

特集 大量データ流通時代の技術動向

(電気評論 平成 30 年夏季増刊号原稿テンプレート)

ブロックチェーンを使った電力取引の研究と実践

～ デジタルグリッド同時同量マッチングプラットフォーム (DGP) の紹介～

デジタルグリッド株式会社

阿部力也

1. はじめに

1. 1 ブロックチェーンとは

ブロックチェーンは、近年フィンテックの興隆とともに喧伝され一種のブームを呼んでいる。

一方、ブロックチェーン技術の適用例の一つである仮想通貨(ビットコインなど)は盗難事件や流出事件の影響で警戒感も強い。

しかし単なるデジタルデータであるにも拘わらず、盗難にあっても消去されたり、複製されたりせずに一定の価値を保有し続けているということは、逆にブロックチェーン技術の堅牢性を物語っている。

ブロックチェーンでは、取引データの集合体に取引元が持つ秘密鍵による暗号化を行い、ハッシュ関数により得られる値を求め、次の取引データの集合体にこのハッシュ値を連結して別の秘密鍵で暗号化して新しいハッシュ値を求めるといった連続した操作を行う。

この一連の操作が取引行為のブロックを連結していくように見えることからブロックチェーンと呼ばれる。

取引行為の順番により連続するハッシュ値が一意に決定され、途中の取引を改ざんしようとする、関連するすべてのブロックのハッシュ値を再計算しなくてはならないため事実上改ざん不可能とされている。

この連続する取引データ集合体のブロックを複数の管理者が共有し、データを相互に伝搬する P2P ネットワークという技術で分散型の管理を行うことでサーバーダウンが起こってもデータが復活できる。

従来の中央管理型がゼロダウンタイムを目指すのと大きく異なり管理コストを大幅に削減すると同時に、システムの堅牢性を担保できるだろうという点に大きな期待が集まっている。

さらに取引におけるルールや契約行為もプログラムで置き換え電子データ化できる。これをスマートコントラクトという。このプログラムも併せてブ

ックチェーン化することにより、あらゆる経済行為や行政システムが、中央管理型から分散共同管理型に置き換えられてしまうのではないかとされている。

1. 2 電力取引のしくみ

一方、電力システムでは、系統周波数や電圧を維持するために、需要の変化に合わせて発電機の出力を調整している。電力自由化により、参入が促進されている新電力事業者にもこの調整が義務づけられている。本来はあらゆる瞬間において需要と発電が一致しなければならないが、新電力事業者に関してやや緩和され、30分間の総量の一致でよいとされている。これを「30分同時同量」という。

新電力事業者は、独自の発電機を保有してこの調整を実現すべきであるが、このような資本確保は中小規模の新電力事業者にとっては難題である。したがって市場からの電源調達に頼らざるを得ない。

日本の電力市場は、日本卸電力取引所(JEPX)のみである。JEPXは前日に取引が成立するスポット市場が中心となっており、使い勝手の良い長期契約市場が活性化していない。これにはさまざまな理由があるが、発電サイドにとっては市場を活用した長期の運転保守計画が立てにくい状況となっている。このため市場の利用は限定的になり、市場外の相対取引が9割を超えるというのが現状である。

長期契約市場が発達していないため、新電力事業者は東電や関電などといった既存の一般電気事業者からの長期電力購入相対契約を結んでいるのが実態である。

既存電力から電源の融通を受け、既存電力の送配電線で電力を供給するというような構図では新電力事業者が大きく成長することは期待できない。

1. 3 ブロックチェーンの電力取引への応用

しかし、ブロックチェーンを電力取引に応用するとこのような状況が一変する。

ブロックチェーンでは、発電と需要を相対で結びつける取引行為をブロックに記述する。

「何月何日の何時から何時まで、何キロワットをいくらで、どの発電機から、どの需要家に送る」というような契約を改ざん困難なブロックチェーンに記録していけば立派な契約行為とみなすことができる。契約先が30分ごとに異なる短期相対契約の集合体であっても、発電機の連続運転が可能ならば、長期相対契約と何ら変わるところはない。

発電機としては契約した電力を広域連携機関（OCCO）に計画提出し、それに合わせて計画値同時同量発電に専念すればよくなる。

一方、需要家からみると、30分ごとに電力を供給してくれる発電機が変わることになるが、長期調達が約束されるのであれば、長期相対契約と何ら変わるところはない。

契約した需要計画をOCCOに提出し、予定通り電力を使えばよいだけで、電気料金の支払い行為は後述のスマートコントラクトが自動執行してくれる。

需要計画と発電計画は1時間前まで見直しが可能なので、後述するデジタルグリッドの仕組みではインバランスはほとんど発生しない運用が可能になる。

1. 4 デジタルグリッドの試み

このことはブロックチェーンを用いた短期相対契約を多数行えば、長期相対契約相当の契約が実現可能であるということの意味している。

ブロックチェーンでは、発電機と需要家が1対1でマッチングされるので、将来の一時点における電力潮流を想定するというようなことも可能となる。

現状のルールでは地域電力管内（エリア）をまたぐ広域連系電力取引は、前日まで取引ができるかどうかかわからない。連系線の送電能力の限界を超えると、事前の契約はご破算となり、エリアごとに分割したエリア内取引を再試行する仕組みとなっている。（市場分断という）

ブロックチェーンを用いた短期契約の方法では、上述の方法で無数の電力取引が把握できれば先行して電力潮流を把握できるため、前日を待たずして市場分断が起こるかどうかわかるようになるうえ、送電容量を超える取引はあらかじめ契約が成立しないようにできる。

このよう短期相対契約を自動化するため、デジタルグリッドコントローラー（DGC）という小型の

デバイスを開発した。（図1参照）

DGCはスマホ並みのCPUを積載し、需要予測を行って将来の需要量を定め、望ましい電源調達価格を算出してブロックチェーン上に電力買い注文を出す。

ブロックチェーンの秘密鍵はDGC内にあり、物理的に取り出しできない構造となっている。このDGCが需要を予測し、需要の買い注文に秘密鍵をかけて3G/LTEネットワークを通じてクラウド上のブロックチェーンに発信する。

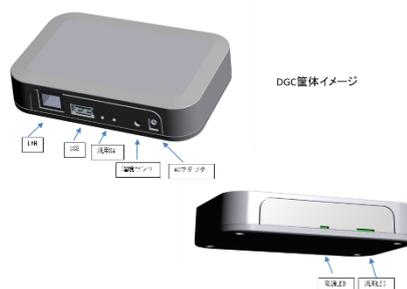


図1 デジタルグリッドコントローラー(DGC)

発電側にもこのような機器が設置され、需要の買い注文に応じて発電の売り注文を出す。

デジタルグリッドでは30分単位のマッチングを1年分（48 x 365コマ）の時間枠で行う。

価格と量の折り合いがつけば、短期の相対契約が成立する。見た目は株式市場を模しているものの、30分同時同量の自動制御システムであるというのが本質である。

発電機と需要家が1対1で、すなわちピアトゥピア（P2P）で短期間電力取引契約を行うようになると電力システムは大きく変革することになる。

DGCは電圧や潮流も測定でき、発電機やインバータに電圧や電力の制御信号も送れるため、送配電網の安定化にも寄与する。

今年開発するDGCのタイプCでは計量法準拠の電力量メータが組み込まれるため、グリーン電力証書、Jクレジット、非化石価値などに相当する環境価値も精密に計測できるようになる。これらの測定値はブロックチェーンに記録され、各証書のデジタル化を促進し、証書取引活性化に大いに寄与するものと思われる。

2. ブロックチェーン技術の基本原則

2. 1 ブロックチェーン技術

従来のデータの記録は、下図2に示す様に個別の取引データを中央管理型のサーバーに記録するという形式のものが多かった。このデータ記録方式では、複数のサーバーでファイルを共有すると競合データが発生した時にその検出が非常に困難なであり、正しいデータがどれなのかがわからなくなってしまう。

したがって基本的には中央管理になるのである。バックアップとして複数のサーバーを使うことはあるが、基本の記録ファイルは一つだけである。

この記録が消えたりすると大変なのでシステムダウンしないように莫大な費用と手間をかけてダウンタイムゼロを目指してきた。

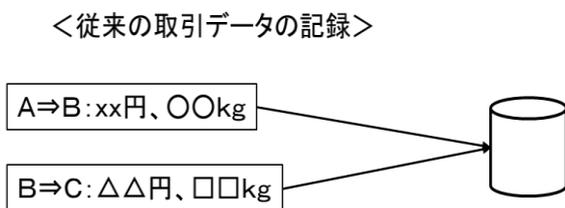


図2 中央管理型記録方式

一方、ブロックチェーンは図3に示すように取引データの集合体（図では簡単のために1つの取引としている）ごとにハッシュ関数を計算し、その結果を追加した次の取引データと新しいハッシュ値をブロックとしてつないでいく。すべてがチェーン上につながったデータとなる。それを複数のサーバーでファイル共有するという形式である。

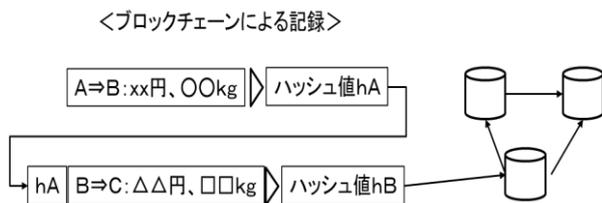


図3 ブロックチェーンの構造とファイル共有

これにより、一つのサーバーの取引データが改ざんされても他のサーバーのデータのハッシュ関数を比較すると改ざんの有無が容易に判別される。このため、改ざんに強いという点はよく言われる。

しかし、さらに重要な点がある。

それは記録データをたくさんのサーバーに分散してファイル共有を行える点である。

ブロックチェーンでは競合データが発生するとハッシュ値が大きく異なってしまうので、検出が容易

である。そのうえ正しいデータを判別するアルゴリズムが秀逸である。ビットコインなどではプルーフオブワーク（POW）という技術を使い、イーサリアムではプルーフオブステーク（POS）という技術など多様な判別手法がある。

ここで言う正しいデータとは必ずしも正確に正しいことを意味してはおらず、ある条件に適合したデータ集合体を正当と承認する判定プロセスを意味している。例えばPOWはマイニングというプロセスを早く実現したものに正当性を与え、POSは多数決のようなプロセスで正当性を決定している。

たくさんのサーバーが同じファイルを共有しているということはサーバーダウンを許容するということである。ブロックチェーンでは仮に多くのサーバーがダウンしても残っているサーバーが一つでもあればデータは消失しない。

この様にゼロダウンタイムを目指さないことやデータ正当性の決め方の柔軟性により、ブロックチェーンの管理コストは極めて低くなると見られている。

2.2 スマートコントラクトの意義

ブロックチェーンの中には、履歴蓄積システムの上にスマートコントラクトというレイヤーが設けられているものがある。

スマートコントラクトでは入力データとそのデータを使って処理を行うプログラム、および処理の実行結果が履歴として蓄積される。これにより、どのようなデータが入力されたらどのような出力がなされるのかという処理プロセスが公開されていることになる。この処理プロセスはさまざまな契約や手続きを記述することができる。

通常の処理プロセスやそのプログラムはブラックボックスであることが多いため、どのような論理で結果が導かれているのかわからず、結果の妥当性も検証しにくい。

しかしスマートコントラクトは公開されているので非常に透明性が高く、処理プロセスやその結果の妥当性の検証が容易であるといえよう。

分散型のスマートコントラクトが実用化されれば、仲介者や第三者の認証機関なしにその契約に基づいて価値ある資産や権利の自動移譲が可能になる。

様々な契約行為からなる現代社会の経済活動において、認証機関であった政府や第三者公的機関の役割が置き換えられる可能性も指摘されている。

電力取引の場合においても、電気料金の計算や取

引の手法、マッチングと価格形成のメカニズムなどにブロックチェーンとスマートコントラクトを応用できれば透明性が高まることが期待できる。これにより1対1で長期相対契約を行うために多大な労力を要していたことが不要となり、自動化された短時相対取引の集合体に変革する可能性がある。このことは電力系統の運営そのものにも大きな影響をもたらすことになるだろう。

3. 中小規模分散電源と需要のマッチング

3. 1 電力系統と需給マッチング

電力系統は千数百機からなる同期発電機群が回転を同期させて無数の需要家群に電力を供給している巨大システムである。

発電と消費が一致しているときは、周波数は一定を保っている。消費が変動すると周波数も変動するが、その変化をとらえて一部の発電機群が瞬時に出力調整を行って周波数を維持している。

電力自由化により現時点で600社を超える発電事業者が誕生した。彼らはすべての30分間における需要と発電を常に一致させることを義務付けられている。

欧米ではこの時間間隔は15分となっているところが多く、再生可能エネルギーのような変動の大きい電源や小規模分散電源が増えてくるとさらに短い時間で同時同量実現を求められるようになると思われる。

3. 2 中小規模分散電源の自動運転化

中小規模電源が、それぞれDGCを持ち、電源の売り注文に自動参画し始めると、従来の大規模電源のバランスグループに匹敵する自律分散型発電システムが出現する。

DGCによる出力制御も可能となり、電力取引の契約を数か月先まで行うことができるようになると、分散型電源と分散型需要間での同時同量システムが機能しだす。

日本の最大需要は160GW程度で、家庭や事業所の数など分散電源設置可能個所を5000万か所と仮定すると、1か所あたり3kW程度の電源があれば全需要を賄える計算になる。

このような中小規模分散電源を各家庭や事業所で保有する時代が来ると、電力供給の役割が分散電源にシフトしていくだろう。

電気自動車の蓄電池や家庭の燃料電池など技術的

なブレークスルーを目前に控えた技術は多種多様である。巨大な風力発電装置やメガソーラーなどに代わり、分散型の中小規模電源が主役となる時代が来る可能性がある。

このような分散電源が正確に電力取引を行い、発電と消費も履行し、その対価をやり取りするという仕組みを構築することは、従来型の中央管理システムでは物量が多くなりすぎて制御の複雑さ、管理コストの増大から対応が困難となるだろう。

しかし、DGCのような一種のロボットが、中小規模電源や需要家に設置され、ブロックチェーンの秘密鍵やスマートコントラクトが実行されると、このような自律分散型電力取引が高いセキュリティを保ちつつ実現可能となるだろう。

3. 3 さいたま市浦和美園地区での実証試験

デジタルグリッド株式会社と東京大学、および日立IEシステム、立山化学工業、テセラテクノロジー、USD、東京電力ホールディングス、関西電力、NTTデータが共同でデジタルグリッド実証試験を開始している。

本事業は、環境省の平成29年度「CO2排出削減強化型技術開発実証事業」で採択され、さいたま市浦和美園地区のスマートシティ街区で行われる予定のものである。

この実証で行われるのは、イオンモール内に設置する60kWの太陽光発電、スマート街区内の5軒の住宅に設置される太陽光と蓄電池、さらに近隣のイオン系コンビニ5軒との間での電力取引実験である。

将来、太陽光発電といえども電力取引契約で約定した電力しか発電できなくなる。そのためここでは発電電力を自在に制御できるマルチパーパスインバータにあたるデジタルグリッドルーター(DGR)を開発した。

DGRはイオンモール内の太陽光では20kWのソーラーインバータとして働くが、家庭用には5kWの蓄電池と5kWの太陽光、6kWの無停電電源、7.5kWの家庭間電力融通といった多用途なインバータとして働く。

DGRのハードウェアは全く同じものだが、ソフトウェアの変更だけでこのような異なる機能を付加することができる。



図4 デジタルグリッドルーター (DGR)

浦和美園実証試験では、実機の設備に加え、ダミーの火力発電等を加味した短期相対電力取引シミュレーションを平成31年度に行う予定となっており、今年度中に設置工事を行うべく準備中である。

3. 4 自家消費再エネ価値創出実証試験

環境省は、「H30年度ブロックチェーン技術を活用した再エネCO2削減価値創出モデル事業」を公募し、当社の提案が採択された。本稿では紙面の都合で、この内容について多くは触れないが、5月には環境価値に関して関心を持つ約70の団体が一堂に会して日本における環境価値のあり方について民間の行動を軸にした新しい動きを模索し始める予定である。

4 デジタルグリッド社の実践について

4. 1 電力小売りマッチングプラットフォーム

筆者らはこのような電力取引を実現するため、デジタルグリッド株式会社を設立し、イオンデイライトや東京ガス等訳20社の出資を受けて、電力小売りプラットフォームを構築中である。

これは同じ電力管内にある発電側のバランスグループに対し、需要側小売り電気事業者（サービスプロバイダー：SPという）がDGCとブロックチェーンを使って電力の買い注文を出し、発電側がそれに対応した売り注文を出してマッチングするものとなる。

金融市場を模したような作りこみにしているが実際には短期相対契約の集合体であり、約定した契約に沿って、需要計画と供給計画を広域連系機関に提出して計画値同時同量を達成する自動制御システムに他ならない。

複雑な対価の授受に関しても下図5のように単純な収納代行の仕組みをとっている。

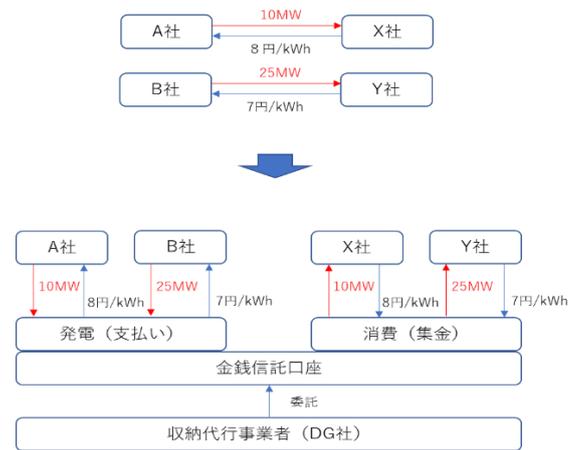


図5 短期相対契約と集金システム

A社からX社に電気を送り、対価をもらうという短期相対契約を連続的に多数マッチングさせてあたかも長期相対契約とみなせるような仕組みにしている。

4. 2 実電力の授受

A社からX社に電気を送るとい実電力の送受はどのようになるのかという疑問がわくと思われる。

現在の小売り電気事業者制度の枠組みでは、需要家の需要はスマートメーター毎にOCCTOに登録され、個々の小売電気事業者別に需要計画を提出することが義務付けられている。この需要計画に合わせて電源の調達計画も同様のサイクルで提出することが義務付けられている。

需要計画と電源調達計画は月次、週次、日次ごとに提出することになっており、最終的には1時間前まで計画見直しが可能となっている。

実際の発電では、電源側は需要の多寡を計測する必要はなく、提出した計画通りに発電すればよいことになっている。計画からずれた分はインバランスとしてペナルティが課せられる。需要側も計画から乖離するとインバランスとなり、ペナルティが課せられる。これらの乖離はスマートメーターの計量値をもとに計測されOCCTOが把握することとなる。

発電側と需要側を分離してそれぞれ計画値通りに運用することを、「計画値同時同量制御」という。

現行制度では、この方法に従えば、特定の発電側から特定の需要側に電力が送られたという認定がなされる。

短期相対契約は現行制度に準拠して、30分ごとに実電力を授受する仕組みとなっている。

5. 多様なエネルギー関連取引への展開

ブロックチェーンを使った取引は、目に見えなかった電力や環境価値などをリアルな実態のあるものに転換する。

取引が活発化することにより、このプラットフォームはF I Tに代わるような財源を生み出す可能性がある。日本の電力システムの再生を図りつつ、重厚で頑健な電力システムを維持していくためには財源が必要であり、短期電力取引や環境価値取引の活性化はそれにこたえるものとなろう。