

《研究ノート》

# フィジカルインターネットにおける ブロックチェーン技術の応用性に関する研究

平 田 燕 奈  
(神戸大学)

## 目 次

1. はじめに
2. 研究概要
3. PIとブロックチェーン技術の応用範囲
4. PIとブロックチェーン技術の海事輸送への実装するための枠組み
5. 今後の課題
6. おわりに

### 1. はじめに

現在、物流効率化や温室効果ガス削減への最も有効な対策として、フィジカルインターネット（PI: Physical Internet）に注目が集まっている。PIとは、インターネット通信の仕組みを物流に応用したものである。PIの特徴には、「相互接続性」、「モジュール化」、「標準インターフェイス及びプロトコル」が挙げられる。これらの特徴を活かすためには、ブロックチェーン（BC: Blockchain）技術のように機密を維持しながらデータを共有する技術が不可欠である。同技術は、分散型台帳とも言われ、「改ざんが難しい」、「管理者が不要」、さらに「スマートコントラクトが行える」という性質を持つ。そのため、仲介業者を排除し、情報を安全に共有してトレーサビリティを高めることが可能になる。PIにおけるBC技術の活用は、持続可能な物流ネットワーク構築を劇的に加速させると見込まれている。

本稿においては、PIとBC技術の最新動向、PIにおけるBC技術の活用方法、今後の課題及び実用化にむけた取り組みについて議論する。

### 2. 研究概要

#### 2.1 インダストリー4.0<sup>1</sup>時代の物流

インダストリー4.0の時代、現代の物流はどのようになるであろうか?インダストリー4.0

---

<sup>1</sup> インダストリー4.0、つまり第4次産業革命とは、18世紀の最初の産業革命から数えて4番目の主要な産業変革の時代を指す。ロボット工学、AI、BC、ナノテクノロジー、量子コンピュータ、生物工学、IoT、3Dプリンター、自動運転車、仮想現実、拡張現実、複合現実などの多岐にわたる分野における技術革新が特徴である。

のコンセプトは、最初ドイツ政府が打ち立てたもので、製造プロセスにおける自動化とデジタル化を意味している。インダストリー 4.0 には、サイバーフィジカルシステム<sup>2</sup>、AI<sup>3</sup>、IoT<sup>4</sup>、クラウドコンピューティング<sup>5</sup>、コグニティブ・コンピューティング<sup>6</sup>、スマートファクトリー<sup>7</sup>が含まれる。インダストリー 4.0 は、ドイツ以外にも米国、フランス、英国、中国、日本、韓国、タイなど多くの国で実装されている。特にサプライチェーン分野においては、デジタル化、AI と IoT との統合、シェアリングエコノミー<sup>8</sup> と BC がコア技術に加えて、PI も重要な役割を果たしている。

物流は、19 世紀半ばに産業として認知されて以来、長い間ハイテクとは無縁であった。しかし、インダストリー4.0 の時代では、AI、IoT、BC など革新的なテクノロジーが、物流業界でも実装が進んでいる。しかし、物流業界の企業ではどのように技術を受け入れるかについて枠組みが存在しない。業界全体、ひいては社会全体の共通利益のため、新しいテクノロジーを物流業界に実装するためのガイドラインが必要とされている。

## 2.2 フィジカルインターネット

PI は、2010 年にモントルイユ (Montreuil) 氏によって提案された (Montreuil ら、2010)。彼は PI を物流各プロセスのすべての要素を効率的かつ持続的に相互接続する、オープンでグローバルなロジスティクスネットワークと定義した。つまり、インターネットにおける通信の仕組みを物流に応用したものである。PI には貨物の保管、移動、供給、デリバリーを含む完全なサプライチェーンが含まれており、PI ネットワークは、各種物流業者によって構成される。PI の目標は、既存のロジスティクスネットワークの相互接続に基づく、グローバルロジスティクスシステムを構築することである。これを達成するため、プロトコルが標準化されたセット、モジュラーコンテナとスマートインターフェースが組み合わせられている。PI コンテナと呼ばれるモジュールコンテナ (図 1) は様々なサイズがあり、無駄を省けるように組み合わせられて積載できる。モジュールコンテナの他、PI-stores、PI-movers、PI-conveyors、PI-gateway なども提案されている。

PI の特徴として「相互接続性」、「モジュール化」、「標準インターフェイス及びプロトコル」が挙げられる。これらの特徴を活かすため、BC 技術のように機密を保護しながらデータを共有する技術が不可欠となる。

<sup>2</sup> サイバーフィジカルシステム (Cyber-Physical System) は、現実 (フィジカル) の情報を、コンピュータによる仮想空間 (サイバー) に取り込み、コンピュータの計算力による分析結果をフィードバックし、現実世界での最適な結果を導き出す、サイバー空間とフィジカル空間がより緊密に連携するシステムのこと。

<sup>3</sup> AI (Artificial Intelligence) は「計算」という概念と「コンピュータ」という道具を用いて「知能」を研究する計算機科学の一分野 (齋藤ら、2021)。

<sup>4</sup> IoT (Internet of Things; モノのインターネット) はさまざまなものがインターネットに接続し、その情報を活用する仕組み (齋藤ら、2021)。

<sup>5</sup> クラウドコンピューティング (Cloud Computing) は、インターネットなどのコンピュータネットワークを経由して、コンピュータ資源をサービスの形で提供する利用形態のこと。略してクラウドと呼ばれることもある。

<sup>6</sup> コグニティブ・コンピューティング (Cognitive Computing) は、コンピュータが人から与えられた命令を処理するだけでなく、人間のように自ら考え、学習し、意思決定をサポートするシステムのこと。

<sup>7</sup> スマートファクトリー (Smart Factory) は、AI や IoT などデジタル技術を活用した、生産性が高く効率的な工場。

<sup>8</sup> シェアリングエコノミー (Sharing Economy; 共有経済) は、インターネット上のプラットフォームを介して個人間で賃借や売買や提供する形の新しい経済の動き。

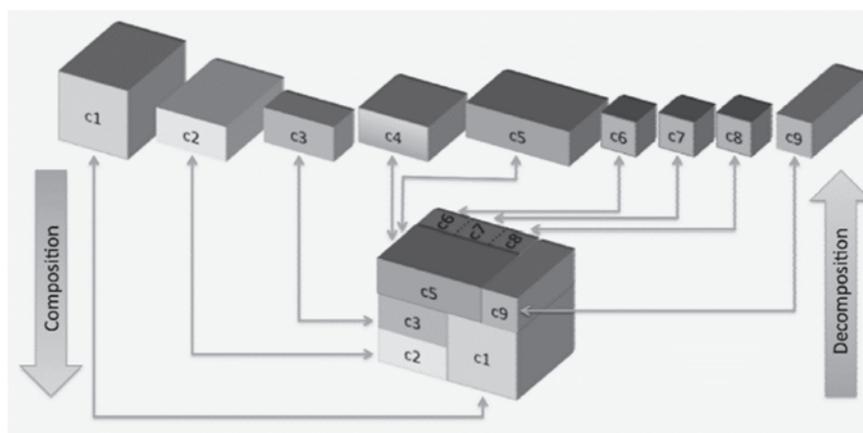


図1 PI コンテナ組み合わせの一例 (出所: Montreuil ら、2010)

## 2.3 ブロックチェーン

BCは、ピアツーピア (P2P:Peer to Peer) 方式に基づき、トランザクション (取引) を同時に何千ものサーバに記録できるオープンな分散型台帳技術 (DLT: Distributed Ledger Technology) である。効率的、検証可能で、不変性を持つ BC プラットフォーム上では、誰もが他人の取引をほぼリアルタイムで確認できるため、1 ユーザーが記録を操作してネットワークを制御することが困難である (Morkunas ら、2019)。BC 技術は従来の契約、取引、その他の貴重な記録をデジタル形式に変換し、従来の経済、法律、政治システムのデジタル化をも容易にしている。

BCでは、暗号技術を用いて、ネットワーク内で発生したトランザクションの記録 (ハッシュ値<sup>9)</sup>) を「ブロック」と呼ばれる記録の塊に格納する。個々のブロックでは1つ前に生成されたブロックのハッシュ値、当該トランザクションの記録に加え、ノンスと呼ばれるランダムに発生する使い捨てのランダム値によって、新たなハッシュ値を生成して次のブロックに渡す。このように、生成されたブロックが、時系列に沿ってチェーン上につながっていくデータ構造となっている<sup>10</sup>。

BCにおける合意形成には、これまで主に5種類のアプローチがある (表1)。また、BCは自由参加可能なパブリック BC と許可制のプライベート BC に分けることができる。前者は主に暗号資産に応用される。後者は前者より処理速度が速いため、物流分野をはじめ、知的財産管理など様々なビジネス分野に応用され始めている (平田、2019)。パブリック BC においては PoW と PoS は主流である。PoW コンセンサスでは、報酬は仕事の量で評価する。言い換えれば、最も早く適切な計算を行ったネットワークの参加者が報酬を受取る。多くの参加者により膨大な計算が実行されるため、消費電力やデータ通信量が増大することから、環境保全やシステム全体における処理能力の課題が生じる。PoS コンセンサスでは、報酬は仕事の量と暗号資産の保有量両方で評価する。PoW における激しい競争が緩和され、消費電力の節約は可能となるが、金持ちがより金持ちになるという問題点が

<sup>9</sup> ハッシュ値とは、任意のデータから、ハッシュ関数を利用して、作成された固定長のデータ。ハッシュ値からは元のデータへ復元することできない一方向性を持つ。

<sup>10</sup> BC の名称はこのデータ構造に由来している。

ある。一方、プライベート BC では PBFT 式が主流である。PBFT では、3 分の 2 以上の合意形成の可否で評価する。他の合意方式に比べ高速処理が可能であるが、3 分の 2 以上の合意が得られない場合ブロックが作成されない欠点がある。

表1 代表的なコンセンサスアルゴリズム

コンセンサス	<i>PoW</i> ( <i>Proof of Work</i> )	<i>PoS</i> ( <i>Proof of Stake</i> )	<i>PoI</i> ( <i>Proof of Importance</i> )	<i>PoC</i> ( <i>Proof of Consensus</i> )	<i>PBFT</i> ( <i>Practical Byzantine Fault Tolerance</i> )
評価方法	仕事量	仕事量とコインの保有量	コイン保有と取引量、取引頻度など総合評価	指定機関	3 分の 2 以上の合意
メリット	取引改ざんに強い	無駄な電力消費がない	電力消費が低い	送金スピードが速い	他方式に比べ高速
デメリット	電力消費量が高い	金持ちがより金持ちになる仕組み	一定量のコインが無いと参加不可能	中央集権的	3 分の 2 以上の合意が得られなければブロックが作成されない
代表例	ビットコイン (Bitcoin)	イーサリアム (Ethereum)	ネム (NEM)	リップル (XRP)	プライベート型 コンソーシアム型

海事業界においては、通常、いくつかの国のさまざまな業界の多くのプレイヤーが関与している。この複雑性がサプライチェーン全体の透明性を欠如させている。加えて同業界は、情報交換に高い取引費用が発生すること、詐欺や盗難が可能であること、サイバー攻撃のリスクに対して脆弱という欠点を持つ。BC によってこれらの問題を解決する可能性がもたらされている (平田、2019)。デジタル情報空間の容量と生産性を最大限に引き出すには、従来の認証方法とデータの構造を改革して、BC のような最新テクノロジーを積極的に応用する必要がある。

PI と BC の有用性の理解は難しくないが、具体的応用策については、まだ十分に研究されていない。本稿では、PI における BC ネットワーク構築の施策立案に関する提案を行い、実用化に向けた課題や方策を議論する。具体的には以下 2 点を明らかにすることも目的とする。第一に、PI における BC の応用範囲を明確化する。第二に、PI や BC 技術を実装するための枠組みを提案する。

### 3. PI とブロックチェーン技術の応用範囲

#### 3.1 技術の最新動向

サプライチェーンにおける PI と BC の応用に関する近年の代表的研究としては、Meyer ら (2019)、Hassan ら (2020)、Tan ら (2020) の 3 つを挙げることができる。Meyer ら (2019) は、物流ネットワークにおける価値と物理的資産の交換に関する PI の根本的障壁に対するソリューションを提供する BC ベースの概念的フレームワークを提案した。主な貢献として、ケーススタディを通じて、現在の物流システムを PI ネットワークに変換する

際のバリアを特定した。主要なバリアとして、平等に参加できるネットワークの構築、枠組みの堅牢性、整合性とレジリエンスの担保、運用プロセスにおける報酬、信頼できるデータ交換などを挙げていた。さらに技術の主要機能を説明することにより、BCがPIの導入バリアをどのように対処するかについて議論した。彼らはイーサリアム BC を提案し、ERC721 標準<sup>11</sup> に基づいたスマートコントラクトを実装し、PIにおける輸送プロセスを評価した。著者らは、BC技術は、信頼できない環境で信頼できる安全な価値の交換を可能にするため、PIの障壁を解決できると結論付けている。著者らは、計算リソースを節約するために、PoSベースのBC環境を提案している。小規模なPIを用いたケースでは、提案されたソリューションはすでに機能しているが、PIを幅広く採用するには、全体としてスケーラビリティ<sup>12</sup>問題を解決する必要がある。

Hassanら(2020)は、BC技術とPIとの統合に適した許可制BCアーキテクチャを提示した。彼らは、2つ許可制BC間のインターオペラビリティ<sup>13</sup>を活用する方法について議論した。許可制BC上に構築するPIのアーキテクチャの適用可能性と実用性を示し、適用したケースを示した。著者らは、解決すべき課題としてBCとPIネットワーク両方のスケーラビリティを指摘した。

Tanら(2020)は、IoTとビッグデータの統合による持続可能な物流の実現のため、BCに基づくグリーンロジスティクスのフレームワークを示した。著者らは、物理レイヤー(physical layer)、知覚レイヤー(perception layer)、ネットワークレイヤー(network layer)、BCレイヤー(blockchain layer)、管理レイヤー(management layer)、アプリケーションレイヤー(application layer)、ユーザーレイヤー(user layer)の7レイヤーによるフレームワークを提案している。著者らは、データ保存と送信、実装コストとリスクの3つの課題を指摘した。そして、今後の研究として、著者らは、1)物理レイヤーと知覚レイヤーを効果的に接続して物流データを収集する方法の開発、2)物流会社がBCプラットフォーム参加を促すインセンティブメカニズムの設計に注力する必要があると提案した。

これらの先行研究は、小規模的な実証実験を行った上でスケーラビリティの課題を指摘していた。本研究では、これらの課題を解決すべく、インダストリー4.0時代の革新的物流を築くための枠組みを提案する。

### 3.2 応用範囲

本稿では、PIにおけるBC技術の応用範囲を以下のように提案する。PIにおいて、フィジカルである物流、インフォメーションである情報流、さらにファイナンスである資金流という3つの流れがある。この中、インフォメーションとファイナンスの2つにはBC技術が不可欠である。

<sup>11</sup> イーサリアムが提案したスマートコントラクトの共通規格である。ERC721の特徴は、スマートコントラクト内でNon-Fungible Token(以下、NFT)を扱えるようになる。ERC721の規格を用いることで、イーサリアムBC上で、NFTの所有権や取引履歴を記録することができるようになる。

<sup>12</sup> 拡張可能性ともいう。導入当初は小規模であっても、後になって機能を拡張できる可能性があること。

<sup>13</sup> 相互運用性ともいう。異なるBCプラットフォーム間での連携能力や、相互運用可能性を意味する。

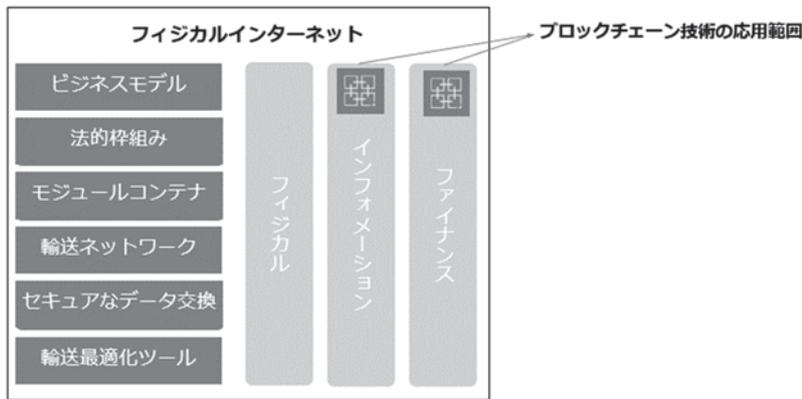


図2 PIにおけるBC技術の応用範囲の一例

#### 4. PIとブロックチェーン技術の海事輸送への実装するための枠組み

##### 4.1 実装の枠組み

実装に向けて、本稿では5つのコンポーネントからなる新たな枠組み「PiChain」を提案する（図3）。

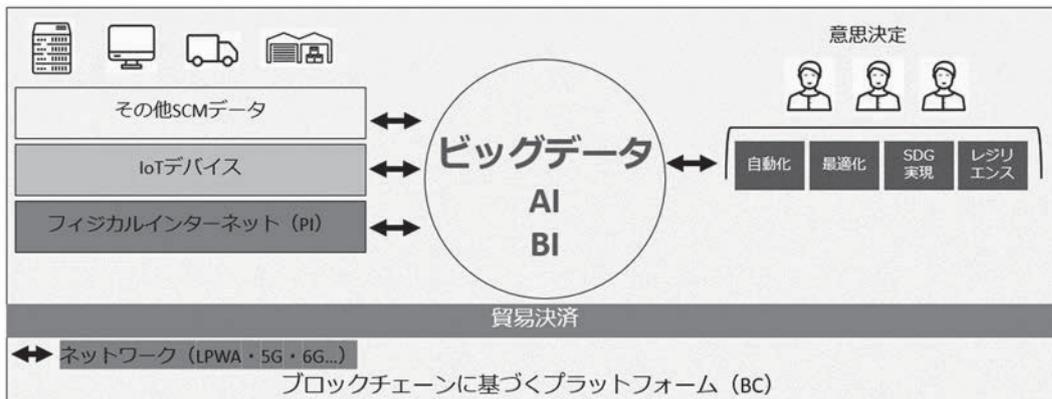


図3 提案する枠組み「PiChain」の俯瞰図

最初のコンポーネントは、物流ネットワークを相互接続するPIである。第2コンポーネントは、クラウドコンピューティングやエッジコンピューティング<sup>14</sup>をサポートする5G、6Gに加え、さまざまなタイプのIoTデバイスをサポートするLPWA<sup>15</sup>などのネットワークも含む。3番目のコンポーネントは、センサー、IoRT<sup>16</sup>、ドローンなどのIoTデバイスを含む。4番目のコンポーネントは、AIによる最適化、ビジネスインテリジェンス（BI）による可視

<sup>14</sup> IoT端末などのデバイスそのものや、その近くに設置されたサーバでデータ処理・分析を行う分散コンピューティングのコンセプトである。クラウドにデータを送らず、エッジ側でデータのクレンジングや処理・分析を行うためリアルタイム性が高く、負荷が分散されることで通信の遅延も起こりにくいという特長を持つ。

<sup>15</sup> Low Power Wide Area の略で、低消費電力での長距離通信のこと。

<sup>16</sup> Internet of Robotic Things の略でロボットのインターネットのこと。

化<sup>17</sup>のためのビッグデータが含まれる。最上層は意思決定コンポネントである。物流の持続可能性とSDGsという目標を達成するため、ビジネスおよび運用プロセスの最適化が実施される空間を指す。これらコンポネントはすべて、データの改変を防ぐBCを用いる分散型プラットフォーム上で機能する。BCはトレーサビリティと各種決済にも対応している。イメージを掴みやすくするため、ここで一例を挙げたい。将来の貨物輸送においては、貨物のサイズに合わせたPIコンテナを用いて、貨物の目的地、サイズ、重量などの制約条件によって、AIが自動的最適な輸送経路・手段を計算する。これらの情報が確定、または更新次第、荷主に自動的に送信される。荷主の社内システムにおいて、AIが最新輸送情報に用いて、発注・倉庫での保管・生産計画を最適化する。荷受人側が貨物を受け取り次第、BCのスマートコントラクトで管理する決済が自動的に実行される。

## 4.2 ブロックチェーンの選択

先行研究で指摘された、BCの拡張可能性不足を克服するため、本研究では、Rocket (2019) が提案したAvalancheプロトコル<sup>18</sup> (表2)の採用を推奨する。

表2 BCプロトコルの比較

特徴	<i>Classical</i> (1980)	<i>Nakamoto</i> (2008)	<i>Avalanche</i> (2019)
代表的応用例	ビザンチン将軍問題	ビットコイン	AVAX
頑健性	×	○	○
低遅延と迅速なファイナリティ <sup>19</sup>	○	×	○
処理能力の高さ	○	×	○
軽量	○	×	○
低消費電力	○	×	○
51%攻撃耐性	×	×	○
高拡張性	×	×	○

出所：Sirer (2020) に基づいて著者作成

Avalancheプロトコルは、スケーラビリティ、使いやすさ、柔軟性、および適切なガバナンスを実現しているため、BCの最も有望なプラットフォームの1つである。Avalancheは当初、金融市場へのサービス提供（暗号資産AVAX）のために構築されたが、パブリッ

<sup>17</sup> 企業が蓄積しているデータを用いたデータマイニングや分析を行い、結果を可視化してデータに基づいた業務や経営の意思決定に活用する仕組み、またはソフトウェアのことを意味する。

<sup>18</sup> プロトコルとは、コンピュータ同士が通信を行うための規格（ルール）のことを指す。BCのプロトコルとは、ピアツーピアネットワークによって管理されているノード間通信と新しいブロックの検証のためのルールを指す。

<sup>19</sup> ファイナリティは、期待通りに金額が確実に手に入ることを意味する。日本銀行は「ファイナリティのある決済」についての具体的な条件として、(1) 受け取ったお金が後になって紙くずになったり消えてしまったりしない、(2) 行われた決済が後から絶対に取り消されない、を挙げている（日本銀行ウェブサイト、<https://www.boj.or.jp/paym/outline/kg72.htm/>、2021年7月17日閲覧）。

くまたはプライベート、どちらのタイプの BC も相互運用可能である。このため、金融以外の業界でも採用される可能性がある。また、Avalanche はパブリック BC とプライベート BC の組み合わせも可能である。

既存の Classical プロトコル、Nakamoto プロトコルと比べ、BFT ベースの Avalanche プロトコルは、非常に効率的で頑健であり、高生産性と迅速なファイナリティも実現できる。従来のプロトコルでは、任意のノードが他のすべてのノードと通信する必要があるが、Avalanche プロトコルでは、小さなサブセット（バリデータ）と通信することにより、ビットコインと比較して遅延時間が 1/3600 までに劇的に減少する（表 3）。その結果、Nakamoto プロトコルを準ずるビットコインの毎秒 5 トランザクションに対し、Avalanche は毎秒 7100 トランザクションのパフォーマンスを達成可能である。

表 3 性能の比較

性能の比較	ビットコイン	AVAX
低遅延	1	1/3600
速度（トランザクション数/秒）	5	7100
トランザクションのファイナリティ	1 時間で達成	1 秒で達成
同時参加者数	20 人程度	数百万人

出所：Sirer（2020）に基づいて著者作成

実装に際して、最初に小規模の実証実験を推奨する。実証実験では、既存の物流ネットワークとの接続と図り、小規模かつ拡張可能な Avalanche プロトコルを実装し、小規模 PI ネットワークを構築する。BC 技術を用いて、集めたビッグデータの秘匿性を担保しながら、AI を用いて最適化などの解析を行う。その結果を経営判断や環境保全施策に役立てる。この良い循環を実現し、物流の効率性を劇的に向上させ、持続的発展を促す。また、革新的技術による物流の持続的発展と SDGs への寄与度の測定や最適化も可能になる。例としては、PI コンテナの使用によって、どの程度の積載や集荷待ちの無駄を省けたか、港湾での最適化によって、どの程度に渋滞を解消できたかのような仕組みを数値化することは可能になる。または、待ち時間の短縮により、どの程度トラック運転手の時間を節約できたか、どのくらいの量の CO<sub>2</sub> 排出の削減ができたか、このような測定は信頼性の高い BC 上で自動的に記録され、測定される。筆者の知る限り、Avalanche と PI の連携できた新たな物流ネットワークは世界初の試みである。実現できれば、日本の物流デジタル化は世界的競争優位を確立できるであろう。

## 5. 今後の課題

BC のさまざまな利点とは対照的に、この技術はデジタルシステムの変革を必要とする。まず、既存のプロセスをデジタル化する必要がある。現在、物流業務において、紙への手書き作業、ネットワークに接続していないコンピュータ上での作業は多々ある。これらの作業でデータを有効に蓄積・活用するために、作業自体をデジタル化するか、AI（例えば、手書き認識など）のサービスを利用してデジタル化する必要がある。

次に、BCなどのプラットフォームと連携するため、既存システムにおいては、API<sup>20</sup>を利用できる仕組みが必要である。物流分野においては、いまでもEDI<sup>21</sup>をベースとした既存システムが多い。APIのリアルタイム送受信に対して、EDIはバッチ送受信のみに対応する。しかもAPIより開発コストが高い（平田・森、2018）。EDIベースの基幹システムをAPI対応可能にすることは重要な課題である。BCやAIなどのような破壊的技術を導入する際、EDIベースの既存システムをアップグレードするより、新たにAPIベースのシステムを構築する方が低コストで所要時間も短いケースがある。APIの普及において、標準化の課題は重要である。現在国際機関、各国の政府、業界レベルの標準が乱立している状況である。コンテナ船業界のデジタル標準策定を目的とした国際団体「DCSA」は運航スケジュール、港湾業務、電子B/Lについて電子化する標準を取りまとめ、公開している。日本での実証実験において、このような国際標準機構と機密に連携し、国際標準に準拠して行うことを推奨する。また、APIは簡単に操作可能なアーキテクチャスタイルであり、国や業界の独自の基準（例、10ftコンテナ、低床シャーシ）にも柔軟に対応可能である。

Munimら（2021）は海事分野におけるBCの実用化における主な課題について、データ要素の標準化の欠如、システム間の相互運用性と拡張可能性の欠如、法整備の遅れ、技術への理解不足、従事者への研修施設教材の不足などを挙げていた。PiChainも、BC技術を用いるため、同じ課題に直面している。さらに、PI導入に伴い、参加物流企業の誘致、インフラ整備などの課題も解決する必要がある。これらの課題に対する解決策の探究は今後の課題としたい。

## 6. おわりに

本稿では、インダストリー4.0時代の物流分野において、物流ネットワークをデジタル化するPIと安全な情報交換ができるBC技術を応用し、物流全体の効率を向上させ、持続可能な次世代物流を創生する枠組み「PiChain」を提案した。「PiChain」の導入からは、以下3つの効果を期待できる。

### 6.1 サプライチェーンのレジリエンスの強化

昨今、天候不順、サイバー攻撃、港湾混雑などの予想外の事情によるサプライチェーンの混乱が多発している。特に、2020年頭からの新型コロナウイルス感染症に伴い、一部の国において渡航制限や国境封鎖が行われたことより、海・陸・空物流の寸断が発生した。物流の寸断は各国で生産停滞ももたらした。本稿で提案した枠組み「PiChain」は非常時のサプライチェーン管理や災害からの早期回復に役立つ。BCベースのプラットフォームからリアルタイムの動静を把握でき、配送の全過程を可視化しているため、予想外の遅延が生じて、素早く対応可能になる。また、PIコンテナは組合せ自由であるため、代替輸送手段への切り替えも柔軟に対応できる。さらに、ドローンなど自動配達方法の応用によつ

<sup>20</sup> Application Programming Interface の略語で、ソフトウェアコンポーネント同士がリアルタイムで互いに情報をやりとりするのに使用するデータ交換仕様である。

<sup>21</sup> Electronic Data Interchange の略語で、「電子データ交換」とも呼ばれる。1970年代に勃興した技術で、主に企業間の電子商取引のための情報互換に用いる。

て、深夜帯や危険な環境でも配達できるようになる。「PiChain」は広範囲にわたって未知のリスクを管理しながらサプライチェーンのレジリエンスを強化できる。

また、近年、サプライチェーンにおけるサイバー攻撃は着実に増加している。リスクが日々高まる中、高水準のサイバーセキュリティはサプライチェーンのレジリエンス<sup>22</sup>の要件となっている。「PiChain」の枠組みは BC 技術を用いることで、ネットワーク全体にサイバー攻撃に対する高い耐性を持たせている。被害を受けた場合も、盗まれたデータは BC で生成したハッシュ値であるため、ハッシュ値から元のデータに復元することは困難であり、情報漏えいリスクはかなり軽減される。また、データはクラウド上で分散保存されているため、攻撃後に迅速な回復が可能である。

## 6.2 サプライチェーンの持続可能性

「PiChain」の枠組みによる持続可能なサプライチェーンの構築について、以下の3点にまとめておきたい。

### (1) SDGs 目標の実現

GHG 排出の可視化、測定、最適化によって環境への悪影響を最低限にすることが可能になる。これは SDGs 目標 13「気候変動に具体的な対策を」の実現に貢献する。

### (2) 労働条件の改善

「PiChain」の枠組みにおいて、労働者の処遇改善が想定される。例えば、AI が導いた最適な配送ルートでは、待ち時間が短縮され、運転手のストレスを軽減できる。また、物流従事者は高度的な可視性のメリットを享受し、主体的に業務をこなすことが可能になる。こちらは SDGs 目標 8「働きがい」に寄与する。

### (3) サービス品質の向上

「PiChain」による可視性のある物流管理ではジャストインタイム配達がより容易になる。また、ドローンの展開によって、夜間配達も可能になる。不測の事態が発生しても、いち早く対応可能であるため、物流業務の品質向上につながる。

## 6.3 新しいビジネスモデルの創出

画期的技術の普及に伴い、新たなビジネスモデルが生まれてくる。一例として、空コンテナ返却の際のヤードにおける検視は、これまで人による目視であった。今は、AI の画像認識技術を用いて、ゲートで監視カメラが自動撮影したコンテナの写真を AI が素早く解析し、コンテナに汚れやダメージがあるかどうかを 98% 以上の精度で判定できる。海外ではすでにこのようなサービスが提供されている。

また、「PiChain」において、セキュリティが担保されたビッグデータを管理することが可能になっている。IoT などから収集・蓄積したビッグデータを AI が解析し、サプライチェーンのエンドツーエンド最適化、リアルタイム可視性などが実現可能になる。革新的テクノロジーの恩恵を受け、サプライチェーンにおけるニッチなサービスの提供する新しいビジネスモデルは雨後の筍のように現れてくるであろう。

---

<sup>22</sup> サプライチェーンのレジリエンスとは、予測できなかった事象によって危機的な状況や不利な状況に陥った状況から、元通りに回復するための力とスピードを指す。

さらに、BC や AI などの技術研修を提供するビジネスが登場する。企業の経営層だけでなく、現場の従事者も新技術の基礎知識を習得し、より快適かつ効率的に業務を行う。このようなサービスはまだ数少ないため、今後需要がさらに高まり、この分野の新規ビジネスも増えていくであろう。業務のデジタル化、新しいビジネスモデルの創出に伴い、インダストリー4.0時代の物流が形成していく。

本稿は、PIにおけるBC技術の応用方法について、「PiChain」という枠組みを提案した。この提案は、未熟ではあるが、インダストリー4.0時代の物流分野の技術進歩の一助になれば、幸甚である。

### 【参考文献】

- Hasan, H. R., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., & Omar, M. “Blockchain Architectures for Physical Internet: A Vision, Features, Requirements, and Applications”. In IEEE Network. 2020. 35(2), 174-181.
- Meyer, T., Kuhn, M., & Hartmann, E. “Blockchain Technology Enabling the Physical Internet: A Synergetic Application Framework”. Computers & Industrial Engineering. 2019. 136, 5-17.
- Montreuil, B., Meller, R. D., & Ballot, E. “Towards a Physical Internet: The Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation”. 11th IMHRC Proceedings (Milwaukee, Wisconsin, USA). 2010. 40.
- Morkunas, V.J., Paschen, J., & Boon, E. “How Blockchain Technologies Impact Your Business Model”. Business Horizons. 2019. 62(3), 295–306.
- Munim, Z. H., Duru, O., & Hirata, E. “Rise, Fall, and Recovery of Blockchains in the Maritime Technology Space”. Journal of Marine Science and Engineering. 2021. 9(3), 266.
- Rocket, T., Yin, M., Sekniqi, K., van Renesse, R., & Sirer, E.G. “Scalable and Probabilistic Leaderless BFT Consensus Through Metastability”. arXiv 2019, preprint, arXiv: 1906.08936.
- Sirer, E.G. “Open and Programmable Finance with Avalanche”. In BlockChainJam 2020. Available online: <https://www.youtube.com/watch?v=Q4XLzTa5G64> (accessed on 17 July 2021).
- Tan, B. Q., Wang, F., Liu, J., Kang, K., & Costa, F. “A Blockchain-Based Framework for Green Logistics in Supply Chains”. Sustainability. 2020. 12(11), 4656.
- 齋藤政彦, 小澤 誠一, 羽森 茂之, 南 知恵子編『データサイエンス基礎』, 培風館, 2021.
- 平田燕奈, 森隆行『e-Shipping: 外航海運業務の電子化』, 海文堂出版, 2018.
- 平田燕奈「海運物流分野におけるブロックチェーン技術活用の可能性」, 海運経済研究, 2019, 第53巻, 61-70頁.