インターネットの構造になぞらえた直流エネルギー体系の展望

中島 洋（なかじま・ひろし）
国際大学GLOCOM主幹研究員・教授

1. インターネットと電力の融合――もう一つの「仮説」

インターネットは1969年に誕生し，90年代に入ってコンピュータ通信（デジタル通信）体系の一つの方式として急速に発展した．他のデジタル通信体系を圧倒して世界の標準となった契機は，WWW（ワールド・ワイド・ウェブ）というドキュメント閲覧構造が発明されて，また文書の中に音声や画像を入れ込み，さらに他のドキュメントの場所を示す符号を入れ込む仕組みができたことである．同時期にそのドキュメントをディスプレイに表示するブラウザも発明された．

この結果，インターネットを幅広い人々が利用できるようになって，企業や個人，行政府などが，広く情報を発信できる状況が生まれた．これを基盤にした新しい社会構造やビジネス構造が，今日に至るまで続々と誕生しつつある．農業や製造業，商品流通などをインターネットに取り込み，また，電話やテレビ放送もインターネットに包含されつつあるが，現在，電力システムまでが融合しつつあるとされている．インターネットをベースに，より効率の良い，新しい電力体系が提案されている．

しかし，インターネットと電力体系の融合は，現在議論されている内容よりも，もっと深い意味をもつのではないか．筆者は，「インターネットと電力の融合」について，直流体系を基盤にした新しい見方を提示したい．

インターネットと電力の融合は「スマートグリッド」のコンセプトから出発している．現在の電力体系が交流に立脚していることから生じる非効率を克服するために，インターネットを利用する．交流体系では電力の貯蔵ができないので，発電総量が需要総量を上回っていることが要求される．失敗すれば大停電を起こす危険

中島 洋

国際大学GLOCOM主幹研究員・教授．1973年東京大学大学院修了．日本経済新聞社産業部記者(途中，日経マグロウヒル社に出向し『日経コンピュータ』『日経パソコン』創刊を担当)，日経新聞編集委員，慶應義塾大学教授(SFC)，日経BP社編集委員などを経て現職．内閣府・沖縄振興審議会専門委員として沖縄振興計画策定に参加．MM総研代表取締役所長，全国ソフトウェア協同組合連合会会長，情報化推進国民会議・専門委員会委員長，ASP・SaaS普及促進協議会副会長，データセンター促進協議会副会長などを兼務．

がある．これを調整するために，需要量をリアルタイムで計測，短時間先の予測を行って，需要総量が発電総量を上回る危機的な状況では需要を抑制する「賢い」制御システムが必要である．その道具となるのは「スマートメーター」で，各家庭や事業所などの電力需要家の電力使用量をリアルタイムに計測し，ネットワークを通じてセンターで集約する．

現在のスマートメーターは需要家の使用電力を計測する機能が中心だが，センター側で需要家の使用量を抑制・制御する機能も必要になる．もちろん，将来的には，家庭や事業所内の電気製品や機械類について，使用を抑制する際の順番と量を決めて，需要総量と発電可能量を測りながら，適正な使用状況へと電力体系を導いてゆくのが，そのイメージである．特に火力発電，原子力発電のように，簡単に発電量を増減できない現在の電力体系では，需要を測定して需給を調整するのが眼目になるだろう．スマートメーターが電力ネットワークとインターネットの両方につながることでインターネットは電力体系と融合する，というイメージになる．

しかし，直流を前提にする東京大学の阿部力也特任教授の提唱する「デジタルグリッド」の構想などが，全く別のアプローチの存在を予想させる．阿部教授の構想をヒントにどういう体系が考えられるか，一例を提示しながら，直流を基礎に置くインターネットと電力体系の融合を考察してみる．従来とは違ったイメージが湧いてくるはずである．

2. 直流電力体系の要は蓄電池

蓄電池(バッテリー)が直流電力体系の要になる．新体系は多数の蓄電池がネットワークで結ばれる形状なので，「体系」を「網」と置き換えて，電力網と表記する．この蓄電池群は隣接する複数の蓄電池と電力線で結ばれて，全体として「網状」になるのである．形状は脳の中で構成される神経網(ニューラルネットワーク)を想像してもらえばよい．需要家である家庭や事業所は，この蓄電池から直流の定圧の電力を受けて，家電製品や電灯，事務機に供給する．家庭専用の蓄電池もあれば，数家

庭で共用する蓄電池もあるだろう．

蓄電池に電力を供給するのは，太陽電池や風力，小型水力などの地域の小電力でもよいし，地熱発電や潮力，波力，バイオ燃料，ゴミ焼却炉や工場の排熱利用の発電でもよい．もちろん，地域内の電力で不足すれば，地域外の大規模電力会社から供給を受けて直流に変換して蓄電してもよい．直流の電力はその由来を問わない．電力が少なくなったときに，近隣の余裕をもつ蓄電池から受電することもある．コンビニエンスストアや給電所で受電して，搭載したバッテリーに余裕のある電気自動車から電気をもらってもよい．

この蓄電池は，インターネットに対応させればルーターに近い存在だ．隣接の蓄電池や発電装置から受けた電力をいったん蓄えて，余力ができると他の電力を必要とする蓄電池へとある分量を供給する．電力の流れの蓄積場所でもあり，中継基地の役割を果たす．

さて，どの蓄電池に余力があって，どれが基準値よりも不足しているか．それを検知するのが，この電力網で果たすスマートメーターの役割である．蓄電池にセットされたメーターは現在の電力量を計測するだけでなく，増加や減少のペースから数分後，数十分後の蓄積電力量を予測する．さらにメーターはインターネットへのアクセス機能を備えているので，その計測値や予測値をコントロールセンターにネット経由で送信する．各家庭の家電製品や事業所の機械が使用している電力量もリアルタイムで集約されてきているので，センターは，地域の電力使用状況や蓄電池に蓄えられている蓄積総量，どの蓄電池が余剰を抱え，基準を下回っているのはどこかも，正確に把握している．

基準を下回った蓄電池には，余剰電力をもつ蓄電池から電力が供給されるが，スマートメーターにはアドレスが付されているので，センターでは，A蓄電池からB蓄電池へ，何日の何時何分何秒にどれだけの量の電力が供給されたかが記録される．もちろん，移送ロスが起きるので，送電した側，受電した側，双方に別の数値が記録される．これが，需要家が支払う電気料金の支払い計算のベースになる．自家で発電する電力量が多くて供給が消費を上回れば，それは収入になる．各家庭，事業所が発電事業を行う．そういう電力網である．電力の移動に伴ってインターネットでその記録が移動してゆく．電力とインターネットは一体となって動くのである．

家庭内や事業所内部の機器類は，実は，大半が最終的には直流で稼働している．最も近い蓄電池から供給される直流の電力は，交流と違ってそのまま使用できるので，変換ロスをなくして使用できる．また，地域内の発電装置から消費する家庭や事業所に送られる電気は経路が短いので，従来の遠隔地の大規模発電所から送電されるのに比べて送電ロスが小さく，効率よく使用されるメリットもある．

ただ，地域内では発電量が不足する時期もある．余剰の間に蓄電池に蓄積したものを消費することで間に合わせるが，それでも不足するケースは，従来の交流体系をもつ電力事業者から購入する．従来の電力網の電線はそのまま直流用に利用できるので，施設を廃棄する必要はない．変電所は不要になるものも出る．新たに大量の蓄電池や再生可能エネルギー用の発電設備やスマートメーターへの投資が必要になる．これらは新たな需要を生み，ベンチャー企業の誕生や雇用の創出効果をもたらすだろう．

スマートメーター間のデータの転送は，無線インターネットになるだろう．

3. インターネット――行政，企業，個人の活動舞台

インターネットにアクセスして情報交換する主体は，まず，企業（B = Business），行政（A = Administration），個人（C = Consumer，Citizen）が中心だった．ホームページによって企業が自社の案内をするような単純な情報発信だけではなく，航空券や新幹線のチケット予約や通信販売（ネット通販）などのB2Cや企業間の電子商取引であるB2Bでインターネットの有用性が認識されるようになった．日本では出遅れたが，先進国では電子行政がスタートし，B2A，C2Aの形での利用が定着した．

2000年代に入ってWeb利用の主体は集合としての「人」の要素が強まった．明らかに初期のインターネットとは利用形態が異なってきた．検索サービスでは，アクセスを「人」の投票行動ととらえ，投票の多い／少ないによってキーワードやイベントの出現順位が上位，下位にランク付けされる．上位にランクされたキーワードやイベントはさらに選好されてアクセス数が加速度的に増加する，という循環が起こり，一極集中現象が現れてきた．ネット通販でも履歴情報を集積してレコメンデーションを行うサービスが登場して，「人」の購買行動が別のユーザーの購買行動に影響を及ぼす現象が顕著に現れるようになった．インターネットを通じて，「人」が「人」に強い影響を及ぼすようになったのである．

C2C，C2C2C，……と無限に連鎖が起こる現象が始まった．

さらに，人間の社会性（社交性）を基盤にしたサービスが社会インフラにまで成長したのが，友人や見知らぬ人同士が登録しあって情報を共有するソーシャル・ネットワーク・サービス（SNS）で，これも，「人」がインターネットの主役になったことを示す．

「人」から「人」へと，波紋が広がるように短時間で広範な人々へ広がる．特定の関心をもつ「人」から「人」へ，さらに「人」へと，特有の「関心空間」を形成しながら，情報は瞬く間に広がって行く．東日本大震災では，ある地域で物資が不足していると現地のユーザーから発信されると，それを受け取った別のユーザーが

重要情報と感じて，今度は自分の知人ネットワークに引用転送する，それが鎖のようにつながって，マスメディアでは伝わりにくい局地の情報が幅広く伝達される，という新しい現象を生んだ．

4. 「モノ」へ――データの爆発的増加

「人」と「人」が相互に強く影響しあう現象がインターネットに生じたのと前後して，新たな活動主体として登場したのが「モノ」だった．「A」「B」「C」以外のインターネットを基盤にしたアクセス主体としては，「機械（M）」がその候補として登場していて，インターネットを通じて機械同士が相互に影響しあう状態を「M2M」と表現していた．

しかし，その際に想定していた機械は，ネットワークにつながった自動販売機や自動車，冷蔵庫，テレビ受像機，エアコン，工作機械など，まさに機械装置をイメージしたものだった．ところが，インターネットを活用する主体はさらに広がって，農産物や洋服，住居，家具，雑貨物や機械部品，ICカード，蓄電池，電気メーターなど，機械というより「モノ（Thing）」そのもののイメージである．インターネットに新たに登場してきた活動主体は「M」ではなく，「モノ」であるということで，この状況は「IOT（Internet Of Things）」と表現されている．

ただ，「モノ」を観察すると，「モノ」はそれ自身でインターネットに接続するわけではなく，インターネットにつなげるためのICタグなどの電子部品（Device）を介してつながっているので，従来の「A」「B」「C」にならって略称するなら，「D＝Device」と表記できる．活動の主体を「D」とすると，インターネットを取り囲む活動主体は「A」「B」「C」「D」ときれいに並ぶ．「IOT」は「D2D」あるいは「D2D2D2……」と表される．

スマホやケータイを使って航空会社のコンピュータにアクセスしてチケット予約するのも「D2D」である．帰宅する前に，スマホで自宅のエアコンにスイッチを入れるのも「D2D」である．農産物が農場を出る際にIDが振られて，倉庫の出し入れやトラックでの輸送状況などが追跡され，消費者の手に渡るまでの経路や状態がリアルタイムで捕捉される「トレーサビリティ」もIOTの典型的な例である．

自動車の位置，走行速度などの個別のデータを，時々刻々，無線を通じて収集し，これを地図上に展開することによって，どの道路が混雑して渋滞が起きているか，どの道路がスムーズに走行できるかなどを判別する仕組みができているが，これもIOTの典型的な事例である．東日本大震災の折には，このシステムが，自動車が走行していない道路は不通区間であると判断する作業にも使われた．どのルートで被災地に入るのが最適か，などの参考にもなった．

5. 「電力」との融合――アーキテクチャの相似性

インターネットを利用して活動する主体として「モノ＝D」が明確な姿を現して来た際，IOTのもう一つの典型例として認識されたのがスマートグリッドである．スマートメーターがインターネットに接続した図は，まさしくD2D2D2D……，IOTそのものである．つまり，インターネットの次の適用領域として電力が浮上してきた．

しかし，冒頭の直流網の「仮説」で記したように，今後のエネルギー領域，とりわけ電力体系は劇的に変化することが予想される．従来は大規模な発電所で生成した高圧の電気を徐々に降圧して分岐し，多数の消費家庭，事業所に送り届ける仕組みだった．

しかし，今，起きつつあるのは発電の多極化による不安定で複雑な電力体系の出現という，未体験の事態である．無数の家庭や事業所，多数の新電力会社が超分散して電気を生成する．大手企業を中心に，他の事業者に電力を供給する新電力事業者もいくつか誕生している．こうした自家発電や他社への売電事業者の増加傾向は続くが，火力のみならず，太陽光，風力の利用によりエネルギー源が多様化している．

特に，2012年夏から，再生可能エネルギーの固定価格買取制度が始まったので，比較的スタートが容易な太陽光をエネルギー源とするメガソーラー事業者が急速に増加している．また，一般事業所や公共施設，学校などの屋上，遊休農地や空き地などにソーラーパネルを設置し，電力を起こして他のユーザーや電力会社に供給する動きも全国各地に顕著である．家庭でもソーラーパネルを設置して，自家消費して電気料金の軽減を試み，余れば蓄電し，さらに余れば電力線を使って他のユーザーに供給する，という形式が生まれようとしている．家庭専用の設置タイプの蓄電池だけでなく，自宅で駐車中の電気自動車のバッテリーも，自家発電の余剰電気を蓄え，夜間には家庭に電気を供給する役割を果たす．ただし，電気自動車は移動するので，その位置は必ずしも一定ではない．

「インターネットで制御」というレベルが従来とは格段に違う．インターネットを利用する主体が電気を供給する装置，電気を受ける装置として，これを「E(Electric)」と表記すると，インターネットを活用する主体として，「A」「B」「C」「D」に加えて「E」が加わる．

これまでは電力は交流の体系を前提にしていた．大規模な発電所から遠隔地の大消費地まで送電するには，高圧で送電し，消費地の近くで，徐々に低圧に変圧してゆく方式をとったので，変圧しやすい交流の体系が前提になったのである．しか

し，再生可能エネルギーは小電力で，ごく近隣に供給するきめ細かなネットワークが適している．冒頭に述べたように，交流である必要はなく，今後は地域を中心にした直流による電力網の方がメリットを享受する可能性があるのだ．

インターネットと電力の融合は，従来の大規模発電，大規模送配電の仕組みで登場するのではなく，無数の発電地点と需要地点を結ぶ地域のネットワークの出現とともにやってくるのではないか．