

## ■特集：風力発電と電力系統との融和

# 潜在的な大容量風力発電の導入に向けた送電線計画

早稲田大学 理工学術院 客員上級研究員 中西 要祐

明星大学 理工学部 教授 伊庭 健二

### 1. はじめに

電気エネルギーは、その需要に見合った生産を行い、そのための輸送を必要とする。従来、このような電気事業を行うために、電源開発と流通設備計画を行い、その上でそれらの設備の適切な運用・制御を一体的に実施してきた。

一方で、最近、閣議決定された成長戦略に記載されているように「クリーンで経済的なエネルギーが供給される社会」の実現を目指し、再生可能エネルギーの導入などに対して、適地での送電網整備等を通じて国内市場の拡大を図り、2030年に向けた基盤づくりが提言されている。

再生可能エネルギーの中でも、風力発電は世界市場規模が170兆円と最も市場性の高いものと言われているが、その反面、風速の変化に応じて発電出力が変動する自然エネルギー固有の問題があり、従来の電力系統との融和を図るべき課題は大きなものがある。

本稿では、このような変動電源である風力発電の系統連系に対して、電源開発と流通設備計画の断面にフォーカスをあて、従来の系統計画問題を概説し、風力発電の系統連系に関する政策的・技術的な課題を示し、電力系統の融和を図るための計画問題について記載する。

### 2. 従来の流通設備計画

従来の送電網計画を中心とする流通設備計画は、電力会社内で綿密に練られてきている。電源線の計画については新增設される電源計画が発端となり、その電力を系統内に導入するために最も適した送電線を計画してきた。以下に電力自由化に伴う電力系統計画と一般的な計画手順を記載する。

#### 2.1 電力自由化と電力系統計画

電力系統計画は将来の環境の変化に対応して、電源開発や送電・変電・配電設備の拡充、系統信頼度の維持向上などを図ることである。この計画業務は大別して発電量と電力需要のバランスについて計画する電力需給計画と、電

力系統設備の建設について計画する電力設備計画に分けられる。

電力設備計画のうち特に送変配電系統設備の計画のことを流通設備計画と呼び、電源開発の部分を電源開発計画と呼ぶ。これらは通常、独立して行われるのではなく、電力系統としての統合効率を追求するため一体のものとして扱われてきた。

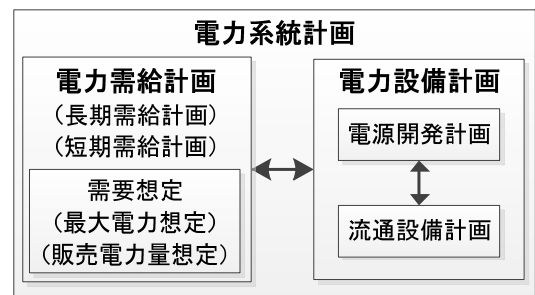


図1 電力系統計画業務のイメージ

電力自由化によって、流通設備計画業務を担う電力会社の発電部門と送電部門はビルやフロアを分け情報遮断が義務付けられ、自社他社問わず、電源計画が具体化したところで、それに応じた送電線計画が立案されるという形となった。

電源線の計画策定の際には数理計画的に最適に求めるのが理想ではあるが、実際にはその実効性は少なく、位置の明確となった大容量電源と系統の接続点を短い距離で結ぶことが求められ、ルートを選定においては用地の取得・買収が重要な要因となっている。

#### 2.2 電力系統計画の一般的な手順

電力系統の計画を策定する際には将来の電力需要の想定が大きな要素とされ、地域及び系統全体の最大電力需要（ある期間（日、月、年）の中での電力需要の最大値）に対応でき且つ信頼度基準に基づいて電力の安定供給を行えるような計画が行われている。電力需要の想定には長期的なものや短期的なものがあり、それに応じて将来の設備形成の大綱を検討する長期

計画（10年程度）とその方針に沿って当面の具体的計画を検討する短期計画（3ヶ年程度）が存在し、長期的なものから至近年と短い時間断面に近づくにつれ、最新の情勢を考慮し、より精度の高い計画に見直されていくのが通常である。

電力系統計画策定の際には、電気の発生と消費が同時同量であるという電力系統の性質から発電から配電に至る各設備を一体のものとして考慮し、既設設備を有効利用した将来的な拡充、保守運用との協調、及び各地域との調和を目指し、系統全体を最適に構築していくこととなる。その際の要件を整理すると下記のようになる。

- (a) 常時の電力の安定供給と、事故発生時の波及範囲の局限化と早期復旧の実現、また電圧、周波数変動、供給信頼度などの電力品質の維持を行う。
- (b) 発電から配電までの系統設備の協調を図り、効率的な系統構成を目指す。
- (c) 電力設備は高コスト且つ長期固定されるものが多いため、長期的観点から将来の系統拡大にも適応した効率的な設備形成を図る。
- (d) 設備の保守や運用面を含めた省力化を図る。
- (e) 用地事情への適応、安全確保、環境保全など地域環境との調和を目指す。
- (f) 既設設備の最大限の活用を基本とし、投資効率の向上を図る。

このように電力系統計画は電力の安定供給を目指し、長期及び短期的な電力需要の想定に対応し、種々の要件を満たすように最適且つ効率的な電源の開発及び流通設備の拡充や新設などを計画してきた。

### 3. 連系線強化に関する検討（地域マスタープラン研究会の送電計画）

日本における最近の送電線強化については、経済産業省より「地域間連系線等の強化に関するマスタープラン」が発表されている[1]。

これは、東日本大震災を契機に、全国大で電力の供給力が大幅に不足する事態に対応すべく、大規模電源が脱落した場合においても電力供給に支障を来すリスクを低減するため、また、再生可能エネルギーをはじめとした分散型電源の導入促進等の観点からも、FC（周波数変換器）や地域間連系線の増強等について検討したものである。

ここでは、この報告書のうち、再生可能エネルギー導入拡大、特に風力発電導入に関する内容の一部を紹介する。

北海道や東北の一部には、風況が良好で、大規模な土地の確保が可能な風力発電の適地でありながら、電力需要が小さいことから系統の容量が大きくなり、風力発電の導入が進まない地域が存在する。

- このため、
- ・ 地内送電網の増強
  - ・ 地域間連系線の増強

が必要となる。

北海道・東北地域における系統強化の算定には、「風力発電のポテンシャル(517万kW)」をベースに算定した場合と「風力発電の応募量(590万kW)」をベースに算定した場合の二つの追加導入量が示され、いずれのケースでもその地域での需要を大幅に上回る量が示されている。後者のケースにおける系統増強概算費用を表1に、また、具体的な地域内送電網増加の増強モデルを図2、図3に示す。

表1 北海道・東北地域に風力発電など約590万kWを追加導入のための系統増強概算費用<sup>(1)</sup>

追加連系量	北海道(風力+火力)	東北(風力)	北海道+東北 計
	270万kW	320万kW	590万kW
地内送電網増強	2,000億円程度	700億円程度	2,700億円程度
地域間連系線増強等	5,000億円程度	3,300億円+700億円程度	9,000億円程度
概算工事費計	7,000億円程度	4,700億円程度	<b>1兆1,700億円程度</b> [10円/kWh程度]*

※ kWh単価は、設備利用率を風力発電20%、太陽光発電12%、送変電設備年経費率8%として、以下のとおり試算。

①年間発電電力量：(500万kW×20%+90万kW×12%)×8760時間=97億kWh

②年経費：1兆1700億円×8%=936億円

③kWh単価：936億円÷97億kWh≒10円/kWh程度。なお、我が国の平成21年度の総発電量は約9070億kWhであり、全体で負担する場合は0.1円/kWh程度となる。

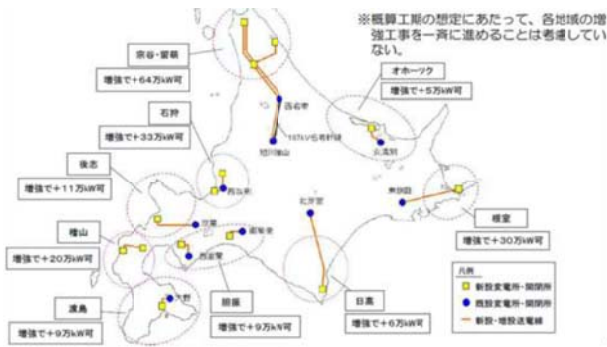


図 2 地内送電網増強モデル(北海道電力管内)<sup>[1]</sup>



図 3 地内送電網増強モデル(東北電力管内)<sup>[1]</sup>

上図の北海道電力、東北電力それぞれ地内送電網の増強モデルでは、風力発電の大量導入に伴い、それぞれの単独地域における火力発電などの調整力が不足し、系統周波数を適正に維持することが困難となる。このため、再生可能エネルギーの導入状況を踏まえつつ、既存電源の調整機能の向上や再生可能エネルギー発電の抑制などの運用の工夫に加え、蓄電池の設置など他のオプションとの費用対効果による検証等を行った上で、必要に応じて地域間連系線等の強化を検討していく必要がある。

具体的な地域間連系等の増強モデルとして、北海道に約 270 万 kW、東北に約 320 万 kW 導入拡大するための系統増強については、以下のとおりとなる (イメージ図 4 参照)。

- ＜北本連系設備＞
- ・60 万 kW × 3 ルートを増強。【5,000 億円程度】
- ＜東北基幹系統＞
- ・東北北部に風力発電が偏在することや、北海道系統から風力発電などの電力が流入する

ことを勘案し、日本海方面に 500 kV 送電線 450 km 程度を新設。【3,300 億円程度】

＜東北東京間連系線＞

- ・500 kV 第 2 連系線 (60 km 程度) を新設。【700 億円程度】

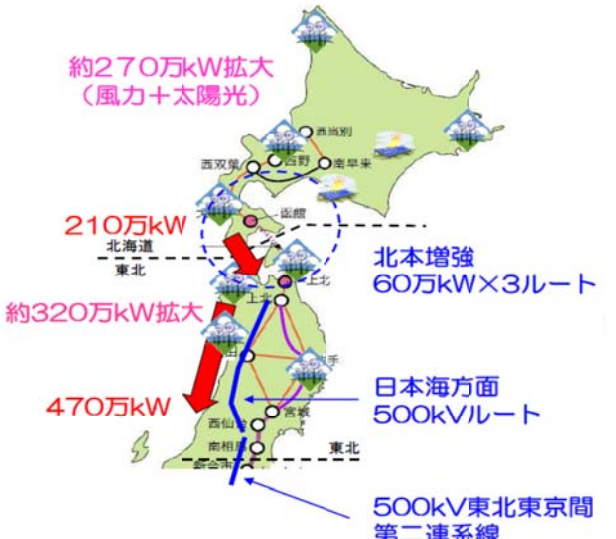


図 4 地域間連系線・基幹系統の増強モデル<sup>[1]</sup>

4. 風力発電機の特성에起因する課題

風力発電機には、多数の方式があり、採用されている風力発電機による系統への影響が異なる。表 2 には 3 つの典型的な風力発電方式の特徴と、一般的な系統への課題をまとめてみた。以下に基本的な現象を概説する。

4.1 短絡現象

(1) 従来の同期発電機による短絡時の現象

送電線上に落雷を受け短絡が発生すると、その故障点に電源から短絡電流が流れ込む。電源として従来の同期発電機などの回転機では、故障前後で磁束を一定に保とうとして、定格電流より 10 数倍の大きな短絡電流が流れる (短絡容量が定格の 10 数倍)。一方で、これまで発電機から有効電力を供給していた負荷に対しては、系統電圧が低下したために、有効電流供給が余剰となり、事故継続期間中には、タービンからの不要となったエネルギーにより発電機回転子を加速し同期が保てなくなる。このような現象に対して

- ・事故電流を遮断する適切な遮断電流容量をもつ遮断器の設置
- ・発電機回転子加速により脱調に至る時間以内に、事故を除去 (臨界故障遮断時間以内の事故除去) が必要となる。

## (2) 風力発電による短絡時の現象

上記の同期発電機は、定格出力容量の10数倍の短絡容量をもつが、回転機と異なるフルコンバータ型風力発電などは短絡容量が小さい。このような短絡電流供給能力が小さい場合には、遮断容量超過の問題は軽減されるが、他の負荷と同様に短絡による電圧低下を被り、同期発電機の磁束一定のような電圧維持能力がない。これまで、系統事故には、風力発電機は速やかに解列する事が義務付けられてきたが、同期発電機の代替えとしての電力供給をしている場合に、事故中の電圧低下や復帰後の需給アンバランスを招くことになる。このような現象に対して、

- ・短絡事故期間中の電圧低下を防ぐために、風力発電の積極的な活用
- ・短絡事故復帰後の速やかな発電出力の復帰を要求されてきている。このために系統連系要件としてLVRT(Low Voltage Ride Through)やDVS(Dynamic Voltage Support)などが示されている。

## 4.2 電圧の維持

### (1) 送電系統の電圧維持

送電系統を介して有効電力を送る場合、線路のリアクタンス成分にその電流分の2乗相当を掛け合わせた無効電力の供給が必要となる。また、力率の悪い負荷への送電では、その負荷が必要とする無効電力の供給も課題となる。このような無効電力の適切な供給が無

いと、常時でも系統電圧の維持が難しくなる。

電圧調整には、無効電力供給以外に変圧器のタップによる電圧調整が可能であるが、風力などの潮流変化が激しい場合には、風力発電機による無効電力供給が期待されている。しかし、無効電力分の容量を要求されると、発電機側では定格電流値以内の運転を維持するために、有効電力の最大値を抑制することになる。

### (2) 配電系統での電圧維持

配電系統を介して有効電力を送る場合、配電線路の抵抗分が大きいいため、受電端に対して送電端自体の電圧が上昇する。このため、送電端での電圧調整が必要となる。また、配電系統の電圧調整機能は、一方向性の負荷供給のみを前提としているため、配電系統内の電源による逆潮流が電圧制御機器に影響を及ぼすことがある。

## 5. 国内の風力電源の開発

陸上風力発電の導入ポテンシャルは、環境省が行った「平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査：2011年3月」の報告によると、日本全国で283GW、北海道ではその約半分の139GWにも達する。この算定においては、年間平均風速5.5m/s以上の条件を設定し、市街地、山林、国立公園、農地、傾斜地、標高1000m以上の土地などは除かれている。北海道だけ見ると139GWは原発の原子炉数約

表2 風力発電機の特性と系統課題

電気現象	短絡事故	電圧変動/維持
直入れ誘導発電機型	短絡中、残留磁気による起電力により短絡電流を供給。起電力の残留期間は短絡時電圧低下を防ぎ系統電圧を支える事ができる。慣性運転分(数サイクル)は故障電流を供給し系統遮断容量増加に悪影響を与える場合もある。	本体には平常運転時の電圧制御能力は無く、さらに起動時始動電流が大きく、SC SVC等の付加的な装置が無いと、始動時電圧低下も引き起こす。
二重かご型	クローバー等により二次巻線励磁電流が抑制されるが短絡電流を供給する。	コンバータ容量の範囲で電圧制御可能
フルコンバータ型	コンバータ電流抑制により短絡電流供給が限定的となる。	二重かご型よりも大容量のコンバータ容量により制御可能
系統での課題	短絡事故電流に応じて遮断器容量を決定する必要がある。配電系統では定格容量が12.5kAに標準化されている。	大容量機器(含Tr)と同様に、風力発電の始動時電圧低下を防ぐ必要がある。出力変動による平常運転時の連系点系統電圧維持が課題であり、特に線路抵抗が比較的大きな配電系統では出力による連系点電圧上昇が課題となる。

139 基に相当し、北海道管内の最大電力の約 20 倍に匹敵する。日本風力発電協会では、事業性の観点から年間平均風速 6.5m/s 以上の条件で算定しているが、それでも環境省の算定の約半分のポテンシャルがあるとしている。図 5 に各電力会社管内別陸上風力ポテンシャルと、発電設備容量を示す。

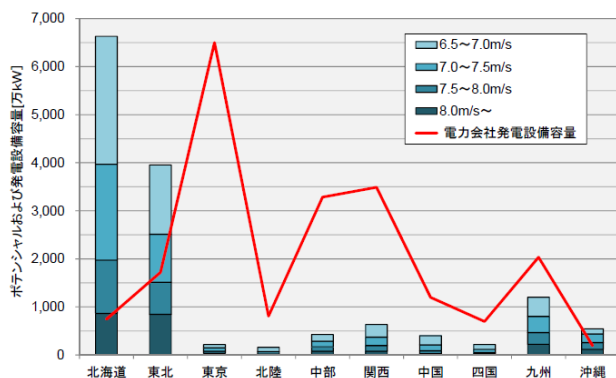


図 5 各電力会社管内別陸上風力ポテンシャル<sup>[2]</sup>

もちろんこれだけの風力電源を短期に開発することは難しく、これらを活用するには新たな電源として扱うには多くの困難があることを認識すべきであるが、膨大な風力エネルギーが潜在的にあることは間違いない。

既存系統との連系容量に関しては、これまでも検討が進められ、特に需要が少ない時期に風力発電比率が高まると周波数調整用電源の容量不足によって、周波数制御が困難になる問題が懸念されてきた。

しかし、この考えは既存系統の系統容量の 20-30% といったレベルの風力発電導入比率を想定した際の懸念である。長期的に見て現在の系統容量の数倍を軽く超える風力電源を開発しようとする場合には、これまでの常識を超えた新たな発想が必要になる。地域の需給バランスの不均衡を解消するためには長距離送電路の建設や、電力多消費産業の誘致の検討が必要で、出力変動を緩和するには大規模蓄電システムの構築の検討も不可欠であろう。

本稿ではこれらの問題と同様に、広大な地域に点在する風車が発電した電力を集約し、既存電力系統網へ連系するまでの送電線計画問題を検討する。

## 6. 風力発電用送電線計画に関する課題

地域内の風力発電による発電電力を系統に連系するための送電線計画には、数十 MW 程度を束ねる風力発電所内の風車タワー間を結ぶ

所内線計画と、風力発電所間を結びながら、既存系統の連系点に至る風力線計画の 2 つに大別される。

これら 2 つの電源線計画はこれまでの 電源線計画 と大きく異なり、以下の様な特徴がある。

### ➤ 所内線計画

- ① 電源が広大な地域に分散(点在)している。風車 1 基あたりの単機容量は大型化されつつあるが、輸送問題を考える必要があり、陸上においては単機容量が 2~3MW 程度になると予想される。回転翼の直径を  $D[m]$  としたとき、風車の間隔は風上風下方向には  $10D\sim 15D[m]$ 、横方向には  $3D[m]$  程度必要とされるため、エネルギー密度としては疎である。
- ② 送電網は一般に放射状系統が採用される。風車の単機容量に合わせて送電路の末端では細い線種が使われ、集約されるにつれて、線路が過負荷にならないように太い線種が使われる。
- ③ 風況や地形、道路、用地取得を考慮してタワーの配置は優先的に決定されると仮定した場合、線路の建設コストを最小にする送電線計画が求められる。線路互長は短いので送電損失は小さいが、計画には考慮すべきである。
- ④ ひとつの発電所にひとつの電気所を設けここに電力を集約し、変圧器を介して発電所外へ送電する。

### ➤ 電源線計画

- ① 風力発電所の建設は風況が良く、立地の容易な場所が優先され、徐々に開発されるため運用開始は長期の時間差がある。しかし発電所が新設されるたびに、電力線を伸延するだけでは、不経済になるおそれがある。また、電源開発に応じて必要な送電量も増加すると、線の張り替えや、昇圧も必要になる。一方将来を見越して高圧送電路を建設する場合は、一時的には過剰投資になり、計画変更の際には無駄な投資になる。
- ② 多くの場合、風力発電の潜在的適地は過疎地にあり、既存送電系統は脆弱である。安易に風力線を連系すると、過負荷やループ潮流、短絡電流増加による問題を起こす。既存系統の電力品質と安定度を維持しながら連系し、かつ、長期的には現在の系統容量をはるかに上回る電源を受け入れられるような送電計画が必要になる。

この2つの送電線計画の具体的な進め方について、以下の6.1項、6.2項で検討する。

### 6.1 風力発電所内の所内線計画

風力発電所の構成は多種多様なものが検討されているが、例えば50基程度、最大出力150MW程度の風力発電所の建設検討を考える。風車位置が風況や地形上の判断で優先的に確定されると仮定すると、各風車を送電線で接続し、ひとつの電気所に集約する所内送電線の計画が必要になる。送電線には数種類の線種が選択でき、送電線建設コストは亘長と線種、また必要に応じて地形上の条件なども考慮したい。送電線には容量の上限があり、潮流に応じた送電損失も発生する。このような条件のもとでの所内線計画法を筆者らは研究している。一例ではあるがその内容を以下に紹介する。

検討している所内線の計画手法は以下の手順に従って、事前に決定した50基の風車を結ぶ所内線の位置と線種を求めるものである。

- ① 所内線の送電線種を最も細く安価なものとして、すべての組み合わせを含む線路候補の建設コストを決める。
- ② プリムのアルゴリズム[3]を使って最適（最小コスト）な送電線路（放射状）を求める。
- ③ 風車が最大出力をし、力率95%で運用するとして、潮流計算を行い所内線の過負荷を調べる。
- ④ 過負荷がある場合は送電線種を1段階太いものに置き換え、①に戻り、過負荷が解消するまで繰り返す。

この手順に従う手法（手法(1)とする）を適用して求めた解を図6に示す。図中線の太さが線種の送電容量を示している。この解では分岐が少なく、図中の中心部の集約点(51)近傍の線種が太くなっており、望ましい解とはいえない。そこで、階層（集約点からノードに至るまでに経由する線路の本数）にペナルティを加え、また、集約点に近いノードが属する線路候補のコストを割り引く改良を加えた手法（手法(2)とする）を適用したところ、図7に示す解が得られた。

この手法(2)はまだ最適解を確実に求解するとは限らず、改良を加えながら様々なデータで検証を重ねるつもりであるが、代案提示能力にも優れ、実用性の高いものである。

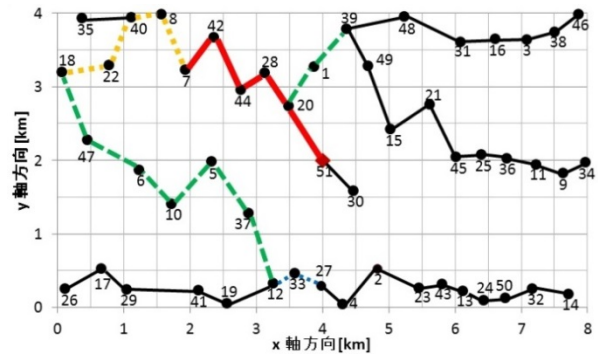


図6 手法(1)を用いて算出した所内送電網

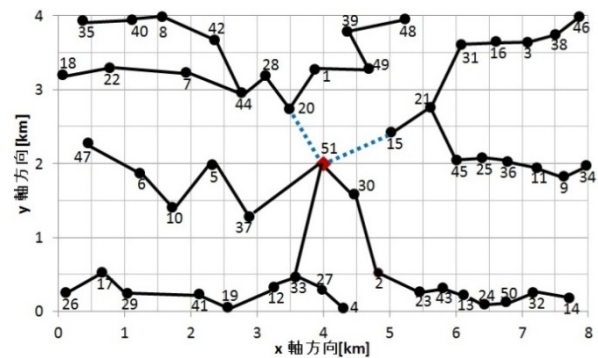


図7 手法(2)を用いて算出した所内送電網

図中の線種の凡例は、以下の通り、

細い黒色実線：ACSR160、細い青色点線：ACSR330、  
太い緑色破線：ACSR610、太い黄色破線：ACSR810、  
太い赤色実線：ACSR810×2回線。

線種の数値は送電線公称断面積を表し、数値が大きくなるほど送電許容値は増加するが、設置コストも増加。

### 6.2 風力発電所を結ぶ風力線計画と既存系統の連系地点（アクセスポイント）の選定

前項で述べた風力発電所内の所内線が発電所内の集約点（送電端）に電力を集めるのに対し、風力発電所を結ぶ風力線は、建設時期が異なる発電所の送電端を結び、既存系統のアクセスポイントに連系することになる。その際に、2.2項で概説した既存系統の送電線計画と6章まえがきで概説した風力線計画の考え方を踏まえ、さらに既設の既存系統についても以下の点を考慮する必要がある。

- アクセスポイントである既存系統の変電所内の設備は、増設される風力電源に応じて、母線構成、変圧器容量、遮断器の遮断電流、保護継電器の整定等を見直す必要がある。
- これまで例のない変動をもたらす電源群が連系されるので、変電所地点での電圧維持に必要な調相設備等を検討する。
- 潮流増加に伴い、既存系統内の送電線が過負荷になったり、想定外のループ潮流が流れることが無いかを調査検討する。

さらに、これらの検討は、風力発電用電源線の導入年度を考慮した設備形成を前提として、適切な既存系統の地点・電圧階級等の検討が必要となる。

このような条件のもとでの風力線計画と既存系統の連系地点の選定手法も筆者らは研究を始めている。ここでは、検討している課題の延伸の概念やシナリオのイメージについて紹介する。

図8に風力線の延伸の概念を例で説明する。○で囲った場所が風力発電所候補であり、色が濃い場所から先行して建設が進むものとする。実線は既存送電線を示し、線の太さが電圧階級（黒、緑、茶色の順で高い電圧）を示している。点線は風力線として増設する線路を示す。

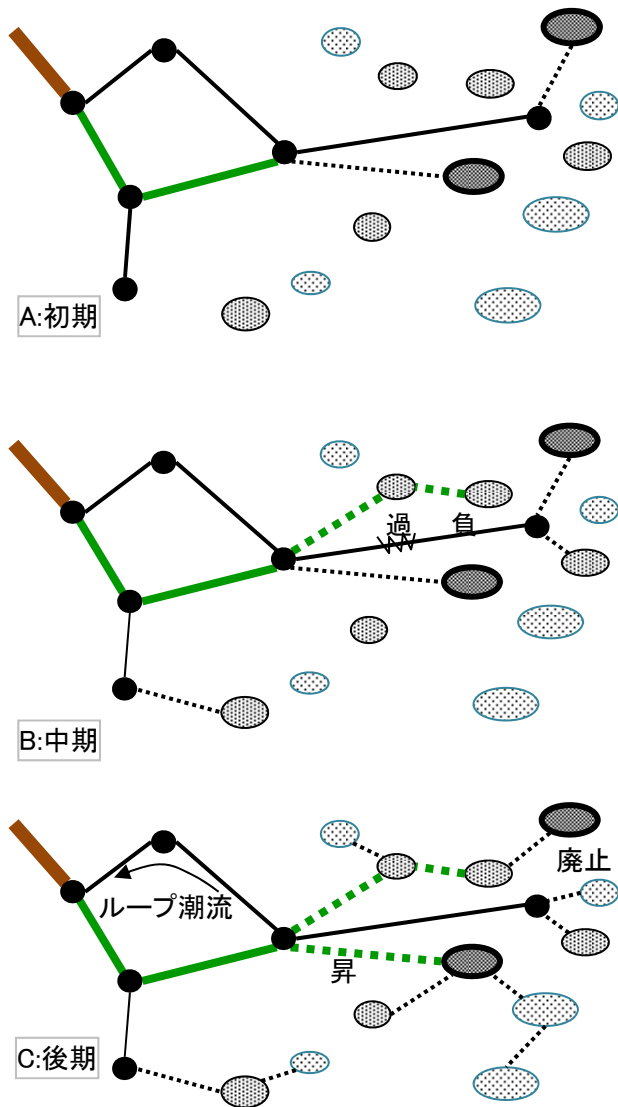


図8 風力線計画のシナリオ例

初期(A)では接続される風力発電所数も少ないため、もともと電源が少ない既存系統では送電線潮流を緩和することもある。

中期(B)になると、風力の発電電力が増大するので、一部の既存送電線が過負荷になることも想定される、増設する風力線も先を見越して高圧線を建設する場合（緑の点線）もあるだろう。

後期(C)になると、風力発電所の数も増え、既存系統に依存できなくなり、風力線の昇圧も含めて充実させる必要がある。

この例示したシナリオの中でも以下の様な課題が出てくる。

- (1) 風力線線路の付け替えにより、使用しなくなる廃止線がでるのか？（不経済ではないか）また、廃止線とはしなかった場合にループを構成するか？
- (2) 風力線、既存線ともに線路の線を張り替え、線種変更により、送電許容値増を図るか？
- (3) 風力線、既存線ともに線路の送電電圧を昇圧して容量増を図るか？
- (4) 連系点の選定はどのように決めるか。
- (5) 将来を見越して、必要以上の送電容量の送電線を建設する場合、先行投資とリスクは経済的にどのように扱うべきか？
- (6) 張り替えや昇圧工事は活線作業で片回線ごとできるか？工事は完全に線路停止するのか？
- (7) 既存系統で顕在化する系統問題（例えばループ潮流問題）はどのように扱うべきか？

このような課題は政策的な側面も大きく、さらに用地確保を含めると難しい課題となる。

## 7. 海外の研究動向

流通整備計画に対して、欧米などの市場を中心としたシステムでは、政策誘導により、その市場原理に基づく送電線投資インセンティブを喚起する解決策が検討され、日本での計画問題の取り扱いと異なる。

例えば、欧州の政策としては、欧州委員会がTEN-Eの枠組みを活用した「優先プロジェクト」の指定を行っており、米国では連邦政府が広域的な地域送電拡張計画策定プロセスの構築を義務化するとともに、東部系統・西部系統大での広域的送電計画策定への支援を実施している。

本項では、オーストラリアのビクトリア州の送電線サービスを担当しているオーストラリア電力市場運用者(AEMO)が発行した、連系構想プログラム（Connection Initiatives program）について記載する[4]。

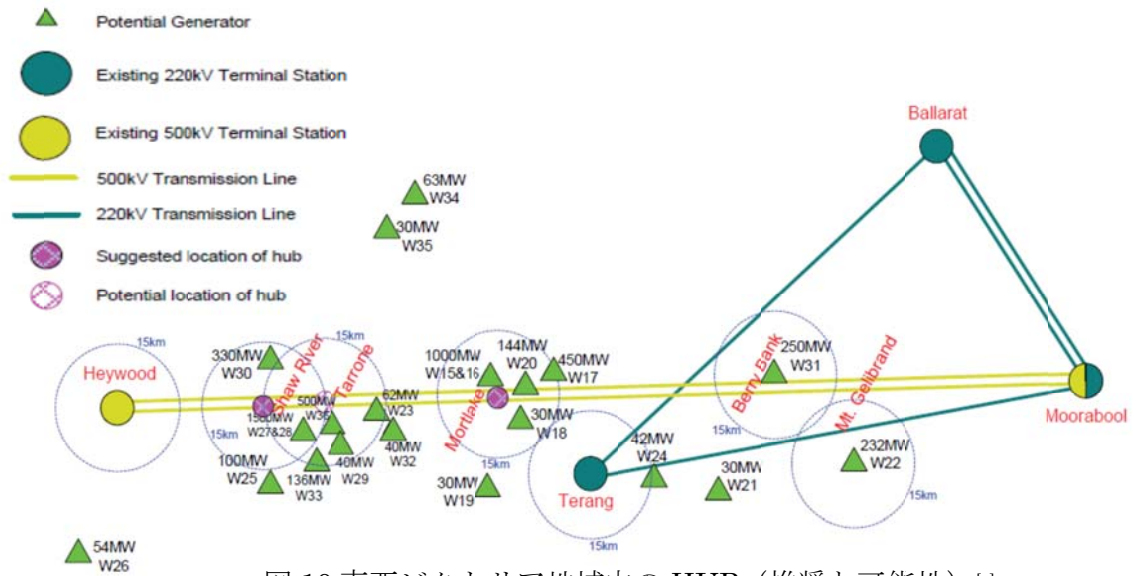


図 10 南西ビクトリア地域内の HUB（推奨と可能性）<sup>[4]</sup>

ビクトリア州では、5,000MW の再生可能エネルギーやガスの電源の系統連系が期待されている。しかしながら、この新たな電源の系統連系への潜在的な可能性があるものの、全てが進展するかは不明であり、この不確定性と、潜在的な将来の送電線容量限界の検討において、下記の課題がある。

- ・ 連系作業のための送電線計画停止を縮小する  
事による電力市場への最小費用の維持
- ・ 建設中（特に大容量連系線）の潮流確保を含む信頼度の維持
- ・ 既存連系の活用、不確実なプロジェクトタイミング、及び想定電源開発を考慮した十分な送電容量の開発
- ・ 潜在電源に対するタイムリーな送電供給力の確保

発行された連系構想プログラムでは AEMO の連系選択肢は図 9 の 4a,4b,4c に示したように、4a 特定端変電所の連系、4b 既存変電所の連系、4c 新たな連系 Hub の建設を挙げている。

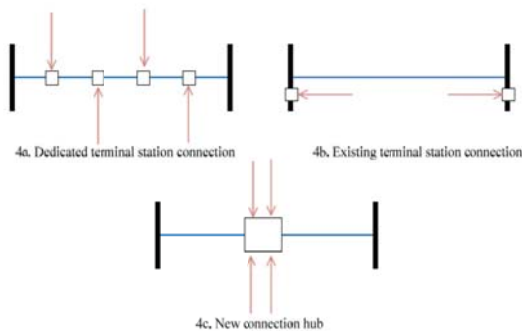


図 9 AEMO の連系 HUB 選択肢 <sup>[4]</sup>

ビクトリア地域には 2,100MW の風力発電があり、さらに南西ビクトリア地域内には 5,200MW の既存及び可能性風力発電がある。これまでの章で記載した複数の風力発電所を連系する風力電源線と異なり、図 9 4c のような既存線路上に複数風力発電所を集約する HUB を企画されている。図 10 に南西ビクトリア地域内で Moorabool と Heywood 間 50km の既存 500kV 送電線路上に HUB の推奨地点、及び可能性地点を示す。また、これらの送電線増強も検討されている。

## 8. まとめ

本稿では、風力発電が大量に導入された際の、既存系統との融和を目指した計画手法について記載した。また送電線新設及び増設に伴うアクセスポイントを新規変電所 (HUB) として扱った場合の具体案件として海外の紹介も記載した。

## 参考文献

- [1] 地域間連系線等の強化に関するマスタープラン研究会 - 中間報告  
<http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/chiikikanrenkeisen/report01.html>
- [2] 自然エネルギー白書 (風力編) 2013 日本風力発電協会
- [3] 最適化の手法 共立出版株式会社 茨木俊秀 福島雅夫著 P35-70
- [4] N.PUSHPARAJ,K.FREARSON,D.BONES,” Planning for connection of new generation projects in the Australian Electricity Market”,C1-201,CIGRE,2012,Paris