特集

安心できる社会インフラへの提言

社会インフラを支える センサーネットワーク

安心できる社会インフラの仕組みを考える
「MITTF-P経営研究所 フ

- ㈱NTTデータ経営研究所 **渡邊 敏康**

BA1505-03 0915-1060/15/¥500/論文/JCOPY



はじめに

「スマートシティ」や「コンパクトシティ」をはじめとする街づくりの概念において、センサーネットワークはヒトとモノをつなぐために欠かすことのできない構成要素となってきている。本稿では、これまでセンサーネットワークがどのように活用されてきたか、そして、安心できる社会インフラの仕組みとして、どのような活用が期待されるかについて述べていく。



センサーネットワークの 活用分野の拡がり

従来のセンサーネットワークは、商業や工業分野において、遠隔からの個別機器の状態把握や制御に用いられてきた。例えば、ビルや生産施設、交通・輸送分野に対して、空調や機械の稼働状態、交通流量の監視や機器制御といったものが挙げられる。これまでは、日ごろわれわれが目にすることの少ない分野において、センサーネットワークが活躍してきた。

近年のセンサーネットワークは、われわれの身近なモノへとつながることで、日常生活への変化をもたらそうとしている。自動車を例にとれば、カーナビゲーションで車の位置の把握や渋滞状況を把握する目的だったものから、携帯電話網などを活用したカーナビゲーション(テレマティクスシステム)によって、対話形式でのルート検索や事故時の救急サービスなどが可能になってきている。また、携帯電話そのものも、GPSや加速度セ

ンサーの搭載によって、インターネットを経由したさまざまなサービスが提供されている。更に昨今、腕時計やネックレス等のウェアラブル端末が登場してきている。このようにわれわれが利用するさまざまな機器や端末そのものについて、 センサーと同様の機能を有しているものが増えてきている。

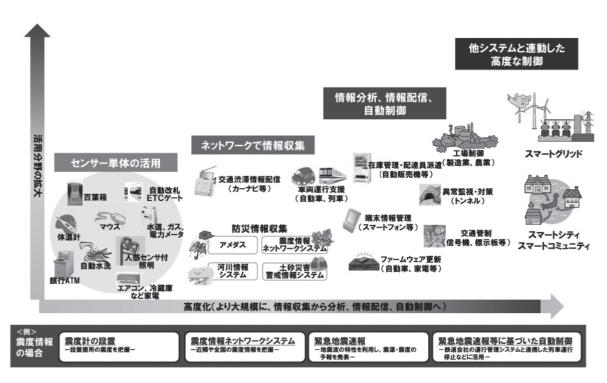
センサーネットワークは、社会インフラにとって、これまで主に管理運営者側の活用範囲だったものから、個人レベルや社会・経済活動にまで密接につながる重要基盤へと変わろうとしている(第1図)。



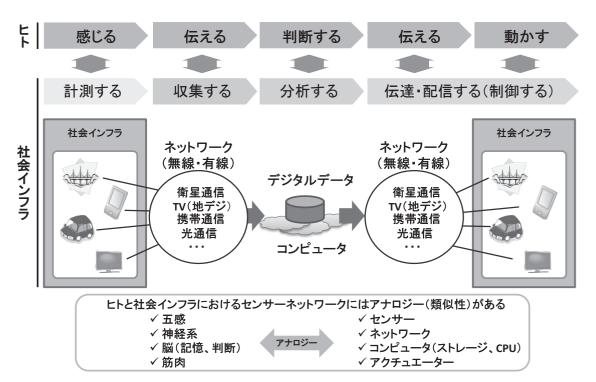
社会インフラにおける センサーネットワークとは

はじめに、ヒトの仕組みと対比して、社会インフラのセンサーネットワークについて整理を試みる。

ヒトは五感を通じて、神経を経由して脳へそれらの情報が伝達されて、過去の記憶や経験と照らし合わせながら判断し、そして神経から筋肉を通じて何かを動かしたり、書いたりする。一方、社会インフラにおけるセンサーネットワークとは、例えば道路のセンサーや自動車、携帯端末等に搭載されている位置情報等を、無線や有線の通信ネットワークを経由して、コンピュータ(データセンター)へそれらの情報が集約・蓄積されて、データベースや計算ロジック等を用いて分析し、それらの分析結果に基づく情報を伝達・配信したり、電力を制御したり、モノを動かしたりする。つまり、



第1図 センサーネットワークの活用分野の広がり(概念図) (出典:総務省 「ICTを活用した街づくりとグローバル展開に関する懇談会 ICT街づくり推進部会」 資料を基に加筆)



第2図 社会インフラにおけるセンサーネットワーク (概念図)

(出典:NTTデータ経営研究所にて作成)

ヒトの「五感」「神経系」「脳(記憶、判断)」「筋肉」が、社会インフラでの「センサー」「ネットワーク」「コンピュータ(ストレージ、CPU)」「アクチュエーター」という関係である。

このようにヒトの仕組みと社会インフラにおけるセンサーネットワークとの間には類似性(アナロジー)があると言える(第2図)。

センサーから取得される温度や位置情報といった定型情報や、衛星や固定カメラ等から取得される画像情報、PCや携帯端末等から SNS やその他データベースへ入力される非定型のテキスト情報といった、いわゆるビッグデータと呼ばれる情報群が社会インフラで取り扱う情報と捉えて良いだろう。また近年、センサーの小型高性能化の進展により、センサーや端末にID(識別子)を持ち、個々のモノがインターネット(TCP/IP)に接続されて、情報処理、そして制御が可能な状態になってきている。これが昨今話題に挙がるM2MやIoTの概念である。

このようにセンサーネットワークに関連した技術が進展していくことで、社会インフラはヒトとして本質的に持つ能力(見る、聴く、書く、話す、そして考える)へと近づいていくのではないかと連想できるだろう。



センサーネット一ワークの歴史

歴史を簡単に振り返ると、センサーネットワークは1970年代のマイクロプロセッサの登場によっ

て、工業用機械とコンピュータをつないだ計測・ 制御の技術へと発展していったところから始ま る。

個別機器を計測・制御していた時代(1対1制御)から、1980年代後半には、一つの通信路で複数の機器の計測・制御を実現するバス型の通信ネットワーク(1対多制御、そして多対多制御)へと発展してきた。そして2000年代に入ると、工業界やビル監視の業界においてインターネット(TCP/IP)を用いた計測・制御技術が入ってきている。

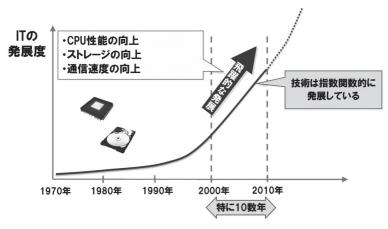
現在のわが国における社会インフラは、インフラ関連機器とIT関連機器・システムのライフサイクルの違いから、これら新旧センサーネットワークの計測・制御技術が混在している状況にある。

● センサーネットワークを取り巻く 技術の進歩

近年のセンサーネットワークを取り巻く技術の進展は急速なものになってきている。背景には、この10年における、CPU、ストレージ、そしてネットワークといったIT要素技術の指数関数的な発展が挙げられる(第3図)。

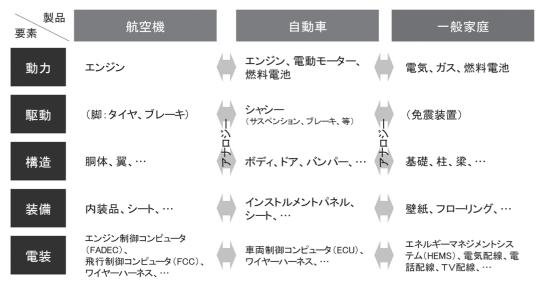
センサーネットワークをはじめとする技術の進 歩が、安心できる社会インフラにどのように貢献 していくのか、輸送機器と一般家庭とを対比しな がら考えてみたい。

部品点数が数百万点の航空機や数万点といわれる自動車に対して、社会インフラの最小単位と言



第3図 センサーネットワークを取り巻く技術の進歩

(出典:NTTデータ経営研究所にて作成)



第4図 アナロジー (類似性) で考える技術の進歩

(出典:NTTデータ経営研究所にて作成)

える一般家庭とを比較する。ここで、動力、駆動、 構造、装備、電装というカテゴリで整理すると、 センサーネットワークに相当する電装部品をはじ め、様々な技術の向上に類似性が伺える(第4図)。

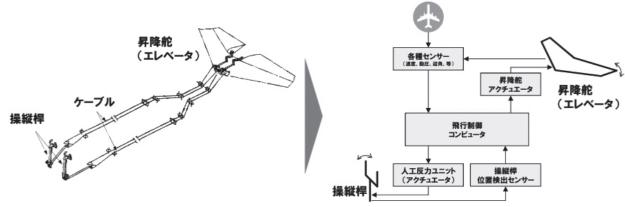
航空機の操縦システムを例にとると、操縦桿から飛行機のピッチ・ロール・ヨーをコントロールする舵面について、従来はケーブルやリンク機構であった。これが近年では、油圧或いは電動アクチュエータと操縦桿を電気的なネットワークで繋ぐバイワイヤ技術と飛行状態をモニタリングする飛行制御システムによって、飛行状態の最適制御

が実現できるようになった(第5図)。

更に遠隔での通信制御によって無人飛行機も実現してきている。姿勢制御を司るジャイロセンサーの超小型化によって、いわゆるドローンといった 民生品が容易に手に入る時代が到来した。

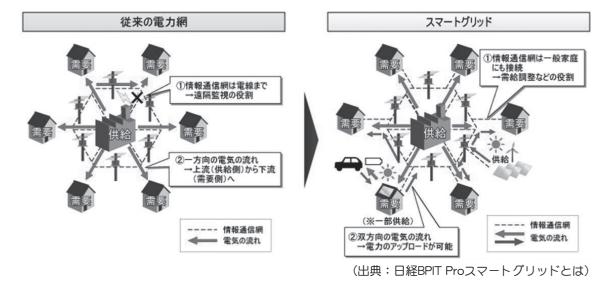
自動車においては、最近、自動運転に関する話題が新聞・雑誌の記事等を賑わしており、詳細は それらの記事に譲りたい。

さて、一般家庭に目を向けてみると、個人レベルではスマートフォンの普及、家庭レベルでは太陽光パネルや燃料電池(エネファーム)の普及な



(出典: NEDO第1回「環境適応型高性能小型航空機研究開発」 (平成18年度中間評価) 分科会資料を基に加筆)

第5図 航空機の電動化、電子制御化



- ・従来の電力網では、需給情報のような電力にかかわる情報をやり取りできる「情報通信網」は、 発電所から電線まで
- ・これに対してスマートグリッドでは、一般家庭にまで「情報通信網」が整備されていく→従来の電力網では、「電気の流れ」は基本的に一方向であったのに対して、スマートグリッドでは双方向も可能

第6図 スマートグリッド (概念図)

どが挙げられる。またLTEやWiMAXといった無線通信の高速化や光通信の普及などネットワーク技術の進展も進んでいる。特に、スマートグリッドと呼ばれる電力とITの融合技術(第6図)、そして電力自由化という制度面の転換によって、今後数年には一般家庭をはじめとして電力とIT関連のサービス等と連携した身近な新サービスが登場することが期待されている。

このように、センサー技術の小型高性能化、CPU・ストレージ・ネットワーク技術の向上によって、ライフサイクルの違いはあるものの、様々な製品の自動化、ネットワーク化が進展している。

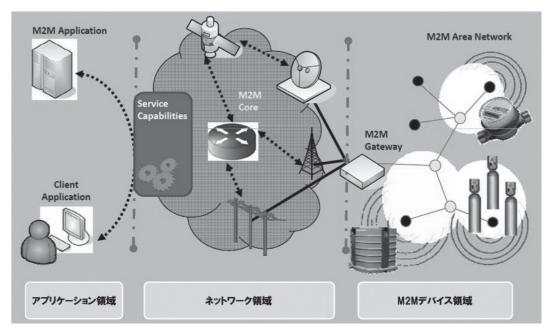
技術の進歩による社会インフラの 転換点を予測する

社会インフラにおいて、様々な情報がつながるようなスマートシティの実現を考えた場合、これまでに構築されてきた新旧センサーネットワークの通信規格やアーキテクチャを考慮した街づくりが必要になってくる。このような取り組みは、国内外で国際標準化の動きが活発に行われている。

欧州の電気通信関係の標準機関である「ETSI (エッツィ)」や、日本をはじめ主要7か国・地域の標準化団体が参画する「oneM2M」において、電力、ヘルスケア、一般家電、自動車、その他都市分野等の標準規格の策定が行われている。M2M (本項におけるセンサーネットワーク)のアーキテクチャは、アプリケーション領域、ネットワーク領域、そしてM2Mデバイス領域の3つの領域に分けて、それぞれの標準化が進められている(第7図)。

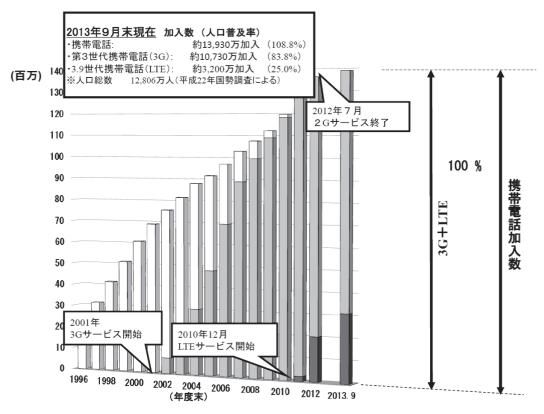
では、わが国において、今後どのような技術革新が社会インフラにおける大きな転換点になり得るのだろうか。前述のセンサーネットワークの3領域に着目すると、ネットワーク領域の次世代インフラ整備が大きな転換点になるのではと推察している。ネットワーク領域については、国際的に(或いは特定の国や地域で)標準規格が策定された上で、インフラ整備が進められていくことが背景として挙げられるからである。

なお、アプリケーション領域では、センサーネットワークの有無を問わず、様々なアプリケーションやサービスが既に登場してきている。またデバイス領域についても同様に、デバイス(ハードウェ



第7図 M2M(センサーネットワーク)のアーキテクチャ

(出典: ETSI M2M Standards: How to enable the Internet of the Future, M2M Workshop 19th/20th October2010を基に加筆)



第8図 携帯電話加入者数の推移

(出典:総務省 第4世代移動通信システムに関する公開ヒアリング資料)

ア) そのものの小型高性能化や省電力化、低廉化 といった市場競争が繰り広げられている状況であ る。

ここからは、ネットワーク領域の動向について整理したい。有線通信については既に光通信のインフラ整備が整いつつある一方、無線通信(移動通信)に関する技術については世代交代が進んでいる。最近では3G(第3世代)の移動通信からLTEと呼ばれる3.9G(3.9世代)の移動通信へと移行している(第8図)。

そして、2020年以降の将来を見据えて、5G(第5世代)の移動通信技術の策定が国際的に進められている(第9図)。

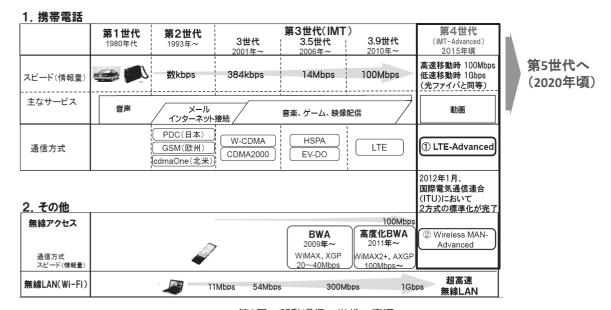
5Gの標準化に向けた取り組みは現在進行中であるが、データ転送速度の高速化や大容量化に加えて、センサーネットワークへの活用を想定した要素技術の仕様策定も行われていることが4Gまでの技術と大きな違いである。移動通信網のセンサーネットワークの活用を想定して、リアルタイム制御に耐えうるようにデータ遅延を低減させる要素

技術や、100倍以上ともいわれる多数の端末を同時接続できるような要素技術の策定についても着目されている *1 。

このように既に普及している光通信ネットワークに加え、2020年以降に普及が始まるだろう次世代移動(無線)通信インフラの整備が、昨今取り上げられているIoTの転換点になるのではと予測される。

なお、固定通信(光通信)に関連したネットワーク技術についても、端末から集められた情報を一極集中して処理するクラウドコンピューティング技術から、リアルタイム性を確保できるように、より端末(エッジ)に近いところで情報処理を行うエッジコンピューティングやフォグコンピューティング*2といった情報処理技術の開発が進められている(第10図)。

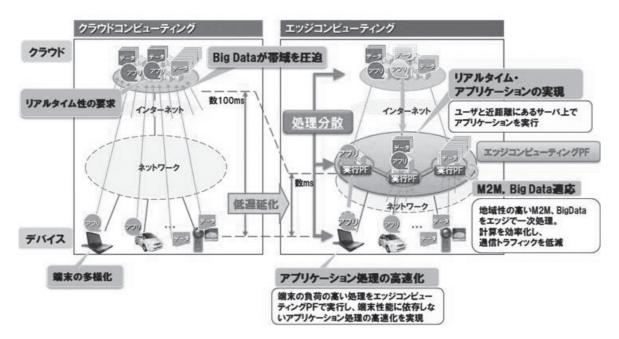
メールやSNS、Webでの検索といった従来のインターネットの利用方法ではμ秒単位での遅延はほとんど気にする必要性は無かった。一方、安全運転支援といったITS分野やエネルギー管理をはじめ



第9図 移動通信の世代の変遷 (出典:総務省 第4世代移動通信システムに関する公開ヒアリング資料を基に加筆)

※1: ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group (日本)、5GPPP (欧州) 等の取り組みに基づく。

※2:フォグコンピューティング:地上をデバイス側と捉え、従来のクラウド(雲)よりも地上に近いフォグ(霧)と例えた、米シスコシステムズが提唱した造語。



第10図 エッジコンピューティング技術(概念図)

(出典:NTT「エッジコンピューティング構想」報道発表資料)

とする電力分野などの社会インフラでのセンサーネットワークの活用では、リアルタイム性が求められてくることが背景にある。ヒトの例えを借りるならば、クラウドコンピューティングが中枢神経の先にある大脳で、エッジコンピューティングは末梢神経(反射神経)に処理・判断が可能な(ヒトには存在しない)小さな脳がある、と言えるだろう。



安心できる社会インフラとは

電力、交通、金融等の社会インフラと個人との間では、PCやスマートフォンを通じて、様々な情報を入手・活用できるようになってきている。社会インフラを維持・管理する事業者においても、インフラや製品そのものに対する状態監視等に使われてきたセンサーネットワークから、個人レベルでのコミュニケーションも考慮した仕組みへと拡大してきている。

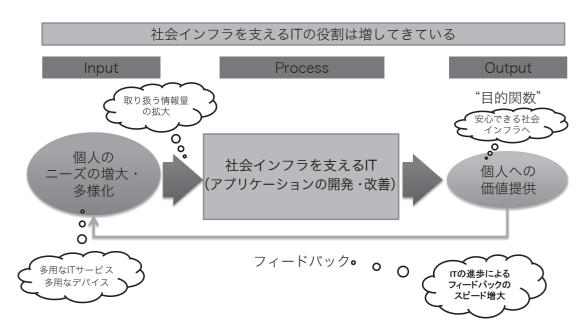
安心と安全においては諸説^{*3}あるものの、ここでは「安心」とは個々人の価値観に基づいて信頼

できる"仕組み"であるのか否か、そして「安全」とは製品やシステムとしての確率論等に基づく信頼性・安全性を担保できる"モノ"や"システム"か、という観点で捉えるものとする。

「安心」については、ITの進化によって社会インフラと個々人との接点が近づきつつある現代において、いかにして個人の価値観に基づく指標で、社会インフラを通じた個々人への付加価値を提供できるかが重要になってきていると言えるだろう。ある個人は、知りたいときに渋滞情報や電力使用量をリアルタイムで見ることができることができることもあれば、またある個人は、中長期の社会インフラの整備計画を知ることが安心に繋がることもあるだろう。このように個人の中に繋がることもあるだろう。このように個人のサービス提供できるITを活用した社会インフラの仕組みを整備することが安心に繋がる要素の一つと捉えることができる。

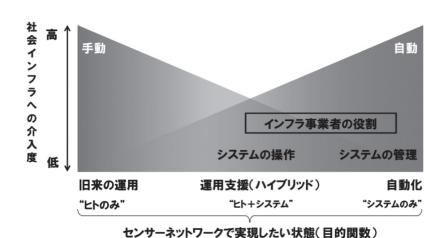
「安全」とは「安心」を実現するための大前提 と言えるだろう。即ち、平時に停止せずに安定し た運用が可能なシステムであることや、災害時に

※3:小笠原 泰:「日本社会における『安全』と『安心』を考える」2007年経営研レポート、NTTデータ経営研究所



第11図 社会インフラを支えるITとフィードバックサイクル

(出典:NTTデータ経営研究所にて作成)



第12図 センサーネットワークによって実現できる状態(概念図)

(出典:交通安全環境研究所 フォーラム2014「自動運転技術に関わる国際ガイドラインの概要と課題」を基に作成)

は冗長性を担保したネットワークが構築できていることが重要になる。

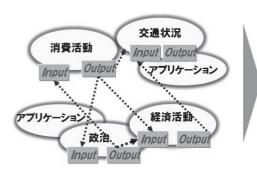
さて、社会インフラを支えるITとは、Input-Process-Outputというプロセスで捉えると第11図のような状態と捉えることができる。

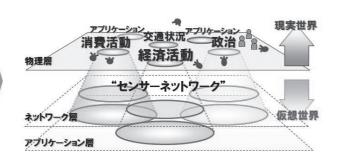
個人のニーズを "Input"、個人への価値提供を "Output" とすると、その実現に向けた "Process"

が社会インフラを支えるIT、即ち当該アプリケーションの開発・改善と位置付けられる。社会インフラのアプリケーション開発に携わる事業者は、個人の声に耳を傾け、サービス改善や新しいサービスの実現に向けた検討を繰り返す、"フィードバック"サイクルを回すことが今まで以上に求められることとなる。技術者においては、ITの進歩

システムの連鎖

現実世界と仮想世界の連鎖





第13図 現実世界と仮想世界 (ITの世界) をつなぐセンサーネットワーク

(出典:NTTデータ経営研究所にて作成)

によって政策・制度も将来は変わるものだろうと 予測しながら、センサーネットワークで実現でき る状態("Output"=目的関数)が、完全なる自動 化の場合と手動・自動ハイブリッドの場合のそれ ぞれで求められる要件を整理しながら開発してい くことが求められるだろう(第12図)。



おわりに

社会インフラはITの進化によって、センサーネットワークが対象とする領域が拡大している。それらの取り扱う情報は、ITによって、交通状況の把握や経済活動、消費活動等の社会インフラにおける"Input"と"Output"が互いに連鎖しやすい環境になってきている(第13図の左図参照)。

センサーネットワークによって、現実世界と仮想世界(ITの世界)へ繋がれることで、センサーから収集した物理量や物理現象といった自然科学の世界から切り離されることを意味している。それと同時に、LINEやTwitter、facebookをはじめとするSNSを通じた個人の価値観、嗜好性を反映したコメントや写真などの定性的かつ非定型な情報とも混ざり易い環境になってきている。これらの情報群は、さまざまな価値観等の定量化を可能にする心理学や統計学をはじめとする学問を土台とした分析技術の活用が求められる。つまり、物理層からアプリケーション層への仮想世界へ移行することで、本来の取得した"Input"の情報が物理学に基づく情報なのか、心理学に支配される

情報なのか、といった識別がより重要になる(第13図の右図参照)。

社会インフラにおいて、それを支えるシステムが互いに連鎖をする状況であるが故に、安心できる社会インフラのあるべき姿("Output"=目的関数)を、行政、インフラ事業者、そして住民とともに定めていくことがより重要になるだろう。

筆者紹介

渡邊 敏康

㈱NTTデータ経営研究所

公共行政サービスコンサルティングユニット マネージャー

<主なる業務歴および資格>

三菱重工業㈱ 名古屋航空宇宙システム製作所、 日産自動車㈱ 商品企画本部を経て現職。

輸送機器や環境・エネルギー分野のセンサーネットワークに係る事業企画、実証事業支援等を中心に従事。総務省「自治体におけるスマートグリッド通信インタフェース導入に向けた手引き」を作成(2015年4月公表)。

早稲田大学 重点領域研究機構 持続型食・農・バイオ研究所 招聘研究員(時間栄養・運動学に基づく携帯端末等のセンサー情報を活用したITサービスの開発)