

# IoT時代の開発方法論としてのシステムズエンジニアリング

～システム・オブ・システムズの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 准教授

白坂 成功

## 1 背景

最近は、「モノのインターネット」といわれるIoTが注目を浴びており、色々な企業がIoTを活用した新たなビジネスを目指して様々な製品を出している。更に、国もIoTを産官学連携で推進する組織を立ち上げるなど、IoTは多くの人たちの注目を集めている。これには、「モノと人との通信」だけでなく、「モノとモノとの通信」まで含まれ、その組み合わせを考えても無限の可能性を持つものであると考えられている。しかしながら、IoTを活用した実用的なビジネスがどれだけ多く生み出されているかというところ、実のところそれほど多いわけではない。それは、IoTというものの特質を知ると理由がわかる。更に、その理由と共に、どのようにアプローチをすれば、IoTを活用した新しい製品、システム、サービスを生み出すことが可能となるかわかる。

本項では、大学という立場から、IoTを活用した製品、システム、サービスを生み出すための方法論について、そのベースとなるシステムズエンジニアリングと、その拡張となるシステム・オブ・システムズ (System of Systems) の考え方を交えて紹介する。

## 2 システムズエンジニアリング

IoTを活用した新しい製品、システム、サービスのいずれも、複数の要素から構成されているという点で、システムである。そのシステムというものをもう一度考えておくことは重要である。

システムは、「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、サービス及びほかの支援要素を含む、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」(INCOSE Systems Engineering Handbook) 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。また、システムは階層構造を取る。つまり、システムはサブシステムの集合体であり、それぞれのサブシステムもまた、

システムである。この考え方を「Building Block」と呼ぶ。ただし、これは大変重要な考え方である。つまり、システムとシステムを足したものは、システムであるということになる。

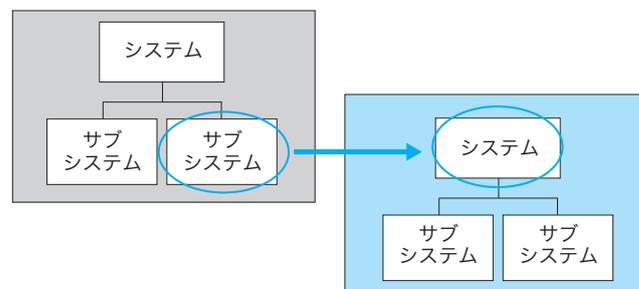


図1 Building Block

では、システムズエンジニアリングはどのような考え方なのか。オーストラリアのProject Performance社は、「システムにかかわる工学を実施するための、技術分野に依存しない仕事のやり方」と定義している。また、INCOSE SE Handbookでは、「システムの実現を成功させる複数の分野にまたがるアプローチ及び手段」としている。つまり、どちらも何か一つの専門性を出すものではなく、複数の専門を束ねるアプローチということである。では、そのアプローチは高度で複雑なものなのであるか。全くの逆で、とてもシンプルなものである。シンプルだからこそ、多くの分野を横串で貫くことができるのである。実際、システムズエンジニアリングは、大きく分けるとたった4つの活動から構成されている。これはVモデルを見ながらだと理解が容易である。

一つ目は、Vモデルの左側である、「システム設計」である。これは、顧客の要求を分析し、アーキテクチャを設計することで、サブシステムに対する要求とインターフェースの要求をきめる活動となる。二つ目は、Vモデルの右側である、「インテグレーション」。ここでは、検証済みのサブシステムを統合し、1つのシステムに組み上げていく。三つ目は、Vモデルの真ん中である、「評価・解析」。Vモデルの左側では、解析やシミュレーションを行い、Vモデルの右側では、実際に試験を実施する。Vの右側でも左側

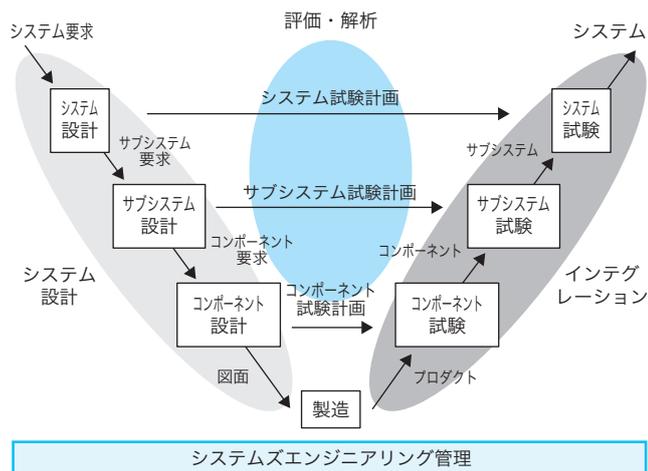


図2 Vモデルとシステムズエンジニアリングの構成

でも行われるため、真ん中とされている。最後は、このVモデルをマネジメントする活動である「システムエンジニアリング管理」、Vモデルの下とされている。Vモデルは、色々なところで使われるようになった結果、「作業の順番を定義している」ととらえられているケースがあるが、実際には、順番を規定しているのではなく、あくまでも考え方を表現したものであるという点は注意が必要である。ここを間違えると、IoTの開発方法論を構築できなくなってしまう。あくまでも、システムの要求は、サブシステムの要求の統合として実現されるということであり、Vの左側で行われる活動結果が、Vの右側で行われる活動で確認可能であるということである。

### 3 IoTの特徴であるシステム・オブ・システムズ

では、IoTの特徴ともいえるシステム・オブ・システムズでは、上述したシステムと何が違うのか。ときどき、複数のシステムが組み合わさった巨大なシステムがシステム・オブ・システムズであるという定義をしている人がいる。しかしこれは、Building Blockの概念によると、これまでのシステムの定義から出るものでは決してない。この疑問に対して、クリアな回答を出してくれたのが、米国の政府系コンサルティング会社である Aerospace Corporationの副社長であった M.W.Maier博士である。彼が1998年に INCOSE (International Council on Systems Engineering) のジャーナルで発表した「Architecting principles for systems-of-systems」によると、システム・オブ・システムズの構成要素のそれぞれがシステムとして扱えることとしている。更に詳しくのべると、運用の独立性とマネジメントの独立性があることと言っている。これは、システム・オブ・システムズの構成要素のそれぞれが独立に運用され、それぞれ独立にマネジメントをされているということとなる。これを考えると、いくら大規模で複雑なシステムでも、独立に

運用されないものや、全体をマネジメントする主体が存在するものはシステム・オブ・システムズではなくなる。もっと重要なことを Maier博士はいつている。それは、進化的開発と創発的振舞いである。進化的開発とは、機能や目的が追加/削除されたり、途中で変更されるなど、開発とシステムが進化的であるということ、創発的振舞いとは、構成システムの単純な総和にとどまらない性質が、全体としてあらわれることをいつている。INCOSEの Systems Engineering Handbookの例に基づいて、この条件をチェックしてみると、以下ようになる。

INCOSEの Systems Engineering Handbookでは、デジタルカメラとカラープリンターを統合したものをシステム・オブ・システムズの例としてあげている。つまり、このシステム・オブ・システムズは、撮影したものを印刷するというサービス(機能)を提供している。このとき、デジタルカメラは、デジタルカメラで独立して使われることができる。一方で、カラープリンターも、デジタルカメラがなくても単独で利用される。更にそれぞれの開発は、誰かが統合的にマネジメントをしているわけではなく、多くの場合、異なる会社がそれぞれ独立に開発している。新製品の投入も誰かが統合的に管理しているわけではなく、個別にマネジメントされているものである。こういったものが集まって、それまでにないサービスや機能を提供するのがシステム・オブ・システムズであり、だからこそ、これまでのシステムズエンジニアリングを超えたものとして、新たにシステム・オブ・システムズという言葉が必要になってきたのである。これを、単に巨大なシステムをシステム・オブ・システムズとして扱うのは本質的にあまり意味がないことをやろうとしていることとなる(もちろん、巨大だからこそ難しいこともある)。IoTを考えると、これまでにある製品やシステムにつながることで新たな機能やサービスを提供するというのは、本質的に上記の条件を満たすものであり、正にシステム・オブ・システムズであると言える。

### 4 システム・オブ・システムズの開発アプローチ

#### 4.1 システム・オブ・システムズにおける2つの開発

上述した通り、IoTとは、システム・オブ・システムズであるとわかったわけであるが、開発における難しさはどこにあるのか。

システム・オブ・システムズとしてのIoTの開発を考えると大きく分けて、以下の2つのパターンが存在することがわかる。一つは、既存のシステムに追加する形で、システムを開発する場合であり、もう一つは、新たにシステム・オブ・システムズのベースとなるシステムを開発する場合である。

まず、前者の開発について考えてみる。既にベースとなるシステムが存在しているので、現状のシステムを理解し、そのシステムに追加することで目的を満たすことが可能であるかを判断し、デザインし、検証する必要がある。通常の開発と大きく異なるのが、境界 (Boundary) のあいまいさと評価の困難さではないだろうか。なぜなら、既に存在しているシステムの要素すべてが必要であるとは限らないため、存在しているシステムと、新たに追加するシステムが活用する既存のシステムの範囲が一致しないからである。例えば、目的を実現するための要素としては、もちろん必要な範囲に境界は限定できるが、システムのその他の部分が密接な関係性を持つ外部となってしまう。この場合は、その外部となった要素の影響をうけてしまう。とくに、その外部となった要素と、内部となった要素が、一つのシステムとしてある目的を満たす場合には、新たに追加しようとする目的と必ずしも相容れない可能性が出てくる。こういった可能性をあらかじめ把握して開発しなければいけない。既存部分のインターフェース条件がすべて成立しているからといって、追加する部分がそれをすべて受け入れられない場合もあるかもしれない。更に、システムの一部となる要素の品質レベルがどの程度を把握していなければ、本当に目的を達成できるかどうかもわからない状況となってしまう。検証においても、実際に使っているものを使う必要がでてきたり、異なるライフサイクルのために、検証したものが更新されて変更されてしまうなどが発生する。このように、現状のシステムについて把握しなければいけない範囲が広範囲になるだけでなく、本質的に自分たちの管理しないところでシステムが変化していくことを想定せざるを得ないのである。

後者のシステム・オブ・システムズのベースとなるシステムを開発する場合には、上述したような、追加するシステムがあらわれてくることを想定して、開発をしておく必要がある。しかし、本質的にすべての可能性を考えておくことは不可能であるので、そういった開発に対応できる仕組み、つまり、後から進化的に開発ができるようにしておく必要がある。その一つのアプローチがプラットフォーム化である。プラットフォームという階層を用意することで、後から追加するシステムの開発者が必要以上に既存のシステムを詳細に理解しなくていいようにすることが可能となる。もちろん、開発時間やコストの削減にも効果があり、品質もあげやすくなる。これが、プラットフォーム化が進んでいる理由である。

## 4.2 システム・オブ・システムズの開発に役立つ考え方

前節で話したような事実を助けるために、役立つことが幾つかあるので、ここでは紹介しておきたい。

まず最初に、システム・オブ・システムズの品質をどのように確保するのかという問題に対する対応である。前述のとおり、システム・オブ・システムズである IoT システ

ムでは、後から想定していなかったシステムが接続される。あるいは、もともと存在しているシステムに接続する。前者の場合には、後から接続されるシステムの開発者に、どのように品質を考えて確保したのかを伝えることが重要となる。また、後者の場合には、既存のシステムがどのように品質を考え、確保しているかを理解できることが重要となる。しかしながら、色々なシステムが後からつながってきて、更に目的も異なるということは、利用者の期待が単一ではなく、当初想定していなかったような多様な利用者がいると考える必要がある。とくに今後は、業界を越えてシステムがつながることを考えると、業界標準のような考え方でも対応ができないことが考えられる。このために役に立つと考えられるのが、品質に関する共通の考え方や共通言語を提供してくれる国際標準である。具体的には、ISO25000 シリーズである SQuARE (Systems and software Quality Requirements and Evaluation) が利用可能である。

また、目的を限定すれば、アーキテクチャリファレンスモデルを用意することで、それに対応する設計をすればよくなる。例えば、スマートグリッドでは、スマートグリッドアーキテクチャモデル (SGAM) があり、Industrie4.0 では、Industrie4.0 リファレンスアーキテクチャモデル (RAMI4.0) というものが作られている。同様に Industrial Internet Consortium もインダストリアルインターネットリファレンスアーキテクチャ (IIRA) を発表している。いずれも、システム・オブ・システムズの範囲を限定することでアーキテクチャリファレンスモデルを作ることが可能となっており、このリファレンスモデルに対応したシステムとすることで、システムの成立性を高めているのである。

いずれの場合も、重要なポイントとなるのは、システム・オブ・システムズの俯瞰の仕方である。上記のアーキテクチャリファレンスモデルはいずれも、時間軸、空間軸、意味軸の3つの軸でシステムを俯瞰し、それぞれをその範囲にあった形で細分化することで、体系的に対象を捉えようとしている。今後、IoT を考える上でも、対象がシステム・オブ・システムズであることを理解した上で、俯瞰的に捉え、体系的に対処することが必要となる。

## 5 最後に

本稿では、IoT システムを、システム・オブ・システムズであると捉え、通常のシステムとどのように違うのか、どのように考えてデザインをすればいいのか、そのときに役に立つ考え方を紹介した。今後、大きな可能性をもち、多くの人がある開発を目指すであろう IoT システムにおいて、単にその場限りの対応をするのではなく、より体系的にアプローチすることは、価値ある IoT システムの実現をより確実にしてくれるはずである。