

M2Mの情報流

猿 渡 俊 介^{†1} 森 川 博 之^{†2}

1. オートメーション

「墮落する前のアダムは、エデンの園で瞑想と動物の命名という仕事を課せられた。いまやオートメーションの場合がそうである。工程なり製品なりを命名してプログラミングを行いさえすれば、それが実現する」McLuhan の 1964 年の著作「メディア論」¹⁾ の 33 章「オートメーション」において、機械の時代から電気の時代への移り変わりについて述べられた言葉である。

Machine-to-Machine (M2M) の本質はオートメーションによる生産性の向上と付加価値の創出にある。スマートシティ、スマートコミュニティ、スマートグリッド、スマートウォーターなどに代表されるように、持続可能な社会の構築が求められるようになってきたことが、M2M に対して新たな視点を与えている。スマート化を図るためには、消費電力、物流、流通、位置、環境、部品などの多様なデータをセンサや産業設備から収集し、これらデータを有機的に結合し、社会基盤の効率化および高度化を目指さなければならないからである。

極論すれば、M2M の最終目的は、持続的な成長が可能な新たな国づくりを行っていくことにある(図 1)。地球規模で解決しなければならない人口爆発、食糧枯渇、資源枯渇、大規模自然災害、環境などの課題や、国内で解決しなければならない人口減少、少子高齢化、社会資本ストックの劣化などといった課題に対して M2M が一助となり得る。

M2M が社会に与えるインパクトは 1960 年代後半に PLC (Programmable Logic Controller) が製造プロセスに与えた影響がヒントとなろう。製造プロセスにおけるセンサとアクチュエータの関係が小型のコンピュータである PLC によってプログラマブルになった。PLC 以前の自動車の製造プロセスでは人が関与せざるを得なかったが、PLC によって製造プロセスのオートメーションが可能となり、生産効率を大幅に向上させることになった。

このように M2M のビジネスチャンスは、生産性向上の余地がある分野を見つけ出すことにある。対象はすべての産業分野にまたがる。これまで人が行ってきたプロセスを置き換えることで、新たな価値を創出できる。

たとえば、水道管の漏水検知作業では熟練工の作業割合が非常に大きい。熟練工の技能の一部を M2M によって代替することができれば、国内においては高齢化による熟練工の減少への対策となる。海外においては 30% とも言われる非常に高い漏水率を低減することが可能となる。

そもそも、M2M の起源は、Wiener のサイバネティクス²⁾ にまでさかのぼる。サイバネティクスとは、センサによる入力を通信と計算によってアクチュエータにフィードバックするオートメーションの根幹となる概念である。Wiener のサイバネティクスが扱っている領域は、制御・計算・通信の理論的側面だけでなく、機械としてのヒトの理解にまで踏み込んでおり、人工知能や認知科学などに多大な影響を与えた。

しかしながら、今まで制御は制御分野に閉じて発展してきた。PLC の製造プロセスへの導入、SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) によるシステム監視やプロセス制御、FieldBus、Modbus、産業用イーサネットなどの制御向け通信プロトコルの開発などである。

情報処理や通信の技術が進展し低コスト化したことで、制御・計算・通信が融合しつつある。GE の Industrial Internet、ドイツの国家プロジェクト Industrie4.0 などは、まさに制御・計算・通信の融合を目指している。Wiener がサイバネティクスで示した世界の実現に近づきつつある。

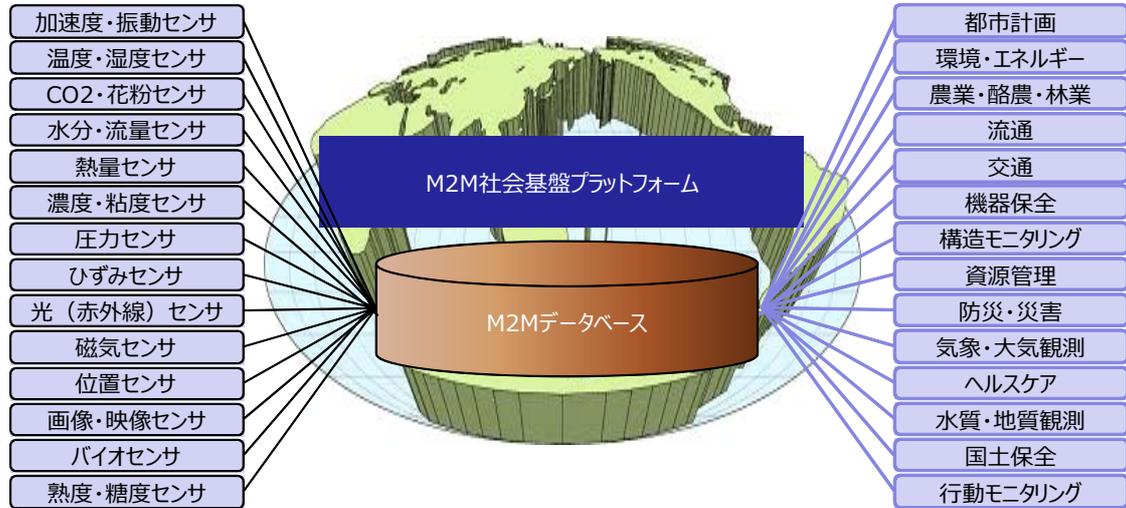
2. M2M ネットワーク

M2M は、大きく分けると M2M アプリケーションドメインと M2M デバイスドメインとに分けられる(図 2)。

M2M アプリケーションドメイン(図 2 上)では、多種多様な M2M デバイスを有機的に連携させて M2M アプリケーションを構築するための機能が M2M プ

†1 静岡大学大学院情報学研究科

†2 東京大学先端科学技術研究センター



出典：新世代M2Mコンソーシアム

図 1 センサからの情報流を活用することで、農業、都市、環境、流通、資源、医療等の生産性を高め、新サービス創出に資することができる

プラットフォーム/クラウドとして提供されている。

M2M プラットフォーム/クラウドの目的の1つが、膨大な数の M2M デバイスの運用管理にかかる時間とコストを低減することである。M2M デバイスのモニタリング、故障検知、課金、認証、アクティベーション、SIM カード管理などとともに、ローミングやプロバイダの切り替えなどのサポート機能を担う。数百万というオーダのデバイスを1つの顧客が所有している形態であることから、従来の携帯端末管理とは異なる機能が必要となる。

これらの機能と膨大に存在する既存のソフトウェア資産とを有機的に連携させるために、M2M プラットフォーム/クラウドは Web サービスとの融合を意識した設計がなされている。たとえば標準化団体 oneM2M において RESTful インタフェースや SOAP によって API を統一することが検討されている。RESTful とは、現在の Web のような、URI を用いてリソースにアクセスするステートレスの API の設計思想を意味する。JavaScript を用いたマッシュアップ等との親和性が高いことから、Yahoo!、Google、Facebook、Twitter など多くの Web サービスで採用されている。マッシュアップにより、複数の異なるサービスの部品を組み合わせて新たなサービスを簡単に生み出すことができる。

M2M デバイスドメイン (図 2 下) では、センサ等のデバイスをネットワークに接続するための仕組みが提供されており、M2M デバイス、M2M エリアネット

ワーク、M2M ゲートウェイから構成される。M2M デバイスとしては、自販機、自動車、メディカルデバイス、スマートメータ、工作機械など膨大な種類のデバイスが存在する。M2M デバイスをアクセスネットワークに接続する方法としては、直接接続する方法 (図 2 左下) と、M2M ゲートウェイを介した方法 (図 2 右下) の2種類が存在する。携帯電話モジュールをデバイスに組み込むことで、直接アクセスネットワークに接続される。コマツの遠隔車両監視、富士アイティによるコインロッカー管理、コカコーラによる自動販売機の遠隔在庫管理などがこれに相当する。携帯電話モジュールに M2M プラットフォーム/デバイスが組み込まれているため、アプリケーションに応じたカスタマイズが可能である。

M2M ゲートウェイを介した方法では、M2M デバイスは、Bluetooth や IEEE 802.15.4 などの M2M エリアネットワークによって M2M ゲートウェイに接続される。ユーザは M2M ゲートウェイで提供されている M2M プラットフォーム/デバイスを用いて個別のアプリケーションや、M2M アプリケーションドメインと連携したアプリケーションを構築できる。たとえば、スマートフォンをゲートウェイとして、活動量センサからの情報を Bluetooth を介して収集してランニングサポートを提供する Nike+などがこれに相当する。

IETF では、M2M エリアネットワークと M2M プラットフォーム/クラウドとの連携がしやすい仕組

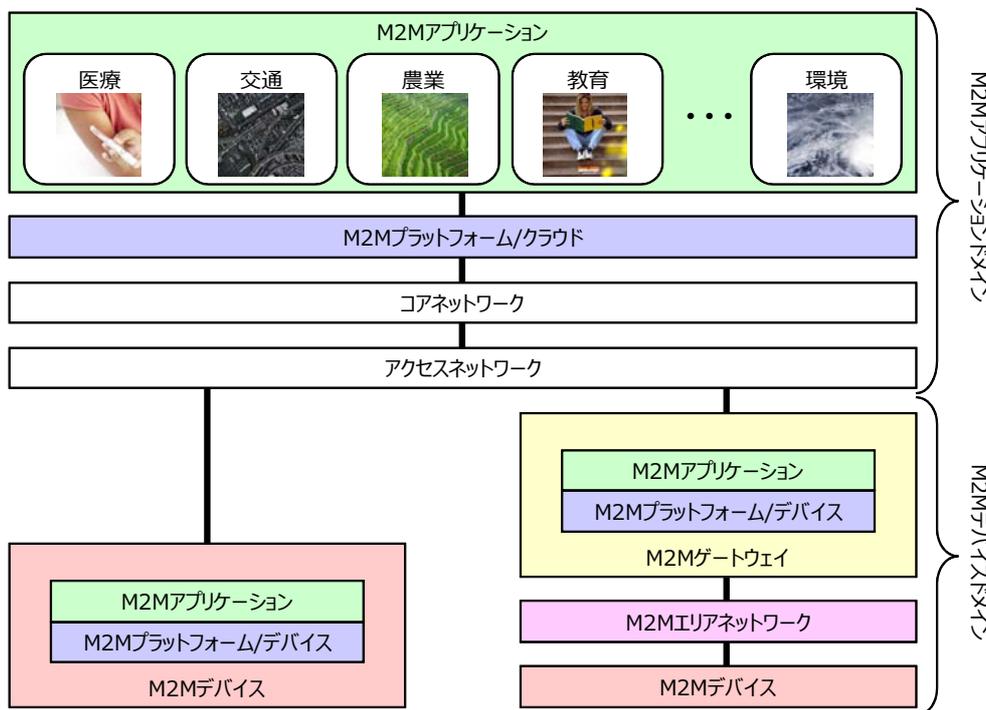


図 2 M2M の構成要素

みが標準化されている。CoRE ワーキンググループが提供する CoAP (Constrained Application Protocol) は UDP で動作する RESTful インタフェースを標準化している。CoAP は簡易版 HTTP として設計されており、プロキシを介して通常の HTTP と透過的に扱うことができる。6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) ワーキンググループでは、IEEE 802.15.4 を前提としてネットワーク層で IPv6 を利用する仕組みが提供されている。IEEE 802.15.4 では最大パケット長が 127 バイトであるのに対して IPv6 ではヘッダサイズだけで最低 40 バイト必要であるため、RFC 6282 ではヘッダの圧縮方法やパケットのフラグメンテーションのための仕組みが策定されている。Roll (Routing Over Low power and Lossy networks) ワーキンググループでは、低消費電力かつ不安定な通信リンクでもマルチホップネットワークを構築して効率的にセンサデータを収集できる RPL (IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks) が提供されている。

IEEE でも、M2M エリアネットワークを想定した IEEE802.11ah の議論が始まっている。IEEE802.11ah のユースケースの要求条件として、伝送速度が 100kbit/s ~ 20Mbit/s, 許容パケット誤り率が 1 ~ 10%, アクセスポイント 1 台あたりの端末数は 50 ~

6,000 台、トラフィックパターンは連続、定期的、パースト的、イベント駆動など多様な条件が挙げられている。また、上り回線の輻輳対策や省電力化の議論が行われている。

3. 情報流の価値

2014 年 1 月、Google はスマートなサーモスタットや火災報知機 (図 3) を作っている Nest を 32 億ドルで買収した。サーモスタットとは、ヒーターやエアコンのコントローラであって、家の温度管理のハブとなる機器である。Nest のサーモスタットは学習機能を備えており、家に人がいる時間を推定して制御することで電気代やガス代を 20% ほど節約できる。すでに



図 3 Nest のサーモスタットと火災報知機



出典: Insure The Box

図 4 Insure The Box のボックス

100万台近く売られているとも言われている。

また、Nest Developer Program を用いてサーモスタットと火災報知機の連動（一酸化炭素を検知するとガスの元栓を閉めるなど）や、冷蔵庫、洗濯機、照明、自動車などといったサードパーティ機器との連動（自宅に近づくと到着予定時刻に合わせて室内を設定温度に調整するなど）も可能である。

しかしながら、サーモスタットや火災報知機といった機器だけでは 32 億ドルもの価値にはならない。家の中に存在するあらゆる機器のハブとなることで、将来的には家の中のすべてのデータを収集できることに対する期待が大きい。もちろん、Nest の人材の魅力も価値に含まれてはいるものの、Nest の機器から生み出される情報流自体に大きな価値を有することが 32 億ドルにつながっていると考えられる。

英国の保険会社の Insure The Box は顧客の運転状況を把握し、運転が滑らかなドライバーの保険料を安価に設定する「テレマティクス型」と呼ばれる保険を提供している。

クルマの位置、速度、走行距離、燃費などを計測する「ボックス」(図 4)を設置し、一人一人の運転の安全性を把握している。英国では個人向け自動車保険料が上昇しているため、特に若い世代の顧客に訴求している会社である。

しかしながら、Insure The Box の本領は、クルマからの情報流で発揮される。クルマからは位置、速度、距離、燃費、事故、故障、運転時間、運転距離、運転頻度などのデータを得ることができる。すでに、6 億マイル、1.6 億旅行分のデータを収集しているとのことである。今後これらのデータを活用したサービスが登場してくる可能性が高い。

そもそも Google, Amazon, Facebook 等の企業は膨大な量のデータを集めている点に強みがある。集め

たデータ自身がプラットフォームを構成しており、多様なサードパーティがプラットフォーム上にサービスを展開するエコシステムが巷を席卷している。

M2M に関しても同様である。将来は、多様な M2M 情報流を手中に収める企業が覇者となる。この企業は、Google や Amazon に匹敵する企業となる可能性もある。M2M データは、現在の Web 企業が対象としている Web データとは異なる新しいデータであり、現時点で膨大な量の M2M データを収集している企業は存在しない。M2M においては、大企業でさえこれから、というフェーズにあり、誰にでもチャンスがある世界である。

OECD においても、「新たな成長源：知識ベース資産 (New Sources of Growth: Knowledge-Based Capital)」と題するプロジェクトが始まっており、データ自身が新たな知見を産み出し、経済成長に資する源となることを謳い始めている。囲み記事のゼンメルワイスの悲劇を持ち出すまでもなく、データはあらゆる分野において価値を産み出す。データ駆動型経済の到来を踏まえ、データ自身の価値をあらためて認識することが必要となる。

ゼンメルワイスの悲劇

ウィーン総合病院第一産科の医師ゼンメルワイスは、産褥熱による死亡率が第二産科 (2.0%) に対して第一産科 (13.1%) の方が高いことに注目し、解剖にあたった医師が手指を消毒しないで診療にあたることによるものであるとの説を唱えた。手指を消毒することにより死亡率は 2.4% にまで低下したとされる。手指の消毒さえ行わないということは現在の通念からいえば驚くべきものであるが、病原菌の存在を知らなかった当時の医師会は、ゼンメルワイスの説を科学的ではないとして受け入れることはしなかった。ゼンメルワイスの死後、感染は病原菌によって起こることが発見され、今では消毒法と院内感染予防の父として認識されている。

4. さまざまな分野での情報流

モバイルヘルス

モバイルヘルスとは、健康、医療、介護といった広義のヘルスケア領域に対して、無線通信技術を用いたサービスのことである。患者が自宅で体温、心拍、血圧などのバイタルサインを測定し、医療機関に送信することで通院負担を軽減させたりすることが可能にな

りつつある。糖尿病患者を対象とした血糖値データの医療機関への送信といったサービスも登場している。

このような病院「外」のデータは、医療従事者にとって貴重なものである。活動量が指示通りであるかなどを把握することができるとともに、疾病の兆候をも把握することができ、病院の内と外での一体的な医療提供が可能となり医療や健康管理のあり方も変わる。

Scanadu 社の開発した Scout は、小型円状のデバイスをこめかみに当てるだけでさまざまなヘルスケアデータを同時に取得する。遠赤外線センサで体温を、マイクで心拍数と呼吸数を、可視光 LED と近赤外線 LED で血中酸素飽和度を、心電図センサで不整脈と血圧を測定する。人間の体内を覗いてどんな病気でも診断できる「スター・トレック」のトリコダの現代版である。

多様なデバイスが開発され、さまざまな情報流が得られることになる。医療・ヘルスケアに関するデータを容易にかつ多量に収集し、かつパーソナルヘルスレコードと連携させることで、患者に対して新しい価値を提供することができる。

農 業

農業も M2M で大きな効率改善が見込まれる分野である。生産、流通、販売、消費のサプライチェーンにおいては膨大な情報流が生まれている。たとえば、環境データ（気温、湿度、CO₂濃度、光強度、光質、日長、培地温度、培養液温度・濃度・組成・pH、給液頻度など）、エネルギー管理データ（エネルギー消費量、空調制御データなど）、生育データ（品質、熟度・糖度、樹勢、病虫害など）、収量・出荷量データ、労務管理データ（収穫等の作業時間や作業量など）、物流データ（輸送経路、保管時間、積み下ろし回数など）、市場価格データ、販売時点情報管理データ、フードログデータ、健康データなどである。

これらを活用することで、栽培管理、労働管理、収量管理、収量予測、市場価格とバランスをとった環境管理、統合的エネルギー管理によるコスト削減、安全安心や品質などの高付加価値化、ソーシャルとの連携などによる新たな食文化の創造などに資することが期待できる³⁾。

予 防 保 全

M2M の本流は、施設、プラント、工場、インフラなどの故障や異常の予兆監視による予防保全である。センサからの情報流を分析し、健全な運用状態と比較し、不健全な状態を把握して予防保全を実現することで、安全性の向上や効率的な運用を実現できる。

NEC は、島根原子力発電所に設置された振動計、

圧力計、温度計、加速度計といった約 2,500 種類、約 3,500 におよぶセンサからの情報流を独自のインバリエント分析技術でもって解析し、「いつもと違う」挙動を検出するシステムを納入している。

また、富士通はオムロンの草津工場において、はんだ印刷機、高速マウンター、多機能マウンター、リフロー炉の 4 工程からの情報流を製品ごとに紐づけることで、予防保全のみならずコストに直結するライン全体の生産性を把握できるようにしている。

社会インフラの予防保全に関しては、笹子トンネルの事故を受け、国土交通省において 2013 年 10 月から「社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会」を開催している。適切な維持管理手法の導入により長寿命化、維持管理、更新のトータルコストの縮減・平準化を図ることが目的であるが、社会インフラにおいてはデータが蓄積されていないことが大きな問題である。橋、トンネル、建物などの構造物の崩壊現象は現象自体が稀であるためである。

そのため、まずはデータを収集するところから始めなければならない。このような観点から、筆者らの一人の猿渡は、東京都市大学、筑波技術大学と共同して、加速度センサ、音声センサ、カメラなどでの軍艦島モニタリングプロジェクトを始めている。崩壊が進んでいる軍艦島から得られるデータは、予防保全分野の進展に資する貴重なデータになると考えている。

5. 情報流と社会イノベーション

M2M と社会的課題の解決との親和性はきわめて高い。M2M で社会イノベーションを実現するためには、「新たな技術の開発」に加えて「社会的課題への気づき」と「課題と技術のマッチング」が重要となる。すなわち、社会のデザインが必要である。

社会的課題に対して敏感になるとともに、対象とするフィールドに自ら出向き、他分野の研究パートナーとの深い議論を通して、フィールドごとに存在する要求や制約を抽出しなければならない。

すでに多くの企業がフィールドに出向いていることで、さまざまな分野で M2M の活用事例が蓄積されつつある。しかし、全体の産業セグメントから見ればまだまだ一部でしかない。

M2M の情報流は、「スマートゴミ箱（ゴミの量をセンシングし、回収タイミングを最適化するシステム）」など、我々の手の届くエリアにも転がっている。多くの研究者や技術者がフィールドに出向き、M2M の情報流を見出し、活用事例を今まで以上に蓄積していくことで、真の意味での社会イノベーションが実現され

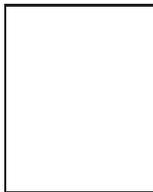
ることを期待したい。

参 考 文 献

- 1) McLuhan, M.: *Understanding Media: The Extensions of Man*, McGraw-Hill (1964). 栗原, 河本 (訳): メディア論.
- 2) Weiner, N.: *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*, The MIT Press (1948). 池原, 彌永, 室賀, 戸田 (訳): サイバネティクス—動物と機械における制御と通信.
- 3) 東京大学アンビエント社会基盤研究会, 農林環境ワーキンググループ報告書 (2012).

(平成 26 年 6 月 30 日受付)

(平成 ? 年 ? 月 ? 日採録)



猿渡 俊介 (正会員)

2007 年東京大学大学院博士課程修了。科学博士。2003～2004 年 IPA 未踏ソフトウェア創造事業, 2006～2008 年日本学術振興会学振特別研究員, 2007～2008 年イリノイ大学客員研究員, 2008～20012 年東京大学先端科学技術研究センター助教, 2012 年より, 静岡大学大学院情報学研究科テニユアトラック助教。2013 年より理化学研究所と産業技術総合研究所にて客員研究員。専門はモバイルシステム, ワイヤレスネットワーク, センサネットワーク, システムソフトウェア。2009 年電子情報通信学会論文賞。2010 年情報処理学会山下記念研究賞。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。



森川 博之 (正会員)

昭 62 東大・工・電子卒。平 4 同大学院博士課程修了。現在, 同大学・先端科学技術研究センター・教授。工博。平 9～10 コロンビア大学客員研究員。平 14～18 情報通信研究機構モバイルネットワークグループリーダー兼務。ユビキタスネットワーク, センサネットワーク, ビッグデータ / M2M, 無線通信システムなどの研究に従事。本会論文賞, 電子情報通信学会論文賞 (3 回), ドコモモバイルサイエンス賞, 志田林三郎賞, 情報通信功績賞等本会論文賞, 電子情報通信学会論文賞 (3 回), ドコモモバイルサイエンス賞, 志田林三郎賞, 情報通信功績賞等受賞。電子情報通信学会フェロー, 新世代 M2M コンソーシアム会長, OECD/ICCP 副議長等。