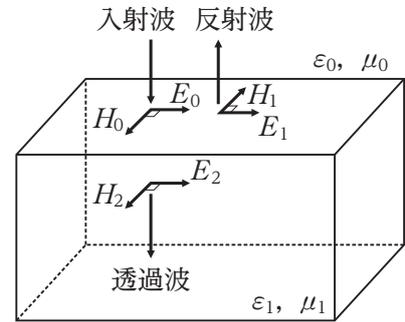
ただし、真空中の誘電率と透磁率をそれぞれ ϵ_0 、 μ_0 とし、真空中での光速を c とする。

(i) 図Ⅲのように平面電磁波(電界の振幅 E_0 、磁界の振幅 H_0)が真空中から、誘電率 ϵ_1 、透磁率 μ_1 である誘電体に境界面に垂直に入射したときの反射波と透過波の電界及び磁界の振幅(それぞれ E_1 、 H_1 、 E_2 、 H_2 とする。)を求めよ。

なお、平面電磁波の電界と磁界の振幅(E 、 H)の関係は、媒質の誘電率、透磁率をそれぞれ ϵ 、 μ としたとき、以下で表されることを用いてよい。

$$H = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E$$

(ii) 平面電磁波(電界の振幅 E_0 、磁界の振幅 H_0 、角振動数 ω)が真空中から完全導体に境界面に垂直に入射したとき、電磁波は完全導体の表面で損失なく全て反射するものとする。電磁波が入射する方向に z 軸、電界の振動方向に x 軸、磁界の振動方向に y 軸をとり、伝搬時間を t とし、入射する電磁波の電界を $E_x = E_0 \sin\omega\left(t - \frac{z}{c}\right)$ と表したとき、入射波と反射波が合わさることで完全導体の前面で生じる電界と磁界を求め、それらが定常波であることを説明せよ。



図Ⅲ

(2) 電気回路に関する以下の問いに答えよ。

(a) 図Ⅳのように、抵抗値がそれぞれ $R_1 = 5 \Omega$ 、 $R_2 = 3 \Omega$ 、 $R_3 = 2 \Omega$ 、 $R_4 = 5 \Omega$ の抵抗、静電容量 $C = 1 \text{ F}$ のコンデンサ、電圧 $E = 15 \text{ V}$ の起電力、スイッチ S から成る回路がある。時刻 t におけるコンデンサ、抵抗値 R_4 の抵抗の端子電圧をそれぞれ $v_1(t)$ 、 $v_2(t)$ とする。この回路に関する以下の問いに答えよ。

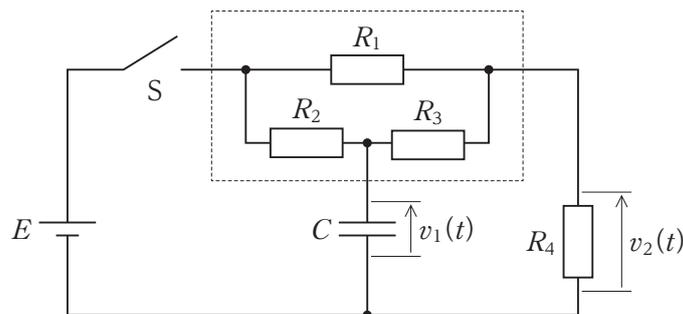
(i) $t = 0$ でスイッチ S を導通させた。 $v_2(0)$ を求めよ。

ただし、 $v_1(0)$ は 0 とする。

(ii) (i)から十分に時間が経過した後の電圧 $v_1(\infty)$ 、 $v_2(\infty)$ を求めよ。

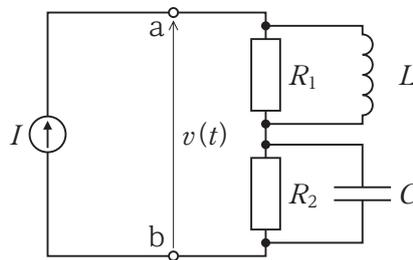
(iii) 図Ⅳの点線で囲まれた R_1 、 R_2 、 R_3 の Δ 結線を Y 結線に変換した回路を描き、その回路の各抵抗の抵抗値を求めよ。

(iv) $v_1(t)$ 、 $v_2(t)$ を t の式で表せ。



図Ⅳ

- (b) 図Vのように、抵抗値がそれぞれ R_1 , R_2 の抵抗、自己インダクタンス L のコイル、静電容量 C のコンデンサ、電流値 I の直流電流源から成る回路がある。時刻 t における端子 a-b 間の電圧を $v(t)$ とする。この回路に関する以下の問いに答えよ。
- $t = 0$ において、コイルの電流及びコンデンサの端子電圧は 0 であった。 $v(0)$ を求めよ。
 - (i) から十分に時間が経過した後の電圧 $v(\infty)$ を求めよ。
 - $v(t)$ は $t = 0$ から上昇し、時刻 T でピークに達した後には下降した。このとき、 L の値が取り得る範囲を R_1 , R_2 , C を用いて表せ。
 - (iii) のとき、 T を R_1 , R_2 , C , L を用いて表せ。
 - $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $L = 4 \text{ H}$, $C = 1 \text{ F}$, $I = 1 \text{ A}$ としたとき、 $v(t)$ の最大値を求めよ。

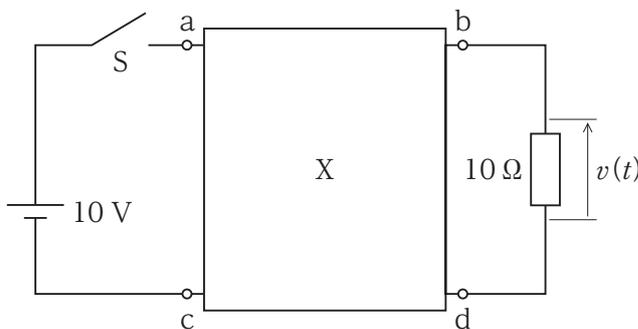


図V

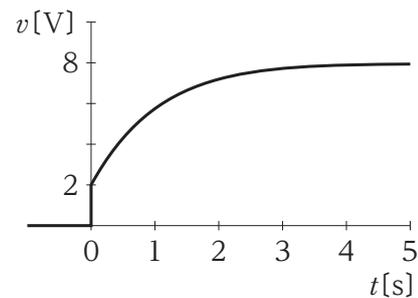
- (c) 図VIのように、電圧 10 V の起電力、抵抗値 10Ω の抵抗、スイッチ S 、及び、a, b, c, d を外部端子としてもつ回路網 X から成る回路がある。時刻 $t = 0$ でスイッチ S を導通したところ、抵抗の端子電圧 $v(t)$ は図VIIの波形、すなわち、 $v(t) = 8 - 6e^{-t}$ となった ($t \geq 0$)。この回路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、 $t < 0$ における $v(t)$ は 0 とする。

- 回路網 X が、二つの抵抗と一つのコンデンサで構成されているとする。その回路を一つ描き、各抵抗の抵抗値及びコンデンサの静電容量を求めよ。
- 回路網 X が、二つの抵抗と一つのコイルで構成されているとする。その回路を一つ描き、各抵抗の抵抗値及びコイルの自己インダクタンスを求めよ。



図VI



図VII

科目 6. 電気機器 [No. 6]

【No. 6】 電気機器に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 三同期機の 1 相当りの簡易等価回路は図 I で与えられる。この簡易等価回路において、 V は同期機の端子電圧、 E は無負荷誘導起電力、 X は同期リアクタンスを表している。銅損、鉄損、機械損は無視できるものとする。 V 及び E は相電圧であるものとする。また、 E と V の位相差を δ とし、 E の位相が V の位相に対して進みである場合に δ は正であると定義する。以下の問いに答えよ。

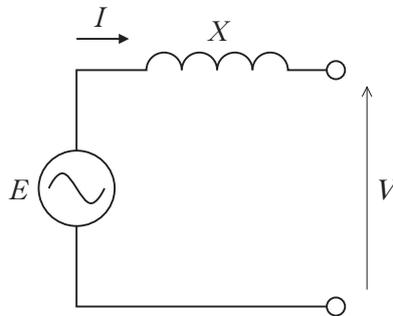
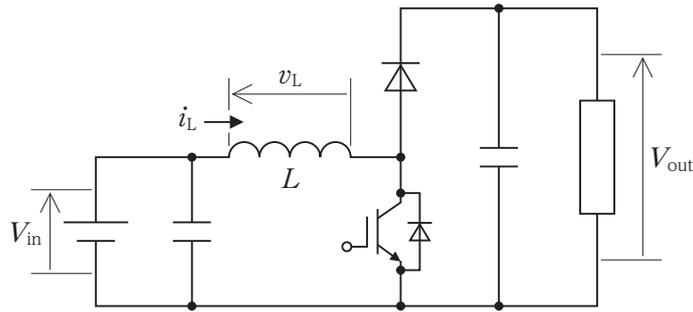


図 I

- (a) 同期リアクタンスが 5Ω 、無負荷誘導起電力(相電圧)が 125 V であるとき、負荷に三相平衡な抵抗を接続して 15 A の負荷電流を流した時の端子電圧(相電圧)を求めよ。
- (b) 同期リアクタンスが 5Ω 、無負荷誘導起電力(相電圧)が 125 V であるとき、同期機を三相短絡したときの短絡電流を求めよ。
- (c) この同期機は $\delta > 0$ のとき発電機となり、 $\delta < 0$ のとき電動機となる。同期機の三相分の出力 P を E , V , X , δ を用いて表せ。
- (d) 無負荷誘導起電力を一定とし、容量性負荷と誘導性負荷をそれぞれつないだ場合の負荷電流 I に対する端子電圧 V の特性の概略を描け。
ただし、 I がゼロの時、 $V = E$ となる。
- (e) この同期機を電圧が一定である電力系統に接続し、回転軸に一定の慣性がある回転体を接続し同期速度で定常運転する。原動機には接続しない。このとき無負荷誘導起電力の大きさを変えることで、電力系統へ無効電力を供給、又は電力系統から無効電力を吸収することができる。無負荷誘導起電力が系統電圧に比べて大きい場合と小さい場合について、フェーザー図を描き、発生する電流の系統電圧に対する位相について説明せよ。遅れと進みについて明記すること。
ただし、電流は同期機から電力系統に向かう方向を正とする。

- (2) 図Ⅱは、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)及びダイオードを用いた昇圧チョップパの回路図である。入力側には電圧 V_{in} の直流電源が接続されており、インダクタンスが L であるインダクタを介して IGBT に接続されている。また、出力側には平滑コンデンサと抵抗が並列で接続されており、その電圧は V_{out} である。ただし、スイッチングによって生じる V_{out} の脈動は十分小さく、 V_{out} は一定であると仮定する。IGBT、ダイオードは導通時の電圧降下はゼロであるものとし、インダクタ、コンデンサには抵抗成分はないものとする。以下の問いに答えよ。



図Ⅱ

- (a) IGBT を一定の周期 T_{sw} 及びオンの時比率(デューティ比) d でオンオフしたとき、インダクタにかかる電圧 v_L と流れる電流 i_L の定常状態の 1 周期分の波形をスイッチのオン・オフ状態とともに描け。 v_L の波形には大きさを示すこと。
ただし、 i_L に含まれる脈動はその平均値に対して小さく、スイッチング 1 周期中において i_L が負になることはないものとする。
- (b) (a)のとき、定常状態における V_{out} を V_{in} 及び d で表せ。
ただし、IGBT 及びダイオードには寄生容量はないものとし、スイッチングは瞬時に行われるものとする。
- (c) T_{sw} を小さくすることで得られる昇圧チョップパの設計上の利点について、インダクタンス L とインダクタを流れる電流 i_L に含まれる変動分の大きさに着目して説明せよ。
- (d) IGBT がターンオンする時とターンオフする時の IGBT にかかる電圧と電流の過渡状態の概略波形を示し、この過渡現象が電力損失にどのように寄与するかを簡潔に説明せよ。また、 T_{sw} を小さくしたとき IGBT に発生する電力損失はどうか理由と共に簡潔に説明せよ。
- (e) 一定の周期 T_{sw} 及びオン時比率 d での運転において、負荷電流がある値より小さくなる(負荷抵抗の抵抗値がある値よりも大きくなる)場合には、定常状態の出力電圧 V_{out} は(b)で求めたものとは異なってくる。このとき定常状態の V_{out} が(b)で求めたものより大きくなるか小さくなるかを、出力側平滑コンデンサに流入する電流と負荷に流れる電流のバランスに着目して理由とともに答えよ。

科目 7. 電力工学 [No. 7]

【No. 7】 電力工学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 電力システムに関する以下の問いに答えよ。

(a) 以下の記述の㉑～㉕に当てはまる語句をそれぞれ示せ。

「日本の電力系統の特徴は、 容量かつ 電圧のシステムであり、遠隔地にある発電所から大都市の電力需要地まで長距離送電されていることである。送電線は山岳地帯に多く設置されているため 害が多く、海に囲まれているため 害があり、また、台風の被害も多い。東日本では交流 、西日本では交流 の二つの異なる で運用されており、これは日本の電力系統の大きな特徴である。」

(b) 電力の需給バランスと周波数変動の関係について簡潔に説明せよ。

(c) 図 I のような π 型等価回路をもつ、線路のこう長 100 km の地中線がある。受電端が開放されているとき、受電端電圧は送電端電圧に対して何% 下降又は何% 上昇するか答えよ。

ただし、1 km 当たりの線路インダクタンス、線路の静電容量はそれぞれ 0.2 mH、0.5 μ F、系統の周波数は 50 Hz とする。 $\pi = 3.14$ として計算せよ。

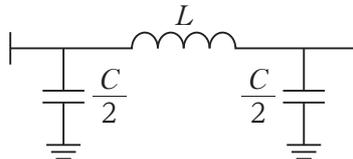


図 I

(d) 三相送電線の 1 相当りのインピーダンスは、 $Z_1 = 4 + j40 [\Omega]$ である。送電端の複素電力が $\dot{S} = 100 + j20 [\text{MVA}]$ 、線間電圧が 200 kV とする。このとき、受電端の複素電力、線間電圧(複素電圧)を、単位法を用いて求めよ。ただし、三相基準容量を 100 MVA、基準電圧を 200 kV とする。

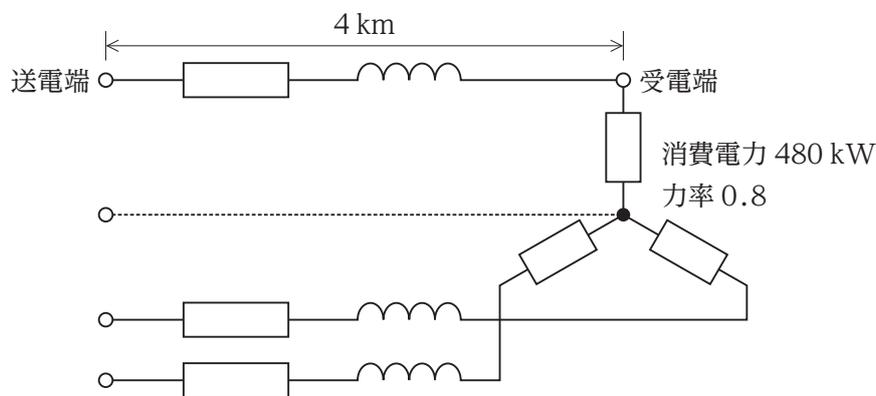
(2) 電力システムの安定度に関する以下の問いに答えよ。

(a) 1 機-無限大母線系統において、発電機から送電線を通して送り出される 1 相当りの電力 P_e を求めよ。ただし、発電機起電力を E_s 、無限大母線側の相電圧を E_r 、 E_s と E_r の位相角を δ 、発電機-無限大母線間のリアクタンス(発電機の同期リアクタンスと線路リアクタンスを合わせたもの)を X とする。

(b) (a) で求めた P_e のグラフを、横軸を δ として描け。必要に応じてグラフに目盛りと値を付記せよ。ただし、発電機として動作する領域のみを図示すること。

(c) 同期化力を式で表し、さらに、1 機-無限大母線系統における定態安定度の安定領域を示せ。

- (3) 図Ⅱのような電線を敷設する2点間の距離が4 kmの三相配電線路がある。受電端の線間電圧は6,000 Vで、遅れ力率0.8の480 kWの電力を消費している。線路1本の抵抗とリアクタンスをそれぞれ0.5 Ω/kmとする。以下の問いに答えよ。
- (a) 送電端の線間電圧を求めよ。
- (b) 受電端にコンデンサを設置して線路損失を最小にするときの、コンデンサの容量[kVA]、及び送電端の線間電圧を求めよ。ただし、受電端の電圧はコンデンサを接続しても変わらないものとする。
- (c) コンデンサ設置前後の線路損失を計算し、設置後の損失が設置前に対して何%に減少するか求めよ。



図Ⅱ

- (4) 近年、太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーが大量に普及しつつある。再生可能エネルギーの大きな欠点として、出力が不安定という問題がある。このような不確定要素のある電源の普及に加えて近年の気候変動の影響により、電力の需給バランスを取ることが難しくなっている。この対策法の一つであるデマンドレスポンスについて、①用語の説明と、②需給調整方法について、それぞれ3行程度で述べよ。

科目 8. 電子工学 [No. 8]

【No. 8】 電子工学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 図 I は、金属と n 型半導体のエネルギーバンド図である。

$q\phi_m$ は金属の仕事関数、 E_{fm} は金属のフェルミ準位、 $q\chi$ は n 型半導体の電子親和力、 $q\phi_s$ は n 型半導体の仕事関数、 E_c は n 型半導体の伝導帯下端のエネルギー準位、 E_{fs} は n 型半導体のフェルミ準位、 E_v は n 型半導体の価電子帯上端のエネルギー準位、 q は電気素量である。 $\phi_m > \phi_s$ を満たす金属と n 型半導体の接触をショットキー接触と呼び、整流作用を示すことが知られている。このショットキー接触に関する以下の問いに答えよ。

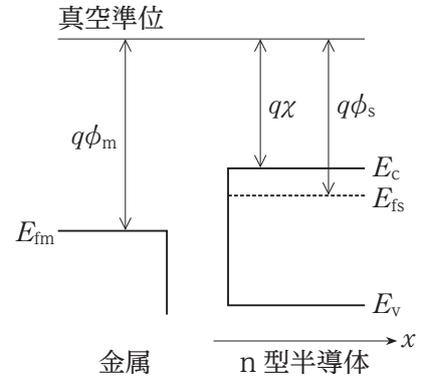


図 I

ただし、金属/n 型半導体接触面は理想的であり、反応層や界面準位は無視できるものとする。

(a) このショットキー接触のエネルギーバンド図を描け。

ただし、解答に当たっては、各エネルギー準位 (E_{fm} , E_c , E_{fs} , E_v)、ショットキー障壁の高さ $q\phi_B$ 、及び n 型半導体中の拡散電位 qV_D を図中に示すこと。

(b) n 型半導体内部の静電ポテンシャルを ϕ とすると、ショットキー接触のポアソン方程式は次式で表される。

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = -\frac{qN_D}{\epsilon\epsilon_0}$$

ここで、 x は図 I に示すように n 型半導体内部方向に向かう軸で、金属/n 型半導体接触面で $x = 0$ である。 N_D はドナー不純物濃度、 ϵ は比誘電率、 ϵ_0 は真空の誘電率である。このポアソン方程式から n 型半導体表面に形成される空乏層の厚さ d を求めよ。

ただし、解答に当たっては、拡散電位 V_D を用いてよい。

(c) このショットキー接触に対し、図 II のように電圧を印加する。

(i) 正電圧と負電圧を印加したときのエネルギーバンド図をそれぞれ描きつつ、整流作用が得られる理由を簡潔に説明せよ。

ただし、解答に当たっては、各エネルギー準位 (E_{fm} , E_c , E_{fs} , E_v) を図中に示すこと。

(ii) 図 II 中の金属/n 型半導体接触がショットキー接触であったときの電流 I と電圧 V の関係をグラフに描け。また、 $\phi_m < \phi_s$ の条件を満たす金属/n 型半導体接触をオーミック接触と

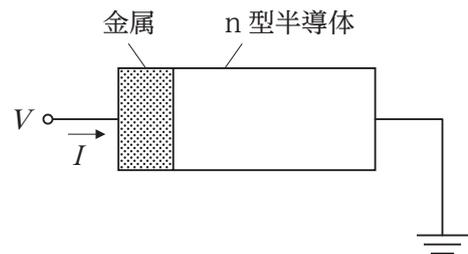


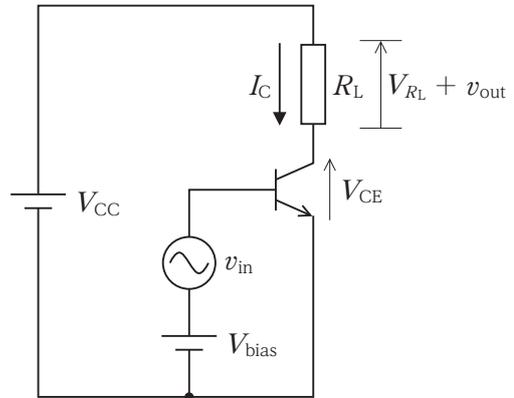
図 II

呼ぶ。オーミック接触の電流 I と電圧 V の関係も同じグラフに重ねて描け。

ただし、両者は、 ϕ_m のみが異なる金属/n型半導体接触であるとする。

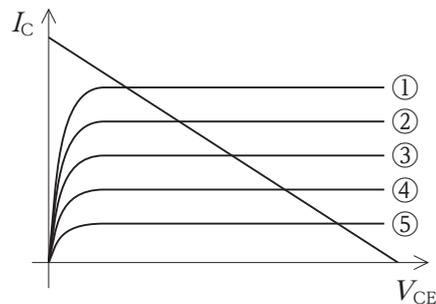
- (2) 図Ⅲは、バイポーラトランジスタを用いたエミッタ接地増幅回路である。この回路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、 I_C はコレクタ電流、 V_{CE} はコレクターエミッタ間の電圧、 R_L は負荷の抵抗値、 v_{in} は入力電圧、 V_{CC} は電源電圧、 V_{R_L} は $v_{in} = 0$ のときに R_L の両端に現れる電圧、 v_{out} は v_{in} を加えたときの信号電圧、 V_{bias} はバイアス電圧である。



図Ⅲ

- (a) この回路の負荷線を表す式を示せ。
 (b) この回路を A 級電力増幅回路として動作させるようにバイアスを与えたときのバイポーラトランジスタの静特性を示す線として、最も妥当なものはどれか、図Ⅳの①～⑤の中から選び、理由と共に示せ。



図Ⅳ

- ただし、(a)の負荷線は図Ⅳ中に示す直線で表されているものとする。
 (c) (b)のとき、入力電圧 v_{in} として角周波数 ω の正弦波を加えた場合、負荷 R_L から取り出すことのできる最大の信号電力を求めよ。
 (d) 負荷 R_L から取り出せる信号電力と、電源から供給される電力の比を電源効率という。(c)のときの、この回路の電源効率を求めよ。
 (e) A 級電力増幅器よりも電源効率を向上した電力増幅器として、プッシュプル型 B 級電力増幅器が知られている。プッシュプル型 B 級電力増幅器の電源効率が向上する理由をその回路構成に言及しつつ説明せよ。また、プッシュプル型 B 級電力増幅器の問題点についても説明せよ。

科目 9. 通信工学 [No. 9]

【No. 9】 通信工学に関する以下の設問に答えよ。

(1) OFDM に関する以下の問いに答えよ。

- (a) OFDM は、どのような変調方式か説明せよ。
- (b) OFDM では、一般にガードインターバルと巡回拡張(Cyclic Prefix)が用いられている。ガードインターバルと巡回拡張はどのようなものか、その役割と共に説明せよ。
- (c) IEEE802.11a では、300 MHz の帯域を $B = 20$ MHz ずつに分割し各ユーザに割り当てる。また、64 本のサブキャリアを生成し、そのうち 48 本をデータ伝送に使用する。ガードインターバル長は 16 サンプルに相当し、1 OFDM シンボルは 80 サンプルに相当する。また、IEEE802.11a では適応変調・通信路符号化(AMC)が用いられており、変調方式は BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM の 4 種類、通信路符号化は符号化率 $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ の 3 種類の畳み込み符号が使われる。
 - (i) IEEE802.11a におけるサブキャリアの帯域幅 [Hz] とガードインターバル長 [s] を求めよ。
 - (ii) 適応変調・通信路符号化(AMC)はどのようなものか、その目的と共に説明せよ。
 - (iii) IEEE802.11a の最大伝送速度及び最低伝送速度を求めよ。

(2) 誤り検出に関する以下の問いに答えよ。

ある「番号」は、11 桁の数字及びその後につされた 1 桁の検査用数字により構成されており、与えられた 11 桁の数字に対して、検査用数字 C は以下のように算出される：

$$C = 11 - M \bmod 11$$

ただし、算出された値が 10 以上の場合、 C は 0 とする。

ここで、

$$M = \sum_{n=1}^{11} P_n \times Q_n$$

P_n : 11 桁の数字の最下位の桁を 1 桁目としたときの n 桁目の数字

$$Q_n : \begin{cases} n + 1 & (n \leq 6 \text{ のとき}) \\ n - 5 & (n \geq 7 \text{ のとき}) \end{cases}$$

とする。

- (a) 11 桁の数字として 12345678901 が与えられたとき、正しい「番号」を求めよ。
- (b) 検査用数字を用いてどのように誤り検出を行うか、(a)で計算した「番号」を用いて簡潔に説明せよ。

- (c) ある 11 桁の数字に対して、 $m = M \bmod 11$ とする。
- (i) $m \geq 2$ のとき、11 桁の数字のうち 1 桁の誤りの発生を必ず検出できることを示せ。
 - (ii) $m \leq 1$ のとき、11 桁の数字のうち 1 桁の誤りの発生を検出できない場合がある。1 桁の誤りが発生した場合に計算される M を M' としたとき、どのような $M - M'$ に対して誤りが検出できないかを示せ。また、誤りを検出できないような「番号」及び誤りの例を示せ。

科目 10. 信頼性工学 [No. 10]

【No. 10】 信頼性工学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) ある橋は自動車が通過することが負荷となり、その結果として何らかの修繕が必要となるような損傷に至る。この橋は重量 W_1 の自動車が 20000 台走行すると損傷する。同様に、重量が W_2 の場合は 40000 台、重量が W_3 の場合は 50000 台の自動車がそれぞれ走行すると橋は損傷する。通過する自動車の台数と重量との間にはマイナー則(線形損傷則)が成り立つ。橋を通過する時間や速度など重量と台数以外の因子は損傷の発生に影響しない。このとき、以下の問いに答えよ。
- (a) マイナー則に基づいて重量と橋が損傷するまでに通過する車の台数を表す曲線の名称を示し、この曲線の特徴を説明せよ。
- (b) 重量 W_1 の自動車が 4000 台、重量 W_2 の自動車が 10000 台通過した場合、橋が損傷するまでに通過できる重量 W_3 の自動車の台数を求めよ。
- (c) 1 年間に、重量 W_1 の自動車が 1800 台、重量 W_2 の自動車が 2400 台、重量 W_3 の自動車が 1500 台通過する。この橋が損傷するまでの年数を求めよ。
- (2) ある部品の寿命を評価するため、20 個の部品の運用を同時に開始して 100 時間経過した時点で観測を打ち切るという寿命試験を行ったところ、故障した部品の故障までにかかった時間を昇順に並べた次のようなデータが得られた。このデータに含まれていない残りの 5 個の部品は寿命試験を終了した 100 時間の時点で故障していない。以下のデータで示されている故障時間と故障していない残りの 5 個の部品全ての運用時間を用いて平均値を算出したところ、58.55(時間)であった。寿命時間が指数分布に従うものと仮定し、以下の問いに答えよ。

7, 12, 18, 21, 29, 32, 35, 39, 43, 51, 63, 67, 78, 84, 92(単位:時間)

- (a) このような試験によって得られたデータの名称を示せ。
- (b) 平均寿命(MTTF)の推定値を求めよ。
- (c) MTTF の信頼区間を求めたところ、信頼上限は 139.48 となった。カイ二乗分布表を用いて、このときの信頼率(信頼水準)の値を求めよ。
- (d) (c)で求めた信頼率の下、カイ二乗分布表を用いて、50 時間経過した部品の信頼度の上限を求めよ。

ただし、 $e^{1.06} = 2.89$ とする。

表：カイ二乗分布の上側パーセント点

自由度	上側確率						
	0.975	0.950	0.800	0.200	0.100	0.050	0.025
1	0.001	0.004	0.064	1.642	2.706	3.841	5.024
2	0.051	0.103	0.446	3.219	4.605	5.991	7.378
3	0.216	0.352	1.005	4.642	6.251	7.815	9.348
4	0.484	0.711	1.649	5.989	7.779	9.488	11.143
5	0.831	1.145	2.343	7.289	9.236	11.070	12.833
6	1.237	1.635	3.070	8.558	10.645	12.592	14.449
7	1.690	2.167	3.822	9.803	12.017	14.067	16.013
8	2.180	2.733	4.594	11.030	13.362	15.507	17.535
9	2.700	3.325	5.380	12.242	14.684	16.919	19.023
10	3.247	3.940	6.179	13.442	15.987	18.307	20.483
11	3.816	4.575	6.989	14.631	17.275	19.675	21.920
12	4.404	5.226	7.807	15.812	18.549	21.026	23.337
13	5.009	5.892	8.634	16.985	19.812	22.362	24.736
14	5.629	6.571	9.467	18.151	21.064	23.685	26.119
15	6.262	7.261	10.307	19.311	22.307	24.996	27.488
16	6.908	7.962	11.152	20.465	23.542	26.296	28.845
17	7.564	8.672	12.002	21.615	24.769	27.587	30.191
18	8.231	9.390	12.857	22.760	25.989	28.869	31.526
19	8.907	10.117	13.716	23.900	27.204	30.144	32.852
20	9.591	10.851	14.578	25.038	28.412	31.410	34.170
21	10.283	11.591	15.445	26.171	29.615	32.671	35.479
22	10.982	12.338	16.314	27.301	30.813	33.924	36.781
23	11.689	13.091	17.187	28.429	32.007	35.172	38.076
24	12.401	13.848	18.062	29.553	33.196	36.415	39.364
25	13.120	14.611	18.940	30.675	34.382	37.652	40.646
26	13.844	15.379	19.820	31.795	35.563	38.885	41.923
27	14.573	16.151	20.703	32.912	36.741	40.113	43.195
28	15.308	16.928	21.588	34.027	37.916	41.337	44.461
29	16.047	17.708	22.475	35.139	39.087	42.557	45.722
30	16.791	18.493	23.364	36.250	40.256	43.773	46.979
31	17.539	19.281	24.255	37.359	41.422	44.985	48.232
32	18.291	20.072	25.148	38.466	42.585	46.194	49.480
33	19.047	20.867	26.042	39.572	43.745	47.400	50.725
34	19.806	21.664	26.938	40.676	44.903	48.602	51.966
35	20.569	22.465	27.836	41.778	46.059	49.802	53.203
36	21.336	23.269	28.735	42.879	47.212	50.998	54.437
37	22.106	24.075	29.635	43.978	48.363	52.192	55.668
38	22.878	24.884	30.537	45.076	49.513	53.384	56.896
39	23.654	25.695	31.441	46.173	50.660	54.572	58.120
40	24.433	26.509	32.345	47.269	51.805	55.758	59.342

- (3) 3個のコンポーネント A, B, C で構成されている図のようなシステムを考える。コンポーネント A の故障率は λ_1 、コンポーネント B と C の故障率はどちらも λ_2 であり、正常なコンポーネントの寿命時間は全て独立な指数分布に従い、複数のコンポーネントの故障が同時に発生することはない。修理スタッフを2名配置し、コンポーネントが故障したときに修理するが、1名は A の修理のみを専門に行い、もう1名は B と C の修理を専門に行う。修理に要する時間は A が平均 $\frac{1}{\mu_1}$ 、B と C がどちらも平均 $\frac{1}{\mu_2}$ のいずれも独立な指数分布に従う。

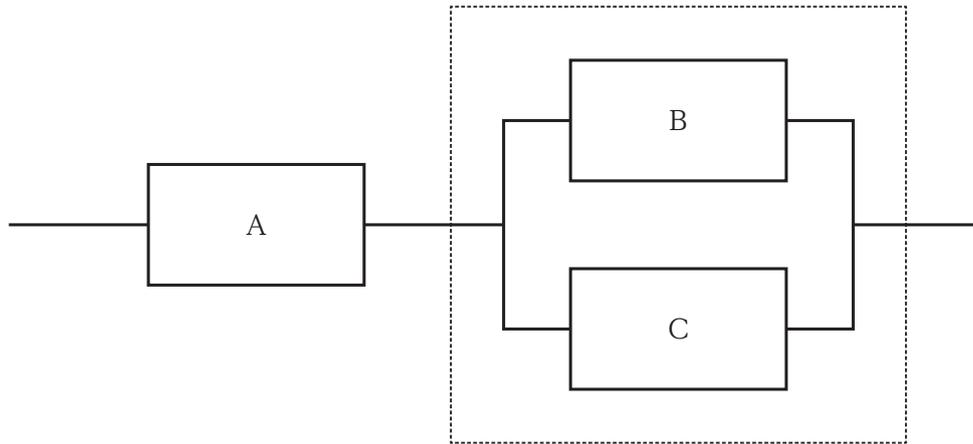


図 システム

このシステムを次のように運用する。

- ・初期状態では、全てのコンポーネントが正常で、システムが運用可能な状態であるものとする。また、システムの運用を開始した時点をも $t = 0$ とする。
- ・コンポーネントが故障した場合、修理を行っていないスタッフがいる場合はすぐに修理を開始する。すなわち、A が故障した場合はすぐに修理を開始できるのに対し、コンポーネント B 又は C については、片方が修理中にもう一方が故障した場合、修理されずに故障したまま修理待ちとなるコンポーネントが存在する。このとき、片方の修理が終了する前にもう一方の修理を開始することはない。
- ・修理されたコンポーネントはいずれも新品同様に回復する。
- ・ある組合せのコンポーネントが故障することでシステムの運用が不可能となる。その場合、その時点で正常なコンポーネントの稼働も停止する。例えば、A が故障するとシステムは運用不可能となり、B と C は稼働を停止するため、A の修理が終了しシステムの運用が可能となるまでは B と C が故障することはない。よって、システムが運用不可能となった後は、再び運用を開始するまで正常なコンポーネントが故障することはない。
- ・ある組合せのコンポーネントが正常となりシステムの運用が可能となった場合、仮に修理中のコンポーネントが存在してもすぐにシステムの運用を開始し、その時点で修理中のコンポーネントは引き続きそのまま修理が行われる。例えば、A と B が故障してシステムの運用が不可

能となり、その後 A の修理が終わった場合、C が正常であるため B の修理が終了しているか否かに関係なくシステムの運用を再開し、B はそのまま継続して修理が行われる。

ここで、時点 t におけるシステムの状態を $S(t) = (I_1(t), I_2(t))$ と表す。A が正常に稼働していれば $I_1(t) = 0$ 、修理又は故障している場合は $I_1(t) = 1$ とする。また、同様に、 $I_2(t)$ は図の点線部の並列なサブシステム内で故障しているコンポーネント数を表し、 $I_2(t) = k (k = 0, 1, 2)$ は k 個のコンポーネントが修理中、修理待ち又は故障中のいずれかを表す。このとき、以下の問いに答えよ。

- (a) システムが運用不可能な状態を表す $S(t)$ を全て列挙せよ。
- (b) このシステムが時点 t まで故障することなく正常に稼働している確率 $R_S(t)$ を、 λ_1 と λ_2 を用いて表せ。また、 $\lambda_1 = \frac{1}{4}$ 、 $\lambda_2 = \frac{1}{2}$ のとき、 $e = 2.72$ 、 $\sqrt{e} = 1.65$ を利用して $R_S(2)$ の値を求めよ。
- (c) 時点 t での $S(t)$ が (i, j) である確率を $P_{(i,j)}(t)$ とおく。 $S(t) = (0, 0)$ 、 $(1, 1)$ のときに $P_{(i,j)}(t)$ が満たす微分方程式は以下のように表すことができる。

$$\frac{d}{dt}P_{(0,0)}(t) = -(\lambda_1 + 2\lambda_2)P_{(0,0)}(t) + \mu_1P_{(1,0)}(t) + \mu_2P_{(0,1)}(t)$$

$$\frac{d}{dt}P_{(1,1)}(t) = -(\mu_1 + \mu_2)P_{(1,1)}(t) + \lambda_1P_{(0,1)}(t)$$

このとき、システムの挙動を表す適切な微分方程式を、 $S(t) = (0, 0)$ 、 $(1, 1)$ のときを除いて全て示せ。

- (d) (c) で得た微分方程式について、 $P_{(i,j)}(t)$ が極限をもつ、すなわち、 $\lim_{t \rightarrow \infty} P_{(i,j)}(t) = p_{(i,j)} > 0$ であるとき、 $P_{(i,j)}(t)$ の導関数 $P'_{(i,j)}(t)$ は 0 (ゼロ) となる。この結果を利用して、 $p_{(1,1)}$ を、 $p_{(0,2)}$ と λ_1 、 λ_2 、 μ_1 、 μ_2 を用いて表せ。
- (e) $\lambda_1 = \frac{1}{4}$ 、 $\lambda_2 = \frac{1}{2}$ 、 $\mu_1 = 1$ 、 $\mu_2 = 2$ 及び $p_{(0,2)} = \frac{6}{101}$ であるとき、 $p_{(0,0)}$ を分数で表せ。
- (f) (e) において、このシステムの定常アベイラビリティ ($t \rightarrow \infty$ としたときにシステムが運用可能である確率) を分数で表せ。

科目 11. 材料力学[機械系][No. 11]

本科目の選択者は、科目 16(構造力学(土木))を選択することはできません。

【No. 11】 材料力学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I のように、長さ $2l$ 、断面積 A の一様な棒が水平な面内で中心 O を通る垂直軸まわりに一定の角速度 ω で回転している。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、棒の密度を ρ 、ヤング率を E 、 O から x の位置にある微小要素の長さを dx とする。

- (a) O から x の位置にある微小要素に作用する遠心力 dP を、 A 、 E 、 l 、 dx 、 x 、 ρ 、 ω のうち必要なものを用いて表せ。
- (b) O から x の位置にある断面に作用する引張荷重 P を、 A 、 E 、 l 、 dx 、 x 、 ρ 、 ω のうち必要なものを用いて表せ。
- (c) O から x の位置にある断面に作用する応力 σ を、 A 、 E 、 l 、 dx 、 x 、 ρ 、 ω のうち必要なものを用いて表せ。
- (d) O から x の位置にある微小要素の伸び $d\delta$ を、 A 、 E 、 l 、 dx 、 x 、 ρ 、 ω のうち必要なものを用いて表せ。
- (e) 遠心力が作用することにより、遠心力が作用していない状態からの位置 x の変位量 δ を x の関数として示せ。
- (f) O からの位置 x を横軸にとり、遠心力が作用していない状態からの遠心力による位置 x の変位量 δ を縦軸にとったときの x と δ の関係をグラフに描け。
- ただし、 $0 \leq x \leq l$ とし、最大値をグラフ中に示せ。

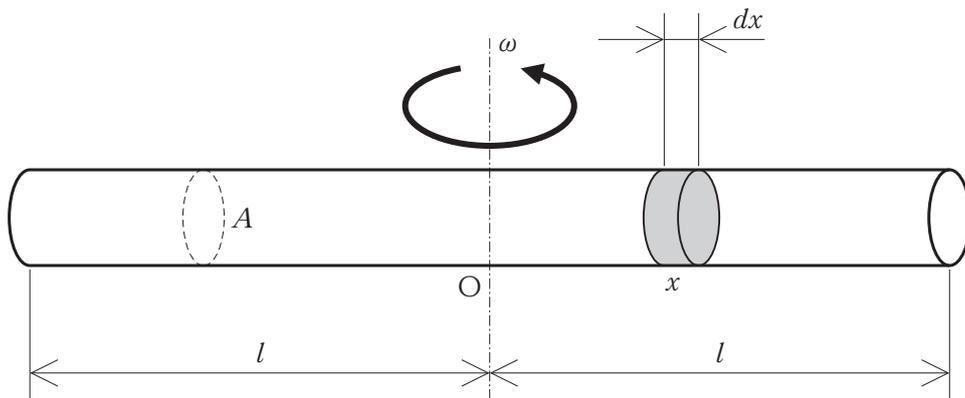


図 I

- (2) 図Ⅱのような長さ l 、断面積 A 、ヤング率 E の軽い棒が天井から鉛直に下がっており、その下端に剛体の軽い受け皿が取り付けられている。中心に穴の空いた質量 m の剛体でできたおもりが棒に取り付けられているとき、以下の問いに答えよ。

ただし、重力加速度の大きさを g とする。

- (a) おもりを静かに受け皿に載せたとき、棒全体に蓄えられるひずみエネルギーを求めよ。

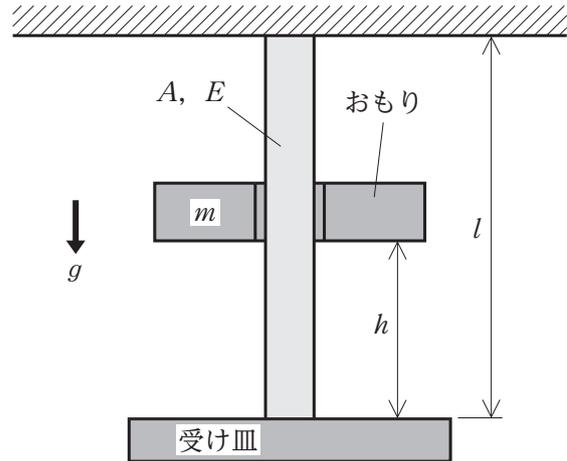
ただし、導出過程も示すこと。

- (b) おもりを受け皿からの高さ h から自由落下させて受け皿に衝突させたとき、棒の伸びの最大値を求めよ。

ただし、導出過程も示すこと。また、棒とおもりとの間に摩擦はなく、衝突や発熱などによるエネルギー損失は無視し、衝撃荷重のエネルギーは、全て棒のひずみエネルギーに変換されるものとする。

- (c) おもりを静かに受け皿に載せたときの応力を σ_s 、棒の伸びを λ_s とすると、(b)において、 $h = 4\lambda_s$ のとき、衝撃応力は σ_s の何倍になるか求めよ。

ただし、導出過程も示すこと。

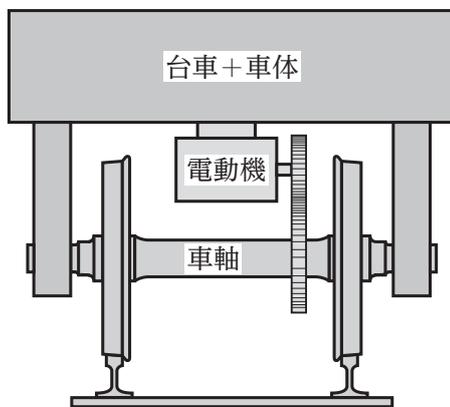


図Ⅱ

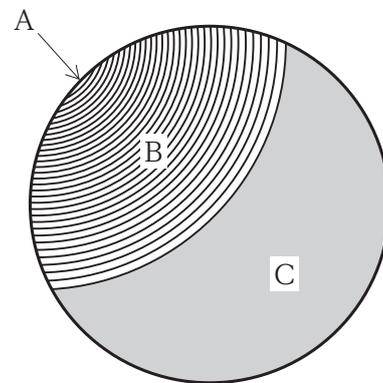
(3) 鉄道車両の車軸は図Ⅲのように、軸端の軸受で車体と台車の重量を受けながら、車輪と一体となって回転している。また、電動機から動力伝達装置を介して駆動力を受け、車輪に回転力を伝える。この車軸について、以下の問いに答えよ。

(a) 鉄道の黎明期には様々な事故が発生し、車軸の折損もその一つとして挙げられる。折損した軸の破断面を微視的に観察すると図Ⅳのようであった場合、破壊の種類や、図Ⅳの点 A、領域 B、領域 C と破壊との関係をそれぞれ説明せよ。

(b) 現在、新幹線の車両には中空の車軸が使用されている。その理由の一つは軽量化のためであるが、材料力学の観点から中空軸を使用するメリットを、式を用いて同一の外径の中実軸と比較した上で説明せよ。



図Ⅲ



図Ⅳ

科目 12. 機械力学 [No. 12]

【No. 12】 機械力学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 図 I に示すように、長さ l 、質量 m の等しい 3 本のリンクで支えられた質量 m_0 の平板について考える。平板の重心位置からリンクの一端までの高さを h_0 、支点 A から力の作用点までの水平距離を x とする。平板に水平力 F を加えたとき、リンクが角度 θ 傾いて釣り合った場合について、以下の問いに答えよ。

ただし、重力加速度の大きさを g とし、リンクの重心位置はリンクの中心にあるものとする。

- 仮想な回転角度 $\delta\theta$ によるリンクの重心の垂直変位 δh_1 、平板の垂直変位 δh_2 を求めよ。
- 仮想な回転角度 $\delta\theta$ だけリンクが回転したとき、重力のした仕事 δW_g の大きさを求めよ。
- 仮想な回転角度 $\delta\theta$ だけリンクが回転したとき、 F のした仕事 δW_e の大きさを、 l 、 F 、 θ 、 $\delta\theta$ を用いて示せ。
- 仮想仕事の原理より、 F を求めよ。

ただし、導出過程も示すこと。

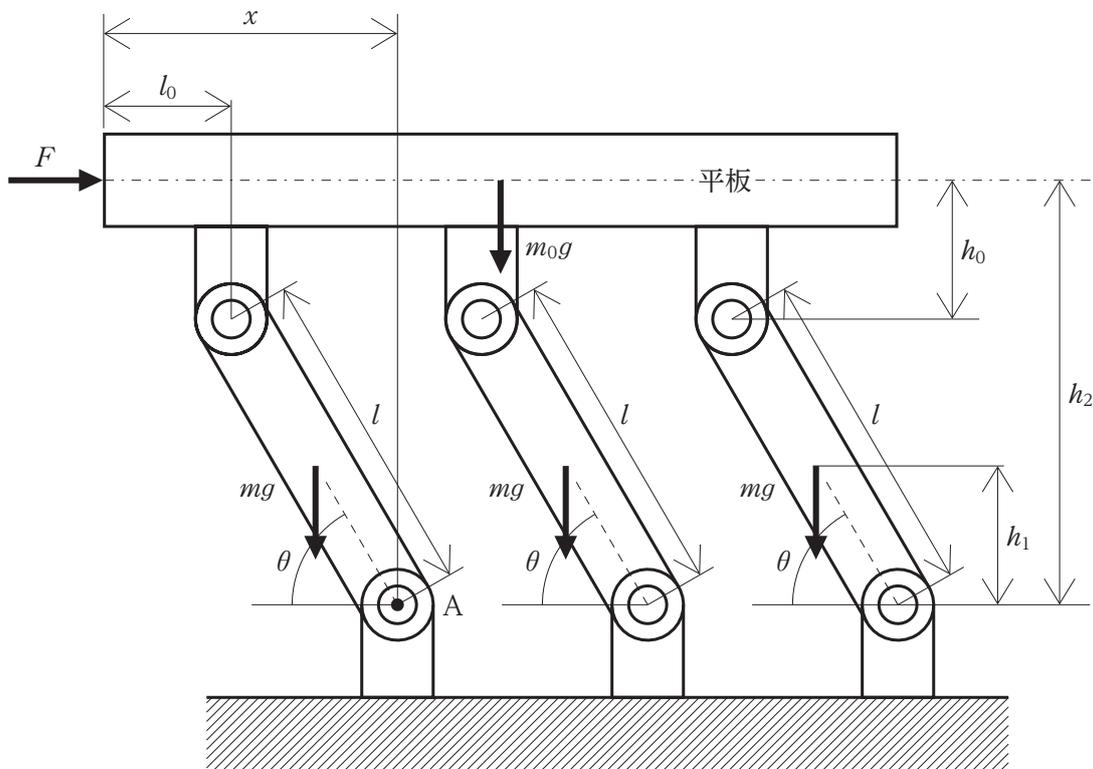
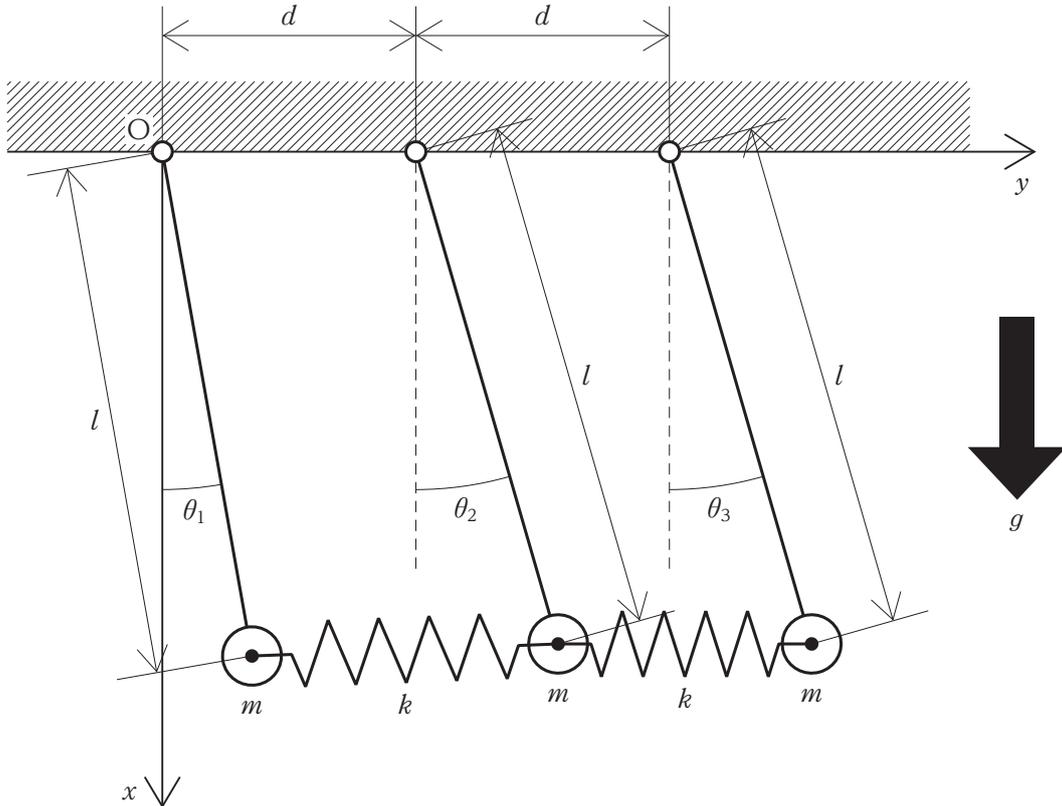


図 I

(2) 図Ⅱに示すように、質量 m の質点を長さ l の軽い糸で取り付けた振り子を三つ天井から鉛直につり下げ、その質点間をばね定数 k の軽いばねを用いて自然長 d でつなげている。三つの質点は xy 平面内を運動するものとし、各振り子の傾き角度を $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ とする。重力加速度の大きさを g とし、ポテンシャルエネルギーの基準を天井の高さとするとき、この系に関する以下の問いに答えよ。

ただし、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ は微小な角度であるとは**仮定しない**ものとする。

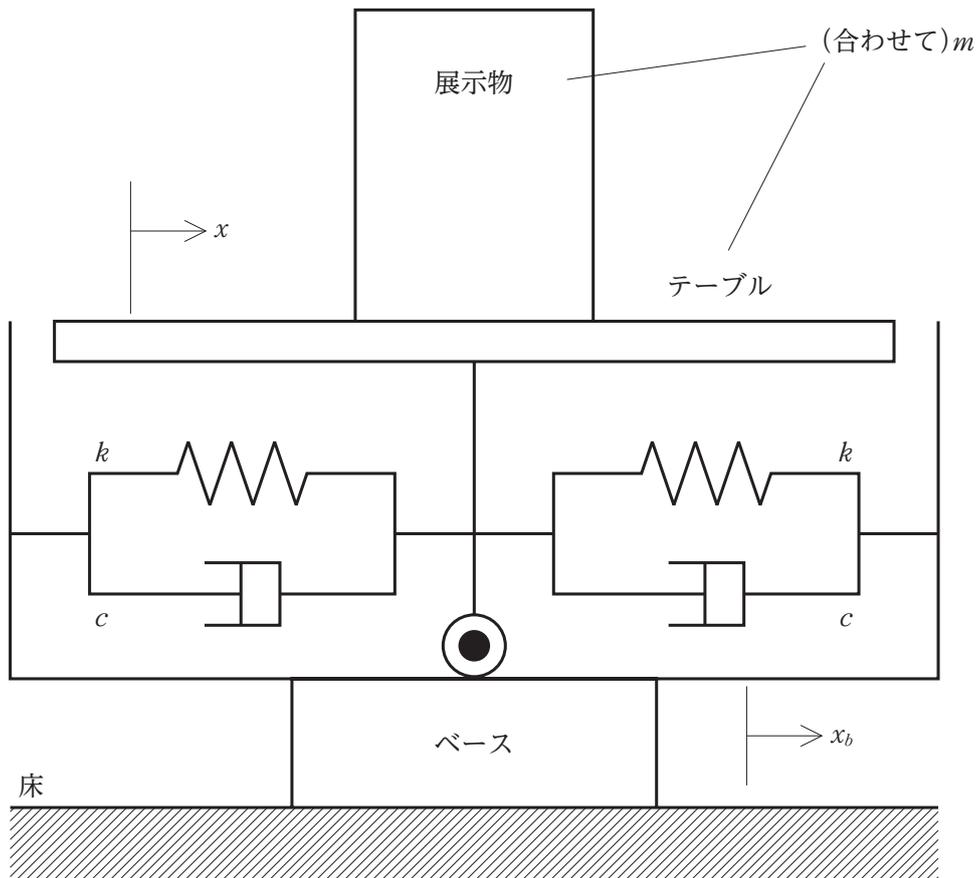
- (a) この系全体の運動エネルギー T を求めよ。
 ただし、導出過程も示すこと。
- (b) この系全体のポテンシャルエネルギー V を求めよ。
- (c) ラグランジアン L を用いて、ラグランジュの方程式を全て示せ。
- (d) (c) を解くことにより、この系の運動方程式を全て求めよ。
 ただし、導出過程も示すこと。



図Ⅱ

(3) 図Ⅲに示すように、博物館などで貴重な展示物が地震によって転倒し、損傷することを防止するための装置の運動について考える。ベースは床に取り付けられ、そのベースには水平方向に変位 $x_b = a \cos \omega t$ が生じていると仮定する。ここで、 a は振幅、 ω は角振動数、 t は時間を表す。また、展示テーブルは水平方向のみに動くことができ、その慣性系から見た変位を x とする。展示テーブルとベースの間には、ばね定数 k 及び粘性減衰係数 c の二つのばねとダンパが取り付けられている。展示テーブルと展示物は固定されており、合わせた質量が m であるものとして、以下の問いに答えよ。

- (a) 系の運動方程式を示せ。
- (b) 展示テーブルの強制振動解の振幅を、減衰比 ζ 、 ω と固有角振動数 ω_0 の比 $\nu \left(= \frac{\omega}{\omega_0} \right)$ を用いて示せ。ただし、導出過程も示すこと。
- (c) (b) のとき、展示テーブルの振動振幅を、ベースの振幅 a よりも小さくするための ω の条件を示せ。



図Ⅲ

科目 13. 流体力学[機械系][No. 13]

本科目の選択者は、科目 18(水理学)を選択することはできません。

【No. 13】 流体力学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) xy 平面における 2 次元のポテンシャル流れについて、図 I のような流線上の流体粒子を考えると、ある瞬間における流体粒子の速度ベクトル V の向きは、流体粒子上における傾き θ の接線に一致する。流線上に微小な線要素 ds をとり、その x 軸及び y 軸方向の成分をそれぞれ dx , dy とするとき、以下の問いに答えよ。

ただし、流れの x 軸方向の速度成分を u 、 y 軸方向の速度成分を v とする。また、渦度 ζ を $\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ とし、 ϕ を速度ポテンシャル、 ψ を流れ関数としたとき、 $u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}$ 、 $v = \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$ の関係があるものとする。

- (a) $\frac{u}{V}$, $\frac{v}{V}$ を、 dx , dy , ds のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- (b) 流線の式を、 u , v , dx , dy を用いて表せ。
- (c) ポテンシャル流れが渦なしであることを示せ。
- (d) ϕ が一定である等ポテンシャル線は流線に直交することを、式を用いて示せ。
- (e) ψ が一定である線は流線であることを示せ。
- (f) $u = ax + by$, $v = cx + dy$ で表される流れについて考える。

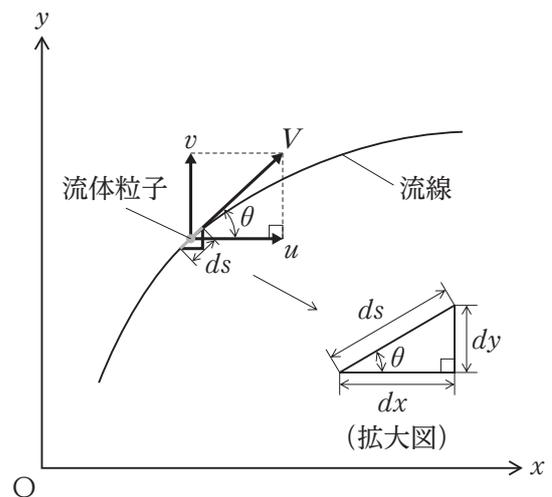


図 I

ただし、 a , b , c , d は定数とする。

- (i) 連続の式 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$ を満たすときの a , d の関係式を求めよ。
- (ii) 渦なしであるときの b , c の関係式を求めよ。
- (iii) (i), (ii)より、 ϕ , ψ を、 a , b , c , d , x , y のうち必要なものを用いてそれぞれ求めよ。
- (g) ある時間間隔 $0 \leq t < 3T$ において、次式のように速度が変化する流れの流線は、図 II の破線で表される。

$$(u, v) = (U, 0), \quad 0 \leq t < T$$

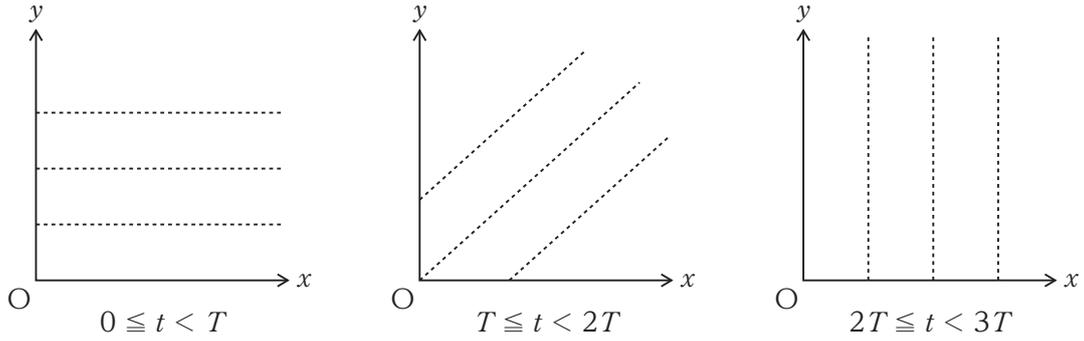
$$(u, v) = (U, U), \quad T \leq t < 2T$$

$$(u, v) = (0, U), \quad 2T \leq t < 3T$$

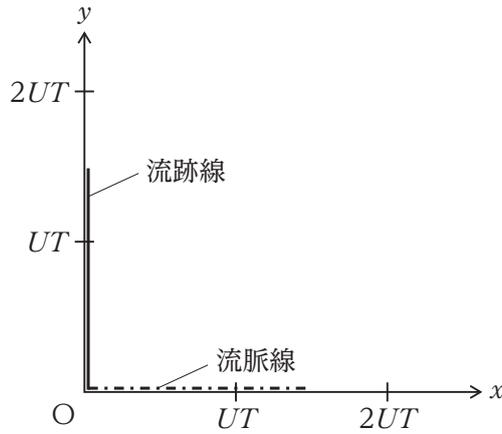
ただし、 U は速度、 t 、 T は時間を表し、 $x \geq 0$ 、 $y \geq 0$ 、 $U > 0$ とする。

$t = 0$ において原点 O にあった流体粒子の流跡線と、原点 O から連続して放出された流体粒子の流脈線をそれぞれ描け。

ただし、答案用紙には、図Ⅲの例にならって x 軸、 y 軸及び目盛り UT 、 $2UT$ を転記し、流跡線は実線、流脈線は一点鎖線で描くこととする。また、 x 軸及び y 軸と重なる部分は、 x 軸及び y 軸と区別するため軸線から僅かにずらして描け。



図Ⅱ



図Ⅲ

(2) 非圧縮性粘性流体中に置かれた平板に沿う定常層流境界層について考える。この場合、流体の挙動は平板のスパン方向には変化がないため、平板の接線方向を x 軸、法線方向を y 軸とした 2 次元問題として扱うことができる。直交座標系における 2 次元非圧縮性粘性流体では、連続の式、 x 方向の運動方程式、 y 方向の運動方程式はそれぞれ以下の式①、②、③で与えられるものとする。なお、 u は x 方向の速さ、 v は y 方向の速さ、 ρ は密度、 p は圧力、 ν は動粘度(動粘性係数)を表す。このとき、以下の問いに答えよ。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots①$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots②$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad \dots\dots③$$

(a) x 方向の速さが U_∞ である一様流中に置かれた平板境界層内の流れに対してこれらの式を適用(境界層近似)すると、微小項を無視することで式②、③はそれぞれ式④、⑤のように簡略化される。式④に関しては、一般的には圧力勾配が存在しないと流れが生じないため、圧力の項が残っている。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 x 方向速度基準量を一様流の速さ U_∞ 、 x 方向長さ基準量を平板長さ L 、圧力基準量を ρU_∞ 、 y 方向長さ基準量を平板上に生成される境界層の厚さ δ とし、 $\delta \ll L$ とする。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \dots\dots④$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots⑤$$

(i) 式②が式④のように簡略化できることを、式を用いて各項の大きさ(オーダー)を比較することで説明せよ。

ただし、比較の際、各項の大きさが基準量と同程度となることを利用すること。

(ii) 式③が式⑤のように簡略化できることを、式を用いて各項の大きさ(オーダー)を比較することで説明せよ。

ただし、比較の際、各項の大きさが基準量と同程度となることを利用すること。

(b) 式⑤より、境界層内の圧力は境界層外縁における圧力に等しく、境界層内で圧力は y 方向に変化しないものとみなせる。さらに、平板境界層の場合、境界層による排除厚さの影響を無視すれば、主流速度は一定とみなせるため、境界層外縁の圧力も x 方向の位置によらず一定となる。よって、次の式が得られる。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \dots\dots⑥$$

これに対する境界条件は、次のようになる。

$$y = 0 : u = v = 0, \quad y \rightarrow \infty : u = U_\infty \quad \dots\dots⑦$$

ここで、境界層内の任意の x における y 方向速度分布は相似になると仮定し、次のように座標変換を行い、流れ関数 ψ を導入する。

$$\xi = x, \quad \eta = y \sqrt{\frac{U_\infty}{\nu x}} \quad \dots\dots\textcircled{8}$$

$$\psi = \sqrt{\nu x U_\infty} f(\eta) \quad \dots\dots\textcircled{9}$$

このとき、常微分方程式⑩が成り立つ。なお、 $f'' = \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2}$ 、 $f''' = \frac{\partial^3 f}{\partial \eta^3}$ である。

$$ff'' + 2f''' = 0 \quad \dots\dots\textcircled{10}$$

式⑩はブラジウス方程式といい、境界条件は次のようになる。なお、 $f' = \frac{\partial f}{\partial \eta}$ である。

$$y = 0 : u = 0, \quad v = 0 \Rightarrow \eta = 0 : f' = 0, \quad f = 0 \quad \dots\dots\textcircled{11}$$

$$y \rightarrow \infty : u = U_\infty \Rightarrow \eta \rightarrow \infty : f' = 1 \quad \dots\dots\textcircled{12}$$

この式は解析的に解くことができず、数値的に解かれる。数値解を以下の表に示す。このとき、以下の問いに答えよ。

表 ブラジウス方程式の数値解

$\eta = y \sqrt{\frac{U_\infty}{\nu x}}$	f	$f' = \frac{u}{U_\infty}$	f''	$\eta f' - f$
0.0	0	0	0.3321	0
1.0	0.1656	0.3298	0.3230	0.1642
2.0	0.6500	0.6298	0.2668	0.6095
3.0	1.397	0.8461	0.1614	1.141
4.0	2.306	0.9555	0.0642	1.516
5.0	3.283	0.9915	0.0159	1.674
6.0	4.280	0.9990	0.0024	1.714
7.0	5.279	0.9999	0.0002	1.720
8.0	6.279	1.0000	0.0000	1.721

(i) 式⑩を導出せよ。

ただし、必要であれば次の式⑬～⑰を用いてもよい。

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial \psi}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial \psi}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad \dots\dots\textcircled{13}$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{\partial \psi}{\partial \xi} \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \dots\dots\textcircled{14}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \xi} - \frac{\eta}{2\xi} \frac{\partial}{\partial \eta} \quad \dots\dots\textcircled{15}$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = \sqrt{\frac{U_\infty}{\nu \xi}} \frac{\partial}{\partial \eta} \quad \dots\dots\textcircled{16}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} = \frac{U_\infty}{\nu \xi} \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \quad \dots\dots\textcircled{17}$$

- (ii) 平板上の点 x におけるせん断応力 $\tau_w(x)$ の大きさを、粘性係数 μ , U_∞ , ν , x を用いて表せ。
- (iii) $\tau_w(x)$ を動圧で無次元化した、平板流れに対する無次元局所摩擦係数 $C_f(x)$ を、 $Re_x \left(\equiv \frac{U_\infty x}{\nu} \right)$ を用いて表せ。
- (iv) 幅が b 、長さが L の 2 次元平板に作用する摩擦抵抗力の大きさ D_f を、 b , μ , U_∞ , ρ , L を用いて表せ。
- ただし、平板の裏表両面に生じる摩擦抵抗力を考慮すること。
- (v) 層流境界層の厚さを、平板から主流の流速の 99.90 % の値をとる位置までの高さとする。主流速度が 60 m/s、動粘度(動粘性係数)が $15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ の空気中に平板を設置したとき、平板の前縁から主流方向に 4 m 下流の位置の境界層の厚さを求めよ。
- (vi) (v)の平板の前縁から主流方向に 1 m 下流の位置において、平板から 0.5 mm 上方における流速は、平板から 10 mm 上方における流速の何倍か求めよ。

科目 14. 熱力学・熱機関[機械系] [No. 14]

【No. 14】 熱力学・熱機関に関する以下の設問に答えよ。

(1) 熱力学に関する以下の問いに答えよ。

ただし、単位質量当たりの熱量を q 、比内部エネルギーを u 、比エンタルピーを h 、圧力を p 、温度を T 、比体積を v 、比エントロピーを s とする。

(a) 実在気体の状態の近似式として、

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

で表される状態方程式を、ファン・デル・ワールスの状態方程式という。なお、 R は気体定数であり、 a 及び b は気体の種類によって異なる正の定数であり、また、 $v > b$ である。

このとき、 $\frac{a}{v^2}$ 及び b が実在気体のどのような性質を表したものが、それぞれ簡潔に説明せよ。

(b) 比ギブス関数(比ギブス自由エネルギー) g は、

$$g = h - Ts$$

で定義される。理想気体の微小な可逆変化を考えると、熱力学の第一法則を用いて、 g が全微分可能であることから、

$$dg = - \boxed{\textcircled{\varphi}} dT + \boxed{\textcircled{\textcircled{1}}} dp \quad \dots\dots\textcircled{1}$$

が成り立つ。このとき、以下の問いに答えよ。

(i) $\textcircled{\varphi}$ 、 $\textcircled{\textcircled{1}}$ に入る適切な記号を、 q 、 u 、 h 、 p 、 T 、 v 、 s の中から選び出し、式を完成させよ。

(ii) (i)で完成させた式 $\textcircled{1}$ を用いて、次のマクスウェルの関係式が成立することを示せ。

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = -\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T$$

(c) 定圧比熱 c_p 、定積比熱 c_v 、比熱比 κ 、気体定数 R の理想気体を考える。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、理想気体の内部エネルギーが温度だけの関数であること、及び、単位質量当たりの理想気体の状態方程式 $pv = RT$ を用いること。

(i) 熱力学の第一法則を用いて、 $c_p - c_v = R$ が成り立つことを示せ。

(ii) (i)の結果を用いて、理想気体の可逆断熱変化においては、 $pv^\kappa = (\text{一定})$ の関係が成り立つことを示せ。

(2) 気体の圧力を p 、体積を V 、温度を T 、エントロピーを S としたとき、一般のガスタービンの理論サイクルであるブレイトンサイクルを考える。このサイクルの作動流体は、質量 1 kg 、定圧比熱 c_p 、定積比熱 c_v 、比熱比 $\kappa (> 1)$ 、気体定数 R の理想気体であり、それぞれの状態 $i (i = 1, 2, 3, 4)$ における圧力は p_i 、体積は V_i でそれぞれ表され、各状態間の変化はそれぞれ以下のとおりである。

状態 $1 \rightarrow 2$ 断熱圧縮

状態 $2 \rightarrow 3$ 等圧加熱

状態 $3 \rightarrow 4$ 断熱膨張

状態 $4 \rightarrow 1$ 等圧放熱

このとき、以下の問いに答えよ。

(a) このサイクルにおいて、気体の状態変化の概略を、縦軸を p 、横軸を V としたグラフで示せ。

ただし、解答に当たっては、状態 $1 \sim 4$ の点をグラフ中に明記すること。

(b) このサイクルにおいて、気体の状態変化の概略を、縦軸を T 、横軸を S としたグラフで示せ。

ただし、解答に当たっては、状態 $1 \sim 4$ の点をグラフ中に明記すること。

(c) 圧力比 φ を $\varphi = \frac{p_2}{p_1}$ 、膨張比 σ を $\sigma = \frac{V_3}{V_2}$ とするとき、 T_2 、 T_3 、 T_4 を、 κ 、 T_1 、 φ 、 σ のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

ただし、理想気体の可逆的な断熱変化では、 $pV^\kappa = (\text{一定})$ の関係が成り立つことを用いてよい。

(d) (c)の結果を用いて、このサイクルの理論熱効率 η を φ と κ を用いて表せ。

- (3) 図のようなシリンダの中に、圧力 p_1 、体積 V_1 、温度 T_1 、質量 M の空気が満たされている。この空気が圧力 p_2 になるまでポリトロープ変化した。変化前の状態を下添字 1、変化後の状態を下添字 2 で表す。このとき、以下の問いに答えよ。



ただし、ポリトロープ変化は、圧力 p 、体積 V 、ポリトロープ指数 n を用いて $pV^n = (\text{一定})$ で表される状態変化として考え、 $1 < n < \kappa$ とする。また、空気は、気体定数 R の理想気体であり、定圧比熱 c_p 及び定積比熱 c_v は温度によらず一定であるものとする。さらに、空気の比熱比を κ とする $\left(\kappa = \frac{c_p}{c_v}\right)$ 。

- (a) V_2 を、 p_1 , p_2 , V_1 , n を用いて表せ。また、 T_2 を、 p_1 , p_2 , T_1 , n を用いて表せ。
 (b) シリンダ内の空気が外部に対して行う仕事 W_{12} は次式の形に整理できることを示し、 A を、 n , R を用いて表せ。

$$W_{12} = AM(T_2 - T_1)$$

- (c) シリンダ内の空気が外部から得る熱 Q_{12} は次式の形に整理できることを示し、 B を、 c_v , κ , n を用いて表せ。

なお、理想気体においては、 $c_p - c_v = R$ の関係が成り立つことを用いてよい。

$$Q_{12} = BM(T_2 - T_1)$$

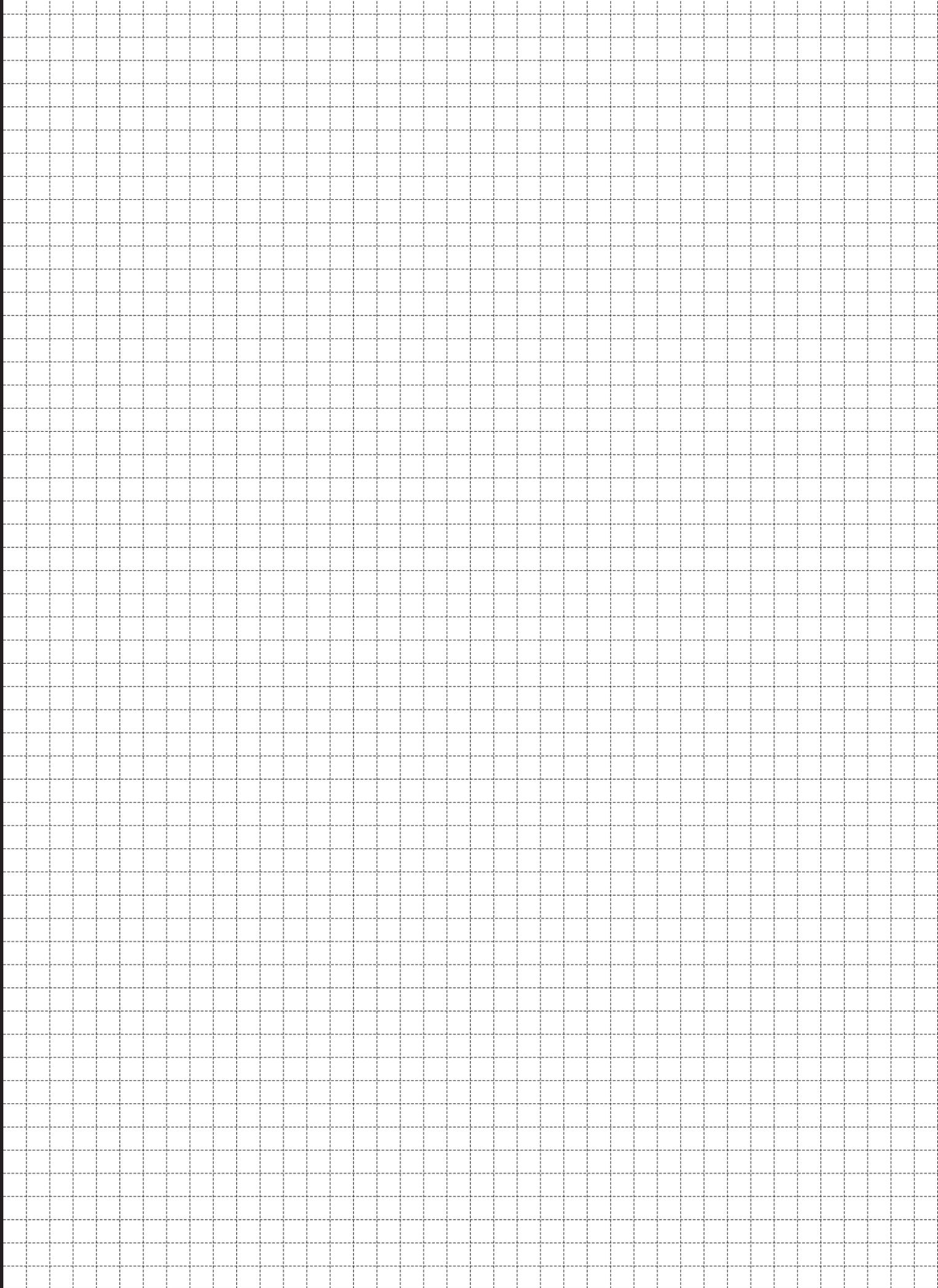
- (d) 圧縮過程 ($p_1 < p_2$) により温度が T_1 から T_2 になる場合、シリンダ内の空気は外部に対して仕事を行う、又は、外部から仕事を受ける、のどちらであるか根拠を示した上で答えよ。また、この過程においてシリンダ内の空気は熱を外部から受け取る、又は、外部へ熱を放出する、のどちらであるかも答えよ。

- (e) シリンダ内の空気の比エントロピー s を温度 T と比体積 v の関数と考えて、 $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T$ と $c_v = T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v$ の式を用いると、次式が得られることを示せ。

$$ds = \frac{c_v}{T}dT + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dv$$



(下書き用紙)

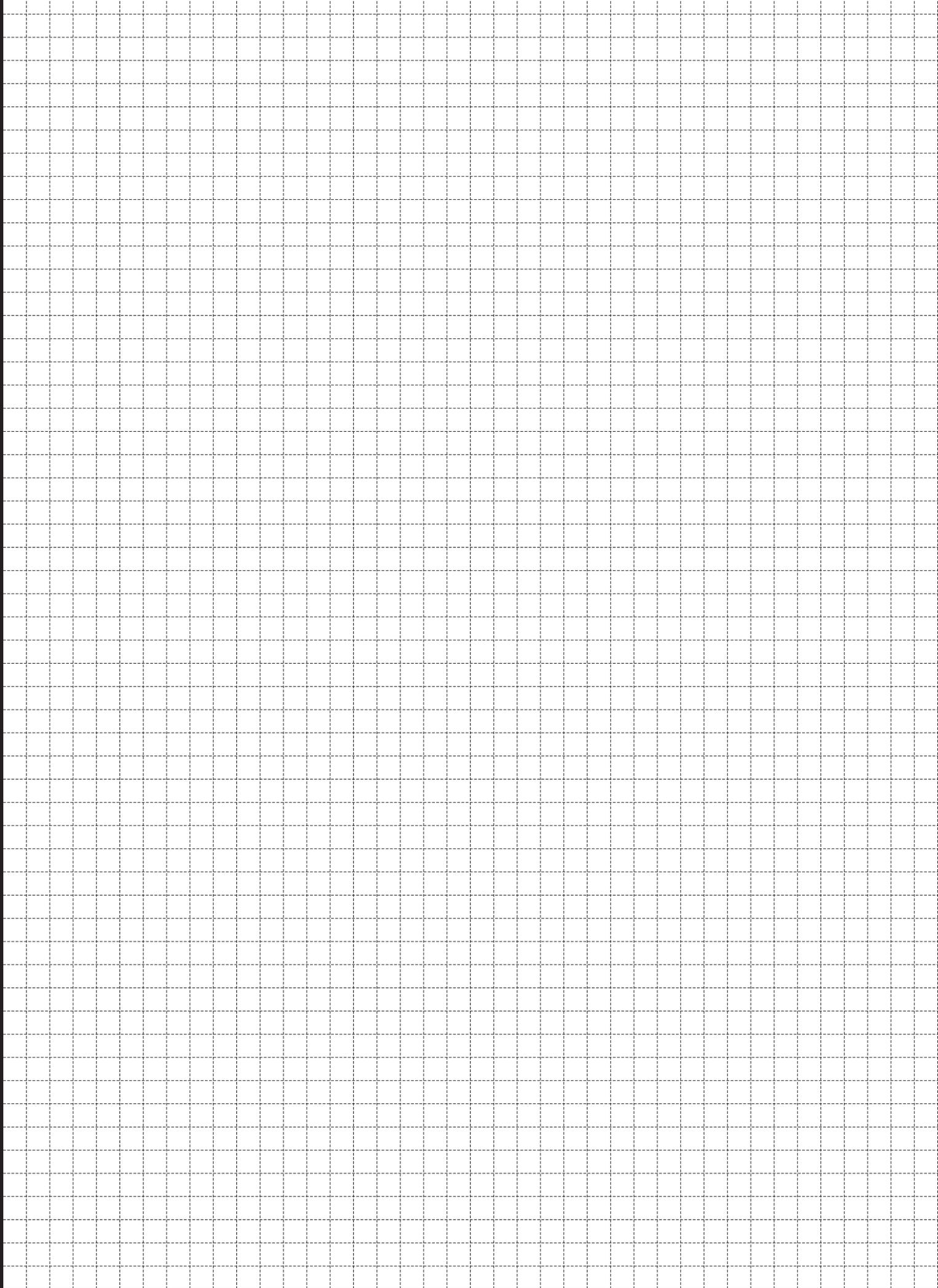


(下書き用紙)

(下書き用紙)



(下書き用紙)



- (f) ポリトロープ変化におけるシリンダ内の空気のエントロピー変化量 ΔS_{12} は次式の形に整理できることを示し、 C を、 c_v , κ , n を用いて表せ。

$$\Delta S_{12} = CM \ln \frac{p_2}{p_1}$$

- (g) このポリトロープ変化でシリンダ内の空気のエントロピーが増大したとすると、圧力はどう変化するか説明せよ。
- (h) このポリトロープ変化でシリンダ内の空気のエントロピーが増大したとすると、温度はどう変化するか説明せよ。
- (i) このポリトロープ変化でシリンダ内の空気のエントロピーが増大する場合の状態変化を T - S 線図で示せ。
ただし、 S を T の関数として示した上で作図すること。

科目 15. 航空工学 [No. 15]

【No. 15】 航空工学に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I のように、ある航空機が離陸に向けて静止大気中を地上滑走している。機体重量を W 、機体の加速度の大きさを a 、推力を T 、揚力を L 、抗力を D 、重力加速度の大きさを g 、車輪と地面の間の摩擦係数を μ とする。また、大気密度を ρ 、機体の速さを V 、代表面積を S 、揚力係数を C_L 、抗力係数を C_D とした場合に、 L と D は、それぞれ $L = \frac{1}{2}\rho V^2 S C_L$ 、 $D = \frac{1}{2}\rho V^2 S C_D$ で表されるものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

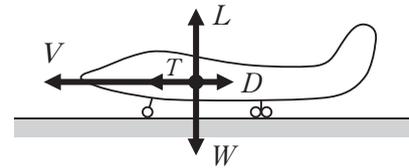


図 I

ただし、 ρ は一定で、 T は常に水平方向に作用し、 D は常にその逆向きに作用しているものとする。

- (a) 加速度の大きさ a を、 W 、 T 、 D 、 L 、 g 、 μ を用いて表せ。
- (b) W 、 T 、 μ 、 C_D 、 C_L が一定ならば、 a が V の 2 次関数で表されることを、(a) の結果を変形して説明せよ。
- (c) 航空機が離陸する瞬間の速さを V_{TO} 、揚力係数を C_{LTO} 、揚力を L_{TO} とする。 L_{TO} と W が釣り合っている ($L_{TO} = W$) とき、 V_{TO} を、 W 、 ρ 、 S 、 C_{LTO} を用いて表せ。
- (d) V_{TO} は、 $V_{TO} = \eta V_S$ と表されるものとする。ここで、 η は $\eta > 1$ の定数、 V_S は滑走路と同高度における水平定常飛行時の失速する瞬間の速さである。失速する瞬間に揚力係数が最大値 C_{Lmax} に達しているとき、(c) より、 C_{LTO} を、 C_{Lmax} 、 η を用いて表せ。

(2) 航空機の水平定常飛行からの鉛直平面内の微小擾乱運動について考える。いま、釣合い飛行速度からの速さの変化を u 、水平定常飛行からの迎角変化を α 、エレベータ舵角変化を δ_e 、ピッチ角速度を q 、ピッチ角を θ 、重力加速度の大きさを g とすると、安定軸での機体の縦運動の微分方程式は式①～④で表されるものとする。ここで、 X_u 、 X_α 、 \bar{Z}_u 、 \bar{Z}_α 、 \bar{Z}_{δ_e} 、 M_u 、 M_α 、 M_q 、 M_{δ_e} は、空力微係数である。このとき、以下の問いに答えよ。

$$\dot{u} = X_u u + X_\alpha \alpha - g\theta \quad \cdots\cdots\text{①}$$

$$\dot{\alpha} = \bar{Z}_u u + \bar{Z}_\alpha \alpha + q + \bar{Z}_{\delta_e} \delta_e \quad \cdots\cdots\text{②}$$

$$\dot{q} = M_u u + M_\alpha \alpha + M_q q + M_{\delta_e} \delta_e \quad \cdots\cdots\text{③}$$

$$\dot{\theta} = q \quad \cdots\cdots\text{④}$$

(a) $u = 0$ と近似できるものとし、式②、③から短周期モードを考える。このとき、以下の問いに答えよ。

- (i) 短周期モードの特性方程式を求めよ。ただし、導出過程も示すこと。
- (ii) 機体が静安定を有するには、空力微係数は、どのような条件を満たせば良いか説明せよ。
- (iii) (ii)の条件に加えて、動安定を有するための条件を説明せよ。
- (iv) 静安定と動安定に関し、㊸静安定も動安定もない場合、㊹静安定はあるが動安定がない場合、㊺静安定も動安定もある場合を考える。この三つの場合で、特性方程式の解が、横軸を実数、縦軸を虚数とする複素平面上のどの位置にあるかそれぞれ簡潔に説明せよ。

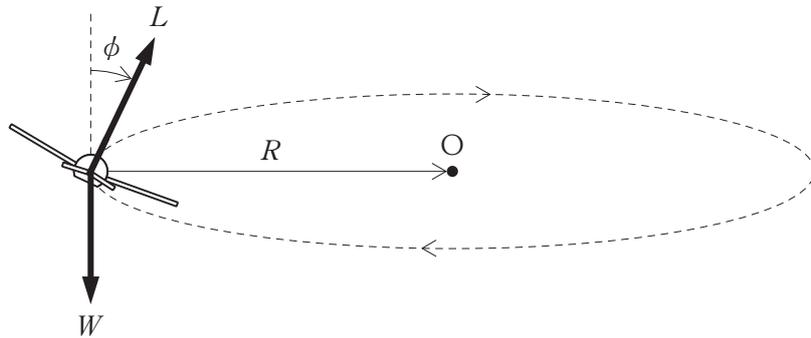
(b) $\alpha = 0$ 及び $\dot{\alpha} = 0$ と近似できるものとし、式①、②、④から長周期モードを考える。このとき、以下の問いに答えよ。

- (i) 特性方程式を求めよ。ただし、導出過程も示すこと。
- (ii) (i)において、不減衰固有角振動数を ω_{ph} 、釣り合い飛行速度の大きさを V_0 、抗力係数を C_D 、揚力係数を C_L とするとき、 ω_{ph} を、 g 、 V_0 、 C_D 、 C_L のうち必要なものを用いて表せ。ただし、空気密度を ρ 、代表面積を S 、機体質量を m として、 X_u 、 \bar{Z}_u はそれぞれ次式で表されるものとする。

$$\bar{Z}_u = -\frac{\rho S C_L}{m}, \quad X_u = -\frac{\rho V_0 S C_D}{m}$$

- (3) 図Ⅱのように、半径 R の円軌道上をバンク角 ϕ 、速さ V で固定翼航空機が定常旋回飛行している。航空機には、揚力 L 、抗力 D 、重力 W 、推力 T 及び遠心力が作用している。ここで、大気密度を ρ 、代表面積を S 、揚力係数を C_L 、抗力係数を C_D とすると、 L と D は、それぞれ $L = \frac{1}{2}\rho V^2 S C_L$ 、 $D = \frac{1}{2}\rho V^2 S C_D$ で表されるものとする。また、 C_L と C_D には、正の定数 C_{D0} と K を用いて、 $C_D = C_{D0} + K C_L^2$ の関係があるものとし、 S 及び W は一定であり、 T の方向は常に飛行経路の接線方向とし、風はないものとする。さらに、航空機の運動は水平面内で行われ、横滑りはないものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $0 < \phi < \frac{\pi}{2}$ とする。



図Ⅱ

- (a) 荷重倍数を n としたとき、 n を ϕ を用いて表し、1 よりも大きいことを示せ。
- (b) 揚抗比の最大値を E_{\max} としたとき、 E_{\max} を、 C_{D0} と K を用いて表せ。
- (c) 揚抗比が最大値をとり、揚力と重量が釣り合って水平直線飛行をしているときの航空機の速さを V_R としたとき、 V_R^2 を、 W 、 ρ 、 S 、 C_{D0} 、 K を用いて表せ。
- (d) (a)から(c)までの結果を用いて、無次元速度の大きさを $\bar{V} = \frac{V}{V_R}$ と定義したとき、次の関係式を導け。その際、導出過程を示すこと。

$$D = \frac{W}{2E_{\max}} \left(\bar{V}^2 + \frac{n^2}{\bar{V}^2} \right)$$

- (e) 無次元推力 z を $z = \frac{T E_{\max}}{W}$ で定義し、 $T = D$ で定常旋回飛行しているものとする。 n が最大となるときの \bar{V} を、 z を用いて表せ。ただし、導出過程も示すこと。

科目 16. 構造力学(土木) [No. 16]

本科目の選択者は、科目 11(材料力学[機械系])を選択することはできません。

【No. 16】 構造力学に関する以下の設問に答えよ。

ただし、解答は、その導出過程も記述すること。また、梁やトラス部材の自重は無視できるものとし、たわみは鉛直下向き、回転角は反時計回りを正とする。

(1) 図 I ~ V に示す長さ $4L$ の梁について以下の問いに答えよ。

以下、A~E 点を図 I に示す位置とする。梁の断面は一定で断面 2 次モーメントは I 、Young 率は E とし、曲げモーメントとせん断力は図に示すようにそれぞれ下に凸、右下がりの変形となる場合を正とする。また、図 II のように、C 点に単位荷重が作用するときの B 点及び C 点におけるたわみはそれぞれ $v_{CB} = \frac{11L^3}{12EI}$ 、 $v_{CC} = \frac{4L^3}{3EI}$ 、図 III のように、D 点に単位荷重が作用するときの B 点におけるたわみは $v_{DB} = \frac{7L^3}{12EI}$ である。

(a) 図 IV のように、D 点にモーメント荷重 M_0 が作用するときの曲げモーメントとせん断力を求め、それぞれ図示せよ。ただし、図に値を示す必要はないが、正負が分かるようにすること。

(b) 図 IV のように、D 点にモーメント荷重 M_0 が作用するときの B 点におけるたわみを求めよ。

(c) 図 V のように、梁の C 点から δ だけ下に離れた位置にヒンジ支点 C' を設置し、D 点の集中荷重 P の大きさを徐々に増加させ、 P_1 となったとき、梁が支点 C' に接した。このときの荷重 P の大きさ P_1 を求めよ。

(d) (c) で梁が支点 C' に接した状況から荷重 P の大きさを更に P_2 だけ増加させ、荷重 P の大きさが $P_1 + P_2$ となった。このときの支点 C' の支点反力を求めよ。

ただし、 $P_2 > 0$ であり、梁と支点 C' においては鉛直方向の力のみ伝達されるものとする。

(e) (d) の状況において、荷重 P の大きさを P_2 だけ増加させたことによる B 点のたわみの変化量を求めよ。

(f) 図 V における D 点の荷重 P と B 点のたわみ v_B の関係を、 P を縦軸、 v_B を横軸として図示せよ。

ただし、図に示す荷重 P の範囲は P_1 を超える範囲を含むようにすること。

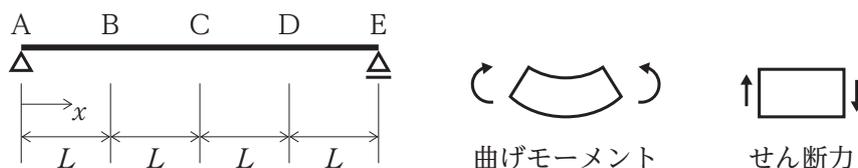


図 I

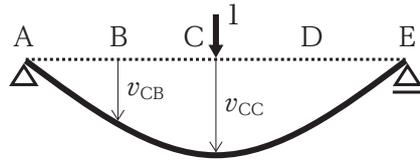


图 II



图 III

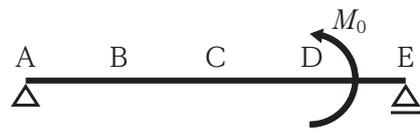


图 IV

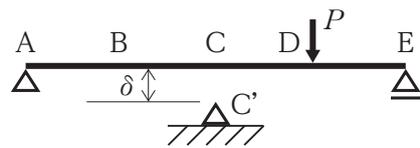


图 V

(2) 図VIに示すトラスについて以下の問いに答えよ。

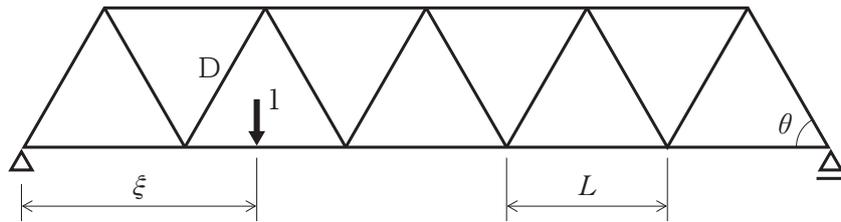
ただし、弦材の長さは全て等しく L であり、弦材と斜材のなす角は全て等しく θ であり、軸力は引張を正とする。

(a) 図VIのように、左端のヒンジから距離 ξ の箇所に単位荷重が作用している。この ξ を変化させ、単位荷重を移動させたときの、斜材 D の軸力の影響線を求め、図示せよ。

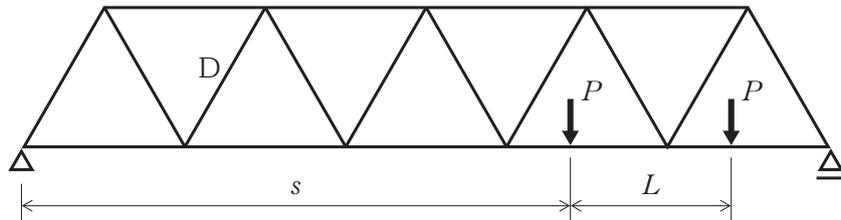
ただし、図に値を示す必要はないが、正負が分かるようにすること。

(b) 図VIIのように、長さ L の間隔を保つ二つの集中荷重の組が移動する。集中荷重の大きさを共に P としたとき、この移動荷重による斜材 D の軸力の絶対値が最大となるときの斜材 D の軸力と図VIIに示す左側の集中荷重の作用位置 s を求めよ。

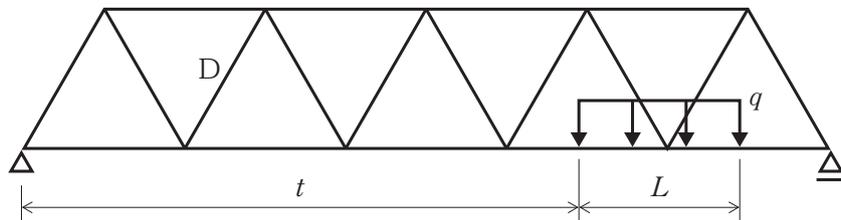
(c) 図VIIIのように、長さ L の等分布荷重が移動する。等分布荷重の大きさを q としたとき、この移動荷重による斜材 D の軸力の絶対値が最大となるときの斜材 D の軸力と図VIIIに示す等分布荷重の左端の作用位置 t を求めよ。



図VI



図VII



図VIII

(3) 図Ⅸのような軸圧縮力 P を受ける長さ L の単純支持の梁—柱について以下の問いに答えよ。

ただし、梁—柱の曲げ剛性は EI で一定、左右支点には回転ばねが取り付けられており、回転角 θ に比例したモーメント $M = k\theta$ が梁—柱に作用するようになっている。また、たわみを v とすると、梁—柱の鉛直方向の釣合い式は

$$\frac{d^4 v}{dx^4} + \mu^2 \frac{d^2 v}{dx^2} = 0 \quad \dots\dots ①$$

と表される。

ただし、 $\mu^2 = \frac{P}{EI}$ である。

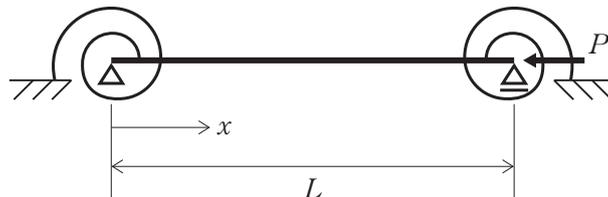
- (a) 釣合い式①の一般解を求めよ。
- (b) 図Ⅸの梁—柱の境界条件を示せ。
- (c) (b)の境界条件に(a)の一般解を代入し、未定定数に関する連立方程式を以下の形式

$$A \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

で表したとき、座屈する条件を 2 行程度で説明せよ。

ただし、 A は 4×4 の係数行列、 c_1, c_2, c_3, c_4 は未定定数である。

- (d) 支点のばね定数 k を大きくするとき、座屈荷重はどのように変化するか述べよ。また、 $k = 0$ のときの座屈荷重を P_{cr0} 、 $k \rightarrow \infty$ のときの座屈荷重を $P_{cr\infty}$ としたとき、比 $\frac{P_{cr\infty}}{P_{cr0}}$ を求めよ。



図Ⅸ

科目 17. 土質力学 [No. 17]

【No. 17】 土質力学に関する以下の設問に答えよ。

ただし、解答は、その導出過程も記述すること。

- (1) 図 I に示した地盤に、一様な载荷重 $\Delta p = 80.0 \text{ kN/m}^2$ が作用した時の圧密現象について、以下の問いに答えよ。ただし、粘土層から採取した不攪乱試料の「段階载荷による圧密試験 (JIS A 1217)」の結果 (圧縮曲線、 e - $\log p$ 曲線) は図 II とする。

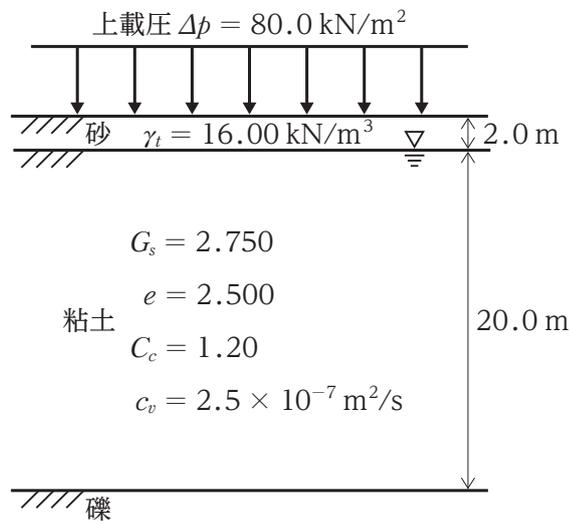


図 I

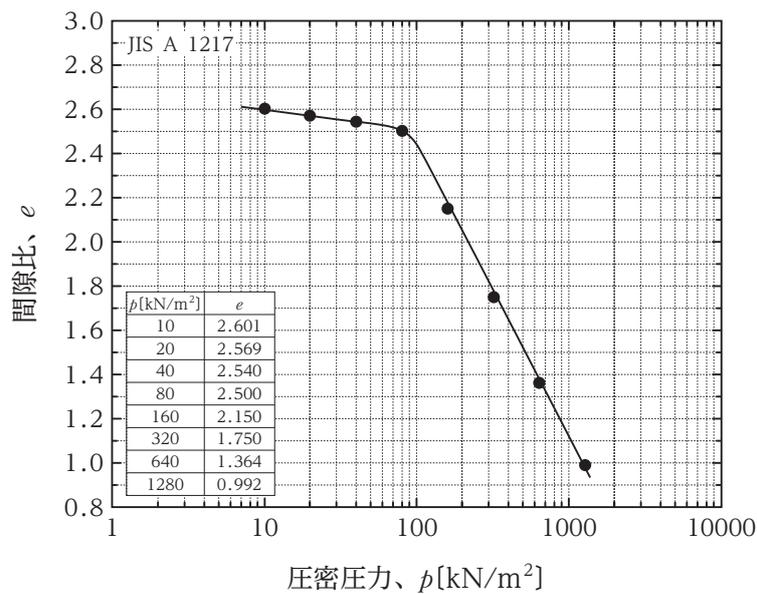


図 II

- (a) 原位置で採取した表面の砂に対して含水比試験(JIS A 1203)を実施した。質量 363.3 g の容器(蒸発皿)に湿潤土を入れて全体の質量を測定したところ 595.3 g であった。これを 110 °C の恒温乾燥炉に入れて質量が一定になるまで乾燥させ、デシケーター内で室温になるまで冷ました後、測定したところ 563.3 g であった。この砂の含水比を求めよ。
- (b) 粘土の水中単位体積重量を求めよ。
ただし、土粒子の比重 $G_s = 2.750$ 、 Δp が作用する前の初期間隙比 $e = 2.500$ 、水の単位体積重量 $\gamma_w = 9.80 \text{ kN/m}^3$ とする。
- (c) Δp が作用する前の土被り圧分布を示せ。図中には有効応力と間隙水圧を区別するとともに、粘土層中央高さでのそれぞれの応力(圧力)の値を示すこと。
- (d) 図 II から圧密降伏応力 p_c の値を求めよ。また、 Δp が作用する前の状態での過圧密比 OCR を求めよ。
- (e) Δp の作用によって生じる一次圧密量を求めよ。ただし、圧縮指数 C_c は 1.20 とする。
なお、 $\log_{10} 2 \doteq 0.301$ であることを用いてよい。
- (f) 粘土層が平均圧密度 $U = 50 \%$ となるのに要する時間を求めよ。ただし、圧密係数 c_v は $2.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ とし、 $U = 50 \%$ における時間係数 $T_v \doteq 0.20$ とする。
- (g) この地盤の圧密現象の工学的な課題を挙げ、それに対する対策方法と原理を説明せよ。

(2) 土圧論に関して、以下の問いに答えよ。

(a) Rankine 土圧論における主動及び受働土圧状態を応力の Mohr 円で図化し、主動土圧係数 K_a 及び受働土圧係数 K_p を導け。

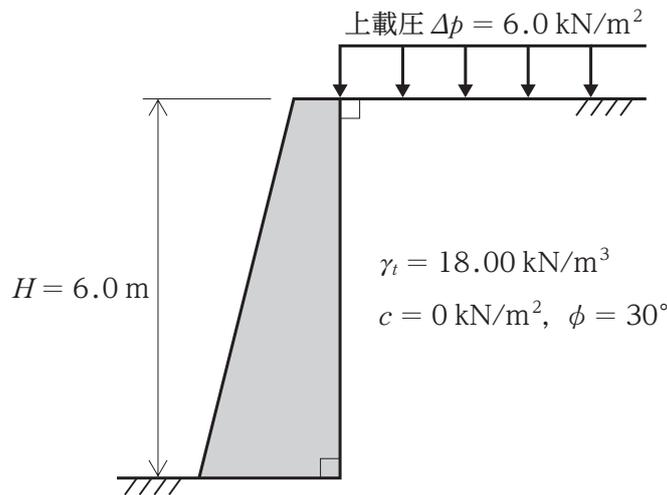
ただし、土の強度パラメータは粘着力 $c = 0 \text{ kN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi (\neq 0^\circ)$ とする。

(b) 図Ⅲのような背面土の地表面に一様な載荷重 $\Delta p = 6.0 \text{ kN/m}^2$ が作用している重力式擁壁を考える。壁高 $H = 6.0 \text{ m}$ 、背面土の湿潤単位体積重量 $\gamma_t = 18.00 \text{ kN/m}^3$ 、内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ として、壁面に作用する主動土圧の合力値とその作用位置を求めよ。

ただし、壁面に作用する単位幅当たりの土圧は Rankine 土圧論を用いて求めるものとする。

(c) 図Ⅲにおいて、排水不良によって背面土内の地下水位が擁壁底面から 3.0 m の位置まで上昇した場合での土圧と水圧の合力を求めよ。

ただし、背面土の飽和単位体積重量 $\gamma_{sat} = 19.80 \text{ kN/m}^3$ 、水の単位体積重量 $\gamma_w = 9.80 \text{ kN/m}^3$ とし、土の強度パラメータは飽和化によって変化しないものとする。



図Ⅲ

科目 18. 水理学[No. 18]

本科目の選択者は、科目 13(流体力学[機械系])を選択することはできません。

【No. 18】 開水路の漸変不等流に関する以下の設問に答えよ。

ただし、解答は、その導出過程も記述すること。

水路の断面形が流下方向 x に変化する場合、一般断面の漸変不等流を取り扱う方程式は式①で表される。

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i + \frac{Q^2}{gA^3} \cdot \frac{\partial A}{\partial b} \cdot \frac{\partial b}{\partial x} - \frac{n^2}{R^{\frac{4}{3}}} \left(\frac{Q}{A} \right)^2}{1 - \frac{Q^2}{gA^3} \cdot \frac{\partial A}{\partial h}} \quad \dots\dots①$$

ここで、 h ：水深、 x ：流下方向を正とする水平方向空間座標、 i ：水路勾配、 Q ：流量、 g ：重力加速度の大きさ、 A ：通水断面積、 b ：水路幅、 n ：Manning の粗度係数、 R ：径深とする。

(1) 以下の問いに答えよ。ただし、 q は単位幅流量とする。

- (a) 式①を基に、流下方向に水路幅 b が一様な広幅長方形断面水路で成り立つ不等流の基礎式を、 i, n, h, b, Q, g, q のうち必要なものを用いて表せ。
- (b) (a)で導出した式を基に、疑似等流水深 h_0 (以降、等流水深と呼ぶ) と限界水深 h_c の式を、それぞれ i, n, b, Q, g, q のうち必要なものを用いて表せ。
- (c) 水路の限界勾配 i_c の式を、 n, g, q を用いて表せ。
- (d) 水路が緩勾配水路、急勾配水路のいずれかを判断する三つの方法を、それぞれ 1 行程度で説明せよ。

ただし、一つ目の方法には等流水深及び限界水深を、二つ目の方法にはフルード数を、三つ目の方法には限界勾配を用いること。

(2) 図 I のように、上下流の貯水池をつなぐ勾配の異なる水路を単位幅流量 q が定常状態で流下している。上下流の貯水池の水位、各水路の水路勾配 i と限界勾配 i_c との大小関係が図に示されている場合に生じ得る水面形を考える。以下の問いに答えよ。

ただし、各水路は十分に長く、流下方向に水路幅が一樣な広幅長方形断面とし、各水路の Manning の粗度係数 n は等しいものとする。また、各水路勾配の大小関係は図 I に示すとおり、 $i_3 < i_1 < i_2$ である。

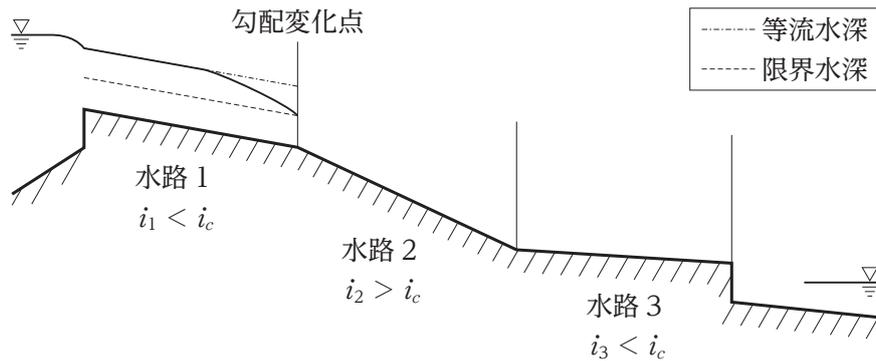


図 I

(a) 水路 1 から水路 2 に接続する勾配変化点以降の水面形の概形を描け。

ただし、作図の際は水面を実線で示し、各水路の等流水深 h_0 (一点鎖線)、限界水深 h_c (点線) も合わせて示せ。

(b) 水路 3 の水路中央にゲートがある開度 (ゲート設置地点の水路床高からゲート下端までの距離) h_G で設置したところ、ゲート下流で跳水が発生した。ゲート下流で跳水が発生する h_G の条件式を、 h_c , i_3 , g , n , q のうち必要なもののみを用いて表せ。

(c) (b) のように、ゲート下流で跳水が発生するようにゲートを設置した状況を考慮して、(a) と同様に水路全体の水面形の概形を描け。ただし、作図の方法は (a) と同様とする。

(3) (2)の水路のうち、水路1、水路2間の勾配変化点付近の流れについて考える。以下の問いに答えよ。

(a) 図IIは図Iから水路1、水路2間の勾配変化点付近を抜き出したものであり、勾配変化点において水面が限界水深 h_c と交わり支配断面が生じる。この支配断面地点での水面勾配 $\frac{dh}{dx}$ の二次方程式を、 h, h_c, x, i, i_c を用いて表せ。ただし、 i_c は限界勾配とする。

なお、この地点は水路1と水路2の勾配が不連続に変化する地点であり、 $\frac{dh}{dx} = \frac{0}{0}$ であることから、不定形の極限值計算を実行する必要があることに留意せよ。また、Chezy係数 $C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$ を用いてよいものとする。

一方、実際の流れでは、勾配変化点下流の底面には渦が発生して流線が剥離し、仮想的な底面が形成されることで、連続的に勾配変化がある場合と同様な流れとなる。そのため、図IIIのように勾配変化部の上下流にA断面、B断面を定義し、その間の水路勾配を $i = i_1 + ax (a > 0)$ と考えることで、実際の支配断面の位置 x_c や、A断面での水深 h_A 、B断面での水深 h_B を求めることができる。

ただし、AB断面間の距離は L とし、十分短い区間とみなせるものとする。

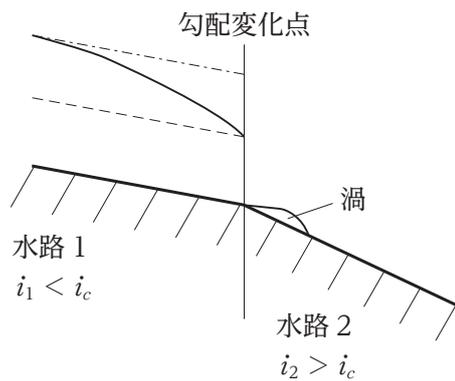
(b) AB断面間の水路勾配 i の式中の a を、 i_1, i_2, L を用いて表せ。

(c) x_c の式を、 i_1, i_2, i_c, L を用いて表せ。

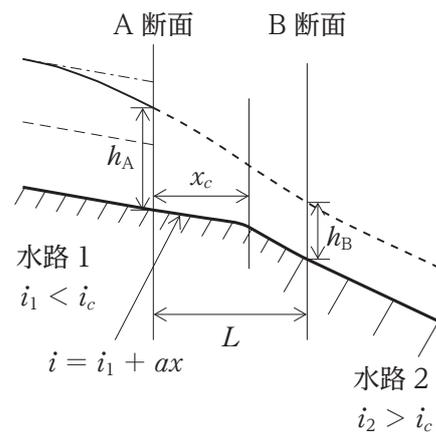
(d) (a)で導いた式を基に、支配断面での水面勾配 $\frac{dh}{dx}$ の式を、 i_c, h_c, a を用いて表せ。

(e) h_A, h_B の式をそれぞれ、 $h_c, \frac{dh}{dx}, x_c, L$ のうち必要なもののみを用いて表せ。

ただし、AB断面間の距離が十分短いことから、この区間内では近似的に水面形を直線とみなしてよいものとする。



図II



図III

科目 19. 土木計画 [No. 19A, 19B, 19C]

本科目の選択者は、科目 20 (環境工学(土木)・衛生工学)を選択することはできません。

【No. 19】 次の A, B, C いずれか一つのみ に答えよ。

A 都市計画及び都市交通に関する以下の設問に答えよ。

(1) 立地適正化計画に関する以下の問いに答えよ。

「都市再生特別措置法に基づき、㉗ は単独で又は共同して、住宅及び都市機能増進施設の立地の適正化を図るための計画(立地適正化計画)を作成することができる。立地適正化計画には、おおむね、立地の適正化に関する基本的な方針、㉘ 区域、㉙ 区域、㉚ 指針などの事項を記載することとされている。

㉘ 区域は、立地適正化計画の区域における人口、土地利用及び交通の現状及び将来の見通しを勘案して、良好な居住環境が確保され、公共投資その他の行政運営が効率的に行われるように定めるものとし、市街化調整区域については定めないこととされている。また、災害リスクを考慮する観点から、都市再生特別措置法及び同法施行令において、①土砂災害特別警戒区域、地すべり防止区域、浸水被害防止区域などについても ㉘ 区域を定めないこととされている。

一方、②土砂災害警戒区域、浸水想定区域などについては都市再生特別措置法及び同法施行令において ㉘ 区域を定めないこととされているものではないが、それぞれの区域の災害リスク、警戒避難体制の整備状況、災害の防止・軽減のための施設の整備状況や整備見込み等を総合的に勘案する必要がある。例えば、浸水想定区域の中でも、③特にリスクが大きな地区が存在し得ることに留意すべきである。

また、㉘ 区域外の区域において、住宅等の建築のために一定規模以上の開発行為を行おうとする場合には、あらかじめ ㉚ が必要となる。」

(a) 上記の記述の㉗～㉚に適切な語句を入れよ。

(b) 上記の記述の下線部①に例示した区域群と下線部②に例示した区域群の違いについて、建築や開発行為の観点から説明せよ。

(c) 上記の記述の下線部③について、浸水想定区域のうち特にリスクが大きな地区としてどのような地区が考えられるか、3行程度で説明せよ。

(2) 都市計画に関する以下の問いに答えよ。

「都市計画区域においては、①道路や公園などの都市施設を都市計画に定めることができる。このうち、道路などについては、適正かつ合理的な土地利用を図るため必要があるときは、都市施設の区域の地下又は空間について都市施設を整備する 的な範囲を定めることができる。

都市計画施設(都市計画において定められた都市施設)の区域内において建築物の建築をしようとする場合は、都道府県知事等の が必要となる。また、市町村が都市計画施設の整備を行う場合、都道府県知事の を受け、②都市計画事業として施行することができる。」

- (a) 上記の記述の下線部①について、都市計画に定めることのできる都市施設を三つ挙げよ。
ただし、道路及び公園を除く。
- (b) 上記の記述の㉞、㉟、㊱に適切な語句を入れよ。
- (c) 上記の記述の下線部②について、都市計画施設の整備を都市計画事業として施行することによる効果の一つ挙げよ。

(3) 都市交通に関する以下の問いに答えよ。

「昭和30年代に70,000箇所以上あった踏切の箇所数は、令和3年度には半数以下にまで減少しているものの、ピーク時間の遮断時間が 分/時以上である をはじめとして、依然として多数の踏切が存在することにより、①様々な課題が生じている。

踏切の課題を解消するためには、踏切そのものを除却することが効果的である。このうち、鉄道を高架化又は地下化することによって、多数の踏切を一挙に除却する事業を 事業という。

一方、踏切の除却には長期間を要する場合もあることから、踏切の課題を軽減できるよう、②段階的な取組を行うことも重要である。」

- (a) 上記の記述の㉞、㉟、㊱に適切な語句を入れよ。
- (b) 上記の記述の下線部①について、踏切が存在することにより生じる課題を道路利用者の観点から二つ挙げよ。
- (c) 上記の記述の下線部②について、踏切の除却は必ずしも伴わないものの、踏切の課題を軽減させることのできる対策として考えられるものを二つ以上挙げよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 我が国の地形と河川に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 扇状地における河川の特徴を 2 行程度で説明せよ。
- (b) 自然堤防帯における河川の特徴を 2 行程度で説明せよ。

(2) 我が国の河川計画に関する以下の問いに答えよ。

「河川整備基本方針は、①水系ごとに、その水系に係る河川の総合的管理が確保できるように定められなければならない。河川整備基本方針では基本高水、河道及び洪水調節施設への配分に関する事項、②計画高水流量に関する事項、③計画高水位及び計画横断形に関わる川幅に関する事項、④流水の正常な機能を維持するために必要な流量に関する事項を定めている。」

- (a) 上記の記述の下線部①について、河川整備基本方針は水系ごとに定めなければならないとされているが、その理由を 1 行程度で説明せよ。
- (b) 上記の記述の下線部②の定義を、基本高水との関係に言及して、2 行程度で説明せよ。
- (c) 上記の記述の下線部③について、堤防の高さとの関係に言及して、2 行程度で説明せよ。
- (d) 上記の記述の下線部④として考慮すべき河川の機能を二つ挙げよ。
- (e) 近年、各地で洪水が発生するなど気候変動の影響が懸念される。気候変動と水災害の関係について、以下の問いに答えよ。
 - (i) 気候変動による気象・水理現象への影響を二つ以上挙げ、その影響によって洪水が発生するメカニズムをそれぞれ説明せよ。
 - (ii) 超過洪水時の減災対策について、ハード面の対策及びソフト面の対策をそれぞれ一つ挙げよ。

(3) ダムに関する以下の問いに答えよ。

- (a) ダムによる洪水調節のメカニズムについて、次の語句を全て用いて説明せよ。
ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。
[語句：ピーク流量、流入量、放流量、貯留]
- (b) ダムの課題の一つであるダム貯水池の堆砂について、具体的な対策を二つ挙げよ。
- (c) 既設ダムを有効活用するダム再生の取組について、具体的な対策を挙げ、その効果を簡潔に説明せよ。
ただし、挙げる対策はダム貯水池の堆砂対策以外とすること。

C 以下の設問に答えよ。

(1) 海岸工学に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 津波の発生メカニズムと水理学的特徴をそれぞれ 2 行程度で説明せよ。
- (b) 浅海域において波が屈折するメカニズムを、水深と波速に言及しつつ 2 行程度で説明せよ。
- (c) 有義波高($H_{1/3}$)の定義を 1 行程度で説明せよ。
- (d) 風波(風浪)とうねり双方の発生要因と特徴について、両者の相違が分かるようにそれぞれ 2 行程度で説明せよ。
- (e) 深海波、浅海波、極浅海波(又は長波)の特徴をまとめた下表中の各空欄を埋めよ。なお、X, Y には数値、ウ、エには語句が入る。ア、イについては、水粒子の動きと海底面の影響の観点からの説明文を記入すること。

分類	相対水深	概要	波速の影響要因
深海波	X ~ ∞	ア	ウ
浅海波	Y ~ X	深海波と極浅海波の中間の性質をもつ波。	ウ 及び エ
極浅海波 (長波)	~ Y	イ	エ

(2) 港湾施設の一つである岸壁(係船岸)について、以下の問いに答えよ。なお、図 I, II, III は、代表的な岸壁構造の断面の模式図である。

- (a) 岸壁の役割を 2 行程度で説明せよ。
- (b) 図 I, II, III それぞれについて、構造形式の名称を書き、どのような構造形式かを 1 行程度で説明せよ。
- (c) 図 I, II, III それぞれについて、長所及び短所を一つずつ、各 1 行程度で説明せよ。

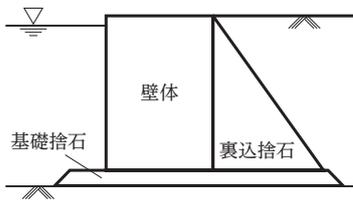


図 I

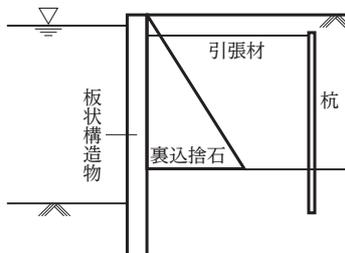


図 II

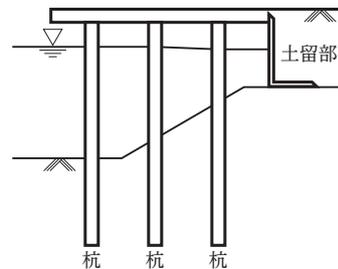


図 III

科目 20. 環境工学(土木)・衛生工学[No. 20A, 20B]

本科目の選択者は、科目 19(土木計画)を選択することはできません。

【No. 20】 次のA, Bいずれか一つのみ^①に答えよ。

A 環境問題に関する以下の設問に答えよ。

(1) 化学物質に関する以下の問いに答えよ。

(a) ポリ塩化ビフェニルに関する次の記述について、以下の問いに答えよ。

「ポリ塩化ビフェニル()は、トランスやコンデンサ等の電気機器の絶縁油や、熱交換器の熱媒体などの様々な用途に使用されてきたが、 と呼ばれる健康被害が生じ、1972年に製造中止となった。その後 を含んだ廃棄物は、事業者の下で保管されてきたが、紛失や漏洩が発生し、環境汚染が懸念される状況であった。一方、国際的には、「残留性有機汚染物質に関する 条約(POPs条約)」が2001年に採択、2004年に発効し、 に関して2028年までの廃棄物の適正管理が求められることとなった。こうした状況を受け、2001年に「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」が制定され、保管事業者による 廃棄物の処分等が義務付けられた。」

(i) 上記の記述の㉞に当てはまるポリ塩化ビフェニルを示す語句をアルファベット3文字で答えよ。

(ii) 上記の記述の㉟、㉟に当てはまる適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。

[語句：カネミ油症、水俣病、イタイイタイ病、バーゼル、ストックホルム、ナイロビ]

(b) ポリ塩化ビフェニルが人体に悪影響を与えるまでの流れについて、ポリ塩化ビフェニルの製品としての有用性にも触れつつ、次の語句を全て用いて3行程度で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：安定、分解、蓄積]

(c) 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)では、化学物質が環境を經由して人の健康に被害を及ぼすことを未然に防止するため、新規化学物質について事前審査制度を設けている。事前審査制度における、審査タイミングや審査内容について、3行程度で説明せよ。

(d) 化学物質に関する法制度として、化審法のほかに、特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(化管法)がある。化管法は、化学物質排出移動量届出(PRTR)と安全データシート(SDS)という二つの制度を通じて事業者による化学物質の自主管理の改善を促進し、環境保全上の支障の未然防止を図ることを目的としたものである。以下の問いに答えよ。

(i) 化学物質排出移動量届出(PRTR)制度の概要について、次の語句を全て用いて3行程度で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：事業者、行政機関]

(ii) 安全データシート(SDS)制度の概要について、「提供」という語句を用いて2行程度で説明せよ。

(2) 水環境に関する以下の問いに答えよ。

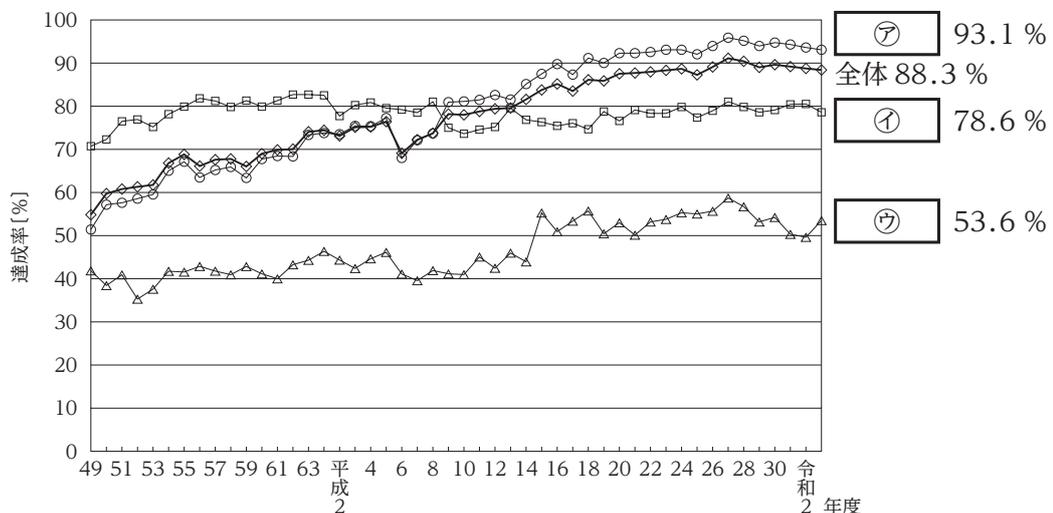
(a) 水質汚濁に係る環境基準には大きく「人の健康の保護に関する環境基準(健康項目)」と「生活環境の保全に関する環境基準(生活環境項目)」がある。これらの基準値の設定方法の違いについて、3行程度で説明せよ。

(b) 鉛の環境基準はWHO飲料水水質ガイドラインの根拠データから評価して設定されている。鉛の環境基準を求めよ。

ただし、鉛の幼児に対するTDI(体重1kg当たりの1日耐容摂取量)は0.0035 mg/kg/day、幼児体重は5 kg、飲料水寄与率は50%、1日当たりの飲料水摂取量は0.75 L、求める環境基準の単位はmg/Lで有効数字1桁とし、解答はその導出過程も記述すること。

(c) 生活環境項目の環境基準に関する以下の問いに答えよ。

(i) 次のグラフは公共用水域のBOD又はCODの環境基準達成率の推移である。㉗、㉘、㉙について、それぞれ河川、湖沼、海域のどれが当てはまるか答えよ。



(出典)「令和3年度公共用水水質測定結果」(環境省)を基に作成

(ii) BOD の環境基準の達成状況の年間評価は、「75 % 水質値」が環境基準に適合している場合に達成しているものと判断することとされている。年間の水質測定結果が次の表であるとき、この地点の年間での環境基準の達成状況を求めよ。

ただし、この地点の環境基準は 2.0 mg/L 以下とし、「75 % 水質値」の求め方は次のとおりとし、解答はその導出過程も記述すること。

※ 75 % 水質値…年間の全データをその値の小さいものから順に並べ $0.75 \times n$ 番目 (n はデータ数) のデータ値をもって 75 % 水質値とする。($0.75 \times n$ が整数でない場合は端数を切り上げた整数番目の値をとる。)

[水質測定結果]

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
BOD[mg/L]	1.3	3.1	2.0	0.7	2.1	1.9	0.9	1.4	1.3	2.0	0.8	2.9

B 上下水道に関する以下の設問に答えよ。

(1) 我が国の上水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 水道水源の種類に関する以下の問いに答えよ。

「我が国の水道水源は、主に と で賄われており、 で全体の を占めている。」

(i) 上記の記述の㉗、㉘、㉙に当てはまる適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。

〔語句：地表水、地下水、海水、約2分の1、約4分の3、約6分の5〕

(ii) 水道水源として地下水を用いる場合の留意点について、2行程度で説明せよ。

(b) 浄水処理のろ過方式に関して、次の語句を全て用いて3行程度で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

〔語句：急速ろ過、緩速ろ過、膜ろ過、クリプトスポリジウム〕

(c) 水道の分類や関係者の責務に関する以下の問いに答えよ。

(i) 水道事業と水道用水供給事業の違いについて、2行程度で説明せよ。

(ii) 平成30年の水道法改正により、国、都道府県、市町村及び水道事業者等の責務が明確化された。その責務の明確化に関する改正の概要について、以下の記述の㉛、㉜に当てはまる最も適切なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して入れよ。

〔語句：国、都道府県、市町村、水道事業者等〕

- ・ 国、都道府県及び市町村は水道の基盤の強化に関する施策を策定し、推進又は実施するよう努めなければならない。
- ・ は水道事業者等(水道事業者又は水道用水供給事業者)の間の広域的な連携を推進するよう努めなければならない。
- ・ はその事業の基盤の強化に努めなければならない。

(2) 我が国の下水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 下水道の老朽化対策に関する以下の問いに答えよ。

(i) 下水道管路の老朽化に起因して発生する可能性のある事故について触れつつ、下水道管路のストックマネジメントの必要性について3行程度で説明せよ。

(ii) 下水道の老朽化対策に関する以下の記述の㉝、㉞に適切な語句を、㉟に適切な数字を入れよ。

「平成27年の下水道法改正により、下水道の 基準が創設され、下水の滞留などの原因により腐食するおそれの大きい箇所は、 年に1回以上の頻度で を行うこととされている。」

(b) 下水処理方式の一つであるオキシデーションディッチ法の処理方法とその利点について、合わせて3行程度で説明せよ。

(c) 下水処理場における能動的運転管理について、次の語句を全て用いて3行程度で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：豊かな、養殖業、放流先、栄養塩類]

科目 21. 材料工学(材料科学) [No. 21 A, 21 B]

【No. 21】 次の **A, B** いずれか一つのみ に答えよ。

A 結晶の拡散に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 全率固溶型の A-B 二元合金に対して純金属 B をめっきして作製した図 I に示す拡散対を考える。A-B 合金と純金属 B の最初の界面に、A, B と反応することがなく拡散もしないマーカーを埋め込んだ。作製した拡散対を一定の温度 T [K] で保持すると、相互拡散に伴いマーカーが移動する。拡散対の左端を原点とし、拡散対の長手方向(最初の界面の法線方向)と平行に x 軸(右向きを正)を設定し、時刻 t [s] における拡散対の左端からマーカーまでの距離を l [m]、モル濃度を c_i ($i = A$ 又は B) [$\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$] とする。拡散流速 J_i [$\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] は、固有拡散係数 D_i を用い、式①で示される。

$$J_i = -D_i \left(\frac{dc_i}{dx} \right) \quad \dots\dots ①$$

x 軸方向とは異なる方向の拡散、粒界拡散や表面拡散などの高速拡散、拡散対の界面での化学反応や相変態は考えないものとする。以下の問いに答えよ。

- (a) 式①が示す物理法則の名称と D_i の次元を示せ。
 (b) D_i は T の逆数に対して図 II に示す依存性を示す。 D_i の温度依存性はアレニウスの式

$$D_i = D_{i,0} \exp\left(-\frac{Q_i}{RT}\right) \quad \dots\dots ②$$

で表される。 $D_{i,0}$ は頻度因子、 Q_i は活性化エネルギー、 R は気体定数である。式②を利用して A と B の Q_i と拡散速度の違いを 4 ~ 5 行程度で説明せよ。

- (c) 各元素の流速の違いにより空孔の流速 J_V [$\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] が生じ、次式が成り立つ。

$$J_A + J_B + J_V = 0 \quad \dots\dots ③$$

式③を利用して、 J_V を D_A , D_B , $\frac{dc_B}{dx}$ を用いて導出過程も含めて示せ。

ただし、合金のモル体積はその組成によって変化しないものとし、 $(c_A + c_B)$ は一定である。

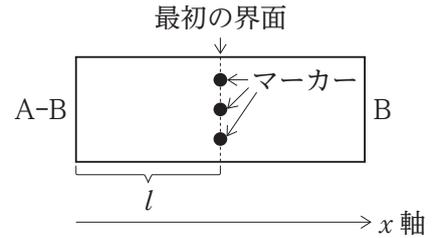


図 I

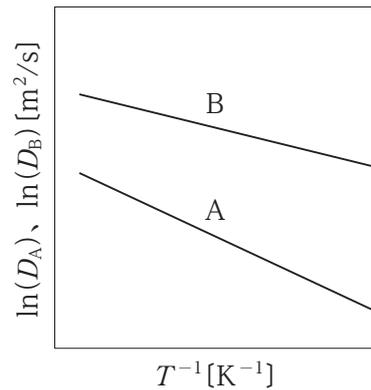


図 II

(d) 相互拡散で移動した空孔が全てマーカの移動に寄与するとすれば、マーカの移動速度 $v_M [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ は、 $\frac{J_V}{c_A + c_B}$ で与えられることを、以下の語句の全てを用いて 4 ~ 5 行程度で説明せよ。

ただし、用いた語句に下線を引くこと。

[語句：空孔のモル体積、体積収縮、熱平衡濃度、粒界]

(e) v_M を c_A , c_B , D_A , D_B , $\frac{dc_B}{dx}$ を用いて示し、 D_A , D_B が図 II に示す大小関係を有する場合、相互拡散に伴う l の変化を 2 ~ 3 行程度で説明せよ。

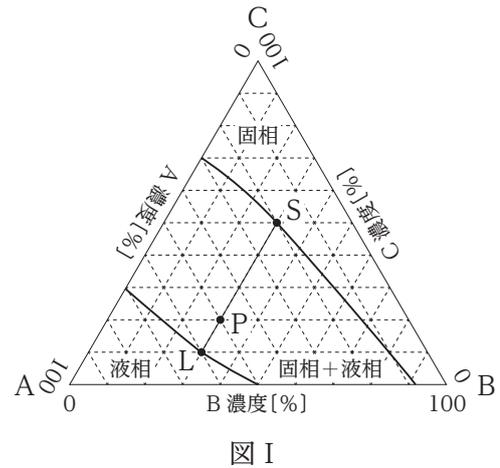
(f) マーカの移動はカーケンドール効果として知られている。カーケンドール効果が示唆する固体の拡散メカニズムについて 1 行で説明せよ。

(2) 結晶粒界や表面で生じる粒界拡散や表面拡散は、格子拡散とは異なる拡散速度を示す。格子拡散、表面拡散、粒界拡散における拡散係数の大小関係とその理由について 3 ~ 4 行で説明せよ。

B 結晶体に関する以下の設問に答えよ。

(1) 図 I はある温度における三元系平衡状態図の模式図である。以下の問いに答えよ。

- (a) 点 P における組成を示せ。
 (b) A の濃度が一定(30%)となる領域、B と C の濃度比が一定(2:3)になる領域をそれぞれ図示せよ。
 (c) 点 P の組成の物質が組成 L の液相と組成 S の固相からなるとき、液相と固相の比を示せ。



(2) 図 II は 2 種類の酸化物 AO と BO₂ の二元系状態図である。灰色で示した領域では AB₂O₅ に近い組成の単相 X が形成される。図 III に示すようにブリッジマン法により単結晶を得ることを考える。以下の問いに答えよ。

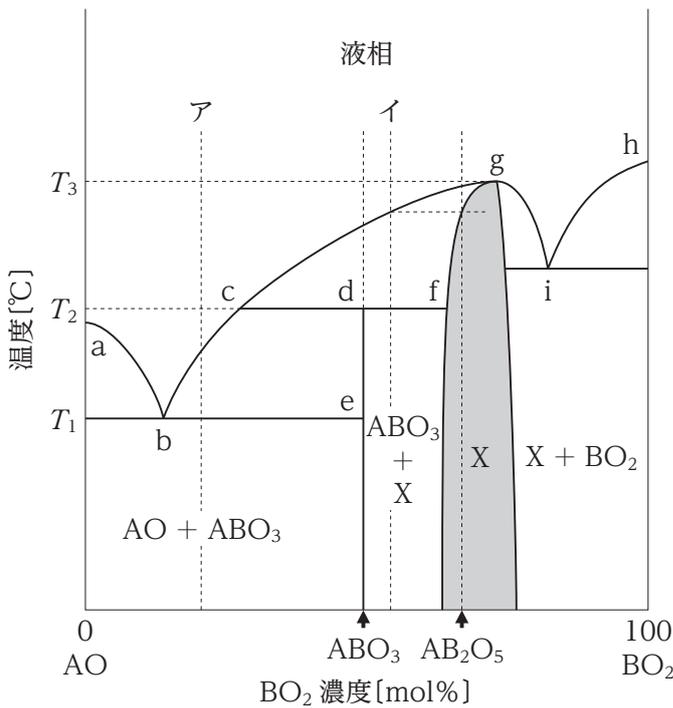


図 II

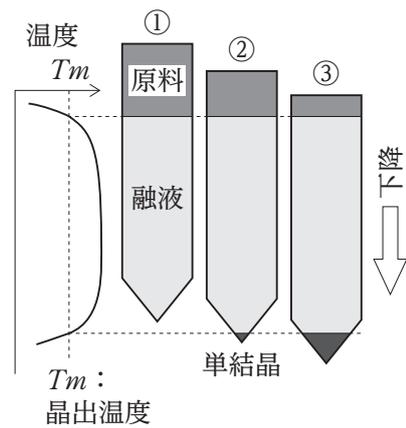


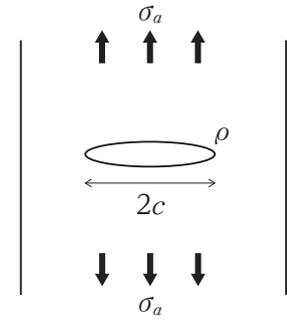
図 III

- 原料をるつばに詰め、温度勾配をもつ炉内を下降させる。
 ① 炉内の高温域に入った原料が溶融。
 ② 高温域を通過し冷却された融液から単結晶が晶出。
 ③ 単結晶が成長。

(a) ABO₃ の組成をもつ原料を使用したか、ABO₃ の単結晶を得ることはできなかった。この理由を冷却時の凝固過程に基づき 5~10 行で説明せよ。また、ABO₃ の単結晶を得るにはアの組成の原料を用いると良いことが知られている。その理由も 3~5 行で示せ。

(b) AB_2O_5 の単結晶を得るため、(a)に倣ってイの組成の原料を使用したか、単結晶の上部と下部で組成が異なる単結晶になってしまった。この理由を冷却時の凝固過程に基づき 5 ~ 10 行で説明せよ。また、このような組成のずれを小さくするため、どのような工夫が考えられるか 3 ~ 5 行で示せ。

(3) 共有結合をもつ単結晶(ヤング率 E 、表面エネルギー γ)の無限板中に図IVのように長さ $2c$ のき裂が存在し、遠方でき裂面に垂直な引張応力 σ_a が加わる場合を考える。このとき、線形弾性体に蓄えられるひずみエネルギーは、き裂が存在しない場合に比べて $\frac{\pi\sigma_a^2 c^2}{E}$ だけ小さいことが知られている。一方、長さ $2c$ のき裂が存在すると、き裂が存在しない場合に比べて表面のエネルギーは $4\gamma c$ だけ大きくなる。これらのことを踏まえ、以下の問いに答えよ。



図IV

- (a) エネルギーバランスの観点から長さ $2c$ のき裂が更に成長するために必要な σ_a を求めよ。
- (b) き裂が進展するためには(a)で求めたエネルギー条件に加え、き裂先端の応力が材料を破壊する応力に達していることが必要である。長さ $2c$ 、先端の曲率 ρ のき裂先端の応力が $2\sigma_a \sqrt{\frac{c}{\rho}}$ で近似でき、原子の結合の強さから計算した理想へき開強度が $\sqrt{\frac{E\gamma}{a_0}}$ で与えられるとすると、き裂先端の曲率 ρ がどの程度であれば(a)で求めた応力がき裂進展の必要十分条件になると考えられるか述べよ。

ただし、 a_0 は応力がない状態での原子間距離である。

科目 22. 材料工学(金属材料) [No. 22]

【No. 22】 図 I に示した Co-Fe 二元系状態図を参考にして、以下の設問に答えよ。

ただし、L は液相、 α -Co、 ϵ -Co はそれぞれ面心立方構造、六方最密構造をもつコバルトの同素体、 α -Fe、 γ -Fe、 δ -Fe はそれぞれ体心立方構造、面心立方構造、体心立方構造をもつ鉄の同素体、 a' は規則相を表し、一点鎖線は磁気変態線、破線は規則-不規則変態線を示している。

また、 $\sqrt{2}\pi = 4.45$ 、 $\sqrt{3}\pi = 5.45$ とする。

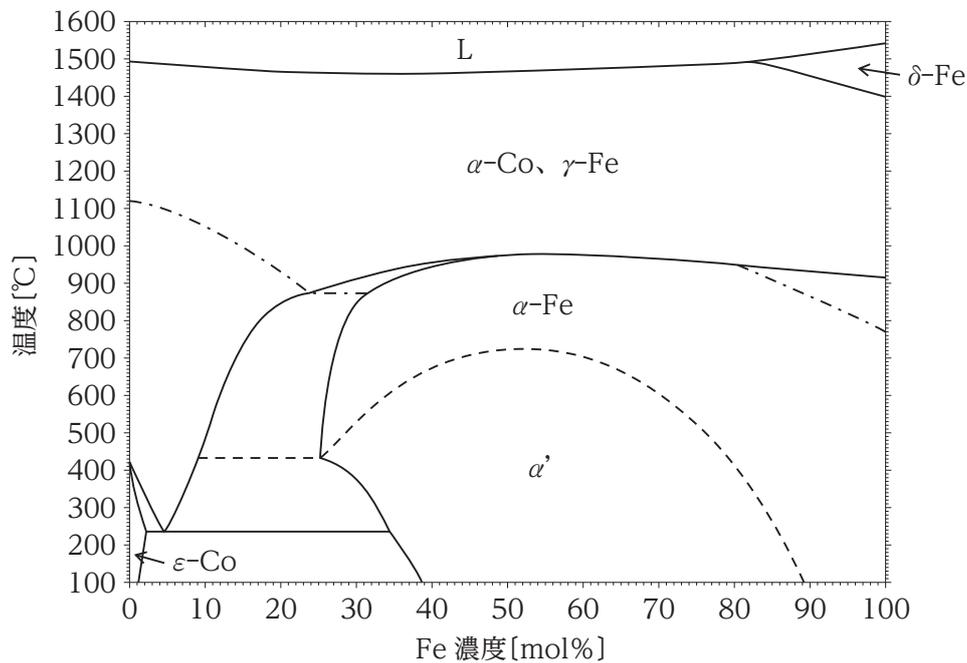


図 I

- (1) 体心立方構造、面心立方構造、六方最密構造の各単位格子中に含まれる原子の体積充填率を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、六方最密構造の c/a (a , c はそれぞれ a 軸、 c 軸の格子定数) は $\sqrt{\frac{8}{3}}$ とし、計算の過程も示すこと。
- (2) 純鉄を室温から 1450 °C まで昇温した際の α/γ 変態及び γ/δ 変態に伴う体積変化は、何% の収縮、膨張であるか。(1) で求めた各結晶構造の体積充填率の値から有効数字 2 桁でそれぞれ求めよ。ただし、変態前後で原子半径は一定とし、計算の過程も示すこと。
- (3) 室温で強磁性を示す Co-Fe 二元合金を昇温すると、磁気変態線温度以上で非磁性となる理由を電子スピンの観点から 3 行程度で説明せよ。

(4) Co-50 mol%Fe 二元合金粉末を(a) 1100 °C、(b) 850 °C、(c) 500 °C で長時間保持した後に、各温度でデバイ・シェラー法を用いた X 線回折実験を行ったところ、図 II に示した 3 種類の異なる回折図形が得られた。各粉末試料の結晶構造及び Co や Fe 原子が占める格子点を、対応する単位格子の模式図を描いて示せ。また、回折線を出現させる (hkl) 面を低指数面から順に五つ挙げよ。ただし、(hkl) はミラー指数、 θ はブラッグ角である。

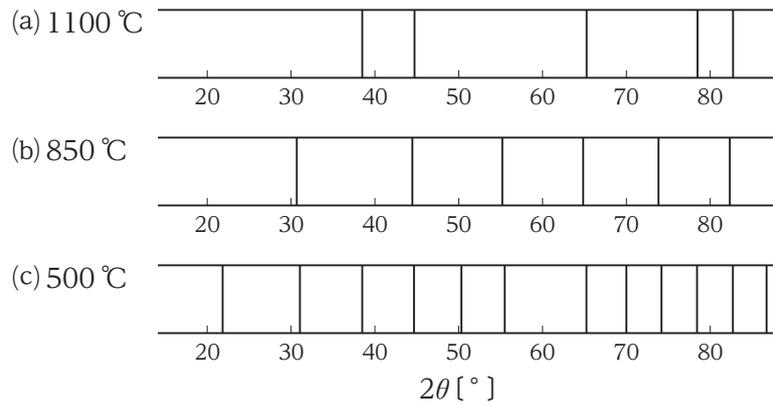


図 II

科目 23. 材料工学(無機材料) [No. 23]

【No. 23】 ジルコニア(ZrO_2)に関する以下の設問に答えよ。

(1) 立方晶ジルコニアはジルコニアの高温安定相であり、螢石型構造を有する。以下の問いに答えよ。

(a) 螢石型構造の単位格子に含まれる陽イオンと陰イオンの原子位置(分率座標)を全て示せ。

ただし、陽イオンを原点(0, 0, 0)とする。

(b) 螢石型構造に関する次の記述の㉞~㉟に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句から選び出して示せ。

「螢石型構造において陽イオンは立方最密の位置を占める。陰イオンは陽イオンからなる
 ㉞ 間隙の中心に位置し、㉟ をとる。一方、陽イオンは陰イオンがつくる
 ㊱ 間隙に一つおきに入り ㊲ をとり、この ㊳ は ㊴ を共有して
 つながる構造をもつ。」

【語句：四面体、六面体、八面体、4配位、6配位、8配位、12配位、頂点、稜、面】

(c) ジルコニアにイットリアやカルシアを固溶すると、室温においても立方晶ジルコニアの構造を得ることができる。イットリアを固溶したジルコニアにおいて立方晶が安定になるメカニズムについて、イオン結晶の安定性の観点から5~8行で説明せよ。

なお、必要に応じ、立方晶ジルコニアの格子定数0.514 nm、酸素のイオン半径0.138 nm、ジルコニウム4価のイオン半径0.084 nm、イットリウム3価のイオン半径0.102 nmを説明に使用してもよい。

(d) イットリアでジルコニアを置換することにより生じる格子欠陥を、クレーガー=ビנקの表記法で示すと次のようになる。㊸、㊹、㊺に当てはまる最も妥当な記号をそれぞれ示せ。

ただし、陽イオンの欠陥はないものとし、㊸、㊹、㊺の順は問わない。



(2) 純粋なジルコニアの焼結体は温度変化によりき裂が入るため作製することが困難である。その理由について結晶構造の観点から3~5行で説明せよ。

(3) ジルコニアセラミックスの機械特性に関する以下の問いに答えよ。

(a) 破壊靱性に関する次の記述の㉞、㉟、㊱に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句から選び出して示せ。

「セラミックス材料におけるマクロな破壊はき裂の伝搬により生じ、その代表的な破壊はき裂先端での ㉞ モードによる破壊が主とされている。この破壊はき裂面に垂直な方向に作用する応力、き裂の長さ、形状や寸法などで決まる応力拡大係数 K_I により説明される。この K_I の単位は一般に ㉟ で示される。 K_I は臨界値に達すると材料は破壊を起こす。そのときの臨界値を臨界応力拡大係数 K_{IC} (破壊靱性値) と呼ぶ。破壊靱性値は、㊱ 破壊に対する材料の抵抗力を示し、大きいほど材料は靱性に富み破壊しにくいことを示す。」

[語句：引張り開口、面内せん断、面外せん断、曲げ延性、靱性、脆性、MPa、 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{\frac{1}{2}}$ 、 $\text{MPa}/\text{m}^{\frac{1}{2}}$ 、 $\text{MPa}\cdot\text{m}^2$]

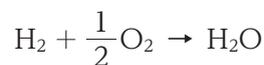
(b) イットリアを適量固溶したジルコニアが高い靱性を示すメカニズムについて、次の語句を全て用いて、2～3行で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：応力誘起相転移、単斜晶、ひずみエネルギー]

(4) イットリア安定化ジルコニアを電解質として用いた固体酸化物型燃料電池について、以下の問いに答えよ。

(a) 全化学反応が次の式で表されるとき、



正極側、負極側それぞれにおける半反応式を示せ。

(b) (a)の反応において H_2O の標準生成ギブズエネルギー ΔG° を -237 kJ/mol 、ファラデー定数 F を 96.5 kC/mol とするとき、標準起電力 E° を計算し有効数字3桁で求めよ。

ただし、計算の過程を示すこと。

(c) この固体酸化物型燃料電池は通常 1000°C 程度の高温域で動作させる必要がある。この理由について、次の語句を全て用いて3～4行で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：イオン導電性、酸素空孔]

(d) 高温で動作させることにより燃料電池の構成部材で生じ得る問題について、次の語句を全て用いて2～3行で説明せよ。

ただし、解答中の用いた語句に下線を引くこと。

[語句：化学反応、熱膨張]

科目 24. 原子力工学(原子核・放射線) [No. 24]

【No. 24】 以下の設問に答えよ。

(1) 次の記述は、「放射性同位元素等の規制に関する法律(昭和三十二年法律第百六十七号)」からの抜粋である。

「放射性同位元素等の規制に関する法律(昭和三十二年法律第百六十七号)

(目的)

第一条 この法律は、 (昭和三十年法律第百八十六号)の精神にのっとり、放射性同位元素の 、販売、賃貸、 その他の取扱い、放射線発生装置の 及び放射性同位元素又は放射線発生装置から発生した放射線によつて された物(以下「放射性 物」という。)の その他の取扱いを規制することにより、これらによる放射線 を防止し、及び**特定放射性同位元素を防護**して、 の安全を確保することを目的とする。

(定義)

第二条 この法律において「放射線」とは、 第三条第五号に規定する放射線をいう。

<中略>

3 この法律において「特定放射性同位元素」とは、放射性同位元素であつて、その放射線が発散された場合において人の健康に重大な影響を及ぼすおそれがあるものとして政令で定めるものをいう。

<後略>

- (a) 上記の記述の①に当てはまる法律名を示せ。
- (b) 上記の記述の②～⑥に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

ただし、一度選び出した語句は再度使用することはできないものとする。

[語句]

ア. 生産	イ. 回収	ウ. 使用	エ. 廃棄	オ. 汚染
カ. 照射	キ. 障害	ク. 風評	ケ. 事業者	コ. 公共

- (c) 下線部「**特定放射性同位元素を防護**」する理由について、3行程度で説明せよ。

- (2) 異なる種類の放射線では、物質との物理学的な相互作用も異なる。この差異は阻止能や LET (線エネルギー付与)の違いとしても現れる。
- (a) 阻止能と LET について、定義や単位といった観点から、類似点や相違点について 3 ~ 5 行で説明せよ。
- (b) 「制動放射(制動輻射)」と呼ばれる現象について、1 ~ 3 行で説明せよ。
- (c) 放射性核種から放出される α 線、 β 線、 γ 線について、LET が高い順に並べよ。また、その根拠について、1 ~ 3 行で説明せよ。
- (3) 物質中では放射線から付与されたエネルギーによって様々な化学変化が生じる。
- (a) 放射線からのエネルギー付与の結果、物質を構成する分子にはイオン化や励起が起こり、「ラジカル」と分類される化学種が生成される。「ラジカル」の定義や例について、1 ~ 3 行で説明せよ。
- (b) 放射線によって引き起こされた化学変化の量から、吸収線量を間接的に評価することができる。このような線量計を「化学線量計(二次線量計)」と呼ぶ。「化学線量計(二次線量計)」の特徴について、電離箱等の「一次線量計」と比較しながら、3 ~ 5 行で説明せよ。
- なお、必要に応じて図表を用いてよい。
- (c) 最も有名な化学線量計の一つであるフリッケ線量計では、鉄イオンの酸化(Fe^{2+} から Fe^{3+})に伴う吸光度の増加を利用する。 ^{60}Co γ 線を 10 分間照射した後に光路長 1.0 cm の分析器で吸光度を測定したところ、 Fe^{3+} の吸収極大波長 304 nm での吸光度が 0.12 増加した。以下の問いに答えよ。
- i) Lambert-Beer の法則 $A = \epsilon Cl$ から Fe^{3+} のモル濃度 C [M] (M はモル濃度の単位で、mol/L と同義)を求めることができる。ここで、 A は吸光度、 ϵ [$\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$]は Fe^{3+} のモル吸光係数、 l [cm]は光路長である。10 分間の ^{60}Co γ 線照射に伴う Fe^{3+} のモル濃度の増加分を、導出過程も示しつつ求めよ。なお、304 nm における ϵ は $2200 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ とする。
- ii) 放射線化学収量 G 値は、放射線からのエネルギー吸収に対する化学種の生成又は消費の収量を表す。 Fe^{3+} の G 値が $1.5 \mu\text{mol/J}$ のとき、10 分間の ^{60}Co γ 線照射における吸収線量を、導出過程も示しつつ求めよ。なお、フリッケ線量計の密度は 1.02 g/cm^3 とする。

(4) 放射線障害に関する次の記述について、以下の問いに答えよ。

「放射線障害はしきい線量の有無により、① と ② に分類される。前者にはしきい線量が存在し、しきい線量を超えると放射線障害が顕在化する。一方、後者ではしきい線量が存在せず、線量に応じて放射線障害の ③ が上昇する。ただし、**低線量域における ② については明確な結論が出ておらず**、LNT(直線しきい値なし)モデルに基づいたリスク評価が行われる。① としては、皮膚障害、白内障、組織障害等が挙げられ、② としては白血病、がん及び ④ が挙げられる。④ とは、放射線を被ばくした個体の子孫に放射線障害が顕れることを指し、放射線を被ばくした個体そのものに放射線障害が顕れる ⑤ と区別する。ただし、④ はヒトでは確認されていない。

放射線の影響は種類によって異なるため、放射線防護においてはこれを ⑥ で考慮する。⑦ に ⑥ を乗じたものを ⑧ と呼ぶ。また、放射線に対する感受性は組織や臓器ごとに異なるため、放射線防護においてはこれを ⑨ で考慮する。組織や臓器ごとに、⑧ に ⑨ を乗じ、これを全身について足し合わせたものが ⑩ と呼ばれる。」

(a) 上記の記述の①～⑩に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

ただし、一度選び出した語句は再度使用することはできないものとする。

[語句]		
ア. 確率的影響	イ. 確定的影響	ウ. 身体性(的)影響
エ. 遺伝性(的)影響	オ. 顕在化したときの重篤度	カ. 顕在化する確率
キ. 放射線加重係数	ク. 組織加重係数	ケ. 吸収線量
コ. 等価線量	サ. 実効線量	シ. 線量当量

(b) 下線部「**低線量域における ② については明確な結論が出ておらず**」の原因について、放射線以外の要因との比較や自然放射線の被ばく量などの観点から、1～3行で説明せよ。

科目 25. 原子力工学(原子炉・核燃料サイクル) [No. 25A, 25B]

【No. 25】 次のA, Bいずれか一つのみ¹⁾に答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 原子炉工学に関する以下の事項について、それぞれ2行程度で説明せよ。

- (a) 複合核
- (b) 限界熱流束
- (c) 即発中性子
- (d) 原子炉時定数

(2) 放射化法による原子炉内の中性子束の測定を考える。

ある物質 X からなる薄い試料(箔)を原子炉内に挿入し中性子で照射する。X は原子核反応により放射性物質 Y となり、Y は壊変定数 λ で放射性崩壊する。箔に含まれる X の原子数を N_X 、原子核反応によって生成された Y の時刻 t での原子数を $N_Y(t)$ とする。また、原子核反応($X \rightarrow Y$)の微視的断面積を σ 、全中性子束を ϕ とする。原子核反応による N_X の変化は十分小さく無視できるものとする。また、箔中で中性子束は変化しないものとする。

- (a) 単位時間あたりに Y が生成される反応率 R を、 N_X 、 σ 、 ϕ を用いて表せ。
- (b) Y の単位時間あたりの崩壊数を、 λ 、 $N_Y(t)$ を用いて表せ。
- (c) (a)と(b)の結果を用いて $N_Y(t)$ の時間微分に関する微分方程式を示せ。
- (d) $N_Y(0) = 0$ のとき、(c)の微分方程式の解を求めよ。
- (e) (d)の解において無限の時間照射したときの飽和放射能 A_∞ を求めよ。
- (f) (d)の解において照射時間を T_i としたときの放射能 A を示せ。
- (g) T_i が Y の半減期に比べて十分短いときに(f)の A は次の式①で近似できることを示せ。

$$A = \lambda N_X \sigma \phi T_i \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

(h) 実際の放射化法による中性子束測定には金箔がよく用いられる。 $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ 反応により生成された ^{198}Au の放射能から中性子束を求める。10 mg の金箔を原子炉内で1時間照射したとき、照射直後に1.0 MBqの放射能が得られた。 $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ 反応の微視的断面積を100 b、 ^{198}Au の半減期を2.7日、金の原子量を197、金の安定同位体 ^{197}Au の割合を100%としたとき、式①を用いて ϕ を求めよ。なお、必要に応じて $\ln 2 = 0.693$ を用いてよい。

(i) 放射化法を用いた中性子束測定の長所と短所を二つずつ挙げよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 核燃料サイクルに関する以下の問いに答えよ。

(a) ウラン鉱山において採掘された天然ウラン鉱石が、核燃料サイクルを経て、高レベル放射性廃棄物処分施設に処分されるまでの流れについて図を用いて示せ。具体的には、「ウラン鉱山」、「ウラン燃料加工工場」、「製錬工場」、「軽水炉」、「転換工場」、「再転換工場」、「ウラン濃縮工場」、「再処理工場」、「高レベル放射性廃棄物処分施設」を、核燃料サイクルの概念に沿って矢印でつなぎ、矢印部分に各施設間で引き渡される物質名又は燃料の形態を記せ。

(b) 「プルサーマル」とは何か、使用する燃料の名称及び略称を示しつつ、3行以内で説明せよ。

(2) ウラン濃縮に関する以下の問いに答えよ。

(a) 軽水炉燃料においてウラン濃縮が必要とされる理由を説明せよ。

(b) ウラン濃縮過程において、ウランが転換される化合物の名称又は化学式を示せ。また、この化合物の特徴及び我が国において主流の濃縮方法を踏まえ、この化合物への転換が必要な理由を簡潔に説明せよ。

(3) 放射性廃棄物の処分に関する以下の問いに答えよ。

(a) 放射性廃棄物①～⑤のうち、低レベル放射性廃棄物に分類されるものを全て挙げよ。

- ① クリアランスされたコンクリート
- ② フィルター
- ③ 制御棒
- ④ 炉内構造物
- ⑤ ガラス固化体

(b) 我が国における高レベル放射性廃棄物の処理、保管に関する次の記述の①～⑤に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。また、(i)に適切な数字を入れよ。

ただし、一度選び出した語句は再度使用することはできないものとする。

「を再処理することで生じる放射能レベルの非常に高い廃液は、ガラス原料と混ぜて熔融し、キャニスタと呼ばれる製の容器に注入した後、冷却し固体化する。出来上がったガラス固化体を含むは、「の最終処分に関する法律」により、地下m以上深い安定した地層中に最終処分することとされている。の処分地選定に当たっては、「」、「概要調査」、「精密調査」といった段階的な調査を行うことが定められている。」

[語句]

- | | | |
|-------------|-----------|---------------|
| ア. ステンレス | イ. 使用済燃料 | ウ. 制御棒 |
| エ. コンクリート | オ. 冷却材 | カ. 低合金鋼 |
| キ. 意向調査 | ク. ニッケル合金 | ケ. 高レベル放射性廃棄物 |
| コ. 特定放射性廃棄物 | サ. 文献調査 | シ. ボーリング調査 |

科目 26. 船舶海洋工学(流体) [No. 26A, 26B]

【No. 26】 次のA, Bいずれか一つのみ^①に答えよ。

A 船の推進性能に関する以下の設問に答えよ。

(1) 図 I のように、 xz 平面上の断面内で x 軸の正の向きに進行する 2 次元の微小振幅正弦波を考える。このとき、次の記述の㉑~㉔に当てはまる最も妥当な式を示せ。

ただし、必要に応じて次に示す双曲線関数の関係式を用いてよい。

$$\cosh \zeta = \frac{e^{\zeta} + e^{-\zeta}}{2} \quad \frac{d}{d\zeta} \cosh \zeta = \sinh \zeta$$

$$\sinh \zeta = \frac{e^{\zeta} - e^{-\zeta}}{2} \quad \frac{d}{d\zeta} \sinh \zeta = \cosh \zeta$$

$$\tanh \zeta = \frac{\sinh \zeta}{\cosh \zeta} \quad \frac{d}{d\zeta} \tanh \zeta = \frac{1}{\cosh^2 \zeta} \quad \lim_{\zeta \rightarrow +\infty} \tanh \zeta = 1$$

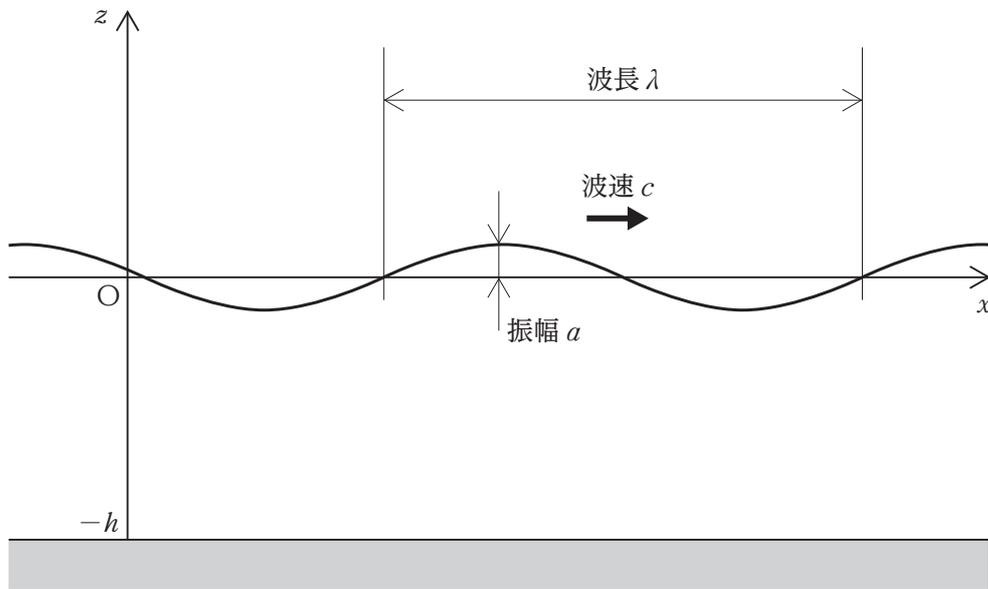


図 I

「 x 軸の正の向きに進行する 2 次元の微小振幅正弦波の速度ポテンシャル ϕ を次式のようにおく。

$$\phi(x, z, t) = f(z) \cos(kx - \omega t) \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、波数 k 及び角周波数 ω は、それぞれ波長 λ 又は周期 T を用いて $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ と表される。また、式①の速度ポテンシャルは、次の式②~⑤の条件を満たす。

ただし、 g は重力加速度の大きさ、 a は波の振幅、 h は水深を表す。

$$\text{ラプラス方程式} \quad z \leq 0 \text{ において} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots②$$

$$\text{自由表面における境界条件} \quad z = 0 \text{ において} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots③$$

$$\text{水位に関する条件} \quad z = 0 \text{ において} \quad -\frac{1}{g} \frac{\partial \phi}{\partial t} = a \sin(kx - \omega t) \quad \dots\dots④$$

$$\text{水底における境界条件} \quad z = -h \text{ において} \quad \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots⑤$$

これらの条件を満足するように $f(z)$ を定めれば、速度ポテンシャルを特定することができる。そこで、まず、式①の速度ポテンシャルを式②のラプラス方程式に代入すると、

$$\left\{ \frac{d^2}{dz^2} f(z) - \text{㉞} \right\} \cos(kx - \omega t) = 0$$

となり、 $f(z)$ を求めるためには $\frac{d^2}{dz^2} f(z) - \text{㉞} = 0$ を解けばよいこととなる。この一般解は、 B_1, B_2 を定数として、 $f(z) = B_1 e^{kz} + B_2 e^{-kz}$ のように表される。

次に、式⑤の水底における境界条件を考慮し、 B_1 と B_2 の関係を整理すると、速度ポテンシャルは定数 B を用いて $\phi(x, z, t) = B \cosh\{k(z+h)\} \cos(kx - \omega t)$ と表すことができる。

さらに、式④の水位に関する条件を考慮すると、 B は k, ω, g, a, h を用いて $B = \text{㉟}$ と表されることから、速度ポテンシャルは次式のように求められる。

$$\phi(x, z, t) = \text{㉟} \cosh\{k(z+h)\} \cos(kx - \omega t) \quad \dots\dots⑥$$

ここで、式③の自由表面における境界条件について考える。式⑥のように求めた速度ポテンシャルを式③に代入すると、 ω は k, g, h を用いて次式のように表されることが分かる。

$$\omega^2 = \text{㊱} \quad \dots\dots⑦$$

式⑦は、一般に分散関係と呼ばれ、図 I に示すような波の波長 λ と周期 T の間には依存関係があることを意味する。ここで、水深が無限大であるとき、式⑦の分散関係は次式のように近似できる。

$$\omega^2 = \text{㊲}$$

また、図 I に示す波速 c は波形が進行する速さを表し、 $c = \frac{\lambda}{T}$ より求めることができる。いま、水深が無限大であるとき、 c は k, g を用いて、

$$c = \text{㊳}$$

と表される。」

- (2) 水面を航行する船の下流側水面に生じる航走波の波紋(波頂線)は、船体に固定された直交座標系において、次の数式で表現されるケルビン波の波紋(波頂線)に酷似している。

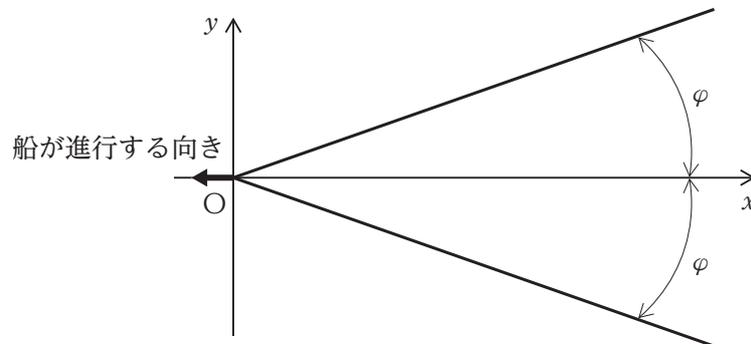
$$x = \frac{n\pi}{K_0} \cos\theta(2 - \cos^2\theta)$$

$$y = -\frac{n\pi}{K_0} \sin\theta \cos^2\theta$$

ここで、 n は正の整数、 K_0 は 0 (ゼロ) でない定数であり、 θ は $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の範囲にあるものとする。

図Ⅱの原点 O にある x 軸の負の向きに進行する船の造るケルビン波の波紋(波頂線)は、 x 軸からある一定の角度 $\pm\varphi$ ($\varphi > 0$) の内側に存在する。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、ケルビン波は原点 O から発生すると考え、水深は無限大であるものとする。



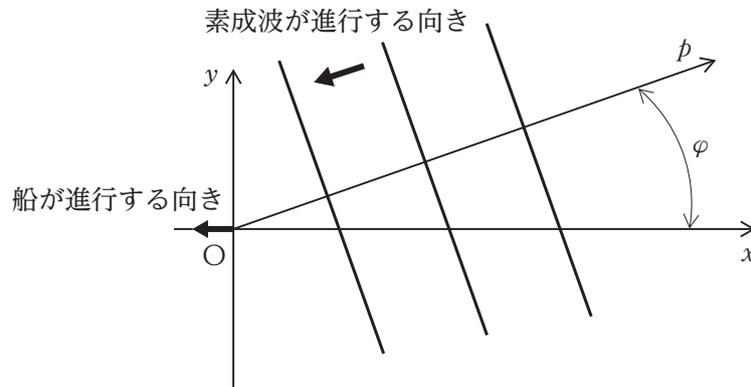
図Ⅱ

- (a) ケルビン波の波紋(波頂線)の概形を描け。

ただし、解答に当たっては、図Ⅱを答案用紙に描き写し、その上に波紋(波頂線)を描くこと。

- (b) $\tan\varphi$ の値を求めよ。

- (c) ケルビン波を構成する素成波(2次元の微小振幅正弦波)のうち、図Ⅲのように x 軸と φ なる角度をなす p 軸の負の向きに進行するものを考える。この素成波の進行速度の x 軸成分は船速に等しい。ここで、素成波の波数 k と K_0 の間に $K_0 = k \cos^2 \varphi$ の関係が成り立つとき、 K_0 を、船が前進する速さ U 及び重力加速度の大きさ g を用いて表せ。



図Ⅲ

- (d) 船の長さ L を用いて x, y を $x' = \frac{x}{L}, y' = \frac{y}{L}$ のように無次元化したとき、(c)の結果を用いて、 x', y' がそれぞれフルード数の関数として与えられることを示せ。
- (3) EEDI(Energy Efficiency Design Index)規制は、新造船の燃費性能を統一の燃費指標で評価し、それが一定値以下とすることを義務付けるものである。

一方で、2022年11月に発効した海洋汚染防止条約(MARPOL条約)の改正では、既存船の燃費性能をEEDIに準じた燃費指標で評価し、それが一定値以下とすることを義務化するEEXI(Energy Efficiency Existing Ship Index)規制が導入された。これについて、EEXI規制の基準値を満足しない既存船の燃費指標の改善手段を二つ挙げ、その改善に寄与する理由をそれぞれ説明せよ。

B 船の復原性に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 水槽で、模型船の横メタセンタ高さ \overline{GM} や横揺れ固有周期を計測するための手順について考える。模型船の重量は W であることが分かっている。また、おもりが船体中心線上にあるとき、模型船の横傾斜角は 0 (ゼロ) であるものとする。この模型船上において、重量 w のおもりを l だけ船幅方向に移動させ、静的に釣り合わせたとき、以下の問いに答えよ。

ただし、模型船の重量におもりの重量が含まれているものとする。また、生じる傾斜は微小であるものとする。

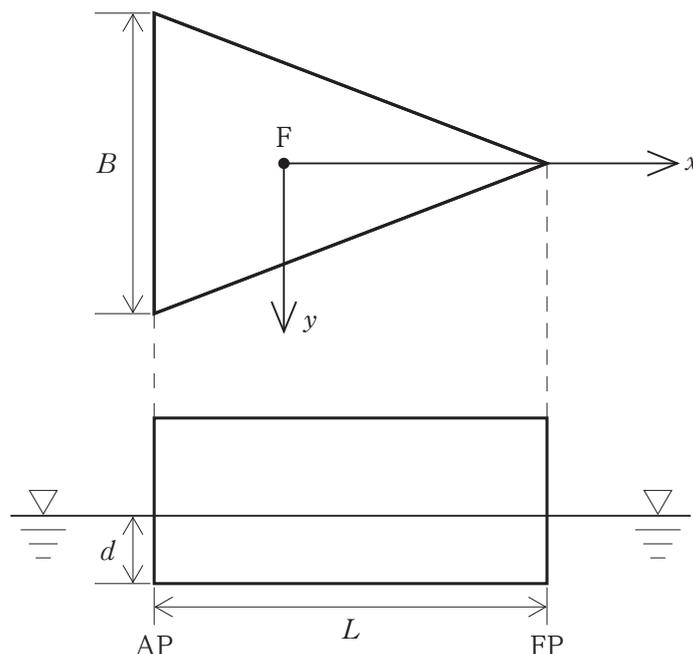
- (a) 模型船の横傾斜角が ϕ であったとき、 \overline{GM} を求めよ。
 (b) 模型船の横傾斜角を α 以下にしたい。いま、 \overline{GM} の予想値が s であるとき、模型船上で移動させるおもりの重量 w の条件を示せ。

ただし、 l は変えないものとする。また、導出過程も示すこと。

- (c) 模型船内に姿勢及び重心調整用に多数搭載されている移動可能なおもりの位置を調整し、 \overline{GM} を目標とする値に調整し終えることができた。その次に、模型船の横揺れ固有周期の調整を行うことにした。そのとき、横揺れ固有周期の計測値が目標とする値よりも短くなった。横揺れ固有周期を、 \overline{GM} を変えることなく目標とする値に正しく調整するには、どのような方策が考えられるか、簡潔に説明せよ。

- (2) 次の図のような清水中に浮かんだ、長さ L [m]、幅 B [m] の二等辺三角形の水線面形状を有し、喫水 d の三角柱形状の船の静的釣合いについて考えるとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 x 軸は船体中心線上にあるものとし、船幅方向の y 軸との交点が浮面心 F にあり、 F を原点とする。また、生じる傾斜は微小であるものとする。



- (a) この船の排水量と毎センチ排水量を求めよ。
- (b) この船の浮面心位置の船尾からの距離を求めよ。
- (c) この船の水線面の y 軸周りの面積 2 次モーメント I_{yy} を求めよ。
- (d) この船の y 軸周りの傾斜(縦方向)についてのメタセンタ半径 \overline{BM}_L を求め、それを用いて毎センチトリムモーメントを求めよ。
- ただし、簡単のため、浮心と重心との距離 \overline{BG} の大きさは \overline{BM}_L に比して十分小さく、 \overline{BM}_L と縦メタセンタ高さ \overline{GM}_L が同一であると考えてよい。
- (e) L を 100 m、 B を 40 m、 d を 3 m として、以下の問いに答えよ。
- (i) この船の船体中心線上に、下表のように荷物 1 から 4 までを全て積み込んだ。全ての荷物を積み終えたときの船首尾における喫水をそれぞれ求めよ。

表

荷物番号	荷物の位置 x [m]	質量 w [t]
1	+50	20
2	+30	20
3	-10	20
4	-15	20

- (ii) この船の喫水を船首尾で同じにするため、(i)で積み込んだ荷物に加え、60 t の荷物を船体中心線上に新たに積み込む。このとき、この荷物の位置 x を求めよ。
- (3) t を時間、 ϕ を横揺れ角、 α を線形の横揺れ減衰力に関する正の係数、 C を線形の復原力に関する正の係数、 A を波に起因する外力のモーメントの振幅、 ω を波に起因する外力のモーメントの角周波数とする。このとき、横波中の船の横揺れのような弱い減衰をもつ運動方程式は次のように表される。十分時間が経過した後のこの方程式の解を求め、その上で、同調横揺れ現象を簡潔に説明せよ。

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + \alpha \cdot \frac{d\phi}{dt} + C \cdot \phi = A \sin \omega t$$

科目 27. 船舶海洋工学(構造) [No. 27A, 27B]

【No. 27】 次のA, Bいずれか一つのみ¹⁾に答えよ。

A 船舶構造に関する以下の設問に答えよ。

(1) 図 I (a)に示すように、長さ L が 60.0 m、幅 B が 10.0 m、深さ D が 3.00 m の箱船が清水中に静かに浮いている。このときの喫水 d が 2.00 m である。この箱船は三つの区画に等しく仕切られており、No. 1 及び No. 3 の船倉に貨物が長手方向に一様に積載されている。箱船の横断面は図 I (b)に示す形状で一様であり、船殻の板厚 t は 0.0100 m である。箱船の自重は船の長さに対して均一に分布し、箱船の自重 W_h は 3000 kN である。船尾を原点とし、船首方向を正に x 軸をとる。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、清水の密度 ρ を 1000 kg/m^3 、重力加速度の大きさ g を 10.0 m/s^2 とし、 x 軸に垂直な断面は、曲げモーメントが作用した後も変形後の軸に垂直で、かつ、平面を保つものとする。また、力は鉛直下向きを正とし、せん断力 F 及び曲げモーメント M は図 II に示す矢印の向きを正とする。

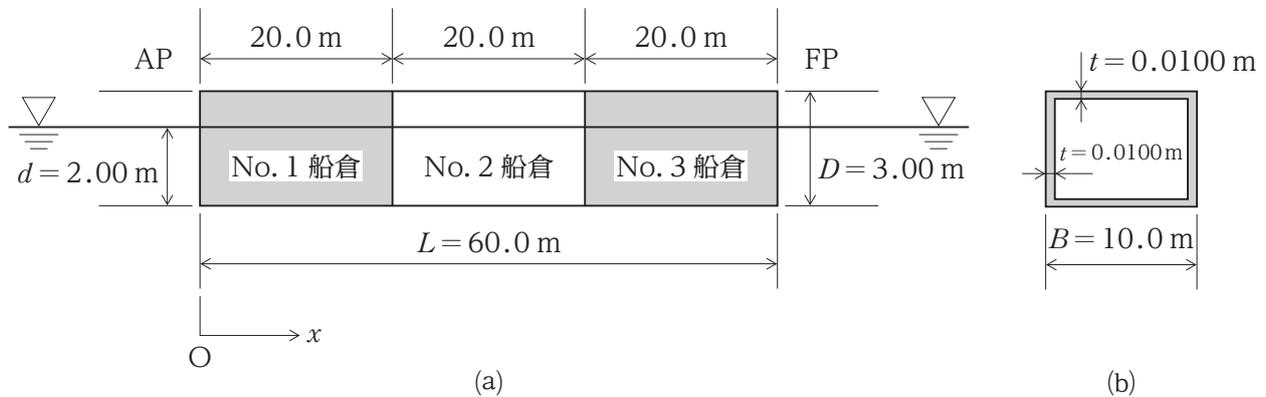


図 I

- 積載貨物の総重量 W_c を kN 単位で求めよ。
- 重量分布のグラフを縦軸の単位を kN/m として図示せよ。
- 浮力分布のグラフを縦軸の単位を kN/m として図示せよ。
- 荷重分布のグラフを縦軸の単位を kN/m として図示せよ。
- せん断力分布のグラフを縦軸の単位を MN として図示せよ。
- 縦曲げモーメントの最大値 M_{\max} [MN·m] 及びその位置の x 座標を求めよ。

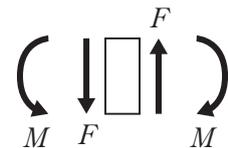


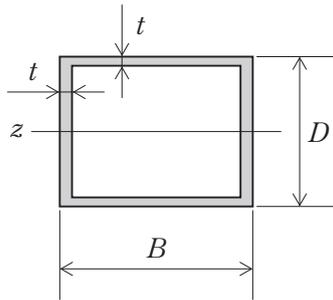
図 II

(g) 図Ⅲのように、箱船の横断面の中立軸上に z 軸をとるとき、 z 軸に関する断面 2 次モーメント I_z を、 B , D , t を用いて表せ。

ただし、 t は、 B 及び D に比べて微小であるため、 t の 2 次以上の微小項を省いて近似せよ。また、導出過程も示すこと。

(h) (f) 及び (g) の結果より、箱船に生じる最大曲げ応力 σ_{\max} を求めよ。

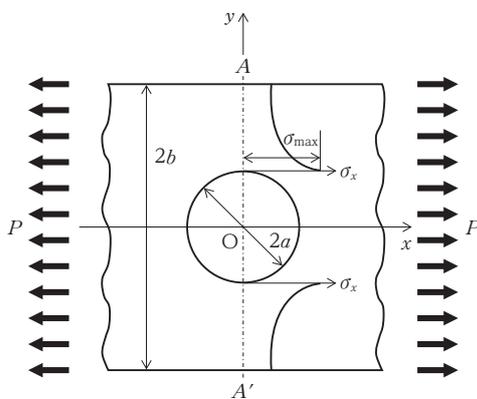
ただし、 σ_{\max} の単位は MPa とし、小数点以下は四捨五入して整数で表せ。また、導出過程も示すこと。



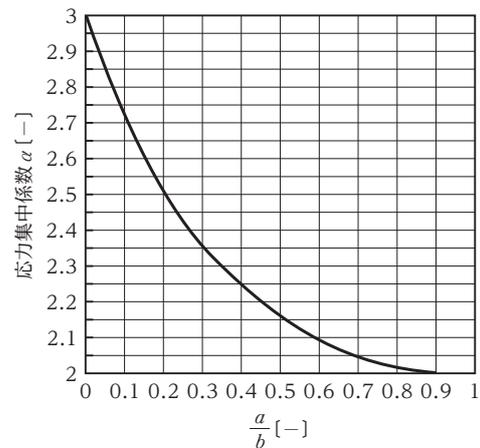
図Ⅲ

(2) 図Ⅳのように、直径 $2a$ の円孔を有する幅 $2b$ 、板厚 t の半無限板に大きさの一様な引張荷重 P が作用するとき、円孔の縁には応力集中が生じ、局所的に高い応力が発生する。円孔の中心を原点とした xy 座標における x 軸方向の応力を考える。円孔の縁に生じる最大応力 σ_{\max} を板の最小断面における公称応力 σ_n で除した応力集中係数 α は $\frac{a}{b}$ の値に従い、図Ⅴのように変化するものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $\sigma_n = \frac{P}{2(b-a)t}$ とする。

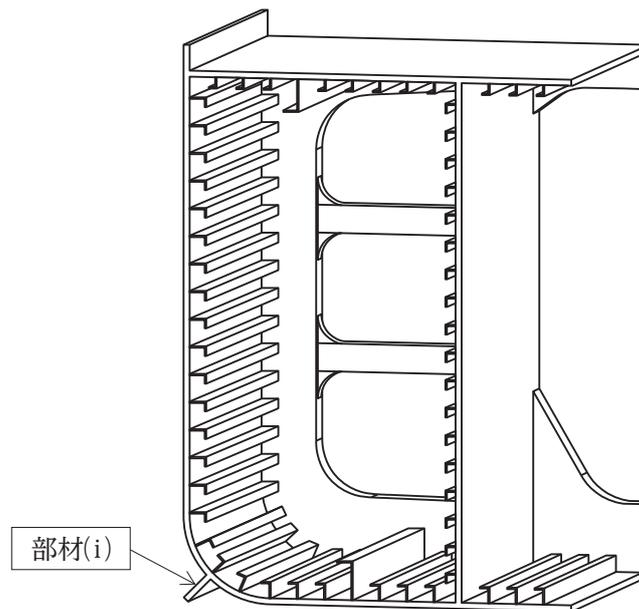


図Ⅳ



図Ⅴ

- (a) 直径 700 mm の円孔を有する全幅 1000 mm、板厚 12.0 mm の半無限板に 360 kN の一様な引張荷重が作用するとき、円孔の縁に生じる最大応力 σ_{\max} を求めよ。
ただし、 σ_{\max} の単位は MPa とし、導出過程も示すこと。
- (b) 直径 400 mm の円孔を有する全幅 1000 mm の鋼板について、外力により破壊することなく安全に使用できる板厚を考える。この鋼板は幅に対して長さが十分に大きく、半無限板とみなせるものとし、この鋼板を安全に使用できる σ_{\max} の許容値が 75.0 MPa であるとする。この鋼板に 440 kN の一様な引張荷重が作用する場合に、鋼板が安全に使用できる板厚の最低値 t_{\min} を求めよ。
ただし、 t_{\min} の単位は mm とし、導出過程も示すこと。
- (3) 図VIに示す船体中央部の構造の略図について、以下の問いに答えよ。
- (a) 図VIの構造様式は横式構造又は縦式構造のどちらであることを示せ。また、その理由を簡潔に説明せよ。
- (b) 図VIに示す部材(i)の名称を示せ。また、部材(i)が果たす主な役割を簡潔に説明せよ。



図VI

B 船体構造に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図 I の①～④がどのような船種の代表的な断面形状を表しているか、それぞれ油タンカー、ばら積み貨物船、コンテナ船、自動車運搬船の中から選んで示せ。

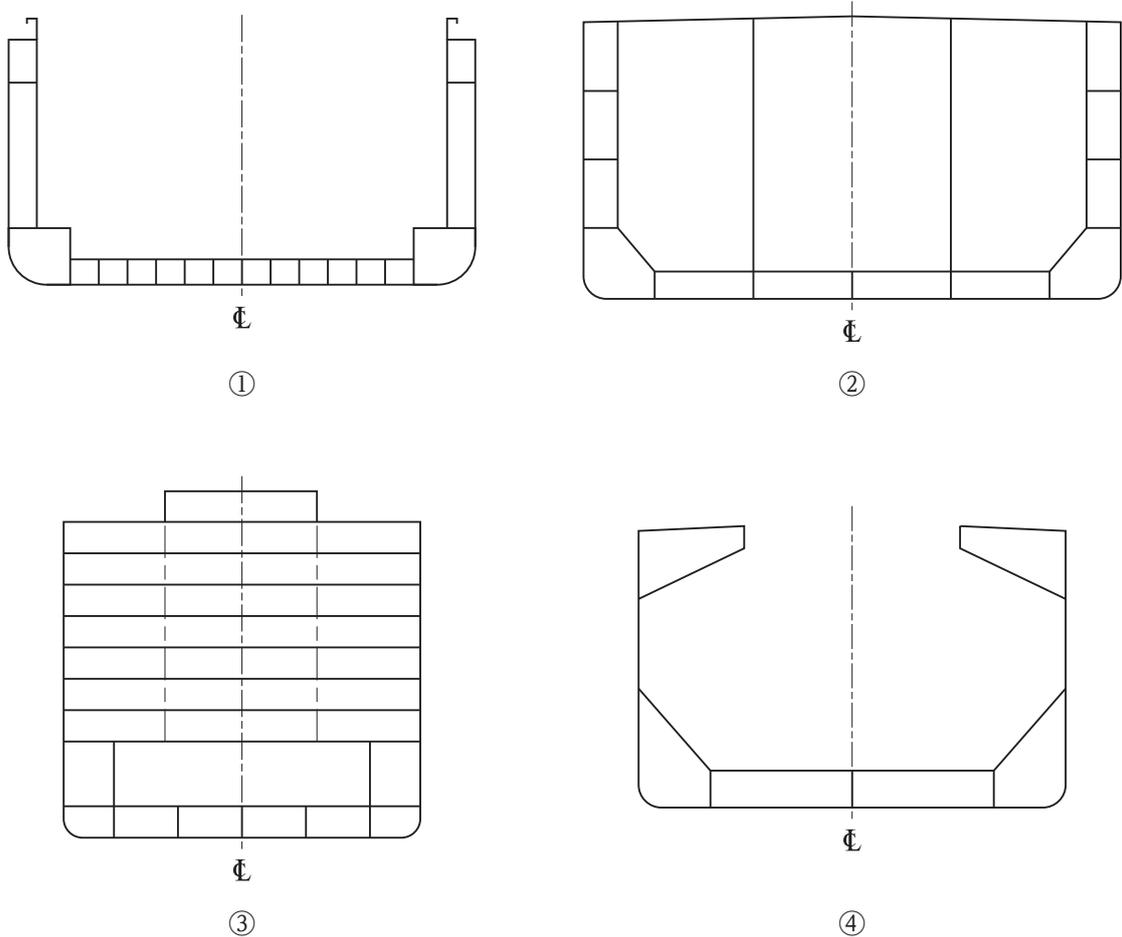


図 I

- (2) 図 I ①の船と図 I ②の船の断面形状の違いを踏まえ、以下の問いに答えよ。

- (a) 同程度のサイズの鋼船で比較した場合、上甲板の板厚は図 I ①の船と図 I ②の船のどちらがより厚くなるか。理由とともに説明せよ。
- (b) 縦強度の評価においてねじりを考慮しなければならないのは図 I ①の船と図 I ②の船のどちらか。また、その理由についても、ねじり剛性の大きさ、ねじりモーメントの大きさの両面から説明せよ。

- (3) 図 I ②の船種を例に、船体の垂直縦曲げに対する中央断面の断面 2 次モーメント、断面係数について考える。

図 II のように、中立軸と船底外板との距離を y_b [m]、中立軸と上甲板との距離を y_d [m] とし、構造部材の断面積を A [m²]、断面 2 次モーメントを I [m⁴]、上甲板における断面係数を $Z_{DK} \left(= \frac{I}{y_d} \right)$ [m³] とする。この断面に対して、中立軸から η [m] だけ上方の位置に集中的に断面積 A_0 [m²] の部材を加えたとき、上甲板における断面係数の増分 ΔZ_{DK} は、

$$\Delta Z_{DK} = \frac{A_0 \eta (A \eta + Z_{DK})}{y_d (A + A_0) - A_0 \eta} \quad \dots\dots ①$$

となることを踏まえ、以下の問いに答えよ。

ただし、 $\eta < 0$ の場合は中立軸より下方に部材を加えることを意味し、 $-y_b < \eta < y_d$ の範囲で考えることとする。

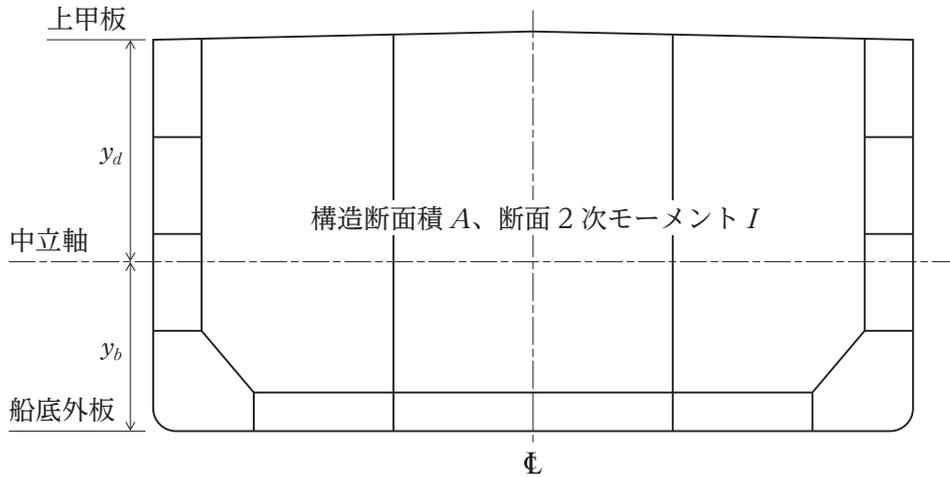


図 II

- (a) 式①を導出するため、以下の問いに答えよ。

- (i) 中立軸から η [m] だけ上方の位置に集中的に断面積 A_0 [m²] の部材を加えたときの中立軸の上向きの移動量 d [m] を求めよ。
- (ii) (i) のとき、断面 2 次モーメントの増加量 ΔI [m⁴] を、 A 、 η 、 A_0 を用いて示せ。
- (iii) 部材追加後の上甲板における断面係数を Z_0 とするとき、(i)、(ii) の結果を用いて、

$$Z_0 = \frac{I + \Delta I}{y_d - d} = \frac{I}{y_d} + \frac{\Delta I y_d + I d}{y_d (y_d - d)} = Z_{DK} + \frac{\Delta I y_d + I d}{y_d (y_d - d)}$$

と導かれることを踏まえ、式①が成り立つことを示せ。

(b) A が 10.0 m^2 、 y_d が 17.5 m 、 Z_{DK} が 75.0 m^3 の船の断面において、設計変更により Z_{DK} を 8% 増加させ Z_{DK} を 81.0 m^3 にする必要が生じた。上甲板を一様に増厚することによりこれを実現するために必要な板厚の増分 Δt [mm] を求めよ。

ただし、船の幅 B を 60.0 m とする。また、上甲板のキャンバーは無視し、上甲板全体が元の中立軸から $\eta = y_d = 17.5 \text{ m}$ の距離にあると考えるものとする。

(c) ある位置 η [m] に断面積 A_0 [m^2] (> 0) を追加すると、 ΔZ_{DK} [m^3] が負、すなわち、上甲板の断面係数が減少した。このようになる η の値の範囲を求めよ。

科目別構成の詳細

科 目	出 題 数	問 題 番 号	ペ ー ジ
科目 1. 建築設計	1 題	No. 1	1~6
科目 2. 都市設計	1 題	No. 2	7~12
科目 3. 計測工学	1 題	No. 3	13~16
科目 4. 制御工学	2 題	No. 4 A, B	17~21
科目 5. 電磁気学・電気回路	1 題	No. 5	22~24
科目 6. 電気機器	1 題	No. 6	25, 26
科目 7. 電力工学	1 題	No. 7	27, 28
科目 8. 電子工学	1 題	No. 8	29, 30
科目 9. 通信工学	1 題	No. 9	31, 32
科目10. 信頼性工学	1 題	No. 10	33~36
科目11. 材料力学[機械系]	1 題	No. 11	37~39
科目12. 機械力学	1 題	No. 12	40~42
科目13. 流体力学[機械系]	1 題	No. 13	43~47
科目14. 熱力学・熱機関[機械系]	1 題	No. 14	48~51
科目15. 航空工学	1 題	No. 15	52~54
科目16. 構造力学(土木)	1 題	No. 16	55~58
科目17. 土質力学	1 題	No. 17	59~61
科目18. 水理学	1 題	No. 18	62~64
科目19. 土木計画	3 題	No. 19 A, B, C	65~68
科目20. 環境工学(土木)・衛生工学	2 題	No. 20 A, B	69~73
科目21. 材料工学(材料科学)	2 題	No. 21 A, B	74~77
科目22. 材料工学(金属材料)	1 題	No. 22	78, 79
科目23. 材料工学(無機材料)	1 題	No. 23	80, 81
科目24. 原子力工学(原子核・放射線)	1 題	No. 24	82~84
科目25. 原子力工学(原子炉・核燃料サイクル)	2 題	No. 25 A, B	85~87
科目26. 船舶海洋工学(流体)	2 題	No. 26 A, B	88~93
科目27. 船舶海洋工学(構造)	2 題	No. 27 A, B	94~99

○ I か II のいずれか一つの方法により、解答してください。ただし、I、II間の変更は試験開始後 1 時間以内で 1 回に限り認められます。

I. 科目 3 以降を選択する場合

- ① 科目 3. 計測工学～科目 27. 船舶海洋工学(構造)のうちから任意の 2 科目を選び、各 1 題、合計 2 題を解答してください。ただし、同一科目で 2 題以上出題される科目(科目 4, 19, 20, 21, 25, 26, 27)にあっては、1 科目につき 1 題しか選択できません。また、選択に当たっては、次のような制約があります。

科目 11. 材料力学[機械系]と科目 16. 構造力学(土木)は同時に選択できません。

科目 13. 流体力学[機械系]と科目 18. 水理学は同時に選択できません。

科目 19. 土木計画と科目 20. 環境工学(土木)・衛生工学は同時に選択できません。

- ② 答案用紙の記入について

(ア) 答案用紙は 2 枚です。選択した問題 1 題につき答案用紙 1 枚(両面)を使用してください。

(イ) 答案用紙 1 頁目の左上にある問題番号欄には選択した問題番号を記入してください。

例えば【No. 4】の B を解答する答案用紙には、「4B」と記入してください。

II. 科目 1 又は 2 を選択する場合

- ① 科目 1. 建築設計又は科目 2. 都市設計のうちいずれか 1 科目(1 題)のみを選んで解答してください。

- ② 答案用紙の記入について

(ア) 答案用紙は 1 枚です。

(イ) 解答は、答案用紙の定められた枠内に、鉛筆又はシャープペンシルを用いて記入してください。赤及び青鉛筆は、指定された部分にのみ用いることができます。記入はフリーハンドでも構いません。

(ウ) 定規、赤及び青鉛筆は、各自携行のものを使用してください。なお、定規は以下のものが使用できます。

直定規 1 本、直角三角定規(45° - 45° - 90°) 1 枚

- ③ 製図の下書き用紙として、方眼紙が問題集の中央部にとじ込んであります。