

# 北海道における CO<sub>2</sub> 削減に向けた再生可能エネルギーの出力変動対策に関する研究

北海道大学大学院 工学院 エネルギー環境システム専攻  
佐藤 亘

## 1. 結 言

地球温暖化や化石燃料の枯渇といった問題の解決策の1つとして、太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーが注目されている。特に北海道は、日本全体の風力発電導入ポテンシャルの半分近くを占めており、さらに太陽光発電の導入ポテンシャルも高い水準にあるため、再生可能エネルギー導入の最適地であると言える。しかしこれらは、気候や地理条件などによって出力が大きく変動してしまうという欠点を持っており、コスト、安定供給の面で課題を残しているため、未だ大量導入には至っていない。将来的にこれらのシェアを拡大させるためには、出力を平坦化させる技術が不可欠になると考えられる。

本研究では、風力発電と太陽光発電の大量導入が期待される2050年の北海道を対象として、シェア拡大とCO<sub>2</sub>削減という両面から見た変動対策の有効性について解析を行った。また、余剰電力の運輸部門への利用も考慮することで、社会全体で見たときの再生可能エネルギーの有効活用について考察を行った。

## 2. 解析方法

図1に示すように、北海道を道央、道北、道南、道東の4地域に分割して解析を行った。北海道電力の、2014年における1時間ごとの電力需給データをもとに各地に需要を与え、それを下回らないように各設備の発電量を定めた。発電設備は、水力、石炭火力、LNGCC (LNG コンバインドサイクル)、LNGOC (LNG オープンサイクル)、風力、太陽光を考慮し、道央とそれ以外の地域では送電容量を超えない範囲での電力の融通を可能とした。石炭火力とLNGCCは道央にのみ導入を可能とした。風力は各地に20地点、太陽光は道央と道東に10地点の発電地点を設定し、それぞれに気象庁のデータから算出した出力変動を与えた。水力は今後大規模な増減築が行われないとして、各地域の需要の10%を一定で発電するものとした。変動対策としては、送電線の増強とNaS電池の導入を考慮した。各々の発電設備と変動対策に、設備、運用、維持、燃料にかかるコストを設定し、1年間のこれらの総コストを目的関数として線形計画法によって最小化した。最適化にはNTTデータ数理システムのNumerical Optimizerを用いた。

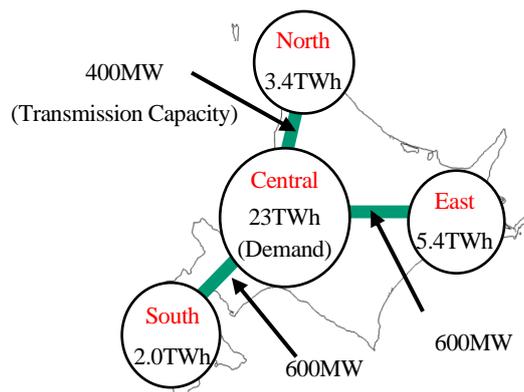


Fig.1 Regional division on model

### 3. 解析結果および考察

#### 3・1 再生可能エネルギー割合制限による解析

当研究室の従来の解析では、再生可能エネルギーのシェアを拡大することを目的として、1年間の総電力需要に占める風力と太陽光からの供給割合を制約式に加えた方法で行っていた<sup>(1)</sup>。解析ケースを表1に示す。CASE Aは変動対策なし、CASE Bは送電線増強、CASE CはNaS電池の導入、CASE Dは送電線増強とNaS電池の導入を同時に行う複合対策を行ったケースである。再生可能エネルギー割合に対する年間総コストの変化<sup>(1)</sup>を図2に示す。再生可能エネルギー割合が40%に達するまではコストほぼ一定の値を示すが、50%を超えるとコストが大きくなりはじめ、変動対策を施すことで抑制されることがわかる。これは40%までの範囲では余剰電力が生じないためであり、風力と太陽光の発電地点が分散配置されることで出力変動が抑えられることに起因する。50%以上導入されると余剰電力が生じてしまい、変動対策技術の必要性が生じる。80%導入した際には、送電線増強で30%、NaS電池の導入で45%程度コストを小さくすることができる。

Table 1 Analysis case

	CASE A	CASE B	CASE C	CASE D
Transmission line	×	○	×	○
NaS Battery	×	×	○	○

#### 3・2 CO<sub>2</sub>削減率制限による解析

今回新たに、2013年の北海道の発電部門におけるCO<sub>2</sub>排出量を基準として、CO<sub>2</sub>削減率に制限をかける方法で解析を行った。各設備が発電時に排出するCO<sub>2</sub>量をパラメータとして与え、1年間の総排出量が基準と比べて一定割合低くなるよう、制約式を変更した。基準を2013年としたのは、2016年5月に策定した地球温暖化対策計画において、CO<sub>2</sub>排出量を2050年までに2013年度比で80%の削減を目指すことを閣議決定したことに準ずる。

CO<sub>2</sub>削減率に対する年間総コストと再生可能エネルギー割合の変化を図3に示す。図のCASE A~Dが年間総コストを表し、RESが再生可能エネルギー割合を表している。再生可能エネルギー割合は解析ケースによってほとんど差がなかったため、CASE Aの結果のみをプロットした。60%まではほぼ一定のコストでCO<sub>2</sub>を削減することができる。基準となる2013年の北海道では石炭火力が大量に発電しているため、再生可能エネルギーの導入によるCO<sub>2</sub>削減効率が非常に高く、30%ほどのシェアおよびLNG火力への転換で60%まで削減することができる。その後は前節と同じように、余剰電力が生じるためにコストが大きくなるが、再生可能エネルギー割合80%ほどで95%ものCO<sub>2</sub>を削減することができる。図3

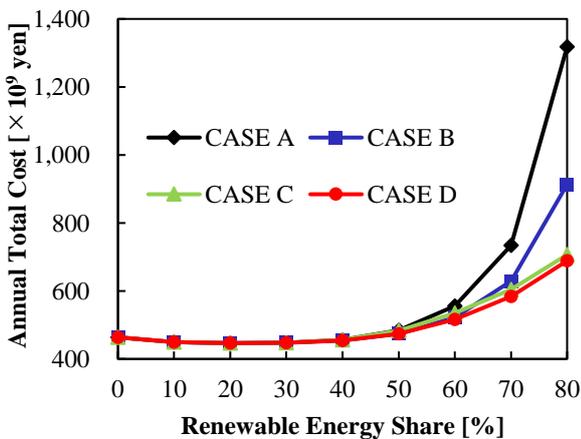


Fig.2 Renewable energy share and total cost change

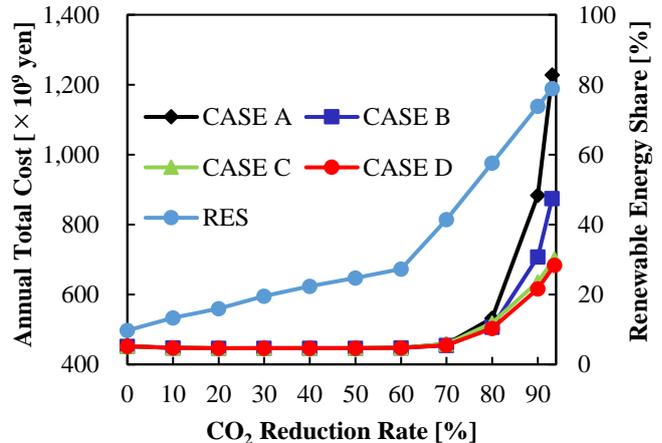


Fig.3 CO<sub>2</sub> reduction rate, total cost, and renewable energy share

### 3・3 解析方法の比較

図4に再生可能エネルギー割合に制限をかける従来の解析法と、CO<sub>2</sub>削減率に制限をかける新しい解析法による年間コストの比較を行った結果を示す。再生可能エネルギー割合制限による解析結果からCO<sub>2</sub>削減率を算出し、同じ値でCO<sub>2</sub>削減率制限による解析をすることで比較を行った。図の値は、再生可能エネルギー割合制限の年間総コストから、CO<sub>2</sub>削減率制限の年間総コストを引いた結果を表しており、すなわち、再生可能エネルギーのシェアを重視したことで同じCO<sub>2</sub>削減効果に対して余分に生じるコストを示している。各点は再生可能エネルギー割合10%から80%の10%刻みの場合のCO<sub>2</sub>削減率に対応している。削減率60%まではコストの差はほとんど見られないが、削減率が高くなるとその差が大きくなり、変動対策を施すことでその差は小さくなる。

図4のCASE AとCASE Dにおける最大削減時の、コストの差の詳細を図5に示す。再生可能エネルギー割合制限による解析結果は、CO<sub>2</sub>削減率制限による結果よりもLNGCCのコストが小さく、LNGOCと風力、太陽光、変動対策のコストが大きくなっていることがわかる。一般に、LNGCCはLNGOCに比べて熱効率が高く、発電量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が少ない。このことから、発電部門においてCO<sub>2</sub>排出量を大幅に削減するためには、むやみに風力と太陽光の発電量を増やすだけでは無駄なコストがかかってしまうため、バックアップとしての火力発電にLNGCCを用いることが必要となる。

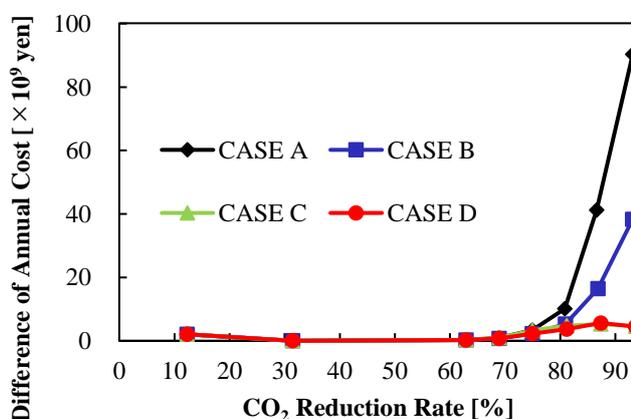


Fig.4 Difference of annual cost (RES - CO<sub>2</sub>) maximum CO<sub>2</sub> reduction rate 93.2% (CASE A), 93.7% (CASE D)

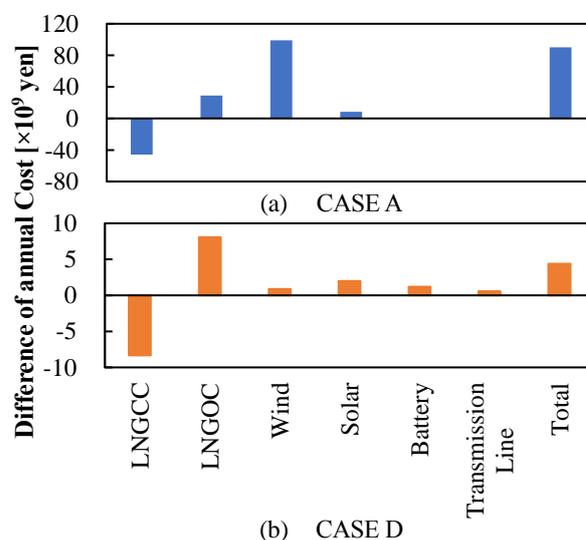


Fig.5 Difference of each annual cost (RES - CO<sub>2</sub>)

### 3・4 余剰電力の運輸部門での有効利用

再生可能エネルギー割合が高くなると、またCO<sub>2</sub>削減率が高くなると、変動対策技術を導入しても余剰電力が生じ、総コストが増大してしまう。そこで本節では、運輸部門での余剰電力の利用を考慮し解析を行った。CASE Dを対象に、現在のガソリン車のうち50%が電気自動車に置き換わったと仮定し、系統の需要に加えて電気自動車への充電に用いる電力需要を設定した。充電の需要は、2015年の道央自動車道、札幌自動車道で記録された自動車の走行台数をもとに与えた。この記録をもとに、次の2通りの充電パターンで最適化をした。1つ目は午前5時以降の走行台数の増加を考慮し、午前4時にすべての電気自動車をフル充電にするよう制約を加えた方法である。この充電方法は、電気自動車が現在の自家用車と同じように使われることを想定している。2つ目は需要以外に特に制約を設けず、系統の需要に充電の需要をそのまま加えた方法である。これは、電気自動車が特定のユーザーの使用条件にとらわれず自由に充電できるように使われる新しい状況を想定している。

図6に、電気自動車への供給も含めた総電力需要に占める再生可能エネルギーの供給割合に対する、2種類の解析方法の年間総コストの変化を示す。比較のために系統電力のみの場合の結果も載せている。午前4時にフル充電の制約を加えた場合のコストは、制約を加えなかった場合よりもコストが大きくなるのがわかる。制約を加えなかった場合、再生可能エネルギー割合が低い範囲では系統のみの場合よりもコストが大きくなるが、60%以上になると逆転が見られる。図7に、再生可能エネルギー割合80%における、各解析ケースの余剰電力とEVへの充電量の総和を示す。午前4時フル充電の制約を加えると、系統のみの場合よりも余剰電力が多く生じてしまうことがわかる。一方で、制限を加えなかった場合は余剰電力を70%ほど削減することができるという結果が得られた。制約なく電気自動車を充電できるケースにおいては、系統の余剰電力のみでその電力を賄うことが可能であるため、コストが軽減されることが考察できる。電力系統から出た余剰電力を運輸部門で活用するには、ただ電気自動車が普及するだけでは有効であるとは言えず、従来とは異なる利用法を考慮しなければならない。

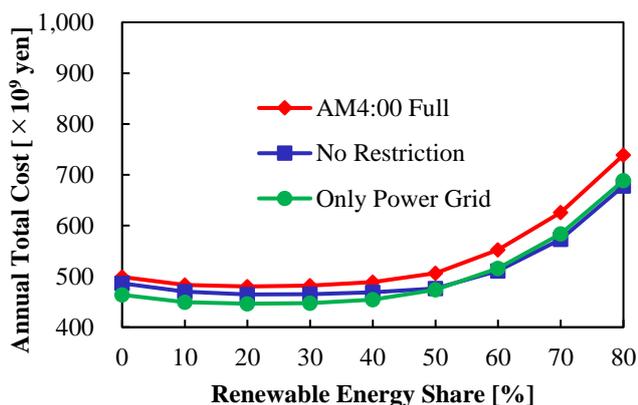


Fig.7 Total cost in power generation and transportation sectors

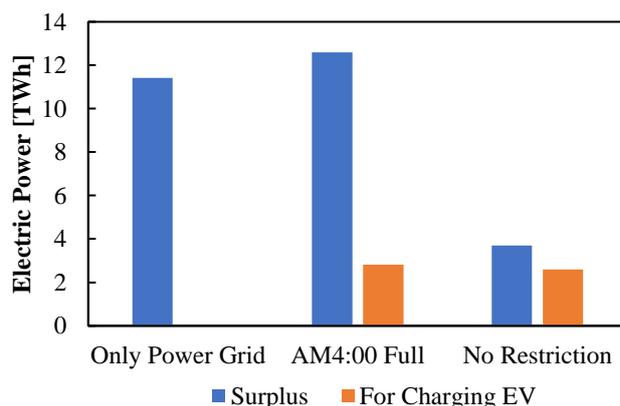


Fig.6 Surplus power and power for charging EV

#### 4. 結 語

- (1) CO<sub>2</sub>削減と再生可能エネルギーのシェア拡大の相関について調べるため、2013年の実績値を基準として発電時のCO<sub>2</sub>排出量に制限をかける方法で解析を行った。再生可能エネルギーのシェア拡大のみに注力してしまうと、同じCO<sub>2</sub>削減量で比較した際には余分なコストがかかってしまう。大幅なCO<sub>2</sub>削減を効率よく達成するためには、バックアップの火力発電としてLNGCCを用いることが必要となる。
- (2) 余剰電力の有効活用法として電気自動車を導入しても、従来の使用法ではむしろ余剰電力を増加させてしまう。電力系統の調整機能を持たせた上で、ユーザーが自由に利用できるようなシステムを考慮する必要がある。