

再生可能エネルギーの電力システムへの統合のための 新たな取り組み

2019年10月28日

東京電力ホールディングス株式会社

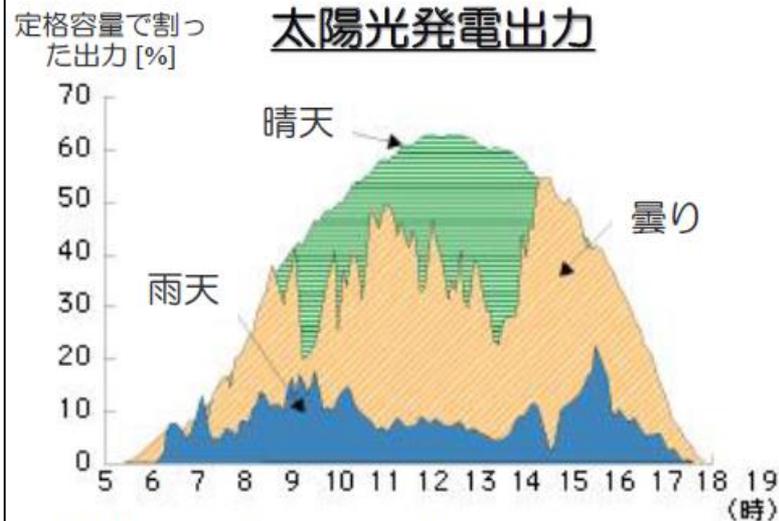
穴井 徳成

1. 再生可能エネルギーの電力システムへの統合の課題
2. 系統空容量の有効活用と費用便益評価による増強
3. 費用対便益評価・混雑管理
 - 3-1 欧米の取り組み状況
 - 3-2 当社が考えるTSOの役割・費用対便益評価・混雑管理
 - 3-3 具体的な取り組み
4. まとめ

1. 再生可能エネルギーの電力システムへの統合の課題

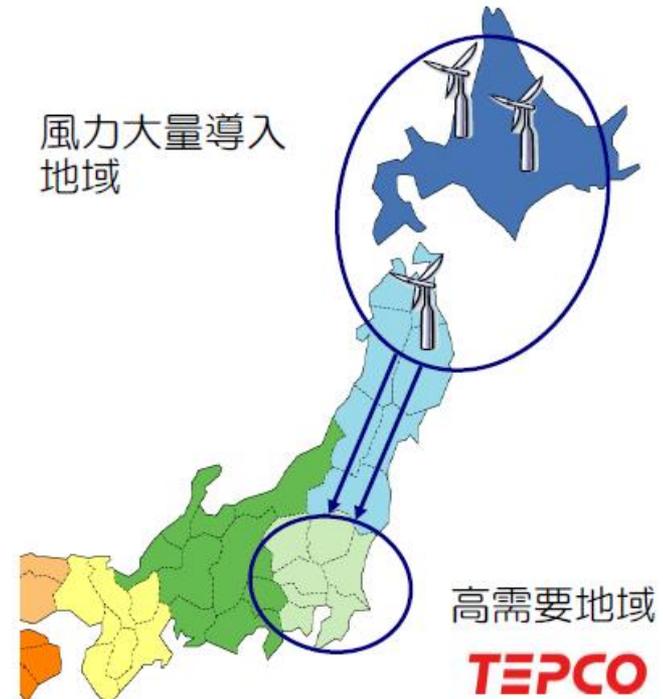
再生可能エネルギー：3つの課題

1. 風力・太陽光など自然変動電源の出力変動に対するフレキシビリティ確保
2. 送配電ネットワークの容量確保
3. 再生可能エネルギーの経済性確保



[出所] Energy White Paper、METI
©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

風力大量導入
地域

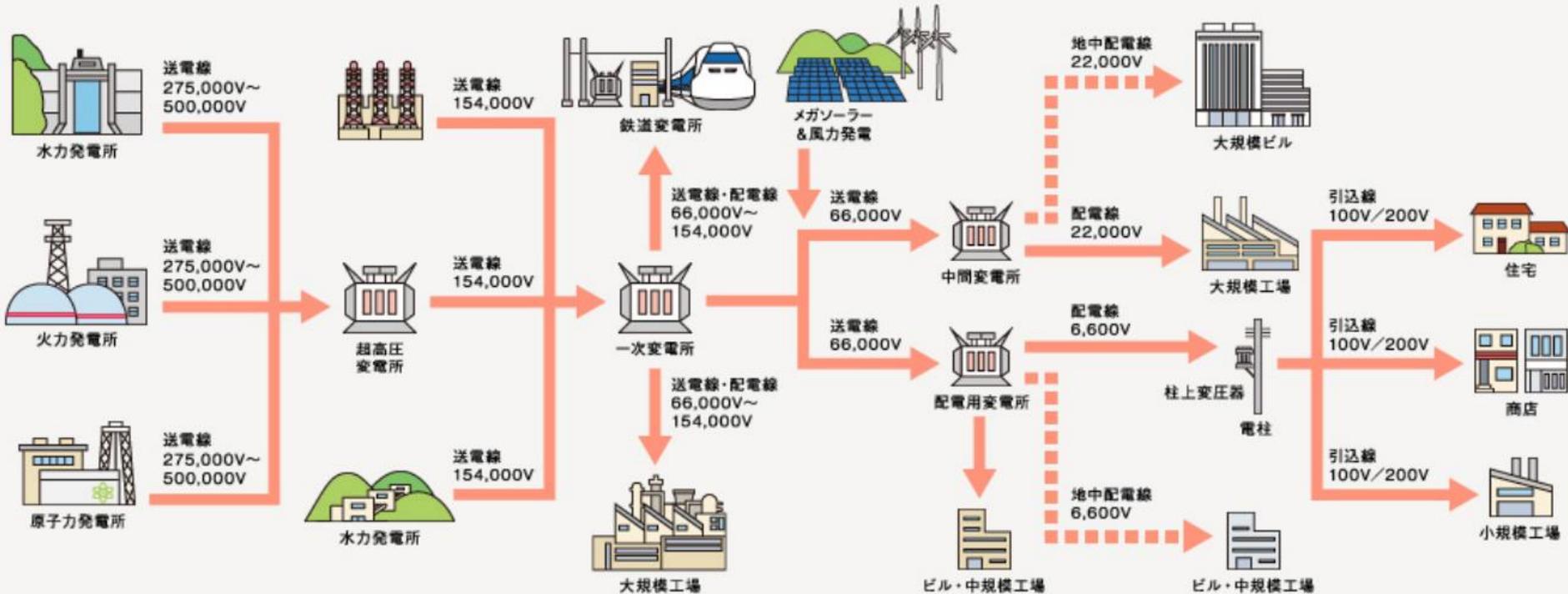


電力システムとは、送配電ネットワークを介して、お客さまの「電力消費」と「発電」をマッチングさせるプラットフォーム。

創る（発電）

送る（送配電）

売る（小売）



発電設備

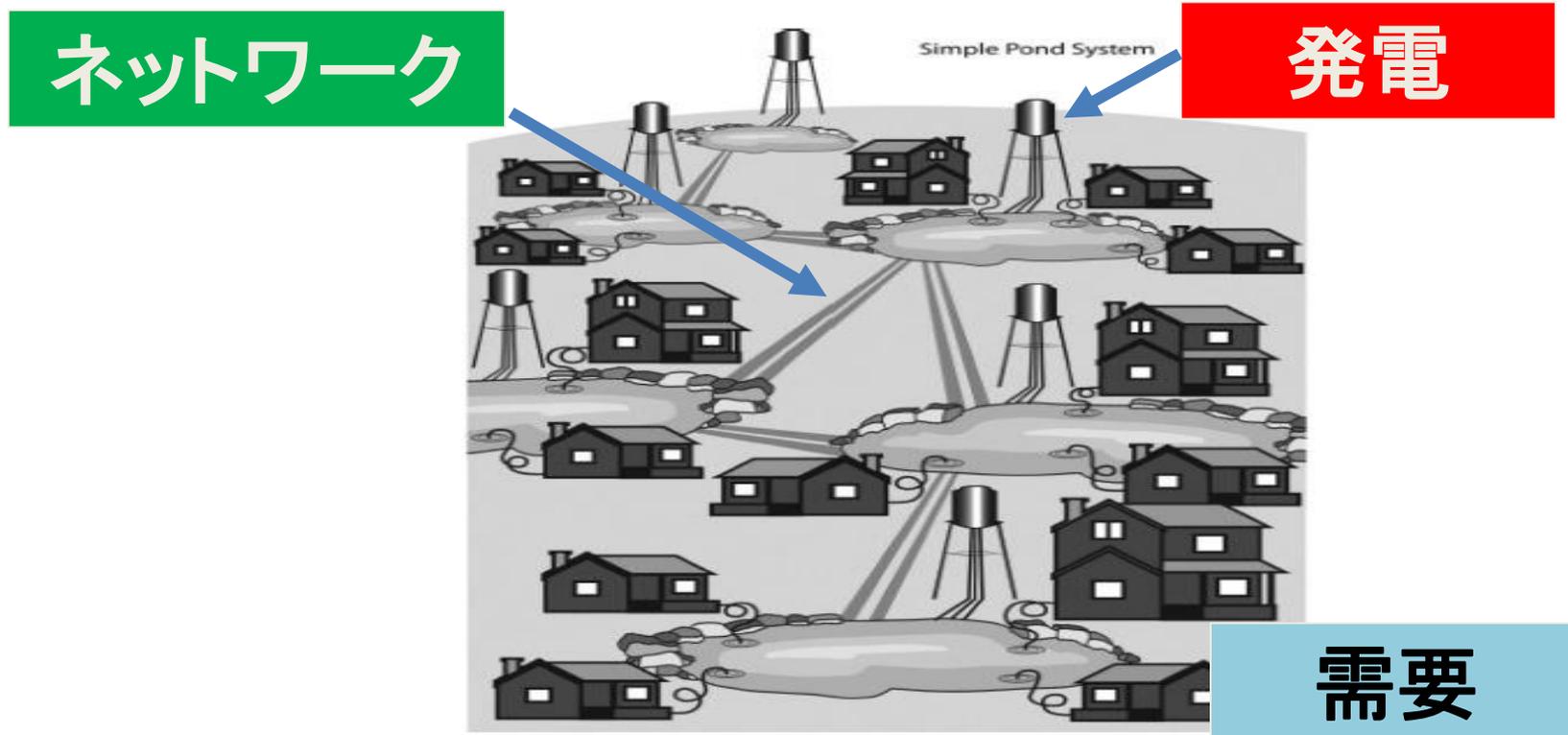
送電設備

配電設備

お客さま設備



送配電ネットワークの容量の範囲内で、システム内の「電力消費（需要）」と「発電」の総量をバランスさせる



出典：Peter Fox-Penner. *Smart power: climate change, the smart grid and the future of electric utilities* (Island Press, 2010)

2. 系統空容量の有効活用と費用便益評価による増強

5

【課題】 発送電分離後の全体最適の仕組み
発送分離後、従来のルールでは発電と系統の一体の設備形成・運用ができず、効率化が限界（個社最適）

2013年4月1日：³⁻¹
社内分社化
2016年4月1日：
分社化

【提案】 当社の考えるTSOの役割と方向性

- ① 発送の役割分担
- ② 費用対便益評価に基づく系統増強
- ③ 常時の混雑管理方法

³⁻³
2017年6月：
エネ庁研究会
2018年1月：
エネ庁小委

【具体的な取り組み】 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向けた「試行的な取り組み」について

2019年5月17日：
プレスリリース

広域機関における整理に基づき、試行を開始

2019年9月18日：
プレスリリース

TEPCO

3.費用対便益評価・混雑管理

3-1. 欧米の取り組み状況

3-1-1. 自由化が先行する欧米の電力システム（役割分担）

3-1-2. 自由化が先行する欧米の設備形成・系統運用

3-1 参考①～⑥ 欧米の事例

3-2. 当社が考えるTSOの役割と方向性

3-2-1. 発送の役割分担

3-2-2. 費用対便益評価と混雑管理

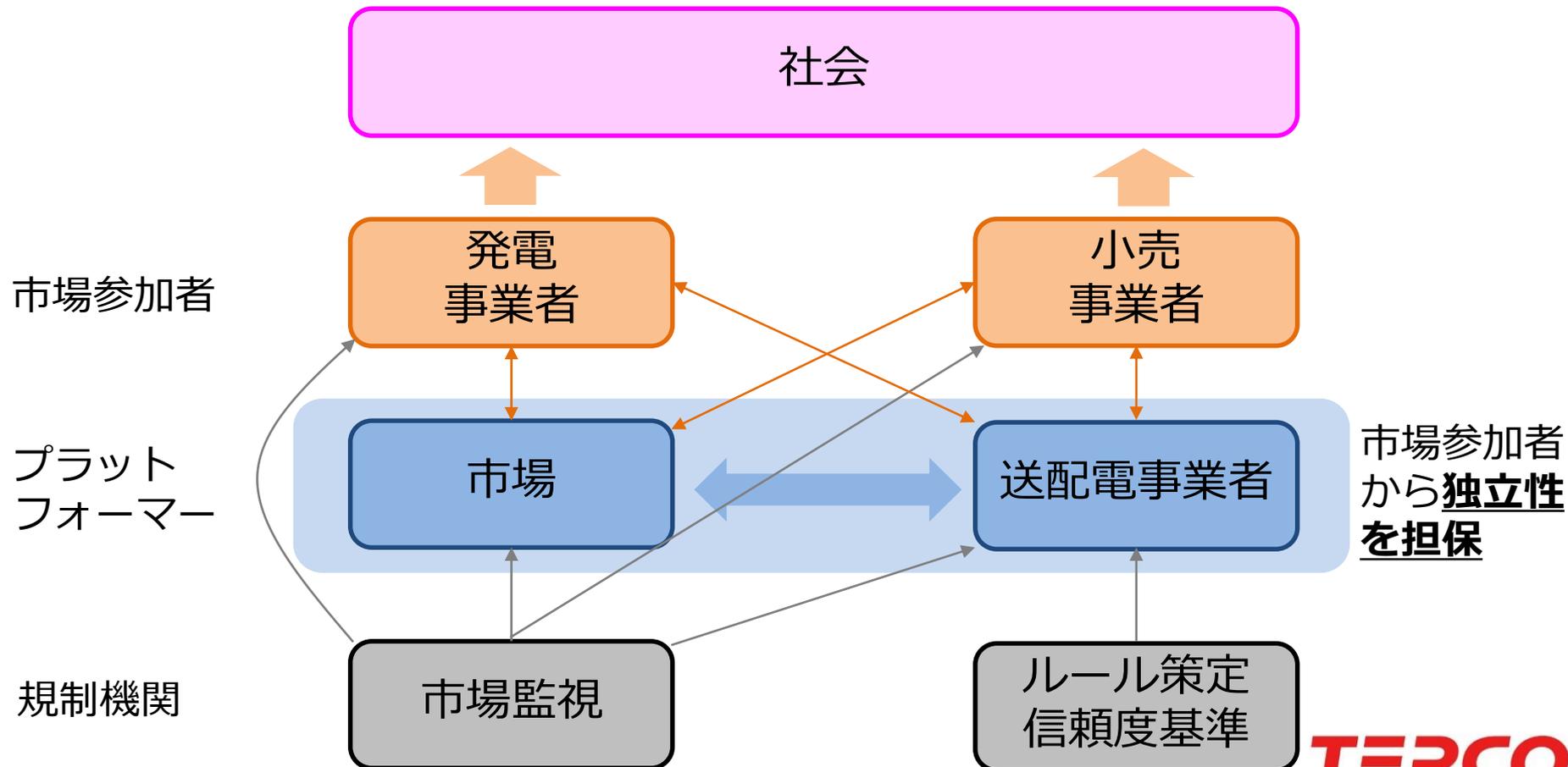
3-3 具体的な取り組み

混雑状況の試算(年間8760hの潮流想定)

3-1-1.自由化が先行する欧米の電力システム(役割分担) 7

■ 市場参加者（発電・小売）と送配電事業(+市場)の**役割分担を明確化**

- 送配電事業：効率的な設備形成・系統運用
公平・透明な競争環境(市場メカニズム・情報開示)
- 市場参加者：競争環境における事業運営



■ 設備形成

- **費用対便益評価**に基づく系統増強判断
- 接続検討を一括(増強費用の共同負担、増強工事の合理化)
- ウェルカムゾーンの設定 (政策的な電源立地誘導)

■ 系統運用

- **混雑管理**の導入 (公平・透明な混雑回避)
 - ✓ 経済性の高い電源から順に系統利用 (**市場メカニズム**)
 - ✓ **混雑料金**による混雑の見える化 (価格シグナルによる電源立地誘導)

混雑料金

混雑している送電線利用時は混雑料金を負担する仕組み
(混雑料金の価格シグナルを発することで、系統利用者に混雑回避の行動を促す)

- 北欧やイタリアでは、国内の送電線混雑を踏まえ、市場エリアを分割



ノルウェー：5エリア
スウェーデン：4エリア
デンマーク：2エリア

(出典)nord pool HP
<https://www.nordpoolgroup.com/the-power-market/Bidding-areas/>

前日卸市場の場合



イタリア：6エリア
※発電はエリア価格、需要は国内均一価格

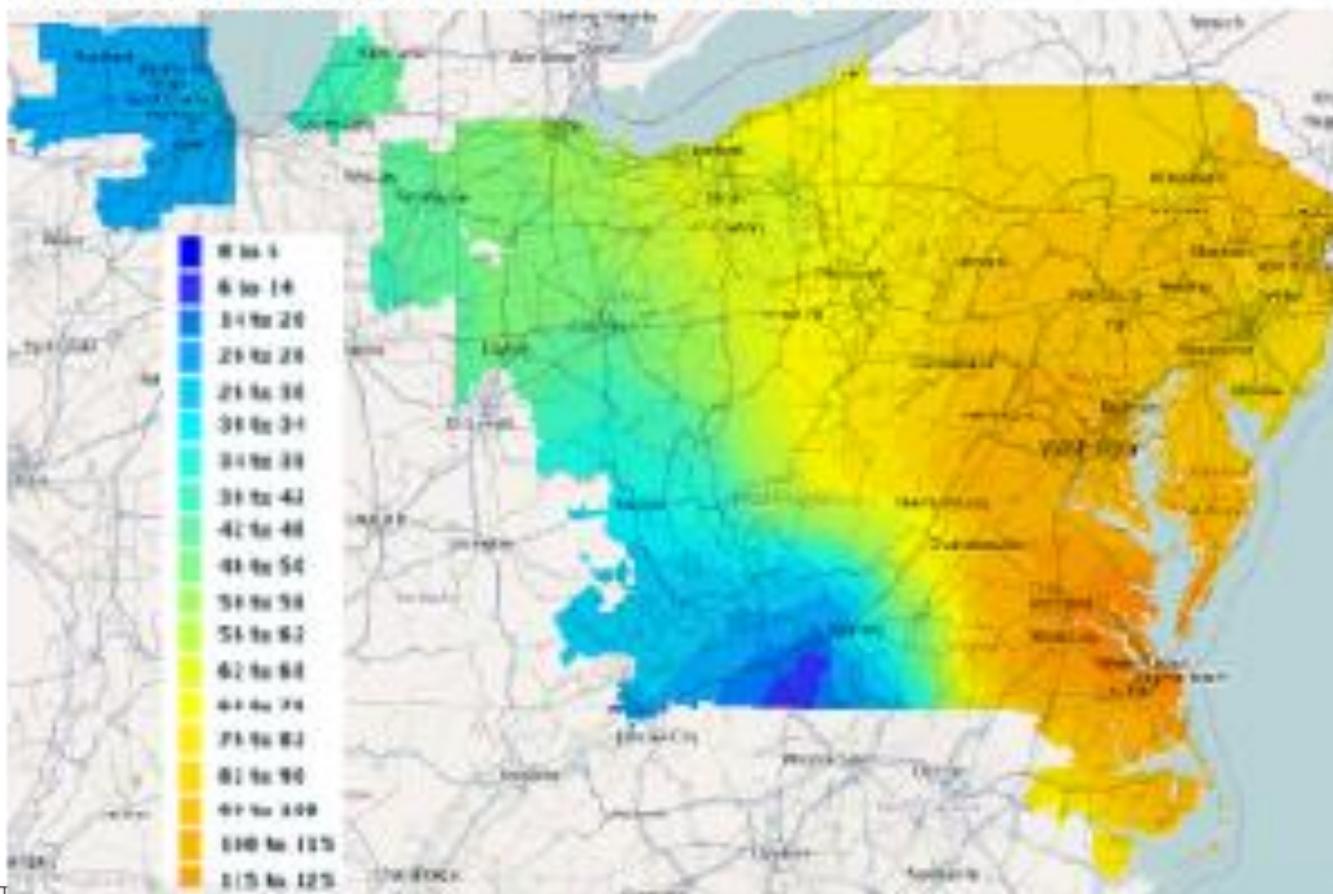
(出典)GME "Italian electricity market",
<https://epgprojesi.com/wp-content/uploads/2019/01/GME-Italian-Electricity-Market.pdf>

■ ノード（主要な変電所等）単位で市場取引を管理

米国東部RTO(PJM)の場合

地点別（ノード別）に電力の価格を設定
Locational Marginal Pricing model

PJM real-time LMP, 9/7/2011, 10:35 a.m.

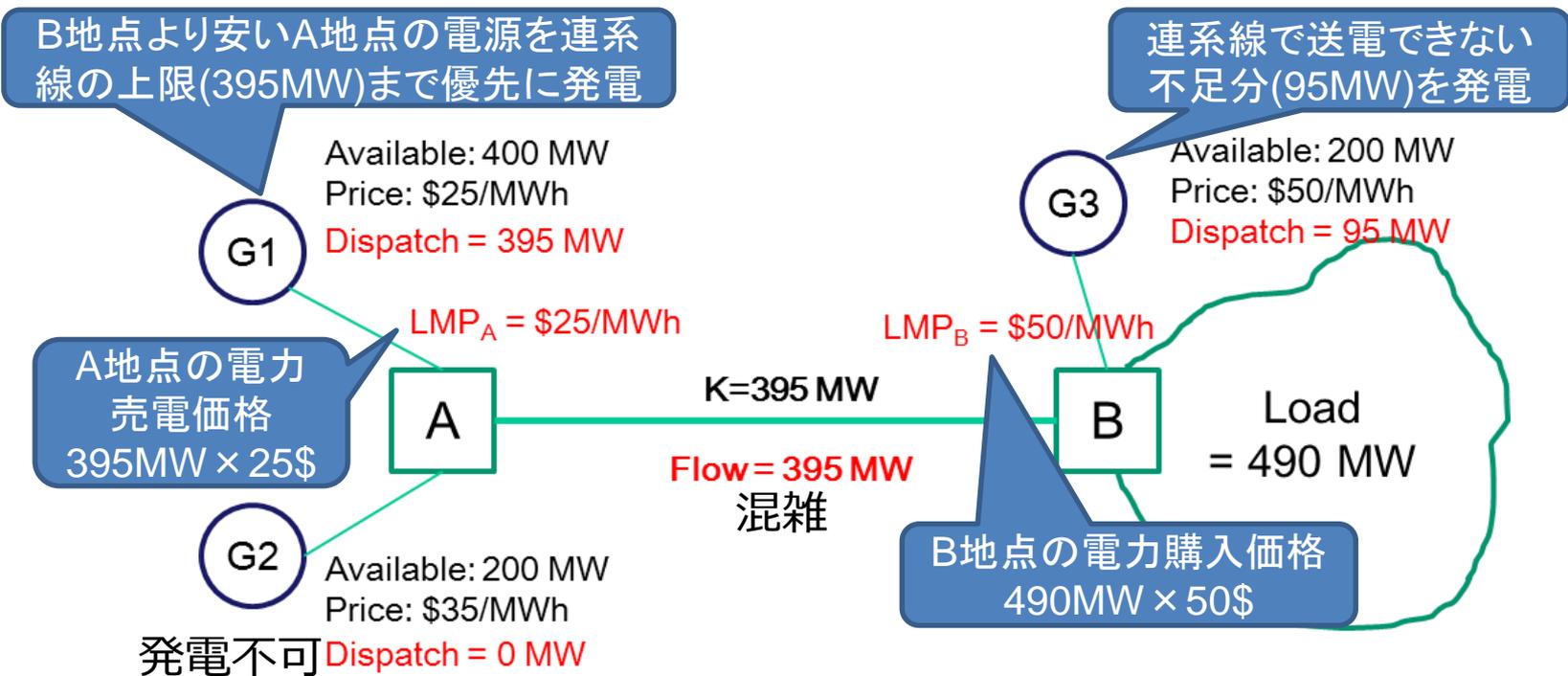


※発電はノード別価格、
需要はゾーン別価格で清算

(出典)EIA
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=3150>

3-1 【参考③】 混雑に伴う燃料費の増加

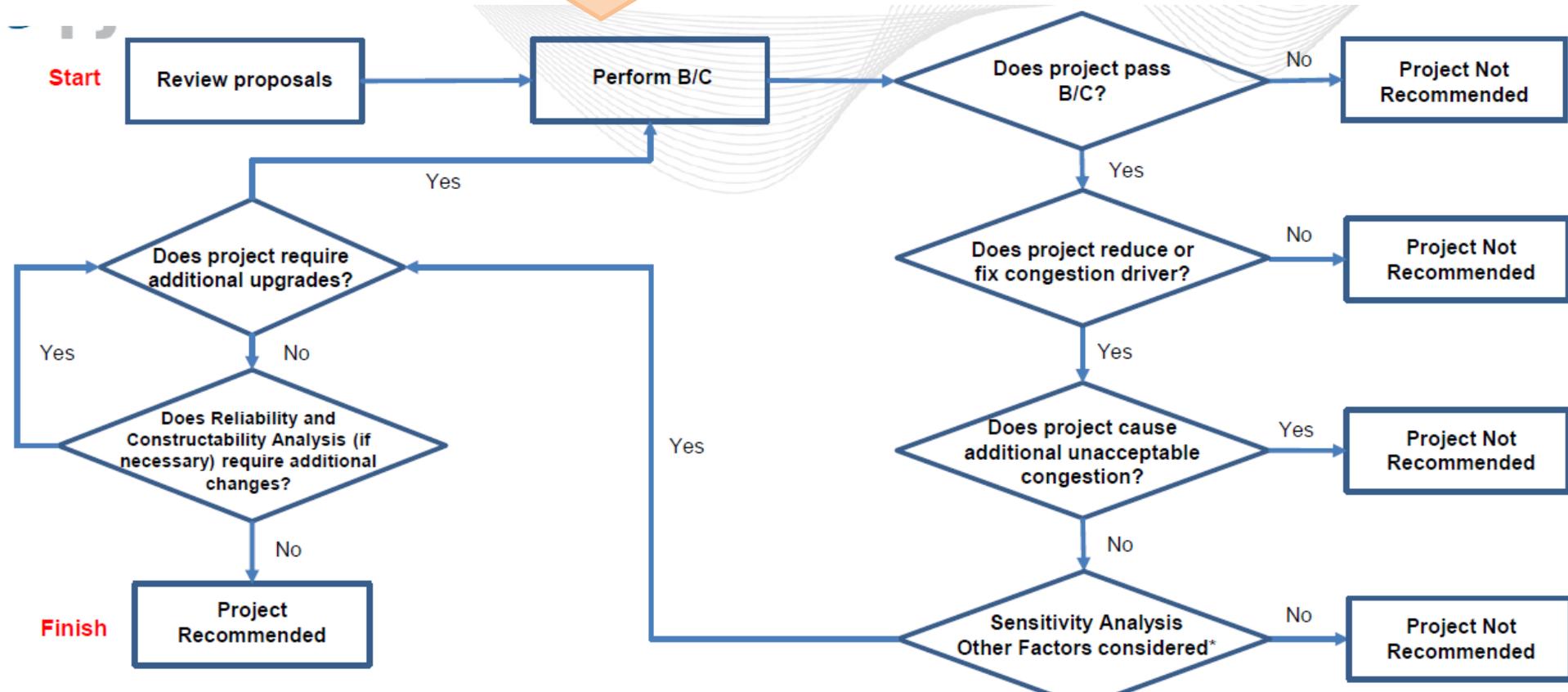
- 市場メカニズムに移行すると、安価な電源からシステムを利用
- 系統混雑時は安価な電源を活用できず、高い電源を発電（燃料費の増加）
- B地点ではA地点で25\$×395MWの電気を50\$×395MWで購入(混雑料金)



混雑が無い場合の燃料費 : $\$25 \times 400 + \$35 \times 90 = 13,150$
混雑が有る場合の燃料費 : $\$25 \times 395 + \$50 \times 95 = 14,625$

- PJMでは、増強の費用対便益評価を計画フローに組み込んでいる
- Benefit(混雑解消による燃料費削減等)がCost(送電線建設費用)を上回ることが前提

費用対便益評価



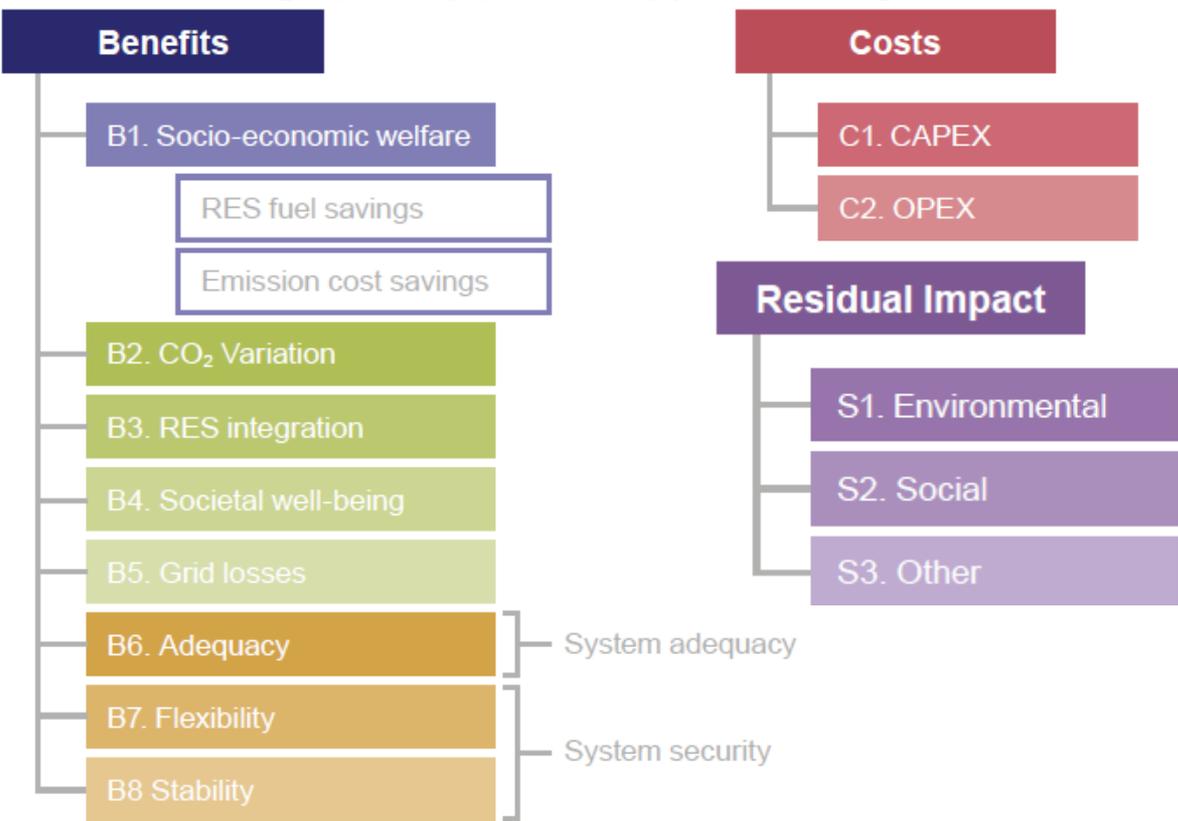
(出典)PJM, " PJM Market Efficiency Long Term Window Overview "

■ 送配電事業者は送電計画※1の費用対便益評価を実施

※1: Ten Year Network Development Planning (TYNDP): 欧州大の送配電事業者団体が作成する送電および蓄電設備の2040年までの計画

【費用対便益の評価項目一覧】

【主な送電計画】



(出典)Entso-e
2nd ENTSO-E Guideline for Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects

送電設備166件、蓄電設備15件
(出典)Entso-e HP
<https://tyndp.entsoe.eu/tyndp2018/projects/>



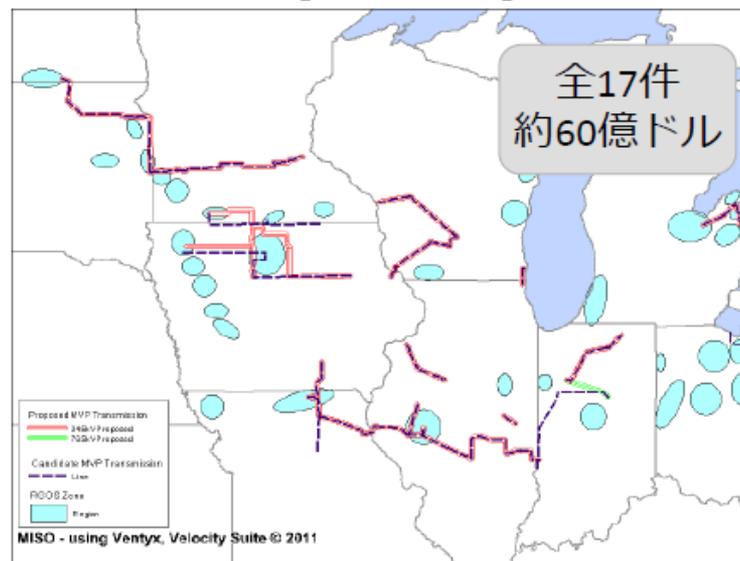
1-5. 政策的な送電線整備の例(ERCOT,MISO,SPP)

- RTOが再エネ拡大等を目的に基幹送電線を整備
 - ERCOT: Competitive Renewable Energy Zone(CREZ)
 - MISO: Multi Value Projects(MVP)
 - SPP: Highway-Byway

	CREZ	MVP	Highway-Byway
目的	再エネ拡大	信頼度 経済性 エネルギー政策	ゾーン跨ぎの送電線費用 負担明確化
費用 負担	一般負担 (RTO大)	一般負担 (RTO大)	一般負担 電圧階級により、RTO大 と各ゾーンの配分を決定

参考資料を元に作成
 Brattle "Transmission Investments and Cost Allocation: What are the Options?", 2010
 MISOホームページ "Multi Value Project Portfolio Analysis"
 MISO "History of Cost Allocation within MISO", 2015
 SPP "Regional Cost Allocation Review", 2016

【MISOの例】



出典：MISO "Multi Value Project Portfolio Result and Analyses", 2012
 MISOホームページ "MVP Dashboard"

- 発送分離後の全体最適な効率的な設備形成に向け、欧米の仕組みを参考に国の委員会※にて、以下を提案

※ 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会 等

3-2-1 発送の役割分担 (事業リスク評価主体および必要な情報開示)

3-2-2 費用対便益評価および混雑管理 (既存設備の有効活用)

2. アンバンドリング後の発電(小売)事業者と送配電事業者の役割分担

【発電事業者】
(小売事業者)



【送配電事業者】



【競争環境の変化も考慮した事業運営】

- 運用 (GC前後)
 - 経済性(市場)に基づき発電
- 発電設備の投資・維持管理
 - 市場収益想定し、事業性判断
 - 需給・系統制約による影響を自ら評価(収益減少リスク等)
- 行動原理：経済性の追求
 - 多様な事業戦略

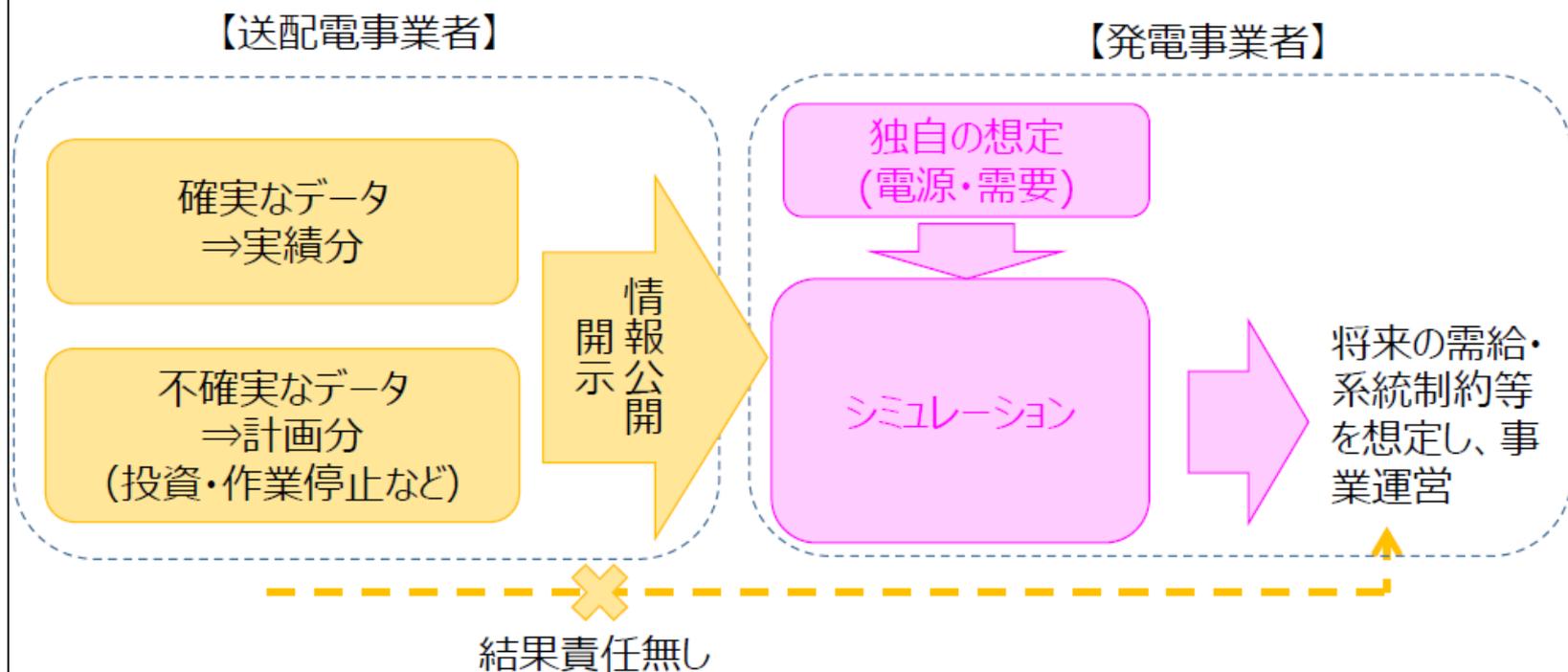
【運営・投資費用の効率化と
公平性・透明性の確保】

- 運用(GC後)
 - 需給バランス維持
 - 混雑処理
 - ⇒市場を通じてkW、 Δ kW調達
- 送配電設備の投資・維持管理
 - 投資・費用の効率化
- 行動原理：公平性・透明性の確保、確実な投資・費用回収
 - 市場参加者等への適切な情報開示

6

3. 発電事業のための需給・系統シミュレーション 基本的な考え方

- **発電事業者が需給・系統制約による影響を自ら評価(シミュレーション等)・判断し、多様な事業戦略を選択**
- 送配電事業者はそのために必要な情報公開・開示(実績および将来の計画)を行う
- **ただし、送配電事業者は発電事業者の判断に結果責任を負わない**



(出典)METI, 「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会」第2回資料4(当社資料), 2018年1月24日

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/002_04_00.pdf

3-2-1. 発送の役割分担

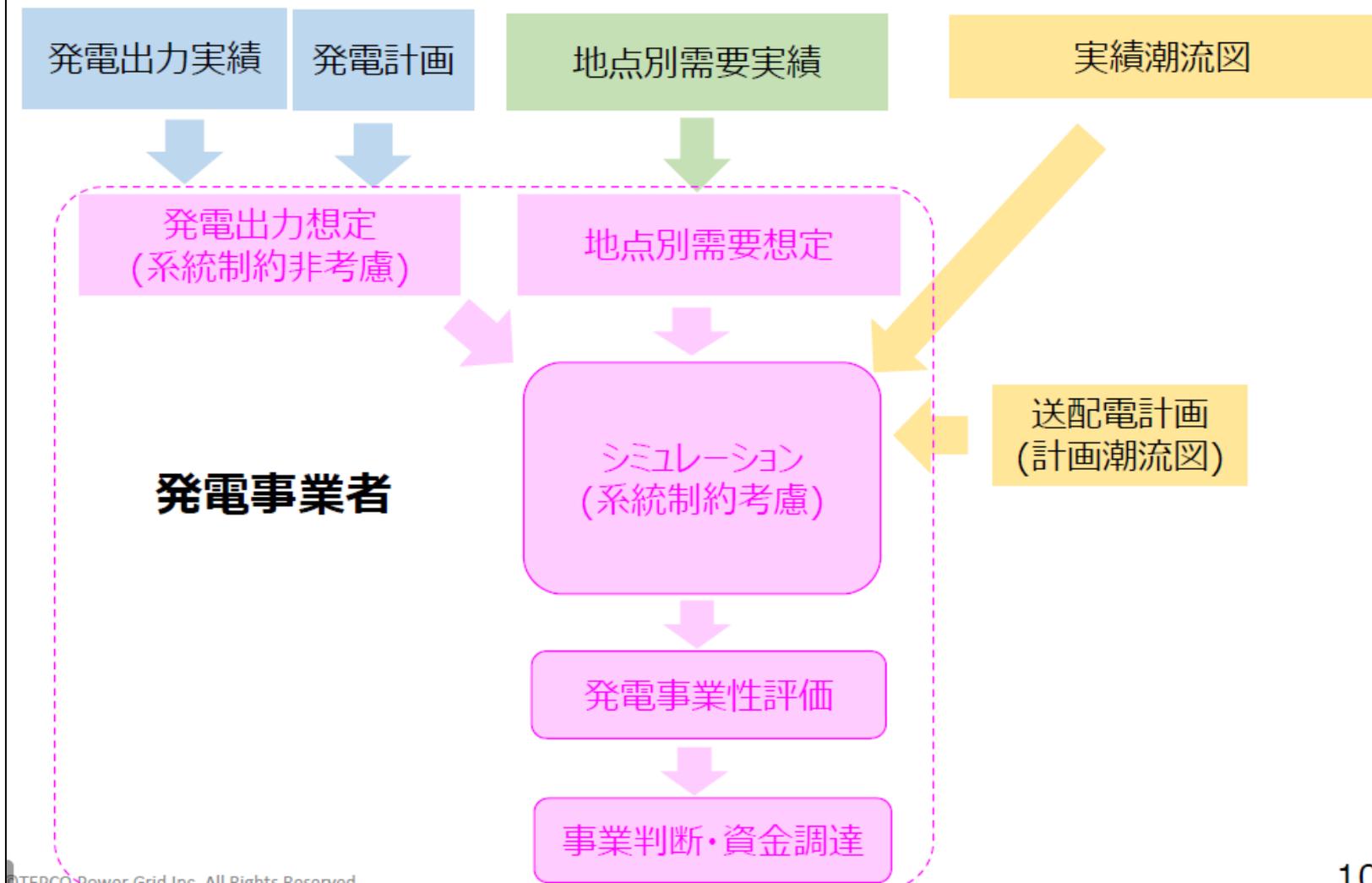
需給・系統シミュレーションに必要なデータ				
<対象範囲>	【既に公開中のデータ】		【シミュレーションに必要なデータ】	
	広域系統(上位2電圧)		154kV以上 (変圧器2次母線66kV以上)	
電源に関するデータ	-		実績	電源運転出力 (出力カーブ)
			計画	新設・停廃止
需要に関するデータ	-		実績	地点別需要 (需要カーブ)
送配電に関するデータ	実績	系統構成 送電線潮流	系統構成 送電線潮流 変圧器潮流 電源線潮流 投資・廃止・作業停止	
	計画	系統構成 送電線潮流 投資・廃止・作業停止		

(出典)METI, 「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会」第2回資料4(当社資料), 2018年1月24日

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/002_04_00.pdf



系統シミュレーションのイメージ



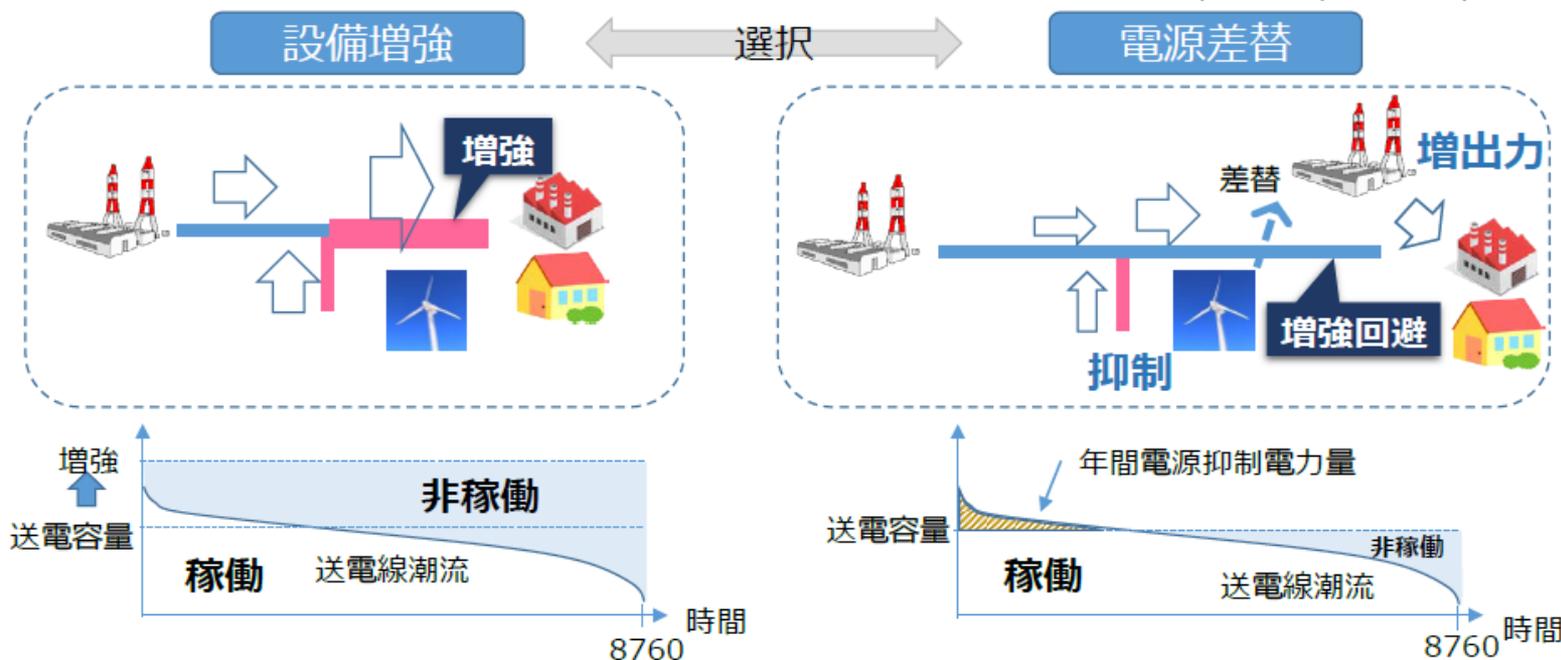
©TEPCO Power Grid Inc. All Rights Reserved.

4. 事業環境変化に対応した合理的なネットワーク形成(C&M)

■費用対便益の低い設備増強を回避し、電源・流通全体でのコスト最小化
(再エネ接続に限定した課題ではない)

- 想定潮流の合理化：発電と送配電の役割分担を踏まえたルール設定
- 費用対便益：設備増強と電源差替の費用※を定量的に比較
- Non-firm接続：一時的な電源抑制を許容

※kWh価値,kW価値,ΔkW価値,非化石価値

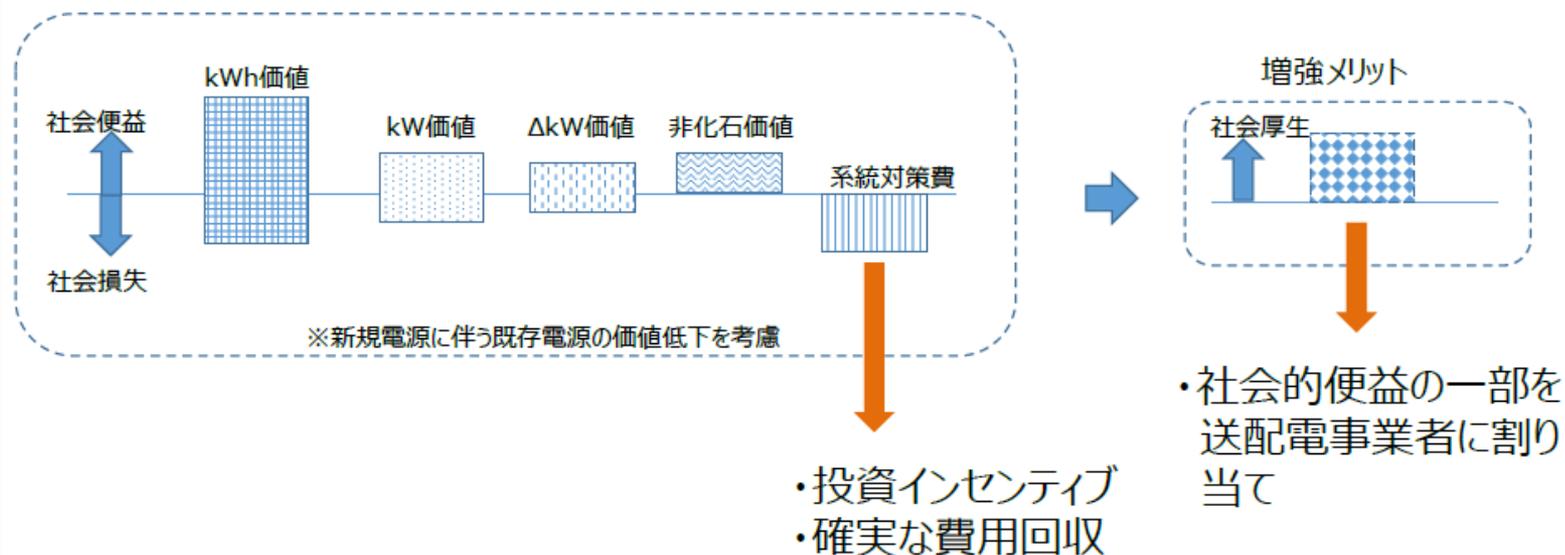


(出典)METI, 「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会」第2回資料4(当社資料), 2018年1月24日

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/002_04_00.pdf

費用対便益の高いネットワーク投資の評価

- 費用対便益の低い設備増強を回避し、電源・流通全体でのコスト最小化をはかる



千葉基幹系統の混雑状況について

1

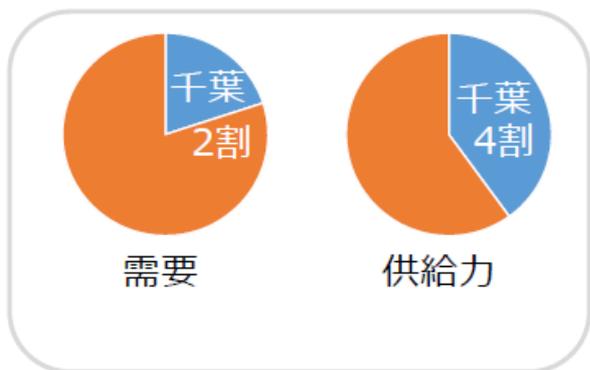
- 千葉(特に房総方面)は電源が集中立地しており、需要と供給のバランスが悪い

千葉方面の電源偏在による供給信頼度への影響評価が必要

- 現行の系統アクセスの考え方に基^づくと、千葉基幹系統の佐京連系[※]が混雑し、結果、千葉系統全域が混雑(「空容量ゼロ」)

佐京連系は時間毎に細かく(8,760時間)見ても混雑しているのか？

※佐京連系：500kV新佐原線・新京葉線を合わせた総称



©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)東電PGプレスリリース,「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向けた「試行的な取り組み」について」,2019年5月17日
<http://www.tepco.co.jp/pg/company/press-information/press/2019/pdf/190517j0101.pdf>

1-6. 千葉方面における再エネ等の接続検討申込み状況

13

- 現在、多くの発電事業者さまから接続検討申込みをいただいておりますが、大規模な設備対策が必要な旨を回答、あるいは回答を保留しており、効率的な系統連系のご提案ができておりません。(特別高圧・高圧)
- 低圧事業用太陽光は現状約1.4万件、約60万kWの申込みがあり、今後更なる申込みが想定されます。

【千葉方面の空き容量ゼロの基幹系統における接続検討状況】

	電源種別	件数	容量(万kW)	対応状況
特高 高圧	洋上風力	18	958	【基幹系統連系の場合】 ○以下を回答済み/回答を保留中の状況 ・発電所から千葉県外までの電源線を新設 ・概算工事費 約800~1,300億円 ・工期 約9~13年 【基幹系統未満連系の場合】 ○回答を保留中の状況
	陸上風力	2	1	
	太陽光	71	12	
	バイオマス	8	3	
	火力	7	633	
	小計	106	1,607	
低圧 (事業用)	太陽光	約1.4万	約60	【低圧の場合】 ○これまでは基幹系統への影響が小さいとの考えから全て受け入れ
	陸上風力	99	0	
合計		約1.4万	約1,670	-

©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)東電PGホームページ-託送手続き・サービス-電力小売託送サービス-お知らせ-「千葉方面における再生可能エネルギーを含む発電設備の効率的な導入拡大に向けた「試行的な取り組み」説明会の資料掲載について」, 2019年8月9日
<http://www.tepco.co.jp/pg/consignment/retailservice/pdf/shikotekisetsumeikai.pdf>

千葉基幹系統における再エネ拡大の試行的な取り組み 3

【現行の考え方】

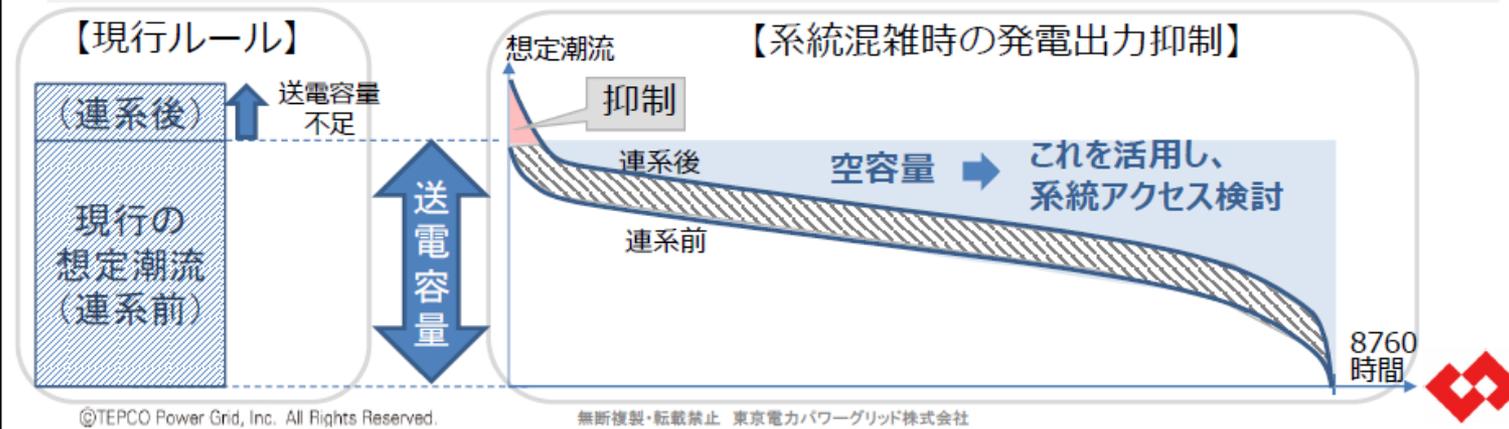
- 「最も過酷※」な断面を設定し、**平常時に混雑を発生させない前提**で潮流想定を合理化し、空容量を算出し、系統アクセス検討を実施

※送配電等業務指針第62条「流通設備の設備形成は、（～中略～）通常想定される範囲内で評価結果が最も過酷になる電源構成、発電出力、需要、系統構成等を前提としている。」

【今回の考え方】

- 千葉方面においては、太陽光や風力などの変動電源の特性を踏まえ、**平常時の混雑の際に発電出力抑制を許容**し、時間ごとにきめ細かな断面で潮流想定を合理化し、系統アクセス検討を実施

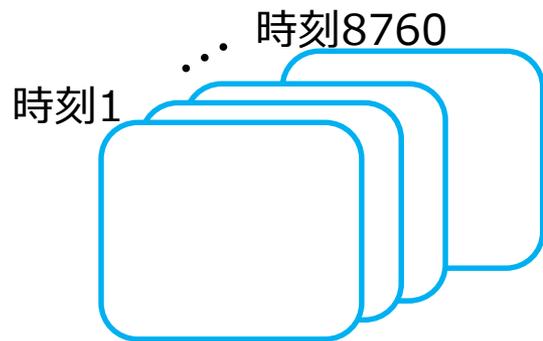
佐京連系を対象とし、**8,760時間の想定潮流を算出し、空容量の有効活用を検討**



(出典)東電PGプレスリリース、「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向けた「試行的な取り組み」について」、2019年5月17日
<http://www.tepco.co.jp/pg/company/press-information/press/2019/pdf/190517j0101.pdf>

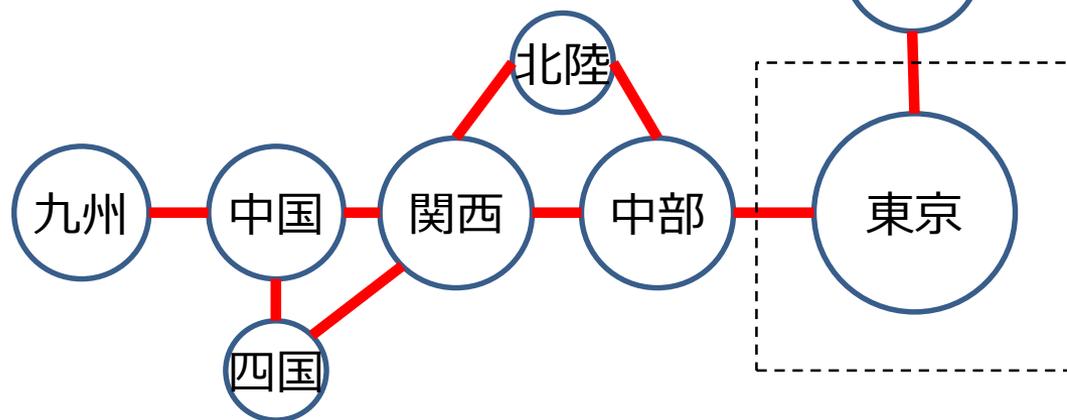
3-3. 混雑状況の試算 (年間8760hの潮流想定)

- 全国メリットオーダーシミュレーションを1時間毎に1年間(8,760時間)実施し、潮流を試算

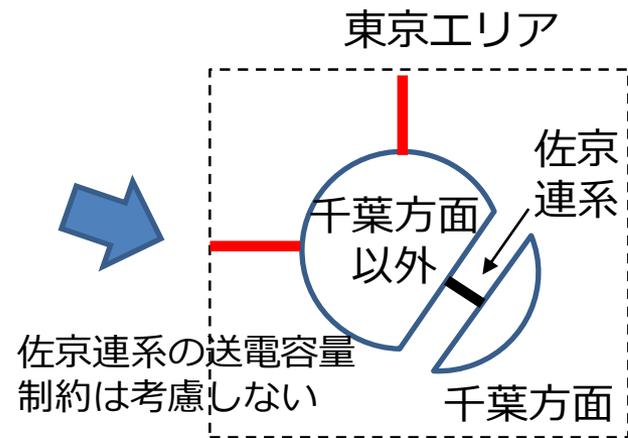


- ・ 発電機はユニット毎に模擬
- ・ AFC2%をエリア毎に確保

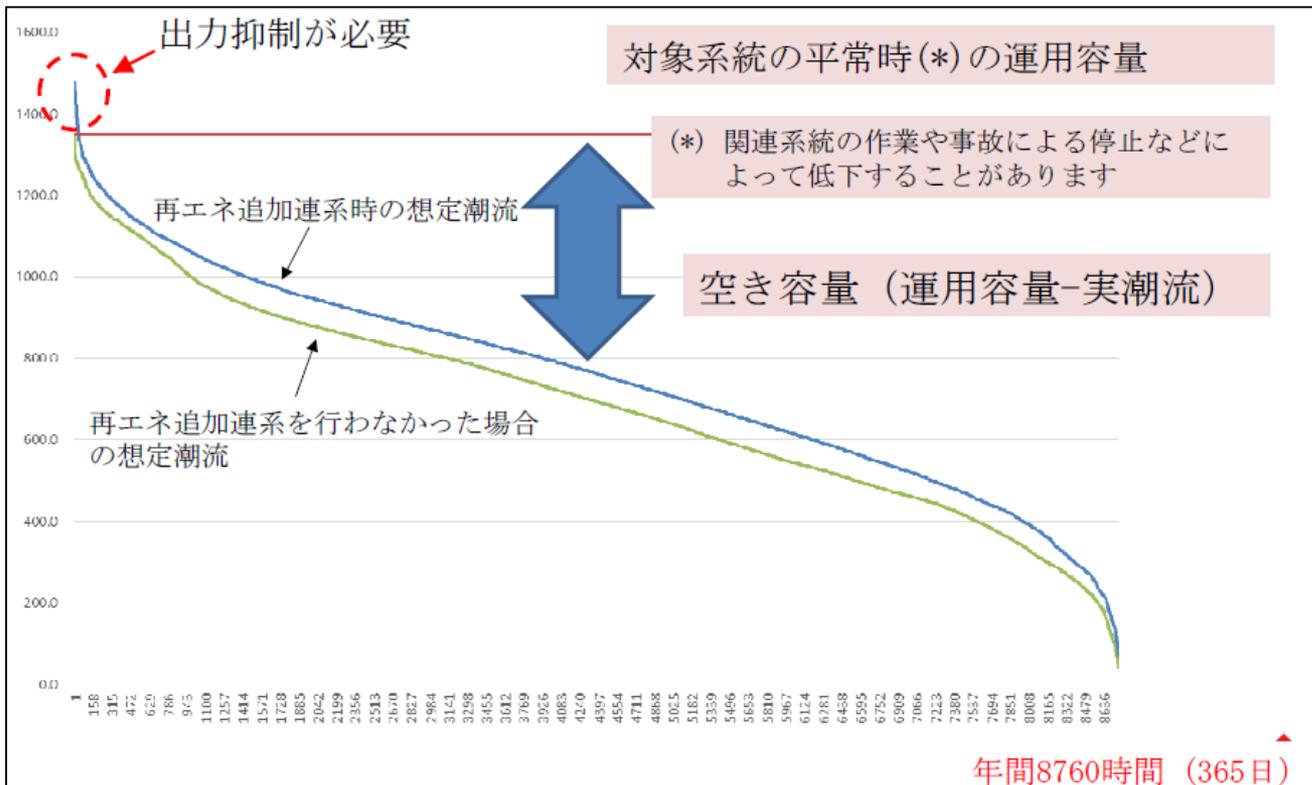
地域間連系線の送電容量制約を考慮
(地内送電制約は考慮しない)



【千葉方面での検討例】



- 再エネ追加連系時の混雑状況を試算すると佐京連系の限界超過量は僅か
- 「試行的な取り組み」により、千葉方面に**相応の規模の再エネ系統連系**の可能性
- 佐京連系の限界を超過する時間に発電出力制御が必要
- 佐京連系の限界を超過する発電力については系統内の供給力として見込めない

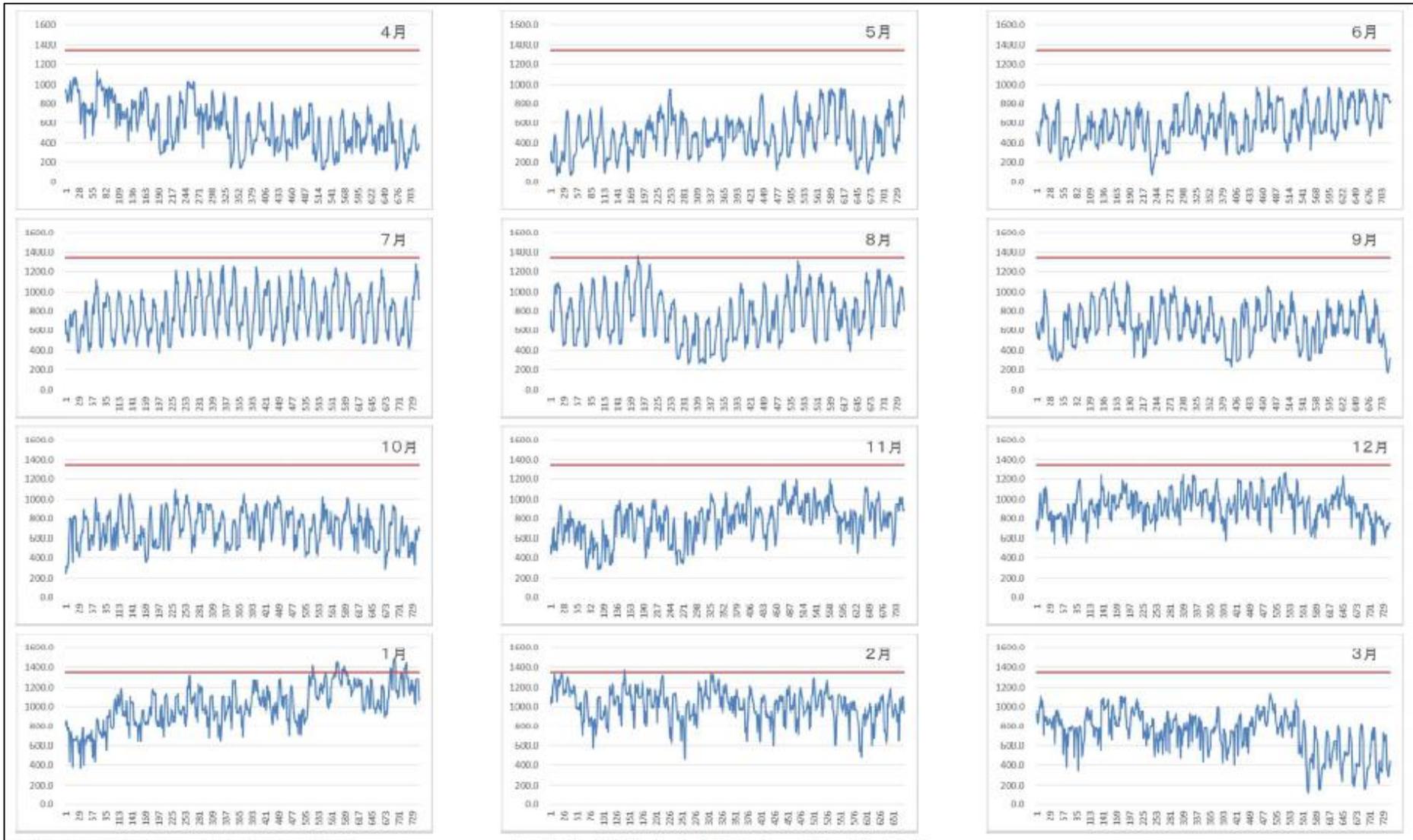


注: 想定潮流は需要や電源等の条件が変われば、本試算通りとならない場合があります。

(出典)東電PGホームページ-託送手続き・サービス-電力小売託送サービス-お知らせ-「千葉方面における再生可能エネルギーを含む発電設備の効率的な導入拡大に向けた「試行的な取り組み」説明会の資料掲載について」, 2019年8月9日
<http://www.tepco.co.jp/pg/consignment/retailservice/pdf/shikotekisetsumeikai.pdf>



3-3 【参考1】 本試算における系統混雑状況試算



(出典)東電PGホームページ-託送手続き・サービス-電力小売託送サービス-お知らせ-「千葉方面における再生可能エネルギーを含む発電設備の効率的な導入拡大に向けた「試行的な取り組み」説明会の資料掲載について」, 2019年8月9日
<http://www.tepco.co.jp/pg/consignment/retailservice/pdf/shikotekisetsumeikai.pdf>



3-3. 【参考2】 系統混雑状況の試算(シミュレーションの条件)

項目		東京エリア	他エリア
系統構成		千葉方面と千葉方面以外の2エリアモデル	1エリアモデル
需要(8760時間)		2017年度エリア実績	
再エネ	設備量	【試行前】 2017年度実績+ 2018年度時点接続申込済※(括弧内は千葉方面)の 太陽光 : 1,558万kW(470万kW) 陸上風力 : 68万kW(13万kW) 洋上風力 : 44万kW(25万kW) バイオマス : 167万kW(40万kW) 水力 : 7万kW (0万kW) 【再エネ追加連系時】 +千葉方面にPV:250万kW、洋上風力:250万kW ※高圧以上は2018年11月末時点、低圧は2019年3月末時点 なお、低圧は想定分含む	2024年度 (2019年度供給計画から想定)
	出力 カーブ	太陽光・ 陸上風力・水力	2017年度エリア実績
		地熱・バイオマス	系統WG公表値(東京・中部・関西は他社平均値を利用)
		洋上風力	NEDO実証を基にPGが数百万kWの連系時の出力を想定
火力	ラインナップ	2024年度 (千葉方面は2024年度以降に運開のユニット含む)	2024年度(公知の情報を基に独自に推定)
	スペック	熱効率・AFC幅・AFC出力範囲・最低出力・運用制約・季節別出力・起動コスト (東京エリアの調整力契約電源は個別に反映。それ以外の電源は公知の情報を基に推定)	
原子力	稼働状況	現時点で再稼働中の9基	
	利用率	70%	
揚水	設備量	2024年度の設備量・池容量をエリア毎に縮約	
連系線	容量(マージン)	2024年度(広域機関)	

(出典)東電PGホームページ-託送手続き・サービス-電力小売託送サービス-お知らせ-「千葉方面における再生可能エネルギーを含む発電設備の効率的な導入拡大に向けた「試行的な取り組み」説明会の資料掲載について」, 2019年8月9日
<http://www.tepco.co.jp/pg/consignment/retailservice/pdf/shikotekisetsumeikai.pdf>

- 発送電分離のもと、再エネ発電事業者様も含めた様々なプレイヤーが、電力市場に参入される中での再エネ統合拡大策についても、欧米の先進事例を参考に検討を進めてきました。
- 再エネ導入拡大に伴い、当社系統でも送電容量不足が顕在化しているため、発電事業者様と送配電事業者の適切な役割分担によって系統の空容量を最大限活用する仕組みや費用対便益に基づく系統増強投資のあり方を提案・試行しています。この取り組みは他系統にも広げて参ります。
- 今後も能動的主体として、国・広域機関や多くの関係者とともに、社会の脱炭素化とレジリエンスを支える基盤作りを実践して参ります。