

ブロックチェーンは IoT 拡大の決め手となるか



今後、IoT (Internet of Things : モノのインターネット) が社会に広く普及すると、社会全体で様々な分野や業界のデータが大規模かつ大量に生み出される。これまでは、集約されたビッグデータを活用し、新サービスや新ビジネス等の創出を目的としたデータ分析やマーケティング、あるいは社会全体でデータを共有するオープンデータ化等に社会の関心が集中してきたが、その後、大きく目立つような動きはない。一方、最近では、集約したデータの活用方法そのものよりも、IoT により生み出される大量のデータを迅速かつ安全に処理／保存できる技術や仕組みの注目度が増してきた。IoT 分野ではこれまで、中央集中型の「クラウド・コンピューティング (Cloud computing)」の活用が大きく注目されてきたが、最近では非中央集中型の「ブロックチェーン (Blockchain) 技術」への関心も高くなりつつある。今後、社会全体でビッグデータによるデータ分析やオープンデータ化が推進されていく中で、中央集中型と非中央集中型のどちらが適切なのか、興味深い要素と言える。

ブロックチェーンと聞けば、一般的に、Bitcoin (ビットコイン) に代表される仮想通貨を連想する方が多いのではないだろうか。しかし、ブロックチェーンは、仮想通貨に活用する技術 (ブロックチェーン 1.0) 以外にも、決済・契約・取引等の台帳管理業務 (ブロックチェーン 2.0) や、更にその他の様々な分野 (ブロックチェーン 3.0) への活用の期待が高まりつつある^{1,2,3,4,5,6,7,8}。

本稿では、ブロックチェーンについて様々な情報や用語が飛び交う現状下において、ブロックチェーン技術とは何かを整理し、ブロックチェーン技術を利用した際に要する電力消費量や現在の活用事例等から、将来、IoT により生み出される大量データの処理／保存する技術として、非中央集中型のブロックチェーン技術が台頭するのか、その可能性を探りたい。

1. ブロックチェーンを理解するうえで重要な4要素

ブロックチェーンとは、現時点で明確な定義は定まっていないものの、一般的には、「分散型台帳技術 (DLT : Distributed Ledger Technology)」あるいは「分散型ネットワーク (Distributed Network/Distributed Computing System)」と呼ばれ、中央集中型のコンピュータ (サーバ) を介さず、地域に分散した複数のコンピュータ間でデータの保存ややり取りをする技術のことである。

ブロックチェーンを技術的要素等を織り交ぜながら筆者なりに解釈すると、「地域に分散した無数に広がるコンピュータ (ノード : node) が、それぞれ任意でデータを格納する保存領域 (台帳/ブロック) を生成し、暗号化技術を活用し、保存領域に格納したデータ内容や一連の取引、あるいは処理行為等について、格納に協力したものの全員 (P2P : peer to peer) で信頼性を保証/担保するネットワーク」のことであり、「時間の経過と共に、保証/担保するデータ内容と保存領域の格納に協力したものの同士の繋がりが、データ改ざんされる確率 (ビザンチン将軍問題 : Byzantine Generals Problem ^{9,10}) を限りなくゼロに収束させ、信頼性をより確固たるもの (finality) に近づけるための技術」と考える^{11,12,13,14}。

このように解釈すると、ブロックチェーンの理解を深めるうえで注目すべきキーワードは表1に示す4つであり、特に(1)と(2)が基本構造を知る上で重要な要素となる。

表1. ブロックチェーンで注目すべきキーワード

注目キーワード	概要説明
(1) コンセンサスアルゴリズム (Consensus Algorithm)	需要家間 (P2P) のコンピュータ (ノード : node) 上で、新たな保存領域の生成やデータを格納する処理行為が、信頼性があるかをチェック (合意形成) するためのアルゴリズム
(2) 個々の台帳をチェーン化するアルゴリズム	P2P のコンピュータ (ノード : node) で生成された保存領域 (台帳/ブロック) が、信頼性のある情報として一連の流れで連続的に繋げていくためのアルゴリズム (Bitcoin 等、数多くのアルゴリズムが日々誕生)
(3) ハッシュ値 (Hash Value)	P2P のコンピュータ (ノード : node) の保存領域にあるデータの受け渡しにおいてデータ改ざんを防止するために発行する、暗号化されたユニークかつランダムな使い捨て型の数値情報
(4) スマートコントラクト (Smart Contract)	P2P のコンピュータ (ノード : node) により構築されたブロックチェーン上で実行される、取引や処理行為等を保証/担保するためのアプリケーションプログラム (P2P 取引において、これまで存在していた仲介的な役割を省略することが可能となる技術)

「コンセンサスアルゴリズム」って何だ？

「コンセンサスアルゴリズム」は、整理方法にも様々な見解があると認識するが、ここで

は、信頼性を保証／担保する合意形成方法の違いにより、表 2 のとおり整理した。コンセンサスアルゴリズムは、誰もが自由に合意形成に参加できるタイプである、(A) Unpermissioned 型の①PoW (proof of works : 仕事量の証明) が基本構造であり、①PoW における様々な諸課題、例えば、

- (1) 合意形成者が古参者等に集中する偏重と公平性の改善
- (2) 合意形成速度の高速化
- (3) ビザンチン将軍問題 (51%攻撃、Selfish mining 等) による改ざんリスクの低減
- (4) スケーラビリティ問題 (保存領域の拡張性 (ブロックサイズ) に上限がある) への対策等を目的に、②PoS (Proof of Stake : 出資の証明) や③PoI (Proof of Importance : 重要性の証明)、あるいは合意形成の参加者を限定したタイプである(B) Permissioned 型等の様々なアルゴリズムが現存する。

表 2. コンセンサスアルゴリズムと主なブロックチェーンの種類

合意形成の許可区分	合意形成する参加者の種類	(1) コンセンサスアルゴリズムの主な種類	(2) ブロックチェーンの主な種類
(A) Unpermissioned 型 管理者がおらず、誰でも自由に合意形成に参加できる方式。 なお、合意形成群は、大規模かつ非中央集中型のネットワークとなる。	(a) Public 型 不特定の参加者で合意形成する方式。取引内容は全て公開される。 なお、悪意ある参加者によるデータの乗っ取り (ビザンチン将軍問題) が発生する可能性があることが前提。	① PoW (proof of works) : 仕事量 (Mining : 有効情報の抽出) に応じて報酬を与え、参加者の 51%がブロック生成と合意形成を証明する方式	・ Bitcoin ・ Monacoin ・ Monero ・ Zcash 等
		② PoS (Proof of Stake) : 仕事量と資産保有量 (staking/forging) に応じて報酬を与え、参加者の 51%がブロック生成と合意形成を証明する方式	・ Ethereum ・ Peercoin ・ Nxt ・ BlackCoin ・ Tendermint 等
		③ PoI (Proof of Importance) : 仕事量、資産保有量、取引量等をスコア化し、重要性 (harvesting) に応じて報酬を与え、参加者の 51%がブロック生成と合意形成を証明する方式	・ NEM 等
(B) Permissioned 型 管理者が参加者を管理することで、合意形成の処理速度を高速化する方式。 なお、合意形成群は、小規模かつ中央集中型に近いネットワークとなる。	(b) Consortium 型 特定の組織グループにて合意形成する方式。	④ PoC (Proof of Consensus) : 承認者リスト (UNL : Unique Node List) にある承認者 (Validator) の仕事量に応じて報酬を与え、承認者の 80%がブロック生成と合意形成を証明する方式	・ Ripple 等
		⑤ PoB (Proof of Burn) : ①PoW/②PoS による富の偏重と新規参加者への公平性の観点から、既存の価値と引き換えに (犠牲/焼却行為を証明し)、新たな価値を発行する方式。取引内容は全て公開される。	・ CounterParty 等
	(c) Private 型 特定の私的グループにおいて合意形成する方式。	⑥ PBFT (Practical Byzantine Fault Tolerance) : 信頼性のある参加者だけに限定し、マイニングを行わず、合意形成 (参加者の 2/3 が証明) を高速化する方式	・ ①PoW/②PoS のブロックチェーンと組合せて活用 [活用例] Zilliqa 等
		⑦ PoE (Proof of Existence) : Bitcoin 等主要なブロックチェーンを活用し、データの内容を公開することなく、データの存在だけを証明する方式	・ ①PoW/②PoS のブロックチェーンと組合せて活用 [活用例] Po.et 等

特に、①PoW の諸課題の中で取上げた「スケーラビリティ問題」については、保存領域

(ブロック)が一連の流れで一ずつ繋がっていく通常のアルゴリズムを改善することで、保存領域の拡張性(ブロックサイズ)の限界を解消しているものもある。例えば、一連の繋がりの流れを保ちつつも、複数の保存領域(ブロック)同士が繋がる「DAG 構造(Directed acyclic graph:有効非巡回グラフ)」や、保存領域(ブロック)の生成は行わず、個々のデータ内容が網目状に繋がる「Tangle 構造(非周期グラフ)」等を持つアルゴリズム(DagCoin、IOTA 等)等がこれに当たる。また、アルゴリズムに活用されるプログラミング言語には、(A) Unpermissioned と(B) Permissioned 型の違いや、プログラムの動作手順を記述したソースコードの開示状況による違い(open source/closed source)等は現時点では確認できず、主に Go 言語(Google が開発した言語)、C++、Java、python 等が活用されているのが特徴である。

2. ブロックチェーンの消費電力

Bitcoin が採用する①PoW によるブロックチェーンは、一般的に処理時間が長いことで知られている。これは、合意形成者の「ビザンチン将軍問題(悪意ある参加者による乗っ取り)」があることを前提に、データ改ざんを防止する観点から、1 回の合意形成(トランザクション)に対して、スーパーコンピュータ並みの処理能力(数京 H/s [ハッシュレート])が現在のマイニング速度の主流)でさえも、敢えて 10 分~15 分程度の計算処理を要する手法が採用されているためである。また、この計算処理は、

- (1) 不特定多数の参加者それぞれが、総当り式で合意形成する計算スタイルであること(マイニングにより、ナンズ値(nonce: Number used once)というマジックナンバーを見つけ出す計算処理)
- (2) いち早く計算したコンピュータ(ノード: node)が報酬を得る仕組みであること
- (3) 個人で合意形成に参加するタイプ(ソロマイニング)よりも、最近では、複数のコミュニティが協力するタイプ(プールマイニング)や、合意形成を専門とする企業/団体へ投資するタイプ(クラウドマイニング)等の割合が高いこと

等から、一般的に合意形成に要する消費電力は大きい。

ブロックチェーンの消費電力の衝撃!

世界最大のシェアを誇る Bitcoin の合意形成(マイニング)では、2017 年現在の世界全体における年間消費電力は、推定で最低 13TWh~最大 66TWh 程度、平均で 30TWh 程度である。これは、世界全体の年間消費電力(約 21 万 TWh)の 0.14%程度を占めており、ブルガリア(31TWh)やモロッコ(29TWh)等の一国分の年間消費電力に匹敵する規模となっている。また、これを 1 回の合意形成(トランザクション)当たりの消費電力に換算すると 350~890kWh 程度と、1 回の合意形成で、おおよそ標準家庭の一ヶ月分に相当する消費電力が費やされている^{15,16,17,18,19,20,21}。

表 3. 仮想通貨トップ 15 ²²

順位	仮想通貨名 〔ブロック〕 チェーン名〕	通貨単位	世界シェア	順位	仮想通貨名 〔ブロック〕 チェーン名〕	通貨単位	世界シェア
1	Bitcoin	BTC	32.8%	9	IOTA	MIOTA	1.25%
2	Ethereum	ETH	14.7%	10	TRON	TRX	1.02%
3	Ripple	XRP	6.11%	11	NEO	NEO	0.89%
4	Bitcoin Cash	BCH	4.36%	12	Tether	USDT	0.64%
5	EOS	EOS	2.80%	13	Monero	XMR	0.64%
6	Litecoin	LTC	1.72%	14	Dash	DASH	0.63%
7	Cardano	ADA	1.49%	15	NEM	XEM	0.57%
8	Stellar	XLM	1.40%	全 1,640 種類 (時価総額 : 約 36 兆円) [2018.6.1 現在]			

※銘柄には、「アルトコイン (bitcoin を改良して作られた仮想通貨)」および「トークン (アルトコインをプラットフォームとして発行された仮想通貨)」等、全ての仮想通貨を含む。

このように、Bitcoin が採用する①PoW によるブロックチェーンでは、かなりの消費電力を要するため、現在、アルゴリズムの改善 (例えば、④PoC では 1 回の合意形成に数秒以内とすることで省電力化に貢献) や、コンピュータに搭載する演算処理装置の改善が進行中である。演算処理装置については、これまで CPU (Central Processing Unit : コンピュータの中央処理装置) よりも演算処理が早い「GPU (Graphics Processing Unit : 3D 画像処理装置)」(半導体チップ : 数十 W ~ 数百 W 程度) が主に活用されてきたが、現在では、電気代の削減等を目的に開発が進められ、「FPGA (Field Programmable Gate Array : 論理回路を繰り返し再構築できる半導体デバイス)」や、FPGA よりも更に演算処理が速く消費電力の小さい「ASIC (Application Specific Integrated circuit : 論理回路が予め固定された半導体デバイス)」等 (半導体チップ : 数十 mW ~ 数 W 程度) も採用されつつある。

ブロックチェーンの合意形成では、合意形成者が多ければ多いほどデータ改ざんのリスクが低下する仕組みであるため、よりシェアが高く、より合意形成の報酬が高いものに合意形成者は集中する。このことから、ブロックチェーン技術によるエネルギーや環境への影響等を考える際には、シェアの高いブロックチェーンのアルゴリズムや演算処理装置が、今後、どれだけ省電力化が図れるのかが重要となろう。

ブロックチェーンによる消費電力には地域的な偏りも

次に、世界における合意形成に資する設備の分布状況について見てみると、ケンブリッジ大学の調査によれば、比較的労働賃金が安価である中国 (111MW) やジョージア (旧グルジア) 共和国 (60MW) 等、途上国に集中する一方で、米国 (27MW) やカナダ (18MW)、スウェーデン (10MW) 等の先進国にも広がっている ^{23,24}。

また、合意形成に資する設備は、整備が行き届いたデータセンタばかりでなく、例えば、一攫千金を狙い、倉庫の一角に無造作にコンピュータを並べているようなものまで存在する。そのため、今後、空調設備や無停電電源装置 (UPS : Uninterruptible Power System)

等の整備が進めば、現在、世界の年間消費電力に占めるデータセンタの消費電力の割合（現在は2～3%程度）も、更に高くなる可能性がある。

このように、合意形成に要する消費電力はその絶対量の大きさだけでなく、地域的な偏り等もあるため、ブロックチェーン技術の省電力化の状況次第では、将来、世界的規模でエネルギー需給構造や環境対策にも大きく影響する可能性も考えられる。

ブロックチェーンは将来生き残る技術なのか？

ブロックチェーン技術は、「安全な技術」との見方がある一方で、これまで仮想通貨取引所（Mt.GOX、Zaif、Coincheck、Youbit等）の管理体制や合意形成時の不具合、またシェアの低い仮想通貨が悪意ある攻撃の標的となる（MonaCoin [世界シェア 0.05%/75位]）等、セキュリティ面で様々な不安要素も散見されることから、将来、現存する技術となり得るか、現時点では不透明である^{25,26,27,28}。

しかし、P2P間における決済、契約、取引等の証明行為の手軽さや、同じデータがP2Pで各コンピュータ（ノード：node）に分散して保存されるため、システムダウンにも強く、事業運営者にとっては中央集中型よりも管理コスト/管理リスクの負担軽減ができる可能性があること、そして保存されるデータにはオープン性があること等、新サービス/新ビジネスの展開に活用できる有用な要素が数多くあるため、当面の間は、ブロックチェーン技術への期待が高まり続けるものとする。

3. 他分野にも広がるブロックチェーンの活用事例

ブロックチェーン技術の仮想通貨（ブロックチェーン 1.0）以外の活用事例を調査したところ、表3に示す10の分野で活用されていることが確認された。なお、ブロックチェーン 2.0 および 3.0 については、例えば、2.0 を金融関連業務に限定したり、3.0 を金融関連業務以外の分野におけるサービス/プラットフォーム化に限定したりする等、現在は様々な定義があるが、本稿では表3のとおり定義し整理した。

表3. ブロックチェーンの活用事例

ブロックチェーンのタイプ	活用分野	ブロックチェーンの活用概要
ブロックチェーン 2.0 （決済/契約/取引等の台帳管理業務への活用）	① エネルギー業界	<ul style="list-style-type: none"> ・ P2Pの自動電力取引（将来はDR資源提供者への支払、電力取引で使用する通信インフラの課金等を想定） （例：米国 [New York] LO3 Energy²⁹） ・ P2Pの自動電力取引 （例：さいたま市浦和美園プロジェクト³⁰） ・ 余剰電力等、P2P/供給者・需要家間（B2C）の自動取引を活用した分散型電力系統の実現 （例：日本デジタルグリッド、和倉/福島プロジェクト^{31,32,33}） ・ 需要家サイドの機器間連携による動作状況の総合監視と蓄電設備の充放電量の記録管理 （例：日本 SB Energy³⁴）

ブロックチェーン 2.0 (決済/契約/取引等の台帳管理業務への活用)	② 自動車業界	<ul style="list-style-type: none"> ・有料道路/駐車場/充電料金等の支払処理、カーシェアリングや配達サービスの実施および決済処理 (例: ドイツ ZF Friedrichshafen、銀行スイス UBS、エネルギー関連会社ドイツ innogy Innovation Hub ³⁵⁾) ・バッテリー残存価値および使用履歴の管理 (例: 日本 AZAPA、ブロックチェーン関連会社日本 Kaula ³⁶⁾) ・スマホアプリによる走行距離メーターの改ざん防止 (例: ドイツ Bosch ³⁷⁾) 	
	③ 金融業界	<ul style="list-style-type: none"> ・仮想通貨の投資や送金サービス (例: 米国 [Atlanta] ABRA ^{38,39)}) 	
	④ 不動産業界	<ul style="list-style-type: none"> ・不動産の登記/権利移転/売り手と買い手・不動産業者・登記所等の当事者管理 (例: スウェーデン Lantmateriet ⁴⁰⁾、ウクライナ政府 ^{41,42)}) 	
	⑤ 音楽業界	<ul style="list-style-type: none"> ・著作権の支払契約等に係る自動取引 (例: ujo MUSIC ^{43,44)}) 	
	⑥ 医療業界	<ul style="list-style-type: none"> ・医療データの管理 (例: エストニア政府 (独自ブロックチェーン KSI (Keyless Signature Infrastructure) を活用) ^{45,46)}) 	
	⑦ 食品業界	<ul style="list-style-type: none"> ・産地や介入業者、流通経路等のトレイサビリティ管理 (例: EY アドバイザリー・アンド・コンサルティング、日本ジビエ振興協会、電通国際情報サービス 等 ⁴⁷⁾) ・アルコール飲料の自動販売機における年齢認証 (例: 米国 [San Francisco] Civic ⁴⁸⁾) 	
	⑧ 商取引	<ul style="list-style-type: none"> ・宝飾品 (ダイヤモンド) の取引履歴管理 (例: 南アフリカ De Beers ⁴⁹⁾) 	
	⑩ その他	<ul style="list-style-type: none"> ・婚姻記録 (例: Weddingbook.io ⁵⁰⁾) ・選挙投票システム (将来は銀行 ID、国勢調査等にも活用) (例: ウクライナ政府 ⁵¹⁾) ・国境を超えた身分証 (ID 管理) プロジェクト (例: 国連プロジェクトサービス機関 (UNOPS: United Nations Office for Project Services) ⁵²⁾) 	
	ブロックチェーン 3.0 (2.0の機能をベースにその他の様々な分野への活用)	② 自動車業界	<ul style="list-style-type: none"> ・自動運転開発のための運転データのプラットフォーム (例: 日本トヨタ自動車 ^{53,54)})
		⑤ 音楽業界	<ul style="list-style-type: none"> ・楽曲の利権管理のプラットフォーム (例: 日本 Peertricks ⁵⁵⁾) ・イベントのチケット販売のプラットフォーム (例: KickCity、Crypto.Tickets、Viberate 等 ⁵⁶⁾) ・YouTube による P2P 型音楽配信サービス (例: 米国 Lino ⁵⁷⁾)
⑥ 医療業界		<ul style="list-style-type: none"> ・生体情報のデータマーケット (例: 米国 LONGENESIS ⁵⁸⁾) 	
⑨ コンピュータ業界		<ul style="list-style-type: none"> ・P2P 型のデータストレージマーケット (例: Filecoin ⁵⁹⁾) 	
⑩ その他		<ul style="list-style-type: none"> ・VR ゲーム等のプラットフォーム (例: Decentraland [分散型アプリ Dapps] ⁶⁰⁾) 	

このように、ブロックチェーン技術は、仮想通貨等一部の金融業界の業務 (FinTech : financial technology) だけに留まらず、様々な分野への活用が既に始まっている。

今後、上位層のコンピュータ (サーバ) から指令/制御信号等を送信する必要がなく、単にデータ管理 (台帳管理) として活用していくのであれば、事業運営者の管理コスト/管理リスクの軽減の観点からしても、中央集中型の「クラウド・コンピューティング」よりも非中央集中型 (分散型) の「ブロックチェーン技術」の方が新規ビジネスへの参入障壁が小さく、大企業や行政等の大規模組織だけでなく、スタートアップ会社等の小規模組織にとっ

でもメリットがあるのではないだろうか。そのため、ブロックチェーンに保存されるデータの信頼性や個人情報の保護等について更なる向上化を図るとともに、ブロックチェーンを構成するネットワークシステム全体としての省電力化を推進していくことが必要である。

ブロックチェーン技術をスマートシティ/スマートコミュニティの観点から捉えた場合、ブロックチェーンには、例えば、シェアリングエコノミー (sharing economy : モノ・場所・サービスなど多くの人と共有/交換して利用する社会の仕組み) に活用できる等、利便性や生活水準を向上させる要素もある。また、エネルギー需給に直結するエネルギー業界との関係では、マイクログリッド (Micro grid) や EV 充電ネットワーク等の分散型電力網に対して、再生可能エネルギーや蓄電池の大規模導入、あるいは地域の余剰電力の有効活用等に活用できる可能性も秘めている。

今後、社会全体に IoT が張り巡らされ、分散した個々の設備/機器に AI が組み込まれていく中で、ブロックチェーン技術も活用しながら、如何にして分散した個々の設備/機器等が自律的に運用/処理できる仕組みを構築できるのか考えていくことも必要ではないだろうか。その際には、取引の信頼性維持のために必要な大量のデータ処理に伴う電力消費量の低減策も合わせて検討することが求められよう。

(著 : スマートコミュニティグループ 山本 尚司)

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp

(参考文献)

- 1 BIT POST, “Blockchain1.0 と 2.0 と 3.0 とは?”, 2017.06.28
<https://www.bibitpost.com/archives/684>
- 2 MOBLOCK, “ブロックチェーン (blockchain) とは何か?”, 2017.11.15
<https://moblock.jp/articles/17140>
- 3 FIN-ROUND, “ブロックチェーン 2.0 | ビットコイン 2.0 を理解する 7 つのキーワード”, 2018.02.07
<https://fintech.money-goround.jp/?p=509>
- 4 YUCASEE media, “ブロックチェーン 3.0 で世界が変わる!”, 2018.3.7
<http://media.yucasee.jp/posts/index/15348>
- 5 i Magazine IS magazine, “ブロックチェーン「2.0」の市場動向 | 仮想通貨からソフトウェアの開発・運用基盤へ”, 2018.3.26
<https://www.imagazine.co.jp/%E3%83%96%E3%83%AD%E3%83%83%E3%82%AF%E3%83%81%E3%82%A7%E3%83%BC%E3%83%B3%E3%80%8C2-0%E3%80%8D%E3%81%AE%E5%B8%82%E5%A0%B4%E5%8B%95%E5%90%91%E%BD%9C%E4%BB%AE%E6%83%B3%E9%80%9A%E8%B2%A8%E3%81%8B/>
- 6 仮想通貨の総合情報サイト SMCoin, “ブロックチェーン 3.0 の世界は何が違うのか?”, 2018.3.29
<https://www.smcoin.jp/2018/03/29/post-679/>
- 7 麗澤大学, 中島真志, “ブロックチェーンの将来性と応用分野”, 2018.4.11
http://www.soumu.go.jp/main_content/000550975.pdf
- 8 電通報, “「ブロックチェーン 3.0」への電通の挑戦”, 2018.5.31
<https://dentsu-ho.com/articles/6044>
- 9 SRI International, LESLIE LAMPORT, ROBERT SHOSTAK, and MARSHALL PEASE, “The Byzantine Generals Problem”
<https://people.eecs.berkeley.edu/~luca/cs174/byzantine.pdf>
- 10 Blockchain BiZ, “ビザンチン将軍問題”, 2017.4.21
<http://gaiax-blockchain.com/byzantine-generals-problem>
- 11 NTT データ先端技術, “FinTech コラム”,
<http://www.intellilink.co.jp/article/column/fintech/index.html>
- 12 日本ブロックチェーン協会 (JBA : Japan Blockchain Association),
<http://jba-web.jp/>
- 13 NIRA 総研, “ブロックチェーンは社会をどう変えるか”, 2016.12
<http://www.nira.or.jp/pdf/opinion26.pdf>
- 14 日本銀行, 柳川範之 山岡浩巳, “ブロックチェーン・分散型台帳技術の法と経済学”, 2017.3
https://www.boj.or.jp/research/wps_rev/wps_2017/data/wp17j01.pdf
- 15 POWER COMPARE, “Bitcoin Mining Now Consuming More Electricity Than 159 Countries Including Ireland & Most Countries In Africa”,
<https://powercompare.co.uk/bitcoin/>
- 16 Digiconomist, “Bitcoin Energy Consumption Index”,
<https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- 17 COIN POST, “ビットコインマイニングの消費電力が世界 159 ヶ国の各消費量より多い現状”, 2017.11.26
<http://coinpost.jp/?p=9208>
- 18 CNBC, “No, bitcoin isn't likely to consume all the world's electricity in 2020”, 2017.11.26
<https://www.cnn.com/2017/12/21/no-bitcoin-is-likely-not-going-to-consume-all-the-worlds-energy-in-2020.html>

-
- 19 CyptoCoin.News, “Bitcoin Mining Consumes More Electricity Than Ireland Or Many African Nations”, 2017.11.30
<https://cryptocoin.news/news/bitcoin/bitcoin-mining-consumes-more-electricity-than-ireland-or-many-african-nations-3726/>
- 20 Newsweek, “Bitcoin Mining on Track to Consume All of the World’s Energy by 2020”, 2017.12.11
<http://www.newsweek.com/bitcoin-mining-track-consume-worlds-energy-2020-744036>
- 21 環境記入研究機構 (RIEF) , “ビットコイン、消費電力が地球の環境にとって脅威に (江川由紀雄) ”, 2018.1.22
<http://rief.jp.org/blog/76075>
- 22 IMPRESSIO CoinMarketCap, “全ての仮想通貨”,
<https://coinmarketcap.com/ja/all/views/all/>
- 23 University of Cambridge, “Global Cryptocurrency Benchmarking Study April 2017 ”,
https://www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload/research/centres/alternative-finance/downloads/2017-global-cryptocurrency-benchmarking-study.pdf
- 24 GLOBAL NOTE, “1 人当たり労働生産性 国際比較統計・推移, 2016 年”, 2018.1.26
<https://www.globalnote.jp/post-7545.html>
- 25 Business Journal , “コインチェック・仮想通貨流出：規模拡大優先で、必要な安全対策を怠る”, 2018.1.29
http://biz-journal.jp/2018/01/post_22147.html
- 26 Sales Technology Lab, “ビットコインウォレットの仕組み「コールドウォレット」「ホットウォレット」とは”, 2018.1.30
<https://salestechnologylab.com/-7cf0e1926134>
- 27 TREND MICRO, “なぜ流出？国内でも発生した仮想通貨取引所を狙う攻撃を振り返る”, 2018.3.9
<http://blog.trendmicro.co.jp/archives/17093>
- 28 日本経済新聞, “「身勝手な採掘」の死角、モナコイン問題で表面化 仮想通貨、揺らぐ安全神話”, 2018.5.23
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO30856660T20C18A5EE9000/>
- 29 InterTech Research Corporation, “LO3 Energy は今はやりのブロックチェーン技術を使いこなせるか?”, 2017.12.12
<https://www.itrco.jp/wordpress/2017/12/lo3-energy%E3%81%AF%E4%BB%8A%E3%81%AF%E3%82%84%E3%82%8A%E3%81%AE%E3%83%96%E3%83%AD%E3%83%83%E3%82%AF%E3%83%81%E3%82%A7%E3%83%BC%E3%83%B3%E6%8A%80%E8%A1%93%E3%82%92%E4%BD%BF%E3%81%84%E3%81%93%E3%81%AA/>
- 30 DG LAB HAUS, “ブロックチェーンを実社会に実装するー2.0の世界へようこそ (後編) GLOCOM シンポジウム”, 2017.12.14
<https://media.dglab.com/2017/12/14-glocom-02/>
- 31 東京大学 大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 安部研究室, “新しい電力供給システム～デジタルグリッド～”,
<http://www.digitalgrid.t.u-tokyo.ac.jp/>
- 32 DIGITAL GRID Corporation, “情報と電力と金融を融合した総合エネルギーサービス事業”,
<http://www.digitalgrid.com/>
- 33 NATIONAL INSTRUMENTS, “スマートグリッドの進化形「デジタルグリッド」がもたらす未来とは?”,
<http://japan.ni.com/niweekreport/smartgrid>
- 34 SB Energy, “平成 29 年度「需要家側エネルギーリソースを活用したバーチャルパワープラント構築実証事業」への採択について”, 2017.7.14

-
- https://www.sbenergy.co.jp/ja/news/pdf/press_20170714_01.pdf
- ³⁵ Energy BrainBlog, “E-Mobility and the Blockchain: The „Car eWallet“, 2017.1.16
<https://blog.energybrainpool.com/en/e-mobility-and-the-blockchain-the-car-ewallet/>
- ³⁶ Kaula, “自動車分野へのブロックチェーン技術適応サービス構築をめざすカウラ株式会社と AZAPA 株式会社が業務提携”, 2018.2.21
http://www.azapa.co.jp/news/release_180221.pdf
- ³⁷ Bosch ConnectedWorld Blog, “10 things you need to know about blockchain”,
<https://blog.bosch-si.com/blockchain/10-things-you-need-to-know-about-blockchain/>
- ³⁸ ABRA
<https://www.abra.com/>
- ³⁹ Social Networking.jp, “為替取引のシェアリング経済、ブロックチェーン送金 Abra、フィンテック”, 2017.1.13
<http://www.socialnetworking.jp/?p=130423>
- ⁴⁰ REUTERS, “スウェーデンが公式にブロックチェーンを使用して不動産や財産の登録を始めた”, 2017.8.1
https://jp.reuters.com/article/idJP00093300_20170801_01520170801
- ⁴¹ realestate.co.jp, “ウクライナでは、ブロックチェーンを使って外国人投資家を呼び込む”, 2017.9.12
<https://realestateworld.jp/market-data/oversea-realestate-technology/ukraine-blockchain/>
- ⁴² realestate.co.jp, “ウクライナでブロックチェーンを使った初の不動産売買が成立し、海外で話題に”, 2017.10.27
<https://realestateworld.jp/market-data/oversea-realestate-technology/ukraine-blockchain-2/>
- ⁴³ 仮想通貨ナビ, “ブロックチェーン上で契約をプログラム化する仕組み【スマートコントラクト】とは?”, 2018.2.13
<https://kasoutsuuka-navi.jp/what-smart-construct>
- ⁴⁴ Ujo Empowering Music,
<https://ujomusic.com/>
- ⁴⁵ e-estonia, “Blockchain and healthcare: the Estonian experience”, 2018.2
<https://e-estonia.com/blockchain-and-healthcare-the-estonian-experience/>
- ⁴⁶ Blockchain Biz, “電子国家エストニアをブロックチェーンで支える Guardtime”, 2017.8.24
<http://gaiax-blockchain.com/guardtime>
- ⁴⁷ HR ナビ by RECRUIT, “仮想通貨だけじゃない！ 食品・医療・著作権管理にも広がるブロックチェーン応用サービス 10 選”, 2018.3.27
<http://hrnabi.com/2018/03/27/16875/>
- ⁴⁸ COVESTING, “Civic Partners with Anheuser-Busch InBev to Create Blockchain-Enabled Vending Machine”, 2018.3.23
<https://ci.covesting.io/article/civic-partners-anheuser-busch-inbev-create-blockch>
- ⁴⁹ REUTERS, “De Beers tracks diamonds through supply chain using blockchain”, 2018.5.10
<https://www.reuters.com/article/us-anglo-debeers-blockchain/de-beers-tracks-diamonds-through-supply-chain-using-blockchain-idUSKBN1IB1CY>
- ⁵⁰ COINTELEGRAPH, “Four Weddings and a Funeral, Blockchain Style”, 2017.10.31
<https://cointelegraph.com/news/four-weddings-and-a-funeral-blockchain-style>
- ⁵¹ BTCN, “ウクライナ政府、ブロックチェーン技術活用した投票システム開発の基本合意書に調印”, 2016.2.17
<https://btcnews.jp/ukraine-signed-blockchain-voting-platform-evox/>
- ⁵² UNOPS (United Nations Office for Project Services), “WORLD IDENTITY

-
- NETWORK AND UNITED NATIONS TEAM UP TO LAUNCH INNOVATIVE BLOCKCHAIN PILOT TO HELP PREVENT CHILD TRAFFICKING” ,2017.11.13
<https://www.unops.org/news-and-stories/news/world-identity-network-and-united-nations-team-up-to-launch-innovative-blockchain-pilot-to-help-prevent-child-trafficking>
- 53 TC, “トヨタ、ブロックチェーンを自動運転車開発に導入へ—MIT 始め多数の企業と提携”, 2017.5.23
<https://jp.techcrunch.com/2017/05/23/20170522toyota-pushes-into-blockchain-tech-to-enable-the-next-generation-of-cars/>
- 54 Motor Fan TECH, “トヨタも注目のブロックチェーン 3.0 が自動車業界を変える!”, 2018.3.9
<https://motor-fan.jp/tech/10003318>
- 55 Bitcoin.com NEWS, “PeerTracks & ‘Blockchain 3.0’ Platform MUSE Set to Transform the Music Industry ”, 2016.1.27
<https://news.bitcoin.com/peertracks-blockchain-3-0-platform-muse-set-transform-music-industry/>
- 56 BLOCKCHAIN BUSINESS COMMUNITY, “音楽・イベント産業で活躍するブロックチェーンスタートアップ 5 社”, 2017.11.15
http://businessblockchain.org/five_blockchain_startups_challenging_in_the_music_event_industry
- 57 BITDAYS, “米スタートアップの Lino、YouTube をブロックチェーンで構築するために 2,000 万ドルを調達”, 2018.2.6
<https://bitdays.jp/news/2938/>
- 58 EurekAlert! , “Longgenesis to present the latest advances in Blockchain and AI for healthcare at the Consensus 2018”, 2018.3.10
https://www.eurekalert.org/pub_releases/2018-05/imi-ltp051018.php
- 59 CoinOtaku , “Filecoin とは? ICO 歴代調達資産 2 位の超大型ストレージ仮想通貨!”, 2018.1.18
<https://coinotaku.com/?p=1881>
- 60 GincO MAGAZINE , “分散型 VR プラットフォーム「Decentraland」とパートナーシップを締結しました”, 2018.3.20
https://magazine.gincO.io/post/info_campaign_decentraland/