「考える力」の達成度を評価する

－　学問分野の学修成果測定の方法論 －

Executive Summary

令和８年（2026 年）10 月

国立教育政策研究所
チューニングによる大学教育のグローバル質保証
テスト問題バンクの取組

2026 年度メンバー名簿

赤城　協	東北大学 多元物質科学研究所 特任教授
伊井　仁志	東京科学大学 工学院 機械系 教授
市坪　誠	豊橋技術科学大学 高専連携地方創生機構 教授
伊藤　伸太郎	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
井上　裕嗣	東京科学大学 工学院 機械系 教授
岩附　信行	大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
大上　浩	東京都市大学名誉教授
大宮　正毅	慶應義塾大学 理工学部機械工学科 教授
岡田　昌史	東京科学大学 工学院 機械系 教授
奥山　武志	豊田工業大学 工学部 教授
小尾　晋之介	元慶應義塾大学教授
加藤　健郎	慶應義塾大学 理工学部機械工学科 教授
川島　豪	神奈川工科大学 工学部 機械工学科 教授
岸本　喜久雄	東京工業大学（現東京科学大学）名誉教授・国立教育政策研究所 フェロー
藏田　耕作	九州大学 大学院工学研究院 教授
Jeffrey Cross	東京科学大学 環境・社会理工学院 教授
斎藤　有吾	新潟大学 教育基盤機構 准教授
酒井　健太朗	九州国際大学 法学部法律学科 教授
坂本　重彦	金沢工業大学 工学部 先進機械システム工学科 教授
櫻井　淳平	崇城大学 工学部 機械工学科 教授
進士　忠彦	東京科学大学 総合研究院 未来産業技術研究所 教授
鈴木　教和	神戸大学 大学院工学研究科 教授
須藤　祐子	東北大学 工学研究科工学教育院 教授
田中　一郎	東京電機大学 工学部 特定教授
田中　一孝	桜美林大学 リベラルアーツ学群 教授
田中　慶一	住友重機械工業株式会社 横須賀製造所 技術本部技術研究所 兼 メカトロニクスセグメント事業開発部 技監（理事相当）
田中　智久	東京科学大学 工学院 機械系 准教授
田原　健二	九州大学 大学院工学研究院 教授
津島　将司	大阪大学 大学院工学研究科 教授
秦　誠一	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
林部　充宏	東北大学 大学院工学研究科 ロボティクス専攻 教授

原　進	名古屋大学 大学院工学研究科 教授
平口　英夫	平口技術士事務所 所長
平田　泰久	東北大学 大学院工学研究科 教授
深堀 聰子	九州大学 未来人材育成機構 教授・国立教育政策研究所 フェロー
福江　高志	金沢工業大学 工学部機械工学科 准教授
本江　哲行	国立高等専門学校機構 本部事務局 理事長特別補佐
水谷　正義	東北大学 グリーン未来創造機構 グリーンクロステック研究センター（工学研究科）教授
山本　誠	早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科 教授
吉田　和弘	東京科学大学 総合研究院 未来産業技術研究所 教授
渡邉　聡	九州大学 大学院工学研究院 教授

Farid Triawan	Associate Professor, Dean of Faculty of Engineering and Technology, Sampoerna University, Indonesia. 東京科学大学 環境・社会理工学院 融合理工学系 特定准教授
Muslim Mahardika	Head of Mechanical Engineering Study Program, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Universitas Gadjah Mada
Hifni Mukhtar Ariyadi	Lecturer in Mechanical Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Universitas Gadjah Mada
Pandji Prawisudha	Head of Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung
Firman Bagja Juangsa	Lecturer, Mechanical Engineering Program, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Bandung Institute of Technology
Steven	Coordinator of Learning Outcome Assessment, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung
Faisal Mahmuddin	Head of Marine Engineering Department, Engineering Faculty, Hasanuddin University
Nuraini Abdul Aziz	Associate Professor, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia

濱中 義隆	国立教育政策研究所 高等教育研究部長
朴澤 泰男	国立教育政策研究所 高等教育研究部 総括研究官
加藤 かおり	国立教育政策研究所 生涯学習政策研究部 副部長 高等教育研究部 総括研究官
廣田 英樹	国立教育政策研究所 高等教育研究部 特任研究官
美馬 秀樹	国立教育政策研究所 教育データサイエンスセンター 総括研究官
坂口 章子	国立教育政策研究所 高等教育研究部 事務補佐員

目次

はじめに 6
第１章　Tuning テスト問題バンクの全体設計 8
１．取組の背景・意義 8
２．「エンジニアのように考える力」の構成 8
３．Tuning テスト問題バンクの構成-多肢選択式問題と記述式問題 15
（１）多肢選択式問題の形式 16
（２）記述式問題作成の工程 19
４．技術者倫理問題 23
５．テストの妥当性と信頼性の検証 25
６．教育機関へのフィードバック 26
第２章 多肢選択式問題の作成方法について 29
１．はじめに 29
２．多肢選択式問題を作成する目的 29
３．多肢選択式問題の内容と構成 31
４．成果と課題 33
第３章 「記述式問題作成シート」を活用した記述式問題の作成 35
１．はじめに 35
２．記述式問題を作成する目的 35
３．記述式問題作成シートの構成 38
４．テーマ設定、及び各大問の作成方法 39
（１）題材（テーマ）と文脈の設定 40
（２）シナリオ設定・課題文作成・コンピテンシーの設定 40
（３）協働による課題の検討 41
（４）採点基準（ルーブリック）の作成 41
５．記述式問題作成シートの活用事例 41
（１）新規問題作成の事例：都市型ロープウエイ 41
（２）既存問題への活用事例：（新）風車 42
６．おわりに 43
第４章　Tuning テスト問題バンクの教育プログラムの評価への活用 45
第５章　ＡＳＥＡＮ拠点の活動と国際共同研究の展開 50
１．ASEAN 拠点を通した国際共同研究の成果 50
２．今後の課題 50

第６章 Tuning テスト問題バンクの取組内容.....52
１．四つのフェーズ.....52
２．マイルストーンとなる研究成果.....53
別添資料（別添１．～別添４．）.....55

はじめに

急速な少子化に直面する日本では、大学全体としての「規模の適正化」を図りつつ、教育研究の「質の高度化」によって「知の総和」向上を目指す高等教育政策が推し進められている。「質の高度化」策では、2004 年から実施されてきた機関単位での教育研究等の総合的な状況に関する評価から、「学部単位での教育の質に特化した評価」に軸を移した「新たな評価」が計画されている。

「教育・学修の質向上に向けた新たな評価の在り方ワーキンググループ議論のまとめ」（令和 8 年 6 月 3 日）によると、この教育の質に特化した「新たな評価」では、ディプロマ・ポリシーとカリキュラム・ポリシーの策定・公開・実質化、学生の学修成果の把握と評価、及び学生の学びと成長の結果を基盤とした不断の自己改善のサイクルを稼働させているかが問われることになる。アウトカム・ベース教育への転換は、『我が国の高等教育の将来像（答申）』(2005 年)、『2040 年に向けた高等教育のグランドデザイン（答申）』(2018 年)、『我が国の「知の総和」向上の未来像～高等教育システムの再構築～（答申）』(2025 年）を通して、この四半世紀の間、一貫して強調されてきたが、いよいよ日本の高等教育のスタンダードとして確立することとなる。

世界の高等教育機関がアウトカム・ベース教育に移行した頃、経済協力開発機構は「高等教育における学修成果調査」プロジェクトを展開した（OECD-AHELO、 2008～2012 年)。日本は、工学分野における学修成果測定の取組に参画し、OECD によるプロジェクトが終了した後も、文部科学省国立教育政策研究所「チューニングによる大学教育のグローバル質保証-テスト問題バンクの取組」（以下、Tuning テスト問題バンク）として継続し、国内 3 拠点・ASEAN 地域 1 拠点において、のべ 40 機関 96 人の専門家の協力のもとに、学修成果測定の方法論確立に向けた試行錯誤を重ねてきた（2014 年～)。アウトカム・ベース教育がスタンダードとなる今、私たちの 10 余年に及ぶ工学分野における学修成果測定の方法論開発の取組の成果を公表し、学問分野を越えて高等教育関係者に広く参照していただくことを通して、日本の高等教育の高度化に寄与することを願い、本報告書を上程する。

Tuning テスト問題バンクで追求してきた学修成果測定の特徴は、学生が、高等教育の学士課程修了相当の時点において、「エンジニアのように考える力」をどの程度身に付けているかを、高等教育の文脈において実施可能な形態（2 時間程度の筆記・オンライン試験）で捉えることである。「エンジニアのように考える力」とは、工学分野の知識を記憶するだけでなく、深く理解し、適切な場面で適切に活用できる能力（考える力）を指す。「考える力」の達成度を適切に評価することは、教育機関が挑み続けてきた課題であり、その重要性は、生成 AI の急速な普及によって知識が簡単に手に入れられるようになるなかで、ますます高まっている。Tuning テスト問題バンクの取組の成果を公表することが、この教育課題の解決に向けた具体的で汎用性の高い、重要な一歩となることを確信している。

この Executive Summary（要約版）の目的は、Tuning テスト問題バンクの取組から導出された知見を、工学分野に閉じない幅広い読者に対して簡便に伝達することである。詳細な内容は、2028 年 3 月に刊行する予定である Full Version（完全版）を参照していただきたい。この Full Version には、これまで Tuning テスト問題バンクのメンバー内部で共有・参照してきた「テスト問題作成の手引き(Ver.13)」（2019 年 3 月）、「テスト問題バンク機械工学分の多肢選択問題作成マニュアル」（2022 年 1 月）、及び既に公表済みの研究業績一覧を含め、より完全な形で取組内容を記録する。

この Executive Summary は六つのセクションから構成される。第 1 章では、Tuning テスト問題バンクの骨子となる、「エンジニアのように考える力」（エンジニアリング・コンピテンシー）の構成、及びコンピテンシーの達成度を捉えるテストの全体設計について概説する。すなわち Tuning テスト問題バンクは、多肢選択式問題と記述式問題から構成されており、多肢選択式問題では幅広い範囲の知識を正確に理解しているか、記述式問題では特定のエンジニアリング課題の文脈のなかで知識を理解し、適切に活用できるかを捉えることを目的としている。それらの問題作成において、研究会として共有してきた基本的な考え方を示すとともに、哲学と工学の専門家が協働して取り組んできた技術者倫理問題作成に関する基本的な考え方、及びテストの妥当性と信頼性の検証、教育機関へのフィードバックの内容について概説する。

第 2 章では、多肢選択式問題作成の概要と具体例、第 3 章では、記述式問題の作成のための設計図（ブループリント）と具体例を示している。第 4 章では、Tuning テスト問題バンクを教育機関の教育プログラムに試行的に活用した事例、第 5 章では、ASEAN 拠点を通した国際共同研究の成果と課題、第 6 章では、Tuning テスト問題バンクが四つのフェーズにおいて展開してきた 10 余年の取組内容の概要、及びマイルストーンとなる研究成果を収録する。

Tuning テスト問題バンクは、2027 年度をもって、国立教育政策研究所での活動を終了し、2028 年度からは、日本機械学会の活動として、企業と連携しながら、高等教育と職業における人材育成を繋ぐ学修成果測定ツールとしての実用化を目指す。その過程において、生成 AI 時代における学修成果測定の意義に関する検討を研ぎ澄ましつつ、生成 AI を活用することで持続可能なテスト問題バンクの運営方法も確立したい。この新たなフェーズにおいても、工学分野に閉じない幅広い読者との対話を継続しながら、日本社会における人材育成の高度化に寄与する志を引き続き追求していく。

2026 年 10 月吉日

チューニングによる大学教育のグローバル質保証
テスト問題バンクの取組

第１章　Tuning テスト問題バンクの全体設計

－どのような能力をどのような方法で捉えるか－

深堀　聰子（九州大学）

１．取組の背景・意義

国立教育政策研究所「チューニングによる大学教育のグローバル質保証-テスト問題バンクの取組」（以下、Tuning テスト問題バンク）は、学生が学士課程教育を通して「エンジニアのように考える力」をどれほど身に付けたかを測定するためのツールを提案する取組であり、大学や高等専門学校など、高等教育機関（以下、大学）で展開する工学教育の効果測定（教育プログラム評価）において活用されることを主眼として開発してきた。

学修成果の可視化を基盤とした教学マネジメントの重要性は、工学分野に限らず、日本の高等教育政策の最重要課題の一つである。平成 28（2016）年以降、日本の大学は、教育課程の履修を通して、学生が何を知り、理解し、行えるようになるかを定義し（ディプロマ・ポリシー）、それを達成するための教育課程編成、教育内容・方法、学修成果の評価方法の在り方を定め（カリキュラム・ポリシー）、入学者に求める資質・能力を定めて（アドミッション・ポリシー）公開することを義務付けられてきた（学校教育法施行規則 165 条２）。さらに、教育課程を通じて学生に身に付けさせる学修目標の達成度を継続的・横断的に評価し、その結果に基づき、必要に応じて教育の内容・方法を改善することで、不断に教育の質向上を図ることが求められている。授業科目の単位ではなく、教育課程全体を通じて、学生が何を知り、理解し、行えるようになるかを問う Tuning テスト問題バンクは、学修成果の可視化を基盤とした教学マネジメントを推進するために必要な学習成果測定ツールに他ならない。Tuning テスト問題バンクの取組の成果には、工学分野に限らず、学問分野を越えて高等教育関係者に広く参照していただく価値のある知見が含まれているはずである。

２．「エンジニアのように考える力」の構成

Tuning テスト問題バンクでは、工学分野の知識を記憶するだけでなく、深く理解し、適切な場面で適切に活用できる「エンジニアのように考える力」の達成度を捉えようとしている。すなわち、教科書等によって比較的明確に定義された文脈における知識の記憶・理解・応用にとどまらず、未知の条件や制約を含む現実社会に近い多様な文脈において、状況を分析的に認識したり、知識を取捨選択して統合的に援用することで解決策をデザインしたりすることのできる複合的・統合的能力を、どれほど身に付けることができたかを問うている。

教育目標のタキソノミー（分類学）は、人間の学習活動の各領域（認知領域、情意領域、精神運動領域）において、学習者が達成すべき教育目標を分類するためのカテゴリを提供することで、カリキュラム設計や教育評価の理論的枠組みとして多用されてきた。「考える力」

は認知領域に分類される複合的・統合的能力であり、教育目標のタキソノミーを援用することで、その構造を捉えることができる。ここでは、「テスト問題作成の手引き(Ver13)」(2019年 3 月）に準じて、ブルーム・タキソノミーと呼ばれる古典的枠組みを採用する（**図１―１.**）。

ブルーム・タキソノミーでは、認知領域の教育目標は、「知識（knowledge）」「理解（comprehension）」「応用（application）」「分析（analysis）」「総合（synthesis）」「評価（evaluation）」の６段階の累積的カテゴリを用いて説明することができる。六つのカテゴリは、「複合性の原理(the principle of complexity)」に基づいて、単純なもの（低次）から複合的なもの（高次）の順に階層的に配列されおり、低次の教育目標の達成がより高次の教育目標の達成の前提になる累積的関係にある。「考える力」には、「知識」を記憶して「理解」したり、比較的明確に定義された文脈のなかで「応用」したりするだけでなく、緩やかにしか定義されていない文脈のなかで適切に活用（「分析」「総合」「評価」）することも射程に含まれる。

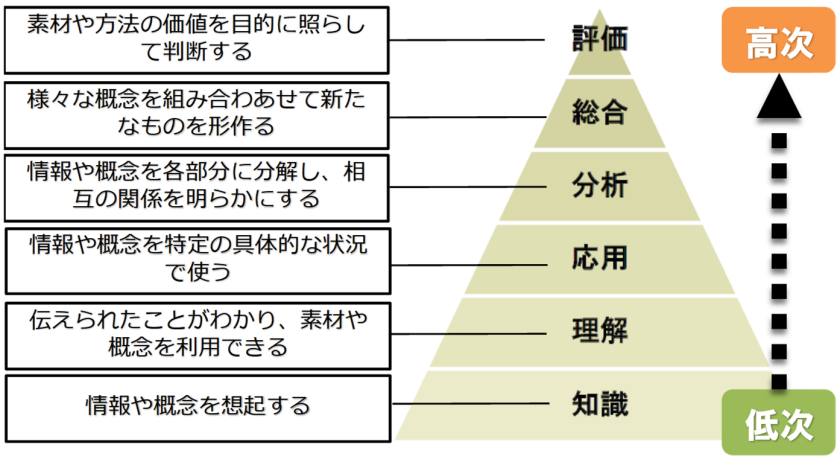


図１－１．ブルーム・タキソノミー（認知領域、オリジナル版）

出典：「テスト問題作成の手引き(Ver13)」(2019 年 3 月）13 頁より抜粋。

「エンジニアのように考える力」（エンジニアリング・コンピテンシー）という複合的・統合的能力を、ブルーム・タキソノミーを援用して概念化してみよう。その際、工学が、自然科学分野における認識科学と設計科学の知識・技術を用いて、人間生活や社会の福祉に寄与することを目指す学問であり、そのためエンジニアには、科学技術を駆使できるだけではなく、人間社会の理解に基づく、科学技術の適切な利用の在り方を判断できる能力が求められる点に留意する必要がある。エンジニアリング・コンピテンシーを概念化する際には、テクニカルな側面とノンテクニカルな側面を区別して捉えることが重要である。

この特徴に鑑みると、エンジニアリング・コンピテンシーは、**図１－２.**に示すとおり、テクニカルとノンテクニカルな 2 側面、五つの領域、九つの下位コンピテンシーから構成さ

れる複合的・統合的能力として概念化することができる。すなわち、エンジニアリング・コンピテンシーは、「工学基礎・工学専門（Basic and Engineering Sciences、 BES)」、及び「エンジニアリング汎用的能力（Engineering Generic Skills、 EGS)」(ブルーム・タキソノミーにおける知識・理解・応用、以下同様）の基盤のうえに、「エンジニアリング分析・解析（Engineering Analysis)」(応用・分析)、「エンジニアリング・デザイン（Engineering Design)」（分析・総合）が形成され、それらを土台に「エンジニアリング実践（Engineering Practice」（総合・評価）が形成される。

テクニカル　　ノンテクニカル

<table>
<tr><td colspan="3">エンジニアリング実践</td></tr>
<tr><td colspan="2">【EP - 統合】 エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解した上で、選択・統合・活用する能力。</td><td rowspan="4">【EP - 管理】 例えば、リスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法について、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力。</td></tr>
<tr><td colspan="2">エンジニアリング・デザイン</td></tr>
<tr><td colspan="2">【ED】 特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力。</td></tr>
<tr><td colspan="2">エンジニアリング分析・解析</td></tr>
<tr><td>【EA - 分析】 エンジニアリングの生産物、プロセス，手法について分析するために知識と理解を応用する能力。</td><td>【EA - 解析】 エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力。</td><td>【EP - 倫理】 健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、および解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理，責任，規範を引き受ける能力。</td></tr>
<tr><td>工学基礎・工学専門</td><td colspan="2">エンジニアリング汎用的能力</td></tr>
<tr><td>【BES】 専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力。</td><td colspan="2" rowspan="2">【EGS】エンジニアリングの社会および一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力。</td></tr>
<tr><td>【BES-基礎・基盤】専門とするエンジニアリング分野の基礎となる科学や数学の原理、及び最先端の事がらを含む幅広い知識に関する知識と理解を示すことができる能力。</td></tr>
</table>

図１－２．Tuning テスト問題バンクのエンジニアリング・コンピテンシーの構造

注：「テスト問題作成の手引き(Ver13)」(2019 年 3 月）19 頁に基づいて作成。

Tuning テスト問題バンクのエンジニアリング・コンピテンシーの原型となった Tuning-AHELO エンジニアリング・コンピテンシーについて言及したい。Tuning-AHELO エンニアリング・コンピテンシーとは、前述した経済協力開発機構による「高等教育における学修成果調査」プロジェクト（OECD-AHELO、 2008～2012 年）において、工学分野における学修成果測定で採用された能力概念枠組みである。それは、欧州委員会の委託を受けてアウトカム・ベース教育の実質化を推進してきた Tuning Academy によって、エンジニアリングの教育と実践における質保証と国際的同等性の確保、流動性の向上を目的に活動する IEA 世界エンジニアリング連合、及び ENAEE 欧州技術者教育認定ネットワークが依拠する能力概念枠組みから導出されたものであり、エンジニアに求められる知識・能力に関する、国際通用性が高いレベルで確保された包括的なリストと言える。日本技術者教育認定協会（JABEE）

の技術者教育認定審査の認定基準と合致しており、日本学術会議『大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準-機械工学分野』(2013) とも整合している。

Tuning-AHELO エンニアリング・コンピテンシーは、24 の下位コンピテンシーから構成されている。コンピテンシーをこのように詳しく細分化するメリットは、複合的・統合的能力としてのコンピテンシーの多様な側面を網羅的に捉え、具体的に記述することで可視化できる点にある。しかしながら、コンピテンシーが発揮される背景には、下位コンピテンシーが複合的・統合的に作用していることに鑑み、詳しく細分化された下位コンピテンシーの達成度を、一つ一つ、独立した形で捉えることは実質的に困難である。加えて、学修成果の可視化を基盤とした教学マネジメントの推進が求められるなか、学修成果測定ツールとしての実用性を確保するためには、測定する下位コンピテンシーは、大学教育の改善に資する核心を突いたものでありながら、限られた時間内に測定可能な程度に簡便なものでなければならない。そのような理由から、Tuning テスト問題バンクでは、OECD-AHELO エンジニアリング・コンピテンシーの 24 の下位・コンピテンシーを九つの下位コンピテンシーに統合・集約することとした。**表 1―1．** には、その対応関係を示している。九つの下位コンピテンシーが含意する知識・能力の射程を理解するために参照していただきたい。

表 1―1．エンジニアリング・コンピテンシー：Tuning-AHELO の 24 下位コンピテンシーと Tuning テスト問題バンクの 9 下位コンピテンシーの関係〔機械工学〕

Tuning-AHELO	Tuning テスト問題バンク
【EGS】エンジニアリング汎用的能力（Engineering Generic Skills）	
EGS1．個人として、またはチームの一員として、効果的に役割を果たす能力。	【EGS】に含まれる。
EGS2．エンジニアリングの社会、及び一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力。	【EGS】エンジニアリングの社会、及び一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力 ※ 固有の設問で問うとともに、各設問の解答を採点する際に、「表現力」の観点からも採点する。
EGS3．生涯にわたり、自主的に学習することの必要性を認識し取り組む能力。	《本取組では測定しない》
EGS4．エンジニアリングの広範囲に亘る分野横断的な状況についての認識を示すことができる能力。	【ED】に含まれる。
【BES】工学基礎・工学専門（Basic and Engineering Sciences）	

BES1．専門とするエンジニアリング分野の基礎となる科学や数学の原理に関する知識と理解を示すことができる能力。 〔機械工学〕基礎数学は微分・積分、線形代数、数値解析法を含む。	【BES-基礎・基盤】専門とするエンジニアリング分野の基礎となる科学や数学の原理に関する知識と理解、及び最先端の事がらを含む幅広い知識を示すことができる能力。 ※　「**表１－２**．機械工学分野の教育内容の区分」の「基礎」に該当
BES2．専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力。	【BES】専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力。
BES3．専門とするエンジニアリング分野について最先端の事がらを含む幅広い知識を示すことができる能力。 〔機械工学〕以下の様な項目。 高度なプログラミング 固体力学・流体力学 材料科学・材料力学 熱学：熱力学・熱伝導 一般的な機械の動作（ポンプ、換気装置、タービン、エンジン）	【BES-基礎・基盤】に含まれる。 ※　「**表１－２**．機械工学分野の教育内容の区分」の「基盤」に該当
【EA】エンジニアリング分析・解析（Engineering Analysis）	
EA1．エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力。	【EA-解析】エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力。
EA2．エンジニアリングの生産物、プロセス、手法について分析するために知識と理解を応用する能力。	【EA-分析】エンジニアリングの生産物、プロセス、手法について分析するために知識と理解を応用する能力。
EA3．適切な分析方法やモデルを選択・適用する能力。	【EA-解析】【EA-分析】に含まれる。
EA4．文献を検索し、データベースや他の情報源を活用する能力。	【EA-解析】【EA-分析】に含まれる。
EA5．適切な実験を計画して実施し、データを解釈して、結論を導く能力。	【EA-解析】【EA-分析】に含まれる。
EA6．〔機械工学〕機械工学に係る以下に	【EA-解析】【EA-分析】に含まれる。

ついて分析する能力。 物質とエネルギーの収支とシステムの効率 水圧・空気圧システム 機械要素	
【ED】エンジニアリング・デザイン（Engineering Design）	
ED1．特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力。	【ED】特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力。
ED2．デザインの方法論を理解し、それらを活用できる能力。	【ED】に含まれる。
ED3．〔機械工学〕コンピュータ援用設計手法を用いて機械要素や機械システムのデザインを行う能力。	【ED】に含まれる。
【EP】エンジニアリング実践（Engineering Practice）	
EP1．適切な設備・道具・手法を選択して使用する能力。	《EP1-3 を統合して新規に定義》 【EP-統合】エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解した上で、選択・統合・活用する能力。
EP2．エンジニアリングの課題を解決するために、理論と実践を統合する能力。	
EP3．適用可能な技術や手法とその適用限界についての理解を示すことができる能力。	
EP4．エンジニアリングの実践における非技術的な関連事項に関する理解を示すことができる能力。	【EP-管理】に含まれる
EP5．工作や実験の技能を示すことがでる能力。	【EP-統合】に含まれる。
EP6．健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、及び解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理、責任、規範を引き受ける能力。	【EP-倫理】 健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、及び解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理、責任、規範を引き受ける能力。
EP7．例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法につい	【EP-管理】例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法につ

て、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力。	いて、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力。
EP8. 〔機械工学〕制御・生産システムを選択して活用する能力。	【EP-統合】に含まれる。

出典:Tuning テスト問題バンク HP「Tuning-AHELO 工学分野におけるコンピテンシー枠組み」と「Tuning テスト問題バンク機械工学分野のコンピテンシー枠組み」の関係

(https://ee80429c-3a4c-472b-a53f-a4b553ee0c95.filesusr.com/ugd/8c30e2_4141d5835335462ca55cecccf370ce76.pdf)

表１－２．機械工学分野の教育内容の区分

分野・分類			キーワード
基礎	数学	基礎力学を適宜融合・設計は各分野の上位概念	微分・積分、線形代数、複素関数、行列式、固有値と固有ベクトル
	物理学		力の釣り合い、力の合成・分解、力のモーメント、重心と分布力、運動の法則、質点/剛体の運動、仕事とエネルギー、摩擦、運動量と力積
基盤	材料と構造		引張・圧縮・せん断応力とひずみ、弾性と塑性、組合せ応力、多軸応力、真応力と真ひずみ、降伏条件と塑性構成式、ねじりと曲げ、座屈、ひずみエネルギーとエネルギー原理、材料の強度と許容応力、材料の構造と組織、工業材料の性質・機能、破壊
	運動と振動		自由振動、強制振動、過渡振動、共振、減衰振動、1自由度振動系、2自由度振動系、動吸振器、機械要素、運動伝達機構、不等速運動機構
	エネルギーと流れ		状態量と状態変化、状態方程式、エントロピー、熱力学の第一・第二法則、エクセルギーとエネルギー有効利用、熱サイクル、物質の混合、相変化、熱移動（熱伝導、対流伝熱、放射伝熱）、熱交換器、流体の諸特性、静止流体の力学、質量・運動量とエネルギーの保存、層流と乱流、相似則、理想流体、粘性流体、境界層、抗力と抵抗、渦運動、流体機械、
	情報と計測・制御		伝達関数、フィードバック制御、過渡応答、周波数応答、位相補償、安定性、根軌跡、PID制御、計測基礎、センサ、アクチュエータ、電気・電子回路、状態方程式と状

			態フィードバック、計算機利用の基礎
	加工と生産		切削法、工作機械、精密加工、マイクロ・ナノ加工、表面加工、塑性加工、接合、アセンブリ金型、ラピッドプロトタイピング、生産管理
	各分野の応用としての機械システム		産業機器・装置、化学プラント、流体機械、熱機器、内燃機関、動力システム、交通機械、ロボティクス、情報・メディア機器、医療・福祉・バイオ機器、資源・環境システム、宇宙機器・システム

出典：文部科学省先導的大学改革推進委託事業（平成 22-23 年度）「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」（平成 24 年 4 月千葉大学）に基づいて作成。

出典：Tuning テスト問題バンク HP「機械工学分野の教育内容の区分」

（https://ee80429c-3a4c-472b-a53f-a4b553ee0c95.filesusr.com/ugd/8c30e2_6d9597768f9f4ff593d95d37ea254222.pdf）

３．Tuning テスト問題バンクの構成-多肢選択式問題と記述式問題

Tuning テスト問題バンクでは、ペーパーベース（オンライン実施を含む）（実技や口頭試問に対して）のテスト形式の制約のなかで、九つの下位コンピテンシーの達成度を、**表１－３**．のとおり、多肢選択式問題と記述式問題によって測定している。

多肢選択式問題は、「知識」を記憶したり、正確に「理解」したり、比較的明確に定義された文脈のなかで「応用」したりできるかどうかといった、比較的低次な能力（知識・理解・応用）の達成度を測定するのに適しており、客観的に正誤がつけやすいため、短い時間で幅広い範囲の問題を解答・採点できるメリットもあるからである。

それに対して、学生が自分の言葉で回答したり、データからグラフや表を作成したりする記述式問題は、「知識」「理解」を使いこなし（「応用」）ながら、未知の条件や制約を含む多様な現象を「分析」して説明したり、知識を「総合」「評価」してモデル化したり、アイデアを導出したりできるかどうかといった、比較的高次な能力（分析・総合・評価）の達成度を測定するのに適しているからである。「エンジニアのように考える力」は、現実的で真正性の高い具体的文脈のなかでコンピテンシーを発揮するパフォーマンス評価のなかでこそ、表出しやすい。

こうした考え方に基づき、多肢選択式問題では【BES-基礎・基盤】工学基礎・工学専門、記述式問題では、【EA】エンジニアリング分析・解析、【ED】 エンジニアリング・デザイン、【EP】エンジニアリング実践-統合・倫理・管理の達成度を測定している。また、記述式問題において、高次の能力が発揮される前提としてエンジニアリング課題に関わる重要事項や概念に関する系統的な理解（【BES】工学基礎・工学専門）も身に付けていることが求められることから、それを直接確認するために、高次の能力の達成度を問う設問に先立って多肢選択式問題を用いて測定する場合もある（記述式問題埋め込み型多肢選択式問題）。

また、【EGS】エンジニアリング汎用的能力は、固有の設問で直接問うこともあるが、他の設問における解答の表現の的確性に表出するため、それを「表現力」の観点から採点することで捉える場合もある。

表１－３．Tuning テスト問題バンクの構成

テスト問題の種類	測定する下位コンピテンシー
多肢選択式問題	【BES-基礎・基盤】工学基礎・工学専門 ※「**表２－１．**機械工学分野の教育内容の区分」参照
記述式問題	【EGS】エンジニアリング汎用的能力 ※ 固有の設問で問うとともに、各設問の解答を採点する際に、「表現力」の観点からも採点する。 【BES】工学基礎・工学専門 【EA-解析】エンジニアリング解析 【EA-分析】エンジニアリング分析 【ED】 エンジニアリング・デザイン 【EP-統合】エンジニアリング実践-統合 【EP-倫理】エンジニアリング実践-倫理 【EP-管理】エンジニアリング実践-管理

（１）多肢選択式問題の形式

多肢選択式問題の形式の選択肢としては、**表１－４．**に具体的に示すとおり、一般的な多肢選択式問題、より複雑な多肢選択式問題、及びコンセプトマップ課題などが挙げられる。

一般的な多肢選択式問題とは、正しい選択肢を一つ選ばせる問題である。複雑な多肢選択式問題には、文章の正誤を判定させる「正誤課題」、文章と対応する項目を結びつける「組み合わせ課題」、正しい順序を判定させる「順序課題」などが含まれる。

コンセプトマップとは、概念間のつながりを、階層的なネットワーク構造で図示したものであり、知識の理解を測定する際に、重要な概念とそうでない概念を識別し、それらの関係性について体系的に理解しているかどうかを包括的に評価する方法として、近年注目されている。コンセプトマップ課題には複数の形式があるが、**表１－４．**にはそれぞれの文脈において重要な語句等を選択肢として提示し、空欄に該当する語句を当てはめていく形式を紹介している。

なお、いずれの形式においても、作問の際には次の点に留意することとしている。

1. 選択肢を見ないとよく理解できないような課題は避ける。
2. 正解は、不正解よりもはるかに正しく、より正確でなければならない。
3. 不正解は、正解がわからない学生にはもっともらしいものであるようにする。

4. 不正解の選択肢でも、課題に関係したものを用いる。
5. 課題文は正解への手がかりを与えてはならない。例えば、課題文には、正しい選択肢に表示されるキーワードを含まない方が良い。
6. 正解も不正解も、その選択肢をとるか判断するためのヒントを与えてはならない。
7. ひっかけ課題を入れるのは極力避ける。

表１－４．多肢選択式問題の課題例

〔一般的な多肢選択式課題の例〕 プロペラ式風力発電の特徴として正しいものを一つ選べ。 (ア) 20 世紀前半から使用されていた (イ) どのような場所に設置してもほぼ同量の発電量を期待できる (ウ) プロペラの回転は、プロペラにかかる圧力差に基づく揚力がその起源である (エ) 日本における普及率は 2020 年には 5%を上回りそうである
〔より複雑な多肢選択式問題-正誤課題の例〕 各文章の正誤の組み合わせとして、正しいものを一つ選べ。 (ア) プロペラ式風力発電においては、海岸沿いよりも山の中腹の風が強いところの方が設置に適している (イ) オランダ式風力発電では、特に場所を限定せずに設置できる点が最大の魅力である (ウ) プロペラ式風力発電のプロペラの回転の原理は、オランダ式風力発電の仕組みと同じである (エ) プロペラ式風力発電の日本における普及率は 2020 年には 5%を上回りそうである
〔より複雑な多肢選択式問題-組み合わせ課題の例〕 機械工学における問題解決のプロセスの説明 A）～C）と、対応する段階の名前（ア）～（カ）について、該当するもの同士を線で結びなさい A) 実際に試作を行うこと B) 評価結果を受けてより良い機会を作ること C) 初期段階において、これからつくる機械を構想すること (ア) 設計 (イ) 施工 (ウ) 評価 (エ) 改善 (オ) 修繕 (カ) 改築

(キ)

〔より複雑な多肢選択式問題-順序課題の例〕

風力発電装置を定期点検した結果、いくつかの破損部が見られた。この後の行動の順序として正しいものを選び、それを順に並べよ。ただし、すべて使うとは限らず、以下には最大 5 個の欄を設けているが、必ずしも 5 個並べる必要はない。

(ア) 工場長に連絡する

(イ) その破損部をその場で詳細に確認する

(ウ) 倫理マニュアルを開いてじっくり読む

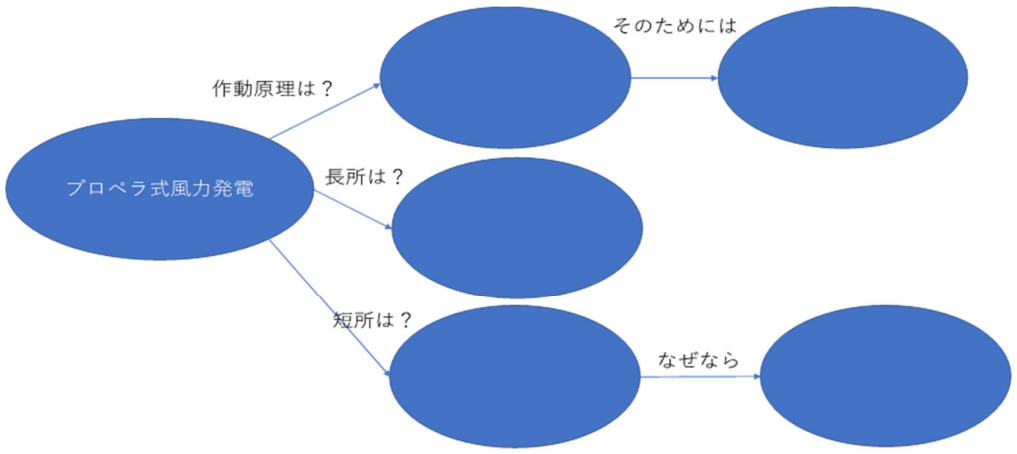
(エ) 破損部の固有振動数を確認し、その振動数に周囲の振動が一致していないか調べる

(オ) 近隣の人に避難を促す

厚労省の安全委員会に連絡する

〔コンセプトマップ課題の例〕

下にある語句の選択肢から、適当と考えられるものを、前後の言葉や概念を参考に、空欄に入れよ。



＜語句＞

揚力、浮力、コリオリ力、プロペラにねじれが必要、安定的な電力供給が期待できる、災害の影響を受けやすい、小さな破損でも致命的な影響になる、回転モーメントが一致しなくなるから、センサによる感知が難しいから

出典：「テスト問題作成の手引き(Ver13)」（2019 年 3 月）70 頁より抜粋。

これらの多肢選択式問題の形式の選択肢のうち、Tuning テスト問題バンクでは、幅広い知識の理解を短い時間で網羅的に確認する多肢選択式問題の目的を優先し、一般的な多肢選択式課題の形式を採用することとした。他方、記述式問題のなかで採用する埋め込み型多肢選択式問題には、複雑な多肢選択式問題やコンセプトマップの形式を採用する場合がある。

Tuning テスト問題バンクにおける多肢選択式問題作成の概要と具体例は、第 2 章におい

て概観する。

（２）記述式問題作成の工程

記述式問題の作成プロセスは、**図１－３．**に示す工程から構成される。

まず、題材と文脈を選び、シナリオを考える工程における課題は、エンジニアリング・コンピテンシーが発揮される真正性の高いエンジニアリング課題（題材：例えば、風車）を取り上げ、具体的にどのような状況設定にするのか（文脈：例えば、新しく風力発電所を設置する）、何を考えてほしいのか（シナリオ：例えば、設置に適した条件と具体的な設置方法を検討する）を決定することである。

次に、課題文を作成し、コンピテンシーとの対応を検討・確認する工程における課題は、エンジニアリング・コンピテンシーを問うための具体的な課題文を考えることである。その際、課題文を作成した後に、該当するコンピテンシーを割り当てるボトムアップ方式と、測定するコンピテンシーを決めたうえで、対応する課題を作成するトップダウン方式の方法がある。ボトムアップ方式には、作問者の自由な発想に基づく多様な問題が作成できるメリットがあるが、作成した問題でどのコンピテンシーが測定できるのかの判断が難しかったり、測定するコンピテンシーに偏りが生じたりする場合がある。逆に、トップダウン方式では、コンピテンシーの測定に適した問題をバランスよく作成できるメリットがあるが、作成した問題が画一的になってしまいがちである。

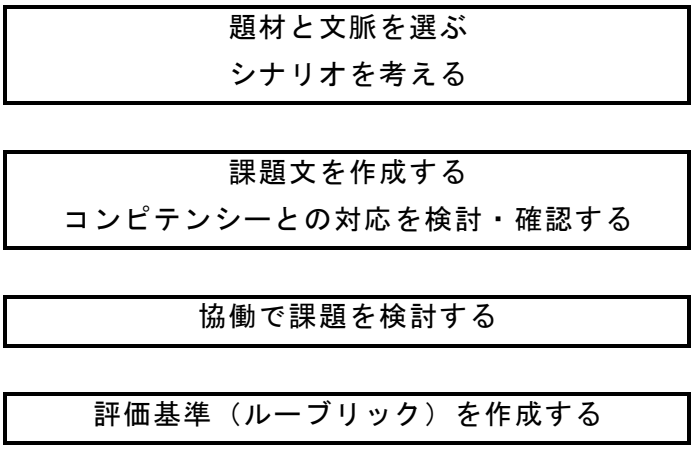


図１－３．記述式問題作成のプロセス

Tuning テスト問題バンクの取組の初期（模索フェーズ：2014～2015 年度）には、OECD-AHELO に倣って、ボトムアップ方式の問題作成を行っていた。しかしながら、作成したテスト問題で意図するコンピテンシーが実際には測定できていなかったり、測定できるコンピテンシーに偏りと抜けがあったりといった課題が明らかになった（検証フェーズ：2016～2018 年度）ことから、トップダウン方式の問題作成に変更した。

トップダウン方式の問題作成においては、**図１－４．**に示すとおり、テストの逆向き設計の考え方を基本としている。前述したとおり、コンピテンシーは複合性の原理(the principle of complexity)」に基づいて、単純なもの（低次）から複合的なもの（高次）の順に階層的に配列されおり、低次の教育目標の達成がより高次の教育目標の達成の前提になる累積的関係にある。すなわち、【EP】エンジニアリング実践のような高次で統合的なコンピテンシーを測定するための課題を解くためには、【ED】エンジニアリング・デザイン、【EA】エンジニアリング分析・解析、【ED】工学基礎・工学専門、【EGS】エンジニアリング汎用的能力といったより低次のコンピテンシーを身に付けていることが前提となる。したがって、エンジニアリング・コンピテンシーは、それぞれ独立して測定するのではなく、低次のコンピテンシーを高次のコンピテンシーに内包されるものとして統合的に位置づけたうえで、出題する順番において、比較的低次で非統合的なコンピテンシーを測定する問題から、より高次で統合的なコンピテンシーを測定する問題へと段階的に展開することで、一つの大きなストーリーのなかで解答者の思考を導きつつ、複数のコンピテンシーを捉えるテスト問題をデザインすることができる。

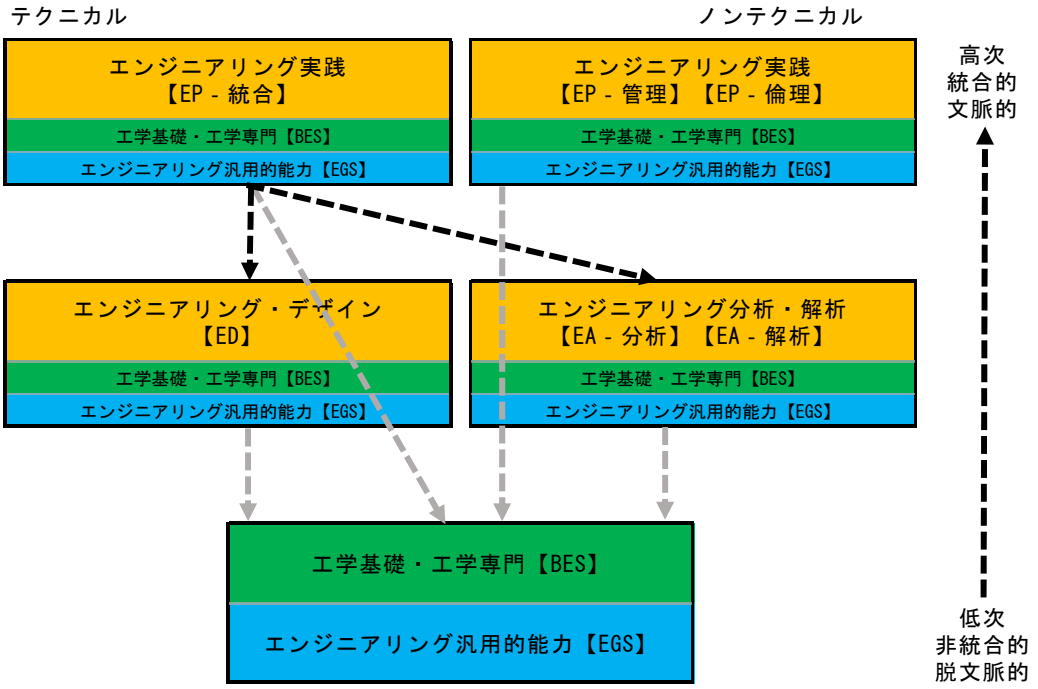


図１－４．テストの逆向き設計

注：「テスト問題作成の手引き(Ver13)」(2019 年 3 月) 32 頁に基づいて作成。

課題文の作成においては、解答が拡散しないよう、解答者にどのような回答を期待しているのかを明確に示すよう留意することとしている。例えば、ある研究報告に対して「自由に

論じよ」と教示するのではなく、「研究報告の提言に対して、あなたは賛成/反対/保留のどの立場を選ぶか。立場を明確にしたうえで、その理由を説明せよ」や「研究報告のエビデンスの強弱を測定方法・分析方法の観点から批判的に検討せよ」など、具体的に教示することが重要である。

協働で課題を検討する工程は、テスト問題の質を保証するうえで重要である。異なる専門分野の専門家が集い、多角的に課題を見直し、題材・文脈・シナリオの真正性、学術的・文化的・倫理的正しさ、課題文と表記（図表・出典等）の明確さ、設問のバランス等を検討し、必要に応じて加筆修正することによってテスト問題の質は高度化する。さらに、そのプロセスを通して、専門家集団のなかでエンジニアリング・コンピテンシーの評価に関する共通認識が醸成され、コンピテンシー評価に係る専門家の鑑識眼（エキスパート・ジャッジメント）が鍛えられる。

記述式問題の採点は、この専門家の鑑識眼に頼るところが大きいが、評価者の恣意的な評価によって評価結果が大きく異なってくることを回避し、採点のぶれを低減するために作成するのがルーブリックである。ルーブリックは、評価者が評価を行う際に参照する評価基準であり、複数の評価者が評価結果のすり合わせ（キャリブレーション）を行う際に活用するコミュニケーションツールでもある。さらに、学習者が、自らの学びの進捗を理解し、課題を把握するための学びの指針でもある。

ルーブリックは、評価の観点とレベル（尺度）、及び記述語（基準）から構成される。評価の観点では、解答に求める要素を分解して明示する。記述語では、各観点に対してどのようなパフォーマンスを期待するのかを説明する。ことで、採点のぶれを低減することができる。記述語は、評価のレベルごとに定義するのが基本形であるが、最高レベルのみを定義する場合もある（採点指針ルーブリック）。

採点指針ルーブリックのメリットは、多様な解答の採点に対して、一定程度の柔軟性が許容される点にあるが、各解答がどのように最高レベルの評価に値しなかったかを具体的に説明することが求められる。柔軟性の代償として高まる採点のぶれを、複数の評価者による評価結果の平均値をとるなどの方法で克服することも検討しなければならない。

Tuning テスト問題バンクでは、**図１－５**．に示すとおり、採点指針ルーブリックを採用しており、評価者は評価の観点を参照しながら各解答が**表１－４**．に示すどのレベルに該当するのか決定し、採点用紙にその理由を添えて記録することとしている。また、一つの解答に対して複数の評価者が採点を行い、評価結果の平均値を算出している。なお、ルーブリックにおいて、各設問が複数の観点から重層的に評価されており、特に【EGS】エンジニアリング汎用的能力は、他のコンピテンシーを評価する際に合わせて評価されていることが分かる。

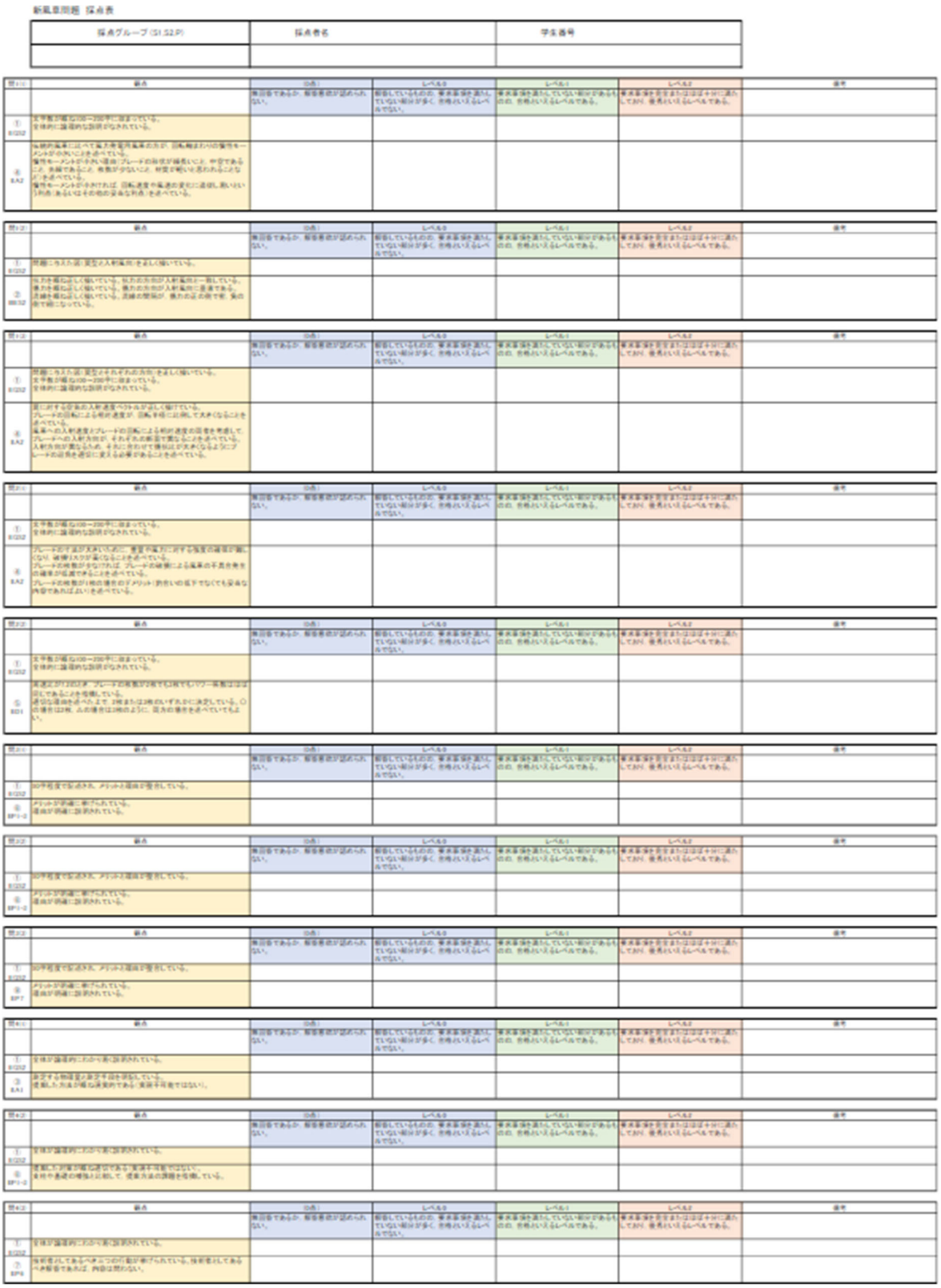


図１－５.「風力問題」採点指針ルーブリック（採点用紙）

出典：Tuning テスト問題バンク HP「記述式問題の例－採点表」

(https://ee80429c-3a4c-472b-a53f-a4b553ee0c95.filesusr.com/ugd/8c30e2_98eca930755144a19b77a372846fd46a.pdf)

表１－４．Tuning テスト問題バンクのルーブリックのレベル

0 点	無回答であるか、解答意欲が認められない。
レベル 0	解答しているものの、要求事項を満たしていない部分が多く、合格といえるレベルでない。
レベル 1	要求事項を満たしていない部分があるものの、合格といえるレベルである。
レベル 2	要求事項を完全またはほぼ十分に満たしており、優秀といえるレベルである。

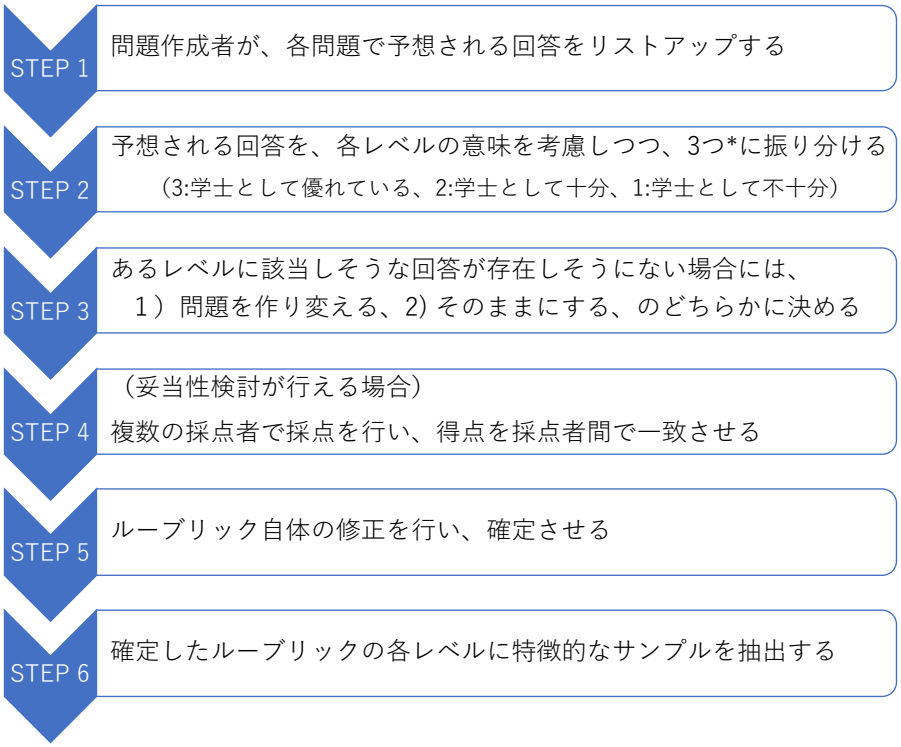


図１－６．ルーブリック作成のプロセス

出典：「テスト問題作成の手引き(Ver13)」（2019 年 3 月）80 頁より抜粋。

こうしたルーブリック作成のプロセスは、**図１－６．**に示すとおりである。

記述式問題作成のための設計図（ブループリント）と具体例は、第 3 章において概観する。

４．技術者倫理問題

Tuning テスト問題バンクでは、【EP-倫理】エンジニアリング実践-倫理（以下、倫理的コ

ンピテンシー）の達成度を測定する方法論開発に、哲学と工学の専門家が協働して取り組んできた。

そもそも、「倫理」とは人の在り方、性格の善さと関連する概念であることから、それは果たして測定可能なのか、仮に測定可能だとしても教えることはできるのかという哲学的問いが立ちはだかる。Tuning テスト問題バンクでは、エンジニアの倫理的コンピテンシーの在り様は、具体的な課題・モラルジレンマに直面した時に、エンジニアとしてどのような意思決定をするかに表出することに注目し、エンジニアが実際に直面することが想定される課題・モラルジレンマを模擬的に再現し、意思決定の在り方、及びその前提となるエンジニアとして遵守すべき各種法規・倫理的規範についての知識・理解を問うことによって、倫理的コンピテンシーを測定することは可能であるという立場をとっている。倫理的コンピテンシーの内実を明らかにすることを通して、学生の倫理に関する感性を磨く教育の営みの高度化に寄与することが可能ではないかとも考えている。

しかしながら、教育目標や教育内容に関する共通理解が比較的高いレベルで確立されているテクニカルな側面における工学教育と比べて、技術者倫理教育の教育目標や教育内容に関する共通理解は未確立である。そこで、Tuning テスト問題バンクでは、技術者倫理教育の教育内容の範囲と水準を、次の三つの方法で同定した。第一に、技術士試験（第一次試験の基礎科目・適性科目、第二次試験（筆記試験）の必須科目I）の調査、第二に、工学系大学や総合大学の工学系学部における技術者倫理に関する授業科目のシラバス（日本工学教育協会のモデルシラバスを含む）の調査、第三に、それらの大学で採用されている教科書で取り上げられているトピックの調査に基づいて、技術者倫理教育の教育内容の範囲と水準を暫定的に設定した。

倫理的コンピテンシーを測定する方法については、技術者倫理課題における思考プロセスの多様性、技術者教育の育目標や教育内容に関する共通理解が未確立であることに起因する採点者間でのキャリブレーション（評価基準のすり合わせ）の難しさに鑑み、可能な限り記述式問題ではなく多肢選択式問題によって評価する問題開発を目指し、プロトタイプが完成した。

残されている課題としては、プロトタイプに基づいて開発した技術者倫理問題によって、意図する倫理的コンピテンシーを実際に測定できているか（妥当性）、繰り返し測定しても同レベルのコンピテンシーに対して一貫して同等の評価結果が得られるのか（信頼性）を検証するとともに、作問プロセスのマニュアルを作成して再現性を高める必要がある。

倫理的コンピテンシーの学修成果測定ツールの構築には、倫理学者と専門技術者の間での協力が不可欠である。その協力のプロセスを重ねることで、技術者倫理教育の学修成果はどうあるべきかについての哲学が醸成されていくはずである。また、倫理的コンピテンシーの学修成果測定ツールを共有することを通して、技術者倫理教育の在り方についての共通理解が形成され、教育改善の方向性も明確化されていくことが期待される。

５．テストの妥当性と信頼性の検証

作成したテスト問題を用いて、測定しようと意図するコンピテンシーが実際に測定できたのか（妥当性）。そして、繰り返し測定しても、同レベルのコンピテンシーに対して一貫して同等の評価結果が得られるのか（信頼性）。Tuning テスト問題バンクでは、**図１－７．**に示すとおり、テスト問題をデザインする段階、及び問題を確定するプロセスのなかで、テスト問題の妥当性と信頼性を確保することに努めてきた。

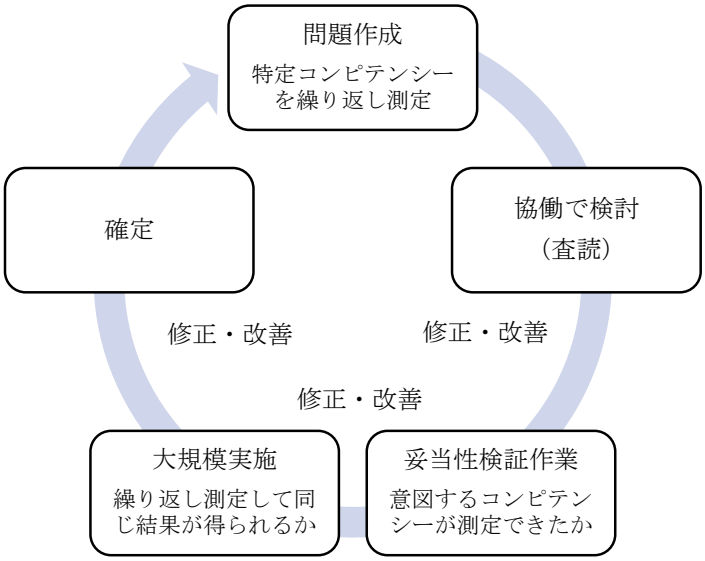


図１－７．Tuning テスト問題バンクの妥当性・信頼性検証・向上プロセス

テストの信頼性は、テスト問題をデザインする段階において、特定のコンピテンシーを測定するための問題数を増やしたり、機会を増やしたりして、その平均点や合計点をとることで、一般に向上させることができる。しかしながら、試験時間の制約上、いたずらに問題数を増やすことはできない。そのため Tuning テスト問題バンクでは、一つの問題で複数のコンピテンシーを測定することで、特定のコンピテンシーを繰り返し測定できる工夫を行った。

問題を確定するプロセスにおいては、テスト問題を複数の専門家が協働で作成したり、協働で検討（査読）したりする方法で質を高めたうえで、妥当性検証作業、大規模実施を経た後に確定している。「妥当性検証作業」とは、小規模の学生を対象にテスト問題を試行した後に、学生とのディスカッションを行い、テスト問題で意味や趣旨がわかりにくい箇所はなかったか、出題された内容は学部時代に学んだ内容だったか、その他に気付いた点はなかったかについて聞き取る取組である。テスト問題の解答結果と合わせ、専門家による協議を行い、必要に応じてテスト問題の修正・改善を行った。

「大規模実施」では、学科（複数研究室）規模の学生を対象にテストを実施し、同レベ

ルのコンピテンシーに対して同等の評価結果が得られるのかを確認し、必要に応じてテスト問題の修正・改善を行った。また、希望する教育機関には教育プログラム単位のフィードバックを提供してきた。

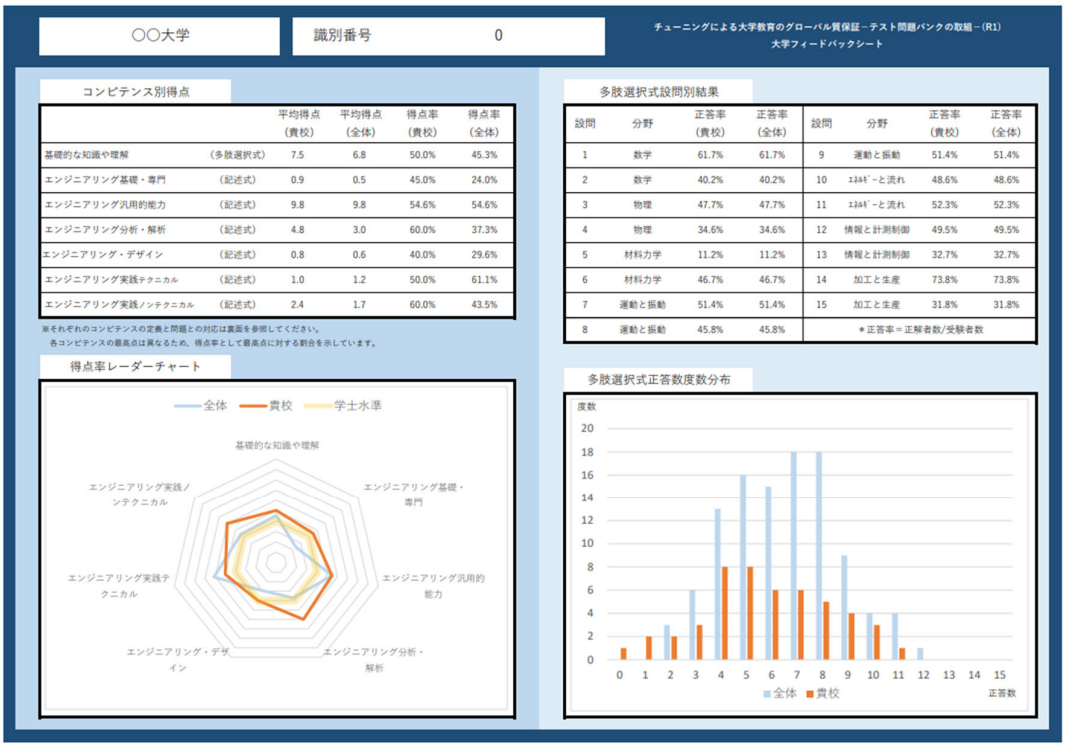
解答者負担、評価者負担は決して小さくないが、可能な限りこれらの手続きを遵守し、一連のプロセスを経たテスト問題を確定版とし、テスト問題バンクを構築してきた。

６．教育機関へのフィードバック

教育機関返却用フィードバックシートは、「教育プログラムの強みと弱みを把握する」ための情報提供をねらいとしており、提供した情報に基づいて、教育機関が教育課程の有効性を検証し、必要に応じて改善・向上を目指すことが意図されている。教育プログラムを履修する学生集団のコンピテンシー達成状況を示す資料であり、個別学生のコンピテンシー達成度を示す資料ではないことに留意が必要である。教育機関返却用フィードバックシートは、**表１－５．**に示す七つの項目から構成されており、**図１－８．**にそのサンプルを示す。

表１－５．フィードバックシートの項目

	項目	内容
評価結果	コンピテンシー別得点	所属学生、及び同一問題に取り組んだ他大学の学生を含む全体の平均得点と得点率（以下、(所属学生・全体)。
	得点率レーダーチャート	コンピテンシー別得点率の状況（所属学生・全体）※目安として 40%を学士水準に設定。
	多肢選択式設問別結果	多肢選択式問題の設問別正答率（所属学生・全体）
	多肢選択式正答数度数分布	多肢選択式問題の設問別正答数（所属学生・全体）
	記述式ルーブリック得点分布	記述式問題の設問別得点（評価レベル）の分布（所属学生のみ）
説明	エンジニアリング・コンピテンシー枠組み	Tuning テスト問題バンクのエンジニアリング・コンピテンシーの構造（**図１－２**）
	コンピテンシー対応、及び評価基準	テスト問題の各設問が、どのコンピテンシーの達成度を測定しているのか、ルーブリックの各レベルが何を意味するのかを説明。



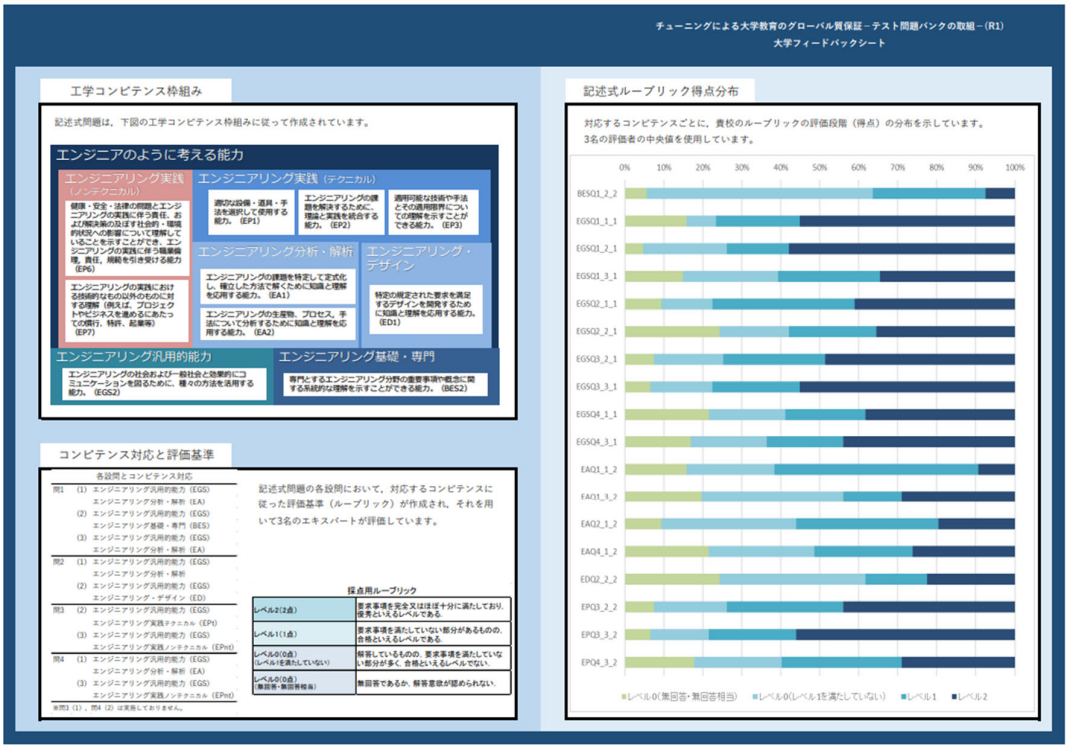


図１－８．フィードバックシート（サンプル）

出典：Tuning テスト問題バンク HP「フィードバックシート」

(https://ee80429c-3a4c-472b-a53f-a4b553ee0c95.filesusr.com/ugd/8c30e2_7be7f0d109f143a792b88ed49b250906.pdf

【参考文献】

- 石井真英，2011,『現代アメリカにおける学力形成論の展開－ スタンダードに基づくカリキュラムの設計』，東信堂。
- 田中一孝，2025,「技術者倫理のコンピテンスを測定する―Tuning テスト問題バンクにおける技術者倫理問題の開発の試み」（日本機会学会・国立教育政策研究所 Tuning テスト問題バンク共催公開ワークショップ―技術者倫理教育の学修目標の設定と達成度評価）（2025 年 3 月 1 日東京科学大学森戸記念館）
- チューニングによる大学教育のグローバル質保証テスト問題バンクの取組テスト問題作成 WG，2019、『テスト問題作成の手引き（Ver.13）』（内部資料）。
- チューニングによる大学教育のグローバル質保証テスト問題バンクの取組西日本拠点「令和 7 年 7 月　九州大学大規模実施の実施状況」（2025 年 10 月 25 日第 3 回運営委員会）（内部資料）。
- 日本学術会議機械工学委員会機械工学分野の参照基準検討分科会，2013,『大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 - 機械工学分野』日本学術会議 web ページ、https://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/daigakuhosyo/daigakuhosyo.html （参照日：2026 年 8 月 1 日）。
- 渡邉聡、藏田耕作、田原健二、斎藤有吾、美馬秀樹、深堀聰子，2024，「機械工学分野における学修目標達成度評価への Tuning テスト問題バンクの試行的活用」『工学教育研究講演会講演論文集』https://doi.org/10.20549/jseeja.2024.0_222。
- OECD，2011，“A Tuning-AHELO Conceptual Framework of Expected Desired/Learning Outcomes in Engineering”、 *OECD Education Working Papers*、 No. 60、 OECD Publishing、 Paris、 https://doi.org/10.1787/5kghtchn8mbn-en.

第２章 多肢選択式問題の作成方法について

井上　裕嗣（東京科学大学）

１．はじめに

Tuning テスト問題バンクの取組では、機械工学分野における「エンジニアのように考える力」を総合的に測定することを目指して、「多肢選択式問題」と「記述式問題」から構成される「Tuning テスト問題バンク」を開発してきた。ここでは「多肢選択式問題」について説明する。

２．多肢選択式問題を作成する目的

エンジニアリング・コンピテンシー（**表２－１.及び図１－２.**）のうち【BES】工学基礎・工学専門については、「記述式問題」においても、より高次なコンピテンシーである【EA】エンジニアリング分析・解析、【ED】エンジニアリング・デザイン、【EP】エンジニアリング実践、及びコミュニケーション能力を中心とする【EGS】エンジニアリング汎用的能力を問う文脈に埋め込まれた形で測定される。

このような「記述式問題」に加えて「多肢選択式問題」も作成しているのは、「記述式問題」で展開する特定のシナリオのなかで扱うことのできる【BES】工学基礎・工学専門の範囲は限定的であり、幅広く網羅的に捉えることは難しいからである。この制約を補完することを目的として、「記述式問題」ほど時間をかけなくても解答できる「多肢選択式問題」を「機械工学分野の教育内容の区分（**表２－２.**）」ごとに作成し、区分横断的に出題することで、限られた試験時間のなかで、【BES-基礎・基盤】工学基礎・工学専門を幅広く測定することを試みている。

表２－１.　Tuning テスト問題バンクのエンジニアリング・コンピテンシー

エンジニアリング汎用的能力	【EGS】エンジニアリングの社会、及び一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力
工学基礎・工学専門	【BES-基礎・基盤】専門とするエンジニアリング分野の基礎となる科学や数学の原理に関する知識と理解、及び最先端の事がらを含む幅広い知識を示すことができる能力
	【BES】 専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力
エンジニアリング分析・解析	【EA‐解析】 エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力

	【EA‐分析】 エンジニアリングの生産物、プロセス、手法について分析するために知識と理解を応用する能力
エンジニアリング・デザイン	【ED】 特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力
エンジニアリング実践	【EP‐統合】 エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解した上で、選択・統合・活用する能力
	【EP‐倫理】 健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、及び解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理、責任、規範を引き受ける能力
	EP‐管理】 例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法について、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力

表２－２．機械工学分野の教育内容の区分（表１－２．再掲）

分野・分類			キーワード
基礎	数学	基礎力学を適宜融合・設計は各分野の上位概念	微分・積分、線形代数、複素関数、行列式、固有値と固有ベクトル
	物理学		力の釣り合い、力の合成・分解、力のモーメント、重心と分布力、運動の法則、質点/剛体の運動、仕事とエネルギー、摩擦、運動量と力積
基盤	材料と構造		引張・圧縮・せん断応力とひずみ、弾性と塑性、組合せ応力、多軸応力、真応力と真ひずみ、降伏条件と塑性構成式、ねじりと曲げ、座屈、ひずみエネルギーとエネルギー原理、材料の強度と許容応力、材料の構造と組織、工業材料の性質・機能、破壊
	運動と振動		自由振動、強制振動、過渡振動、共振、減衰振動、1自由度振動系、2自由度振動系、動吸振器、機械要素、運動伝達機構、不等速運動機構
	エネルギーと流れ		状態量と状態変化、状態方程式、エントロピー、熱力学の第一・第二法則、エクセルギーとエネルギー有効利用、熱サイクル、物質の混合、相変化、熱移動（熱伝導、対流伝熱、放射伝熱）、熱交換器、流体の諸特性、静止

			流体の力学、質量・運動量とエネルギーの保存、層流と乱流、相似則、理想流体、粘性流体、境界層、抗力と抵抗、渦運動、流体機械、
	情報と計測・制御		伝達関数、フィードバック制御、過渡応答、周波数応答、位相補償、安定性、根軌跡、PID制御、計測基礎、センサ、アクチュエータ、電気・電子回路、状態方程式と状態フィードバック、計算機利用の基礎
	加工と生産		切削法、工作機械、精密加工、マイクロ・ナノ加工、表面加工、塑性加工、接合、アセンブリ金型、ラピッドプロトタイピング、生産管理
	各分野の応用としての機械システム		産業機器・装置、化学プラント、流体機械、熱機器、内燃機関、動力システム、交通機械、ロボティクス、情報・メディア機器、医療・福祉・バイオ機器、資源・環境システム、宇宙機器・システム

出典：文部科学省先導的大学改革推進委託事業（平成 22-23 年度）「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」（平成 24 年 4 月千葉大学）に基づいて作成。

出典：Tuning テスト問題バンク HP「機械工学分野の教育内容の区分」

(https://ee80429c-3a4c-472b-a53f-a4b553ee0c95.filesusr.com/ugd/8c30e2_6d9597768f9f4ff593d95d37ea254222.pdf

３．多肢選択式問題の内容と構成

前述のとおり、「多肢選択式問題」は、エンジニアリング・コンピテンシーのうち【BES-基礎・基盤】工学基礎・工学専門の知識と理解を幅広く測定することを目的としている。「機械工学分野の教育内容の区分（**表２－２.**）」ごとに作成した問題を多数蓄積し、そのなかから横断的に 10 問ないし 15 問を抽出して受験者に解答させる。形式的には、**例題 1.** に示すとおり、「多肢選択式問題」は 4 肢択一式の統一的フォーマットを採用している。

問題の難易度と煩雑度については、学士課程修了段階のレベルの受験者が、1 問当たり 2～3 分程度（例えば、10 問で 30 分または 15 問で 45 分程度）で解答できる水準に設定している。より具体的には、機械工学分野全体の幅広い範囲から出題すること、解答に際して参考資料は一切参照させないこと、またそれゆえに受験者がごく基本的に身につけているべき知識と理解を問うことに留意して、問題の難易度と煩雑度を設定している。これは、学士課程における特定の授業科目の期末試験等よりもさらに基礎的な知識と理解を問うことに相当し、機械工学分野のエキスパートが Tuning テスト問題バンクの多肢選択式問題を作成するに当たって基本的に留意すべきことである。

以上の基本的枠組みの下であっても、すべての問題について難易度と煩雑度を完全に統一することは困難であり、また様々な受験者を対象とする上で一定程度の幅を持たせるこ

とは必要である。そこで、知識のみで容易に解答できる問題を「易」、応用を要する問題を「難」として 2 段階に分類し、評価の際にこれを考慮に入れることにしている。

また、「多肢選択式問題」では、受験者に問題についての知識と理解がなく解答不能な場合であっても、いずれかの選択肢を選択することで形式的に解答することが可能であり、4 肢択一であれば形式上 25%の確率で正解となる。そこで、受験者がどの程度の「確からしさ」をもって解答したのかを識別することを目的として、いずれの問題にも「解答にある程度自信がある」と「解答に自信がない」のいずれかを選択させる仕組みを導入している。

例題 1. 多肢選択式問題の例（数学 14. 3）

問１　関数 $f(x)=\dfrac{x^2e^x}{\cos x}$ の導関数として、次の中から正しいものを一つ選べ.

A　$\dfrac{d}{dx}f(x)=-\dfrac{x(x+2)e^x}{\sin x}$

B　$\dfrac{d}{dx}f(x)=\dfrac{x(x+2)e^x}{\sin x}$

C　$\dfrac{d}{dx}f(x)=\dfrac{xe^x\left[(x+2)\cos x-x\sin x\right]}{\cos^2 x}$

D　$\dfrac{d}{dx}f(x)=\dfrac{xe^x\left[(x+2)\cos x+x\sin x\right]}{\cos^2 x}$

問２　上の問いで選択した解答について、次の中から該当するものを一つ選べ.

(a) 解答にある程度自信がある

(b) 解答に自信がない

出典：国立教育政策研究所ホームページ「多肢選択式の例：数学」
（https://www.nier.go.jp/tuning/centre.html）

以上の事項に加えて、問題作成にあたっての文章表現や書式、さらには問題案の作成からブラッシュアップ、最終承認に至るまでのプロセスを「テスト問題バンク機械工学分の多肢選択問題作成マニュアル」（2022 年 1 月）として一つの文書に取りまとめており、2028 年 3 月に刊行する Full Version に収録する予定である。

さらに、「多肢選択式問題」ではオンラインでの試験実施と解答データのコンピュータによる採点が極めて有効であることから、代表的なオープンソースの学習支援システム（Learning Management System、 LMS）である Moodle を利用して、「MARS システム」と称

するシステムを構築している。MARS システムでは、承認された問題案のデータベースへの登録、出題しようとする問題の抽出、試験の実施、実施結果（採点結果）の記録・分析などの一連のプロセスがオンライン上で実行できるようになっている。

４．成果と課題

多肢選択式問題は、日本技術士会「技術士第一次試験」[1]をはじめとする多くの資格試験等において採用されているように、日本の工学教育の現場において比較的なじみ深いものであり、問題作成の方法についても既に一定の経験が蓄積されたものである。しかしながら、多肢選択式問題でどのようなコンピテンシーが実際に測定されており、それが他のコンピテンシーとどのような関係にあるのか、必ずしも厳密に分析されてきたわけではない。よって、多肢選択式問題について理解を深めることは、教育評価方法の高度化にとって重要なステップであった。

このような関心から、Tuning テスト問題バンクの取組では「多肢選択式問題」の作成・実施・分析にも注力してきた。その結果として明らかになったのは、主に次の項目である。

(1) ある大学のある学科に所属する比較的多数の学生を対象として試験を実施し、さらにこれを複数の大学・学科で同様に実施した場合、結果を相互に比較することによって、大学・学科間のカリキュラムの相対的評価を行うことは一定程度可能であった。また、特定の大学・学科において、カリキュラムの改訂前後でそれぞれ比較的多数の学生を対象として試験を実施することによって、改訂前後のカリキュラムの相対的評価を行うことも一定程度可能であった。ただし、機械工学分野の教育内容の区分ごとの知識・理解の程度は個々の受験者ごとに自ずと異なるため、限られた時間・問題数（10 問で 30 分または 15 問で 45 分程度）の試験では、受験者数が十分に多くなければ複数のカリキュラムの間の相対的な評価精度は低下することが容易に推察される。したがって、「多肢選択式問題」によって複数のカリキュラム間の相対的評価を行うためには、試験を実施する際の受験者数、時間、問題数を適切に設定することが重要なポイントであって、今後も引き続き検討を重ねる必要がある。

(2) 個々の受験者の知識・理解の程度を測定することは、形式的には実施できるものの、(1)で述べた理由により、現状の枠組みでは極めて不十分である。そもそも Tuning テスト問題バンクの取組みはカリキュラムの評価を当初の目的としていたため、現状の枠組みでは個々の受験者の学修の達成度を評価するには不十分である。しかしながら、Tuning テスト問題バンクの取組みで作成された「多肢選択式問題」は個々の学修者の知識・理解の程度を測定することにも利用できる可能性は十分に認められる。今後は、「多肢選択式問題」のデータベースを大幅に充実させるとともに、個々の学修者の知識・理解の程度を測定するための枠組みについて検討を進めることが期待される。

【参考文献】

1) 日本技術士会「試験・登録情報　過去問題（第一次試験）」
https://www.engineer.or.jp/c_categories/index02021.html

第３章 「記述式問題作成シート」を活用した記述式問題の作成

渡邉　聡（九州大学）

１．はじめに

Tuning テスト問題バンクの取組では、機械工学分野における「エンジニアのように考える力」を総合的に測定することを目指して、「多肢選択式問題」と「記述式問題」から構成される「Tuning テスト問題バンク」を開発してきた。記述式問題の作成方法については、この取組のテスト問題作成ワーキンググループが作成した「テスト問題作成の手引き（Ver.13）」、及び斎藤・長沼らによる「テスト問題作成の手引きの概要」に詳しく書かれている。一方、実際に問題を作成する際には、出題者の非常に多大な努力と幅広い知識が必要とされる。また、記述式問題は実際に存在するモノを対象とすることが多く、時間の経過とともに問題が古くなるなど維持管理が難しいなどの課題もある。

そこで、テスト問題作成ワーキンググループでは、西日本拠点のメンバーが中心になって、問題作成の効率的な作成計画の立案、進捗管理、作成後のアップデートの容易性を考慮し、「記述式問題作成シート」を提案した。この記述式問題作成シートは、これまでの作問が一人の出題者の努力に大きく依存していたことに鑑み、複数の専門家による大問（モジュール）の同時並行的な作問を可能にするとともに、問題の過不足、すなわち分野やコンピテンシーごとの問題数の確認、さらには大問のアップデート、大問の追加、目的に合わせた大問の組み合わせによる問題構成の自由度の向上を可能とすることを目的としている。本稿では、記述式問題作成シートの構成と使用方法、新規問題作問時の記述式問題作成シートの使用例、既存問題に対する記述式問題作成シートの使用例について概説する。

２．記述式問題を作成する目的

機械工学分野における「エンジニアのように考える力」とは、単に各専門科目の知識・理解を有することではなく、知識・理解とそれらに基づいたスキルを活用して問題解決を行う高次で統合的な能力、態度、人間社会に紐づいた価値観を踏まえた複合的な能力のことである。このような能力は、単純な知識再生型の問題だけでは測定し難い。Tuning テスト問題バンクでは、多肢選択式問題と記述式問題をセットにし、多肢選択式問題により工学基礎・専門に関する幅広い知識・理解を測定し、記述式問題により、専門知識・理解を活用し、分析・設計・判断・説明を行う統合的能力を測定する。

表３－１．に、Tuning テスト問題バンクの取組において、日本学術会議が策定した「大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準:機械工学分野」を参照し、「Tuning-AHELO 工学分野におけるコンピテンシー枠組み」に沿って設定した機械工学分野のコンピテンシー枠組みを示す。この枠組みでは、機械工学分野における「エンジニアのように考え

る力」を、【EA】エンジニアリング分析・解析、【ED】エンジニアリング・デザイン、【EP】エンジニアリング実践の三つに分解している。したがって、記述式問題は、【EGS】エンジニアリングの汎用的能力、及び【BES】工学基礎・工学専門を踏まえつつ、主としてこの三つの能力を限られた試験時間で的確かつ効率的に計測できるよう設計しなければならない。

表３－１．　Tuning テスト問題バンクのエンジニアリング・コンピテンシー（表２－１．再掲）

エンジニアリング汎用的能力	【EGS】エンジニアリングの社会、及び一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力
工学基礎・工学専門	【BES-基礎・基盤】専門とするエンジニアリング分野の基礎となる科学や数学の原理に関する知識と理解、及び最先端の事がらを含む幅広い知識を示すことができる能力
	【BES】専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力
エンジニアリング分析・解析	【EA - 解析】 エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力
	【EA - 分析】 エンジニアリングの生産物、プロセス、手法について分析するために知識と理解を応用する能力
エンジニアリング・デザイン	【ED】 特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力
エンジニアリング実践	【EP - 統合】 エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解した上で、選択・統合・活用する能力
	【EP - 倫理】 健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、及び解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理、責任、規範を引き受ける能力
	EP - 管理】 例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法について、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力

一方、モノづくりの基盤分野である機械工学分野で学習する専門科目は非常に多岐にわたっている。Tuning テスト問題バンクの取組では、機械工学部門の教育内容を**表３－２．**のように区分している。したがって、機械工学分野における「エンジニアのように考える力」

を適切に計測するには、この表に示された分野をできるだけカバーしつつ、【EA】エンジニアリング分析・解析、【ED】エンジニアリング・デザイン、【EP】エンジニアリング実践の三つの能力を的確に計測できる記述式問題を、過不足なく効率的に作問するのが良い。また、それが可能なテーマ設定、題材の選択も重要である。

表３－２．機械工学分野の教育内容の区分（表１－２．表２－２．再掲）

分野・分類			キーワード
基礎	数学	基礎力学を適宜融合・設計は各分野の上位概念	微分・積分、線形代数、複素関数、行列式、固有値と固有ベクトル
	物理学		力の釣り合い、力の合成・分解、力のモーメント、重心と分布力、運動の法則、質点/剛体の運動、仕事とエネルギー、摩擦、運動量と力積
基盤	材料と構造		引張・圧縮・せん断応力とひずみ、弾性と塑性、組合せ応力、多軸応力、真応力と真ひずみ、降伏条件と塑性構成式、ねじりと曲げ、座屈、ひずみエネルギーとエネルギー原理、材料の強度と許容応力、材料の構造と組織、工業材料の性質・機能、破壊
	運動と振動		自由振動、強制振動、過渡振動、共振、減衰振動、1自由度振動系、2自由度振動系、動吸振器、機械要素、運動伝達機構、不等速運動機構
	エネルギーと流れ		状態量と状態変化、状態方程式、エントロピー、熱力学の第一・第二法則、エクセルギーとエネルギー有効利用、熱サイクル、物質の混合、相変化、熱移動（熱伝導、対流伝熱、放射伝熱）、熱交換器、流体の諸特性、静止流体の力学、質量・運動量とエネルギーの保存、層流と乱流、相似則、理想流体、粘性流体、境界層、抗力と抵抗、渦運動、流体機械、
	情報と計測・制御		伝達関数、フィードバック制御、過渡応答、周波数応答、位相補償、安定性、根軌跡、PID制御、計測基礎、センサ、アクチュエータ、電気・電子回路、状態方程式と状態フィードバック、計算機利用の基礎
	加工と生産		切削法、工作機械、精密加工、マイクロ・ナノ加工、表面加工、塑性加工、接合、アセンブリ金型、ラピッドプロトタイピング、生産管理

	各分野の応用としての機械システム		産業機器・装置、化学プラント、流体機械、熱機器、内燃機関、動力システム、交通機械、ロボティクス、情報・メディア機器、医療・福祉・バイオ機器、資源・環境システム、宇宙機器・システム

出典：文部科学省先導的大学改革推進委託事業（平成 22-23 年度）「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」（平成 24 年 4 月千葉大学）に基づいて作成。

出典：Tuning テスト問題バンク HP「機械工学分野の教育内容の区分」

(https://ee80429c-3a4c-472b-a53f-a4b553ee0c95.filesusr.com/ugd/8c30e2_6d9597768f9f4ff593d95d37ea254222.pdf

３．記述式問題作成シートの構成

機械工学部門の広い学習内容に対して、機械工学の学問分野をカバーしつつ、【EA】エンジニアリング分析・解析、【ED】エンジニアリング・デザイン、【EP】エンジニアリング実践の三つの能力を計測する記述式問題を、一人の、あるいは限られた人数の専門家が作問するのは、専門的な正確性の担保、作問に要するであろう膨大な時間の確保の観点で、非常に困難である。一方で、異なる専門性を有する複数の専門家が共同で問題を作成する場合においても、テーマに沿った問題のストーリー性の確保や、各大問で問うべきコンピテンシーの調整に時間を要するなど、課題が多い。そこで、テスト問題作成ワーキンググループでは、西日本拠点のメンバーが中心になって、複数の専門家による問題作成の効率的な作成計画の立案、進捗管理、作成後のアップデートの容易性を考慮し、記述式問題作成シート（**別添 1.**）を提案した。

記述式問題作成シートは問題作成のための設計図（ブループリント）のようなものであり、冒頭にテーマ名とその基本情報が掲載された参考資料、主作問者が記載され、大問ごとの一覧表で構成される。一覧表のなかには、各大問が問う主分野・副分野とコンピテンシー、キーワード、問題素案、作問担当者が記載されている。この一覧表を見ることで、記述式問題全体を俯瞰でき、分野やコンピテンシーの過不足の確認に加えて、問題作成の進捗管理、追加問題の検討にも役立つことが期待される。また、多くの大問が作成されれば、重視したい分野やコンピテンシーに合わせて大問を組み合わせ、問題セットを構成するなど、利用に対する自由度も高い．本稿執筆時点では、本記述式問題作成シートはあくまで複数の専門家による問題作成の効率性に主眼を置いたものであるが、各大問のバージョン管理や、大問ごとの正答率などの試験結果の情報の管理など、拡張性も高いと考えられる。とくに、機械工学の技術は日進月歩であり、当初の問題作成時点と試験の実施時点で技術レベルが大きく異なってしまうことも考えられる。記述式問題を一元管理できる本記述式問題シートは、大問のアップデートや新規問題の作成にも有効であると期待される。

以下（**表３－３.**）に、記述式問題作成シート（**別添 1.**）の構成と簡単な使い方について述べる。

表３－３．記述式問題作成シートの項目と使い方

テーマ名	問題の対象とするモノ（機械・機器）・コト（技術）。まず、主作問者は、対象を決定する。
主作問者	当初作成時の大問の作問計画を立案する。
参考資料	基本参照データとして、作問分担者（各大問作成者）に、対象に関する最低限の情報を与える。
主分野	テーマに関連する機械工学の全９分野（数学、物理学、材料と構造、運動と振動、エネルギーと流れ、情報と計測・制御、加工と生産、（応用）機械システム、その他）について、問題を分野ごとに整理できるよう、大問ごとに主分野を設定する。主分野の専門家が、大問作問者として問題を作成する。
副分野	分野横断型の問題を作成する場合には、大問作問者が追記する。
担当者	大問の作問者。当初作成時は、主分野を鑑み、主作問者が専門家をアサインする。大問追加やアップデート時には、誰でも自ら作問者となることも可能である。
コンピテンシー **【EGS】【BES】** **【EA-解析】【EA-分析】** **【ED】【EP-統合】** **【EP-倫理】【EP-管理】**	大問で問う主要なコンピテンシーに◎を、関連するコンピテンシーに○を付す。全問題を通じてコンピテンシーを網羅するため、当初作成時は、主作問者が大問ごとにコンピテンシーを割付け、大問作問者に作問を依頼する。その後は、この記述式問題作問シートを参照することで、問題数が不十分であるコンピテンシーに着目し、大問を追加することが可能である。
キーワード	このテーマに沿った、各大問のキーワードを記入する。単一でも複数でも良い。
問題素案	問題の概要が分かるよう、問題素案を記入する。作成当初は、参考のために、主作問者が記入するが、その後、大問作問者が書き換えても良い。各分野について、問題追加時の参考となり、異なる着眼点で大問を作問することを容易にする。
その他	作問時に他の参考情報を参照することをできるだけ減らすため、主分野リストとコンピテンシーのリスト、さらに問題の作成開始時の手順を、同一のシート内に掲載している。

４．テーマ設定、及び各大問の作成方法

記述式問題では、前述の高次の能力、コンピテンシーを測定するため、それらが実際に発揮されるようなテーマを選び、具体的な文脈のなかで大問を作成していくことが重要であ

る。「テスト問題作成の手引き（Ver.13)」では、テスト作成の作業を、複数の専門家と教育評価の専門家との協働によって進めることを前提に、（１）題材（テーマ）と文脈を選ぶ、（２）シナリオを考える、課題文を作成する、コンピテンシーとの対応を検討・確認する、（３）協働で課題を検討する、（４）採点基準、すなわちルーブリックを作成する、という流れが示されている。この一連の流れは単なる作問手順ではなく、テストの目的、測定対象、課題形式、評価基準を往還しながら、テスト全体の妥当性を向上させるプロセスを示している。記述式問題作成シートは、この一連の流れをできるだけ簡素化し、大問の作成を分担する専門家が作問しやすくすることを狙っている。以下では、記述式問題作成シートに沿った、問題の作問方法を概説する。ただし、より具体的な作問方法については、「テスト問題作成の手引き（Ver.13)」、及びそのポイントを抽出した第１章（２）を参照されたい。

（１）題材（テーマ）と文脈の設定

題材と文脈を選ぶ段階では、まず学生にどのような場面で考えさせるのかを決める。高次で統合的な能力を測るためには、その能力が実際に発揮されるような題材と具体的な文脈が必要である。題材は一つのテストセットに共通するテーマであり、受験者である学生にとってある程度既知で、興味深く、考える意味を見いだせるものが望ましい。題材が学生にとってあまりに未知である場合、測定されるのは本来の能力ではなく、題材に関する背景知識の有無になる危険性が危惧される。一方で、題材が単純すぎる場合、高次で統合的な能力は表出しにくい。

記述式問題をオーガナイズする主作問者は題材を決定し、記述式問題作成シートに、**表３－３**．に従って、「テーマ名」、「主作問者」、「参考資料」を記入する。また、この記述式問題の冒頭に用いるリード文を作成する。

（２）シナリオ設定・課題文作成・コンピテンシーの設定

決定した題材（テーマ）に関連する機械工学分野の教育分野の区分表（**表３－２**.）から重要な分野をできるだけ多く選び、各分野に対してテーマに関連するキーワードを列挙する。記述式問題の作問開始当初は、主作問者が、「記述式問題作成シート」に、**表３－３**.に従って、大問ごとに「主分野」、「副分野」、「キーワード」、「問題素案」を記入する。主分野に対して大問が複数あっても問題はない。大問ごとに作問「担当者」をアサインし、具体的なシナリオは、実際に作問する担当者に一任する。可能であれば、この時点でトップダウン式に、主分野ごとに測定する「コンピテンシー」を決定しておくのが望ましい。

作問担当者は、大問のシナリオを考え、課題文を作成する。その際、まず、受験する学生にどのような立場で、どのような問題状況に向き合わせるかを具体化する。例えば、ある装置を設計する場面、既存設備の不具合に対応する場面、第三者として評価する場面など、同じ主分野の問題でも複数のシナリオを設定できる。課題文では、何を問うているのかを明確にしなければならない。記述式課題では、課題文の最後に用いる動詞が解答の方向性に大きく影響する。「説明せよ」「分析せよ」「比較せよ」「提案せよ」「判断せよ」「デザインせよ」

などの動詞を使い分けることで、何を問われているのか、どのコンピテンシーを測定しようとしているのか明確になる。

記述式問題全体が完成した後も、大問の追加やアップデートが可能である。記述式問題作成シートを確認することで、どの主分野の問題を追加で作問するか、どのコンピテンシーに着目すべきかなど、問題を追加作成する際に重要な示唆を得ることができる。また、大問数が増えると、実際に出題する問題セット（大問の組み合わせ）にも自由度が生まれる。このように、記述式問題作成シートは、作問時だけでなく、その後の活用にも有効であると期待される。

（３）協働による課題の検討

協働で課題を検討する作業は、テストの品質を高い水準に保つ上で非常に重要な作業である。専門家の目で問題を多面的に確認することは、問題そのものだけでなく、該当するコンピテンシーを問うための問題の適切性の確認や採点基準の明確化などにも有効である。とくに記述式問題の作問開始当初は、作問担当者が一堂に会してレビューを行うことが記述式問題全体のバランスを見るうえでも非常に有効であるが、個々の大問については各個人によるレビューに置き換えることも可能である。なお、レビューについては、（４）で作成するルーブリックとあわせて行うと、効率的である。

（４）採点基準（ルーブリック）の作成

記述式課題では、学生の能力のレベルの違いや解答の自由度の高さから、評価者によって採点がぶれる可能性がある。ルーブリックは、観点、レベル、記述語から構成される評価基準表であり、採点のぶれを抑え、学生や教員に評価の根拠を示す役割をもつ。期待される解答や想定される誤解答を事前に想定し、それに基づいて評価観点を設定する。評価観点は、課題文で求めていることと対応していなければならない。たとえば、課題文で「理由を説明せよ」と求めているにもかかわらず、ルーブリックが結論の正誤だけを評価している場合、課題文と評価基準がずれていることとなる。「テスト問題作成の手引き（Ver.13）」では、問題作成者が各問題で予想される回答をリストアップし、それを能力レベルに振り分け、必要に応じて課題文を修正し、複数の採点者で採点結果を一致させ、ルーブリック自体を修正・確定し、各レベルに特徴的な解答のサンプルを提示するという手順が示されている。

５．記述式問題作成シートの活用事例

（１）新規問題作成の事例：都市型ロープウエイ

テスト問題作成ワーキンググループ西日本拠点では、記述式問題作成シートを提案し、実際に「都市型ロープウエイ」を題材（テーマ）に、新規に記述式問題を作問した。その際に使用した記述問題作成シートを**別添２**.に示す。なお、実際に作問した問題は非公開であるため、本稿では提示できないことを理解されたい。

「都市型ロープウエイ」の作問において、主作問者は横浜市桜木町にある横浜エアキャビ

ンに関連する web ページ 2 点とウィキペディアの web ページを参考資料として提示し、全部で 10 題の大問候補をリストアップしている。この記述式問題は、主分野を見ると分かるように、機械工学分野の教育内容の区分のうち、「加工と生産」を除くすべてを網羅しており、作問後に、大問のうちの 1 問について「加工と生産」を副分野と指定している。また、コンピテンシーの表からは、統合的能力である【EA】エンジニアリング分析・解析を主として測定する大問が 3 問、【ED】エンジニアリング・デザインを測定する大問が 1 問、【EP】エンジニアリング実践を測定する大問が 3 問作成され、さらに、【EGS】工学における汎用的能力を測定する問題が 1 問、【BES】機械工学の基礎を測定する問題が 2 問となっていることが分かる。

実際に学生に問題を受験させる際には、このうちの 4〜6 問を上手く組み合わせて、記述式問題セットを編成する。現時点では問題数が 10 問と多くないため、有効な組み合わせは限られるものの、テストを実施したい場面、側面にあわせて、問題セットを編成することができる。例えば、学生の機械工学分野における「エンジニアのように考える力」を総合的に測定したい場合には、【EA】エンジニアリング分析・解析から大問 1、【ED】エンジニアリング・デザインから大問 7、【EP】エンジニアリング実践から大問 0 と大問 7 を選択し、これに大問 4 を加えればよい。一方で、【EA】エンジニアリング分析・解析をしっかり測定したい場合は、大問 1〜4 で問題セットを編成することも考えられる。

大問作問者は、アサインされた主分野、測定するコンピテンシーを念頭に大問を作問する。大問は複数の小問で構成して良いが、小問群を通じて、その大問のなかで問題が完結することが望ましい。これにより、作問担当者は、他の大問との依存関係を気にすることなく、アサインされた大問の作問に専念でき、作問の自由度も高い。これは、各大問を作問する作業効率を高める点で、非常に重要である。一方、各大問を個別に作問すると、記述式問題全体としてのストーリー性が低下することが懸念されるかもしれない。しかしながら、十分な数の大問が作問されれば、一つのストーリーに縛られずに様々なストーリーで問題セットを編成することが可能となり、この懸念点はある程度解消されるものと期待される。なお、あらためてコンピテンシー表を見ると、【ED】エンジニアリング・デザインを主体的に問う問題が少ないことが明確に分かり、次の作問のターゲットとして定めることができよう。

（２）既存問題への活用事例：（新）風車

既に作問済みである記述式問題に対して、本記述問題作成シートを適用することも有効である。実際に、Tuning テスト問題バンク web ページで公開されている記述式問題「（新）風車」に対して、後付けで記述式問題作成シートを作成したものを**別添３**．に示す。また、実際の問題セットを**別添４**．に付する。

「（新）風車」の記述式問題では、学協会の web ページ 2 点と解説記事が参考資料として提示されている。この記述式問題は、主作問者が規定したストーリーに沿って作問されてお

り、作成済みの大問 4 題の全てをもって単一の問題セットを編成することが想定されている。コンピテンシーの表からは、機械工学分野における重要なコンピテンシーである【EA】エンジニアリング分析・解析、【ED】エンジニアリング・デザイン、【EP】エンジニアリング実践が網羅されるように、よく作問されていることが確認される。

一方で、機械工学分野の教育内容の区分（**表３－２.**）について確認すると、「エネルギーと流れ」、「機械システム」にやや偏っていることも分かる。すなわち、新規大問の拡充の可能性も示唆される。例えば、増速機や大型軸受を対象に「運動と制御」を主分野として【ED】エンジニアリング・デザインを問う問題、長尺のブレードの製作方法に着目し「材料と構造」や「加工と生産」を主分野として【EA】エンジニアリング分析・解析を問う問題、風車の姿勢制御に着目し「情報と計測・制御」を主分野として【EA】エンジニアリング分析・解析を問う問題を作問することなどが考えられる。また、本記述式問題は主として陸上の大型風車を想定した問題であるが、最近では洋上の大型風車の開発が進んでおり、新たなストーリーに沿った大問の作問も可能であろう。

このように、機械工学における技術の発展や、社会情勢に合わせて記述式問題をアップデートする際にも、記述式問題作成シートが役に立つことが期待される。

６．おわりに

本稿では、テスト問題作成ワーキンググループの西日本拠点のメンバーが中心になって考案した「記述式問題作成シート」の構成と使用方法、新規問題作問時の記述式問題作成シートの使用例、既存問題に対する記述式問題作成シートの使用例について概説した。本記述式問題作成シートは、問題作問者の立場から、あくまで複数の専門家による問題作成の効率性に主眼を置いて提案したものであるが、各大問のバージョン管理や、追加作問する際の方針の決定など、拡張性が高いと考えられる。さらに、テストの実施が進めば、大問ごとの正答率などの試験結果の情報の集約・管理、受験した学生や教育プログラムへのフィードバック、すなわち教育改善への接続に寄与できることも期待される。

【参考文献】

- チューニングによる大学教育のグローバル質保証テスト問題バンクの取組テスト問題作成 WG，2019、『テスト問題作成の手引き（Ver.13）』（内部資料）。
- 日本学術会議機械工学委員会機械工学分野の参照基準検討分科会，2013,『大学教育の分野別質保証のための教育課程編成上の参照基準 - 機械工学分野』日本学術会議 web ページ、https://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/daigakuhosyo/daigakuhosyo.html （参照日：2026 年 8 月 17 日）。
- OECD，2011、“A Tuning-AHELO Conceptual Framework of Expected Desired/Learning Outcomes in Engineering”、 *OECD Education Working Papers*、 No. 60、 OECD Publishing、

Paris、 https://doi.org/10.1787/5kghtchn8mbn-en.

- Tuning テスト問題バンク，2018、記述式問題の例：風力発電， Tuning テスト問題バンク web ページ，https://www.me-testbank.org/testitems （参照日：2026 年 7 月 24 日）

第４章　Tuning テスト問題バンクの教育プログラムの評価への活用

渡邉　聡・蔵田　耕作・田原　健二・深堀　聰子（九州大学）
斎藤　有吾（新潟大学）・美馬　秀樹（国立教育政策研究所）

Tuning テスト問題バンクは、学修成果の可視化を基盤とした教学マネジメントを推進するための学修成果測定ツールであり、教育プログラムの評価において活用されることを意図している。九州大学工学部機械工学科では、九州大学において全学方針として推進する教育プログラムの自己点検・評価に活用する学修目標達成度評価の一環として、Tuning テスト問題バンクの活用を試行しているため、グッドプラクティスの一つとして紹介する。

取組の背景となる、九州大学における「九州大学教学マネジメント枠組み」（2018 年度策定）（**図４－１.**）に基づく教育の管理運営について概説する。九州大学では、教育プログラムの学修目標（ディプロマ・ポリシー）を、日本学術会議分野別参照基準等を参照して策定したうえで、教育課程編成（カリキュラム・ポリシー）の一環として、各学修目標を達成するために中核的な役割を果たす授業科目を紐づけ、カリキュラム・マップに整理している（**図４－２.**）。さらに、授業科目の担当教員が作成するシラバスに対応する教育プログラムの学修目標が転記されるようにすることで、教育プログラムの学修目標の達成に繋がる授業科目の到達目標の設定を支援している。加えて、授業科目の到達目標が、成績評価のためのルーブリックの観点として転記されるようにすることで、授業科目の到達目標の達成が単位認定の条件であることを明示している。そして、授業科目の単位認定が教育プログラムの学修目標達成に至る仕組みを構築している。

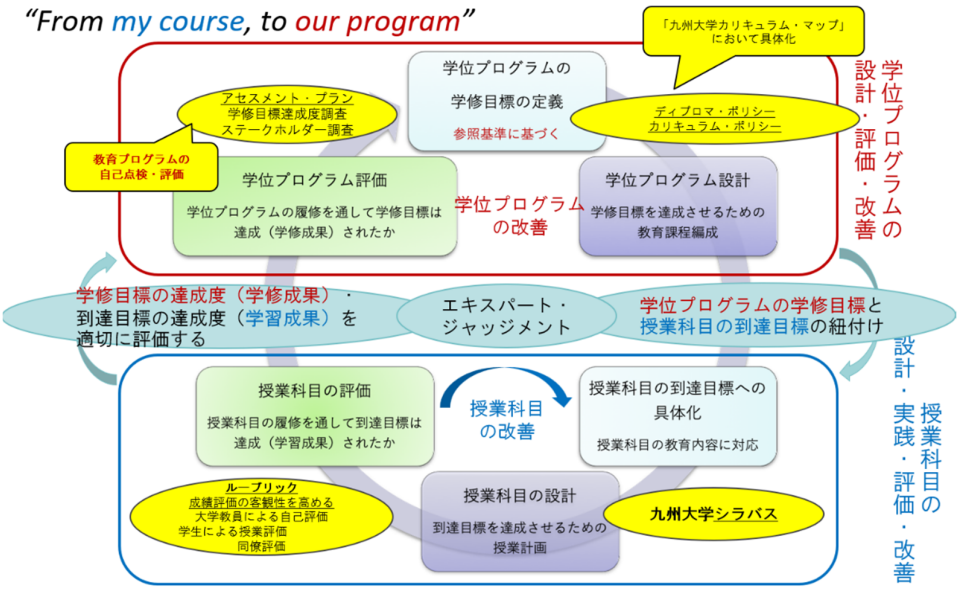


図４－１．九州大学教学マネジメント枠組み

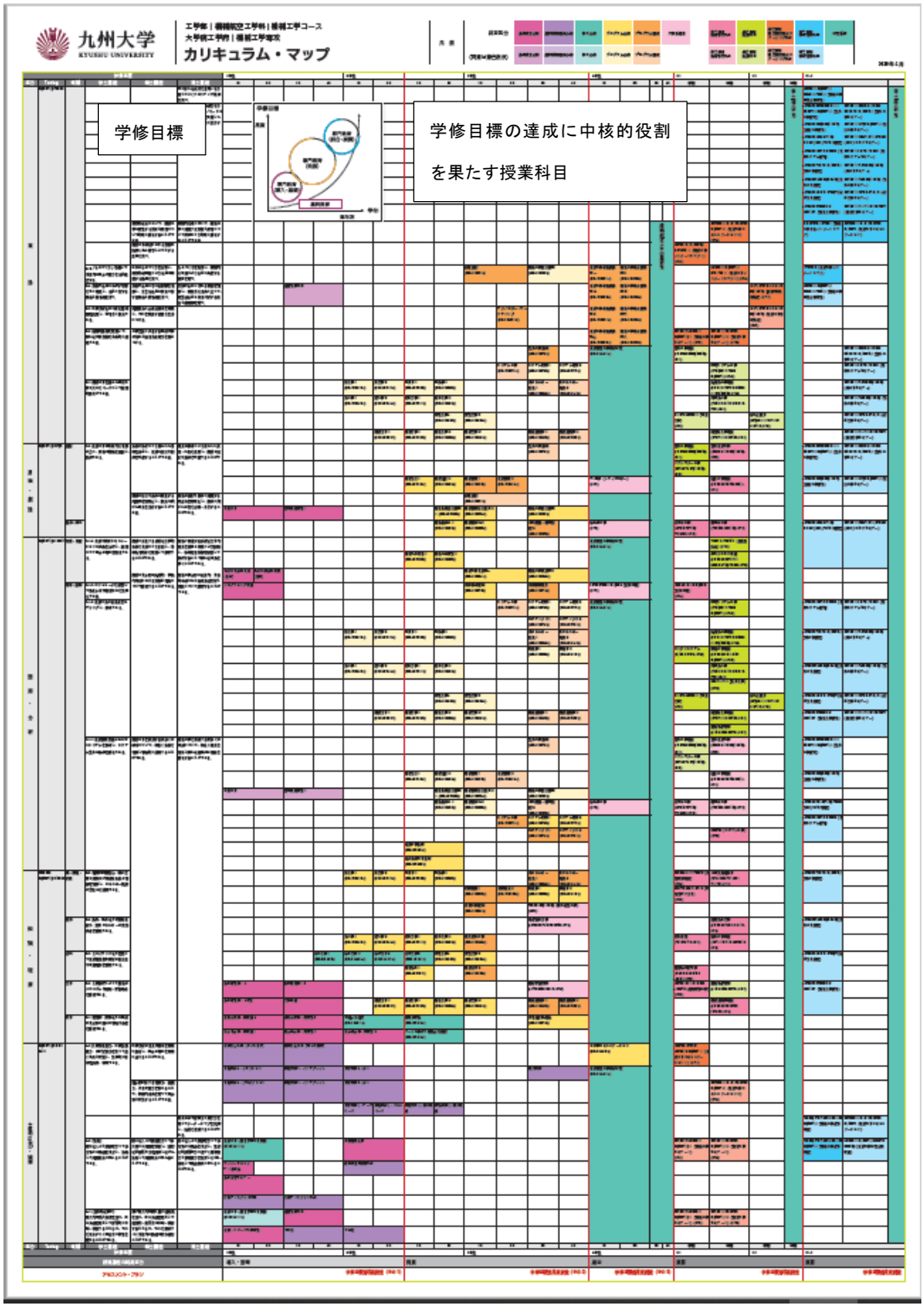


図４－２．九州大学カリキュラム・マップの例

教育プログラムの自己点検・評価では、教育プログラムの学修目標が実際に達成されているか確認することによって、教育課程の適切性や授業科目の効果を検証し、必要に応じて改善策を講じることによって、継続的な教育の改善・向上を目指すこととしている。アセスメント・プランでは、その方法となる学修目標達成度評価について明示している。

九州大学工学部機械工学科では、自らの教育プログラムの学修目標が Tuning テスト問題バンクで測定するエンジニアリング・コンピテンシー（**図１－２.**）と整合していることを確認したうえで、自らの学修目標達成度評価のツールとして Tuning テスト問題バンクを採用することが妥当であるかどうかを確認するための試行調査を実施した。

調査設計としては、九州大学 3 年次修了生（2020 年度実施）、九州大学及び他大学の 4 年次修了生（2019 年度実施）を対象に同一のテスト問題（「風車問題」）を実施し、九州大学の 3 年次修了生と 4 年次修了生の比較分析（コーホート比較による 4 年次の教育の効果検証）、及び九州大学と他大学の 4 年次修了生の比較分析（ピア大学との比較による特徴分析）を行った。ただし、2019 年度は対面で問題・解答用紙を配布して実施したのに対して、コロナ禍の状況にあった 2020 年度は学習支援システム（LMS：Moodle）を使用して実施した点に条件の違いがある。

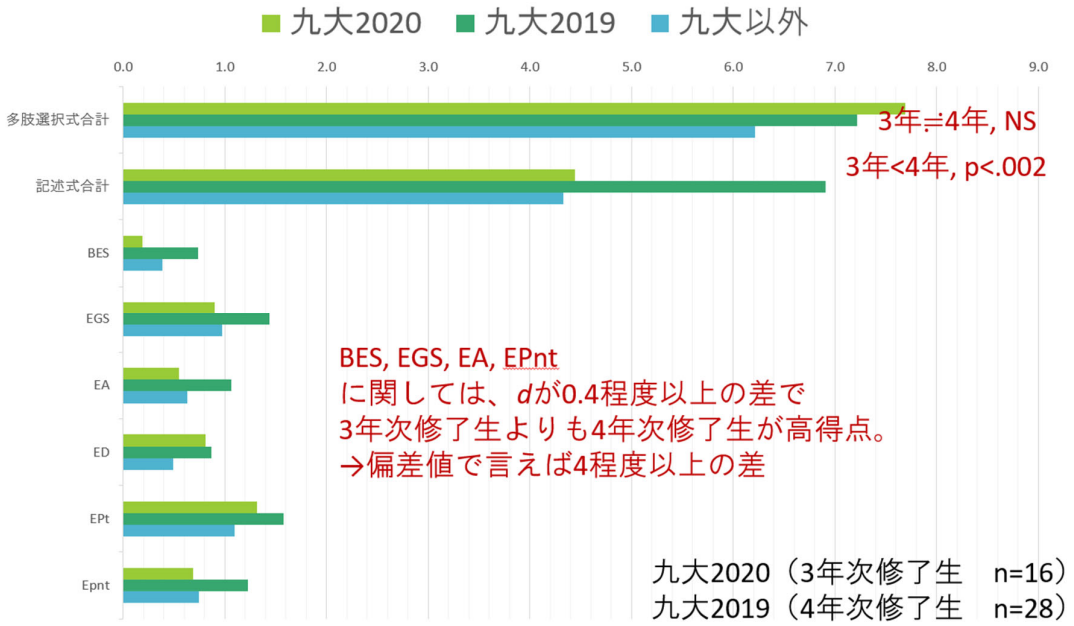


図４－３．Tuning テスト問題バンク「風車問題」の試験結果

図４－３．では、九大 2020（3 年次修了生　n=16）、九大 2019（4 年次修了生 n=28）、九大以外（2019）の試験結果について、多肢選択式問題の平均点、記述式問題の平均点、記述式問題のコンピテンシー別平均点を示している。

まず、九州大学の 3 年次修了生と 4 年次修了生の比較分析（コーホート比較による 4 年次の教育の効果検証）に注目する。【BES-多肢選択式問題】専門とするエンジニアリング分

野の基礎となる科学や数学の原理に関する知識と理解、及び最先端の事がらを含む幅広い知識の達成度を測定する多肢選択式問題の結果では、3 年次修了生と 4 年次修了生の平均点に有意な差はなく、3 年次修了生の方がやや高得点である。機械工学分野の基礎・基盤は 3 年次修了時までに概ね身に付いていることが分かる。それに対して、記述式問題の結果では、4 年次修了生の平均点が 3 年次修了生の平均点を有意に上回っている。コンピテンシー別にみると、【BES】専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解、【EGS】エンジニアリングの社会及び一般社会とコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力、【EA】エンジニアリングの生産物、プロセス、手法について分析するために知識を応用する能力（分析）、エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した手法で解くために知識と理解を応用する能力（解析）、【EPnT】健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、及び解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解し、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理、責任、規範を引き受ける能力（倫理）、例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法について、それらの制約も含めた理解（管理）において特に高得点であり、卒業研究を中心とする 4 年次の教育、及び大学院入試により、知識と応用力の高度化が進んだのではないかと推察される。

他方、【ED】特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力、【EPt】エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解したうえで、選択・統合・活用する能力については、4 年次の教育による伸びは限定的である。これらのコンピテンシーは、学士課程教育を通してどの程度身に付けさせることができるのか、カリキュラムにどのような改善の余地があるのか、検討が必要である。

次に、九州大学と他大学の 4 年次修了生の比較分析（ピア大学との比較による特徴分析）に注目する。ピア大学とベンチマークすることによって、強みや弱みの特徴分析が可能になるが、多肢選択式問題の平均点、記述式問題の平均点、記述式問題のコンピテンシー別平均点のいずれにおいても、九州大学は良好な状況にあることが分かる。4 年次の教育による伸びが限定的であった【ED】【EPt】においても、九州大学に特徴的な課題ではないことが分かる。

このように、限られたサンプル数による検討ではあるものの、本試行を通して、Tuning テスト問題バンクを、九州大学工学部機械工学科の教育プログラム評価の学修目標達成度評価ツールとして採用することが妥当であることが確認された。これを受けて、現在、次の調査が進行中である。九州大学工学部機械工学科は、2021(令和 3）年度に組織改編を行い、2024 (令和６)年度に完成年度を迎えた。そのため、旧カリキュラムの履修を終えた 4 年次修了生を対象に 2022 年 8 月、及び 2022 年 12 月に実施した調査と同じ 2 種類のテスト問題セットを用いて、新カリキュラムの履修を終えた 4 年次修了生（修士 1 年生）を対象に、2025 年 7 月に調査を実施した。この調査を通して、１)旧新カリキュラム履修生の比較分析に基

づくカリキュラムの効果検証を行った。加えて、2025 年 7 月の実施では、同一学生が 2 種類の記述式問題を解いていることから、2）記述式問題の相関分析（同一のコンピテンシーに対して、異なるテスト問題を用いて測定した場合でも、一貫して同等の評価結果が得られるかの信頼性分析）も実施した。この調査の分析結果は、2028 年 3 月に刊行する予定である Full Version（完全版）に収録する予定である（**表４－１．**参照）。

表４－１．九州大学における Tuning テスト問題バンクの調査実施実績

実施年月	検証の種類	対象	n	問題1	問題2	備考	カリキュラム	比較
2014年12月	妥当性検証	B4	6	B	C	対面（筆記）		
2016年6月	大規模実施	M1	91	D		対面（筆記）		
2016年7月	妥当性検証	M1	10	E		対面（筆記）		
2017年7月	妥当性検証	M1	8	F		対面（筆記）		
2017年11月	大規模実施	M1&M2	40	新D		対面（筆記）		
2019年6月	妥当性検証	M2	10	E	G	対面（筆記）		
2019年7月	大規模実施	M1	28	新A		対面（筆記）		］3年次修了生と4年次修了生の比較分析
2020年6月	小規模実施	B4	16	新A		遠隔（Moodle）		（4年次の教育の効果検証）
2022年8月	妥当性検証	M1	10	新F		対面（Mars）		］1)旧新カリ履修生の比較分析
2022年12月	大規模実施	M1	21	新E		オンデマンド（Mars）	旧カリ	（新F：2022.8⇔2025.7、新E2022.12⇔2025.7）
2025年7月	大規模実施	M1	35	新E	新F	オンデマンド（Mars）	新カリ	2)記述式問題の相関分析（2025.7:新E⇔新F）

Tuning テスト問題バンクは、学修成果の可視化を基盤とした教学マネジメントを推進するための学修成果測定ツールであり、教育プログラムの評価において活用されることを意図している。九州大学の取組が示すように、Tuning テスト問題バンクで測定するエンジニアリング・コンピテンシーが教育プログラムの学修目標と整合していることが確認できれば、Tuning テスト問題バンクを教育プログラムの評価に活用することができる。調査結果のデータを蓄積していけば、カリキュラム全体（例えば、旧カリと新カリ）、あるいはカリキュラムのセグメント（例えば、4 年次の教育）の効果検証を行うこともできる。また、Tuning テスト問題バンクには、複数の大学が参画しているため、ピア大学とベンチマークすることもできる。

アウトカム・ベース教育への転換が日本の高等教育のスタンダードとなるなかで、工学分野においても、他の学問分野においても、Tuning テスト問題バンクのように専門家が集い、「考える力」の達成度を捉える学修成果測定ツールの維持・高度化に努めるとともに、高等教育機関がそれを積極的に活用することができれば、日本の人材育成はますます高度化できるはずである。

第５章　ＡＳＥＡＮ拠点の活動と国際共同研究の展開

Farid Triawan（Sampoerna University）

１．ASEAN 拠点を通した国際共同研究の成果

Tuning テスト問題バンクの取組では、ASEAN 拠点と日本国内の三つの地域拠点（東日本、関東、西日本）との国際共同研究も推進してきた。ASEAN 拠点には、インドネシアのバンドン工科大学（Institut Teknologi Bandung, ITB）、ガジャマダ大学（Universitas Gadjah Mada, UGM）、サンプルナ大学（Sampoerna University, SU）、ハサヌディン大学(Hasanuddin University)、及びマレーシアのマレーシアプトラ大学（Universiti Putra Malaysia, UPM））の工学分野の専門家がメンバーとして参画し、Tuning テスト問題バンクの国際会議に対面、及びオンラインで参加して知見の交換を行うとともに、ASEAN 域内の学修成果測定、及び教育プログラム評価方法の改善に関する大学間協力を推進してきた。

2021～2022 年度には、ASEAN 拠点のメンバーによる定期的な協議を通じて、授業科目レベルの到達目標、及び教育プログラム・レベルの学修目標の達成度評価のための多肢選択式問題 60 問を開発した。2021 年 11 月には ITB、UGM 及び SU において、卒業試験（Comprehensive Test）の一環として、Tuning テスト問題バンクのテストをオンラインで実施し、結果の集計と比較検討を行った。加えて、2022 年 12 月には、ITB、UGM、SU 及びハサヌディン大学の 4 大学で Tuning テスト問題バンクのテストを実施した。その結果は、2023 年 6 月の Tuning テスト問題バンク運営委員会において共有し、ASEAN 拠点との今後の活動について協議した。

ASEAN 拠点の活動は、Tuning テスト問題バンクのテストの実施にとどまらず、学修成果測定の方法論開発に資する共同研究へと発展してきた。例えば、インドネシアの学生の記述式問題の解答データに対する人工知能及び機械学習を用いた、採点の効率性と一貫性向上に向けた自動採点の研究が挙げられる。研究成果は、2023 年の IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering（TALE 2023）で発表し、発表要旨収録に掲載されている（Dung et al., 2023）。Tuning テスト問題バンクにおける国際共同研究が、実践的な課題解決に寄与した好事例と言える。

参加大学では、その後も Tuning テスト問題バンクのテストが継続的に実施されている。例えば SU では、2025 年 6 月に Tuning テスト問題バンクのテストを実施した。これらの活動を通じて、ASEAN 拠点は、学修成果測定に関する知見の共有、テストの実施と検討、及び評価手法の高度化に向けた国際協力の基盤形成に寄与してきた。

２．今後の課題

NIER が現在担っている役割を終え、2028 年度以降に新たな運営体制へ移行することは、

Tuning テスト問題バンクの取組にとって重要な節目となる。日本機械学会（JSME）が次の段階で主導的な役割を担うにあたり、ASEAN 拠点を通じて培われた成果、専門知識及び国際的な協力関係を継承することが不可欠である。

ASEAN 拠点との協力が個人間の関係や過去の研究活動だけに依存することのないよう、次の段階では、より体系的で持続可能な機関間協力の枠組みを構築することが望まれる。具体的には、ASEAN の参加大学の役割を明確にし、定期的な協議を継続するとともに、問題の共同開発・検証・実施及び共同研究に参加する機会を設けることが考えられる。また、長期的な参画を支えるため、運営体制、必要な資源、評価結果の共有方法についても適切な取り決めを検討する必要がある。

これまでの ASEAN 拠点の経験を基盤として、同拠点は、より多くの ASEAN 諸国の大学や関係機関へ活動を広げるためのプラットフォームとなり得る。これにより、テストの実施にとどまらず、工学分野の学修成果の評価や教育プログラムの改善に関する持続的な地域協力へと発展させることが期待される。したがって、2028 年度の移行は、単なる組織上の変更ではなく、日本と ASEAN の間に、より持続可能で相互に利益のある国際協力の枠組みを構築する機会として位置づけられることを期待する。

【参考文献】

Dung, D. T., Triawan, F., Mima, H., & Cross, J. S. (2023). Automated essay grading of constructive response test responses for mechanical engineering students. In 2023 IEEE International Conference on Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE) (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/TALE56641.2023.10398404

第６章 Tuning テスト問題バンクの取組内容

この Executive Summary は、Tuning テスト問題バンクの取組から導出された知見を、工学分野に閉じない幅広い読者に対して、簡便に伝達することを目的としている。詳細な内容は、2028 年 3 月に刊行する予定である Full Version により完全な形で記録するが、ここでは、Tuning テスト問題バンクの 10 余年に及ぶ試行錯誤の軌跡を要約しておきたい。

１．四つのフェーズ



図５－１．Tuning テスト問題バンクの活動の概要（2014～2025）

２．マイルストーンとなる研究成果

- Cross, J., Ekawati, E., Fukahori.S., Obi, S., Saito,Y., Tandian, N., Triawan, F. (2017). “Development of a Mechanical Engineering Test Item Bank to Promote Learning Outcomes-Based Education in Japanese and Indonesian Higher Education Institutions.” *Tuning Journal for Higher Education*、 Vo.5. No.1、 pp.41-73. http://dx.doi.org/10.18543/tjhe-5(1)-2017pp41-73) (査読有).
  - 模索フェーズにおいて、日本とインドネシアの学生を対象に Tuning テスト問題バンク学修成果測定を行い、両国の大学における工学教育の成果と課題を検証した調査報告。インドネシアのメンバーは、取組初期から積極的な参画を得ており、2020 年には ASEAN 拠点を設置し、継続的な国際共同研究体制の構築を目指してきた。
- 深堀聰子（第 1～3 回） ・岸本喜久雄（第 4～5 &11 回） ・岩附信行（第 6～9 回） ・斎藤有吾（第 10 回）(2017)「連載：エンジニアリング教育の達成度評価～テスト問題バンクの取組」『日本機械学会誌』Vol.120、No.1178～1181、1183～1189 号、 2017 年. https://www.jstage.jst.go.jp/browse/jsmemag/120/0/_contents/-char/ja；
  深堀聰子 (2020)「『エンジニアのように考える力』を評価する」『日本機械学会誌』Vol.125、No.1249、 pp.14-17. https://doi.org/10.1299/jsmemag.125.1249_14
  - 模索フェーズ、及び検証フェーズにおける取組の概要と成果について、機械工学コミュニティを対象に情報発信した。Tuning テスト問題バンクは、取組初期から、日本機械学会の協力を得ながら展開してきた。
- 大学教育学会課題研究（2019 年度～2021 年度）「学修成果アセスメント・ツール活用支援を通した エキスパート・ジャッジメントの涵養と大学組織の変容」（研究代表者：深堀聰子）
  - Tuning テスト問題バンクにおける問題作成の取組、及び大学での学修成果測定の取組を通して、専門家のエキスパート・ジャッジメント（鑑識眼）がどのように涵養されるのかに注目して調査した結果を、工学分野に閉じない、高等教育研究コミュニティを対象に情報発信した。
- 日本工学教育協会第 29 回（2024 年度）工学教育賞（業績部門）『エンジニアのように考える力を測定する-Tuning テスト問題 バンクの教学マネジメントへの活用』
  https://www.jsee.or.jp/jsee/wp-content/uploads/2025/03/2024kyoikusyo.pdf
  https://www.mech.kyushu-u.ac.jp/archives/1908
  - 日本工学教育協会年次大会では、検証フェーズまでの取組の概要と成果について、九州大学工学部機械工学科における教学マネジメントの取組を含む形で、工学コミュニティを対象に情報発信した。活動の意義が高く評価され、九州大学工学研究院長の推薦を受けて、同協会工学教育賞（業績部門）を受賞した。

- 深堀聰子(2025)「エンジニアリング・コンピテンシーを基軸に大学と社会を開く」『技術士 PE』通巻 700 号、 ISSN 0389-1488、 pp. 8-11.
  - 展開フェーズにおいて検討を重ねている、コンピテンシー測定ツールの共有を通した、高等教育と職業社会における人材育成の連携の必要性について、日本技術士会コミュニティを対象に情報発信をして、対話を開始した。

以上

別添資料（別添１．～別添４.）

【別添１】

テーマ		
主作問者１		
主作問者２		
参考資料１		
参考資料２		
参考資料３		

大問（モジュール）	主分野	副分野（あれば）	担当者	EGS	BES	EA・解析	EA・分析	ED	EP・統合	EP・倫理	EP・管理	キーワード	問題素案
1(1)													
1(2)(3)													
2(1)													
2(2)													
3													
4(1)													
4(2)													
4(3)													

主作問者：記述式問題の全体像を決定.
- ・作問分担者がテーマの対象をつかめるよう，参考資料を提示する.
- ・各大問に対して，主分野を設定し，最も問いたいコンピテンシーを一つ選び◎をつける.
- ・各大問に対して，キーワードと問題素案（ざくっとしたもの）を提示する.
- ・各大問の中で，問題が完結することとする.
- ・大問の内容にあわせて，作問分担者をアサインする.
- ・たくさん大問（モデュール）をつくって，組合わせで複数のテストを構成することが可能.

作問分担者：大問の詳細を作成.
- ・◎のコンピテンシーを問うことを念頭に，問題を作問する.
- ・作問後，同時に問えるコンピテンシーがあれば，〇を追加する.

主分野リスト
数学
物理学
材料と構造
運動と振動
エネルギーと流れ
情報と計測・制御
加工と生産
（応用）機械システム
その他

Tuning テスト問題バンク機械工学分野のコンピテンス枠組み

エンジニアリング汎用的能力	【EGS】エンジニアリングの社会および一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力
工学基礎・工学専門	【BES】 専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力
エンジニアリング分析・解析	【EA - 解析】 エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力。
	【EA - 分析】 エンジニアリングの生産物、プロセス，手法について分析するために知識と理解を応用する能力。
エンジニアリング・デザイン	【ED】 特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力。
エンジニアリング実践	【EP - 統合】 エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解した上で、選択・統合・活用する能力。
	【EP - 倫理】 健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、および解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理，責任，規範を引き受ける能力。
	【EP - 管理】 例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法について、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力。

テスト問題バンクホームページ
https://www.me-testbank.org/

【別添２】

テーマ	都市型ロープウエイ
主作問者１	[redacted]
主作問者２	
参考資料１	https://yokohama-air-cabin.jp/
参考資料２	https://www.welcome.city.yokohama.jp/topics/tp_detail.php?tpid=T03547
参考資料３	https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%83%BD%E5%B8%82%E7%B4%A2%E9%81%93

大問（モジュール）	主分野	副分野（あれば）	担当者	EGS	BES	EA・解析	EA・分析	ED	EP・統合	EP・倫理	EP・管理	キーワード	問題素案
0	（応用）機械システム	その他	[redacted]					○	◎				ロープウェイの各種方式のメリットとデメリットを考えさせる
1	運動と振動				○	◎		○					かごの振動，制震，支柱間の距離の振動への影響（多自由度），振動モードなど
2	物理学	材料と構造			◎	○		○					脱索を回避するための構造・強度設計，剛体の力学問題，フェールセーフ設計を考えさせる
3	エネルギーと流れ				○	◎		○					横風による流体抵抗と安全性，空気抵抗とトルクの計算，風洞実験で実施するミニチュアモデルを考えさせる
4	材料と構造	加工と生産			◎	○	○						ロープの耐久性を考えさせる：摩擦，引っ張り，疲労，より線
5	情報と計測・制御	（応用）機械システム					◎	○			○		安全性を確保するためにどのようなセンサをどこに付けて，どのようなシステムでモニタ（制御）すれば良いか？
6	その他									○	◎		気候の変動による運行中止の判断のフロー，想定すべき自然災害とリスクは？
7	（応用）機械システム	その他		○				◎	○				山間部での運用と都市部での運用の違い：システム設計として，エアコン付けるためにバッテリーが必要など
8	（応用）機械システム	その他						○	◎				自走式ロープウェイのメリットを考えさせる
9	その他			◎					○				都市型ロープウェイを導入するメリットを考えさせる（地形，都市計画，コスト，観光資源などの観点から）

主作問者：記述式問題の全体像を決定.
- 作問分担者がテーマの対象をつかめるよう，参考資料を提示する.
- 各大問に対して，主分野を設定し，最も問いたいコンピテンシーを一つ選び◎をつける.
- 各大問に対して，キーワードと問題素案（ざくっとしたもの）を提示する.
- 各大問の中で，問題が完結することとする.
- 大問の内容にあわせて，作問分担者をアサインする.
- たくさん大問（モデュール）をつくって，組合わせで複数のテストを構成することが可能.

作問分担者：大問の詳細を作成.
- ◎のコンピテンシーを問うことを念頭に，問題を作問する.
- 作問後，同時に問えるコンピテンシーがあれば，○を追加する.

主分野リスト
数学
物理学
材料と構造
運動と振動
エネルギーと流れ
情報と計測・制御
加工と生産
（応用）機械システム
その他

Tuning テスト問題バンク機械工学分野のコンピテンス枠組み

エンジニアリング汎用的能力	【EGS】エンジニアリングの社会および一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力
工学基礎・工学専門	【BES】 専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力
エンジニアリング分析・解析	【EA - 解析】 エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力。
	【EA - 分析】 エンジニアリングの生産物、プロセス，手法について分析するために知識と理解を応用する能力。
エンジニアリング・デザイン	【ED】 特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力。
エンジニアリング実践	【EP - 統合】 エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解した上で、選択・統合・活用する能力。
	【EP - 倫理】 健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、および解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理，責任，規範を引き受ける能力。
	【EP - 管理】 例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法について、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力。

テスト問題バンクホームページ
https://www.me-testbank.org/

【別添３】

テーマ	新・風車
主作問者１	[redacted]
主作問者２	

参考資料１	https://www.turbo-so.jp/turbo-kids6.html
参考資料２	https://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?dd=assets/files/download/noauth/nagare/21-4/21-4-t01.pdf
参考資料３	https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjseg/62/4/62_244/_article/-char/ja/

大問（モジュール）	主分野	副分野（あれば）	担当者	EGS	BES	EA・解析	EA・分析	ED	EP・統合	EP・倫理	EP・管理	キーワード	問題素案
1(1)	エネルギーと流れ	材料と構造		○			◎					慣性モーメント	風車の素材や構造から回転性能の違いを考えさせる問題.
1(2)(3)	エネルギーと流れ			○	◎		○					翼，流線，揚力，抗力	流線と揚力・抗力を描かせ，風車ブレードのねじれの理由を考えさせる問題.
2(1)	材料と構造			○			◎					強度，破損，不具合の確率	大型風車のブレードが2～3枚である理由を強度と破壊の観点から考えさせる問題.
2(2)	エネルギーと流れ			○				◎				風速比，パワー係数	パワー係数のグラフをもとに，最適なブレード枚数をデザインさせる問題.
3	（応用）機械システム			○					◎		○	安定供給，コスト，未然防止	風力発電所の設置場所を示し，なぜそこに設置するのがよいかを考えさせる問題.
4(1)	（応用）機械システム			○		◎						不具合検出，物理量	事故の未然防止のために，ブレードの欠損や不釣り合いを検出する方法を考えさせる問題.
4(2)	（応用）機械システム			○					◎			想定外，技術的対策	想定以上の現象のために危険性が生じたときにその技術的な解決策を考察させる問題.
4(3)	その他			○						◎		倫理	完成後に発覚した不備に対して技術者が取るべき倫理的行動について考えさせる問題.

主作問者：記述式問題の全体像を決定.
- ・作問分担者がテーマの対象をつかめるよう，参考資料を提示する.
- ・各大問に対して，主分野を設定し，最も問いたいコンピテンシーを一つ選び◎をつける.
- ・各大問に対して，キーワードと問題素案（ざくっとしたもの）を提示する.
- ・各大問の中で，問題が完結することとする.
- ・大問の内容にあわせて，作問分担者をアサインする.
- ・たくさん大問（モデュール）をつくって，組合わせで複数のテストを構成することが可能.

作問分担者：大問の詳細を作成.
- ・◎のコンピテンシーを問うことを念頭に，問題を作問する.
- ・作問後，同時に問えるコンピテンシーがあれば，○を追加する.

主分野リスト
数学
物理学
材料と構造
運動と振動
エネルギーと流れ
情報と計測・制御
加工と生産
（応用）機械システム
その他

Tuning テスト問題バンク機械工学分野のコンピテンス枠組み

エンジニアリング汎用的能力	【EGS】エンジニアリングの社会および一般社会と効果的にコミュニケーションを図るために、種々の方法を活用する能力
工学基礎・工学専門	【BES】 専門とするエンジニアリング分野の重要事項や概念に関する系統的な理解を示すことができる能力
エンジニアリング分析・解析	【EA - 解析】 エンジニアリングの課題を特定して定式化し、確立した方法で解くために知識と理解を応用する能力。
	【EA - 分析】 エンジニアリングの生産物、プロセス，手法について分析するために知識と理解を応用する能力。
エンジニアリング・デザイン	【ED】 特定の規定された要求を満足するデザインを開発するために知識と理解を応用する能力。
エンジニアリング実践	【EP - 統合】 エンジニアリングの課題を解決するために、適用可能な理論と手法ならびにそれらの制約を理解した上で、選択・統合・活用する能力。
	【EP - 倫理】 健康・安全・法律の問題とエンジニアリングの実践に伴う責任、および解決策の及ぼす社会的・環境的状況への影響について理解していることを示すことができ、エンジニアリングの実践に伴う職業倫理，責任，規範を引き受ける能力。
	【EP - 管理】 例えばリスク管理や変革管理などのプロジェクト管理やビジネス手法について、それらの制約についての認識も含めて知識を示すことができる能力。

テスト問題バンクホームページ
https://www.me-testbank.org/

【別添４】

チューニングによる大学教育のグローバル質保証
ーテスト問題バンクの取組ー

記述式問題

（風力発電）

問題用紙

Tuning Japan National Centre

記述式問題　例題：風力発電

風力発電は，風車を使用して風の運動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電方式であって，環境負荷が小さく，発電コストが比較的低いなどの長所がある反面で，風速変動に伴う出力変動，強風や落雷などによる破損可能性などの短所もある。

図1は，北海道天塩郡幌延町にあるオトンルイ風力発電所の概観である。この発電所は2003年から本格稼働しており，風車1基当たり750 kW，全28基で21,000 kWの出力を有する集合型風力発電所（多数の風車を 1 カ所に集約設置した発電所。ウィンドファーム。）である。風車の直径は 50.5 m，支柱高さは 74 m である。



図 1　集合型風力発電所の例

提供：幌延町（オトンルイ風力発電所）

このような集合型風力発電所について，その基本構成要素である風車の構造と性能，発電所の設置条件，事故対策などについて考察する。以下の問題に対して，機械工学を中心とする工学的観点から解答せよ。特に，論述問題においては，論理的な文章表現をもって解答せよ。

問１． 図 2 は，風車の回転軸が風向と平行な水平軸型風車の代表例であり，(a)は風力発電に多く用いられているプロペラ型，(b)は伝統的なオランダ型である。



(a)　風力発電用風車（プロペラ型）



(b)　伝統的風車（オランダ型）

図 2　水平軸型風車の例

出所：　(a)『2000 ピクセル以上のフリー写真素材集』(http://sozai-free.com/sozai/01541.html)

(b) Martijn Roos. www.mroosfotografie.nl (http://free-photos.gatag.net/2014/11/07/040000.html)

両者のブレード（羽根）には，それらの動作原理と関係した違いがある。風が作用したブレードには揚力と抗力が発生するが，風力発電用風車は揚力を利用して回転トルクを発生させる揚力型であるのに対し，伝統的風車は抗力を利用して回転トルクを発生させる抗力型である。このことを踏まえて，風力発電用風車の「ブレード」に関する次の(1)～(3)の問題に答えよ。

(1)　風力発電用風車のブレードはガラス繊維強化プラスチック製の中空構造（内部補強リブ付き）であるのに対し，伝統的風車のブレードは木製の骨組みに布を張った構造である。また，風力発電用風車は，伝統的風車に比べてブレードが細長く，先細である。風力発電用風車について伝統的風車と対比して推察し，回転軸まわりの慣性モーメントの違いおよびそれに伴う回転性能の特徴と利点を 100～200 字で説明せよ。

(2)　風力発電用風車のブレードは，図 3 に示すように飛行機の翼と同様の断面形状（翼型）を有している。解答欄に図 3 のような一般的な二次元翼型を描いた上で，その周囲の空気の流線および発生する揚力と抗力を矢印を用いて簡単に図示せよ。



図 3　二次元翼型

(3) 風力発電用風車のブレードは，根元から先端に向かってねじれている。すなわち，図 4 に示す先端付近の断面 A-A と根元付近の断面 B-B のそれぞれでは，図 5 に示すような違いがある。

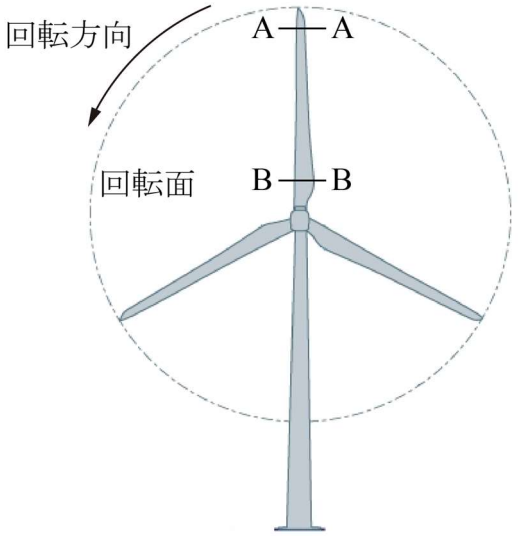


図 4　プロペラ型風車の概略図

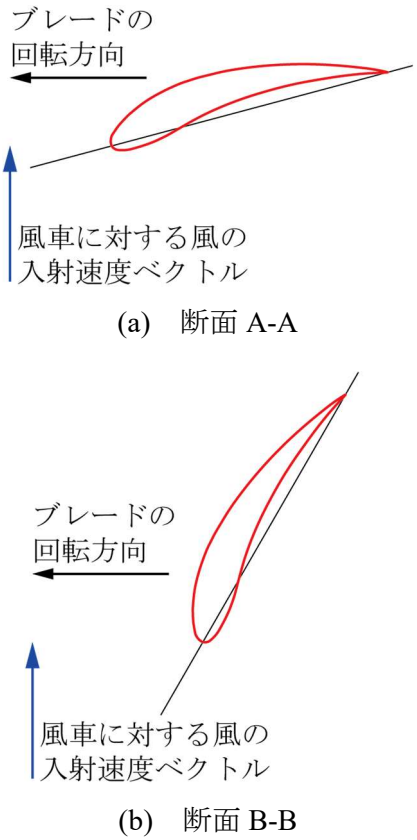


図 5　ブレードのねじれ

解答欄に図 5 のような断面 A-A と断面 B-B の翼型を描き，ブレードに入射する空気の速度ベクトルを図示した上で，ブレードがねじれている理由を 100～200 字で説明せよ。ただし，次の条件の下で考えよ。

- 一定速度の風が風車の回転面に垂直に入射し，風車が定常回転している。
- 両断面の断面形状と寸法は同一であって，方向だけが異なる。

また，次のことを考慮せよ。

- ブレードと空気の間の相対速度は，風車の回転の影響を受ける。
- 揚抗比は，迎角がある適切な値のときに最大となる。なお，揚抗比とは，抗力に対する揚力の大きさの比であり，迎角とは，図 3 に示したように，翼の前縁と後縁を結ぶ直線に対する空気の入射角である。

問２． 風車の「ブレードの枚数」に関する次の(1)と(2)の問題に答えよ。

(1) 大型の風力発電用風車のブレードは，2 枚または 3 枚であることが多い。その理由を，小型の場合と対比し，ブレードの強度と破損リスクの観点から推察して，100～200 字で説明せよ。

(2) 図 6 は，各種の風車のパワー係数と周速比の関係を示している。ここで，パワー係数とは，単位時間あたりに入射する風の運動エネルギーのうち風車によって取り出せるエネルギーの割合であり，風車の効率を表す。また，周速比とは，風車に入射する風速に対するブレード先端の周速の比である。

さて，風力発電用風車の設計にあたって，まず基準とする風速，回転数，回転半径（ブレードの長さ）の条件を設定したところ，周速比が約 7.2 となった。この周速比におけるパワー係数は，ブレードの枚数が 2 枚でも 3 枚でもほぼ同一である。ブレードの枚数として 2 枚または 3 枚のいずれか一方を選び，その理由を 100～200 字で説明せよ。ただし，理由の説明に際して，ブレードの強度と破損リスクの観点は除外せよ。

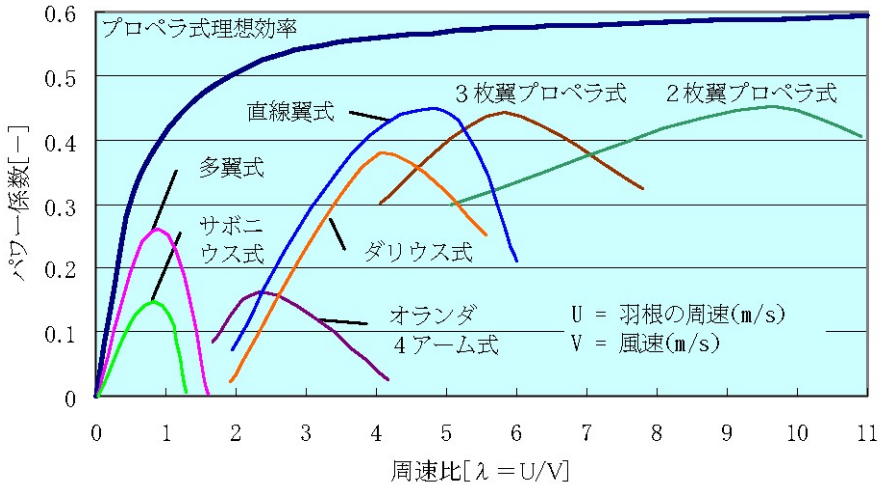


図 6　各種の風車のパワー係数

出所： 新エネルギー・産業技術総合開発機構　エネルギー対策推進部，
風力発電導入ガイドブック（2008 年 2 月改訂第 9 版）

問３． 図 1 に示した風力発電所は，複数の条件を満たす場所に設置されている。次の(1)〜(3)のそれぞれの設置条件について，条件を満たすことによって実現されるメリットとその理由を 50 字程度で説明せよ。

(1) 海岸沿いであって，周囲に風を遮るものがない地形である。

(2) 十分に広いスペースがあって，複数の風車が設置できる。

(3) 風車の周囲に他の公共施設や民家がない。

問４． 風力発電用風車にとって致命的な事故である「支柱の倒壊」に関する次の(1)～(3)の問題に答えよ。

(1) 支柱の倒壊には，多様な原因とシナリオが考えられる。ここでは，いずれか1枚のブレードに軽微な変形や僅かな欠損が生じて風車に不釣合いが生じた結果，支柱に過大な負荷が作用して倒壊に至ることを考える。このような支柱の倒壊を防止するためには，ブレードの不具合を早期に検出して，対策を講じることが有効である。ブレードの不具合を検出するために有効な方法を1つ提案せよ。ただし，着目する物理量とその測定手段を必ず説明せよ。

(2) 設計時に想定した最大風速よりもさらに大きな風速を想定する必要が新たに判明し，それによって既設風車の支柱が倒壊する危険性が高いと判断したとき，倒壊を防止する上で技術的に有効な対策を1つ提案し，その理由を説明せよ。ただし，支柱やその基礎の補強は除くとともに，それと比較して提案した対策を導入する際に想定される課題を述べよ。

(3) 風車の完成後に設計，製造，施工などの不備が発覚したとき，技術者担当者として取るべき行動を三つ挙げ，そのように考える理由を説明せよ。

おわり