

## 新たな時代のリスクに対応したシステムデザインアプローチ

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 教授 白坂成功

### 1 はじめに

スマートシティをはじめとして、近年では新たなシステムを実現するために考慮すべきことが増えてきた。特にリスクの観点で、単純な考慮では対応が難しい状況である。本稿では、システムに関する概念を説明した上で、近年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」、「システムとしての対象範囲の拡大」、および「重要なシステム特性と説明責任の増加」について具体例を交えながら説明する。これらの特徴は、近年のシステムに特徴的なリスクとなる。そして、そういったリスクにどのように対応することが可能であるかについても述べる。このような時代だからこそ、どのように環境をとらえ、どのように考えてシステム構築するかが重要となる。

### 2 システムに関する基本概念

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>1)</sup>」であると定義されている。つまり、いわゆるハードウェアやソフトウェアだけがシステムなのではなく、その中に人などを含むことがもともと想定されている。いくら詳細に個別の要素をみても決して理解できないのがシステムである。システムとしてものごとを理解するためには、ものごと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必要がある。システムを構築するための方法論として、

システムズエンジニアリングというものがある。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>1)</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。なんらかの課題を解決したり、価値を創造することは、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ことを考えると、課題解決や価値創造のために必要は基本的な考え方であるといえる。システムズエンジニアリングを実施するために重要な3つの点を述べる。

#### ① 多視点からみる

システムズエンジニアリングの実施のためには、対象を多視点からみて考えることが重要である。対象によって最適な視点は異なるが、一般的に役立つ視点がある。それは、時間の視点、空間の視点、意味の視点（機能の視点、物理の視点）である。時間の視点は、対象となるシステムの観点ではライフサイクルと呼ばれ、ユーザーの観点ではカスタマージャーニーなどと呼ばれる。機能と物理は別の視点であることを認識して、分離して考えるだけで有益である。

#### ② 俯瞰的に捉え、体系的に考える

多視点でみたものを、それぞれの視点ごとに俯瞰的に捉え、それらの要素と要素間の関係性を体系的に考えることが必要である。例えば、時間の視点でみて、俯瞰的にとらえることでライフサイクル全体を視野にい

れ、体系的に考えることで、ライフサイクルをもれなく分割して系統的に考えることがこれにあたる。

### ③ 抽象度をコントロールする

ある視点からみて、俯瞰的に捉え、体系的に考えるときには、抽象度をコントロールすることが重要である。人は、あまり多くの数を一度に把握することが難しい。このため、いきなり全体を20や30に分割するのではなく、まずは5つに分割し、それぞれをさらに5つに分割する。こうすれば、最終的には全体を25に分割することになるが、全体感を失わないように徐々に細部を考えていくことが可能となる。

## 3 近年のシステムで考慮すべき点

近年のシステムでは、これまでとは異なる特徴的なところが現れてきている。ここでは、リスクの観点で考慮すべき3つの点を説明する。

### 3.1 環境の急激な変化

まず、一つ目の特徴として、環境の急激な変化について説明する。VUCA という言葉をご存知だろうか？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。現在の世の中はVUCAの時代と呼ばれ、先の予測ができない、計画通りにならない時代であると言われてきた。また世界不確実性指数も増加の一途を辿っている。<sup>2)</sup>つまり、将来が不確実な時代になってきたということが共通認識になっている。COVID-19 はまさにそれを決定づけた一例であると言える。

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。例えば、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。<sup>3)</sup>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>つながる社会は変化の影響範囲を広げる物である。システムがつながっていない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。

環境が急激な変化をする場合、次のようなリスクが存在する。まず開発期間中に環境が変化すると、開発の想定が変わってしまう。また、運用中に環境が変化すると、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、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をリスクの一つとして捉え、変化リスク対応を加味してシステムをデザインするアプローチをとる必要がある。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。

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。

### 3.2 システムとしての対象範囲の拡大

次に、二つ目の特徴として、システムの対象範囲の拡大について説明する。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、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、スマートシティを対象として考えてみよう。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に、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。そう考えると、テクノロジーだけを考えていてはダメである。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。このように、スマートシティでは、これら全体をデザインする対象として認識をしているということになる。システムズエンジニア

リングのポイントで述べた多視点で俯瞰的に捉えることを、このスマートシティリファレンスアーキテクチャの全体像は支援するものとなっているとも言える。

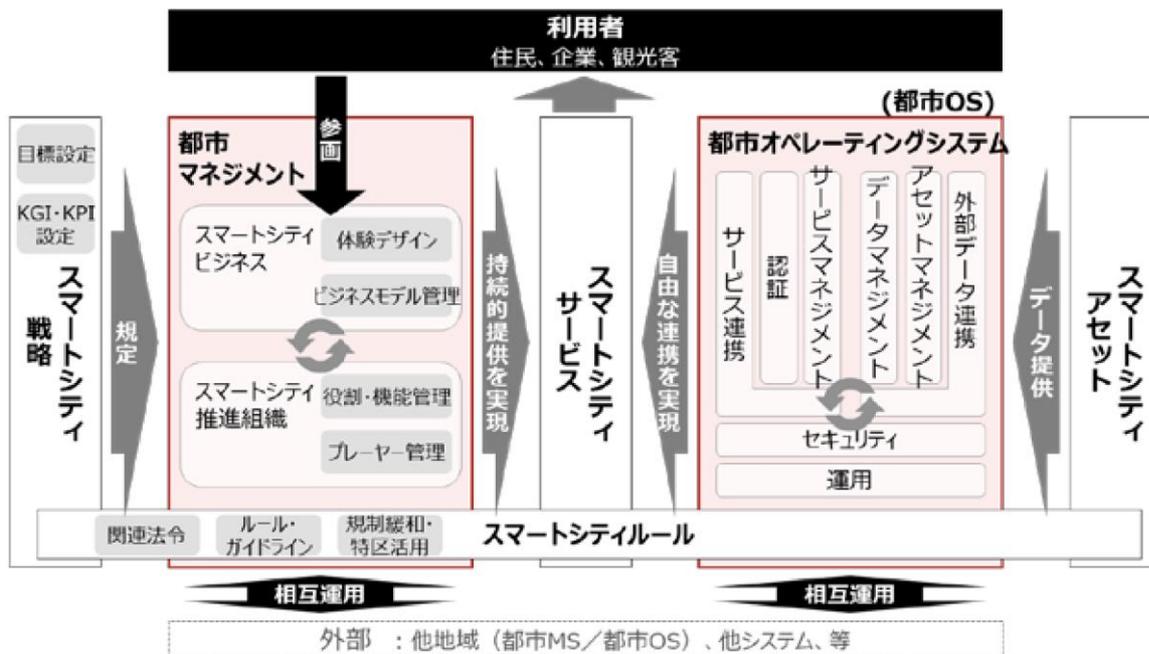


図1 スマートシティリファレンスアーキテクチャ全体像<sup>5)</sup>

さらに、前述したSoSの考慮も必要となる。SoSは、それぞれ独立して調達・運用・管理されるものが繋がって使われるものである。まさにスマートシティは、自治体単位で立して調達・運用・管理されるものであるが、利用者は、それらをまたがって利用する。つまり、東京から神奈川に移動したときに、スマートシティの仕組みに連続性がないと利用者からすると利用がしづらくなっていく。つまり、SoSでは、システム間の相互運用性(Interoperability)が重要となってくる。単にシステムとして成立するだけでは不十分で、他のシステムの相互運用性を考慮する必要がある。これもSociety 5.0のようにつながる社会を目指す場合には重要なポイントであり、リスクがうまれる可能性のあるところである。このようにシステムとして対象範囲が広

がると全体をどのように実現していくかという点でリスクが生じる。つまり、これまで以上に多くの専門分野がかかわるため、多様な専門家の意見を統合する必要がある。これを実施するためにシステムアーキテクトが必要となる。つまり、システム全体のコンセプトを描ける人材である。ただし、単なるIT分野のアーキテクトではなく、上記のような幅広い分野の専門家の意見を理解し、統合するためには、高い抽象化能力やコミュニケーション能力が必要となる。例えば、スマートシティの分野では、スマートシティアーキテクトの必要性が言われている。相互運用性のリスクに対応するために、リファレンスアーキテクチャが利用される。リファレンスアーキテクチャ自体は、色々な目的で利用されるため、必ずしも相互運

用性のために使われるものではないことを注意したい。例えば、Society5.0では、どのような観点での相互運用性が必要であるかを示すために、Society5.0 リファレンスアーキテクチャというものを提案している。また前述したスマートシティリファレンスアーキテクチャも、このSociety5.0 リファレンスアーキテクチャをもとに検討をしている。Society5.0のリファレンスアーキテクチャは、時間・空間・意味の軸で分野を超えて捉えていくことを示しており、上記のシステムズエンジニアリングのポイントとして示した多視点に対応するものとなっている。

具体的なイメージをスマートシティを例に考えてみる。例えば、通常、システムのインターオペラビリティというと、データフォーマットを合わせることや、通信プロトコルをあわせるなどがすぐにおこなわれる。もちろんこれらの活動は重要であるが、これは前述した「都市OS」側の相互運用性である。しかし、それ以外の項目でも相互運用性が必要となる。例えば、加古川市は、スマートシティの事例としてよく取り上げられる。加古川市では、多くの見守りカメラが設置されている。<sup>6)</sup>このカメラを利用して、防犯だけでなく、子供や認知症患者の見守りも検討されている。もし仮にこれらの目的のために隣の自治体が連携しようカメラを設置し、フォーマットやプロトコルをあわせてもそれだけで相互運用可能になるわけではない。なぜなら、加古川市は、カメラを設置・利用するために市民対話を繰り返し、条例をつくり、パブリックコメントを受けることでこのカメラを使えるようにしている。つまり、隣の自治体と条例の相互運用性をデザインする必要がある。では、隣の自治体と調整すればよいのであるが、そのためには都市

マネジメントの主体が自治体である必要がある。実際には、前述し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にもあるとおり、スマートシティ推進組織には3つのパターンがある。「自治体主導モデル」、「民間主導モデル」および「地域協議会主導モデル」である。このモデルがことなると、調整機能を働かせるために一工夫が必要となる。つまり、推進組織の相互運用性もデザインする必要があるということになる。

### 3.3 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がシステム特性に関しておこなった調査<sup>7)</sup>によると、近年新たなシステム特性に関する論文が出て、さらにそれらの本数が急激に増加していることを示している。システム特性とは、システムとして捉えられ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づけている。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増加してきている。例えば、IEC61508やISO26262のような機能安全規格は、安全性の説明責任を要求している。鉄道機能安全規格であるIEC 62278は、RAMSという名前のおり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責任が求められている。現在、色々な

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。自動車の ISO26262 などともそうであるが、これまで求められていなかったものが求められるようになると、これまでのものがそのままではダメで、規格へ対応しなければならなくなる。しかしながら、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なければならないため、これまでの製品が、製品としては問題がなくても、立証ができないというリスクがある。

今後のシステム規格への対応リスクを考えると、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。日本人はトップダウンでおこなうリスクベース/ゴールベース開発が苦手であるということがよく言われるが、筆者は決してそうは感じていない。確かに、これまで必要がなかったため、そのような開発が行われてこなかった。このため、急に対応が難しいところはある。しかし一方で、必要性がうまれて、きちんと考え方を学び、それを実践することをはじめている会社では、徐々にではあるが、そういった開発をおこなっている。つまり、きちんと学び、実践をしていけば、そういった開発アプローチができる人材は日本でも育成が可能であるということである。

### 3 最後に

本稿では、リスクの観点から重要であると考えられる近年のシステムに特徴的な3つの点として、「環境の急激な変化」、「システムとしての対象範囲の拡大」、および「重

要なシステム特性と説明責任の増加」を紹介し、それらにどのように対応することが良いのかを示した。しかしながら、新たなリスクであるため、今回の提案は必ずしも確立した対応策でないのも事実である。今後も専門家の知見や、実践者の経験知をもとに対応策の進化と深化が求められる。

### 参考文献

- [1] INCOSE, Systems Engineering Handbook, 2015
- [2] 経済産業省, 2020年版ものづくり白書, 2020.5
- [3] 内閣府 Web サイト  
[https://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/](https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/)
- [4] Mark W. Maier, Architecting principles for systems-of-systems, Systems Engineering volume1, 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
- [6] 加古川市 Web サイト  
<https://www.city.kakogawa.lg.jp/soshikikarasagasu/kyodo/shiminseikatsuanshinka/ICT/mimamori.html>
- [7] Olivier L. de Weck, Engineering Systems: Meeting Human Needs in a Complex Technological World, The MIT press, 2011

2020年8月6日 受理