

システム創成論とその応用としての 超小型電気自動車「イヴ」

長谷川孝明*

本稿では、社会に受け入れられるシステム創成に関して、その枠組みの定式化を述べ、具体的応用例を示した。進歩の三段階、システムとは何か、システム創成論の位置づけと基本、システム創成論の中でも重要なプラットフォーム論とシステム創成基本5原則、方法論として抽象化の上り階段と具体化の下り階段を述べ、その応用例として、超小型電気自動車の「美濃和紙イヴ」「彩りイヴ」、また「電気自動車の普及と新社会インフラ」等を述べる。

Systems Innovation Theory and Its Application to the “Eve” Electric Micro Vehicle

Takaaki HASEGAWA*

This paper describes the formulation of a framework for socially acceptable systems innovation and its concrete applications. It shows the three stages of progress, the nature of systems, the fundamental positioning of systems innovation theory, the platform theory that is important to systems innovation theory, and the five principles of systems innovation, as well as the upward path to greater abstraction and the downward path to concrete substantiation as a methodology. In addition, application of the theory to the "Minowashi-Eve" and "Irodori-Eve" electric micro vehicles is described and the literature on the spread of electric vehicles and a new social infrastructure is introduced.

1. はじめに

工学やシステムは、本来人間のために存在するものであり、その原点を見失ったときに分野自身放浪する。ある分野を進化させて行くときに、それを効率的に進めるために、細分化して研究開発を行うことは合理性を持つ。しかしこのためには、全体を見ながら分野自身の合理性を常に確認し続けることが重要である。しっかりしたビジョンを持ちながら進めると言ってもよい。研究者に「しばしばT型人間になれ」と言われる理由の一つもここにある。分野

が細分化され、ある種のアウトプットが効率的に行われるようになると、しばしば手段が目的化し、立ち位置を見失う。これは極めて危険である。基本的に人間社会と親和性の高い科学技術を展開するための方法論、人間社会に直接役立つシステムの創成論は重要なテーマである。

システム創成論は一般論であるが、モビリティ分野も例外ではない。筆者はITS (Intelligent Transport Systems) を「IT (情報技術) により高度化される人や物の移動システム」と定義して¹⁾ 研究を進めてきた。リアルワールドのITにより支えられる人や物のモビリティ分野である。情報システムの障害が電車や航空機をフリーズさせることをしばしば我々は体験する。しかしながら本稿で電車や航空機の情報システムの話を展開するわけではない。ここでは

* 埼玉大学大学院理工学研究科教授
Professor, Graduate School of Science and Engineering,
Saitama University
原稿受理 2011年12月28日

モビリティ環境を提供するシステム全体が議論の対象となる。これらのシステムに関して、IT系を人間の脳や神経とすれば、人や物を運ぶ物理的部分は人間のボディに相当し、これらは不可分のものである。いかに人や物のモビリティを遂行するシステムを創るか。在るものはすべからず使い、なければ新たに創り、人間の「ライフスタイル・価値観」と「数理物理・科学技術の基本」の両面を十分に勘案しながら移動システムを創っていくことで、よりよきモビリティ環境を社会に築いて行く。

80年代以降、産業分野でしばしばシーズ・オリエンテッドに対する批判が繰り返される一方、ニーズ・オリエンテッドが叫ばれ、「あったらいいな」を創るというような柔らかい表現もしばしば使われてきた。しかしながら方法論的に必ずしも定式化されているとは言い難い。

90年代に入ると、特に米国で「技術投資の費用対効果を最大にすること」を目的としたMOT(Management of Technology)が重視され、MITをはじめとして盛んに教育研究され、この中で技術プッシュと市場プルの間にある二つの関門、すなわち、「技術の関門」とそれを通過後の関門「市場の関門」に整理され、米国の産業力の力強い復興に寄与してきた²⁾。80年代後半に遡ることのできる同様の分野をスタンフォード大学のようにTechnology Managementと呼ぶこともある^{2,3)}。文理融合の一つの分野である。イノベーションと産業の議論⁴⁾、人間・社会とデジタル技術の関わりを個別技術からインフラまでポスト情報化時代を見据えた議論⁵⁾、ユビキタス・ネットワーク時代の市場創造や社会インフラの議論^{6,7)}も多くの示唆を与える。

進化が速く人間の生活に直結するITをはじめとして科学技術が社会に及ぼす影響は近年ますます大きくなり、技術者倫理や知的財産権等が重要視されてきたが、細分化し深化する科学技術の進化と、成熟化とともに多様化する人間社会の価値観が故に、ますます距離の拡大する科学技術と人間・社会の関係と相互作用を常に整理し、労働集約型や小手先の改善ではない生産性の高い産業へのシフト（産業構造の転換）、そのための過去の常識に縛られないオリジナリティ溢れる産業と施策の展開が重要になる。また、システムの社会的普及を考えれば、人間の性（さが）まで含めて受容性が高く、持続的進化を十分に考慮したシステムの実現が重要である。「既に在るものはすべからず使い、存在しなければ創る」こ

とを前提に、科学技術と人間社会の両面から考えて、システム創成をするための枠組みを議論する必要がある。

本稿では、本来人間のための存在であるシステムや社会に受け入れられるシステム創成^{1,8-15)}に関して、その枠組みの定式化を述べ、具体的応用例を紹介する。2章では進歩の三段階とシステムとは何かを述べ、3章ではシステム創成論の位置づけと基本を述べる。さらに4章ではシステム創成論の中でも重要なプラットフォーム論とシステム創成基本5原則に言及し、5章ではシステム創成の方法論として抽象化の上り階段と具体化の下り階段を述べ、6章ではその応用例として、「美濃和紙イヴ」「彩りイヴ」「電気自動車の普及と新社会インフラ」等を紹介する。

2. 進歩(イノベーション)の三段階とシステム

2-1 進歩(イノベーション)の三段階⁸⁾

国にも、人にも、研究者にも進歩の三段階がある。これはイノベーションの三段階と言ってもよい。第一段階ではソリューションを学んでその改善を行う。第二段階では、問題を学んで、そのソリューションを創る。第三段階では、混沌とした社会や自然現象の中から解くべき問題をきれいに定式化する。これを筆者はFig.1に示すように進歩(イノベーション)の三段階と呼んでいる。システム創成論の前提となる認識である。この中でも特に第三段階の重要性は強調すべき点である。

日本で言えばおそらく70年頃までが第一段階、85年頃までが第二段階、ここまでは順調であったが、その後第三段階に必ずしも移行がうまく行っているとは言い難い。先頭国が作っているものを改善して製造する。例えば90馬力のエンジンを100馬力にする。

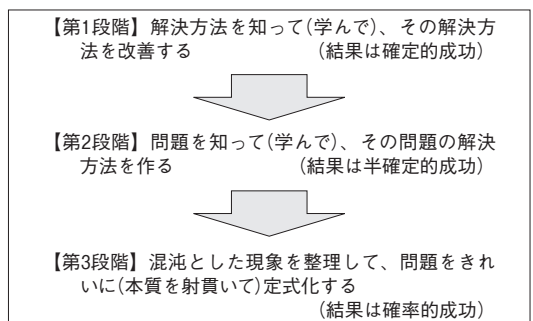


Fig. 1 進歩(イノベーション)の三段階：研究(学)／開発(産)／施策(官)がやるべきこと

これは改善であり、成功も確定的である。

ある「システム」がない時代に、「社会に必要なシステム」を考え、「そのシステムの概念」を生み出し、明確化し、それを創ろうと先頭国は言う。それを耳にした後に、世界に先駆けてそのシステムを創ったとしても、それは先人が解くべき問題を創り、後ろを歩く人はそれを聞いて(学んで)、ソリューションを創ったにすぎない。それも大事であるが、第二段階である。第二段階の成功は半確定的であるが問題の定式化が適切であれば成功の可能性も高い。

第三段階は「何を創らなければならないか?」という問いかけに、混沌とした社会や自然現象を的確に整理して、「これを創るべきであり、皆で創ろうね」というところにある。すなわち、たとえ世界で初めて創ったとしても、解くべき問題を創った(定式化した)こととは意味が異なる。この段階では、人類がまだ遭遇したことのない問題を定式化してそのソリューションを創るため、人知の及ばない部分も必ずあり、成功は確率的である。

しばしばベンチャーの成功率は千三(せんみつ)と言われる。千に三つしか成功しないという意味である。しかしながら、もし500倍の先行者利益があれば、 $500 \times 3 / 1000 = 1.5$ となり、50%の利益となる。この成功率を高めるための方法論がシステム創成論であり、もし、千六(せんむつ)になれば $500 \times 6 / 1000 = 3.0$ となり、200%すなわち、4倍の利益になる。これは、人類の未知の問題に対してあくまで成功が確率的であることを認めた上で、その成功の確率を高めることを目的としている。このように人類が遭遇したことのない問題をきれいに定式化してソリューションを創ることは先頭国の役目である。

80年代、日本のエレクトロニクスは輝いていたという。しかし本当に世界の先頭を走っていたのだろうか? 確かにメモリや素材の一部は世界を席卷していた。しかしながら、CPUは? OSのようなプラットフォームは? アーキテクチャは? 我々は本当に創り出すべきものを世界に先駆けて構想し、それを解いたのだろうか? 部分的にはあったとしても、YESと言うのは難しい。アンテナを高く上げて解く

べき問題を聞いた瞬間に、半分は先人の成果をもらったことになる。

2-2 システムとは

根本から考えるには、概念を明確化する必要がある。まず、システムとは何かから述べる。一般にシステムとは、Fig.2に示すように、入力Iを出力Oに変換する仕掛けSを意味する²⁾。このとき重要なことは、中の具体的仕掛けを抽象化し、具体的実現方法でなく機能で表現するところにある。小さなシステムで説明を試みる。例えばあるシステムの入出力関係がある微分方程式で表されるとする。この場合システムにとって本質はこの微分方程式で表される入出力関係である。これをL、C、Rで構成される電気的システムで実現してもよいし、また、入力の変圧をA/D変換後にプロセッサで数値計算し、D/A変換して出力してもよい。また、ダンパ等の機械的実現でもよい。システムの本質はその入出力関係、すなわち機能にある。

従来、作るシステムが小さかったとき、例えば機械式時計は、分解してみればおよそそのことは見当がついた。機能を提供するシステム全体とユーザーの距離が極めて近いところにいた。これはシステムそのものが小さく、構造も比較的単純であったことによる。この時はシステム・バイ・システムでの実現に合理性があった。その後、モジュール化が起り、さらにプラットフォーム化へと進んで行く。ワープロで言えば、システム・バイ・システムはワープロ専用機であり、プラットフォーム・オリエンテッドはPCのOS(Operating System)上で動く一つのアプリケーション(以下、アプリ)として実現されるワープロである。すなわち近年のシステムはプラットフォーム上の一つのアプリとして実現されていることが多い。プラットフォームに関する議論はシステム創成論の中でも重要な位置を占めるので改めて4章で述べる。

一方、システムの構造としては、ヘテロジーニアス・システム構造が重要となる場合がしばしばある。ホモジーニアスなシステムで0.999(スリーナイン)の信頼度を得ようとする大変なコストがかかる場合でも、エラーが独立に起きるようなサブシステムで構成されるヘテロジーニアスな構造を持ったシステムであれば、たとえ単独ではエラー率が0.1と実際に供さないものであっても、異なる三つのサブシステムを合わせて一つのシステムとすることで、 $1 - 0.1^3 = 0.999$ となり、サブシステムのコストを合計しても

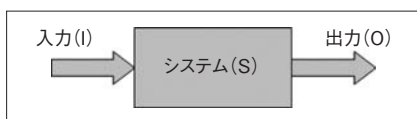


Fig. 2 システムの基本概念：システムとは入力(I)を出力(O)に変換する仕掛け(S)

単一のホモジーニアスなシステムによる実現より小さなコストで実現できる可能性はあり、十分検討に値する。

また、後述するように、位置特定のシステムでは、GPSだけで建物の内外、高層ビル街、地下を含む全ての位置を特定することは困難であり、WiFiのアクセスポイントを利用した位置特定や携帯電話の基地局の利用などを協調させることにより、多くの場所で位置特定が可能となる。協調させるヘテロジーニアス・システム構造とすることで、安価に広い範囲で高精度・確度の位置特定が可能となる。

スマートフォン(以下、スマホ)は大量の情報のやり取りを行うが、携帯電話の回線だけでなく、WiFiをコグニティブ無線的に切り替えて用いることで、むしろ携帯電話会社の基地局投資、コストを抑える効果も出てきている。これはモバイル機器の情報通信サブシステムに関するヘテロジーニアス・システム構造の一例である。

2-3 システム技術と要素技術

技術の種類からシステムをみると、Fig.3のように細分化された要素技術とそれを束ねるシステム技術から成る。この関係は、システムの規模の大小によらないが、従来からあった小さなシステムではシステム技術と要素技術の間の距離が短く、比較的全体把握がしやすかった。しかしながら、近年は特に大規模なシステムが出現するようになり、それらは深い構造を持ち、下位レイヤの要素技術と、システム技術、さらに上位に位置するユーザーとしての人間の距離はあまりに大きい。例えば、超高速光スイッチング素子は、インターネットで欠かせぬ存在であるが、それ自体をユーザーや上位レイヤの技術者が直接意識することはほとんどない。しかしながら、ユーザーから見えるオークションのシステムがしやすい動作するためにその素子が重要な役割をしていることは明らかである。

以上述べたように同じ「技術」でも、ユーザーやアプリに近いシステム技術とハードウェアに近い要素技術ではその性質は大きく異なる。このような状況でシステム創成の位置づけが重要になる。次節ではこの点を述べる。

3. システム創成論の位置づけと基本^{1, 8-15)}

3-1 位置づけ

理工学から人間社会への3階層モデルをFig.4に示す。前述のように、20世紀に科学技術が大きく進展

すると、単一あるいは少数の要素技術からシステムが構成されることが少なくなり、複雑かつ巨大な構造を持つシステムが我々の生活、活動を支えるようになった。あまりにシステムのレイヤは深く、間口は広くなり、もはや細分化された理工学の個々の分野で人間社会に直接役立つシステムの創成するにはギャップが大きすぎ、これを埋める分野が必要となった。このレイヤこそFig.4に示すようなシステム創成層である。上に行くほどシステムの、集合的であり、下に行くほど要素的、細分的である。例えば、従来のラジオ、テレビ、カメラは比較的狭い範囲で理解、設計、製作が可能であったが、現在のスマホはそれが機能するために利用するインフラの部分からユーザーが直接接する部分まで考えれば、高速光スイッチング素子、光ファイバー、無線通信、信号処理チップ、各種センサ、撮像と音声処理、ハードウェアインタフェース、OS、アプリケーションインタフェース、ネットワーク、システムアーキテクチャ、オークションのアプリ等購買システム、各種予約システム、ロジスティクス、ナビゲーション、ライフスタイル創成等、多くの分野が複雑に絡む。

いかに合理的に社会に受け入れられるシステムを創成するか。そのためには、レイヤの深さの認識と、細分化とともに広範囲に広がる要素技術、いかなる構造で作るかというシステムアーキテクチャ、また、人間のライフスタイルや価値観のそれぞれの点からの射を射たシステムを創らなければ、B by C問題をクリアし社会に受け入れられるシステムとはならない。次節では、システム創成の基本を述べる。

3-2 システム創成の基本

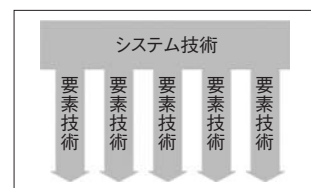


Fig. 3 システム技術と要素技術の関係

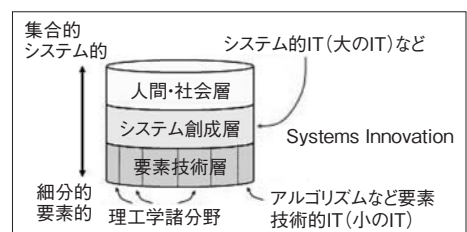


Fig. 4 理工学から人間社会への3階層モデル

適切なシステム創成を行うためには、Fig.5のように、「数理物理・科学技術の基本」と、人間社会の「ライフスタイル・価値観」の両面から、慎重に検討を進める必要がある。図中右の矢印は、すべてのレイヤを一貫して考えるディレクタ(縦の両矢印)と各レイヤの専門家(横の両矢印)の協調による組織構成(縦糸と横糸の紡ぎ)が重要であることを意味している。

ところで、HMI(ヒューマン・マシン・インタフェース)の分野の進展において「設計者のデザインモデルとユーザーのメンタルモデルには大きな乖離がある」ということは重要な留意点とされてきた。80年代以降HMIが飛躍的に改善された理由の一つがこの認識にある。マルチタッチの可能なタッチパネルを持つ機器で、伸縮自在に表示でき、直感的で使い易いものが普及しているが、「ハードウェアの劇的な発展でHMIにCPUリソースをたくさん割けるようになった」ことや「直接操作感の実現」とともに前述の乖離認識とその改善努力は大きな進化の要因である。

システムが大きくなってもこのアナロジーは成り立つ。人間社会の「ライフスタイル・価値観」を十分に捉え、「数理物理・科学技術の基本」を十分に踏まえ、その両面からシステムの創成を行っていくことは重要である。前者が甘くなればシーズ・オリエンテッドになり、ユーザーのニーズとの乖離が発生しやすくなり、反対に、上位レイヤからのニーズ・オリエンテッドは、科学技術を踏まえられない安易な市場調査などでは、既に多くの人が提案・検討している平凡で過剰競争的な内容か、またはB by C無視の夢物語が多く、いずれも成功の確率を下げる。

2-1で述べたように、先頭国の特徴は人類初であるが故にその成功が確率的なことであり、あくまでその確率を高めるための手法について本稿では述べているものである。次節では、システム創成論の

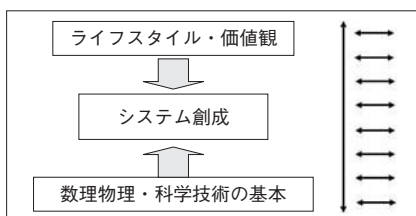


Fig. 5 システム創成: 「数理物理・科学技術の基本」と「ライフスタイル・価値観」を考慮してレイヤ毎に注意深く

中でも重要なプラットフォーム論について述べる。

3-3 社会に定着するシステムの創成

社会に定着するシステムはFig.6に示すような共通の三要素を持つことが多い。これを著者は「ユビキタス時代のシステム創成経済活性化トライアングル」と呼んでいる。まずアウェアネス・エンハンスメント(気づきの範囲の拡大)で、これは20世紀のサイバー空間のITにより支えられ、その興味が入手したいものや行きたい場所を作る。次に、リアルワールドのITで人や物のモビリティが高度化され、さらに、物の入手やサービスの享受には決済が伴うが、決済の容易さが、また次にそのシステムを利用しようとする動機となる。

近年急速に業績が伸びた通信販売を例にとって説明する。例えば、通販が発達した現在、人はバッグ等が欲しくなるとまずインターネットで検索し、情報的に欲しいものにたどり着く。次に、この欲しいものを宅配してもらう時、1日から数日という短い期間で手に入るならそのまま注文するが、数週間から数カ月かかるなら注文はためらうだろう。ITで高度化された物流システムによるスムーズな物の移動が重要な要素となる。最後に、物の購入もサービスの享受もその対価との引換になる。すなわち決済である。決済の際に、クレジットカードの番号等を業者に知らせることはためられることもあるし、物を先に送れば売り手は支払いに滞りが発生することを心配する場合があります、支払いを先にすれば買い手は納品を心配する場合があります。欲しい物を知り、さっと提供されても、決済手段に不安があると、買い手も売り手も二の足を踏む。これに対し、ローテクではあるが「代金引換システム」が、通販を容易にし、大きくこの分野の後押しをしてきた。もちろん信用のあるネットの通販会社に予めクレジットカード情報を登録しておくことが利便性を増すことは当然であるが、これも決済方法の問題に属する。安心

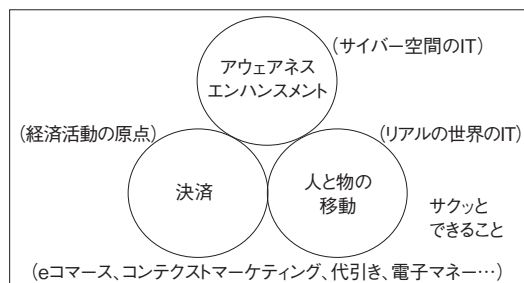


Fig. 6 ユビキタス時代のシステム創成経済活性化トライアングル

かつ容易な決済システムがシステム創成では重要な要素になる。

また、モビリティと購買を考えた時に、例えばJR東日本のSuicaのような交通系ICカードは決済系機能（電子マネー機能）と親和性が高くその融合は大きな意味がある。2001年のサービスイン当初は付いていなかった電子マネー機能が2004年には一般のSuicaで付くようになった。これは自然の流れといえる。すなわち、Fig.6に示すような「知って」「動いて」「支払って」は、B by Cの上に成り立つシステム創成において、基本三要素となる訳である。

4. プラットフォーム論とシステム創成

5 原則^{1, 8~15)}

4-1 プラットフォーム論

従来はシステムが比較的小規模で、システムを個々に構築するシステム・バイ・システムでの実現が多かったが、近年ではデジタル化やハードウェアを含むITの進展により、Fig.7のようにプラットフォーム上の一つのアプリとしてシステムを実現することが合理性を持つようになった。すなわちプラットフォーム・オリエンテッドの重要性が極めて高くなったのである。初めはディスクリートの電子部品で組まれていたテレビが、LSI化を経て、PC上のアプリとして実現されるに至った。テレビから人間への伝達でインタフェース部における媒体は基本的に音と映像であり、人間からテレビへの伝達におけるイ

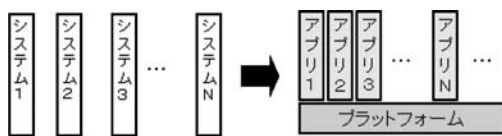
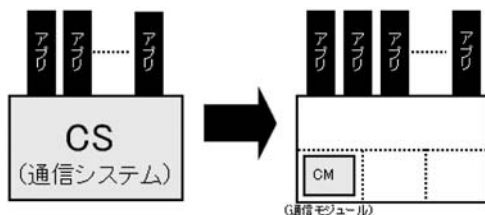


Fig. 7 プラットフォーム上のアプリケーションとしてシステムを実現：専用システムからプラットフォーム・オリエンテッドによる実現へ



携帯電話の世界
[市場:1キャリア人口]

モバイル機器の世界
[市場:全世界人口]

携帯電話は、専用機からモバイル機器の上のアプリケーションの一つとしての携帯電話機能の実現へ

Fig. 8 携帯電話に関する基本構造の変化

ンタフェース部は、On-Offやチャンネル選択を機械の触覚を刺激することで実現（ボタンで意思を伝える。PCの場合はキーボードやマウスに相当）し、PCは、テレビのこれらの機能を、ほとんどPCの機能のサブセットとして持っているため、このような実現は合理性が高い。さらに、PCにしるスマホにしるプラットフォーム上で実現されるテレビは容易にそのプラットフォームの他の機能を利用し、質的に新しいテレビ（これはもはや「テレビ」という呼称が適切か議論する必要があるが）に進化する可能性を持つ。

70年代後半～80年代、システムの構造に関して、モジュール化が製造業の生き残りの分岐点となることがしばしばあったが、その後のプラットフォーム化で日本が先頭に立つまではなかなか進化していない。2-1で述べたように、改善やソリューションの創出の前に、混沌とした自然現象や社会現象を的確に整理して、問題をきれいに定式化することは先頭国の役目である。そのためには目に見えるものだけでなく、目に見えないこと、考え方の創出が大事であり、解決すべき問題を的確に整理・定式化し、その後にシステムの実現方法をアーキテクチャから考えて行く。プラットフォーム・オリエンテッドはここで重要になる。

筆者は以前より「携帯電話機」がなくなる可能性にしばしば言及してきた。「携帯電話機能」はいつでも身近になるが、それはFig.8のように、モバイル機器の一つのアプリとしての実現になるという話であった。同じマルチアプリでも、通信システムのプラットフォーム上に丸ごと乗った形の携帯電話機では、その通信システムにすべてが依存してしまう。このモバイル機器は今で言うスマホであり、通信機能を切ってもそれ自体いろいろな機能を持つ。通信はあくまでモバイル機器のプラットフォームに提供される一つの機能である。サブプラットフォーム機能という言い方でもよい。この構造に早く移ることの重要性を2006年から2007年にかけて筆者は強調してきた¹²⁾。このことは、ワードプロセッサのアナロジーがわかりやすい。20世紀には、家電量販店にワープロ売り場があり、メーカーにはワープロの設計、製作、保守部門があった。今やワープロは前世紀以上に筆記用具と化し、一層身近なものになったが、もはやその専用機は売る人も作る人もいない。2-2で述べたようにワープロというシステムは、PCという機器のOSというプラットフォームの上で、一つのアプリとして実現されている。

4-2 プラットフォーム創成の基本

ITの分野でプラットフォーム創成の際に基本となる手法がある。それは「特殊→一般→特殊」という手順である。社会に受け入れられるためには筋のよいプラットフォームが創成される必要がある。このために必要なことは、プラットフォームの一般性の高さである。これをFig.9に示す。ある分野のプラットフォームを創ろうとする際、その分野で想定される典型的なアプリを十分に挙げ(ここでは50とする)、それを実現するためにプラットフォームの提供する基本機能を洗練させ、その基本機能の組み合わせで50のアプリが実現するようにプラットフォームを創る。このようにすることで、一般性の高いプラットフォームができ、プラットフォーム創成時に予想もしなかった51番目、52番目のアプリが容易に創成されるようになる。このことは古くはPC、近年ではスマホにおいて次々に新しいアプリが創成され続けていることを見るとわかりやすい。

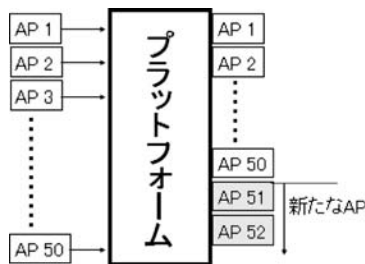
ところでスマホはFig.8のような通信サブプラットフォームをその要素として持っているが、もう一つ重要な要素に、ポジショニング機能(位置特定機能)がある。20世紀のインターネットのような時空間を超えるITに対し、21世紀はリアルワールドのITの時代であり、そこでは位置依存のサービスが重要であるためである。ポジショニング・サブプラットフォームは、GPSが有名であるが、これを使わなくとも、無線LANや携帯電話の基地局等いろいろな手法の組み合わせで、かなりの程度までポジショニング精度・確度は上がる。無線LANのアクセスポイントのMACアドレスによる位置特定は、GPSに続く貴重な位置特定インフラと言ってよい。高層ビル街等、電波の壁面反射と遮断の激しい場所では、GPSをむしろ凌ぐ精度・確度となる。これに関しては本稿ではこ

れ以上述べないが、リアルワールドのITのプラットフォームは、「通信機能」「位置特定機能」が基本となり、これに「HMI」が使い勝手を大きく変える要素となる。近年のスマホでは加速度センサなども重要な要素となっている。それにより、スマホをユビキタス・センサ・ネットワークのプロープとして用いるシステムを容易に創成できるようになった。筆者はこの種のシステムを「スマホ・プロープ・システム」と呼び、重要視している。

筆者は、前述のようにITSを「ITで高度化する人や物の移動システム」と定義して、研究を進めてきたが、この中でもFig.10のような「ITSプラットフォーム」を提案し、プラットフォーム・オリエンテッドな実現こそ合理性が高いことを提唱してきた^{1,13)}。ここでも、システム・バイ・システムで社会的に実現するのは、B by Cの観点から難しく、むしろ「通信機能」「ポジショニング機能」を二大機能として、直感的な「HMI」の提供可能なITSプラットフォームを作り、その上で、アプリとしてシステムを実現することの重要性を繰り返し述べてきた。

ITSやその範囲を拡大した生活者ITS¹⁴⁾の説明時、筆者はしばしば「リアルワールドのIT」の視点を強調してきた。なぜリアルワールドのITなのか？それは人も物もリアルワールドの存在であるから。システムの作用する先は、実空間のある位置に存在する我々や物であるからである。

もう一点、プラットフォームで重要な点がある。「システムに完成形を持たせない」という基本設計概念である。それはプラットフォームの上下分離により実現される。これによりシステムは持続的に進化することが可能になる。例えば、PCではWindowsなどのOSというプラットフォームの上にアプリが載る形でシステムが実現される。OSには重要な機能とし



特殊→一般→特殊の手順で創る
Fig. 9 汎用性の高いプラットフォームの創成



Fig. 10 EUPITS (Evolutional Ubiquitous Platform for ITS) : 進化し続けるユビキタスITSプラットフォーム

て、下のハードウェアの抽象化があり、一定のインタフェース要件を満たせば、下のハードウェアはどう実現してもよい。上に載るアプリとは独立に開発が可能となる。非力な旧型のCPUを高性能な新型のCPUに変えれば、OSから上は基本的に変えることなくアプリはすいすい動くようになる。今度はさらに計算資源を使う高度なアプリを、CPUを意識することなく開発することが可能になる。OSが一種のバッファになっている。この上下分離が、完成形を持つことなくシステムの持続的な進化を可能とする根源となる。

道路は計画から50年でも完成しない場合があるが、道路のライフサイクルを50年とする。自動車は日本では中古まで含めて10年、ITは2年で次々と変る。この間には25倍のライフサイクルの開きがある。慣性力が全く違うと言ってもよい。モビリティを実現するシステムは、これらのケタ違いのライフサイクルを持つ各要素によって実現される。完成形を持たず進化し続けるシステムでなければ、合理性を持って生き残ることは難しい。

4-3 システム創成 5 原則

- ここではシステム創成基本5原則を以下に挙げる。
- (1)システムは人間・社会のために存在する。この最上位概念をもってシステム創成（企画・設計・普及）に当たる。
 - (2)既にあるものはすべからく使う。修正する場合も修正は最小限に。従来のシステム、サブシステムの利用では不合理な場合に新たなシステム、サブシステムの創成を行う。
 - (3)プラットフォームは人類の共有財産。プラットフォーム鉄の掟*1に従う基本構造を持ち、排他的にならず、皆で協力してプラットフォームを創り、プラットフォームの上のアプリやサービス、プラットフォームの下のベンディングで競争をする。また、マイグレーション(エポリユーション)を前提とした基本設計になっていること。
 - (4)ユーザーの持ち物はOne Device/ M Cards（一つの携帯機器と複数枚のカード）を境界条件とする。
 - (5)官はプロモータ。プロモーションの期間が終わった後、システムはそれ自体で自立できること。

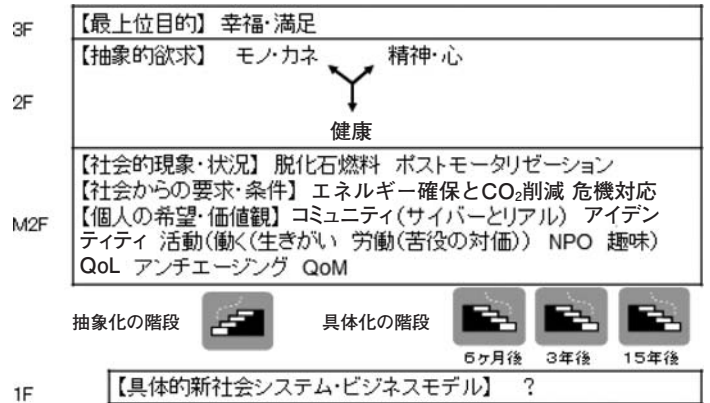


Fig. 11 抽象化の上り階段と具体化の下り階段による階層的システム創成

5. システム創成の方法論^{8~10)}

システム創成に際しては、実現方法にとらわれない抽象化と、境界条件に沿った具体化の手順が重要である。これを「抽象化の上り階段」と「具現化の下り階段」として表現したものがFig.11である。

あるシステムを考えると、社会的現象や状況、社会からの要求や条件、個人の希望・価値観の本質を熟慮する。例えば、人間が「コミュニティ」に所属し「アイデンティティ」を発揮しようとするのは老若男女に通じる性(さが)であるし、活動にも「働く」「NPO」「趣味」等の活動があろうし、さらに働くにも「生き甲斐」としての働きも、「苦役の対価として」の労働もあろう。さらに抽象度を上げて人の求めるものを考えれば、モノ・カネと精神・心の他に、健康が重要な要素になっていることは明らかである。健康のために、お金も気も遣う。システムにも工学にも最上位目的があり、それは、人間の幸福・満足である。

さて、前出のFig.1における第1段階的イノベーションの特徴は、例えば性能改善であり、具体的なシステムを目の前にして、主にその実現手法に工夫を加え、性能を向上させるところにある。これに対し、第3段階的イノベーションの特徴は、今までに存在したシステムにとらわれず、上位レイヤの概念を明確化してゆき、その後、「ライフスタイル・価値観」と「科学技術・数理物理の基本」の両面を境界条件として、例えば6カ月後、3年後、15年後のソ

* 1 プラットフォーム鉄の掟とは、特定のアプリケーションにも特定のサブプラットフォームにも依存しないプラットフォームの基本設計のこと。

リユースとなる具体的なシステムを構築して行くことにある。すなわち量的ではない質的改善である。このシステム構築には当然ながら施策も含まれる。例えば、マイクロモビリティのシステムの実現には、物を作り出す科学技術や携帯機器等の普及度、人間社会のライフスタイル・価値観の他に、スローモビリティのレーン分離や低速走行ゾーン策定の施策が大きな影響を与えるのは明らかである。

例えばコミュニティバスから出発することにしよう。コミュニティバスは何のための存在か？ 一般の路線バスが採算を取れないような路線に対し、地域の住民のモビリティ確保のため、自治体が予算を投入して運行される。その目的はあくまで移動がままならない住民のモビリティ確保であり、そのような住民のコミュニティへの参加や治療・健康維持、生活のための移動の実現手段である。

CO₂削減、コミュニティの場への行きやすさ、人の活動面、年齢とともに低下する身体能力により制限される利用可能な移動手段（例えば現行の自家用車等）、QoM(Quality of Mobility)等と技術面、社会インフラ面等を勘案し、6カ月後、3年後、15年後のソリューションを考えて行く。そこにモビリティ確保のための新しいシステムも見えてくる。

この方法論は何か新しいシステムを生み出す際の一般論であり、特定の分野のシステムに限った話ではない。次節で紹介する「美濃和紙イヴ」「彩りイヴ」もこの手法でデザインを決めていったが、あくまでマイクロモビリティの可能性を探る社会実験に使うデザインを決める方法論としてこの考え方(Fig. 11のツール)を使ったにすぎない。しかしながら解りやすい具体例であるので紹介する。

6. システム創成論の応用例

6-1 「美濃和紙イヴ」と「彩りイヴ」

本節では、本学会のH2291「超高齢化都市に要求される『移動の質』」プロジェクト(PL:土井健司教授)で岐阜県美濃市における社会実験に投入した超小型電気自動車「美濃和紙イヴ」と前述のFig. 11の関係を述べ、さらに「さいたま市モビリティと経済活性化研究会」(主査:長谷川孝明)のプロジェクトで作った「彩りイヴ」、さらにシステム創成論的に見た電気自動車の普及と新社会インフラの議論等を紹介して行く。

美濃市では脱化石燃料社会、超高齢化社会における人のモビリティの確保が重要案件であり、そのソ

リューションの一つとしてサイクルシティを目指していた。急速なモータリゼーションの結果、日本の地方都市の多くがそうであるように、少しの移動も車を使う社会になっていた。その車は、18世紀、19世紀の貴族の乗り物「馬車」の大きさをそのままに、ホースエンジンパワーをガソリンエンジンパワーに変えて、化石燃料の上に成り立つ移動手段⁹⁾である。このような状況下、徒歩と自転車および自動車の選択肢しか持たないユーザーが、多くの場合自動車を利用してしまうのはやむを得ないことであるが、一方で、「心の慣性力」も大きく、数十年前には当たり前であった徒歩と自転車の移動モードは大きくその機会を減らしたままであった。回遊は経済活性化にとって重要¹⁰⁾であるが、大きな車では町の中で各商店を巡るような回遊もままならない。

坂もあり、鉄道も衰退しているこの町で、徒歩、自転車のモードと自動車のモードには大きなギャップがある。ここに、電動アシストの自転車、超小型電気自動車を投入して、徒歩、自転車、電動アシスト自転車、超小型電気自動車、自動車の5モードにしたときに、人はスローモビリティあるいはマイクロモビリティに移行する可能性があるか否かを知りたかった。

そこで、超小型EV「美濃和紙イヴ」はシステム創成論の考え方に則って抽象化を行い、以下の三点、
 (1)乗りやすいより降りやすいという基本設計コンセプト→回遊の発生
 (2)町に溶け込み、置いてあるだけで町の魅力をアップする基本設計コンセプト→町のオブジェ
 (3)車よりドレス(スーツ)に近く、なおそのドレスは動く機能を持つという基本設計コンセプト→モビリティ・ドレス(スーツ)

を満たすように具体化の下り階段を下りていった。半年という期限を考慮し、その時点でできることを考えれば、上記を満たす車両を作るのは、既存の車体を用いる以外に選択肢はない。

町の中を回遊し、ちょっと降りて店に入ることを可能にする超小型車両。置いてあるだけで美濃市らしさを醸し出すFRP(繊維強化プラスチック)に特産の「美濃和紙」を入れ込んだ車両。動く機能を持ったオシャレなドレス。これが、投入した、超小型EV「美濃和紙イヴ」である。車体は有限会社武岡自動車工芸の「ルーキー」で、FRPに特産の美濃和紙とともに美濃市のシンボルのカエデを入れ込み、さらにLEDをつけてもらった特製である。Fig.12(a)はそ

(a)美濃和紙とカエデを
入れ込んだ車体

(b)左右の空間の違い

(c)町の雰囲気を醸し出す美濃和紙
イヴ

Fig. 12 「美濃和紙イヴ」

の車体の一部である。またFig.12(b)では左右の空間の違いをごらんいただきたい。左半分を目をやり徐々に慣れてくると、もはや右半分の当たり前の光景は雑然とした感を覚えるようになる。Fig.12(c)は町の雰囲気を醸し出すイヴである。夜の早いこの町で、わずかな電力のLEDが空間を感じる心を暖める。

しかしながら、これはきれいな車体を創ることが目的ではないことを強調したい。あくまで、事実上のシングルモードの「自動車」に、「電動アシストの自転車」や「超小型EV」が加わり、多モードとなったときに、人はこの中間モードを選択する可能性があるか否か、マイクロモビリティの社会定着の可能性はあるか否かを知るために行った調査研究の、信頼度を高めるために行ったことである。すなわち、気持ちのよい車体でなければ、乗る気になかなかねず、結果選択の可能性を知ることも難しかったため、この心の障壁を取り払う目的で創ったものである。

このさいたま版と言える「彩りイヴ」は、さいたま市モビリティと経済活性化研究会のプロジェクトの過程で、マイクロモビリティを含む提案ビジョンの一里塚として創ったものであり、新緑のけやき、桜草をそれぞれモチーフにした二種類がある。桜草のバックは自然の中では葉の緑であるが、モビリティ・ドレスという点から桜草をモチーフにした浴衣でしばしば用いられるデザインをヒントに黒地とした。けやきと桜草はいずれも埼玉県およびさいたま市のシンボルである。これらにも夜間LEDモードによる街のオブジェとしての「彩りイヴ」の顔がある。「彩りイヴ」はE-KIZUNAサミットや東京モーターショー2011において展示したものであるが、その際のコネクトボードの中でも、その基本コンセプトを、

- (1)安全で降りやすく、街に回遊を発生するEV
- (2)街に溶け込み、街のオブジェになるEV

(3)ちよいと羽織って動いてみたくなるドレスのようなEVと明示している。

しかしながら、この基本コンセプトもあくまで下位層の中の具体に近いコンセプトである。コンセプトボードの本体は三つの階層からなり、

(1)上位層

モビリティとは？ 社会的に直面する問題点、QoSC（空間的心地よさの質）ということ、QoSC→モビリティ→経済活性化、経済活性化のためのモビリティを含む空間の心地よさの質に関する三要素（中心市街地までのモビリティ、中心市街地におけるモビリティ、購買環境の向上）

(2)中位層

それらを遂行するための幾つかの大きなテーマ（その中の一つが交通結節点の集約化とモビリティのインターモーダル化を見据えたマイクロモビリティの社会定着）

(3)下位層

マイクロモビリティの一里塚としての「彩りイヴ」のコンセプトと具体的車体となっており、そのコンセプトの明確な階層性を特徴としている。紙面の都合で本稿では詳細は割愛する。

6-2 電気自動車の普及と新社会インフラ^{9,10)}

電子情報通信学会の論文誌に著者は“Diffusion of Electric and Novel Social Infrastructure from the Viewpoint of Systems Innovation Theory”⁹⁾を発表している。ここではシステム創成論的に電気自動車の普及を考察し、科学技術と人間社会の両面から今後考えられる選択肢の一つを挙げている。その中では、液体燃料と電氣的エネルギーの本質的な差異、年令により違うライフスタイル・価値観、ポストモータリゼーション、駐車場における非接触給電（電気自動車ラスト10m問題の解決）と社会的にコスト

の低いジャストワンビル決済による速やかな電気自動車シフトとその後に予想される電力の時空間平準化等が議論されている。

6-3 具体的システムの創成に当たって

システムの創成に当たって、具体例を見てそれを応用したり、改善したりする方法では、本質的なイノベーションは難しい。システム創成の際には、具体例から抽象化の階段を登って、一度徹底的な抽象化を行い、その後にライフスタイル・価値観と技術や社会インフラの境界条件を満たしながら具体化の階段を降りて、具体的システムの創成を行う手順は重要なことであり、これは一定の手順に基づきながら、従来の発想にとらわれないシステムを生み出す方法論となる。抽象化の上り階段と具体化の下り階段をベースに筆者が企業との共同研究で特許出願に結びつけているシステム創成の例もあるが、ここでは割愛する。

7. むすび

本稿は、システム創成論について詳しく述べ、その応用例として「美濃和紙イヴ」「彩りイヴ」、電気自動車の普及のシナリオと新社会インフラの文献^{9,10)}を簡単に紹介した。事態はさまざまな条件で急速に変化するが、大事な事は、問題の正当性を常に確認し、手段と目的を履き違えず、普遍性と即時性を見極め、原理原則を重視しながら研究・開発・普及を進めることである。今後は、空間的心地よさの質(QoS)の観点から、ITをベースとしたモビリティと経済活性化システム創成⁸⁾の研究をさらに進めることで社会に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 長谷川孝明『ITSとシステム創成に関する一考察』電子情報通信学会技術研究報告、ITS2002-120、pp.13-17、2003年
- 2) 寺本義也、松田修一監修『MOT入門』日本能率協会マネージメントセンター、2002年
- 3) 技術経営コンソーシアム監修、三菱総合研究所編『標準MOTガイド』日経BP社、2006年
- 4) James M. Utterback : Mastering the Dynamics of Innovation, Harvard Business School Press, 1994/大津正和、小川進監訳、有斐閣、1998年
- 5) Nicholas Negroponte : Being Digital, Alfred A. Knopf, Inc. 1995/福岡洋一、西和彦監訳、アスキー、2001年
- 6) 野村総合研究所『ユビキタス・ネットワークと市場創造』2002年
- 7) 野村総合研究所『ユビキタス・ネットワークと新社会システム』2002年
- 8) 長谷川孝明『システム創成と空間的心地よさの質について～ITによるQoSの向上とモビリティ～』電子情報通信学会技術研究報告、ITS2010-67、pp.287-292、2011年
- 9) Takaaki HASEGAWA : Diffusion of Electric Vehicles and Novel Social Infrastructure from the Viewpoint of Systems Innovation Theory" IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E93-A, No.4, pp.672-678, 2010
- 10) 長谷川孝明『システム創成の視点からみた電気自動車普及のシナリオ』電子情報通信学会技術研究報告、ITS2008-65、pp.177-182、2009年
- 11) 長谷川孝明『WYSIWASナビゲーション環境の実現－リアルワールドのITの意味－』電子情報通信学会技術研究報告、ITS2008-30、pp.19-24、2008年
- 12) 例えば、長谷川孝明「携帯電話市場は大変革期」2008年2月4日電経新聞オピニオン欄
- 13) 長谷川孝明『ITSプラットフォーム"EUPITS"～実現へのアプローチ～』電子情報通信学会技術研究報告、ITS2003-8、pp.41-47、2003年
- 14) 長谷川孝明『生活者ITSプラットフォームとPDAについて』電子情報通信学会技術研究報告、ITS2004-27、pp.71-77、2004年
- 15) 長谷川孝明『ITS分野の体系化について』電子情報通信学会技術研究報告、ITS2004-97、pp.47-52、2005年
- 16) 例えば、斎藤参郎、山城興介「回遊行動からみた都心100円バスの経済効果の推計－福岡都心部におけるケーススタディー」『日本地域学会第37回年次大会学術発表論文集』pp.110-117、2000年