

都市DX試論

ヒト・マシン共生型都市へ



持丸伸吾



入江 眞



角尾怜美



岩永浩輝

CONTENTS

- I 日本のデジタル活用の課題：ヒト労働力への依存
- II 進む都市の産業のDX
- III マシン活用が期待される分野
- IV マシンが「活躍できる」ための条件
- V ヒト・マシン共生型都市の実現（都市DX）
- VI 世界先端の都市DXに向けて

要 約

- 1 わが国の小売・サービス業などの労働生産現場では、その個別性の高さ故、デジタル技術の活用が進んでおらず、ヒトの能力に依存した業務が多く存在している。
- 2 しかし、今後の労働力人口の減少を補完し豊かな社会を築いていくためには、こうした「現場」にもデジタル技術を用いた広義の「マシン^{注1}」を活用した労働生産が広く普及することによる生産性向上と、新たなサービスの創出が必要である。
- 3 中国などでは、マシンを活用して業務のやり方を設計し直すことで、生活の利便性や快適性を向上させる新たなサービスが生み出されている。
- 4 マシン活用による新たなサービスの創出は、小売・サービス業だけではなく、物流交通・福祉・文化・施設管理など都市の生活にかかわるさまざまな産業に期待される。
- 5 その実現のためには、これまでヒトが活動することを前提に最適化されてきたあらゆる都市空間において、マシンがヒトと同じように「安全」「快適」「効率的」に「活動する」環境をつくることが重要になる。
- 6 つまり、デジタル社会基盤としてマシンが活動しやすい都市空間を「マシン・ユニバーサルデザイン」に基づいて既存の都市の上に新たに積み重ね、ヒトとマシン双方に快適な空間としていく「都市DX」が求められている。
- 7 こうしたリアル都市にデジタル社会基盤を重ねる都市DXは、経済発展と社会課題解決の両立に貢献するものである。

I 日本のデジタル活用の課題： ヒト労働力への依存

2021年現在、全世界を覆った新型コロナウイルスによる新常態への適応の強制は、わが国の経済社会にも非常に大きな影響を与えている。デスクワークへのリモート（在宅）ワーク導入はもちろんだが、サービス業をはじめとする現場業務でも、いわゆる密や接触を避けるという目的から、これまで日常的に行ってきた人手に依存した仕事の仕方が見直しを余儀なくされた。そこで明らかになってきたのは、これまで私たち一人一人の個人の能力や努力により成り立っていた従来型の仕事の一つの限界点である。

一例として感染拡大の初期、全国の保健所からの陽性判明者数などの情報収集がファクスや電話で行われている状況に対し、台湾や中国のデジタル化を目の当たりにして、その彼我の差にあらためて刮目させられたという方も多いであろう。

わが国では、こうした保健所の例が示唆するような「現場」の努力やちょっとした我慢、担当者個人の工夫など、高い適応能力（を基にした、よくいえば柔軟性）に依存して、デジタル化を進めてこなかったということがあらためて明らかになった。平時においては、ある意味ではこうした柔軟性や適応能力が日本の経済社会を支える構造そのものでもあり、競争力や適応力の源泉でもあった。

実際に、世界的に見て極めて高いサービス水準を有する日本のコンビニエンスストアは、商品の企画開発から製造流通まで、一貫したシステムとしての完成度の高さがそのサービスを可能にしていることは言をまたない

が、最終的な顧客接点である店頭においては、ヒトの適応能力によって高いサービス水準が成り立っているのもまた事実である。たとえば商品陳列一つをとっても消費期限順に整頓して並べられた棚は、世界中でも稀有な現場労働力の質の高さが実現可能にしているものであり、それができることを前提としたビジネスモデルであるともいえる。

しかしながら、こうした現場労働力の適応能力の高さへの依存を、今後、労働力が希少化する日本の経済社会においても維持し続けることが難しくなるのは明らかである。

そういった視点で見れば、実はわが国の製造業もかつては「現場労働力の強さ」に依存していたが、こうしたヒトの能力からいわゆるロボット（組み立て作業でヒトを圧倒する能力を有する機械など）の能力を含めたプロセスに付加価値の源泉の移行を進め、現在も世界的に競争力を維持している業種・企業も多く存在する。

今後は、こうしたロボットをはじめとする広義の「マシン」による、「ヒト」に依存した社会経済活動の補完や代替が、あらゆる産業で必要になってくる。なぜなら、これまで「ヒト」の能力に依存してきた業務とは、裏を返すと工場のような大規模な製造現場ではないところ（都市の中のサービス業など）で、ヒトの手による作業が温存されてきているところであり、そうした業務をマシンに代替することは、働き手の労働対価だけではなく、やりがいやモチベーションの向上につながる可能性をも持つからである。

つまり、製造業だけではなくあらゆる経済活動、生活場面において、個々のヒトの努力や工夫によって何とか支えられているような

仕組みをマシンが代替できるようにすれば、労働力の減少を補い、社会全体を豊かにしていくことができる。そのためには、現在の経済社会をつくり出している私たちの考え方そのものを変えていく必要がある。ヒトが柔軟に対応することのみを前提とせず、マシンによる対応が可能になるようにあらゆるモノのつくり方、考え方の幅を広げていくことで、より労働の対価や働きがいのある仕事を増やしていく、ということである。

たとえば、建物の空間のつくり方という点で見れば、ヒトの使い勝手を効率的、効果的に実現する技術がモジュールという概念で整理され、そのモジュールを基準としながら、社会のあらゆる場面の設計でヒトを基準に追求されてきた。しかし、結果としてヒトがギリギリ動けばよい、というような極端に効率が追求された空間では、マシンによる効率の追求が難しいという現実と直面している。

ヒトの動き方を基準とした空間で、仮に単純作業でもマシンが同様の効率で作業をするためには、ヒトの能力に近い、すなわち極めて高度な動作や判断のできる能力が必要になる。これは都心のビルに入るコンビニエンスストアにおける商品補充業務などを想像すると分かりやすい。限られたスペースの中で極めて多数の商品種別を判断し、個別の棚に並べることをマシンで実現するには、大変高度な「カメラ（目や耳）」「プロセッサ（脳）」「アーム（腕や足）」を持つロボットが必要になる。

このような、マシンが代替するには極めて高度な機能・機器を必要とする「ヒトの能力に依存したビジネスモデル」が、かえって経済社会全体へのマシンの導入を困難にし、活

力を失わせていることにつながっているともいえる。

しかしながら、前述したように今後は日常的な経済社会活動のさまざまな場面でのマシンの導入は不可避であり、その前提としてデジタル技術を導入し行動やビジネスモデルを変革していくことにさまざまな主体が取り組んでいる。「デジタルトランスフォーメーション（DX）」という言葉で包摂して整理される動きである。

筆者は、DXとはヒトの業務を単純に自動化する、機械化するというような視点にとどまらず、これまで前提としてきた経済社会の仕組みそのものを、デジタル技術を核としたマシンが活躍するように見直し、これまでできないと思われていたサービスや、多様な働き方、暮らし方を可能にすることにより、より豊かな社会を実現することだと考える。

本稿ではこうしたDXの概念の中で、特にマシン化による都市空間への影響という視点に注目しており、次章以降ではこうしたヒトが行ってきたことをマシン化する際に、そのやり方や空間設計そのものを見直すなどにより、新たなサービス、新しい暮らし方などを生み出している事例を紹介し、わが国への示唆を整理したい。

II 進む都市の産業のDX

まず、こうしたマシン化の例として活発な動向が見られるのは中国である。以下、筆者らが体験したものを中心に紹介する。いずれも、単純にヒトの手によって行われていたものをマシン化したのではなく、業務・サービスのあり方そのものを新たに設計しているこ

とで、マシンが有効に機能し、新たなサービスを生み出していることが注目される。

事例1 フーマーフレッシュ

中国の大手IT企業集団アリババグループが展開するこの小売店舗（食品スーパー）の特徴は、いわゆるOMO（Online Merges with Offline）を体現しているところにあり、オペレーションの前提として、マシン化できるものはマシンでという思想が一貫していることである（ただし現時点で人手によるものも残っている）。

日本でのいわゆるネットスーパーと同様に、ネット上での注文は店頭にいるピッカー（人）が対象のモノを選び、QRコードで記載された伝票とともに袋に入れる。ただし、ピッカーは店内をぐるぐると歩き回るようなことはなく、基本的には持ち場周辺の棚からピックアップするだけで、あとはマシンが荷物をまとめて配送できる状態にする。ここでポイントになるのが、商品のピックアップはヒトが行っているが、ヒトの判断能力には依存していないという点である。

ピッカーによって袋がレールに載せられると、あとは天井に張り巡らされたレールに乗って動く自動集約マシンとQRコードで商品情報が管理され、配達員が待つ駐車場まで自動的に送られる。配達員は最終的に複数の袋詰めされたモノがパッキングされたボックスを配達先に届ける。その時間わずかに30分。最後の配達員の作業もヒトの能力には依存していない。マシンが運んできた荷物を自らのバイクの荷台に置くだけである。行き先ごとに箱詰めしたり、その内容を変えたりといった現場での判断は一切不要になっている。

さらに、商品の価格のコントロールもマシンで対応しており、店頭にいる店員が消費期限の近い商品に値下げシールを張っていく、といった日本のスーパーのようなヒトの柔軟な判断力も不要である。値段はすべて電子棚札で表示されており、店頭とネット上の価格も連動し、ダイナミックに変動している。その日の売れ行き（ネットを含む）などにより瞬時にネットと同時に価格を変えて、店内でも販売することが可能になっている。

ちなみに決済には現金は利用できず（そのためいわゆる「レジ」は存在しない）、スマートフォンによるQRコード決済を行う小さな端末が置かれているだけであり、もちろん無人である。

このように、店頭はリアルの売場であると同時にネットの売場でもあり、倉庫でもあり、配送拠点でもある。こうした複雑なオペ



図1 フーマーフレッシュの店頭

ピッカーが商品を入れる袋。取っ手部分のバーコードで管理される。天井近くにはマシン用のレールが張り巡らされている

レーションを可能にしているのは、店頭にいるワーカーのヒトとしての能力にはほとんど依存せず、デジタル技術を下敷きにしたロボットなどのマシンの能力を最大限に活かす工夫が、ビジネスモデルとともに具体的な建物、施設、設備の設計においても一貫して導入されているためである（図1）。

事例2 Fly Zoo Hotel

いわゆる無人ホテルの先駆けともいえるホテルであり、オンラインチェックイン、顔認証による鍵開閉、音声認識による室内環境の調整（エアコン、カーテン、音響設定）、同じく音声認識によるルームサービスなど、スマートホームとして考え得るあらゆる設備がホテル客室に整備され、稼働している（音声認識は中国語のみ＜2019年11月時点＞）。

客室外でも、ルームサービス運搬ロボット、バーテンダーロボットが稼働し、フィットネス利用も顔認証に加え、オンラインエクササイズなどが稼働しており、ヒトのスタッ

フはない。ホテルの接客を要するような場面では、ヒトの能力を一切必要としていないことが分かる。

こうしたマシン群の稼働を前提としているため、ドアや什器はもちろんだが、ホテルの「建築物としてのハードウェア構成」そのものが一般的なホテルとは大きく異なっていることは注目に値する。具体的にいうと、フロント空間の構成の相違は分かりやすい。通常、ホテルのフロントには、各部屋の稼働状況の確認機能、ルームキー管理機能、顧客情報の管理機能、現金出納（両替含む）機能、クレジットカードなどの決済機能など、ホテル運営の重要な機能が集中しており、さまざまな面から高いセキュリティを確保する空間構成になっている。

一方でFly Zoo Hotelでは、わずか数台の小型のキオスク端末が並ぶだけの簡素な空間になっているため、セキュリティなどの機能が幾重にも確保されたような空間構成を必須としていない。そのため従業員動線などもなく、自由な空間配置が可能である。

その理由の一つは、前述のような一般的なホテルのフロントで提供している機能のほぼすべてを、クラウド上からサービス提供しているためである。ある意味では、ホテルのフロントという物理的な空間からヒトが行う機能をなくすことで、建築物としてヒトの能力を前提にしたフロント空間の設計ではなく、マシンの能力を最大限に発揮するための設計になっているともいえる。

ちなみに、バーテンダーロボットが給仕するバーでは、テーブルや椅子に貼付されたQRコードを読み、メニューリストから注文すると自動でカクテルなどを用意してくれ

図2 Fly Zoo Hotelのフロント



チェックインキオスク。フロントにおける機能がホテルの物的な空間としては何も無いデジタル前提の空間

る。バーカウンターの形態も、ロボットがアームを効率的に動かせるようぎっしりと正方形にドリンクが吊り下げられており、バーテンダー（ヒト）を前提としない空間の違いがここでも明確に表れている。また当然のことながら、ルームサービスなどを運搬するロボットのために、各部屋のドア部にはロボットと通信する機能を備え、部屋の中から許可をすればドアを開けて部屋の中まで運んできてくれる。

このように、さまざまなマシンが顧客と接するフロントから、バックヤードまで活動する前提で建物のつくり方そのものを変化させることで、新しい産業、経済活動を可能にしている（図2）。

事例3 シャオマンリュ

ヒトの能力に依存しない生活サービスの一つである、宅配をマシン化している事例である。シャオマンリュ（小蛮驢）は、いわゆる「ラストワンマイル」を担う小型のマシンで、荷物の保管、配送といった機能をメインに、それに必要な自動運転機能、コミュニケーション機能を備えている。

浙江省杭州市内に所在する浙江大学キャンパス内で実装されており、周囲は学生などの歩行者が中心であるという特殊な環境であるため、完全な都市空間での実装ではない点に留意は必要だが、十分に実用レベルに達している。

学生、教職員約7万人が在籍する広大なキャンパス内で朝から晩まで稼働し、学内の宅配物センターに集積された商品を住人（主に寮に住む学生）の宿舎まで配送する。センターに届いた荷物をこの配送マシンに積み込む

図3 シャオマンリュの外観



大学キャンパス内の自動運転宅配マシン。前面にメッセージ表示のパネルがある

ところは人手が必要となるが、宅配サービスで最も効率化が遅れているラストワンマイルを、ヒトの能力に依存せず実現していることの意義は大きい。

ヒトや車などを巧みに避けながら自動運転で商品運び、配送スピードも天気や路面状況によって計算されるなど、非常に精度が高い。つまり、自動車の量や速度が限定的であり、略奪などの犯罪が起こる可能性が低いなど、マシンが稼働するための一定の条件下では十分に実用が可能である（マシン活用により新たなサービスを生み出し得る）ことを示している（図3）。

ここで、中国以外のDX先進事例にも簡単に目を向けておきたい。

米國小売のウォルマートは、売場管理業務の一部で、ヒト依存からマシン化への転換を大胆に進めた大型店舗を2019年4月にニューヨークでオープンしている。この店舗では、

日本のリージョナルスーパーのように、生鮮食品と日用品を中心に約3万点が取り扱われているが、ここで行われている試みは店頭商品棚管理のマシン化である。天井に設置された1000台を超えるカメラで商品棚を把握し、いわゆる欠品や生鮮食品の回収といった必要な情報を店員に知らせる仕組みである。

ヒトが巡回して目視で実施していた店頭在庫管理をマシン化することにより、店員の業務効率化はもちろんだが、顧客に対しても欠品回避や鮮度管理の高度化という形でのサービス向上が実現される。同店舗では、カメラとAIシステムの導入後、来店者数が11%、売上は20%増加したとされ、既に成果に結びついているといえる^{注2}。

このように、これまでヒトの能力に依存してきたさまざまな生活サービスの場面でマシンが活躍できる環境をつくることで、新たな付加価値が生み出されている例が出てきている。

また、このような小売などの生活サービスを裏側で支える物流施設でもマシン活用が進んでいる。有名な事例としては、アマゾンロボティクスの物流センター向け運搬ロボットシステムが挙げられる。アマゾンは、2012年に買収したKiva Systems社の技術をベースに自走式ロボットを開発。同社のフルフィルメントセンターでは、このロボットが自身の上に商品棚を乗せて倉庫内を動き回り、棚入れ・棚出し担当者のところに商品を運んでいる。この役割分担により、ヒトが広大な倉庫内で目当ての商品を探し回る必要がなくなり、業務負担を大きく軽減できている。

自走するロボットが互いにおつかることなく、かつ商品を正確な場所に届けることがで

きるのは、ロボット専用「道路」が設置されているためである。倉庫の床には一定間隔でQRコードが貼られており、ロボットはそれらを読み取り、回転しながら縦横に移動して目当ての場所まで自走していく。QRコードを読めないヒトが区画内で動くのは禁止である。このように、ヒトとマシンの業務をきちんとすみ分けた上で、各々にとって適切な環境設計を行い、施設全体の業務効率化とヒトの負担軽減に成功している。

このような物流センターでのマシン活用は、アマゾンなどの巨大倉庫でしか適用できないものではない。たとえば、イスラエルのスタートアップであるFabric社は、事業者のビジネスの特性や規模に合わせてフルフィルメントセンターを構築するソリューションを提供している。専用コンテナをモジュールとして用い、必要なだけ縦に積み上げ、横に並べて専用レールを通した棚によって、センター内の骨格を組み立てるイメージである。注文が入ると、自走式ロボットが最適経路で棚の間を移動してコンテナを取り出し、運搬する。マシンが活躍できる環境が整備されているだけでなく、むしろ、マシンそのものが環境の構成要素（パーツ）となっている。

Ⅲ マシン活用が期待される分野

前述のように、中国や米国といったデジタル活用に積極的な国では、都市生活で日常的に利用される小売・サービス業などへの、デジタルテクノロジーを核にしたマシンの導入による生活の質向上が多方面で図られている。一方でわが国はまだ進んでいないが、マシン導入に対して実は抵抗感が少な

く、一定の課題をクリアすると一気に進展するポテンシャルがある。

一つの分かりやすい例が、自動販売機やコンビニエンスストアの普及である。世界的に見ても、街中にこれほど飲料の自動販売機がある国は珍しい。われわれは利便性や快適性の面で有意であれば、ヒトとヒトのコミュニケーションを介さないサービスのやり取りを比較的抵抗なく受け入れる土壌がある。また前述した通り、多くの産業用途では相当のマシン導入が進んでいる。残るのはわれわれの日常に密着した生活サービス分野であろう。

実はこうした状況は、マシン活用の「先進国」中国でもまだ必ずしも全面的に進んでいるというわけでもない。中国では既に、いわゆる無人店舗やレジなし店舗は多数存在しており、空港や鉄道駅といった大規模施設内のコンビニ型店舗でも、顔認証で入店し、商品棚からそのまま商品を持ち出すことができるところが珍しくない。ただし、こうした店舗でも棚出しはヒトの手に依存している。筆者が利用した上海駅の店舗でも、入口外側に店舗のスタッフが2人ほど常駐しており、うまく決済できなかった顧客の対応のほかに商品の棚出し業務を行っていた。少なくとも現時点では、中国ですら棚出しなどの業務はヒトの能力の方が適切だということになる。一方で通路幅が2メートルほどもあるような、いわゆる郊外型の大型店舗では、商品棚の状況把握（商品補充や整理の必要性など）をマシンが行い、ヒトのタスクに落とし込む（店員のタブレット端末に情報として表示する）というような機能を持つマシンも既に登場している。

こうした、非定型作業が中心で現場での臨

機応変な対応が必要な生活サービス業は、日本が世界に誇るサービス水準を持つとされるとともに、相対的に生産性が低い領域でもある。しかし、自動販売機があらゆる場所で普及しているように、コンビニエンスストアの品ぞろえや利便性を確保しつつ、マシンによるオペレーションが実装される「自動コンビニ」のような、日本ならではの新たな業態・サービスも期待できる領域である。

さらに、スマートシティという文脈では、自動運転・自動配送のようなサービスはもちろん、都市の静脈であるゴミの自動収集や街路空間の自動清掃、街灯管理など、都市空間の中で提供されている、これまでヒトが行ってきたさまざまなインフラサービス、行政サービス、住民サービスなどの分野でマシンが活躍し、利便性や福祉の向上、労働環境改善など、多様な面でメリットを生み出すことができる。

たとえば、バルセロナでは街中のゴミ集積場の「ゴミ箱」にセンサーが設置され、収集のタイミングを自動的に通知する仕組みが導入されているが、ゴミ収集そのものは通常のヒトと車が行っている。これを、収集の適切なタイミングでゴミ箱マシンそのものが自動で、より広域の集積場などまで移動するといった自動運転技術、ほかのマシンとの調整（コミュニケーション）技術などを複合して実現すれば、ゴミ収集にかかる労働環境が大きく改善することなども期待できる（ただし、自動運転車に「ゴミ箱」を載せただけでは当然こうしたサービスが実現できるわけではない）。

このように、都市の中でヒトが行うことが前提となっているサービスには、マシン化を

きっかけに業務やサービスのあり方を設計し直すことで、豊かな社会を実現できる領域が多数存在している。

Ⅳ マシンが「活躍できる」ための条件

私たちの日常生活にマシンが溶け込み、ヒトとマシンが一体となって暮らしている姿は決して遠い未来ではなく、比較的近い将来のことである。こうした社会が実現すれば、これまで以上に豊かな社会となることが大いに期待できる。ただし、こうした社会を実現するには、デジタル技術やマシン側の進化だけではなく、日常生活を構成する都市空間そのものをデジタル対応させていく必要がある。つまり、都市そのもののDXである。

一般的に、都市の姿を変えるには数十年単位の時間軸が必要になる。都市を物的に構成している建物が建て替わるまでには相応の年月が必要になるし、さらにある程度の都市的な面的広がりをもって実現するには市街地再開発事業などの手法もあるが、どうしても10年から数十年単位の時間がかかる。

一方で、デジタル技術やマシン機能はまさに日進月歩で、今後も日々進化していくものである。とすれば、都市の中にこうしたマシンが活躍する場をつくるには、新しい街の誕生を待つのではなく、既存の空間につくり込んでいくことを想定すべきであろう。

例外として、中国の国家的プロジェクトでもある「雄安新区」のように、デジタル技術によるマシン稼働を前提とした都市づくりを全く新しく行っていくような例もある。また、部分的には、現在既に進行中の大規模開

発などで大幅に導入されることも十分に想定できる。しかし、基本的には既存の都市で、ヒトとマシンが相互に快適に活動できるような空間を少しずつつくっていくことになる。それをどのように実現していくのかについて、少し整理する。

自動運転車では（歩行者が突如入ってこないなどの）周囲の環境が制御された状況で運行することそのものの技術は既に実用化している。だが、実際の公道となると、そこは常に状況が変化し得る環境であり、その環境の認識をヒト（運転手）がいない状況でもマシンがいかに正しく行えるか、ということが課題になる。これをマシン側の能力向上だけで、どんな道路でも完全に実現することが簡単ではないことは容易に想像ができる。

一方で、道路や建物側から環境を制御することで、自動運転車というマシンがより「楽に」運行できるようにすることは可能である。東京都が運行している次世代型バス交通³³では、自動運転車がプラットフォームに隙間なく停車し、車イスなどでもスムーズに乗降できるようにするために、緻密なAIによる判断を求めるのではなく、道路側にクルマの「目」が判断しやすいようなマーカーを埋め込むことで実現している。

このように、現実世界のすべてをヒト（のベテランドライバー）と同じようにマシン側のカメラやAIで把握、判断することを求めるのではなく、マシンが理解しやすい環境を用意することで、より安価で確実なマシンの稼働を実現することが可能になる。

一方で、マシンが動きやすいということだけを優先して設計された環境には、ヒトにとって不便だったり不経済的だったりする可能

性がある。東京の新橋とお台場などを結ぶ新交通システムである「ゆりかもめ」で考えてみたい。「ゆりかもめ」は、1995年に開業した当初から自動運転を実現している。これが実現できるのは、ゆりかもめが専用軌道、つまり一般の道路と異なり、歩行者や自動車などの侵入がないという、マシンが快適に動くことを優先につくられた環境があるからであり、街中を走るバスのためにこうした環境を用意することは当然できないという欠点がある。

一方で、2005年の愛知万博に導入されていた自動運転の新交通システムでは、形状としてはほぼ一般道路の構造に、磁気マーカーを一定間隔で埋め込んだ専用軌道上で自動運転が行われた（ただし、自動運転の区間には横断歩道などヒトが往来できる箇所は存在しないよう設計されていた）。故に、一般の道路でも一定の環境を構築できれば、より広い範囲で自動運転のマシンが活躍できることが理解できる。

つまり、マシン（自動運転車）に対し道路インフラ側が情報を提供することで、より確実に、効率的に実働することが可能になる。マシンが活躍するためには、マシンが働きやすい空間を用意するという点が極めて重要になるということである。

都市全体を更新するには数十年という時間が必要になるが、このように既存の道路空間への上乗せを追求すると、ヒトの動きを制約（全く横断できないなどの制御）したり、多大な投資を行ったり（道路そのものを空中につくり直す）せず、ヒトとマシンがともに快適に活動できる空間をつくっていくことも可能になる。

V ヒト・マシン共生型都市の実現（都市DX）

前述のように、これからの都市づくりでは、ヒト・マシン共生型の環境や機能をいかに用意していけるかが大きなポイントになる。ここでは、ヒト・マシン共生型都市の実現に至る道筋について整理する。

ヒト・マシン共生型都市を考えるにあたり、都市の構造を図4のように「基盤」「ミドルウェア」「アプリケーション」の3層構造として整理する。

まず、基盤となる層として、通信インフラ、エネルギーインフラ、環境インフラ（上下水道）という、都市におけるあらゆる活動の元となるネットワークが挙げられる。次にそういった基盤の上に整備されるミドルウェア層として、道路・鉄道、公園・緑地、施設・建物という構築物が挙げられる。さらにこうした基盤層、ミドルウェア層の上で、アプリケーション層として各種の経済活動やサービス提供が行われているという整理である。一般的には、道路や鉄道などは都市の基盤として認識・表現されることも多いが、ここではあえて都市で行われる活動（アプリケーション層）との相互作用により、物的に形を変え得るものはミドルウェア層として整理している。

その上で、ここでは特にミドルウェア層に着目してヒト・マシン共生型都市、都市DXの実現に向けた課題を整理する。その理由としては、ヒト・マシン共生型都市の実現を考えるには、アプリケーション層の各サービスを実現するためにマシンが活躍できる仕組みをミドルウェア層としてどうつくっていくか

が課題であると認識しているからである。

アプリケーション層の各サービスでは、現在もさまざまなマシンを活用したサービスの開発や効率化、CX/UX/EXの向上などへの取り組みが進められている。

しかしながら、その取り組みでしばしば障害になるのは、ミドルウェア層がヒト・マシン共生型ではないために、アプリケーション層でもマシンが十分に活躍できない、という点である。前述したように、現在の一般公道では予測不能な多様な現象が発生し得るため、自動運転のマシン側だけで、ヒト（運転手）による運転を、効率性や快適性などで上回るサービスを生み出すのは困難である一方で、完全な専用軌道というミドルウェアがあれば容易に実現し得る。ただし完全な専用軌道をすべての地上交通に用意することはもちろん不可能であり、この両者の「良いとこ取り」をしたようなミドルウェアが求められる。

つまり、アプリケーション層側で一般的なサービスとして提供可能な水準での価格や内容を実現するためには、ミドルウェア層であ

る道路や施設側にもそうした利用を前提とした仕様で設計・整備されていることが重要になる。ただし、こうしたミドルウェア層の構築が難しいのは、公共的な機能や役割という側面も大きいため、単一のアプリケーションを稼働させるために容易に対応することができない、ということが挙げられる。

第Ⅱ章で例に挙げた中国アリババグループのFly Zoo Hotelは、建物、施設（ミドルウェア）としてヒト・マシン共生型を指向していることで、さまざまなサービスが提供可能になっているが、その前提となる社会の仕組みや共通理解として、同グループによる携帯電話のアプリでの決済など、生活基盤が地域（国）全体で共有されていることが挙げられる。つまり、アプリケーション層のサービス提供主体が統一されているため、各サービスに共通した公共的な財産であるミドルウェア層においても、ヒト・マシン共生型の機能が組み込みやすくなっている。

日本の状況に当てはめてみると、中国の例のように寡占的なサービスプロバイダーがさまざまな生活サービスのマシン化によるサー

図4 都市の構成要素の層別概念



ビス向上を提供することは考えづらく、複数の事業者が相互に融通しながらサービス提供が行われるような形態が想定される。そうしたサービス提供形態の下でも、公的な空間（道路など）から私的な空間（個別の建物や施設など）までスムーズにマシンが活躍できるようにするためには、道路、公園、公共施設などを、アプリケーション層の各事業者によらない共通の仕様とした上で整備していく必要がある。

こうしたサービスをイメージする例としては、ETCを高速道路以外の駐車場やドライブスルー型の店舗での決済に利用する「ETC多目的利用サービス」という仕組みがある。これは、高速道路での料金収受のシステムとして普及している仕組みを、高速道路以外の都市内に拡大したものである。つまり、ある特定のサービス（高速道路の通行）向けの仕組みを共通の下敷きにしながら都市全体に拡張可能にしたものであり、ある共通の仕様の下でさまざまなアプリケーション層のサービスが展開されるイメージである。

すなわち、道路や空地などの公共的空間から個別の施設、建物まで、共通した仕様によりマシン向けのユニバーサルデザインが採用されることで、どのプロバイダーの自動運転車や自動配送車でも、公道から個別の施設の中や駐車場、荷さばき場などにスムーズに進むことが可能になる、というイメージである。

ヒトに対するユニバーサルデザインの例として、駅や公共施設、空港などで見かけるピクトグラム^{※4}がイメージとして分かりやすい。ピクトグラムは言語能力や文字認識能力にかかわらず、だれでもが理解できる（しや

すい）ようにデザインされている。これと同様に（目に見える必要はないが）マシンの製造元や、搭載しているカメラなどに依存せずに「入口」や「出口」「昇降機」などを認識し、さらに昇降機のボタンを作動させるような情報の授受ができるということが、マシン向けのユニバーサルデザインである。

このような形でマシンが活動するための行動を制御する情報（一般道路の「信号」や建物入館の「ゲート」など）が、サービスのプロバイダーや機器のメーカーに依存せずに認識できれば、自社のワンフロアだけで稼働可能だったマシンが、別のフロアや別の建物に移動してサービスを提供することも、マシン側で周囲の環境をすべて（ヒトと同じように）視覚（カメラなど）から情報を取得し、判断するという高度な機能を備えずとも可能になる。

こうしたさまざまなマシンが共通的に環境を認識するには、最終的にはCommon Ground（共通基盤）と呼ばれるような情報体系の構築を、都市のあらゆる空間に実現していくことになる。

一方で、ヒトとマシンが相互に快適に活動できる空間づくりを進める上では、ヒト側の不安の払拭という視点も不可欠である。つまり、ヒト側がマシンの活動に対して個人行動の監視などの懸念を意識しないで済むようにする必要がある。そういう意味でも、今後、さまざまな形でアプリケーション層でのサービス開発が行われる際に、こうしたミドルウェア層の仕様を共通とすることで、稼働するマシンが勝手に取得してしまう可能性のある個人情報を含むデータの保護や管理などの制約などが、共通的に担保されるような効果も

可能になる。

実際に、こうしたマシンが情報を取得することへの課題意識は、既に経済活動の最前線でも表明されている。

ソニーは、2021年春以降、AIを使うあらゆる製品における倫理面での安全性審査を行うシステム展開を開始するとしている^{注5}。AIの高い利便性の陰に潜む、動作の判断基準の不透明さなどの課題に対し、一定の基準に沿っているかどうかの品質管理を企図したものである。またIBMは20年6月に、監視や人権侵害を招く懸念から、AIなどによる顔認証技術の開発からの撤退を表明している^{注6}。

このように、既にマシンの基礎技術として普及段階にあるAIや認証技術には、課題が認識されているものもあり、各先進プレーヤーが何らかのアクションを取り始めている。将来的にヒト・マシン共生型都市が確立されるには、こうした安全面や倫理面の担保がなされていることも重要な要素になる。

VI 世界先端の都市DXに向けて

これまで見てきたように、今後の都市づくりにはデジタル技術をベースとしたマシンが活躍できるような仕組みを既存の都市空間の中につくり込んでいく「マシン・ユニバーサルデザイン」とでもいうべき考え方が重要である。このような考えを整理すると、図5のように整理できる。

図5で示しているのは、本稿冒頭で言及したように、今後の都市づくりにあたっては、これまでのヒトにとっての環境や機能の追求だけでなく、マシンにとっての環境や機能を追求する視点も併用していくことが将来的

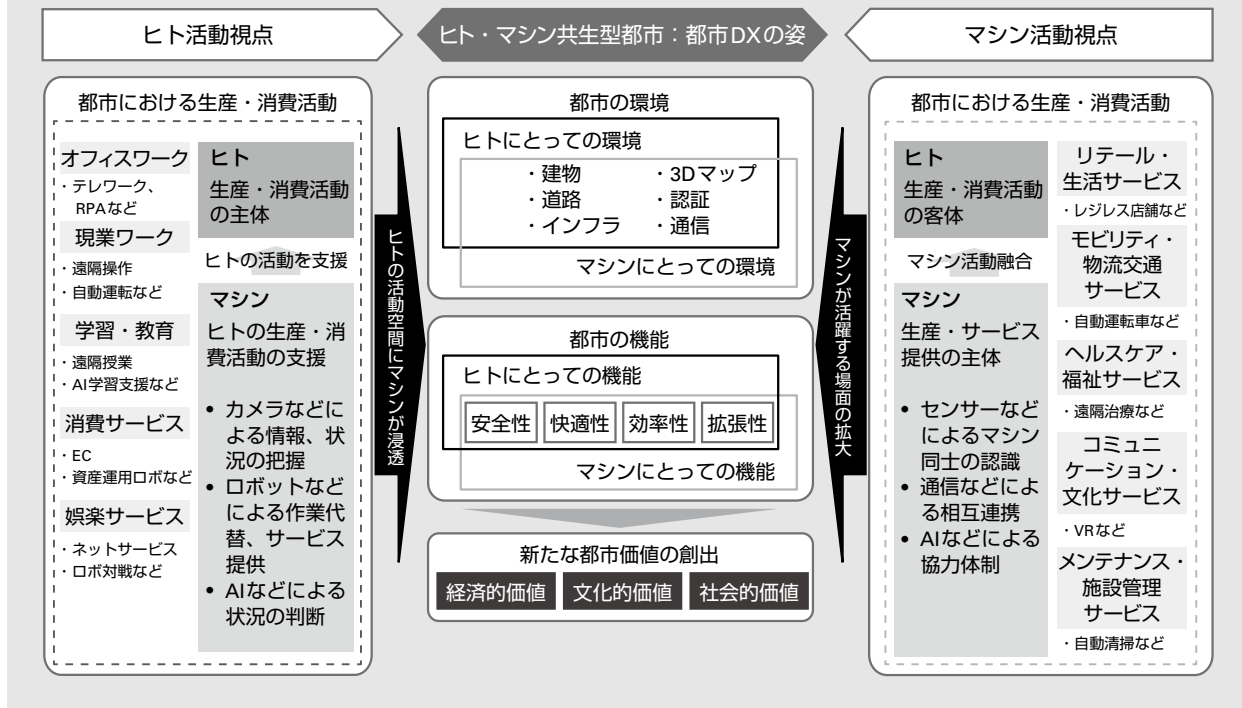
な都市の価値の創出、つまり豊かな社会の実現に結び付くということである。

そもそも都市の長い歴史においては、徒歩から騎馬、馬車、鉄道、自動車といった移動手段の発展に伴う変化、上水道・下水道といった環境技術の発展に伴う変化、水力、火力、原子力といったエネルギー技術の発展に伴う変化、といった各種の変化に対し、常に運行をしながらも対応・発展をしてきた。そういう意味では、現在起きている変化も非連続で突発的なものではなく、都市の変化、発展の中での連続的な変化の一つと捉えることもできる。

こうした連続的な変化からの違いを強いて挙げるならば、過去の変化はあくまでもヒトが意思をもって作動させるもの（自動車など）に対応しているのに対し、現在の変化は自動運転車などマシンがある種の意味をもって作動するものへの対応が必要になっていることである。

つまり、ヒトが意思をもって動かす自動車であれば、ヒトにとっての機能性（たとえば、信号機や標識の視認性など）を追求すればよく、ある意味では長い都市の歴史での連続的な変化と捉えられる。しかし、マシンが自ら判断できるようにすることは、信号機や標識の視認性をよくすることではなく、たとえば、マシンが認識しやすいデータを的確に送ることになる。もちろん、仮に都市内交通の主流がマシンによる自動運転車になったとしても、ヒトが自ら運転する場合もあるため、信号機がすべて（物的・視覚的に）なくなるということはなく、ヒトにとっての都市環境とマシンにとっての都市環境の共存をつくり上げていくということである。

図5 ヒト・マシン共生型都市



こうした視点で見ると、ヒト・マシン共生型都市とは、既存の都市空間の上にデジタルをベースとした新たなオペレーティングシステムをインストールしていくような取り組み、と捉えることができる。第Ⅱ章で示した事例でも、大学キャンパス内を自動走行する配送車の仕組みは、アリババが展開するスマートシティソリューション^{注7}の体系の中で提供されているものであり、都市全体の交通計画として速達性（渋滞減少など）や安全性（事故減少など）を達成するための、デジタルによる社会基盤と見ることができる。

こうした例を見ると、ある意味では、われわれはこれまでも既存都市の上に新たなオペレーティングシステムを上書きするよう取り組みをしてきていることに、あらためて気づかされる。江戸時代に城下町として形成

された東京は、その後の近代・現代を通して当初の骨格を維持したまま発展しており、信号や交差点のない自動車専用道路を新たに導入する際には、既存の都市から切り離れた空中に文字どおり上書きすることで実現してきた。

そうしてつくられた首都高速道路は物理的な構築物としてのシステムを上書きしたが、今後構築されるのはおそらく、目には見えないが空中に浮かぶ明確な高速道路として、デジタルデータによって整備された空間をドローンが走り回る、といったものになる。その際に、特定のマシンだけが認識できるのではなく、当然、公共的なシステムとして提供されることになる。

そうした都市の公共的な空間としてのマシン・ユニバーサルデザインに基づくシステム

が整備されると、特定の事業者だけではなく、広く社会課題を解決し、暮らしを豊かにすることが可能になるため、都市DXが求められる。

実際に、「密回避」「非接触」による生活という新常态に対応しようというニーズ拡大により、宅配便量が増加したが、配送現場のラストワンマイルは本稿冒頭で記載したヒトの柔軟な能力に依存したままであり、マシン導入が大いに期待される領域の一つである。

こうしたラストワンマイルに自動配送を実現するには、高価な自動運転システムを搭載したワゴンを用意することは現実的ではなく、極めて簡素・安価なシステムでありつつ、安全、確実であるような方法が求められる。そのためにはたとえば電柱、信号、下水道管といった公共的で、かつ都市空間に広範に普及している既存の物的環境と統合した形で、マシンの活動を容易にする環境を載せていく、というようなことが現実的な都市DXの進み方であると想定される。

このようなヒトに寄り添った機能とマシンに寄り添った機能が共有する基盤とは、「Society5.0」で内閣府が科学技術政策として打ち出している「サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）」に貢献するものである^{注8}。

今後のわが国は労働力減少が続く見込みであるが、このような都市DXを進めることで、マシンという新たなパートナーの活躍する場を広げ、豊かな社会をつくっていくことが可能になる。その実現に向け、私たちも国内外のさまざまな人々と大いに取り組んでい

きたい。

注

- 1 ここで「マシン」としているものはセンサー、カメラ、ロボット、プロジェクター、モニター、AIなどを含む広範な概念
- 2 「急速に進む米國小売業のデジタル化——レジなし決済、自宅にお届け（小売りのあした）」『日経MJ』2020/01/27、4ページ
- 3 TOKYO BRT <https://tokyo-brt.co.jp/>
- 4 単純な形態の画像で場所の機能（搭乗口など）を示したもの
- 5 出所：日本経済新聞2020年12月22日記事 <https://www.nikkei.com/article/DGXZQODZ17BOU0X11C20A2000000>
- 6 IBM 2020年6月8日公開の声明内容より <https://www.ibm.com/blogs/policy/facial-recognition-sunset-racial-justice-reforms/>
- 7 画像診断を基にした道路空間の渋滞状況判断や事故発生の把握など
- 8 もう一步踏み込むなら、そのマシン・ユニバーサルデザインを実現する技術群を「空間コンピューティング」と呼び、空間コンピューティングが実現するプラットフォームがミラーワールドやメタバースと呼ばれる概念である

著者

持丸伸吾（もちまるしんご）

野村総合研究所（NRI）DXコンサルティング部上席コンサルタント

専門はインフラ・運輸・不動産・都市開発などの事業戦略立案、事業開発、DX支援など

入江 眞（いりえまこと）

野村総合研究所（NRI）ビジネスIT推進部主任システムコンサルタント

専門は証券・金融のシステム・アプリの企画開発、HCD/UXDとアジャイルのアプローチを用いた新規事業開発。認定人間中心設計専門家

角尾怜美（つのおさとみ）

野村総合研究所（NRI）DXコンサルティング部副主任
コンサルタント

専門は市場環境調査、事業戦略立案やデザインア
プローチなどを用いた新規事業創出支援など

岩永浩輝（いわながひろき）

野村総合研究所（NRI）グローバルインフラコン
サルティング部コンサルタント

専門はエネルギー、不動産などインフラ産業関連に
おける民間事業者向けコンサルティングや政策立案
支援など