

### 3.5 ITアーキテクチャー

ITアーキテクチャーとは、外部的な要求や要件に応じて、最適なITシステムを構成するための設計思想と構成されたシステムの構造である。ハードウェア、OS、ネットワーク、アプリケーションなどのさまざまな要素技術や計算資源を有効に利用して要求された機能を実現し、性能や保守性などに関する要件を満足することが重要である。

ITシステムは多くの互いに連携しあう構成要素からなり、またその設計・運用に多くのステークホルダーが関わる複雑なシステムである。ここでは「システムの構造・働きに関する共通理解」としてのアーキテクチャーの概念が極めて重要である。アーキテクチャーとは、IEEE 1471 2000 によれば、「コンポーネント、それらの相互のまたは環境との関係、およびその設計と発展をガイドする基本原則によって具体化されたシステムの基本的な構造」である（図 3.5.1）。

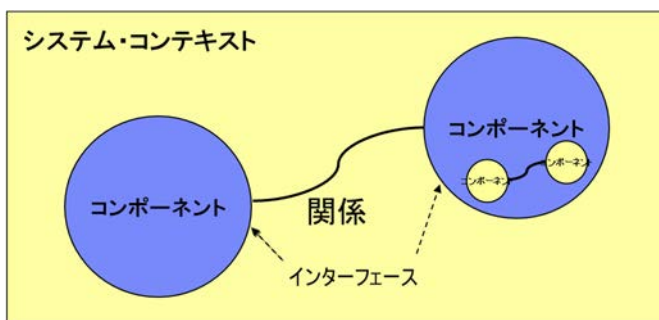


図 3.5.1 アーキテクチャーとは環境またはコンテキストとその関係を記述したもの

ITシステムには、様々なレイヤーが存在し、そのそれぞれにアーキテクチャーが存在する（図 3.5.2）。コンピューターのハードウェアのレイヤーにおいては、メモリー、ストレージ、I/O などのアーキテクチャー、それらをつなぐチャネル・アーキテクチャー、バス・アーキテクチャーなどがある。ハードウェアとソフトウェアの界面はコンピューター・アーキテクチャーと呼ばれ、S/370 アーキテクチャーや、X86 アーキテクチャーなど、主に機械の命令セットによって特徴づけられる。ソフトウェアのレイヤーでは、Unix や Windows のような OS のアーキテクチャー、.NET や J2EE などのミドルウェア、ユーザーインターフェースをつかさどるフレームワークなども広い意味でのアーキテクチャーと考えられよう。現代では、IT は単体システムではなく、多くの場合に複数ノードからなるネットワーク・システムで構成されるが、このようなシステムにおけるアーキテクチャーとして分類されるものとしては、クライアント・サーバーや、Web アーキテクチャーなどがある。さらに上位のレイヤーとしては、ハード・ソフト・開発・運用などを含めた、組織レベルの IT 全体のアーキテクチャーとしてエンタープライズ・アーキテクチャーがあり、それはビジネス・アーキテクチャー、データ・アーキテクチャー、アプリケーション・アーキテクチャー、技術アーキテクチャー、ガバナンスなどから構成される。いずれのレイヤーにおいても、複数の構成要素と複数のステークホルダーからなる複雑なシステムにおいて、全体がシステムとしてスムーズに機能できるようにするための、共通の理解・取り決めを行うのが「アーキテクチャー」という概念である。

### ITアーキテクチャの構造(レイヤー)

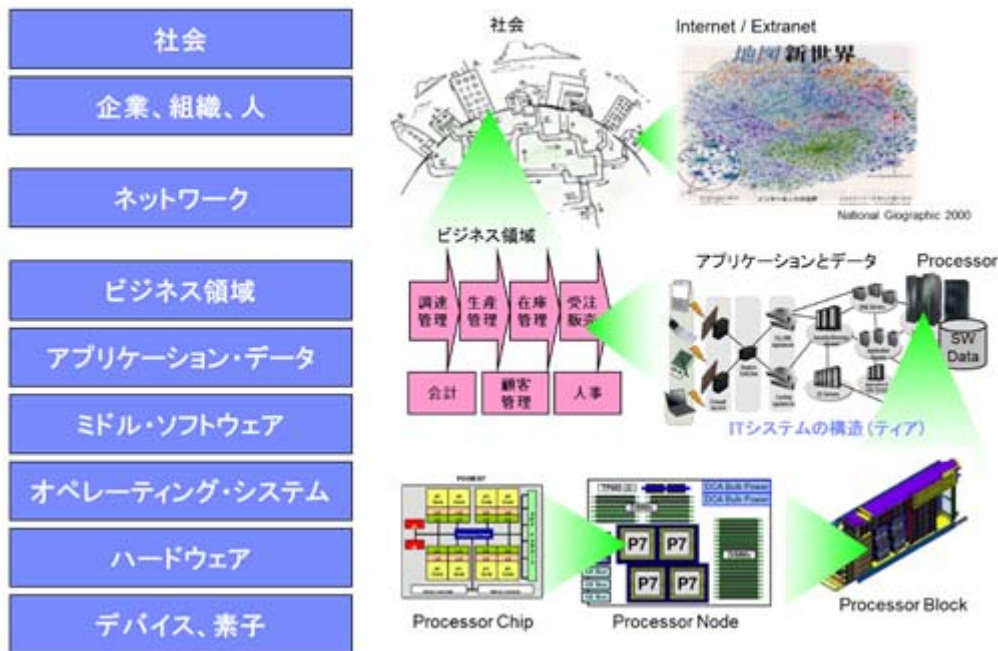


図 3.5.2 IT に関わるアーキテクチャーのレイヤー

良いアーキテクチャーは、わかりやすく見通しがよい。ステークホルダー間の誤解が少ないために、信頼性が高く、柔軟で高性能なシステムが構築できる。また、良いアーキテクチャーは接続する機器やソフトウェア提供者などの新たなプレーヤーを引きつけ、その結果周囲にエコシステムを形成する。したがって、良いアーキテクチャーを持つことは、産業競争力の上からも重要である。にもかかわらず、IT 業界で主流になったアーキテクチャーのほとんどは米国発である。今までの我が国における研究開発の主眼は差別的な要素技術の開発にあり、アーキテクチャーへの研究開発投資が軽視されていたきらいがある。

アーキテクチャーに関する研究開発投資が積極的になされてこなかった理由の一つは、「アーキテクチャー」という抽象的な概念が研究分野（ディシプリン）として成り立ちにくいことにあるかもしれない。要求分析、機能の分割とモジュール化、細部の隠蔽、利用方法の再利用としてのデザインパターン、非機能要求の実現など、レイヤーやドメインによらず有効とされる共通の方法論は存在するし、レイヤーやドメインに依存するものの、アーキテクチャーを記述する言語や、それを検証するツールなども研究の対象となってきた。しかし、アーキテクチャーの成功・失敗は、そのアーキテクチャー自体の良しあしだけでなく、産業上の力関係や政治力も関係するため、個別のアーキテクチャーの事例研究は可能だとしても、アーキテクチャーという抽象的な概念だけを対象にした科学的な研究は成り立ちにくい。

このため、本俯瞰区分においては、現在重要性を増しつつある6つの具体的アーキテクチャーに焦点を当て、それらの研究開発動向と課題を俯瞰する。アーキテクチャーという概念

を網羅的に捉えるものではないが、IT 分野全体のアーキテクチャーの流れを捉えようとしたものである。

IT 分野全体の歴史を俯瞰したとき、アーキテクチャーという概念が適用される領域は、IT が世の中に広く行き渡るにつれて大きく拡大していることに気づく。

IT 分野で「アーキテクチャー」という語が最初に使われたのはメインフレームの System/360 であり、それはハードウェアとソフトウェアの界面、すなわちコンピューター・アーキテクチャーを指していた。従って、IT 分野で「アーキテクチャー」というと狭義でコンピューター・アーキテクチャーを指すことも多い。その後、アーキテクチャーの概念は複雑化するハードウェアの部分アーキテクチャーに適用されるとともに、ソフトウェアや複数システムからなるクライアント・サーバーや3ティアとも呼ばれる Web コンピューティングと発展してきた（図 3.5.3 中段）。現代のコンピューター・アーキテクチャーは、急速に高密度化・高速化する半導体技術と、ますますバンド幅を増すネットワーク技術に大きく影響されている。いわゆる「ムーアの法則」により指数関数的に性能が上がってきた半導体技術であるが、電力消費密度などの限界により、1 コアの性能向上は頭打ちになってきている。そのために、高い性能を必要とするコンピューターシステムは、マルチコア化し、さらに複数のノードを高速に結ぶことによってクラスタ化してきている。仮想化や高度なシステム管理技術と組み合わせることにより、現代の典型的なデータセンターは、数千、数万を超える大量のノードから構成される巨大な計算機複合体となっている。その一つの実例は Amazon Web Services に代表されるクラウドコンピューティングである。

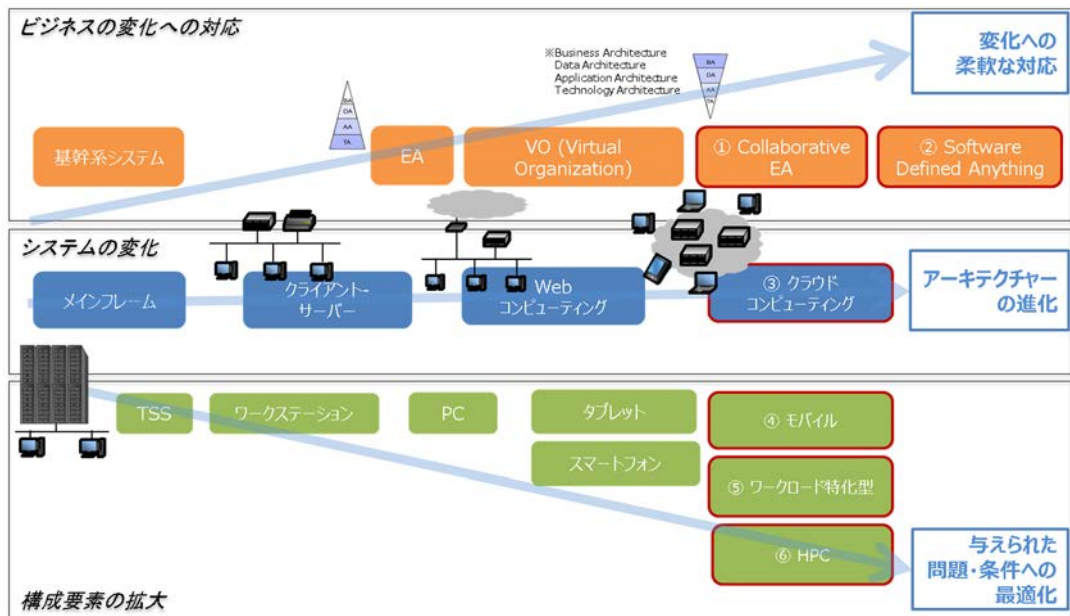


図 3.5.3 IT アーキテクチャー俯瞰図

（最適化と適応という2つのドライバーによるアーキテクチャーの進化）

加えて、アーキテクチャーの概念の多様化がなぜ起きてきたのかを考えてみると、最適化と適応という2つのドライバーが見えてくる。

まず、最適化からドライブされるアーキテクチャーについて考えてみよう（図 3.5.3 下段）。多様化した計算機構により、端末側では、2014 年現在において、今までの PC に変わって端末の主要なプラットフォームになりつつあるのがスマートフォンに代表されるモバイルプラットフォームである。この世界では、Apple の iOS と Google の Android が主要な勢力であり、これらのプラットフォームの上で動くローカルアプリとネットワーク上のバックエンド（クラウドサービス）とを組み合わせさせたシステムの構成が典型的になりつつある。

IT 利用領域の多様化に呼応するアーキテクチャー上の一つの大きな流れは、1 種類の汎用計算機で多様なワークロードを処理するのではなく、ワークロードごとに特化したアーキテクチャーのあり方である。ハードウェアのレイヤーでは、グラフィックス処理に特化した GPU とその汎化である GPGPU、信号処理に特化した DSP などがあり、またソフトウェアのレイヤーでは大量のデータセットを並列処理するための MapReduce、特定のデータ検索パターンに特化したデータベースである KVS (Key-Value Store)、イベントのストリーミング処理に特化した CES (Complex Event Processing) などのアーキテクチャーがある。

ワークロード特化型アーキテクチャーの一分野として特に科学技術計算においては、「第 4 の科学」と呼ばれるデータ中心科学がサイエンスの方法論として定着しつつあり、このために必要なスーパーコンピュータの必要性が高まっている。このようなハイパフォーマンスコンピューティングのアーキテクチャーも、それぞれが主に対象とする分野によって、異なる最適化が行われていて、アーキテクチャーの多様性が高まっている。

一方、IT のアーキテクチャーは同時に、ビジネスの変化に対応できるものでなければならない（図 3.5.3 上段）。IT は 1960 年ころから企業の給与計算や会計処理に使われるようになり、そこではバッチ処理に基づくトランザクションが主なワークロードであった。このような応用においては環境の変化は相対的に遅く、いったん開発されたシステムは長期にわたって安定運用することが求められた。しかし現代の IT は急速に変化するビジネス環境への対応が挙げられる。これをアーキテクチャーの観点から取り組もうとしたものがエンタープライズ・アーキテクチャーで、IT をビジネスの主力ツールの一つとして位置づけるためには、現代では必須の考え方である。

また、計算機システム自体が、要求の変化に柔軟に対応できるように考えられたアーキテクチャーとして、クラウドコンピューティングに加えてソフトウェア定義型アーキテクチャーという考え方が台頭している。

以上の観点から、本俯瞰区分においては、現在重要性を増しつつある以下の 6 つの研究開発領域に絞ることとする。

1. エンタープライズ・アーキテクチャー（EA）
2. ソフトウェア定義型アーキテクチャー
3. クラウドコンピューティング
4. モバイルコンピューティング
5. ワークロード特化型アーキテクチャー
6. ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）

現代の IT が抱える主要な課題が、その裾野の広がり（多様化）と、変化する環境への対応にあるとするならば、これら 6 つのアーキテクチャーを横串に見ることにより、関連する研究開発の方向性を俯瞰できるものと考えられる。

なお、本区分領域において考える「システム」とは、機能特化した構成要素を組み合わせ、構築する還元論的なアプローチによるが、生体のように基本的には同一の能力を持つ構成要素が多数集まることによって創発的に全体機能を発揮するようなシステム構築のアプローチも今後研究されていくであろうことを付記する。

### 3.5.1 エンタープライズ・アーキテクチャー

#### (1) 研究開発領域名

エンタープライズ・アーキテクチャー

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

企業や府省自治体など社会的な役割を果たしている組織（エンタープライズ）の業務（またはビジネス）とそれを支える IT システムにおいて、現在の構造（アーキテクチャー）とあるべき構造をモデルにより可視化することで、相互のギャップを減らし、組織におけるアーキテクチャーの全体最適を実現、維持し続けるための方法論の研究、構築、実践

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

エンタープライズ・アーキテクチャー（以下 EA）は、米国 IBM のビジネス・システムズ・プランニング(BSP)コンサルタントであった John A. Zachman(ザックマン)によって 1987 年ごろ提唱されたといわれている。Zachman は EA の父といわれており、氏の EA フレームワーク<sup>1)</sup>は、マトリクスの縦に組織内の利害関係者(Stakeholder)であるプランナー、経営者、設計者、開発者、作業担当者などを列挙、横には情報、機能、場所、組織、時間、動機などを 5W1H 的に配置し、各交差した場所には最適なモデルが存在するとしたものであった。氏の主張は、一つの組織の中にはさまざまな関心事(concerns)を持つ利害関係者がおり、業務と IT システムをそれぞれの立場(View Point)にとって最適なモデルで可視化しコミュニケーションしなければ、組織全体の最適化は困難だということであった。

その後、米国では 1996 年に、政府 IT 調達で各府省に EA の策定が義務化(Clinger-Cohen Act)され、調達先企業にも EA の構築が必要となり広く普及した。また 2002 年の SOX 法(米企業改革法)による内部統制強化施策も普及に対する大きな推進力となった。EA フレームワークの例として、米国連邦政府の CIO カウンシルが提唱している FEAF (Federal Enterprise Architecture Framework)<sup>2)</sup>や、米国防省の DoDAF (US Department of Defense Architecture Framework)<sup>3)</sup>が広く知られている。

2011 年にはグローバル標準化団体の The Open Group (TOG)が EA の構築方法論 TOGAF (The Open Group Architecture Framework) の新版 V9.1<sup>4)</sup>を公開している。TOG は、TOGAF をベンダー非依存でオープンな EA 方法論であるとしており、定期的にコンファレンスを開催、SOA(Service Oriented Architecture)やクラウドコンピューティング、セキュリティにも言及している。また、EA のモデルを拡張 UML (Unified Method Language : 統一モデリング言語) で表記することも推進している。日本にも TOG 支部<sup>5)</sup>が活動しており EA の普及を継続している。

日本では、不適切な政府調達（1 円入札など）の改善や e-Japan 計画、そして 2002 年の某金融機関統合における大規模システム障害などから IT ガバナンスの重要性が大きく認識され、FEAF を参考にした政府の EA である「業務・システム最適化計画」<sup>6)</sup>が 2003 年より開始された。その後、EA は多くの日本企業でも採用が進んでおり、特に金融機関<sup>7)</sup>、大手製造業などで盛んに推進されてきている。また、2013 年には政府 CIO 法の成立により IT 総合戦略室、政府 CIO が正式に設置され、府省横串での業務・システム最適化に貢献しており、マイナンバー制度の実現、オープンデータ活用なども推進されている。総務省による

自治体 EA 業務・システム刷新の推進もおこなわれている。

昨今さらに EA が重要になってきたのは、業務やビジネスと IT システムの機能を一致させることがますます困難な時代になってきたためである。ビジネス環境は急激に変化し、それに対応するため経営者は朝令暮改で方針を変更する機会が増している。かたや IT 技術は日進月歩であり、ますますそのスピードを上げている。例えば数年前、Linux は Web のフロントシステム程度しか使用できなかったものが、いまや基幹系の DB システムでも利用され、さらに自らは資源を保有しないでよいクラウドコンピューティングも急速に普及している。加えて、業務を支えるアプリケーション・システムはますます複雑化してきている。そのため、システム構築に長い時間がかかり、機能の追加修正も大きな負担がかかる。しかし「良いアーキテクチャーは時代の変化に強い」。例えば汎用計算機 IBM S/360 アーキテクチャー(1964年発表)、某金融機関の基幹系システム<sup>7)</sup>(1987年稼働)、IT ではないが新幹線(1964年開業)やジャンボジェット機(1969年就航)など、良いアーキテクチャーを構築したことで数十年に亘って、ビジネス要求の変化、適用する技術の変化をすばやく吸収することができている。「良いアーキテクチャー」に基づくシステムは、場当たりの増改築やスクラップ・アンド・ビルドに比べ、費用、期間、トラブルを大幅に削減することが可能である。EA を用いることで長期に亘って業務・IT システムの「良いアーキテクチャー」を構築し、あるべき姿に向けて各プロジェクトをアーキテクチャー統制(ガバナンス)することで、ビジネスや IT 技術の激変に対応し、全体最適を実現できる。

EA におけるアーキテクチャー・モデルは図 3.5.4 左に示すように、ビジネス・アーキテクチャー(BA)、データ・アーキテクチャー(DA)、アプリケーション・アーキテクチャー(AA)、テクノロジー・アーキテクチャー(TA)の4階層構造として関心事を分離して構築していく。また、それぞれの現時点(As Is)モデル、あるべき理想(To Be)モデルを策定、そして中期計画などで達成しえる(Can Be)モデルを設定することもある。この4階層3世代全てを一度に可視化し統制することはなかなか困難であるため、喫緊の経営課題にふさわしい領域から着手し、他へ広げていくことが行われている。EA を実践するための最低条件は、エンタープライズの課題領域のモデル化、あるべき姿と移行計画、そして移行を推進するため各プロジェクトに対してのアーキテクチャー統制(ガバナンス)の仕組みである。

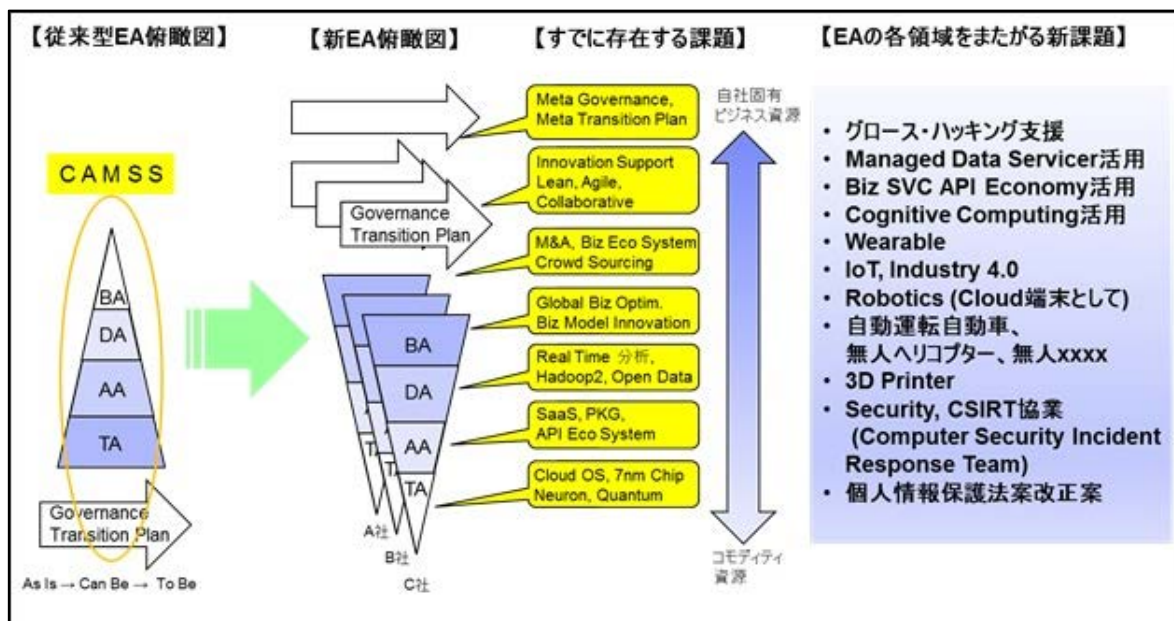


図 3.5.4 EA 俯瞰図

ビジネス・アーキテクチャーでは業務のアーキテクチャーを業務機能コンポーネントとそれらの相互関係で表現し重複や最適化を見いだす手法(CBM<sup>8)</sup>: Component Business Model)や、変化に強く最適なビジネス・プロセス・モデル (BPM)を構築し、BPMN (Business Process Modeling Notation)などを用いてシームレスに IT システム化していく手法<sup>9)</sup>が注目されている。BABOK<sup>10)</sup>や BIZBOK<sup>11)</sup>などの各 BOK (Body of Knowledge: 知識体系)、OMG の BMM (Business Motivation Model)<sup>12)</sup>との連携も模索されている。

データ・アーキテクチャーでは従来の基幹系システムを念頭においた概念エンティティ関連図(ER Diagram)やデータフロー図に加え、DMBOK<sup>13)</sup>との連携も必要となっている。さらにはソーシャルネットワーキングサービス(SNS)の「つぶやき」やCRM(Customer Relationship Management)の音声記録など非定型のいわゆるビッグデータをどのように可視化し最適に扱うべきかが注目されている。

アプリケーション・アーキテクチャーは、業務アプリケーションをコンポーネントとして扱い、機能ポートフォリオの把握や、アプリケーションの乱立を防ぐために総数の削減をモデルで検討することが鍵となる。さらには各部門がかってにクラウドコンピューティング上のアプリケーションをAPI(Application Programming Interface)経由で活用する時代に、どう対応するかが求められてきている。

テクノロジー・アーキテクチャーではサーバー、端末、ソフトウェア、データベース、ネットワークなど IT コンポーネントの配置や接続トポロジーを管理する。またテクノロジー動向調査を定期的の実施し、昨今注目されている CAMSS といわれているクラウドコンピューティング(C)、ビッグデータ分析(A)、モバイル(M)、ソーシャル技術(S)、セキュリティー(S)など多面的な領域の技術革新をいかに最適に採用していくか、その時期はいつなのかの判断を行う。

アーキテクチャー・ガバナンスと移行計画では、その組織がどのような方針に基づいて EA を構築し推進していくのかを示す原理原則 (Principles)を文書化し利害関係者が共通認



識に立つことが重要である。そして経営戦略や IT 戦略から想定される「あるべきアーキテクチャーの姿」を可視化し、各プロジェクトに対して全社最適に近づけるためのアーキテクチャー統制を行うことでその移行を実現していく。従来から課題となっている部門個別最適からの脱却、共通仮想サーバーへの集約、SOA による共通サービス活用の推進に加え、新規事業創出、急速なグローバル化、統合、合併、分割などにおける貢献、さらにはプレーキ役の統制からイノベーションを推進するアクセル役となるための新たな EA イニシアチブと EA 人材育成も求められている。

#### （４）科学技術的・政策的課題

従来型の EA では一組織内の基幹系システムと部門分散システムを前提として全体最適を目指した。しかし、図 3.5.4 左のように CAMSS の適用で全体最適を図ろうとすれば EA の 4 層全体に同時に影響を与えることになる。加えてこれからの EA は図 3.5.4 右に示すような大きな変化にさらされると考えられる。各層では、それぞれ新たな変化を必要としており、TA 層はますますコモディティ化し、自社自組織固有のビジネス資源は DA、BA 層にシフトしていく。さらには CAMSS だけでなく EA の 4 層をまたがる新課題がすでにくつも見えてきている。これらは従来型の EA だけでは対処しがたく、したがって、移行計画も、それを実現するためのアーキテクチャー統制も変わっていかねばならない。しかし新時代の EA は方法論化やパターン化がまだ確立されておらず、ベストプラクティスすらこれから収集する段階にある。今後の 4 層の重要度を図に反映すると、従来の EA の単一の三角形俯瞰図は、複数組織の逆三角形の俯瞰図に変わっていかねばならない。EA 自身が変化できずイノベーションのジレンマ<sup>14)</sup>を引き起こすことがないように、従来型の EA 方法論やベストプラクティスに加えて、以下のような 7 つのテーマを研究し、その構築と実践が必要である。

##### ① ビジネス形態の多様化への EA 支援

従来型の EA では一組織の全体最適をスコープにしていた。しかし昨今では企業のグローバル化が一気に進み、企業買収(M&A)もグローバルレベルで頻繁に行われている。さらには、従来のケイレツやサプライチェーンとは異なった緩やかなビジネス・エコシステムの構築や、CSV (Creating Shared Value)<sup>15)</sup>として「企業の事業活動を通じて社会的な課題を解決していく経営理念」も推進され、他の企業や社会との関係も劇的に変化してきている。M&A 時点の EA<sup>16)</sup>や、一時的に企業が連携しあう仮想企業(Virtual Enterprise)における EA の研究<sup>17)</sup>もなされてきている。これらを加速し、グローバル企業買収における EA 自身の速やかな統合や、複数社をまたがるビジネス・エコシステム全体の仮想 EA(Virtual EA)のあり方など、一段上位(メタレベル)の EA ガバナンスと移行の考え方、パターン化を新たに構築していく必要がある。

##### ② 統制型からイノベーション支援型への EA 変革

近年の IT イノベーションのスピードは目を見張るものがある。クラウドコンピューティングとして Amazon S3 が市場に登場したのは 2006 年、iPhone によってスマートフォンが急拡大を始めたのは 2008 年、そして SNS がブレイクしたのは 2010 年頃で、どれもがわずかに数年前に始まったことである。また、従来型の EA では、アーキテクチャー全体最適とし

て SOA が大きなテーマであったが、クラウドコンピューティングの時代にあつて他社の共通サービスを API 経由で素早く連携してイノベーションを起こすようにするためには、SOA 自身も Web Services 形態から REST 形態に移らざるをえない<sup>18)</sup>。EA 自身がプロアクティブに変革をおこなえる必要がある。

IT イノベーションが加速する時代にあつて、EA は従来のブレーキ役としての「文鎮」型アーキテクチャー統制から、さまざまなチャンスで組織に刺激を加える「ガスレンジ」型、かつ沢山のイノベーションの種を撒いて育てる「農業」型へ自身を変革していかねばならない。そのために EA に組み込むべき IT パラダイムシフトとしては、1) 仮想化やモバイルによる場所の非依存 2) インターネットによるグローバル障壁の破壊 3) クラウドコンピューティングによる「作る」から「借りる」への変化 4) SNS や App Store のようにトップダウンからボトムアップへの力の変化 5) オープンで相互操作性が高いことの重要性 (TOG では Open Platform 3.0<sup>19)</sup>としている)などを挙げるができる。これらはすでに MoT (Management of Technology) やイノベーション自身のアーキテクチャー<sup>20)</sup>とプロセス<sup>21)</sup>で研究されていることであり、早急に MoT の考え方やイノベーション・アーキテクチャーとイノベーション・プロセスを EA 方法論に組み込んでいく必要がある。この時に重要なのは、MoT でよく話題にされるモジュール型(新結合による素早いイノベーション)とインテグラル型(擦り合わせによる独自の付加価値の埋め込み)の考え方<sup>22)</sup>である。なぜなら TA、AA はますますモジュール型、DA、BA はますますインテグラル型に価値をシフトしていくと予想されるからである。

### ③ EA の 4 層をまたがった方法論

従来の EA であれば比較的穏やかな業務・システムの進化のなかで、TA 中心のみでアーキテクチャー統制をおこなうこともでき得た。しかし、前述のように急激に進化している CAMSS では TA 一層だけでは満足に対応できない。4 層の領域をまたがった (Interdisciplinary な) 方法論や、同時にアーキテクチャーを表現し設計できる方法論が必要となってきた。オランダの産学官プロジェクトで開発された EA モデリングツールである ArchiMate<sup>23)</sup>を TOG の元で進化させ、BA、DA、AA、TA を同時に拡張 UML でシームレスに表現しようという試み<sup>24)</sup>も始まりつつある。

### ④ 経営への EA 効果のさらなる可視化

EA の費用対効果の経営への説明責任は従来の EA でもある程度確立されており、そのベストプラクティスも企業レベルの SOA の領域では公開<sup>25)</sup>されてきている。しかし昨今では各組織の自主性と企業全体が目指す方向を調和させるホロニック・マネジメント(革新的総合経営: 日本能率協会 岡田潔)も提唱されており、すべてがトップダウンで指示される時代ではなくなっている。トップダウンによる朝令暮改の経営戦略への素早い対応と、各部門の変革を同時に予測し、あるべきアーキテクチャーのロードマップをプロアクティブに策定推進することが経営から求められている。そして、その成果を EA 効果として測定し、経営にアピールするための方法論が新たに必要とされている。

### ⑤ 重厚長大な EA から、Lean、Agile、Collaborative な EA への変革

従来から EA の構築は高度な人材と時間を大量消費とするといわれており、例えば数年がかりで全社のデータを洗い出し、整理し、詳細にモデル化することも行われてきた。しかしビジネスも IT も大きく変化している時代にあっては、いったん整理されたモデルも日々大きく変化していかざるを得ない。今後、Lean、Agile、Collaborative な EA<sup>26)</sup> を目指す必要がある。

Lean はトヨタ生産システムにおける「KANBAN を用いて川下から川上へプッシュし、無駄をなくす」思想である。EA で活用する価値のある成果物とルールのみ構築し、無駄な成果物や中間成果物に時間と人材を費やさない仕組みを必要としている。例えば KANBAN 方式を TOGAF V9 の ADM (Architecture Development Method) に取り入れた EA KANBAN メソッドを策定し、アーキテクチャー・バックログを見ながらジャストインタイム・モデリングをおこなうことも提案されている。

Agile はアジャイル開発方法の SCRUM や Sprint の思想をアーキテクチャー構築に取り入れアーキテクチャー・スクラムをおこなうことで、待ち時間やアーキテクチャー・レビュー時間を大幅に削減し、モデルと実装の整合性を常に確保する試みである。

Collaborative EA は、EA 専門家や経営からのトップダウンの指示に従う流れを変えて、ソーシャル的にボトムアップで自己組織型(self-organizing forces)の EA を実現する方式である。例えば 社内 SNS や社内ポータルサイトを活用して全利害関係者間で、それぞれの立場の違いや専門分野の深い知識を(週一の会議ではなく)素早く交換し、新たなアーキテクチャー課題を検討しあう仕掛けがあり得る。社内の多くのスペシャリストに開かれた EA-CoE(Center of Excellence)を構築する方法論が必要である。

#### ⑥ EA の進化に直接貢献できる、EABOK(EA Body of Knowledge)の充実

2004年に米国の企業 MITRE 社<sup>27)</sup>が EABOK を構築し Web 公開した。しかし自社の社員への普及啓発が主目的であったため、だれでもがその更新に参加できるわけではなかった。しかし 2012 年、これをベースに EABOK コンソーシアム<sup>28)</sup>が新たに設立され理事会や提案規則などが決定された。EABOK の定義として” A guide to and collection of ready-to-use knowledge that describes the essence of enterprise architecture.” とうたってはいるが、内容の充実は今後の課題であり、2014 年 5 月のワークショップではそのために参加者の協働を求めている。この活動に期待するかどうかは別としても、今の時代に適合した EABOK を至急構築し、体系立って本節の①～⑤、⑦を実現させることは EA の進化に必須である。

#### ⑦ エンタープライズ・アーキテクトの育成

この EABOK コンソーシアムでは EA 専門職(Profession)のあるべき姿もディスカッションされつつある。EA 人材育成は EA 関連誌でも話題<sup>29)</sup>となっており、また IT アーキテクトを体系づけた ITABOK<sup>30)</sup>でもエンタープライズ・アーキテクトの位置づけを示している。専門領域がますますサイロ化される中、ビジネスと IT の両面に精通し、鳥瞰的な視野で将来を見通せるエンタープライズ・アーキテクトの育成はなかなか困難であり、育成方法確立と実践は重要な課題となってきた。

#### (5) 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

以下のような、ベストプラクティスやモデルの創出、投資対効果の明確化、標準化、人材育成、政策などに、今後注目する必要がある。

- ・ 海外進出、M&AにおけるEA統合、現地適用、統制と自治のベストプラクティス
- ・ ビジネス・エコシステムにおけるメタレベルEA、仮想EAのベストプラクティス
- ・ イノベーション支援型EAの研究、構築とベストプラクティス
- ・ CAMSSの時代にふさわしい新たなEAの確立とEA投資対効果の可視化
- ・ The Open Group における Open Platform 3.0 の標準化動向
- ・ TOGとArchiMate によるEA4層間のシームレスなモデル表現の普及
- ・ TOGAF V9.1 の普及状況と次期バージョン
- ・ EABOKコンソーシアムなどによるEABOKの充実
- ・ エンタープライズ・アーキテクトの育成（教育カリキュラムやシラバスへの組み込み）
- ・ 政府IT総合戦略室および政府CIOの活動、総務省による「自治体EA 業務・システム刷新」の推進、マイナンバー制度の開発、オープンデータの活用

#### （6）キーワード

エンタープライズ・アーキテクチャー、全体最適、部分最適、ビジネスと IT のギャップ、ビジネス・アーキテクチャー(BA)、データ・アーキテクチャー(DA)、アプリケーション・アーキテクチャー(AA)、テクノロジー・アーキテクチャー(TA)、移行計画(Transition Plan)、アーキテクチャー統制(ガバナンス)、投資対効果、クラウドコンピューティング、ビッグデータ分析、モバイルコンピューティング、ソーシャルネットワーキングサービス(SNS)、情報セキュリティ、CAMSS、Lean、Agile、Collaborative EA、センター・オブ・エクセレンス(CoE)、ビジネス・エコシステム、仮想 EA、メタレベル EA、イノベーション、マネジメント・オブ・テクノロジー(MoT)、サービス指向アーキテクチャー(SOA)、M&A、グローバル進出、EABOK、BABOK、BIZBOK、BMM、DMBOK、ITABOK、TOG(The Open Group)、TOGAF、EA 人材育成、政府 CIO

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究・ 応用研究・ 開発	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>EAはMoTや専門大学のカリキュラムに若干組み込まれている程度</li> <li>TOG日本支部でのTOGAF V9 普及活動</li> <li>IIBA日本支部の活動として、IASA(An Association for all IT Architects)日本支部を2014年9月に立ち上げ、EAを含むITABOKを普及開始</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>金融機関、自動車製造業、電機機器製造業、IT関連企業など大手企業を中心に構築運用がなされている。三菱東京UFJ銀行、トヨタ自動車、日産自動車、パナソニック、SONY、オムロン、エーザイ、日揮など多数がWeb、公開セミナー、IT関連誌でEAの実践を公表している</li> <li>しかしTA、AAが中心でDA、BAを手掛けている企業はないわけではないが少ない。全4層にわたって最適化を図るための経営の理解、および費用と人材が不足している</li> <li>CAMSS時代のEAはまだ模索の段階である</li> <li>2013年政府CIO法成立。IT総合戦略室、政府CIOが法的に設立され、各府省のITを横串で管理し、全体最適に貢献</li> <li>総務省による「自治体EA 業務・システム刷新」の推進</li> <li>マイナンバー制度の開発、オープンデータの活用が開始されている</li> </ul>
米国	基礎研究・ 応用研究・ 開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国政府主導でさまざまなEAガイドラインやレファレンスモデル、EA成熟度モデルが存在し、積極的に活用されている</li> <li>EABOKコンソーシアムが設立され、BOKとして充実し始めている</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国政府のIT関連調達的前提となっており、構築運用が盛んである</li> <li>2009年政府CIO制度を公式発表。CIOカウンスル(CIO.GOV)ではクラウド等国民のイノベーション支援を、ペーパー公開などを通じて行っている</li> <li>IBM、HP、Intel、NASA、Bank of America、Fidelity、Boeing、Ford、Coca Colaなど多数の企業が公開セミナーやIT関連誌でEAの実践を公表している</li> </ul>
欧州	基礎研究・ 応用研究・ 開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>TOGはグローバル標準化団体であるが標準化に熱心である欧州や英国などの力が大きく働いている</li> <li>オランダの産学官で開発されたEAツール ArchiMateはTOGAF認定のもと拡張UMLでBA、DA、AA、TAをシームレスに表現できるよう進化</li> <li>2012年にはドイツとタタのコンサルタントによるEnriching EA with Lean, Agile, and Enterprise 2.0 Practices<sup>26)</sup>が提唱されはじめた</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州ではEAの重要なアーキテクチャー・パターンであるSOAで早い段階からEnterprise SOA<sup>31)</sup>の考え方が実践されている。UK StandardLif、Deutsche Post、Winterthur、Credit Suisse、英国 Halifax Bank of Scotlandなどで全社最適化のためのSOA事例が公開されている</li> <li>上記SOA事例をはじめ、デンマーク商業企画庁、Volvo、DuPontなど多数の府省、企業が公開セミナーやIT関連誌でEAの実践を公表している</li> </ul>
中国	基礎・応 用・開発・ 産業化	△	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>大手企業ではスタディーされているが、金融機関などでは超巨大な基幹系システムを維持しなければならないこと、近年IT産業に民間資本投入が可能になったこと等から、今後活用されていくものと考えられる<sup>32)</sup></li> </ul>
韓国	基礎・応 用・開発・ 産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>Government-wide Enterprise Architecture(GEA) は政府一体でEAを活用しe-Government戦略を実現する力強い活動となっており<sup>33)</sup> 1,400の政府系機関が保有する15,000のシステムをマネージしている</li> <li>例として、多くの府省で共通して活用される「立法支援システム」は2009年にはすでに完成しており、広く国民にも開放されている<sup>34)</sup></li> <li>早稲田大学電子政府・自治体研究所による2014年5月の「2014年世界電子政府 ランキング」<sup>35)</sup>の調査結果では1位 米国、2位 シンガポール、3位 韓国、4位 イギリス、5位 日本 となっている</li> <li>国連電子政府ランキングにおいて韓国は3期連続首位を維持している<sup>36)</sup></li> </ul>

- (註1) フェーズ  
基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル  
応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル  
産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル
- (註2) 現状  
※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。  
◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、  
△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない
- (註3) トренд  
↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

## (8) 引用資料

- 1) ZACHMAN INTERNATIONAL、About the Zachman Framework、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.zachman.com/about-the-zachman-framework>
- 2) Office of Management and Budget、Federal Enterprise Architecture、(Oct 9、2014)、  
<http://www.whitehouse.gov/omb/e-gov/fea>
- 3) U.S. Department of Defense、DoDAF、(Oct. 9、2014)  
<http://dodcio.defense.gov/TodayinCIO/DoDArchitectureFramework.aspx>
- 4) The Open Group、TOGAF V9.1、(Oct. 8、2014)、  
<http://pubs.opengroup.org/architecture/togaf9-doc/arch/>
- 5) The Open Group、オープン・グループ・ジャパン、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.opengroup.or.jp/>
- 6) 総務省、業務・システム最適化の推進、(Oct. 9、2014)、  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/gyoukan/kanri/a\\_01-02.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/gyoukan/kanri/a_01-02.html)
- 7) 日本アイビーエム株式会社、お客様事例 三菱東京 UFJ 銀行、(Oct. 9、2014)、  
<http://www-06.ibm.com/jp/solutions/casestudies/20121002btmu.html>
- 8) WIKIPEDIA、Component Business Model、(Oct. 9、2014)、  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Component\\_business\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Component_business_model)
- 9) Oscar Barros; Alejandro Quezada、Integrated Modeling of Business Architecture and Process Design with BPMN: Application to Hospitals、Journal of EA、2014 Vol.10 Number 1、pp. 7-15.
- 10) IIBA、A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge® (BABOK® Guide) Version 2.0、2010.
- 11) BUSINESS ARCHITECTURE、BizBOK Guide、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.businessarchitectureguild.org/>
- 12) OMG、Business Motivation Model (BMM)、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.omg.org/spec/BMM/>
- 13) DAMA International、DAMA DMBOK、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.dama.org/i4a/pages/Index.cfm?pageid=3364>
- 14) クレイトン・クリステンセン; 玉田俊平太監修、イノベーションのジレンマ、翔泳社、2001.
- 15) WIKIPEDIA、Creating Shared Value、(Oct. 9、2014)、  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Creating\\_shared\\_value](https://en.wikipedia.org/wiki/Creating_shared_value)
- 16) Luisi、L.、PRAGMATIC ENTERPRISE ARCHITECTURE、MK、2014、pp. 173-175.

- 17) Amit Goel; Sumit Kumar Jha; 他 3 名、A Survey of Approaches to Virtual Enterprise: Modeling Language、Reference Models and Architecture Framework、2011 Vol.7 Number 4、pp. 42-51.
- 18) Jason Bloomberg、The Agile Architecture Revolution、WILEY、2012、pp. 149-176.
- 19) The Open Group、Open Platform 3.0、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.opengroup.org/openplatform3.0/docs/>
- 20) ヒューゴ・チルキー; ティム・ザオーバー、イノベーション・アーキテクチャー、同友館、2009 .
- 21) IT コーディネーター協会、プロセスで解き明かすイノベーション、日経 BP、2014 .
- 22) 柴田友厚、モジュール・ダイナミクス、白桃書房、2008 .
- 23) The Open Group、ArchiMate、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.opengroup.org/subjectareas/enterprise/archimate>
- 24) The Open Group、Open Platform White Paper、(Oct. 9、2014)、  
<https://www2.opengroup.org/ogsys/catalog/w147>
- 25) IBM、Service-oriented architecture: Measuring SOA's ROI in the new economic environment、(Oct. 9、2014)、  
[http://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?infotype=PM&subtype=XB&ap-  
pname=GBSE\\_GB\\_TI\\_USEN&htmlfid=GBE03202USEN&attach-  
ment=GBE03202USEN.PDF#loaded](http://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?infotype=PM&subtype=XB&ap-<br/>pname=GBSE_GB_TI_USEN&htmlfid=GBE03202USEN&attach-<br/>ment=GBE03202USEN.PDF#loaded)
- 26) Stefan Bente; Uwe Bombosch; Shailendra Langade、Collaborative Enterprise Architecture、MK、2012.
- 27) The MITRE Corporation、EABOK 2004、(Oct. 9、2014)、  
[https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/04\\_0104.pdf](https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/04_0104.pdf)
- 28) eabok、EABOK consortium、(Oct. 9、2014)、  
<http://www2.mitre.org/public/eabok/>
- 29) Arvin Levine PhD.、The Architect as a Salesman within the Enterprise、Journal of EA、2014 Vol.10 Number 1、pp. 36-41 .
- 30) IASA、ITABOK、(Oct. 9、2014)、  
[http://www.iasaglobal.org/iasa/Foundation\\_ITABoK.asp](http://www.iasaglobal.org/iasa/Foundation_ITABoK.asp)
- 31) Dirk Krafzig; Karl Banke; Dirk Slama、ENTERPRISE SOA、PRINTICE HALL、2005、pp. 311-374.
- 32) The Open Group、China Conference、(Oct. 9、2014)、  
<http://blog.opengroup.org/2013/06/24/enterprise-architecture-in-china-who-uses-this-stuff/>
- 33) YouTube、Government-wide Enterprise Architecture (GEA) in Korea、(Oct. 9、2014)、  
<http://www.youtube.com/watch?v=VZbRbTdaId>
- 34) 角田篤泰; 齋藤大地; 関根康弘、韓国における立法支援システムの調査報告、名古屋大学法政論集、第 244 号、2012 年 6 月.
- 35) 早稲田大学 大学院アジア太平洋研究科 小尾敏夫研究室、2014 年度 第 10 回 電子政府世界ランキング、(Oct. 9、2014)、  
[http://www.e-gov.waseda.ac.jp/ranking\\_jp.htm](http://www.e-gov.waseda.ac.jp/ranking_jp.htm)
- 36) UNDESA、United Nations E-Government Survey 2014、(Oct. 11、2014)、

<http://www.un.org/en/development/desa/publications/e-government-survey-2014.html>



### 3.5.2 ソフトウェア定義型アーキテクチャー

#### (1) 研究開発領域名

ソフトウェア定義型アーキテクチャー

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

SDE(Software Defined Environment)は、クラウドを前提にして開発を進めてきた先進のWEB企業におけるインフラストラクチャーの動的な自動運用システム<sup>3)</sup>をモデルにして、ITビジネスの自律的な運用を目指した環境である。これらはパターン実装によってシステム全体を一括実装する単純なオーケストレーション機能だけにとどまらず、オートリカバリやオートスケールリングなど非機能要件の自律運用コンポーネントが組み込まれた仮想アプリケーションパターンまで実現される。この研究開発領域ではクラウドの発展形を構成するテクノロジーの進化がITアーキテクチャーにどのような影響を与えているのかを分析し、将来のIT環境に対する影響を考察する。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

##### 技術の矮小化は通用しない

クラウドコンピューティングの本質は価格ではなく、企業や業務の改革(transformation)により、新しい技術やサービスを迅速にスケーラブルに提供することである。クラウドの日本市場では仮想統合と従量課金(資産の簿外化)だけを構成要素としているクラウドもどきが先行した。「何も変えたくない、このままクラウドに移行したい」というニーズに対応するために提供されるITサービスは、標準化できず自動化も不可能なので手作業による非標準サーバーの管理を続けなくてはならない。こうしたタイプのクラウドもどきは、パブリッククラウドの特徴である従量課金と自社の非標準運用を組み合わせた哀れな非標準仮想サーバーの集合である。中でも最悪なのは「富山の薬売り方式」である。低価格化したコモディティサーバーをプロバイダーが企業内データセンターに在庫しユーザーが使っただけ課金する、というものである。サーバーの無価値化が進むが、データセンター運用はなにも改善しない。Google、Amazon Web Services、IBM、Microsoftなどのグローバルのクラウドプレーヤーは仮想化、自動化、標準化<sup>2)</sup>を徹底して推進し、さらにSDE環境によるPaaS領域に進出することで、広く一般企業が先進のWEB技術を簡単に利用できるサービスを提供している。国内でもようやくOpenStack<sup>3)</sup>やCloudStack<sup>4)</sup>などのクラウドミドルウェア機能が自動化、標準化のプラットフォームとなって、データセンター専門プロバイダーを中心にDocker<sup>5)</sup>などへの取り組み<sup>6)</sup>が始まりクラウドの高度化が進んでいる。

##### グローバルCDNの影響とSDN(Software Defined Network)技術

GoogleやFacebook、Twitterといったようなグローバルに展開しているインターネットの巨人プレーヤーたちはインターネットの国際回線をバイパスする自社の専用回線を各国の国内サービスプロバイダーとピアリング接続することでコンシューマへのリーチを寡占化している<sup>7)</sup>。CDN(Contents Delivery Network)を中心とした新しいインターネットの接続形態が生まれ、キャッシュがインターネット通信の中心となったことで、動的なコンテンツを生成するアプリケーションも変化している。JavaScriptなどのブラウザー側のフロント

エンド処理とサーバーのバックエンド処理は分離され、解析処理、外部のアドテックなどの埋め込み処理などがマッシュアップ型に組み合わせられることで実現され、ほとんどのアプリケーションコードとコンテンツがキャッシュ経由で実行できる環境を実現するようになっている。

インターネットをバイパスする技術<sup>8)</sup>の活用は、WEB企業の寡占化から広く一般企業の利用が可能になるように、ネットワークオーバーレイのバーテラ社<sup>9)</sup>やクラウドサービスのIBM Softlayer社<sup>10)</sup>などのサービス提供へと広がっている。こうしたネットワーク上ではグローバルに展開するコンテンツをダイナミックに移動したり、計算資源の最適配置を行ったりするためにSDN技術の活用が期待できる。グローバルネットワークを統合的に管理するSDNが必要とされている背景であり、SDNが「これまでと同じネットワークを安いスイッチで作れるようになる」<sup>11)</sup>というような矮小化されたニーズが背景ではない。企業データセンターの戦略的なグローバル展開をクラウド環境と統合するためにSDNのイーサネットオーバーレイ技術とネットワーク機材のソフトウェア実装であるNFV(Network Function Virtualization)を組み合わせる技術等が開発されている<sup>12)</sup>。SDNとNFV技術によりこれまでエンタープライズ内部に設置されていたプライベートなネットワーク空間をグローバルなクラウドに展開することが可能になっている。

### クラウド技術は運用と開発の統合されたプラットフォームに進化する

インフラストラクチャーの仮想化、標準化、自動化によって実現されたクラウド技術を基礎にすることで、ソフトウェアによるデータセンターの運用制御が可能となった。先進のWEB企業を中心にオープンソースによるInfrastructure as Codeの実装が進み、ソフトウェア化の動きは発展している。なにも変えずにクラウドに移行するのではなくクラウドがある

ことを前提にITアーキテクチャーを設計するという動きはNetflix<sup>13)</sup>などに代表されるように、システムの構築から運用、改善に至るまですべてをクラウドAPIプログラミングで実装するという先進事例に現れている。こうしたDevOpsと呼ばれる環境では最新のクラウドプラットフォーム上でトヨタ流改善<sup>14)</sup>を繰り返すリーンサイクル<sup>15)</sup>を実現している。さらに改善プロセスを高速化するために、障害の自然発生による改善の繰り返しではなく意図的に障害を発生させる機能がアーキテクチャーに組み込まれることもあり、高速なリリースサイクルを実現している<sup>16)17)</sup>

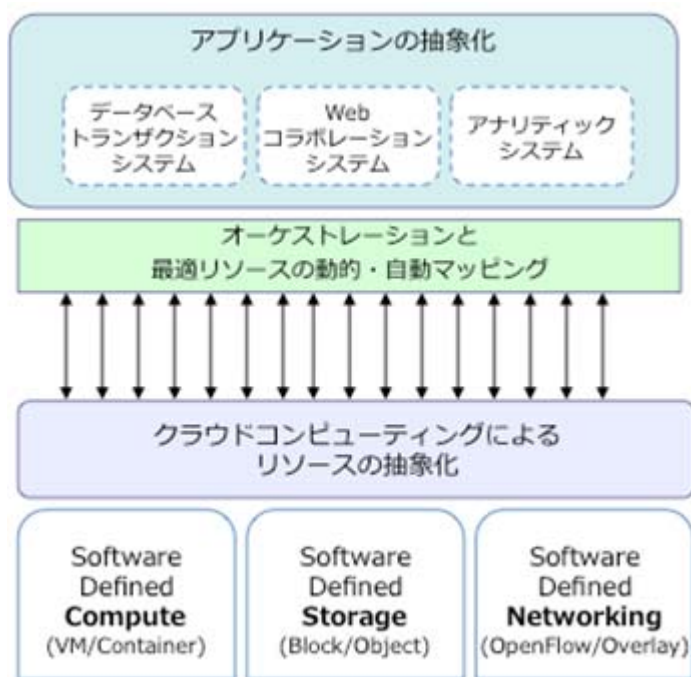


図 3.5.5 Software Defined Environment

エンタープライズ分野でもクラウドのミドルウェアは単純な標準サーバーイメージの導入自動化だけではなく、システム間の接続や組み合わせをパターンとしてひとまとめにして実装するシステムパターンのオーケストレーション技術へと進化している<sup>18)</sup>。さらにシステムパターンは、オートリカバリーやオートスケーリング、認証などの非機能要件をポリシーベースで実装できる高度な SDE 環境を提供している。SDE ではワークロードを抽象化して実行環境の可用性、連続稼働支援、パフォーマンスおよびセキュリティーの動的運用ポリシーが組み込まれアプリケーションの稼働環境全体が抽象化できる仮想アプリケーションパターンが実装できる環境が実現されている<sup>19)</sup>。仮想アプリケーションパターンの可搬性を実現するために OASIS はパターン記述の TOSCA 規約<sup>20)</sup>を開発し社会的に共有しようとしている。

これまではアプリケーションごとに個別最適化されたインフラストラクチャーのアーキテクチャーが設計されてきたが、アプリケーションパターンから高速にリリースが繰り返される工程を設計する必要が高まっている。これは、個別の製品の設計の前に多品種混流の生産工程を設計するのと同様であることから IT サービスの工業化という側面を生み出し、サービス品質を管理するリリースエンジニアリングが注目を集めている。リリースエンジニアリングはアプリケーション・システムの企画、開発、リリース、改善のサイクルを連続的に行う Continuous Delivery や Continuous Integration を可能にする<sup>21)</sup>。

これまでのクラウド環境の多くは実行環境を仮想マシンで切り出す仮想化を基礎としてきたが、さらなる進化を遂げてより軽量で高速な Linux コンテナ技術が注目されている。IBM Bluemix<sup>22)</sup>は Pivotal 社<sup>23)</sup>の開発したオープンソース Cloud Foundry<sup>24)</sup>を基盤とした PaaS 環境を Softlayer 上で実装し、典型的な Web システムのパターンをあらかじめ定義しアプリケーションの開発実行環境を 30 秒程度で実装するサービスを展開している。Cloud Foundry は NTT コミュニケーションの Cloud n<sup>25)</sup>や HP の Helios<sup>26)</sup>にも採用され広がりを見せている。Cloud Foundry は実行環境に仮想マシンより軽量でポータブルな Linux コンテナである Warden<sup>27)</sup>を利用し、環境の隔離、リソースの配分管理などを実装している。また、同じコンテナ技術である Docker<sup>5)</sup>は CoreOS<sup>28)</sup>という削ぎ落とされた Linux クラスタ OS とともに注目を集めている。

### 冪等性の限界とアプリケーション・アーキテクチャーへの影響

これまでの Infrastructure as Code は Chef や Puppet など同じスクリプトからは同じ成果が得られるという冪等性を利用したシステム導入、構成の自動化を中心技術としてきた<sup>29)</sup>。しかし、頻繁なリリースが行われるリーンサイクルの運用において一度リリースした環境を変更するためにはサーバーの状態を管理しなくてはならず、一度作った Chef レシピがシステム変更によって使えなくなっていることが見落とされたり、失敗したリリーススクリプトが修正できていなかったりトラブルの種になっていた。軽量なコンテナ型の実行環境では、テストが完了したビルドのテスト環境を負荷分散装置によって一斉に本番に切り替えることでリリースを完了する「ブルー・グリーン・デプロイメント」など、現行のサーバーの状態に変更を加えないで作り直すという意味で、Immutable Infrastructure という「稼働環境にノータッチな運用方針」がとられている<sup>30)</sup>。前の実行環境が捨てられてもクラウド環境ではリソースプールに返却するだけなので、簡単に本番環境を廃棄できることから実現できている。この Immutable Infrastructure という運用方針はアプリケーション・アーキテクチ

ヤーにも影響している。Heroku の CTO であった Adam Wiggins は” The Twelve-Factor App”<sup>31)</sup> というアプリケーション・アーキテクチャーのプリンシパルを開発者から収集し公表している。これはクラウドプラットフォーム上への実装に適しており、OS への依存関係を明確化し、実行環境間での移植性を最大化することを目的にしている。ここでは、プロセスはステートレスかつ Shared Nothing であること、状態を持たないこと、特定のサーバーの中だけでしか持っていない情報がないようにすること、また設定をコードから厳密に分離し、全ての依存関係を完全に宣言的に定義することを要求している。そうすることで実行環境とアプリケーション環境を完全に切り離して動かせるようになり、容易なブルー・グリーン・デプロイメントが可能になる。

#### （４）科学技術的・政策的課題

国内市場ではクラウドの高度化の兆しは見えているものの、価格競争によるコモディティ化も激しい。Google や Amazon Web Services、IBM Softlayer などのクラウドプレーヤーはグローバルな規模を背景にしてスケールを活かした価格戦略で攻勢を強めており、国内需要だけで新規の技術開発に向かう環境を国内勢が手にすることは難しい。国内では従来型のワークロードの移行を中心としたエンタープライズのニーズは依然として一定の市場規模が存在している。高度化に挑戦する安定した運営基盤を手にするためには、コモディティ市場の取り込みが課題である。

クラウド環境に適した人材の枯渇は著しい。デフレ期に IT 投資が抑制された結果就職先としての IT 分野の魅力が低下し、IT 産業に就く人材が需要に見合っていない状況にある。対してシステムサイエンスを修めた大卒人材が 2007 年以降回復した<sup>34)</sup> 米国における IT 基礎技術の発展は WEB 企業のグローバルな成功に現れていると見ることができる。

クラウドのスケール的な展開は Systems of Engagement 領域<sup>32)</sup> で発展してきた。この領域のビジネスのほとんどは広告と広告提供のプラットフォームであり、バイラルメディアや SNS など限定領域にとどまってしまう傾向にある。そのために広告市場だけでは、国内のエンタープライズ分野での IT テクノロジーのさらなる発展は望めない。国内エンタープライズ分野には SoE アプリケーションの領域は深い関係性はなく、その裏側にある物流、生産、設計などの企業の基幹業務における IT のイノベーションが進むべきである。サプライチェーンの高速化や設計作業の効率化などが企業の枠を超えて連携して実装されるには、企業内プロセスの外部化が必要となる。企業のプロセスが WEB の API マッシュアップでコールされることで起動するというような API エコノミーの実現が新しいビジネスモデルを構築し、社会全体のイノベーションにつなげるべきである。伝票が電文になっているだけの従来の E マーケットプレイスではなく、販売や契約を含めたビジネスプロセス全体が自動化される可能性があり、これが Industrial Internet や Industrie4.0<sup>33)</sup> などの高度化したサプライチェーンの基礎技術となる。

### （5）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

SDN はネットワークを作り替える OpenFlow 技術と既存のネットワークを活用したイーサネットオーバーレイ技術がある。これまでイーサネットオーバーレイ技術はデータセンター事業者内部の VLAN 数制約などの課題対応が中心であった。SDE 環境におけるオーケストレーション機能がオーバーレイ型の SDN を組み込んでいくことで、エンタープライズ分野ではハイブリッドクラウドにおける活用、サービスプロバイダー分野ではネットワーク機能を同時にオーケストレーションする NaaS(Network as a Service)分野での活用が予想される。

クラウドのオープン化は OASIS TOSCA のような標準化活動と OpenStack や Cloud Foundry のようなオープンソースのデファクトスタンダードという二つの活動によって支えられている。クラウドのオープン化が進むことで、ユーザー企業はベンダーロックインのリスクを回避しながらも高度なクラウド機能を活用することが可能になる。クラウド事業者における標準採用の広がり注目が必要である。実行環境のオープン化については、Linux コンテナ技術が環境を跨がって広がる兆しがある。Windows および Azure 環境や Cloud Foundry のアプリケーション実行環境など Docker を採用する動きが活発である。次世代の稼働環境標準となりうるか、注目が必要と考える。

Immutable Infrastructure の影響が、分散コンピューティングのアーキテクチャーに影響が及ぶと考えられる。現在はフロントエンドの処理を Shared Nothing な特性にするように変化が起こっているが、今後はデータストアに対しても堅牢で高性能な Massive Parallel Database が採用され、データストアも含めた形で Immutable な運用体制に変化していく可能性がある。これは地域的に広く分散したトランザクションの処理の可能性を示しており、順序性の確保がどのように解決されていくのか注目が必要である。

ビジネスプロセスが API 起動されることから、これまでは内部処理であったビジネスプロセスの外部化が進んでいく。中古車検索と保険とローンを組み合わせたビジネスの構築というような組み合わせビジネスが IT システムとして設計できるようになる。こうした新たなビジネスが高速に市場投入されるようになるか、またそこに既存のエンタープライズの IT が追従できるかどうか注目される。また、こうしたサービスが発展していくためには、IT セキュリティーのみならず信用や信頼というような非機能要件の実現が不可欠である。

### （6）キーワード

OpenStack、OASIS TOSCA、SDN、NFV、SDE、Chef、Puppet、冪等性、LEAN start-up、DevOps、Release Engineering、Cloud Foundry、Docker、Warden、Linux Container、Immutable Infrastructure、The Twelve-Factor App、Systems of Engagement、API Economy

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	クラウドやSDEの技術そのものが、米国発信のものが多く日本のソフトウェア技術が多く利用されているとは考えられない。情報科学を修める学生数にも復調は認められず、基礎研究分野で目立った動きはない。企業側ではオープンソースへの参画などで基礎的な技術開発が進んでいると思われる。
	応用研究・開発	◎	↑	SDNの分野ではいくつかのスタートアップ <sup>35)</sup> が優れたネットワークオーバーレイ機能やNFVをリリースしている。インターネットの利用は極めて自由で、またプライバシーやセキュリティなどの議論も行われている。トランジット接続とともにピアリング接続の拠点も多く、インフラ面では充実している。また、クラウド事業者を中心に応用技術の開発が進み、OpenStackやCloud Foundry、Dockerなどを活用する研究開発が進んでいる。
	産業化	○	→	米国のインターネットハイパージャイアנטの上陸が続いている。強大なデータセンターとバックボーンネットワークで日本のユーザーにリーチしている。国産WEBスタートアップはバイラルメディアなどサービスの無料化とアドテックを中心に発展しており、成功した事例ではスケールアウトも始まっており、開発スタイルも変化している。大きなスケールで拡大しているのは、オンラインゲームやモバイルゲームのインフラである。独自の開発フレームワークやプラットフォームが出現しており、発展が期待される。 国内クラウドサービスプロバイダーは米国から数テンポ遅れて自動化、標準化に取り組み始めたところであり遅れが目立つ。その中であっても先進的な事例が散見でき、PaaSレイヤーへ進出しているプロバイダー <sup>36)</sup> もある 一般の企業においては、東急ハンズ <sup>37)</sup> やすかいらーく <sup>38)</sup> など一部でAmazon Web Servicesのユーザーを中心にクラウドであることを前提にしたシステム開発が広がりを見せている。その他大勢のIT部門ではいまだにクラウドに対する誤解や研究不足があり、積極利用の戦略を立案できない。
米国	基礎研究	◎	↑	クラウドを構成する技術、利用する技術、マーケティング技術などあらゆる面で技術をリードしている。オープンソースやクラウド事業にも積極的に基礎研究投資 <sup>39)</sup> が行われている。また、情報科学を修める学生の数も2007年を境に復調しており <sup>34)</sup> 情報科学の発展が市場のリーダーシップをもたらしている。
	応用研究・開発	◎	↑	必要な機能は自分で作り積極的にオープンソースとして公開するなど応用研究・開発は活性化している。サービスプロバイダーを中心にオープンソースを活用したプラットフォーム開発が進み、先端技術の実装が加速している。 開発フレームワークや開発スタイルなどの応用研究も盛んでソフトウェア開発、サービス開発、ビジネス投入という全てのサイクルでイノベーションが起こっている。応用研究の中心はマーケティング分析等で活用されてきたデータの集計と相関レベルの利用から機械学習 <sup>40)</sup> 、知識ネットワーク <sup>41)</sup> などへと発展しクラウドサービスが飲み込まれて行く勢いである。
	産業化	◎	↑	クラウドを利用するスタートアップが増加しており、クラウドでなくては成功できないという時代になっている。また、製造業を中心にメーカーズ革命も引き起こされており、Industrial Internetというようにインターネットクラウドを中心に製造業が変化し始めている。ここでは3DプリンターとEMSというようなものづくりスタートアップがWEBスタートアップのように製造業を変化させようとしている。

欧州	基礎研究			情報無し
	応用研究・開発	○	→	インターネットの利用は非常に活発であるがデータセンターや検索サービスにおけるプライバシー問題について米国発のハイパージャイアンツとの対決姿勢 <sup>42)</sup> が目立つ。またデータセンターの立地についてもプライバシー問題に特別な配慮 <sup>43)</sup> が必要で、ほとんど制約の無い米国やアジア、日本などと違いがある。 <b>OpenStack</b> などのクラウドの基礎的なソフトウェアの研究は、日本と同様に米国を追従する動きと思われる。
	産業化	○	→	製造業がサプライチェーン全体をインターネット化しようとする <b>Industrie4.0</b> <sup>33)</sup> が進められている。ここでは自動車のような最終製品に至るまでの全てのサプライチェーンと製造工程がインターネット化して、柔軟で高速な製造を実現する試みである。長期にわたる取り組みとなるがビジネスプロセスの外部化は進むと思われる。
中国	基礎研究			情報無し
	応用研究・開発	◎	→	<b>OpenStack</b> の開発者が世界400都市以上に散らばる中で、最も開発者が多い都市が北京であり、上海もトップ10に入っている。応用事例も多く、 <b>iQIYI</b> や <b>Qihoo 360</b> 、 <b>Ctrip</b> などのスタートアップ利用者が <b>OpenStack Summit Hong Kong 2013</b> で報告されている <sup>46)</sup> 。
	産業化	◎	↘	インターネットモバイル市場はゲームやソーシャルメディアを中心に発展している。バaidu、アリババ、テンセントなどの巨大企業（頭文字をとってBATと呼ばれている）が生まれている。コンテンツには様々な特有な事情があり、中国国内のコンテンツは中国国内固有の物となっている場合が多い。中国でインターネット人口が拡大し、国内の会社が世界的な大企業になるのに伴い、中国当局は検閲などを強化している。インターネットのグローバルの接続はファイヤーウォールで規制されており、実質的には利用できない。
韓国	基礎研究			情報無し
	応用研究・開発	○	→	韓国初のパブリッククラウド <b>KT uCloud</b> では <b>OpenStack</b> の先進的採用が研究されている。 <sup>45)</sup>
	産業化	○	↘	オンラインゲームを中心にインターネットベースの産業は発展している。韓国のモバイルゲーム市場は日本の7分の1にとどまるものの、世界で最も活発なゲーム市場の一つである <sup>44)</sup> 。カカオトークや <b>Line</b> などのメッセージングソフトウェアの市場投入も発展している。インターネットのピアリングも進んでいると思われる。一方でインターネットを通じた国民一般の監視や報道や表現の規制などの面で政府の関与があり、ユーザーの流出などが相次いでいる。産業の発展に影響を与えることが考えられる。また、セキュリティー対策意識は遅れている事例も見受けられる。

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル  
応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル  
産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。  
◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

## （8）引用資料

- 1) David Mitchell Smith : Hype Cycle for Cloud Computing、 2011、 Gartner、  
<http://www.gartner.com/id=1753115>
- 2) NIST によるクラウドコンピューティングの 定義 - 情報処理推進機構  
<https://www.ipa.go.jp/files/000025366.pdf>
- 3) OpenStack  
<http://www.openstack.org>
- 4) CloudStack  
<http://cloudstack.apache.org>
- 5) Docker <https://www.docker.com>
- 6) 中津川 篤司(MOONGIFT)さくらのナレッジ  
<http://knowledge.sakura.ad.jp/tech/2322/>
- 7) Katsushi Yamashita(IBM Japan) グローバルネットワークの発想で世界に飛び出す  
[https://www-304.ibm.com/connections/blogs/ProVISION76\\_80/resource/no80/80\\_article3.pdf?lang=ja\\_jp](https://www-304.ibm.com/connections/blogs/ProVISION76_80/resource/no80/80_article3.pdf?lang=ja_jp)
- 8) Internet Exchange データシート  
<http://www.equinix.co.jp/resources/data-sheets/equinix-internet-exchange/>
- 9) Virtela an NTT Communications Company  
<http://www.virtela.net>
- 10) Softlayer an IBM Company  
<http://www.softlayer.com>
- 11) Junichi Niino(Publickey) NTT データ、 OpenFlow 技術のコモディティ化促進などで NCLC と提携  
<http://www.publickey2.jp/2012/08/nttopenflownccl.html>
- 12) Katsushi Yamashita(IBM Japan) 独立行政法人 情報通信研究機構 第6回新世代ネットワークシンポジウム講演資料  
<http://www.nict.go.jp/nrh/4otfsk00000xjwk3-att/a1407291912807.pdf>
- 13) Netflix : Adrian Cockroft、  
<http://www.slideshare.net/adrianco>
- 14) ジェフリー・K・ライカー（著）、 稲垣 公夫（翻訳）ザ・トヨタウェイ(上) 日経 BP 社 (2004/7/22) ISBN-10: 4822244156
- 15) エリック・リース(著) リーン・スタートアップ 日経 BP 社 (2012/4/12) ISBN-10: 4822248976
- 16) Richard Seroter、 Netflix が Chaos Monkey をオープンソースに  
<http://www.infoq.com/jp/news/2012/08/chaos-monkey>
- 17) Netflix Open Source Center  
<http://netflix.github.io/#repo>
- 18) Etsuji Nakai (Redhat Japan) クラウドオーケストレーション「OpenStack Heat」に迫る!  
<http://www.slideshare.net/enakai/open-stack-heat20140207>
- 19) Akimitsu Shiseki(IBM Japan) 標準仕様「TOSCA」



- <http://it.impressbm.co.jp/articles/-/10606>
- 20) OASIS Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications (TOSCA) TC  
[https://www.oasis-open.org/committees/tc\\_home.php?wg\\_abbrev=tosca](https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=tosca)
- 21) ケント・ベック(著)「XP エクストリーム・プログラミング入門：ソフトウェア開発の究極の手法」ピアソン・エデュケーション、2000。ISBN 489471275X
- 22) IBM Bluemix  
<https://ace.ng.bluemix.net>
- 23) Pivotal  
<http://www.pivotal.io/jp>
- 24) Cloud Foundry  
<http://cloudfoundry.org/index.html>
- 25) NTT Communications Cloudn PaaS  
<http://www.ntt.com/cloudn/data/paas.html>
- 26) HP プレスリリース  
<http://h30507.www3.hp.com/t5/HPJapan-Enterprise-Topics/HP-クラウド新戦略を発表-HP-Helion/ba-p/160756#.VGr7eL7ho9Z>
- 27) Yudai Iwasaki(NTT SIC)、すぐわかる WARDEN  
[http://www.slideshare.net/i\\_yudai/warden](http://www.slideshare.net/i_yudai/warden)
- 28) CoreOS  
<https://coreos.com>
- 29) Yosuke Hiraishi(ドコモ) ドコモの Infrastructure as code  
[http://www.slideshare.net/y05\\_net/infrastructure-as-code-35373108](http://www.slideshare.net/y05_net/infrastructure-as-code-35373108)
- 30) Naoya Ito(KAIZEN platform Inc.)Immutable Infrastructure が開発プロセスに与える影響  
<https://speakerdeck.com/naoya/immutable-infrastructuregakai-fa-purosesuniyu-eruying-xiang-jia-number-immutableinfra>
- 31) Adam Wiggins(Heroku)、The Twelve-Factor App  
<http://twelve-factor-ja.herokuapp.com>
- 32) Geoffrey Moore(TCG Advisors)、A Sea Change in Enterprise IT  
<http://www.aiim.org/~media/Files/AIIM%20White%20Papers/Systems-of-Engagement-Future-of-Enterprise-IT.ashx>
- 33) ドイツ「Industrie4.0」とEUにおける先端製造技術の取り組みに関する動向  
<http://www.jetro.go.jp/jfile/report/07001735/07001735.pdf>
- 34) IBM 100 Years、The Origins of Computer Science  
<http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/compsci/>
- 35) Midokura  
<http://www.midokura.jp>
- 36) NTT Communications PaaS Cloudn  
<http://www.ntt.com/cloudn/data/paas.html>
- 37) クラウドへ基幹システムを移行する東急ハンズ

- [http://www.publickey1.jp/blog/13/aws\\_summit\\_tokyo\\_2013.html](http://www.publickey1.jp/blog/13/aws_summit_tokyo_2013.html)
- 38) すかいらーく、約 3000 店舗の POS データ分析基盤を Amazon Redshift で構築  
<http://it.impressbm.co.jp/articles/-/11056>
- 39) 米 IBM、「全クラウドサービス、ソフトウェア」を OpenStack ベースに  
[http://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/20130305\\_590366.html](http://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/20130305_590366.html)
- 40) IBM WATSON UIMA  
<http://it.impressbm.co.jp/articles/-/10235>
- 41) Google ナレッジグラフ  
<http://www.google.co.jp/intl/ja/insidesearch/features/search/knowledge.html>
- 42) Google がプライバシー問題で欧州 6 カ国の当局と対立  
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20130403/468221/>
- 43) 欧州議会、EU データ保護規則改正案を可決、セーフハーバーを停止へ  
[http://www.bakermckenzie.co.jp/material/dl/supportingyourbusiness/newsletter/intellectualproperty/ClientAlert\\_140410\\_EUDataProtection\\_J.pdf](http://www.bakermckenzie.co.jp/material/dl/supportingyourbusiness/newsletter/intellectualproperty/ClientAlert_140410_EUDataProtection_J.pdf)
- 44) 右肩上がりの韓国ゲーム市場  
<http://thebridge.jp/2013/11/south-koreas-gaming-market-worth-916-billion>
- 45) KT と OpenStack について  
<http://research.sakura.ad.jp/2013/11/18/tdr14/>
- 46) 【OpenStack Summit 基調講演】中国の導入事例  
[http://cloud.watch.impress.co.jp/docs/event/20131108\\_622751.html](http://cloud.watch.impress.co.jp/docs/event/20131108_622751.html)

### 3.5.3 クラウドコンピューティング

#### (1) 研究開発領域名

クラウドコンピューティング

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

クラウドコンピューティングは、仮想化技術に基づき、インターネットやイントラネット内にプールされたリソースを自動的に配置するサービス提供基盤技術を使用している。従来のコンピューターを所有する形態から、サービスの形で必要に応じて利用する形態へと、ビジネスモデルも大きく変わっている。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

2006年にクラウドコンピューティングという言葉が生まれて以来、この技術はITサービスの提供基盤として着実に発展を続けている。2014年現在、ガートナーグループが毎年提供している先進テクノロジーのハイプ・サイクルにおいて、クラウドコンピューティングは、過度の期待の後に来る幻滅期の底に位置している<sup>1)</sup>。しかし、これは必ずしも、この技術が今後消え去ることを示唆しているのではない。クラウドコンピューティングの萌芽期から根強く存在しているのは、クラウドを導入しさえすればITコストが軽減できるという特に価格に関する過度の期待や、セキュリティや可用性などの課題に対する潜在的な不安である。しかし、クラウドの導入が進み、利用者側にも現実的な理解が深まりつつあり、サービス提供基盤として、今後安定期に向かって進んでいくと思われる。

国際市場においては、米国を中心に、Amazon、Google、Microsoft、IBMといった主要なクラウドベンダーがクラウドに対して引き続き多大な投資を行っている。競争も激化しており、特にIaaS領域に関しては各社が値引きを繰り返し、価格競争に陥っている。AmazonやGoogleといったいわゆるWeb由来の企業は、エンタープライズ領域への浸透に注力を始めている。これに対し、伝統的なIT企業、例えばIBMは、IaaS提供ベンダーであったSoftLayerを買収し、Webベースの技術を手にいれると共に、OpenStack、Cloud FoundryといったオープンソースのIaaS/PaaS基盤を活用したオープンクラウドを前面に押し出し対抗しようとしている。大手ベンダーの攻勢の中で、Rackspaceのように、利用者に環境に応じたマネージドサービスを提供することで、他との差を強調する戦略をとるベンダーもある。クラウドコンピューティングは物理層からサービス層まで広範囲をカバーしているため、各組織がどのようなビジネス戦略をとるかによって必要となる技術も変わってくる。

国内市場に目を向けると、日立や富士通といったIT企業系ベンダー、さくらインターネットのようなホスティング系ベンダーなどが、きめ細やかなサービスや国内データセンターの充実を謳いつつ、海外ベンダーとも一部協業する形でサービスを提供している。また、NTTコミュニケーションズやKDDIなどのキャリア系クラウドも、ネットワークを含めた高価値のクラウドサービスを展開し、注目を集めている。

上述したようにクラウドコンピューティング導入の最初の動機は、IT固定費の削減であった(特に日本ではいまでもその傾向が強い)。しかし、クラウドがもたらす本質はそこにはない。クラウドという新しいITサービス提供基盤を元にした業務や業界の改革こそに意義

がある。そのためには、より高価値なサービスを迅速かつ柔軟に提供することが必要となってくる。これまでのクラウドコンピューティングの代名詞は、Amazon EC2 に代表される IaaS、すなわち仮想化された計算機の提供であったが、今後は、IaaS を土台に、いかにして高価値のサービスを構築し、業界や一般ユーザーに提供するかが鍵となるであろう。IaaS、PaaS、SaaS、そして、Business as a Service、Solution as a Service のような複合サービスへとスタックが上がっていく流れである。また、開発者や利用者に対してサービスの可搬性 (mobility) や標準化をもたらすオープンクラウドを提供するベンダーが増えてきている。さらに、業界特有の要件や規制に対応するための取り組みも活発になってきている。

高価値クラウドサービスが、ビジネス視点でのクラウドの方向性であるとする、注目すべき技術的視点での方向性の一つは、クラウドを前提としたソフトウェア設計と開発のための基盤の進化である。クラウドの典型的な使用法は、既存の計算機環境やアプリケーションの移行、あるいは既存の資源をベースにした新規開発であった。しかし、このやり方は、大規模分散型の計算機資源を迅速に柔軟に使用することができるクラウドの特長を十分に活かしたものではない。新規アプリケーションを設計する際に、まずクラウド上で運用することを念頭に設計を行い、クラウドの利点を最大限に享受するという動きが広がっている(この動きを裏付けるデータとして、現在新規ソフトウェアの 85% がクラウド上で構築されつつあり、また、72% の開発者がクラウドベースのサービスあるいは API を使ったアプリケーションを設計あるいは開発している、との報告がある<sup>2)</sup>)。この考え方は、クラウドファースト (Cloud First) と呼ばれており、今後のアプリ開発の主流になっていくと思われる。クラウドファーストな設計および開発の促進と、モバイル、ソーシャル、アナリティクスなどの技術との融合によって、企業の IT が、迅速さと柔軟さを備えた「Web スケール IT」へと進化していくことが予測される。クラウド環境をベースとした DevOps 環境の普及と相まって、クラウドが IT 基盤のデフォルト要素になっていくであろう。

「クラウドファースト」や「Web スケール IT」を支える重要な要素の一つが、マイクロサービス (Microservices) の考え方である<sup>3)</sup>。マイクロサービスは、Martin Fowler と James Lewis 氏によって提案された概念であり、コンポーネントが強固に結びついた一枚岩のアプリケーションではなく、軽量のサービスや API を組み合わせてアプリケーションを構築するためのアーキテクチャスタイルである。従来のサービス指向アーキテクチャー (SOA) との差異については議論があるが、迅速なサービスのプロビジョニング、個々の API やサービスの可用性など、クラウド環境をベースにした理念となっている。

クラウド環境を支えるミドルウェア、ハードウェア技術の進化も注目値する。例えば、次世代の仮想化技術である Docker は、開発環境やアプリケーションをコンテナと呼ばれる仮想空間内にパッケージすることで、従来の仮想マシン (VM) より、軽量でかつメモリーや領域効率性に優れた環境を提供するオープンソース技術である<sup>4)</sup>。

コンテナ技術がもたらす別の重要な側面がある。現在、ソフトウェア開発運用のやり方が大きく変わろうとしている。例えば、最近注目されている Immutable Infrastructure という概念は、既に稼働しているアプリケーションとシステム環境をバージョンアップするのではなく、VM あるいはコンテナ単位で環境を「使い捨てる」という新しい開発運用の仕組みをもたらす。この概念とクラウド技術とを組み合わせると、大規模システムの更改において、

従来システムを同規模のシステムをクラウド上に別途構築し、更改に合わせて切り替える（新システムの稼働が確認されれば、従来システムは廃棄される）ことが可能なる。さらに、分散されたシステム環境であれば、システムを一気にバージョンアップするのではなく、少しずつ入れ替えていく（ブルー・グリーン・デプロイメントと呼ばれる）ことも可能である。

Docker の他にも、Open Stack <sup>5)</sup>、Cloud Stack <sup>6)</sup>、Cloud Foundry <sup>7)</sup> といったオープンソースのクラウド環境の技術開発が今後加速すると思われる。

より物理インフラに近い層では、クラウドデータセンターの自動化や高効率化が進められている。例えば、ソフトウェア定義型データセンター（Software Defined Data Center、SDDC）では、ネットワーク、ストレージ、コンピューティング（CPU やメモリーを含む）、セキュリティなどを仮想化し、ポリシーに応じてプロビジョニングし管理する機能を有している。また、Hadoop <sup>8)</sup> などの分散処理ミドルウェアやマイクロサービスの普及により、データセンター内の仮想マシン間、ハイパーバイザ・ストレージ間の「水平な（East-West）」トラフィックの増大が課題となっている。これを解決するために、従来の階層型ネットワークではなく論理的にフラットなネットワークを構築する技術が注目を集めている。さらに、効率の良いデータアクセスのためのストレージのフラッシュ化や、点在しサイロ化しているデータを統一的に扱うデータサービスが提案されている。ネットワークを含め、あらゆる機器がソフトウェア化する Software Defined Anything (SDx) の流れに沿った動きである。

#### （４）科学技術的・政策的課題

- 上述したように、クラウドコンピューティングの本質は価格ではなく、企業や業務の改革（transformation）により、新しい技術やサービスを迅速にスケラブルに提供することである。欧米の企業はこれに気がつき始めている。この観点にたてば、クラウドがもたらすものは、いわゆる「イノベーションのジレンマ」の促進であろう。日本国内においては、この流れを看過することなく、クラウド技術を用いた企業や組織の改革、改革を促進するためのクラウド技術の蓄積を行う必要がある。
- 従来のビジネスモデル、業務手順に技術をはめるのではなく、クラウドファーストを前提にしたサービスパターンを体系化し、積極的に活用していく必要がある。各月（例えば月末）や季節（期末、クリスマスシーズンなど）で変動するワークロードに柔軟に対応できるのはクラウド技術の特徴の一つである。また、DevOps やマイクロサービスを組み合わせ、新しいサービスを迅速に市場に出し、ユーザーの反応を基に継続的な開発を行い、需要に合わせてスケールさせていくパターンもクラウドならではのパターンである。
- IaaS レベルのクラウドサービスは、コモディティ化が進んでおり価格競争の波に飲まれようとしている。一方で、各業界のプロセスやビジネスモデルを改革するための高価値クラウドサービスの領域は、まだキラーアプリが存在しておらず、我が国がこのエリアのリーダーシップを取ることができる可能性は残されている。IT 業界が産業界と連動しながら、ソリューションの設計とそれを下支えする技術の開発を行う必要がある。
- 現在、ソフトウェアの開発と運用のやり方が大きく変わろうとしている。この分野はイノベーションのライフサイクルが短いために具体的なロードマップを描くのは困難であるが、この流れの中心に位置していくための戦略が必要である。例えば現在、Docker に代表されるコンテナ技術や Chef などの自動デプロイメント・運用技術が注目されているが、コ

コミュニティの継続的な努力や、従来技術を確かな見識で組み合わせるセンスによって、これらのイノベーションが生まれている。グローバルな標準化活動、技術コミュニティでの貢献、産業界を巻き込んだ早期検証などに投資を行う必要がある。

- ・ソフトウェア定義型データセンターの研究開発や実証によって、技術の蓄積を行うと共に、国内データセンターを高付加価値化することで国際的な競争力とリーダーシップを獲得していく必要がある。
- ・企業内あるいはユーザー保有のデータやプロセスをいかにクラウドに移行できるかを行う上で問題となる各種規約や制限事項を精査し、現時的な解法を探していくことで、クラウドの利用を促進することが大事である。また、そのために必要なセキュリティーやプライバシー、システム可用性、事業継続性などの技術開発に注目していく必要がある。

#### （５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

- ・大規模並列処理を行うプラットフォームである Hadoop のコア技術である Map Reduce は、当初は限られた形態の処理を想定していたが、現在は、様々なワークロードの処理へと応用されている。また、MapReduce を提唱した Google は、Cloud Dataflow と呼ばれる後継技術を今後使っていくことを表明している<sup>9)</sup>。
- ・Docker に代表されるソフトウェアコンテナ技術に大きな注目が集まっており、IT 各社がこぞって参入を表明している。例えば Amazon は、もともと AWS Elastic Beanstalk でコンテナをサポートしていたが、2014 年 11 月に発表した Amazon EC2 Container Service においてより戦略的な Docker のサポートを表明した。Google は、社内の開発環境がコンテナベースになっていることを公開しており、Docker インスタンスを実行できる Google Container Engine の提供を開始している。また、IBM, Redhat, Microsoft と共に、コンテナ管理基盤である Kubernetes の開発に参加を表明している。Docker のホスト OS には Linux が用いられるが、Microsoft は、2014 年 10 月に Docker 社との提携を発表し、次期 Windows Server や Microsoft Azure で Docker をサポートすることを表明した。
- ・Web 上でサービスを行う企業を中心に、継続的な開発およびデリバリーを行う企業が増えてきている。例えば、amazon.com サイトにおいて、最大で 1 時間に 1000 回以上のデプロイ(ソフトウェアの配置)が行われたと報告されている<sup>10)</sup>。
- ・オープンソースや標準技術をベースにしたオープンクラウドの動きが広がりつつあり、日本企業の参入も始まっている。オープンソース IaaS の実装である OpenStack のコミュニティ OpenStack Foundation には、NEC と日立が Gold Member に、富士通、ビットアイルが Corporate Sponsor に名前を連ねている。オープンソース PaaS の実装である Cloud Foundry のコミュニティである Cloud Foundry Foundation に、NTT は Gold Member として参加している。

#### （６）キーワード

仮想化技術、コンテナ技術 (Docker など)、マイクロサービス、オープンクラウド、ソフトウェア定義型環境、API、DevOps、運用の自動化 (Chef など)、継続的デリバリー

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>暗号技術を用いたクラウドセキュリティ、ソフトウェア定義型ネットワーク、高信頼データ転送技術など、従来から蓄積のある分野を中心に、研究開発が行われている。</li> <li>クラウド環境を考慮したISO/IEC 27002に基づく情報セキュリティ管理のための規範など、標準化活動にも活発に貢献している。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>クラウドサービスを展開する企業を中心に自社のクラウドサービスの差別化を計るための技術開発を行っている。</li> <li>グローバルクラウド基盤連携技術フォーラム(Global Inter-Cloud Technology Forum、GICTF)においてクラウド連携技術の連携や標準化を行った。</li> <li>OpenStackやCloud Foundryなどのオープンソースにも継続して貢献を行っている。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>IT系、通信系、データセンター系など多数の企業が様々な層のクラウドサービスを展開している。</li> </ul>
米国	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在使用されているクラウドの基礎技術の多くが米国で生まれており、その層の厚さと投資額は依然として他を圧している。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amazon、Google、Microsoft、IBMなどの業界をけん引する企業が、クラウドインフラとサービスの提供のために多大な投資を行い、研究開発を行っている。仮想化技術からコンテナ技術へ、従来型のソフトウェア開発と運用から、アジャイル開発、継続的デリバリー、運用の自動化などの技術の過渡期をけん引している。</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>クラウドを早くから迅速なサービス開発や業界プロセスの革新のために使用しており、結果として主要なサービスの多くを提供している。</li> </ul>
欧州	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州議会のテクノロジー・アセスメント機関であるSTOA (Scientific and Technological Options Assessment)がクラウドコンピューティングに関するアセスメントを公開しており、技術、規制、ガバナンスを考慮した総体的な(holistic)なアプローチが肝要であると報告している<sup>11)</sup>。</li> <li>EU FP7の後継であるHorizon 2020プログラムに含まれるICT 7において、先進的なクラウドインフラストラクチャーとサービスがトピックとして採択され、いくつかのプロジェクトが開始されている<sup>12)</sup>。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>EUおよび英国において個人データに対して、十分なレベルのデータ保護ができない第3国へのデータの移動を禁止するEUデータ保護指令の存在により、データセキュリティ、プライバシー、トラストなどの議論が盛んである。</li> </ul>
	産業化	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>2014年5月、EU司法裁判所が、個人が「忘れられる権利」を有すると判断し、Googleに対して、リンクの削除を命じる判決を言い渡した。この動きはクラウド提供者と利用者には大きな影響を与える可能性がある。</li> </ul>
中国	基礎研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>国民経済・社会発展 第12次5カ年計画（2011-2015年）において、クラウドコンピューティングは、優先して実行される戦略的新興産業の一つとなっている。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>アリババは事業戦略の重大要素の一つとクラウドコンピューティング技術の強化を掲げており、ストレージ技術やモバイルOSの技術開発や企業買収を行っている。</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>チャイナモバイル、チャイナユニコム、チャイナテレコムなどの通信業者によるクラウドへの投資が加速している。</li> </ul>

韓国	基礎研究	△	→	・2013年に策定された創造経済実現計画の6大戦略の一つである「成長動力の創出」を促す技術としてクラウドコンピューティングがあげられ、取り込みが始まっている。
	応用研究・開発	△	→	・韓国KTは非営利研究法人のゲノム研究財団、バイオ企業のテラジェンイーテックスと共同で、韓国人のゲノム解析を行っている。
	産業化	○	→	・韓国KTとソフトバンクが提携し、日本より電気料金が安く地震リスクが低い韓国にデータセンターを活用したIaaSサービスを提供している。また、韓国LG CNSやSamsung SDSが、IaaSサービスやVDI (Virtual Desktop Infrastructure)などのサービスを提供している。

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

## (8) 引用資料

- 1) ガートナー、「先進テクノロジーのハイブ・サイクル：2014年」を发表  
<http://www.gartner.co.jp/press/html/pr20140903-01.html>
- 2) IBM Annual Report 2013  
<http://www.ibm.com/annualreport/2013/strategy-cloud.html>
- 3) Microservices  
<http://martinfowler.com/articles/microservices.html>
- 4) Docker,  
<https://www.docker.com/>
- 5) OpenStack,  
<http://www.openstack.org>
- 6) CloudStack,  
<http://cloudstack.apache.org>
- 7) Cloud Foundry,  
<http://cloudfoundry.org>
- 8) Hadoop,  
<http://hadoop.apache.org>
- 9) Google Cloud Dataflow,  
<http://googledevelopers.blogspot.jp/2014/06/cloud-platform-at-google-io-new-big.html>
- 10) [http://www.publickey1.jp/blog/12/amazon11000\\_aws\\_reinventday2\\_am.html](http://www.publickey1.jp/blog/12/amazon11000_aws_reinventday2_am.html)
- 11) Potential and Impacts of Cloud Computing Services and Social Network Websites、Science and Technology Options Assessment (STOA) Report,  
[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/513546/IPOL-JOIN\\_ET\(2014\)513546\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/513546/IPOL-JOIN_ET(2014)513546_EN.pdf)
- 12) HORIZON 2020 WORK PROGRAMME 2014 - 2015、EU,  
<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/h2020-sections>



### 3.5.4 モバイルアーキテクチャー

#### (1) 研究開発領域名

モバイルアーキテクチャー

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

様々なモバイル機器がネットワークに接続され、広く社会インフラの一部になりつつある。そのスマートフォンやタブレットの普及の背景にあるのは、ネットワークの進化や組み込みに利用されるプロセッサの進化（高速化、省電力化、小型化）があり、それがウェアラブル・コンピューターや車載システムで利用されつつある。このようなモバイル機器の進化は、モバイル機器単独で行われてきたものではなくバックエンドの IT の技術を共用しながら、あるいは協調しながら進化してきた。

本研究開発領域では、ウェアラブル・コンピューターやネットワーク接続可能な自動車という新たに生まれつつあるモバイル機器に関してバックエンドの IT システムも含めた End-to-End でのモバイルアーキテクチャーの開発に関して今後必要な取り組み課題を明らかにする。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

##### モバイル OS の変遷と将来

モバイル機器は初期の音声を中心であった携帯電話のようにある特定用途のための比較的単純な機器として生まれたのだが、それを飛躍的に進化させたのがパケットデータ通信網である。これによりモバイル機器から様々なデータがやり取りできるようになり、メールから始まり様々なインターネットサービスが受けられるようになった。

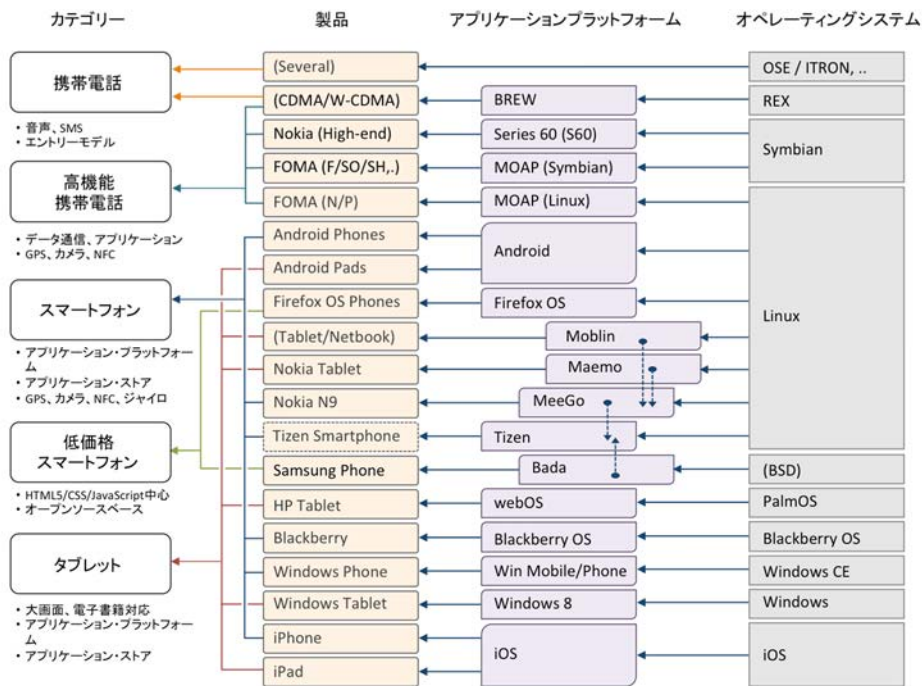


図 3.5.6 モバイル OS の変遷

当初は音声通信と単純な電話帳機能のみであったため、図 3.5.6 にあるように日本では TRON (iTRON)、欧米では OSE のような軽量なリアルタイム OS が利用されていた。ところがアプリケーションの多様化により仮想メモリーやスケジューラーが必要となり、サーバーで利用されている高機能 OS である Linux を組み込み用に拡張したものが利用されるようになり、その上にアプリケーションプラットフォームが構築され様々なアプリケーションが実装されてきた。またアプリケーションの多様化により、アプリケーション用のプロセッサと通信用のプロセッサを実装したマルチプロセッサアーキテクチャーが採用され、アプリケーションの多様化に対応してきた。この進化の過程において、広く普及はしなかったが注目に値する OS がある。それは HP 社が PalmOS の後継としてタブレット用に開発した webOS<sup>1)</sup>である。これはクラウドに特化した OS とも言え、様々な機能がクラウドと連携して実現される。まさにモバイル機器と IT インフラが統合されたシステムであった。(webOS はオープンソース化の後に韓国 LG Electronics 社に買収され、2014 年に LuneOS と改名された。) Apple 社の iPhone や Google 社の Android の出現によりスマートフォンと呼ばれるエリアが確立されたが、大きな進化は iTunes や Google App Store のようにアプリケーションのマーケットが出現し、モバイル・アプリケーション・プラットフォームと密接にリンクし始めたことにある。今や Android は全世界での出荷数の 80%以上を占めるようになり後述の米 Qualcomm 社の Snapdragon<sup>2)</sup>との組み合わせで中国・韓国勢が市場の多数を占めるようになってしまった。

プログラミングモデルは、オペレーティングシステムやアプリケーションプラットフォームに依存するいわゆる”Native”と言われるモデルとプラットフォームに依存しないプログラミングモデルがあり、前者は iOS の場合は Objective-C、Android の場合は Dalvik と呼ばれる言語である。一方、プラットフォームに依存せず、ほとんどすべてのスマートフォンや携帯端末、および新しい車載システムである IVI(In-Vehicle Infotainment System)で利用できるものが HTML5<sup>3)</sup>である。ここでは広義の HTML5 を意味し、CSS3、JavaScript を含み、オフラインでも利用できる機能やドラッグ&ドロップの機能等、Native アプリケーションでしかできなかった機能が実現されている。ここで注目されるプログラミングモデルが JavaScript であり、この HTML5 の広がりや IT インフラ側にも影響を与えており、後に述べる JavaScript Everywhere とつながっていく。

一方、そのハードウェアは ARM 社のプロセッサとグラフィック機能をもつチップ、および様々な通信プロトコルをサポートしたチップを統合して作られた米 Qualcomm 社の Snapdragon が広く利用され、その機能のカバレッジと利便性より多くの会社に利用され、ハードウェアもコモディティ化が進んでしまったと言えよう。ウェアラブル・コンピュータの世界も ARM 社のプロセッサの組み合わせで実現される場合が多い。クロック数が高く、メモリーの管理機能が実装されている ARM Cortex-A<sup>4)</sup>シリーズは一般的なアプリケーションの実行に、Cortex-R<sup>5)</sup>シリーズはリアルタイムの応答が求められるシステムに、クロック数は少ないがダイサイズと呼ばれる半導体チップの面積が極めて小さい Cortex-M<sup>6)</sup>シリーズは様々なセンサーの制御や非常に小さなウェアラブル・コンピュータ器に利用されることが多い。またシステムによっては Cortex-A シリーズと Cortex-M シリーズを組み合わせで最適な制御をそれぞれのコアに分散させ、省電力と高速化を実現している。

## JavaScript Everywhere

モバイル機器をサポートする IT インフラのプログラミングモデルも変わりつつある。以前から広く利用されている Java のプログラムに加えて、大量のトランザクションをイベント駆動型で処理する Node.js<sup>7)</sup>が広く利用されだしている。Node.js は Google Chrome 等で使われている V8 JavaScript エンジンで実行されるサーバー側の JavaScript である。これは、モバイル機器用のアプリケーション開発者が JavaScript に精通しているという事実と、モバイル機器からの REST API を大量に処理するためのイベント駆動処理への強い要求より生み出されたものであると言えよう。これにより、JavaScript のプログラマーがモバイル機器とサーバー側の両方のプログラム開発が行えるようになった。

## 仮想化の技術とコンテナの考え方

仮想化の技術は IT インフラ側では広く使われており、リソースの効果的な利用法として認識されている。また、OS 全体を仮想化したパーティションで稼働させるのではなく、Linux コンテナ(LXC)<sup>8)</sup>技術から派生した Docker<sup>9)</sup>のように一つのカーネルを共有する形でユーザープロセスのみをコンパクトにまとめたコンテナの考え方も広がりつつある。OS を含む仮想化に比べて Linux に依存はするがコンテナ自体は軽量であるので必要な機能の移送や再現に優れている。一方、モバイルにおいても仮想化の技術が利用されてきており、米 Redbend Software 社はスマートフォンを仮想化し、プライベートでの利用と企業での利用をそれぞれ別のパーティションとしてハイバーバイザー上に実装し<sup>10)</sup>、プライベートでの利用時に企業データが流出しないシステムをスマートフォンで実現している。また、前述の Docker によるコンテナの利用によりユーザー環境を容易に移送できるため、携帯機器間や IT インフラとの間でのユーザープロセスの移送も将来は行われるであろう。

## 次世代のモバイル - Connected Car (つながる車)

スマートフォンに続くモバイル端末としてウェアラブル・コンピューターとともに自動車あげられる。日欧米では事故減少・防止のために様々な技術が開発され ADAS (Advanced Driver Assistant System)として実装されている。これらはレーダー、カメラ、センサー等で取得されたデータを即時分析し、衝突防止やレーン逸脱防止を行うものである。また、車車間通信を通じて移動する車の大きさ・速度・方向等をお互いに通知しあい、事故の防止等に役立てようとしている。米国運輸省道路交通安全局 (DOT NHTSA) においては 2017 年の義務化に向けて様々な取り組みがされている<sup>11)</sup>。この安全のためのメッセージは、将来は車のみならずスマートフォンともやりとりが行われ、歩行者の安全も実現されるようになる。モバイル機器を利用し IT インフラを通じて協調型の社会を作りだそうとしている<sup>12)</sup>。このような世界での大きな課題としてあげられているのは、モバイル機器から IT インフラも含めた End-to-End でのセキュリティー・アーキテクチャーの設計と実現である。例えば、協調型の車車間通信の場合、悪意のあるメッセージを流し続けて交通を混乱させることも可能であろうし、緊急自動車と偽りながら渋滞時にも走行し続けることも可能であろう。スマートフォンに対しても、車が近づいてきているという偽りの警報を送ることもでき、社会を混乱させる可能性もある。

このように、モバイル機器の進化は単にモバイル側のみの進化ではなく、IT システムを

含めた全体の進化であり、新たな技術やサービスをシステム全体として捉えていかななくてはならない。ここにあげたように新たなモバイル機器が出現しつつあり、それに伴い新たなサービスも出現しつつある。テクノロジー自体は透過的にモバイル側でも IT インフラ側でも利用される場合が多くそれぞれ個別の領域と捉えるのではなく End-to-End で IT 全体のアーキテクチャーを考えていかななくてはならないのである。

#### （４）科学技術的・政策的課題

##### 政策的課題

国家戦略としてはモバイル機器におけるプライバシーの課題に積極的に取り組まなくてはならない。スマートフォンのみならずウェアラブル・コンピューターや自動車の位置情報やそれから派生する様々なデータの所有権と利用方法についてのガイドラインを早急に作成する必要がある。欧米においては自動車から取得された様々なデータが個人や他の事業者を利用されつつある。すべての保険会社はテレマティクスと呼ばれる自動車からの位置情報や運転方法を取得する仕組みの利用を検討・実現しており、これは IT インフラ全体のアーキテクチャーと分析技術等の要素技術の進化を促すものである。

##### 科学技術的課題

End-to-End でのモバイルシステムアーキテクチャーを検討するためには、ウェアラブル・コンピューター自体の目的（医療用、娯楽用、作業補助用等）と必要とされるサービス、車からのデータの理解と共通化およびそれに伴うサービス等、各ドメインの知識と IT の知識の融合が必要である。

また、IoT (Internet of Things)と言われる様々なセンサーや機器が出現し、Connected Carのように移動体として社会インフラの一つとなってくる。この場合にはネットワークの課題もある。今のネットワークの進化はブロードバンド化に向かっており、複数のアンテナを利用し、複数の周波数帯を統合し、いかに一人のユーザーに対して大量のデータをやりとりできる帯域を確保するかという点が主となっているが、車のような移動体の IoT の場合には、一度に送られるデータはそれほど大きくはなく、大量の数の車から頻繁に（それこそ毎秒から数十秒おきに）少量のデータが送出されてくるナローバンドのチャンネルを数多く準備するモデルである。交差点の渋滞時等は電車事故の際のスマートフォンからの大量のネットワークアクセスを彷彿させるものである。このようなネットワークのキャパシティーも含めた全体のアーキテクチャーの研究が必要となってくる。

#### （５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

以下のような新デバイス、政策、標準化に関する動向が、今後注目される。

- ・ Google Glass を始めとするウェアラブルコンピューティング
- ・ 米国運輸省道路交通安全局（NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration）による車車間通信の推進と義務化
- ・ Industrial Internet Consortium (IoT 技術の標準化)<sup>13)</sup>
- ・ Industrie 4.0 (Cyber Physical System による製造業の変革)<sup>14)</sup>
- ・ oneM2M (M2M標準の策定を目指す ARIB ら 7 つの標準化開発機関)<sup>15)</sup>

## （6）キーワード

モバイル、スマートフォン、タブレット、iPhone、Android、HTML5、JavaScript、Node.js、ウェアラブルコンピューティング、Connected Car、車車間通信、Internet of Things、IoT、プライバシー

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>総務省 平成26年度戦略的情報通信研究開発推進事業（国際連携型） （1）ビッグデータ、モノのインターネット（IoT）の融合をクラウド環境で実現する技術の研究開発<sup>16)</sup></li> <li>oneM2M (ARIB : Association of Radio Industries and Business、TTC : Telecommunication Technology Committee)<sup>15)</sup></li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>官民 ITS 構想・ロードマップ ~世界一安全で円滑な道路交通社会構築に向けた自動走行システムと交通データ利活用に係る戦略<sup>17)</sup></li> <li>特定非営利活動法人ウェアラブル・コンピューター研究開発機構<sup>18)</sup></li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>ムーブバンド<sup>19)</sup>、Sony SmartWatch<sup>20)</sup>、EPSON MOVERIO<sup>21)</sup>、Sony SmartEyeglass<sup>22)</sup></li> </ul>
米国	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEEE Standard Association P2413 - Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)<sup>23)</sup></li> <li>TIA-4940.005、"Smart device communications、" Reference Architecture、Dec. 2011<sup>24)</sup></li> <li>Wearable Computing in MIT Media Lab<sup>25)</sup></li> <li>oneM2M (ATIS : Alliance for Telecommunications Industry Solutions、TIA : Telecommunications Industry Association)<sup>15)</sup></li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>DOT HS 812 014 Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application<sup>26)</sup></li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrial Internet Consortium<sup>13)</sup></li> <li>NIKE+Fuelband<sup>27)</sup>、Fitbit<sup>28)</sup>、Apple Watch (iWatch)<sup>29)</sup>、Jawbone<sup>30)</sup>、Google Glass<sup>31)</sup></li> </ul>
欧州	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>European Research Cluster on the Internet of Things<sup>32)</sup></li> <li>Internet of Things Global Standards Initiative<sup>33)</sup></li> <li>ETSI TS 102 690 V1.1.1、"Machine-to-machine communications (M2M)、" Functional architecture、Oct. 2011.<sup>34)</sup></li> <li>oneM2M (ETSI : European Telecommunications Standards Institute)<sup>15)</sup></li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie 4.0<sup>14)</sup></li> <li>New connected car standards put Europe into top gear (European Commission Press Release)<sup>35)</sup></li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie 4.0 Platform<sup>36)</sup></li> </ul>
中国	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>China IoT New Developments and EU- China Cooperation、China Academy of Telecommunication Research (CATR)、Ministry of Industry and Information Technology(MIIT)<sup>37)</sup></li> <li>oneM2M (CCSA : China Communications Standards Association)<sup>15)</sup></li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>China and Germany to Carry Out Cooperation in "Industrie 4.0"<sup>38)</sup></li> <li>Why China will leapfrog the world in Internet of Things<sup>39)</sup></li> <li>China looks to lead the Internet of Things<sup>40)</sup></li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>At the end of 2013、China had 50 million M2M connections、ahead of the U.S. with 32 million and Japan with 9.3 million” - Sylwia Kechiche、Senior Analyst M2M、GSMA Intelligence<sup>41)</sup></li> <li>China's most promising smartphone maker reveals first LTE phone、\$13 fitness band<sup>42)</sup></li> </ul>

韓国	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>Busan Selected for IoT Promotion and Development Project<sup>43)</sup></li> <li>oneM2M (TTA: Telecommunications Technology Association)<sup>15)</sup></li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>The Korean Government has proposed a goal to achieve 40% share of the global wearable device market by 2020. - 'Next-generation Device Korea 2020' strategy.<sup>44)</sup></li> <li>ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institutesmart) phone app controls parking<sup>45)</sup></li> <li>Automobile + IT、 Korean cars drive smart<sup>46)</sup></li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>Samsung Galaxy Gear<sup>47)</sup>、 LG G Watch R<sup>48)</sup></li> </ul>

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

## (8) 引用資料

### 1) HP webOS

[http://ja.wikipedia.org/wiki/HP\\_webOS](http://ja.wikipedia.org/wiki/HP_webOS) (Oct, 2014)

### 2) Snapdragon

<http://www.qualcomm.co.jp/products/snapdragon> (Oct, 2014)

### 3) W3C HTML5

<http://www.w3.org/TR/html5/> (Oct, 2014)

### 4) ARM Cortex-A

<http://www.arm.com/ja/products/processors/cortex-a/index.php> (Oct, 2014)

### 5) ARM Cortex-R

<http://www.arm.com/ja/products/processors/cortex-r/index.php> (Oct, 2014)

### 6) ARM Cortex-M

<http://www.arm.com/ja/products/processors/cortex-m/index.php> (Oct, 2014)

### 7) Node.js

<http://nodejs.org> (Oct, 2014)

### 8) LXC – Linux Containers

<https://linuxcontainers.org/jp/> (Oct, 2014)

### 9) Docker

<https://www.docker.com> (Oct, 2014)

### 10) Red Bend モバイル仮想化

<https://www.redbend.com/ja/mobile-virtualization> (Oct, 2014)

### 11) U.S. Department of Transportation Announces Decision to Move Forward with Vehicle-to-Vehicle Communication Technology for Light Vehicles

<http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/2014/USDOT+to+Move+Forward+with+Vehicle-to-Vehicle+Communication+Technology+for+Light+Vehicles> (Oct、

- 2014)
- 12) 「第20回 ITS 世界会議 東京 2013」 Honda 出展概要  
<http://www.honda.co.jp/news/2013/4131008.html> (Oct、2014)
  - 13) Industrial Internet Consortium  
<http://www.iiconsortium.org> (Oct、2014)
  - 14) Project of the Future: Industrie 4.0  
<http://www.bmbf.de/en/19955.php> (Oct、2014)
  - 15) oneM2M  
<http://www.onem2m.org> (Oct、2014)
  - 16) 総務省  
[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01tsushin03\\_02000065.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin03_02000065.html) (Oct、2014)
  - 17) 官民 ITS 構想  
[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/kanminits\\_140603.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/kanminits_140603.pdf) (Oct、2014)
  - 18) 特定非営利活動法人ウェアラブル・コンピューター研究開発機構  
<http://www.teamtsukamoto.sakura.ne.jp> (Oct、2014)
  - 19) ムーブバンド  
<http://www.d-healthcare.co.jp/products/moveband/> (Oct、2014)
  - 20) Sony SmartWatch  
<http://www.sonymobile.co.jp/product/accessories/smartwatch2/> (Oct、2014)
  - 21) EPSON MOVERIO  
<http://www.epson.jp/products/moverio/> (Oct、2014)
  - 22) Sony SmartEyeglass  
<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/201409/14-090/> (Oct、2014)
  - 23) IEEE P2413  
<http://standards.ieee.org/develop/project/2413.html> (Oct、2014)
  - 24) TIA  
[https://global.ihs.com/doc\\_detail.cfm?document\\_name=TIA-4940.005](https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=TIA-4940.005) (Oct、2014)
  - 25) Wearable Computing in MIT Media Lab  
<http://www.media.mit.edu/wearables/index.html> (Oct、2014)
  - 26) DOT HS 812 014 Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application  
<http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/V2V/Readiness-of-V2V-Technology-for-Application-812014.pdf> (Oct、2014)
  - 27) NIKE+Fuelband  
[http://www.nike.com/jp/ja\\_jp/c/nikeplus-fuelband](http://www.nike.com/jp/ja_jp/c/nikeplus-fuelband) (Oct、2014)
  - 28) Fitbit  
<http://www.fitbit.com/> (Oct、2014)
  - 29) Apple Watch (iWatch)  
<http://www.apple.com/jp/watch/> (Oct、2014)
  - 30) Jawbone



- <https://jawbone.com> (Oct, 2014)
- 31) Google Glass  
<https://www.google.com/glass/start/> (Oct, 2014)
- 32) European Research Cluster on the Internet of Things  
[http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/rfid-iot\\_en.html](http://cordis.europa.eu/fp7/ict/enet/rfid-iot_en.html) (Oct, 2014)
- 33) Internet of Things Global Standards Initiative  
<http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx> (Oct, 2014)
- 34) ETSI TS 102 690 V1.1.1、 (M2M) Functional architecture  
[http://www.etsi.org/de-liver/etsi\\_ts/102600\\_102699/102690/01.01.01\\_60/ts\\_102690v010101p.pdf](http://www.etsi.org/de-liver/etsi_ts/102600_102699/102690/01.01.01_60/ts_102690v010101p.pdf) (Oct, 2014)
- 35) New connected car standards put Europe into top gear  
[http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-14-141\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-141_en.htm) (Oct, 2014)
- 36) Industrie 4.0 Platform  
<http://www.plattform-i40.de> (Oct, 2014)
- 37) China IoT New Developments and EU- China Cooperation  
[http://euchina-ict.eu/wp-content/uploads/2014/06/Xueli\\_Zhang.pdf](http://euchina-ict.eu/wp-content/uploads/2014/06/Xueli_Zhang.pdf) (Oct, 2014)
- 38) China and Germany to Carry Out Cooperation in "Industrie 4.0"  
[http://www.fmprc.gov.cn/mfa\\_eng/zxxx\\_662805/t1200148.shtml](http://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/zxxx_662805/t1200148.shtml) (Oct, 2014)
- 39) Why China will leapfrog the world in Internet of Things  
<http://venturebeat.com/2014/10/04/why-china-will-leapfrog-the-world-in-internet-of-things/>  
(Oct, 2014)
- 40) China looks to lead the Internet of Things  
<http://www.stofficeseoul.ch/19-march-2014-korea-to-push-global-wearable-device-market/>  
(Oct, 2014)
- 41) At the end of 2013, China had 50 million M2M connections, ahead of the U.S  
<http://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/2014/06/china-report.pdf>  
(Oct, 2014)
- 42) China's most promising smartphone maker reveals first LTE phone, \$13 fitness band  
<http://www.theverge.com/2014/7/22/5925759/xiaomi-mi-4-mi-band-specifications-release-date>  
(Oct, 2014)
- 43) Busan Selected for IoT Promotion and Development Project  
<http://english.busan.go.kr/BoardExecute.do?pageid=BOARD00119&command=View&idx=2159> (Oct, 2014)
- 44) Next-generation Device Korea 2020' strategy  
<http://www.stofficeseoul.ch/19-march-2014-korea-to-push-global-wearable-device-market/>  
(Oct, 2014)
- 45) ETRI phone app controls parking  
<http://www.korea.net/NewsFocus/Sci-Tech/view?articleId=116396> (Oct, 2014)
- 46) Automobile + IT、 Korean cars drive smart,  
<http://www.rvo.nl/sites/default/files/Korean%20cars%20drive%20smart.pdf> (Oct, 2014)

47) Samsung Galaxy Gear

<http://www.samsung.com/jp/consumer/mobilephone/gear/gear/SM-V7000ZKADCM> (Oct、2014)

48) LG G Watch R

<http://www.lg.com/jp/press-releases/20140828-lg-g-watch-r> (Oct、2014)

### 3.5.5 ワークロード特化型アーキテクチャー

#### (1) 研究開発領域名

ワークロード特化型アーキテクチャー

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

コンピュータのハードウェア、ソフトウェアのアーキテクチャーのうち、汎用ではなく、特定のワークロードに特化したもの。インターネット検索、ビッグデータなど、これまでのアーキテクチャーでは十分に性能が出ないワークロードに対して、出現してきた。

#### (3) 研究開発領域の簡潔な説明と国内外の動向

##### [背景と意義]

コンピュータのアーキテクチャーは主に2つの要因によって変化する。一つは、新しい革新的な技術であり、例えば記憶装置の性能が劇的に変化したりすることで起きる。もう一つは、コンピュータで処理する負荷のパターン（ワークロード）によって変化する。

コンピュータの黎明期、コンピュータ・アーキテクチャーは、商用計算用、科学技術計算用というように、ワークロードによって分化していた。商用計算においては、固定小数点で可変長のデータが主に用いられるのに対して、科学技術計算においては、浮動小数点・固定長のデータが主に用いられていたからである。

その後、ハードウェアの性能の進歩と共に、ソフトウェアの開発コストの問題が浮上ってきて、特定のワークロードに特化したコンピュータを作るよりも、汎用のハードウェアにしてソフトウェア資産を継続利用できるようにすることが重要になってきた。このため、IBM System 360 に代表される汎用コンピュータという概念が登場した。その後、1980年代に、Lisp マシンや Prolog マシンなどのワークロード特化型アーキテクチャーが現れたが、半導体を始めとするデバイスの性能向上が著しく、ニッチマーケットのワークロード特化型マシンは、デバイス性能の世代交代に付いて行けずに姿を消して行った。2000 年ころまでは、インテル x86 アーキテクチャーに代表される汎用マシンが市場をほぼ支配していたのである。

その状況は、IT がより深く社会に浸透するにつれて変化しつつある。特定のワークロードだけでも十分に大きな市場ができてきて、専用アーキテクチャーを設計することがコスト的に見合うようになってきたためである。ゲーム機である PlayStation3 は、高度なグラフィックス機能を実現するために Cell という独自アーキテクチャーを持っているが、全世界で 8000 万台以上を売り上げたとされている。サーバーの分野では、Google のデータセンターは、数百万台のカスタムメイドのサーバーを持つとされている。これらは、いずれもゲームや検索という特定のワークロードに特化したアーキテクチャーを持っている。

今後、さらに IT が社会の隅々まで浸透するにつれて、個別のワークロードに特化したアーキテクチャーが現れるだろう。新しいワークロードのデマンドをいち早く捉え、それに特化したアーキテクチャーの研究開発で先陣を切ることが大切である。

##### [これまでの取り組み]

#### 1. Web 検索

インターネット上の大規模ワークロードとして典型的なものは、検索である。Google は、インデックスだけで 100 ペタバイトのデータを持っていて、各検索リクエストに対して、これらのインデックスを並列に検索する。これらの検索インデックスは、現在は主記憶上に保持されている。Google のデータセンターは、検索、クローリングなど、それぞれのワークロードに特化したサーバー構成を持っている。また、これら大規模並列なアーキテクチャー上で動くソフトウェアプラットフォームとして、Map/Reduce を利用している。Map/Reduce のアイデアは、その後オープンソース化され、Hadoop として世の中で広く使われるようになった。

## 2. ゲーム・マルチメディア

家庭用の据え置きゲーム機（コンソールと呼ばれる）は高度なグラフィックス処理が必要とされる。2006 年に発売されたソニーPlayStation 3 は、GPU。PlayStation 3 の Cell プロセッサは、Power Architecture コアに、8 個の SPE と呼ばれるコプロセッサを 1 チップのパッケージに収めたものであった。このアーキテクチャーは、当時のゲーム市場において要求された、高度なインタラクティブグラフィック性能を実現するために設計された。ゲームを主眼としていたために、浮動小数点演算の精度は単精度に抑えられていた。

また、パソコンやスマートフォンでは、グラフィック用に GPU を装備することが標準になっている。

## 3. ネットワーク

ルーターやファイヤーウォールなどのネットワーク機器は、より柔軟な機能をソフトウェアで実現するために、ネットワークプロセッサと呼ばれる専用アーキテクチャーを持つプロセッサが使われることが多い。ネットワークプロセッサは、異なる複数の処理をパイプラインで行うプロセッサを中心に、パケットのビット演算、パターンマッチ、暗号化などの専用ハードウェアを組み合わせたものである。ネットワーク機器の市場はサービスプロバイダルーター/スイッチ市場だけで年間 200 億ドルに達するとされていて<sup>1)</sup>、専用のプロセッサの市場も十分に大きい。

## 4. トランザクション

電子商取引などのインターネット上のトランザクションは、トラフィックのピークが非常に鋭いため、通常の関係データベースではピーク時の負荷を処理しきれないという問題があった。このため、NoSQL と呼ばれる、関係完全性を犠牲にしたワークロード特化型のデータベースが現れてきた。これらの NoSQL データベースの多くは並列化に伴う整合性保証の困難さのために、従来トランザクション処理で必須とされてきた ACID 特性を犠牲にしている。例えば、amazon Dynamo においては、一時的に複数ノードのデータの不整合を許す。ショッピングカートなどのワークロードにおいては、チェックアウト時に整合性を検査すれば良いからである。

## 5. アナリティクス

あるデータセット全体から予測モデルを作ったり、データマイニングするなど、いわゆる

アナリティクスと呼ばれるワークロードが増加している。このようなアプリケーションは、主にランダムなアクセスを行う通常のトランザクションとは異なり、(アルゴリズムにも依存するが) ほぼ全域のデータを対象としたアクセスになることが多い。例えば代表的なクラスタリングアルゴリズムである、k-平均法は、各イテレーションにおいてすべてのデータに逐次的にアクセスする。IBM 社の Netteza はこのようなワークロードに特化したデータベースであり、ハードディスクから逐次的にデータを読み出す速度を最大化するためにハードウェア・ソフトウェアを専用設計したものである。

また、ソーシャルメディアなど Web 上のデータや、遺伝子の発現情報のデータ等、グラフ構造として表現されるデータが増えてきている。このようなグラフ構造は、ノード数が何十億という巨大なものになる。このため、Google 社の Pregel、オープンソースの Sinal/Collect など、並列計算機上でグラフ構造の分析を行うためのソフトウェアツールが現れ始めている。

## 6. HPC

現代の科学技術計算には、巨大なスーパーコンピュータが使われる。これらのスーパーコンピュータも、ワークロードによって様々なアーキテクチャーを持つ。HPC の詳細については、研究開発領域 3.5.6 「ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)」を参照のこと。

## 7. モバイル

スマートフォンなどのモバイルプラットフォームは、マルチメディアなどの信号処理のワークロード要求に加えて、消費電力やダイサイズなどの他の要件も考えなければならない。モバイルアーキテクチャーについては、研究開発領域 3.5.4 「モバイルコンピューティング」を参照のこと

## 8. 分散システムの運用管理

Google や amazon など、大規模なデータセンターにおいては、仮想化とそれに伴う運用管理のアーキテクチャーが極めて重要である。仮想化については、ハードウェアレベルでの仮想化を行う VMWare や KVM などのテクノロジーが主流であったが、最近はより軽量で運用管理のしやすい CoreOS/Docker などの技術が急速に注目を浴びている。またその管理のアーキテクチャーとして、Vagrant や kubernetes などのテクノロジーが現れ始めている。その他データセンターの運用管理に関わる技術動向については研究開発領域 3.5.3 「クラウドコンピューティング」を参照のこと。

### [今後必要となる取り組み]

今後明らかに増加するワークロードに対して、いち早くそれらのワークロードに最適化したアーキテクチャーの研究開発を進めることが大切である。特に、(1)センサーデータなどリアルタイムに発生するビッグデータへの対応と、(2)研究開発から応用までの展開が著しい機械学習への対応が重要である。

## 1. センサーデータなどリアルタイムのビッグデータ

IoT (Internet of Things)や CPS(Cyber-Physical Systems)など、実世界のセンサーからのデータに基づいて社会基盤をインテリジェント化する動きが加速している（研究開発領域 3.10.8「社会インフラとビッグデータ」参照）。これらのセンサーから得られるデータは、リアルタイムのストリーミングデータであり、これらを効率よく処理するアーキテクチャーが求められる。現在知られているのは、CEP (Complex Event Processing)と呼ばれるもので、ルールベースでイベントを処理するものであり、IBM 社の InfoSphere Streams など商用のツールや、Apache S4 などのオープンソースツールが知られている。また、通常のバッチスタイルの処理とストリーム処理を統一的に扱うアーキテクチャーとして Lambda Architecture が提唱されていて、その実装として Storm がある。

## 2. データ分析・機械学習

近年進歩が著しいデータ分析や機械学習のアルゴリズムは、今までのトランザクションとは大きく違ったワークロードを持っている（前述のクラスタリングアルゴリズム k-平均法はその一つである）。特に注目が必要なのは、粒子フィルターに代表される任意の確率分布をランダムサンプリングで表現する手法と、ディープラーニングに代表されるニューラルネットワークのワークロードである。どちらも細粒度の並列計算に向けたアルゴリズムであり、FPGA などの専用ハードウェアによる性能向上が大きく期待できるものである。

### （4）科学技術的・政策的課題

#### 1. ワークロードの動向の見極め

ワークロードにドライブされるアーキテクチャーの研究開発を成功させるためには、第一に今後重要となるワークロードをいち早く見極める活動が必要である。このためには、情報技術の専門家を交えて、広く産業界の動向情報を交換し、将来に現れるワークロードを予測する活動を行うべきである。特に、我が国において競争力のある製造業、サービス業などの分野において発生する新たなワークロードを見逃すことの無いようにすべきである。

#### 2. ソフト・ハード・ネットワーク・運用管理を包括的に設計する手法開発および人材育成

本領域で取り上げたアーキテクチャーはいずれも、該当するワークロードに対して、ハードウェアの構成とソフトウェアの機能を同時に設計して最適化してものである。多くのアーキテクチャーは高度の並列計算を前提としていて、さらにネットワークや運用管理を含めた最適化が行われている。このようなアーキテクチャーを設計するためには、運用管理までを含めた包括的な観点でアーキテクチャーを設計できる人材が必要である。

#### 3. アーキテクチャーの普及に関する取り組み

技術的にどんなに良いアーキテクチャーができたとしても、広く使われなければ商業的には失敗である。このため、標準化の支援や規制の見直しなど、政策的に提案されたアーキテクチャーの普及を推し進める活動も欠かせない。

## （5）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

### 〔新たな技術動向〕

#### 1. データセンター、サーバー

データセンターで生じるワークロードについては、Googleやamazon.comが世界最大級のワークロードを実際に持っていて、またそれらに対して十分に大きなアーキテクチャ的な投資ができる。従って、彼らの動向を常にウオッチすることは欠かせない。特に近年注目されるのは、高並列な計算を行うために必要な運用管理のインフラに関するアーキテクチャーであり、CoreOs、kubernetesなどである。

また、これらのテクノロジーは、オープンソースとして社外に出てくることも多く、Apacheなどのオープンソースコミュニティの動きは見ておく必要がある。

#### 2. ストリーミングビッグデータ向け処理基盤。

ストリーミング向けの処理基盤はまだ黎明期であり、決定版が無い。その中で、Twitterの基盤を開発したNathan MarzによるLambdaアーキテクチャーは注目すべきものの一つである。重要な概念の一つは、データのimmutabilityであり、獲得されたデータがその後書き換えられないことを指す。このimmutabilityは、個別ノードの障害が避けて通れない高並列計算において、重要性が認識されつつある。

## （6）キーワード

- ・ワークロード、検索、ソーシャルネットワーク、ゲーム、HPC、ネットワークプロセッサ、アナリティクス
- ・並列アーキテクチャー、Map/Reduce、Hadoop
- ・ストリーミング処理、CEP、Lambda アーキテクチャー
- ・データ分析、機械学習、粒子フィルター、ディープラーニング
- ・Immutability

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	HPCの分野においては、一定の地位を占めているが、その他のワークロード特化型アーキテクチャーにおいては、日本の存在感は小さい。
	応用研究・開発	△	→	オンライン分散機械学習フレームワークJubatusをいち早くオープンソースで世に出して、この分野では一定の存在感があるが、特にサーバー側のアーキテクチャーについては、人材も含めて米国とは勝負にならない。
	産業化	△	↘	Sony Playstationなどゲームコンソールの領域や、組み込みの分野で独自アーキテクチャーを持っていたが、市場の変化によって他国の後塵を拝するようになってきている。
米国	基礎研究	◎	→	Map/Reduce、GPU、ネットワークプロセッサなど、ほとんどのアーキテクチャーは米国発であり、層が厚い。
	応用研究・開発	◎	→	Googleなどネット上でサービスを提供する企業では、基礎研究から応用までの期間が極めて短い。基礎研究での成果は直ちにWeb上のサービスとして提供され、その結果が研究現場にフィード・バックされるという好循環を生んでいる。
	産業化	◎	→	Googleやamazonは、巨大なワークロードに対して独自のアーキテクチャーをいち早く産業化し、そのメリットを享受している

（註1）フェーズ

- 基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル
- 応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル
- 産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

（註2）現状

- ※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。
- ◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

（註3）トレンド

- ↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

（8）引用資料

- 1) [http://ex-press.jp/previous/lfwj/news2013/news\\_20131127\\_02.html](http://ex-press.jp/previous/lfwj/news2013/news_20131127_02.html)



### 3.5.6 ハイパフォーマンスコンピューティング（HPC）

#### （1）研究開発領域名

ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)

#### （2）研究開発領域の簡潔な説明

(a) 超高性能計算能力を有するスーパーコンピューターのハードウェアおよびソフトウェアのシステム技術、および(b)スーパーコンピューターが有する計算能力を科学や産業などに活用するアプリケーション技術の研究開発、さらに(a)(b)全体のコ・デザイン。

#### （3）研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

2020年代においてエクサ( $10^{18}$ )フロップス(FLOPS=毎秒あたりの浮動小数点演算数)を達成するスーパーコンピューター実現に向けて、日米欧中の各国がしのぎを削っている。主にデナードスケリングの終焉により、必要な並列性が億単位とも予想され、その際に消費電力を約20~30MWに抑えるには1ワットあたり33~50ギガフロップスと、現時点の世界最高値を10倍程度改善しなくてはならず、2008年に達成されたペタ( $10^{15}$ )フロップスよりはるかに困難である。2014年度時点では、各国の当初の計画に若干の遅れが生じており、エクサの達成は2018~2020年から、2020年代前半頃、と後退している。

ただし、2015-2020年にかけて、(a)に関して各国はエクサへの橋渡しとして数百ペタフロップスに至る中間的な性能のマシンを計画しており、数十万~数百万のプロセッサを内包するハードウェアを、厳しい電力制約化で実現するために、メニーコア・ヘテロジニアス型アーキテクチャーや、積層メモリー・不揮発性メモリー、超高速光ネットワーク、高効率冷却など、ITにおける最先端のデバイスやハードウェアをIDC(Internet Data Center)等に先行して採用する傾向が高まっている。加え、巨大な電力を消費する大規模システムの高度な信頼性の達成、数億の並列性の有効なプログラミングなど、大規模スパコンの各種システムソフトウェア技術の研究開発にも多くの投資がなされている。

(b)に関しては、新たな数値的な手法やアルゴリズムにより、現行の数十ペタフロップスのトップスパコンにて数百万から一千万以上の並列性を有効に活かしたアプリケーション群が多く出現している。だが、エクサへ到達する事の技術的な困難さから、アプリケーション・システムソフトウェア・ハードウェアの共同の研究開発「コ・デザイン」の重要性が強調され、各種プロジェクトに取り入れられている。

世界のスパコンの性能の上位500位までのコンピューターをLINPACKベンチマーク（密行列の大規模連立一次方程式を解くベンチマーク）でランキングし、半年ごとに更新されるTOP500<sup>1)</sup>リストでは、最新の2014年11月版で再び中国防衛大学のTianhe-2が33.87ペタフロップスで世界一位となり、2013年6月以来4連続を記録した。Tianhe-2はメニーコアプロセッサであるIntel Xeon Phiを各ノードで3基、通常のXeonを2基集約したヘテロジニアスアーキテクチャーの計算ノードを1万6000基備えており、総合演算コア数は312万個、ピーク性能は54.9ペタフロップスに達する。その際の電力は17.8メガWと報告されており、エクサにおける全体消費電力目標限界値に近いが、その際の電力効率は1.9ギガフロップス/Wであり、50ギガフロップス/Wの目標値には27倍の開きがある。

近年のIDC(Internet Data Center)におけるクラウドやビッグデータ基盤の出現により、

HPC もそれらへの対応や、IDC インフラとの統合化の流れも始まっており、クラウドに関しては米国 DoE や NSF の試験的な導入を初めとして、Amazon HPC Instance<sup>2)</sup>や Penguin Computing<sup>3)</sup>が商用クラウド HPC サービスを開始している。また、各国のエクサの計画にはビッグデータも重要な項目として記載されており、ハードやソフトのシステムレベルの対応も要求され、シミュレーションが発生する莫大なデータの処理や、一般 IDC では扱えない規模や複雑さのビッグデータを処理するための基盤として期待されている。

以下それらの詳細を述べる。

半導体におけるデナードスケリングの終焉により、大規模スパコンの演算プロセッサは、一つのチップに複数の演算コアを備えたマルチコア型から、さらに大量のコアを備え、演算に対する電力効率が良いメニーコアプロセッサによる超並列型と進化しており、米社である NVIDIA Tesla GPU や Intel Xeon Phi などが代表的である。一般にメニーコア型は、大量の連続的なデータをベクトル処理するスループット演算にアーキテクチャーが最適化されており、反面逐次処理などのレイテンシーが重視される演算性能が弱く、プログラム実行の中でも十分な並列性が確保できない状況では大幅なオーバーヘッドが生じ、性能向上が困難になる。これはいわゆる「アムダールの法則」の問題であり、近年ではその解決のために Tianhe-2 のようにスループット型のメニーコアプロセッサとレイテンシー型のマルチコアプロセッサを組み合わせ、処理の性質によって切り替えるヘテロジニアス型のアーキテクチャーが主流であり、Tianhe や世界二位の米国 DoE オークリッジ研の Titan を初め、Top500 のトップ 20 位の内 9 台がヘテロジニアス型である。

今後、電力制約により主流はさらにメニーコア型・ヘテロジニアス型に移っていくが、その際に種々の問題があり、100 ペタフロップス級から将来のエクサに向けての研究開発の課題となっている。一つはメニーコアプロセッサが要求する莫大なメモリーバンド幅を満たすメモリーシステムであり、2015-16 年から DRAM を三次元積層し、新しい高速インターフェースを付加した High Bandwidth Memory<sup>4)</sup>、あるいはその対抗馬である Hybrid Memory Cube<sup>5)</sup>に移行していく事が予定されている。これらは現状の GDDR5 から 2-4 倍のバンド幅向上・1 テラバイト/秒のバンド幅が低電力で実現できるとされているが、計算パワー向上に見合ったメモリー容量の向上は困難である。短期的には DDR4 に代表される従来型・低速だが大容量なメモリーとの組み合わせでメモリー階層を構成する方向性が追及され、長期的には DRAM に代わる大容量・高密度・高速な ReRAM や STT-MRAM などの不揮発性メモリーデバイスに置き換わって行く可能性もある。

関連する問題として、メニーコアとマルチコアのプロセッサ間通信が、現状では PCI-e であり、今後の HBM 等で実現されるバンド幅の 1/100 程度と大幅に制約され、プログラミングの観点からも双方のメモリー間にコヒーレンシがなく、ユーザーは明示的にデータをプロセッサ間で転送する必要があった。この点、米 AMD 社ではコンシューマ CPU で推進している GPU・CPU 統合型のアーキテクチャーである HSA<sup>6)</sup> (Heterogeneous System Architecture)をサーバーや HPC 用の大規模プロセッサにも導入し、一つのダイにスループットとレイテンシーコアを統合し、かつそれらが OS やコンパイラからもメモリー共有などなるべく単一の環境になるようにする計画である。一方米 NVIDIA 社は組込みでは統合を進めるものの、サーバー・HPC では同社が開発し、標準化を目指す高性能プロセッサ間結合網である NV-Link を CPU ベンダーに採用を働きかけ、柔軟な組み合わせの構成を目指

す。既に IBM 社が Power 9 など、将来の同社のレイテンシープロセッサに NV-Link の採用をアナウンスしており、サーバー-ARM 系のベンダーもこれに続くことが見込まれている。NVIDIA の 2016 年に登場する次世代 HPC 用 GPU である Pascal は、メモリーとして HBM を採用し大幅にバンド幅を上げると共に NVLink<sup>7)</sup>を搭載し、PCI-e 3 の 5 倍の 80 ギガバイト/秒のバンド幅を実現し、その次の世代ではさらに大幅に性能向上する事をアナウンスしている。Intel は Xeon Phi(MIC)において、次世代の Knights Landing ではヘテロジニアス化せず、均質なメニーコアだが、並列性が低い時は一部のコアだけを用い、周波数を上昇させる Turbo Boost で補うとともに、数百ギガバイト/秒のパッケージメモリーを搭載し、かつ容量確保のために DDR4 メモリーのインターフェースを備え、階層的なメモリーアーキテクチャーを実現するとアナウンスされている。

実際、多くの実アプリケーションではメモリーの容量やバンド幅、さらにはネットワークのバンド幅が重要だが、それがあまり結果に影響しなかった Linpack/Top500 への反省が進んでおり、それらを指向する HPCG ベンチマーク<sup>8)</sup>やビッグデータベンチマークのランキングである Graph500<sup>9)</sup>の開発が進み、Linpack に並び重要な指標なりつつある。今後は厳しい電力制約下でフロップスのみを追求せず、実アプリケーション加速のためにメモリーやネットワークのバンド幅をバランス良く確保する傾向が強まるであろう。

もう一つの問題は、メニーコアプロセッサやヘテロジニアスなアーキテクチャー向けのシステムソフトウェアやプログラミング基盤、さらにはそれらに適したアプリケーションやその内在するアルゴリズムの開発である。これらに関しては、ハードウェアよりライフサイクルが長く、かつより普遍的でもあり、より重要な研究開発とも言える。これらに関しては多くの研究が米国中心に行われており、欧州もそれに近く追随している。多くの事例があり全てを紹介するのは困難だが、OS、省電力を含む資源管理、種々の実行ランタイム、数値ライブラリ、耐故障性機能、性能計測・チューニング、プログラミング言語処理系およびそのコンパイラ、I/O ライブラリなど、多岐に亘る。特にメニーコア・ヘテロジニアス型のプロセッサに対しては、OpenCL や CUDA、TBB のような低レベルのものだけでなく、既存のプログラムにディレクティブ宣言を追加するタイプの OpenACC2.0<sup>10)</sup>や OpenMP4.0<sup>11)</sup>が進展し、多くのアプリケーションの移植が達成され、アプリケーションによっては CUDA 等で記述したのと同程度の性能を得ることに成功しており、今後のさらなる進展が望まれる。

今後は我が国の TSUBAME2 のような不揮発性メモリーのスパコンにおける積極採用が見込まれ、I/O 性能の向上、さらに将来はメモリー階層の深化と容量の拡大が実現される。多くのスパコンのアプリケーションは広大なメモリー空間を必要とするが、近年ではバンド幅を確保するためにその容量が大幅に犠牲になっており、2015 年に配備予定の富士通 FX100 では、プロセッサ性能が 1 テラフロップス、メモリーバンド幅が 480 ギガバイト/秒に対し、メモリー空間はわずか 32 ギガバイトと、FX10 から基本性能は 5 倍だがメモリー空間は増えていない。汎用の DDR4-DRAM も、消費電力とコストの面で大きくは増やせない。そこで、将来はより密度が高く、消費電力が低い不揮発性メモリーに下位のメモリーレイヤーは置き換わって行くものと考えられる。

ただし、現状では不揮発性メモリーの主流はフラッシュであり、高容量・低コストだがメモリーバスに直接接続するには低速すぎ、書き込み可能回数が著しく低く、現状では主に

I/O の加速に用いられている。その中で注目を浴びているのがバーストバッファ技術で、スパコンやビッグデータ処理の集中する I/O 操作を一度フラッシュ中心のバーストバッファで蓄え、後に平均化した形で連続してバックエンドの並列ファイルシステムに書き込み、性能向上だけでなく、I/O サーバーのインフラの大幅な削減が可能となる。

更に、厳しい電力制約での性能確保のために、マシンの電力や冷却に関しても、最先端の技術によりその効率を大幅に高める研究が進んでいる。Green500<sup>12)</sup>ベンチマークは Linpack 実行時の電力効率をランキングしているが、2014 年 11 月一位は GSI Helmholtz Center の L-CSC の 5.27 ギガフロップス/W である。上位は全てメニーコア・ヘテロジニアス型のマシンであるが、エクサの目標からはまだ 10 倍近い開きがあるのが現状で、半導体の演算部分の微細化だけでなく、システムソフトウェアによる電力のきめ細かな制御など、さらなる消費電力削減の技術開発が重要である事を示している。

ネットワークに関しては、BlueGene/L や京/FX10 に代表されるスパコン専用のネットワークが多次元トラスの直接結合網、クラスタ型のスパコンでは Infiniband や 10/40GbE に代表される汎用の高性能ネットワークが主に Fat Tree の間接結合網であった。しかし、Cray 社が 2012 年に発表したスパコン XC30 で専用の DragonFly 間接結合網に移行し、さらに Intel 社が Cray 社のネットワーク部門と技術と Infiniband の専業であった QLogic 社を買収し、2016 年以降 Xeon、Xeon Phi のハイエンドプロセッサに Omni Scale 結合網を内蔵するとアナウンスした。後者も基本 DragonFly や Fat Tree がトポロジーの中心であり、必要な長距離結合も光ネットワークの大幅な低コスト化と相まって、今後は多くのアプリケーションで要求される全対全通信性能や短い通信レイテンシーに有利な間接結合網が主流になっていくものと予想される。

#### （４）科学技術的・政策的課題

我が国では「フラッグシップ 2020」という名称で、ポスト京コンピューターの開発が 2014 年度より開始された。最終的な性能は技術および予算的な状況で流動的だが、2020 年度までに数百ペタフロップスが実現される予定である。しかし後に述べるように、米国や中国の動向から楽観視できないのが現状で、その中では日米欧でシステムソフトウェアやアプリケーションを共同開発しようという動きも始まっている。

米国では、エクサを目指した DoE FastForward<sup>13)</sup>プロジェクトに Intel、NVIDIA、AMD、IBM などが参加するが、それらは各社がターゲットとしている組み込みからサーバー・HPC の IT マーケット全体の製品ポートフォリオの中での、ハイエンドのプロセッサに HPC に適した機能を多く入れ込むためのプロジェクトであり、現状でも Top500 でのプロセッサはこれら各社のものが独占している。一方日本の京コンピューターや、その商用版の FX10 では富士通が開発した SPARC-fx、また SX-ACE では NEC が開発したマイクロプロセッサを採用しているが、TOP500 の中でのシェアは 1%未満である。

今後のスーパーコンピューターの高性能化は、微細加工技術の進展による半導体の高集積化を活用したプロセッサの処理能力向上だけでなく、三次元メモリーや不揮発性メモリー・光ネットワーク・各種省電力技術、さらにはそれらを活かすシステムソフトウェアやアプリケーションの進化やコ・デザインが重要である。当然このような総合的な開発法は、従来の微細化のみに頼るスパコン開発法と比べて遥かにコストがかかり、他のスパコンや IDC

サーバーから組み込みに至る他の IT エコシステムに対する技術的なレバレッジによる開発コストの分散が総合的なコスト削減、および迅速な進化の鍵となる。その点、他のマーケットにレバレッジが期待できず、かつ国際的にシェアが伸びない我が国のスパコンに特化した開発法は圧倒的に不利になると言える。この中で京コンピューター/FX10 においては米国の並列ファイルシステムである Lustre を採用するなど、レバレッジを確保する事に一部成功しており、今後はアプリケーションやシステムソフトウェアの汎用性を担保するハードウェア開発を目指すと共に、コ・デザインのためには国際共同開発を含めた体制を確保する事が重要となる。この点、米 DoE と文部科学省間のエクサスケールスパコンのシステムソフトウェアに関する日米協力取極<sup>14)</sup>が締結されており、その具体化が今後望まれる。

政策的には、継続的なスーパーコンピューターの開発計画が重要となる。今まで我が国では国家プロジェクトとして単一頂点のフラッグシップマシンを 10 年程度のインターバルで開発してきたが、進化の早いスパコンでは十分国際的な動向に追従できず、我が国のスパコンのシェア凋落を招いてきた。そこで「今後の HPCI 計画推進の在り方について」委員会の報告書<sup>15)</sup>では、それに加えて複数のリーディングマシンの開発と配備を提案している。特にフラッグシップマシンの開発では、スパコン技術全体の発展・維持のため、垂直統合的にシステム開発を行うのが通例であるが、このためシステムの完成までには長い年月を要し、登場が予想される最新技術を完成時に just-in-time で用いるリスクを背負いきれない故、技術的に保守的になる傾向がある。そこで、フラッグシップを運用時に補完するだけでなく、技術的にリスクを負った、開発先行的なマシンとしてのリーディングマシンが求められる。その点、リーディングマシンの役割、特にどの部分の研究開発に注力すべきかの議論を今後早急に行う必要がある。

更に、エクサを達成する 2020 年代前半から半ばにかけ、半導体プロセスの微細化も限界を迎えると予想されている。その後もどのように継続的に速度向上を果たすのか、いわゆる「ポスト・ムーア」時代のための基礎研究も今後重要になるであろう。

#### （5）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

米国はメインのエクサ実現に向けては、DoE の各研究所に多くのマシンおよび研究資源が集約される形になっている。一方ビッグデータやクラウドの動きは NSF など、大学中心のセンターにもみられる。2016年登場の DoE Los Alamos/Sandia 研の共同調達 Trinity、および Lawrence Berkeley 研の Cori は Xeon Phi を用い、30~50 ペタフロップスの性能を達成する。一方 2017-2018 年に配備される DoE の 3 研究所の Coral 共同調達プロジェクト<sup>16)</sup>では、2014 年 11 月の IEEE/ACM Supercomputing 国際会議直前に、Oak Ridge 研(Sierra)、および Lawrence Livermore 研(Summit)が NVIDIA の 2017-2018 年の GPU である Volta を IBM Power9 と接続したヘテロジニアス型のスパコンとし、150 ペタ級のマシンを二台実現すると発表した(それぞれのマシンの名称はカッコ内)。もう一つの研究所である Argonne 研の詳細は現時点でまだ発表されていない。

これらをベースに、2020 年初頭には Trinity のアップグレード、さらには 2020 年代前半にはエクサフロップスのマシンを実現するのが現状の米国のロードマップである。このために、2016 年度の予算化を目指し、総合的なエクサスケールの国家プロジェクトを DoE 中心に立ち上げる試みが続いている。すでに開発すべき課題となる技術の整理がなされ報告され

ており<sup>17)</sup>、技術ロードマップの章では、演算処理を行う論理、主記憶、ストレージ、インターコネクト、パッケージングと冷却、耐故障性、運用技術、プログラミングモデルと言語、などが取り上げられている。

欧州では Mont-Blanc<sup>18)</sup>、DEEP、CRESTA のエクサスケールの開発プロジェクトの後継として Mont-Blanc2、DEEPER プロジェクトが立ち上がり、それぞれの「低電力組み込みプロセッサの活用」「メニーコアプロセッサに対し専用設計の EXTOLL インターコネクトの結合」というテーマを継続している。また、新たなプロジェクトとして Human Brain Project<sup>19)</sup>が 2013 年に立ち上がり、欧州 Horizon 2020 科学技術政策の中で 10 年間で 10 億ユーロの投資が見込まれているが、その中で脳の機能シミュレーション用に 2017 年に 100 ペタ級のマシン、引き続きプロジェクトの終盤にはエクサ級のマシンの配備が見込まれ、さらにポスト・ムーア時代に向けニューロモーフィックコンピューティングの研究開発がプロジェクト内の重点項目として行われる。

中国では 2015-2016 年に Tinhe-2 の Xeon Phi を、最新の Knights Landing に置き換える事によりアップグレードし、世界初の 100 ペタフロップス級のマシンを実現する予定である。更に、自国開発のマシンを 2016-2017 年頃に開発・配備するという噂もあるが、詳細は不明である。さらにエクサフロップスも、米国製のメニーコアプロセッサの活用と、自主開発の両輪で、世界で一番乗りを目指すという可能性も示唆されている。

米国側のアセスメントでも、ハードだけでなく、ソフトウェアに関する莫大な開発コストが示唆されている。その中で、ハードウェアは各国・地域の独自性のある開発体制を保持しつつも、持続性のあるソフトウェア部分の共通化を促進化す方向性が示唆されている。その点、IESP や、後継の BDEC<sup>20)</sup>のように、国際協力のフレームワークが重要であり、先の日米協力も実効性のある施策につなげることが重要である。また BDEC ではビッグデータとの協調も中心的なテーマとなっており、スパコンと IDC・ビッグデータ技術の統合化も重要な方向性である。

## （6）キーワード

大規模システム、低消費電力システム・冷却技術、三次元積層メモリー・不揮発性メモリー、メニーコアプロセッサ・ヘテロジニアスアーキテクチャー、光ネットワーク・インターコネクト技術、超並列プログラミングモデル、耐故障性、高性能ストレージ・ビッグデータ、高性能アプリケーション、計算科学

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	→	・スーパーコンピューターに関する基礎研究は産官学で行われているが、米国には質・量とも劣る。今後の基礎研究の方向性が不透明である。
	応用研究・開発	○	↑	・京コンピューターが稼働し、対応する超並列アプリケーションの開発が進展し、ポスト京の開発もスタートしている。
	産業化	△	→	・スパコン市場における日本メーカーの国際的なシェアは伸びておらず、他のIT産業とのレバレッジがない。産業応用は少しずつ進みつつあるが、独自の産業レベルのアプリケーションは弱い。
米国	基礎研究	◎	→	・DoEを中心に研究費の手当がされ、大学・メーカーにも手厚く研究費が渡り、多くの研究者がスパコンに関する基礎研究に携わっている。
	応用研究・開発	◎	→	・Top500において圧倒的なシェアを握っており、それらを利用したアプリケーション開発、システムソフトウェア開発、ハードウェア開発技術も、米国が最先端を走っている。
	産業化	◎	→	・Intel・NVIDIAに代表されるように、スパコンと他のIT分野とのレバレッジが盛んに行われており、ハード・ソフト共に新会社の参入も盛ん、ビッグデータ等との統合化も示唆されている。産業応用も盛んである。
欧州	基礎研究	○	↑	・Horizon2020で欧州でもビッグデータ等と共に予算措置がなされ、高い性能を有するシステムも各所に設置、アプリケーションやシステムソフトウェア中心に競争力の高い研究がなされている。
	応用研究・開発	△	↑	・一部の特殊なスパコンを除き、独自のスパコンのシステム研究は弱い。ARMプロセッサやExtollなどを含む一部の技術を中心に、新たな開発の試みが試みられている。
	産業化	○	→	・近年ではBullなど一部のメーカーは国策的に台頭してきているが、独自技術は少ない。アプリケーションや産業応用では強みはある。
中国	基礎研究	△	↑	・基礎研究はハード・システムソフトウェア・アプリケーションの全領域でまだ日米欧に比べて弱いが、急速に力をつけつつある。
	応用研究・開発	○	↑	・Tianheシリーズだけでなく、米国技術を買った上で追加開発にて独自開発したShenweiなど、大規模スパコンを構築する力は日米に匹敵する。比較して大規模アプリケーション技術はまだ弱いが、最適化・運用技術は急速に向上しつつある。
	産業化	△	↑	・Inspur、Huaweiなどのメーカーが台頭しつつあるが、中国国内市場はまだメインである。アプリケーションでは産業界へ影響を及ぼすには至っていない。
韓国	基礎研究	×	→	・韓国におけるスーパーコンピューターの基礎研究は見るべきものがほとんどない。
	応用研究・開発	×	→	・韓国が有するスーパーコンピューターの計算能力は進展しておらず、応用技術の進展もない。
	産業化	×	→	・システム・アプリケーションとも産業化や利用は乏しい。しかし、サムスン社は大規模な最先端ファブを有し、SK Hynixと共に次世代メモリーでは世界的なリーダーでもある。これらが、スパコンがクラウドやビッグデータインフラと統合と共に、産業化が進展する可能性はある。

## (註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

## (註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

## (註3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

## (8) 引用資料

- 1) TOP 500 Supercomputer Sites:  
<http://www.top500.org/>
- 2) Amazon AWS HPC instance:  
<http://aws.amazon.com/hpc/>
- 3) Penguin Computing:  
<http://www.penguincomputing.com/>
- 4) JEDEC High Bandwidth DRAM Memory Standard:  
<http://www.jedec.org/standards-documents/docs/jesd235>
- 5) Hybrid Memory Cube Consortium:  
<http://www.hybridmemorycube.org/>
- 6) HAS Foundation:  
<http://www.hsafoundation.com/>
- 7) NVLink:  
<http://www.nvidia.com/object/nvlink.html>
- 8) HPCG Benchmark:  
<http://hpcg-benchmark.org/>
- 9) The Graph 500 List:  
<http://www.graph500.org/>
- 10) OpenACC Standard:  
<http://www.openacc-standard.org/>
- 11) OpenMP 4.0 Specifications:  
<http://openmp.org/wp/openmp-specifications/>
- 12) The Green500 List:  
<http://www.green500.org/>
- 13) The DoE FastForward:  
<https://asc.llnl.gov/fastforward/>
- 14) 「スーパーコンピュータに関する協力取極」:  
[http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu109/siryo1-2\\_part15.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/hyouka/haihu109/siryo1-2_part15.pdf)
- 15) 文部科学省「今後の HPCI 計画推進の在り方について」委員会の報告書  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shinkou/028/gaiyou/1348991.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/028/gaiyou/1348991.htm)



- 16) “Department of Energy Awards \$425 Million for Next Generation Supercomputing Technologies”:  
<http://www.energy.gov/articles/department-energy-awards-425-million-next-generation-supercomputing-technologies>
- 17) U.S. Department of Energy、 Office of Science、 Advanced Scientific Computing Research (ASCR) :  
<http://science.energy.gov/ascr/> (多くのドキュメントが掲載)
- 18) MONT-BLANC Project: <http://www.montblanc-project.eu/>、あるいは European scalable and power efficient HPC platform based on low-power embedded technology、  
<http://www.exascale.org/mediawiki/images/6/6b/Talk11-Ramirez.pdf>
- 19) Human Brain Project:  
<http://www.humanbrainproject.eu/>
- 20) Big Data and Extreme Computing:  
<http://www.exascale.org/bdec/>