

課題名 1F-1201 再生可能エネルギー需給区連携による『もたせ型』分散エネルギー・システムの開発

課題代表者名 小林 久（茨城大学 農学部 教授）

研究実施期間 平成24～26年度

累計予算額 109,430千円（うち26年度34,556千円）  
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 再生可能エネルギー、小水力、エネルギー融通、デマンドレスポンス、最適化、分散型電力系統、地域主体形成

## 研究体制

- (1)再生可能エネルギー需給区(「セル」)のモデル化と分類（茨城大学）
- (2)需給システムとエネルギー相互融通システムの開発（東京農工大学）
- (3)分散型電力系統・融通システムの開発（芝浦工業大学）
- (4)開発・運営主体の形成と評価（特定非営利活動法人協同総合研究所）

## 研究概要

### 1. はじめに（研究背景等）

再生可能エネルギーは安定供給等に問題があり、一種類では電力系統、石油流通システム等の基幹システムに付随しなければ限定的な需要にしか対応できない。一方、多くの再生可能エネルギーは薄く分散し、変化することを特徴とするため、大量に利用する場合は広大な面積あるいは多数の設備を必要とし、各資源の特性に応じた分散型供給が不可避となる。そのようなエネルギーの需給体系は、生産地点周辺の需要を満たして余剰を供出し、不足したら近隣から補完するというボトムアップ型の需給調整で成り立つ図1のような分散複合型が適している。このようなしくみを成立させるためには、エネルギー需給オプションの多様化、需要に応じたエネルギー種の選択的利用や上位システムからの影響の最小化が求められる。技術的な方策としては、送電拠点の分散、エネルギー蓄積・調整による需給双方からのエネルギーフローのICT制御、非同期連系する自立的エネルギー需給単位からなる分散型エネルギーシステムなどが提案されている。また、需要側制御などによる社会制度的な接近やエコ・コミュニティ、Post Carbon社会など、社会のあり方に関する研究も盛んになりつつある。

一方、再生可能エネルギー資源に対する社会の関心は、太陽光・風力発電などの再生可能電源に集中する傾向が強い。しかし、電力はエネルギー消費の1/4を占めるに過ぎないので、輸送性に問題のある熱の需給を含めない拙速な取組みは、将来社会のエネルギーシステムの見立てを見誤る可能性がある。

このような状況を考慮すると、再生可能エネルギーを効率的かつより多く利用するためには、ボトムアップ型の分散複合型エ

『もたせ型』分散エネルギーシステム  
「湧出セル」群、「調整池」と「融通クラスタ」を連結するエネルギーシステム。□

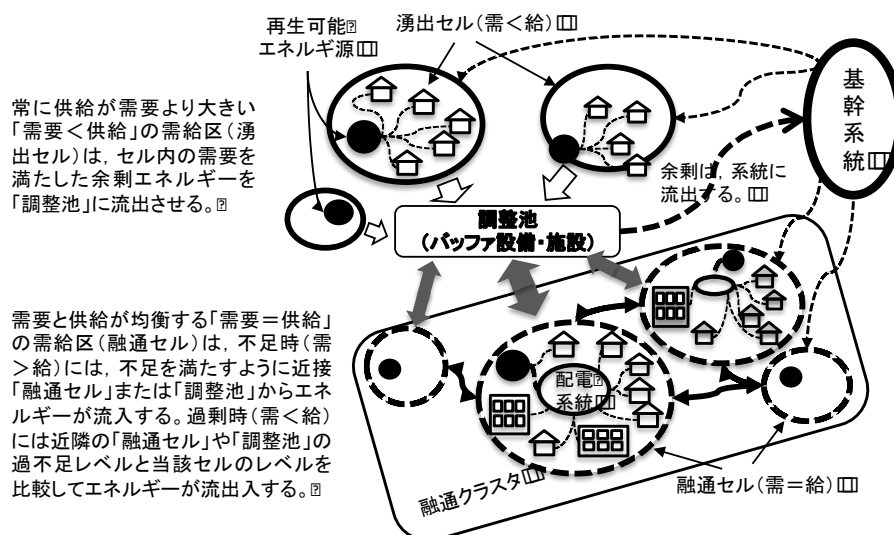


図1 研究構想のフレーム

エネルギーシステムに関する研究の重要性が浮かび上がる。なかでも、分散型エネルギーシステムの基礎単位の需給マッチングや成立条件などに関する研究は、このようなシステムをデザインするうえで、最優先の研究課題といえる。

## 2. 研究開発目的

本研究は、分散型エネルギーシステムの基本形の一つとして、再生可能エネルギーが豊富で、エネルギー需要が比較的少ないため自立的なエネルギー需給単位が実現できると考えられる領域を対象に供給側をすべて再生エネルギーでまかなうことを想定した需給の基礎単位（「セル」）を構想し、「セル」が独立または複合連携する形態のエネルギーシステム開発を目指す。「セル」としては、たとえば数10戸からなる農山村集落を想定する。

そのために、本研究はケーススタディを通して、再生可能エネルギーを基幹とするエネルギー需給システムのモデル化（サブテーマ1）、エネルギー相互融通システムの最適化（サブテーマ2）と分散型電力システム開発（サブテーマ3）を行い、システムの運用主体および波及に関する考察（サブテーマ4）を行って、自立的なエネルギー需給単位（「セル」）のモデルを提案するとともに、自律分散的な制御機構を開発して「セル」群がエネルギーを相互融通・自給する『もたせ型』分散エネルギーシステムを技術工学的・社会経済的観点からデザインすることを目的とする。

## 3. 研究開発の方法

### （1）再生可能エネルギー需給区（「セル」）のモデル化と分類

合理的な再生可能エネルギー生産・供給と需要のマッチングを検討するために、第一に①ケーススタディ地区として選定した山梨県都留市大幡地区と静岡県伊豆市船原地区における資源別開発可能量の推計を通して実用的な開発資源を特定し、開発シナリオを検討・設定した。第二に②電力消費量の計測や熱需要（暖房、給湯、厨房）に関する実態調査により用途別期別のエネルギー時間需要モデルを作成し、③群としての電力の時間需要変動を検討することで技術工学的に妥当な「セル」サイズを検討した。さらに、④任意の「セル」（コミュニティ）の期別時間需要を求めるために、作成したモデルを搭載したコミュニティ・エネルギー設計支援ツールを開発した。第三に、⑤再生可能エネルギー供給可能量とエネルギー需要量のバランスを分布として表す手法を開発し、エネルギー需給充足分布図を作成することで、エネルギー自立が成り立つ条件・範囲を明らかにした。最後に、⑥デマンドレスポンス（DR）に関するアンケート調査に基づき、分散型電力グリッドの容量削減およびシステム安定化へ寄与できるDRの導入可能性を定量的に分析した。

### （2）需給システムとエネルギー相互融通システムの開発

もたせ型分散エネルギーシステムのコンセプトを表現するため、再生可能エネルギー資源が豊富な「湧出セル」、エネルギー融通を仲介する「調整池」、主にエネルギーを融通される「融通セル」から構成され、湧出セルからの余剰エネルギーを調整池が仲介して融通セルに供給する最適化型モデルを作成し、シミュレーションにより最適技術選択、最適運用形態を導出して、電力、熱の融通効果の検証を行った。

モデルは、湧出セルが太陽光発電や小水力発電、木質バイオマスボイラなどの再生可能エネルギー技術と系統電力買電、蓄電池、石油給湯器、エアコンなどの技術を、融通セルは従来技術、蓄電池、ヒートポンプを有すものとし、調整池は湧出セルからの電力を融通セルに受け渡す機能のみとした。最適化は、調整池が提示する売買価格に基づいて、調整池の収益を最大化し、各「セル」がエネルギー技術運用を最適化する場合（個別最適）と社会的に受け入れ可能な解と考えられるシステム全体の利益を最大化して、コストを最小化する場合（全体最適）について分析した。

さらに、サブテーマ1で作成したケーススタディ対象のコミュニティに関する推計データを使用し、需要、生産設備容量、資源量（日射量）を変化させた感度分析を行い、最適化に影響を及ぼす因子を分析するとともに、全体最適と個別最適の結果を比較した。

また、システム最適化の実用的運用のために、電力の余剰状態を仮想的な温度として表現し、温度差に応じて電力が融通される伝熱アナロジーモデルを作成し、年間を通じた逐次的なシミュレーションにより適用性を検討した。

### （3）分散型電力系統・融通システムの開発

ディーゼル発電機（DG）、太陽光発電（PV）、蓄電池（BT）、小水力発電設備（SHP）を用いた独立型マイクログリッドの自律分散制御による電力需給システムのシミュレーションモデルを作成し

て各発電機容量の決定を行うとともに、瞬時値系統解析シミュレーションなどを通して、独立グリッドとグリッド群の配電系統、電力融通手法、基幹系統との連系に関する技術工学的課題の洗い出しを行い、通信設備を利用せずに各機器が自端で得られる周波数の情報だけで出力制御を行い、電力需給バランスや電力品質の維持が可能なシステムを開発した。さらに、MATLABによる実効値解析モデル・瞬時値解析モデルを作成し、自律制御や電力融通に必要なパワーエレクトロニクス機器の基本機能・構成を明らかにするとともに、誘導発電機の大量導入などによる電圧変動の発生、無効電力の偏在に対処する方法や機器を検討した。

また、電気事業法と小水力発電の2点に着目し現行法規を参照しながらクリアすべき課題を抽出し、条件を整理し、実装時の条件を確認した。

#### (4) 開発・運営主体の形成と評価

社会学的（地域社会学・協同組合論）および経済学的（環境経済学）アプローチで、地域主導の分散エネルギーシステムに適した主体・組織・しくみや地域への波及効果を分析した。

社会的アプローチとしては、第一に①事業組織要件を先行研究から導出し、②その要件の妥当性等を国内外の事業主体の事例、先行研究や地域社会の関心醸成や合意にむけたワークショップ等から確認した。第二に、③想定しうる再生可能エネルギー事業の開発組織について類型化を行って、類型別の利点・課題を分析し、④地域社会との親和性の高い組織が望ましいという前提で、事業担い手の地域社会における役割・機能を整理し、⑤優位性がより効率的な形で発揮されるための社会条件整備についての考察を通して支援の必要事項を検討した。最後に、⑥海外（イタリア・ドイツ）における地域のイニシアティブ発揮に対する支援政策を把握し、支援策展開における課題を整理した。

経済学的アプローチとしては、第一に①ケーススタディ地域を選定して、地域におけるエネルギー取引の実態を、資料収集、聞き取り・アンケート調査により量・金額について把握し、地域のエネルギー需要構造とエネルギー経済を定量的に分析した。第二に、②導入可能な地域内の再生可能エネルギーによる化石型エネルギーの代替シナリオを設定して、エネルギーフローの変化と経済的効果（正負）を試算した。

## 4. 結果及び考察

### (1) 再生可能エネルギー需給区（「セル」）のモデル化と分類

#### 1) 需給シナリオ作成と需要計算ツール開発

ケーススタディを通して再生可能エネルギーによるエネルギー自立が可能な領域の需給シナリオを作成するために、開発資源を選定して開発量推計し、用途別需要モデルを作成した。開発資源は、電源として太陽光と小水力、熱源として太陽熱と木質バイオマスが実用的であるとし、期別時間別に供給量を求めるための条件整理とモデル作成を行った。とくに、小水力に関しては流量観測等により、水田が分布する農山村の集落で数10kW出力の開発が可能であることを明らかにした。

用途別需要モデルは、期別の分単位の消費電力計測、使用機器の所有・使用状況調査などにより把握したエネルギー需要に基づき、家族数、建物面積、生活様式、平日・休日などを考慮して作成した。戸当たり日平均エネルギー消費量は、通年で都留149MJ、伊豆地116MJ、冬期で都留302MJ、伊豆178MJとなり、より寒冷な都留地区の消費が大きく、気候による大きな相違が認められた。電力需要モデルは、計測データと家族数、建物面積などとの関係を分析し、床面積当たり需要量として作成することとし、平日の在宅／不在別に平日／休日に分け、期別30分ごとの日需要モデルとした。熱需要モデルは、機器等のカタログ出力に使用時間・状況等から設定した使用率と出力割合（消費率）を乗じて期別特別に推計した日需要と家族数、建物面積、生活様式等との関係を分析して、給湯と暖房は平日の在宅／不在を区分し、さらに平日／休日に分けて一人当たりの期別特別の日需要モデルとし、厨房は地区も生活様式等も区別しない一人当たり期別特別の日需要モデルとした。

作成した建物別期別用途別の日時間需要モデルは、1日～1年の任意の日単位の期間で特別需給を簡単に計算できるGIS連携型のGUIアプリケーションを開発し、時間日射量データとともに搭載することで、コミュニティレベルのエネルギー需給検討に使えるようにした。開発したアプリケーションは、サブテーマ2のシステム最適化およびサブテーマ3の電力需給シミュレーションで使用するケーススタディ地区の期別特別の需要データを生成・提供するために使用した。

また、瞬時瞬時の需給マッチングが不可欠な電力システムの規模について考察し、群としての「日需要の最大と最小の差」、「ピーク需要の変動幅」が十分に予測可能な範囲に収まる大きさを20～30戸以上（ピーク需要が25kW～50kW以上）とし、サブテーマ3の電源容量とサブテーマ4の主体・体制の検討に対し、「セル」の最小「工学的サイズ」として提示した。

## 2) 再生可能エネルギーによるエネルギー自立領域

再生可能エネルギーの供給可能量とエネルギー需要量のバランス分布を分析することで、再生可能エネルギーによるエネルギー自立需給区の成立可能性と成立領域を明らかにした。開発対象の再生可能エネルギーは、建物設置の太陽熱集熱と木質バイオマスの熱源、建物設置の太陽光発電と小水力発電の電源とし、開発可能量はGISを活用し期別に推計する手法をそれぞれの資源について開発して求めた。エネルギー需要量は、作成した建物別の用途別の期別時別エネルギー需要モデルを利用して建物面積当たりの期別の日電力および日熱需要として設定し、GISを活用して建物別に求めた。

再生可能エネルギーによるエネルギー自給の可能性は、100メッシュ交点を中心とする半径300m円内の開発可能量、需要量を集計し、可能量から需要量を引いて各交点の「需要充足量」を求めることで評価した。求めた充足量は各交点の座標とともにGISデータとし、分布図を作成することで自立領域を抽出できるようにした。

開発した分布図作成手法をケーススタディ対象地の都留市全域に適用し、需給充足量分布図を作成した。需給充足量を求めたすべての円（中心点）の数（5,506）に対する電力需要充足量が正（供給が必要より多く自給可能）となる地点数の割合は、建物面積に対するパネル設置率50%、代表月の中央値日射量のと看、夏期23%、冬期21%で、円内の建物総面積が4,000~5,000 m<sup>2</sup>以下（20~30戸以下）のところが多かった。一方、熱需要の正の充足量の地点数割合は、冬期で60%程度、夏期で80%を越え、建物密度が小さい集落部を中心に4,000戸（総世帯数の約40%）以上で給湯・暖房の熱エネルギーを通年にわたって自給できると判断された。

## 3) 需給協調によるエネルギー利用方策の提案

需要側が求める電力品質を低下させることで、過大装備を避け、電力システム安定化が見込めるといふ認識に基づいて、DRによる電力需給協調の可能性を全国規模のアンケート調査を実施して分析した。調査によると、30分・年1~4回と1時間・年1回の停電を電力料金削減なしで過半数が受け入れられると回答した。停電の受入率は、女性の方が男性より、省エネ意識が高い人の方が低い人より明瞭に高かった。電気代削減による受入率の変化を検討したところ、年電気代削減額を増加させると受入率は増加し、受け入れられないとする回答の割合は減少した。そこで、削減額の選好が正規分布に従うと仮定して、削減額に対する受入率の累積選択確率を求めると、過半数が受け入れる削減額は1時間・年2回が12千円、3回が25千円と推計された。

また、東京電力の年間の電力需要量別時間と供給時間別電力コストを使用して、DRコストと給電コストを比較し、予期しない年間6時間の停電を起こさない設備容量を装備するよりDRを導入してピークカットをする方が経済的に妥当であることを示した。

さらに、時間帯別の部分停電の受入に関するアンケート調査を行い、ピーク需要時の需要削減の可能性を検討したところ、夏の午後6~9時に2時間のエアコン停電を4回まで許容する割合は、1万円の年電気代削減で50%、2万円で63%と推計された。アンケート調査結果の分析からこの時間帯のエアコンの電力消費率は44%と推計できたので、分散型マイクログリッドが対象とするコミュニティレベルの夏期の電力ピーク需要は年電気代1万円削減で約22%、2万円削減で約28%カットできる可能性があると考えられた。このような分析により、分散型グリッドの計画設計（設備容量・予備力の削減等）においてDRによる需給協調は重要な検討オプションになること、さらにエネルギー起源の温室効果ガス排出削減に関するインセンティブ付与と環境価値取引などの経済的削減方策の活用によりDR導入が効果的な温暖化防止対策になることを示した。

## (2) 需給システムとエネルギー相互融通システムの開発

### 1) 最適化モデルによるもたせ型システムの解析

個別最適化モデルを用いてもたせ型分散エネルギーシステムを解析した。2つの湧出セルを仮定したが、一方は住宅系が主で、もう一方は業務系が主となる建物構成を与えた。太陽光発電は住宅設置を前提に、設置できる規模に上限を設けた。湧出セルにおける太陽光発電の導入は電力融通を仲介する「調整池」が提示する余剰電力買取価格の影響を受け、価格が高くなるほど余剰電力が増加する傾向が表れ、蓄電池の導入量も合わせて増加した。太陽光発電の導入は、買取価格が系統電力価格の0.8倍の時に上限に達し、それ以上の買取価格では余剰電力がほぼ一定で調整池の費用負担が増加した。一方、融通セルに対する電力価格を系統電力の価格よりもわずかに低く設定したため、価格差が小さくなることから収益は低下した。この結果、調整池の収益は0.8倍の買取価格で最大となり、このとき湧出セル、融通セルのどちらも従来に比べてコストが削減され、湧出セルは余剰電力を発生させて融通セルに送る合理的な行動をとると解釈でき、経済性を指標とした判断に基づき、地域内のセル間で余剰電力を融通し合うシステム（もたせ型分散エネルギーシステム）が形成できると考えられた。

また、地域全体での総コスト削減率は個別最適化で7%、全体最適化で9%と差はそれほど大きくはない結果となった。個別最適化では設備投資がわずかに抑えられ、その分ランニングコストの削減がやや小さくなった。再生可能エネルギーの導入状況でみると、太陽光発電、薪ボイラはどちらも上限まで導入された。小水力発電は個別最適化の導入量が全体最適化よりも小さくなった。これは設定した小水力発電のコストが高いことに起因すると考えられた。

サブテーマ1で作成したコミュニティ単位の需要データを使用して、感度分析を行った結果、建物構成を変化させた場合、調整池の利益が最大になるのはいずれも買取価格が0.8倍の時であった。住宅が少ないケースでは余剰電力が減少するため、調整池利益は小さくなるが、利益最大の発生点は変わらなかった。屋根面積を2倍とし太陽光発電の導入量を拡大するケースでは、利益曲線のピークがより急峻となりピーク値は高くなった。これは、余剰電力の発生量が2倍に増えることから最適買取価格を超えると急激に収益が悪化することを表しているといえた。ただし、ピークの買取価格は同様に0.8倍であった。環境条件である日射量を変えた感度分析では、日射量が相対的に少ない山梨の条件と多い伊豆の条件（山梨の2倍）およびその中間の3ケースを与えた。同じ太陽光発電の面積を導入しても日射量によって発電量に差が生じるため、余剰電力の発生状況に大きな違いが表れた。日射量が多いケースでは買取価格が低いレベル（系統電力の0.4倍弱）で導入上限に達した。日射量が中間のケースでは0.5倍の買取価格で上限となった。また、日射量の違いは蓄電池の導入形態にも変化をもたらした。日射量が多いケースでは買取価格が上昇しても太陽光発電の発電量は頭うちとなり、蓄電池は増やせなくなった。そのため、蓄電池の導入量が徐々に低下し、湧出セルはセル内で太陽光発電による電力を消費するのではなく、余剰として融通に回す行動に移行した。調整池利益の観点からみると、日射量が少ないケースでは0.8倍でピークとなり、日射量が多いケースでは0.35倍でピークが発生した。そこで、最適な余剰電力買取価格と年間積算日射量の関係をプロットすると、3つのケースで線形の関係があることが見いだされた。

以上より、もたせ型分散エネルギーシステムでは調整池が仲介役を果たすことによって余剰電力の融通を実現し、最適な価格設定は太陽光発電による電力生産量を左右する日射量によって決定づけられることが示された。言い換えれば、日射量を与えると買取価格が推定されるので、日射量を指針として調整池の行動を決め、その価格に基づいてセルの行動を予想することが可能といえた。

## 2) 伝熱アナロジーモデルによるもたせ型システムの解析

伝熱アナロジーモデルでは湧出セル、調整池、融通セルのそれぞれに電力余剰の状況を表す“温度”を定義した。“温度”は、余剰が増えれば高くなり、減れば低くなるとし、セルと調整池間の温度差が広がればその間の電力融通量が温度差に比例して増えるものとした。モデルのパラメータは、本モデルで求められた調整池から融通セルへの電力融通量と個別最適化による電力融通量が同等になるように調整した。その結果、温度は余剰電力量の一次関数で与えるのが適当であり、その係数は年間を通じて同じ値でよいことがわかった。それ以外のパラメータは月別にチューニングした。

時間ごとに伝熱アナロジーモデルと個別最適化モデルによる結果を比較すると、融通電力の発生パターンは概ね似ているものの、時間ごとの数値の相関は高いとはいえなかった。しかし、月ごとの融通電力の発生量の合計値をみると、伝熱アナロジーモデルと個別最適化モデルの結果はよく適合し、地域内における電力融通量を月別に予測する上では伝熱アナロジーモデルは有効であると考えられた。最適化モデルは全条件がわかっていることを前提に最適化するので、システム運用を実際に最適化することは困難である。逐次の情報をモニタリングしながら余剰電力の融通を決めることが実際的であるとすれば、伝熱アナロジーモデルはそれをよく模擬していると解釈された。

## (3) 分散型電力系統・融通システムの開発

### 1) 「セル」導入に伴う配電システムシステムの課題の抽出

独立マイクログリッドとグリッド連系システム開発の前提として、従来の電力系統や一般的なICTを活用するスマートグリッドのコンセプトとは異なる配電システムシステムの導入可能性を、複数の発電設備等を有す「セル」がBTB（交流系統直流変換連系装置）を介して異なる電力品質の交流で連系し、地域内の需給バランスにより変動する周波数を用いて自律的に起動停止や出力調整を行うことができるかを検討した。その結果、多様な電源をもつ各セルが供給グループを形成して、近隣のセルとの電力融通やDR制御によって需給バランスを調整する配電システムシステムが構築できることを明らかにした。これにより、基幹系統（電力会社からの電力）からの送電に極力頼らず、住民が地域性のある多様な発電方式を選んで分散型電源を設置する電力の地産地消システムが想定できることを示した。

システムの運用では、まず各発電機は各セル内の電力需要量の増減に対して、自動的に供給量を調節する必要がある。そのために、本研究では発電機同士は通信を利用しないで、システムの動作は周

波数情報によって、従来の自律分散制御と新しい自律分散制御であるSSI（安定供給指標：Stability Supply Index）制御を使用して自動で各設備の出力の開始・停止・出力量調節を行う機構を開発し、「周波数情報を基に自動で出力を調節し、電力を各セルに供給する」新しいエネルギーシステムを「もたせ」型として構築した。この制御機構により、監視制御システムや通信回線のためのコストを大幅に削減することができる。

自律分散制御による電力供給に関しては、サブテーマ1から提供された日時別需要データを用いて、セル内の電力需給解析やセル内における分散型電源導入時の安定度評価を行うことで、電力融通を行う上でセルAとセルBが電力品質を落とさずに安定して運転できることを示した。また、誘導発電機導入時の系統安定度解析として小水力発電を模擬した誘導発電機とディーゼル発電を模擬した同期発電機を用いた自律運転セルを作り、同期発電機に対する誘導発電機の供給割合を変えて発電機の挙動や電圧・周波数の変化を明らかにし、誘導発電機の導入量が30%以下であれば安定した運用ができることを明らかにした。

## 2) パワーエレクトロニクス機器の基本機能・構成の検討

セル間の電力融通及び連系に関しては、送電端の交流電流を直流電流に変換し、受電端の周波数に合わせた交流電流に再変換するBTB（Back To Backと呼ばれるパワーエレクトロニクス機器）をベースとした直流送電システム方式によって異周波連系が可能であることを、BTBシミュレーションモデルによる解析と実機を用いた実験から実証した。

## 3) 電圧変動の発生、無効電力の偏在、などの電力品質の維持方法の抽出・検討

多様な分散型電源使用によるインバータ機器の増加にともなって、高調波成分の除去、電力品質の改善が必要になる。そこで、高調波対策としてアクティブパワーフィルター(APF)を用いることとし、負荷が発生する高調波を高調波検出回路によって検出し、それとは逆位相の電流（＝打消し電流）をAPFによって生成、その打消し電流を送電端に注入することで送電端電流の高調波成分をキャンセルし、送電端電流を補正する機能について理論解析および実験から検証を行い、提案手法の有効性を確認した。このような検証結果から、再生可能電源として導入される太陽光発電と最適に組み合わせて使用できるPV-APFシステム構築が可能と判断した。

## 4) 規程の見直しに注目した課題の抽出・検討

特定供給や特定電気事業に着目し、電力品質レベルの差別化と責任分界点の明確化が必要になるものの、独立型マイクログリッドと基幹系統の共存が制度的にも実現可能であることを明らかにした。

### (4) 開発・運営主体の形成と評価

#### 1) 組織の要件と連携の必要性

平成大合併後、地域運営のあり方が模索される中、再生可能エネルギーの取り組みも地域運営の新たな方向性に関連づけて考える必要があることを明らかにした上で、各地の事例を参考に、先ず「地域組織としての伝統的な凝集力の強弱」と「特定地域志向か広域連携を射程にいられた活動か否か」を軸として、地域組織とそのネットワークを次のように類型化した。

「積み上げ型ネットワーク」：従来の社会関係資本を基盤に、広域でステークホルダーを形成

「シングルステークホルダー」：農山村を中心に多様な活動を展開する従来の地域組織

「マルチステークホルダー」：地域内の社会関係資本形成に貢献する市民団体等のコア組織

「ハブ型ネットワーク」：広域発信をしているNPO・市民団体等の求心力のあるコア組織

次に、先行研究のレビューや事例分析に基づき、事業組織の要件を下記のように整理した。

- ①地域住民が地域課題の発見や議論、解決に向けた活動に参加し得る組織である。
- ②事業体の意思決定において地域住民の意向を反映できる仕組みがある。
- ③事業による便益の大部分（or すべて）を地域の福祉向上に活用できる仕組みがつくれる。
- ④事業に関わる日常的な業務運営（有償）に地域住民が優先的に関わる仕組みがつくれる。
- ⑤公共性の高い性格の事業である。
- ⑥将来世代が地域資源を活用できるように配慮している。

さらに、本研究開発が前提とする「もたせ型」分散エネルギーシステムは、資源の管理・利用を共有するそれぞれのコミュニティ（セル）が、自律的に再生可能エネルギーを生み出すと同時に、セル相互の連携・融通によって、安定的かつ適切に需要を充足することを想定していることを整理して、地域社会の変動が急速に進む中、①そこに集う人々の利害の多様化にも目をむける必要があること、②自治体内分権とそのネットワークの仕組みが必須であること、③小規模の限界・デメリットをカバーするネットワーク・コーディネートの仕組み（水平的補完性）と④連携を促進する行政からの支援（垂直補完性）が必要であることを、様々な小規模な取り組み事例等から明らかにした。





- ・電力のピーク供給容量を供給停止契約などにより削減できるデマンドレスポンス導入の可能性を明らかにした。
- ・再生可能エネルギーが豊富な中山間地において、余剰電力を融通して地域全体で利用するシステムとして、仲介者が供給グループと需要グループを制御する形態（もたせ機能）が有効に機能することを明らかにした。
- ・再生可能電源の電力ローカルマーケットにおける最適余剰買取価格は、太陽光発電量を左右する日射量が強く影響することを定量的に示した。
- ・日射量と需要負荷より、毎月の融通可能電力量を推定できる伝熱アナロジーに基づくモデルを作成した。
- ・誘導発電機導入時の電力系統解析モデルを提案して系統安定度の信頼性を評価することで、独立マイクログリッドの電源構成における誘導発電機の導入上限を明らかにした。
- ・パワーエレクトロニクス機器を活用した電力系統の運用方法を提案し、実験装置を試作して運用の可能範囲を評価し、電力品質が改善できることを示した。
- ・地域で取組む分散型、自立型の再生可能エネルギー事業の社会的・経済的意味を明らかにした。
- ・事業組織の類型化により、農山村における持続可能な地域づくりのための再生可能エネルギー事業者の可能性を考察し、マルチステークホルダーの「共同運営的な事業者（協同組合形式）」であるコミュニティ協同組合的な発想の新しい事業形態の展開可能性を示した。
- ・再生可能エネルギー利用の拡大にともなう地域へのプラスとマイナスの効果を検証し、地域内の再生可能エネルギー資源利用による地域経済効果がきわめて大きく、コミュニティ機能拡充に貢献できること、大規模な資源移動による非化石燃料利用より小規模移動の利用の方が有効であることを明らかにした。

## （２）環境政策への貢献

- ・自給型分散エネルギーシステムの研究コンセプトを研究会やシンポジウムで政策決定者に説明することで、地域エネルギー開発の意義と政策的課題に関する認識を広めた。
- ・コミュニティレベルのエネルギー需給の検討を簡便に行える汎用的なコミュニティ・エネルギー設計支援プログラムを開発した。
- ・需要以上の再生可能エネルギー開発が可能な領域の抽出により再エネ開発によるエネルギー自立が可能な領域があることを明らかにし、小水力が中核的な電源になり得ることを示した。
- ・デマンドレスポンスによるシステムの過大装備回避およびエネルギー起源の温室効果ガス削減と連動するDRインセンティブ付与方策の可能性を指摘した。
- ・周波数情報による自律制御と安定供給指標制御の機構を開発し、50kW規模以上の独立マイクログリッドと電力品質が異なる独立グリッド連系を実現する住民の参加が容易なシステム構成の再生可能電源による電力系統設備の形成および運用方法を提案した。
- ・電力系統の設備形成と運用に関して法制度の側面から検討を行い、提案する独立マイクログリッドの導入可能性および課題について示した。
- ・再生可能エネルギーが豊富な地域における再生可能エネルギーによるエネルギー自立の実現性を明らかにし、地域主導の再生可能エネルギー事業が農山村再生に貢献できることを示した。
- ・コミュニティレベルの化石燃料から非化石燃料への代替が、地域雇用、地域循環経済の拡大に大きく貢献することを明らかにした。

## ＜行政が既に活用した成果＞

特に記載すべき事項はない

## ＜行政が活用することが見込まれる成果＞

- ・再生可能エネルギー資源による分散型エネルギーシステムの構想に活用できる独立型電力需給および熱需給のモデルを提示した。
- ・コミュニティレベルで、再生可能エネルギー開発やエネルギー需給検討を行う際に利用できる基礎資料、需要計算ツールを整備した。
- ・太陽光発電、小水力発電、太陽熱、森林バイオマスの開発可能量を推計し、再生可能エネルギーで電力と熱の需要を充足できる範囲の抽出手法を開発し、市町村～全国規模で適用できるようにした。
- ・農山村型マイクログリッド設備の過大装備回避と安定的運用のための電力ピークカットにデマンドレスポンス(DR)が有効で、分散型電力システム設計とエネルギー起源温室効果ガス削減方策におい



てDRが重要なオプションになることを示した。

- ・ ICTに頼らない自律制御と安定供給指標制御機構の開発し、独立マイクログリッドとそれらの連系が実現できることを示し、再生可能エネルギーの効率的開発やレジリエントな社会づくりに貢献する大規模災害時等の状況に対応できる独立電力システムを提示した。
- ・ 小水力発電が、他の技術と比較して最も導入量を制約する高コスト水準にあることを明らかにし、小水力発電の拡大には初期コスト削減が必須条件になることを示した。
- ・ 地域において再生可能エネルギー資源の分散型エネルギーシステムを構想する際の参考モデルを提示した。
- ・ 再生可能エネルギーが豊富な地域における再生可能エネルギーによるエネルギー自立の実現性を明らかにし、地域主導の再生可能エネルギー事業が農山村再生に貢献できることを示した。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 白波瀬京子、小林久：農村計画学会誌、32,293-298（2013）  
「電気の供給停止（停電）に対する需要と属性・省エネ行動との関係—自然エネルギー導入を前提とした電力品質の許容水準—」
- 2) Abdur Rohman and Hisashi Kobayashi: Energy Procedia, 61, 887-890（2014）  
“Estimation on possibility and capacity of residential peak electricity demand reduction by demand response scenario in rural areas of Japan”
- 3) Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: IEEE Power and Energy Technology Systems Journal.  
“PV-Active Power Filter Combination Supplies Power to Nonlinear Load and Compensates Utility Current” (Accepted)
- 4) Nguyen Duy Dinh, Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: IET Generation, Transmission & Distribution  
“Adaptive Notch Filter Solution under Unbalanced and/or Distorted PCC Voltage for 3-phase 4-wire Shunt Active Power Filter with Sinusoidal Utility Current Strategy” (Accepted)

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 小林久：農村計画学会誌、30,4,573-577（2012）  
「自然エネルギーを供給する農山村の可能性と課題」
- 2) 小林久：農作業研究、47,2,3-13（2012）  
「農山村のエネルギー的自立に向けて」
- 3) 小林久：生活協同組合研究、445,21-30（2013）  
「小水力発電の可能性と普及に向けた課題」
- 4) 後藤真宏、駒宮博男、上坂博亨、小林久、平野彰秀、上田達己、浪平篤、廣瀬裕一：農業農村工学会誌、81,2,93-96（2013）  
「小水力発電の導入による農業水利施設の活かし方」
- 5) 藤谷岳、寺林暁良：環境と公害、43,4（2014）  
「再生可能エネルギー事業における地域住民参加と資金調達—ドイツ・グロースパールドルフ村の取り組みから—」
- 6) 小林久：環境技術、44,6（2015）（印刷中）  
「地域による地域のためのエネルギー戦略—小水力・森林バイオマスの利用と農山村の生存—」

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) 楠野晋一：協同総合研究所 定期理事会（2013年1月19日）  
「ドイツにおけるエネルギー協同組合の実態」
- 2) 管剛文：農都共生全国協議会 サロン講演（2013年2月7日）  
「地域自給エネルギーシステムの可能性を考える」
- 3) 古谷直道：ワーカーズコープ 食農環境事業推進部 推進会議（2013年3月1日）  
「もたせシステム導入における主体形成」
- 4) 星野友祐、一松祥右、Arwindra Rizqiawan、藤田吾郎：電気学会平成25年全国大会、No.1-013（2013年3月）  
「マイクログリッド検討用実験装置の開発」

- 5) 金子直樹、星野友祐、越川博文、藤田吾郎：電気学会平成25年全国大会、No.6-145（2013年3月）  
「もたせ型エネルギーシステムの自律分散制御」
- 6) 白波瀬京子、小林久：農村計画学会2013年春期学術発表会（2013年4月）  
「自然エネルギー導入を前提とした電力品質の許容水準－停電の時間と回数の受容に関する意識調査結果－」
- 7) Abdur Rohman：農村計画学会2013年春期学術発表会（2013年4月）  
"A study on the Characteristics of Electricity Consumption Pattern of Residents in Rural Area"
- 8) 藤谷岳、古谷直道、管剛文：日本環境学会第39回研究発表会（2013年6月16日）  
「地域内再生可能エネルギー事業における主体・合意形成」
- 9) 小林久：Small Hydropower in Japan、プロジェクト国際ワークショップ（2013年7月）  
「アジア環太平洋地域の間環境安全保存保障－水・エネルギー・食物連鎖」
- 10) 小林久：国立国会図書館調査及び立法考査局（2013年7月）  
「小水力発電の現状と課題」
- 11) 小林久：農業農村工学会大会講演会（2013年9月）  
「小水力発電からみた持続共生社会創世の可能性－再生可能エネルギーを管理する農山村」
- 12) 小林久：環境経済・政策学会2013年大会（2013年9月）  
「民－官－学連携による地域自然エネルギー政策形成過程に関する－考察－「水とみどり」を誇る朝倉市小水力発電導入可能性調査を事例として－」
- 13) Hoshino, T. & Fujita, G. : 2013 48th International Universities Power Engineering Conference (UPEC2013)' , 2-5 Sept. 2013  
"Visualization of electric power by module-type power system training device"
- 14) Kaneko, N. & Fujita, G. : 48th International Universities Power Engineering Conference (UPEC2013)' , 2-5 Sept. 2013  
"Autonomous decentralized control of preserving-type distributed energy system"
- 15) Tuyen, N. D. & Fujita, G. & Funabashi, T. & Nomura, M. : Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities', 2-5 Sept. 2013  
"An integrated function of photovoltaic generator supplying to nonlinear load: Active power filter"
- 16) 藤谷岳、管剛文：日本協同組合学会第33回大会（2013年10月6日）  
「農山村エリアでのエネルギー地域自給にむけた協同組合の有効性」
- 17) 藤谷岳：日本地域経済学会第25回大会（2013年12月1日）  
「再生可能エネルギー導入による地域エネルギー供給構造への影響－山梨県都留市を事例に－」
- 18) 白波瀬京子、小林久：農村計画学会2013年度秋期大会（2013年12月）  
「電気の供給停止（停電）に対する需要と属性・省エネ行動との関係－自然エネルギー導入を前提とした電力品質の許容水準－」
- 19) 藤谷岳：一橋大学「自然資源経済論B」（市民公開講義）（2014年1月8日）  
「地域住民に開かれた再生可能エネルギー事業－グルースバールドルフ・エネルギー協同組合の例－」
- 20) Junpei Takehara, Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: The 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2014), APE-0670 pp.1462-1467, Jeju, Korea, May. 2014  
"Controller Design for PV-Active Power Filter Combination Based on Instantaneous Power Theory"
- 21) Nguyen Duc Tuyen, Junpei Takehara, Mohd Nabil Bin Muhtazaruddin, Goro Fujita: The 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2014), APEP-0657, pp.1484-1489, Jeju, Korea, May. 2014  
"Adaptive Notch Filter: A Solution for 3-phase 4-wire Shunt Active Power Filter under Non-ideal"
- 22) Naoki Kaneko, Yuki Saito, Tomohiro Hoshino, Goro Fujita: The 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2014), PSMSA-1195 pp.105-108, Jeju, Korea, May. 2014  
"Stability analysis of Preserving-type energy system"
- 23) Abdur Rohman and Hisashi Kobayashi: The 6th International Conference on Applied Energy (ICAE2014), May. 2014  
"Estimation on possibility and capacity of residential peak electricity demand reduction by"

- demand response scenario in rural areas of Japan”
- 24) Nguyen Duc Tuyen, Toyokawa Keisuke, Goro Fujita: Grand Renewable Energy 2014, P-PV-2 20, Tokyo, Japan, Jul. 2014  
“PV Unit Supplies Non-Linear Load”
  - 25) Kenta Katano, Naoki Kaneko, Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: Grand Renewable Energy 2014, P-Sh-5, Tokyo, Japan, Jul. 2014  
“Verification of Small Hydroelectric Generation Model Using the Measured Value”
  - 26) Abdur Rohman, Kyoko Shirahase, Hisashi Kobayashi: Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Jul. 2014  
“Formulation of Energy Demand Model And Development of GIS Based Application to Estimate Energy Demand at Community Level”
  - 27) G. Fujiya, K. Shirahase, H. Kobayashi: Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Jul. 2014  
“Scenario analysis of regional energy supply-demand structure transformation by renewable energy:Case study of the T city”
  - 28) 小林久、伊東明彦、白波瀬京子：平成 26 年度 農業農村工学会大会講演会（2014 年 7 月 28 日）  
「再生可能エネルギーによる需要充足度の分布図作成」
  - 29) Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita, Mohd Nabil Bin Muhtazaruddin: IEEE PES General Meeting Conference & Exposition, Washington, USA, Aug. 2014  
“3-Phase 4-Wire Shunt APF under Non-Ideal PCC Voltage Using Adaptive Notch Filter”
  - 30) 後藤真宏、小林久、白波瀬京子：環境経済・政策学会 2014 年大会（2014 年 9 月 14 日）  
「地域用水路を利用する小水力開発の計画と合意のプロセス—F 地区の事例—」
  - 31) 藤谷岳：環境経済・政策学会 2014 年大会（2014 年 9 月 14 日）  
「エネルギー転換の地域経済への波及—T 市のエネルギー経済調査に基づく検討—」
  - 32) 田中夏子：環境経済・政策学会 2014 年大会（2014 年 9 月 14 日）  
「地域のための再生可能エネルギー事業の形態—イタリア、ドイツ、日本の事例からの考察—」
  - 33) A. Akisawa, H. Kobayashi: International Workshop on Environment and Engineering, Tsukuba, 18-29 Nov. 2014  
"Optimal Behavior of Local Energy Supply System with Sharing Excess Renewable Power among Communities"

## 7. 研究者略歴

課題代表者：小林 久

東京農工大学大学院連合農学研究科修了、博士（農学）、茨城大学農学部 教授

### 研究分担者

1) 小林 久（同上）

2) 木下 嗣基

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士（工学）、茨城大学農学部 准教授

3) 秋澤 淳

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士（工学）、東京農工大学大学院工学研究院 教授

4) 藤田 吾郎

法政大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了、博士（工学）、芝浦工業大学工学部電気電子学群電気工学科 教授

5) 管 剛文

東京電機大学理工学部卒業、特定非営利活動法人協同総合研究所

6) 楠野 晋一

東京農工大学大学院連合農学研究科修了、博士（農学）、特定非営利活動法人協同総合研究所 研究員

## 1F-1201 再生可能エネルギー需給区連携による『もたせ型』分散エネルギーシステムの開発

## (1) 再生可能エネルギー需給区（「セル」）のモデル化と分類

茨城大学 農学部 教授

小林 久

茨城大学 農学部 准教授

木下 嗣基

平成24～26年度累計予算額：42,968千円

(うち、平成26年度予算額：13,559千円)

予算額は、間接経費を含む。

## [要旨]

本研究開発において前提とする、再生可能エネルギーを活用した自立分散的エネルギー需給区「セル」が太陽光発電（PV）と小水力を電源、太陽熱と木質バイオマスを熱源として実現可能であることを、ケーススタディ地区の現地調査に基づき各エネルギー資源の開発可能量を推計し、期別用途別特別エネルギー需要モデルを作成することで明らかにした。さらに、「セル」の成立領域をエネルギーの需要分布と供給可能量の分布をオーバーレイすることで、分布図として示す方法を開発・適用して、成立範囲を抽出した。また、「セル」の大きさについて検討し、50kW～100kW（20戸～50戸）以上の電力システム容量が適正で、電源設備は建物設置型PVと小水力をそれぞれ数10kW出力で導入すること、熱源は建物設置型太陽熱集熱器と木質バイオマス利用による数GJ/年の開発が実用的であることを示した。

作成した期別特別需要モデルは、任意の「セル」（コミュニティ）を対象にしたエネルギー需要推計に活用できるように、GISベースのGUIアプリケーションに特別日射量などともに搭載し、コミュニティ・エネルギー計画を支援できるツールとして開発・整備した。

この他、導入する電力システムの安定化と過剰な設備整備を回避するための方策として、デマンドレスポンス（DR）の可能性を、全国レベルのアンケート調査を実施して検討・分析し、経済的インセンティブを与えてDRを導入した場合コストと削減可能なピーク需要に対応する給電コストを比較することで、年数時間分のピーク需要をまかなうための設備容量削減が経済的に成り立つことを明らかにした。

## [キーワード]

分散型エネルギー需給システム、太陽光発電、太陽熱、小水力、木質バイオマス、デマンドレスポンス（DR）、需給充足分布

## 1. はじめに

本研究は、再生可能エネルギー資源によるエネルギー自立の需給区が成り立つことを前提にしている。仮にこの前提が成り立つのであれば、どのような再生可能エネルギー生産・供給と需要のマッチングが可能で、合理的か？再生可能エネルギー需給の単位「セル」はどのような形態になるか？を明らかにする必要がある。サブテーマ1は、これらの課題に対する解答を得るために、

再生可能エネルギー資源量の推計と開発シナリオの設定、需要モデルの作成、需給マッチングの検討、「セル」の成立条件・分布の分析に取り組んだ。

## 2. 研究開発目的

サブテーマ1「自然エネルギー需給区単位（セル）のモデル化と分類」は、サブテーマ2「需給システムとエネルギー相互融通システムの開発」およびサブテーマ3「分散型電力系統・融通システムの開発」の研究に必要な需給量推計値と需給シナリオの提供を主要な研究目的とした。そのために、第一に妥当な再生可能エネルギー資源を特定したうえで、それぞれの開発可能量の推計手法を開発し、エネルギー生産・供給技術を決めて開発シナリオを設定すること、第二にエネルギー需要の実態を調査把握して用途別需要モデルを作成すること、第三に需要調整の可能性を明らかにした上で、妥当な需給協調による再生可能エネルギー利用手法を提案することを課題とした。また、開発する再生可能エネルギー開発量推計手法や需要モデルを用いて、研究の前提としたエネルギー自立が成り立つ需給区「セル」の適正な規模を明らかにすること、「セル」成立域を定量的に示す手法を開発し、自立の成立条件・分布を明らかにすることを課題に含めた。

## 3. 研究開発方法

どのような再生可能エネルギー生産・供給と需要のマッチングが可能で、合理的であるかを検討するための①開発シナリオの設定、②エネルギー別需要モデルの作成は、対象地を選定し、ケーススタディを通して以下のような方法で実施した。なお、ケーススタディの対象地には、山梨県都留市上大幡地区と静岡県伊豆市上船原地区を選定した。

- ①開発シナリオの設定：対象地において資源量推計に必要な資料・データ収集、現地調査、流量観測等を行い、推計手法を検討・開発して開発可能量を推計して、開発シナリオを検討・設定した。
- ②用途別需要モデルの作成：冬期（1～2月）、春期（4～5月）、夏期（7～8月）の戸別電力消費量の計測、熱需要（暖房、給湯、厨房）に関する実態調査（聞き取りを含む）を実施し、家屋・世帯情報、生活パターンなどとの関係を分析して、需要別期別の時間需要モデルを作成した。続いて、任意の建物や「セル」を対象に時間需要が計算できるように、作成したモデルを搭載した建物や区画ごとに需要計算を行うためのツール（コミュニティ・エネルギー設計支援ツール）を開発し、サブテーマ2、サブテーマ3等へ需要データを提供できるようにした。さらに、電力需要パターンから、時間需要の変動が予測しやすい群需要の大きさを検討することで、技術工学的立場から妥当な「セル」サイズを検討した。

さらに、需給協調の利用手法およびエネルギー自立の成立可能性は、次のような方法で検討した。

- ③需給協調のエネルギー利用手法の提案：瞬時対応が必要な電力を対象に、全国レベルの需要側対応（DR：デマンドレスポンス）に関するアンケート調査を実施し、DRの許容水準、導入可能性や受容率を分析した上で、DRによる設備容量削減およびシステム安定化へ寄与できる需要抑制方策を検討した。
- ④エネルギー自立の成立可能性と成立条件・範囲：①及び②で開発・作成したシナリオやモデルを簡素化し、再生可能エネルギーの供給可能量／需要量および両者のバランスを分布（エネ

ルギー需給充足分布図)として表す手法を開発し、事例地域を対象にエネルギー需給充足分布図を作成することで、成立可能範囲を明らかにした。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 開発シナリオの設定

##### 開発資源と開発可能量

通年調査に基づく資源量推計、ワークショップ等により確認した技術の地域への親和性・適用性などを考慮して、開発対象資源を表(1)-1のように選定した。

表(1)-1 利用可能な再生可能エネルギー資源

	上大幡 (都留市)	上船原 (伊豆市)
太陽光発電	日射量*:3.67kWh/日・m <sup>2</sup> (~100kW)	日射量*:3.90kWh /日・m <sup>2</sup> (~100kW)
太陽熱	1,929MJ/年・m <sup>2</sup>	2,050MJ/年・m <sup>2</sup>
小水力	0.2m <sup>3</sup> /s**	0.1m <sup>3</sup> /s**
木質バイオマス***	19,990GJ/年 (4,062m <sup>3</sup> /年)	393,800GJ/年
温泉	—	(可)

\*平均日射量、\*\*最大使用水量、\*\*\*市内の開発可能量

太陽光発電 (PV) および太陽熱集熱量の開発可能量は、建物フットプリント面積に対して上限で50%のパネル設置を行うものとして、下式<sup>1)</sup>で時間ごとに求めることとした。

$$\text{特別発電量[kWh]} = 1[\text{kW}] \times \text{パネル面積}[\text{m}^2] / 9^* \times \text{日射量}[\text{kW/m}^2]^* \times \text{総合設計係数}[0.7/\text{kW}] \times 1\text{hr}$$

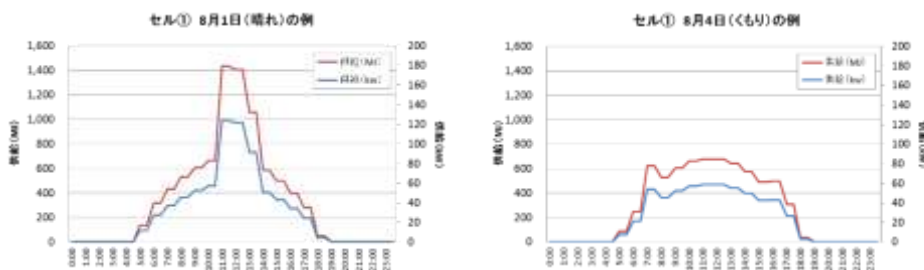
\* 出力1kWに必要なパネル面積は9m<sup>2</sup>とする。

\*\*NEDO年別日射量データ<sup>2)</sup>を使用し、0.2778を乗じ単位[MJ/m<sup>2</sup>]を[kW/m<sup>2</sup>]に変換して計算する。

太陽熱の開発可能量は、建物フットプリント面積に対して最大20%の集熱器設置を行うものとして、下式<sup>1)</sup>で求めることとした。

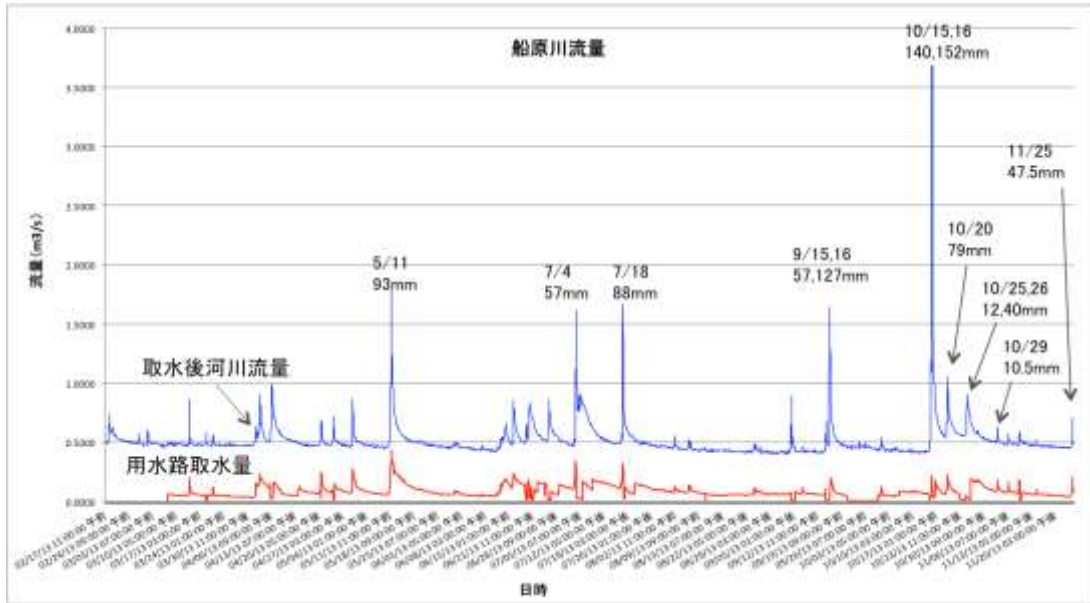
$$\text{特別太陽熱集熱量[MJ]} = \text{集熱面積}[\text{m}^2] \times \text{日射量}[\text{MJ/m}^2] \times \text{集熱効率}[0.4] \times 1\text{hr}$$

このような設定で、住宅、事務所などがある区画の時間別の太陽光発電量と太陽熱集熱量を求めると図(1)-1のようになり、晴れの日と曇りの日で供給可能なエネルギー量が大きく異なることが分かる。

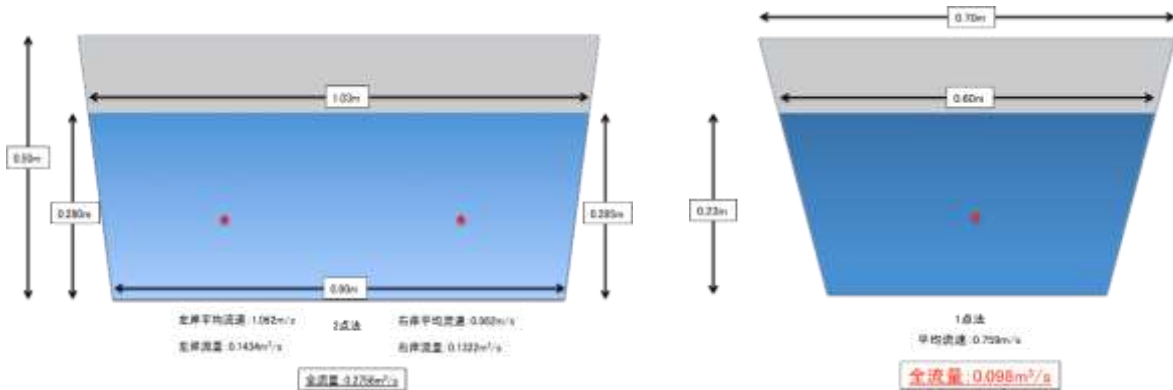


図(1)-1 太陽エネルギーによる時間別の発電と熱生産の推計





図(1)-2 小水力開発計画のための流量長期観測結果



図(1)-3 開発選定地点の水路断面と流況（左：都留、右：伊豆）



写真(1)-1 小水力開発計画のための現地調査と開発計画概略検討



図(1)-4 小水力発電開発計画の概略検討（伊豆）

小水力に関しては、通年の流量観測結果（図(1)-2）、写真(1)-1のような現地調査等に基づく概略計画（図(1)-4）を検討して、出力、発電量を求めることとし、発電容量は都留上大幡地区で20kW、伊豆市上船原地区で15kWとした。なお、数haの水田面積がある農山村集落には $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 程度の通水が可能な既設水路が存在することが多く、多くの農山村地域で10～数10kW出力の開発が可能性であると考えられた。

木質バイオマスの開発可能量は、熱需要に応じて、需要点から数100m以内にある樹木系植生の土地利用から調達するものとし、エネルギー量としてのバイオマス蓄積量を $100\text{GJ}/\text{ha}$ として求めることとした。

## （２）用途別需要モデルの作成

2012年にエネルギー消費の概要に関する聞き取り調査を実施し、電力需要に関しては、電力計測の予備調査を行い、2013年の冬期（1月～2月上）、中間期（5月）、夏期（7月～8月上）に、それぞれ1週間以上の各戸1分電力消費の連続計測を実施した。計測結果は、戸別に集計し、期別10分間電力消費データとして整備した。さらに、都留市を対象に計測戸数を増やして、2014年夏期2週間と2015年冬期2週間の戸別2分間電力の連続計測を行い、2013年度に作成した10分間データの妥当性を確認した。

熱需要に関しては、熱利用に関わる設備の所有・利用状況およびエネルギー消費量を、使用量のわかる書類等の収集整理および各戸の平日・休日の使用状況や燃料等に消費等のアンケート調査、聞き取り調査により把握した。家電の使用率は、必要に応じてワットチェッカーを用いて一定期間の消費電力量を計測し、カタログ出力に対する常時消費の割合として推計した。推計した消費量は、使用量を把握することのできる領収書等を収集して妥当性を比較することで、確認・確定した。なお、聞き取り調査では、可能な範囲で家族数・構成、生活パターン、建坪・延べ床面積、収入なども調べた。

### 1）エネルギー消費の概要

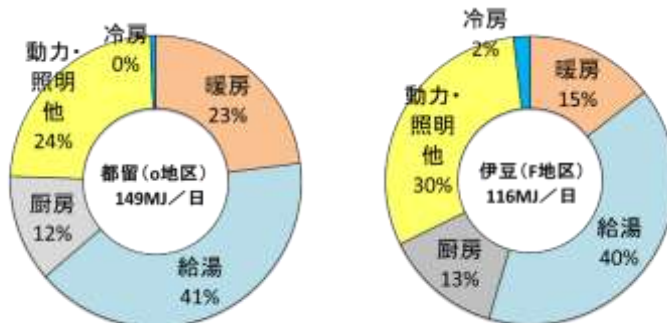
調査結果に基づいて推計した戸平均の年間用途別エネルギー消費量は、都留市大幡地区が $149\text{MJ}/\text{日}$ 、伊豆市船原地区 $116\text{MJ}/\text{日}$ で、それぞれ全国平均（ $105\text{MJ}/\text{日}$ ）<sup>3)</sup>の1.4倍、1.1倍であった（図(1)-5）。総エネルギー需要がより大きい冬期の平均用途別エネルギー消費は、都留が厨房 $27\text{MJ}/\text{日}$ （9%）、給湯 $72\text{MJ}/\text{日}$ （24%）、暖房 $91\text{MJ}/\text{日}$ （30%）、動力・照明等 $109\text{MJ}/\text{日}$ （37%）で合計 $302\text{MJ}/\text{日}$ 、伊豆が厨房 $15\text{MJ}/\text{日}$ （8%）、給湯 $52\text{MJ}/\text{日}$ （29%）、暖房 $54\text{MJ}/\text{日}$ （31%）、動力・照明等 $57\text{MJ}/\text{日}$ （32%）で合計 $178\text{MJ}/\text{日}$ となり、都留地区は伊豆地区の1.6倍となった。

実測による家庭の日電力消費は、朝夕の気温と弱い負の相関が、また家族数および延べ床面積との間には弱い正相関が認められた。しかし、電力需要は、都留では冬期 $1.1\sim 42.7\text{kWh}$ 、中間期 $3.0\sim 28.6\text{kWh}$ 、夏期 $4.2\sim 25.5\text{kWh}$ 、伊豆では冬期 $8.0\sim 64.2\text{kWh}$ 、中間期 $6.8\sim 20.9\text{kWh}$ 、夏期 $9.2\sim 37.2\text{kWh}$ のように、両地区とも各家庭で大きな差があった。

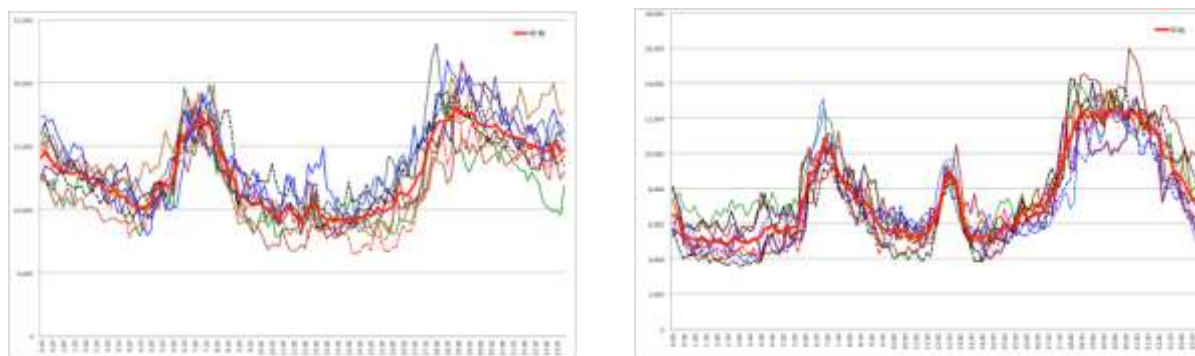
一方、地区全体の群としての電力需要は図(1)-6のようになり、表(1)-2のように都留（18戸群）が冬期で最少 $6.5\text{kW}$ 、最大 $23.1\text{kW}$ 、夏期で最少 $6.0\text{kW}$ 、最大 $15.7\text{kW}$ 、伊豆（10戸群）が冬期で最少 $3.3\text{kW}$ 、最大 $14.6\text{kW}$ 、夏期で最少 $3.6\text{kW}$ 、最大 $11.8\text{kW}$ となり、変動がある程度予測が可能と考えられた。とくに、ピーク時の電力需要は、両地区とも表(1)-2の戸当たり最大需要と最大需要の

50%を下限とする変動幅の中に収まった。

熱需要量は、より寒冷的な気候の都留地区の方が常に大きくかった。なお、本調査で推計した熱需要は全国平均（38,358MJ/世帯）<sup>3), 4)</sup>より大きく、両地区とも給湯の割合が高かった。使用する熱需要用の機器は、図(1)-7のように地区による違いが著しく、消費される燃料も異なった。



図(1)-5 年間用途別エネルギー消費 (左:都留、右:伊豆)



図(1)-6 家庭の群需要パターン (冬期、左:都留、右:伊豆)

表(1)-2 群としての電力需要

	都留			伊豆		
	冬期	中間期	夏期	冬期	中間期	夏期
最小 (kW)	6.5	5.2	6.0	3.3	1.9	3.6
最大 (kW)	23.1	18.2	15.7	14.6	7.8	11.8
最大の戸当たり需要 (kW/戸)	1.3	1.0	0.9	1.6	1.0	1.3

**a. 暖房 (冬期)**

暖房機器は、両地区とも石油ファンヒーターとこたつが主流であった。オール電化やPV設置の家庭では、ホットカーペット・蓄熱暖房も使用していた。都留では、平日の日中に在宅者がいる家庭（「在」）といない家庭（「不在」）を比較すると、「不在」は平均73MJ/日（31~124MJ/日）に対し、「在」は平均85MJ/日（53~122MJ/日）で、明らかに「在」の消費量が大きい傾向を示した。一方、伊豆は「在」と「不在」に大きな差はなく平均50MJ/日（16~



図(1)-7 熱需要機器の所有使用状況

88MJ/日)で、より寒冷的なO地区に比べ需要量は小さい傾向を示した。

## b. 給湯

都留では、石油給湯器を使用する家庭が約60%、ガス給湯器とエコキュートがそれぞれ約20%であった。消費量の算定が困難なエコキュートと薪使用を除いて推定した冬期の戸平均消費量は「在」が93MJ/日、「不在」が70MJ/日となった。休日の消費量は67MJ/日で、平日より低かった。

伊豆は、全体の約30%の家庭が温泉、約10%がエコキュートを使用し、ガス給湯機の使用割合がたかかった。温泉利用とエコキュート利用の家庭を除いて推定した戸平均消費量は、「在」、「不在」の差が少なく、冬期は62MJ/日、休日は65MJ/日となった。両地区とも、表(1)-3のように給湯の熱需要は冬期>中間期>夏期であった。

## c. 厨房

厨房の熱消費要は、表(1)-3のように冬期>中間期>夏期であったが、両地区の一人当たり消費量に大きな違いはなかった。ただし、需要パターンは「在」と「不在」で異なっていた。

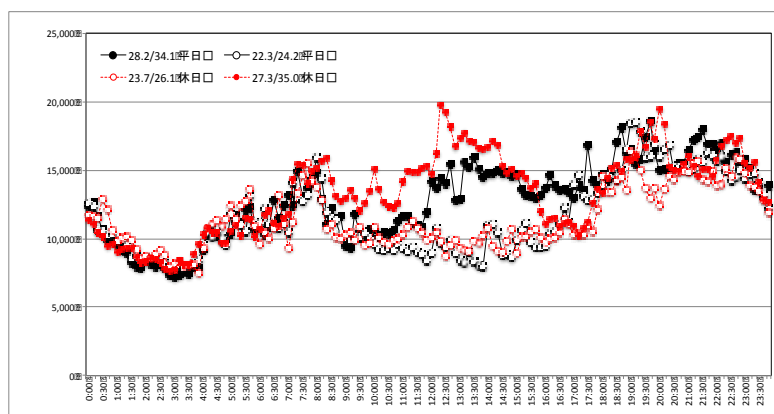
表(1)-3 期別熱エネルギー消費の概要（戸当たり平均、単位MJ/日）

	都留				伊豆			
	冬期	中間	夏期	平均	冬期	中間	夏期	平均
暖房	103	—	—	34	50	—	—	17
給湯	79	56	47	61	59	49	31	46
厨房	20	17	16	18	17	16	13	15
合計	202	73	63	113	126	65	44	78

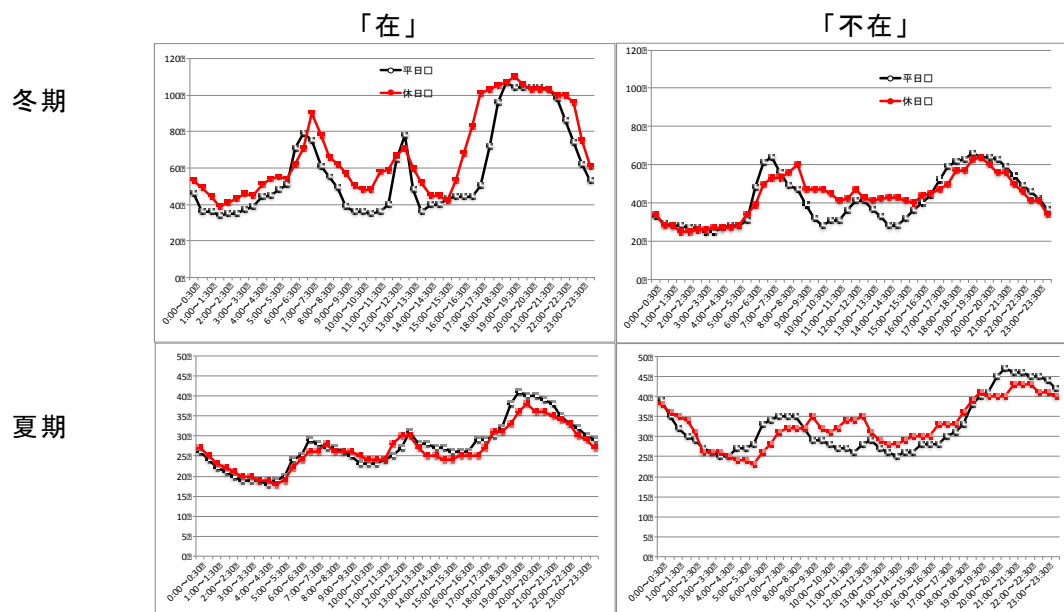
## 2) 電力需要モデルの作成

需要モデルは、図(1)-8のように平日と休日で需要パターンが異なること、作成した戸別期別10分間電力消費データと聞き取り調査で把握した生活パターン、家族数、延べ床面積、収入などとの関係を分析したところ、平日の日中在宅と不在でパターンが異なることを考慮し、平日と休日、「在」と「不在」を区分して作成することとした。

モデルは、表(1)-4のような床面積との相関を考慮して、床面積当たり需要量として作成することとし、冬期、中間期、夏期に分けて、図(1)-9のような地区別の在宅・不在、平日・休日モデルを作成した。



図(1)-8 平日と休日の電力需要 (W) パターンの違い



図(1)-9 電力需要モデル（都留）

表(1)-4 電力需要との相関に関する検討結果（kWh/日）

	都留		伊豆	
	冬期	夏期	冬期	夏期
家族数	$R^2 = 0.303$	$R^2 = 0.327$	$R^2 = 0.013$	$R^2 = 0.002$
床面積	$R^2 = 0.316$	$R^2 = 0.372$	$R^2 = 0.428$	$R^2 = 0.575$
年間収入	$R^2 = 0.203$	$R^2 = 0.456$	$R^2 = 0.224$	$R^2 = 0.869$

### 3) 熱需要モデルの作成

家電、給湯・暖房機器等のカタログ出力に使用時間等から推定した使用率とカタログ出力に対する使用出力割合（消費率）を乗じて、冬期、中間期、夏期に分けて、可能な限り30分間単位で機器別に推計し、平均値を求めて戸別1時間需要とした。

需要モデルは、世帯人数、床面積、行動パターン（平日日中在宅／不在、休日）と需要パターンの関係等を分析し、一人当たりまたは平均の期別熱需要モデルとして作成した。

#### a. 暖房（冬期）

暖房は、世帯人数との相関を分析し、相関が認められた平日（不在）と休日に関しては、図(1)-10のように一人当たりの需要モデルとした。世帯人数と需要量の線形近似の数式で世帯人数別需要量を算出した。相関が認められない平日（在）に関しては戸平均値をモデルとして採用した。

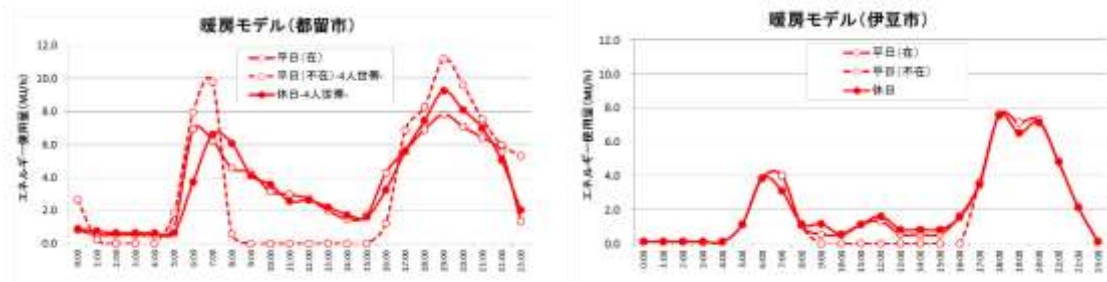
#### b. 給湯

給湯は、都留市・伊豆市それぞれ、平日（在宅）・平日（不在）・休日それぞれ、図(1)-11のように世帯人数と需要量を線形近似し、一人当たり需要のモデルとした（図(1)-12）。

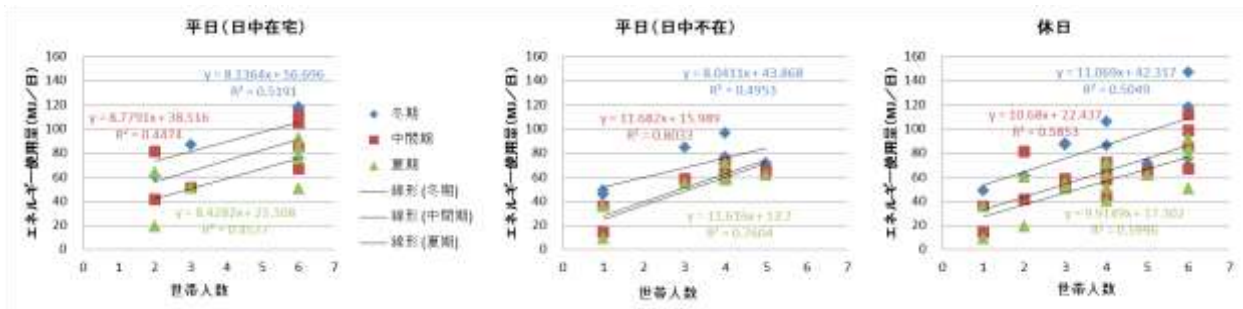
#### c. 厨房

厨房は、都留市・伊豆市それぞれに大きく数値の差がなかったため、両地区共通のモデルとし、世帯人数と需要量の関係を線形近似することで、一人当たり需要モデルを作成した（図(1)-13）。

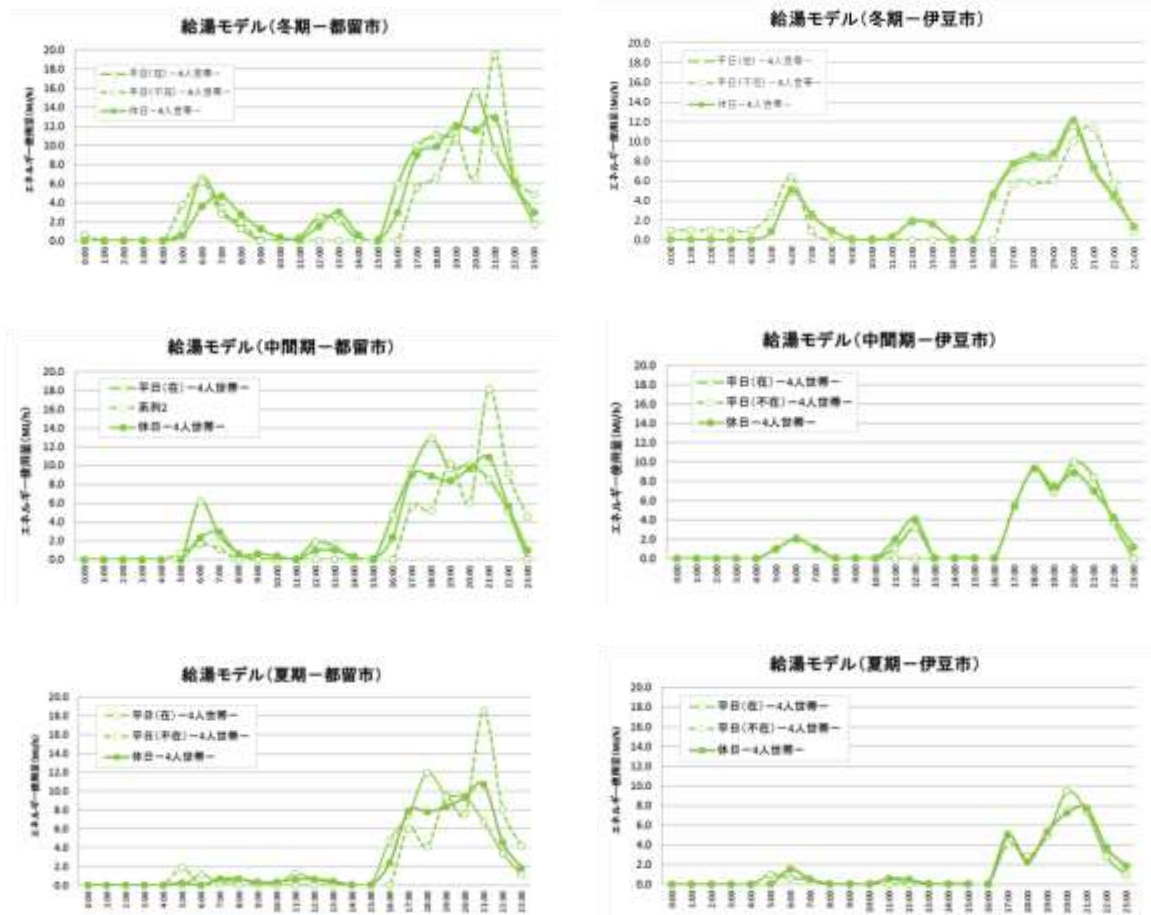




図(1)-10 熱（暖房）需要モデル

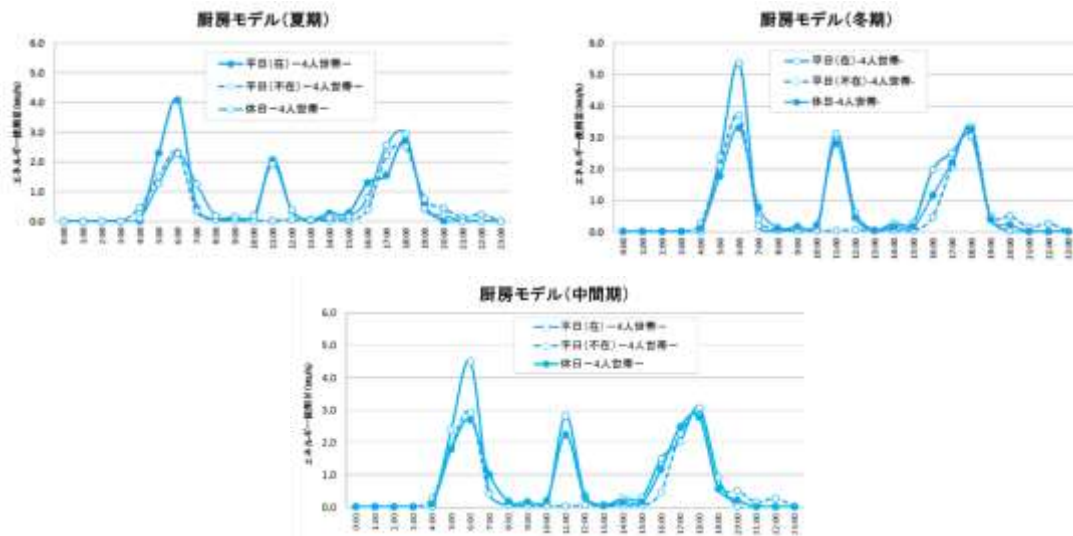


図(1)-11 需要モデル数値（給湯－都留市）



図(1)-12 熱（給湯）需要モデル（左：都留、右：伊豆市）





図(1)-13 熱（厨房）需要モデル

#### 4) コミュニティ・エネルギー設計支援ツール開発

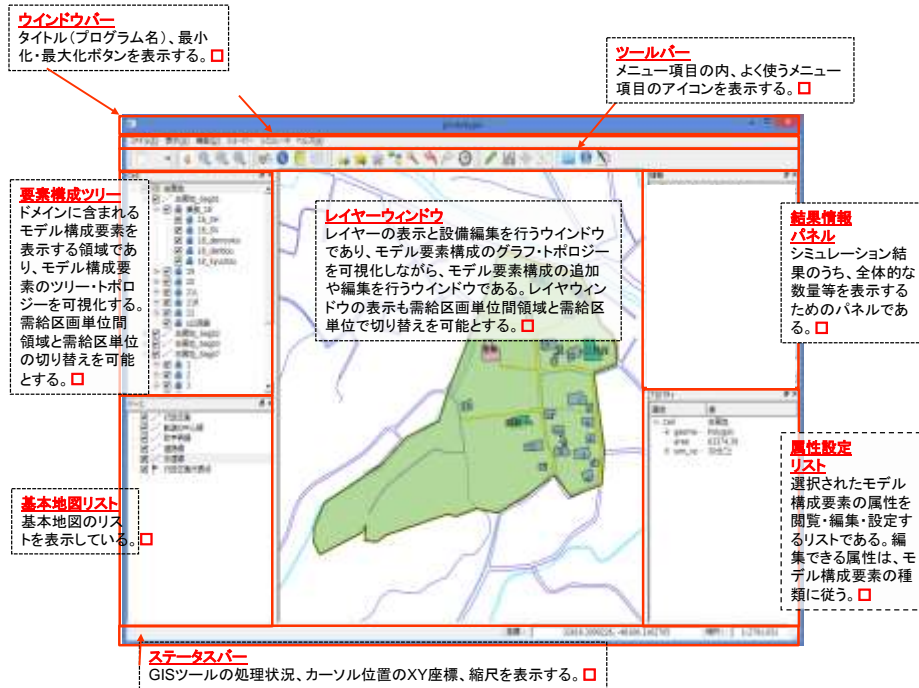
コミュニティレベルの再生可能エネルギー需給分析、より効率的な再生可能エネルギーの利用や融通のモデル検討を簡便に行えるよう、作成した建物別・期別・用途別の時間需要モデルと時間日射量データを搭載（あるいは1時間単位で設定できるように）し、任意の範囲（エネルギー需給区「セル」）単位および複数セルのエネルギー需給を、1日～1年の任意の日単位の期間について、繰り返し計算できる図(1)-14のような操作ウィンドウ構成のGIS連携型のGUIアプリケーションを開発した。

このアプリケーションは、次の①～⑤の機能を提供し、規定のユーザーインターフェイスに従って、エネルギー需給量の計算を実行することができる。

- ①GISデータ設定機能：家屋、各種施設などのエネルギー消費箇所、PV、風力、太陽集熱、小水力などの自然エネルギーの供給箇所をGISデータとして設定する機能（図(1)-14）
- ②エネルギー需給シミュレーションの条件・制約等の設定とシミュレーション機能：エネルギー需給箇所の配置条件など、エネルギー需給シミュレーションに関わる需要条件、需要モデル、制約条件計算、集計する日付、期間を設定し、セル内のシミュレーションを行う機能
- ③条件・制約等の修正・追加機能：ディスプレイ上の設定パネルを使用して、需要条件、需要モデルを変更、修正、追加する機能
- ④集計範囲の設定機能：個別の需要や供給を集計する範囲（セルおよびセル群の範囲）を設定する機能
- ⑤エネルギー需給シミュレーション結果の可視化と繰り返し修正機能：シミュレーション結果をもとに、需給バランス、生産過不足などを可視化し、消費・供給の位置、パラメータ・属性情報を変更して、再度エネルギー需給シミュレーションを繰り返し実行する機能

プログラムの開発環境として、OSはWindows7もしくは8を用い、言語はPython、インターフェースフレームワークはQt、さらにGISはQuntumGIS（QGIS）を使用した。計算結果は、アプリケーション上で確認できるとともに、テキストファイルとしての出力が可能で、図(1)-15、16、17などのデータ作成や他のプログラム等で使用することができる。

本研究開発では、ケーススタディ地区の複数のコミュニティ（小字、班）を選び、必要な情報を収集したうえで、このツールを用いて時間単位の期別需要データを作成し、サブテーマ2の最適化、サブテーマ3の電力需給マッチングの検討に使用した。



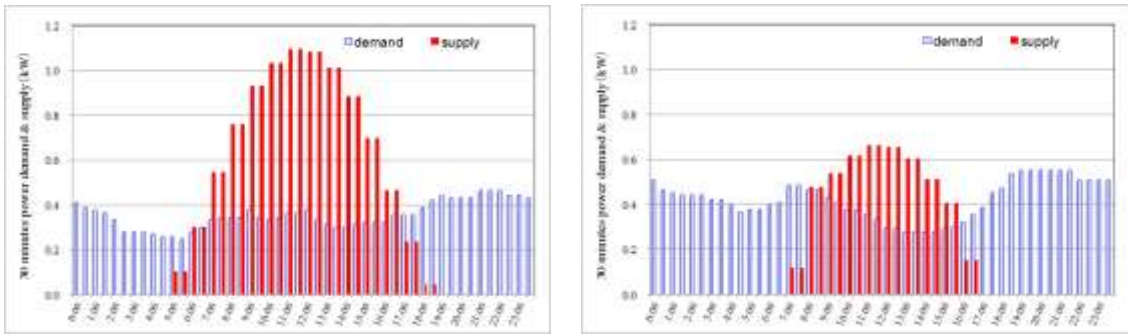
図(1)-14 操作ウィンドウの構成



図(1)-15 各「セル」の期別・時間別電力需要量の計算結果 (kW)



図(1)-16 各「セル」の期別・時間別熱需要量の計算結果 (MJ)

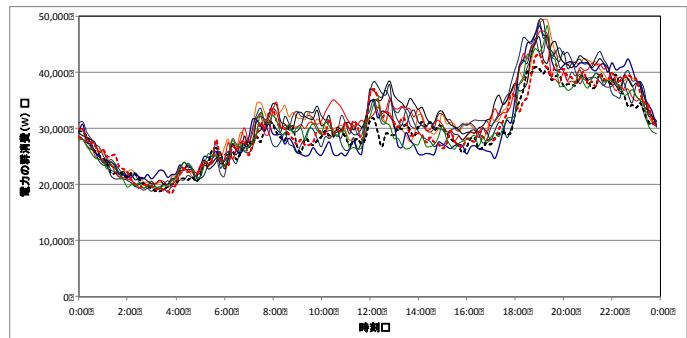


図(1)-17 建物の電力需要と建物設置PVの発電ポテンシャルの計算例（左：夏、右：冬）

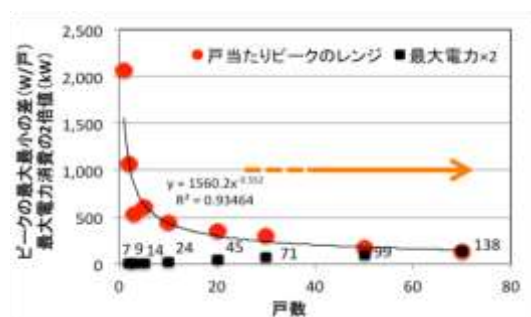
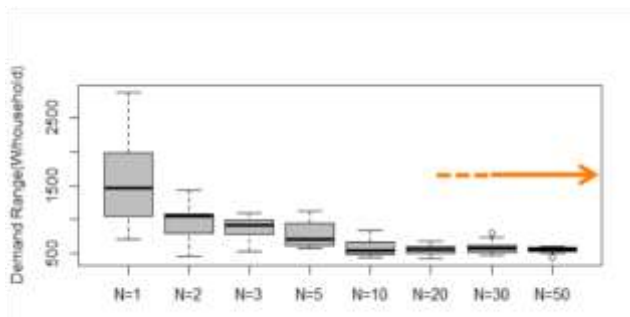
5) エネルギー需給単位「セル」の工学的に適正な規模

瞬時瞬時の需給マッチングが不可欠な電力システムの構成・運用に適した「セル」の規模に関する工学的要求について検討した。検討は、日電力需要パターンが予測しやすいこと、ピークカットなどの需要側対応に必要な時間帯の特定ができることを条件に、以下のような手順で行った。

- ・ 計測した戸別時別電力消費データ（夏期、平日 10 日分）を用いて、群（個別需要の集合、戸数）の大きさ別に需要パターンをランダムに作成する（図(1)-18）。
- ・ 各群の各需要パターンについて日需要の戸当たり「最大-最小の差」を求める。
- ・ 各群の全需要パターンのピーク時の最大値から最小値を引き、戸数で割って戸当たり「ピーク変動幅」とする。
- ・ 「最大-最小の差」および「ピーク変動幅」が十分に小さいと評価できる群の大きさを「セル」の最小サイズとする。



図(1)-18 電力群需要の日変動パターン（50戸群）



図(1)-19 日電力需要の戸当たり「最大-最小の差」 図(1)-20 日需要ピークの戸当たり変動幅

群の大きさと「最大-最小の差」および「ピーク変動幅」の関係は、図(1)-19、20のとおりで、本研究開発では、戸当たり最小で20戸、30～50戸以上を適正と判断し、ピーク需要の2倍になる50kW～100kW以上を「セル」システム容量の「工学的適正サイズ」とした。

(3) 需給協調のエネルギー利用方策の提案

自然エネルギーによる不安定な電源の拡大が現実視されるなか、需要側が求める電力品質を低下させることで、過大装備を避けて安定供給を行うような電力システムを構築することができれば、自然エネルギーによる電力供給の経済性は大幅に改善される可能性がある<sup>5)</sup>。このような認識に基づいて、デマンドレスポンス (DR) による電力需給協調の可能性を検討するために、自然エネルギー拡大を前提としたときに受容できる停電条件や停電の受容と電力価格との関係に関するアンケート調査を実施した。

調査の内容は、対象者の属性 (性別、年齢、住居形態、居住地、世帯人数、世帯年収)、省エネ行動・意識、自然エネルギー導入が大幅に進むことを前提としたときに電気代削減なしで受容できる停電時間の長さ・回数、停電を避けたい時間帯、限られた電力で優先して使いたい家電の選択などとした。

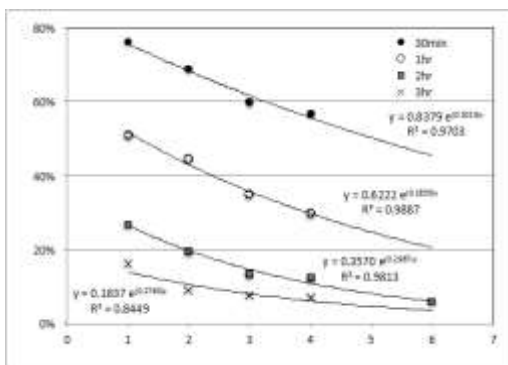
なお、停電受容の設定に関しては、“自然エネルギーによる電力を安定的に供給する電力として保持するためには、過大な電力品質設備が必要であり、停電を受容できれば、こうした安定供給の為に必要となる設備を小さくできる可能性がある”こと、“日本の電力品質は極めて高品質である”ことなどの説明をつけ、事前に停電受入の効用やサービスレベルを理解したうえで、回答できるように配慮した。

調査の対象者は、北海道電力と沖縄電力を除く8電力管内からそれぞれ、青森県、神奈川県、静岡県、石川県、兵庫県、岡山県、愛媛県、熊本県を選び、各県内のDID (Densely Inhabited District) および非DIDの20歳以上の調査協力者リストを用意し、リストから無作為に各県の対象者数が200程度になるように選定した。管内別の回答数は、それぞれ東北電力179、東京電力269、北陸電力251、中部電力214、関西電力185、中国電力187、四国電力185、九州電力196であった。選定に当たっては、性別、年齢別、居住地別に対象者数が大きく偏らないように配慮した。

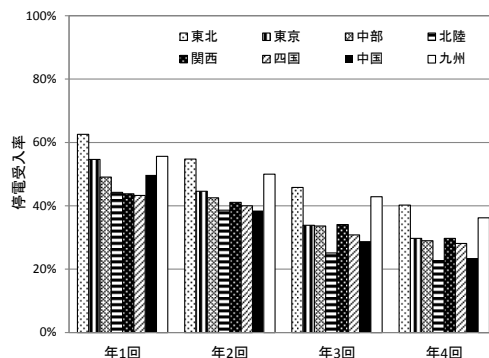
1) 受入率の概要

a. 停電時間の長さ、回数と受入率

電力料金の削減なしに受け入れられる停電の回数と時間の組合せについての回答結果は図(1)-21のようにまとめられ、停電を受け入れられるという回答の割合 (受入率) は停電時間の長さおよび年間回数のどちらとも明瞭な負相関が認められた。



図(1)-21 受け入れ可能な停電時間の長さ別の回数と受入率の関係



図(1)-22 電力会社管内別の受入率 (停電時間1時間)

とくに、停電時間の増加は、受入率を著しく低下させる傾向があった。たとえば、30分の停電を年4回まで許容すると答えた人の割合は56%であったが、停電時間が2時間および3時間の場合は年1回でも受入率はそれぞれ26%、16%にすぎなかった。電力料金削減なしで過半数が受け入れられると回答した停電の時間と回数の組合せは、30分・年1～4回と1時間・年1回までであった。また、1時間の停電であれば30%が、2時間の停電であれば12%が年4回までの停電を受け入れると回答した。一方、どのような条件であっても、電気料削減なしでは停電を受け入れられないとする回答の割合は23%であった。

## b. 属性と受入率

属性の違いが受入率に影響するかを、母比率の差の検定などを行って検討した。比較した属性は、性別、年齢（20代、30代、40代、50代、60代、70歳以上）、世帯年収、居住地の違い（電力会社管内別、DIDと非DID、計画停電地域と非経験地域）とした。なお、母比率の差の検定には、「エクセル統計2012 Ver.1.02」を使用した。分析の結果、DIDと非DIDおよび計画停電経験地域・非経験地域の違い、年齢は受入率にほとんど影響しないと考えられた。一方、性差と年収は、受入率に影響すると考えられた。

### i. 性別と受入率

設定した停電時間の長さ・回数のすべての組み合わせにおいて、女性の受入率は男性に比べて8%～10%高くなった（表(1)-5）。

男女による受入率に差があるかを、母比率の差の検定を行って確認したところ、表(1)-5のように停電2時間・年2～3回、3時間・年1～4回には有意な差を認められなかったが、停電の長さが30分と1時間の場合は年1～4回のすべて、2時間の場合は年1回が1%の危険率で男女の受入率には差があるといえた。この結果から、女性は男性に比べ停電を受容する傾向が強いと考えられた。

表(1)-5 男女の受入率

停電回数 停電時間		年1回		年2回		年3回		年4回	
30min	M	70.2%	**	61.3%	**	52.0%	**	49.3%	**
	F	80.3%		74.0%		65.1%		62.7%	
1hr	M	46.2%	**	39.0%	**	30.0%	**	25.1%	**
	F	55.0%		48.6%		38.4%		34.4%	
2hr	M	23.7%	**	17.5%	—	12.1%	—	11.3%	—
	F	29.4%		21.2%		14.1%		12.9%	
3hr	M	14.6%	—	8.3%	—	7.1%	—	7.1%	—
	F	17.2%		9.3%		7.3%		7.7%	
否	M	28.2%	**	36.6%	**	45.5%	**	48.5%	**
	F	18.2%		24.7%		33.1%		36.2%	

注) 否：どの条件でも停電を受け入れられない。

M：男性、F：女性、\* 5%有意、\*\* 1%有意

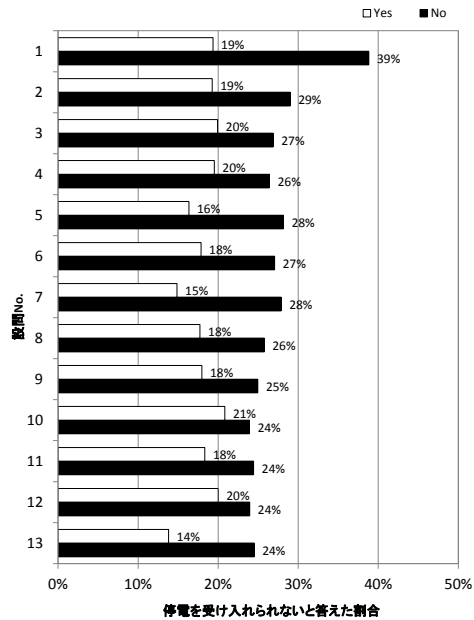
### ii. 世帯年収と受入率

世帯年収を500万円未満（733）、500～999万円（552）、1,000万円以上（191）の3グループに分けて、受入率の違いがあるかを比較した。その結果、世帯年収500万円未満と500～999万円の受入率には、差を認めることができなかった。しかし、すべての停電時間と回数の組合せにおいて、年収1,000万円以上の受入率は他2グループのそれに比べ低くなる傾向があった。そこで、年収500

万円未満、500～999万円と1,000万円以上の受入率について母比率の差を検定した結果、1%または5%の危険率で年収1,000万円以上と他の2グループに差があるといえる停電の時間・回数との組合せが複数あった（30分・年1回、2時間・年1～2回、3時間・年1回）。このことから、年収が1,000万円以上の世帯は、年収1,000未満の世帯に比較して停電を受入れない傾向があると考えられた。

iii. 省エネ行動と受入率

省エネ行動<sup>6)</sup>が停電の受容に影響するかを確認するために、設問として設定したそれぞれの省エネ行動を「している」人と「していない」人の停電受入率（電気料削減なし）を比較した。その結果、“環境家計簿をつけている”という問を除き、すべての設問で省エネ行動を「している人」は「していない人」に比べ、停電受入率が高く、有意な差が多く設問で認められた。省エネ行動の設問に対して「している」と「していない」の回答別に、停電時間30分・停電回数年1回の条件で、停電が「受け入れられる」と「受け入れられない」の回答割合を比較した。結果は図(1)-23のとおりで、停電を「受け入れられない」という回答割合は省エネ行動を「していない」の回答の方が明瞭に大きくなった。このような分析結果から、省エネ行動に取り組んでいる人の方が取り組んでいない人より停電を受容する可能性が高いといえ、これらの層を中心に温室効果ガス（GHG）削減のインセンティブ付与等を行うことで、停電受入れによるエネルギー起源のGHG削減が有効な方策になると考えられた。



注) 設問14「環境家計簿をつける」に「はい」の回答者は少ない（1.6%）ので除外した。

図(1)-23 設問別省エネ行動・意識の非受入割合の比較

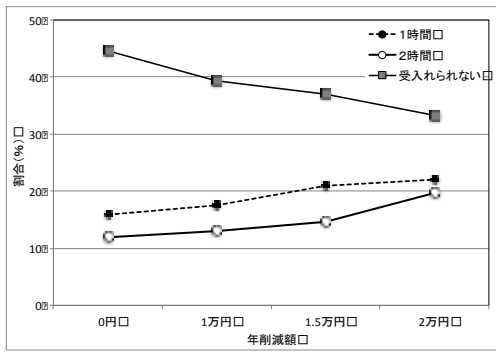
2) 電力料削減による受入率向上の可能性

a. 削減額と受入率の関係

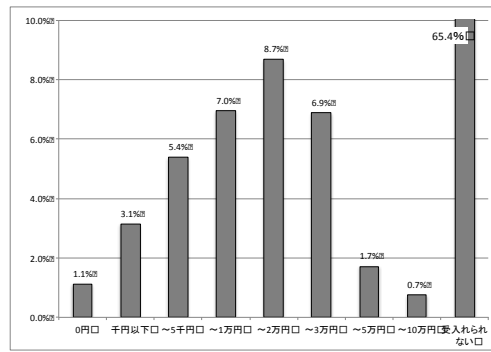
電気代削減により停電回数および停電時間の長さの増加をどの程度許容できるかを把握するために、年間電気料金を1万円、1.5万円、2万円削減できる場合に受け入れられる停電の回数と時間の長さの組合せを選択してもらった。その結果は、図(1)-24に示す年4回の例のように、どの停電時間と回数の組合せにおいても、年削減額を増加させると受入率は増加し、受け入れられないとする回答の割合は減少した。

2時間の停電が年6回起こる場合、どのくらいの年間削減額が必要かを聞いた質問の回答からは、図(1)-25のように4万円以下の削減で2時間・年6回の停電の受入率が36%となった。このうち、年額千円以下、1万円以下で受け入れるという回答は、それぞれ4%、16%であった。一方、削減額に関わらず受け入れられないという回答の割合は65%あった。





図(1)-24 電気料削減による受入率(年4回)の変化



図(1)-25 年6回停電を許容する年削減額の分布

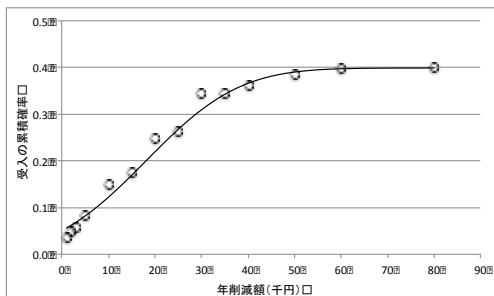
**b. 削減額の選好と受入率向上に必要な削減額の推定**

このように、停電の時間と回数が増加した場合、電気料を削減することで、受入率を向上させられる可能性を確認できたので、年1回・1時間の受入率51%の水準を下回る停電の時間と回数の組合せについて電気料の削減によりどの程度の受入率向上が期待できるかを検討した。

ここでは、年間の電気代削減額の選好が正規分布に従うと仮定して、削減額とそれに対する受入率の累積選択確率を、下式の累積確率密度関数を用いて求めた。

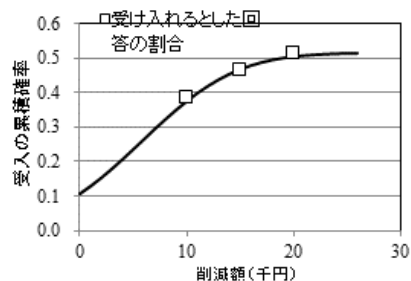
$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}\right) dx$$

$\mu$  : 平均値、 $\sigma$  : 標準偏差



注) 削減なし・3hr・4回の受入率が2hr・6回を5千円未満の削減で受入れるとした回答割合にほぼ等しかったので、2回、3回、4回の停電を削減なしに受け入れるという回答に関しては2hr・6回を5千円未満で受け入れるとした削減額の平均値である1.2千円が希望削減額であると仮定した。

図(1)-26 1時間停電を年3回許容する削減額別の累積確率曲線(推定)と受入率



図(1)-27 2時間の停電を年6回許容する削減額別の累積確率曲線(推定)と受入率

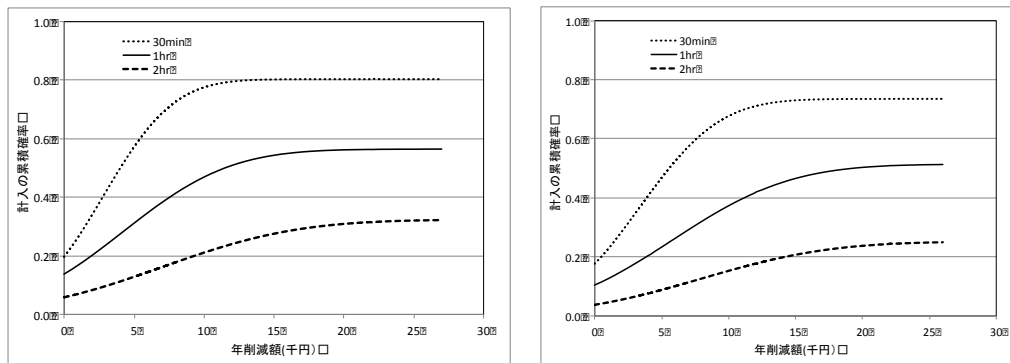
求めた累積確率密度関数は、図(1)-26および27のようにどの停電の時間と回数の組み合わせにおいても調査データによく当てはまった。そこで、表(1)-6のように調査データから調査データから平均( $\mu$ )と標準偏差( $\sigma$ )を求めて、削減額に対応する年2回、3回、4回の停電の受入率の累積確率密度関数を求め、電気料削減なしの受入率が50%以下の停電時間と回数の組合せについて、

年1回・1時間の受入率51%にするための削減額を求めた。結果は、図(1)-28のように1時間・年2回が12.1千円、3回が25.2千円の削減額になると推計され、GHG削減による環境価値の付与等を連動させることで、DR導入が実現可能と考えられた。さらにこのような分析から、「セル」、「セル群」の電力システムデザインにおいて予備力を電気料削減という需要対応により小さくする方が重要なオプションになると考えられた。

なお、1時間・年4回の停電は45%が、年2回、3回、4回の2時間の停電はそれぞれ32%、25%、22%が受入率の上限と考えられた。

表(1)-6 確率密度曲線推定のための平均値 ( $\mu$ ) と標準偏差 ( $\sigma$ )

	30min		1hr		2hr	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
2回	2.765	3.990	4.203	6.053	7.006	7.669
3回	3.409	4.969	5.891	7.069	8.152	8.030
4回	3.359	5.119	6.217	7.457	7.946	8.022

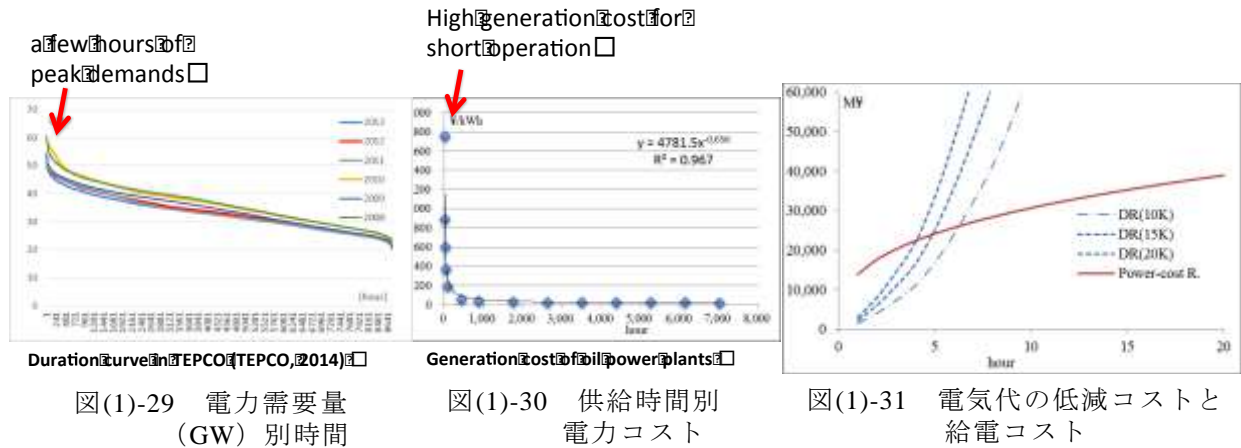


図(1)-28 年電力料削減額別の停電を許容する確率の推定累積曲線（左：年2回、右：年3回）

### 3) DRによる設備容量削減の可能性分析

北海道電力と沖縄電力を除く8電力管内の家庭需要者を対象に、アンケート調査からDR（受入率と受入の経済的条件）により削減可能な電力と電力料金を求め、ピーク需要に対応する給電コスト<sup>7)</sup>と比較することで、数時間のピーク需要をまかなう設備容量の削減が経済的に成り立つ化を検討した<sup>8)、9)</sup>。ピーク需要の大きさと時間、給電コストは、東京電力の電力需要量別時間の年別データ（図(1)-29）と供給時間別電力コスト（図(1)-30）の資料<sup>10)、11)</sup>を収集して使用した。

結果は、図(1)-31のとおりで、予期しない年間6時間程度の停電を起こさない設備容量を装備するより、DRを導入してピークカットをする方が経済的に妥当であると考えられた。また、この分析に基づいて、北海道電力と沖縄電力を除く8電力管内で抑制される電力需要を推計したところ、DRによる電力消費の削減量はピーク需要時を中心に数億kWh/年になり、エネルギー起源の温室効果ガス排出削減にも大きく貢献できる可能性があると考えられた。



図(1)-29 電力需要量 (GW) 別時間

図(1)-30 供給時間別 電力コスト

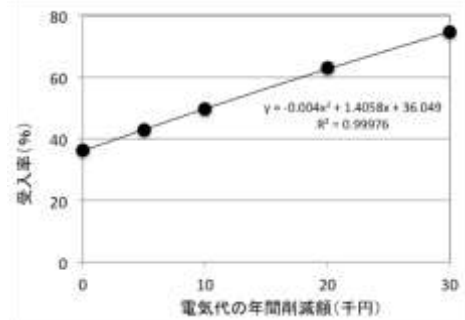
図(1)-31 電気代の低減コストと 給電コスト

4) 時間帯別部分停電の許容

ピーク時の電力需要削減が具体的なシナリオになるかを検討するために、夏期の日を対象とした時間帯別の部分停電の受入に関する追加のアンケート調査を行った。調査結果から時間帯別の各家電の電力使用率は表(1)-7のように推計され、エアコンの消費電力削減がピークカットに大きく寄与することがうかがえた。

表(1)-7 時間帯別家電の消費電力率推計 (単位: %)

時間帯	AC	冷蔵庫	照明	TV
6:00-8:00	59.8	20.3	8.3	9.0
14:00-16:00	69.5	18.8	4.4	4.3
18:00-20:00	44.1	19.1	19.2	12.3
20:00-22:00	43.1	18.2	19.7	12.9



図(1)-32 18-21時の2時間ACの 電力供給停止受入率

作成した電力需要モデルおよび生活時間調査<sup>12)</sup>からコミュニティレベルの夏期の電力需要ピークが18~20時であることを参考に、18:00-21:00の間の2時間の停電受入率と年間電力削減額の間をアンケート結果から推計したところ、エアコンの停電を夏期(7月から9月)に4回まで許容する割合は、図(1)-32のように削減額1万円で50%、2万円で63%となった。表(1)-7のように夏期18~22時のエアコンの電力消費率を43~44%とすると、分散型マイクログリッドが対象とするコミュニティレベルの夏期の電力ピーク需要は1万円削減で約22%、2万円で約28%削減できる可能性があるといえた。このような分析から、分散型グリッドの計画設計(容量・予備力削減等)においてDRによる需給協調は重要な検討オプションになると考えられた。

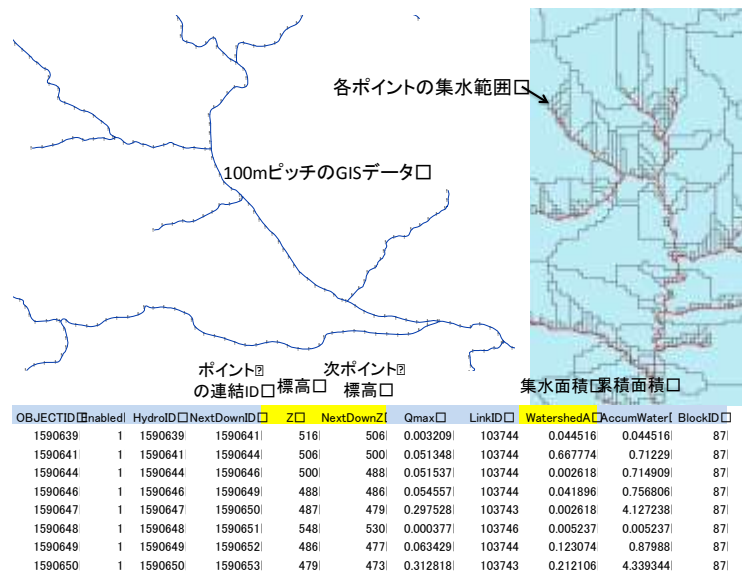
(4) 再生可能エネルギーによる需要充足度の分布図作成

本研究開発で前提とする再生可能エネルギーによるエネルギー自立(需給区「セル」)が、どこで成立するかは、需要を満たせる、あるいは需要以上の再生可能エネルギーを供給できる領域がどこに見いだせるかを分析することで明らかにすることができる。そこで、再生可能エネルギ

一の供給可能量の需要量に対する過不足（需要充足度）を分布として表す手法を開発し、ケーススタディとして選定した都留市全域を対象に需要充足度分布図作成を試みた。

対象とする再生可能エネルギーは、熱源が太陽熱集熱と木質バイオマス、電源が太陽光と小水力による発電とし、開発可能量はGISを活用して以下のような手順で期別に推計した。

- ・ **木質バイオマス**：植生図から林地分布を求め、調達可能な林分について年蓄積量を 100 GJ/ha として求める。日当たりの利用可能量は、蓄積量の 2 日分 (550MJ=100GJ/365×2) として設定する。
- ・ **小水力発電**：図(1)-33 のように自然水路線形沿いに 100m 間隔でポイントを設定し、数値地図の 50mDEM データを用いてポイントごとの標高と水路線形周辺の標高から集水範囲を求めて集水面積を計算する。つぎに、上流側のポイントの集水面積を累積して各ポイントの累積集水面積とし、周辺水文データを参考に単位集水面積当たりの流出量 (100km<sup>2</sup>当たり、夏期 1.8m<sup>3</sup>/s、中間期・冬期 1.5m<sup>3</sup>/s) を設定して累積集水面積を乗じてポイントごとに流出量を算出する。最後に、各ポイントについて下流側ポイントとの落差に、流出量、発電効率 (0.7) を乗じて出力、さらに稼働率 (0.7) を乗じて発電量を求める。なお、既開発の小水力発電が多数存在する本流は開発対象としない。



図(1)-33 小水力ポテンシャル推計のためのGISデータ整備

表(1)-8 夏期、冬期、中間期の日射量 (MJ/m<sup>2</sup>)

	最大	中央	最少
夏期 (8月)	10.62	8.22	6.48
冬期 (2月)	8.20	5.95	4.42
中間期 (5月)	11.67	8.77	3.81

- ・ **太陽光発電/太陽熱**：基盤地図の縮尺レベル 2500「建築物の外周線」データを利用し建物の分布と面積を求め、つぎにそれぞれの建物面積に設置可能割合を乗じ、既存データベースの日射量を用いて期別に推計する。期別日射量は、NEDO が提供する「年間特別日射量データベース」の推計対象地に最も近い観測点のデータから、夏期 (8月)、冬期 (2月)、中間

期（5月）を選定し、日の日射量の最大値、最小値、中央値をそれぞれの月データから抽出して使用する（表(1)-8）。

太陽光発電量は、設置可能面積を建物面積の30%、40%、50%とする3ケースについて、それぞれ期別日日射量の最大値、中央値、最小値に対する計算を行った。太陽熱の開発可能量は、集熱器の設置面積を建物面積の10%、15%、20%とする3ケースについてそれぞれ期別日日射量の最大値、中央値、最小値に対する計算を行った。

## 1) 需要量の推計と需要原単位

需要量は、以下の手順で期別に推計した。

- ・ 基盤地図「建築物の外周線」データを用いて作成した建物分布図について、現地調査、施設の住所確認等により、建物を住宅、商業、医療、業務、宿泊、娯楽、文化、教育に分類する。建物面積が50m<sup>2</sup>以下は対象としない。
- ・ 建物分類ごとに期別床面積当たりエネルギー需要（需要原単位）を設定し、個々に求める建物面積に原単位を乗じて算出する。

表(1)-9 住宅の需要原単位

	夏期	中間期	冬期
暖房(MJ/10m <sup>2</sup> )	—	—	5.00
給湯(MJ/戸)	64.50	76.00	94.40
電力(kWh/10m <sup>2</sup> )	0.72	0.67	0.95

表(1)-10 夏期の日熱需要m<sup>2</sup>当たり原単位

建物用途	冷房		給湯 M J	電力 kWh
	M J	kWh		
医療	8.58	0.32	1.97	0.47
業務	9.22	0.34	0.02	0.48
商業	8.72	0.32	0.22	0.58
宿泊	6.98	0.26	0.57	0.51
娯楽	4.88	0.18	0.61	0.51
文化	3.00	0.11	0.00	0.16
教育	1.53	0.06	0.00	0.14

住宅の需要原単位は、実測に基づいて作成した期別エネルギー需要モデルを採用し、日需要を求めて使用した（表(1)-9）。その他の建物別需要原単位は、施設別年間需要<sup>13)</sup>、<sup>14)</sup>を12～3月を冬期、4～5月と10～11月を中間期、6～9月を夏期とし、住宅の暖房、給湯、電力の期別需要割合で按分し、期別日需要として設定した。夏期の住宅の冷房需要は、電力需要モデルに含まれるものとした。住宅以外の建物は、表(1)-10に示すようにCOP5.0として冷房需要を電力換算し、夏期の電力需要に加算した。

## 2) 需給量と需要充足度の推計および分布

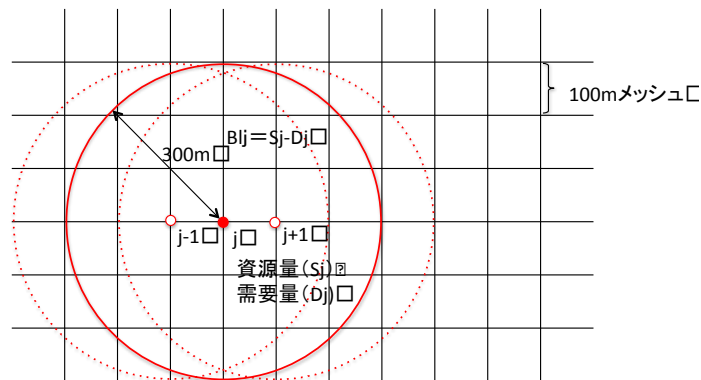
需要充足量は、図(1)-34のように対象地域内に設定した100mメッシュの交点（j）を中心とする円内の供給可能量（Sj）と需要量（Dj）をそれぞれ集計し、SjからDjを引いて需要のある全ての円について求め、点（j）の需要充足量（Blj）とした。したがって、BljはSj>Djの場合は正、Sj

<  $D_j$  は負となる。

需要充足量の分布は、各点の座標とともに  $B_{lj}$  を属性情報とする GIS データとして格納し、 $100\text{m} \times 100\text{m}$  のラスターデータに変換することで作成した。

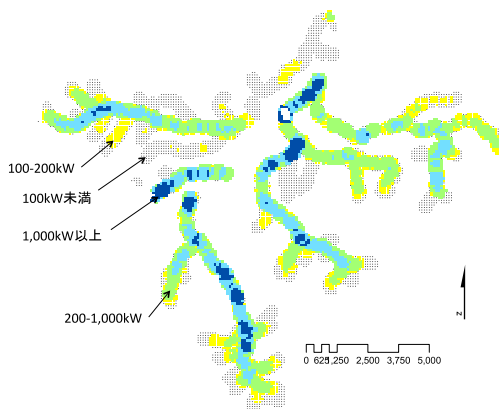
需要充足量を集計する円の半径は、小水力発電による配電線距離が  $1\text{km}$  を超えない、バイオマス調達範囲が需要点から数百  $\text{m}$  以内にあるという条件を設定し、本分析では  $300\text{m}$  とした。なお、半径を  $200\text{m}$ 、 $500\text{m}$  とした場合も、電力の需要充足度分布に大きな違いは認められなかった。

このような手順で求めた小水力発電開発可能量(出力)、太陽熱開発可能量は、それぞれ図(1)-35、図(1)-36のようになる。



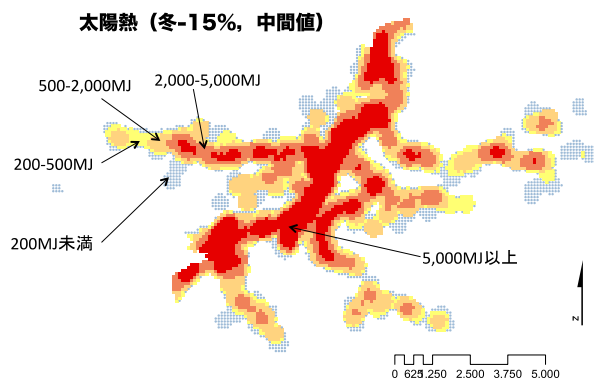
- 需要充足量 ( $B_{lj}$ ) は、 $100\text{m}$  メッシュ交点 ( $j$ ) を中心とする円内の資源量 (供給可能量、 $S_j$ ) と需要量 ( $D_j$ ) を集計し、 $B_{lj} = S_j - D_j$  として求めた。
- 需要充足量分布 (需給バランス分布) は、各メッシュ交点の  $B_{lj}$  を  $100\text{m} \times 100\text{m}$  のラスターデータに変換することで作成
- 需給バランス集計の円半径は、 $300\text{m}$  とした。(小水力発電による配電線距離が  $1\text{km}$  を超えない、バイオマス調達範囲が需要点から数百  $\text{m}$  以内)

図(1)-34 需給量と需要充足度の集計と分布の求め方



(需要のないメッシュ交点円も含む)

図(1)-35 水力発電による供給可能量分布図



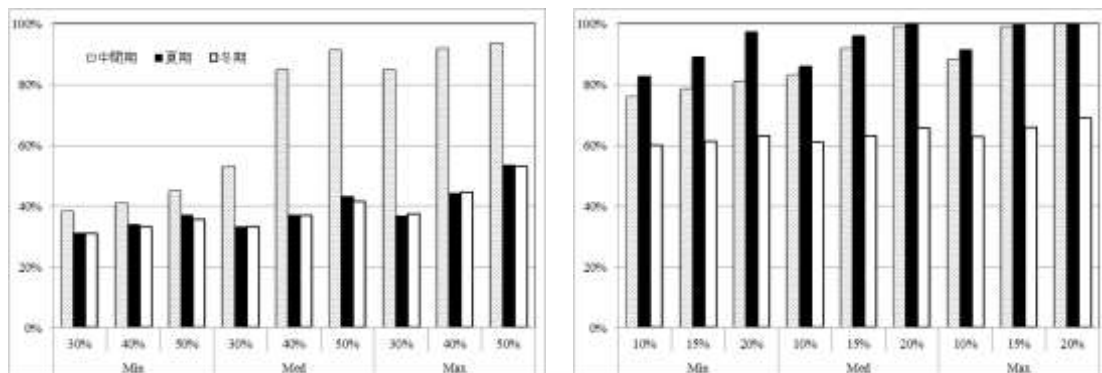
図(1)-36 太陽熱開発可能量 (冬-15%、中間値)

**a. 需要充足の概要**

需給バランス計算を行ったすべての円 (中心点) の数 (5,506) に対する、供給  $\geq$  需要 ( $S_j \geq D_j$ ) の円 (充足円) の数の割合は、図(1)-37のように夏期と冬期の電力需給で  $50\%$  以下になるケースが多く、冬期の熱需要で  $60\%$  程度、中間期と夏期の熱需給で  $80\%$  を越えるケースが多かった。こ

これらの割合は充足する面積の割合といえるので、夏期と冬期に電力を自給できる範囲が50%以下、熱を自給できる範囲が60%以上あると考えることができる。なお、中央値の日日射量で計算したときの夏期と冬期の電力充足円の割合は33%～43%となった。

一方、全需要に対する供給の量的割合は、充足する建物面積がどの程度あるかで推定することができる。そこで、エネルギー自給割合を推計するために、計算するすべての円内の建物面積の集計値（ $\Sigma A_j$ ）に対する電力充足円内の建物面積の集計値（ $\Sigma A_{js}$ ）の割合（ $\Sigma A_{js} / \Sigma A_j$ ）を求めると、パネル設置50%、中央値日日射量するとき、夏期で23%、冬期で21%となった。



電力需要充足の割合

熱需要充足の割合

- 1) 充足割合は、 $S_j \geq D_j$  となる点 (j) の数の需給バランス計算を行ったすべての点の数 (5,506) に対する割合。
- 2) 電力の30%、40%、50%および熱の10%、15%、20%は、太陽光発電用パネル、太陽熱集熱器の建物面積に対する設置面積の割合。
- 3) Min、Med、Maxは、それぞれ日日射量の最小値、中央値、最大値。熱の凡例は、電力と同じ。

図(1)-37 エネルギー自給範囲の割合

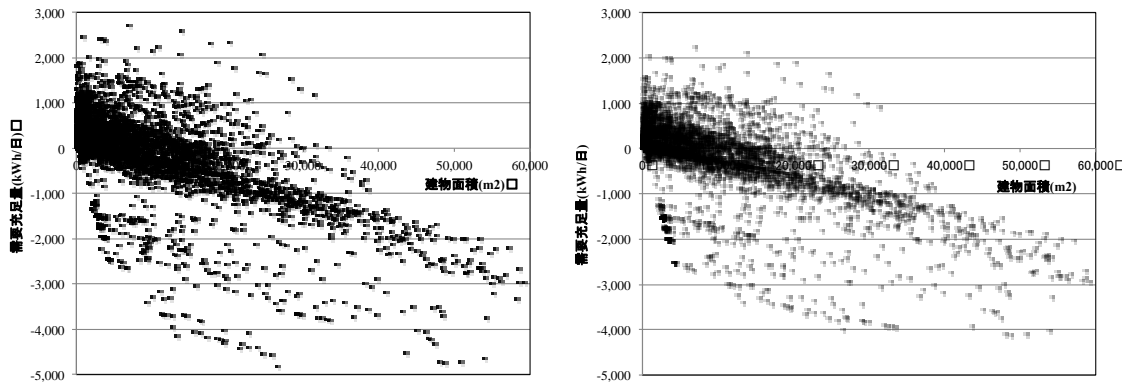
## b. 電力需給

建物面積と需要充足量の関係は図(1)-38のとおりで、建物面積（需要）が増加すると充足量が減少し、夏期と冬期には円内の建物総面積が4,000～5,000 m<sup>2</sup>以下で $S_j \geq D_j$ となることが多く、それ以上になると $S_j < D_j$ となることが多い。仮に、建物がすべて住宅であると仮定すると、円内の戸数が20～30以下（100戸程度/km<sup>2</sup>以下）の場合は電力を自給できる可能性が高いと考えられた。

一方、図(1)-39のように電力需要充足は、小水力発電の開発可能量の大きさとも密接な関係が認められ、円内の開発可能量が400～500kW（出力）を越える場合の充足量は、ほとんどが正となった。一般的に、小水力が開発に優位なところは、地形の傾斜が急で、住宅密度が小さいため、水路が近傍にある山間域の集落部は十分に電力自給が見込める範囲と考えられた。

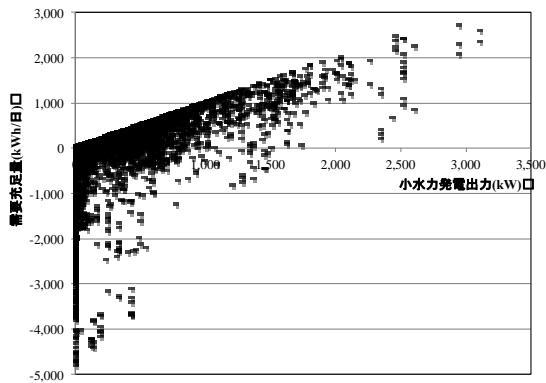
円内の供給可能量と需要量を集計して求めた需要充足量と円の中心座標から、100m×100mのラスタデータに変換して作成する図(1)-40のような電力需給バランス分布は、このような電力自給範囲の分布を的確に表しているといえ、建物の分布密度が大きい本流沿い～支流下流部では電力需要に対して供給可能量が明瞭に不足すること、支流上流部では供給量が十分に需要を満たし余剰が生じることを示していると考えられた。



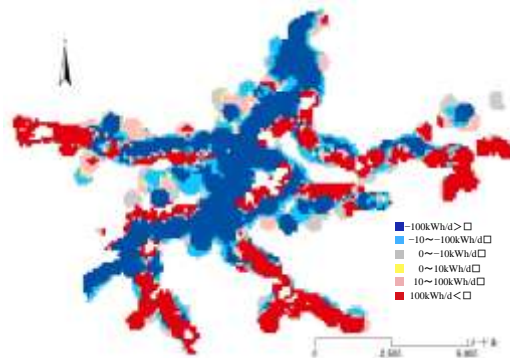


夏期 冬期

図(1)-38 建物面積と電力充足量



図(1)-39 夏期の電力需要充足量と小水力発電出力

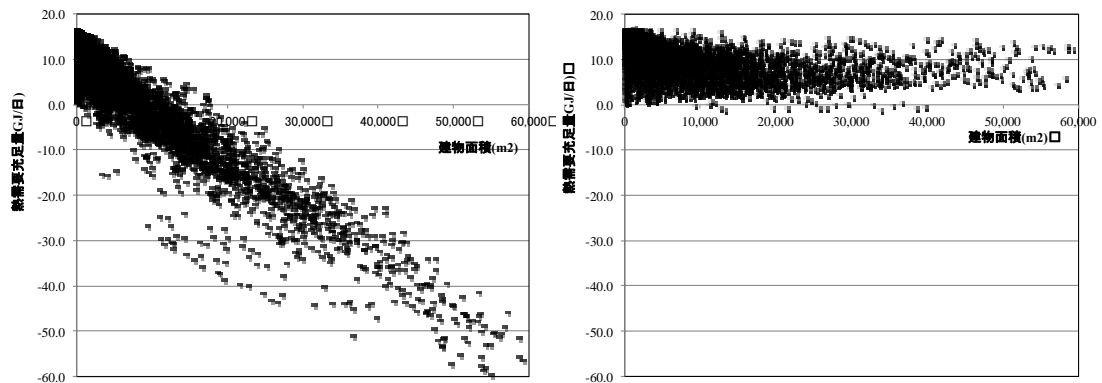


注) 日射量：8月の日平均の中央値、  
PVパネル面積：建物面積の50%

図(1)-40 夏期の電力需給バランス分布 (PV-50%)

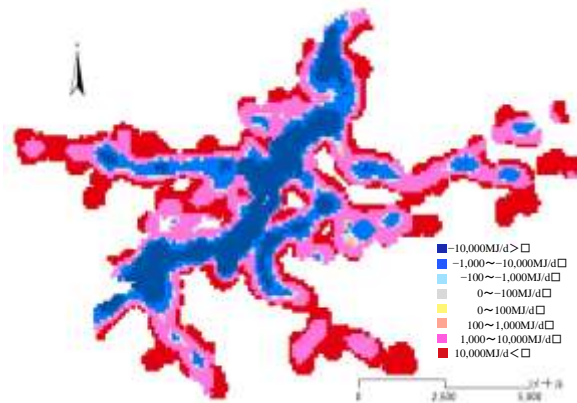
c. 熱需給

熱需要に対する供給は、太陽熱の集熱面積を建物面積の20%にすると、支流部分の多くが冬期であっても  $S_j > D_j$  となり (図(1)-42)、中間期と夏期の熱需給バランス分布は負になる部分がごく一部に限られた。



夏期 冬期

図(1)-41 建物面積と熱需要充足量



注) 日射量：2月の日平均の中央値，集熱器面積：建物面積の20%  
 図(1)-42 冬期の熱需給バランス分布（集熱-20%）

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・ エネルギー需給分析に使用できる、時間別期別の電力と熱の需要モデルを作成した。
- ・ 電力と熱の需給バランス分布を把握する方法を検討し、エネルギー自給が可能な領域を抽出する手法を開発・適用した。
- ・ 電力のピーク供給容量を供給停止契約などにより削減できるデマンドレスポンス導入の可能性を明らかにした。

### (2) 環境政策への貢献

- ・ 自給型分散エネルギーシステムの研究コンセプトを、研究会やシンポジウムで政策決定者に説明することで、地域エネルギー開発の意義と政策的課題に関する認識を広めた。
- ・ コミュニティレベルのエネルギー需給の検討を簡便に行える汎用的コミュニティ・エネルギー設計支援プログラムを開発した。
- ・ 需要以上の再生可能エネルギー開発が可能な領域の抽出により再エネ開発によるエネルギー自立が可能な領域があることを明らかにし、小水力が中核的な電源になることを示した。
- ・ デマンドレスポンスによるシステムの過大装備回避およびエネルギー起源の温室効果ガス削減と連動する DR インセンティブ付与方策の可能性を指摘した。

### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 再生可能エネルギー資源による分散型エネルギーシステムの構想に活用できる独立型電力需給および熱需給のモデルを提示した。
- ・ コミュニティレベルで、再生可能エネルギー開発やエネルギー需給検討を行う際に利用できる基礎資料、需要計算ツールを整備した。

- ・ 太陽光発電、小水力発電、太陽熱、森林バイオマスの開発可能量を推計し、再生可能エネルギーで電力と熱の需要を充足できる範囲の抽出手法を開発し、市町村～全国規模で適用できるようにした。
- ・ 農山村型マイクログリッド設備の過大装備回避と安定的運用のための電力ピークカットにデマンドレスポンス（DR）が有効で、分散型電力システム設計とエネルギー起源のGHG削減においてDRが重要なオプションになることを示した。

## 6. 国際共同研究等の状況

本研究成果を活用する実証的研究として、小水力と太陽光発電を主電源とする独立グリッドによる無電化地域の電化に関する国際共同研究プロジェクトを、インドネシアBPPTのエネルギー技術センター、バンドン工科大、西ジャワ政府と構想し、SATREPSに応募したが、研究段階ではなく実証段階にあるとして採択されなかった。

## 7. 研究成果の発表状況

### （1）誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 白波瀬京子、小林久：農村計画学会誌、32,293-298（2013）  
「電気の供給停止（停電）に対する需要と属性・省エネ行動との関係—自然エネルギー導入を前提とした電力品質の許容水準—」
- 2) Abdur Rohman and Hisashi Kobayashi: *Energy Procedia*, 61, 887-890 (2014)  
“Estimation on possibility and capacity of residential peak electricity demand reduction by demand response scenario in rural areas of Japan”

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 小林久：農村計画学会誌、30,4,573-577（2012）  
「自然エネルギーを供給する農山村の可能性と課題」
- 2) 小林久：農作業研究、47,2,3-13（2012）  
「農山村のエネルギー的自立に向けて」
- 3) 小林久：生活協同組合研究、445,21-30（2013）  
「小水力発電の可能性と普及に向けた課題」
- 4) 後藤真宏、駒宮博男、上坂博亨、小林久、平野彰秀、上田達己、浪平篤、廣瀬裕一：農業農村工学会誌、81,2,93-96（2013）  
「小水力発電の導入による農業水利施設の活かし方」
- 5) 小林久：環境技術2015-6（2015）（印刷中）  
「地域による地域のためのエネルギー戦略—小水力・森林バイオマスの利用と農山村の生存—」

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 室田武、倉阪秀史、小林久、島谷幸宏、山下輝和、藤本穰彦、三浦秀一、諸富徹：コミュ

ニティエネルギー、農村文化協会、125-176（2013）

「第2章 コミュニティエネルギーに挑む農山村（執筆担当：小林久）」

- 2) 小林久：協同総合研究所報『協同の発見』、247,5-122（2013）  
「資源はだれのものなのか？ー地域から自然再生可能エネルギーを考える」
- 3) 小林久：科学、83,9（2013）  
「小水力に期待できるか？」
- 4) 小林久：農業と経済、80,3,139-146（2014）  
「再生可能エネルギーに関連する法制度の規制緩和の働きー農山漁村の豊かな地域社会形成に貢献する地域資源利用の視点から」

## （2）口頭発表（学会等）

- 1) 白波瀬京子、小林久：農村計画学会2013年春期学術発表会（2013年4月）  
「自然エネルギー導入を前提とした電力品質の許容水準ー停電の時間と回数の受容に関する意識調査結果ー」
- 2) Abdur Rohman：農村計画学会2013年春期学術発表会（2013年4月）  
"A study on the Characteristics of Electricity Consumption Pattern of Residents in Rural Area"
- 3) 小林久：Small Hydropower in Japan、プロジェクト国際ワークショップ（2013年7月）  
「アジア環太平洋地域の人間環境安全保存保障ー水・エネルギー・食物連鎖」
- 4) 小林久：国立国会図書館調査及び立法考査局（2013年7月）  
「小水力発電の現状と課題」
- 5) 小林久：農業農村工学会大会講演会（2013年9月）  
「小水力発電からみた持続共生社会創世の可能性ー再生可能エネルギーを管理する農山村」
- 6) 小林久：環境経済・政策学会2013年大会（2013年9月）  
「民ー官ー学連携による地域自然エネルギー政策形成過程に関するー考察ー「水とみどり」を誇る朝倉市小水力発電導入可能性調査を事例としてー」
- 7) 白波瀬京子、小林久：農村計画学会2013年度秋期大会（2013年12月）  
「電気の供給停止（停電）に対する需要と属性・省エネ行動との関係ー自然エネルギー導入を前提とした電力品質の許容水準ー」
- 8) Abdur Rohman and Hisashi Kobayashi: The 6th International Conference on Applied Energy (ICAE2014), May. 2014  
“Estimation on possibility and capacity of residential peak electricity demand reduction by demand response scinario in rural areas of Japan”
- 9) Abdur Rohman, Kyoko Shirahase, Hisashi Kobayashi: Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Jul. 2014  
“Formulation of Energy Demand Model And Development of GIS Based Application to Estimate Energy Demand at Community Level”
- 10) G. Fujiya, K. Shirahase, H. Kobayashi: Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Jul. 2014  
“Scenario analysis of regional energy supply-demand structure transformation by renewable

energy: Case study of the T city”

- 11) 小林久、伊東明彦、白波瀬京子：平成 26 年度 農業農村工学会大会講演会（2014 年 7 月 28 日）  
「再生可能エネルギーによる需要充足度の分布図作成」
- 12) 後藤真宏、小林久、白波瀬京子：環境経済・政策学会 2014 年大会（2014 年 9 月 14 日）  
「地域用水路を利用する小水力開発の計画と合意のプロセス—F 地区の事例—」
- 13) A. Akisawa, H. Kobayashi: International Workshop on Environment and Engineering, Tsukuba, 18-29 Nov. 2014  
"Optimal Behavior of Local Energy Supply System with Sharing Excess Renewable Power among Communities"

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 再生可能エネルギー事業の展開と課題—農山漁村地域における地域住民主体の地域資源活用を考える（2014年2月23日、日本青年館、参加者70名）
- 2) 『いばらきのエネルギーと持続可能社会の実現にむけて』2014年度茨城大学・茨城県・茨城産業会議連携講演会（2014年11月27日、水戸京成ホテル 参加者113名）

### (5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 毎日新聞（2013年1月8日、神奈川地方版）「ふるさとエネルギー：伊豆マイクロ水力発電普及 過疎の悩む中山間地域の「地産地消」起爆剤に」
- 2) 上毛新聞（2013年2月20日）「自然エネルギー、利点を住民に訴え 沼田」
- 3) ISSUE218号（2013年7月1日）「小水力発電自然エネルギーの突破口」
- 4) 読売新聞（2013年10月27日）「地域の主体性が課題—小水力発電に熱視線」
- 5) 読売新聞（2013年12月24日）「小水力発電 新たな流れ」
- 6) 広島NHK（2014年2月7日、Eテレ）

### (6) その他

- 1) 地域から考えるエネルギーの未来（2013年3月23日、東海村研究交流プラザ、参加者98名）
- 2) 里地里山里水 元気フォーラム2 地域が取り組む環境管理とエネルギー開発（2013年12月13日、ミュージアム都留、参加者43名）
- 3) 電力供給への自然エネルギーの導入と課題（2014年3月11日、芝浦工業大学豊洲キャンパス、参加者48名）

## 8. 引用文献

- 1) NEDO（2005）新エネルギーガイドブック 2005.
- 2) NEDO（2014.4.10 更新）日射量データベース閲覧システム、年間次別日射量（METPV-11）

(<http://app7.infoc.nedo.go.jp/>)

- 3) 経済産業省（2014）エネルギー白書 2013（第2部エネルギー動向、第1章国内エネルギー動向）、世帯当たりのエネルギー消費原単位と用途別エネルギー消費の推移、100-144.
- 4) 村上周三、他 10（2006）全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査、日本建築学会環境系論文集 603、93-100.
- 5) Jamshid Aghaei, Mohammad-Iman Alizadeh (2013) “Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18,64-72.  
(<http://www5.cao.go.jp/seikatsu/monitor/pdf/kankyosyohi090225.pdf>)
- 6) 内閣府国民生活局（2008）平成 20 年度国民生活モニター調査結果
- 7) （財）電力中央研究所（2011）デマンドレスポンスプログラムの導入がわが国の発電コストに与える影響、電中研報告 Y10021, 21p.
- 8) Bradley, P., Leach, M., and Torriti, J. (2013) “A review of the costs and benefits of demand response for electricity in the UK”, *Energy Policy* 52, 312-327.
- 9) 経産省（2012）総合資源エネルギー調査会総合部会電気料金審査専門委員会－料金算定の前提となる需給関係資料（東電）  
([http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denkiryokin/pdf/001\\_s05\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denkiryokin/pdf/001_s05_00.pdf))
- 10) 東京電力（2014）電力需要データ  
(<http://www.tepco.co.jp/en/forecast/html/index-e.html>)
- 11) 資源エネルギー庁（2011）夏期最大電力使用日の需要構造推計（東京電力管内）
- 12) NHK 出版（2011）データブック 国民生活時間調査 2010
- 13) （一社）都市環境エネルギー協会（2010）プロジェクト 2010 日本全国地域冷暖房導入可能性調査
- 14) （社）日本エネルギー学会（2008）天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル、339p



## (2) 需給システムとエネルギー相互融通システムの開発

東京農工大学 大学院工学研究院 教授

秋澤 淳

平成24～26年度累計予算額：16,490千円（うち、平成26年度予算額：6,999千円）

予算額は、間接経費を含む。

### [要旨]

本研究では、分散型エネルギーシステムの地域導入モデルを作成し、最適な導入量、運用方法を導出する最適化手法を用いてもたせ型のコンセプトの有効性を解析した。さらに、得られた結果を利用して伝熱のアナロジーに基づくもたせ型システムをモデル化し、気象情報と電力需要を与えることで余剰電力の融通量を予測できる方法を構築した。

再生可能エネルギー技術を対象として、再生可能エネルギーが豊富な2つの集落(湧出セル)と、余剰となる再生可能電力の融通を受ける2つの集落(融通セル)、計4つの集落と電力融通を仲介する機能(調整池)をモデル化し、最適技術導入および各技術の運用を導いた。4つの集落を含む地域全体の総コストを最小化する全体最適化手法、およびエネルギーの売買価格を提示して、全ての集落が利益を得て、なおかつ調整池の利益が最も高くなるように売買価格を最適化する個別最適化手法の2つの方法論を構築した。また、最適化結果に影響を与えるパラメータを確認するため、感度分析を行った。具体的には想定するセルの建物構成を変化させた建物構成変化、太陽光発電を導入する規模となる屋根面積変化、太陽光発電の発電量に影響を与える日射量変化の3つのパラメータについて感度分析を行った。その結果、建物構成変化、屋根面積変化では調整池利益の値に影響を及ぼすことに留まる一方、日射量変化では年間日射量と調整池での最適余剰電力価格の間に線形な関係であることを導いた。すなわち、調整池の最適な行動指針が年間日射量によって予測できることを示した。

最適化は必ずしも実装可能ではないため、逐次的に計算する伝熱のアナロジーに基づくもたせ型システムモデルを作成した。それを用いた解析より、1時間単位の電力融通の挙動を予測することは難しいが、月毎の積算融通量については個別最適化結果との差が10%以内の範囲で予想できることを見いだした。

### [キーワード]

電力融通、全体最適化、個別最適化、余剰電力価格、伝熱アナロジー

## 1. はじめに

将来的に中山間地域は再生可能エネルギーが豊富な地域であることから、再生可能エネルギーを含む分散型エネルギーシステムを導入することが期待される。再生可能エネルギー技術の導入が期待できる集落(湧出セル)で発生する余剰電力を、再生可能エネルギー技術の導入が期待できない集落(融通セル)に融通する事により再生可能エネルギーの有効利用を図ることができる。そのためには中山間地を想定した分散エネルギーシステムの連携(もたせの考え方を取り入れたエネルギーシステム)を形成することが課題である。

現在再生可能エネルギーによる電力の固定買取制度が実施され、経済性の確保が保証された条件にある。しかしながら、固定買取制度は時限的であり、設備コストが低減された後には制度が終了する。現在でも太陽光発電の買取価格は年々低下する傾向にある。本研究では固定買取制度が終了した後を想定し、再生可能エネルギー資源が豊富な地域において、集落が連携してエネルギーを自立的に賄えるシステムの可能性を調べるため、モデル分析を行うことを企図している。

## 2. 研究開発目的

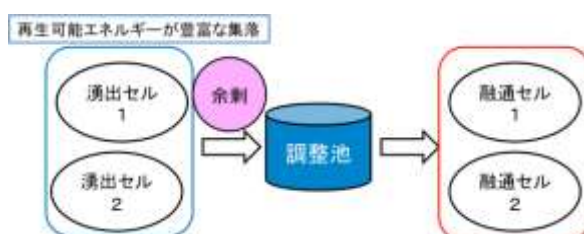
本研究では、分散型エネルギーシステムを再生可能エネルギー技術の導入が期待できる集落（湧出セル）と再生可能エネルギーの余剰を融通する集落（融通セル）および連携時の電力融通を仲介する設備（調整池）をモデル化し、セル間のエネルギー融通（もたせの機能）の運用を解析するとともに、有効な技術の最適選択を明らかにする。それに基づき、もたせ型システムの有効性を評価し、システムの設計指針を導くことを目的とする。

## 3. 研究開発方法

### （1）研究方法の概要

本研究は、分散型エネルギーシステムの地域導入モデルを作成し、最適化ツールによって、最適な導入量および運用方法を導出する。分散型エネルギーシステムの地域導入モデルとして、分散型エネルギーシステムを再生可能エネルギー技術の導入が期待できる集落（湧出セル）と再生可能エネルギーの余剰を融通する集落（融通セル）それぞれ2つの集落を想定する。蓄エネルギー機能を持つ調整池が湧出セルから融通セルへとエネルギー融通を行う役割を担うこととする。本研究におけるモデルを図(2)-1に示す。

本研究の解析は2つの異なる手法に分かれている。前半部は、これらのセルにおいて、各セルおよび調整池が協力し合うことによって、エネルギーコストを踏まえたシステム全体の総コストが最小となる最適化を行う全体最適化と、各セルと調整池を独立して捉え、各セルのコストが最小となるように個別に最適化を行う個別最適化の2パターンの最適化を行う。個別最適化の流れとしては、まず、調整池は湧出セルからの余剰電力買取価格および融通セルへの売却価格を提示し、調整池の利益が最大となる価格を決定する。後半部は、個別最適化の結果を用いて、伝熱のアナロジーに基づくもたせ型システムの解析を行い、気象情報と湧出セル、融通セルの需要を与えることによって、エネルギーの融通量を導くことができるシステムを構築する。



図(2)-1 分散型エネルギーシステムのフロー図

### （2）対象システム

本研究において、採用する再生可能エネルギー技術は次の通りである。いずれも中山間地域で

は賦存が見込める資源に基づいている。

- ・ 太陽光発電 (PV)
- ・ 小水力発電 (Micro Hydro)
- ・ 太陽熱集熱器 (SWH)
- ・ 薪ボイラー (Biomass)

さらに、太陽光発電は昼間のみ発生するため、その電力を貯蔵するために蓄電池を取り入れる。湧出セルまたは融通セルには図(2)-2に示す分散エネルギーシステムを仮定する。湧出セルにおいては再生可能エネルギー技術等に加え、従来技術として系統電力 (Grid)、温水供給用ボイラー (Boiler)、エアコン (AC)、石油ヒータ (OHT) が選択できるとし、融通セルでは再生可能エネルギー技術は含まず系統電力、ボイラー、エアコン、給湯用ヒートポンプ (EHP) を想定する。

なお、一つのセルは集落程度の大きさとし、セル内では余剰となる温水は融通可能と仮定した。実際に温泉を地域内に配管で供給している事例があり、小規模には熱のネットワークは導入できるものと考えられる。一方、セル間は距離が離れていると想定されることから、温水の輸送は行わない。調整池は湧出セルから発生する余剰電力を融通セルに送ることを仲介する。エネルギーフロー図においてセルから出ていくのは電力のみであり、調整池が余剰電力を受け取る。

各セルの分散エネルギーシステムの技術選択および運用は、セルの範囲において経済性の観点から最適化することによって決定する。最適化モデルの具体的な枠組みは次の通りである。

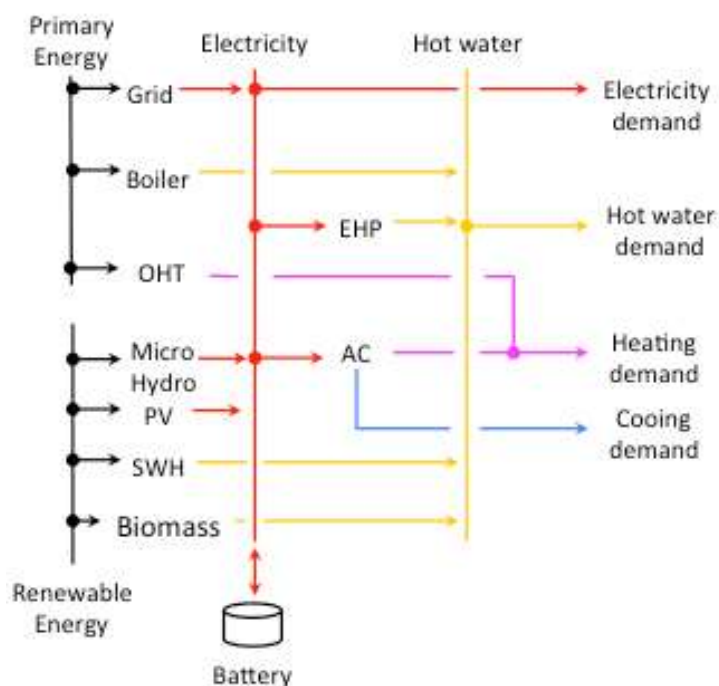
- ・ 変数：各技術の設備容量、時間帯ごとの出力（一年間の運用）
- ・ 目的関数：設備固定費＋燃料費の総和を最小化
- ・ 制約条件：時間帯ごとの需要を満足する制約
  - 時間帯ごとの供給の制約（日射量や水量）
  - 年間の供給の制約（薪の供給量）
  - エネルギーバランスの制約
  - 設備容量の制約

表(2)-1 再生可能エネルギー関連技術の概要

エネルギー技術	機器価格	耐用年数	導入上限値
太陽光発電	250,000 円/kW	20年	屋根面積の50%
小水力発電	1,500,000 円/kW	10年	30kW
薪ボイラー	71,000 円/kW	12年	年間薪消費量
蓄電池	50,000 円/kWh	10年	なし
貯湯槽	115,000 円/m <sup>3</sup>	20年	なし
ヒートポンプ	100,000 円/kW	10年	なし
エアコン	25,000 円/kW	10年	なし

表(2)-2 燃料価格の設定

	基本料金	従量料金
電力	1510円/kW	昼間(8-23時):23円/kWh 夜間(1-7、24時):12円/kWh
灯油	-	100円/L
薪	-	10,000円/ton 水分含有率50%



図(2)-2 エネルギーフロー図

なお、必要があれば二酸化炭素排出量の上限を与える制約などを追加することも可能である。

ここでは、それらの対象システムに含まれる技術の設定や前提条件を示す。太陽光発電と太陽集熱器は屋根に設置されるため、屋根面積によって上限が与えられる。屋根面積の半分が利用可能と仮定した。小水力発電は河川の水量に直接影響を受け、場所によって条件に違いがあるが、ここでは30kWまで導入できるものと仮定した。最適化シミュレーションでは各技術のイニシャルコストを耐用年数で単年度換算した値を用いる。また、調整池から融通セルに電力を融通する際、送電ロス1%が生じることとする。以下に、再生可能エネルギー関連技術の概要（表(2)-1）、燃料価格の表（表(2)-2）、エネルギーフロー図（図(2)-2）を示す。

### （3）対象地域

本研究では、再生可能エネルギー技術の導入が期待できる集落である湧出セル、再生可能エネルギーの余剰を融通する集落である融通セル、両者とも山梨県都留市の集落を対象にしている。負荷データ等はサブテーマ1のデータを用いて算出した。

#### 1) セルの設定

本節では、本研究において想定する湧出セルと融通セルの概要、エネルギー負荷について述べる。湧出セル、融通セル共に、2つの集落から成り立つものとする。本研究ではつるぎ地区、本社前地区、古宮地地区、中道地区と全部で4つの集落を利用した。

##### a. 湧出セルの概要

湧出セルは、GISの地理情報からセル内の3季節、平日休日、時間別の電力、給湯、暖房需要を推計する。湧出セル1は、山梨県つるぎ住宅を想定し、湧出セル2は、山梨県つるぎ業務、商業系

施設を推定する。太陽光発電、太陽熱温水器を導入する事となる屋根面積を以下に示す。

- ・ 湧出セル 1：住宅系、屋根面積 4930m<sup>2</sup>
- ・ 湧出セル 2：業務、商業系、屋根面積 2650m<sup>2</sup>

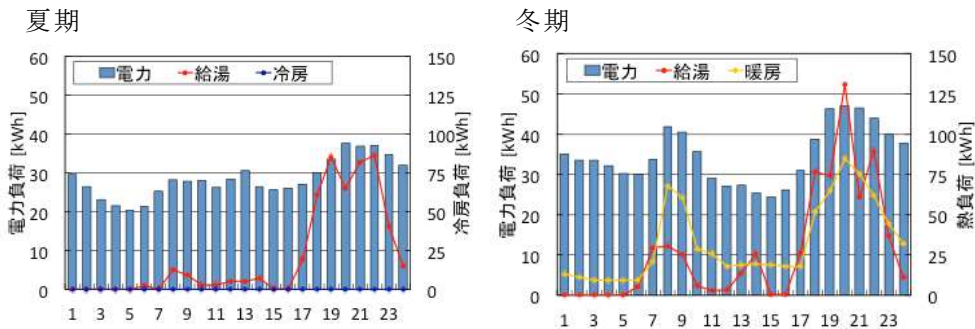
**b. 融通セルの概要**

融通セルも、湧出セルと同様に、GISの地理情報からセル内の3季節、平日休日、時間別の電力、給湯、暖房需要を推計する。融通セル1は、山梨県古宮地業務系施設を想定し、融通セル2は、山梨県本社前医療系施設を想定する。

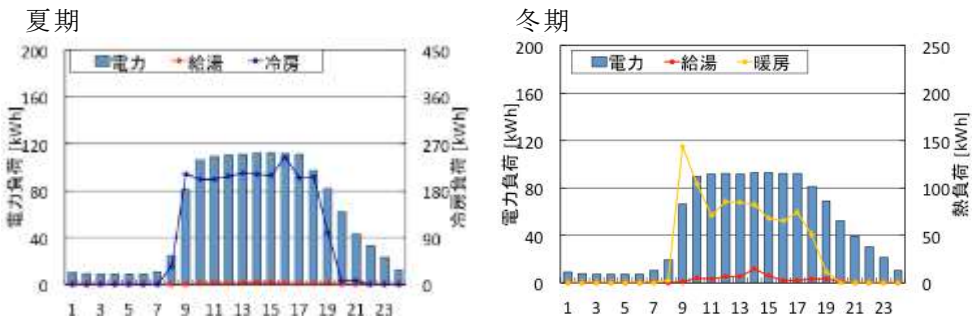
- ・ 融通セル 1：業務系、屋根面積 900m<sup>2</sup>
- ・ 融通セル 2：医療系、屋根面積 1400m<sup>2</sup>

**2) 各セルのエネルギー負荷**

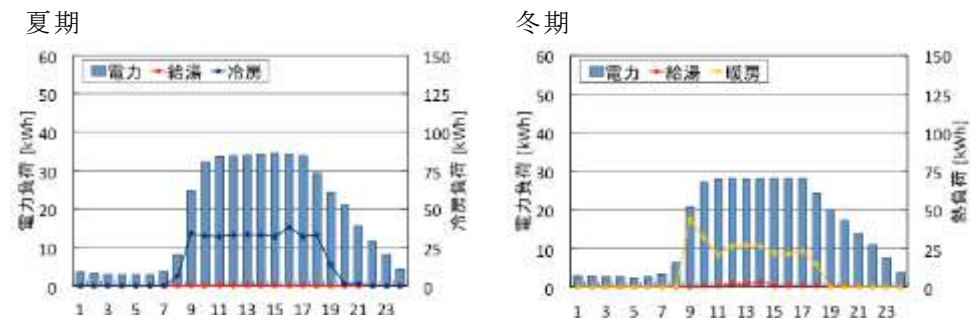
湧出セル1、2、融通セル1、2の夏期、冬期のエネルギー負荷を（図(2)-3～6）に示す。



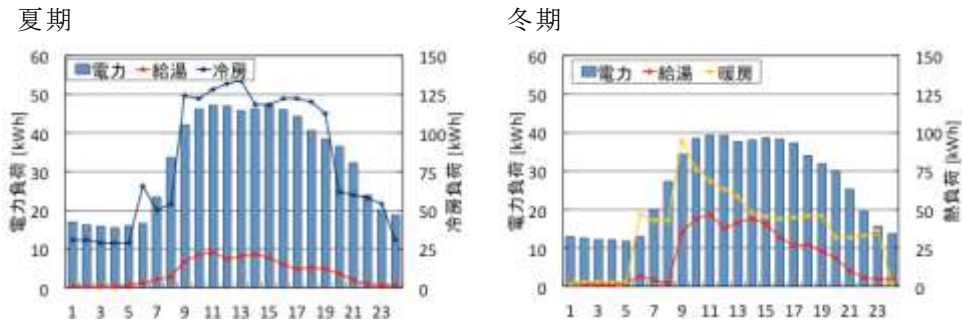
図(2)-3 湧出セル1の負荷データ



図(2)-4 湧出セル2の負荷データ



図(2)-5 融通セル1の負荷データ



図(2)-6 融通セル2の負荷データ

### 3) 日射条件

日射条件はAMeDAS地点の大月市での日射条件を用いた。年間の積算日射量は $650 \text{ [kWh/m}^2 \cdot \text{年]}$ である。

#### (4) 最適化手法に基づくもたせ型エネルギーシステムの解析

本研究においては、最適化手法を用いてもたせ型エネルギーシステムにおけるセル間融通の効果を検証する。もたせ型エネルギーシステムは再生可能エネルギー技術の導入が期待できる集落（湧出セル）と、再生可能エネルギーの余剰を融通する集落（融通セル）をそれぞれ2つ想定し、調整池が湧出セルから融通セルへエネルギー融通を行う役割を担うこととする。このエネルギーシステムによって得られる効果について検証を行う。本研究では、次の2つの最適化手法によってシステムの挙動を解析した。

- **手法1**：全体最適化

各セルおよび調整池が協力し合い、システム全体を最適化する。エネルギーコストを踏まえ、システム全体の総コストが最小となるように最適化する。

- **手法2**：個別最適化

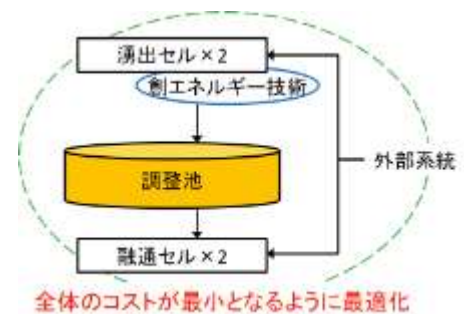
各セルと調整池を独立して捉え、各セルのコストが最小となるように個別に最適化する。調整池は湧出セルからの余剰電力の買取価格および融通セルへの売却価格を提示し、調整池の利益が最大となる価格を決定する。

#### 1) 全体最適化モデル

全体最適化モデルの概要を図(2)-7に示す。地域全体が協力し合う状況を想定したものであり、システム全体の総コストが最小となるように最適化する。調整池において、電力や熱のバッファ機能はないこととする。最適化手順は以下の通りである。

(最適化手順)

- ① 湧出セルの余剰電力を調整池へ
- ② 調整池は融通セルに融通



図(2)-7 全体最適化手法

#### 2) 個別最適化モデル

個別最適化モデルの概要を図(2)-8に示す。各セルに余剰電力売買価格を提示し個別に最適化し、



各セルと調整池全てが利益を得られる売買価格を決定する。売買価格の決定方法を図(2)-9に示す。なお、余剰電力を融通セルに売電する価格は電力系統の単価よりも安くなるように設定する。すなわち、融通セルは必要ときに余剰電力があれば必ず購入することを仮定する。最適化手順と売買価格の決定手順を以下に示す。

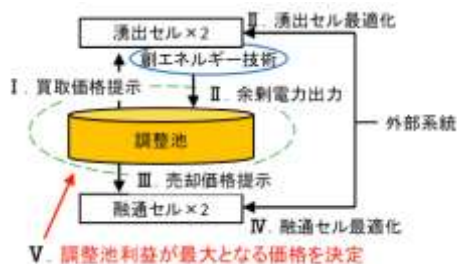
最終的には調整池が合理的に行動するとし、調整池の利益が最大となる売買価格が選択されると考える。このとき、湧出セル、融通セルのいずれもが自セル内の技術選択と運用を最適化しており、それぞれにとって合理的な運用が得られる。

(最適化手順)

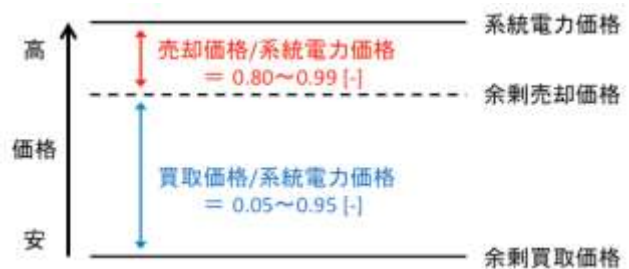
- ①調整池が湧出セルに余剰電力の買取価格を提示
- ②買取価格に応じて湧出セルのコストが最小となるようセル内の運用を最適化
- ③調整池が融通セルに毎時の余剰電力量、売却価格を提示
- ④毎時の余剰電力量、売却価格に応じてコストが最小となるよう融通セル内の運用を最適化
- ⑤以上の工程を繰り返し調整池の利益が最大となるよう売買価格を見いだす。

(売買価格の設定方法)

- ・ 売却価格：系統電力価格を基準に、80～99 %の価格を設定
- ・ 買取価格：系統電力価格を基準に、5～95 %の価格を設定



図(2)-8 個別最適化手法

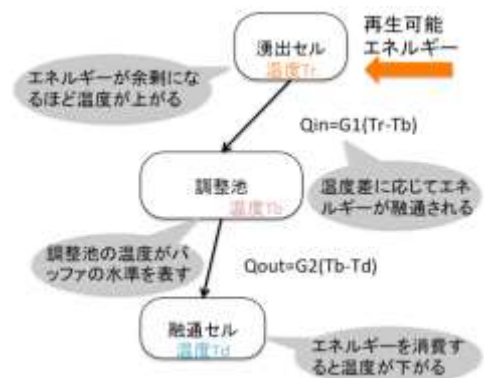


図(2)-9 売買価格の設定

(5) 伝熱アナロジーに基づくもたせ型エネルギーシステムの解析

1) 熱のアナロジーによる余剰電力融通のモデル化

伝熱アナロジーに基づくもたせ型システムでは、湧出セル、融通セル、調整池にそれぞれエネルギーが余剰になると上がり、エネルギーを消費すると下がるような温度を仮定したモデルである。このモデルは、湧出セルと調整池の温度差と調整池と融通セルの温度差によってエネルギーの融通量が決定するフィードバックモデルとする。また、調整池の温度が余剰電力量の水準を表すものである。(具体的には蓄電池に蓄えられている電力量に相当する)



図(2)-10 伝熱のアナロジーに基づいたもたせ型システムのモデル

2) もたせの伝熱アナロジーモデル

以下にもたせの伝熱アナロジーモデルの簡略図を示す。本モデルにはつるぎでの余剰電力売却価格が0.99、余剰電力買取価格が0.80の個別最適化結果を利用した。

太陽光発電量PV、湧出需要電力量Eはセルの条件として与えたデータを、融通需要電力量Dは最適化モデルにより得られた値を利用し、熱の式に見立てたモデルによって、調整池に与えるQin、Qoutを導きだす。

まず、太陽光発電量PVと湧出需要電力量Eとの差分の余剰電力量から、調整池に送る融通量Qinを温度の式と定数G1を利用して計算する。同様に調整池から融通セルに送る融通量Qoutを、温度の式と定数G2、G3をモデルによって計算する。なお、融通量には個別最適解結果の1時間値を利用し、伝熱アナロジー系モデルでは15分刻みでシミュレーションを行った。

$$\dot{L}_r = PV - E - Q_{in} \quad \dots (2)-1$$

$$\dot{L}_b = Q_{in} - Q_{out} \quad \dots (2)-2$$

$$\dot{L}_d = Q_{out} - D \quad \dots (2)-3$$

$$T_r(L_r) = a_1 L_r + a_0 \quad \dots (2)-4$$

$$T_b(L_b) = a_1 L_b + a_0 \quad \dots (2)-5$$

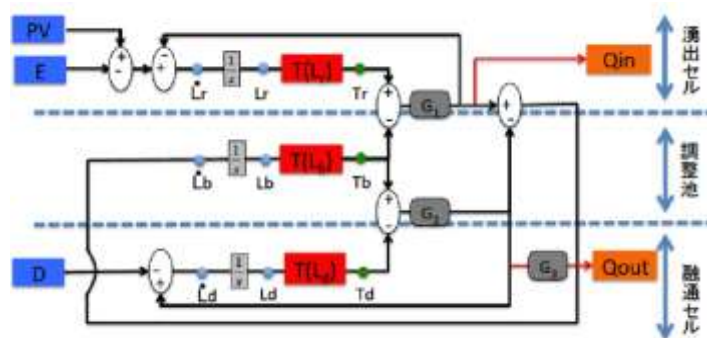
$$T_d(L_d) = a_1 L_d + a_0 \quad \dots (2)-6$$

ただし、記号の意味は次の通り。

- a : パラメータ
- D : 融通セルの電力需要
- E : 湧出セルの電力需要
- G : ゲイン
- L : 余剰電力量
- PV : 太陽光発電量
- Qin : 湧出セル側から調整池への余剰電力量
- Qout : 調整池から融通セル側に送られた融通電力量
- T : 仮想温度

(添字) b : 融通セル、d : 調整池、r : 湧出セル

この際、温度の式は3つとも同じ式を用いて算出する事とした。その際、式を導出するにあたり1次式、2次式、3次式、指数関数を検討した。比較の結果、1次式が最も適合性が良い結果を示したため、1次式を採用した。



図(2)-11 もたせの伝熱アナロジーモデル

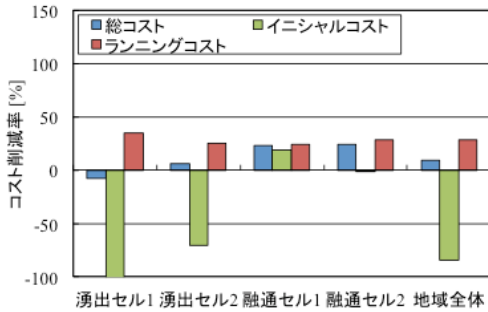
#### 4. 結果及び考察

##### (1) 最適化モデルによるもたせ型エネルギーシステムの解析結果

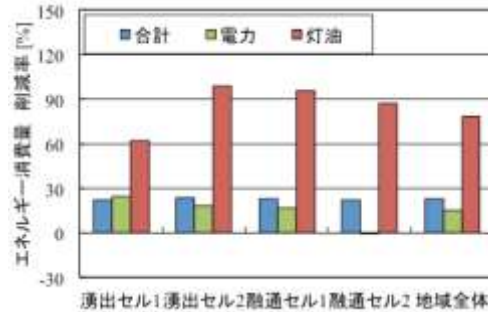
##### 1) 全体最適化結果

最適化の結果、太陽光発電は上限値まで導入され、薪ボイラーも湧出セル1で上限値まで導入され、年間のコスト削減率は地域全体で9%となる。イニシャルコストは創エネルギー技術の設置コ

ストを全て負担する湧出セル、給湯負荷が大きく電気ヒートポンプを導入する融通セル2でコストが増加した。ランニングコストは太陽光発電の余剰を融通し各セルで削減可能だが、電気ヒートポンプが稼働する融通セル2は電力消費量が増加した。



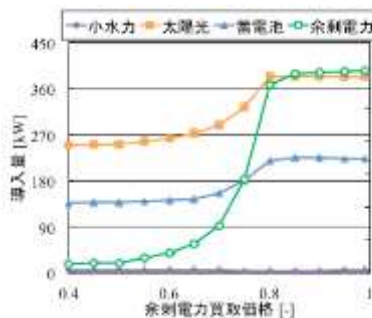
図(2)-12 各セルのコスト削減率



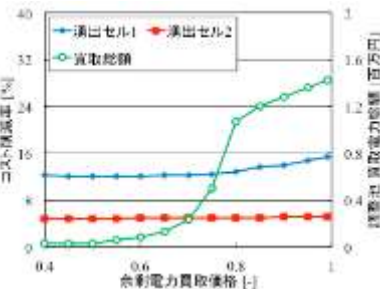
図(2)-13 エネルギー消費量削減率

### 2) 個別最適化結果

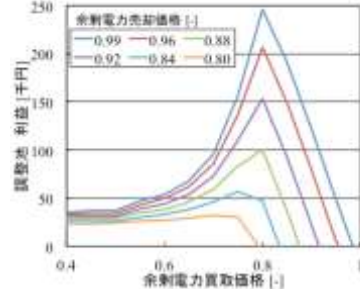
個別最適化を行った際の余剰電力買取価格と機器導入量、湧出セルコスト削減率、調整池利益の最適化結果を図(2)-14、(2)-15、(2)-16に示す。太陽光発電の導入量は、余剰電力の買取価格が高くなるにつれ増加し0.80の値で上限値に達した。その際、余剰電力量が増加し融通セルで貯めて消費するため、蓄電池の導入量も増加する結果となった。また、小水力発電は余剰電力の買取価格によらず導入されなかった。また、コスト削減率においては、太陽光発電の導入量が上限に達してから増加していることがわかる。これは、余剰電力量が増加することによって、湧出セルは利益を得るが、その分太陽光発電の設置コストも増加するためだと考えられた。調整池利益に関しては、余剰電力の買取価格が高いほど湧出セルの余剰電力が増加するため、調整池の利益は増加する傾向があった。ただし、買取価格が高すぎる場合には余剰電力量が融通セルで消費しきれず売れ残りが生じるため、調整池利益が減少する。売却価格に関しては常に系統電力価格よりも安価なため、売却価格が高いほど調整池利益が増加した。



図(2)-14 機器導入量



図(2)-15 湧出セルコスト削減率と調整池の買取総額



図(2)-16 余剰買取価格毎の調整池利益

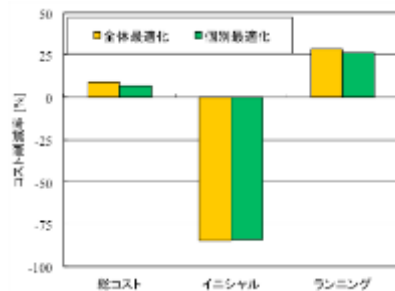
### 3) 個別最適解と全体最適解の比較

個別最適化結果の最適解は買取価格0.80、売却価格0.99であり、年間のコスト削減率は地域全体で7%となる。全体最適結果の9%と比べ低下しているが、個別最適結果では全てのセルが利益

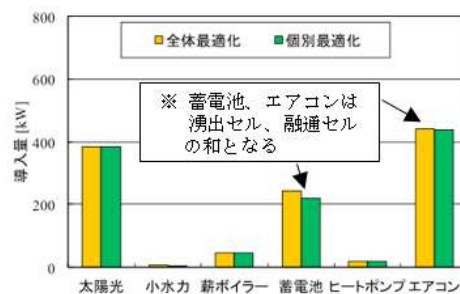
を得る結果となった。

導入量は太陽光発電が上限値、薪ボイラーも湧出セル1で上限値まで導入され、全体最適と同様の結果となった。また、イニシャルコスト増加率とランニングコスト削減率が減少した。全体最適では融通セルで消費していた発電分を、個別最適では湧出セルで蓄電池に貯め消費することを優先する行動をとった。

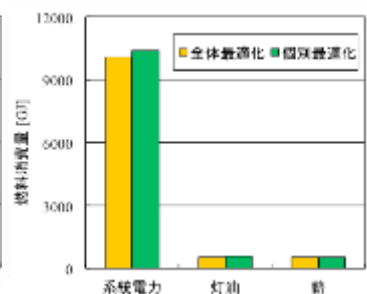
燃料に関して、薪の消費量は全体最適と等しく、湧出セル1では上限値まで消費した。系統電力および灯油の消費量は全体最適と比べ増加した。



図(2)-17 コスト削減率の比較



図(2)-18 機器導入量の比較



図(2)-19 燃料消費量の比較

#### 4) 環境条件に関する感度分析

最適化結果において利用しているパラメータのなかで、最適化結果に影響を与えるパラメータを確認するため、感度分析を行った。感度分析としては、想定するセルの建物構成を変化させた建物構成変化、今回の最適化結果の中で大きな要因となっている太陽光発電を導入する規模となる屋根面積変化、太陽光発電の発電量に影響を与える日射量変化の3つのパラメータを変化させ感度分析を行った。

##### a. 建物構成変化

建物構成変化の感度分析には山梨県のつるぎ、本社前、古宮地、中道の4地点での建物構成を用いて湧出セルを変化させ、融通セルを変えずに感度分析を行った。建物構成変化では、PV等の導入量を決定する屋根面積、エネルギー負荷が変化した。

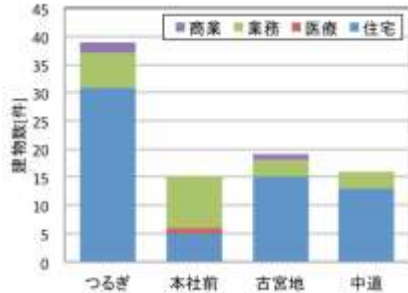
##### i. 構成変化の与え方

建物構成、地域ごとの屋根面積、各地の夏期、冬期での湧出セルのエネルギー負荷を図(2)-20～24に示す。

それぞれの地域の特徴として、つるぎは4つの地区の中で最も規模が大きい地区であり、本社前は湧出セル1の住宅が少なく、湧出セル2の業務、医療系施設の割合が大きい。古宮地はつるぎと同様の構成をしているが規模が小さい、中道は湧出セル1の住宅の割合が大きく、湧出セル2の業務系施設が少ない(図(2)-20)。

各地のエネルギー負荷に関しては湧出セル1の住宅では負荷は夏期、冬期ともにつるぎで最も大きく本社前で最も小さくなる。給湯負荷は全ての地域で19時～22時の給湯利用が多い。暖房負荷は8時と20時で最も多く利用される。湧出セル2の業務、医療、商業系施設では負荷は本社前で最も大きく中道で最も小さくなる。電力負荷冷房負荷ともに9時から18時までで定期的に稼働している。電力負荷は、一般住宅と違い冬期より夏期の方が大きくなる。暖房は9時に最も利用される。

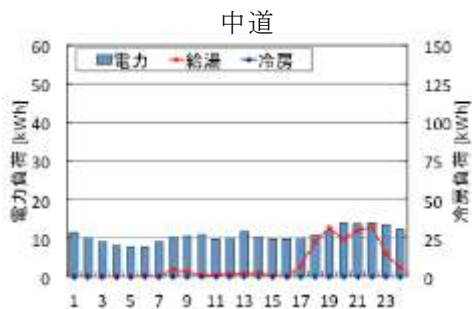
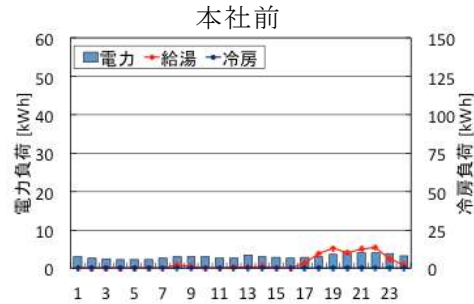
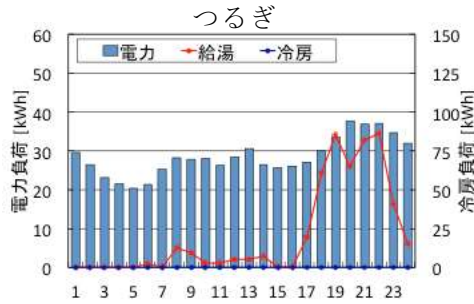




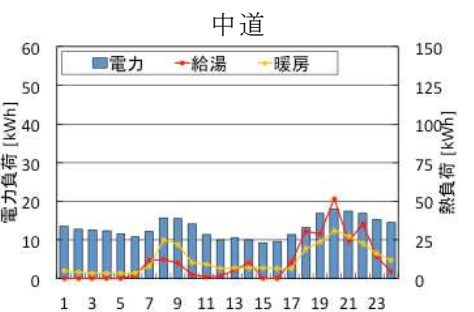
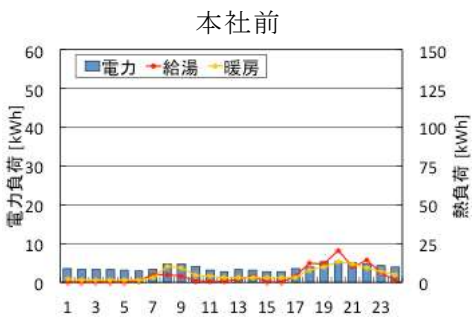
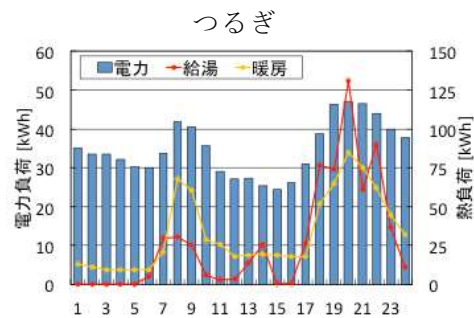
図(2)-20 建物構成数

表(2)-3 屋根面積

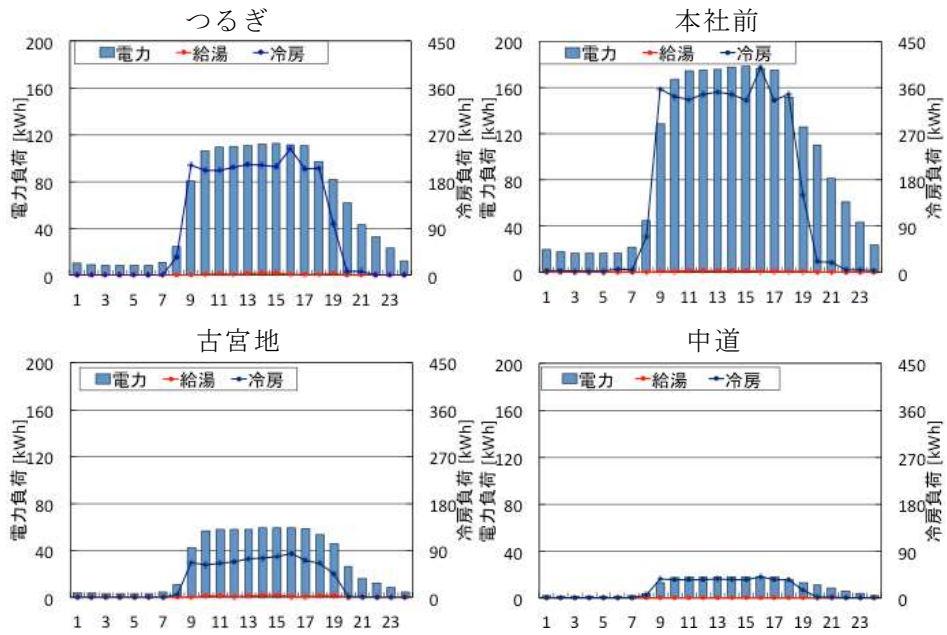
屋根面積 [m <sup>2</sup> ]	つるぎ	本社前	古宮地	中道
住宅	4933	570	2566	1849
医療	0	141	0	0
業務	2457	4476	888	480
商業	285	0	418	0
合計	7675	5187	3872	2329



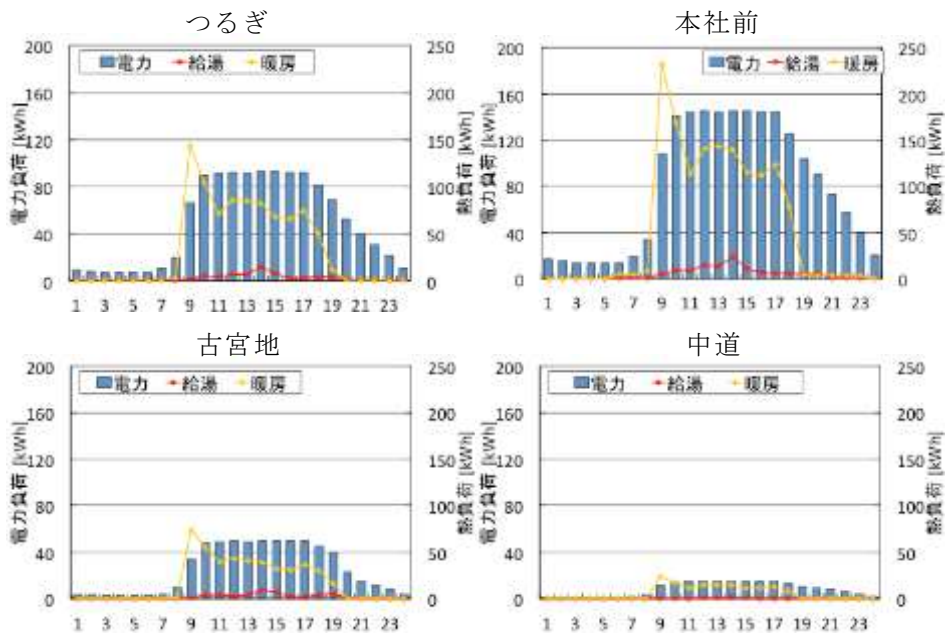
図(2)-21 湧出セル1エネルギー負荷比較 (夏期)



図(2)-22 湧出セル1エネルギー負荷比較 (冬期)



図(2)-23 湧出セル2エネルギー負荷比較 (夏期)



図(2)-24 湧出セル2エネルギー負荷比較 (冬期)

ii. 個別最適結果の比較

各地区の機器導入量、湧出セルコスト削減率、調整池利益の最適結果を図(2)-25～27、表(2)-4に示す。

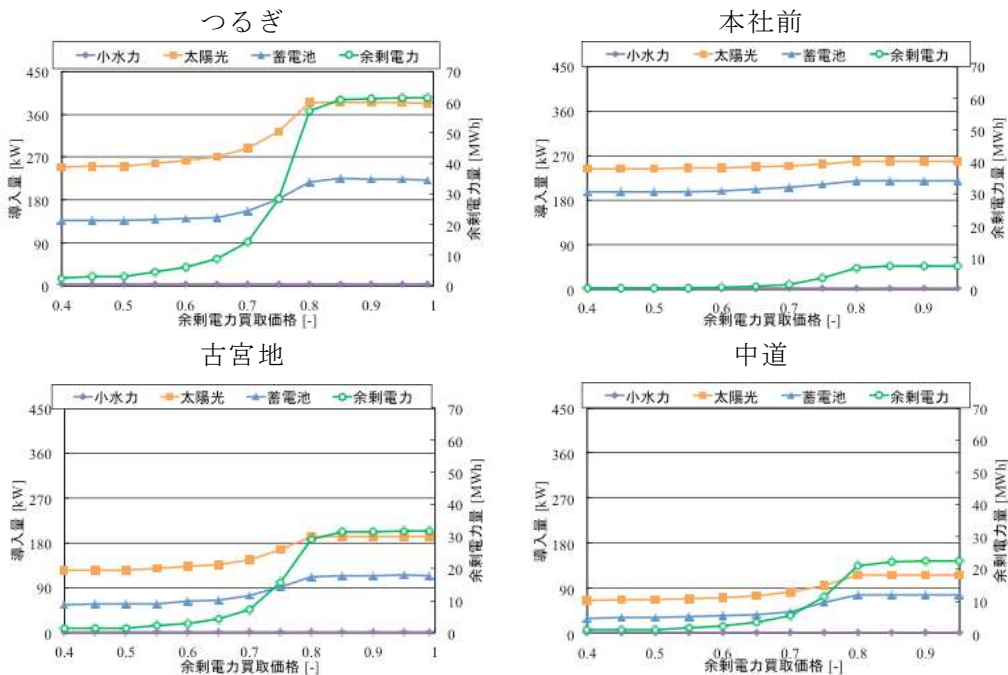
機器導入量に関して全ての地域で太陽光発電、蓄電池ともに余剰買取価格が0.8の時に上限に達した。余剰電力買取価格が0.4から0.8までで太陽光発電、蓄電池の導入量が最も増えたのはつるぎとなった。これは、屋根面積が大きいいため太陽光発電を多く導入出来たことが要因である。それに対し、本社前ではほとんど導入量が増えなかった。これは、本社前の湧出セルは、最初から

太陽光発電を上限まで導入しているためである。本社前の湧出セル2は、業務・商業系施設の割合が多いことからエネルギー負荷が大きく、太陽光発電の需要が高いセルとなっており、融通していないことを確認した。また余剰電力量は最も屋根面積が大きいつるぎで最も多くなった。

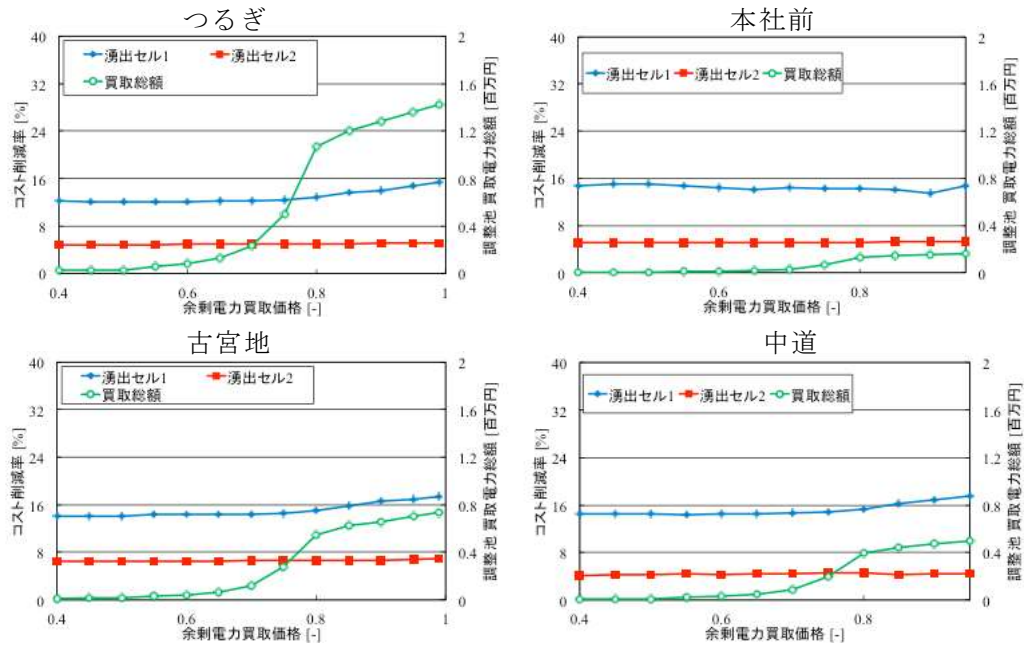
湧出セルコスト削減率に関してはつるぎ、古宮地、中道で同様なコスト削減率の挙動を示した。

調整池利益は全地域で余剰電力売却価格が0.99、余剰電力買取価格が0.80のとき最適解となり調整池利益が最も大きくなった。また、つるぎで最も大きくなり25万円の利益を得る事ができた。

これらの結果から地域が変わり負荷が変わると調整池利益の値が変わるが調整池利益が最も大きくなる余剰電力最適買い取り価格は変わらないことが分かった。

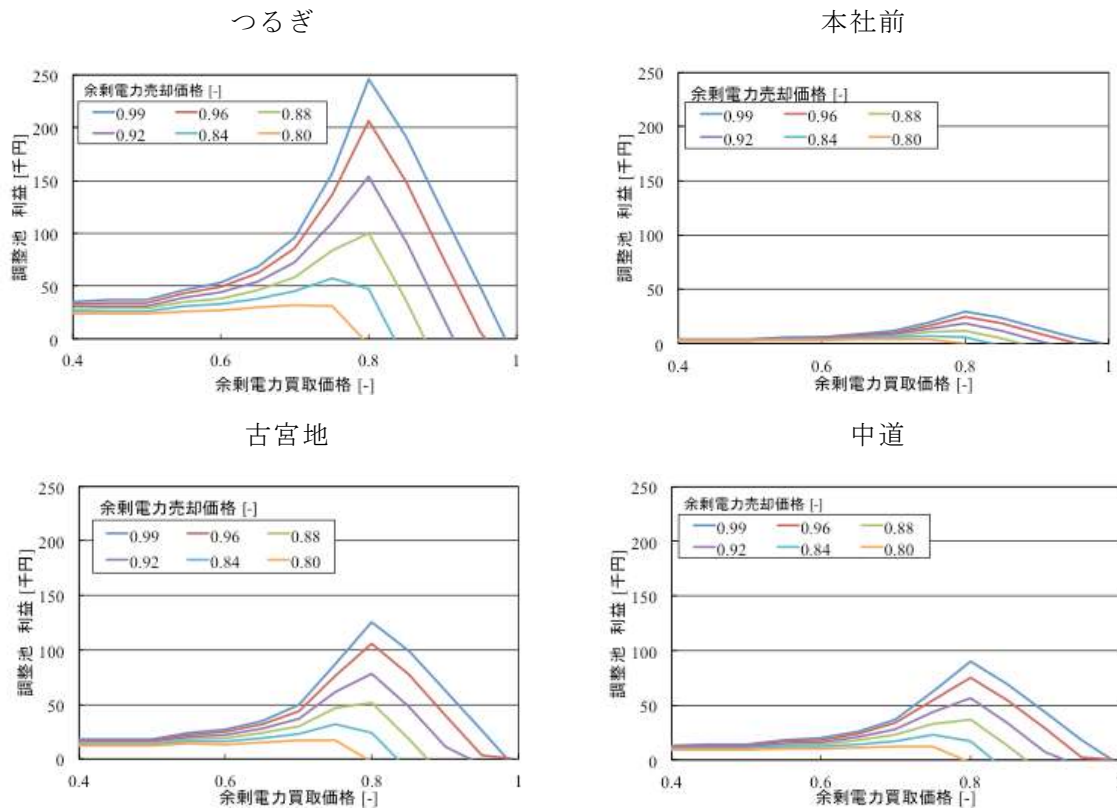


図(2)-25 機器導入量の比較



図(2)-26 湧出セルコスト削減率と調整池の買取総額





図(2)-27 調整池利益の比較

### iii. 全体最適結果と個別最適解

それぞれのケースにおける個別最適化の最適解結果、全体最適結果との比較として機器導入量、コスト削減率、燃料消費量を以下に示す(表(2)-4)。

機器導入量に関しては、小水力の導入量は全体最適でより多く導入されるが、全ての地区で個別最適と全体最適の機器導入形態は同様になることがわかる。

総コスト削減率においては、最も規模の大きなたつぎで最も大きく、全体最適で9.2[%]、個別最適で6.9[%]のコスト削減が可能であり、最も総コスト削減率が小さい本社前では全体最適で5.6[%]、個別最適で5.1[%]となり全体最適と最も近い総コスト削減率を示すことができた。

燃料消費量に関しては、本社前で最も大きく中道で最も小さくなった。本社前では業務、商業系施設の割合が多いため多量の燃料を利用しており、中道では最も規模が小さい地域であるため消費燃料が少なかった。

### b. 屋根面積変化

屋根面積変化の感度分析ではつるぎの負荷条件を利用し、日射条件は大月のものを用いて屋根面積を2倍にしたものを比較して感度分析を行った。屋根面積変化では、PV等の導入量を決定する屋根面積が変化し、エネルギーの生成量に影響を与える。

#### i. 屋根面積変化の与え方

ここでは、表(2)-3のつるぎの各建物の屋根面積を2倍して検討した。

表(2)-4 最適化の結果（建物構成変化）

		つるぎ		本社前		古宮地		中道		
		全体最適化	個別最適化	全体最適化	個別最適化	全体最適化	個別最適化	全体最適化	個別最適化	
年間コスト削減率[%]	総コスト	9.2	6.9	5.6	5.1	8.7	6.6	8.0	6.5	
	イニシャル	-84.8	-84.1	-53.1	-53.3	-69.9	-67.3	-66.4	-62.0	
	ランニング	28.6	26.3	19.1	18.8	24.4	21.9	22.3	20.3	
創エネルギー技術導入量[kW]	電力	太陽光	383.8	383.8	259.4	259.4	193.6	193.6	116.4	116.4
		小水力	7.7	2.9	2.6	2.2	4.6	0.8	3.2	0.7
		蓄電池	244.0	218.7	215.2	218.7	140.0	112.6	85.4	76.6
	冷暖房	ヒートポンプ	20.5	20.1	20.1	20.3	20.2	20.2	20.1	20.2
		エアコン	439.8	438.5	575.8	575.3	269.2	268.6	224.9	223.2
	給湯	薪ボイラー	45.9	45.9	20.6	20.6	44.7	44.7	32.3	32.3
		貯湯槽[m <sup>3</sup> ]	0	0	0	0	0	0	0	0
燃料消費量[MJ]	系統電力	10079.0	10389.3	11885.5	11970.8	7479.1	7718.2	5876.1	6036.2	
	灯油	548.8	562.8	173.7	186.0	221.4	225.8	208.5	218.2	
	薪	525.1	525.1	193.8	193.8	381.8	381.8	277.4	277.4	

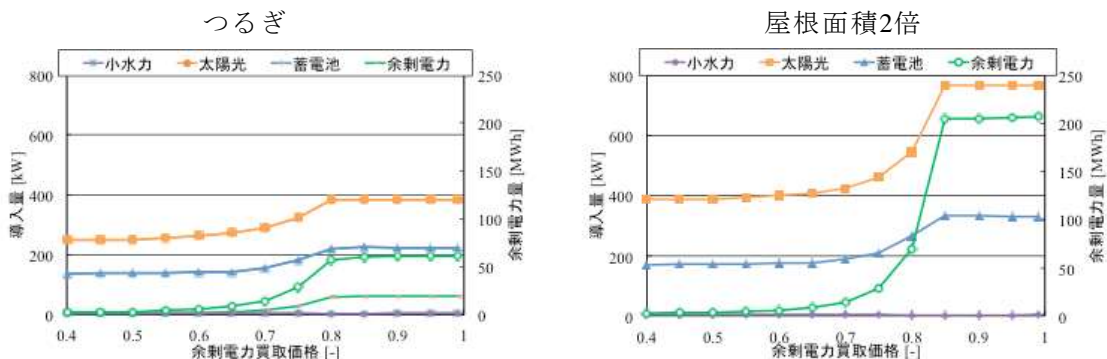
ii. 個別最適結果の比較

個別最適化結果として各ケースの湧出セル機器導入量、湧出セルコスト削減率、調整池利益のグラフを示す（図(2)-28～30）。

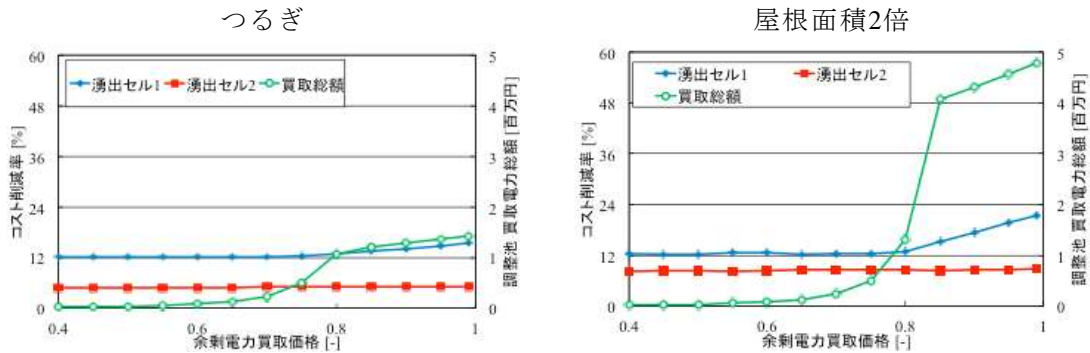
機器導入量に関して、屋根2倍ケースは太陽光発電量、蓄電池は余剰電力買取価格が0.85の時に上限に達し、つるぎケースに比べて2倍の導入量、余剰電力量は3倍程度になった。

湧出セル削減率は湧出セル1のコスト削減率は余剰電力買取価格が0.8までは両者ともに同様の挙動を示すが、0.8以上では傾きが屋根面積2倍の方が大きくなった。また、屋根面積2倍での湧出セル2のコスト削減率はつるぎケースの2倍となった。

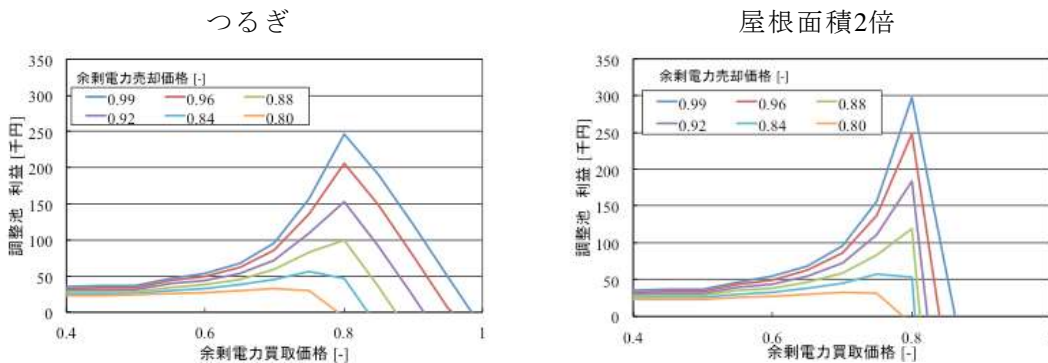
調整池利益に関する図(2)-30から、屋根2倍ケースで余剰電力買取価格が0.85以上になると太陽光発電、蓄電池が上限に達することがわかる。その際、屋根面積2倍ではつるぎと比べて、融通セルで消費しきれない余剰電力量が多く生じるため、調整池利益が急激に減少した。余剰買取価格は、つるぎケースと同様に0.8の時調整池利益が最も大きくなり、つるぎケースより5万円増える結果となった。



図(2)-28 機器導入量



図(2)-29 湧出セルコスト削減率と調整池の買取総額



図(2)-30 湧出セルコスト削減率と調整池の買取総額

iii. 全体最適結果と個別最適解

コスト削減率に関して、年間コスト削減率は屋根面積2倍結果の方が大きく7.9 [%]削減することができた。しかし、屋根面積が大きいため太陽光発電導入量が大きくなりイニシャルコストが大きくなった。

機器導入量に関しては太陽光発電導入量と蓄電池の導入量がつるぎに比べて多くなった。また、個別最適結果は余剰電力量が余ることから太陽光発電を上限まで導入出来なかった。そのため全体的に全体最適化結果の方が個別最適化結果より機器導入量が大きくなった。

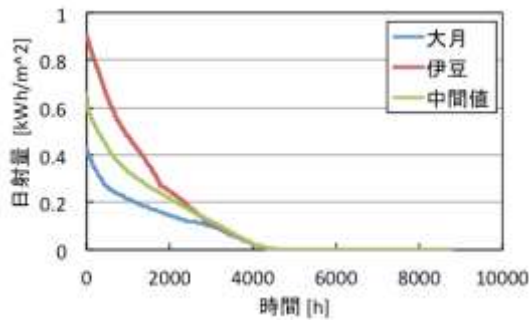
燃料消費量に関しては太陽光発電導入量が多いため、つるぎ結果に比べ屋根面積2倍結果の方が、系統電力消費量が小さい結果となった。

c. 日射量変化

日射量変化では負荷はつるぎ地区を利用し、日射量は大月ケース、伊豆ケース、各時間帯の大月と伊豆の平均値をとった中間値ケースの3ケースで感度分析を行った。それぞれ伊豆ケースを日射量高ケース、大月ケースを日射量低ケース、中間値ケースを日射量中ケースとした。日射量変化では、PV等の導入量は変化しないが個々の発電量が変化するため、エネルギーの生成量に影響を与えた。

i. 日射量変化の与え方

図(2)-31に日射量の一時間値を絶対値の大きいものから並べた持続曲線グラフ、各都市の積算日射量を示す。日射量は伊豆が最も日射量の条件がよく積算日射量では1260 [kWh/m<sup>2</sup>・年]となっており、大月は日射量が伊豆の5割ほどの650 [kWh/m<sup>2</sup>・年]で、中間値では960 [kWh/m<sup>2</sup>・年]となっている。



図(2)-31 日射量持続曲線

表(2)-5 積算日射量

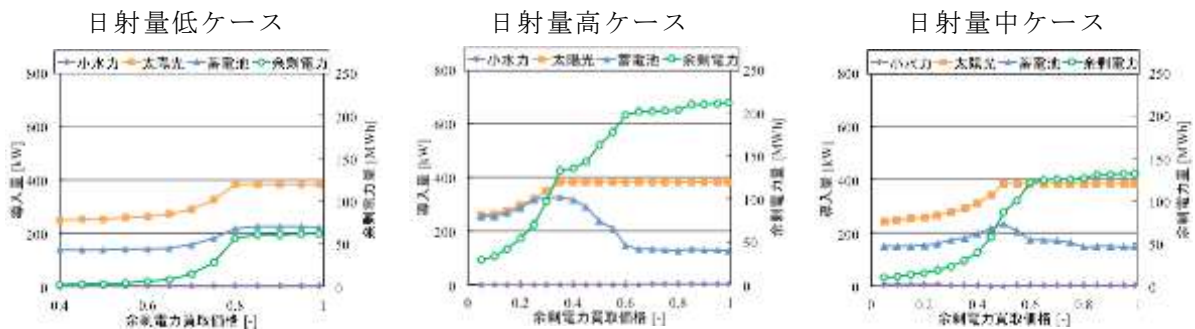
ケース	低ケース	高ケース	中ケース
積算日射量 [kWh/m <sup>2</sup> ・年]	650	1260	960
備考 (AMeDAS地点)	大月市	伊豆市	大月と伊豆の 平均値

表(2)-6 最適化の結果 (日射量変化)

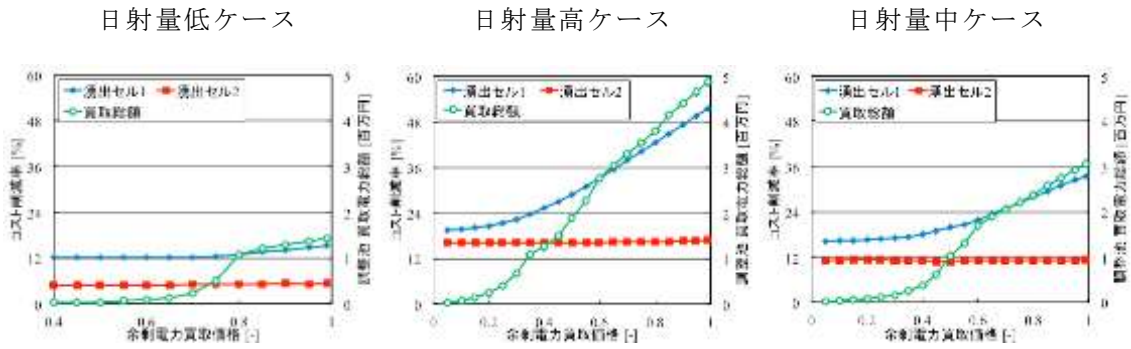
		屋根面積 2 倍		日射量低		日射量高		日射量中	
		全体最適化	個別最適化	全体最適化	個別最適化	全体最適化	個別最適化	全体最適化	個別最適化
年間コスト削減率[%]	総コスト	11.5	7.9	9.2	6.9	19.8	13.1	15.3	10.8
	イニシャル	-171.5	-110.5	-84.8	-84.1	-80.9	-92.1	-83.9	-85.7
	ランニング	48.8	32.9	28.6	26.3	40.3	38.2	35.5	33.3
創エネルギー技術導入量 [kW]	太陽光	759.4	545.6	383.8	383.8	383.7	383.7	383.8	383.8
	小水力	18.9	2.1	7.7	2.9	0.6	0	5.6	1.6
	薪ボイラー	45.9	45.9	45.9	45.9	46.1	46.2	45.9	45.9
	蓄電池	351.9	264.8	244.0	218.7	261.8	327.2	134.1	174.0
	ヒートポンプ	24.8	19.8	20.5	20.1	25.3	21.3	23.8	21.4
燃料消費量 [GJ]	エアコン	440	439	440	439	440	482	440	439
	系統電力	7212	9400	10079	10389	8405	8768	9093	9386
	灯油	493	569	549	563	518	438	514	542
	薪	525	525	525	525	525	525	525	525

ii. 個別最適化結果の比較

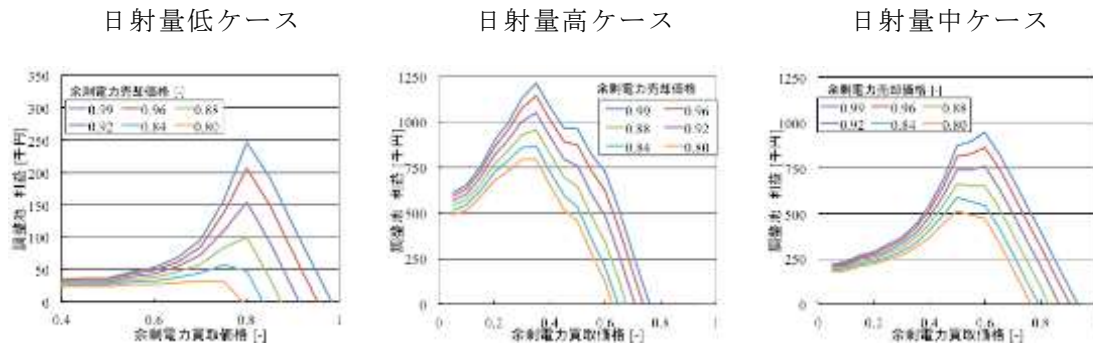
個別最適化結果として各ケースの湧出セル機器導入量、湧出セルコスト削減率、調整池利益、各日射量条件での最適買取価格のグラフを示す (図(2)-32~34)。



図(2)-32 湧出セル機器導入量



図(2)-33 湧出セルコスト削減率

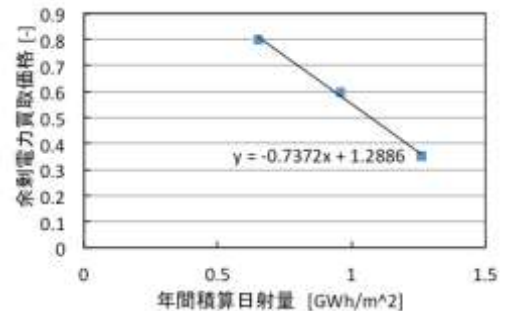


図(2)-34 調整池利益

まず、湧出セル機器導入量のグラフから、全てのケースで余剰電力価格が高くなるにつれて太陽光発電導入量も増え余剰電力量が多くなることがわかる。日射量低ケースでは余剰電力買取価格が0.8の時太陽光発電、蓄電池の導入量は最大となり、余剰電力量も60[MWh]で収束した。日射量高ケースと日射量中ケースは余剰買取価格がそれぞれ0.35と0.50で太陽光発電、蓄電池の導入量は最大となるが、その後徐々に太陽光発電、蓄電池の導入量は少なくなっていく、逆に余剰電力量は増加した。これは、余剰電力買取価格が高くなったことにより、蓄電池を多く導入して昼間の余剰電力を蓄えるより夜間電力を買う方が、コストがかからなくなったことが原因だと考えられた。

湧出セルコスト削減率のグラフから、全てのケースにおいて業務、商業の負荷である湧出セル2より、住宅負荷の湧出セル1のコスト削減率が大きいことが分かった。

調整池利益のグラフから、調整池利益が最も大きくなる余剰電力買取価格は、日射量低ケースでは0.8、日射量高ケースでは0.35、日射量中ケースでは0.60と変化した。このことから、負荷、屋根面積が同じであった場合においても日射量が変化することによって調整値利益が最も大きくなる余剰電力買取価格は変化することが分かった。つまり、調整池利益が最も大きくなる余剰電力買取価格は日射量に依存すると考えられる。図(2)-35より、年間の積算日射量に対する最適買取価格



図(2)-35 日射量と買取価格の近似直線



は、 $(y=-0.7372x+1.2886)$  と線形の近似直線で表せた。これが本エネルギーシステムを導入した際の調整池の行動指針になると考えられる。

### iii. 全体最適化結果と個別最適解との比較

表(2)-6から分かるように、コスト削減率では、日射量により、全体最適化では、9～20%のコスト削減、個別最適では、7～14%のコスト削減が可能だと分かった。また、両者の差は2～6%程度であった。また、日射量高ケース、日射量中ケースでイニシャルコストが全体最適より個別最適の方が大きくなった。この理由としては日射量が多い場合の個別最適では全体最適より蓄電池の導入量が多くなる事が要因だと考えられる。

機器導入量に関しては、PVと薪ボイラーは上限値まで導入されている。小水力はコストが高いため少ししか導入されない結果となった。燃料消費量に関しては日射量が多くなるほど系統電力の燃料消費量が少なくなっていることが分かった。

## 5) 小水力発電に関する感度分析

本研究では小水力の導入量が少なかったため、小水力のコストを変化させる事によりどのように小水力導入量に影響があるかを確認した。小水力感度分析に地区、日射量はつるぎ地区、大月ケースを利用した。

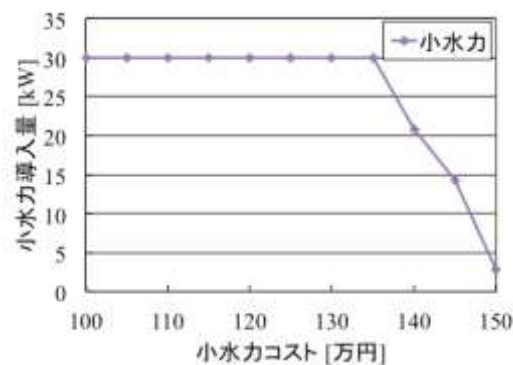
### a. 小水力コストによる感度分析

個別最適結果の最適解を利用し小水力コスト変化による導入量変化のグラフを図(2)-36～39に示す。また小水力導入量上限は30kWとする。130万円～150万まで小水力コストを変化させて余剰電力買い取り価格変化による機器導入量変化を確認した。

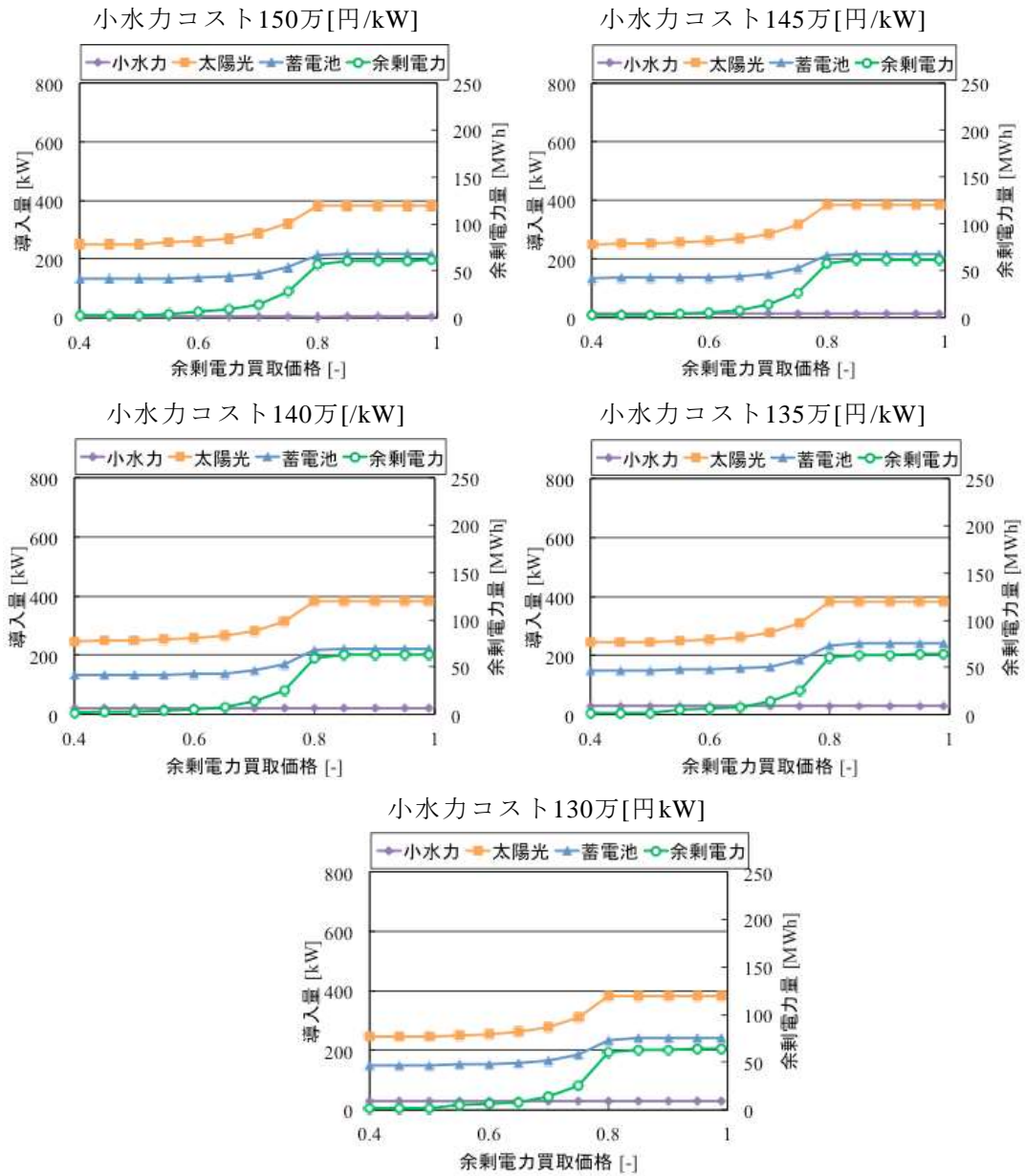
コスト変化のグラフ(図(2)-36)から小水力コストが135万円にすると上限の30kWに達する事を確認できた。

図(2)-37より、小水力導入量に関して140万～150万で小水力導入量は余剰電力買取価格に影響を受けない事を確認した。一方、130万～135万では小水力発電を上限まで導入するため、蓄電池の導入量も増加した。

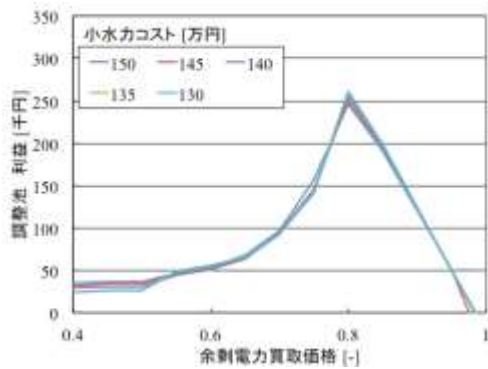
図(2)-38より、調整池利益に関しては130万～150万で小水力コストが変化する事により安価になるほど調整池利益はその分大きくなったが、その差は小さい。



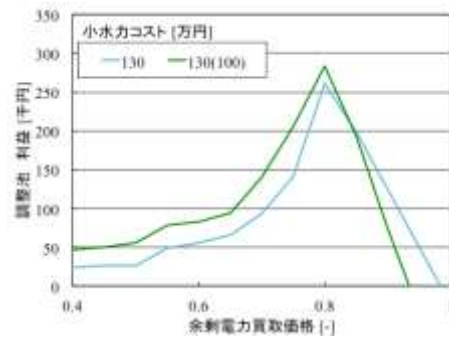
図(2)-36 個別最適解での小水力コストによる小水力導入量変化



図(2)-37 小水力コスト変化による機器導入量



図(2)-38 小水力コスト変化による調整池利益



図(2)-39 小水力上限量変化による調整池利益

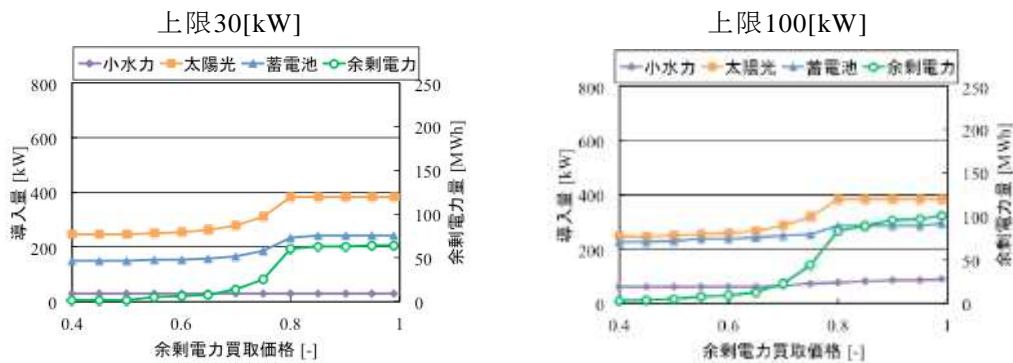


## b. 小水力上限量変化による感度分析

小水力コスト130万で上限を100kWにしたものの感度分析を行った。図(2)-40に機器導入量のグラフを示す。

小水力コスト130万で上限を100kWにした場合、余剰電力買取価格を高くするとともに小水力導入量も増えていき蓄電池、余剰電力量も増えた。このケースでは小水力発電量で住宅の電力需要をまかなえる事を確認した。

調整池利益に関しては130万～150万で小水力コストが変化する事により安価になるほど調整池利益はその分大きくなった。また上限を100kWにしたケースでは小水力の導入量が多いため余剰電力量が多くなり、他のケースに比べて調整池利益が大きくなる事を確認した。



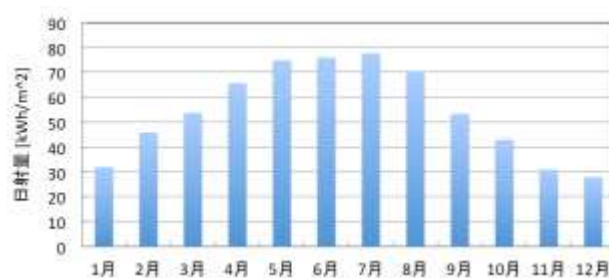
図(2)-40 小水力コスト130万[円/kW]での上限量変化による機器導入量

## (2) 伝熱アナロジーに基づくもたせ型エネルギーシステムの解析結果

### 1) パラメータ推定

本モデルの湧出セルにはつるぎの住宅、業務、商業系施設、融通セルには古宮地、本社前の業務、医療系施設を利用した。シミュレーション期間は1月～12月の1年とし、日射条件は大月ケースのものを用いた。

個別最適化の融通セルへの融通量の結果に合うようにパラメータをチューニングする。1時間ごとの余剰電力融通量と伝熱アナロジーモデルによるシミュレーション結果を比較した。結果的に  $a_1$ 、 $a_0$ 、 $G_1$ については年間通してそれぞれ4.05、 $5.00 \times 10^4$ 、1.00の固定値で問題ないと判断された。一方、 $G_2$ 、 $G_3$ は月ごとにチューニングが必要であった。月ごとの積算日射量とチューニングされたパラメータを図(2)-41および表(2)-7に示す。 $G_3$ はシミュレーションで計算された値の絶対値を調整するためのパラメータであるが、年間を通じてほぼ一定（4月、5月のみ異なる値）と推定された。



図(2)-41 月毎の積算日射量

表(2)-7 パラメータ $G_2$ 、 $G_3$ の決定

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
$G_2$	4.92	4.61	4.70	4.15	4.10	4.20	4.20	4.30	4.55	4.70	4.64	4.71
$G_3$	0.20	0.20	0.20	0.22	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

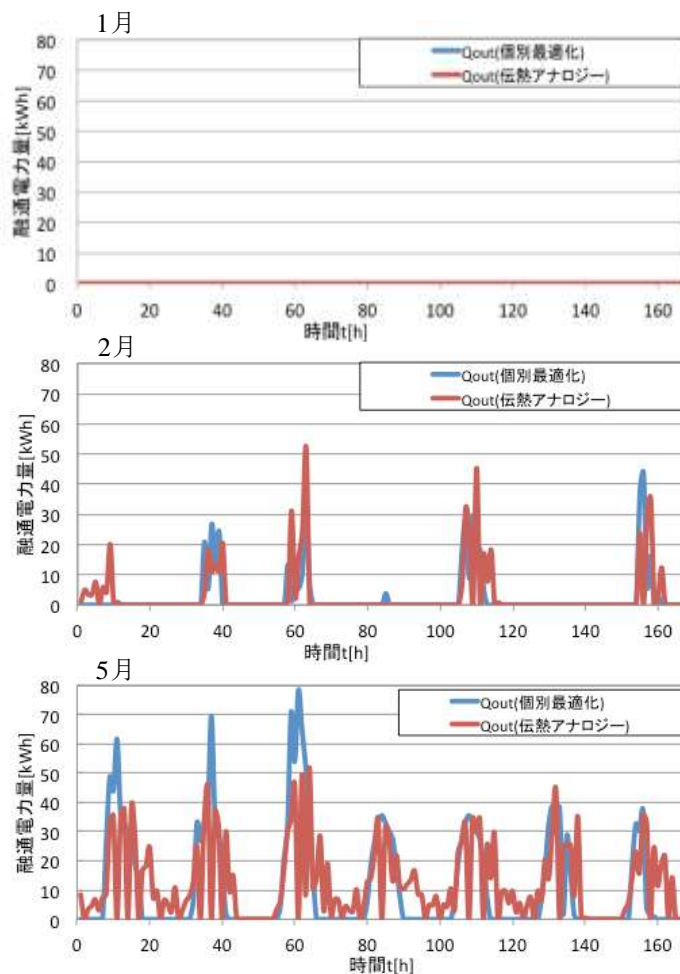
## 2) シミュレーション結果

### a. 時間帯別推計結果

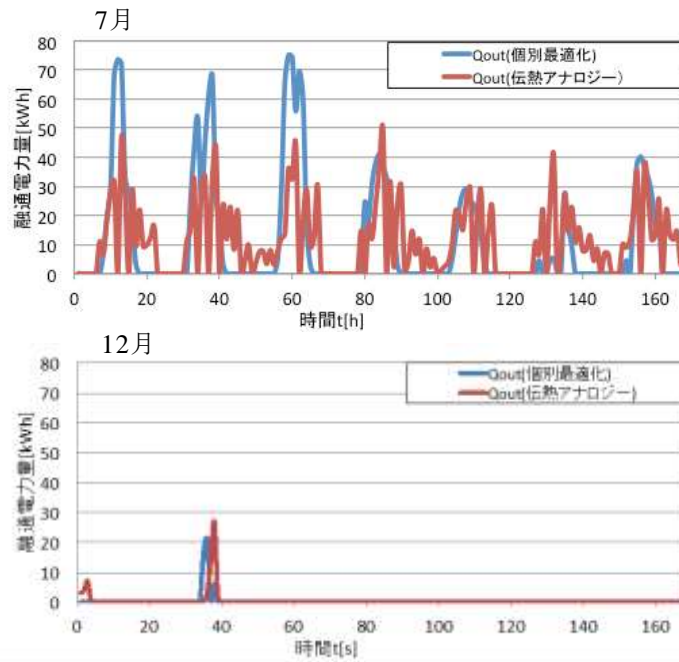
大月ケースの個別最適化結果最適解と伝熱アナロジーのシミュレーション結果の1週間のX-Y線図を制作して比較した。

日射量が多い月に $G_2$ は小さく日射量が少ない月は $G_2$ を大きい値にすると個別最適により近い値を得ることができた。図(2)-42～43に示すように、1週間の融通電力量を比較すると1月と12月ではほとんど融通電力量がない。その他の月では個別最適化結果最適解と伝熱アナロジーのシミュレーション結果の挙動は概ね似たような結果になることが分かった。

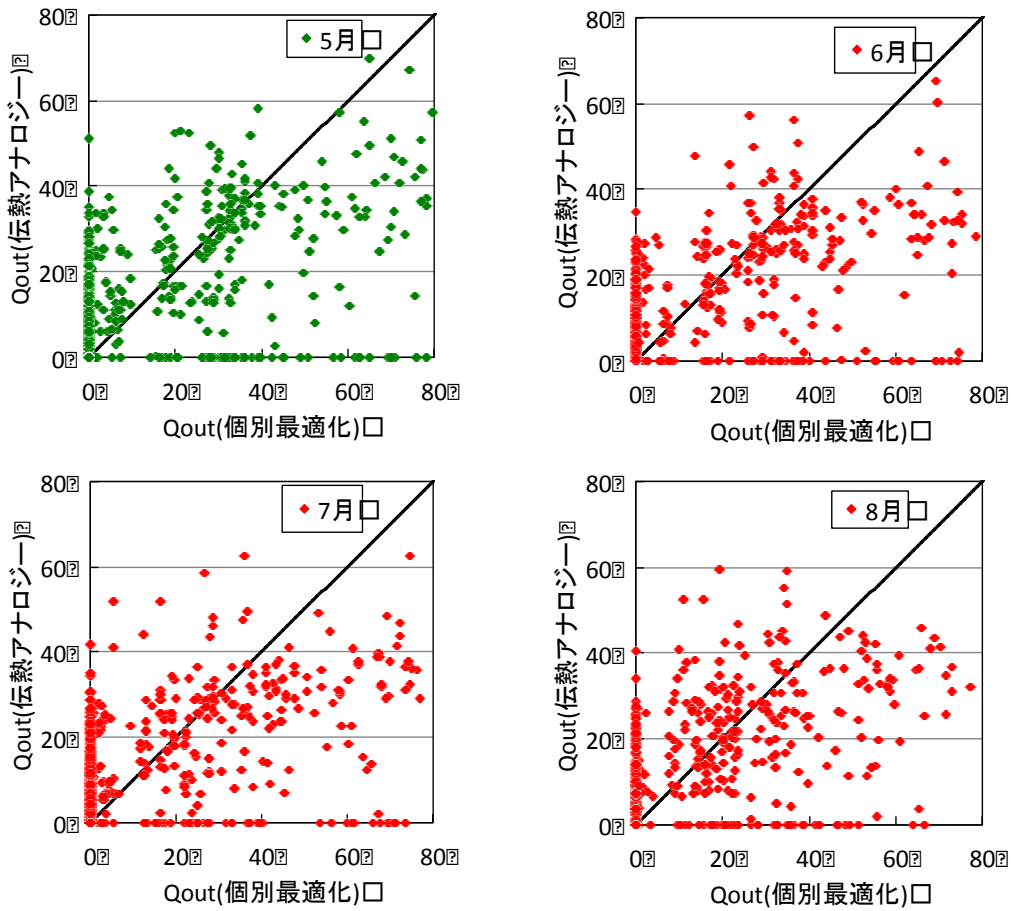
X-Y線図として4月から8月までは個別最適化結果と伝熱アナロジーのシミュレーション結果をプロットし、相関をみた。その結果図(2)-44のように、似たような値を示す時間帯があるものの、必ずしも相関は高くないことがわかった。したがって、伝熱アナロジーモデルによって時間帯ごとの融通電力の最適解を模擬することは難しいと考えられた。



図(2)-42 1週間の融通電力量の1時間値の伝熱アナロジーと個別最適化の比較（1月、2月、5月）



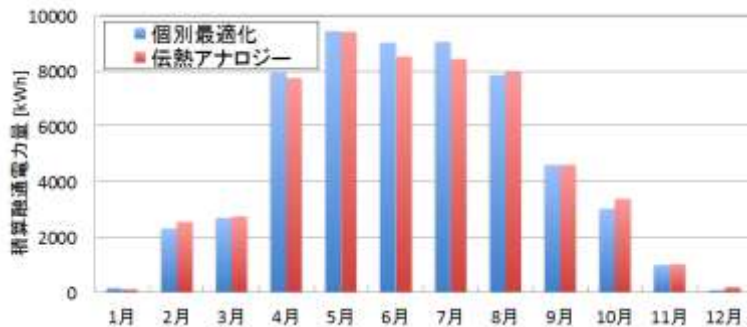
図(2)-43 1週間の融通電力量の1時間値の伝熱アナロジーと個別最適化の比較（7月、12月）



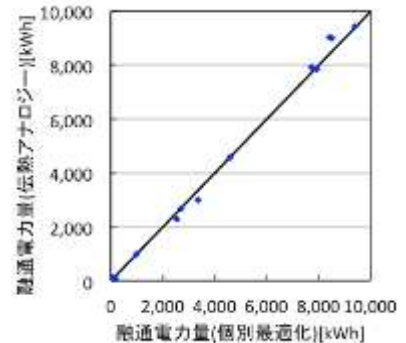
図(2)-44 X-Y線図（5月、6月、7月、8月）

## b. 月別積算値による比較結果

大月ケースの個別最適化結果最適解と伝熱アナロジーのシミュレーション結果の積算融通電力量を図(2)-45に示す。1時間値の比較においては差が生じるが、融通熱量がほとんどない1、12月を除くと、月積算で見れば個別最適化結果と伝熱アナロジーの結果の差は10%以下に収まる事が確認された。また、年間の積算融通電力量の差は0.9%となった。このことから、本モデルを用いることによって、月毎の合計融通量の推定ができるといえる。



図(2)-45 個別最適化と伝熱アナロジーモデルの月毎の積算値



図(2)-46 個別最適化と伝熱アナロジーモデルの月毎の積算値 (X-Y線図)

## 3) 本分析のまとめ

X-Y線図では4月から8月までは個別最適化結果と伝熱アナロジーのシミュレーション結果が似たような値を示したものの、その他の時期ではずれが生じることがわかった。

月毎の積算融通電力量に関しては、個別最適化結果と伝熱アナロジーの結果の差は10%以下に収まる事が確認出来た。この事から、本モデルを用いることによって、月毎の合計融通量の推定ができるといえる。

### (3) まとめ

もたせ型分散エネルギーシステムは調整池が電力の仲介をする事により経済的にも成立しうることがわかった。調整池の仲介機能により、関係主体である湧出セル、融通セル、調整池のいずれもがメリットを受けられるので、社会的に合理性のある解が導かれたといえる。

建物構成変化、屋根面積変化、日射条件変化の感度分析を行った結果、建物構成変化、屋根面積変化では調整池利益の値に影響を及ぼすことに留まった。日射条件変化では、日射量と調整池での最適余剰買取価格が線形な関係であることがわかった。調整池の最適な行動指針が日射量によって予測可能であることを明らかにし、中山間地の地域分散型エネルギーシステムにおけるもたせ機能、再生可能エネルギー技術導入によるシステムの運用には、日射量が重要な要因になることを示した。

また、最適化はすべての条件がわかっていなければ行えないことから必ずしも実装可能ではないため、逐次でシミュレーションを実現する伝熱のアナロジーに基づくもたせ型システムモデルを作成した。伝熱アナロジーに基づくモデルから、1時間単位のもたせシステムの挙動を示すことは難しいが、月毎の積算融通量であれば10%以内の範囲で予想できることがわかった。このこと

から、本モデルを使用することによって月単位のもたせ型システムの効果の予測が可能と考えられた。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

- ・ 再生可能エネルギーが豊富な中山間地において、余剰電力を融通して地域全体で利用するシステムとして、仲介役の調整池が供給側と需要側を制御する形態（もたせ機能）が有効に機能することを明らかにした。
- ・ 太陽光発電が電源にある場合の日射条件変化によるエネルギー融通の調整部門（調整池）での最適余剰買取価格に与える影響を解析した。
- ・ 伝熱アナロジーに基づくもたせ型システムにより、日射量と需要負荷が分かれば毎月ごとの融通できる電力量を推定できるモデルを作成した。

### (2) 環境政策への貢献

特に記載すべき事項はない

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 地域において再生可能エネルギー資源の分散型エネルギーシステムを構想する際の参考モデルを提示した。
- ・ 小水力発電が、他の技術と比較して最も導入量を制約する高コスト水準にあることを明らかにし、小水力発電の拡大には初期コスト削減が必須条件になることを示した。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない

#### <その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

**(2) 口頭発表 (学会等)**

- 1) A. Akisawa, H. Kobayashi: International Workshop on Environment and Engineering, Tsukuba, 18-29 Nov. 2014  
"Optimal Behavior of Local Energy Supply System with Sharing Excess Renewable Power among Communities"

**(3) 出願特許**

特に記載すべき事項はない

**(4) 「国民との科学・技術対話」の実施**

特に記載すべき事項はない

**(5) マスコミ等への公表・報道等**

特に記載すべき事項はない

**(6) その他**

特に記載すべき事項はない

**8. 引用文献**

特に記載すべき事項はない

### (3) 分散型電力系統・融通システムの開発

芝浦工業大学 工学部電気電子学群電気工学科 教授

藤田 吾郎

平成24～26年度累計予算額：24,538千円（うち、平成26年度予算額：6,999千円）

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

ディーゼル発電機（DG）、太陽光発電（PV）、蓄電池（BT）、小水力発電設備（SHG）を用いた独立型マイクログリッドの自律分散制御による電力需給システムのシミュレーションモデルを作成して各発電機容量の決定を行った。つぎに、瞬時値系統解析シミュレーションなどを通して、独立グリッドとグリッド群の配電系統、電力融通手法、基幹系統との連系に関する技術工学的課題の洗い出しを行い、BTB（交流系統直流変換連系装置）を介して異なる電力品質の交流で連系し、周波数の情報によって、従来の自律分散制御と新しい自律分散制御であるSSI（安定供給指標：Stability Supply Index）制御を使用して自動で各設備の出力の開始・停止・出力量調節を行う機構を開発して、「周波数情報を基に自動で出力を調節し、電力を各セルに供給する」新しいエネルギーシステムを「もたせ」型として構築した。さらに、MATLABによる実効値解析モデル・瞬時値解析モデルを作成し、自律制御や電力融通に必要なパワーエレクトロニクス機器の基本機能・構成を明らかにするとともに、誘導発電機の大量導入などによる電圧変動の発生、無効電力の偏在に対処する方法や機器を検討した。また、誘導発電機導入時の系統安定度解析として同期発電機に対する誘導発電機の供給割合を変えて、発電機の挙動や電圧・周波数の変化を明らかにし、誘導発電機の導入割合を明らかにした。

また、電気事業法と小水力発電の2点に着目し現行法規を参照しながらクリアすべき課題を抽出し、条件を整理し、実装時の条件を確認した。

#### [キーワード]

配電系統システム、BTB、小水力発電、パワーエレクトロニクス、電力品質、アクティブパワーフィルタ

#### 1. はじめに

もたせ型分散エネルギー・システムの開発にあたり、従来の電力系統<sup>1)</sup>や研究開発途上のスマートグリッド<sup>2) 3)</sup>とは異なる配電系統システムの導入を提案した。これを図(3)-1に示す。各セルは、それぞれの地域の特徴に適した複数の発電設備等を有し、これを交流で連系する。地域内の需給バランスにより周波数が変動するが、この周波数を用いて自律的に起動停止や出力調整を行う。これにより、監



図(3)-1 もたせ型分散エネルギーの考え方に基づく配電系統システム



視制御システムや通信回線のためのコストを削減することができる。同時に地域住民が電力供給の維持に積極的に参加することが可能となる。またBTB（交流系統直流変換連系装置）を採用することで、異なる電力品質の設定を可能とする。図(3)-1では、商用系統側との連系点にBTBを設けることで、周波数品質が変えられるものとする。

地域のコミュニティを1つのセルとしてマイクログリッドを構築する。セル内の分散型電源は、その地域の特色をより生かせる発電方式を選択し、電力の地産地消を目指す。例えば、河川が豊富な地域では小水力発電を取り入れ、酪農が盛んな地域ではバイオマス発電を取り入れる。

すなわち、分散型電源の中からその地域の特色をより生かせる発電方式を選び、供給グループを各地域で作成し、基幹系統（電力会社からの電力）からの送電に極力頼らず、各セルに設置された分散型電源での供給を行う電力の地産地消システムを想定する。セル内だけでは電力の受給バランスをとりきれないときには、近隣のセルとの電力融通やDR制御によって需給バランスを調整する。それでも電力の過不足を補えない場合に初めて基幹系統から電力を供給するというものである。

このシステムの運用では、まず各発電機は各セル内の電力需要量の増減に対して、人の操作を加えずに自動的に供給量を調節する必要がある。本稿では発電機同士は通信を利用しないで、システムの動作は周波数の情報によって、従来の自律分散制御と新しい自律分散制御であるSSI（安定供給指標：Stability Supply Index）制御を使用して自動で各設備の出力の開始・停止・出力量調節を行う。このような仕組みによって「周波数情報を基に自動で出力を調節し、電力を各セルに供給する」新しいエネルギーシステムを「もたせ」型と定義して、構築を行った。

## 2. 研究開発目的

本項のサブテーマでは、セル、セル群の配電系統、電力融通手法、基幹系統との連系に関する技術工学的課題の洗い出しを行い、分散型エネルギー需給の成立に必要な電力システム、制御システムの設計・評価を行うことを目的とした。

そのため、以下の4つのテーマを設定し、もたせ型分散エネルギー・システムの開発へ向けた課題抽出・機器構成の設計・電力品質の検討を行った。

- (1) 「セル」導入に伴う配電系統システムの課題の抽出
- (2) パワーエレクトロニクス機器の基本機能・構成の検討
- (3) 電圧変動の発生、無効電力の偏在、などの電力品質の維持方法の抽出・検討
- (4) 規程の見直しに注目した課題の抽出・検討

## 3. 研究開発方法

### (1) 「セル」導入に伴う配電系統システムの課題の抽出

ディーゼル発電機（同期発電機）と小水力発電機（誘導発電機）を組み合わせた解析モデルを作成し、シミュレーションにより需給が可能かを検討した。また、ディーゼル発電機の容量に対する小水力発電機の容量の割合を増加させていった時の系統の信頼性の変化を算出した。得られた結果を定量的に評価・考察するため実測データを利用し、固定入力トルク、変動入力トルク、変動入力トルクと限流リアクトルの各パターンにおける比較検討を行った。

## (2) パワーエレクトロニクス機器の基本機能・構成の検討

周波数制御モデルとBTB（Back To Backと呼ばれるパワーエレクトロニクス）による解析モデル（MATLABによって実効値解析モデル・瞬時値解析モデルともに作成）を作成し、さらに信頼値指標モデル（周波数変動と時間の2値制御）を作成し、ケースごとの検証と制御の評価を行った。

## (3) 電圧変動の発生、無効電力の偏在、などの電力品質の維持方法の抽出・検討

平面上に広がる配電において、動作時間優先順位の決め方を検討した。また、誘導発電機の大量導入に伴う電圧安定度の維持方法の検討を行った。さらに、アクティブフィルタの実機による平衡電圧時の妥当性の検証と不平衡電圧時の高調波除去の手法開発を行った。

## (4) 規程の見直しに注目した課題の抽出・検討

電気事業法と小水力発電の2点に着目し現行法規を参照しながらクリアすべき課題を抽出し、条件を整理した。一般電気事業にとって代わって運用できるような法の適用、電力品質基準緩和の2点を中心に現行法規に沿ってクリアできる問題と改善を要するものを抽出し、実装への条件を確認した。

## 4. 結果及び考察

### (1) 「セル」導入に伴う配電システムシステムの課題の抽出

#### 1) 自律分散制御による電力供給解析

本解析の前段階として1日におけるセル内の電力需給解析やセル内における分散型電源導入時の安定度評価を行った。数値解析ソフト「MATLAB/SIMULINK」を用いて、解析モデルを作成し、1日におけるセル内の有効電力、周波数、SOCについて解析した。なお、SOCはState of Chargeの略でありBT（蓄電池：Battery）の充電割合を表し、SOC：1.0で満充電、SOC：0で完全放電を表している。各評価項目を以下に示す。

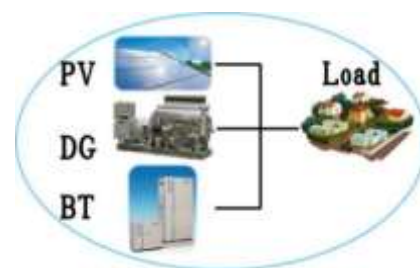
- ・ 各機器の安定的な稼働（ハンチングをしない）
- ・ 周波数変動が  $50.0 \pm 1.0$  [Hz] 以内
- ・ SOC の範囲が 0.3~0.9 以内

上記の評価項目において、単一セルモデル、2セル電力融通モデルについて評価・検討を行った。

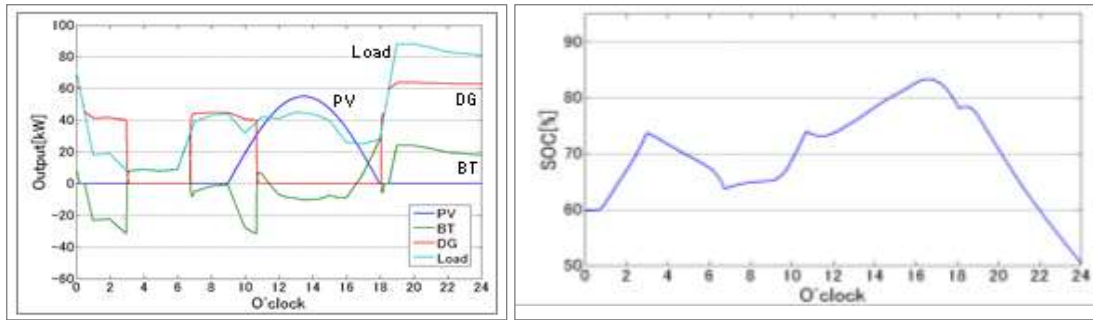
IT設備を用いない独立型のセルを構築し、自律分散制御によって、需給バランスを維持できるかを検証した。

図(3)-2に示すように、マイクログリッドはBT・DG（ディーゼル発電機：Diesel Generator）・PV（太陽光発電：Photovoltaic）の電源とLoad（負荷）によって構成されている。なおBTは瞬時的な充放電出力[kW]と電池容量[kWh]を記載している。各設備容量は中国新疆ウイグル自治区で行われた実証試験「太陽光発電系統連系システム効率化技術実証研究」<sup>5)</sup>（以下NEDO資料）を参考に決定した。自律分散制御の制御設定として、軽負荷時はBTによって供給を行い、中程度の負荷はDG、重負荷時はDGとBTによって供給を行う。また日中はPVで供給を行い、余剰分をBTが充電を行うよう設定した。

作成した解析モデルの正当性を検証するため、解析結果とNEDO資料との比較を行った。図(3)-3に解析結果とNEDO資料における各電源の有効電力とSOCを示す。

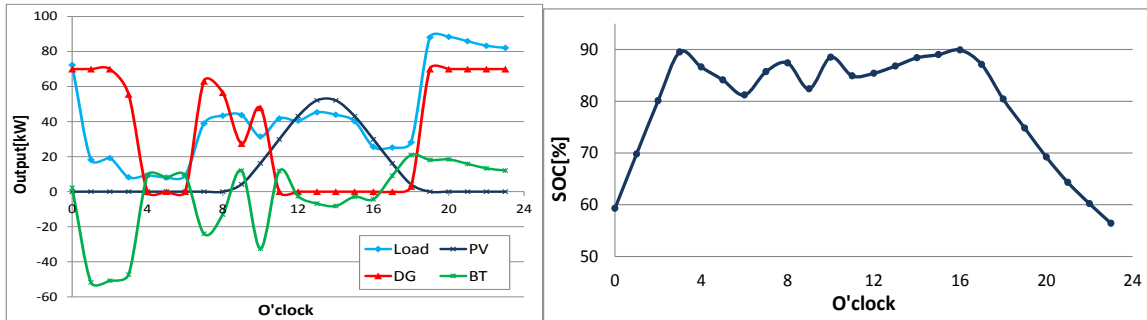


図(3)-2 供給形態図



(a) 電力需給（解析結果）

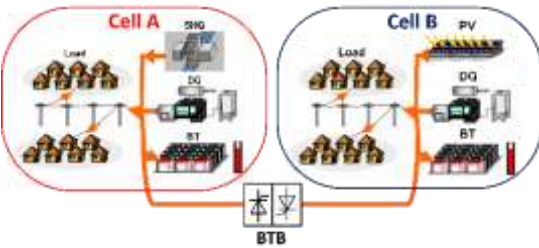
(b) SOC（解析結果）



(c) 電力需給（NEDO資料）

(d) SOC（NEDO資料）

図(3)-3 解析結果とNEDO資料との比較



図(3)-4 電力融通モデル

表(3)-1 設備容量

	Cell A	Cell B
BT	80[kW] 400[kWh]	80[kW] 400[kWh]
DG	40-70[kW]	40-70[kW]
SHG	15[kW]	
PV		70[kW]
Load	40-110[kW]	30-61[kW]

**a. 2セルモデル**

2セル電力融通モデルでは、快晴時（PV出力最大）と雨天時（PV出力0[kW]）の2通りについて解析を行った。快晴時・雨天時の解析結果はそれぞれ図(3)-5、図(3)-6のとおりで、結果は表(3)-2のようになった。

表(3)-2 2セルモデルの解析結果

快晴時	雨天時
<p>(a-1)はセルAの電力需給動作、(a-2)はセルBの電力需給動作を表し、(b)は両セルの周波数、(c)は両セルのSOCを表している。電力需給動作における負の値はBTでは充電状態、BTBでは送電状態（相手側に電力を送っている状態）を表している。</p> <p>解析結果より、早朝から夕方にかけては、セルA・セルBともに電力の過不足が生じないため、両セルは自セル内で需給バランスを調整している。夜間になると、セルBはBTのSOCが減少するため翌日の供給に備えてBTが出力を抑制する。その結果、セルBの周波数の低下をBTBが感知し、供給量に余裕があるセルAからセルBへの電力融通を開始する。自セル内供給時、電力融通時ともに安定して稼働できているという結果となっている。</p>	<p>(a-1)はセルAの電力需給動作、(a-2)はセルBの電力需給動作を表し、(b)は両セルの周波数、(c)は両セルのSOCを表している。</p> <p>雨天時も早朝から夕方にかけては、両セルとも自セル内で需給バランスを調整している。快晴時と同様に、夜間になるとセルBの周波数の低下を受け、セルAからセルBへの電力融通が開始される。快晴時よりもセルBのSOCが低いため融通量を増やすことで対応し、両セルとも安定して稼働していることが確認されている。</p>

### i. 快晴時

全体の評価として解析結果を周波数とSOCについてまとめたものを表(3)-3、表(3)-4に示す。電力融通の送電側であるセルAの周波数変動は $50.0\pm 0.3$ [Hz]以内とセルA単独での運転と比べても電力品質の低下はなく、各設備は安定して稼働している。電力融通の受電側であるセルBは、電力融通を受けることで、周波数変動 $50.0\pm 0.4$ [Hz]以内とセルBのみの稼働時と比較すると電力品質が改善され、各設備の稼働状態も安定している。またSOCの終了値においては、セルAが0.755、セルBが0.608となり、初期値と同等かそれ以上の値を充電することができている。したがって、快晴時においてセルAとセルBは電力融通によって安定した運転が可能であると示された。

### ii. 雨天時

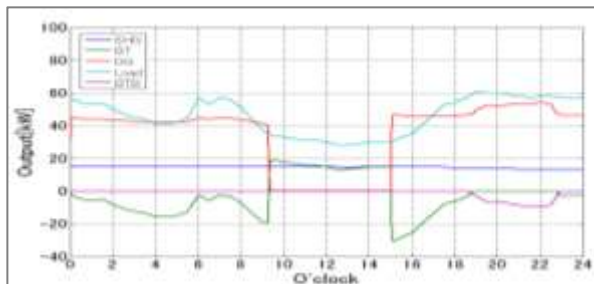
全体の評価として、セルAは雨天時においても周波数 $50\pm 0.3$ [Hz]以内と電力品質の低下は見られなかった。セルBの周波数は快晴時と同様に $50\pm 0.4$ [Hz]以内となり、セルBのみの稼働と比較しても電力品質が改善されている。SOCの終了値はセルAが0.743、セルBが0.586とセルBに関しては初期値の0.60よりも下回る結果となったが翌日の稼働においては十分な充電量であると考察している。したがって、雨天時においても、電力融通をすることでセルAとセルBは電力品質を落とさずに安定した運転が可能になったことを示された。

表(3)-3 解析結果の比較

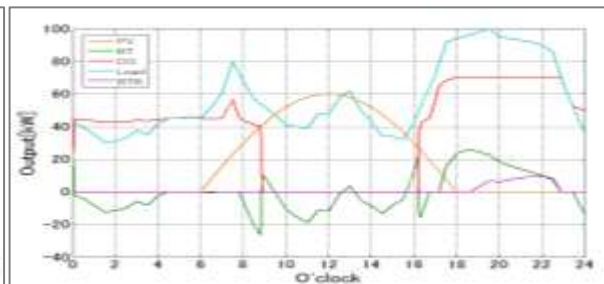
	周波数[Hz]	SOC残量
セルAのみ	$50\pm 0.3$	0.756
セルBのみ	$50\pm 0.6$	0.528
セルA (電力融通時)	$50\pm 0.3$	0.755
セルB (電力融通時)	$50\pm 0.4$	0.608

表(3)-4 解析結果の比較

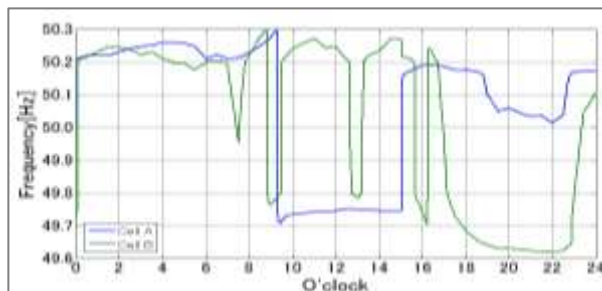
	周波数[Hz]	SOC残量
セルAのみ	$50\pm 0.3$	0.756
セルBのみ	$50\pm 0.6$	0.425
セルA (電力融通時)	$50\pm 0.3$	0.743
セルB (電力融通時)	$50\pm 0.4$	0.586



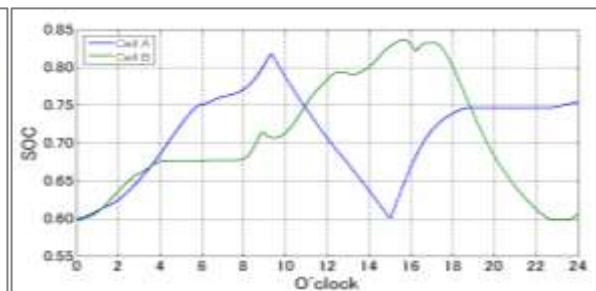
(a-1) セルAの電力需給



(a-2) セルBの電力需給

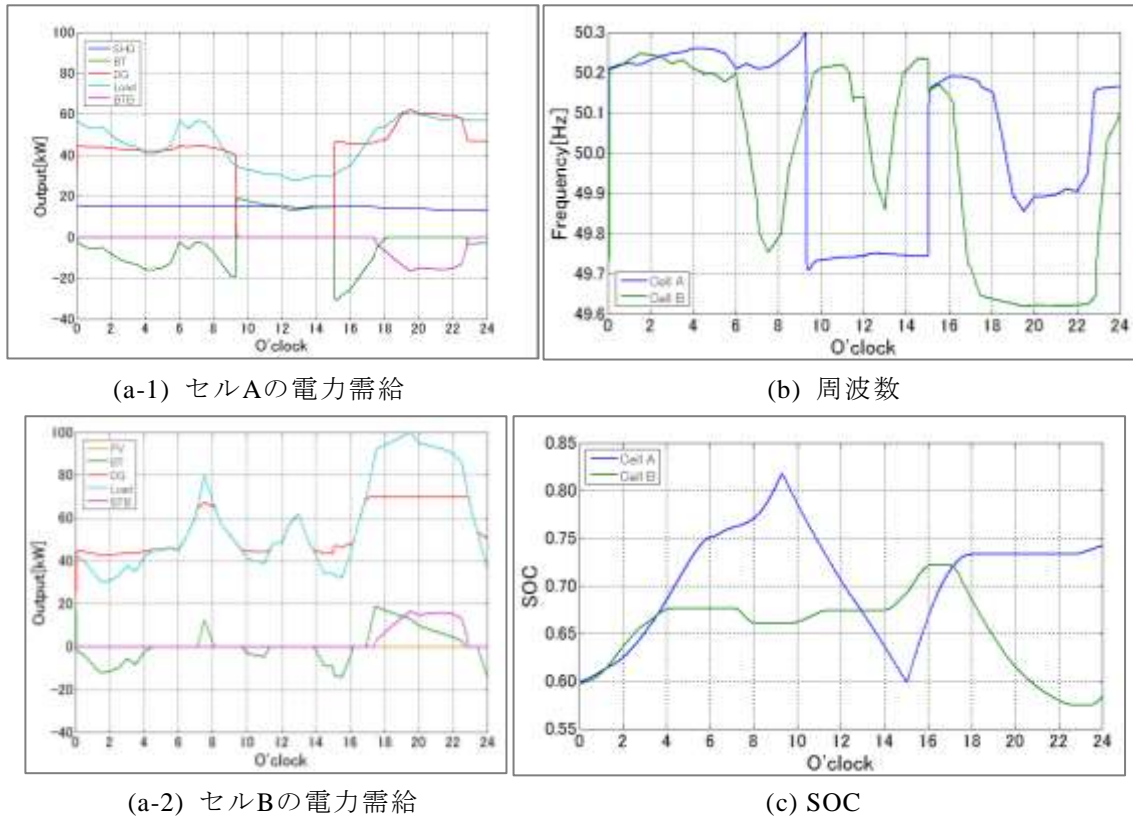


(b) 周波数



(c) SOC

図(3)-5 快晴時の解析結果



図(3)-6 解析結果

## b. そのほかの検討について

3セルモデルやデマンドレスポンスなどの発展的検討も行った。

### 2) 小水力導入時の系統安定度解析

#### a. 解析方法

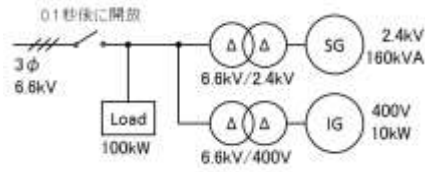
「もたせ型」エネルギーシステムを構築した際、分散型電源として再生可能エネルギーが多く導入されることが見込まれる。その中でも、小水力発電が多く導入されると見込まれる地域について、小水力発電を模擬した誘導発電機とディーゼル発電を模擬した同期発電機を用いた自律運転セルを作り、そのセルにおける安定度解析を行った。

また、同期発電機（ディーゼル発電機）に対する誘導発電機（小水力発電機）の供給割合を変化させ、その際の発電機の挙動や電圧・周波数の変化を解析した。この研究で使用したモデルの概略図を図(3)-7に、参考にした同期発電機と誘導発電機のパラメータを表(3)-5、表(3)-6に記載する。

解析概要としては、図(3)-7に示した概略図のモデルを用いて、セル内におけるIGの増加、負荷減少における系統安定度について検証した。シミュレーション内容については最初、セルは系統連系しているが0.1秒後に自立運転を開始させる。そして、定常状態となる7.0秒後に負荷変動させ、変動後の周波数変動、電圧変動、定常偏差について検討した。さらにIGの供給量と負荷変動幅をそれぞれ10kWずつ60kWまで変化させ、上記の各変動などを比較・評価を行った。

例としてIGを2台導入した際のモデルを図(3)-8に示す。





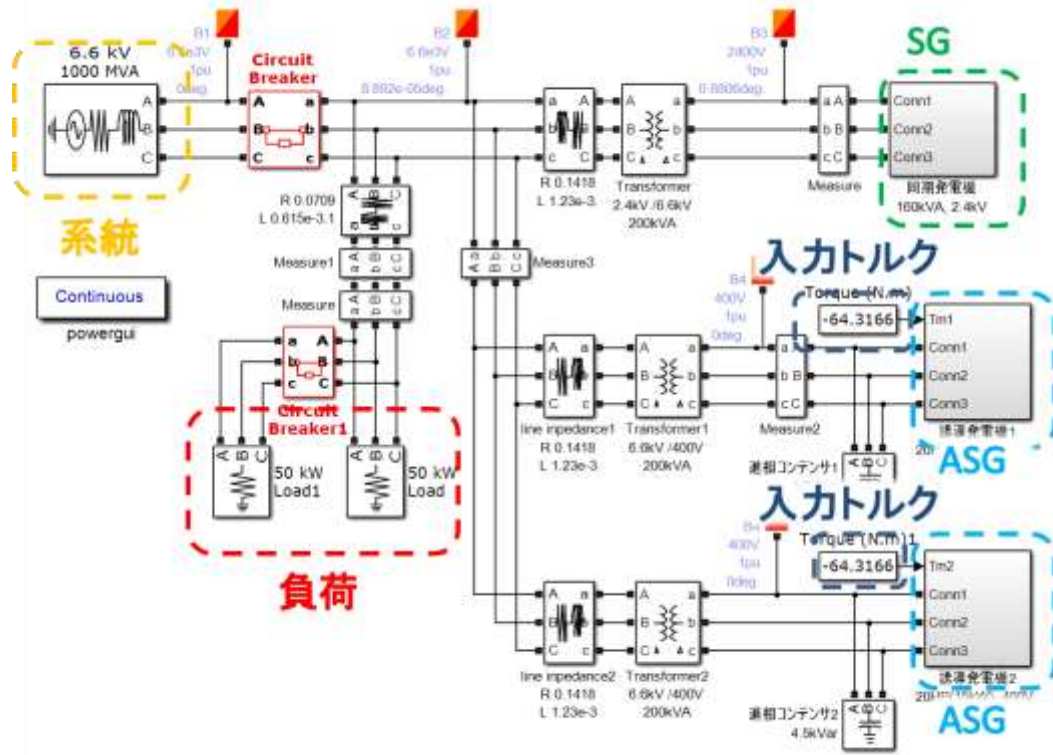
図(3)-7 もたせ型ESの安定度解析モデル概略図

表(3)-5 同期発電機のパラメータ

	値	単位
容量	160000	VA
定格電圧	2400	V
周波数	50	Hz
固定子抵抗	0.01828	pu
慣性係数	1.07	S
極対数	2	-1

表(3)-6 誘導発電機のパラメータ

	値	単位
出力	20	HP
定格電圧	400	V
周波数	50	Hz
定格回転数	1460	rpm
すべり	-0.01376	S

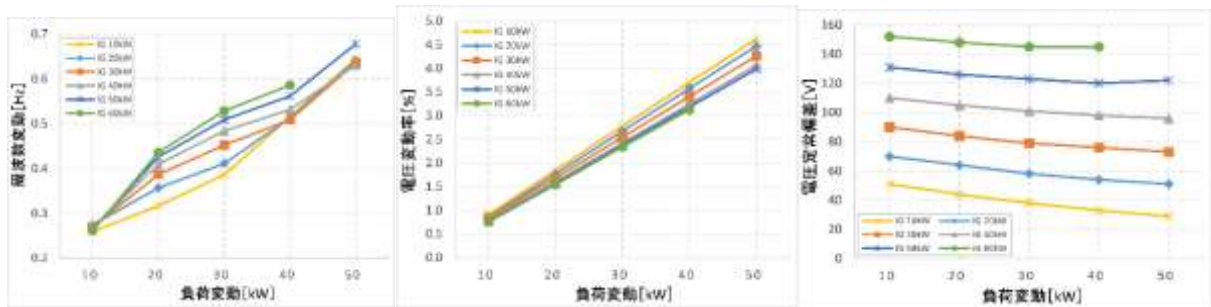


図(3)-8 解析モデル (IG 2台・20kW)

**b. 小水力導入時の系統安定度解析結果**

周波数変動、電圧変動、定常偏差について比較し、検討した。図(3)-9、図(3)-10、図(3)-11に比較したグラフを示す。解析結果より、IGの導入量が増加するにしたがい、周波数と電圧定常偏差は変動が大きくなったが、電圧は変動が小さくなった。これはセル内に発電機としての回転機が増加し、慣性力が増加したためと考えられた。

また、負荷変動が大きくなるにしたがい、定常偏差が小さくなった理由として、負荷変動として負荷を減少させたため、全体の供給量が減少したからと考えられた。負荷がIGの供給量より下回り、SGが停止しまうと、IGには安定維持能力がないため、周波数は系統内における周波数逸脱してしまう。それにより、系統から励磁されるIGは電圧も逸脱してしまう。したがって、IGの導入量は、負荷の最小値より少なくなければならない。

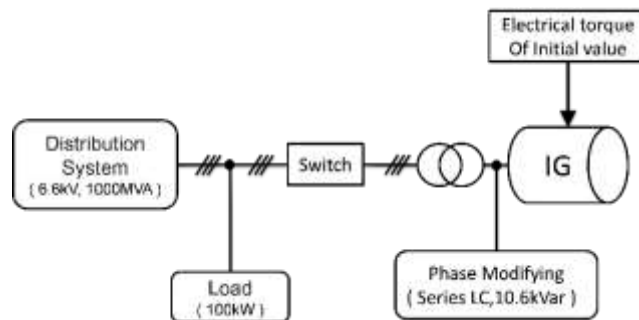


図(3)-9 周波数変動の比較 図(3)-10 電圧変動の比較 図(3)-11 電圧定常偏差の比較

**c. 実測値を用いた小水力発電モデル**

水力発電は、水の位置エネルギーを水車により機械的トルクに変換し、発電機を回転させて発電電力を得る。本稿では、誘導発電型小水力発電の系統並列時の電力解析を対象とする。提案する解析モデルでは、発電機並列時には発電機が定格速度で回転していることを前提条件とした。潮流計算により定常出力運転時の発電機への入力トルクを求める方法としたことで、水車、ギヤなどの機械系を省略した。

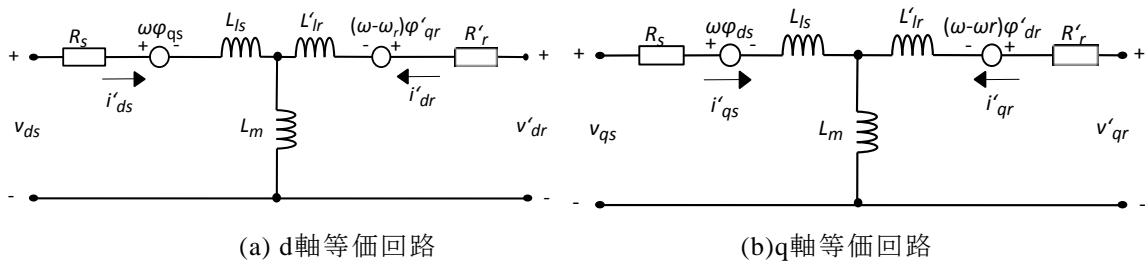
また、発電機周辺の機器として、発電電圧を連系点の電圧に昇圧する変圧設備、調相設備が小水力発電のモデル部分となる。図(3)-12に、本稿で提案する小水力発電モデルの概略図を示した。平均的な配電線を想定したデータを用いた。また、配電系統では本来、配電用変電所からは複数のフィードが引き出されているが、本稿では、1本のフィードのみに着目するとともに、配電用変電所を大規模電源として扱う簡略化したモデルとした。



図(3)-12 提案する小水力発電モデルの概略図



小水力発電に用いられる発電機には、同期発電機、永久磁石型同期発電機、誘導発電機が採用されるが、本稿での対象は誘導発電機型である。誘導機の方程式に空間ベクトル表現を用いるがそのため、dq座標へ変換を行う。d軸の固定子電圧、電流を  $v_{ds}$ 、 $i'_{ds}$ 、回転子電圧、電流を  $v'_{dr}$ 、 $i'_{dr}$  とする。q軸の固定子電圧、電流を  $v_{qs}$ 、 $i'_{qs}$ 、回転子電圧、電流を  $v'_{qr}$ 、 $i'_{qr}$  とする。また、固定子漏れリアクタンス、回転子漏れリアクタンスをそれぞれ  $L_{ls}$ 、 $L_{lr}$ 、励磁インダクタンスを  $L_m$ 、固定子巻線抵抗、回転子巻線抵抗をそれぞれ、 $R_s$ 、 $R_r$  とする。そして、回転子角速度を  $\omega_r$  とする。このとき、三相誘導機の等価回路は図(3)-13となる。



図(3)-13 誘導発電機の等価回路

固定子の d 軸、q 軸の方程式は、

$$v_{qs} = R_s \cdot i_{qs} + \frac{d\phi_{qs}}{dt} + \omega\phi_{ds}$$

$$v_{ds} = R_s \cdot i_{ds} + \frac{d\phi_{ds}}{dt} - \omega\phi_{qs}$$

となる。このとき、固定子磁束成分は、

$$\phi_{qs} = L_s \cdot i_{qs} + L_m \cdot i'_{qr}$$

$$\phi_{ds} = L_s \cdot i_{ds} + L_m \cdot i'_{dr}$$

また、回転子の d 軸、q 軸の方程式は、

$$v'_{qr} = R'_r \cdot i'_{qr} + \frac{d\phi'_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r)\phi'_{dr}$$

$$v'_{dr} = R'_r \cdot i'_{dr} + \frac{d\phi'_{dr}}{dt} - (\omega - \omega_r)\phi'_{qr}$$

となる。このとき、回転子磁束成分は

$$\phi'_{qr} = L'_r \cdot i'_{qr} + L_m \cdot i_{qs}$$

$$\phi'_{dr} = L'_r \cdot i'_{dr} + L_m \cdot i_{ds}$$

そして、

$$L_s = L_{ls} + L_m$$

$$L'_r = L'_{lr} + L_m$$

である。電気的トルク  $T_e$  は、

$$T_e = 1.5p(\phi_{ds}i_{qs} - \phi_{qs}i_{ds})$$

となる。このとき、 $p$ は極対数である。負荷と回転子を合成した粘性摩擦を $F$ 、機械トルクを $T_m$ 、負荷と回転子の合成した単位慣性係数を $H$ とすると

$$\frac{d}{dt}\omega_m = \frac{1}{2H}(T_e - F\omega_m - T_m)$$

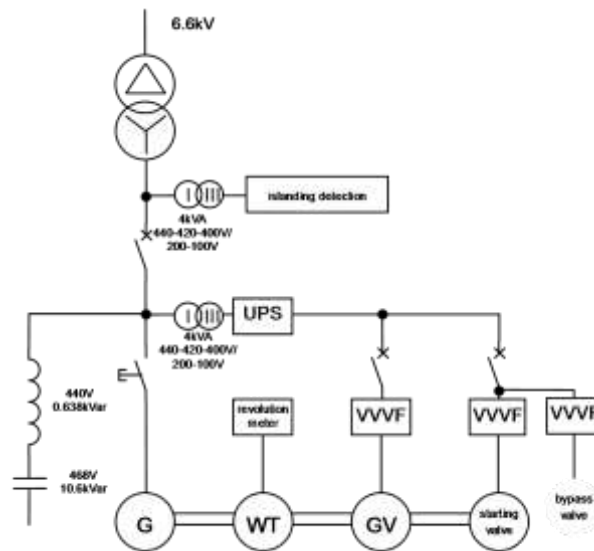
$$\frac{d}{dt}\theta_m = \omega_m$$

という関係にある。

提案する解析モデルの有効性を確認するため、実際の小水力発電所において発電機を系統に並列する際の電気的特性と比較した。比較項目は、電圧 $V[V]$ 、電流 $I[A]$ 、周波数 $f[Hz]$ 、有効電力 $P[kW]$ 、無効電力 $Q[kvar]$ とする。また、比較対象設備は、誘導発電機を用いた国内の水力発電所（以下A発電所）とした。A発電所は浄水所に併設されている。全量売電の発電設備である。表(3)-7に仕様、図(3)-14に単線結線図を示す。

表(3)-7 発電所の仕様

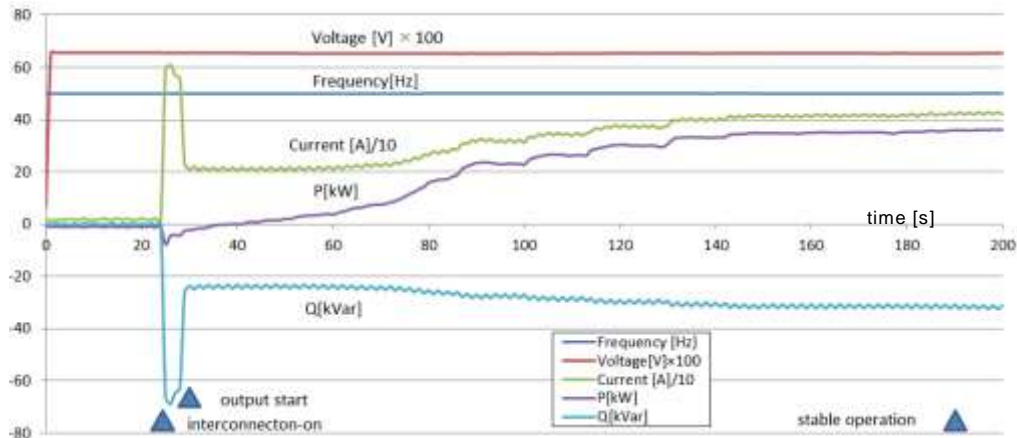
水車の形状	クロスフロー型
最大出力	78kW
定格電圧	400V
有効落差	20m
使用最大水量	0.516 m <sup>3</sup> /s
定格回転速度	510 min <sup>-1</sup>



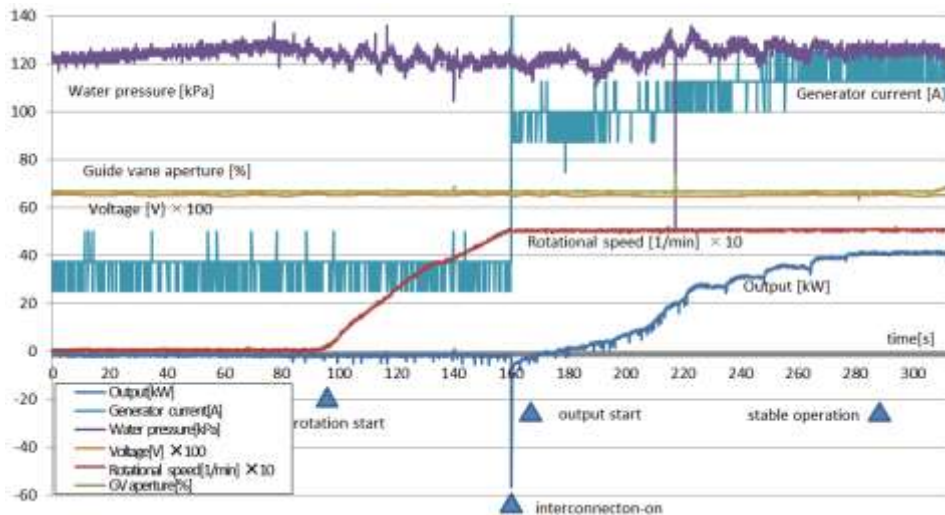
図(3)-14 単線結線図

A水力発電所の系統並列前後の電圧 $V[V]$ 、電流 $I[A]$ 、周波数 $f[Hz]$ 、有効電力 $P[kW]$ 、無効電力 $Q[var]$ の測定結果を図(3)-15に示した。計測は、図(3)-14の変圧器の系統側（高圧側）に設置した電源品質アナライザ（HIOKI3196）を用いて測定を行った。計測周期は1[s]である。計測開始から、25[s]付近で発電機を並列した。並列後、5[s]間程度、無効電力、電流が動揺するが計測開始140sで定常出力となっていることがわかる。また、発電機の運転状況を把握するため、電圧 $V[V]$ 、電

流 $I$ [A]、有効電力 $P$ [kW]、回転数速度 $n$ [1/min]、水圧[kPa]、ガイドベーン開度[%]をメモリーハイロガー（HIOKI8860）で計測した。メモリーハイロガーの計測周期は、2[ms]であった。この計測結果を図(3)-16に示す。なお、測定機器環境の制約により、電源品質アナライザ、メモリーハイロガーの計測タイミングは同期しておらず図(3)-15、図(3)-16の時間軸は異なる。



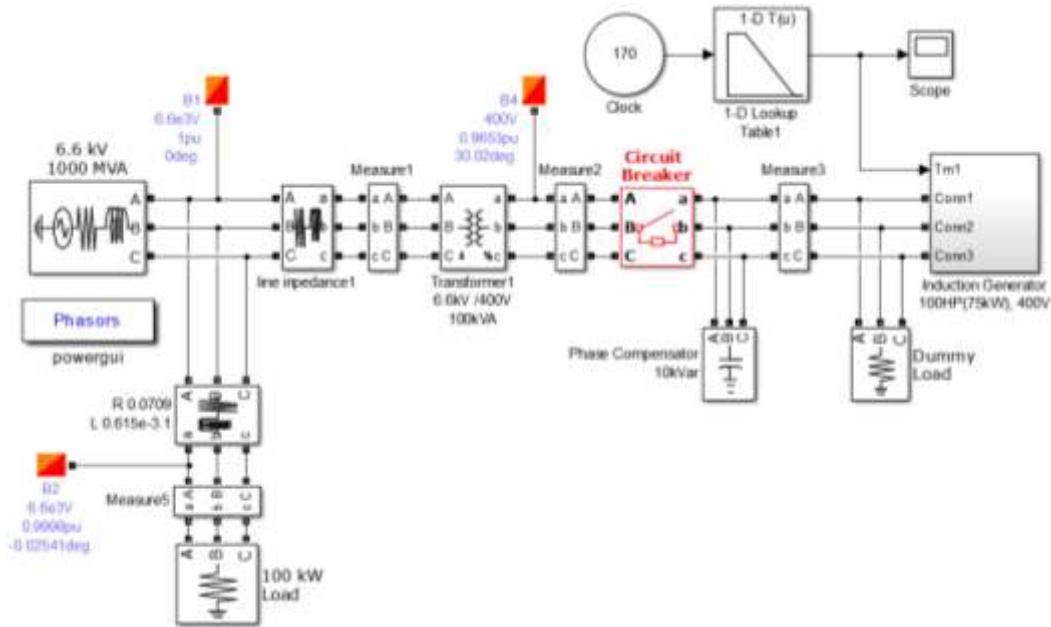
図(3)-15 動的特性（電源品質アナライザ）



図(3)-16 動的特性（メモリーハイロガー）

提案する数値解析モデルは、起動時の電力系統に与える影響を解析することを目的とし、連系直後の系統から見た発電システムの電氣的な特性を模擬することを主眼とした。これを定常運転に移行するまでの100[s]前後の領域と、突入電流が問題となる数秒間にわけた。なお、モデルの構築には数値シミュレーションソフト Matlab/ SimPowerSystems を用いた。

図(3)-17は図(3)-14を参考に作成した等価モデルである。右側の誘導発電機が400V/6.6kV変圧器を介して左側の商用系統に連系している。調相設備は図(3)-17に記載されている通り進み10kVarとした。これは、本稿では基本波成分のみを検討の対象としたためである。また数値計算上の安定性を確保する目的から抵抗値の大きい模擬抵抗負荷を並列させた。また、誘導発電機の仕様から誘導発電機の定数を求める必要があるが、これを得ることは通常困難である。A発電所の誘導発電機の仕様を表(3)-8に示すが、モデルではこれに近い75[kW]のデフォルト値を使用した。



図(3)-17 等価モデル

表(3)-8 誘導発電機の仕様

タイプ	三相かご型誘導発電機
定格出力	90 [kW]
定格周波数	50 [Hz]
最大許容電流	183 [A]
極数	12
定格回転数速度	510[ $\text{min}^{-1}$ ]
絶縁	F種

次に実測した電気的特性を模擬するため、誘導発電機の挙動をどのように定めるかを検討した。本研究では、駆動トルクを外部から与えることとした。図(3)-16では37kW出力しているため、数値シミュレーションソフト上で初期潮流計算を行い、221.7[Nm]の機械的トルクを得た。同様に無負荷トルクは6.5[Nm]となった。起動時間は120[s]であり、この間に機械的入力6.5[Nm]から221.7[Nm]が線形に推移することとしてモデル化した。

連系直後の数秒間の特性は、誘導発電機がどのようなすべりで連系するかがポイントとなる。連系直前の誘導発電機の回転速度は定格速度付近であるが、その値は正確に定まっている訳ではない。すべりが正であれば短時間は電動機として働く。この例では、並列直後の有効電力の実測値が-8[kW]となっており、初期潮流計算から、すべり0.001を得た。もしこの値が得られない場合は、連系直前の回転速度の変動幅をあらかじめ得ておくか、想定しておく必要がある。これは突入電流の決定に大きく影響するため、検討を行う際は特に精度を上げる必要がある。

また連系直後は誘導発電機が加速して電動機運転から発電機運転へと移行している。この期間の挙動はタービン発電機の慣性定数が支配的となるが、この数値を得ることは困難であるため、一般的な水力発電機の単位慣性定数 $H=10$ [s]を想定して、定格回転速度および定格出力から500 [ $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ]と設定した。

図(3)-18 に今回作成したモデルによる系統連系前後の動的特性を示した。Fig.8 と比較すると、定常運転に移行するまでの100[s]前後の領域の実測と模擬に合致しているといえた。突入電流が問題となる数秒間については、おおむね一致するものの、その大きさと時間幅が異なった。ただし1[s]以下の領域については実測データでは精度が得られなかったため考察の対象外とした。数秒間の領域の相違点について検討したが、変圧器定数、線路定数とは無関係であり、発電機内部定数に起因することが推定された。したがって、発電機内部定数を別途準備するか、もしくは外部測定値から推定する手法を導入することで、模擬精度の改善がはかれると考えられる。

本稿では、電力系統解析時に必要とされる、誘導発電機型小水力発電機の系統並列時のモデル化手法について整理した。

- これまで一般に知られていなかった電氣的挙動に関して、モデル化の参考となる機器構成と実測結果を示した。
- これらを参考に、数値解析用モデルの構築を提案した。
- 両者の比較を通して、提案する数値解析用モデルのパラメータ調整手法を示した。

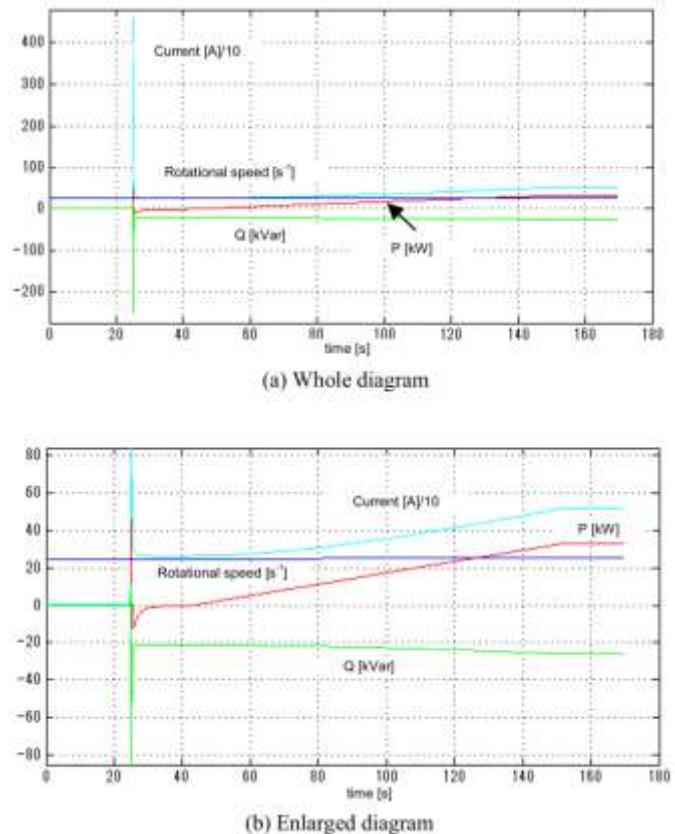
これらは今後、小水力発電普及に向けて増加することが予想される安定度解析に有益であると考えられる。

ただし、並列から数秒間の領域での差異が確認されているので、この部分を考慮したモデル構築が必要である。今後は、発電機内部定数を外部測定値から推定する手法を用いることで、提案したモデルの模擬精度の向上を目指す必要があると考えられる。また、本研究では普及度の高い誘導機型小水力発電を対象としたが、今後は、水車の高効率点での運用が可能で且つ、自立運転などのメリットをもったPMG小水力発電のモデル化も必要といえる。

## (2) パワーエレクトロニクス機器の基本機能・構成の検討

セル間の電力融通及び連系にパワーエレクトロニクス機器<sup>8)</sup>、特に送電端の交流電流を直流電流に変換し、受電端の周波数に合わせた交流電流に再変換するBTBをベースとした直流送電システム方式の適応が有効という認識で、BTBシミュレーションモデルによる解析と実機を用いた実験の二つによって実証した。

- BTBの制御角の算出・検討
  - 交流電流から直流電流の電圧波形解析
  - 直流電流から交流電流の電圧波形解析
- の3つについて解析と算出を行った。

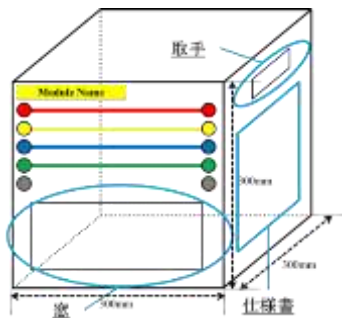


図(3)-18 モデルの動的特性

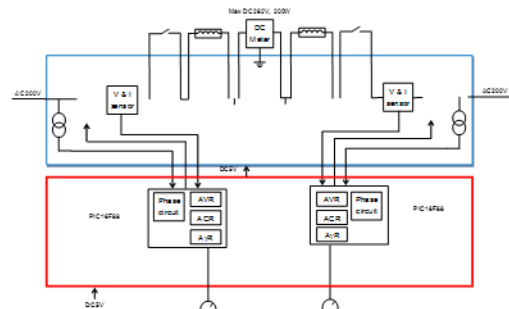
## 1) BTB

### a. BTBモジュール型電力系統実習装置

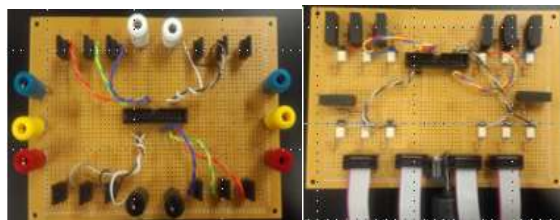
モジュール型電力系統実習装置とは大きさが300mm四方の立方体であり、小型・軽量化、コスト削減、ミニモデルを用いた実験的検証が可能という利点がある。図(3)-19に製作したモジュール型電力系統実習装置の簡略図、図(3)-20にBTB実験装置全体の概要図、図(3)-21に製作した回路を示す。



図(3)-19 モジュールの規格



図(3)-20 BTB実験装置全体の概要図



(a)主回路

(b)制御回路

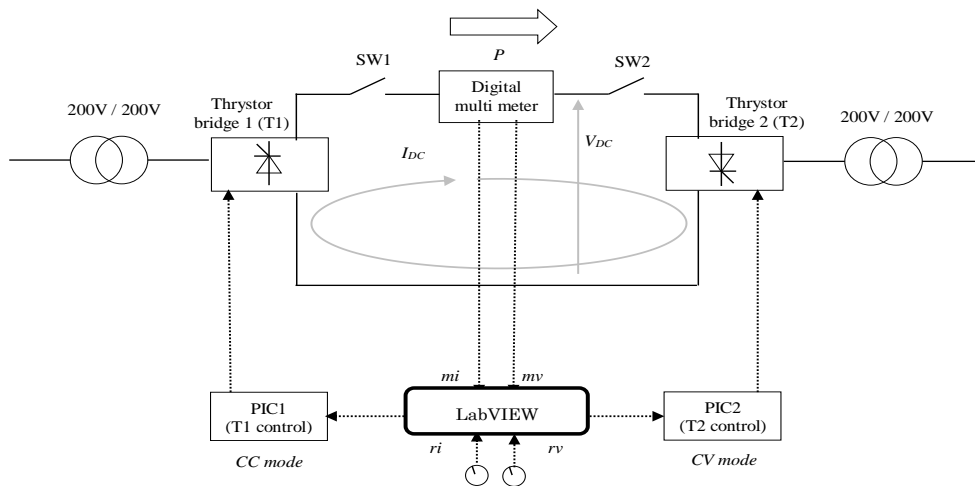
図(3)-21 製作した回路

### b. BTB制御方式の検討

製作したBTB制御方式の概要図を図(3)-22に示す。電圧・電流・電力を測定・表示・出力するためにDMM (Digital Multi Meter) を使用した。DMMの入出力電圧の設定は入力 $\pm 400V$ 、出力 $0\sim 5V$ となっており、アナログ出力をデータ計測制御ユニットであるNI-USB6008で受け取る。LabVIEWではその測定したアナログ出力を表示・計算させ、LabVIEWからPICマイコンへサイリスタの制御角の変更命令を出力することによって、目標電圧へ近づけて制御させることを目標とした。

一定電圧を送るためには、各サイリスタブリッジを電圧制御部分と電流制御部分に分け、測定値を記録して作成するグラフに追従し、電力のバランスを保ち、融通し合うように働かせるプログラムを開発した。





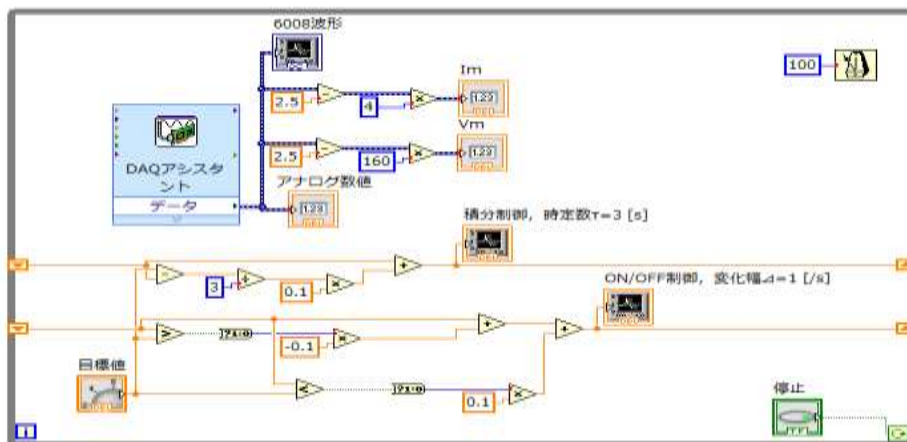
図(3)-22 BTB制御概要図

**c. LabVIEWによる電力制御システムの構築**

LabVIEWの基本機能として、計測デバイスを通して信号を受け取り、PC内で信号処理・解析し、表示・保存・出力することが可能である。また、ブロックダイアグラムとフロントパネルの2つからなる。LabVIEWを導入することによりPCを使用した高速処理、アナログ数値や測定値のモニタリング、目標値の操作が可能になる等の利点がある。

**d. ブロックダイアグラム**

ブロックダイアグラムとは、データの流れを考慮したデータプログラムを記述するウィンドウで計算式、および結果が出力される。電圧制御のみを考慮したブロックダイアグラム図を図(3)-23に示す。本研究では、さらにDAQアシスタントを使用しNI-USB6008で得られたデータを取り込み、アナログ数値を表示させるようにした。さらに、アナログ数値から測定値に戻す計算をし、表示させるプログラムを組んだ。また、積分・比例制御するプログラムも組み込んだ。なお、ループ時間は100msとしている。



図(3)-23 ブロックダイアグラム (電圧制御)

### e. フロントパネル

フロントパネルとはLabVIEWで作成したプログラムのユーザインターフェース画面となり、結果表示の確認や数値を入力することが可能である。今回作成している電圧制御のみのフロントパネルを図(3)-24に示す。ここでは、アナログ数値と電圧・電流の測定値、測定波形が表示されるようになっている。また、目標値設定のためのノブと異常時のための停止ボタンも設置されている。



図(3)-24 フロントパネル（電圧制御）

## 2) まとめ

本研究ではBTB制御の概要についての整理とLabVIEWによる電力制御システムの構築を行った。LabVIEWを用いることによって、計算と流れ、数値と波形の見える化が可能であることがわかった。また、USB-NI6008の動作試験とDMMを繋げて計測値表示の実験を行った。基本的な動作状況が確認でき、本サブテーマで対象とするBTBの動作状況を確認することができた。

### (3) 電圧変動の発生、無効電力の偏在、などの電力品質の維持方法の抽出・検討

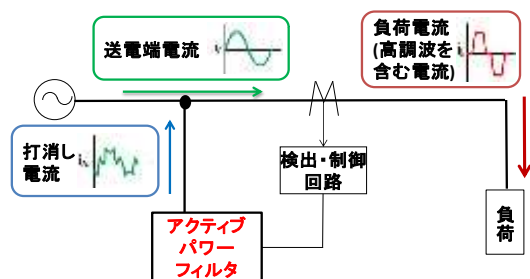
#### 1) アクティブパワーフィルターを使用した高調波抑制制御

本プロジェクトでは、セル内で多様な分散型電源が使用されることを見据えたシステムを検討する必要がある。アクティブパワーフィルター（APF）の開発は、インバータ機器の増加に伴う高調波成分<sup>9)10)</sup>の除去、電力品質の改善が目的で、加えて導入が期待される太陽光発電と最適に組み合わせ使用できるPV-APFシステムの構築も目指した。

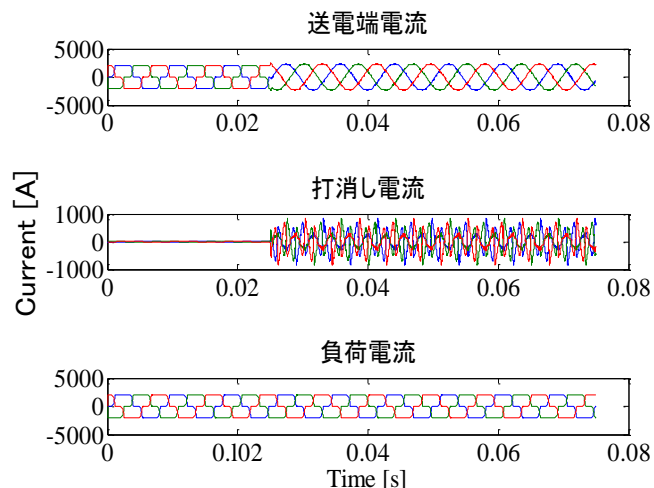
APFは一般的に、電圧型インバータ、系統連系用リアクトル、リップル除去フィルタから構成されている。負荷が発生する高調波を高調波検出回路によって検出し、それとは逆位相の電流（＝打消し電流）をAPFによって生成、その打消し電流を送電端に注入することで送電端電流の高調波成分をキャンセルし、送電端電流を補正する（図(3)-25参照）。

今回APFを以下の流れで、高調波制御に活用した。

- ①主回路から高調波を含む負荷電流を検出する。
- ②pq controller内でpq理論<sup>11)</sup>を用いて計算を行い、PWM波としてIGBTインバータ<sup>12) 13)</sup>に送る。
- ③計算されたPWM波に合わせてIGBTインバータを動作し、打消し電流を生成する。
- ④主回路に打消し電流を注入することで、送電端電流の高調波成分を除去する。



図(3)-25 APFの仕組み



図(3)-26 APF 解析結果

上記のような制御を行い、MATLAB/SimpowerSystemsでモデルを作成し、太陽光パネルによって供給された直流電流をコンバータにより最大出力に昇圧、IGBTインバータの電圧計電流制御により交流電力に変換し、系統に供給するようにした。

解析の結果は、図(3)-26のとおりで、APF単体のモデルでは歪み率（THD）が22.11%から2.76%に改善する事ができた。

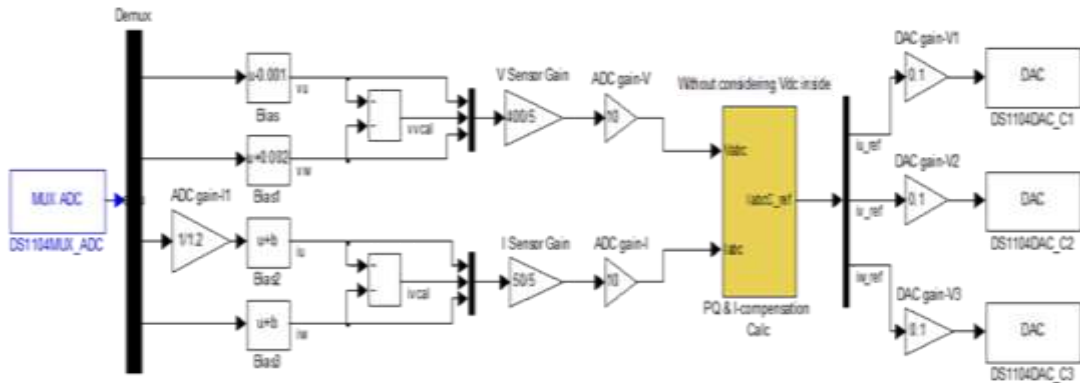
## 2) APFの実機製作

APFの実機による平衡電圧時の妥当性の検証と不平衡電圧時の高調波除去を目指し、機器製作を進めた。今回製作したAPFは、演算部（PC）、A/D変換装置（dSPACE）、主回路および計測制御用のセンサから構成される。また、制御情報として系統側の電流および電圧の検出を行う。この検出された、アナログ信号をdSPACEを介してデジタル信号に変換し演算部に入力している。演算部では、検出した高調波から補償電流を生成するための制御を行う。MatlabのSimPowerSystemsを用いる。制御モデルを図(3)-27に示す。この演算部で得られた制御信号はdSPACEを用いてデジタル信号からアナログ信号に変換を行い、ヒステリシスボードを介して、主回路のスイッチング信号となる。電圧および電流センサからの計測値はアナログ値である。しかし、今回用いるMatlabのSimPowerSystemsでの演算には、デジタル信号としてPCに取り込む必要がある。本システムでは、dSPACE社のConnector/LED Combi-Panel（以後、CLP）を使用した。本システムの制御は、フィードバック制御であるので計測値の入力と演算後の制御信号出力が必要となる。CLPの外観を図(3)-28に、信号計測点の様子を図(3)-29に、演算部から出力された制御信号の出力点の様子を図(3)-30に示す。計測には、オシロスコープの電圧プローブと同様の形状のプローブを用いた。APF実機モデルのイメージを図(3)-31に示す。高調波除去の流れを以下に示す。

- ・ 系統から高調波電流を検出
- ・ dSPACE を用いて AD 変換しパソコンに入力
- ・ パソコン内で計算を行う
- ・ dSPACE を用いて DA 変換しインバータに信号を入力

- ・インバータから補償電流が発生
- ・補償電流を系統に注入
- ・系統の電流が正弦波になる

APFの主回路部分はIGBTインバータであり、ここで補償電流の生成を行う。



図(3)-27 APFの制御モデル



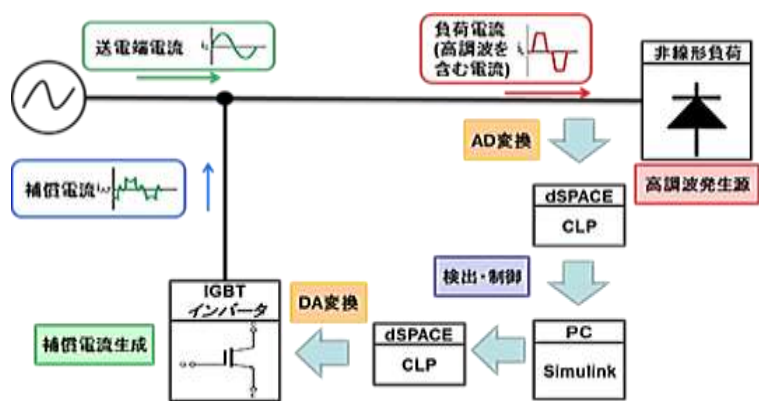
図(3)-28 CLPの様子



図(3)-29 センサからの計測値と  
プローブの接合点



図(3)-30 センサからの計測値の入力



図(3)-31 APFの実機モデルのイメージ

### 3) APF実機の動作試験

製作したAPFの動作試験を行った。試験内容は、高調波発生負荷により発生した高調波をAPFにより除去することとし、電流波形をより正弦波に近づけることを目標とした。試験の手順を以

下に示す。

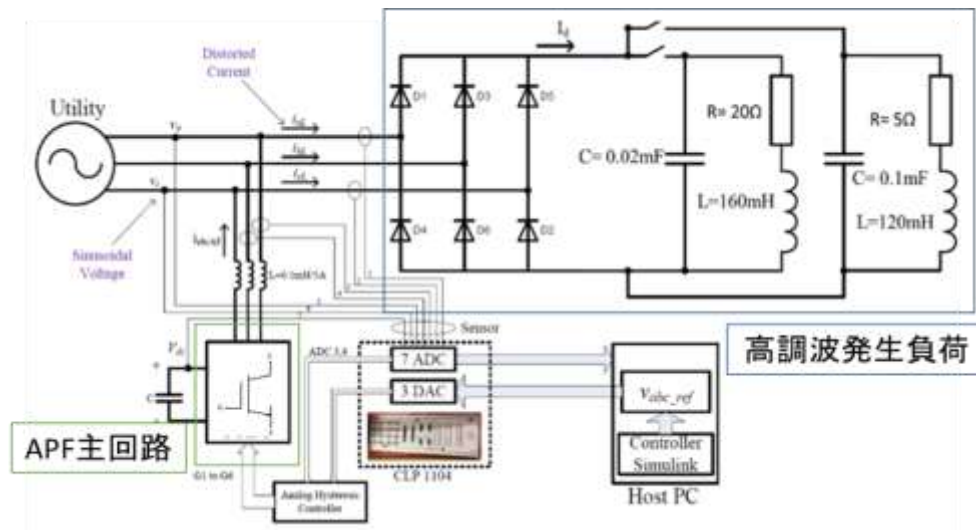
- ・ 電力品質アナライザにより高調波の発生を確認する
- ・ Matlab の Simulink を起動し、制御系演算部を動作させる
- ・ インバータを動作させる
- ・ 電力品質アナライザにより高調波の除去を確認する

図(3)-32にAPF実機の回路図を示す。

試験に用いる高調波発生負荷の高調波を確認するためHIOKIの電源品質アナライザを用いて系統の高調波電流の高調波成分を測定した。図(3)-33にA相、図(3)-34にB相、図(3)-35にC相で発生している各次数における高調波の割合を示した。各相での割合は異なるが、共通して5次、7次、11次の高調波が多いことが確認された。図(3)-36に高調波発生時の系統の電圧、電流の波形を示す。図中の上段の三相交流波形は、電圧波形であり下段の三相交流波形が電流波形である。電流に高調波が含まれており、正弦波とは程遠い波形になった。また、図(3)-37、38、39、にA相、B相、C相で発生している各次数における高調波の割合を示した。表(3)-9にA相、B相、C相のAPF動作前と動作後のTHDの比較を示した。

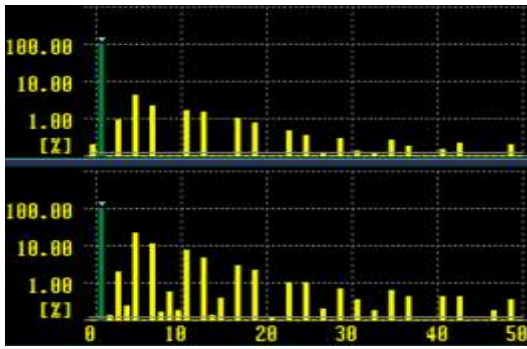
APF動作前後の各相のTHDに関して考察する。A相では26.36%から12.21%となり14.15%削減された。B相では24.91%から15.25%となり9.66%削減された。C相では26.06%から13.56%となり12.47%削減された。以上の事から、APF動作時に電流波形が正弦波に近づいたと考えられた。

APF動作前には低次数の高調波のみ観測されたが、動作後は高次数の高調波も観測された。これはAPF主回路のインバータの出力先にあるリアクトルのインダクタンスが小さいためであると考えられた。しかし、様々な機器に対して悪影響を及ぼす低次数（5次、7次、11次）の高調波は、APF動作後大幅に削減されたので、APF実機による高調波削減は成功したと判断できた。

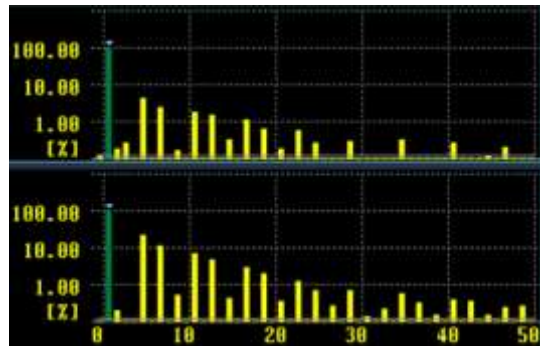


図(3)-32 APF実機全体の回路図

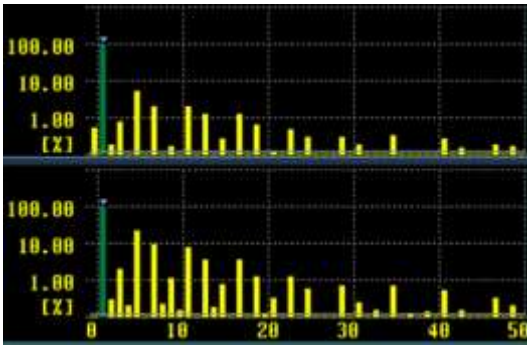




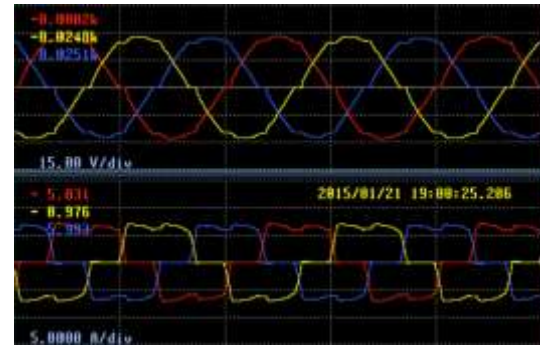
図(3)-33 A相の高調波



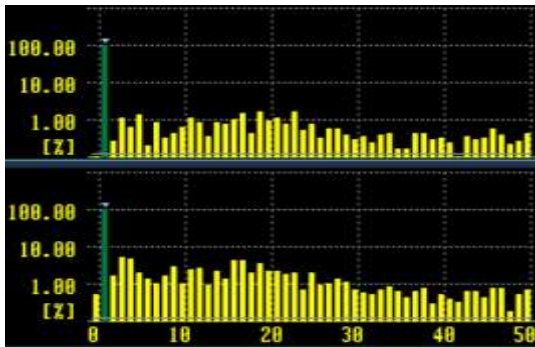
図(3)-34 B相の高調波



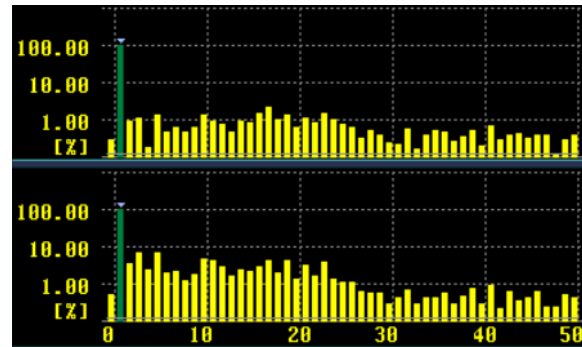
図(3)-35 C相の高調波



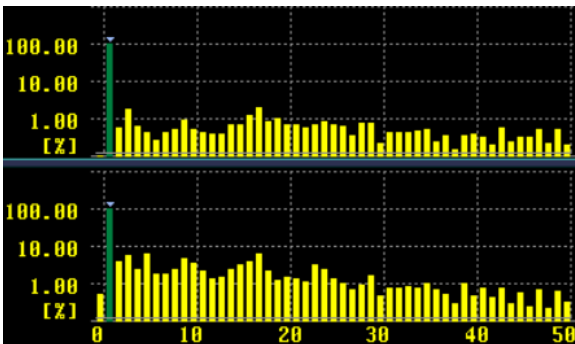
図(3)-36 系統の高調波の波形



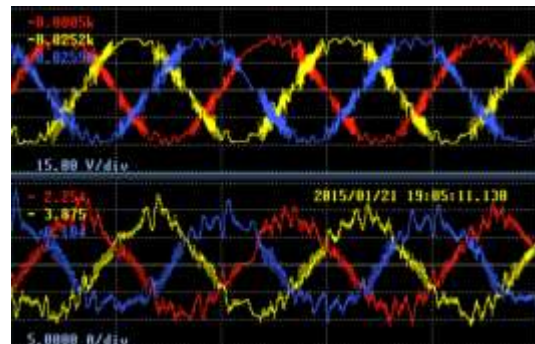
図(3)-37 APF動作後のA相



図(3)-38 APF動作後のB相



図(3)-39 APF動作後のC相



図(3)-40 APF動作後の系統の様子



表(3)-9 APFの動作前後のTHDの比較

THD	動作前	動作後
Phase A	26.36%	12.21%
Phase B	24.91%	15.25%
Phase C	26.06%	13.59%

#### (4) 規程の見直しに注目した課題の抽出・検討

##### 1) 法規的動向・課題抽出

このもたせ型エネルギーシステムの最適形態は特定供給が望ましい。その特定供給について、経済産業省は自家発電設備の新規投資家の参入を期待し、2013年12月に規制緩和措置を決定した。これまで特定供給には、

- ・ 供給団体は需要量のすべてをまかなう設備が必要であった点
- ・ 発電設備に蓄電池や再生可能エネルギーが明記されていなかった点

が制度利用者にはハードルが高いものであった。規制緩和後はこの2点について、

- ・ 供給者は需要の50%以上をまかなう設備が必要である
- ・ 残りの50%以下は電力会社とのバックアップを認める
- ・ 蓄電池と組み合わせた再生可能エネルギーを供給力として認める

と変更となり、導入のハードルが緩和された。

本プロジェクトでは、供給地域の供給網は自営線を使用しなければならない、という条項に関しても改善が必要であると考えている。実装の際は、特例として既存の電力網の使用を提案する必要がある。

##### 2) 解決法等の提案（系統連系構想）

法規的課題抽出と並行して、本システムの実施の際に系統連系構想をまとめておく必要がある。現在、以下の4タイプを想定することができる。

###### a. 完全独立タイプ

多セルと連系せず、一つの独立したマイクログリッドとして、需給バランスの調整に努める。特定供給をそのまま適応できるが供給信頼度は低レベルとなっている。日本では、離島にこのシステムが適応されている。

###### b. BTB連系

本プロジェクトでの研究しているシステムであり、BTB連系により電力品質レベルの差別化と責任分界点を明確化している。非常時と点検時は既設電力会社からバックアップを行う。多セルで連系して電力融通を行うため、現時点で中程度の信頼性を得る事ができる。今後の連系方式・制御設計の検討で信頼性の向上を図る必要がある。

###### c. 交流連系A（電力会社管理）

セル内の電力需給の管理を電力会社が一括で行うケース。状況に応じて電力会社が制御・連系をとるため、供給信頼性は高レベルである。ただし、電力会社が求める技術要件に合わせる必要があるため、再生可能エネルギーの導入のハードルが上がり、分散型電源を主体とした供給には限界があると考えられる。

#### d. 交流連系B（特定供給）

特定供給や特定電気事業の拡大利用を図る。電力品質レベルの差別化と責任分界点を明確化するものの、新規事業者がセルを管理する。特定供給制度でも電力会社のバックアップが認められ、独立型のマイクログリッドを作成と基幹系統の共存方法と柔軟な制度拡張が必要になる。

### 5. 本研究により得られた成果

#### （1）科学的意義

- ・ 誘導発電機導入時の電力系統解析モデルを提案して、系統安定度の信頼性を評価した。これにより独立マイクログリッドの電源としての誘導発電機導入の上限を明らかにした。
- ・ パワーエレクトロニクス機器を活用した電力系統の運用方法を提案した。実験装置を通じた評価により、その運用の可能範囲を評価した。これにより、電力品質を改善できることを示した。
- ・ 電力系統の設備形成と運用に関して法令的な面から検討を行い、提案するセルの導入可能性および課題について示した。

#### （2）環境政策への貢献

- ・ 再生可能エネルギー資源に基づく電力系統設備の形成および運用方法を提案した。システムは、運用への地域住民の参加が容易で、かつ低コストの構成とした。さらに機器の制御ロジック、電力品質、法令面などの多角的な面からの課題抽出と検討を行い、地域事情に即した設備形成と運用が可能となること、環境負荷低減にも貢献する電力供給システムが実現可能であることを示した。

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 周波数情報による自律制御と安定供給指標制御の機構を開発し、50kW規模以上の独立マイクログリッドと電力品質が異なる独立グリッドの連系が実現できることを示し、再生可能エネルギーの効率的開発やレジリエントな社会づくりに貢献する大規模災害時等の状況に対応できる独立電力システムを提示した。

### 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

### 7. 研究成果の発表状況

#### （1）誌上发表

##### <論文（査読あり）>

- 1) Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: IEEE Power and Energy Technology Systems Journal  
“PV-Active Power Filter Combination Supplies Power to Nonlinear Load and Compensates Utility Current “ (Accepted)

- 2) Nguyen Duy Dinh, Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: IET Generation, Transmission & Distribution “Adaptive Notch Filter Solution under Unbalanced and/or Distorted PCC Voltage for 3-phase 4-wire Shunt Active Power Filter with Sinusoidal Utility Current Strategy” (Accepted)

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 星野友祐、一松祥右、Arwindra Rizqiawan、藤田吾郎：電気学会平成 25 年全国大会、No.1-013（2013 年 3 月）  
「マイクログリッド検討用実験装置の開発」
- 2) 金子直樹、星野友祐、越川博文、藤田吾郎：電気学会平成 25 年全国大会、No.6-145（2013 年 3 月）  
「もたせ型エネルギーシステムの自律分散制御」
- 3) T. Hoshino, G. Fujita: 2013 48th International Universities Power Engineering Conference (UPEC2013)', 2-5 Sept. 2013  
"Visualization of electric power by module-type power system training device"
- 4) N. Kaneko, G. Fujita: 48th International Universities Power Engineering Conference (UPEC2013)', 2-5 Sept. 2013  
"Autonomous decentralized control of preserving-type distributed energy system"
- 5) N. D. Tuyen, G. Fujita, T. Funabashi, M. Nomura: 48th International Universities Power Engineering Conference (UPEC2013)', 2-5 Sept. 2013  
"An integrated function of photovoltaic generator supplying to nonlinear load: Active power filter"
- 6) Junpei Takehara, Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: The 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2014), APE-0670 pp.1462-1467, Jeju, Korea, May. 2014  
“Controller Design for PV-Active Power Filter Combination Based on Instantaneous Power Theory”
- 9) Nguyen Duc Tuyen, Junpei Takehara, Mohd Nabil Bin Muhtazaruddin, Goro Fujita: The 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2014), APEP-0657, pp.1484-1489, Jeju, Korea, May. 2014  
“Adaptive Notch Filter: A Solution for 3-phase 4-wire Shunt Active Power Filter under Non-ideal”
- 10) Naoki Kaneko, Yuki Saito, Tomohiro Hoshino, Goro Fujita: The 20th International Conference on Electrical Engineering (ICEE2014), PSMSA-1195 pp.105-108, Jeju, Korea, May. 2014  
“Stability analysis of Preserving-type energy system”
- 11) Nguyen Duc Tuyen, Toyokawa Keisuke, Goro Fujita: Grand Renewable Energy 2014, P-PV-2 20, Tokyo, Japan, Jul. 2014

“PV Unit Supplies Non-Linear Load”

- 12) Kenta Katano, Naoki Kaneko, Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita: Grand Renewable Energy 2014, P-Sh-5, 2014 Tokyo, Japan, Jul. 2014

“Verification of Small Hydroelectric Generation Model Using the Measured Value”

- 13) Nguyen Duc Tuyen, Goro Fujita, Mohd Nabil Bin Muhtazaruddin: IEEE PES General Meeting Conference & Exposition, Washington, USA, Aug. 2014

”3-Phase 4-Wire Shunt APF under Non-Ideal PCC Voltage Using Adaptive Notch Filter”

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

- 1) 展示会 JECA FAIR 2013（東京ビックサイト）での展示（2013年5月29～31日、サブテーマ3の研究内容・実験機器の紹介）（参加者数約100人）
- 2) 国際会議 ISAP2013（明治大学駿河台キャンパス）での展示（2013年7月1～4日、サブテーマ3の研究内容・実験機器の紹介）（参加者数約10万人）
- 3) 電力供給への自然エネルギーの導入と課題（2014年3月11日、芝浦工業大学豊洲キャンパス、参加者48名）
- 4) グリーンイノベーション EXPO での展示（東京ビックサイト）での展示（2014年11月12～24日、サブテーマ3の研究内容を中心とした本プロジェクトの研究成果の紹介）（参加者数約3万人）
- 5) ENEX / Smart Energy Japan 2015（東京ビックサイト）での展示（2015年1月28～30日、サブテーマ3の研究内容を中心とした本プロジェクトの研究成果の紹介）（参加者数約5万人）

## 8. 引用文献

- 1) 電力時事問題研究会（2012）「知っておきたい電気事業の基礎 再生可能エネルギー・安定供給・電気料金」
- 2) NEDO 新エネルギー技術開発部系統連系技術グループ、諸住哲（2008）「スマートグリッドとNEDOのスタンス」
- 3) 合田忠弘、諸住哲（2011）「スマートグリッド教科書」
- 4) Civil Engineering Consultant VOL.234 January 2007（2007）「水に浮かぶ町「柳川」福岡県柳川市」

- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構（2005）「太陽光発電システム等国際共同実証開発 太陽光発電系統連系システム効率化技術実証研究（冷水 PV+DG+新型蓄電池）」
- 6) 東京電機大学出版局、町田武彦（1999）「直流送電工学」
- 7) 経済産業省、デマンドレスポンス（Demand Response）について
- 8) 社会法人電気協同研究会（1999）、電気事業連合会調べ電気協同研究第 54 巻第 6 号「電力設備へのパワーエレクトロニクス技術の応用と将来動向」
- 9) 淀川変圧器株式会社「高調波対策のご提案」
- 10) 株式会社伸和技研 製品紹介「高調波とは」
- 11) Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, Mauricio Aredes “Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning” February 2007, Wiley-IEEE Press
- 12) Myway[[http://www.myway.co.jp/products/pe\\_inverter/mwinv\\_1r022.html](http://www.myway.co.jp/products/pe_inverter/mwinv_1r022.html)]
- 13) 日経エレクトロニクス（2009）「高速が特徴のヒステリシス制御、電源制御方式の主役に躍り出る」、6月15日号.

#### (4) 開発・運営主体の形成と評価

特定非営利活動法人協同総合研究所 研究員  
特定非営利活動法人協同総合研究所 研究員

管 剛文  
楠野 晋一

平成24～26年度累計予算額：25,434千円

(うち、平成26年度予算額：6,999千円)

予算額は、間接経費を含む。

#### [要旨]

本サブテーマは社会学的領域（地域社会学・協同組合論）と経済学的領域（環境経済学）の2領域から構成される。両者とも「もたせ」の含意を重視し、以下のように課題を設定して、結果を得た。

社会学領域では、第一に中山間地域に居住福祉の向上と仕事の創出に寄与する非営利型の事業組織のあり方(担い手と組織要件)、第二にそうした取り組みの源泉となる地域自治組織の様相、第三にこれらの事業を支える社会的協働・ネットワークの形成について検討した。また、ドイツ（市民エネルギー事業組織拡充の動向と背景）、イタリア（経済的不利益地の居住福祉を高めるコミュニティ協同組合の登場と背景）から日本に活かせる仕組みも探った。

その結果、第一については、①シングルステーク型のワーカーズコープ（仕事創出、ディーセントワーク、コミュニティへの貢献の達成が見込まれる事業組織）、②マルチステークホルダー型協同組合（上記+都市部との連携、利用・出資組合員等多様な関わりの包摂が見込まれる事業組織）の有効性を明らかにした。第二については、歴史的にコモンズ資源の管理を担ってきた大字や旧村単位（町村制施行直後の行政村）の地域組織の潜在的可能性と、それらをやや広域にたぐ市民事業組織との連携の必要性が明らかとなった。第三については、行政との協働のあり方として、コミュニティ事業組織の支援手法とその留意点を明らかにした。

経済学領域では、事業収入と剰余が地域内に留まる（再投資される）仕組みを調査・分析するとともに、現地調査によるエネルギー経済の実態把握に基づく化石型エネルギーの非化石型エネルギーへ転換による地域経済に対する影響をケーススタディ地区を対象に試算した。その結果、地域主体で取り組む再生可能エネルギー事業が、外部資源・外部資本に依拠した従来の地域経済と比較して、地域内の経済循環を拡大、活発化することを明らかにした。

#### [キーワード]

協同、マルチステークホルダー、コミュニティ協同組合、小さな経済、地域内経済循環

#### 1. はじめに

本サブテーマは、「もたせ型」の含意を重視した上で二つの課題に取り組んだ。第一は、様々な形で疲弊が議論される地域社会において、住民自治、居住福祉、仕事の創出等、「持続可能な社会」の形成を可能とする、再生可能エネルギー事業構築の要件を描き出すことである。第二は、そうした事業組織を軸として地域経済を再構成した場合、どのように地域における経済的価値の



創出と循環がどのように生まれるかを試算し、その効果を明らかにするとともに、それが現実化するための諸条件を考察することである。

考察では、「希少資源の分かち合い」とともに、痛みやマイナスの分かち合いを含む協同組合的発想との親和性が大きい事業体、地域社会（市民組織含む）、行政それぞれの機能・役割とともに、それらの相互連携にあり方について検討した。

## 2. 研究開発目的

### （1）社会学的領域（地域社会学・協同組合論）

農山村地域における暮らしの環境の向上と仕事の創出に寄与する非営利型の事業組織のあり方（担い手と組織要件）を検討・整理し、取り組みの源泉となる地域自治組織の実態を把握した上で、地域の再生可能エネルギー事業の可能性と課題に提起して、事業を支える社会的協働・ネットワークの形成（行政との協働、地域間連携含む）のプロセス構築と施策を提示する。

### （2）経済学的領域（環境経済学）

事業収入と剰余が地域内に留まり、再投資される仕組みを解明し、ケーススタディ地区を対象に地域のエネルギーのフローと経済を把握して、化石型エネルギーの非化石型エネルギーへ転換による地域経済への影響を分析する。

## 3. 研究開発方法

### （1）社会学的領域

第一に、分散エネルギーシステム開発の運営主体となる組織の形成・形態について最適と思われる事業組織要件を、先行研究から導出した上で、その要件の妥当性等を国内外の事例（エネルギー事業を行っていないケースも含む）から確認し、地域における分散エネルギーシステムでは、農山村エリアでの集落を基盤とし、そこを中心に暮らしのニーズ対応、仕事創出、出資を始めとする資金循環の流れを形成するのが望ましいという前提で、地域でのさまざまな課題の発掘と再生エネルギー資源活用との結び付け、地域社会の関心醸成や合意にむけたワークショップ、コーディネート主体の活動等に関する先行研究のレビュー・分析と事例の調査分析を行った。

第二に、再生可能エネルギー開発事業における国内法人という条件下で類型別長短を分析し、さらに事業の担い手として、地域社会との親和性の高い組織が望ましいとの前提を踏まえ、地域の重層的構造を明らかにするとともに、その各層の地域社会における役割・機能を整理した。また、それぞれの層の優位性がより効率的な形で発揮されるための、社会的な条件整備について検討するために、①国内の自治体等の事例を把握して、そこから導出される支援の必要事項を析出し、②海外の事例（イタリア・ドイツ）から地域のイニシアティブ発揮に対する支援を目的とした政策の内容を把握して支援策展開にあたっての課題を整理した。

### （2）経済学的領域

ケーススタディ対象地区のエネルギー（電力・電気機器・ガス・灯油・薪など）事業者に対し、①従業員数（雇用数）、②仕入れ先（業務受注先）と量・金額、③販売先（業務発注先）と量・金額についてヒアリング調査を行った。

さらに、再生可能エネルギー開発の直接・間接効果を経済的な観点から分析評価をするために、需要者（住民、事業者）を対象に追加ヒアリング、アンケート調査を実施するとともに、エネル

ギー関連資料を収集して、地域のエネルギーの需要構造を分析し、地域内の資源利用によるエネルギーの化石型から非化石型への転換による効果（正負）を試算した。

4. 結果及び考察

(1) 開発・運営主体の形成と評価

1) 地域再生可能エネルギー事業展開の期待

a. 地域の現状と再エネ事業の可能性

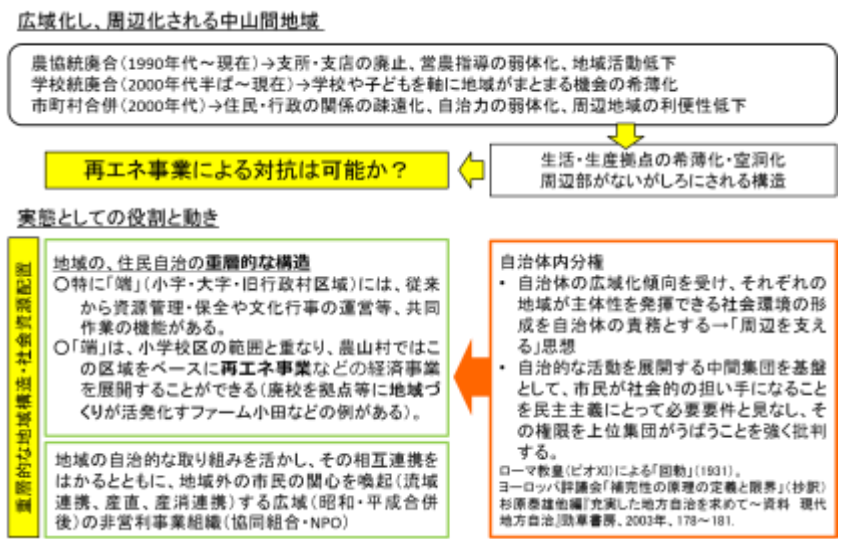
図(4)-1は中山間地における社会的資源の配置を三つの動きから関連づけたものである。

第一は、動きは、「端」（小字・大字・旧行政村区域）を基盤として、部分的に残る共同的な機能を維持・拡充する動きである（財産区や水源・森林等の地域資源管理を担ってきた地域組織が主体）。

第二は、これら「端」の動きを政策的に支援する動き、つまり「自治体内分権」である。その際、留意すべきは、この「自治体内分権」がヨーロッパ型の「補完性原理」によって裏打ちされ、「端」の組織の主体性・主導性を尊重し、その発揮を支えるスタンスに立っているという点である。

第三は、こうした「端」の組織が、行政のみならず近隣の組織や、より広域に結ぶネットワーク（NPO、協同組合等の市民主体の非営利活動の担い手）と連携することで、より大きな潜在力の発揮が可能となる動きである。

日本では、こうした自治体内分権の考えが、「意思決定」と「実践への関与」を一体化させた参加概念として展開することで下記のような三つの効果を生んでいる。



図(4)-1 地域の現状と地域再生エネルギー展開の期待

- ①実践的な場面に関わることで、関係者からの様々な意見に触れ、問題点に遭遇しながら事柄への理解を深め、判断根拠が徐々に形成。
- ②実践の場面においても、協議、判断、交渉、合意の模索は伴うため、そこで経験される葛藤や対話が、地域社会へのコミットメントを深め、参加の手ごたえや交渉相手を尊重する社会

関係が生まれる。

- ③このような社会関係に依拠した地域運営は、効率性においても人々の満足度においても高いパフォーマンスを生み出すことができる。

図(4)-1に見た三つの動きが連動して、図(4)-2に見るように、「小さな経済」「中規模経済」とが、土台となる住民自治と切り離されない形で連携し、それを自治体はじめ公共団体が「補完性原理」に則って支える仕組みが求められる。小田切の「暮らしのものさし」、「暮らしの仕組み」、「カネとその循環」を相互に関連づける中から、地域が内包していた従来の価値に新しい価値（経済的価値のみならず、文化的価値、環境的価値、人間関係的価値）を接続していく仕組みが生み出せるとする（「地域づくりのフレームワーク」論）指摘<sup>1)</sup>を参考にすると、「小規模な所得形成機会」（小さな経済）が生まれるが、それを持続的に支える事業組織（そこでは若者の本格雇用が生まれる）「中くらいの経済」が必要と考えられる。1990年代以降、中山間地域を中心に様々な形で広域化が進むと同時に、地域の凝集力が空洞化してきた。農協統廃合は、支所・支店の廃止、営農指導の弱体化、地域活動低下をもたらした。学校統廃合は、地域社会が日常的に子どもと関わる機会を希薄化した。さらに市町村合併の進行は、住民・行政の関係の疎遠化、自治力の弱体化、周辺地域の利便性低下を招いたとされる。

こうした現状に対し、地域における重層的な自治の構造を活かしつつ、それを、より広域の地域組織（行政）が支える仕組みが構想、実践されている。おおむね、三つのベクトルが見いだせる。第一の、住民自治の重層的な構造を再構築する動きである。第二は、地域の自治的な取り組みを活かし、その相互連携をはかるとともに、地域外の市民の関心を喚起（流域連携、産直、産消連携）する比較的広域の非営利事業を展開する動きである。第三は、自治体内分権の仕組みづくりである。再生可能エネルギー事業はこの三つのベクトルのいずれをも促進する可能性を秘めている。

上記のような形で中山間地の主体化モデルを描いた上で、次に、実際の地域組織がどのような形で主体化するかを事項、事例でたどった。



図(4)-2 地域における各主体の相互関係

## b. 事例（共和の郷・小田）

地域づくり・地域事業の主体を形成する場としての重層的な地域組織「共和の郷・小田」（東広島市河内町小田地区）では、市町村合併や学校統廃合により、住民・行政の関係の疎遠化や自治力の弱体化が懸念される中、旧村や大字単位で地域づくりの組織を再生しようとの動きが活発化している。同地域は、地域づくりの事例として様々な視点で取り上げられることの多い地域だが、ここでは大字の単位で住民自治と多様な経済活動とを連携させている点に着目した。ファーム小田の組織概要は下記である。

**i. 自治組織発足の経緯**

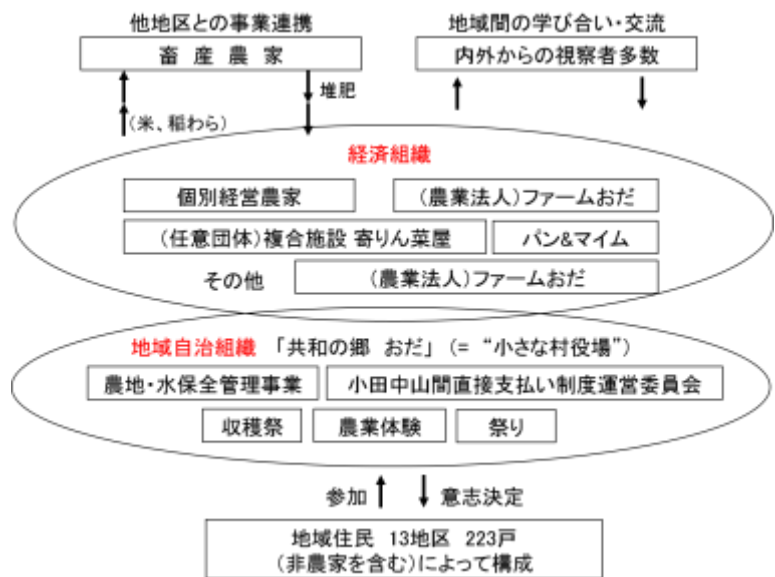
同地域は、1873年、小田小学校の前身である研智舎を建設するほど、結束力の高い大字であるが、この後すぐに1889年町村制施行によって豊田村の小田地区となった。今日の「共和の郷」の経過は下記のとおりである。小田地区の地域自治組織「共和の郷」は旧小学校区に所在する13地区全戸（住民237戸598人 2011年時点）から構成される自治組織である。同自治組織は小田小学校の統廃合（2004年）の前年2003年に「疑似役場を作る」との意図で発足した。歴史的な経緯から見ても、学校統廃合をきっかけとして、住民の結束が強まったと推察される。同自治区は、農村振興、文化、環境保全、福祉等、「村役場」になぞらえた8部門を持ち、住民が地域構想を話し合ったり、その具体化のための諸活動や学習活動を、旧小学校を拠点として展開している。

**ii. 事業組織と自治区の関係**

この自治組織のもと、事業組織として農事組合法人「ファームおだ」、直売所「寄りん菜屋」、パン工房・カフェ・里山体験「パン&マイム」等を展開している。このうち、農事組合法人「ファームおだ」（2005年設立）の構成員は128戸で地区の世帯の半分以上をカバーしている。また従事組合員（雇用）49名にのぼる。経営面積84ha。「寄りん菜屋」は、農産物直売所、レストラン、餅・惣菜加工所の3つの複合施設で10名の雇用を生んでいる（年間人件費1000万円）。

農事法人「ファームおだ」を牽引する吉弘氏は、事業組織と自治区の関係を図(4)-3に見るとおり、「2階建て」と称する。一階部分は自治組織、二階部分が大小の経済活動を意味する。例えば、農事法人「ファームおだ」の立ち上げに際しては、一階部分の「農村振興部」での検討（半年で50回の会議！）を経る等、一階部分での丁寧な合意形成が諮られる。

以上のように、地域社会の課題を出し合い、その解決を図る住民自治の組織と、その住民自治の中から生み出された経済組織との関係は、「もたせ」を基調とする再生可能エネルギー事業の枠組みを考える上でも、示唆的な取り組みと考えられた。



図(4)-3 共和の郷 小田の2階建て構造

**2) 地域社会が重視すべき要件**

**a. 資源管理組織像**

①事業体の意思決定において地域住民の意向を反映できる仕組み、②地域住民の多くが地域課題の発見や議論、解決にむけた活動に参加し得る組織、③事業による便益の大部分を、地域の暮らしの向上に活用できる仕組み、④事業に関わる日常的な業務運営（有償）にも、地域住民が優先的に関わる仕組み、⑤自治体との連携を可能とする公共性の高い性格、⑥将来世代が持続可能

な形で地域資源の活用が可能となるよう配慮することを重視する必要があるという視点から、資源管理組織の要件を考察した。

①～⑥を重視する場合、その担い手となる事業組織には、以下の要件が求められる。

第一は、事業段階においても参加の自由度が高いことである（閉鎖型の地縁財団組織はこの点で、新規メンバーを入れない等の点で課題がある）。

第二は、地域住民のコントロール下で経営・管理を担い、その恩恵もリスクも自ら担うことで、持続可能な地域資源の利用をはかるのであれば、出資の多寡にかかわらず、意思決定において様々な意見を反映しうる一人一票型の機構が求められよう。

第三は、剰余の分配についての制限である。投資目的のみの外部出資者が多数となれば、事業の安定性に懸念が出るが、たとえ地元出資者が多数派だったとしても収益分配を主目的とすれば、次世代配慮やFIT以降の地域づくり、事業構想への再投資が危うくなるからである。

以上から、地域課題の共有や解決への志向、学習・文化活動の重視、地域のより多くの関係者による関わりやすさ、対等平等な社会関係に基づく意思決定、公共性の高さや収益分配の抑制、生協との連携等、事業組織の選択にあたっては、協同組合的な組織の適合性が浮上してくる。先行研究の示唆を含め、上記を織り込んであらためてその組織要件を整理すると、以下のようになる。

- ① 地域住民の多くが地域課題の発見や議論、解決にむけた活動に参加し得る組織
- ② 事業体の意思決定において地域住民の意向を反映できる仕組み
- ③ 事業による便益の大部分（orはすべて）を、地域の暮らしの向上に活用できる仕組み
- ④ 事業に関わる日常的な業務運営（有償）にも、地域住民が優先的に関わる仕組み
- ⑤ 公共性の高い性格
- ⑥ 将来世代が持続可能な形で地域資源の活用が可能となるよう配慮

日本においては、こうした条件を何らかの形で充足するような地域組織が、かつては濃厚に、また現代でも弱体化しているとはいえ、部分的・断片的には維持されているケースも少なくない。さらに、平成の市町村大合併以降は、こうした地域組織の再生が模索される動きも各地で活発化する方向にある。しかしながら、そうした動きに対応した事業組織制度や支援制度（社会的インフラ）は、一部の先進的な自治体を除いては希薄である。

一方、環境エネルギー政策研究所は、「地域の人々がオーナーシップをもって進める自然エネルギーの取り組み」を「コミュニティ・パワー」と呼び、その成立要件として、下記三つの原則を挙げた上で、このうち、二つを満たせば「コミュニティ・パワー」と見なすとし、この原則を充足する事業組織としてドイツのエネルギー協同組合の急速な成長（2006年の66から2011年の586）に着目している<sup>2)</sup>。

- ① 地域の利害関係者がプロジェクトの大半もしくはすべてを所有している。
- ② プロジェクトの意思決定はコミュニティに基礎をおく組織によっておこなわれる。
- ③ 社会的・経済的便益の多数もしくはすべては地域に分配される。

さらに、山下は上記の三原則は「発電側の地域コミュニティ」を想定した「狭義の三原則」であるとし、これに「広義もしくは小売・需要家側」を加えた上で、あらためて、供給側の第四原則として「電源の大半をCPプロジェクトから調達している」を加えるとしている<sup>3)</sup>。再生可能エネルギーの探究が、再生可能エネルギーの創出はもとより、エネルギーの需要構造を変革していく

ことを重視するならば、需要側の組織化、特に自らの地域ではエネルギーが自給できない地域が、エネルギー供給地域とどのような関係を結び得るかが重要課題となる。

また、「自然エネルギーの利用に取り組むことは、地域の将来を考えることに直結する」とし、地域住民による「自然エネルギーの価値」への理解を促すこと、「地域産業とのかかわり方」を視野に入れること、「自然エネルギー資源開発・運営を地域に定着」させることが必要だとした上で、そのような事業体の経営形態、およびその事業体を支える地域の体制等、社会的な諸条件を明らかにすることが重要とする指摘<sup>4)</sup>などを参考にすると、次のような事業組織や事業環境の条件が課されると考えられる。

第一に、地域がそうした事業への関心を深めるには、地域住民の学習運動（かつての「担い手」からの聞き書きや郷土資料の発掘等）、文化活動等、社会教育領域との連携が必要である。

第二に、地域の将来を描く視点に立って現在の地域課題を出し合う議論の場が欠かせない。

第三に短期的な優遇政策に左右されず、将来世代に対して責任のもてる持続的な取り組みとする発想が求められる。

このような検討から、供給側の三つの条件、第一に地域関係者からの共感・協力の調達、第二に意思決定がコミュニティを基礎に置いたものであること、第三に便益を地域で配分することに加え、こうした取り組みを、制度や電力会社の意向に左右されずに、より安定させ、再生可能エネルギーを経済的・社会的な循環の中で強化していくために、第四として、生協等の都市側（需要側）組織との連携構築が必須であることが確認できよう。

## **b. 事例（やまがたグリーンパワー）**

パルシステム東京が2013年4月より、続いてパルシステム神奈川ゆめコープが2013年7月よりPPS（株）「うなかみの大地」からの電力購入を開始した。「うなかみの大地」はパルシステム東京が設立した子会社であり、同社が（株）「やまがたグリーンパワー」からさくらんぼ剪定材等を用いてバイオマスにより創出した電力を購入し、需給管理等を行った上で、パル生協の配送センターや事業所等に、電力を供給している（2014年3月時点でパルシステムグループ全体の事業所電力需要の60%をカバー）。なお同グループでは電力小売り自由化を受け、今後は生協組合員家庭での電力の再生可能エネルギーの切り替えもめざすとした。

パルシステムに限らず、需要サイドからの組織的な動きとして、生活協同組合の動きが活発化している。例えば、2014年12月には、再生可能エネルギー供給側の全国組織と並んで、需要側組織である全国消費者団体連絡会、日本生活協同組合連合会、みやぎ生活協同組合、コープネット事業連合、生活クラブ事業連合生活協同組合連合会、パルシステム生活協同組合連合会、大阪いずみ市民生活協同組合、生活協同組合コープこうべ等も呼びかけ人となり、「自然エネルギーで豊かな日本を創ろう！アクション」の取り組みが発足した。同年9月以降、九州電力はじめ、北海道、東北、四国電力が、再生可能エネルギー発電設備の連系接続の申込みに対し回答を保留するなど、再生可能エネルギーの広がりを阻む動きがあることに懸念の声が強まったことだった。

## **3）再生可能エネルギー事業組織の検討**

### **a. 地域の重層的な構造と組織としての妥当性**

重層的に構造化している地域自治体の活発な取り組みが一般化しているわけではないことはいうまでもない。したがって、地域ごとに、どのような組織的な資源があるか、それぞれの実情に



みあった地域自治の基盤を見出し、それを育てていくことが必要となる。

### i. 基礎となる地域組織

それでは、地域資源の管理・運営を住民のイニシアティブで展開する際、基礎となる地域組織とはどのようなものか。以下、図(4)-4の五つの区域を見ていくこととする。

小字は、日常的な社会関係（声のかけ合い、おすそわけ等の交流、除雪や清掃等の協同作業）がベースにあり、生活課題を出し合う場として機能している（10～20世帯の規模）。

大字は、財産区や惣有（コモンズ）組織と重なるため、地域の資源管理・保全の慣習・ノウハウが蓄積している。「共和の郷，小田」はこの単位で構成されている（財産区（地域資源に関わる意思決定）、惣有組織、氏子集団（神社、祭））。

旧行政村は（旧）小学校区の範囲と重なり、農山村では現在でもこの区域をベースとして廃校を拠点にする等地域づくりが活発化の可能性が大きいとされる単位である。まちづくり協議会（域内での開発行為への規制、街並み保存）、自主防災組織との重りも多い。

昭和の町村合併後の区域は、平成の市町村合併の前後から地域自治組織づくりが取り込まれ、まちづくりの議論・提案母体として機能しているケースも散見される。（改正地方自治法や自治体独自条例に依拠し、地域自治区、地域自治組織を構成。福祉領域の地域包括支援単位とも重なる）

2000年代の平成の大合併で生まれた広域の市（現在の基礎自治体）は、それがエネルギー需給の基礎単位（セル）となるには大きいため、セルどうしを結ぶ等、地域の諸資源をネットワークする協同組織、あるいは流域単位等、より広域で活動する協同組織（協同組合、NPO等）が想定される。

### ii. 各地域組織の特質と、再生可能エネルギーの事業主体に求められる要件の充足度

いずれの組織も事業の担い手と成り得るが、前述の要件に照らしてみると、それぞれ課題がある。ここでは、①～⑥の要件のうち、「①地域住民の多くが地域課題の発見や議論、解決にむけた活動に参加し得る組織」と「②事業体の意思決定において地域住民の意向を反映できる仕組み」をひとくくりにし、①議論・意思決定への参加、②事業の運営・管理への参加、③便益の地域還元、④持続可能性、⑤公共性の五点について、どのような充足状況にあるか、1点～5点（「条件の充足度高い」（5点）、「充足度やや高い」（4点）、「充足度、特に高いとはいえない」（3点）、「充足度やや低い」（2点）、「充足は期待できない」（1点））で評価を試みた。

小字をはじめ、狭域組織ほど、議論・意思決定の参加度合いが強く、また大字は資源管理の母体となる財産区とも重なり、持続性への配慮も強い。他方公共性については、領域限定的であるため、充足度はさほど高くはない。これに対し、広域組織は、平成合併時に合併して広域化した昭和合併町村においては、「地域自治組織」等、制度活用をする際に、網羅的に住民への呼びかけがなされるため、参加の開放性が高くなる可能性を持つ。公共性については充足度が高いものの、参加性は弱まる。

このように、要件の充足レベルは多様だが、重要なのはいずれを選択するかではなく、それぞれの特性を活かし、弱点とする部分については、異なる層の地域組織と連携しつつ、補完し合う関係を作ることにある。

上記では、地域組織の重層的構造について見てきたが、再生可能エネルギー事業の実際の母体は、重層化された地域組織（表(4)-1の②「大字や旧村単位の地域自治組織」、③「地域の共有財

区域	町内会以外の地域組織との対応関係	要件と充足度(5段階評価)
小字 【組・班(回覧板届範囲)】	日常的な交流、共同作業	
大字 【町内会・自治会】	地域自治組織① 財産区(地域資源に関わる意思決定)、 惣有組織、氏子集団(神社、祭)	
旧行政村 (1888年町村制施行後の区域、旧小学校区)	地域自治組織② まちづくり協議会(域内での開発行為への規制、街並み保存)、 自主防災組織、小学校区・旧小学校区。	
昭和合併村 (1950年代町村合併後の区域)	地域自治組織③ 平成合併前後に組織された地域自治区(改正地方自治区や自治体独自条例に依拠、自主的組織も有り。福祉領域の地域包括支援単位とも重なる。)	
2000年代平成市町村合併(現在の基礎自治体)	地域の諸資源(自治体との連携含む)をネットワークする協同組織(協同組合、NPO)	

【要件と充足度の5項目】 ※1 議論参加・意思決定 ※2 事業の管理・運営への参加 ※3 便益地域還元  
※4 持続性・将来世代配慮 ※5 自治体・広域との連携

セル発送電最少単位  
再生エネルギー事業(小水力)・防災  
再生エネルギー(各種)事業(福祉/農林業)

「行政との協働組織」  
「自治体内分権」の新たなしくみ

図(4)-4 適切な開発運営主体-地域組織の評価

産管理組織」を中心としつつも、もう少し多様な広がりや展開を見せている。

例えば飯田市上村では、表(4)-1⑤の自治体が、地域で取り組む再生可能エネルギー事業に対し政策的な支援枠組みを用意しながら、表(4)-1②の旧村単位の地域自治組織に働きかけをし、地域自治組織が地域課題の解決を志向しながらその政策枠組み利用にむけて協議を重ねてきた。また木曾町日義地区では任意の住民活動団体(表(4)-1の①)が、環境教育の場の提供や里山制度等、多様な地域課題に取り組みながら、地域自治組織(表(4)-1の②)とも連携していた。ほうとくエネルギー株式会社は、表(4)-1の④にあたるが、自治体⑤との連携を念頭におきつつ、「報徳」の発想は、③の共有財管理組織の考え方を反映したものだ。「共和の郷」ファーム小田のように、②の大字単位の地区が強力な自律性を発揮する例もある。

このような検討から、最少単位「小字」は①に優れるものの⑤に課題を残し、また最大単位の「平成合併自治体」は⑤に優れるものの①③に課題を残す等、それぞれの要件について異なる充足度を有していることがうかがえた。ここから、いずれの要件の充足度も高い地域組織を土台としつつ、狭域方向には分権を、また広域方向には連携・ネットワーク化を図る必要性が明らかとなった。

以上のような基礎作業を踏まえ、各地の取り組みがどのような展開をしているかを把握したうえで、類型化を試みた。

表(4)-1 再生可能エネルギー事業の土台となる組織

土台となる組織	概要	リサーチ対象地域
① NPO、住民活動	食文化、福祉・子育て、耕作放棄地の活用、森林整備等、地域課題に取り組む住民活動が行われ、その一環として再生可能エネルギーの事業化に関心を持つ。	宮崎県五ヶ瀬町、山梨県道志村、長野県木曾町(日義)、高知県いの町
② 旧村単位の地域自治組織	市町村合併後、急速に周辺化の進む郡部旧村で、支所を中心としつつ旧村で構成する地域協議会、まちづくり委員会等が検討母体となるケース。売電収益を見込みつつ、地域社会における居住福祉の拡充をはかる。	長野県飯田市(上村)
③ 地域の伝統的な組織	惣有組織、報徳社等では、農地、水源、森林等、地域資源管理・活用(温泉供給等)での長期にわたる実績がある。	静岡県伊豆市持越、伊豆市船原
④ 地域志向の経済組織	従来から農協による電化協同組合が存在していたが、地元志向の中小企業、自営の事業者、商工会(青年部)、信用組合等地域金融組織が、地域内経済循環拡充の一環として再生可能エネルギーに関心を寄せる。	小田原ほうとくエネルギー株式会社、伊那市直売所グリーンファーム
⑤ 自治体(行政)	行政が中心となって、地域住民の側の関心の醸成をも課題として再生可能エネルギー事業に取り組む。	群馬県中之条町、福井県池田町、山梨県都留市

### c. 地域実践にみるコミュニティ・エネルギーの反映

上記で検討した要件をおおむね充足する方向での地域実践やそれを支えるインフラもすでに複数存在する。以下ではその典型例として、i. 「飯田市再生エネルギーの導入による持続可能な地域づくりに関する条例」に見るコミュニティ・エネルギーの考え方～行政からのアプローチ、ii. 木曾町日義地区における住民主体の里山整備と再生可能エネルギー事業(計画)の取り組み～住民からのアプローチ、iii. ほうとくエネルギー株式会社～地域の事業者団体からのアプローチ、の取り組みを示したい。

#### i. 「飯田市再生エネルギーの導入による持続可能な地域づくりに関する条例」にみるコミュニティ・エネルギーの考え方～行政からのアプローチ

飯田市では、2013年3月25日より「飯田市再生エネルギーの導入による持続可能な地域づくりに関する条例」(以下「新条例」と称する)を制定した。本項ではその背景、内容的な特徴について言及する。

飯田市ではすでに2004年から市民出資と地元金融機関の融資を活用して太陽光発電を実施してきた。飯田市によれば、「様々な主体が得意分野を活かして役割分担」をし、市は「全体が円滑に回るよう」政策環境の整備を行ってきたことが、事業の特徴であるとする。このスキームを土台とし、2012年7月に導入された固定価格買取制度を活用して、太陽光以外の再生可能エネルギーについても取り組んでいくことが、条例制定の背景にあったとする。

したがって、同条例の目的(第一条)の冒頭には、第一にこの条例が、「飯田市自治基本条例」に依拠して「様々な者が協働して」行うこと、第二に再エネを利用した「飯田市民が主体となって... (中略) ...持続可能な地域づくりを進めることを飯田市民の権利」とすること、第三にその権利保障のための必要な政策を市が定めること等が謳われており、「市民主体」「様々な者の協働」「市による政策整備」の三つがキーワードとされる。補完性原理の枠組みが明確に打ち出されているといえよう。こうした枠組みのもと、以下3つの特徴が見て取れる。

特徴の第一は、同条例が、「単に再生可能エネルギー事業」を推進するものでなく、「持続可能な地域づくり」を重視していることである。単に再生可能エネルギー事業の活発化することを目的と

するのではなく、担い手、資源、お金の「地域内循環」をベースとし、全国から寄せられる「意志あるお金」もファンドとして活用し、住み続けることができる地域を作っていくことに重点が置かれている。

第二は、第三条で「地域環境権」という概念を挙げ、これを「自然環境及び地域住民の暮らしと調和する方法により再生可能エネルギー資源を再生可能エネルギーとして利用し、当該利用による調和的な生活環境の下に生存する権利」と定義している点である。「地域の資源である再生エネルギーの利活用は、それをよく知っている地域が優先権をもつ分権型でなければならない」<sup>5)</sup>との観点から、「環境権」に「地域」を冠する発想は、エネルギー創出の担い手及びその利活用の主体がそこに暮らす人々にあることを、一層明確に示すための意思表示と推測される。

第三の特徴は、「地域環境権」の行使が「自然環境及び他の飯田市民が有する地域環境権と調和」し、「これらを次世代へと受け継ぐことが可能な方法」によって行使されること、「公共の利益の増進に資する」こと、「再生可能エネルギー資源が存する地域における」「地縁による団体（地方自治法第260条の2第1項）」もしくは「再生可能エネルギー資源が存する地域に居住する飯田市民が構成する団体」による「意思決定を通じて」行使されることを条件としている点である（第四条）。

以上、条例趣旨地からは、前述要件のうち、①②③④⑤⑥が反映されているとことがうかがえる。こうした制度環境のもとで、「地域自治組織」が中心となって小水力発電事業の取り組みをめぐる話し合いのもと、狭域的な自治組織「大字」から、広域的な平成合併自治体が「垂直的補完関係」を発揮しつつ、連携している同市「上村」地区の取り組みは旧村単位の事例といえよう。

## ii. 木曾町日義地区における住民主体の里山整備と再生可能エネルギー事業（計画）の取り組み～住民からのアプローチ

木曾町では、第1次木曾町総合計画（平成20～平成29年）中、「日本のふるさと・豊かな水と緑あふれる故郷、木曾～交流で輝く「夢の回廊」」を掲げ、その施策の一環として、バイオマスエネルギー、太陽光発電、小水力発電施設等の整備のための調査研究が位置づけられている。これを受け、2012年3月に「平成23年度木曾町小水力エネルギービジョン策定等調査業務報告書」を、同報告書では、地域特性に応じた六つの発電群を設定しているが、このうち「日義地区・観光／環境教育用発電群」及び「木曾駒高原・スマートグリッド区域」の二つの候補エリアの一部（日義地区元原、新開地区大原）をモデル箇所として選定し流量調査を実施している（流量調査開始は2013年2月）。

また独立した形で上記モデル候補の日義地区では住民主体の小水力発電を視野に入れた里山整備事業が先行的に進行している。ここでは住民組織からのアプローチで進行している事業について、前述した要件がどのような形で織り込まれているか見ていくこととする。リサーチ対象の活動は、2000㎡弱の土地における、環境教育エリアとしての整備事業（再生可能エネルギーの試行を含む）である。事業開始は2010年（平成22年）9月。事業主体組織は住民を代表とする任意団体「わんぱく村」である。その特徴は下記三点にまとめられる。

第一は、事業の担い手の多様性と公共性である。事業主体「わんぱく村」の構成員は、地権者11名を含む35名で、その内訳は、公民館長、自治会長、大工、昆虫学者、植物学者、森林組合、教育委員会、元中学校長、民生委員、建築設計士、製材業者、水利組合長、元中部森林管理局長、会社員、主婦等、極めて多彩で総合的な陣容となっている。後援組織として、日義小中学校PTA、

日義地区自治協議会、義仲の里花ばな運動、木曾のヒノキで家をつくる会が協力する。様々な関心・技を持った住民が個人として集うと同時に、制度化された地域組織（地域自治組織や水利組合等）や学校関係者等、公共的立場からの参加も厚い。

第二は、地域社会との深い関係づくりにある。例えば、地元小中学校の教員との接点の拡充である。「わんぱく村」の活動に共鳴した野外活動教育に熱心な地元小学校の教員が、自らの授業に「わんぱく村」での活動を取り入れるようになり、三年を経て、その教員の取り組みが学校全体の行事や授業にも波及、校長もボランティアで小屋づくり等に参加するに至っている。他にも近隣工務店の子息等が通う技術専門学校に学習機会として活用してもらいつつ建設した敷地内にある木造小屋、福祉関係の民間団体による敷地内の展望スペースでのビーズ作りの作業など、地域の人材や資源を様々な形でネットワークしながら作り上げてきた様子が見えてくる。

第三は、地域の、かつての暮らしや産業の掘り起こしが意識されている点である。「わんぱく村」では、太陽光（84W）、風力（600W）、水力（750W）といった環境教育施設としての「トリプル発電施設」が関係者の手で作成され、設置されている。太陽光や風力は既製品の利用だが、水車（下かけ型）は地元の大工の作である。同地域（宮ノ越）は、以前から農家が何軒かで水車を活用し、かつては「宮ノ越大工」と呼ばれる宮大工の集積地であり、地域の伝統的な暮らしや産業の掘り起こしの延長上に水車製作が位置づけられている点も特徴の一つといえる。さらに、6haにわたって、現況林地となっている畑を間伐することで「四季を通じて美的空間を創造」し、「木漏れ日のさす明るい多様な森と農耕の一体となった里山」を形成する見通しだ。景観形成を通じて居住福祉を高めるねらいと捉えられる。

住民主体のこうした取り組みは、前述要件のうち、①③④⑤が反映されていることがうかがえる。広域的な視野をもった市民組織が、地元の地域自治組織においても一定の承認を引き出しながら、「水平的な補完関係」を構築している例といえよう。

### iii. ほうとくエネルギー株式会社～地域の経済団体からのアプローチ

小田原市の「ほうとく株式会社」は、経済団体が中心となった取り組み事例である。同市は2011年、「エコシティーとしての地域ブランドの確立」を織り込んだ総合計画を策定し、その一環として「再生可能エネルギー事業化検討協議会」が発足、そこでの議論をうける形で、民間事業者24社による3400万円の出資をもって設立されたのが「ほうとくエネルギー株式会社」である。東日本大震災を経て、議論と事業化が急速に進展したのは、原発事故の影響が小田原にもおよび、近隣地域の茶からセシウムが検出される等、観光への打撃は大きいものであったことからだという。

地元の会社経営者が中心となつての事業体ではあるが、どのような事業体にするかについては、5回におよぶ市民との意見交換会を開催し、「極端な大株主はつくらない」、「努力はするけれど配当はない」、「報徳思想」にちなんで「経済と道徳の一元化」を目指す等、非営利的な発想が盛り込まれていったという。同社の考え方は、その設立趣意書、四つの「基本理念」に端的に表れている。第一は「将来世代に、より良い環境を残していくために取り組む」、第二は「地域社会に貢献できるように取り組む」、第三は「地域の志ある市民、事業者が幅広く参加して取り組む」、第四は「地域社会に根差した企業として、透明性の高い経営をする」である。

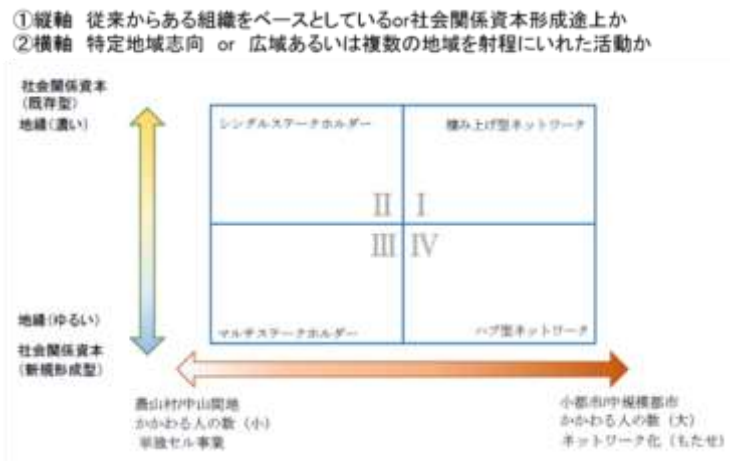
こうした取り組みは、前述の要件のうち、①②③④⑥が反映されていることがうかがえる。なお、同市の取り組みは、「コミュニティパワー」（環境エネルギー政策研究所）の影響を受けて始動していることから、コミュニティパワー原則と重なる部分が多いが、それを直接当てはめるの

ではなく、市民との意見交換や経営者としての「報徳思想」への共感等を媒介して、再確認された原則、言い換えれば、外部から差し出されたものではなく、内部からあらためてその妥当性が確認されたものとして捉える必要がある。

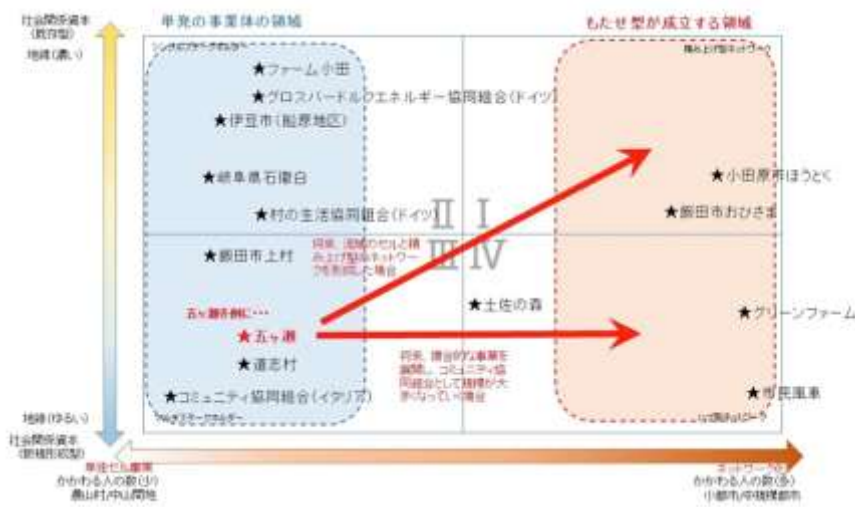
4) 担い手の類型化と組織形態

a. 類型化

(1) ~ (3) から導出される地域組織とそのネットワークについて、社会関係の観点から類型化を試みた。ここでは、図(4)-5のように縦軸に「地域組織としての伝統的な凝集力の強弱」、横軸に「特定地域志向か広域連携を射程にいたした活動か否か」を設定し、第Ⅰ象限の組織を従来の社会関係資本を基盤に広域でステークホルダーを形成し、流域連携や都市農村交流等、広域的働きかけも視野にいたる「積み上げ型ネットワーク」とした。第Ⅱ象限は従来の地域組織（大字や旧村単位の組織）を土台とし、ここがコーディネート役も発揮して農山村を中心に多様な活動を展開する「シングルステークホルダー」型とした。第Ⅲ象限は旧来の地域組織の機能発揮をはかりながら、NPO等の市民団体が求心力のあるコア組織としてコーディネートを担当し、地域内での社会関係資本を形成・充実させる「マルチステークホルダー」型とした。第Ⅳ象限はNPO等の市民団体が求心力のあるコア組織としてコーディネートを担当し、都市部を含めて広域に発信する「ハブ型ネットワーク」とした。



図(4)-5 具体的事例から見た分類



図(4)-6 類型化の枠組みと事例調査の分類



表(4)-2 類型と組織形態

分類図 象徴	法人と課題	資金調達	
第Ⅰ象限 積み上げ型ネットワーク	一般社団法人 NPO法人 株式会社 LLC, LLP 地域との合意形成の仕組み弱	会員制限、資金調達に制約 資金調達に制約 非営利運用可能なるも営利組織 地域との合意形成の仕組み弱	コンソーシアム内団体出資 地域金融機関融資
第Ⅱ象限 シングルステークホルダー	農協法人 農事組合法人 企業組合法人 認可地縁団体 株式会社 組合員要件、事業領域に制約 組合員要件、事業領域に制約 非営利運用可能なるも営利志向 外部組織との連携 非営利運用可能なるも営利組織	組合員要件、事業領域に制約 組合員要件、事業領域に制約 非営利運用可能なるも営利志向 外部組織との連携 非営利運用可能なるも営利組織	ステークホルダー出資 地域金融機関融資
第Ⅲ象限 マルチステークホルダー	株式会社 NPO法人 一般社団法人 LLC, LLP 非営利運用可能なるも営利組織 資金調達に制約 会員制限、資金調達に制約 地域との合意形成の仕組み弱	非営利運用可能なるも営利組織 資金調達に制約 会員制限、資金調達に制約 地域との合意形成の仕組み弱	ステークホルダー出資 地域金融機関の融資 市民ファンド 疑似私募債
第Ⅳ象限 ハブ型ネットワーク	一般社団法人 NPO法人 株式会社 生協法人 会員制限、資金調達に制約 資金調達に制約 非営利運用可能なるも営利組織 供給側の意思反映の仕組み必要	会員制限、資金調達に制約 資金調達に制約 非営利運用可能なるも営利組織 供給側の意思反映の仕組み必要	ステークホルダー出資 市民ファンド 疑似私募債 地域金融機関融資

○多様な法人格の使用が見られるものの、基本的には協同組合的組織運営が求められる(事業目的の公共性、非営利的分派原則、民主的運営、非営利ネットワーク)。  
○定数等での民主的、平等な事業運営の手法を規定。  
○可能な限りの自己資本を準備することにより、①事業の持続性、②地域へとつながる活動への再投資基盤を形成。

### 類型Ⅰ

従来の社会関係資本を基盤に、広域でステークホルダーを形成。自主的に立ちあげられた小規模な事業組織が、自律的な運営をしつつも、学習や情報発信、調査・研究、政策提案、資金調達、会計等管理業務等で連携するためのコーディネート機能(コンソーシアム)を構成。流域連携や都市農村交流等、広域への働きかけも可能とする。

### 類型Ⅱ

従来の地域組織(大字や旧村単位の組織)を土台とし、ここがコーディネートの役も発揮しつつ、農山村部を中心に多様な活動を展開。学びあいや拠り所(「小さな役場」)地域資源を活かした事業等、総合的に地域生活の課題解決をはかる。

### 類型Ⅲ

旧来の地域組織の機能発揮をはかりながら、NPO等の市民団体が求心力のあるコア組織としてコーディネートを担い、地域内での社会関係資本形成を充実させる。

### 類型Ⅳ

旧来の地域組織というより、NPO等の市民団体が求心力のあるコア組織としてコーディネートを担い、新規の社会関係資本を形成しつつ、都市部を含む広域への発信や働きかけをおこなっていく。

このような類型化により、既存の地域組織の優位性発揮をより効果的なものとするためには、地域の様々な社会関係資本が相互にネットワークを形成することが重要と考えられた。

### b. 望ましい組織形態

抽出した事業体の6要件(①住民に開かれた議論や活動、②事業体の意思決定への住民の意向の反映、③便益の大部分を、地域の暮らしの向上に活用、④日常的な業務運営への地域住民の優先的に関与、⑤公共性、⑥将来世代、持続可能性への配慮)に配慮すると、表(4)-3のように地域における再生可能エネルギー事業体の組織形態としては、協同組合がより適合性が高いといえる。

表(4)-3 もたせ型事業組織の要件と協同組合原則・重要課題の対応関係

地域再生可能エネルギー事業の要件	協同組合7原則 協同組合五つの重要課題（2012採択）との対応
①住民に開かれた議論や活動	原則①自主的で開かれた組合員制、重要課題①「参加」
②事業体の意思決定への住民の意向の反映、	原則②組合員による民主的な管理、原則④自主自立
③便益の大部分を、地域の暮らしの向上に活用	原則⑦地域社会への貢献、 原則③組合財政への参加（剰余不分割）
④日常的な業務運営への地域住民の優先的に関与	原則③組合財政への参加（経済活動への関与）
⑤公共性	原則⑦地域社会への貢献
⑥将来世代、持続可能性への配慮）に配慮	重要課題②「持続可能性の構築」

### c. 現行法人制度との対応関係

地域において再生可能エネルギー事業を実施する際、協同組合的な発想の優位性が確認できるものの、現行の法人制度においては、協同組合法人格の適用が困難とされている。そこで、各類型が具体的な事業組織の制度選択をする際には、第一に、多様な法人格の使用が見られるものの、基本的には協同組合的組織運営が求められる（事業目的の公共性、非営利的配分原則、民主的運営、非営利ネットワーク）こと、第二に、定款等での民主的で対等平等な事業運営の手法を規定すること、第三に、可能な限りの自己資本を準備する（疑似私募債等）ことにより、①事業の持続性、②地域の居住福祉の向上や「小さな仕事」の創出、防災へとつながる活動への再投資基盤を形成すること、の三点の工夫が必要といえる。

表(4)-4は、現在、再生エネルギー事業を実施する際に採用されている法人格であるが、それぞれ課題を有していることがうかがえる。LLC、LLP、株式会社等、営利組織においては、そもそもが営利目的の事業を想定した法人制度であること、LLC等においては、熟議や参加の要素を「コスト」と見なす考え方に立っていること、株式会社においては事業運営上株主配当を優先するため、短期的な収益を重視せざるをえないこと等、地域エネルギー事業の担い手としては枠組み上課題が多い。ただし、そうした課題を意識した上で、定款自治の大きさを利用し、前述の「ほうとくエネルギー株式会社」のように、「もたせ」色を打ち出すことは可能である。

また非営利組織であるNPOや一般社団については、出資の確保が難しいことから、ファンドや疑似私募債の活用が必要となる。大字や旧村をベースとする認可地縁団体は、前述のようにもたせの性格を強く有しており、長野県飯田市や、後述する島根県雲南市等では、エネルギーやコミュニティ再生の事業組織として、これを活用する方向を打ち出している。

協同組合については、農協等がこれまでもエネルギー事業を担ってきており、有力な候補となる。岐阜県郡上市石徹白集落では、NPOが担ってきた小水力を軸とした地域づくりの取り組みを本格化させるにあたって、専門農協を設立した（2014年6月）。ただし農協である以上、員外利用には制限があり、また農家資格がない場合、事業への積極的な参画の保障が困難であるため、農協法人の活用の際には、非農家を含めた参加の回路の構築が課題となろう。

表(4)-4 日本の中山間地域での再生可能エネルギー事業に関わる現行法人制度の特徴と課題

法人	適	評価と課題
LLC合同会社 LLP有限責任事業組合	△	経営陣に対する取締役会、監査機関の設置が強制されていないことが、事業の自由度や意思決定の迅速化をはかるとされているが、事業上のリスクに対する綿密な検討を行う理事会的機能や、組織内外のステークホルダーと時間をかけて事業を共有していく等の方向性をどう確保するか課題。
株式会社	△	株主への配当を目的とした事業組織であり、営利目的の事業。しかし運営上、公共性の確保をめざすことは可能。 ただし、上記の性格付けは、容易に変質しうる。部分的には種類株の活用によって出資の多寡の、意思決定への影響力緩和可能。
農協・漁協・森林組合 (協同組合)	△+	農山漁村電気導入促進法に基づき農協等が電力事業を担ってきた実績あり。 ただし事業用途、担い手に制限あり。員外利用の制限も強い。
企業組合	△	営利を目的とし、将来的には株式会社転換を見込む事業組織。組合員における従業者比率低下傾向。
一般社団	○-	公共性高く、もたせ型事業の要件の充足度高い。 ただし、出資を募ることができないため、外部のファンド事業者との連携が必要。住民出資を主力とするファンドで地元への利益還元可能。
NPO	○-	公共性高く、もたせ型事業の要件の充足度高い。 ただし、出資を募ることはできない。疑似私募債の活用（利子可）、外部に任意組合を構成して出資調達する等する必要あり。
認可地縁団体	○-	非営利、住民参加、利益不分割、地域の共同財産の保全に貢献等、適性が高く、もたせ型事業の要件の充足度高い。 ただし、外部組織との連携が課題。

## 5) 協同組合に関わる制度検討の方向性

### a. ドイツにおける再生可能エネルギーの広がりから日本が学び、課題とすることは何か。

協同組合組織に着目してドイツの再生可能エネルギー事業を分析した石田は、エネルギー事業を協同組合が担うことの妥当性について、「ドイツでは、再生可能エネルギーの生産は...中略...小規模分散型で、地域の利益につながる形で取り組むべきだという考え方が強い。...中略...そのためには、地域の住民自らが事業に参加し、地域の資金を有効に活用し、そこから生まれる利益も地域に還元することが望ましい。それに最も合う組織形態が協同組合なのである」としている<sup>6)</sup>。

同氏は、ドイツの事例から、出資者の募り方が、「なるべくたくさんの人々に参加させ、しかし一方では、地域の人々を中心として、必要以上に広げすぎない」仕組みになっていること、住民たちのボランティアな事業への参加を喚起しコスト低減につなげていること、施設の運営・経理にも住民が参画していること、「重層的な組織構造」により「狭い地域において住民を巻き込」みながら、同時に「広域的な視野でプロジェクトを考え、地域間の利害調整」を行い、「専門性の強化」も果たしていること、民主主義的な運営によって協力者が増えていくこと、協同組合連合会による監査体制が資金調達を容易としていること、地域の価値創造への意欲が向上していくこと、地方自治体との連携が容易なこと等を挙げ、協同組合のエネルギー事業に対して適合性があることを評価している<sup>6)</sup>。

しかしながら、日本で協同組合がドイツのようなエネルギー事業を担うことの困難についても、以下のように述べる。まずJAについては、実際、JAが発電事業を担う例があるものの、地域住民のすべてがJA組合員とは限らず、また員外利用規制も厳しいため、地域の一部のメンバーしか担えない点に難があると<sup>6)</sup>。企業組合については、これも事例があるものの、「組合員の半数以

上が組合事業に従事すること」とされており、「働く場の確保を目的とした小規模な組合」であって「地域の住民の幅広い参加」が困難とする<sup>6)</sup>。

理論的には協同組合が高い適合性を持つにもかかわらず、制度上、協同組合によるエネルギー事業の展開が難しいことを受け、同氏は、日本における統一協同組合法の制定、エネルギー協同組合法の制定も視野に入れつつ、しかしながらそれらはいずれも「容易ではない」ことから、当面は、既存の制度の延長上で、「個別法の改正によって再生可能エネルギーに関する事業を、農協、漁協、森林組合の本来業務に付け加え、再生可能エネルギーに関して員外利用制限の対象外とする」<sup>6)</sup>等の考えを示した上で、抜本的には制度改正が必要と結論づけている。

#### **b. イタリアのコミュニティ協同組合という発想から、日本が学び、課題とすることは何か。**

コミュニティ協同組合は、経済的に不利益な地域、小規模自治体等、社会サービスの質・量の保障に困難を抱える地域で取り込まれる事例が多い。このことは明らかに「民間側の公共サービスを組織できる力に着眼し、これを活用して...略...政治統治が不全に陥らない程度に公共サービスの質と量を確保」する、いわば近年のガバナンスの変容に呼応した動きといえよう。しかし他方で、間接統治の客体になりきってしまわず、むしろ地方自治における住民自治と団体自治双方を強化する方向で、地域の個々の取り組みを、全国的な市民運動へ接合していこうとの意図も読み取れよう（協同組合、環境団体、小規模自治体連合、職人企業連合等のネットワーク）。

こうした課題は今日の日本でもまさに共有し得るものである。後述するように、日本の小規模自治体では、ネットワークを形成し、コミュニティ課題の解決にむけた事業組織の構築を、あらたな法人制度提案という形で着手しはじめている。その際、二つの点～第一にイタリアに見るコミュニティ事業組織の趣旨、第二に協同組合、自治体、中小規模の職人団体、環境団体とのネットワーク形成～が示唆となる。

同時に「コミュニティ協同組合」を活かすにあたっての困難も見えてきた。

その困難とは、主体の問題である。労働・生産協同組合や、社会的協同組合、消費協同組合はいずれも協同を必要とする当事者～失業者、障害を持つ人、社会的排除の対象となっている人、安全な消費材を求める市民等～が、明確な形で存在した。それに対して、コミュニティ協同組合は、その担い手が見えにくい。地方都市の財政疲弊によって行政サービスが縮小する自治体で、そこに住む市民自身が直ちに明確な当事者意識を持って事業の提起者、さらには担い手となり得るのか、疑問がぬぐえない。メルピニャーノ市の例を見ても、当初は事業の担い手が出現せず入札不調が見られた。プーリア州法ではそうした課題を意識し、「社会関係資本の形成」という文言が織り込まれているが、自治体主導の協同組合づくりが先行する傾向はいなめない。

一方、民間組織であるイタリア協同組合連合会レガコープやドイツ・アグロクラフト有限会社などは、あくまでも主体は地域に位置づけながら、協同組合的事業の創出や育成・運営、多様な社会的資源との調整等、コーディネイト機関の役割に務めている。それは住民自治を踏まえ、地域住民による地域運営力の醸成へ少なからず貢献しているものとする。

日本でも近年、地方の大学や研究機関などをはじめ、各地でこうしたコーディネイト機能の役割を果たす萌芽が芽吹き、実践にコミットし始めてはいるものの、十分とはいえない状況に思われる。

表(4)-5 メルピニャーノ・コミュニティ協同組合の組合員構成

組合員カテゴリー	役割
自律的労働組合員 soci lavoratori autonomi	技術的専門性を備え、設備設置に携わる
利用組合員 soci utenti	① 「自宅の屋根に発電設備を招待する」ホスト組合員 (soci ospitanti) ② 「屋根の提供は行なわず一定額の出資金をもってプロジェクトに参加し、優待的な電力エネルギーを享受するのみの単純組合員 (soci semplici)」の2種で構成される。 両者の間に享受できるサービスの差はなく、組合員としての権利上の差もない。自宅の屋根が発電設備設置に適さないと判断される場合でも、市民が協同組合の組合員となることができることを目的として設けられた区別である
投資組合員 soci sovventori	協同組合が実施するプロジェクトに投資する。なお定款第20条の規定により、投資組合員に対する配当総額は、協同組合剰余金のうち組合員への配当総額の2%を上回ってはならないとしている。

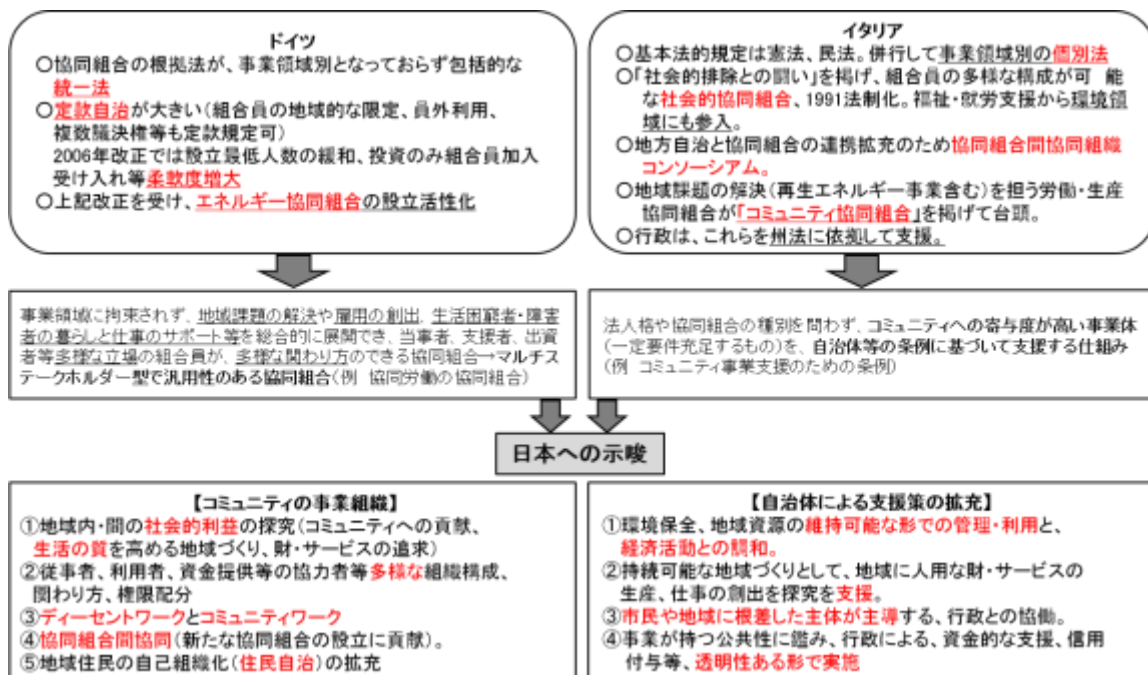
出典 メルピニャーノ協同組合組合定款より田中作成

c. 協同組合に関わる制度の方向性

ドイツ・イタリアのケーススタディからの示唆を図(4)-7に示した。ドイツの例からは事業領域に拘束されず、地域課題の解決や雇用の創出を総合的に展開でき、生活の当事者、支援者、出資者等多様な立場から参加できる、マルチステークホルダー型で汎用性のある協同組合組織の社会的認知の必要性が浮上する。

イタリアの例からはコミュニティへの寄与度が高い事業体が、基礎自治体や業界団体、環境保護団体と連携して事業を進め、それを州等のより広域の行政が条例に基づいて支援する仕組みが示唆となる。両者によって、地域の自治と参加を保障しながら、経済活動の拡充と暮らしの居住福祉を高める方向で社会的資源の効果的な配置を可能とする。

日本におけるコミュニティ・エネルギーの担い手とその制度環境を構築する際は、第一に、こ



図(4)-7 協同組合に関わる制度検討の方向性

れをコミュニティを支える公共性の高い事業組織として位置づけること、第二に、当事者市民の参加・関与が豊かに保障されること、第三に、これらを支える制度環境（自治体による支援策の拡充）にあたっては、その透明性を高度化すること等が求められる。

## （２）再生可能エネルギー事業と地域経済

### １）自治体のエネルギーに関わるフローと経済

再生可能エネルギー事業に取り組むことによる地域の経済波及効果を、エネルギー需給調査地区を選定した都留市を対象に、地域の住民・事業者等への聞き取り調査、アンケート調査に基づき実態を把握した上で、導入可能な地域エネルギー供給シナリオを設定して試算・推計するという手法で検討した。

#### a. エネルギー消費の実態

「平成22年度低炭素地域づくり面的対策推進事業報告書（都留市地域）」（都留市、2011）を参考にすると、2008年の都留市のエネルギー消費は1990年比23%増で、エネルギー種別ではガソリン（43%増）、電力（34%増）、LPガス（29%増）の増加が顕著である。灯油については5%増であり、ほぼ横ばいである。部門別で見ると、産業部門は7%減少しているが、民生業務部門（49%増）、民生家庭部門（33%増）、運輸部門（29%増）が大きく増加している。運輸部門の増加要因は自動車数（ガソリン利用）の増加である。民生部門については、電力消費増加の要因は、家庭部門では、人口が減っているものの世帯数が増えていること、業務部門では、オフィスや店舗の床面積が拡大していることが要因として考えられる。

このような地域全体の特徴把握に加えて、より詳しい燃料フローおよびエネルギー経済の実態を把握するために、都留市民200名（回答数112）、市内事業者50箇所（回答数19）にアンケート調査をおこなった。その結果、以下の特徴が明らかになった。

①家庭でのオール電化が進んでいるが、灯油の代替にはなっていない。

オール電化導入済みの家庭が26あり、これは回答者（家庭）全体の23%である。居住年数が10年未満の家庭の35%、10年以上の家庭の18%がオール電化を導入している。居住人数ならびに延べ床面積による特徴は特にみられなかった。オール電化導入済みでLPガスを利用している家庭はみられないが、灯油については、利用していないのは8家庭に限られ、半数の13家庭が利用していた。このことから、都留市においては、オール電化は従来のガス需要（主に調理・湯沸かし等）を満たすことができるが、暖房需要を満たすには充分ではないと考えられる。

②家庭の太陽光発電システム導入がオール電化とセットで進んでいる。

太陽光発電システムを導入済みの家庭は9、検討中の家庭は11である。いずれも一戸建ての家庭であり、一戸建てと答えた家庭（103）のうち、9%が導入済み、11%が検討中であった。居住年数が10年未満の家庭の24%、10年以上の家庭の18%が導入済みないし検討中である。都留市住宅用自然エネルギー機器設置費補助金支給状況のデータによれば、平成11年度から平成24年度までに累計372世帯が太陽光発電システム設置補助金の支給を受けている。①のオール電化との関係を見ると、太陽光発電システム導入済みないし検討中の家庭の60%が、オール電化についても導入済みないし検討中となっており、特に、太陽光発電システム導入検討中の家庭の73%はオール電化を既に導入済みか検討中である。オール電化と太陽光発電シ



システムをセットで考える家庭が多い傾向があると考えられる。

③LPガス・灯油（配達）は市内資本の燃料販売店、灯油（店頭）・ガソリンは市外資本のガソリンスタンド等を利用している（表(4)-6）。

LPガスを利用している家庭・事業所ともに79%が市内資本の販売店を利用している。灯油については、市外資本のホームセンターやガソリンスタンドで店頭購入する家庭が増えているが、配達の場合は市内資本の販売店を利用しており、家庭の46%、事業所の73%が市内資本の販売店を利用している。

ガソリンについては、市外資本のガソリンスタンドが最も多く利用されている（家庭の49%）。ただし、事業所については、市内資本の利用率が78%と、高い割合になっている。

表(4)-6 都留市における灯油・ガソリン・LPガスの利用状況（アンケート調査結果より）

		利用方法		利用店舗の数		利用頻度が多い店舗		
		店頭購入	配達	1店舗固定	複数併用	市内域内資本系	市内域外資本系	市外
灯油	家庭	58.6%	39.4%	84.0%	13.0%	46.4%	45.5%	4.5%
	事業所	11.8%	88.2%	93.3%	6.7%	72.7%	4.5%	22.7%
ガソリン	家庭	98.1%	0.9%	64.8%	26.7%	37.5%	49.2%	11.7%
	事業所	84.2%	15.8%	70.6%	29.4%	78.3%	21.7%	4.8%
LPガス	家庭	5.8%	89.5%	98.8%	1.2%	79.1%	7.0%	14.0%
	事業所	13.3%	86.7%	100.0%	0.0%	78.9%	5.3%	15.8%

## b. エネルギー供給・販売の実態

### i. 電力・電気設備について

都留市内の電力は東京電力が供給している。同社によれば、この電力供給に関わる市内での社員以外の雇用として、個人契約の委託検針員と委託集金員がある。都留市内を担当する20名の委託検針員のうち、5名が市内在住者、さらに、市内の集金業務を担当している委託集金員1名も市内在住者である。ただし、この雇用に要する人件費については情報を得られず、有価証券報告書に公開されている全体の数字を人口按分し、1430万円であると推計した。

市内にはいくつかの電気設備関連事業者がある。総合電気工事を行っている事業者、電気工作物の保安全管理・点検を行っている事業者、メーカーから仕入れた電気機器を主に市内の家庭に販売している事業者などである。市内の家庭や事業所に機器を設置する際の工賃などは地域内の経済効果としては大きいと考えられる。ただし、機器の修理・メンテナンスはメーカーに任せているケースが多いことも判明した。

### ii. 化石燃料について

化石燃料については、市内の10販売店に聞き取り調査を行った。このうち、LPガスは、市内に本社をもつ物産会社が市内需要量の約半分を販売している。同社は東京の商社から仕入れ、市内外の家庭・事業所のほか、他の燃料販売店にも卸している。灯油・ガソリンについては、山梨県外の元売業者から県内（甲府市など）の事業者が購入し、それを市内の燃料販売店（ガソリンスタンド）が仕入れ、市内の家庭や事業所に販売するというフローが明確に描き出される。聞き取りをおこなったのはいずれも家族経営の燃料販売店であり、①化石燃料のみ（ほぼすべて市内向け）を取り扱っている事業者と、②化石燃料以外の商品・サービスによる売り上げがある事業者

に大きく二分されることがわかった。

灯油については、先述のとおり、この地域では店頭購入と配達の割合が、家庭で6:4、事業所で1:9と、配達の割合がかなり大きい。特に、市内の販売店の灯油売上のほとんど（9割程度）は配達によるものであり、配達は委託せずに自社で行っている場合が多いことが特徴として挙げられる。

## 2) 地域エネルギー供給シナリオの効果

### a. シナリオA「50%を地域の再生可能エネルギーに転換」

「灯油・ガソリン・LPガスの2008年度の消費量の50%を地域で産み出される再生可能エネルギーに転換する」という図(4)-8のようなシナリオAを設定して、エネルギー消費・供給構造の変化と経済効果を試算した。

#### i. エネルギー消費・供給構造の変化

シナリオAにより、灯油、LPガスは、それぞれ237万ℓ、1366tが年間に削減される。対して、木質燃料（薪換算）6634t／年と電力3481千kWhの新規需要が発生する。自動車に関しては、全自動車数の50%がハイブリッド車、電気自動車に移行したとし、それぞれの比率を40%、10%とすると、削減されるガソリン消費量は552万ℓと試算され、電気自動車用の電力が4295千kWh必要になる。電力の需要増を地域でまかなうためには、約2千戸に4kW容量の太陽光発電設備あるいは合計で1200kW容量の小水力発電設備の導入が必要になる。



\*自動車の燃費をガソリン車14km/L、ハイブリッド車28km/L、電気自動車を6km/kWhとして計算した。

図(4)-8 シナリオAによるエネルギー消費・供給構造変化

#### ii. マイナス影響

シナリオAは、表(4)-7のように市内の燃料販売業者に売上で7億3673万円、粗利で9417万円のマイナス経済効果を与える。なお、市内資本のシェアは、市民・事業者アンケートならびに燃料販売事業者への聞き取りに基づいて設定した。

#### iii. プラス影響

シナリオAにより、6634t（薪換算）の木質燃料需要が発生する。市内の事業者が市内の山林所有者から5000円/tで仕入れ、10000円/tで販売すると、市内事業者、山林所有者（または林業事業者）にそれぞれに3317万円（計6634万円）のプラスの経済効果がある。

表(4)-7 シナリオA導入によって市内資本の燃料販売店（注1）が受けるマイナス経済効果

		灯油	ガソリン	LPガス	合計
導入前	売り上げ（万円）	23700	138075	40995	202770
	粗利（万円）	2370	13808	8199	24377
導入後	売り上げ（万円）	11850	96750	20498	129098
	粗利（万円）	1185	9675	4100	14960
導入による マイナス経済効果	売り上げ（万円）	11850	41325	20498	73673
	粗利（万円）	1185	4133	4100	9417

注1：市内販売量のうちの市内資本の販売店のシェアは、50%として計算。

注2：販売単価は、灯油は100円/ℓ、ガソリンは150円/ℓ、LPガスは30万円/トンとして計算。

注3：粗利率は、灯油とガソリンは10%、LPガスは20%として計算。

シナリオによる新たな7776千kWhの電力需要を各世帯の太陽光発電、地域の小水力発電等で対応することができれば、年間1億9441万円（25円/kWhで計算）の売上げとなる。

新規需要の電力7776千kWhを各50%の割合で太陽光発電と小水力発電で賄うものとし、年間稼働時間をそれぞれ1000時間、6000時間とすると、必要な設備容量は太陽光発電設備3888kW、小水力発電設備648kWとなる。太陽光発電設備建設費を40万円/kW、小水力発電設備を100万円/kWとすると、設備導入コストは太陽光発電設備15億5520万円、小水力発電設備6億4800万円となる<sup>注1)</sup>。また、薪6634万トン相当の熱（＝1221万kWh）を木質燃料ボイラーで供給するものとし、ボイラー設備の総容量を5,000kW、設備費を30万円/kWとすると、設備費は15億円となる。したがって、シナリオAは、約37億円の初期費用を必要とする。一方で、太陽光発電設備は年間3万円/kW、小水力発電設備（200kW以上1000kW未満）は年間6.9万円/kWの維持費がかかるとされるので、年間約1.5億円の維持コストを地域に支払うことも可能である。

このように電気代、木質燃料代、維持管理費などのプラス経済効果は、地域の雇用創出をともなう年間4億2210万円となり（表(4)-8）、試算されたマイナス経済効果（粗利減少分）の9417万円を大きく上回ることができる。さらに初期費用のうち30%を工事費等として、地域業者が担えば、約11億円の短期経済効果を生み出すこともできる。

表(4)-8 シナリオAによって創出される地域の年間収入（プラス経済効果）

	創出される年間収入（万円）
山林所有者・林業従事者	3317
薪加工販売者	3317
発電事業者（個人含む）	19441
太陽光発電設備管理事業者	11664
小水力発電設備管理事業者	4471
プラス経済効果 合計	42210

## b. シナリオB「木質燃料のコミュニティ利用」

### i. シナリオと前提

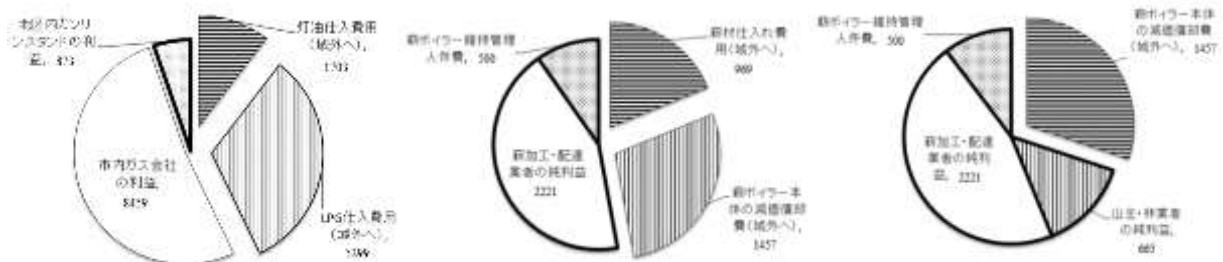
より小さい、大字単位での地域内エネルギー供給について、暖房用と給湯用の熱供給についての試算を行った。想定するのは、都留市宝地区（854世帯）における、以下の3つのシナリオとした。

- ・シナリオ B-1：各家庭で化石燃料を購入。

- ・ シナリオ B-2：地区内に薪ボイラーを導入。  
薪材は市外から調達し、域内業者が薪に加工して配達。
- ・ シナリオ B-3：地区内に薪ボイラーを導入。  
薪材は地区内で調達し、域内業者が薪に加工して配達。

試算にあたり、実情を加味しつつ、以下の仮定をおいた。

- ・ 各家庭は、現状（シナリオ B-1）では、暖房用に灯油、給湯用に LPG を利用。
- ・ 現状（シナリオ B-1）は、灯油は地区内のガソリンスタンドが、LPG は市内のガス会社が配達。
- ・ 灯油は卸価格 71.7 円/l 配達価格 109 円/l、LPG は卸価格 133 円/kg 配達価格 346 円/kg。いずれも、その差額は地域ないし市内の業者の仕事・収入とする。
- ・ 薪材の域外からの仕入費用には半径 6km での伐採費・輸送費を含め、これらはすべて域外に流出。
- ・ 薪の加工・配達はシナリオ B-2、B-3 とともに地区内の燃料店が担う。
- ・ 薪ボイラーの設置費用は 30 万円/kW（ボイラー本体 18 万円/kW、地区内配管 8 万円/kW、家庭設置機器 4 万円/kW）。うち、3 割は工事費、残りを 20 年減価償却（域外流出）。
- ・ 薪ボイラーは年間 2500 時間稼働し、維持管理は地域雇用、時給 2000 円。



シナリオB-1: 各家庭で化石燃料を購入

シナリオB-2: 地区内に薪ボイラーを導入、薪材は市外から調達し、域内業者が薪に加工して配達

シナリオB-3: 地区内に薪ボイラーを導入。薪材は地区内で調達し、域内業者が薪に加工して配達。

図(4)-9 大字での熱エネルギー（暖房・給湯）供給における各シナリオの地域内外利益の割合（太線部分が地域内利益、単位は万円）

## ii. 検討結果（図(4)-9）

宝地区には地元のガソリンスタンドがあり、市中心部のホームセンターまではやや距離があることなどから、このガソリンスタンドに灯油を配達依頼している家庭や事業所は多い。また、LPガスについては、市内資本の商社の取り扱いシェアが大きい。灯油は、LPガスに比べると、販売価格に比する卸売価格（仕入れ価格）が大きいため、現状に近いシナリオB-1では、市内に比較的大きな仕事・収益をもたらしている。しかし、宝地区にとどまるのは、ガソリンスタンドの収入873万円/年のみであり、7002万円/年が市外に流出する。

この地区に、地区内の給湯・暖房を賄えるだけの薪ボイラーを導入すると、地区内に生み出される仕事・利益が大きく増加する。薪ボイラーやその地区内配管等は、市内業者がその工事を担

うものとする、工事費は市内に還元されるが、設備そのものは域外のものを購入せざるをえないため、この分は域外に流れていく。さらに、シナリオB-2では、燃料の薪の材料を市外から購入することを想定したため、薪の伐採・運搬は域外の仕事となり、仕入れ費用として域外に流出する。しかし、現状（シナリオB-1）と比較すると、燃料調達における域外流出は2426万円／年と大幅に抑えられることになった。そして、薪加工、ボイラーまでの運搬、ボイラーの維持管理という仕事を域内に生み出すことになる。これは、エネルギー転換によってマイナスの影響を受けるガソリンスタンドなどに、引き続き「地域のエネルギー供給者」としての仕事を提供することになりうる。結果、B-1の3.1倍（2721万円／年）の地区内利益がもたらされた。

さらにシナリオB-3では、B-2で市外から調達していた薪材を、地域の周辺の林地から集めることを想定した。この場合、地域の山主や林業従事者にも利益が還元されることになり、B-1の3.9倍（3386万円／年）の地区内利益がもたらされ、3つのシナリオの中では最も大きな地域内経済効果を産み出す結果となった。

## 5. 本研究により得られた成果

### （1）科学的意義

- ・ 地域で取組む分散型、自立型の再生可能エネルギー事業の社会的・経済的意味を明らかにした。
- ・ 事業組織の類型化により、農山村における持続可能な地域づくりのための再生可能エネルギー事業体の可能性を考察し、マルチステークホルダーの「共同運営的な事業体（協同組合形式）」であるコミュニティ協同組合的な発想の新しい事業形態の展開可能性を示した。
- ・ 再生可能エネルギー利用の拡大にともなう地域へのプラスとマイナスの効果を検証し、地域内の再生可能エネルギー資源利用による地域経済効果がきわめて大きく、コミュニティ機能拡充に貢献できること、大規模な資源移動より小規模の方が有利であることを明らかにした。

### （2）環境政策への貢献

- ・ 再生可能エネルギーが豊富な地域における再生可能エネルギーによるエネルギー自立の実現性を明らかにし、地域主導の再生可能エネルギー事業が農山村再生に貢献できることを示した。
- ・ コミュニティレベルの化石燃料から非化石燃料への代替が、地域雇用、地域循環経済の拡大に大きく貢献することを明らかにした。
- ・

#### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・ 再生可能エネルギーが豊富な地域における再生可能エネルギーによるエネルギー自立の実現性を明らかにし、地域主導の再生可能エネルギー事業が農山村再生に貢献できることを示した。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 藤谷岳、寺林暁良：環境と公害、43,4（2014年4月）  
「再生可能エネルギー事業における地域住民参加と資金調達—ドイツ・グロースバルドルフ村の取り組みから—」

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 古谷直道：協同総合研究所 所報『協同の発見』、247,135-146（2013）  
「海外レポート ドイツにおける再生可能エネルギーの動向」
- 2) 島村博：協同総合研究所 所報『協同の発見』、247,147-168（2013）  
「資料 ライファイゼン・エネルギー協同組合定款 解説」
- 3) 田中夏子：協同総合研究所 所報『協同の発見』、252,85-93（2013）  
「海外レポート 資料から読むイタリアの社会的経済（10）～再生エネルギー創出と小規模自治体の運営をつなぐコミュニティ協同組合」
- 4) 藤谷岳：『月刊社会教育』700号、pp.13-21（2014）  
「特集 環境・暮らしのエネルギーを考える；今、なぜ私たちが自然エネルギーに取り組むのか」
- 5) 田中夏子：協同総合研究所 所報『協同の発見』、257,55-66（2014）  
「海外レポート 資料から読むイタリアの社会的経済（11）イタリア プーリア州で再生可能エネルギー事業に取り組むメルピニャーノ・コミュニティ協同組合～その設立経過と社会的背景をめぐって」
- 6) 田中夏子：協同総合研究所 所報『協同の発見』、261, 54-62（2014）  
「海外レポート 資料から読むイタリアの社会的経済（12）～コミュニティ協同組合に対する州レベルでの支援法（州法）策定の動き」

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) 楠野晋一：協同総合研究所 定期理事会（2013年1月19日）  
「ドイツにおけるエネルギー協同組合の実態」
- 2) 管剛文：農都共生全国協議会 サロン（講演）（2013年2月7日）  
「地域自給エネルギーシステムの可能性を考える」
- 3) 古谷直道：ワーカーズコープ 食農環境事業推進部 推進会議（2013年3月1日）  
「もたせシステム導入における主体形成」
- 4) 藤谷岳、古谷直道、管剛文：日本環境学会第39回研究発表会（2013年6月16日）  
「地域内再生可能エネルギー事業における主体・合意形成」
- 5) 藤谷岳、管剛文：日本協同組合学会第33回大会（2013年10月6日）



- 「農山村エリアでのエネルギー地域自給にむけた協同組合の有効性」
- 6) 藤谷岳：日本地域経済学会第25回大会（2013年12月1日）  
「再生可能エネルギー導入による地域エネルギー供給構造への影響—山梨県都留市を事例に—」
  - 7) 藤谷岳：一橋大学「自然資源経済論B」（市民公開講義）（2014年1月8日）  
「地域住民に開かれた再生可能エネルギー事業—グルースバールドルフ・エネルギー協同組合の例—」
  - 8) G. Fujiya, K. Shirahase, H. Kobayashi: Grand Renewable Energy 2014 International Conference and Exhibition, Jul. 2014  
“Scenario analysis of regional energy supply-demand structure transformation by renewable energy: Case study of the T city”
  - 9) 藤谷岳：環境経済・政策学会（企画セッション2014.9.14 企画「地域で取り組む再生可能エネルギー事業のかたち」）（2014年9月14日）  
「エネルギー転換の地域経済への波及—T市のエネルギー経済調査に基づく検討—」
  - 10) 田中夏子：環境経済・政策学会（企画セッション2014.9.14 企画「地域で取り組む再生可能エネルギー事業のかたち」）（2014年9月14日）  
「地域のための再生可能エネルギー事業の形態—イタリア、ドイツ、日本の事例からの考察—」

### （3）出願特許

特に記載すべき事項はない

### （4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 再生可能エネルギー事業の展開と課題—農山漁村地域における地域住民主体の地域資源活用を考える（2014年2月23日、日本青年館、参加者70名）

### （5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

### （6）その他

- 1) 自然エネルギー・循環型農業でまちおこし 自然再生エネルギーin二本松（2013年4月30日 二本松 岳温泉あずま館会議室、参加予定者数50名）
- 2) 農山漁村地域における地域住民主体の地域資源活用を考える—再生可能エネルギー事業の展開と課題—（2014年2月23日 日本青年館 国際ホール 参加者数75名）
- 3) コミュニティ協同組合と再生可能エネルギー事業（2015年1月8日 池袋 協同総合研究所会議室 参加者25名）

## 8. 引用文献

- 1) 小田切徳美（2014）「農山村は消滅しない」岩波書店、84～88.

- 2) 船津寛和 (2013)「世界で始まっているエネルギーのパラダイムシフトと生協への期待」、生活協同組合研究 Vol.447.
- 3) 山下紀明 (2013)「コミュニティパワー原則の拡張」(コミュニティパワー・ラボ 第3回資料)  
(<http://www.isep.or.jp/wp-content/uploads/2013/10/4-1.CPprinciplesYamashita.pdf>)
- 4) 小林久 (2014)「コミュニティ・エネルギーに挑む農山村—小水力発電を中心に—」(コミュニティ・エネルギー)、農文協、125-176.
- 5) 飯田市提供資料 「新条例Q & A」、及び飯田市がネット公開している資料「条例を制定する理由 新条例原案」  
([http://www.city.iida.lg.jp/iidaspypher/open\\_imgs/info/0000000212\\_0000018755.pdf](http://www.city.iida.lg.jp/iidaspypher/open_imgs/info/0000000212_0000018755.pdf))
- 6) 石田信隆 (2013)「注目すべき協同組合~地域のための最良の選択」(ドイツに学ぶ 地域からのエネルギー転換)、家の光協会、111、111~117、131~132.

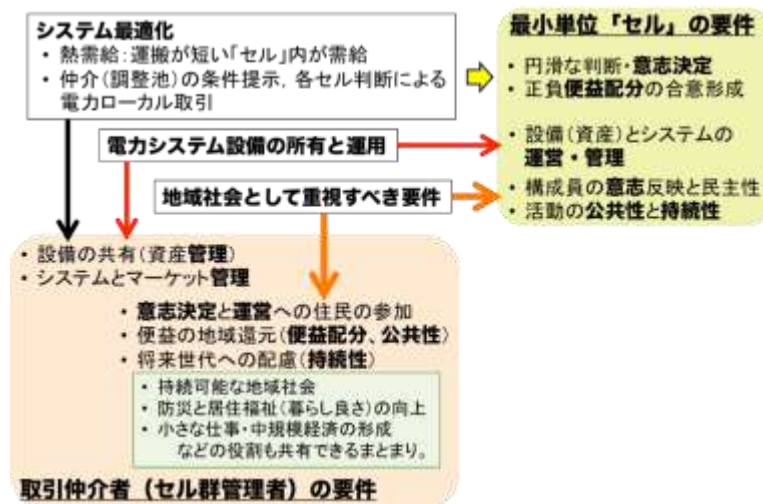
注1) 太陽光発電と小水力発電については資源エネルギー庁が2012年にFIT買い取り価格設定時に想定していた建設費を、木質バイオマスボイラーについては、株式会社森林環境リアライズ・富士通総研・環境エネルギー普及株式会社(2013)『木質バイオマスボイラーの導入・運用にかかわる実務テキスト』掲載の設備費用調査結果を参照した。

## 研究開発の全体的成果

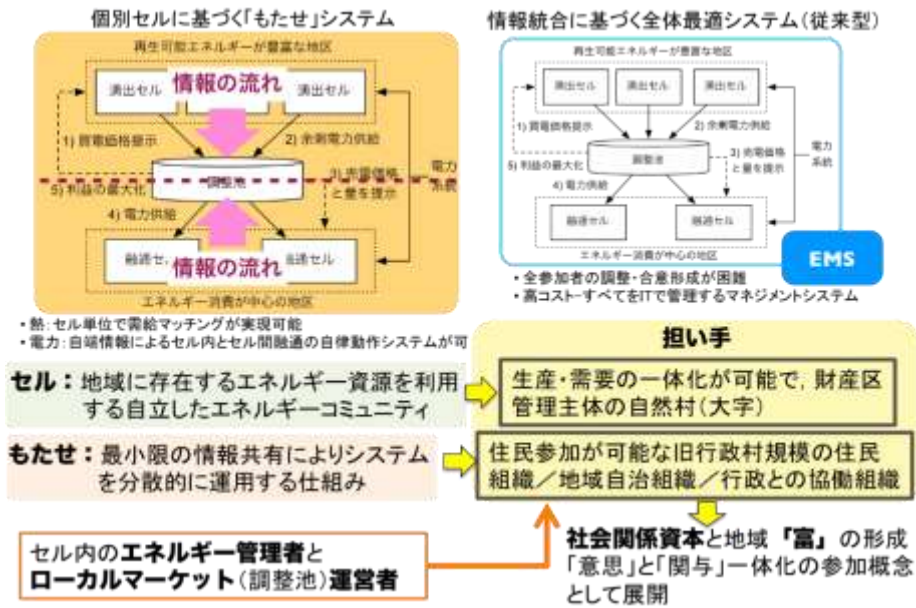
本研究開発では、第一にサブテーマ1の開発シナリオ／需給モデル作成、システムサイズの検討結果と再生可能エネルギーによるエネルギー自給域の抽出に基づき、サブテーマ2、3で適用する技術・設備の選定を行って熱需給システム／電力需給システムを設計した。第二に、サブテーマ1の成果として出力される期別時間別の需給量データを使用して、サブテーマ2のシステム最適化とサブテーマ3の電力需給シミュレーションにより、熱は運搬距離の短いセル内需給が妥当であること、電力はセル間融通が適していること、再生可能電源による独立グリッドとグリッド間電力融通が実現可能であることを明らかにした。同時に、エネルギー融通／取引およびグリッド運用管理の形態や条件を検討し、サブテーマ4課題として運用組織、利益分配、合意形成等のあり方を検討した。

続いて、サブテーマ1のシステムサイズやデマンドレスポンス（DR）受入に関する分析、サブテーマ2と3で提案された設備構成と所有運用形態およびサブテーマ3により検討・開発したグリッド自律／グリッド間電力融通の制御・電力品質維持の機構に基づき、生産者であり需要者である構成員の組織形態や施設の所有／管理を図(5)-1のような社会工学的枠組みの全体課題として検討し、求められるコミュニティ機能や事業運営組織などを主にサブテーマ4によって考察して、地域社会で運用し、電力取引を行い、需要側も協調するICTに依存しない「もたせ」型分散電力システムを工学的社会的観点から提案した（図(5)-2）。

さらに、サブテーマ1の開発シナリオ作成を通して把握された地域賦存の資源や既設施設の利用に関するコミュニティの意志決定プロセスとサブテーマ4の分散型エネルギーシステムの経済性評価に基づき、対大規模の小規模有益性やコミュニティ機能拡充のためのエネルギー開発の可能性の検討を通して、地域における再生可能エネルギー事業が農山村再生に貢献できることを示した。



図(5)-1 地域エネルギー事業の社会工学的枠組み



図(5)-2 「もたせ」型分散エネルギーシステム提案

## **Development of “Motase-type” Decentralized Energy System based on Cooperation of Demand-Supply Units at Lowest Level Where Renewable Energy is Produced Effectively**

Principal Investigator: Hisashi KOBAYASHI

Institution: Ibaraki University

3-21-1 Chuo, Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki 300-0393, JAPAN

Tel: +81-29-888-8590 / Fax: +81-29-888-8525

E-mail: qkoba@mx.ibaraki.ac.jp

Cooperated by: Tokyo University of Agriculture and Technology, Shibaura Institute of Technology, Japan Institute of Co-operative Research

[Abstract]

**Key Words:** Renewable energy, Small hydropower, Energy exchange, Demand response, Optimization, Distributed power grid, Empowerment of the residents

In order to introduce large quantity of renewable energy effectively, we must develop an energy system that disperse energy sources fill a community demands by coordination of energy demand-supply. To develop such decentralized, coordinated type energy system, it is absolutely necessary to design an individual autonomous decentralized unit at lowest level (“cell”) and collaborative “cell cluster”.

With this view in mind, firstly we formulate renewable energy development scenarios and energy demand models based on field survey results. Then, we identify a minimum size of “cell” consisting of more than 30 buildings and areas where self-sufficient energy system could be planned targeting efficient local renewable energy resources use. Furthermore, we clarify that Demand Response (DR) is an effective approach to stabilize power system and to optimize system reserve capacity.

Secondly, this study clarifies that demand-supply of “cell” with shorter transportation for heat and that of “cell cluster” for electricity are feasible as a decentralized energy system, based on the decision using an economic indicator optimization. Subsequently, using simulation analysis and utilizing AC-DC converting equipment, this study demonstrates that power exchange between different power qualities through AC interconnection is possible. Continuously, we develop a mechanism of autonomous control and stability supply index control using frequency information of electricity. In addition, basic functions and architecture of power electronics equipment that needs power exchange among “cell cluster” are identified to design micro power grid and power interconnection.

Finally, social requirements of “cell” and “cell cluster” are examined, based on

engineering requirements such as energy related facilities operation and management, mediation conditions of energy trading. As a result, we suggest that autonomous initiatives at rural community level are most appropriate to manage decentralized local energy business and a few local governmental supports are useful to cover the limitations of the small-scale initiatives. Moreover, an impact on the local economy by switching scenario from fossil fuel to renewable fuel consumptions is considered to be significant because it is estimated that the resulted profit of a scenario of consuming local renewable fuel to the community can be 3 to 4 times greater than that of consuming fossil fuel.

With the results of this study, it is considered to be possible to design a Decentralized Energy Demand-Supply System at community level in the areas where local energy demand can be met by locally generated renewable energy