

2009年2月7日

JABEEにおけるエンジニアリング・デザイン教育への対応 基本方針

認定委員会委員長 大中逸雄

エンジニアリング・デザイン能力の涵養は技術者教育を特徴づける極めて重要な要素です。これに対し、JABEEはワシントン協定への加盟審査の折に、『日本はエンジニアリング・デザイン教育が弱いのではないか』との指摘を受け、対応を求められました。そこで、JABEEは国際ワークショップの開催や、各学協会への協力要請、そして、「認定基準の解説」等の認定審査文書の関係個所に特に解説を記載するなどエンジニアリング・デザイン教育（以後「デザイン教育」と呼ぶ）の改善に努力して参りました。そして、教育機関を含む関係者の努力の結果、多くの改善がなされていると認識しております。しかし、さらなる改善に向けての努力が必要な事例も少なくありません。このことは、毎年公表している認定審査サマリーレポートでも指摘の上、さらなる充実改善をお願いしています。

これまでの認定審査の内容や最近の国内外の動向も考慮した結果、デザイン教育のさらなる充実を通じたわが国の技術者教育の質保証の動きを加速する必要があるとの結論にJABEEは達しました。そこで、今後（特に2011年以降）の認定審査にあたっては、デザイン教育に関して以下の観点を重視する方針と致しました。この方針に基づき、JABEEは認定審査文書等に必要な改定を施し、順次公表致します。デザイン教育に関連する審査項目、審査の留意点、審査の適用年度等の具体的な事項については公表後の各文書をご参照ください。しかしながら、各教育機関におかれましては、以下の観点を参考として、より一層のデザイン教育の改善、充実に向けた早めの取り組みをお願いいたします。

[デザイン教育の観点]

1. デザイン能力に関して具体的な達成目標を設定しているか。
2. 学生がデザインあるいは問題解決策についての学習体験をしているか。
3. 学生に以下のような能力を育成できる内容を含む複合的な課題を提示しているか。
 - (1) 解が一つでなく複数のアイデアを提示できる。

- (2) 大学で学ぶ複数の知識を応用できる。
 - (3) コミュニケーション力ならびにチームワーク力を発揮できる。
 - (4) 創造性が発揮できる。
 - (5) コスト等の制約条件について考察を行える。
 - (6) 自然や社会への影響（公衆の健康・安全、文化、経済、環境、倫理等）についての考察を行える。
4. 以下のような内容を含む達成度評価を実施しているか。
- (1) 解決すべき課題の内容を良く考えている。
 - (2) 制約条件を考慮したデザインあるいは解決策となっている。
 - (3) デザイン結果あるいは解決策を分かりやすく提示している。
 - (4) その他、各プログラムのデザイン教育に関連する学習達成目標を満足している。
(例えば、構想力／構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力／継続的に計画し実施する能力など)
5. 上記 2.～4.については、他の審査項目と同様に根拠資料が必要となりますのでご注意ください。

なお、卒業研究だけをデザイン教育として位置づける場合には、上記の観点を踏まえ特に以下の点にご留意ください。

- (a) 具体的に設定された共通の学習達成目標のもとで、履修生全員が上記の能力を育成できる内容となっており、達成度評価を行っているか。
- (b) 卒業研究のテーマは、上記の 3. に適合して設定されているか。特に、単に「なぜか」だけを追求するテーマ設定の場合、デザイン教育とみなせないと考えられます。

注) 参考資料として、デザイン教育の詳細を別添の「**エンジニアリング・デザイン教育の改善に向けて**」にまとめましたので、ご参照下さい。

2009年2月7日

エンジニアリング・デザイン教育の改善に向けて

認定委員会委員長 大中逸雄

1. エンジニアリング・デザインの定義

JABEE(日本技術者教育認定機構、Japan Accreditation Board for Engineering Education)が加盟しているワシントン協定(Washington Accord)とは、現在、米国、英国、カナダ、アイルランド、オーストラリア、ニュージーランド、香港、南アフリカ、日本、シンガポール、韓国、台湾のそれぞれの一つの認定機関が加盟し、それぞれの認定機関の学士レベルの技術者教育プログラムの適格性を認定審査するシステム(認定制度)が実質的に同等であることを相互承認する協定である。

ワシントン協定に加盟しているカナダの認定機関 CEAB(Canadian Engineering Accreditation Board)では、エンジニアリング・サイエンス(Engineering science)について、

Engineering science subjects normally have their roots in mathematics and basic sciences, but carry knowledge further toward creative applications. They may involve the development of mathematical or numerical techniques, modeling, simulation and experimental procedures. Application to the identification and solution of practical engineering problems is stressed. Such subjects include the applied aspects of strength of materials, fluid mechanics, thermodynamics, electrical and electronic circuits, soil mechanics, automatic control, aerodynamics, transport phenomena and elements of materials science, geo-science, computer science, environmental studies and other subjects pertinent to the discipline. In addition, the curriculum should include engineering science content which imparts an appreciation of important elements of other engineering disciplines.

と記述され、また、エンジニアリング・デザイン(Engineering design)について、

Engineering design integrates mathematics, basic sciences, engineering sciences and complementary studies in developing elements, systems and processes to meet specific needs. It is ***a creative, iterative and often open-ended process*** subject to constraints which may be governed by standards or legislation to varying degrees depending upon the discipline. These constraints may relate to economic, health, safety, environmental, social or other pertinent interdisciplinary factors.

The engineering curriculum must ***culminate in a significant design experience which is based on the knowledge and skills acquired in earlier course work and which preferably gives students an exposure to the concepts of team work and project management.*** A research project may be interpreted as ***engineering design*** provided it can be clearly shown that the elements of design, as noted in the definition, are fulfilled in the completion of the project.

Appropriate content requiring the application of computers must be included in the engineering sciences and ***engineering design*** components of the curriculum.

と述べられている。また、同じくワシントン協定に加盟している米国の認定機関

ABET(Accreditation Board of Engineering and Technology)では、エンジニアリング・デザインについて、**Criterion 3. Program Outcomes and Assessment**において、

c) An ability to design a system, component, or process to meet desired needs within realistic constraints such as economic, environmental, social, political, ethical, health and safety, manufacturability, and sustainability.

と記述され、**Criterion 4. Professional Component**において、

The professional component must include:

*(b) one and one-half years of engineering topics, consisting of engineering sciences and **engineering design** appropriate to the student's field of study.*

*The **engineering sciences** have their roots in mathematics and basic sciences but carry knowledge further toward creative application. These studies provide a bridge between mathematics and basic sciences on the one hand and engineering practice on the other.*

***Engineering design** is **the process** of devising a system, component, or process to meet desired needs. It is **a decision-making process (often iterative)**, in which the basic sciences, mathematics, and the engineering science are applied to convert resources optimally to meet these stated needs.*

と記述されている。以上から明らかなように、ワシントン協定では、エンジニアリング・デザインとは、

エンジニアリング・デザインとは、数学、基礎科学、エンジニアリング・サイエンス（数学と基礎科学の上に築かれた応用のための科学とテクノロジーの知識体系）および人文社会科学等の**学習成果**を集約し、経済的、環境的、社会的、倫理的、健康と安全、製造可能性、持続可能性などの現実的な条件の範囲内で、ニーズに合ったシステム、エレメント（コンポーネント）、方法を開発する創造的で、たびたび反復的で、オープンエンドなプロセスである。

と実質的に同等な内容のものを意味し、技術者教育プログラムの学習達成目標（学習到達目標、アウトカムズ）として最も重要視されている知識・能力として位置付けられている。

2. 米国大学におけるエンジニアリング・デザイン教育の事例

ABETの**Criterion 4. Professional Component**では、エンジニアリング・デザイン教育（注1参照）について、

The curriculum of engineering education culminates in a major design experience based on the knowledge and skills acquired in earlier course and incorporating appropriate engineering standards and multiple realistic constraints.

としているように、ABETの認定プログラムでは、数学、基礎科学、エンジニアリング・サイエンスおよび人文社会科学の**学習成果を集約した形で行う関係から、最終年次で卒業研究とは別に、行われる**。以下、米国のいくつかの大学でABETから6年（最長）の認定を受けているプログラムでのエンジニアリング・デザイン教育の例について紹介する。

1年次でエンジニアリングとは何かという内容の必須科目が設けられ、1年次～3年次に専門に係る数学、基礎科学ならびにエンジニアリング・サイエンスの科目が設けられている。これらの科目ごとの履修条件として、関連科目の単位を既に取得していることに加え、人文社会科学科目の単位を既に取得して、技術者倫理、エンジニアリング・エコノミクス、コミュニケーション能力等を身に付けることを求めている。4年次には、**卒業研究とは別に**、エンジニアリング・デザイン系科目（エンジニアリング・デザインとはどのようなものかの知識取得科目とエンジニアリング・デザイン実践経験科目、またはその合同科目）が必須で設けられている。特に実践経験科目では、学生を4、5名の**チームに分け**、チームごとに教員側のテクニカル・アドバイザーが付き、社会的ニーズに合った（人類のために役に立つ）方法、デバイス、システムなど（ハードウェアやソフトウェアを含む）の開発・実現が求められる**複合的な課題**について、チームワークで、**定められた期間内に**、

- ✓ 現実的な制約条件を満たす複数の解決策を創造的に考え出し、
- ✓ それらの解決策を少なくともコスト解析や倫理などの観点からも検討・評価し、妥当な解決策を選択し、具体的に解決する（目的のものを開発・実現する）

ことを**創造的に、たびたび反復的に、行うオープンエンドなプロセスを学習経験させるもの**としている。その際、その授業の締めくくりとして、全体の成果発表会を設け、場合によっては同窓会の協力を得て、グループごとに成果を発表させ、同時に、他のグループの成果を聞かせ、エンジニアリング・デザインに対する理解を深めさせる工夫もされている。このような成果発表会はコミュニケーション能力（効果的に報告書（注2参照）が書け、説明書をデザインでき、プレゼンテーションできる能力等）の増強に役立っている。

3. エンジニアリング・デザイン教育への JABEE のこれまでの対応と今後

～エンジニアリング・デザイン教育の改善に向けて

JABEE の認定基準ではエンジニアリング・デザインについて、『種々の科学・技術・情報を利用して社会の要求を解決するためのデザイン能力』と簡単に述べ、さらに、認定基準の解説で、『デザイン能力とは、単なる設計図面制作の能力ではなく、構想力、種々の学問・技術を統合して必ずしも正解のない問題に取り組み、実現可能な解を見つけ出していく能力』と述べ、ワシントン協定でのエンジニアリング・デザインの定義と実質的内容として同等であるとしている。

JABEE の認定プログラムでは、エンジニアリング・デザイン能力として必要とされる知識・能力の多くを（分野によって異なるが）卒業研究で身に付ける形のカリキュラム設計がなされていることが少なくない。JABEE のワシントン協定への加盟審査の折に、ワシントン協定側審査チームによって、卒業研究とその成果である卒業論文（実地審査で開示要求される資料の一つ）の内容の視察が行われ、（卒業研究担当の教員の専門の多様性と卒業研究テーマの多様性から、卒業研究は学生が個別のテーマについて個別に行われることが多いこともあってか）、『日本はエンジニアリング・デザイン教育が弱いのではないか』と指摘を受け、対応を求められた。

そこで、JABEE は「エンジニアリング・デザイン教育に関する国際シンポジウム」を開催し、エンジニアリング・デザイン能力について、

実際のデザインにおいては、構想力／課題設定力／種々の学問、技術の総合応用能力／創造力／公衆の健康・安全、文化、経済、環境、倫理等の観点から問題点を認識する能力、およびこれらの問題点等から生じる制約条件下で解を見出す能力／構想したものを図、文章、式、プログラム等で表現する能力／コミュニケーション能力／チームワーク力／継続的に計画し実施する能力などを総合的に発揮することが要求され、そのようなデザインの能力は内容・程度の範囲が広く、デザイン教育は技術者教育を特徴づける最も重要な要素であり、対象とする課題はハードウェアでもソフトウェア（システムを含む）でも構わない。

と意見を集約の上、『学部教育で最小限どの程度の能力を身に付けさせるか』について、今後、分野別要件や社会の要求などを考慮してさらに検討することが必要である、との結論になった。そこで、JABEE は当面、エンジニアリング・デザイン対象課題を卒業研究に含めることは容認する一方、プログラム運営組織に、デザイン能力を含む学習・教育目標との具体的な関連付けを求めることにした。ワシントン協定側の審査では、JABEE が国際会議の開催やこのような対応努力を行っていることが評価され、協定への加盟が認められた。

しかし、2011 年の JABEE のワシントン協定の加盟継続審査の折に、前回指摘を受けた事項についてはチェック項目となる可能性が高く、高等教育機関にとっても、JABEE においても、エンジニアリング・デザイン教育について目に見える形での改善対応が求められている。また、上記のようなエンジニアリング・デザイン能力の涵養はエンジニアリング教育にとって極めて重要であり、ワシントン協定への対応だけでなく、本質的な改善が望まれる。JABEE は、我が国の技術者（注3参照）の基礎教育の発展のために、また、ワシントン協定加盟継続のためにも、学士レベルのエンジニアリング・デザインが**創造的に、たびたび反復的に、行うオープンエンドなプロセスを学習経験させるもの**であることをプ

プログラム側に十分に認識してもらうこと、ならびに、**PBL 等でのエンジニアリング・デザイン系科目を中核とするモジュール（科目群）**でチームワークを発揮して挑戦させる米国の事例のようなエンジニアリング・デザイン教育実践例を推奨すること、の二点の必要性を強く認識している。なお、こうした教育実践は画一的な内容ではなく、実践例を参考にしつつ、独自性と創意工夫によって、同質なものの実施を推奨する意図である。

なお、上記シンポジウムで意見集約した知識・能力が、いずれかの科目の一部に含まれ、総体として学生が学習したことになったとしても、『エンジニアリング・デザインが上記の実践例のように一つのプロセスである』ことを確認する学習部分が欠けている教育は、『要素を知ったからといって、統合されたプロセスを知ったことにならない』という意味でエンジニアリング・デザイン教育としては不十分である、ということに留意する必要がある。

JABEE 認定プログラムならびにこれから JABEE 認定を希望するプログラムには、上記の状況を十分にご理解いただき、カリキュラム設計と教育の継続的な改善をお願いしたい(注 4 参照)。

注1：エンジニアリング・デザイン教育の文献

学士レベルに求められるエンジニアリング・デザイン教育のあるべきモデルとしては、分野により多様性があるので、たとえば、次の文献などを参考にすることも、望まれる。

1. The Engineering Design Process, Atila Ertas, Jesse C. Jones, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
デザインプロセス、デザインマネジメント、モデリングとシミュレーション、材料選択、経済性評価、最適化、信頼性、安全・環境配慮、倫理、コミュニケーションなど全て一通り入っています。機械分野向き、525 ページ
2. Engineering Design, George E. Dieter, McGraw-Hill, 1991.
有名な教科書ですが、機械設計が主、上記と同様に全て含む、721 ページ
3. Design of Devices and Systems, William H. Middenhof, Richard H. Engelmann, Marcel Dekker, Inc. 1998.
電気、システム分野向き、565 ページ
4. Engineering Design - A Systemic Approach, O-G.Pahl, W.Beitz, translated by K.Wallace, L.Blessing, F.Bauert, Springer, 1996.
機械システムが主、アイデアの出し方も記述、544 ページ。

注2：図1 エンジニアリング・デザインの成果報告の目次例

Final report of ---- Senior Design The University of Illinois at Chicago Department of ----- engineering Title: ----- system Prepared by: aaaaa, bbbbb, ... , ccccc E-mail: aaaaa@uic.edu, bbbbb@uic.edu, ..., ccccc@uic.edu Technical Advisor: Professor DDDDD ----- Table of Contents: 1. Introduction 2. Problem Statement and Solution (Introduction, Problem Statement, Possible Solutions, Our Design) (技術的、経済的、環境的、社会的、倫理的、健康と安全、製造可能性、持続可能性などの現実的な条件のもとでの可能な解と選択した解) 3. Technical Analysis (Introduction, Component Analysis) 4. Our Design's Results 5. Conclusion 6. Cost Analysis (including Hourly Budget) (解を求めるに当たって、使用部品の費用ならびにチームのメンバーごとの労働時間の評価) 7. References

注3：JABEEでの技術者の定義

JABEEでの技術者とは、「数理学、自然科学および人工科学等の知識を駆使し、社会や環境に対する影響を予見しながら資源と自然力を経済的に活用し、人類の利益と安全に貢献するハードウェア・ソフトウェアの人工物やシステムを開発・研究・製造・運用・維持する専門職に携わる者」と定義され、研究開発を含む広い意味での技術の専門職に携わる者であり、研究者も含まれると説明されている。

注4：修士教育課程でのエンジニアリング・デザインとしての参考

JABEEでは、修士課程の技術者教育プログラムの認定審査を2007年度から実施したばかりである。ワシントン協定では修士レベルの技術者教育プログラム認定はまだ開始されていない。イギリスでのエンジニアリング・デザインに求める修士レベルの内容や欧州のボローニアプロセス等の動きを視野に入れると、JABEEで求める修士レベルのエンジニアリング・デザインは、学士レベルのもの内容に加え、

- ✓エンジニアリング・デザインのプロセスについての知識と応用力を増加させ、
- ✓社会的ニーズを満たす新しいエンジニアリング・デザイン課題の構想力、設定力、解決力を身につけさせる

ものとなろう。しかし、その教育の内容とレベルは、今後、プログラム運営組織側とJABEE側で、国際的動きを注視しながら、模索されることになろう。