

## 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 国の事務庁舎と町立図書館から成る合築施設 (1～8 ページ)

No. 2 小学校跡地の集合住宅整備計画 (9～14 ページ)

**【No. 1】 国の事務庁舎と町立図書館から成る合築施設**

本課題では、ある中核市からバスで約 1 時間の位置にある人口約 3 万人の A 町の敷地に、国の官署と町の図書館を集約した合築施設を計画する。

以下の I. 設計と条件の内容を踏まえ、II. 要求図書を答案用紙の所定の解答欄にまとめよ。

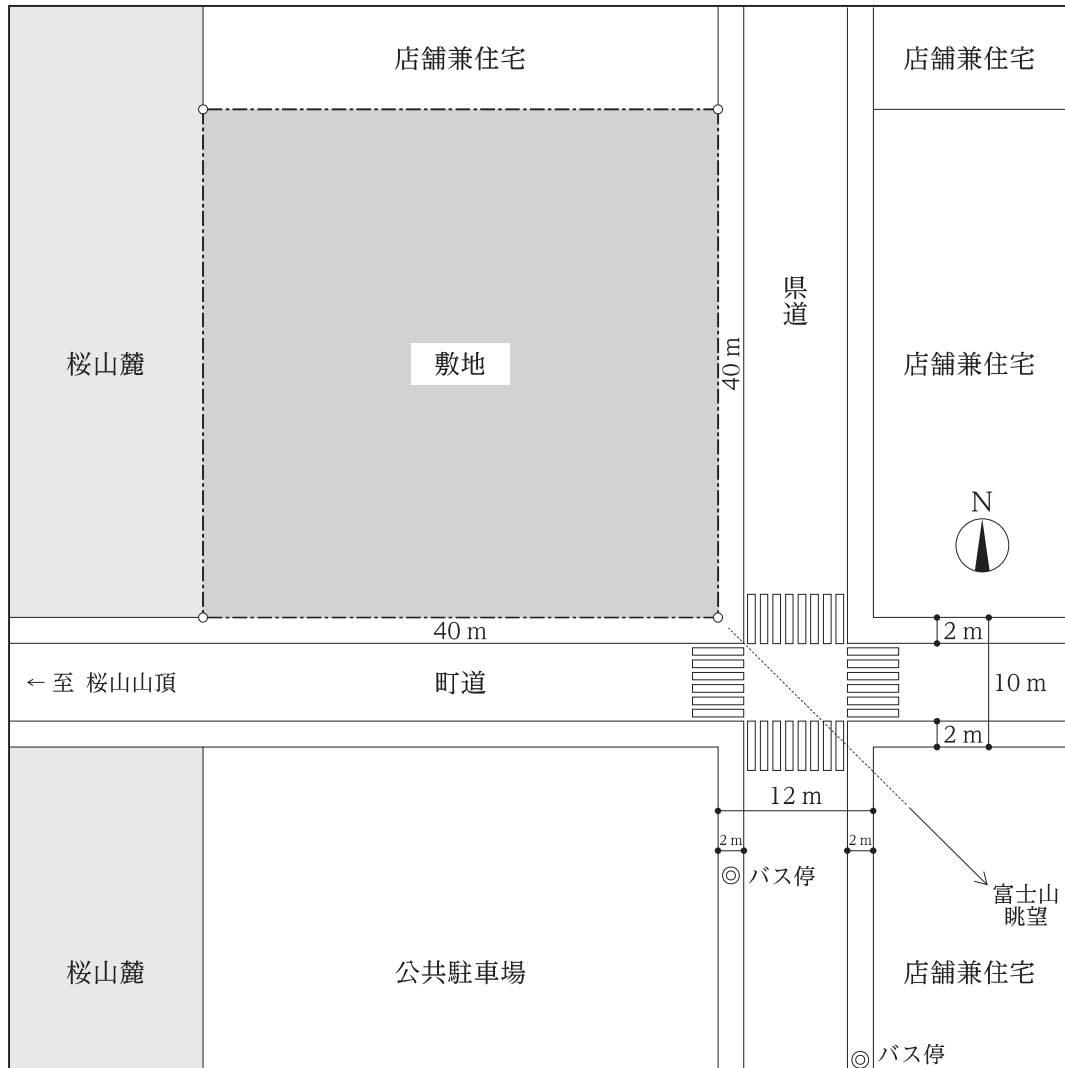
ただし、企画及び設計に際しては、I. 設計と条件のほか、施設利用者の利便性、施設の安全性、経済性、バリアフリー、メンテナンス性、環境負荷の低減等に十分配慮し、設計と条件に記載のない条件等については各自で想定して解答すること。

**〔I. 設計と条件〕**

**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、敷地周辺の県道沿いには、2 階建ての建物が並んでいる。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、歩道は、1 か所当たり 6 m までの切り開きができる。
- (3) 敷地は用途地域の指定のない白地地域であり、建蔽率の限度は 80 %、容積率の限度は 200 % である。高さの制限及び日影規制は考慮しなくてよい。
- (4) 車、バイク及び自転車で訪れる施設利用者は、道路を挟んで南側にある公共駐車場を使用する。ただし、車椅子利用者用駐車場 1 台及び思いやり駐車場 2 台<sup>\*1</sup>は敷地内に設けるものとする。なお、公共駐車場は、来所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 30 分の場所にある。最寄りのバス停は、県道沿いの徒歩 1 分の位置にある。主な来所方法は、自家用車又はバスと想定される。
- (6) 敷地の 2 階レベルから南東方向に富士山をよく眺めることができることから、富士山の修景にも配慮した室配置計画とする。
- (7) 敷地の西側の桜山は、町内外から多くの花見客が訪れる日本有数の桜の名所であり、春には山頂から麓にかけて約 2,000 本の桜が咲き競う。南側の町道は、A 町により、桜山への主要動線と位置付けられており、山頂への徒歩動線及び山頂付近の駐車場への車両動線となっている。これらを踏まえ、県道から桜山への玄関口として桜山への繋がりに配慮した外構計画とする。
- (8) 電気、ガス及び上下水道は完備している。
- (9) 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。
- (10) 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。
- (11) 水害のリスクはない。

※ 1 「思いやり駐車場」とは、障害のある方や妊産婦の方など、歩行が困難と認められる方や移動に際して配慮が必要な方として自治体に申請し利用証を交付された者が優先的に駐車できる駐車区画である。



敷地周辺図

## 2. 本施設の運営方針及び入居官署の業務内容

### (1) 国の事務庁舎部門

- ① 国が管理、運営する。職員数は50名程度とする。
- ② 開庁時間は8時30分から17時15分まで(ただし、12時から13時までを除く。)とし、それ以外の時間並びに土曜日、日曜日、祝日及び年末年始は閉庁する。
- ③ 本官署は、主に住民からの相談対応業務や給付金等の手続きに関する業務など、住民に密着した行政サービスを提供する。

### (2) 町の図書館部門

- ① A町が管理、運営する。職員数は5名程度とする。
- ② 開館時間は9時から19時までとし、それ以外の時間並びに月曜日、年末年始及び蔵書点検日は閉館する。
- ③ A町は、子育て世帯への積極的な支援に力を入れており、読み聞かせ室や共用会議室で、子供及び保護者向けのイベントを定期的に開催する予定としている。

### 3. 建築物の条件

- (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(一部を鉄骨造又は一部を木造としてもよい。)とする。
- (2) 要求室及びその条件は下表のとおりであり、全てを設計に含めること。ただし、(3)の提案室又はスペースについては任意とする。また、床面積は下表に示す面積の±20%以内とすること。
- (3) 施設利用者の健康維持の観点から、施設利用者の満足度(Well-being<sup>※2</sup>)の向上に配慮した提案室又はスペースを共用エリアに提案できる。提案は任意とし、提案がない場合も減点はしない。提案する場合は3. 建築物(3)又は4. 屋外施設(3)のいずれかのみでよい。提案があった場合には、提案の的確性(設計と条件との整合が取れているか)、具体性(提案内容が具体化されているか)を総合的に評価し、必要に応じて加点対象とする。
- (4) 延べ面積は、1,000 m<sup>2</sup>以上1,800 m<sup>2</sup>以下とする。ただし、提案室又はスペースを屋内の共用エリアに計画する場合は、その床面積も含めること。
- (5) 建物の主要出入口、国の事務庁舎部門と町の図書館部門の各入口の位置は、明確で分かりやすく使いやすい配置計画とする。
- (6) 開館日時は、国の事務庁舎部門と町の図書館部門で異なるため、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、どちらの部門も使用できるよう計画する。

※2 「Well-being」とは、個人の権利や自己実現が保障され、身体的、精神的、社会的に良好な状態にあることを意味する非常に幅広い概念である。

区分	室名等	床面積	特記事項
国の事務庁舎部門	事務室1 (一般窓口)	約150 m <sup>2</sup>	・窓口機能を有する。 ・ <u>書庫を隣接して設ける</u> 。
	事務室2 (子連れ窓口)	約50 m <sup>2</sup>	・子連れでも安心して来所できる窓口機能 <sup>※3</sup> を有する。 ・国の事務庁舎部門の他の室と離して設けてもよい。
	事務室3 (総務部門)	約50 m <sup>2</sup>	・総務部門であり、原則、入室は職員限りとする。 ・ <u>所長室に隣接して設ける</u> 。 ・廊下への直接の出入口がなくてもよい。
	書庫	約60 m <sup>2</sup>	・入室は職員限りとする。 ・ <u>事務室1に隣接して設ける</u> 。
	所長室	約30 m <sup>2</sup>	・ <u>事務室3に隣接して設ける</u> 。 ・廊下への直接の出入口がなくてもよい。
	男性用更衣室(国)	約15 m <sup>2</sup>	
	女性用更衣室(国)	約15 m <sup>2</sup>	
	職員休憩室	約20 m <sup>2</sup>	・職員の昼食(弁当)スペースとして使用する。
町の図書館部門	開架書庫(一般)	約200 m <sup>2</sup>	
	開架書庫(児童書)	約100 m <sup>2</sup>	・ <u>読み聞かせ室に隣接して設ける</u> 。
	読み聞かせ室	約30 m <sup>2</sup>	・ <u>開架書庫(児童書)に隣接して設ける</u> 。
	図書館事務室	約20 m <sup>2</sup>	・職員は基本的には開架書庫(一般)内にいる時間が長い が、昼食時は休憩室として利用する。
	男性用更衣室(町)	約10 m <sup>2</sup>	
	女性用更衣室(町)	約10 m <sup>2</sup>	
	閉架書庫	約50 m <sup>2</sup>	

	ブックポスト設置スペース	適宜	<ul style="list-style-type: none"> <li>・閉館時でも建物外部から図書を返却でき、開館後に屋内側から職員が回収できるポストを設ける。</li> <li>・ポスト位置は<u>共用エリア内でも構わない</u>。</li> <li>・屋内側は<u>職員のみが出入り可能な場所</u>であれば、室である必要はなく、スペースが確保されていればよい。</li> </ul>
共用エリア	提案室又はスペース(任意)	適宜	・施設利用者の <u>健康維持の観点</u> から、施設利用者の満足度(Well-being)の向上に配慮した空間とする。
	エントランスホール	適宜	・ <u>風除室</u> を設ける。
	共用会議室	約 50 m <sup>2</sup>	・平日は主に国の事務庁舎部門が使用し、休日はイベント等で町の図書館部門が使用する。
	授乳室	約 30 m <sup>2</sup>	
	守衛室	約 15 m <sup>2</sup>	・職員の入退館の管理等を行う。来所者への案内は、総合案内板やインターホン等で行うものとする。
	設備機械室	約 60 m <sup>2</sup>	
	トイレ	適宜	・各階に <u>男女別トイレ及び車椅子使用者用トイレ</u> を設けるほか、 <u>1階には子供用トイレ</u> を設ける。
	ごみ庫	適宜	・ごみの一時保管場所として <u>1階に設ける</u> 。
	階段	適宜	・ <u>二つ以上</u> の直通階段を設置する。
	エレベーター	適宜	・ <u>1基以上</u> 設ける。
<ul style="list-style-type: none"> <li>・その他必要と思われる室、<sup>じゅう</sup>什器等があれば、適宜計画してもよい。</li> <li>・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>。</li> </ul>			

※ 3 子連れでも安心して来所できる窓口機能として、チャイルドシートの置ける広めの相談スペースやキッズスペースのある待合エリアを設ける想定だが、これらは記入しなくてよい。

#### 4. 屋外施設の条件

- (1) 各種駐車場の位置については、明確で分かりやすく使いやすい配置計画とする。
- (2) 屋外施設及びその条件は下表のとおりであり、全てを設計に含めること。ただし、(3)の提案空間については任意とする。
- (3) 施設利用者の健康維持の観点から、施設利用者の満足度(Well-being)の向上に配慮した提案空間を屋外に提案できる。提案は任意とし、提案がない場合も減点はしない。提案する場合は 3. 建築物(3)又は 4. 屋外施設(3)のいずれかのみでよい。提案があった場合には、提案の的確性(設計と条件との整合が取れているか)、具体性(提案内容が具体化されているか)を総合的に評価し、必要に応じて加点対象とする。

屋外施設名	特記事項
提案空間(任意)	・施設利用者の <u>健康維持の観点</u> から、施設利用者の満足度(Well-being)の向上に配慮した空間とする。
駐車場	<ul style="list-style-type: none"> <li>・敷地内に<u>車椅子使用者用駐車場を1台分(1台当たり3.5m×5.0m以上)以上、思いやり駐車場を2台分(1台当たり3.0m×5.0m以上)以上</u>、設ける。</li> <li>・その他の駐車場は隣地の町所有の公共駐車場を利用するものとする。</li> </ul>
サービス用駐車スペース	<ul style="list-style-type: none"> <li>・近隣の図書館と連携して集荷を行っており、毎週決まった曜日に搬出入を行うため、一時的に出入口前に停車できるスペース(3.0m×5.0m以上)を設ける。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul>	

## 〔Ⅱ. 要求図書〕

以下 1., 2. の要求図書を作成せよ。

ただし、1. は、発注者の立場で設計業務を発注するための企画書の一部を、2. は、本整備事業の設計業務受注者に選定された設計者の立場で設計案を作成すること。

### 1. 企画書

企画書は、施設に関するニーズに対応するため、発注者が事業目標を設定し、達成に必要な内容を記載するものである。発注者の立場から、企画書の一部である事業目標及び重点整備項目を作成せよ。

#### (1) 事業目標

施設のニーズを充足するための事業の目標を 3 点設定する。

2 点は以下の①, ②とし、3 点目(③)については自由に設定の上、簡潔に記述せよ。

ただし、③は I. 3. (3)又は I. 4. (3)の提案に関する内容としてもよい。

- ① 施設利用者の誰もが分かりやすく使いやすい施設整備とする。
- ② 周辺環境に配慮した配置計画、外構計画とする。
- ③

#### (2) 重点整備項目

(1)で設定した各事業目標を達成するための重点整備項目(事業目標を実現するために、重点的に整備し、設計・施工を通じて重点的に審査・確認すべき項目であり、(1)を具体化したもの)を事業目標一つにつき 1 点ずつ設定する。(1)①, ②に対応する重点整備項目は、以下の①, ②とし、(1)③に対応する重点整備項目は、答案用紙に 1 行以内で記述せよ。

- ① 建物の主要出入口、各種駐車場の位置、国の事務庁舎部門と町の図書館部門の各入口が明確で誰もが分かりやすく使いやすい配置計画とする。
- ② 富士山の修景に配慮した室配置計画とするとともに、県道から桜山への玄関口として桜山への繋がりに配慮した外構計画とする。
- ③

### 2. 設計案

発注者から設計業務を受注した設計者の立場で、上記 1. で企画された内容を実現するような設計案として、設計主旨、図面及び面積表をそれぞれ作成せよ。

#### (1) 設計主旨

1. (2)重点整備項目①, ②, ③に対して、設計案で対応した内容をそれぞれ具体的に記述せよ。

#### (2) 提案内容(記載は任意とし、空欄でも減点はしない。)

I. 3. (3)又は I. 4. (3)について、提案する場合は、提案内容を具体的に記述せよ。

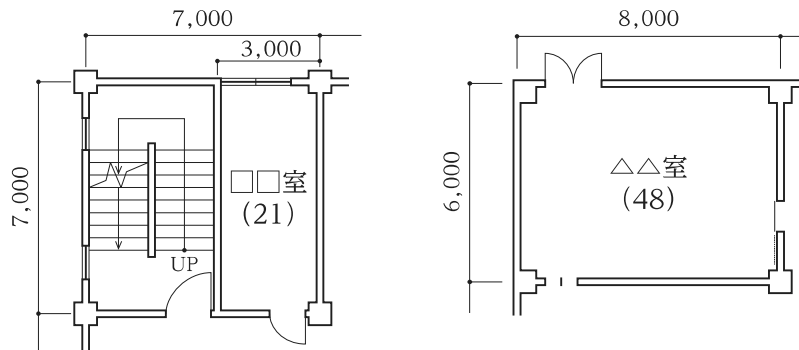
#### (3) 補足用スペース(記載は任意とし、空欄でも減点はしない。)

(1)設計主旨又は(2)提案内容の記載欄が足りない場合や概念図やスケッチを補足する場合は、答案用紙の方眼部分に書き込むことができる。記入に当たっては、赤及び青鉛筆を用いてもよい。

#### (4) 図面及び面積表

図面及び面積表は、次表に従い、それぞれ作成せよ(フリーハンドでもよい)。

要求図面等	特記事項				
(1) 1階平面図兼配置図 (2) 2階平面図 (縮尺は共に1:200)	<ul style="list-style-type: none"> <li>各平面図には、次の①～④を図示又は記入する。記入に当たっては、以下の図の記入例を参考に記入すること。</li> <li>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。)</li> <li>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とする。)</li> <li>③要求室の名称</li> <li>④要求室の床面積(床面積が適宜とされている室を除く。)</li> <li>1階平面図兼配置図には、<u>車路</u>、<u>植栽</u>を記入する。</li> <li>2階平面図には、<u>1階見えがかり部分</u>(屋上、庇等)を記入する。</li> </ul>				
(3) 面積表	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。なお、床面積の算定においては、下表を参考としてよい。</li> </ul> <table border="1" data-bbox="614 721 1394 1050"> <thead> <tr> <th data-bbox="614 721 1002 772">床面積に算入するものの例</th> <th data-bbox="1002 721 1394 772">床面積に算入しないものの例</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="614 772 1002 1050"> <ul style="list-style-type: none"> <li>ピロティを屋内的用途(駐車場、設備スペース等)に供するもの</li> <li>屋内階段</li> <li>エレベーターシャフト</li> </ul> </td> <td data-bbox="1002 772 1394 1050"> <ul style="list-style-type: none"> <li>ピロティ(左記を除く。)</li> <li>塔屋</li> <li>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。)</li> <li>屋外階段</li> <li>屋上設備スペース</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	床面積に算入するものの例	床面積に算入しないものの例	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピロティを屋内的用途(駐車場、設備スペース等)に供するもの</li> <li>屋内階段</li> <li>エレベーターシャフト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピロティ(左記を除く。)</li> <li>塔屋</li> <li>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。)</li> <li>屋外階段</li> <li>屋上設備スペース</li> </ul>
床面積に算入するものの例	床面積に算入しないものの例				
<ul style="list-style-type: none"> <li>ピロティを屋内的用途(駐車場、設備スペース等)に供するもの</li> <li>屋内階段</li> <li>エレベーターシャフト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピロティ(左記を除く。)</li> <li>塔屋</li> <li>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。)</li> <li>屋外階段</li> <li>屋上設備スペース</li> </ul>				



室名及び床面積等の記入例  
 (室名の下に括弧内は、床面積を示す。)

(答案用紙見本)

[C1]  
[C2]-2025 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		

※

※目の欄は記入しないでください

国の事務庁舎と町立図書館から成る合築施設

1. 企画書

(1) 事業目標

- ①施設利用者の誰もが分かりやすく使いやすい施設整備とする。
- ②周辺環境に配慮した配置計画、外構計画とする。
- ③

(2) 重点整備項目

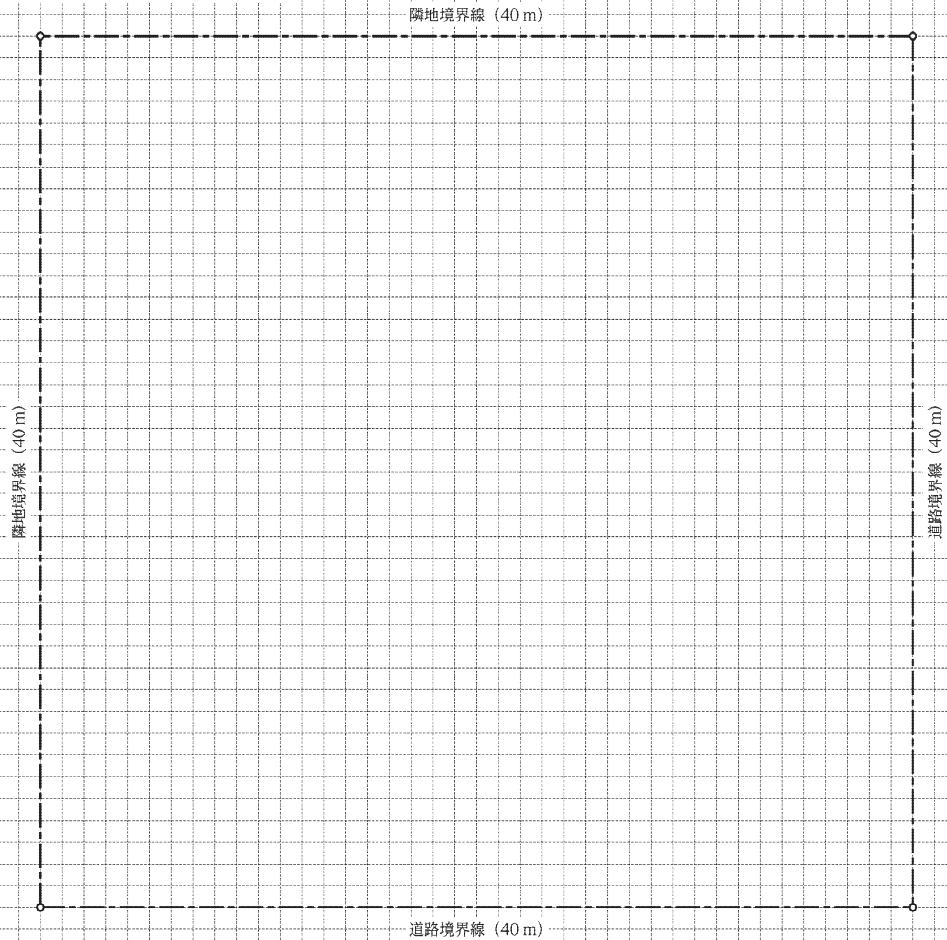
- ①建物の主要出入口、各種駐車場の位置、国の事務庁舎部門と町の図書館部門の各入口が明確で誰もが分かりやすく使いやすい配置計画とする。
- ②富士山の修景に配慮した室配置計画とするとともに、県道から桜山への玄関口として桜山への繋がりに配慮した外構計画とする。
- ③

2. 設計案 (1) 設計主旨

- ①
- ②
- ③

(2) 提案内容 (記載は任意とし、空欄でも減点しません。)

2. 設計案 (4) 図面及び面積表 (方眼は5.0mm目です。)



1階平面図兼配置図 縮尺1:200

2. 設計案 (3) 補足用スペース (方眼は5.0mm目です。記載は任意とし、空欄でも減点しません。)



2階平面図 縮尺1:200

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

【No. 2】 小学校跡地の集合住宅整備計画

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、都市構造の変化による公共施設の統廃合などが各地で取り組まれている。市町村合併による重複施設の統廃合などの事例も多く、合併前の市町村境付近の近隣施設での統廃合も頻繁に検討されている。

本課題は、市町村合併した地方都市において、統廃合によって廃校となった小学校跡地に集合住宅の整備を計画するものである。周辺環境と調和したゆとりある住宅地を提供し、旧小学校跡地という地域の拠り所であったところに地域の交流拠点施設を併設して整備することで、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1)

- (1) 計画対象地区のある市は、中核市で、人口は現在約45万人である。
- (2) 計画対象地区は、市の中心部から南西に7km離れ、最寄りの駅から1.2kmほどの距離にあり、市の中心部に接続する県道は200m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は、住宅が密集しており、計画対象地区の南に3kmほど下ると、臨海部で工業地域となっている。対象地域周辺は、土地区画整理事業が実施されており、道路基盤整備は実施済みである。
- (3) 計画対象地区の東側1.5km離れたところに、鉄道が通っている。計画対象地区の西側には、街路に沿って河川が流れており、また、北側には、近隣公園が立地している。計画対象地区の北側及び西側には、国道へと接続する県道が通っており、この県道のロードサイドには店舗が点在している。

2. 計画対象地区の現況(図2)

- (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19,500m<sup>2</sup>、用途地域は第二種住居地域であり、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、旧小学校施設が現存している。
- (4) 計画対象地区の西側には、地盤面より深さ1mほどに掘り込まれ、護岸壁で囲まれた河川が流れており、その川沿いは幅員6mの片側一車線の道路となっている。なお、水害のリスクは低い地域である。
- (5) 旧小学校施設に地下室はない。
- (6) 敷地は、平坦な地形となっており、周囲との高低差はない。



図1 計画対象地区周辺現況図

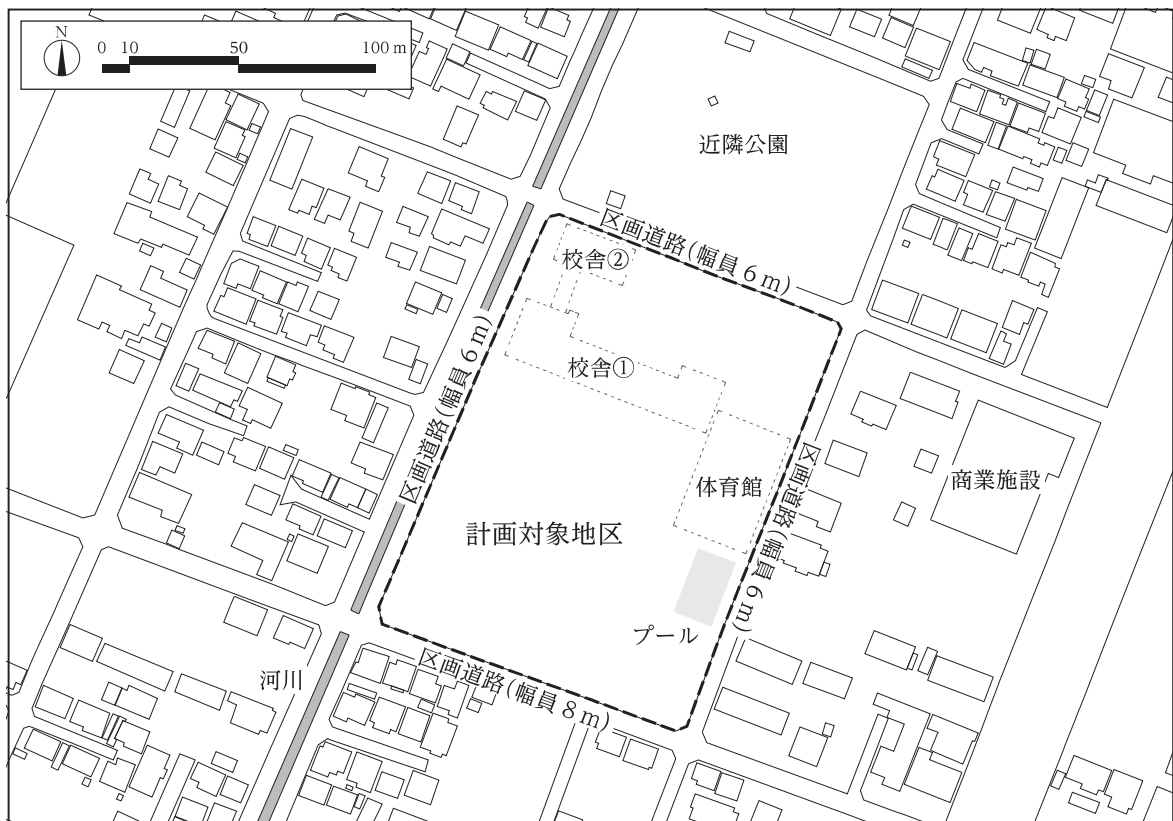


図2 計画対象地区平面図

### 3. 各施設の計画条件

計画対象地区内に、以下の(1)~(4)に示す条件を満たすよう、各施設を計画すること。

#### (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、各住戸の面積は80~90m<sup>2</sup>、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、住戸数の50%に当たる台数分の居住者用の駐車場を、また、住戸数の200%に当たる台数分の駐輪場を設ける。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250m<sup>2</sup>程度の集会所を1か所設ける。

#### (2) 居住者のためのオープンスペース

計画対象地区内の居住者のアメニティ向上のためのオープンスペース(共有庭・緑地や緑道など)を計画する。面積基準を満たしていれば、これらは分割して設置することができる。合計面積が1,500m<sup>2</sup>程度となるように計画する。

オープンスペースは、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の敷地を設定した上で1か所以上設ける。また、オープンスペースとして、周辺環境と調和した緑道を設けることもできる。

#### (3) 交流拠点施設

床面積の合計が5,000m<sup>2</sup>程度で、3階建てを上限とした交流拠点施設を設ける。利用者は居住者だけでなく、周辺住民も訪れる公共施設として、公民館や図書館、文化施設、飲食施設、地域物産マーケット、コワーキングスペースなど、施設の用途を設定すること。運営主体は、公設公営、公設民営、民設民営などそれぞれ設定することができる。現存する旧小学校をコンバージョンして、交流拠点施設として活用することが望まれるが、旧小学校施設は一部保存、全部保存、全部建替えなど適宜計画することができる。ただし、プールについては取壊しが決定している。また、旧小学校施設の構造体について、壁は、外壁を含め必要に応じて撤去することができるものとする。屋外も施設の用途で利用する場合は、施設の敷地内に適宜オープンスペースを配置すること。利用者のために、駐車場を20台以上、駐輪場を40台以上設ける。設置に当たっては、対象計画地区内において、集合住宅とは分離して計画する。

旧小学校施設の各建物の規模は、以下のとおりであり、校舎の各階の床面積は適宜設定することができる。

建物	階数	延べ面積
校舎①	3階建て	4,740m <sup>2</sup>
校舎②	2階建て	380m <sup>2</sup>
体育館	1階建て	1,260m <sup>2</sup>

#### (4) 地区内通路

計画対象地区内に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。答案用紙図中にある旧小学校施設の概形線は、計画に応じて適宜使用することとし、必要ない場合は無視して作図すること。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(マスタープラン)

### (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として、以下の①～⑧の全ての項目について内容を設定し、項目ごとに分かりやすく説明せよ。

- 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 交流拠点施設のプログラム企画
- ④ 集合住宅、交流拠点施設の配置計画
- ⑤ 歩行者と車両の動線計画及び周辺との接続
- ⑥ 造園計画
- ⑦ 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
- ⑧ 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、周辺との関係性も含めた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

整備計画の基本方針(マスタープラン)を踏まえ、I. 3. (1)～(4)に示した各施設の具体的な整備計画を施設ごとに説明せよ。

### (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、交流拠点施設は、名称、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、主要寸法を表現する。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、名称、配置、形態、主要な出入口の位置、植栽、通路、広場、敷地境界、主要寸法を表現する。
- ・計画対象地区内の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。
- ・地区内通路は、配置、形態を表現し、名称、幅員を記入する。

### (3) 面積表

I. 3. (1)～(3)に示した各施設的面積等を記入した面積表を作成せよ。面積表は、表形式にするなど、分かりやすくまとめること。

- ・集合住宅(複数の住棟に分ける場合は各住棟)、集会所、交流拠点施設は、名称、建築面積、延べ面積、建築物の高さ、階数、住戸数(集合住宅のみ)を記入する(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)。
- ・オープンスペースは、名称、面積を記入する。

(答案用紙見本)

C1  
C2-2025 科目 2. 都市設計 [No. 2] 答案用紙

第1次試験地	試験の区分 工学	受験番号	氏名
--------	-------------	------	----

※

※印の欄は記入しないでください

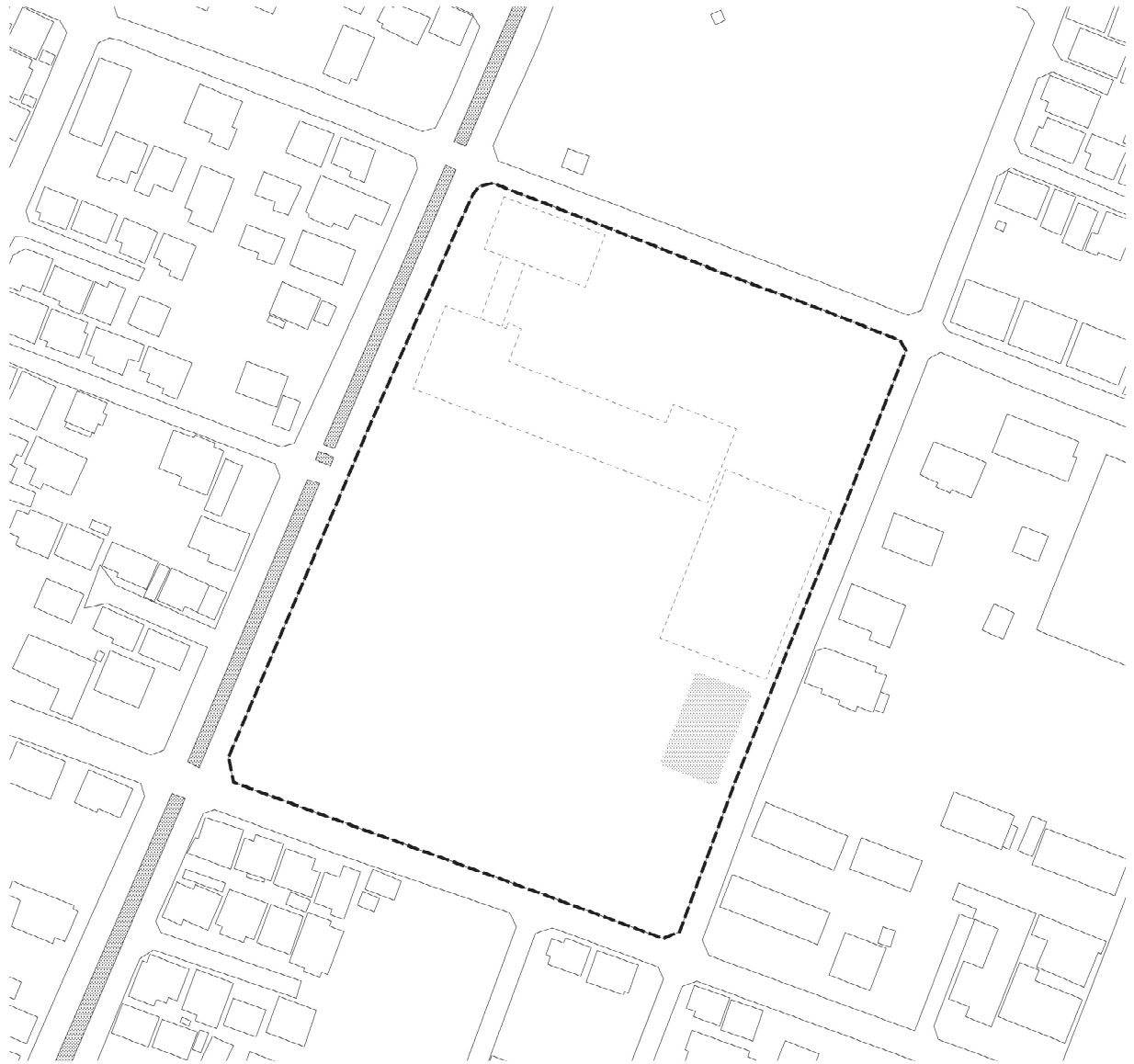
小学校跡地の集合住宅整備計画

<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(Ⅱ. 1. (1)①~⑥について項目ごとに記載すること。)</p>	<p>2. 整備計画</p> <p>(1) 整備計画の具体的な考え方(Ⅰ. 3. (1)~(4)について施設ごとに記載すること。)</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) ※旧小学校施設の細い破線は適宜使用できるが、無視して計画することもできる。



2. 整備計画 (2) 整備計画図(縮尺1:1,000) ※旧小学校施設の細い破線は適宜使用できるが、無視して計画することもできる。



2. 整備計画 (3) 面積表

面積表

科目 3. 計測工学 [No. 3]

【No. 3】 以下の設問に答えよ。

(1) ある液体の体積をその質量と密度から求めるために、質量については測定を行い、密度については文献情報を利用した。以下の問いに答えよ。

(a) この液体の質量を測定したところ、次の表に示す測定結果を得た。

この測定結果から質量  $m_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の平均  $\bar{m}$  を求めよ。

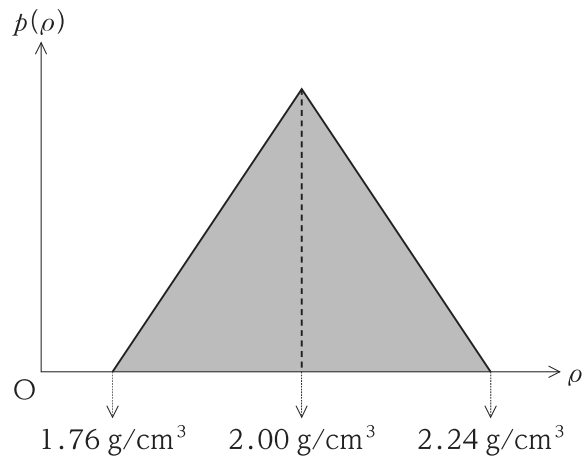
	$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
質量	$m_i/\text{g}$	2.2	2.4	1.7	1.8	2.2	1.9	2.3	2.0	1.5

(b) 質量の測定結果  $m_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の実験分散を求めよ。

(c) 質量の測定結果  $m_i (i = 1, 2, \dots, 9)$  の実験標準偏差を求めよ。

(d) 質量の平均  $\bar{m}$  の実験標準偏差を求めよ。

(e) この液体の密度  $\rho$  の値については  $2.00 \text{ g/cm}^3$  であるという文献情報が得られたが、その不確かさについてはおよそ  $\pm 0.24 \text{ g/cm}^3$  であるという情報しか得られなかった。そこで、密度  $\rho$  の確率密度関数  $p(\rho)$  を図に示すような三角形の先験的分布と仮定して、密度  $\rho$  の標準偏差  $\sigma(\rho)$  を求めることにした。



一般に確率変数  $x$  の標準偏差を  $\sigma(x)$ 、平均(期待値)を  $\mu_x$ 、確率密度関数を  $p(x)$  とするとその分散は、次の式で与えられる。

$$\sigma^2(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^2 p(x) dx$$

この関係式を用いて密度  $\rho$  の標準偏差  $\sigma(\rho)$  を求めよ。

(f) この液体の質量の平均  $\bar{m}$  と密度  $\rho$  についての評価結果から得られる体積  $v$  とその合成標準不確かさ  $u_c(v)$  を求めよ。

(2) 異なる国や地域における測定能力の同等性を評価するために、ある量  $x$  の測定についての国際比較を行った。この国際比較では、値が極めて安定している持ち回り標準器を各参加機関  $i (i = 1, 2, 3)$  に移送し、各参加機関は、この持ち回り標準器の測定を実施した。なお、各参加機関の測定方法は、互いに独立しており相関はなかった。各参加機関で得られた測定値  $x_i$  とその標準不確かさ  $u(x_i)$  を次の表に示した。

$i$	1	2	3
$x_i$	5.00	7.50	4.00
$u(x_i)$	0.40	1.20	0.80

同等性を評価するために、この国際比較における参照値  $x_{\text{ref}}$  を重み付け平均から求めるものとする。このとき、参照値  $x_{\text{ref}}$  は

$$x_{\text{ref}} = \sum_{i=1}^3 w_i x_i$$

として求められる。ここで、 $w_i$  は各測定値  $x_i$  に対する重みを表し、

$$w_i = \frac{u^2(x_{\text{ref}})}{u^2(x_i)}$$

で与えられる。上式において、 $u(x_{\text{ref}})$  は参照値  $x_{\text{ref}}$  の標準不確かさを表し、その値は以下の関係式から求められる。

$$\frac{1}{u^2(x_{\text{ref}})} = \sum_{i=1}^3 \frac{1}{u^2(x_i)}$$

したがって、

$$\sum_{i=1}^3 w_i = 1$$

である。以下の問いに答えよ。

- 参照値  $x_{\text{ref}}$  の標準不確かさ  $u(x_{\text{ref}})$  を求めよ。
- 各参加機関で得られた測定値  $x_i$  に対する重み  $w_1, w_2, w_3$  を求めよ。
- 参照値  $x_{\text{ref}}$  を求めよ。
- 測定結果の同等性を評価するために、各参加機関で得られた測定値  $x_i$  と参照値  $x_{\text{ref}}$  との差の絶対値  $|x_i - x_{\text{ref}}|$  を求め、これを  $x_i - x_{\text{ref}}$  の拡張不確かさ  $2u(x_i - x_{\text{ref}})$  と比較して、

$$\frac{|x_i - x_{\text{ref}}|}{2u(x_i - x_{\text{ref}})} \leq 1$$

の場合、参加機関  $i$  の測定結果は合格、

$$\frac{|x_i - x_{\text{ref}}|}{2u(x_i - x_{\text{ref}})} > 1$$

の場合、参加機関  $i$  の測定結果は不合格、と判定するものとする。

- (i) この判定を行うためには、測定値  $x_i$  と参照値  $x_{\text{ref}}$  との差の標準不確かさ  $u(x_i - x_{\text{ref}})$  を求める必要があるが、 $x_{\text{ref}}$  は  $x_i$  に依存しているので  $x_i$  と  $x_{\text{ref}}$  との間には相関がある。このため、これらの差の標準不確かさを単純に  $u(x_i - x_{\text{ref}}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{\text{ref}})}$  として求めることはできない。そこで、測定値  $x_i$  と参照値  $x_{\text{ref}}$  との差  $x_i - x_{\text{ref}}$  を

$$x_i - x_{\text{ref}} = (1 - w_i)x_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^3 w_j x_j$$

と変形すると、右辺第一項と右辺第二項との間には相関がないので、 $x_i - x_{\text{ref}}$  の標準不確かさの二乗を

$$u^2(x_i - x_{\text{ref}}) = (1 - w_i)^2 u^2(x_i) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^3 w_j^2 u^2(x_j)$$

として求めることができる。この考え方を使って、測定値  $x_i$  と参照値  $x_{\text{ref}}$  との差の標準不確かさが

$$u(x_i - x_{\text{ref}}) = \sqrt{u^2(x_i) - u^2(x_{\text{ref}})}$$

となることを証明せよ。

- (ii) 各参加機関の測定結果についての合否を判定せよ。

科目 4. 制御工学[No. 4A, 4B]

【No. 4】 次のA, Bいずれか一つのみ<sup>に</sup>答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 参照信号  $r$  と外乱  $d$  が印加される図 I のようなフィードバック制御系を考える。

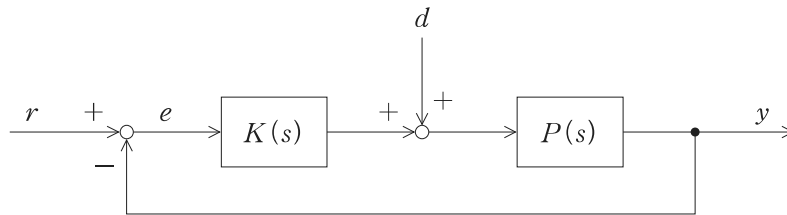


図 I

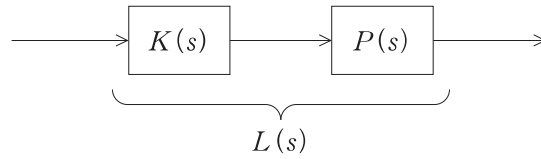
ただし、制御対象  $P(s)$  と制御器  $K(s)$  は次の式で表されるとする。

$$P(s) = \frac{1}{s^2 + 3s + 4}, \quad K(s) = K_P + \frac{K_I}{s}$$

以下の問いに答えよ。

- (a) 参照信号  $r$  から偏差  $e$  までの伝達関数  $E_r(s)$  と外乱  $d$  から偏差  $e$  までの伝達関数  $E_d(s)$  をそれぞれ求めよ。
- (b) 伝達関数  $E_r(s)$  と  $E_d(s)$  が安定であるための  $K_P$  と  $K_I$  の条件を求めよ。
- (c) 伝達関数  $E_r(s)$  と  $E_d(s)$  が安定となるような  $K_P$  と  $K_I$  を実装した場合を考える。
  - (i) 参照信号  $r$  と外乱  $d$  に単位ステップ信号を同時に印加したときの  $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$  を求めよ。
  - (ii) 参照信号  $r$  と外乱  $d$  に単位ランプ信号  $t$  を同時に印加したときの  $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t)$  を求めよ。
  - (iii) 参照信号  $r$  に単位ランプ信号  $t$ 、外乱  $d$  に未知係数  $\beta$  をもつランプ信号  $\beta t$  を同時に印加したとき、 $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 2$  となり、参照信号  $r$  に単位ステップ信号、外乱  $d$  に未知係数  $\beta$  をもつランプ信号  $\beta t$  を同時に印加したとき、 $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = -2$  となった。このときの未知係数  $\beta$  を求めよ。

(2) 図Ⅱのような制御対象  $P(s)$  と制御器  $K(s)$  の直列結合を考える。



図Ⅱ

ただし、制御対象  $P(s)$  と制御器  $K(s)$  は次の式で表されるとする。

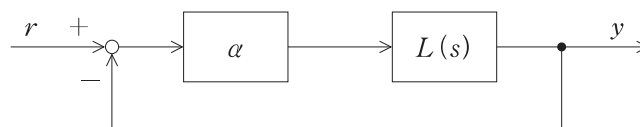
$$P(s) = \frac{1-s}{s^2+2s+1}, \quad K(s) = \frac{1}{s}$$

また、

$$L(s) := P(s)K(s)$$

とする。以下の問いに答えよ。

- $L(s)$  のボード線図におけるゲイン線図を折れ線近似で描け。ただし、折れ線における折れ点部の角周波数 [rad/s] とゲイン [dB] も求めること。
- $L(s)$  の位相を角周波数  $\omega$  の関数として  $\theta(\omega)$  と表記する。 $\theta(\omega)$  を求めよ。
- $L(s)$  のボード線図における位相線図の概形を描け。ただし、位相の上限と下限も求めること。
- $L(s)$  のベクトル軌跡の概形を描け。ただし、角周波数の増大に伴う軌跡の進行方向を矢印で記載し、漸近線が存在する場合は明記すること。
- (d) のベクトル軌跡が最初に実軸と交差するときの座標を求めよ。
- 次に、 $L(s)$  を用いて、図Ⅲに示すフィードバック制御系を構成する。ただし、 $\alpha$  は正の実数とする。



図Ⅲ

- (d) と (e) の結果とナイキストの安定判別法を用いて、 $\alpha = 1$  のときのフィードバック制御系の安定性を判定せよ。
- フィードバック制御系の一巡伝達関数のゲイン余裕が 2 となるような  $\alpha$  とそのときの角周波数を求めよ。

ここで、ゲイン余裕とは、位相が  $-\pi$  [rad] のとき、すなわちベクトル軌跡が負の実軸と交差する点のうち原点から最も離れた点と原点との距離の逆数のことである。

(iii) フィードバック制御系の一巡伝達関数の位相余裕  $\varphi$  を  $\alpha$  の関数として表せ。

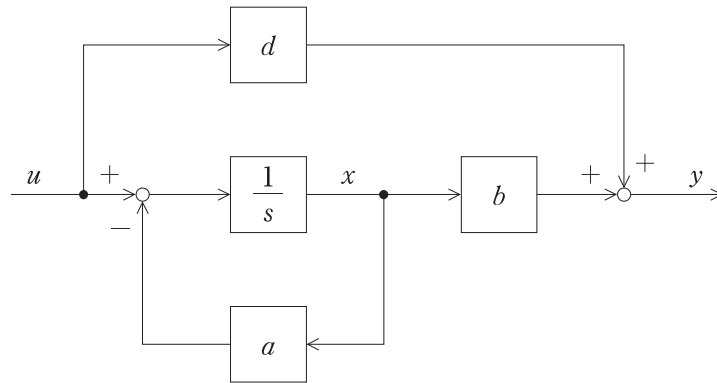
ここで、位相余裕とは、ベクトル軌跡上の点に対する複素ベクトル  $L(j\omega)$  の大きさが 1 になるとき、そのベクトルを負の実軸からみたときの(反時計回りを正とした)角度のことである。

(iv)  $\alpha$  を増減すると、フィードバック制御系の安定性にどのように影響するか。安定であるための  $\alpha$  の条件の観点、及びゲイン余裕と位相余裕の観点から説明せよ。

B 状態空間表現と伝達関数に関する以下の設問に答えよ。

伝達関数  $H(s) = \frac{b}{s+a} + d$  を考える。

入力を  $u$ 、出力を  $y$ 、積分器を  $\frac{1}{s}$  とすると、 $u$  から  $y$  までの伝達関数が  $H(s)$  となるようなブロック線図による一つの表現は以下となる。



また、積分器の出力を状態変数  $x$  とすると、このシステムの状態空間表現は次のようになる。

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = -ax(t) + u \\ y(t) = bx(t) + du \end{cases}$$

このように、伝達関数から状態空間表現を求めることをシステムの実現という。

(1) 図 I に示すブロック線図で表されるシステムについて以下の問いに答えよ。

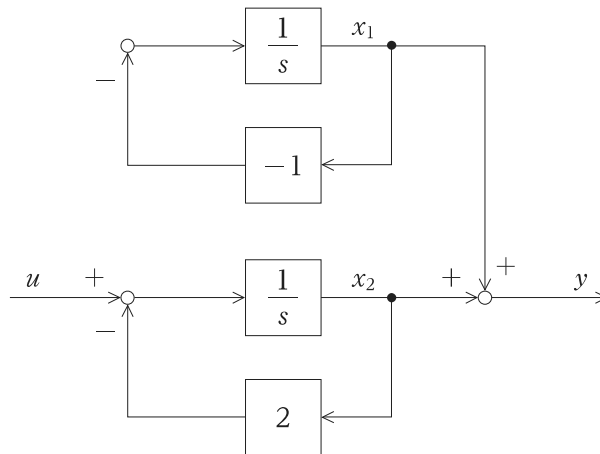


図 I

(a) 状態変数ベクトルを  $x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix}$  として状態空間表現を求めよ。

(b) 入力  $u$  から出力  $y$  までの伝達関数  $G_1(s)$  を求めよ。ただし、伝達関数は既約表現とせよ。

(c) 伝達関数  $G_1(s)$  の安定性とシステムの内部安定性をそれぞれ判定せよ。

(d) 入力  $u$  を恒等的に 0 (ゼロ) としたとき、出力  $y$  の時間関数を初期ベクトル  $x(0) = \begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \end{bmatrix}$  を用いて求めよ。また、求めた時間関数から、一般の初期状態に対する出力  $y$  の応答はどのようなになるか説明せよ。

(2) 図 II に示すブロック線図で表されるシステムについて以下の問いに答えよ。



図 II

(a) 2 次のシステムとしての状態空間表現を求めよ。

(b) 入力  $u$  から出力  $y$  までの伝達関数  $G_2(s)$  を求めよ。ただし、伝達関数は既約表現とせよ。

(c) 伝達関数  $G_2(s)$  の安定性とシステムの内部安定性をそれぞれ判定せよ。

(d) システムの可制御性と可観測性を判定せよ。

(3) 図 III のように、(2) のシステムの二つの伝達関数の位置を入れ替えたシステムを考える。

(2) のシステムと比較して、システムの性質にどのような変化があるか説明せよ。



図 III

(4) 次の状態空間表現されたシステムを考える。

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t) \\ y(t) = [0 \quad 1] x(t) \end{cases}$$

以下の問いに答えよ。

(a) 状態変数  $x(t)$  が観測できると仮定して、 $u(t) = Fx(t)$  の状態フィードバックを考え、閉ループ系の極が  $\{-2, -2\}$  となるような状態フィードバックゲイン  $F$  を求めよ。

(b) (a)の状態フィードバックを近似的に実現するために、全状態観測器を設計して利用することを考える。すなわち、全状態観測器は、その状態を  $\hat{x}(t)$  として次の式で表される。

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + K(C\hat{x}(t) - y(t))$$

さらに、(a)で求めた状態フィードバックゲイン  $F$  と上記の全状態観測器を用いて制御入力を  $u(t) = F\hat{x}(t)$  とする。

このとき、この制御入力を用いた閉ループ系の極が  $\{-2, -2, -10, -10\}$  となるようなパラメータ行列  $A, B, C, K$  を一組求めよ。

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。

ただし、導出過程も示すこと。

(1) 電磁気学に関する以下の問いに答えよ。

(a) 図 I のように、原点  $O$  を中心とし、 $xy$  平面内で半径  $R (> 0)$  の円周  $C$  上に、線電荷密度  $+\lambda (\lambda > 0)$  で一様に電荷が分布し、真空中に固定されている場合を考える。真空の誘電率を  $\epsilon_0$  として、以下の問いに答えよ。

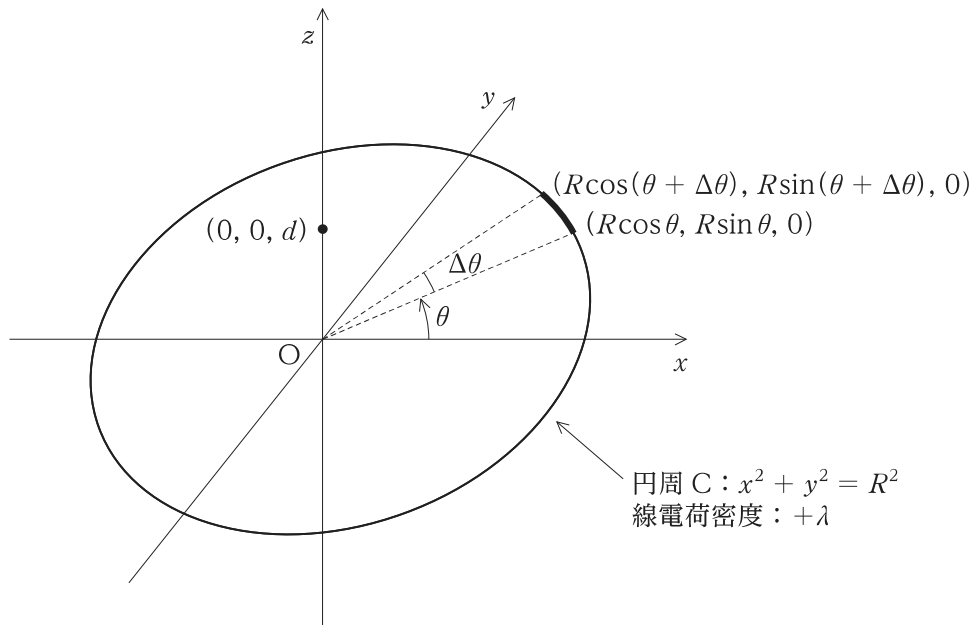


図 I

- (i) 円周  $C$  のうち、点  $(R \cos \theta, R \sin \theta, 0)$  から点  $(R \cos(\theta + \Delta \theta), R \sin(\theta + \Delta \theta), 0)$  の区間に分布する電荷が、点  $(0, 0, d)$  につくる電界ベクトルの  $x$  成分、 $y$  成分、 $z$  成分を、それぞれ  $R, \lambda, \theta, \Delta \theta, d, \epsilon_0$  のうち必要なものを用いて表せ。ただし、 $d > 0$  であるとする。また、 $\Delta \theta$  を微小な角とし、その区間に分布する電荷は点電荷とみなしてよい。
- (ii) 円周  $C$  全体が点  $(0, 0, d)$  につくる電界ベクトルの  $x$  成分、 $y$  成分、 $z$  成分を、それぞれ  $R, \lambda, d, \epsilon_0$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (iii) さらに、点  $(0, 0, d)$  に質量  $m$ 、電気量  $-Q (Q > 0)$  をもつ点電荷を置き、時刻  $t = 0$  に静かに放す場合を考える。時刻  $t (> 0)$  での運動方程式を表せ。また、 $d \ll R$  として、 $\frac{d}{R}$  よりも小さい値については 2 次以上の項を無視して、運動方程式を解き、点電荷の座標  $(x(t), y(t), z(t))$  を、 $R, \lambda, d, \epsilon_0, m, Q, t$  を用いて表せ。

(b) 電流がつくる磁束密度について、真空の透磁率を  $\mu_0$  として、以下の問いに答えよ。

(i) 大きさ  $I (> 0)$  の電流が流れる真空中の導線のうち、微小な長さ  $dl$  の部分が、そこからベクトル  $\mathbf{r}$  だけ離れた点につくる磁束密度  $d\mathbf{B}$  は、ベクトル  $\mathbf{r}$  の大きさを  $r$ 、電流と同じ向きをもつ長さ  $dl$  のベクトルを  $d\mathbf{l}$  として、

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{4\pi r^3}$$

と表される。この法則名を示せ。

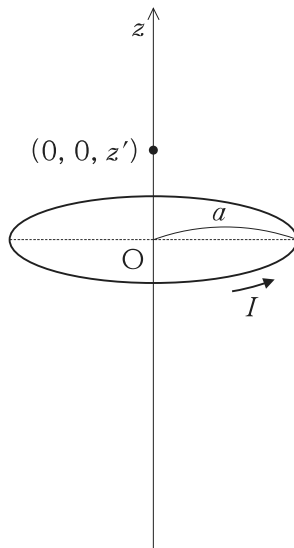
(ii) 図Ⅱのように、 $z$  軸の原点  $O$  を中心とし、 $z$  軸に垂直な面内で半径  $a (> 0)$  の円周を成す真空中の導線に、大きさ  $I$  の定常電流が流れているとすると、点  $(0, 0, z')$  につくられる磁束密度の  $z$  成分は、ある定数  $A$  を用いて、

$$A \times \frac{a^2}{(a^2 + z'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

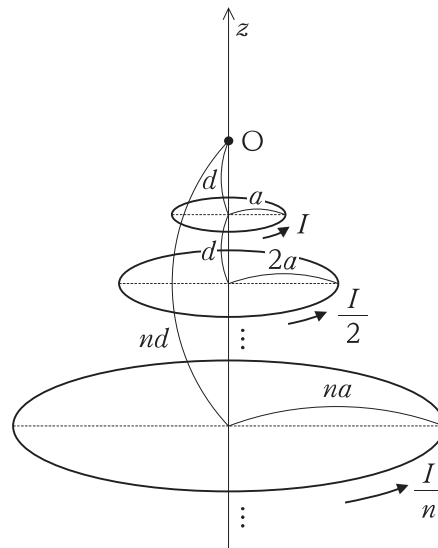
と表される。このことを、(i)の式を用いて示すとともに、 $A$  を  $I$ 、 $\mu_0$  を用いて表せ。

(iii) 図Ⅲのように、 $z = -d$  に大きさ  $I$  の定常電流が反時計回りに流れる半径  $a$  の導線、 $z = -2d$  に大きさ  $\frac{I}{2}$  の定常電流が反時計回りに流れる半径  $2a$  の導線、というように、 $z = -nd$  に大きさ  $\frac{I}{n}$  の定常電流が反時計回りに流れる半径  $na$  の導線を、全て  $z$  軸が中心を通り、 $z$  軸に垂直となるように、 $n = 1, 2, \dots, \infty$  の全ての  $n$  について真空中に置いていく。このとき、原点  $O$  における磁束密度の大きさを求めよ。ただし、 $d > 0$  とする。また、必要に応じて、以下の関係式を証明なしで用いてよい。

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} = \frac{\pi^2}{6}$$



図Ⅱ



図Ⅲ

(2) 電気回路に関する以下の問いに答えよ。

(a) 電圧  $\dot{E}$  の単相交流電圧源、値  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4$  のインピーダンスで構成される図IVの回路に関する以下の問いに答えよ。

(i) テブナンの定理を簡潔に説明せよ。

(ii) 図IVにおいて a-b 間に発生する電圧  $\dot{V}_{ab}$  を  $\dot{E}, \dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4$  を用いて表せ。

(iii) 同図において電圧源を短絡除去したとき、a-b 間から見た回路のインピーダンス  $\dot{Z}_{ab}$  を  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4$  を用いて表せ。

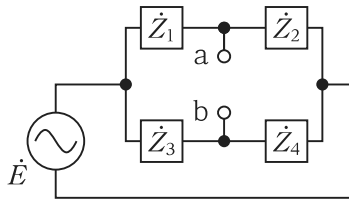
(iv) 同図の a-b 間に値  $\dot{Z}_0$  のインピーダンスを挿入したとき a-b 間に発生する電圧  $\dot{V}_{Z_0}$  を  $\dot{E}, \dot{Z}_0, \dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dot{Z}_3, \dot{Z}_4, \dot{V}_{ab}, \dot{Z}_{ab}$  のうち必要なものを用いて表せ。

(b) 電圧  $100\angle 0^\circ \text{ V}$  の単相交流電圧源、抵抗値  $R_1, R_2$  の抵抗、値  $j\Omega, -j\Omega$  のインピーダンスで構成する図Vの回路に関する以下の問いに答えよ。

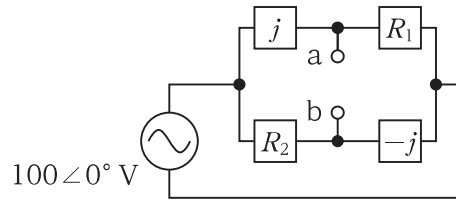
ただし、 $j$  は虚数単位であり、 $V\angle\theta$  は実効値  $V$ 、位相  $\theta$  の交流を意味する。

(i) 図Vの a-b 間電圧が  $60\angle 0^\circ \text{ V}$  であった。このときの抵抗値  $R_1, R_2$  を求めよ。

(ii) (i)の回路の a-b 間に値  $\dot{Z}_0$  のインピーダンスを挿入したとき、a-b 間電圧が  $40\angle 0^\circ \text{ V}$  であった。このときのインピーダンス値  $\dot{Z}_0$  を求めよ。



図IV



図V

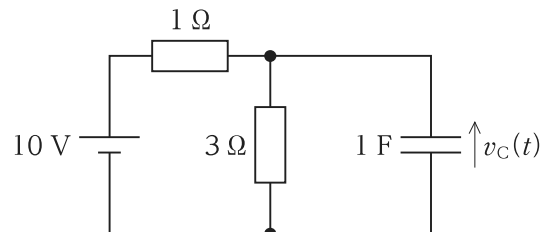
(c) 電圧  $10 \text{ V}$  の直流電圧源、抵抗値  $1 \Omega, 3 \Omega$  の抵抗、静電容量  $1 \text{ F}$  のコンデンサで構成される図VIの回路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、時刻  $t$  におけるコンデンサの端子間電圧を  $v_C(t)$  とし、 $v_C(0) = 0 \text{ V}$  とする。

(i) 十分に時間が経過した後の  $v_C(\infty)$  の値を示せ。

(ii)  $t > 0$  における  $v_C(t)$  を求めよ。

(iii)  $t > 0$  における  $v_C(t)$  の波形を描け。



図VI

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) 図 I は変圧器の等価回路であり、 $N_1$  及び  $N_2$  は一次巻線及び二次巻線の巻数、 $r_1, x_1$  と  $r_2, x_2$  はそれぞれ一次側と二次側の巻線抵抗及び漏れリアクタンスである。また、 $Y_0$  は励磁アドミタンスであり、鉄損コンダクタンス  $g_0$  と励磁サセプタンス  $b_0$  から構成されている。ここで、図 I の等価回路を一次換算した T 形等価回路が図 II である。 $\dot{I}_1, \dot{I}_1', \dot{I}_2, \dot{I}_2', \dot{I}_0, \dot{I}_{g_0}, \dot{I}_{b_0}$  は電流、 $\dot{V}_1, \dot{V}_2, \dot{V}_2', \dot{E}_1, \dot{E}_2$  は電圧を表す。 $r_1$  と  $x_1$  による電圧降下が無視できると仮定するとき、以下の問いに答えよ。

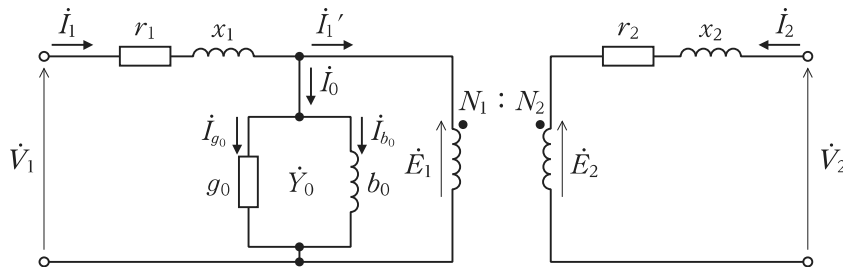


図 I

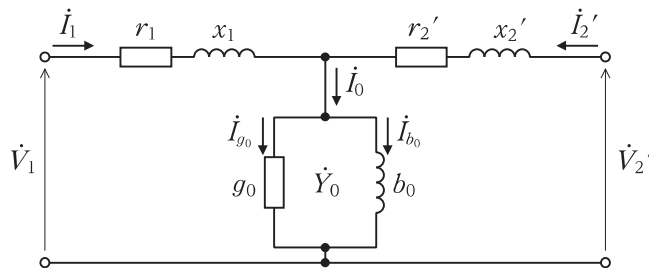
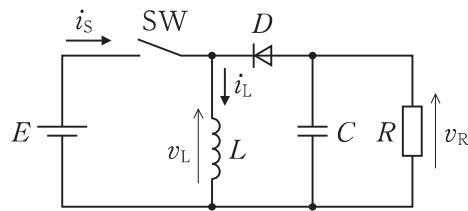


図 II

- (a) 図 I における  $\dot{E}_1$  と  $\dot{E}_2$ 、 $\dot{I}_1'$  と  $\dot{I}_2$  の関係をそれぞれ  $N_1$  と  $N_2$  を用いて表せ。
- (b)  $\dot{I}_0, \dot{I}_{g_0}, \dot{I}_{b_0}$  はそれぞれ一般に何と呼ばれるか述べよ。
- (c)  $r_2'$  と  $r_2, x_2'$  と  $x_2, \dot{I}_2'$  と  $\dot{I}_2, \dot{V}_2'$  と  $\dot{V}_2$  の関係をそれぞれ  $N_1$  と  $N_2$  を用いて表せ。
- (d) 図 II において一次側に定格電圧  $\dot{V}_{n1}$  をかけて ( $\dot{V}_1 = \dot{V}_{n1}$ ) 無負荷試験を行ったところ、 $\dot{I}_1 = \dot{I}_{n1}$  の電流が流れ ( $V_{n1} = 100 \text{ V}, I_{n1} = 0.5 \text{ A}$ )、入力有効電力が  $30 \text{ W}$  であった。このとき、 $g_0$  と  $b_0$  の値を求めよ。ただし、解答に至る考え方も併せて示せ。
- (e) 図 II において入力電流が定格電流  $\dot{I}_s$  となるようにして ( $\dot{I}_1 = \dot{I}_s$ ) 短絡試験を行ったところ、 $\dot{V}_1 = \dot{V}_s$  となり ( $I_s = 10 \text{ A}, V_s = 10 \text{ V}$ )、入力有効電力が  $80 \text{ W}$  であった。ここで、この短絡試験では励磁アドミタンスに流れる電流は無視できるものとする。このとき、 $r_2'$  と  $x_2'$  の値を求めよ。ただし、解答に至る考え方も併せて示せ。

- (2) 図Ⅲのチョップ回路において、スイッチ SW をスイッチング周波数 10 kHz、オンの時比率（デューティ比）0.6 で動作させる場合について、以下の問いに答えよ。ただし、電源電圧  $E$  は 100 V、抵抗の抵抗値  $R$  は  $10\ \Omega$ 、インダクタのインダクタンス  $L$  は 1 mH とし、電圧・電流の変数については矢印の方向を正とする。また、全て定常状態の動作について考えるものとする。さらに、(a)以外においてはスイッチ SW 及びダイオードは理想的なものとし、また、回路内では抵抗以外での損失は無視できるとする。



図Ⅲ

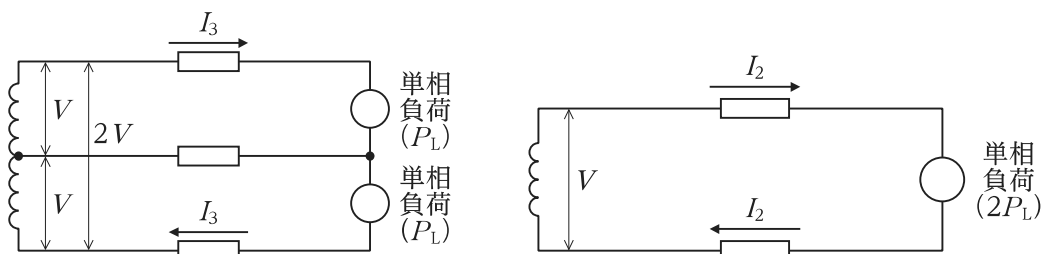
- (a) スイッチとして用いられるパワー半導体デバイスにおいて発生する主な損失の名称を二つ挙げ、それぞれがどのような損失であることを説明せよ。
- (b) 出力電圧  $v_R$  の平均値  $V_R$  を求めよ。ただし、解答に至る考え方も併せて示せ。
- (c) 電流  $i_s$  の平均値  $I_s$  を求めよ。ただし、解答に至る考え方も併せて示せ。
- (d) 定常状態のスイッチング 1 周期における電流  $i_L$  と電圧  $v_L$  の挙動について合わせて 3 行以内で説明せよ。
- (e) コンデンサの静電容量  $C$  の値が十分に大きく  $v_R$  は一定平滑であるとみなせる場合、電流  $i_L$  のスイッチング 1 周期における脈動の大きさを求めよ。ただし、解答に至る考え方も併せて示せ。

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) 電力系統の電気方式に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 図 I に示すように、単相 3 線式及び単相 2 線式の比較を考える。送電電力、負荷力率、送電距離、線間電圧及び全送電線の電力損失の合計が等しいとき、単相 3 線式による所要電線総重量は、単相 2 線式の何倍となるか。ただし、単相 3 線式における負荷は平衡状態にあり、負荷の合計値 ( $2P_L$ ) は単相 2 線式と等しい。また、電線の材質は両電気方式で同一とするが、上記の条件を満足するように断面積の大きさと線電流は異なる点に注意すること。



左：単相 3 線式 右：単相 2 線式

図 I

- (b) 単相 3 線式において負荷の不均衡や各種故障が発生した際に生じる問題点は何か、簡潔に説明せよ。また、その対策に有効な設備を一つ挙げよ。
- (c) 一般に、大容量長距離送電においては交流送電に比較して直流送電の方が経済的に優位となりやすい。その理由を二つ挙げよ。
- (d) 日本の基幹電力系統において直流送電設備が用いられている箇所を一つ挙げよ。また、当該箇所において、直流が採用されている理由を説明せよ。

(2) 図 II に示す、同期発電機 2 台、三相変圧器、送電線から構成される電力系統に関する以下の問いに答えよ。ただし、図 II は三相 3 線式による電力系統の単線結線図であり、各設備の仕様は以下のとおりである。単位法における基準容量は 40000 kVA とすること。また、系統の基準周波数は 50 Hz とし、以下に記載のないインピーダンスは全て無視してよい。

同期発電機 (1 台あたり) : 容量 20000 kVA、定格電圧 11 kV、同期リアクタンス 20 % (自己容量ベース)

三相変圧器 : 容量 30000 kVA、定格電圧 11 kV/66 kV、漏れリアクタンス 9 % (自己容量ベース)

送電線 : 事故点までの距離 10 km、インダクタンス 3 mH/km

- (a) 点 A-B 間の送電線のインピーダンスを単位法により求めよ。
- (b) 点 B から系統側を見たインピーダンスを単位法により求めよ。

- (c) 点 B において三相短絡故障が発生した場合の短絡電流  $I_s$  [A] を求めよ。ここで、点 B における事故前の線間電圧は 60 kV とする。
- (d) 図 II のように、発電機を送電線に接続する三相変圧器では、 $\Delta$  (発電機側)–Y (送電線側) 結線を用いるとともに、Y 結線の中性点を接地することが多い。 $\Delta$  結線を含める理由、及び Y 結線の中性点を接地する理由をそれぞれ簡潔に説明せよ。

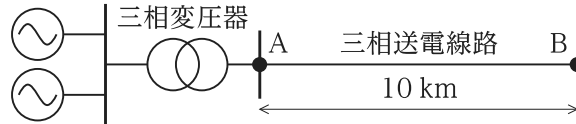


図 II

- (3) 図 III に示す電力系統の安定性に関して以下の問いに答えよ。ここで、同図は三相 3 線式による送電線路 (並行 2 回線の合成リアクタンスが  $X$ ) を三相平衡の仮定の下で単線結線図により表したものであり、系統 1 から系統 2 に向けて送電していることを想定する。全ての変数は同一の基準値による単位法表現である。
- (a) 系統 2 が受電する有効電力  $P$  及び無効電力  $Q$  を、それぞれ  $V_s$ ,  $V_r$ ,  $\delta$ ,  $X$  を用いて表せ。
- (b) (a) で得られた両式から変数  $\delta$  を消去して  $V_r$  について整理すると、図 IV のような特性 (ノーズカーブ) が得られる。ノーズカーブの先端 (点 A) よりも上側と下側の動作点は、それぞれ高め解と低め解と呼ばれる。電圧安定性の観点から安定な送電が不可能なのは、高め解と低め解のどちらか解答せよ。また、その理由を数行程度で説明せよ。
- (c) 電圧安定性を向上させる対策を二つ挙げよ。ただし、想定する送電容量は同一とする。
- (d) 事故発生による電圧不安定現象により送電線が停止に至り、系統 1 と系統 2 が分離されたことを想定する。以下の条件に基づいて、系統 2 の事故発生後の周波数の定常値を求めよ。
- ・系統分離前、周波数は 50 Hz であり、送電線の潮流は 300 MW (系統 1 から系統 2 へ) とする。
  - ・系統 2 の容量は 10000 MW、系統定数 (電力周波数特性定数) は 2 %MW/0.1 Hz で一定とし、負荷周波数制御 (LFC) 及び経済負荷配分制御 (EDC) は働かないこととする。
  - ・系統分離後の系統 2 の電圧は速やかに基準値へ回復して十分に安定とする。

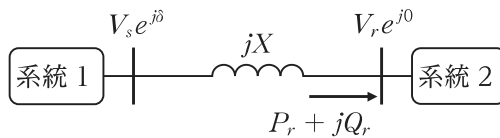


図 III

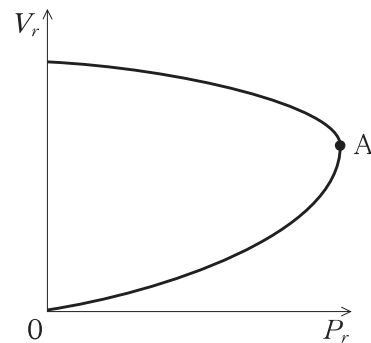


図 IV

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) pn 接合に関する以下の問いに答えよ。ただし、ボルツマン定数を  $k$ 、電気素量を  $q$ 、絶対温度を  $T$ 、p 型半導体の不純物濃度を  $N_A$ 、n 型半導体の不純物濃度を  $N_D$  とする。

(a) 室温 ( $T = 300 \text{ K}$ ) における pn 接合のエネルギーバンド図を描け。ただし、解答に当たっては、アクセプタ準位  $E_A$ 、ドナー準位  $E_D$ 、フェルミ準位  $E_F$ 、拡散電位  $qV_B$  を示すこと。

(b) pn 接合の空乏層における電荷密度分布、電界分布を図示せよ。ただし、 $N_A$  は  $N_D$  に比べて大きく、不純物分布は階段状分布に近似できるものとし、解答に当たっては、p 型半導体側、n 型半導体側の空乏層の厚みの違いが分かるように示すこと。

(c)  $V_B$  を、 $N_A$ 、 $N_D$ 、 $k$ 、 $q$ 、 $T$ 、真性キャリア密度  $n_i$  を用いて表せ。また、 $N_A = 1.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、 $N_D = 1.0 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 、 $n_i = 1.4 \times 10^{10}/\text{cm}^3$  であるときの  $V_B$  はいくらか。ただし、 $\frac{kT}{q} = 0.026 \text{ V}$ 、 $\ln 2 = 0.7$ 、 $\ln 7 = 1.9$ 、 $\ln 10 = 2.3$  を用いてよい。

(d) 空乏層の厚みを  $N_A$ 、 $N_D$ 、 $V_B$ 、 $q$ 、半導体中の誘電率  $\epsilon$  を用いて表せ。ただし、接合面に直交する軸上の座標を  $x$ 、空乏層中の静電ポテンシャルを  $\phi$  としたとき、ポアソン方程式は、

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = \frac{qN_A}{\epsilon} \quad (\text{p 型領域})$$

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = -\frac{qN_D}{\epsilon} \quad (\text{n 型領域})$$

で表されるものとする。

(e) 図 I は、npn トランジスタを用いたベース接地回路である。この npn トランジスタのエネルギーバンド図を描け。ただし、解答に当たっては、各層におけるフェルミ準位、多数キャリア、少数キャリア、各キャリアの移動方向を示すこと。

(f) ベース接地回路の特徴について、キャリアの振る舞いと電流の流れに言及しつつ説明せよ。

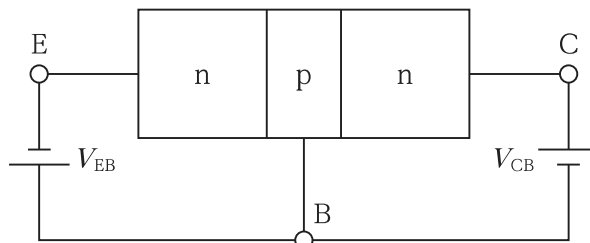


図 I

(2) 図Ⅱは演算増幅器を用いた非反転増幅回路である。この回路について以下の問いに答えよ。

(a) 演算増幅器が理想的な特性をもつ場合の信号増幅率

$$G = V_{out}/V_{in} \text{ を求めよ。}$$

(b) 実際の演算増幅器の開ループ増幅率  $G_O$  は有限であり、 $V_+$  と  $V_-$  をそれぞれ演算増幅器の  $+/-$  入力端子電圧としたとき、出力電圧は  $V_{out} = G_O(V_+ - V_-)$  で与えられる。この場合の信号増幅率  $G$  を求めよ。また、その答えが、 $G_O$  が無限大の極限において、(a)で求めた答えに収束することを示せ。

実際の回路は入力信号がなくても雑音を発生する。本回路では、図Ⅲに示す演算増幅器の入力雑音と、抵抗の熱雑音があるものとする。抵抗値  $R_1$ 、 $R_2$ 、ボルツマン定数  $k$ 、絶対温度  $T$ 、入力雑音密度  $e_n$  のうち適切なもの、加えて(c)(d)(e)では(b)で求めた信号増幅率  $G$  を用いて以下の問いに答えよ。

(c) まず演算増幅器の入力雑音について考える。演算増幅器の入力雑音密度が  $e_n$  [ $V/\sqrt{\text{Hz}}$ ]、出力電圧が  $V_{out} = G_O(V_+ - V_- + e_n)$  で与えられ、その他に雑音源がない場合に、出力に現れる雑音密度  $e_{on}$  [ $V/\sqrt{\text{Hz}}$ ] を求めよ。

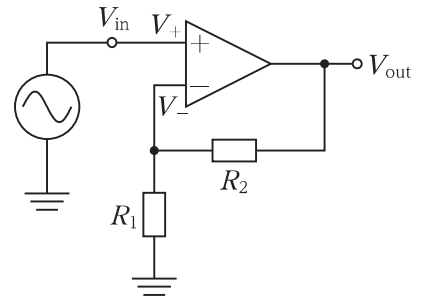
(d) 次に抵抗の熱雑音について考える。有限温度において抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] は熱雑音を発生し、その雑音密度は  $\sqrt{4kTR}$  [ $V/\sqrt{\text{Hz}}$ ] で与えられる。抵抗  $R_1$  だけが熱雑音を発生し、その他に雑音源がない場合に、出力に現れる雑音密度  $e_{oR1}$  [ $V/\sqrt{\text{Hz}}$ ] 及び、抵抗  $R_2$  だけが熱雑音を発生し、その他に雑音源がない場合に、出力に現れる雑音密度  $e_{oR2}$  [ $V/\sqrt{\text{Hz}}$ ] をそれぞれ求めよ。

(e) 図Ⅲに示す雑音が全て存在する場合に、出力に現れる雑音密度  $e_{out}$  の2乗 [ $V^2/\text{Hz}$ ] を求めよ。

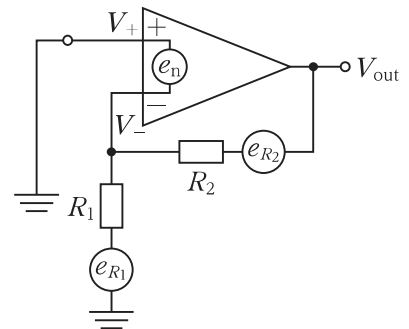
(f) 演算増幅器の開ループ増幅率の周波数特性が、以下の式で近似できるとする。

$$G_O = \frac{A_V}{1 + jA_V f / GBW}$$

ここで、 $j$  は虚数単位、 $f$  は周波数、 $A_V$  は演算増幅器の直流開ループ増幅率、 $GBW$  はゲイン帯域積である。図Ⅲに示す雑音が全て存在する場合に、出力に現れる雑音電圧  $E_{out}$  の2乗 [ $V^2$ ] を求めよ。



図Ⅱ



図Ⅲ

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) 2相PSK(BPSK)に関する以下の問いに答えよ。ただし、搬送波の振幅は  $A$ 、搬送波周波数は  $f_c$ 、1シンボル時間は  $T$ とする。また、データ  $u(t) = 0, 1$  は等確率で生起するとし、通信路は加法性白色ガウス雑音通信路とする。

- (a) BPSK 信号  $x(t)$  を式で示せ。
- (b) データ  $u(t)$  が送信されたとき、帯域通過フィルタ(BPF)を通過した受信 BPSK 信号  $y(t)$  を式で示せ。ただし、BPF を通過した狭帯域雑音の同相成分  $n_c(t)$ ・直交成分  $n_s(t)$  は、ランダムで平均 0、分散  $\sigma^2$  の正規分布をもつ互いに独立な確率過程とする。
- (c) 受信信号  $y(t)$  を同期検波した信号を  $r(t)$  とする。 $r(T)$  を式で示せ。
- (d) 狭帯域雑音  $n_c(t)$  の確率密度関数  $p_n(n)$  を式と図で示せ。
- (e)  $r(T)$  の条件付き確率密度関数  $p_r(r|u(t))$  を式と図で示せ。
- (f) BPSK は、2値ASKに比べ、誤り率特性が優れている。この理由を  $p_r(r|u)$  を用いて説明せよ。

(2) マルコフ情報源に関する以下の問いに答えよ。

状態  $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$  をもつマルコフ情報源  $S$  について、状態遷移確率が次の遷移確率行列  $P$  で与えられるとする。ただし、 $P$  の  $(i, j)$  成分は、状態  $s_i$  から状態  $s_j$  に遷移する確率を表す。

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{3} & 0 & 0 & \frac{2}{3} \end{pmatrix}$$

また、ある状態の集合から一度他の状態に遷移した場合に、遷移元の集合に戻ることができないような状態が存在するとき、その遷移元の集合を過渡状態部分といい、 $S$  から過渡状態部分を除いて構成したマルコフ情報源を  $S'$  とする。

- (a)  $S'$  がもつ状態の集合を求めよ。また、 $S'$  が正規マルコフ情報源であることを示せ。
- (b)  $S'$  の定常状態分布を求めよ。
- (c) ある情報源  $X$  に対して、 $X$  のエントロピーを  $H(X)$  と書く。なお、 $\log_2 3 = 1.58$  を用いてよい。
  - (i)  $H(S')$  を求めよ。
  - (ii)  $S'$  の定常状態を発生確率とする無記憶情報源(随伴情報源)を  $\overline{S'}$  とするとき、 $H(\overline{S'}) - H(S') \geq 0$  であることを示せ。

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) ある部品の寿命を評価するため、25 個の部品を同時に運用し始めてから  $\bar{t}$  [時間] が経過したときに観測を止める試験を行ったところ、試験の間に 20 個の部品が故障した。これにより得られた時間に関するデータを  $t_1, t_2, \dots, t_{24}, t_{25}$  と表すと、 $t_i$  [時間] は、 $i$  番目に故障した部品の寿命時間又は故障しなかった場合の観測を止めた時間のいずれかを表しており、 $t_i \leq t_j (i < j)$  という関係を満たす。いま、

$$\sum_{i=1}^{20} t_i = 1010, \quad \sum_{i=1}^{25} t_i = 1460$$

のとき、以下の問いに答えよ。

- (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) 観測を止めた時間  $\bar{t}$  [時間] を求めよ。  
(c) 寿命時間が指数分布に従うと仮定したとき、部品の MTTF (平均寿命) の推定値を求めよ。  
(d) (c) で推定した指数分布の下での信頼度を  $R_B(t)$  としたとき、 $B_{10}$  ライフ (全ての部品のうちの 10 % が故障するまでの時間) を求めよ。ただし、 $\ln 10 = 2.30$ ,  $\ln 3 = 1.10$  とする。

- (2) ある機器の時刻  $t$  における信頼度  $R(t)$  が

$$R(t) = \exp[-\alpha(t - \gamma)^\beta] \quad (t \geq \gamma)$$

で与えられている。 $\alpha (\alpha > 0)$ ,  $\beta (\beta > 0)$ ,  $\gamma (\gamma \geq 0)$  はこの確率分布のパラメータである。このとき、以下の問いに答えよ。

- (a) 機器の寿命時間が従う確率分布の名称を答えよ。  
(b) パラメータ  $\gamma$  の意味を説明せよ。  
(c) この確率分布から得られる故障率  $\lambda(t)$  を  $\alpha, \beta, \gamma, t$  を用いて表せ。  
(d) 平均寿命  $E[T]$  は  $\gamma = 0$  のとき、

$$E[T] = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

で表される。 $\beta = 0.25$  の下で  $E[T] = 1.5$  のとき、 $\alpha$  の値を求めよ。

ただし、 $\Gamma(c)$  はガンマ関数であり、

$$\Gamma(c) = \int_0^{\infty} x^{c-1} e^{-x} dx \quad (c > 0)$$

と表される。

(e) 寿命時間の確率密度関数を  $f$  としたとき、

$$E[T^2] = \int_0^{\infty} t^2 f(t) dt = \alpha^{-\frac{2}{\beta}} \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)$$

である。(d)で定めた  $\alpha, \beta, \gamma$  を利用し、 $T$  の分散  $\text{Var}[T]$  の値を求めよ。

(f) (d)で定めた  $\alpha, \beta, \gamma$  の下、この確率分布が、IFR(Increasing Failure Rate), CFR(Constant Failure Rate), DFR(Decreasing Failure Rate)のいずれに分類されるか示せ。

(3) 複数のコンポーネントで構成されたシステムについて、以下の問いに答えよ。

(a) 図 I のように、コンポーネント A と  $B_1$  で構成された直列システムを考える。コンポーネント A の故障率は  $\lambda_A$ 、コンポーネント  $B_1$  の故障率は  $\lambda_B$  であり、どちらも故障率は一定で、これらのコンポーネントの寿命時間は全て独立な指数分布に従う。この直列システムを時刻 0 で運用を開始してから故障するまでの時間(直列システムの寿命時間)を  $T_1$  とするとき、以下の問いに答えよ。

(i) 直列システムの寿命時間  $T_1$  の故障率を  $\lambda_A, \lambda_B$  を用いて表せ。

(ii) コンポーネント A が原因(コンポーネント A が  $B_1$  よりも先に故障すること)でこの直列システムが故障する確率を  $\lambda_A, \lambda_B$  を用いて表せ。

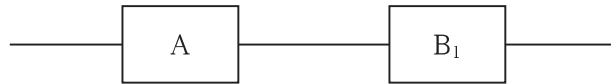


図 I

(b) 図 II のように、コンポーネント A,  $B_1, B_2$  とスイッチで構成されているシステムは、コンポーネント A の故障率が  $\lambda_A$ 、コンポーネント  $B_1$  と  $B_2$  の故障率がどちらも  $\lambda_B$  であり、全ての故障率は一定で、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う。スイッチを切り替える時間は無視できる。コンポーネント A が故障する、又はコンポーネント  $B_1$  と  $B_2$  の両方が故障するとシステムの運用が不可能とみなす。コンポーネントを修理するためのスタッフを 2 名配置し、コンポーネントが故障したときはすぐに 1 名のスタッフが 1 個のコンポーネントを修理する。修理に要する時間はコンポーネント A が平均  $\mu_A^{-1}$ 、コンポーネント  $B_1$  と  $B_2$  がどちらも平均  $\mu_B^{-1}$  のいずれも独立な指数分布に従う。このようなシステムを次のように運用する。

- 時刻 0 では全てのコンポーネントが正常であり、コンポーネント A と  $B_1$  を稼働させることでシステムを運用し、 $B_2$  は  $B_1$  が故障したときにすぐに使用できるよう予備として待機させておく。予備として待機させているコンポーネントが故障することはない。

- 時刻 0 でシステムの運用を開始してから、コンポーネント A よりも先にコンポーネント  $B_1$  が故障した場合、スイッチを切り替えて A と  $B_2$  を使用して引き続きシステムを運用する。コンポーネント  $B_1$  が故障した瞬間に、使用するコンポーネントを  $B_2$  に切り替えるため、これに伴ってシステムの運用が不可能となることはない。

- ・コンポーネント  $B_1$  と  $B_2$  の両方が正常で、システムの運用が可能な場合、 $B_1$  を優先的に使用する。
- ・ある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った場合、その時点で正常なコンポーネントの稼働も停止し、他の正常なコンポーネントを使用することで、運用不可能なシステムが運用可能となるまで待機させておく。
- ・修理が終了したコンポーネントはいずれも正常となる。このコンポーネントを使用することで、運用不可能なシステムが運用可能となる場合は、すぐにコンポーネントの稼働を開始するが、他のコンポーネントが故障しているため、システムの運用が不可能な場合は、正常となったコンポーネントを使用せず、待機させておく。

ここで、時刻  $t$  におけるシステムの状態を  $S(t) = (I_1(t), I_2(t), I_3(t))$  と表す。A が故障している場合は  $I_1(t) = 0$ 、正常でシステムを運用するために稼働している場合は  $I_1(t) = 1$ 、正常だがシステムの運用のために稼働しておらず待機している場合は  $I_1(t) = 2$  とする。また、同様に、 $I_2(t)$  と  $I_3(t)$  はそれぞれ  $B_1$  と  $B_2$  の状態を表し、 $I_2(t) = 0$  は故障、 $I_2(t) = 1$  は正常でシステムを運用するために稼働中、 $I_2(t) = 2$  は正常だがシステムの運用のために稼働しておらず待機していることを表す。 $I_3(t)$  も同様である。このとき、以下の問いに答えよ。

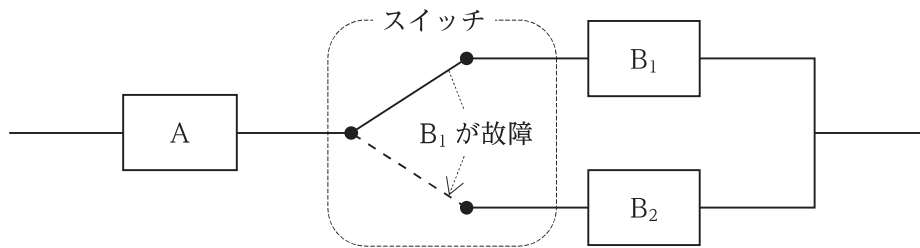


図 II

- このシステムを運用することで起こり得る、運用不可能なシステムの状態  $S(t)$  の組合せを全て挙げよ。
- 時刻  $t$  でのシステムの状態  $S(t)$  が  $(i, j, k)$  である確率を  $P_{ijk}(t)$  とすると、 $P_{112}(t)$  は以下の微分方程式を満たす。

$$\frac{d}{dt}P_{112}(t) = -(\lambda_A + \lambda_B)P_{112}(t) + \mu_A P_{022}(t) + \mu_B (P_{110}(t) + P_{101}(t))$$

このとき、システムの挙動を表す上記以外の適切な微分方程式を全て示せ。

- (ii) で得た微分方程式について、 $P_{ijk}(t)$  が極限をもつ、すなわち、 $\lim_{t \rightarrow \infty} P_{ijk}(t) = p_{ijk} > 0$  であるとき、 $P_{ijk}(t)$  の導関数  $P'_{ijk}(t)$  は 0 となる。これを利用して導かれる  $p_{ijk}$  が満たす連立方程式について、 $p_{002} = p_{020}$  のとき、 $p_{i_1 j_1 k_1} = p_{i_2 j_2 k_2}$  となる  $p_{i_1 j_1 k_1}$  と  $p_{i_2 j_2 k_2}$  の組合せが  $p_{002}$  と  $p_{020}$  以外に必ず一組存在することを示せ。

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、左端面において直径  $D_1$ 、右端面において直径  $D_2$  で長さ  $L$  の円錐台形状の均質な棒がある。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、円周率を  $\pi$ 、棒のヤング率を  $E$ 、線膨張係数を  $\alpha$  とし、棒の自重は無視できるものとする。また、 $D_1$ 、 $D_2$  の大小関係は必ずしも図のとおりとは限らない。

- (a) 図 II のように、棒の左端面のみを剛体壁に固定した状態から棒の温度を  $\Delta T$  だけ上昇させた。

このときの棒の伸び  $\lambda$  を  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $L$ 、 $E$ 、 $\alpha$ 、 $\Delta T$  のうち必要なものを用いて表せ。

- (b) 図 III のように、棒の両端を剛体壁に固定した状態から棒の温度を  $\Delta T$  だけ上昇させたとき、棒に圧縮力  $P$  が作用して自然膨張から  $\lambda$  だけ縮んだものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $\lambda$  は  $L$  に比べて十分に小さいものとする。

- (i) 左端面からの距離  $x$  における棒の直径  $D$  を  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $L$ 、 $x$  を用いて表せ。  
(ii) 微小長さ  $dx$  の縮み  $d\lambda$  を  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $L$ 、 $E$ 、 $P$ 、 $x$ 、 $dx$  を用いて表せ。  
(iii) 棒全体の縮み  $\lambda$  を  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $L$ 、 $E$ 、 $P$  を用いて表せ。  
(iv)  $P$  を  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $L$ 、 $E$ 、 $\alpha$ 、 $\Delta T$  のうち必要なものを用いて表せ。  
(v) 棒の最大圧縮応力  $\sigma_{\max}$  を  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $L$ 、 $E$ 、 $\alpha$ 、 $\Delta T$  のうち必要なものを用いて表せ。  
(vi)  $\sigma_{\max}$  と棒の長さ及び  $\sigma_{\max}$  と両端の直径比との関係について、それぞれ簡潔に説明せよ。

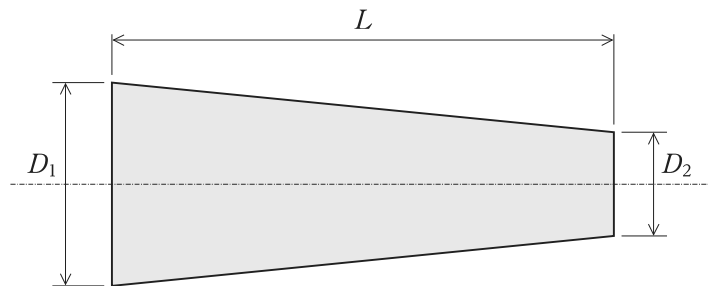


図 I

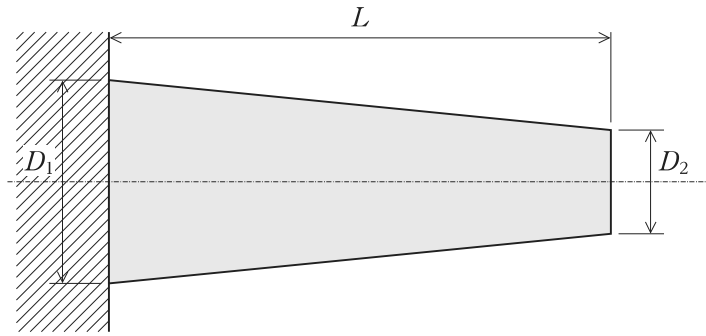


図 II

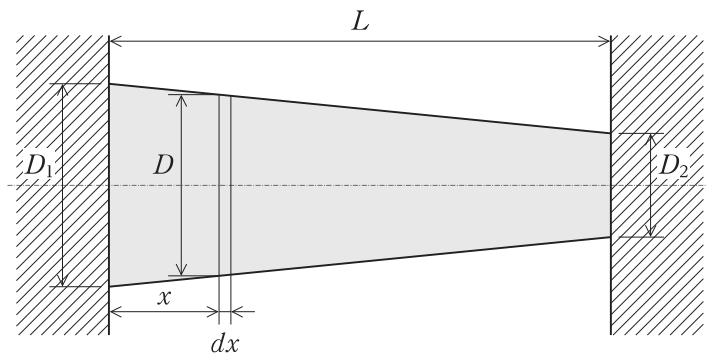
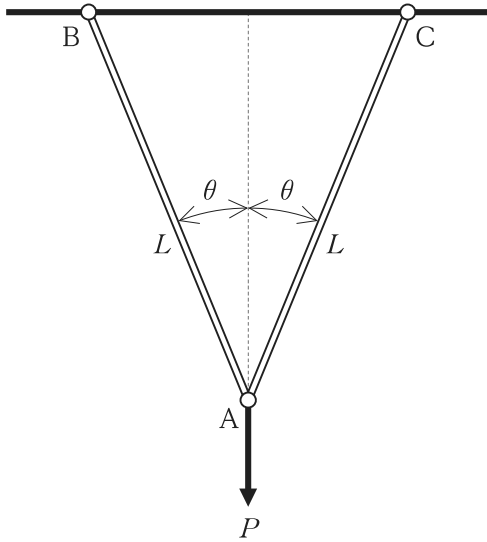


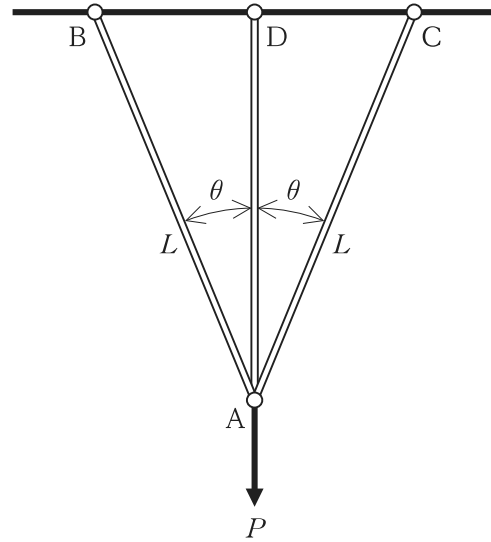
図 III

(2) 図Ⅳのように、寸法及び材質が同じ部材 AB, AC を  $2\theta$  の角を成すよう接合したトラスの接点 A に、荷重  $P$  を鉛直下向きに作用させた。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、AB, AC の長さを  $L$ 、断面積を  $A$ 、縦弾性係数を  $E$  とする。また、部材はトラスの接点で自由に回転でき、部材の変形は部材の長さに対して十分に小さく、変形による部材の角度の変化及び部材の自重は無視できるものとする。



図Ⅳ



図Ⅴ

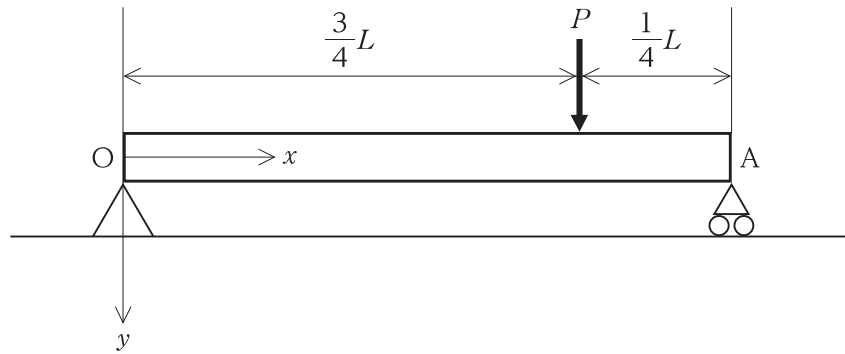
(a) 図Ⅳのトラスについて以下の問いに答えよ。

- (i) AB, AC に作用する軸力を  $N_{AB}$ ,  $N_{AC}$  とするとき、これらを  $P$ ,  $\theta$  を用いて表せ。
  - (ii) AB, AC の伸びをそれぞれ  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ 、接点 A の鉛直下向きの変位を  $\delta_1$  とするとき、 $\delta_1$  を  $P$ ,  $L$ ,  $\theta$ ,  $A$ ,  $E$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (b) 図Ⅴのように、図Ⅳのトラスの中央に AB, AC と断面寸法及び材質が同じで長さの異なる部材 AD を追加し、同様に鉛直下向きの荷重  $P$  を作用させたとき、以下の問いに答えよ。

- (i) AD に作用する軸力を  $N_{AD}$  とするとき、これを  $P$ ,  $\theta$  を用いて表せ。
- (ii) 接点 A の鉛直下向きの変位を  $\delta_2$  とするとき、 $\delta_2$  を  $P$ ,  $L$ ,  $\theta$ ,  $A$ ,  $E$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (iii) 系全体のひずみエネルギーを  $P$ ,  $L$ ,  $\theta$ ,  $A$ ,  $E$ ,  $N_{AB}$  のうち必要なものを用いて表せ。  
ただし、 $N_{AB}$  は AB に作用する軸力とする。
- (iv) カステリアノの定理を用いて  $N_{AB}$ ,  $N_{AC}$ ,  $N_{AD}$ ,  $\delta_2$  をそれぞれ導け。  
ただし、 $N_{AB}$ ,  $N_{AD}$ ,  $\delta_2$  はそれぞれ(i), (ii), (iii)で定義したもの、 $N_{AC}$  は AC に作用する軸力とする。

- (3) 図VIのように、長さ  $L$  の均質な支持梁の一端  $O$  を単純支持し、他端  $A$  を移動支持して、一端  $O$  から  $\frac{3}{4}L$  の位置に集中荷重  $P$  を加えた。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、梁の長さ方向を  $x$  軸方向、荷重方向を  $y$  軸方向とし、この梁の曲げ剛性を  $EI$  とする。また、自重は無視できるものとする。



図VI

- (a) 梁の両端  $O$ 、 $A$  に作用する反力の大きさ  $R_O$ 、 $R_A$  をそれぞれ求めよ。  
 (b) せん断力図(SFD)及び曲げモーメント図(BMD)の概形を描け。  
 (c)  $y$  軸正方向の梁のたわみ  $\delta$  は、点  $O$  からの距離  $x$  の関数であり、次式が成立する。

$$EI \frac{d^2 \delta}{dx^2} = \boxed{\text{㉞}}$$

$0 \leq x \leq \frac{3}{4}L$ ,  $\frac{3}{4}L \leq x \leq L$  のそれぞれの場合において、空欄  $\boxed{\text{㉞}}$  に当てはまる式を示せ。

- (d) 点  $O$  における梁のたわみ角  $\theta$  を求めよ。

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 のように、モータを質量  $M$  の非回転部分と質量  $m$  の質点とみなせる回転部分から成るものとしてモデル化する。モータはばね定数  $k$  のばねと減衰係数  $c$  のダッシュポットで垂直方向に支持されている。回転部分は、回転軸中心  $G$  から距離  $r$  の位置に取り付けられており、回転角度  $\theta$ 、回転角速度  $\dot{\theta}$ 、回転角加速度  $\ddot{\theta}$  で回転する。静的に釣り合っているときのモータの回転軸中心の位置を原点とする静止座標系  $O-xy$  をとる。モータの垂直方向のみの運動を考えると、垂直方向の釣合いの位置からの変位を  $x$ 、速度を  $\dot{x}$ 、加速度を  $\ddot{x}$  とする。この系に関する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。

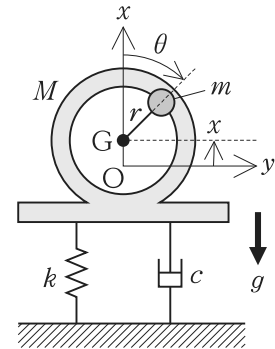


図 I

- (a) この系の運動エネルギー  $T$  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。

- (2) 図 II に示すように、質量  $2m$  の台車 1 と質量  $m$  の台車 2 がばね定数  $2k$ ,  $k$  の軽いばねで連結されている 2 自由度振動系について考える。台車 1、2 は滑らかに移動でき、ばねの自然長からの変位をそれぞれ  $x_1$ ,  $x_2$ 、速度を  $\dot{x}_1$ ,  $\dot{x}_2$ 、加速度を  $\ddot{x}_1$ ,  $\ddot{x}_2$  とする。以下の問いに答えよ。
- (a) この系の運動方程式を全て求めよ。  
 (b) この系の振動数方程式(特性方程式)を求めよ。  
 (c) この系の固有角振動数を全て求めよ。  
 (d) この系の固有振動モードを全て求め、同位相、逆位相となる条件をそれぞれ求めよ。  
 (e) この系の振動モードについて、同位相、逆位相となるときのモード形状をそれぞれ図示せよ。

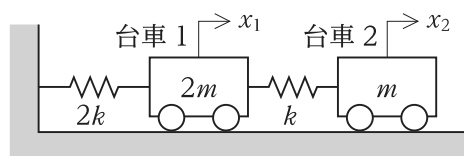
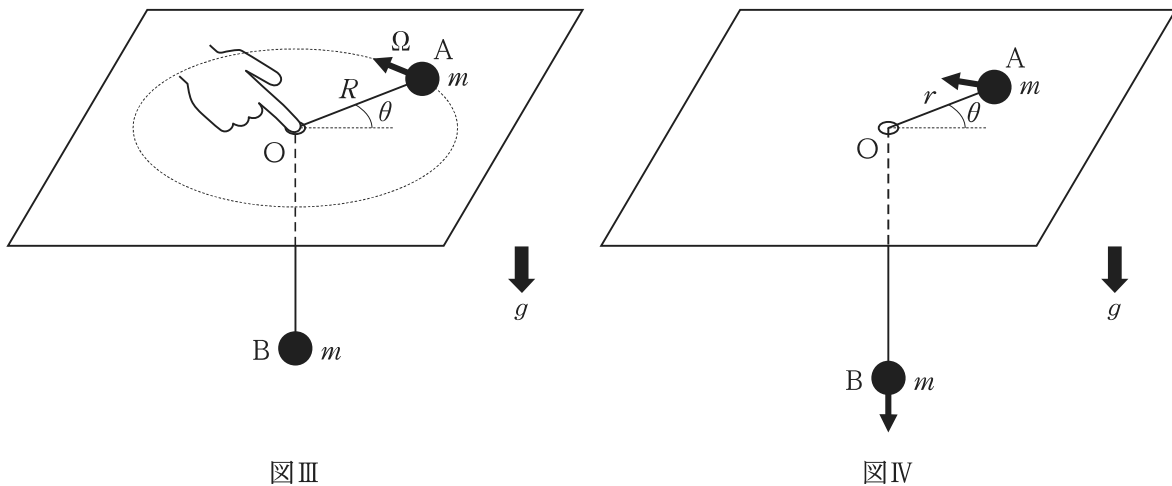


図 II

(3) 図Ⅲのように、水平で滑らかな板の中央に穴  $O$  をあけて糸を通し、糸の各端に質量  $m$  の質点を結び付ける。はじめは、糸を  $O$  で押さえた状態で、 $O$  から板上の質点  $A$  までの糸の長さが  $R$  で、一定の回転角速度  $\Omega$  で円運動している。そして、糸を放したら図Ⅳのように、質点  $B$  が鉛直下向きに落ち始めた。このとき、 $A$  は板上の糸の長さ  $r$ 、 $r$  の時間微分  $\dot{r}$ 、 $\dot{r}$  の時間微分  $\ddot{r}$ 、回転角度  $\theta$ 、回転角速度  $\dot{\theta}$ 、回転角加速度  $\ddot{\theta}$  で運動している。以下の問いに答えよ。

ただし、図Ⅲのときをポテンシャルエネルギーの基準とし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

- (a) この質点系の運動量は保存されるか、保存されないかを理由を述べて説明せよ。保存される場合には、保存則の式を求めよ。
- (b) この質点系の角運動量は保存されるか、保存されないかを理由を述べて説明せよ。保存される場合には、保存則の式を求めよ。
- (c) この質点系のエネルギーは保存されるか、保存されないかを理由を述べて説明せよ。保存される場合には、保存則の式を求めよ。
- (d) 図Ⅳのとき、この質点系の運動方程式を  $m$ 、 $g$ 、 $r$ 、 $\dot{r}$ 、 $\ddot{r}$ 、 $\theta$ 、 $\dot{\theta}$ 、 $\ddot{\theta}$  のうち必要なものを用いて全て示せ。



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(直交座標系)における二次元のポテンシャル流れに関する以下の問いに答えよ。

ただし、虚数単位を  $i$ 、複素数  $z$  を  $z = x + iy$  とし、 $z$  を  $x = r\cos\theta$ ,  $y = r\sin\theta$  とした極座標で表すと  $z = re^{i\theta}$  となる。

(a)  $U$  を正の実数として、 $xy$  平面における複素速度ポテンシャルが  $W(z) = U\left(z + \frac{R^2}{z}\right)$  で表される流れについて、以下の問いに答えよ。

(i) この流れの速度ポテンシャル  $\phi$  及び流れ関数  $\psi$  を、 $U$ ,  $R$ ,  $r$ ,  $\theta$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(ii) この流れの  $r$  方向速度  $v_r$  及び  $\theta$  方向速度  $v_\theta$  を求めよ。

(iii)  $v_r$  及び  $v_\theta$  が 0 (ゼロ)となる、よどみ点の位置の極座標  $(r, \theta)$  を求めよ。

(iv) 原点を中心とし、(iii)で求めたよどみ点を通る円に断面形状が一致し、 $xy$  平面に対して垂直な方向に単位長さの幅を有する円柱が、流れの中に存在するものとする。

このとき、ベルヌーイの定理を用いて円柱表面の圧力  $p$  を求めよ。ただし、流体は非圧縮非粘性流体でその密度を  $\rho$  とし、流れは  $xy$  平面に対して垂直な方向には変化せず、重力の影響は無視できるものとする。また、上流側で円柱から十分に離れた点における圧力を  $p_0$  とする。

(v) (iv)で求めた圧力  $p$  を積分することで、円柱に作用する力の  $y$  方向成分を求めよ。

なお、必要に応じて次式を用いてよい。

$$\int_0^{2\pi} \sin^3\theta d\theta = 0$$

(b)  $U$  及び  $\Gamma$  を正の実数として、 $xy$  平面における複素速度ポテンシャルが

$$W(z) = U \left( z + \frac{R^2}{z} \right) + i \frac{\Gamma}{2\pi} \ln z$$
 で表される流れについて、以下の問いに答えよ。

(i) この流れの速度ポテンシャル  $\phi$  及び流れ関数  $\psi$  を、 $U$ ,  $\Gamma$ ,  $R$ ,  $r$ ,  $\theta$  のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(ii) この流れの  $r$  方向速度  $v_r$  及び  $\theta$  方向速度  $v_\theta$  を求めよ。

(iii)  $v_r$  及び  $v_\theta$  が 0 (ゼロ) となる、よどみ点の位置の極座標  $(r, \theta)$  を求めよ。ただし、 $\Gamma < 4\pi RU$  とする。

(iv) 原点を中心とし、(iii)で求めたよどみ点を通る円に断面形状が一致し、 $xy$  平面に対して垂直な方向に単位長さの幅を有する円柱が、流れの中に存在するものとする。

このとき、ベルヌーイの定理を用いて円柱表面の圧力  $p$  を求めよ。ただし、流体は非圧縮非粘性流体でその密度を  $\rho$  とし、流れは  $xy$  平面に対して垂直な方向には変化せず、重力の影響は無視できるものとする。また、上流側で円柱から十分に離れた点における圧力を  $p_0$  とする。

(v) (iv)で求めた圧力  $p$  を積分することで、円柱に作用する力の  $y$  方向成分を求めよ。

なお、必要に応じて次式を用いてよい。

$$\int_0^{2\pi} \sin^3 \theta \, d\theta = 0$$

(2) 円管内を流れる密度  $\rho$  の非圧縮性粘性流体について考える。円管内を流体が通過するとき、流体は壁面との摩擦によってエネルギーが失われる。このときの損失水頭(ヘッド)  $\Delta h_f$  は以下の式①で表される。

$$\Delta h_f = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots ①$$

ただし、 $l$  は管路の長さ、 $D$  は管路の直径、 $V$  は管内の平均流速、 $\Delta p$  は円管内の摩擦による圧力損失の大きさ、 $g$  は重力加速度の大きさを表す。また、 $\lambda$  は無次元の係数であり、管摩擦係数と呼ばれる。このとき、以下の問いに答えよ。

なお、式①は流れが層流であっても乱流であっても成立する。

(a) 図 I に示すように、 $x$  軸を中心軸とする、水平に置かれた半径  $R_0$ 、管路長さ  $l_0$  の円管内における流れについて、以下の問いに答えよ。

ただし、 $r$  は  $x$  軸からの距離を表している。また、流体の圧力を  $p$ 、粘度(粘性係数)を  $\mu$  とする。なお、流れは層流状態であり、十分に発達しているものとする。

(i) 円管と同心上に中心軸をもつ、半径  $r_0$ 、長さ  $\Delta x$  の微小な円柱状の流体要素を考える。この要素の上下流断面にそれぞれ大きさ  $p_0$ 、 $p_0 + \left(\frac{dp}{dx}\right)\Delta x$  の圧力が作用し、外周面には大きさ  $\tau$  のせん断応力が働いているとき、この微小流体要素における  $x$  方向の力の釣合いの式を、 $\frac{dp}{dx}$ 、 $r_0$ 、 $\tau$  を用いて示せ。

(ii) 任意の  $r$  の位置における  $x$  方向の流速を  $u$  とし、ニュートンの粘性法則を踏まえ、速度勾配  $\frac{du}{dr}$  を、 $\frac{dp}{dx}$ 、 $r$ 、 $\mu$  を用いて表せ。

(iii) 流速  $u$  を、 $\frac{dp}{dx}$ 、 $r$ 、 $R_0$ 、 $\mu$  を用いて表せ。

(iv) 円管内の流量  $Q$  を、管内の平均流速  $V_0$  及び  $R_0$  を用いて表せ。

(v) 円管内の流量  $Q$  を、 $\frac{dp}{dx}$ 、 $R_0$ 、 $\mu$  を用いて表せ。

(vi) 式①を踏まえ、層流における管摩擦係数  $\lambda_l$  を、レイノルズ数  $Re \left( \equiv \frac{2\rho V_0 R_0}{\mu} \right)$  を用いて表せ。

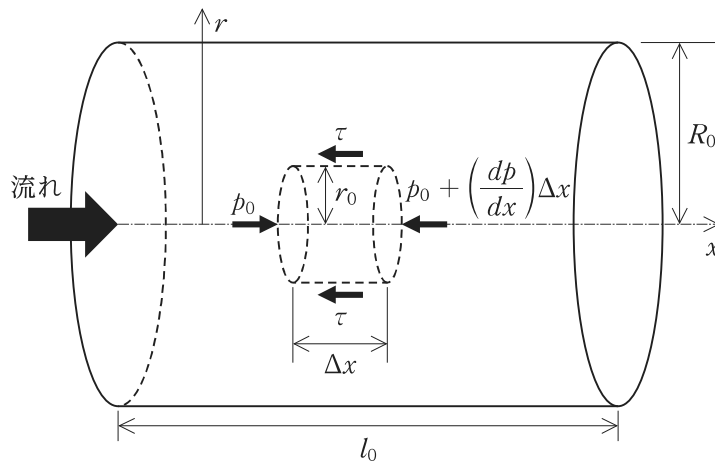
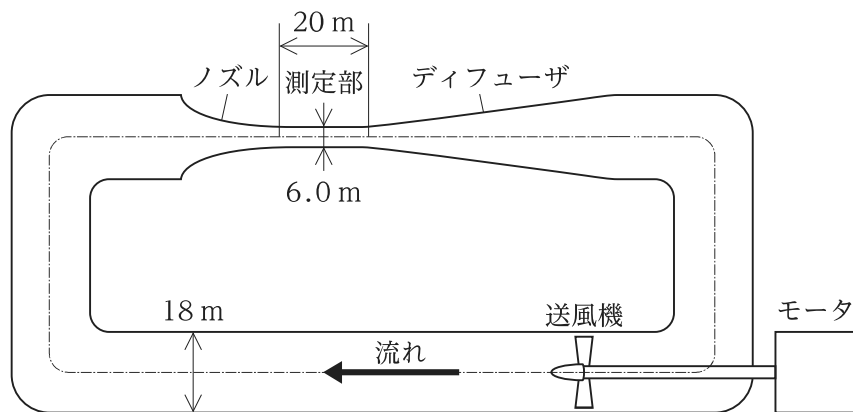


図 I

(b) 図Ⅱのように、ノズル、測定部、ディフューザ、循環流路及び送風機で構成された、流路断面が円形の風洞がある。流路は水平に設置されており、測定部及び循環流路の直径はそれぞれ  $D_t = 6.0 \text{ m}$ ,  $D_c = 18 \text{ m}$  であり、測定部の長さは  $l_t = 20 \text{ m}$  である。

この風洞について、損失と、送風機に必要な軸動力を考える。ノズルの速度係数(損失がないときの流速に対する実際の流速の比)を  $C = 0.90$ 、ノズル及び測定部以外の全流路において生じる損失水頭は、測定部の損失水頭の 200 % とする。測定部入口(ノズル出口)の平均流速  $V_t = 81 \text{ m/s}$ 、空気密度  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ 、重力加速度の大きさ  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 、管摩擦係数  $\lambda = 0.010$ 、送風機の効率が 80 % であるとき、以下の問いに答えよ。

- (i) ノズルを通るときに生じる圧力低下  $\Delta p_n$  [Pa] を有効数字 2 桁で求めよ。
- (ii) ノズル部の損失水頭  $\Delta h_n$  [m] を有効数字 2 桁で求めよ。
- (iii) 測定部の損失水頭  $\Delta h_t$  [m] を有効数字 2 桁で求めよ。
- (iv) 送風機の所要軸動力  $L$  [W] を有効数字 2 桁で求めよ。



図Ⅱ

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) 絶対温度  $T_H$  における等温膨張(状態 1 → 状態 2)、断熱膨張(状態 2 → 状態 3)、絶対温度  $T_L$  における等温圧縮(状態 3 → 状態 4)、断熱圧縮(状態 4 → 状態 1)の四つの可逆過程から成るサイクルについて考える。ここで、状態  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ )における体積を  $V_i$  とする。このとき、以下の問いに答えよ。

(a) このサイクルの作動流体を、質量  $1.0 \text{ kg}$ 、定積比熱  $c_v$ 、比熱比  $\gamma$  ( $\gamma > 1$ )、気体定数を  $R$  の理想気体とする。このとき、以下の問いに答えよ。

(i) このサイクルにおいて、気体の状態変化の概略を、縦軸を温度  $T$ 、横軸をエントロピー  $S$  としたグラフで示せ。

ただし、解答に当たっては、状態 1 ~ 4 の点をグラフ中に明記すること。

(ii) 状態 1 から状態 2 の等温膨張過程において、この気体の内部エネルギーの変化量  $\Delta U$  及びエントロピーの変化量  $\Delta S$  を  $R$ 、 $c_v$ 、 $\gamma$ 、 $V_1$ 、 $V_2$  のうち必要なものを用いて表せ。

(iii) 状態 1 から状態 2 の等温膨張過程において、気体が受け取る熱量  $Q_1$  を  $R$ 、 $c_v$ 、 $\gamma$ 、 $T_H$ 、 $V_1$ 、 $V_2$  のうち必要なものを用いて表せ。

(iv) 状態 3 から状態 4 の等温圧縮過程において、気体が受け取る熱量  $Q_2$  を  $R$ 、 $c_v$ 、 $\gamma$ 、 $T_L$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  のうち必要なものを用いて表せ。

(v) 理想気体の可逆的な断熱過程では、理想気体の圧力  $p$ 、温度  $T$ 、体積  $V$ 、比熱比  $\gamma$  の間に、 $pV^\gamma = (\text{一定})$ 、 $TV^{\gamma-1} = (\text{一定})$  の関係式が成り立つことを、熱力学第一法則を用いて示せ。

なお、理想気体では、定積比熱  $c_v$ 、定圧比熱  $c_p$ 、気体定数  $R$  の間に、 $c_p = c_v + R$  の関係式が成り立つことを用いてよい。

(vi) 温度比  $\frac{T_H}{T_L}$  を  $V_2$ 、 $V_3$  を用いて表せ。

(vii) このサイクルの理論熱効率  $\eta_a$  を  $T_H$ 、 $T_L$  を用いて表せ。ただし、導出過程も示すこと。

(b) このサイクルの作動流体を、式①に示すファン・デル・ワールスの状態方程式に従う質量  $1.0 \text{ kg}$ 、定積比熱  $c_v$  (定数)の気体とする。このとき、以下の問いに答えよ。

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \quad \dots\dots\text{①}$$

ただし、 $p$  は圧力、 $V$  は体積、 $T$  は温度、 $R$  は気体定数であり、 $a$  及び  $b$  は正の定数である。

(i) 状態 1 から状態 2 の等温膨張過程において、この気体の内部エネルギーの変化量  $\Delta U$  を  $R$ 、 $c_v$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $a$ 、 $b$  のうち必要なものを用いて表せ。ただし、導出過程も示すこと。

なお、内部エネルギーの微小変化  $dU$  は、次式で表せることを用いてよい。

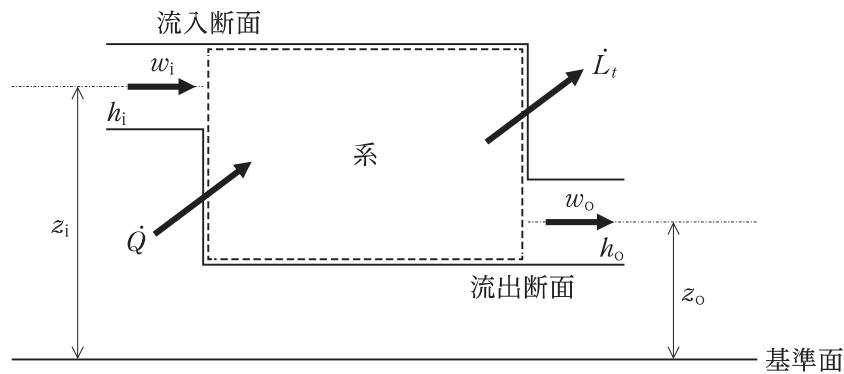
$$dU = c_v dT + \left\{ T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right\} dV$$

- (ii) 状態 1 から状態 2 の等温膨張過程において、気体が受け取る熱量  $Q_1$  を  $R, c_v, T_H, V_1, V_2, a, b$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (iii) 状態 3 から状態 4 の等温圧縮過程において、気体が受け取る熱量  $Q_2$  を  $R, c_v, T_L, V_3, V_4, a, b$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (iv) この気体の可逆的な断熱過程では、 $T(V - b)^{\frac{R}{c_v}} = (\text{一定})$  の関係式が成り立つことを示せ。
- (v) このサイクルの理論熱効率  $\eta_b$  を  $R, c_v, V_1, V_2, a, b, T_H, T_L$  のうち必要なものを用いて表せ。ただし、導出過程も示すこと。

(2) 定常流動系に関する以下の問いに答えよ。

(a) 図のような定常流動系を考える。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、単位時間当たり外部から供給される熱量を  $\dot{Q}$ 、外部に行う工業仕事を  $\dot{L}_t$ 、作動流体の質量流量を  $\dot{m}$  とする。また、系に流入・流出する作動流体の速度をそれぞれ  $w_i, w_o$ 、それぞれの比エンタルピーを  $h_i, h_o$ 、流入・流出断面の基準面からの高さをそれぞれ  $z_i, z_o$  とし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。



- (i) 系に流入・流出する作動流体のエネルギーバランスに着目して、図に示される定常流動系のエネルギー保存則を示せ。
- (ii) 理想気体の比内部エネルギーを  $u = kT$  とするとき、定圧比熱  $c_p$  について、定数  $k$  と気体定数  $R$  を用いて  $c_p = k + R$  の関係が成り立つことを示せ。

なお、 $c_v$  を定積比熱、 $p$  を圧力、 $v$  を比体積、 $T$  を温度とし、必要に応じて次式を用いてよい。

$$c_p = c_v + \left\{ \left( \frac{\partial u}{\partial v} \right)_T + p \right\} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p$$

(b) ロケットエンジンの燃焼室では、高温高圧の燃焼ガスが生成される。燃焼ガスはノズル内で断熱膨張し、ノズル出口で噴流として定常に排出される。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、ノズル入口における燃焼ガスの温度、圧力、流速をそれぞれ  $T_i$ ,  $p_i$ ,  $w_i$ 、ノズル出口における温度、圧力、流速をそれぞれ  $T_o$ ,  $p_o$ ,  $w_o$  とし、気体定数を  $R$ 、燃焼ガスの質量流量を  $\dot{m}$  とする。また、燃焼ガスの比内部エネルギーを  $u = kT$  とする。

なお、燃焼ガスは組成が一定の理想気体とし、ノズル入口と出口の間におけるポテンシャルエネルギーの差は無視できるものとする。

(i) 単位時間当たりのノズル入口と出口の間における燃焼ガスのエンタルピーの差  $\Delta H$  を  $\dot{m}$ ,  $k$ ,  $R$ ,  $T_i$ ,  $T_o$  を用いて表せ。

(ii) 定常流動系のエネルギー保存則に着目して、 $w_o$  を  $k$ ,  $R$ ,  $T_i$ ,  $T_o$ ,  $w_i$  を用いて表せ。

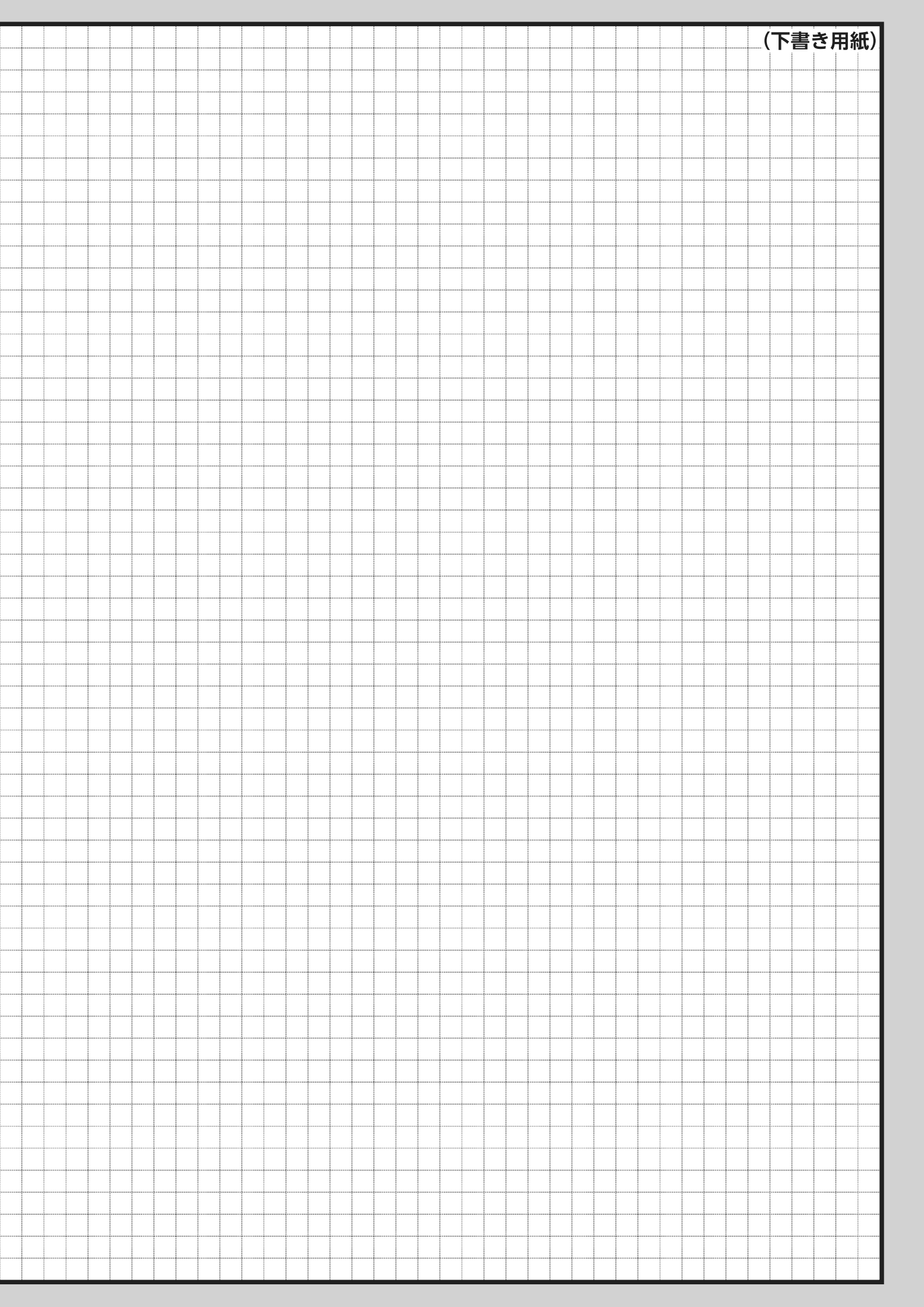
(iii)  $\frac{T_o}{T_i}$  を  $k$ ,  $R$ ,  $p_i$ ,  $p_o$  を用いて表せ。

なお、理想気体の断熱膨張変化では、圧力  $p$ 、比体積  $v$ 、比熱比  $\gamma$  の間に、 $pv^\gamma = (\text{一定})$  の関係が成り立つことを用いてよい。

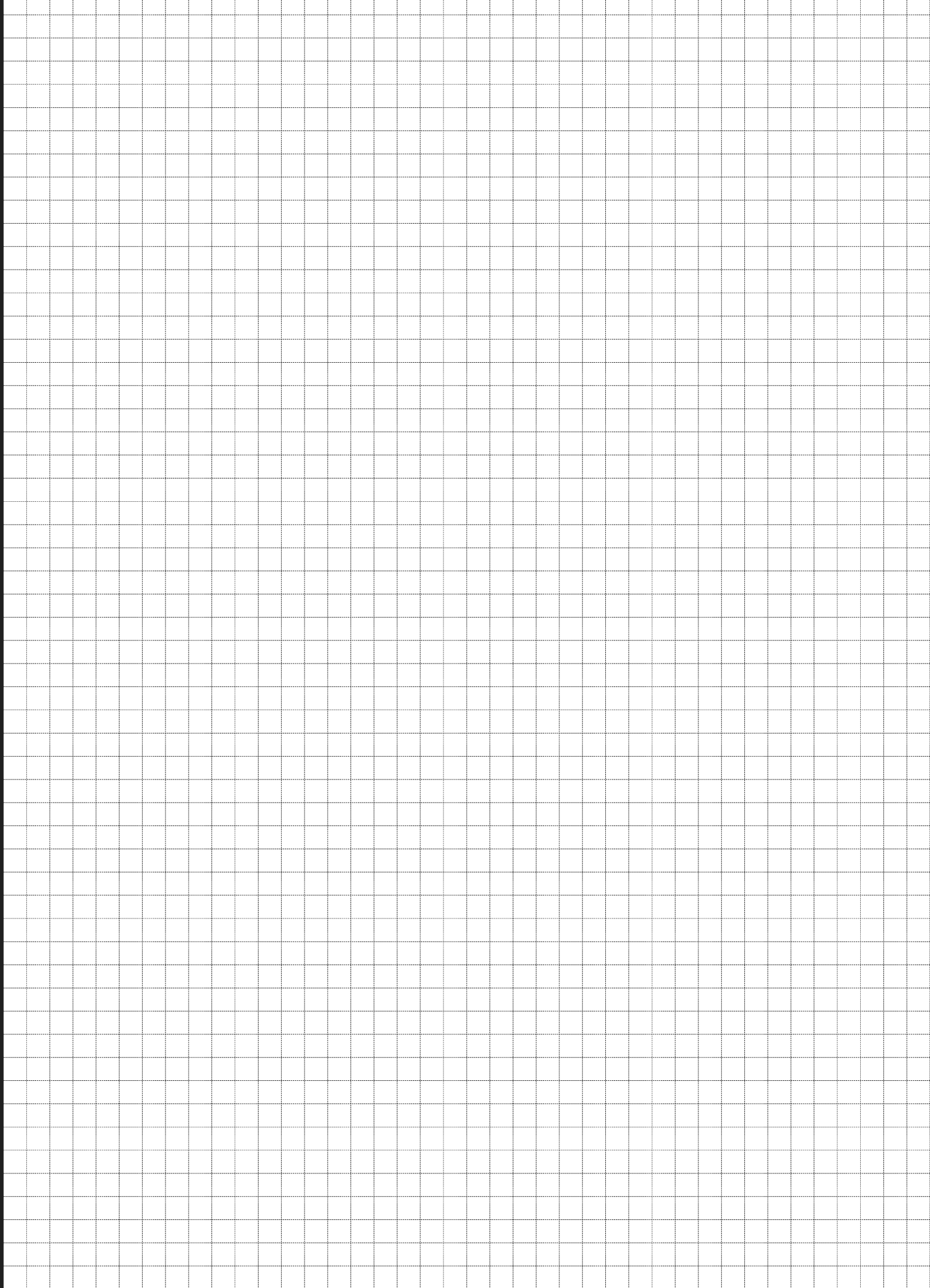
(iv)  $\lim_{p_o \rightarrow 0} w_o$  を  $k$ ,  $R$ ,  $T_i$ ,  $w_i$  を用いて表せ。

(v) 推力を  $F$  としたときの  $\lim_{p_o \rightarrow 0} F$  を  $k$ ,  $\dot{m}$ ,  $R$ ,  $T_i$ ,  $w_i$  を用いて表せ。

(vi) ロケットエンジンの性能の一つである比推力  $I$  は、重力加速度の大きさ  $g$  を用いて  $I = \frac{F}{\dot{m}g}$  と定義される。燃焼ガスの分子量が小さいほど、 $I$  が高くなることを示せ。



(下書き用紙)

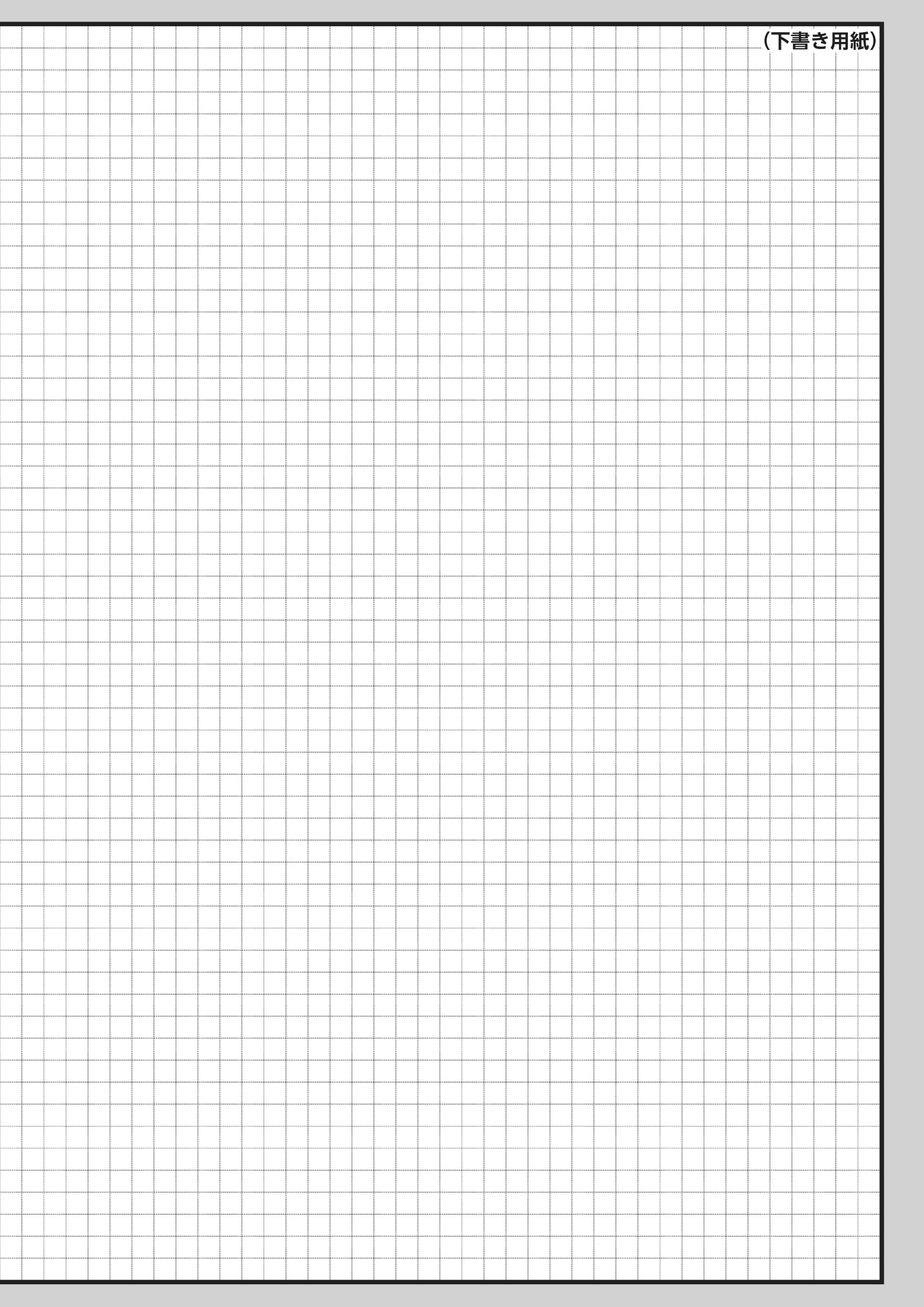




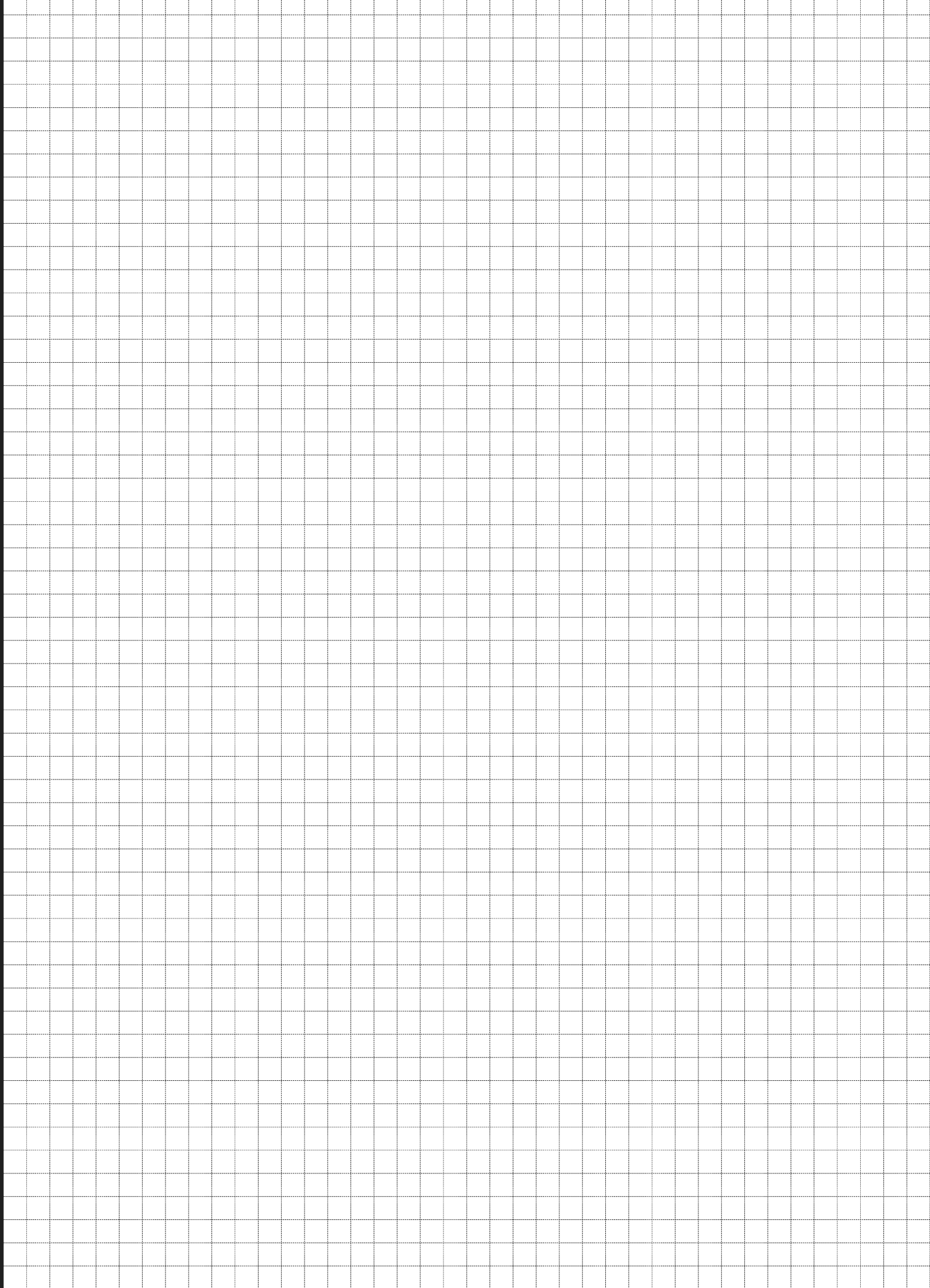
(下書き用紙)



(下書き用紙)



(下書き用紙)



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、速度  $V$  で水平定常飛行状態にある航空機について考える。ここで、 $T$  は推力、 $L$  は揚力、 $D$  は抗力、 $W$  は重力を示している。いま、揚力と抗力を次式で示すことができるとき、以下の問いに答えよ。

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L$$

$$D = \frac{1}{2} \rho V^2 S (C_{D0} + k C_L^2)$$

ただし、 $\rho$  は大気密度、 $S$  は代表面積、 $C_L$  は揚力係数、 $C_{D0}$  は有害抗力係数、 $k$  は正の定数とする。

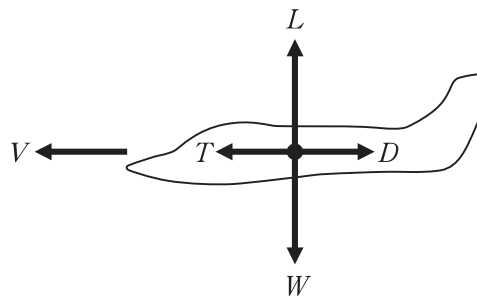


図 I

- (a) 水平定常飛行を行うための必要推力  $T_r$  を  $V$ ,  $\rho$ ,  $S$ ,  $C_L$ ,  $C_{D0}$ ,  $k$  を用いて表せ。
- (b) 必要推力  $T_r$  を  $V$ ,  $W$ ,  $\rho$ ,  $S$ ,  $C_{D0}$ ,  $k$  を用いて表せ。
- (c) (b) で求めた関数を用いて、必要推力曲線 ( $T_r - V$  曲線) の概略図を描け。  
ただし、縦軸を必要推力  $T_r$ 、横軸を速度  $V$  とし、曲線を形作る補助線及びその式を示すこと。
- (d) 必要推力に対し、実際に推進装置から得られる推力は利用推力と呼ばれる。レシプロエンジンにおいて、過給機がある場合とない場合では利用推力にどのような違いがあるか、説明せよ。

(2) 航空機の水平定常飛行からの横・方向の微小擾乱運動について考える。

機体の横・方向の微分方程式は安定軸系で、以下の四つの方程式で表すことができる。

$$V_0 \dot{\beta} = g\varphi + Y_\beta \beta - V_0 r + Y_{\delta_r} \delta_r$$

$$\dot{p} = L_\beta \beta + L_p p + L_r r + L_{\delta_a} \delta_a$$

$$\dot{r} = N_\beta \beta + N_p p + N_r r + N_{\delta_r} \delta_r$$

$$\dot{\psi} = p$$

ここで、 $V_0$  は釣合い飛行速度、 $\beta$  は水平定常飛行からの横滑り角、 $\varphi$  はロール角、 $p$ ,  $r$  はそれぞれロール角速度とヨー角速度、 $\delta_r$ ,  $\delta_a$  はそれぞれラダー舵角とエルロン舵角、 $g$  は重力加速度の大きさを示している。また、 $Y_\beta$ ,  $Y_{\delta_r}$ ,  $L_\beta$ ,  $L_p$ ,  $L_r$ ,  $L_{\delta_a}$ ,  $N_\beta$ ,  $N_p$ ,  $N_r$ ,  $N_{\delta_r}$  はそれぞれ空力微係数である。与えられた四つの式をラプラス変換し、特性方程式を求めると次式のように表される。

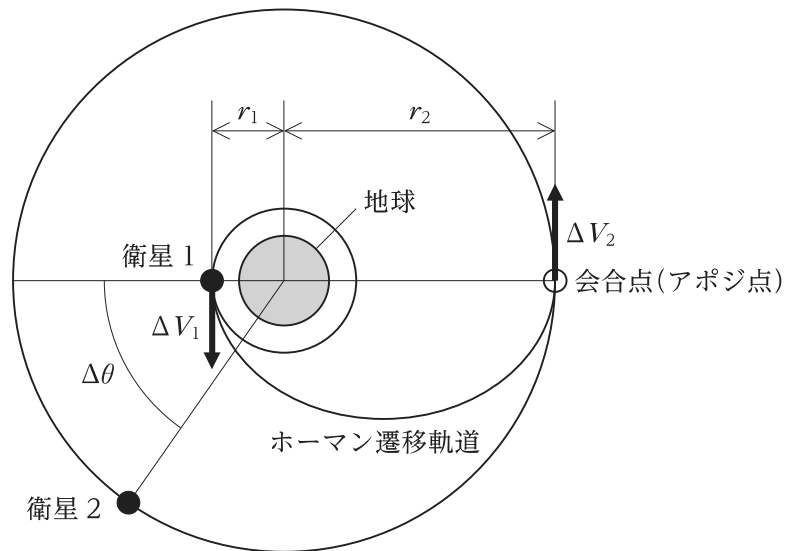
$$(s + \lambda_1)(s + \lambda_2)(s^2 + a_1 s + a_2) = 0$$

ここで、 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  は実定数であり、 $|\lambda_1| < |\lambda_2|$  であるとする。 $(s + \lambda_1)$  に対応する運動モードを①、 $(s + \lambda_2)$  に対応する運動モードを②、 $(s^2 + a_1 s + a_2)$  に対応する運動モードを③とすると、以下の問いに答えよ。

- (a) ①の運動モードの名称、発生原理、主に関係する状態量を示せ。また、①の運動モードについて  $\lambda_1 < 0$  であったとき、その飛行軌跡の概略図を描け。
- (b) ②の運動モードの名称、発生原理、主に関係する状態量を示せ。
- (c) ③の運動モードの名称、発生原理、主に関係する状態量を示せ。

- (3) 図Ⅱのように、半径  $r_1$  の円軌道(待機軌道)上を周回する衛星 1 が、半径  $r_2$  の目的の円軌道上を周回する衛星 2 と会合することを考える。遷移軌道はホーマン遷移軌道を利用し、地球の質量を  $M$ 、万有引力定数を  $G$  とするとき、以下の問いに答えよ。

ただし、地球以外の天体及び大気の影響は無視し、ロケット噴射は全てインパルスとする。また、全ての運動は同一平面内で行われるものとする。



図Ⅱ

- (a) 初期の待機軌道からホーマン遷移軌道に投入するために必要なロケット噴射による速度増分  $\Delta V_1$  を  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $M$ ,  $G$  を用いて表せ。ただし、導出過程も示すこと。

なお、地球の中心を原点としたときのホーマン遷移軌道上の点の極座標を  $(r, \theta)$  とするとき、必要に応じて、 $r$ ,  $\theta$ , 離心率  $e$ , 半直弦  $l$  の間に次式が成り立つことを用いてよい。

$$r = \frac{l}{1 + e \cos \theta}$$

- (b) ホーマン遷移軌道から目的の軌道に投入するために必要なロケット噴射による速度増分  $\Delta V_2$  を  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $M$ ,  $G$  を用いて表せ。
- (c) アポジ点において、目的の軌道にある衛星 2 と会合することを考える。衛星 1 が待機軌道を離脱するときの衛星 2 との位相角  $\Delta \theta$  を求めよ。
- (d) アポジモータは固体燃料ロケットを使用することが多いが、液体アポジエンジンが用いられることも増えてきている。固体燃料を利用したモータ及び液体燃料を利用したモータのそれぞれについて、利点と欠点を簡単に説明せよ。

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、梁の自重については無視するものとする。曲げモーメントとせん断力は図 I 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し、応力は引張を正とする。

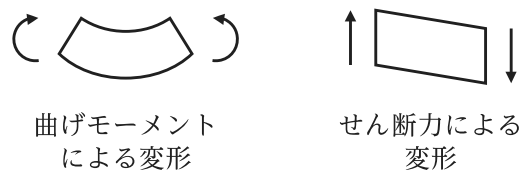


図 I

(1) 図 II, III, IV に示す長さ  $2L$  の Gerber 梁について、以下の問いに答えよ。

(a) 図 II に示すように、点 D に大きさ  $P$  の集中荷重が作用するとする。このときの AC 間の曲げモーメント分布とせん断力分布を求め、それぞれ図示せよ。ただし、図には頂点の座標を明記すること。

また、このときに点 D の下縁に発生する材軸方向の直応力を求めよ。ただし、Gerber 梁の断面は幅、高さがそれぞれ  $b$ ,  $h$  の矩形であるとする。

(b) 図 III に示すように、単位荷重が AC 間を移動するとする。点 A から  $\xi$  だけ移動したときの点 D における曲げモーメントを求め、影響線図として図示せよ。ただし、影響線図には頂点の座標を明記すること。

(c) 図 IV に示すように、大きさが  $P$ ,  $2P$  の集中荷重の組が、長さ  $\frac{L}{10}$  の間隔を保ちながら AC 間を移動するとする。このときの点 D における最大の曲げモーメントを求めよ。また、最大の曲げモーメントが点 D に発生するときにおける、大きさ  $2P$  の集中荷重の点 A からの移動量  $\xi$  を求めよ。

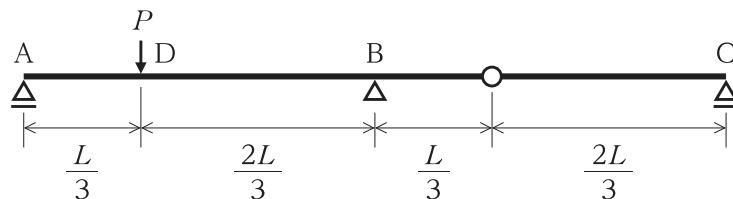
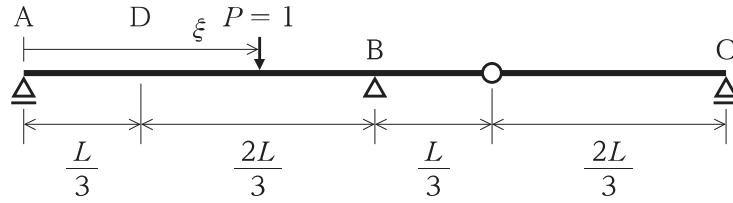
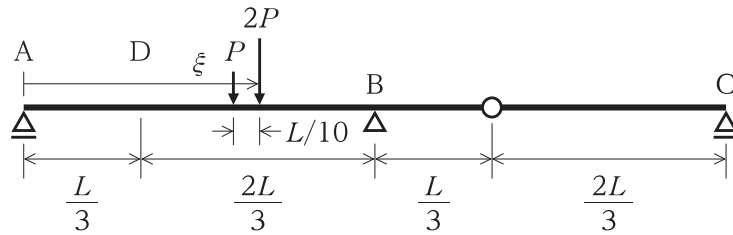


図 II



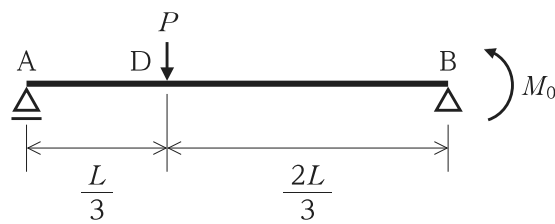
図III



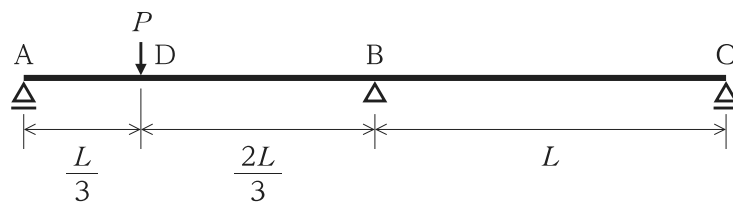
図IV

(2) 図V, VIに示す梁について、以下の問いに答えよ。ただし、曲げ剛性を  $EI$  とする。

- (a) 図Vに示すように、長さ  $L$  の単純支持梁の点Dに大きさ  $P$  の集中荷重が、点Bにモーメント荷重  $M_0$  が作用するとき、点Bにおけるたわみ角  $\theta_B$  を求めよ。ただし、 $\theta_B$  は、図Vにおいて、時計回りを正とする。
- (b) 図VIに示すように、長さ  $2L$  の連続梁の点Dに大きさ  $P$  の集中荷重が作用するとき、点Bにおける曲げモーメント  $M_B$  を求めよ。
- (c) 図VIに示す連続梁に関して、AC間の曲げモーメント分布とせん断力分布を求め、それぞれ図示せよ。ただし、図の頂点の座標を明記すること。



図V



図VI

(3) 図Ⅶに示すように、点 C に大きさ  $P$  の集中荷重が作用する長さ  $L$  の単純支持梁がある。この梁の断面は幅  $b$ 、高さ  $h$  の矩形であり、弾性係数は  $E$  で均質であるとする。

いま、この梁の点 D の位置において、図Ⅷに示すように、ひずみゲージ G1, G2 が梁側面に貼付されている。ひずみゲージ G1, G2 が感知するひずみをそれぞれ求めよ。

ただし、ひずみゲージは図Ⅷ中の破線の方の直ひずみを感知し、大きさが十分に小さいことから、一点のひずみを測定できるものとする。また、点 D の位置における梁の断面のせん断応力は次式で表されるものとする。

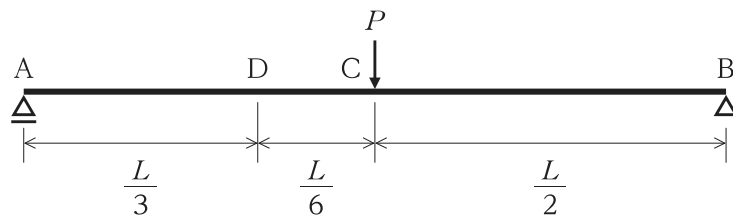
$$\tau(z) = \frac{3P}{4bh} \left\{ 1 - \left( \frac{z}{h/2} \right)^2 \right\}$$

ここで、図Ⅷに示すように、 $z$  は中立軸位置を原点とする鉛直下向きの座標軸である。

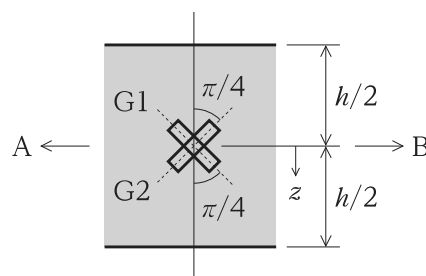
また、各ひずみゲージを貼付した表面においては平面応力状態を仮定し、主ひずみ  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 、主応力  $\sigma_1, \sigma_2$  の間に次の関係式が成り立つものとする。

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu \\ -\nu & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \end{Bmatrix}$$

ここで、 $\nu$  は Poisson 比である。



図Ⅶ



図Ⅷ

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) 土の透水に関する以下の問いに答えよ。ただし、解答に使用できる物理量・パラメータは、(a)では図 I 中の記号のみとし、(b)では図 II 中の記号のみとする。

(a) 図 I に示すように、直管 (断面積  $A$ ) 内に長さ  $L$  の砂試料 (土粒子の比重  $G_s$ 、間隙比  $e$ 、乾燥単位体積重量  $\gamma_d$ 、透水係数  $k$ ) を一様に詰め、飽和させた後に水を流した。このときの水の流れは層流の状態にあり、土断面全体を水が一様に流れるとみなした流速 (見かけの流速) を  $v$ 、水の単位体積重量を  $\gamma_w$  とする。

- (i) この砂試料の間隙比  $e$  を求めよ。
- (ii) 見かけの流速  $v$  を求めよ。
- (iii) 真の流速 (実流速)  $v_s$  を求めよ。

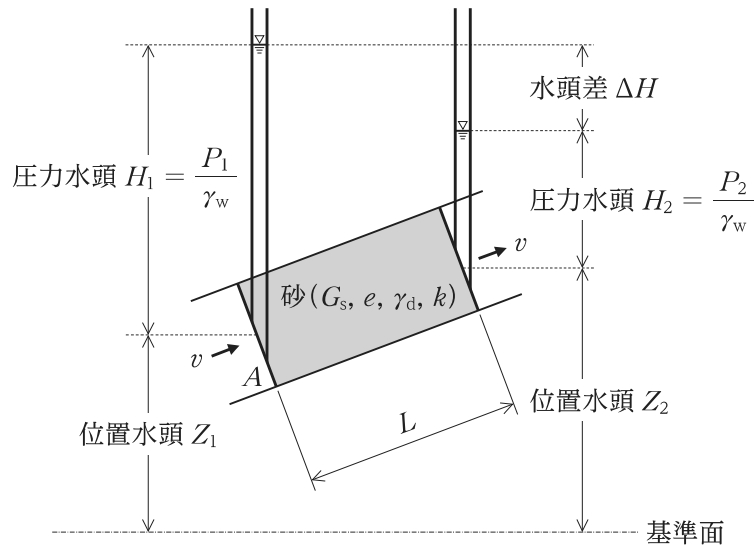


図 I

(b) 図 II に示すように、長さ  $L$  の容器に管が接続されている。容器内に砂 (土粒子の比重  $G_s$ 、間隙比  $e$ ) を一様に詰めて飽和させ、水頭差が  $H$  となるように管の上端から水を静かに入れた。また、水の単位体積重量を  $\gamma_w$  とする。

- (i)  $H = 0$  のとき、点 A での鉛直方向の有効応力  $\sigma'_v$  を求めよ。
- (ii)  $H = H_1 (> 0)$  のとき、砂表面から流速がゼロに近い状態で水が流れ出た。このときの地表面からの距離が  $d$  である点 B での浸透水圧を求めよ。
- (iii) (ii) のとき、点 A における鉛直方向の有効応力  $\sigma'_v$  を求めよ。

(iv)  $H = H_2 (> H_1)$  のとき、点 A の有効応力  $\sigma'_v$  がゼロになった。このときの  $H_2$  を求めるとともに、生じる現象の名称を示せ。

(v)  $H$  の増加に対しても砂の安定を保持できるように砂表面に上載圧  $q$  を加えたい。 $H = 1 \text{ m}$  のときの  $q$  の条件を示せ。

ただし、 $L = 20 \text{ cm}$ ,  $G_s = 2.650$ ,  $e = 0.650$ ,  $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$  とする。

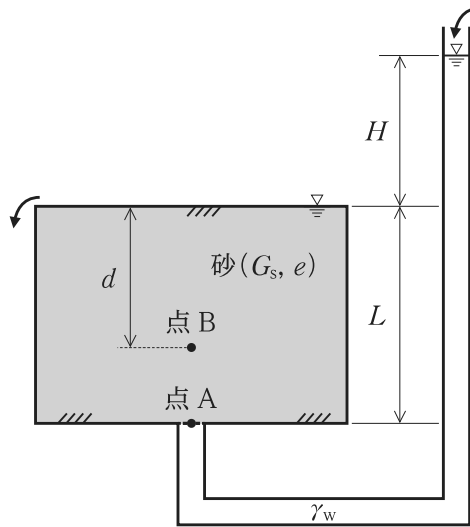


図 II

(2) 擁壁の安定性に関する以下の問いに答えよ。図 III の壁体は剛で、表面摩擦は無視できるものとする。一方、図 IV 及び V も同様に壁体は剛であるが、壁面の表面摩擦を考慮するものとする。

(a) 壁体の動きと土圧係数の値の関係性を、図を用いて説明せよ。

(b) 図 III において、主動破壊状態でのすべり面角度  $\theta_a$  と内部摩擦角  $\phi$  との関係を示せ。

(c) 図 III において、 $\phi = 30^\circ$  であるときの静止土圧係数  $K_0$  : 主動土圧係数  $K_a$  : 受働土圧係数  $K_p$  の比を求めよ。

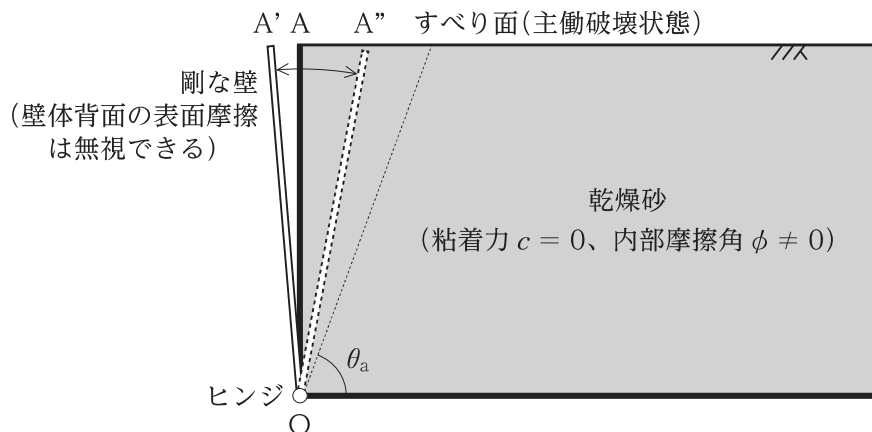
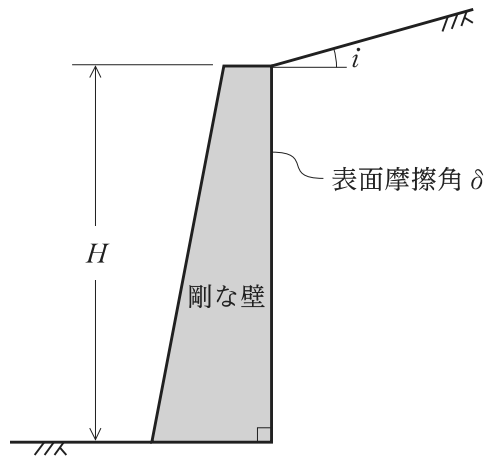


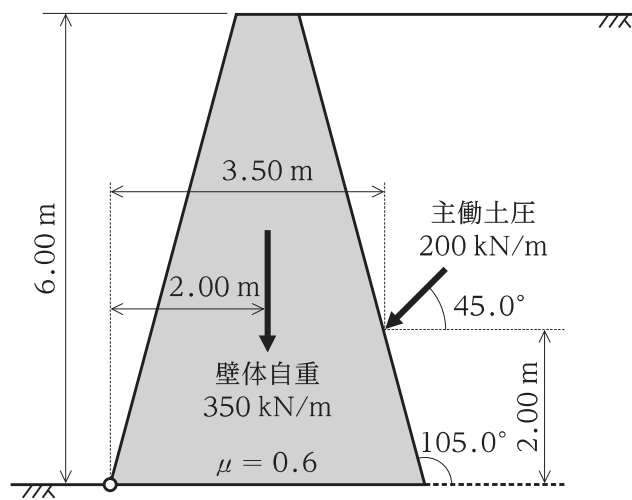
図 III

- (d) 図IVの擁壁において、Coulomb 土圧論での主働土圧分布及び受働土圧分布を示せ。  
ただし、壁体の表面摩擦角は  $\delta (\neq 0^\circ)$  とする。



図IV

- (e) 図Vに示す擁壁において、主働土圧に対する滑動と転倒に関する安全率を求めよ。  
ただし、壁体自重及び主働土圧の大きさと作用位置、壁体底部と地盤との間の静止摩擦係数  $\mu$  は同図のとおりである。なお、 $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ \approx 0.7$  としてよい。



図V

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】 水理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 に示すように、三つの貯水池が 3 本の異なる一定管径の円状の管水路によって枝状に接続されており、管水路内の流れは、貯水池 I から貯水池 II 及び III へ流れている。貯水池 I と管水路①の接続部を点 A、貯水池 II と管水路②の接続部を点 B、貯水池 III と管水路③の接続部を点 C、管水路①、②、③の接続部を点 D とする。また、管水路①(点 A-D 間)、②(点 D-B 間)、③(点 D-C 間)それぞれの長さを  $l_1, l_2, l_3$ 、管径を  $d_1, d_2, d_3$ 、摩擦損失係数を  $f_1, f_2, f_3$ 、管内平均流速を  $u_{m1}, u_{m2}, u_{m3}$  とする。

このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、摩擦損失以外のエネルギー損失は無視できるものとし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。また、貯水池 III の水面を基準としたときの貯水池 I, II の水面の高さ及び点 D の全エネルギー水頭をそれぞれ  $H_1, H_2, E_D$  とする。

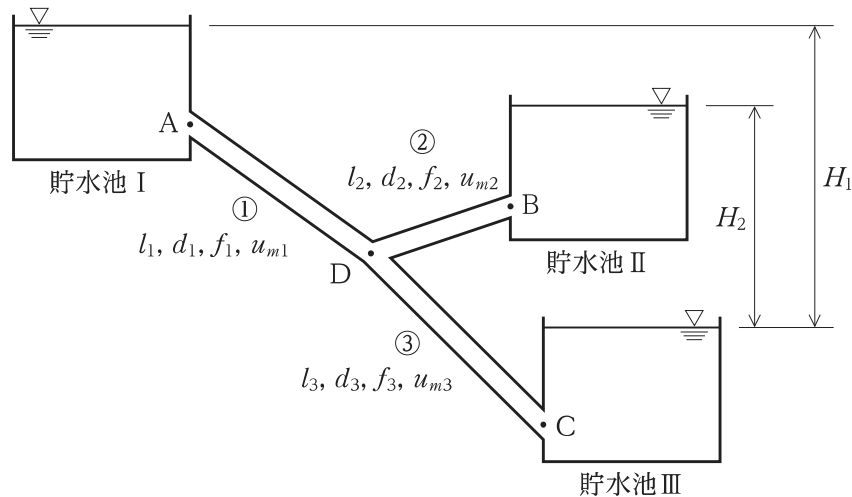


図 I

- (a) 管水路①, ②, ③それぞれでエネルギー損失を考慮した Bernoulli の式を示せ。  
 (b)  $H_1, H_2$  を管水路①, ②, ③における流量  $Q_1, Q_2, Q_3$  を用いて表したとき、それぞれの係数  $k_1, k_2, k_3$  を  $\pi, g, f, l, d$  を用いて表せ。

ただし、 $f, l, d$  については必要な添字を含めて答えること。

- (c) 流量比  $\frac{Q_2}{Q_3}$  が一つとなるような条件を設定する場合を考える。その条件式を  $\frac{H_1}{H_2}$  で整理した場合、以下のような2次方程式が得られる。この式の⑦に当てはまる適切な式を  $k_1, k_2, k_3$  を用いて表せ。また、 $k_1 = k_2 = k_3$  となるときの  $\frac{H_1}{H_2}$  を求めよ。
- なお、式中の  については設問の都合上伏せてある。

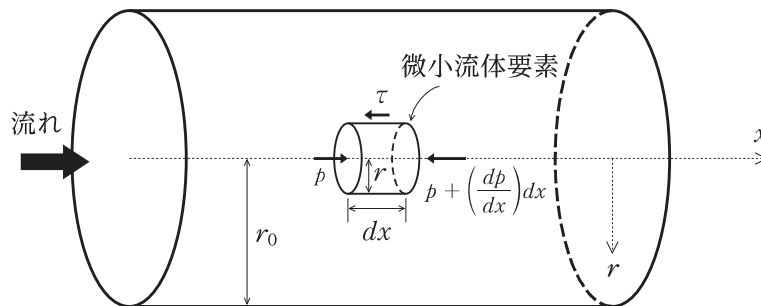
$$\text{⑦} \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^2 + \text{} \frac{H_1}{H_2} - k_1 k_3 = 0$$

- (2) 一定管径の管水路内における定常流れについて、以下の問いに答えよ。ただし、 $u$  は流下方向の流速、 $\rho$  は水の密度、 $\mu$  は粘性係数、 $\nu$  は動粘性係数とする。

- (a) 図Ⅱに示すように、半径  $r_0$  の管水路と同心上に中心軸をもつ半径  $r$ 、長さ  $dx$  の微小な円柱状の流体要素では、上下流断面にそれぞれ  $p, p + \left(\frac{dp}{dx}\right)dx$  の圧力が作用し、外周面にはせん断応力  $\tau$  が働いている。

中心軸に対象な流れが層流の場合の速度分布を導出することを検討する。以下の問いに答えよ。

- (i) 図Ⅱに示す微小流体要素における力の釣り合い式を示し、その式を踏まえて、 $\tau$  を表す式を示せ。
- (ii) (i)で示したせん断応力  $\tau$  を表す式と Newton の粘性法則を踏まえ、半径方向の速度勾配  $\frac{du}{dr}$  の式を示せ。
- (iii) (ii)で示した式から速度分布の式を示せ。また、求めた式より最大速度  $u_{max}$  を示せ。
- (iv) 直径  $d$ 、長さ  $l$  の円管を流体が流れることで圧力降下が生じる場合を考える。このとき、管水路内を流れる流量  $Q$  を表す式を、 $\pi, \Delta p, \mu, l, d$  を用いて示せ。



図Ⅱ

(b) 管水路内の流れが乱流の場合の速度分布を、レイノルズ応力  $\tau_T$  と混合距離  $l$  の関係から導出することを検討する。以下の問いに答えよ。

(i) Prandtl による混合距離モデルを簡単に説明している次の記述の㉗、㉘に当てはまる適切な語を示せ。

「Prandtl は乱流の混合において、気体分子運動論における ㉗ に類推される長さが存在し、渦どうしが混合する ㉘ として mixing length を提案した。」

(ii) レイノルズ応力  $\tau_T$  と混合距離  $l$  の関係は、 $\tau_T = \rho l^2 \left| \frac{d\bar{u}}{dy} \right| \frac{d\bar{u}}{dy}$  である。ここで、壁近傍での局所的な流れでは、混合距離は壁面からの距離  $y$  に比例し、その比例定数を  $\kappa$  とする。また、摩擦速度  $v_*$  は壁面せん断応力  $\tau_0$  を用いると、 $v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$  と表すことができる。これらを踏まえ、レイノルズ応力  $\tau_T$  が壁面せん断応力  $\tau_0$  に等しいと仮定し、速度勾配  $\frac{du}{dy}$  を示せ。

(iii) (ii) で求めた式より、 $\frac{u}{v_*}$  を示せ。

(iv) 粘性底層に関するレイノルズ数  $Re_\delta$  を  $Re_\delta = \frac{v_* \delta_0}{\nu}$  としたとき、(iii) で求めた式より、得られる次式の㉙、㉚に当てはまる適切な式を示せ。

ただし、㉚については  $Re_\delta$  を用いて示すこと。

$$\frac{u}{v_*} = \text{span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">㉙} \log_{10} \left( \frac{v_* y}{\nu} \right) + \text{span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">㉚}$$

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<sup>①</sup>に答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 都市計画に関する以下の問いに答えよ。

「都市計画法は、都市の  な発展と  ある整備を図り、もって国土の  ある発展と公共の福祉の増進に寄与することを目的としている。

この法律において、「都市計画」とは、都市の  な発展と  ある整備を図るための 、 の整備及び <sup>①</sup>市街地開発事業に関する計画で、法の規定に従い、定められたものとされている。

<sup>②</sup>土地区画整理事業や <sup>③</sup>市街地再開発事業に代表される市街地開発事業は、戦災復興や、高度経済成長期を中心とした都市部への人口の急激な流入に対し、インフラの整備や安心して生活できる市街地の整備に大きな役割を果たしてきた。」

(a) 上記の記述の㉞～㉟に当てはまる適切な語句を示せ。

(b) 上記の記述の下線部①について、土地区画整理事業及び市街地再開発事業を除く、市街地開発事業を三つ挙げよ。

(c) 上記の記述の下線部②における「減歩」について、「公共減歩」と「保留地減歩」の違いに触れながら、2行程度で説明せよ。

(d) 上記の記述の下線部③における「権利変換」について、2行程度で説明せよ。

(2) 都市防災に関する以下の問いに答えよ。

「令和3年7月に  で発生した土石流による被害を受け、宅地造成等規制法を抜本改正し、 やその目的にかかわらず、危険な盛土等を全国一律の基準で包括的に規制する  法が令和5年5月より施行された。この法律の施行により、都道府県知事等は、危険な盛土等を規制する区域を指定することができるようになった。」

(a) 上記の記述の㉞、㉟、㊱に当てはまる適切な語句を示せ。

(b) 上記の記述の下線部について、都道府県知事等が指定する二つの区域の名称を示した上で、それぞれについて2行程度で説明せよ。

(3) 都市交通に関する以下の問いに答えよ。

「交通渋滞を解消するには、ボトルネック解消施策や道路ネットワークの整備による道路の  を拡大する方法、又は、①交通需要マネジメント(TDM)施策やマルチモーダル施策による  を調整する方法がある。

令和5年度に ②LRT が開業した宇都宮市では、道路の混雑が緩和しているとの報告がされており、LRTの導入は、交通渋滞の解消に一定の効果があるものと考えられる。」

- (a) 上記の記述の㉞、㉟に当てはまる適切な語句を示せ。
- (b) 上記の記述の下線部①について、TDM 施策の基本的な考え方を二つ挙げよ。
- (c) 上記の記述の下線部②について、LRT の特徴を二つ挙げ、その特徴から期待されるメリットをそれぞれ説明せよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 河川法、河道計画及び河道管理に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 河川法第1条で定められている法の目的に関して、次の記述の㉗～㉙に当てはまる適切な語句を示せ。

「河川について、洪水、㉗、㉘等による災害の発生が防止され、河川が適正に利用され、㉙の正常な機能が維持され、及び河川㉚の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより、国土の保全と開発に寄与し、もつて公共の安全を保持し、かつ、公共の福祉を増進することを目的とする。」

- (b) 計画高水流量が比較的大きな河川の河道断面は、単断面ではなく、高水敷のある複断面とする場合が多いが、高水敷を設ける理由を二つ挙げよ。
- (c) 河床低下は河川の断面積を増加させ、洪水流下能力を増大させる一方で、河川管理をする上で問題を発生させるおそれがある。この河床低下によって発生するおそれがある問題を二つ挙げ、それぞれについて簡潔に説明せよ。
- (d) 近年、河道内の樹林化の進行により流下能力の低下や河川環境の悪化が課題となっており、河川管理者には樹木伐採等の適切な河道管理が求められている。河道内の樹林化が進行する原因として考えられるものを二つ挙げ、それぞれについて簡潔に説明せよ。

(2) 特定都市河川に関する以下の問いに答えよ。

「ハード・ソフト一体の水災害対策である流域治水の本格的実践に向けて、特定都市河川浸水被害対策法が令和3年度に改正され、特定都市河川の指定が全国の河川に拡大されている。

同法に基づき、浸水被害対策の総合的な推進のための①流域水害対策計画の策定、河川管理者等による施設整備の加速化、地方公共団体や民間事業者等による②雨水貯留浸透施設の整備、③雨水の流出を抑制するための規制、水害リスクを踏まえたまちづくり・住まいづくり等、流域一体となった浸水被害の防止のための対策を推進し、流域治水の本格的な実践を目指す。」

- (a) 上記の記述の下線部①について、特定都市河川及び特定都市河川流域が指定されたときは、特定都市河川流域における「流域水害対策計画」を定めることとなっているが、この計画の策定主体となり得る者を以下の㉗～㉙のうちから全て挙げよ。

㉗都道府県知事、㉘市町村長、㉙河川管理者、㉚下水道管理者、㉛民間事業者、  
㉜森林所有者

- (b) 上記の記述の下線部②について、雨水貯留浸透施設にはどのような種類の施設があるか三つ挙げよ。
- (c) 上記の記述の下線部③について、特定都市河川浸水被害対策法に基づく雨水の流出を抑制するための規制を二つ挙げ、それぞれの規制内容を簡潔に説明せよ。

(3) ダムに関する以下の問いに答えよ。

(a) ダムにおいて「選択取水」を行う目的を 3 行程度で説明せよ。

(b) ダムの「緊急放流(異常洪水時防災操作)」について説明するとともに、緊急放流時にダム下流の住民に求められる行動について説明せよ。

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) 高潮に関する以下の問いに答えよ。

(i) 高潮の主要な発生要因を二つ挙げ、それぞれ1行程度で説明せよ。

(ii) 高潮による海面上昇は、どのような海底地形や海岸形状において増大しやすいかを簡潔に説明せよ。

(b) 海岸変形に関する以下の問いに答えよ。

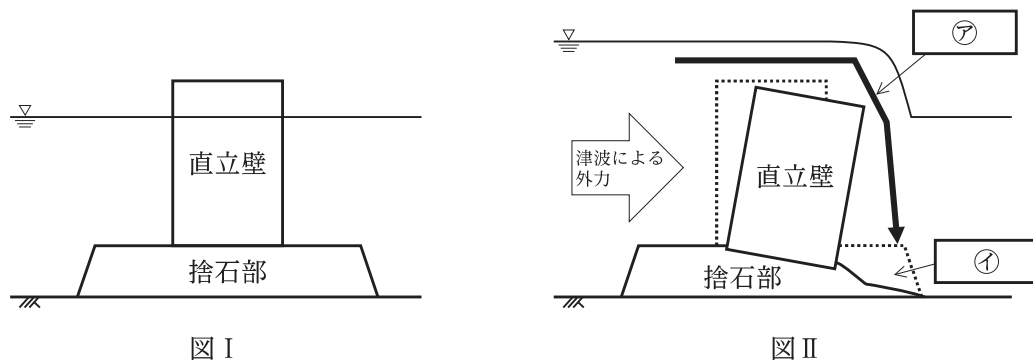
「海岸変形は、海岸全体での土砂収支から考えることが重要である。海の波や流れによって土砂が移動する現象は  といい、この現象により、砂浜への供給土砂より砂浜からの流出土砂の方が多くなると、海岸侵食が発生する。海岸侵食の対策工法としては、保全すべき背後の土砂を被覆して波や流れによる土砂流出を防止する 、海岸から沖へ突き出して設置される 、海岸から離れて設置される  などがある。」

(i) 上記の記述の㉞～㊲に当てはまる適切な語句を示せ。

(ii) 上記の記述の下線部について、海岸侵食の要因として挙げられる①供給源での土砂生産量の減少、②海岸への土砂移動の遮断の具体的な事例をそれぞれ挙げよ。

(2) 港湾工学に関する以下の問いに答えよ。

図Ⅰは捨石部の上に直立壁を設けた防波堤の代表的な構造形式であり、図Ⅱはこの構造形式の津波による被災イメージである。



(a) 図Ⅰの構造形式の名称を示すとともに、直立堤や捨石堤と比べて、どのような長所があるかを2行程度で説明せよ。

(b) 図Ⅱの㉞、㉟に当てはまる最も妥当な現象をそれぞれ示せ。

(c) この構造形式の既設の防波堤において、津波に対して「粘り強い構造」とするための対策工を一つ挙げよ。

- (3) 国際海上コンテナ輸送に関する以下の問いに答えよ。
- (a) 世界で就航しているコンテナ船は大型化が進んでいるが、コンテナ船の大型化によるメリットを一つ挙げよ。
  - (b) コンテナ船が大型化すると、寄港先で荷物が少なかった場合、荷物が入っていないコンテナの輸送量が多くなり、機会損失が大きくなるというリスクがある。このようなリスクの低減のために、船舶会社がとる輸送経路に関する対応策を説明せよ。
  - (c) コンテナ船の大型化に対応するために、日本では国際コンテナ戦略港湾政策として3本柱の取組を掲げている。この国際コンテナ戦略港湾政策の3本柱の取組を簡潔に説明せよ。

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<sup>①</sup>に答えよ。

A 環境問題に関する以下の設問に答えよ。

(1) 廃棄物に関する以下の問いに答えよ。

(a) 廃棄物の処理に関する以下の問いに答えよ。

「廃棄物は、発生→<sup>㉞</sup>→収集・運搬→<sup>①</sup>中間処理→<sup>②</sup>最終処分の順に処理が行われる。循環型社会の形成の観点からは、廃棄物の発生抑制(<sup>①</sup>)が最も重要であり、廃棄物の再利用(<sup>㉟</sup>)や再生利用(<sup>③</sup>リサイクル)がこれに続く。廃棄物の<sup>㉟</sup>やリサイクルを効率的に行い、また、適正処理を円滑に行うためには、廃棄物の発生段階での<sup>㉞</sup>が重要となる。」

(i) 上記の記述の<sup>㉞</sup>に当てはまる適切な語句を漢字 2 文字で示せ。

(ii) 上記の記述の<sup>①</sup>、<sup>㉟</sup>に当てはまる適切な語句をカタカナで示せ。

(iii) 上記の記述の下線部<sup>①</sup>について、中間処理の目的と方法について 2 行程度で説明せよ。

(iv) 上記の記述の下線部<sup>②</sup>について、最終処分のうち、埋立処理の処分場は、主に安定型最終処分場、管理型最終処分場、遮断型最終処分場の三つに分類される。このうち、一般廃棄物の処分場として一般的に使用されている処分場及びその特徴を 3 行程度で説明せよ。

(v) 上記の記述の下線部<sup>③</sup>について、マテリアルリサイクルとサーマルリサイクルの違いについて 2 行程度で説明せよ。

(b) マニフェスト(産業廃棄物管理票)制度の目的と概要について、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：排出事業者、委託、最終処分、確認]

(c) 循環型社会形成推進基本法において施策の基本理念として定められている、排出者責任と拡大生産者責任の考え方の違いについて 3 行程度で説明せよ。

(2) 大気環境等に関する以下の問いに答えよ。

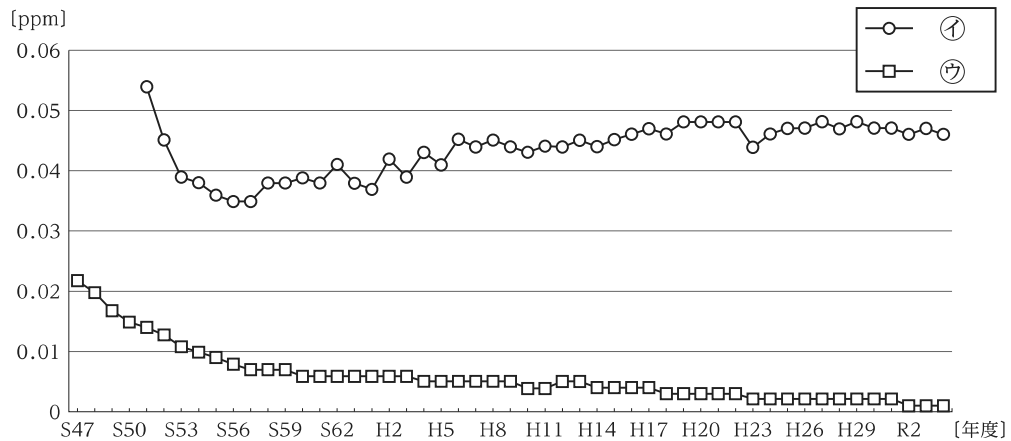
(a) 大気環境に関する以下の問いに答えよ。

「日本では、高度経済成長期において、㉠ などの大気汚染の影響による呼吸器系疾患の健康被害が全国各地で発生するなど、大気汚染が深刻であった。代表的な大気汚染物質としては、硫黄酸化物、窒素酸化物、一酸化炭素、光化学オキシダント、浮遊粒子状物質などがあり、環境基本法に基づく環境基準が定められている。」

(i) 上記の記述の㉠に当てはまる四大公害病を示せ。

(ii) 上記の記述の下線部について、大気中の大気汚染物質濃度を測る測定点として一般環境大気測定局(一般局)と自動車排出ガス測定局(自排局)がある。自排局の役割及びどのような場所に設置されるかについて説明せよ。

(iii) 次のグラフはそれぞれ、一般局の二酸化硫黄濃度の年平均値と光化学オキシダント濃度の昼間の日最高1時間値の年平均値の推移である。㉡、㉢について、それぞれ二酸化硫黄と光化学オキシダントのどちらが当てはまるか示せ。



(b) 大気汚染防止法による対策について、ばい煙発生施設に対する対策の内容を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：基準、総量規制]

(c) 道路交通における騒音対策の具体例を三つ挙げよ。

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) 我が国の水道行政の移管に関する次の記述の㉗～㉙に当てはまる適切な語句を示せ。

「水道整備・管理行政では、水道事業者の経営基盤の強化、水道施設の ㉗ 化や耐震化への対応、災害発生時の ㉘ 支援等に取り組むことが強く求められるようになっている。

令和6年4月に水道整備・管理行政の機能強化を図るため、

・水道に関する水質基準の策定等については ㉙ 省から ㉚ 省に、

・水道整備・管理行政であって上記の事項以外について、 ㉛ 省から ㉜ 省に移管された。」

(b) 水道施設の耐震化の状況に関する次の記述の㉝、㉞、㉟に当てはまる適切なものを、それぞれ次の数値から選び出して示せ。なお、同じ数値を複数回使用してもよいものとする。

「令和4年度末時点における全国の水道施設の耐震化の状況は、基幹的な水道管のうち耐震性のある管路の割合が約 ㉝ %、浄水施設の耐震化率が約 ㉞ %、配水池の耐震化率が約 ㉟ % である。」

[数値：20、40、60]

(c) 給水方式について、以下の問いに答えよ。

(i) 直結給水方式とタンク方式、それぞれの概要を2行程度で説明せよ。

(ii) タンク方式を採用する場合の利点を二つ以上挙げよ。

(2) 我が国の下水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 流域別下水道整備総合計画について以下の問いに答えよ。

「流域別下水道整備総合計画は、公共用水域の環境基準を達成維持するために、汚濁負荷源が二つ以上の ㉡ にまたがる水域において、 ㉢ が定める計画である。この計画では、将来人口や発生負荷量の推定を基に下水道の処理区域や ㉣ の配置、下水道整備の実施順位等を定めている。

①窒素又は②リンを削減する必要がある水域については、 ㉤ からの放流水の窒素又はリンの削減目標量及び削減方法を記載することとしている。」

(i) 上記の記述の㉡、㉢、㉣に当てはまる適切な語句を示せ。

(ii) 上記の記述の下線部①について、生物学的な窒素の除去法の概要について説明せよ。

(iii) 上記の記述の下線部②について、生物学的なリンの除去法の概要について説明せよ。

(b) 下水汚泥の活用に関する次の記述の㊦、㊧に当てはまる適切な数値を示せ。

「下水汚泥はリンや窒素等の資源を含有しており、肥料利用の拡大は、農林水産業の持続性に貢献するものとして期待されている。

食料安全保障強化政策大綱(令和4年12月27日決定)において、㊦年までに堆肥・下水汚泥資源の肥料利用量を倍増する目標が位置付けられた。しかしながら、下水汚泥の多くがこれまで焼却されており、令和4年度の下水汚泥の肥料利用は約㊧割にとどまっている。」

(3) 令和6年能登半島地震では最大約14万戸で断水が発生するなど上下水道施設に甚大な被害が発生した。この被害を踏まえ、「上下水道一体」の観点から考えられる地震対策を二つ挙げよ。

科目 21. 材料工学(材料科学) [No. 21A, 21B]

【No. 21】 次のA, Bいずれか一つのみ<sup>①</sup>に答えよ。

A 固相-固相変態の代表例である合金中の析出現象に関する以下の問いに答えよ。ただし、 $G_m^\alpha$  と  $G_m^\beta$  は  $\alpha$  相及び  $\beta$  相のモルギブズエネルギー、 $V_m^\beta$  は  $\beta$  相のモル体積である。

- (1) 一般に、母相  $\alpha$  相中における析出物  $\beta$  相の均一核生成に伴うギブズエネルギー変化  $\Delta G$  は、 $\beta$  相を構成する溶質原子集合体を半径  $r$  の球状と仮定すると

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^3(\Delta G_v + \varepsilon) + 4\pi r^2\gamma$$

で表せる。ここで、 $\Delta G_v$  は単位体積当たりの両相のギブズエネルギー差

$$\Delta G_v = (G_m^\beta - G_m^\alpha)/V_m^\beta,$$

$\varepsilon$  は単位体積当たりのひずみエネルギー、 $\gamma$  は単位面積当たり

の界面エネルギーであり、 $\Delta G_v$  が負に大きく、 $\gamma$  が等方的であるとした場合の  $\Delta G-r$  曲線は図 I の太線のようになる。以下の(a)~(d)の問いに答えよ。

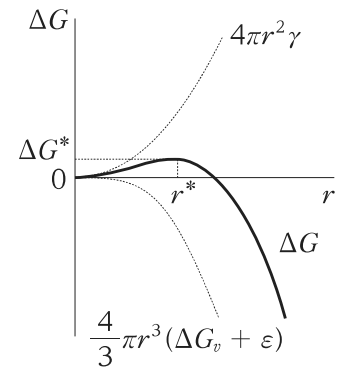


図 I

- (a)  $\Delta G_v$  と  $\varepsilon$  の次元が等しいことを示し、 $\Delta G$  の次元を求めよ。
- (b) 極大値  $\Delta G^*$  及びそれを与える半径  $r^*$  を  $\Delta G_v$ ,  $\varepsilon$ ,  $\gamma$  を用いて表せ。ただし、計算の過程も示すこと。
- (c) 半径  $r$  をもつ溶質原子集合体が、母相  $\alpha$  相中の溶質原子の局所的な濃度ゆらぎによって形成する場合、形成後の溶質原子集合体の挙動について、 $r < r^*$  をもつエンブリオ及び  $r > r^*$  をもつ核の二つの場合に分けて 5 行程度で説明せよ。
- (d) 実際の合金の析出組織では、結晶粒界や転位線などの格子欠陥上に疎に析出物が観察される。その理由を核生成に必要な活性化エネルギーや溶質原子数、利用できる核生成サイト数の観点から 4 行程度で説明せよ。
- (2) 合金中の析出組織の時間発展に関する次の記述の㊶~㊸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。ただし、一度使用した語句は再度使用することはできないものとする。ここで、 $K$ ,  $K'$  及び  $n$  は時効時間に依存しない定数である。

【語句：核生成、成長、粗大化、消滅、潜伏期、停滞期、ひずみエネルギー、

界面エネルギー、ab、ad、小さく、大きく、Johnson-Mehl-Avrami、

Lifshitz-Slyozov-Wagner、Cahn-Hilliard、Gibbs-Thomson、 $x_B^{\alpha,r}$  と  $x_B^\beta$ 、

$x_B^\alpha$  と  $x_B^\beta$ 、 $x_B^{\alpha,r1}$  から  $x_B^{\alpha,r2}$ 、 $x_B^{\alpha,r2}$  から  $x_B^{\alpha,r1}$ 、 $\frac{2}{r}\gamma V_m^\beta$ 、 $(G_m^\beta - G_m^\alpha)/V_m^\beta$ ]

「高温からの焼入れを行った過飽和固溶体合金を時効処理すると、 $\textcircled{ア}$  を経た後に析出物が様々なサイトに核生成し、その後時効時間  $t$  の経過とともに析出物の体積率  $V_f$  が増加して、平衡値  $V_f^\infty$  に達する。一般に、核生成後に  $V_f$  が単調増加する段階は  $\textcircled{イ}$  段階と呼ばれ、 $\textcircled{ウ}$  の式

$$f = 1 - \exp(-Kt^n)$$

を用いて、任意の  $t$  における反応率  $f (= V_f/V_f^\infty)$  を予測することができる。

一方、 $V_f^\infty$  に達した後に、数密度を減少させながら析出物のサイズが増加する段階は  $\textcircled{エ}$  段階と呼ばれ、母相と析出物間の  $\textcircled{オ}$  を減少させるために生じる。その際、 $V_f^\infty$  が小さい場合に成り立つ  $\textcircled{カ}$  の式

$$r^3 - r_0^3 = K'(t - t_0)$$

より、任意の  $t$  における析出物の平均粒子半径  $r$  を予測でき(ここで、 $r_0$  は  $\textcircled{イ}$  段階が始まった時刻  $t_0$  における析出物の平均粒子半径である)、例えば耐熱合金のように高温における強度低下が問題となる場合には、 $K'$  をできるだけ  $\textcircled{キ}$  して、析出相の  $\textcircled{ク}$  が起こらないようにすればよい。

図 II は、A-B 二元合金中の母相  $\alpha$  相と球状析出物  $\beta$  相の平衡を表すギブズエネルギー—B 原子濃度曲線である。 $\alpha$  相と  $r = \infty$  すなわちバルクの  $\beta$  相との平衡は、 $G_m^\alpha$  と  $G_m^\beta$  の共通接線  $\textcircled{ク}$  から求められる B 原子濃度の組  $\textcircled{ケ}$  で与えられるが、 $r$  が小さくなると

$$\Delta G^\beta = \textcircled{コ}$$

だけギブズエネルギーが増加して( $\textcircled{カ}$  効果)、 $G_m^\alpha$  と  $G_m^{\beta,r}$  の共通接線  $\textcircled{ク}$  から求められる B 原子濃度の組  $\textcircled{ケ}$  となる(ただし、 $G_m^\beta$ 、 $G_m^{\beta,r}$  は共に幅が狭いため  $x_B^\beta \doteq x_B^{\beta,r}$  とみなせる)。これは、析出物粒子と局所的に平衡する母相中の B 原子濃度に粒子サイズ依存性があることを示唆しており、例えば図 III に示した粒子半径  $r_1$ 、 $r_2$  ( $r_1 < r_2$ ) の二つの球状析出物  $\beta$  相間の母相中には、曲線で示したような  $\textcircled{コ}$  への負の傾きをもつ B 原子濃度の勾配が生じる。その結果、B 原子の一方方向的な拡散によってやがて小さな粒子は  $\textcircled{ク}$  し、大きな粒子は  $\textcircled{ケ}$  する。」

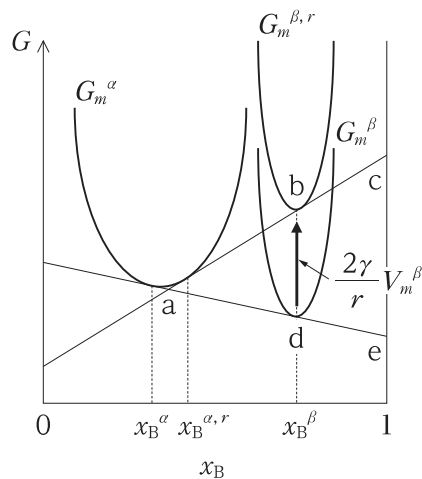


図 II

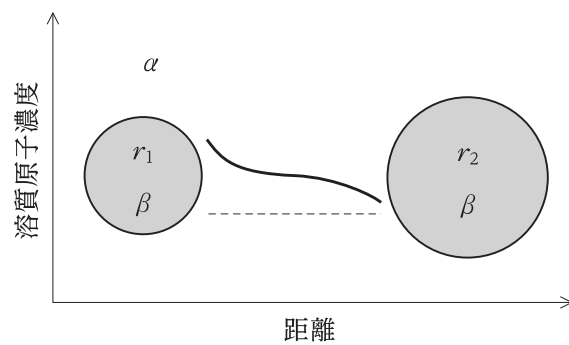


図 III

B 全率固溶型の A-B 二元合金中の溶質拡散に関する以下の問いに答えよ。

(1) 拡散方程式に関する以下の問いに答えよ。

(a) 溶質拡散に関する次の記述の㉞、㉟、㊱に当てはまる適切なものを、次の語句の中から選び出して示せ。ただし、一度使用した語句は再度使用することはできないものとする。

「溶質濃度が空間的に一様でないとき、その濃度分布の不均一を打ち消すような溶質の流れが起こり、その大きさは溶質濃度  $c$  の勾配に比例することが経験的に知られている。

この経験則は、単位  当たり単位  を通過する溶質量を意味する拡散流束  $J$  を用いて以下の式で表される。

$$J = -D \nabla c \quad \dots\dots \text{㉟}$$

ここで、 $D$  は拡散係数である。この経験則は  と呼ばれている。」

〔語句：距離、面積、時間、体積、フィックの第一法則、フィックの第二法則〕

(b) 溶質濃度が空間的に一様でないとき、空間内の各点の濃度は時間  $t$  とともに変化する。

拡散係数を定数と仮定する場合、溶質濃度の時間変化を表す一次元拡散方程式は、以下の式で表される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \dots\dots \text{㉞}$$

拡散方程式を、(a)の式㉟の拡散流束による物質収支を考えることで導出せよ。ただし、導出に際して、図 I に示す微小領域における拡散流束による物質収支の概念図を参考とすること。

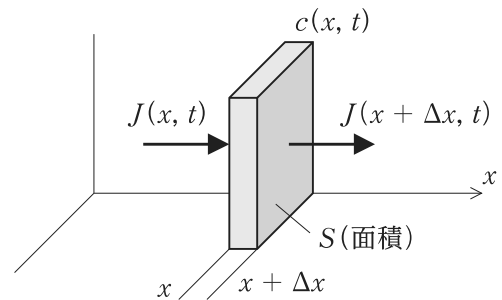


図 I

(2) 拡散方程式の解に関する以下の問いに答えよ。

(a) 次の記述の㉞、㉟、㊱に当てはまる式をそれぞれ示せ。

「(1)の式㉞で表される拡散方程式の解を変数変換により求める。変数  $y$  を以下のように定義する。

$$y = \frac{x}{\sqrt{Dt}}$$

変数  $y$  を用いると、式㉞の拡散方程式左辺は、

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial c}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} = \text{㉞}$$

と変換することができる。同様に右辺は、

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial c}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} \right) = \text{㉟}$$

となる。ここで、 =  $F$  と置いて拡散方程式を整理すると、

$$\boxed{\text{㊦}} = D \boxed{\text{㊧}}$$

の等式は、

$$-\frac{y}{2}F = \frac{dF}{dy} \quad \dots\dots\text{③}$$

となる。この式③で表される常微分方程式の解は、

$$F = A \exp\left(-\frac{y^2}{4}\right) \quad \dots\dots\text{④}$$

である。ここで、 $A$  は積分定数である。」

- (b) 均一な初期濃度  $c_0$  をもつ無限媒体の表面に、常に濃度  $c_S$  である平面状の溶質拡散源がある系を考える ( $c_S > c_0$ )。拡散源と無限媒体との界面を原点  $x = 0$  とし、界面に垂直に無限媒体内部へ向かう方向に  $x$  軸をとる場合、境界条件は以下となる。

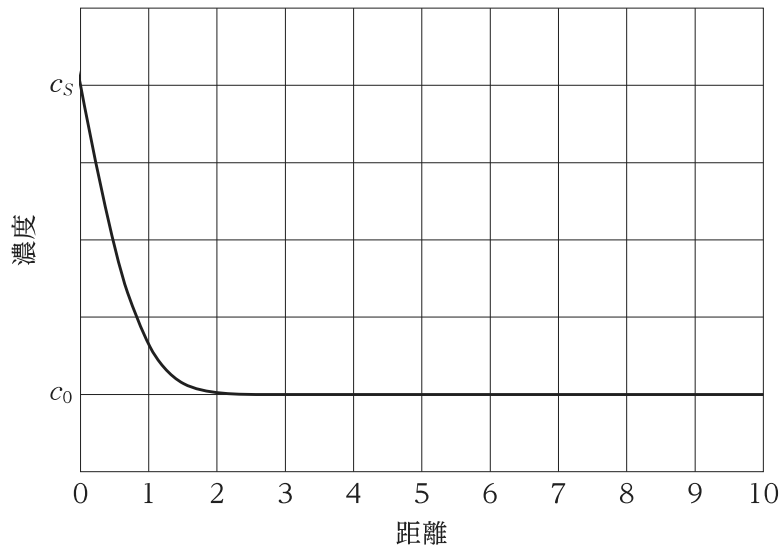
$$x = 0, c = c_S \quad c_S: \text{表面濃度}$$

$$x = \infty, c = c_0 \quad c_0: \text{初期濃度}$$

このような無限媒体中への溶質濃度分布の解析解を示せ。ただし、解は次の誤差関数を用いて表すこと。

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-\lambda^2) d\lambda$$

- (c) (b)で与えられた条件において、時間  $t_0$  経過したときの無限媒体の表面付近の濃度分布は図Ⅱのようであった。同じ境界条件、保持時間において、拡散係数  $D$  が4倍と  $\frac{1}{2}$  倍の値をもつ溶質元素が拡散する場合、それぞれの濃度分布を示せ。ただし、解答に当たっては、まず図Ⅱの濃度分布を答案用紙に書き写し、その上に解答を書き加えること。



図Ⅱ

科目 22. 材料工学(金属材料)[No. 22]

【No. 22】 金属の熱処理や機械的性質、試験法に関する以下の設問に答えよ。

(1) 鋼の熱処理に関する以下の問いに答えよ。

(a) 基本的な熱処理に関する次の記述の㉗～㉚に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句から選び出して示せ。ただし、一度使用した語句は再度使用することはできないものとする。

「鋼を加熱し、オーステナイト( $\gamma$ )状態から徐冷(炉冷)する処理を  という。この処理は主に鋼の標準組織を得るために行われる。 $\gamma$ 状態から空冷する処理を 、水や油を用いて急冷する処理を  という。一方、 後、 $\gamma$ 状態まで加熱することなく処理することを  という。」

[語句：焼戻し、焼ならし、焼入れ、焼なまし]

(b) 鋼の熱処理の目的や焼入れ処理時の注意点・改善点について、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：内部組織、材質、焼入れ性]

(c) 鋼の冷却方法には、 $\gamma$ 状態から急冷し、所定の温度で一定時間保持する等温冷却(TTT)と、 $\gamma$ 状態から一定の冷却速度で冷却し続ける等速連続冷却(CCT)がある。横軸を時間(対数)、縦軸を温度として、共析炭素鋼のTTT図とCCT図のそれぞれを描き、両図の違いを説明せよ。ただし、両図の中には、冷却開始温度  $A_{c1}$ 、マルテンサイト変態開始温度  $M_s$  及び終了温度  $M_f$ 、そしてパーライト変態開始温度  $P_s$  及び終了温度  $P_f$  を示せ。

(2) 金属の機械的性質や試験法に関する以下の問いに答えよ。

(a) 金属の靱性を調べる試験法と機械的性質に関する次の記述の㉛～㉞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。ただし、一度使用した語句は再度使用することはできないものとする。

「金属の靱性を簡便に評価する方法として、シャルピー衝撃試験がある。これは振り子型ハンマを利用して、 を衝撃的に折り、破断に要するエネルギー、すなわち吸収エネルギーを測定するものである。試験温度を横軸、吸収エネルギーを縦軸にとると、軟鋼のような  の吸収エネルギーは、試験温度が低下すると、ある温度範囲で急激に低下する遷移温度を示す。この場合、遷移温度よりも低温では脆性破面となり、破壊の進行に沿った  が観察される。一方、アルミニウムや銅のような  はこのような遷移温度を示さない。」

[語句：丸棒試験片、切欠き試験片、体心立方金属、面心立方金属、リバーパターン、ディンプルパターン]

(b) 図は2種類の金属材料の引張試験で得られる公称応力-公称ひずみ線図である。以下の問いに答えよ。

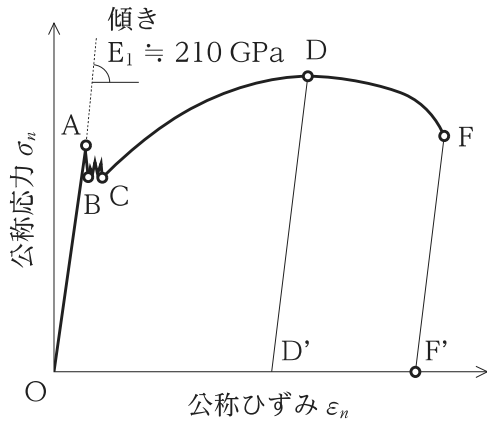


図 I

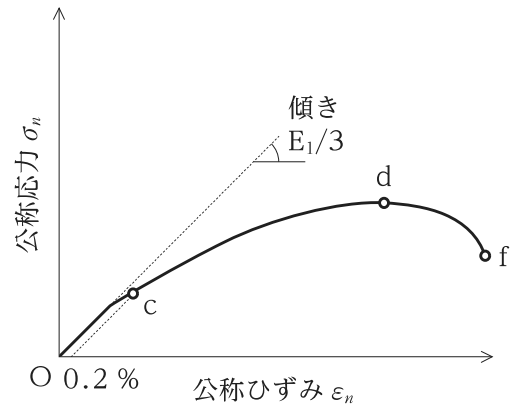


図 II

- (i) 図 I において、点 A、B、D、F に対応する応力は何と呼ばれるかそれぞれ示せ。
- (ii) 図 I において、範囲 B~C、点 D'、点 F' に対応する伸びは何と呼ばれるかそれぞれ示せ。
- (iii) 図 I において、試験片平行部における試験前の試験片直径を 3.5 mm、破断後のくびれ部の試験片直径を 1.4 mm としたとき、絞り  $\phi$  [%] を計算せよ。ただし、導出過程も示すこと。
- (iv) 図 II において、点 c に対応する応力は何と呼ばれるか示せ。
- (v) 図 I の公称応力-公称ひずみ線図は、軟鋼に相当し、図 II の線図は、純アルミニウムに相当すると推測される。そのように判断できる理由を 3 行程度で述べよ。
- (vi) 塑性変形中、体積一定が仮定されている場合、真応力  $\sigma_t$  と真ひずみ  $\varepsilon_t$  を公称応力  $\sigma_n$  と公称ひずみ  $\varepsilon_n$  を用いてそれぞれ表せ。また、それらの関係式より、真応力  $\sigma_t$ -真ひずみ  $\varepsilon_t$  線図を描け。ただし、解答に当たっては、まず図 III の公称応力  $\sigma_n$ -公称ひずみ  $\varepsilon_n$  線図を答案用紙に書き写し、その線図上に真応力  $\sigma_t$ -真ひずみ  $\varepsilon_t$  線図を描くこと。また、点 c、d、f に相当する点を、 $\sigma_t$ - $\varepsilon_t$  線図上に、点 c'、d'、f' として示すこと。

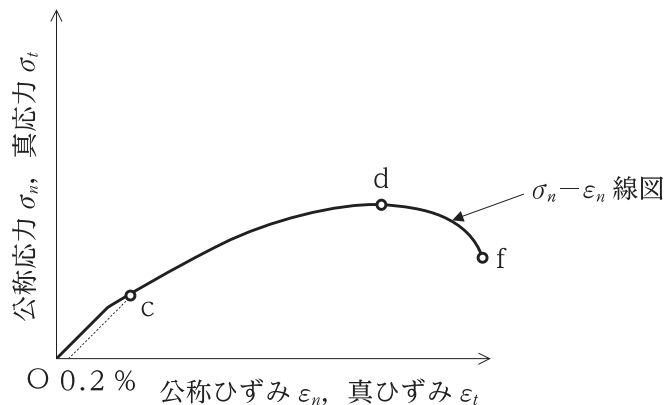


図 III

科目 23. 材料工学(無機材料)[No. 23]

【No. 23】 ペロブスカイト型酸化物やその応用に関する以下の設問に答えよ。

(1) 組成式が  $ABO_3$  で表されるペロブスカイト型酸化物の結晶構造に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 次の記述の㉠～㉤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。  
ただし、一度使用した語句は再度使用することはできないものとする。

「ペロブスカイト型酸化物において、酸化物イオンはイオン半径の大きな A イオンと共に  
㉠ 格子を組み、酸化物イオンの ㉡ 面体位置に B イオンが入る。A イオンと B  
イオンの配位数はそれぞれ ㉢、㉣ である。A イオン、B イオン、酸化物イ  
オンのイオン半径をそれぞれ  $r_A$ 、 $r_B$ 、 $r_O$  とすると、理想的なペロブスカイト型構造ではイオン  
どうしが接しているので、

$$r_A + r_O = \text{㉤} (r_B + r_O)$$

が成り立つ。一般的には、

$$t = (r_A + r_O) / \{ \text{㉥} (r_B + r_O) \}$$

で表される許容因子が 1.0 に近いときペロブスカイト型構造をとる。例えば ㉦ では  
 $t = 1.0$  である。一方、A イオンが小さく許容因子が小さいときには、ペロブスカイト型構造  
と同様の組成である ㉧ 型構造が安定になる。この構造を有する化合物として  
㉨ がある。」

【語句：体心立方、面心立方、2、4、6、8、12、 $\sqrt{2}$ 、 $\sqrt{3}$ 、 $SrTiO_3$ 、 $FeTiO_3$ 、  
イルメナイト、パイロクロア】

- (b) ポーリングの第二法則とはどのような法則か説明せよ。また、A イオン、B イオンの価数が  
それぞれ 2 価、4 価である場合にポーリングの第二法則が成り立つことを具体的に示せ。

(c) 理想的なペロブスカイト型構造の空間群は  $Pm\bar{3}m$  である。次の記述㉠～㉤のうち、理想的  
なペロブスカイト型構造を正しく表しているものを全て挙げよ。

- ㉠ ブラベ格子は面心立方格子である。  
㉡  $[111]$  に平行な 3 回回反軸がある。  
㉢  $[110]$  に垂直な鏡面がある。  
㉣  $[001]$  に平行な 4 回回転軸がある。

(d) 理想的なペロブスカイト型構造から格子が歪み、空間群が  $P4mm$  に変化した場合について  
考える。(c)の記述㉠～㉤のうち、この構造を正しく表しているものを全て挙げよ。

(2) ペロブスカイト型酸化物の物性に関する以下の問いに答えよ。

(a) ペロブスカイト型酸化物である  $\text{BaTiO}_3$  は室温で圧電性、焦電性を示す物質である。圧電性、焦電性とはどのような性質か、それぞれ説明せよ。

(b) 圧電性、焦電性を利用したデバイスとして最も妥当なものを、それぞれ次の語句から示せ。

[語句：不揮発性メモリ、赤外線センサ、超音波モータ、コンデンサ、ペルチェ素子]

(c)  $\text{BaTiO}_3$  は室温で強誘電性も示す。 $\text{BaTiO}_3$  に電場  $E$  を印加した際の誘電分極  $P$  と電場  $E$  の関係 ( $P$ - $E$  曲線) の概形を描け。また、自発分極  $P_S$ 、残留分極  $P_R$ 、抗電界  $E_C$  を図中に示せ。

(d)  $\text{BaTiO}_3$  が室温で強誘電性を示す理由について、次の語句を全て用いて 4 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：変位、外部電場、重心、正方晶]

(e)  $\text{BaTiO}_3$  はキュリー・ワイスの法則に従う物質であることが知られているが、これはどのような法則か説明せよ。また、キュリー点 ( $T_C$ ) 以上の温度における誘電率及び逆誘電率 (誘電率の逆数) の温度依存性について概形を描け。なお、 $\text{BaTiO}_3$  の常誘電-強誘電相転移は一次転移であることに注意すること。

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) 放射性核種の壊変(崩壊)に関する次の記述について、以下の問いに答えよ。

$\alpha$  壊変は、不安定な重い原子核から  $\text{He}$  の原子核である  $\alpha$  粒子が放出される現象である。 $\beta^-$  壊変は、原子核の  $n$  が  $p$  を放出して  $p$  に変わる現象である。 $\beta^+$  壊変は、励起状態にある不安定又は準安定な原子核から  $\gamma$  線が放出される現象である。 $\gamma$  線の実体は  $\gamma$  である。

上の三つの壊変のほかに  $\text{EC}$  壊変も存在する。この壊変は、原子核の  $p$  が  $n$  を放出して  $n$  に変わる現象である。この壊変と競合する軌道  $\text{EC}$  捕獲 (EC) という現象では、原子核で過剰になっている  $p$  が原子の軌道  $\text{EC}$  を捕獲して  $n$  に変わる。軌道  $\text{EC}$  捕獲は最も内側の軌道  $\text{EC}$  に対して起こりやすいため、空いた軌道に外側の軌道の  $\text{EC}$  が遷移する。この際、軌道間のエネルギー差に相当するエネルギーを  $\text{EC}$  として又は  $\text{EC}$  に与えて放出する。これらをそれぞれ  $\text{EC}$  とオージェ  $\text{EC}$  と呼ぶ。

このほかに、 $\beta^-$  壊変と競合する  $\text{IC}$  (IC) がある。 $\text{IC}$  では、原子核の余剰エネルギーを  $\gamma$  線として放出する代わりに軌道  $\text{EC}$  にエネルギーを与える。

- (a) 上記の記述の  $\alpha \sim \text{IC}$  に当てはまる語句を示せ。  
 (b) 上記の記述の  $1 \sim 7$  に当てはまる語句を示せ。  
 (c) 原子番号と質量数の変化をまとめた以下の表の A~D に当てはまる数を符号付きで答えよ。

	原子番号の増減	質量数の増減
$\alpha$ 壊変	A	B
$\beta^-$ 壊変	C	$\pm 0$
$\beta^+$ 壊変	$\pm 0$	$\pm 0$
$\text{EC}$ 壊変	D	$\pm 0$
軌道 $\text{EC}$ 捕獲 (EC)	D	$\pm 0$
$\text{IC}$ (IC)	$\pm 0$	$\pm 0$

- (d)  $\alpha$  壊変を繰り返す崩壊系列四つの名称を答えよ。  
 (e) 崩壊系列においてみられる放射平衡について、3行程度で説明せよ。なお、必要であれば図表や数式を用いてよい。

- (2) 放射線の線量概念について、以下の問いに答えよ。
- (a) 吸収線量、等価線量、実効線量の単位をそれぞれ答えよ。
- (b) 吸収線量、等価線量、実効線量について、それぞれ 2 行以内で説明せよ。
- (c) 単一核種からのガンマ線による放射線被ばくについて、以下の三つのケースを想定する。

【ケース 1】 全身均等に 1 Gy 被ばくした場合

【ケース 2】 上半身のみ均等に 2 Gy 被ばくした場合

【ケース 3】 下半身のみ均等に 2 Gy 被ばくした場合

各ケースにおける実効線量を答えよ。

ただし、組織加重係数と体内での分布として以下の表を参照すること。

表 組織加重係数と体内での分布

組織・臓器	組織加重係数	分布(上半身：下半身)
生殖腺	0.08	0：100
骨髄(赤色)	0.12	50：50
結腸	0.12	0：100
肺	0.12	100：0
胃	0.12	100：0
膀胱	0.04	0：100
乳房	0.12	100：0
肝臓	0.04	100：0
食道	0.04	100：0
甲状腺	0.04	100：0
皮膚	0.01	50：50
骨表面	0.01	50：50
脳	0.01	100：0
唾液腺	0.01	100：0
その他の組織・臓器	0.12	50：50

- (d) (c)の各ケースにおいて放射線影響が生じるリスクの違いについて、3行程度で定量的に説明せよ。

- (3) 以下の事項全てについて、それぞれ 3 行程度で説明せよ。

- (a) 光電効果、コンプトン散乱及び電子対生成
- (b) 自然放射線と人工放射線
- (c) 放射線の医学利用と産業利用
- (d) 宇宙活動における放射線の影響

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<sup>1)</sup>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) 核分裂生成物
- (b) 反射体
- (c) 即発臨界
- (d) 崩壊熱

(2)  $^{235}\text{U}$ (ウラン 235)と水の均質混合物質を成分とする半径  $R$  の裸の球状熱中性子炉がある。 $^{235}\text{U}$ の濃度は  $0.015 \text{ g/cm}^3$  とする。臨界状態にあり、次式の修正一群臨界方程式を満たすとする。

$$\frac{k_{\infty}}{1 + B^2(L_T^2 + \tau_T)} = 1 \quad \dots\dots\textcircled{1}$$

ここで、 $k_{\infty}$  は無限増倍率、 $B^2$  はバックリング、 $L_T^2$  は熱中性子拡散面積、 $\tau_T$  は中性子年齢である。

このとき、以下の問いに答えよ。

(a) 高速核分裂及び共鳴吸収が起こらないと仮定すると、 $k_{\infty}$  は次式で与えられる。

$$k_{\infty} = \eta_T f \quad \dots\dots\textcircled{2}$$

ここで、 $\eta_T$  は  $^{235}\text{U}$  に吸収された熱中性子1個当たり<sup>2)</sup>に発生する中性子数、 $f$  は熱中性子利用率である。 $^{235}\text{U}$  と水の巨視的熱中性子断面積をそれぞれ  $\Sigma_{aF}$ 、 $\Sigma_{aM}$  としたとき、 $f$  を  $\Sigma_{aF}$  と  $\Sigma_{aM}$  を用いて表せ。

(b)  $^{235}\text{U}$  と水の微視的吸収断面積をそれぞれ 590 b, 0.67 b としたとき、 $f$  を求めよ。ただし、水の密度を  $1.0 \text{ g/cm}^3$ 、 $^{235}\text{U}$  の原子量を 235、水の分子量を 18 とする。

(c) (b)の結果を用いて、 $\eta_T = 2.2$  としたときに式②の  $k_{\infty}$  を求めよ。

(d) 中性子束の空間分布  $\phi(r)$  が次式の一<sup>3)</sup>群原子炉方程式に従うとして、 $B^2$  と  $R$  の関係式を求めよ。

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d\phi(r)}{dr} \right) + B^2 \phi(r) = 0 \quad \dots\dots\textcircled{3}$$

ここで、 $r$  は原子炉の中心からの距離である。ただし、外挿距離は無視できるものとする。

(e) (c)と(d)の結果を用いて  $R$  と臨界質量を求めよ。なお、 $L_T^2$  は水の熱中性子拡散面積  $L_{TM}^2$  と  $f$  を用いて次式のように表される。

$$L_T^2 = (1 - f)L_{TM}^2 \quad \dots\dots\textcircled{4}$$

また、 $L_{TM}^2 = 8.0 \text{ cm}^2$ 、 $\tau_T = 26 \text{ cm}^2$  とする。

(f) 式①は二群中性子拡散モデルから導かれる。二群中性子拡散モデルについて説明せよ。

B 以下の設問に答えよ。

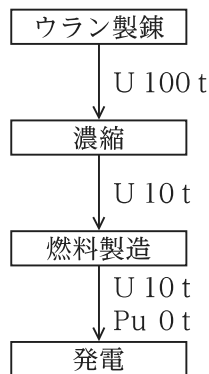
(1) 核燃料サイクルに関する以下の事項について、それぞれ 5 行以内で説明せよ。

- (a) パルスカラム
- (b) 分離変換
- (c) クリアランスレベル
- (d) 人工バリア

(2) 核燃料サイクルに関する以下の問いに答えよ。

ただし、本問では、重金属とは原子番号がウラン以上の元素とする。

- (a) 熱出力 3 GW の軽水炉を 1 年間運転するとき消費される燃料のウラン重量を求めよ。  
ただし、年間運転日数を 300 日、燃料の燃焼度を 45 GW d/tHM とする。なお、d は日を、tHM は新燃料の重金属重量(単位：トン)を意味する。
- (b) この燃料を製造するために必要な天然ウラン重量を求めよ。ただし、天然ウランの  $^{235}\text{U}$  濃度を 0.7 %、燃料の  $^{235}\text{U}$  濃度を 4 %、劣化ウランの  $^{235}\text{U}$  濃度を 0.2 % とする。
- (c) この燃料を燃焼させた後に、使用済み燃料として取り出した。使用済み燃料中の 95 % がウラン元素であり、その  $^{235}\text{U}$  濃度は 0.8 % だった。また、プルトニウムも元のウラン重量に対して 1 % 含まれていた。
  - (i) 使用済み燃料に含まれるウランを再処理によって回収し、再濃縮を行い、ウラン燃料を製作した。このときに得られる燃料のウラン重量を求めよ。ただし、ウラン燃料の  $^{235}\text{U}$  濃度を 4 %、劣化ウランの  $^{235}\text{U}$  濃度を 0.2 % とする。
  - (ii) 使用済み燃料に含まれるプルトニウムを再処理によって回収し、プルサーマル燃料を製作した。このときに得られる燃料の重金属重量を求めよ。ただし、プルサーマル燃料のプルトニウム濃度を 8 % とする。
- (d) 以上の問いを基に、再処理によりウランとプルトニウムを利用した場合の重金属の物流を図示せよ。作図においては、下図を参考にせよ。



記載例：U100 t を 10 t に濃縮、燃料製造、発電し、再処理しない場合

(e) 再処理による天然ウランの利用効率の向上について定量的に 5 行以内で説明せよ。

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<sup>に</sup>答えよ。

A 船の推進性能に関する以下の設問に答えよ。

(1) 船の造波抵抗に関する以下の問いに答えよ。

(a) 図 I を答案用紙に描き写し、その上に一般的な船の造波抵抗係数  $C_w$  のグラフの概形を描け。

ここで、横軸はフルード数  $F_n = \frac{U}{\sqrt{gL}}$  を表し、 $g$  は重力加速度の大きさ、 $L$  は船の長さ、 $U$  は船が進む速さである。



図 I

(b) 図 II のように、2次元平面内を  $x$  軸の正の向きに速さ  $U$  で進む長さ  $L$  の船の造波抵抗に関する以下の問いに答えよ。

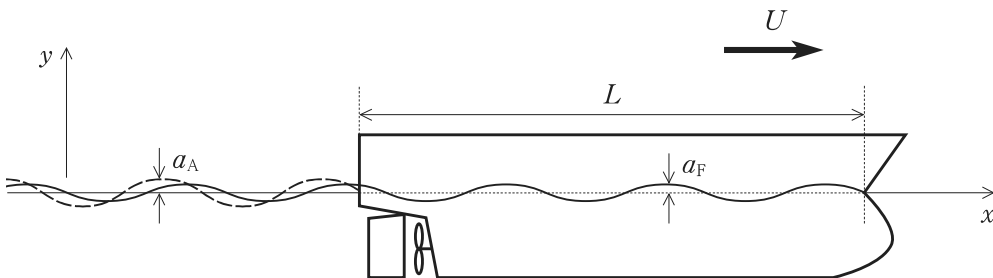


図 II

(i) 図Ⅱの実線のように、船首のみから規則波(船首波)が発生するものとする。単位船幅当たりの造波抵抗  $R_w$  が、発生波の振幅  $a_F$ 、重力加速度の大きさ  $g$ 、流体の密度  $\rho$  を用いて  $R_w = \frac{1}{4}\rho g a_F^2$  と表されるとき、これを  $\frac{1}{2}\rho L U^2$  で無次元化した造波抵抗係数  $C_w$  がフルード数  $F_n$  の関数として表現できることを示せ。

(ii) (i)の船首波に加え、図Ⅱの破線のように、船尾からも規則波(船尾波)が発生するものとしたとき、次の記述の㉞、㉟、㊱に当てはまる式を示せ。

ただし、水深は船の長さに対して十分に大きいものとする。

「船首波及び船尾波の波形をそれぞれ次式のように表すとする。

$$\text{船首波の波形： } \eta_F = a_F \sin(kx - \omega t)$$

$$\text{船尾波の波形： } \eta_A = a_A \sin(k(x - L) - \omega t)$$

ここで、 $a_A$  は船尾波の振幅、 $k$  は波数、 $\omega$  は角周波数、 $t$  は時間を表す。これらの干渉波形は、両者の和をとることにより、次式のように表現できる。

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_F + \eta_A \\ &= \sqrt{a_F^2 + a_A^2 + \boxed{\text{㉞}} \cos kL} \sin\left(kx - \omega t - \tan^{-1} \frac{a_A \sin kL}{a_F + a_A \cos kL}\right) \end{aligned}$$

次に、(i)同様に干渉波形の振幅  $\sqrt{a_F^2 + a_A^2 + \boxed{\text{㉞}} \cos kL}$  を用いた単位船幅当たりの造波抵抗  $R_w = \frac{1}{4}\rho g (a_F^2 + a_A^2 + \boxed{\text{㉞}} \cos kL)$  を  $\frac{1}{2}\rho L U^2$  で無次元化すると、造波抵抗係数  $C_w$  が次式のように得られる。

$$C_w = \frac{a_F^2 + a_A^2 + \boxed{\text{㉞}} \cos kL}{\boxed{\text{㉟}}}$$

水深が船の長さ比べて十分に大きいとき、位相速度すなわち波形の伝播速度の大きさ  $c$  は、 $c = \sqrt{\frac{g}{k}}$  と表され、ここでは  $c$  と  $U$  が等しくなるため、 $kL$  はフルード数  $F_n$  のみを用いて表すことができる。このことから、 $C_w$  は  $a_F$ 、 $a_A$ 、 $F_n$ 、 $L$  を用いて  $C_w = \boxed{\text{㊱}}$  と表される。」

(2) プロペラに生じるキャビテーションの発生のしやすさを表すキャビテーション数  $\sigma$  は、次のように表される。

$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{\frac{1}{2}\rho U^2}$$

ここで、 $p_0$  は基準圧力、 $p_v$  は飽和蒸気圧、 $\rho$  は流体の密度、 $U$  は代表速さである。

ただし、 $p_0$  及び  $U$  はそれぞれ次のように表されるものとする。

$$p_0 = p_A + \rho g(h - 0.35D)$$

$$U = \sqrt{V_a^2 + (0.7\pi nD)^2}$$

ここで、 $p_A$  は大気圧、 $g$  は重力加速度の大きさ、 $h$  はプロペラ軸位置の水深、 $D$  はプロペラ直径、 $V_a$  はプロペラ前進速度の大きさである。

以上のことを踏まえ、次表に示す環境条件下のプロペラについて、以下の問いに答えよ。

流体の密度	$\rho$	$1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
重力加速度の大きさ	$g$	$10 \text{ m/s}^2$
大気圧	$p_A$	$1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$
プロペラ直径	$D$	$10.0 \text{ m}$
プロペラ軸位置の水深	$h$	$6.5 \text{ m}$
単位時間当たりのプロペラ回転数	$n$	$1.2 \text{ rps}$
プロペラ前進速度の大きさ	$V_a$	$6.0 \text{ m/s}$

- (a) 基準圧力  $p_0$  を求めよ。
- (b) 代表速さの 2 乗値  $U^2$  を求めよ。なお、 $\pi = 3$  として計算してよい。
- (c) キャビテーション数  $\sigma$  を求めよ。なお、飽和蒸気圧は無視してよい。
- (d) 船の設計初期段階において、図Ⅲのようなチャートを用いて、プロペラにどの程度キャビテーションが発生するかを予測することが行われる。

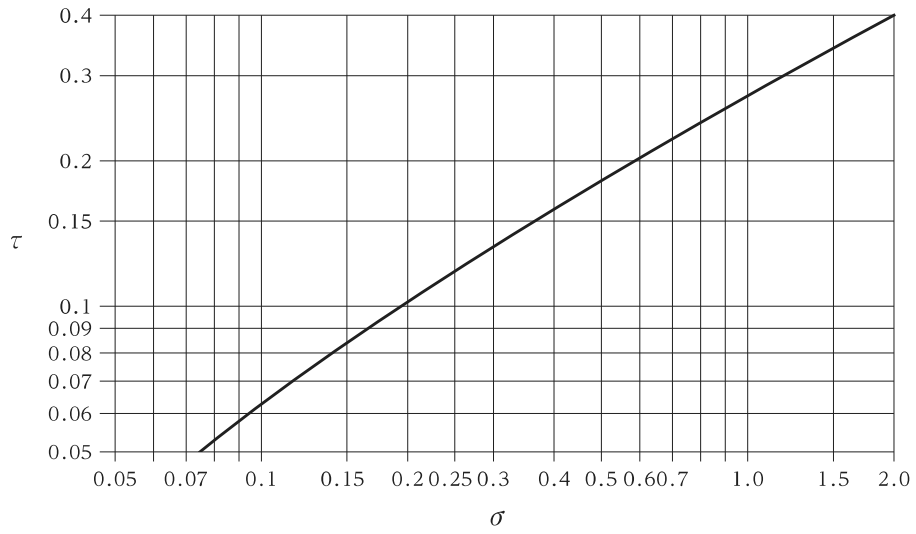
いま、(c)でキャビテーション数  $\sigma$  を求めたプロペラが図Ⅳのような単独性能を示すとき、推力荷重係数を図Ⅲのチャートの値以下に抑えるために必要なプロペラ投影面積の最小値を求めよ。ただし、図Ⅲの縦軸の推力荷重係数  $\tau$  並びに図Ⅳの横軸の前進係数  $J$  及び縦軸の推力係数  $K_T$  は次のように表される。

$$\tau = \frac{T}{A_p} = \frac{1}{2}\rho U^2$$

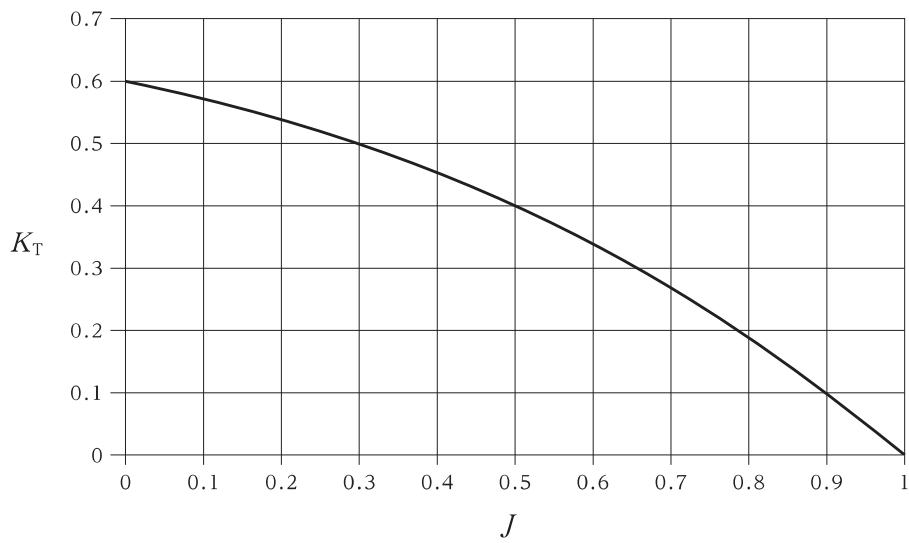
$$J = \frac{V_a}{nD}$$

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

ここで、 $T$ はプロペラ推力、 $A_p$ はプロペラ投影面積である。



図Ⅲ



図Ⅳ

(3) 船体抵抗に対する浅水影響を一つ挙げ、2行程度で説明せよ。

B 船の操縦性能に関する以下の設問に答えよ。

(1) 船の操縦運動は、前後方向速度の変化を小さいものとみなし、船の横流れ速度  $v$  と回頭角速度  $r$  についての、式①のような連立微分方程式を用いて表されることがある。

$$\begin{cases} (m + m_y) \frac{dv}{dt} + (m + m_x)Ur = Y_v v + Y_r r + Y_\delta \delta \\ (I_{zz} + J_{zz}) \frac{dr}{dt} = N_v v + N_r r + N_\delta \delta \end{cases} \dots\dots ①$$

ここで、式①中の文字が示すものはそれぞれ次表のとおりである。

$t$	時間
$U$	船速
$\delta$	舵角
$m$	船の質量
$m_x$	前後方向の付加質量
$m_y$	左右方向の付加質量
$I_{zz}$	回頭方向の慣性質量
$J_{zz}$	回頭方向の付加慣性質量
$Y_v$	横流れ速度についての左右方向力の線形流体力微係数
$Y_r$	回頭角速度についての左右方向力の線形流体力微係数
$Y_\delta$	舵角についての左右方向力の線形流体力微係数
$N_v$	横流れ速度についての回頭モーメントの線形流体力微係数
$N_r$	回頭角速度についての回頭モーメントの線形流体力微係数
$N_\delta$	舵角についての回頭モーメントの線形流体力微係数

このとき、以下の問いに答えよ。

(a) 船の針路安定性を考えるため、式①において  $\delta = 0$  とした式②について考える。

$$\begin{cases} (m + m_y) \frac{dv}{dt} + (m + m_x)Ur = Y_v v + Y_r r \\ (I_{zz} + J_{zz}) \frac{dr}{dt} = N_v v + N_r r \end{cases} \dots\dots ②$$

(i) 式②は次のような形の解をもつものとする。

$$v = C_1 e^{\lambda t}, \quad r = C_2 e^{\lambda t} \quad \dots\dots ③$$

式③を式②に代入することで、以下のような  $\lambda$  に関する特性方程式が得られる。

$$(I_{zz} + J_{zz})(m + m_y)\lambda^2 + \boxed{\text{㉞}} \lambda + \boxed{\text{㉟}} = 0$$

このとき、㉞、㉟に当てはまる式を示せ。

(ii) この特性方程式を基に考えると、船が針路安定になる条件は、 $(I_{zz} + J_{zz})(m + m_y) > 0$ ,

$\boxed{\text{㉞}} > 0$ ,  $\boxed{\text{㉟}} > 0$  が全て満たされるときである。このことを用いると、線形

流体力微係数等が満たすべき条件は

$$Y_v N_r - \boxed{\text{㊱}} > 0$$

となる。このとき、㉗に当てはまる式を示せ。なお、 $m + m_x > 0$ ,  $m + m_y > 0$ ,  $I_{zz} + J_{zz} > 0$  及び  $N_r < 0$ ,  $Y_v < 0$  という不等式が成り立っているものとする。

(iii) 針路不安定である船を針路安定にするための方策を二つ挙げよ。

(b) 式①から  $v$  を消去すると、 $r$  だけについての 2 階微分方程式を得る。この式を一部簡略化した式④について考える。なお、 $T_1$ ,  $T_2$  及び  $K$  は 0 でない実数の定数であり、 $T_1 \neq T_2$  であるものとする。

$$T_1 T_2 \frac{d^2 r}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dr}{dt} + r = K\delta \quad \dots\dots\text{④}$$

(i)  $t = 0$  で  $r = 0$  及び  $\frac{dr}{dt} = 0$  であったとする。舵角を  $\delta = \delta_0$  で一定としたときの解  $r(t)$  を示せ。

(ii) 時間が十分経過しても、 $r(t)$  が発散することなくある値に収束し、船が定常旋回するための条件を示せ。また、その際の  $r(t)$  の収束値を示せ。

(iii)  $r(t)$  が(ii)で求めた収束値となるときの定常旋回の旋回半径を求めよ。なお、船速は一定であるものとする。

(2) 船の旋回時に生じる運動に関する以下の問いに答えよ。

(a) 一定の速度かつ舵角  $0^\circ$  で直進中の船が転舵したとする。このときの上から見た船の姿勢と舵角を表す以下の図を答案用紙に描き写し、転舵の結果生じる旋回運動の水平面内の軌跡並びに  $90$  度旋回時及び  $180$  度旋回時の上から見た船の姿勢を、あわせてその図に追記せよ。



(b) 一定の速度かつ舵角  $0^\circ$  で直進中の船が転舵したとする。この船は転舵直後、まずは内方傾斜し、その後、旋回が定常状態になると外方傾斜した。このような二つの横傾斜が生じたそれぞれのメカニズムについて、次の語句のうち必要なものを用いてあわせて 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：横流れ速度、旋回角速度、舵力、遠心力]

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<sup>に</sup>答えよ。

A 構造設計に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 幅  $B$  の鋼板を切断、接合して、図 I のような幅  $x$ 、高さ  $\frac{B-x}{2}$  の十分に長い H 形鋼を製作する ( $0 < x < B$ )。この H 形鋼に対して縦曲げと水平曲げがそれぞれ作用した際に、十分な強度を有する  $x$  の値を求めたい。この構造設計に関する以下の問いに答えよ。
- ただし、板厚は  $t$  とし、 $t$  は  $x$  や  $B$  と比較して十分小さいものとする。

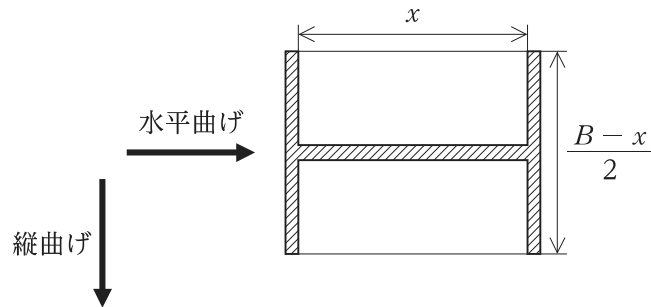


図 I

- (a) 縦曲げに対する断面二次モーメント  $I_V$  を求めよ。
- (b) 縦曲げに対する断面係数  $Z_V$  を求めよ。
- (c) 横軸を  $x$ 、縦軸を  $Z_V$  として、これらの関係をグラフに図示せよ。
- (d) 水平曲げに対する断面二次モーメント  $I_H$  を求めよ。
- (e) 水平曲げに対する断面係数  $Z_H$  を求めよ。
- (f) 横軸を  $x$ 、縦軸を  $Z_H$  として、これらの関係をグラフに図示せよ。
- (g)  $Z_V$  及び  $Z_H$  のうち、より小さい方の値を  $Z'$  とする。このとき、 $Z'$  が最大となるような  $x$  の値を求めよ。
- (h) H 形鋼の寸法比と荷重方向に対する強度の関係について触れつつ、適切な寸法比の決定方法について 5 行程度で説明せよ。ただし、ここでは強度の代表値として最大曲げ応力を用いるものとする。

- (2) 図Ⅱのように、長さ  $a$  の亀裂を有する十分大きな平板に大きさが  $\sigma_0$  となる遠方応力が亀裂と垂直方向に作用する。このように亀裂が開く方向に遠方応力が作用した場合、亀裂が急激に成長して構造が破断する可能性がある。このような構造における健全性を評価するための学問である線形破壊力学では、応力拡大係数  $K$  と呼ばれる指標がしばしば用いられる。亀裂線上において、亀裂端からの距離  $r$  の位置における亀裂と垂直方向の引張応力  $\sigma$  は以下の式より求めることができる。

$$\sigma = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}}$$

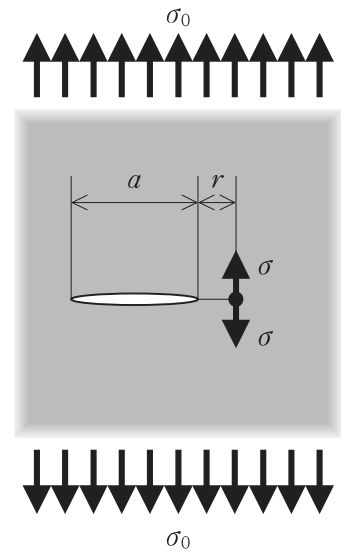
上式において、 $\sigma$  の値は  $r$  に依存するものの、 $K$  の値は  $r$  に依存しないことが知られている。そのため応力拡大係数は亀裂先端近傍の応力場を表す指標として用いられ、この値が材料固有のある値に到達した際に亀裂が急激に成長し、構造が破断すると考えられている。この応力拡大係数に関する以下の問いに答えよ。

- (a)  $r = 5 \text{ mm}$  の位置において  $\sigma = 100 \text{ MPa}$  であった。このとき、 $r = 20 \text{ mm}$  の位置における  $\sigma$  の大きさを求めよ。
- (b) 応力拡大係数は  $\sigma_0 \sqrt{a}$  に比例することを 5 行程度で示せ。ただし、線形破壊力学では平板を線形弾性体として扱い、亀裂先端付近の降伏等の非線形要素は無視することを用いてよい。
- (c) 大きさが  $10 \text{ MPa}$  となる遠方応力が作用し、 $r = 1.5 \text{ mm}$  の位置において  $\sigma = 100 \text{ MPa}$  となった。この材料における亀裂が急激に成長する応力拡大係数の値を  $3000 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$  とした場合、亀裂が急激に成長する遠方応力の大きさを求めよ。

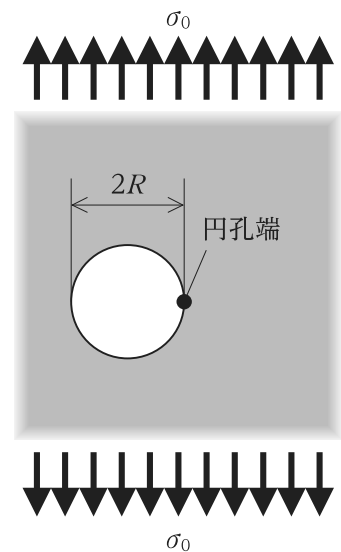
なお、円周率を 3 として計算してよい。

- (d) 疲労亀裂の成長によって(c)の亀裂の長さが  $4a$  となった。このとき、亀裂が急激に成長する遠方応力の大きさを求めよ。
- (e) 図Ⅲに示すように、半径  $R$  の円孔の欠陥を有する十分大きな平板に遠方応力が作用している。平板の降伏応力を  $300 \text{ MPa}$  とした場合、円孔端が降伏応力に到達するときの遠方応力の大きさを求めよ。

ただし、円孔端の応力集中係数は 3 とする。



図Ⅱ



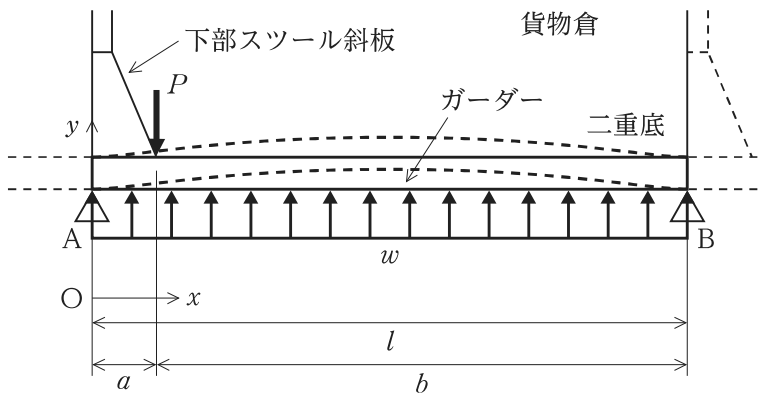
図Ⅲ

- (f) 欠陥が成長し、(e)の円孔の半径が  $2R$  となった。この平板の円孔端が降伏応力に到達するときの遠方応力の大きさを求めよ。
- (g) 亀裂及び円孔の欠陥寸法が強度に与える影響の違いについて 2 行程度で述べよ。
- (3) 溶接部やその周辺は、条件によっては母材と比べて強度が低下する。その要因を三つ述べよ。ただし、要因ごとに次の語句から少なくとも一つを用いること。  
[語句：溶接残留応力、形状的不連続性、脆化、溶接不良]

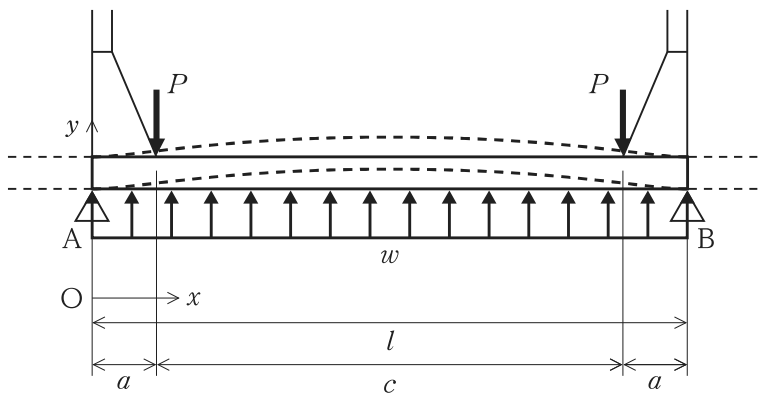
B 船体構造に関する以下の設問に答えよ。

ばら積み貨物船の貨物倉に貨物を積載せず、船底からの静水圧のみが作用している状態を考える。このとき、図 I の(ア)のように下部スツールの斜板を同じ方向に向けて配置している状態から、(イ)のように斜板が向き合っている状態に変更した場合に、ガーダーに発生するせん断力の変化について調べる。

いま、二重底のガーダーを A と B で支持された長さ  $l$  をもつ 1 本の単純梁 AB としてモデル化する。この単純梁に、水圧からの等分布荷重  $w$  と船底の突き上げ変形によって、下部スツール斜板から受ける鉛直下向き集中荷重  $P$  が作用するものと仮定するとき、それぞれの荷重が作用する単純梁の上下方向の力とモーメントの釣合いの式を立てて、せん断力曲線(S.F.D.)を描き、A の位置と  $l$  の中央の位置におけるせん断力がどのように変化するか述べよ。ただし、せん断力の符号は図 II のとおりとする。



(ア) 下部スツールの斜板が同じ方向を向いている場合



(イ) 下部スツールの斜板が向き合っている場合

図 I

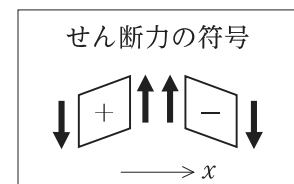


図 II

## 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	1~8
科目 2. 都市設計	1 題	No. 2	9~14
科目 3. 計測工学	1 題	No. 3	15~17
科目 4. 制御工学	2 題	No. 4 A, B	18~23
科目 5. 電磁気学・電気回路	1 題	No. 5	24~26
科目 6. 電気機器	1 題	No. 6	27, 28
科目 7. 電力工学	1 題	No. 7	29, 30
科目 8. 電子工学	1 題	No. 8	31, 32
科目 9. 通信工学	1 題	No. 9	33
科目10. 信頼性工学	1 題	No. 10	34~36
科目11. 材料力学[機械系]	1 題	No. 11	37~40
科目12. 機械力学	1 題	No. 12	41, 42
科目13. 流体力学[機械系]	1 題	No. 13	43~46
科目14. 熱力学・熱機関[機械系]	1 題	No. 14	47~49
科目15. 航空工学	1 題	No. 15	50~52
科目16. 構造力学(土木)	1 題	No. 16	53~55
科目17. 土質力学	1 題	No. 17	56~58
科目18. 水理学	1 題	No. 18	59~61
科目19. 土木計画	3 題	No. 19 A, B, C	62~67
科目20. 環境工学(土木)・衛生工学	2 題	No. 20 A, B	68~71
科目21. 材料工学(材料科学)	2 題	No. 21 A, B	72~75
科目22. 材料工学(金属材料)	1 題	No. 22	76, 77
科目23. 材料工学(無機材料)	1 題	No. 23	78, 79
科目24. 原子力工学(原子核・放射線)	1 題	No. 24	80, 81
科目25. 原子力工学(原子炉・核燃料サイクル)	2 題	No. 25 A, B	82, 83
科目26. 船舶海洋工学(流体)	2 題	No. 26 A, B	84~89
科目27. 船舶海洋工学(構造)	2 題	No. 27 A, B	90~93

○ 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。