

## 超 VUCA 時代のシステムデザイン ～アーキテクチャデザインによる変化への対応～

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科  
白坂成功

### 1 はじめに

平成 28 年 1 月に閣議決定された科学技術基本計画において、日本が目指す姿として Society5.0 が示された。また、令和 3 年 3 月に閣議決定された第 6 期科学技術・イノベーション基本計画では、Society5.0 の実現にむけた科学技術・イノベーション政策が示されている。Society5.0 は、「サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会」<sup>1)</sup>と定義されている。これには大きく 3 つの重要なポイントが含まれている。一点目は、サイバー空間とフィジカル空間の融合、つまり、それらの間に人が介在することなく、AI 等の自動処理によって閉ループが成立することで人が介在することなくシステムが進化することである。二点目は、フィジカル空間がサイバー空間を通じて相互につながることであり、そして三点目は、人間中心、つまり実現手段ではなく、生み出す価値に着目していることである。このような Society5.0 の社会が実現されてくると、そこに含まれる“システム”はこれまでとは異なる性質を持つてくる。さらに、VUCA 時代といわれる変化の激しい状況におかれている。VUCA とは、Volatility（変動）、Uncertainty（不

確実）、Complexity（複雑）、Ambiguity（曖昧）から構成された言葉である。COVID-19 によりこの VUCA が加速し、超 VUCA と呼ばれる状況になってきた。つまり、先の予測ができない、計画通りにならない時代であるといえる。本稿では、システムの基本概念を説明した上で、超 VUCA 時代のシステムに特徴的で考慮すべき 3 つの点として、「環境の急激な変化」、「システム対象範囲の拡大」および「重要なシステム特性と説明責任の増加」について説明する。また、これらの特徴にどのように対応するためのアーキテクチャを考えることが重要であることを述べる。

### 2 システムの基本概念

まずはシステムに関する基本的な概念を整理しておく。システムとは、「ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、人、情報、技術、設備、サービスおよび他の支援要素を含む、定義された目的を成し遂げるための、相互作用する要素を組み合わせたもの」<sup>2)</sup>であると定義されている。つまり、システムの構成要素は、いわゆるハードウェアやソフトウェアだけではなく、人や情報などであることがもともと想定されている。また、システムは、いくら詳細に個別の要素をみても決して理解できない。システムを理解するため

には、その個別要素にとらわれるのではなく、全体を一つのものとしてとらえることが必要である。そのようなシステムをデザインし、実装するための方法論として、システムズエンジニアリングがある。システムズエンジニアリングとは、「システムの実現を成功させることができる複数の専門分野を束ねるアプローチおよび手段」<sup>2)</sup>と定義される。つまり、システムズエンジニアリングとは、複数の専門分野（例えば、電気工学、機械工学、ソフトウェア工学など）を統合し、束ねるためのアプローチである。実社会における課題解決や価値創造は、単一の専門分野だけで実現することは難しく、複数の専門分野の統合が必要となる。

### 3 環境の急激な変化

環境の急激な変化により先の予測が困難となってきたことは前述した。それを表す指標として世界不確実性指数というものがある。<sup>3)</sup>世界不確実性指数を見ても、ここ数年は加速度的に不確実さが増加していることが読み取れる。しかし、単純に世の中の変化が激しくなっただけではなく、我々自身が世の中の変化を受けやすい社会をつくっている。上述のとおり、日本政府が推進する Society 5.0 は、つながる社会を実現するものである。Society5.0 では、これまでつながっていなかった分野同士がつながり、サイバーとフィジカルを融合することで、人々にとっての新価値を創造することを目指すものである。これまでは繋がっていないものをつなげることは、新たな価値創造のチャンスを生む。それ

ぞれ独立して調達・運用・管理されるものが繋がって新たな価値をうむものを System of Systems（以下、SoS）と呼ぶ。<sup>4)</sup>つながる社会は新たな価値を生み出す一方で、変化の影響範囲を広げる原因ともなる。つながっていない2つのシステムで構成される場合、どちらか一方のシステムに影響を与える環境変化が起きても、影響をうけるのはそのシステムに限られる。しかしながら、システムがつながっていると、どちらか一方だけに影響を与える環境変化であっても、他方のシステムにその影響が伝播する可能性が増加する。つまり、つながる社会は、世の中の変化の影響を受ける可能性が増加することになる。

システムが受ける変化の影響には大きく2つが存在する。ひとつは開発期間中に環境が変化するものである。この場合は、開発の想定が変わってしまう。もうひとつは、運用中に環境が変化するというものである。これまで正常に動作していたシステムが、そのシステム自体には問題がないにもかかわらず、運用中の環境が変化してしまうことにより正常に目的をはたせなくなってしまう。

そのとき役に立つのが変化対応を加味してシステムをデザインするアプローチである。通常システムは、外部との関係が変化しないと仮定したクローズシステムとして扱う。しかし、このように外部との関係が変化すると仮定したものをオープンシステムと呼ぶ。オープンシステムのデザインにおいては、2つのことを考慮しなければならない。一つは、環境の変化がシステム

に影響を与えることに気がつく必要がある。もう一つは、変化に対応するために、変化に対応しやすいシステムデザインをすることである。

例えば、前者の一つのアプローチとして、「一般社団法人ディペンダビリティ技術推進協議会（略称 DEOS 協会）」では、設計時に設計者がどのような外部環境変化が設計に影響を与えるかを明示化するための手法として D-Case を提案している。D-Case を活用することで、ステークホルダ間で要求の変化に対する合意議論を充分に行う事ができ、合意結果/結論に至った理由/議論の経緯を記録する事ができる。このようなマネジメントアーキテクチャを持ったアプローチが必要となる。また、後者のアプローチとして、変化を考慮したアーキテクチャ設計があげられる。例えば、自動運転車を考えてみる。今は、“カメラで信号機を読み取る”ことによって、信号を判断する必要がある。しかし、将来的には、インフラが整うと、車-インフラ間通信で信号情報をインフラから受け取ることが可能となるかもしれない。このとき、どちらも“信号の状態を知る”という機能では同じである。このとき、手段が“カメラ”から“通信”に変わる可能性があることを考慮して、“信号の状態を知る”という機能はかわらないという前提でアーキテクチャを設計しておけば、すべてをやり直す必要はなく、設計を変更可能となる。

これらのように環境が変化するというリスクについては、環境の変化がシステムに影響を与えることに気がつく仕組みを導入することと、変化に対応す

るために、変化に対応しやすいシステムデザインをすることで対応が可能となる。2020 年のものづくり白書では、このように変化に対応可能な組織の能力をもつことこそがダイナミックケーパビリティの本質であり、DX はその能力を高めることに貢献できることであると述べている。変化に対応したシステムのプロジェクトをマネジメントするためには、これまでとはことなるアプローチが必要である。

#### 4 システム対象範囲の拡大

システムというと、IT システムを頭に浮かべる方も多いのではないかと思う。また、飛行機やロケットなどのようにハードウェアが中心となるシステムを想像する人もいるかもしれない。しかし、上述したとおり、システムの定義上、その構成要素はハードウェアとソフトウェアに限られるものではない。現在のシステムでは、もっと幅広く考える必要がある。例えば、令和 2 年 3 月に内閣府から「SIP サイバー/アーキテクチャ構築及び実証研究の成果」として公表された「スマートシティリファレンスアーキテクチャホワイトペーパー」<sup>5)</sup>において示された「スマートシティリファレンスアーキテクチャ全体像」(図 1) をみてみるとその対象範囲がわかる。この「スマートシティリファレンスアーキテクチャ全体像」は、スマートシティをデザインするとき、対象となる全体像である。スマートシティというと、テクノロジー、つまりソフトウェアやハードウェアが注目を浴びがちである。しかしながら、本来は、そこにいる人々であるスマートシ

ティの「利用者」のためのものである。Society5.0でも「人間中心」を重要なキーワードとしている。つまり、テクノロジーだけを考えてはダメである。実際に、このスマートシティリファレンスアーキテクチャ全体像では、右側に「都市OS」を中心としたテクノロジーがあり、左側には人間系の「都市マネジメント」を置くことで、この両輪が「スマートシティサービス」には必要であることを示している。また、「都市OS」のさらに右側にそれを支えるスマートシティアセットがあり、「都市マネジメント」の左側には、その方向性を決定づける「スマートシティ戦略」が置かれている。さらに、下には、

全てを貫く形で、「スマートシティルール」がおかれている。それらすべてがスマートシティサービスを通じて、利用者へ価値を提供するという形になっている。つまり、スマートシティをシステムとしてみると、これら全てがシステムを構成する要素となっている。スマートシティを設計するというのは、利用者に価値を提供するために、これらを全体として捉えてアーキテクチャをデザインすることである。システム設計対象の範囲に、都市マネジメントを含む場合には、プロジェクトマネジメントのアプローチもその特徴を考慮する必要がある。

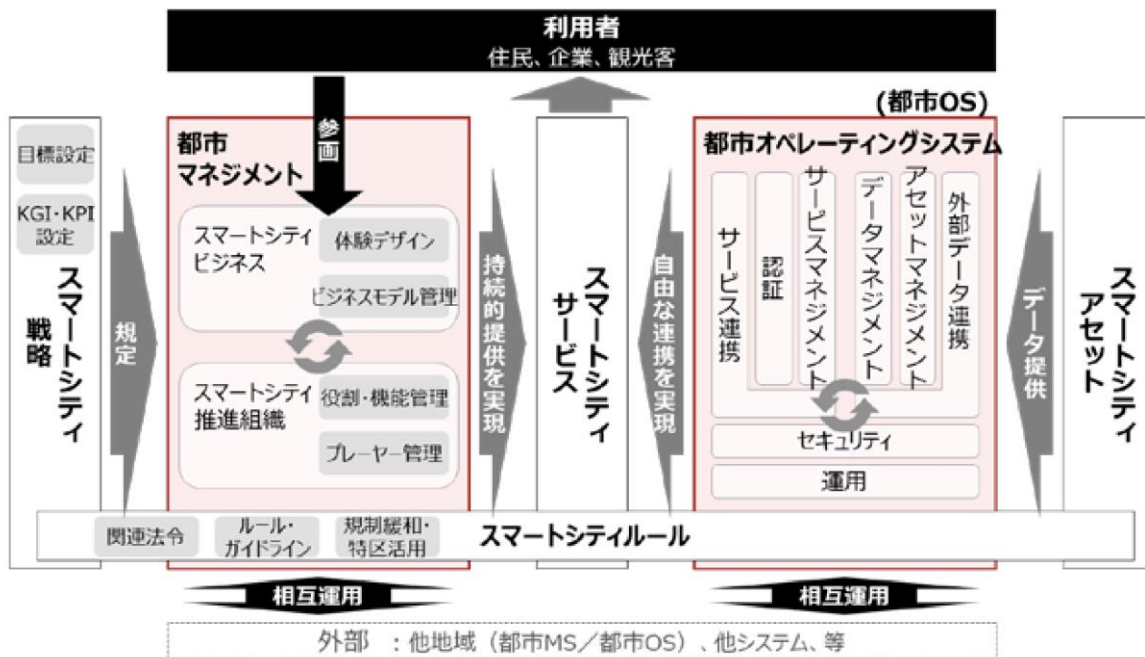


図1 スマートシティリファレンスアーキテクチャ全体像<sup>5)</sup>

### 5 重要なシステム特性と説明責任の増加

最後に、三つ目の特徴として、重要なシステム特性と説明責任の増加について

説明する。MITの調査によると、年々新たなシステム特性が追加され、さらにシステム特性に関する論文の本数が急激に増加していることが示されている。

6) システム特性とは、システム全体として捉えないと評価ができない特性のことであり、古くは品質(Quality)や安全性(Safety)などがこれにあたる。最近では、前述した相互運用性(Interoperability)や総合信頼性(Dependability)などその種類は増加しつつある。つまり、環境の変化が激しく、システムの範囲が拡大しているにもかかわらず、システムとしてしか捉えられない特性が増えているということになる。

さらにこれらに対する説明責任が求められることも増えている。例えば、IEC61508 や ISO26262 のような機能安全規格は、安全性の説明を要求している。鉄道の機能安全規格である IEC 62278 は、RAMS という名前のとおり Reliability (信頼性)、Availability (可用性)、Maintainability(保守性)、Safety (安全性) の4つのシステム特性の説明が求められている。現在では、さらに様々な対象において、機能安全規格という名前のもと、安全性およびその他のシステム特性の立証を求める規格がつけられている。この機能安全規格をはじめとしたシステム規格は、開発当初からトップダウンで考慮し、そのためのエビデンスを残すことをしなければならない。

今後のシステム規格への対応を考えると、あらゆるシステムの開発において、開発当初から、トップダウンで重要なシステム特性をデザインし、その立証のためのエビデンスを残すというプロセスの規定と、そのためのインフラ整備をおこなっておくことが必要で

ある。つまり、開発対象のみでなく、開発プロセスなども含めた開発システムのアーキテクチャをデザインしておくことが必要である。また、プロジェクトのマネジメントにおいてもこのような活動を考慮しておく必要がある。

## 6 まとめ

本稿では、超 VUCA 時代に重要なシステムの特徴として、「環境の急激な変化」、「システム対象範囲の拡大」および「重要なシステム特性と説明責任の増加」について説明した。今後、これらの特徴を持ったシステムを実現するプロジェクトを実行するためには新たなマネジメントの方法論が必要であり、今後それらに関する知見を早急に蓄積する必要がある。

1) 内閣府 Web サイト

[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)

2) INCOSE, Systems Engineering Handbook, 2015

3) 経済産業省, 2020年版ものづくり白書, 2020.5

4) Mark W. Maier, Architecting principles for systems - of - systems, Systems Engineering volumel, issue 4, 1998

5) 内閣府, スマートシティリファレンスアーキテクチャホワイトペーパー, 2020.3

(2021年6月14日 受領)