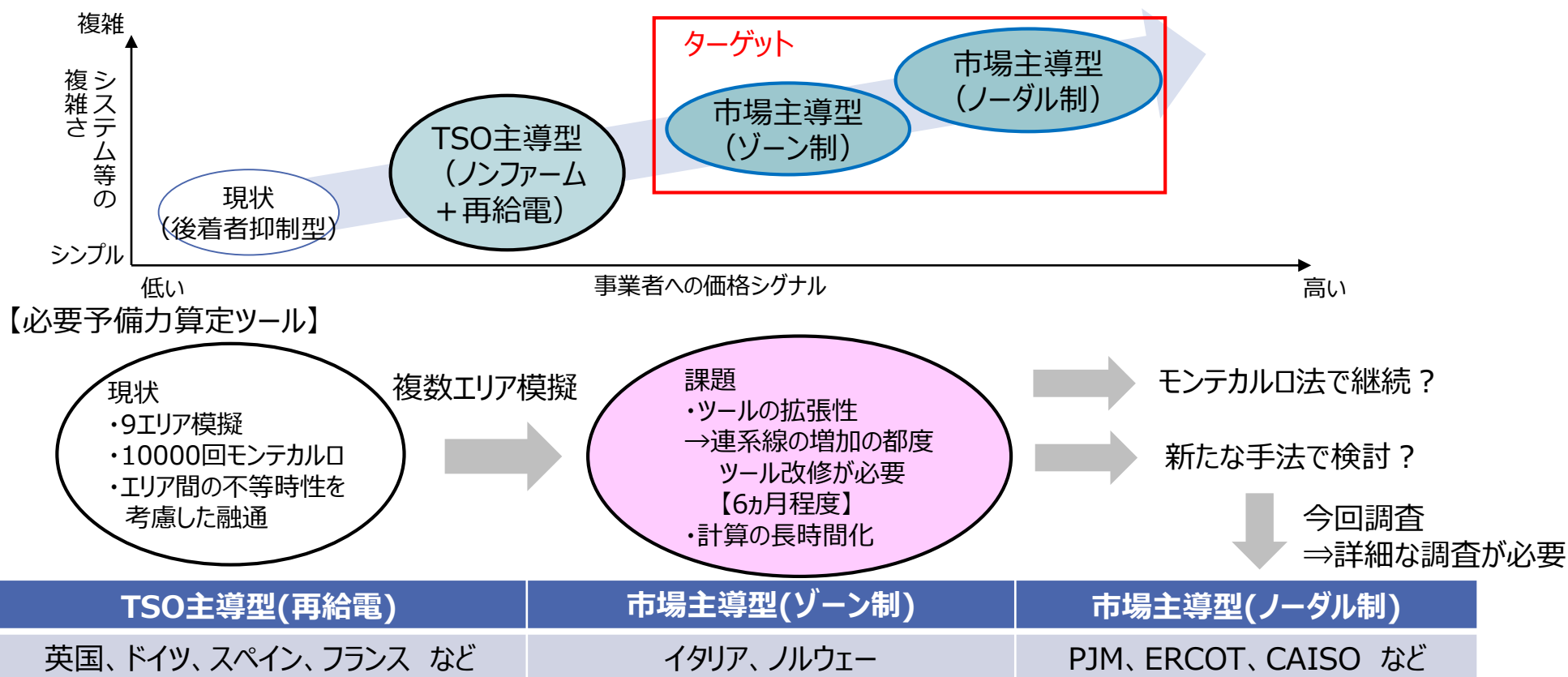


欧米における供給信頼度評価手法に関する 調査委託実施報告

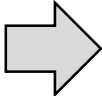
2022年3月18日
電力広域的運営推進機関

- 現状、日本における供給信頼度評価は、EUEを指標としてモンテカルロ手法で8,760時間×10,000回での評価を行っており、エリア間の不等時性を考慮した融通処理等の精緻な評価を行っているが、今後、市場主導型の混雑管理が導入される場合には、新たに系統の逆潮流による混雑を考慮した評価を行う必要がある。
- 評価方法として、混雑が顕在化したエリアを分割し、送電線の運用容量を考慮した評価を行うことが考えられるが、複数エリア模擬に伴うツールの拡張性、更なる計算時間の長時間化が課題となっている。
- このため、市場主導型の混雑管理が導入された場合に、モンテカルロ手法を継続するのか、新たな手法を取り入れるのかを検討する必要があり、ノーダル制を導入しているPJMの供給信頼度評価に関する海外委託調査を実施。
- また、調査にあたっては、欧米各地域における評価手法についても調査を実施。



- ①PJMにおいて再エネ等の逆潮流による系統混雑を踏まえた供給信頼度評価が実施されているかを調査。
- ②日本における適用可能性の検討やツール開発に必要となる、計算方法および需要・供給力・連系線の詳細な模擬方法、背景・考え方の詳細を調査。
- ③欧米各地域における評価手法についても調査。

	主な事前調査結果
系統混雑を踏まえた供給信頼度評価	系統制約がある地域をLDA(Location Deliverability Area)として設定し、ゾーン単位で評価しているようであるが、 再エネの逆潮流による系統混雑を考慮しているか不明。
算定概要	畳み込み法により各週の停電確率を求め、52週分の合計により年間の停電確率を求める。
需要模擬	過去の数年間の各週のピーク需要実績から標準偏差により週ピークの確率密度関数を求める。
供給力模擬	ユニット所有者から、容量、計画停止、計画外停止情報を受領し、確率密度関数を求める。
連系線融通模擬	隣接エリアから常に融通可能という前提で目標の停電量となる融通量を求める。 LDA間の一方向の融通のみ模擬。 融通量の供給力への反映方法が不明。
再エネの考慮	不明
揚水の考慮	不明



主な調査内容

- ・ PJMにおいて**再エネの逆潮流による系統混雑を踏まえた供給信頼度評価の手法について調査**するとともに、適用することを踏まえた**具体的な算定手順や算定内容、考え方も含めて調査**を実施。

<算定概要>

- ・ 確率密度関数による停電確率の算定手順は。
- ・ どのような考え方で評価を行っているのか。

<供給力>

- ・ ユニット所有者からの情報を元にどのように模擬しているか。算定手順、算定内容は。

<連系線融通>

- ・ どのような考え方で、隣接エリアから常に融通可能という前提で算定しているのか。
- ・ 一方向の融通のみを模擬している理由は。その考え方で問題ないか。
- ・ 融通量を供給力にどのように反映しているか。

<再エネの考慮>

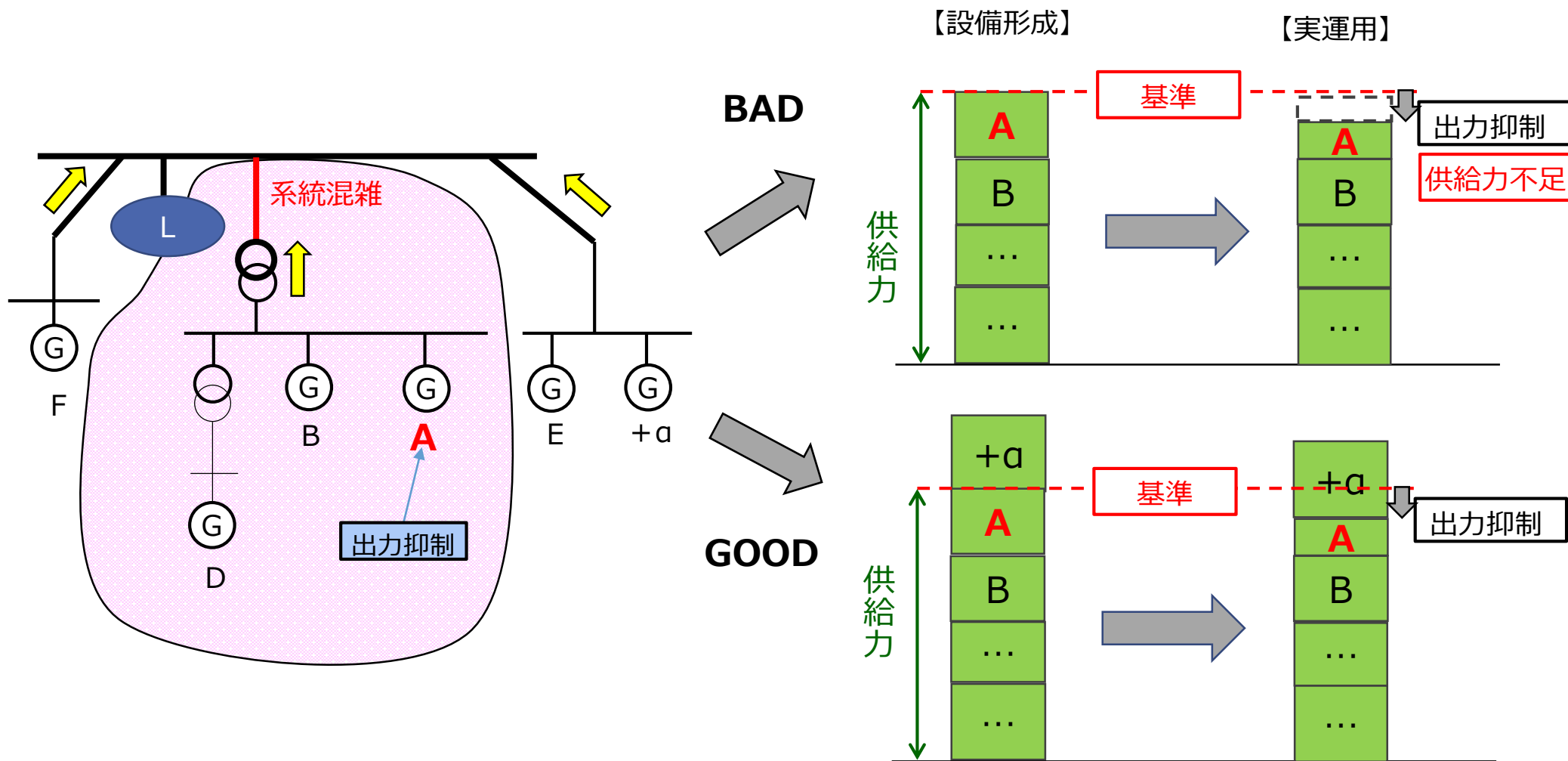
- ・ どのように供給力に織り込んで評価を行っているか。

<揚水の考慮>

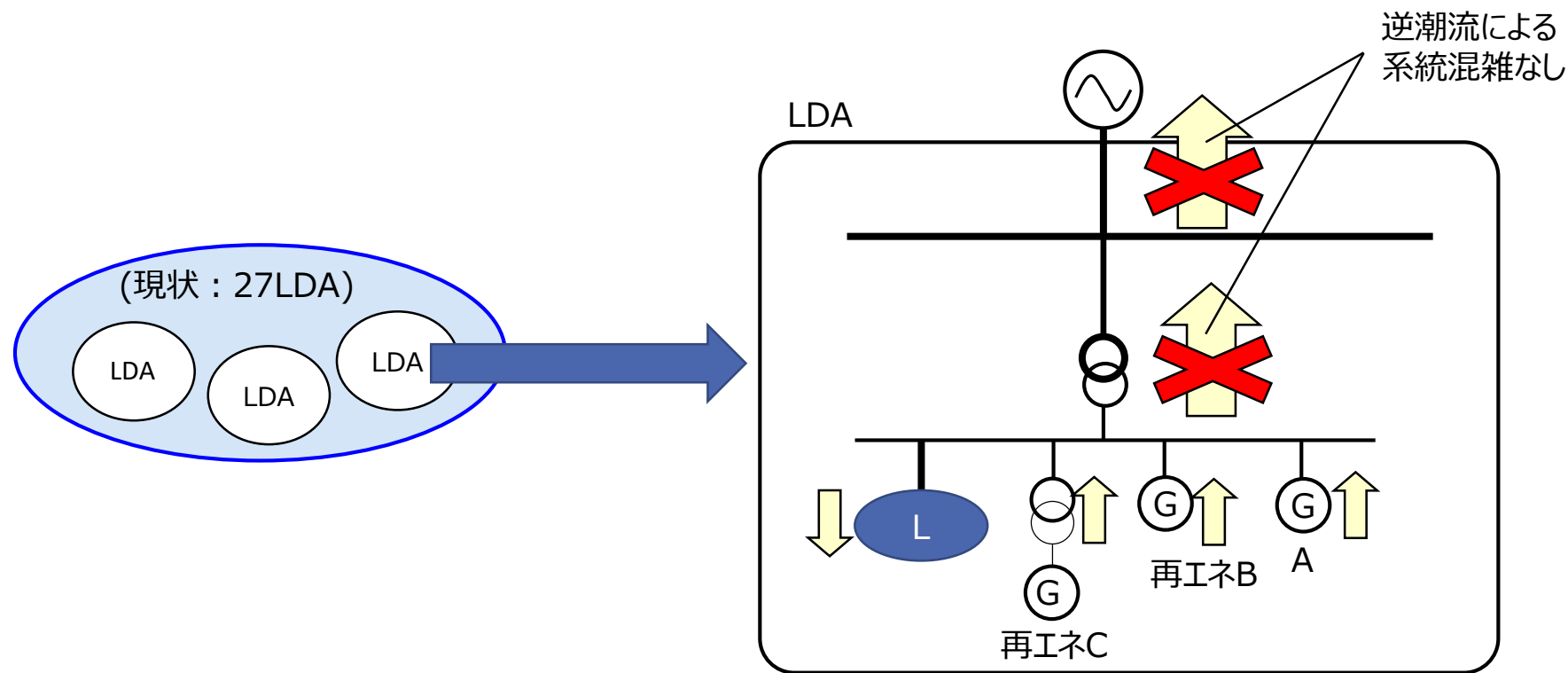
- ・ 揚水の有無の確認及び供給力への反映方法は。

①再エネの逆潮流を考慮した供給信頼度評価 系統混雑を踏まえた供給信頼度評価の課題

- 系統混雑に伴う出力抑制が発生すれば、系統全体として、供給信頼度基準を満たす供給力が存在していたとしても、混雑系統の発電機が出力抑制されることで、必要な供給力を満たさなくなり、停電に至る懸念があるため、混雑系統を模擬した評価方法の検討が必要。
- このため、PJMに対して、上記課題に対してどのような手法で対応されているか調査を実施。



- PJMでは、今後再エネの普及が大幅に増加する懸念があるものの、現時点で再エネの逆潮流による系統混雑が顕在化していないため、逆潮流を考慮した供給信頼度評価を実施していないことを確認。



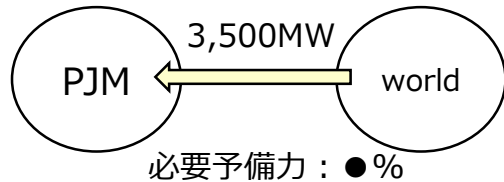
②PJMにおける供給信頼度評価に関する調査 PJMにおける容量市場の流れ(全体概要)

6

- PJMにおける供給信頼度評価の流れは、予備力調査でLOLE基準を満たす予備力を算定するとともに、各LDAで系統制約により受電できないことがあるかを確認。
- 別途、再エネ等について、火力等の安定的な電源に対する価値を表す係数(ELCC)を求め、容量市場を実施。

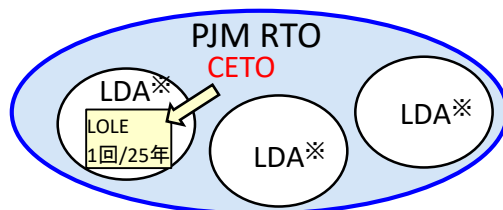
A RRS(予備力調査)

- PRISM 2エリアモデルを使用し、PJM以外の地域(ワールドエリア)からの融通も考慮したうえで、PJM全体でLOLE:1回/10年となる必要な予備力を求める



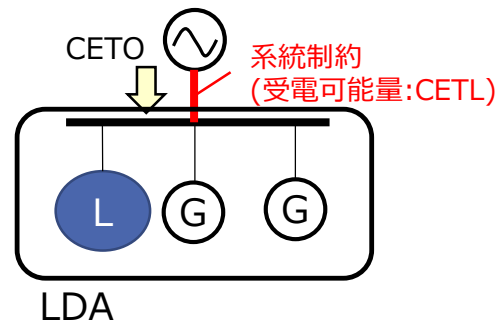
B LDAにおけるCETO調査

【B-1】系統制約のあるエリアをLDAとして設定し、各LDAにおいて1回/25年の停電確率となるために必要な融通受電量CETO算出



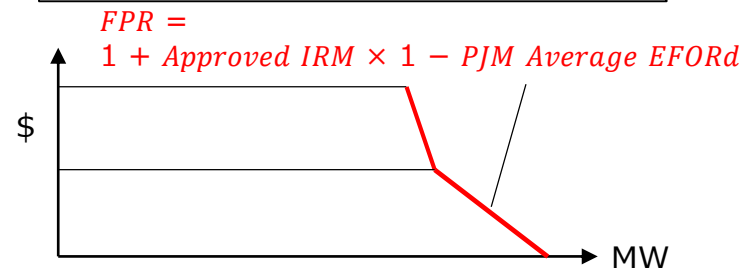
※PJMでは、受電方向の系統制約がある箇所をLDAとして設定しており、現状27LDAが設定されている。

【B-2】各LDAの受電可能量(CETL) > CETOの確認



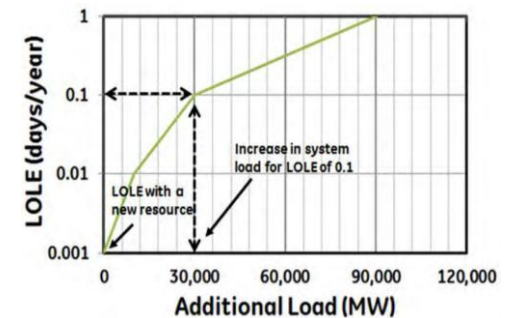
CETL > CETOの場合、系統制約により停電する確率が、PJM全体の信頼度基準よりも十分小さい
 ⇒1回/10年の供給力で供給信頼度を満足
 ⇒PJM全体で容量市場
 CETL < CETOの場合、系統制約あり
 ⇒個別に容量市場or送電線増強

RPM(容量市場)の需要曲線を作成

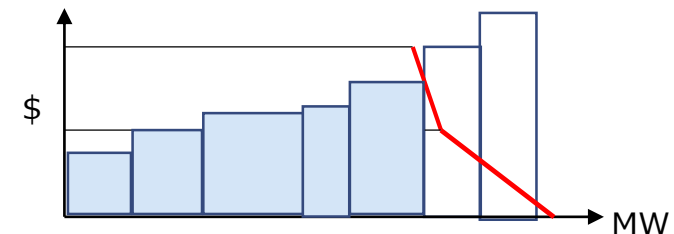


C ELCC

- 再エネ、蓄電池等について、火力と同等の価値を表す係数(ELCC)を求める。



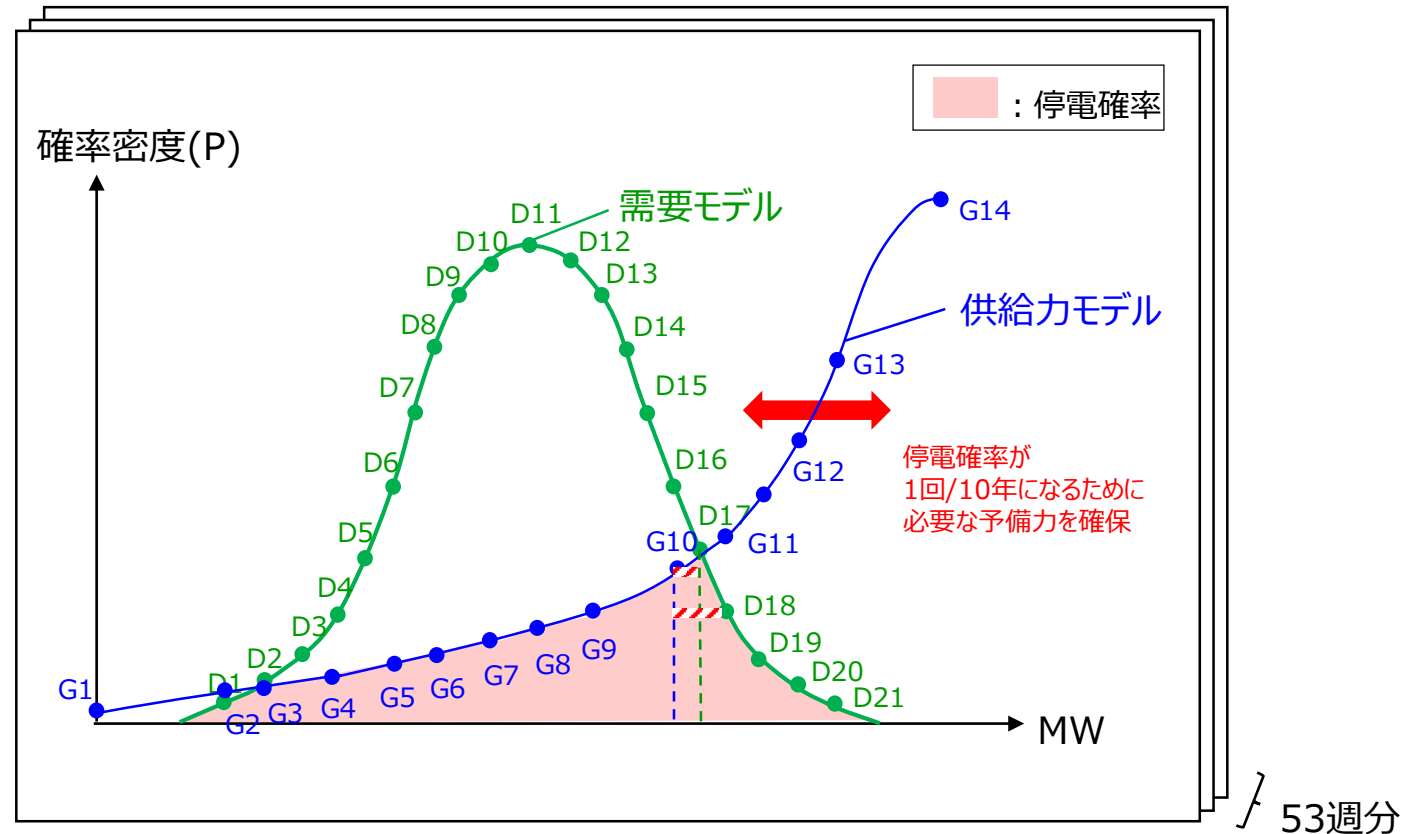
RPM(容量市場)実施



A PJM領域全体での必要予備力の算定(コンボリューション法の概要)

- PJMでは、信頼度基準の指標として、LOLEが採用されており、1回/10年の基準を満たす必要な予備力を算定し、容量市場を実施している。
- LOLEの算定には、コンボリューション法が採用されており、需要と供給力の確率密度関数を模擬し、停電確率を算定している。
- なお、断面としては、週の1点ピークのみを想定しており、この断面の停電確率×5を53週分積分して、年間の停電確率を求めている。

【コンボリューション法のイメージ】

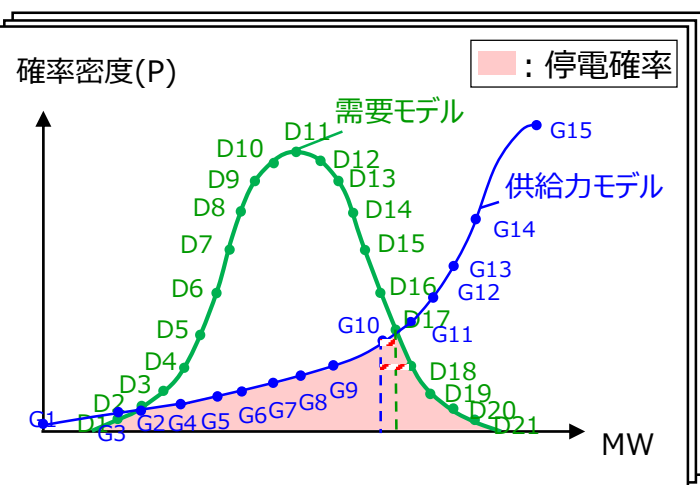


A PJM領域全体での必要予備力の算定(連系線の融通模擬)

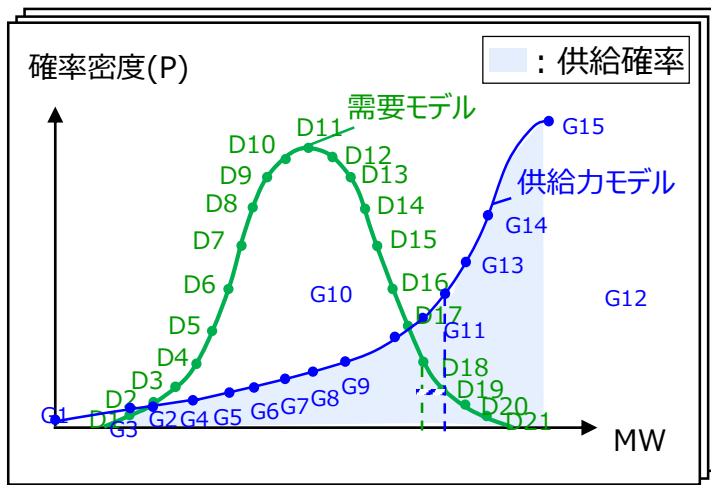
- 連系線の融通模擬としては、PJMエリアの停電確率と別に、ワールドエリアの供給確率を求め、ワールドエリアの停電確率からワールドエリアの供給確率を差し引くことでPJMエリアの停電確率を求める。
- PJMでは、LOLE：1回/10年を基準としているため、ワールドエリアからの受電を考慮して、必要な供給力を求めている。(各ワールドからの融通量は、合計で3,500MW)
- なお、供給確率の模擬としては、週の1点ピークの需要と供給力を模擬した差分を使用しており、精緻にエリアの不等時性を考慮することはできないため、MARSと呼ばれるモンテカルロ法のツールを使用して補完的な供給信頼度評価がなされている。

【PJMエリア】

【worldエリア】



【PJMエリアの停電確率】



【worldエリアの供給確率】

+

=

融通実施後の
PJMエリアの停電確率

B LDAにおけるCETO調査

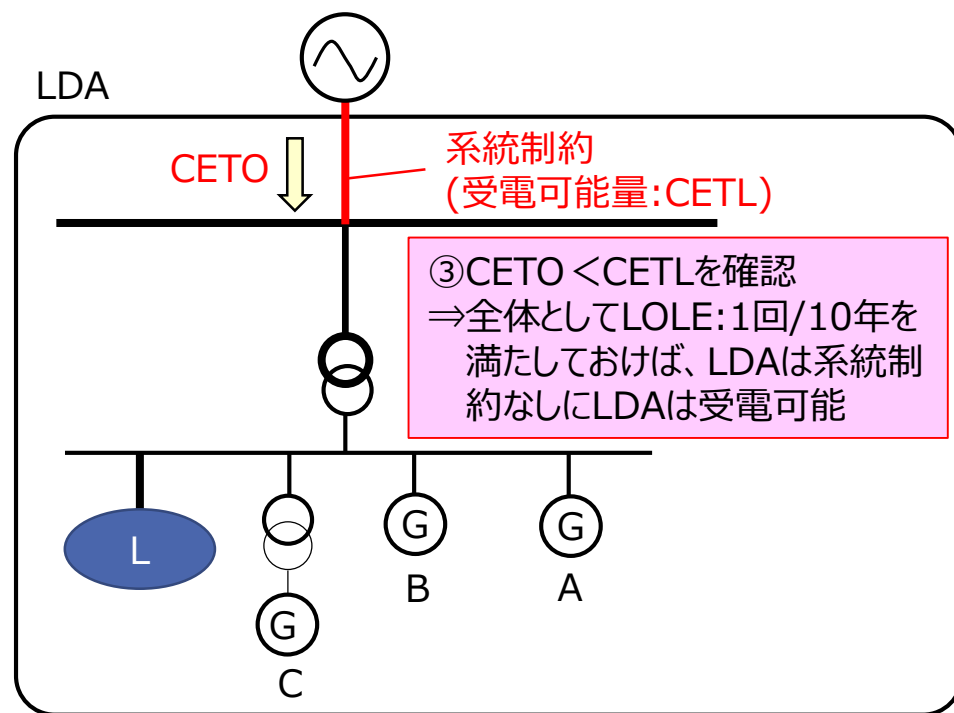
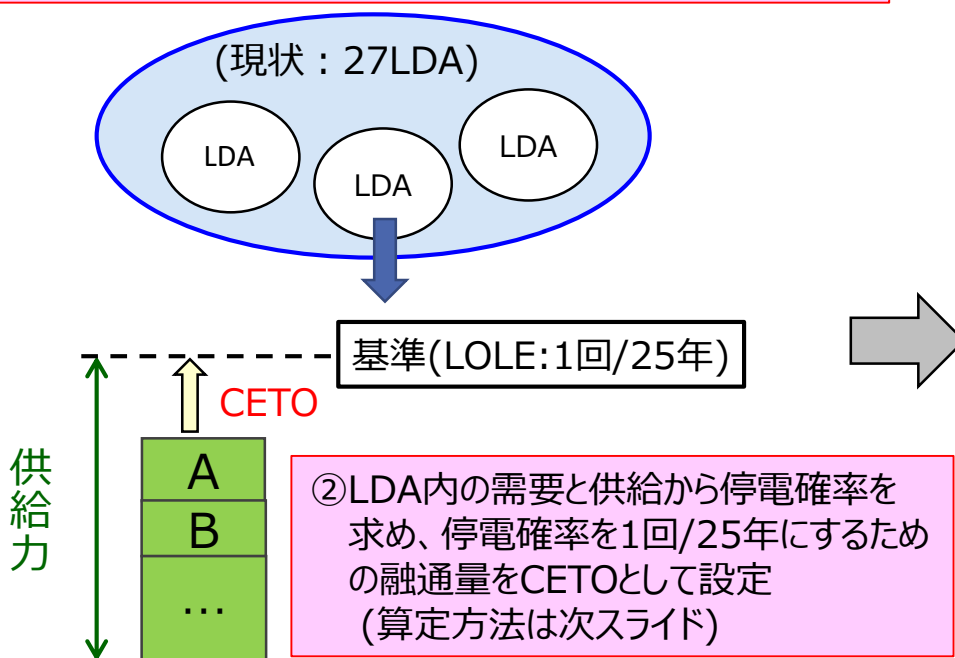
■ 各ゾーンにおける受電方向の系統制約によらず信頼度を満たすことを以下の手順で確認している。

- ①PJM領域全体で、信頼度基準(LOLE:1回/10年)を満たす必要供給力を確保
- ②系統制約(受電)に懸念があるエリアをLDAに設定し、LDA内の需要と供給力から求めた停電確率をLOLE:1回/25年にするために必要な融通量をCETOとして設定
- ③連系設備の受電可能量CETLよりもCETOが小さいことを確認することで、系統制約による融通制約は、1回/10年よりも十分に小さい確率でしか発生せず、LDAは系統制約なしに受電可能としている。

※ CETO > CETLとなる場合、容量市場オークションを別途開催、または、送電線増強の対象となる。

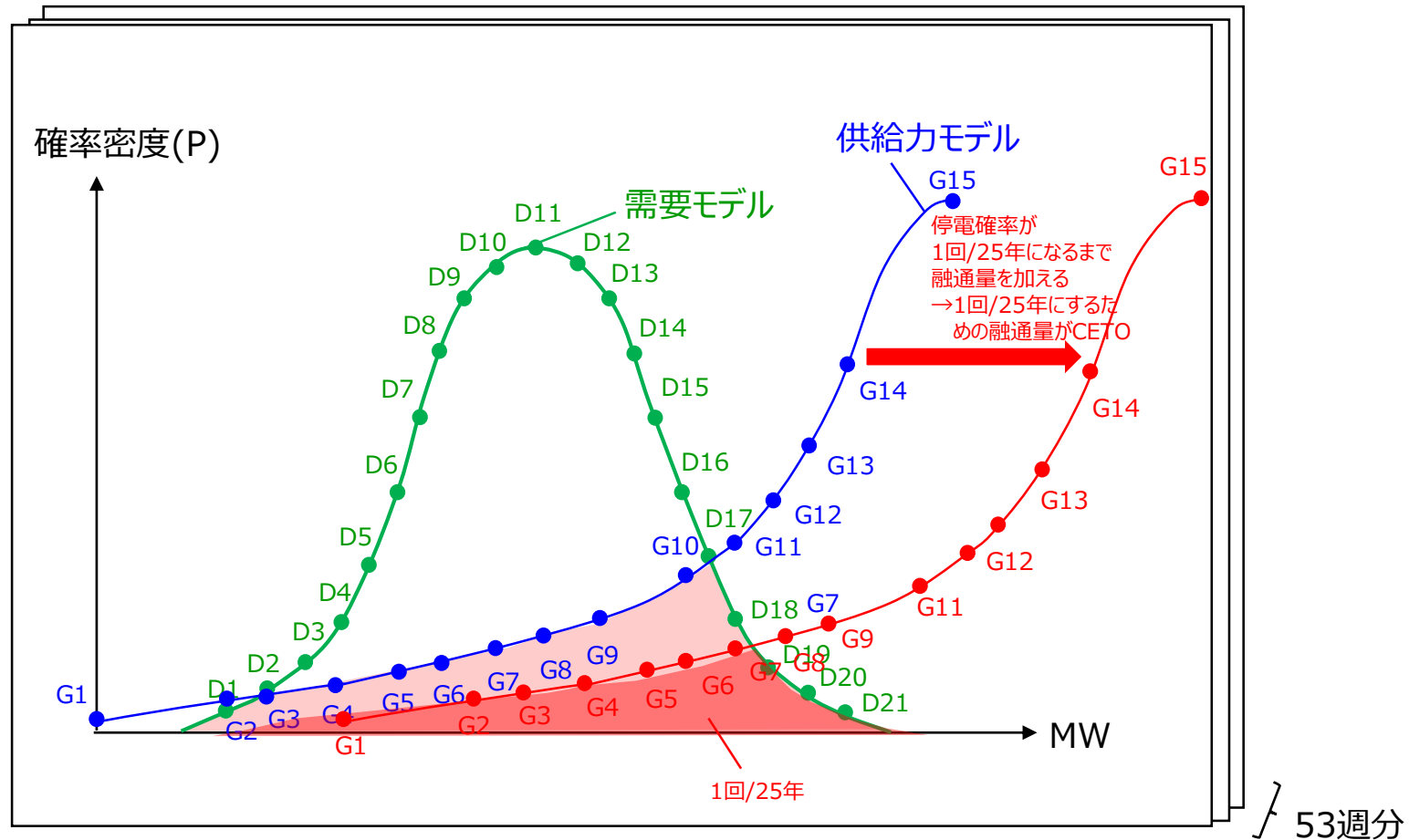
また、他地域から当該LDAに送電可能であることもRTEPと呼ばれる送電線の増強可否調査の中で確認される。

①PJM 領域全体(LOLE:1回/10年の供給力を確保)



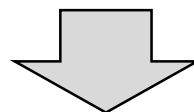
- LDA内の需要と供給から停電確率を求め、停電確率が1回/25年になるように供給力モデルに融通量を加えた際の融通量がCETOとなる。

【CETO算出のイメージ】



- 1970年代から現在に至るまでLOLEを指標にコンボリューション法にて供給信頼度を評価しており、具体的には、需要と供給の確率密度関数から需要が供給を上回る確率を求めており、**1年の52週のピーク需要とその週毎の計画外停止を考慮した供給力の確率密度関数を掛け合わせて、LOLEを算定**している。
- しかしながら、上記の方法では、週のピーク1点しか模擬できずないため、**再エネの1時間毎の変動を模擬することが課題**となっており、今後、主要な評価をモンテカルロ法に移行することが検討されている。

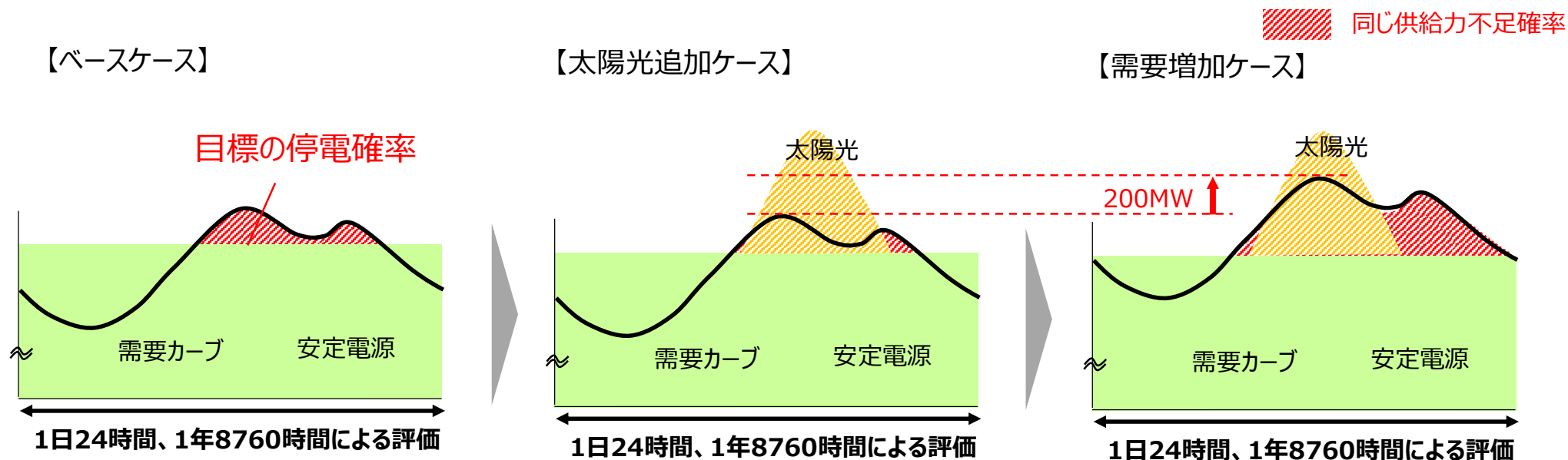
	内 容
評価方法	・コンボリューション法
課題	・不等時性を考慮したエリア間の融通が模擬できないため、MARS:モンテカルロで補完的に対応(8スライド) ・週ピークに対応する停電確率のみの算定しかできず、再エネの1時間毎の変動を模擬することが不可能



モンテカルロ法への移行を検討中

C 再エネ・揚水等の評価方法(ELCC)

- ELCC(Effective Load Carrying Capability : 供給信頼度対応能力)とは、日本で算定している調整係数と同様のものであり、容量市場を行う前に算定し、安定電源と同等の評価を行うための係数である。
- 算定は、日本と同様、モンテカルロ法にて算定されるが、ベースケースとして安定電源のみで目標の停電確率となる設備量を定めた後、算定対象の電源を導入した際に、需要をどれだけ増やせば目標の停電確率となるかを算定している。
- 算定方法は異なるものの、需給バランスにおいて電源を減らして評価するか、需要を増やして評価するかの違いであり、日本と同等の考え方が採用されていることを確認した。

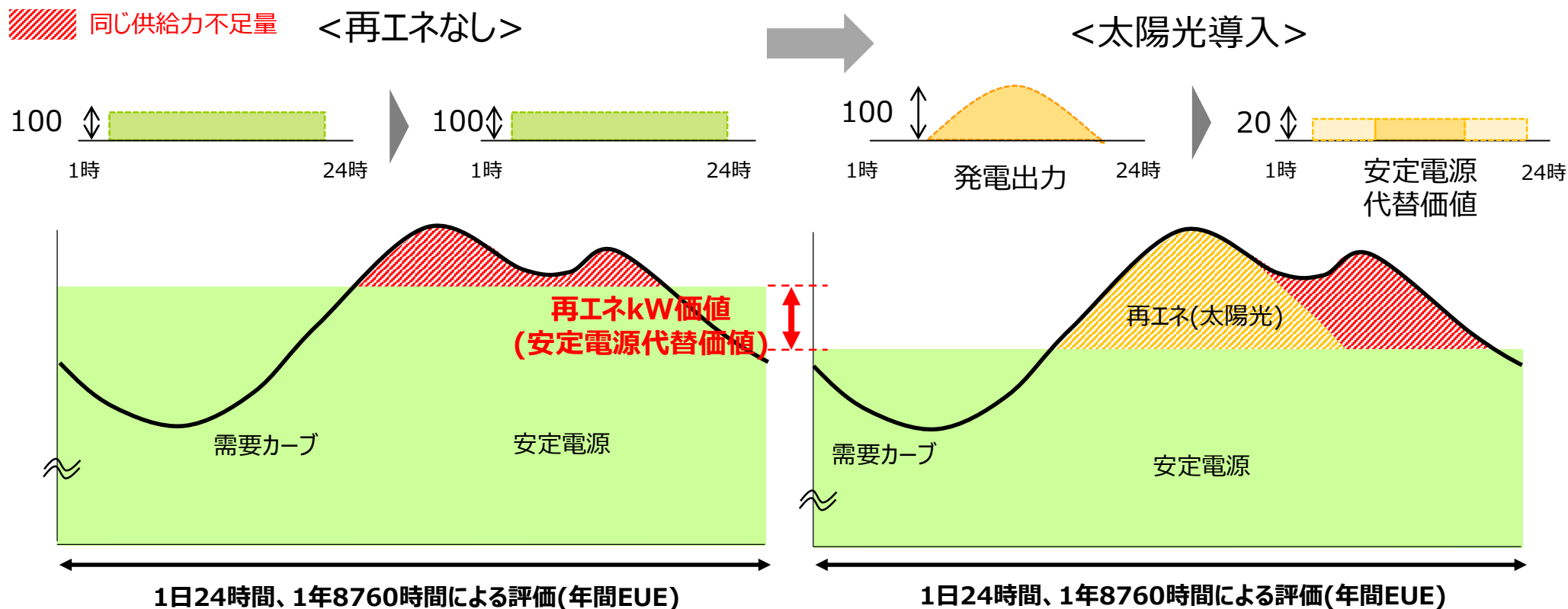


【供給信頼度対応能力の算定】

太陽光設備追加量: 1,000MW
需要増加量: 200MW

ELCC: 20%

- 8760時間のEUE算定による供給信頼度評価においては、供給力不足の発生時期などに違いがあっても、供給力不足量(kWh)が同じであれば、同じ供給信頼度として評価することとなる。
- 安定電源はどの時間帯も停電リスクを回避することが出来ることから、安定電源を基準として、再エネの供給力評価は再エネ導入有無による安定電源の必要量の差分による価値を評価できる。
⇒安定電源代替価値を算出し、設備量で除することで調整係数を算出



PJM以外の地域における供給信頼度評価(1/3)

- PJM以外の地域で採用されている供給信頼度評価手法について調査した結果、ほとんどの地域で日本と同様、モンテカルロ法が一般的に採用されている状況。

	NERC	WECC
RA 指標／基準	LOLE $\leq$ 0.1 日/年 (MISO, MRO-Manitoba Hydro, NPCC, PJM, SERC, SPP, TRE-ERCOT, WECC-NWPP-US & RMRG), LOLP $\leq$ 0.002% (WECC-AB, WECC-BC, WECC-SRSG), PRM $\geq$ 15% (WECC-CAMX)	LOLP $\leq$ 0.002% (WECC-AB, WECC-BC, WECC-SRSG), LOLE $\leq$ 0.1 日/年 (WECC-NWPP-US & RMRG), PRM $\geq$ 15% (WECC-CAMX)
RA 方法	PRM計算のための決定論的手法(LTRA) LOLE計算のためのモンテカルロ法(ProbA)	コンボリューション法
適用開始年	2005年	2005年
概要	NERCは、北米の夏期・冬期および10年間の長期 に影響しうる総合的な信頼性、妥当性、関連リス クを独自に評価し、報告する責任を負っている。NERCは以下の報告書を作成している： - 長期信頼性評価（LTRA）は、最大10年の計画期間を対象としている。 - 確率論的評価（ProbA）は、LTRAの2年目と4 年目の確率論的評価を対象としている。 - 季節的評価では、4ヶ月（6-9月）の夏期と3ヶ月（12-2月）の冬期を調査する。 - 特別信頼性評価では、通常、LTRA で特定された問題のうち、より詳細な分析を必要とする問 題に焦点を当てる。	WECCのRA調査は、今後10年間の 西側連系システム全体の負荷とリソースの変化に起因する基幹系統に対する潜在的な信頼性リスクを特定するものである。WECCは毎年、西側 供給信頼性評価（WARA）報告書を作成している。
ツール	決定論的ツールは指定されていない 確率論的ツールは NERC 地域によって異なる(参 照 Appendix B – Summary of Inputs and Assumptions in the ProbA)	MAVRIC

③欧米各地域における評価手法 PJM以外の地域における供給信頼度評価(2/3)

	NPCC	CAISO
RA 指標／基準	LOLE $\leq$ 0.1 日/年	PRM $\geq$ 15% LOLE $\leq$ 0.1 日/年
RA 方法	モンテカルロ法	PRM計算のための決定論的手法 LOLE計算のためのモンテカルロ法
適用開始年	1990年	2014年
概要	NPCCはニューヨーク州の非営利団体で、北米北東部の国際的に連系される基幹系統の信頼性を促進・強化する責任を担っている。NPCCは、5年間の予測をカバーするNPCC長期信頼性概要と、NPCC各地域の中間/包括的なRALレビューを作成している。	CAISOは、加盟電力会社が発電・送電する、カリフォルニア州の基幹電力系統、送電線、電力市場の運営を監督している。送電系統が確実かつ効率的に運用されるよう、CAISOのRAの役割は以下の通りである； - カリフォルニア州の主要なインフラ計画プロセスをサポートするための長期調達計画（LTPP）の評価 - カリフォルニア州の予想される需給状況を季節ごとに評価する「夏季の負荷と供給力の評価レポート」の作成。
ツール	MARS	PLEXOS

PJM以外の地域における供給信頼度評価(3/3)

	ENTSO-E	イギリス
RA 指標／基準	LOLE ≤ 3-8 時間/年 (加盟国によって異なる)	LOLE ≤ 3 時間/年
RA 方法	モンテカルロ法	モンテカルロ法
適用開始年	2009 年(2021年、ERAAがスタート)	2012年
概要	理事会規則 (EC) No.714/2009 の第8条に基づき、ENTSO-E は以下の見 通しを策定している； • 季節別見通し (Seasonal Outlook) は、冬期と夏期を対象に 半年ごとに発行される。 • 欧州供給信頼性評価 (ERAA) は、毎年発行される法的拘束力のある RA調査である。1年から10年先までのLOLEとUSEを予測する。また、容量メカニズムの必要性を検討する ために、経済的な実行可能性評価も行う。	2012年から2014年にかけて、英国のTSOであるOfgemは、2011年電気事業法に基づき義務づけられている電力 容量評価報告書を国務長官に提出した。この報告書では、今後4年間のさまざまな電力容量マージンと、各代替案に関する供給安定性へのリスクを評価している。2015年以降、エネルギー・気候変動省は、2018/2019年冬からの容量市場導入を決定した後、この義務を撤廃した。2014年以降、政府は、National Gridに、「電力容量評価報告 書」を作成することを要求している。
ツール	ツールは明示されていないが、ENTSO-Eは中期信頼性予測において ANTARES、BID3、GRARE、PLEXOS、PowrSymを使用。	BID3 (2014年に開始)

PJM以外の地域における供給信頼度評価(3/4)

	イタリア	(ノルウェー) Nordic Grid
RA 指標／基準	LOLE ≤ 3 時間/年	電力余力（1時間ごとの消費を差し引いた、1時間あたりの供給可能量）
RA 方法	モンテカルロ法	モンテカルロ法
適用開始年	2017年(最も古い報告書の発行)	2019年(RA解析で発表された最も古い 報告書)
概要	Ternaでは、規則（EU）2017/1485（SOGI）第106.1条に基づき、RA分析を実施している。季節ごとのRA報告書は： • ENTSO-Eエリア全体におけるアデカシーに対する潜在的なリスクを分析。 • 個別または他のTSOと協力して取るべき可能な対策を提示し • その結果をステークホルダーと共有し、リスク低減に必要な行動を促進。Ternaはまた、その結果をステークホルダーと共有し、リスク低減に必要な行動を促進する。	北欧のTSO（Energinet、Fingrid、Statnett、およびAffärsverket svenska kraftnät（Svenska kraftnät）は、将来のシステムニーズを調査するために北欧送電網開発計画（NGDP）を策定している。NGDPは、各国の計画プロセスとENTSO-E 10年ネットワーク開発計画（TYNDP）との間の補完的な橋渡しとして機能することを意図している。
ツール	GRARE	BID3 および EMPS

PJM以外の地域における供給信頼度評価(4/4)

	フランス	ドイツ	オーストラリア (Australian NEM)
RA 指標／基準	LOLE ≤ 5 時間/年	LOLE ≤ 3 時間/年	NEUE < 0.002%
RA 方法	モンテカルロ法	モンテカルロ法 モンテカルロ・シミュレーションの検証のため の決 定論的手法	モンテカルロ法
適用開始年	2006	2005	2009
概要	エネルギー法で定められているように、発電量のRA評価はフランスの送電システムオペレーター RTE が2006年9月20日の政令に基づき、2年ごとに、またその間の隔年で部分的に補正して行っている。 さらに、RA分析は、Pentalateral Energy Forum およびENTSO-Eの委託で行われるSORとERAAの委託で行われるRegional Generation Adequacy Assessmentにカバーされている。	RA分析は、Pentalateral Energy Forumの依頼で行われたRegional Generation Adequacy Assessmentや、連邦経済エネルギー省の依頼で Consentec社とr2b Energy Consulting社が行った 別の調査でカバーされている。	AEMOは、オーストラリア全国電力市場（NEM）を運営している。システム計画の一環として、AEMOは以下の報告書を作成している： • ESOOは10年間のRA研究であり、毎年発行される。 • EAAPは、エネルギー制約シナリオのUSEを予測するために毎年発行される2年間のRA研究である。 • MT PASAは、中期的なUSEを予測するための2年間のRA研究で、毎週発行されている。
ツール	ANTARES	ANTARES (モンテカルロ法) AMPRION (決定論的手法)	PLEXOS

- PJMにおいては、コンボリューション法を採用しているが、再エネ等の逆潮流による系統混雑を踏まえた信頼度評価は行っておらず、また、日本のモンテカルロ法による評価と比較し、詳細な評価は行っていない状況。
- 特に、日本の評価においては、連系線の融通模擬が重要であり、不等時性を考慮した融通を模擬できないコンボリューション法の採用は困難と考えられる。
- また、PJMにおいても再エネ・揚水の評価として、日本と同様に安定電源代替価値の考え方が採用されているが、算定においてはモンテカルロ法が採用されており、必要供給力と再エネ・揚水評価の一貫性の観点からもモンテカルロ法を採用すべきと考えられる。

	日本	PJM
系統混雑を踏まえた信頼度評価	—	受電方向のみ評価
評価方法	・モンテカルロ法 (8,760h評価)	・コンボリューション法 (週ピーク1点×53週評価)
需要	過去実績をもとにしたベース需要に加え 気温影響、その他影響を評価	過去実績を元にした週ピークの標準偏差のみ
供給力	ユニットの計画外停止実績を考慮	日本と同様
連系線の融通	不等時性を考慮	一方向のみであり、不等時性の考慮なし
再エネ・揚水	安定電源代替価値	同様の考え方でELCC※を採用 ※ELCCの算定のみモンテカルロ法で実施