

# JABEE国際シンポジウム「海外の技術者教育認定の実例」

2013年1月18日

## 工学教育におけるデザイン教育の課題と スタンフォード大学のデザイン・スクールの挑戦

工学博士 篠田 庄司（早稲田大学招聘研究員）

中央大学名誉教授

電子情報通信学会名誉員・フェロー

日本シミュレーション学会フェロー

IEEE Life Fellow

# 目次

## 1 工学教育におけるデザイン教育の課題

スライド3～スライド19

## 2 スタンフォード大学のデザイン・スクールの挑戦

スライド21～スライド34

## 付録 共通に分かち合うべき予備知識

スライド36～スライド64

エンジニアリング活動は、エンジニア、テクノロジスト、テクニシャン、**職人**の協働活動

高卒4～5年の**工学教育**  
**エンジニア養成**

高卒3～4年の**技術学教育**  
**テクノロジスト養成**

高卒2～3年の**技能教育**  
**テクニシャン養成**

Washington Accord  
(WA)

Sydney Accord  
(SA)

Dublin Accord  
(DA)

Apply knowledge of mathematics, science, engineering fundamentals and an engineering specialization to **the solution of complex engineering problems.**

Apply knowledge of mathematics, science, engineering fundamentals and an engineering specialization to **defined and applied engineering procedures, processes, systems or methodologies.**

Apply knowledge of mathematics, science, engineering fundamentals and an engineering specialization to **wide practical procedures and practices.**

表現形式の共通化  
しかし、内容、レベルに  
差がある

**特徴部分**

2009年の最終案



2008年の段階の案: **the conceptualization of engineering models**



**conceptualize**

**conceptual**

**concept**

**conceive**

高卒4～5年の**工学教育**  
**エンジニアの活動**

**複合的なエンジニアリング問題**について、

公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境に適切に配慮しつつ、

定められた要件を満たす**解決策をデザイン**し、かつ、**システム、構成要素又は工程をデザインする活動を主とする**

高卒3～4年の**技術学教育**  
**テクノロジストの活動**

**大まかに示されたエンジニアリング・テクノロジー(技術学的)問題**について、

公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境に適切に配慮しつつ、

定められた要件を満たす**解決策のデザイン**、かつ、**システム、構成要素又は工程のデザインに貢献する活動を主とする**

高卒2～3年の**技術教育**  
**テクニシヤンの活動**

**明確に示された技術的問題**について、

公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境に適切に配慮しつつ、

定められた要件を満たすため**解決策のデザイン**、かつ、**システム、構成要素又は工程のデザインを補助する活動を主とする**

★ **デザイン**: IEAのGA/PCのGAPの

「③ **解決策の設計/開発**: **複合的なエンジニアリング問題**について、公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境に適切に配慮しつつ、定められた要件を満たす**解決策をデザイン**し、かつ、**システム、構成要素又は工程をデザインする**」の能力は、**米国の認定母体の**ABET-EACの工学教育プログラムの認定基準の学習到達目標で挙げられている次の二つの能力と、**‘複合的な’**の部分を除くと、実質的に等価である。

**項目(c)**「**経済、環境、社会、政治、倫理、健康と安全、製造可能性、ならびに持続可能性**などの現実的制約のもと、**システム、構成要素または工程を**、ニーズを満たすように、**デザインする能力**」

**項目(e)**「**エンジニアリング問題を把握し、定式化し、解決できる能力**」

エンジニアリング活動で直面するデザイン問題は、過去の設計と経験情報の再使用で、反復的に、解決策がデザインされることもあるが、一般的には、いくつかの困難が絡み合った複雑な問題、いわゆる複合的なエンジニアリング問題である。そのような問題では、困難を生じさせている部分の絡みを把握し、分解し、困難を克服すべき個別問題を定式化し、それぞれの個別問題の可能な解決策をデザインし、得られたすべての個別問題の解決策を統合的に組み合わせ、問題全体の効果的な解決策をデザインしなければならない。**解決策の設計/開発**の能力は、エンジニアリング活動での中核的能力である。

★ 我が国では、卒業研究と調和させる形で、国際的に通用するレベルのデザイン教育を設計し、学生に経験学習させることが求められている。

グローバル化の時代の現在、工業界では既に、“ものづくり”から“ことづくり”への、“こと・ものづくり”へのパラダイムシフトが求められている状況が生まれている。

工学教育においても、その状況に対応する意味で、システム・構成要素・工程(ハードウェア、ソフトウェア、それらの組み合わせ)である“もの”をデザインする教育から、『“こと”は“もの”によって実現され、“もの”によって実現される“こと”は複雑な価値連鎖を内包している』という考えで、“もの”をつくる前に、その“もの”はどのような“こと”を実現するものであるかを考え、“こと”とそれを実現する“もの”をデザインする教育へのパラダイムシフトが求められる状況が生まれている。

次の二つは、そのパラダイムシフトの促す情報である。

★ 東芝の常務から東大の監事になられた現在東京大学監事の有信睦弘博士が(株)東芝の顧問であったときに書かれた論説の「ものづくりからことづくりへー新たなイノベーション創出に向けてー」(化学と工業; vol.61-11, pp.1033-1034, November 2008)に、次の趣旨のことが書かれている。

『人々の「サービスへの消費」が「もの」への消費を上回ってから久しく、人々の関心は「もの」の豊かさから「心の豊かさ」に移っている。たとえば、PCや携帯電話は、メールやインターネットのブラウジングの手段となったとき、消費者は「もの」を手段として使い、「もの」を利用して、豊かさや価値を感じさせる「驚きと感動」という“こと”を得るといふ、「もの」が消費者にとって目的ではなく、“こと”を実現するための手段になっている。これは、「“こと”は“もの”によって実現され、“もの”によって実現される“こと”は複雑な価値連鎖を内包している」ことを意味している。産業界では、エンジニアリング活動で、“もの”を設計、開発するとき、“もの”の性能・機能を差異化するよりも、「人々や社会に、どのような豊かさや価値を、与えられるか」を考え、望ましい生活や社会をビジョンとして描き、人々の心の豊かさや生活の質を向上させる‘こと’を含め、人々や社会のニーズを満たす様々な“こと”を設計し、“こと”を実現するための“もの”の設計、開発、又はイノベーションを行い、それをもとに実現された“もの”と併せて、その“もの”によって実現される“こと”を提供するという捉え方が益々重視され、それによる価値連鎖を増大させることが期待されている。』

★ **経済同友会**のホームページで掲載されている、**対象を企業および経営者とする提言『世界でビジネスに勝つ‘もの・ことづくり’を目指して、～マーケットから見た‘もの・ことづくり’の実践～』**(2011年6月24日)では、

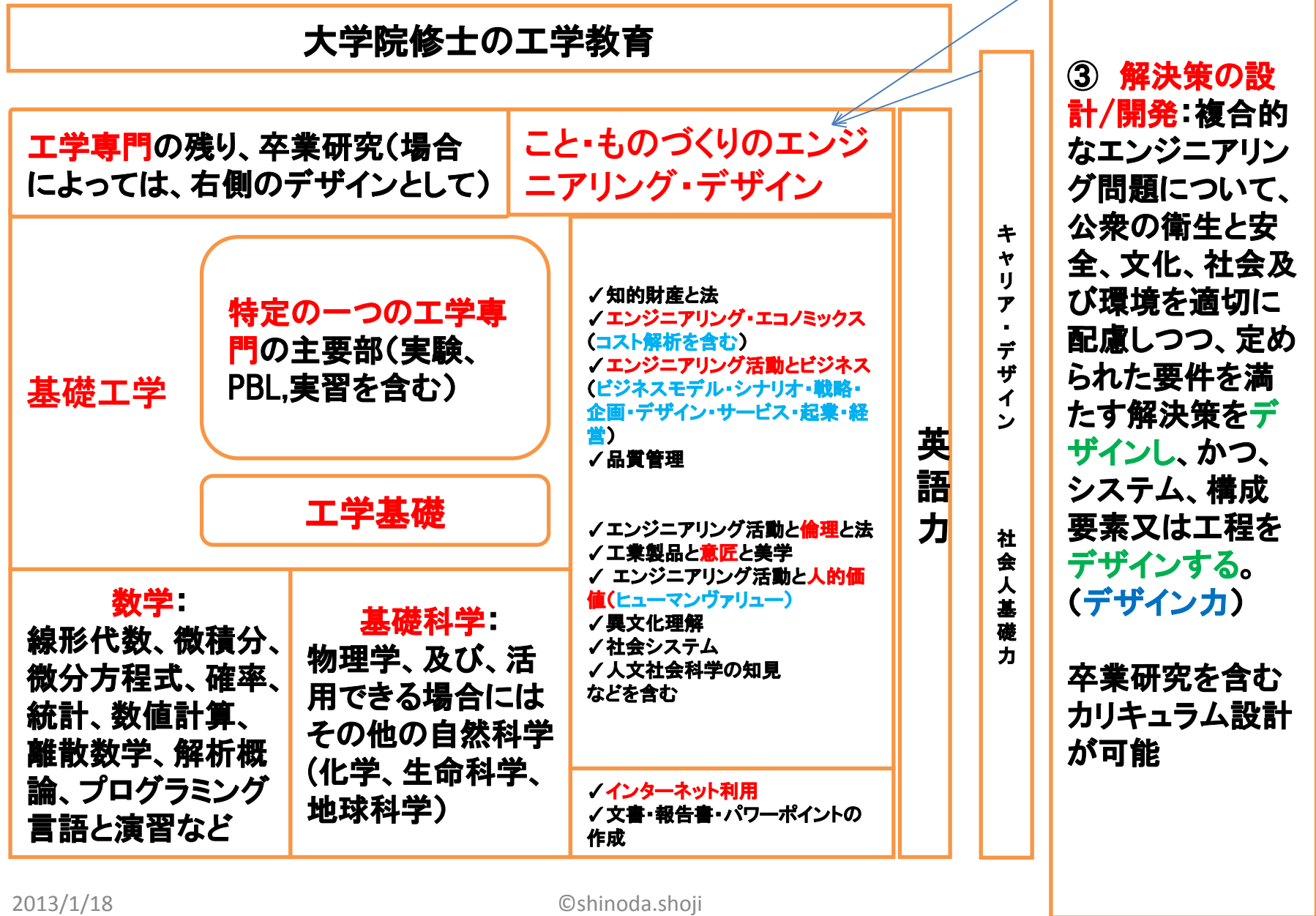
“**ことづくり**”とは、『顧客が本当に求めている商品は何か、その商品を使ってやってみたいことは何かを、そのマーケットに生活基盤を置き、現地の人と共に、感性を働かせて考えることで、真に求められている顧客価値を提供すること』である。また、『顧客以上に考え抜くことで、顧客の思いもしないようなプラスアルファの喜びや感動をつくりあげること』である。さらに、“**ことづくり**”とは、これまでの製造者視点での“**ものづくり(ビジネスの入口論)**”とは反対のマーケット側からの視点でものづくり・品質づくり・ビジネスづくり(ビジネスモデル・シナリオ・戦略・企画・デザイン・サービス)を見直す、**ビジネスの出口論**と言うべき概念である。また、これまでの強みであった日本にしか実現できない“**ものづくり**”(擦り合せ技術、高い安全・安心水準)を強化して、先端“ものづくり”領域における優位を確保すると同時に、製品にサービスを加えて価値創造型の競争力強化を行うことである』と説明されている。なお、企業での“ことづくり”人材の3要素とは、①**市場を理解し、顧客経験とビジネスモデルの双方をデザインできる能力**、②俯瞰的な視点で、市場の変化に対して臨機応変かつスピード感を持った対応ができる能力、③人を巻き込むリーダーシップと説明されている。また、企業での“もの・ことづくり”の基本3要素とは、①**世の中の当たり前のことにも疑問を持ち、社会をもっと良くしたいという思い**、②**情熱と粘り強さ**、③**チャレンジ心や旺盛な好奇心**と説明されている。



★ この二つの情報は、グローバル化するエンジニアリング活動が、数学、基礎科学、基礎工学、エンジニアリング・デザイン、並びに**一般教育的要素**[エンジニアリング・エコノミクス、エンジニアリング活動とビジネス、エンジニアリング活動と環境問題、エンジニアリング活動と倫理と法、工業製品と意匠と美学、エンジニアリング活動と人的価値(ヒューマン・ヴァリュー)、人文社会科学の知見などを含む]を応用し、**人々のニーズと、経済の発展および社会に対してのサービス供給のニーズに応える不可欠な活動で、“こと”とその実現である“もの”のデザイン教育**が必須的となり、それは、卒業研究と調和させる形のデザイン教育ともなる。

また、最近の欧米では、**エンジニアリング・エコノミクス**とか**テクノ・エコノミクス**という科目が工学教育のカリキュラムに必須的に組み込まれつつある。我が国では、その科目と類似なものが経営工学科で組まれているが、今後、そのような科目を、工学部での一般教育として共通に組み込むことを考えなければならない段階になりつつある。問題は、教科書と担当教員をどうするか？である。

★ 工学教育のカリキュラム構造の一例



★ **こと・ものづくり**のデザイン教育では、次の学習経験を積むことが核となる。

① 常に、望ましい生活や社会をビジョンとして描き、人々の心の豊かさと生活の質を向上させる“こと”を含め、人々や社会のニーズを満たす様々な“こと”を、経済、環境、文化、社会、政治、倫理、公衆の衛生と安全、製造可能性、ならびに持続可能性などの現実的制約を考慮し、**デザインし**、

② その“こと”の実現に必要な知識・方法を構造化・統合していくプロセスを**デザインし**、

③ その“こと”の実現である“もの”（システム、構成要素、工程；ハードウェア、ソフトウェア、または組合せ）を、現実的制約を考慮し、**創造的に**、（たびたび反復的に）、ニーズに適するように、**デザインし**、

④ 以上のあらゆる局面で直面する種々の問題（複合的なエンジニアリング問題を含む）の効果的な解決策も、**デザインする**。

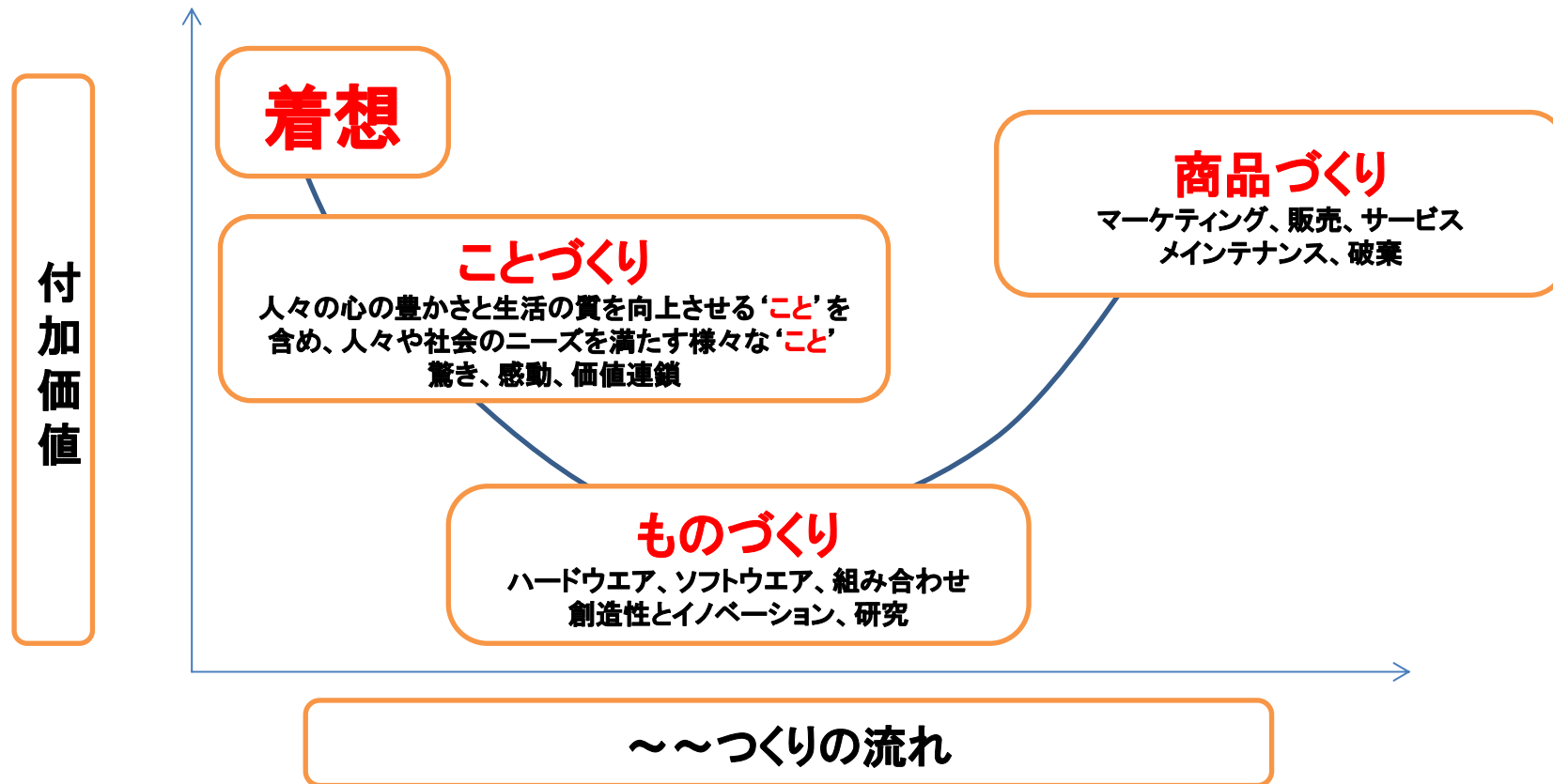
⑤ ③でデザインされた“もの”のプロトタイプ（試作品）をつくり、テスト・マーケティング（一部の人に試してもらい意見を聞くこと）などで試験・検証で問題点を洗い出し、問題点がなければ、プロトタイプ（試作品）で確認された“もの”の設計・製造仕様書を作成する。また、問題点があれば、それを解決し、その解決を反映させ、再デザインした“もの”のプロトタイプ（試作品）をつくり、問題点がなくなるまで繰り返す。

⑥ その設計・製造仕様書（最終的にデザインされた“もの”とその“もの”で実現される“こと”の情報を含む）とともに、その“もの”の試作品を、提供する。

設計・製造仕様書に従った“もの”の実際の製造は、一般的に、エンジニアの指揮監督の下、テクノロジスト、テクニシャン、職人とのチームで実践される。機能・性能・メカニズムが同じ“もの”でも、形、大きさ、色彩などの美学的要素、すなわち意匠(design)が消費者の好みに関係し、商品としての売れ行きに差を生んでいる。その意味で、意匠化もエンジニアリング・デザインの重要なファクターとなっている。エンジニアは、その活動で意匠デザイナーの協力を得るにしても、美学的要素の知見が要求される。ヘンリー・ダイアーは、明治初期に、エンジニアは幅広い教養を身に付けることが重要であると説くなかで、美術の鑑賞についても述べていた。(美学は、思考をすっきりさせ、心を安定化させる重要な要素。)

“もの”が実現する“こと”には複雑な価値連鎖を内包しているが、デザインする段階でのそれらの価値連鎖のすべてを想定することは難しく、“もの”を手に入れた消費者に、“もの”が実現する“こと”の価値説明[商品のライフタイム内のメンテナンス(有料、無料の明記)や破棄の場合の取り扱いの明記なども含む]やその“もの”を利用した価値ある生活モデルのストーリーのデザインを超え、思いもしないような豊かさや価値を感じさせる喜びや感動を生むことが多々ある。エンジニアは、望ましい生活や社会をビジョンとして描き、人々の心の豊かさと生活の質を向上させる‘こと’を消費者以上に考え抜き、消費者のニーズを先読みすることが求められる。“こと”とその実現である“もの”のデザイン教育が重要になって来ている。』(私自身は、このデザイン教育を、有信・篠田モデルと呼ぶ。)

★ 商品化の部分は、ビジネス化の担当であるが、これからのエンジニアの使命は、ことづくり⇒ものづくり⇒商品づくりの全体の流れを把握し、マーケティング・製品・ビジネスモデルの企画・概念設計も視野に入れ、“こと”と“もの”と“メンテナンス、破棄”の部分のトータルデザインを指揮統括することも含むことになると思う。



★ 工学教育でのデザイン教育では、**定められた期間内で**、エンジニアリング活動で直面する種々の技術的問題、工学的問題や他の問題、又は、それらの組み合わせ問題(複合的なエンジニアリング問題を含む)に対して、正解がなくとも、公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境を適切に配慮しつつ、定められた要件を満たす**効果的な解決策をデザインし**、かつ、**システム、構成要素又は工程をデザイン**することが求められている。

特に複合的なエンジニアリング問題に対して、チームを作り、ミーティングを繰り返し、メンバー相互の効果的なコミュニケーションを行い、**メンバーの能力の相乗効果**で、問題解決の困難性の原因となっている部分が適切に把握され、困難性克服のための効果的な解決策やイノベーションの創出のための「創造的で、新奇なアイデア」を発現できる場合がある。その際、そのような相乗効果による「創造的で、新奇なアイデア」の発現を**創発**(emergence)という。

# “こと・ものづくり”のエンジニアリング・デザインの位置づけ

科学技術学(“テクノロジー”)と科学技術  
feasibility: 実現可能性

エンジニアリング活動  
工学(広義の工学というべきか)

ビジネス  
viability: 実行可能性

エンジニアリング・デザイン  
Creativity and innovation:  
創造性とイノベーション

人的価値(human values)  
共感、理由付け、内省的思考、価値、倫理、…  
usability: 有用性、利便性、使用性  
desirability: 望ましさ

チームでのエンジニアリング・デザインは、有信博士の論説と経済同友会の提言を考慮すると、イメージ的に、前のスライドの黄色で示される部分に位置付けられる。そのデザインでは、**創造性やイノベーションの創出が求められるが**、その確立した学問がないことから、**その創出のための新奇なアイデアの発現確率を高めるために、方法論として、チーム内のメンバーの能力の相乗効果による創発が起きることを期待して、チームづくりがなされる。**その際、チームでのミーティングでの効果的なコミュニケーション・スキルが問題となる。大石加奈子著「エンジニアリング・ファシリテーション」(森北出版株式会社、2011年)を参照。 **スタンフォード大学デザイン・スクールでの試みもチームでの …… (後述)**

ところで、チームでのメンバーやチームにとって役に立つ思考として注目されているものに、**内省的思考**( reflection, reflective thinking, critical thinking;**リフレクション**、反省的思考、**批判的思考**)がある。それは**ワシントン州立大学の**デイヴィス(Denny C. Davis)教授らによって、エンジニアリング・デザイン教育の授業で、

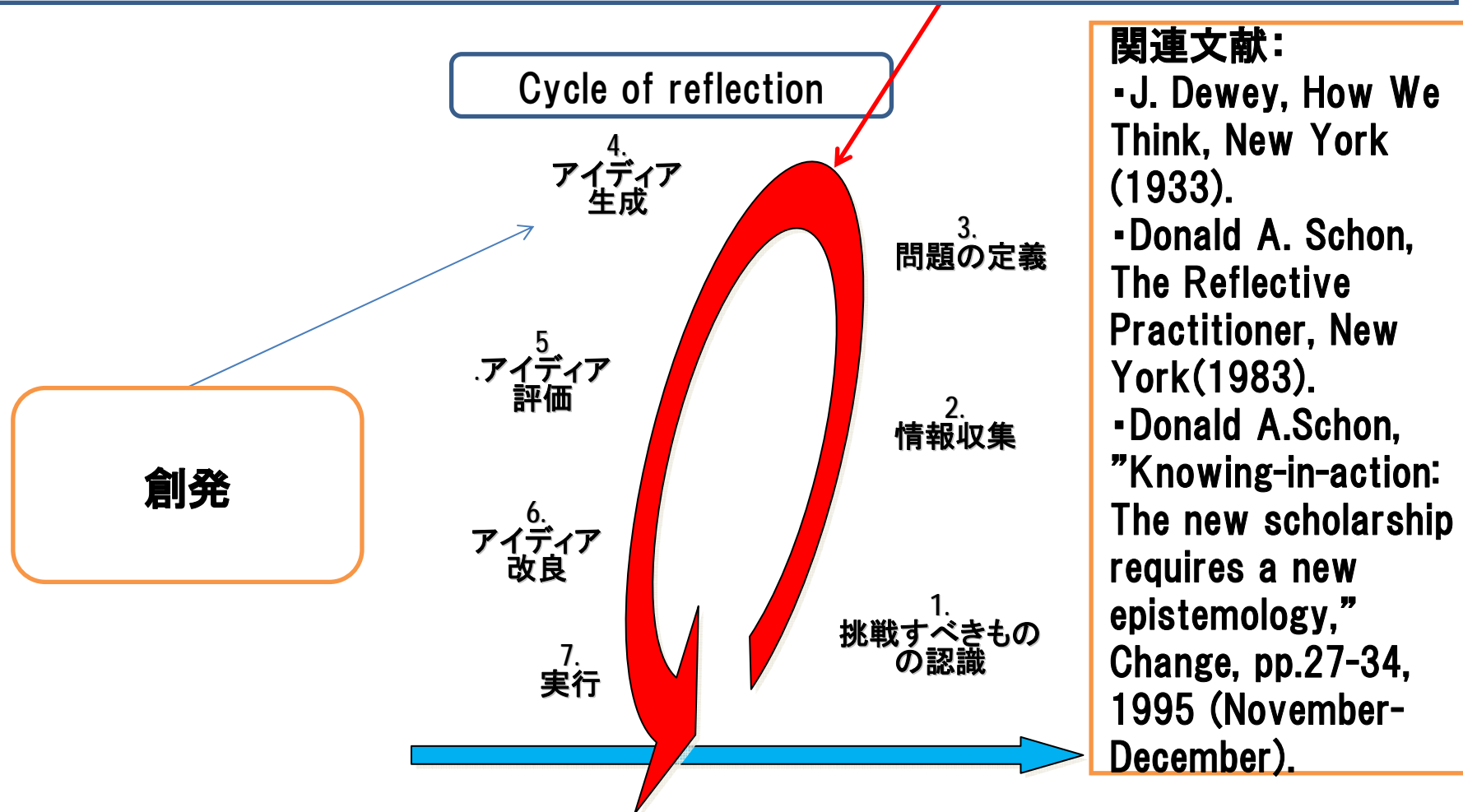


デザインの進捗状況とそれに携わるチームとその構成員である学生の学習状況をアセスメント・評価ツール(TIDEE)に用いられた。

その**内省的思考**とは、常に新しい問題に直面することに備え、過去の経験の再検討と自己研鑽で、知識を蓄積・整理し、能力を磨き上げ、「実際に新しい問題に直面したときに、挑戦すべきものを認識し、情報を集め、集めた情報を分析し、そのための解決すべき問題点を特定し、解くためのアイデアを種々生み出し、評価し、洗練し、アイデアを実施し、解決策を設計し、設計した解決策を実践する思考」である。その思考を繰り返すことを**内省的思考サイクル**(cycle of reflection)という。

**また**、様々な領域での実践活動の中で新しい問題(馴染でない問題や、複合的に絡み合った問題も含め)に直面したときに、経験によって過去に得た問題解決の知識、能力、手段、技法、技巧、スキルという実践的な知恵を駆使し、内省的思考を働かせることを**内省的実践**(reflective practice)という。

# 問題の解決策をデザインしたり、システム、構成要素又は工程をデザインするプロセスでの内省的思考のサイクル



## デイヴィスらのデザインツールTIDEEでの内省的思考のサイクル

デイヴィスは、**内省的実践**を、エンジニアリング・デザインにおいて、「挑戦的で、馴染みでない条件のもとで解決策を求め、問題解決を通して学習を前進させること」の意味で用い、それを、

➤ **リフレクション・イン・アクション**(reflection-in-action) : 「解決策開発や学習の過程で、どこでも、新しい問題に直面したとき、内省的思考(のサイクル)で解決に当たること」

➤ **リフレクション・オン・アクション**(reflection-on-action) : 「解決策開発や学習の過程で、主要な前進(進歩)をもたらした条件や状況を、批判的に分析し、蓄積し、次に同様な状況が生じたときに、より良い方法を選び、使うことができるようにすること」

に分けて、デザインの開始から終了までのデザインの過程で使い、デザインについての理解を学生に深めさせる効果を上げているとともに、学生の学習状況の把握とパフォーマンス(行動、態度、振る舞い)のアセスメント・評価で効果を上げている。

これらの概念は、デザイン教育だけでなく、工学教育だけでなく、社会に出てからも、役に立つ基本的な概念である。

# 目次

## 1 工学教育におけるデザイン教育の課題

スライド3～スライド19

## 2 スタンフォード大学のデザイン・スクールの挑戦

スライド21～スライド34

## 付録 共通に分かち合うべき予備知識

スライド36～スライド64

**以下は、JUNBA (Japanese Universities Network in the Bay Area) の JUNBA2013 の 2013 年 1 月 11 日の基調講演:**

**Educating Engineers and Scientists for the 21<sup>st</sup> Century**

**James D. Plummer, Dean,**

**Stanford School of Engineering**

**や同大学デザイン・スクールの見学とホームページからの情報に基づく。**

## ★ **スタンフォード大学デザイン・スクール** (Hasso Plattner Institute of Design at Stanford) **の概要**

- **設立** :2005年(David Kelley IDEO創設者兼CEO(当時))
- **学生数** :650名以上
- **学生の専攻** :7つの学科の大学院生なら受講可能  
(**学位を与えない**)
- **教員** :70名以上(大学・産業界の教員で構成される)
- **授業** :7クラス(2012秋-2013冬)(クラス規模は40名程度と25名程度、代表的な授業はDesign Thinking Bootcamp)

## ★ 21世紀における工学部の役割

- 1) 最も優れた、かつ最も頭のよい若者を引き付ける方法で**質の良い工科教育** (technical education) を提供する。
- 2) 学生に、いかに**起業家的**で、いかに**創造的**で、いかに**革新的** (innovative) であるかについて、**まったく別の観点で考えること**を、**教える**。
- 3) 既存の会社を刷新するか、新しい会社を生むことができる**科学技術**や**アイデア**を創造する。
- 4) 現役の専門職が容易に利用できる**進行中の専門職教育**を提供する。

工学部は歴史的には主に1)に焦点を当ててきた。これからは、上記のすべてに取り組む必要がある。

## ★ 21世紀のためのエンジニア/科学者の育成(1)

- 1)工学教育を刷新する — より多くの若者にどのように興味を持たせるか。
- 2)技術的能力を越える — 学生は、成功するために、他に何を知る必要があるか。
- 3)研究 — 大学はイノベーションの次の波を創造するために、何について取り組むべきか。

### 4)オンライン教育

- ・インターネット: 情報はいつでも、どこでも、インターネットで。今日の学生は問題の解決策に対して、まずインターネットを使って、概念などを理解している。
- ・実地的な、どの話題についてのクラス・ノートや講義も、インターネットで得られる。
- ・ソーシャル・ネットワーク・ツールは、学生が専門家や他の学生から助けを得るために、非常に役に立っている。
- ・職は、グローバル的で、予測不能で、生涯学習が不可欠となっている。
- ・科学技術は、変化が速く、イノベーションが勝利を導く。実践的エンジニアは大学や大学院に行ってセメスターやクオータの贅沢な履修で学ぶ余裕がない。

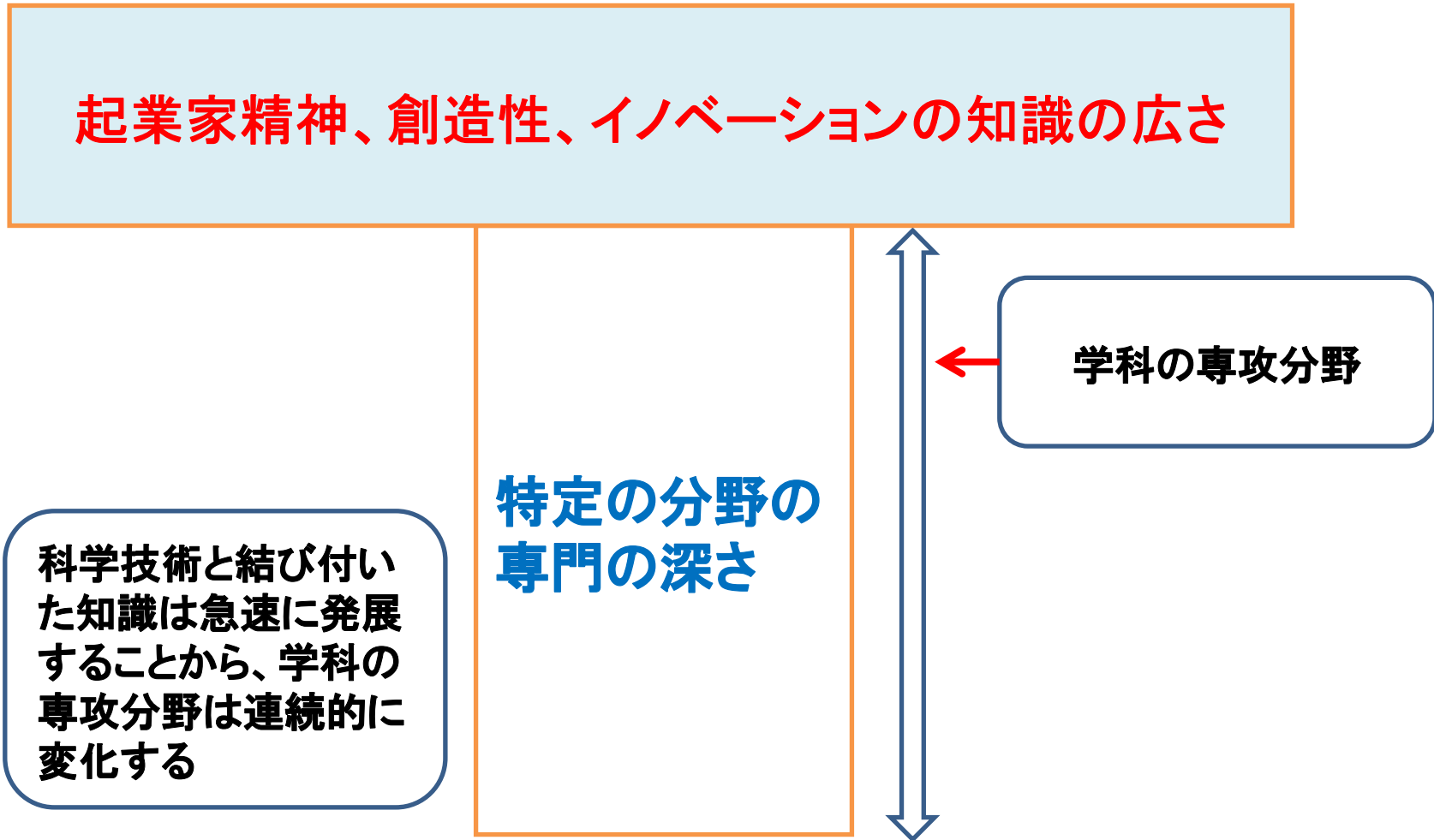


## ★ 21世紀のためのエンジニア/科学者の育成(2)

学生が必要とする重要なスキルとは何か？

- 特定の分野の専門の深さ
- 創造性とイノベーション
- 起業家的展望
- コミュニケーション能力
- ダイバーサな(男女、異なる専門分野のメンバーからなる)  
チームのメンバーとしてうまく働く能力
- グローバルな知識と経験
- 生涯学習への取り組み

# ★ 21世紀のためのエンジニア/科学者の育成(3) T型人間



★ 21世紀のためのエンジニア/科学者の育成(4) T型人間

この部分についてどう教育するか？

起業家精神、創造性、イノベーションの知識の広さ

学科の専攻分野

特定の分野の  
専門の深さ

科学技術と結び付いた知識は急速に発展することから、学科の専攻分野は連続的に変化する

## ★ スタンフォード大学デザインスクールの4つのビジョン

創造性やイノベーションの発現に関する学問がまだ確立されていないことから、方法論としての「パターン」を実践することでイノベーションの発生確率を上げる試みとして、デザイン思考を教える前提として、“こと・ものづくり”に関わる人材間での、相互の理解が無いところに必要とするアイデアの**創発**は起きないという認識で、コミュニケーション能力を十分に高めることが重要であるとし、チーム・ベースを基本とし、次の4つのビジョンを述べている:

1. 優れたイノベータ、リーダーは優れたデザイン思考の実践者である必要がある(と思う: we believe)。

エンジニアリング、医学、ビジネス、人文科学、教育における学生と教員が、デザイン思考を学ぶためのハブとして機能している。学生は、**デザイン思考の方法論**を別の新しい場所に適用し、新たな問題の解決を試みることが求められている。

2. デザイン思考は、イノベーションのための触媒であり、世界に新しき‘ものをもたらす(と思う)。

エンジニアリング、デザインの手法を活用するだけでなく、**芸術からアイデア、社会科学から道具、ビジネスの世界から洞察**を、これらの手法と結びつけている。またそれは、学生に対して、あらゆる分野において革新的な結果をもたらす方法論を身につけさせたいというモチベーションに基づいている。

3. 大きなインパクトをもたらすチームは、テクノロジー、ビジネス、人的価値の交差する場所(次のスライドの図の黄色の部分)において作用する(と思う)。

デザイン・スクールはスタンフォード大におけるこれらの領域における活動を結びつけ、決して交わらないエキスパートをチームとして交わらせることを狙いとし、実際に実現している。

4. コラボレーションをするコミュニティは、ブレークスルーをもたらす動的な関係を創り出す(と思う)。

コミュニティの多様性こそが、新たなイニシアチブを確立させ、独自の規範を統合すると考えられている。ラディカルなコラボレーションが、イノベーションのカルチャーを作り出すと考えている。

**コメント:**スタンフォード大学でのデザイン・スクールでは、IEA-GA/PCでの共通理解としてのエンジニアリング(活動)における「科学技術と結び付いた、確立した知識体系」の意味の**科学技術学**(“テクノロジー”)か、あるいは、通常の**科学技術(学)**、すなわち**科学技術**又は**科学技術学**の意味か、technologyの用語の使い方が明確でなかった。また、聞くわけにもいかなかった。

# デザイン・スクールでの**チーム**による エンジニアリング・デザインの位置づけ

科学技術と科学技術学(“テクノロジー”)  
feasibility: 実現可能性

ビジネス  
viability: 実行可能性

**チームによる  
エンジニアリング・デザイン**  
creativity and innovation  
いかに創造的で、いかに革新的であるかを、まったく別の観点で考える

人的価値  
Usability: 有用性、利便性、使用性  
desirability: 望ましさ

## ★ デザイン・スクールの授業について

授業カリキュラムは、デザイン思考のプロセスを教えることである。スクールでは、現実の社会問題に対して、利用者主体のイノベーションの提案を、**学生に教えている。**

また、学生に対して問題の解決策などを考えさせるだけではなく、**‘行動で学ぶ’**を基本姿勢としてプロトタイプを作成し、**テスト・マーケティング(プロトタイプについて一部の人に試してもらい意見を聞くこと)**などで試験・検証、問題を発見し解決していくプロセスをとっている。

ものづくりだけではなく、様々な問題解決の過程で応用できるプロセス

➤デザイン思考における7つの心構え：**言うのではなく見せる、人々の価値に焦点を当てる、明快な仕事、素早く形にする、過程に注意、行動第一、徹底的な協働**

➤デザイン思考の5つのステップ：**Step1 共感する - Step2 問題を定義する - Step3 アイディアを形にする - Step4 プロトタイプを作成する - Step5 テストする -**

をクラスの履修を通して実際に経験する授業をしている。

## ★ スタンフォード大学のデザインのハッソ・プラットナー研究所 (Hasso Plattner Institute)での、創造性とイノベーションについて

- **これを教えることができるか？ もしそうなら、どのように？**
- 通常の授業では教えない。
- 最も良い方法は、学生に、学生が以前に見たことのない複数の解決策を持つ‘大まかな(修正の余地を残した)問題を与える。
- 学生のコンテストは非常に効果的な方法である。
- グローバルなイノベーション・トーナメント（2007年から実施）

➤ **結論：** デザイン教育の最も難しいところは、困難な問題に直面したとき、創造的で、新奇なアイデアを生み出し、効果的な解決策をデザインし、システム、構成要素又は工程をニーズを満たすように、創造性を発現させ、イノベーションを引き起こし、デザインするところにある。それには、現在のところ、

①実際のプロジェクトで、②学際的なチームで、③ニーズ発見を第一に、④「早期に失敗、それもしばしば失敗、しかし、失敗から学ぶ

という方式を繰り返し、その経験で、学生が自身のイノベーションを引き起こす能力を実感し、確信することである。これは、我々の見解と共有するものであった。



## ★ むすび

デザイン・スクールの授業は単位を与えるものでないが、参加学生が、授業を通して、イノベーションを引き起こす能力を実感し、確信するだけでなく、異なる専門分野の人々との協働での喜びと感動と、未来に向けたプラスアルファの付加価値を得ているところが特に注目された。我が国の工学教育のエンジニアリング・デザイン教育の改革に、役に立つ示唆が多々あった。

なお、プラムマー氏の講演では、デザイン教育以外に、**起業家精神、マネジメント、ビジネスに関するスタンフォード・テクノロジー・ベンチャー・プログラム、大学はイノベーションの次の波を創造するために、何について取り組むべきかという研究、オンライン教育**についても、多くが述べられた。（なお、プラムマー氏の講演のパワーポイント・スライドのコピーは出席者に配られた。）

**最後に、JUNBAに参加する機会をつくっていただいた新潟大学副学長・理事の仙石正和博士に深く感謝する。**

ヴォルタ(Alessandro Volta;ボルタともいう)の電池の発明で、現在までに、電気・電子・情報通信・光の**電磁気学**、それを含む**物理学**が拡大され、それを含む**基礎科学**と**数学**の知識、その上に組み立てられた**工学基礎**と一つの**工学専門**の知識、その応用で開発された**科学技術**と**科学技術学**(“テクノロジー”)のすべての合目的な応用を含む活動の学問は**工学**といい、その中の電気電子工学とか、電子情報通信工学は、現代社会を支える、なくてはならない多くの先端的科学技術を提供するまでになった。しかし、いまなお、新しい電池の発明とイノベーションは最大の研究課題の一つである。



電池を発明したヴォルタの霊廟と博物館のVolta Temple (イタリア)とそれが湖畔にあるコモ湖(ミラノの北)

*Thank you*

# 目次

## 1 工学教育におけるデザイン教育の課題

スライド3～スライド19

## 2 スタンフォード大学のデザイン・スクールの挑戦

スライド21～スライド34

## 付録 共通に分かち合うべき予備知識

スライド36～スライド64

★ **ヘンリー・ダイアー**(Henry Dyer; 1848~1918)の**エンジニア像**: 1873年開校の**工学寮**(Imperial College of Engineering; **工部大学校**)の初代都検(のちに教頭と改称; 実質的な校長)のダイアーは、**エンジニア**とは、**その語源まで遡り、『いかなる問題であれ、その解決のために自己の創意を駆使することを意味し、その含意するものは非常に広い』**と述べ、(エンジニアは英国での既に知的専門職として確立されていた牧師、医師、法律家と並び得る、新しい専門職であるべきという考えで)『**エンジニアは学問を身に付けた専門職とならなければならない**』と述べ、学生に**エンジニア像**をイメージさせた。ダイアーは、『**エンジニアは、専門分野の基礎と専門の学力や、その実務での発現である実践力だけでは、不十分で、解決すべき種々の問題に対して、広い公正な考え方(今風では、広い視野で、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制約を考慮した考え方)で、解決策を考案する必要があり、(カリキュラムになくとも)、学生には各自、放課後や休日に、できるだけ時間を見つけ、**独自に(能動的に)勉学し、専門分野の学力や、その実践力に直接役に立たないような諸科学、文学や哲学や芸術などの広い教養も身に付けることが大切である**』という趣旨のことを注意喚起していた。ダイアーは、さらに、『**卒業後、エンジニアとなっても、一生、独自の学習(生涯学習)、経験ならびに実践の中で、専門分野の学力と実践力の充実とともに、社会での行動や振る舞いで、技術偏狭とみられないように、社会の一員として人間的に尊敬される広い教養を身に付けて行くべきである**』という趣旨のことを注意喚起していた。明治の一定期間、エンジニアは**工師**ともいわれた。**

★ **エンジニアの語源**: ラテン語 **ingenium** (英語: **inborn qualities, talent, cleverness, especially mental power, ability, genius**の意味: 生まれながらの資質、才能、賢さ、利口さ、特に、精神力、能力、発明の才)とか、ラテン語 **ingeniosus** (英語 **ingenious**: の意味: <発明品、装置、案などが> 創造的で、工夫に富む、精巧な; 又は <人が> 発明の才に富む、創意工夫に富む、策に富む、利口な)。それから中世のラテン語 **ingeniare** (英語 **contrive** の意味: <人が> <装置・器具など> を考案する、工夫して作る、<困難なこと> をどうにかする、巧みに処理する; 又は 英語の **devise** の意味: 人が <計画・方法・機械など> を工夫する、考案する、発明する) が派生。⇒ **それから** 中世のラテン語 **ingeniator** ⇒ 古フランス語 **engigneor** ⇒ 現フランス語 **ingénieur** (アンジェニール) が派生。この語の動詞の **s'ingénieur** (創意を駆使する、あらゆる才能を働かす、考案・工夫・発明するとか、行動を起こし、目的を達成するために、知性、知力、才能のすべてを発揮する)。/// 英国では、**ingenium / ingeniosus** ⇒ 古いフランス語 **engin** (アンジャン; 賢い発明品、戦争に使われる機械や仕掛け) ⇒ 中世の英語 **engin** ⇒ 英語 **engine** ⇒ 英語 **engineer** (巧みな兵器を発明し、取扱う人) ⇒ **1771年** になって **スミートン(John Smeaton)** が **civil engineer** という用語を最初に使い、市民に奉仕するエンジニアの役割を強調、そのとき、**civil engineering** も ⇒ **engineering** ⇒ フランス語 **ingénierie** が派生。/// **ドイツ** では、ラテン語と同じ語の **Ingenium** (インゲニウム: ラテン語から) と **Ingenieur** (インジェニエ-ア; フランス語から) が現在も使われ、ラテン語 **ingeniosus** に対する語の **ingenios** (創意に富んだ、創造的な、利発な、才気に満ちた; 英語 **ingenious** の意味) も使われている。 **engineering** の概念の語がない。

★**米国でのエンジニア**とは、4年制大学の工学部で使われていた代表的な教科書Introduction to Engineering (John Wiley&Sons, 2002)で、『4年制大学での工学教育で身につけた学士レベル以上の数学、自然科学、基礎工学、エンジニアリング・デザインの知識と能力を、社会に出てからも実践的活動のなかで、継続的に、能動的に、経験と学習を続け、拡大させながら、人類のために、自然力と資源(使用できる天然資源・材料等の他、時間・人員・予算等の資源も含む)を経済的に活用し、必要とされる‘もの’の**概念設計、研究、プロジェクト立案、製品開発、システム開発**などを**創造的に行い**、一生の間に幾つもの発明を行い、単独で仕事を行うこともあるが、**テクノロジスト**(technologist)、**テクニシャン**(technician)、**職人**(craftsperson)と一緒にチームで仕事を行うときには、チームの**イノベーションを創出する者(イノベータ)**であり、**設計者(デザイナー)**であり、**意思決定者**であり、かつ**リーダー**として活躍する者』という趣旨で、米国の州ごとの**PE(professional engineer)**の活動をイメージして、説明されている。

★ **職人**とは、典型的には中学卒業後、進学せず就職し、職場でのOJT等で機械、器具、装置等の操作法、稼働法、修理法の巧みな技能を磨きあげ、それを駆使し、エンジニアリング活動のチームの中では、設計によって仕様が定められている材料、製品や施設を造る巧みな作業ができる**技能者**。

★ **イノベーション**(innovation)とは、それまでのモノ、仕組みなどに対して、**全く新しい技術や考え方を取り入れて新たな価値を生み出し**、社会的に大きな変化を起こすこと。

★ **ワシントン協定**(Washington Accord; WAと略記)とは、米国で、1932年に、学協会が集まって設立された認定団体(民間組織)の**ABET**(Accreditation Board of Engineering and Technology)の**EAC** (Engineering Accreditation Commission)の**工学教育プログラムの認定審査システムと実質的に同等な認定審査システムを持つことを相互に承認する協定**である。

1989年に、米国の**ABET**と、英国、カナダ、アイルランド、オーストラリア、ニュージーランドのそれぞれにおいて、ABETと同様な工学教育プログラムの認定審査システムを持つ認定機関が集まって、設立し、設立後、既加盟認定団体の満場一致の承認を条件に、これまでに、香港、南アフリカ、**日本**、シンガポール、韓国、台湾、マレーシア、トルコ、ロシアの**エコノミー**(国または地域)の認定機関が一つずつ、ABETと同様な工学教育プログラムの認定審査システムを持つとして加盟が承認され、年ごとに、加盟を希望する認定団体を持つエコノミーが増えつつある。

我が国では、**JABEE**(Japan Accreditation Board of Engineering Education)が2005年にWAに加盟している。

★ **ABET-EACの認定基準EC**(engineering criteria;1996年～)での**学生の学習成果**(student outcomes:**学習到達目標**という)とは、4年制大学の工学教育プログラムで、学生が卒業のために卒業時点までに身に付けるべき能力として、次のa)~k)の能力に、プログラム独自に設定する能力を加えたものをいう。

- a) 数学、科学ならびに**工学基礎と工学専門**の知識を応用する能力
- b) 実験を計画し、行うだけでなく、データを解析し、解釈する能力
- c) **経済、環境、社会、政治、倫理、健康と安全、製造可能性、ならびに持続可能性などの現実的制約のもと、システム、構成要素または工程をニーズに合うように設計する能力（デザイン力）**
- d) いくつかの専門分野の人が結集したチームで働くことができる能力
- e) エンジニアリング問題を把握し、定式化し、解くことができる能力
- f) 専門職的かつ倫理的な責任に対する理解
- g) 効果的にコミュニケーションできる能力
- h) エンジニアリング活動による解決策の地球的かつ社会的な意味合いにおいてインパクトを理解するのに必要な幅広い教養
- i) 生涯学習に対する必要性に対する理解とそれを行う能力
- j) 現代の課題についての知識
- k) エンジニアリング実践に必要な**テクノロジー**、スキルならびに現代的、最新の工学ツールを利用する能力

なお、**工学**は、明治初期、engineeringの意味の『①**エンジニアの活動**（仕事、職を含む）、又は②**その活動のための学問**』の②の訳語とされた。1996年に主要8国立大学工学部が組織した「工学における教育プログラムに関する検討委員会」での検討結果、1998年に、工学とは、『**数学と自然科学を基礎とし、時には人文社会科学の知見を用い、公共の安全、健康、福祉のため有用な事物や、快適な環境を構築することを目的とする学問**』と定義された。



★ 工学教育認定協定のワシントン協定(WA)と技術教育認定協定のシドニー協定(SA)とダブリン協定(DA)、ならびに、専門職協定関係のエンジニア流動化協定とテクノロジスト流動化協定とからなる**国際エンジニアリング連合**(International Engineering Alliance;略して、IEA)では、2009年6月に京都で開催した国際会議、IEM Kyoto 2009で、6月18日に

**Graduate Attributes and Professional Competencies**( GA/ PCと略記)

(卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力)

という合意文書が承認された。

その文書では、教育に関して、従来のエンジニア育成教育(工学教育)、テクノロジスト育成教育(技術学教育)、テクニシャン育成教育(技術教育)の違いを、(理論的及び実践的な知識の種類と教育の広さと深さが異なるが、表現上)「数学、科学、エンジニアリング基礎、及び一つのエンジニアリング専門の知識を応用する」を**共通項**として、扱う問題の複雑さ、携わる活動の複雑さ、身に付けるべき知識と能力の深さと広さ、などについて、多くの項目について、比較対照表の形で、特徴付けられた。

**注:** WAで、そのすべての加盟認定団体の認定基準は**2019年までにGA/PCに調和する形に修正されることが求められている**。カナダの認定団体のCEABの認定基準は、GA/PCの内容先取りで、2008年に改訂された。調和化は、基準とその解説をセットにして、“**実質的に等価**”という線で、調整されると思われる。

エンジニアリング活動は、エンジニア、テクノロジスト、テクニシャン、**職人**の協働活動

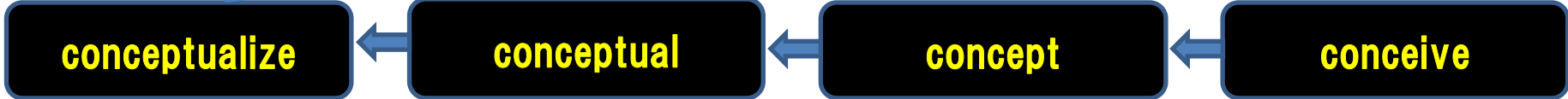
高卒4～5年の <b>工学教育</b> <b>エンジニア養成</b>	高卒3～4年の <b>技術学教育</b> <b>テクノロジスト養成</b>	高卒2～3年の <b>技能教育</b> <b>テクニシャン養成</b>
Washington Accord (WA)	Sydney Accord (SA)	Dublin Accord (DA)
Apply knowledge of mathematics, science, engineering fundamentals and an engineering specialization to <b>the solution of complex engineering problems.</b>	Apply knowledge of mathematics, science, engineering fundamentals and an engineering specialization to <b>defined and applied engineering procedures, processes, systems or methodologies.</b>	Apply knowledge of mathematics, science, engineering fundamentals and an engineering specialization to <b>wide practical procedures and practices.</b>
2009年の最終案		

表現形式の共通化しかし、内容、レベルに差がある

**特徴部分**

**着想**

2008年の段階の案: **the conceptualization of engineering models**



- ★ **エンジニアリング( engineering)**とは、GA/ PCにおいて
  - ✓ 人々のニーズを満たし、経済を発展させ、また、社会にサービスを提供するための不可欠な活動である。この活動を**エンジニアリング活動**ともいう。その英語は engineering、又はengineering activityである。
  - ✓ その活動には、「**数学**」、「**基礎科学**」、及び「**工学基礎と一つの工学専門の知識**」、「**テクノロジー**」、「**テクニーク**」の体系的な合目的な応用が含まれる。
  - ✓ その活動は、しばしば不確定な状況の下で、その効果が最大限得られると予想される**解決策を生み出す**ことが求められる。
  - ✓ その活動は、**便益をもたらす一方で、負の結果をもたらす可能性**がある。
  - ✓ それ故、エンジニアリング活動は、責任を持って、倫理的に、また、利用可能資源を効率的に使用しながら、経済的に、健康と安全を守りつつ、環境面で健全かつ持続可能な方法で、そのシステムが作られてから廃棄されるまでの全体にわたってリスクを全般的に管理しながら、行われなければならない。



- ★ **数学**(mathematics)とは、線形代数、微積分、微分方程式、確率、統計、数値計算、離散数学を含む。分野によっては、解析概論(複素関数論、フーリエ変換、ラプラス変換を含む)、プログラミング言語と演習、データ構造とアルゴリズムなども。
- ★ **基礎科学**(basic sciences)とは、**物理学**、及び、活用できる場合にはその他の**自然科学**(化学、生物科学、地球科学など)。自然科学とほぼ同義で使用。

★**工学基礎**(engineering fundamentals): **数学**と**自然科学**の知識を拡大して組み立てられた、エンジニアリング活動において直面する種々のエンジニアリング問題の解決策を設計するための、工学的概念や原理・原則を含む基礎理論、モデルと方法(モデリング、シミュレーション、数理科学的方法(技法)、計測、実験法などを含む)の知識で、工学専門の知識基盤となるもの。

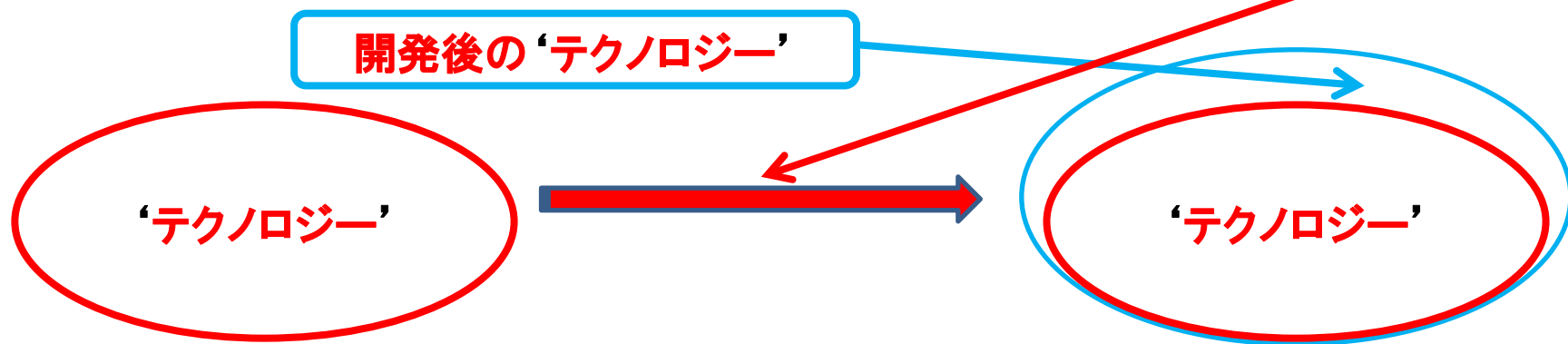
★**工学専門**(an engineering specialization): 工学の主要な分野である、たとえば、電子情報通信工学の専門特化された知識・能力として、工学基礎を拡大し、応用し、組み立てられた種々の専門的知識と方法の体系と理論的枠組み。

★**‘テクノロジー’**とは、engineering technologyの意味のtechnologyの訳語で、『エンジニアリング活動において一群の実際的な応用を可能にするツール、‘テクニック’(特定の分野において、特に応用科学において、用いられる特別な手順、やり方、方法)、用具、材料、システム、構成要素、又は工程と結び付いた、確立した知識体系(an established body of knowledge)』の意味である。その開発と効果的な応用は、工学基礎と一つの工学専門の知識とエンジニアリング活動を担う専門職的力量(知識・能力)に依存する。

ところで、**科学技術**とは、大辞林(第三版;三省堂)での「技術」の項で、『(自然に人為を加えて人間の生活に役立てるようになる手段のために開発された**科学**を実際に応用する**手段**』と説明されている。この**科学技術**という用語を用いると、**‘テクノロジー’**の説明文中の「エンジニアリング活動において一群の実際的な応用を可能にするツール、‘テクニック’、…、又は工程」は**科学技術**ということが

でき、‘テクノロジー’とは『**科学技術**と結び付いた、確立した知識体系』ということができる。ここに、「確立した知識体系」とは特定の目的のための伝承可能な形に学問化された知識体系で、一つの特定の学問ということができるから、‘テクノロジー’とは、「科学技術と結び付いた、学問」で、すなわち科学技術のための学問という意味で、**科学技術学**ということができる。この**科学技術学**は、大辞林での「技術」の項での**科学技術**の説明文中の「…手段のために開発された**科学**」という「確立した知識体系」と実質的に同義と解釈される。なお、科学技術は、ハードウェア、ソフトウェア、または組合せの手段である。

既存の個々の**科学技術**には、その開発のために用いられた知識とともに、それが何のための目的のものか、また、その使い方、使用範囲(条件)、機能・性能、形・メカニズムなどの情報が付随し、それらが整理・分類され、体系された知識体系(学問)が、既存の**科学技術**の全体と結び付いた‘テクノロジー’(科学技術学)である。‘テクノロジー’の開発と効果的な応用は**工学基礎と工学専門の知識の応用とエンジニアリング活動の専門職的力量(知識・能力)**で



**注：** **技術**という用語は、最初、明治初期の西周(にし・あまね)著の「百学連環」(1870-1871年)で、**科学**、**哲学**(←**希哲の学**)、**芸術**、**学術**の用語とともに、**mechanical art**、**science**、**philosophy**、**liberal art**、**science and art**のそれぞれの翻訳語として、造語された。当時は、科学は力学、物理学、ならびに化学の自然科学を意味していた。

ドイツ語の**Technologie**(テヒノロジー)は、1772年に、ドイツのゲッチンゲン大学のヨハン・ベックマン(Johann Beckmann)教授によって、**新しい知識領域として**、「ある目的をもって考案されていた道具などの**手段**とそのための**知識**について分類・整理された体系的目録」という内容の**技芸史**(Kunst Geschichte)という科目の名称変更で提唱された科目である。それが英語のtechnologyとなり、手段(道具、機械など)という技術のための知識体系の意味の学問の**技術学**となった。**科学技術学**は、技術が科学技術である場合の技術学である。

現在、technologyは、マクミラン英語辞書では、『**実際的目的に対して、特に工業において、用いられる最新の科学的知識**』と説明されている。これは、‘**テクノロジー**’ (科学技術学)の意味の範疇の説明である。

**ところが**、オックスフォード上級学習者辞書では、『① たとえば、新しい機械の設計の場合のように、**工業において実際に役に立つ手段に用いられる科学的知識**、又は、②**その知識を用いて設計された機械・器具**』と説明され、①は‘**テクノロジー**’ (科学技術学)の意味の範疇にあり、②の**機械・器具**は**科学技術**の意味の範疇にあり、訳語としては‘**テクノロジー**’と**科学技術**となる。

また、ケンブリッジ上級学習者辞書では、『**科学的発見の実際に役に立つ、特に工業的な、利用(の学問と知識)**』と説明され、ケンブリッジ学習者辞書では、『**科学と工業において用いられる知識、器具、方法**』と説明され、訳語としては‘**テクノロジー**’（科学技術学）と**科学技術**となる。

中国では、理工学分野でのtechnologyの訳語は**技術学**又は**技術**とされている。

我が国では、研究社中辞典を含め多くの英和辞書では、technologyの主な訳語として、**科学技術**とテクノロジーが用いられているが、テクノロジーが‘**テクノロジー**’（科学技術学）の意味であるか、説明されていない。しかし、上記のオックスフォードやケンブリッジの辞書からは、テクノロジーが‘**テクノロジー**’（科学技術学）の意味であることになる。また、science and technologyの訳語として**科学技術**が用いられることがあり、**科学技術**の用語を含む文ではその文脈からどちらの意味で用いられているか判断しなければならないことになる。また、technologyの訳語として、industrial technologyの訳語としての**工業技術**とか**産業技術**が載せている英和辞書もある。さらに、我が国では、技術の**術**には、**学問**の意味もあることから、**技術**は、技術学の意味も含めて、用いられることがあり、科学技術は、科学技術学の意味も含めて、用いられることがある。その～学の意味が含まれているかについては、文脈での使われ方で判断される。我が国では、技術や技術の付く用語は、engineer, technologist, technicianの訳語も含め、曖昧な意味で使われている。**その意味で、IEAの合意文書GA/PCは、国際的通用性が問われている我が国の工学教育界で、今後の改革と関連して、重要な意義を持つ。///(注終)**

★ **基礎工学**(engineering sciences;エンジニアリング・サイエンス)とは、工学の、数学、基礎科学(自然科学)、一般教育(人文社会科学、芸術、健康科学、など)を除く、数学と物理学、及び、活用できる場合にはその他の自然科学、に由来する**工学基礎**を包含し、かつ、複数の**工学専門**にそれらの基礎となる知識を提供することにより、応用につなげ、及び問題を解決するために知識を広げ、モデル化とその方法を発展させる学問である。カナダの工学教育プログラムの認定母体のCEABの認定基準では、同様な説明とともに、**電気・電子回路、自動制御、コンピュータ科学**、環境科学、材料科学の要素、材料力学の応用的側面、熱力学、流体力学、空気力学、移動(輸送)現象、地質科学、土質力学などを含むと説明されている。

★ GA/PCでの**複合的なエンジニアリング活動**(complex engineering activities):**複合的な活動**とは、以下に示す特性のいくつか又は全てを含むエンジニアリング活動やプロジェクトのことである:

- ✓ 人材、資金、機器、材料、情報技術などを含む多様な資源の使用を必要とする。
- ✓ 広範囲な又は相対立する、技術的問題、工学的問題、又は他の問題の間の相互作用で発生した重大な問題に対する解決が求められる。
- ✓ 工学原理や研究ベースの知識を、新奇な方法で創造的に使用することに関わる。
- ✓ 社会及び環境に対する結果の予測や軽減が困難な状況下で、重大な結果をもたらす。
- ✓ 原理ベースの取組をすることによって、過去の経験を超えて広げることができる。



★ GA/PCでの**複合的なエンジニアリング問題**(complex engineering problems; ほとんどの場合正解がなく、効果が最大限得られると予想される解決策しか探求できない、困難性が複合的に絡み合った問題で、複雑系の問題ともいうことがある):

エンジニアリングの活動で直面する問題で、次のいくつかまたはすべての特徴を内在すると述べられている:

- ✓ 広範囲な又は相対立する、技術的問題、工学的問題、及び他の問題を含んでいる。
- ✓ 明白な解決策がなく、適切なモデルを考案するための解析に、抽象的思考と創造性が求められる。
- ✓ 多くが専門分野の最先端にある又はその情報に基づく、そして、基本に帰り原理に立った分析アプローチを可能にする研究ベースの知識を必要とする。
- ✓ めったには直面しない問題を含んでいる。
- ✓ 専門職のエンジニアリング活動の基準や規範で成し遂げられる問題の範囲を超えている。
- ✓ 広く異なる要求を有する多様な利害関係者の集団を含む。
- ✓ 様々な面で重大な結果をもたらす。
- ✓ 多くの構成要素又は下位の問題を含むハイレベルな問題である。

★ GA/PCでの**知識表**(Knowledge Profile; KPと略記:工学教育で学生が卒業時点で学士レベルとして身に付けるべき知識を示す表)

- ①工学の専門分野に適する**自然科学の体系的、理論ベースの知識**
- ②当該分野に適する解析とモデル化のための**概念ベースの数学、数値解析、統計、確率、通常の範囲のコンピュータと情報科学(離散数学を含む)の知識**
- ③当該分野に必要とされる体系的な、**理論ベースで系統立てられた工学基礎の知識**
- ④当該分野での実践のための種々の知識体と理論的枠組みを与える**工学専門の知識**
- ⑤当該分野の実践領域での**エンジニアリング・デザインを支える知識**
- ⑥当該分野の実践領域での**エンジニアリング実践の知識(テクノロジー)**
- ⑦社会でのエンジニアリング活動の役割、専門分野でのエンジニアリング実践における諸課題の理解(公衆の安全に対するエンジニアの**倫理と専門職的責任**; **エンジニアリング活動のインパクト**; 経済的、社会的、文化的、環境的及び持続可能性を考慮できる**人文社会科学的知識**)
- ⑧当該分野の**研究文献における精選された知識(への取り組み)**

(⑦に関係し、我が国では欧米で注目されている**エンジニアリング・エコノミクス、エンジニアリング活動とビジネス、人的価値**などへの教育対応が課題、⑧では、我が国では**卒業研究があることが幸いとなったのではないか**)

★ GA/PCでの**卒業生としての能力表**(Graduate Attributes Profile; GAPと略記): プログラム運営組織側は、GAPでの能力が学生にどの程度まで身に付いたかどうかを知るために、

- **アセスメント**(根拠となるデータを同定し、集め、準備する一つまたは複数のプロセス)と
- **評価**(アセスメント・プロセスを通して集積されたデータを解釈する一つまたは複数のプロセス)

を行うことが求められる。

効果的なアセスメントには、測定される能力にふさわしい、関連する直接、間接、量的、質的測定が用いられる。その際、ふさわしいサンプリング法がアセスメント・プロセスの部分で用いられる。アセスメントと評価は、教育の国際化で、必要になりつつある。以下の記述で、「～する」など**動詞**で文末が表されているのは、能力などを測る**ルーブリック**における**パフォーマンス**(行動、態度、出来栄など)を見極める**基準**や**因子**の記述語に用いられることを考えてのものである。

GA/PCでの「工学教育で学生が卒業時点で学士レベルとして身に付けているべき能力」:

- ① **工学知**(engineering knowledge:理論的及び実践的な知識の種類と教育の広さと深さ):数学、**科学(基礎科学)**、工学基礎、ならびに一つの工学専門の知識を、複合的エンジニアリング問題の解決策へ、**応用する**。(工学知力)
- ② **問題分析**:数学、**基本的科学**、**基礎工学**の知識の基本原理を用いて、複合的なエンジニアリング問題を、確実な結論に至らせるべく、**同定、定式化、文献調査、分析する**。(分析力)
- ③ **解決策の設計/開発**:複合的な**エンジニアリング問題**について、公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境を適切に配慮しつつ、定められた要件を満たす解決策を**デザイン**し、かつ、システム、構成要素又は工程を**デザインする**。(デザイン力)
- ④ **調査**:研究ベースの知識と研究方法を用いて、複合的な課題を**調査する**。(なお、その知識と方法は、実験計画、データの分析と解釈、説得ある結論を与える情報の統合を含む)(調査力)
- ⑤ エンジニアリング活動のための**ツールの利用**:複合的なエンジニアリング活動に対して、限界を理解しつつ、適切な技法、資源、最新のエンジニアリング・ツールとITツールを**創造し、選択し、応用する**。(ツール利用力)
- ⑥ **エンジニアと社会**:エンジニアの専門職的実務に付随する、社会、衛生、安全、合法、文化等の諸課題とそれらに伴う責任をアセスメントするために、関連の知識に基づく論証を、**適用する**。(社会対応力)

- ⑦ **環境と持続可能性**: 専門職的なエンジニアリング活動による解決策が及ぼす社会や環境へのインパクトを**理解し**、持続可能な発展についての知識とその必要性について**具体的に示す**。(インパクト理解力)
- ⑧ **倫理**: 倫理的原則(行動規範)を適用し、エンジニアリング実践の専門職的倫理と責任と規範を**守る**。(倫理・責任力)
- ⑨ **個人及びチームワーク**: 個人として、チームメンバーとして、あるいはリーダーとして様々なチーム(**共通の目的を有する集団**)や異分野にまたがるチームの中で有効に機能(役割, 役目)を**果たす**。(チームワーク力)
- ⑩ **コミュニケーション**: 複合的なエンジニアリング活動に関して、報告書や設計文書の理解と作成、種々の発表、明確な指示の授受等を通じて、エンジニアリング活動関係者や広く社会と効果的に**コミュニケーションを行う**。(コミュニケーション力)
- ⑪ **プロジェクト管理と財務**: エンジニアリングとマネジメント原理についての知識と理解を**具体的に示し**、それらを、異分野間でプロジェクトをマネジメント(管理)するために、チーム・メンバーおよびチーム・リーダーとして、自身の仕事に**応用する**。(プロジェクト・マネジメント力)
- ⑫ **生涯継続学習**: 広範な技術変化の可能性の中で、自主的に生涯にわたって学習する必要を認識し、準備し、取り組む能力を**持つ**。(生涯学習力)

★ 4年制大学のWA加盟の認定団体に認定された工学教育プログラムの**学士レベル**とは、そのプログラムで卒業時点までに身に付けた知識・能力が、卒業生となった後も、それらの基盤の上に、常に能動的学習を継続し、エンジニア(engineer)としての自立した活動に必要な知識・能力の育成に向け、卒業後の実務での**修習**(formative development)を続けられることを可能にするレベルである。大学の4～5年の工学教育では、学生は

- ✓KPでの知識
- ✓GAPでの能力(**学習到達目標, 学習成果**という)

を、卒業時点までに、**学士レベル以上**で身に付けることが求められる。

★ **修習の基本的な目的**は、卒業生が、教育によって培われた基盤の上に、エンジニアリング活動の実践者とともに働き、助手的役割から始め、もっと独立して又はチームとしての責任を負う役割を担うまでになり、その知識・能力が**エンジニアとして登録**に必要なとされるレベルであることが示せるまで向上させることにある。ひとたびエンジニアとして登録した後は、エンジニアリング活動の実践者として知識・能力を維持し、向上させ続けなければならない。エンジニアにとって、次の段階は、様々な国又は地域で提供される**国際登録資格**を持つことである。加えて、エンジニアは、その後もそれぞれの仕事を続ける期間にわたって、知識・能力を維持し向上させることが求められている。

★ **ABETの工学教育のカリキュラム設計の要件(認定基準):**

(a) 専門分野にふさわしい学部レベルの**数学と基礎科学**の組み合わせの一年分の教育

(b) 学生の学習分野にふさわしい**基礎工学**と**エンジニアリング・デザイン**からなる工学的トピックスの一年半分の教育

(c) カリキュラムの上記の教育内容を**補完し**、プログラムと教育機関の両方の目的と調和する人文社会科学の知見を含む、**一般教育的要素**の教育

なお、**1年分**とは、32セメスター時間(又は等価な時間)、又は卒業に必要な総単位数の四分の一の少ない方である。

★ **エンジニアリング・デザイン**(engineering design)とは、ABETの認定基準では、『システム、構成要素、又は、工程(ハードウェア、ソフトウェア、又は組み合わせ)を、特定のニーズを満たすように、**工夫・考案するプロセス**である。それは、上記のニーズを満たすように、資源を最適に改変すべく、**基礎科学、数学、基礎工学**を応用する(しばしば反復的な)**意思決定のプロセス**である。』と述べられている。そのプロセスを達成させる統合力を**デザイン力**という。

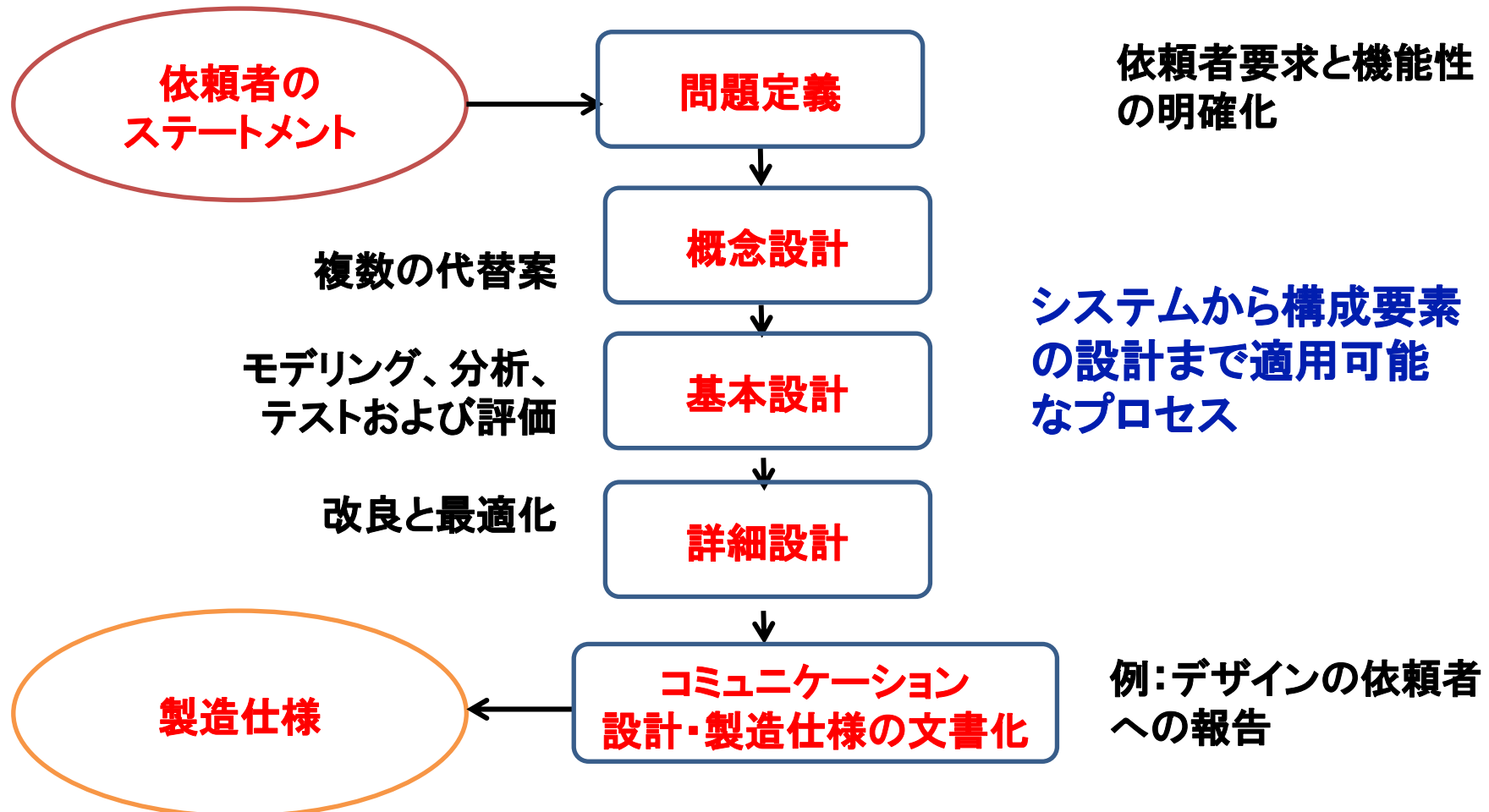
★ **エンジニアリング・デザイン知識**(engineering design knowledge)とは、エンジニアリング実践においてエンジニアリング・デザインを支える知識。これには規範、基準、工程、経験情報、及び過去の設計から再使用される知識を含む。

★ **一般教育的要素**(general education components)とは、ABET-EACでの学習到達目標でのc)の経済、環境、社会、政治、倫理、健康と安全などの人文社会科学的知見、特に、エンジニアリング活動に携わる者の責任と倫理、欧米で最近必須的になりつつある**エンジニアリング・エコノミクス**(コスト解析を含む)、**ビジネス関連**(ビジネスモデル・シナリオ・戦略・企画・デザイン・サービスなど内容)を含む幅広い教養だけでなく、f)、g)、h)、i)の能力・知識、インターネットなど情報機器の利用力、英語力、異文化理解、**社会人基礎力**(前に踏み出す力、考え抜く力、チームで働く力の三つの能力)などの**アップのための科目群**の内容；**また**、IEAのGA/PCでは、KP(知識表)での、社会におけるエンジニアリング活動の役割と、当該専門分野内でエンジニアリング実践に関して確認されている諸問題の理解(エンジニアの倫理及び公共の安全への責任；エンジニアリング活動の経済、社会、文化、環境及び持続性への影響などの理解)を含め広く公正な考えでの決断と実行を可能にする人文社会科学的知見などの科目群の内容を含む。

★ 工学の用語を用いると、**エンジニアリング(活動)**(engineering、engineering activity)は、『**工学とその応用力を知識・能力・行動の中核とする専門的活動**』といい、**エンジニア**とは、『**工学とその応用力を知識・能力・行動の中核とする専門的活動を担う職業人**』ということができる。



## ★ エンジニアリング・デザインの一般的プロセス



adapted from Clive L. Dym & Patrick Little, Engineering Design, John Wiley & Sons, 2009

## ★ デザインのプロセス例

米国の大学で、「依頼主のニーズを満足する製品とか工程を、制約条件下でデザインする」を課題として、

- 1) 依頼主のニーズと制約条件を明確にした**設計仕様**を作る。
- 2) 上述の課題に対する**複数の解決策**を**考案**し、それらの解決策を**評価**し、**妥当な解決策**を**選択**することにより、**概念設計**を行う。
- 3) 適切な設計ツールと方法論を**用い**、**基本設計**、**詳細設計**をする。
- 4) 製品や工程の設計仕様に無駄や過剰がないか**テスト**し、**洗練**する。
- 5) 最終的な製品や工程を試作し、あるべき制約に対して標準的な形で適合していることを**文章**で示す。
- 6) 製品や工程の試作品、関連文書(品質・機能・コストを含む)を依頼主に**説明**し、**引き渡**す。

の能力を学生に身に付けさせるデザイン教育を行っているところもある。

ここに、「～する」など**動詞**で文末が表されているのは、能力などを測る**ルーブリック**における**パフォーマンス**を見極める基準や因子の記述語に用いられることを考えてのものである

★ ABET-EACの基準で、**デザイン教育のカリキュラムでの位置づけ**について、『4年次にシニア・デザインとかキャップストーン・デザインというデザイン科目(4～6単位)を設け、それまでの学習で身に付けてきた知識・能力を統合させて、エンジニアリング活動に対する基準や規範、ならびに複数の現実的制約を勘案し、システム、構成要素または工程(ハードウェア、ソフトウェア又は組み合わせ)などの‘もの’を、ニーズを満たすように、工夫・考案させる経験、すなわち‘デザイン経験’をさせることで完結するカリキュラムで、学生は、卒業後のエンジニアリング活動の実践に備えて必要な準備ができなければならない。』と定められ、多くの大学での工学教育プログラムでは、4, 5人のチームでエンジニアリング・デザインを経験させるデザイン教育を行っている。

しかし、我が国では、『**卒業研究**を4年次にほぼ必須科目(4～6単位)として設け、それまでの学習で身に付けた知識・能力を統合させて、‘主要な研究経験’をさせることで完結するカリキュラで、学生は、卒業後のエンジニアリング活動の実践に備えて必要な準備ができなければならない。』という考えで、多くの大学での工学教育プログラムが設計されているが、エンジニアリング・デザイン教育については、卒業研究との関連で、JABEE認定が始まるまでは、位置づけが曖昧であった。なお、米国では、「研究は大学院で」という考えからか、研究大学を除くと、**卒業研究**に相当する**学士論文**を設けている工学教育プログラムは少ない。

★ 米国での標準的な工学教育を行っているプログラムでのデザイン教育の一例:

内容的に、**1年次**で「エンジニアリング活動でのエンジニア、テクノロジスト、テクニシャン、職人の役割、実務と倫理; 科学と工学と**テクノロジー**(技術学)と科学技術(技術)の歴史など」に関する入門科目が設けられ、学生の学習への目的意識を高め、**1年次~3年次**で専攻分野で必要とされる数学、基礎科学ならび基礎工学(工学基礎の科目と工学専門の主要な科目が、関連の演習、実験、実習、設計との組と共に、設けられ、履修条件として既単位履修科目との関係(学習ガイドとして科目ナンバリングの利用)が指示され、それに加え、広い公正な考え方や判断を可能にする一般教育的要素の知見(エンジニアリング・エコノミクス等を含む)を学習させる科目が設けられ、**4年次に**、工学専門の残りの科目が置かれているが、デザイン科目がキャップストーン科目として置かれ、それまでに身に付けた知識・能力を統合する形で、たとえば、4、5人のチームで、

**PBL形式(project-based learning⇒1990年代以降problem-based learning)**

で、次の例のような、エンジニアリング・デザインの経験学習をさせている。

能動的学習とPBLに力点を置いた**デザイン教育科目**で、**学生を4、5人からなるチームに分け**、チームごとに教員側のテクニカル・アドバイザーが付き、「システム、構成要素、工程(ハードウェアやソフトウェアを含む)をニーズを満たすようにデザインするエンジニアリング問題」について、**チームワーク力**(チームのリーダーまたは一員として役割を効果的に果たす能力)で、**定められた期間内に**、

- ✓ 複数の解決策を工夫・考案し、
- ✓ それらの解決策をコスト、公衆の健康・安全、文化、経済、環境、美的要素、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、具体的に解決し、
- ✓ 目標とする‘もの’を設計・開発する

創造的で、たびたび反復的で、オープンエンドな(必ずしも正解がない、多様性のある)プロセスを経験学習させている。その際、その授業の締めくくりとして、報告書を準備させ、**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、チームごとに成果を発表させると同時に、**他のチームの成果を聞かせ、多様なデザインに対する理解を深めさせる場**としている。また、成果発表会では、次のスライドの例のような採点根拠表が用い、コンテストを実施している。

## ★ デザイン教育での報告書の例

Final report of 397 Senior Design  
Spring 200x  
The University of Illinois at Chicago  
Department of yyyy engineering  
Title: zzzz system  
Prepared by: aaaa, bbbb, cccc  
E-mail: aaaa @uic.edu, bbbb @uic.edu, cccc @uic.edu  
Technical Advisor: Professor YYYY

### Table of Contents

1. Introduction
  2. Problem Statement and Solution  
(Introduction, Problem Statement, Possible Solutions, Our Design)
  3. Technical Analysis  
(Introduction, Component Analysis)
  4. Circuit Diagram
  5. Conclusion
  6. Cost Analysis (including Hourly Budget)
- References

## ★ デザイン教育での全体の成果発表会での採点根拠表の例

University of Illinois at Chicago      Engineering EXPO 20xx      EXPO JUDGING FORM (*Sample*)  
Judges Name:                              Signature                              Table Number:                              Category:  
Department:  
Project Title:

Technical Questions Poor Excellent    1 2 3 4 5

1. Was the project objective clearly identified? \_\_\_\_\_
2. Were design alternatives thoroughly evaluated with satisfactory justification for the design chosen? \_\_\_\_\_
3. Were factors influencing the design adequately considered, i.e., cost, weight, efficiency, etc.? \_\_\_\_\_
4. How well was the overall objective satisfied? \_\_\_\_\_
5. How innovative was this project? \_\_\_\_\_
6. How practical was this project? \_\_\_\_\_

*Total Technical Score*

Quality of the Oral Presentation Poor Excellent    1 2 3 4 5

1. Confidence, i.e., eye contact, introduction, appearance \_\_\_\_\_
2. Knowledge of the material \_\_\_\_\_
3. Organization & clarity of presentation \_\_\_\_\_
4. Conciseness of project description \_\_\_\_\_
5. Use of English, including spelling & grammar \_\_\_\_\_
6. Quality, effectiveness, & use of visual aids \_\_\_\_\_

*Total Presentation Score*

**Total Overall Score**

The feedback you include below will be shared with each student team member:

**Project strong points:**

**Areas for improvement:**

★ デザイン力を測るルーブリックに用いる学生のパフォーマンスを見極める基準や因子の記述語の例:

IEAのGA/PCでは、

- 1) 設計又は計画作成に対する要求事項を**特定し、分析し、**詳細な要求事項を述べる仕様書を作成する。
- 2) 問題に対する検討に値する一連の解決策、又はプロジェクト実行の進め方を**まとめる。**
- 3) 要求事項に対する実現性のある解決策及び要求事項の範囲外への影響を**評価する。**
- 4) 選んだ選択肢の設計を**実行し、完成する。**
- 5) 実施のための設計文書を作成する。

また、JABEEでは、

- 1) 解決すべき問題を**認識する。**
- 2) 公共の福祉、環境保全、経済性などの考慮すべき制約条件を**特定する。**
- 3) 解決すべき課題を論理的に**特定、整理、分析する。**
- 4) 課題の解決に必要な、数学、自然科学、該当する分野の科学技術に関する系統的知識を**適用し、**種々の制約条件を考慮して解決に向けた具体的な方針を**立案する。**
- 5) 立案した方針に従って、実際に問題を**解決する。**

ここに、「～する」など動詞で文末が表されているのは、能力などを測るルーブリックにおけるパフォーマンスを見極める基準や因子の記述語に用いられることを考えてのものである。

////////