

デジタル化で変化する物流・マテハンのあり方とフィジカルインターネット



岩崎はるな



小宮昌人



林原広実



山本隆史



安森衣音

CONTENTS

- I フィジカルインターネットのインパクト
- II 変わる物流業界
- III フレキシブルな倉庫オペレーション
- IV スタートアップが牽引する物流のロボット化
- V 配送・ラストワンマイル
- VI 日本の物流業界への提言

要約

- 1 物流業界では、EC需要の急増による物流オペレーションの複雑化や作業員の高齢化・人員不足、さらにはコロナ禍への対応に向けてデジタル化が急務となっている。
- 2 それらを受けて、フィジカルインターネット構想など新たなデジタル化のコンセプトやセンシング、ロボティクス・オートメーションをはじめとしたデジタル活用による変革が進められつつある。倉庫オペレーションを含む企業の物流・サプライチェーンのあり方が、固定的な大規模投資からニーズや事業環境の変化に応じたフレキシブルなオペレーションへと大きな転換をしようとしている。
- 3 マテハンメーカーなど従前の提供者は自社製品ありきのソリューション展開が主流であり、オペレーションのすべてがカスタマイズ対象となっていた。特に日本ではサービスクオリティは非常に高いものの、効率性という面で世界から大きく後れを取っており、今後、より複雑化する物流への対策が求められる。
- 4 これらの物流の複雑化に即して、最適なソフトウェア・ハードウェアを組み合わせる提案できる企業の存在が求められるとともに、物流企業としては、オペレーションの標準化を通じた競争領域・非競争領域の戦略的な選別と、水平分業を見据えた自社のビジネスモデルの検討が必要である。

I フィジカルインターネットのインパクト

昨今、フィジカルインターネット（PI）というワードを物流業界を中心に日本においても耳にするようになってきた。インターネットの概念を物流に応用し、運用側にとって効率的で負担の少ない、また利用者側にとって、よりオンデマンドでニーズに即した物流網の実現、さらには移動網の効率化（輸送車総移動の短縮化）による温室効果ガスの削減など、現代社会問題の課題解決に大きく寄与し得るPIは物流各関係会社を中心に産業内でも注目され始めている。

本章では、昨今、話題に上がるPIの概念の説明とともに、それが世界、とりわけ物流に関しさまざまな問題を抱える日本に対し、どのようなインパクトをもたらすのかを解説する。併せて、PIの発端の地である欧州の動向

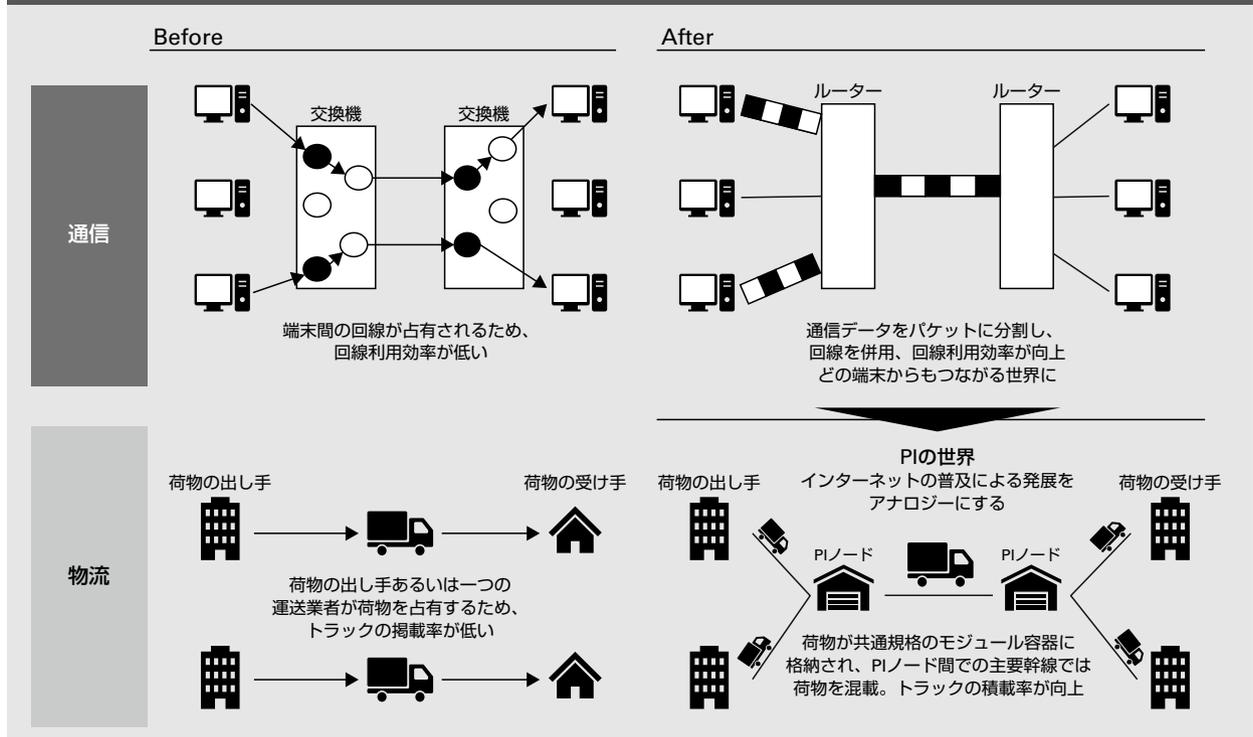
と日本における取り組みを紹介する。

1 フィジカルインターネットとは

フィジカルインターネット（PI）はもともと、現ジョージア工科大学のモントレイユ教授を中心に提唱された、「究極のオープンな共同輸配送システム」を表す学術的な意味合いが強いコンセプトである。その名の由来どおりPIはインターネットからアナロジーを得ている。

インターネットが登場する以前は、端末間の通信時に交換機で回線を切り替え、端末間で回線を直接つなぐ回線交換方式が採用されていた（図1）。しかし、その方式では1つの回線が端末間で占有されるため回線利用効率が低くなってしまいうという欠点が存在した。インターネットの登場で通信データがパケットと呼ばれるデータ区切りごとに分割されたパケット交換方式が採用され、データが送

図1 インターネットからアナロジーを得たフィジカルインターネット（PI）



受信される際のみ回線を使用するという仕組みに変わった。これにより、同じ回線を用いながら複数の通信データを送れるようになるため、回線利用効率が高くなり、現代デジタル社会の必要不可欠なインフラが支えられている。

PIもこのインターネットの発展をアナログーとして活用している。現状の物流業界では、荷物の出し手となる1社（通常は輸送業者）がトラックをはじめとした輸送手段を占有し、受け手に荷物を届ける。この際、輸送車の積載率が100%でないなど、積載率の低さによる輸送の非効率化などの問題を引き起こす。PIではインターネットパケットの概念を応用し、荷物コンテナをパレットなどの標準規格化された容器にし、共同輸送化された移動媒体として各荷物が運ばれる。この際、インターネットのルーターに該当する、PIノードと呼ばれる共有型荷物倉庫を経由して、荷物の受け手に荷物が渡る。これにより輸送車の積載率が向上し、同じインフラ（インターネットでいう回線）を利用することで輸送そのものの効率化が図られる。

2 フィジカルインターネットの3要素

モントレイユ教授の提言では、PIは主に3つの要素（ π コンテナ、 π ノード、 π ムーバー）によって構成される（図2）。

1つ目の構成要素である π コンテナは、文字どおり各荷物媒体を収めるコンテナであるが、PIにおいて主に2点の特徴を有する。1点目は、標準規格化され、混載時に組み合わせが容易である点、2点目はGRAIやRFIDなどを用いたトレサビリティ機能の搭載である。

1点目に関して、 π コンテナは荷物の種類や大きさ・用途に応じ、国際規格にのっとって標準化される。これにより、すべての荷物が標準規格化されたコンテナに積み込まれる。また梱包材にはすべてリサイクル可能な素材を用い、必要に応じてコンテナの解体も可能であるなど、環境に優しい規格になっている。加えて標準規格化されたコンテナにより、各大きさのコンテナは容易に組み合わせることができるため、輸送トラックに積み込む際に隙間なく効率的に混載することが期待されている。

2点目はRFIDなどを活用し、トレサビリティ・ID機能を搭載している点である。各 π コンテナにRFIDなどを埋め込み、ID機能を掲載することで、各コンテナの位置情報、中のコンディションといったトレサビリティが可能になる。それにより、荷物ベースでの移動ルートの把握や、各倉庫の中間経由地点などでの管理がスムーズになることが特徴に挙げられる。

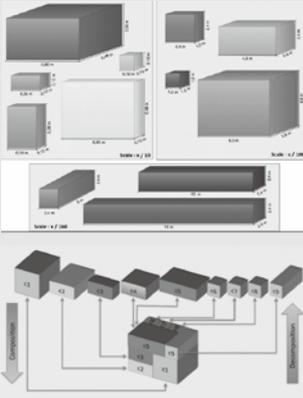
2つ目の構成要素である π ノードは、前述した π コンテナに対応した配送センター、物流ハブである。具体的な特徴として、各コンテナがノードに到着した際、移動媒体からコンテナごとの特性（次の配送先、次に用いられる移動媒体、ラストワンマイル地点か否かなど）に応じ、ノードにおける管理または他移動媒体への積み替えが実行される。

この際、各ノードでは最新のマテハン（マテリアルハンドリング）技術が活用され、ほぼすべての工程が自動化される。各ノードで個別管理された π コンテナは、その種別、目的地、サービスクオリティ（速達か否かなど）に応じ、順次、次の地点へ輸送される。

図2 PIを支える3要素

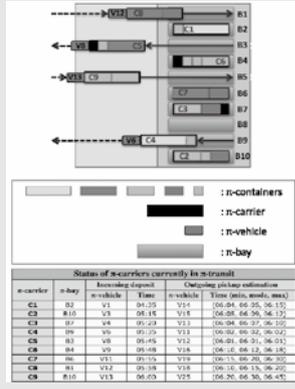
π コンテナ

- それぞれの商品媒体を収めるコンテナ
- 各コンテナはモジュール化され、大きさも標準規格化
 - ✓ 輸送時の無駄なスペースを排除し、空輸送のリスクを最小限に抑える
- 各コンテナにRFID/GPS機能を搭載
- 梱包材はすべて環境に配慮した素材を使用し、その場での解体も容易に実現



π ノード

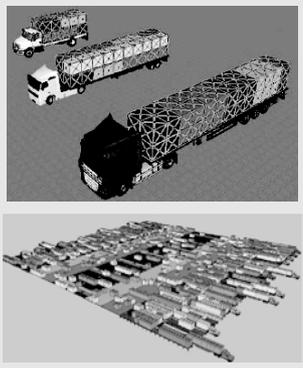
- π コンテナの移動、受け渡し、オペレーションを支えるインフラ、中間地点
 - ✓ 倉庫設備、システム、保管拠点、橋、高速道路
- 各 π コンテナの到着、出発時間を正確に管理
- 拠点でのコンテナの受け渡し、ドッキングをスムーズに実施



| Status of carriers currently in n-transit | | | | | | | | | |
|---|-------|-----------|-------|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| carrier | n-bay | n-vehicle | name | time | time (min. max.) |
| C1 | B2 | V1 | D1-25 | V14 | 06-04 | 06-35 | 06-110 | | |
| C2 | B12 | V3 | 06-16 | V14 | 06-06 | 06-26 | 06-121 | | |
| C3 | B7 | V4 | 05-23 | V12 | 06-08 | 06-37 | 06-122 | | |
| C4 | B6 | V5 | 05-29 | V12 | 06-08 | 06-36 | 06-122 | | |
| C5 | B3 | V6 | 05-45 | V12 | 06-04 | 06-31 | 06-121 | | |
| C6 | B4 | V7 | 05-08 | V18 | 06-10 | 06-13 | 06-121 | | |
| C7 | B5 | V11 | 05-19 | V18 | 06-14 | 06-09 | 06-122 | | |
| C8 | B1 | V12 | 05-18 | V18 | 06-10 | 06-13 | 06-121 | | |
| C9 | B10 | V13 | 06-03 | V18 | 06-20 | 06-30 | 06-121 | | |

π ムーバー

- π コンテナ輸送に完全特化した移動媒体
 - ✓ 輸送トラック、飛行機、船、リフト、ベルトコンベヤ、etc.



出所) Benoit Montreuil Towards a Physical Internet : The Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation より作成

最後の構成要素の1つに π ムーバーが挙げられる。これは π コンテナの輸送にかかわるトラック、物流倉庫でのリフトをはじめとした移動媒体を表す。 π ムーバーも π コンテナに対応した規格であり、 π コンテナと π ノードでの荷物の積み下ろしを前提に設計されている点が挙げられる。

π ムーバーは運転席（ヘッド）と荷台（シャーシ）が分離された設計になっているため、バースに到着し、荷台（シャーシ）から貨物を下ろす時間を待つことなく、別の貨物を荷台に載せて別の輸送先に運ぶことが可能になり、効率的なオペレーションになる。また荷台の切り離しはドリーと呼ばれる接続車輪を活用し、 π コンテナ切り離しにクレーンなどの他設備が必要なくなっている。さらに

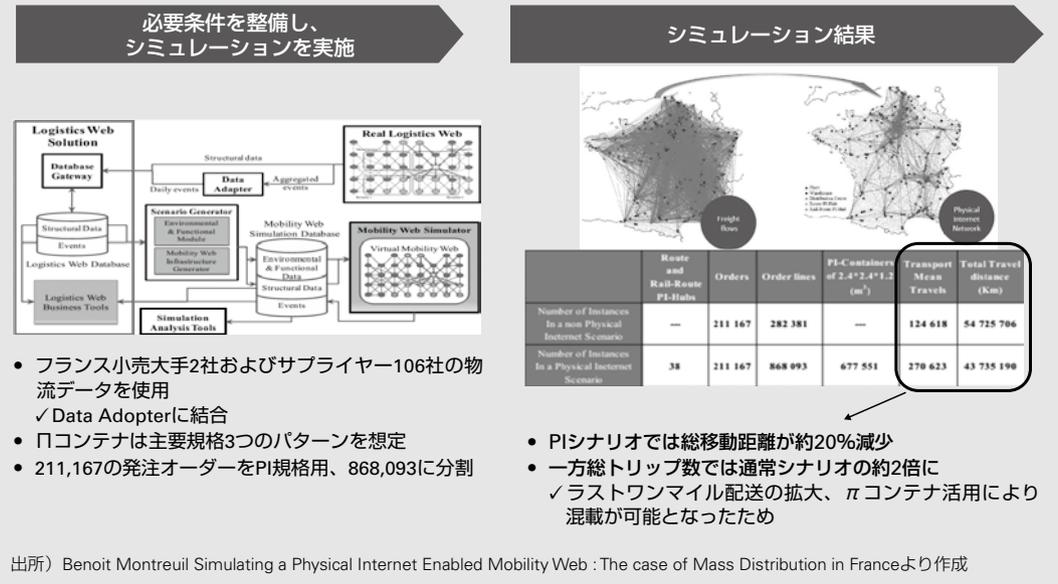
前述の π ノード、物流倉庫での接続もスムーズで、トラックが到着後は自動で荷物の積み下ろしが可能な設計の（荷台の開口部とノードのベルトコンベヤが一体になっている）ため、人手を必要以上に介すことがなくなる。これら3つの要素を実現する上で π ノードが物流各社間で必要に応じて利用できるオープンハブであることが期待される。

3 フィジカルインターネットがもたらすインパクト

前項の3要素で構成されるPIだが、それが実現されるとどのようなインパクトがあるかを述べる。

エリック・バロー教授らはフランスの主要物流業者を対象にし、PI実現を仮定したシナ

図3 フランスでのPIシミュレーション結果

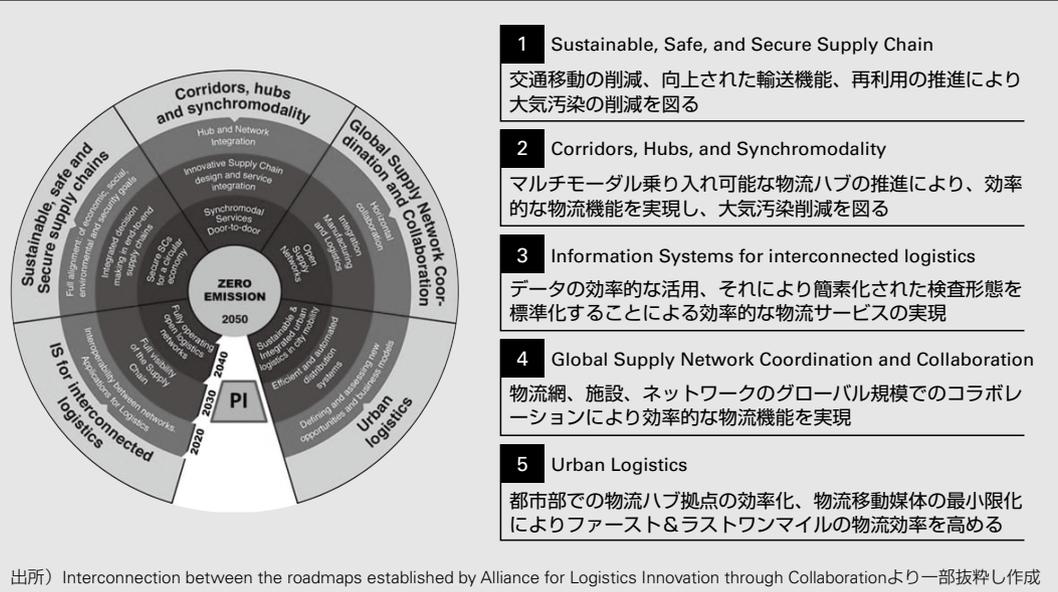


リオシミュレーションを実施した(図3)。フランス小売大手2社およびサプライヤー106社における、実際の物流データとPIが実現したと仮定したシミュレーションデータを比較した。シミュレーションの前提として、実際のデータを活用し、各ノード(物流倉庫)を介したPI時のルート数は38とする条件

が加えられた。

シミュレーションの結果、実データと比較してPIの実現シナリオの方が総移動距離が約20%も削減された。一方で、総トリップ数は実データと比較して約2倍となった。これは主要都市間での長距離移動網がPIで効率化されたと同時に、最終ノード地点からラストワ

図4 ALICEの提唱する2050年に向けたPIビジョン



ンマイルへの積み換えが発生し、トリップ数が拡大したことを意味する。

このように机上シミュレーションの結果からは、PIでは、物流のアセットの共有化、移動網の効率化により、総移動距離の短縮が実現し、温室効果ガス発生量の低下など環境指標改善に大きく貢献する。

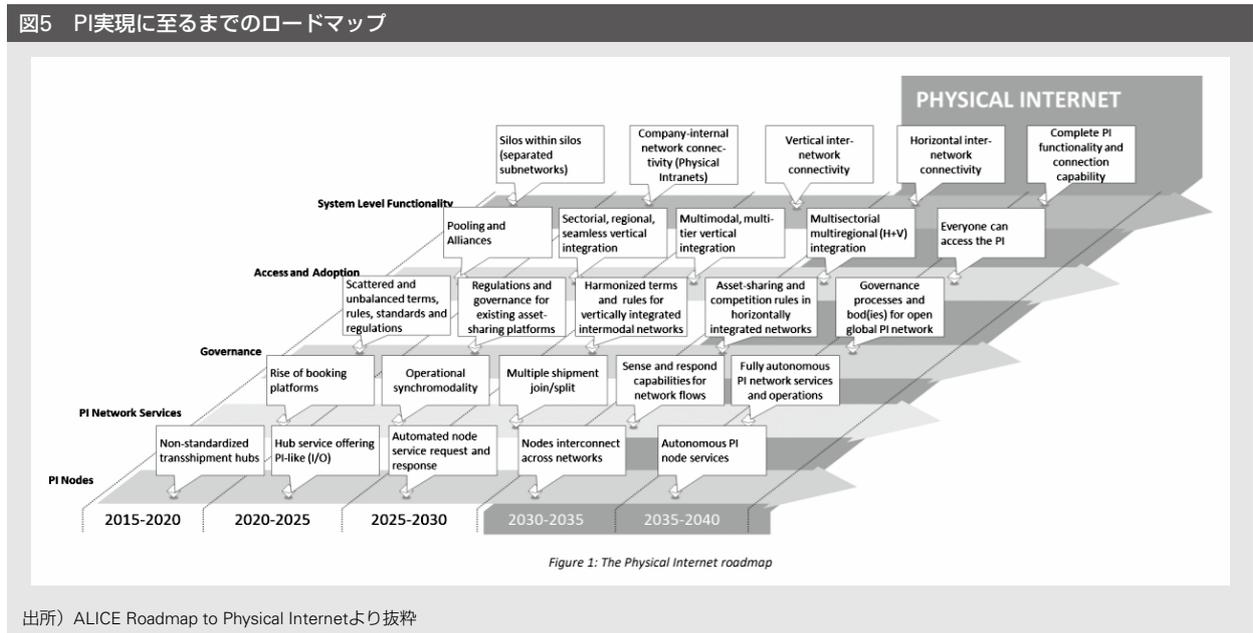
図4のように、欧州でPIを推進する産業団体のALICEは、5つの分野はPIによって向上すると提唱している。この5つの項目は大きく2つに分解される。一方は大気汚染の削減などの環境負荷削減のための指標で、もう一方は移動網の効率化、アセットの共有化、データ利活用による物流のオペレーション向上の指標である。PIは詳細なシミュレーションにより、より効率的かつ環境に優しい配送システム実現の指針を示した。

4 進む欧州：フィジカルインターネットを推進するALICE

PIに関するモントレイユ教授の提言は画期的であるものの学術的な性格が強く、産業界

での導入にはいくつかの難しいステップが存在している。そこで欧州では、前述のALICEが産業界におけるPI実現の推進機関として設立された。ALICEは欧州委員会からの意向を受け、ロジスティクス分野におけるイノベーション政策・研究開発の意思決定を支援する目的で設立された非営利団体である。そのALICEがPI実現のため産業向けのロードマップを作成した（図5）。

このロードマップは2040年のPI完全実現から逆算し、5年ごとにステップ化している。ロードマップを俯瞰すると、①2025～30年にかけて、自社でのサプライチェーンの最適化（DX対応、マテハンなど最新技術の活用、ルート最適化）の実現、②2030～35年にかけて、各社最適化されたサプライチェーン間でのアセットの共同利用（ノードの共有、最適配送ルートのシェア化）、③2035～40年にかけてPIの完全実現という段階に分けられる。このように一足飛びにはいかないが、長期的な指針の下、物流関係各社がまず自社内での最適化からスタートすることが実現への第一



ステップとしている。

このALICEには、約130を超える民間企業・大学・研究機関が参画している。物流業界のみならず各業界からP&G、ダイムラーなど影響力の高い企業が参画し、PI推進のリーダーシップを発揮している。

産業界での動きに加え、欧州では企業間での取り組みも進み始めた。たとえば、DHLは化学メーカーの3Mとパートナーシップを結び、BtoB貨物とCtoC貨物との共同輸送を実現している。具体的には、3Mの貨物をDHLの物流センターに運び、DHLの物流センターにてDHLの貨物とともに仕分ける取り組みである。これにより、3Mにとって従来であれば輸送ルートの効率化と積載効率とのトレードオフを解消し、最も効率的な物流ルートでの配送が可能になり、物流コスト削減に貢献した。またDHLにとっても自社物流拠点のアイドル時間の削減につながり、固定資産の稼働率向上につながる。

5 日本での取り組み

欧州で広がりを見せつつあるPIであるが、日本においても物流プレイヤーを中心に注目を浴びつつある。日本は物流大国であり、そのサービスクオリティは非常に高いものの、効率性という面で世界から大きく後れを取っている。

国土交通省によると、日本の物流トラックの平均積載率はここ数年、40%からさらに低下傾向にある。ネット通販の拡大によって物流へのニーズは拡大し、多頻度小口、短リードタイムの輸送へと輸送特性が変化しているため、積載効率が低下していると考えられる。加えて現場では、特にドライバーの高齢

化とともにドライバー不足が深刻化している。増え続ける物流ニーズに対し、このままではオペレーション上での破綻を起こしかねない状況である。

そんな状況を打破しようと、PIのコンセプトに共鳴して動き出した企業がある。物流最大手のヤマトホールディングスのグループ法人であるヤマトグループ総合研究所（以下、ヤマト総研）は、2019年9月、モントレイユ教授率いる米ジョージア工科大学フィジカルインターネットセンターと、PIを通じた日本における革新的な物流システムの構築に関する覚書を締結した。

覚書の内容として、①ヤマト総研側から日本で深刻化する物流問題の実態を表す情報をジョージア工科大側に提供し、同大はヤマト総研側にPIに関する最新の知見を提供。②ヤマト総研はジョージア工科大から得た知見を基に、日本の物流にかかわるステークホルダーに対する情報発信を行うこと、が挙げられている。またヤマト総研は20年には、欧州におけるPIの第一人者、エリック・バロー教授が所属するパリ国立高等鉱業学校と同様の覚書を締結した。

このような取り組みを通じて、ヤマトホールディングスは産学官の連携を国際的に強め、PIに関する積極的な情報発信を通じて日本の物流業界での施策につなげようとしている。

さらに、荷主も動き始めている。物流のリソースシェア、配送最適化に関して、国内各社が取り組みを強化し始めているのである（表1）。中でも食品大手各社（味の素、ハウス食品グループ本社、カゴメ、日清フーズ、日清オイリオグループ）の共同出資で運営さ

表1 国内物流企業各社の取り組み状況

| 企業名 | 概要 | サービス名 | 連携先 | サービス概要 |
|-------------|-----------|------------|-------------------------------------|--|
| ヤマトホールディングス | 配送マッチング | ハコベル | ラクスル | 荷主とトラックドライバーをオンライン上でマッチングするサービスを提供するラクスルと新たな物流PF構築に向け、資本業務提携を結ぶ |
| | 顧客混載 | — | 宮崎交通、宮崎県、西都市、西米良村 | 路線バスで宅急便を輸送する顧客混載サービスの実証実験 座席の一部を荷台スペースにした車両の開発や、西都市と西米良村を結ぶ路線バスで宅急便を輸送 |
| | 自動運転配送 | ロボネコヤマト | DeNA | ヤマトホールディングスが藤原市でDeNAと共同で自動運転配送の実証実験を実施 利用者はスマホアプリで受取場所と受取時刻を指定し、利用者が配達車に向かい荷物を受け取る |
| 日立物流 | 共同利用型EC倉庫 | スマートウエアハウス | 佐川急便 | ECビジネス向けシェアリング型プラットフォームセンター物流システムやスペース、倉庫スタッフなどを従量課金制で共同利用できるサービスの展開 |
| 佐川急便 | 軽貨物マッチング | — | CBクラウド | CBクラウドが提供する物流マッチングPFシステムを佐川急便の軽車両と連携。連携により、佐川急便取引先企業は24時間365日即日の貨物輸送網の確保、見積もりの即時確認や配車・配送状況のリアルタイム可視化が可能に |
| F-LINE | 配送基盤共同利用 | — | 味の素、ハウス食品グループ本社、カゴメ、日清フーズ、日清オリオグループ | 北海道の配送センターを5社間でシェアし、納品伝票の統一化や共通する得意先への共同物流プロジェクトを実施。幹線便の共同化によるモーダルシフトのシェア率向上を図る。味の素、カゴメ、日清フーズ、ハウス食品グループ本社4社が、2017年3月にF-LINE、同年4月に九州F-LINEを設立 |

出所) 各種公開情報より作成

れているF-LINEの取り組みは注目に値する。同社は出資5社の北海道の物流網における、配送網、幹線輸送網、在庫センターをすべて共同利用可能とし、運営できる物流体制を構築した。またこの取り組みを通じてノウハウを集約し、持続可能な物流網のプラットフォームを構築しようとしている。

PIはその学術的な性格の濃さから、完全実現には非常に多くのハードルが存在するのも事実である。だからこそ、欧州で見られるように産学官での連携を強化し、実現に向けたロードマップの作成、ステップに応じた着実な変革への着手が必要になる。日本国内でもPIを物流改革における議論の出発点とし、国内各社が少しずつ変革の動きを見せ始めているのは良い兆候であるといえるだろう。今後

はこの動きを加速するため、まずは各物流ステークホルダーが自社内での最適化を図ることが必要であり、PIの概要把握と実現のための手段（DXの推進、マテハンなど最新技術の活用）を認識し、実際に改革につなげることが、国内で持続可能な物流システムをつくり上げる上で必要不可欠といえるだろう。

II 変わる物流業界

本章以降では、フィジカルインターネットをはじめとする物流業界のデジタル化が、主に物流企業やそれらを支えるマテリアルハンドリング企業、機器・ソフトウェア・ハードウェア企業などにどのような変化をもたらすのか、どのような対応が求められるのかに触

れる。

物流業界のデジタル化は大きく、①経営・事業、②倉庫、③ラストワンマイル輸送で捉えることができる。フィジカルインターネットのコンセプトを通じて複雑性の高い「配送」がデジタル化されることで、デジタル化・自動化が先んじて進んでいる「倉庫」、さらにはそれらの掛け合わせによる物流オペレーション全体や経営のデジタル化・高度化が実現する。図6は、それら3つのカテゴリーについて、デジタル・ITと機器・設備などでの主なイノベーションを表している。

他産業同様に、デジタル・ITと、設備・機器などのフィジカルが連携するデジタルツインのコンセプトがモデルとなろう。たとえば倉庫業務では、3Dデジタルツインでシミュレーションし、それを支える自動倉庫や移動ロボットなどの機器が連携する形が生まれてきている。倉庫・3PLやラストワンマイルといった各プロセスにおいて分担されていたデータを統合管理し、ラストワンマイルに合

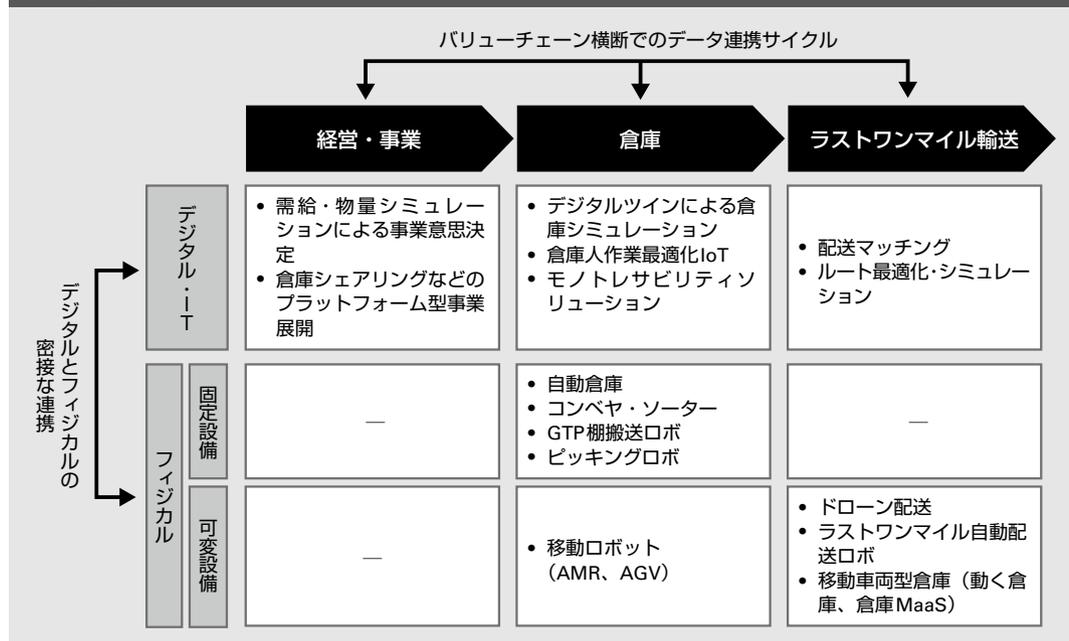
わせて倉庫のオペレーションを柔軟に変化させるなどの動きが出てきている。それぞれの項目について、第Ⅲ章では倉庫・マテハン、第Ⅴ章では配送・ラストワンマイル輸送の変化について取り上げる。

Ⅲ フレキシブルな 倉庫オペレーション

1 全体のトレンド

前述したように、ECの需要拡大に伴い、物流のあり方は変革期を迎えている。図7に示すように、従来は各地域に大型ターミナルを設置し、差出人から営業所、そして大型ターミナルに集約されて、ターミナル間の幹線輸送により受取人に届ける「ハブ・アンド・スポーク」型が主流であった。しかしながら、ECをはじめとする物流需要の拡大に伴い、網の目に張り巡らされた配送ルートから最適なルートで配送が行われる「フィジカルインターネット」型へと変わりつつある。

図6 物流領域における主なイノベーション



倉庫拠点においても、従来の大規模倉庫に加えて中小規模の倉庫の自動化需要が増加すると考えられる。大規模拠点では、既にコンベヤやソーター、自動倉庫などの大型・固定的な設備での自動化は進んでいる一方で、他拠点では人手による作業が多く残っている。今後は中規模拠点などにおいても、物流量や荷姿、仕向け地の変動に対応した柔軟なオペレーションの実現のために、移動ロボットなどの活用が進むことが考えられる（図8）。

また、物流全体の変革に伴い、物流プレイヤーのポジショニングにも変化が見られている（図9）。配送業に強みをもつ企業も、より上流の倉庫側へと事業領域を拡大する動きが見られる。背景としては、従来の物流企業の主領域である配送業は、ハコベルやマッチングプラットフォームなどに見られるように「物流のUber化」が起きており、人手不足解消およびコスト削減が競争力であり、付加価値が出しにくい。そのため、物流企業は、高

図7 配送スタイルにおけるフィジカルインターネットへのスタイルシフト

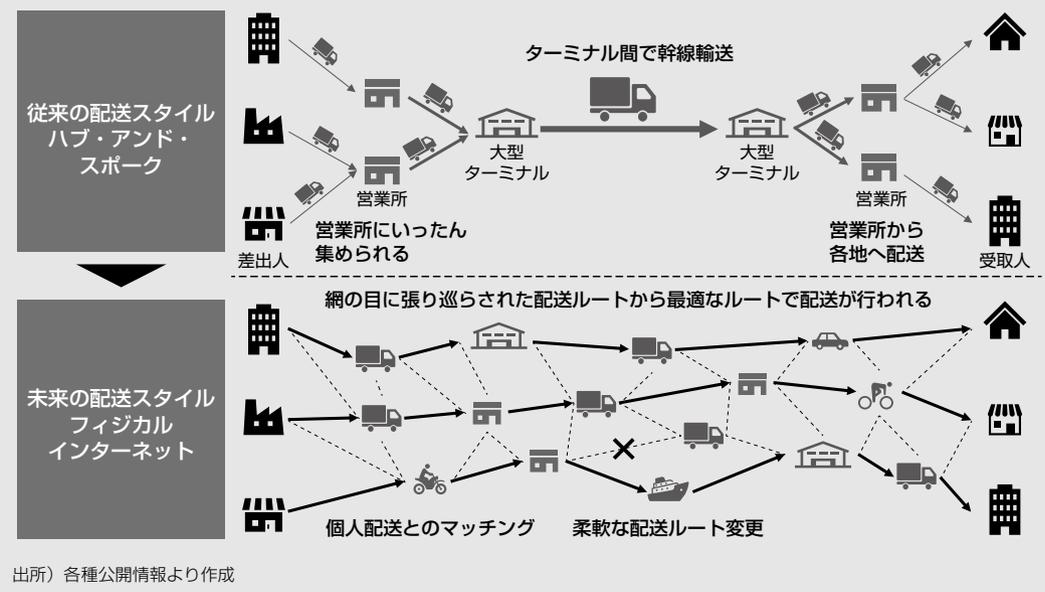


図8 物流企業におけるワンストップソリューション展開とオペレーションの変化

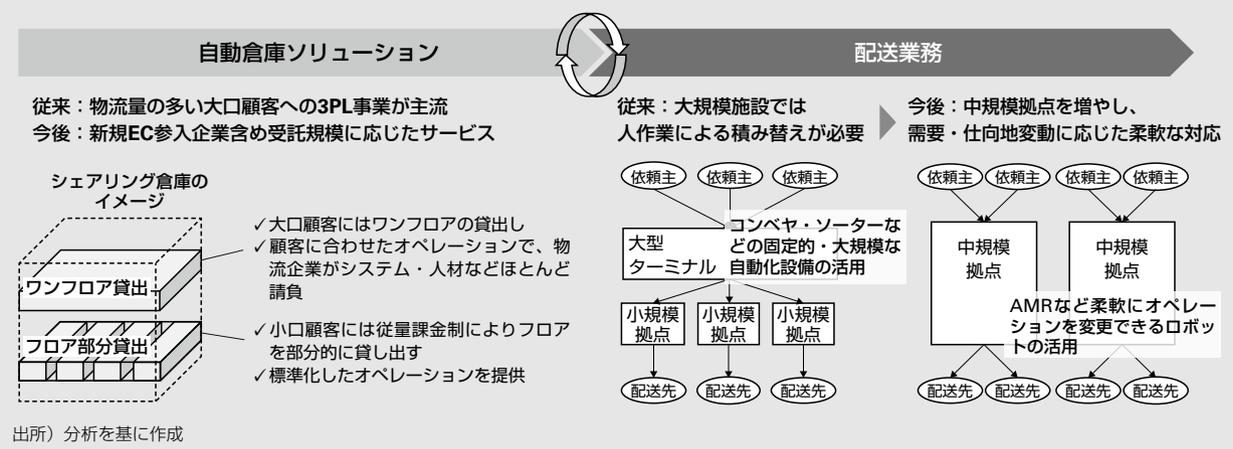
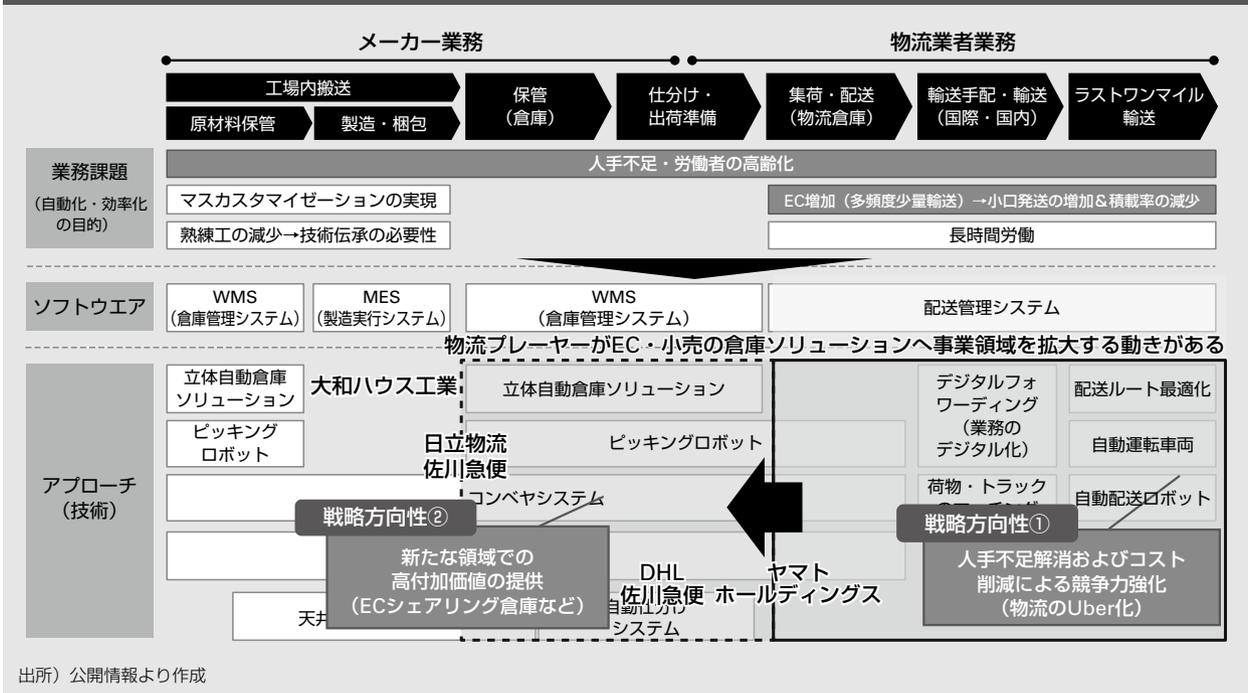


図9 マテハン・物流領域の課題&ソリューションマップ



出所) 公開情報より作成

付加価値化を狙い、EC・流通の倉庫ソリューションへと事業領域を拡大し、倉庫から配送までのワンストップソリューションの展開を図っているのである。

さらに、従前から倉庫業に強みを持つ日立物流や、新たに参入した大和ハウス工業では、シェアリング倉庫の展開により、自社では自動化倉庫を持たないような荷主企業に対してもアプローチすることで、EC需要増に合わせて顧客範囲を拡大している。

本章では、ユーザーである物流企业、提供側であるマテハン企業やロボットメーカーらが、どのようにこの倉庫オペレーションの变革に対応しているかの事例を取り上げる。

2 日本、欧米の物流企业

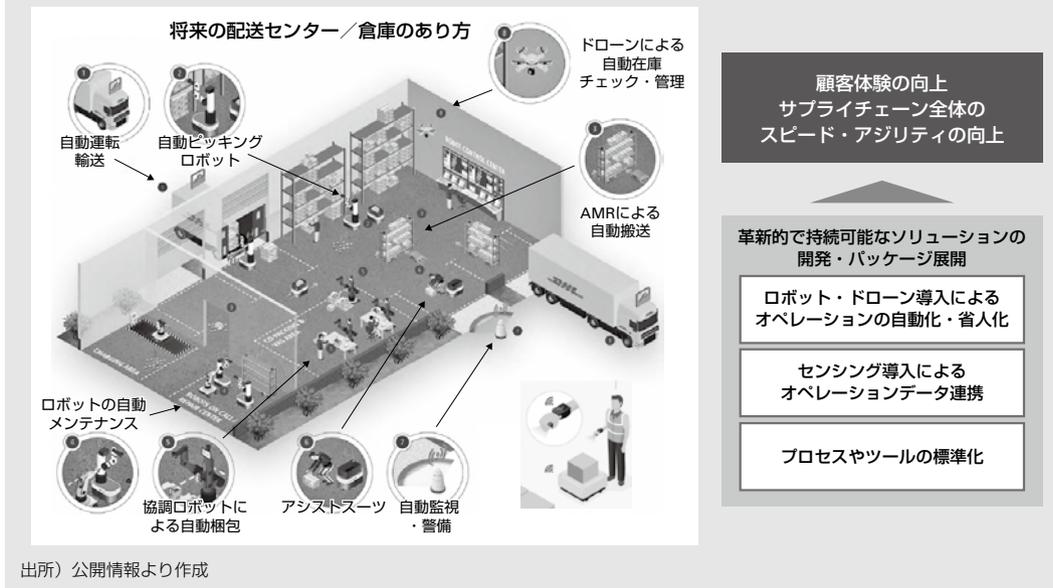
日本や欧米では、デジタル革新が進む以前から物流網が発達しており、倉庫オペレーシ

ョンは荷主ごとにカスタマイズされており、かつ人海戦術、すなわち従業員に依存したオペレーションが主流であったため非効率的であった。しかしながら、人手不足や労働者の高齢化を背景に従来の作業員に依存したオペレーションでは成立しなくなっており、物流各社はロボティクスやIoTの活用によりフレキシブルなオペレーションの構築を目指している。

(1) DHLにおけるロボット・センシングの活用と標準化

欧米の物流企業の事例として、世界最大の物流企业であるDHL（ドイツ）のスマートウェアハウス構想を取り上げたい。前述のように、欧米においても人海戦術やゼロベースの顧客カスタマイズによるオペレーションが中心であったが、近年は図10に示すように、

図10 DHLにおける将来の配送センター・倉庫の構想



Logistics4.0と呼ばれるようなロボットやIoTセンシングによるオペレーション構想を打ち出している。DHLは顧客企業との協働などを通じたノウハウの蓄積と標準ソリューションの構築により、荷主のサプライチェーンのための革新的で持続可能なソリューションの展開を目指している。

DHLのスマートウェアハウス構想では、荷主への顧客体験の向上、サプライチェーン全体のスピード・アジリティの向上を目指している。この取り組みには3つの特徴が挙げられる。

1つ目は、移動ロボットやドローンの導入によるオペレーションの自動化・省人化である。ピッキング工程や工程間搬送におけるロボットの活用、梱包作業における協調ロボットの活用、在庫確認におけるドローンなどの活用が挙げられている。

2つ目は、IoTセンシングを用いた従業員の管理やロボットとの連携である。背景に

は、欧米市場の特徴として移民が多く、作業員の生産性にバラつきがあり、デジタルを活用してどう効率的かつ安定的なオペレーションにするかが課題の一つであった。そこで、ロボットや自動化設備の導入とともに作業員のオペレーションについてもモニタリングをはじめ、Logistics4.0のように物流におけるデジタルツインへと進んでいると見られる。

ロボットやセンシングを活用しようとしても、既存の非効率的なオペレーションにそのまま導入しても効果は限定的であり、導入以前にオペレーションを標準化した上で全体最適を図る必要がある。そこで3つ目の特徴として、ロボットやセンシングソリューションの活用にあたり、まずオペレーションプロセスやツールの標準化を掲げている点が挙げられる。従前のオペレーションでは、荷主ごとにカスタマイズをすることが主流であったが、オペレーションプロセスやツールを標準化し、さらには顧客の課題別に、倉庫管理や

輸送に加え、e-フルフィルメント、リード・ロジスティクス・パートナー、不動産ソリューション、サービス・ロジスティクス、戦略的産業部門向けといった外部のモジュール化された既存ソリューションをラインアップとしてあらかじめ持ち、それらの組み合わせにより、荷主のニーズに対応し、ソリューションの提供が可能となっている。

(2) 日立物流におけるECシェアリング倉庫における標準化ソリューションの展開

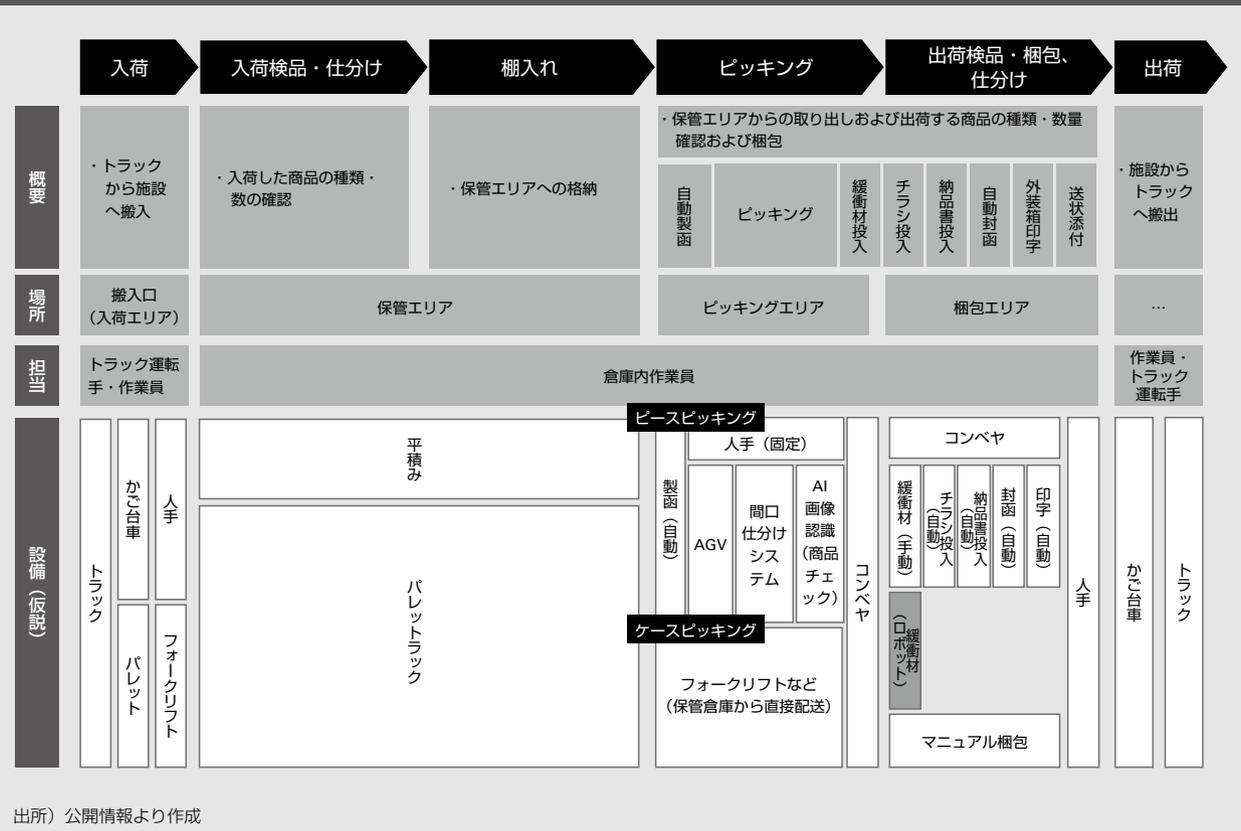
3PL倉庫業において国内トップを誇る日立物流は、これまでの倉庫オペレーションに関するノウハウを活かして、標準化されたオペレーションを提供するシェアリング倉庫を展開している（図11）。

従来、3PLは荷主企業の荷姿・物流量に合

致したオペレーションの構築が主流であり、大口顧客に対するサービス展開が常識であった。近年は、EC需要の増加に伴い、ECに新規参入するメーカーやスタートアップといった小口顧客の需要も高まっている。物流量が少ない小口顧客は、自社のみでは自動化設備・ロボット導入が難しい。そこで、シェアリング倉庫として小口顧客に対して標準オペレーションを適用することで、自動倉庫ソリューションのサービス提供を可能としたのである。

本来、3PL企業・物流企業は顧客である荷主企業のニーズに合致したオペレーションの提供が競争力の源泉であった。しかしながら、現在のシェアリング倉庫は、極端に標準化しやすい荷姿・商材、大都市圏に絞っており、現段階ではターゲット顧客（荷主企業）

図11 一般的なECシェアリング倉庫における標準化オペレーション



出所）公開情報より作成

の数は限定的である。シェアリング倉庫においても、長期的には標準オペレーションがコモディティ化していく中で、提供側としては標準化+ α の付加価値が必要になってくるだろう。たとえば長期的には、標準オペレーションかつ顧客課題に合致したソリューションとして、大都市圏にしか自社倉庫を持っていない荷主に対して地方拠点での提供や、冷蔵・冷凍モノといった扱いに手間がかかる商材などを対象としたシェアリング倉庫の展開による差別化が必要になるのではないだろうか。

(3) 佐川グローバルロジスティクスにおけるECプラットフォームセンターにおけるロボットの活用

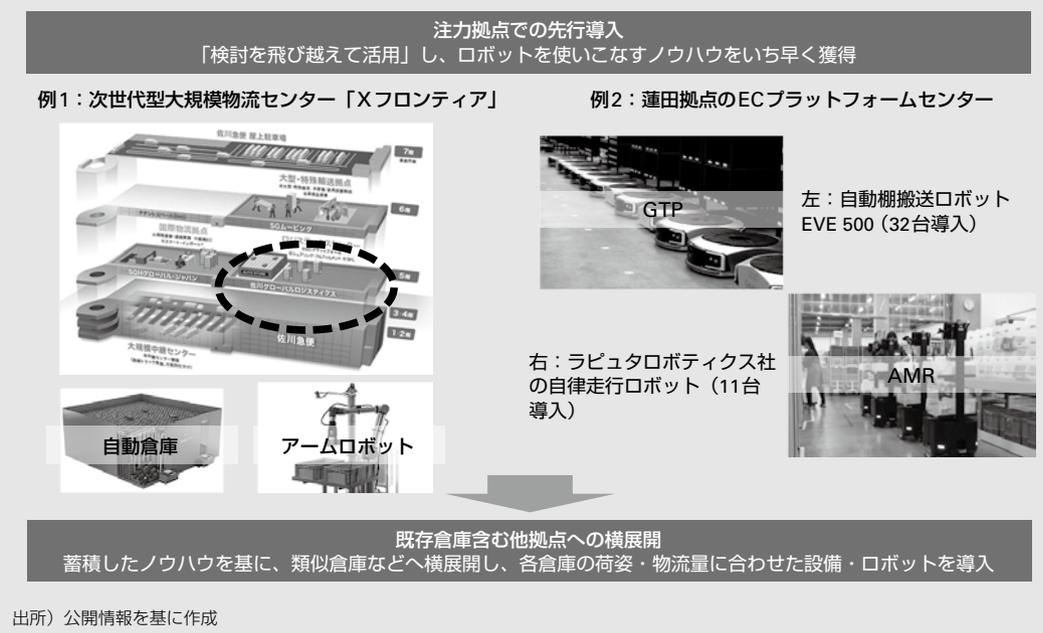
佐川グローバルロジスティクスは、佐川急便を含むSGホールディングスグループでロジスティクス事業を展開している3PL企業である。図12に示すように、2020年1月に次世代型大規模物流センター「Xフロンティア」

を竣工し、その中にECプラットフォームを展開している。

Xフロンティアでは、大規模施設におけるワンストップソリューションの強化とともに、オートストアなどの自動化設備を導入しながら倉庫の自動化・効率化のある種の実験の場として、ノウハウ蓄積を図っているものと見られる。さらに同社では、蓮田拠点にもECプラットフォームセンターを設けており、後述するGTP（棚搬送ロボット）やAMR（自律移動ロボット）といった移動ロボットを積極的に導入し、デジタルオペレーションの構築を図っている。

このように同社は、注力拠点においてロボットなどの新技術をまずは使ってみるというスタンスでノウハウを蓄積することで、デジタルソリューションを使いこなし、今後の物流企業としての競争力を得ようとしていると考えられる。今後は、注力拠点で得られた標準ソリューションを他倉庫へ横展開し、各倉庫の荷姿・物流量に合わせた設備・ロボット

図12 佐川急便（佐川グローバルロジスティクス）における移動ロボット活用



の導入へと拡大していくと見られる。

さらに同社の特徴として、ロボット導入の推進役員やチームを設けて、トップの強い課題意識の下、検討が進められているという点がある。ロボット単体では作業員の生産性を超えることは難しく、あくまでもオペレーション全体の最適化のための1ピースという観点で捉える必要がある。現場主義が強い日本においては特に、検討段階で部分最適のROIを理由にロボットの導入を見送る企業も多い。

同社は、経営課題としてオペレーションのデジタル化を捉えて、大きな枠組みでロボットなどの新技術の導入を検討していることが、ロボット活用が進んでいる背景の大きな理由の一つといえる。

(4) 大和ハウス工業による ワンストップサービスの 物流センターの展開

物流業界での倉庫ソリューション展開は、物流企業に限った話ではない。不動産・建築事業を生業としてきた大和ハウス工業も物流

業界で存在感を増している企業の一つである。

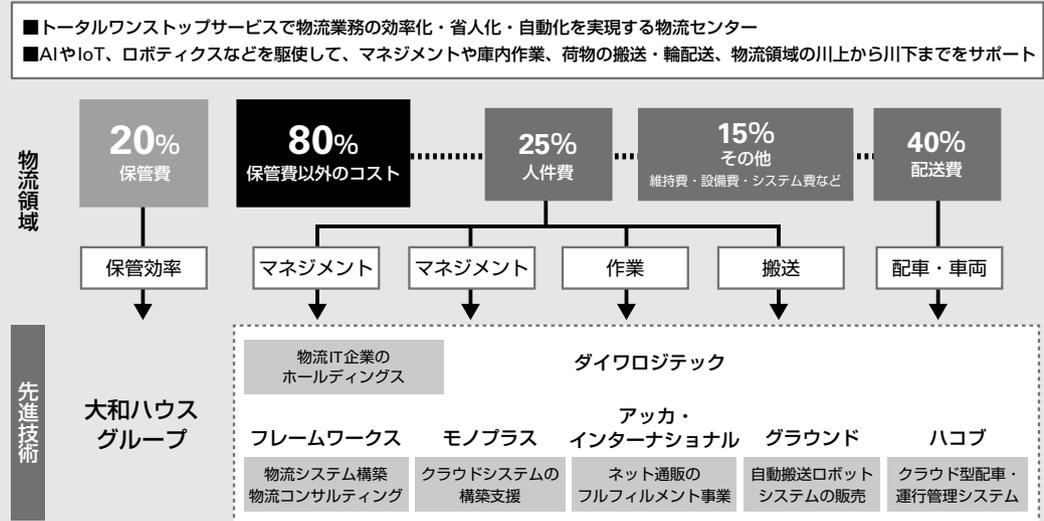
図13に示すように、物流業務の効率化・省人化・自動化を実現するワンストップサービスの物流センターを展開し、フィジカルな場の提供を武器に、物流コンサルティング企業やクラウドシステム、フルフィルメント事業、ロボットシステム、配車・運行管理システムといった物流ノウハウを保有する企業をデジタルのエコシステムとして保有することで、次世代の物流プラットフォーマーとしてのポジショニングを確立しようとしている。

今後、同社のみならず、このデベロッパー型物流プラットフォーマーの動きは、不動産業や建設業といった自社では物流ノウハウを保有しない企業による参入パターンとして拡大していくのではないだろうか。

3 マテハン企業

前述のように、物流業界で自動化・効率化ニーズが高まり、IoTやロボットの活用が増加するにつれ、彼らがマテハン企業に求める役割も変化する。従来、マテハン企業はコン

図13 大和ハウス工業によるワンストップサービスの物流センターのエコシステム



出所) 大和ハウス工業Webサイトより抜粋・作成

ベヤやフォークリフトをはじめとする大型の物流設備・機器（ハードウェア）の販売およびインテグレーションに強みを持っていたが、今後は加えて、次の2点が重要となる。

1点目は自社ソリューションポートフォリオの拡充である。現状、AMRなどの先進的なソリューションは、主に国内外のスタートアップが中心となって提供している。大手マテハン企業は、市場の黎明期にある同ソリューションが顧客企業にどれほど受容されていくか、様子をうかがっているケースが少なくない。

一方で、顧客である物流企業には、倉庫の運用オペレーションを効率化するため、異なる種類のソリューションを最適な組み合わせで導入したいというニーズがある。実際に、顧客企業側からはマテハン企業には、既存のソリューションだけでなく、スタートアップが提供しているような新規のソリューションも含めて総合的な提案をしてほしいといった要望も聞かれる。このような顧客ニーズに応じていくためにも、マテハン企業として自社がカバーするソリューションの幅を広げていくことは肝心である。

マテハン企業の競争力強化に必要な要素の2点目は、WMS（倉庫管理システム）やWCS（倉庫制御システム）など、上位の制御システムを含めたソフトウェアと各種物流設備・機器（ハードウェア）との連携強化である。この点についても、現状はソフトウェアとハードウェアでソリューションの提供企業が分断されている傾向にある。WMSやWCSといった上位システムを導入済みの企業は、AMRなどの新しいソリューションの導入を検討する際、既存の上位システムと連携や全体設計の見直しを行う必要がある。顧

客企業を深く理解しているマテハン企業としては、ハードウェア・ソフトウェアを含めた包括的なデザインができることは大きな付加価値となる。

この2点を満たすことで、マテハン企業は各顧客が抱える課題に対し、柔軟にトータルソリューションを提案することが可能になる。本節では、顧客のニーズの変化をいち早く捉え、先に挙げた2つの観点で新たな取り組みを進める豊田自動織機と村田機械の事例を紹介する。

(1) 豊田自動織機

フォークリフトの世界トップメーカーである豊田自動織機は、早くから物流ソリューション事業を成長の柱として位置付け、強化してきた。中でも、ソリューションポートフォリオの拡充に大きく寄与したのが、2017年のオランダのファンダランドと米国のバステイアン買収である。2社が保有するソリューションや顧客に対する知見を活用し、フォークリフト以外の物流機器・システムの開発・提供を推進してきた。具体的には、ファンダランドがオランダの大手デパート物流センターに導入する最先端高速仕分けシステムの日本市場への導入、バステイアンとの北米新興自動車メーカー向け自動倉庫の共同開発などである。

また、ハードウェアとソフトウェアの連携強化は、21年4月にオランダに設立したT-Hive社が中心的な役割を果たすと見られる。同社は、AGF（無人搬送フォークリフト）、AGV（無人搬送車）、AMRなどの自動物流車両・機器を統合制御するシステムの開発を手掛ける予定である。さらには、自動物

流車両・機器のソフトウェア面の強化として、同年5月に米シリコンバレーに拠点を置く、AIスタートアップのサードウェーブオートメーション社（以下、TWA社）と自動物流車両の開発および自動運転学習プラットフォームの開発における戦略的パートナーシップ協定を締結した。

TWA社のAI技術および画像認識技術を自動物流車両の移動、荷役・搬送、遠隔操作などさまざまな機能に活用し、商品力を高める方針だ。このように、自社のコア商品であるフォークリフトを起点に、AGV、AMRなどの自動物流車両・機器全体にソリューションを拡大し、さらにはグループ内に上位システムを手掛ける新会社を設立したことで、顧客のニーズ・課題により柔軟に対応する体制を構築している。

(2) 村田機械

工場向けの自動搬送システムに強みを持つ村田機械も、ロジスティクス&オートメーション事業の中で、いち早く物流倉庫領域におけるソリューションポートフォリオの拡充と上位システムとの連携強化に取り組んできた。

2018年には、スウェーデンのAGV（無人搬送車）メーカーのAGVE社を買収し、有軌道・無軌道タイプのAGVをラインアップに取りそろえている。また、立体自動倉庫関連では、19年に米国の物流システムメーカーAlert Innovation社と戦略的パートナーシップを締結し、3Dロボット倉庫システム「ALPHABOT」にかかわる技術移転を受けた。

保管、搬送、仕分け、ピッキングのすべてを行うALPHABOTは、現在、アルペングル

ープのアルペン小牧ディストリビューションセンターなどに導入されている。このように村田機械は従来のコンベヤや自動倉庫などを主力製品として抱えつつ、AGVや3Dロボット倉庫システムを通じたコンベヤ代替ソリューションを併せて展開し、幅広いニーズに対応していることがうかがえる。

これらに加えて同社は、上位レイヤーの制御システムとの連携についても自社でIoTプラットフォームを整備することで注力してきた。ロジスティクス・ソフトウェア・ソリューションを「Muratec E Logistics」という統一ブランドで打ち出し、ソフトウェア（WMS、WCS）、カメラセンシング、サポートシステム、スマートソリューションを提供している。

本ソリューションの提供を支える背景には、村田機械グループのムラタシステムとSAPジャパンとの包括的なOEMパートナー契約があり、次世代型WMSの開発やカメラセンシングなどの要素技術との連携を可能にしている。このように、従来のハードウェア提供にとどまらず、顧客のサプライチェーン全体の最適化・高度化に必要なソリューションの開発・提供を進めている。

以上のように、豊田自動織機と村田機械はともに、買収や提携を通じて他社のリソースもうまく活用し、ソリューションポートフォリオの拡充およびハードウェアとソフトウェアの連携強化を推進している。スタートアップやソフトウェア企業による次世代物流ソリューション領域への参入が進む中、マテハン企業として顧客への提案の柔軟性を高めていくことは、競争力の維持・強化に欠かせないといえる。

IV スタートアップが牽引する 物流のロボット化

従来の倉庫マテハン機器の自動倉庫・コンベヤ/ソーターなどに加えて、フレキシブルなオペレーションを実現するために、ピッキングや搬送（例、AGV）などの従来ロボットを活用した自動化があまりなされていなかった領域についてもロボットの活用が進んできている。この領域のスタートアップとしては、高度なセンシングや人工知能などの技術が必要となり、現状では総合系のマテハン企業よりも専門のスタートアップの動きが活発であることが特徴である。主なトレンドとしてピッキングロボット、移動ロボットのGTP、およびAMRを取り上げる。

1 ピッキングロボット

従来、物流業界のピッキングプロセスは、非常に多品種を扱うため、事前にすべてのピッキング対象物に関してロボット動作のティーチングを行うことは不可能であり、自動化が難しいといわれていた。その課題に対して

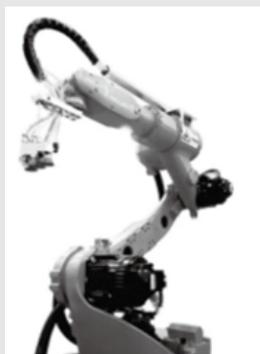
スタートアップを中心に、ロボットの知能にあたるコントローラーの技術革新を通じた展開が進んでいる。

たとえばMujinは、ロボットアームの軌跡を自動で生成する「モーションプランニング」と呼ばれる技術を活用し、ロボットによるピッキングを実現している。同技術はユーザーがロボット作業の初期姿勢と終了姿勢を指示するだけで、ロボットがカメラを活用して環境や状況から判断し動作を行う。コードのプログラミングやティーチングが不要となるのだ。Mujinのほか、日立製作所が買収したKyoto Robotics、米国のOSARO社らがこれらピッキングロボットの知能部分の展開を行っている（図14）。

2 移動ロボット

ECをはじめとして物流プロセスが複雑化する中で、一度敷設してしまうと固定ルートでの搬送に限定されてしまうコンベヤの代替手段や、荷積み・荷卸しやピッキング作業を支援する手段として、移動ロボットの注目が高まっている。

図14 代表的なピッキングロボット



Mujin ピースピッキング
ロボット



Kyoto Robotics パレタイジングロボット



OSARO社 ピッキングシステム

出所) <https://www.mujin.co.jp/solution/distribution/picking/>
<https://www.kyotorobotics.co.jp/palletize-solution>
<https://osaro.com/ja/%e8%a3%bd%e5%93%81>

表2 移動ロボットの分類

| | AGV (Automatic Guided Vehicle) | GTP (Goods To Person) | AMR (Autonomous Mobile Robot) |
|------------------|--|---|---|
| 位置・ルートの認識方法 | <ul style="list-style-type: none"> 床に貼り付けられた磁気テープや特定のガイドに従って動く | <ul style="list-style-type: none"> 床に貼り付けられたQRコードで棚の位置やロボットの現在位置を認識して目的地まで動く | <ul style="list-style-type: none"> カメラやレーザー SLAMにより倉庫内のレイアウト・設備を認識し、自動でルートを算出して動く |
| 障害物への対応 | <ul style="list-style-type: none"> 障害物を検知はできるが回避はできない ※人や障害物を検知すると停止、など | <ul style="list-style-type: none"> 企業・ロボットによって異なる ※Kivalは障害物を検知して新ルートを再検索する。Butlerは障害物を検知して停止する | <ul style="list-style-type: none"> 障害物を察知して回避可能 |
| 設置レイアウト | <ul style="list-style-type: none"> 人と同じエリアで動くことができるが、磁気テープの設置や導線の確保などが必要 | <ul style="list-style-type: none"> 人とロボットは別々のエリアで作業し、専用のレイアウト設計が必要 | <ul style="list-style-type: none"> 人と同じエリアで動く。既存設備のレイアウト変更は不要 |
| 新規導入や変更にかかる手間・工数 | <ul style="list-style-type: none"> 新規導入には磁気テープなどガイドの設置が必要であり、AMRよりは工事期間・コストがかかる ルートは固定されており、変更する場合はガイドの再設置が必要 | <ul style="list-style-type: none"> 導入には倉庫内専用レイアウトの設計、QRコードや専用棚の設置が必要。AGV・AMRに比べて工事期間・コストがかかる 導入した後はレイアウト変更しない(ルート変更不要なため) | <ul style="list-style-type: none"> 専用の設備を設置する必要はなく、ロボットを導入するだけでよいためAGV・GTPに比べて簡単に導入できる ルートはいつでも柔軟に変更できる |
| イメージ図 |  <p>人とロボットは同じエリアにいるが導線は分ける</p> <p>磁気テープ→ (ロボットの導線)</p> |  <p>ロボット専用の作業場</p> <p>←専用棚</p> <p>QRコード</p> |  <p>人とロボットの共同作業(同エリア内)</p> <p>人がピッキング</p> |

出所) 各種公開情報を基に作成

物流倉庫における移動ロボットはその特性から3つに大分される。磁気テープやガイドに沿ってルート走行を行うAGV、QRコードなどに沿って走行し、棚ごと搬送するGTP、カメラやSLAM技術を通じて人や障害物を回避し自動でルート生成を行い移動するAMRである(表2)。AGVは以前から普及している機器であるが、主に近年急速な利用の拡大が進むGTPとAMRについて取り上げる。

(1) GTP

GTP(棚搬送ロボット)は、物流センターの床面を移動して可搬式の棚の下に潜り込

み、倉庫作業者の付近まで棚ごと商品を搬送するロボットで、ピッキング工程を効率化するシステムである。Amazonが買収し、自社物流倉庫で大規模導入されている「Kivaシステム」が著名であるが、アリババの出資先でもあり自社倉庫で大規模導入している「Geek+」や、日立製作所の「Racrew」など複数の企業が展開している(図15)。

(2) AMR

AMR(自律移動ロボット)は、SLAM技術(Simultaneous Localization and Mapping: 自己位置推定と環境地図作成を同時に

図15 代表的なGTP



Kivaシステム



中国Geek+

出所) <https://www.itmedia.co.jp/news/articles/1412/01/news129.html>
<https://www.geekplus.jp/company/case-center/?lan=JP>

行う技術)を活用して、センサー情報を基に障害物や人を避けて最適な移動経路を生成できるロボットである。コンベヤなどの固定設備や、AGVにおけるレール敷設、GTPにおけるQRコード・専用レーン確保などが必要なく、既存の倉庫オペレーションに組み込めることが大きな利点となる。特にECのオーダー状況や仕向け地に応じたルート変更が求められる場合に有効である。たとえば、日本通運やSGホールディングスグループは、ピッキング工程においてラピュタロボティクスのAMRを大量導入している(図16)。

図16 代表的なAMR



ラピュタロボティクス



グラウンド
自律型協働ロボットPEER

出所) https://www.rapyuta-robotics.com/ja/pa_amr_solution/
<https://groundinc.co.jp/solution/amr/>

3 中国における最先端物流ソリューションの展開

中国の物流におけるデジタル活用は、日米欧と比較してかなり進んでいる。その背景として、中国のECの増加が挙げられる。

経済産業省によると、2020年の中国のEC市場規模は世界トップの2兆2970億ドルと見られており、これは2位米国の7945億ドルと3倍近くの開きがある。このようにEC利用が拡大する中国では、物流コストがGDP(国

内総生産)の15%にも上るといわれており、早急な物流の自動化が叫ばれている。このような中、中国でもトップシェアのアリババと京東商城は積極的に物流の自動化を進めている。この2社の先進事例を紹介する。

(1) アリババ

アリババは2018年に江蘇省無錫市に「未来園区」と呼ばれる最新の物流拠点を新設した。未来園区の特徴は、倉庫管理システム

図17 アリババが展開する未来園区



出所) <https://consulting.clara.jp/media/cainiaoologi/>

(WMS)と連携して自律的に働く無人搬送車(AGV)である。顧客からの注文データとWMSのデータを基にAIが最適なピッキングルートを選択し、商品ラックを運ぶ仕組みである。具体的な倉庫内のオペレーションは次の通りである。

倉庫内に運び込まれた商品は入庫エリアで検品され、棚入れ段階で出荷頻度に応じてグループ分けされる。売れ筋商品(Aグループ)とそれ以外の商品(Bグループ)で異なるピッキング方法を採用し、AIが荷合わせのタイミングまで調整する。

Aグループは出荷頻度が高いため、商品棚に分けることはせず、入荷時の荷姿のままパレットに積み込まれた状態で保管される。その後、商品の発送用AGVがエリアに到着し、作業員が商品を載せる。一方のBグループはSKU(Stock Keeping Unit)ごとに棚入れさ

れた後、作業員が作業台のモニターに表示される商品の写真や数、商品棚の位置に従ってピッキングし、ラックに積む。ピッキングを終えたら、ラックはAGVで荷合わせエリアに移動する。このとき、荷合わせするAグループの商品とのタイミングを合わせるため、いったん待機エリアに行く場合もある。

さらに荷下ろし場へのトラックの出入りはAIが最適な順番を算出して指示する。敷地内の監視カメラにはエッジコンピューターを内蔵しており、作業員の行動の監視や荷物の容積の算出も可能である(図17)。

(2) 京東商城

京東商城(JD.com)は世界初のBtoC分野における無人倉庫を、2017年に上海郊外に新設した。具体的な倉庫内のオペレーションは次の通りである。

図18 京東商城が展開する無人倉庫



出所) <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/nc/18/071000059/071000003/>

倉庫内の荷物は基本的にコンベヤに載せられて移動する。入荷時には、バーコード情報を基にすべての荷物のソーティングをピッキングロボットが担う。同時に固定式のスキャナで視覚検査や体積測定も行われる。仕分けされた荷物は専用コンテナに載ってロボットにより効率的に立体倉庫に保管される。商品の注文が入ると立体倉庫から荷物が自動で取り出され、仕分けロボットによって配送先ごとの仕分けシューターに投入される。荷物への伝票の添付や梱包もすべて自動化されている。梱包された荷物はピッキングロボットによってGTPに載せられ、積載場所まで移動する。

このように無人倉庫は、入庫や検品から梱包、仕分け、出庫まで、全工程のスマート化を実現し、京東商城の物流の最適化を図っており、処理能力は人手で処理する従来の倉庫の10倍に上るといふ。

また、アジアナンバーワンといわれる物流センターも高度なスマート化が図られている。19年には上海市嘉定区に「5Gスマート物流モデルセンター」を建設し、年内に運営を開始するとの発表があった。同センターは、5Gネットワーク通信技術とAI、IoT、自動運転、ロボットなどを融合したスマート物流施設で、自動運転・自動仕分け・自動検査

システム・ヒューマンインターフェースで設備全体を管理する。京東商城は同センターをきっかけとして、物流全工程における人・設備・データの一体化および物流センター・倉庫・配送車などの物流設備の一体化を実現すると意気込む(図18)。

V 配送・ラストワンマイル

1 全体トレンドと日本の動向

続いて配送・ラストワンマイルの動向に触れる。「ラストワンマイル」は通信業界で用いられていた言葉で、ユーザーに通信接続を提供する最後の区間を意味していた。物流業界においては、出荷後のモノが顧客に到達する最後の接点を指し、配送業務がそれにあたるといふ。

ラストワンマイルは、その目的地やルートが多様で標準化が難しい点や、1件ごとの配送にかけられる単価が限定的であることから、自動化・デジタル化が倉庫業務などと比較すると進んでこなかった領域であった。ところが、近年の技術進展によって変化を見せ始めている。その中で、①物流マッチングプラットフォーム、②ドローン配送の展開、③ラストワンマイル配送ロボットの展開について触れる。

(1) 物流マッチングプラットフォーム

前述の通り、従来は物流企業にとって自社社員による配送・ラストワンマイルが付加価値であった。しかし、物流マッチングなどのITプレイヤー参画をはじめとする競争の激化により、物流企業のビジネスモデルが倉庫シェアリングなどの上流へとシフトしてきているのは前述のとおりである。自社社員による配送に強みを持っていた物流会社もマッチングプラットフォームに参入しているのである。

たとえばヤマト運輸は自社社員による配送とともに、「EAZY」と呼ばれるギグワーカーを活用・マッチングした配送を展開しはじめている。日本通運もソフトバンクとの合弁会社MeeTruckを通じてトラック配車マッチングを展開している。ほかITプレイヤーによる物流マッチングとしては、Hacobuが展開するMOVOのほか、リクルートによるロジシフトなどが生まれている。

(2) ドローン配送の展開

物流業界では、①EC需要増加による配送の複雑化、②交通渋滞、③配送人員の不足、などによりラストワンマイル配送の自動化が検討されている。本項ではドローン配送の展開について、次項ではラストワンマイル配送ロボットの展開について触れる。

ドローン配送の商用活用としては、2016年にルワンダで米国スタートアップのZipline社が開始した救急医療物資搬送が世界初であるが、物流全体としてもドローン配送の検討が進んできている。日本のドローン配送活用としては、22年度に航空法改正によって有人地帯の上空でも目視者なしでドローンを飛行できるようになる計画であり、今後の急速な

拡大が期待されている。

通信・EC企業らによる検討や、物流・航空企業によるスタートアップとの連携による展開が目立つ。EC企業の楽天がいち早く16年にゴルフ場を皮切りに「そら楽」を展開しているほか、通信企業のソフトバンクやNTTドコモが過疎地域などを皮切りにドローン物流の商用化を進めている。物流・航空企業としては、日本郵便が日本のドローンスタートアップの自律制御システム研究所、全日本空輸（ANA）は独ウイングコプター、日本航空（JAL）は米Matternet社と連携してそれぞれ実用化を図る。

今まで配送を担ってきた物流企業がいかにポジションを維持できるのか、そしてコロナ禍で打撃を受けている中で航空技術・ノウハウを活かした航空企業の展開、あるいは通信・IT企業など新規参入企業の展開と、業界構造の転換などが注目される。

(3) ラストワンマイル配送ロボットの展開

ドローン同様に、ラストワンマイル配送を行う自動運転車両・ロボットの活用検討も進んできている。ヤマト運輸がDeNAと連携して自動運転車両による配送を行う「ロボネコヤマト」の実証を行っているほか、ロボットスタートアップのZMPは自動運転宅配ロボットの「DeliRo」を、QBITが森トラストと連携してビル内配送ロボットを実証している。

大手ロボット・機器企業としても、パナソニックや川崎重工業が展開を検討するなど、当該領域に注目が集まっている。今後、より複雑化するラストワンマイル配送において、ロボット活用が拡大することが期待される

図19 主なラストワンマイル配送ロボット・自動運転車両



(図19)。

2 DHLにおける 配送ソリューションの構想

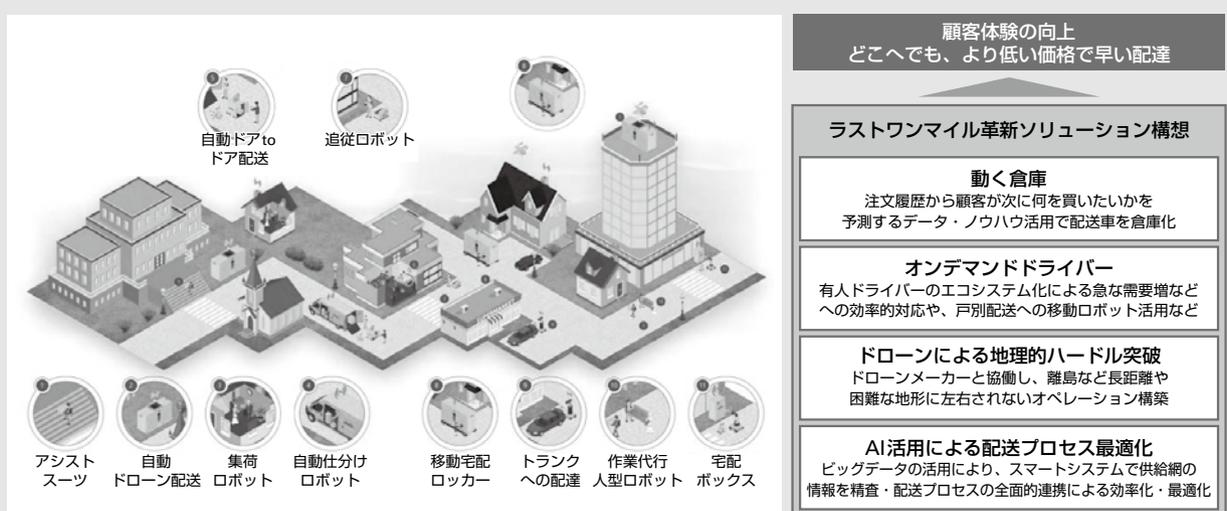
DHLでは、2018年に発表した同社のホワイトペーパー「Last Mile Delivery Solutions For 2020」において、図20に示すように、配送網のローカライズ、時間短縮に加えて配送状況を顧客が予測可能な利便性、季節や日々の物流変動への対応が必要であると提唱して

おり、現在はそのソリューションとして4つの方向性を示している。

まず1つ目は、配送までの時間短縮に向けた「動く倉庫」である。人口密集地において、注文履歴から顧客が次に何を買いたいかを予測するデータ・ノウハウを活用し、配送車に受注前から在庫を積んで倉庫化することである。

2つ目としては、物流需要過多・コスト抑制対応として「オンデマンドドライバー」の

図20 DHLにおける将来のラストワンマイルの構想と具体的なソリューション



出所) 公開情報より抜粋・整理

活用である。Uber EatsやAmazonの自社物流でも見られるように、ドライバーに自身の空いた時間に自身の車で配達してもらうことで、物流企業としては余剰人材を確保せずに需要過多のときにも対応可能となる。また、人不足の解決策としては小型ロボットの活用が挙げられる。ハブ・アンド・スポークの大型ターミナル間の輸送では自動トラックの活用が望ましいが、都市部のラストマイルにおいては混雑した歩道や高層オフィスビルの移動が必要となる。そこで、小型の移動ロボットが適用され、既にハンブルク、ロンドン、ワシントンDCなどでは試験運用・導入がされているという。

無人化に限らず、ラストマイルの細分化対応の動きは日本拠点でも見られる。DHLジャパンでは、従来のトラックでの配送に加えて電動バイクを活用したラストマイル配送をすることで、車で入りづらかった細い路地や駐車が困難な地区などにおいても効率的なオペレーションが実行可能である。

さらに3つ目として、DHLは「ドローンの活用」も積極的であり、物流業にとって長年の課題であった地理的困難な配送先への活用を中心に展開している。14年には欧州で初めて自社のドローン「Parcelcopter」（パーセルコプター）を活用した薬品などの緊急の医療品を、北海沿岸にあるユースト島に輸送するために使用している。19年には、中国においてインテリジェントドローンメーカーであるEhang社と戦略的パートナーシップを締結し、新たな全自動のインテリジェントドローンロジスティクスソリューションを開発。都市部でよく見られる複雑な道路状況や渋滞などに対応することで、配達時間を40分から

8分に短縮するなどの効果が見られている。

さらに20年には、マレーシアにおいてエアロダインとドローン技術の商業的実用化の評価、生命科学や海上サプライチェーンにおけるドローン活用のビジネスモデル構築を目標に、業務提携契約を締結している。目下の導入対象は、東マレーシアにおける医療関連物資の輸送課題の改善ニーズや、マラッカ海峡を航行する船舶への必需品の輸送としているが、エアロダインは世界トップのドローンメーカーの一つであり、この業務提携でマレーシアにおけるソリューション開発・ノウハウ蓄積を行い、今後は世界各地へ展開する可能性も考えられる。

4つ目は、前述3つのソリューションを下支えする「AIの活用」、すなわちラストマイルデリバリーのプロセス最適化である。ワンストップソリューションにおけるデータ活用により、倉庫から配送、ラストマイルに至るまでプロセス全体の最適化が可能となる。

これらのデジタル活用による配送ソリューション効率化は、グリーンロジスティクス、すなわち環境負荷の少ないオペレーションの観点でも重要である。環境規制の厳しい欧州の物流企業であるDHLは、配送ソリューションの最適化・デジタル化は今後もより注力していくものと見られる。

3 京東商城の物流における 配送ソリューション展開

中国では配送・ラストワンマイルにおいても自動化が進んでいる。日米欧は長年利用してきた物流網をどのように変えていくか、もしくはどのようにすみ分けるか、という議論が残存するため、デジタル活用が進みにく

い。一方で中国は新規参入であり、スクラッチからデジタル活用によるオペレーション構築ができるため、急速に自動化を推進することが可能となっている。本節では京東商城の配送における先進事例を紹介する。

京東商城はグループ会社の京東物流と協業し、自社物流の構築およびスマート化を手掛けているのが特徴で、物流システム、運輸、倉庫、配達など、すべて自社社員で実施している。また、物流網の広さが強みとなっている。同社は2007年に自社の物流網を構築して以来、急速にその範囲を拡大させてきた。中国国内には25の物流センターと約500の倉庫、約7000カ所の配送ステーションがあり（20年時点）、中国の人口の約99%に商品を迅速かつ正確に届ける物流網を構築している。ユーザーからはその配送スピードが最も評価されており、当日配送はもちろんのこと、「急速達（2時間以内に届ける）」など細かい時間指定が可能となっている。

このスマート・サプライチェーンの中核には、ジンドン・スマート・サプライチェーン・コントロール・タワー（SSCCT：JD Smart Supply Chain Control Tower）が存在する。京東商城は長年蓄積してきた物流ノウハウを基に、人工知能など最新のテクノロジーを駆使したSSCCTを開発した。SSCCTはロジスティクス・ブレインとも呼ばれ、リアルタイムで物流・配送ルートのプランニングや意思決定を最適化する機能を有しており、ロジスティクス全体の業務をカバーするデジタルプラットフォームとなっている。

ロジスティクスの計画・調達・在庫・配送のマネジメントなどの一般的な機能に加え、商品の需要予測、ダイナミック・プライシン

グ、物流・配送ルートの最適化など最新技術を活かした機能も搭載されており、サプライチェーン全体の効率を向上するとともに、顧客体験の改善にも貢献している。

センター・倉庫・配送拠点間の配送についても、自動化・無人化に積極的な姿勢を見せている。また、米シリコンバレーの研究拠点で大型トラックを使い、レベル4（特定区間で運転をクルマに委ねるレベル）の自動運転の公道試験走行を重ねている。18年5月時点で延べ2400時間の試験走行を実施したとしており、20年には中国国内でテスト運用を始める。19年には中国のEV自動車メーカー奇瑞新能源（Chery New Energy）とイタリアのイコナと協業して、自動運転配送車も開発している。

さらに同社は、リニアモーター式パイプ輸送という壮大な目標を掲げている。センターや倉庫から出荷された荷物は、リニアモーター式パイプを通して配送ステーション、さらにはリアル店舗（無人コンビニ、生鮮スーパー、提携先の実店舗）に運ばれるという仕組みである。既に米マグプレーン・テクノロジーと業務提携し、磁気浮上によるリニアモーター動力技術の研究を18年より開始している。「ボーダーレスリテール」の実現に向けて日々技術革新を続ける京東商城にとっては、地下物流の実現もそう遠くない未来である。

ラストワンマイルでは、自動化・ロボット活用が広く浸透している。その代表的な事例が「無人カート」である。ネット通販で購入した荷物をロボットが配送しており、特に大学構内や特区内での活用が進んでいる。自宅前に到着すると、購入者宛てに到着連絡とと

もにパスワードが添付されたショートメッセージが届く。無人カートにそのパスワードを入力すると商品を取り出すことができるという仕組みだ。顔認証システムの導入も検討されており、顔を一度登録すれば、パスワードを入力せずに商品を受け取ることができる。ドローンの採用にも積極的で、17年から遠隔地向けや生鮮食品の配送に利用されている。

VI 日本の物流業界への提言

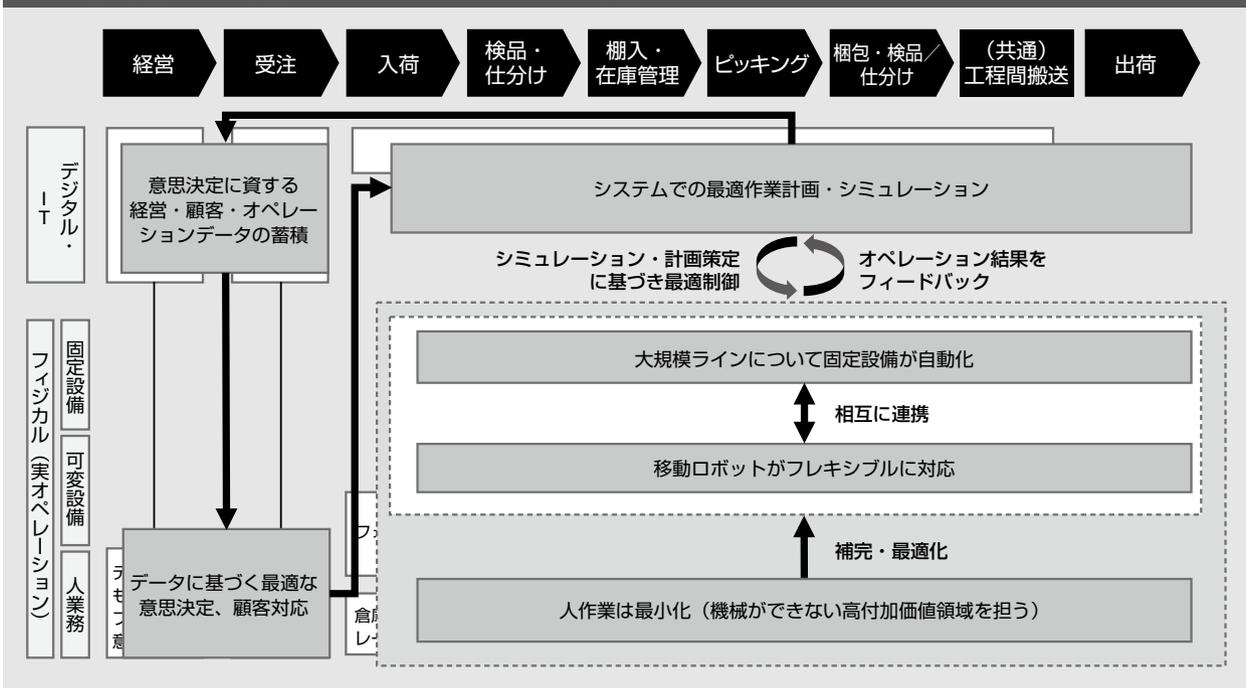
これまで見てきたように、物流業界は顧客のEC需要増や多様化を背景に、サプライチェーンの最適化・短縮化が求められており、フィジカルインターネット構想の下、倉庫から配送をはじめ物流網全体においてセンシング、ロボティクス・オートメーションを活用した変革が進められつつある。さまざまな技術が出てくる中で、物流オペレーション課題に基づいて導入検討・最適化をしていく必要

がある。

デジタル革新とともに物流業へ参入・発展してきた中国は、それらデジタルをうまく取り入れながらサプライチェーン全体での最適化に向けたソリューション展開を図っている。欧米においても、中国には後れを取っているもののサプライチェーン全体における構想を打ち出しており、既存物流企業も含めてデジタル・ロボティクスを活用したオペレーション転換を図っていることが分かる。

一方で、日本の物流業界は古くから人海戦術によって物流を展開してきたため、物流企業による荷主ごとにカスタマイズされたオペレーション展開や、作業者の柔軟性が高いため本格的なデジタル化が遅れ、また、倉庫や配送といった領域ごとの分断されたデジタル化など、近視眼的で部分最適なソリューションが多いことが特徴である。サプライチェーン全体での最適化が考慮されていないため、結局「人がやったほうが効率的なので

図21 倉庫業務における目指すべきオペレーションフローの全体像



は」という結果に陥ってしまうケースが散見される。

たとえば倉庫オペレーションにおいては、図21で示すように、目指すのはデジタルによる分析・シミュレーションに基づいて固定設備と可変設備がフレキシブルに稼働し、人による業務が最小化される方向性といえる。しかし現状は、マテハンメーカー、ロボットメーカー、IoT企業などが個々にソリューションを打ち出してしまっており、人・デジタル・設備それぞれの個別最適にとどまっている（図22）。言い換えると、①デジタルとフィジカルをつなぐデータ・センシング領域と、②フィジカル領域での機器・人作業のオペレーションの全体業務設計に課題が存在している。したがって、図23のように、経営・オペレーション課題のボトルネックに対する、ロボット・センシング・デジタルツイン

を活用した全体最適のソリューション設計が重要である。

このように、サプライチェーン全体として複雑化や環境の不確実性が拡大し、フレキシビリティが求められる中、物流業界はデジタル・ロボティクスを活用したオペレーションへの変換期を迎えており、エンド顧客および荷主企業視点での物流量や荷姿に合わせた最適化が競争力の根源となる。こうした背景の中、それらを支えるマテハンメーカー、機器メーカー、ソフトウェア企業としては、部分最適や自社ソリューションの押し売りではなく、サプライチェーン全体や物流オペレーションの全体最適での課題解決提案が肝要である。そのためには、機器やソフトウェアを最適に組み合わせて提案するシステムインテグレータらの存在が極めて重要となる。

実際に、日立製作所やKUKAなど、製造

図22 ロボット・センシング・デジタルの機能例

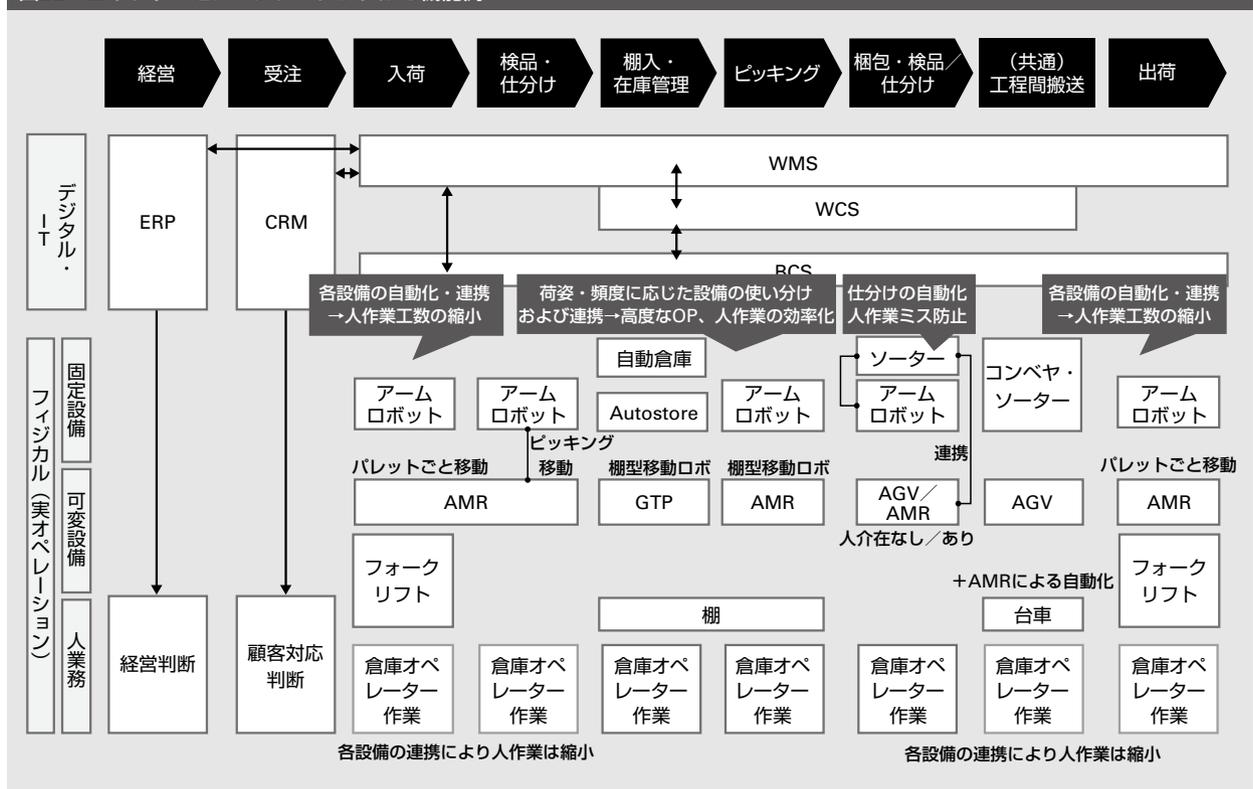
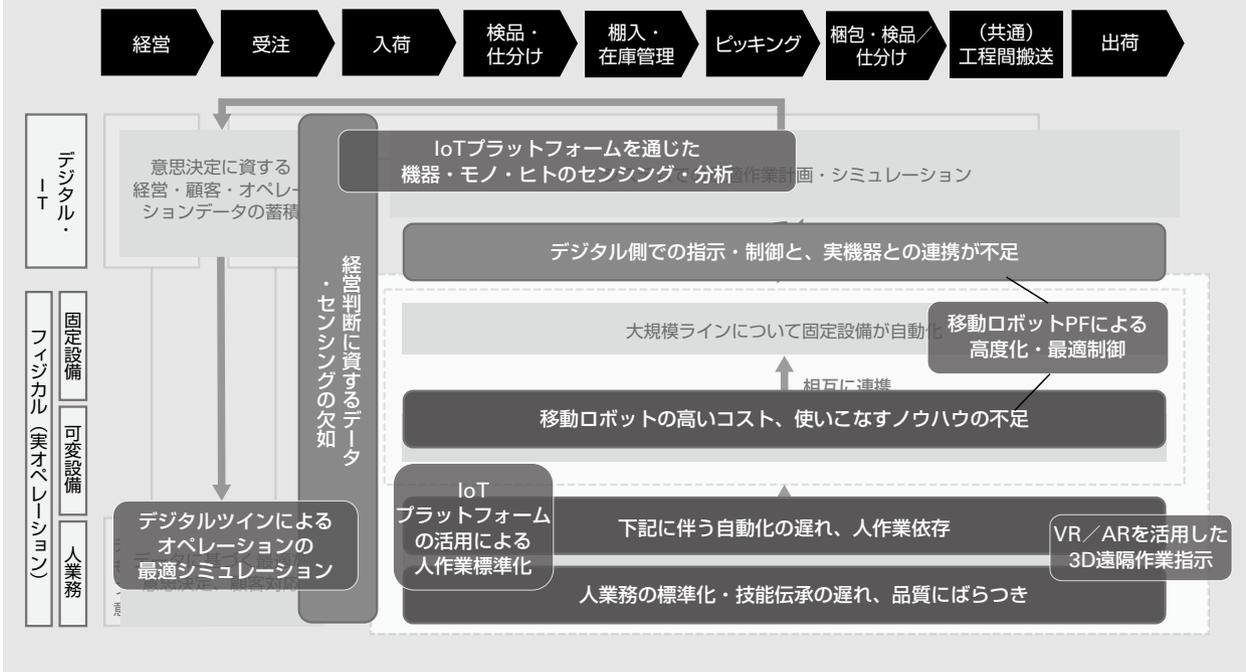


図23 経営・オペレーション課題のボトルネックに対するロボット・センシング・デジタルツインの観点で想定される物流ソリューション



業で全体最適のエンジニアリングを行ってきているプレイヤーが物流領域へ拡大してきている。さらに、ニトリや日立物流などが他社の物流オペレーションを支えるソリューション展開を進めているが、自社オペレーションの豊富な経験・ノウハウによるユーザー目線での物流サービス展開が期待される。

現在の物流業界は、標準化すべき領域さえも個々の企業のオペレーションにカスタマイズすることが多い。今後は、物流業者やそれらを支えるマテハン企業などを含む物流関連産業全体として、産学官連携による標準化活動を通じて行っていくことが重要である。

製造業においては、ドイツが提唱する参照アーキテクチャであるRAMI4.0 (Reference Architecture Model Industrie 4.0) を用いた産学官での標準化の議論が進んでいる。これは、レイヤー、ライフサイクル&バリエース

トリーム、ヒエラルキーレベルのそれぞれの項目の標準化の議論を支える土台となっているが、その活用は工場内にとどまらず、物流領域も包含している (図24)。

たとえばヒエラルキーレベルでは、ロボット・マテハン機器、ロボット・マテハン機器の制御システム、ロボット制御システム、倉庫制御システム (WCS)、倉庫管理システム (WMS) の階層などで表現でき、製造業と同様のフレームワークで標準化が議論されている。製造業においては、これらの標準化を加速させるための組織として、RRI (ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会) が活動している。物流業界においても、経済産業省・国土交通省といった「官」、大学・研究組織といった「学」、物流・流通会社・マテハン企業といった「産」での標準化加速の議論の活発化が期待される。

図24 インダストリー 4.0の参照アーキテクチャモデルRAMI4.0

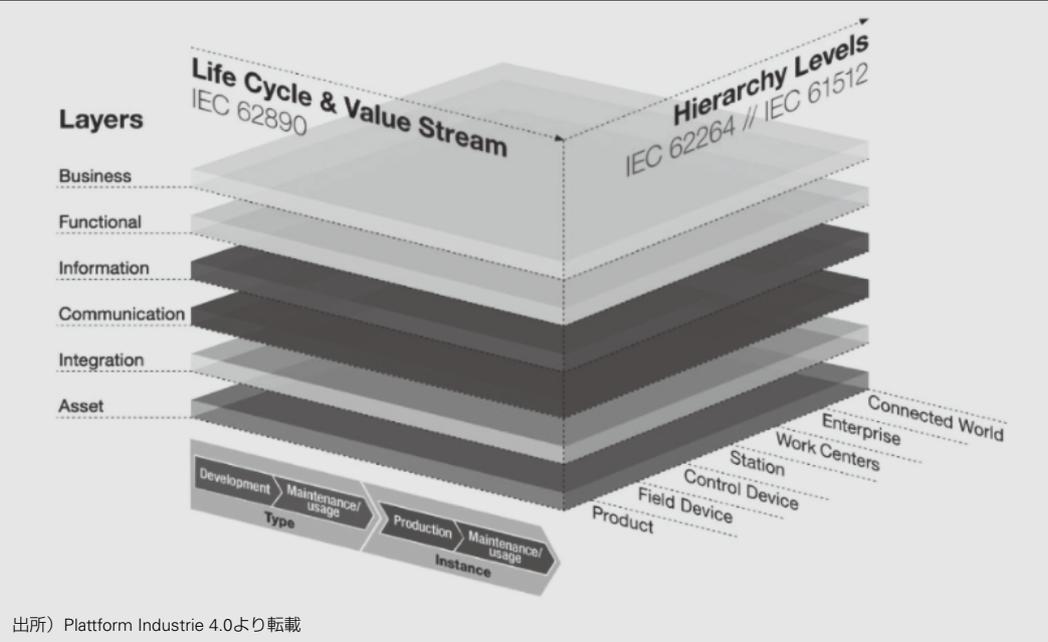
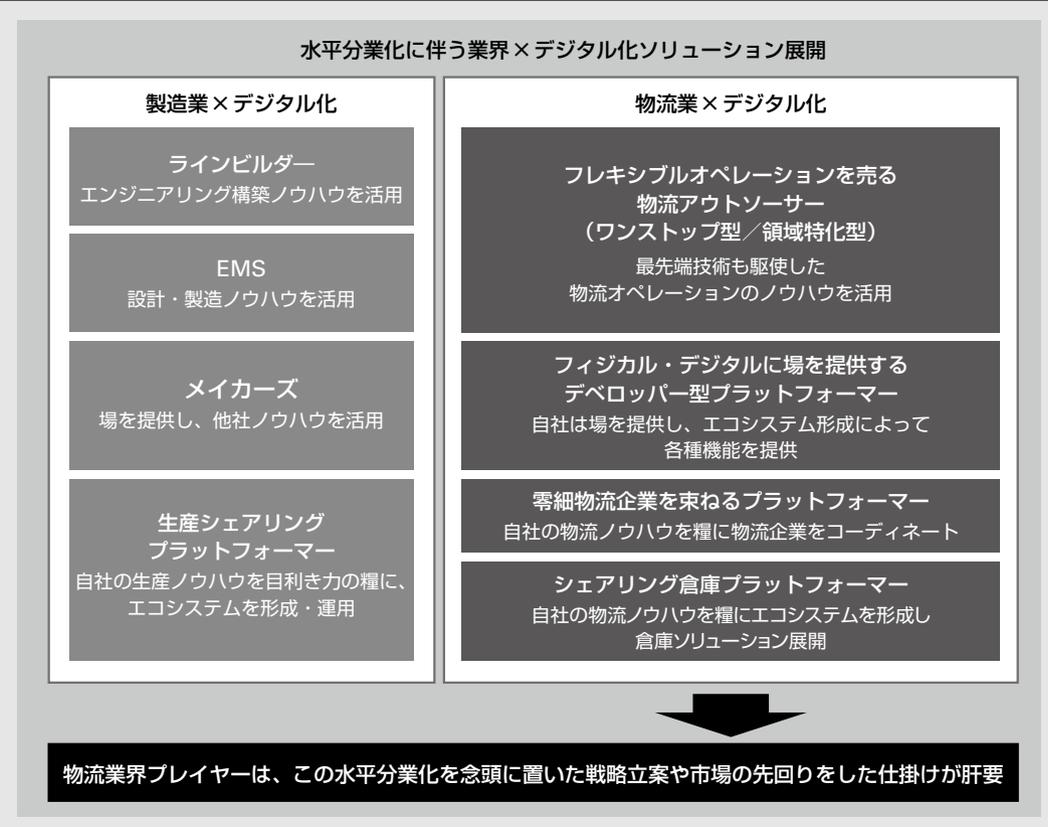


図25 デジタル化・水平分業化で変化するロジスティクスソリューション



たとえば、デジタル化による水平分業が先行した製造業を軸に考えると、ラインビルダーやEMS、メイカーズ、生産シェアリングプラットフォームなどが誕生したように、物流業においても、水平分業化していく中で、図25に示すように、物流×デジタル・ロボティクスのノウハウを武器に、フレキシブルオペレーションを売る物流アウトソーサーや、零細物流企業を束ねるプラットフォーム、さらには自社物流ノウハウを基にしたシェアリング倉庫プラットフォームサービスなど、ソリューション展開するビジネスモデルが海外と同様に国内でも出てくるのではないだろうか。業界全体の効率化や水平分業化での新たな付加価値、プレイヤーの創出や製造業などからの新規参入の加速においては、提供されるサービスのモジュール間インターフェースの標準化が必須となる。これらの企業間インターフェースの標準化は、物流企業の自社オペレーションの効率化だけではなく、アウトソーサーや提携企業との連携の選択肢を広げることにもつながる。

したがって、物流業界プレイヤーは、フィジカルインターネットなど物流業界のデジタル化や、それに伴う水平分業化を念頭に置いた、戦略立案や市場創造の仕掛けづくりが重要と考えられる。

参考文献

- 1 Montreuil, Benoit; Meller, Russell D.; and Ballot, Eric, "Towards a Physical Internet: the Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation" (2010). *11th IMHRC Proceedings (Milwaukee, Wisconsin, USA - 2010)*. 40.

https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/pmhr_2010/40

- 2 Montreuil, B. "Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge". *Logist. Res.* 3, 71-87 (2011). <https://doi.org/10.1007/s12159-011-0045-x>
- 3 Driss Hakimi, Benoit Montreuil, Rochdi Sarraj, Eric Ballot, Shenle Pan. "Simulating a physical internet enabled mobility web: the case of mass distribution in France". *9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation - MOSIM 12, Jun 2012, Bordeaux, France*. 10 p. (hal-00728584)

著者

岩崎はるな (いわさきはるな)

野村総合研究所 (NRI) グローバル製造業コンサルティング部コンサルタント

専門は製造業におけるDX戦略、新規事業開発の検討支援、スタートアップ連携支援、特に、インダストリー4.0対応、ロボティクスやオートメーション、Additive Manufacturingなど

小宮昌人 (こみやまさひと)

野村総合研究所 (NRI) グローバル製造業コンサルティング部主任コンサルタント

専門はプラットフォーム・リカーリング戦略などのデジタル技術を活用したビジネスモデル変革、デジタルツイン活用、FA・インダストリー4.0対応など
近著に『製造業プラットフォーム戦略』(日経BP)、『日本型プラットフォームビジネス』(日本経済新聞出版)

林原広実 (はやしはらひろみ)

野村総合研究所 (NRI) グローバル製造業コンサルティング部コンサルタント

専門は自動車・機械業界を中心とした事業戦略、新規事業開発・実行支援など

山本隆史 (やまもとたかし)

野村総合研究所 (NRI) グローバル製造業コンサル

ティング部コンサルタント

専門は製造業界における事業戦略立案、プラットフォーム戦略、構造改革支援、ハードウェア×ソフトウェアにおけるビジネスモデルプラン策定など

安森衣音（やすもりいおん）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部コンサルタント

専門は製造業界における事業戦略立案、新規事業のための経営改革支援、シナリオプランニング、物流構築支援など