

IoTにおけるブロックチェーンの適用可能性について — 「つながるIoT」プラットフォームの実現に向けて—

調査部 副主任研究員 北野 健太

目 次

1. はじめに
2. 広く社会へ普及するIoT
 - (1) IoTの概要
 - (2) IoTに関する国内外の取り組みと「つながるIoT」
 - (3) 「つながるIoT」における課題
3. ブロックチェーンの発展と展望
 - (1) ブロックチェーンの発展と分類
 - (2) スマートコントラクトと自律分散型組織（DAO）
 - (3) ブロックチェーンの展望
4. IoTにおけるブロックチェーンの適用可能性について
 - (1) 「つながるIoT」プラットフォームに適合するブロックチェーン
 - (2) 具体的なユースケース
 - (3) 今後の取り組みについて
5. おわりに

要 約

1. IoTは、世の中のあらゆるモノをネットワークに接続することで、さまざまな付加価値を生み出すことを目的としたITインフラストラクチャである。AI（人工知能）、ビッグデータなどの技術とともに利活用することで、経済活動の効率性や生産性が大きく向上すると見込まれている。さらに、高齢・人口減少社会における経済、社会保障などの面で生じる課題を解決する手段としても注目を集めている。
2. IoTの実用化および高度化に向け、企業や業界においてさまざまな取り組みが行われているものの、いまだ特定の企業や工場内の最適化、生産性向上といった狭い適用範囲での利用にとどまるものが多い。しかしながら、各種のデータの統合と利活用による潜在力を考えれば、サプライチェーンの上流から下流にかかわる企業がデータによって結び付き、業界を跨がる社会のあらゆるモノがIoTでつながり、人の関与なしにモノが自動的・自律的に動作する方向へ進展するとみられる。
3. 社会全体へIoTサービスを展開するには、1社単独で提供するのには困難であり、さまざまな企業が連携してサービスを提供するオープンイノベーションが不可欠である。その際、他社との協業体制を構築し、素早く、最適に結び付き、新しいサービスを提供することが可能な「つながるIoT」のプラットフォームが必要になる。そうしたIoTプラットフォームの実現において、従来のITシステムで一般的な中央集権型であれば管理主体に負荷やコストが集中するうえに、管理主体の技量や資金力がシステムの機能や信頼性の制約条件となる。そこで、参加者間で分散統治する分散型システムを形成するほうが有利となる場合がある。
4. ブロックチェーンは分散型システムの一つであり、その革新性や応用可能性から大いに期待を集める技術である。ブロックチェーンは特徴の異なる3種類に大別できるとされており、それぞれ特徴や適性があるにもかかわらず、一括りに議論されることが多く、正しく認知されているとは言い難い。分類ごとの特徴や課題を十分把握したうえで利用目的やシステムへの適合を見極めなければ期待する効果は得られない。
5. ブロックチェーンは発展途上の技術であり、現時点の成熟度を勘案すれば、コンソーシアム型と呼ばれるブロックチェーンの活用が最もIoTプラットフォームに適合する可能性が高い。台帳を分散保持することで障害に対する耐性を高め、さまざまなモノやサービスの接続を容易にする拡張性を備え、参加者間での相互運用性の向上が期待できる。さらに、副次的なメリットとして、スマートコントラクトと呼ばれる自動執行機能をブロックチェーンに実装することにより、参加者は共通のルールに従わざるを得ないため、標準化とオープンイノベーションの推進に寄与する。
6. 広く社会へ普及するIoTの実現に向けて、最初から完全な正解（仕組み）を求めて長時間を費やすのではなく、少数の関係者でコンソーシアムを組み、実現可能性の高いところから迅速に試行錯誤を繰り返し、運用しながら修正・拡張していくことが重要である。そうした観点からも、IoTにおけるブロックチェーンの利活用にはメリットがある。

1. はじめに

IoTとは「Internet of Things（注1）」の略語であり、「モノのインターネット」と訳される。モノがインターネットにつながりAI（人工知能）、ビッグデータなどの技術と組み合わせられることで、経済活動の効率性や生産性が大きく向上し、高齢・人口減少社会における経済、社会保障などの面で生じる課題を解決する手段として注目を集めている。すでにIoTの実用化および高度化に向け、企業や業界においてさまざまな取り組みが行われているものの、多くは特定の企業や工場内の最適化、生産性向上といった狭い適用範囲での利用にとどまっている。しかしながら、さまざまなデータの統合と利活用による潜在力を考えれば、サプライチェーンの上流から下流にかかわる企業がデータによって結び付き、業種や業界を跨がる社会のあらゆるモノがIoTでつながり、人の関与なしにモノが自動的・自律的に動作する方向へ進展するとみられる。

そのように業種や業界を跨いで社会のあらゆるモノがIoTでつながり、接続先が膨大に増えていくのであれば、標準化され、拡張が容易なITプラットフォームの構築が必要になる。これを中央集権的なクライアント・サーバ型のシステムで実現するには、管理主体に負荷やコストが集中するうえに、管理主体の技量や資金力がシステムの機能や信頼性の制約条件となる。IoTのように、異業種間でさまざまな企業が連携してサービスの実現や拡張を図る分野においては、新たな管理主体を決めて中央集権的なシステムを構築するよりも、参加者間で分散統治する分散型システムを形成するほうが手間やコストを勘案すれば有利な場合があると考えられる。

そして、このような分散型システムにおいてブロックチェーンを利活用するとメリットが得られる可能性がある。ブロックチェーンは発展途上の技術であり、課題が指摘されているものの、そのアイデアの革新性に加えて、幅広い用途への活用が可能との期待から大いに注目を集めている。ブロックチェーンを使えばコストを削減できるなど一括りに議論されることも多いが、ブロックチェーンは管理者の有無やそれが単体か複数かによって、パブリック型、コンソーシアム型、プライベート型、と特徴の異なる3種類に大別できると言われており、それぞれの特徴を十分把握したうえで、利用目的やシステムへの適合性を見極めなければ期待する効果は得られない。台帳を分散保持することから可用性が高い、連鎖するデータ構造を持つことから改ざんに強い、取引を確実に記録し追跡が可能、という特徴は共通しているものの、種類別にみれば、パブリック型は高い処理速度を求められるシステムには不向きであるし、プライベート型ではコンソーシアム型やパブリック型のもつ仲介者のコストを低減可能、といったメリットを享受できない。

本稿では、まずIoTが今後どのような広がりを見せるのか、またその際の課題認識を整理する（2章）。次に、ブロックチェーンの分類別に技術的特徴と今後の展望を明らかにしたうえで（3章）、IoTのプラットフォームに求められる要件を考慮したブロックチェーンの適用可能性について検討する（4章）。

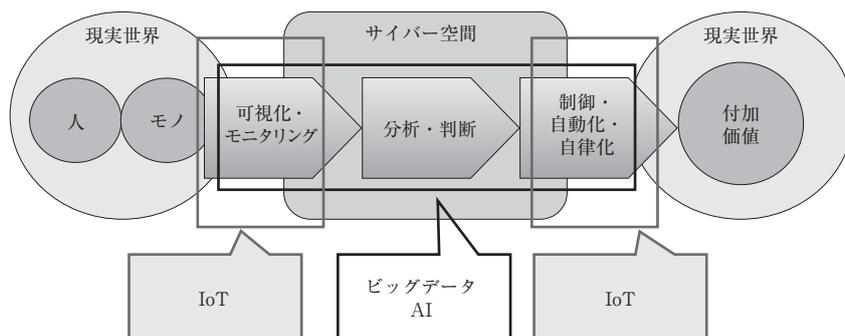
（注1）Internet of Everything、IoEとも呼ばれるが実態は同じことを指している。

2. 広く社会へ普及するIoT

(1) IoTの概要

IoTという言葉は一般的になったものの、論者によりその定義は一定ではない。類似した用語としてCyber Physical System（以降、CPS、注2）、Machine to Machine（以降、M2M）といったものも存在し、同義でとらえられることもある。本稿におけるIoTとは、CPSを実現する技術要素の一つとしてとらえ、「世の中に存在するあらゆるモノに通信機能を持たせインターネットに接続させ、広範囲に分散している大量のモノから大規模な情報（ビッグデータ）を集めて可視化、分析、制御することで、新しい付加価値の創造を実現するITインフラ」と定義する。図表1のように、IoTによりこれまで取得できなかったさまざまなデータを収集し、その膨大なデータをAIで分析することで、リアルタイムに判断し、それに基づくモノの制御や自動化・自律化を促進し、新たな付加価値を創造することが期待されている。

(図表1) IoTとビッグデータ、AIの関係



(資料) 日本総合研究所作成

IoTを実現するための技術要素や利害関係者は多岐にわたる。IoTの構成要素は、①IoTデバイス、②ネットワーク、③プラットフォーム、④コンテンツ・アプリケーションの4つのレイヤーに大別できる(図表2)。①のIoTデバイスとは、IoTネットワークにつながるスマートフォン、ウェアラブル端末、ビルや工場、社会インフラに設置された各種センサーなどネットワークに接続するモノを指す。②のネットワークは、ゲートウェイとなる通信機器およびインターネットやM2Mなどの通信ネットワークのことで

(図表2) IoTのレイヤー構造

レイヤー	内容
コンテンツ・アプリケーション	アプリケーションやサービス
プラットフォーム	クラウドサービス、ミドルウェア
	データセンター、ハードウェア
ネットワーク	固定通信サービス、移動体通信サービス
	通信機器、エッジコンピューティング、M2M
デバイス	スマートフォン、ウェアラブル端末など
	各種センサー

(資料) 日本総合研究所作成

ある。③のプラットフォームは、ハードウェア・OS・ミドルウェアによってIoTデバイスから集められたデータを蓄積し、上位のアプリケーションが動作する環境などを提供する。④のアプリケーションレイヤーには、製造業、農業など各分野で用いられるコンテンツやアプリケーションが含まれる。本稿で議論するプラットフォームとは、③のIoTプラットフォームレイヤーに相当する部分を想定している。

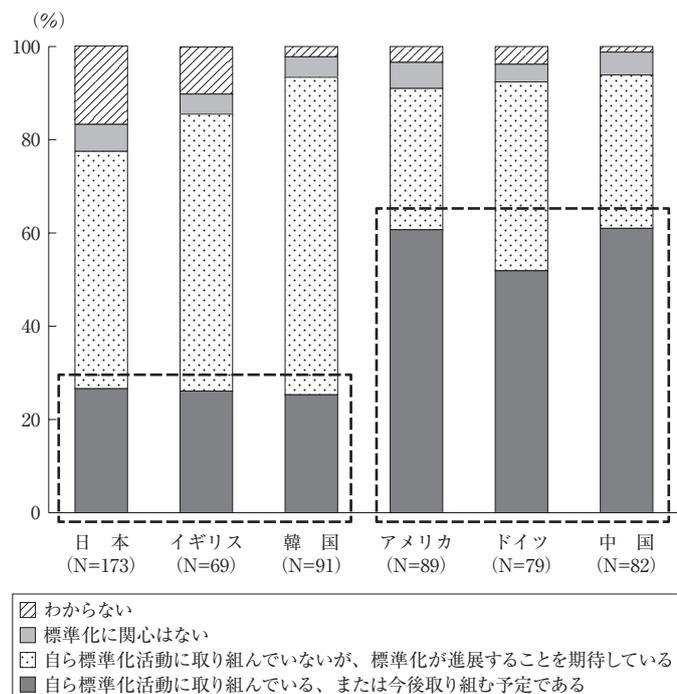
(2) IoTに関する国内外の取り組みと「つながるIoT」

さまざまな企業および組織がIoTの研究開発・標準化に積極的に取り組んでいる（注3）。世界におけるIoTプロジェクトの例として有名なのは、製造業に強みを持つドイツが、企業の枠を超えて、産官学一体となって次世代のものづくりの実現を目指す「Industrie 4.0（以降I4.0）」と、ゼネラルエレクトリック（GE）をはじめとしたアメリカIT企業が主導する「Industrial Internet Consortium（以降IIC）」である。前者は、製造プロセスの垂直統合と、製品ライフサイクルおよびバリューチェーンの水平統合を実現する高度な生産システムを構築することにより製造業の生産性を高め、そうしたドイツ流のものづくりの世界標準化を狙っている。これに対し、後者では、“Predix”という共通プラットフォームを提供し、そこに誰でもアプリケーションとしてサービスを開発・利用できるようにすることで、IoTを活用した産業機器等の遠隔監視、予防保全の高度化、オペレーション最適化などハードウェアにソフトウェアを融合させ新たな付加価値の創出とグローバルな標準化を図ろうとしている。

主要国における企業のIoTにかかわる標準化への取り組みに関する調査（総務省）によると、自ら取り組むスタンスの企業の割合が高い国（アメリカ、ドイツ、中国）と低い国（日本、イギリス、韓国）に2分される結果となっている（図表3）。先述のドイツとアメリカの取り組みに加え、中国では政府が中心となって「中国製造2025」を推進しており、国家的なプロジェクトが先行する国では、企業のスタンスも積極的であると言える。

IoTというと、スマートウォッチのようなウェアラブルデバイスをイメージする人もいれば、工場内のさまざまなセンサーがネットワークに接続されたスマートファクトリーなどを思い浮かべる人もいるであろう。しかしながら、それらはIoTを部分的に導入したものに過ぎない。IoTの真の価値は、デバイス、デバイスを介した人々の行動や各社のITシステムなどといったあらゆるものが連携することでビッグ

（図表3）IoTにかかる標準化に対する各国企業のスタンス



（資料）総務省「平成28年度版 情報通信白書」を基に日本総合研究所作成

データを形成し、そこから新たな価値を生み出すことにある。将来的にIoTの利活用は一つの企業や一つの工場内での最適化、生産性向上といった狭い適用範囲にとどまらず、サプライチェーンの上流から下流にかかわる企業全体を結び付け、業界を跨り社会のあらゆるものに適用範囲が拡大するとみられる。

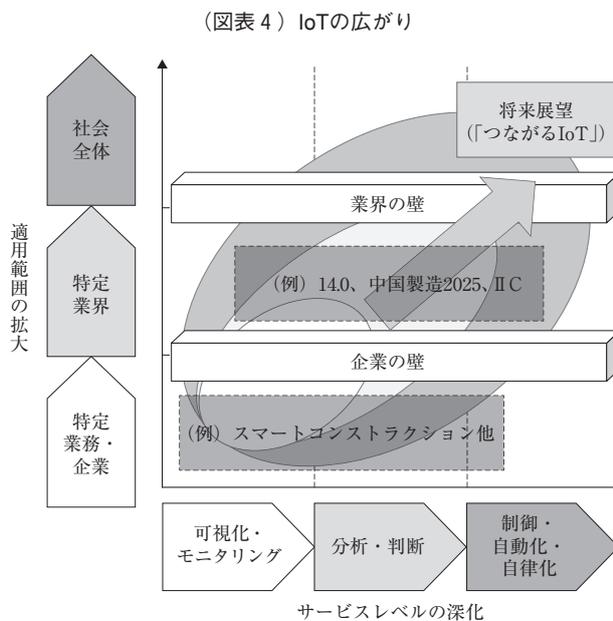
また、IoTが可能とするサービスのレベルも段階的に深化すると予想される。まずはじめは、工作機械や建設機械、医療機器、社会インフラなどのモノにセンサーを設置してネットワーク化することにより、モノの状態のモニタリングが可能となる。次の段階では、そこから得られたビッグデータとAIを活用することによって、高度な分析・判断が可能となる。さらには、そうした結果を基にしたモノの制御や自動化・自律化を促進する方向へと発展するとみられる（図表4）。

わが国企業のIoTに対する取り組みで、先行事例として広く知られているのは、コマツ（株式会社小松製作所）のスマートコンストラクション（注4）である。そこで

は、ドローンを使って現況測量を行い、得られた現場の三次元データを基に施工計画を作成し、ITにより知能化された建機が施工計画と連携し運転者の操作をアシストすることで、初心者でも安全な施工が可能となっている。現場の建機だけでなく、工事の開始前から終了後までのすべての工程にかかわる人、機械、環境情報をITでつなぎ、安全性やコスト・工期にかかわる現場の課題を解決する仕組みである。

コマツの例はIoTを活用した好事例であるが、業界横断的な適用範囲の拡大や自動化・自律化へ向けたサービスレベルの深化の余地を残している。例えば、道路インフラ、自動車製造業、自動車保険などは、従来独立した運営がなされているが、これらをIoTで連携することによって、新たな商品・サービスが生まれる可能性がある。具体的には、ある自動車が路上で自動車事故を起こした場合、その情報が自動的に道路管理者に通報されるとともに、保険会社のドローンが事故地点まで自動で出動し、事故の状況を撮影して保険処理を行う、というサービスなどが考えられる（注5）。

「つながるIoT」とは、業界横断的にモノがつながり、自動化・自律化といった高度な制御が実現されたIoTである。わが国では高齢・人口減少社会の進展が一段と深刻になっており、産業の効率化、高度化へ向けた取り組みは一層重要となる。「つながるIoT」の利活用は、そのような要請に応えるものである。その実現に向けた課題については、次節で整理する。

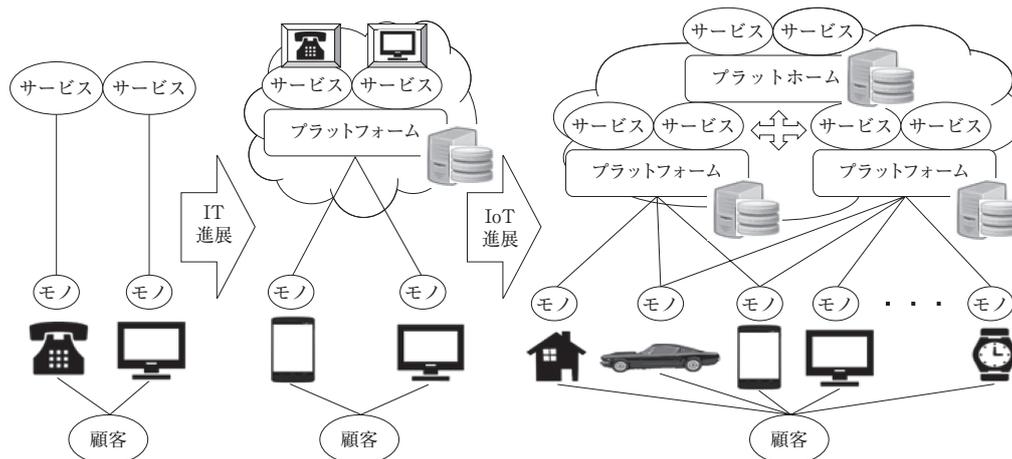


(資料) 日本総合研究所作成

(3) 「つながるIoT」における課題

ITが広く普及する以前は、電話機は通話、テレビは放送の受信という単一のサービスを提供するモノであったように、モノとサービスは主に一対一に対応付けられていた。その後ITが進展し、OS（注6）がWindowsなどに標準化され、各々独立していたコンピューターがインターネットでつながるといったITプラットフォームが整備されたことで、通話する、テレビ放送を受信する、書籍を購読する、音楽を聴く、などといった多数のサービスをスマートフォンなどの同一のモノを使って利用できるようになった。さらに、今後IoTが社会全体へ広がるとともに、各企業のITプラットフォーム同士が複雑に結び付くことが予想される（図表5）。なぜなら、サービスが高度化するにつれて、1社単独で多数のモノを管理運営し、顧客視点に立ったサービスを迅速に開発することが困難になるためである。そこでは、他社との協業体制を構築し、最適に結びつき、顧客ニーズに応じた新しいサービスを素早く提供するオープンイノベーションが求められる。

(図表5) IoT進展のイメージ図



(資料) 日本総合研究所作成

このように複雑化するプラットフォームで高度なサービスを迅速に実現するためには、従来のITシステムで一般的である中央集権的なクライアント・サーバ型のシステムでは、接続先が増え、トラフィックが膨大になるにつれてサーバ側に処理が集中してボトルネックが発生しやすい。また、管理者が個々の接続を管理するのは、スピードやコストの面で困難で高コストとなる場合がある。経済産業省の報告書（注7）によると、中央集権的なITシステムにおける技術的課題として、①データ量の爆発的増大とリアルタイムレスポンスへの対応、②高可用性とセキュリティの確保、加えて社会的観点から、③プライバシー保護、④特定組織によるデータ寡占化によるロックインへの懸念、などが指摘されている。そして各課題に対して、①エッジヘビー（フォグ）コンピューティングの実現、②ブロックチェーンの活用、③パーソナルデータストアの実現、④シェアリングエコノミーの促進、といった課題解決に向けたアプローチが言及されている。同報告書では、IoTの進化という観点を踏まえつつ、そこに立ちあがる中長期的な課題と取り組みの方向性が提示されているものの、解決案の妥当性や実装に向けて

の具体的な議論には至っていない。

以下では、課題②（高可用性とセキュリティの確保）の解決策として提示されているブロックチェーンを活用したIoTのプラットフォームの実現可能性について検討する。前述した経済産業省報告書ではブロックチェーンの優位性として可用性とセキュリティが指摘されているが、筆者はそれらにとどまるものではないと考える。次章では、まずはブロックチェーンとはどのようなものか、その発展の歴史と特徴について整理する。

(注2) デジタルデータの収集、蓄積、解析、解析結果の実世界へのフィードバックという実世界とサイバー空間との相互連関。サイバー空間に実世界の状況が写し取られ、サイバー空間での情報処理結果が実世界の動きを制御するというもの。

(注3) oneM2MやITU-Tなどの通信キャリア、インターネット業界などを対象にした通信系技術標準化を進める団体や、IECやISOが進めるデバイス、IT機器インタフェース業界、家電業界などを対象にした技術標準化グループなどその活動主体は多岐にわたる。

(注4) 株式会社小松製作所Webサイト <http://smartconstruction.komatsu/>

(注5) 災害や事故の被害状況の調査にドローンを活用しようとする取り組みが盛んになっている。2016年7月のプレスリリースによると、損害保険ジャパン日本興亜株式会社では、ドローンを事故現場で飛行させ、上空から静止画や動画の撮影を行うことで、事故現場を3次元空間で再現し、道路の傾きや幅員を含む事故現場の全体像を正確にとらえることが可能になったという。本編で述べたように、今後自動車製造業や道路インフラなどと業界を超えた連携が予想される。「交通事故検証にDJI社のドローンを活用3次元空間でのシミュレーションで事故現場の視覚化を可能に」 http://www.sjnk.co.jp/topics/2016/20160705_1/

(注6) オペレーティングシステムの略。パソコンやスマートフォンを動かすための基本となるソフトウェア。

(注7) 経済産業省 産業構造審議会 情報経済小委員会 分散戦略ワーキンググループ 中間とりまとめ「IoTの進展による分散型のアーキテクチャ及び社会システム等について」(2016年11月)

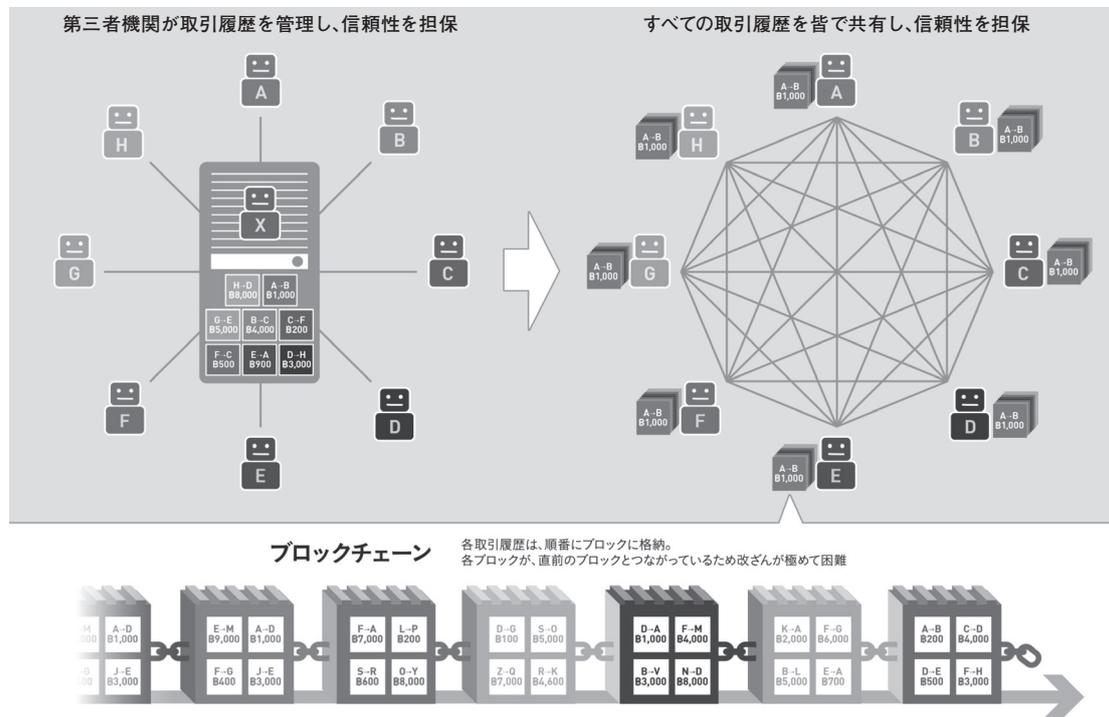
3. ブロックチェーンの発展と展望

(1) ブロックチェーンの発展と分類

ブロックチェーンは、本来ビットコインに実装された技術を総称したもので、既存の暗号技術などを組み合わせたものであり、ブロックチェーン自体に明確な定義があるわけではない。実際、ビットコインのブロックチェーン技術から派生する形で、さまざまなブロックチェーン技術が研究開発されており、ブロックチェーンの外延は曖昧で本質をとらえることは難しい(注8)。本稿では、「複数の取引がブロックという単位に格納され、そのブロックが時系列に沿ってチェーン状に連なるデータ構造と、その一連のデータをP2P(注9)ネットワークの参加者で共有して信頼性を担保する仕組みで構成される技術」を指すものとする(図表6)。

まずは、ビットコインの例でブロックチェーンの特徴を説明する。ビットコインは、サトシ・ナカモトなる人物がインターネット上に投稿した論文(注10)のアイデアを基に、インターネット上の有志により開発された仮想通貨である。ビットコインが画期的なのは、インターネットのように不特定多数のコンピューターが自由に参加できる状況において、中央管理者不在でも参加者間で合意形成ができることにある。そこで最も重要なイノベーションはProof of Work (PoW) とよばれる合意形成アルゴリズムを取り入れたことであろう。ビットコインにおけるPoWは「マイニング(注11)」と呼ばれる作業であり、マイニングに成功することで新たなブロックが生成される。生成されたブロックはネットワーク上のすべての参加者へ伝播され、各参加者がブロックを検証し、正しいブロックであれば元帳を更新する(ブロックチェーンに加える)。こうしたネットワーク上の参加者同士の検証・合意により、中央管

(図表6) ブロックチェーン構造のイメージ図



(資料) 経済産業省「ブロックチェーン技術を利用したサービスに関する国内外動向調査」(2016年4月28日)

理者不在でもデータの改ざんや2重支払を防止する措置とともに、悪意を持つユーザーがいてもシステムが維持される仕組みを実現している(注12)。

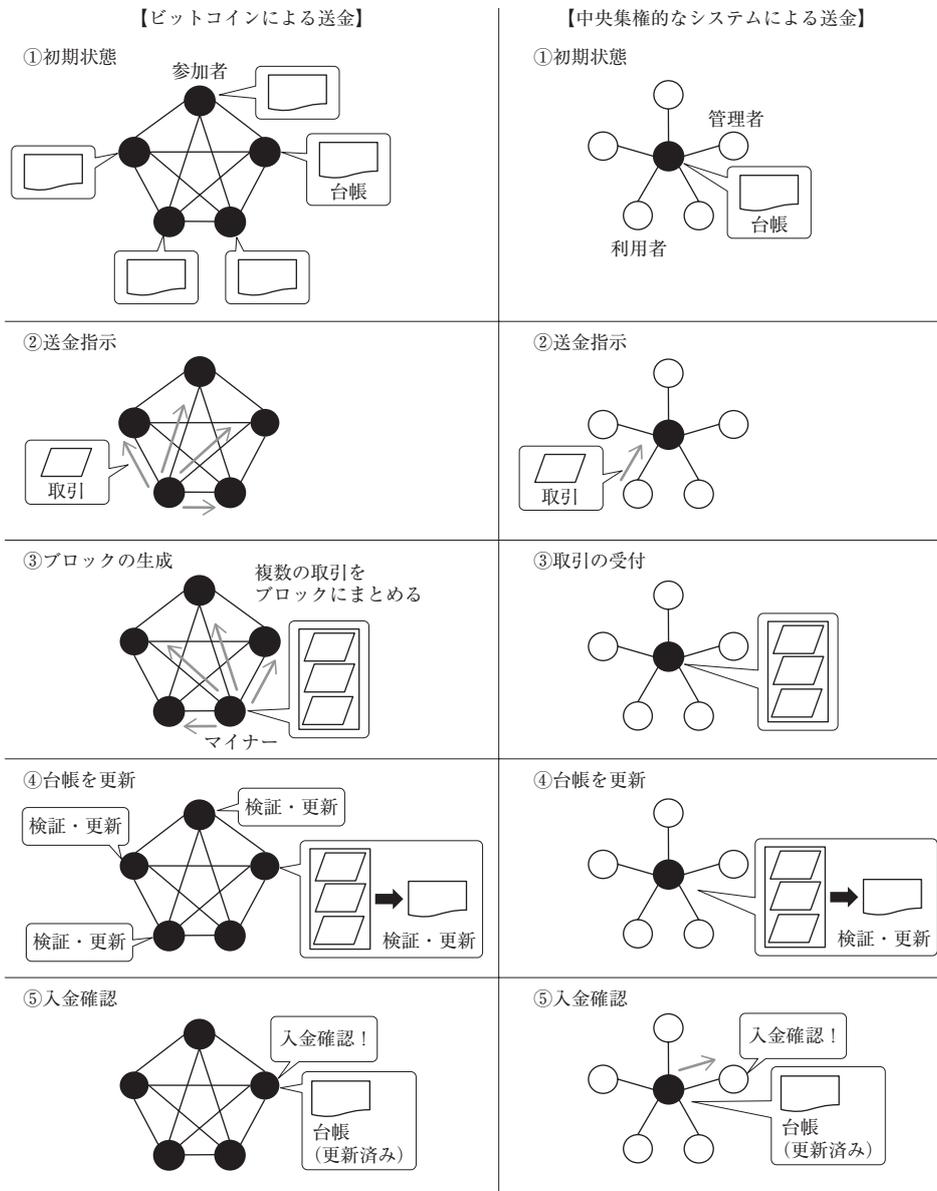
ビットコインの詳細な仕組みの説明は他書にゆずり、ここでは処理の流れを簡単に紹介する。図表7とあわせて参照されたい。①まず初期状態として、ネットワーク参加者が互いにつながっており、同一の台帳を各参加者が共有している。②そこで、送金指示が発生すると、その取引データがネットワーク上を伝播し、すべての参加者へ通知される。③次に、マイニングに成功した者は複数の取引をまとめてブロックを生成し、すべての参加者へ通知する。④その後、各参加者は、新たに生成されたブロックを検証して正しければ自身の台帳を更新する。⑤そして、送金の受け手は、自分宛ての送金指示の取引がブロックに含まれ使える金額が増えていることを確認する。

このようにビットコインでは各参加者が同一の台帳を持ち合い、中身の妥当性を検証しあうことで全体としての整合性が保たれるのである。

こうした誰でも参加が可能で、中央集権的な管理者が不在でもシステムが成り立つブロックチェーンはパブリック型と分類される。P2Pネットワークに接続されている各ノードそれぞれがブロックチェーンのデータをすべて保有し、一部のノードがダウンしても他にもデータを保有するノードが存在するため、全体が停止することがない。また、ブロックチェーンでは取引ごとに電子署名(注13)が付与され、ハッシュ関数(注14)などの技術を用いてブロック同士が互いに関連づけられているため、改ざんの検出が容易である。

ビットコインのブロックチェーンには「可用性が高く、改ざんに強い」といったメリットがある一方

(図表7) ビットコインの処理概要



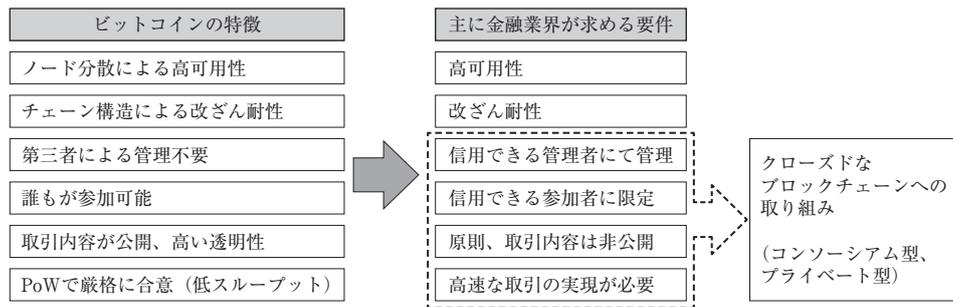
(資料) ビットコインとブロックチェーンP.285を基に日本総合研究所作成

で弱点も存在する。最も大きな課題はパフォーマンスである。ビットコインのブロックサイズは1MBで設計されているため、ブロックに書き込める取引数は有限である。そして、ブロックは原則10分間隔で生成されるようにコントロールされており、取り扱える最大取引件数は毎秒7件程度である（注15）。また、ネットワークの遅延やマイニングが同時に成功することによってチェーンが分岐（フォーク）する可能性があるため、取引認証が手戻りする可能性がある（ファイナリティが確定しない、注16）。さらに、ビットコインは誰でも参加でき、特定のノードを排除する仕組みがないことから、違法な取引に利用されるおそれがある。

例えば、金融機関の取引では毎秒数千件といったレベルのリアルタイム処理能力が要求されることが

多く、プライバシーやコンプライアンス要件も厳しいことから、このような特徴をもつパブリック型のブロックチェーンの採用には不都合な点が多い。そのため、金融機関では管理主体を設置する形態のクローズドなブロックチェーンの開発や実証実験が盛んになっている（図表8）。

（図表8）ビットコインの特徴とクローズドなブロックチェーン登場の背景とその分類



（資料）日本総合研究所作成

管理主体が必要なブロックチェーンは、複数管理者で構成されるコンソーシアム型と単体管理者で構成されるプライベート型に分類できる。いずれも、管理主体が参加者を信頼できる者に限定することで、悪意の参加者を排除するほか、合意形成アルゴリズムにPoWではなく、リアルタイム処理に適したものやファイナリティを確保できるものを採用することで、パブリック型のブロックチェーンの弱点を克服しようとしている（図表9）。

（図表9）ブロックチェーンの分類

	パブリック型	コンソーシアム型	プライベート型
管理主体	なし	複数	単独
ノード参加者	誰でも参加可能	管理主体による許可制	管理主体による許可制
合意形成アルゴリズム	厳密	用途により簡素化可能	用途により簡素化可能
ブロックチェーン技術の例	ビットコイン、イーサリアム	Ripple,R3,mijin,HyperLedger	Hydrachain,mijin,HyperLedger

（資料）日本総合研究所作成

次節では、ブロックチェーンの特徴を考えるうえで重要な、スマートコントラクトと自律分散型組織（DAO）について説明する。

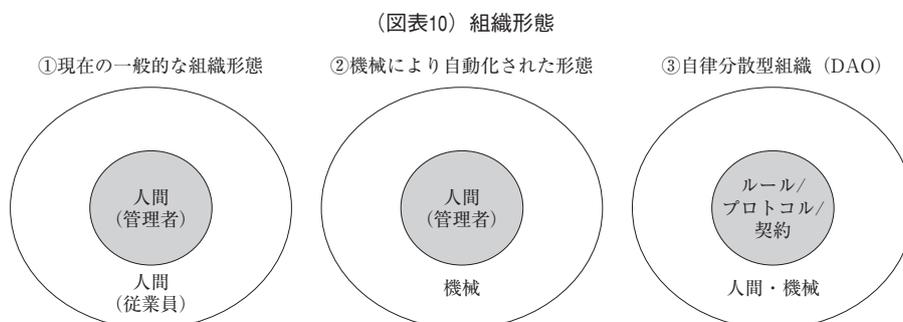
（2）スマートコントラクトと自律分散型組織（DAO）

スマートコントラクトとは、実行条件と実行内容をあらかじめプログラムで定義しておき、条件に合致したイベントが発生すると自動執行する仕組みのことである。ブロックチェーンにはこのようなスマートコントラクトを実装し、参加者間で共有することが可能である。また、契約や事務手続きのプロセスを省力化・自動化することによりコストを削減する、従来はサービス提供元の企業や政府といった中央集権的な管理者の信用のもとに行っていた取引や契約などを、スマートコントラクトというコンピュ

ータープログラムで書かれた契約に従って、直接当事者同士で行う、などができるようになる。

こうしたスマートコントラクトとブロックチェーンを組み合わせることによって「Decentralized Autonomous Organization = DAO（自律分散型組織）」が実現できる。DAOとは「中央の管理主体が存在せず、分散型で自動的・自律的に統治される組織」という、これまで存在しなかった新しい組織形態である。

一般的な組織では人が人を管理し、人に仕事をさせる構造である（図表10の①）。働き手を機械に置き換えると、現代化された工場のように、中央に管理者（人間）がいるが、作業員の代わりに機械が組立などの業務プロセスを行う形態が考えられる（図表10の②）。いずれも、中心には人間による管理が据えられているが、DAOでは中心に人ではなくプログラム化されたルールや契約があり、それに人や機械といったモノが従う構造となる（図表10の③）。



(資料) ビットバンク株式会社&『ブロックチェーンの衝撃』編集委員会 (著)、馬淵邦美 (監修)「ブロックチェーンの衝撃」日経BP社 (2016) p.63-65を基に日本総合研究所作成

このようなDAOの実現によって、人による関与を廃してあらゆるモノが自動化・自律化されれば、人手不足を迎える社会にとって有用性が高い。スマートコントラクトやDAOの事例として、シンジケートローン、不動産の登記などさまざまな契約を伴う取引活動への適用、仲介者を排除するシェアリングエコノミー（注17）、胴元が存在しない予測市場のプラットフォームサービス（注18）などの取り組みがある。

一方で課題も明らかになっている。2016年に「TheDAO事件」と呼ばれる約50億円の詐欺事件が発生した。イーサリアムというブロックチェーン上に構築された「TheDAO」というスマートコントラクトを活用した投資ファンドサービスのプログラムの脆弱性を悪用し、あるハッカーが他人の資金を不正に搾取したのである。ブロックチェーンでは、一度記録されたデータを遡及的に修正することができないため、ハードフォークという解決策がとられた（注19）。DAOの概念では、「法・ルール＝プログラム」であり、ハッカーはプログラムに従って正しい取引をただけだと主張したが、資金を盗まれた被害者や、一般的な倫理感からすれば許しがたい行為であった。

完全に不具合のないプログラムを実装するのは容易ではない。この事件の教訓は、何らかの原因や不正により、正しくない情報がブロックチェーンに書き込まれてしまった場合の対処方法をあらかじめ決めておくべきだということである。例えば、コンソーシアムを組んだ参加者間で事前に紛争解決方法に

ついて協議し合意しておくことや、スマートコントラクトの動作をプライベート型のブロックチェーンで十分検証してから、コンソーシアム型やパブリック型に開放するといった開発手法も確立する必要があるだろう。それでも、何か問題がおこると、最終的には裁判所などの中央集権的な権威に頼らざるを得ない。問題発生時の責任や補償を誰が負うのかについて、人という管理主体が存在しない組織を前提とした法整備の検討も必要であろう。

(3) ブロックチェーンの展望

ブロックチェーンのシステムへの導入が比較的容易なのは1社で完結するプライベート型であるが、現状では運用に関連するツール類の整備が進んでおらず、開発者数もすでに普及している技術に比べて不足していることから、既存の技術よりブロックチェーンが優位になる場合は多くない。また、すでにITシステムが整備されたものをプライベート型のブロックチェーンに置き換えるメリットも見出せないであろう。

さらに、パブリック型のブロックチェーンについては、広く社会に受け入れられるにはまだ時間が必要である。最も普及しているビットコインに関しても、実際には投機を目的とした利用がほとんどであり、パフォーマンスを考慮すると決済手段として法定通貨を置き換えるほどの機能は備えていない。また、先述のTheDAO事件からも理解されるように、パブリックな環境下におけるスマートコントラクトやDAOの安全運用、法制度などについて検討すべき課題が多く、一般社会への浸透には時間がかかるとみられる。

そのため、当面はコンソーシアム型のブロックチェーンの活用が中心になっていくのではないだろうか。コンソーシアムの参加者間で合意したルールをスマートコントラクトとしてブロックチェーンに実装することで運営管理の負荷を軽減でき、さらに参加者を信頼できる者に限定することで悪意の参加者の排除が可能となる。加えて、合意形成アルゴリズムを簡素化することでパブリック型の欠点でもあったパフォーマンスやファイナリティなどの問題を克服できる。すなわち、コンソーシアム型のブロックチェーンは、パブリック型とプライベート型のいいとこ取りが可能なのである。

経済産業省では、ブロックチェーンの社会やビジネスに与えるインパクトは、金融業界にとどまらずさまざまな分野に及ぶと試算している(図表11)。地域通貨のような特定範囲内での価値の流通を促すプラットフォーム、土地の登記、食品などの生産・取引データを記録するトレーサビリティ、映画や音楽などの著作物管理、ダイヤモンドや宝石などの真正性の証明での応用、などが考えられている。そして、前述した「つながるIoT」においても、爆発的に増加する取引を管理し、自動化、効率化を進めるうえで、ブロックチェーン技術は有望だと考えられている。

こうしてみると、ブロックチェーンは、もとめられるパフォーマンス要件があまり高くなく、記録や履歴を確実に残しトレーサビリティに優れること、管理主体や仲介者の関与を減らし省力化するというユースケースへの適用可能性が高いと期待されていることが分かる。

ブロックチェーンは未成熟な部分もあるものの、長所と短所を十分把握したうえで、実際に利用するユースケースに応じて上手に使い分ければ、そのメリットを享受することが可能である。次章では、IoTにおけるブロックチェーン(コンソーシアム型を想定する)の適用可能性について考察する。

(図表11) ブロックチェーンの社会的なインパクト

	社会、ビジネスへの影響	例	市場規模
1. 価値の流通・ポイント化プラットフォームのインフラ化	多様な価値を容易にポイント化し、管理・流通することが誰にでも可能、特定グループ内の局地的な経済活性化が可能	ポイントサービス、地域通貨、電子クーポン	1兆円
2. 権利証明行為の非中央集権化の実現	権威や信用力を持つエンティティが存在しなくても、権利証明等が対抗力となる	土地登記、特許情報、電子カルテ、投票、文書管理	1兆円
3. 遊休資産ゼロ・高効率シェアリングの実現	特定のシェアリングプラットフォーム事業者を介しないC2C取引が普及	シェアリングエコノミー、C2Cオークション	13兆円
4. オープン・高効率・高信頼なサプライチェーンの実現	取引当事者間の信頼関係がなくともオープンでトレーサビリティの確保が可能なプラットフォームが構築	小売、貴金属管理、美術品などの真贋管理	32兆円
5. プロセス・取引の全自動化・効率化の実現	IoT機器間の通信を含む、あらゆるプロセスや取引がスマートコントラクトとしてブロックチェーンに書き込まれることにより、プロセス・取引の全自動化が進む	IoT、エスクロー、資産配分	20兆円

(資料) 経済産業省「ブロックチェーン技術を利用したサービスに関する国内外動向調査」(2016/4/28)を基に日本総合研究所作成

(注8) 例えば、日本ブロックチェーン協会は次のようにブロックチェーンを定義している。1)「ビザンチン障害を含む不特定多数のノードを用い、時間の経過とともにその時点の合意が覆る確率が0へと収束するプロトコル、またはその実装をブロックチェーンと呼ぶ。」2)「電子署名とハッシュポイントを使用し、改竄検出が容易なデータ構造を持ち、且つ、当該データをネットワーク上に分散する多数のノードに保持させることで、高可用性及びデータ同一性等を実現する技術を広義のブロックチェーンと呼ぶ。」一般的に、前者は狭義のブロックチェーン、後者は広義のブロックチェーンまたは分散型台帳技術(DLT)と呼ばれている。 http://jba-web.jp/archives/2011003blockchain_definition

(注9) Peer to Peer (ピア・トゥ・ピア) の略。クライアント・サーバ間の通信に対して、対等のノード同士が通信することを指す。

(注10) Satoshi Nakamoto, 'Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System' (2008年11月) <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

(注11) マイニングに成功したものは一定の報酬を受け取ることができる。しかしこのマイニングは単純だが大変手間がかかる作業である。ブロックはチェーン状につながっているため、ある特定のブロックを書き換えようとした場合、それ以降すべてのブロックもあわせて書き換える必要がある。同時にマイニングが成功する場合があります、その場合はチェーンが分岐(フォークという)するが、最終的に最も長いチェーンが正とみなされる。そのため、ブロックチェーンが伸びるスピードを上回るスピードで改ざんを成功させていく必要があり、実質的に改ざんは困難である。

(注12) ビットコインは、Leslie Lamportらにより1982年に発表された論文「The Byzantine Generals Problem」(<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/lamport/pubs/byz.pdf>)にて議論されたビザンチン将軍問題を実質的に解決したとされる。この論文によると、分散されたネットワークにおいて、偽の情報を流すノードが3分の1未満であれば全体として正しい合意形成ができる。逆に偽の情報を3分の1以上流すノードがいる場合は、全体で正しい合意形成することができない。ビットコインの場合はPoWによって、不正を行うことを高コストにするとともに、マイニングを成功させて正当な報酬を得る方がより経済合理性が高いため不正を働くモチベーションを低下させている。

(注13) 電子署名は、データの送信元が本人であること、データが改ざんされていないことを証明するために用いられる技術。

(注14) ハッシュ関数(要約関数)は、与えられた入力値から、規則性のない固定長の値を生成する演算手法。不可逆な特性をもつ。ハッシュ化されたデータは復元することができないうえ、元のデータが1ビットでも異なると全く異なる出力値となる。

(注15) ビットコインのスケラビリティ問題といわれる。例えばクレジットカードのVISAが処理している秒間47,000件の処理をビットコインで実現しようとする、ブロックサイズは8GB(現状の約8,000倍)必要になると試算されており、これは年間400TB(テラバイト)のデータが生成されることになり、ネットワーク負荷やストレージ容量的に耐えられない。この問題に対しては、ブロックサイズの段階的な拡張や「Segwit」と呼ばれるデータ圧縮方式の導入などが議論・検討されている。

(注16) ファイナリティの課題といわれる。慣例的にビットコインでのファイナリティは、ブロックチェーンに記載されてから、さらに6ブロック生成されたタイミングとなっている。この課題については、本編で述べたようなコンソーシアム型またはプライベート型を採用し、フォークを発生させない合意形成アルゴリズムを採用する案や、別のシステムやアプリケーションによってファイナリティを確保することが考えられる。

(注17) Slock.it社の取り組みでは、オフィスや賃貸住宅へ入るためのスマートロックや、自転車を貸し出しと同時に、保険を発行し決済を完了させられるシステムが紹介されている。 <http://gaiax-blockchain.com/slock-it>

(注18) 「AUGUR」(オーガー)というイーサリアム上のサービス。これは「大統領選の結果は?」「ワールドカップで勝つ国は?」

など、未来の出来事に対してお金をかけ、的中した人に配当を支払う予測市場のプラットフォームである。AUGURでは、分散型のプログラムが、賭け金を預かり、事実を認定し、配当を行うといった機能を果たし、すべて自動で実行するため、管理主体である胴元が存在しない。 <http://www.augur-japan.com/>

(注19) ハードフォークが行われ、不正が行われる前の状態に戻したイーサリアムと、犯人により資金が不正流出したままのイーサリアムクラシックという2つに分岐した。

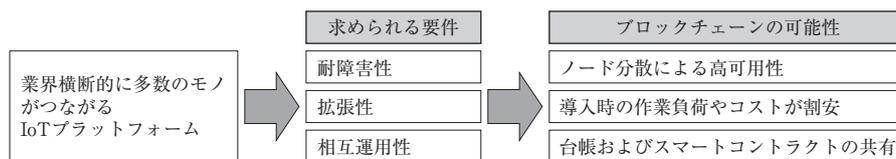
4. IoTにおけるブロックチェーンの適用可能性について

(1) 「つながるIoT」プラットフォームに適合するブロックチェーン

2章で述べたように、業界横断的に多数のモノが接続された「つながるIoT」を実現することが重要であり、それに適したプラットフォームが不可欠である。そうしたプラットフォームにとくに求められる要件としては、多少の障害ではサービスが停止しないような「耐障害性」を備えることや、多数のモノやシステムの接続を容易かつ迅速に実現できる「拡張性」、異なるシステムやサービスが互いに通信することを容易にする「相互運用性（注20）」が考えられる。

ブロックチェーンでは各参加者が分散してデータを保持しており、単一障害点が無いため可用性が高い（注21）。加えて、管理者の中央集権的なサーバは存在せず、各参加者が自身の端末にクライアントを導入するだけでよく、サーバの構築や設定などといった作業が割愛できることから、導入時にかかる時間やコスト面で有利であり拡張性に優れる。また相互運用の観点としては、一般的に他社と接続しデータを共有して相互に利活用するには、データ形式、データアクセス方式の標準化・共通化が不可欠である。ブロックチェーン上において参加者間で台帳を共有するということは、必然的にこれらデータ形式やアクセス方式が標準化されることになるうえに（注22）、スマートコントラクトを参加者間で共有することで、ルールの遵守を事実上強制することが可能になる（図表12）。

(図表12) IoTプラットフォームに求められる要件とブロックチェーンの可能性



(資料) 日本総合研究所作成

一方、これが中央集権的なシステムであれば、接続先が増えるほどサーバなどシステムの負荷や管理者の運用負担が増え、新たに参加者が増えれば増えるほど、拡張コストや拡張にかかる期間が長くなるというデメリットが生じる。さらに、他社との相互運用を実現するには、原則一対一で接続仕様を取り決めたうえで実装が必要である。この接続仕様をパッケージ化してオープンAPI（注23）として公開したとしても、接続先やトラフィックが増えることに応じたサーバリソースの管理など運用面の負担の問題は残る。

こうした従来の中央集権型のシステムでは、企業などの管理者がどれほどITシステムにコストと労力をかけるかで、可用性やセキュリティといったシステムの機能や信頼性のレベルが大きく左右される。

例えば、金融のITシステムでは高パフォーマンスに耐え高い堅牢性を確保し、改ざんが無いことを示すため、膨大な資源を投入するとともに、事務手順やチェック、監査体制などソフト面での体制も併せて構築している。このような管理者による厳格な管理が必要なシステムである場合、またはそうした厳格な管理が可能な規模のシステムである場合は中央集権型のアーキテクチャを採用するのが合理的である。

しかしながら、「つながるIoT」のプラットフォームにおいては、信頼のおける単一企業で集中して管理・運営することは、不可能ではないにしても、拡張に時間がかかり、コストも嵩む。これに対して、ブロックチェーンを活用すれば、障害に対する耐性を高め、さまざまなモノやサービスとの接続を容易にするスケラビリティを備え、参加者間での相互運用性の向上が期待できるIoTプラットフォームの実現を促すと考えられる。

さらに、副次的なメリットとして、コンソーシアムを組んで参加者間でブロックチェーンを用いてつながるためのルール整備およびスマートコントラクトを実装することにより、参加者は共通のルールおよびスマートコントラクトに従わざるを得ない。その結果、標準化の推進とオープンイノベーションの推進も期待できる。

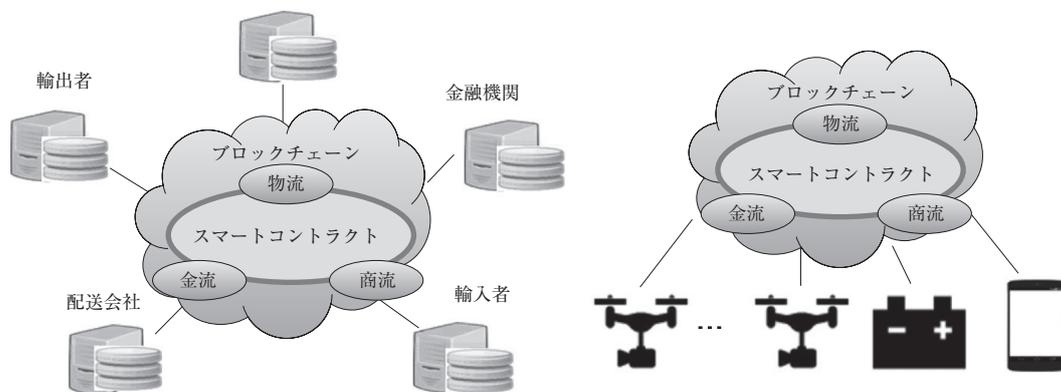
(2) 具体的なユースケース

3章(3)で述べたように、ブロックチェーンが適合しやすいのは、求められるパフォーマンス要件が厳しくなく、記録や履歴を確実に残したい場合や、管理主体・仲介者の関与を減らし省力化したい場合である。そのようなユースケースとして、ここでは、具体的な二つの事例を取り上げる(図表13)。議論の前提として、ブロックチェーンに記録し共有する情報としては、物流、商流、金流といった参加者間における経済活動に関する情報が適していると考えられる。各参加者が保有するコアコンピタンスとなるビッグデータ自体は、各社の戦略上の機密であるため、それらをすべて共有するのは適切ではない。しかし、参加者間で一定のルールに従い取引情報を共有し、経済活動の自動化を促進する仕組みを構築することは、効率性や生産性を高めることに寄与する。

(図表13) ブロックチェーンを活用したIoTプラットフォームのユースケース

ユースケース(1)：トレードファイナンス

ユースケース(2)：ドローンの自動化・自律化



(資料) 日本総合研究所作成

一つ目は、貿易取引におけるトレードファイナンス（注24）である。従来のトレードファイナンスでは、金融機関、輸入業者、輸出業者、物流会社など業界を跨いだ関係者が多いうえに、物流、商流、金流それぞれにタイムラグがあって、非常に煩雑な事務作業が発生している。例えば、商品の引き渡しと代金決済にタイムラグがあり、商品を引き渡したものの代金が回収できないといったリスクがあるが、これを回避する目的で、取引相手が支払うことを金融機関が保証する信用状（L/C）を紙ベースでやりとりをする商慣習がある。この信用状の手続きは非常に煩雑で、取り扱いに要する時間も長い。これまで郵送やメール送信などにより紙ベースで共有していた信用状や契約書などを、ブロックチェーン上の台帳として各々が保持することで、取引状況の更新にあわせて関係者の間でほぼ同時に情報を共有することが可能になる。スイスのUBS銀行（注25）とIBMなどがこの信用状取引へのブロックチェーン適用の実証実験に取り組んでいる。UBS銀行によると、これまで信用状の手続きに、信用状を含む（全部で500gにもおよぶ）36種類の書類を発行し、7日程度を要していたのに対し、ブロックチェーンとスマートコントラクトにより、1時間へと大幅な時間短縮が確認できたという。今後、こうした信用状の手続きだけでなく、実際にモノが引き渡されたタイミングで自動的に事務処理や決済処理が行われることも予想される（注26）。このケースでは、ブロックチェーンの高い相互運用性と記録や履歴を確実に残しトレーサビリティに優れる点が、業務の目的に適合的であると考えられる。

二つ目は、ドローンなどのIoTデバイスを自動的・自律的に管理する場合である（注27）。例えば、利用者がスマートフォンなどを通じて、ドローンに対して仮想通貨で支払いをすると、ドローンが自動走行し、指定した地点の周辺環境の状況を撮影して、その結果を電子的に利用者へ報告するといったサービスが考えられる。ドローンが自身のバッテリーの状況に応じて、充電用デバイスと通信し自動で充電し、利用した電力に応じて仮想通貨で支払いをする。さらに、ドローンの機能変更、ファームウェアなどの更新作業も、各デバイスがスマートコントラクトにより決められたルールに従って自動的に実行される。さらに、ドローンを追加したい場合は、ドローンそのものにプログラムを実装し、ブロックチェーンに参加させるだけで済む。このように、IoTデバイスの製造・供給者は、ドローンのメンテナンスにかかわる作業をブロックチェーンに任せることができ、大幅な省力化が実現できる。各デバイスが相互に通信の送受信を行うため、中央集権型では大量デバイスの管理が必要となり運用負荷が大きいほか、少額決済処理では集中管理のシステムコストを賄いきれない可能性がある。ブロックチェーンを活用することで、こうしたM2Mの自動決済を比較的低コストで実現でき、IoTデバイスの管理・自動制御を容易にする可能性がある。こちらのケースは、ブロックチェーンの高い拡張性と管理主体や仲介者の関与を減らし省力化できる点が業務の目的に適合的であると考えられる。

(3) 今後の取り組みについて

ブロックチェーンをIoTの分野に活用する取り組みとしては、海外ではIBMとSamsungによるADAPTプロジェクト（注28）があり、国内においてもNayutaの「IoT×IoM（Internet of Money）」をコンセプトとした使用権をコントロール可能な電源ソケットの開発（注29）、GMOインターネットグループとセゾン情報システムズによる「本人のみが受け取れる宅配ボックス（注30）」の実証実験などが始まっている。しかし、将来の方向性を決定づけるようなユースケースはいまだ出ておらず、現在模

索している段階である。

広く社会への普及が予想される「つながるIoT」の分野においては、前述したように、オープンイノベーションが不可欠となる。したがって、業界横断的な協業体制を組み、仲間を集めて推進力を高めることが重要である。わが国政府は2015年10月にIoT推進コンソーシアムを設立（注31）し、IoTに関する標準化や企業連携に着手している。また、2017年3月には、経済産業省と総務省が連携し専門チームを立上げ、IoT関連のさまざまなテーマに関して、継続的に検討を行うとされている（注32）。

わが国のIT企業は、アメリカのIT企業であるGoogle、Amazon、Facebookなどに市場シェアで先行され、ビッグデータの保有量でも差を付けられている。また、ドイツのSAPや中国のBAT 3社（注33）などと比較しても、わが国には主導的な立場で推進できるIT分野のプレイヤーが少ない。さらに、NEDOとオープンイノベーション協議会が発表したオープンイノベーション白書（注34）によれば、昨今のオープンイノベーションへの気運の高まりに反して、3年前や10年前と比べて外部連携が活発化している企業は4割強にとどまり、自社単独で研究開発へ取り組んでいる企業が6割弱と未だ自前主義の傾向が強いことがうかがえる。構成要素が多岐にわたるIoTでは、業種を超えて協力・連携し合うことが重要になるが、縦割り構造の多いわが国企業では社内であっても部門間で連携することが難しく、社外や業界横断的に広く技術やアイデアを取り入れ協力し合うことが苦手である。

こうした状況を打開する最も重要なことは、最初から完全な正解（仕組み）を求めて長時間を費やすのではなく、運用しながら修正していく姿勢である。まずは、少数の関係者でコンソーシアムを組み、できそうなところから迅速に試行錯誤を繰り返していく。そうした小さなコンソーシアム型のブロックチェーンがいくつか誕生し、互いに結合したり、どちらかに統合されながら、徐々に大きなブロックチェーンのネットワークを形成していくことになるだろう。別のブロックチェーンへ切り替える必要がでたとしても（ハードフォークしてやり直す場合においても）、パソコンなど各参加者のコンピュータ上のアプリケーションを入れ替えるだけで良く、切り替えコストが低いのもブロックチェーンの利点である。

そして、そうしたコンソーシアム型のブロックチェーンが徐々につながり広がるにつれて、ブロックチェーンを安全に稼働させるノウハウやツールが蓄積し、法整備も進むことが期待される。そのあかつきには、パブリック型の利用可能性も広がってくるのではないだろうか。

(注20) 相互運用性とは、異なるシステムやプログラム同士が、データ形式や通信プロトコルなど共通の規則を通じて、相互にデータをやり取りしたり、ファイルアクセスができることをいう。

(注21) あくまでもブロックチェーンに関する部分のこと。システム全体をみた時にはブロックチェーン以外の構成要素もあり、そうした部分に単一障害点が存在する可能性はある。

(注22) このような標準化に際しては、競争ポイントをどこに置くかを考慮し、オープンにして共通化すべきデータとそうでないデータを見極めることも重要である。

(注23) 「Application Programming Interface」の略。狭義のAPIは、あるプログラムから別のプログラムを呼び出す仕組みを指す。昨今有名な言葉であるAPIエコノミーの意で使われる場合は、自社のITサービスへのインタフェースをAPIとして広く公開して、他社のプログラムからアクセスを許可することで、企業同士がお互いの強みを利用して新たな価値を創出する動きを指す。

(注24) 貿易における物品移動にかかわる金融機関による金融活動（送金の仲介、履行保証、信用供与など）。

(注25) 「UBS Unveils Blockchain for Trade Finance at Sibos」(2016.9.26) <http://www.coindesk.com/ubs-blockchain-prototype-trade/>

(注26) NTTデータや東京海上日動火災保険など貿易業務にかかわる様々な業界の10社程度が、団体（コンソーシアム）を近く組

成し、「ブロックチェーン」を活用した貿易業務の効率化を目指す実証実験を始める。貿易にかかわる複数の業界での検証に拡大し、さらなる効果を探るといふ（日本経済新聞2017年4月21日付）。http://www.nikkei.com/article/DGXLASDC20H1Q_Q7A420C1EE9000/

(注27) ビットバンク株式会社&『ブロックチェーンの衝撃』編集委員会（著）、馬淵邦美（監修）「ブロックチェーンの衝撃」日経BP社（2016）P31 参照

(注28) CoinDesk「IBM Reveals Proof of Concept for Blockchain-Powered Internet of Things」（2015.1）<http://www.coindesk.com/ibm-reveals-proof-concept-blockchain-powered-internet-things/>

(注29) Nayuta社HP <http://nayuta.co/>

(注30) GMOインターネット株式会社 プレスリリース「GMOインターネットグループの2社と、セゾン情報システムズ ブロックチェーンとIoTを活用した実証実験を実施」（2016.12）<https://www.gmo.jp/news/article/?id=5542>

(注31) IoT推進コンソーシアムHP <http://www.iotac.jp/>

(注32) 「経済産業省と総務省の局長級連携チームを発足します～IoT関連の様々な政策を連携して進めます～」(2017.3.29) <http://www.meti.go.jp/press/2016/03/20170328009/20170328009.html>

(注33) Baidu, Alibaba, Tencentの3社。

(注34) NEDO「『オープンイノベーション白書』を策定」（2016.7）http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100600.htm

5. おわりに

ジェレミー・リフキンは『限界費用ゼロ社会』のなかで、IoTの進展が経済活動の効率性や生産性を極限まで高め、将来のモノやサービスは無料になり、人々は経済的な見返りではなくコミュニティへの貢献や社会福祉の増進という新しいインセンティブに基づいて行動する。そして、そうした社会では中央集権的な資本主義は衰退し、分散型の共有型経済が台頭する、と書いている。そこまでの変化が表れるかどうか、現時点では不明ではあるものの、IoTでつながり、そこで得られたビッグデータとAIを活用することにより、あらゆるモノが自動的・自律的に動作するようになると、経済活動の効率性や生産性が大きく向上すると見込まれる。さらに、労働力不足や社会保障など高齢・人口減少社会における課題の解決にも寄与することは間違いないだろう。

本稿では、こうした社会の実現に向けて、「つながるIoT」のプラットフォームを整備する必要があることを示し、ブロックチェーンの分類毎の特徴や課題を整理したうえで、適用可能性とそのメリットについて考察を試みた。繰り返しになるが、IoTを最大限活用するためには単一企業で取り組むのではなく、業界横断的なパートナーシップを結び協業することが重要である。「つながるIoT」のプラットフォームに適合する「耐障害性」「拡張性」「相互運用性」を備え、スマートコントラクトを実装できるブロックチェーンは、標準化とオープンイノベーションを促進し、「つながるIoT」の実現を後押しするであろう。

(2017. 4. 21)

参考文献

- [1] 桑津浩太郎 [2015]. 『2030年のIoT』東洋経済新報社、2015年
- [2] ビットバンク株式会社&『ブロックチェーンの衝撃』編集委員会（著）、馬淵邦美（監修）[2016]. 『ブロックチェーンの衝撃』日経BP社、2016年
- [3] ジェレミー・リフキン（著）、柴田裕之（訳）[2015]. 『限界費用ゼロ社会』NHK出版、2015年

-
- [4] 総務省 [2016]. 『平成28年版 情報通信白書』
- [5] アンドレアス・M・アントノプロス (著)、今井崇也 (訳)、鳩貝淳一郎 (訳) [2016]. 『ビットコインとブロックチェーン 暗号通貨を支える技術』 NTT出版、2016年
- [6] 小林啓倫 [2015]. 『IoTビジネスモデル革命』 朝日新聞出版、2015年
- [7] NIRA総合研究開発機構 [2016]. 「ブロックチェーンは社会をどう変えるか」 2016年