

〈論文〉

地域別クラスター分析による再生可能エネルギーの
電力融通ポテンシャルの評価福原大祐¹⁾, 吉川直樹²⁾, 天野耕二³⁾¹⁾立命館大学 理工学研究科

(〒525-8577 草津市野路東1-1-1 トリシア環境システム第5研究室 E-mail: rv006078@ed.ritsumei.ac.jp)

²⁾立命館大学 理工学部

(〒525-8577 草津市野路東1-1-1 トリシア環境システム第5研究室 E-mail: n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp)

³⁾立命館大学 食マネジメント学部

(〒525-8577 草津市野路東1-1-1 トリシア環境システム第5研究室 E-mail: amano@se.ritsumei.ac.jp)

概要

本研究では、時間帯別の家庭・業務部門の需要電力量や再生可能エネルギーによる分散型発電の供給可能量に基づく電力需給バランスの推計結果より、複数のシナリオ内での電力融通を想定したシミュレーションを行い、時間別地域メッシュ別クラスター分析を行った。電力の需要地までの距離や電力需給バランスの組み合わせを考慮した送電網を構築することで、より送電損失を抑えながらも再生可能エネルギーによる分散型発電の余剰電力の活用が可能であることがわかった。

キーワード：ファジィクラスター分析, 電力融通, 再生可能エネルギー, 地理情報システム, アグリゲータ

原稿受付 2018.8.18 原稿受理 2018.9.25

EICA: 23(2・3) ●-●

1. はじめに

東日本大震災における原発事故により、日本における電源構成は化石燃料に代表される枯渇性エネルギー資源への依存度を短期的には高めているが、気候変動緩和に加えてエネルギー安全保障の観点からも、再生可能エネルギーなど枯渇性エネルギー資源利用に移行することが望ましい。しかしながら、再生可能エネルギーによる電力供給を考えた場合、発電電力量は地域、季節や時間帯によっても供給可能な電力量は変化するため地域、時間帯によって電力需給バランスが変化することが予想される。

また近年では、分散型発電や電力融通による電力供給が注目されつつあり、分散型発電のなかでも再生可能エネルギーの導入容量は増加傾向にある。日本国内においても、2016年度には規制緩和により電力小売市場が全面自由化され、大手電力会社が発電部門と送配電部門を切り離す「発送電分離」の時期を2020年とする電気事業法の改正案も閣議決定されている。このため、大手電力会社のみならず再生可能エネルギーを含めて発電事業者の規模や電源構成が多様化し、市場の競争原理に基づく電力取引が増加することが予想され、地域規模のより細やかな電力需給調整が求められる。

今後、再生可能エネルギーに代表される中小規模の電源が普及し、電力自由化も小売りの自由化、発送電

分離と段階的に推し進められていくうえで、電力供給を安定させるために各地域、季節、時間によって電力需給バランスの安定性を担保することがより必要となる。そのためには、例えば、再生可能エネルギーを分散配置させ、地域別、時間別に発電電力量と需要電力量の差を電力需給バランスとして、余剰電力を地域内外の電力融通に活用することで電力需給バランスの違いを吸収することが必要となる。

再生可能エネルギーと需要家の電力需給制御の研究としてHooshmandら¹⁾は、コージェネシステムと蓄電池を設置した簡易なマイクログリッドモデルを構成し、再生可能エネルギーによる発電を確率的に取り扱い、電力需給制御をシミュレーションした確率的モデル予測を提案している。小柳ら²⁾は、再生可能エネルギー電源と蓄電装置で構成されたクラスター拡張グリッドを提案している。また、伊達ら³⁾は異なる用途地域の街区を組み合わせたスマートグリッドを適用した場合の、環境面と経済面を評価している。しかしながら、これらの研究では各地域の需要家と再生可能エネルギーの発電電力量による地域特性による電力需給バランスの違いと電力融通の距離は考慮されていない。

筆者ら⁴⁾は、近畿地方内を対象として、500mの各メッシュ単位で、季節、時間別に電力需給バランスを推計した。推計した需要電力量と供給可能量から需給バランスを算出し、自然再生エネルギーおよび余剰電力の電力融通を行うことによる枯渇性エネルギー資源

への寄与度を評価した。同研究では、地域における電力融通のポテンシャルは示されたものの、電力融通のための送電網を想定しての電力融通の可能性までは検討されていない。

それ故、本研究は余剰電力の電力融通に用いる電力網に着目し、民生部門に設置された再生可能エネルギーによる分散型発電の供給と、その余剰電力を地域内外の電力融通に活用した近畿地方民生部門における地域間電力融通ネットワーク構築を想定する。

想定したネットワークにおける地域メッシュ単位の需給バランスの地域特性および電力融通シナリオ間の電力融通ポテンシャルの差異を明確にすることを目的としてGIS（地理情報システム）を用いた詳細な分析を試みた。

2. 研究方法

2.1 電力需給バランス

筆者ら⁴⁾の既往研究と同様に近畿地方内を対象とし、空間的解析が可能なGISを使用して、500 mメッシュ単位で、季節、時間別に民生部門（家庭部門および業務部門）の需要電力量と再生可能エネルギー（太陽光発電）による供給可能量から電力需給バランスを推計した。

需要電力量を推計するため、国土地理院の国土数値情報のデータ⁵⁾に加えて、近畿地方の各メッシュに含まれる家庭部門および業務部門の延べ床面積を、住宅種類（戸建・集合）、業種などの属性別に国の統計データ⁶⁾とゼンリン建物統計データ⁷⁾を基に推定した。さらに、アメダス観測値⁸⁾を用いて各メッシュで月別の冷暖房デGREEデーを算出し月別冷暖房電力を、その他の電力需要は年間の推計値および需要パターン⁹⁾を用いて、用途別に各月の時刻別に需要電力量を推計した。

供給可能量については、環境省の太陽光発電の導入ポテンシャル評価¹⁰⁾と2020年～2050年の導入量目標¹¹⁾を参考にしながら対象地域の家庭部門で20, 40,

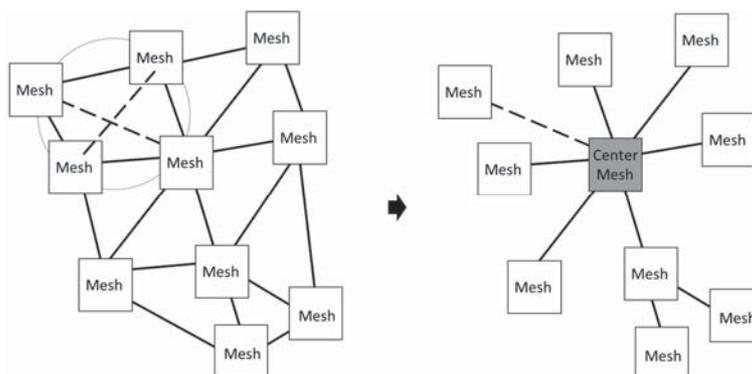
60, 80, 100%の世帯が太陽光発電を導入すると仮定して推計した。各世帯の延床面積と屋根形状の統計値¹²⁾を用いてランダム決定した屋根形状（集合住宅は全て陸屋根とした）を基に、太陽光パネル設置可能面積を推計した。太陽光パネルの出力は単結晶シリコン型の160 W/m²であるものとした。アメダスおよびNEDOの各観測地点における気象観測値に基づく各日射量推計値からGISを用いて空間的補完を行い、月別、時刻別に各世帯の太陽光発電の期待発電量を、JIS規格を参考に温度損失も考慮し推計した。ただし、集合住宅の世帯については、各集合住宅の屋上面積を居住世帯数で按分した面積を各世帯における太陽光発電の設置可能面積とした。業務部門については、全建物に家庭部門と同様の太陽光パネルを屋根面積の50%（環境省の導入目標を参考）に設置するものとした。屋根面積はゼンリン建物統計データの延べ床面積を階数で除した面積とした。

500 mメッシュ単位に、家庭部門と業務部門の太陽光発電の発電電力量から家庭部門と業務部門の需要電力量の差をとり、時間帯別の電力需給バランスとした。

2.2 シミュレーション条件

(1) 送電網の構築

500 mメッシュ単位の電力需要がある各地域メッシュの中心点を頂点として、ドロネー三角形分割によって交差しない最短の辺で結び、送電網を構築した。ドロネー三角形分割はFig. 1に示すように、2点を選び破線を引き、さらに破線を共有する三角形を作るように2点を選ぶ。1つの三角形に外接円を引いた際に、外接円内部に頂点があれば破線を引き直し、隣接する頂点同士で交差しない最短の辺を引くことができる。さらに各地域メッシュをグループ分けする際に、適度な空間配置の参考として消防署のある地域メッシュをグループの中心メッシュとした。各地域メッシュから構築した送電網上の最短経路を通り、最短距離となるグループの中心メッシュを選択し、対応する地域メッシュと中心メッシュのグループを構築して電力融通と



注：電力需要が有るメッシュを頂点としてネットワークを構築するため、過疎部ではメッシュが隣接しない場合がある。

Fig. 1 Delaunay triangulation and network construction method

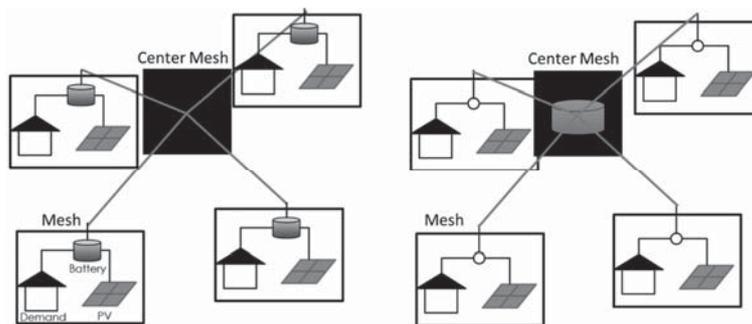


Fig. 2 Storage and power interchange scenario (left distributed type, right centralized type)

蓄電池の充放電をシミュレートした。また、送電線のたわみは送電線の素材や太さ、電柱の間隔を考慮する必要があるため本稿では送電線のたわみを考慮せず、グループ中心と地域メッシュ間での各送電線の距離のみを考慮した送電網を構築した。

(2) 蓄電電力融通シナリオ

各地域メッシュ内部の電力需給バランスから各地域メッシュで発生する余剰電力を算出し、Fig. 2に示すように構築した送電網を用いて蓄電および電力融通する2つのシナリオを考える。

まず分散蓄電シナリオは各地域メッシュに蓄電池を設置するものとする。算出した電力需給バランスより、各地域メッシュに1日を通して必要な蓄電量の初期値を決める。各地域メッシュ内で1日の自給に必要な蓄電量を確保した上で、余剰電力が発生した場合には他地域メッシュへと電力融通する。その際に、構築した各グループ内での送電損失および充放電損失を考慮した電力需給バランスから、式1~式5より各地域メッシュの送受電電力量を時間帯別に決定する。ここで Imp_l と Exp_l は各地域メッシュの各時刻の受電電力量と送電電力量であり、 Imp_{cl} は受電する際の送電損失、 Exp_{cl} は送電する際の送電損失である。 Sp_g は各グループ内の不足電力に対する余剰電力の割合、 α_g は不足電力のどの程度を他地域メッシュから補うか決定する係数、 β_g は余剰電力のうちどの程度を他地域メッシュへと補うかを決定する係数、場合分けは各グループ内の不足電力が余剰電力を上回る場合 ($1 < Sp_g$) と下回る場合 ($0 < Sp_g \leq 1$) である。ここで、 gl は各グループに含まれる地域メッシュ数であり、 g は各グループ、 l は各地域メッシュを指し示すものとした。また、 S_l は各時刻の受電する地域メッシュの不足電力量、 E_l は送電する地域メッシュの余剰電力量である。

その上で発生した各地域メッシュの蓄電余剰電力は各地域メッシュの蓄電設備に蓄え、蓄電池への負荷を考慮して放電電力量の変化が滑らかになるように各グループ内で不足する夜間など、別の時間帯に他地域メッシュへ電力を不足した電力量分で按分した電力量を供給するものとした。蓄電電力量の算出は式1~式

5と類似しているため、本稿では割愛する。

$$Sp_g = \frac{\sum_{l=1}^{gl} (Exp_l + Exp_{cl})}{\sum_{l=1}^{gl} (Imp_l + Imp_{cl})} \tag{式 1}$$

$$\alpha_g = \begin{cases} Sp_g (0 < Sp_g \leq 1) \\ 1 (1 < Sp_g) \end{cases} \tag{式 2}$$

$$\beta_g = \begin{cases} Sp_g (1 < Sp_g) \\ 1 (0 < Sp_g \leq 1) \end{cases} \tag{式 3}$$

$$Imp_l = S_l \times \alpha_g \tag{式 4}$$

$$Exp_l = E_l \div \beta_g \tag{式 5}$$

次に集中蓄電シナリオはグループの中心に蓄電池を設置するものとして、各グループ内で蓄電量を共有する。算出した電力需給バランスより、各地域メッシュの余剰電力を電力が不足している地域メッシュへ供給することを、各時間帯別に式1~式5から決定する。その上でも各グループ内で余剰電力が発生した場合は、グループ中心の蓄電設備に蓄え、蓄電池への負荷を考慮して放電電力量の変化が滑らかになるように各グループの不足した時間に不足した電力量分で按分した蓄電電力量を供給するものとした。蓄電電力量の算出は式1~式5と類似しているため、本稿では割愛する。

2つのシナリオで共通して、送電距離および送電線の断面積と送電線の電圧による送電損失も考慮して、蓄電設備の必要容量および必要な送電設備容量を決定した。ただし、送電損失を考慮する際に、送電容量を決める必要があるために、蓄電電力融通のシミュレーションと送電容量の決定を結果が収束するまで式1~式5を反復させて算出した。また、グループ内での電力融通は構築した電力網を用いて、計算の簡略化のため一度グループ中心地へ送電し、電力が不足している地域メッシュが受電することを想定した。また、蓄電電力融通をした上で不足した電力分は系統電力より受電すること想定した。

2.3 評価方法

Fig. 3に示すように、通常のクラスター分析では、各データは1つのクラスターに所属するが、ファジィクラスター分析では複数のクラスターへ所属できる。

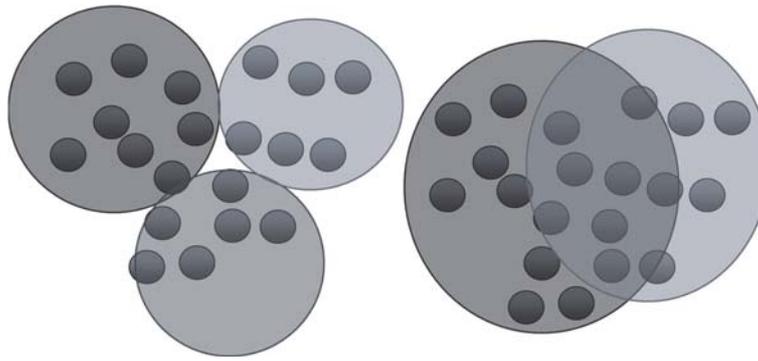


Fig. 3 Clustering image (left normal cluster, right fuzzy cluster)

本研究では、電力需給バランスの観点から通常のクラスター分析よりも少ないクラスター数で地域特性を把握するため、ファジィクラスター分析を用いて地域メッシュの分類を行った。本研究ではファジィクラスター分析の代表的な手法である Fuzzy c-Means (FCM) 法¹³⁾を用いて、クラスター分析を行った。FCM 法では各代表点 u_k および各クラスター k への帰属度 u_{ki} (メンバーシップ) で、データ x_i を c 個のクラスターに分類して表現される。最初に帰属度 u_{ki} をランダムに初期化し、帰属度 u_{ki} より各クラスター k の重心を式 6 より算出し代表点 u_k とする。次に、各代表点 u_k と対象データより式 7 を用いて帰属度 u_{ki} を更新する。帰属度 u_{ki} と代表点 u_k が収束するまで反復を続けることでファジィクラスター分析の結果を得ることができる。ただし、 m は $m > 1$ でありファジィの度合いを決めるパラメータである。

$$u_k = \frac{\sum_i^N (u_{ki})^m x_i}{\sum_i^N (u_{ki})^m} \quad (\text{式 6})$$

$$u_{ki} = \left[\sum_j^c \left(\frac{\|x_i - u_k\|}{\|x_i - u_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \quad (\text{式 7})$$

u_{ki} は各データの各クラスターへの帰属度 u_{ki} を指定する変数である。 m については、データが各クラスターへの帰属度合が変化することから、 m が小さいほど各クラスター間の帰属度の差が大きくなる。本研究では 12ヶ月分の 24 時間平均の入力データを標準化

し、主成分分析により次元削減した上でファジィクラスター分析により分類することとした。

3. 結果と考察

3.1 シミュレーション結果

対象地域全体での月別の日余剰電力量を日不足電力量で除したものを余剰電力比率として Fig. 4 に示す。奥行きは家庭部門に太陽光パネルが 20%~100%、業務部門にはいずれも 50% 導入された場合の結果であり、高さは高いほど日余剰電力量が多くなり、低いほど日不足電力量が多くなるが、常に余剰電力は不足電力を下回っている。まず、太陽光パネルの導入率が多くなるほど余剰電力は多くなるが、特に 4 月、5 月および 8 月は余剰電力の増加率が大きい。4 月、5 月は太陽光発電の発電電力量が大きいわりに、需要電力量が少ないために、太陽光パネルの導入率が 100% の場合には 60% 以上の余剰電力量となった。また、8 月は太陽光発電の発電電力量が大きいが必要電力量も大きくなるために、太陽光パネルの導入率が 100% の場合には余剰電力量は 60% を超えないものの 2 番目に大きい結果となった。対して、1 月、2 月、11 月および 12 月は太陽光パネルの導入率が 100% の場合であっても、余剰電力量が 1 割程度に留まる結果となった。これは、冬季は、太陽光発電の発電電力量が少ないわりに需要電力量が増加するためである。

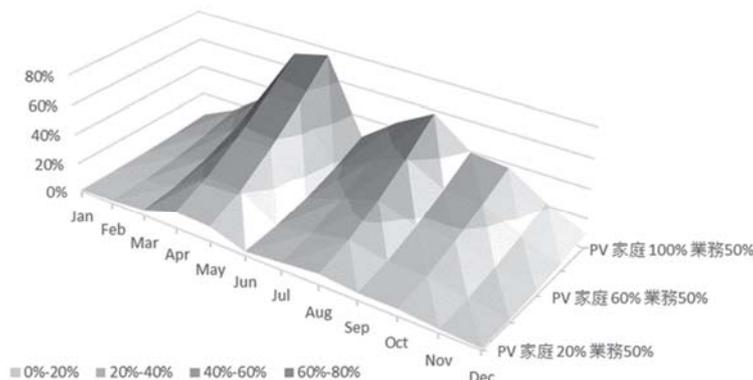


Fig. 4 Monthly solar panel surplus power ratio by introduction rate

次に一例として **Fig. 5** および **Fig. 6** に、家庭部門に太陽光パネルが40%、業務部門に50%導入された場合の蓄電電力融通のシミュレーション結果を示す。**Fig. 5** は対象地域全体で1日に必要な月別の蓄電電力量である。蓄電池をグループ中心に設置する集中蓄電シナリオの場合には、1日に必要な蓄電電力量は年間を通して260,000 MWhを上回ることにはなかった。対して、分散蓄電シナリオの場合には、冬季および6月は1日に必要な蓄電電力量が少なく、4月および5月に突出して1日に必要な蓄電電力量が高くなる結果となった。これは、分散蓄電シナリオでは各地域メッシュ内部に蓄電設備を設置する条件であるため、各グループ内で余剰電力量が多くなる時間帯に必要な蓄電電力量が増加しているためである。

Fig. 6 は、他地域のメッシュから電力を融通してもらった際の電力融通電力量を月別に24時間値で横に並べたものである。集中蓄電シナリオの場合には、約1,300 MWhを下回る時間が無い結果となった。毎月の余剰電力量が多くなる日中には、電力融通電力量も突出して高くなっている。夜間にも電力融通電力量が多いのは、日中に各グループの中心にある蓄電池へと蓄えていた電力を放電して、電力を受電するためである。対して、分散蓄電シナリオの場合には、冬季の太陽光発電の発電電力量が少ない月にはほぼ電力融通を行っていない結果となった。また、太陽光発電の発電電力量が多い月であっても、約7,000 MWhを超えて

いない。集中蓄電シナリオの場合には余剰電力をグループ中心に蓄電していたが、分散蓄電シナリオの場合には、地域メッシュ内部に蓄電設備を設置する条件であるため、蓄電池から放電する際の電力融通電力量が少なくなっているためである。

集中蓄電シナリオは、グループ中心の地域メッシュに各グループ内で共有する蓄電設備を設置するため、蓄電池から電力を消費する際にはグループ中心から使用する地域メッシュまで送電するために、電力融通電力量が大きくなる傾向となった。必要な蓄電容量は年間を通して横ばいの傾向であることから、分散蓄電シナリオと比較して対象地域全体として蓄電設備容量が小さくとも、年間を通して十分に蓄電設備を活用することができる。分散蓄電シナリオは、地域メッシュ内で蓄電設備を活用できるため電力融通電力量を抑えることが可能であるが、余剰電力量が多い季節に備えて蓄電設備を設置してしまうと他の季節には過剰な投資となってしまふ。地域特性を鑑みながら分散蓄電と集中蓄電を組み合わせたシナリオを検討する余地がある。

3.2 主成分分析の結果

電力が不足している場合には負の値をとる電力需給バランス(月別の24時間平均値)について、クラスター分析する際に変数の数を削減するための主成分分析を試みた。**Table 1**に主成分分析によって得られた、

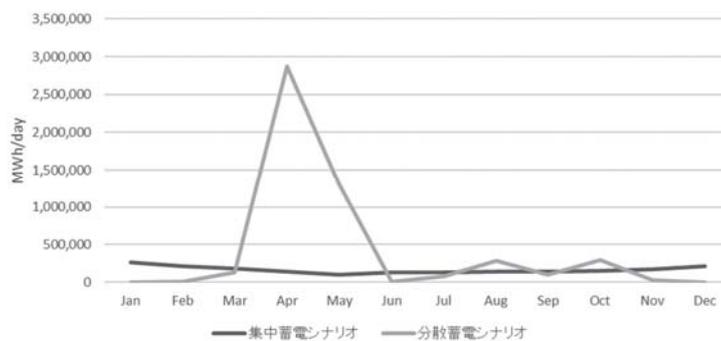


Fig. 5 Daily required storage energy

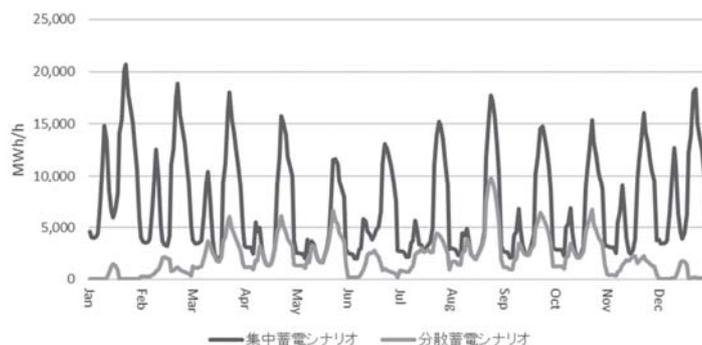


Fig. 6 24-hour value of monthly power accommodation power consumption

Table 1 Eigenvector of principal component analysis

	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		
	第1主成分	第2主成分											
時間	0	-0.0239	0.0204	-0.0218	0.0167	-0.0214	0.0147	-0.0195	0.0099	-0.0182	0.0073	-0.0170	0.0047
	1	-0.0217	0.0161	-0.0200	0.0130	-0.0199	0.0116	-0.0191	0.0091	-0.0180	0.0070	-0.0167	0.0042
	2	-0.0216	0.0158	-0.0198	0.0127	-0.0197	0.0113	-0.0191	0.0090	-0.0179	0.0069	-0.0162	0.0033
	3	-0.0221	0.0169	-0.0203	0.0137	-0.0202	0.0123	-0.0191	0.0090	-0.0179	0.0068	-0.0144	-0.0004
	4	-0.0233	0.0194	-0.0214	0.0158	-0.0211	0.0140	-0.0163	0.0033	-0.0152	0.0014	-0.0145	-0.0002
	5	-0.0359	0.0412	-0.0327	0.0350	-0.0322	0.0328	-0.0303	0.0290	-0.0256	0.0205	-0.0198	0.0089
	6	-0.0531	0.0693	-0.0483	0.0590	-0.0464	0.0537	-0.0280	0.0230	-0.0210	0.0093	-0.0236	0.0065
	7	-0.0866	0.0385	-0.0790	0.0232	-0.0734	0.0097	-0.0556	-0.0374	-0.0509	-0.0495	-0.0605	-0.0395
	8	-0.0899	0.0086	-0.0782	-0.0150	-0.0729	-0.0288	-0.0504	-0.0789	-0.0533	-0.0808	-0.0663	-0.0656
	9	-0.0754	-0.0223	-0.0626	-0.0488	-0.0582	-0.0592	-0.0384	-0.1049	-0.0436	-0.1000	-0.0633	-0.0765
	10	-0.0676	-0.0322	-0.0549	-0.0586	-0.0492	-0.0735	-0.0324	-0.1130	-0.0358	-0.1105	-0.0620	-0.0862
	11	-0.0653	-0.0363	-0.0547	-0.0613	-0.0402	-0.0869	-0.0277	-0.1205	-0.0337	-0.1135	-0.0572	-0.0917
	12	-0.0705	-0.0312	-0.0524	-0.0638	-0.0387	-0.0905	-0.0320	-0.1150	-0.0308	-0.1179	-0.0630	-0.0836
	13	-0.0763	-0.0229	-0.0583	-0.0550	-0.0468	-0.0791	-0.0409	-0.1023	-0.0395	-0.1049	-0.0649	-0.0812
	14	-0.0968	0.0021	-0.0875	-0.0211	-0.0836	-0.0372	-0.0554	-0.0811	-0.0501	-0.0928	-0.0677	-0.0788
	15	-0.1002	0.0116	-0.0922	-0.0092	-0.0897	-0.0215	-0.0845	-0.0433	-0.0625	-0.0733	-0.0750	-0.0677
	16	-0.1172	0.0496	-0.1097	0.0306	-0.1073	0.0186	-0.0934	-0.0195	-0.0756	-0.0475	-0.0949	-0.0403
	17	-0.1184	0.0565	-0.1132	0.0428	-0.1120	0.0344	-0.1061	0.0184	-0.0963	-0.0013	-0.1003	-0.0137
	18	-0.0879	0.0997	-0.0813	0.0857	-0.0805	0.0815	-0.0809	0.0858	-0.0734	0.0704	-0.0733	0.0654
	19	-0.0779	0.1044	-0.0711	0.0914	-0.0701	0.0871	-0.0724	0.0906	-0.0664	0.0785	-0.0670	0.0724
	20	-0.0704	0.0966	-0.0641	0.0844	-0.0630	0.0802	-0.0618	0.0771	-0.0565	0.0665	-0.0595	0.0712
	21	-0.0610	0.0869	-0.0553	0.0757	-0.0541	0.0717	-0.0562	0.0745	-0.0512	0.0644	-0.0523	0.0600
	22	-0.0505	0.0691	-0.0458	0.0598	-0.0445	0.0557	-0.0514	0.0683	-0.0468	0.0591	-0.0423	0.0467
23	-0.0297	0.0296	-0.0272	0.0250	-0.0263	0.0217	-0.0227	0.0132	-0.0207	0.0094	-0.0191	0.0029	
	Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec		
	第1主成分	第2主成分											
時間	0	-0.0184	0.0066	-0.0192	0.0085	-0.0173	0.0067	-0.0183	0.0070	-0.0191	0.0094	-0.0209	0.0147
	1	-0.0182	0.0061	-0.0190	0.0082	-0.0171	0.0064	-0.0182	0.0068	-0.0186	0.0085	-0.0193	0.0114
	2	-0.0178	0.0054	-0.0187	0.0077	-0.0168	0.0059	-0.0181	0.0067	-0.0186	0.0084	-0.0191	0.0112
	3	-0.0156	0.0010	-0.0162	0.0026	-0.0146	0.0014	-0.0181	0.0067	-0.0185	0.0083	-0.0195	0.0120
	4	-0.0157	0.0012	-0.0163	0.0027	-0.0147	0.0016	-0.0155	0.0012	-0.0161	0.0033	-0.0205	0.0139
	5	-0.0231	0.0140	-0.0265	0.0206	-0.0246	0.0183	-0.0280	0.0236	-0.0290	0.0266	-0.0310	0.0314
	6	-0.0268	0.0136	-0.0293	0.0181	-0.0294	0.0185	-0.0302	0.0237	-0.0339	0.0316	-0.0456	0.0531
	7	-0.0596	-0.0372	-0.0589	-0.0380	-0.0641	-0.0280	-0.0632	-0.0313	-0.0682	-0.0143	-0.0789	0.0198
	8	-0.0609	-0.0698	-0.0566	-0.0751	-0.0637	-0.0632	-0.0619	-0.0678	-0.0697	-0.0438	-0.0821	-0.0137
	9	-0.0530	-0.0884	-0.0479	-0.0944	-0.0539	-0.0822	-0.0520	-0.0881	-0.0576	-0.0683	-0.0667	-0.0465
	10	-0.0557	-0.0938	-0.0451	-0.1059	-0.0480	-0.0980	-0.0438	-0.1015	-0.0481	-0.0826	-0.0597	-0.0566
	11	-0.0505	-0.1019	-0.0407	-0.1101	-0.0470	-0.1019	-0.0433	-0.1032	-0.0464	-0.0846	-0.0561	-0.0612
	12	-0.0527	-0.0957	-0.0481	-0.0981	-0.0490	-0.0988	-0.0472	-0.0972	-0.0489	-0.0819	-0.0595	-0.0569
	13	-0.0555	-0.0919	-0.0531	-0.0921	-0.0586	-0.0880	-0.0537	-0.0893	-0.0584	-0.0702	-0.0682	-0.0447
	14	-0.0585	-0.0916	-0.0585	-0.0858	-0.0663	-0.0787	-0.0835	-0.0540	-0.0829	-0.0402	-0.0906	-0.0173
	15	-0.0678	-0.0755	-0.0676	-0.0711	-0.0917	-0.0451	-0.0892	-0.0389	-0.0881	-0.0265	-0.0951	-0.0055
	16	-0.0980	-0.0376	-0.0992	-0.0282	-0.0965	-0.0293	-0.0954	-0.0208	-0.0946	-0.0084	-0.1100	0.0284
	17	-0.1068	-0.0032	-0.1093	0.0088	-0.1035	0.0011	-0.1041	0.0084	-0.1027	0.0180	-0.1104	0.0336
	18	-0.0885	0.0936	-0.0980	0.1147	-0.0818	0.0860	-0.0731	0.0679	-0.0748	0.0751	-0.0770	0.0760
	19	-0.0834	0.1025	-0.0928	0.1221	-0.0749	0.0908	-0.0641	0.0728	-0.0666	0.0797	-0.0665	0.0818
	20	-0.0741	0.0982	-0.0827	0.1160	-0.0668	0.0878	-0.0549	0.0624	-0.0572	0.0686	-0.0598	0.0756
	21	-0.0621	0.0779	-0.0683	0.0909	-0.0572	0.0719	-0.0495	0.0603	-0.0518	0.0663	-0.0515	0.0680
	22	-0.0510	0.0625	-0.0565	0.0740	-0.0470	0.0578	-0.0458	0.0564	-0.0478	0.0618	-0.0427	0.0535
23	-0.0206	0.0047	-0.0214	0.0068	-0.0193	0.0051	-0.0205	0.0083	-0.0219	0.0122	-0.0257	0.0218	

第1主成分と第2主成分の固有ベクトルを示す。寄与率は第1主成分が0.8300、第2主成分が0.1526となり、累積寄与率は0.9826となった。

3.3 ファジィクラスター分析による結果

Fig. 7は電力需給バランスの主成分分析を行った結果を、横軸に第1主成分を縦軸に第2主成分をとった散布図を示したものである。本稿では、FCM法のパラメータ c を3とした結果を散布図に示している。ク

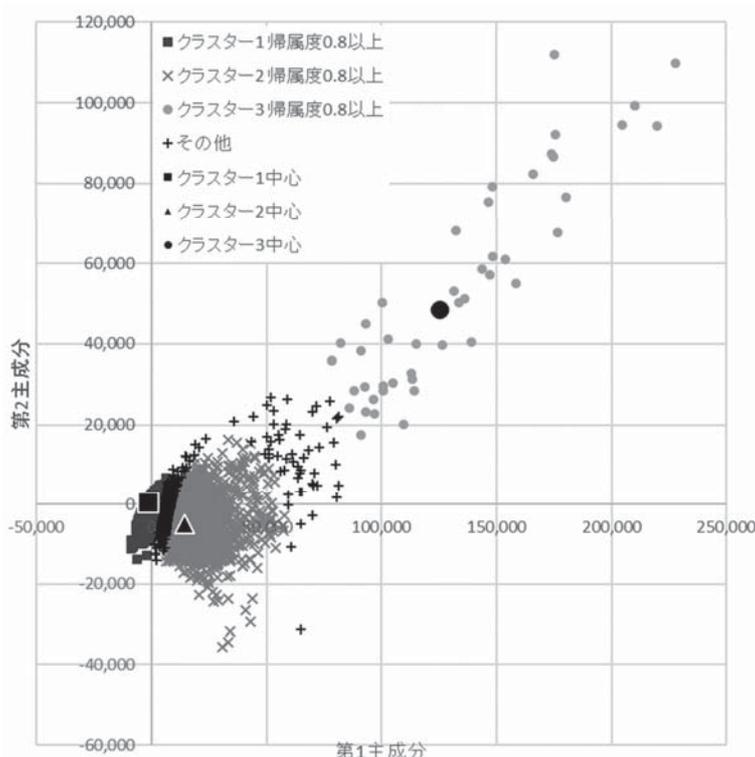


Fig. 7 Scatter plot of the fuzzy cluster analysis

Table 2 Statistical value of classification result of cluster analysis

		平均		最大値		最小値		分散		データの個数
		第1主成分	第2主成分	第1主成分	第2主成分	第1主成分	第2主成分	第1主成分	第2主成分	
閾値帰属度 80%	クラスター1	-1,537	430	6,753	6,797	-8,969	-13,946	2,261,911	1,173,702	50548
	クラスター2	15,412	-5,386	57,562	16,267	6,114	-35,488	65,166,750	22,307,883	3841
	クラスター3	133,058	53,589	227,835	111,939	78,563	17,497	1,517,425,852	667,888,030	46
	その他	8,342	-2,373	81,416	26,837	1,315	-31,243	117,391,731	22,398,199	1481
閾値帰属度 60%	クラスター1	-1,465	397	8,304	6,797	-8,969	-13,946	2,739,851	1,353,571	51070
	クラスター2	14,898	-4,989	70,461	26,837	4,597	-35,488	80,887,907	24,939,566	4351
	クラスター3	127,753	50,383	227,835	111,939	76,112	15,623	1,628,005,994	698,080,595	51
	その他	7,888	-2,564	81,188	26,289	2,079	-13,972	106,349,628	18,331,102	444

クラスター1は原点に近い位置にクラスター中心があり密集して点からクラスターが形成されており、クラスター2のクラスター中心は縦軸が負の値になっている。さらに、クラスター3は他のクラスター中心と比較して高い第1主成分と第2主成分が共に高い値を示しており、クラスターも疎らな点から形成されている。各クラスターへの帰属度を閾値80%で区切ると3つの帰属度のいずれも80%未満であった点は多くがクラスター1とクラスター2の間にある点にあった。

Table 2は、各クラスターの閾値帰属度80%および60%とした場合の各主成分得点の統計値を示したものである。データの個数を見ると、全体の地域メッシュの約9割がクラスター1に所属しており、分散も最も小さいクラスターである。反対に、クラスター3は分散が最も多いかわりにデータ数も最も小さく閾値80%と60%のいずれでも約50個のデータであり、全体の0.1%に満たない個数である。クラスター2は全体の約1割が所属しており、閾値80%から60%まで

下げるとクラスター1と同程度の500個が追加されている。

Fig. 8はFCM法でクラスター分析した結果得られたクラスター中心を、主成分分析の固有ベクトルで逆変換を行い、横軸は月別の24時間値をとった図である。クラスター1のクラスター中心は電力需給バランスが0に近い値を示しているため、余剰電力があるが電力需要も少ない地域メッシュでクラスターが形成されていることが明らかである。反対に、クラスター3は電力需要が特に大きい地域メッシュで形成されているクラスターであることが示されている。

Fig. 9~Fig. 11は、FCM法でクラスター分析した結果得られた各クラスターへの帰属度を地理情報システム(GIS)上で示したものである。色が濃いほど各クラスターへの帰属度が高くなっている。クラスター1は、山間部や戸建てが多い地域メッシュとなっており、太陽光発電による発電電力量に対して需要電力量が大きい、他のクラスターと比較して発電に対する

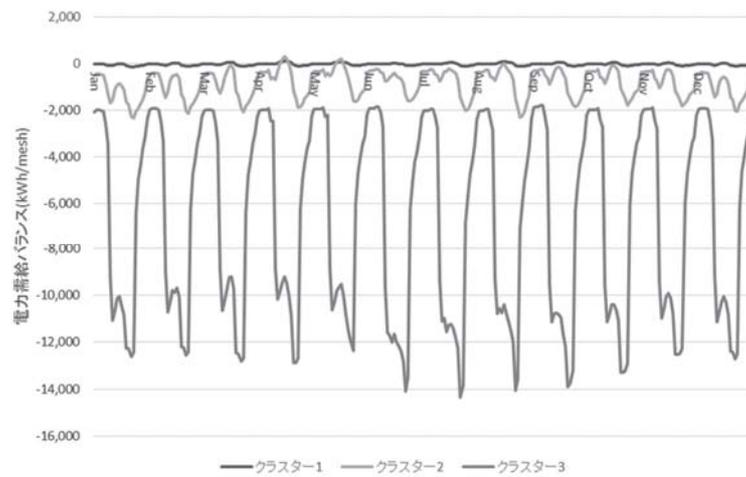


Fig. 8 24-hour value of monthly electricity supply-demand balance of each cluster center



Fig. 9 Results of classification by degree of membership to cluster 1



Fig. 10 Results of classification by degree of membership to cluster 2



Fig. 11 Results of classification by degree of membership to cluster 3

需要の超過割合が低い地域メッシュが多いことがわかる。クラスター2は、都市部の人口密集地がある地域メッシュであることから、太陽光発電の設置容量に制約があり、クラスター1と比較して需要の超過割合が大きいことがわかる。クラスター3は特に人口が密集している地域メッシュであり、需要の超過割合がクラスター2よりもさらに高くなっている地域メッシュが多いと判断される。

したがって、電力需給バランスを入力データとして主成分分析とFCM法を用いることで、山間部で余剰電力が発生しやすい地域メッシュと、都市部で電力が不足しやすい地域メッシュへと分類することが可能となった。

クラスター1に分類された地域メッシュでは、山間部の地域メッシュが多く、グループ内の余剰電力および電力需要の存在する地域メッシュ間の距離が離れて

いることから、分散蓄電シナリオのように各地域メッシュ内で蓄電し、余剰電力の移動を抑える必要があると考えられる。クラスター2およびクラスター3に分類された地域メッシュは、都市部に属しており電力の消費が近距離で行われることから、集中蓄電シナリオのように各グループ内で蓄電設備を共有して、蓄電設備の蓄電容量を抑えることが可能だと考えられる。

4. おわりに

太陽光発電の発電電力と民生部門の需要電力による電力需給バランスを、主成分分析とファジィクラスター分析を用いることで、山間部で余剰電力が発生しやすい地域メッシュと、都市部で電力が不足しやすい地域メッシュへと分類することが可能となった。分類された各クラスターで有用な蓄電電力融通シナリオが異なり、電力の需要地が近くにあるクラスターの場合は、各グループ内で蓄電設備を共有して、蓄電設備の蓄電容量を抑えることが必要だと考えられる。また、山間部が多く電力の需要地が遠くにあるクラスターの場合には各地域メッシュ内で蓄電し、余剰電力の移動を抑える必要がある。各地域メッシュの電力の需要地までの距離や電力需給バランスの組み合わせを考慮した送電網を構築することによって、より送電損失を抑えながらも再生可能エネルギーによる分散型発電の余剰電力の活用が可能であるといえる。

今後は、クラスター分析によって分類されて結果を基に、より送電損失を抑える蓄電電力融通のシナリオを提案することが必要となる。また、送電線のたわみを考慮していないので送電線の総延長が過小評価されている。そのため、送電線の素材や太さ、電柱の間隔などを決定して考慮する必要がある。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費(15K06277)による

助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Ali Hooshmand, M. H. Poursaeidi, J. Mohammadpour, H. A. Malki, K. Grigoriadis: Stochastic model predictive control method for microgrid management. 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) (2012)
- 2) 小柳薫・斉藤直樹・新村隆英・横山隆一・永田敏・藤野三紀雄・野呂康宏: 再生可能エネルギー電源と蓄電装置から構成されるクラスター拡張グリッド, 電気学会研究会資料, PE, 140, pp. 67-72. (2009)
- 3) 伊達貴彦・栗栖聖・花木啓祐: 用途の異なる街区の組み合わせに対するスマートグリッド適用効果, 環境科学会誌 28(2), pp. 126-142. (2015)
- 4) 福原大祐, 吉川直樹, 天野耕二, 島田幸司: 近畿地方民生部門を対象とした再生可能エネルギーの電力融通ポテンシャルの評価, LCA 学会誌, Vol. 12, No. 2, pp. 86-96 (2016)
- 5) 国土交通省国土政策局国土情報課, 国土数値情報ダウンロードサービス: http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/gml_datalist.html
- 6) 総務省統計局, 平成 22 年国勢調査, 政府統計の総合窓口: <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?page=1&type=1&toukeiCode=00200521>
- 7) ZENRIN, 建物統計データ, 500 m メッシュ 2012 年版, CD-ROM
- 8) 気象業務支援センター, 気象データベース・アメダス, CD-ROM
- 9) 空気調和・衛生工学会: 都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価, 丸善, pp. 142 (1994)
- 10) 環境省, 平成 25 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書: <http://www.env.go.jp/earth/report/h26-05/index.html>
- 11) 環境省, 低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策について: <https://funtoshare.env.go.jp/roadmap/report.html>
- 12) 住宅金融支援機構, フラット 35 住宅仕様実態調査報告: http://www.jhf.go.jp/about/research/tech_flat35_siyou.html
- 13) Ross, Timothy: J. Fuzzy Logic with Engineering Applications, third Edition, pp.352-353 (2010)

Regional Evaluation of Electric Power Interchange Potential of Renewable Energy by Cluster Analysis

Daisuke Fukuhara^{1)†}, Naoki Yoshikawa²⁾ and Koji Amano³⁾

¹⁾ Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²⁾ College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

³⁾ College of Gastronomy Management, Ritsumeikan University

† Correspondence should be addressed to Daisuke Fukuhara :
(Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University)

Abstract

Distributed power supply is expected to spread, and further promotion is expected by liberalization of electric power. In that case, it is necessary to make effective use of surplus electricity in the area, so it is important to evaluate the potential of electricity storage and electric power convergence. Therefore, in this research, we calculate the electricity demand of households and business divisions by time zone and the supply able quantity of distributed generation by renewable energy based on meteorological observation value and statistical value in the region mesh of 500 m grid on GIS (geographical information system) by electricity supply and demand. We estimated the balance. A simulation assuming power interchange within multiple scenarios was carried out and cluster analysis by the region mesh of 500 m grid by time was performed on the results.

Keywords: fuzzy cluster analysis, power interchange, renewable energy, geographic information system, aggregator