

見 解

**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 総合工学分野
～社会課題に立ち向かう総合工学分野の人材育成～**



令和5年（2023年）9月27日

日 本 学 術 会 議

総合工学委員会

総合工学企画分科会

この見解は、日本学術会議総合工学委員会総合工学企画分科会総合工学分野の教育小委員会での審議結果を踏まえ、総合工学委員会総合工学企画分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会総合工学企画分科会

委員長	小山田耕二	(第三部会員)	大阪成蹊大学データサイエンス学部学科長・教授
副委員長	玉田 薫	(第三部会員)	九州大学主幹教授・副学長
幹 事	筑本 知子	(第三部会員)	中部大学超伝導・持続可能エネルギー研究センター教授・大阪大学レーザー科学研究所特任教授
幹 事	伊藤 宏幸	(連携会員)	ダイキン工業株式会社テクノロジー・イノベーションセンターリサーチコーディネーター
	吉田 文	(第一部会員)	早稲田大学教育・総合科学学術院教授
	伊藤 公平	(第三部会員)	慶應義塾長
	吉村 忍	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	伊藤 貴之	(連携会員)	お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科教授
	伊藤 恵理	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授
	岩城智香子	(連携会員)	東芝エネルギーシステムズ株式会社エネルギーシステム技術開発センターシニアフェロー
	塩見淳一郎	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科総合研究機構教授
	辻 佳子	(連携会員)	東京大学環境安全研究センター教授
	寺崎 一郎	(連携会員)	名古屋大学理学研究科教授
	出口 康夫	(連携会員(特任))	京都大学大学院文学研究科教授

日本学術会議総合工学委員会総合工学企画分科会総合工学分野の教育小委員会

委員長	筑本 知子	(第三部会員)	中部大学超伝導・持続可能エネルギー研究センター教授・大阪大学レーザー科学研究所特任教授
副委員長	岡本 正宏		九州大学共創学部長顧問・名誉教授
幹 事	小山田耕二	(第三部会員)	大阪成蹊大学データサイエンス学部学科長・教授
幹 事	萩原 一郎		明治大学研究・知財戦略機構特別教授、東京工業大学名誉教授
	玉田 薫	(第三部会員)	九州大学主幹教授・副学長
	伊藤 宏幸	(連携会員)	ダイキン工業株式会社テクノロジー・イノベーションセンターリサーチコーディネーター

黒岩 友樹

株式会社ベネッセコーポレーション大学・社
会人事業開発部

本見解の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

事務	佐々木 亨	参事官（審議第二担当）
	高橋 直也	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（令和5年3月まで）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（令和5年4月から）
	影山 祥子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
	岡本 摩耶	学術調査員

要 旨

1 作成の背景

日本学術会議は、2008 年（平成 20 年）5 月に文部科学省高等教育局長から受けた「大学教育の分野別質保証の在り方に関する審議について」と題する依頼に対して、同年6月に課題別委員会「大学教育の分野別質保証の在り方検討委員会」を設置して審議を重ね、2010 年（平成 22 年）7 月に、回答「大学教育の分野別質保証の在り方について」[1]を取りまとめ、同年8月に文部科学省に手交した。その回答において、分野別質保証のための方法として、分野別の教育課程編成上の参照基準を策定することを提案しており、以降、各学術分野に関して参照基準の策定を進めてきている。

「総合工学」は、新しい学問分野である。2010 年（平成 22 年）に日本学術会議総合工学委員会が取りまとめた報告[2]では「「総合工学」とは、旧来の工学には見られなかった工学における横型分野であり、あらゆる工学体系や知識を総動員して設計・製造される人工物に関する分野であると定義できる。」とし、また、その後 2017 年（平成 29 年）に「総合工学とは、現代工学における学術体系の中で普遍的な立ち位置を有していることを改めて再確認し、現代社会が内包・直面する課題の発見・解決に挑戦するための学問である」と提言した[3]。これらを踏まえて、第 24 期では総合工学で必要と考えられる基本的素養として、総合知、市民的教養、アート思考、データサイエンス等について議論を行ってきた。

以上を背景に、総合工学分野の参照基準についての基本的な考え方が取りまとめられたことから、今後総合工学に関わる学士課程の教育プログラムを開設している、あるいは開設を計画している大学はもとより、修士課程等も含め各方面で利用していただけるよう、ここに公表するものである。

2 現状及び問題・課題

2010 年（平成 22 年）4 月 5 日にまとめられた報告「総合工学分野の展望」[2]においては、工学と科学技術全体を課題としている総合工学の学術的役割は、包含する分野の深化を図ると同時に、既存分野と融合してイノベーションの創出を図るなど、社会に求められる技術や価値を創造するための科学技術の強化を図ることであるとしている。しかし、その1年後に発生した未曾有の大震災での経験をふまえ、2017 年（平成 29 年）に日本学術会議総合工学委員会が取りまとめた提言[3]で、「2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災においては、自然災害と東電福島第一原子力発電所事故に対して、現在の科学だけでは問題解決できないことを体験した。社会的・経済的価値の創出だけでなく、その結果としての社会的・経済的損失に対しても学術で応え、学術が総合的に社会に対して責任を持つためには、あらゆる工学を駆使して社会の課題を解決する」ために、「総合工学」の強化推進、「すなわち、『知の統合』の実践におけるリーダーシップを発揮することが必要であると強く指摘された」ことを述べた。

2014 年（平成 26 年）5 月 7 日に米国学術研究会議は、ブレークスルーを引き起こし、

学問の壁を越えて横断的な問題解決を図る知の統合研究を支援する全国レベルでの協調が必要という緊急提言を行い、イノベーションを実現するには、分野を超えた学際的な考え方ができる holistic designer（全体論的、または総体的デザイナー）が必要不可欠であるという認識に至っている。具体的には、米国において、生命科学、物理科学、工学等の分野の手段や知識を統合した分野横断的な収束型研究（Convergent Research）は、2014年時点で、依然として障壁に直面しており、各分野ばらばらに従来の方法で研究を実施しているという現状に対して危機感を持っていた。また、インターネットサービスで世界を牽引する米国民間企業の Google は、この holistic designer を、smart creative leader と名付け、このようなリーダーを育てることを会社の使命としている[4]。

一方、日本における知の統合に関する議論は継続的に行われているが、具体的なアクションは十分なものとなっていない。社会的課題解決を着実なものとするには、①未来の社会的課題解決の目標点を定め、そこから逆算して具体的なプロセスを設計する「バックキャストイング手法」と、②目標実現に至る工程表のそれぞれの段階で、異なる専門的知識・技術を結集して共創イノベーションを起こす「コレクティブインパクト手法」の2つの手法が不可欠である[5]。

以上の点を考慮すると、総合工学分野で活躍する人材には、以下の6つの力が必要である[6]。

- 1) 俯瞰的な視野に立ち社会的課題解決という望ましい未来の姿を描く力 (imaginator)
- 2) 課題解決という未来の到達点に至る具体的な道筋をバックキャストイングの手法で構想・デザインする力 (planner, designer)
- 3) 工学のみならず必要となる様々な学問分野の専門家の間でプロジェクトを調整する力 (coordinator)
- 4) 実際に自らもプロジェクトの一員として実務を行う力 (practitioner)
- 5) プロジェクトを推進する力 (facilitator)
- 6) 常に社会の変容を捉え、時代の変化に対応する力 (adaptable talent)

これらの力の発揮のためには、「自己学習能力（アクティブラーニング）」、「コミュニケーション・協働作業能力」、「ファシリテーション能力」、「つなぐ力」、「問題解決力」、「創造力」の6つの能力を身につけることが必要である。残念ながら、現在の大学・大学院教育では、様々な専門やスキルを組み合わせる課題解決に至るプロセスを設計できる人材がほとんど養成されていない。

3 見解の内容

総合工学は現代社会が内包・直面する課題の発見・解決に挑戦するための学問であるという点を踏まえ、社会課題に立ち向かう総合工学分野で活躍する人材に必要な素養や能力の育成という観点から、本見解をまとめた。

「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 総合工学分野」の各項目は、以下のとおりである。

- (1) 総合工学の定義

- (2) 総合工学に固有の特性
 - ① 総合工学に固有な視点と役割
 - ② 境界領域・融合領域における新たな学術分野の創成
- (3) 総合工学を学ぶすべての学生が身につけることを目指すべき基本的な素養
 - ① 分野の学びを通じて獲得される基本的な「知識と理解」
 - ② 基本的な知識と理解を活用して発揮される「能力」
 - ③ 分野に固有の知的訓練を通じて獲得される「ジェネリックスキル」
- (4) 学修方法及び学修成果の評価方法に関する基本的な考え方
 - ① 学修方法
 - ② 学修成果の評価方法
- (5) 市民性の涵養をめぐる専門教育と教養教育の関わり

目 次

1 はじめに	1
(1) 趣旨	1
(2) 総合工学をめぐる国内外の情勢	1
2 総合工学に関わる教育の参照基準	4
(1) 総合工学の定義	4
(2) 総合工学に固有の特性	4
① 総合工学に固有な視点と役割	5
② 境界領域・融合領域における新たな学術分野の創成	5
(3) 総合工学を学ぶすべての学生が身につけることを目指すべき基本的な素養	6
① 分野の学びを通じて獲得される基本的な「知識と理解」	6
② 基本的な知識と理解を活用して発揮される「能力」	8
③ 分野に固有の知的訓練を通じて獲得される「ジェネリックスキル」	12
(4) 学修方法及び学修成果の評価方法に関する基本的な考え方	16
① 学修方法	16
② 学修成果の評価方法	19
(5) 市民性の涵養をめぐる専門教育と教養教育の関わり	21
3 まとめ	22
<参考文献>	23
<参考資料>審議経過	25
<付録資料1>総合工学教育関連分野の教育プログラムの大学での実施例	27
<付録資料2>総合工学の学びにとって必要な素養の詳細内容	29

1 はじめに

(1) 趣旨

日本学術会議は、2008年（平成20年）5月に文部科学省高等教育局長から受けた「大学教育の分野別質保証の在り方に関する審議について」と題する依頼に対して、同年6月に課題別委員会「大学教育の分野別質保証の在り方検討委員会」を設置して審議を重ね、2010年（平成22年）7月に、回答「大学教育の分野別質保証の在り方について」[1]を取りまとめ、同年8月に文部科学省に手交した。その回答において、分野別質保証のための方法として、分野別の教育課程編成上の参照基準を策定することを提案し、以降、各学術分野に関して参照基準の策定を進めており、本見解では総合工学分野の参照基準を取りまとめた。

総合工学は、新しい学問分野である。現代社会は、様々な技術が人間系も含めて相互に緊密に関連する巨大複雑システムとなっており、このような社会において必要とされる学問は、伝統的学問分野だけではなく、複数の学問分野が融合し、複合しながら創られる[2]。2011年（平成23年）3月に発生した東日本大震災による東電福島第一原子力発電所事故、また、現在地球全体が直面している地球温暖化等の課題の解決に向けて、あらゆる工学の知を総動員し、さらには工学以外の分野を柔軟に取り込んでいくことが必要である[3]。そのような学問分野を、ここでは、総合工学と定義し、総合工学分野の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についての基本的な考え方について示すものである。現代社会を支える様々なシステムと強く結びついている総合工学は、社会の変容とともに、その中身はダイナミックに変化すると考えられることから、本見解は、総合工学分野の人材育成に必要と考えられる根幹となる考え方を示すものであって、教育の成果として達成されるべき水準を示すことを意図したものではない。大学教育分野別の質保証の手段として位置づけられていることを強調する。

本見解は、総合工学に関わる学士課程の教育プログラムを開設している、あるいは、開設を計画している大学はもとより、修士課程等も含め各方面で利用していただけるよう、ここに公表するものである。

(2) 総合工学をめぐる国内外の情勢

2010年（平成22年）4月5日にまとめられた報告「総合工学分野の展望」[2]においては、工学と科学技術全体を課題としている総合工学の学術的役割は、包含する分野の深化を図ると同時に、既存分野と融合してイノベーションの創出を図るなど、社会に求められる技術や価値を創造するための科学技術の強化を図ることであるとしている。しかし、2011年（平成23年）3月11日に発生した東日本大震災において、自然災害と東電福島第一原子力発電所事故に対して、現在の科学だけでは問題解決できないことを体験し、社会的・経済的価値の創出に留まらず、社会的・経済的損失に対しても学術で応え、あらゆる工学を駆使して社会の課題を解決する総合工学の充実が提言された[3]。すなわち、工学の異なる学術分野の知のみならず、放射線の人体への影響といった医学分野の知、自然環境や食品などの影響も含めた生物学・環境科学の知、さらには、法律や経済

に関わる知のように、直接関連しないと思われた分野の知を統合して諸課題に対処する必要性（知の強化）が指摘され、社会的課題と連携する「総合工学」の強化推進、すなわち、知の統合の実践におけるリーダーシップを発揮することが必要であると強く指摘された。

2014年（平成26年）5月7日に米国学術研究会議は、ブレークスルーを引き起こし、学問の壁を越えて横断的な問題解決を図る知の統合研究を支援する全国レベルでの協調が必要という緊急提言を行い、イノベーションを実現するには、分野を超えた学際的な考え方ができるholistic designer（全体論的または総体的デザイナー）が必要不可欠であるという認識に至っている。具体的には、米国において、生命科学、物理科学、工学等の分野の手段や知識を統合した分野横断的な収束型研究（Convergent Research）は、2014年時点で、依然として障壁に直面しており、各分野ばらばらに従来の方法で研究を実施しているという現状に対して危機感を持っていた。また、インターネットサービスで世界を牽引する米国民間企業のGoogleは、このholistic designerを、smart creative leaderと名づけ、このようなリーダーを育てることを会社の使命としている[4]。

一方、日本における知の統合に関する議論は継続的に行われているが、具体的なアクションは十分なものとなっていない。日本学術会議第23期の「工学基盤における知の統合分科会」では、①知の統合人材の育成、②知の統合人材評価システムの構築、③知の統合に関する研究・人材育成・社会実装を担う組織体制の構築の3項目にフォーカスし、知の統合の推進に向けた報告を行っている[7]。

社会的課題解決を着実なものとするには、①未来の社会的課題解決の目標点を定め、そこから逆算して具体的なプロセスを設計する「バックキャスト手法」と、②目標実現に至る工程表のそれぞれの段階で、異なる専門的知識・技術を結集して共創イノベーションを起こす「コレクティブインパクト手法」の2つの手法が不可欠である[5]。

以上の点を考慮すると、社会的課題に立ち向かい、「知と技術と社会の統合」を目指す総合工学分野で活躍する人材に必要な力は、次のようにまとめられる[6]。

- 1) 俯瞰的な視野に立ち社会的課題解決というあるべき未来の姿を描く力(imaginator)
- 2) 課題解決という未来の到達点に至る具体的な道筋をバックキャストの手法で構想・デザインする力(planner, designer)
- 3) 工学のみならず必要となる様々な学問分野の専門家の間でプロジェクトを調整する力(coordinator)
- 4) 実際に自らもプロジェクトの一員として実務を行う力(practitioner)
- 5) プロジェクトを推進する力(facilitator)
- 6) 常に社会の変容を捉え、時代の変化に対応する力(adaptable talent)

これらの力の発揮のためには、「自己学習能力（アクティブラーニング）」、「コミュニケーション・協働作業能力」、「ファシリテーション能力」、「つなぐ力」、「問題解決力」、「創造力」の6つの能力を身につけることが必要である。

残念ながら、現在の大学・大学院教育では、様々な専門やスキルを組み合わせる課題解決に至るプロセスを設計できる人材がほとんど養成されていない。この人材は、オーケストラで例えると、指揮者の能力を持つ人材である。どんな有能な楽器の演奏者を揃えても、指揮者のタクトの振り方次第で、曲想がいかようにも変わってくる。現在、世界は、SDGsをはじめ、数多くの社会的課題に向き合い、解決に向けて様々な専門の結集が呼びかけられている。社会から求められる人材育成を確実なものとするためには、総合工学が主体となってパイロットプロジェクトを実施する必要性が緊急に求められている。

しかしながら、現在の日本の教育現場の状況をみるに、以下のいくつかの理由から、社会実装に向けた有効な総合工学教育プログラムが導入されにくいと考えられる。

- ・ 日本の教育制度は、試験を中心とした成績評価が重要視され、教師や学生は成績を追求することが求められる。また、この制度は大学や大学院入学試験を合格することが目的とされており、実践的なスキルや知識を学ぶ機会が少ない。そのため、社会実装に向けた教育プログラムを導入することは、そのような試験に直接的な効果があるわけではないため、教育現場での導入が遅れることになる。
- ・ 教育現場における専門的な技術や知識を持った教員の不足が問題視されている。社会実装に向けた教育プログラムを実施するためには、実践的な技術や知識を持った教員が必要とされるが、そのような人材が不足しているため、教育プログラムの導入が困難とされている。

その一方で、近年、＜付録資料1＞総合工学教育関連分野の教育プログラムの大学での実施例で挙げたように、既存の学問領域の枠を超えた総合工学教育により、創造力と社会的課題に立ち向かう力の育成を目標とした総合工学系の学科を設立するところが出てきている。また、多様な人材を集めるために、様々な入試方法も試行されている[8]。

ここで重要なポイントは、多分野的な知識と学際的な知識の区別である。工学において、一芸に秀でることは言うまでもないが、first major以外にsecond major …と、メジャーの数を広げるチャレンジも重要であり、そのようなカリキュラムを採用している大学もある。しかしそれだけでは、多分野的となってしまう、必ずしも学際的な知識になるとは限らない。様々な学問分野をどのように結びつけて、新しい学問分野を設計することができるのかにチャレンジすることで、初めて学際的なアプローチとなりうる。社会的課題に立ち向かう総合工学の人材には、多分野をつなぐ学際的な知識が必要不可欠であり、それをどのように育むかをカリキュラムにおいて考慮する必要がある。

2 総合工学に関わる教育の参照基準

(1) 総合工学の定義

総合工学とは、旧来の領域型分野（電気電子工学、機械、材料、情報、土木、建築、化学などの分野）には見られなかった工学における横断型分野であり、あらゆる工学体系や知識を総動員して設計・製造される人工システムに関する分野である [2]。言い換えれば、総合工学は、社会のインフラストラクチャーを形成する特定のシステムや対象を取り扱うため、工学全般に収まらず、あらゆる学問体系にわたる横断型の学問分野である。ここで重要なポイントは、人工システムの開発、設計、製作、運用、保全等だけではなく、いかに社会全体が幸福でいられるか、つまり、公共社会の安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することも目的としている。したがって、総合工学には表 1 に示すように、学際的・複合的な分野と従来言われている応用物理、計測、制御、計算機科学、計算科学・シミュレーション、エネルギー・資源、放射線利用、宇宙航空、海洋船舶、安全・安心・リスク学、環境学、巨大社会システムなどが含まれるが、その目的を達成するために、常に社会の変容と共に対象の広がりが必要な知識を求めて領域を拡大するなど、ダイナミックに進化し続けているものである [3]。このように、「総合工学」は極めて広い概念を持っており、社会全体の横断的課題を「工学」をキーワードとして、科学的・技術的に扱うという特徴を持っている。

表 1 総合工学分野の学科例

特徴	学科例
対象となる巨大人工システムを名称に含む学科	船舶海洋工学、航空宇宙工学、原子力工学、エネルギー・資源工学、メディアネットワーク等
既存の学術領域を名称に含む学科	応用物理、応用化学、化学工学、環境工学等
複数の学問分野や対象あるいは巨大システムに共通な技術を名称に含む学科	システム工学、機械情報工学、電子情報工学等
統合・総合的な意味の言葉を名称に含む学科	システム創成、融合基礎工学、総合工学、共創学、構造工学等

（出典）総合工学委員会総合工学企画分科会総合工学分野の教育小委員会にて作成

(2) 総合工学に固有の特性

① 総合工学に固有な視点と役割

総合工学は、異なる分野の工学的知識を統合し、社会的課題に関連する種々の問題の解決手法を開発することを目的とした工学の分野である。総合工学には、以下のような固有の視点と役割がある。

1) 総合的な視野：総合工学は、複数の分野を網羅し、相互作用する複雑な問題に対応

することができる。総合工学の専門家は、狭い視野ではなく、広い視野を持って問題を解決することができる。

2)技術革新の促進：総合工学は、異なる分野の工学的知識を統合することで、新しい技術や製品の開発に貢献する。総合工学の専門家は、様々な技術を組み合わせ、新しいアイデアを生み出すことができる。

3)問題解決の手法の開発：総合工学では、社会的課題に対して、幅広い分野にまたがる知識により、科学的合理性と技術的可能性を基礎として、問題の抽出を行い、それぞれの問題を解決するために、異なる分野の専門家を結集して、複雑な問題を解決するための新しい手法を開発することができる。総合工学の専門家は、異なる分野の知識を統合し、問題を解決するための独自の手法を開発することができる。

4)環境問題への貢献：総合工学は、環境問題に対しても貢献することができる。総合工学の専門家は、環境問題に対する知識を持ち、異なる分野の専門家と協力して、環境問題の解決策を開発することができる。

5)エネルギー問題への貢献：エネルギー問題は、世界的に深刻な課題の一つであり、総合工学は、異なる分野の工学的知識を統合することで、エネルギー問題に取り組むことができる。総合工学の専門家は、エネルギーの効率的な利用や再生可能エネルギーの開発など、多面的な視点からエネルギー問題に取り組むことができる。

総合工学は、異なる分野の専門家と協力して、新しい技術や製品の開発や、複雑な問題の解決に貢献することができる。総合工学の専門家は、独自の手法や視点を持ち、環境問題をはじめとした、現代社会が内包・直面する課題の発見・解決に取り組むことができる。

② 境界領域・融合領域における新たな学術分野の創成

総合工学に含有される分野の多くは、時代の要請や科学技術の進歩によって生まれた新しい人工システムに対して、トップダウンアプローチにより、既存の学問分野を取り込んで融合し、あるいは不足があれば新しい学問分野を創出することにより、生まれ、発展してきた。これは、旧来の領域型分野が、それぞれの領域の広がりにより他の分野との境界領域・融合領域に新たな学術分野をボトムアップアプローチにより創出するのと本質に異なる。

総合工学は、異なる工学分野を統合することで、新しい問題解決のアプローチや新しい技術を生み出すことができる。例えば、バイオテクノロジーとナノテクノロジーを融合したバイオナノテクノロジーなど、異なる分野を融合した新しい学術分野が生まれている。

また、総合工学は、既存の学問分野の枠を超えた問題にも取り組むことができる。例えば、環境問題や社会問題など、複雑な問題に対して、異なる工学分野の専門家が協力して取り組むことができる（コレクティブインパクト）。

さらに、総合工学は、新しい学術分野の創成につながるだけでなく、既存の学問領域の枠を超えた知識の獲得や交流も促進する。異なる分野の専門家が協力して研究を

進めることで、新しい知見が生まれるだけでなく、異なる分野の専門家が相互理解を深めることができる。

以上のように、総合工学は、異なる工学分野を統合することで、境界領域や融合領域における新しい学術分野の創成に貢献することができる。また、異なる分野の専門家が協力して研究を進めることで、新しい知見が生まれるだけでなく、相互理解が深まることも期待できる。この相互理解において、「新しい知見」が幸せな知見もあれば、社会や自然に不幸な知見もともにあることを意識しておく必要もある。

(3) 総合工学を学ぶすべての学生が身につけることを目指すべき基本的な素養

総合工学を学ぶ学生が身につけるべき基本的な知識と理解としては、工学基礎力、数学的思考力、生成 AI 利活用能力を含むデータサイエンス力、実験・測定技術等が挙げられるが、単なる個別の知識の習得ではなく、これらの基本的な知識と理解の活用により、学際的な知識を育む能力が発揮できるようなカリキュラムの工夫が必要である。ここで身につけるべき能力として、自己学習能力、コミュニケーション能力、ファシリテーション能力、つなぐ力、問題解決力、創造力等が挙げられる。

総合工学は、異なる分野の工学的知識を統合し、新しい問題解決の手法を開発し、さらに、その結果生み出された人工物、製造物が社会実装され、継続使用、廃棄、リサイクルに向かうことを目的とした工学の分野である。したがって、科学技術が進展し、より複雑化・多様化する中で、より高度で先進的な技術やシステムをもって様々な社会課題に対応するためには、ジェネリックスキルとして、市民的教養、システム思考、アート思考等の観点からのスキルの獲得が必要である。以下にそれぞれについて詳細を記載する。

① 分野の学びを通じて獲得される基本的な「知識と理解」

ア 工学基礎力 [9]

大学の工学教育において共通する部分については、以下の工学基礎科目を列挙する。

- ・**数学**：数学は工学全般において非常に重要な役割を果たしており、解析、微積分、線形代数、確率論などの数学的知識が必要である。
- ・**物理学**：物理学は、工学の基礎となる科学分野であり、力学、電磁気学、光学、熱力学、量子力学などの基礎知識が必要である。
- ・**化学**：材料工学、化学工学、環境工学など、多くの工学分野において、化学的な知識が必要である。
- ・**コンピュータサイエンス**：コンピュータサイエンスは、現代の工学において不可欠な分野であり、プログラミング、アルゴリズム、データ構造、ソフトウェア工学などの知識が必要である。
- ・**設計プロセス**：多くの工学分野において、設計プロセスの理解が必要である。問題の特定、要件定義、設計、試作、テスト、製造、評価などのステップがある。また、設計したプロセス全体の動作を最適化するための知識・技術が必要である。

- ・**計算力学**：物理現象を数値計算によって解析することで、設計や解析の効率化や高度化を実現するために欠かせない分野である。例えば、構造物の強度や振動、熱伝導や流体の流れなどを解析するために、計算力学の技術が活用される。
- ・**プロジェクトマネジメント**：工学のプロジェクトでは、時間管理、予算管理、品質管理、チーム管理などのプロジェクトマネジメントスキルが必要である。
- ・**安全管理工学**：東日本大震災による東電福島第一原子力発電所事故に代表されるように、設計した巨大複雑システムは、想定をはるかに超えた摂動を受ける可能性があり、その様な状態に遭遇した時に作動する耐障害性のホットスタンバイシステムが必要である。また、その様な状態を前もって予知し、作動するシステムも必要である。その様なシステムの構築ができるような安全管理工学に関する知識が必要である。

イ 数学的思考力

総合工学では、数学的な考え方[10][11]が必要不可欠である。数学的な思考力を身につけることで、複雑な問題を正確に分析し、解決することができる。数学的思考力とは、複雑な問題を解決するために、論理的思考や数学的手法を使って問題を分析する力のことである。具体的には、以下の4つの要素から構成され、いずれも必要不可欠な力である。

- ・**論理的思考力**：正しい結論を導き出すために必要な、正確で一貫性のある推論力のこと。
- ・**抽象化力**：現実の事象や問題を抽象化して、数学的なモデルを作り出す力のこと。
- ・**記号演算能力**：数式や方程式を扱い、それらを適切に解析する力のこと。
- ・**直観力**：複雑な問題を解決する際に、直感的なアプローチを使って解決策を導き出す力のこと。

ウ データサイエンス力

データサイエンスとは、大量のデータを収集し、分析して価値ある情報を抽出し、それをビジネスや社会の問題解決に活用するための学問分野である。データサイエンスでは、コンピュータサイエンス、統計学、数学、データベース、機械学習、人工知能などの技術を活用して、データの収集・整理・分析・可視化・モデリングを行う。具体的には、ビッグデータから有用な情報を抽出し、データを用いた予測や意思決定支援、さらには機械学習を用いた自動化などを行う。データサイエンスは、ビジネス、医療、マーケティング、金融、エンジニアリング、社会学、環境学、都市計画など、様々な分野で活用されている。データサイエンスの進歩により、今後もデータの取り扱いや処理技術が進歩し、新たな可能性が生まれることが期待されている。

総合工学においてデータサイエンス力を育成するには、以下のような取組が有効である。

- ・ **カリキュラムの改善**：データサイエンスを学ぶカリキュラムを充実させることが重要である。例えば、統計学やコンピュータサイエンスの授業を強化するとともに、データサイエンスに必要なプログラミング言語やツール、アルゴリズムを学べる科目を設けることが考えられる。
- ・ **実践的な教育**：データサイエンスは、実際のデータを用いた実践的なプロジェクトを通じて学ぶことが効果的である。総合工学の学生に対して、実際のビジネスや社会問題に関連するデータを使ったプロジェクトを与えることで、データサイエンスに関するスキルと知識を実践的に習得できる。
- ・ **インターンシップや業界との連携**：データサイエンスは、企業や組織においても注目されており、実際のビジネスや社会問題に関わるプロジェクトが多く存在している。そのため、総合工学の学生に対して、業界との連携やインターンシップを通じて実践的なデータサイエンスのスキルと知識を身につける機会を提供することが重要である。
- ・ **専門的なコースや認定資格の提供**：データサイエンスに特化したコースや認定資格を提供することで、総合工学の学生がデータサイエンスに関するスキルと知識をより専門的に習得できるようになる。

以上のような取組を行うことで、総合工学の学生がデータサイエンスに関するスキルや知識を身につけ、実践的なプロジェクトにも取り組めるようになる[12]。

エ 実験・測定力 [13]

総合工学において、実験や測定は重要な素養の一つである。これは、理論やシミュレーションのみでは解決できない問題に取り組む際に必要となるものであり、実際に物理現象を観測・測定することでデータを収集し、解析することができる。

例えば、材料工学分野では、材料の物理的・化学的性質を評価するための実験が重要な役割を果たす。また、電気電子工学分野では、回路や電子部品の特性を測定することで、設計や改良に役立てることができる。

さらに、最近ではセンサーやIoT技術の進歩により、物理現象やシステムの状態をリアルタイムで測定し、データ解析やフィードバック制御を行うことが可能になった。これにより、製品の品質管理やエネルギー効率の向上などが実現されている。

総合工学においては、実験や測定技術を正確に理解し、適切に実施するための知識や技術が必要である。また、測定値やデータの解析によって得られた知見を適切に評価し、問題解決につなげることが重要となる。

② 基本的な知識と理解を活用して発揮される「能力」

総合工学においては、①に示す基本的な知識と理解を基盤に、学際的な知識の育成が求められる。そのためには以下の能力を身につけ、発揮されるようなカリキュラムの工夫が必要である。

ア 自己学習能力（アクティブラーニング） [14]

総合工学は、多様な分野から構成されており、その領域は常に拡大している。そのため、新しい分野や技術を学ぶための自己学習力が必要である。自己学習力とは、自ら学習の内容や方法を選び、学習を進める力のことである。自己学習力には、以下の5つの要素から構成され、いずれも必要な力である。

- ・**目標設定力**: 目標を設定し、その達成に向けた計画を立てる力のこと。自分自身で学ぶ目標を設定し、その目標に向かって努力することができる。
- ・**課題設定・解決力**: 自学習中に出てくる問題に対して、自分で課題を設定するとともに、解決策を考え、実行することができる力のこと。
- ・**情報収集力**: 必要な情報を収集する力のこと。インターネットや図書館などから情報を収集し、必要な情報を選択し、利用することができる。
- ・**自己評価力**: 自分の学習成果を客観的に評価し、改善点を見つけ、努力を継続することができる力のこと。
- ・**モチベーション管理能力**: 自分自身のモチベーションを管理する力のこと。学習において困難があった場合に、自分自身を励まし、学習を続けることができる。

これらの力を身につけることで、自らの意欲に基づいて、自由に学び続けることができる。自己学習力は、現代社会において、新しい技術や知識の習得が求められる機会が増えている中で、重要な力となっている。

イ コミュニケーション [15]・協働作業能力

総合工学では、チームワークが必要となる場合があり、そこでは、チーム内で意見を共有し、円滑にコミュニケーションを図る力が必要である。コミュニケーション力とは、チーム（グループ）内で、人との意思疎通を円滑に行うために必要な力のことである。コミュニケーション力には、以下のような要素が含まれる。

- ・**話す力**: 自分の考えや感情を相手に伝えることができる力。話し方、話す内容、発音などが重要な要素となる。
- ・**聞く力**: 相手の言葉や意見を理解し、受け止めることができる力。相手の話を注意深く聞き取る必要がある。
- ・**書く力**: 文章やメールなどを通じて、自分の考えや意見を伝えることができる力。文法やスペル、文章構成などが重要な要素となる。
- ・**読む力**: 文章やメールなどを読み取り、理解することができる力。正確かつ迅速な読解力が求められる。
- ・**ボディランゲージ**: 身体言語や表情、ジェスチャーなどを使って相手とのコミュニケーションを取ることができる力。非言語的なコミュニケーション力も重要である。
- ・**他言語力**: ボディランゲージは言語バリアを乗り越えるのに役立つことがある。視覚や聴覚に制約のある人々は、ボディランゲージだけでは情報伝達が不完全になる可能性がある。完全に代替するものではないが、言語の理解が必要な状況では、他言語力が不可欠である。

コミュニケーション能力は、職場や学校、社会生活において重要なスキルであり、人間関係や仕事の成果に大きな影響を与える。また、グローバル化が進む現代社会においては、言語や文化の違いを乗り越えて、異なる国や地域の人々とコミュニケーションを取る力も求められる。

ウ ファシリテーション能力

総合工学においては、チーム（グループ）内やチーム（グループ）同士の協働作業において様々な意見、論議をまとめ、調整を図る能力（ファシリテーション能力）が求められる。総合工学は、様々な分野の知識や技術を融合し、新しい価値を創造することを目的としている。このような取組は、複数の専門家が協力して行う場合が多く、ファシリテーション能力が必要不可欠である。

ファシリテーション能力は、相手の意見や考え方を理解し、共感することができるため、コミュニケーション能力の向上にもつながる。また、総合工学は異なる分野の専門家が協力して問題解決を行うため、ファシリテーション能力は総合工学において非常に重要なスキルの一つと言える。

さらに、総合工学には、社会的な問題解決や持続可能な開発などの課題が多く含まれている。このような問題に対しては、社会全体の声を聴き、共感し、協力して解決することが求められる。そのため、ファシリテーション能力は社会的な課題に対する解決策を探す上でも、非常に重要なスキルであると言える。

エ つなぐ力

総合工学で、様々な領域で先端技術を活用していくには、複数のスペシャリストをつなげることのできる力、いわゆるつなぐ力が重要になる。ここでの「つなぐ」は、新たな価値を創造したり、問題を解決したりするために、異なる人や組織、情報、資源などをつなぐことを指す。敵対的な状況や異なる立場、信頼性の低い相手をつなぐ方法が重要である[16]。

スタンフォード大学では、法学の教授とコンピュータサイエンスの教授を3人ずつ集めて「リーガル・インフォマティクス・センター」という組織が設置されている。同センターには、「ディレクター」というスタッフが2人いて、6人の教授を言わば“ツール”として、どう組み合わせたら、どのような価値を創造できるかを考える役割を担っている。このディレクターがつなぐ人材の好例であるが、日本では、このような立場の人材が相対的に少ない[17]。

工学教育において、[18]で述べるように「専門性の追求は当然視野の制限を伴う。そうでなければ、高度な専門性は実現できないというのは真実である。」といえる。他方、これは、[18]で述べるように俯瞰的視野の欠如した「専門分野の並立という「たこつぼ現象」を引き起こす可能性も高い。」ともいえる。したがって、総合工学でつなぐ力を持つ人材は、たこつぼの間をつなぐという重要な役割を果たす。

このような人材を育成するには、「他者との遭遇と対話」を体験させる。具体的には、所属部局の異なる大学生を集め、どの所属の専門性も優位にはならないような社会的課題を素材に、集中的に議論を行うことを中心とした教育を実施する[17]。

オ 問題解決力

総合工学において、問題解決力とは、与えられた課題に対して、課題に関連する種々の問題を抽出し、それぞれの問題を解決するために、複数の分野の知識や技術、手法を総合的に活用して解決する能力のことを指す。問題解決力は、総合工学において非常に重要な力であり、学生にとっても、社会に出た後にも必要なスキルの一つである。問題解決力を高めるためには、複数の分野にまたがる知識を習得するとともに、多様な問題に取り組んで実践的な経験を積むことが必要である。

問題解決において用いられるアプローチとして、バックキャストとフォアキャストがある。バックキャストは、将来の目標を設定し、その目標を達成するために必要な行動や取組を逆算して、現在の問題を解決する手法である。つまり、目標を決めた状態から現在に至るまでの逆のプロセスを考えることで、現在の問題を解決することを目的とする。一方、フォアキャストは、現在の状況から将来の状況を予測し、その予測に基づいて将来に向けた対策を立てる手法である。つまり、現状のデータやトレンドから将来の状況を予測し、その予測を踏まえた上で、将来に向けた取組を行うことを目的とする。

バックキャストとフォアキャストは、それぞれの手法が対象とする時間軸が異なっている。バックキャストは将来の目標を設定して現在の問題を解決することに焦点が当てられるが、フォアキャストは現在の状況から将来を予測して対策を立てることに焦点が当てられる。したがって、複雑な問題に対しては、フォアキャストとバックキャストの両方のアプローチを併用することで、より効果的に問題解決を行うことができる。

もう一つのアプローチとして、特に社会的な課題を解決する場合には、前述したコレクティブインパクト法がある。問題解決において、人間の思考における様々な認知のバイアスが、正確な判断や意思決定を妨げる要因となることがある。コレクティブインパクト手法の利用においては、集団内で起こり得るバイアスが問題解決にどのように影響するかを理解しておく必要がある[19]。

カ 創造力 [20]

総合工学は、異なる工学分野を統合し、総合的な視点で問題を解決することを目的としている。そのため、新しいアイデアや技術を生み出し、創造的な発想力が求められる。また、総合工学における創造性は、複数の分野から得られた知識や技術を組み合わせ、新たなアイデアを生み出すことが求められる。したがって、総合工学における創造性は、以下の要素が求められる。

- ・ **クリエイティブな発想力**: 総合工学において、問題解決に対する新しい視点や創造的なアイデアを生み出す力のこと。
- ・ **関連分野への理解**: 総合工学は、異なる分野の知識や技術を統合して問題解決に取り組む学問分野であるため、他の分野の知識や技術を理解することが重要である。

これら、ア～カの能力と基本的知識との関係を図1に示す。

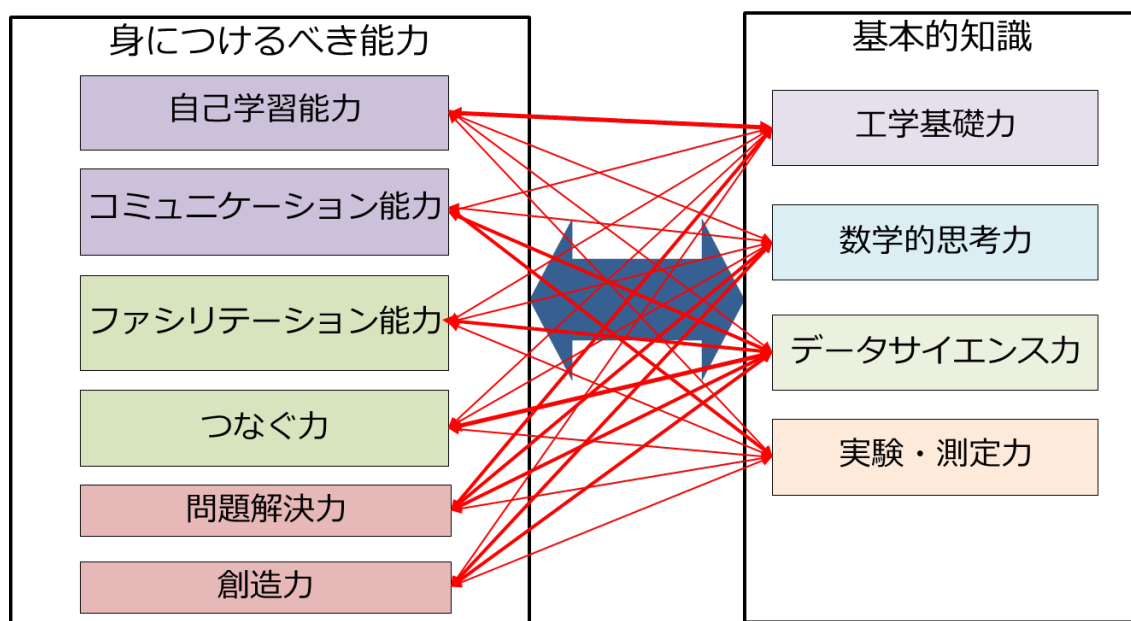


図1 基本的な知識と身につけるべき能力の関係

(出典) 総合工学委員会総合工学企画分科会総合工学分野の教育小委員会にて作成

③ 分野に固有の知的訓練を通じて獲得される「ジェネリックスキル」

総合工学分野で活躍する上で獲得が必要な「ジェネリックスキル」について、必要な観点をここで述べる。科学技術が進展し、より複雑化・多様化する中で、より高度で先進的な技術やシステムをもって様々な社会課題に直面する。また、市民と社会においては、しばしば社会全体の利益と個人の利益との間に相反する問題が生じる。このような問題に対応するためには、市民的教養、システム思考、アート思考、人脈構築の観点が重要である。それぞれの観点において、求められる資質と育成に向けての取組について、以下に記す。

ア 市民的教養の観点

日本学術会議提言「21 世紀の教養と教養教育」[21]では、21 世紀に期待される教養として、学問知・技法知・実践知と並んで市民的教養を強調している。この市民的教養は、公共性についての理解を深め、その実現に向けた様々な活動やプロジェクトに参加し、連帯・協働していく素養とその心構えを指す。実際に、大学の教

養教育において、地域の課題に対して、地域の人々とその地域の大学の教職員・学生が取り組む地域コラボレーションプロジェクトを積極的に取り入れる大学が増えている。地域の課題（ニーズ）と大学の資源（シーズ）をつなぐことにより、地域と大学が必要と考える取組を全学的に実施し、大学は自らが持つ“知”を地域再生・活性化のために活用し、また地域は自らがもつ“教育力”を大学に還元するような Win-Win な関係を構築するものとして、期待されている。

2011 年 3 月の東日本大震災を受けて、多くの大学において、復興支援のために、多くの学生、教職員がボランティアとして現地を訪れ、現地の人びとからも多くのものを得たことをきっかけとして、サービスラーニング（以下「S-L」という。）[22]という新しい学びが市民的教養の観点で注目されている。S-L とは、1980 年からアメリカで始まった教育活動の一つであり、「社会活動を通して市民性を育む学習」であり、学校の教室における学習と、地域で行われる有意義な奉仕活動を組み合わせた教授・学習・省察のための方法論を指す。教育の方法論としては、体験教育 (experiential education) の部類に入る。いくつかの大学の教養教育において、S-L 科目の開講、つなぐ人材の養成、地域・社会へのインターンシップやボランティア活動を企画・展開している。新型コロナウイルスの到来は、人類に深刻な脅威を与えただけでなく、アフターコロナ時代における人材育成のあり方に向き合うきっかけを与えているとも考えている。

総合工学において、市民的教養は重要であると言える。総合工学は、科学技術や社会の問題を総合的に解決するための学問分野である。総合工学の専門家は、単なる技術者やエンジニアだけでなく、社会的視野を持ち、社会的な課題に対しても対応できる人材であることが求められる。

市民的教養を持つ人材を育成するためには、以下のようなアプローチが考えられる。

- ・ **幅広い教養を学ぶ機会の提供**：市民的教養を身につけるためには、いわゆる理系科目のみならず、多様な分野の知識や技能を学ぶことが必要である。文化、歴史、経済、政治、法律、倫理など、幅広い分野の教育機会を提供することが重要である。
- ・ **自己学習（アクティブラーニング）の促進**：学校教育に加え、学生が自発的に学習できる環境を整備することで、市民的教養を身につける人材を育成することができる。
- ・ **地域・社会との関わりを持つ機会の提供**：地域や社会のイベントや活動に積極的に参加し、社会に関心を持つようになることで、市民的教養を身につけることができる。
- ・ **教員の市民性の向上**：教員自身が市民的教養に関する知識や技能を磨き、その知識やスキルを生徒に伝えることができるようになることが必要である。

これらのアプローチを総合的に取り入れることが、市民的教養を持つ人材を育成するためには有効である[23]。

イ システム思考の観点[20]

総合工学においてシステム思考は重要である。システム思考とは、複雑な現象や問題をとらえるための考え方やアプローチの一つで、システム全体を俯瞰し、相互に関連する要素や構造、ダイナミクスに注目することによって、問題を深く理解し、解決に導くことを目指すものである。

システム思考力を育成するためには、具体的に以下のようなアプローチが考えられる。

- ・**カリキュラムの改善**：授業や演習において、システム思考の理論や手法を学ぶことが大切である。実践的な課題を通じて、システム思考の実践力を身につけるために、カリキュラムの改善が必要である。
- ・**実践的な経験の提供**：実践的な経験を通じて、システム思考の実践力を身につけることが重要である。インターンシップやワークショップ、産学連携のプロジェクトなどを通じて、現場でのシステム思考の実践経験を提供することが必要である。また、現場では、失敗事例からも学ぶことができると期待する。
- ・**多様な分野へのアプローチ**：システム思考は、総合工学だけでなく、様々な分野で活用されている。異なる分野の問題にも対応できるよう、多様な分野へのアプローチを学ぶことが重要である。例えば、デザイン思考やマネジメント手法など、他分野の知識やスキルを学ぶことがシステム思考を身につける上で有効である。
- ・**指導者の育成**：システム思考を身につけた人材を育成するためには、指導者の育成が必要である。教員や業界のシステム思考の専門家など、指導者がシステム思考を教育するための教材やカリキュラムの開発、実践的な課題の提供などが必要である。このような専門家は、一般的に「システム思考教育者」と呼ばれる。

これらのアプローチを総合的に取り入れることで、総合工学でシステム思考のできる人材を育成することができる

ウ アート思考の観点[24]

科学技術イノベーションの基盤的な力の強化のためには、主体的に問いを立て、ビッグデータに向き合い、パラダイムシフトを実現できる人材育成が重要である。この人材育成に資する大学教育実現のために、アート思考が注目されている。ビジネスの分野では、既にアートの発想が重視されている。ソニーにおいて、東京藝術大学出身で声楽家の大賀典雄氏を社長に迎え、特にオーディオのデジタル化に革新的偉業を達成したことは特筆すべきことである。

アート思考とは、デザイン思考にアートの発想を取り入れたものである。デザイン思考とは、顧客のニーズ調査だけに頼らず、現場の観察からニーズを調べてデザインすることである。アメリカのミシガン州立大学生理学教授のRoot-Bernsteinによると、ノーベル賞受賞者には、ほかの科学者や一般の人々に比べて、アート関連の趣味を持つ人がほぼ3倍であった。また、絵画・彫刻などの視覚芸術を趣味に

している人たちは、ノーベル賞受賞の確率が7倍になっており、写真は8倍、演劇・ダンス・奇術などのパフォーマンスは22倍であると報告されている [25]。アメリカの初等教育から高等教育の主要教科として重視され、ハイテク職種の技術者養成や移民教育で重要な役割を果たすSTEM (Science, Technology, Engineering, Math) にアート思考が加わり、STEAM (Science, Technology, Engineering, Art & design, Math) という変化が起こりつつある。

東京大学では芸術創造連携研究機構を設置して、従来の芸術教育の枠を超えてアーティストによる実技教育を導入し、文理双方の芸術研究の方法・成果も活用しながら、身体知による価値創造を通して自ら新しい発想を生み出す「創造的教養のある人材」の育成を目指す取り組みがなされている [26]。岡田らは、このような人材は、創造過程の体験的理解と創造活動を楽しむ態度を備え、単に知識だけではなく創造を楽しむ態度も備えることで、世の中の事象を自分事として捉えて、創造的に問題解決することができる述べている [27]。

創造的に問題解決する力は、社会的課題解決を目指す総合工学分野にとって必要な能力であり、人材育成において、従来の「理解-思考-報告」だけではなく、「触発-創造-発信」を体験させること、具体的には、アートを使って専門教育に役立てる Arts-based education、科学やテクノロジーとアートやデザインを融合させる STEAM 教育と言われるアプローチを実践することが有効である。

エ 人脈構築の観点 [28]

総合工学で、様々な領域で先端技術を活用していくには、複数のスペシャリストをつなげることのできる力、いわゆる人脈構築力が重要になるが、前述のように日本では、つなぐ力をもつ人材が相対的に少ない。

大学において、人脈構築力を育成するためのカリキュラムを開発するための具体的な取組を以下に列举する。

- ・異文化コミュニケーションの授業の開設：異文化コミュニケーションの授業を設け、異なる文化や背景を持つ人々とのコミュニケーション力を育成する。
- ・インターンシップや海外研修の導入：学生に海外研修やインターンシップの機会を提供することで、異なる文化や背景を持つ人々との交流の機会を提供する。
- ・プロジェクトマネジメントの講義の開講：プロジェクトマネジメントの講義を設け、プロジェクトマネジメントのスキルを磨くことで、異なる分野や業界の人々を結集する力を身につける。
- ・多様性を尊重する教育環境の整備：学生が多様性を尊重し、異なる文化や背景を持つ人々と共存することができる教育環境を整備する。
- ・コーチングやメンタリングの導入：コーチングやメンタリングのプログラムを導入し、学生が自己理解を深め、自己成長を促すことで、つなぐ人材としての力を育成する。

これらを組み合わせて、人脈構築力を育成するカリキュラムを開発することができる。また、異なる学部や専攻の学生を集めて共同プロジェクトを行うなど、学生同士が、異なる分野や業界の人々との交流の機会を設けることも有効である。

以上の市民的教養、システム思考、アート思考、人脈構築力の4つの観点によるジェネリックスキルを、複数分野の経験によって身につけることのイメージを図2に示す。

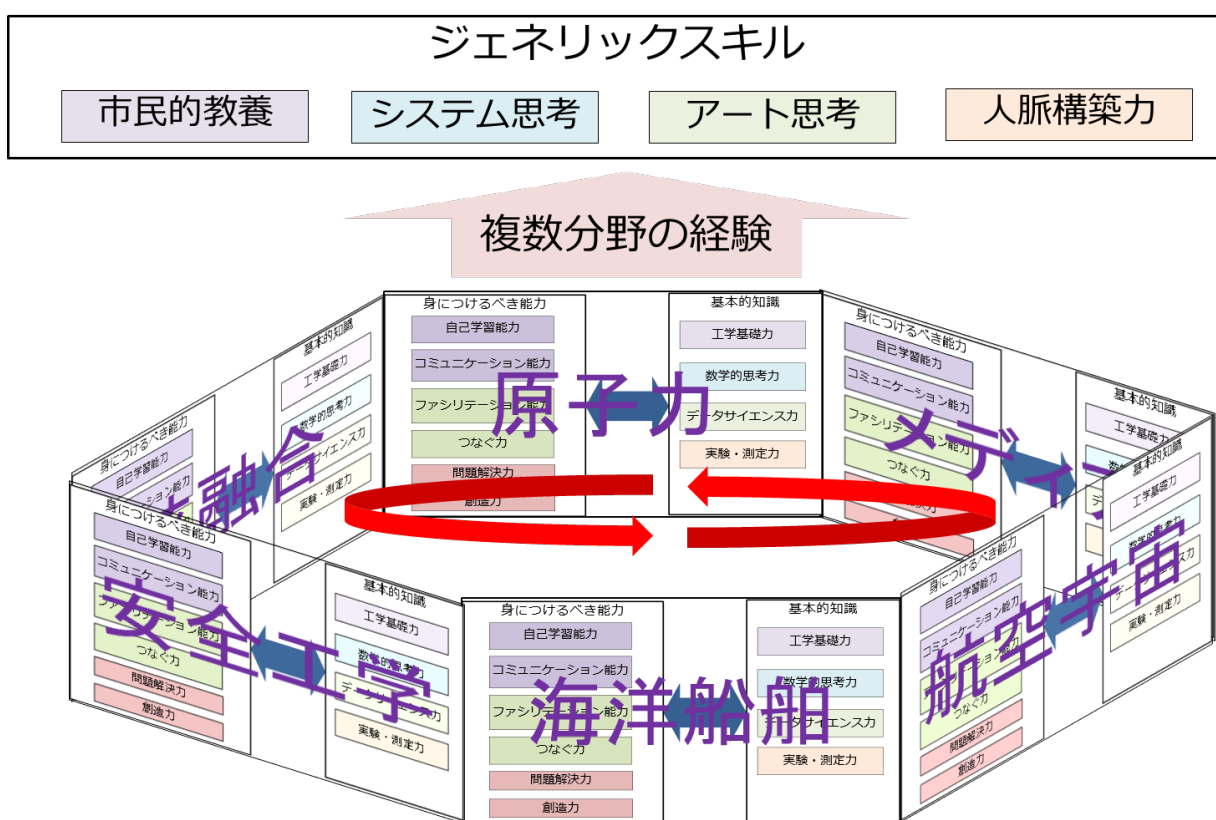


図2 市民的教養、システム思考、アート思考、人脈構築力の4つの観点によるジェネリックスキルを複数分野の経験によって身につけることのイメージ
(出典) 総合工学委員会総合工学企画分科会総合工学分野の教育小委員会にて作成

(4) 学修方法及び学修成果の評価方法に関する基本的な考え方

① 学修方法

ア 学修方法の特徴

総合工学は、異なる工学分野を統合して問題を解決するための学問分野であるため、その学修方法には以下のような特徴がある。

- ・**幅広い知識の習得**：総合工学は、異なる工学分野を統合したものであるため、幅広い知識が必要となる。そのため、様々な分野の基礎知識を身につけることが必要である。
- ・**問題解決力の養成**：総合工学は、問題解決力が求められる分野であるため、問題解決の方法を学ぶことが必要である。問題解決に必要なスキルや手法を習得し、実際の問題に対して適用することが求められる。
- ・**実践的な研究・プロジェクト**：総合工学は、実践的な分野であるため、実践的な研究やプロジェクトを通して知識やスキルを身につけることが重要である。実際の問題を取り上げ、チームで取り組んで解決策を見つけることで、より実践的なスキルを身につけることができる。
- ・**コミュニケーション力の向上**：総合工学は、異なる分野の人々とコミュニケーションを取ることが必要となる。コミュニケーション力を向上させ、他の分野の人々と協力して問題を解決することが求められる。

以上のように、総合工学における学修方法は、幅広い知識の習得、問題解決力の養成、実践的な研究・プロジェクト、コミュニケーション力の向上などが求められる。これらをバランスよく取り入れながら、総合的な視点で問題解決に取り組むことが重要である。

イ 学修における大学コンソーシアムの活用

総合工学において、大学コンソーシアムの活用は有効である。総合工学は、複数の学問分野や技術を融合させた学問領域であり、多様な分野の専門知識や技術を持つ人材が協力し、共同で研究・開発を進めることが求められる。大学コンソーシアムは、複数の大学が協力して共同の研究・教育プログラムを進めることができるため、総合工学においては非常に有効な取組となる。本見解で想定する大学コンソーシアムは、大規模システム（環境・防災・エネルギー・交通など）に関する施設を持つ大学から構成されるものとする。

大学コンソーシアムに参加することで、複数の大学の専門知識や技術を生かした共同研究が可能になる。また、大学コンソーシアムには地域コンソーシアムやグローバルコンソーシアムなど、多様な形態があるので、総合工学においては適切な形態を選択することが重要である。

さらに、大学コンソーシアムに参加することで、異なる大学の講義を受け、異なる大学の研究室で研究を行うことで、多様な学びや知見を得ることができる。また、必ずしも学んでこなかった科目については、オンデマンド教材を活用する。また、大学コンソーシアムに参加することで、卒業後の就職につながる人脈を広げることができる。

大学コンソーシアムの大規模システムに関する施設においては、学生を一定期間滞在させ、実践的システム思考を身につけさせるために、様々な大規模システムの開発・運用・維持管理を担当できるようなプロジェクトを体験させることができる。

複数プロジェクトにおける体験を通して、自分の興味関心を気づかせ、卒業研究のテーマ設定につなげる。このテーマが、必ずしも所属大学研究室の専門性に合致しない場合もでてくるが、受け入れ先教員に指導教員となってもらえることも実装上での重要ポイントである。このような教育システムの趣旨に賛同いただける大学がコンソーシアムの参加要件となる。大学附置研究所や企業等との連合体を構成し、一定数の学生を受け入れるようにする。なお、大規模な大学では、大学内でコンソーシアムを構成することも可能である。

ウ 社会実装に向けた総合工学の教育プログラム例

総合工学において、社会実装、つまり社会課題の解決に向けた教育プログラムの例としては、以下のようなものがある。

- ・**プロジェクト型の科目**：社会実装に向けた教育プログラムでは、プロジェクト型の科目が導入されることがある。この科目では、学生が自ら課題を設定し、現場調査や調査分析を行い、実際に製品やサービスの開発を行う。また、実際にその製品やサービスを利用するユーザーからのフィードバックを取り入れながら、改善を繰り返し、最終的に実用化することを目指す。
- ・**インターンシップ**：社会実装に向けた教育プログラムとして、インターンシップがある。学生が企業や実践的な現場に参加することで、実際の問題解決に向けたスキルや知識を身につけることができる。また、企業や現場の立場から、自らの知識やスキルを社会実装に向けた実践的なアプローチとして捉えることができる。
- ・**キャリアセンターの活用**：社会実装に向けた教育プログラムでは、キャリアセンターが活用されることがある。キャリアセンターでは、社会実装に向けたスキルや知識を身につけるためのトレーニングや、企業や現場の求人情報を提供している。また、キャリアセンターでは、学生が実際の現場で働く機会を提供することもある。

以上のようなプログラムを取り入れることで、総合工学の学生は、社会実装に向けた実践的なスキルや知識を身につけることができる。また、社会実装に向けた視点を身につけることで、社会に貢献することができるエンジニアとしてのキャリアを目指すことができる。さらに、イノベーションマインド、起業家マインド涵養をはかることができる。

総合工学においても参考になる教育プログラム例として、米国のミネルバ大学の事例[29]を以下に紹介する。“ミネルバ大学が当初、滞在候補地として検討した53の都市の中には、東京、京都、福岡があったが、いずれも実現しなかった。まずソウルが選ばれ、その後イスタンブールの代替地として日本の都市ではなく、台北が選ばれた。[30]” このため、大学教育に関して、韓国との比較が重要な課題として浮かび上がる。

ミネルバ大学は、社会実装に向けた教育プログラムを特徴としている。以下に、総合工学の教育カリキュラムを設計する上で参考になる特徴をいくつか挙げる。

- ・ **アクティブラーニングの採用**：アクティブラーニングとは、受動的な知識の受け取りではなく、積極的に自分で問題を解決することを目的とした学習方法である。学生は、ディスカッションやグループワークを通じて、自分たちで問題を解決することを学ぶ。また、” クラスメイトや授業後の教員からルーブリックに基づいたフィードバックを受けることで、コンセプトに対する自分の理解度を確認し、強みと弱み、改善すべき点を効率的に把握することができる。[30]”
- ・ **グローバルな学び**：ミネルバ大学では、世界中から集まった学生たちが、グローバルな学びを体験することができる。学生たちは、世界各地を巡りながら、グローバルな問題に取り組むことができる。また、留学プログラムも充実しており、世界中の大学と提携している。
- ・ **社会実装のプロジェクトの導入**：このプロジェクトでは、学生たちは、実際の社会課題に取り組み、その解決策を提案することが求められる。また、その提案が実際に現地で実行されることがある。
- ・ **キャリアセンターの設置**：キャリアセンターでは、学生たちが将来のキャリアを考えるための様々なプログラムが提供されている。また、学生たちは、大学のネットワークを活用して、世界中の企業とのつながりを広げることができる。これらは、” 定期的にミネルバの卒業生を採用した企業からのフィードバックを取り、 インターンシップのあり方やニーズに対して学内にフィードバックをして [26]” 企画されたものである。

② 学修成果の評価方法

総合工学における学修成果の評価の観点については、以下のようなものが挙げられる。

- ・ **知識の評価**：総合工学には、幅広い分野の基礎知識が必要となる。そのため、講義やテストなどでの知識の評価が行われる。
- ・ **実習・実験の評価**：総合工学には、実践的なスキルが必要となる。そのため、実習や実験などでの技能の評価が行われる。
- ・ **プロジェクト・課題の評価**：総合工学では、実践的なプロジェクトや課題をとおして問題解決力やチームワークが重視される。そのため、グループワークやプレゼンテーションなどでの成果物や過程の評価が行われる。
- ・ **コミュニケーション力の評価**：総合工学では、異なる分野の人々とのコミュニケーションが必要となる。そのため、ディスカッションやディベートなどでのコミュニケーション力の評価が行われる。
- ・ **総合的な評価**：総合工学は、異なる分野を統合したものであるため、総合的な評価が求められる。知識や技能、問題解決力、チームワーク、コミュニケーション力などを総合的に評価することで、学修成果を評価する。

以上のように、総合工学における学修成果の評価方法は、知識や技能、問題解決力、チームワーク、コミュニケーション力など様々な観点から行われる。多角的かつ総合的に評価することで、総合工学に関する学生の力を正確に評価することができる。

具体例として、ルーブリックによる学習成果の評価[31]について説明する。ルーブリックとは、評価者が評価対象の成果物や行動を客観的かつ明確に評価するためのツールである。ルーブリックは、評価項目や評価基準を明確に示した表形式の評価基準表であり、評価者が評価する対象について、評価項目や評価基準を設定し、それらに対して点数や評価レベルを割り当てることで、客観的かつ詳細な評価を行うことができる。

ルーブリックは、教育現場や職場などで広く用いられ、以下のようなメリットがある。

- ・評価の客観性が高まる。
- ・評価基準が明確になるため、評価対象者にとって理解しやすい。
- ・評価者の評価が一貫性を持つため、評価対象者に公平に評価される。
- ・評価者が評価基準を明確にするために、評価対象の理解が深まる。

ルーブリックは、バックキャスト型の問題解決に似た側面がある。バックキャスト型の問題解決は、望ましい未来の状態を設定し、その状態に到達するために必要な手段を洗い出し、実現に向けた計画を立てるアプローチである。一方、ルーブリックは、達成目標に沿った評価基準を設定し、学習者がその達成目標に到達するために必要な能力やスキルを洗い出し、評価に反映するアプローチである。ルーブリックは、評価対象によって異なる評価項目や評価基準を設定することができ、評価対象の成果物や行動に応じて適切な評価基準を設定することができる。また、ルーブリックは評価者や評価対象者にとって使いやすく、評価プロセスをスムーズに進めることができるため、評価の品質向上につながる。総合工学のルーブリック例は以下のようになる。

- ・ **プロジェクト全体の達成度（総合評価）**

評価基準：プロジェクトの目標達成度、チームワーク、プレゼンテーションスキル、報告書の内容やレイアウトなど

評価基準に応じて、5段階評価や10段階評価などを用いる。

- ・ **実験や測定、解析の技術力**

評価基準：実験や測定、解析の計画の適切性、手順の正確性、データ解析やグラフ作成の適正さなど

評価基準に応じて、5段階評価や10段階評価などを用いる。

- ・ **問題解決力**

評価基準：問題の定義、情報収集、問題解析、解決策の立案や実行、評価など

評価基準に応じて、5段階評価や10段階評価などを用いる。

- ・ **資料作成能力**

評価基準：報告書の内容、構成、表現力、プレゼンテーション資料の内容、レイアウト、プレゼンテーションスキルなど。

評価基準に応じて、5段階評価や10段階評価などを用いる。

ルーブリックは評価者と評価対象者の双方にとって明確な評価基準を提供し、評価の公正性や客観性を高めることができる。ただし、ルーブリックによる評価はあくまでも一つの指標であり、総合的な評価をする際には、複数の観点からの評価が必要である。ルーブリックを使うことで、評価者が学習者の総合的な能力を客観的に評価することができる。また、学習者も自分自身の成果を客観的に評価することができるため、自己評価にも役立つ。

(5) 市民性の涵養をめぐる専門教育と教養教育の関わり

総合工学において、市民性の涵養は重要な教育目標の一つである。市民性とは、社会において倫理的・道徳的・社会的な責任を果たすことができる力や、社会や地球環境への理解を深めることができる力などを指す。

専門教育と教養教育は、市民性の涵養において重要な役割を持っている。専門教育は、専門的な知識や技術を身につけることを目的としている。このため、専門教育では、技術的な観点から社会課題を捉え、解決する方法や技術を学ぶことができる。これにより、社会や地球環境に対する理解を深めることができる。一方、教養教育は、人間性や社会性、国際性などの幅広い視野を持つことを目的としている。教養教育では、人文科学や社会科学などの科目を学ぶことができる。これにより、社会や地球環境に対する理解を深めることができる。

このように、市民性の涵養のためには、専門教育と教養教育の双方が必要不可欠であり、相互に補完的な関係にある。専門教育で学んだ技術や知識を基に、社会や地球環境への理解を深め、その責任を果たすための力を、教養教育で育むことができる。そのため、総合工学の教育においては、専門教育と教養教育の両面から市民性の涵養をめざすことが重要である。

総合工学において、市民性の涵養を目指すために有効な学修方法の一つは、前述したS-L（サービ斯拉ーニング）である。総合工学は、技術的な問題を解決するだけでなく、社会的・環境的な観点からも考え、人々の生活に貢献することを目的とする。そのため、市民性や社会貢献の意識を持ち、地域社会や国際社会に貢献できる人材の育成が求められる。

S-Lは、学生が社会に貢献する活動を通して、社会的な問題やニーズを理解し、解決策を提案する能力を身につけることを目的とした学修方法である。このような取組は、学生が自分自身の学びを深めるだけでなく、地域社会や国際社会に貢献することができる市民的なリーダーの育成にも繋がる。

また、S-Lには、学生が実践的な経験を通して、リーダーシップやチームワーク、コミュニケーション能力などを養う効果もある。これらのスキルは、総合工学においても重要な要素であり、社会に貢献するための必要な能力と言える。

したがって、S-Lは、総合工学において市民性の涵養を目指すために有効な方法の一つであると言える。

3 まとめ

総合工学における参照基準策定においては、以下の2点を重視した。

- 1) 分野ごとの基礎知識の活用能力:総合工学の学習者は、異なる分野の基礎知識を活用する能力を身につけるべきである。これには、工学の基礎力、数学的思考力、データサイエンス力、実験測定力などが含まれる。また、自己学習能力、コミュニケーション能力、ファシリテーション能力、問題解決力、創造力などのスキルも重要である。
- 2) 多様な分野の経験とジェネリックスキルの習得:総合工学の学習者は、できるだけ多くの分野を経験し、ジェネリックスキルを身につけるべきである。これには、海洋船舶は、言うに及ばず、航空宇宙、エネルギー、原子力、核融合、メディアなどの分野も含まれる。異なる分野の経験を通じて、幅広い視点やアプローチを獲得し、総合的な問題発見・解決に役立つ能力を養うことが重要である。

総合工学の参照基準に対する見解は、分野ごとの基礎知識の活用能力と多様な分野の経験とジェネリックスキルの習得の両方を強調する。これにより、総合工学の学習者は、様々な分野や問題に対して総合的な視点と能力を持つことができる。これらのスキルと知識を組み合わせ、持続可能な社会への貢献や革新的な解決策の創造を目指すことができる。

＜参考文献＞

- [1] 日本学術会議, 回答「大学教育の分野別質保証の在り方について」, 2010 年 7 月 22 日.
- [2] 日本学術会議総合工学委員会, 報告「総合工学分野の展望」, 2010 年 4 月 5 日.
- [3] 日本学術会議総合工学委員会, 提言「社会的課題に立ち向かう『総合工学』の強化推進」, 2017 年 9 月 6 日.
- [4] エリック・シュミット, “How Google Works: 私たちの働き方とマネジメント”, 日本経済新聞出版, 2014 年.
- [5] 三菱総合研究所, “「共領域」からの新・戦略: イノベーションは社会実装で結実する”, ダイヤモンド社, 2021 年.
- [6] 岡本正宏, “学部文理融合型教育の基礎となる Issue-based education の展望: 九州大学共創学部 の事例紹介”, 令和 4 年度 IDE 大学セミナー「文理融合型教育の実現を考える: 高大接続・大大接続の視点から」, IDE 大学協会近畿本部, 2022 年.
- [7] 日本学術会議総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会, 報告「『知の統合』の人材育成と推進」, 2017 年 9 月 20 日.
- [8] 文部科学省高等教育局, “令和 4 年度大学入学者選抜における好事例集”, https://www.mext.go.jp/content/20230525-mxt_daigakuc02-000005144_001.pdf, 2023 年 5 月.
- [9] 日本学術会議日本の展望委員会知の創造分科会, 提言「21 世紀の教養と教養教育」, 2010 年 4 月 5 日.
- [10] 原田昭治, “技術者に求められる教養としての数学的素養とその涵養”, 工学教育 (J. of JSEE), 56-1, 2008.
- [11] 吉川弘之, “総合工学とは何か”, 学術と動向, 15 巻 12 号 p. 8-21, 2010.
- [12] 日本データサイエンティスト協会, “データサイエンティストの能力・スキル要件の整理と人材育成について”, 日本データサイエンティスト協会, 2016.
- [13] J. P. Holman, “Experimental Methods for Engineers”, McGraw-hill Series in Mechanical Engineering, 2011.
- [14] E. A. Locke, G. P Latham, “Building a Practically Useful Theory of Goal Setting and Task Motivation: A 35 Year Odyssey”, American Psychologist, pp. 705-717, 2002.
- [15] 野原佳代子, 日下部治, 川本思心, “グローバルエンジニアの人材育成に向けた東京工業大学における国際化教育の試み”, 工学教育 (J. of JSEE), 56-4, pp. 114-122, 2008.
- [16] A. Kahane, “Collaborating with the Enemy: How to Work with People You Don't Agree with or Like or Trust”, Berrett-Koehler Publishers, 2017.
- [17] 森 博之, “今までになかったものを生み出し、普及させるには”, TOKYO INNOVATION RESEARCH, <https://tokyotorch.mec.co.jp/pickup/690/>, 2017.
- [18] 小山田耕二, “「総合」を支える人材育成”, 学術の動向, 25 巻, pp. 62-67, 2020.

- [19] D. Kahneman, “Thinking, Fast and Slow” , Penguin, 2011.
- [20] T. Lockwood, “Design Thinking: Integrating Innovation, Customer Experience, and Brand Value” , Allworth, 2010.
- [21] 日本学術会議日本の展望委員会知の創造分科会, 提言「21 世紀の教養と教養教育」, 2010 年 4 月 5 日.
- [22] 唐木清志, “アメリカ公民教育におけるサービス・ラーニング: Service Learning in U.S. Civic Education” , 東信堂, 2010.
- [23] 総務省, “地域包括ケアシステムの充実に向けた人材育成について” , 2018.
- [24] T. Kelley, D. Kelley, “Creative Confidence: Unleashing the Creative Potential Within Us All” , Currency, 2013.
- [25] Robert Root-Bernstein, et. al., “Arts Foster Scientific Success: Avocations of Nobel, National Academy, Royal Society, and Sigma Xi Members” , Journal of Psychology of Science and Technology 1(2), pp.51-63, 2008. DOI: 10.1891/1939-7054.1.2.51
- [26] 東京大学芸術創造連携研究機構概要, <https://www.art.c.u-tokyo.ac.jp/about/>.
- [27] 岡田猛, 縣拓充, “創造の主体者としての市民を育む: 「創造的教養」を育成する意義とその方法” , 認知科学, 20 巻, pp. 27-45, 2013.
- [28] N. Merchant, “The Power of Onliness: Make Your Wild Ideas Mighty Enough to Dent the World” , Viking, 2017.
- [29] S.M. Kosslyn, B. Nelson, “Building the Intentional University Minerva and the Future of Higher Education” , MIT Press, 2018.
- [30] 山本秀樹, “世界のエリートが今一番入りたい大学ミネルバ” , ダイヤモンド社, 2018.
- [31] N. Lanziner, D. S. Strong, “Designing Rubrics to Assess Engineering Design, Professional” , Proc. 2016 Canadian Engineering Education Association (CEE16), 2017.

＜参考資料１＞審議経過

審議経過

＜23 期＞

・総合工学委員会

- ・第3回（平成27年1月7日）：総合工学委員会参照基準の作成について（審議）
萩原幹事より、資料に基づき学術会議における参照基準策定の経緯・進行状況、横型の総合工学での検討の経緯、計算力学での取組状況について説明された。安全工学、システム工学、原子力工学、サービス学での状況が各分野より報告された。

・総合工学企画分科会

- ・第1回（平成27年6月3日）：まず議題3「総合工学委員会について」で、委員長より、総合工学のビジョンを明確化して行くために総合工学委員会として今期に何をすることが課題であり、そのために工学基盤における知の統合分科会での検討状況を知る必要がある、また足がかりとして総合工学分野での参照基準について議論する必要があるとの背景の説明があった。また、議題5で「総合工学の参照基準について」で、萩原幹事より、資料9に基づき、総合工学の参照基準作成の試みとして、計算力学分野での進捗状況について説明があり、総合工学の他の分野でも参照基準作成の試みを開始することが提案された。議論の結果、総合工学として、他の分野についても参照基準作りを進めて行くことが了承された。

＜24 期＞

・総合工学委員会

- ・第5回（令和2年7月31日）：議題9「第25期活動への引継ぎ事項」審議において、資料8にしたがって、以下の4点が紹介され、了承された。
 - ・第23期「総合工学」提言の咀嚼と深化の継続
 - ・交流の促進による学際性・複合性の多様な深化の促進
 - ・「総合工学」の研究分野としての体系の検討
 - ・「総合工学」分野の参照基準作成の検討・新学習指導要領の検討

・総合工学企画分科会

- ・第6回（令和2年7月31日）：議題6「第25期活動への引継ぎ事項」審議 資料5に従って、総合工学委員会への第25期活動への引継ぎ事項について、総合工学企画分科会役員側でまとめた素案について説明があった。引き続き、素案に対する修正について議論が行われ、委員から提案のあった教育関連項目（「総合工学」分野の参照基準作成の検討・新学習指導要領の検討）を素案に追記したものを了とすることが決議された。

<25 期>

・総合工学委員会

- ・ 第4回（令和4年1月7日：議題7その他、24期から「第25期活動への引継ぎ事項」の教育関連項目の議論を進めるため、企画分科会の下に小委員会を設置し、総合工学教育について集中議論することを説明し、承認を得た。

・総合工学企画分科会

- ・ 第1回（令和3年4月19日）：「総合工学」分野の参照基準の作成の着手が承認
- ・ 第2回（令和3年7月19日）：参照基準作成のための小委員会の設置の承認
- ・ 第3回（令和4年4月19日）：総合工学の教育に関する話題提供2件、小委員会メンバー決定について承認
- ・ 第4回（令和4年5月17日～26日）：メール審議：設置提案書「総合工学委員会総合工学企画分科会総合工学分野の教育小委員会」及び新規委員について承認
- ・ 第5回（令和5年3月23日～30日）：メール審議：見解案「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 総合工学分野～社会課題に立ち向かう総合工学分野の人材育成～」について承認

・総合工学企画分科会 総合工学分野の教育小委員会

- ・ 第1回（令和4年10月19日）：参照基準作成：方針、スコープ、スケジュールの確認
- ・ 第2回（令和4年11月28日）：参照基準作成：目次案、執筆分担の確認
- ・ 第3回（令和4年12月27日）：参照基準作成：骨子案、その他
- ・ 第4回（令和5年2月6日）：参照基準作成：意思の表出の申出書（案）について、意思の表出の構成、その他

令和5年9月20日 日本学術会議科学的助言等対応委員会承認

見解「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 総合工学分野～社会課題に立ち向かう総合工学分野の人材育成～」

＜付録資料 1＞総合工学教育関連分野の教育プログラムの大学での実施例

最近になり、社会実装に向けた総合工学教育プログラムの重要性が認識され、教育現場での導入に取り組んでいる事例がいくつか出てきている。総合工学分野の教育小委員会では、「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 総合工学分野」をまとめるにあたり、参考事例として、「総合工学」の名称を使用している学科や Interdisciplinary な学びを標榜している学科について、調査した。以下に概要をまとめる。

◆ 三重大学工学部総合工学科

三重大学を取り巻く環境は、材料・エネルギー・IoT関連・化成品・化学工業・防災減災など、極めて裾野が広く多岐に渡っており、それらを継続的に力強く支える人材が必要されている。つまり、専門分野の深い知識と同時に、工学に共通する幅広い知識及び情報関連技術を有する人材を育てることを求められていることから、各専門分野の育成バランスを、産業界の要請あるいは学生の希望に柔軟に対応させるため、工学部全体を1学科とし、専門分野ごとのコース制を導入した。コース制の内容としては、**機械工学、電気工学、応用化学、建築学、情報工学の他に総合工学コース**を設けており、すでに進むべき進路が明確な学生にはより具体的に、志望分野を検討中の学生には、最適な選択の可能性（総合工学コースを選んだ場合）を提供している。人材育成目標として、以下を掲げている。

- ・ 工学共通の幅広い知識、及び情報関連技術を有する人材
- ・ 異分野とのコミュニケーション能力を持つ人材
- ・ 学科の垣根を越えた学際分野も理解する研究者・リーダー
- ・ 本学卒業・終了後の実社会で自己学習できる人材
- ・ 卒業・修了後の進路が展望できる人材

◆ 千葉大学工学部総合工学科

自然科学の基礎の上に、多様な文化・価値観、社会について理解し、人類社会の幸福と持続的な発展を追求するために必要な幅広い学識、工学的専門性、問題解決能力を有する高度専門職業人、社会を支える知的教養人を育成することを目標に掲げ、各専門分野についてコース制（9コース：建築学、都市工学、デザイン、機械工学、医工学、電気電子工学、物質科学、共生応用化学、情報工学）を導入。

◆ 神奈川大学工学部総合工学プログラム

高度情報化社会の技術者には他分野と連携できる知識や視野が欠かせないという時代の要請を受け、学科の垣根を越えて工学全域を学べる「総合工学プログラム」を新設。同プログラムでは、幅広い理工系の知識はもちろん、文系的素養や語学力も身につけ、新たな分野を開拓できる工学技術のゼネラリストを育成することを目標として掲げ、対象として、広く学んで専門を探りたい人から、異分野と連携して工学の新領

域に挑みたい人まで、広く門戸を開放するとしている。

◆ **奈良女子大学工学部**（2022年度開設）

工学は、社会で必要とされるモノやサービス、快適な環境を構築する学問であり、個人の主体性を活かした分野融合の学びから、社会が必要としている創造的エンジニアを育成することを目標に工学部を新設。創造的、実践的、横断的な、「プレイフル」な履修制度で自分だけの専門性を形成するため、履修する科目や年度は、学生が主体的に決めることができる。履修については、アドバイザーの助言を受けることも可能。教員1名あたり学生数約3名（1学年45名）の少人数教育だからこそ可能な対話的指導を行い、現代社会で重要な課題創造力、問題解決力、コミュニケーション能力、協働力など、専門知識や技術以外の能力を評価したポートフォリオをもとに、学生の意志を尊重して個々の主体性を伸ばすコーチング指導を実施する。

◆ **お茶の水女子大学共創工学部**（2024年度設置予定）

工学専門領域が連携しながら、人文学・社会科学と協働し、新しい技術やシステムや文化を創り、かつ、社会実践を通じて新たな価値を創成できる女性リーダーの育成を目指して設置。募集対象は自然科学・工学と人文科学・社会科学の協働、データサイエンスやICT（情報通信技術）に強い興味を持ち、科学技術を用いた社会や文化のイノベーションの推進に意欲を持つ学生。

＜付録資料２＞総合工学の学びにとって必要な素養の詳細内容

総合工学分野の教育小委員会にて、「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 総合工学分野」をまとめるにあたり、詳細内容のため本文から外したものであるが、総合工学の学びにとって必要な素養をさらに深掘りする上での参考として、以下にまとめる。

問題解決力

総合工学において、問題解決力は、次のような内容から構成される。

1. 問題を明確に定義しなければ、解決策を見つけることができないため、正しい問題定義は問題解決の成功の鍵となる。問題定義を教える際には、以下の点に注意すべきである。
 - ・ 問題の本質の理解：問題が何であることを明確に理解することが必要である。学生には、問題がどのような影響を及ぼし、何が問題であるかを考えることが求められる。
 - ・ 問題の分析：問題解決においては、問題がどのように生じたかを分析することが必要である。この際には、問題の原因を特定し、影響を受ける要因や状況を分析することが求められる。
 - ・ 問題の具体的表現：問題を正確かつ明確に表現することが求められる。問題がどのように起こったか、何が問題なのか、その結果何が起こるのかを具体的に説明することが必要である。
 - ・ 問題の範囲特定：問題解決においては、問題の範囲を明確に定義することが必要である。問題が影響を及ぼす範囲を特定し、解決策が求められる範囲を明確にすることが重要である。
2. 情報収集：情報収集の目的は、問題を理解し、解決するために必要なデータを集めることである。情報収集について教える際には、以下のような観点を含めるべきである。
 - ・ 情報収集目的の明確化：どのような問題を解決するために情報を収集する必要があるのか、何を知りたいのか、その目的を明確にすべきである。
 - ・ 参考文献の探索方法：図書館やオンラインデータベースなど、適切な情報源を見つけるための方法を教える。
 - ・ 情報の選別方法：収集した情報の中から、問題解決に必要な情報を選別する方法を教える。
 - ・ 情報の正確性の確認方法：情報源や提供者の信頼性を確認する方法や、複数の情報源を参照することで、情報の正確性を確保する方法を教える。
 - ・ 情報の整理方法：収集した情報を整理する方法を教える。例えば、情報をカテゴリー一別に分類し、視覚的に整理することで、情報の整理や比較がしやすくなる。

る。

以上のようなポイントを含めて、情報収集の方法を教えることで、学生たちがより効率的に問題解決に取り組むことができるようになる。

3. 問題の分析：問題解決の目的は、問題の根本原因を特定し、そのために必要な膨大な情報を整理することである。問題の分析には、以下のような方法を教える必要がある。

- ・ 問題の要因の特定方法：問題解決においては、根本原因を特定することが重要である。そのためには、問題の背景や現象の変化、原因となる要因を正確に特定する必要がある。このためには、様々な手法がある。例えば、魚の骨図法、5W1H法、因果関係図法などが挙げられる。
- ・ 情報整理の方法：問題解決においては、膨大な情報を効率的に整理することが必要である。このためには、問題を構造化して、整理することが大切である。また、情報収集から整理、分析、解決策の検討に至るプロセスを体系的に整理することも効果的である。
- ・ 質問の方法：問題解決において、質問の仕方が重要なポイントになる。質問の仕方によって、解決策の選択肢が大幅に変わることがある。このためには、クリティカルシンキングやデザイン思考などのアプローチを取り入れて、問題に対する多角的な視点から質問を行う方法を教えるべきである。
- ・ 定量的・定性的手法の違い：問題解決においては、定量的・定性的な手法の両方が有効である。それぞれの手法の特徴や使い分け方を理解し、適切に活用することが重要である。このためには、統計学やデータマイニング、フィードバック制御理論などの知識を教えることが必要である。

上記のような方法を用いて、問題の分析を教えることが重要である。また、問題解決力を養うためには、実践的な演習やグループワーク、プロジェクトワークなどを通じて、実際の問題に対して練習することが大切である。

4. 解決策の立案：このステップでは、様々な解決策を検討し、最適な解決策を選択するための基準を確立する必要がある。解決策の立案にあたっては、以下のような方法を教える必要がある。

- ・ 様々な解決策のアイデアを出す方法 解決策のアイデアを出すことは、アイデアの種類や量を増やすことができ、問題解決の可能性を広げることができる。
- ・ 解決策の利点と欠点を洗い出す方法 解決策の利点と欠点を洗い出すことで、それぞれの解決策の有効性を比較することができる。また、解決策の欠点を特定し、改善策を考えることもできる。
- ・ 重要な要因を考慮に入れること 解決策を立案する際には、問題の根本原因や環境要因など、重要な要因を考慮に入れることが必要である。
- ・ 経験や知識を活かすこと 解決策の立案には、経験や知識を活かすことが重要

である。過去に似た問題を解決した経験を持つ人がいる場合には、その人の意見やアドバイスを参考にすることができる。

これらの方法を用いて、学生たちに解決策の立案方法を教えることができる。また、解決策の立案についてのグループワークやディスカッションを通じて、学生たちの創造性や協調性を育成することもできる。

5. 解決策の実行：解決策を実行するためには、実行計画を立て、リソースを適切に配分し、スケジュール通りに進める必要がある。このためには、プロジェクトマネジメントやリーダーシップの知識・スキルが必要となる。教育の観点からは、プロジェクトマネジメントやリーダーシップに関する基礎的な知識を身につけさせることが重要である。また、実際にプロジェクトを行う場合には、学生が自らリーダーシップを取り、メンバーの役割分担や進捗管理を行うようなグループワークなどの実習が有効である。さらに、プロジェクトを通じて、コミュニケーション能力や問題解決力を磨くことができるよう、適切な指導やフィードバックが必要である。
6. 結果の評価：解決策の評価方法についても学ぶ必要がある。解決策の有効性を評価するためには、定量的な評価方法や定性的な評価方法を使うことができる。定量的な評価方法には、数値を用いた評価方法がある。例えば、解決策がコスト削減を目的としている場合、コストの減少量を数値化して評価することができる。また、解決策が品質向上を目的としている場合、品質の指標を数値化して評価することもできる。一方、定性的な評価方法には、主観的な評価方法がある。例えば、解決策が顧客満足度を向上させるためのものであれば、顧客からのフィードバックを収集して評価することができる。学生には、どのような評価方法があるかを学ばせ、解決策の評価についても実践的な演習を通して学ぶことが大切である。

実験・測定技術

総合工学では、実験や測定が必要となることがある。そのため、実験や測定を適切に行い、結果を分析する能力が必要である。総合工学において、多岐に渡る実験・測定技術の共通部分としては、以下のようなものが挙げられる。

1. 計測器具の選定

総合工学において、計測器具の選定については、以下のような教育が重要である。

- ・ 基礎知識の習得：計測器の種類や原理、測定範囲や精度、使用方法や取り扱いの注意点などの基礎的な知識を習得することが大切である。
- ・ 実験・実習の経験：実際に計測器を用いた実験や実習を通じて、計測器の特性や使用方法を体験することが重要である。また、計測器を扱う際の注意点やトラブルシューティングの方法なども実践的に学ぶことができる。
- ・ 問題解決力の育成：計測誤差や計測範囲の問題など、計測器を用いた実験や調査において生じる問題に対して、自ら考えて解決策を導き出す力を育成するこ

とが大切である。

- ・ 具体的な事例の紹介：実際の業務や研究において、どのような計測器が用いられ、どのような選定基準があるかについて具体的な事例を紹介することで、実践的な知識を身に付けることができる。

以上のようなアプローチを通じて、計測器具の選定に必要な知識や技能を総合的に身に付けることができる。また、実際に計測器を用いた実験や調査を通じて、計測器の選定に必要な視点や考え方を学ぶことができる。

2. データの処理

総合工学において、データ処理は非常に重要なスキルの一つであり、正確なデータの収集、分析、及び解釈に不可欠である。学生にデータ処理を教えるための方法を例示する。

- ・ データ収集方法：データ処理は、正確なデータ収集から始まる。学生には、データ収集のための適切な方法、測定器具の正しい使用方法、及び誤差の影響について学ばせることが重要である。
- ・ データ分析方法：データ処理には、収集したデータを分析するための適切な方法が必要である。学生には、データを分析するための基本的な統計手法、データの可視化方法、及び分析ツールの使用方法を教えることが重要である。
- ・ データ解釈方法：データを収集し、分析したら、学生には結果を解釈する方法を教えることが重要である。データが何を示しているかを正確に理解し、科学的及び工学的な問題に適用する方法を教える必要がある。
- ・ プログラミングスキルの習得：データ処理には、プログラミングスキルが必要となる場合がある。学生には、基本的なプログラミングスキルを習得するためのコースを提供することが重要である。
- ・ 実際のデータ処理例の提供：学生にとって、実際のデータ処理の例を提供することが重要である。実験、シミュレーション、及びリアルタイムデータ処理など、実際の応用例を提供することで、学生がデータ処理の重要性と有用性を理解することができる。

3. 実験・測定の計画・設計

- ・ 目的や仮説の明確化：実験・測定を行う目的や仮説を明確にすることが重要である。なぜこの実験・測定を行う必要があるのか、何を明らかにしたいのかをしっかりと定めることが、計画・設計の基本となる。
- ・ 実験・測定手順の明確化：実験・測定手順を明確化することで、どのような手順で実験・測定を行うのかを予め決め、実験・測定の流れを把握することができる。また、手順を明確化することで、実験・測定の結果の再現性を高めることができる。
- ・ 統計的な解析方法の習得：実験・測定の結果を正しく解釈するためには、統計的な解析方法を習得することが必要である。データの分析方法や統計解析ソフ

トの使い方を教えることで、学生が自分でデータを解析し、結果を評価する力を身につけることができる。

- ・ 実験・測定のリスクマネジメント：実験・測定には、リスクが付き物である。事前にリスクを把握し、最小限のリスクで実験・測定を行うために、リスクマネジメントの手法を教えることが重要である。
- ・ プロジェクトマネジメントのスキルの習得：実験・測定は、プロジェクトとして進めることが多いため、プロジェクトマネジメントのスキルを身につけることも大切である。スケジュール管理やチームビルディングなどのスキルを教え、学生が自らプロジェクトを進められるようにすることが目的となる。

これらの共通部分を熟知していることで、総合工学における実験・測定技術をより効率的に行うことができる。