

確率論的必要供給予備力算定手法に関する分析 ＜別冊2＞

2017年3月

電力広域的運営推進機関
調整力及び需給バランス評価等に関する委員会

- (1) 各エリアの必要供給予備率の解の一意性について・・・ 今回添付なし(第10回委員会資料3参照)
- (2) エリア規模と必要供給予備率の関係について …… 今回添付
- (3) 太陽光発電の導入量が適切な供給予備力(率)に与える影響
・・・ 今回添付なし(第11回委員会資料5参照)

緑付箋は、第11回委員会資料からの変更点

(2) エリア規模と必要供給予備率の関係

- 本検討においては、前提を単純化した簡易モデル(各エリアの需給特性を等価とする等)にて検討することで、「エリアの規模と必要供給予備率の関係※について」、可能な限り理論的な特徴を捉え、その特徴が実モデルによる検討結果に傾向として表れていることを確認した。
- 本検討結果から、「エリアの規模と必要供給予備率の関係について」、その理論的な特徴を確認することができたと考える。
- ただし、実際の需給特性は各エリアで異なる(エリア毎の需要ピーク時期の違いも含む)こと、連系線の制約があること等から、本検討どおりの傾向とはならない場合があることに留意が必要。
 - ※ 本資料では、「必要供給予備率」と「供給信頼度の指標」とは密接な関係があること、及び検討の容易化のため「エリアの規模と供給信頼度の指標の関係」について分析を行った。

〔基礎的検討〕

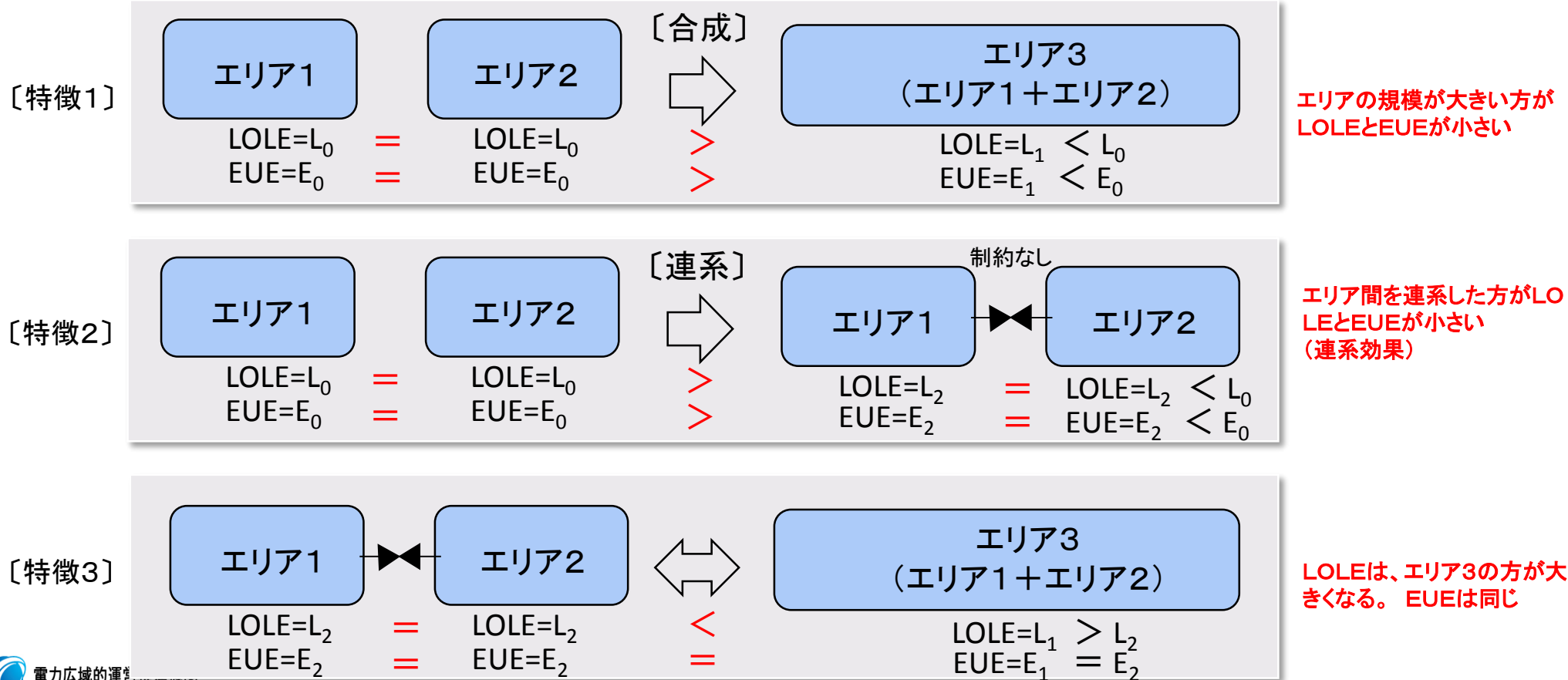
(1) 供給信頼度の指標の基本的な特徴

供給信頼度の指標の基本的な特徴

「単独時」と「合成時」「連系時」の関係に関する基本的な特徴を追加

- 電源の1台あたりの出力と台数、需要の規模と変動量(但し、エリア間の相関なし)が等価(以下、「単位需要あたりの需給特性が等価」と呼ぶ)な「2つのエリアを合成※1」又は「2つのエリアを連系(制約なし)」させた場合の、LOLEとEUEの関係(特徴1~3)は以下のとおり。(⇒ 詳細はp.8~11参照) なお、この時のエリア1~3の関係を「単位需要あたりの需給特性が等価」と呼ぶ。
- また、ここでのEUEは、エリア規模比で割ったEUEの値を示す。(以下、同じ)

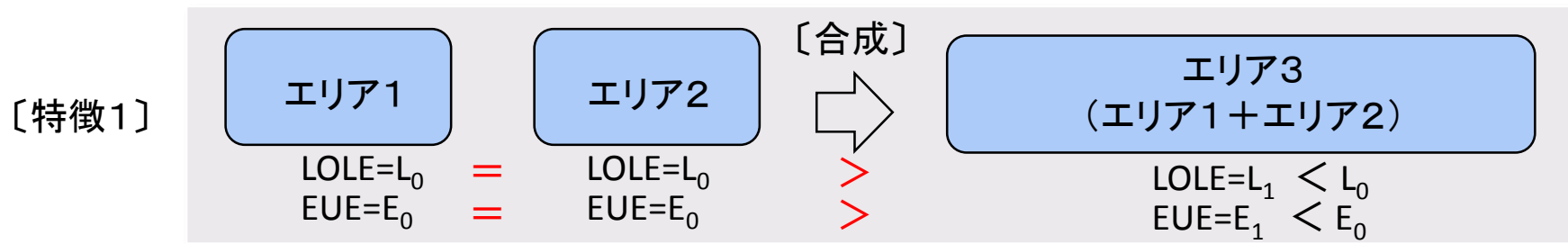
※1 エリア1と2の電源と需要を合成してエリア3を設定 (=エリア3の需要及び電源数は、エリア1(又は2)の2倍)



※2 EUEは、エリア規模比で割った値。

- 等価なエリア1と2※1を「合成(⇒エリア3)」した場合、合成後のエリア3のLOLEとEUEは、合成前のエリア1と2よりも小さくなる。
- これは、エリアの規模が大きくなるほど、LOLEとEUEが小さくなる(供給信頼度が高い)ことを示している。

※1 エリア1と2は等価なので、エリア1と2のLOLEとEUEは等しい。



| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 需要 | 100 | 100 | 200 |
| 供給力 | 105 (5×21台) | 105 (5×21台) | 210 (5×42台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5 | 5 | 5×√2※2 |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% | 2.5% |
| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
| LOLE(時間) | 0.34 | 0.34 | 0.29 |
| EUE(kWh)※3 | 1.47 | 1.47 | 0.82 |

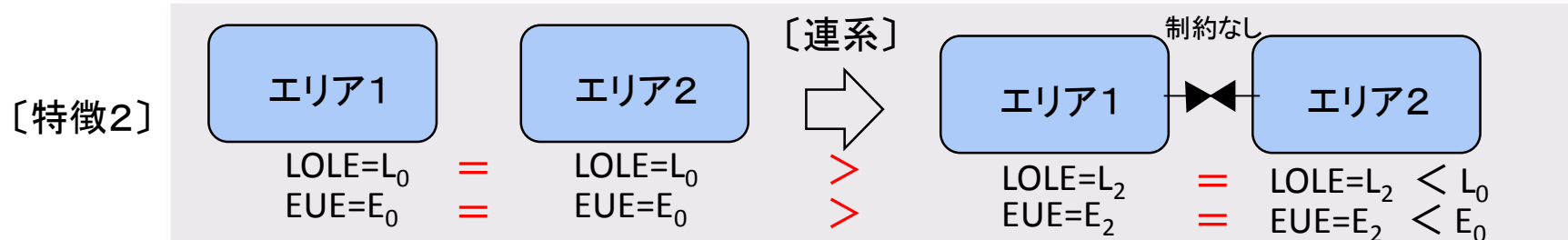
LOLEはエリア3の方が小さい

EUEはエリア3の方が小さい

※2 需要変動(相関なし)の標準偏差は、統計の法則に従えば、需要規模比のルートに比例するため、√2倍となる。

※3 大規模エリアのEUEは、2(需要規模比)で割った値

- 等価なエリア1と2を「連系」した場合、連系後のエリア1と2のLOLEとEUEは、連系前と比べ小さくなる。
- これは、連系効果により、各エリアのLOLEとEUEが小さくなる(供給信頼度が高くなる)ことを示している。



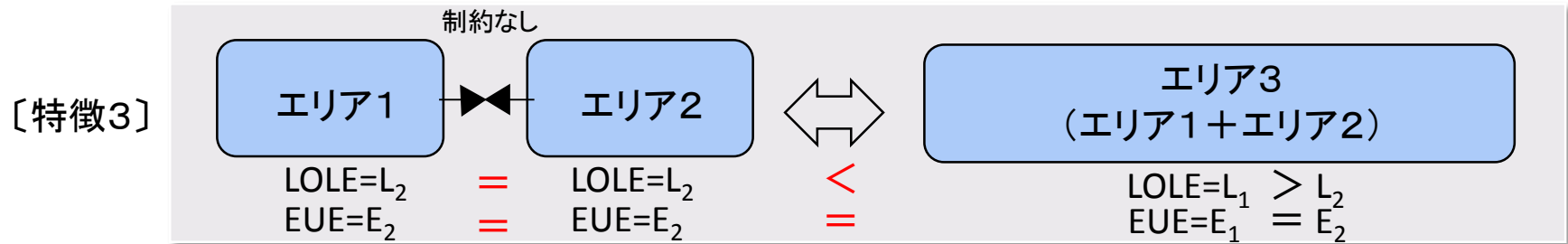
| | エリア1 | エリア2 |
|--------------------------|----------------|----------------|
| 需要 | 100 | 100 |
| 供給力 | 105 (5×21台) | 105 (5×21台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5 | 5 |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% |

| | | エリア1 | エリア2 |
|----------|----|------|------|
| LOLE(時間) | 単独 | 0.34 | 0.34 |
| | 連系 | 0.20 | 0.20 |
| EUE(kWh) | 単独 | 1.47 | 1.47 |
| | 連系 | 0.82 | 0.82 |

単独時よりも連系時のLOLEの方が小さい

単独時よりも連系時のEUEの方が小さい

- エリア1と2について、「連系」した場合と「合成」した場合を比較すると、「連系」した場合のエリア1と2のLOLEよりも、「合成」した場合のエリア3のLOLEの方が大きい。一方、EUEは「合成」と「連系」で等しい。
- これは、LOLEが各エリアの不足確率を示す指標であることから、エリアの設定範囲により値が変わる性質をもった指標であることを意味している。
- この特徴をモンテカルロシミュレーションによるLOLE算定イメージにて説明する。(P.11参照)



| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|--------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
| 需要 | 100 | 100 | 200 |
| 供給力 | 105 (5×21台) | 105 (5×21台) | 105 (5×42台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5 | 5 | $5 \times \sqrt{2}^{*1}$ |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% | 2.5% |
| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
| LOLE(時間) | 0.20 | 0.20 | 0.29 |
| EUE(kWh) ^{※2} | 0.82 | 0.82 | 0.82 |

LOLEはエリア3の方が大きい

EUEは同じ

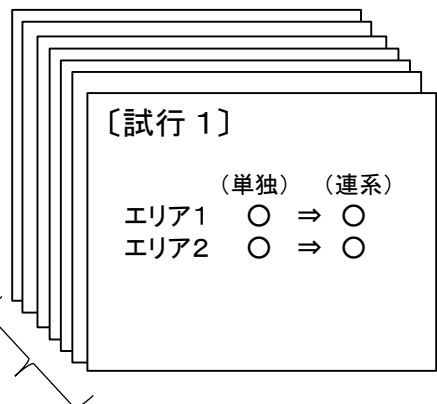
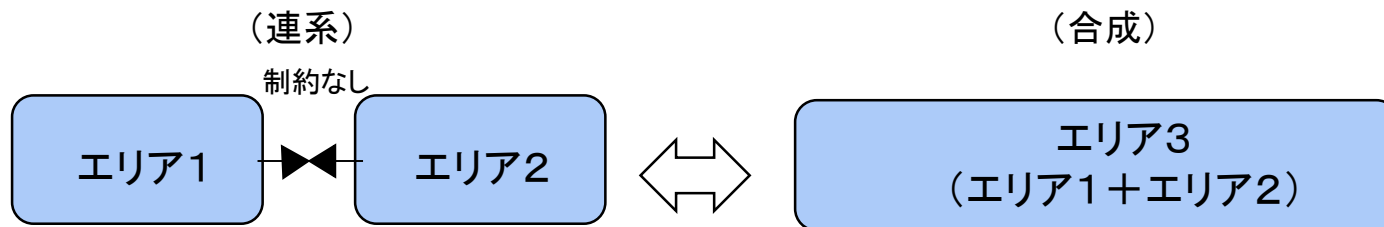
※1 需要変動(相関なし)の標準偏差は、統計の法則に従えば、需要規模比のルートに比例するため、 $\sqrt{2}$ 倍となる。

※2 大規模エリアのEUEは、2(需要規模比)で割った値

- 「連系」した場合に比べ「合成」した方場合のLOLEが大きくなる要因は、不足回数のカウントが「連系」と「合成」で異なることによる。
- 具体的には、いくつかの試行において、エリア1と2で相互応援を行ってもなお一方のエリアに不足が残る場合、「連系」では各エリアで発生した不足のみをカウントするのに対して、「合成」ではどちらか一方のエリアで不足が発生する試行についてすべて不足としてカウントされることから、「合成」の方がLOLEが大きくなる。

※1 LOLEは、断面毎に全試行回数(10,000回)に対する不足発生回数(=不足発生回数÷10,000回)から算定される。

〔モンテカルロシミュレーションによるLOLE算定イメージ〕



| 試行回数 | エリア | 単独予備力 | 連系予備力 | 結果 |
|------------------------|------|-------|-------|----|
| 〔試行 N ₁ 回目〕 | エリア1 | -5 | -3 | 不足 |
| | エリア2 | 2 | 0 | |
| 〔試行 N ₂ 回目〕 | エリア1 | 2 | 0 | |
| | エリア2 | -5 | -3 | 不足 |

試行毎の結果からLOLEを算定

〔連系(エリア1、2)〕
不足回数: 1回 (LOLE = 1/10,000^{※2})

∧

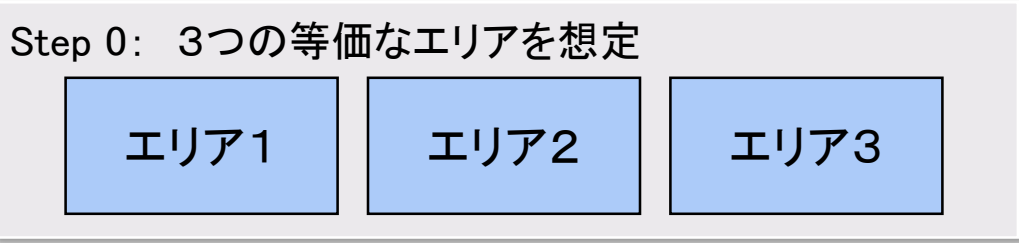
〔合成(エリア3)〕
不足回数: 2回 (LOLE = 2/10,000^{※2})

※2 全試行回数(10,000回)

全試行回数: 10,000回

(2) エリア規模と供給信頼度の指標の特徴に関する一考察

- 連系後の供給信頼度の指標とエリア規模との大小関係の根拠を特定するため、単位需要あたりの需給特性が等価(変動量に関してエリア間の相関なし)で、需要の規模が1:2のエリアを連系した時のLOLEとEUEの関係について、以下の2とおりのステップ(検討パス)にて検討した。



エリア2とエリア3を合成



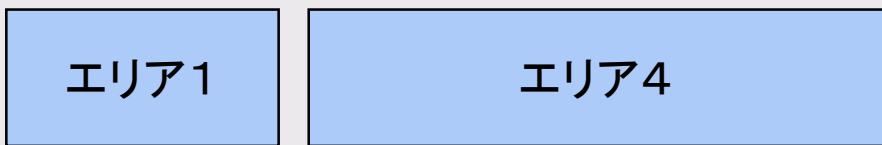
検討パス1

検討パス2

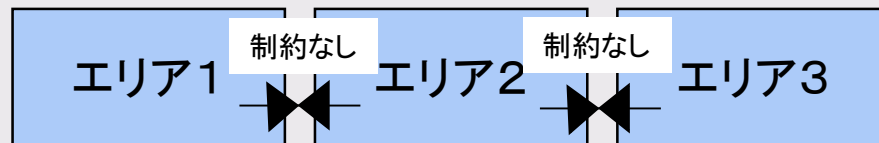


3エリアを連系

Step 1a: 小規模エリアと大規模エリア(連系なし)



Step 1b: 3つの等価なエリアを連系



エリア1とエリア4を連系



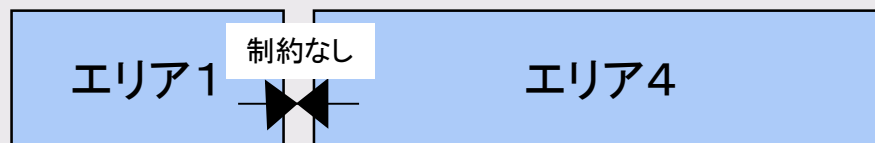
検討パス1

検討パス2



エリア2とエリア3を合成

Step 2: 連系された小規模エリアと大規模エリア



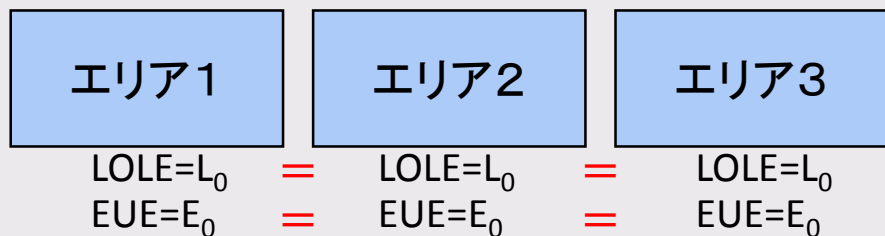
LOLE
EUE

↔
大小関係は?

LOLE
EUE

- 等価な3エリアを考えると、3つのエリアのLOLEとEUEは等しい(Step 0)。
- 次に、エリア2と3を「合成(=エリア4)」とすると、エリア4のLOLEとEUEは合成前の、エリア2と3よりも小さくなる(Step 1a)。(⇒「特徴1」による。)
- 更に、エリア1と4を「連系(制約なし)」すると、連系効果によりエリア1と4のLOLEとEUEは小さくなる(Step 2)。(⇒「特徴2」による)。但し、連系前のLOLEとEUEがエリア1と4で異なることから、連系後のエリア1と4のLOLEとEUEの大小関係について、その根拠の分析が困難。

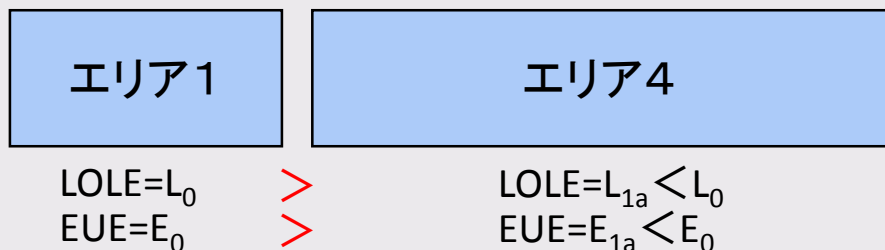
Step 0: 3つの等価なエリアを想定



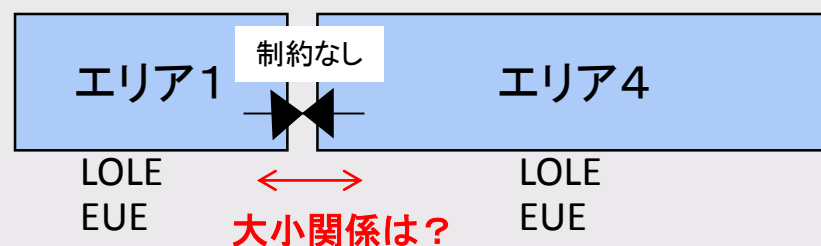
エリア2とエリア3を合成

Step 1a

特徴1



Step 2: 連系された小規模エリアと大規模エリア



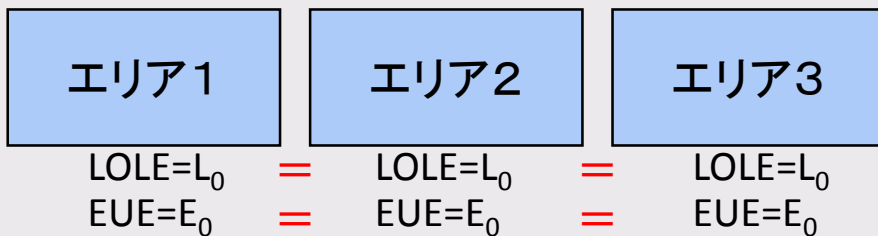
特徴2

エリア1とエリア4を連系

「Step1a」でエリア1と4のLOLEとEUEが異なることから、「Step1a」から「Step2」に移行する際のLOLEとEUEの変化から、エリア1と4の連系後のLOLEとEUEの大小関係の根拠の分析が困難。

- 等価な3エリアを考えると、3つのエリアのLOLEとEUEは等しい(Step 0)。
- まず、エリア1~3を「連系(制約なし)」すると、3つのエリアのLOLEとEUEは単独時より小さくなる(Step1b)。(⇒「特徴2」による) また、3つのエリアは等価なので、エリア1~3のLOLEとEUEは同じ。
- 合成前のエリア1~3のLOLEとEUEは等しいため(Step 1b)、エリア2、3を「合成」しエリア4とした場合に、エリア1のLOLEとEUEがどのように変化するのか、またエリア4のLOLEとEUEが、合成前のエリア2と3からどのように変化するかを調べることで、エリア1と4のLOLEとEUEの大小関係について考察を行った。(p.16~20参照)

Step 0: 3つの等価なエリアを想定



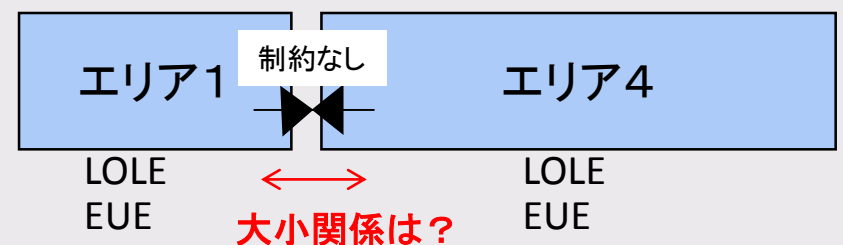
特徴2

3エリアを連系

Step 1b



Step 2: 連系された小規模エリアと大規模エリア



エリア2とエリア3を合成

「Step1b」でそれぞれのLOLEとEUEが等しいので、「Step1b」から「Step2」へ移行する際のLOLEとEUEの変化から、エリア1と4の連系後のLOLEとEUEの大小関係の根拠の分析が可能。

- LOLE・EUEのモンテカルロシミュレーションのある1回の試行において、エリア1、エリア2、エリア3の供給力と需要が決まったとき、以下のパターン※1が考えられる。 ※1 各パターン((0)~(3))の発生確率は異なる

- (0) 全エリアが充足
- (1A) 1エリアが不足(但し、全エリア合計では充足)
- (1B) 1エリアが不足(全エリア合計でも不足)
- (2A) 2エリアが不足(但し、全エリア合計では充足)
- (2B) 2エリアが不足(全エリア合計でも不足)
- (3) 3エリアとも不足

※2

- ・パターン(0) (3)は、3エリアとも充足(又は不足)する状況が合成前後で変わらないため、合成前後でLOLE、EUEに変化なし。
- ・パターン(1A) (2A)は、融通により全エリア充足する状況が合成前後で変わらないため、合成前後でLOLE、EUEに変化なし。

- このうち(0)(1A)(2A)(3)のパターンでは、合成前後でLOLEやEUEに変化がない※2ため、(1B)(2B)のパターンについて調べた(次頁、次々頁参照)。
- 次頁の分析の結果から分かることは以下のとおり。

| | エリア1 (小規模エリア) | エリア4 (大規模エリア) |
|-------------------|--|---|
| 不足回数 (LOLEに影響) | エリア2, 3の合成の影響は受けない ⇒LOLEは変わらない | 2エリア分の不足をカウントすることによって 不足回数が増えるパターン と旧エリア2, 3の需給変動がエリア4内で相殺されることによって 不足回数が減るパターン がある |
| 不足量 (EUEに影響) | 旧エリア2, 3の需給変動がエリア4内で相殺されることによって、不足量が増加するパターンがある ⇒EUEは増加 | 旧エリア2, 3の需給変動がエリア4内で相殺されることによって不足量が減少するパターンがある ⇒EUEは減少 |

⇒ 左記結果からは判定できないが、次ページの数値解析では、大規模エリアのほうがLOLEが大きくなった。

⇒ 合成前に同じEUEであったものが、左記の通り変化することから、小規模エリアのほうがEUEが大きくなると言える。

(1B) 1エリアが不足(全エリア合計でも不足)

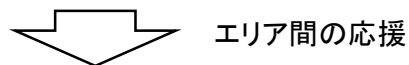
(注) 本パターンに該当する試行ケースを例として記載している。

【合成前】

エリア間応援前の予備力

| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|-----|------|------|------|
| 試行1 | 2 | 2 | -5 |
| 試行2 | 2 | -5 | 2 |
| 試行3 | -5 | 2 | 2 |

これらは同じ確率で発生



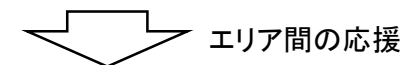
| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|------|------|------|------|
| 試行1 | 0 | 0 | -1 |
| 試行2 | 0 | -1 | 0 |
| 試行3 | -1 | 0 | 0 |
| 不足回数 | 1 | 1 | 1 |
| 不足量 | 1 | 1 | 1 |

【合成後】

エリア間応援前の予備力

| | エリア1 | エリア4 |
|-----|------|------|
| 試行1 | 2 | -3 |
| 試行2 | 2 | -3 |
| 試行3 | -5 | 4 |

これらは同じ確率で発生



| | エリア1 | エリア4 |
|------|------|------|
| 試行1 | 0 | -1 |
| 試行2 | 0 | -1 |
| 試行3 | -1 | 0 |
| 不足回数 | 1 | 2 |
| 不足量 | 1 | 1※2 |

エリア4の不足回数が合成前の各エリアより増加※1

※1 「特徴3」どおり。

※2 系統規模が2倍のため不足量合計を2で割っている。

(2B) 2エリアが不足(全エリア合計でも不足)

(注) 本パターンに該当する試行ケースのうち、特徴的なケースを例として記載している。

(例1) 合成エリア内で不足が解消するパターンがあるケース

(例2) 合成エリア内で不足が解消しないケース

【合成前】

【合成後】

【合成前】

【合成後】

エリア間応援前の予備力

エリア間応援前の予備力

エリア間応援前の予備力

エリア間応援前の予備力

| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|-----|------|------|------|
| 試行4 | 3 | -2 | -2 |
| 試行5 | -2 | 3 | -2 |
| 試行6 | -2 | -2 | 3 |

| | エリア1 | エリア4 |
|-----|------|------|
| 試行4 | 3 | -4 |
| 試行5 | -2 | 1 |
| 試行6 | -2 | 1 |

| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|-----|------|------|------|
| 試行7 | 3 | -4 | -4 |
| 試行8 | -4 | 3 | -4 |
| 試行9 | -4 | -4 | 3 |

| | エリア1 | エリア4 |
|-----|------|------|
| 試行7 | 3 | -8 |
| 試行8 | -4 | -1 |
| 試行9 | -4 | -1 |

これらは
同じ確率
で発生

これらは
同じ確率
で発生

エリア間の応援

エリア間の応援

| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|-----|------|------|------|
| 試行4 | 0 | -0.5 | -0.5 |
| 試行5 | -0.5 | 0 | -0.5 |
| 試行6 | -0.5 | -0.5 | 0 |

| | エリア1 | エリア4 |
|-----|------|------|
| 試行4 | 0 | -1 |
| 試行5 | -1 | 0 |
| 試行6 | -1 | 0 |

| | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|-----|------|------|------|
| 試行7 | 0 | -2.5 | -2.5 |
| 試行8 | -2.5 | 0 | -2.5 |
| 試行9 | -2.5 | -2.5 | 0 |

| | エリア1 | エリア4 |
|-----|------|------|
| 試行7 | 0 | -5 |
| 試行8 | -4 | -1 |
| 試行9 | -4 | -1 |

| | | | |
|------|---|---|---|
| 不足回数 | 2 | 2 | 2 |
| 不足量 | 1 | 1 | 1 |

| | | |
|------|---|----|
| 不足回数 | 2 | 1 |
| 不足量 | 2 | 1※ |

| | | | |
|------|---|---|---|
| 不足回数 | 2 | 2 | 2 |
| 不足量 | 5 | 5 | 5 |

| | | |
|------|---|------|
| 不足回数 | 2 | 3 |
| 不足量 | 8 | 3.5※ |

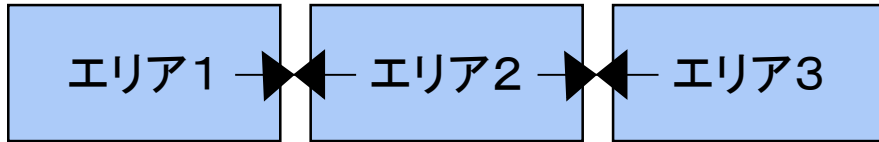
エリア4は不足回数・量とも減少
エリア1は不足量が増加

エリア4は不足回数は増加※1、不足量は減少
エリア1は不足量が増加

※1 特徴3どおり。

※2 系統規模が2倍のため不足量合計を2で割っている。

➤ 簡易モデルにおいてモンテカルロシミュレーションによりLOLEとEUEを算定した結果は以下のとおり。



制約なし

制約なし

| | エリア1~3(共通) |
|--------------------------|------------|
| 需要 | 100 |
| 供給力 | 105(5×21台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5 |
| 電源計画外停止率 | 2.5% |

| | | エリア1 | エリア2 | エリア3 |
|------|----|------|------|------|
| LOLE | 単独 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| | 連系 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| EUE | 単独 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |
| | 連系 | 0.57 | 0.57 | 0.57 |

指標値は3エリアで同じ



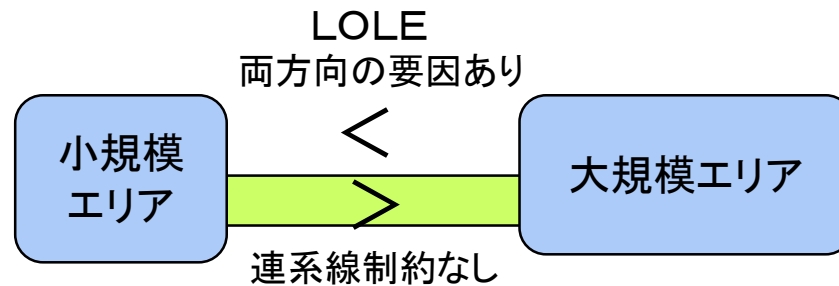
制約なし

| | エリア1 | エリア4 |
|--------------------------|------------|---------------------|
| 需要 | 100 | 200 |
| 供給力 | 105(5×21台) | 210(5×42台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5 | $\sqrt{2} \times 5$ |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% |

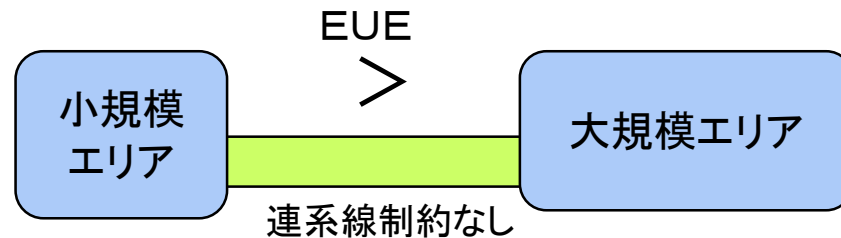
| | | エリア1 | エリア4 |
|------|----|-------------|-------------|
| LOLE | 単独 | 0.34 | 0.29 |
| | 連系 | 0.16 | 0.18 |
| EUE | 単独 | 1.47 | 0.82 |
| | 連系 | 0.65 | 0.50 |

LOLEは大規模エリアの方が大きい
EUEは小規模エリアの方が大きい

- 本考察により、「単位需要あたりの需給特性が等価」な、ある1断面における小規模エリアと大規模エリアの連系後(制約なし)の供給信頼度について、以下の関係が成り立つと考えられる。
- 指標がLOLE(不足発生率)の場合、大規模エリアについて、エリア内の需給変動が相殺されることによってLOLEが小さくなる要因と、複数の小規模エリアの不足回数をカウントすることによってLOLEが大きくなる要因がある。 ※ 1つの簡易モデルの数値解析では、大規模エリアのほうがLOLEが大きくなる結果となった。



- 指標がEUE(不足電力量)の場合、大規模エリアのEUEは、エリア内で需給変動が相殺される効果によって、小規模エリアのEUEよりも小さくなる。



- (ケース1) 単位需要あたりの需給特性が等価な場合、(ケース2) 需要規模に対する電源の1台あたりの出力及び需要の変動量の比率が同じ(以下、「需要規模に対する需給変動量の比率が同じ」と呼ぶ)場合について、LOLEとEUEを算定した関係は、以下のとおり。
 - 需要規模に対する需給変動量の比率が同じ場合(ケース2)の単独時のエリア1とエリア3のLOLEとEUEは等しい。

(ケース1) 単位需要あたりの需給特性が等価な場合

| | エリア1 | エリア2 |
|--------------------------|------------|---------------------|
| 需要 | 100 | 200 |
| 供給力 | 105(5×21台) | 210(5×42台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5(需要の5%) | $\sqrt{2} \times 5$ |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% |

| 供給信頼度の指標 | | エリア1 | | エリア2 |
|------------------------|----|------|---|------|
| LOLE(時間) | 単独 | 0.34 | > | 0.29 |
| | 連系 | 0.16 | < | 0.18 |
| EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 1.47 | > | 0.82 |
| | 連系 | 0.65 | > | 0.50 |

(ケース2) 需要規模に対する需給変動量の比率が同じ場合

| | エリア1 | エリア3 |
|--------------------------|------------|-------------|
| 需要 | 100 | 200 |
| 供給力 | 105(5×21台) | 210(10×21台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5(需要の5%) | 10(需要の5%) |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% |

| 供給信頼度の指標 | | エリア1 | | エリア3 |
|------------------------|----|------|---|------|
| LOLE(時間) | 単独 | 0.34 | = | 0.34 |
| | 連系 | 0.16 | < | 0.25 |
| EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 1.47 | = | 1.47 |
| | 連系 | 0.66 | < | 1.03 |

※1 系統規模が2倍のため不足量合計を2で割っている。

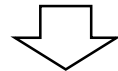
※2 連系線の制約なし。

- 単位需要あたりの需給特性が等価である場合で、小規模エリアと大規模エリアの需要規模比を変えたときのLOLEとEUEの算定結果は、以下のとおり。
 - 需要規模の差が大きい(ケース3)方が、小規模エリアの連系効果は拡大する。

(ケース1) 需要規模比が1:2

| | エリア1 | エリア2 |
|--------------------------|------------|---------------------|
| 需要 | 100 | 200 |
| 供給力 | 105(5×21台) | 210(5×42台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5 | $\sqrt{2} \times 5$ |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% |

| 供給信頼度の指標 | | エリア1 | | エリア2 |
|------------------------|----|------|---|------|
| LOLE(時間) | 単独 | 0.34 | > | 0.29 |
| | 連系 | 0.16 | < | 0.18 |
| EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 1.47 | > | 0.82 |
| | 連系 | 0.65 | > | 0.50 |



連系効果

LOLE 0.18
EUE 0.81

(ケース3) 需要規模比が1:4

| | エリア1 | エリア3 |
|--------------------------|------------|---------------------|
| 需要 | 100 | 400 |
| 供給力 | 105(5×21台) | 420(5×84台) |
| 需要変動の標準偏差 (相関無し・正規分布) | 5 | $\sqrt{4} \times 5$ |
| 電源計画外停止率 | 2.5% | 2.5% |

| 供給信頼度の指標 | | エリア1 | | エリア3 |
|------------------------|----|------|---|------|
| LOLE(時間) | 単独 | 0.34 | > | 0.22 |
| | 連系 | 0.12 | < | 0.15 |
| EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 1.47 | > | 0.39 |
| | 連系 | 0.48 | > | 0.26 |



連系効果

LOLE 0.23
EUE 0.99

需要規模の差が大きくなると
小規模エリアの連系効果は拡大

※1 系統規模が2倍のため不足量合計を2で割っている。

※2 連系線の制約なし。

〔実モデルに近い変動確率分布を設定した
簡易モデルによる分析〕

- ここでは、小規模エリアと大規模エリアの需給変動に関する確率分布を、実績データから算定した実モデルの確率分布に近い分布とすることで、基礎的検討の結果がどのように変化するかを調べるため、以下の2ケースを簡易モデルにて比較した。
 - (ケース1) 単位需要あたりの需給特性が等価な場合(=基礎的検討と同等の分析)
 - (ケース2) 実モデルに近い需要変動の確率分布を設定した場合
- ケース1は、基礎的検討における簡易モデルの計算結果と同様に、LOLE(連系後)は大規模エリアの方が大きく、EUE(連系後)は小規模エリアの方が大きくなった。一方、ケース2では、LOLE(連系後)に加え、EUE(連系後)も大規模エリアの方が大きくなった。これは、大規模エリアの需要変動の確率分布を実モデルに近い確率分布とすることで、大規模エリアの単独時のEUEが大きくなる一方、ケース1及びケース2ともに小規模エリアの連系効果が同程度であることが要因と考えられる。
 - ※ 供給予備率が同じ状態でLOLE(又はEUE)が大きいエリアの方が、LOLE(又はEUE)を一律とした場合の必要供給予備率が大きくなる。
- また、広域機関における実モデルによる分析結果(⇒参考A)にも、上記分析の傾向が表れているものと考えられる。

- 基礎的検討と同じく、需要と発電所の特性が全く同じ、規模だけが異なる(5倍)2つのエリアを想定。
- 需要変動(気温変動)は、完全な相関があると仮定しているため、変動の標準偏差は5倍
- 需要変動(その他要因)の標準偏差は、相関がないと仮定しているため、統計の法則に従えば、需要規模比のルートに比例するため、 $\sqrt{5}$ 倍となる。
- 電源1台あたりの計画外停止率は同じ。



| | エリアA | エリアB | 備考 |
|------------------|---------------|---------------------|-------------------------|
| 需要 | 100 | 500 | エリアAの5倍 |
| 供給力 | 105 (5 × 21台) | 525 (5 × 105台) | 発電機1台あたり規模同じ、数が5倍 |
| 需要変動(気温変動)の標準偏差 | 5 | 25 | 需要の5%と仮定 |
| 需要変動(その他要因)の標準偏差 | 5 | $5 \times \sqrt{5}$ | エリアA需要の $\sqrt{5}$ 倍と仮定 |
| 電源の計画外停止率 | 2.5% | 2.5% | |

- 小規模エリアと大規模エリアの単位需要あたりの需給特性が異なる場合を想定。
- 需要変動(気温変動)は、完全な相関があると仮定しているため、変動の標準偏差は5倍となる。
- 需要変動(その他要因)の標準偏差は、実績データに基づき設定した確率分布を参考に、エリアAと同じ需要の5%とした。
 ※ 実績データに基づき設定した変動量の標準偏差(エリアの規模比%)は、エリア間で大きな差がない(p.25参照)。
- 電源1台あたりの計画外停止率は同じ。



| | エリアA | エリアB | 備考 |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|
| 需 要 | 100 | 500 | エリアAの5倍 |
| 供給力 | 105 (5 × 21台) | 525 (5 × 105台) | 発電機1台あたり規模同じ、数が5倍 |
| 需要変動(気温変動)の標準偏差 | 5 | 25 | 需要の5%と仮定 |
| 需要変動(その他要因)の標準偏差 | 5 | 25 | 需要の5%と仮定 |
| 電源の計画外停止率 | 2.5% | 2.5% | |

(ケース1) 単位需要あたりの需給特性が等価な場合(簡易モデル)の考察

- 連系後のLOLEはエリアB(大規模エリア)の方が大きく、EUEはエリアA(小規模エリア)の方が大きくなった。(基礎的検討と同じ結果)
- なお、要因別にみてもその傾向は変わらない。

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリア A | | エリア B |
|----------|-------------------------|----|-------|---|-------|
| 全変動を考慮 | LOLE (時間) | 単独 | 0.37 | > | 0.34 |
| | | 連系 | 0.24 | < | 0.31 |
| | EUE (kWh) ^{※1} | 単独 | 2.15 | > | 1.29 |
| | | 連系 | 1.54 | > | 1.19 |

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリア A | | エリア B |
|------------|-------------------------|----|-------|---|-------|
| 需要変動(気温影響) | LOLE (時間) | 単独 | 0.16 | = | 0.16 |
| | | 連系 | 0.16 | = | 0.16 |
| | EUE (kWh) ^{※1} | 単独 | 0.42 | = | 0.42 |
| | | 連系 | 0.42 | = | 0.42 |

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリア A | | エリア B |
|-------------|-------------------------|----|-------|---|-------|
| 需要変動(その他要因) | LOLE (時間) | 単独 | 0.16 | > | 0.01 |
| | | 連系 | 0.004 | < | 0.005 |
| | EUE (kWh) ^{※1} | 単独 | 0.42 | > | 0.01 |
| | | 連系 | 0.01 | > | 0.004 |

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリア A | | エリア B |
|----------|-------------------------|----|-------|---|-------|
| 電源の計画外停止 | LOLE (時間) | 単独 | 0.1 | > | 0.05 |
| | | 連系 | 0.01 | < | 0.03 |
| | EUE (kWh) ^{※1} | 単独 | 0.55 | > | 0.08 |
| | | 連系 | 0.08 | > | 0.04 |

変動要因別に分析

※1 大規模エリアのEUEは、5(需要規模比)で割った値

※2 赤字: 供給信頼度の指標が大きいエリア

➤ 連系後のEUEについて、ケース1ではエリアA(小規模エリア)の方が大きいですが、ケース2ではエリアB(大規模エリア)の方が大きくなった。これは、エリアBの需要変動を大きくしたことにより、大規模エリアの単独時のEUEが大きくなったことが要因。

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリアA | | エリアB |
|----------|------------------------|----|-------|---|-------|
| 全変動を考慮 | LOLE(時間) | 単独 | 0.374 | > | 0.370 |
| | | 連系 | 0.23 | < | 0.34 |
| | EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 2.15 | > | 1.85 |
| | | 連系 | 1.44 | < | 1.70 |

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリアA | | エリアB |
|------------|------------------------|----|------|---|------|
| 需要変動(気温影響) | LOLE(時間) | 単独 | 0.16 | = | 0.16 |
| | | 連系 | 0.16 | = | 0.16 |
| | EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 0.42 | = | 0.42 |
| | | 連系 | 0.42 | = | 0.42 |

変動要因別に分析

ケース1と同じく、エリアBの方がLOLEが大きい

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリアA | | エリアB |
|------------------------|----------|------|------|------|------|
| 需要変動(その他要因) | LOLE(時間) | 単独 | 0.16 | = | 0.16 |
| | 連系 | 0.03 | < | 0.11 | |
| EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 0.42 | = | 0.42 | |
| | 連系 | 0.07 | < | 0.28 | |

ケース1の結果と同じ

ケース1と異なり、エリアBの方がEUEが大きい。

| 変動有としたもの | 供給信頼度の指標 | | エリアA | | エリアB |
|------------------------|----------|------|------|------|------|
| 電源の計画外停止 | LOLE(時間) | 単独 | 0.1 | > | 0.05 |
| | 連系 | 0.01 | < | 0.03 | |
| EUE(kWh) ^{※1} | 単独 | 0.55 | > | 0.08 | |
| | 連系 | 0.08 | > | 0.04 | |

※1 大規模エリアのEUEは、5(需要規模比)で割った値

※2 赤字:供給信頼度の指標が大きいエリア

(参考) 実モデルによる分析結果

- 連系線の制約をなくして必要供給予備率を計算したところ、「LOLEを一律」、「1kWあたりのEUEを一律」とした場合とも、大規模エリア(東京、中部)の方が小規模エリア(北海道、北陸)の必要供給予備率よりも大きくなった。

〔LOLE=3時間/年〕 2020年度 連系線制約なし

| | | 北海道 | 東北 | 東京 | 中部 | 北陸 | 関西 | 中国 | 四国 | 九州 | 9エリア計 |
|---------|------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|--------|
| 需要(万kW) | | 521 | 1,411 | 5,376 | 2,455 | 505 | 2,692 | 1,083 | 503 | 1,541 | 16,087 |
| 単独 | 必要予備力(万KW) | 102 | 173 | 654 | 354 | 98 | 309 | 172 | 129 | 226 | 2,216 |
| | 必要予備率(%) | 19.6 | 12.3 | 12.2 | 14.4 | 19.3 | 11.5 | 15.9 | 25.6 | 14.6 | 13.8 |
| 連系 | 必要予備力(万KW) | -42 | 34 | 517 | 217 | -22 | 163 | 79 | 23 | 59 | 1,029 |
| | 必要予備率(%) | -8.0 | 2.4 | 9.6 | 8.9 | -4.3 | 6.1 | 7.3 | 4.5 | 3.8 | 6.4 |
| 連系効果 | | 27.6 | 9.8 | 2.5 | 5.6 | 23.6 | 5.4 | 8.6 | 21.1 | 10.8 | 7.4 |

※ 四捨五入の関係で数値が合わない場合がある。

〔9エリア計のEUE=15(百万kWh/年)〕 2020年度 連系線制約なし

| | | 北海道 | 東北 | 東京 | 中部 | 北陸 | 関西 | 中国 | 四国 | 九州 | 9エリア計 |
|-------------------|------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|--------|
| 目標値: EUE(百万kWh/年) | | 0.5 | 1.3 | 5.0 | 2.3 | 0.5 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | 1.4 | 15 |
| 需要(万kW) | | 521 | 1,411 | 5,376 | 2,455 | 505 | 2,692 | 1,083 | 503 | 1,541 | 16,087 |
| 単独 | 必要予備力(万KW) | 102 | 161 | 595 | 336 | 99 | 285 | 165 | 132 | 212 | 2,087 |
| | 必要予備率(%) | 19.5 | 11.4 | 11.1 | 13.7 | 19.6 | 10.6 | 15.3 | 26.3 | 13.8 | 13.0 |
| 連系 | 必要予備力(万KW) | -11 | 65 | 444 | 219 | 1 | 156 | 86 | 39 | 79 | 1,077 |
| | 必要予備率(%) | -2.1 | 4.6 | 8.3 | 8.9 | 0.2 | 5.8 | 7.9 | 7.7 | 5.1 | 6.7 |
| 連系効果 | | 21.7 | 6.8 | 2.8 | 4.8 | 19.4 | 4.8 | 7.3 | 18.6 | 8.6 | 6.3 |

※ 四捨五入の関係で数値が合わない場合がある。

- ※ 四国は、単独時の必要供給予備率が大きいいため、連系時の必要供給予備率は北海道、北陸に比べ大きい。
 関西は、単独時の必要供給予備率が小さいため、連系時の必要供給予備率は東京、中部に比べ小さい。

- 各エリアのLOLEが一律となるように、各変動要因を1つずつ有効にして必要供給予備率を算定した結果は以下のとおり。

変動要因別の必要供給予備率(LOLE=3時間/年)

(%)

| 変動有としたもの | | 北海道 | 東北 | 東京 | 中部 | 北陸 | 関西 | 中国 | 四国 | 九州 |
|-----------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 全変動要素 | 単独 | 19.6 | 12.3 | 12.2 | 14.4 | 19.3 | 11.5 | 15.9 | 25.6 | 14.6 |
| | 連系 | -8.0 | 2.4 | 9.6 | 8.9 | -4.3 | 6.1 | 7.3 | 4.5 | 3.8 |
| | 連系効果 | 27.6 | 9.8 | 2.5 | 5.6 | 23.6 | 5.4 | 8.6 | 21.1 | 10.8 |
| 需要(気温影響) | 単独 | 4.5 | 6.4 | 8.3 | 7.0 | 6.1 | 6.5 | 6.2 | 6.4 | 6.3 |
| | 連系 | -8.5 | 5.4 | 7.2 | 5.0 | 4.4 | 5.2 | 5.1 | 4.2 | 3.3 |
| | 連系効果 | 13.0 | 1.0 | 1.2 | 2.0 | 1.7 | 1.3 | 1.1 | 2.2 | 3.0 |
| 需要(その他要因) | 単独 | 4.1 | 4.3 | 5.9 | 5.9 | 5.3 | 6.2 | 5.5 | 5.8 | 5.4 |
| | 連系 | -5.3 | -0.6 | 4.1 | 0.4 | -1.8 | 2.0 | 0.0 | -0.9 | 0.4 |
| | 連系効果 | 9.3 | 4.9 | 1.8 | 5.5 | 7.0 | 4.2 | 5.5 | 6.6 | 5.1 |
| 電源の計画外停止 | 単独 | 22.9 | 12.5 | 7.3 | 10.4 | 23.2 | 8.2 | 14.4 | 28.3 | 12.7 |
| | 連系 | -0.8 | 3.2 | 5.2 | 3.9 | 0.8 | 3.7 | 3.0 | 2.0 | 3.7 |
| | 連系効果 | 23.7 | 9.3 | 2.0 | 6.5 | 22.5 | 4.5 | 11.4 | 26.3 | 9.0 |
| 太陽光・風力・水力 | 単独 | 0.3 | 2.5 | 2.6 | 5.8 | 1.0 | 2.9 | 5.8 | 6.9 | 5.6 |
| | 連系 | -11.1 | -2.0 | 1.4 | 4.4 | -8.8 | 1.4 | 3.0 | 1.7 | -2.4 |
| | 連系効果 | 11.4 | 4.5 | 1.2 | 1.4 | 9.8 | 1.5 | 2.7 | 5.2 | 8.0 |

- 1kWあたりのEUEが一律になるように、各変動要因を1つずつ有効にして必要供給予備率を算定した結果は以下のとおり。

変動要因別の必要供給予備率(EUE=15百万kWh/年)

(%)

| 変動有としたもの | | 北海道 | 東北 | 東京 | 中部 | 北陸 | 関西 | 中国 | 四国 | 九州 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 全変動要素 | 単独 | 19.5 | 11.4 | 11.1 | 13.7 | 19.6 | 10.6 | 15.3 | 26.3 | 13.8 |
| | 連系 | -2.1 | 4.6 | 8.3 | 8.9 | 0.2 | 5.8 | 7.9 | 7.7 | 5.1 |
| | 連系効果 | 21.6 | 6.8 | 2.8 | 4.8 | 19.4 | 4.8 | 7.4 | 18.6 | 8.6 |
| 需要(気温影響) | 単独 | 3.2 | 5.3 | 7.2 | 5.7 | 4.9 | 5.4 | 4.9 | 5.1 | 5.1 |
| | 連系 | 0.6 | 4.6 | 5.9 | 4.2 | 3.9 | 4.5 | 4.1 | 4.1 | 3.4 |
| | 連系効果 | 2.6 | 0.7 | 1.3 | 1.6 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 1.6 |
| 需要(その他要因) | 単独 | 2.7 | 3.1 | 4.6 | 4.6 | 4.0 | 5.0 | 4.2 | 4.4 | 4.1 |
| | 連系 | -2.7 | -0.5 | 2.8 | 0.0 | -1.6 | 1.7 | -0.1 | -0.3 | 0.0 |
| | 連系効果 | 5.4 | 3.6 | 1.8 | 4.6 | 5.6 | 3.3 | 4.2 | 4.7 | 4.0 |
| 電源の計画外停止 | 単独 | 22.6 | 11.3 | 5.7 | 9.1 | 23.3 | 6.7 | 13.3 | 28.7 | 11.4 |
| | 連系 | 4.2 | 4.6 | 3.3 | 3.4 | 4.3 | 2.5 | 3.4 | 6.5 | 3.6 |
| | 連系効果 | 18.3 | 6.7 | 2.5 | 5.7 | 19.0 | 4.2 | 9.9 | 22.2 | 7.8 |
| 太陽光・風力・水力 | 単独 | -1.2 | 1.1 | 1.3 | 4.6 | -0.2 | 1.6 | 4.6 | 5.7 | 4.3 |
| | 連系 | -7.6 | -1.4 | -0.3 | 3.3 | -5.1 | 0.3 | 2.6 | 2.6 | -1.3 |
| | 連系効果 | 6.5 | 2.5 | 1.6 | 1.3 | 4.9 | 1.4 | 2.0 | 3.1 | 5.6 |

(参考B) 確率論的必要供給予備力算定手法における諸元(需要変動、電源ラインナップ)

<需要変動の標準偏差：7～8月の15～20時の平均>

(最大3日平均電力に対する比率：%)

| | 北海道 | 東北 | 東京 | 中部 | 北陸 | 関西 | 中国 | 四国 | 九州 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 気温影響による変動量 | 3.0 | 3.8 | 3.9 | 3.3 | 3.4 | 3.1 | 2.9 | 2.8 | 2.8 |
| その他要因による変動量 | 2.4 | 2.5 | 3.1 | 2.6 | 2.7 | 3.3 | 2.7 | 2.7 | 2.4 |

※1 各供給エリアの県庁所在地の実績気温(1時間値)の単純平均と需要実績をもとに広域機関で気温感応度式を設定し変動量を算定

※2 気温影響による変動量は、需要の上位1～3日の値

<電源ラインナップ：8月>

(万kW、%)

| | | 北海道 | 東北 | 東京 | 中部 | 北陸 | 関西 | 中国 | 四国 | 九州 |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 火力※ | 平均出力 | 29 | 43 | 41 | 46 | 42 | 48 | 26 | 27 | 33 |
| | | (5.6) | (3.0) | (0.8) | (1.9) | (8.3) | (1.8) | (2.4) | (5.4) | (2.1) |
| 揚水 | 平均出力 | 14 | 9 | 23 | 17 | 11 | 25 | 21 | 14 | 29 |
| | | (2.7) | (0.6) | (0.4) | (0.7) | (2.2) | (0.9) | (1.9) | (2.8) | (1.9) |

※1 出力10万kW未満の小規模電源を除く

※2 ()内は、最大3日平均電力に対する比率