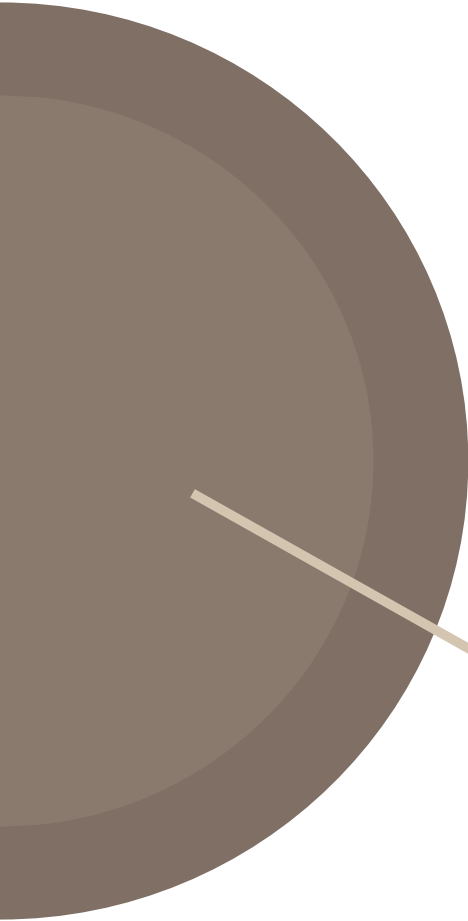


(株) NTTデータ数理システム 2016年度
学生研究奨励賞



北海道における 風力・太陽光発電の大量導入に 向けた変動対策技術の効果と 長期導入シナリオ解析

北海道大学大学院 工学院
エネルギー環境システム専攻
高橋 尚也



目次

1. 研究背景と目的
2. 解析方法
3. 解析結果
4. まとめと今後の課題

1. 研究背景と目的

研究背景①

地球温暖化や資源の枯渇といった問題から温室効果ガスの削減や脱化石燃料が求められている



資源の少ない日本において、風力・太陽光発電などの再生可能エネルギーの普及が望まれる



研究背景②

風力・太陽光発電の導入における課題

- 季節や天候により発電量が時間変動し、余剰電力が発生
- 風力・太陽光資源が偏在し、発電地域が電力需要の多い地域から離れている

対策技術

- 出力変動を吸収するためのエネルギー貯蔵技術
- 需要地まで送電するための送電線増強

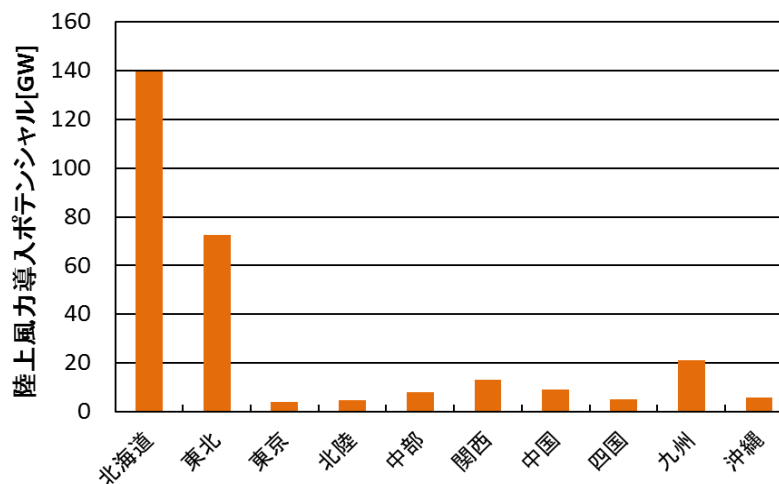
再生可能エネルギーを大量導入するエネルギーシステム

研究目的①

解析対象



- 約50%の陸上風力導入ポテンシャルが北海道に集中
- 太陽光発電の導入ポテンシャルも全国的に見て高水準



目的

- 出力変動対策の費用対効果を解析・評価し, 2050年において風力・太陽光発電を大量導入するための最適な電力システムの提案
- 最適な電力システムを実現する長期的な導入計画の提案

研究目的②

エネルギー貯蔵技術

- 二次電池による充放電（Li-ion電池, NaS電池, VRFB）
- 再生可能エネルギーからの水素製造
- 揚水発電によるエネルギー貯蔵

NaS電池の費用対効果を解析

導入コストが最も安価であり，大量導入が比較的しやすい

多様なエネルギーから製造可能な点や長距離輸送が可能な点から普及が期待される水素製造については，今後解析を行う予定。

解析対象

- 2050年・・・再生可能エネルギー導入量多，既存の設備の影響小

2050年までに温室効果ガス80%削減が提案されており，発電部門においては最大限の再生可能エネルギー導入が期待されている。



- 2030年・・・再生可能エネルギー導入量少，既存の設備の影響大

2050年において再生可能エネルギーの大量導入を実現するには，耐久年数の長い導入設備に連続性が必要であるため2030年の解析も行い設備の連続性を評価する。

2. 解析方法

解析方法①



NTT数理データシステムの
Numerical Optimizerを用い
て解析を行なった

線形計画法によりエネルギーシステムと対策技術の組み合わせを求解

評価対象

1. 送電線増強とNaS電池導入の費用対効果
2. 再生可能エネルギーを大量導入するエネルギーシステム
3. 再生可能エネルギーの導入量増加に伴う，発電設備・対策技術の変化

解析方法②

需給データ（1時間ごと）

- ・ 電力需要
- ・ 風力・太陽光発電の出力変動

エネルギー供給技術

- ・ 風力，太陽光，石炭火力，LNGOC，LNGCC，水力

変動対策データ（容量，効率）

- ・ NAS電池，送電線

風力・太陽光発電が
年間需要に占める割合

総コスト最小化

- ・ 導入設備量
- ・ 発電量
- ・ 充放電量
- ・ 送電量

※総コストについては次スライド参照

総コストとは

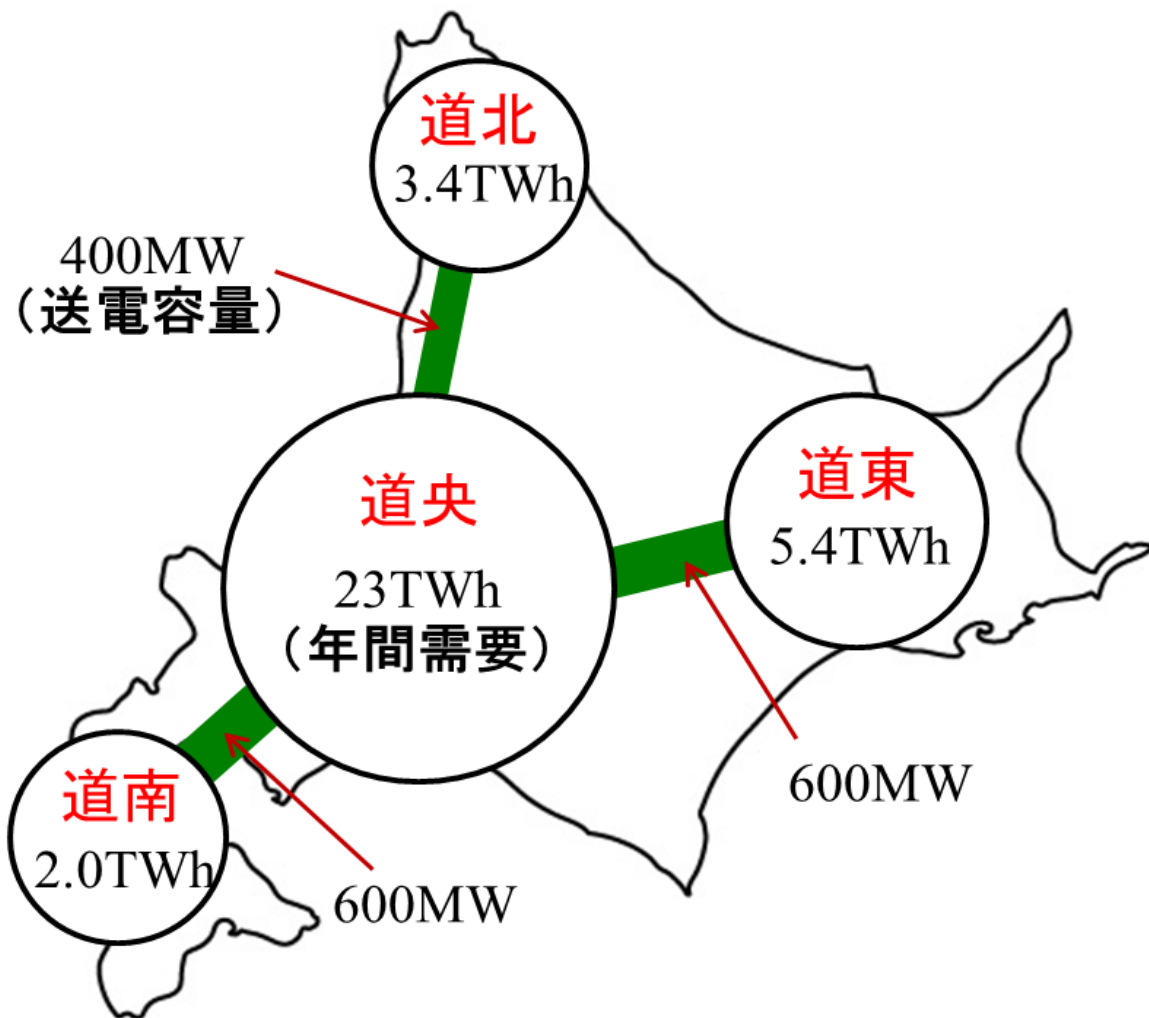
総コスト

・・・全ての導入設備において1年間で消費する以下のコストの合計

- Initial Cost
- Operation Cost
- Social Cost
- Fuel Cost

※Initial costについては耐用年数で年当たりに均等化計算したものを用了

解析モデル



- 北海道を4地域に分割
- 地域間で送電容量を超えない量の電力融通が可能
- 地域間の送電には3%の送電ロスが発生（地域内の電力供給には送電ロス無し）

解析における仮定

- 解析期間は1時間ごとに1年間とした.
- 1時間未満の電力需要・供給の変動は無視している.
- 風力・太陽光発電は1時間一定出力とするために必要な二次電池のコストを加えて計算する.
- 常に電力需要を満たすように電力供給を行う.
- 水力発電は電力需要の10%を満たすように一定出力.

解析パラメータ | 電力需要

北海道電力の「過去の電力使用状況データ」 (2014年) ⁽¹⁾



国立社会保障・人口問題研究所の将来推計人口⁽²⁾



電力需要を将来の推定人口 (2030年, 2050年) でそれぞれの地域に比例配分

2030年, 2050年の電力需要分布として解析を行う

解析パラメータ | 出力変動

気象庁・気象統計情報の北海道における気象データ（2014年）から1時間毎の風力・太陽光発電の出力変動を推定した。

想定した発電地点

- 風力 20地点
- 太陽光 10地点



それぞれの地点が4地域のいずれかに属する

解析パラメータ | 発電設備

発電設備コスト⁽³⁾

Fuel	Initial cost [10 ³ ¥/kW]	Operation cost [10 ³ ¥/kW/year]	Social cost [¥/kWh]	Fuel cost [¥/kWh]	Useful life [year]
Hydro	640	9.1	0.2	0	40
Nuclear	370	21	1.9	1.5	40
Coal	250	10	4.0	5.1	40
Oil	200	6.8	3.2	19.3	40
LNGCC	120	3.7	1.8	11.8	40
LNGOC	83.8	0.74	2.0	14.4	40
Wind	252	5.3	0.3	0	20
PV	222	3.2	0.2	0	30

風力・太陽光発電が安価になった2030年の推定コストを使用

解析パラメータ | 対策技術

対策技術コスト⁽⁴⁾⁽⁵⁾

Fuel	Initial cost	Operation cost	Fuel cost [¥/kWh]	Useful life [year]
NaS Battery	40000yen/kWh	2000yen/kWh	0	15
Transmission line	1315000yen/MW/km	9900yen/kW/year	0	50

将来のコスト推定が難しいため、現在のコストを使用

既存設備の影響

2030年

Fuel	Power Plant	Capacity[MW]
Hydro	道内55ヶ所	1420
Nuclear	泊 3号機	912
Coal	苫東厚真 4号機	700
LNGCC	石狩湾新港	1708

2050年

Fuel	Power Plant	Capacity[MW]
Hydro	道内55ヶ所	1420
LNGCC	石狩湾新港	1708



導入設備量の下限值として設定

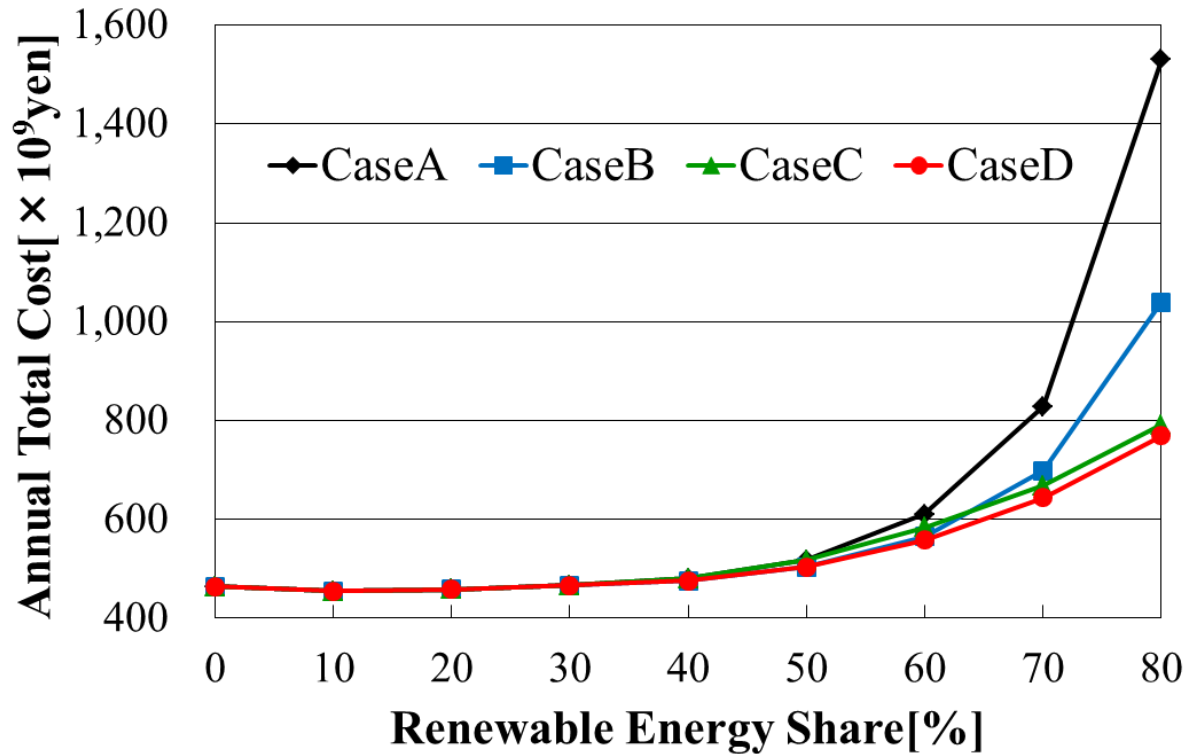
解析ケース

	CaseA	CaseB	CaseC	CaseD
送電線増強	×	○	×	○
NAS電池導入	×	×	○	○

- ✓ 4種類の解析ケースの比較により，対策技術を評価
- ✓ 送電線増強と蓄電池の複合効果を検証

3. 解析結果

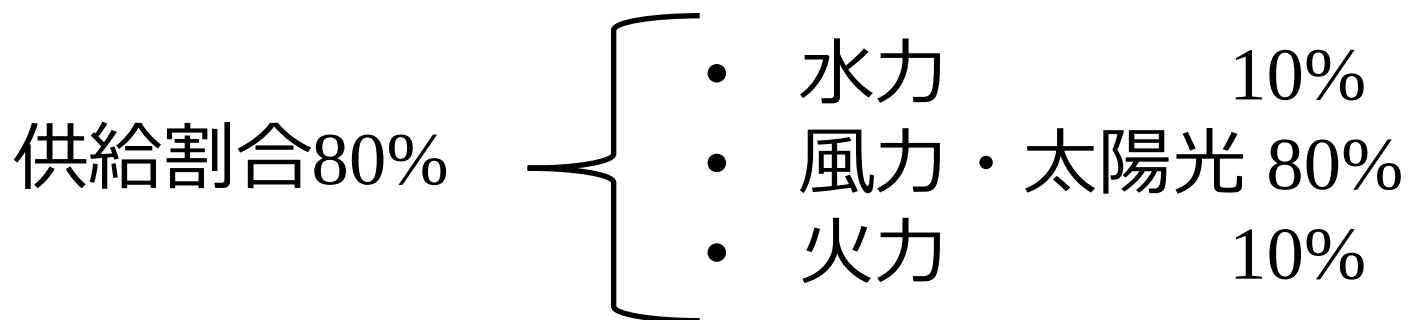
総コスト変化 | 2050年



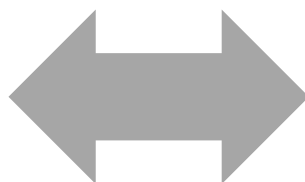
80%に着目

- 対策技術の導入により，風力・太陽光の供給割合80%では総コストを約50%削減可能
- 80%では，送電線増強のよるコスト低減効果に対して，NaS電池導入効果が大い

供給割合80%について



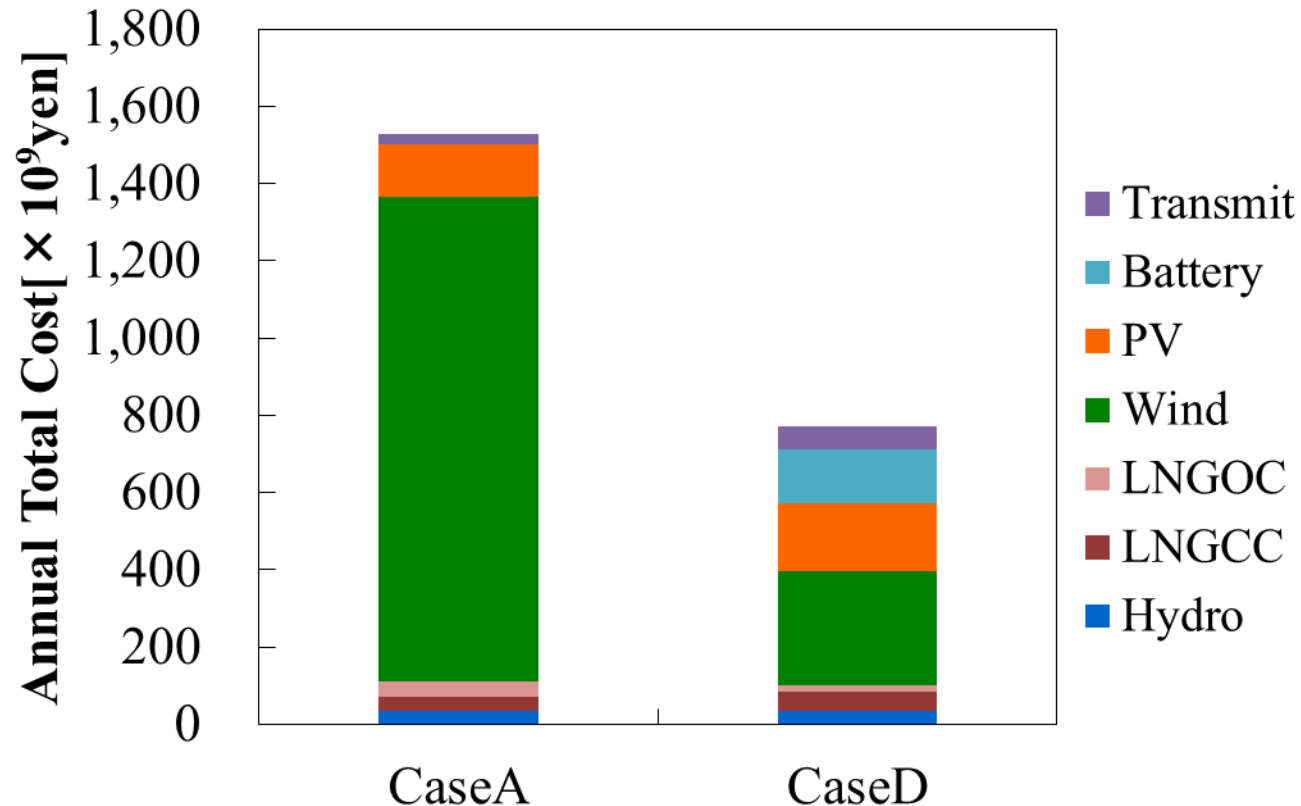
再生可能エネルギーを
最大限導入したい



需要の変動に対応する
ため、火力発電は必要

80%に着目

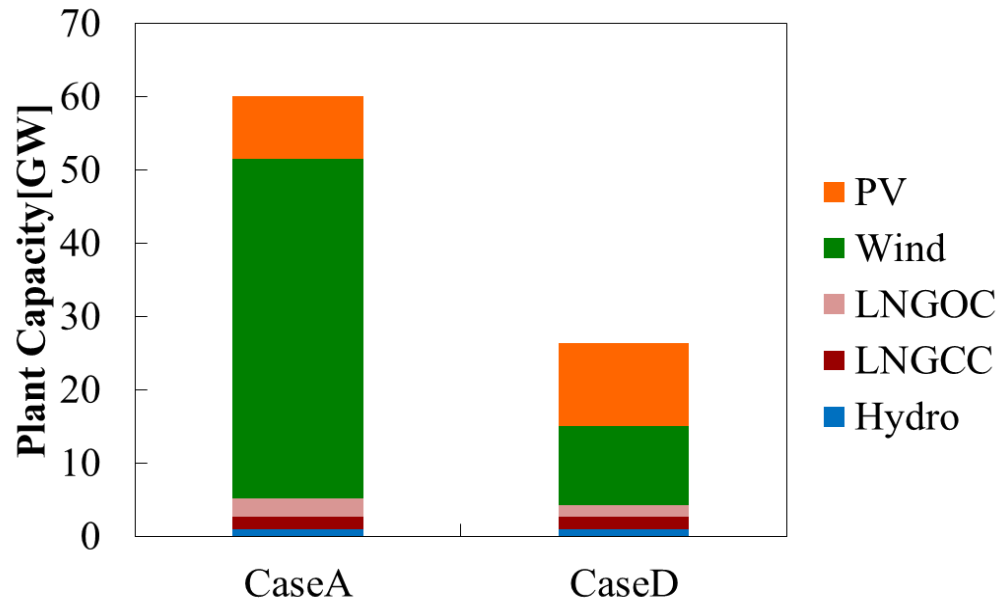
総コスト内訳 | 80%



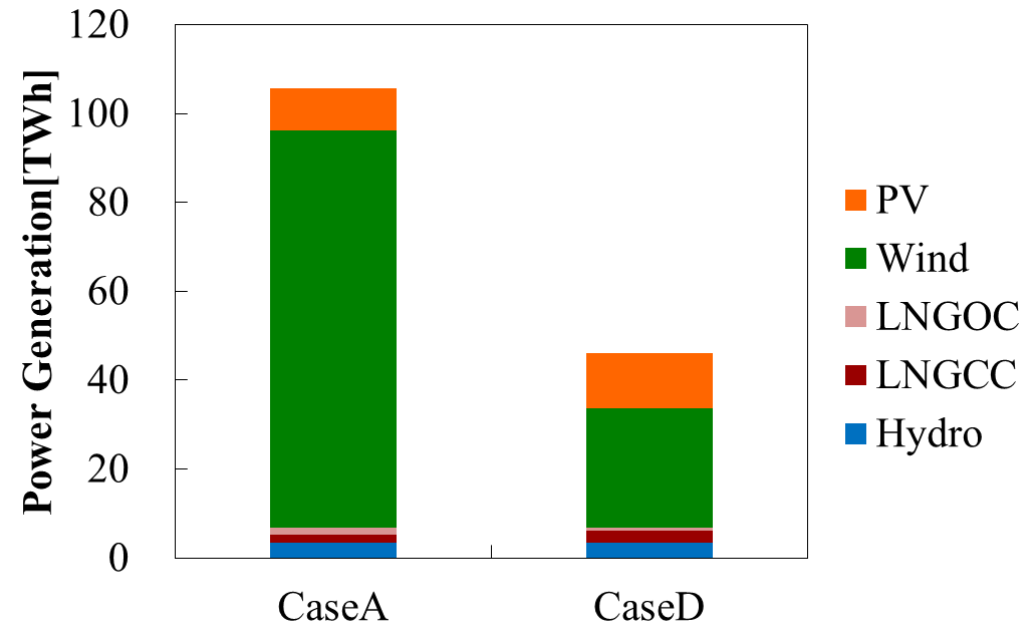
- CaseAでは、総コストの82%を風力発電が占めている
- 対策技術の導入により、風力発電のコストを76%削減

導入設備と発電量 | 80%

設備容量

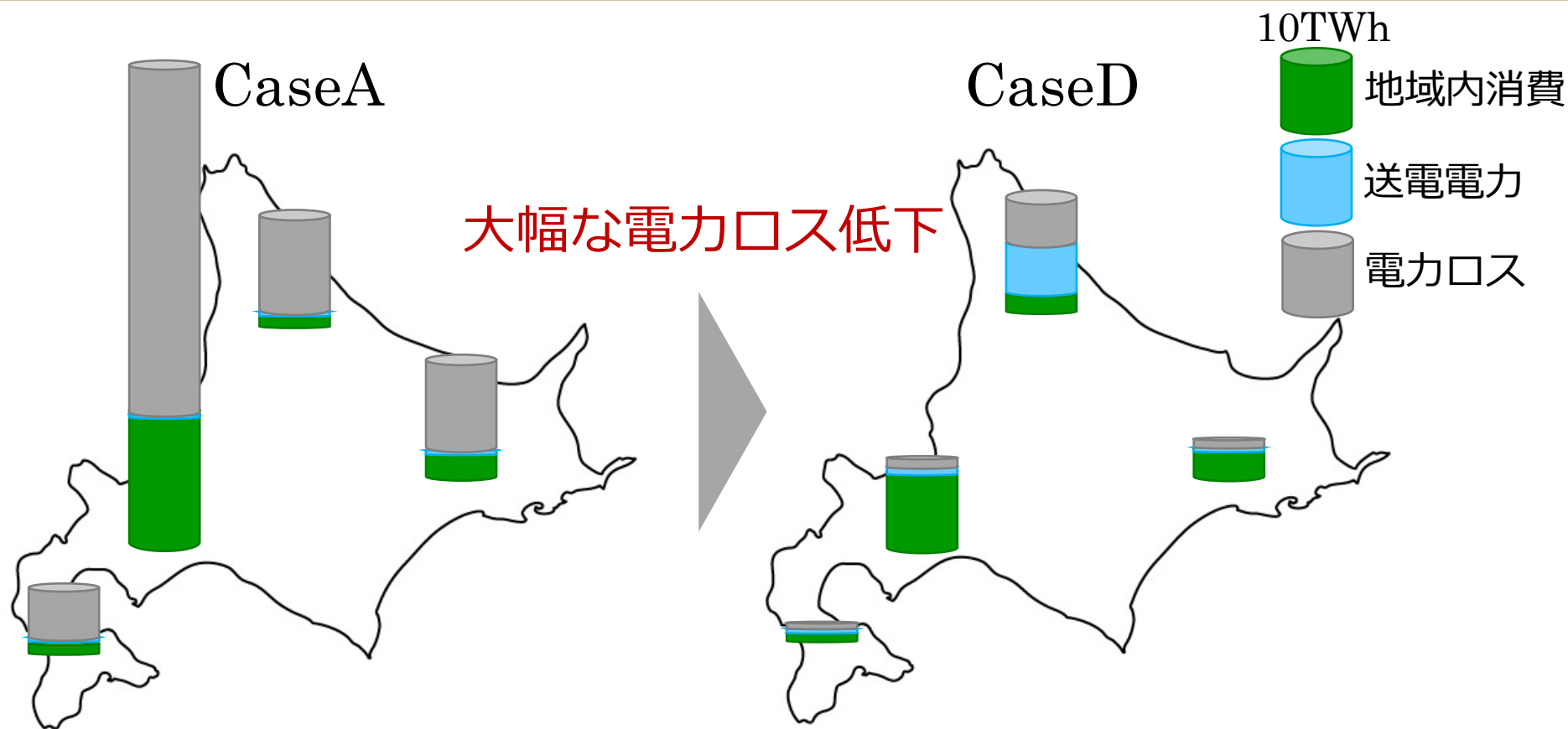


発電量



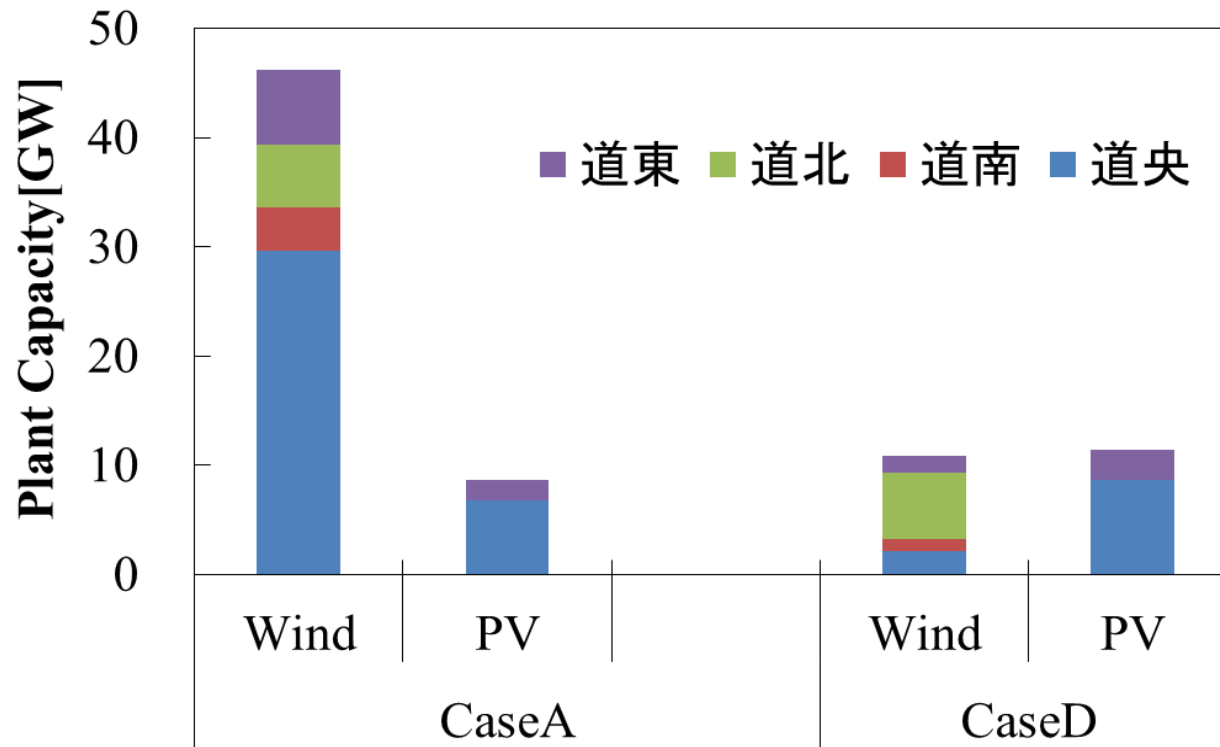
- 対策技術の導入により, 77%の風力発電設備を削減
- 太陽光発電は対策技術の導入に伴い増加

風力・太陽光発電量 | 80%



- CaseAにおいては発電量の72%もが電力ロスであり，対策導入により，電力ロスが85%減少
- 道北で発電した電力の40%を道央へ送電

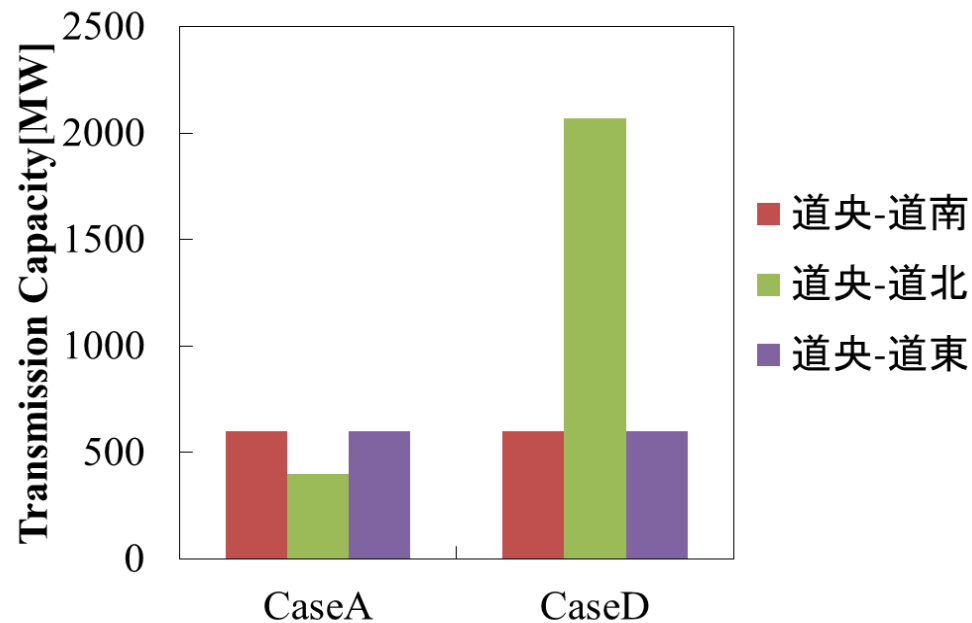
風力・太陽光発電導入量 | 80%



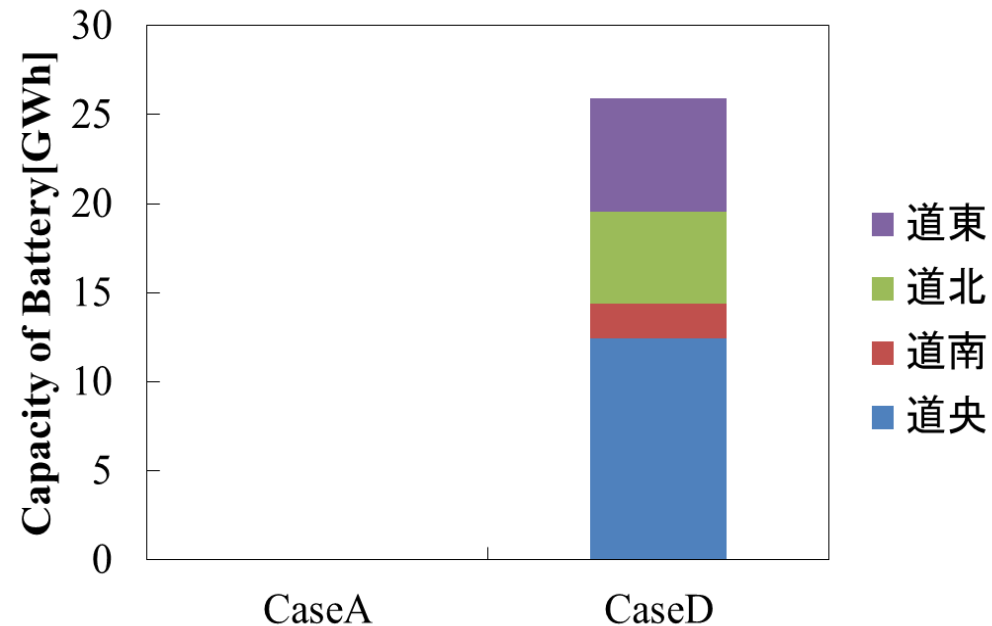
- 対策技術の導入により，道北以外の風力発電が大きく減少
- 一方で，太陽光発電の設備量は増加

対策技術導入量 | 80%

送電線



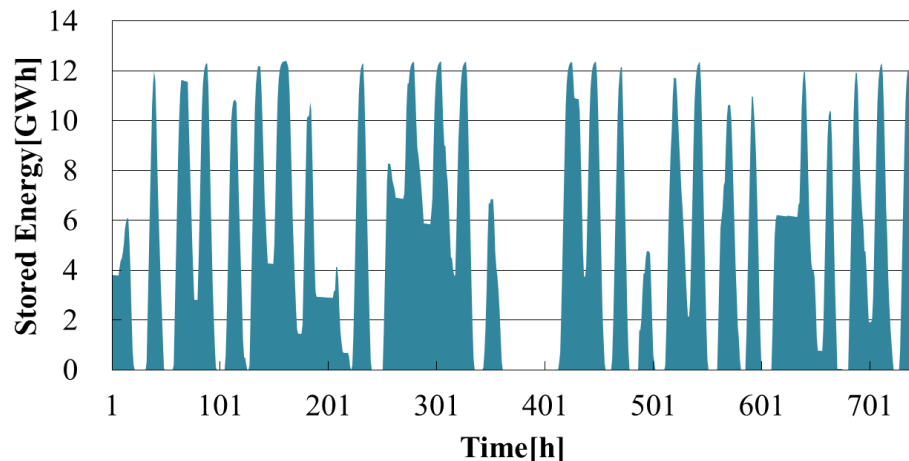
NaS電池



- 豊富な風力資源を利用するため，道央－道北の送電線が増強
- NaS電池は風力・太陽光発電の導入量に比例して各地域に配置され，全体で平均需要の6.7時間分導入

NaS電池の蓄電量変化 | 5月

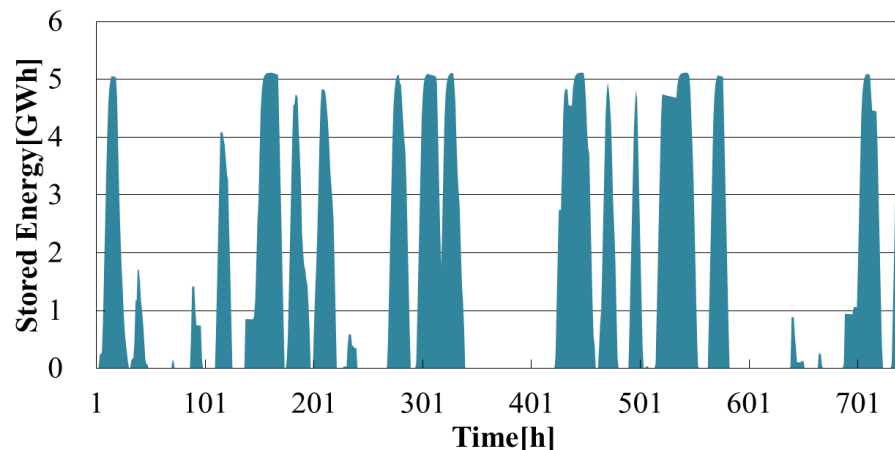
道央



規則的な出力変動を示す太陽光発電が多く導入されている

短期的に充放電

道北

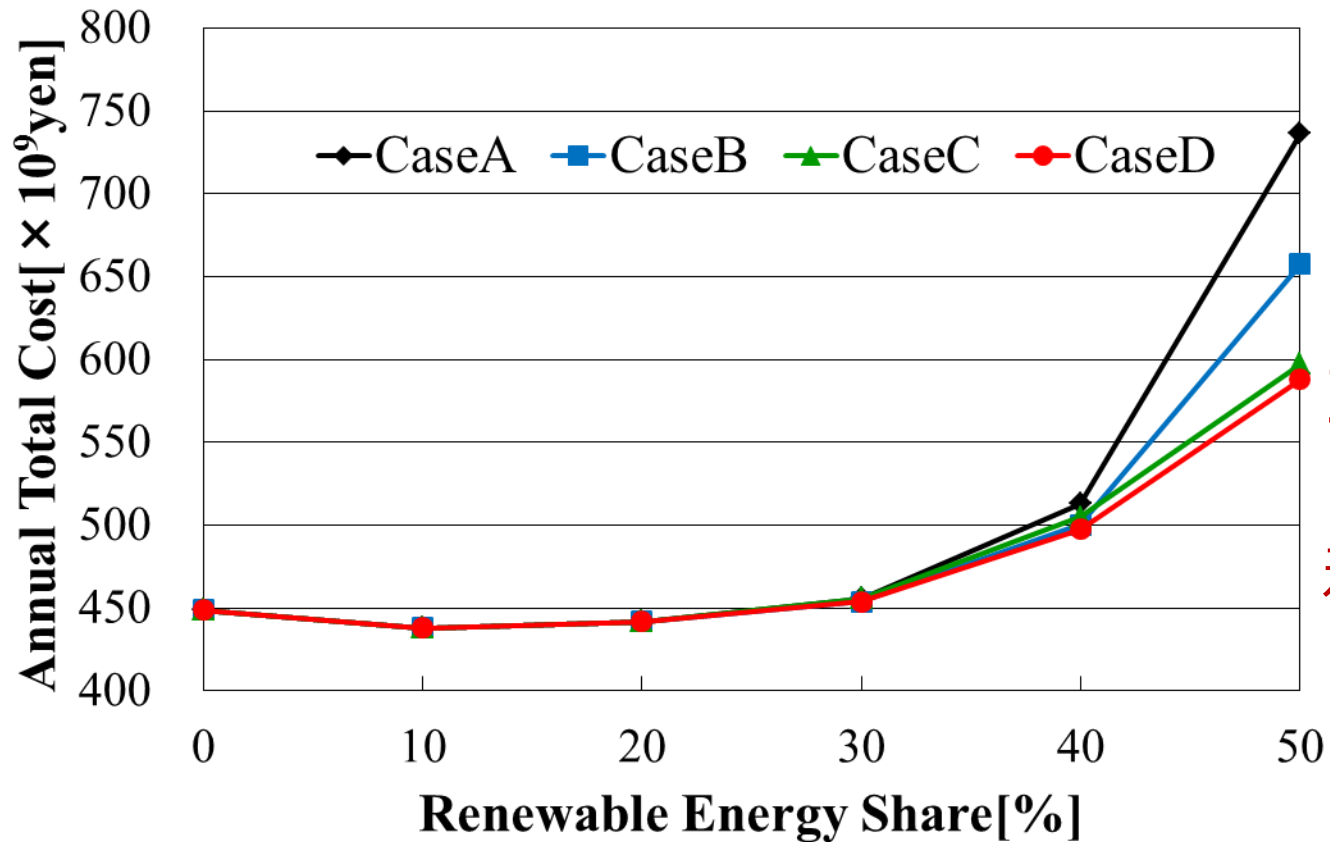


風力発電の不規則な出力

低い稼働率

太陽光発電の導入地域（道央・道東）では，NaS電池が短期的に充放電し高い稼働率を示すため，太陽光発電の増加が見られた。

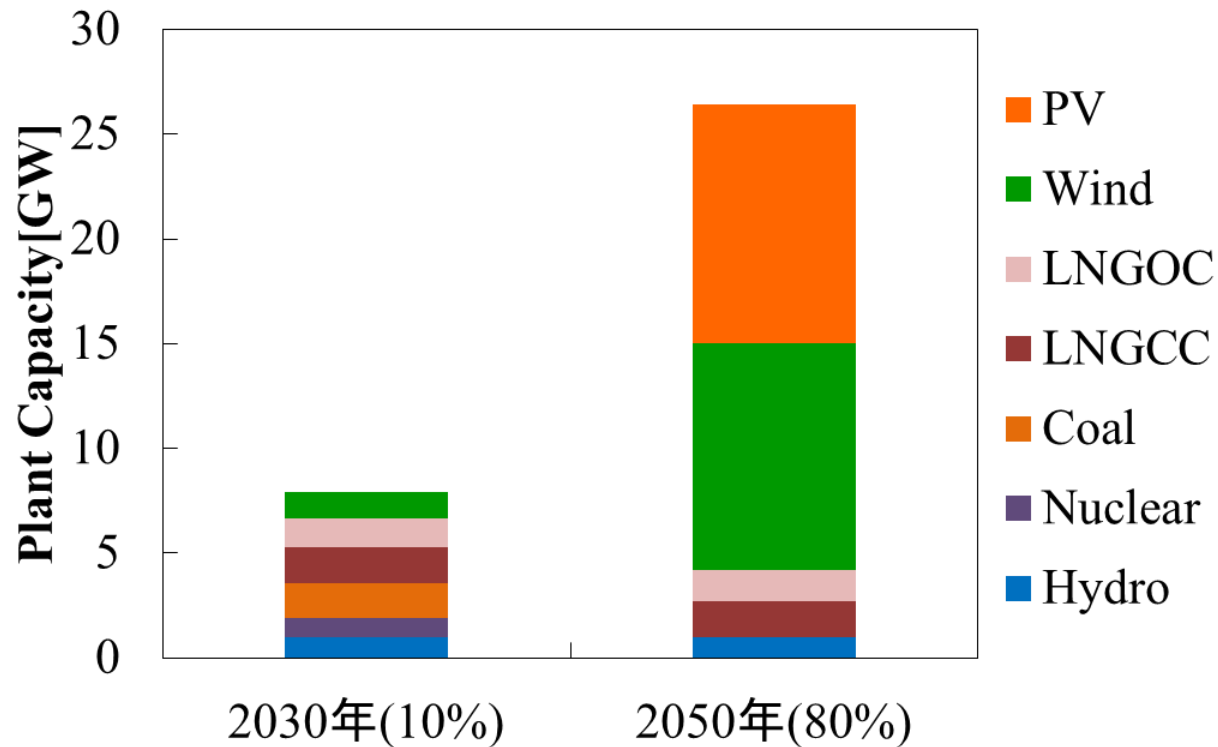
総コスト変化 | 2030年



コストが最小
となる10%に
着目

- 発電量が多く安価な地点の風力発電が石炭火力に代わり導入され、供給割合10%で極小
- 供給割合が低い領域においては、電力ロスが発生しづらく、発電設備の急激な増加が無く、コスト増加が小さい

導入設備の変化 | 2030～2050年



- 2030年では石炭火力が新規導入されているが、2050年では石炭火力の導入は見られない
- 2030年において石炭火力を導入せず、LNGCCやLNGOCを高稼働率で運転することで、2050年の低コスト化が可能と考えられる

4. まとめと今後の予定

まとめ

- 2050年において再生可能エネルギーを大量導入するエネルギーシステムの提案を目的とし、コスト最小となるエネルギーシステムを求解するモデル解析を行い、変動対策技術・システムの評価を行なった。
- 風力・太陽光発電の導入量増加に伴い、総コストが急激に増加した。供給割合80%ではNaS電池によるコスト削減効果が大きく、複合対策により風力発電の設備が減少され、約50%のコストが削減された。
- 供給割合80%において、複合対策の導入により風力発電の設備量77%削減と送電量の増加が見られ、電力ロスが85%減少された。
- 2030年と2050年の導入設備の比較から、2030年において石炭火力を新規導入せず、LNGCCやLNGOCを高稼働率で運転することで、長期的な視点での低コスト化の可能性が示された。

今後の予定

- 将来的にNaS電池のコスト低減が考えられ、NaS電池のコストが変化したときのエネルギーシステム変化を評価するため、NaS電池のコスト感度分析を行う
- 余剰電力から水電解による水素製造を想定し、道央における水素変化技術導入の解析を行う。水素の利用用途は燃料電池による発電と、水素の販売による利益の取得を想定する。
- 以上の解析を踏まえ、総合的に再生可能エネルギーを大量導入するエネルギーシステムと、それを実現する長期的な導入計画の提案を目指す。

引用・参考文献

[1] 北海道電力；過去の電力使用状況データ

<http://www.hepco.co.jp/>

[2] 国立社会保障・人口問題研究所；将来推計人口・世帯数

<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp>

[3] 経済産業省・資源エネルギー庁；発電コスト検証ワーキンググループ

http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/

[4] 日本ガイシ；NAS電池

<http://www.ngk.co.jp/product/nas/index.html>

[5] 有限責任監査法人トーマツ；送電線工事費用と期間に関する考察

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/chiikikanrenkeisen/003_s01_00.pdf