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、次の二つのねらいが示されている。

- ・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。

工業を学ぶものは、特定の学科の狭い専門分野の知識と技術を学習するだけでなく、その根底にある工業に関する基礎的・基本的な数理処理能力を身に付け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て習得した問題把握の仕方や問題解決の手法について、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や不利がないか。
- (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

以上の観点に立ち、「2 試験問題の内容・範囲」「3 試験問題の分量・程度」「4 試験問題の表現・形式」について、第1問から第3問までのそれぞれを評価して意見を述べる。

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を対象とする。

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） 各問いにおける主な出題範囲と出題形式

問題 番号	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	コン ピユ ータ による	正 誤選 択	正 式選 択	正 語選 択	
第1問	力とエネルギー、力と釣合い	○	○	○			○			34
第2問	工業の事象とグラフ	○	○	○			○	○	○	33
第3問	工業の事象の計算	○	○	○		○	○		○	33
合計		3	3	3	0	1	3	1	2	100

第1問 力とエネルギーや、力の釣合いに関わる工業の事象を題材とした問題である。

問1 走行している自動車を停止させるための運動において、速度や運動エネルギーの変化について考える過程を題材にした問題である。

問2 棒とワイヤからなる正六角すいにおいて、力が釣合うための条件や、隣り合う棒間にあるワイヤ長さについて考える過程を題材にした問題である。

第2問 2種類の各製品を1個生産するために必要な燃料の量、電気量、作業時間及び1個当たりの利益の関係を示す連立一次不等式を用いた線形計画法を題材にした問題である。

問1 1日当たりの燃料と電力の使用可能量及び作業時間の制約について、2種類の製品の生産個数との関係を一次不等式で表し、グラフに図示する過程を題材にした問題である。

問2 2種類の各製品の生産個数に対する利益を表す式と問1のグラフ領域比較し、1日の利益を最大にするための各製品の生産個数を求める過程を題材にした問題である。

問3 2種類の製品のうち片方の製品は生産することによる利益が変化するという条件において、各直線の傾きに注目し、生産による利益を最大にするために製品の生産個数を調整するという事象について考える過程を題材にした問題である。

第3問 電気回路で頻繁に使用される可変抵抗の構造や、検流計や電気ヒータとの組み合わせによる可変抵抗の応用的な利用を題材にした問題である。

問1 可変抵抗の内部構造において、結線針の回転角の変化による抵抗の値の変化について考える過程を題材にした問題である。

問2 可変抵抗と検流計を組み合わせた電位差計において、可変抵抗の調整つまみの回転角から未知の起電力を求める過程を題材にした問題である。

問3 可変抵抗で二つの電気ヒータの発熱量を制御する回路において、可変抵抗の調整つまみ

の回転角と電気ヒータの発熱量の関係について考える過程を題材にした問題である。

3 試験問題の分量・程度

問題はいずれも「工業数理基礎」で取り扱う内容であり、特定の工業分野に偏ることなく具体的な事象を題材にしながら、数学を道具として活用する実際的な数理処理について考えさせる良問で構成されている。数理処理についても、いわゆる「式変形」や「三角比」をはじめ、「一次不等式」、「二次方程式」、「微分」等バランス良く出題されている。センター試験の問題としてのみならず、日常の授業における教材としても活用したい良問である。

分量としては、全ての問題が文章題であり、数理処理に関する知識とともに読解力が必要とされ、熟考を要する問題が多かった。程度としては、基礎的な内容から応用的な数理処理まで幅広く出題されている。

第1問 物体の運動とエネルギーについて考える問題（問1）と、構造物に作用する力と力の釣合いについて考える問題（問2）で構成されている。

問1 自動車の走行距離、速度、加速度並びにエネルギーについて考える問題である。[ア]、[イ]は走行距離を時間で微分して速度を求める式、[ウ]は、[ア]、[イ]で求めた式に与えられた時間を代入して速度を求める問題、[エ]は[ア]、[イ]で求めた式を時間で微分して加速度を求める問題である。基礎的な微分及び代入の問題であり、それぞれ容易に解答することができ、問1の導入として適していると考えられる。[オ]は速度を表す式から停止するまでの時間を求める問題、[カ]はその間に走行した距離を求める問題である。式変形により解答することができるが、[ア]、[イ]と連動する問題であり、[ア]、[イ]が解答できなかった受験者は必然的に[ウ]、[エ]、[オ]、[カ]は解答できない。[キ]は運動エネルギーを求める問題、[ク]は[キ]で求めた運動エネルギーから質量と比熱を用いてブレーキドラムの温度上昇を求める問題である。熱量について学習していない受験者は、比熱の単位に着目して熱量と温度上昇の関係式を自ら導き出しながら解答できる。しかし、このことができなかった受験者もいたと推測される。物体の運動とエネルギーといった工業分野の具体的な事象について考える問題として適切にまとめられている。設問数8は妥当である。

問2 力と力の釣合いについて考える問題である。[ケ]は基本的な三角比の問題である。[コ]は力 f の水平方向の力を三角比によって求め、点Aにおける力の釣合いから張力 T と力 f の関係を求める問題であり、三角比及び力の釣合いに加えて立体把握の能力が要求される。[サ]は素直に問題文に沿って、式(2)と式(3)から f を消去すれば求まるのだが、三角比の相互関係から $\tan \theta$ にまとめ、式変形することができなかった受験者もいたのではないかと推測する。[シ]は $\triangle OAB$ に着目して三角比により解答することができる問題である。[ス]は展開図における中心角 $(\pi/4)$ の二等辺三角形に着目すれば解答することができる。棒とワイヤからなる六角すいを題材とし、三角比を中心に力の釣合いや立体把握の能力を問う良問である。設問数5は妥当である。

第2問 制約された条件の中で2種類の製品をそれぞれ生産するとき、連立一次不等式や一次関数を用いて「利益の最大を求める」ことをねらいとした線形計画法の問題である。

問1 条件を一次不等式で表し、グラフに図示する過程を題材にした問題である。[ア]、[イ]

は作業時間の条件から一次不等式を求める問題である。問題文中の8 [時間] の単位を [分] に変換することで解答でき、問1の導入として適していると考え。[ウ]は不等式(1)、(2)、(3)に製品Xの生産個数70を代入すれば容易に解答することができるが、[ア]、[イ]を解答できなかった受験者は必然的に解答できない。[エ]は直線 $2x + 5y = 300$ のy切片を求めれば容易に解答できる。設問数4は妥当である。

問2 問1のグラフ領域から、1日の利益を最大にするための各製品の生産個数を求める過程を題材にした問題である。[オ]は直線(4)の傾きを求める問題であり、式変形すれば容易に解答できる。[カ]、[キ]は点Bの座標を求める問題であり、素直に問題文中の連立方程式を解くことにより解答することができる。[クケコ]は最大利益を求める問題であり、式(4)に[カ]、[キ]で求めた点Bの座標を代入することにより解答することができるが、[カ]、[キ]と連動する問題であり、[カ]、[キ]が解答できなかった受験者は必然的に[クケコ]を解答することができない。設問数4は妥当である。

問3 2種類の製品のうち片方の製品の利益が変化する場合において、利益が最大になるような各製品の生産個数を求める問題である。[サシ]は直線(5)の傾きに注目することで解答できる問題であり、問3の導入として適していると考え。[ス]、[セ]は問題文中にRの範囲と点A、B、C、Dの関係が示されており、受験者は理解を進めながら解答できたと推測される。設問数3は妥当である。

第3問 電気回路で頻繁に使用される可変抵抗の構造や、検流計や電気ヒータとの組合せによる可変抵抗の応用的な利用を題材にした問題である。

問1 可変抵抗の内部構造において、結線針の回転角の変化による抵抗の値の変化について考える過程を題材にした問題である。[アイ]、[ウ]は抵抗体の全長を円弧の長さとして捉え解答する問題である。与えられた数値は、計算を容易にできる配慮がなされており、問1の導入として適していると考え。[エ]は抵抗体の長さ、断面積、抵抗率の関係から導き出す問題である。それぞれ、比例、反比例、比例定数という記述がなされており、電気系が専門以外の受験者への配慮がなされている。[オ]は θ を用いて円弧の長さ求める問題である。前問の[アイ]、[ウ]と同様の問題であり、前問の理解が進んだ受験者は容易に解答できたと推測できる。[カ]は式(2)、(3)が与えられており、抵抗の値が回転角 θ に比例する一次関数で表されることが理解できれば容易に解答することができる。設問数4は妥当である。

問2 可変抵抗と検流計を組み合わせた電位差計において、可変抵抗の調節つまみの回転角から未知の起電力を求める過程を題材にした問題である。[キ]、[ク]は題意に沿って、式 V_{AB} に式(2)、(3)を代入することで容易に解答できる。[ケ]、[コ]は前問の[キ]、[ク]に数値を代入することで解答できるが、[キ]、[ク]に連動しているため、[キ]、[ク]を解答できなかった受験者は必然的に解答することができない。設問数2は妥当である。

問3 可変抵抗と二つの電気ヒータを組み合わせた制御回路において、可変抵抗の調節つまみの回転角と電気ヒータの発熱量の関係について考える過程を題材にした問題である。[サシス]は問題文に従って、式「 $30I_1 = 20I_2$ 」に式(4)を代入して θ を求めることができる。[セソ]は与えられた $F(\theta)$ の最大値を求める問題である。二次関数の最大値に関する知識があれば解答できる。「式変形」や「二次関数」についての応用的な数理処理問題であり、

問題の程度および設問数2は妥当である。

4 試験問題の表現・形式

問題文は、工業分野の具体的な各事象について、数理処理に導くための丁寧な説明、それを補う図や表から構成されており、受験者の理解を促すための様々な配慮がなされている。

第1問 物体の運動とエネルギーについて考える問題と、構造物に作用する力と力の釣合いについて考える問題である。

問1 自動車の走行距離を示す図1が提示されており、受験者にとってイメージしやすい問題になっている。解答群の候補数も適当であり、配点18点も妥当である。

問2 6本の棒とワイヤからなる正六角すいの図2が提示されており、受験者の理解を促す配慮がなされている。解答群の候補数も適当であり、配点16点も妥当である。

第2問 制約された条件の中で2種類の製品をそれぞれ生産するとき、連立一次不等式や一次関数を用いて「利益の最大を求める」ことをねらいとした線形計画法の問題である。

問1 製品X、Yと燃料の量、電力量、作業時間、利益の関係をそれぞれ示す表1と連立一次不等式のグラフである図1が提示されており、受験者にとってイメージしやすい問題になっている。解答群の候補数も適当であり、配点13点も妥当である。

問2 領域OABCDと直線(4)の関係が図2に示されており、受験者の理解を促す配慮がなされている。解答群の候補数も適当であり、配点10点も妥当である。

問3 問題文中でRの範囲と点A、B、C、Dの関係が示されており、受験者の理解を促す配慮がなされている。解答群の候補数も適当であり、配点10点も妥当である。

第3問 電気回路で頻繁に使用される可変抵抗の構造や、検流計や電気ヒータとの組合せによる可変抵抗の応用的な利用を題材にした問題である。

問1 可変抵抗の写真である図1と、内部構造を示す図2が提示されており、受験者にとってイメージしやすい問題になっている。しかし、問題文中からでは抵抗体の長さLの把握に時間がかかり、受験者の時間浪費に繋がった感が否めない。そこで、図2において「L」の図示があれば、受験者が直感的に理解できたのではないかと推測する。また、問題中にある「断面積 1.00mm^2 」「抵抗率 $\rho = 19.1\ \Omega \cdot \text{mm}$ 」の数値は、実際には計算に用いない。一般的に、実際に数値が示されると、受験者は解答に必要な数値であると認識する。必要のない数値をあげることで、時間浪費を招く恐れがある。この点を踏まえて、簡潔で必要最低限の数値と条件を示す工夫を検討していただきたい。解答群の候補数も適当であり、配点16点も妥当である。

問2 可変抵抗と検流計を組み合わせた電位差計の回路図が図3に提示されており、受験者の理解を促す配慮がなされている。、について、実際の計算の値は「1.29」となるが、マークシートの解答欄は2桁しかない。四捨五入して「1.3」の解答を求めるのであれば、問題文中に「四捨五入して・・・」等の表記が必要だったのではないだろうか。冊子の最終ページの「解答上の注意」に記述はあるものの、試験時間の残り少ない中、戸惑った受験者もいたのではないかと推測する。解答群の候補数も適当であり、配点8点も妥当である。

問3 可変抵抗で二つの電気ヒータを制御する回路図が図4に提示されており、受験者の理解を促す配慮がなされている。解答群の候補数も適当であり、配点9点も妥当である。

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、工業分野の具体的な事象について考えるための基礎的・応用的な数理処理を題材にした問題で構成されており、「工業数理基礎」本来の趣旨に沿った適切な内容である。

- (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。

各問題について、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」の内容で分類すると、「2 試験問題の内容・範囲」に示した(表1)のようになり、全体的にバランス良く出題されていることがわかる。

- (3) 特定の教科書に偏らない出題内容であるか。

第2問の題材である「線形計画法」は、特定の教科書では学習内容として扱っている。しかし、出題された問題は工業の事象の数理処理に関わる内容であり、学校で扱う教科書によって有利や不利が生じることはないと考え。今後も、双方の教科書に共通する内容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。

各問題とも、高等学校学習指導要領に準拠した「工業数理基礎」の内容と範囲から出題されているとともに、受験者の所属する専門学科による有利や不利が生じないような工夫がされている。

「工業数理基礎」のねらいには、「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とともに、事象を見つめる直感性、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、問題文から事象を見つめ解決する力が必要とされている。受験者にとっては、60分という限られた時間と緊張感の中で、文章量がやや多かったと推察するが、平易な記述とともに受験者に対する様々な配慮がされている。受験者に読解力向上のための努力を期待したい。

受験者に対する様々な配慮(例)

- ・問題文中に、数理処理の流れを示す「○○を代入し…」などの表現がある。
- ・問題文の内容を示す図表が適切に配置されている。
- ・問題冊子を開いた状態で各問いが完結するように、レイアウトが工夫されている。(式や図表を次の問いでも扱う場合は、該当するページに再度掲載されている。)
- ・それ以前の問題が解けなくても解答できる問いが適切に配置されている。

本年度の最高点は96点、最低点は16点、平均点は60.91であり、昨年度の平均点33.40を大きく上回った。33名という少数の受験者による平均点を基に問題の難易度を分析することは難しいが、前述したとおり、受験者に対する様々な配慮も含め、問題の難易度、設問の方法・形式・

設問数・配点等も適切であったと考える。

(5) 専門学科による有利や不利がないか。

各問題とも、「工業数理基礎」で学習する内容の範囲であるとともに、専門用語を丁寧に説明するなどの受験者への配慮がなされている。第3問で扱った題材が電気回路であったが、問題は専門知識に依存することなく解答できる内容であり、専門学科による有利や不利は生じなかったものとする。

(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。

各問題とも、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。問題の文章に従って関係式を導く設問や、実際の値を代入して計算する設問が多かった。

(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、①「情報関係基礎」との平均点の格差を縮めること、②問題の説明文を減らして読解の時間を削減することの二点であった。

①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、あきらかに格差は縮まっている。受験者数が少ない中、単純な比較は難しいものの、内容、教科書、専門性ともにバランス良く出題されており、問題の難易度も適切であった。

(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	平成25年度	平成26年度
(1) 情報関係基礎	63.46	56.89	57.32	63.28
(2) 工業数理基礎	42.87	35.64	33.40	60.91
(1)-(2)	20.59	21.25	23.92	2.37

②については、文章量としては昨年同様であった。センター試験にふさわしい問題となれば、それなりの内容と文章量が必要である。今年度は、受験者が理解しやすい丁寧な説明となっており、読解の時間削減につながったと考える。引き続き、問題の説明文を減らして読解の時間を削減する配慮をお願いしたい。

(8) 今後の課題・要望等

「工業数理基礎」で扱う「具体的な事象」は単に断片的な知識を問うものではなく、文章から読み解かなければならない場合もあれば、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、限られた時間の中での「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。引き続き、受験者に配慮した問題の作成をお願いしたい。

平成15年度からの「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」を教育課程で扱う学校や、履修する工業科生徒が減少している。さらに、(7)で述べた平均点の格差から「情報関係基礎」を選択する受験者が増加していることなどの要因により、平成18年度から年々受験者が減少し、その傾向がさらに顕著になっている。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	H25	H26
受験者数	105	79	85	86	81	67	67	67	60	42	25	33
平均点	56	56	59	59	67	43	34	48	43	36	33	61

「工業数理基礎」を高校1年次に履修させる場合、特に、応用的な数理処理については、数学や理科の学習内容の進度に先行してしまうという問題もあり、高校1年次に「工業数理基礎」の学習内容をすべて扱うことが難しいという問題もある。この部分については、各学校の実情にもよるが、センター試験に関わる課題に留まらず、検討が必要なのではないだろうか。

「工業数理基礎」は、数学や理科などの学習内容と工業の専門科目の学習内容を、具体的な事象をとおして関連付ける科目でもある。昨年度も触れているが、専門高校の推薦枠を設けている大学において、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、大学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られる。

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」の学習成果を発揮できる受験者が増えることを期待したいところだが、平成27年度の試験を最後に「工業数理基礎」の受験科目が無くなるということで非常に残念である。残る1回、センター試験のより良い問題作成をお願いしたい。