

工業数理基礎

第1 高等学校教科担当教員の意見・評価

1 前 文

大学入試センター試験（以下「センター試験」という。）は、大学入学志願者の高等学校段階における学習の達成度を判定することを主目的としているので、その試験問題は受験者の学習到達度を正しく判定するものでなくてはならない。

「工業数理基礎」は、従前の「工業数理」の内容を基礎的・基本的な内容に厳選したものであり、工業の各分野における事象の数理処理に関する知識と技術を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てることを目標としている。この目標を達成するために、次の二つの狙いが示されている。

- ・工業の各分野における具体的な事象を題材として、数学を「道具」として活用し、実際的な数理処理能力を身に付ける。
- ・各事象を見つめる直感力、課題を解決しようとする意志力、求めた結果に責任を持つなどの態度の育成を図る。

この狙いに立ち、工業の各分野における問題解決のための数理的手法を学習させ、その基本的技法を習熟させるとともに、事象に応じた工学的な問題把握の仕方やその解決方法の要領を理解し実践できるようにすることが大切である。

センター試験における「工業数理基礎」の問題は、工業の各分野における具体的な事象を数理的に処理するという科目の目標に合致した良質の問題が出題されてきた。さらに、各問題に提示された模範的な展開例は、受験者が日常の授業の中で体験し習熟した問題把握の仕方や問題解決の手法を、実際に活用する能力を試すものと言える。その意味でセンター試験は、高等学校の教育現場における「工業数理基礎」の指導方法にも大きな影響を与えていることはもとより、工業科出身の受験者にとってかけがえのない試験科目となっている。

そこで、今年度の試験問題については、次のような観点から考察を行った。

- (1) 「工業数理基礎」本来の趣旨に沿った適切な問題であるか。
- (2) 高等学校学習指導要領に準拠した「工業数理基礎」の内容と範囲から幅広く、しかもバランス良く出題されているか。
- (3) 特定の教科書に偏らない出題内容であるか。
- (4) 問題の難易度、設問の方法・形式・設問数・配点等が適切であるか。
- (5) 専門学科による有利、不利がないか。
- (6) 日常の授業を通して培われた数理処理能力で解ける出題内容であるか。
- (7) 昨年度までの意見や要望が取り入れられ、改善されているか。
- (8) 今後の課題・要望等

以上の視点に立ち、「試験問題の内容・範囲」「試験問題の分量・程度」「試験問題の表現・形式」の面から、第1問から第3問までそれぞれに検討する。なお、今年度は追・再試験が実施されなかったので本試験のみ評価を行う。

2 試験問題の内容・範囲

問題の内容・範囲、出題形式について（表1）にまとめた。

（表1）各問における主な出題範囲と出題形式

問題 番号	設 問	出題内容	学習指導要領の内容・範囲				出題形式				配 点
			工業 の事象 と数式	基礎 的な数 理処理	応用 的な数 理処理	数 理 処 理 による コン ピ ユ ー タ による	正 誤 選 択	正 式 選 択	正 語 選 択	数 値 計 算	
第1問	1	回転円盤の運動エネルギー		○	○			○			16
	2	異なる物体間の熱移動			○			○		○	16
第2問	1	サーミスタの特性		○			○			○	11
	2	抵抗の直列回路	○					○	○		10
	3	温度センサ回路	○				○			○	17
第3問	1	運送費と保管費	○					○			4
	2	部品の補充間隔			○			○			14
	3	補充間隔と総費用		○						○	12
合 計			3	3	3	0	2	5	1	4	100

第1問 無停電電源装置に応用されている回転円盤によるエネルギー貯蔵装置の運動エネルギーを求める問題と、温度の異なる物体が接触した時に移動する熱について考える問題である。

問1 回転円盤をN個のリングに分割し、その質量と周速度から運動エネルギーを求め、N個のリングの総和として積分を用いて円盤全体の運動エネルギーを求める問題である。

問2 壁を手で触ったときに移動する熱を熱流束として捉え、手から接触面へ流入する熱流束と接触面から壁に流入する熱流束が等しい仮定の下に、接触面の温度などを求める問題である。

第2問 温度センサとしてよく用いられるサーミスタという半導体部品を応用した温度センサ回路について考える問題である。

問1 水温が42℃と99℃でのサーミスタの抵抗値をそれぞれ計算する問題である。またサーミスタの温度特性のグラフを選択させる問題も出題されている。

問2 サーミスタと抵抗を直列に接続し、サーミスタの抵抗値が変化したときに抵抗に掛かる電圧を求める問題である。

問3 問2の回路にブザーを取り付け、水温が 42°C と 99°C になったらブザーが鳴るように抵抗をそれぞれの場合について計算する問題である。

第3問 工場で使用する部品に関して保管費用と補充に必要な運送費用の和を最小にするための補充間隔(日数)について関数を使って求める在庫問題である。

問1 1日当たりの総費用は、運送費と保管費の和となることから、 x 日間での総費用について式を求める問題である。

問2 問1で求めた式について導関数を求め、増減表を作り総費用が最小となる補充間隔を求める問題である。

問3 問2で求めた総費用を最小にする補充間隔を具体的な数値を使って計算し、検証する問題である。

3 試験問題の分量・程度

分量としては、全ての問題が文章題で、式変形が多く取り入れられ、工業分野の様々な事象について各分野から出題されている。読解力と数理処理に関する知識が必要とされ、熟考を要する問題が多かった。

程度については、各問題とも基本的な内容から応用的な数理処理まで幅広く出題されており、正答率に差が生じたものと推察される。

第1問 無停電電源装置における円運動や運動エネルギーなどを求める問題と、温度差のある物体間の熱流束に関する問題である。問1、問2とも分量・程度とも適した問題である。

問1 円盤を複数のリングに分割し、その質量と周速度から無停電電源装置の運動エネルギーを導く問題である。**ア**は角速度を用いて周速度を表す。**イ**は密度 ρ と式(1)で与えられた体積 V_i を整理したもから質量 m_i を導くことができる。**ウ**・**エ**は運動エネルギーの式に**ア**・**イ**を代入することで求めることができる。**オ**は運動エネルギーの式を区分求積法を用いて求める。設問数5は妥当である。

問2 手で壁を触った際の熱流束や接触面の温度を求める問題である。**カ**は熱流束の式(3)において、接触時間 t の変化で熱流束の値がどう変わるかを問う問題である。平方根の分数を含む式変形であるため得点率が低くなったと推察される。**キ**は接触面から物体A(壁)への熱流束の式を求める問題である。**ク**は流出した熱量 Q_b と流入する熱量 Q_a は等しいという関係から式(3)(4)を使い T_i を式の変形で導き出す。**ケコ**は式(5)と問題中の表1を使い、実際に接触面の温度を導き出す問題で、物体A・Bを木製の壁と手として具体的な数値を代入して求める。**サシスセ**は式(5)を変形し、値を代入して導き出した金属製の壁の H_a を有効数字2桁で答える。簡単な代入と式変形で解ける設問だが、有効数字2桁で求めるという点の理解が足りなかったのか、得点率が非常に低かった。設問数5は妥当である。

第2問 半導体部品のサーミスタと電子ブザーの組合せで作られる温度センサの回路を、オームの法則やサーミスタの特性を用いて考える問題となっている。

問1 負の温度特性を持つサーミスタに関する問題である。**ア**は、サーミスタの抵抗値を縦軸、絶対温度の逆数を横軸にとった片対数グラフを選択する。横軸が絶対温度の逆数ということと負の温度特性ということでイメージしにくかったのか、得点率が低かった。**イ**は

サーミスタの抵抗値の測定結果を用いて、対数の計算をする問題である。[ウ]及び[エオ]は式(2)を使って、与えられた値における対数の式を解いていく問題である。設問数4は妥当である。

問2 二つの抵抗の直列接続に関する問題である。[カ]はオームの法則を用いて電圧値の比と抵抗値の比の関係を問う問題である。[キ]、[ク]は合成抵抗の値とオームの法則から二つの抵抗に掛かる電圧の一般式を導く問題である。[ケ]は一方をサーミスタに置き換えた場合、他方の抵抗値の変化を問う問題である。設問数4は妥当である。

問3 電子ブザーを組み込んだ温度センサ回路の設計に関する問題である。[コサ]はサーミスタと直列につなぐ抵抗の値を、それぞれに掛かる電圧の比から求めるものである。[シ]、[ス]は設定温度42℃より低いときと高いとき、それぞれの場合、抵抗にかかる電圧値の大小を考えさせる問題である。[セ]は以上のことを踏まえて、作成される回路図を選択する問題である。[ソ]は[コサ]と同様の考え方で設定温度99℃における抵抗値を導けばよい。[タ]は高温で作動する回路を作成するために抵抗値をどのようにすればよいかを考えさせる問題である。設問数6は妥当である。

第3問 工場における部品の補充にかかる運送費用とその保管費用の合計を最小にする在庫管理に関する問題である。最後の問題で説明文も長かったため、時間の不足した受験生が多かったものと推測される。

問1 [ア]は、1日当たりの保管費用の式を導く問題である。x日間の保管費用を数列の総和 Σ の公式を使って求めればよい。設問数1は妥当であるが、文章量が多く内容の把握に時間を費やしたものと推察される。

問2 [イ]は導関数の公式を選ぶ問題である。[ウ]は、増減表のxの値を求めるのだが、式(3)として導関数の式が既に提示されているので、 $f'(x) = 0$ となるxの値を求めればよい。[エ]は極小値を求める問題で式(2)に[ウ]で求めたxの式を代入し導き出せばよいのだが、式変形に時間を要する問題である。設問数3は妥当である。

問3 [オ]、[カ]は、式(2)に補充間隔3日と4日を代入することにより、それぞれの総費用を求める問題である。総費用を最小にする補充間隔[キ]は、[カ]の総費用が最小になるということから判断できる。設問数3は妥当である。

4 試験問題の表現・形式

問題は、的確な説明文とそれを補う図表が適宜配置されており、工業系学科の生徒にとっては取り組みやすい問題となっている。各事象についての専門的な予備知識がなくとも解答できるよう表現が工夫されている。数値計算においては、単なる数式の数理的処理だけでなく、数式を合理的に処理する能力、数値計算における有効桁数の扱いなどが問われている。解答に際しては、電卓等の計算機への依存が強いほど多くの時間が掛かったものとする。また、全ての問いが見開きページで解答できるようになっており、その点も見やすい問題となっている。

第1問 円運動やそれに伴う運動エネルギーなどを求める問題と、温度差のある異なる物体間の熱流束に関する問題である。

問1 回転円盤を図1として提示し、その円盤をN個のリングの集まりと仮定して計算を進め

るなど、イメージしやすい問題となっている。解答群の候補数も適当で、配点16点は妥当である。

問2 壁の温度を T_a 、手の温度を T_b 、そして接触面の温度を T_i と置き、熱流束についての説明文が提示されている。説明文と計算の流れは分かりやすく、簡単な式変形で解くことができる。最後は、木製の壁に触れた際の接触面温度 T_i や、金属製の壁の H_a の値を計算するのだが、この問の有効数字2桁で答えさせるところをもう少し強調するか、表1に付随して表示した方が分かりやすかったのではないか。配点16点は妥当である。

第2問 サーミスタを用いた電子回路を作成するための、問題文と回路図が提示されており、基本的な内容となっている。42℃と99℃という二つの温度を設定することにより、現実的な回路作成に生かせる問題となっている。

問1 はじめに、解答群から片対数グラフを選び出すのだが、横軸に絶対温度の逆数が指定され、かつ、負の温度特性を持つサーミスタということで、解答に迷った受験者が多かったようである。[イ]以降は対数計算の基礎が身に付いていれば十分に解答できる問題かと思われる。解答群の候補数も適当で、配点11点は妥当である。

問2 オームの法則を使って、電圧と抵抗の関係を考えやすいよう、二つの抵抗の直列接続の図が提示してある。解答群の候補数も適当で、配点10点は妥当である。

問3 電圧値と抵抗値の関係、更にサーミスタの電気抵抗が負の温度特性であることなどから各設問を考え、実際の温度センサの回路図を解答群から選ばせる。解答群の候補数も適当で、配点17点は妥当である。

第3問 在庫管理に関する問題であるが、丁寧な説明文があるので授業で履修していない生徒でも理解できる内容である。導関数や増減表などに関する設問も出題されているが基本式が提示されており、単純な代入や式変形で導ける形式の問題である。

問1 工場などの製造現場における在庫管理の説明から入り、文章と数式、そして図を使ってイメージしやすい内容である。配点4点は妥当である。

問2 導関数の基本式や増減表・グラフが提示され、解答群から選択する形式となっている。配点14点は妥当である。

問3 問1で求めた式(2)に具体的数値を代入させる形式である。文章及び表を見れば、3と4を代入すればよいことは分かるのだが、[ア]が求められなかった生徒は[オ]、[カ]を解くことができない。配点12点は妥当である。

5 要 約

前文に示した八つの観点から要約する。

(1) 「工業数理基礎」本来の趣旨に沿った適切な問題であるか。

各問題とも「工業数理基礎」の範囲内にあり、工業分野の具体的な事象の数理処理や分析について考えさせる問題となっている。

(2) 高等学校学習指導要領に準拠した「工業数理基礎」の内容と範囲から幅広く、しかもバランス良く出題されているか。

高等学校学習指導要領に示されている「(1) 工業の事象と数式」「(2) 基礎的な数理処理」「(3)

応用的な数理処理」のうち各問について分類すると「2 試験問題の内容・範囲」(表1)のようになる。全体的にはバランスよく出題されていたものの、第1問に応用的な数理処理があり、ここで時間を費やした受験者も多かったのではないか。

(3) 特定の教科書に偏らない出題内容であるか。

出題内容については特定の教科書に偏らない内容であった。今後も双方の教科書に共通する内容について基本問題や応用問題の出題をお願いしたい。

(4) 問題の難易度、設問の方法・形式・設問数・配点等が適切であるか。

問題の難易度、設問の方法・形式・設問数・配点等についての要約は次のとおりである。

① 難易度

第1問から区分求積法による定積分が入ったり、熱流束が入ったりと応用的な数理処理に関する内容だったため得点率が三割程度と低迷した。第1問の問1には難易度が高かったのではないか。問2では、**サシスセ**で「有効数字2桁で求めること」と指定があるが、表中の他の数値が240と960で示されているのに対し、8160と計算された値を8200へ2桁表示にすることは他の二つの数値が四捨五入されていない桁を四捨五入することになり、戸惑う受験者がいたのではないか。また「有効数字2桁で求めること」に気付かずにそのまま計算結果を答えたケースもあったものと考えられる。得点率が数%という結果は受験者数の中で数名しか正解者がいなかったことになり、問題の難易度と比較して極端に低い結果となった。表中にも「有効数字2桁」の表記を加えるなどの配慮が必要と考える。

第2問は、負の温度係数を持つサーミスタを取り入れたセンサ回路の問題である。問1 **ア**でサーミスタの抵抗温度特性のグラフを選択する問題が出題されたが、抵抗値が片対数であったことや、横軸が温度の逆数であったことで受験者にとっては予想しにくい問題となった。得点率もほぼ1割と低迷している。またグラフを使った発展的な問題も出題されておらず、単発な問題となっている。問2、問3は回路が図示され、計算値も計算しやすいように配慮されていたため、適切な難易度だったと判断する。第2問の得点率は4割を超え最も高かった。

第3問は、導関数を求めるなど応用的な数理処理が盛り込まれているものの、難易度の高い関数ではないし、導関数の結果も式(3)で示されているなど受験者に過度の負担となる問題ではない。しかし、得点率をみると第3問全体では2割半ばで第1問～第3問の中では最低の得点率となった。原因としては問題文の分量が多く、時間が少なくなっている状況で正確に読み解いていく受験者が少なかったことが一因として挙げられる。「工業数理基礎」の狙いの中には、「具体的な事象を題材として、事象を見つめる直感力、課題を解決しようとする意志力(中略)・の育成を図る」とあり、問題文等から事象を見つめ解決する力が必要とされている。文章的にも難解な内容ではないので、受験者に対してこの点における実力養成を期待したい。ただし、60分という限られた時間と緊張感の下では受験者にとって今回の文章量はやや多かったと推察される。今回の最高点が72点で昨年度の88点に比べて16点減少し、全ての科目の中でも最低の得点だったことも併せると難易度は高かったと推察される。

② 設問の方法・形式・設問数・配点等について

高等学校学習指導要領に準拠した「工業数理基礎」の内容と範囲から具体的な題材を広く選び、受験者の所属する専門学科による有利、不利が生じないようにバランスに配慮された問題が

多かった。また、各問題に図が配置され、受験者にとっても理解しやすいよう工夫されていた。

しかし、各問の初問における得点率を見ると、第1問の間2「力」が2割弱、第2問の間1「ア」が1割強、第3問の「ア」が2割半ばという結果となっており、導入問題としては得点率が低く難易度にアンバランスな印象を受けた。第1問の間1「ア」や第2問の間2「力」のように導入に適した難易度の問題をお願いしたい。また、単位換算等の基礎力を試す問題が出題されなかったことも点数が伸び悩んだ一因ではないだろうか。結局、全体の平均点は35.64となった。昨年度は42.87であることから約7点平均点が下がっている。

(5) 専門学科による有利、不利がないか。

第1問と第3問については、専門学科による有利、不利は感じられない。第2問はサーミスタを用いた温度センサ回路の問題であるが、サーミスタの特性や直流回路の計算に慣れている電気系の専門学科にとっては取り組みやすい問題であったと考えられる。しかし、直流回路については工業数理基礎で学習する範囲の内容で、説明文も専門用語の使用を避け理解しやすいように誘導方法も工夫されているため、この問題についても十分配慮された出題であった。

(6) 日常の授業を通して培われた数理処理能力で解ける出題内容であるか。

昨年度までの出題形式を踏襲し、今年度も問題文に従って関係式を導き、最終的に実際の数値を代入して計算する出題形式がほとんどだった。各問題とも「工業数理基礎」で学習した内容と日常の授業を通して培われた数理処理能力で解ける出題内容であるが、問題文を制限時間内に正確に読み解き、直感力から解答を導く力が要求される問題が多かった。

(7) 昨年度までの意見や要望が取り入れられ、改善されているか。

昨年度の要望は、「情報関係基礎」との平均点の格差を縮めることと、専門高校推薦枠を設けている大学側に対して「工業数理基礎」の受験を課すように呼びかけていただきたいという二点であった。後者については(8)で触れることとし、前者について今年度の結果を比較する。

(表2)は「情報関係基礎」との平均点の比較である。昨年度と比べ格差は縮まっていない。逆に僅かではあるが広がっている。内容や教科書、専門性についてはバランス良く出題されていたものの、難易度のバランスが出題者の予想とは違う結果となったのではないか。

(表2)「情報関係基礎」と「工業数理基礎」の平均点の比較

	平成23年度	平成24年度
(1) 情報関係基礎	63.46	56.89
(2) 工業数理基礎	42.87	35.64
(1)-(2)	20.59	21.25

(8) 今後の課題・要望等

「工業数理基礎」の狙いは「1 前文」にもあるように、「具体的な事象を題材に、数学を道具として実際的な数理処理を身につけること」「事象を見つめる直感力、課題解決力」であり、単に断片的な知識を問うのではない。「具体的な事象」は、文章から読み解かなければならない場合もあるし、数値データやグラフ等から読み解く場合もある。ここ数年の傾向を見ると文章から読み解く問題が多く、限られた時間での「読解力」が要求され、受験者の負担となっているよう

に推察される。数値データやグラフ等から事象を見つめ、それらから発展的に課題を解決できる問題も工業数理基礎の狙いに反するものではないと考える。

平成15年度から「工業数理」並びに「工業数理基礎」について受験者数と平均点の推移を（表3）に示す。平成18年度から年々受験者が減少し、その傾向が更に顕著になっている。平成15年度より、必修科目から選択科目になって以来「工業数理基礎」を履修する工業科生徒が減少していることや(7)で述べた平均点の格差から「情報関係基礎」を選択する生徒が増えていることも大きな要因である。この状況が続くことは、工業科受験者にとって科目選択の幅が狭まり好ましい状況ではない。

（表3）受験者数と平均点の推移

	工業数理			工業数理基礎						
	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
受験者数	105	79	85	86	81	67	67	67	60	42
平均点	56	56	59	59	67	43	34	48	43	36

また、昨年度も触れているが専門高校推薦枠を設けている大学においては、センター試験で「工業数理基礎」の受験を課すなどのシステムがあれば、受験者にとって実力養成の機会になるとともに入学後の基礎学力向上や各種研究につながっていくものと考えている。

最後に問題作成各位には、マークシート形式での出題という制限の中、高等学校側からの要望も取り入れながら適切で良質な問題を作成していただいたことに心から敬意を表したい。このような良質な問題に触れ、「工業数理基礎」で学んだ学習成果を発揮できる受験者が来年度以降増えることを期待したい。