

6-7. 情報・通信分野

6-7-1. まえがき

本報告は、技術者教育における情報・通信分野に焦点を当て、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付けるべき知識や理解、およびこれらを具体的な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、学修に当たっての配慮事項とともに提示する。コアカリキュラムは、必ず履修すべき分野、項目からなり、必須の分野・項目である。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過多に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、到達目標及び学修に当たっての配慮事項とともに記載している。

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を持っている。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。この辺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は發揮できる。

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）の記載に当たっては、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のも可能である。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6-7に分野、項目等のおおまかな教育順序と関連性を示す。

【J07と国際標準化】

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、情報処理推進機構（IPA）などが中心となって策定し提案している、情報専門教育カリキュラム標準（J07）がある。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）（これら5領域の詳細は後述）の各領域について、カリキュラム標準（知識体系と最低限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。最小限押さえるべき分野（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。

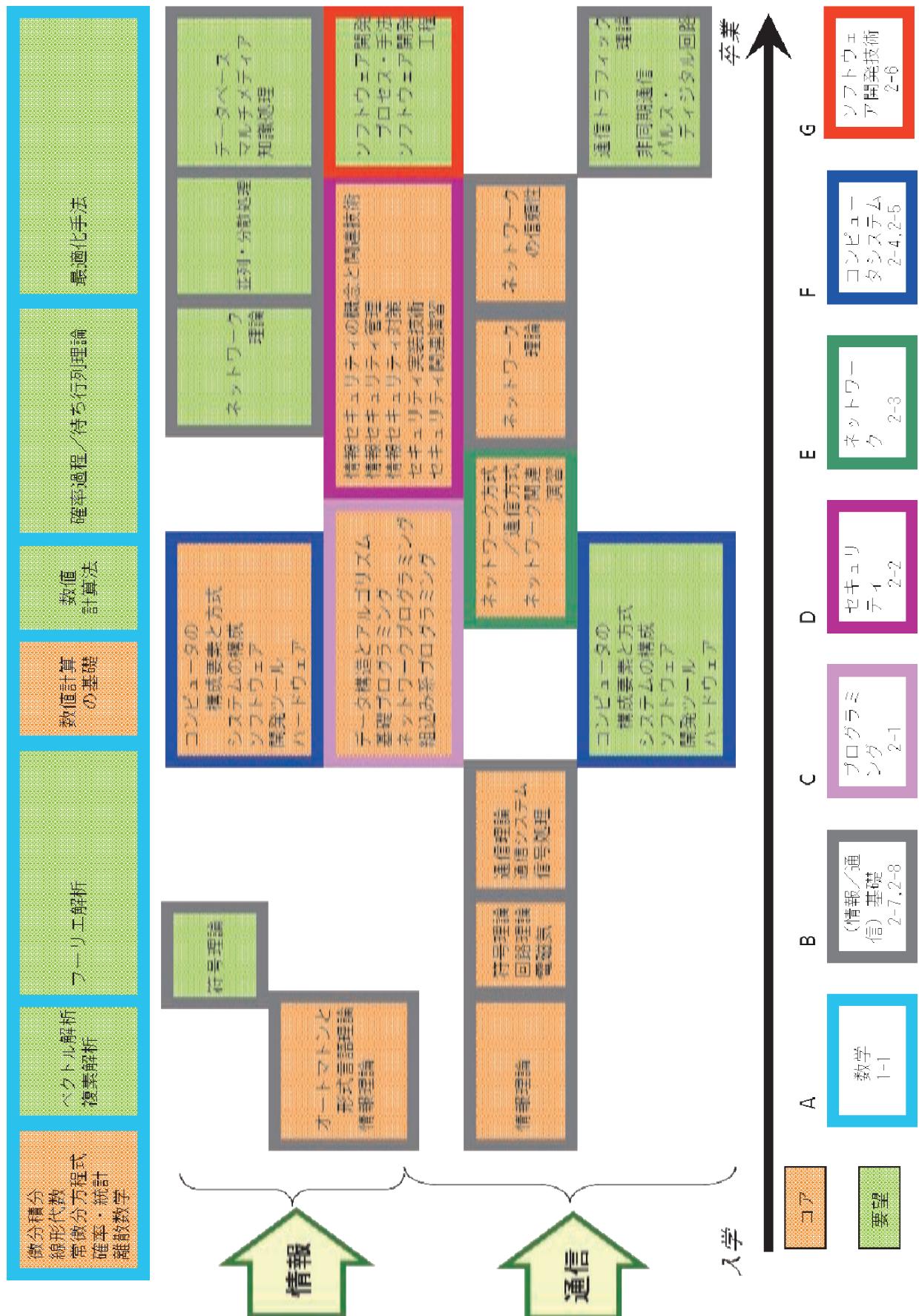


図6-7 情報・通信分野関連性

6-7-2. 情報・通信分野 (技術者教育において育成すべき知識・能力と、その到達目標)

育成すべき知識・能力	到達目標		
	コア		要望
1. 基礎	1-1. 数学A1, A2	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の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。	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)	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。	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。
	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。	単位で表された数値が実感で理解できる。
2. 専門分野 ※()内のA~G は、図6-7-1に示す入学から卒業までの学習段階	2-1. 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、組み込み）、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、工学問題の解決に適用できる。
	2-2. 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実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、実際に適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. 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適用し、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. 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. 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。
	2-6. ソフトウェア開発技術 (G)		プロジェクトマネー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共に、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付けることができる。
	2-7. 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適用できる。
	2-8. 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。	通信トランジック理論、非同期通信やパルス・ディ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適用できる。
3. 活用的技能 (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	他人の意見を分析・理解できるとともに、自らの意見を論理的文書や口頭説明として整理し、まとめることができる。 英語等の外国语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。	他人の意見を分析・理解し、自らの意見を論理的文書や口頭説明として整理し、これを相手の理解力を考慮して評価し、相手に自分の意見を納得させることができる。 英語等の外国语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適用できる。
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、やるべき事を分析し、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、チーム内の自らのなすべき行動を分析し、これを実行することができる。	自分のやるべき事を評価・認識し、自己の意欲・体調・時間・予算を管理することを実行できる。 同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において、なすべき行動を評価・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、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・環境などについての考慮を実務の場に適用し、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、適用して、実務の場で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行くために、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、それを実際の活動に適用し、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行くために、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最適解を評価・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、複合的な工学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。

【情報・通信分野と育成人材像】

本プロジェクトは、学士課程教育における技術者教育のカリキュラム（特にコアカリキュラム）に焦点を当てている。また、「情報・通信分野」は、情報分野と通信分野を対象分野としている。情報・通信分野が想定する育成人材像のイメージを図6-8に示す。通信分野は、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。

本プロジェクトでは情報分野の広さも合わせた判断に基づき、情報分野を構成する5領域のうちのCEとSEを中心領域としCSの一部を基礎として含む形で、情報分野と通信分野の共通的コアカリキュラム（情報・通信分野のコアカリキュラム）を構成する。その内容は情報分野に含まれる。策定に当たっては、IPAの情報処理技術者試験の試験要綱を下敷きにし、基本情報技術者試験レベルを原点として、ITパスポート試験レベルおよび応用技術者試験レベルを一部取り込みながら、確かな基礎力と実践力の養成を最優先事項としている。情報処理技術者試験の試験要綱は、J07さらにはCC2005などをベースにしており、実務能力試験範囲としての体裁を整えながらも内容としては国際的標準との整合性が考慮されている。

これに加えて、情報分野としては、IS、ITの一部を取り込んでコアカリキュラムを構成する。一方、通信分野については、上述の独自の教育内容を追加してコアカリキュラムを構成している。図2はこのような人材像のイメージを当該分野との関連性として図示したものである。IS、ITいずれも実務が深く関係し、学士課程教育での実践力養成には重要である。その一方で、その所掌分野が広く、かつ実務システムを扱う必要性が高いため、学士課程教育への取り込みには限界がある。CSは残り4領域の基礎をなす。このような背景から、CE、SEを中心としてコアカリキュラムを構成している。提案コアカリキュラムは、今後（たとえば大学院などで）、CE、IS、SE、IS、IT、CSの各領域あるいは通信分野などにおけるより高度な内容に踏み込んで行くための基礎力養成ベースとなることを意図している。

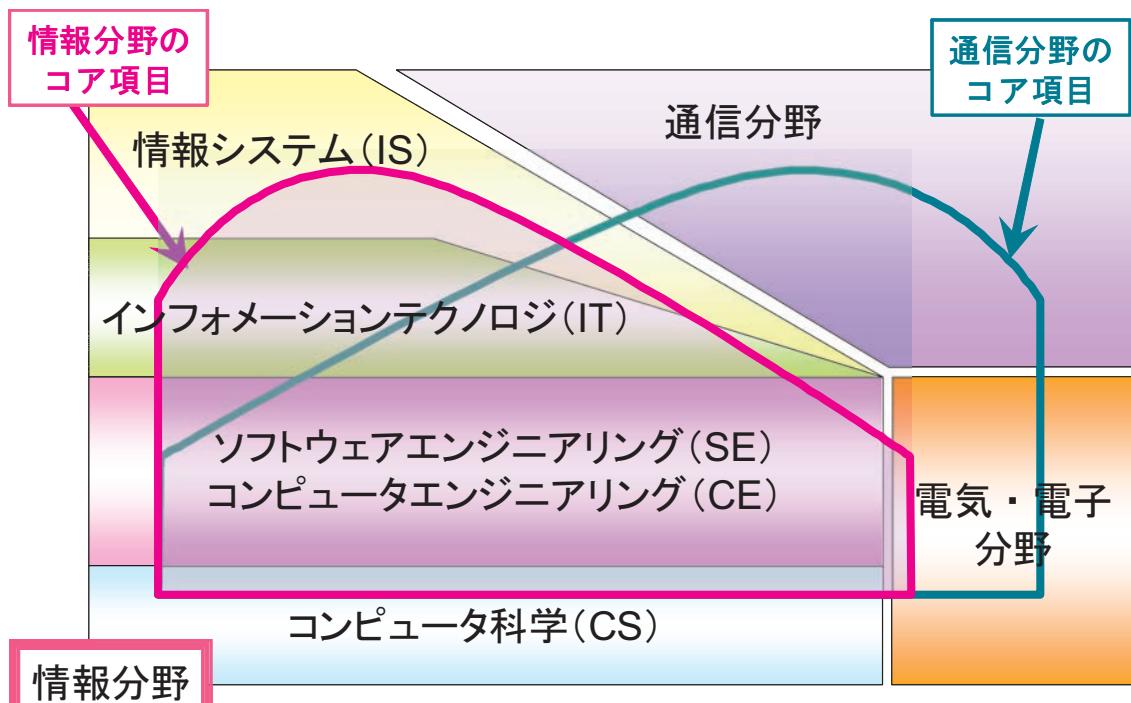


図6-8 情報専門教育カリキュラム標準J07(*)と当プロジェクト
「情報・通信分野」コアカリキュラムの関連性イメージ

*: 情報処理学会情報処理教育委員会J07プロジェクト連絡委員会編

【コアカリキュラムの教育への取込み】

本プロジェクトの目的から、コアカリキュラムとしての分野や項目、および到達目標の設定までを扱い、授業時間や授業実施学年、授業の厳格な実施順序、などまでの設定は記載していない。現状でのカリキュラム策定におけるこれらの設定に際しては、本報告書と共に、必要に応じて上記のCC2005やJ07などを参考に決定していくことで対応できるものと考えられる。提案するコアカリキュラムは、各大学の現状カリキュラムの調査結果と今後予想される社会情勢を踏まえ、上記人材を育成するコアカリキュラムとしてのるべき姿を想定して選定されたものである。そのため、その中に記載の分野あるいは項目について、現状では教えていない大学（または、教える環境が整っていない大学）が存在することは十分予想できる。そのような大学には提案するコアカリキュラムを含む方向に進めて行くことを要望するものである。

当プロジェクトは、ここに記載する分野と項目を、いわば技術者教育の情報・通信分野に関するコアカリキュラムとして定着させることを目指している、と言っても過言ではない。JABEEなどを「教育プログラムの認定」とすれば、本報告の内容は「具体的な教育コンテンツ認証の基礎」という意味合いを有する。本報告の分野と項目、到達目標などを共通ターゲットとした厳格な評価手法が確立されれば、日本の技術者の情報・通信分野における質保証を強力に後押しすることができるものと考えられる。

【J07における5領域についての概略説明】

-----コンピュータエンジニアリング領域 (CE: computer engineering) -----

人材の育成方針：組込みスキル標準 (ETSS)（企業が大学教育に期待するスキル分布とほぼ同じ)を持つ技術者。卒業後も持続的に成長していくことができ、かつ技術者としての倫理観を有する人材。

分野：日本の各地域において活躍でき、コンピュータを組込みシステムを応用した製品開発に応用できる能力。単にソフトウェアのみでなくハードウェアの技術も含む。たとえば、通信技術、情報処理技術、制御技術、OSなどのプラットフォーム技術、ソフトウェア開発技術（システム要求定義、ソフトウェア作成、など）など。

-----ソフトウェアエンジニアリング領域 (SE: software engineering) -----

人材の育成方針：プログラミング言語の習得にとどまらず、開発ライフサイクルや開発に必要なマネジメントやコミュニケーション、チームダイナミックスなどの能力を身に付ける。情報処理推進機構 (IPA) による IT スキル標準 (ITSS)、組込みスキル標準 (ETSS)、情報システムユーザースキル標準 (UISS) などに準拠する。

分野：ソフトウェア構築やソフトウェア設計、検証と妥当性確認、開発マネジメントといったソフトウェアエンジニアリングに必要な実践的技術およびマネジメント能力。

-----情報システム領域 (IS: information systems) -----

人材の育成方針：情報システムの作成または活用についての専門知識と能力を持ち、広い視野でシステムをまとめあげることができる人材を育成する。

目的や分野：IS の基礎的な概念を理解すること、IS の学問と研究とは何かを理解すること、IS 専門家としての実践的なスキル（技術的な側面と社会的側面）を身に付けること。戦略的要素としてのIS、IS 開発の標準、IS の実現とアウトソーシング、知的作業と情報技術、問題解決と経営意志決定、システムと IT の概念、組織と情報システム、OS の相互運用とシステム統合、アルゴリズム展開による問題解決、トップダウン実装による問題解決など。

-----インフォメーションテクノロジー領域 (IT: information technology) -----

人材の育成方針：情報処理推進機構 (IPA) による IT スキル標準 (ITSS) の「IT スペシャリスト」「カスタマサービス」「IT サービスマネージメント」、情報システムユーザースキル標準 (UISS) の「IS オペレーション」「IS アドミニストレータ」などに、また、情報処理技術者試験のテクニカルエ

ンジニア試験区分「ネットワーク」「システム管理」「情報セキュリティ」などに該当する人材を育成する。

目的や分野：ネットワーク、データベース、セキュリティ、プラットフォーム構築、Web、システム管理やメンテナンス、システムインテグレーションなどの情報技術を身につける。その際には、これらの基礎技術に関する基礎、概念の理解も含められる。

-----コンピュータ科学領域（CS: computer science）-----

人材の育成方針：コンピュータを用いたシステムのモデル化および設計に、数学的な基礎、アルゴリズムの諸原理および情報科学の諸理論を応用する能力、あるいは様々な複雑性を有するソフトウェアシステムの構築に、設計や開発の諸原理を応用する能力、を持った人材の育成。

目的や分野：情報とコンピュータの理論的系統的な扱いを主として、情報の諸分野の基礎としての役割を担う能力を養成する。より具体的な対象分野としては、離散構造、プログラミングの基礎、アルゴリズム、アーキテクチャと構成、ネットワークコンピューティング、ソフトウェア工学、などである。

6-7-3. 情報・通信分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項

情報・通信の到達目標と学修に当たっての配慮事項は、次の10分野について示す。

1. 「情報に関する数学」 (A 1)
2. 「通信に関する数学」 (A 2)
3. 「情報基礎」 (B 1)
4. 「通信基礎」 (B 2)
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」 (F 1)
9. 「〔通信〕コンピュータシステム」 (F 2)
10. 【要望】 「ソフトウェア開発技術」 (G)

※ 微分・積分、線形代数、常微分方程式、確率・統計は共通基礎に含まれているので、ここでは記載しない。

1. 「情報に関する数学」 (A 1)

1-1. 【コア】離散数学

(1) 数列、級数、不等式 (算術平均、幾何平均、調和平均)

到達目標

- ・数列、級数、不等式などの基礎的事項を理解する。

(2) 集合、関数 (写像)

到達目標

- ・集合や関数 (写像) などの基礎的事項を理解する。

(3) 整数 (整数の性質 (整列可能定理)、最大公約数とユークリッド互除法、素数、剩余類と有限群)

到達目標

- ・整数の基本的性質やユークリッド互除法を理解し、ユークリッド互除法を使用して最大公約数を求めることができる。

(4) 基本的証明法 (数学的帰納法、背理法、鳩の巣原理、包除原理)

到達目標

- ・数学的帰納法などの基本的な証明の方法や原理を理解し、各証明法を適用できる。

(5) 順列・組合せ、2項定理

到達目標

- ・順列・組合せや集合分割の個数などの数え上げの基礎を理解する。

(6) 【要望】集合と整数の分割 (集合と自然数の分割、カタラン数)

到達目標

- ・集合と整数の分割の基礎を理解する。

(7) 【要望】母関数 (数列や組合せ個数と母関数)

到達目標

- ・基本となる数列や組合せの個数と母関数の関係を理解する。

(8) 漸化式または差分方程式

(8-a) 展開解法、特性方程式解法

到達目標

- ・漸化式または差分方程式の解法を理解し、実際に解くことができる。

(8-b) 【要望】母関数解法

到達目標

- ・漸化式または差分方程式の解法を理解し、実際に解くことができる。

(9) 2項関係（半順序関係、同値関係、商集合）

到達目標

- ・2項関係を理解する。

(10) 代数系

(10-a) 群、環、体、束（モジュラー束、分配束、布尔束）

到達目標

- ・群、環、体、束などの代数系の基礎を理解する。

(10-b) 【要望】整数剩余と有限代数系（有限体、有限環、有限群）、中国剩余定理

到達目標

- ・整数剩余のなす有限代数系の基礎を理解する。

(11) 数理論理

(11-a) 集合と論理、命題論理、推論規則、論理関数（標準形、充足可能性）

到達目標

- ・数理論理の基礎を理解する。

(11-b) 【要望】述語論理

到達目標

- ・数理論理の基礎を理解する。

(12) グラフ理論

(12-a) グラフ、次数、パス、サイクル、木（根付木、順序木）、切断点と橋、2点連結性、2辺連結性、いくつかの基本的なグラフ、ハミルトンパスとオイラーパス、連結性とメンガーの定理（関連性の説明）、点または辺の彩色、平面性、グラフと行列

到達目標

- ・グラフ理論の基礎を理解する。

(12-b) 【要望】グラフの連結性とメンガーの定理（詳細説明）、マッチング、最短パス、最小全域木、最大フロー

到達目標

- ・グラフ・ネットワークの基礎的定理とアルゴリズムを理解する。簡単な実例に対してアルゴリズムを適用して解を求めることができる。

(13) 離散確率

(13-a) 事象、確率変数、平均（期待値とその線形性）、分散、（正規、2項、幾何、ポアソン、一様）確率分布

到達目標

- ・離散確率の基礎を理解する。

(13-b) 【要望】確率的方法、ランダム化戦略

到達目標

- ・離散確率を利用した命題証明方法を理解する。

(14) 【要望】ラテン方陣とブロックデザイン

到達目標

- ・ラテン方陣とブロックデザインの基礎を理解し、簡単な例題を解くことができる。

学修に当たっての配慮事項

- ・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の重要性を認識させるとともに、演習などを十分に行なわせることで、必要に応じて自在に使いこなせる能力（運用力）を身に付けさせるように配慮する。

1-2. 【コア】数値計算の基礎

- ・数値計算の基礎：数値表現と誤差および計算量（級数、多項式），連立一次方程式（ガウスの消去法，LU分解，ガウス・ザイデル法），曲線推定（ラグランジュ補間，Hermite補間，スプライン補間，最小2乗法），非線形方程式（2分法，ニュートン法），常微分方程式（差分方程式，オイラー法，ルンゲクッタ法，1階または2階の初期値問題，2階の境界値問題），積分（台形則，シンプソン則，ロンバーグ積分則），偏微分方程式（拡散方程式，波動方程式，ラプラス方程式）
- ・計算機での数値計算演習

到達目標

- ・数値誤差と計算量の概念を理解し，これらの見積りができる。
- ・連立一次方程式の基本的解法を理解し，これらを使用することができる。
- ・関数近似や補間の概念を理解し，曲線の推定ができる。
- ・非線形方程式の基本的解法を理解し，解を求めることができる。
- ・常微分方程式の数値解法の基本を理解し，初期値問題や境界値問題を解くことができる。
- ・積分の数値解法の基本を理解し，数値積分ができる。
- ・代表的な偏微分方程式を数値計算によって解くことができる。

学修に当たっての配慮事項

- ・実際にプログラムを作成して演習問題を解くことで，基本的な数値計算法を理解し，基本的計算法が身に付くように配慮する。

1-3. 【要望】ベクトル解析

(1) ベクトルの代数

(a) ベクトル，スカラー，ベクトルの和と差，ベクトルの成分，ベクトルのスカラー倍

到達目標

- ・ベクトルとスカラーを区別できる。また，空間の幾何学的ベクトルの和とスカラー倍について理解し，その成分表示ができる。

(b) 内積とその成分表示

到達目標

- ・内積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる。また，ベクトル a のベクトル b 方向の成分が計算できる。

(c) 外積とその成分表示

到達目標

- ・外積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる。

(d) スカラー3重積，ベクトル3重積

到達目標

- ・内積と外積を利用して，平行四辺形の面積や平行六面体の体積が計算できる。

学修に当たっての配慮事項

- ・具体的な事例を通じて，幾何的かつ物理的イメージを持つことができるように配慮する。

(2) ベクトル関数の微分積分

到達目標

- ・ベクトル関数の微分および積分の定義を理解し，具体的な関数について計算できる。
- ・微積分の多くの公式がベクトル関数についても成り立つことを理解し，利活用できる。

学修に当たっての配慮事項

- ・速度，加速度などの典型的な事例を通じて，ベクトル関数の微分積分の計算に習熟するように配慮する。

(3) スカラー場，ベクトル場

(a) スカラー場，ベクトル場

到達目標

- ・スカラー場とベクトル場の概念を理解し、それぞれの例を挙げることができる。

(b) スカラー場の勾配, 等位面, 3次元の勾配ベクトル, 方向微分係数

到達目標

- ・スカラー場の勾配、方向微分係数およびそれらの幾何的意味を理解し、具体的な対象について計算できる。

(c) スカラー場のラプラシアン

到達目標

- ・スカラー場のラプラシアンの定義を理解し、具体的な対象について計算できる。

(d) ベクトル場の発散, 回転, 回転操作, 回転の重ね合わせ, 角速度

到達目標

- ・ベクトル場の発散と回転の定義を理解し、具体的な対象について計算できる。
- ・種々のベクトル等式を導出できる。

学修に当たっての配慮事項

- ・単なる計算ツールとして数式を覚えるのではなく、幾何的および物理的イメージをもてるよう配慮する。

(4) 線積分, 面積分, 体積分

(a) 線積分

到達目標

- ・スカラー場およびベクトル場の線積分を理解し、勾配場の線積分は、経路に依らず始点と終点のみで決まることを理解する。また、具体的な対象について計算できる。

(b) 面積分

到達目標

- ・スカラー場およびベクトル場の面積分を理解し、具体的な対象について計算できる。

(c) 体積分

到達目標

- ・空間内の体積分の意味を理解し、具体的な対象について計算できる。

学修に当たっての配慮事項

- ・多くの計算事例を通じて、諸概念に習熟するよう配慮する。必要に応じて電磁場・流体现象・力学などの工学分野への応用に配慮する。

(5) ガウスの発散定理, ストークスの定理

(a) ガウスの発散定理

到達目標

- ・ガウスの発散定理の意味を理解し、具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる。

(b) ストークスの定理

到達目標

- ・ストークスの定理の意味を理解し、具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる。

(c) 発散, 回転, 涡なしの場, 速度ポテンシャル, 涡, 発散のない場

到達目標

- ・発散は「泉の源」であること（極限による表現式）を理解する。
- ・回転は「渦の源」であること（極限による表現式）を理解する。

(d) グリーンの定理, グリーンの公式

到達目標

- ・ガウスの発散定理を用いてグリーンの公式を導くことができる。

(e) ベクトルポテンシャル, ヘルムホルツの定理

到達目標

- ・ベクトルポテンシャルの存在条件やヘルムホルツの定理を理解する。

学修に当たっての配慮事項

- ・電磁気や流体のイメージを援用して、定理の内容を直観的に把握できるよう配慮する。数式的意味は「領域内部の情報を境界上の情報に置き換える公式」であることを理解させる。

(6) 直交曲線座標表示

(a) 極座標, 平面極座標, 直交座標, 円柱座標, 直交曲線座標表示の基本ベクトル

到達目標

- ・直交曲線座標表示の基本ベクトルと元々の直交座標の基本ベクトルの間に成り立つ関係式を導出できる。
- ・具体的なスカラー場とベクトル場を直交曲線座標で表現できる。

(b) 直交曲線座標の勾配, ラプラシアン, 発散, 回転

到達目標

- ・場の量（勾配, ラプラシアン, 発散, 回転）の各種の微分演算が、どのように表現されるかを導出できる。

(c) 直交曲線座標の線積分

到達目標

- ・線要素がどのように表現されるかを理解し、具体的な対象について線積分が計算できる。

(d) 直交曲線座標の面積分

到達目標

- ・面要素がどのように表現されるかを理解し、具体的な対象について面積分が計算できる。

(e) 直交曲線座標の体積分

到達目標

- ・体積要素がどのように表現されるかを理解し、具体的な対象について体積分が計算できる。

学修に当たっての配慮事項

- ・代表的な例として、極座標と円柱座標の2つを取り扱う。

(7) その他

到達目標

- ・ガウスの発散定理、ストークスの定理について、微分形式の概念による統一的記述を理解する。

学修に当たっての配慮事項

- ・多くの計算事例を通じて、微分形式の概念を理解するよう配慮する。必要に応じて電磁場などの工学分野への応用に配慮する。

1-4. 【要望】複素解析

(1) 複素数と複素平面

(a) 複素平面, 複素数の極座標表示（極形式）

到達目標

- ・複素平面と複素数の極座標表示（極形式）について理解する。

(b) オイラーの公式, ド・モアブルの定理, べき乗計算, 複素数の n 乗根

到達目標

- ・オイラーの公式およびド・モアブルの定理を理解し、べき乗計算、複素数の n 乗根複素数列の極限など種々の計算に応用できる。

(c) 複素数列の極限, 複素数列の発散と収束, 複素数列の級数

到達目標

- ・複素数列の極限, 複素数列の発散と収束, 複素数列の級数を理解し, オイラーの公式およびド・モアブルを利用して, 複素数列の極限などの計算に応用できる.

【要望】(d)～(h)の項目は専門分野での必要性に応じて, 適宜, 取捨選択する.

(d) リーマン球面, 無限遠点

到達目標

- ・リーマン球面および無限遠点とは何かを理解し, リーマン球面上の円を理解する.

(e) コーシーの判定法

到達目標

- ・コーシーの判定法とは何かを理解し, それを利用して複素数列の収束性を判定できる.

(f) コーシーの乗積級数

到達目標

- ・コーシーの乗積級数は級数どうしの積であることを理解する.

(g) 一次変換(メービウス変換)

到達目標

- ・一次変換はリーマン球面上の円を円に写す(円・円対応)ことを理解する.

(h) 鏡像の原理

到達目標

- ・円に関する鏡像の原理とは何かを理解する.

学修に当たっての配慮事項

- ・複素数を高等学校で十分に学んでいないことを念頭におきながら, 具体的な事例に活用できるよう配慮する.

(2) 初等関数

(a) 基本的な複素関数(指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など)

到達目標

- ・基本的な複素関数(指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など)の定義および性質を理解し, 関数値および関数値の変化を求めることができる.

学修に当たっての配慮事項

- ・独立変数を虚軸方向に変化させたときの複素関数の振る舞いに留意する.
- ・初等関数は複素数の世界で考えると, わかりやすく見通しがよくなることを意識させる.
- ・対数関数や累乗関数は多価性をもつため, 一価関数との違いに留意する.

(3) 正則関数

(a) 複素関数の正則性, コーシー・リーマンの関係式, 調和関数

到達目標

- ・複素関数の正則性の意味を理解し, コーシー・リーマンの関係式による判定ができる.
- ・正則関数の実部・虚部がともに調和関数であり, 一方を与えると他方が定まることを理解する.

(b) 複素関数の基本事項(極限値, 連続性, 導関数, 微分可能性, 特異点)

到達目標

- ・複素関数の基本事項(極限値, 連続性, 導関数, 微分可能性, 特異点)を理解する.

【要望】(c)の項目は専門分野での必要性に応じて, 適宜, 取捨選択する.

(c) ド・ロピタルの定理

到達目標

- ・ド・ロピタルの定理を理解し, 具体的な不定形の極限が計算できる.

学修に当たっての配慮事項

- ・具体的な事例を通じて, 各種の概念および計算に習熟できるよう配慮する.

(4) 複素積分