



# 技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究

野口 博 千葉大学大学院工学研究科

## 調査研究の背景と趣旨

文部科学省は、「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議」（座長：谷口功熊本大学長）を2009年6月に設置し、技術者教育の充実、実践的教育の必要性、求められる技術者像などについて検討を行い、2010年6月に「大学における実践的な技術者教育のあり方」報告書が提示された。

この報告書を基に、文部科学省より、「求められる技術者像」に至る到達の程度を学習成果の観点から具体化した学習成果評価指標に関して、大学における実践的な技術者教育での学生の共通的な到達目標を示すことを目標とする2010、2011年度先導的  
大学改革推進委託事業「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」が公募された。本事業の公募後、千葉大学では、上記協力者会議委員および同会議内「教育内容等に関するワーキンググループ」の主査を務めた筆者を中心に準備を進め、全国の国立・私立大学の工学系の教職員を中心とした体制を組みつつ産業界等の意見を反映する枠組みを構築し、申請するに至り、2010年9月に採択された。

工学は理学との繋がりが一番近いが、最近では医学、薬学、農学、看護学などの各分野との連携が進み、さらには文科系の学問との連携にまで広がり、それらは「総合工学」や「社会工学」とも言われている。

それに伴い、工学が扱う分野も、ものづくりの原点のハードの分野から、ソフトの分野、さらには仕組み、企画や発想をも含むようになり、後者は革新的な技術開発に必須なものとなってきた。したがって、社会における工学には、「ものづくり」から「ことづくり」への転換の流れがあり、この流れの中で自主性を持って活躍できる技術者の養成が大学に求められてきているのが現状である。

本調査研究の背景となったのは、上記に示すように膨大となり、細分化されると同時に、都市環境や医工学、農学との連携、さらには総合工学などに見られるような学際領域や複合領域が生まれつつある工学の知識と技術の量を、共通分野と専門分野別に整理するとともに、実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき、「ものづくり」から「ことづくり」への転換のような工学に対する社会のニーズの変化に対応して、工学系の学生が教育内容として履修し、到達すべき目標を提示することが求められてきたからである。

## 分野別の到達目標の構成

本調査研究では、工学における伝統的な基幹分野として、機械、電気電子、建築、土木、化学、バイオ、情報・通信の7分野を対象とする。工学の分野を示すので、基幹分野名から「工学」の文字をあえて外した。基幹分野を複合する領域や新領域の分野については、これらの基幹分野での到達目標の設

定の考え方を準用することで対応も可能と考えられるので、参考にしてほしい。

工学の知識と技術を、専門分野ごとに異なる部分と共通する部分に分けて整理するとともに、実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき、工学に対する社会のニーズの変化に対応して、工学系の学生が大学での教育内容として履修し、到達すべき目標を、「コア」と「要望」（入れられる分野について）の2段階とする。「コア」は、基礎的で必修的なものと考え、「要望」はより高度で選択可能なものとして各大学の個性化に繋げる役割を有する。

「分野別の到達目標」は、各大学のカリキュラムの編成・実施の中に有機的に盛り込まれることで、実践的な技術者教育の一定の水準を確保することに繋がることを意図した。言うまでもなく、各大学のカリキュラムはそれぞれが自主的・自律的に定めるべきものであるが、各大学が、この「分野別の到達目標」を参照し、理念・状況に即した自らの教育方針に基づき、学生が履修すべきカリキュラムの内容（広がり、深さ）を明確にし、独自の教育課程編成を行うことができるように到達目標をまとめた。したがって本到達目標は、教育課程の検討の際の出発点として活用されることを望むものである。また、それをどのように肉付けをして、最終的にどのような具体的な教育課程を編成するかについては、各大学が評価し、到達目標の活用の度合いを判断するものである。なお、各大学における実際の教育課程の編成においては、大学の実情に即して教養教育とのバランスに配慮した学習目標を定めることが望ましい。

## 到達目標の国際性

分野のうち基礎的で共通部分である「数学」、「自然科学（物理、化学、情報リテラシー等）」、「工学基礎」、そして分野別の「専門科目」、さらには分野共通部分として専門科目を横串で結ぶ「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」については、国際的な理解を得、技術者教育の設定項目を国際標準に近づけることを目標に整

理を行った。考え方の参照となる基準は、Tuning Texas, ABET, JABEE, 国際エンジニアリング連合（International Engineering Alliance, 以降 IEA）の卒業生としての知識と能力（Graduate Attributes）であり、これらと本研究の設定項目を比較し整理した。この整理から、Tuning Texas, ABET, JABEE, IEA の Graduate Attributes は、それぞれ項目数は若干異なっており、またいくつかをまとめた項目になっている部分もあるものの、内容はほぼ同様な項目立てになっており、本研究の設定項目は国際性を担保していると考えられる。

## 能力と習得レベルの一覧表

分野ごとの到達目標を示す前に、「数学」、「自然科学（物理、化学、情報リテラシー等）」、「工学基礎」、分野別の「専門科目」、さらには分野共通部分の「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」を縦軸とし、到達レベルの「コア」と「要望」を横軸にした一覧表を作成し、分野共通の項目はできるだけ統一した表現とし、分野別の専門科目の柱と、共通部分でも分野特有の表現をゴシック体の太字で区別して示した。この一覧表の縦軸の技術者教育において育成すべき知識・能力の相互関係を図-1に、情報・通信分野の知識・能力と習得レベルの一覧表を、表-1に示す。

## パブリック・コメントの募集

本調査研究では、分野別の到達目標に関して広く一般から意見を募り、それらの意見を考慮することにより公平さの確保と透明性の向上を図り、大学にとって、より使いやすい分野別の到達目標の設定に反映していくためにパブリック・コメント募集の手法を採用した。2011年7、8月には、分野共通部分の到達目標に対するパブリック・コメントの募集を行い、94件のご意見をいただいた。さらに2011年12月から2012年1月にかけて、分野別到達目標に対するパブリック・コメントの募集を行い、

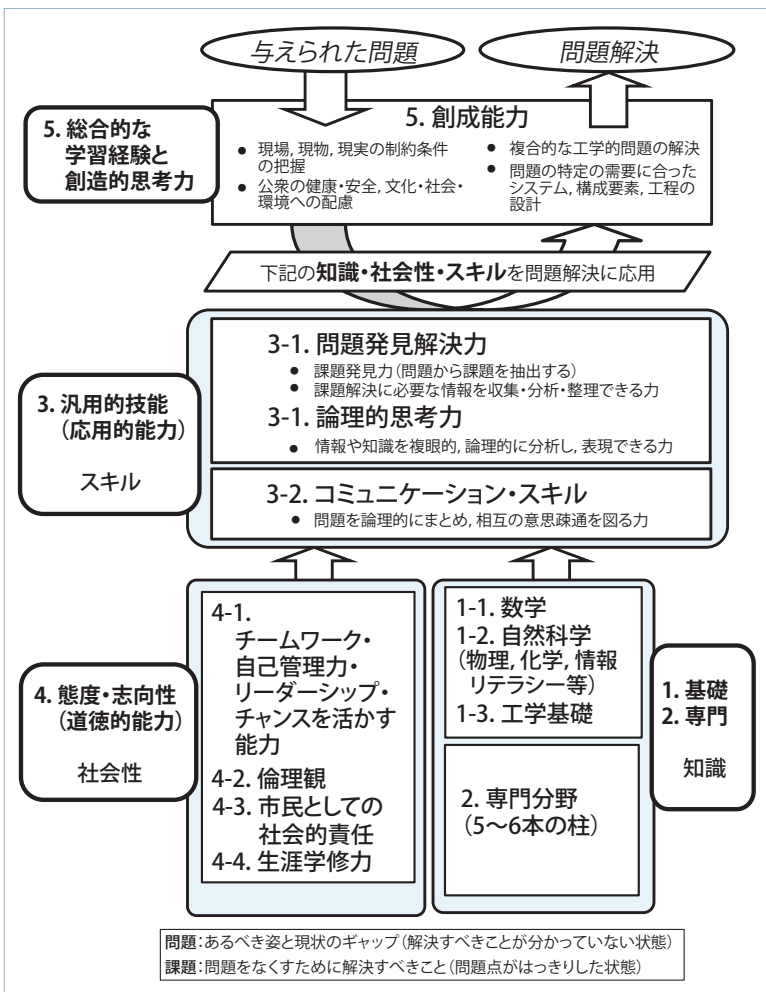


図-1 技術者教育において育成すべき知識・能力の相互関係

各専門分野での科目間の繋がりや社会での各科目の役割などを図で表現した。情報・通信分野の科目間の関連を図-2に示す。

## IEA の Graduate Attributes の翻訳

本調査研究では、到達目標の作成の段階で複数の国際的な基準を参照したが、その代表的な基準である IEA の「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力 (Graduate Attributes and Professional Competency Profiles)」の翻訳作業を行い、報告書の参考として収録した。翻訳作業は、文部科学省高等教育局専門教育課、日本技術者教育認定機構 (JABEE) ならびに日本技術士会からの要請・協力により、本調査研究の中に翻訳ワーキンググループを設置して実施した。

## 報告書の情報発信

134 件のご意見をいただいた。また、日本学術会議や日本工学教育協会など、各分野の学協会への紹介とヒアリングも行った。これらの意見を到達目標の見直しに反映し、その反映度については、分野ごとの前書きでその分野の到達目標の位置づけとともに記した。

## 到達目標の構成の可視化

本調査研究では、パブリック・コメント募集の対象範囲である社会一般や学生にも分かりやすく記述する観点から、文章のみでなく、図解を活用して到達目標を構成する構造のイメージとしての可視化を図った。分野別 (共通部分を含む) の到達目標設定で使った能力項目間の相互関係を示すイメージ図 (図-1) や、数学、物理、化学などの基礎、および

本調査研究の報告書は紙媒体でも作成するが、ほかの関連資料も含めて、Web サイト (<http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080/>) に掲載し、分野共通部分、各分野別、各項目別にもダウンロードできるように表現を工夫し、社会に広く広報することで、各大学などに参照して活用していただいた。

## 情報・通信分野の到達目標

技術者教育における情報・通信分野に対しては、学士課程教育における教育カリキュラムのうち、コアカリキュラムと要望カリキュラムを提示する。すなわち、学士課程教育において身につけるべき知識や理解、およびこれらを具体的事例に適用する能力 (ここでは、運用力と呼ぶことにする) について、その範囲とレベルを、項目や到達目標の形で学修にあたっての配慮事項とともに提示する。コアカ

能力と修得レベル		コ ア		要 望	
1. 基礎	1-1. 数学 A1, A2	自然科学の法則を工学問題に適用し、解くことができる。 単位で表された数値が実感で理解できる。	情報分野、通信分野などの離散的な事項や事象を扱う数学的基礎として離散数学の基礎事項および数値計算の基礎を理解し、必要に応じて工学問題に適用できる。	自然科学の法則を工学問題に適用し、解いた結果の分析により、問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる。 単位で表された数値が実感で理解できる。	複素解析、ベクトル解析、フーリエ解析、確率過程、待ち行列論、最適化手法、数値計算など、情報・通信分野に必要な数学的基礎を理解し、必要に応じて工学問題に適用できる。
	1-2. 物理学等自然科学 (物理, 化学, 情報リテラシー, 地学, 生物)		物理学等の自然科学の知識や概念を理解し、工学問題に適用できる。		ハードウェア、ソフトウェア、開発ツール、コンピュータの基本構成を理解し、ソフトウェアやシステムの設計・開発に活用できる。
	1-3. 工学基礎		基幹工学 (機械工学概論, 電気・電子工学概論等)、工学基礎実験・計測、数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる。		基幹工学 (機械工学概論, 電気・電子工学概論等)、工学基礎実験・計測、数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し、問題解決に必要な分析をすることができる。
2. 専門分野	2-1. 専門分野 (プログラミング) C	ソフトウェア作成の基礎となるデータ構造、アルゴリズムの設計と解析に関する基礎的知識を理解し、プログラミングの基本的手法を自在に使うことができる。		データ構造とアルゴリズム、プログラミング (ソフトウェア、ネットワーク、組込み)、数式処理ソフトウェア、科学技術計算ライブラリなどの知識と利用方法を理解し、工学問題の解決に活用できる。	
	2-2. 専門分野 (セキュリティ) D	情報セキュリティの概念 (機密性, 完全性, 可用性) を理解し、認証技術を含め理解する。コンピュータおよびネットワークのセキュリティ管理の基本的な考え方を学習等を含めて理解する。		情報セキュリティにおける認証、セキュリティ対策に対する個々の技術を理解し、実際に応用することができる。将来的な脅威に対してセキュリティを保つ基礎知識を理解する。	
	2-3. 専門分野 (ネットワーク) E	階層型通信プロトコル間の機能分担や各機能を実現する上での技術的課題とその解決法を理解する。さらに演習を通してコンピュータネットワーク要素技術の機能や役割を理解する。加えて、具体的な機能や仕組みを実装でき、これらを工学問題に適用できる。		コンピュータネットワークの知識と概念を理解し、これらを工学問題の解決に活用し、問題解決に必要な分析をすることができる。ネットワーク方式/通信方式等の基礎知識を有し、かつ理解する。	
	2-4. 専門分野 (コンピュータシステム (情報)) F1	ハードウェア、ソフトウェア、開発ツール、コンピュータの基本構成を理解する。プロセッサを中心としたハードウェアの知識と概念を理解し、これらを工学問題の解決に適用し、開発できる。また、オペレーティングシステムを中心としたソフトウェアの知識と概念を理解し、これらを工学問題の解決に適用し、開発できる。			
	2-5. 専門分野 (コンピュータシステム (通信)) F2			ハードウェア、ソフトウェア、開発ツール、コンピュータの基本構成を理解する。プロセッサを中心としたハードウェアの知識と概念を理解し、これらを工学問題の解決に活用し、開発できる。また、オペレーティングシステムを中心としたソフトウェアの知識と概念を理解し、これらを工学問題の解決に活用し、開発できる。	
	2-6. 専門分野 (ソフトウェア開発技術) G			プロジェクトマネジメントへの橋渡しとして、開発工程モデルに関する知識を獲得するとともに、実際の開発工程を経験することでソフトウェアライフサイクルプロセスなどの理解を深める。また、ソフトウェア開発の工程における、要求分析、設計 (仕様記述, ソフトウェアアーキテクチャ), 実装 (コーディング), 評価 (テスト) について、演習などを通して必要な知識と技術を身につけることができる。	
	2-7. 専門分野 (情報基礎) B1	情報分野の基礎として情報理論およびオートマトンと形式言語理論の必須事項を理解し、文字列処理 (プログラミング) への適用を理解する。		データベース、並列・分散、マルチメディア、知識処理の知識と概念を理解し、これらを情報・通信分野における工学問題に活用できる。	
2-8. 専門分野 (通信基礎) B2	通信分野の基礎として情報理論、符号理論、通信理論、回路理論、電磁気、信号処理の必須事項を理解し、通信処理への適用を理解する。		通信トラフィック理論、非同期通信やパルス・デジタル回路を理解し、これらを情報・通信分野における工学問題に活用できる。		
3. 汎用的技能 (応用的能力)	3-1. 課題発見・解決力, 論理的思考力	課題発見, 情報の収集と分析, 課題解決, などの手法を用い、情報・通信分野の工学問題の課題を挙げ、その問題の構造を分析できる。		課題発見, 情報の収集と分析, 課題解決, などの手法を用い、情報・通信分野の工学問題の課題を挙げ、その問題の構造を分析し、複数の解を提案し、その中から最良の解を選ぶことができる。	
	3-2. コミュニケーション・スキル	他人の意見を理解できるとともに、自らの意見を論理的な文書や口頭説明としてまとめることができる。 英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる。 情報・通信分野のみならず、自らの意見・情報を口頭説明・プレゼンテーションする方法, 討論の約束事, を理解し、実際の場で適用できる。		他人の意見を理解し、自らの意見を相手の理解力に応じた内容で論理的な文書や口頭説明としてまとめ、相手に自分の意見を納得させることができる。 英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる。 情報・通信分野のみならず、自らの意見・情報を相手の理解力に応じた内容で口頭説明・プレゼンテーションする方法, 相手に自分の意見・情報を納得させるための討論の手法, を理解し、実際の場で状況を分析しながら活用できる。	
4. 態度・志向性 (道徳的能力)	4-1. チームワーク, 自己管理能力, リーダーシップ, チャンスを活かす能力	自分に与えられた仕事を実行するために、自己の体調・時間を管理できる。 同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い、チーム内で自らのなすべき行動をとることができる。		自分のやるべきことを認識し、自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる。 同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において、なすべき行動を判断・実行できるとともに、リーダーとしてメンバーに働きかけることができる。	
	4-2. 倫理観	技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる。 コンピュータやネットワークが持つリスク、法規制や知的財産権などの枠組み、および専門用語や理論を理解し、一般論として、環境・経済と工学の相反について考察できる。		技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる。 コンピュータやネットワークが持つリスク、法規制や知的財産権の枠組み、および専門用語や理論を理解し、実務の場で環境・経済と工学の相反に基づいて、とるべき倫理的行動を考えることができる。	
	4-3. 市民としての社会的責任	社会・健康・安全・法律・文化・環境などに関する知識を、一般的な問題の解決の際に適用できる。 情報・通信分野の技術者の実務に付随する社会・健康・安全・法律・文化・環境などの諸問題の内容・重要性およびそれに伴う責任を理解でき、一般的な問題にこれを適用できる。		社会・健康・安全・法律・文化・環境などを考慮して、実務の場でとるべき行動を考えることができる。 情報・通信分野の技術者の実務に付随する社会・健康・安全・法律・文化・環境などの諸問題の内容・重要性、それに伴う責任を理解し、応用して、実務の場でとるべき行動を考えることができる。	
	4-4. 生涯学修力	自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している。 情報・通信分野の広範な技術革新の可能性の中で技術者として活躍していくために、自主的に生涯にわたって学修する必要性を理解し、そのために必要な情報や知識を獲得する方法を理解している。		自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し、それを意欲を持って実行している。 情報・通信分野の広範な技術革新の可能性の中で技術者として活躍していくために、自主的に生涯にわたって学修する必要性を理解し、そのために必要な情報や知識を獲得する方法を理解し、その実行意欲を持ち、実際に実行している。	
5. 総合的な学習経験と創造的的思考力	5. 創成能力 (システム設計)	各種の外的・内的制約条件と、問題解決のために解くべき課題を挙げ、この課題を整理・分析して、制約条件下で課題を解決できる。解を提案できる。 ハードウェアまたはソフトウェアに関する知識、および設計の目的と概念を理解し、それを設計に適用できる。		各種の外的・内的制約条件と、問題解決のために解くべき課題を挙げ、制約条件下で課題を解決できる。最適解を見出し、これに基づいて、複合的な学問的問題の創造的解決を図ることができる。 デザイン、システム設計にあたり、実現に必要な知識、想定方法などに対して、境界領域が存在し、他分野の知識や技術が必要であることを理解する。デザイン手法を駆使し、実際の課題の要求に合致したハードウェアまたはソフトウェアの開発ができる。	

表-1 情報・通信分野の知識・能力と習得レベルの一覧表

リキュラムは、必ず履修すべき分野、項目からなる。要望カリキュラムは、できれば履修させたい分野・項目からなる。コアカリキュラムに含ませたいが、コアカリキュラムの内容が多くなることを避ける意味もあって、要望カリキュラムに含ませているものが多数ある。各々を、到達目標および学修にあたっての配慮事項とともに記載している。

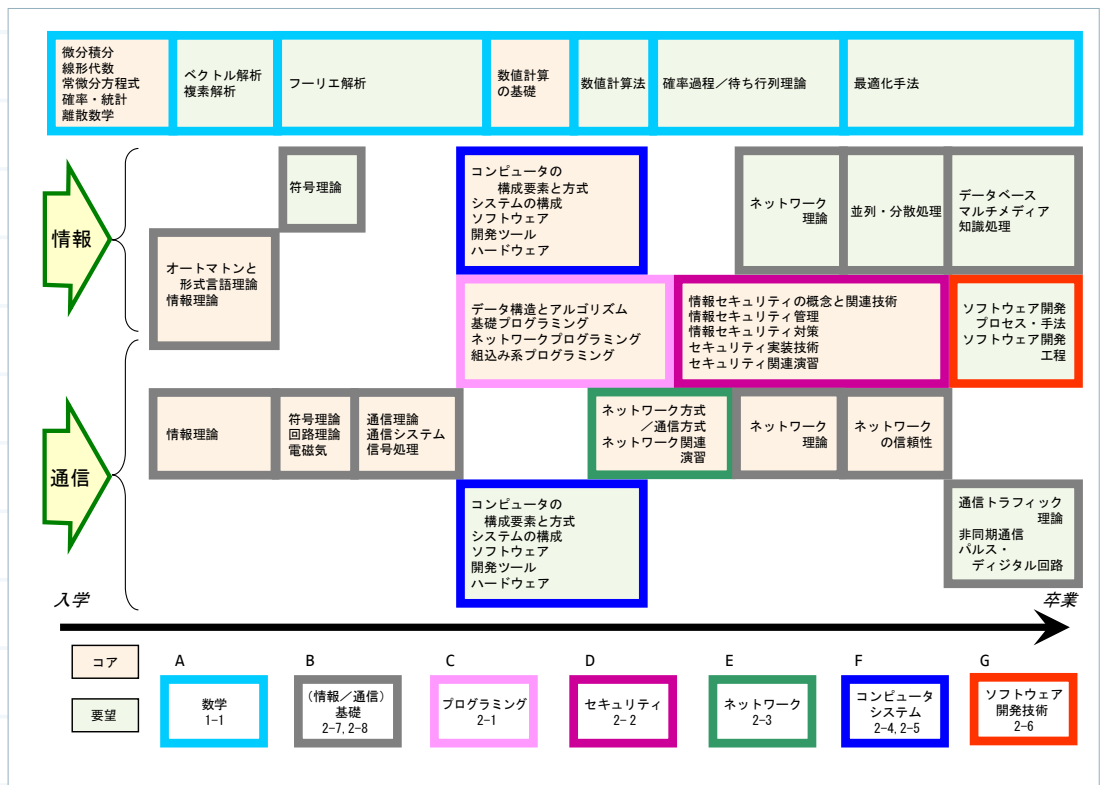


図-2 情報・通信分野の科目間関連

### 本報告の狙いと意義、および記載の形式について

#### ■ コアカリキュラムの作成方針

コアカリキュラムは、どの大学の学士課程教育においても必ず含むべき内容であり、ここでの多様性や曖昧性は極力避けるべきである。むしろ詳細に分野、項目、到達目標を記述しておくことが望ましい。要望カリキュラムは選択の可能性がある。各大学の教育方針、スタッフ、その他の要因を考慮して選択することになる。また、コアカリキュラム、要望カリキュラム以外にも選択肢は残っている。このあたりの選択肢に各大学の独自性、多様性、といった教育機関としての自主性が発揮できる。

学士課程での情報・通信分野の教育に求められる教育内容（分野や項目）の記載にあたっては、項目の関連性（教育順序）をある程度は考慮して列挙している。ただし、各大学の諸事情に応じて順序を変更することは当然あり得る。また、分野は教育科目を意味するものではない。教育科目への割り当て（す

なわち、カリキュラムやシラバス作成）に際しては、必要に応じて分割、統合して割り当てることも可能である。どの学年に、どの分野をどの範囲まで割り当てるか、なども各大学の教育方針やスタッフなどの諸事情に応じて決まるものである。図-2は分野、項目等のおおまかな教育順序と関連性を示したものである。

#### ■ J07 と国際標準化、育成人材像のイメージ

情報専門教育カリキュラム標準（J07）は、情報分野における専門教育のためのカリキュラムとして、情報処理学会が策定し提案している。これは、IEEE-CS と ACM が共同開発した CC2001-CC2005 を土台とし、かつその国際基準としての整合性を維持しながら日本の情報専門教育状況を反映させている。具体的には、コンピュータエンジニアリング領域（CE）、ソフトウェアエンジニアリング領域（SE）、情報システムエンジニアリング領域（IS）、インフォメーションテクノロジーエンジニアリング領域（IT）、コンピュータ科学エンジニアリング領域（CS）の各領域について、カリキュラム標準（知識体系と

基礎的で押さえておくべき項目をコアとして指定したものを示したものである。基礎的で押さえるべき分野（学習域，単元），項目（トピック），到達目標，および実施順序などが含まれている。また，時間数や実施年次なども規定した標準カリキュラム案も提示されている。分野，項目，および授業時間数については，日本の現状を考慮して，CC2005などの指定よりは少なくなっているが，それでもそれぞれの領域について必要な分野，項目が含まれ，そのための授業時間数が割り当てられている。

情報・通信分野のカリキュラム標準 J07 と「情報・通信分野」コアカリキュラムの関連性イメージを図-3に示す。通信分野では，伝達すべき情報の扱い，通信ソフトウェア設計，ネットワーク制御など，情報分野と深く関係する一方で，信号処理，通信理論，電磁波工学，電気・電子機器設計，などといった，必ずしも情報分野と関連性が大きいとは言えない分野も含み，通信分野独自の教育内容を有する。

### ■ 情報・通信の到達目標と学修にあたっての配慮事項

情報・通信の到達目標と学修にあたっての配慮事項は，次の10分野について示されているが，詳細は，下記のWebサイトに掲載した報告書を参照されたい。  
<http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080/>

1. 〔情報〕 情報に関する数学 (A1)
2. 〔通信〕 通信に関する数学 (A2)
3. 〔情報〕 情報基礎 (B1)
4. 〔通信〕 通信基礎 (B2)
5. プログラミング (C)
6. 情報セキュリティ/ネットワークセキュリティ (D)
7. コンピュータネットワーク (E)
8. 〔情報〕 コンピュータシステム (F1)
9. 〔通信〕 コンピュータシステム (F2)
10. 【要望】 ソフトウェア開発技術 (G)

### むすび

本調査研究では，工学の基幹分野別の大学学部レ

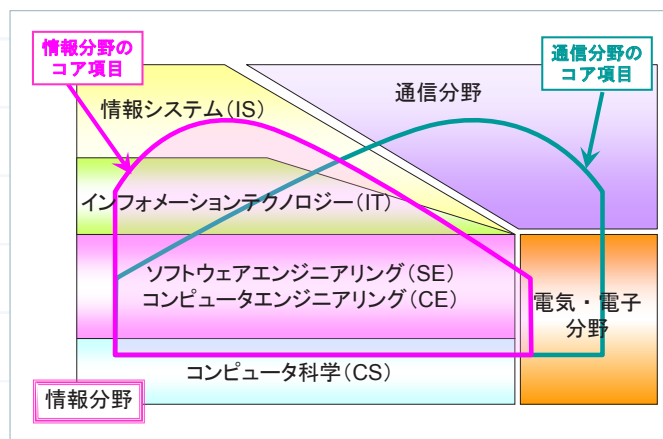


図-3 カリキュラム標準 J07 と「情報・通信分野」コアカリキュラムの関連性イメージ

ベルでの教育課程で学ぶべき内容とその達成目標を，学修にあたっての配慮事項とともに提示した。分野別の教育課程に含めるべき内容のみならず，その卒業生に求められる知識，能力の標準的レベルを規定している点で，JABEE等の認定基準より一歩踏み込んだものである。

しかし，本調査研究は2年間，限られたメンバーで行ったものであり，情報・通信分野を含め，各分野における到達目標としては十分ではないと考えている。そこで，分野別の到達目標に関して広く一般から意見を募るパブリックコメント募集を行い，幸い多数のご意見をいただき，できる限り到達目標の設定に反映した。また，日本学術会議や日本工学教育協会をはじめ，各分野の学協会への紹介も行った。

しかし，本到達目標は，到達目標として現段階で十分完成されたものとは考えておらず，また，関係者間での十分なコンセンサスを得られたものではない。これを1つの材料として，各大学における教育課程の編成に係る議論が進む一方で，さらに充実した分野別の到達目標を目指した検討が行われることを期待したい。

(2012年3月30日受付)

野口博 | hiroshinogu@cc.kogakuin.ac.jp

1991年千葉大学工学部教授（建築・都市科学専攻建築学コース）。同大学総合メディア基盤センター長，工学部長，工学研究科長を歴任。2012年3月定年退職。2012年4月工学院大学教育開発センター主幹・特任教授，芝浦工業大学SIT総合研究所・佃イノベーションスクエア客員教授。2012年5月千葉大学名誉教授。