

ITエンジニアの分類及びその役割・スキルに関する一考察

A Study on classification of IT engineers and their roles and skills

小 川 裕 克*

Hirokatsu OGAWA

はじめに

インターネットの普及と共に、情報システムは通信ネットワークを介してグローバルに接続され、社内システムはもとより、電子商取引など、様々なビジネスや社会システムで利用されるようになった。このような情報システムの普及はデジタル化とも呼ばれているが、これは半導体技術を中心としたハードウェアの進歩と共に、ソフトウェアの利用拡大が大きく貢献してきたものと言える。

ソフトウェアの設計・開発技術者を中心に、主としてIT (Information Technology) 関連の仕事に携わっている技術者を通常ITエンジニアと呼んでいるが、一口にITエンジニアと言っても、実際の呼称や役割は様々である。例えば情報システムの開発において、経営者や (ITの) ユーザーにシステム化のアドバイスを行うシステムコンサルタントや、業務分析等を担当するシステムアナリスト、システムの設計及びテストを担当するシステムエンジニア、さらにはプログラムの作成を担当するプログラマなどが存在する。もちろんその役割や名称はシステム開発方法論や情報システムのどの箇所の設計・開発を担当するか (例えばシステム基盤、ネットワーク、アプリケーションの設計・開発を担当するか)、さらには情報システムの運用管理を担当するか等によってその呼称や求められるスキルが異なる。

日本国内では、ITエンジニアの多くはIT企業に属している。ユーザー企業 (情報システムを使用する企業) のIT部門に所属するITエンジニアは、当該企業のビジネスを裏方で支える役割を果たしていて、必ずしも日の当たる存在ではない。このような事情もあるためか、ユーザー企業におけるIT部門及びITエンジニアの位置づけは必ずしも高くないのが現状である。

ところで2015, 6年前後から、IoTの広がりと共に第4次産業革命が進みつつある。しかもデジタル化が遅れている分野を中心に、様々な分野で最先端技術の適用や、I

* 経営総合学科－情報技術

Department of Management Synthesis – Information Technology

Tを活用した新しい仕組みの構築が進みつつある。これらはxTechと呼ばれているが、FinTech（Finance × Technology）やAdTech（Advertisement × Technology）、EdTech（Education × Technology）などがその例である。またビッグデータの活用やAI（Artificial Intelligence）、RPA（Robotic Process Automation）、VR（Virtual Reality）・AR（Augmented Reality）の活用、ブロックチェーンのビジネスへの適用などもその流れのひとつとして捉えることができる。情報システムへの最先端技術の適用により、これまでの業務プロセスの自動化の枠を大幅に超え、新しいビジネスや、様々な業務プロセスが融合した新しい業務プロセスが次々と生み出されている。これまでの情報システムでは事実上対応が難しく、人手に頼っていた業務もシステム化されつつあり、まさにデジタル革命と呼ぶことができる。そしてこのような最先端技術を組み込んだ情報システムの設計・開発は、従来型のITエンジニアのみでは不可能となりつつあり、最先端技術を使いこなすことができるタイプのエンジニアが脚光を浴びつつある。

従来型のITエンジニアを中心としたIT関連技術者については、IPA（2011a）が職種ごとにスキルを説明している。しかしながら現在注目されているようなAIエンジニアは入っていない上に、スキル中心に網羅的かつ詳細化して記述されているため、かえって読者にとって理解しづらいように見える。またIPA（2007）は高度情報処理技術者に焦点を当てており、ITエンジニアを全般的に分類しているわけではない。そこで本論文では、このIPA（2007）及びIPA（2011a）、さらにはITエンジニアの求職・転職サイトやIT企業へのヒアリング、筆者のITエンジニアとしての経験等をもとに、まず従来のITエンジニアを分類し、その役割を大まかに整理する。その上で、システム開発プロセス等とITエンジニアの仕事について、従来のものと、最近増加しつつあるデータ分析や新技術・新製品等を採用した場合とどう違うのか、どう変化してきたかを考察する。さらにビッグデータ分析やAIの適用に関して、新しいタイプのエンジニアであるAIエンジニアの役割と必要とされるスキルを整理し、今後のITエンジニアの在り方を考察する。

1. 従来の情報システムの設計・開発に関わるITエンジニアの分類

1.1 IT関連人材についての大まかな分類

情報システムの企画・開発等においては、ITエンジニアを含めて、様々な関係者（ここではIT関連業務を主とする人材をIT関連人材と言う）が携わっている。図表1はIT関連人材のイメージを図示しものである。この図表上、中央の太枠斜線で囲まれた部分がITエンジニアである。IT関連人材にはIT営業担当者、IT業務管理担当者など、必ずしもITエンジニアでない者も含まれる。ITエンジニアはIT関連人材の中

心的存在であり、ITに関する専門知識を持ち、[図表1] 企業内におけるIT関連人材情報システムの企画から設計・開発・運用・エンハンス（保守・機能強化）までの（どこかの）プロセスを担当する技術者である。

CIO（Chief Information Officer：情報統括役員）とCTO（Chief Technology Officer：最高技術責任者）は企業内のIT化を推進する責任者である。つまり、CIOは主に自社のIT戦略の策定と実行、セキュリティポリシーやセキュリティスタンダードの作成（特に情報セキュリティについて担当する）¹⁾、ITによる効率的な業務プロセスの構築・改良、様々なITに関

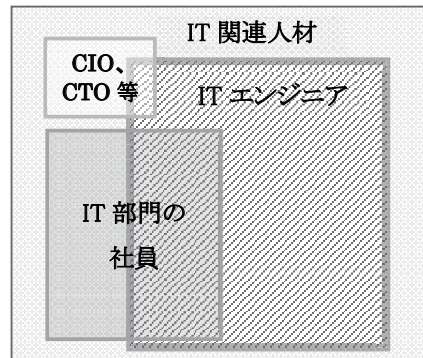
する課題の解決、IT資産の保持・最適化等を担当する責任者である。ただしCIOがITエンジニア出身ではないケースが多い²⁾ようである。またCTOは、自社の技術戦略や研究開発方針を策定し実行する。CTOはITエンジニア出身のケースが多いものと考えられる。もちろん、明示的にCIOやCTOという役職を設けていない企業も多い。

IT部門は通常、ユーザー企業、IT企業を問わず存在する（中小企業の中にはIT部門が明示的に存在せず、IT担当者のみ設置しているケースもある）。IT部門の社員はCIOまたはIT部門の役職者の指揮の下、自社ビジネスへのIT適用の企画（IT戦略の策定と遂行も含む）や、IT関連の予算管理・IT資産管理、ユーザーとIT化に関する様々な調整、ユーザーからのITに関する問合せや要望への対応、情報システムの開発及び開発管理（プロジェクト管理も含む）、アウトソースしているIT関連業務やシステム開発プロジェクトの窓口、IT内部統制構築・整備等を担当する。

一方情報システムの利用者であるユーザーは、本論ではIT関連人材に入れていないが、情報システムの開発・エンハンスにおいて、要求定義や運用テスト等に参加する。ただし、EUC（End User Computing）等も含めて、ユーザー自ら情報システムを開発し、利用している場合もある。

ユーザー企業におけるITエンジニアの多くはIT部門（図表1上の左下側の太枠に囲まれた部分）に属していると考えられる。この場合、IT部門の役割はユーザー企業によって大きく異なる。情報システムの設計・開発を自社内で行っている場合、ITエンジニアの役割は企画のみならず、設計・開発・運用と幅広い。ところが情報システムの開発・運用をアウトソースしている場合は、IT部門の主担当はIT企画業務と、ユーザーおよびアウトソース先への対応が中心になる。

IT企業は、ITをビジネスの主力としているが、IT企業内にもIT部門は存在し、自社の情報システムの開発・運用等を担当している。ユーザ企業とIT企業に所属する



(出所)筆者作成

ITエンジニアの違いは、自社の情報システムのための開発・運用を担当しているか、または顧客が利用するシステムの開発・運用も担当しているか、さらにはソフトウェアパッケージ等のIT製品を開発・販売しているかどうかであり、システムまたはソフトウェアの開発・運用という観点では同じ業務である。

従って本論におけるITエンジニアの分類においては、ITエンジニアがどのような業務を担当しているか、そのスキルも含めて考察し、ITエンジニアがユーザー企業に属するか、またはIT企業に属するかについては、特に断りがない限り区別しないものとする。

1.2 ITエンジニアの分類と担当業務

(1) IPAによるITエンジニアの分類について

IPA（2011a）の「ITスキル標準V3 2011」（2018年8月改定）は、職種をマーケティング、セールス、コンサルタント、ITアーキテクトなど11に分類し、さらに専門分野を35に分類した上で、必要なITスキル（実務能力）レベルを示している。様々な職種でITスキルが必要とされてきていることに対応したものである。またIPA（2007）は高度IT人材の育成を目指し、情報処理技術者試験を抜本的に見直している。この中で、高度情報処理技術者を図表2のように分類している。ITストラテジスト（図表2のNo1）はITによる解決のための基本戦略

を立案する役割を担う。ただしITの現場ではITストラテジストという名称はあまり使われていないものと思われる。ITストラテジストは、従来システムアナリストと呼ばれていた技術者と役割が若干重なるが、いわゆるCIO（Chief Information Officer）やシステムコンサルタントが持つべきスキルであると捉えることができる。

システムアーキテクト（図表2のNo2）と、ネットワークスペシャリスト～ITサービスマネージャ（図表2のNo4～No8）は、方式設計やシステム運用管理など、システム基盤関連の分野のスペシャリストとして位置づけられる。システムアーキテクトは（要件定義を含む）方式設計を担当し、（基盤系システム開発における）システムアナリストまたは上級システムエンジニアとも呼ばれている。ネットワークスペシャリストはネットワークの設計・開発のスペシャリスト、データベーススペシャリストはデータベースの設計・開発のスペシャリストである。データベーススペシャリストとデータ管理者との違いは、データベーススペシャリストがDBMS（データベース管理シ

〔図表2〕 IPAによる高度情報処理技術者の分類

No	分 類
1	ITストラテジスト
2	システムアーキテクト
3	プロジェクトマネージャ
4	ネットワークスペシャリスト
5	データベーススペシャリスト
6	エンベデッドシステムスペシャリスト
7	情報セキュリティスペシャリスト
8	ITサービスマネージャ
9	システム監査技術者

（出所）IPA(2007)

システム)の知識に精通し、データの物理的構造及び処理方式の設計・開発を担当するのに対して、データ管理者は主にデータそのもの、つまりコンテンツの管理を主担当としているということである。ただしアプリケーション処理からみたレコードのレイアウト等のデータベース設計は、通常、後述するAP(アプリケーション)エンジニアが担当する。またエンベデッドシステムスペシャリストは自動車や家電機器等、様々な機器(ハードウェア)に組込むソフトウェア(組み込みシステム)の設計・開発を担当するスペシャリストである。

プロジェクトマネージャ(図表2のNo3)はシステム開発プロジェクトの指揮官であり、様々な課題を解決しながら開発対象の情報システムの目標とするQCD(品質・コスト・納期)を達成すべく、プロジェクトを成功に導く責任者である。特に大規模情報システムの開発プロジェクトにおいては、APエンジニア、または基盤系エンジニアとしての経験はもとより、様々なシステム開発プロジェクトにおけるプロジェクトマネージャとしての経験が求められる³⁾。

情報セキュリティスペシャリスト(図表2のNo7)は情報システムを中心としたセキュリティ機能の企画から開発・運用、社内のセキュリティ管理を担当する。この情報セキュリティスペシャリストは、2016年4月の「情報処理の促進に関する法律」の改正(施行は同年10月)により、「情報処理安全確保支援士」という国家資格となっている。

ITサービスマネージャ(図表2のNo8)はITサービスマネジメント担当の管理者であり、ITサービスエンジニア(運用管理担当者または運用管理エンジニアと呼ぶこともある)のリーダーとして位置付けられる。ここでITサービスとは主に情報システムの安定稼働のための障害管理・品質管理などの運用管理、新システム(ソフトウェアやハードウェア)の受け入れ、情報システムの運用オペレーション、サービス(ヘルプ)デスクなどを担当し、いわゆるITIL⁴⁾に基づいた業務を主とする。

最後のシステム監査技術者(図表2のNo9)は、システムの開発及び運用について、信頼性・安定性・効率性・有用性の観点から監査を担当する技術者である。企業内のIT部門や内部監査部門に所属している場合が多いが、金融商品取引法に基づく内部統制報告制度における内部統制(特にIT統制)の構築・整備状況の監査(もしくはそのコンサルティング)担当者として、外部監査法人に所属している場合もある。

なお図表2では、「××スペシャリスト」や「××マネージャ」という呼称が使われている。これは高度情報処理技術者を示す呼称であるから、以降一般にITエンジニアを示す場合は「××エンジニア」と呼ぶこととする。

(2) 求人・転職サイトにおけるITエンジニアの分類

ITエンジニアが転職先を探す場合、本人のスキルと役割が合うかどうかもち

重要なポイントとなる。求人・転職サイトのProEngineer⁵⁾は図表3に示すように、ITエンジニアを15種類に分類している。図表2と比較して名称が異なったり、どちらか片方にしか載っていない職種もある。図表3におけるシステムエンジニアは、「設計から開発、そしてテストまでを一貫して計画し、進めていく存在」と定義されており、いわゆるAPエンジニアに相当すると推定される。ただし、Web関連のAPエンジニアは、①HTML等を使ってWeb画面のデザインを担当するマークアップ／フロントエンドエンジニア（いわゆるWebデザイナーとプログラマの二者）と、②Webシステムの設計・保守・運用を担当するWebエンジニアとに分けられている。また制御・組み込みエンジニアは図表2におけるエンベッドシステムスペシャリストに相当するものと想定される。テストエンジニアは特に大規模システム開発時のテスト担当や、製品・サービスの品質管理（テスト・検証・評価）を担当し、QA（Quality Assurance）エンジニア⁶⁾とも呼ばれている。

セールスエンジニアは、顧客に対して技術的な観点から製品やサービスの営業を担当するエンジニアである。同様にフィールドエンジニアは顧客先でコンピュータ関連機器の設置や設定・保守を担当する。サポートエンジニアは顧客が導入したハードウェアやソフトウェア製品の技術的サポートを行う、ヘルプデスク的な業務を担当すると考えられる。従ってフィールドエンジニア、サポートエンジニアは、共に図表2のITサービスマネージャ（ITサービスエンジニア）に含まれるものと理解される。

社内SE（システムエンジニア）は、通常ユーザー企業内に属しているITエンジニアであり、多くは図表1に示したIT部門に属すると見ることができる。従って、業務内容は所属する企業により異なる。例えば、情報システムの設計・開発・運用のすべてをアウトソースしている企業の場合、社内SEは情報システムの企画や、ユーザーからの要望の取りまとめや問合せ対応、情報システムの障害時の対応やアウトソース先の窓口の役割を果たす。一方で、外資系企業に多いようだが、社内SEがシステムの企画から設計・開発・運用までの一連の業務を担当しているケース（開発の内製化）もある。さらに、ユーザーと社内SE（場合によっては社外のSEも入る）が一つのチー

〔図表3〕 求人・転職サイトにおける
ITエンジニアの分類例

No	分 類
1	システムエンジニア
2	プロジェクトマネージャ
3	ネットワークエンジニア
4	データベースエンジニア
5	サーバエンジニア
6	Web エンジニア
7	マークアップ／フロントエンド エンジニア
8	制御・組み込みエンジニア
9	プログラマ
10	テストエンジニア
11	セールスエンジニア
12	フィールドエンジニア
13	サポートエンジニア
14	社内 SE
15	ブリッジ SE

（出所）ProEngineer の求人・転職サイト

ムを作りアジャイル開発⁷⁾を進めているケースも増えているようである。

またブリッジエンジニアはオフショア開発における橋渡し役であり、プロジェクトマネージャ的な機能とシステムエンジニア的な機能、さらにはセールス的な機能や言語力を持ったエンジニアである。オフショア開発が増加⁸⁾していることを受けて明示化したものと推定されるが、言語力のある（たとえば中国語ができる）システムエンジニアとも見ることができると、ITエンジニアの分類においては、ブリッジエンジニアとして敢えて明示しないものとする。

(3) ITエンジニアの分類についての補足的な考察

(a) システムエンジニア（SE）について

ウォーターフォールモデル⁹⁾によるシステム開発を考えた場合、専門的スキルという観点から、分類の対象とすべきITエンジニアは図表3のNo1（システムエンジニア）～No13（テストエンジニア）である。しかしながら、システムエンジニアは、システム化の企画・設計・開発の流れに沿って、次のように分けた方がわかり易いと考えられる。

- ①システム化の提案やアドバイスを担当するシステムコンサルタント
- ②システム化の方針（戦略）を考案し、推進するITストラテジスト
- ③主にシステム開発における超上流工程を主担当とするシステムアナリスト
- ④システム設計を主担当するシステムエンジニア
- ⑤システムのテストや品質管理を担当するQAエンジニア

なお多くのシステム開発プロジェクトの場合、ソフトウェアテストやシステムテスト、運用テストに際して、システムアナリストやシステムエンジニアが深く関わるケースが多い。

(b) APエンジニアとプログラマについて

図表2はあくまでも高度な技術を持つエンジニアを対象にしたものであるため、APエンジニアやプログラマが載っていない。APエンジニアは主にアプリケーション（応用ソフトウェア）の設計・開発・テストを担当するが、システム化対象となるユーザーのビジネスや業務フローなどを深く理解し、ユーザーの要求を要件定義としてまとめる能力が必要とされる。そしてウォーターフォールモデルのようなシステム開発方法論に基づいてシステムの設計・開発を進めることができない。上級APエンジニアは業務（ビジネス）のIT化の提案や要件定義、アプリケーション処理の方式設計も担当し、ITストラテジストとしての役割も担うため、いわゆるシステムアナリストと同義であると解釈される。APエンジニアは、情報処理技術者試験に当てはめると、応用情報技術者レベル以上の技術知識とスキルを持っていることが望

ましいと考えられる。

プログラマは、厳密に言うと、プログラムの設計書を作成するプログラムデザイナーと、その設計書に基づいてプログラムを作成するプログラマとに分けられる。しかし構造化設計やオブジェクト指向設計、さらにはアジャイル開発が広がってきたこともあり、プログラムの設計からプログラミング・単体テストまでを一気通貫で行うことが多く、この工程全体を担当するエンジニアをプログラマと呼ぶケースも多い。(またプログラマをSE(システムエンジニア)と呼んでいるケースもある)。従って本論では、プログラマを「プログラムの設計からプログラミング・単体テストまでの一連の流れを担当するエンジニア」と定義する。プログラマの中には、プログラミングを専門とするスペシャリストも存在するが、情報システムの設計・開発にけるプログラミングは初級のエンジニアが担当するケースが多い(つまりITエンジニアとしてのキャリアアップのスタート地点という位置づけの場合が多い)。もちろんSEが設計からプログラミング・テストまでを担当しているケースもある。なおプログラマもルール(システム開発ルールや標準化規定等)に基づいてプログラムを設計・開発することが要求される。この点、文系出身のSEやプログラマの方がルールに従うケースが多く、プログラムの品質及び保守性という観点からすると、属人的なプログラムを作成しやすい理工系出身のSEやプログラマよりも良いという声も聞かれる(この点については定量的な根拠はないが、文系出身で活躍しているSEやプログラマが多いのも事実である)。

(c) Web関連エンジニアについて

従来、端末画面の設計は通常APエンジニアが担当していた。そのため、使い勝手等が必ずしも良くないケースも多かったと推定される。最近では情報システムにおいてWebの利用が当たり前となり、UI(User Interface)／UX(User Experience)の優れた情報システムの開発が要求されるようになってきている。そのためUIの設計等については、単なるAPエンジニアでなく、UIのデザイナーとしてのスキルのあるエンジニア(Webデザイナー)が担当するケースも増えている。

図表3において、Webシステム(クライアント側アプリケーション)の設計・開発を担当する者がWebエンジニアであり、Webサイト側のデザイン及び画面インタフェースの開発を担当する者がマークアップ／フロントエンドエンジニアとなる。なおWebシステムの開発担当者は、ワイヤーフレーム(Webページのレイアウトを定める設計図)の作成を担当するディレクターと、ワイヤーフレームを基にWeb画面の色や形をデザインするWebデザイナー、Webデザイナーがデザインした画面をHTML等でコーディングするマークアップエンジニアとに分けることもできる。Webデザイナーがプログラミングも担当するケースもある。またマークアップエンジニアはいわゆるプログラマに属する。

(d) 組込みシステムエンジニア

滝澤豪（2016）によると、組込みソフトウェア業の従業者は2012年において約3万3千人とソフトウェア業従業者64万5千人の5%程度でしかない。しかしながら組込みシステムを内製化している企業も多いようであり、相当数のエンジニアが組込みシステムの開発に従事しているものと推定される（実際IPA（2017）によると、外部委託工数の比率は平均39%と低い）。しかもIoTの拡大と共に、今後は組込みシステムエンジニアの需要が増えていくものと予想される。このIoTにおける組込みシステムの開発を担当するシステムエンジニアはIoTエンジニアとも呼ばれている。

組込みシステムの開発においては、通常の情報システムと異なり、組込み対象となるハードウェアによる制約の基での開発となり、ハードウェア設計や、ドライバの開発等が入ってくることが多い。これまでの組込みシステムの大半は、組込まれた機器単体で動作していたが、最近ではネットワークを通じて他のシステムと連携させるケースが増えてきている。従って組込みシステムエンジニア（もしくはIoTエンジニア）はネットワークの知識とセキュリティの知識、場合によってはAIの知識も要求されるようになってきている。

(e) 情報セキュリティとITエンジニアについて

現在ではほとんど全ての情報システム（サーバーや情報端末）がLANやWAN、インターネットで接続されている。その結果、ビジネスや行政、個人の生活における効率化や省力化が大いに進んできたが、逆にサイバー攻撃やウィルスなどによるシステムダウン・情報漏洩・改ざん・詐欺などの情報セキュリティの問題が多発するようになり、影響範囲も大きくなってきている。従って情報セキュリティへの対応は、経営者はもとより、ITエンジニア、ITユーザーにとっても最も重要な課題のひとつとなってきていると言える。

情報セキュリティ対策は情報システムの設計から開発・運用にまで組込まれ、システム監査においても情報システムのリスクという観点から、情報セキュリティは重要な監査項目の一つとなっている。そのため、全てのITエンジニアには高度な情報セキュリティの知識が要求されるようになってきた。そして、その中でもさらに高度な情報セキュリティの知識を持つ技術者が図表2における情報セキュリティスペシャリストであると言える。

図表4は、情報セキュリティサービスを専門とする、IT企業に所属する情報セキュリティエンジニアを分類したものである。セキュリティコンサルタントの場合、情報セキュリティに止まらずGRC（Governance・Risk・Compliance）という統合リスク管理まで、幅広く対応する役割を果たす場合がある。

〔図表4〕 情報セキュリティエンジニアの分類

No	分類	役割
1	セキュリティコンサルタント	CSIRT(Computer Security Incident Response Team)構築までの対応や、GRCに係る各種アドバイスなどを行う。
2	セキュリティアナリスト	セキュリティログの分析を行い、サイバー攻撃の判断やその攻撃手法と対応(ソリューション)を提案する。
3	セキュリティエンジニア	サーバーやネットワーク機器のセキュリティモニタリング(診断)を行う。

(出所) 大手セキュリティサービス会社へのヒアリングを基に筆者作成

(f) ITサービスエンジニアについて

ITサービスエンジニアは、図表2（IPAの分類）におけるITサービスマネージャに相当し、情報システムの安定稼働のためのシステムマネジメント¹⁰⁾を担当する。ITサービスエンジニアをIPA（2011a）に示された専門分野（担当業務）を参考に分類すると、システムの運用管理全般を担当する運用管理エンジニアと、その責任者としてのITサービスマネージャ、システムの運用におけるオペレーションを担当するオペレータ、顧客対応を行うサービスデスクに分類できる。さらに顧客サポート業務担当という観点から、フィールドエンジニアやサポートエンジニアもITサービスエンジニアに含まれるが、ハードウェア機器のメンテナンス等を業務の主体としているケースが多い。またデータセンターの発電機や空調設備などの各種ファシリティマネジメント、顧客先へのハードウェア機器やソフトウェアの導入、保守点検などもITサービスに含まれるが、これらの業務もハードウェア機器主体の業務である。特にデータセンター業務においては、電力系技術者や一級建築士なども担当している場合もあり、必ずしもITエンジニアと言えない場合がある。

2. 新技術・新製品の導入を伴った情報システムの開発プロセスとITエンジニア等の役割

2.1 新技術・新製品の導入を伴った情報システムの開発プロセス

情報システムの設計・開発に際して、これまでも導入経験の無い新技術・新製品（新サービスも含む）の採用を検討し、導入を決定するケースが多くあった。新技術・新製品の採用にあたっては、図表5（a）に示すように、新技術・新製品の候補の（採用することによる効果、他社での導入実績、製品価格・維持コスト、ベンダーのサポート体制、契約書の内容などの）評価・検討を行い、情報システムへ適用するにあたっての課題を抽出し、解決させていた。つまり情報システム設計・開発において、

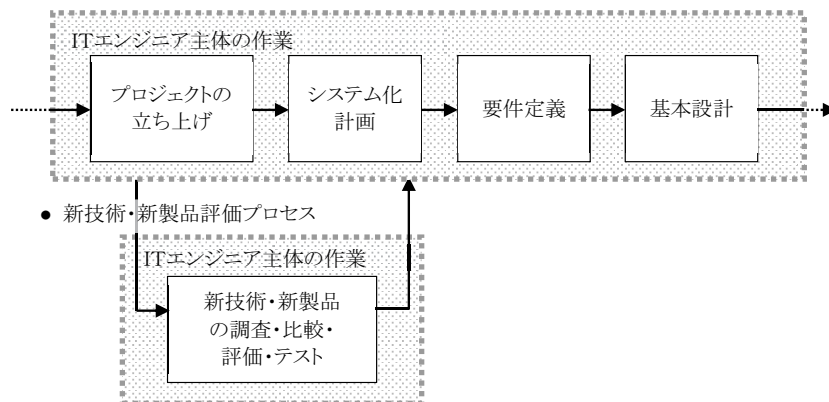
当該新技術・新製品の利用を事実上前提として、開発プロセスに先駆けて（または並行して）新技術・新製品の評価・検討を行うことが多かったと言える。もちろん場合によっては、プロトタイプ開発やクラウドサービスを活用して評価・確認テストを行ったり、完成した情報システムの利用部署やユーザーを限定したりして、新製品採用のリスクを低減することもあった。この新技術・新製品の評価は通常ITエンジニアが主体となって（場合によってはユーザー等と協同で）行っていた。

ところが最近の情報システムの設計・開発においては、上記のような新技術・新製品の評価のやり方では、十分に評価できないケースが多くなってきている。特にブロックチェーン（分散型台帳技術）やRPA（Robotic Process Automation）等の最先端の技術・製品を導入する場合である。その場合は、図表5（b）に示すように、新

〔図表5〕 新技術・新製品の採用のプロセス

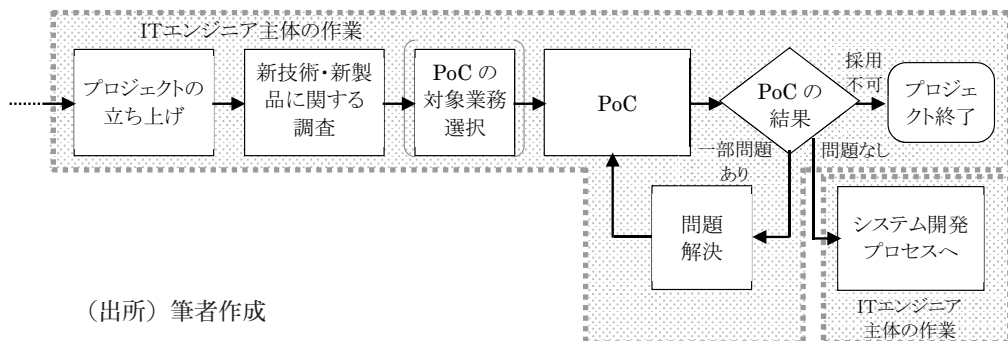
(a) 従来の新技術・新製品の採用プロセスと情報システム開発プロセスとの関係

・ 通常の情報システムの開発プロセスの例（ウォーターフォールモデルのケース）



(b) PoC実施による新技術・新製品採用プロセスの例

・ PoCのプロセス（プロジェクト）



（出所）筆者作成

技術・新製品採用の可否を判断するためにPoC（Proof of Concept：概念実証）¹¹⁾を実施する場合が多い。PoCを実施する理由として、以下のような点が挙げられる。

- ①対象となる新技術・製品は適用事例が少なく、技術面・機能面等でも発展途上の段階であることが多い。従ってPoCにより製品自体の様々な課題を洗い出し、解決する必要がある。
- ②これまで経験がない新しいビジネス分野及び新しい業務プロセスへ新技術・新製品を導入しようとしているため、PoCにより導入効果と導入に伴う課題を洗い上げ、新しいビジネスや業務プロセスに適用できるか（または適用すべきか）を判断しなければならない。
- ③新技術・新製品の導入により、これまでのビジネススキームが大きく変わってしまうため、PoCにより、現状の仕組みや関係組織にどのようなインパクトがあるか、最適なビジネススキームや最適なITアーキテクチャ構築ための判断材料を手に入れる必要がある。

しかしながらPoCにより新技術・新製品の導入の効果が得られ、そこで出た課題が解決できたからといって、システムテストや本番で順調に稼働するとは限らない（後述のAIの適用ケースで多く発生する可能性がある）。想定外の現象やインシデントが発生する可能性があるからである。場合によっては、条件等を変えてPoCを再度やり直す必要もある。また情報システムへの新技術・新製品の組込みにおいては、ビジネス環境等の状況の変化に柔軟に対応できなければならない。従って、特に最先端の技術や製品に関係する部分のアプリケーションの開発は、アジャイル開発やマイクロサービス（マイクロアーキテクチャ）¹²⁾を採用し、開発の柔軟性を確保すると共に、アーキテクチャ上も他の関連する部分（ソフトウェア）とは疎結合の構造を採用することが望ましいと考えられる。なお最先端の技術や製品の適用にあたっては、ハードウェア自体の改良やセキュリティの確保、場合によっては法改正も必要とするケースもある¹³⁾。

2.2 新技術・新製品導入におけるITエンジニア等の役割分担

新技術・新製品導入におけるITエンジニア等の役割も変化してきている。ここで「ITエンジニア等」と表したのは、従来のITエンジニア以外の担当者が入ってくるからである。

まず従来のシステム開発（図表5（a）のケース）における新技術・新製品の評価には、通常新技術・新製品を評価する側のITエンジニア中心に、一部利用ユーザーと新製品を提供するベンダーの営業マン及び当該新製品のスペシャリストであるIT

エンジニアが参加していた。PoC実施による新製品採用プロセス（図表5（b）のケース）では、PoC実施のための環境を構築するITエンジニア、PoCを実施するITエンジニアとユーザー、最先端技術・製品導入経験のあるシステムコンサルタントまたはスペシャリスト（ITエンジニア）が参加することになる。PoC後の情報システムの開発はITエンジニア主体で開発することになるが、総合テスト以降、問題が発生したり、仕様の変更等を行う必要性が発生する可能性が高いため、随時担当のスペシャリストを手配できるようにしておくことが望ましい。PoCは従来のシステム開発ではなかった工程であり、その分の追加期間と追加コストがかかり、新技術・新製品の採用リスクも存在する。従ってPoC実施に際しては目的とリスク等を明確にし、経営者やユーザーの全面的な協力を取り付ける必要がある。

3. データ分析成果の情報システムへの組込みプロセスとITエンジニアの役割

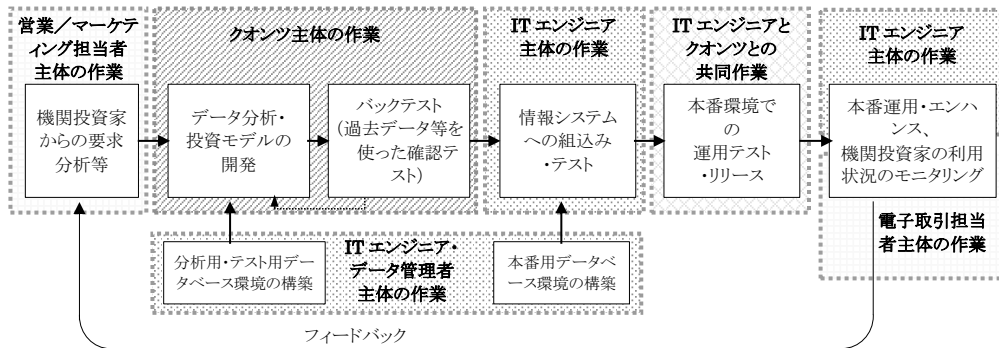
3.1 従来から行われていたデータ分析とその成果の情報システムへの組込みプロセス

従来からデータ分析の成果（モデル）を情報システムに組込むケースは存在していた。このようなケースにおいては、情報システムへの組込みに先立ち、データ分析者（データアナリスト）によるデータ分析及びモデル作成の工程が入って来る。例えば証券ビジネスにおける商品開発や投資モデルの開発の場合、数理分析専門家であるクオンツ（Quants）が数理統計解析ツールを用いて新商品や新投資モデルを開発し、情報システムに組み込むことになる。クオンツは高度な金融の専門知識を持ち、プログラミングも行いうケースが多いが、情報システムへの組込みに際しては、多くの場合、クオンツが作成した設計書を基にITエンジニアがプログラムを開発し、情報システムに組込む。エラー処理や例外処理等が考慮され、かつ標準化ルール等の作成ルールに基づいたメンテナビリティ（保守性）と品質の高いプログラムをITエンジニアが開発することにより、本番運用に耐えうる情報システムとなる。

図表6は機関投資家が行う株式アルゴリズム取引¹⁴⁾において、証券会社が投資モデル（ストラテジー：売買戦略）を開発し、これを情報システムに組込み、機関投資家に提供する（情報システムを本番で運用する）までのプロセスを図式化したものである。この情報システム（およびアルゴリズム）は証券会社の顧客である機関投資家が利用することになるため、十分なシステムテストと運用テストを経ることになる。また情報システムの本番リリース後も、機関投資家の投資モデルの利用の仕方やマーケットの変化を常時モニタリングし、これを投資モデルの変更や新しい投資モデルの開発へとフィードバックする。つまりデータ分析プロセスが追加されることにより、当該プロセスにITエンジニア以外のスペシャリストが参加することになる。また最近では投資モデルの開発においてAIも使われているケースがあるようである。なお図表6

の中でクオンツによる投資モデルの開発とバックテストがPoCにあたる。

〔図表6〕 株式アルゴリズム取引における戦略の情報システムへの
組込みプロセスと作業担当者の例（イメージ図）



3.2 AI導入のプロセス

前述3.1節のデータ分析の場合、適用対象が明確であり、分析データも基本的に揃っているケースが多い。ところがAI導入プロセスは別の問題や不確定要素が存在することが多い。ここでAIとは機械学習及びディープラーニングを指す（以下機械学習と言った場合、ディープラーニングも含むものとする）。従ってその工程は「①ビジネスの理解⇒②データの理解⇒③データの準備⇒④モデリング⇒⑤評価⇒⑥展開（または⇒①ビジネスの理解）」の順で進んで行き、試行錯誤を繰り返す¹⁵⁾。

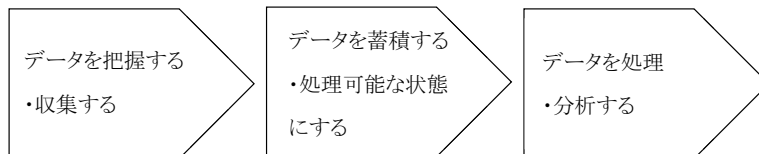
以下に考えられる主な問題や不確定要素を挙げてみた。

- ①適用対象業務（タスク）にうまく適用できるかわからない（目的・目標と分析結果が乖離する（期待した効果が出ない）可能性がある。または目的・目標が曖昧であったため、結果として適用できない）。
- ②AIは発展途上の技術であり、適用もタスク（業務の最小単位）レベルと狭く、適用範囲を広げてしまうと、AIの導入に失敗するケースが多い。
- ③利用できるデータが豊富に揃っていない。またはデータに抜けや間違いがある。データを分析に適した状態に加工する（データ前処理を行う）必要がある。
- ④AI導入の実務経験者が社内にはいない。

しかも2017年頃までは、AI導入プロセスについて解説した資料や書籍があまりなかったようである。筆者が調べた限りでは、平成24年（2012年）版情報通信白書に、ビッグデータの活用についての大まかな説明が載っていたくらいである（図表7参照）。

この図表7からわかることは、従来のデータ分析と異なる点として、ビッグデータは大量かつ非構造的であるケースが多いため、「いかに分析に使えるデータを集めるか、または分析できる形式にデータをどう加工するか」が重要なポイントであるということである。

【図表7】 ビッグデータ活用イメージ



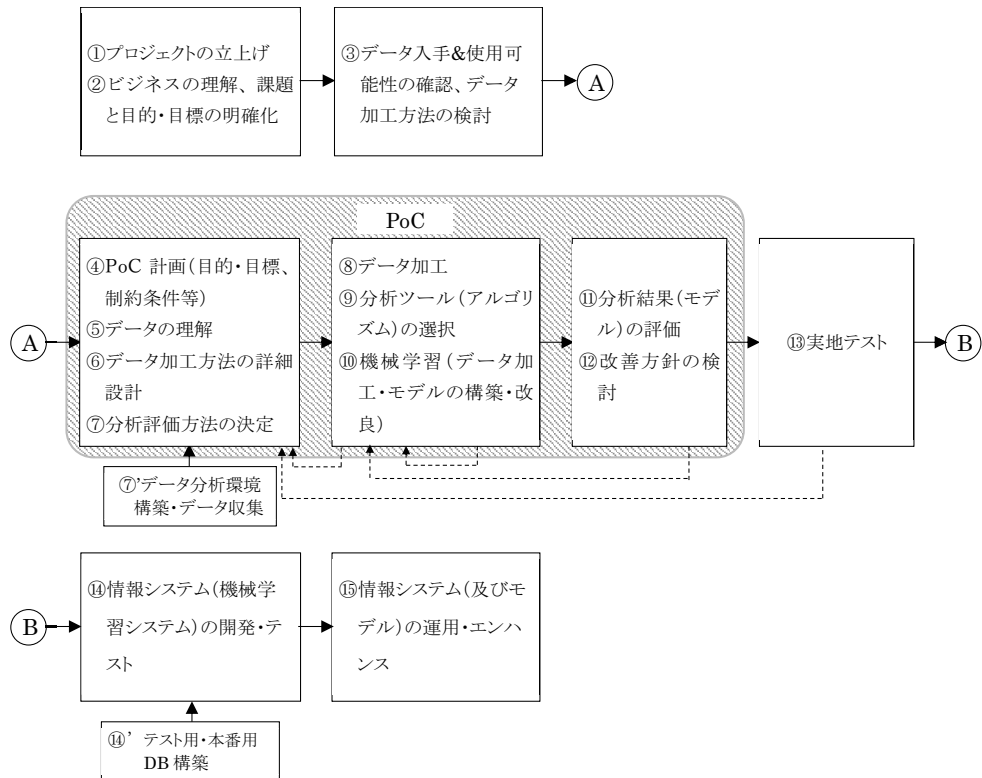
(出所) 平成24 年版情報通信白書の図表 2-1-4-2(p155)から筆者が抜粋

2018年に入り、ようやくAI導入のプロセスまたはデータ分析のプロセスを詳細に解説した資料や、AIエンジニア／データサイエンティストの役割を解説した書籍・資料が出てきた。図表8はデータ分析（機械学習）から機械学習システム開発・運用までの大まかな流れの例を示したものである。ポイントとして次の4つが挙げられる。

- ①通常の情報システム開発では、必要であるが、他の開発作業に比べて必ずしも重要視されなかったデータの理解やデータの入手・加工方法の検討、データ分析のためのデータ前処理が極めて重要となる。
- ②機械学習（モデル（アルゴリズム）の開発）においては、試行錯誤を繰り返すことになる。ただしモデル開発のためのツールはGoogleの提供するオープンソースTensorFlowや、DataRobotのような機械学習自動化ツールが提供されており、通常はツールを自ら開発する必要がない。
- ③PoCによりモデルが作成できて、本番では期待した結果が出なかったり、処理時間が長くなり過ぎたりして、実用に耐えられるとは限らない。そのため実地テストが必要になる。
- ④機械学習システムが本番運用を迎えても、入力データの変質等により処理結果が確率過程的な動きをする場合があるため、常時モニタリングし、必要ならばモデルの修正が必要となる。従って通常の情報システムと違い、モデルのバージョン管理や、本番データを使った分析環境及びデータのバージョン管理も必要になる。

図表8で、機械学習（データ分析）に関わるプロジェクトは①～⑬の工程であり、⑭は通常の情報システム開発プロジェクト、⑮は情報システムリリース後の本番運用・エンハンスになる。

〔図表8〕 データ分析（機械学習）から機械学習システムの開発までの流れの例



(出所) 野村総合研究所、NRI セキュアテクノロジース(2018)、及びブレインパッド(2018)などを参考に筆者作成

3.3 AI導入プロジェクトへの主な参加者とその役割

データ分析から機械学習システムの開発・運用・エンハンスまでのプロセスにおいては、図表9に示すように、従来のシステム開発とは違ったITエンジニア等が参加することになる。新たに登場するITエンジニアは、データサイエンティストと機械学習エンジニアであり、両者を合わせてAIエンジニアと呼ぶこともある。データサイエンティストと機械学習エンジニアの担当業務（役割）は重複している部分が多く、分担はプロジェクトにより異なってくる。両者の大きな違いは、データサイエンティストが図表9における一連の流れの中で、主に上流工程（特に前半部分）を担当し、成果（モデル作成とモデルの意味付け）を出す役割を果たすのに対し、機械学習エンジニア¹⁶⁾は、主に機械学習システムの開発を担当する、ということである。

なおIBM社のクラウドサービスWatson¹⁷⁾をAIツールとして利用する場合、図表9にあるようなAIエンジニアは必ずしも必要ないとのことである¹⁸⁾が、通常Watsonの特性や実現方法等を熟知したコンサルタントまたはエンジニアのサポートが必要になる。またWatsonに入力させるデータをどう収集し加工するかが重要である。そのた

〔図表9〕 データ分析から機械学習システム運用までの主な参加者

No	主な参加者		主な担当業務(役割)の例	図表 8 における 担当業務の例(プロジェクトにより異なる)
1	プロジェクトマネージャ		・プロジェクトのマネジメント	①～④
2	ビジネスアナリスト または ビジネスサイドの担当者		・AI 適用対象及び目的の明確化 ・利用データに関するデータサイエンティストへのアドバイス等	①～④, ⑪～⑮
3	AI エンジニア	データサイエンティスト	・AI 適用対象及び目的、成果の価値等について、意味付けと妥当性の判断 ・分析ツール(アルゴリズム)の選択、データの加工・モデルの作成・分析結果の評価・報告・改善 ・実地テストの実施	①～⑬, (⑭, ⑮)
4		機械学習エンジニア	・分析ツール(アルゴリズム)の選択、データの加工・モデルの作成・分析結果の評価・報告・改善 ・実地テストの実施 ・機械学習システムの開発	①,②,(④～⑦), ⑧～⑮
5	(情報システム開発担当の) IT エンジニア		・データの収集、データ分析環境の構築(データエンジニアと呼ぶこともある) ・機械学習システムが稼働する情報システム(アプリケーション及びシステム基盤・データ本番環境)の開発	①～④, ⑦', (⑤～⑬),⑭,⑭',⑮

(出所) 各種資料を参考に筆者作成

めWatson を適用する対象業務を熟知したビジネスサイドの担当者と、入力させるデータの収集・加工、タグ付け(データを分類するための情報の付加)作業などを行う担当者、Watson API (Application Programming Interface) を使うことができるITエンジニアが必要となる。

4. ITエンジニアの分類とその関係者

4.1 ITエンジニアの分類

前述1章及び2章をもとに、改めてITエンジニアを分類してみたものが図表10である。分類のポイントとは次の通りである。

①APエンジニアと基盤系エンジニア(組込みシステムエンジニアを含む)の分離

APエンジニアの担当分野は、よりユーザーのビジネスまたは業務に密接に結びついており、基盤系エンジニアは技術の方に軸足を置いている。情報システム設計・開発における担当部分も異なるため、両者を分けた。

②開発管理担当エンジニアの追加

開発管理担当エンジニアはIT関連の予算管理，設備の管理，開発プロジェクトの管理等を担当し，特に情報システム開発プロジェクトにおいてはプロジェクトマネージャを支える重要な役割を担っている。従って，開発管理担当エンジニアを明示的に追加した。なお開発管理担当エンジニアは通常，部・室またはグループとして活動する。システム開発プロジェクトにおけるPMO（Project Management Office：プロジェクト事務局）もここに分類した。

③機械学習システムが加わったことによるAIエンジニアの追加

データサイエンティストと機械学習エンジニアは共に統計分析に長けていて，役割として重複する部分もあるが，共にAI関連の専門技術者のため，AIエンジニアとして扱った。データサイエンティストはデータ分析中心に，ビジネスサイドの担当者とコミュニケーションを強くとりながら活動し，機械学習エンジニアは，主にモデル（いわばアプリケーション）を組み込んだ情報システムの開発を担当する。

④従来からの呼称であるシステムアナリスト，システムエンジニアの名称を残し，その中を再分類

APエンジニアの一員として，Web（端末系）エンジニアやWebデザイナーも存在する。基盤系のネットワークスペシャリストやデータベーススペシャリスト等は，システムエンジニアとして統一してもよいが，その役割と求められるスキルが異なるため，分けて表示した。またスペシャリストやマネージャはまとめてエンジニアに変更した。カッコ付のWeb（端末系）エンジニアとサーバーエンジニアは，通常システムエンジニアと呼ばれている技術者である。ここには表示していないが，ある技術や製品・サービスごとに，スペシャリストも多数存在する。たとえばERP（Enterprise Resource Planning）の導入においては通常，当該ERPに精通し，導入の実務経験のあるシステムコンサルタントまたはシステムエンジニアがスペシャリストとして参加する。

⑤昨今セキュリティの重要性が高まっていることを考慮し，セキュリティエンジニアを3つに分類

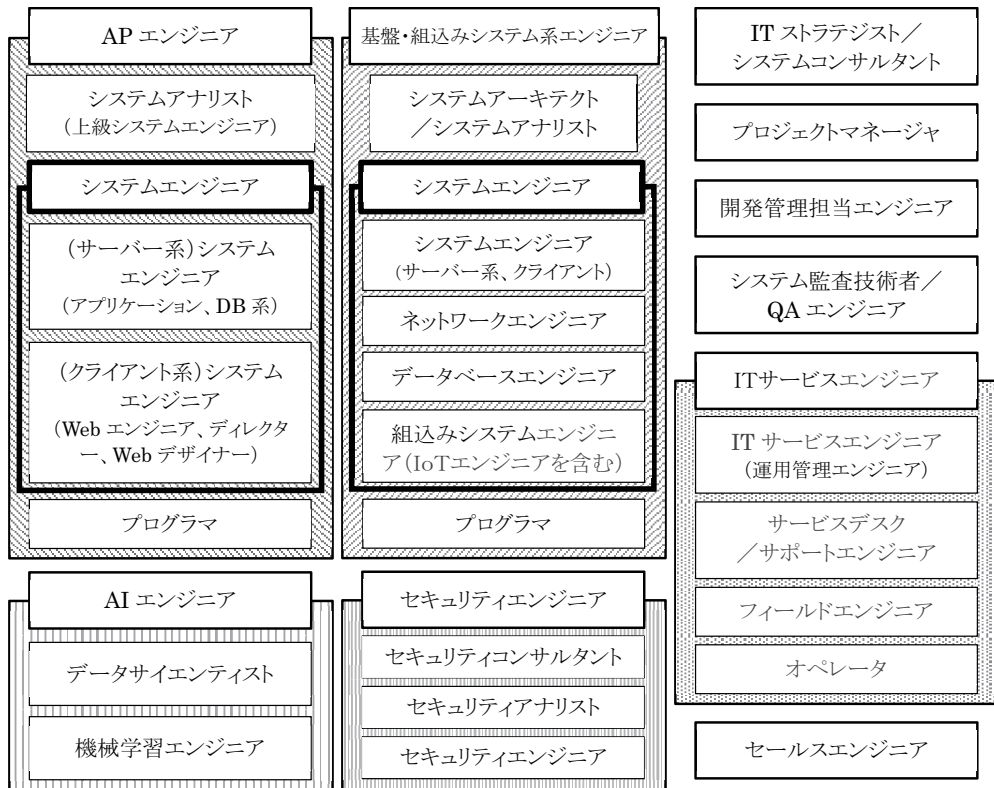
⑥ITサービスエンジニアを担当業務により細かく分類

セールスエンジニアは営業的側面が強いため，ここではITサービスエンジニアと分けた。

⑦図表2におけるITストラテジストに，システム化の提案等，ITに関するコンサルテーションを行うシステムコンサルタントを追加

⑧システム監査技術者にリスク管理・品質管理の観点からQAエンジニアを追加

〔図表10〕 ITエンジニアの再分類



(出所)筆者作成

なお組込みシステムエンジニアは図表2におけるエンベデッドシステムスペシャリスト、または図表3における制御・組み込みエンジニアに相当する。最近増えてきつつあるIoTエンジニアは、組込みシステムエンジニアとして扱っている。システム監査技術者は図表2のシステム監査技術者と同一である。

4.2 IT関連人材の所属先

ITエンジニアの所属先は、日本国内では情報システム構築のほとんどをIT企業が請け負っていることもあり、70%以上がIT企業に属している¹⁹⁾。特にユーザー企業におけるクラウドサービスの利用が増加するに従い、ITエンジニア（特に基盤系エンジニアやITサービスエンジニア）はクラウドサービスを提供するIT企業にシフトして行くものと予想される。一方でアジャイル開発が普及してくると、ユーザー企業内でのアプリケーション開発が増え、ユーザー企業内にAPエンジニアが所属する割合が増える可能性もある。

ITエンジニアは、ユーザー企業においてはIT部門に所属しているケースが多いと

思われるが、最近ではデジタル化の推進をIT部門以外の部署中心に行うケースも増えている。そのため、必ずしもIT部門に所属しないITエンジニアも増えているようである²⁰⁾。一方でIT企業の場合、ITの活用を主としたビジネスを展開しているため、IT部門以外の様々なビジネス部門に多くのITエンジニアが所属する。IT品質・リスク管理者（図表10におけるQAエンジニア）はIT製品・ITサービスの品質管理や情報システム開発プロジェクトのリスク管理、システム監査を担当するが、その位置づけ（役割）により所属部署が異なるものと想定される。特に内部統制監査担当のITエンジニア（システム監査技術者）は、IT部門及び内部監査部門または外部監査法人に所属するケースが多いものと推定される。

ITエンジニア以外のIT関連人材としてデータ管理者、IT機器等の調達・契約・経理担当者、IT営業担当者等が挙げられる。これらの担当者の所属部署は企業によってまちまちであると想定される。例えばデータ管理者は情報システムで扱うデータの管理（特にコンテンツの管理）を担当し、ユーザー部門に所属するケースが多いと考えられるが、外部からのデータ購入担当者はIT部門に所属するケースもある。またIT営業担当者は、セールスエンジニアも含めて、主に情報システム開発等の受注や自社IT製品・ITサービスの営業を担当するが、IT企業の営業部門または各事業部門に所属しているものと考えられる。

5. ITエンジニアに要求されるスキル

5.1 情報システムの変化による影響

企業が利用している情報システムは1990年前後から大きな変化を遂げてきている。この変化と共に、情報システムの設計・開発に携わるITエンジニアに要求されるスキルも変化してきたと言える。

1990年以前はメインフレーム上で稼働する情報システムが大半であり、少なくとも基盤系エンジニア及びパッケージソフトを開発するエンジニアはメインフレームメーカーに偏っていたと推定される。1980年代後半からUNIXワークステーションの利用が広まり、ダウンサイジングが急速に進んでいった。情報システムはクライアントサーバー型の分散処理が当たり前になり、これまでデータセンターで守られていたコンピュータ（メインフレーム）から、ユーザーサイトに設置されたUNIXサーバーに主役が移っていった。そのため、メインフレームメーカーに偏在していたITエンジニア（特に基盤系エンジニア）は、他のIT企業はもとより、ユーザー企業にも分散するようになり、各現場でハードウェアやネットワークに強いエンジニアが要求されるようになっていった。

情報システムのシステム構成の変化はその後も続いている。1980年代後半以降、

情報システム端末としてPCの利用が普及し、PC側のソフト開発を担当するAPエンジニアが必要になって行った。現在ではクライアント端末はPCのみならずスマートフォンやタブレット端末など多様化してきている。また2000年以降のインターネットの普及やWebの普及により、インターネットに接続された情報システム（Webシステム）が当たり前になり、それと共にユーザーインタフェースの向上やセキュリティの強化が課題となってきた。さらに2010年代後半になり、クラウドコンピューティングの利用が拡大し、データ処理の中心が、またデータセンター側に戻る流れが作られつつある。逆にIoTの普及やエッジコンピューティング、ブロックチェーンの広がりには分散アーキテクチャを推進するよう作用しているようにも見える。

アプリケーションの観点から情報システムの変化を見ると、これまでは基幹系システムが中心であった。ところがデジタル化の流れと共に、徐々に情報系システム（営業支援や意思決定支援などに使われるシステム）が増えてきている。実際、JUAS（2018）によると、2017年度におけるデジタル化を実施している企業の割合は20.9%（前年度比8.4ポイント増）となり、売上高1兆円以上の企業では71.7%（前年度比23.7ポイント増）となっている。デジタル化の代表的取組みテーマの多くは基幹系システム以外のもので、「新ビジネス・サービス・商品化」（30.5%）、「生産管理の高度化」（30.5%）、「顧客行動分析・CRMの高度化」（18.1%）などとなっている。さらに、デジタル化実施企業におけるデジタル化実施の意義としては、「競争優位の確保」（60.3%）、「新商品・サービスの創出」（28.9%）となっている²¹⁾。つまり定型的な業務のシステム化から、より不確定なアプリケーションへ、またはユーザー自身も業務要件を明確に出せないアプリケーションの開発に移行してきていることになる。

5.2 ITエンジニアに要求されるスキル

当節では代表的なITエンジニアのスキル（本論では能力に加えて、知識も含める）について考察してみる。

（1）ITエンジニア共通に要求されるスキル

①システム思考力とハードウェア及び通信の知識

ITエンジニアは個別最適化ではなく、全体をシステムとして捉えて全体最適化を実現する、システム思考力が要求される。特にIoTの普及に伴い、様々な端末が登場し、データセンターで集中処理するクラウドコンピューティングの広がりと同時に、今後はエッジコンピューティングをはじめとする分散処理の流れも存在する。システム全体のアーキテクチャを考える創造力とハードウェア及び通信（ネットワーク）の知識が要求されるようになってきている。

②システム開発方法論の修得

特にAPエンジニアや基盤系・組込みシステム系エンジニア、システム監査技

術者／QAエンジニアは情報システムの開発方法論を、実践（OJT）と理論の両面から修得する必要がある。品質の高いシステムを計画通りに完成させるには、まずウォーターフォールモデルを身に付ける必要がある。しかしながら一方で、デジタル化の流れと共に、情報システムを以前より柔軟にかつ短期で開発することが要求されつつある現在、アジャイル開発やマイクロサービスの方法論も修得することが必須であると考えられる。

③プロジェクトマネジメント能力

情報システムの開発に限らず、チームで何かを成し遂げるためには必ずプロジェクトマネジメント能力が要求される。つまりすべてのITエンジニアはプロジェクトマネジメント能力を実践と理論の両面から高めていく必要がある。

④ユーザー企業の事業戦略・ユーザー企業を取り巻く環境の変化の把握、新技術・製品・サービスの知識と動向の把握

5.1節で述べたように、デジタル化の進展により、情報システムの役割も、既存の業務のシステム化（自動化）から「競争優位の確保」や「新商品・サービスの創出」に軸足が移ってきている。そのために情報システムユーザーの属する企業の事業戦略や、ユーザー企業を取り巻く環境の変化を把握すると共に、新しい技術や製品・サービス動向を把握しておく必要がある。

⑤チャレンジ精神や主体性、行動力、洞察力などの人間的資質、企画発想力や創造性

総務省（2016）『平成28年版 情報通信白書』の「第4節必要とされるスキルの変化と求められる教育・人材育成の在り方」（pp254-256）において、有識者が挙げた「人工知能（AI）の普及に求められる能力」として、特に重要なものは「業務遂行能力」や「基礎的素養」よりも、「チャレンジ精神や主体性、行動力、洞察力などの人間的資質」や「企画発想力や創造性」を挙げた人が多かったと言う。一般のITエンジニアも同じ能力が求められていると考えられる。新技術、新製品の採用に関しても、採用することにより得られる効果と課題に対する洞察力、かつ積極的に採用して、企業の競争力を支える情報システムを構築できる能力が必要とされる。

⑥高いレベルの情報セキュリティの知識・技術

最近ではウィルスや情報漏洩等による被害が拡大している。従ってセキュリティエンジニア以外のITエンジニアも、高いレベルの情報セキュリティの知識と技術が必要となってきた。

(2) プロジェクトマネージャ／スクラムマスターに要求されるスキル

大規模（開発期間が1年以上、または開発工数が300人月以上のプロジェクトを想定）または中規模情報システム開発のプロジェクトマネジメントにおいては、

(中規模以上の情報システム開発における)豊富なプロジェクトマネジメントの実戦経験と、方法論としてのプロジェクトマネジメント知識が必要となる。プロジェクトを進める中で、様々な問題や課題が発生する。実戦経験が豊富でないと、内在する問題や課題を見極めることが難しい。プロジェクトマネジメント知識については、PMBOK (Project Management Body of Knowledge: プロジェクトマネジメント知識体系)を学修しておくことが重要であると考えられる。

アジャイル開発においては、プロジェクト自身が比較的小規模である場合が多いと考えられる。アジャイル開発では、例えばスクラム開発を採用した場合は、プロジェクトマネージャではなく、スクラムマスターがプロジェクトの成功を支援する役割を担う。つまりプロジェクトマネージャのようなプロジェクトを率いる指揮官と違い、プロジェクト及びそのメンバーの任務を達成できるようにサポートする役割を持つ。従ってユーザーニーズの変化に柔軟に対応できるだけでなく、ユーザーも含めたプロジェクトメンバーと緊密にコミュニケーションをとり、やる気を出させてプロジェクトを成功に導く能力が必要とされる。

機械学習等のデータ分析を行い、機械学習システムを開発するプロジェクトの場合、プロジェクトの規模としては小規模であることが想定されるため、大・中規模システム開発ほどのプロジェクト管理能力は要求されないが、PMBOKの基本は身につけておく必要がある。一方で、ビジネス(業務)上の目的を的確に把握し、機械学習の特徴と限界を理解しており、かつデータ分析能力を持つことも重要であると考えられる。

(3) APエンジニアに要求されるスキル

APエンジニアは従来からユーザーが属する業界のビジネスの動向を把握していると共に、その分野の業務知識を持っていることが要求されてきた。その上でシステム化対象となる業務プロセスを把握する必要があった。この必要性は今でも変わらないが、デジタル化が進む中、(1)で述べたように競争力を生む、攻めの情報システムが求められるようになってきている。

特にユーザー企業内のAPエンジニアは情報システムの構築・運用を通じて、業務プロセスの全貌及び情報システム全体を把握することができるため、先頭に立ってデジタル化を進めることができる。そのためにも、常に先進的な情報システムの事例や新技術・新製品等を学んでいる必要がある。例えばAIの導入プロジェクトにおいては、AIの特徴と限界、事例、分析対象データの理解などが必須となる。RPAの適用についても、RPAの特徴や強み弱み、適用可能な業務の理解や例外処理などを把握しておく必要がある。

ところがユーザー企業に属するITエンジニア(APエンジニアに限らない)は、

日々ユーザーからの問合せやシステム障害対応に追われていることも多い。またユーザーや経営者から「システム開発期間が長すぎる。要望への対応が遅すぎる。ITコストがかかり過ぎる」等の批判を受けることが多いのも事実である。クラウドサービスの活用やアジャイル開発の採用、さらにはハッカソンの試みなど、様々な手を打つことにより、ビジネスをリードするIT部門にしていく必要がある。一方IT企業に所属するAPエンジニアは、業務要求の洗い上げはユーザーの仕事と割り切り、ユーザーの業務を積極的に理解しようとしないケースも多い。開発契約が受託開発であることや、様々な顧客のシステム化案件を手掛けていることもあり、ユーザーの業務知識が希薄なエンジニアになり易い。ユーザーと一体となった開発を指向し、ITと業務の両方がわかるAPエンジニアとして成長していく必要がある。

(4) 基盤系エンジニアに要求されるスキル

基盤系エンジニア、特にシステムエンジニア以上はWebシステムやサーバー処理、データベース処理も含めた情報システム全体の方式設計能力が要求される。その上でネットワークやデータベース、セキュリティのスペシャリストとして成長していくことが望ましいと考えられる。また最新技術を情報システムへ適用することも重要になってきているため、常に最新技術動向を把握しておく必要がある。できればPoCなどを通じて最新技術の適用能力を高めたい。

基盤系エンジニアはユーザーの業務に疎い場合が多い。やむを得ない面もあるが、今後はユーザーのビジネスや業務を把握するように努め、新技術をどう適用したら効果が上がるか等を判断できる能力を高めていくことが必要であろうと考えられる。

(5) AIエンジニアに要求されるスキル

AIエンジニアが必要とするスキルについて、「“AIエンジニア” “スキル”」をキーワードとしてGoogleで検索すると549万件もヒットした（2019年2月現在）。AIエンジニアがいかに注目されているかが分かる。以下にいくつかの資料を参考にAIエンジニアに要求されるスキルを考察してみた。

①機械学習エンジニア

AIエンジニアのうち、機械学習エンジニアは、分析ツールを使ってデータ分析（機械学習）を行い、その成果を組込んだ機械学習システムを開発する役割を持っている。そのための基礎的な知識・能力として、Pythonなどを使ったプログラミング能力や、確率・統計を中心とした数学の知識、最適化理論などを駆使したアルゴリズムの知識が必須となる。機械学習を行うにあたっては、データ分析に先立つデータ加工処理（データ前処理）能力、データ分析に適合した分析ツ

ルをTensorFlow（機械学習用のオープンソースライブラリ）などのライブラリの中から選択する能力、そして分析ツールを使ってモデルを作成できる能力が必要となる。そのためにはAI技術の特性も把握しておく必要がある。さらに機械学習システムを開発するためにはシステムエンジニアとしてのスキルも必要とされる。機械学習システムの規模は比較的小規模であると想定されるため、高度なシステムエンジニアリング能力は要求されない場合もあると考えられるが、入力データの量やアルゴリズムによっては実用に耐えられないシステムとなる可能性もある。ハードウェア（CPUまたはGPU、メモリなど）の制約を意識したコーディング能力も必要であると考えられる。なお高度なアルゴリズムの研究開発を担当する場合は高等数学の知識と高度な分析能力・発想力が要求される。

②データサイエンティスト

データサイエンティストが必要とするスキルは機械学習エンジニアと重複する部分も多いが、特にビジネス課題を理解し、データ分析を通じて課題を解決できるスキルが重要である。データサイエンティストは幅広い知識を必要とし、常に最新技術の習得を心がけなければならないと言える。

データサイエンティスト協会（2017）は、データサイエンティストのスキルとして、(a)「ビジネス力」、(b)「データサイエンス力」、(c)「データエンジニアリング力」を挙げ、これらを以下のように定義している。

- (a)「ビジネス力」：課題背景を理解した上で、ビジネス課題を整理し、解決する力
- (b)「データサイエンス力」：情報処理、人工知能、統計学などの情報科学系の知恵を理解し、使う力
- (c)「データエンジニアリング力」：データサイエンスを意味のある形に使えるようにし、実装、運用できるようにする力

その上で、「データサイエンティストとはデータサイエンス力、データエンジニアリング力をベースにデータから価値を創出し、ビジネス課題に答えを出すプロフェッショナル」と定義している。またスキルレベルを「Senior Data Scientist 業界代表レベル」「Full Data Scientist 棟梁レベル」「Associate Data Scientist 独り立ちレベル」「Assistant Data Scientist 見習いレベル」「DS（データサイエンティスト）以前の方」に分類し、それぞれのレベルについて必要とされるスキルを細かく説明している。しかしながら「Assistant Data Scientist 見習いレベル」でさえ、相当レベルの高いスキルのように見える。実際、木村直人（2018b）は「データサイエンティスト＝スーパーマンはもうやめ

よう」という意見をWebに公開している。理想としてのスキルを目指しながらも、実務面も含めて、計画的かつ現実的なスキルアップが必要であると考えられる。

(6) 求められるAI人材の知識・技能についての補足

上記(5)においては、ビジネス等で活躍するAIエンジニアのスキルについて述べた。八木康史(2018)は「AI技術の研究開発を通じて、問題を解決したり、新たな問題を生みだして行く資質・能力」について述べ、求められるAI人材の知識・技能を図表11のようにまとめている。その上で、「企業視点でとらえ、理工系社員をおおむね、研究者、開発者、SE(セールスエンジニア)に分類するなら、職種ごとに、問題解決力、具現化力、活用力の重みが異なる」としている。開発者とSEの定義及び位置づけが不明であるが、ここで求めているAI人材の知識・技能は研究者を中心とした、AI技術・知識に焦点を当てたものであると推定される。実際のビジネス等の現場で活躍するAIエンジニアとしては、問題解決力として、プロジェクトを成功させるためのデータ収集及び前処理やPoCなどの実務を通した方法論を身につけておく必要があると考えられる。

5.3 ITエンジニアのキャリアパス

図表12はITエンジニアがたどると推定される大筋のキャリアパスを示したものである。この図表に示されたものはその一部であり、実際のキャリアパスは多種多様である。多種多様である要因として、要員不足を補うための対応策としての人事異動や、スキルのレベル向上のために、現場で様々な種類の職種を経験させた結果、さらには技術革新に対応す

〔図表11〕 求められるAI人材の知識・技能

①人工知能技術の問題解決力
●人工知能技術の先導的知識 知能情報学(機械学習、自然言語処理)、知覚情報学(コンピュータビジョン、音声情報処理)、知能ロボティクス ●人工知能技術の基盤知識・関連知識 推論、探索、知識表現、オントロジー、エージェントなど認知科学、脳科学、感性・心理 ●汎用的能力 価値ある問題を見つける(つくり出す)能力、見つけた問題を定式化し、問題解決の道筋を示す能力
②人工知能技術の具現化力
●コンピュータサイエンスの知識 アルゴリズムとデータ構造、データベース、アーキテクチャ、ネットワーク、IoTなど ●プログラミング技術
③人工知能技術の活用能力
●ドメイン知識・ターゲット分野知識 ものづくり、モビリティ、健康・医療・介護、インフラ、農業、サイエンス、防災・防犯、スマートコミュニケーション・エネルギー、学習、横断的な課題(情報セキュリティ、Web、サービスなど)

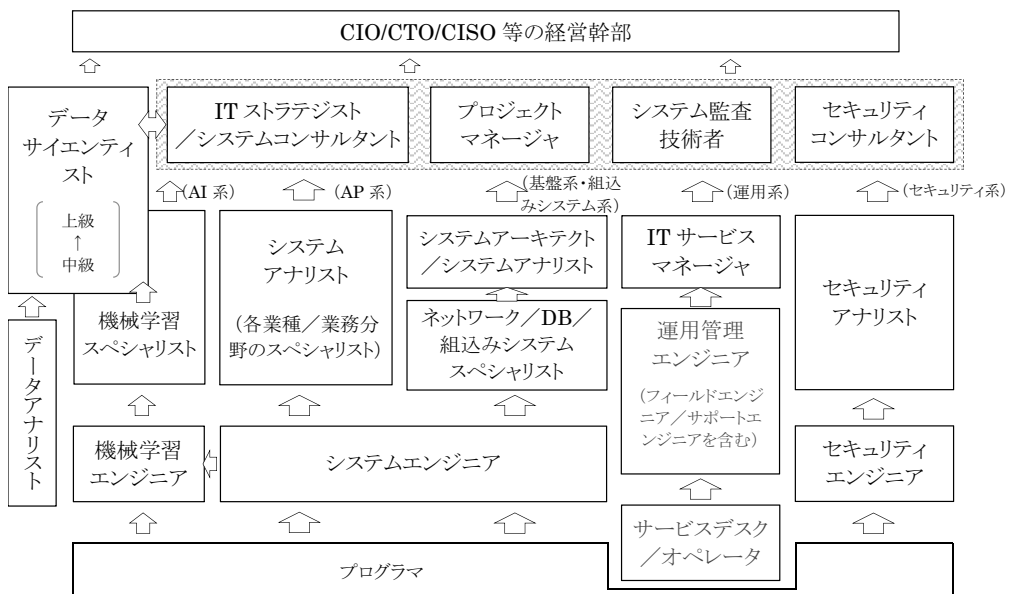
(出所) 八木康史(2018) (p260)

るために新しい職種のIT人材が必要とされてきていることなどが挙げられる。

理工系出身の社員の中には、学生時代にすでにプログラミング言語Pythonを使って機械学習を経験している者も少なくない。このような社員は入社と同時に機械学習エンジニアとして活動するケースも多いようである。また、AIエンジニアの人口が極端に少ない中、システムエンジニアをAIエンジニアとして育成しようとしているIT企業もあるようである。いずれにしても、AIエンジニアはつい最近になって注目されてきたこともあり、幹となる標準的なキャリアパスの確立はこれからであると考えられる。

なお図表12上のどの職種にも言えるが、それぞれの中でスキルレベルが異なったり、別の職種の役割を担うことも多い。例えばシステムエンジニアと言ってもプログラマのレベルに近いスキルの者から、チームリーダーとしての役割を担ったり、システム開発プロジェクトのプロジェクトマネージャの役割を果たしていたりする者もいる。同様にシステムアナリストとして活動していたエンジニアがシステム監査技術者としての業務を担うこともある。ただしAPエンジニア、基盤系エンジニア、運用管理エンジニアがそれぞれの専門性を高めて行くにつれて、お互いにスキル面・知識面で乗り越えにくい壁ができてしまう傾向があるように見える。まずはITエンジニア自身で自信の持てる専門分野を作ることが必要だが、徐々に仕事の幅を広げていくことが重要であると思われる。

【図表12】 主なITエンジニアのキャリアパスのイメージ（例）



(出所) 筆者作成

おわりに

経済産業省の「IT人材の最新動向と将来推計に関する調査結果」（2016年6月）によると、ITエンジニアを中心としたIT人材は、2015年時点で約17.1万人不足している。しかもIT人材の数は2019年の92.3万人をピークに減少して行く。その結果として（中位シナリオにおける）不足数は2020年で29.3万人、2030年で58.6万人に達する。また先端IT人材（ビッグデータ、IoT、AIを担う人材）は徐々に増えていくものの、2020年には4.8万人不足するという。

さらに松尾元信（2019）によると、米国のある大手金融機関の場合、自行に所属するITエンジニアは約1.1万人（全社員3.7万人の29.7%）であるが、日本のある大手銀行では約4千100人（全社員11.1万人の3.7%）と極端に少ないという。米国金融機関の場合、開発者を自社で抱えているとも想定されるため、単純比較はできないが、日本の金融機関の経営者はITの重要性に対する理解があまり深くないようにも見える。

IT人材の不足は、ITエンジニアに対する求人が増加することにより、ITエンジニアの価値が増すものと解釈される。結果として仕事のやりがいが増し、賃金も上昇して行くものと期待される。その反面、人材不足により、過重労働などの問題が発生しやすくなるリスクもある。ユーザー対応に追われたり、地味で忍耐の要る（大手IT企業からの）下請け業務に終始し、技術スキルの向上はおろか、肉体的・精神的に疲労していくのみとなる可能性も高い。このような事態に陥らないために、企業経営者はビジネス遂行において、ITの戦略的活用が重要であることを認識し、IT部門の地位向上等に努めることが必要である。一方でITエンジニア自身も、自分の仕事の目的や価値を明確にすると共に、生産性向上の努力や、地位の向上に努め、視野を広げていく必要もある。

IT人材不足は人数だけの問題ではない。藤野貴教（2018）によると、大企業の管理職層や若手層について、「テクノロジーによるリテラシー（知識・興味関心）の格差が、企業間また個人間で非常に開いている」、また大企業の管理職層について、「目の前の仕事の成果に追われるがあまり、視野が狭くなってしまうという状況に陥りがち」という。企業の経営者はもとより、管理職、若手社員のITリテラシーの向上と、視野拡大の努力が必要となる。

一方、飯村亜紀子（2017）はIT人材について、「数理・データサイエンティエンズ人材が足りないと言っても、大学教育においてきちんと教えている。企業はしっかり採用すべきである」「例えばAI・IoT人材が足りないといったとき、その専門家が必要なのか、あるいは専門は機械や電気、土木などを持ったうえで、AI・IoTに関する素養を持った人が必要なのか。後者の方が多く必要ではないかと思っている。さら

にIT分野は文系の人もきちんととっているし、とることができるし、理系の中でも差がある」という旨の意見を述べている。筆者がIT人材またはITエンジニアについて分類してみたいと考えたきっかけも、新聞等の報道で、「IT人材争奪」や「AI人材増員」というような文字が賑わっているが、具体的にどのようなスキルや役割の人材を採用したいのかについては殆ど触れていないケースが大半であったためである。高度な専門性を持って研究開発に携わる人材はもちろん必要だが、IT人材不足への対応という観点では、それほど高度な技術レベルではないが、コミュニケーション能力の高いIT人材の方が数の上では必要になるように思われる。そのためにも、文系の学生に対しても、実践で役に立ち、かつ自らが学びたくなるようなプログラミングや確率・統計等の教育の推進も必要であると考えられる。

注

- 1) 情報セキュリティ管理最高責任者（CISO：Chief Information Security Officer）またはリスク管理最高責任者（CRO：Chief Risk Officer）という役職が設けられている場合、セキュリティ管理全般はCISOまたはCROが担当する。
- 2) ITmediaエンタープライズ（2010）「日本にはびこる素人CIO」参照。
(<https://www.itmedia.co.jp/im/articles/1005/25/news105.html>)
- 3) 国内におけるプロジェクトマネージャの試験・資格として、IPA主催の情報処理技術者試験の他、PMI（米国プロジェクトマネジメント協会）日本支部が主催するPMP（プロジェクトマネジメント・プロフェッショナル）試験がある。
- 4) ITIL（Information Technology Infrastructure Library）は英国商務局（OGC：Office of Government Commerce）が、IT運用管理についてまとめたガイダンスである。
- 5) ProEngineerのサイト「あなたが目指すのはどれ？ITエンジニアの種類大解剖」参照。
(<http://proengineer.internous.co.jp/content/columnfeature/3108>)
- 6) QAエンジニアの詳細な役割については、ソフトウェアの品質向上専門情報サイト
(<https://www.valtes.co.jp/qbookplus/1168>) で解説している。
- 7) アジャイル開発はウォーターフォール開発の欠点を解決するために考案されたモデルであり、ユーザーニーズやビジネスの変化等に迅速（Agile）に対応し、情報システムを短期間で開発しようという方法論である。
- 8) IPA（2011b）はIT企業（262社）を対象にオフショア動向を調査したものであるが、これによると2009年度において、オフショア直接発注をしたことのある割合は全体の約28%、従業員1001名以上の企業では約73%となっている。
- 9) ウォーターフォールモデルとは、システム化の計画からシステムの完成までをいくつかの工程に分け、逐次進めて行く開発モデルである。
- 10) システムマネジメントでは主に情報システムの運用管理業務とオペレーション業を行う。運用管理業務には顧客対応や品質管理、リリース対応、維持管理（構成管理、障害管理、性能管理、可用性管理など）他があり、オペレーション業務には定常監視、障害時対応、ダイレクトオペレーション、データバックアップがある。
- 11) PoCは情報システム開発においては実証実験と同義語であると考えられる。
- 12) マイクロサービスは、小さく分割されたサービスを、独立した一つのプログラムとして開発するやり方である。

- 13) 例えばドローンを物流（荷物の配送）で用いる場合の解決すべき課題（2019年1月時点）として、①バッテリーの性能向上による航続時間を延ばすこと、②安定的に離着陸が可能となること、③航空法による規制の緩和、④通信のための専用通信帯の確保、などが挙げられる。
- 14) アルゴリズム取引とはコンピュータ（プログラム）を使って自動的に売買する取引のことを言う。
- 15) これはCRISP-DM（Cross-Industry Standard Process for Data Mining）というデータ分析プロジェクトのプロセスモデルである。
- 16) 日本ディープラーニング協会は、資格試験において、「ディープラーニングの理論を理解し、適切な手法を選択して実装する能力を持つ人材」を「E資格エンジニア」と定義しているが、本論における機械学習エンジニアの中でディープラーニングを担当するエンジニアは「E資格エンジニア」相当のスキルを持つ者を想定している。
- 17) 周知のとおり、IBMはWatsonをAIではなく、Cognitive Computing Systemと定義している。
- 18) 日本IBMの営業担当者へのヒアリングした結果である。
- 19) IPA「人事白書2017年」（p13）によると、2015年における企業に所属する情報処理・通信に携わる人材のうち、IT企業に所属する割合が72.0%（752,600人）、それ以外の企業に所属する割合が28.0%（292,600人）となっている。欧米においてはIT企業に所属する人材の割合は50%未満（例えば米国では34.6%）であり、日本と比べて対照的であると言える。
- 20) JUAS（2018）（p119）によると2017年度の「売上高別デジタル企画の中心組織」は調査対象全体で、IT部門中心25.4%、事業部門中心23.1%、デジタル化専門部門中心4.2%、IT部門と事業部門の共同チーム（組織化されていない）44.3%となっている。
- 21) JUAS（2018）（p116）では、「デジタル化の取り組み状況別デジタル化の実施意義」について、デジタル化を実施している企業（成果あり）（n=91）と実施している企業（効果検証中）（n=134）に分けて調査しているが、本論では実施している企業として両者を一つにまとめている。

参考文献

（AI関連の参考文献）

- ・ 廣田壮一郎，作山克也（2018）「データサイエンティストの活用戦略 ―データ分析を継続活用するために―」、『IT Solution Frontier 2018.10』（pp16-19），野村総合研究所
（<https://www.nri.com/-/media/Corporate/jp/Files/PDF>）
- ・ 工藤卓哉（2018）「ソフトウェア工学における問題提起と機械学習の新たなあり方」，機械学習工学研究会キックオフシンポジウム（<https://mlxse.connpass.com/event/80434/presentation/>）
- ・ データサイエンティスト協会（2017）「「データサイエンティスト スキルチェックリストver.2」および「データサイエンス領域タスクリスト」を発表」
（https://www.datascientist.or.jp/common/docs/PR_skillcheck_ver2.00.pdf）
- ・ 八木康史（2018）「AI人材育成のための教育プログラム：人工知能技術戦略会議での議論」、『人工知能33巻3号（2018年5月）』（pp259-264）
- ・ 藤野貴教（2018）「人工知能時代の働き方・考え方 ―組織で働く現場の声を通して―」、『人工知能33巻3号（2018年5月）』（pp290-295）
- ・ 木村直人（2018a）「人工知能（AI）におけるエンジニアに求められるスキルとは？」，ITプロパートナーズ（<https://itpropartners.com/blog/9363/>）
- ・ 木村直人（2018b）「データサイエンティスト・データアナリストを採用するために求人情報を出す前に考えること」，ITプロパートナーズ
（<https://analytics-and-intelligence.net/archives/643>）

- ・古明地 正俊（2017）「AIを使いこなすために必要なスキル」, 日経xTECH
(<https://tech.nikkeibp.co.jp/it/atcl/column/17/011600006/011600004/>)
- ・Joe McKendrick（2017）「AI関連のスキル育成には何が必要か」, ZDJapan
(<https://japan.zdnet.com/article/35105631/>)
- ・野村総合研究所ビジネスIT推進部, NRIセキュアテクノロジース（2018）『ITロードマップ2018年版』, 東洋経済新報社
- ・ブレインパッド（2018）『失敗しない データ分析・AIのビジネス導入』, 森北出版
- ・日立産業制御ソリューションズAI&ビッグデータソリューションセンタ（2018）『AI, IoTを成功に導くデータ前処理の極意』, 日経BP社
- ・石井大輔（2018）『機械学習エンジニアになりたい人のための本 AIを転職にする』, 翔泳社
- ・総務省（2016）『平成28年版情報通信白書』, 日経印刷

(IT人材関連・その他の参考文献)

- ・経済産業省商務情報政策局 情報処理振興課（2016年）「IT人材の最新動向と将来推計に関する調査結果～報告書概要版～」
- ・高井厚子, 北村彰子（2017）「UI/UXへの組織的な取り組みの重要性」, 『ITSolution Frontier 2017.06』(pp16-19), 野村総合研究所
- ・野村総合研究所システムコンサルティング事業本部（2108）『[図解] CIOハンドブック改訂5版』, 日経BP社
- ・飯村亜紀子（2017）「特別講演「Society5.0に向けた産学官連携による理工系人材育成」, 『工学教育, 65-6』(pp32-40)
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsee/65/6/65_6_32/_pdf/-char/ja)
- ・IPA（2017）「組込みソフトウェア開発データ白書2017」
- ・IPA（2011a）「ITスキル標準V3 2011」（2018年改訂）
- ・IPA（2011b）「IT人材白書2011」, 『オフショア動向調査（IT企業向け）データ編』
- ・IPA（2007）「情報処理技術者試験 新試験制度の手引 ー高度IT人材への道標ー」
- ・小川裕克（2016）「情報システム開発の開発方法論における課題に関する研究」『中部大学経営情報学部論集 第30巻 第1・2号』(pp37-64)
- ・JUAS（2018）『企業IT動向調査報告書2018』, 日経BP社
- ・瀧澤豪（2016）「組込システム産業の課題と政策展開について」, 2016年11月経済産業省
- ・松尾元信（2019）「金融庁のデジタルイノベーション戦略 ー機能別・横断法制, フィンテック, 仮想通貨ー」, 2019年2月28日, 第20回日本国際金融フォーラム2019 (p15)

