

報告

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



平成25年（2013年）8月19日

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

この報告は、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の審議結果を取りまとめ公表するものである。

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

| | | | |
|------|--------|----------|------------------------------------------|
| 委員長 | 北村 隆行 | (第三部会員) | 京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻教授 |
| 副委員長 | 土屋 和雄 | (特任連携会員) | 同志社大学理工学部教授 |
| 幹事 | 田中 由浩 | (特任連携会員) | 名古屋工業大学大学院工学研究科助教 |
| | 有信 睦弘 | (第三部会員) | 東京大学監事 |
| | 岸本喜久雄 | (第三部会員) | 東京工業大学大学院理工学研究科教授 |
| | 岩渕 明 | (連携会員) | 岩手大学理事・副学長 |
| | 笠木 伸英 | (連携会員) | 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー |
| | 但野 茂 | (連携会員) | 北海道大学大学院工学研究院教授 |
| | 谷下 一夫 | (連携会員) | 早稲田大学ナノ理工学研究機構研究院教授 |
| | 柘植 綾夫 | (連携会員) | 公益社団法人日本工学会会長 |
| | 福山満由美 | (連携会員) | 日立GEニュークリア・エナジー株式会社原子力品質保証本部原子力設計品質統括部部長 |
| | 小林 信一* | (特任連携会員) | 筑波大学大学院ビジネス科学研究科教授 |
| | 濱中 淳子* | (特任連携会員) | 独立行政法人大学入試センター試験 基盤設計研究部門助教 |

*平成 25 年 3 月まで委員

本件の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

| | | |
|----|-------|-------------------|
| 事務 | 石原 祐志 | 参事官(審議第二担当) |
| | 齋田 豊 | 参事官(審議第二担当)付参事官補佐 |
| | 冲山 清観 | 参事官(審議第二担当)付審議専門職 |
| 調査 | 崎山 直樹 | 上席学術調査員 |

要 旨

1 作成の背景

2008年(平成20年)5月、日本学術会議は、文部科学省高等教育局長から学術会議会長宛に、「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」と題する依頼を受けた。このため日本学術会議は、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」を取りまとめ、同年8月に文部科学省に手交した。

同回答においては、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いる。日本学術会議では、回答の手交後、引き続きいくつかの分野に関して参照基準の策定を進めてきたが、今般、機械工学分野の参照基準が取りまとめられたことから、同分野に関連する教育課程を開設している大学をはじめとして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 報告の概要

(1) 機械工学の定義

機械工学は、外部から与えられたエネルギーや情報などを有用な機能(運動、力、情報など)に変換する働きを有する機械に関わる自然科学とその設計に関わる科学から構成される学問である。その認識科学としての基盤学術は「力学」であり、設計科学は個々の要素を統合して全体として調和のとれた機能を引き出すために必要である。また、機械工学は、多様な機能を対象とすることから他の多くの自然科学分野との密接な関連を有するとともに、人間生活や社会において基礎知識・知恵となる学問であるため人文・社会科学を含むあらゆる分野との協働が大切である。

(2) 機械工学に固有の役割と特性

機械工学の役割は、自然を構成する基本的な法則の一部である力学の体系的な知識を獲得することと、その知識を使って環境的・資源的制約や経済性などを考慮しつつ、安全安心で人間の夢や希望に応えられる機械技術の具体的方策を提示することである。現時点の知識から設計・製作に関する実現性や安全性に関する知恵を技術者に供給することも、機械工学の役割である。

機械工学が認識科学において基盤とする「力学」は多様なスケールや現象に及ぶ。伝統的に質点や固体の運動、固体の強度、流体の力学、熱に関する力学(熱学)といった基本ディシプリンがある。また、認識科学を具体的な設計に組み込む方法論として、系の制御、効果の最適化、生産計画などの設計科学が重要な基盤として機械工学に含まれる。機械工学の学びとしては、認識科学を中心に設計科学の理解に進むアプローチ、設計科学を中心に認識科学の理解に進むアプローチ、実践的技術を中心に機械工学の学術基盤全体の理解に進むアプローチがある。

(3) 機械工学を学ぶすべての学生が身に付けることを目指すべき基本的な素養

① 機械工学の学びを通じて獲得すべき基本的な知識と理解

機械工学を学ぶ者は、機械に関連する自然科学の基盤(物理学や数学に関する

基礎知識)に加えて、機械工学の目的に沿って体系化された力学、設計・制御に関する基礎的な知識と理解が求められる。また、関連する基礎科学および学際分野に興味を持ち、それらの核となる知恵を総合的かつ俯瞰的な視点から理解しておくことが望まれる。ここで、主体的な視点を持って積極的にその学術を学ぶ取る勉学の意欲が重要である。なお、機械は現代社会の在り方や個人の生活に深く関わっているがゆえに、機械に関する学術を学ぶ者は、機械技術が社会や個人生活の持続性や発展性に重大な責任を担っていることを認識しなければならない。

② 機械工学の学びを通じて獲得すべき基本的な能力

機械工学の対象である機械の機能は多彩であり、その勉学内容や勉学方法も多様であるが、機械工学の勉学を通じて獲得される具体的能力には基本的な共通性がある。それは、機械工学の体系的知識を踏まえた論理的な問題設定能力、機械工学の体系的知識に基づく分析的な問題解決能力、機械工学の体系的知識に基づいた類推による他分野の理解能力、個々の知識を応用・総合し、制約条件の下で所定の機能を実現する能力、機械工学の体系的知識を踏まえた論理的でごまかしのない明快な説明能力、と整理することができる。また、機械工学の勉学の過程を経て科学的なものの考え方を身に付けることができる。

(4) 勉学方法および勉学成果の評価方法に関する基本的な考え方

機械工学を学ぶための勉学方法は、主に、講義、実験、演習、実習、課題研究がある。内容が多様であることから、目的に応じて選択や重み付けをするなど、有機的に組み合わせることが有益である。評価対象については、演繹的能力、帰納的能力、基礎知識に関するリテラシー、問題発見・分析・解決能力、コミュニケーション能力などがあるが、それぞれの教育内容・教育方法および個々の勉学者の状況に即して、多様で柔軟な評価方法がとられる必要がある。

(5) 専門性と市民性を兼備するための教養教育

機械は、単なる生活の利便性をもたらすものではなく、社会や人間の価値観にまで深い繋がりを持つものである。また、大規模・複雑化する技術のリスクとベネフィットを分析・認識することも大切である。専門知識と同時に広い教養を身に付けることが、技術的・社会的課題に対する的確な洞察力と解決への実行力を与える。

目次

| | | |
|---|-----------------------------------|----|
| 1 | はじめに | 1 |
| 2 | 機械工学の定義 | 2 |
| 3 | 機械工学固有の特性 | 3 |
| | (1) 機械工学に固有な視点 | 3 |
| | (2) 多様なアプローチ | 3 |
| | (3) 機械工学の役割 | 4 |
| | (4) 他の諸科学との協働 | 4 |
| 4 | 機械工学を学ぶすべての学生が身に付けることを目指すべき基本的な素養 | 6 |
| | (1) 機械工学の学びを通じて獲得すべき基本的な知識と理解 | 6 |
| | ① 獲得すべき基本的な知識と理解 | 6 |
| | ア 力学に関する基本的事項 | 6 |
| | イ 設計・制御に関する基本的事項 | 6 |
| | ② 機械工学を学ぶことの社会的意義 | 6 |
| | (2) 機械工学の学びを通じて獲得すべき基本的な能力 | 7 |
| | ① 機械工学に固有な能力 | 7 |
| | ア 職業上の意義 | 7 |
| | イ 市民生活上の意義 | 7 |
| | ウ 学問・社会の変化と機械工学の勉学 | 8 |
| | エ 獲得されるであろう具体的な能力 | 8 |
| | ② ジェネリックスキル | 9 |
| 5 | 勉学方法および勉学成果の評価方法に関する基本的な考え方 | 10 |
| | (1) 勉学方法 | 10 |
| | (2) 評価方法 | 10 |
| 6 | 専門性と市民性を兼備するための教養教育 | 12 |
| | <参考資料1> 機械工学分野の参照基準検討分科会審議経過 | 13 |
| | <参考資料2> 公開シンポジウム | 14 |

1 はじめに

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大学教育の分野別質保証の在り方に関する審議依頼を受け、同年6月に課題別委員会を設置して審議を重ねた。その結果、2010年（平成22年）8月に、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策定を提案した。

参照基準は、各分野の教育課程の具体的な学びの目標を同定する際に参考となるものであり、各大学（学部・学科など）における各々の理念と現実に応じた自主的・自立的な当該分野の教育課程の具体化に資する抽象性と包括性を備えた考え方を提示するものである。

本報告は機械工学分野の参照基準であり、同分野に関連する教育課程を開設している大学をはじめとして各方面で利用していただくために、ここに公表するものである。

2 機械工学の定義

機械工学は、機械に関わる自然科学とその設計に関わる科学から構成される学問である。

機械は、(1)「外力に抵抗しうる物体の結合からなり」、(2)「一定の相對運動を行うことによって」、(3)「外部から与えられたエネルギーや情報などを有用な機能(運動、力、情報など)に変換するもの」、と定義できる¹。(1)と(2)は機械の基礎をなす自然法則との関連性を示すものであり、機械工学の認識科学²としての基盤学術が「力学」であることを示している。一方、(3)は機械の働きを指し、「力学」を基に個々の要素を統合して全体として調和のとれた機能を引き出すための設計科学²が必要であることを示している。また、機械の機能の基礎知識には、工学を中心とする他分野における中核学術が少なからず包含されている。すなわち、広義の機械は、機械工学の多様性を示すと同時に、機械工学分野が他の多くの自然科学分野と密接に関連していることを表す。

技術は人間生活や社会において機能を実際に発現する実践であり、工学はその基盤となる体系的な知識・知恵(学問)である。これは、機械工学分野においては人文・社会科学を含むあらゆる分野との協働が大切であることを指し示している。なお、現代社会においては、技術者の倫理的側面や社会の持続性に関する課題が提起されており、機械工学には機械の機能に関する多面的観点からの知識が必要とされている。

工学は人間生活や社会の福祉に寄与することを目的とした学問であり、そこには人間の価値観が内包されている。人間や社会が希求する「機能」が多様であれば、機械の範疇や定義も拡大されてゆくのが自然である。ただし、多様な機能を有する機械に定義を無制限に拡張すると、その基盤となる学術は際限なく広がってゆく。そこで、ここでは機械工学の中核である本来の機械に対する学術に限定する。

¹ 機械工学便覧(日本機械学会)、ハンディブック 機械(オーム社)、広辞苑(岩波書店)などに類似の定義が示されている。

² 日本学術会議 運営審議会附置新しい学術体系委員会 「新しい学術の体系 ―社会のための学術と文理の融合―」 平成15年6月

3 機械工学固有の特性

(1) 機械工学に固有な視点

工学は、認識科学と設計科学の両方の視点を有している。そこには、

- ・認識科学から設計科学への流れとして、自然の法則を知り、それを人類にとって有効に利用する方向性、
- ・設計科学から認識科学への流れとして、機能への要求が自然法則の探求を必要とする方向性、

が存在する。また、これらには双方向性がある。機械工学の教育においては、前述した機械を構成する3つの要素から、力学を中心とした分析に関する学術と設計科学を中心とした統合に関する体系化された知識の理解が要請される。

機械工学が認識科学において基盤とする「力学」は多様なスケールや現象に及び、伝統的に質点や固体の運動、固体の強度、流体の力学、熱に関する力学（熱学）といった基本ディシプリンがある。また、人類が機械の機能に求める時空間スケールは、人間の身近なもの（1 mm ~ 10 m、1 秒から 10 年程度）から生活や社会の発展に伴って大きく広がってきている。例えば、微小な機械要素の機能はそれを構成する個々の原子・電子の特性に深く関連するようになってきており、この場合には力学は量子力学の概念を含むことになる。一方、多くの要素が非線形な相互作用を行い、複雑な振る舞いを示す大規模なシステムも機械工学の対象となってきた。その代表的なものが生体であり、生体の力学的な側面に注目するとき、生体も機械工学の対象となる。これを機械工学の立場から考える場合には、化学や生物学に基づく知識が必要となる。すなわち、機械工学の基盤ディシプリンは社会の変遷とともに拡大している。

認識科学を具体的な設計に組み込む方法論として、設計科学が重要な基盤として機械工学に含まれる。また、機械工学が持つ設計科学は、単なる機能設計に留まらず、製品に関わるすべてのプロセス（企画・構想、開発、設計、生産計画、製造、販売、輸送・流通、使用、評価、修繕、廃棄、回収、再利用など）を含んでいる。さらに、機械工学の知に基づいて産み出された機械や機械システムは、現在の人間生活や公共の福祉に寄与しているのみならず、未来へ向かってイノベーションをもたらす原動力となり得る。機械工学は、実践活動（技術）として単に「もの」を創り出すだけでなく、その機能に対する考察を通して人間のコミュニケーションや感性をも含む人間生活や社会の全般に関係し、人間社会の在り方にまで深く関わっている。

(2) 多様なアプローチ

機械工学の学びには多様なアプローチがある。その主な考え方を以下に挙げる。

まず、認識科学を中心としたアプローチがある。力、変形、運動、熱などに関する力学を基盤とする自然法則の理解から始める学習である。個々の法則を十分に把握した後に、それらを統合したシステムとして機能を発現する設計科学の理解に進むアプローチである。

また、設計科学を中心としたアプローチがある。機能発現を目的としたシステム設計・制御の理解から始める学習である。多彩な機能のメカニズムやそれらの製造

(ものづくり)・利用に関する過程を俯瞰しつつ、その基盤となる自然法則に関する認識科学の理解に進むアプローチである。

さらに、技術を中心としたアプローチもある。特定システム(例えば、自動車や航空機などの輸送機械)を対象とした学びから機械工学の学術基盤全体の理解に進むアプローチである。機械工学は、その実践として人間社会に直接関わる具体的技術を提供する。社会への影響が大きな特定目的の複雑な機械システムがいくつも存在し、それに関する専門的知識の涵養も機械工学の使命のひとつである。その理解の過程で、認識科学および設計科学に関する理解を進めるアプローチである。

(3) 機械工学の役割

機械工学の役割は、自然を構成する基本的な法則の一部である力学の体系的な知識を獲得することと、その知識を使って環境的・資源的制約や経済性などを考慮しつつ、安全安心で人間の夢や希望に応えられる機械技術の具体的方策を提示することである。現時点の知識から設計・製作に関する実現性や安全性に関する知恵を技術者に供給することも、機械工学の役割である。すなわち、機械工学は、機械の機能発現の具体的な知恵を提示することとともにその限界をも示すことが主要な役割である。

機械工学は、これまで、輸送機械、エネルギー機械、生産機械などの個別の機械や、それらを複合した機械システムの機能に関する知識基盤を提供し、さらにその中核領域から伸展して、情報、生命、材料の科学などを取り込みつつ電子機械、情報機械、知能機械、生体機械、福祉医療機械などの多様な機械や新たな機械システムを生み出して、社会の期待に応じてきた。

機械工学は多彩な学術領域からなる特徴を有し、その考察の内容は基礎的・基盤的で極めて広範な事象を対象とし、あらゆる学術と相互作用を持つ。機械工学は、これらの複合的な構造を基にして、今後も人・社会に求められる技術や価値を創造するための知の体系に貢献する役割を担っていくであろう。

(4) 他の諸科学との協働

人工物による機能発現は生活のあらゆる場面にあり、その面では機械工学はほぼすべての学術と多様な接点を有している。

機械工学から他の諸科学への知の流れを考えると、機械工学には、探求対象(自然法則)の共有、機能発現のシステム形成のための協働、他学術の進展に必要な手段(機械機能)の供給の側面がある。とくに、自然科学に関して理学・農学・医学・薬学などの理系学術については、数多くの点において繋がりが強い。また、その協働では、得られた知識を再組織化して利用・応用することから、機械工学分野自身の学術的深化と同時に、基礎科学および学際分野と連携した新学術領域開拓あるいは革新的技術創出を牽引する働きも有する。

他の諸科学から機械工学への知の流れを考えると、現代の機械の機能は、古典力学や統計力学だけではなく量子力学に基づくものを含み、他工学や物理学や化学などの広範な知識を総合して形成されてきた。また、数理や情報、生体や医療との関わりも深くなっている。さらに、人や社会との接続からは、機械工学には人間の感情・感性や社会環境・地球環境をも視野に入れた環境に対する適応や調和機能に対

する考察も求められている。経済学、経営学、心理学などの人文・社会科学も含めた広範な学術と交流を持ち、具体的な解決策や技術に繋がる知を創出すべきである。

機械工学は、これらの協働によって人類の幸福な生活を支えるための学術である工学の特徴ある核のひとつとなり、人類共通の普遍的な知の資産の一部を形成する。

4 機械工学を学ぶすべての学生が身に付けることを目指すべき基本的な素養

(1) 機械工学の学びを通じて獲得すべき基本的な知識と理解

① 獲得すべき基本的な知識と理解

機械工学を学ぶ者は、機械に関連する自然科学の基盤（力学や数学に関する基礎知識）に加えて、機械工学の目的に沿って体系化された次の事項について基本的な知識と理解が求められる。

ア 力学に関する基本的事項

機械の機能の源泉となる自然法則に関する基盤学術は「熱学」を含む「力学」であり、下記のような基本ディシプリンがある。

- ・ 質点や固体の運動を対象とした学術
- ・ 固体の変形と破壊に関わる強度現象を取り扱う学術
- ・ 流れの本質を理解し、その挙動を予測し、制御するための学術
- ・ 熱伝導・輻射などの熱輸送現象や化学反応、流体の熱物性、熱と仕事との変換過程を体系化した学術

ただし、上記を統合した概念や他の諸科学の知識と複合した概念もあり、基本ディシプリンの分類はここに示したものに限らない。

イ 設計・制御に関する基本的事項

機械の機能を発現させる統合の基盤学術は設計科学であり、下記の基本ディシプリンにまとめることができる。

- ・ 人・物質・エネルギー・情報の相互関係を理解し、機能の発現を取り扱う（設計する）学術
- ・ 設計された系の挙動を予測し、制御する、あるいは、系の効果を最適にする学術
- ・ 経済性・社会性を含む様々な制約条件の下での生産活動において、要求される機能や価値を実現する学術

なお、上では分析（アナリシス）と統合（シンセシス）に分けて基本的事項を示したが、目的・目標の置き方によって多様な「機械工学」体系を作ることができ、その選択や強調の仕方は多様であり、一意的なものではない。また、機械は人間生活に関する多様な価値観を体現するシステムであるため、機械工学の学びにおいて上述の基本的分野に属さない幅広い知識の協力も大切である。したがって、機械工学を学ぶ学生は関連する基礎科学および学際分野に関して興味を持ち、それらの核となる知恵を総合的かつ俯瞰的な視点から理解しておくことが望まれる。

② 機械工学を学ぶことの社会的意義

機械工学を学ぶことの社会的意義は、機械を利用することで人間にとってよりよい社会や個人の生活をどのようにして作り出すことができるのかを知ることにある。機械工学の知識・知恵を獲得することによって、その根幹となる機械の機能やそのメカニズムを理解できるようになる。

機械の導入・普及によって生活の質の向上が図られ、産業の振興、物資の供給、健康の促進、災害や事故の防止などを実現してきたように、機械工学は人類の発

展の基幹を担ってきた。したがって、機械工学を学ぶ者は、人間生活の質やその維持・向上について主体的な視点を持って積極的にその学術を学び取る勉学の意欲が重要である。一方、利便性を求めて導入された機械が事故や環境破壊などによる悲惨な結果をもたらす危険性があることを認識しなければならない。広い視野と謙虚さを持って、これらを予防・回避する知恵を学び取ることも大切である。機械は現代社会の在り方や個人の生活に深く関わっているがゆえに、機械を取り扱う者は、機械との関係の中で、社会や個人生活の持続性や発展性に重大な責任を担っていることを認識しなければならない。

(2) 機械工学の学びを通じて獲得すべき基本的能力

① 機械工学に固有な能力

ア 職業上の意義

機械技術は機械を通じた利便性が高く安全安心な人類社会の形成への実践手段であり、機械工学はその裏づけとなる知識・知恵を体系化した学問分野である。機械工学を学ぶことによって、その基盤を得ることができる。

また、必ずしも解がひとつに定まらない問題に対しても、知識を動員して実行可能な解を見出す設計的なものの見方とともに、分析と統合の両輪にバランスよく軸足を置きながら中庸を尊び必要な場合には妥協を厭わない実践的方法論と粘り強い精神性を獲得できる。さらに、技術倫理的側面や社会的側面への配慮の大切さを理解することができる。

機械産業は極めて多様であり、求められる機能を創出するためには広大な領域の知識・知恵を総合する必要がある。すなわち、技術（実践）には機械工学のみならず広く他分野も含めた協働が不可欠である。機械工学の学術を勉学する中で、学生は、広い視野の重要性を理解し、他分野への興味・勉学姿勢や協働への勉学方法を獲得できる。

イ 市民生活上の意義

市民生活上の意義には、機械工学の専門家の活動を通じた側面と、機械工学を学んだ一市民としての側面がある。前者は、前項の専門的職業人として社会に貢献できることの他、機械技術に関する事柄について一般社会の中のリーダーとなるための礎を得ることができることである。後者は、市民として社会に関わる際に、生活必需品となっている機械に対する知識基盤を与え、機械の原理の理解を促進して適切な使用を図ることができることである。さらに、生活の利便性をさらに高めるアイデアや工夫を考える合理的姿勢、および、その基盤知識を獲得することができる。また、機械に関する技術革新は、社会や個人の生活における新しい価値を創り出す。このとき、機械工学を学んだ者は、新たな機械の機能やそのメカニズム・原理などの概略を理解することが容易である。これによって、新たな機能を有する機械を適切に利用し、より快適で安全安心な社会や生活を実現するための礎を得ることができる。すなわち、新しい価値を認識し、それを適切に使用することができるようになり、生活や社会の質の向上を導くことができる。

一方、機械は使われ方によって凶器ともなる。機械の誤使用や事故による危

険を避けるためにも機械に関する基礎的な知識は重要である。これは、専門家および一市民の両方の立場において大切なことである。

機械は、身近な日常生活を通じてのみならず、エネルギー機器などの大規模技術として社会全体に深く関わっている。社会の在り方やその将来を考えると、機械の基本的な知識は重要な位置を占める。機械技術に関する社会的状況を的確に理解・判断できることが、困難な課題に対する社会的意思決定を含む諸問題に対して合理的な行動をとるための基盤知識（技術教養）のひとつである。

ウ 学問・社会の変化と機械工学の勉学

機械が対象とする時空間スケールは人間にとって身近なものから始まり、現代では高度な機能の追求によって大きく広がり、複雑・大規模なシステムも開発・利用されている。機械工学は、個々の要素の機能に関する重要性のみならず、システム全体像の把握の観点からも重要な位置を占めている。機械の高集積化・高機能化に伴い、機械工学の学術自体が社会とともに変化している。

科学技術の急速な発展により、実践経験と学術の関係にも変化の兆しが見られる。過去においては技術的実践の繰り返しが知識・知恵の体系化をもたらす傾向があったが、現代では自然法則に関する知識開拓が新たな技術を作り出すことが増えている。機械工学には実践応用を重視する立場と知識基盤形成を重視する立場があるが、上記は近年の自然法則に関する知識開拓の重要性の高まりを指している。また、情報科学に関する知識を取り入れることによって新しい機械技術が生まれつつあることも大切な視点である。

科学技術の発展は、多様な分野の融合や新規の分野開拓を求めている。環境問題などの地球規模の問題にも見られるように、現代社会が抱える課題は、益々多様化・複雑化している。これらには、研究分野を超えて様々な分野の知を結集して統合し、課題解決に当たらなければならない。そのためには、各分野の知識の深化とともに分野間の知の体系・構造を理解することが重要である。機械工学は社会の発展をもたらすリード役であり、力学と設計科学を基礎学術としつつも、その内容は常に諸科学を巻き込み変化している。また、人間生活との連携が深い分野であるがゆえに、社会の変化に伴って学術内容にも進展が求められる。

エ 獲得されるであろう具体的能力

機械工学の対象である機械の機能は多彩であり、その勉学内容や勉学方法も多様である。教員がどのような方向性を強調するか、および、学生がどのようなアプローチを選択するかによって、専門的な知識・理解が異なってくる。

しかし、人間生活や社会の質の向上や安全安心に資する機械に関する諸問題の認識と諸問題の解決を共通に志向することから、機械工学の勉学を通じて獲得される具体的能力には基本的な共通性がある。ここまで述べてきたことを踏まえるならば、その能力は以下のようにまとめられる。

○機械工学および機械技術の現状および今後について、十分な裏づけを持った意見を持つことができる。

- 機械工学および機械技術に関する他者の意見を理解し、適切に評価し、位置づけることができる。
- 新たに開発された機械技術に関して適切な解釈を与え、自らの意見を表明したり、実践に関与したりできる。
- 使用環境や条件についての十分な理解の下で、適切な機械を設計・使用することができる。
- 機械工学および機械技術に関する特定の課題や諸問題について、文献やデータを収集して吟味し、解決できる。
- 機械とは何かについて、それを専門としない者に説明できる。

機械工学の学びを通じて獲得すべき基本的な能力は、次のように整理することができる。

1. 帰納的能力：機械工学の体系的知識を踏まえた論理的な問題設定能力
2. 解析的能力：機械工学の体系的知識に基づく分析的な問題解決能力
3. 理解能力：機械工学の体系的知識に基づいた類推による他分野の理解能力
4. 設計能力：個々の知識を応用・総合し、制約条件の下で所定の機能を実現する能力
5. 説明能力：機械工学の体系的知識を踏まえた論理的でごまかしのない明快な説明能力

② ジェネリックスキル

機械工学の勉学の過程を経て、次のような汎用可能な能力、すなわち、科学的なものの考え方を身に付けることになる。

- 合理的・論理的思考力
- 因果関係を意識した不確かさをもつ事柄に関する判断能力
- 数量的スキル
- 自然科学に対する理解能力
- 一般技術に対する理解能力
- チームで仕事をするための能力
- 生活に関連する機器を合理的に使用・運用する能力
- 市民生活の中で機械に関する問題を発見し、それを合理的に分析し、解決策を考案する能力

5 勉学方法および勉学成果の評価方法に関する基本的な考え方

(1) 勉学方法

機械工学を学ぶための勉学方法は、主に下記の形態と機能がある。しかし、内容が多様であることから、目的に応じて選択や重み付けをするなど、有機的に組み合わせることが有益である。

① 講義

認識科学と設計科学に関する基礎、その応用目的と手法、実践例、最先端の動向、などの機械工学に関する多様な知識・知恵を体系的にバランスよく学ぶ機会を与える。また、それが他の教育方法による勉学の基盤となる。なお、上記を丁寧に説明することも大切であるが、学ぶ側に考えさせることも大切である。

② 実験

自然法則に従う事柄を再現することによって認識科学の理解を深める。また、想定条件において予想された統合効果を再現してみることによって設計科学の理解を促進する。さらに、ある理論や仮説が正しいかどうかなどを実際に試してみることによって、基礎理論や応用方法に関する確証を得ることができる。

③ 演習

一般化された知識を深く理解するためには、様々な想定条件の下でそれらがどのような因果関係をもたらすかを試してみることが有用である。認識科学的視点のみならず、設計科学的視点からの試行経験も大切である。具体的問題に対する演習を通じて、学ぶ側が自らの理解度を知ることができる。また、理論と実際との比較から、現実の多様性・複雑性を認識することも大切である。

④ 実習

実際のものづくりなどを通じた経験は、基礎知識の理解を深めるとともに、その知識を実践としての技術に取り込んでゆく設計科学の知識と方法論を経験することができる。さらに、その経験を通じて機械技術が社会へ貢献する意義を体感し、チームとして行動する価値を知り、コミュニケーションの重要性を理解できるであろう。なお、教育目的や方法を明確にした学外における実践の場や海外における技術動向（その背後にある文化やコミュニケーションの重要性を含む）を知る教育も含まれる。

⑤ 課題研究

与えられた課題又は自ら設定した課題について、調査・実験・設計・解析を行う。その過程における必要な情報や知識の探索や獲得を通じて問題発見・分析・解決能力を総合的に養う。また、科学文献の精読やレポート作成を通じてリテラシーを身に付ける。

(2) 評価方法

教育結果の評価方法は、教育目標や教育方法などによって異なっている。一律の評価尺度はない。機械工学を学ぶ者の評価は、多様な評価の組合せであり、主要なものを下記に挙げるが、別な評価尺度もあり得る。それぞれの教育内容・教育方法および個々の勉学者の状況に即して、多様で柔軟な評価方法がとられる必要がある。

- ・基礎知識の理解度（演繹的能力）を評価する（主に、講義、演習）。
- ・基礎知識を応用できる能力（帰納的能力）の獲得度を評価する（主に、講義、演習、実験）。
- ・基礎知識に関するリテラシーを評価する（主に、実験、課題研究）。
- ・問題発見・分析・解決能力を総合的に評価する（主に、課題研究）。
- ・コミュニケーション能力を評価する（主に、実習、課題研究）。

6 専門性と市民性を兼備するための教養教育

工学のもつ本質的意義から発して、機械工学は社会・人間との関連性が深い。機械に関する知は、自然法則に対する認識や活用についての素養を与えるだけでなく、モノ・エネルギー・情報と社会・人間との関わり合いについての洞察を与える。とくに、市民性の観点からは、機械と社会・人間との関連において人文・社会科学に関する理解が大切となる。これは、機械技術を共有する社会におけるその公共性を理解することにも繋がっている。

機械技術には多様な知識の連携が求められることから、機械工学を学ぶ者には工学の他分野のみならず理学・農学・医学・薬学などの他分野の初歩やその分野の発展に関する一般動向を知ろうとする意欲と理解力が求められる。機械工学の勉学は、それを学ぶ者に専門的技術内容を専門外の人に一般的な言葉で説明するなどの説明能力とともに、機械工学分野および他分野の専門家からの説明を理解するための基本的素養を身に付けることを要請する。すなわち、実社会では他分野との有機的な協働が不可欠であり、自らの専門分野を相対的に捉え、その限界を認識するとともに、コミュニケーション能力を備えて専門分野を異にする人々との間で知の基盤を共有して対話を成立させることが肝要である。このような知識や能力は、機械に囲まれて生活する現代における市民に必須の技術教養のひとつである。

機械技術は、人類社会に共通する基盤を有している。したがって、専門性を兼ね備えた市民として世界的視野を涵養することが重要である。グローバル化は、特徴ある多くのローカルな文化群の有機的な連携の下に人類社会としての共通価値を形成することにその本質があることを理解し、国や分野を越えたダイナミックな活動の基盤となる教養が求められている。語学能力の向上のみを目指す皮相的な勉学は、真の国際化ではないことを認識しなければならない。

複雑・大規模化した技術によって、社会や人間生活におけるそのリスクとベネフィットも複雑・大規模となってきた。自らが存在する社会や世界の将来にわたる在り方を考えるとき、機械技術の知識なしでは合理的な判断はなし得ない。社会的合意形成に際して、技術のもたらすリスクとベネフィットおよびその原因や理由を適切に分析・認識し、他者とのコミュニケーションをもって、社会的課題に対する意思決定へ関与することが市民に求められる。機械工学を学ぶ者の教養として、その自覚を持つことが必要である。

以上のように、機械は、単なる生活の利便性をもたらすものではなく、社会や人間の価値観にまで深い繋がりをもつものである。専門知識と広い教養を身に付けることが、技術的・社会的課題に対する的確な洞察力と解決への実行力を与えるであろう。

<参考資料1> 機械工学分野の参照基準検討分科会審議経過

大学教育の分野別質保証推進委員会 機械工学分野の参照基準検討分科会

平成24年（2012年）

- 3月16日 日本学術会議幹事会（第148回）
大学教育の分野別質保証推進委員会機械工学分野の参照基準検討分科会設置、委員の決定
- 4月17日 分科会（第1回）
役員の選出
機械工学の定義について
今後の進め方について
- 6月26日 分科会（第2回）
JABEE認定制度に関する情報提供
参照基準の方向性について
- 8月27日 分科会（第3回）
中教審答申に関する情報提供
機械工学に固有の特性について
- 10月15日 分科会（第4回）
職業上の意義および市民生活上の意義について
- 12月 3日 分科会（第5回）
機械工学の学びを通じて獲得される基本的能力について

機械工学委員会 機械工学分野の参照基準検討分科会

平成24年（2012年）

- 11月30日 日本学術会議幹事会（第166回）
機械工学委員会機械工学分野の参照基準検討分科会設置、委員の決定（12月21日施行）

平成25年（2013年）

- 1月21日 分科会（第1回）
機械工学の勉学方法および評価方法について
専門性と市民性について
- 3月22日 日本学術会議幹事会（第170回）
設置期間の延長の決定
- 6月15日 分科会（第2回）
公開シンポジウム「学士課程教育における機械工学分野の参照基準」
- 7月26日 大学教育の分野別質保証委員会（第4回）
機械工学委員会機械工学分野の参照基準検討分科会報告
「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」について承認

<参考資料2> 公開シンポジウム

日本学術会議 公開シンポジウム
「学士課程教育における機械工学分野の参照基準」

日 時：平成25年6月15日（土）13:00～16:00

場 所：東京工業大学 大岡山キャンパス 西9号館コラボレーションルーム

開催要旨：

日本学術会議では、大学教育の質保証のために各専門分野での参照基準の作成作業を進めているが、機械工学分野における参照基準の原案のできた現段階で、大学において機械工学教育に携わっている教員、産業界、学部教育に関心のある方々から多様な意見を聴取し、議論を深めて参照基準に反映させていく事を目的として、公開シンポジウムを開催する。

次 第：

開会の挨拶 13:00-13:05

北村隆行（機械工学分野の参照基準検討分科会委員長、日本学術会議会員、京都大学教授）

1. 「大学教育の分野別質保証と参照基準」 13:05-13:45

北原和夫（日本学術会議大学教育の分野別質保証推進委員会委員長、日本学術会議特任連携会員、東京理科大学大学院教授、東京工業大学・国際基督教大学名誉教授）

2. 「機械工学分野の参照基準」 13:45-14:30

北村隆行（機械工学分野の参照基準検討分科会委員長、日本学術会議会員、京都大学教授）

3. 「技術者教育プログラムの認定制度」 14:30-15:10

岸本喜久雄（日本学術会議会員、東京工業大学教授）

4. 「大学における人材育成への期待」 15:20-16:00

有信睦弘（日本学術会議会員、東京大学監事）

5. 総合討論 16:00-16:45

閉会の挨拶 16:45-17:00

土屋和雄（機械工学分野の参照基準検討分科会副委員長、日本学術会議特任連携会員、京都大学名誉教授）