



京大再エネ講座
シンポジウム2020

第2部
『入門 再生可能エネルギーと電力システム』
に関するシンポジウム

2020年12月15日(火)

送電線空容量問題の深層と その後の最新動向



京都大学大学院 経済学研究科
再生可能エネルギー経済学講座特任教授

安田 陽



+ 送電線空容量問題小史

- 2014年頃：ローカルな線路で空容量ゼロが公表され始める
- 2016年5月：東北北部3県全域が空容量ゼロに。
- 2017年9月：東洋経済記事
- 2017年10月：京大再エネ講座コラム記事
- 2018年1月：京大再エネ講座シンポジウム
- 2018年2月：「送電線は行列のできるガラガラのそば屋さん？」
- 2019年5月：東京電力PG 千葉系統「試行的な取り組み」
- 2020年10月以降：同 他系統にも順次拡大
- 2020年4月：発送電分離（少しずつ変化…？）
- 2020年8月：梶山大臣発言

メディアでも注目



+ 東北電力の系統制約の例

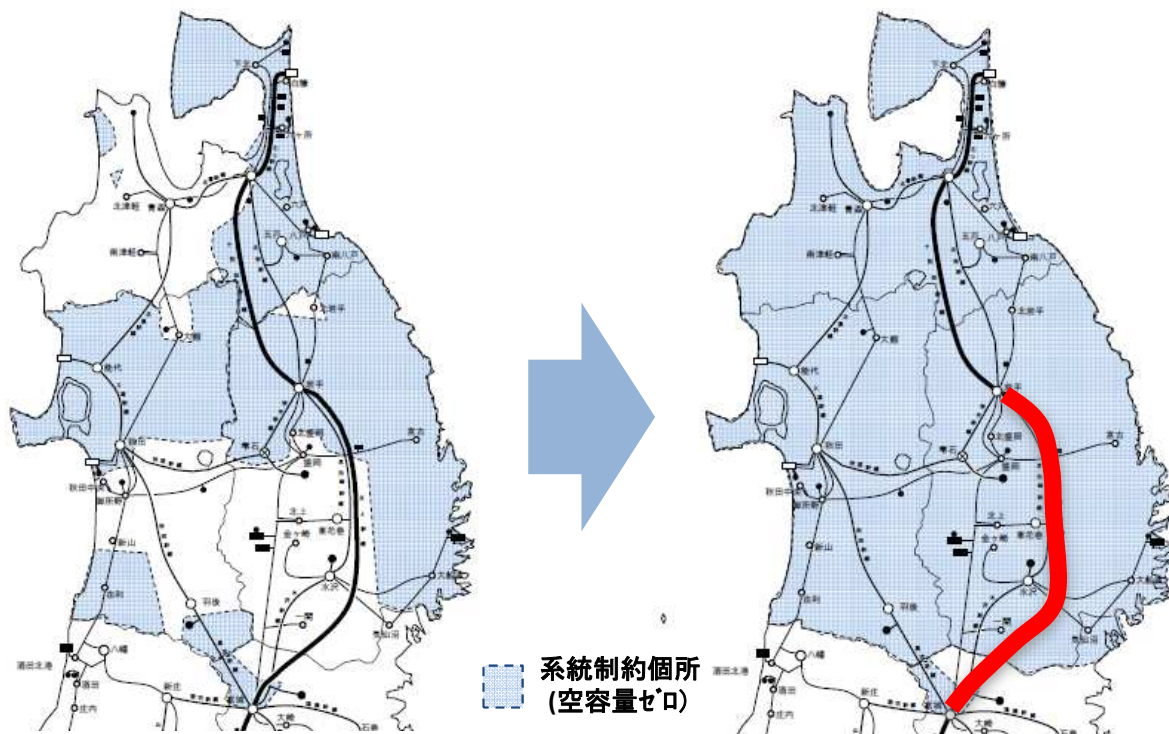


図1 平成28年4月28日付公表

図2 平成28年5月31日付公表

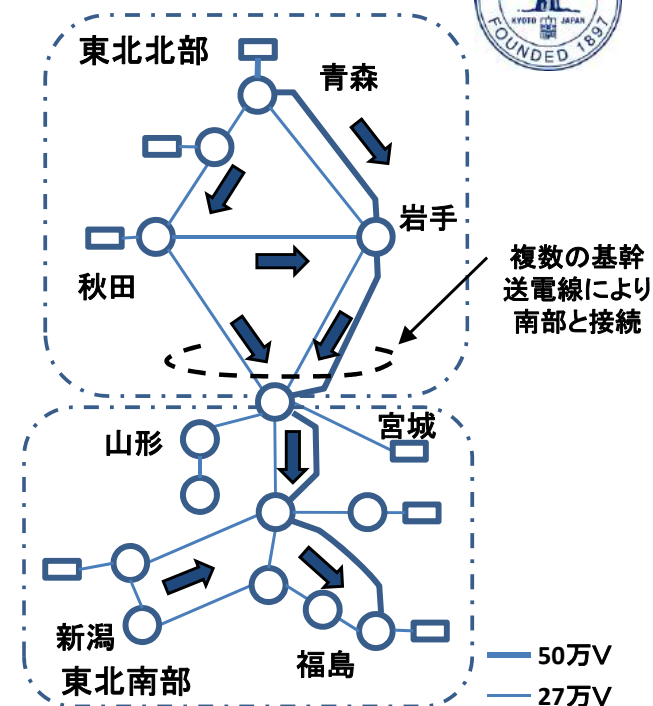


図3 系統概略図

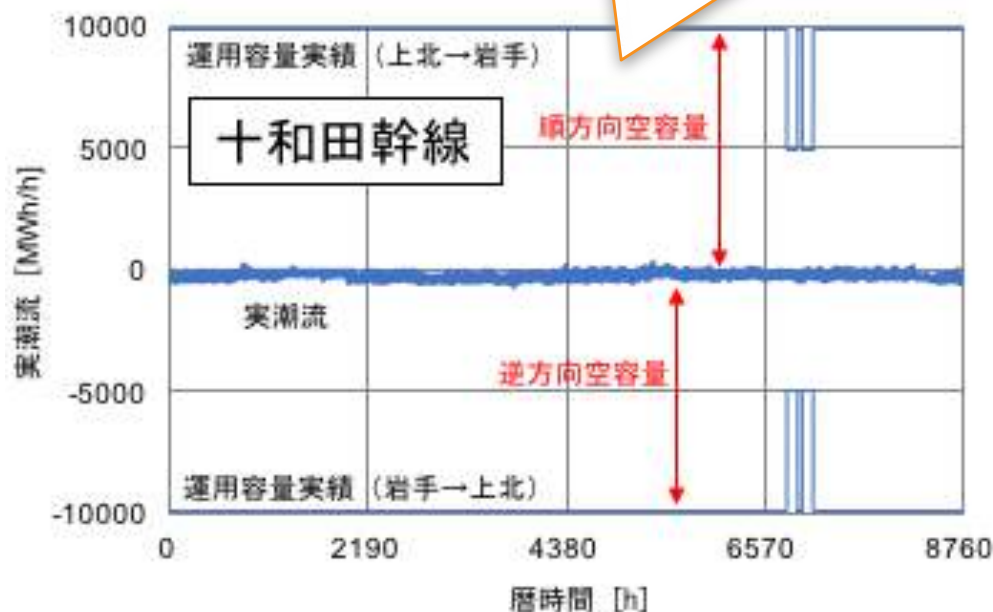
定格容量ベースでは
いっぱいだが…。

年間最大運用容量 : 9,872 kW
 年間最大実潮流 : 1,044 kW
 年間利用率 : 3.4%

+

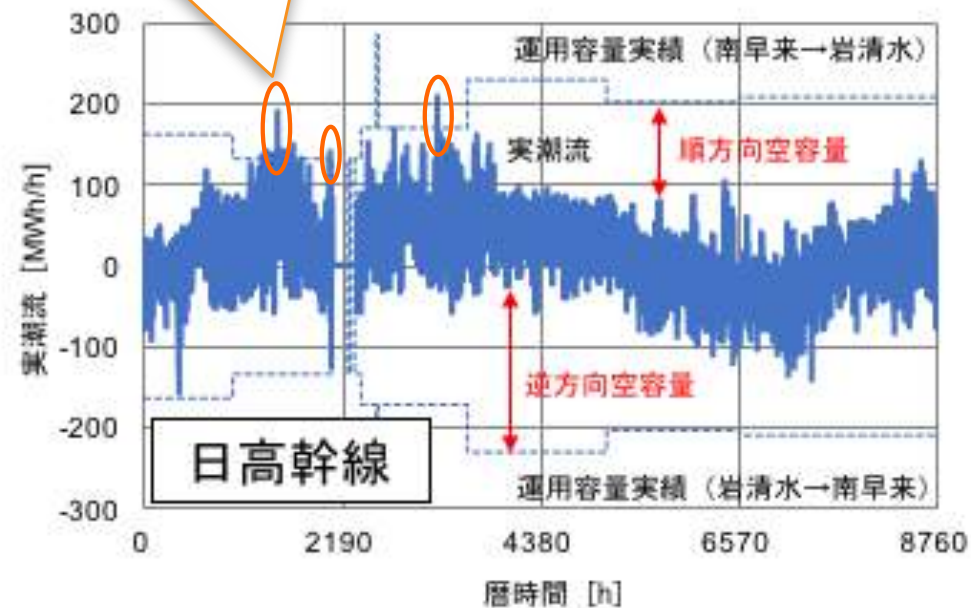
「空容量ゼロ」 路線の実際の状況

年間利用率: 2.0%
 最大利用率: 8.5%



東北・十和田幹線

実際に送電混雑が発生する路線も

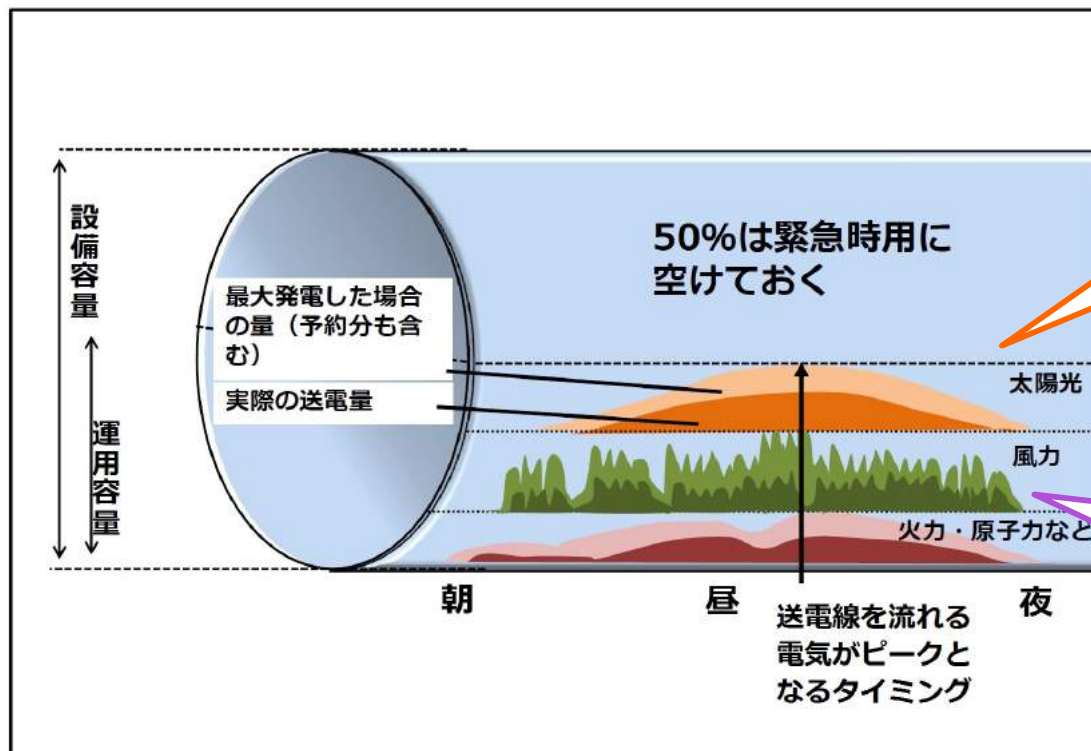


北海道・日高幹線

(出典) 安田・山家: 北海道・東北地方の地内送電線利用率分析と風力発電大量導入に向けた課題, 風力エネルギー利用シンポジウム (2017)

+ 定格容量積み上げの非合理性

■ 海外(特に欧州)では、やってはいけない典型例



電源・負荷の等時性が全く考慮されていない

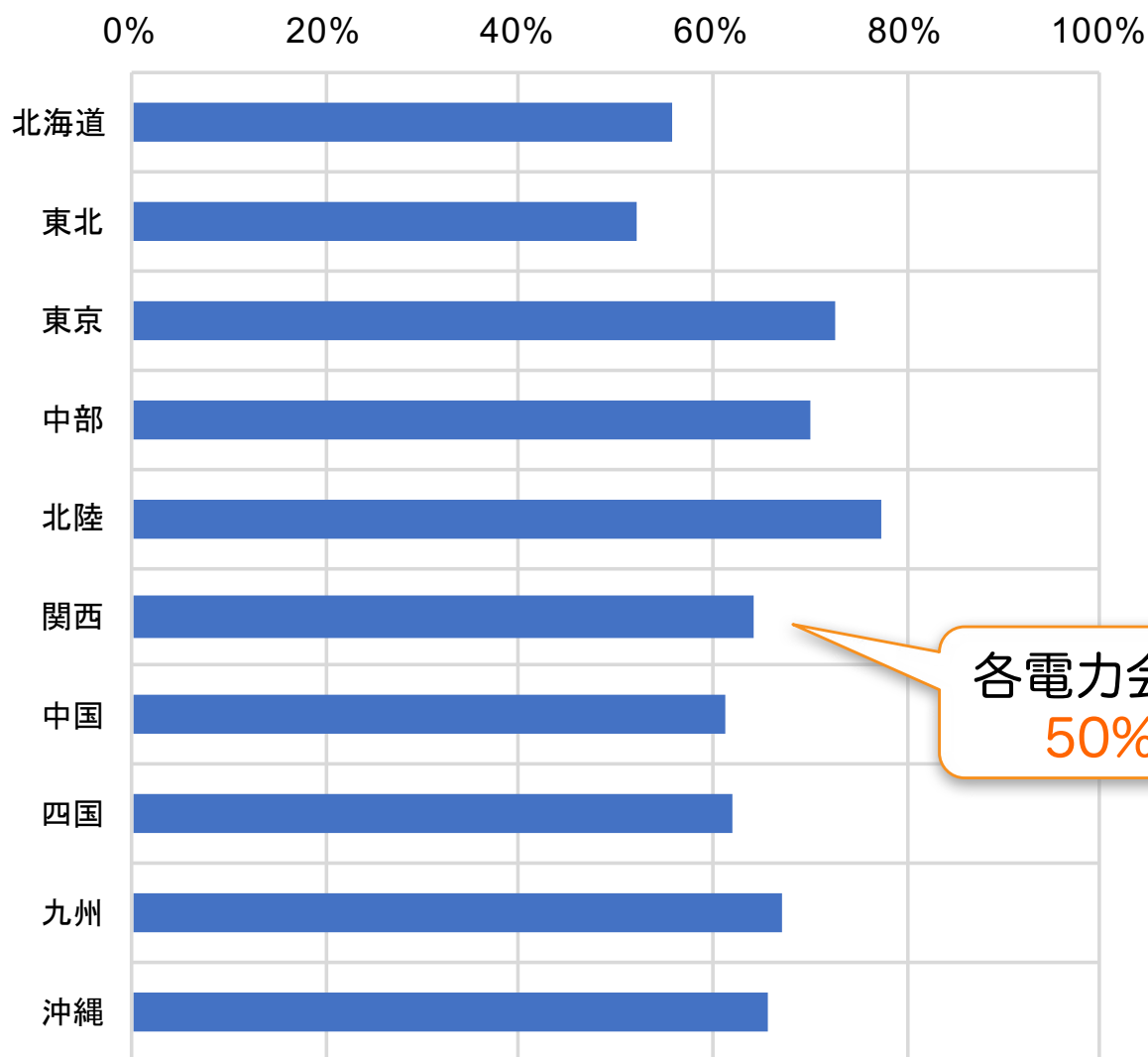
全ての電源がピークを迎える確率は殆どゼロ

+ 設備容量(熱容量)に対する 運用容量の比率



安田陽 (京都大学)
CC-BY 4.0
2020年2月26日

設備容量に対する運用容量の比率 (%)



注1) データ分析対象期間は2016年
9月1日~2017年8月31日

注2) 電力広域的運営推進機関「系統
情報サービス」に記載された各
電力会社(一般送配電事業者)の
上位2系統路線の電力会社毎の
平均値

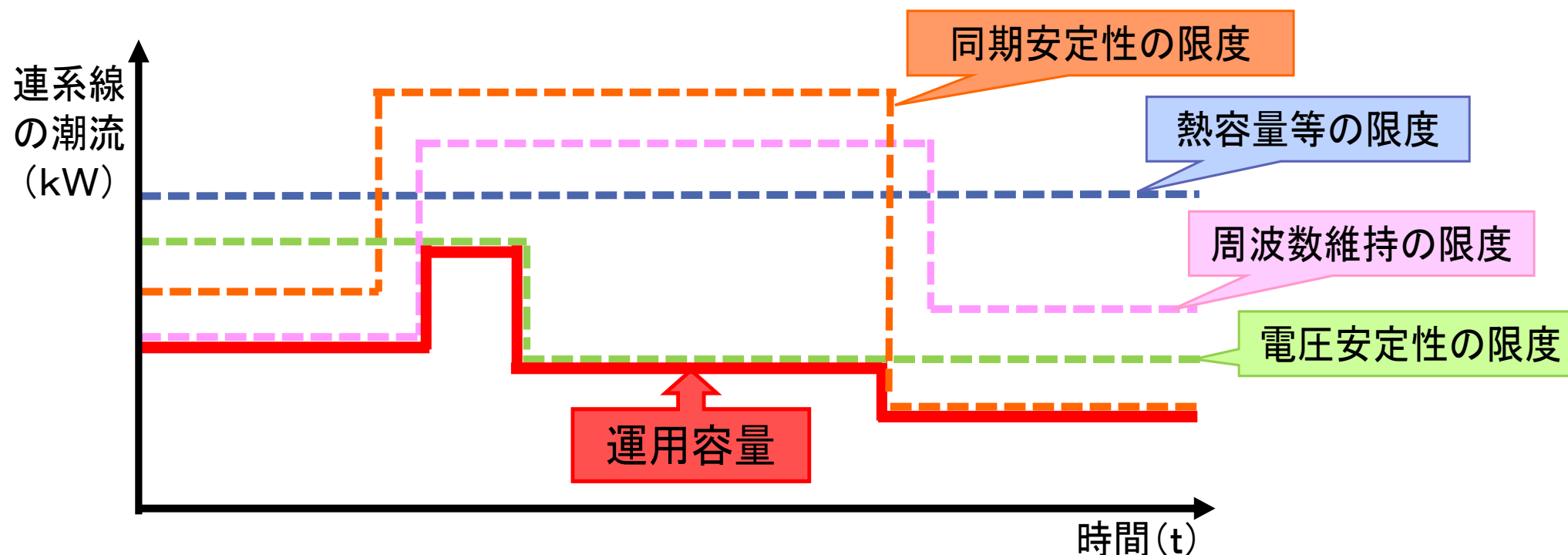
注3) 設備容量, 運用容量は各電力会社
HPの公表データ (2018年4月末
時点)

各電力会社とも実際は、設備容量に対して
50%以上の運用容量を設定している

(初出) 安田陽: 送電線利用率分析と再生可能
エネルギー大量導入に向けた送電線利用拡大
への示唆, 電気学会合同研究会,
FTE-18-029, HV-18-076 (2018)
にデータを追加して修正

+ 運用容量の考え方

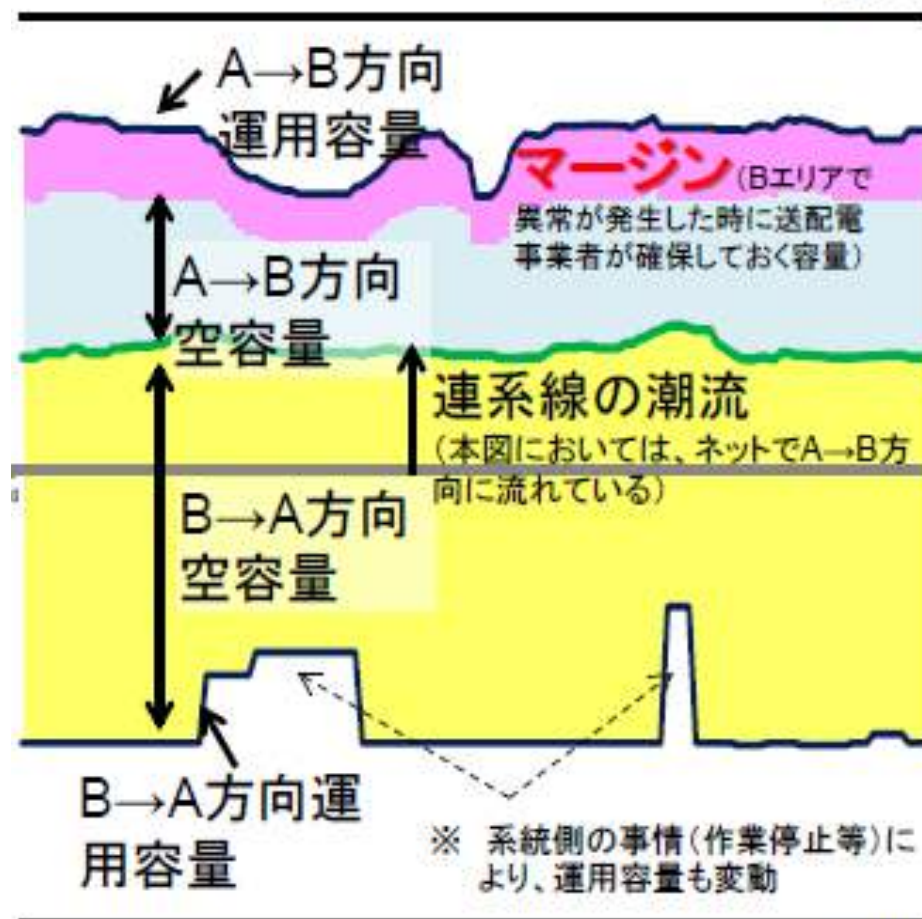
- 広域機関の連系線での考え方
 - ただし、地内送電線での考え方は不明
 - 広域機関の地内送電線データでは「熱容量」の記載しかない ⇒ 透明性の問題



(出典) 電力広域的運営推進機関 運用容量検討会: 「連系線の運用容量算出における前提条件等について (案) (平成28~37年度)」, 第1回資料3, 2015年5月26日

+ 空容量の考え方

- 広域機関の連系線での考え方
 - 運用容量検討会
 - マージン検討会
 - 間接オークション
- 地内送電線
 - 透明性はあるか？



(出典) 電力広域的運営推進機関 マージン
 検討会: 「利用登録可能なマージンの設定に
 ついて」, 第2回資料5-2, 2016年2月1日

※ A→BとB→Aとでは、一般的には、運用容
 量を決定するシステムの制約要因が異なるた
 め、運用容量にも差異が生ずる。



+ 動的な空容量と静的な空容量

連携線空容量(翌々日~当日)

2020/08/20:【作業停止計画】「広域連系システムの作業停止計画(9月分)の共有について」を掲載

ク時供給力が更新されました。

検索結果

連携線	年月日	時刻	方向	空容量	送電容量	受電容量	熱容量	熱容量	熱容量	熱容量	熱容量	熱容量	熱容量	熱容量
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	00:30	送方向	817,000	-229,000	22,000	290,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	00:30	送方向	-99,000	-229,000	-22,000	-550,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	01:00	送方向	797,600	-209,600	22,000	290,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	01:00	送方向	-118,400	-209,600	-22,000	-550,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	01:30	送方向	779,200	-191,200	22,000	290,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	01:30	送方向	-136,800	-191,200	-22,000	-550,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	02:00	送方向	809,100	-221,100	22,000	290,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	02:00	送方向	-106,900	-221,100	-22,000	-550,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	02:30	送方向	925,900	-327,900	22,000	290,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	02:30	送方向	-0,100	-327,900	-22,000	-550,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	03:00	送方向	923,400	-325,400	22,000	290,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	03:00	送方向	-2,600	-325,400	-22,000	-550,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	03:30	送方向	946,000	-338,000	22,000	270,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	03:30	送方向	0,000	-338,000	-22,000	-540,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	04:00	送方向	946,000	-338,000	22,000	270,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	04:00	送方向	0,000	-338,000	-22,000	-540,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	04:30	送方向	946,000	-338,000	22,000	270,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	04:30	送方向	0,000	-338,000	-22,000	-540,000	-900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000
北海道・本州間電力送系設備	2020/08/25	05:00	送方向	946,000	-338,000	22,000	270,000	900,000	熱容量	0,000	0,000	0,000	0	0,000

30分毎の数値

順方向と逆方向の2つの数値

(出典) 北海道電力ネットワーク:
 系統容量一覧表(187kV)
https://www.hepco.co.jp/hepcowwbsite/network/con_service/public_document/pdf/sys_capa_list.pdf

静的な空容量
 (会社間連系線)

動的な空容量 (会社間連系線)

(出典) 電力広域的運営推進機関:
 広域機関システム
http://occtonet.occto.or.jp/public/dfw/RP11/OCCTO/SD/LOGIN_login#

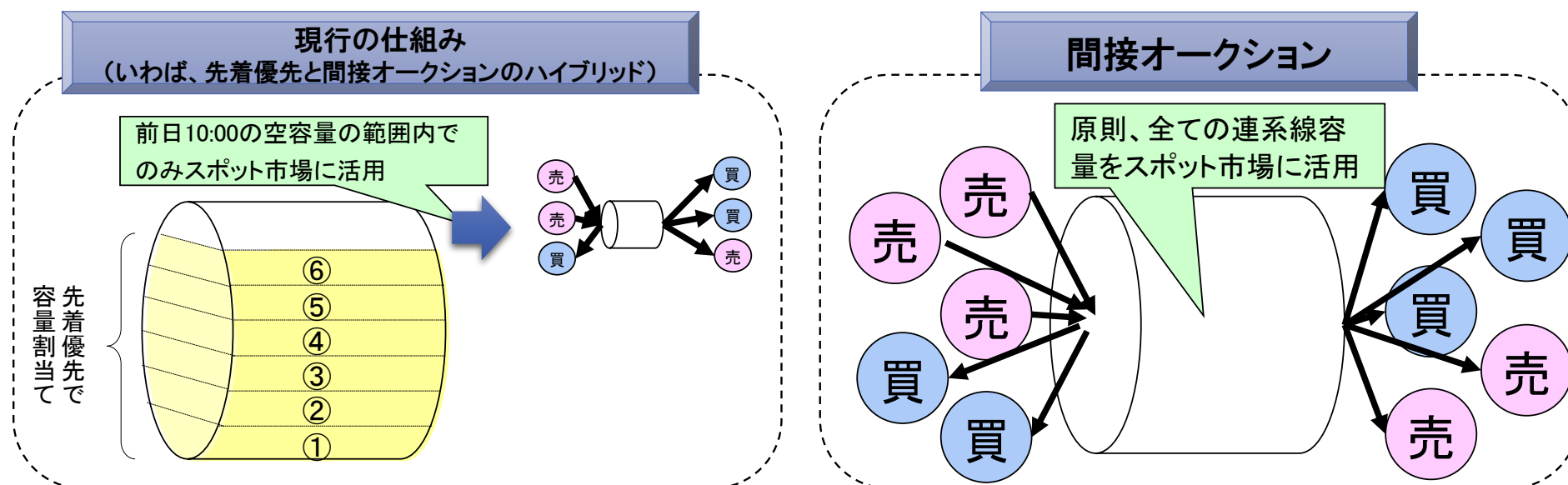
1線路につき
 1つの数値だけ

順方向と逆方向
 の区別はない

送電線 No	送電線名	電圧 (kV)	回線数	設備容量 (100%×回線数) (MW)	運用容量値 (MW)	運用容量制約要因	空容量(MW)		N-1電制適用可否	N-1電制適用可能量 (MW)	備考
							当該設備	上位系等考慮			
2	道央北幹線	275	2	3,618	1,809	熱容量	1750	94	不可 #1	—	
4	道央西幹線					熱容量	1118	1118	不可 #1	—	
5	泊幹線					熱容量	1001	1001	—	—	◇
6	後志幹線					熱容量	1130	1130	—	—	◇
7	後志幹線					熱容量	1135	1135	不可 #1	—	
8	京極幹線					熱容量	304	304	—	—	◇
9	道央南幹線					熱容量	1125	600	不可 #1	—	
10	南早来線	275	2	—	—	熱容量	541	541	—	—	◇
11	苫厚真線	275	2	—	—	熱容量	506	506	—	—	◇
12	道央東幹線	275	2	3,784	1,892	熱容量	1385	94	不可 #1	—	
13	石狩火力幹線					熱容量	457	94	—	—	◇
21	苗穂北線					熱容量	639	639	可	100	
22	篠路線					熱容量	639	639	不可 #1	—	
23	西札幌線					熱容量	231	231	不可 #1	—	
24	室蘭西幹線	187	2	684	478	熱容量	0	0	不可 #1	—	※3 ※4
25	室蘭西幹線	187	2	684	478	熱容量	0	0	不可 #1	—	※3 ※4
26	室蘭西幹線	187	2	684	478	熱容量	0	0	不可 #1	—	※3 ※4
27	室蘭西幹線	187	2	684	478	熱容量	0	0	不可 #1	—	※3 ※4
28	南九条線	187	3	641	427	熱容量	427	427	可	100	※2
29	西小樽線	187	2	598	299	熱容量	94	94	可	100	
30	双葉幹線	187	2	434	217	熱容量	105	0	不可 #1	—	

+ 間接オークション

- 市場で約定した取引に自動的に送電権が付与
 - 直接オークション：電力取引とは別に送電権も入札
- 既存/新規、大規模集中/小型分散、電源種を問わず、透明で非差別的な送電線利用
- 会社間連系線では2018年10月から導入済み



(出典) 電力広域的運営推進機関:「基幹送電線の利用率の考え方及び最大利用率実績について」, 2018年3月12日

+ 先着優先



- 先着優先 first-come, first-serve
 - 「早い者勝ち」とも訳される。
 - 既存プレーヤー(従来型電源)に著しく有利
- これまで、地域間の連系線利用ルールである「先着優先ルール」は、経済的に優位性のある電源が新規に現れたとしても、空き容量が十分でない場合は連系線を利用できないため、**広域メリットオーダー**(より安い電源から動かす)の**妨げ**となっていた。

- 資源エネルギー庁: 間接オークションについて, 2018年10月1日
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/implicit_auction/pdf/summary.pdf



+ 空容量問題の根本原因

■ 日本の場合

- 変電所/送電線の空容量が不足

…と説明されるが…。

- 「空き容量」は**定格容量ベース**で計算

- 先着優先なので、従来型電源に有利

予約ベース

■ 欧州の場合

- 「空き容量」は**実潮流ベース**で計算

- 変電所/送電線の容量不足を理由に接続を拒否してはならない。

実測ベース

- 再エネ優先接続の徹底

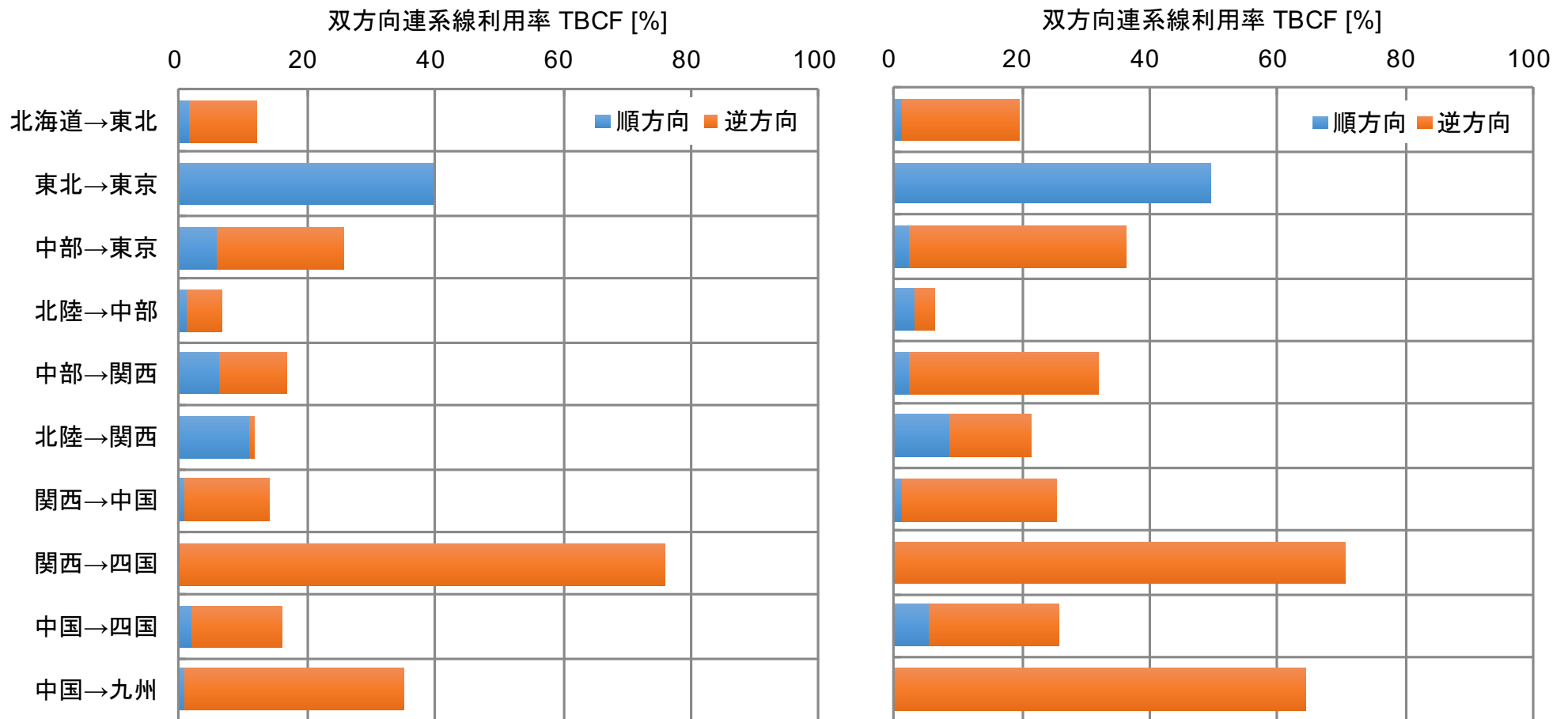


日本の連系線の双方向連系線利用率



2014年7月～2015年6月

2018年度

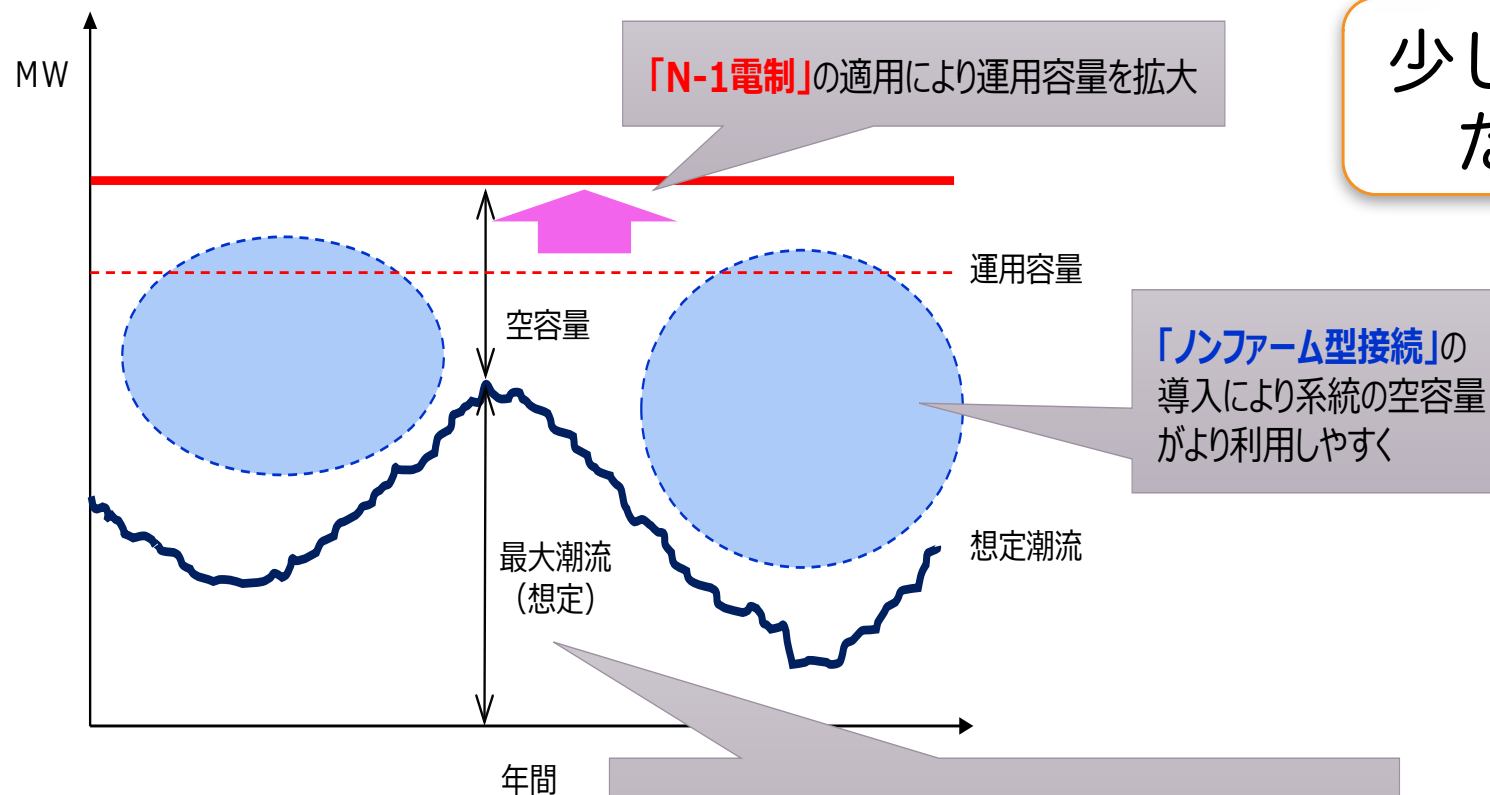




+ 現在行われている議論

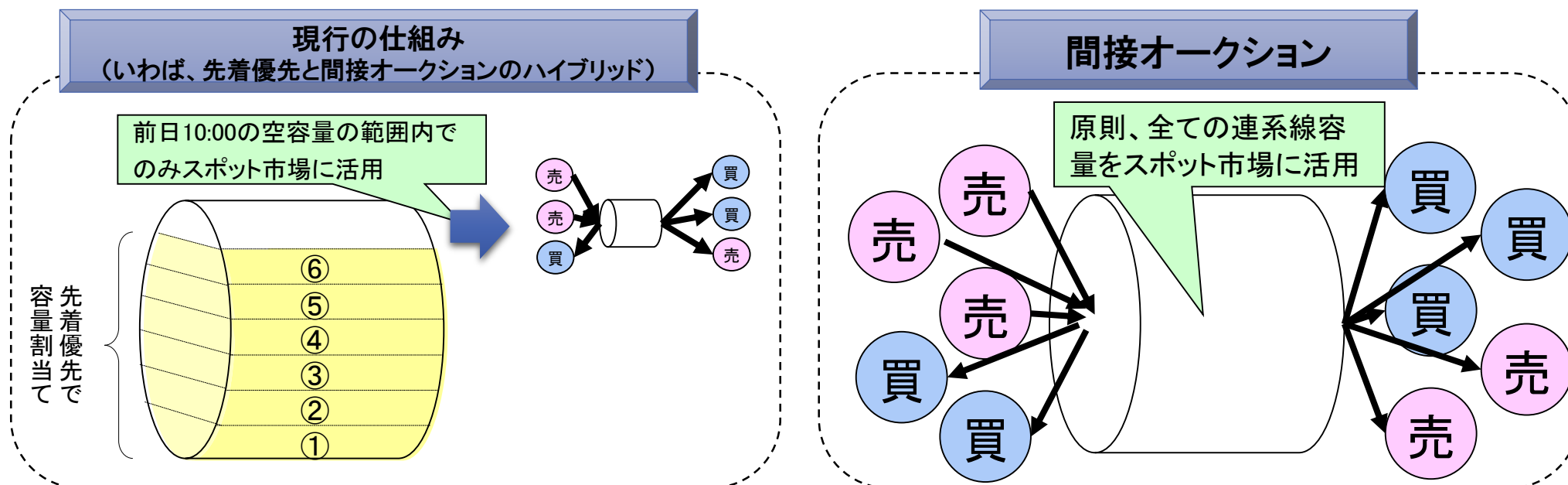
■ 経産省：日本版コネクト & マネージ

(特定の送電線に流れる電力潮流と運用容量のイメージ)



+ 本質的議論の不在

- 公平性・透明性の観点からは、電力市場取引を通じた**間接オークション**の導入が望ましいはずだが…。
- 会社間連系線では導入決定。地内送電線では…？



(出典) 電力広域的運営推進機関:「基幹送電線の利用率の考え方及び最大利用率実績について」, 2018年3月12日



+ 間接オークションの抜け穴

■ 経過措置

- 対象：2016年度利用計画として登録された長期連系線利用計画値
- 期間：2018～2025年度
- 先着優先ルールで容量登録されている計画値が2025年まで延命
- 市場分断により寝差が生じた場合には、その差額が給付される

新規参入者の参入障壁緩和(既得権益の解消)が目的なのに、既得権益者擁護の例外措置

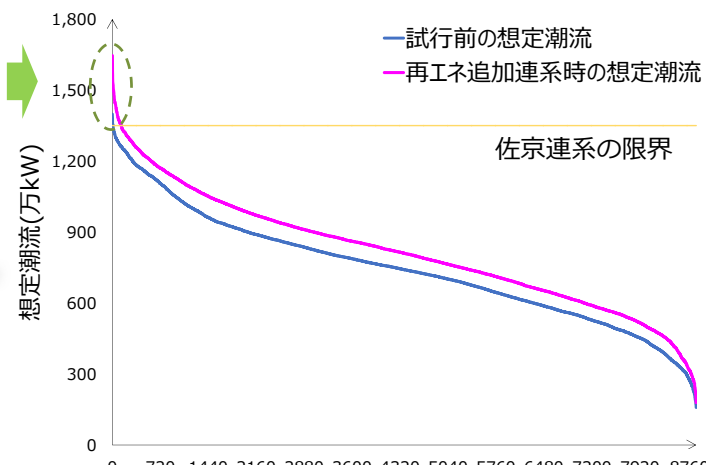


+ 東京電力PGの「試行的な取り組み」

持続曲線 duration curve
(24時間×365日データの降順並び替え曲線)
= 詳細検討の証拠

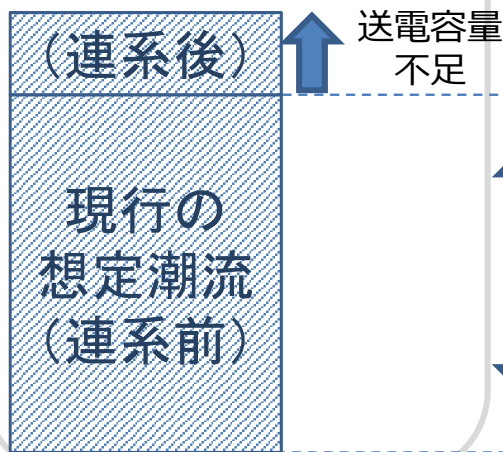
- ・発電出力制御が必要
- ・供給力として見込めない

【佐京連系の想定潮流(系統制約)の試算】

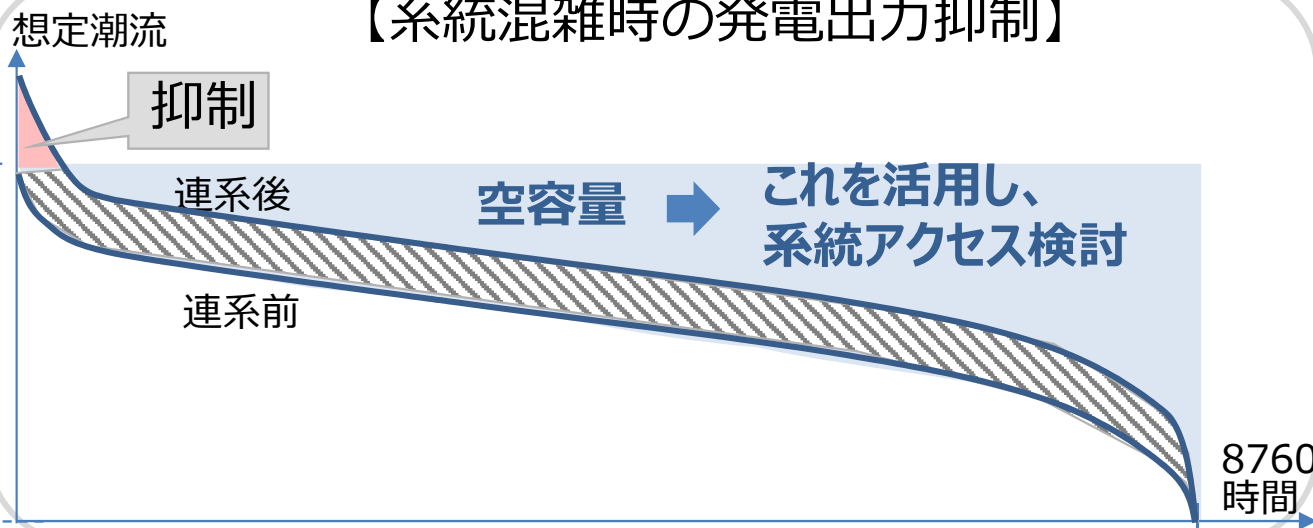


©TEPCO Power Grid, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力パワーグリッド株式会社

【現行ルール】



【系統混雑時の発電出力抑制】



©TEPCO Power Grid, Inc. All Rights Reserved.

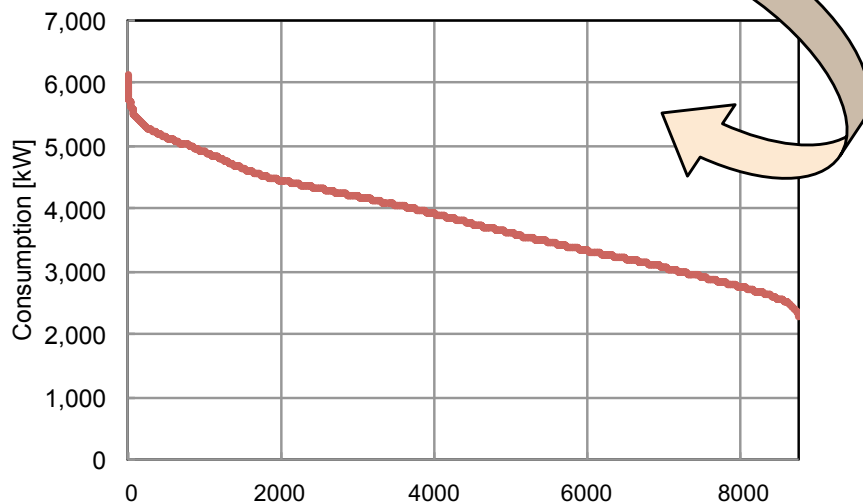
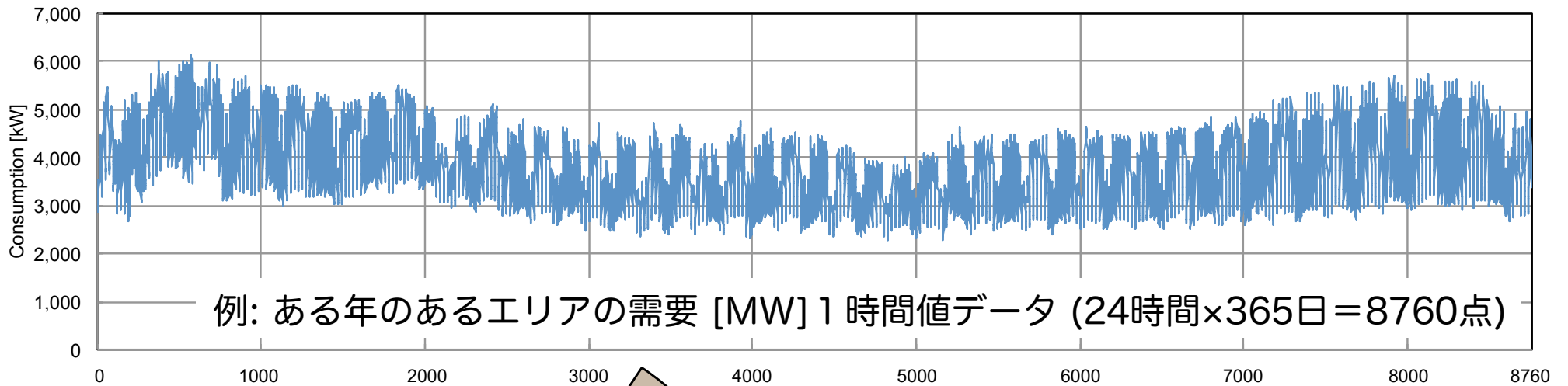
無断複製・転載禁止 東京電力パワーグリッド株式会社

(出典) 東京電力パワーグリッド: 千葉方面における再生可能エネルギーの効率的な導入拡大にむけた「試行的な取り組み」について, 2019年5月17日

+ 持続曲線



■ 年間時系列データから持続曲線を作成



■ 持続曲線 **duration curve**

- 年間負荷時系列データを降順に並び替えたもの
- 出現頻度が一目で把握できる
- 確率統計的評価が可能となる

+ 東電PG方式の拡大

19



- 「千葉県で（送電容量が余った場合に再生エネがその枠を利用できる）『ノンファーム型接続』の実証実験に参画すると決めた。データ蓄積や出力制御のノウハウを培い、実用化を目指す」

- (出典)日本経済新聞: 2020年7月9日
<https://r.nikkei.com/article/DGXMZO61329790Z00C20A7L41000?s=4>



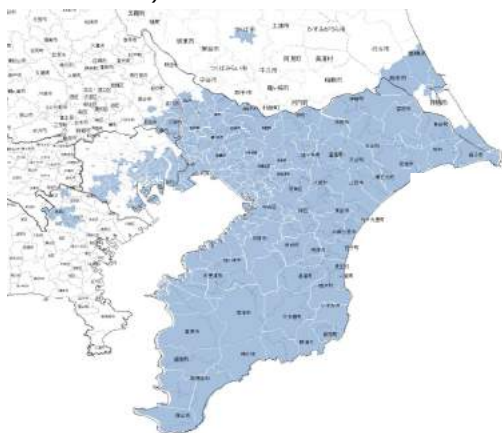
+ 「ノンファーム型」の落とし穴

【参考】千葉エリアにおけるノンファーム型接続の先行実施

- 千葉エリアは、多くの再エネの接続申込みがあり、**基幹系統（スライド39参照）の空き容量がゼロのため**、追加接続を可能にするには、**長期かつ高額な増強工事が必要**となる。そこで、試行的な取り組みとして**ノンファーム型接続を先行的に実施**することを2019年9月に決定し、申込み順に**接続契約手続を実施中**。

【ノンファーム型接続の対象エリア】

(青色が対象エリア)



(出所)千葉方面における「試行的な取り組み」の概要
http://www.tepco.co.jp/pg/consignment/fit/pdf/fit_briefing_20190809.pdf

【千葉エリアの接続申込状況】

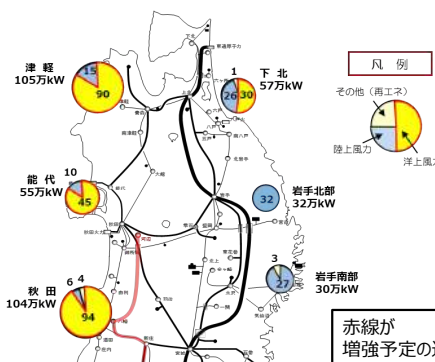
	電源種別	件数	容量(万kW)
特高 高圧	洋上風力	1	2630
	陸上風力	1	30
	太陽光	7	15
	バイオマス	1	1
	火力	1	1
	小計	11	2686
低圧 (事業用)	太陽光	約1	約1
	陸上風力	9	約9
	合計	約20	約2700

静的な空容量計算
に基づく考え方

【参考】北東北エリアにおけるノンファーム型接続の先行実施

- 東北北部地域では、送電線の空き容量不足により、再エネ導入のため**大規模な基幹系統の増強が必要**となり、2016年10月より、**系統増強を共同負担する電源を募集する入札プロセス**が開始。
- 入札の結果、250万kWを超える洋上風力発電を中心に**2020年1月に約380万kWの再エネ電源が接続が確定**。
- これらの再エネについては、**送電線が混雑している場合には出力制御を受け得ることを条件に、系統の増強（2031年頃完成）を待たず、プロセス終了後、順次速やかに接続を認めることとしている（ノンファーム型接続）**。

【東北地方北部で接続予定の電源：地域別内訳】



【東北地方北部で接続予定の電源：電源別内訳】

電源種別	件数 [件]	連系容量 [万kW]
太陽光	2	2
陸上風力	24	115
洋上風力	16	260
その他再エネ(バイオ等)	25	6
合計	67	383

(注)「系統確保」と洋上風力の「事業者選定」の関係

- 公募の結果、募集プロセスにより系統確保した事業者以外の者が選ばれる可能性がある。
- そのため、支払済みの工事費負担金等及び諸経費相当額を対価として選定事業者に系統容量が承継される仕組みを整備。

実潮流に基づく動的な
空容量計算に基づく
考え方



+ 米国のファーム/ノンファーム制度

- ① 本来、送電サービスは**非差別的**である
(差別してはならない)
- ② ファームとノンファームは利用者の方で**選択可能**である
- ③ ファームは確実に輸送できる代わりに送電混雑が発生した場合は、追加で混雑料金を支払わねばならない
- ④ ノンファームは輸送できない場合があるが混雑料金を支払わなくてもよい



+ 募集プロセス

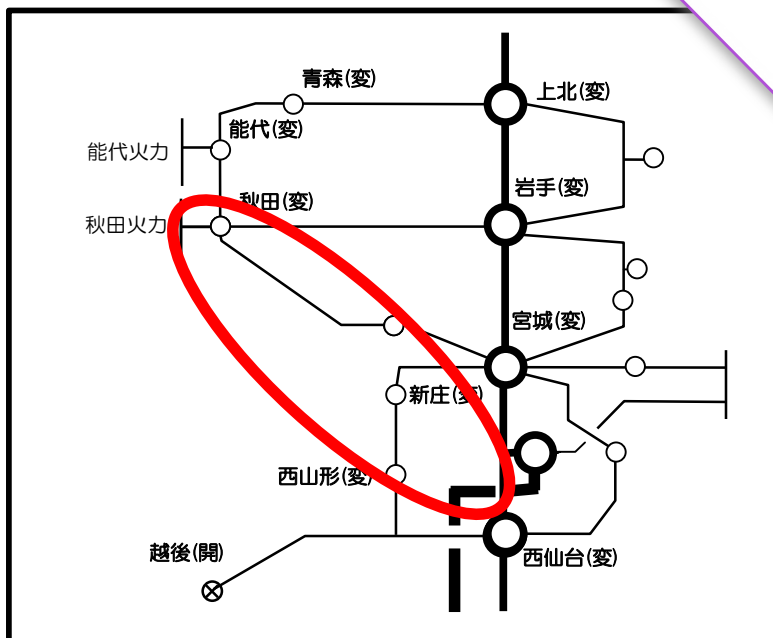
- 電力広域的運営推進機関『送配電等業指針』
 - (発電設備等系統アクセス業務における工事費負担金)
 - 第106条 発電設備等の系統連系工事に要する工事費のうち、**系統連系希望者が負担する工事費負担金**の額は、次の各号の区分に応じ、決定する。
 - 一 次号及び第3号に掲げる場合以外 電源線に係る費用に関する省令（平成16年12月20日経済産業省令第119号）及び**費用負担ガイドライン**に基づいて算出された金額
 - 二 **電源接続案件募集プロセスが成立した場合** **電源接続案件募集プロセス**に基づき決定された金額

2020年11月末現在

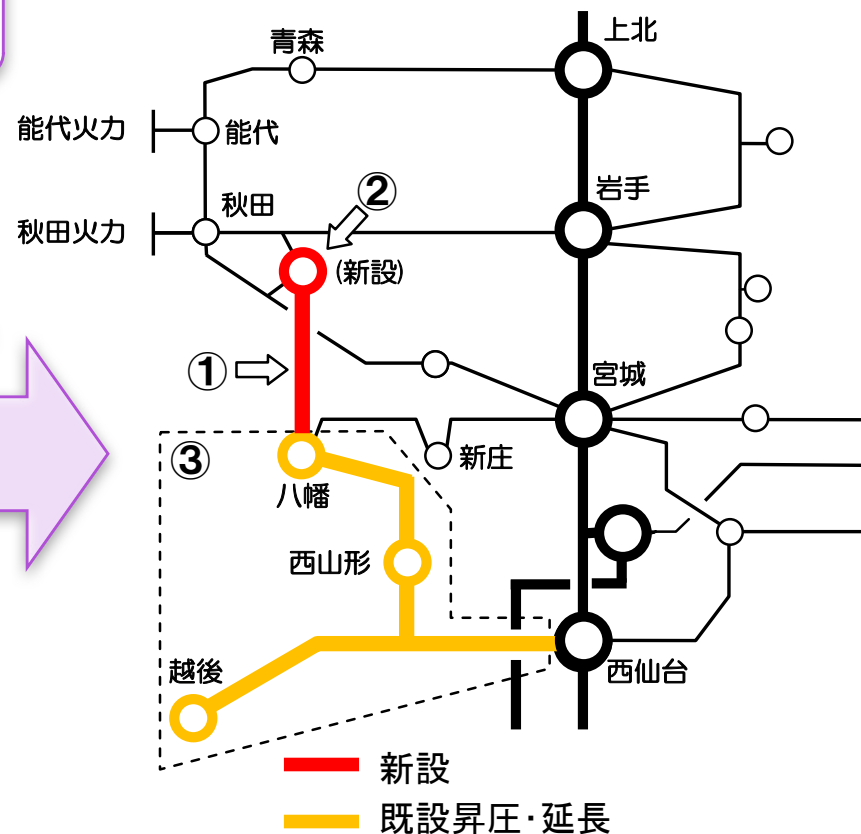
北海道	東北	東京	中部	中国	四国	九州
3件	13件	6件	2件	1件	1件	14件

+ 募集プロセスの不透明性

途中で計画変更？



第11回WG資料
(280万kW)



第13回WG資料
(350~450万kW)



+ 連系線活用による出力抑制の低減

募集プロセスの応募電源が350万kW程度～450万kW程度連系した場合の需給面の出力制御見通し

連系線活用期待量	出力制御時間	指定ルール 風力制御率※	指定ルール 太陽光制御率※
94万kW	1,919～2,276時間	12～16%	25～28%
(参考) 194万kW	1,006～1,273時間	5%～7%	11～13%
(参考) 294万kW	454～609時間	2%～3%	4～5%

(参考) 連系線活用期待量を更に
100万kW, 200万kW増やした
場合の試算

制御率 = 出力制御量 ÷ 制御前発電想定量

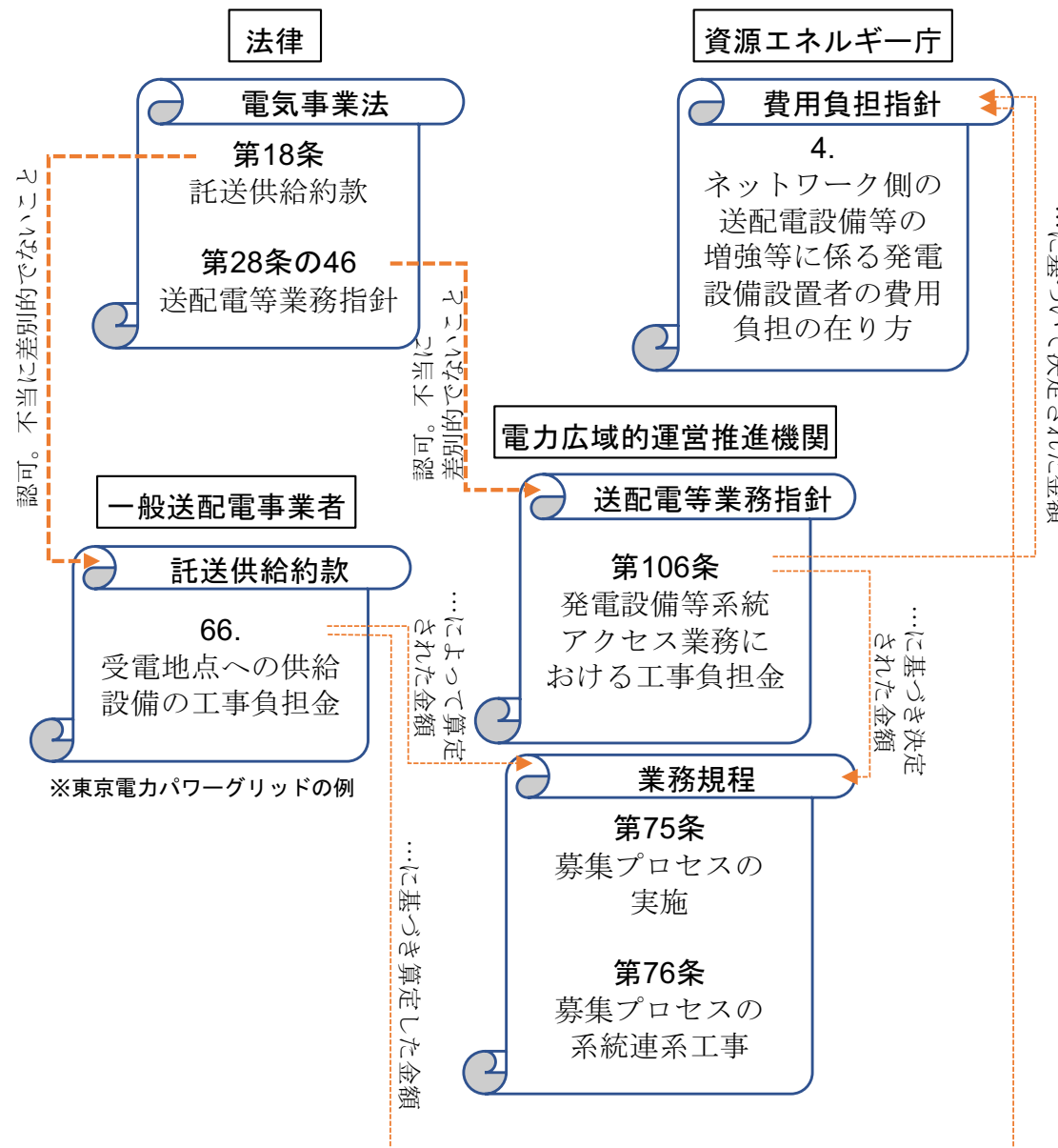
注) 募集プロセスの応募電源の電源種別を,
応募に応じ均等圧縮し考慮

このような数値が出るの
は一步前進だが…。

そもそも募集プロセス
自体が不要では？



+ 募集プロセスの法的根拠(?)



パス回しが迷走して責任が曖昧



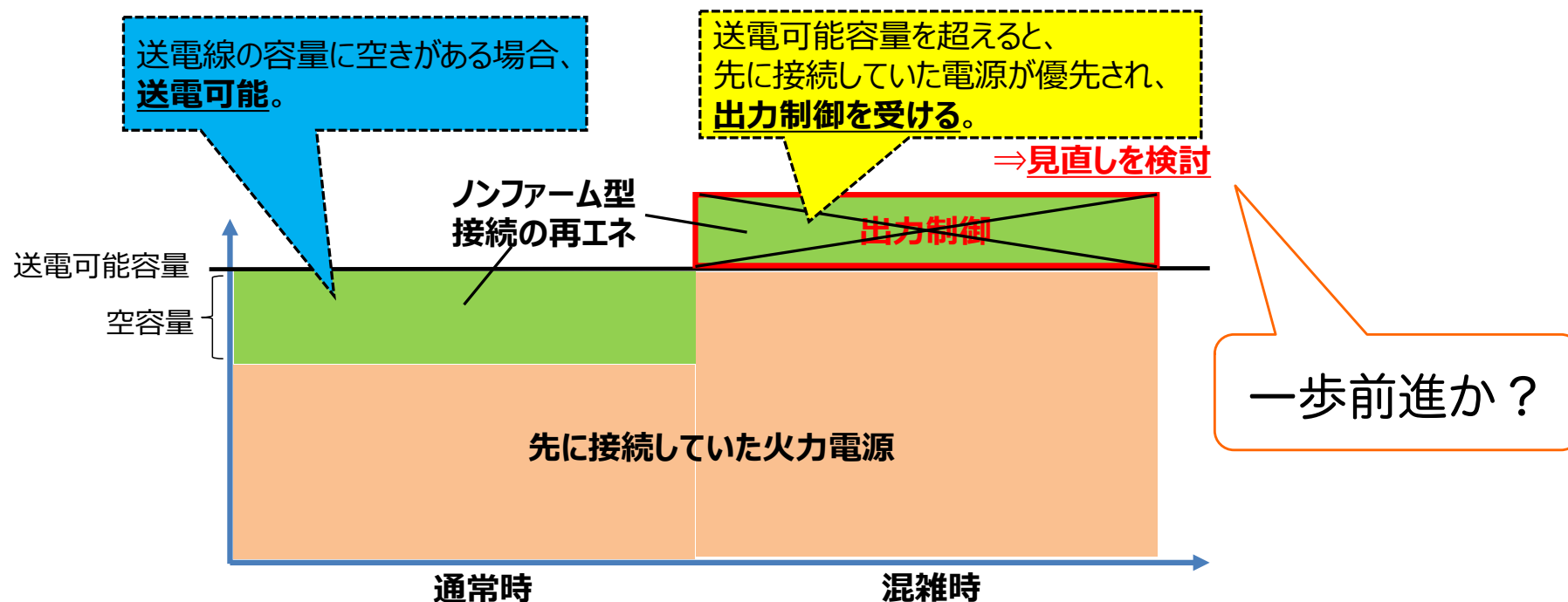
+ 7月3日梶山経産大臣発言

- 7月3日: 梶山経済産業大臣閣議後記者会見
 - 「再エネ導入を加速化するような**基幹送電線の利用ルール**の**抜本見直し**等の具体策について、**地域の実態**等も踏まえつつ検討を進めていきたいと考えております」
 - (出典) 梶山経済産業大臣の閣議後記者会見の概要, 2020年7月3日
<https://www.meti.go.jp/speeches/kaiken/2020/20200703001.html>
- 7月13日: 第26回 電力・ガス基本政策小委員会
- 7月22日: 第18回 再生可能エネルギー大量導入・次世代ネットワーク小委員会(電力・ガス事業分科会)、第6回再生可能エネルギー主力電源化制度改革小委員会(基本政策分科会)合同会議

+ ノンファーム型接続の見直し

ノンファーム型接続における課題について

- ノンファーム型で接続している再エネは、系統混雑時の制御を条件に接続する電源であり、系統混雑時には非効率な火力電源を含む先にファームで接続している電源に劣後し、出力制御を受けることになる。また、大規模な再エネの潜在容量も多い系統では、再エネの接続により、将来的に多くの出力制御が発生する可能性もある。



(出典) 資源エネルギー庁: 非効率石炭のフェードアウト及び再エネの主力電源化に向けた送電線利用ルールの見直しの検討について, 第26回 電力・ガス基本政策小委員会, 資料3, 2020年7月13日



+ 送電線関係政策の動向

- 進歩的提案と守旧的抜け道の混在
 - 確実によい方向に進んでいる。ただし…
 - 歩みが遅い
 - 3歩進んで2歩下がる（場合によっては3歩下がる）
 - 合意形成のプロセスの中での玉虫色の決着？
- 産業界・市民にできること
 - 政策決定のプロセスの監視
 - 特に、用語・表現の変化に注意
 - 政策効果の計測（規制影響評価: RIA, 費用便益分析）
 - 政府への情報提供（特に海外情報）
 - 政策提言（我田引水でなく、透明性と非差別性）



+ まとめ (空容量問題の根本原因)

- 実潮流ベースの議論になっているか？
 - 実潮流ベースでなく、定格容量の積み上げ
 - 停電対策が過剰設計である可能性
 - 設備が有効に利用されていない
 - 送電部門のスマート化 (ICT化) が遅れている？
- 送電線の利用ルールは中立・公平か？
 - 単純に、運用方法が新規技術(再エネ)に未対応
 - 新規参入者にリスク転嫁 ⇒ 新技術の参入障壁
 - 電力市場取引が有効に利用されていない
 - 送電線は誰のものか？ ⇒ 発送電分離後の送電会社のビジネスモデルに期待



送電線空容量問題の深層と その後の最新動向

ご清聴有り難うございました。

yasuda@mem.iee.or.jp

京大再エネ講座
シンポジウム2020

第2部
『入門 再生可能エネルギーと電力システム』
に関するシンポジウム

