再生可能エネルギーとまちづくり

小野寺　唯

指導教員　伊藤眞知子

□推薦

東日本大震災をきっかけに、日本における再生可能エネルギーへの関心は高まりをみせている。震災時に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故は、いまだ終息の行方さえ見えない。そして、原子力発電に依存したエネルギー供給のあり方は、地球環境、地球社会の持続可能性という観点から見直しを迫られている。そこで注目されているのが、太陽光発電、風力発電、水力発電、地熱発電等の再生可能エネルギー活用の可能性である。従来、エネルギー資源に乏しいとされてきた日本社会において、新たなエネルギー活用のシステムの探究は、公益にかかわる重要な課題である。

小野寺唯さんは、この課題を身近な地域課題としてとらえ、まちづくりと結びつけて実験、考察することに正面から取り組んだ。卒業論文では、まず再生エネルギーに関する日本の現状を概観し、次に欧州諸国（ドイツ、スペイン、スウェーデン）と日本の制度の比較を行っている。続いて、欧州三国における地域レベルでの具体的な先進事例を紹介するとともに、日本においても地域活性化へとつながっている先進的な取り組み（長野県飯田市：おひさま進歩、島根県奥出雲町：三沢小水力発電所、鳥取県北栄町：北条砂丘風力発電所）を紹介している。これらをふまえて、自ら居住する鶴岡市添川地区において、太陽光発電導入の実験を行い、年間発電量等を試算して、添川地区の年間消費量の 74%を賄えるとの結論を導き出した。そして、このような小単位での電力システムを実現するためには、住民と行政、民間企業・NPO 法人等の協力関係が重要であり、とくに住民のエネルギー問題への意識喚起が大切であるとして、発電量の見える化等、具体的な提言を行った。

本論文の優れた点は、第一に、再生可能エネルギーという課題を先進地欧州諸国の制度や事例と日本とを比較するというグローバルな視点をもちつつ、庄内地域のなかの鶴岡市添川地区において考えるというローカルな視点で取り組んだことである。つまりグローカルな取り組みであるということだ。第二に、実際に自宅の倉庫の屋根に太陽光パネルを設置して測定するという実験を行い、これに基づいて、添川地区全域の住宅の屋根にパネルを設置した

場合の試算を行ったという点である。ささやかではあるが、再生可能エネルギーを身近に考えるうえためのエビデンスを示した実証的な研究であると評価したい。ただし、実際に地域への導入を図るには、費用負担や住民の合意形成等、社会経済的な視点での考察を要する課題が多々あると思われる。

なお、再生エネルギーに関する実験や計算方法については、私の専門外であり、小野寺さんの謝辞にあるように、古山隆先生のご指導を賜った。記して感謝申し上げたい。とはいえ、本論文を推薦するにあたっての責任は指導教員にある。

小野寺さんは、卒業後、公共分野への ICT を使ったサービス提供の仕事に就くという。グローカルな視点とエビデンスにもとづく科学的視点を持って、活躍してくれることを心から期待している。

平 成 27 年 度

再生可能エネルギーとまちづくり

指 導 教 員　　伊 藤　　眞 知 子

C1120397　　小 野 寺　　唯

概 要

本論文では、再生可能エネルギーによって地方の地域でまちづくりが可能であるか、また、普及出来るのかを検討・提案することである。そのため、再生可能エネルギーの普及が進んでいるEU諸国と日本の制度の比較、EU諸国での取り組みや日本国内の取り組みの成功事例の分析、鶴岡市添川で太陽光発電を行った場合どれほど発電量を作ることができ、地域の消費量を賄えるのかを実験した。

始めに、制度については再生可能エネルギーの固定価格買取制度によって、国民の負担額が増えていることや電力会社が借金を抱えてしまう等、様々な問題が発生していることがわかった。再生可能エネルギーを普及させるために固定価格の金額を高めに設定することは後になって問題が生じるため、導入の増加によって価格設定の変更が必要だと考えた。

次に、EU諸国や日本国内の取り組みについては、どの事例でもその地域に住んでいる住民の協力が成功要因の一つであると言えるのではないかと考えた。また、継続的に運営してくためには、住民と行政、民間企業やNPO法人等様々な人々が協力することが重要だということがわかった。

最後に、私が住んでいる鶴岡市添川地域全体で太陽光発電を行なうと仮定した実験では、年間日射量は4042.07MJ/㎡、南東、真南、南西の範囲で太陽光モジュールの設置可能な屋根の面積は2,415 ㎡であることがわかった。以上の計算結果などから、年間発電量は554,389.3kWh、我が家の年間消費量は4,752kWhであり、これを添川地域の157世帯に適用すると、746,064kWhとなる。年間発電量を175世帯の年間消費量で割ると添川地域の74％の電力を賄えることがわかった。

（711字）

目次

はじめに.....1
1.再生可能エネルギー.....1
1.1.日本のエネルギー事情.....2
1.2.再生可能エネルギーとは.....4
1.3.各再生可能エネルギーのメリットとデメリット.....4
1.3.1.太陽光発電.....4
1.3.2.風力発電.....4
1.3.3.水力発電.....5
1.3.4.地熱発電.....5
1.3.5.バイオマス発電.....6
2.欧州諸国と日本の制度比較.....6
2.1.ドイツの制度について.....6
2.1.1.エネルギー政策の動向.....6
2.1.2.再生可能エネルギー導入政策・動向.....8
2.2.スペインの制度について.....10
2.2.1.エネルギー政策の動向.....10
2.2.2.再生可能エネルギー導入政策・動向.....10
2.3.スウェーデンの制度について.....12
2.3.1.エネルギー政策の動向.....12
2.3.2.再生可能エネルギー導入政策・動向.....12
2.4.日本の制度について.....13
2.4.1.エネルギー政策の動向.....13
2.4.2.再生可能エネルギー導入政策・動向.....15
2.4.2.1.固定価格買取制度の仕組みについて.....15
2.4.2.2.再生可能エネルギー発電促進賦課金について.....18
2.5.各国と比較した結果.....19
3.欧州諸国の取り組み.....20
3.1.ドイツの取り組み：グロースバールドルフ村「エネルギー協同組合」.....20
3.2.スペインの取り組み：バルセロナ「ソーラーオブリゲーション」.....22
3.3.スウェーデンの取り組み：ウンデルステンスホイデン「ストックホルム近郊のエコビレッジ」.....23
4.日本の取り組み.....25
4.1.長野県飯田市：おひさま進歩.....25

4.2.島根県奥出雲町：三沢小水力発電所.....28
4.3.鳥取県北栄町：北条砂丘風力発電所.....30
5.鶴岡市添川で太陽光発電を取り組んだ場合.....33
5.1.山形県のエネルギー戦略.....33
5.2.太陽光発電を導入する実験目的.....36
5.3.太陽光発電の原理.....36
5.4.変換効率.....39
5.5.鶴岡市添川の月別日射量と太陽光エネルギー量.....40
5.6.鶴岡市における太陽光発電の発電量の計算.....47
5.6.1.太陽光エネルギーから電気エネルギーへの変換.....47
5.6.2.太陽光パネルの公称最大出力と最大モジュール変換効率.....48
5.6.3.太陽光パネル１枚あたりの発電量.....49
5.6.4.屋根の方向と傾斜角度による発電電気量の比較.....49
5.7.対象地域の面積.....51
5.8.屋根上に設置する太陽光モジュールの面積.....53
5.9.鶴岡市添川の屋根に太陽光モジュールを設置した時の年間発電.....54
6.まとめ.....55
謝辞.....56
引用･参考文献.....56

はじめに

本論文の目的は、再生可能エネルギーによって地方の地域でまちづくりが可能であるか、また、普及できるのかを検討・提案することである。

日本はエネルギー資源に乏しく、化石燃料をほとんど輸入に頼っている。また、東日本大震災以降、電力不足が問題とされるとともに大規模集中型の電力システムのデメリットが浮き彫りになった。そのため、今後再生可能エネルギーの導入等によって分散型のエネルギーシステムを構築していくことが求められている。このような背景もあり、エネルギー問題、地球環境問題を解決する取り組みとして注目されているのが「再生可能エネルギー」と「省エネルギー」に対する取り組みである。

私は鶴岡市添川で生まれ育ったため、隣町である庄内町（旧立川町）の風力発電を行なう風車を身近に感じて育ってきた。そして、小学生の頃に風車によって電気を作っていることを知り、再生可能エネルギーに興味を持った。

今住んでいる鶴岡市の豊かな自然を活かして地域分散型の電力システムを構築するには、再生可能エネルギーを導入することで雇用促進や売電収益による経済発展、地域全体で取り組むことで住民同士の絆を深め、生活しやすい環境づくりを実現できるのではないかと考えたため、このテーマに決めた。

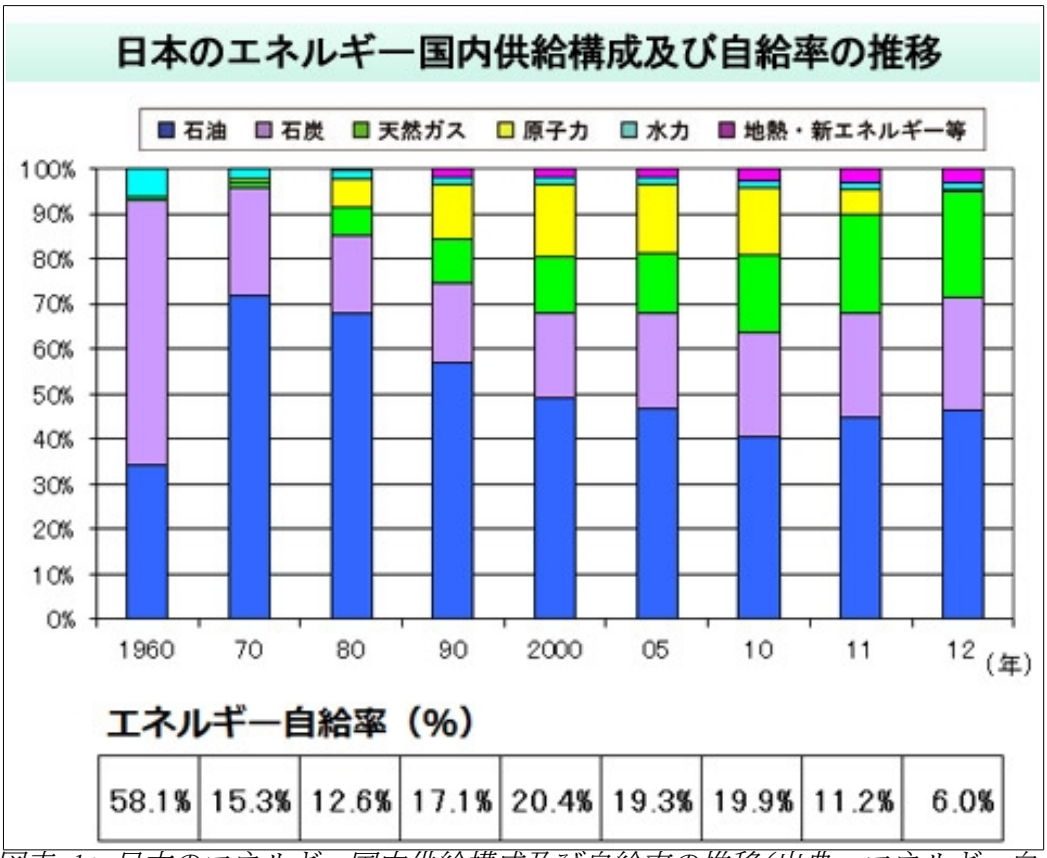
第1章では、日本のエネルギー事情や再生可能エネルギーのメリット・デメリットを整理し、再生可能エネルギーの必要性を述べたい。第2章では、再生可能エネルギーの導入が進んでいる欧州諸国3国のエネルギー政策等について調べ、日本との政策の違いを比較したい。第3章では、欧州諸国の取り組みについて調べ、なぜ成功したのかや共通点を見つけるなどをし、日本でも取り組めないかの検討をしたい。第4章では、日本での取り組みを調べ、どのように再生可能エネルギーによって地域活性化に繋げていったのかを突き詰めていきたい。第5章では、私の住んでいる地域（鶴岡市添川）で再生可能エネルギーの中で一番普及している太陽光発電を導入した場合、どれ程の年間発電量になり、消費量の何割程度を賄うことが出来るのかを実験したい。

1. 再生可能エネルギー

この章では、日本のエネルギー事情や再生可能エネルギーについて調べ、理解を深めるとともにエネルギーのあり方を自分なりに考え、まとめたい。

1.1. 日本のエネルギー事情

日本は、高度経済成長期に急激に経済発展を遂げたとともにエネルギー源の輸入が急増した。1995年から一次エネルギーの輸入量が急激に増え、1975年頃から輸入量増加の抑制努力があったが、エネルギーの輸入依存度は今だ高い状態が続いている。また、1990年代後半からは省エネルギー化が推進されたことやバブル経済の崩壊により経済成長が停滞したこともあり、一次エネルギー供給量の総量は増加傾向が鈍り、2000年以降は若干減少している。しかし、発電量については1970年以降年々増加している。これについて大髙敏男（2012）は、「電気機器への依存が高まって来たこと」が原因だとしており、家庭と工業分野の２つの観点から考えている。まず、家庭内では石油ストーブから電気式ヒートポンプ（ルームエアコン）へ、ガスコンロから電気調理機器へ、ガス式オーブンから電子レンジへと電化製品が主流になっていった。工業分野でも比較的安全性が確保しやすく制御が容易である電気を用いる機器の導入が進んでいる。例えば、電気とガス配管を比べると電気はインフラ整備が容易で災害時に二次災害を引き起こさないような安全装置を設置しやすい仕組みとなっている。しかし、電気依存が高くなると電気系統に障害が発生した時にはほとんどの機械が動かなくなるという大問題が発生する。



図表 1：日本のエネルギー国内供給構成及び自給率の推移(出典：エネルギー白書 2014)

発電に関しては、自然エネルギーである水力や地熱、風力等が利用されているが、安定供給に課題があること、設備にコストがかかること、耐久性が確保できないこと、設備制作に伴う二酸化炭素排出量が多くなること等の問題があり、供給量も発電量も少ないのが現状である。CO_2 を排出する火力発電依存を脱却すること、再生可能エネルギーによる発電へ移行をタイミングよく切り替えることが理想的だが、技術的にも経済的にも多くの課題がある。人間が地球と共存して永久に幸せで豊かな社会を継続的に発展していくためには、地球環境に配慮した新しいエネルギー資源の開発と利用するためのシステムが必要である。そして、そのエネルギーの資源は、持続可能なエネルギー源であること、エネルギーのリサイクル性があること、地球環境に調和したエネルギーであることが必要である。こうした背景から、再生可能エネルギーに対する期待が高まっている。

私は、完全に再生可能エネルギーに頼るのではなく、化石燃料と再生可能エネルギーのベストミックスを実現することが重要ではないかと考えた。再生可能エネルギーは不安定であるため、安定供給できる保証がない。そのため、安定供給が出来るエネルギーを軸とし、土地の特性を活かした再生可能エネルギーによって発電することで災害時にも対応できる地域分散型の

電力システムを構築することが出来るのではないかと考えた。過度に化石燃料に依存しないためにも再生可能エネルギーの発電に関する技術向上に期待したい。

1.2. 再生可能エネルギーとは

資源エネルギー庁によると再生可能エネルギーは、エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律で「エネルギー源として永続的に利用することができると認められるもの」として、太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存する熱、バイオマスが規定されている。また、再生可能エネルギーは、資源が枯渇せず繰り返し使え、発電時や熱利用時に地球温暖化の原因となる二酸化炭素をほとんど排出しない優れたエネルギーであると定義されている。

1.3. 各再生可能エネルギーのメリットとデメリット

各再生可能エネルギーのメリット・デメリットについて、資源エネルギー庁では以下のようにまとめている。

1.3.1. 太陽光発電

〇メリット
・エネルギー源は太陽光であるため、基本的には設置する地域に制限がなく、導入しやすいシステムである
・システム的に可動部分が少なく、一度設置すると発電などは自動的に行われるため、機器のメンテナンスはほとんど必要としない
・屋根、壁などの未利用スペースに設置できるため、新たに用地を用意する必要がない
・遠隔地の電源送電設備のない遠隔地（山岳部、農地など）の電源として活用することができる
・災害時などには非常用電源として使うことができる
〇デメリット
・気候条件により発電出力が左右される
・火力発電などの既存のエネルギーと比較すると発電コストが高い

1.3.2. 風　力　発　電

〇メリット

・再生可能エネルギーの中では発電コストが比較的低い
・工期が短い
・風車の高さやブレード（羽根）によって異なるが、高効率で電気エネルギーに変換できる
・地域のシンボルとして「町おこし」などにも活用される
・風さえあれば夜間でも発電が可能である
〇デメリット
・周辺環境との調和が困難（バードストライクの被害等）
・日本固有の台風などの気象条件による故障
・電力系統に影響を与えないための技術開発が必要であること

1.3.3. 水力発電

〇メリット
・流れ込み式[1] 中小水力発電所は自然の形状をそのまま利用するため大規模ダムなどの施設が不要である
・既に高度に確立された技術を使うため今まで未利用だった中小規模の河川や農業用水路などを利用することが可能である
・河川の未利用水資源の活用により河川環境の改善にもメリットがあるため総合的な環境保全に結びつく
〇デメリット
・地域（地点）の使用可能な水量や有効落差などの条件に左右される
・環境保護の観点から魚などの動植物への影響度調査が必要な場合がある
・投資に対する回収期間が比較的長い
・水利権の取得などをクリアする必要がある

1.3.4. 地熱発電

〇メリット
・地下の地熱エネルギーを使うため、化石燃料のように枯渇する心配が無く、長期間にわたる供給が期待される
・地下に掘削した井戸の深さは 1,000 ～3,000m で昼夜を問わず坑井から天然の蒸気を噴出させるため、発電が連続して行われる

1　河川や用水路などの流れをそのまま利用する発電方法。

・発電に使った高温の蒸気・熱水は農業用ハウスや魚の養殖、地域の暖房などに再利用できる
〇デメリット
・立地地区は公園や温泉などの施設が点在する地域と重なるため地元関係者との調整が必要である

1.3.5. バイオマス発電

〇メリット
・家畜排泄物、稲ワラ、林地残材など、国内の農産漁村に存在するバイオマス資源を利活用することにより農産漁村の自然循環環境機能を維持増進し、持続的発展を図ることが可能となる
・家畜排泄物や生ゴミなどを資源として活用することで地域環境の改善に貢献できる
・光合成により CO_2 を吸収して成長するバイオマス資源を燃料とした発電は「京都議定書」における取扱上、実質 CO_2 を排出しないものとされているため地球温暖化対策になる
・未活用の廃棄物を燃料とするバイオマス発電は、廃棄物の再利用や減少に繋がるため循環型社会構築に大きく寄与する
〇デメリット
・資源が広い地域に分散しているため、収集・運搬・管理にコストがかかる小規模分散型の設備になりがちである

2. 欧州諸国と日本の制度比較

この章では、一般社団法人の海外電力調査会による「各国の電気事業」をもとに再生可能エネルギーの導入が進んでいるドイツ、スペイン、スウェーデンの制度を調べ、日本と比較する。その結果を章末にまとめる。

2.1. ドイツの制度について

2.1.1. エネルギー政策の動向

ドイツは第二次大戦後の冷戦によって東西に分断されていたが、1990年に社会主義国家東ドイツの崩壊によって統一された。統一後は旧東ドイツ地域での経済が落ち込み、非効率な火力発電設備の更新や閉鎖が行われた。そのため、ドイツのエネルギー消費量は1990年代以降、漸減あるいは横這いの状態が続いている。一次エネルギー消費量については、第一次オイルショックの1973年以降2011年が最も低い水準となった。しかし、これは温暖な気候に恵まれた

ことが影響したと考えられており、気候要因を取り除いた場合はエネルギー消費はほぼ例年並みとされている。

供給面では、もともと褐炭と石炭を豊富に産出する国であるため、石炭資源は歴史的に工業の発展に大きく寄与してきた。1960年代以降、石炭は安い輸入石油に首位を奪われたが、政府は1973年の石油危機をきっかけに石炭への再転換策を打ち出し、石炭産業を保護してきた。その結果、2011年現在でも石炭の生産量は国内エネルギー生産量の37％（暫定値）を占め、原子力等を加えたエネルギー自給率は41％（暫定値）を維持している。

石炭は特に発電用に大量に使用されている。政府の石炭産業保護策によって電力会社に課された国内炭引き取り義務は1996年に廃止されたが、その後も補助金の形で保護策が継続されている。その結果、石炭火力のシェアは2011年現在でも全体の発電量の約46％（暫定値）を占めている。最近では天然ガス火力も導入されているが、まだ総発電量の14％程度にとどまっている。

石油危機をきっかけに注目されたもう一つのエネルギーは原子力である。1975年に初めて原子力発電所が商業運転を開始したことを皮切りに原子力の開発を進め、17基の原子力発電所（計 2,049 万kW）が建設された。しかし、1986年のチェルノブイリ事故をきっかけに原子力への反対運動が活発化した。1998年に成立した社会民主党（ SPD ）と緑の党による連立政権は脱原子力政策を打ち出し、2002年には原子力法が改正され、原子力発電所は32年間の運転後順次、閉鎖されることになった。

2009年に成立した原子力推進派キリスト教民主社会同盟（ CDU ・ CSU ）と自由民主党（ FDP ）によるメルケル政権は、2010年10月、脱原子力政策を一部見直す原子力法の改正を実施し、原子力発電所の運転期間を32年としていたが12年延長した。しかし、2011年 3 月に発生した福島第一原子力発電所の事故を受け、メルケル政権は脱原子力に転じた。2011年 7 月には、最も古い 7 基（故障で停止中の発電所を含めると 8 基）を閉鎖し、運転中の 9 基も2022年までに段階的に閉鎖することを決めた。そのため、原子力に代わって政府が開発を推進してきたのが再生可能エネルギーである。特に政府は再生可能エネルギーとコージェネレーション[2] の開発に力を注いでおり、政府は1991年の「電力買取法」、2000年の「再エネ開発促進法」により、「固定価格買取制度」（ FIT ）を導入し、電力会社に対してこれらの電源からの発電電力を高い価格で買い取ることを義務付けた。

2　電気と熱を同時に生産するシステムのこと。

2010年稼働設備の価格（太陽光のみ7月～9月稼働の設備）

太陽光	屋根用	その他
調達価格	33.2～44.3円/ｋWh	32.5～34.0円/kwh
調達期間	20年間	20年間

※屋根用の自家消費分（30ｋW以下）は21.5～27.1円

風力	陸上	洋上
調達価格	11.8円/ｋWh	19.5円/ｋWh
調達期間	20年間	20年間

水力	5,000ｋW以下	既存のリパワーメント
調達価格	9.9円～16.5円/ｋWh	4.5～9.4円/ｋWh
調達期間	20年間	15年間

地熱	
調達価格	13.5～20.6円/ｋWh
調達期間	20年間

バイオマス	20,000ｋW以下
調達価格	7.9～29.2円/ｋWh
調達期間	20年間

※燃焼源となるバイオマス、種類によって、異なる価格を設定

1ユーロ＝130円で換算

図表 2:買取価格と期間（資源エネルギー庁第６回 買取制度小委員会 説明資料「再生可能エネルギーの全量買取制度における詳細制度設計について」を参考に作成）

このような政策が功績をあげ、再生可能エネルギーの中では特に風力、太陽光発電の開発が進んだため、2012年にはそれぞれ3,000万kWを超え世界的規模を誇るまでになった。

2.1.2. 再生可能エネルギー導入政策・動向

政府は再生可能エネルギー開発推進のため、1991年に「電力買取法」、さらに2000年には「再エネ開発促進法」（EEG）を制定した。同法により「固定価格買取制度」（FIT）が導入され、電力会社に対して再生可能エネルギー電源（以下「再エネ電源」という）からの発電電力を高い価格で買い取ることを義務付けた。その結果、特に風力発電の開発が急進展した。発電量は1990年～2013年の間に約570倍に増大し、2013年末では3,404万kWの規模に達している。今後政府は風力発電設備の出力を増加するためのリパワリングや洋上風力の導入を中心にさらに開発を進め、陸上風力は年間250万kW、洋上風力は2020年までに650万kWを導入する計画を

立てている。また、太陽光の導入も急進展してきた。住宅に太陽光発電パネルを設置するケースに加え、大規模なソーラー発電所（メガソーラー）の建設も進めており、2013年末現在3,691万kWと世界一の設置規模となっている。しかし、大量の太陽光の導入は、消費者の費用負担を急増させるという問題を起こしている。

2014年現在、一般家庭の再エネ電源導入費用の負担額は月額18ユーロ（約2,520円）を超え、電気料金支払額の21.4%を占めている。政府は消費者の負担増加を重く見たため、2012年4月に太陽光発電の買取価格を一段と引き下げるとともに、設置規模が5,200万kWを超えた後に設置される太陽光発電設備にはFITを適用しないことを法律で決めた。さらに、政府はFIT制度の抜本的な見直しに取り組む方針を打ち出し、2013年2月にはEEG改正法案を発表した。この法案には、

(1) 150kW以上の新規の再エネ電源にはFITを適用しない
(2) 既設に対しては2014年に限り買取価格を一律1.5％引き下げる
(3) 大口産業用需　要家に適用されている再エネコスト負担の減免措置を見直す

などが付け足された。しかし、見直しに反対する声が強かったため、法案審議は2013年9月の総選挙後に持ち越された。この総選挙では与党CDU・CSUが勝利したが、過半数に届かなかったため、2013年12月に最大野党SPDとの大連立政権が樹立された。その結果、EEGの見直しは前述の前政権時に計画されていたものから変更された。2014年7月に成立した改正EEG法では、以下のように規定された。

(1) 再エネ発電比率を2025年に40～45%（2012年23%）、2035年に55～60%まで引き上げる
(2) 助成金の中心を風力と太陽光に絞り、これまでの過剰な助成を廃止する
(3) 電源ごとに新規設置容量の上限を設定し、過剰な発電装置については買取価格の額を引き下げる
(4) 大口産業用需要家を対象とした減免措置の適用基準を厳しくする

2014年8月1日以降は出力500kWを超える新規発電装置に対して、発電した電力を市場で直接販売することを義務づける「ダイレクト・マーケティング制度」を適用するとした。2016年以降は、出力100kWを超える新規再エネ電源にも同制度を適用するため、再エネ電力の市場への統合が今後進められる。しかし、CDUが計画していた「既設の再エネ設備の買い取り価格引き下げ」と「FITの小規模太陽光発電に限定しての適用」などは採用されないため、今後消費者（特に中小企業や一般家庭）の負担がどれだけ抑えられるかは明確にされていない。

2.2. スペインの制度について

2.2.1. エネルギー政策の動向

政府は地球温暖化対策やエネルギーセキュリティの観点から、石油・国内炭からガスへの燃料の転換を推進し、再エネ開発も進めている。その結果、2011年には発電電力量でガス33%、石炭８%、石油６%とガスが火力発電の主力となった。また、再生可能エネルギーによる発電は、従来からの水力（15%）に加えて、風力15%、太陽光２%、バイオマス１%と、再エネ電源が33%にまで拡大され、ガス火力と並ぶ重要な電源となっている。しかし、再エネ電源の急増で電力会社は巨額の赤字を抱えることになり、大きな経営問題となっている。

原子力発電については、チェルノブイリ以降、新規建設は中止した。既存設備ついては、一時、社民党政権時に政府が発電比率を低減する方針を打ち出していた。しかし、現政権は既設の原子力発電所の運転を継続する方針を明らかにしているため、一定の規模で維持されることが予想されている。

2.2.2. 再生可能エネルギー導入政策・動向

スペインは早い時期から再生可能エネルギーの開発に積極的に取り組んできた。1992年に初めて再エネ電源の導入計画が策定されたことを皮切りに、同計画は数年に一度改定され、新たな再エネ導入目標が設定されてきた。2011年の「再エネ国家行動計画」（2011年～2020年）では、2020年に2010年比で陸上風力を 1.7 倍の 3,500 万kW、太陽光は 1.9 倍の 725 万kW、太陽熱は 7.6 倍の 480 万kW、バイオマスは 2.4 倍の 195 万kWと大幅に増設する計画が打ち出された。太陽熱は2007年に初めて導入したため、太陽光に比べて開始は遅れたが、2020年には発電電力量で太陽光を上回ると予想されている。また洋上風力は2013年、潮力は2016年、地熱は2018年からそれぞれ導入を開始しており、段階的に増設して行く計画を立てている。その結果、多くの風力、太陽光、太陽熱発電所が設置され、太陽光の導入量は2008年に世界第２位となるなど、世界有数の再エネ発電国となった。しかしその後、再エネ買取制度の見直しにより再エネ電源の新設が徐々に減少しているため、再エネ導入目標の達成が疑問視され始めている。2013年現在、風力は 2,290 万kWで世界 4 位、太陽光は 460 万kWで世界 6 位、太陽熱は 230 万kWである。これらの再エネ電源は2013年現在水力を含めてスペインの総発電設備の47%、また総発電電力量の42%を占めている。

再エネ導入量の増減をもたらしたのは、固定価格買取制度（FIT）である。スペインでは1994年から導入されており、電力会社に対して、再生可能エネルギーによる発電電力を高い価

格で買い取ることを法律で義務付けた。買取価格は、再生可能エネルギーの開発促進のため2007年まで段階的に引上げられた。しかしそれ以降、買取価格は引下げられ、買取期間の短縮や再エネ電源の導入制限などの措置が実施された。

2010年稼働設備の価格　（規定の買取価格期間経過後は、減額した買取価格を適用）

太陽光	屋根用（50,000ｋW以下）	その他50,000ｋW以下）
調達価格	41.6円～44.2円/ｋWh	37.8円/kwh
調達期間	25年間	25年間

風力	50,000ｋW以下
調達価格	10.2円/ｋWh
調達期間	20年間

水力	10,000ｋW以下	10,000ｋW超、50,000ｋW以下
調達価格	10.8円/ｋWh	1.8～2.9円/ｋWh+売電価格
調達期間	25年間	25年間

地熱	50,000ｋW以下
調達価格	9.5円/ｋWh
調達期間	20年間

バイオマス	50,000ｋW以下
調達価格	7.4～22.1円/ｋWh
調達期間	15年間

廃棄物	50,000ｋW以下
調達価格	5.3～9.4円/ｋWh
調達期間	１５年間

1ユーロ＝130円で換算

図表 3:　買取価格と期間（資源エネルギー庁第6回 買取制度小委員会 説明資料「再生可能エネルギーの全量買取制度における詳細制度設計について」を参考に作成

さらに2012年には、再エネ発電の買取を停止した。2014年6月には買取再開が決まったが、買取価格などの買取条件は大幅に変更され、買取を制限するものとなった。買取制度の見直しを実施したきっかけは、政府が買取コストを電気料金に転嫁することを認めなかったことにより、電力会社が2013年5月までの累積260億ユーロ（約3.4兆円）にもなる巨額の赤字を抱えることになったからである。そのため、最近は外国企業がこれらの電力会社を売却する動きがある。

2.3. スウェーデンの制度について

2.3.1. エネルギー政策の動向

スウェーデンは化石燃料資源に乏しく、国内では泥炭などを少しだけ産出するのみで、石炭や石油、天然ガスの供給は、ほとんど輸入に依存している。一方で、豊富な水力資源や原子力を利用した発電が行われている。国土の特性である広大な森林地帯を活かして、木質燃料などのバイオマスによる発電や熱供給も盛んである。このため、化石燃料資源には乏しいが、スウェーデンの国内エネルギー自給率は2012年時点で72%に達している。

発電では、化石燃料による火力発電は少なく、水力や原子力のように CO_2 を排出しない電源が主力となっている。2012年の国内発電電力量 1,666 億 kWh のうち、水力が48%、原子力が38%という割合になっており、この 2 種類の電源で 90% 近くを占めている。一方で、化石燃料による発電比率は２%にとどまっている。他の電源としては、バイオマス・廃棄物発電は８%、風力は 4 %となっている。国土が高緯度に位置することもあり、2012年の太陽光発電の実績は 0.1 %未満とごくわずかである。

スウェーデンでは包括的なエネルギー気候変動政策が2009年に政府により策定され、議会で承認されている。電力供給はこれまで、原子力と水力に大きく依存してきたが、同政策では、電源の多様化による安定供給の確保を図るため、第 3 の柱として、コージェネレーション、風力、その他の再生可能エネルギーのシェア拡大を、中長期的に目指す方針が打ち出している。

2.3.2. 再生可能エネルギー導入政策・動向

欧州連合（EU）の政策的取り決めによって、スウェーデンは2020年までに、国内エネルギー消費量に占める再生可能エネルギー（水力を含む）のシェアを49%まで引き上げることが義務付けられている。さらに、スウェーデンは2009年のエネルギー気候変動政策においては、自国独自の目標として、そのシェアを50%とすることを目指している。これに対し、2012年実績では51%となり、すでに目標を上回る結果となった。国内の再エネ導入を支える主要な支援策として、2003年より「再生可能エネルギー利用基準（Renewable Portfolio Standard）制度」、いわゆる RPS 制度を導入している。

クォータ義務量	電力消費量のうち 2003年：7.4%～ 2010年：16.9%	義務対象者	電力需要家 （小売事業者が義務履行を代行）	対象エネルギー	水力※、太陽、風力、地熱、潮力、 波力、バイオマス ※水力は1.5MW以下の既存設備、 1.5MW以上の既存設備の増設、 新規設備が対象

図表 4：RPS制度概要（資源エネルギー庁ホームページ掲載資料を参考に作成）

RPS制度では、電力会社は販売電力量に対する一定割合の再エネを調達することが義務付けられており、一部の電力大口需要家も消費量に対する一定割合の調達を義務付けられている。その割合は、初めて導入した2003年の7.4％から段階的に引き上げられており、2014年現在では14.2%になった。また、対象となる電源には、大規模水力を除く風力、太陽光、バイオマス、小水力など多様な再エネに加えて、国産燃料である泥炭（コージェネレーション用）も含まれている。

義務を負う電力会社などが「再エネ証書」によって、実際にどれだけ再エネ電力を調達したかの検証を可能にしている。再エネ発電事業者は、自らの発電量に等しい「再エネ証書」を国の認証機関から受け取る。これを再エネ証書市場で売却することにより、追加的な収入を得ることができるという仕組みになっている。証書の買い手は、調達義務を負う電力会社などである。義務を負う電力会社は毎年、自らの義務量に等しい再エネ証書を確保しておかなければならない。再エネ証書の価格は市場で決定されるため、欧州で広く普及している「固定価格買取制度」（FIT）などと比較して、より市場ベースの支援策であると言える。2012年からは、隣国のノルウェーと共同の再エネ証書市場が立ち上げられ、再エネ証書の国際的な調達も可能になっている。

2.4. 日本の制度について

2.4.1. エネルギー政策の動向

2014年4月11日に閣議決定されたエネルギー基本計画によると、エネルギー政策の着実な遂行を確保することを目的として、2002年6月に「エネルギー政策基本法」（以下「基本法」という）が制定された。基本法は、政府が総合資源エネルギー調査会の意見を聴き、エネルギーの需給に関する施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るために「エネルギー基本計画」（以下「計画」という）を策定することを定めており、少なくとも3年に1度の頻度で内

容について検討し、必要に応じて変更することが求められている。　基本法に基づき、最初の計画が2003年10月に策定され、その後、第二次計画が2007年３月、第三次計画が2010年６月に策定された。第三次計画では、2030年に向けた目標として、エネルギー自給率と化石燃料の自主開発比率を倍増し、自主エネルギー比率を約70％とすること、電源構成に占めるゼロ・エミッション電源[3] の比率を約70％とすることなどを計画していた。しかし、第三次計画の策定後、エネルギーを巡る環境は、東日本大震災や東京電力福島第一原子力発電所事故を始めとして、国内外で大きく変化したためエネルギー政策は、大規模な調整をせざる負えない事態になった。2014年４月に策定された第四次計画は、こうした大きな環境の変化に対応すため、新たなエネルギー政策の方向性を示す内容になった。この第四次計画では、今後20年程度の中長期エネルギー需給構造を念頭に、今後取り組むべき政策課題と長期的、総合的かつ計画的なエネルギー政策の方針をまとめている。

安定的で社会の負担の少ないエネルギー供給を実現するエネルギー需給構造の実現は、国が更なる発展を遂げていくための前提条件である。しかし、エネルギー需給構造は脆弱性を抱えており、特に、東日本大震災や東京電力福島第一原子力発電所事故後に直面している課題を克服するには、エネルギー需給構造の改革を大胆に進めていくことが求められる。エネルギー政策の推進に当たっては、生産・調達から流通、消費までのエネルギーのサプライチェーン全体を視野に入れ、基本的な視点を明確にして中長期に取り組んでいくことが重要だと考えられている。

エネルギー政策では「3E+S」を基本的視点としている。「3E+S」とは、安全性（Safety）を前提とした上で、エネルギーの安定供給（Energy Security）を第一とし、経済効率性の向上（Economic Efficiency）による低コストでのエネルギー供給や環境への適合（Environment）を実現するために最大限の取組を行うことである。あらゆる面（安定供給、経済効率性、環境性、安全性）で優れたエネルギー源はないため、この４つの視点をバランスよく実現するエネルギー構成が重要だと考えられている。また、国内資源には限りがある。社会的・経済的な活動が安定的に営める環境を実現するには、需要と供給が安定的にバランスのとれた状態を継続的に確保できるエネルギー需給構造を確立する必要がある。そのためには、普段からエネルギー供給量の変動や価格変動に柔軟な対応ができるように安定性と効率性を確保しなければならない。また、危機時など特定のエネルギー源の供給に支障が発生した場合、他のエネルギー源を円滑かつ適切に代替設備として利用できるようにする必要がある。このような「多層化・多様化した柔軟なエネルギー需給構造」の実現を目指すため、以下の方向性を

3　原子力及び再生可能エネルギー由来の電源のこと。

踏まえて政策を進めていくことが決められた。

(1) 各エネルギー源が多層的に供給体制を形成する供給構造の実現

(2) エネルギー供給構造の強靭化の推進

(3) 構造改革の推進によるエネルギー供給構造への多様な主体の参加

(4) 需要家に対する多様な選択肢の提供による、需要サイドが主導するエネルギー需給構造の実現

(5) 海外の情勢変化の影響を最小化するための国産エネルギー等の開発・導入の促進による自給率の改善

(6) 全世界で温室効果ガスの排出削減を実現するための地球温暖化対策への貢献

2.4.2. 再生可能エネルギー導入政策・動向

2.4.2.1. 固定価格買取制度の仕組みについて

再生可能エネルギーの固定価格買取制度は、再生可能エネルギー源（太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス）を用いて発電された電気を国が定める固定価格で一定の期間電気事業者に調達を義務づけるものであり、2012年7月1日に開始した。

太陽光	10kW未満			
	余剰買取		ダブル発電・余剰買取	
	出力制御対応機器 設置義務なし	出力制御対応機器 設置義務あり※	出力制御対応機器 設置義務なし	出力制御対応機器 設置義務あり※
調達価格	33円	35円	27円	29円
調達期間	10年間		10年間	

※北海道電力・東北電力・北陸電力・四国電力・九州電力・沖縄電力の受給制御に係る区域において平成27年4月1日以降に接続契約申込が受領された発電設備は、出力制御対応機器の設置が義務付けられている。

太陽光	10kW以上	
	平成27年4/1～6/30 （利潤配慮期間）	平成27年7/1～
調達価格	29円＋税	27円＋税
調達期間	20年間	20年間

風力	20kW以上	20kW未満	洋上風力※
調達価格	22円＋税	55円＋税	36円＋税
調達期間	20年	20年	20年

※建設及び運転保守のいずれの場合にも船舶等によるアクセスを必要とする。

地熱	15,000kW以上	15,000kW未満
調達価格	26円＋税	40円＋税
調達期間	15年間	15年間

水力	1,000kW以上 30,000kW未満	200kW以上 1,000kW未満	200kW未満
調達価格	24円＋税	29円＋税	34円＋税
調達期間	20年間	20年間	20年間

既設導水路 活用中小 水力（※）	1,000kW以上 3,000kW未満	200kW以上 1,000kW未満	200kW未満
調達価格	14円＋税	21円＋税	25円＋税
調達期間	20年間	20年間	20年間

※既に設置している導水路を活用して、電気設備と水圧鉄管を更新するもの。

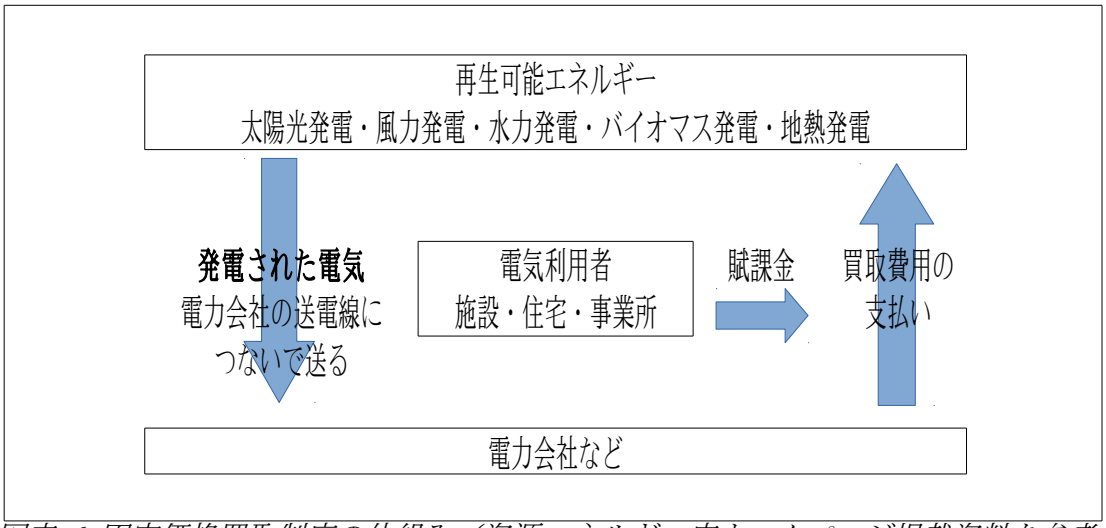
バイオマス	メタン発酵ガス （バイオマス由来）	間伐材等由来の木質バイオマス	
		2,000kW未満	2,000kW以上
調達価格	39円＋税	40円＋税	32円＋税
調達期間	20年間	20年間	20年間

バイオマス	一般木質 バイオマス・ 農作物残さ	建設資材廃棄物	一般廃棄物 その他のバイオマス
調達価格	24円＋税	13円＋税	17円＋税
調達期間	20年間	20年間	20年間

バイオマスの例
（メタン発酵ガス）下水汚泥・家畜糞尿・食品残さ由来のメタンガス
（間伐材等由来の木質バイオマス）間伐材、主伐材※
（一般木質バイオマス・農作物残さ）製材端材、輸入材※、パーム椰子殻、もみ殻、稲わら
（建設資材廃棄部物）建設資材廃棄物、その他木材
（一般廃棄その他のバイオマス）剪定枝・木くず、紙、食物残さ、廃食用油、汚泥、家畜糞尿、黒液
※「発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン」に基づく証拠のないものについては、建設資材廃材物として取り扱う

図表 5: 固定価格買取制度（資源エネルギー庁のホームページ掲載資料をもとに作成）

電気事業者が調達した再生可能エネルギー電気は、送電網を通じて国民が普段使う電気として供給される。そのため、電気事業者が再生可能エネルギー電気の買取りに要した費用は、電気料金の一部として使用電力に比例した「賦課金」という形で国民が負担することになっている。この制度により、エネルギー自給率の向上、地球温暖化対策、産業育成を図るとともに、コストダウンや技術開発によって再生可能エネルギーが日本のエネルギーを支える存在となることを目指している。対象となるエネルギーは「太陽光」「風力」「水力」「地熱」「バイオマス」の５つで、国が定める要件を満たす設備を設置して、新たに発電を始める場合が対象である。発電した電気は全量が買取対象になるが、住宅用など10kW未満の太陽光発電の場合は、自分で消費した後の余剰分が買取対象となる。



図表 6:固定価格買取制度の仕組み（資源エネルギー庁ホームページ掲載資料を参考に作成）

発電形態	2012年度	2013年度	2014年度	2015年度（4月～6月分）	固定価格買取制度開始当初からの累積
太陽光発電（10kW未満）	232,068.3	485,686.0	578,017.8	205,313.7	1,501,085.8
太陽光発電（10kW以上）	18,952.9	425,466.9	1,317,731.0	652,966.1	2,415,116.9
風力発電設備	274,171.2	489,638.3	492,082.3	110,905.1	1,366,796.9
水力発電設備	12,007.4	93,552.6	107,277.2	40,216.0	253,053.2
地熱発電設備	123.5	570.9	608.1	533.3	1,835.8
バイオマス発電	21,698.5	316,940.0	364,438.0	112,357.0	815,433.5
合計	**559,021.8**	**1,811,854.7**	**2,860,154.4**	**1,122,291.2**	**6,353,322.1**

図表 7:固定価格買取制度における再生可能エネルギー発電設備を用いた発電電力量の買取実績について（単位：万kWh）（資源エネルギー庁詳細情報を参考に作成）

図表 7 により、固定価格買取制度の買取電力量は年々増加していることがわかる。特に太陽光発電（10kW）の累計金額が多くなっていることがわかる。これは、非住宅用太陽光発電の全量買取の仕組みが導入されたことにより、メガソーラーが普及したからではないかと考える。まだまだ再生可能エネルギーによって発電できる地域があると考えるため、今後も買取電力量は増えていくのではないかと予想する。

2.4.2.2. 再生可能エネルギー発電促進賦課金について

再生可能エネルギーの買取りに要する費用は、全国一律の単価により電気の使用量に応じた再生可能エネルギー発電促進賦課金（以下「再エネ賦課金」という）として、電気を利用する人々が負担する制度である。しかし、再生可能エネルギーの導入速度は地域間でばらつく可能性があるため、その負担を調整する機関（費用負担調整機関）を設置した。全国一律の単価により各電力会社等が集めた賦課金を費用負担調整機関が一旦回収してから、買取費用に応じて各電力会社等に交付金を交付する仕組みになっている。再エネ賦課金の単価は、買取価格等をもとに年間でどのくらい再生可能エネルギーが導入されるかを推測し、毎年度経済産業大臣が決める。推測値と実績値に差が出た場合は、翌々年度の再エネ賦課金単価で調整する。また、エネルギー多消費事業者については、再生可能エネルギー発電促進賦課金の減免制度がある。

電気料金 ＋再生可能エネルギー発電促進賦課金＝月々の電力会社の支払い

＜再生可能エネルギー発電促進賦課金の算定方法＞
（平成27年5月の電気料金から適用される単価）
再生可能エネルギー発電促進賦課金＝自身が使用した電気料（ｋWh）X1.58円/ｋWh
※ただし、大量の電力を消費する事業所で、国が定める要件に該当する方は、再生可能エネルギー賦課金の額の8割が免税される

図表 8:再生可能エネルギー発電促進賦課金の算定方法（資源エネルギー庁ホームページ掲載資料を参考に作成）

再生可能エネルギー発電促進賦課金の特徴をまとめると、以下のことが挙げられる。

・電気を使う全ての人が負担する
・電気料金の一部となっている
・負担額は電気の使用量に比例する
・再エネ賦課金の単価は、全国一律の単価になるように調整を行う

・利用者から集めた再エネ賦課金は、一旦電気事業者が買取制度で電気を買い取るための費用となり、最終的には再生可能エネルギーで電気をつくっている人に届けられる

2.5. 各国と比較した結果

最初にドイツと比較してみると、福島第一原子力発電所の事故をきっかけに脱原発に方向転換し、再生可能エネルギーとコージェネレーションの開発に力を注ぐようになったため、事故が起きた日本より原子力発電を危険視しているのがわかる。早い段階で再生可能エネルギーに切り替えたが、大量の太陽光発電の導入により一般家庭の再エネ電源導入費用の負担額が増えるという問題がおきてしまった。原因として、固定買取価格制度による価格が高いことが考えられる。年度は違うが、太陽光発電のその他の買取金額を日本と比較すると、ドイツは1kWhあたり32.5～34.0円に対して日本は29円である。このことから最大５円も高いことがわかる。
よって、再生可能エネルギーの導入が進むにつれて、国民の負担を急増させないためにも買取金額の見直しを定期的する必要があるのではないかと考えた。

次にスペインと比較してみると、日本と同じく脱原発はしていないが、太陽光、太陽熱、風力、バイオマス発電など様々な再生可能エネルギーを導入されていることがわかる。しかし、固定価格買取制度により電力会社が巨額の借金を抱えることになってしまっている。この事例からは、買取価格によって再生可能エネルギーの導入促進に歯止めをかけていることがわかる。また、最近は外国企業が電力会社を売却しているため、エネルギーの地産地消が実現できていないという問題も起きている。日本でエネルギーの地産地消を実現するためには、政府と電力会社が協力し、綿密なエネルギー政策や計画を立てる必要があるのではないかと考えた。

最後にスウェーデンと比較してみると、日本と同じく化石燃料に乏しく、輸入に依存している。しかし、国土を活かした、水力、バイオマス発電や熱利用が盛んであるため、エネルギー自給率が高いことがわかる。また、再生可能エネルギー利用基準制度を導入しており、電力会社の発電量に等しい再エネ証書を受け取ることから、無理なくエネルギーの安定確保ができている。この制度により安定した再生可能エネルギーの導入促進にも繋がっているのではないかと考えた。

日本では、固定価格買取制度が適用されているが、エネルギー自給率は今だ低い状況である。また、今後再生可能エネルギーの普及に伴い様々な問題が起きるかもしれないが、先進国や他国の導入実績を活かし、電力会社の経営困難や国民の負担増加を少しでも回避できるようにするべきだと思う。今回調査対象とした３国の制度により、固定価格買取制度の問題点や化石燃料に乏しくても自然エネルギーを利用することでエネルギー自給率が高められることがわかっ

た。そのため、日本でも無理なく再生可能エネルギーの導入することが出来れば、永続的に安定した地域分散型システムを構築することが出来るのではないかと考えた。

3. 欧州諸国の取り組み

この章では、ドイツ、スペイン、スウェーデンの取り組みについて調べ、成功要因や、日本でも取り組める要素があるかを検討をしたい。

3.1. ドイツの取り組み：グロースバールドルフ村「エネルギー協同組合」

グロースバールドルフ村は、バイエルン州第2の都市ニュルンベルク北西約120㎞、レーン＝フェルト郡の南部に位置している。人口は946人、234世帯、面積約17㎢の小さな村である。南ドイツの典型的な農村地域であるが、この村のバイオエネルギーに関する取り組みが評価されたため、2012年11月に連邦農業省から「バイオエネルギー村」として表彰されている。この村では、「アグロクラフト有限会社」と「エネルギー協同組合」によって再生可能エネルギーの利用が推進されている。

アグロクラフト社は、バイエルン州農業者連合とレーン＝グラプフェルト郡のマシーネンリンク[4] の共同出資により、2006年に設立された有限会社である。出資比率は50％ずつで、バイエルン州農業者連合のトップであるマティアス・クレッフェル氏とマネージャーであるミヒャエル・ディーステル氏が共同マネージャーを務めている。また、マシーネンリンクのトップは監査役を務めている。この会社は、再生可能エネルギーの普及や地域の発展、農業を推進するためのプロジェクトやアイデアを提供することが主な仕事のコンサルティング会社である。アグロクラフト社の提案によって生み出された具体的なプロジェクトは、プロジェクトごとに設立されるエネルギー共同組合によって運営され、各プロジェクトは独立して動いている。2008年以降、郡内に39のエネルギー共同組合が設立され、80人の理事、190人の監事、3,000人の組合員を抱えるほど大きくなっている。収入源は、プロジェクトの発案費用やアイデアの提供費用などのコンサルティング費用、設備設置時の建設費用などである。この費用は、それぞれのプロジェクトを運営する農民やエネルギー協同組合から支払われている。

2008年に6月25日にレーン＝グラプフェルト郡にライファイゼン・エネルギー協同組合が設立された。このエネルギー協同組合が掲げるスローガン「村のお金は村に！」は再生可能エネルギーから得られる利益を地域社会に還元して循環させていくことを意味している。郡レベルのエネルギー協同組合の下に、村ごとにエネルギー協同組合を設置することで、より小さな単

4　トラクターなど大型の農業機械を共同購入・管理・使用するための協同組合のこと。

位で取り組みを進めることを可能にしている。また、地域の住民が主体となることで、「村のお金は村に！」の理念を実現している。

グロースバールドルフ村のライファイゼン・エネルギー共同組合は、地熱発電供給システムを運営するために2009年11月 4 日に設置された。設立時のメンバーは40人で、それぞれが 100 ユーロ（ 1 万円）を出資し、合計 4,000 ユーロ（40万円）の出資金で設置された。2012年現在、メンバーは 154 人に増えたため、出資金総額は 621,600 ユーロ（約 6,200 万円）に達している。

この取り組みの背後には、これまで地域の資金が地域のために使われてこなかったという現実がある。レーン＝グラプフェルト郡の住民の年間貯蓄総額は12,500万ユーロ（ 125 億円）に及ぶ。また、2011年時点の郡内の民間金融資産合計額は45億ユーロ（ 4,500 億円）で、郡の人口は84,000人いるため 1 人あたりの金融資産は52,510ユーロ（約 525 万円）になる。このような地元の貯蓄や資産をうまく使うことが出来れば、地域振興が促進される。そのための 1 つの仕組みとして生まれたのが、アグロクラフト社とライファイゼン・エネルギー協同組合であった。アグロクラフト社が関わっているプロジェクトは、レーン＝グラプフェルト郡全域に及んでいるが、その中心はグロースバールドルフ村である。代表的なプロジェクトは太陽光発電プロジェクト、地域熱供給事業、バイオガス発電プロジェクトが挙げられる。

今回は、ライファイゼン・エネルギー協同組合が設立されるきっかけになった地域熱供給事業について取り上げたい。地域が主体となって熱供給を行うために、2010年から熱供給用のパイプラインの設置が始まった。バイオガス施設で生み出される熱を用いて水を温め、総延長 6㎞ のパイプラインを通じて村内 121 世帯の住宅に85℃の温水を送っている。しかし、グロースバールドルフ村の冬は零下30℃になるほど寒いため、バイオガス施設の熱だけでは85℃まで温めることができない。そこで、気温が低い時には木質チップや石油を使用して加熱している。

この施設から熱供給を受ける家庭では、新しくパイプラインを自宅に引き込む際の自己負担として 5,000 ユーロ（50万円）の経費がかかるが、地域熱供給の接続せず、自前でボイラーなどの温水設備を新しく設置するには 1 万ユーロから 2 万ユーロ（ 100 ～ 200 万円）かかる。このことから地域熱供給に接続するほうが安いことがわかる。また、地域熱供給に接続する家庭には、協同組合が所有している熱交換機が貸し出され、その維持管理や故障時の修理費用などは協同組合が負担することになっている。

この地域の一般家庭（ 4 人家族）の熱利用は、年間 2 万 kWh である。地域熱供給は1kWhあたり 9 セントの利用料金であるため、年間 1,800 ユーロ程（18万円）の経費で済む計算になる。これは、灯油やガソリンの暖房費に比べると 2 割以上も安いため、地域熱供給システムは各家庭にとっても経済的にメリットがある仕組みになっている。

この他にも様々な取り組みを進めた結果、グロースバールドルフ村の2011年のエネルギー消費量が電力 160 万 kWh 、熱 320 万 kWh であったのに対し、再生可能エネルギーによる生産量が電力 760 万 kWh （消費量の 4.8 倍）、熱 280 万 kWh （消費量の 9 割）にも達している。また、2005年から2012年までの 7 年間で、再生可能エネルギー関連のプロジェクトに合計 1,526 万ユーロ（約15億円）の投資が行われており、この投資による地域経済への波及効果も生じている。さらに、エネルギーを安く利用できる点が魅力の 1 つとなり、 100 人近い従業員を抱える企業が移転してきたこともあるため、企業誘致にも貢献していることがわかる。

この事例により、エネルギーの地産地消が実現できていることがわかる。また、地域熱供給にした方が暖房費の節約、そして CO_2 の削減にも繋がるというメリットがある。私が住んでいる鶴岡市はグロースバールドルフ村の冬ほど寒くはないが、冬になると雪が降るため、暖房費が多くかかる。そのため、発電による排熱を利用する仕組みを作れば家庭にも環境にも優しい生活が送れるのではないかと考えた。また、エネルギーを安く利用できることが企業誘致にも繋がったため、再生可能エネルギーは地域経済にも貢献できることがわかった。

3.2. スペインの取り組み：バルセロナ「ソーラーオブリゲーション」

スペイン第 2 の都市であるバルセロナ市は、2000年に世界で初めて建築物の新築、または改築時に太陽熱温水器の設置を義務付ける条例（ソーラーオブリゲーション）を設けた。これは、建築申請時に太陽熱温水器の導入が項目として挙げられているかをチェックするものであり、無い場合には罰則規定も存在する。また、設置に際して市からの助成金は出ないことになっている。この条例の特徴としては以下のことが挙げられる。

(1) 「熱」に関する自然エネルギー政策であること
(2) 家庭部門における検討義務であったこと
(3) 建築基準のような他分野との融合政策

2002年、バルセロナ市議会は Plan for Energy Improvement （エネルギー改良計画）を策定した。これは、省エネルギーのアクションプランや二酸化炭素削減手法などが含まれている。この計画をシンクタンクとして進めたのがバルセロナ・エネジー・エイジェンシーである。この組織は1996年に欧州委員会の助成によって設立されたローカル組織であり、政策に関する重要な関係者でもある。彼らは自然エネルギー設備のプロモーション、改良、モニタリングなどについて重要な役割を果たしている。その結果、2010年までに55の省エネルギーと自然エネルギーに関するプロジェクトを実施する計画が立てられた。

市全体が自然エネルギーへの支援を深めた結果、太陽熱温水検討義務条例は非常に浸透し、

太陽熱温水器は2000年の導入時には市全体で1,650 ㎡の設置面積であったが、2004年には19,600㎡と10倍以上に増加した。このことにより、年間の化石エネルギー削減量は15,675MWh 、二酸化炭素削減量は2,756 t となった。

この事例からは、建築分野にまたがる太陽熱温水義務条例は、バルセロナ市のように市レベルの立法は可能であることが立証された。そのため、市で自然エネルギーを促進することにより地域全体で省エネルギー、自然エネルギーに対する取り組みが活発化したことがわかった。よって、市の条例として再生可能エネルギーの利用を義務化することも一つの方法であると言えるだろう。

3.3. スウェーデンの取り組み：ウンデルステンスホイデン「ストックホルム近郊のエコビレッジ」

ストックホルムの中心から５km離れたところにあるのスウェーデンの第13番目のエコビレッジ「ウンデルステンスホイデン」は面積35,000㎡に44戸、 167 人が住んでいる。

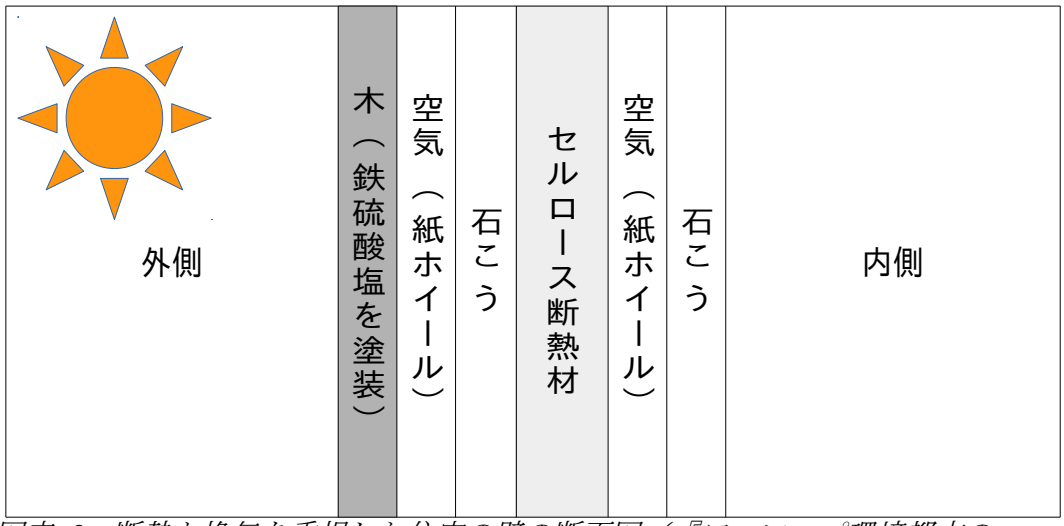
この村は、白樺やリンゴや常緑樹、落葉樹等、様々な樹木や草花の生い繁る高台に、渋いこげちゃ色の様々なバリエーションの家々が点在する。壁がこげ茶色である理由は、壁に貼った板に鉄硫酸塩を塗り、渋い古木のように周囲の自然と溶け込ませるためである。各戸の屋根にはソーラー発電装置が付けられ、林の中には古い材料を使った手作りの子供の遊具も散在しているため、ビオトープ[5] の中に住みむことが出来る。敷地の林は、緩やかな高低差のある高台で、所々にある大きな石も取り除かず、住宅は石や樹木に合わせて建設されている。

「ビオトープのような自然の中で住みたい」「シックハウスでない健康的な家で」「エネルギーが循環し」「水が循環し」「デザインが良く」しかも「あまりお金がかからない」家が欲しいという住民、生活者のニーズはLOHAS[6]的な生き方そのものであった。そのニーズをコンセプトに、３人の建設家と１人の景観デザイナー、ストックホルム市の都市計画局の職員１人で、1990年にプロジェクトを立ち上げ構想を練った。

プロジェクトのスタートとともに住みたい人を呼びかけたところ100 人ぐらいが集まったため最初は順番待ちにしたが、会費75,000円、月々積立金15,000円払える人に絞ることにした。土地はストックホルム市から借り、１軒約1,500 万円で分譲された。建設は生活共同組合の持つ住宅会社（ HSB ）が受け持ち、1995年に完成し1996年に入居が完了している。夏の間のお湯は、各戸の屋根ソーラー発電装置（ 4kW ）で賄い、冬は敷地内に建設されているバイオマス発

5　野生の動植物が生態系を保って生息する環境のこと。
6　Lifestyles Of Health And Sustainabilityの頭文字をとった略語で、健康で持続的なライフスタイルのこと。

電所で発生する熱を利用して地域暖房を行うため、エネルギーが循環する仕組みになっている。また、生ゴミは各戸の庭にある木製で表面に鉄硫酸塩を塗っている焦げ茶のコンポスト装置で堆肥化し、庭の野菜、草花、樹木に施肥している。一部の生ゴミについては、収集し、メタンガスを発生させて電気をおこすことで、暖房の一部として利用されている。他の燃えるゴミ、燃えないゴミ、粗大ゴミ等は、敷地内の鉄硫酸塩で渋くした大型の納屋のような建物の中にある分別ゴミ箱へ運ぶことになっている。分別の種類は、紙ゴミ（再生化）、プラスチックゴミ（リサイクル）、廃家電（ストックホルム市に回収してもらう）等である。また、住宅の壁の中に25㎝のセルロースに断熱材が入っているが断面は図表９のようになっており、断熱と換気が上手く両立するような仕組みになっている。



図表 9：断熱と換気を重視した住宅の壁の断面図（『ヨーロッパ環境都市のヒューマンウェア』の図を参考に作成）

壁はシックハウスにならない自然素材で身体に良い素材を使用している。外壁の木材に鉄硫酸塩を塗装しているのは、自然との調和と耐久性を高めるためである。水については、ストックホルム市から供給される水道水を使用し、排水の一部は敷地内のビオトープに流し、そこで濾過してから海に流れる仕組みになっているため水の循環も工夫している。

この事例からは、住民や生活者のニーズに対応した環境に優しい村が創られたことがわかる。周りの環境に家を馴染めせることで、自然の中で生活したいと考える人にとってはまさに理想通りの環境であると言えるのではないだろうか。また、太陽光発電やバイオマス発電による地域暖房だけでなく、ゴミ分別の徹底、生ゴミの堆肥化なども行っているため、徹底的に環境に配慮していることがわかる。私は、ゴミの分別を面倒くさいと感じてしまう時がある。しかし、小さい頃からその様な環境で育つことでゴミの分別やリサイクルは当たり前だと思えば苦に感

じることもないのではと考えた。よって、一人ひとりの意識改革も必要だが、幼い頃から自分の住んでいる地域が環境を考えるフィールドになるということは地球環境問題を考える上で大変良いことだと考える。そのため、自然に配慮した地域づくりが今後増えることを期待する。

4. 日本の取り組み

後の第5章で述べるが、山形県のエネルギー戦略における庄内地域の農業農村エリアの将来像として、太陽光、中小水力、風力等による発電方法が期待されている。そのためこの章では、太陽光、中小水力、風力発電を利用してまちづくりを行っている地域の取り組みを調べ、成功要因等について検討したい。

4.1. 長野県飯田市：おひさま進歩

長野県飯田市は、2015年1月現在、人口104,690人で長野県内では第4位の人口規模の市である。飯田市における「エネルギー自治」発展のきっかけは、太陽光発電の普及を進めようと2001年9月に飯田市で市民を中心に開催された「おひさまシンポジウム」で地球温暖化問題の解決策として市民が太陽光発電を提案したことである。そして、2004年2月16日にエネルギーの地産地消を理念とする「NPO法人南信州おひさま進歩」を創設した。

最初に取り組んだのが寄付型の太陽光発電事業である。2004年に飯田市の社会福祉法人「明星保育園」の屋根に、太陽光を利用した3kWの市民共同発電所「おひさま発電所1号」を設置した。発電規模は小さいが、園児や園のスタッフ、保護者、地域住民に対して環境保全意識を高めるという教育的な効果を大いに発揮した。保育園の建物内には「さんぽちゃん」という表示板が設置された。今どれだけ太陽光パネルで発電が行われているかを分かりやすく示すことにより、園児たちの環境・エネルギー問題への意識を高める点で大きな効果を生んだと言われている。

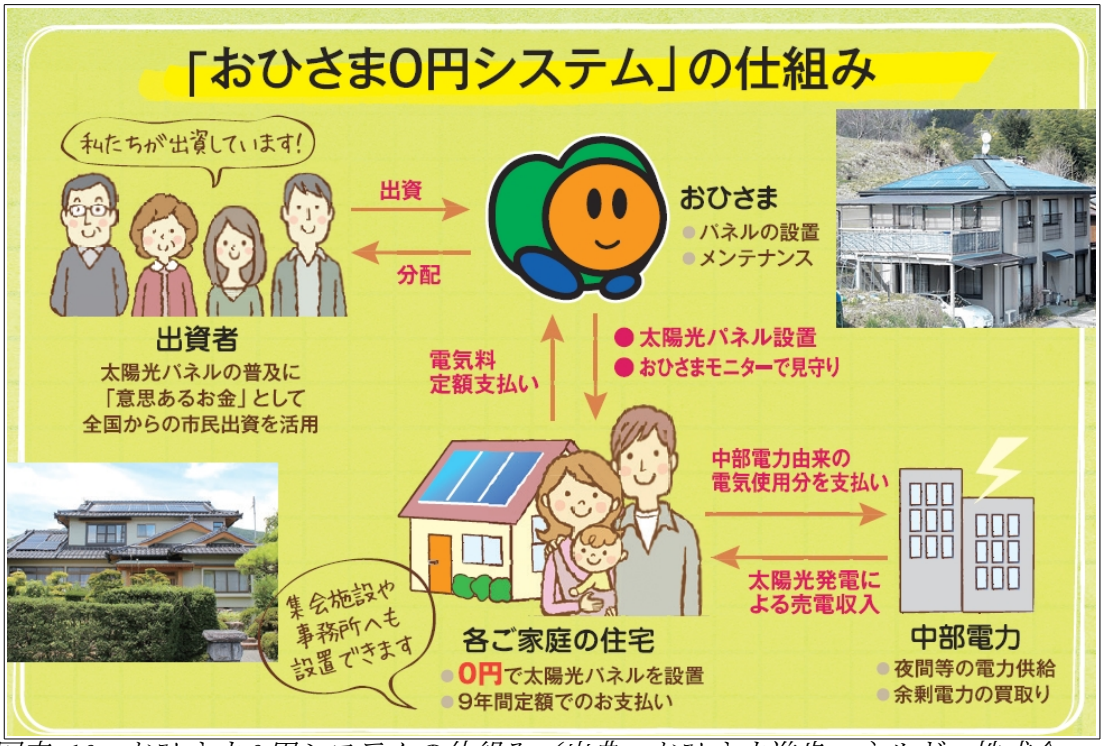
2004年度には、行政と民間、NPOのパートナーシップ型環境公益的事業プログラムを支援する環境省の補助事業「まほろば事業」に、飯田市の提案が採択された。内容は、太陽光発電、ペレットボイラー＆ストーブの導入、商店街エスコ[7]、自然エネルギー大学の運営などの事業提案からなり、それを飯田市と民間企業、NPOの連携によって発展していくというものであった。この事業主体としてNPO南信州おひさま進歩を母体とする「おひさま進歩エネルギー有限会社」（現在は株式会社）が2004年12月に設立された。また、おひさま進歩は現在、再エネ事業と省エネ（エスコ）事業に加えて、カーボン・オフセット事業、市民共同出資事業の4つの

7　省エネ改修投資を行ってエネルギーコストを削減することで収益を得る事業のこと。

事業を柱として展開してる。

事業資金は、市民共同出資という方法に注目したため、会社の立ち上げと同時に市民出資の準備を行い、2005年２月より市民出資の応募を開始した。その結果、２ヶ月余りで応募額の20,150万円が満了した。出資金は、出資対象事業（太陽光事業・エスコ事業）に投資され、その収益は出資金の規模に応じて出資者に分配される。さらに、2007年11月には「おひさまエネルギーファンド株式会社」（第二種金融商品取引業者）が設立され、市民出資事業を全国的に展開することになった。

市民共同出資とは、一人一人の市民出資額は小さくても再エネ発電事業に共感する不特定多数の市民が共同で出資すれば、比較的大きな規模の資金調達を可能にする手法である。また、「出資」は事業が失敗した場合戻ってこないリスクはあるが、事業が成功すれば、元本だけでなく、収益の一部が「配当」として分配される。これにより、市民にとって出資へのハードルが下がったため、多くの資金が集まるようになった。しかし、市民共同出資にも課題があった。それは、ファンドへの出資者には、東京や大阪など大都市の市民が多いため再エネ事業と省エネ事業に投じられた資金とそれによって生み出された収益は元本とその配当という形で大都市に大部分が戻ってしまうことだ。元本と収益が地元に残るためには、資金調達を地元から調達するしか方法はない。つまり、地域のお金を事業に投じ、生み出された所得・富を再びその地域に再投資することで、地域の持続可能な発展を可能にするのである。そのためには、地域内資金循環の仕組みを構築しなければならない。そこで「おひさま０円システム」という事業資金調達計画が立てられたのである。



図表 10: おひさま0円システムの仕組み（出典：おひさま進歩エネルギー株式会社）

これは、おひさま進歩が3.5kW程度の太陽光発電システムを飯田市内の住宅に設置する代わりに、住宅所有者が毎月19,800円を9年間支払うことで、初期投資なしに太陽光発電システムの導入を可能にする仕組みである。当時スタートした家庭向け余剰電力売電は、住宅所有者の収入になる。そのため、節約して売電量を増やせば増やすほどおひさま進歩への実質的な月々の支払額を減らすことができる。そして、10年目以降は、太陽光発電設備の所有権がおひさま進歩から所有者に移るため、売電収入の全てが住宅所有者のものになる。このシステムは、太陽光発電を始めたくても約200万円もする太陽光パネル購入・設置費用がネックとなっていた人々にとってハードルを下げる大きな効果をもたらした。しかし、その反面、太陽光パネル購入・設置に関する初期費用をいったん負担するおひさま進歩の手元資金繰りが激しくなる問題が発生する。そこで登場するのが、地域住民と企業から預金を預かる地元金融機関の「飯田信用金庫」である。飯田信用金庫は、おひさま進歩による太陽光パネルの初期購入費用を低金利で融資することで資金繰り問題を解決し、その後、9年間にわたる住宅所有者からおひさま進歩への支払を原資として貸付金の元利償還を受ける。この計画は、完全に民間資金だけで完結

しているわけではなく、太陽光パネルの購入に飯田市からの補助も一部出されている。そうしてこのシステムは、太陽光発電を手掛ける市民の初期投資費用負担を緩和したため、参加者を増やす効果を発揮したと言われている。また、飯田信用金庫を通じて地元で集められた資金を太陽光発電に投じることで、後年度に利子をともなって資金が再び地元に戻ってくる地域資金循環を作り上げた。

2012年7月に再エネ買取制度が始まり、非住宅用太陽光発電の全量買取の仕組みが導入されたことにより、おひさま進歩は「おひさま0円システム」の計画を非住宅用太陽光発電に応用した「メガさんぽプロジェクト」を開始した。これは、南信州に立地する工場の屋根などを活用し、分散しているが合計すると1mW以上になるメガソーラー級の発電を行なうというものである。こうすることで太陽光パネルを大量発注してコストを低減させることができる。また、おひさま進歩が初期費用やメンテナンス費用等を負担するため、企業は自己負担なく太陽光発電を始めることができる。そして、売電期間中はおひさま進歩に屋根貸しをする形になるため、対価として屋根賃料を得ることができる。

この事例では、地域住民が地球温暖化問題に対する関心から太陽光発電を解決策として取り上げたことがきっかけとなり、今ではエネルギー自治のトップランナーになったことがわかる。保育園に太陽光パネルと表示板を設置することで、エネルギーに対する問題意識を高められることが立証された。そのため、エネルギーを身近に感じることで節約を心がけるようになるのではないかと考える。エネルギー自給率が低い日本では電力は貴重であるため、再生可能エネルギーの見える化によってエネルギーを大切に使う人を増加すれば、環境に優しいエコなまちづくりに貢献できるのではないかと考えた。また、飯田市では、行政、民間企業、NPO法人の連携によって事業を発展しており、地域で生み出された富を地域に還元する仕組みを確立した。地域住民に対しては、太陽光発電を始めやすい仕組みをつくったことで地域まるごと巻き込んで太陽光発電の導入・普及を実現できたのではないかと考えた。

4.2. 島根県奥出雲町：三沢小水力発電所

島根県出雲町（旧仁多町）三沢地区は、2011年現在254戸、人口720人の地域である。1957年に出力90kWの三沢小水力発電所が稼働を開始した。建設当初の目的は、地域の産業振興を図り、住民の経済発展に併せて無点灯家屋を解消することだった。当時の村の財政事情では困難だったが、1952年に制定された「農山漁村電気導入促進法」の融資対象が「営利を目的としない農林漁業団体」であったため、旧三沢村農協が発電所の経営主体となることで建設の着工が始まった。当時の建設費用は1,866万円で、その内の7割は農林漁業金融公庫からの低利資金

の借り入れ、残りは地区の農協理事の借入金や農業組合員からの出資金（1口200円で11,039口、合計約220万円）が充てられた。また、発電所は中国電力と全量買い取りの売電契約を結んだことで、売電料を減価償却費や事業運営費などに使うことにした。

1957年の発電所の稼働以降、運営の全ては農協役員（1962年に合併して仁多町農協）に委ねられてきた。しかし、創業以降の売電料の据え置きや運転員の人員の人件費の上昇により、1975年には100万円の赤字を出してしまったため、経営の合理化が求められることになった。そこで1982年に旧三沢村の10の自治会代表で構成する「三沢小水力発電運営委員会」が農協と業務請負契約を締結し、以後運営は地元住民に任されることとなった。

2011年現在は、1993年に合併したJA雲南から年間500万円で運営委員会が運営業務を受託している。出力90kWの三沢小水力発電所は、年間発電量が約80万kWh、売電料は650万円ほどである。売電収入は経営主体であるJA雲南に入るが、その中の一部と請負料の一部の100万円ほどは、三沢地区の自治会集会所の電気料助成（55,000円）、地区の文化活動を行なう福祉振興協議会への助成（25万円）、その他にも地元の農産加工所への助成や小学校の備品の購入など、様々な地域振興に役立てている。そのため、発電所は50年間で約1,780万円を地域に還元している。

発電所の地域貢献のひとつである産業振興支援では、地元の農産加工所へ売電料と委託料の一部からこれまで合計400万円の助成金を出してきた。「味工房みざわ」は2002年に任意組合として発足した加工グループで、冬の農閑散期を利用して味噌の受託製造を行なう農協女性部の活動が母体となっている。2006年からは株式会社となり2011年現在は売上3,000万円、スタッフは常勤5人、60～70代のパート7人（男性2人、女性5人）で構成している。スタッフは定年が無いため、高齢者の「小さな」雇用の場となっている。また、加工品の食材は地区の農家から買い取っている。曲がったキュウリなど規格外の野菜も買い取るため、農家の「小さな」現金収入を増やすことにも繋がっている。

そして、発電所が地域のコミュニティを支える役割も担っている。福祉振興協議会が企画・運営を行なう町民体育大会と産業文化祭は重要な地域活動である。この活動にも発電所の助成金が使われている。毎年25万円と助成金の額は小さいが、体育大会の景品の購入費や産業文化祭のアトラクションの経費など、企画・運営の予算には欠かせないものとなっている。

この事例からは、小水力発電の売電収入を地域の助成金として使用することで地域活性化に貢献していることがわかる。また、農産加工所に助成してきたことにより、地域の雇用促進、農家の収入増加という効果も発揮した。そして、町民体育大会の運営費等にも使用することで地域の繋がりを途切れさせない効果も発揮している。地域の人口が減少することで地域行事が

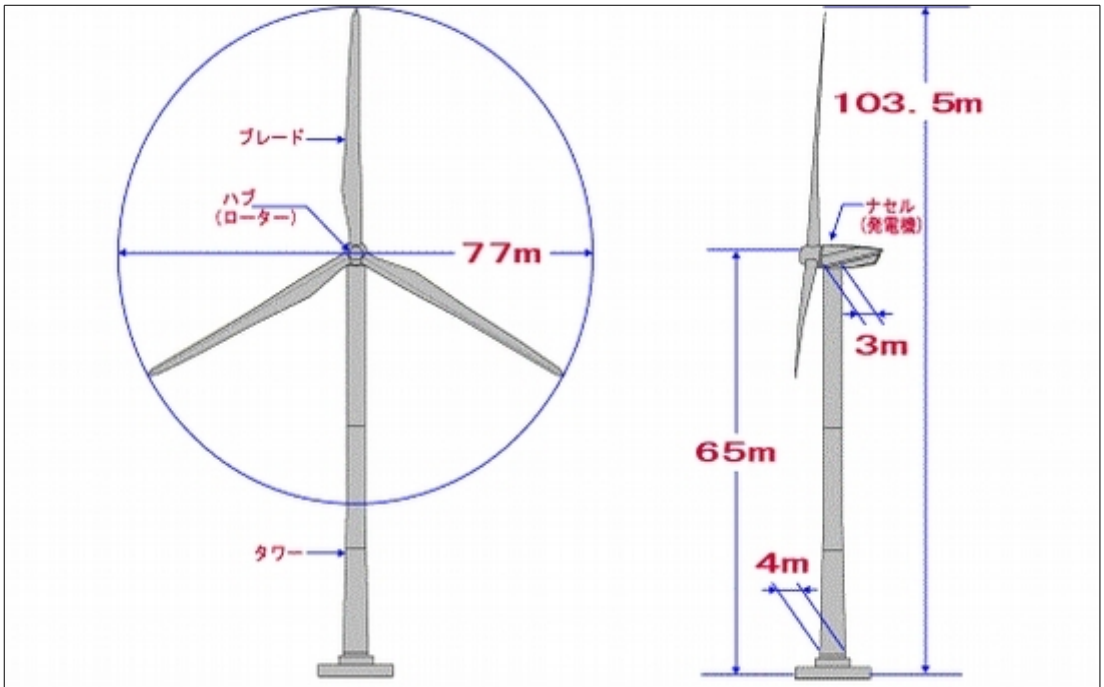
行われなくなり、繋がりが薄くなってしまうこともあるため、このように助成金で運営を続けることは地域の存続にも重要な役割を果たしていると言えるのではないだろうか。

4.3. 鳥取県北栄町：北条砂丘風力発電所

鳥取県北栄町は2013年現在 5,200 世帯、人口16,000人の町である。1990年代後半から風をエネルギーとして活用しようという動きがあり、2001年に鳥取大学が調査地点を防砂・防風林より高い地上 70m のところで風況調査を実施した結果、 1 年間の平均風速は 5.68m/s であり、事業化の目安とされる5m/sを超えることがわかった。

2001年秋に合併前の北条町長に就任した松本昭夫（現・北栄町長）が風力発電所の建設を表明し、取り組みが本格化する。2003年度予算には基本設計などの事業費が盛り込まれ、風車の業者 7 社に建設費や管理費の見積もりを依頼する一方、中国電力との電力受給確認書の締結、補助金の申請、地質や鳥類への影響の調査と準備はめまぐるしく進んだ。また、風車の機種が決まると町民や地権者への説明会が行われた。2004年 9 月に建設工事の契約を明電舎と結ぶことが町議会で承認され、2005年 2 月には起工式が行われるというハイペースで計画が進んだ。これは、今なら 2 、 3 年かかる環境影響評価が当時は義務づけられていなかったため計画を速く進めることが出来たと考えられている。

この頃に近隣市町との合併協議も進んでいた。北条町は「風力発電は町営で」と決めていたため、施設や運営は合併後の自治体に引き継がれることになる。採算に合う確証がないことや全国的にもこれほどの規模に前例がないことを挙げて、協議相手の自治体議員から批判されたこともあり、合併の相手を隣町の大栄町に絞り、風力発電所を建設することになった。2005年10月に誕生した北栄町の町長に松本氏が当選したことも計画の推進を後押しした。



事業費	約28億円（財源：NEDO補助7億円公営企業債20.5億円）
収入	発電電力の中国電力への売電料
事業期間	15年間（建設期間除く）
竣工	平成17年11月
発電施設位置	鳥取県東伯郡北栄町江北、国坂、下神、松神地内
年平均風速(m/s)	5.7（地上高さ70m）
風車機種	MD-77 ドイツ リパワー社 1.5MW×9基

図表 11：風力発電の概要（出典：北栄町役場ホームページ）

発電所の規模を決めるにあたっては 1km あたり 1 億円といわれる送電線の建設日が勘案された。半面、利益をもたらすためには、ある程度の数の風車が必要になる。両方を加味して決めたのが、町境付近から 4km の区間に 1,500kW の風車を 9 基建てるという配置である。風車の用地は民有地を購入し、中国電力と結ぶための変電所は県の施設の敷地を借りた。

事業費は28億円であった。当時の町の一般会計が35億円であるため、町民にとっては借金を返済できるのかを不安に思う声も上がった。このうち 205,000 万円を町の借金である公営企業債、 7 億円を新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の補助金で賄った。合併前の北条、大栄の両町民を対象に、総額 8,000 万円のミニ公募債「風車債」も発行し、住民参加型の事業

とした。その結果、2005年に11月に「北条砂丘風力発電所」が完成した。

風力発電所を町営で行なう一番の理由は土地や資産に固定資産税がかからないことだ。公営事業であるため、利益が出ても法人税を払わなくて良いのである。これは、この規模の風の強さでは、税金を計算に入れると民間では採算が厳しいという現状があったためである。一方、風車のメンテナンスを町の責任でしなければならないため、苦労が多いという現状もある。維持・管理や点検に年間約 1,000 万円、修理の部品代に約 2,000 万円かかっており、保険料なども合わせると毎年約 7,000 万円の保守管理費を予算計上している。

基本的には、委託事業者である明電舎の静岡県沼津事業所が24時間態勢で風車を管理しているため、トラブルが起きてもスイッチの入れ直しや簡単な制御であれば、遠隔操作で行なうことが可能である。しかし、それでも復旧しない場合は、担当議員の松井さんが現場に行き、明電舎やメーカーの技術者に来てもらうことになる。町の担当は主任技術者（非常勤）と電気の技術職員である松井さんの 2 人である。風車の故障が感知されると、明電舎と共に、主任技術者と松井さんが持つ携帯電話にも24時間態勢で通知のメールが送られる。通知は夜間の場合が多く、対応の連絡などで多い時は一晩に約20通のメールが届く。特に気がかりなのは、冬の雷である。毎冬 1 基に 1 回は雷が落ちている。発電機の上の避雷針に落雷したことにより、近くの風向計や風速計が壊れることもあった。管理体制の面では、電気事業法で義務づけられている主任技術者が欠けると運営ができなくなるため、町の収益も減ってしまう。堅実な運営と利益確保のために、体制の拡充と強化が課題として挙げられる。

風力発電の年間目標発電量に対する達成率は2006～2012年の 7 年間で82.8～ 100.2 %である。発電所の設備利用率は、概ね18%で、計画当初の20.2%の見込みから大きく外れない範囲で手堅く運営されてきた。発電した電気は全て中国電力に売電しており、毎年の収入は25,000万円前後で、建設時の借金は年に18,000万円ずつ返しているため、2018年には完済する予定である。風車の耐用年数は20年間（2025年まで）であるため、完済以降に出る利益は最終的に10億円程度の計算であった。しかし、再生可能エネルギーの固定価格買取制度が適用されたことで、2012年12月に1kWhあたりの売電価格は約11円から21円に上がった。このことにより、2012年度の売電実績額は見込みより 7,000 万円増えた。2013年度の売電収入の見込み額は46,000万円になり、前年同期の見込み額より21,000万円も多くなった。また、北栄町の風力発電所はもともと買取制度の対象ではなかったが、2012年 7 月からの新制度導入に伴い既存の設備にも適用可能になったため、資源エネルギー庁の設備認定や中国電力との交渉を経て、稼働の20年後（2025年）まで同じ価格で買い取ってもらえることになった。

売電収益については、風力発電の特別会計に売電収入による基金に設けている。起債償還

（借金返済）の据え置き期間である最初の 2 年間に返済額に相当する計 335,000 万円を積み立てた。風力発電の収益が増えることから2013年度の当初予算案で基金から 5,000 万円を取り崩し、一般会計に繰り入れることを計画した。使途として予算案に盛り込んだのが「風のまちづくり事業」である。「環境事業の収益を環境事業に使う」のが狙いであったため、公民館へのソーラーパネル設置に補助、防犯灯の LED 化、高齢者や障害者の外出支援サービス用の電気自動車を購入する予定であった。しかし、町民への売電益の還元方法をめぐって、町議会から「上下水道料金や国民健康保険料を軽減するなど、町民負担を減らすべきだ」等の意見が出たため、公民館へのソーラーパネル導入の予算を取り消し、LED 化する防犯灯の本数を減らし、電気自動車をガソリン車に切り替えた。見込みより大きく増えた売電収入について、「環境事業の収益は環境のまちづくりに使う」という考え方も「町民の負担軽減を」という主張も間違っていないため、地域の資源がもたらした利益を具体的に町民に分配していくのかが課題だとされている。

この事例からは、風力発電を町営で行なうことで売電収益を地域のために使用できる仕組みを確立したことがわかる。しかし、町営で行うからこその大変さもあるのが事実である。また、庄内地域の風が強いため風力発電を取り組みことができるが、鳥取県と同様に冬季雷が発生するため、破損などの被害は避けられないのではないかと考える。また、管理体制については、電気事業法で主任技術者を義務づけているため、主任技術者は運営を続けていくために重要な役割を担っている。よって、常に管理体制も万全でなければ、安定して収益を得られないならないことがわかった。

5. 鶴岡市添川で太陽光発電を取り組んだ場合

5.1. 山形県のエネルギー戦略

2012年 3 月に策定された「山形県エネルギー戦略」では、2011年度から20年後である2030年度までに目指すべき山形県の姿として、「再生可能エネルギーを中心としたエネルギー供給基盤を整備し、エネルギーの安定供給を図るとともに、地域の中にエネルギー源を分散配置することにより、生活や産業活動に必要なエネルギーを地域の中から生み出し、産業の振興・地域の活性化と、より安心して暮らせる持続可能な社会を創り上げ、次世代につないでいく。」と定義しており、主な内容としては以下のことが挙げられる。

(1) 再生可能エネルギーの供給基地化

自然環境との調和を図るとともに、多様な再生可能エネルギーが賦存する県内の豊かなポテ

ンシャルを最大限に活かし、再生可能エネルギー資源を利用した新たな電源の開発を積極的に進める。また、県内への安定供給体制を整備し、東北地域を越え首都圏ともつながる広域的なネットワーク機能を有する電力会社の系統線と連系した供給網を通じて県外にも供給する。

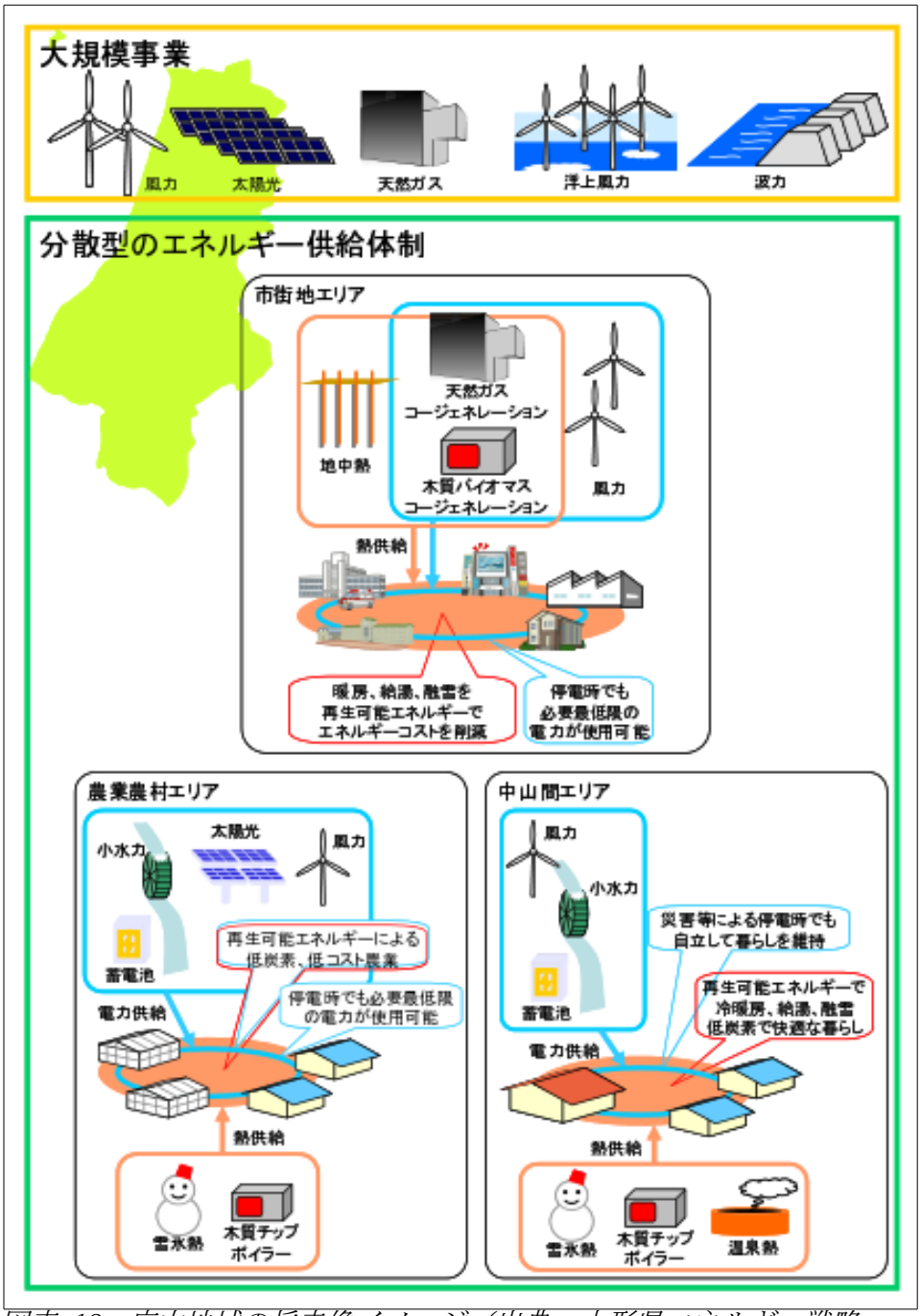
(2) 分散型エネルギー資源の開発と普及

再生可能エネルギー及び代替エネルギーによる「電力」と「熱」の地域分散型の供給体制を整備する。また、地域内での統合利用の普及を促進し、省エネの推進をすることでエネルギーの地産地消と災害に強いシステム構築を進める。

(3) グリーンイノベーションの実現

全国に先駆けて風力発電に取り組んできたことや、幅広いものづくりの技術基盤を有する優位性を活かし、ものづくり産業や農業等の各産業分野との連携による技術開発に先行して取り組む。そして、再生可能エネルギーの導入拡大による県内産業の振興、エネルギーの地域需要の創出などによる地域活性化につなげていく。

また、県内における鶴岡市のエネルギー利用可能量は太陽光エネルギー、風力エネルギー、中小水力エネルギー等の全ての項目で上位に位置しているため、エネルギー資源が豊富であることが立証されている。そのことを踏まえた上で、庄内地域で活用が期待される主なエネルギーとして、大規模事業の場合は、風力、太陽光、天然ガス、波力発電が考えられる。地域分散導入の場合は、風力、太陽光、中小水力、天然ガス、バイオマス発電や地中熱、雪氷熱、太陽熱、廃棄物、温泉熱利用が考えられる。そのため、庄内地域の将来像として 3 つのパターンが提案された。



図表 12：庄内地域の将来像イメージ（出典：山形県エネルギー戦略（2012 年 3 月））

〇市街地エリア

風力、地中熱、天然ガスコージェネレーション、木質バイオマスコージェネレーション等を活用した電熱供給システムを構築し、災害時等における最低限の電力供給を行い、融雪・暖房・給湯への温熱供給も行う。

〇農業農村エリア

中小水力、太陽光、風力、木質チップボイラー、雪氷熱を活用した電熱供給システムを構築し、災害時等における最低限の電力供給を行い、融雪、暖房、給湯への温熱供給も行う。

〇中山間エリア

風力、中小水力、木質チップボイラー、温泉熱、雪氷熱を活用した電熱供給システムを構築し、災害時等での自立可能な電力供給を行い、融雪、暖房、給湯への温熱供給も行う。

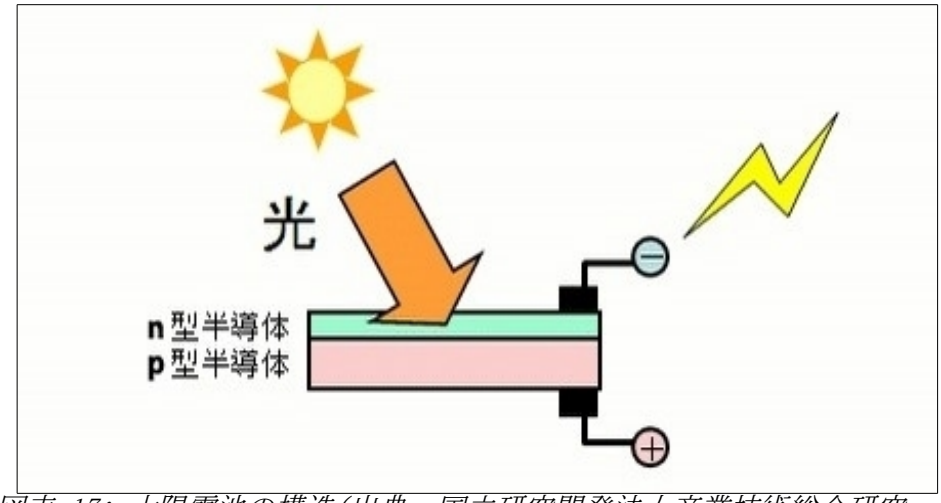
5.2. 太陽光発電を導入する実験目的

太陽光発電は、発電単価は高いが小規模なものから設置でき、設置場所の選択肢も多い。また、助成制度等により個人家庭でも取り組めるため導入しやすく、身近に感じれる再生可能エネルギーであると考える。そのため今回私は、山形県エネルギー戦略の庄内地域の将来像にも取り上げられている太陽光発電を鶴岡市で導入した場合どのくらいの発電量になるのかを調べる。実験方法は、佐竹裕也（2013）の『地域における太陽光発電の導入について』を参考にした。

対象地域は、私の住んでいる山形県鶴岡市添川で、設置場所は各家の屋根や小屋である。屋根の形は、台形、三角形のものについては四角形の範囲のみを設置場所として適用した。また、日照時間や気候については「NEDO独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」の鶴岡市のデータを当てはめた。そして消費電力については５人家族である私の自宅の年間消費電力を使い、地域全体が全て同じ電力量を使用したと仮定して調べた。

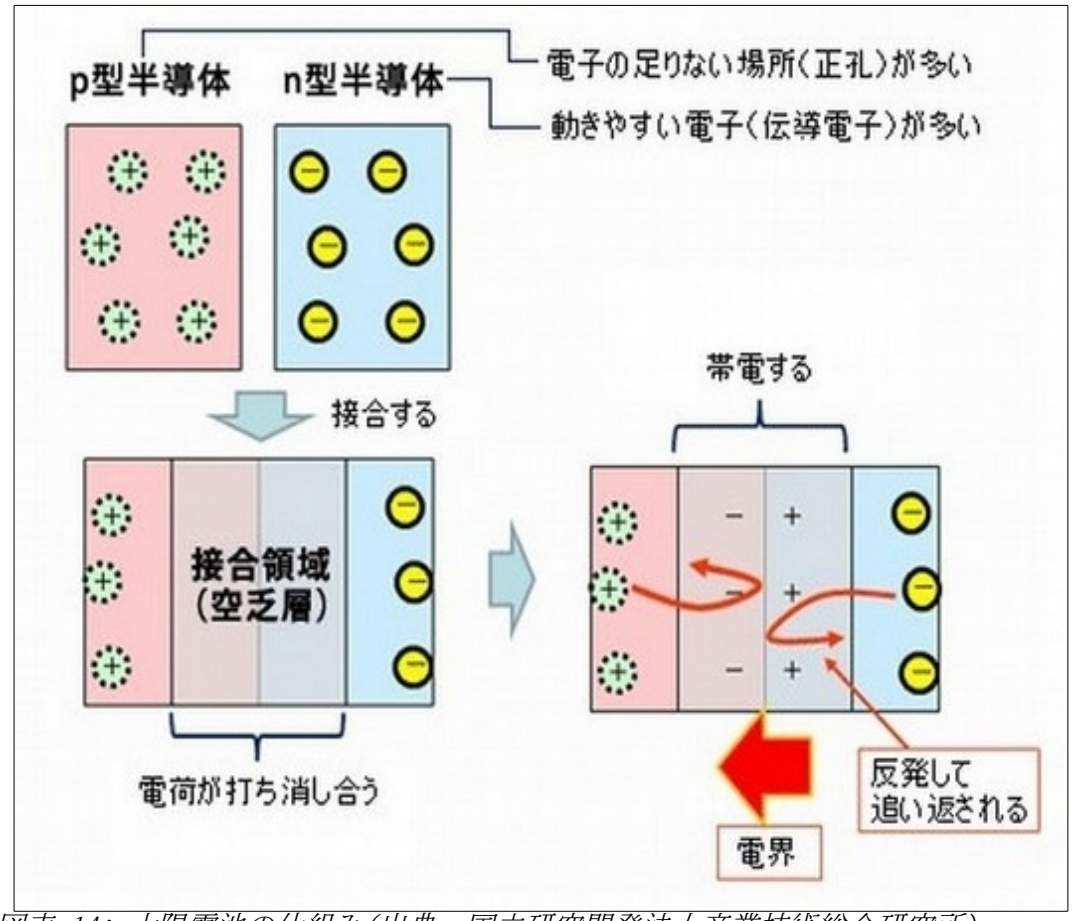
5.3. 太陽光発電の原理

太陽電池は電子に光エネルギーを吸収させて、エネルギーを持った電子を外部に取り出す。エネルギーを持った電子を取り出す仕掛けには「半導体」を使用する。この「半導体」とは簡単に言うと、条件によって導体、絶縁体の両方を性質を持つ物質のことである。半導体にはｎ型半導体とｐ型半導体の２種類あり、太陽電池は基本的にｎ型とｐ型の半導体を積み重ねた構造をしている。



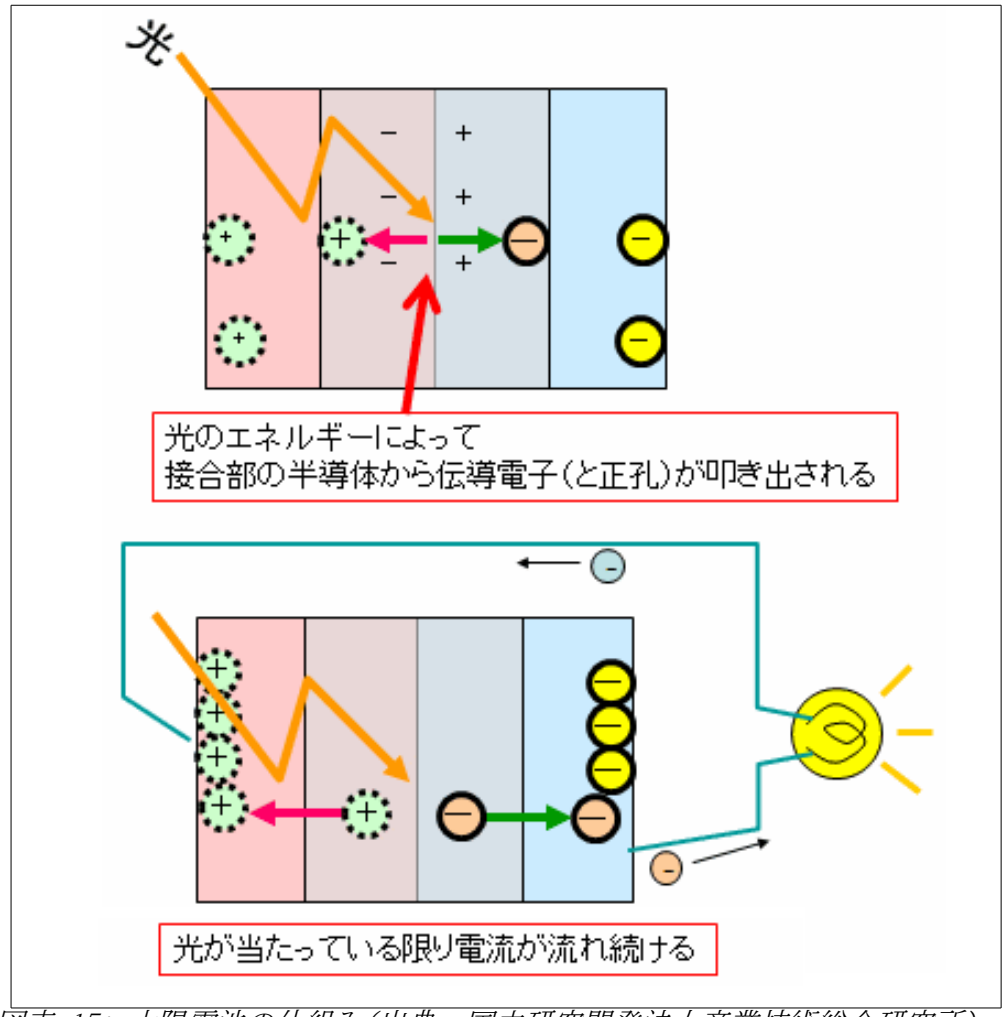
図表 13：太陽電池の構造(出典：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

n 型の半導体は動きやすい電子（伝導電子）がやや多く、接触した材料に電子が逃げ出しやすい構造である。逆に p 型の半導体は伝導電子がやや少なく、電子が足りない場所（正孔）を持っている。この 2 つを接合すると、 n 型半導体から p 型半導体へと伝導電子が逃げ出し、正孔と打ち消し合う。電子が逃げ出した後の n 型半導体は電子が足りなくなるため、プラスに帯電する。同様に、余分に電子をもらった p 型半導体はマイナスに帯電する。このことにより、接合部分に電界（内部電界）が生じる。内部電界は、 n 型半導体から逃げ出そうとする電子の流れを妨げる働きをし、 n 型から p 型へ電子が流れようとする力と釣り合った所で安定する。接合部分では電子と正孔が結びついた状態で動けなくなるが、そこには常に内部電界が働いている。伝導電子があれば、電界によって n 型半導体へと押し流される状態になる。



図表 14：太陽電池の仕組み(出典：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

そこで接合部分の半導体に光が当たると、光のエネルギーによって新たに伝導電子と正孔が叩き出される。そして、内部電界に導かれ、伝導電子はｎ型半導体へ、正孔はｐ型半導体へと移動する。その結果、電子を外部へ押し出す力（起電力）が生じる。起電力は光を当てている間持続し、次々に電子が押し出されることで、外部の電気回路に電力が供給される。押し出された電子は外部の電気回路を通じてｐ型半導体側へ戻り、正孔と結合する。



図表 15: 太陽電池の仕組み(出典：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

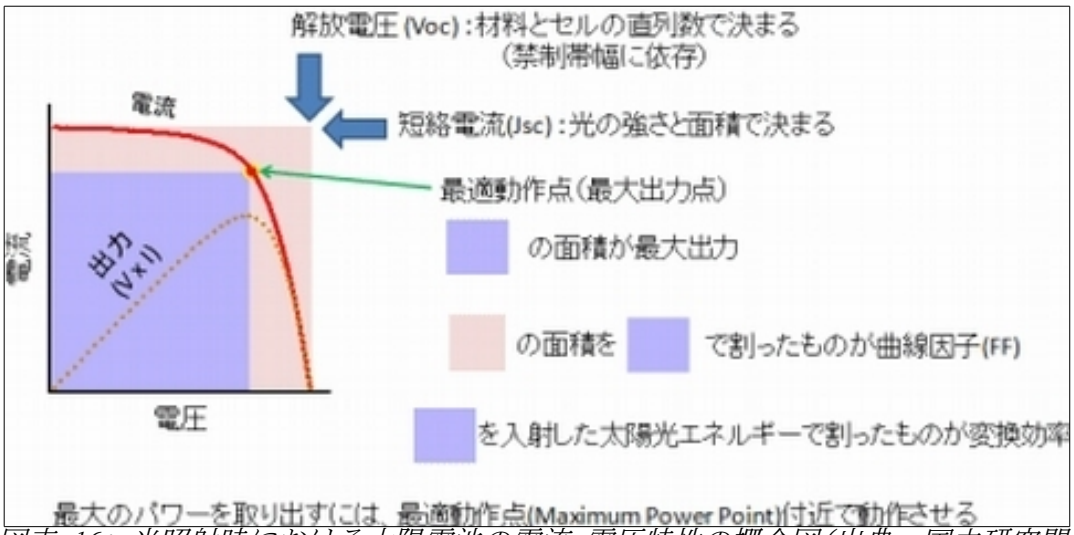
まとめると太陽電池は、光のエネルギーを使い、半導体の内部で動きやすい電子（伝導電子）を新たに発生させる。そして、半導体のpn接合の性質を用いて伝導電子がエネルギーを失わないうちに一方向に集めて取り出す仕組みであると説明できる。

5.4. 変換効率

光はエネルギーを持っており、真夏の正午の太陽光の場合、日本では約 1 ㎡あたり 1kW （1,000W）のエネルギーを持っている。照射された太陽光のエネルギーのうち、何%を電力に変換できるかを変換効率という値で表すことができる。この変換効率は「ソーラーシミュレーター」で発生させた疑似太陽光を用いて測定される。この時の光の強度やスペクトル、温度などの測定条件は世界共通の測定条件として定められ、基準状態（STC）と呼ばれている。

また、パネルの公称最大出力もSTCにおける最大出力に基づいて決められる。

STCは、おおまかには「エアマス1.5、25℃、1kW/㎡」という条件で表される。変換効率は気温などの設置条件によっても変化するが、特にこのSTCで測定された変換効率が、モジュールの絶対性能を表す指標のひとつとして用いられる。光が当たっている時の太陽電池は、図表16のような出力特性を示す。



図表 16：光照射時における太陽電池の電流-電圧特性の概念図(出典：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

そのままでは、接続されている負荷の特性によって取り出せる電力が変化する。そのため太陽電池は通常、外部の電力制御回路によって取り出せる電力が最大になる条件（最適動作点）付近で利用される。最適動作点における出力が最大出力で、STCにおける最大出力を太陽電池に照射された光のエネルギーで割ったものが変換効率となる。式で表すと以下のようになる。

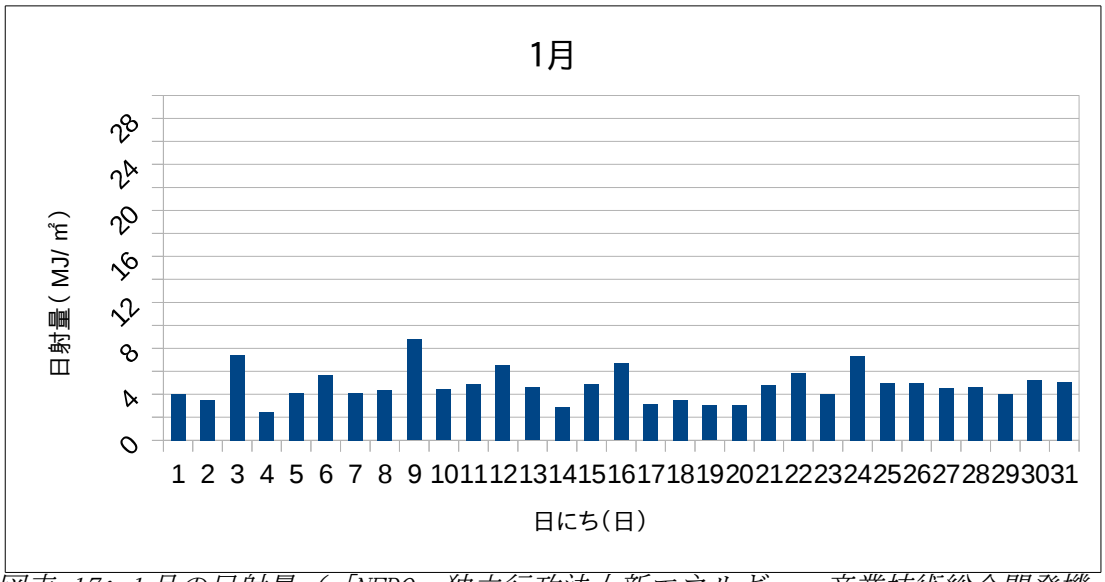
変換効率＝最大出力電気エネルギー（Ｗ）÷入射した太陽光エネルギー（Ｗ）×100

また、変換効率は面積あたりの発電量に比例するため、太陽電池の種類や製造法によって大きく変わる。

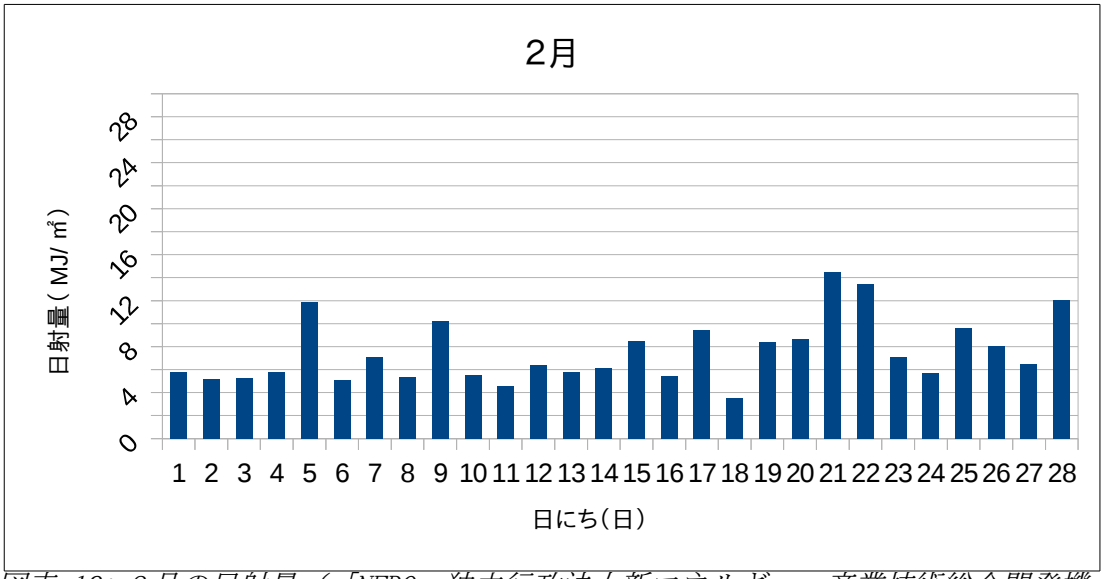
5.5. 鶴岡市添川の月別日射量と太陽光エネルギー量

太陽光発電の発電量を測る際に必要なデータは日射量、設置可能な面積、その地域の電気消費量の３つであるため、１つずつ調べた。

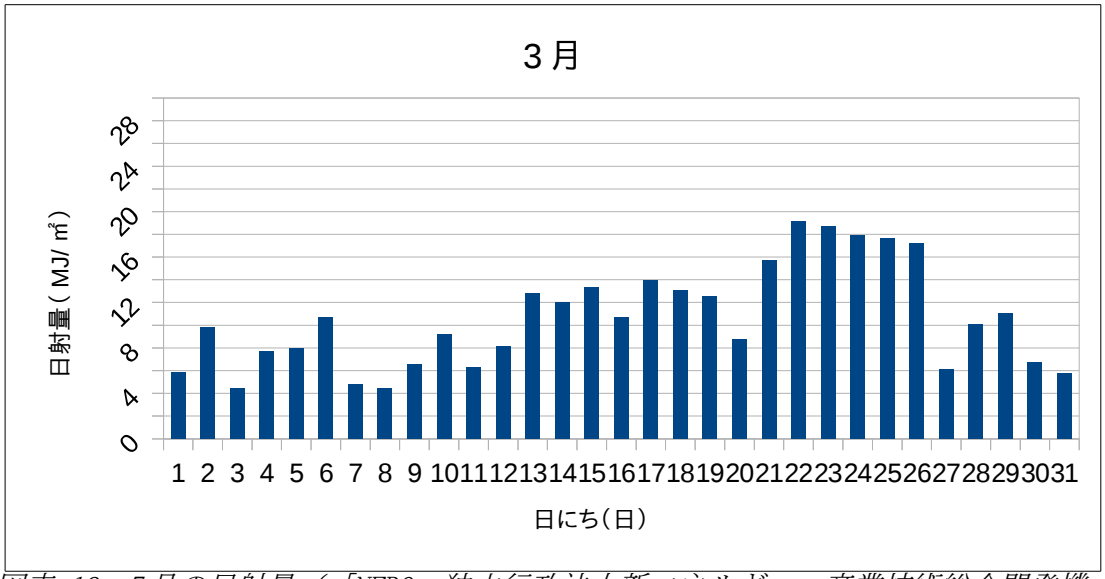
山形県鶴岡市の月別日射量を「NEDO独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」の20年間（1990～2009年）の日射量データによる平均をもとにグラフ化したものを図表17から図表28に示す。



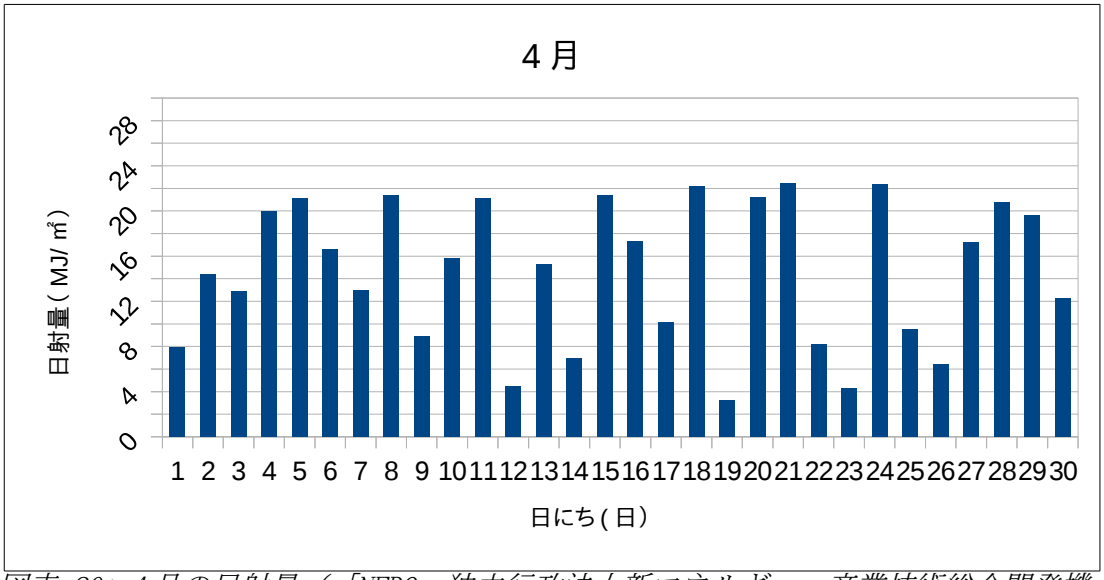
図表 17：１月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



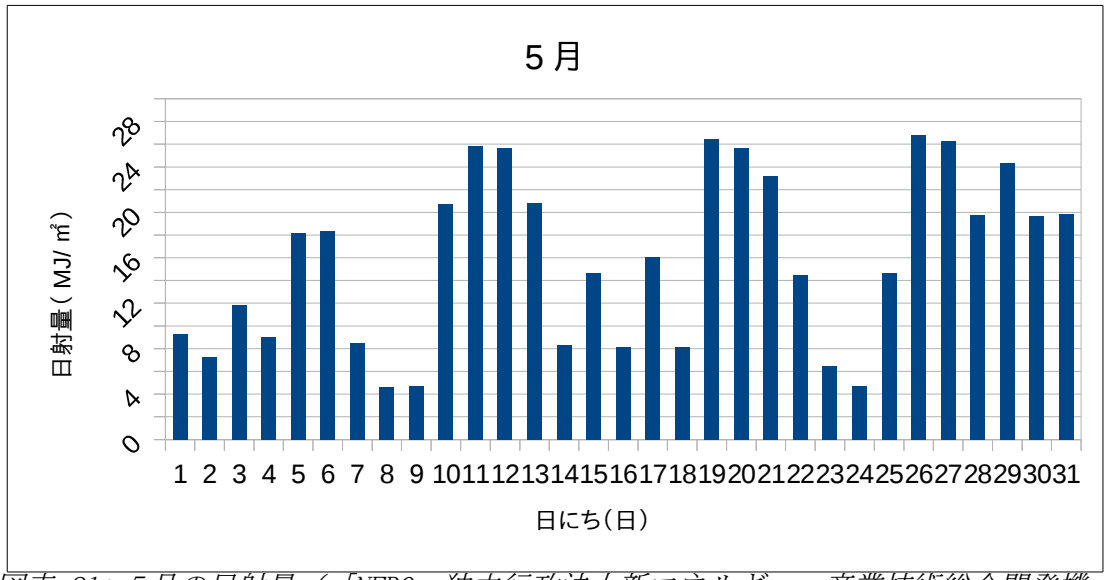
図表 18：２月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



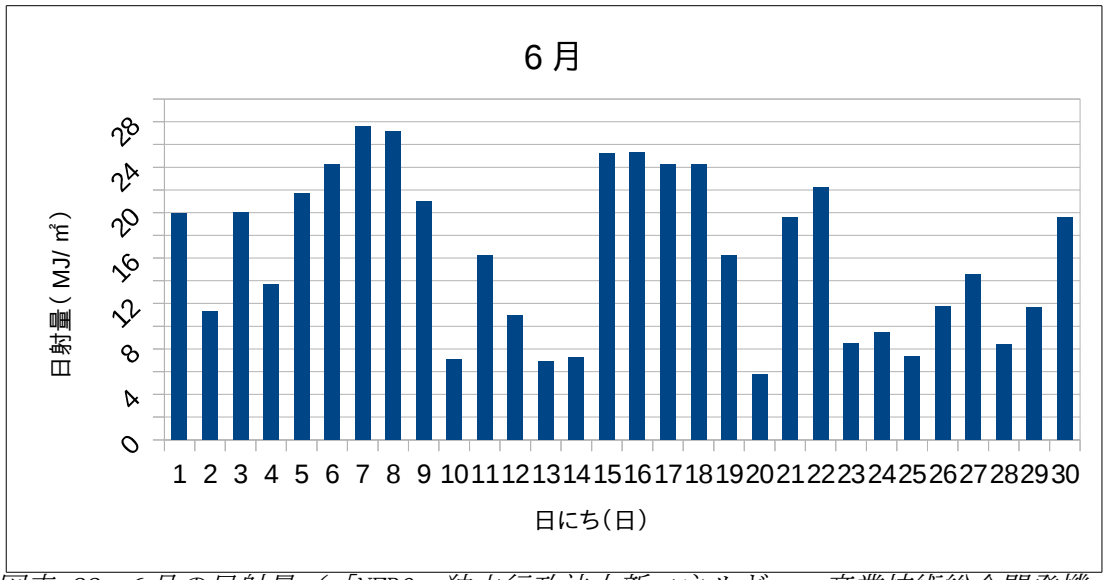
図表 19：3月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



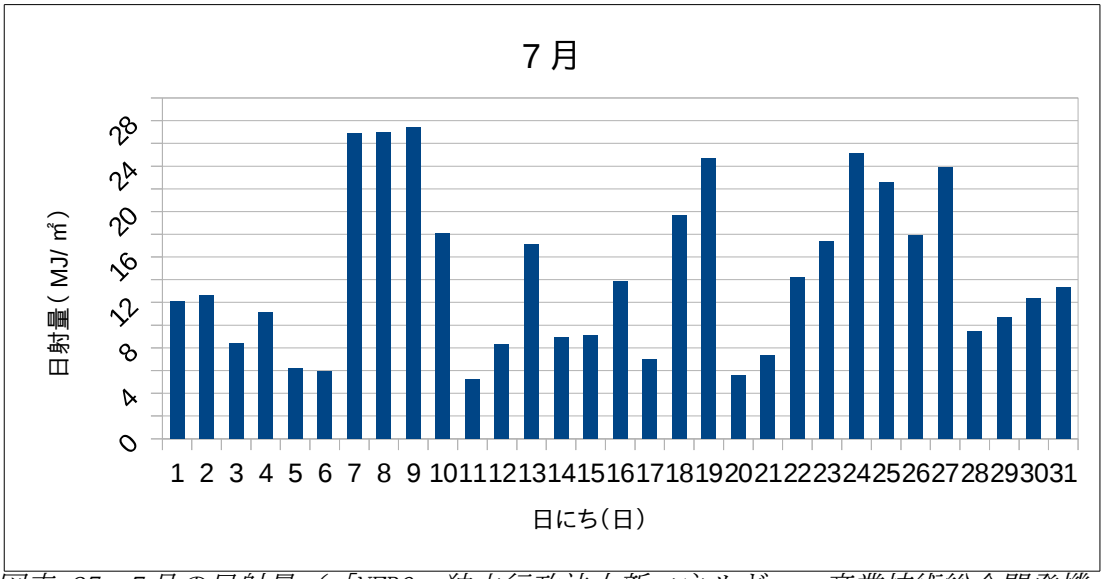
図表 20：4月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



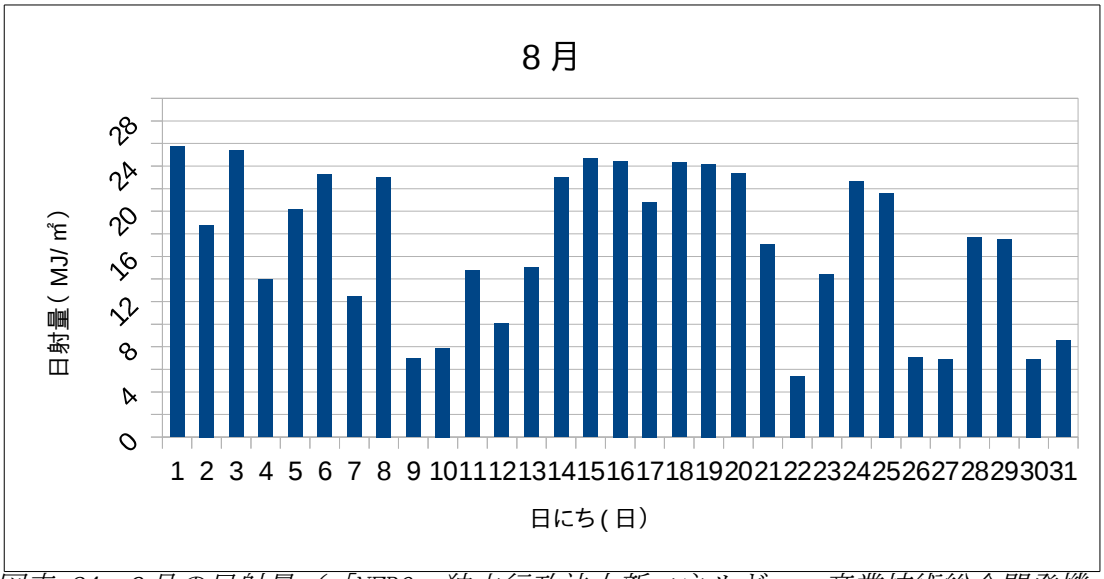
図表 21：5月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



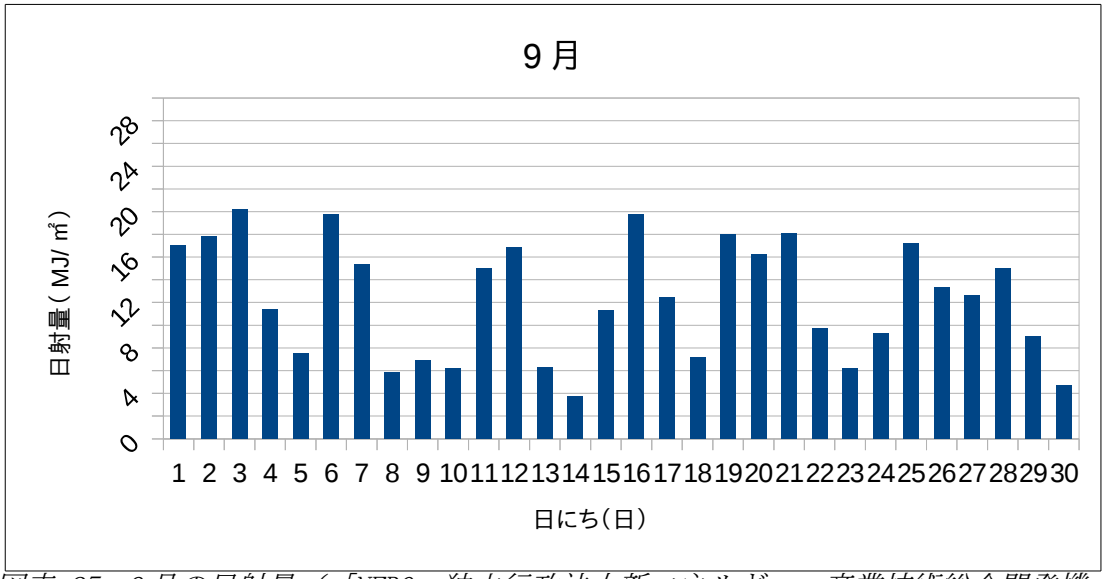
図表 22：6月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



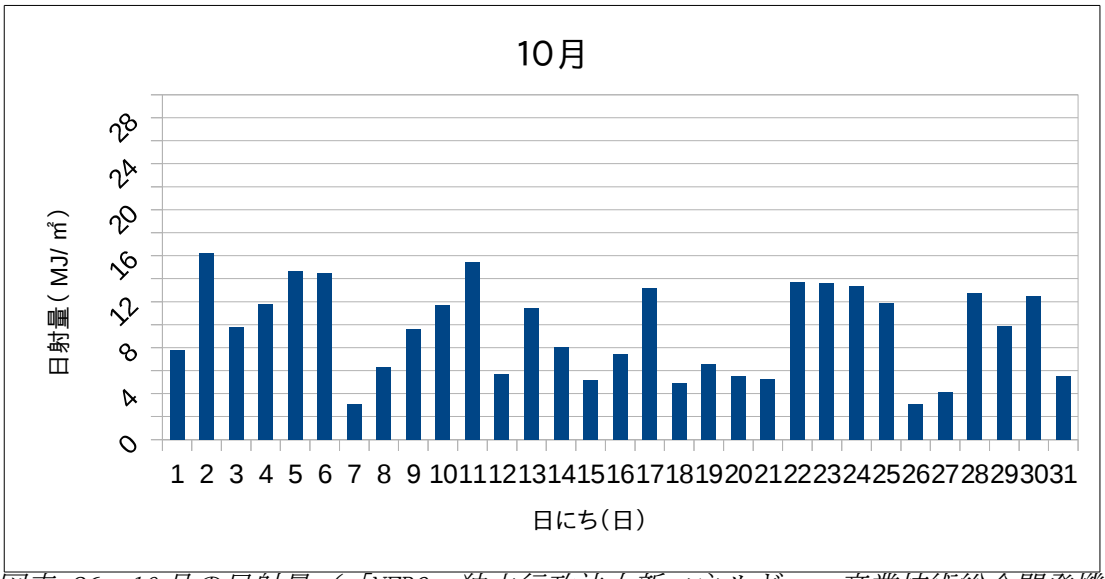
図表 23：7月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



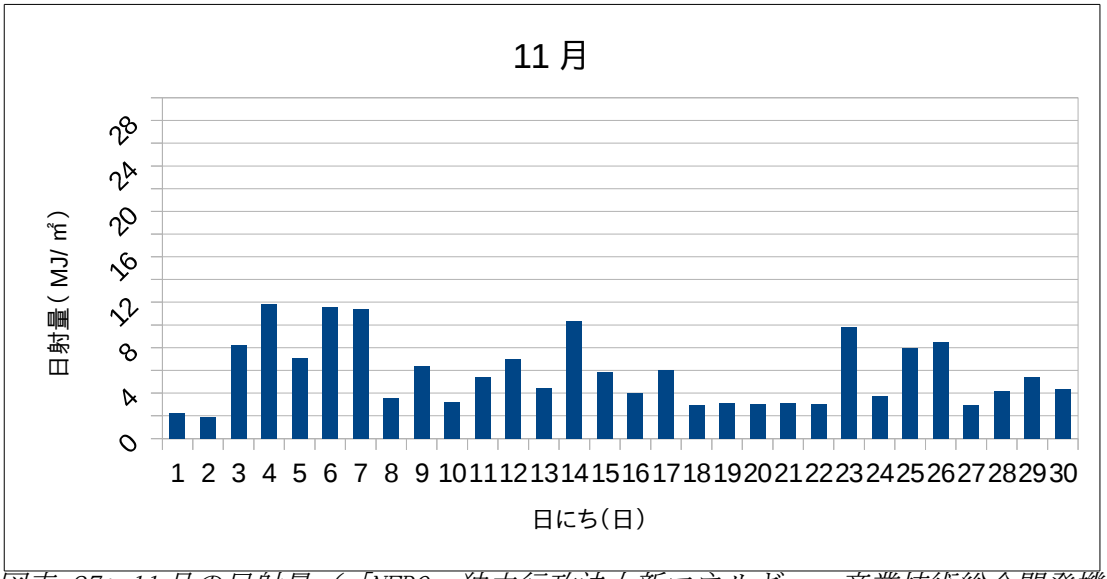
図表 24：8月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



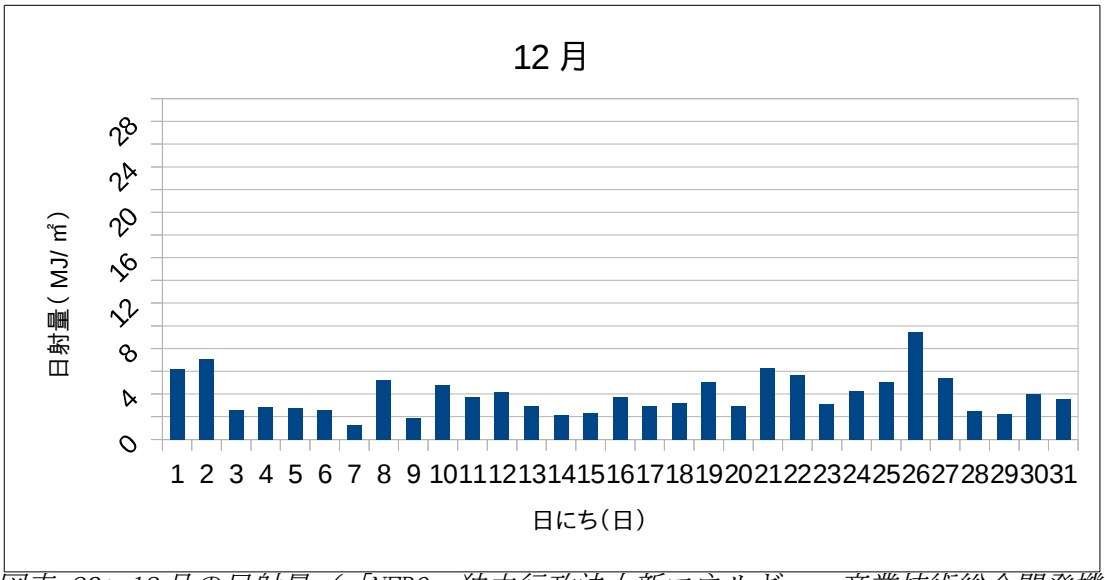
図表 25：9月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



図表 26：10月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



図表 27：11 月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）



図表 28：12 月の日射量（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）

月別日射量	MJ/㎡
1月	147.62
2月	210.69
3月	329.07
4月	438.33
5月	492.04
6月	488.87
7月	449.57
8月	527.88
9月	369.89
10月	294.01
11月	172.32
12月	121.78
合計	4042.07

図表 29: 月別日射量合計（「NEDO　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構」のデータをもとに作成）

月々の日射量を図表29にまとめた。このことから山形県鶴岡市の年間日射量は 4,042.07MJ/ ㎡であることがわかった。

5.6. 鶴岡市における太陽光発電の発電量の計算

5.6.1. 太陽光エネルギーから電気エネルギーへの変換

太陽エネルギーの単位は [J] を用いるが、電気エネルギーの単位は[Wh]を用いるのが一般的である。そのため [J] を[Wh]に変換する必要がある。以下に [J] と [W] の定義を明確にし、計算式を表す。

Ｊ（ジュール）：仕事量を表す。重さ1N（ニュートン）のものを1m移動させた時の仕事を1Jとする。すなわち、Ｊ（ジュール）=N（ニュートン）× m（移動距離）の関係式が成立する。
Ｗ（ワット）：仕事率を表す。すなわち単位時間（１秒間）にする仕事量を表す。従ってＪ（ジュール）とＷ（ワット）との間には、次の関係式が成立する。
Ｗ（ワット）=J（ジュール）÷時間（ｓ）=J/s

上記の式を変形し、太陽エネルギーを[Wh]で表すと次のようになる。

1J=1w×1s

3,600J=1W×3,600s=1W×1h=1Wh

1J=1/3,600Wh

例えば、1月1日の日射量は1㎡あたり4.01MJである。これをWhで表すと、以下のようになる。

4.01MJ=4,010,000J=4,010,000/3,600≒1,113.89Wh

5.6.2. 太陽光パネルの公称最大出力と最大モジュール変換効率

1月1日の1㎡あたりの発電量は1,113.89Whであると述べたが、全てを電気として使用することは不可能である。今回の研究では東芝製のSPR-250NE-WHT-Jの太陽電池モジュールを設置すると仮定するため、公称最大出力は250W、最大モジュール変換効率は20.1%を用いる。

Sシリーズ

SPR-250NE-WHT-J

希望小売価格 **182,500**円(税抜)

型式	SPR-250NE-WHT-J
セル種類	シリコン単結晶系
最大モジュール変換効率	20.1%
公称最大出力	250W
公称最大出力動作電圧	40.5V
公称最大出力動作電流	6.17A
公称開放電圧	48.8V
公称短絡電流	6.56A
最大システム電圧	600V
外形寸法(W×H×D)	1,559×798×46mm
質量	15.0kg

図表 30: 実験に使用するパネルの詳細情報（出典：パワフル発電の東芝製品案内）

5.6.3. 太陽光パネル 1 枚あたりの発電量

日射量が多く当たればそれだけ発電するのではなく、東芝の SPR-250NE-WHT-J の太陽光パネルでは最大250Wまでしか発電できない。また、当たった光エネルギーの20.1％しか電気に変換できないのである。それを踏まえて計算すると、 1,113.89Wh/ ㎡の太陽エネルギーは、次のように電気エネルギーに変換される。

1,113.89Wh/ ㎡×0.201≒223.89Wh/ ㎡

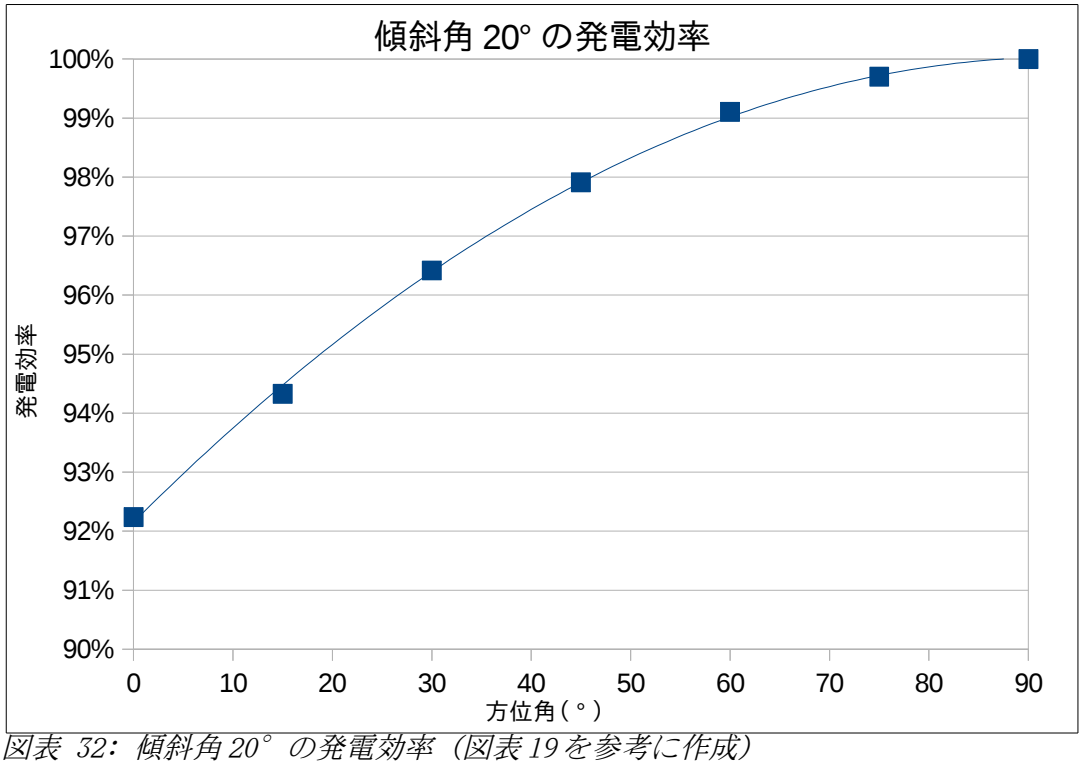
5.6.4. 屋根の方向と傾斜角度による発電電気量の比較

太陽電池モジュールは、日当たりの良い南側の屋根に設置することが最も良い。よって、設置する方位が真南の時に発電効率が 100 ％となるが、南東、南西に設置した場合でも96％の発電量が期待できる。このことから、設置方向は真南から±45°以内が理想的であることがわかる。また、最適な設置角度は緯度によって異なる。札幌では水平から35°、東京では30°、沖縄では、20°と北の地域ほど設置角度の傾斜を高くし、南の地域ほど低くするのが良いとされている。

本実験では、太陽電池モジュールは南向きで20°の傾斜角度で設置すると仮定する。なぜなら、図表31に傾斜角度と方位角による変化を示したとおり、真南で傾斜角20°の時の発電効率が 100 ％になるという計算結果が得られたからである。そのため、図表32に南向きで20°の傾斜角度で設置した場合の太陽の方位角と発電効率を示し、図表33に傾斜による補正を行った場合の発電量を示す。よって、 1 月 1 日の太陽エネルギー 1,113.89Wh/ ㎡で変換された発電量は、223.89Wh/ ㎡であったが、傾斜を考慮すると、 221.31Wh/ ㎡となった。図表34には、各月ごとの発電量と傾斜による補正をした発電量をまとめた。

		方位角						
		0° (真南)	15°	30°	45° (南東・南西)	60°	75°	90° (真東・真西)
傾斜角	0° (水平面)	95.22%	95.22%	95.22%	95.22%	95.22%	95.22%	95.22%
	10°	98.21%	98.21%	97.91%	97.31%	96.42%	95.22%	94.03%
	20°	100.00%	99.70%	99.10%	97.91%	96.42%	94.33%	92.24%
	30°	99.70%	99.40%	98.21%	97.01%	94.63%	91.94%	88.96%
	40°	97.31%	97.01%	96.12%	94.03%	91.64%	88.66%	84.78%
	50°	93.13%	92.84%	91.94%	90.15%	87.46%	83.88%	80.00%
	60°	87.16%	86.87%	85.97%	84.48%	82.09%	78.51%	74.63%
	70°	79.70%	79.70%	79.10%	77.91%	75.52%	72.54%	68.36%
	80°	71.04%	71.04%	71.04%	70.15%	68.36%	65.97%	62.39%
	90°	61.19%	61.49%	62.09%	62.09%	60.90%	59.10%	56.12%

図表 31：鶴岡市の傾斜角と方位角による発電効率の変化（NEDO 全国日射関連データマップを基に作成）



図表 32：傾斜角 20° の発電効率（図表 19 を参考に作成）

※方位角の 0° を真東・真西、45° を南東・南西、90° を真南とする。

1月1日	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	合計
日射量 (MJ/㎡)	0.1	0.3	0.49	0.62	0.68	0.66	0.56	0.39	0.2	0.01	4.01
発電量 (Wh/㎡)	5.58	16.8	27.4	34.6	38	36.9	31.3	21.8	11.2	0.56	223.89
傾斜角による補正 (Wh/㎡)	5.3	16.3	27	34.5	38	36.7	31	21.3	10.8	0.53	221.31

図表 33：1月1日の発電量（図表20を参考に作成）

	電気 (kWh/㎡)	傾斜角20° 南 (kWh/㎡)
1月	8.24	8.15
2月	11.76	11.63
3月	18.37	17.33
4月	25.28	24.85
5月	27.36	27.06
6月	30.91	30.32
7月	24.89	24.79
8月	29.47	29.13
9月	20.69	19.74
10月	16.36	16.17
11月	9.62	9.53
12月	6.78	6.71
合計	229.73	225.42

図表 34：傾斜を考慮した各月の発電量（図表20を参考に作成）

5.7. 対象地域の面積

Google Earthを使用して家や車庫などの南東、南西、南向きの屋根を対象とし、屋根の縦と横の長さを定規で測った。その面積を図表35に示す。太陽光モジュールを設置できる家や車庫等の建物148軒の屋根の総面積は、4,441 ㎡である。また、2015年1月31日現在、添川は157世帯、人口は555人の地域である。

これらの屋根は全て南向き傾斜角20°であると仮定すると、太陽に向いている屋根の面積は4,441 ㎡で、傾斜角20°を考慮した屋根の総面積は7,012.26㎡となる。計算式は以下の通りである。

4,441 ㎡ ÷cos70° ≒7,012.26 ㎡

家	縦 (m)	横 (m)	面積 (㎡)	傾斜角による補正 (㎡)	家	縦 (m)	横 (m)	面積 (㎡)	傾斜角による補正 (㎡)
1	4	11	44	69.48	75	7	8	56	88.42
2	4	8	32	50.53	76	7	16	112	176.85
3	5	5	25	39.47	77	3	8	24	37.90
4	6	19	114	180.00	78	4	12	48	75.79
5	4	9	36	56.84	79	3	12	36	56.84
6	4	9	36	56.84	80	5	11	55	86.84
7	4	12	48	75.79	81	4	19	76	120.00
8	5	18	90	142.11	82	5	15	75	118.42
9	5	9	45	71.05	83	6	11	66	104.21
10	4	8	32	50.53	84	5	16	80	126.32
11	4	10	40	63.16	85	5	19	95	150.00
12	5	15	75	118.42	86	8	9	72	113.69
13	5	20	100	157.90	87	8	20	160	252.64
14	8	22	176	277.90	88	5	7	35	55.26
15	6	6	36	56.84	89	8	6	48	75.79
16	3	8	24	37.90	90	4	8	32	50.53
17	5	15	75	118.42	91	8	6	48	75.79
18	6	21	126	198.95	92	6	12	72	113.69
19	8	5	40	63.16	93	6	8	48	75.79
20	3	7	21	33.16	94	6	6	36	56.84
21	5	18	90	142.11	95	3	16	48	75.79
22	5	7	35	55.26	96	4	8	32	50.53
23	8	8	64	101.05	97	5	6	30	47.37
24	5	9	45	71.05	98	7	18	126	198.95
25	7	7	49	77.37	99	4	16	64	101.05
26	5	10	50	78.95	100	6	16	96	151.58
27	4	16	64	101.05	101	7	15	105	165.79
28	5	13	65	102.63	102	5	13	65	102.63
29	5	9	45	71.05	103	4	17	68	107.37
30	3	7	21	33.16	104	6	12	72	113.69
31	3	7	21	33.16	105	4	7	28	44.21
32	6	6	36	56.84	106	7	11	77	121.58
33	6	6	36	56.84	107	5	9	45	71.05
34	6	15	90	142.11	108	4	12	48	75.79
35	7	12	84	132.63	109	6	6	36	56.84
36	8	13	104	164.21	110	4	6	24	37.90
37	7	19	133	210.00	111	4	8	32	50.53
38	4	7	28	44.21	112	5	7	35	55.26
39	5	10	50	78.95	113	5	9	45	71.05
40	7	11	77	121.58	114	5	9	45	71.05
41	3	12	36	56.84	115	7	17	119	187.90
42	5	11	55	86.84	116	7	19	133	210.00
43	7	7	49	77.37	117	5	13	65	102.63
44	5	11	55	86.84	118	4	8	32	50.53
45	3	13	39	61.58	119	5	14	70	110.53
46	7	18	126	198.95	120	4	8	32	50.53
47	5	18	90	142.11	121	6	19	114	180.00
48	5	16	80	126.32	122	4	10	40	63.16
49	3	11	33	52.11	123	7	10	70	110.53
50	8	13	104	164.21	124	5	17	85	134.21
51	5	18	90	142.11	125	8	15	120	189.48
52	5	13	65	102.63	126	5	8	40	63.16
53	4	6	24	37.90	127	6	11	66	104.21
54	5	4	20	31.58	128	4	18	72	113.69
55	3	11	33	52.11	129	6	8	48	75.79
56	4	19	76	120.00	130	5	11	55	86.84
57	7	8	56	88.42	131	5	19	95	150.00
58	4	11	44	69.48	132	6	15	90	142.11
59	6	11	66	104.21	133	6	11	66	104.21
60	4	8	32	50.53	134	4	7	28	44.21
61	5	12	60	94.74	135	5	9	45	71.05
62	3	13	39	61.58	136	4	10	40	63.16
63	6	9	54	85.27	137	4	5	20	31.58
64	6	12	72	113.69	138	6	15	90	142.11
65	6	12	72	113.69	139	4	11	44	69.48
66	8	10	80	126.32	140	4	6	24	37.90
67	7	17	119	187.90	141	5	10	50	78.95
68	6	10	60	94.74	142	5	8	40	63.16
69	6	9	54	85.27	143	5	14	70	110.53
70	5	7	35	55.26	144	4	11	44	69.48
71	4	12	48	75.79	145	5	18	90	142.11
72	5	12	60	94.74	146	5	19	95	150.00
73	5	13	65	102.63	147	5	12	60	94.74
74	4	12	48	75.79	148	5	5	25	39.47
					合計			4441	7012.26

図表 35：山形県鶴岡市添川の屋根の面積（Google Earth を参考に作成）

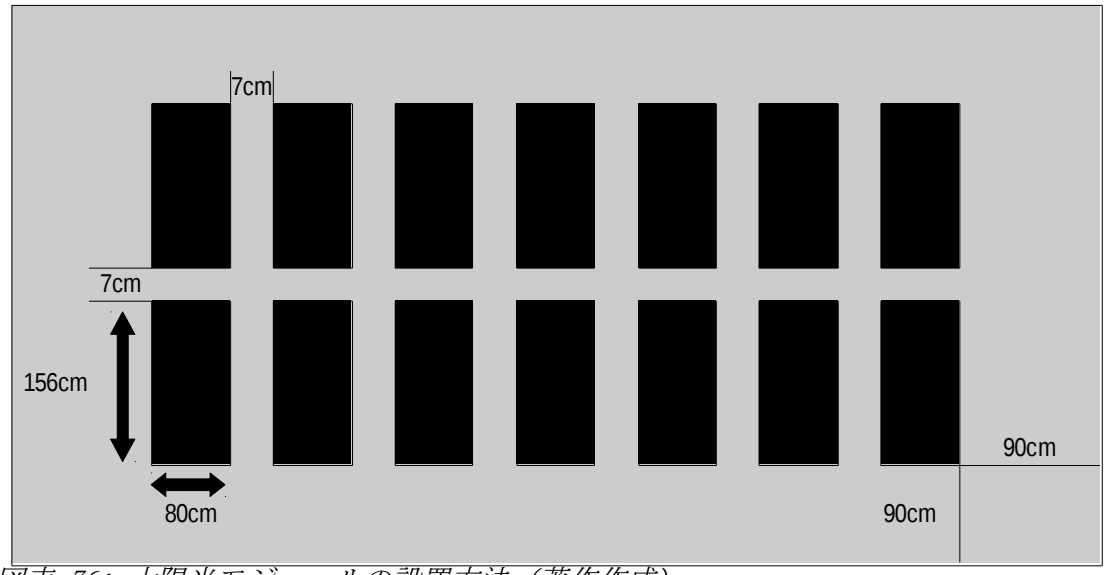
5.8. 屋根上に設置する太陽光モジュールの面積

屋根の強度の関係上、太陽光モジュールを敷き詰めることができない。そのため、次のような条件で太陽光パネルを設置することにした。

・太陽光モジュールと太陽光モジュールの間隔を 7cm ずつ開ける

・周囲を90cm開ける

・自分の家の倉庫（50.53 ㎡）に対して14枚のパネルを設置する（1 枚あたり約1.25 ㎡）



図表 36：太陽光モジュールの設置方法（著作作成）

図表36に太陽光モジュールの設置方法を示す。太陽光モジュールと足場を含んだ灰色の部分の面積は 39.02 ㎡となる。また、太陽光モジュール自体の面積の合計は17.5㎡となる。ここで、屋根上に設置できる太陽光パネルの面積を有効設置面積と呼ぶことにする。パネルの有効設置面積は次のようにして求める。

有効設置面積 = （17.5/50.53）×屋根の面積

この式から、鶴岡市添川全域のパネルの有効設置面積は次のようになる。

（17.5㎡/50.53㎡）×7,012.26㎡=2,428.5㎡

よって、約 138 枚のパネルを設置することができる。このことにより、正確な有効設置面積

は以下のようになる。

17.5㎡ ×138 枚=2,415 ㎡

5.9. 鶴岡市添川の屋根に太陽光モジュールを設置した時の年間発電

屋根の方位と傾斜角度による発電電力量の比率から添川地区の 1 ㎡あたりの年間発電量は 225.42kWh である。また、屋根に設置する太陽光モジュールの有効設置面積は 2,415 ㎡である。この結果から、年間発電量は554,389.3kWhになることがわかる。計算式は以下の通りである。

225.42kWh×2,415㎡ =554,389.3kWh

月	使用量（ｋWh）	請求予定額（円）
1月（12/19～1/21）	522	14426
2月（1/22～2/20）	465	12756
3月（2/21～3/23）	462	12764
4月（3/24～4/20）	349	9519
5月（4/21～5/22）	384	11100
6月（5/23～6/22）	338	9664
7月（6/23～7/22）	365	10494
8月（7/23～8/21）	399	11527
9月（8/22～9/21）	367	10484
10月（9/22～10/22）	361	10242
11月（10/23～11/19）	335	9410
12月（11/20～12/18）	405	11574
合計	4752	133960

図表 37：我が家の電気使用料　2014 年 1 月～12 月まで（著作作成）

2014年 1 月～12月までの我が家（５人家族）の電気使用料を図表37に示す。添川地域の 157 世帯が我が家と同じ電気使用量だと仮定すると、 1 年間の電気消費量は746,064kWhとなる。年間発電量を 157 世帯の年間消費量で割ると0.74となるため、添川地域の74％の電力を賄えることがわかった。計算式は以下の通りある。

4,752kWh×157 世帯 =746,064kWh

554,389.3kWh÷746,064kWh=0.74

6. ま と め

今回再生可能エネルギーによるまちづくりを検討したことにより、国の気候や政策等によって実施方法は異なっていたが、政府や地域住民のエネルギーや地球環境に対する危機意識によって進展したのではないかと考えた。日本はエネルギー自給率が低いことに加え、福島第一原子力発電所の事故により原子力が必ずしも安全な発電方法ではないことがわかった。しかし、今だに火力発電に依存しており、再生可能エネルギーによる発電は僅かである。今回調べた事例により、地域分散型の電力システムの構築を市町村という小さな単位から進めていくことで成功する確率が高まるのではないかと考えた。そのため、地方の地域で再生可能エネルギーによるまちづくりは十分に行えると言えるのではないだろうか。しかし、再生可能エネルギーはどこでも適用可能な電力源ではない。メリットもあればデメリットもある。そのため、詳しくその土地を調査した上で事業を進めなければ、利益を見いだせないという事態に陥ってしまう。また、再生可能エネルギーで事業が始められる準備が整ったとしても、住民の理解と協力がなければ運営していくことは困難である。住民と行政、民間企業やNPO法人等が協力してこそ、まちづくりが成功すると考えたため、住民を巻き込んで行えるかどうかが重要になってくるではないだろうか。

導入された際には住民がエネルギーを身近に感じることで、節電等の意識改革にも繋がることがわかった。また、幼少期の頃からエネルギーや環境問題について考えることが今後の省エネルギーに対する取り組みにも影響が出るため、早い段階で再生可能エネルギーによる発電事業の見える化に取り組むべきではないだろうか。

鶴岡市添川での太陽光モジュールを使用した実験では、南東、真南、南西方向の屋根を対象とし、それらの屋根を全て真南の方向と仮定して年間発電量を算出した。年間使用量は我が家のデータを添川の157世帯に適用して計算した結果、添川地域の使用電力の74%賄えることがわかった。発電量の見える化をすることで節電意識が高まると考えたため、消費電力量を今以上に抑え、そして、耕作放棄地に太陽光モジュールを設置し太陽光発電を行なうことが出来れば、添川地域全世帯の電力を賄えるくらいの発電量をつくることが出来るのではないかと考えた。また、周辺には水田が広がっていることから用水路を活用した小水力発電も可能であると考える。太陽光発電と小水力発電を組み合わせることで、互いに欠点を補いながら安定供給を実現することも可能になるのではないだろうか。

今後の展望として、再生可能エネルギーによるまちづくりは住民、行政、民間企業やNPO法人が協力して行なうことが継続的に運営していく秘訣ではないかと考えたため、まずは、山形

県エネルギー戦略で考えられる庄内地域の将来像である市街地エリア、農業農村エリア、中山間エリアの再生可能エネルギーによるシミュレーションを行い、投資費用、発電量、売電収益等全て踏まえた上で具体的な結果を出し、私が住んでいる鶴岡市に提言したい。

謝 辞

本論文を作成するにあたり、丁寧にご指導していただきました伊藤眞知子先生、実験のご指導をしてくださいました古山隆先生、意見やアドバイスをくださった学生の皆さんに大変感謝しております。ありがとうございました。

引 用 ・ 参 考 文 献

第 1 章　再生可能エネルギー

大髙敏男，『絵とき「再生可能エネルギー」基礎のきそ』，日刊工業新聞社，2012, 181p.

経済産業省　資源エネルギー庁，「再生可能エネルギーの種類と特徴　総論」，経済産業省　資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/index.html#outline, （参照2015-12-05）．

経済産業省　資源エネルギー庁，「エネルギー白書 2014　第 2 部　エネルギー動向」，経済産業省　資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014pdf/whitepaper2014pdf_2_1.pdf, （参照2015-12-05）．

経済産業省　資源エネルギー庁，「再生可能エネルギーの種類と特徴　太陽光発電」，経済産業省　資源エネルギー庁,
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/solar/index.html, （参照2015-12-05）．

経済産業省　資源エネルギー庁，「再生可能エネルギーの種類と特徴　風力発電」，経済産業省　資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/wind/index.html, （参照2015-12-05）．

経済産業省　資源エネルギー庁，「再生可能エネルギーの種類と特徴　水力発電」，経済産業省　資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/water/index.ht

ml, （参照2015-12-05）．
経済産業省　資源エネルギー庁，「再生可能エネルギーの種類と特徴　地熱発電」，経済産業省　資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/geothermal/index.html, （参照2015-12-05）．
経済産業省　資源エネルギー庁，「再生可能エネルギーの種類と特徴　バイオマス発電」，経済産業省　資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/biomass/index.html, （参照2015-12-05）．

第２章　欧州諸国と日本の制度の比較

資源エネルギー庁　省エネルギー・新エネルギー部　電力・ガス事業部，「第６回　買取制度小委員会説明資料「再生可能エネルギーの全量買取制度における詳細制度設計について」」，資源エネルギー庁, http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004601/006_03j.pdf, （参照2015-12-05）．
一般社団法人　海外電力調査会，「各国の電気事業（ドイツ）」，一般社団法人　海外電力調査会, 2015-01, http://www.jepic.or.jp/data/ele/ele_05.html,
（参照2015-12-05）．
一般社団法人　海外電力調査会，「各国の電気事業（スペイン）」，一般社団法人　海外電力調査会，2015-01, http://www.jepic.or.jp/data/ele/ele_07.html,
（参照2015-12-05）．
一般社団法人　海外電力調査会，「各国の電気事業（スウェーデン）」，一般社団法人　海外電力調査会，2015-01, http://www.jepic.or.jp/data/ele/ele_09.html,
（参照2015-12-05）．
資源エネルギー庁，「海外の RPS 制度の状況」，資源エネルギー庁，
http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/ugokilink-kaigai.html,
（参照2015-12-05）．
経済産業省　資源エネルギー庁，「エネルギー基本計画」，経済産業省　資源エネルギー庁, http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf,
（参照2015-12-05）．
経済産業省　資源エネルギー庁，「固定価格買取制度　制度の概要」，経済産業省　資源エネ

ルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/surcharge.html，
（参照2015-12-05）．
経済産業省　資源エネルギー庁，「固定価格買取制度　買取期間・期間等」，経済産業省　資源エネルギー庁，
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html，（参照2015-12-05）．
経済産業省　資源エネルギー庁，「固定価格買取制度　情報公表用ウェブサイト」，経済産業省　資源エネルギー庁，http://www.fit.go.jp/statistics/public_sp.html，
（参照2015-12-05）．

第３章　欧州諸国の取り組み

寺西俊一・石田信隆・山下英俊，『ドイツに学ぶ地域からのエネルギー転換　再生可能エネルギーと地域の自立』，一般社団法人　家の光協会，2013，205p.
井筒耕平，「地域での自然エネルギー普及に向けた推進組織についての研究－岡山県備前市の事例をもとに－」，2011，p.1-36，
http://www.slideshare.net/koheiizutsu/2012dissertation，（参照2015-12-05）．
大橋照枝，『ヨーロッパ環境都市のヒューマンウェア　持続可能な社会を創造する知恵』，学芸出版社，2007，223p.

第４章　日本の取り組み

諸富徹，『「エネルギー自治」で地域再生！一飯田モデルに学ぶ』，岩波店，2015，75p．
おひさま進歩エネルギー株式会社，「おひさま０円システム」，おひさま進歩エネルギー株式会社，http://ohisama-energy.co.jp/business/zeroensystem/，（参照2015-12-12）．
甲斐良治・阿部道彦・馬場裕一・蜂屋基樹，『季刊地域　No.７　特集　いまこそ農村力発電』，社団法人　農山漁村文化協会，2011，130p.
小石勝朗・越善綾子，『地域エネルギー発電所　事業化の最前線』，現代人文社，2013，159p.
北栄町役場，「風力発電の概要」，北栄町役場，
http://www.e-hokuei.net/1931.htm，（参照2016-01-13）．

第５章　自分の住んでいる地域（鶴岡市添川）で取り組んだ場合

山形県エネルギー政策推進課，「山形県エネルギー戦略」，山形県庁，
http://www.pref.yamagata.jp/ou/kankyoenergy/050016/senryakupdf/yamagataprefenergyplan/yamagataprefenergyplan.pdf，（参照2015-12-05）．
鶴岡市政策企画課，「鶴岡市地域エネルギービジョン～スモール・スマート・サスティナブルエネルギーネットワークシティ鶴岡～」，鶴岡市役所，
https://www.city.tsuruoka.lg.jp/kurashi/kankyo/recycleenergy/kikaku08.files/pp06523-1.pdf，（参照2015-12-05）．
太陽光発電工学研究センター，「太陽電池の原理　原理の概要－上級編」，国立研究開発法人産業技術総合研究所，
https://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/principle/principle_3.html，
（参照2015-12-05）．
太陽光発電工学研究センター，「太陽電池の原理　変換効率とは」，国立研究開発法人産業技術総合研究所，
https://unit.aist.go.jp/rcpvt/ci/about_pv/principle/principle_4.html，
（参照2015-12-05）．
NEDO　国立研究開発法　新エネルギー・産業技術総合開発機構，「年間時別日射量データベース（METPV-11）」，NEDO 国立研究開発法　新エネルギー・産業技術総合開発機構，
http://app0.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html，（参照2015-12-05）．
NEDO国立研究開発法　新エネルギー・産業技術総合開発機構，「年間月別日射量データベース（MONSOLA-11）」，NEDO 国立研究開発法　新エネルギー・産業技術総合開発機構，http://app0.infoc.nedo.go.jp/metpv/monsola.html，（参照2015-12-05）．
坂本弘志，「熱の単位の換算方法」，特定非営利活動法人　日本 VOC 測定協会，
http://www.jvma.jp/column2.html，（参照2016-01-12）．
株式会社東芝，「パワフル発電の東芝　製品案内」，株式会社東芝，
http://ohisama-energy.co.jp/business/zeroensystem/，（参照2015-12-05）．
水谷仁編，『Newton　ムック　もっとくわしく知りたい　太陽光発電のすべて』，株式会社ニュートンプレス，2010，157p.
佐竹裕也，『地域における太陽光発電の導入について』，東北公益文科大学，2013，p29.
Google Earth，「山形県鶴岡市添川」，https://goo.gl/maps/asaQjM9HsKr，
Google，（参照2016-01-06）．