

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
材料工学分野



平成26年（2014年）9月1日

日本学術会議

材料工学委員会

材料工学将来展開分科会

この報告は、日本学術会議材料工学委員会材料工学将来展開分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議材料工学委員会
材料工学将来展開分科会

委員長	吉田 豊信※	(第三部会員)	独立行政法人物質・材料研究機構NIMSフェロー・東京大学名誉教授
副委員長	長井 寿※	(連携会員)	物質・材料研究機構ナノ材料科学環境拠点マネージャー
幹事	小関 敏彦※	(連携会員)	東京大学副学長・大学院工学系研究科教授
幹事	山口 周※	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	岡田 益男	(第三部会員)	八戸工業高等専門学校校長・東北大学名誉教授
	岡野 光夫	(第三部会員)	東京女子医科大学先端生命医科学研究科特任教授
	中嶋 英雄	(第三部会員)	公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター所長・大阪大学名誉教授
	細野 秀雄	(第三部会員)	東京工業大学フロンティア研究機構教授
	前田 正史	(第三部会員)	東京大学理事・副学長・生産技術研究所教授
	掛下 知行	(連携会員)	大阪大学大学院工学研究科研究科長・教授
	黒田光太郎	(連携会員)	名城大学大学院大学・学校づくり研究科教授
	鈴木 俊夫	(連携会員)	東京大学名誉教授
	陶山 容子	(連携会員)	島根大学大学院総合理工学研究科教授
	高井まどか	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	津崎 兼彰	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院教授
	中村 崇	(連携会員)	東北大学多元物質科学研究所教授
	宮崎 修一	(連携会員)	筑波大学大学院数理物質科学研究科教授
	森田 一樹※	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	山本 雅彦	(連携会員)	大阪大学名誉教授

※は材料工学分野参照基準検討WGのメンバー

本件の作成に当たっては、以下の職員が事務を担当した。

事務局	盛田 謙二	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(平成26年8月まで)
	松宮 志麻	参事官(審議第二担当)付参事官補佐(平成26年8月から)
	西川 美雪	参事官(審議第二担当)付審議専門職付

要 旨

1 作成の背景

日本学術会議は、2008年（平成20年）5月の文部科学省高等教育局長から日本学術会議会長あての審議依頼に応じて、2010年（平成22年）7月に取りまとめた回答「大学教育の分野別質保証の在り方について」に基づき、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た。

材料工学分野においても材料工学将来展開分科会内に参照基準検討WGを設けてその趣旨に基づく参照基準の策定を進めてきた。今般、材料工学分野の参照基準が取りまとめられたことから、材料工学の教育課程を開設している大学を始めとして各方面で広く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) 材料工学の定義

本章では本参照基準における材料工学の定義を述べている。

材料は、科学技術、産業の発展と相補的・相乗的な関係を保ちながら進化してきた。今や材料は世界規模の多様なニーズに応えるべく進化し、また世界規模で技術や産業の発展を促している。その中で材料には目的の機能の実現に加え、経済性、供給安定性、環境性能などの様々な社会価値との両立も求められ、材料工学にはそれらを担う高度な材料技術者の育成が求められている。

このような背景の下、本参照基準では材料工学を「材料の創製と高機能化を極める工学」と定義している。ここで「材料」とは様々な物質からなる素材からある使用目的を有した構造体の多様な構成要素までの総称であり、「材料の創製」とは、現存しない材料、あるいは、より優位に使用目的に適合する材料を工夫して造り出すこと、「材料の高機能化」とは、材料の多様な機能を社会的価値も含めて向上させること、あるいは、新たな機能を付加することである。

(2) 材料工学に固有の特性

本章では材料工学に固有の特性を述べている。

材料工学が、物質を対象とする他の諸科学と最も異なる固有な点は、「材料化」という目的行為である。「材料化」とは、様々な物質を構造体の構成要素までに高次化することであり、それを実現するのが材料プロセスであるが、材料工学では、新物質探索の方向性を内包しつつ、「材料化」における制約条件を意識し、与えられた条件下で材料プロセスや材料システムを実現する。また、材料に関わる機能やアプローチの多様性や、材料工学があらゆる工学領域の基盤の一部を構成している点も、その固有の特性と言える。

(3) 材料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 材料工学の学びを通じて獲得すべき基本的な知識と理解

物理学、化学を基盤とする材料の基本的体系である「材料リテラシー学」、材料化の仕組みの体系である「材料プロセス工学」、材料システムの創製方法の体系である「材料システム工学」の三つの基礎の重要性、加えて、材料工学の歴史や現状、材料の可能性と限界、材料工学の社会的役割、それぞれについての知識と理解の重要性を述べている。

② 材料工学の学びを通して獲得すべき基本的な能力

材料工学の学びを通して獲得する現実的課題へ対処する能力や職業上の能力、学問・社会の変化への対応力に加え、複雑な課題に対応する知的訓練、コミュニケーションや倫理に関わるジェネリックスキルが重要であることを述べている。

(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

講義及び演習、実践的演習、実験、卒業論文研究などの学修方法を述べるとともに、学修の目的や内容に応じた柔軟な評価、評価対象として、基礎科学の側面の知識と理解だけでなく社会や産業、環境との関わりについての理解も必要であること、などを述べている。

(5) 市民性の涵養を巡る専門教育と教養教育の関わり

材料工学は、材料を通じて基礎科学の成果を市民の要求と期待に応える社会価値に結び付ける役割があり、そのために市民性の涵養が重要であること、材料の選択・利用が産業や経済、社会、環境へ及ぼす影響を考慮し社会的な責任を認識すること、社会に対する説明性を高めること、そのために他の分野と連携し意見交換できる能力の必要性を述べている。

(6) 高度な教育研究への展開

本章では、学部教育後の高度な教育研究への展開として、大学院における高度な教育と研究、先端的研究への展開、国際性の涵養、継続的教育の重要性を述べている。

目 次

1	材料工学の定義	1
2	材料工学に固有の特性	2
(1)	材料工学に固有の視点	2
(2)	多様なアプローチ	2
(3)	材料工学の役割	2
(4)	他の諸科学との協働	3
3	材料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	4
(1)	材料工学の学びを通じて獲得すべき基本的な知識と理解	4
①	材料工学を学ぶことの本質的意義	4
②	獲得すべき基本的な知識と理解	4
ア.	材料工学に関する基本的事項	5
イ.	材料工学の歴史や現状についての十分な理解	5
ウ.	様々な材料の可能性と限界、様々な材料の 特徴及び長所と短所	5
エ.	材料・材料工学の役割と課題	5
オ.	関連する諸分野などの学修及び諸経験	5
(2)	材料工学の学びを通して獲得すべき基本的な能力	6
①	材料工学に固有の能力	6
ア.	現実的課題への対処	6
イ.	職業上の意義	6
ウ.	市民生活上の意義	6
エ.	学問・社会の変化と材料工学の学修	7
オ.	獲得されるであろう具体的な能力	7
②	ジェネリックスキル	7
ア.	知的訓練としての意義	7
イ.	ジェネリックスキルの習得	8
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	9
(1)	学修方法	9
①	講義及び演習	9
②	実践的演習	9
③	実験	9
④	卒業論文研究	9
⑤	その他	9
(2)	評価方法	10
5	市民性の涵養を巡る専門教育と教養教育の関わり	11

6. 高度な教育研究への展開	13
(1) 大学院における高度な教育と研究	13
(2) 先端的研究への展開	13
(3) 国際性の涵養	14
(4) 継続的教育	14
<付表>	15
<参考資料 1 >	
材料工学分野参照基準検討審議経過	16
<参考資料 2 >	
公開シンポジウム	17

1 材料工学の定義

産業社会構造の大変革期を迎えた先進諸国において、現基盤産業を持続・発展的に堅持し、かつ豊かな人間社会を見据えた次世代の産業創出を期すには、その礎となるべき多様な材料の広義的開発があらゆる側面から不可欠である。また、その担い手となるべき高度な材料技術者の養成が必須である。これらの社会の要請に応え、多様な材料に対する幅広い専門知識を有し、様々な工学分野に貢献できる人材を育成するため、対象とする材料を金属、セラミックスのみならず、半導体、高分子にまで広げ、かつ、教育体系を「個別の材料」から「目的とする機能」へと発展的に再編し、環境問題を上位の概念として意識した新たな教育体系が「材料工学」である。すなわち、歴史的には、材料工学は冶金学をルーツとし、金属工学、無機材料工学、高分子材料工学を融合展開する工学と位置付けられ、端的には材料工学とは「材料の創製と高機能化を極める工学」と定義される。

材料工学における材料は、様々な物質からなる素材から、ある使用目的を有した構造体の多様な構成要素まで、それらの中間段階のものも含む総称である。ここに、様々な物質を構造体の構成要素にまで高次化する一連の行為がある。この一連の行為の方向性を材料化と呼び、一連の行為を材料プロセスという。材料工学は、材料プロセスを一元的ではなく多元的に捉える特徴を持つ。材料の創製とは、現状では存在しない、あるいはより優位に使用目的に適合する材料を工夫して造り出すことをいう。一方、材料の高機能化とは、材料の多様な機能を社会価値尺度での向上を含めて高度化する、あるいは材料に新たな機能を付加することをいう。材料機能とは、材料の働きをすべて指す。複数の原子、分子さらにそれらの組合せが有機的に関係し合い、集合体として材料機能を発現する。材料機能を発現するこの集合体の様態を材料システムと呼ぶ。材料の創製は、物質などを原料にして、目標の材料システムを最適な材料プロセスで材料化すると表現することもできる。材料の創製と高機能化は、互いに連関して達成される場合も、それぞれに独立して達成される場合もある。また、材料の創製と高機能化は、未来における事象のみを指すのではなく、過去から現在までのすべての歴史的な事象も含んでいる。

材料の進化は、人類の歴史の中で常に、新しい科学、新しい技術や新しい産業の発展の基盤として人類の繁栄と社会の進歩に貢献してきた。他方、社会の進歩は、材料のさらなる進化を求め続け、有史以来の材料と社会の相補的かつ相乗的關係が今日の文明社会を築き上げてきたと言える。21世紀に入って、特記すべきは、地域の自然環境や資源、歴史発展の制約を受けてきた材料の生産や利用が急激に地球規模に展開し、需要側からの要求も必然的に世界規模で多様化していることである。すなわち、複数機能の調和ある発展への期待に対応するだけに留まらず、入手容易性、安定供給性、経済性、さらには環境性能など、極めて多様な経済的、社会的視点からも最適化が求められている。

したがって、材料工学には、材料化を通して何が実現できるかを知るための理論的・規範的な考察、材料化を実現するための帰納的・実証的な考察、材料化を具現化するための演繹的・実践的な考察など、多面的な主題が含まれることになる。

2 材料工学に固有の特性

(1) 材料工学に固有の視点

材料化という目的行為が材料工学に固有の視点となる。物質を対象とする他の諸科学では、物質の特性起源の理解や体系化、あるいは、既知物質の存在様態や機能を基盤的知見としつつも、全く新たな機能を有する新物質探索に資する学術が中心となり、むしろ一切の制約条件を超える挑戦が鍵になる。しかし、材料工学では新物質探索の方向性を内包しながらも、一般に無条件に材料化を考えることはしない。材料化における種々の制約条件を正しく意識することが不可欠になる。すなわち、与えられた条件の下で可能な材料プロセスの展開、使用環境、条件において有効な材料システムを実現する方法論の展開が肝要である。

(2) 多様なアプローチ

材料工学は、物質、材料、構造体とそれらの機能が持つ多様性に対して、以下に示す多様なアプローチで接近する。その多様さが、単独のアプローチだけでは陥りがちな部分性や偏りを補正し、補完する。

第一は、理論的・規範的アプローチである。材料化を通して何を実現するかを洞察するためには、多様な物質機能を理解する必要がある。また材料が実現すべき新たな価値を理解することも必要である。基礎諸科学の学術的知見を基本とする理論的かつ規範的な考察がその中心となる。

第二は、帰納的・実証的アプローチである。近代材料工学は、より優れた材料を意図的、設計的に作り出そうとするアプローチから生まれた。材料工学が成立し、さらに対象物質が大幅に拡大した現代においても、実証的関心を常に鋭く持ち続けている。

第三は、演繹的・実践的アプローチである。物質、材料、あるいは構造体について、理論や計算によって、客観的かつ実証的に記述や説明を試み、より確実な知識の基盤の上に材料化を展開する。

(3) 材料工学の役割

材料工学に課された使命は、必要とされる「より優れた材料」が提示されれば、それを実現するための新物質合成や材料の組み合わせを選択し設計することであり、かつまた、それらの材料プロセスが最も高い社会的価値尺度で決定できるようにすることである。しかしながら、「より優れた材料」であると判断する基準はアприオリに存在するわけではなく、材料工学が対象とする課題は単なる技術的・実践的課題ではない。この使命達成に向けた人材育成の根幹を成す材料工学は、主に物理学、化学、さらには生物学をも含む基礎科学を統合した材料に関する独自の学術分野を構築しつつ、他の工学分野全体の基盤を横断する学術としての特徴を有する。さらに経済的、社会的視点を繰り入れるためには、あらゆる学術領域との連携を可能とする柔軟性が必要となる。

材料工学が扱う範囲は、材料システムと機能の関わりを基礎とし、様々な目的性能の実現と高効率な材料プロセスの追求、構造体等の最適加工技術を含めた構造体設計、材料による製品の社会価値尺度の評価など、基礎科学から応用工学までを包含している。さらに、材料工学は極めて広範な時空間を扱う工学でもある。そのため、材料工学の社会的役割は、上述した材料機能は勿論のこと、材料機能の保証や信頼性、寿命や価値の最適化設計などに関する説明責任性、材料のライフサイクル解析や持続可能社会の設計をも考慮に入れた展開が必要である。

以上の材料工学の定義と固有の特性を考慮に入れると、材料工学の基礎は、材料リテラシー学、材料プロセス工学、材料システム工学の三つの柱によって主に構成される。材料リテラシー学は、高校並びに大学教養における物理学、化学、生物学などを素養にして、材料と材料工学の基本的役割の理解と記述法に関する学術体系である。材料システム工学は、材料機能を発現する仕組みである材料システムに関する学術体系である。材料プロセス工学は、目的の材料並びに材料システムを創製・製造するための物理的及び化学的な方法に関する学術体系である。材料化における学術的基本構造は、材料リテラシー学の知識を土台に、材料システム工学の知識に裏付けられた目標材料システムを、材料プロセス工学の知識を駆使して作り込む方法論を理解することにある。

我々の生きる現代社会において使用されている材料は、解決すべき種々の課題を抱えている。そうした種々の課題に対して、材料リテラシー学、材料プロセス工学、材料システム工学の基礎教育を通じて、何をどこまで解決できるのか、また、どのような材料がその解決に有効に資するのかという観点を身に付け、物質の理解、材料化の実現、あるいは構造体に関わるための専門素養が獲得される。逆に言えば、それぞれの課題の解決できない限界についても正しく理解できるようになる。これが、学部教育における材料工学の基本的役割である。

(4) 他の諸科学との協働

材料工学は他の諸科学と協働して、物質や構造体についてより深い理解を獲得することができる。

材料という観点から深められた物質の理解は、材料リテラシー学を深めると共に、他の基礎諸科学の深化や発展にも寄与する。逆に、材料工学は関連する基礎諸科学の進展によって発展を促されている。また、材料という観点から深められた構造体の理解は、材料の多様性をふまえた新たな構造体の可能性を理論的かつ実践的に支えることになる。他方、構造体に関する諸学術分野の進展に伴い、常に新しい課題が提供されることは、材料工学にとって大きな発展契機となっている。

3 材料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) 材料工学の学びを通じて獲得すべき基本的な知識と理解

① 材料工学を学ぶことの本質的意義

学生は材料工学を学ぶことを通じて、物質の持つ機能の原理と諸物質の材料化によって構造体が複雑な諸機能を発現できる学理を理解し、またそのための材料プロセスをより合理的に考察して判断できるようになる。

あらゆる材料の意義は何らかの機能を発現させることにある。そのためには、種々の機能を発現させる原理や方法、それぞれの物質機能—物質の材料化—材料システム間の関係、材料化の多様なアプローチ、優れた機能を有する材料による社会貢献の効果的手段を追求しなければならない。同時に、優れた材料に潜在するリスクの回避という重要な課題もあり、これらを正確に理解し、記述し、伝える能力を獲得する必要がある。材料は工業製品の機能発現のための構成要素としてその機能そのものを担うとともに、材料システムによって複雑な機能や信頼性を提供するが、ときには相反する機能によるリスクを伴うこともあり、その材料選択の多様性や多面性は工学全体に対して重大な影響を与える。

材料工学を学ぶことによって、学生たちは材料機能の多様性と複雑さ、材料のアカウンタビリティ、材料化の可能性とその限界を知り、材料の機能設計、構造体に要求される複雑な機能、それらを実現するための材料システム、材料プロセスの適切さと不適切さを見分ける視座を持つことができる。それは、材料工学を構成する多様な価値観やアプローチの方法と知を学ぶとともに、関連する工学全体についての洞察を深めることによって獲得される。

② 獲得すべき基本的な知識と理解

材料工学がカバーする領域は広大であるが、材料工学を学ぶ学生は、通常、次のような事項について、基礎的な知識や理解が求められる。これらは、前述した材料工学の定義、材料工学の固有の特性と、緊密に結びついている。

ア 材料工学に関する基本的事項

「材料とは何か」についての基礎的知識と材料機能を説明する方法を与える材料リテラシー学、材料の機能を発現させるための材料製造方法と新物質創製を含む材料プロセス工学、固有の機能を有する物質や材料を材料化して材料の機能を発現させる基本的な仕組みを理解するための材料システム工学に関する様々な原理や諸課題を理解し、説明できるようになることは、多種多様な材料について考察するための最も重要な基礎となる。

具体的には、例えば「材料とは何か」についての科学的裏付けを持つ説明の方法、材料システムによる機能発現のメカニズムに関わる知識、材料化に関わる基礎的な

原理やそれにより生まれる価値、集積された技術知とその利用法などが含まれる。

イ 材料工学の歴史や現状についての十分な理解

現実の社会に多様な形で利用されている材料が抱える諸問題、並びに実現すべき材料の機能とその機能設計の方法を適切に理解し、説明できるようになることは、対象や状況に応じて用いられる適切な材料の在り方を考えるための基礎となる。例えば、人類が利用してきた物質の材料化に関わる技術史、それらが価値観、経済、人類の歴史に与えてきたインパクト、利用された材料機能に関する理論や現実的な知識、材料システムを実現するための材料プロセスへの理解、材料の具体的な利用の方法と材料の環境劣化についての多面的な知識、これらを診断並びに解析するための方法や理論的背景に関わる知識、さらには膨大な技術知を包括的かつ効率的に活用するためのゲノム的方法論などが含まれる。

ウ 多様な材料の可能性と限界、特徴及び長所と短所

材料の可能性と限界を原理的に理解し、それに基づいて現実の個々の事象に関して適切な材料と材料システムの設計方法を判断できるようになることは、材料工学の学修を通して身に付けるべき重要な基本的素養である。材料工学を学ぶことが単なる知識の暗記や技の習得ではない点はこのにある。例えば、材料が持つ原理的な複雑性や多面性、現実の材料が使われる複雑な利用環境やその条件下で必要となる諸機能、多様な材料化の理論的特徴及びその長所と短所、材料システムの現実的応用とその方法、幅広い分野にわたる材料の応用が生み出す帰結に関する知識などが含まれる。

エ 材料・材料工学の役割と課題

材料の在り方は、工学の在り方と密接に関わっている。それゆえ、材料工学の学修者は、単に原理的や技術的な関心からの学修だけでなく、現代の工学全般における材料及び材料工学が果たすべき機能や役割、解決すべき課題についての理解や洞察が求められる。例えば、工学が解決しなければならない課題に対して材料が果たすべき役割や課題の解明、現代の材料が実現しなければならない革新的機能、材料化や材料システムの課題に関する体系的分析などである。

オ 関連する諸分野などの学修及び諸経験

教養科目や他分野の専門科目は、材料工学を深めるための有用な手段となる。特に、材料が果たすべき工学全体に対する役割、材料やそれが利用される構造体に要求される機能や隠れた危険性など理解するためには有益である。学生は大学で学んでいくうちに、材料工学に属する狭い領域や特定の主題に強い関心や深い理解を持つようになるが、できるだけ多様な知との出会いと技術的経験の機会が学修者に対して準備されることが望ましい。一方で、材料の設計、材料プロセス、材料システ

ムの適切さを判断できるようになるためには、人間と社会に関する広い諸科学の学修が必要とされる。ここでもまた、教養科目や他分野の専門科目は重要である。

上記の諸事項は、特定の授業科目を通して学ぶというよりも、様々な授業科目の総体を通して学修することになる可能性がある。材料工学は、社会インフラ、グリーン・エネルギー、医療・バイオ、デバイスなど、機能も使用形態も異なる様々なものを考察の対象としている。これらは、具体的な対象や特定のアプローチを定めて深める学修によっても、幅広い対象やアプローチを学ぶことによっても深めることができる。このように、材料工学は多様なアプローチを前提とするため、学修者に対して多様な経験の機会と学修の方法を準備することが好ましい。

(2) 材料工学の学びを通して獲得すべき基本的な能力

① 材料工学に固有の能力

ア 現実的課題への対処

上述の視点とアプローチで材料工学を学ぶことにより、人類の持続的発展から個人の幸福追求に至る広範な現実的課題を見いだすことが可能となる。具体的には、環境、エネルギー、資源、経済、医療福祉といった持続可能社会形成の基盤領域に根ざした現実的な課題を挙げることができる。材料工学の学修及び実地演習を通して習得した能力を、経験に基づく広範な視点やノウハウと共に駆使することにより、これら多様な課題に対処し得る。

イ 職業上の意義

職業上の課題の解決にも材料工学は資することになる。あらゆるものづくり産業では、原料から製品を作り上げるまでの全ての工程の設計と管理において材料工学で学ぶ内容をベースとしており、ものづくり現場からシステム管理にわたって中心的役割を担うためには、材料工学を身に付けた上で経験を積むことが望ましい。また、材料工学を通して身に付けた知識や方法論は、ものづくり産業を取り巻く、情報や金融システム産業から公的研究機関、行政に至るほとんどの職務の遂行において重要な役割を担っている。すなわち、材料工学はものづくり産業に従事する者にとって必須であると同時に多くの産業分野においても重要な意義を有している。

ウ 市民生活上の意義

上記に述べた現実的課題は全て市民生活に直結しており、その課題解決において材料工学の基本的知識を身に付けることは、極めて有意義である。材料工学を学ぶことにより得た知見や洞察を生かして適切な実践や助言を行うことにより、社会問題、環境問題や生活課題の改善・解決がもたらされる。特に、利便性や医療技術の向上など、材料工学の進歩により市民生活が受ける恩恵は計り知れない。

エ 学問・社会の変化と材料工学の学修

他の理工系分野と同様に、材料工学を通して深い洞察を得るためには、学士課程での学修に加え、大学院修士並びに博士課程での学修や研究において材料工学に対する理解を進化させることが有効である。全ての共通基盤となる材料リテラシー学を充実した学部教育で習得し、それをさらに高度に洗練することは極めて重要である。

原料から製品を生み出す材料化において、入口出口とも時代によって変化する。材料を構成する原料物質においては、時として画期的な発見や創製技術開発を伴う場合があるが、その多くは普遍的な材料リテラシー学が規範となる。一方、最終製品を構成する材料の機能や特性に対する要求は日進月歩であり、材料化の方法論や材料システムに関する理解も、必然的に進歩し続けている。したがって、入口と出口を繋ぐ材料プロセス工学、材料システム工学は社会の変化に沿って絶えず成長し続ける学問である。

オ 獲得されるであろう具体的な能力

材料工学は広い裾野を持つ基礎科学をベースとし、その材料化のアプローチも多様化しているため、学修内容・方法が多様な領域に分かれ、学生が深く学ぶことにより専門とする知識は千差万別であるが、問題解決へ向けての方法論に差はない。言い換えれば、様々な材料を通じて身に付けた知識やアプローチは、それまでに出会ったことがなかった材料を取り扱ったり、その材料を使って新たなものを創造したりする際に役に立つ。

材料工学を学ぶことにより、物質文明における日常の材料から職務上携わる材料まで、物理的、化学的、社会工学的な視点でその材料プロセス、材料システムを理解し、問題提起能力と社会ニーズの変化に適確に追従する方法論を獲得する。また、国際交流を中心としたグローバルな視点での材料教育を通して、将来の世界のものづくりリーダーとしての指導力が培われる。

② ジェネリックスキル

ア 知的訓練としての意義

学修内容や方法に関わらず、学生が材料工学を学修することで、自由な発想の下で複数の要素が絡み合った複雑な課題に対応する能力を得ることができる。すなわち、既存の議論を批判的に解読し、自ら集めて整理し、吟味した情報を適切な形に加工し、必要に応じて実験などによる確認を通して自らの見解を取りまとめて発信することが可能となる。

中でも、材料リテラシー学は工学全般の基盤でもあり、各々の工学分野を体系付ける上で欠かせない。一方、その上に立脚する材料プロセス工学、材料システム工学を通して、前述の多様なアプローチにより材料化する能力や材料を進化させる能力を習得できる点で知的訓練としての材料工学の意義も非常に大きい。また、材料

工学及び実験学修を通して身に付けた課題発掘から解決に至る方法論は、ものづくり産業のみならずあらゆる職務遂行の上で、延いては個々の生活における主体性のある考え方にも大いに活かされる。

イ ジェネリックスキルの習得

材料工学及び実験学修を通して身に付けた上記方法論は、全分野共通のジェネリックスキルである。学生は、材料工学を通して、広い視野と洞察力、課題抽出能力、予測能力、課題解決能力、考察能力、成果を具現化する能力を身に付けることができ、社会工学的発想に基づく倫理観と経験の蓄積により培われる価値観を伴うことで、社会の指導的役割を担うリーダーが育成される。通常、材料工学の学修を通して、次のような事項についてのジェネリックスキルを身に付けることが期待される。

- あらゆる事象についての深い洞察と、社会についての幅広い関心、理解を持つ。
- 情報を収集し、加工・整理し、適切な形で発信できる。
- 現実を正確に観察するとともに、情報を客観的に吟味することができる。
- コミュニケーション・スキルと適切な表現力の習得。

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

材料工学を学ぶための学修方法は多様である。以下に挙げるすべてが必須であるわけではないが、様々な方法を組み合わせて、多様な学修を経験することは有益である。

① 講義及び演習

材料リテラシー学、材料プロセス工学、材料システム工学などを始めとして、材料工学の基本的な知識から材料の実際の応用まで、講義を通じて学ぶことが望ましい。それらは他の方法による学修の基礎ともなる。基礎的な概念・理論などを丁寧に理解させる講義に加え、実際の材料の研究開発や生産、利用や循環を学び、それらと材料工学の基礎とのつながり、他の工学分野や社会、産業、環境とのつながりを理解させる講義も必要である。さらに、学んだ理論や知識をもとに考えさせ、考察を促す演習もまた有用である。

② 実践的演習

材料に関わる何らかの課題に沿って自ら調査し、必要に応じて実験や現地での見学・体験を行い、材料に対する関心や多面的な理解を深める。レポートの作成、その発表や討議などが材料リテラシーを実践的に理解し高度化するために有用である。

③ 実験

材料プロセス工学及び材料システム工学に関連して、材料の製造や合成、構造や組成の分析、特性の評価、などの基本的な原理と手法、それに関わる機器の利用法などを、講義を通して学んだ上で、実験を通して実際に体験し、その結果をまとめ、それに対して考察を加える。これによって理解を深めるとともに、材料の研究開発や実社会で材料に関わる上で有用な基礎を身に付ける。

④ 卒業論文研究

上記の演習と実験の総仕上げと位置付けられるもので、教員の指導の下、材料に関わる課題を設定し、それを解明・解決するための方法を考えて取り組み、その結果をまとめ、それに対する考察を行い、それらを論文としてまとめる。またその成果は、口頭やポスターによって発表する。これらの一連の流れを自ら進めることにより、材料に関する理解を深めるとともに、課題解決の手法や発表能力を身に付ける。また研究を進める過程で、関連分野の論文調査、研究に関わる基礎理論の復習、指導教員他との研究討議などを行うことも有用である。

⑤ その他

教養科目や他分野の専門的学修、様々な製造現場の見学やインターンシップなどの

体験が材料工学における洞察を深める契機になりうる。また、実践的演習や実験において、チームを作り、集団的、組織的に問題解決に当たる体験も効果的な方法である。

(2) 評価方法

あらかじめ定められた評価方法は特になく、それぞれの学修の目的、方法、内容に応じて柔軟な評価方法が採用されなければならない。

材料工学は、材料プロセス、材料システムに関わる基礎科学としての側面と、様々な材料が実際に社会の中で製造・利用・循環され、産業や経済、安心安全、環境とのつながりを通して社会を支えるために必要な工学の側面を持ち、そのいずれに対しても一定の知識と理解を持ち、さらに両者のつながりについても理解を有することが求められる。材料工学を学ぶ学生は、そのような材料の多面性、さらにその歴史的な変遷や国際性についても意識することが望まれる。したがって、学修の成果は、基礎科学の知識と理解の評価に加えて、学生が社会に出てそれを工学的に活かせるような、社会や産業、環境を始めとする様々な関わりに関する理解や知識、学修の成果も評価の視点に加え、多様で柔軟な評価方法がとられることが必要である。

5 市民性の涵養を巡る専門教育と教養教育の関わり

材料工学は、材料を通じて、基礎科学の成果を、市民の要求と期待に応える社会価値に結び付けるものである。その役割を全うするためには、材料工学を学ぶものは専門主義への埋没を戒め、自らの市民性の涵養に不断の努力を惜しまないことが求められる。

材料の用途及び使用条件は極めて多様かつ広範である。例えば、材料の寿命を例にとれば、極めて短時間で使命を終える場合もあれば、変動要因を内包しながらも同一条件で数10年以上という場合もある。したがって材料の選択と利用については、それが短期もしくは長期に使用される中で産業や経済、社会、環境へ及ぼす効果や影響を幅広い観点から十分考慮する必要がある。

また、材料の生産は多くの資源とエネルギーを必要とし、同時に、新たな製品や産業、雇用の創出に持つながっている。さらに新しい材料が開発されて工業生産によって実用化されるまで、信頼性や安全性の確証を得て規格化するためには相当時間が必要である。したがって、新たな材料を持続的に開発・生産し続けるためには、社会動向を見極め、社会ニーズを取り入れ、さらに社会的な責任を認識することが重要である。すなわち材料工学が常に社会との関わりを保ち、社会科学の様々な分野や教養分野と連携して成り立つことを意味している。

材料の製造と利用による利便性の向上に関する市民の正しい理解の増進に努めると同時に、直接あるいは間接に市民に対して負の効果をもたらす可能性についても市民による正しい理解の増進に努める必要がある。例えば、1) 材料の経年劣化や損傷など科学的に必然的で不可避性の高い事例に関する正確な理解、2) 不適切もしくは不正な使い方に起因する破損や事故とそれによる損害の程度に関する正確な理解、3) 自然災害などの避けがたい状況によって想起されるべき不測の事態に関する正確な理解などが考えられる。これらの正しい理解の増進を通じてこそ、正しく材料を利用することによって材料の持つ利便性を安全に、また最大限に生かすことができるようになる。

このように、安全・安心な生活・生産活動の基盤を維持しつつ、国際競争力も成長し続けるために、特に専門教育においては、以下のような均衡のとれた学修が求められる。

○基盤と先端の均衡のとれた学修

○継続と集中の均衡のとれた学修

一方、あらゆる材料は自然法則に則ってしか実現しえない。そこで、材料工学と基礎科学、一般教養との関わりを教育する側も学修する側も強く意識する必要がある。学修する側には以下のような能力の増進と姿勢の強化が求められる。

○基礎科学教育、一般教養教育を通じて習得されるべき、人類が蓄積してきた知識や知恵と材料工学の関係を正しく総合的に理解することが、材料工学の習得さらには実社会での活動へのつながりの礎となることを理解し、一般の人たちにもその関係を説明できる能力と姿勢

○材料工学の基本的構成と内容を専門外の人たちにも平易に説明できる能力と姿勢

○材料工学の社会的、公共的意義を考え、自分なりの意見を持つ能力と姿勢

○材料工学が、それのみでは自らの社会的使命を果たし得ないことを認識し、他の学問領域と常に手を携えながら今後進むべき方向を考え、多くの人たちと意見交換できる能力と姿勢

教育する側は、学修する側の以上のような成長を支援するために不断の努力を払う必要がある。

6 高度な教育研究への展開

(1) 大学院における高度な教育と研究

大学院における先進的な教育と研究により、材料工学の高度な専門教育による技術者や研究者養成の一通りのプロセスが完結する。すなわち、与えられた材料工学の課題を自立的に解析と考察を加えて結論を導き、その問題解決の方法を提案することができるようになる。大学院における教育においては、多様な知識の習得やより根源的な理論の習得も重要な教育課題であるが、むしろ材料工学を基本とする現象や機能を理解する方法、多様な解析の方法論、複雑な課題からの単純化と課題抽出の方法、並びにこれらの方法論を有機的に結合して結論を導出するための論理展開を高度化することが目的となる。

中核的基礎を形成する材料リテラシー学、材料システム工学、材料プロセス工学の高度化によって、与題に含まれる材料工学的課題の抽出・単純化とその解析から導出される結論、材料化のための設計・方案や提案の記述が可能になる（付表参照）。そのためには材料工学のツールの原理を理解して正しく利用することも必要とされる。また実際に材料に対する様々な要求を幅広く理解することに加えて、多様な応用分野への材料工学の展開に関する広汎な知識を習得するとともに、この材料工学を構成する学群中の一つ以上の専門分野に対する深い理解を得ることが具体的な目標となる。

材料工学の有する二面性、すなわち材料工学を構成する学群の専門的理解を深めるベクトルと、関連異分野の基盤的要素としての汎理工学的な材料工学の基礎的理解を広げるベクトルが存在する。両者は一見して矛盾する指向性に見えるが、互いに相反するものではなく、両立させる教育プログラムを実現する工夫が必要である。重要な点は、材料工学を専門とする研究者及び技術者が狭い分野の壁を自ら築くことなく、材料及び材料工学が関係するあらゆる分野に容易にアクセスできる能力と知識を習得させることであり、他の分野との交流や多様な経験を可能とする教育のプログラムと形態を用意することが望まれる。これによって技術者として要求される材料工学的課題に取り組む基本的な知識と教養を身に付けるとともに、材料工学を基盤とする知的財産や技術経営に関連する多様な専門的職業に必要な基礎知識を習得することができる。また、関連する分野に関する広汎な理解と視野を有する材料工学の研究者として必要な基礎的な素養と能力を養うことができる。

(2) 先端的研究への展開

新しい物質科学は新物質の発見によってもたらされる。材料工学では新しい物質機能の材料化の研究開発によって、新しい材料学が生まれる。大学院における教育は、この新しい材料学の指向性を内包した研究体験により実現される。研究体験はさらに高度な研究を指向するベクトルを与え、自己啓発的に最先端研究へと誘導する。分野を超えた応用や他分野の新しい概念を障害なく吸収するための基礎理解力と知識を、高度な教育研究によって学修者に習得させることが、高度な研究展開による材料工学分野の学理の

新しい発展の駆動力となる。

(3) 国際性の涵養

材料工学には歴史的及び地理学的に現在へと引き継がれてきた地域性と国際性が存在する。製品を構成する材料やこれを用いて製造される構成要素は国境を越えて流通する。一方で原材料である資源や製造を支えるインフラの地域的偏在性があり、またマテリアルフローの国際性や階層性（分業制）が材料流通や循環を決定するため、常に国際的な需給関係と技術の専門化がおこる。材料工学の国際性は、この基盤的知識の共通と専門化の二つの面から理解されるものであり、コミュニケーション（語学）能力に加えて高度な材料リテラシーの実現がこれを可能にする。高度な教育と教育プログラム終了後の継続がその実現には重要である。

(4) 継続的教育

材料工学の最先端技術やその基礎科学はめざましい進歩を続けており、その手法や考え方も時代とともに大きく変化する。専門とする個々の応用に直結した材料学だけでなく、その他の応用の展開や、材料工学の分野で利用するツールをその展開に合わせてアップデートすることが継続教育であり、その仕組みをプログラムに内包することは重要である。他分野へのアクセスを容易にするためにも、大学院における教育修了後も基礎科学と工学の展開に対する深い理解力を涵養するための努力を材料工学の専門家として継続することが重要である。このためには、技術者や科学者コミュニティ（学会など）の継続的教育プログラムや研究・技術開発交流の機会を通じた自己啓発の積極活用が有効である。一方、大学・大学院などの教育機関は、多様なバックグラウンドを有する材料工学に携わる研究者・技術者のスキルのブラッシュアップと専門的能力の高度化のための継続的教育のプログラムを提供することが望ましい。

<付表> 材料工学の構成

材料工学の中核的基礎	材料リテラシー学	高校並びに大学学部前期における物理学、化学、生物学などを素養にして、材料と材料工学の基本的役割について、理解、記述、説明するための学術体系
	材料システム工学	材料機能を発現する仕組みである材料システムに関する学術体系
	材料プロセス工学	目的の材料システムを作り込む、物理的及び化学的な方法に関する学術体系
材料工学のツール	材料解析・診断学	材料システム及び材料プロセスを時間的空間的に解析する物理的、化学的な方法の学術体系
	理論・計算材料学	材料機能の発現機構の解明と設計のための、理論と理論計算の方法とその利用技術に関する学術体系
	材料ゲノム工学	これまで蓄積されてきた膨大なデータを、理論やモデリング、あるいはデータ解析手法を駆使することで、効率的かつ迅速に、合目的な材料設計や材料機能創製を果たすための方法とその利用技術に関する学術体系
材料工学の展開	社会インフラ材料学	土木建築、機械、電気などの応用工学が対象とする製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系
	グリーン・エネルギー材料学	環境負荷最小限化、再生可能エネルギーと資源の高効率有効利用のための製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系
	医療・バイオ材料学	医療のための、さらには生体機能を利用した製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系
	デバイス材料学	電子・光・磁気機能を利用した製品に期待される材料の機能とその利用技術に関する学術体系

<参考資料1> 材料工学分野参照基準検討の審議経過

平成25年

- 4月13日 材料工学委員会（第8回）・材料工学将来展開分科会（第8回）合同会議にて参照基準検討WGの立ち上げを承認、委員の決定
- 7月3日 分科会（第9回）
参照基準策定の方向性について
- 11月1日 委員会（第9回）・分科会（第10回）合同会議
ドラフトの査読意見聴取及び審議
※4月17日～12月12日に、8回のWGを開催した。

平成26年

- 4月25日 委員会（第10回）・分科会（第11回）合同会議
参照基準案を承認
- 8月8日 大学教育の分野別質保証委員会（第9回）
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 材料工学分野」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 第4回材料工学委員会シンポジウム 「材料工学のこれからの教育と研究」 ～学士課程教育の参照基準と科学・夢ロードマップ～

日時：平成26年4月25日（金）13時30分から17時00分（受付13時）

会場：日本学術会議 講堂（東京都港区六本木7-22-34）

開催趣旨

日本学術会議は、文部科学省高等教育局長からの審議依頼に応じて2010年に取りまとめた回答「大学教育の分野別質保証の在り方について」に基づき、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ました。材料工学分野においてもその趣旨に基づく参照基準を材料工学委員会・材料工学将来展開分科会合同の分科会で審議し、この度「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材料工学分野」の原案をまとめました。この参照基準は、材料工学の教育課程を開設する大学及び材料工学教育に関心のある方々に広く利用していただくために公表される予定です。また、日本学術会議では昨年より理学・工学分野における科学・夢ロードマップの策定を進めており、材料工学分野においても関連学協会などの協力を得て中長期的な展望をまとめた「材料工学分野科学・夢ロードマップ」を策定しました。本シンポジウムで報告し広くご意見をいただきます。

プログラム

総合司会：吉田豊信（日本学術会議会員、材料工学将来展開分科会委員長、物質・材料研究機構フェロー、東京大学名誉教授）

13:30～13:40 開会にあたって：前田正史（日本学術会議会員、材料工学委員会委員長、東京大学理事・副学長、教授）

13:40～14:10 基調報告「大学教育の分野別質保証と参照基準」：北原和夫（日本学術会議特任連携会員、大学教育の分野別質保証委員会企画連絡分科会委員長、東京理科大学大学院科学教育研究科教授）

14:10～14:40 分科会報告「材料工学分野の参照基準案について」：小関敏彦（日本学術会議連携会員、材料工学将来展開分科会幹事、東京大学大学院工学系研究科教授）

14:50～15:20 基調報告「第三部における科学・夢ロードマップ策定と更新」：渡辺美代子（日本学術会議会員、第三部 科学・夢ロードマップ ワーキンググループ委員長、科学技術振興機構研究開発戦略センターフェロー）

- 15:20～15:50 分科会報告「材料工学 科学・夢ロードマップ改訂版のポイント」：
長井 寿(日本学術会議連携会員、材料工学将来展開分科会副委員長、
物質・材料研究機構ナノ材料科学環境拠点マネージャー)
- 16:00～17:00 パネルディスカッション・総合討論
- モデレーター: 吉田豊信(日本学術会議会員、材料工学将来展開分科会委員長、
物質・材料研究機構フェロー、東京大学名誉教授)
- パネリスト: 小関敏彦(日本学術会議連携会員、材料工学将来展開分科会幹事
東京大学大学院工学系研究科教授)
- 長井 寿(日本学術会議連携会員、材料工学将来展開分科会副委
員長、物質・材料研究機構ナノ材料科学環境拠点マネ
ージャー)
- 山口 周(日本学術会議連携会員、材料工学将来展開分科会幹事、
東京大学大学院工学系研究科教授)
- 森田一樹(日本学術会議連携会員、材料工学将来展開分科会委員、
東京大学大学院工学系研究科教授)
- 松宮 徹(日本学術会議連携会員、新日鉄住金株式会社顧問)
- 西村 睦(物質・材料研究機構水素利用材料ユニット長、透過膜
材料グループリーダー、材料戦略委員会幹事)
- 17:00～17:05 閉会の挨拶: 中嶋英雄(日本学術会議会員、材料工学委員会副委員
長、若狭湾エネルギー研究センター所長)