

エネルギー分野におけるブロックチェーン技術の活用 －ドイツとアメリカの事例にみる可能性と課題－

主任研究員 笹川亜紀子¹

1. はじめに

脱炭素化に向けた世界的潮流の中、エネルギー転換を促進する取り組みの一つとして、再生可能エネルギー発電やデマンドレスポンス、蓄電池といった分散型エネルギー資源を有効活用するためのエネルギー・システムの構築が求められている。分散型エネルギーは、非常時のエネルギー供給確保やエネルギーの効率的利用に加え、エネルギー需給構造の柔軟性向上にも資すると期待されている。

こうしたエネルギー・システムの構築を後押しする技術の一つとして着目されているのが、ブロックチェーン技術である。同技術は、中央管理型のサーバーを介さず、分散的な端末間でネットワーク上の参加者がデータの保存や取引を行うことを可能とする分散的特性を有する。このような特性をもつブロックチェーン技術は、エネルギー分野においてどのように活用することができるのだろうか。

本稿では、ブロックチェーン技術の特性を把握した上で、ドイツとアメリカで既に進められている事例の分析を行う。同事例より、ブロックチェーン技術は仲介者や第三者を介さず電力供給者と需要者間で直接取引を行うために活用されていることや、発電源等の情報の追跡が同技術の活用によってより容易になっていることが示される。また、事業に必要な資金を世界中から迅速かつ低成本に調達する仕組みの構築にもブロックチェーン技術が活用されていることも指摘される。こうした事例の分析を踏まえた上で、ブロックチェーン技術の活用可能性と課題について考えてみたい。

2. ブロックチェーンとは何か

「ブロック」とは、一定の期間内に実行された取引記録をまとめて記載したデータの塊(block)を意味する。このブロックが、新たな取引毎にチェーンのように連結され、全ての取引情報が記録されている電子的なデータベースを総称し「ブロックチェーン」とよぶ。そもそもブロックチェーンは、2008年10月にサトシ・ナカモトと名乗る投稿者が、『ビットコイン：ピア・トゥ・ピア電子通貨システム (Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System)』と題する論文を発表したことを契機に広がるようになった。そのため、ブロックチェーンは元来、ビットコイン(仮想通貨)のために生み出された技術であるという見解も多くみられる。

しかし、ブロックチェーン技術がしばしば「Distributed Ledger Technology(分散台帳技術)」とよばれることに象徴される通り、ブロックチェーン技術の本質は、通貨というよ

¹ 電力・新エネルギー・ユニット 新エネルギー・グループ

りも「分散台帳」としての性質にある。中央管理型のサーバーを介さず、分散的な端末間でネットワーク上の参加者が同一の「台帳」を共有し、直接的にデータの保存や取引を行うことを可能とする。「台帳」とは、日々の取引を記録する帳簿のようなイメージである。ただし、帳簿は会社内など限られたメンバー間でのみ利用されるのに対し、ブロックチェーンの「台帳」は、インターネットの活用により地球上どこからでも共有することができる。

このような「分散台帳」としての機能を有するブロックチェーン技術の大きな特徴は、台帳内容の改ざんリスクを限りなくゼロに近付ける仕組みがネットワーク上の参加者による「共有」という行為によって実現されている点にあるといえる。中央管理型のデータベースでは、データ内容の書き換えや消去は管理権限者の一存で行い得る。それに対し、ブロックチェーン技術を活用したデータベース上では、参加者全員が同一の台帳を共有しており、原則、管理権限者が存在しない²。これは一見、データの書き換えや消去を誰でも簡単に行うことができるようにも思えるが、実際には、それができない仕組みとなっている。台帳は、常に全参加者の監視のもとにさらされ、数学を活用した厳密な暗号によって守られている³。加えて、取引記録が記載された「ブロック」は重層的に連鎖しており、一部を書き換えようとすると過去に遡り全ての記録を書き換える必要性が生じてしまい、それは事実上不可能である。

こうした特徴を有するため、ブロックチェーン技術にはコスト面および安全面でメリットがあると言われている。コスト面については、大規模な中央管理型のシステムと比べると、システム構築のための投資費用、仲介者への手数料、管理費用等が抑えられる。安全面に関しては、複数の参加者による承認作業によって、不正な取引が行われていないことを証明する仕組み⁴がブロックチェーンには組み込まれているため、取引の安全性が担保される。また、承認されたデータはブロックに記録され全参加者間で共有される上に、各ブロックには

² 厳密には、ブロックチェーンは、管理権限者が存在せず不特定の参加者で構成される Unpermissioned 型と、管理権限者が存在し特定の参加者だけが参加することのできる Permission 型に大別することができる。Unpermissioned 型のブロックチェーンでは、取引の承認やブロック追加等をどの参加者でも行うことができ、典型例が仮想通貨ビットコインである。Permission 型では、管理権限者の信頼を得られた参加者や機関のみブロックチェーンに参加し、よりスピーディーで効率的なコンセンサス・アルゴリズムによって取引の承認が行われている。両者では、プラットフォームの類型やコンセンサス・アルゴリズムの種類等も異なる（翁百合・柳川範之・岩下直行編『ブロックチェーンの未来：金融・産業・社会はどう変わるのか』2018年、日本経済新聞出版社、pp. 30-32 参照）。

³ 具体的には、「一方向性ハッシュ関数」を用いてハッシュ値に変換された上に暗号化されている。「一方向性ハッシュ関数」は、その名のとおり一方向性を特性とするものであり、同一のデータからは同じハッシュ値を導くが、ハッシュ値からは元データを復元することはできない性質を有する。この関数の重要な特徴は、元データが1文字であっても20万字であっても、打ち出されるハッシュ値の桁数は必ず固定されているという点、そして、元データが1文字でも変更されると、導かれるハッシュ値は元データの変更前とは全く異なるものとなる点である。そのため、元データのハッシュ値を予め計算しておくことで、その後、データの改ざんがなされたかどうかはハッシュ値を計算することで一目瞭然となる（岡嶋裕史『ブロックチェーン：相互不信が実現する新しいセキュリティ』2019年、講談社、pp. 37-41 参照）。

⁴ 参加者による計算という作業の投入によって、不正が行われていないことを証明する仕組みを「プルーフ・オブ・ワーク (Proof of Work: POW)」と呼ぶ。POWを含めたコンセンサス・アルゴリズムの類型に関しては、山本尚司「ブロックチェーンはIoT拡大の決め手となるか」2018年6月、日本エネルギー経済研究所、p. 3 参照。

一つ前のブロック情報が集約し埋め込まれていることから、データの改ざんは困難となる。さらに、取引データは中央サーバーで一元管理されず分散的に共有されるため、システム停止等によるデータ喪失の危険性は抑えられる。

このようなメリットを活かし、取引に付随した煩雑な手続きを自動的に処理する「スマートコントラクト」を実現できる点もブロックチェーン技術の大きな特性である。「スマートコントラクト」とは、ブロックチェーン技術の活用により、当事者間の契約をプログラム化し、予め定めた条件が満たされた場合に自動的に執行する仕組みである。これにより、従来、取引に付随して生じていた膨大な手続きや作業等の軽減、決済期間の短縮、コスト削減に加え、不正防止や分散型サービス等を実現し得る。

以上のように、ブロックチェーン技術は、その特性を踏まえると、従来のシステムと比較し低コストかつ安全であることに加え、効率的なシステムであると言える。一方で、開発途上の技術であるため、ブロックに収める情報容量増大への対処や承認スピードの向上など克服すべき課題も多く指摘されている⁵。また、先日、仮想通貨モナコインの取引履歴がマイナー（採掘者）によってすり替えられる事件が発覚したように、ブロックチェーン技術の安全神話を揺るがすニュースが度々世間を騒がせている。そのため、ブロックチェーン技術のメリットについては、システムの設計や運用に留意しつつ、今後の進展を踏まえた判断が必要とされる。

3. ブロックチェーン技術のエネルギー分野への適用

それでは、以上のような特性を有するブロックチェーン技術は、エネルギー分野のどのような場面においてその活用が試みられているのだろうか。本稿では、ブロックチェーン技術に関する先行研究の中で、エネルギー分野の具体的な事例を取り扱っている最近の研究を踏まえ、200事例を対象とした分析を行った⁶。対象事例には、電力会社やガス会社など既存のエネルギー企業による事業や、スタートアップ企業による事業が含まれており、実証段階のものもあればビジネスフェーズに入っている事業もある。なお、本稿が依拠した先行研究には直近の事例等は含まれていないため、網羅的ではないものの、エネルギー分野におけるブロックチェーン技術の活用場面に関する最近の傾向を大まかに把握するためには有益で

⁵ 水谷麻紀子「ブロックチェーン技術による分散型社会への期待と技術課題」みずほ情報総研レポートvol.16、2018年（https://www.mizuho-ir.co.jp/publication/report/2018/pdf/mhir16_bc.pdf）、翁ほか編、前掲『ブロックチェーンの未来：金融・産業・社会はどう変わらるのか』など参照。

⁶ 本分析のために依拠した先行研究は、第一に、Merlinda Andoni, Valentin Robu, David Flynn, Simone Abram, Dale Geach, David Jenkins, Peter McCallum, Andrew Peacock, “Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities”, Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews 100 (2019) pp. 143-174、第二に、David Livingston, Varun Sivaram, Madison Freeman, and Maximilian Fiege, “Applying Blockchain Technology to Electric Power Systems”, Center for Geoeconomic Studies, July 2018、第三に、International Renewable Energy Agency, “Blockchain: Innovation Landscape Brief”, IRENA, 2019である。これらの研究論文及びレポートで取り上げられている具体的な事例を合算したものが、本稿で分析対象とした200事例である。なお、200事例の一覧表は本稿の付録に示されている。

あると考えられる。

Andoni et al. (2019)の分類方法に則って、ブロックチェーン技術が活用される場面に関する分析を行った結果が、図1である。最も多く活用されているのは「分散型エネルギー取引」であり、全事例の44%を占める88件の事例が確認された。続いて、16%（32件）が「暗号通貨、トークン、投資」、9%（18件）が「IoT、スマート機器、自動化、資産管理」、8%（16件）が「電気自動車」、7%（14件）が「グリッド管理」、6%（13件）が「計量、請求、保証」、5%（10件）が「グリーン証書、カーボン取引」で4%（9件）が「その他イニシアチブやコンソーシアム」である。

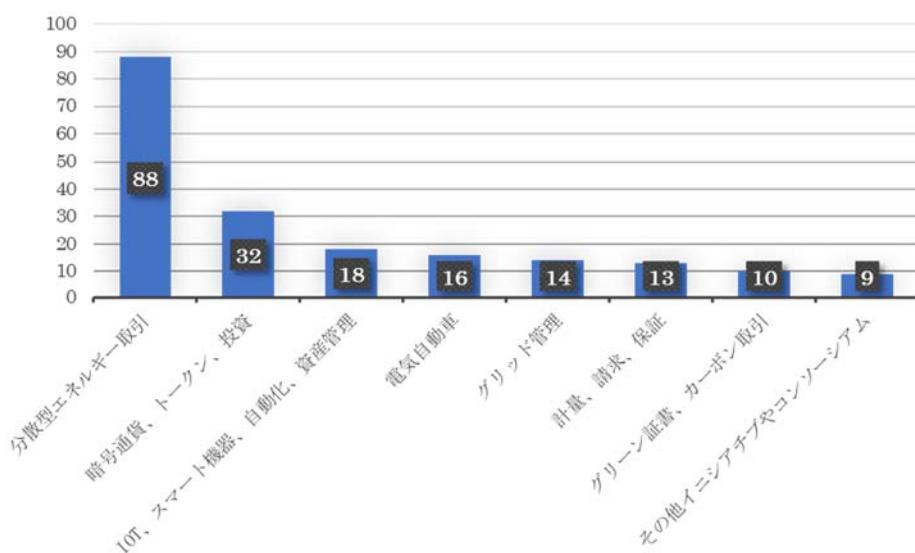


図1：ブロックチェーン技術が活用される場面の分類（縦軸：事例数）

次に、200事例の実施国（合計36カ国）のうち、上位10カ国の事業数に関し集計を行うと、図2のとおりとなる。米国とドイツで実施されている事業だけで全体の約3割を占め、続いて、オランダ、英国、スイスといった欧洲での事業が上位を占めていることが分かる。

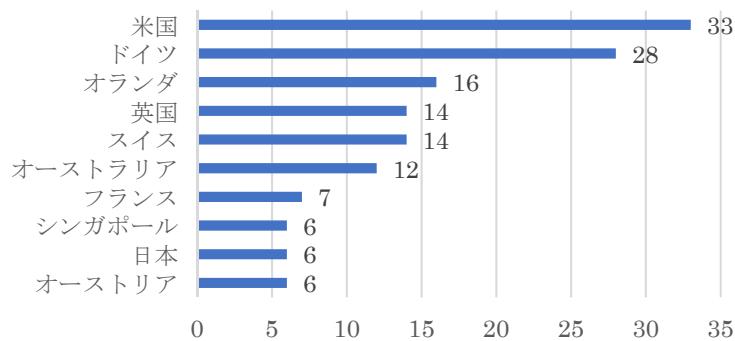


図2：200事例が実施されている上位10カ国における事業数

更に、米国とドイツで行われている事業の内訳を見てみると、図3のとおりとなる。米国では、「分散型エネルギー取引」の割合が3割程度であるのに対し、ドイツにおいては半数を占めている。その背景として、ドイツでは、2012年以降、FITによる住宅用太陽光の買取価格が家庭用電気料金の価格よりも安価となつたことを受け、太陽光発電設備の設置者などがプロシューマー（生産消費者⁷）となり余剰電力を第三者へ販売するニーズが高まっていることが指摘できる⁸。加えて、ドイツでは歴史的に電気事業等の公益事業に対し地方自治体が関与することが多く、19世紀後半から自治体が地域に特化して経営する都市公社「シュタットベルケ」が数多く存在している⁹。そのため、地域に根差した「分散型エネルギー取引」が選択されやすい土壌がドイツでは培われていると考えられる。

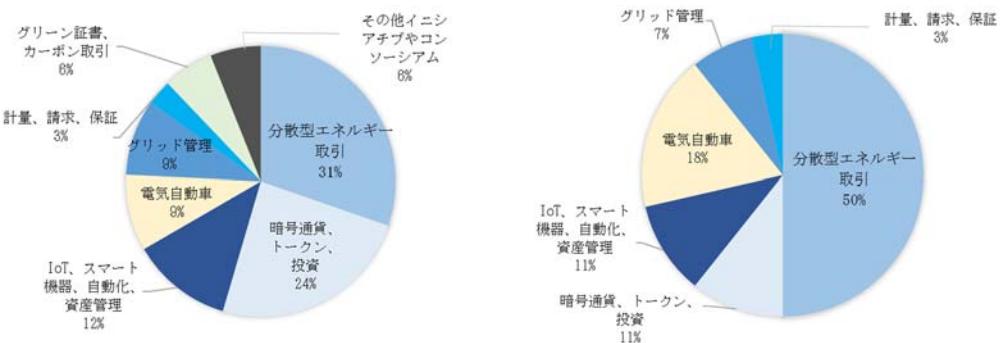


図3：米国（左）とドイツ（右）における事業数の内訳

なお、日本は、シンガポール、オーストリアと並び事業数では第8位である¹⁰。但し、本調査では、前述のとおり、具体的な事例を取り扱っている先行研究で挙げられた事例を分析対象としたため、直近の事業や海外からは認識されにくい事業等は含まれていない点、留意を要する。

4. ブロックチェーン技術活用の具体例

以上とおり、エネルギー分野におけるブロックチェーン技術の活用は、本稿が分析対象

⁷ 分散型電源を保有しエネルギーの生産も行う消費者を意味する。

⁸ 岡田、前掲「ドイツとエストニアにおけるブロックチェーンを用いた電力取引の動向」p. 22 参照。

⁹ 山本尚司「ドイツのシュタットベルケから日本は何を学ぶべきか」日本エネルギー経済研究所、2018年3月参照。

¹⁰ 本稿で依拠した先行研究で取り上げられた日本での事業は、①株式会社津ラボと株式会社エナリスによるブロックチェーンを活用した電力取引サービスに関する共同実証、②中部電力株式会社、株式会社Nayuta、インフォテリア株式会社による電気自動車やプラグインハイブリッド自動車の充電履歴をブロックチェーンで管理する技術の実証実験、③関西電力株式会社と豪州パワーレッジャー社による、電力消費者とプロシューマー間の太陽光発電源余剰電力の直接取引に関する共同実証研究、④コインチェック株式会社、株式会社イーネットワークシステムズが丸紅新電力と提携し公共料金支払いに対しビットコインを使い貯めることができる「Coincheck でんき」サービスの提供事業、⑤東京電力ホールディングス株式会社がドイツの大手電力会社 Innogy 社と共に電力の消費者とプロシューマーに対し電力を直接取引するプラットフォーム提供事業、⑥丸紅株式会社と米国 L03 Energy Inc. 社による日本国内におけるブロックチェーン技術を用いた電力取引に係る実証実験の6件である。

とした200事例を踏まえる限り、欧米において特に多く見られ、図1で示したとおり「分散型エネルギー取引」及び「暗号通貨、トークン、投資」の場面での活用が過半数を占める。そこで、以下では、特にこの2つの場面に焦点を当て、具体的にどのような事業展開が欧米において試みられているかについて幾つかの事例を紹介していきたい。

（1）独RWE社による「分散型エネルギー取引」の取り組み

まずは、「分散型エネルギー取引」が多く見られるドイツの事例として、エッセン市に本社を構える大手エネルギー事業者RWE社による取り組みをみてみたい。同社は、電力とガス販売を中心とした欧州屈指の総合エネルギー企業としてドイツ国内のみならず欧州各国で事業を展開してきたが¹¹、ドイツ政府の脱原発政策や再エネの急速な普及への対応の遅れなどにより2013年に赤字決算へ転落し、これを機に、配電網運営と再エネ発電事業を担う子会社Innogy社の設立に踏み切った¹²。

このInnogy社を中心に行われたのが、ブロックチェーン技術を活用したプロシューマーと電力需要家間の電力取引の実証事業である。2015年5月より、エッセン市内において、プロシューマーの余剰電力を集約し、地元企業などへの売電が試行された。本実証事業を通して、電力の相対取引を効率的かつ追跡可能な形で実施することができる見通しが立ったことを踏まえ、Innogy社は2017年5月、東京電力ホールディングス株式会社と共同でConjoule社を設立し、本格的な事業展開を開始した¹³。具体的には、Conjoule社はプロシューマーにより余剰電力を調達し、小売事業者を介して地域内の需要家へ電気を販売する¹⁴。このように同社は、既存の中央管理型のシステムでは対応されていなかったプロシューマーの余剰電力を束ねるアグリゲーターの役割を担っており、取引参加者の売買電力量に応じた手数料をプロシューマーや需要家より徴収することで収益を得ることができる。なお、需給バランスがプロシューマーと需要家間で合致しない場合には、需給調整市場で電力を売買することで調整が行われる仕組みとなっている。

本事業で着目すべき点は、ブロックチェーン技術の活用により、プロシューマーと需要家間の電力取引が実現されたことに加え、需要家が購入電力に関する情報を容易に得られるようになった点である。従来、需要家は電力がどの電源から誰によってつくられたものであ

¹¹ EUの発送電分離に端を発したRWE社及びE.ON社の合併・買収等の歴史に関しては、安井久貴「発送電分離を行ったドイツ企業の経営状況と脱原子力に向けた投資プロジェクトの課題」日本エネルギー経済研究所、2012年12月、参照。

¹² さらに、2018年3月にはRWE社とE.ON社が事業再編を発表し、Innogy社の再エネ部門とE.ON社の再エネ事業は全てRWE社本体に引き渡され、配電事業及び電力小売事業はE.ON社に集約されることになった。両社の事業再編は2019年末までの完了が予定されている。E.ONの2018年3月12日付プレスリリース参照（<https://www.eon.com/en/about-us/media/press-release/2018/eon-and-rwe-two-european-energy-companies-focus-their-activities.html>）。

¹³ 東京電力ホールディングス株式会社の2017年7月10日付プレスリリース参照（http://www.tepco.co.jp/press/release/2017/1443908_8706.html）。

¹⁴ Conjoule社の取り組みに関しては、岡田、前掲「ドイツとエストニアにおけるブロックチェーンを用いた電力取引の動向」pp.24-25参照。

るかを把握することは困難であった。しかし欧州では、電力小売自由化を契機とし需要家に對して電力に関する情報の透明性を担保し証明する必要性が高まったことを背景に、発電源証明（Guarantee of Origin、以下「GoO」）の制度化が 2001 年の EU 指令（Directive 2001/77/EC）に基づき進められてきた¹⁵。GoO 制度の運用は、EU 加盟各国で異なるが、例えばドイツでは、発電源証明を必要とする発電事業者や電力小売事業者は、連邦環境庁が管理する電子登録簿にアカウントを開設した上で、必要な申請手続きをとって認証を受ける必要がある¹⁶。こうした発電源証明を、データの追跡可能性（トレーサビリティ）を大きな特性の一つとするブロックチェーン技術の活用により、P2P 取引においても容易に把握できるようになる。このことにより、地域に根ざした再エネ電源を利用したい個人や、再エネのみで電力調達を目指す企業がブロックチェーン技術を活用し、より低コストで発電源証明¹⁷を得て環境への取り組みをアピールするなどのメリットを見出すようになっている。

（2）独 E.ON 社など欧州エネルギー企業による「分散型エネルギー取引」の取り組み

以上のような国内の地域単位での取り組みに加え、越境的にブロックチェーン技術を活用した電力取引を行う試みも進められている。2017 年 10 月、ドイツの大手エネルギー事業者 E.ON 社は、イタリアの大手エネルギー事業者 Enel 社との間で、ブロックチェーン技術を活用した相対電力取引を実現したと発表した¹⁸。両社は、ハンガリーの市場で前日取引契約に基づき 1 MW の電力取引を行った¹⁹。

この取引で活用されたのが、「Enerchain」と呼ばれるブロックチェーン技術を基盤としたプラットフォームである。これは、ドイツの IT ベンダーである PONTON 社が開発したソフトウェアを活用し、仲介者や第三者を介すことなく分散型ネットワーク上での取引を可能とするものである²⁰。このソフトウェアの大きな特徴は、従来のブロックチェーン技術と比較し取引速度を飛躍的に向上させた点にある²¹。そのため、Enerchain 上では、従来のブロックチェーン技術が抱える取引速度の問題に直面することなく取引を実行することができる。また、ブロックチェーン技術の活用により管理者の介在が不要となることで、手数料

¹⁵ 環境省「再生可能エネルギーの大量導入に向けた課題と対応方策」pp. 73-75 参照（<https://www.env.go.jp/earth/report/h26-01/chpt03-1.pdf>）。

¹⁶ *Ibid.*

¹⁷ なお、仮に消費する電力の 100%を再エネ電源で賄っているという発電源証明を有している場合でも、実際に「物理的に」消費している電力の全てが直接再エネ電源から供給されているとは限らない。しかし、「証明」は CSR 活動や環境アピールに極めて有効な手段として活用できる。

¹⁸ E.ON の 2017 年 10 月 6 日付プレスリリース参照（<https://www.eon.com/en/about-us/media/press-release/2017/eon-drives-the-digitalization-of-the-new-energy-world.html>）。

¹⁹ Enel 社のプレスリリース参照（<https://globalprocurement.enel.com/en/News/news/d201712-enel-and-eon-trade-the-first-mwh-of-digital-energy-using-blockchain.html>）。

²⁰ Claudia Delpino, “E.ON and Enel’s trade electricity via blockchain for first time”, Sun&Wind Energy, 2017 年 10 月 20 日（<http://www.sunwindenergy.com/review/eon-enels-trade-electricity-blockchain-first-time>）。

²¹ Michael Merz, “Enerchain Project Overview and Key Insights”, PONTON, 2018 年 5 月 6 日（https://ponton.de/downloads/enerchain/EnerchainKeyInsights_2018-03-29_final.pdf）。

などの仲介コストが削減され、事業者が取引に伴って支払う利用料を安価に抑えることが可能となる。

こうしたブロックチェーン技術を活用した「Enerchain」を基盤とし、分散型エネルギー取引をヨーロッパ大で実現することを目指すイニシアチブが2017年より始動している。これは、「Enerchain P2P取引プロジェクト (Enerchain P2P Trading Project)」と呼ばれており、2018年3月末時点までに、E.ON社やEnel社の他にもEDF社(フランス)、Vattenfall社(スウェーデン)、Engie社(フランス)、Equinor社(ノルウェー)など大手エネルギー事業者43社が参加している²²。同イニシアチブのもと、ブロックチェーン技術を活用した独自の相対電力取引に関する様々な実証プロジェクトが行われており、欧州では、分散型エネルギー取引の促進に向けた協調関係が構築されつつあると言える。

(3) 米L03 Energy Inc.社による「分散型エネルギー取引」の取り組み

次に、米国における「分散型エネルギー取引」の事例として、ニューヨークを拠点に事業展開を行うL03 Energy Inc.社の取り組みをみてみたい。同社は、ブロックチェーン技術を活用した電力取引プラットフォームの構築を目指し、2012年に設立された。同社はブロックチェーン技術を基盤に太陽光発電の電力を直接売買することを可能とするシステムを開発し、2016年にニューヨーク市ブルックリン地区において初めて実証事業を実施した²³。本実証事業は、2014年に設立された米国ソフトウェア会社ConsenSys社の合弁会社であるTransActive Grid社と共に行われ、「イーサリアム(Ethereum)」と呼ばれるブロックチェーン・プラットフォームを基盤に実施された。

本プラットフォーム上で、太陽光発電設備を保有する家庭(プロシューマー)が余剰電力を販売し、需要家はTransActive Grid社のスマートメータを介して電力を購入することができる²⁴。具体的には、プロシューマーに余剰電力が発生すると、スマートメータがそれを検知し、「エナジーカレジット」と呼ばれるトークンが発行される。トークンとは、特定の価値と交換することのできる独自通貨のようなものである。このトークンを活用し、P2P市場においてスマートコントラクトに基づいた取引がおこなわれる。スマートコントラクトには、予め取引条件が設定されており、当該条件を満たすと自動的に取引が実行され、ブロックチェーン上に記録がなされるプログラムとなっている。そのため需要家は、スマートコントラクトの条件が満たされた場合、プロシューマーから電力を購入するためにトークンを買い取り、電力が消費されるとプロシューマーは売電収入を得てトークンは消滅する。

こうしたトランザクションは、ブロックチェーン・プラットフォーム上で自動的に実行され、トークンの不正取引等を防ぐことができる仕組みとなっている。前述のドイツRWE社の

²² *Ibid.*, p. 4.

²³ L03 Energy Inc.社、2016年4月12日付プレスリリース参照 (<https://l03energy.com/usas-first-consumer-energy-transaction-begins-power-people-revolution-new-york/>)。

²⁴ 本実証事業に関する記述は、Brooklyn MicrogridのHPを参照 (<https://www.brooklyn.energy/>)。

事例では、Conjoule 社がアグリゲーターの役割を担い、トークンの発行は行われていなかったのに対し、本事例ではトークンを活用しスマートコントラクトに基づいた取引が行われた点が大きな違いである。

以上のような実証事業を実施した L03 Energy Inc. 社は、2018年4月、テキサス州の大手エネルギー事業者である Direct Energy 社と提携し、同州で企業向けの電力取引基盤の提供を行うことを発表した²⁵。ここでも、ブラックリン地区において取引基盤となったブロックチェーン・プラットフォームが活用されている。このプラットフォームは、参加企業が一時間単位で電力の買い注文を発注すると、それに最大限応じる条件で取引を成立させることができる仕組みとなっている。従来、企業は電力価格の変動に備えるために電力会社と固定価格の電力供給契約や、太陽光や風力といった変動型再エネの長期買取契約(PPA)等の締結を行ってきたのに対し、ブロックチェーン技術の活用により、市場価格で柔軟に電力を調達することが可能となるのである。

(4) 米 ImpactPPA 社によるブロックチェーンを活用した資金調達の取り組み

それでは、以上のような「分散型エネルギー取引」の次にブロックチェーン技術が活用されている「暗号通貨、トークン、投資」の場面では、具体的にどのような事例がみられるだろうか。本稿では、米国の ImpactPPA 社による取り組みを紹介したい。

同社は2017年に設立され、電力アクセスに乏しい途上国を中心に、再エネ事業実施にかかる資金調達のボトルネック解消を目指したプラットフォームの展開を行っている。世銀が発表した報告書「電力アクセス状況に関する報告書 2017 (State of Electricity Access Report 2017)」によると、2014年時点では世界人口の15%が電力へのアクセスがない環境で生活しており、その多くが南アジア地域やサブサハラアフリカ地域に集中している²⁶。こうした状況の改善を図るために、ImpactPPA 社は、スマートメータやスマートコントラクトの活用に加え、「GEN Credit」とよばれる暗号通貨を携帯電話のアプリケーションを介して取引できるシステムを開発し、途上国の政府、企業、電力会社、コミュニティー、個人を対象に再エネ利用に必要な資金調達の促進を図っている。

同社が特に注力しているのが、インドにおける電力事業向け資金調達である。インドは上述の世銀報告書の中でも最も電力アクセスの乏しい国とされており、電力インフラの整備が喫緊の課題となっている。こうした中でインド政府は、グリーン村落開発イニシアチブ (Bhartiya Harit Khadi Gramodaya Sansthan、以下「BHKGS」) を一つの取り組みとして立ち上げた²⁷。これは、インド中小企業省ジリラージ・シン大臣の指揮のもと、女性を中心と

²⁵ L03 Energy Inc. 社と Direct Energy 社の取り組みは Direct Energy 社の 2018年4月9日付プレスリリース参照

(http://www.directenergyinsights.com/r/444/world_s_first_micro_energy_hedging_platform_to_be)

²⁶ The World Bank, “State of Electricity Access Report 2017”, WB, 2017, p.xiv 参照。

²⁷ 同イニシアチブに関しては、BHKGS の公式サイトの内容に依拠して記述

(<http://www.haritkhadi.com/index1.php>)。

した5千万人以上の雇用を綿織物の産業で創出するための村落開発を進める政策である。同政策により、電力インフラ整備も含めた村落開発、雇用創出、被雇用者の技能向上、貧困改善などが目指されている。BHKGSの大きな特徴は、持続的に自活できる(self-sustainable)モデル²⁸の構築を図っている点であり、生産の過程で使用されるエネルギーには再エネが活用される。例えば、綿を紡ぐ際には、「Solar Charkha」と呼ばれる太陽光発電で稼動する紡車が使用され、綿織物生産時にも太陽光発電を利用した織り機が活用される。

このように、再エネの活用がBHKGSの重要な柱の一つとなっていることを受け、ImpactPPA社は、インド政府との間で同イニシアチブの促進に必要な再エネ資金調達に関する業務協力協定を締結した²⁹。同社は、図4のとおり、再エネ事業者、需要家、投資家を結びつけるプラットフォームを、ブロックチェーン技術を基盤に構築している。

同プラットフォーム上で、投資家から円滑に資金調達を行うために活用されているのが「MPQ」とよばれるトークンである。ImpactPPA社は、MPQトークンを発行することで世界中の投資家から資金を募っている。同トークンを保有した投資家は、同社の事業利益が四半期で少なくとも10万USD計上された場合、トークン保有比率に応じた配当をスマートコントラクトに基づき受ける仕組みとなっている。また、同プラットフォーム上では、前述のとおり「GEN credit」という暗号通貨も利用される。これは、需要家がImpactPPA社の事業から電力を購入する際に使用されるものであり、米ドルと連動した暗号通貨である。需要家は、携帯電話のアプリケーションや同社HPなどからGEN creditを取得することができ、電力購入量に応じた支払いを行う仕組みが構築されている。こうした仕組みの構築により、再エネ事業者は、必要な事業資金を世界中から迅速かつ低成本に調達することが可能となる。

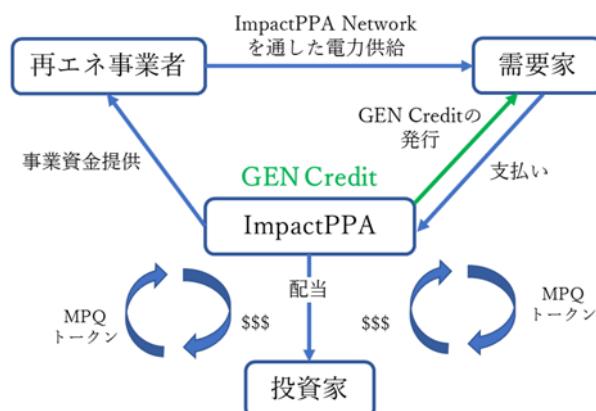


図4：ImpactPPA社の事業全体像イメージ³⁰

²⁸ BHKGSのもとで雇用された女性たちには、生産から販売までの過程で必要とされるノウハウの伝授や技能訓練がなされ、起業家として独立することが促される。また、原料となる綿花は地元で生産され、綿織物の生産過程で使用される水の量は通常生産の10分の1以下に抑えられるなどの取り組みがBHKGSには盛り込まれている。

²⁹ ImpactPPA社の取り組みに関しては、同社のHP情報及び事業実施計画書“White Paper, ver. 1.8”December 2018、に依拠して記述。

³⁰ ImpactPPA, “White Paper, ver. 1.8” December 2018, p. 20に基づき筆者作成。

ImpactPPA 社のように、ブロックチェーン技術を基盤に再エネ発電事業向けの資金調達システムを構築している事例は他にも多く見られる。例えば、南アフリカを拠点に事業展開している The Sun Exchange 社は、太陽光発電事業に特化し、投資家と需要家をつなぐブロックチェーン・プラットフォームを 2015 年から運営している。同社事業の大きな特徴は、太陽光パネル 1 枚単位からの出資を可能としており、暗号通貨を用いて世界中どこからでも太陽光パネルの所有者となることができる点にある。暗号通貨を利用した出資や投資回収を行うことで、投資家は海外送金コストや為替リスク等を抑制することができる。また、スマートコントラクトの活用により、効率的な配当も実現できる仕組みとなっている。

このように、「暗号通貨、トークン、投資」の場面では、ブロックチェーン技術を活用した資金調達プラットフォームの構築によって、特定事業に必要な資金を世界中から迅速かつ低コストで調達する仕組みが生まれつつある。特に、資金調達がボトルネックとなってきた途上国における再エネ事業を対象とした活用が目覚ましいと言える。

5. まとめと日本への示唆

以上のとおり、本稿では、ブロックチェーン技術の特性を踏まえた上で、エネルギー分野のどのような場面で同技術の活用が試みられているかについて事例分析を行った。その結果、「分散型エネルギー取引」と「暗号通貨、トークン、投資」の場面における活用が特に顕著であったことから、同場面における具体的取り組みとしてドイツと米国の事例を概観した。

「分散型エネルギー取引」に関する具体的な事例では、仲介者や第三者を介さず電力供給者と需要者間で直接取引を行うためにブロックチェーン技術が活用されていることや、発電源等の情報をブロックチェーン技術の活用によってより容易に把握することが可能となっていることが確認された。こうした取り組みが積極的に進められている背景には、FIT 制度のもと再エネ導入の拡大を図ってきた先進諸国において段階的に卒 FIT が進められている状況下、プロシューマーの余剰電力を活用するための仕組みづくりが喫緊の課題となっていることが挙げられる。加えて、ESG 投資の潮流等を背景に企業による再エネ調達が加速化している中、再エネ由来の電源であることの証明が一層重要視されるようになったことも指摘できる。欧米では、再エネの発電源を認証し、需要家に対して証明書を発行する仕組みが導入されており、日本でも非化石証書に電源のトラッキングを付与する検討が進められている³¹。こうした中、ブロックチェーン技術を活用することで、より低コストに発電源証明を行う可能性も模索し得ると考える。そうすることで、ESG 投資や RE100 を意識する企業だけでなく、再エネ源電力購入に意欲を有する個人や小規模な需要家の購入行動促進にもブロックチェーン技術は貢献し得ると考えられる。一方で、需給バランスを維持し、電力の

³¹ 第 25 回総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 制度検討作業部会（2018 年 10 月 22 日開催）資料「非化石価値取引市場の利用価値向上に向けた検討の方向性」参照。

安定供給を実現することは、ブロックチェーン技術単体で行うことはできない。ドイツ事例でみてきたような需給調整市場との連携や、スマートメータの導入拡大等インフラ面での整備に加え、ブロックチェーン技術に強みを持つ企業と電力事業者間の協力体制構築の促進が一層重要となると考える。

次に、「暗号通貨、トークン、投資」の事例では、ブロックチェーン技術を活用した資金調達プラットフォームの構築によって、必要な事業資金を世界中から迅速かつ低コストに調達する仕組み作りが行われていることが示された。このように、資金を必要とする事業者が暗号通貨やトークンを発行し資金調達を行うことは、ICO (Initial Coin Offering) と呼ばれており、新たな資金調達手段として注目を集めている。一般的に、事業者が資金調達を行う場合、新株発行により出資を受けるエクイティ・ファイナンス、もしくは金融機関などからの借り入れによるデット・ファイナンスが組成されるが、信用力が確立していないスタートアップ企業などは利子率が高止まりすることや十分な資金供与を受けることができないという課題があった。それに対して ICO では、米国の事例でみてきたとおり、スタートアップ企業であってもインターネットを通して世界中から資金を募ることができ、投資家サイドは太陽光パネル一枚分など小額からの資金提供が可能となる。こうした手法には、従来の資金調達の課題を補完し得る側面は大いにあると言えよう。他方で、トークン価格の暴落や ICO で掲げられた事業実施計画 (ホワイトペーパー) が実際に実行されないリスク等の可能性も指摘されており³²、投資家保護の仕組みは現段階では未整備であると言える³³。加えて、ICOにおいては、事業審査、事業者の財務審査、資金使途確認、事業が環境や社会に与える影響の確認等、通常、金融機関から資金調達をする際に実施されるデューディリジェンスがほとんど存在しない。そのため、容易に資金調達を行ってしまうことが事業に及ぼす長期的な影響や、必要以上の資金調達が事業者の経営に与える影響等の検証を踏まえた規制の検討が重要となると考えられる。

以上のとおり、世界の事例を踏まえると、ブロックチェーン技術は、エネルギー分野における既存の取引形態、契約方法、資金調達方法等を根底から変革する可能性を秘めており、その変革は国家の枠組みも超えて起こり得ると言える。また、図 1 で示されたとおり、本稿で取り上げた事例以外にも電気自動車の充電ネットワーク管理、グリッド管理、グリーン証書発行等の場面でもブロックチェーン技術の活用は進められており、今後、新たな取り組みも生み出され得る。

こうした状況下、日本においてもブロックチェーン技術を活用した電力取引や再エネ価値取引等の検討が進められており、新たな技術進展を踏まえたビジネスモデルの創出と電力安定供給を如何に両立させるかが重要な課題となっている。ブロックチェーンも含めた

³² 金融庁「ICO (Initial Coin Offering)についてー利用者及び事業者に対する注意喚起」(2017年10月27日) 参照 (https://www.fsa.go.jp/policy/virtual_currency/06.pdf)。

³³ こうしたリスク以外にも資金洗浄や不正送金に ICO が悪用されるリスクも懸念されており、金融庁は、2017年4月、改正資金決済法に基づき世界に先駆けて仮想通貨交換業者に登録制を導入している (2019年5月18日付日本経済新聞参照)。

新技術の導入によって分散型エネルギーの活用を低コストで実現し得る一方、配電網からの逆潮流を含む電力フローの多方向性が送配電事業へ与える影響等への対応が喫緊の課題とされている³⁴。こうした課題は、系統設備の高経年化、大規模災害対策を含むレジリエンス強化、再エネの主力電源化への対応といった日本の電力ネットワークが抱える課題と相まって複雑化している³⁵。このような中、日本では、新技術を活用したネットワーク事業の高度化を図りつつ新たなプラットフォームを構築することが必要とされている³⁶。

それでは、こうしたプラットフォーム構築のために、ブロックチェーン技術は如何なる役割を果たし得るのだろうか。第一に、プロシューマーの余剰電力を調達し需要家へ供給するビジネスモデルにおいて、発電・受電の情報や取引実績を管理するための技術として活用することが考えられる。具体的には、スマートメータに蓄積された情報を、ブロックチェーン技術を活用してプラットフォームごと分散的に管理を行うというものである。現在、日本では、スマートメータからの情報は、各一般送配電事業者のメーターデータマネジメントシステムで集中管理されている。こうした集中管理システムのもとでプロシューマーと需要家間の取引プラットフォームを運営しようとすると、膨大な情報処理にシステムが耐えうるかという懸念が生じる。加えて、そのようなシステムの管理費用を配電事業者がどこまで負担し得るかという問題もある。プロシューマーの余剰電力や再エネ自家消費の増大に伴い、配電事業者は、今後、販売量や託送料収入の減少に直面し、経営基盤を維持するためのコスト削減を図る必要性に迫られる可能性が考えられる。こうした中、集中管理システムよりも低コストで発電・受電の情報や取引実績の管理を行うことのできるブロックチェーン技術をスマートメータと連動させて活用することは、安定的なシステム運用及びコスト削減の観点から有益であると言える。

第二に、配電事業者が仲介者や管理者として関与する電力取引プラットフォームの形成にブロックチェーン技術を活用することが考えられる。前述のとおり、プロシューマーの余剰電力や再エネ自家消費の増大に伴い、配電事業者の収入が減少するという傾向は、ドイツや米国を中心に大きな課題とされており、配電事業者による新たなビジネスモデルが模索されている。日本において新たなプラットフォームを構想する際には、こうした課題を念頭において対応が必要となる。例えば、配電事業者自身がアグリゲーターとして余剰電力を束ね需要家へ販売する業務を行うことや、トーケン発行業務等を通じた手数料収入を期待することも考えられる。また、配電混雑の無いエリア内では、ブロックチェーン技術を卸電力取引にも活用できる可能性があると考えられる。米国 L03 Energy 社による取り組み事例のように、特定エリア内での近隣同士の取引であれば、上位系統を介した取引とはならないた

³⁴ 第1回次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会（2018年10月15日開催）資料「テクノロジーの進展と電力ネットワークの高度化や新ビジネスについての諸外国の動向」参照。

³⁵ 第3回次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会（2018年11月27日開催）資料「第3回の議論の狙いと検討の全体像」参照。

³⁶ 第1回次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会（2018年10月15日開催）資料「次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームのあり方研究会の立ち上げについて」参照。

め、託送制度を通じた管理の問題は生じない。こうした中、エリア内の混雑状況を把握している配電事業者が、配電エリア内でブロックチェーン技術を活用した卸取引等を管理する役割を担い得ると考える。

ブロックチェーン技術は、エネルギー分野にも変革を起こす可能性を秘めた技術として世界的に注目を集めているが、その活用可能性は未知数で、克服すべき課題も多く指摘されている。こうした中、既に世界各地で進められている取り組みにおいて認識された課題や対処策を幅広い関係者間で共有し、ブロックチェーン技術の特性を活かせる場面を適切に見極めていくことが重要となる。技術転換期にある今こそ、ブロックチェーン技術に関する知見を国内外から分野を超えて蓄積し、新たなプラットフォーム構築のために必要な投資や規制の検討を進めることが求められる。

付録：事例概要一覧表

	Company & Project	Field of Activity	Country
1	4New	Cryptocurrencies, tokens & investment	UK
2	ACWA Power	Cryptocurrencies, tokens & investment	Saudi Arabia
3	Aizu Laboratories	Decentralised energy trading	Japan
4	Alastria	General purpose initiatives & consortia	Spain
5	Alectra Utilities	Decentralised energy trading	Canada
6	Allgauer Überlandwerk	Decentralised energy trading	Germany
7	Alliander & Spectral Energy (Joulette at De Cevel)	Decentralised energy trading	Netherlands
8	Alliander (Alva)	Decentralised energy trading	Netherlands
9	Alliander (Charge Ledger)	Electric e-mobility	Netherlands
10	Alpiq	Decentralised energy trading	Switzerland
11	Ameren	Decentralised energy trading	US
12	Arge Netz	Decentralised energy trading	Germany
13	Assetron Energy	Cryptocurrencies, tokens & investment	Australia
14	Australian Energy Market Operator	Decentralised energy trading	Australia
15	Australian Gas Light Co.	Decentralised energy trading	Australia
16	Australian Renewable Energy Agency	Decentralised energy trading	Australia
17	Axpo	Decentralised energy trading	Switzerland
18	Bankymoon	Metering, billing & security	South Africa
19	BAS Nederland	Metering, billing & security	Netherlands
20	BCDC (Blockchain Development Company)	Cryptocurrencies, tokens & investment	UK
21	BCPG Group	Decentralised energy trading	Thailand
22	Bittwatt	Decentralised energy trading	Romania
23	BKW Energie	Decentralised energy trading	Switzerland
24	BLOC (EnergyBlock & Community Power)	Decentralised energy trading	Denmark
25	Blockchain Futures Lab	General purpose initiatives & consortia	US
26	Blockchain Research Lab	General purpose initiatives & consortia	n/a
27	BlockLab	General purpose initiatives & consortia	Netherlands
28	Bouygues Immobilier & Stratumn	Decentralised energy trading	France
29	BTL	Decentralised energy trading	Canada & UK
30	Car eWallet	Electric e-mobility	Germany
31	CarbonX	Green certificates & carbon trading	Canada
32	Centrica	Decentralised energy trading	UK
33	China State Grid Corporation	IoT, smart devices, automation & asset management	China
34	Chubu Electric Power Company	Electric e-mobility	Japan
35	CGI & Eneco	Metering, billing & security	Netherlands
36	Clearwatts	Decentralised energy trading	Netherlands
37	Conjoule	Decentralised energy trading	Germany
38	ConSENSys	Decentralised energy trading	US
39	CoSol	Decentralised energy trading	Brazil
40	DAISEE	IoT, smart devices, automation & asset management	France
41	Dajie	IoT, smart devices, automation & asset management	UK
42	DAO IPCI (MITO)	Green certificates & carbon trading	Russia
43	Department of Energy, US	Metering, billing & security	US
44	Department of Energy, US	IoT, smart devices, automation & asset management	US
45	Dubai Electricity and Water Authority (DEWA)	Electric e-mobility	UAE
46	Direct Energy	Cryptocurrencies, tokens & investment	US
47	Divvi	Decentralised energy trading	Australia
48	Dooak	Cryptocurrencies, tokens & investment	Brazil
49	Drift	Decentralised energy trading	US
50	EcoCoin	Cryptocurrencies, tokens & investment	Netherlands
51	EDF Luminus	Decentralised energy trading	Belgium
52	Elblox	Decentralised energy trading	Switzerland
53	ekWateur	Cryptocurrencies, tokens & investment	France
54	ElectriCChain (SolarCoin)	IoT, smart devices, automation & asset management	Andorra
55	Electrify.Asia	Decentralised energy trading	Singapore

	Company & Project	Field of Activity	Country
56	Electron	Metering, billing & security	UK
57	Electron	Grid management	UK
58	Elegant	Metering, billing & security	Belgium
59	eMotorWerks	Electric e-mobility	US
60	Enbloc	Decentralised energy trading	US
61	EnBW	Decentralised energy trading	Germany
62	Endesa Energia (Blockchain Lab)	General purpose initiatives & consortia	Spain
63	Eneco	Decentralised energy trading	Netherlands
64	Enercity	Metering, billing & security	Germany
65	Enel	Decentralised energy trading	Italy
66	Marubeni (with LO3 Energy Inc.)	Decentralised energy trading	Japan
67	Energi Mine	Cryptocurrencies, tokens & investment	UK
68	EnergieSudwest AG	Decentralised energy trading	Germany
69	Energo Labs	Decentralised energy trading	China
70	Energo Labs	Electric e-mobility	China
71	Energy Bazaar	Decentralised energy trading	India
72	Energy Web Foundation	General purpose initiatives & consortia	Switzerland
73	Energy21 & Stedin	Decentralised energy trading	Netherlands
74	Energy-Blockchain Lab & IBM	Green certificates & carbon trading	China
75	Enervalis (NRGCoin)	Cryptocurrencies, tokens & investment	Belgium
76	Enexis	Electric e-mobility	Netherlands
77	Engie	Metering, billing & security	France
78	EnLedger	Cryptocurrencies, tokens & investment	US
79	Envion	Cryptocurrencies, tokens & investment	Germany
80	E.ON	Decentralised energy trading	Germany
81	Equs REA Ltd.	Grid management	Canada
82	EU Blockchain Observatory and Forum	General purpose initiatives & consortia	EU
83	Eurelectric (Blockchain Discussion Platform)	General purpose initiatives & consortia	EU
84	EverGreenCoin	Cryptocurrencies, tokens & investment	US
85	Everty	Electric e-mobility	Australia
86	Evolve Power	Grid management	US
87	Evolution Energie	Decentralised energy trading	France
88	Farad	Cryptocurrencies, tokens & investment	UAE
89	Filament	Grid management	US
90	Filament	IoT, smart devices, automation & asset management	US
91	Fortum	IoT, smart devices, automation & asset management	Finland
92	Freelio (AdptEVE)	IoT, smart devices, automation & asset management	Germany
93	German Ministry of Economic Affairs and Energy	Grid management	Germany
94	Green Energy Wallet	Cryptocurrencies, tokens & investment	Germany
95	Green Running (Verv)	IoT, smart devices, automation & asset management	UK
96	Green Running (Verv)	Decentralised energy trading	UK
97	Greeneum	Decentralised energy trading	Israel
98	Greeneum	Cryptocurrencies, tokens & investment	Israel
99	Grid Singularity	Green certificates & carbon trading	Austria
100	Grid Singularity	Grid management	Austria
101	Grid+	Decentralised energy trading	US
102	Grünstromjeton	Cryptocurrencies, tokens & investment	Germany
103	Hive Power	Decentralised energy trading	Switzerland
104	Homeland Defense and Security Information Analysis Center	IoT, smart devices, automation & asset management	US
105	HydroMiner	Cryptocurrencies, tokens & investment	Austria
106	Iberdrola	Decentralised energy trading	Spain
107	IBM & Linux Foundation (Hyperledger)	General purpose initiatives & consortia	US
108	ImpactPPA	Cryptocurrencies, tokens & investment	US
109	Innogy Motionwerk (Share&Charge)	Electric e-mobility	Germany
110	Intrinsic ID & Guardtime	IoT, smart devices, automation & asset management	US
111	Inuk	Cryptocurrencies, tokens & investment	France

	Company & Project	Field of Activity	Country
112	KEPCO	Decentralised energy trading	Japan
113	Korea Electric Power Corporation	Decentralised energy trading	Korea
114	Leipziger Stadtwerke	Decentralised energy trading	Germany
115	LO3 Energy	Decentralised energy trading	US
116	Local-e	Cryptocurrencies, tokens & investment	US
117	Marubeni (Coincheck Denki)	Metering, billing & security	Japan
118	Ministry of Micro, Small and Medium Enterprises	Cryptocurrencies, tokens & investment	India
119	M-PAYG	Metering, billing & security	Denmark
120	MotionWerk	Electric e-mobility	Germany
121	MyBit	Cryptocurrencies, tokens & investment	Switzerland
122	Nasdaq New York Linq	Green certificates & carbon trading	US
123	National Grid United Kingdom	Decentralised energy trading	UK
124	National Renewable Energy Lab	Decentralised energy trading	US
125	NRG	Decentralised energy trading	Belgium
126	Office of Gas and Electricity Markets (OFGEM)	Decentralised energy trading	UK
127	Oli	IoT, smart devices, automation & asset management	Germany
128	OMEGAGrid	Decentralised energy trading	US
129	OneUp	Decentralised energy trading	Netherlands
130	Origin	Decentralised energy trading	Australia
131	OurPower (CEDISON)	Grid management	UK
132	Oursolargrid & ITP	Decentralised energy trading	Germany
133	Oxygen Initiative	Electric e-mobility	US
134	Pacific Gas and Electric (PG&E)	Electric e-mobility	US
135	Pacific Northwest National Labs	Grid management	US
136	PetroBloq	Decentralised energy trading	Canada
137	Platinum Energy Recovery	Decentralised energy trading	Singapore
138	PONTON (EnerChain)	Decentralised energy trading	Germany
139	PONTON (EnerChain)	Grid management	Germany
140	Poseidon	Green certificates & carbon trading	Switzerland
141	Power Ledger (EcoChain)	Decentralised energy trading	Australia
142	Power Ledger	IoT, smart devices, automation & asset management	Australia
143	Power Ledger	Electric e-mobility	Australia
144	Power Ledger	Green certificates & carbon trading	Australia
145	Power Ledger	Grid management	Australia
146	Power ID	Decentralised energy trading	Switzerland
147	PROSUME	Metering, billing & security	Switzerland
148	PROSUME	Cryptocurrencies, tokens & investment	Switzerland
149	PROSUME	Decentralised energy trading	Switzerland
150	PROSUME	Grid management	Switzerland
151	PROSUME	Electric e-mobility	Switzerland
152	PRTI	Cryptocurrencies, tokens & investment	US
153	Pylon Network	Metering, billing & security	Spain
154	Pylon Network	Decentralised energy trading	Spain
155	Restart Energy	Decentralised energy trading	Romania
156	Rheinisch-Westfalisches Elektrizitätswerk	Decentralised energy trading	Germany
157	Salzburg AG	Decentralised energy trading	Austria
158	Singapore Energy Market Authority	Decentralised energy trading	Singapore
159	Slock.it	IoT, smart devices, automation & asset management	Germany
160	Slock.it	Electric e-mobility	Germany
161	Smart Dubai	Decentralised energy trading	UAE
162	Solar Bankers (SunCoin)	Decentralised energy trading	Singapore
163	Solar DAO	Cryptocurrencies, tokens & investment	Israel
164	SolarChange (SolarCoin)	Cryptocurrencies, tokens & investment	Andorra
165	Sonnen	Decentralised energy trading	Germany
166	South Korean Science Ministry	Decentralised energy trading	South Korea
167	SP Energy Networks, SSEN, SP Distribution, SP Manweb & UK Power Networks	Grid management	UK

	Company & Project	Field of Activity	Country
168	SP Group	Green certificates & carbon trading	Singapore
169	Spectral Energy	Decentralised energy trading	Netherlands
170	Statkraft	Decentralised energy trading	Norway
171	StromDAO	Decentralised energy trading	Germany
172	SunChain (TECSOL & Enedis)	Metering, billing & security	France
173	SunContract	Decentralised energy trading	Slovenia
174	Sunverge	Decentralised energy trading	US
175	Sustainable Energy Development Authority	Decentralised energy trading	Malaysia
176	Swytch	IoT, smart devices, automation & asset management	South Korea
177	Tavrida Electric	IoT, smart devices, automation & asset management	Russia
178	Tennet & Sonnen	Grid management	Netherlands
179	Tennet & Vandenbron	Grid management	Netherlands
180	The Sun Exchange	Cryptocurrencies, tokens & investment	South Africa
181	ToBlockChain	Decentralised energy trading	Netherlands
182	toomuch.energy	Decentralised energy trading	Belgium
183	Tokyo Electric Power Co.	Decentralised energy trading	Japan
184	Ubitricity	Electric e-mobility	Germany
185	Uniper	Decentralised energy trading	Germany
186	VAKT & partners (including BP, Shell & Equinor)	Decentralised energy trading	UK
187	Vattenfall (Power peers)	Decentralised energy trading	Sweden
188	Vector Energy (EcoChain)	Decentralised energy trading	New Zealand
189	Verbund	Decentralised energy trading	Austria
190	Veridium	Cryptocurrencies, tokens & investment	US
191	Veridium Labs	Green certificates & carbon trading	Hong Kong
192	Volts Markets	Decentralised energy trading	US
193	Volts Markets	Green certificates & carbon trading	US
194	Wanxiang	IoT, smart devices, automation & asset management	China
195	WePower	Cryptocurrencies, tokens & investment	Gibraltar
196	Wien Energie	Decentralised energy trading	Austria
197	Wirepas	IoT, smart devices, automation & asset management	Finland
198	Wuppertal Stadtwerke (Tal.Markt)	Decentralised energy trading	Germany
199	XinFin	Cryptocurrencies, tokens & investment	Singapore
200	XiWatt	Cryptocurrencies, tokens & investment	US

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp