

The blackout avoidable electric power system based on Digital Grid Cells

ブラックアウトを回避するデジタルグリッドセル型電力系統

Rikiya ABE
阿部 力也*1

Abstract

To support a high penetration of intermittent solar and wind power generation, many regions are planning to add new high capacity transmission lines. These additional transmission lines strengthen grid synchronization but will also increase the grid's short circuit capacity. With a highly interconnected grid, a single grid failure can easily start cascading outages, resulting in large scale blackout as we have experienced in Hokkaido in September 6th, 2018. A large volume of variable renewable generation will also be a trigger of the cascading outage.

We introduce the concept of "Digital Grid", where large synchronous grids are divided into smaller segmented grids, so-called "Digital Grid Cells (DG Cells)" which are connected asynchronously, via multi-leg **blockchain-addressed** AC/DC/AC converters called Digital Grid Routers (DGR). These routers communicate with each other and send power among the segmented grids through existing transmission lines, which have been re-purposed as digital grid transmission lines.

The Digital Grid can accept high penetrations of renewable power, prevent cascading outages, accommodate identifiable tagged electricity flows, track those transactions and trade electricity as a commodity.

Keywords: smart grid, renewable energy, solar, AC/DC/AC converters, BTB, power electronics, transmission lines, Blockchain, P2P

キーワード：デジタルグリッド、スマートグリッド、マイクログリッド、再生可能エネルギー、太陽光、AC/DC/AC コンバーター、BTB, BTB, 電力変換装置、送電線、ブロックチェーン、ピア・トゥ・ピア

1. はじめに

再生可能エネルギーの発電量は 2016 年時点でおおよそ 7.8%（水力除く）となった。⁽¹⁾

今後、再エネは大量導入されていくのだろうか？ その場合、本特集で取り上げているブロックチェーン技術は、どのような役割を果たすのであろうか？ 再エネが大量導入される未来の電力系統と電力業界はどのようなものになるのだろうか？

再エネが大量導入される未来の電力系統と電力業界はおそらく従来の延長線上にはない。そのイメージは明確とはいえない。本稿では想像力を最大限に膨らませて未来のエネルギーの世界を探ってみることとしたい。

2. 再エネが大量導入可能となる電力系統

2009 年に始まった固定価格買い取り制度（FIT）の効果で認定済みの再エネはすでに 9120 万 kW にも到達している。（2017 年 12 月時点）⁽²⁾

これは日本の最大需要約 1 億 5 千万 kW の 6 割にも達する。このうち不安定な電源として知られる太陽

光発電と風力発電の和は 7773 万 kW になり、約 5 割を占めることになる。

これは認定容量であって、実際に接続されているのはこのすべてではないものの、「再エネが大量導入されていくのだろうか？」という問いはすでに過去のものとなっているといえよう。

次の問いは、「現在の電力系統のままで再エネ導入を拡大していけるのだろうか？」という問いである。

2.1 発電出力の変動に弱い既存電力系統

2018 年 9 月 6 日午前 3 時 7 分 59 秒、北海道胆振地方中東部（厚真町近辺）をマグニチュード 6.7 の大規模地震が襲った。地震発生直後に主力の苫東厚真火力発電所 2 号機と 4 号機合わせて 130 万 kW 相当が緊急停止した。さらに同 25 分ごろ苫東厚真 1 号機 35 万 kW が、機器の損傷で緊急停止した。その結果、周波数は大幅に低下し、北海道全域停電に至った。

このような経験は、巨大な地震が図 1 の「既存火力集中立地地域」の直下で起こったため、何度も起こることではないと思われている。

泊原発が動いていれば電源が分散されていたため、このような連鎖停電は発生しなかったという見方

もある。

しかし、このような同時電源喪失が一旦起こると連鎖停電していき、全域ブラックアウトするという事象は世界中で繰り返されている。既存の電力系統技術の脆弱性を物語っている。

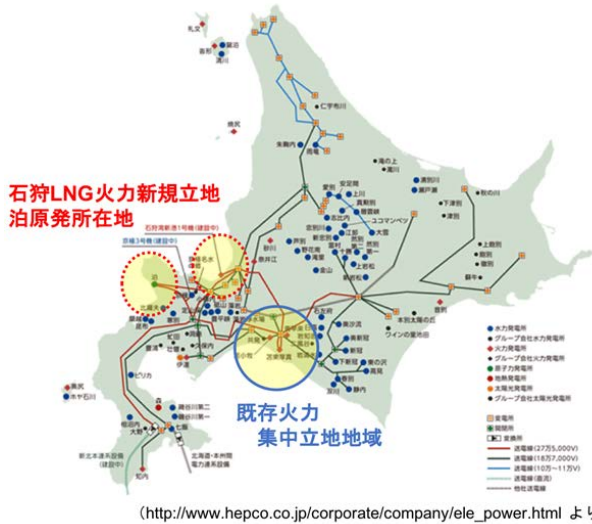


図1 現在の北海道の電力系統

2.2 再エネの出力変動に耐えられるか？

北海道における再エネ導入量はどのくらいになっているだろうか？

図1は北海道電力のホームページから抜粋したグラフである。2017年度断面では、太陽光発電133万kW、風力発電39万kW、合計172万kWになっている。2018年3月時点での接続申し込み量は太陽光発電223万kW、風力発電144万kW、合計367万kWとなっている。これは今回の地震前の電力需要310万kWを超えるレベルにある。

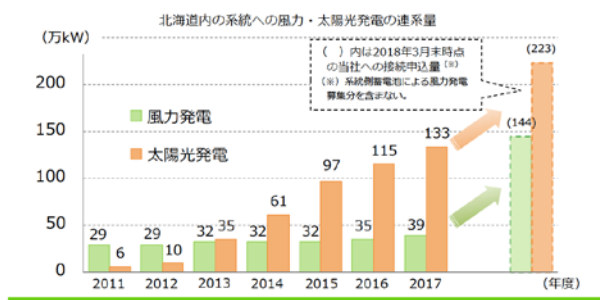


図2 北海道電力風力・太陽光接続量推移 (北海道電力ホームページより)

太陽光発電や風力発電の出力変化は極めて短時間に起こる。一瞬にして出力急増したり、急減したりすることがある。通常の火力発電や原子力発電は出力急変に対応できない。周波数の急変は今回のように連鎖大停電につながる。

再エネ発電源は天候次第で、急減あるいは急増を繰り返したりする可能性がある。

この際の周波数調整をいかにするか、既存電力系

統において、極めてチャレンジングな課題であると言える。

2.3 フル稼働していた北本連系線 (非同期連系)

図3は北海道全域停電の経緯を周波数変化 (赤実線) と北本連系線の電力供給 (青実線) で示したものである。(3)

地震発生直後に発生前の電力総需要310万kWの半分近い供給力が失われ、周波数は一時46.13ヘルツまで急落した。水力発電機や風力発電機はすぐに停止した。このとき、北本連系線がその定格容量の約60万kWの電力を本州側から北海道側に供給している。(青線が北海道への融通量を示す)

この緊急融通で、周波数は50ヘルツ近くまで持ち直した。このような瞬時対応ができるのは北本のような電力変換設備だけである。

3時11分ごろから需要が増えだし、それに対応して火力発電所が出力を増やしているが、周波数の戻り方はゆっくりとしたものになっている。

残念ながら、3時20分ごろから苫東厚真1号機も出力を低下させ、25分に停止した。この時北本連系線はフル容量だったため、周波数を維持することができなくなり、北海道全域停電に至った。

北本連系線は本州側電力変換所で交流を直流化し、直流送電線で海底を輸送し、函館近辺の北海道側電力変換所で再度交流に変換する。

本州側も北海道側も同じ50ヘルツであるが、いったん直流を介するので、周波数や位相の同期が切れて有効な電力のみが伝達される。

このような電力の伝達技術を「非同期連系」という。北本連系線では30万kW、2系列の非同期連系が行われており、さらに30万kWの非同期連系が近年増強される予定となっている。

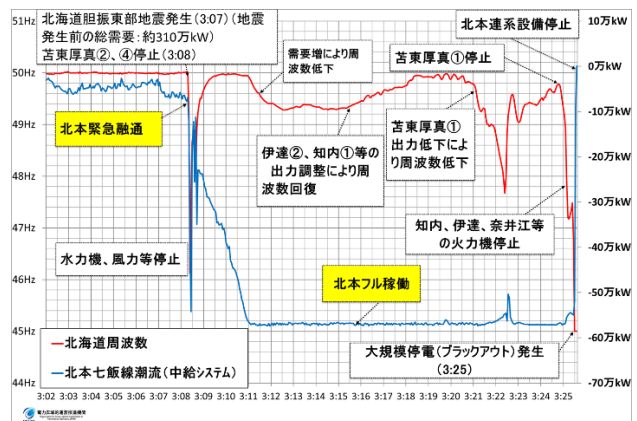


図3 北海道全域停電の経緯 (広域的運営推進機関情報に筆者加筆)

2.4 非同期接続を多用した非同期電力系統

再エネを大量導入するためには、一般的には、現在の同期接続系統をさらに強化する「系統増強」が有効と考えられている。

しかし、今回の事故が物語るように系統を増強すればするほど、系統内の1カ所の事故が系統全域に瞬時に伝搬し、全域停電に至るリスクが増大する。

これを短絡容量の増大という。今回の事故の伝搬速度から見て、すでに系統増強は極限に近づいているといえよう。

変動の大きい再エネの拡大が不可避となってくる将来、再エネが電力価値を発揮できる新しいタイプの電力系統に衣替えをする時期が近づいてきているといえよう。

筆者らは、再エネが電力価値を発揮するには、中小規模の自立可能な電力系統と基幹系統との間に「非同期」連系装置を挿入していくことが解決策になるのではないかと考える。

例えば、特別高圧変電所の需要家系統への分岐ファイダーで従来の遮断器に代えて、非同期連系装置による接続を行い、下流側を需要と発電がバランスした自立可能な地産地消型系統にくくりなおすのである。このようにして分離された中規模の電力系統を「セル」と呼ぶこととする。

図4はその一つの例を示したものである。

図中の青で示した非同期連系設備は北本連系線である。赤で示した非同期連系設備は筆者が適当に配置した非同期連系設備のイメージである。

セルとセルが非同期に接続しあう図4のような電力系統を「デジタルグリッド」と呼ぶ。

セル内は基本的に停電が起こらない構造となり、仮に起こったとしてもそれは一つのセルでとどまり連鎖停電が起こらない。

停電したセルは周りの健全セルから電源を供給してもらえるので速やかな復旧が見込める。



図4 中規模自律分散非同期電力系統（セル）の例

2.5 再エネを大量導入可能にするセル型電力系統

このようにして、区分されたセル内には、分散型

の火力電源、水力電源、再エネ電源などの競争市場ができ、豊富なエネルギーを保有する構造となる。

再エネの出力変動は基本的にセル内で調整するか、計画的に他のセルから多方向のルートで電力融通依頼する。

従来の電力系統は基本的にくし型といわれる一方のものであった。

非同期接続が多用されるようになるとセル内で余った再エネ電力は計画的に他のセルに多様なルートで送電されていく。

従来は送電線制約で接続制限されていた再エネの制約が基本的になくなる。

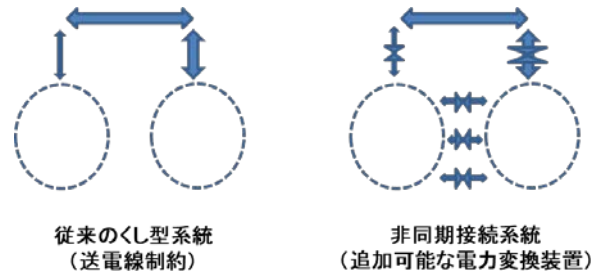


図5 非同期接続による再エネ電力融通

図5では二つのセル間を接続するルートが1つに限定されていた、くし型系統では再エネの接続可能容量は送電線容量以下に制限されていた（左図）が、複数の非同期接続により制限がなくなる様子（右図）を示している。セルの数が多数になるとさらに多様な接続が可能になり、再エネ容量制限は少なくなっていく。

セル内の周波数安定には、他のセルとの非同期接続以外にも様々な手段がある。

蓄電池を多用する。可変出力可能なガス火力などを増設する。太陽光発電、風力発電の出力制御を行う。などなど工夫ができるが、基本的には経済原理で定まる。セルの運用主体は特定送配電会社になるだろう。このようにして、セルごとの経済運用が始まる。

3. 参考文献

- 1) 再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題と次世代電力ネットワークの在り方、2017年12月18日、資源エネルギー庁
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denryoku_gas/saiseikanou_jisedai/pdf/001_03_00.pdf
- 2) なっとく再エネ、資源エネルギー庁
<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>
- 3) 2018/9/19 広域連携機関（OCCTO）プレスリリース
http://www.occto.or.jp/pressrelease/2018/180919_hokkaidokenshoiinkai.html

*1 デジタルグリッド株式会社
代表取締役会長兼最高技術責任者