

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. この問題集で単位が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 観光資源の豊かな島の商店街に位置する観光案内所及び休憩所の計画 (1 ~ 8 ページ)

No. 2 地方都市郊外駅前再開発計画 (9 ~ 14 ページ)

【No. 1】 観光資源の豊かな島の商店街に位置する観光案内所及び休憩所の計画

本課題では、年間約 400 万人の観光客が訪れる A 島の敷地に、観光案内所及び休憩所を計画する。観光案内所では、観光客による消費額の拡大、各施設への誘客促進、リピーターの増加等につながるように、単なる案内だけでなく、地域の魅力を伝える展示や飲食、体験を提供するものとする。

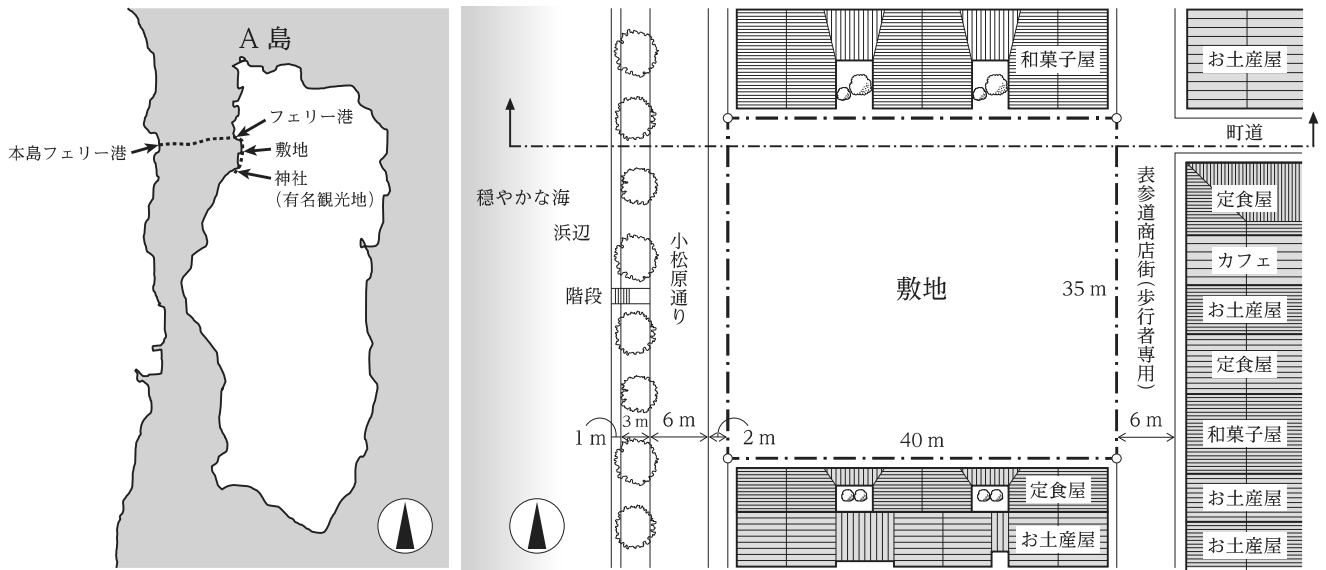
以下の I. 設計と条件の内容を踏まえ、II. 要求図書を答案用紙の所定の解答欄にまとめよ。

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。

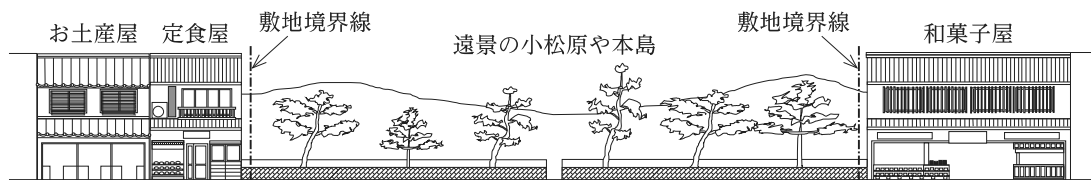
〔 I. 設計と条件 〕

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(図Ⅰ)、立面図(図Ⅱ)、断面図(図Ⅲ)のとおりである。
- (2) 本島からの観光客は、主に、敷地の北側徒歩約 5 分の位置にあるフェリーの港から、敷地の南側約 10 分の位置にある観光名所の神社へと歩いて向かう。
- (3) 敷地の東側の商店街は、神社への主要動線の一つであり、80 以上の店舗が軒を連ねるにぎやかな通りである。商店街は歩行者専用であり、道路に面して木造 2 階建ての建物が軒を連ねている。間口は、主に 2 間半(約 4.5 m) ~ 5 間半(約 10 m)であり、切妻造平入りの店舗が多く、角地では、入母屋も見られる。既存店舗は、間口に対して奥行きがあり、中庭のある町家形式の木造家屋が密集しており、隣接する商店と壁面を共有していることが多いが、本計画では、火災時の安全性等にも配慮し、鉄筋コンクリート造とする。
- (4) 敷地の西側の小松原通りは、商店街と比較して歩行者は少なく、のんびり静かに過ごせる通りであり、海岸沿いに松が一定の間隔で植栽されている。小松原通りの向こうには穏やかな海があり、遠景には本島が望める。日没頃には観光客が夕日を眺める景色も見られる。これらを踏まえ、観光案内所内の郷土料理店の客席エリアは、海への眺望に配慮すること。
- (5) 敷地は平坦である。敷地レベルは満潮時の海よりも約 1 m 高いものとする。また、歩道の切り開きは、1 か所当たり 6 m までできる。
- (6) 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 70 %、容積率の限度は 400 % である。高さの制限及び日影規制は考慮しなくてよい。
- (7) 電気、ガス及び上下水道は完備している。
- (8) 地盤については適切に改良済みであり、基礎についての特別な配慮は必要ない。
- (9) 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。
- (10) 水害時は人命最優先で高台に避難することとし、建物被害についての特別な配慮は必要ない。



図Ⅰ 広域図(左)と敷地周辺図(右)



図Ⅱ 表参道商店街から敷地方向の立面図



図Ⅲ 敷地の東西方向の断面図

2. 本施設の運営方針

- (1) 一般社団法人の A 島観光協会が管理、運営する。
- (2) 特別な日を除き原則毎日開所する。開所時間については、観光案内所は 10 時 00 分から 18 時 00 分までとし、休憩所は 9 時 00 分から 21 時 00 分までとする。

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ラーメン構造とする。
- (2) 要求室及びその条件は次表のとおりであり、全てを設計に含めること。ただし、床面積は次表に示す面積の $\pm 20\%$ 以内とすること。
- (3) 敷地の建蔽率の限度は 70% 、容積率の限度は 400% であるが、延べ面積は、 $1,000\text{ m}^2$ 以上 $1,800\text{ m}^2$ 以下とすること。
- (4) 施設内の職員用エリアと一般利用者エリアを区画するとともに、開所時間の異なる観光案内所と休憩所を区画できるようにする。

区分	室 名 等		床 面 積	特 記 事 項	
観光案内所	・各ゾーン(案内、展示、飲食、体験)のバックヤードエリアは、床面積に含んでおり記入しなくてよい。				
	案内	案内コーナー	適宜	・ <u>1 階に設ける</u> 。有人による案内を行う。	
		事務室	約 50 m ²	・ A 島観光協会の事務所である。 ・ <u>案内コーナーに隣接して設ける</u> 。	
	展示	歴史・文化の展示スペース	約 200 m ²	・ 観光客に対し地域の歴史や文化を紹介し、地域の魅力を発信するための展示スペースである。	
		映像紹介スペース	約 80 m ²	・ 観光客に対し地域の魅力を発信するための映像を上映するスペースである。	
	飲食	銘菓店	製造工場	約 50 m ²	・ <u>1 階に設け、製造工程を外から見られるようにする</u> 。
			販売スペース	約 80 m ²	・ <u>製造工場に隣接して設ける</u> 。 ・ 土産物の販売のほか、出来たて販売も行う。
		郷土料理店	サービスヤード	約 80 m ²	・ <u>2 階に設ける</u> 。厨房等のスペースである。
			客席エリア	約 100 m ²	・ <u>2 階に設け、客席エリアからの海の眺望に配慮する</u> 。 ・ 約 100 席を想定しているが席は記入しなくてよい。
	体験	着物体験所	約 80 m ²	・ <u>2 階に設ける</u> 。着物や平安時代の壺装束を着て、島の観光地を回ることができる。	
休憩所	・ 商店街や観光案内所の利用者の休憩所として設ける。 ・ <u>トイレブース、設備機器等(便器、洗面器、SK)、授乳スペースを記入すること</u> 。				
	男性トイレ		適宜	・ <u>小便器 5 つ、大便器 4 つ、洗面器 3 つ、SK 1 つを設ける</u> 。	
	女性トイレ		適宜	・ <u>大便器 6 つ、洗面器 3 つ、化粧台 3 つを設ける</u> 。	
	車椅子利用者用トイレ		適宜	・ 身体状況により手すり等の位置を選べるように <u>左右対称に 2 か所設ける</u> 。	
	子供用トイレ		約 12 m ²	・ 未就学児利用も想定し、親も入れるスペースを確保する。 ・ <u>子供用の大便器 1 つ、小便器 1 つ、洗面器 1 つを設ける</u> 。	
	授乳室		約 12 m ²	・ <u>施錠可能な個室の授乳スペースを 3 か所設ける</u> 。 ・ 授乳スペースの外に、 <u>流し台・給湯器スペース</u> を確保する。	
	おむつ替え室		約 15 m ²		
共用部	設備室		約 60 m ²		
	2 階トイレ		適宜	・ 2 階に設ける。 ・ 主に観光案内所の利用者が使用する。 ・ トイレブース、設備機器等は記入しなくてよい。	
	階段		適宜	・ <u>2 か所以上設ける</u> 。	
	エレベーター		適宜	・ <u>1 基以上を設ける</u> 。	
	ゴミ庫		適宜	・ <u>1 階に設ける</u> 。	
・ その他必要と思われる室、 ^{じゅう} 什器等があれば、適宜計画してもよい。					

4. 屋外施設

屋外施設及びその条件は次表のとおりであり、全てを設計に含めること。

屋外施設名	特 記 事 項
休憩スペース	・ トイレに行った家族や友人を待つスペースや「食べ歩き」の人のための <u>休憩スペース(合計約 100 m² 以上とし、分けて設けてもよい。)</u> を屋外に計画すること。
駐車場	・ <u>サービス用の一時駐車スペースを 2 台分(1 台当たり 2.5 m × 5.0 m 以上)以上設けること。</u>
・ 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。	

5. 提案(記載は任意とし、空欄でも減点はしない。)

観光客が本施設の「歴史・文化の展示スペース」や「映像紹介スペース」を利用することで、A 島での消費拡大や A 島内外の観光施設への誘客を促進し、地域経済の貢献につながることを期待されるような建築計画上の動線計画や展示計画の工夫について、具体的かつ論理的に提案せよ。

ただし、建築物の設計段階では、「歴史・文化の展示スペース」や「映像紹介スペース」等の展示内容は上記の設計と条件以外は固まっていないものとし、有料サービスの導入等も含めて自由に提案してよいものとする。

説明に当たっては、具体的かつ論理的に記述すること。説明内容を踏まえ、必要に応じて加点対象とする。

〔Ⅱ．要求図書〕

以下の要求図書を作成せよ。

ただし、「1. 企画書」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. 設計案」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基本設計の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。発注者の立場で、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。

うち 2 点は以下の①，②を所与の目標とし、3 点目の目標(③)について自由に設定の上、1 行以内で記述せよ。

ただし、「3. 提案」を行う場合は、提案内容以外の内容とすること。

- ① 周辺環境に配慮した施設整備とする。
- ② 様々な施設の利用者が分かりやすく使いやすい施設整備とする。
- 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)を事業目標に対してそれぞれ設定する。以下の①－1，①－2，②－1，②－2 は、(1)①，②に対応する所与の重点整備項目とする。(1)③に対応する重点整備項目③－1 について自由に設定の上、1 行以内で記述せよ。

- ①－1 海及び既存建物に配慮した建物の配置計画並びにボリューム計画とする。
- ①－2 商店街及び小松原通りに配慮した室配置計画とする。
- ②－1 施設内の職員用エリアと一般利用者エリアを区画する。
- ②－2 開所時間の異なる観光案内所と休憩所を区画できるようにする。
- ③－1

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、要求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①－1，①－2，②－1，②－2，③－1 に対して、設計案で対応した内容をそれぞれ記述せよ。

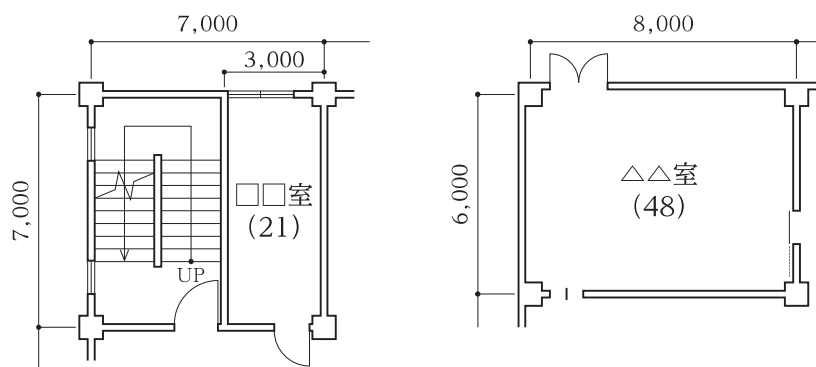
(2) 図面及び面積表

要求図面及び面積表は、次表に従い、それぞれ作成せよ(フリーハンドでもよい。)。適宜、設計主旨等を補足してもよい。また、記入に当たっては、赤及び青鉛筆を用いてもよい。

3. 提案(記載は任意とし、空欄でも減点はしない。)

I. 「5. 提案」の提案内容を具体的に答案用紙に記述せよ。記述だけでなく、概念図やスケッチを補足してもよい。記入に当たっては、赤及び青鉛筆を用いてもよい。

要求図面等	特 記 事 項				
1 階平面図兼配置図 2 階平面図 (縮尺は共に 1 : 200)	- 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、以下の記入例を参考に記入すること。 ① 柱、壁、窓、出入口等(それぞれの違いが分かるように記入する。) ② 建築物の主要寸法(スパン割り及び床面積等の算出に必要な程度とする。) ③ 要求室の名称 ④ 要求室の床面積(床面積が適宜とされている室を除く。) 1 階平面図兼配置図には、<u>車路</u>、<u>植栽</u>を記入する。 2 階平面図には、<u>1 階見えがかり部分</u>(屋上、ひさし 庇等)を記入する。				
面積表	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、次表を参考としてよい。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>床面積に算入するものの例</th><th>床面積に算入しないものの例</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td> ・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 ・屋内階段 ・エレベーターシャフト </td><td> ・ピロティ(左記を除く。) ・塔屋 ・バルコニー、屋外廊下(外気に有効に開放されているものに限る。) ・屋外階段 ・屋上設備スペース </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	・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 ・屋内階段 ・エレベーターシャフト	・ピロティ(左記を除く。) ・塔屋 ・バルコニー、屋外廊下(外気に有効に開放されているものに限る。) ・屋外階段 ・屋上設備スペース
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				
・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 ・屋内階段 ・エレベーターシャフト	・ピロティ(左記を除く。) ・塔屋 ・バルコニー、屋外廊下(外気に有効に開放されているものに限る。) ・屋外階段 ・屋上設備スペース				



室名及び床面積等の記入例
(室名の下括弧内は、床面積を示す。)

(答案用紙見本)

C1
C2-2026 科目 1. 建築設計 [No. 1] 答案用紙

第1次試験地	試験の区分	受験番号	氏名
	工 学		

※
※印の欄は記入しないでください

観光資源の豊かな島の商店街に位置する観光案内所及び休憩所の計画

1. 企画書

(1) 事業目標

①周辺環境に配慮した施設整備とする。

②様々な施設の利用者が分かりやすく使いやすい施設整備とする。

③

(2) 重点整備項目

①-1 海及び既存建物に配慮した建物の配置計画並びにボリューム計画とする。

①-2 商店街及び小松原通りに配慮した室配置計画とする。

②-1 施設内の職員用エリアと一般利用者エリアを区画する。

②-2 開所時間の異なる観光案内所と休憩所を区画できるようにする。

③-1

2. 設計案

(1) 設計主旨

①-1

①-2

②-1

②-2

③-1

2. 設計案 (2) 図面及び面積表 (方眼は5.0mm目です。)

隣地境界線 (40 m)

道路境界線 (35 m)

道路境界線 (35 m)

隣地境界線 (40 m)

1 階平面図兼配置図 縮尺 1 : 200

3. 提案（提案内容について、具体的に記載してください。記載は任意とし、空欄でも減点しません。）

（提案内容の補足が必要な場合は、以下に説明や概念図等を記載しても構いません。方眼は 5.0 mm 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）

m²

2 階床面積：（算定式）

m²

1 階及び 2 階の
床面積の合計

m²

【No. 2】 地方都市郊外駅前の再開発計画

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、我が国の都市再生において複合用途による開発が増加している。単用途による開発で都市課題を解決するのではなく、複合用途による建築計画や街区単位での一体的な開発を通じて、用途間の関係性を設計に取り込むことで、相乗効果を得るだけでなく、多様な人々の交流などの面でも、より多くの関わりを対象地にもたらしことが求められている。

本課題は、地方都市郊外駅前において、住商複合開発によるにぎわいと住環境の調和した再開発計画を立案する。計画対象地区周辺は駅を中心に発達した郊外であり、周囲には多くの計画住宅地が立地し、通勤、通学のための多くの駅利用者がある。計画対象地区に居住する住民だけではなく、多くの通行者が商業施設を利用することを想定し、持続可能な駅周辺地域の発展に寄与する計画とする。

1. 計画対象地区周辺の現況(図Ⅰ)

- (1) 計画対象地区のある市は、政令指定都市で、人口は現在約 90 万で、対象区では約 14 万である。
- (2) 計画対象地区は、市の中心部から北東に 5 km ほど離れている。最寄りの駅からは 300 m ほどの距離にあり、徒歩 5 分圏内である。計画対象地区から市の中心部までは、鉄道が主な交通手段である。駅から半径 1 ～ 1.5 km 圏には計画市街地として住宅地が広がっており、駅まではバス利用者が多くいる。駅の 1 日当たりの乗降客数は約 4 万人である。計画対象地区周辺は、土地区画整理事業が駅開発と併せて実施されており、道路基盤整備は実施済みである。
- (3) 計画対象地区の最寄り駅東口には駅前広場があり、バス、タクシーの乗降地点となっている。駅前広場の周囲や駅から南東に延びる県道沿いには商業施設が複数立地しているが、大型ショッピングモールは、自動車で 15 分ほど離れたところに立地していて、駅周辺には立地していない。計画対象地区の北側には、近隣公園が立地している。近隣公園には、中央に芝生広場があり、その周囲には子供用の遊具が設置されている。計画対象地区の東側には県道が通っており、南側の隣接街区には駅に通じる県道が通っている。これらの県道沿いには店舗が点在している。

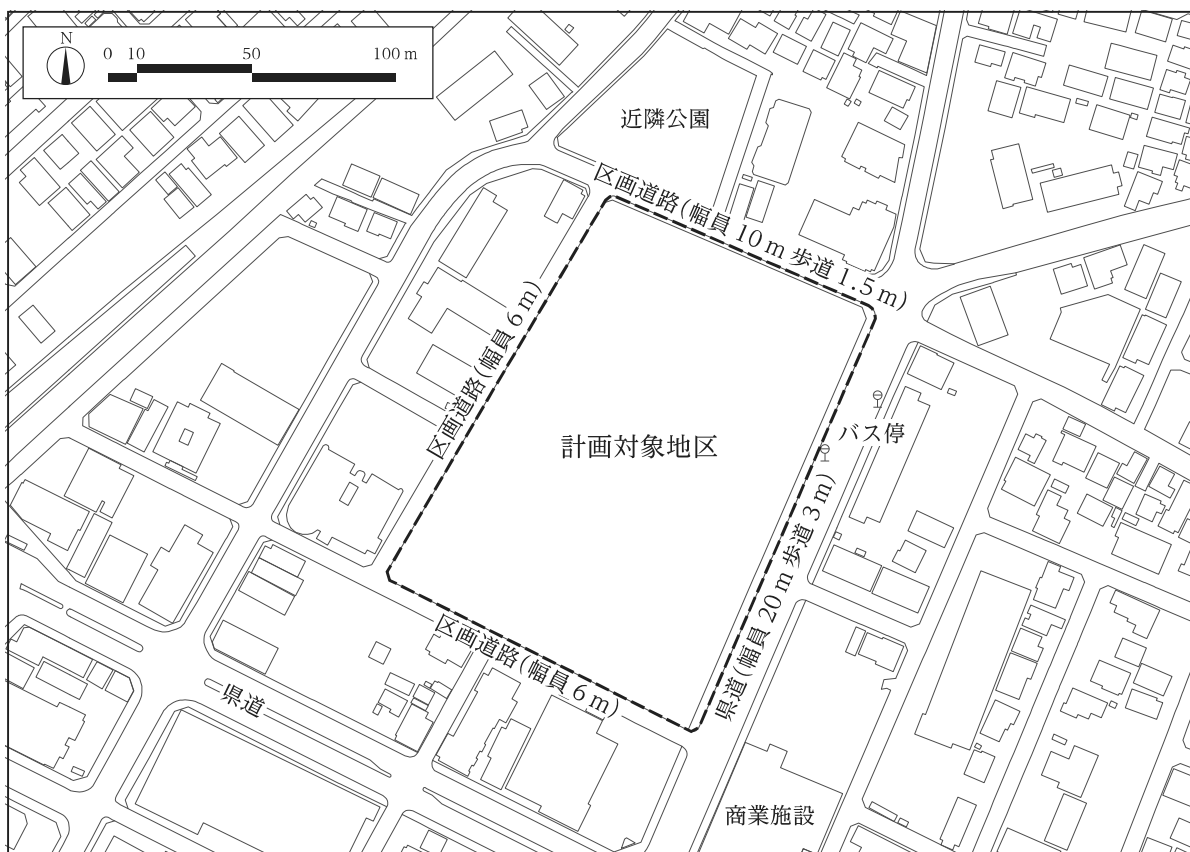
計画対象地区を通学区域とする小学校は、北東側に徒歩 20 分ほどのところに立地している。

2. 計画対象地区の現況(図Ⅱ)

- (1) 破線で囲まれた部分を計画対象地区とする。
- (2) 計画対象地区の面積は約 18,500 m²、用途地域は第一種住居地域で、建蔽率の限度は 60 %、容積率の限度は 300 % に指定されている。店舗は 3,000 m² まで可である。
- (3) 計画対象地区には、既存建物はなく更地になっている。
- (4) 敷地は、平坦な地形となっており、周囲との高低差はない。
- (5) 計画対象地区の東側の県道の幅員は 20 m で、歩道が両側に幅員 3 m 設置されている。東側の県道には、駅と北東地域を接続するバスの停留所が立地している。また、北側の区画道路の幅員は 10 m で、歩道が両側に幅員 1.5 m 設置されている。



図Ⅰ 計画対象地区周辺現況図



図Ⅱ 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、各施設の計画を行うこと。

(1) 集合住宅

周囲の環境に調和した集合住宅を計画する。住戸は全て分譲形式で、棟数は自由とし、各住戸の面積は 80～90 m²、住戸数の合計は 170～200 戸とする。また、集合住宅の敷地(複数の住棟に分ける場合は、各住棟の敷地)を設定した上で、その敷地内に、その居住者用の駐車場を住戸数の 50 % に当たる台数分、駐輪場を住戸数の 200 % に当たる台数分、それぞれ設ける。駐車場は平面、機械式、立体駐車場は問わないが、地下利用はできないものとする。さらに、住棟とは別棟にして、集合住宅の敷地(複数の住棟に分ける場合は、いずれか一つの敷地)内に、計画対象地区内の居住者の誰もが使用できる、床面積の合計が 250 m² 程度の集会所を 1 か所設ける。また、本地区には 20 m の高さ制限が設定されている。

(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 4,000 m² 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) 商業施設

床面積の合計が 2,500 m² 以上 3,000 m² 以下の商業施設を設ける。利用者は居住者だけでなく、周辺住民も訪れる商業施設として、生活利便増進に寄与するものを計画する。利用者のために、駐車場を 100 台以上、駐輪場を 200 台以上設ける。駐車場は平面、機械式、立体駐車場は問わないが、地下利用はできないものとする。設置に当たっては、計画対象地区内において、集合住宅とは分離して計画することも、集合住宅と一体で計画することもできる。また、商業施設利用者のための広場空間などを計画することもできる。屋外空間の商業利用も認めるが、要件の床面積には含まない。

(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。地区内通路を計画した際に、既存の歩道を横断する場合は、その箇所は歩道を切り下げることとする。

また、計画に伴いバス停の位置は変更することが可能であるが、変更位置は計画対象地区と隣接した東側県道区間内とする。

〔Ⅱ. 要求図書〕

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

1. 整備計画の基本方針(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 集合住宅、商業施設の配置計画
- ④ 商業施設の開発企画
- 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

「1. 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、商業施設は、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)が分かる程度でよい。)、外構、主要寸法を表現する。複合建築となる場合は、その説明も加えること。また、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等を適宜記入し、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。
- ・バス停の位置を記入する。バス停の位置については計画に応じて、計画対象地区と隣接した東側県道区間内で移動させることができる(原位置のままの場合は、答案用紙のバス停をなぞるなどして明記すること。)

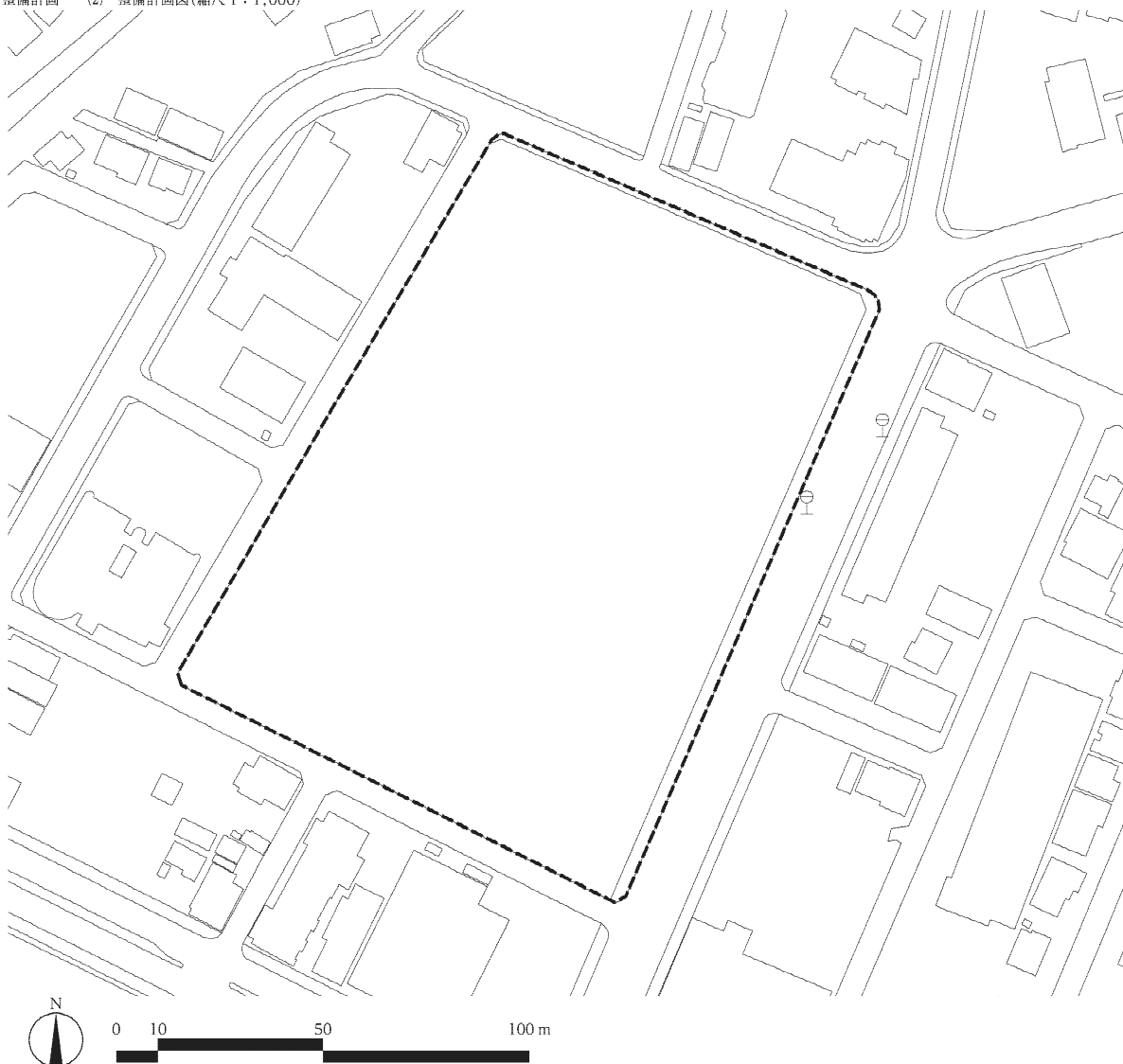
(3) 面積表

I. 3. (1)、(2)、(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、表形式にするなどして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、商業施設は、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。)。複合建築となる場合は、その説明も加えること。
- ・オープンスペースは、名称、面積を記入する。

[C1]
[C2]—2026 科目 2. 都市設計 [No. 2] 答案用紙

2. 整備計画 (2) 整備計画図(縮尺 1:1,000)



2. 整備計画 (3) 面積表

以下、余白。

【No. 3】 計測に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 物理法則を表す物理方程式の両辺や各項の次元は一致しなければならない。次元解析と不確かさに関する以下の問いに答えよ。

図 I のような光学系を考える。放射束 I_0 (単位は $[\text{W}/\text{m}^2]$) は、有効口径 D のレンズを通過して、焦点距離 f の位置にある撮像面に配置された検出素子に集光面積 A で入射する。このときの入射パワー P は以下の式で表される。ただし、レンズの透過率は 100 %、レンズの厚みは無視できるものとする。

$$P = \frac{\pi I_0 D^2 A}{4f^2} \quad \dots\dots ①$$

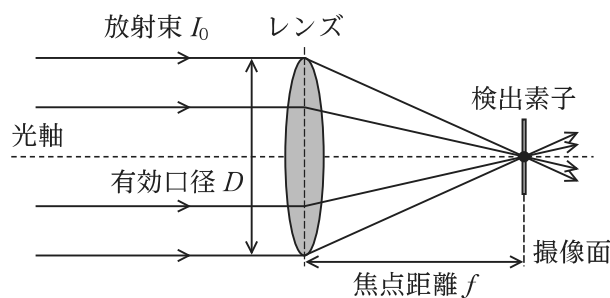


図 I

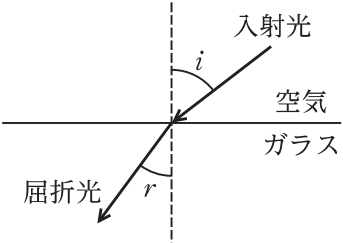
- (a) 任意の物理量 Q の次元 $\dim Q$ は、国際単位系の七つの基本量である長さ L 、質量 M 、時間 T 、電流 I 、温度 Θ 、物質質量 N 及び光度 J の次元を用いて組み立てることができる。次元指数 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \zeta, \eta$ を用いると次式が成り立つ。ここで、次元指数は正、負又はゼロである。

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\varepsilon N^\zeta J^\eta$$

- (i) 入射パワー P の次元を、 L, M, T, I, Θ, N, J のうち必要なものを用いて示せ。
 - (ii) 放射束 I_0 の次元を、 L, M, T, I, Θ, N, J のうち必要なものを用いて示せ。
 - (iii) 式①の左辺と右辺の次元が一致することを、 L, M, T, I, Θ, N, J のうち必要なものを用いて示せ。
- (b) 検出素子に入射する集光スポットは半径 r の円形であり、半径 r には 1 % の相対不確かさがあるものとする。また、円周率 π に 0.05 % の相対不確かさがあるものとする。
- (i) 集光スポットの円周の長さ l の相対不確かさを有効数字 5 桁で求めよ。
 - (ii) 集光面積 A の相対不確かさを有効数字 7 桁で求めよ。

- (2) レンズは屈折現象を利用して、開口に照射された光を一点に集めるように表面の曲率が設計されている。光が空気中からガラス中へ進むとき、入射角 i と屈折角 r は図Ⅱのように定義され、ガラスの屈折率 n は以下の式で求められる。ただし、角度の単位は rad とする。

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$



図Ⅱ

- (a) 屈折率 n の相対不確かさ $\frac{\delta n}{n}$ を、 $\sin i$, $\delta \sin i$, $\sin r$, $\delta \sin r$ のうち必要なものを用いて表せ。ただし、 $\delta \sin i$, $\delta \sin r$ は、それぞれ $\sin i$, $\sin r$ の不確かさとする。
- (b) 任意の角度 θ に対する $\sin \theta$ の相対不確かさ $\frac{\delta \sin \theta}{|\sin \theta|}$ を、 $\sin \theta$, $\cos \theta$, $\delta \theta$ のうち必要なものを用いて表せ。ただし、 $\delta \theta$ は、 θ の不確かさとする。
- (c) 測定結果をまとめた以下の表の㉔～㉞に当てはまる数を有効数字 1 桁で求めよ。

入射角 i [rad]	i の不確かさ [rad]	$\sin i$	$\cos i$	$\frac{\delta \sin i}{ \sin i }$ [%]
0.35	± 0.017	0.34	0.94	㉔
0.70	± 0.017	0.64	0.76	㉕

屈折角 r [rad]	r の不確かさ [rad]	$\sin r$	$\cos r$	$\frac{\delta \sin r}{ \sin r }$ [%]
0.23	± 0.017	0.23	0.97	㉖
0.41	± 0.017	0.40	0.92	㉞

- (d) 入射角 $i = 0.35$ rad、屈折角 $r = 0.23$ rad のとき、屈折率 n の相対不確かさを有効数字 2 桁で求めよ。

(3) 宇宙空間から落ちてくる隕石は宇宙放射線を浴びて微量の放射能が検出される。この放射能を限られた時間内に調べるために、正味計数率の統計誤差を最小にする最適計測時間を求めることを考える。以下の問いに答えよ。

(a) この最適計測時間は次のように求めることができる。㉖～㉚に当てはまる最も妥当な式を以下の文章中の記号のうち必要なものを用いて示せ。

「測定時の計数率を評価するための予備実験として、全計数率(信号+バックグラウンド)とバックグラウンド計数率について放射線計数検出器を用いて短時間測定を行った。これにより、真の全計数率の近似値 r_{tot} と真のバックグラウンド計数率の近似値 r_{bg} を得た。

次に、正確な値を得るため、長時間 T_{tot} の間に n_{tot} カウント(信号+バックグラウンド)及び長時間 T_{bg} の間に n_{bg} カウント(バックグラウンド)を検出する実験計画を立てた。これらの実験から全計数率 R_{tot} とバックグラウンド計数率 R_{bg} を計算し、信号のみの正味の計数率 R_s を求める。検出器は T 時間だけ使用できるため、 $T_{\text{tot}} + T_{\text{bg}} = T$ の制限がある。そのため、 R_s の標準不確かさが最小になるように、 T_{tot} と T_{bg} を時間配分する必要がある。

測定時間 T_{tot} の間に観測される計数値(カウント数)は、 $n_{\text{tot}} = \boxed{\text{㉖}}$ と表現できる。計数値の分散は、計数値に等しいことから、その標準不確かさは、

$$\delta n_{\text{tot}} = \sqrt{n_{\text{tot}}} = \sqrt{\boxed{\text{㉖}}}$$

全計数率は、 $R_{\text{tot}} = \frac{n_{\text{tot}}}{T_{\text{tot}}}$ で与えられ、その標準不確かさは、

$$\delta R_{\text{tot}} = \frac{\delta n_{\text{tot}}}{T_{\text{tot}}} = \boxed{\text{㉗}} \quad \cdots \cdots \text{㉑}$$

同様にして、バックグラウンド計数率は、 $R_{\text{bg}} = \frac{n_{\text{bg}}}{T_{\text{bg}}}$ で与えられ、その標準不確かさは、

$$\delta R_{\text{bg}} = \frac{\delta n_{\text{bg}}}{T_{\text{bg}}} = \boxed{\text{㉘}} \quad \cdots \cdots \text{㉒}$$

最後に、信号のみの正味の計数率は、 $R_s = R_{\text{tot}} - R_{\text{bg}}$ で与えられ、正味の計数率の合成標準不確かさは、 δR_{tot} と δR_{bg} を用いて、

$$\delta R_s = \boxed{\text{㉙}} \quad \cdots \cdots \text{㉓}$$

③に①と②を代入して変形すると、

$$(\delta R_s)^2 = \boxed{\text{㉚}} \quad \cdots \cdots \text{㉔}$$

標準不確かさをできるだけ小さくするために、まず、 $T_{\text{bg}} = T - T_{\text{tot}}$ を④の右辺に代入すると、

$$f(T_{\text{tot}}) = (\delta R_s)^2 = \boxed{\text{㉛}} \quad \cdots \cdots \text{㉕}$$

次に、 T_{tot} について⑤を微分すると、得られる導関数は、

$$f'(T_{\text{tot}}) = \boxed{\text{㉜}} \quad \cdots \cdots \text{㉖}$$

$T_{\text{bg}} = T - T_{\text{tot}}$ を⑥に代入すると、

$$f'(T_{\text{tot}}) = \boxed{\text{㉝}} \quad \cdots \cdots \text{㉗}$$

$f'(T_{\text{tot}}) = 0$ のときに標準不確かさが最小となるので、最適な計測時間配分は、

$$\frac{T_{\text{tot}}}{T_{\text{bg}}} = \boxed{\text{㉞}} \quad \cdots \cdots \text{㉘}$$

である。」

- (b) 割り当てられた測定時間が2時間であり、予備実験から $\frac{r_{\text{tot}}}{r_{\text{bg}}} \approx 9$ であるとき、 T_{tot} と T_{bg} をどのように配分すればよいか示せ。
- (c) 別の隕石について、5時間の測定時間を割り当て、放射能測定を行った。また、短時間測定における真の全計数率の近似値は 200 counts/hour、真のバックグラウンド計数率の近似値は 50 counts/hour であることが分かっている。このとき、以下の問いに答えよ。
- (i) T_{tot} と T_{bg} の最適値を有効数字2桁で求めよ。
- (ii) (i)で得られた時間に基づいて正味の計数率の相対標準不確かさを有効数字2桁で求めよ。

【No. 4】 次の **A, B** いずれか一つのみ に答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 次の 2 次遅れ系の伝達関数 $P(s)$ について以下の問いに答えよ。

ただし、 K, ζ, ω_n は正の実数である。

$$P(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

- (a) $P(s)$ が振動根をもつ条件を求めよ。
- (b) $P(s)$ が共振周波数をもつ条件を求めよ。なお、共振とは定常ゲインよりもゲインが大きくなる周波数があることである。
- (c) 共振周波数でのゲインを K, ζ, ω_n を用いて表せ。
- (d) $P(s)$ のボード線図の概形は図 I のようになった。このときの K, ζ, ω_n をそれぞれ求めよ。

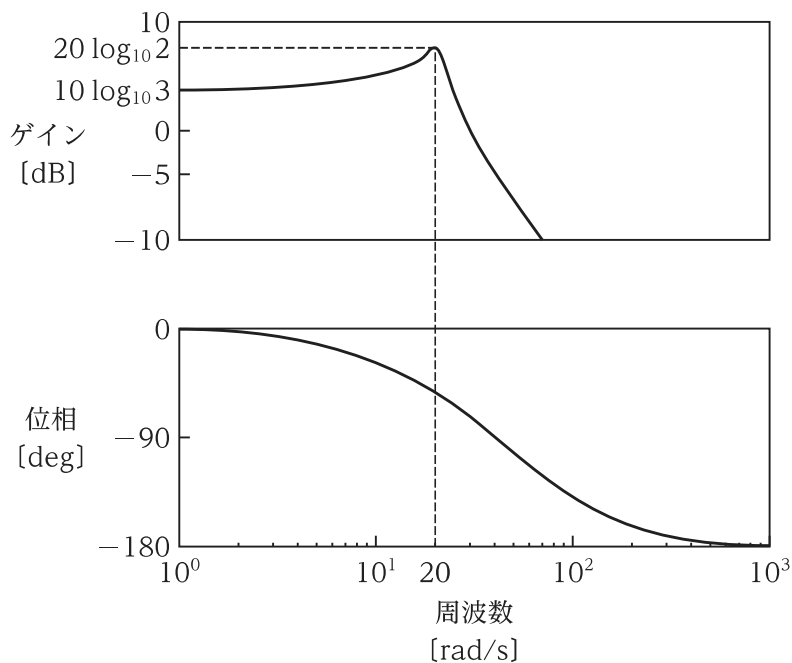
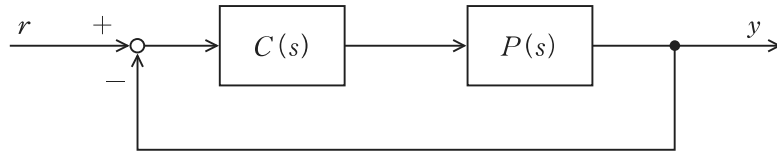


図 I

- (2) (1)の $P(s)$ を制御対象として、出力 y が目標値 r に定常偏差なく追従するように、図Ⅱのような閉ループ系を構成する。



図Ⅱ

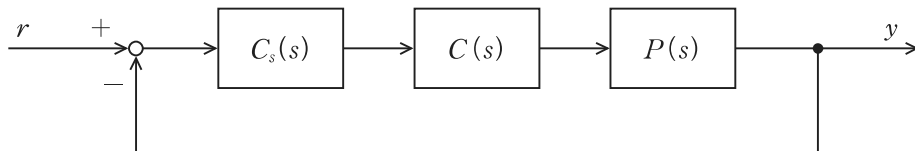
ここで、補償器 $C(s)$ は、次の式で与えられるものとする。以下の問いに答えよ。

$$C(s) = \frac{K_c}{s^n}$$

ただし、 K_c は正の実数、 n は整数とする。

- (a) 目標値 r がステップ状の信号であるとき、定常偏差が 0 (ゼロ) となるような n を求めよ。
 なお、理由や導出過程も示すこと。
- (b) (a)で求めた n のとき、閉ループ系が安定となる条件を K_c , K , ζ , ω_n を用いて示せ。
- (c) 目標値 r がランプ状の信号であるとする。
- (i) $n = 1$ のときの定常特性を説明せよ。
- (ii) $n = 2$ のときの問題点について説明せよ。
- (d) (c)(ii)の問題点を回避するために、図Ⅲのような閉ループ系を考える。

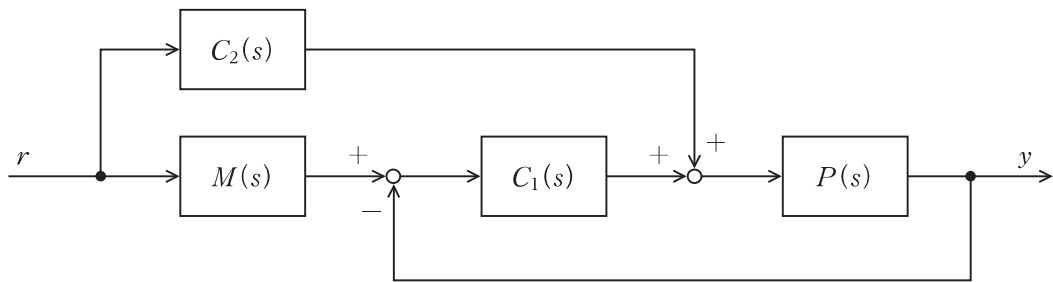
$C_s(s)$ の伝達関数を具体的に設定した上で、 $C_s(s)$ の設計法について説明せよ。



図Ⅲ

- (3) 目標入力 r から閉ループ系の出力 y までの伝達関数が、望ましい伝達関数 $M(s)$ となるように、図Ⅳのような制御系(モデルマッチング制御系)を構成することを考える。以下の問いに答えよ。

ただし、 $P(s)$ は制御対象のシステムであり、 $M(s)$ 及び $\frac{M(s)}{P(s)}$ はプロパー(分母多項式の次数が分子多項式の次数以上)であるとする。



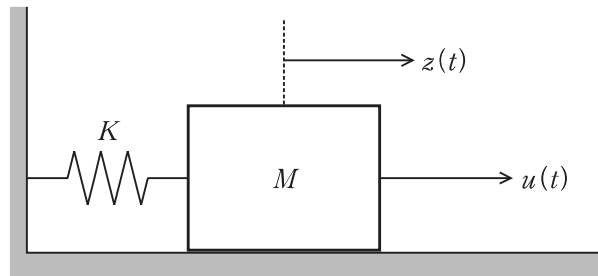
図Ⅳ

- (a) $C_2(s)$ を決定せよ。
 (b) $C_2(s)$ を(a)のように決定した上で、 $C_1(s)$ の設計法(使い方)として考えられるものを二つ説明せよ。
 (c) $P(s)$ が次の式で与えられたとき、図Ⅳの構成法は、どのような場合に問題が生じるか説明せよ。

$$P(s) = \frac{s-1}{s^2+3s-2}$$

B 以下の設問に答えよ。

- (1) 図のような摩擦のない滑らかな床面上にある、バネ定数 K のバネでつながれた質量 M の物体の運動を考える。ここで、 $z(t)$ は物体の基準位置からの変位、 $v(t)$ は物体の速度、 $u(t)$ は外から物体に加える操作量である。以下の問いに答えよ。



- (a) 変位 $z(t)$ を状態変数 $x(t)$ の第一成分 $x_1(t)$ 、速度 $v(t)$ を状態変数 $x(t)$ の第二成分 $x_2(t)$ 、入力を $u(t)$ とした状態方程式を導出せよ。
- (b) 位置を観測する場合の出力方程式と、速度を観測する場合の出力方程式をそれぞれ求めよ。
- (c) $M = K = 1$ とする。このとき、以下の評価関数を最小化する状態フィードバック制御則 $u(t) = Fx(t)$ の状態フィードバックゲイン F を求めよ。なお、 $r > 0$ である。

$$J = \int_0^{\infty} (v^2(t) + ru^2(t)) dt$$

- (d) (c)で求めた状態フィードバックゲイン F を実装したときを考える。
- (i) 変位 $z(t)$ の初期値が $z(0) = 1$ 、速度 $v(t)$ の初期値が $v(0) = 0$ のとき、(c)の積分値 J を求めよ。
- (ii) 閉ループ系の極を求めよ。
- (iii) r の大きさを変化させると閉ループ系の特性や応答はどのように変化するか説明せよ。

(2) 以下の状態空間表現①で表されたシステムについて以下の問いに答えよ。

ただし、断りのない限り、行列 A 及び C の 0 以外の要素は全て非零の実数とする。

$$\left. \begin{aligned} \underbrace{\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \dot{x}_3(t) \\ \dot{x}_4(t) \end{bmatrix}}_{\dot{x}} &= \underbrace{\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & a_{14} \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}}_A \underbrace{\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix}}_x + \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}}_B u(t) \\ y(t) &= \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & C_2 & C_3 & C_4 \end{bmatrix}}_C \underbrace{\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix}}_x \end{aligned} \right\} \dots\dots ①$$

(a) 対 (A, B) は可制御であるか判定せよ。また、状態変数 $x(t)$ の四つの要素

$\{x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)\}$ の中で可制御な要素を示せ。なお、解答の理由もあわせて示すこと。

(b) 対 (C, A) は可観測であるか判定せよ。また、状態変数 $x(t)$ の四つの要素

$\{x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)\}$ の中で可観測な要素を示せ。なお、解答の理由もあわせて示すこと。

(c) 入力 $u(t)$ から出力 $y(t)$ までの伝達関数を求めよ。

(d) $u(t) \equiv 0$ とする。また、状態空間表現①のシステムにおける状態変数 $x(t)$ の四つの要素全てを推定することを目的とした全状態オブザーバ

$$\dot{z}(t) = Az(t) + H(y(t) - Cz(t))$$

を考える。ただし、 $z(t)$ はオブザーバ内の推定状態変数、 H はサイズが 4×1 のオブザーバゲインである。

このとき、オブザーバによる推定誤差 $x(t) - z(t)$ が零に収束するために必要な条件を、行列 A の要素 $\{a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{22}, a_{43}, a_{44}\}$ のうち、必要な要素のみを用いて表せ。

(e) 状態空間表現①の出力方程式の代わりに、状態変数 $x(t)$ の四つの要素を直接に出力するような次の方程式を考える。

$$y'(t) = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{C'} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix}$$

サイズが 1×4 の状態フィードバックゲイン F を用いた状態フィードバック制御則 $u(t) = Fy'(t) = FC'x(t)$ により、閉ループ系 $\dot{x}(t) = (A + BFC')x(t)$ を構成する。この閉ループ系を安定化するために必要な条件を、行列 A の要素 $\{a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{22}, a_{43}, a_{44}\}$ のうち、必要な要素のみを用いて表せ。

- (f) 状態空間表現①の最小実現の中で可制御正準系を、次の状態空間表現②で表す。

$$\left. \begin{aligned} \dot{\tilde{x}}(t) &= \tilde{A}\tilde{x}(t) + \tilde{B}u(t) \\ y(t) &= \tilde{C}\tilde{x}(t) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ②$$

ただし、状態変数 $\tilde{x}(t)$ の初期状態 $\tilde{x}(0)$ は非零とする。

入力 $u(t)$ を印加したときの状態の時間応答 $\tilde{x}(t)$ を $\tilde{A}$, $\tilde{B}$, u , $\tilde{x}(0)$ を用いて表せ。

- (g) 状態空間表現②のシステムに入力 $u(t) = \beta e^{\lambda t}$ を印加すると、状態変数の時間軌道は $\tilde{x}(t) = \alpha e^{\lambda t}$ 、出力は $y(t) \equiv 0$ になった。このとき、 $\tilde{A}$, $\tilde{B}$, $\tilde{C}$, α , β , λ が満たすべき関係式を求めよ。ただし、 α は非零ベクトル、 β は非零の実数とする。

- (h) 状態空間表現①の出力方程式において $c_2 = c_3 = c_4$ と仮定する。また、状態空間表現②の初期状態が、ある非零の $\tilde{x}(0)$ である場合を考える。

状態空間表現②のシステムに入力 $u(t) = e^{\lambda t}$ を印加すると、状態変数の時間軌道は $\tilde{x}(t) = \alpha e^{\lambda t}$ 、出力は $y(t) \equiv 0$ になった。このときの λ の値を求めよ。また、非零ベクトル α 及び初期状態 $\tilde{x}(0)$ を行列 A の要素 $\{a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{22}, a_{43}, a_{44}\}$ のうち必要なものを用いて求めよ。

- (i) 状態空間表現②のシステムに状態フィードバック制御則 $u(t) = F\tilde{x}(t)$ を施し、閉ループ系の極が全て -1 になるようにする。このときの状態フィードバックゲイン F を行列 A の要素 $\{a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{22}, a_{43}, a_{44}\}$ のうち必要なものを用いて求めよ。

【No. 5】 電磁気学・電気回路に関する以下の設問に答えよ。

(1) 電磁気学に関する以下の問いに答えよ。

(a) 真空中において、図 I のように、半径 R の球内に電荷が電荷密度 $+\rho$ で一様に分布している。真空中の誘電率を ϵ_0 、電位の基準を無限遠として以下の問いに答えよ。

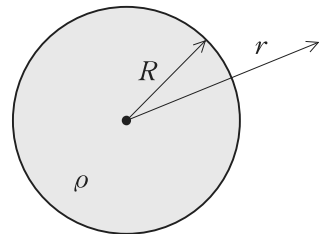


図 I

(i) 図 I の電荷がつくる、中心からの距離 r の位置における電界を求めよ。

ただし、中心からの距離 r の位置が球の内側にある場合 ($r < R$) と外側にある場合 ($r \geq R$) とで、それぞれ場合分けをして求めるものとする。

(ii) 図 I の電荷による、中心からの距離 r の位置における電位を求めよ。

ただし、中心からの距離 r の位置が球の内側にある場合 ($r < R$) と外側にある場合 ($r \geq R$) とで、それぞれ場合分けをして求めるものとする。

(iii) 図 I の電荷による静電エネルギーを求めよ。

(b) 真空中において、無限に長い直線状の導線 l と、一辺の長さ a の正方形の回路 ABCD が、導線 l と辺 AD との間の距離が x となる位置に、同じ平面内に置かれている。真空中の透磁率を μ_0 として以下の問いに答えよ。

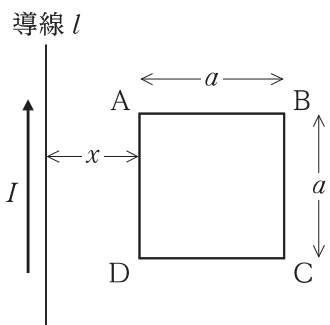


図 II(a)

(i) 図 II(a) のように、導線 l に大きさ I の電流を流したとき、回路 ABCD で囲まれた領域を貫く磁束 Φ を求めよ。

(ii) 導線 l と回路 ABCD の相互インダクタンスの大きさを求めよ。

(iii) 図 II(b) のように、導線 l 及び回路 ABCD にそれぞれ大きさ I_1 , I_2 の電流を流す。このとき、大きさ I_1 の電流によって生じる磁束密度が回路 ABCD の各辺に及ぼす力を用いて、導線 l と回路 ABCD との間に働く力 F を求めよ。

ただし、 F は、導線 l と回路 ABCD における引力(近づく方向)を正とする。

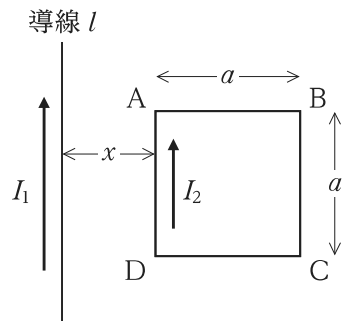


図 II(b)

- (iv) 図Ⅱ(b)において電流の大きさ I_1 , I_2 が一定という条件のもと、導線 l と辺 AD との間の距離 x を $x + \Delta x$ に変化させるのに要する仕事と、そのときの磁界のエネルギーの変化 ΔU との関係を用いて、導線 l と回路 ABCD との間に働く力 F を求め、(iii)の結果と一致することを示せ。

(2) 電気回路に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 電圧 10 V の直流電圧源及び抵抗値 $1\ \Omega$ 、 $4\ \Omega$ 、 $0.8\ \Omega$ の抵抗で構成される、図Ⅲ(a)の回路に関する以下の問いに答えよ。

- (i) 図Ⅲ(b)を図Ⅲ(a)の等価回路としたとき、同図の電圧 E_A と抵抗値 R_A を求めよ。
(ii) 図Ⅲ(c)は、図Ⅲ(a)の a-b 間に、スイッチ S と静電容量 1 F のコンデンサを挿入した回路である。時刻 $t = 0$ でスイッチ S を閉じたとき、 $t > 0$ における a-b 間電圧 $v_{ab}(t)$ 及び抵抗値 $4\ \Omega$ の抵抗の端子間電圧 $v_R(t)$ を求めよ。

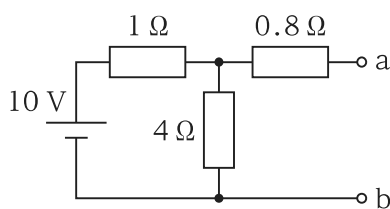
ただし、 $t = 0$ におけるコンデンサの端子間電圧は 0 V とし、閉じたスイッチ S における電圧降下は無視できるものとする。

- (iii) (ii)における $v_{ab}(t)$ 及び $v_R(t)$ の波形 ($t > 0$) を描け。

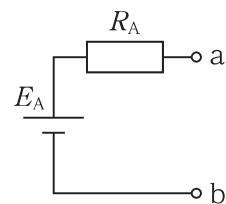
- (iv) 図Ⅲ(d)は、図Ⅲ(a)の a-b 間に、スイッチ S と自己インダクタンス 1 H のコイルを挿入した回路である。時刻 $t = 0$ でスイッチ S を閉じたとき、 $t > 0$ における a-b 間電圧 $v_{ab}(t)$ 及び抵抗値 $4\ \Omega$ の抵抗の端子間電圧 $v_R(t)$ を求めよ。

ただし、 $t = 0$ においてコイルに流れる電流は 0 A とし、閉じたスイッチ S における電圧降下は無視できるものとする。

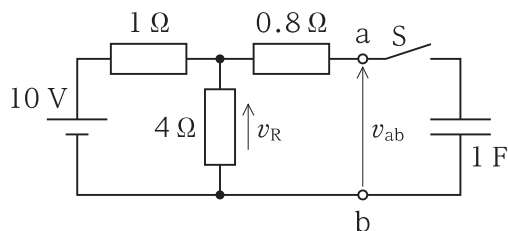
- (v) (iv)における $v_{ab}(t)$ 及び $v_R(t)$ の波形 ($t > 0$) を描け。



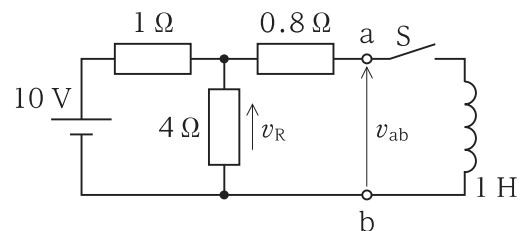
図Ⅲ(a)



図Ⅲ(b)



図Ⅲ(c)

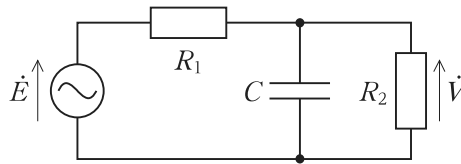


図Ⅲ(d)

- (b) 単相交流電圧源、抵抗値 R_1 , R_2 の抵抗及び静電容量 C のコンデンサで構成される、図Ⅳの回路に関する以下の問いに答えよ。

ただし、単相交流電圧源の電圧は $\dot{E}$ 、角周波数は ω 、抵抗値 R_2 の抵抗の端子電圧は $\dot{V}$ とし、 $\dot{E}$ 及び $\dot{V}$ は複素電圧であり、 $\dot{E}$ 及び $\dot{V}$ の実効値はそれぞれ E , V とする。

- (i) V を、 E , R_1 , R_2 , C , ω を用いて表せ。
(ii) $\dot{E}$ と $\dot{V}$ の位相差を、 R_1 , R_2 , C , ω を用いて表せ。
(iii) $E = 100 \text{ V}$ 、 $R_2 = 10 \Omega$ 、 $\omega = 100 \pi \text{ rad/s}$ の条件において、 $V = 40 \text{ V}$ 、 $\dot{E}$ と $\dot{V}$ の位相差が 60° になった。このときの抵抗値 R_1 と静電容量 C を求めよ。



図Ⅳ

科目 6. 電気機器 [No. 6]

【No. 6】 電気機器に関する以下の設問に答えよ。

(1) 三相誘導電動機に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 回転磁界の回転数を N_0 、回転子の回転数を N としたとき、すべり s を求めよ。
- (b) $s = 0$ の場合にはトルクが発生しない。この理由を説明せよ。
- (c) 60 Hz の交流電源に 4 極の三相誘導電動機が接続され、すべりが 4 % であった場合の回転子の回転数を求めよ。

図 I (a) は回転子が回転している場合の一相分の等価回路であり、 $\dot{V}_1$ は固定子巻線に印加される相電圧、 r_1 , x_1 と r_2 , x_2 はそれぞれ固定子巻線と回転子巻線の抵抗及び漏れリアクタンス、 $\dot{E}_1$ と $s\dot{E}_2$ はそれぞれ固定子と回転子で生じる誘導起電力、 $\dot{I}_1$ と $\dot{I}_2$ はそれぞれ固定子と回転子の電流であり、 a は巻数比である。また、 s はすべりであり、 j は虚数単位である。図 I (b) は、図 I (a) を変形後に回転子側の諸量を固定子側に換算した等価回路であり、 r_2' , x_2' はそれぞれ換算後の回転子巻線の抵抗及び漏れリアクタンス、 $\dot{I}_2'$ は換算後の回転子の電流、 x_M は励磁リアクタンスである。

なお、ドット付きの文字 ($\dot{V}_1, \dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_2'$) は、フェーザ形式で表される電圧又は電流を表す。

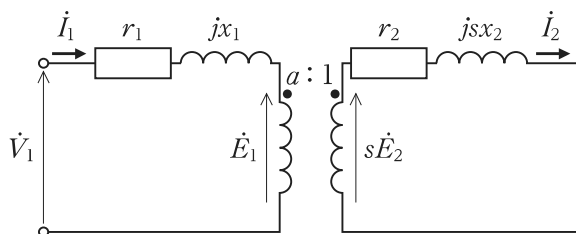


図 I (a)

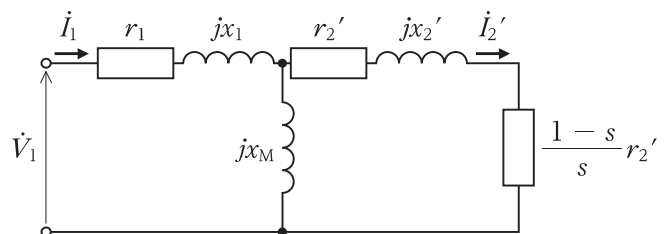


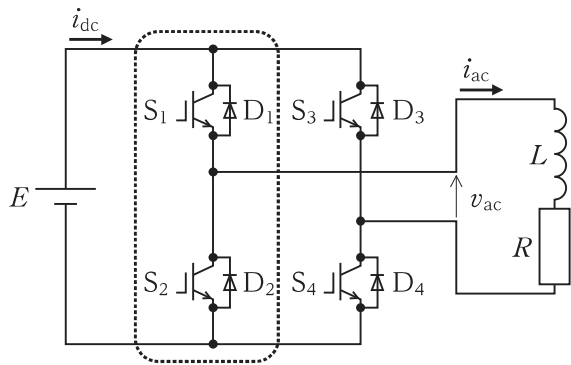
図 I (b)

(d) 図 I (a) について、回転子が静止している場合、この等価回路はどのようなになるか図示せよ。

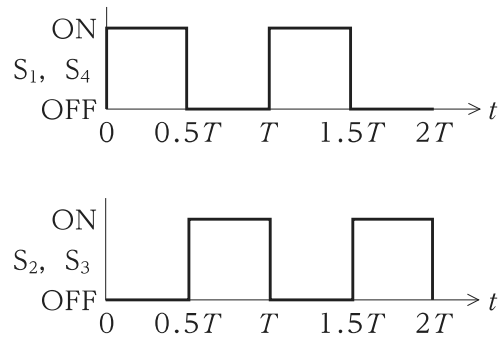
また、元の等価回路に対してどの変数又はパラメータが変化するかを説明せよ。

(e) 図 I (b) を参考にして、三相誘導電動機の機械的出力を、電流 $\dot{I}_2'$ の実効値 $|\dot{I}_2'|$ と必要な変数又はパラメータを用いて求めよ。

- (2) 図Ⅱ(a)の IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を用いた単相電圧形インバータについて考える。 $S_1 \sim S_4$ は IGBT、 $D_1 \sim D_4$ はダイオード、 E は直流電圧、 v_{ac} は電圧、 i_{ac} と i_{dc} は電流、 L は負荷のインダクタ、 R は負荷の抵抗である。このとき、以下の問いに答えよ。ただし、問い(a)以外においては、IGBT 及びダイオードは理想的に動作するものとする。また、スイッチングの定常状態での動作を考えるものとする。



図Ⅱ(a)



図Ⅱ(b)

- (a) インバータ回路の一つのレグ(例えば図Ⅱ(a)の点線で囲まれた部分)の上下の IGBT のオンとオフを切り替える際に注意すべきことは何か説明せよ。また、その注意すべきことが起こらないように施す対策について述べよ。
- (b) $D_1 \sim D_4$ のダイオードの役割を説明せよ。また、その役割から、これらのダイオードは一般に何と呼ばれるか述べよ。
- (c) 図Ⅱ(b)のようなオンオフ信号で IGBT をスイッチングする場合について、以下の問いに答えよ。ただし、負荷である RL 直列回路の時定数はおよそ $0.25T$ であるとする。
- v_{ac} の波形を 2 周期分 ($0 \leq t \leq 2T$) 図示せよ。なお、縦軸には電圧値を明記せよ。
 - i_{ac} と i_{dc} の波形の概形を 2 周期分 ($0 \leq t \leq 2T$) 図示せよ。なお、縦軸の値は明記しなくてよい。
 - (ii) で図示した i_{dc} の 2 周期分 ($0 \leq t \leq 2T$) の波形の横軸において、ダイオードが導通している(ダイオードに電流が流れている)時間を $\Leftrightarrow$ で示し、そのとき導通しているダイオードを $\Leftrightarrow$ の付近に記載せよ。

科目 7. 電工学 [No. 7]

【No. 7】 電工学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 電力系統の周波数制御に関する以下の問いに答えよ。

(a) 需給バランスと系統周波数に関する次の記述の㉗～㉙に当てはまる最も妥当な語句や数値をそれぞれ示せ。

「全ての発電機が同期して同一の電気角速度で回転する場合、電力システム内の多数の発電機を一つの等価発電機に集約して表現することができる。この等価発電機に入力される機械的入力(水車やタービンへの原動機入力など)を P_m 、電氣的出力(発電機から送電線へ送り出される電力)を P_e とすると、一般に、系統周波数は、 $P_m < P_e$ の場合に ㉗ し、 $P_m > P_e$ の場合に ㉘ する。電力システムの負荷は時々刻々と変動しており、その成分を変動周期の観点から分類すると、数分以下は ㉙ 成分、数分から 10 数分程度までは ㉚ 成分、10 数分以上は ㉛ 成分と定義される。このような負荷変動に対して系統周波数が適正な範囲から逸脱しないように、発電機自動制御系が構築されている。平常時における系統周波数の制御目標は、東地域及び中西地域では基準周波数 $\pm$ ㉜ Hz と定められているが、北海道や沖縄では、交流系統としては単独系統であり、系統規模が小さいため、基準周波数 $\pm$ ㉝ Hz と設定されている。」

(b) 系統周波数を安定化させるガバナフリー制御と負荷周波数制御の概要を、それぞれ 2 行程度で説明せよ。

(c) 系統周波数が基準値に対して大きく変動した場合に生じる問題を、需要家側(特に産業部門)と発電側の視点からそれぞれ 1 行程度で説明せよ。

(d) 事故による発電機停止などによって急激に系統周波数が低下する際の周波数安定化制御として、効果が大きいと考えられるものを、以下の解答群から全て挙げよ。

〔解答群：発電機出力の抑制、周波数低下リレーによる負荷遮断、
電力系統安定化装置(PSS)による励磁制御、太陽光発電の運転停止、
蓄電池の放電制御、電力用コンデンサの投入、
直流連系設備を用いた電力融通の受電、揚水発電所の動力(ポンプ)運転の遮断〕

- (2) 図 I は、三相 3 線式によって送電端から受電端へと送電する電力系統の正相回路を、単位法で表したものである。同系統は三相平衡状態にあり、送電線のインピーダンスはリアクタンス jX 、送受電端に集約された対地容量はアドミタンス $j\frac{Y}{2}$ により表され、その他のインピーダンスは全て無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

ただし、 j は虚数単位であり、 $XY \ll 1$ とする。また、送電端と受電端の電圧は、それぞれ $V_s e^{j\delta}$ 、 V_r (V_s 、 V_r はそれぞれ実数であり、受電端電圧が位相の基準) とする。

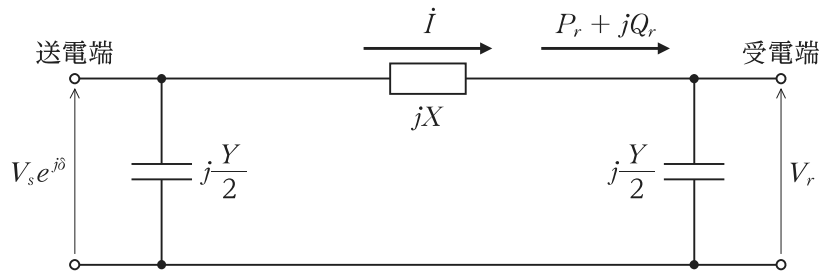


図 I

- (a) 送電線を流れる電流 $\vec{I}$ (複素電流) を、 V_s 、 V_r 、 δ 、 X を用いて表せ。
- (b) 受電端における有効電力 P_r と無効電力 Q_r を、それぞれ V_s 、 V_r 、 δ 、 X を用いて表せ。
- なお、 Q_r は受電端に連系する無効電力負荷ではなく、図 I に示す定義であることに注意せよ。
- (c) 送電端電圧の大きさ V_s を、 V_r 、 X 、 P_r 、 Q_r を用いて表せ。
- (d) 受電端が無負荷の場合について、電圧変動率 $\frac{V_r - V_s}{V_s}$ を求めよ。
- (e) 軽負荷(あるいは無負荷)の電力系統において、受電端における電圧が送電端よりも上昇する現象を表す用語を示せ。また、同現象が生じやすい電力系統はどのような特徴を有するか 1 行程度で簡潔に説明せよ。

(3) 電力系統の経済運用に関する以下の問いに答えよ。

(a) 電力系統の需給運用における経済的負荷配分制御の概要を 3 行程度で説明せよ。なお、制御周期に関する説明を含めること。

(b) 等増分燃料費の原則について 2 行程度で説明せよ。

(c) 図Ⅱのように、3 台の発電機によって 800 MW の電力需要に供給する電力系統を考える。発電機 G1, G2, G3 の発電出力をそれぞれ P_1, P_2, P_3 [MW]、燃料費関数をそれぞれ $F_1(P_1), F_2(P_2), F_3(P_3)$ [yen/h] とするとき、3 台の発電機合計での発電コストを最小とする発電出力 P_1, P_2, P_3 の組合せを求めよ。ここで、各発電機の燃料費関数と出力上下限は式 1 及び式 2 のとおりであり、送電損失や所内電力などは全て無視する。

$$(式 1) \begin{cases} F_1(P_1) = 15P_1^2 + 2000P_1 + 100\,000 [\text{yen/h}] \\ F_2(P_2) = 7.5P_2^2 + 2000P_2 + 200\,000 [\text{yen/h}] \\ F_3(P_3) = 5P_3^2 + 2000P_3 + 150\,000 [\text{yen/h}] \end{cases}$$

$$(式 2) \begin{cases} 100 \text{ MW} \leq P_1 \leq 200 \text{ MW} \\ 100 \text{ MW} \leq P_2 \leq 300 \text{ MW} \\ 300 \text{ MW} \leq P_3 \leq 500 \text{ MW} \end{cases}$$



図Ⅱ

【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、電気素量を q 、ボルツマン定数を k 、絶対温度を T 、p 型半導体及び n 型半導体の伝導帯の下端のエネルギー準位をそれぞれ E_{Cp} 、 E_{Cn} 、p 型半導体及び n 型半導体の価電子帯の上端のエネルギー準位をそれぞれ E_{Vp} 、 E_{Vn} 、フェルミ準位を E_F 、拡散電位を V_D とする。

(a) p 型半導体と n 型半導体を接合した際のエネルギーバンド図を描け。

ただし、それぞれの半導体には外部から電圧は加えられておらず、平衡状態であるとする。

また、 E_{Cp} 、 E_{Cn} 、 E_{Vp} 、 E_{Vn} 、 E_F 、 qV_D を全て図中に示すこと。

(b) 平衡状態にある pn 接合の空乏層の幅 w は以下で表される。

ただし、ドナー及びアクセプタの分布は、接合面を境にして階段状に変化しているものとし、アクセプタ密度を N_a 、ドナー密度を N_d 、真空の誘電率を ϵ_0 、半導体の比誘電率を ϵ_s とする。

$$w = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_s V_D (N_a + N_d)}{qN_a N_d}}$$

pn 接合に外部から順方向電圧 V を印加したとき、pn 接合の単位面積当たりの接合容量 C を求めよ。また、 $w = 1.8 \times 10^{-6}$ m、 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m、 $\epsilon_s = 12$ であるとき、 C を有効数字 2 桁で求めよ。

(c) (a) で示した p 型半導体の電子密度を n_{p0} 、n 型半導体の電子密度を n_{n0} とするとき、 n_{p0} を n_{n0} 、 V_D 、 k 、 q 、 T を用いて求めよ。

ただし、導出過程を示すこと。

(d) pn 接合の降伏が生じる機構として、アバランシェ(雪崩)降伏とツェナー降伏がある。これらについて、それぞれ 2 ～ 4 行程度で説明せよ。

(e) 図 I は、不純物が高濃度に添加された pn 接合によって構成されるトンネルダイオードの順方向電圧 V －電流 I の関係を示している。図 I において、電流 I が、a 点から b 点にかけて減少し、b 点から c 点に向かって再び増加する理由について、4 ～ 6 行程度で説明せよ。

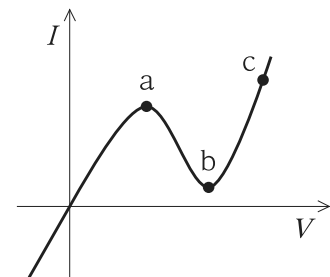
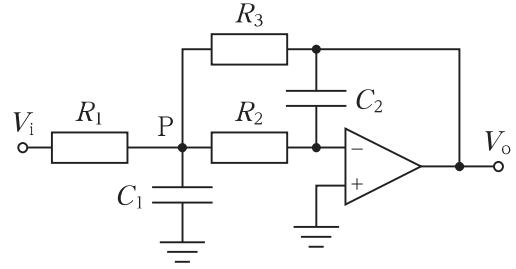


図 I

- (2) 図Ⅱは、演算増幅器、抵抗値 R_1 , R_2 , R_3 の抵抗及び静電容量 C_1 , C_2 のコンデンサを用いて構成されるローパスフィルタ回路である。この回路に関する以下の問いに答えよ。



図Ⅱ

ただし、 V_i は入力電圧、 V_o は出力電圧であり、演算増幅器は理想的なものとする。また、問い(b)~(f)の解答において、コンデンサのインピーダ

ンスや回路の伝達関数を表す際には、 $s = j\omega$ (j は虚数単位、 ω は角周波数) を用いること。

- (a) 入力電圧 V_i が直流である場合の電圧増幅率 $G_0 = \frac{V_o}{V_i}$ を求めよ。
- (b) 図Ⅱの回路の R_1 , R_2 , R_3 , C_1 の接続点 P における電圧を V_p とする。演算増幅器の一端子におけるキルヒホッフの電流則を用いて、 V_p と V_o の関係式を求めよ。
- (c) 接続点 P におけるキルヒホッフの電流則の式を示せ。
- (d) (b)と(c)の結果より、任意の角周波数 ω における伝達関数 $G(s) = \frac{V_o}{V_i}$ の式を求めよ。
- (e) 図Ⅱの回路は 2 次のローパスフィルタであり、その伝達関数 $G(s) = \frac{V_o}{V_i}$ の一般式は以下のようになる。

$$G(s) = \frac{G_0}{\left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2 + 2\zeta\left(\frac{s}{\omega_c}\right) + 1}$$

この式における ω_c と ζ を、図Ⅱの回路の R_1 , R_2 , R_3 , C_1 , C_2 のうち必要なものを用いて表せ。

- (f) $R_1 = 1.5 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_3 = 2R_1$, $C_1 = 0.15 \text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = \frac{C_1}{8}$ 、数値計算における有効桁数を 2 桁とし、伝達関数 $G(s) = \frac{V_o}{V_i}$ の式を求めよ。
- (g) (f)で求めた伝達関数 $G(s)$ の絶対値 $|G(s)|$ を、縦軸を dB、横軸を周波数 f (log スケール) のプロットで示せ。

【No. 9】 通信工学に関する以下の設問に答えよ。

(1) 移動体通信に関する以下の問いに答えよ。

ただし、送信アンテナと受信アンテナは見通し外環境であり、反射波、回折波、散乱波などの複数の素波が受信アンテナに入力され、それら複数の素波は統計的に独立である。また、素波の数 N は十分に大きい。

(a) 受信機が、上記のような環境を速度 v で移動する場合、最大ドップラー周波数 f_D を求めよ。

ただし、素波の波長を λ とする。

(b) 送られる信号は無変調で、線スペクトルをもつ連続波であるとする。このとき、ドップラーシフトがある場合とない場合の受信信号の電力スペクトル密度を、それぞれ図示して説明せよ。

ただし、素波の周波数を f_c とする。

(c) 時刻 t における n 番目の素波 $z_n(t)$ を複素包絡線で $z_n(t) = x_n(t) + jy_n(t)$ と表す。また、素波の周波数を f_c とする。ここで、次式のように置く。

$$\sum_{n=1}^N z_n(t) = \sum_{n=1}^N x_n(t) + j \sum_{n=1}^N y_n(t) = x(t) + jy(t)$$

$$x(t) = \sum_{n=1}^N x_n(t), \quad y(t) = \sum_{n=1}^N y_n(t)$$

このとき、アンテナの受信信号 $r(t)$ は次式で表される。

$$r(t) = x(t) \cos(2\pi f_c t) - y(t) \sin(2\pi f_c t)$$

$x(t)$, $y(t)$ がどのような分布に従うか、中心極限定理に基づいて、それぞれの確率密度関数を表せ。

ただし、 $x(t)$, $y(t)$ のいずれも平均は 0、分散は σ^2 とする。

(d) 受信信号 $r(t)$ の包絡線 $R(t)$ と位相 $\theta(t)$ を $x(t)$, $y(t)$ を用いて表せ。

(e) 包絡線 $R(t)$ と位相 $\theta(t)$ の確率密度関数 $p(R)$, $p(\theta)$ をそれぞれ求め、図示せよ。

- (2) 連続時間信号とシステムに関する以下の問いに答えよ。ただし、時刻を t とする。
- (a) 次の入出力関係をもつシステムについて、それぞれ、線形性及び時不変性の有無を示せ。ただし、(iv)における T は定数である。
- (i) $y(t) = \log(x(t))$
 - (ii) $y(t) = 10x(t)$
 - (iii) $y(t) = tx(t)$
 - (iv) $y(t) = (x(t))^2 + x(t - T)$
- (b) インパルス応答とは何か、また、線形時不変システムにおいてインパルス応答が分かると何を求めることができるかについて、2～3行程度で説明せよ。
- (c) インパルス応答がそれぞれ $h_1(t)$, $h_2(t)$ である二つのシステムを縦続接続したシステムにおいて、そのインパルス応答 $h(t)$ が畳み込みで表されることを、積分記号と $h_1(t)$, $h_2(t)$ を用いて表せ。
- (d) 以下の図 I のような信号を、図 II のようなインパルス応答をもつシステムに印加するとその出力がどうなるか図示せよ。

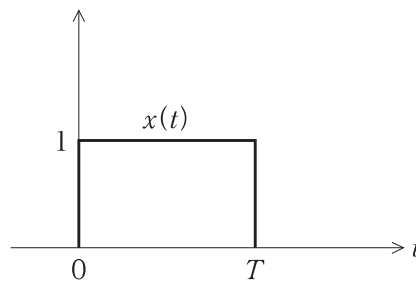


図 I 入力信号 $x(t)$

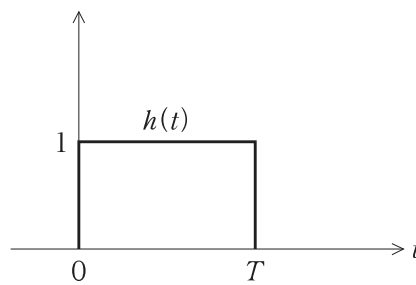


図 II インパルス応答 $h(t)$

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) ある設備が故障するまでの時間(寿命時間) t の信頼度が

$$R(t) = 1 - p_1(1 - \exp[-\lambda_1 t]) - p_2\{1 - (1 + \lambda_2 t)\exp[-\lambda_2 t]\} \quad (t > 0)$$

で与えられている。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、 $p_1 > 0$ 、 $p_2 > 0$ 、 $\lambda_1 > 0$ 、 $\lambda_2 > 0$ とする。

- (a) 信頼度としての性質を満たすような p_1 と p_2 の関係を示せ。

なお、以降の問題はこの関係を用いて解答すること。

- (b) $p_1 = p$ 、 $\lambda_1 = \lambda$ 、 $\lambda_2 = 3\lambda$ としたとき、設備の MTTF(平均寿命)を λ 、 p を用いて表せ。

- (c) (b)と同様 $p_1 = p$ 、 $\lambda_1 = \lambda$ 、 $\lambda_2 = 3\lambda$ とし、更に $p = 0.3$ 、 $\lambda = \frac{1}{4}$ としたとき、 $t \leq 3$ において故障率が IFR(Increasing Failure Rate)、CFR(Constant Failure Rate)、DFR(Decreasing Failure Rate)のいずれになるか、導出過程とともに示せ。

- (2) メーカー A で製造している、ある電子機器の寿命を評価するため、15 個の電子機器の運用を同時に開始し、10 個の電子機器が故障したところで観測を止める試験を行った。故障した 10 個の電子機器の故障時間の合計は 116 千時間で、未故障の 5 個の電子機器はそれぞれ 12 千時間運用された。この電子機器の故障時間は指数分布に従うものとする。このとき、以下の問いに答えよ。なお、単位は全て [千時間] として小数点以下 1 桁で解答すること。

ここで、表 I はカイ二乗分布表であり、記載されているパーセント点は、 f_{χ_n} を自由度 n のカイ二乗分布の確率密度関数として上側確率 p を与えたときに

$$p = \int_c^{\infty} f_{\chi_n}(y) dy$$

を満たす c の値を表す。

- (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) 電子機器の MTTF を求めよ。
(c) 電子機器の運用を開始してから 35.2 千時間が経過したときの信頼度を推定せよ。

ただし、 $e = 2.71$ とする。

- (d) 信頼率 95 % で MTTF の信頼区間を求めよ。
(e) メーカー B が全く同じ機能を持つ電子機器を製造しており、MTTF は 12 千時間である。
有意水準 1 % で仮説検定を行い、メーカー A が製造した電子機器の方が優れていると言えるか否かを示せ。

表 I

自由度	上側確率					
	0.990	0.975	0.950	0.050	0.025	0.010
10	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209
11	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725
12	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217
13	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688
14	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141
15	5.229	6.262	7.261	24.996	27.488	30.578
16	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000
17	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409
18	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	34.805
19	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191
20	8.260	9.591	10.851	31.410	34.170	37.566
21	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932
22	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289
23	10.196	11.689	13.091	35.172	38.076	41.638
24	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980
25	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314
26	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642
27	12.879	14.573	16.151	40.113	43.195	46.963
28	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278
29	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588
30	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892
31	15.655	17.539	19.281	44.985	48.232	52.191
32	16.362	18.291	20.072	46.194	49.480	53.486
33	17.074	19.047	20.867	47.400	50.725	54.776
34	17.789	19.806	21.664	48.602	51.966	56.061
35	18.509	20.569	22.465	49.802	53.203	57.342
36	19.233	21.336	23.269	50.998	54.437	58.619
37	19.960	22.106	24.075	52.192	55.668	59.893
38	20.691	22.878	24.884	53.384	56.896	61.162
39	21.426	23.654	25.695	54.572	58.120	62.428
40	22.164	24.433	26.509	55.758	59.342	63.691

- (3) ある強度を持つ材料に対し、衝撃を与えて破損するか否かを調べる試験を行う。材料の強度は製造方法により異なり、衝撃の大きさは試験方法により異なる。どのような製造方法又は試験方法を用いても、材料の強度と衝撃の大きさはある確率分布に従って変動し、これらは互いに独立である。このとき、以下の問いに答えよ。

ここで、表Ⅱは正規分布表であり、

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz$$

を表す。

- (a)(i) 材料を製造方法 M_1 で製造した場合の強度 X_R は平均 35 N、標準偏差 12 N であり、試験方法 m_1 を使用した場合の衝撃の大きさ Y_S は平均 30 N、標準偏差 5 N で、いずれも正規分布に従う。このとき、安全余裕 $X_R - Y_S$ の平均と標準偏差を求めよ。
- (ii) (i)の製造方法 M_1 と試験方法 m_1 の下、材料に衝撃を与えたときに破損する確率を求めよ。
- (iii) 試験方法を m_1 から試験方法 m_2 へ変更したところ、破損する確率が 0.125 となった。試験方法 m_2 の下での衝撃の大きさを $\bar{Y}_S$ とすると、 $\bar{Y}_S$ の標準偏差は試験方法 m_1 を使用した場合と同じで、正規分布に従うことも変わらない。このとき、 $\bar{Y}_S$ の平均を求めよ。
- (b)(i) 材料の製造方法と試験方法をそれぞれ製造方法 M_1' と試験方法 m_1' に変更したところ、これまでと異なる強度 W_R と衝撃 U_S を持つことが分かった。

それぞれの確率密度関数 f_W 、 g_U は

$$f_W(w) = \frac{1}{40} \exp\left(-\frac{w}{40}\right) \quad (w > 0), \quad g_U(u) = \frac{u}{100} \exp\left(-\frac{u}{10}\right) \quad (u > 0)$$

で与えられるとすると、安全余裕 $W_R - U_S$ の平均を求めよ。

- (ii) (i)の製造方法 M_1' と試験方法 m_1' の下、材料に衝撃を与えたときに破損する確率を求めよ。

表Ⅱ

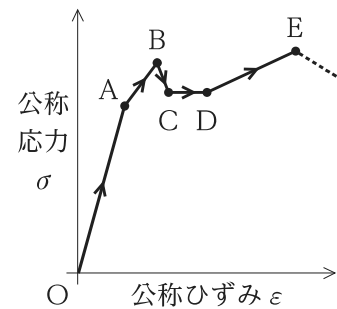
x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0.01	0.504	0.26	0.603	0.51	0.695	0.76	0.776	1.01	0.844	1.26	0.896
0.02	0.508	0.27	0.606	0.52	0.698	0.77	0.779	1.02	0.846	1.27	0.898
0.03	0.512	0.28	0.610	0.53	0.702	0.78	0.782	1.03	0.848	1.28	0.900
0.04	0.516	0.29	0.614	0.54	0.705	0.79	0.785	1.04	0.851	1.29	0.901
0.05	0.520	0.30	0.618	0.55	0.709	0.80	0.788	1.05	0.853	1.30	0.903
0.06	0.524	0.31	0.622	0.56	0.712	0.81	0.791	1.06	0.855	1.31	0.905
0.07	0.528	0.32	0.626	0.57	0.716	0.82	0.794	1.07	0.858	1.32	0.907
0.08	0.532	0.33	0.629	0.58	0.719	0.83	0.797	1.08	0.860	1.33	0.908
0.09	0.536	0.34	0.633	0.59	0.722	0.84	0.800	1.09	0.862	1.34	0.910
0.10	0.540	0.35	0.637	0.60	0.726	0.85	0.802	1.10	0.864	1.35	0.911
0.11	0.544	0.36	0.641	0.61	0.729	0.86	0.805	1.11	0.867	1.36	0.913
0.12	0.548	0.37	0.644	0.62	0.732	0.87	0.808	1.12	0.869	1.37	0.915
0.13	0.552	0.38	0.648	0.63	0.736	0.88	0.811	1.13	0.871	1.38	0.916
0.14	0.556	0.39	0.652	0.64	0.739	0.89	0.813	1.14	0.873	1.39	0.918
0.15	0.560	0.40	0.655	0.65	0.742	0.90	0.816	1.15	0.875	1.40	0.919
0.16	0.564	0.41	0.659	0.66	0.745	0.91	0.819	1.16	0.877	1.41	0.921
0.17	0.567	0.42	0.663	0.67	0.749	0.92	0.821	1.17	0.879	1.42	0.922
0.18	0.571	0.43	0.666	0.68	0.752	0.93	0.824	1.18	0.881	1.43	0.924
0.19	0.575	0.44	0.670	0.69	0.755	0.94	0.826	1.19	0.883	1.44	0.925
0.20	0.579	0.45	0.674	0.70	0.758	0.95	0.829	1.20	0.885	1.45	0.926
0.21	0.583	0.46	0.677	0.71	0.761	0.96	0.831	1.21	0.887	1.46	0.928
0.22	0.587	0.47	0.681	0.72	0.764	0.97	0.834	1.22	0.889	1.47	0.929
0.23	0.591	0.48	0.684	0.73	0.767	0.98	0.836	1.23	0.891	1.48	0.931
0.24	0.595	0.49	0.688	0.74	0.770	0.99	0.839	1.24	0.893	1.49	0.932
0.25	0.599	0.50	0.691	0.75	0.773	1.00	0.841	1.25	0.894	1.50	0.933

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) 図は、ある材料の引張試験の結果得られた公称応力－ひずみ線図である。比例直線域の終点を $A(\varepsilon_A, \sigma_A)$ 、上降伏点を $B(\varepsilon_B, \sigma_B)$ 、下降伏点を $C(\varepsilon_C, \sigma_C)$ 、降伏プラトー終端を $D(\varepsilon_D, \sigma_D)$ 、引張強さを与える点を $E(\varepsilon_E, \sigma_E)$ とする。また、試験片の初期長さを L_0 、初期断面積を A_0 とし、試験片にかかる長さ方向の荷重を P 、単位体積当たりのひずみエネルギーは $u = \int \sigma d\varepsilon$ とする。このとき、以下の問いに答えよ。



- ただし、 $\sigma_C = \sigma_D$ かつ $B \sim C$ のひずみ差は小さく無視できるものとし、 $C \sim D$ は一定応力 σ_D 、 $D \sim E$ は $(\varepsilon_D, \sigma_D)$ と $(\varepsilon_E, \sigma_E)$ を結ぶ傾きの大きさ E の直線に近似できるとする。
- (a) ヤング率 E を ε_A 、 σ_A を用いて表せ。
- (b) 弾性域の任意応力 $\sigma (\leq \sigma_A)$ におけるひずみ ε と伸び ΔL を E 、 L_0 、 σ を用いて表せ。
- (c) 公称応力 σ と荷重 P の関係を A_0 を用いて表せ。
- (d) 区間 $O \sim A$ で蓄積する単位体積当たりのひずみエネルギー u_{OA} を ε_A 、 σ_A を用いて表せ。
- (e) 区間 $O \sim B$ で蓄積する単位体積当たりのひずみエネルギー u_{OB} を $(\varepsilon_A, \sigma_A)$ 、 $(\varepsilon_B, \sigma_B)$ を用いて表せ。
- (f) 区間 $B \sim D$ で蓄積する単位体積当たりのひずみエネルギー u_{BD} を ε_B 、 ε_D 、 σ_D を用いて表せ。
- (g) 区間 $D \sim E$ で蓄積する単位体積当たりのひずみエネルギー u_{DE} を ε_D 、 ε_E 、 σ_D 、 σ_E を用いて表せ。
- (h) 靱性とは、材料が破断に至るまでに単位体積当たりに蓄積できるエネルギーの大きさであり、応力－ひずみ曲線下の面積として表される。破断直前までの単位体積当たりの靱性 u_t を u_{OA} 、 u_{OB} 、 u_{BD} 、 u_{DE} のうち必要なものを用いて表せ。
- (i) E 点以降に公称応力が低下して見える理由について、次の語句のうち必要なものを用いて 2 ～ 3 行で説明せよ。ただし、用いた語句に下線を引くこと。
- 〔語句：公称応力、真応力、局所絞り、断面縮小、最大荷重〕

- (2) 図 I のように、長さ L 、幅 b 、高さ h の一様な直方形断面の片持ち梁の自由端に集中荷重 P を加えた。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、梁のヤング率を E とし、自重は無視できるものとする。

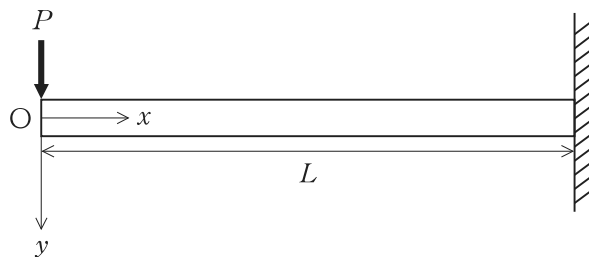


図 I

- (a) 梁に生じる曲げモーメント M を、自由端からの距離 x の関数として示せ。

ただし、曲げモーメントは、それが作用している要素を下に凸に曲げるように作用する向きを正とする。

- (b) 梁に生じる曲げ応力 σ を、自由端からの距離 x の関数として示せ。

- (c) 梁に生じる最大たわみ角 θ の大きさを示せ。

- (d) 図 II に示すように、この梁の断面が直径 d の円に内接する幅 b 、高さ h の長方形 ABCD である一様な真直梁である場合を考える。図 II 中の z 軸を中立軸とすると、梁に生じる最大曲げ応力が最小となる b と h を、 d を用いてそれぞれ表せ。

ただし、辺 AB、辺 CD は z 軸に平行であるものとする。

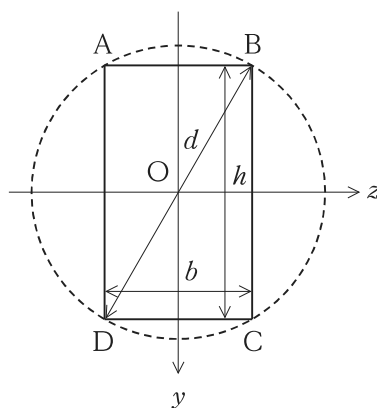


図 II

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。

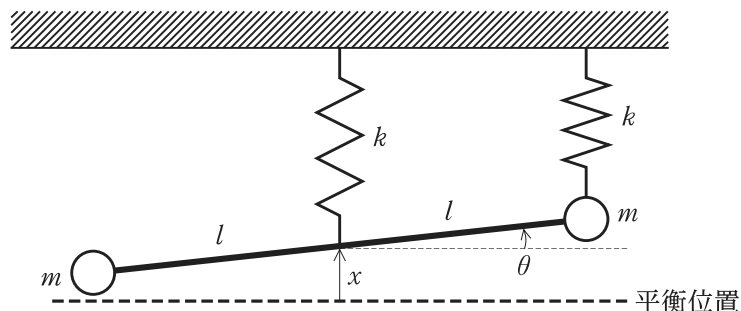
- (1) 図のように、質量が無視できる長さ $2l$ の一様な剛体棒の両端に、質量 m の小球が取り付けられている。さらに、棒の中央から左端及び右端の質点までの長さはそれぞれ l である。棒の中央及び棒の右端の小球は、それぞれ、ばね定数 k の軽いばねを介して壁面に接続されており、この系全体の運動は、重力の影響を無視できる水平面内で起こるものとし、かつ、紙面左右方向の運動は十分小さく無視できるものとする。ばねが自然長の状態で棒は水平姿勢にあり、この状態を平衡位置とする。棒の中央の平衡位置からの変位を x (上向きを正) とし、平衡位置からの棒の回転角を θ (反時計回りを正) とする。このとき、以下の問いに答えよ。

なお、これら x 、 θ の運動は微小とする。

- (a) この系の重心まわりの慣性モーメントを求めよ。
 (b) この系の重心の並進と回転の運動方程式を求めよ。
 (c) (a)と(b)で得られた結果を基に、この系の振動数方程式(特性方程式)を求めよ。
 (d) (c)で得られた振動数方程式を解き、この系の異なる固有角振動数 ω_1 、 ω_2 を求めよ。

固有角振動数で系が振動するとき、変位 x と回転角 θ の振幅は特定の比率を保つ。この関係(振幅比)を固有振動モード(あるいはモードベクトル)と呼ぶ。

- (e) (d)で求めた固有角振動数に対応する振幅の比をそれぞれ求めよ。
 (f) (e)を基に、(d)で得られたどの固有角振動数に対してどのような固有振動モードが生じるか説明せよ。
 (g) 各固有振動モードのモード形状をそれぞれ図示せよ。



(2) 図のように、水平で滑らかな床の上に、質量 m_1 の台車がばね定数 k_1 の軽いばねを介して壁に接続されている。台車の上には、質量 m_2 、半径 r の一様な円板が配置されており、円板は台車上を滑らずに転がるとする。さらに、台車と円板の重心は水平方向にばね定数 k_2 の軽いばねで接続されている。台車の平衡位置からの変位を x (右向きを正)、円板の平衡位置からの回転角を θ (反時計回りを正) とする。このとき、以下の問いに答えよ。

(a) この系の運動エネルギー T を求めよ。

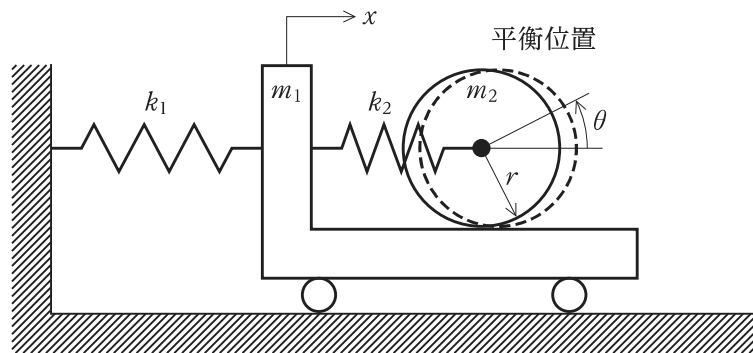
ただし、導出過程も示すこと。

(b) この系のポテンシャルエネルギー V を求めよ。

(c) (a)と(b)の結果を用いて、この系のラグランジアン L を求めよ。

(d) (c)の結果をラグランジュの方程式に代入し、この系の運動方程式を示せ。

ただし、導出過程を含め、重心の変位と系の回転に関して得られる運動方程式を漏れなく示すこと。



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) x 軸方向に速度 U で一様に流れる流れについて考える。

ただし、 U は正の実数とする。

(i) この流れの速度ポテンシャル ϕ 及び流れ関数 ψ を、 U 、 x 、 y のうち必要なものを用いて表せ。

(ii) この流れの複素ポテンシャル $W(z)$ を、 U 、 z を用いて表せ。

(b) 原点から外側に向かって放射状に湧き出る流れであって、流量が Q で表されるものについて考える。

ただし、 Q は正の実数とする。

(i) この流れの r 方向速度 v_r 及び θ 方向速度 v_θ を、 Q 、 r 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

(ii) この流れの速度ポテンシャル ϕ 及び流れ関数 ψ を、 Q 、 r 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

(iii) この流れの複素ポテンシャル $W(z)$ を、 Q 、 z を用いて表せ。

(c) (a)の流れと(b)の流れを合成した流れについて考える。

(i) この流れの速度ポテンシャル ϕ 及び流れ関数 ψ を、 Q 、 r 、 U 、 θ のうち必要なものを用いて表せ。

(ii) この流れの r 方向速度 v_r 及び θ 方向速度 v_θ を求めよ。

(iii) v_r 及び v_θ が共に 0 (ゼロ)となるよどみ点の xy 座標を求めよ。

(iv) よどみ点を通る流線が y 軸と交わる点の xy 座標を求めよ。

(v) よどみ点を通る流線はある直線に漸近する。この漸近線を求めよ。

- (2) 図 I のように、中心軸が回転軸に一致した円管の入口から流量 $Q = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ で流入した水が、流路を通り 2 方向に均等に分かれ、それぞれノズルから排出されるスプリンクラーについて考える。回転軸からノズル中心までの半径を $R_a = 200 \text{ mm}$ 、ノズルから噴出する水の絶対速度を V_2 、ノズルから見た噴出する水の相対速度を W_2 、回転するスプリンクラーの周速度を U_2 、角速度を ω 、水の噴流がスプリンクラーに与えるトルクを T とする。各ノズルは円形断面とし断面積を $A = 50 \text{ mm}^2$ とする。水は各ノズルより回転円に対して接線方向に噴出するとしたとき、以下の問いに答えよ。

ただし、水の流入速度は、水のノズルからの流出速度に比べて十分小さく無視できるものとする。また、水の密度を $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、粘性係数を $\mu = 1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ としていずれも一定とし、さらに、流路の摩擦や曲がりによる損失及び重力の影響は無視できるものとする。なお、必要に応じて $\pi = 3.14$ 、 $\sqrt{\frac{2}{\pi}} = 0.798$ としてよい。

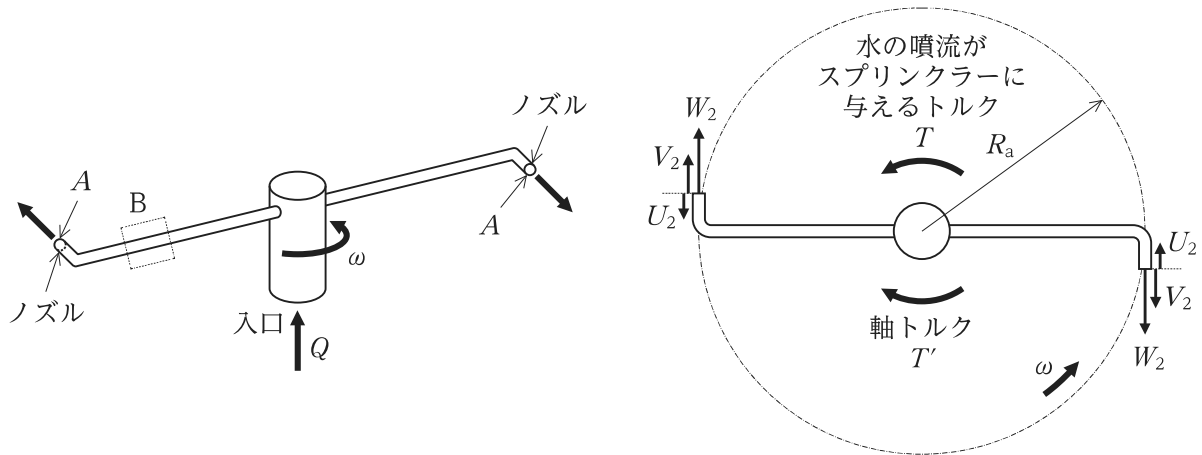


図 I

- (a) ノズルから水を噴出するが、回転せずに静止するように軸トルク T' を加えたスプリンクラーについて考える。
- ノズルから噴出する水の絶対速度 $V_2 [\text{m/s}]$ の値を求めよ。
 - ノズルからの水の噴流がスプリンクラーに与えるトルク T を、 Q 、 R_a 、 V_2 、 ρ 、 ω のうち必要なものを用いて表せ。
ただし、トルク T は図中の回転方向を正とする。
 - 軸トルク $T' [\text{N}\cdot\text{m}]$ の大きさを求めよ。

(b) ノズルから水を噴出しながら、一定回転数 $N = 300 \text{ min}^{-1}$ で回転するスプリンクラーについて考える。

- (i) スプリンクラーの角速度 $\omega [\text{rad/s}]$ の値を求めよ。
- (ii) スプリンクラーの周速度 $U_2 [\text{m/s}]$ の値を求めよ。
- (iii) ノズルから噴出する水の絶対速度 $V_2 [\text{m/s}]$ の値を求めよ。
- (iv) 回転するスプリンクラーを静止するのに必要な軸トルク $T' [\text{N} \cdot \text{m}]$ の大きさを求めよ。

(c) 図 I の破線で囲んだ部分 B における管路内の流れを考える。

ただし、管路はノズルと同様の内径及び円形断面であり、断面積を A とし、管路内の流れは一次元流れとする。

(i) レイノルズ数 Re に関する次の記述の㉑～㉙に当てはまる最も妥当な語句をそれぞれ示せ。

「レイノルズ数 Re は、 $Re = \frac{\text{㉑ 力}}{\text{㉒ 力}}$ として、㉑ 力と ㉒ 力の比としての物理的な意味合いを持つ。幾何学的に ㉓ な二つの流れで Re が等しい場合、㉑ 力と ㉒ 力の割合が等しくなり、二つの流れが ㉓ になる。このとき、二つの流れの ㉔ は ㉓ になり、本質的に同じ流れであるといえる。」

- (ii) 管路の内径 $2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$ [mm] を代表長さとして、管路内のレイノルズ数 Re の値を求めよ。
- (iii) 管路内の流れは層流か乱流か、「臨界レイノルズ数」という語句を用いて 1 行程度で説明せよ。

(d) 図 II は部分 B における管路の断面を示したもので、管路の内半径 R 、管中心からの半径 r における微小円環の幅を dr 、微小面積を dA 、管中央における流速を $u_{\max}$ とする。

(i) 管路内の流れが層流であり、速度分布が次の式で与えられるとき、断面平均流速 $v = \frac{1}{2}u_{\max}$ が成り立つことを、導出過程を含めて示せ。

$$u = u_{\max} \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}$$

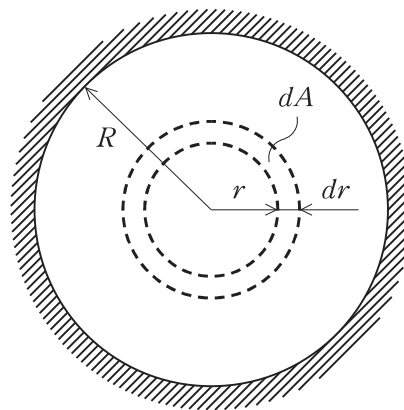


図 II

(ii) 管路内の流れが乱流であり、速度分布が次の式で与えられるとき、断面平均流速 v を、管中央における流速 $u_{\max}$ 及び正の定数 n を用いて表せ。

$$u = u_{\max} \left(1 - \frac{r}{R} \right)^{\frac{1}{n}}$$

(iii) (ii)の式は、乱流の速度分布を実用上簡便に表現する $1/n$ 乗則として知られている。管中央における流速 $u_{\max}$ が層流と乱流で等しいものとして、断面平均流速 v は層流と乱流でどちらが大きくなるかを、(i)及び(ii)を基に考察し、簡潔に説明せよ。ただし、乱流において $n = 7$ とする。

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) 図 I のような蒸気サイクルを考える。このサイクルにおける水の状態変化は、次のとおりである。

状態 1 → 2 給水ポンプにより断熱圧縮される。

状態 2 → 3 ボイラ及び過熱器において等圧的に加熱され、過熱蒸気になる。

状態 3 → 4 タービンで断熱膨張し、仕事を行う。

状態 4 → 1 復水機で等圧的に冷却され、飽和液に戻る。

また、図 II は、このサイクルの $T-s$ 線図である。図 II には、飽和液線と乾き飽和蒸気線も描かれているが、飽和液線と乾き飽和蒸気線で囲まれている部分では、液体の水(飽和水)と気体の水(飽和水蒸気)が共存する、湿り蒸気と呼ばれる状態にある。また、飽和液線より左側の状態は圧縮液、乾き飽和蒸気線より右側の状態は過熱蒸気と呼ばれる。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、サイクルの過程はいずれも可逆過程とする。また、タービン入口圧力を 10 MPa、入口温度を 500 °C、タービン出口圧力を 3.0×10^{-3} MPa とし、状態 1、2、3、4 における比エンタルピーをそれぞれ h_1 、 h_2 、 h_3 、 h_4 、比エントロピーをそれぞれ s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 とする。さらに、ポンプ仕事はタービン仕事に比べて十分に小さく、 $h_2 \approx h_1$ と近似できるものとする。

なお、必要に応じて、表の飽和水及び飽和水蒸気の状態量を用いること。ここで、表中の h' と s' はそれぞれ飽和水の比エンタルピーと比エントロピーを、 h'' と s'' はそれぞれ飽和水蒸気の比エンタルピーと比エントロピーを表す。

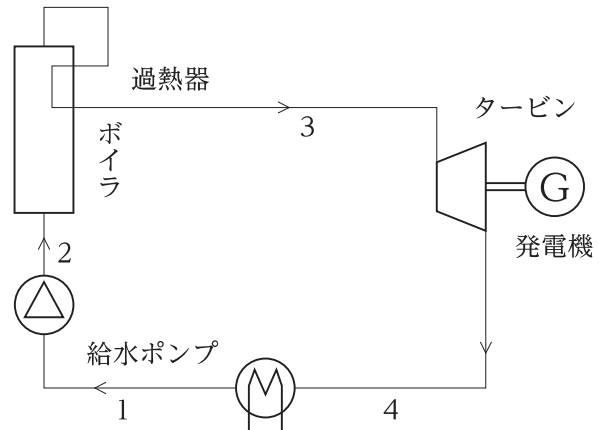


図 I

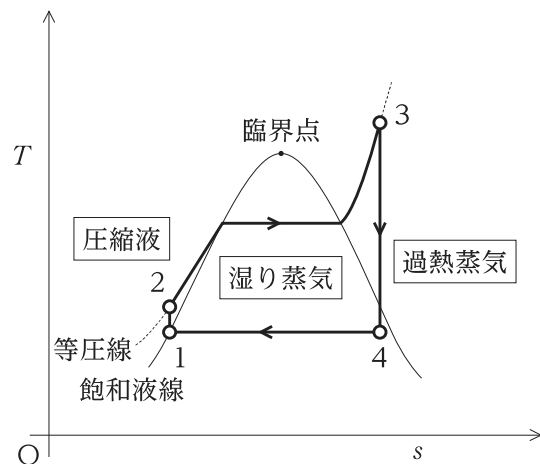


図 II

タービン出口・ 入口圧力[MPa]	比エンタルピー[MJ/kg]		比エントロピー[MJ/(kg・K)]	
	h'	h''	s'	s''
3.0×10^{-3}	1.0×10^{-1}	2.5	3.5×10^{-4}	8.6×10^{-3}
10	1.4	2.7	3.4×10^{-3}	5.6×10^{-3}

(a) 次の記述の㉗、㉘に当てはまるものを、 p 、 U 、 V のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

「タービンやポンプのように開いた系では、流体とエネルギーが系に出入りする。この系が定常流動系であり、運動エネルギーとポテンシャルエネルギーがエンタルピーに比べて無視できる場合、系の入口で内部エネルギー U 、圧力 p 、体積 V の流体が流入するとき、系は ㉗ の仕事を受け、系の入口で流入する総エネルギーは ㉘ となる。」

(b) ボイラ及び過熱器での受熱量 q_{23} 、復水機での放熱量 q_{41} を、 h_1 、 h_3 、 h_4 のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

(c) 理論熱効率 η を、 h_1 、 h_3 、 h_4 を用いて表せ。

(d) タービン出口蒸気(湿り蒸気)の乾き度 x_4 の値を求めよ。

ただし、10 MPa、500℃の過熱水蒸気の比エンタルピー $h = 3.4$ MJ/kg、比エントロピー $s = 6.6 \times 10^{-3}$ MJ/(kg・K)を用いてよい。

なお、湿り蒸気 1 kg の中に飽和蒸気が x [kg]、飽和液が $(1 - x)$ [kg] 含まれているとき、その湿り蒸気の乾き度は x であるという。例えば、 $x = 0$ のとき、蒸気は全て飽和液となっており、 $x = 1$ のとき、蒸気は全て飽和蒸気となっている。またここから、乾き度 x の水蒸気の比エンタルピーは $xh'' + (1 - x)h'$ となり、同様に、比エントロピーは $xs'' + (1 - x)s'$ となる。

(e) (d)で求めた x_4 を用いて、タービン出口蒸気(湿り蒸気)の比エンタルピー h_4 の値を求めよ。

(f) (e)で求めた h_4 を用いて、理論熱効率 η の値を求めよ。

- (2) 圧力 p 、温度 T 、密度 ρ とし、気体定数 R 、比熱比 κ とする気体がある。気体中を、観測者固定座標系において図 I に示されるように、速度 c の音波が通過することを考える。音波の通過により、速度は du 、圧力は $p + dp$ 、密度は $\rho + d\rho$ 、温度は $T + dT$ に変化するとする。音波面固定座標系で考えると、音波前後の変化は図 II のように表される。以下の問いに答えよ。

ただし、導出において 2 次の微小項は無視してよい。

du	$u = 0$
$p + dp$	p
$\rho + d\rho$	ρ
$T + dT$	T

音波

図 I

$c - du$	c
$p + dp$	p
$\rho + d\rho$	ρ
$T + dT$	T

音波

図 II

- (a) 質量保存則により、音波前後で、以下の関係式が成り立つことを示せ。

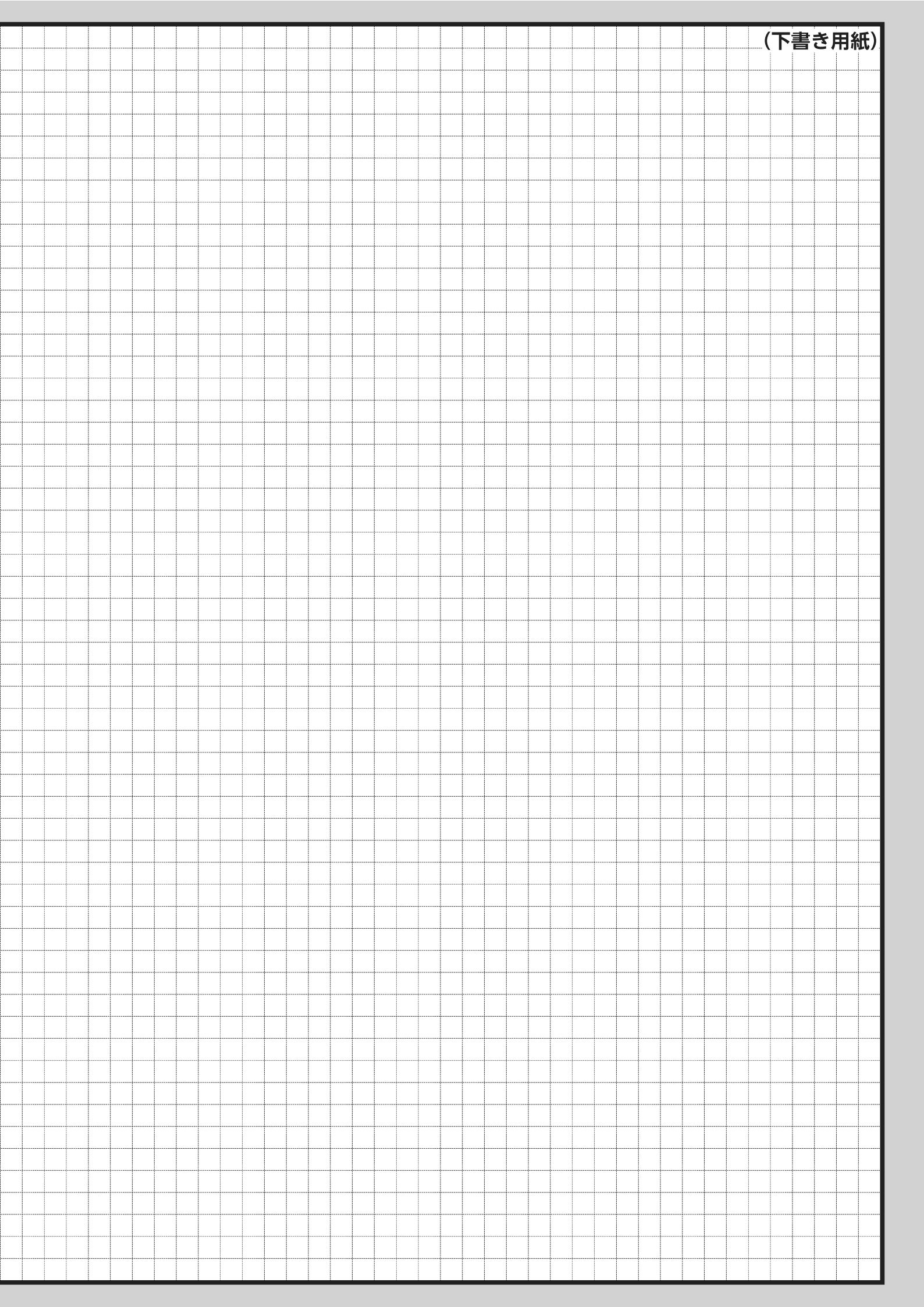
$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{du}{c}$$

- (b) 運動量保存則及び(a)の関係式を用いて、音波前後で、以下の関係式が成り立つことを示せ。

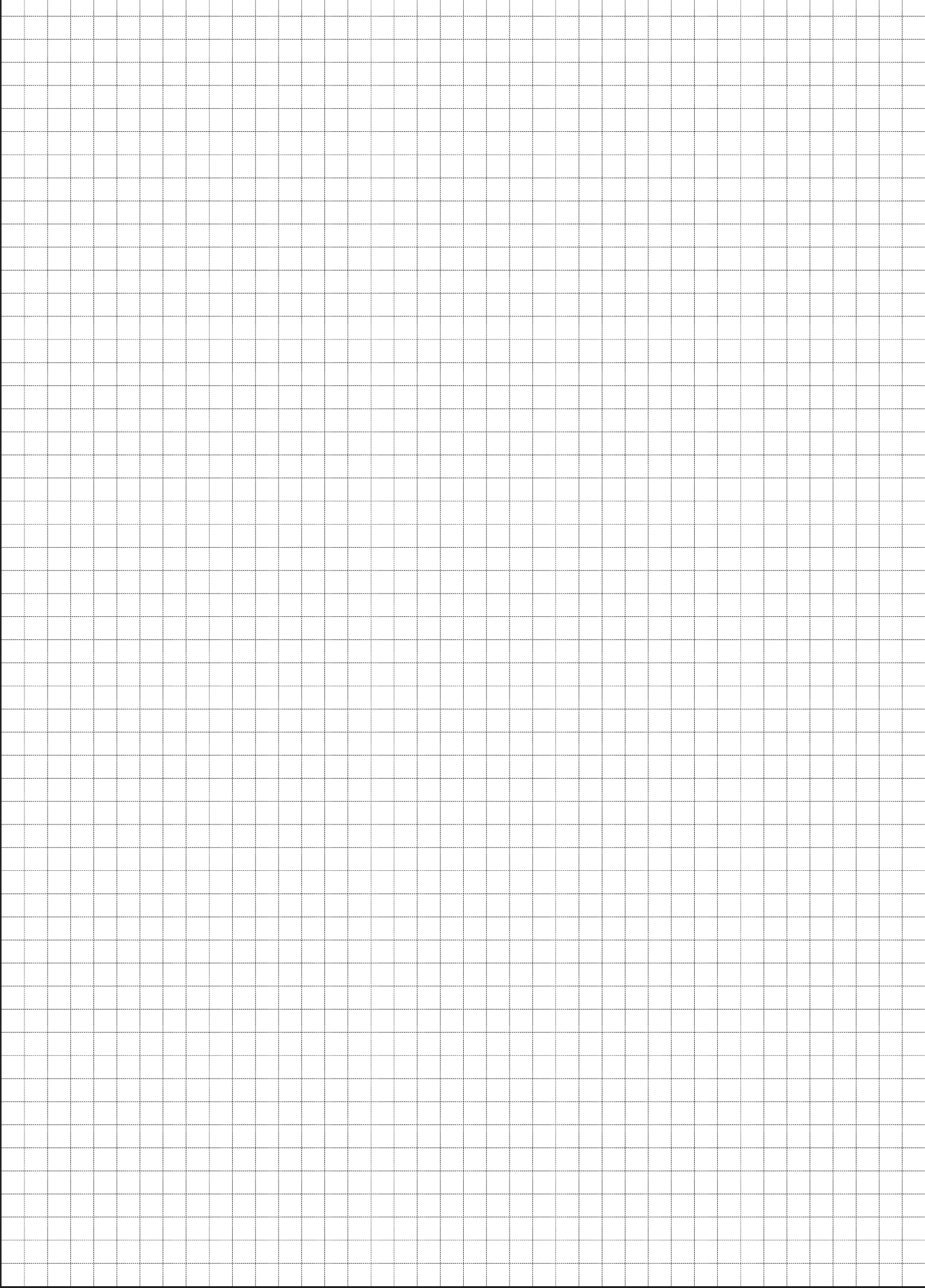
$$dp = \rho c du$$

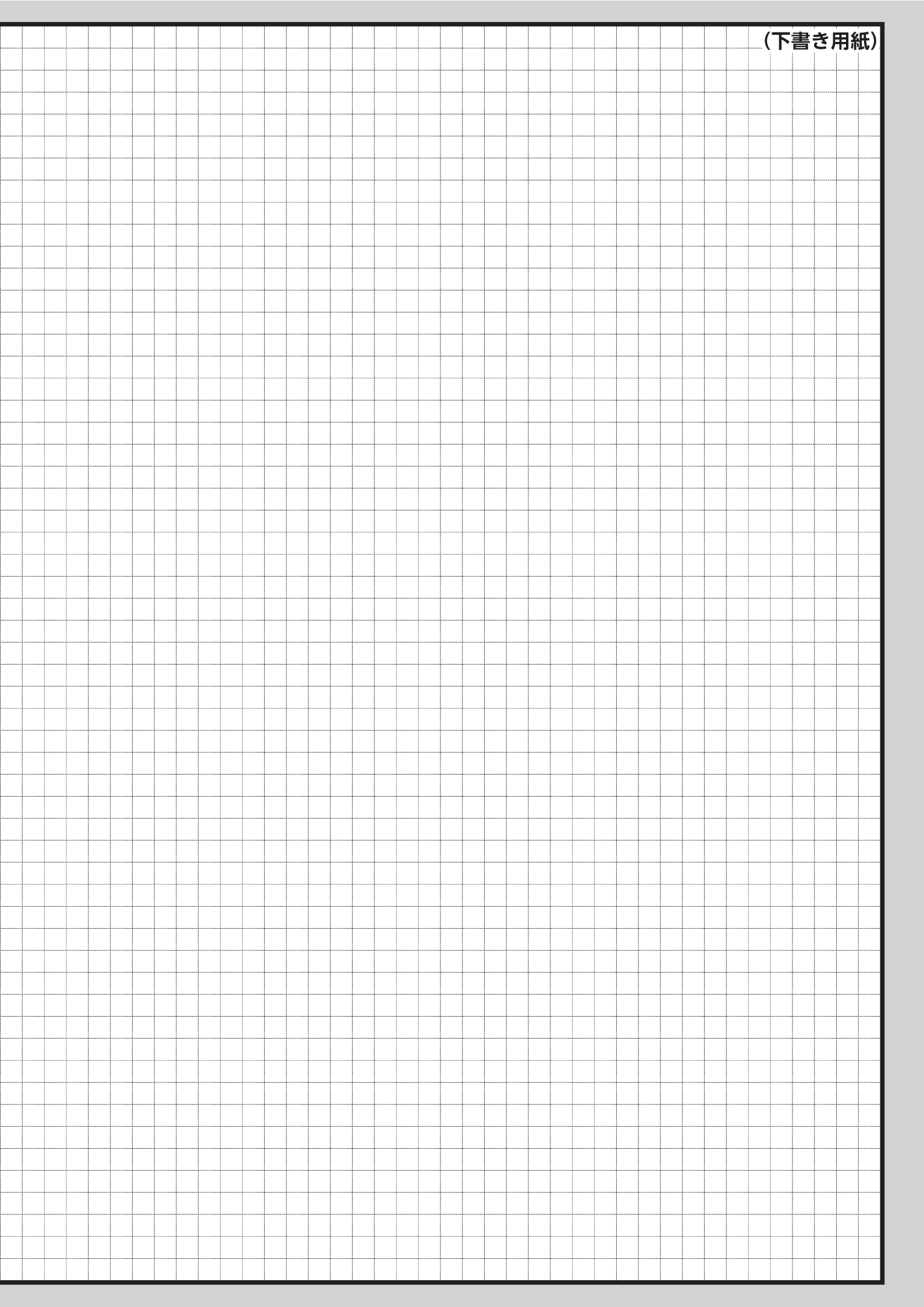
- (c) (a)及び(b)の関係式を用いて、以下の関係式が成り立つことを示せ。

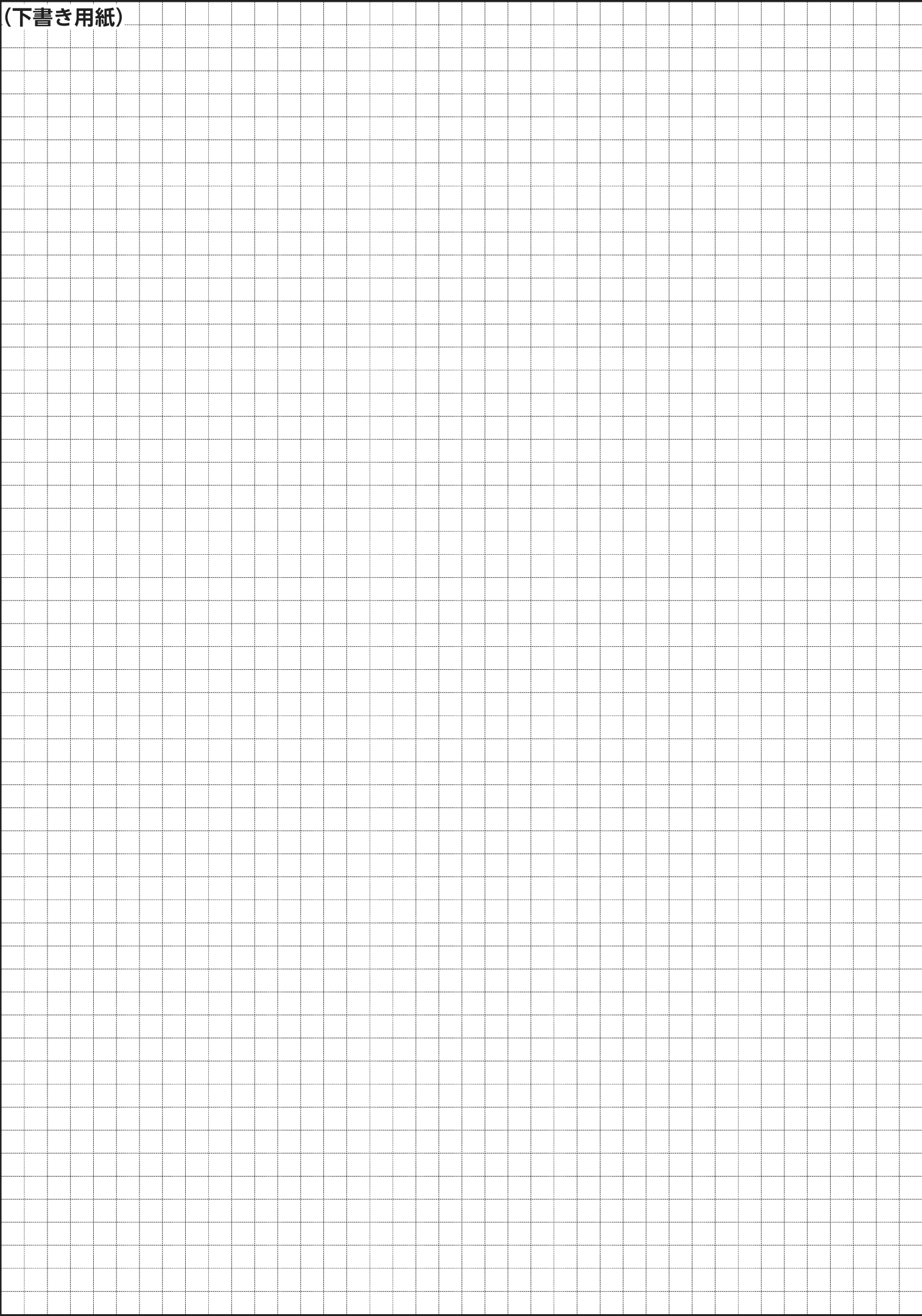
$$c^2 = \frac{dp}{d\rho}$$



(下書き用紙)







音波前後において気体が等エントロピー変化する場合、比エントロピーを s 、比体積を v として、 c^2 は以下のように表される。

$$c^2 = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_s = -v^2 \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_s$$

(d) 音波が通過する気体が理想気体である場合を考える。

(i) 気体が等エントロピー変化するとき、熱力学第一法則を用いて、以下の関係式が成り立つことを示せ。

$$pv^\kappa = (\text{一定})$$

(ii) 音速 c を R 、 T 、 κ を用いて表せ。

(e) 音波が通過する気体が、以下のファン・デル・ワールスの状態方程式で表される実在気体である場合を考える。

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

(i) 比内部エネルギー e に関して以下の関係式が成り立つことを示せ。

ただし、比エントロピーを s とし、マクスウェルの関係式 $\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \left(\frac{ds}{dv} \right)_T$ を用いてよ

い。

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

(ii) 比内部エネルギー e は以下の関係式で表されることを示せ。

ただし、 $c_v = \left(\frac{\partial e}{\partial T} \right)_v$ とし、定数であるとする。また、 C_0 は積分定数とする。

$$e = -\frac{a}{v} + c_v T + C_0$$

(iii) 気体が等エントロピー変化するとき、熱力学第一法則を用いて、以下の関係式が成り立つことを示せ。

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) (v - b)^{\frac{c_v + R}{c_v}} = (\text{一定})$$

(iv) 音速 c を、 a 、 b 、 c_v 、 R 、 T 、 v を用いて表せ。

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。

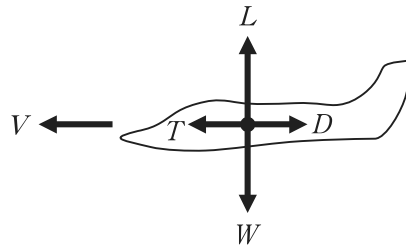
(1) 航空機の飛行について、以下の問いに答えよ。

- (a) 静安定と動安定のそれぞれの性質について説明せよ。
- (b) 対気速度と対地速度のそれぞれについて説明し、航空機でそれぞれを計測するデバイスの例を挙げよ。
- (c) STOL 機と VTOL 機のそれぞれについて特徴を説明し、航空機でそれらを実現する機構や装置の例を挙げよ。

(2) 図のように、一定の速さ V で水平直線飛行する固定翼型航空機がある。機体重量 W と揚力 L が鉛直につり合い、推力 T が抗力 D と水平につり合っているとき、以下の問いに、その導出方法も含め答えよ。

ここで、 L 、 D は大気密度を ρ 、代表面積を S 、揚力係数を C_L 、抗力係数を C_D として以下の式で表される。

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L, \quad D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D$$



(a) T を、 W 、 C_L 、 C_D を用いて表せ。

この航空機がジェットエンジンを搭載しているとき、燃料消費率を b_j とすると、微小時間 dt 当たりの機体重量変化 dW_j は、

$$dW_j = -b_j T dt$$

で与えられる。飛行により、機体重量が W_{j0} から W_{j1} まで変化するとして、(b)、(c)の問いに答えよ。

(b) 航続時間 E_j を、 b_j 、 C_L 、 C_D 、 V 、 W_{j0} 、 W_{j1} のうち必要なものを用いて表せ。

(c) 航続距離 R_j を、 b_j 、 C_L 、 C_D 、 V 、 W_{j0} 、 W_{j1} のうち必要なものを用いて表せ。

一方、レシプロエンジンを搭載したプロペラ機の場合、燃料消費率を b_p とすると、微小時間 dt 当たりの機体重量変化 dW_p は、

$$dW_p = -b_p \frac{TV}{\eta_p} dt$$

で与えられる。ここで、 η_p はプロペラ効率であり、一定とする。飛行により、機体重量が W_{p0} から W_{p1} まで変化するとして、(d)、(e)の問いに答えよ。

(d) 航続時間 E_p を、 b_p 、 C_L 、 C_D 、 V 、 W_{p0} 、 W_{p1} 、 η_p のうち必要なものを用いて表せ。

(e) 航続距離 R_p を、 b_p 、 C_L 、 C_D 、 V 、 W_{p0} 、 W_{p1} 、 η_p のうち必要なものを用いて表せ。

ここまでの計算により、ジェット機、プロペラ機における揚抗比 $\frac{C_L}{C_D}$ が航続距離には重要であることが分かる。しかしながら実際の航続距離は揚抗比最大の飛行ではないことが一般的である。

(f) 揚抗比最大の飛行ではないことが一般的である理由を、知る限り挙げよ。

(3) つり合い飛行速度 V_0 で水平定常飛行中の航空機における微小擾乱運動について、水平定常飛行からの速度変化を u 、迎角変化を α 、加えてピッチ角速度を q 、ピッチ角を θ とし、また、エレベータ舵角を δ として、以下の問いに答えよ。

なお、安定軸系での縦運動は空力微係数 X_u 、 X_α 、 Z_u 、 Z_α 、 Z_δ 、 M_q 、 M_α 、 M_u 、 M_δ を用いて次式で表されるものとする。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

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

$$V_0 \dot{\alpha} = Z_u u + Z_\alpha \alpha + V_0 q + Z_\delta \delta \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

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

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

(a) u が常に 0 であるとき、 δ を入力、 α を出力とする伝達関数を求めよ。また、この伝達関数が示すモードの名称とその特徴を簡単に説明せよ。

(b) α が常に 0 であるとき、式②より $V_0 q = -Z_u u - Z_\delta \delta$ と求めることができる。この関係性を用いて、式①、④より、 δ を入力、 u を出力とする伝達関数を求めよ。

(c) (b)において、 u の応答の不減衰固有角振動数を ω_{ph} 、揚力係数を C_L 、抗力係数を C_D とするとき、 ω_{ph} を C_L 、 C_D 、 g 、 V_0 のうち必要なものを用いて表せ。

ここで、空気密度 ρ 、翼面積 S 、機体質量 m を用いると、 Z_u 、 X_u は

$$Z_u = -\frac{1}{m} \rho S V_0 C_L, \quad X_u = -\frac{1}{m} \rho S V_0 C_D$$

で表される。

(d) $V_0 = 200 \text{ m/s}$ のとき、 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ として長周期モードの周期を求めよ。

ただし、長周期モードの減衰は十分小さく、減衰の影響は無視できるものとする。また、 $\sqrt{2} = 1.41$ 、円周率 $\pi = 3.14$ とする。

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、部材の自重については無視するものとする。

(1) 図 I ～ IV に示す長さ L の梁について、以下の設問に答えよ。

ただし、曲げモーメントとせん断力は図 V 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。

(a) 図 I に示すように、梁 AB の AC 間に大きさ q の等分布荷重が y 軸方向に作用している。

このときの点 A, B における反力をそれぞれ求めよ。

(b) 図 I に示す梁について、AB 間の曲げモーメント分布とせん断力分布を、点 A を原点、右向きを正とする x の関数として求め、それぞれ式で表せ。

(c) 図 I に示す梁について、点 A と点 C の中点における断面の下縁に発生するひずみを求めよ。

ただし、梁の断面は図 VI に示すような複合断面であり、図中の E , $10E$ はヤング率を示す。

(d) 図 II に示すように、梁 AB に対して直角に取り付けられた部材 BD の点 D に、大きさ P の集中荷重が左向きに作用している。このとき、AB 間の曲げモーメント分布を、点 A を原点、右向きを正とする x の関数として求め、式で表せ。

ただし、点 D は点 B の直上にあるものとする。

(e) 図 III に示すように、梁 AB の AC 間に大きさ q の等分布荷重が下向きに作用し、その梁に対して直角に取り付けられた部材 BD の点 D に、大きさ P の集中荷重が左向きに作用している。このときの点 C におけるたわみを求めよ。

ただし、たわみは図 III において下向きを正とし、部材の曲げ剛性は EI であるとする。また、点 D は点 B の直上にあるものとする。

(f) 図 IV に示すように、AC 間と CB 間で曲げ剛性が EI , $2EI$ と異なり、AC 間に大きさ q の等分布荷重が下向きに作用している変断面連続梁がある。このとき、AB 間の曲げモーメント分布を、点 A を原点、右向きを正とする x の関数として求め、式で表せ。

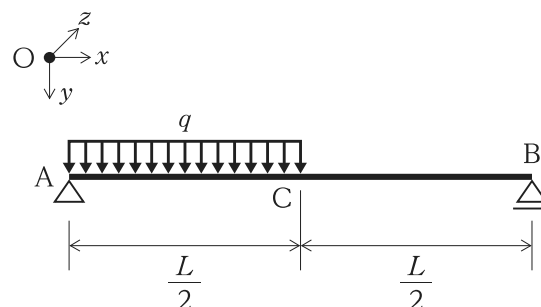


図 I

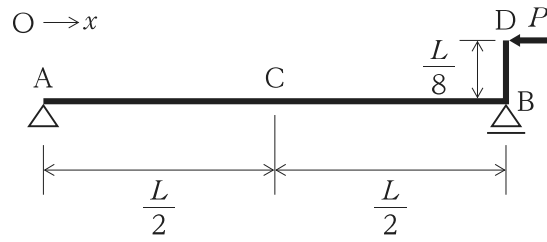


図 II

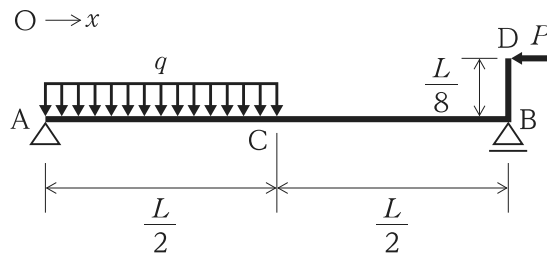


図 III

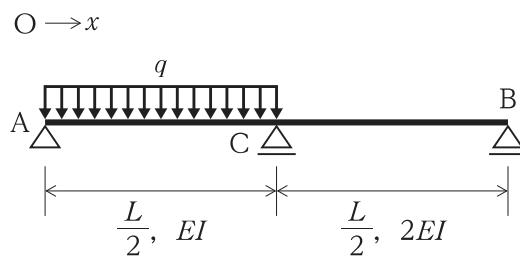


図 IV

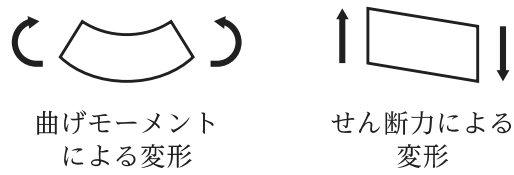


図 V

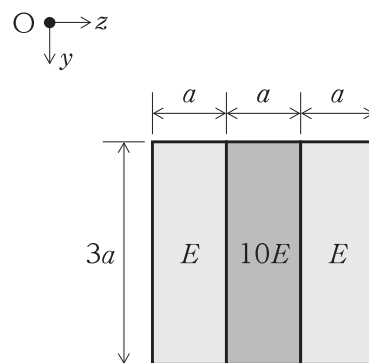
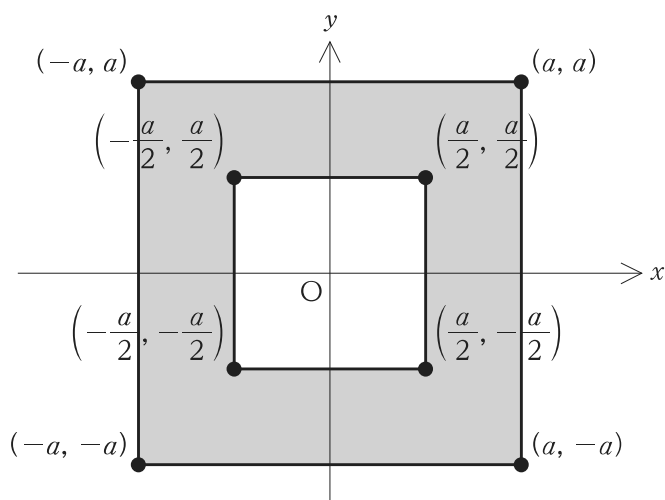


図 VI

- (2) 図Ⅶに示す矩形中空断面について、断面の核の形状を求め、 x - y 平面にその領域を図示せよ。
ただし、図には断面の核の領域が特定できるように座標を明記すること。



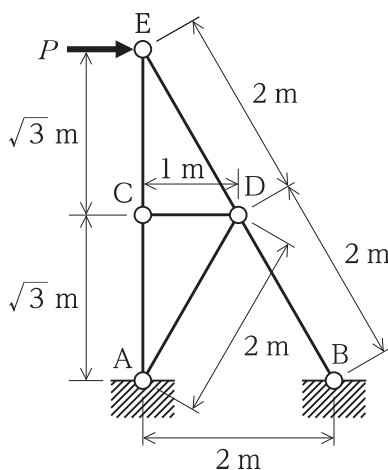
図Ⅶ

- (3) トラス構造について、以下の設問に答えよ。

ただし、軸力は引張を正とする。

- (a) 図Ⅶに示すように、両端がピン支持の棒部材で構成されるトラス構造がある。点 E に水平荷重 P が作用しているときの全ての部材の軸力を求めよ。
- (b) 図Ⅶに示すトラス構造について、全ての部材における曲げ剛性は EI [MN・m²]、断面積は $\frac{\sqrt{3}\pi EI}{500}$ [m²]、降伏応力は引張・圧縮共に 400 MPa である。この構造において、点 E に作用する水平荷重 P の大きさを 0 からゆっくり大きくしていくとき、最初に損傷する部材とその損傷形態をそれぞれ示せ。

ただし、変形はトラスの面内方向においてのみ生じるものとし、部材の損傷形態は「座屈」か「降伏」のいずれかであるとする。また、最初に損傷する部材は一つとは限らない。



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) 土圧論に関する以下の問いに答えよ。

(a) 図 I に示す高さ $H = 5 \text{ m}$ の擁壁について、以下の問いに答えよ。

ただし、壁体は剛体で、擁壁背面の表面摩擦は無視できるものとし、背面土の湿潤単位体積重量 $\gamma_t = 18 \text{ kN/m}^3$ 、粘着力 $c = 0 \text{ kN/m}^2$ 、せん断抵抗角(内部摩擦角) $\phi = 30^\circ$ とする。

(i) 背面土が主働破壊状態であるときのすべり面と水平面のなす角度 θ_a 、壁面全体に作用する単位奥行き当たりの土圧の合力 P_a 及びその作用位置を求めよ。

(ii) 背面土が受働破壊状態であるときのすべり面と水平面のなす角度 θ_p 、壁面全体に作用する単位奥行き当たりの土圧の合力 P_p 及びその作用位置を求めよ。

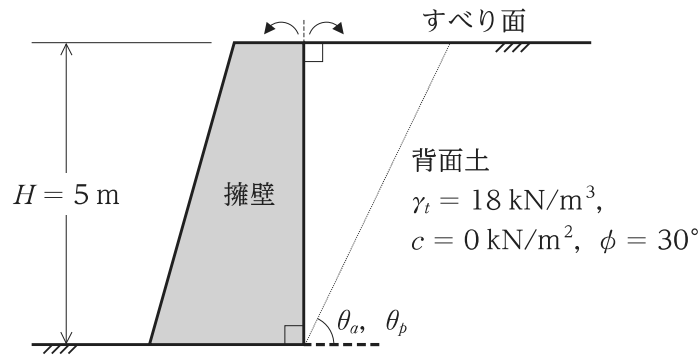


図 I

(b) 図Ⅱに示す主働すべり土塊 ABC について、「土塊の重量 W 」、「主働土圧合力の反力 P 」、「すべり面に作用する反力 R 」の作用方向を図示せよ。図示に当たっては、角度を明記すること。

ただし、背面土のせん断抵抗角(内部摩擦角)を ϕ 、壁面背面の表面摩擦角を δ 、すべり面と水平面のなす角度を θ 、壁面と水平面のなす角度を ω 、背面土と水平面のなす角度を β とする。また、背面土は粘着力を有しない。

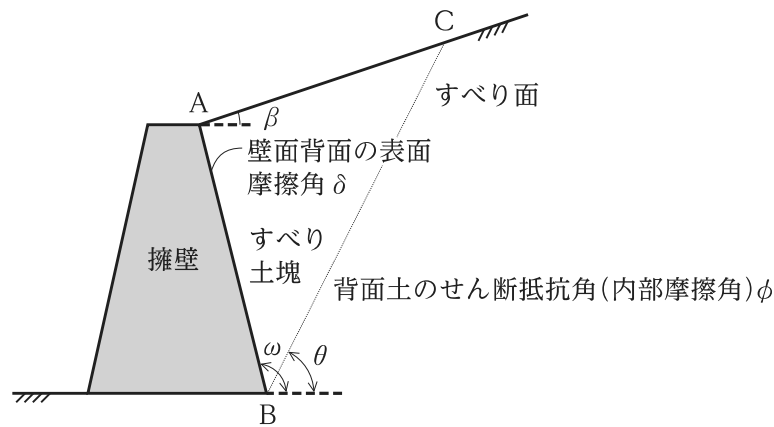


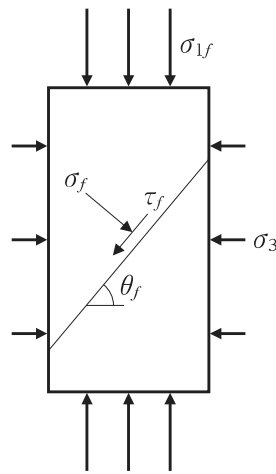
图 II

(2) 土の強度変形特性に関する以下の問いに答えよ。

(a) 「密な砂」と「緩い砂」の三軸圧縮試験(CD 試験)における軸差応力-軸ひずみ関係及び体積変化-軸ひずみ関係をそれぞれ図示せよ。

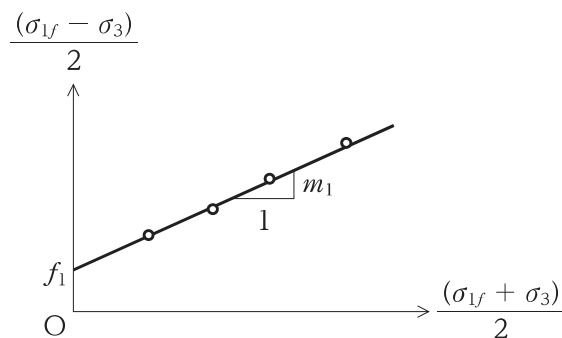
(b) ある土を対象に、三軸圧縮試験(CD 試験)を 4 種類の拘束圧条件下で行い、粘着力 c 、せん断抵抗角(内部摩擦角) ϕ を得た。このとき、以下の問いに答えよ。

(i) 図Ⅲは、拘束圧 σ_3 の拘束圧条件下での破壊状況であり、供試体は、軸応力 σ_{1f} 、破壊面角度 θ_f で破壊に至った。このとき、図Ⅲの状態をモールの応力円で図示せよ。また、破壊面上の直応力 σ_f とせん断応力 τ_f を、 σ_3 、 σ_{1f} 及び ϕ を用いてそれぞれ表せ。



図Ⅲ

(ii) 図Ⅳは、4 種類全ての三軸圧縮試験(CD 試験)結果を用いて、破壊時の $\frac{\sigma_{1f} + \sigma_3}{2}$ と $\frac{\sigma_{1f} - \sigma_3}{2}$ の関係を直線近似で示したものであり、直線の切片は f_1 、傾きは m_1 である。このとき、粘着力 c 、せん断抵抗角(内部摩擦角) ϕ を、 f_1 、 m_1 を用いてそれぞれ表せ。



図Ⅳ

(3) 以下の問いに答えよ。

(a) 直接基礎の許容支持力とは何か、1～2行程度で説明せよ。

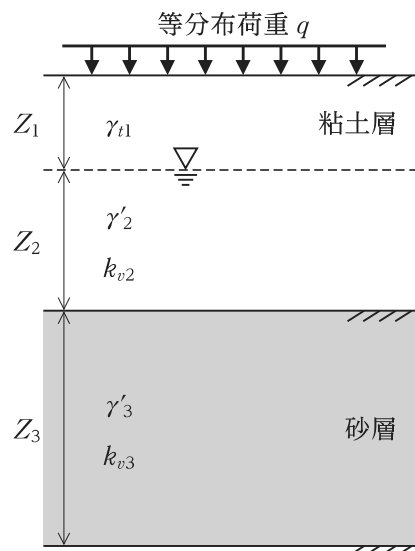
(b) 図Vに示す粘土層(層厚 $Z_1 + Z_2$)と砂層(層厚 Z_3)で構成された成層地盤を考える。地表面には等分布荷重 q が作用し、地下水位面は地表面から Z_1 の深さにあり、粘土層の湿潤単位体積重量及び水中単位体積重量はそれぞれ γ_{t1} 、 γ'_2 ($\gamma'_2 < \gamma_{t1}$)、砂層の水中単位体積重量は γ'_3 ($\gamma'_3 > \gamma'_2$)、水の単位体積重量は γ_w としたとき、以下の問いに答えよ。

(i) 図Vの成層地盤における鉛直及び水平方向の全応力の分布図をそれぞれ図示せよ。図示に当たっては、分布図中で有効応力と間隙水圧を区別するとともに、砂層下面での全応力の値を必要な記号を用いて示せ。

ただし、土質及び地下水位面の上下に関係なく土圧係数は同じとしてよいが、主働土圧係数 K_a 、静止土圧係数 K_0 、受働土圧係数 K_p のうち適切な土圧係数を用いること。

(ii) 図Vにおいて、深さ Z_1 より下側の粘土-砂の成層地盤の鉛直方向の透水係数 k_v を求めよ。

ただし、粘土層(地下水面以下)及び砂層の鉛直方向の透水係数はそれぞれ k_{v2} 、 k_{v3} とする。



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 のような一様な断面形状の円管路における定常流れについて、以下の問いに答えよ。

ただし、管路内の流れは十分に発達しているとする。

(a) 断面①と断面②で囲まれた流体塊に働く力のつり合い式を示せ。

ただし、管路の断面積を A 、潤辺を S 、壁面に作用するせん断応力を τ_0 、流れの中心線と水平線のなす角を θ 、水の密度を ρ 、重力加速度の大きさを g 、断面①から断面②の距離を L 、断面①、②における基準面からの高さをそれぞれ Z_1 、 Z_2 、断面①、②における圧力をそれぞれ p_1 、 p_2 とする。

(b) (a)で示した式を踏まえ、径深を R 、動水勾配を I としたときの τ_0 を R 、 I を用いて表せ。

(c) 管路内の流速分布は、 τ_0 の作用で発生し、一般的に τ_0 は断面平均流速 U の 2 乗に比例することが知られている。このことや(b)で表した式を踏まえ、ダルシー・ワイスバッハの式を導出せよ。

ただし、摩擦損失水頭を h_f 、円管路における摩擦損失係数を f とする。

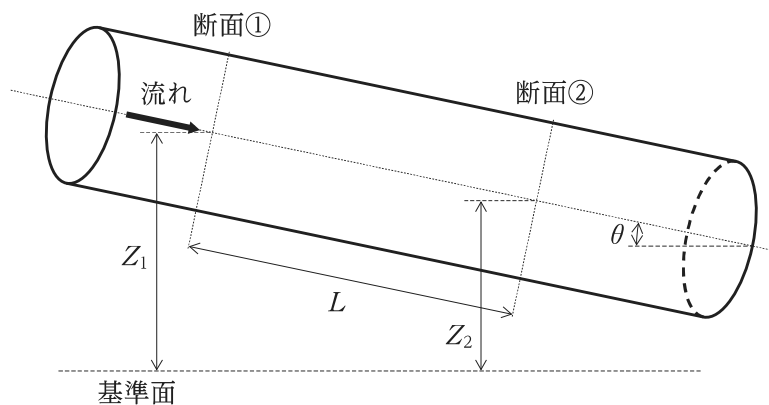


図 I

(2) 水路幅一定の一樣水路床勾配 i の矩形断面開水路に、一定の流量が定常に流れている。流れに伴い水深は流下方向に連続的に変化するものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

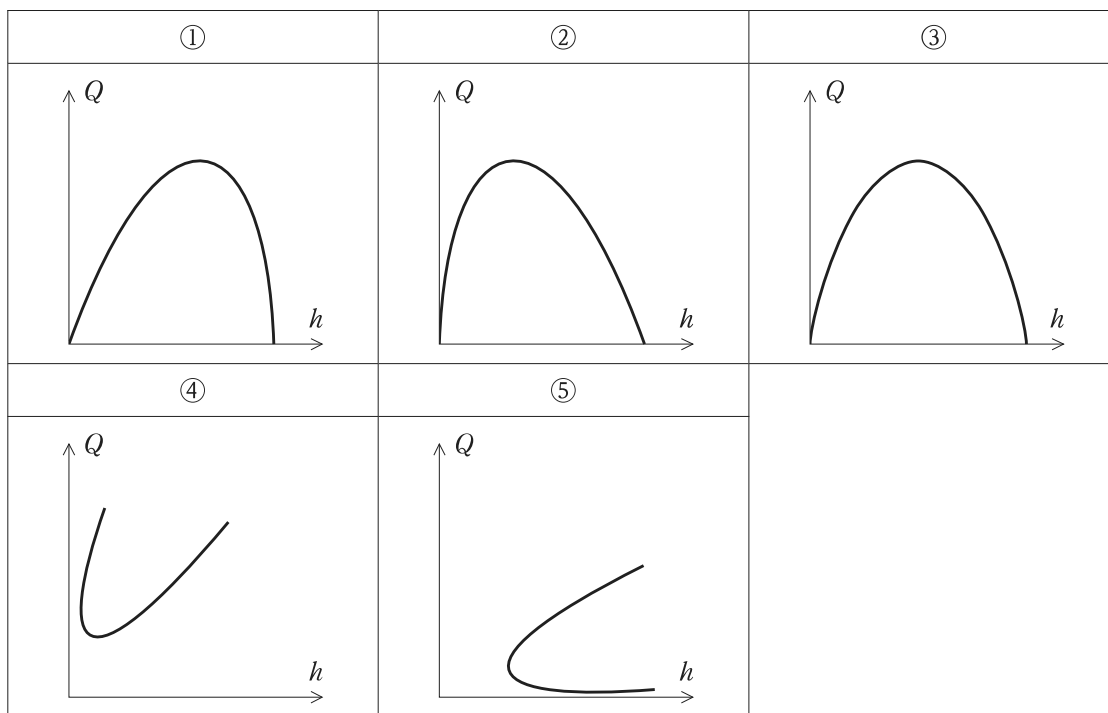
ただし、静水圧近似が仮定できるものとする。また、摩擦などによるエネルギー損失は無視するものとする。

(a) 流れが有する全水頭 H を、流量 Q 、開水路の幅 b 、水深 h 、基準面から水路床までの高さ z 、重力加速度の大きさ g を用いて表せ。

(b) この流れの比エネルギー E を求めよ。

(c) (b)の式を踏まえ、この流れの限界流速 v_c を求めよ。

(d) 比エネルギー E を一定とした場合の水深 h と流量 Q の関係を示したグラフの概形として最も妥当なものを、比エネルギー E と限界水深 h_c の関係を式で示した上で、選択肢①～⑤の中から選べ。また、この関係は一般に何と呼ばれるか示せ。



(e) (a)で示した式を踏まえると、水位 Z_s を用いて水面形は以下のように表される。このとき、

㊦に当てはまる式として最も妥当なものを選択肢①～⑤の中から選べ。

ただし、 Fr はフルード数とする。また、 x 軸は流下方向に設定し、流下方向を正とする。

$$\frac{dZ_s}{dx} = \left(\boxed{\text{㊦}} \right) \frac{dz}{dx}$$

①	②	③	④	⑤
$\frac{Fr}{Fr - 1}$	$\frac{1}{Fr - 1}$	$\frac{Fr^2}{Fr^2 - 1}$	$\frac{1}{Fr^2 - 1}$	$\frac{Fr}{Fr^2 - 1}$

- (3) 水深や流速が場所によって連続的に変化する水路幅一定の広幅矩形断面開水路における定常流(不等流)に関する以下の問いに答えよ。

ただし、静水圧近似が仮定できるものとする。また、流れに沿って摩擦によるエネルギー損失が生じるものとする。

- (a) エネルギー損失を考慮した流れが有する全水頭 H を、流量 Q 、断面積 A 、水深 h 、基準面から水路床までの高さ z 、摩擦損失水頭 h_f 、重力加速度の大きさ g を用いて表せ。

- (b) (a)で示した式を x で微分し、式を整理すると以下の式が得られる。①に当てはまる適切な式を限界水深 h_c と h を用いて表せ。

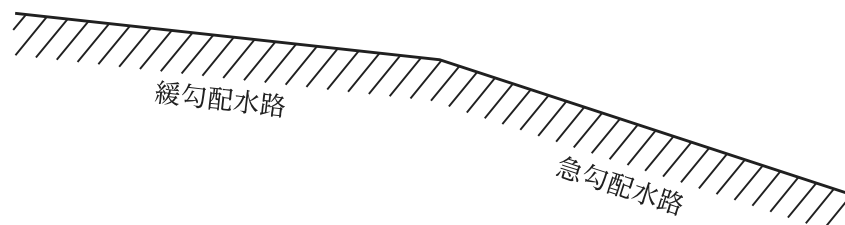
ただし、水路床勾配を $-i$ とする。また、 x 軸は流下方向に設定し、流下方向を正とする。

$$\left(\boxed{\text{①}} \right) \frac{dh}{dx} - i + \frac{dh_f}{dx} = 0$$

- (c) ダルシー・ワイスバッハの式及びシェジエーの平均流速公式を踏まえ、(b)で表した式を整理し、不等流の水面形の式 $\frac{dh}{dx}$ を i 、 h 、 h_c 、等流水深 h_0 を用いて表せ。

- (d) 図Ⅱのように、勾配が緩勾配水路から急勾配水路へと変化する広幅矩形断面水路に一定流量を流すとき、それぞれの水路で観察される水面形の曲線名について、限界水深と等流水深の大小関係を踏まえて3行程度で説明せよ。

ただし、それぞれの水路は十分に長いものとし、曲線名は、S1, S2, S3, M1, M2, M3のいずれかである。



図Ⅱ

科目 19. 土木計画[No. 19A, 19B, 19C]

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

【No. 19】 次の **A, B, C** いずれか一つのみに答えよ。

A 以下の設問に答えよ。

(1) 立地適正化計画に関する以下の問いに答えよ。

「立地適正化計画においては、我が国の総人口が減少に転じ、高齢者人口の割合の増加が見込まれる中で、都市全体の構造を持続可能なものに見直し、の都市構造の実現に向けて、住宅及び都市機能増進施設の立地の適正化を図るとともに、各施設にアクセスするためののネットワークを形成することが重要である。

一方で、既に人口減少を迎えた地方都市をはじめとする多くの都市では、空き地、空き家等の低未利用土地が時間的・空間的にランダムに発生するが進行しており、居住や都市機能を誘導すべきエリアにおいても、生活利便性の低下や治安・景観の悪化等を招き、地域の価値・魅力の低下を通じて、の都市構造の実現の推進に重大な支障となっている状況がみられる。」

(a) 上記の記述の㉔、㉕、㉖に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

ただし、一度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。

[語句：拡散型、集約型、機能純化型、通過交通、公共交通、誘発交通、スプロール、モータリゼーション、都市のスポンジ化]

(b) 立地適正化計画の活用によって期待されるメリットを、以下の(i)、(ii)の観点から、それぞれ 1 ～ 2 行程度で説明せよ。

(i) 都市生活者の健康・福祉

(ii) 地球温暖化対策

(2) 我が国の都市計画に関する以下の問いに答えよ。

「都市計画法において、都道府県は、都市計画区域について、おおむね ㉗ 年ごとに、都市計画に関する基礎調査として、人口規模、産業分類別の就業人口の規模、市街地の面積、土地利用、交通量等の事項に関する現況及び将来の見通しについての調査を行うものとされている。

都市計画に関する基礎調査の情報は、建築物や道路、地形等の立体的な情報である 3D 都市モデルを日本全国で整備し、そのオープンデータ化を進める「Project ㉘」でも活用されている。なお、3D 都市モデルを取り扱う際には GIS が用いられる。」

- (a) 上記の記述の㉗に当てはまる適切な数字及び㉘に当てはまる適切な語句をそれぞれ示せ。
- (b) 都市計画法において、都市計画区域内の市街化区域として定義される二つの区域をそれぞれ挙げよ。
- (c) 上記の記述の下線部について、GIS の概要を 1 ～ 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。

「都心部の地区交通計画においては、歩行者にとっての良好な環境を創出することが重要であり、歩行者専用若しくは優先の空間は、モールと呼ばれる。モールにはさまざまなタイプがあり、交通形態による分類として、緊急車両を除く車両の乗り入れを原則禁止する歩行者専用空間である ㉙ のほか、①トランジットモール、セミモールなどがある。既存の生活道路をセミモールに改造するための方法として、2 車線道路を 1 車線の一方通行道路に変更し、残りの空間を歩行者空間に充てることが行われ、このような道路は、コミュニティ道路とも呼ばれる。コミュニティ道路は、オランダのデルフト市における ㉚ が始まりとされている。

また、都心部は車が集中しやすい地区であることを踏まえ、環状道路等の整備のほか、自動車駐車場の量と配置のマネジメントも重要であり、②パークアンドライドやフリンジパーキングといった取組がある。」

- (a) 上記の記述の㉙、㉘に当てはまる適切な語句をそれぞれ示せ。
- (b) 上記の記述の下線部①について、トランジットモールとは何かを 1 ～ 2 行程度で説明せよ。
- (c) 上記の記述の下線部②について、パークアンドライドとフリンジパーキングとは何かをそれぞれ 1 ～ 2 行程度で説明せよ。

B 以下の設問に答えよ。

(1) 特定都市河川浸水被害対策法に関する以下の問いに答えよ。

「特定都市河川浸水被害対策法は、都市部を流れる河川の流域において^①浸水被害が頻発していたことから、都市部の河川及びその流域における浸水被害対策を推進するものとして、平成 15 年に制定された。その後、全国各地で水災害が激甚化・頻発化したことを受けて、あらゆる関係者が協働して取り組む^②「流域治水」の実効性を高める法的枠組み「流域治水関連法」として、令和 3 年に改正された。

法律の改正により、特定都市河川の指定要件が緩和され、接続する河川からの ㉗ や接続する河川への排水制限が想定される河川、地形や地質、貴重な自然環境や景勝地の保護等のため ㉘ が困難な河川、海面の干満差による潮位変動の影響で排水困難な河川などの指定が可能となった。

特定都市河川流域においては、浸水被害対策を総合的に推進するため、河川管理者、下水道管理者、都道府県知事、市町村長等が共同して ㉙ を策定する。」

(a) 上記の記述の㉗、㉘、㉙に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

ただし、一度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。

[語句：背水、段波、越水、護岸整備、河道内樹木の伐採、河道拡幅、雨水管理総合計画、流域水害対策計画、浸水防止計画]

(b) 上記の記述の下線部①について、浸水被害の発生要因は、外水氾濫と内水氾濫に大別される。このうち、内水氾濫について、そのメカニズムを 1 ～ 2 行程度で説明せよ。

(c) 上記の記述の下線部②について、流域治水施策のうち、氾濫をできるだけ防ぐ・減らすために集水域で取り組む雨水対策を二つ挙げ、その内容をそれぞれ 1 行程度で説明せよ。

(2) 河川計画及び河道計画に関する以下の問いに答えよ。

(a) 洪水防御計画に関する以下の問いに答えよ。

「河川の ㊦ は、流域において、人工的な洪水調節などが行われることなく河道に流出してくる洪水を指し、洪水防御計画の目標とする治水安全度を表している。㊦ の設定に当たっては、対象降雨を基に流出解析を行い、㊧ を求める。その際には、実績洪水による被害の実態、流域の土地利用の変化、将来の河道改修による洪水流下特性の変化などを十分に考慮しなければならない。」

(i) 上記の記述の㊦、㊧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。

[語句：想定最大外力、基本高水、計画高水、水位流量曲線、ハイエトグラフ、
ハイドログラフ]

(ii) 流出解析に用いられる計算手法を二つ挙げよ。

(b) 河道計画の検討に当たり、現況河道を適切に評価するために必要な事項を二つ挙げよ。

(c) 堤防の構造検討において、「余裕高」は計画高水位に対してどのような目的で設定されるか 2 行程度で説明せよ。

(3) ダムに関する以下の問いに答えよ。

(a) ダム貯水池において生じ得る代表的な水質変化現象には、「富栄養化現象」、「濁水長期化現象」、「冷・温水現象」が挙げられる。これら三つのうち二つを選び、それぞれの現象について、現象の概要及びその現象によって引き起こされ得る被害を 2 ～ 3 行程度で説明せよ。

(b) 洪水調節機能に特化した目的で建設される、常時水をためる必要のないダムの一形態である「流水型ダム」について、環境の観点からその特徴を 2 ～ 3 行程度で説明せよ。

(4) 多自然川づくりについて、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：順応的管理、地域の暮らしや歴史・文化、自然の営み、生息・生育・繁殖環境]

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) 波の定義法の一つである「ゼロアップクロス法」について、1行程度で説明せよ。
- (b) 湾や海峡などで発生する「副振動」について、発生要因を含めて1～2行程度で説明せよ。
また、その現象によって生じ得る被害例の一つ挙げよ。
- (c) 下記の記述の㉖～㉙に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

「波が ㉖ に進入して水深が浅くなると、底面での水粒子の運動が大きくなり、砂粒子を水粒子の運動の方向に移動させようとする ㉗ が作用して、ある水深で砂粒子は運動を始める。この水深を ㉘ という。さらに水深が浅くなると、海底面に ㉙ と呼ばれる小規模な波状の起伏が形成される。」

- ㉖ [語句：波打ち帯、砕波帯、沖浜帯]
- ㉗ [語句：沿岸流、離岸流、掃流力]
- ㉘ [語句：移動限界水深、砕波水深、相対水深]
- ㉙ [語句：カスプ、シートフロー、砂漣]

(d) 「トンボロ」について、1行程度で説明せよ。

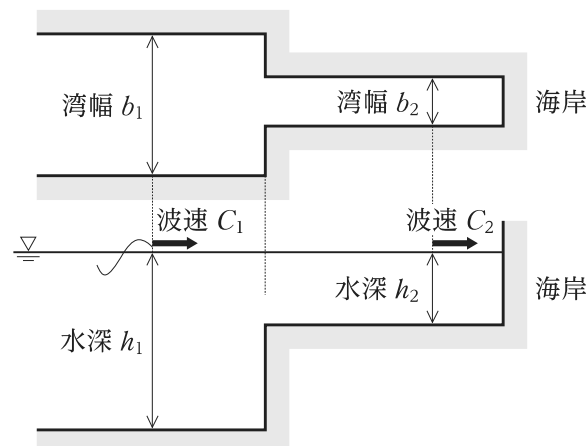
- (e) 図のような湾幅が b_1 から b_2 、水深が h_1 から h_2 に変化する海岸において、水深 h_1 の地点における津波の波高を H_1 、波速を C_1 、水深 h_2 の地点における津波の波高を H_2 、波速を C_2 としたとき、

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{C_1 b_1}{C_2 b_2}}$$

の関係式が成り立つとする。

このとき、湾口幅 2 km、湾口部の水深 40 m の湾に 3 m の津波が侵入した場合、湾幅 500 m、水深 2.5 m の位置における津波の波高を求めよ。

ただし、津波は長波とみなすことができるものとし、湾内において、津波は海底摩擦や反射の影響を受けないものとする。また、解答は、その導出過程も記述すること。



- (2) 港湾施設に関する以下の問いに答えよ。
- (a) 外郭施設に含まれる施設を二つ挙げ、それぞれの施設の役割を 1 行程度で説明せよ。
- (b) 係留施設に含まれる施設を二つ挙げ、それぞれの施設の役割を 1 行程度で説明せよ。
- (3) 我が国の港湾政策に関する以下の問いに答えよ。
- (a) 次の表は、2023 年の国内港湾別のコンテナ取扱貨物量の上位 5 港を示したものである。
表中の㊦に当てはまる港湾名を示せ。

表 国内港湾別のコンテナ取扱貨物量(2023 年)

港湾名	コンテナ取扱貨物量(単位：TEU)
東京港	4,570,856
㊦	3,021,068
神戸港	2,835,128
名古屋港	2,698,119
大阪港	2,238,674

- (b) 東京港、神戸港、大阪港などは、「長距離の国際海上コンテナ運送に係る国際海上貨物輸送網の拠点、かつ、国際海上貨物輸送網と国内海上貨物輸送網とを結節する機能が高い港湾であり、国際競争力の強化を重点的に図ることが必要な港湾」として政令で定められている。
上記の港湾について、港湾法上の港格の名称又は当該法令に基づく港湾政策名のいずれか一つを示せ。
- (c) 名古屋港において、輸取出扱貨物量のうち最も多い品目は何かを示せ。
- (d) 近年、我が国はさまざまな社会課題への対応策として、モーダルシフトを促進するための取組を進めている。これを踏まえて以下の問いに答えよ。
- (i) モーダルシフトについて、1 行程度で説明せよ。
- (ii) 社会課題への対応策として期待されるモーダルシフトの効果を二つ挙げ、それぞれ 1 行程度で説明せよ。
- (e) カーボンニュートラルポート(CNP)に関する以下の問いに答えよ。
- (i) 次の記述の㊦、㊧に当てはまる最も妥当なエネルギー名を示せ。
なお、㊦、㊧は順不同とする。
「我が国は、港湾や産業の競争力強化と、脱炭素社会の実現に貢献するため、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化や、㊦・㊧等の受入環境の整備等を図るカーボンニュートラルポート(CNP)の形成を推進している。」
- (ii) カーボンニュートラルポート(CNP)政策の一環として、ブルーカーボンの活用が取り入れられている。ブルーカーボンについて、その主な吸収源も含めて 1 ～ 2 行程度で説明せよ。

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いずれか一つのみに答えよ。

A 環境問題に関する以下の設問に答えよ。

(1) 気候変動問題に関する以下の問いに答えよ。

(a) 我が国の温室効果ガス排出量の削減目標に関する以下の問いに答えよ。

「我が国は、㉞ 年カーボンニュートラルと整合的で、野心的な目標として、2030年度において、温室効果ガス ㉟ % 削減(2013年度比)を目指すこと、さらに ㊱ % の高みに向けて挑戦を続けていくことを表明している。」

(i) 上記の記述の㉞、㉟、㊱に当てはまる適切な数字を示せ。

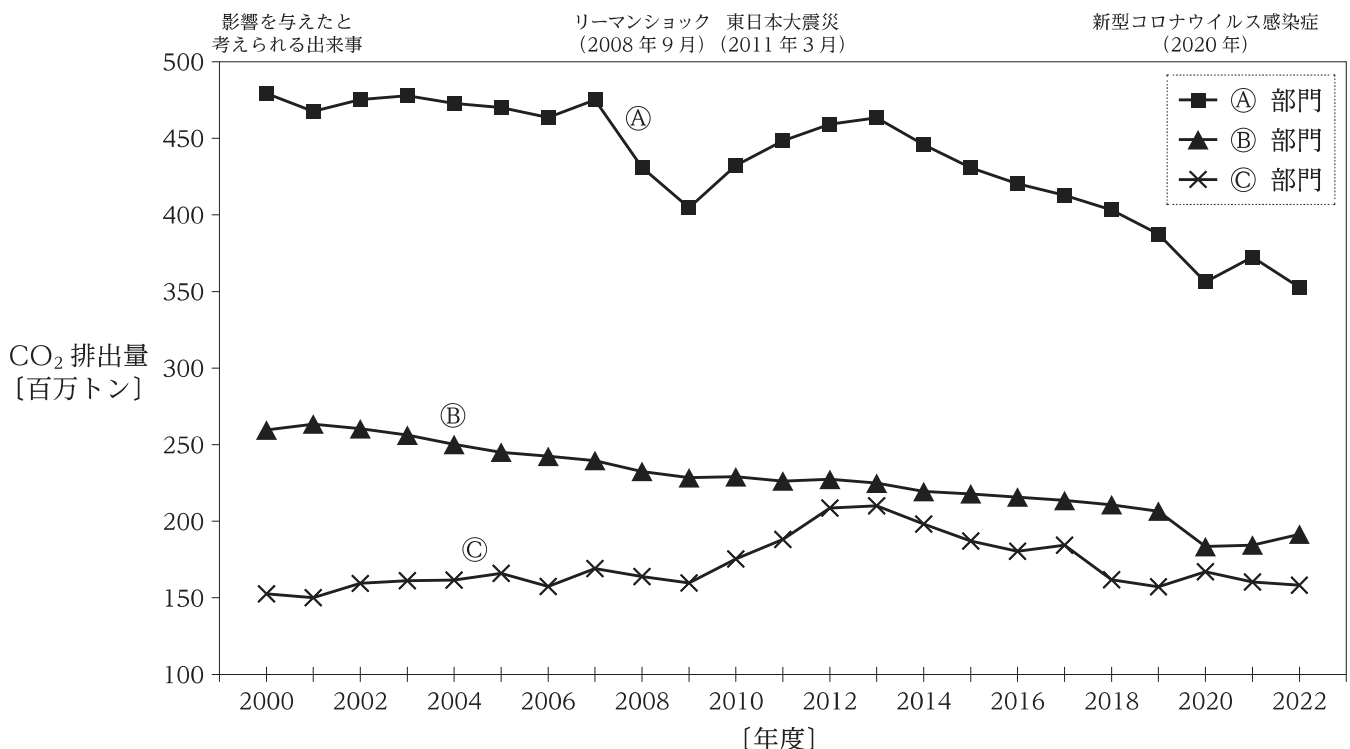
(ii) 「カーボンニュートラル」の意味を「均衡」という語句を用いて1～2行程度で説明せよ。

(iii) パリ協定において定められた長期目標について、次の語句を全て用いて2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：2℃、1.5℃、世界、産業革命、努力、十分に】

(b) 次の図中のA、B、Cについて、それぞれ産業、家庭、運輸のどれが当てはまるか示せ。



図：我が国の部門別エネルギー起源 CO₂ 排出量(電気・熱配分後)の推移と影響を与えたと考えられる出来事

(c) 太陽光発電の大量導入が、電力の需給バランスに影響を及ぼし得る理由と、その影響を低減するために有効と考えられる対策を、それぞれ一つ挙げよ。

(d) 我が国は、温室効果ガスに係る排出量取引の制度として、ベースライン・アンド・クレジット型の「J-クレジット制度」を導入している。この制度について、次の語句を全て用いて2～3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：算定・報告・公表制度、省エネルギー、認証、森林管理、購入]

(2) 我が国の環境影響評価(環境アセスメント)に関する以下の問いに答えよ。

「環境影響評価法では、㉑、ダム、鉄道、飛行場、発電所、㉒、埋立て・干拓、土地区画整理事業等の13種類の開発事業のうち、規模が大きく、環境に大きな影響を及ぼすおそれがある事業を『第一種事業』として定め、環境アセスメントの手続を必ず行うこととしている。この『第一種事業』に準ずる大きさの事業を『第二種事業』として定め、手続を行うかどうかを個別に判断することとしている。その環境影響評価の手続を行うかどうかの判定をスクリーニングといい、事業の許認可を行う者(例えば、火力発電所が対象となる場合は㉓)が判定基準に従って行う。この際、事業の許認可を行う者は㉔の意見を聴くこととされている。」

(a) 上記の記述の㉑～㉔に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

ただし、一度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。

なお、㉑、㉒は順不同とする。

[語句：公園、道路、温泉、廃棄物最終処分場、リゾート施設、内閣総理大臣、
経済産業大臣、国土交通大臣、都道府県知事、地域住民]

(b) 環境影響評価法において、環境影響評価に係る基本的な考え方は「ベスト追求型」とされているが、同法が施行される以前の環境影響評価は「目標クリア型」の考え方でなされていた。「ベスト追求型」の考え方について、「目標クリア型」の考え方との差異も踏まえながら、次の語句を全て用いて2～3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：実行可能な範囲、環境基準の達成、事業者自ら、回避又は低減]

(c) 次の表は、環境影響評価法に基づく環境影響評価の各手続を時系列順に示している。表中の㉗、㉘、㉙に当てはまる適切な漢字二文字の語句をそれぞれ示せ。

事業者が実施する必要がある取組・手続	
㉗	事項の検討結果の提示(計画段階環境 ㉗ 書の作成)
第二種事業の判定(スクリーニング)	
アセスメントの項目・ ㉘	の案(環境影響評価 ㉘ 書の作成)
調査・予測・評価・対策の検討	
アセスメント結果の案(環境影響評価 ㉙	書の作成)
意見を踏まえたアセスメント結果の修正(環境影響評価書の作成)	
環境保全措置等の報告書の作成・公表	

B 上下水道に関する以下の設問に答えよ。

(I) 我が国の上水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 水道水の水質に関する次の記述の㉗～㉜に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ次の語句の中から選び出して示せ。

ただし、一度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。

「我が国は、水道水中における ㉗ について、平成 21 年に ㉙ として位置付けた。その後、水道水からの検出状況などを踏まえ、浄水施設における水道水の水質管理を適切に行う観点から検討を行った結果、令和 2 年 4 月 1 日に ㉚ に位置付けることとした。

そして、令和 8 年 4 月 1 日より、㉛ に引き上げ、水道水としては合算値で ㉜ 以下を守らなければならないこととした。」

〔語句：六価クロム化合物、総トリハロメタン、PFOS/PFOA、

水質基準項目、要検討項目、要監視項目、水質管理目標設定項目、

50 mg/L、50 µg/L、50 ng/L〕

(b) 水道の高度浄水処理方式のうち、以下の(i)、(ii)について、処理方式の特徴と具体的な導入目的をそれぞれ 2 行程度で説明せよ。

(i) 活性炭処理

(ii) オゾン処理

(c) 水道事業が直面する課題と経営基盤強化のための施策について、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：広域連携、老朽化、人口減少、官民連携〕

(2) 我が国の下水道に関する以下の問いに答えよ。

(a) 下水道法における公共下水道と流域下水道について、それぞれの事業主体と双方の関係性を踏まえて、合わせて2～3行程度で説明せよ。

(b) 下水道管路の腐食が発生する仕組み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。

「下水は、㉗ 状態になると、下水中の ㉙ から細菌によって ㉘ が生成される。㉘ が下水管の気相部で濃縮するだけでなく、コンクリート壁面の結露に溶解し、別の細菌によって ㉚ に変化することで、コンクリートの劣化を引き起こす。」

[語句：嫌気、好気、 S^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 H_2S 、 NH_3 、 NO_2 、 H_2SO_4 、 HNO_3]

(c) 標準活性汚泥法における、下水中の汚濁物質が除去されるメカニズムについて、次の語句を全て用いて2～3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：有機物、エアレーション、酸化及び同化、固液分離]

(d) 終末処理場が洪水や津波などの水害を受けた場合でも、その機能維持を図るために、終末処理場で行われるハード対策について一つ挙げよ。

(3) カーボンニュートラルの実現に向けて、地球温暖化対策計画が令和7年2月18日に閣議決定されており、エネルギーを多く消費するインフラである上下水道においても、地球温暖化対策に資する取組を着実に推進していくことが重要である。上下水道における温室効果ガス排出量削減のための具体的な対策について、(i)上下水道で共通するもの、(ii)上水道特有のもの、(iii)下水道特有のものをそれぞれ一つ挙げよ。

科目 21. 材料工学(材料科学) [No. 21 A, 21 B]

【No. 21】 次の **A, B** いずれか一つのみ に答えよ。

A 図 I に示した Au-Cu 二元系状態図を参考にして、以下の設問に答えよ。

ただし、L は液相、実線は液相線及び固相線、破線は Au_3Cu や AuCu , AuCu_3 金属間化合物相の規則－不規則変態線を示している。また、 $\sqrt{2}\pi = 4.45$ とする。

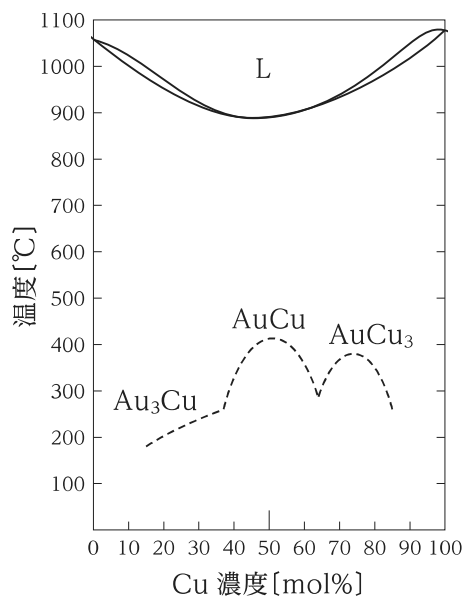


図 I

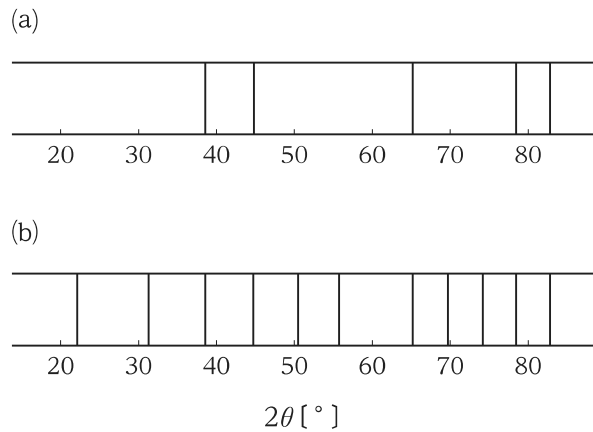


図 II

(1) 面心立方構造をもつ純 Au 及び純 Cu の単位格子中に含まれる原子の体積充填率を有効数字 2 桁で求めよ。

ただし、空孔などの格子欠陥は存在しないものとし、計算の過程も示すこと。

- (2) 次の記述の㉗～㉜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。

「Au-Cu 二元合金の融点は、それぞれの純物質の融点よりも ㉗ する。これは混合エンタルピーを表す両元素間の相互作用パラメータが、融点近傍において固相よりも液相の方が負に ㉘ ためであり、合金化によって固相よりも液相の方が ㉙ となることを示唆している。一方、固相中の相互作用に関しても、規則化が生じることから両元素間には ㉚ 型の相互作用が働くことが予想され、対応する相互作用パラメータは ㉛ の値となる。」

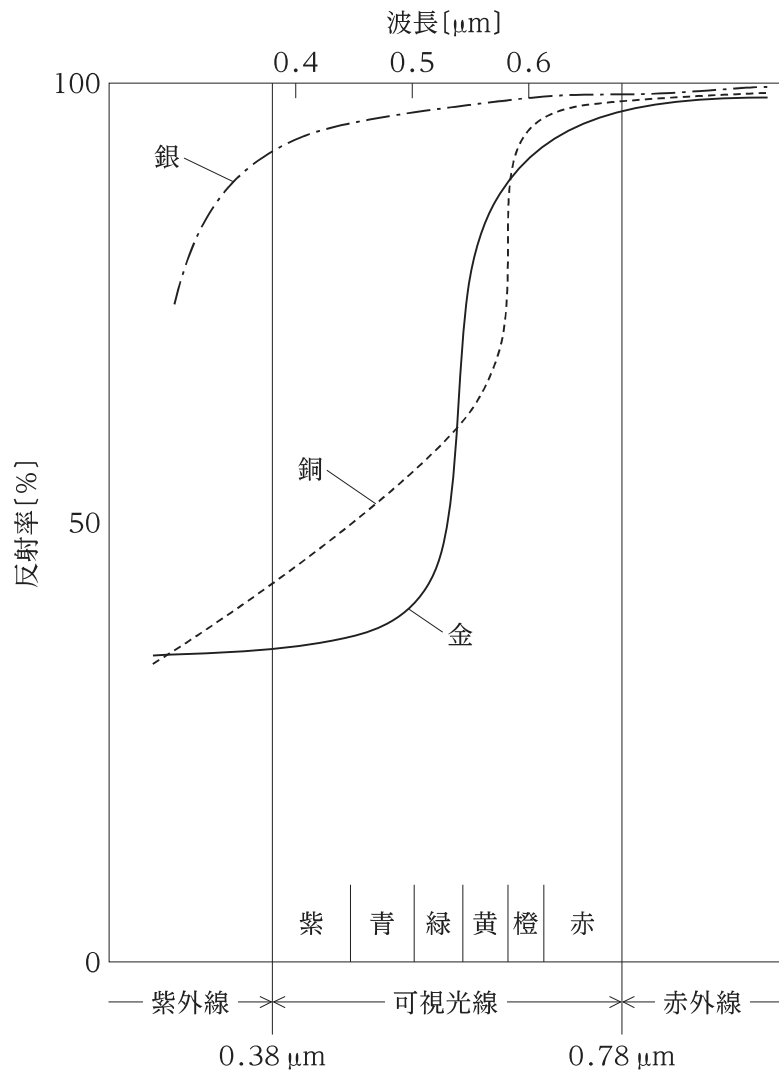
〔語句：上昇、低下、大きい、小さい、安定、不安定、引力、斥力、正、負〕

- (3) Au-50 mol%Cu 合金粉末を 600 °C 又は 300 °C で長時間保持した後に、そのまま各温度でデバイ・シェラー法を用いた X 線回折実験を行ったところ、それぞれ異なる回折図形が得られた。図 II (a) は 600 °C で得られた回折図形の模式図であり、図 II (b) は 300 °C で得られた回折図形の模式図である。以下の問いに答えよ。

ただし、 hkl はミラー指数、 2θ は回折角である。

- (a) この粉末試料の 600 °C での結晶構造名を示し、結晶構造の模式図を描いて、Au や Cu 原子が占める位置について説明せよ。さらに、各回折線に対応する hkl を低指数側から順に五つ挙げよ。
- (b) この粉末試料の 300 °C での結晶構造名を示し、結晶構造の模式図を描いて、Au や Cu 原子が占める位置について説明せよ。さらに、各回折線に対応する hkl を低指数側から順に五つ挙げよ。
- (4) Au-75 mol%Cu 合金粉末を 300 °C で長時間保持した後に、同じ温度でデバイ・シェラー法を用いた X 線回折実験を行った際に得られる回折図形の模式図を、図 II のように図示し、各回折線に対応する hkl を低指数側から順に五つ挙げよ。さらに、この粉末試料の 300 °C での結晶構造名を示し、結晶構造の模式図を描いて、Au や Cu 原子が占める位置について説明せよ。

- (5) 純 Au に Cu を添加していくと、黄金色から次第に赤みを増して赤銅色に変化し、最後は純 Cu の赤褐色となる。純 Au が黄金色を呈する理由及び純 Cu が赤褐色を呈する理由を、図Ⅲに示した純 Au 及び純 Cu の反射率の波長依存性を参考にして 4 行程度で説明せよ。さらに、純 Ag が銀白色を呈する理由についても、図Ⅲに示した純 Ag の反射率の波長依存性を参考にして 3 行程度で説明せよ。



図Ⅲ

B 材料組織に関する以下の問いに答えよ。

(1) 次の記述の㉑～㉕に当てはまる最も妥当な語句をそれぞれ示せ。

「任意の結晶軸に注目したとき、試料のどの部分においてもその向きが同一であるような結晶質の固体を ㉑ という。図 I に示すように、様々な方向を向いた ㉑ の粒が集めた結晶は多結晶体と呼ばれ、結晶粒の境界は結晶粒界と呼ばれる。材料強度は結晶粒径を ㉒ するほど向上するため、構造材料では、結晶粒径を ㉒ する努力がなされる。その代表的な方法の一つは、圧延や鍛造のような塑性加工により、材料に転位のような格子欠陥を結晶に多量に導入し、ある一定温度以上に保持すると観察される ㉓ 現象を利用することである。また、結晶粒界には溶質原子の濃化が観察されることがあり、これを ㉔ と呼ぶ。この ㉔ も、結晶粒を ㉒ させる場合がある。」

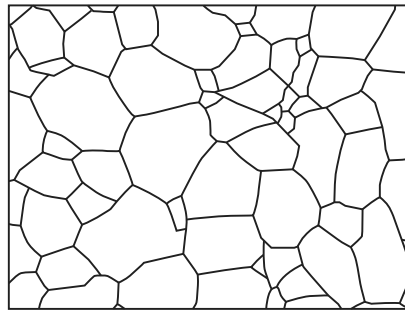


図 I

(2) 以下の二つの A-B 二元系状態図で単相の固体となる領域を示せ。解答に当たっては、まず図 II の状態図を答案用紙に書き写し、該当領域を斜線で塗りつぶすこと。

ただし、図中の L は液相を表す。

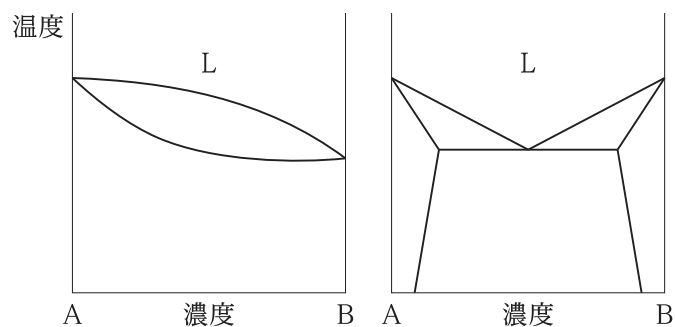


図 II

- (3) 図Ⅱ左側の状態図を示す材料を液相状態から徐冷し凝固をさせたところ、図Ⅰに示した材料組織が形成された。その過程を下記の語句を用いて説明せよ。ただし、語句の部分には下線を引くこと。

[語句：液相線、核生成、結晶方位、粒界]

- (4) 以下は、図Ⅰで示した多結晶材料組織の強度に関する式である。

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{K}{\sqrt{d}}$$

式中の σ_y と d それぞれを表す語句として最も妥当なものを示せ。また、材料固有の定数である σ_0 と K は、材料のどのような性質を反映した定数であるかをそれぞれ説明せよ。

- (5) 多結晶組織の正常結晶粒成長に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 次の記述の㊸、㊹に当てはまる式をそれぞれ示せ。

「曲率 $\frac{1}{R}$ をもつ界面には曲率中心へ向かう力が生じており、多結晶組織の結晶粒成長もこの力を起源とする。粒界エネルギーを γ 、モル体積を V_m とすると、粒界移動の駆動力 ΔG_{gb} は

$$\Delta G_{gb} = \frac{2\gamma V_m}{R}$$

と表される。結晶粒径と曲率半径は比例関係にあるため、多結晶組織では小さい結晶粒が選択的に消滅しながら全体の粒数が減少する。その結果、結晶粒径の平均値は時間 t とともに増大する。図Ⅰのような様々な粒径を持つ多結晶組織において、個々の粒子の粒径変化を求めるには複雑な統計解析が必要である。そこで、簡易的に全ての結晶粒が半径 R の球であると仮定し、さらに R の時間変化は駆動力に対して比例(比例係数 M)すると仮定すれば、

$$\frac{dR}{dt} = \boxed{\text{㊸}}$$

となる。この式を積分することで、 R は t の関数として以下のように求められる。

$$R^2 - R_0^2 = \boxed{\text{㊹}}$$

ただし、 $R = R_0 (t = 0)$ である。ここで、上式の R を平均粒径に置き換えると、粒成長の実験観察をよく説明できることが報告されており、ばらつきのある個々の粒子の粒径を簡易的に代表値で表す妥当性を示している。」

- (b) (a)で求めた R と t の関係を図示せよ。また、(a)で求めた式に従う材料に、粒界移動を妨げる効果のある粒子を分散させたとする。その効果は、 ΔG_{gb} を一定量 ΔG_{pin} だけ減少させるとみなせるとき、すなわち、 $\Delta G_{\text{粒子分散後}} = \Delta G_{gb} - \Delta G_{pin}$ であるとき、 R と t の関係にどのような変化をもたらすか、図示するとともに 1 ～ 2 行で説明せよ。

科目 22. 材料工学(金属材料) [No. 22]

【No. 22】 金属に関する以下の設問に答えよ。

(1) 金属の特徴や機械的性質、組織に関する以下の問いに答えよ。

(a) 非鉄金属材料に関する次の記述の㉗～㉙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。

「金属のうち、密度がおおよそ ㉗ g/cm^3 より小さい金属は軽金属と呼ばれる。軽金属の中で、特に工業材料として広く使われているものに、㉘、㉙、㉚及びこれらの合金がある。㉘ は、これら三つの金属のうち最も導電率及び熱伝導率が高い。また、㉘ 合金は、加工性が高く、強度と延性のバランスに優れる。㉙ は、三つの金属のうち最も融点及び密度が低い。また、㉙ 合金は、切削性や振動吸収性に優れる。㉚ は、三つの金属のうち最も線膨張率が小さい。また、㉚ 合金は、耐熱性や耐食性に優れる。」

[語句：5、9、マグネシウム、金、チタン、アルミニウム、銀]

(b) 金属の弾性域での機械的性質に関する次の記述の㉛、㉜、㉝に当てはまる最も妥当な語句をそれぞれ示せ。

「引張試験により、公称応力 σ_n －公称ひずみ ε_n の関係のグラフを描くと、変形初期ではグラフの傾きは一定となる。この傾き $\frac{\sigma_n}{\varepsilon_n}$ は一般に E と表記され、これをヤング率(縦弾性係数)と呼ぶ。このとき、縦方向のひずみ(伸び)と横方向のひずみ(縮み)を測定すると、両者の比は ㉛ と呼ばれ、変形中はほぼ一定となる。また、ねじり試験により、せん断応力 τ －せん断ひずみ γ の関係のグラフを作成すると、グラフの傾き $\frac{\tau}{\gamma}$ は一般に G と表記され、これを ㉜ と呼ぶ。一般に、 E の値は G の値に比べて ㉝ 。」

- (c) 図 I は、鉄－炭素系状態図の一部を模式的に示したものであり、図 II は、図 I の破線に示す組成の試料を、オーステナイト単相の状態から徐冷した場合の、S 点での組織の光学顕微鏡像を模式的に示したものである。次の記述の㉔～㉞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。

「図 II の層状組織は、㉔ 及び ㉕ の 2 相から成る組織であり、㉖ と呼ばれる。図 I の S 点より炭素量の小さい鋼を ㉗ と呼び、この鋼では炭素量が小さくなるほど、低強度で ㉘ となる。」

[語句：パーライト、ベイナイト、セメンタイト、マルテンサイト、フェライト、共析鋼、亜共析鋼、過共析鋼、高靱性、低靱性]

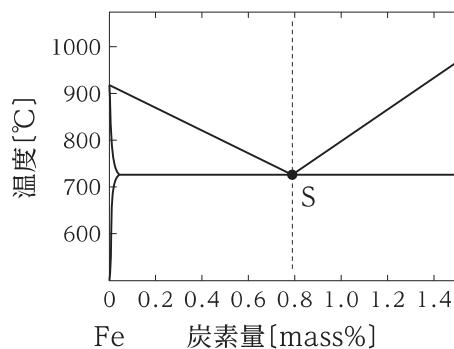


図 I

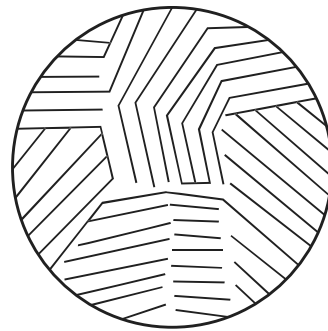


図 II

- (2) 金属の強化機構、回復・再結晶に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 金属の強化機構に関する次の記述の㉚、㉛、㉜に当てはまる最も妥当な語句をそれぞれ示せ。

「溶質原子が転位の移動を妨げることによって変形応力を高める強化機構を、㉚ と呼ぶ。変形によって導入された転位が互いの運動の障害となるために変形応力が上昇する強化機構を、㉛ と呼び、これは転位強化とも呼ばれる。結晶粒を微細にした強化について、結晶粒径と降伏応力の間には、一般に ㉜ と呼ばれる関係式が成り立つことが知られている。」

- (b) 金属に塑性加工(冷間)を施すと硬さが増し、無理に塑性加工(冷間)を継続すると、金属が割れることもある。そのため、冷間加工性の改善などを目的として、金属を加熱する焼なまし処理が行われる。この処理において、加熱温度に伴う硬さと組織(点欠陥、転位、結晶粒)の変化を、回復、再結晶、粒成長の観点から 4 行程度で説明せよ。

(3) 金属の弾性変形及び熱膨張に関する以下の問いに答えよ。

- (a) 室温(25℃)で、ヤング率 $E = 120 \text{ GPa}$ 、一辺 $d = 10 \text{ mm}$ の正方形断面をもつ長さ L の柱状の試料に、長さ方向に $P = 40 \text{ kN}$ の引張力を負荷したとき、伸びが $\Delta L = 210 \text{ }\mu\text{m}$ であった。試料の長さ L を算出せよ。

ただし、この試料は均質であり、弾性変形のみが起きるものとする。また、計算の導出過程も示すこと。

- (b) 上記の試料を無負荷で 25℃ から 525℃ まで加熱した。この試料の線膨張係数 α が $8.0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ で一定であるとき、柱状の試料の長さ方向の伸び $\lambda[\text{ }\mu\text{m}]$ を算出せよ。

ただし、加熱中に試料の酸化や相変態は起きないものとする。また、計算の導出過程も示すこと。

科目 23. 材料工学(無機材料)[No. 23]

【No. 23】 無機材料に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 点欠陥に関する次の記述の㉑～㉗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。

「結晶の点欠陥には、エントロピーの効果から生じる内因性欠陥と異種元素の添加などによって生じる外因性欠陥がある。内因性欠陥には、構造的見地から ㉑ 欠陥と ㉒ 欠陥がある。イオン結晶の ㉓ 欠陥は、陽イオンと陰イオンが同時に欠損する欠陥である。電気的中性条件が保たれるように空孔が生じ、例えば、 MO_2 (M：金属、O：酸素) で表される化合物では、金属イオンは酸化物イオンの 2 倍の電荷をもつため、1 個の金属イオン空孔当たり ㉔ 個の酸素空孔が生じる。この欠陥は、㉕ 構造を有する ㉖ に生じやすい。一方、㉗ 欠陥では、イオンが正規の位置から ㉘ 位置に移動し、空孔と ㉙ イオンの対が生じる。この欠陥をつくりやすい化合物として、㉚ 構造の ㉛ が知られている。内因性欠陥の濃度は温度に依存し、温度が高くなるほど欠陥濃度が ㉜ する。」

〔語句：NaCl、ZnO、岩塩型、閃亜鉛鉱型、ウルツ鉱型、1、2、4、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、増加、低下、フレンケル、ショットキー、アレニウス、アンチサイト、格子間〕

- (2) ジルコニア(ZrO_2)やセリア(CeO_2)系化合物に関する以下の問いに答えよ。

- (a) ZrO_2 に CaO を固溶させた化合物の化学式として、 $(\text{Zr}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{O}_{2-x}$ 及び $(\text{Zr}_{1-x}\text{Ca}_{2x})\text{O}_2$ の 2 種を考える。CaO が 10 mol% 固溶した ZrO_2 について、 x の値をそれぞれ求め、具体的な化学式を 2 種示せ。
- (b) ZrO_2 に CaO を 10 % 程度固溶させた場合には、実際には $(\text{Zr}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{O}_{2-x}$ で表される組成になることが知られている。また、この固溶体はイオン伝導性を示す。イオン伝導の機構を 1 ～ 2 行で説明せよ。
- (c) CaO や Y_2O_3 等を固溶させた ZrO_2 は、安定化ジルコニアと呼ばれる。この固溶により、ジルコニアにおいて何が安定化されるのか、1 ～ 2 行で説明せよ。

- (d) ZrO_2 に Y_2O_3 を固溶させた際の欠陥方程式を、クレーガー・ビンの表記法を用いて表すと以下になる。㊟、㊠、㊡に当てはまる最も妥当な記号をそれぞれ示せ。



- (e) 安定化ジルコニアは、酸素ガスセンサの固体電解質に利用されている。安定化ジルコニアを用いた酸素ガスセンサの正極、負極で起こる半反応式をそれぞれ示せ。
- (f) (e)の酸素ガスセンサに関する次の記述の㊢、㊣に当てはまる最も妥当な語句又は数式をそれぞれ示せ。

「安定化ジルコニアを用いた酸素ガスセンサの起電力 E は $\boxed{\text{㊢}}$ の式から求められる。気体定数を R 、絶対温度を T 、ファラデー定数を F 、低圧側の酸素分圧を $p'(\text{O}_2)$ 、高圧側の酸素分圧を $p''(\text{O}_2)$ とするとき、 E は

$$E = \boxed{\text{㊣}} \ln \frac{p''(\text{O}_2)}{p'(\text{O}_2)}$$

である。」

- (g) CeO_2 系固溶体に関する次の記述の㊤～㊨に当てはまる最も妥当な語句、記号又は数式をそれぞれ示せ。

「 $\text{Ce}_{1-x}\text{Gd}_x\text{O}_{2-\frac{x}{2}}$ など CeO_2 系固溶体は、特に低温で高いイオン伝導性を示す。しかし、 Ce^{4+} から Ce^{3+} への還元が容易に起こり、次式の欠陥方程式で表されるように酸素空孔と電子が構造中に導入される。



この反応の平衡定数を K 、酸素分圧を $p(\text{O}_2)$ 、電子濃度を n 、酸素空孔の濃度を $[V_{\text{O}}^{\bullet}]$ 、格子酸素の濃度を $[\text{O}_{\text{O}}^{\times}]$ とすると、

$$K = \boxed{\text{㊧}}$$

となる。また、格子酸素の活量は 1 であり、高いドーパント濃度の下では酸素空孔の濃度は実質的に一定とみなせるので、主な変数は $p(\text{O}_2)$ と n である。したがって、電子濃度は酸素分圧の $\boxed{\text{㊩}}$ 乗に比例することが分かる。 CeO_2 系固溶体は良いイオン伝導体であるが、酸素分圧が $\boxed{\text{㊪}}$ いたときには、電子伝導体になる。」

- (h) 酸化物イオン伝導体を利用した固体酸化物型燃料電池は、環境にやさしい発電方式であるといわれている。この理由を一つ以上挙げ、3～5行で説明せよ。

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) 以下は「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の条文の抜粋である。次の記述の①～⑨に当てはまる妥当な語句をそれぞれ示せ。

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和 32 年法律第 166 号)

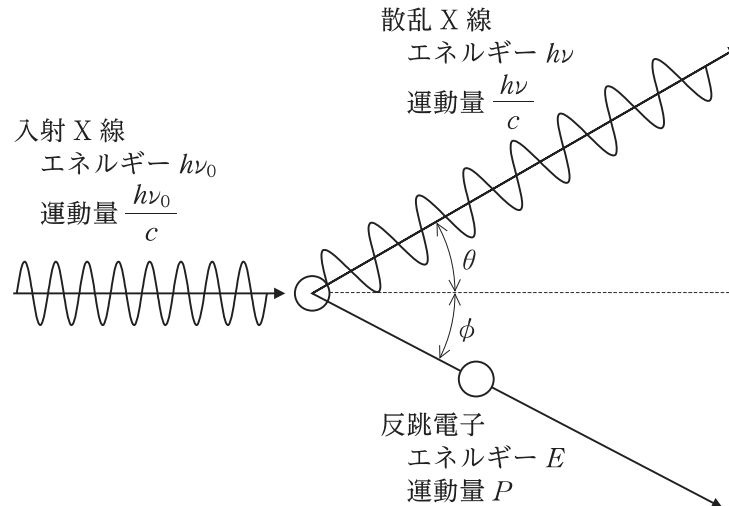
(目的)

第 1 条 この法律は、 法(昭和 30 年法律第 186 号)の精神にのっとり、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の利用が の目的に限られることを確保するとともに、原子力施設において重大な事故が生じた場合に放射性物質が異常な水準で当該原子力施設を設置する工場又は事業所の外へ放出されることその他の核原料物質、核燃料物質及び原子炉による を防止し、及び核燃料物質を して、 の安全を図るために、製錬、加工、貯蔵、再処理及び廃棄の事業並びに原子炉の設置及び運転等に関し、大規模な自然 及び その他の犯罪行為の発生も想定した必要な規制を行うほか、原子力の研究、開発及び利用に関する条約その他の国際約束を実施するために、国際規制物資の使用等に関する必要な規制を行い、もつて の生命、健康及び財産の保護、 の保全並びに我が国の に資することを目的とする。」

- (2) 以下の(a)～(d)全てについて、それぞれ 3 行程度で説明せよ。

- (a) 確定的影響と確率的影響
- (b) 生物学的効果比と組織加重係数
- (c) 胸部レントゲン診断と X 線 CT(Computed Tomography)診断
- (d) PET(Positron Emission Tomography)診断と SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)診断

- (3) 以下の図は、コンプトン散乱について模式的に示したものであり、入射した X 線の光子が、束縛を受けずに静止状態にある電子と衝突する状況を示している。この図に関する以下の問いに答えよ。



この図において、

h : プランク定数、 c : 真空中の光速、

ν_0 : 入射 X 線の振動数、 ν : 散乱 X 線の振動数、

θ : 入射方向に対する X 線の散乱角度、 ϕ : 入射方向に対する反跳電子の反跳角度、

E : 反跳電子の運動エネルギー、 P : 反跳電子の運動量

である。

反跳電子について、その速さが c に比べて無視できない相対論的粒子であると仮定する。この場合、この反跳電子の運動エネルギー E 及び運動量 P は以下の式で表される。

$$E = (\gamma - 1)m_0c^2 \quad \cdots\cdots\text{①}$$

$$P = \gamma m_0 V \quad \cdots\cdots\text{②}$$

式①及び式②において、 m_0 と V はそれぞれ反跳電子の静止質量と速さであり、 γ は以下の式③を満たす。

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \quad \cdots\cdots\text{③}$$

- (a) 散乱後の光子のエネルギー $h\nu$ は、散乱角度 θ に依存する。このことを示すために、 $h\nu$ を、 h , ν_0 , m_0 , c , θ のみを用いて表せ。
- (b) 反跳電子の運動エネルギー E は、散乱角度 θ に依存する。このことを示すために、 E を、 h , ν_0 , m_0 , c , θ のみを用いて表せ。
- (c) 反跳電子の運動エネルギー E の最大値及びそのときの散乱角度 θ を求めよ。

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

【No. 25】 次の **A, B** いずれか一つのみ 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) 核分裂性核種
- (b) 増殖
- (c) 非均質炉
- (d) 魔法数
- (e) 制御棒

(2) 燃料と減速材との均質な混合媒質から成る無限に大きい熱中性子原子炉体系を考える。このとき、以下の問いに答えよ。

- (a) 燃料に吸収された熱中性子 1 個あたりに発生する中性子数を η_T とする。 η_T を燃料の巨視的熱中性子核分裂断面積 Σ_{fF} 、燃料の巨視的熱中性子吸収断面積 Σ_{aF} 、1 回の核分裂あたりに放出される平均中性子数 ν を用いて表せ。
- (b) この体系の熱中性子利用率を f とする。 f を Σ_{aF} と減速材の巨視的熱中性子吸収断面積 Σ_{aM} を用いて表せ。
- (c) 高速中性子が共鳴吸収を逃れて熱中性子になる確率を p とする。媒質の温度が上昇すると p はどのように変化するか、物理的な理由も含めて説明せよ。
- (d) 高速核分裂因子を ε としたとき、この体系の増倍率 k_∞ を η_T , f , p , ε を用いて表せ。
- (e) 時刻 $t = 0$ において、 1 cm^3 当たり毎秒 S 個の高速中性子を放出する中性子源が均一に導入されたとする。

このとき、熱中性子源密度 S_T は、燃料と減速材の混合媒質の巨視的熱中性子吸収断面積を Σ_a 、熱中性子束を $\phi_T(t)$ とすると、以下の式①のように表せることを説明せよ。

ただし、導入された中性子源からの高速中性子は高速核分裂を起こさないものとする。また、 $t = 0$ において $\phi_T(0) = 0$ とする。

$$S_T = pS + k_\infty \Sigma_a \phi_T(t) \quad \cdots \cdots \textcircled{1}$$

- (f) (e)において、 $k_{\infty} < 1$ のとき、 $\phi_T(t)$ は時間とともにある一定値に収束することを示せ。
ただし、 $\phi_T(t)$ の時間変化は以下の式②に従うものとする。

$$-\phi_T(t) + \frac{S_T}{\Sigma_a} = t_d \frac{d\phi_T(t)}{dt} \quad \dots\dots ②$$

ここで、 t_d は熱中性子拡散時間である。

- (g) (f)において、 $k_{\infty} = 0.90$ 、 $p = 0.80$ 、 $S = 1.0 \times 10^3 \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $\Sigma_a = 0.085 \text{ cm}^{-1}$ としたときに $\phi_T(t)$ の収束値を求めよ。
- (h) (e)の中性子源導入後、 $t = t_0$ において中性子源を取り去ったとする。このとき、時刻 t_0 以降の $\phi_T(t)$ を求めよ。ここで、時刻 t_0 での熱中性子束を ϕ_{T_0} としてよい。
- (i) (h)において、 $k_{\infty} < 1$ 、 $k_{\infty} = 1$ 、 $k_{\infty} > 1$ それぞれの場合について、 $\phi_T(t)$ の時間的な振る舞いを説明せよ。

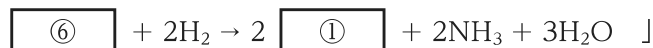
B 以下の設問に答えよ。

(1) ウランの転換・再転換工程に関する次の記述の①～⑥に当てはまる化合物をそれぞれ示せ。

「精製工程によって二酸化ウランを得た後のウラン転換工程は、以下の反応式で示すように、四フッ化ウランを経由して行われる。



ADU(重ウラン酸アンモン)法による再転換では、フッ素との結合がより強いフッ化水素を生成する反応を用いる。



(2) 地層処分安全評価では、廃棄体から環境への放射性物質の移行の過程で起こる現象を、十分な裕度をもってモデル化している。評価モデルの一つである地下水シナリオに関する次の記述の①～⑪に当てはまる最も妥当なものを、それぞれ以下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。

「ガラス固化体定置後、地下水が $\boxed{\text{①}}$ への浸透を開始し、 $\boxed{\text{②}}$ を腐食させ、 $\boxed{\text{③}}$ 年後にガラス固化体に到達する。この時点で $\boxed{\text{②}}$ は放射性物質の閉じ込め性能を失う。

ガラス固化体は、地下水によって一定速度で $\boxed{\text{④}}$ 年をかけて溶解する。 $\boxed{\text{⑤}}$ 等の水溶性の元素は地下水に溶存するが、 $\boxed{\text{⑥}}$ 等の溶けにくい元素はその場で大部分が沈殿する。一般に、深部地下は酸素が少ない $\boxed{\text{⑦}}$ 環境であるため、多くの金属元素は地下水に非常に $\boxed{\text{⑧}}$ 。

溶出した放射性元素は $\boxed{\text{①}}$ に収着されながら、拡散によって移動する。外側まで到達した元素は $\boxed{\text{⑨}}$ である $\boxed{\text{⑩}}$ の亀裂部を移動するが、その距離は高々 100 m と仮定される。その後、放射性元素は断層破碎帯に遭遇し、最終的に $\boxed{\text{⑪}}$ まで輸送される。」

[語句：モルタル、ベントナイト緩衝材、オーバーパック、母岩、10、1000、7万、100万、リチウム、ジルコニウム、セシウム、タングステン、還元性、酸化性、溶けやすい、溶けにくい、人工バリア、天然バリア、生物圏、深地層]

- (3) 日本人一人が 80 年間に消費する電気を全て原子力で賄ったとしたときに発生する高レベル放射性廃棄物ガラス固化体の体積を求めよ。

ただし、日本の消費電力を 1 兆 kWh/年、人口を 1 億人、原子炉の発電効率を $\frac{1}{3}$ 、核燃料の燃焼度を 50 GWd/tHM、核燃料 1 tHM 当たりのガラス固化体発生本数を 1.2 本/tHM、ガラス固化体の体積を 150 L/本とする。

なお、GW(= 10^9 W) は原子炉の発熱量、d は日、tHM は核燃料のアクチノイド重量(単位：トン)を意味する。

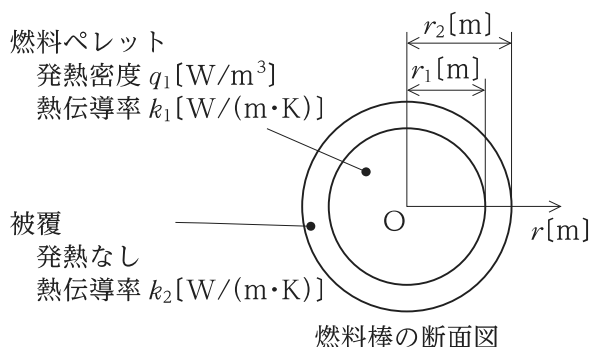
- (4) 下図の円柱形状の燃料棒に関する以下の問いに答えよ。

ただし、燃料ペレットは一様に発熱しており、燃料ペレットと被覆の間に熱抵抗はない。また、軸方向は十分に長いため、熱の移動を考慮しない。さらに、温度分布は定常に達しているため、時間変化も考慮しない。

なお、円柱・円筒形状の物体の中心軸からの距離 r [m] における温度 $T(r)$ [K] は、熱伝導率 k [W/(m・K)] と発熱密度 q [W/m³] を用いて、式①の熱伝導方程式で表される。

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{q}{k} = 0 \quad \cdots \cdots \text{①}$$

ここで、温度 $T(r)$ 及び熱流束 $-k \frac{dT}{dr}$ は空間的に連続であり、被覆外側温度は T_2 [K] である。



- (a) 式①の熱伝導方程式を解いて、 $T(r)$ の一般解を求めよ。
- (b) 燃料ペレットと被覆の境界における、温度と熱流束の連続の式を示せ。また、被覆外側境界における境界条件を示せ。
- (c) 燃料ペレットと被覆に対して、それぞれ、 $T(r)$ を求めよ。
- (d) 下表の条件における燃料ペレット表面温度と中心温度を求めよ。

ただし、 $\ln(1.25) = 0.22$ とする。

燃料ペレット半径 r_1	4 mm
被覆外半径 r_2	5 mm
燃料ペレット熱伝導率 k_1	4 W/(m・K)
被覆熱伝導率 k_2	16 W/(m・K)
発熱密度 q_1	8×10^8 W/m ³
被覆外側温度 T_2	600 K

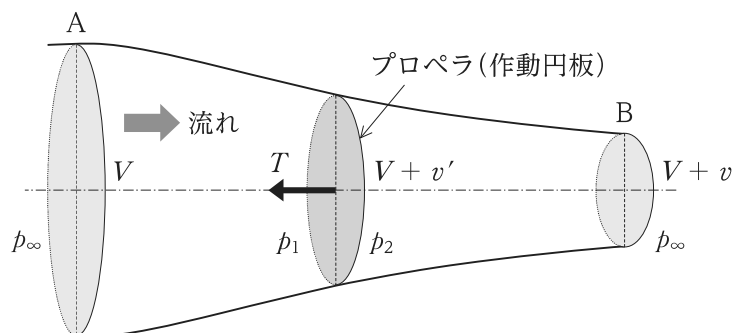
科目 26. 船舶海洋工学(流体) [No. 26A, 26B]

【No. 26】 次のA, Bいずれか一つのみに答えよ。

A 船舶の推進及び抵抗に関する以下の設問に答えよ。

- (1) 図のように、プロペラ(作動円板)を通過する流管において、流体の増速とプロペラの理想効率について考える。プロペラは推力 T を発生する面積 S の作動円板であり、作動円板の影響を受けない十分上流(無限前方)の A 面における流速及び圧力をそれぞれ V と p_∞ 、作動円板を通過する流体の速度を $V + v'$ 、作動円板の直前の圧力を p_1 、作動円板の直後の圧力を p_2 、作動円板の影響を受けない十分下流(無限後方)の B 面における流速及び圧力をそれぞれ $V + v$ と p_∞ とする。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、A 面、作動円板面、B 面において、圧力及び流速は一様に分布するものとする。プロペラの推力も作動円板面において一様に分布し、プロペラによって流れは回転運動をしないと仮定する。また、流体の密度 ρ は流場全体において一定とし、粘性及び重力の影響は無視するものとする。



- (a) 作動円板の前方領域と後方領域のそれぞれについて、ベルヌーイの定理を用いて圧力と流速の関係式を求めよ。また、この両式から導かれる作動円板面前後の圧力差 $p_2 - p_1$ を ρ 、 V 、 v を用いて表せ。
- (b) 作動円板面においてプロペラが流体に与える力 T を、作動円板面前後の圧力差 $p_2 - p_1$ を用いて表せ。
- (c) 作動円板面を単位時間当たりを通過する流体の質量を求めよ。
- (d) 作動円板面においてプロペラが流体に与える力 T を、作動円板面を通過する流体の運動量の変化、すなわち A 面と B 面の運動量の変化から、 ρ 、 S 、 V 、 v 、 v' を用いて表せ。
- (e) 作動円板面における流速の増加分 v' と無限後方における流速の増加分 v の関係を、 v 、 v' を用いて表せ。

- (f) 無限前方の速度 V に対する作動円板面における流速の増加分 v' の関係を、軸流干渉係数 $a = \frac{v'}{V}$ と定義する。このとき、プロペラ推力係数 $C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho S V^2}$ を、軸流干渉係数 a を用いて表せ。
- (g) プロペラの理想効率 η は、単位時間あたりにプロペラが流体になす仕事に対するプロペラが行う仕事の比として $\frac{TV}{T(V+v')}$ と表される。このとき、 η を a を用いて表せ。
- (h) T 及び V を一定としたとき、作動円板の面積 S と軸流干渉係数 a の関係、軸流干渉係数 a とプロペラの理想効率 η の関係について、3 行以内で簡潔に説明せよ。
- (i) プロペラの理想効率 η を、 C_T を用いて表せ。

(2) 実船の馬力推定に関する以下の問いに答えよ。

- (a) ある実船に対して幾何学的相似な模型船を用いて抵抗試験を実施し、3次元外挿法で解析を行い、実船の有効馬力を推定する。このとき、表 I の㉠～㉤に当てはまる数値をそれぞれ求めよ。

ただし、表 I の模型船と実船のフルード数は同一とする。ここで、実船の船速は $V_S = 8.00 \text{ m/s}$ 、抵抗係数は浸水表面積を用いて無次元化されているとし、実船の浸水表面積 $S_S = 1.50 \times 10^4 \text{ m}^2$ 、実船が航行する水の密度は $\rho = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とする。また、有効数字 3 桁で答えること。

表 I

	模型船	実船
相当平板の摩擦抵抗係数 C_f	3.30×10^{-3}	1.40×10^{-3}
形状影響係数 K	0.300	
造波抵抗係数 C_w	㉠ $\times 10^{-3}$	
粗度修正係数 ΔC_f		0.300×10^{-3}
全抵抗係数 C_t	4.50×10^{-3}	㉡ $\times 10^{-3}$
全抵抗 R		㉢ [kN]
有効馬力 EHP		㉣ [kW]

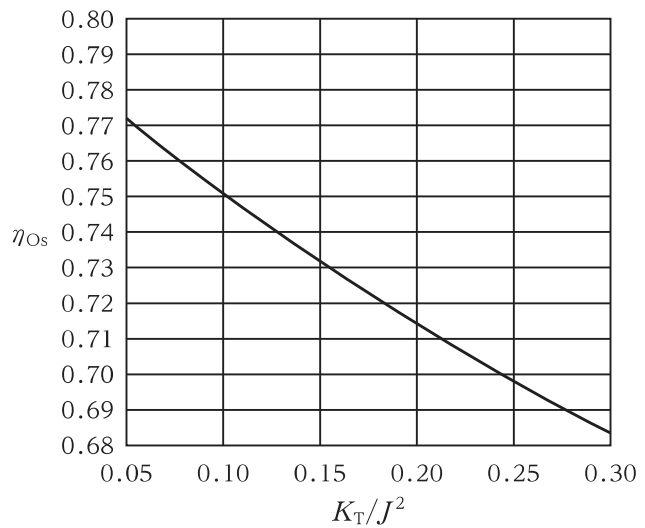
(b) 表Ⅱに示す自航試験結果及び図から実船の伝達馬力について考える。

ただし、実船が航行する水の密度は $\rho = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、推進効率 $\eta = \eta_H \eta_{Os} \eta_R$ とする。また、プロペラ前進係数及び推力係数は、プロペラ回転数 n を用いてそれぞれ $J = \frac{V_a}{nD_p}$ 及び $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D_p^4}$ と表されるものとする。このとき、以下の問いに答えよ。

- (i) 表Ⅱの㉗～㉚に当てはまる数値をそれぞれ求めよ。なお、㉘、㉚は有効数字2桁で、それ以外は有効数字3桁で答えること。
- (ii) 仮想的にプロペラと船体の干渉がない場合と比較して、プロペラが船尾に設置されていることによる推力減少係数、有効伴流係数への影響について考察し、4行程度で説明せよ。

表Ⅱ

速力 V_s	8.00 m/s
プロペラ直径 D_p	9.00 m
全抵抗 R_s	㉗ [kN]
有効馬力 EHP	4000 kW
推力減少係数 $1 - t$	0.800
有効伴流係数 $1 - w_s$	0.700
船殻効率 η_H	㉙
船後プロペラ効率比 η_R	1.05
プロペラスラスト T	㉘ [kN]
プロペラ前進速度 V_a	㉚ [m/s]
プロペラ荷重度 K_T/J^2	㉜
プロペラ効率 η_{Os}	㉞
推進効率 η	㉟
伝達馬力 DHP	㉡ [kW]



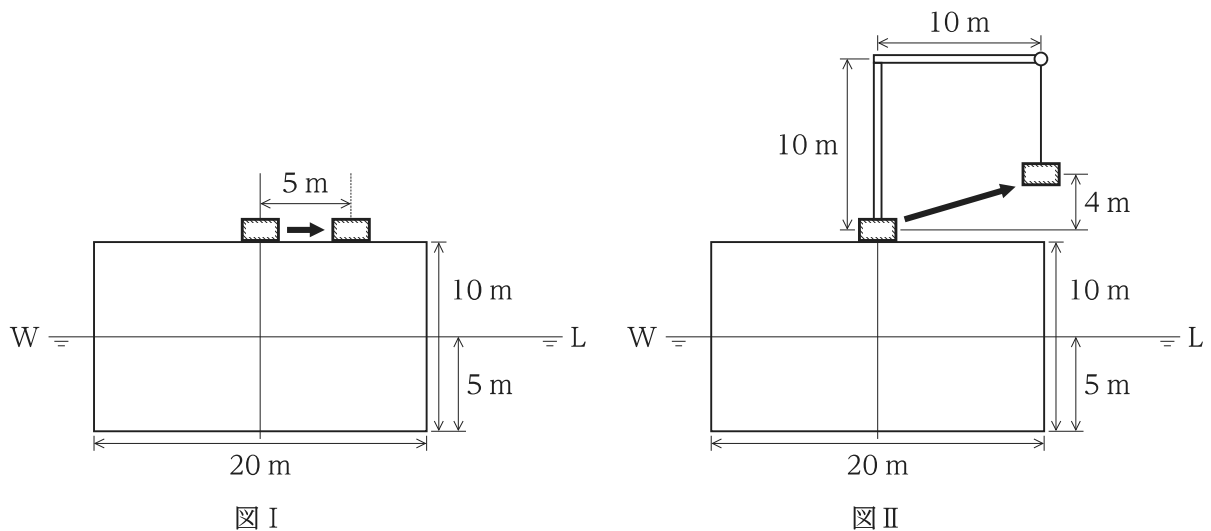
B 船の復原性に関する以下の設問に答えよ。

(1) 長さ 120 m、幅 20 m、深さ 10 m の箱船が、清水中において一様喫水 5 m で浮かんでいる。このとき、以下の問いに答えよ。なお、生じる傾斜角は微小であるものとし、風や波等による外乱は全て無視できるものとする。また、設問中の荷物の重量は船の重量に含まれているものとする。

- (a) この船の排水量及び浮心の上下位置を求めよ。
- (b) 横傾斜に関する、浮心からのメタセンタ高さを求めよ。
- (c) この船が横傾斜について安定であるために必要な船体の重心位置に関する条件を求めよ。

以下では、船体の重心が喫水面と船体中心線との交点に存在するものとする。

(d) このとき図 I のように、デッキ上の船体中心に置かれていた、大きさが無視できる重量 100 t の荷物を、右側に 5 m 移動させた。このときの船の横傾斜角を θ_1 としたとき、 $\tan \theta_1$ を求めよ。



(e) 次に、図 II のようなデリックを用いてこの荷物を吊り上げ、デッキから上方 4 m かつ船体中心から右舷側に 10 m の位置に吊り下ろした。このときの船の横傾斜角を θ_2 としたとき、 $\tan \theta_2$ を求めよ。なお、デリックの重量は無視できるものとする。

- (2) 次の規則波中の横揺れ運動を表す 2 階微分方程式について、以下の問いに答えよ。なお、式中の t は時間、 ϕ は横揺れ角である。また、 α 、 c 、 $f(t)$ は線形横揺れダンピング係数、線形復原力係数、外力モーメントをそれぞれ慣性モーメントと付加慣性モーメントの和で除したもののとする。

なお、 $\frac{\alpha^2}{2} < c$ であるものとする。

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + \alpha\frac{d\phi}{dt} + c\phi = f(t)$$

まず、以下の(a)及び(b)では $f(t) = A\sin\omega t$ とし、 ω は波による横揺れ方向の外力モーメントの角周波数であるものとする。また、 A 及び ω は正の定数とする。

- (a) 十分に時間が経過したとき、船は定常な運動状態となった。このときの横揺れ角の振幅を求めよ。
- (b) 定常時の横揺れ角の振幅が最大となる波による外力モーメントの角周波数を求めよ。
- (c) 次に、船が不規則波で動揺している場合を考える。このとき、 $f(t)$ は不規則な時系列となり、そのパワースペクトルを $S(\omega)$ とする。このとき、不規則波中の船の横揺れ運動応答のパワースペクトルを計算する方法を説明せよ。

- (3) 次の記述の㉞、㉟、㊱に当てはまる最も妥当なもの(語句、数値)をそれぞれ示せ。

「1998 年 10 月に、北太平洋上において、ポストパナマックスコンテナ船の荷崩れ事故が生じた。これは、㉞ と呼ばれている現象に起因した事故であったことが、後の調査で明らかになった。㉞ は、船の復原力が波の中で変動することによって引き起こされる横揺れの現象である。一般的に、この現象が特に顕著となるのは、横揺れの固有周期が波と出会う周期(波浪による横復原力が変化する周期)の約 ㉟ 倍の時であるとされている。波浪中での復原力の変動の生じやすさを考えると、一般的な形状を有する自動車運搬船とタンカーを比べた場合、㊱ の方が ㉞ が生じやすいものと考えられる。」

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 に答えよ。

A 構造設計に関する以下の設問に答えよ。

一様な材料によって構成された十分に長い箱船があり、この箱船の断面は、図 I のように、上部が開いた形状である。この箱船の船首尾が波によって持ち上がる時、図 II のように、両端で単純支持され、積荷の自重などによって単位長さ当たりの大きさ w の等分布荷重が発生する状況を想定する。この構造設計に関する以下の問いに答えよ。

ただし、箱船の板厚は t とし、 b や箱船の長さ L と比較して十分小さいものとする。また、箱船の自重によって生じる力は無視できるものとし、箱船に生じる変形は微小とする。

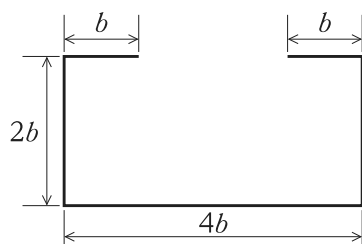


図 I

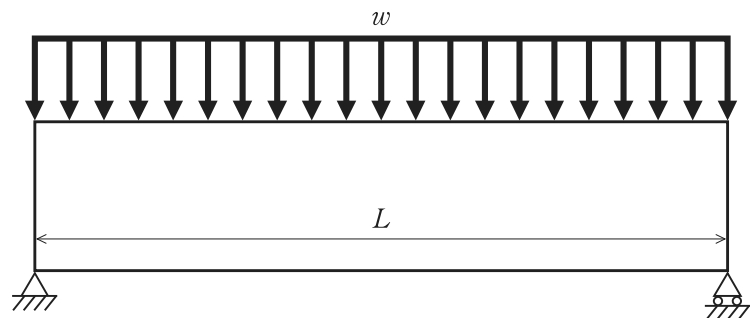


図 II

- (1) 縦曲げに対する中立軸と箱船の底面までの距離 y を求めよ。
- (2) 縦曲げに対する箱船の断面二次モーメント I を求めよ。
- (3) 箱船に生じる最大曲げモーメントの大きさ M を求めよ。
- (4) 箱船の材料の降伏応力を σ_Y とする。このとき、箱船に生じる最大曲げ応力の大きさが降伏応力以下となるために必要な板厚の最小値を求めよ。

箱船の総重量及び材料費を選定基準として、箱船の材料を表に示す三つの材料 A、B 及び C から決定する。このとき、以下の問いに答えよ。

ただし、以下の問いからは $b = 5 \text{ m}$ 、 $L = 100 \text{ m}$ 、 $w = 1.3 \text{ MN/m}$ とする。

材料	密度[ton/m ³]	降伏応力[MPa]	材料単価[万円/ton]
A	8	300	10
B	3	100	40
C	5	300	80

(5) 船体の総重量が軽くなることによって得られる利点を、材料費の低下を除き二つ述べよ。

(6) 横軸を箱船の総重量、縦軸を箱船の材料費としたとき、材料に A、B 及び C を用いた場合の点をそれぞれ図示せよ。

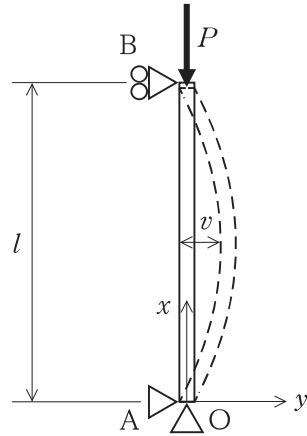
ただし、板厚 t は(4)にて導出した値を用いること。また、箱船の材料費は箱船の総重量に表の材料単価を乗じた値とし、箱船の両端部は図 I のまま閉じられていないものとして、重量の計算には算入しないものとする。

(7) (6)の図に基づき、材料を選定する。このとき、材料の候補として不適当なものを一つ選び、その理由を 2 行程度で説明せよ。

ただし、総重量はより軽く、材料費はより安い箱船がより良いものとする。

B 船体構造に関する以下の設問に答えよ。

図のように、船首部暴露甲板下に鉛直に設置された、上下端が単純支持されている柱 AB の弾性座屈計算式を求める。柱の下端(A 点)に座標原点 O を置き、柱の高さ方向に x 座標、右向きに y 座標をとる。ここでは、初期たわみのないまっすぐな一様断面の柱を考える。



- (1) 柱端面の図心に作用する鉛直下向きの軸圧縮荷重を P 、柱の高さを l 、柱のたわみを v とするとき、柱に発生する曲げモーメント $M(x)$ を求めよ。
ただし、軸圧縮荷重 P は圧縮方向を正、曲げモーメント $M(x)$ は時計回りを正とする。
- (2) 柱の曲げ剛性を EI として、梁理論における梁のたわみの基礎微分方程式に(1)で求めた $M(x)$ を代入し、 $\frac{P}{EI} = \beta^2$ として 2 階の微分方程式の形に式を変形せよ。
ただし、 E は柱の縦弾性係数、 I は柱の断面二次モーメントである。
- (3) (2)の 2 階微分方程式を解き、一般解を求めよ。
- (4) 柱の下端(A 点)と上端(B 点)の境界条件について示せ。
- (5) (3)で求めた一般解に(4)の境界条件を代入し、弾性座屈応力 σ_{cr} を求める式を導け。なお、柱の断面積は S としてよい。

以降、柱の高さ l が 6.00 m、外直径 d が 200 mm、板厚 t が 10.0 mm の中空円断面の柱を考える。この柱には、縦弾性係数 E が $2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、降伏応力 σ_Y が 315 N/mm^2 の構造用鋼管を使用する。以下の計算では、有効数字を 3 桁として計算すること。また、円周率は 3 とし、安全率を 1 とする。

- (6) この柱が 7.50 m^2 の甲板面積に相当する甲板荷重 P を支えているとする。船首部暴露甲板に作用する圧力 p が 200 kN/m^2 としたとき、柱に作用する圧縮応力 σ_a を求めよ。また、座屈を伴わない柱の圧縮に対してこの柱が降伏するか否かを示せ。

ただし、甲板荷重 P は柱端面の図心に鉛直下向きに作用するものとする。

- (7) この柱の弾性座屈応力 σ_{cr} を(5)で導いた弾性座屈応力の式を用いて求めよ。

- (8) 一般に、柱の細長比が小さくなるにつれて、(5)で求めた弾性座屈応力 σ_{cr} は柱の降伏応力を超え大きくなるが、実際には降伏域が広がり、弾性座屈応力より小さな値で座屈する。ここでは、この問題に対応するために、ジョンソンの式を適用し、必要に応じて(5)で得られた弾性座屈応力を修正する。

(7)の計算結果より、ジョンソンの式による弾性座屈応力の修正が必要かどうか検討し、修正の必要があれば修正後の座屈応力 $\bar{\sigma}_{cr}$ を求めよ。また、(6)のときと等しい甲板圧力 p に対して、この柱が座屈するか否かを示せ。

- (9) (8)の解答で座屈するか否かにかかわらず、(8)で検討した柱の具体的な補強法を三つ挙げ、その中から一つ選び、その補強後の座屈応力を求めよ。

科目別構成の詳細

科 目	出 題 数	問 題 番 号	ペ ー ジ
科目 1. 建築設計	1 題	No. 1	1～8
科目 2. 都市設計	1 題	No. 2	9～14
科目 3. 計測工学	1 題	No. 3	15～18
科目 4. 制御工学	2 題	No. 4 A, B	19～24
科目 5. 電磁気学・電気回路	1 題	No. 5	25～27
科目 6. 電気機器	1 題	No. 6	28, 29
科目 7. 電力工学	1 題	No. 7	30～32
科目 8. 電子工学	1 題	No. 8	33, 34
科目 9. 通信工学	1 題	No. 9	35, 36
科目10. 信頼性工学	1 題	No. 10	37～40
科目11. 材料力学[機械系]	1 題	No. 11	41, 42
科目12. 機械力学	1 題	No. 12	43, 44
科目13. 流体力学[機械系]	1 題	No. 13	45～47
科目14. 熱力学・熱機関[機械系]	1 題	No. 14	48～51
科目15. 航空工学	1 題	No. 15	52, 53
科目16. 構造力学(土木)	1 題	No. 16	54～56
科目17. 土質力学	1 題	No. 17	57～59
科目18. 水理学	1 題	No. 18	60～62
科目19. 土木計画	3 題	No. 19 A, B, C	63～68
科目20. 環境工学(土木)・衛生工学	2 題	No. 20 A, B	69～73
科目21. 材料工学(材料科学)	2 題	No. 21 A, B	74～79
科目22. 材料工学(金属材料)	1 題	No. 22	80～82
科目23. 材料工学(無機材料)	1 題	No. 23	83, 84
科目24. 原子力工学(原子核・放射線)	1 題	No. 24	85, 86
科目25. 原子力工学(原子炉・核燃料サイクル)	2 題	No. 25 A, B	87～90
科目26. 船舶海洋工学(流体)	2 題	No. 26 A, B	91～95
科目27. 船舶海洋工学(構造)	2 題	No. 27 A, B	96～99

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

I. 科目 3 以降を選択する場合

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

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

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

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

- ② 答案用紙の記入について

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

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

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

II. 科目 1 又は 2 を選択する場合

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

- ② 答案用紙の記入について

(ア) 答案用紙は 1 枚です。

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

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

直定規 1 本、直角三角定規(45°－45°－90°) 1 枚

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