



諏訪東京理科大学

博 士 論 文

茅野市における再生可能エネルギーの
導入と普及に関する研究

2015年3月

諏訪東京理科大学大学院

博士後期課程

工学・マネジメント研究科

工学マネジメント専攻

河村研究室

鷹 野 鉄 也

ABSTRACT

A Study on Introduction and Spread of Renewable Energy in a Rural City Chino

Tetsuya Takano

This thesis discusses the introduction and spread of renewable energy in a rural city Chino, where the author works as a civil servant. This thesis is consisted of five chapters.

In the 1st chapter, introduction, general survey is made on the present status of the energy supply and consumption, energy policy and the Feed-in Tariff in Japan. Next, the natural environment of the Chino area is analyzed and is revealed that among renewable energies the solar and the hydro ones are prominent, but the wind and geothermal are not much. The biomass, especially the garbage incineration is promising, but its usage depends strongly on the reconstruction schedule of the incineration plant. Accordingly, the present thesis focuses on introduction and spread of the solar and the hydro energies in the Chino area.

In the 2nd chapter, performance and results of a laboratory experiment on a micro-scale hydroturbine is described. First, feature of the hydropower resource in Chino is investigated. In order to efficiently utilize geographical feature of Chino for the hydropower, an impulsive type water turbine is selected to be suitable for the area concerned. A series of experiment was performed to obtain the power generation efficiency and other characteristics on the hydropower generation of a micro hydroturbine. In the experiment, the flow rate, head water pressure, generated electric current and voltage, etc. were measured and the power generation efficiency was obtained.

In addition, an impeller and a water nozzle were manufactured using a 3D printer. As for the impeller, while the characteristic almost equivalent to an original impeller was acquired, the maximum efficiency of the original one was not attained. The nozzle was able to reduce the pressure loss and a flow rate was increased. Accordingly, a power generation was successfully increased up to about 30%. Thus, it was demonstrated that, by utilizing 3D printer, a private user is able to manufacture a

micro water impeller and/or a nozzle and to obtain an optimum design for their own usage.

In the 3rd chapter, the introduction and spread of the solar power generation are described. The area concerned is very suitable for the solar power generation, because the solar irradiation is much more prominent compared to the average level in Japan. The Feed in Tariff (FIT) system of the renewable energy started in 2012, which has been serving as a fair wind for the introduction of the renewable energy. Since then, many solar power facilities are beginning to be installed in this area. The investigation of the present situation in this area revealed that while the number of the large-scale facilities often called Mega-solar is limited, that of the medium scale one (10 kW - about 200 kW) is fairly large. Those in this range are called here “middle-solar” in this thesis. Total capacity of the middle solar now becomes up to 4,500 kW in this area.

An IRR (internal rate of return) analysis is made to analyze the economic feasibility of the middle solar facilities. In the analysis, relating factors, such as a price of solar panel, that of power conditioner, tax, insurance, and so on are taken into account. With consideration of the future decrease of the system price, the decrease of the purchase price by the FIT is predicted with use of the IRR. According to the analysis, it is shown that the FIT purchase prices will decrease below the electricity charge in near future. Nevertheless, the FIT will bring a reasonable benefit as long as the total purchasing of the generated electricity is secured.

In the 4th chapter, I describe the role of the renewable energy in the area. Japan analyzes the energy situation of Germany to which I refer, and I am performing comparison of the electricity bill (items) of Germany and Japan, comparison of the offer price, etc.

Furthermore, I investigated the present condition and potential of introduction of renewable energy in Chino, and have considered the possibility of the renewal energy introduction in the area concerned.

In the 5th chapter, to summarize the thesis, features of the small scale hydro power and the solar power generations are compared with respect to the relevance with this area. That is, the solar power is being introduced rather rapidly through the private sector, not only by private companies but by private persons. On the other hand, the introduction of the hydropower is very slow in this area. Even though a higher purchase price is given in the FIT, various rights and restrictions prevent spreading

of the hydropower. This situation is rather common in all over Japan.

Furthermore, recently conflicts are arising with the residents faced with the solar power facilities in their neighboring area. To cope with this situation, a guideline on installation of renewable energy has been enacted in Chino. This guideline is largely depends upon the work done in this thesis.

As mentioned above in the present thesis, not only the technical aspect of the renewable energy but its economical and governmental ones have been investigated and discussed. As a civil servant of a local government, the present author is going to devote much of his effort to introduce further the renewable energies and resultant promotion of the relating industries and to reserve this precious environment of this district as well as of the earth itself.

目次

第1章 序論

1.1	はじめに	1
1.2	地球温暖化の現状	3
1.3	日本のエネルギーの現状	6
1.4	エネルギー基本計画	15
1.5	固定価格買取制度	17
1.6	茅野市の取り組み	23

第2章 小水力発電に関する実験的研究

2.1	はじめに	31
2.2	茅野市での小水力発電の意義	32
2.3	水車の種類	33
2.4	水車の選定	37
2.5	超小型衝動水車発電機の試験と改造	39
2.6	結論（第2章）	57

第3章 太陽光発電施設の調査研究

3.1	はじめに	61
3.2	中規模太陽光発電施設の普及	62
3.3	手続きについての検討事項	64
3.4	事業経費の検討事項	66
3.5	発電設備容量による収入の比較	71
3.6	IRR を用いた収益性の検討	73
3.7	各項目の IRR に対する感度解析と FIT 価格との関係	74
3.8	システム費用と FIT による買取価格の予測	77
3.9	集合住宅との比較	80
3.10	結論（第3章）	85

第4章 地域における再生可能エネルギー

4.1	地域における再生可能エネルギーの役割	89
4.2	ドイツにおける再生可能エネルギーの普及	91
4.3	地域エネルギーの意義	99
4.4	茅野市における再生可能エネルギー	102

第5章 総括

5.1 茅野市での再生可能エネルギー	111
5.2 再生可能エネルギーのガイドライン	117
5.3 再生可能エネルギーの方向性と課題	119
謝辞	121
発表業務一覧	123

第1章

序論

1.1 はじめに

固定価格買取制度（FIT：Feed in Tariff）が平成24年7月に開始されて以来、再生可能エネルギー施設、取り分け太陽光発電施設の建設が全国的に、且つ、急速に増加している。これには、国が、企業や個人の再生可能エネルギー事業参入者に対しアドバンテージを約束する制度を構築することによって、地球温暖化防止や、原発抑制のため、出来る限り多くの事業者が再生可能エネルギー普及の担い手になってもらいたいという背景がある。

再生可能エネルギー¹⁾とは、「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」（以下「エネルギー供給構造高度化法」という。）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、

第1章 序論

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。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。

本論文は、国がこのように再生可能エネルギーを普及させる理由と、それに対して地方自治体に取り組むべき事項と手段を、地方における再生可能エネルギーの普及に対する一助としようとするものである。

本論文の主構成は、第1章から第5章で構成される。第1章序論では、地球温暖化に対する取組、日本のエネルギーの現状、エネルギー基本計画、固定価格買取制度の概要や、また、茅野市における自然エネルギーに関する事項を述べる。第2章小水力発電に関する実験的研究では、超小型衝動水車発電機の試験と3Dプリンターを用いて小水力発電機の改造を行った結果を述べる。第3章太陽光発電施設の調査研究では、太陽光発電に関する手続きの調査や、内部収益率（IRR：Internal Rate of Return）を用いた経済性の検討を述べる。第4章地域における再生可能エネルギーでは、地域における再生可能エネルギーの役割と、先進地であるドイツとの比較を述べる。第5章結論では、第1章から第4章までの茅野市における再生可能エネルギーの普及・開発に関する調査研究をまとめ、本論文の結びとする。

1.2 地球温暖化の現状

1.2.1 地球温暖化の現状

地球の表面には窒素や酸素などの大気を取り巻いている。地球に届いた太陽光は地表での反射や輻射熱として最終的に宇宙に放出されるが、大気が存在するので、急激な気温の変化が緩和されている。大気中の二酸化炭素は0.03%とわずかであるが、地表面から放射される熱を吸収し、地表面に再放射することにより、地球全体の気温を適切に保つのに大きな役割を果たしている。こうした気体が温室効果ガス²⁾と呼ばれている。

18世紀後半頃から、産業の発展に伴い人類は石炭や石油などを大量に消費するようになり、大気中の二酸化炭素の量は200年前と比べ35%程増加した。これからも人類が同じような活動を続けるとすれば、21世紀末には二酸化炭素濃度は現在の2倍以上になり、この結果、地球の平均気温は今より上昇すると予測されている。IPCC第5次評価報告書³⁾によると2100年の平均気温は、最小で1.1度、最大で4.8度上がると予測されている。

温室効果ガスには、二酸化炭素の他メタンやフロンなどがあるが、フロンなどの人工化学物質は二酸化炭素より温室効果が強く、わずかな量でもその影響が心配されている。地球温暖化は、これらの二酸化炭素やフロンなどの温室効果ガスが原因であり、これは人為的な活動に起因すると考えられるので、一人一人がこれらの温室効果ガス削減を考える必要がある。

国においてもこういった温室効果ガスに対し、経済産業省「産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ」では、平成25年から改正フロン類法について、平成27年4月の

第1章 序論

施行を目指し審議を行っている。

1.2.2 温室効果ガス削減への取組

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が、世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)との協力の下に、昭和63年(1988年)に設立された。その任務は、二酸化炭素等の温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化の科学的・技術的、及び、社会・経済的評価を行い、得られた知見を、政策決定者を始めとして、広く一般に利用してもらうことである。平成4年(1992年)には温室効果ガスを増加させないための、「気候変動枠組み条約」が国連で採択され、この条約の締結国による会議(COP)が平成7年(1995年)から毎年開かれている。第3回目のCOP3は、京都で開かれ「京都議定書」が採択された。これは平成20年(2008年)から平成24年(2012年)の温室効果ガス削減目標を決めたものであり、我が国は京都メカニズム⁴⁾等により目標を達成した。

国際的な動きを受けて、わが国では「地球温暖化対策の推進に関する法律」が平成11年4月に施行された。また、平成17年4月に「京都議定書目標達成計画」が定められ、京都議定書で定められた目標の達成に向けた基本的な方針が示されるとともに、温室効果ガスの排出削減、吸収等に関する具体的な対策、施策を展開している。さらに平成20年には、「低炭素社会づくり行動計画」が閣議決定され、平成62年までに現状から60～80%削減するという目標が定められた。平成20年6月には、2020年までに温室効果ガスを平成17年比で15%削減する中期目標が政府より発表されている。

第1章 序論

こういった国の動きを受けて、長野県においても平成15年に「長野県地球温暖化防止県民計画」を策定後、平成20年に改訂し、県内の温室効果ガスの総排出量について森林吸収量を加味した上で、平成24年までに平成2年比で6%削減する目標を設定するとともに、業務・家庭・産業・運輸などの部門別の削減目標と対策が掲げられた。さらに平成24年3月には「長野県地球温暖化対策戦略検討会提言書」が発表され、その中で、「長野県の法的な責務については、地球温暖化対策推進法および長野県地球温暖化対策条例に根拠がある。国際社会や国が決めたからではなく、地球社会の一員として責任を果たしていく観点が重要である。そのため、国の国際条約上の義務に係らず、積極的に先導的な取組やモデルづくりを推進していく役割が期待されている。」とされている。

1.3 日本のエネルギーの現状

1.3.1 一次エネルギーの国内供給量

現在、原子力発電については、福井県大飯郡おおい町にある大飯発電所が、平成25年9月に点検のために停止し、平成27年2月現在、日本国内において全ての原発の稼働は停止している。日本の一次エネルギーの供給量を、図1-1に示す。一次エネルギー供給量は石油に依るものが最も多い。特に、原発停止による1次エネルギーの不足分を補うため、石油・石炭・天然ガスの化石燃料による発電が増加しており、天然資源の保有が微量な日本にとっては、輸入に頼らざるを得ない状況が続いている。こうした状況は、エネルギーコストの上昇と温室効果ガス排出量の増大の原因となり、経済・産業活動や地球温暖化対策への取組に深刻な影響を与えている。

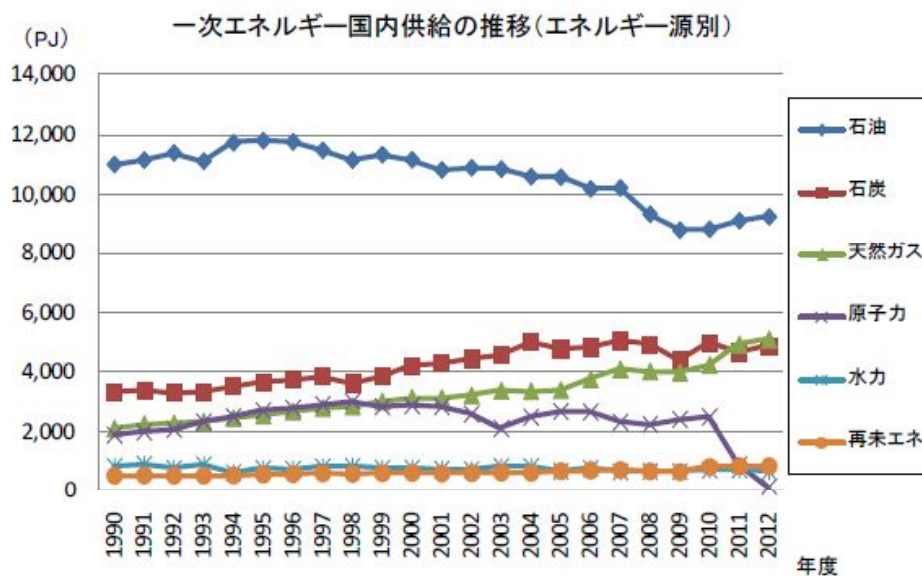


図 1-1 1次エネルギー国内供給の推移 出典:経済産業省 HP⁵⁾

第1章 序論

1.3.2 エネルギーミックス

図 1-2 には日本の電源構成（発電量）の推移を示す。この図から分かるとおり、我が国は、一つのエネルギー源に頼らずに水力や火力、原子力など、それぞれのエネルギーの特徴を十分に考えて、バランスよく組み合わせ、安定して電気が作れる仕組みを徐々に築いてきた。特に 1960 年代からは、高度経済成長と共に日本の電力需要が高まり、エネルギーの活路を原子力発電に求め、1963 年稼働の東海発電所を初めとして日本各地に原子力発電所が建設された。

安定的な供給・環境問題・発電コストといったそれぞれの側面で、各発電方法には様々な特徴がある。エネルギー資源が乏しい日本では、資源をいかに確保するかといった問題とともに、地球環境に配慮しながら、経済的に、長期的に安定して電気をつくることが大きな課題となっている。

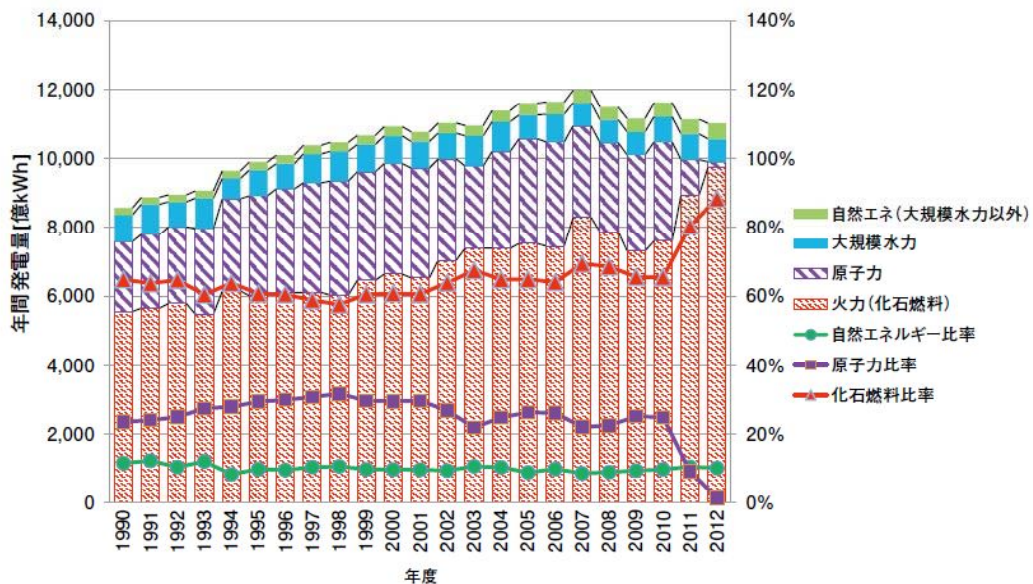


図 1-2 日本の電源構成（発電量）の推移 出典：自然エネルギー白書 2014

第1章 序論

エネルギー資源価格は世界の資源消費量の増加、中東での政情不安、投機活動等により、今後も大きく変動する可能性があり得る。火力発電は発電コストに占める燃料費の割合が高く、資源価格の変動により発電コストが大きく変動するため、価格安定性や備蓄性に優れた原子力発電や、輸入燃料を必要としない太陽光・風力発電等の再生可能エネルギーの活用も大切である。そのために、火力・水力などの発電、原子力発電、再生可能エネルギーによる発電をバランスよく組み合わせ、それぞれの特徴を最大限に活用した「エネルギーミックス」⁶⁾を進めていかなければならない。

第1章 序論

1.3.3 主な発電方式

エネルギーミックスを考える上では、様々な要素を勘案しなければならない。主な発電方式の特徴一覧を表 1-1 に示す。

表 1-1 主な発電方式の特徴一覧表

発電方式	電源特性	環境負荷	供給安定性	課題等
火力発電 (石油、LNG)	使用量を調整できるため、需要量変化への対応に用いられている。	他電源と比べ、二酸化炭素排出量が多い。	中東地域への依存度が高く、供給安定性に懸念がある。	二酸化炭素排出を抑えるため、高効率な発電方式などの対策が望まれる。
火力発電 (石炭)		他電源と比べ、二酸化炭素排出量が多い。	石炭については、供給安定性は高い。	
原子力発電	一定の発電量を維持する発電方法がとられている。	発電時に二酸化炭素を排出しない。	燃料の供給安定性は高い。	国民の原子力に対する不安が高い。
水力発電	需要量変化への対応にも用いられる。		渇水時には発電が困難。	大規模発電が可能な場所が少ない。
再生可能エネルギー (太陽光、風力等)	発電が天候や時間帯により不安定である。立地場所が限られる。		資源の制約はないが、不安定。	不安定な発電への対策と騒音、景観などへの対策が必要。
地熱	比較的安定した発電が期待できる。		季節による影響を受けない。	温泉への影響や、温泉地での景観の問題が考えられる。

この表からも各発電方式の課題等が見えてくる。エネルギーミックスは各発電方式の長所短所を上手に生かしながら進めて行く必要がある。

また、現在行われている発電の種類や、仕組みを以下に挙げる。

第1章 序論

(1) 火力発電

火力発電は、現状では最も重要な発電方法であり、日本の電気の約8割は火力発電に頼っている。火力発電は、燃料の量を変えることで発電量を調整することができるので、季節や時間帯によって変動する電力消費に対応して、発電する役割も担っている。エネルギー資源による分類として、火力発電では、石油、石炭、天然ガスなどが使われる。石油や石炭などのエネルギー資源には限りがあるため、エネルギー資源に乏しい日本ではさまざまな発電用燃料を組み合わせることで、エネルギー資源の安定確保に努めている。

○石油火力・・・燃料単価が高く、国際情勢などにより燃料価格が変動しやすい。

○LNG火力、その他のガス火力・・・石油、石炭に比べCO₂の排出量が少ない発電方式。燃料単価は石油より安い、石炭と比べると割高。

○石炭火力・・・石油に比べ埋蔵量が豊富で単価も安い。その反面、環境保全対策が特に必要な発電方式。

(2) 水力発電

自然の持つエネルギーを利用している水力発電は、山が多く水が豊富という我が国の地形を生かした発電方式で、古くから行われている。電力需要への変化に対応しにくい発電方式であるが、現在では水をせき止める方法だけではなく、汲み上げる等の方法も行うなど、様々な水の利用方法を行い、電力需要の変化にも対応している。水力発電の種類は以下のものがある。

○貯水池式・・・河川の水をダムでせき止め、ダムに溜まった水を利用する発電方式である。水の流れを自在にコントロール出来るため、安

第1章 序論

定した発電が可能となっている。しかし、河川長が短い日本では建設する場所が少ないのが現状であり、新規建設は難しい。

○流れ込み式・・・河川流量をそのまま利用する発電方式。他の水力発電方式に比べて比較的建設コストが抑えられるというメリットもある。

○調整池式・・・河川の流量を調整池で調整して発電する。短期的な発電量調整に活用する。1日分あるいは1週間分程度の発電用水を調整池に溜めて、発電量を調整することができる。

○揚水式・・・発電所の上部と下部に大きな調整池をつくり、電力供給に余裕のある夜間帯に水を汲み上げ、昼間帯にその水を利用して発電する。

(3) 原子力発電

原子力発電の特徴は、地球温暖化防止の観点からは、発電段階においてCO₂を全く排出せずに大量の電力を安定して供給することができるという利点がある。また、1kWh当りの発電コストは、現在主流の石油火力発電に比べかなり低価格にすることが出来、経済性から見ても有利である。しかし、廃棄物処理については未解決の問題が多い。福島第一原発事故以来、安全性が不安視されている等により、その対策は国民に理解されるよう十分に行わなければならない。

(4) 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーは、純国産エネルギーであることや、CO₂の排出量が少ないことから、エネルギー自給率の向上と地球温暖化問題への対応に優れているといった利点があるが、太陽光、風力等は自然条件に左右され出力が不安定である、エネルギー密度が低い、広大な面積を要するため設置できる地点も限られている等の欠点もある。再生可能エネルギー

第1章 序論

一は、地産地消のエネルギーとして、表 1-2 のとおり、それぞれの特徴を生かした普及が期待される。

表 1-2 再生可能エネルギーの特徴一覧表

エネルギー源	適地	環境負荷	供給安定性	課題等
太陽光	冬期間豪雪地帯は不利であるが、地域遍在性は少ない。	景観に配慮することが必要。	天候に左右される。	導入コストの、更なる低減が期待される。
風力	年間を通じて強い風が必要のため、沿岸部が良い。	騒音、景観対策が必要。		台風などの気象条件に対応した風車の開発。
地熱	火山国の日本は適地が点在する。	温泉・地下水への注意が必要。	長期間にわたる供給が期待される。	観光地が多いので周辺への配慮が必要。
水力	落差のある山間部に向いている。	周辺に与える影響が少ない。	季節による影響がある。	地域が限定される。水利権の取得が困難。
バイオマス	森林や食物残渣等地域の特徴を生かす。		計画により比較的安定する。	収集・運搬にコストがかかる。

(5) その他のエネルギー

シェールガス自体の存在は、1800年代にアメリカで確認されていたが、その採取が技術的に困難なことから、開発が行われずにいた。その後2000年代に入り掘削技術が進歩し、2013年には、「シェールオイル革命」といわれるまでに至った。独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構⁷⁾の報告によれば、既に原油価格の低下に影響を与えている。

日本においては、平成25年にメタンハイドレート⁸⁾の調査が政府によ

第1章 序論

り行われ、日本近海での採取に成功した。メタンハイドレートによるエネルギー量は高く、シェールガスの2倍以上であり、燃やした時に出るCO₂は、石油の約半分⁸⁾であるといわれている。日本が使う天然ガスの約100年分が、日本近海に大量に存在する。今後、商用化が期待されるエネルギーである。

1.3.4 諸外国との比較

日本のエネルギーの現状を考える上で、主要国と比較を行う。図1-3では主要国の一人当たりの電力消費量を示す。我が国は、国別では世界の5%を占め第3位であり、一人当たりの電力消費量にしても第4位というエネルギー消費大国である。産業や文化等で世界との競争を考えれば、エネルギー問題は国全体で取り組むべき重要な課題である。

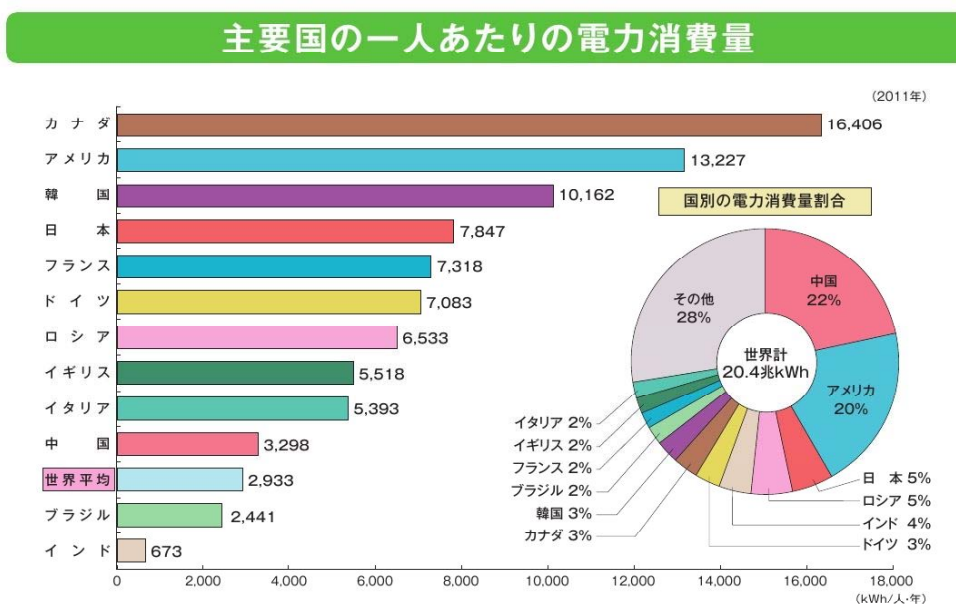


図 1-3 主要国の一人あたりの電力消費量と国別の電力消費割合 出典：電気事業連合会 HP⁹⁾

次に、図1-4では主要国の発電割合を示す。各国それぞれに特徴があり、

第1章 序論

地理的要因や産出される資源により大きな違いが見られる。

日本で使われているエネルギーで最も割合が大きいのは石油であり、約4割を占めている。この使用資源の割合は国によって異なり、中国では石炭が約7割、イギリスでは天然ガスが約4割を超えている。ロシアでは、国全体で使う一次エネルギーのうち、石油の割合は日本の約半分であるが、国内で天然ガスが大量に生産されているので、天然ガスの割合が5割を超えている。また、フランスでは原子力発電が盛んに行われているため、約4割が原子力である。陸続きであるEU圏域では各国の特徴を生かしたエネルギーを造り出し、国を跨ぐエネルギーの融通が行われている。これに対し我が国は、周囲を海に囲まれて他国との直接の電力融通が出来ていないため、独自で、常に安定した電力供給をする必要があるということが、特徴といえる。

主要国の一次エネルギー構成

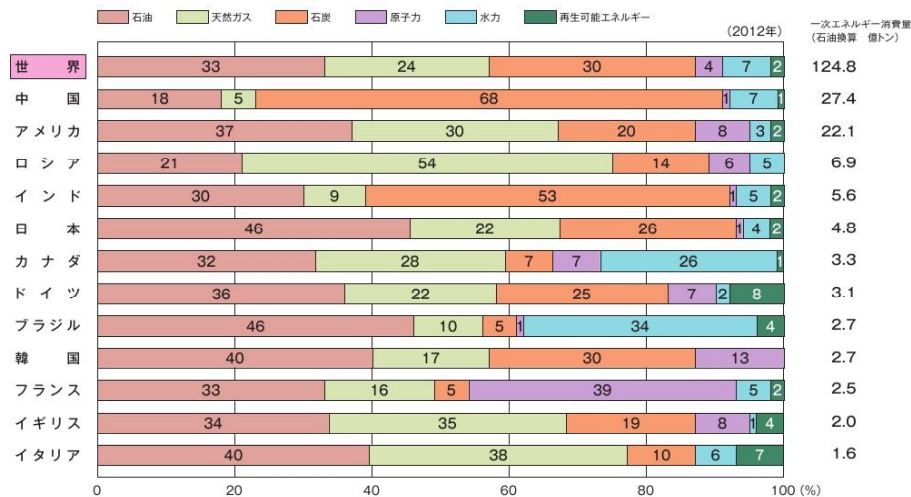


図 1-4 主要国の一次エネルギー構成 出典：電気事業連合会 HP⁹⁾

1.4 エネルギー基本計画

平成 26 年 4 月に、国の新しいエネルギー基本計画（第四次）¹⁰⁾ が閣議決定された。エネルギー基本計画は、平成 14 年 6 月に制定されたエネルギー政策基本法に基づき、政府が策定するもので、「安全性」、「安定供給」、「経済効率性の向上」、「環境への適合」というエネルギー政策の基本方針に則り、エネルギー政策の基本的な方向性を示すものである。平成 15 年 10 月に最初の計画が策定され、その後、平成 19 年 3 月に第二次計画、平成 22 年 6 月に第三次計画が策定された。

今回のエネルギー基本計画（第四次）は、東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所事故を初めとした、エネルギーを巡る国内外の環境の大きな変化を踏まえ、新たなエネルギー政策の方向性を示すものとして策定された。このエネルギー基本計画（第四次）には、冒頭で、「震災前に描いてきたエネルギー戦略は白紙から見直す。原発依存を可能な限り低減する。東京電力福島第一原子力発電所事故で被災された方々の心の痛みにしつかりと向き合い、寄り添い福島の復興・再生を全力で成し遂げる。ここが、エネルギー政策を再構築するための出発点であることは言を俟たない。」とある。東日本大震災による福島第一原発事故の発生から 3 年が経過しているが、現在でも約 14 万人の被災者が困難な避難生活をしている。現に不自由な生活を強いられている福島の人々のためにも、国及び全国の自治体が、エネルギー問題を優先的に取り扱う必要がある。

エネルギー基本計画の中で、再生可能エネルギーに関しては、導入を 2013 年から 3 年程度加速させることを目指し、さらにその後も積極的に推進して行くと書かれている。また、狭い地域に点在する再生可能エネル

第1章 序論

ギー施設を分散型エネルギーシステムとして、再生可能エネルギーの利用を促進し、分散型エネルギーシステムの構築を加速させるとある。そのことにより、地域に新しい産業を起こし、地域活性化につなげ、また、緊急時に地域において一定のエネルギー供給を確保することにも繋げることが出来る。地域に密着したエネルギー源であることから、地域が主体となって導入することが重要である。同時に、地域住民がエネルギー問題を自らの問題として捉える機会を創出することが必要であり、このことは行政として重要な取り組みである。

1.5 固定価格買取制度

1.5.1 固定価格買取制度の概要

固定価格買取制度とは、エネルギーの買取価格を法律¹¹⁾で定める方式の助成制度である。地球温暖化への対策やエネルギー源の確保、環境汚染への対処などの一環として、再生可能エネルギーの普及拡大と価格低減の目的で制定された。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種類であり、これらのいずれかを使って発電したものに対して、一定期間（10年～20年）の助成水準が設備導入時に法的に保証される。

買取価格は、「効率的な供給を行う場合に通常要する費用」に「適正な利潤」を加えて算出される（再生可能エネルギー特別措置法3条2項）。買取価格は1年ごと（必要があれば半年ごと）に見直すことができるが（同3条1項）、翌年度から買取価格を引き下げても、その価格が適用されるのは当該年度以降に設置される設備で、設置当初の買取価格は一定期間固定される。適切に運用することにより、費用当たりの普及促進効果が最も高くなるとされている。世界50カ国以上で用いられ、再生可能エネルギーの助成政策としては一般的な手法となっている。その一方、買取価格の設定次第で普及速度が過小もしくは過大になる危険性があるといわれている。

日本における固定価格買取制度は、平成24年7月から開始され現在に至っている。この制度導入にあたってはドイツのそれを参考にしているが、ドイツとの比較等、その詳細については「第4章 地域における再生可能エネルギー」で述べることとする。

第1章 序論

1.5.2 調達価格の変遷

平成24年度からの調達価格の変遷は、表1-3のとおりである。普及の進んでいる太陽光の10kW以上の区分については、開始当初から毎年4円ずつ下げられているが、他の再生可能エネルギーについては、調達価格は変わらず、調達区分の変更が行われたのみである。

表 1-3 調達価格の変遷

(単価は1kWh当り)

電源	調達区分	平成24年度	平成25年度	平成26年度	期間
太陽光	10kW以上	40円	36円	32円	20年
	10kW未満(余剰買取)※1	42円	38円	37円	
	10kW未満(ダブル発電)※2	34円	31円	30円	
風力	20kW以上	22円	22円	22円	20年
	20kW未満	55円	55円	55円	
風洋力上	—※3	—	—	36円	
地熱	15,000kW以上	26円	26円	26円	15年
	15,000kW未満	40円	40円	40円	
水力	1,000kW以上 3,000kW未満	24円	24円	24円	20年
	200kW以上 1,000kW未満	29円	29円	29円	
	200kW未満	34円	34円	34円	
活既用設中導小水路力	1,000kW以上 3,000kW未満※4	—	—	14円	
	200kW以上 1,000kW未満※4	—	—	21円	
	200kW未満※4	—	—	25円	

第1章 序論

バイオマス	メタン発酵ガス(バイオマス由来)※5	39円	39円	39円	20年
	間伐材等由来の木質バイオマス※6	32円	32円	32円	
	一般木質バイオマス・農作物残さ※7	24円	24円	24円	
	建設資材廃棄物※8	13円	13円	13円	
	一般廃棄物・その他バイオマス※9	17円	17円	17円	

- ※1 余剰電力買い取り。
 ※2 太陽光発電と家庭用燃料電池やガスエンジン発電等の組合せ。
 ※3 建設及び運転保守のいずれの場合にも船舶によるアクセスを必要とするもの。
 ※4 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。
 ※5 下水汚泥・家畜糞尿・食品残さ由来のメタンガス
 ※6 間伐材、主伐材
 ※7 製材端材、輸入材、パーム椰子殻、もみ殻、稲わら
 ※8 建設資材廃棄物、その他木材
 ※9 剪定枝・木くず、紙、食品残さ、廃食用油、汚泥、家畜糞尿、黒液

出典：経済産業省 HP 調達価格と調達期間¹²⁾

1.5.3 再生可能エネルギーの割合

平成24年7月からの固定価格買取制度導入による、平成24年7月～平成26年3月末までの認定容量は、表1-4のとおりとなる。

表 1-4 再生可能エネルギー発電設備の種類

発電設備の種類	認定容量	割合
太陽光（住宅）	268.8万kW	3.92%
太陽光（非住宅）	6,303.8万kW	91.84%
風力	104.0万kW	1.52%
地熱	1.4万kW	0.02%
中小水力	29.8万kW	0.43%
バイオマス	156.5万kW	2.28%
合計	6,864.2万kW	100.00%

出典：経済産業省 HP

第1章 序論

この表 1-4 を見ると、太陽光が、住宅・非住宅を併せ 95%以上を占めている。太陽光は、設置に関する法手続きが他の発電設備に比べて容易である等、普及のための有利な条件が多い。詳しくは「第3章 太陽光発電設備の調査研究」で述べることにする。一方、我が国に有利と思われる中小水力や、地熱の発電は 1%にも満たない。今後はこの部分の技術開発や、普及促進が課題となる。

太陽光に偏りすぎた再生可能エネルギーのバランスの見直しを行い、再生可能エネルギーにも、それぞれ特性の違う電源があるので、再生可能エネルギーのエネルギーミックスを考える必要がある。

1.5.4 再生可能エネルギー賦課金

固定価格買取制度で買い取られる再生可能エネルギー電気の買い取りに要した費用は、再生可能エネルギー賦課金（以下「再エネ賦課金等」という。）によって賄われる。

再エネ賦課金等は、再生可能エネルギー賦課金と、太陽光発電促進付加金とからなる。再生可能エネルギーは一度発電設備を設置すると自然の力で繰り返し発電が可能になる。また、再生可能エネルギーの電気が普及すれば、日本のエネルギー自給率の向上に有効である。エネルギー自給率が向上すると、化石燃料への依存度の低下につながり、燃料価格の乱高下に伴う電気料金の変動を抑えるといった観点から、全ての電気利用者にメリットがあるものだという考えから再エネ賦課金等を徴収している。

もう一つの太陽光発電促進付加金とは、太陽光発電の余剰電力買取制度のためのもので、太陽光で発電された電気のうち使い切れず余った電気を国の定める価格で 10 年間買い取る制度である。その単価は毎年度変わり、

第1章 序論

電力会社ごとに異なる。

以上の二つからなる再エネ等賦課金等は、国民が再生可能エネルギー普及に掛かる費用を負担するものであり、以下の算定方法で、毎月の電気料と併せて徴収される。

【再エネ賦課金等の算定方法】（平成 26 年 5 月適用）

$$\text{再エネ賦課金等} = \text{再生可能エネルギー賦課金} + \text{太陽光発電促進付加金}$$

- ・ 再生可能エネルギー賦課金 = 電気の使用量 (kWh) × 0.75 円/kWh
- ・ 太陽光発電促進付加金 = 電気の使用量 (kWh) × 0.03^{※10} 円/kWh

※10 太陽光付加金単価：電力会社により異なる。0.03 円/kWh は中部電力のもの。

中部電力管内¹³⁾ における再エネ賦課金等は、電気の使用量に 0.78 円を掛けた額になる。平均的な世帯の 1 ヶ月の電気の使用量は約 300kWh¹⁴⁾ であるので、月 234 円程度の負担となる。

1.5.5 買取制限の検討

平成 26 年 9 月 24 日に九州電力¹⁵⁾ から、固定価格買取制度に基づく契約受付の中断が発表された。その他の電力会社も一部制限や中断の検討を開始したと報じられた。九州電力では平成 26 年 5 月末時点で、買い取り認定を受けたメガソーラー等をすべて接続した場合、夏場の最大電力需要と比較すると、すでに認定容量が越えたことが最大の原因である。

電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（以下「再生可能エネルギー特別措置法」という。）では、買い取られた再生可能エネルギーは優先的に使うよう義務付けられている。つまり電力会

第1章 序論

社に対し需要が少なく電力供給を絞り込まなければならない日でも、自らの火力発電所等を抑制し、再生可能エネルギーを優先的に使うよう義務付けている。ただし、年間を通じて特に需要の落ち込む日には、再生可能エネルギーにも出力抑制を求めても良いことになっている。しかし、その抑制も年間 8% (30 日) を超えて行うことはできず、それを超える場合は見合う収入を補償することになっている。しかし現在この 8% (30 日) ルールを無制限に変更するよう検討¹⁶⁾されている。また、設備認定の申し込みから時間が経過し、着手されないケースが有るため、太陽発電の調達価格決定時期を、現在の「接続申込時」から「接続契約時」に変更された。

太陽光や風力といった再生エネルギーは、天候の影響を受けやすく発電量が安定しないのが弱点である。他発電を抑制し再生可能エネルギーを拡大すれば、安定供給に支障が生じる恐れがあるほか、買い取り量が増える分、国民負担が重くなるとの問題点もある。

1.6 茅野市の取り組み

1.6.1 茅野市の風土

茅野市は、長野県のほぼ中央に位置し、八ヶ岳のゆるやかな裾野には多くの集落、耕地が展開し、市民生活、産業、文化等の基盤となっている。高原地域には、蓼科、白樺湖をはじめとする観光地があり、そこには1万戸を超える別荘、ホテル・旅館・保養所などの観光施設が点在している。八ヶ岳山麓は湧水が豊富で、1年を通して安定的に水が供給されている。人の居住区域は、790 mから1,200m程度であるが、それより高い位置にも登山者用の山小屋が開設されており、人も定住している。ある程度以上の標高には、送電線網が到達していないので、現状でも太陽光発電や小水力発電のような自然エネルギーに依存するところが大きい。

気候は、内陸性気候の特性を有し、晴天日数が多く、四季を通じて湿度が低い上に風が弱い。市の年平均気温は11.4℃（東京16.2℃）で、冬期は最低気温-10℃以下、夏期は最高気温が30℃以上となり、年間を通して寒暖の差が大きい。また、夏は日中の高温に対して夜間は冷え、一日の中でも寒暖差が大きく、冬は高冷地のため寒さが特に厳しいという高冷地性気候の特色を有する。年間の降水量は約1,233mm（東京1,517mm）であり、梅雨期・台風時等の降雨が大半を占め、冬期間の降雪は比較的少ない。

1.6.2 茅野市の政策

茅野市では、平成10年に「茅野市環境にやさしいまちづくり条例」を制定し、環境施策の基本的な方向性を示す、「茅野市環境基本計画」を策定した。平成14年には、「茅野市役所地球温暖化対策実行計画」を策

第1章 序論

定し、市役所をひとつの事業所と位置づけて省エネルギー対策を実施している。また、平成16年には「茅野市地域新エネルギービジョン（初期ビジョン）報告書」を策定し、新エネルギー導入に向けた検討も行っている。さらに、平成20年から平成29年を計画年度とした「茅野市民プラン（第4次茅野市総合計画）」では、「かけがえのない地球を守る」として、地球温暖化対策の推進、省エネルギーの推進、新エネルギーの利用、自動車からの温室効果ガス削減、二酸化炭素の吸収対策を掲げている。平成22年には、総務省「緑の分権改革」で太陽光・バイオマス・地熱利用の調査を行ない、NEDO「茅野市地域新エネルギービジョン（重点ビジョン）」では小水力発電の可能性調査を行なっている。

また、平成24年には「茅野市環境未来都市研究会」を発足させた。これは茅野市内の産業、住民、大学が連携して環境問題に取り組み、具体的な課題や解決策を検討する研究会である。その狙いは、地域の資源である豊かな自然環境を活用し、自然エネルギーを創出すると共に、「産業振興」、「低炭素」を見込んだ新たなまちづくりの戦略を推進するというものである。

1.6.3 茅野市における再生可能エネルギーの可能性

（1）太陽光発電

固定価格買取制度による発電設備の認定要領の割合は、太陽光発電設備が95%を超える。現在、茅野市においても農地を転用した太陽光発電事業が盛んに行われている。その背景は、農家の高齢化や跡取り不足、鳥獣被害による農業へのモチベーションの低下、固定価格買取制度による高い買取価格の設定等によるものと思われる。

第1章 序論

また、元来農地は日当たりが良い場所であり、茅野市は日照時間の長さ、降雪量が少ない等、地形的、気候的に有利な条件も備えているといえる。政策的な条件や、普及による設置価格の低下により、今後も普及が期待される。

(2) 風力発電

茅野市のような山間部の盆地型都市では、発電のための風を得るのは難しい。風速 6m/s 以上が風力発電に適した場所であるが、図 1-5 の風況マップによれば、茅野市での適地は八ヶ岳の頂上ということになる。しかし現実には、国定公園法等の各種法令や、建設コストから不可能であるといえる。

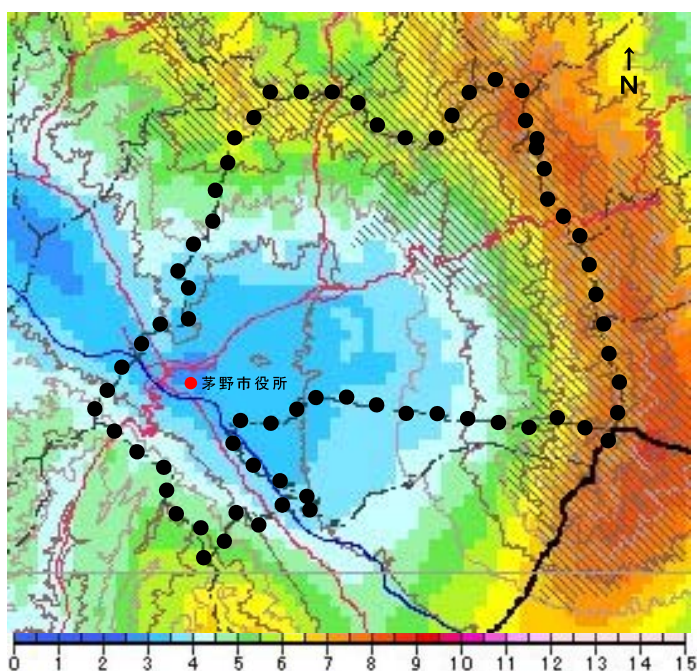


図 1-5 茅野市風況マップ（出典：NEDO）

(3) 地熱発電

地熱発電の長所は環境に優しい点である。蒸気を発生させるのに化石燃料を必要としないため、CO₂の排出が無い。また、火山国である我が国にとっては、電力を生み出せる可能性の高い方法であると同時に、枯渇や季節による変化の影響を受けないという点も魅力的である。他方、短所としては温泉への影響・温泉地の景観への影響等が挙げられる。

第1章 序論

茅野市にも温泉は存在するが、いずれも湧出する温度が低い¹⁷⁾ため、発電には不向きである。

(4) 小水力発電

茅野市では豊富な水と急峻な地形を生かし、昭和初期より小水力発電が行われていた。現在も稼働している小水力発電所は、中部電力米沢発電所（最大出力 540kW：昭和 6 年運用開始）、中部電力福沢発電所（最大出力 1,400kW：昭和 4 年運用開始）、蓼科発電所〔最大出力 260kW：蓼科開発農業協同組合（昭和 29 年運用開始）→三峰川電力（平成 23 年移管）〕がある。平成 26 年には、三峰川電力¹⁸⁾による蓼科第二発電所（最大出力 141kW）が運用開始された。

また、送電線網の到達していない登山者用の山小屋では、河川の水を利用した小水力発電を行い、必要電源の全量を賄うことが出来るようになったため、通年営業が可能になった施設もある。

その他、茅野市上水道では、高落差によって生じる圧力を制御するために、減圧弁、減圧槽という圧抜き装置が設置されていて、茅野市都市建設部水道課では、こういった未利用エネルギーの活用を現在研究中である。

(5) バイオマス発電

茅野市は市域の 75%である 200km²が森林である。間伐材を化石燃料に代替するものとして利用が出来れば、有効活用となる。現在急峻な山からの搬出が大きな問題であり、諏訪森林組合でも有効な搬出方法を検討している。安価な搬出方法が確立できれば、間伐材は、環境にも優しく地産地消できるエネルギーとして期待されている。

第1章 序論

茅野市にある諏訪南清掃センターは、100t/日の処理能力があり、NEDOの発電出力試算算定式によると、標準ごみを焼却したときの年間発電量は19GWhであり、平均的な世帯が使用する電気の5,000世帯分を超える電気を賄うことが出来る計算である。現在の固定価格買取制度では、一般廃棄物等は17円/kWhで売電されるので、年間約3億円の収入となる。しかし現施設に設置するのは難しく、建て替えの時に設置するのが理想的である。

1.6.4 茅野市における再生可能エネルギーの可能性

以上のおり述べてきた、茅野市での再生可能エネルギーの可能性を、表1-5にまとめる。

表 1-5 茅野市における再生可能エネルギーの可能性一覧表

エネルギー源	条 件	可能性
(1) 太陽光発電	日照時間が長い等、有利な条件が多い。	◎
(2) 風力発電	茅野市の地形では不向きである。	△
(3) 地熱発電	茅野市の温泉熱は低いため、不向きである。	△
(4) 小水力発電	地形が高落差のため有利である。	◎
(5) バイオマス発電	技術、コストがクリアできれば期待できる。	○

本章で述べてきたとおり、我が国のエネルギーは様々な問題を抱えている。地球レベル、国レベル、地方レベルの内、我々に出来ることを着実にやっていくことが、地球温暖化防止や原発抑制に繋がって行くと考えられ

第1章 序論

る。茅野市においても様々な取り組みが行われている。茅野市の地形や風土、また、導入のコスト等を考えれば、表 1-5 のとおり、茅野市に適した再生可能エネルギーは太陽光発電と小水力発電といえる。

そこで本論文では、茅野市における小水力発電に関する調査実験と、太陽光発電施設普及に関する調査、及び、再生可能エネルギーが地域にもたらす影響について論考するものとする。

【第1章 参考文献】

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁 HP：再生可能エネルギーの種類と特徴
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/
- 2) 国土交通省気象庁 HP：温室効果ガスの種類
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p04.html
- 3) 国土交通省気象庁 HP：IPCC 第5次評価報告書
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>
- 4) 環境省 HP：資料3-2 京都メカニズムの仕組み
http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-15/mat_03_2.pdf
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁 HP：平成25年度(2013年度)エネルギー需給実績(速報)
<http://www.meti.go.jp/press/2014/11/20141114001/20141114001.html>
- 6) 経済産業省資源エネルギー庁 HP：エネルギーミックス検討小委員会
<http://www.meti.go.jp/press/2014/12/20141226002/20141226002.html>
- 7) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 HP
<http://www.jogmec.go.jp/>
- 8) メタンハイドレートの基礎知識 HP
<http://methanehydrate.net/the-reason-is-noteworthy-methanehydrate.html>
- 9) 電気事業連合会 HP：原子力・エネルギー図面集
<http://fepc-dp.jp/?type=menu&ID=7>
- 10) エネルギー基本計画（平成26年4月11日）経済産業省資源エネルギー

第1章 序論

一庁

- 11) 再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック（平成 24 年 7 月）
経済産業省資源エネルギー庁
- 12) 経済産業省資源エネルギー庁 HP：調達価格等算定委員会
http://www.meti.go.jp/committee/gizi_0000015.html
- 13) 中部電力 HP：再生可能エネルギー発電促進賦課金単価一覧
[http://www.chuden.co.jp/ryokin/shikumi/saienefukakin/saienepri
ce/](http://www.chuden.co.jp/ryokin/shikumi/saienefukakin/saienepri
ce/)
- 14) 電気事業連合会 HP：一世帯あたり電力消費量の推移
[http://www.fepc.or.jp/enterprise/jigyou/japan/sw_index_04/inde
x.html](http://www.fepc.or.jp/enterprise/jigyou/japan/sw_index_04/inde
x.html)
- 15) 九州電力 HP：九州本土の再生可能エネルギー発電設備に対する接続申
込みの回答保留について
http://www.kyuden.co.jp/press_h140924-1.html
- 16) 平成 26 年度の固定価格買取制度に係る設備認定及び設備認定の運用
見直しについて（平成 27 年 1 月 22 日）経済産業省資源エネルギー庁
- 17) 茅野市クリーンエネルギー（地熱）調査業務報告書（平成 23 年 2 月 15
日）学校法人東京理科大学 諏訪東京理科大学
- 18) 三峰川電力株式会社 HP：小水力事業
<http://www.mibuden.com/p/6/5/77/>

第2章

小水力発電に関する実験的研究

2.1 はじめに

第1章では、茅野市において可能性のある再生可能エネルギーを調査し、地形や風土において、小水力発電と太陽光発電が有利であることが分かった。本章では、その内の一つである小水力発電について実験調査研究を論考する。本章の構成は、茅野市での小水力発電の意義や、水車種類、茅野市に適合した水車を調査した結果を示し、また、実験を行うに当たっては、汎用性を考慮して、持ち運びや設置が容易であること等の実用性を主眼に置き、超小型衝動水車についての特性を導いた。

実験では、現在普及が進む3Dプリンターを用いることにより、容易に改造が出来ることを示し、今後、同様の実験や試験において有効な手段であることも示した。

2.2 茅野市での小水力発電の意義

茅野市では、豊富な水と急峻な地形を利用して、6箇所の小水力発電施設が稼働している。内訳は、中部電力の施設が2箇所（計1,940kW）、三峰川電力の施設が2箇所（計400kW）、登山者用の山小屋の自家発電施設が2箇所（計12kW）である。中部電力と三峰川電力の発電施設は、電気事業者としての発電であり、山小屋の発電施設は自家消費用のものである。特に山小屋の施設については、送電線網が到達していないため冬期間は休業を余儀なくされていたが、6kW程度の小水力発電施設を設置することにより、通年営業が出来るようになった。

他方、近年鹿等の野生の鳥獣による農作物被害が深刻化している。現状での有効な手段として電気柵広く採用されているが、山間部では送電線網の整備が十分でなく、電源の確保が課題となっている。現在は家庭用の蓄電池を用いた電気柵が主流であるが、豊富な水を利用し、現地で電気を作り出す小水力発電を活用できれば、高齢化が進む農家の定常的作業の軽減を図ることができる。

また、東日本大震災以来、非常用電源の確保の重要性が、広く認識されるようになった。当該地域は、沿岸部からは遠いが、糸魚川静岡構造線が通る地帯であり、特に地元自治体としては、震災に対する備えも重要である。震災時には、大小さまざまなレベルでの電源が必要となるが、その中でも、非常用の照明や、携帯電話、広報用通信機の電源として、小規模でも長時間の使用に耐える電源を平時から整備しておくことが重要である。そのためには、昼夜を分かたず発電できる小水力発電は、とくに有力な手段である。

2.3 水車の種類

水車には下に示すとおり様々な種類があり、与えられる条件により有効な水車が選定される。

2.3.1 ペルトン水車

水の速度を利用する水車で、落差の大きい発電所に用いる。ノズルから強い勢いで吹き出す水を、図 2-1 に示す写真のとおり、おわん型のバケットに吹きあてて回転させる方式である。バケットはノズルより放たれた流水を、反対方向に逃がしながらエネルギーを受け、水車を回転させる。バケット表面は水の抵抗を低減するため、特に滑らかに仕上げられている。その中央には水流を二等分するための水切りが設けられており、左右均等に割り振りながら水車にかかる力が均一になるようにしている。

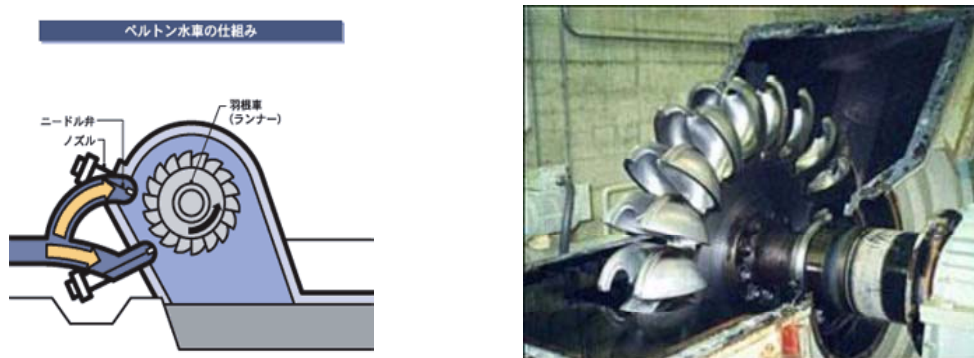


図 2-1 ペルトン水車 出典：中部電力 HP

第2章 小水力発電に関する実験的研究

2.3.2 フランス水車

水の圧力と速度をランナと呼ばれる羽根車に作用させる構造の水車で、広い範囲（10～300メートル程度）の落差で使用でき、日本の水力発電所の約7割がこの水車である。図2-2に示すとおり、水車の入口部分は、螺旋状に形成されているケーシング（渦形室）となっており、何枚ものガイドベーン（案内羽根）はランナに対し接線方向に水を流入させる。流水はランナの羽根に作用し、ランナを回転させる。ガイドベーンは、使用水量に応じて効率的な運転を行うよう、開度を調整することができる。ランナを通過している水は軸中心部に向かうにつれ、さらにランナに作用するようになる。この特性は、水の圧力に加え、水車が内側に向かって流れる流水のエネルギーを利用するのを支援している。



図 2-2 フランス水車 出典：中部電力 HP

2.3.3 プロペラ水車

理論的にはフランス水車と同じで、水の圧力と速度を利用する。図2-3に示す形状をしており、落差が比較的 low、しかも流量が多い発電

第2章 小水力発電に関する実験的研究

所で採用される。またプロペラ水車には、羽根を固定したものと動かすことができるものがあり、後者を一般に「カプラン水車」と呼んでいる。カプラン水車は、内側に向かって流れる水を作用させる反動水車である。すなわち、流水の運動エネルギーが水車を回転させる圧力エネルギーへと変化する。カプラン水車は、放射状・軸状それぞれの特徴を兼ね備えた設計をしている。

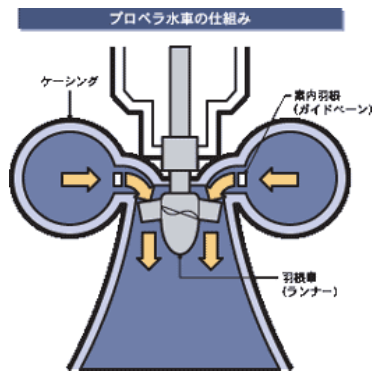


図 2-3 プロペラ水車 出典：中部電力 HP

2.3.4 クロスフロー水車

フランシス水車と同じで、水の圧力と速度を利用する。クロスフローとは水がランナに交差して流れることを意味している。主に 1,000 kW 以下の中小水力発電所で採用される。長所として、安価なコストや、構造が簡単で部品が少ないといったことが挙げられ、また、図 2-4 に示すとおり、運転保守は外側のカバーを外すだけでランナを点検することができ、容易に除塵することができる簡単な構造の水車である。その反面、

第2章 小水力発電に関する実験的研究

軽量化が必要であるため、水車の羽が薄く、寿命が短いのが短所である。

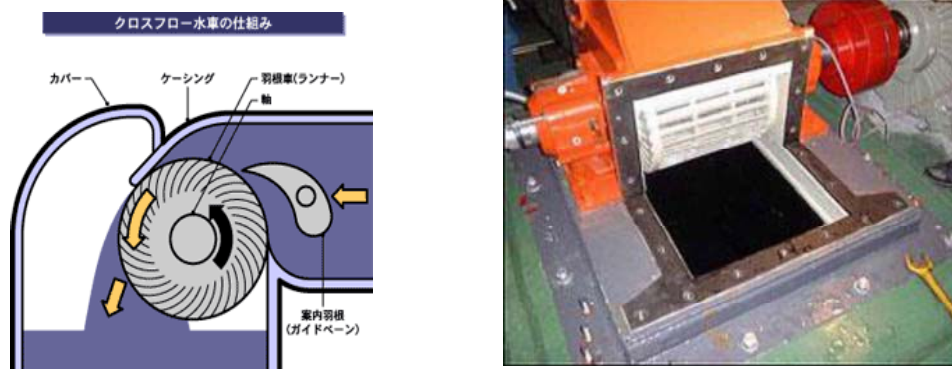


図 2-4 クロスフロー水車 出典：中部電力 HP

2.3.5 開放型下掛水車

農業用水の落差工などを利用した発電に適している。水車が停止した場合でも水路の流水に影響を与えないように、バイパス水路を設けて設置する必要がある。形状は、図 2-5 に示すとおりであるが、羽根の寿命は一般的に 20～30 年程度である。日本では古来より揚水や粉挽きに使用されてきた水車がこの形である。

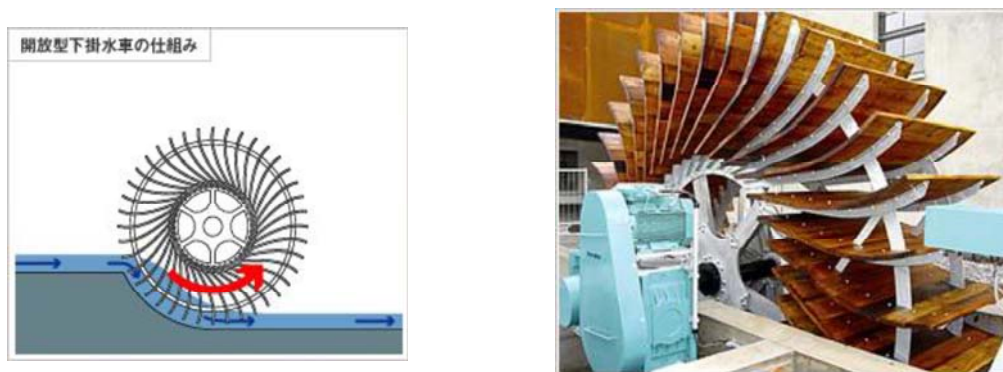


図 2-5 開放型下掛水車 出典：日本小水力発電 HP

2.4 水車の選定

発電ポテンシャルによって求められた値を効率よく発揮するためには、条件に合った水車を選ぶことが必要である。代表的な水車の落差・流量・出力の関係を表したものが図 2-6 である。落差の大小、流量の大小により適応する水車は異なり、図の水車の枠から外れた値のものは、効率が大幅に落ちる。現地での測量等準備段階での調査が重要となる。

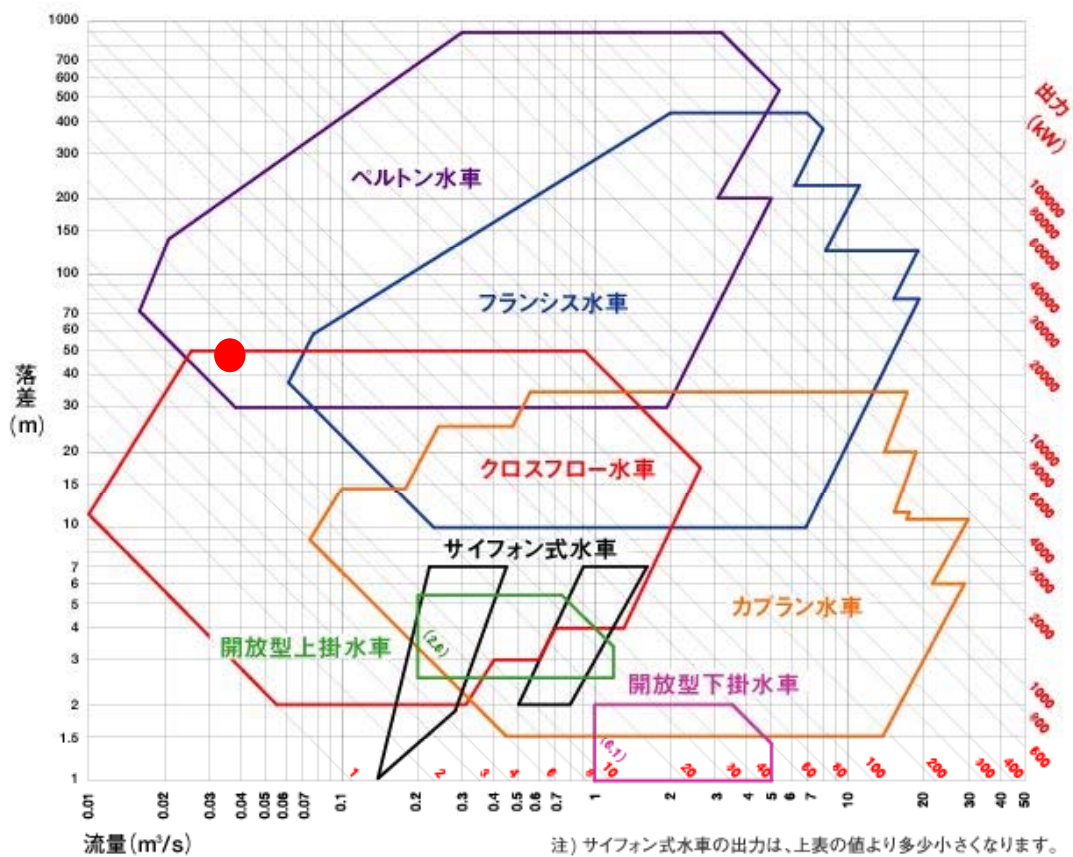


図 2-6 水車選定表 出典：日本小水力発電株式会社

茅野市の河川の特徴は、天竜川水系の最上部に位置するため、河川が多

第2章 小水力発電に関する実験的研究

数あり、1級河川、準用河川、普通河川を合わせると合計で55本有る。また、河川から取水した農業用水路は、茅野市産業経済部農林課でも把握できない程、多数の水系に別れる。そのため、一つの河川・水路の流量は少なく、また、山間部のため高低差が大きいという、小水量高落差が特徴といえる。

こういった特徴に適合する水車は、衝動型のペルトン・ターゴ水車である。茅野市の山間部で送電線網が未到達地帯における、有効な小水力発電の知見を得るために、超小型衝動水車発電機の実験を行った。

2.5 超小型衝動水車発電機の試験と改造

2.5.1 先行事例

小型水力発電について、池田ら¹⁾は、小型水車を、一般河川用のサボニウス水車、河川でも滝部分に用いる一種のクロスフロー型の滝用水車、比較的高落差小流量に適したジェット（衝動型）水車、水深の浅い急流に適した急流工水車の4種類に分類し、それぞれについて開発経験や適用例を解説している。筆者等の勤務する地域は、上述のように八ヶ岳山麓に位置するので、水系の上流にあり、高低差は大きいが個々の流量は少ないため、この特性に適した衝動型水車に関する知見を蓄積することが必要である。

2.5.2 超小型小水力実験の概要

一般に代表的な衝動型水車は、ペルトン型とターゴ型である。ペルトン型の羽根は二個一対のスプーン状の羽根から構成され、水ジェットは羽根の回転面内に入射された後、二つの水流に分かれて射出される。他方ターゴ型は、一個のスプーン状の羽根から構成され、水ジェットは回転面の斜め上から入射し、回転面をクロスして反対側に射出される。他方、今回試

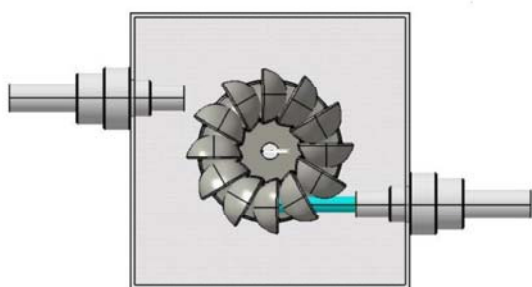


図 2-7 試験対象の超小型水力発電機のランナとノズルの構成

験した超小型水車のランナとノズルの構成（1ノズルで使用した場合）を図 2-7 に、ランナの形状を図 2-8 に示す。

図 2-8 からわかるように、各羽根は1個のスプーンからなっており、ターゴ型に近いが、入射する水流のベクトル

第2章 小水力発電に関する実験的研究

ルは、回転面内にあり、その意味ではペルトン型に近い。別の見方をすれば、通常は2枚でペアとなっているペルトン水車の羽根の片側のみを用いた変形型と見ることも出来る。そのため、反

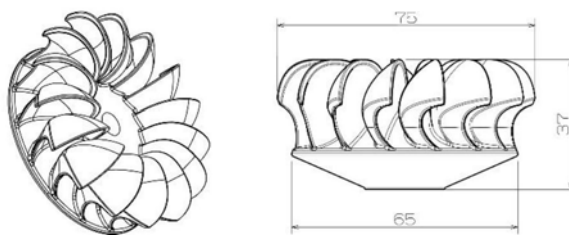


図 2-8 ランナ形状 (寸法単位 : mm)

射したジェットが一方向にしか放出されず、ノズルを含めてコンパクトな形状になっているのが特徴である。他方、羽根に衝突後の水ジェットの流れは複雑にならざるを得ず、この種のランナについては、筆者等の知る限り、製作メーカー以外にはその特性が詳しく調べられたことはない。当該機のマニュアル²⁾には発電電力が水頭とノズル口径、個数に応じて示されているが、発電効率は条件に応じて10%程度から38%まで変化しているものの、条件等の詳細は明かではない。

前述の池田¹⁾らは、半円形の比較的シンプルな形状の羽根を用いたジェット水車を開発し、最大で約50%の効率を得ている、これについて、Nakanishiら³⁾は、粒子法を用いた解析を行い、実験値をサポートする結果を示している。近年、この種のランナ流れに対する解析は盛んに行われており、Anagnostopoulosら⁴⁾はターゴ型について、回転するバケットに対して粒子軌跡を追う手法で、バケットの形状の最適化を図っている。その結果、先行バケットと後続バケットの切り替わりの際に、流体粒子の漏れがないように設計することが重要であると指摘している。これを発展させて、Koukouvinisら⁵⁾は、粒子法とFluentによる解析結果を比較し、粒子法は短い計算時間で十分に良い結果を与えると報告している。

本研究では、当該地域のような山岳地帯の遠隔地における小規模発電、

第2章 小水力発電に関する実験的研究

あるいは災害時における非常用電源への利用等の実用的な適用を念頭に置き、実験的にノズル口径、ノズル個数、水頭などの発電効率に対する影響を調べ、このコンパクトな形状の超小型衝動型水車についての使用経験を蓄積することが目的の一つである。また、この種のランナやノズルの形状は複雑で、ユーザーが必要な使用条件に応じて改造することは困難であったが、最近の3Dプリンターの登場により、今回のような小型のものであれば、比較的容易に製作することが可能となった。そこで、3Dプリンターを用いて、ランナやノズルを試作して、その特性を測定することも、今回の目的の一つである。実際、のちに述べるように、とくにノズルの改造によって、発電出力の有意な改善が見られた。

2.5.3 実験装置

今回実験に使用した超小型水力発電装置は、カナダ製の超小型衝動水車と発電機のセット（商品名：Watter Buddy[®]）である²⁾。最大出力は200 Wである。試験対象にこれを選んだ理由は、小型で、分解組み立ても容易で、ノズルの口径や個数の変更も簡単に出来ること、また上述のようにペルトンとターゴの中間的な形状であること等の理由による。

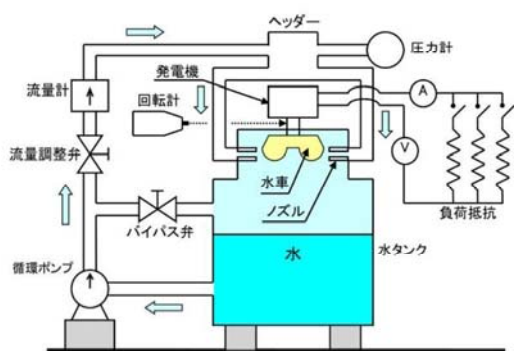


図 2-9 実験装置の全体構成

今回の装置は、1ノズル及び2ノズルを容易に選択して実験が出来る。ノズル口径は、3、4、5、6、7 mm が用意されており、予備的な実験の結果、3 mm は今回の実験条件内では発電量がごくわずかで、各種の損失の影響が大きいと考え

第2章 小水力発電に関する実験的研究

られたので除外した。また、実験の都合上 6 mm も除外し、4, 5, 7 mm の 3 種類について実験した。ランナ（羽根車全体）の外縁から外縁間の直径は 75 mm、底部の直径は 65 mm、底面から羽根頂部までの高さは 37 mm であった。

図 2-9 に実験装置の概念図を示す。水の循環にはイワキマグネットポンプ（MD-100R）を用いた。最大流量は 135 ℓ/min、最高揚程 11.9 m であるが、実験では、流量 30～60 ℓ/min、揚程 10 m 程度で作動させた。配管には、20 A の塩化ビニル管を用いている。ポンプから吐出された水は、流量調整弁を経て流量計を通過する。流量計はキーエンス電磁流量計（FD-M50、流量表示範囲 2.5～100 ℓ/min）を用いた。水は、流量計を通過したのち、ヘッダー部で二本の分岐管に別れてノズルに流入する。ヘッダーからノズルまでは呼称 12mm φ、長さ約 60cm のワイヤー入りビニールホースで接続した。圧力は、このヘッダー部で圧力センサー（VALCOM, VESX500R2）を用いて測定している。従って、測定された水圧はノズル出口部分における水圧とは異なる。実際、とくにノズル口径が大きい場合には配管内の流量と流速が大きくなるため、ヘッダー部からノズル出口までの圧力損失が無視できないことがわかった。そこで、ノズル部の水圧については、のちに述べるような推定を行った。

発電機は三相交流同期発電機で、整流器が組み込まれており、直流が出力される。負荷には、10～100 Ω 程度の複数のホーロー抵抗を並列に接続し、その接続数を変更することによりコンダクタンス ($1/\Omega$) を調整し、これによって、水車の回転数を変化させた。電圧は水車の回転数に依存し、今回の回転数の範囲で、5～18 V 程度であった。発電機の回転数は、回転軸に反射箔を取り付け、非接触型の回転計を用いて測定した。

2.5.4 実験方法

実験では、水循環ポンプを起動し、水頭 H と流量 Q を設定し、負荷抵抗を変化させることによって、回転数を制御し、各コンダクタンスに対して、回転数 n 、電流 I と電圧 V を測定した。この種の衝動型水車では、ランナの回転数が変化しても、流量は変化しない。

出力は、電圧と電流から求められるが、単に出力端子間の電圧を用いると、その出力には、発電機内の内部抵抗による損失が含まれない。文献 5) によれば、発電機内部の損失には、負荷損失と無負荷損失がある。負荷損失は、巻線に電流が流れることによる損失である。これを補償するには、測定した出力端子間の電圧ではなく、その回転数において電流がゼロになったときの出力電圧を推定する必要がある。そこで、実験に先立ち、無負荷時の回転数と出力電圧の関係を、以下のようにして求めた。まず、完全に無負荷の状態では電圧を測定したが、おそらく内部の整流回路等の関係で、非常に不安定であった。そこで、出力端子間に大きな抵抗を接続して微弱な電流を流し、各々の回転数において抵抗値を変化させて、電流値をゼロに外挿したときの電圧値を、その回転数における無負荷時の出力電圧 V_0 (V) とした。求められた回転数 n (rpm) と無負荷時出力電圧の間には基本的には比例関係が成立するが、若干の非線形性が見られ、

$$V_0 = 0.009625n\{1-\exp(-0.003n)\} \quad (500 < n < 2000) \quad (1)$$

でよく近似できることがわかった。

以上の結果、回転数から式(1)を用いて無負荷時出力電圧 V_0 を求め、出力を $P = V_0 I$ として求めることにより負荷損失を考慮した。この値と、

第2章 小水力発電に関する実験的研究

電圧の測定値から直接に求めた出力との差は、電流に依存するが3～8%程度であった。他方、無負荷損失（鉄損、機械損、励磁損等）は、これでは考慮できない。文献6)に依れば、この値は5%程度であり、今回のようにトルクメーターを使用しない簡易な方法では、この程度の誤差は許容せざるを得ないと考えた。

発電の効率 η は、実際の出力を P 、理論出力を P_{th} として、 $\eta = P/P_{th}$ として求められる。理論出力 P_{th} は、ノズル出口での水頭 H_1 (m)と流量 Q (m³/s)で決まり、 $P_{th} = \rho g H_1 Q$ と表すことができる。 ρ は水の密度、 g は重力加速度である。ここで、 Q は測定しているがノズル出口における圧力は測定できないので推定する必要がある。その際ノズル部や出口には縮流があって複雑で任意性が残るが、一般的には、放出係数と呼ばれる係数 C_v を導入し、流量 Q との関係を

$$Q = C_v S (2gH_1)^{1/2} \quad (2)$$

とする⁷⁾。 S (m²)はノズルの開口面積である。放出係数 C_v の値はノズルの形状に依存するが、今回のノズルはオリフィス状ではなく、直径の数倍以上の直管部を有するので、文献⁷⁾から、 $C_v = 0.95$ とした。以下では、 $v_1 = (2gH_1)^{1/2}$ をノズル出口流速と呼ぶ。すると、測定されている流量 Q と v_1 の間には、式(2)から、 $Q = C_v S v_1$ の関係がある。

2.5.5 実験結果

実験例として、流量一定でコンダクタンスを増加させたときの出力と回転数の関係を図2-10に示す。この図では、7 mm ノズルについて、1 ノズ

第2章 小水力発電に関する実験的研究

ル ($N_z=1$) と 2 ノズル ($N_z=2$) の場合を示している。流量とヘッダーにおける圧力は、1 ノズルのとき 24 ℓ/min 、104 kPa、2 ノズルのとき 44.8 ℓ/min 、95 kPa であった。後者の場合に圧力が低下しているのは、流量の増加と共に循環ポンプの吐出圧力が低下することによる。この実験では、負荷抵抗（コンダク

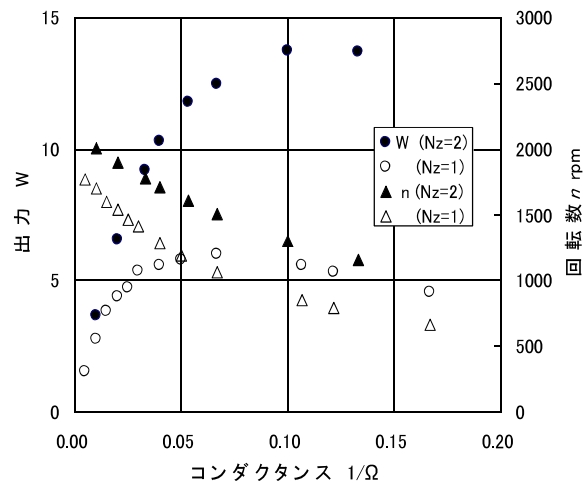


図 2-10 コンダクタンスと出力・回転数の関係

タンス) を変化させることによって、回転数を制御した。コンダクタンスを大きくしていくと、回転数は減少し、出力は増大した。さらに負荷を増加させると、出力には最大値が現れた。1 ノズルと 2 ノズルを比較すると、2 ノズルの方が、同じ負荷に対して大きな回転数が得られている。

図 2-11 には、実験時の水ジェットの状態を示す。ノズル口径=7 mm、2 ノズルの場合に最大効率が得られたときの写真である。水ジェットは水平

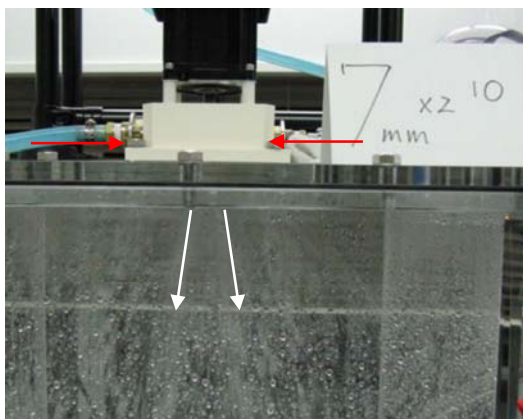


図 2-11 実験時の水ジェットの状態

に入射している。他方、射出は、ほぼ鉛直真下であることがわかる。また、このときのランナ速度比 R_r (=ランナの回転速度/入射水ジェットの速度) は、ランナ底面直径の回転周速度を基準として、約 0.45 であり、理論値の 0.5 に近いものの、やや小さい値である。前出

第2章 小水力発電に関する実験的研究

の Anagnostopoulos ら⁴⁾ も 0.46~0.47 で最大値が得られると述べている。また、上述の通り、この測定方法では機械的な損失等を分離し切れていないことも原因の一つと思われる。図 2-11 でも、ジェットの反射の方向が、真下よりもやや入射方向に戻されているのは、これらの結果である。

発電効率について、1ノズルと2ノズルを比較（ノズル口径や流量は図 4 に同じ）したのが、図 2-12 である。コンダクタンスが小さいときには、両者の効率はほぼ同じである。これはこの種の衝動型水車では、個々のノズルと羽根の関係は同じであって、相互にほぼ独立であることで説明できる。負荷が大きくなるにつれて、1ノズルではより小さな負荷で効率が最大値に達するのに対し、2ノズルではより高い効率にまで達する。これは、2ノズルの方がトータルの流量は大きいため、回転数が大きいので、より大きなコンダクタンスでランナ速度比 R_v が最適値に達すること、また諸損失を補償して、より大きな出力まで発生しうするためと考えられる。以下

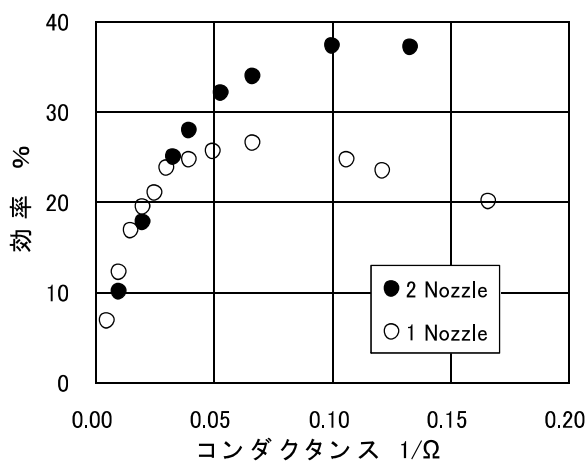


図 2-12 1ノズルと2ノズルの発電効率の比較

では、とくにことわらない限りは、発電効率とは、このコンダクタンス（回転数）を変えたときの最大効率を意味する。

一般には水源の高さ等の水頭が与えられる場合が多いので、実際的な問題として、ある与えられた水頭に対して、ノズル口の断面積の合計が等しいときに、

1ノズルと2ノズルのどちらが有利かという問題がある。今回の場合は、口径 5 mm の 2ノズルと 7 mm の 1ノズルでは、断面積の合計はほぼ等しい

第2章 小水力発電に関する実験的研究

ので、この両者を比較した。水頭が今回得られた最大の約 104 kPa について比較すると、7 mm (1 ノズル) では流量は 24 l/min で、得られた最大効率は 26.5%であったのに対し、5 mm (2 ノズル) では、31 l/min で、最大効率は 32.1%であった。すなわち、ノズルの開口面積の合計が同一の場合には、2 ノズルに分割する方が有利である。この理由は、ヘッダーからノズルに行く部分の導水管およびノズルが 2 本に分かれるため、各々の間を流れる流量は半分になり、これらの部分での圧力損失が減少するためである。

このように、圧力損失は、極めて重要な要素である。ヘッダーからノズル出口に至るまでには、配管内、配管からノズル部入り口、ノズル内部、そしてノズル口の縮流損失があつて、その結果残った圧力が運動エネルギーとして放出され、発電に寄与する。ノズル出口での運動エネルギー $(1/2)\rho v_1^2$ を水頭で表すと、 $H_1 = v_1^2/2g$ である。

次にヘッダーからノズル出口までの圧力損失を求める。ヘッダー (添字 0) からノズル入り口 (添字 N) までは、図 2-12 にも見える内径 12mm、長さ 800mm のビニール円管 (添字 2) で接続している。文献 (7) を参照して拡大と縮小の損失係数を K_{exp} と K_{cont} 、管の断面積比を $A_{02} = (d_0/d_2)^2$ 、 $A_{2N} = (d_2/d_N)^2$ 等 (d は管の直径) と表す。円管内流速 v_2 を基準とすると、ヘッダー出口からノズル入り口までの圧力損失は、下記のように表される。以上の結果、小文字の p を圧力として、

$$p_0 - p_N = \frac{1}{2}\rho v_2^2 \left\{ (A_{02}^2 - 1 + K_{\text{exp}}) A_{20}^2 + f\left(\frac{L}{d_2}\right) + (1 - A_{N2}^2 + K_{\text{cont}}) A_{2N}^2 \right\} \quad (3)$$

ここで、右辺第 1 項は、ヘッダーから円管への入り口への拡大部の圧力

第2章 小水力発電に関する実験的研究

損失、第2項は円管内の摩擦損失、第3項は、円管からノズル入り口への縮小部圧力損失である。文献(7)を参照して、 $K_{\text{exp}} = (1 - A_{02})^2$ 、 $K_{\text{cont}} = 0.5(1 - A_{N2})$ 、 f は管摩擦係数で $f = 0.316/\text{Re}^{0.25}$ 、 Re は円管内流れのレイノルズ数、 L は円管の長さである。なお、レイノルズ数は、今回の流量範囲では、2ノズルの場合に20,000~44,000程度であり、乱流である。今回の実験では、ヘッダー出口の管径 d_0 とノズル入り口の管径 d_N が等しい ($d_0 = d_N = 8\text{mm}$) ことから、異なる管径の円管に出入りする際の可逆的な圧力変化(ベルヌーイの定理で表される部分)は相殺されて、非可逆的圧力損失は、ヘッダー出口から円管への拡大損失、円管内の摩擦損失、円管からノズル入り口への縮小損失となる。したがって、今回の場合は、式(3)は簡単になって、円管部の出入り口を含む損失は、

$$\Delta p_2 = p_0 - p_N = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \left\{ K_{\text{exp}} A_{20}^2 + f \left(\frac{L}{d_2} \right) + K_{\text{cont}} A_{2N}^2 \right\}$$

となる。さらにこれをノズル出口流速 v_1 基準に書き換えると、円管部の出入り口を含む損失は

$$\Delta p_2 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \left\{ K_{\text{exp}} A_{20}^2 + f \left(\frac{L}{d_2} \right) + K_{\text{cont}} A_{2N}^2 \right\} A_{12}^2 \quad (4)$$

となる。これらの各項のうち、流量(レイノルズ数)に依存するのは管摩擦係数 f であるが、流量範囲も狭く、レイノルズ数に対する依存性も小さい。今回の条件では、3項はほぼ同程度であり、したがって、全体としてはほぼ一定と見なすことが出来る。配管が長くなれば、当然第2項の寄与が大きくなる。他方、今回のノズルは出口口径を取り替えることが出来るようになっているので、内部は複雑でノズル内の圧力損失(Δp_N)は大き

第2章 小水力発電に関する実験的研究

いものの、直接には測定出来ない。そこで、圧力の測定されているヘッダーから常圧のノズル出口までの圧力損失をまとめて、 $\Delta p = \Delta p_2 + \Delta p_N = C_p (1/2) \rho v_1^2$ 、 C_p : 圧力損失係数) と置く。すると、ヘッダーの圧力 p_0 は、

$$p_0 = (1/2) \rho v_1^2 + \Delta p = (1 + C_p) (1/2) \rho v_1^2 \quad (5)$$

と表すこととする。与えられたノズル口径に対して、ノズルの個数と流量を変えて C_p を求めてみると、 C_p はノズル個数や流量によらずほぼ一定で、表1のように得られた。

表 2-1 圧力損失係数 C_p

ノズル口径	4mm	5mm	7mm	7mm (3DP)
C_p	0.05	0.23	1.06	0.64

ここで、 C_p の値が小さいほど、圧力損失が小さく、ヘッダーの水頭が直接に水車に伝えられる。ノズル口径が大きいほど C_p の値が大きいのは、流量が大きくなるため、流速も大きくなり、管路及びノズル部での損失が大きくなることによる。このうち式(4)から計算されるノズル内部以外の損失を見積もると、7mm で 0.53、5mm で 0.14、4mm で 0.05 となって約半分であり、ノズル内部の

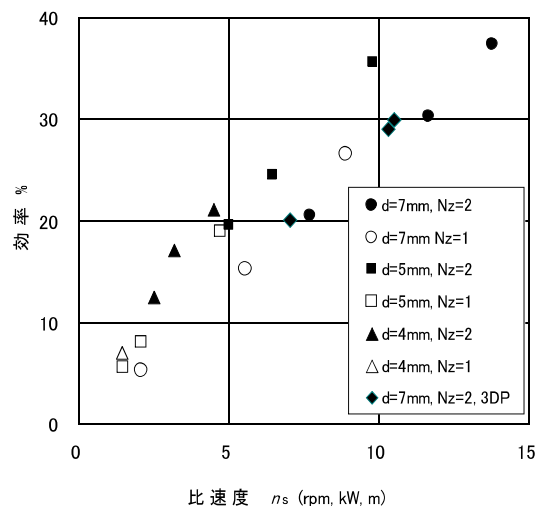


図 2-13 発電効率と比速度の関係

第2章 小水力発電に関する実験的研究

損失の大きいことがわかる。(4mmのみは式(4)も表2-1と同等の値を与えるが、差圧が小さいため測定が困難なためと思われる)。このことから、後に述べるように、3Dプリンターを用いて、ノズルの改造を行った。その結果得られた C_p が表1の7mm(3DP)である。

次に、異なるノズル口径やノズル数の影響を一般的に検討するためには、比速度と発電効率の関係で示すのが、通常の手法である、水車に対する比速度 n_s は、

$$n_s = nP^{1/2}/H_1^{5/4} \quad (6)$$

と定義される。これは有次元数で、 n は回転数(rpm)、 P は1ノズル当たりの出力(kW)、水頭 H_1 は式(2)を用いて流量から推定した。

今回のノズル口径4、5、7mmの1ノズルと2ノズルについていくつかの流量に対して、各条件における最大効率と比速度の関係を示したのが図7である。凡例でノズル口径7mmで3DPと記載してあるのは、次節の3Dプリンターによる試作ランナによる結果である。

図2-13に依れば、7mmノズルの場合のみが、やや低い傾向にあるものの、全体としては、ある比速度に対しては、ノズル口径、ノズル个数、水頭に依らず、やや幅はあるものの一つの曲線の周辺に収まっている。とくに、1ノズルと2ノズルで大きな差がないのは、この種の衝動型水車では、互いのノズルはほぼ独立であることから妥当な結果である。7mmノズルの場合に発電効率がやや低い理由は定かではないが、水ジェット径が大きいため、ランナの背面への衝突や、ランナ内の流れが複雑になることが考えられる。今回実験した範囲では、比速度に対して効率は増加傾向を保ったままで、最大値に達することがないのは、今回のポンプの流量が、そ

第2章 小水力発電に関する実験的研究

のためには十分大きくないためである。ただし、ランナ速度比 R_v は、 $n_s = 15$ 付近で $R_v = 0.45 \sim 0.55$ となっており、今回の実験範囲で、すでに効率も最大値に近いと推測できる。他方、大型の衝動型水車と比較すると、大型のペルトン水車では、比速度が同程度の $n_s = 10 \sim 20$ で、90%の発電効率が得られている⁸⁾。今回の結果は、比速度は大型の衝動型水車と同じ領域にあるが、発電効率は半分以下である。これは、流体機械の一般的な特性であって、超小型であるために、各種の損失、とくに無駄になる水流の割合等が大きくなるためと思われる。

以下では、この比速度と発電効率の関係をを用いて、今回は循環ポンプの容量から達成できなかった約 50W の出力を得る条件を推定する。条件は、ノズル口径を 7mm、回転速度は定格値前後の電圧を与える 1,500～2,000rpm とし、かつノズル出口の水の流速とランナの回転速度の比も、0.5 程度であるよう注意を払う。発電効率と比速度の関係は、図 2-7 から(多少の外挿を含めて)、比速度 $n_s = 15$ で発電効率 $\eta = 40\%$ 、 $n_s = 20$ で $\eta = 43\%$ 、 $n_s = 25$ で $\eta = 45\%$ とする。ランナーはオリジナル品を、ノズルは後に述べる 3D プリンター製を仮定した。

計算には繰り返し計算が必要で、まず、ある比速度と発電効率の組み合わせを仮定し、1 ノズル当たりの所望の出力を与える。すると、前出の $P_{th} = \rho g H_1 Q$ と式(2)を用いてノズル出口流速 v_1 を求める、ただし、簡単のために式(2)中の係数 C_v は 1.0 とした。この出口流速 v_1 を用いてノズル出口水頭 H_1 が求まり、その結果、式(6)から回転数 n が定まる。得られた回転数が回転数範囲および速度比の観点から妥当な値の範囲内でない場合は、比速度と効率の組み合わせを変えて、再度繰り返す。さらに、得られたノズル出口流速 v_1 と式(5)を用いて、必要な圧力 p_0 あるいは水頭 H_0 が求ま

第2章 小水力発電に関する実験的研究

る。

出力 50 W をノズル口径 7mm の 2 ノズルで得る場合は、 $n_s=25$ に対応して、必要水頭約 17 m、全流量約 66 l/min、回転数約 1,950 rpm、速度比約 0.47 で達成されると推定される。

これらの結果を、当該機種のマニュアル²⁾と比較すると、マニュアルでは、7 mm ノズル 2 個の場合、60W が、水頭 14 m、流量 75 l/min で達成されるとしている。このマニュアルの場合には、水頭を与えている位置等の条件が与えられていないため、ノズル内部の圧力損失が考慮されているか否かは明かでない。小型水力発電の場合、個々に設計することはなく汎用機を使用する場合がほとんどであるから、余裕を持った仕様を採用すべきである。

2.5.6 3D プリンターによるランナの試作

最近では、3D プリンターの普及が目覚ましい。オリジナルのランナを原型として、それをやや変形したランナを試作した。両者の写真を図 2-14 に示す。理論的には、衝突水ジェット
の羽根から見た跳ね返り角度が、
180° に近いほど効率が高い⁹⁾。そこで、試作品では、この跳ね返り角をオリジナルの 144° から 153° へとやや大きくし、そのために羽根の高さも、24 mm から 30 mm へやや



図 2-14 ランナ (左:オリジナル, 右: 3D プリンターによる試作品)

高くした。これらの結果得られた試作品 (灰色) のランナ形状を、オリジナル (青色) の形状と比較して、図 2-15 に示す。使用した 3D プリンター

第2章 小水力発電に関する実験的研究

は、ストラタシス社製の光造形機、Objet260 Connex で、使用した樹脂は、光硬化型樹脂の Vero White Plus Full Cure 835 である。この樹脂の強度特性のために、試作品の羽根の厚みは、主要部分で 2.0 mm、エッジの最薄部で 1 mm とした。他方、オリジナルの羽根の厚みは約 1.5 mm、エッジで 0.7mm であったので、試作品では、バケットが厚くなっている。今回の形状では、水ジェットが先行バケットから後続バケットに

切り替わるときに、後続バケットの裏面（進行方向では前面）に衝突する。このとき、後続バケットに対して逆向きの回転力を及ぼすことが、前出の Nakanishi ら³⁾の解析でも現れている。そこで、各バケットの裏面を

一部削って、水ジェットの裏面への衝突を避けた。このときのバケットと水ジェットの位置関係を図 2-16 に示す。この方式は、オリジナルのバケットにおいても採用されているが、今回はこのような 3D 画像を用いることにより、確実に形状を設計することが出来た。

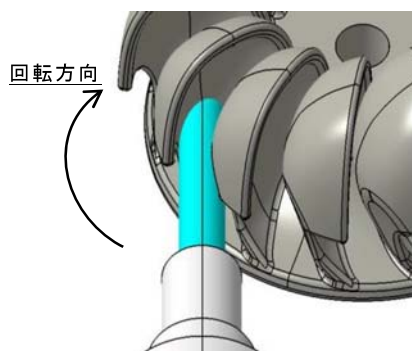


図 2-16 バケットと水ジェットの位置関係

厚くせざるを得なかったため、水ジェットのエッジ部分への衝突による無

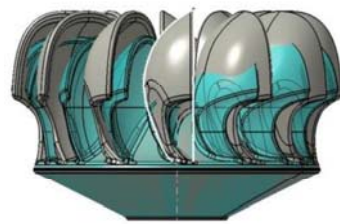


図 2-15 オリジナルと 3D プリンターによるランナ形状の比較

示している。これからわかるように、試作品は、比速度 - 効率曲線ではオリジナルと同等の特性を示したが、最大効率においては、オリジナルのランナに及ばなかった。その理由は明かではないが、前述のように、樹脂の特性上バケットの厚みのある程度

第2章 小水力発電に関する実験的研究

効な飛散が多いこと、また 3D プリンターの特長上、表面の粗さが比較的大きいためではないかと考えている。

ランナにとって、その強度は重要である。とくに、今回のように 3D プリンターで製作した樹脂製のランナがどの程度出力(P)に耐え得るかは、関心のあるところである。そこで、今回製作したランナについて、応力解析を行った。バケットには、水ジェットの影響によってランナを回転させる力(F_r)と、回転による遠心力(F_c)がかかる。バケット面にかかる水ジェットからの力には実際には分布があり、かつ水ジェットは次々に後続のバケットに衝突するので、荷重も断続的である。しかし計算では、出力(1ノズルあたりの出力に相当)と、平均回転半径(R)におけるトルクと回転角速度 ω と関係、 $P=F_r R \omega$ から F_r を求め、簡単のために、この力が一枚のバケット面に一様に分散されかつ定常的に作用するとした。また、遠心力も半径位置によって異なるが、これも簡単化のために、バケット一枚の質量(約 40g)が、平均半径に集中したとして遠心力を求め、それをバケット内に一様に分散して作用させた。計算は、ランナの設計に用いた 3次元 CAD 設計ソフト SOLIDWORKS 2014 によって実施した。

計算の結果を、図 2-17 に示す。計算条件は、回転速度を今回の実験の

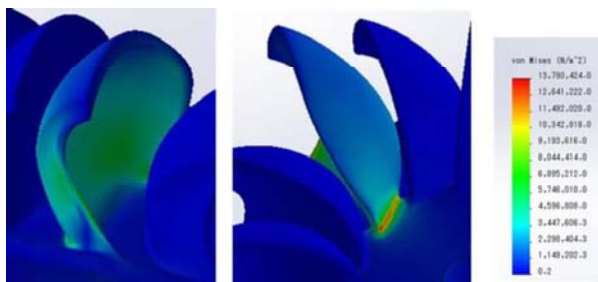


図 2-17 3D プリンター製のバケットに発生する
応力 (ミーゼス応力で表示)

平均的な値である 1,600rpm とし、バケット一枚あたりの出力を 50W とした。結果はミーゼス応力で示されており、得られている最大値は、約 14MPa である。比較すべき値は、素材の降伏応

力であるが、今回用いた樹脂 Vero White Plus Full Cure 835 の物性値

第2章 小水力発電に関する実験的研究

は、製作メーカーがデータを提供しており¹⁰⁾、引っ張り強度が 50～65 MPa であることから、降伏応力は約 45 MPa と推定される。したがって、約 3.2 の安全係数が得られており、今回仮定した出力と回転数の組み合わせ程度までは、このバケットは強度的に耐えうると推定出来る。むろん、実際の使用にあたっては、ランナへの非定常な荷重による疲労の問題、材料強度の経年変化等に注意を払う必要がある。

2.5.7 3D プリンターによるノズルの改造

表 2-1 に示したように、ノズル口径が大きい場合には、ヘッダーからノズル出口までの圧力損失が無視できない。今回付属しているノズルは、先端部分のみを取り替えることによってノズル口径が変更できる便利な設計になっているが、そのためにノズル内部の構造が複雑で、流路断面積の変化も急峻で大きい。これが、圧力損失を大きくしている原因と考えられた。

そこで、影響の大きい 7mm のノズルについて、ノズル入り口（管路の接続部）からノズル出口に向かって直線的に細くなるノズルを製作することとした。このような加工は、従来の機械加工でも可能ではあるが、簡単ではない。しかし、3D プリンターでは容易に出来るので、3D プリンターによって製作した。オリジナルのノズルと今回 3D プリンターによって製作したノズルを、図 2-18 に示す。この 3D プリンター製ノズルによる圧力損失が、表 2-1 の 7mm (3DP) である。このように、



図 2-18 オリジナルのノズル(上)と 3D プリンター製のノズル(下) (流れは左から右)

第2章 小水力発電に関する実験的研究

圧力損失係数が、約 40%減少した。

両者のノズルによる発電実験結果の比較を、図 2-19 に示す。ヘッダー圧力は共に約 95 kPa で一定にした。図からわかるように、最大出力は 13.7 W (オリジナルノズル) から、18.2 W (3Dプリンターノズル) に約 33%

増加した。これは、ノズル内の圧力損失が減少したため、流量が 44.8 L/min (オリジナルノズル) から、50.6 L/min (3Dプリンターノズル) に増加したことによる。大規模な発電用水車では、内面がなめらかに変化するノズルや流量調節のためのニードル弁が設けられているが、このような超小型水車では、費用の面から困難である。しかし今回、3Dプリンターを活用することによって、一般ユーザーでも、圧力損失の少ない内面形状のノズルを容易に製作でき、しかもそれが有効であることを示した。

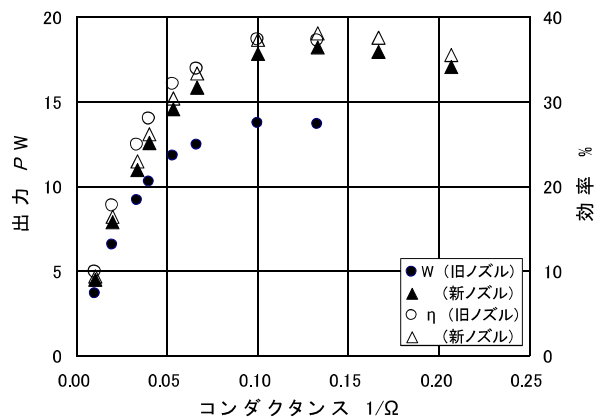


図 2-19 オリジナル (旧) と 3D プリンター製 (新) ノズルによる出力と発電効率の比較

2.6 結論（第2章）

本研究では、茅野市のような山岳地帯の遠隔地における小規模発電、あるいは災害時における非常用電源への利用等の実用的な適用を念頭に、超小型衝動型水車についての使用経験を蓄積することを主眼として、コンパクトではあるが、やや特殊な形状のランナを持つ既製の超小型水車に着目し、実験的にノズル口径、ノズル個数、水頭などの発電効率に対する影響を調べた。発電効率は、今回の実験範囲で見ると、38%が得られ、 $n_s=15$ では約40%が期待できる。

同一の水頭とノズル口径で、1ノズルと2ノズルの比較では、出力においては当然2ノズルの方がより大きな出力が得られたが、発電効率においてもより大きな値に到達した。これは流量が大きくなるため、諸損失を補償し得るためと考えられた。

実験結果は、発電効率 η と比速度 n_s の関係にまとめた。全体としては、ある比速度に対しては、ノズル口径、ノズル個数に依らず、発電効率は、幅はやや広いがほぼ一定の値を与えた。そこでその結果から、今回は循環ポンプの容量から達成できなかった約50Wの出力を得る条件を推定した。また、3Dプリンターを活用することにより、ランナとノズルを試作した。その結果、試作品ランナでは、比速度 - 効率曲線においてはオリジナル品と同等の特性を得たが、最大効率においては及ばなかった。これは、今回使用した樹脂の特性では、バケットの薄さに限界があることと、表面の粗さが残るためと考えられた。さらに、今回製作したランナについて応力解析を行い、平均的な回転数のもとで、どの程度の出力に耐えうるかを検討した。

第2章 小水力発電に関する実験的研究

他方、3Dプリンターによるノズルの改造によっては、ノズル内の圧力損失を低減させることが出来、その結果、同一の水頭に対して大きな流量が得られたため、発電出力を約30%増大させることが出来た。このように、3Dプリンターを活用することによって、一般ユーザーでも、超小型であれば、発電用水車を製作したり改造することが可能であり、かつ有効であることを示した。

本実験は、今後茅野市内において小水力発電を行う上で、有効なデータを蓄積することが出来た。特に近年農家にとって問題となっている一つに、山間部での鳥獣被害が挙げられる。茅野市では、産業経済部の中に専門的に扱う、「鳥獣対策室」を設置し、対策に当たっているが被害は後を絶たない。本実験で用いたような超小型の小水力発電機は、送電線網の無い山間部で、電気柵を設置するときの電源として適しているものであり、行政としても自家消費設置型電源として利用し、積極的に利用を進めるべきである。また、超小型であるため、農業用水路の多い茅野市では、災害対策用、また、街灯や防犯カメラ等の電源として活用し、防犯用としての利用も考えられる。また、小中学校のエネルギー教育の教材とすることが出来る等、地域のエネルギー活用として様々な使い方に取り組んでいくべきである。

【第2章 参考文献】

- 1) 池田敏彦、飯尾昭一郎、エコ水車の開発と普及、混相流、25-3, (2011), 197-206.
- 2) Watter Buddy® owner' s manual, Energy Systems & Design, Canada, <http://www.microhydropower.com/wp-content/uploads/2012/03/The-Watter-Buddy-manual-1.1-1-2012.pdf>,
- 3) Y. Nakanishi, S. Ii, Y. Takahashi, A. Kato, T. Ikeda, Development of a simple impulse turbine for nano hydropower, Journal of Fluid Science and Technology, 4-3, (2009), 567-577.
- 4) J. S. Anagnostopoulos, D. E. Papantonis, Flow Modeling and Runner Design Optimization in Turgo Water Turbines, World Academy of Science, Engineering and Technology, 4 (2007) 206-211.
- 5) P. K. Koukouvinis, J. S. Anagnostopoulos, D. E. Papantonis, SPH Method used for Flow Predictions at a Turgo Impulse Turbine: Comparison with Fluent, World Academy of Science, Engineering and Technology, 55 (2011) 658-666.
- 6) 船舶電気装備技術講座[試験・検査編] (中級)、日本船舶電装協会、(日本財団電子図書館).
<http://nippon.zaidan.info/seikabutsu/2005/00133/contents/0028.htm>
- 7) R. D. Blevins; Applied Fluid Dynamics Handbook, (1984), 140, van Nostrand Reinhold Company.
- 8) 今木清康 ; 流体機械工学、(1982), 103, コロナ社.

第2章 小水力発電に関する実験的研究

9) 須藤浩三、山崎慎三、大坂英雄、林 農；流体機械、(1990), 90, 朝倉書店.

10) Stratasys 社：データシート
<http://www.stratasys.com/~/>

第3章

太陽光発電施設の調査研究

3.1 はじめに

本章では、中小太陽光発電施設が普及するに至った背景と、手続き、事業における経済性等を論考する。特に経済性については、内部収益率（IRR：Internal Rate of Return）を用いて、感度解析や集合住宅との比較を行った。また、中小太陽光発電施設の有益性を実証し、将来性についても考察した。

第1章で述べたとおり、日本のエネルギー問題は、福島第1原発事故以来、喫緊の課題である。太陽光発電は個人が出来る事業として、全国的に普及しており、茅野市内でも数多く建設されている。ここでは、特に茅野市内の状況の調査研究を行った。

3.2 中規模太陽光発電施設の普及

国内では数十 MW 以上の大規模な太陽光発電所が多数建設され稼働し始めている。他方、筆者の勤務する茅野市のような内陸部においては、住宅地あるいは住宅地近郊の農地に次々と、数十から数百 kW クラスの小規模な太陽光発電施設が建設され稼働を始めている。これらは、個人住宅に設置する 4 kW 前後の個人用施設よりは大きい、いわゆるメガソーラー発電所よりはかなり小さい。そこで、この規模の太陽光発電施設はミドルソーラーと呼ばれている。ミドルソーラー発電の規模は、発電容量が 10 kW ～1,000 kW であるが、主流は、10 ～200 kW の太陽光発電事業である。以下、太陽光発電容量の kW は、実際の平均発電量ではなく、標準とされる日照量（約 1kW/m²）における発電量（設置容量）をいう。

茅野市内においては、現在 2 MW のメガソーラーが稼働中であるが、それ以外の太陽光発電施設については最高で 150 kW であり、建設されるほとんどがミドルソーラーである。茅野市農業委員会に申請中の案件も含めれば、市内のミドルソーラーの合計は 4,500kW を超える。

ミドルソーラーが急速に普及し始めている背景は、二つあり、その一つは固定価格買取制度¹⁾において 10 kW 以上の太陽光発電施設に対しては 20 年間の固定価格買取が保証されていること（10 kW 未満に対しては 10 年余剰電力）にある。もう一つの理由は、今までは、高齢化によって耕作が困難になった農地には集合住宅を建設し、将来に亘り安定収入を得る方法をとることが多かったが、人口の減少から集合住宅が供給過多となり、安定した収入を見込めなくなってきたのに対して、太陽光発電事業は、固定価格買取制度により 20 年間の安定収入が見込める点にある。元来、農

第3章 太陽光発電施設の調査研究

耕民族である日本での土地利用状況は、古来より、日当たりの良い平地を農地として耕作し、人は山際に居住してきた。これらの背景から現在、耕作放棄地が増加するに従い個人事業規模でのミドルソーラー発電用の適地が増加しているといえる。

ミドルソーラーによる発電事業は、個人の所有する土地の範囲内において自ら設置・運営できる施設である。しかし設置容量等による様々な条件により、掛かるコストに差が生じる。ミドルソーラー発電事業を行う場合、資金計画を含めた事業計画を作成するが、税金等の必要経費について検討されていない事例が多くあり、事業開始後に実際の収支を知ることが多い。その理由としては、必要経費等の算出方法が複雑であるためであると思われる。またインターネット上には太陽光発電事業者の提供するコスト評価サイトも多く存在するが、その評価項目等については不明な場合が多い。そこで本章では、実際の事業に近い形でのシミュレーションを行い、特にIRR（内部収益率：Internal Rate of Return）の観点から、その経済性を検討する。また、集合住宅とのコスト、収益等の比較を通じ経済的な観点から探ると共に、太陽光発電の固定価格買取制度の買取価格の予測を行う。

3.3 手続きについての検討事項

3.3.1 設備の区分

設備容量により必要になる機器・手続きに違いがあるため、初期コストが割高になると共に事務処理に時間が掛かるというケースがみられる。大きな分類としては10 kW（設備）未満の余剰電力買い取りと、10 kW（設備）以上の全量固定価格買取とに分かれる。前者は主として家庭の自家消費である。ここでは、個人事業としての後者の検討を行う、さらに10 kW（設備）以上においても50 kW（設備）を境界として、その規模による違いがある。まず一般に、発電・変電・送電・配電または電気使用のために設置する機械・器具・ダム・水路・貯水池・電線路その他の工作物のことを「電気工作物」といい、太陽光発電については、50 kW未満を「一般用電気工作物」、50 kW以上を「事業用電気工作物」と規定している。太陽光発電事業を営む際における両者の違いを表3-1に示す。

表 3-1 ミドルソーラー発電の規模による手続きの比較

規 模	主任技術者	保安規定	系統関係	高圧連携機器	事前接続協議
10kW～ 50kW 未満	不要	不要	低圧関係	不要	不要
50kW～ 1,000kW	要 (外部委託可)	届出 (経産省)	高圧関係	キュービクル要	必要

ここで、太陽光発電所に設置するキュービクルとは、太陽光パネルで発

第3章 太陽光発電施設の調査研究

電した 100 V または 200 V の電力を 6,600 V 等の高電圧に変換する高圧連携機器のことであり、市場価格としては、100～150 万円/100 kW 程度である。また、事前接続協議とは、50 kW 以上の設備で高圧連携を行う場合は、電力会社²⁾と協議をしなくてはならないと定められており、費用は 20 万円+税、期間は約 2 ヶ月程度を要する。

以上のとおり 50 kW 以上の発電設備になると費用、手続きの面で必要なものが増える。そのため、100 kW 前後の設備の導入を検討する場合、50 kW 未満の設備に分割して設置することが有利で、その実例も多かったが、平成 26 年 4 月 1 日から経済産業省通達³⁾により、いわゆる「分割案件」が出来なくなった。実際、茅野市において稼働中のミドルソーラー発電施設を見ると、10～40 kW が 14 %、40～50 kW が 50 %、50～100 kW が 15 %、100 kW 以上が 21 %と、40～50 kW の事例が圧倒的に多い。

3.3.2 農地転用手続き

ミドルソーラー発電を行う場合、その土地が宅地や雑種地であればそのまま利用できるが、農地の場合は雑種地等への転用手続きが必要であり、このケースが大部分である。農地を転用したい申請者は、各市町村にある農業委員会事務局へ農地転用の許可申請書を提出する。その後月 1 回行われる市町村農業委員会において書類審査と現地査察が行われ、条件を満たしていれば県農業会議の常任会議員会へ上申される。農地転用は最終的には県知事許可であり通常 1 カ月の期間を要する。農地法に基づき転用が原則禁止される優良農地以外の農地については、現在のところ、原則許可されている。

3.4 事業経費の検討事項

ミドルソーラーでは、農家が転用して事業を行うケースが多いことから、土地は自己所有、設置費用は全額借入の場合についてシミュレーションを行う。設置規模は固定価格買取制度の対象である最小の値 10 kW から、個人で行う規模としては現実的範囲である最大級の 200 kW までとする。

3.4.1 IRR に影響する因子

(1) 年間平均発電量

茅野市における年間平均発電量は、NEDO が公表している「日射量データベース閲覧システム」⁴⁾から算出する。

算出の仕方は、まず日射量データベース閲覧システムから諏訪地方の月平均斜面日射量（真南に対して方位角 0°、傾斜角 30°）を参照すると、 $H = 4.27$ (kWh/m²/日) が得られる。これを太陽光発電導入ガイドブックの算定式に挿入する。

$$E_p = H \times K \times P \times \frac{365}{1.0}$$

ここで、 E_p は年間予想発電量 (kWh/年)、 H は設置面の 1 日当りの年平均日射量で上記の値、 K はパネルの汚れや温度上昇による損失係数で約 73 %、 P はシステム容量 (kW)、365 は年間の日数 (日/年)、1.0 は日本の標準状態における日射強度 (kW/m²) である。

以上の結果、システム容量が $P = 1$ kW (設備) として $E_p^* = 1,138$ kWh/年/kW が得られる。同様の方法で算出された全国の数値と比較すると、高知市 (1,151)、甲府市 (1,146) 等にはやや及ばないものの、全国平均 (1,051)

第3章 太陽光発電施設の調査研究

を上回り、当該地域は全国でもトップクラスの日射量を有することがわかる。

なお、太陽光パネルの発電効率は年と共に劣化する。その劣化率は機種により異なるものの、平均的な値として 0.27 %/年を採用する。

(2) 買取価格 (FIT : Feed in Tariff)

経済産業省調達価格等算定委員会⁵⁾ (以下、算定委員会という。)では、太陽光発電についての固定買取価格 (以下、FIT 価格という) を発電規模に依らず、平成 24 年 40 円、平成 25 年 36 円、平成 26 年 32 円としてきた。今後の推移については後に検討する。

(3) システム費用

太陽光パネル、パワコン (パワーコンディショナー)、架台、取り付け工事費を含む価格をいう。この価格は急速に低下しており、1 年間でも顕著に低下する。算定委員会では、平成 25 年の 10~12 月期について、50 kW 未満の小規模ミドルソーラーに対しては 369,000 円/kW、50 kW~500 kW については 324,000 円/kW と推定している。以後の計算では、50 kW 未満の施設については、算定委員会の調査結果 369,000 円/kW で一定、50 kW~500 kW については、規模の増加に伴って徐々に (指数関数状に) 低下し、その 50 kW~500 kW の平均値が 324,000 円/kW に一致するようにした。将来への推移については、後に検討する。

(4) 金利

初期投資を借り入れる場合の金利である。借入先や返済期間により変わるが、現在長野県及び茅野市では、太陽光発電事業を行う事業者に対して、「長野県中小企業融資制度 (新事業活性化節電・省エネ対策向け) 及び茅野市中小企業制度融資 (開業資金)」⁶⁾ という融資を行っており、平成 26

第3章 太陽光発電施設の調査研究

年度の金利は1.6%（平成25年度は1.8%であった。）であるのでこれを採用する。借入金の返済期間は15年とした。

（5）パワコン交換費用

パワコン（パワーコンディショナー）とは、直流で得られる太陽光発電電力を系統に連携するために交流に変換して、かつ定められた電圧に調整する装置である。

一般的にパワコンの寿命は10年といわれているので、事業期間が20年とすると半分経過したところで交換が必要となる。事業計画ではその費用を10年間積み立てるケースが多い。価格については各メーカーから公表されている価格は市場価格とは大きく異なるので、市場調査を行った結果、42,800円/kWであった。木村⁷⁾らが行った太陽光発電コストの調査による値と大きな乖離もないため、ここではそれを採用する。

（6）保険料

損害・災害保険等がある。製品保証・性能保証等はメーカーにより異なるため、統一の基準を出すのは難しいが、市場調査の結果システム費用の0.15%程度とするケースが多く見られたので、ここではそれを採用する。

（7）固定資産税

この事業に掛かる固定資産税は、土地と発電設備について課税されるもので、ともに課税標準額×税率（1.4%+都市計画税0.2%）となる⁸⁾。ミドルソーラー発電事業を行う場所が農地である場合、農地から雑種地に転用しなくてはならない。他方、農地に対する課税標準額はかなり低く、かつ、市内ほぼ一律に近い額に設定されているため、農地転用を行い農地から雑種地になった場合の税額では、山間部で約130倍、街部では約1,000倍にもなる。また、発電設備にも償却資産としての固定資産税が掛かり、

第3章 太陽光発電施設の調査研究

償却年数は17年と規定されており、耐用年数に応ずる減価率は0.127、償却資産に対する免税点は150万円であり、土地と同じ税率が適用される。また、償却資産に対する固定資産税は現在特例措置として、3年間は3分の2に軽減されることになっている。

ここで、土地に対する固定資産税の売電による年間収入に対する割合を算定する。例として、土地が1,000㎡、発電容量が49kWとする事例で、まず、山間部で課税標準地価が約5,000円/㎡の場合、土地に対する固定資産税は、85,000円/年となり、街部で課税標準地価が約50,000円/㎡の場合には、固定資産税は、850,000円/年となる。他方、この施設による年間売電収入であるが、平成25年度内に系統連系協議が完了したものとすると、1kWh当たりの売電価格は36円となり、また前述の茅野市における年間発電量を基に計算すると、年間発電収入は、 $49\text{ kW} \times 1,138\text{ kWh/年/kW} \times 36\text{ 円} = \text{約} 200\text{ 万円}$ となる。

以上の結果、土地に対する固定資産税が年間売電収入に占める割合は、山間部では、約4%で小さいが、それに対して都市部では、40%以上となり、極めて大きな負担となる。以上の結果から、たとえ当該地域のような地方都市であっても、都市部において太陽光事業を行うのは現実的でないため、これ以降の検討は、山間部を対象とする。ただし、都市部においても、既設の建物の屋上に太陽光パネルを設置するような場合には、土地の固定資産税は別途支払っているため、以下の検討結果が、十分に当てはまると言える。

(8) 事業税

当初、太陽光発電事業について会社員や農業者等の個人の場合、「事業所得」としての基準が曖昧となっており、50kW未満の場合は「雑所得」

第3章 太陽光発電施設の調査研究

とすべきであろうという意見も税務署の担当者や税理士の中から出ていた。これについて民野⁹⁾は、「個人事業税における太陽光発電等に関する収入の取扱いについて」の中で、平成24年当時の状況を踏まえて解説と考察を行っている。その後平成26年4月に資源エネルギー庁より、「太陽光発電設備の導入をご検討の個人の方へ」¹⁰⁾という指針が出され、この中で、例えば、電気主任技術者の選任を行っている場合（出力量50kW以上の場合）は、一般的に事業所得になると考えられている。しかし出力量50kW未満の場合であっても、設備の周囲にフェンス等を設置している等の一定の管理を行っているときは、事業所得になると考えられるとしている。以上の結果ここでは、太陽光発電以外の個人の所得との関係を分離して、所得に関する税の算出を明確にするため、「事業所得」として取り扱うこととする。

3.5 発電設備容量による収入の比較

以上の条件と項目を用いて、発電規模が 10 kW～200 kW（設備）について、年間発電量に対する年間収入を 20 年間に亘って算出した。年間収入は借入金の返済額、固定資産税額、太陽光パネルの劣化によって異なるので、20 年間の平均値として年平均収入を算出して図 3-1 に示している。

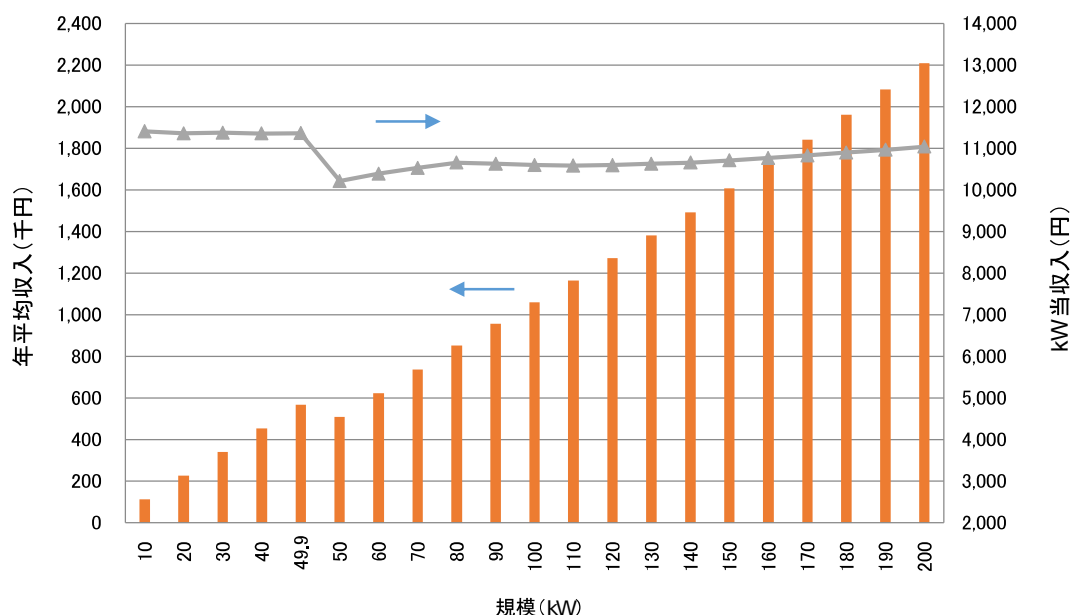


図3-1 規模別による年平均収入とkW収入の関係

年平均収入（左軸）が発電規模と共に増加するのは当然であるが、kW（設備）あたりの収入（右軸）で見ると、49.9 kWと 50 kWの境で顕著に減少している。これは、前述のとおり、50 kWを境目として低圧連携から高圧連携へと移行することが義務付けられており、後者の場合はより多くの設備費や経費が発生することによる。さらに規模が増大すると、収入の増加に伴って控除されていた事業税が課税されることもあり、kWあたりの収入は一旦減少するが、さらに規模が増大すると徐々にではあるが回復して

第3章 太陽光発電施設の調査研究

いる。これは、出力当たりのシステム価格が次第に低下することによる。

3.6 IRR を用いた収益性の検討

IRR（内部収益率：Internal Rate of Return）とは、投資によって得られると見込まれる利回りと、本来得るべき利回りを比較し、その大小により収益性を判断する手法のことである。初期投資額 C_0 を n 年で回収するとして、各年の収入を C_1 、 C_2 、 $C_3 \cdots$ とするとき、IRR による投資機会の利回り r % は以下で求められる。（厳密には、次式中の r は r %/100 である。）

$$C_0 = \frac{C_1}{(1+r)^1} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \cdots + \frac{C_n}{(1+r)^n}$$

FIT 価格を決定する算定委員会では、税引き前の IRR の標準値を 6 % として買取価格を算定している。

まず、算定委員会の例にならって、税金及び金利がない場合の IRR を計算した。税金と金利以外には、上記の各項目の代表値を用いた。発電規模は、kW 設備当たりの年収が最も大きくなり、かつ設置数も多い 49.9 kW と、個人で行う規模としては最大級であると思われる 200 kW とする。平成 25 年のシステム価格と FIT 価格を用いて得られた結果は、49.9 kW 設備のとき IRR= 6.40 %、200 kW 設備のとき IRR=6.76 %である。このことから、算定委員会が平成 24 年～平成 26 年の FIT 価格を算出するにあたって、税金と金利をゼロにした場合に IRR= 6%を基準したこと、及び今回の計算手法の妥当性が確認出来る。完全に一致しないのは、算定委員会では、より大きな規模の発電施設を主たる対象にしていることや、年間発電量、太陽光パネルの劣化、保守費などの細部について完全には一致していないことに依ると考えられる。

3.7 各項目のIRRに対する感度解析とFIT価格との関係

3.7.1 基準値の計算

次に、各項目の変動が、IRR及び総収支差額にどの程度の影響を及ぼすかを、検討する。施設の規模は、前章と同じく、発電規模は49.9 kW及び200 kWとし、各項目の値としては、税金及び金利を含めて、事業に係る経費に挙げた値を用いる。その結果、

49.9 kW 設備：IRR= 4.12 %、総収支差額=11,363 千円

200 kW 設備：IRR= 4.13 %、総収支差額=44,275 千円

となった。

これを基準値として、各項目の値が、+20 %および-20 %になったときのIRR及び総収支差額を求めて、その影響を検討する。

3.7.2 感度解析（49.9 kW 設備の場合）

ここでは、当該地域で最も設置数の多い49.9 kW規模の施設について、各項目が±20 %に変化したときのIRR及び総収支差額を算出し、基準値と比較して、表3-2の結果を得た。

第3章 太陽光発電施設の調査研究

表 3-2 49.9kW 設備の場合の感度解析

項目	代表値	IRR (%)		総収支差額 (千円)	
		IRR (%)	総収支差額 (千円)	IRR (%)	総収支差額 (千円)
発電設備規模	49.9kW (固定)	4.12 (基準値)		11,363 (基準値)	
		代表値の+20%時		代表値の-20%時	
		IRR (%)	総収支差額 (千円)	IRR (%)	総収支差額 (千円)
		(%)	(千円)	(%)	(千円)
年間平均発電量	1,138 kWh/kW (設備) /年	6.68	19,560	1.43	3,618
買取価格	36 円/kWh	6.68	19,560	1.43	3,618
システム費用	369 千円/kW (設備)	2.18	6,708	6.92	16,451
パワコン価格	42,800 円/kW (設備)	4.06	11,162	4.40	12,016
事業継続年数	20 年	—	—	2.03	4,158
パネル劣化率	0.27%/年	4.17	11,387	4.29	11,793
借入利率	1.6%/年	4.03	11,080	4.42	12,092

以上の結果、年間平均発電量と買取価格は、項目の値が+20%になると、総収支差額では約+60%の伸びとなり、事業に及ぼす影響が非常に大きいことが分かった。この二つの項目の影響が等しいのは、両者の積の形で売電収入に影響するからである。また、システム費用の増減も同様に変化が大きく、事業に与える影響が大きい。事業継続年数については、固定買い取り制度が20年間と定められているため、-20%のみを計算した。この

第3章 太陽光発電施設の調査研究

事業継続年数の影響も大きい。一方、パワコン価格・パネル劣化率及び借入利率は、±20 %の変化であってもIRR・総収支差額共にあまり差は生じず、これらの金額の多寡がそれほど事業に影響するものではないことが分かった。この他、今回は値を変化させなかったが、土地に対する固定資産税は、かなり影響が大きいことがわかった。かつ、この値は、他の項目と異なり何倍にも変わり得るので、ミドルソーラーを特に都市部近くに計画する際には必ず考慮すべき項目であるといえる。

この他、発電規模が個人事業としては最大級の規模になる200 kWについても、同様の感度解析を行ったが、この場合も49.9 kW規模の施設と同様の結果となった。以上のように、49.9 kW設備の場合も200 kW設備の場合も、大きく影響するのは、年間発電量、買取価格、システム価格、事業継続年数である。

これらのうち、年間発電量は、その施設の設置場所、方位、毎年の日射量などの要因によって定まるもので、一旦建設すると、隣地における樹木の繁茂や構造物の建築等については、あらかじめ注意を払う必要があるものの、系統的な要因は小さい。事業継続年数については、災害や事業者側の事情で中断せざるを得ない可能性はあるものの、基本的には20年間継続されるものと考えられる。以上の結果、事業収支に影響が大きく、将来大きく変化する可能性のあるのは、システム費用と買取価格である。このうち、買取価格は、システム費用の動向を見ながら定められるので、結局は、システム費用の今後の動向が、もっとも大きな影響要因であると言えることが出来る。以上のことから、次節では、システム費用の今後の変化を予測し、それに対する買取価格の推移を推定して、今後の固定買い取り制度の動向について考察する。

3.8 システム費用とFITによる買取価格の予測

システム費用は年々下降しているが、これを国際エネルギー機関¹¹⁾ (IEA: International Energy Agency) の報告書データと算定委員会のデータを基に予測する。

3.8.1 システム費用変化の近似

IEA 報告書では、太陽光発電施設のシステム費用の年次変化を発表しているが、データは設備容量が 10 kW 未満であるため、ここでは、10 kW 以上の値に修正する必要がある。他方、算定委員会が、平成 26 年の FIT 価格決定にあたって参照した 10 kW 設備以上のシステム費用（平成 25 年度価格）は、価格算定委員会から公表されているので、両者の比（10 kW 以上 / 10 kW 未満）を求めると 0.9022 となる。その値を基に 10 kW 以上のシステム費用を平成 20 年まで遡ると図 3-2 のシステム費用（実線）となる。これを用いて、平成 26 年以降平成 30 年までのシステム費用の予測をする。システム費用のうちソーラーパネルに起因する割合は既にかなり低下しており、パワコンや工事価格が次第に大きな割合を占めつつあるので、今後は、システム費用の低下は次第に鈍化するであろう。そこで、将来の推定を指数関数近似でおこなった結果が、図 3-2 のシステム費用（破線）である。

この値を基に、算定委員会の標準とする税金と金利を含まない場合に IRR = 6 % となるように FIT 価格を求めると、表 3-3 に示すとおりとなる。

第3章 太陽光発電施設の調査研究

表 3-3 システム費用の推定値から算出した FIT 価格の推定値 (49.9kW)

平成	25	26	27	28	29	30
システム費用 (千円)	(369)	327	291	259	231	206
FIT 価格 (円/kWh) IRR=6%	(36)	(32)	29	26	23.5	21
FIT 価格 (円/kWh) IRR=4%	—	—	24	22	20	18
FIT 価格 (円/kWh) IRR=3%	—	—	22	20	18	16.5
FIT 価格 (円/kWh) IRR=2%	—	—	20	18	16.5	15

(注) 括弧内は規定値。括弧なしは推定値。

他方、平成 24 年の固定価格買取制度開始以来、3 年間はプレミアム価格といわれていたので、FIT 価格が現状の水準を保ったままでの推移も考え難い。そこで、IRR =2, 3, 4 %とした場合の FIT 価格も予測して、表 3-3 に示している。

以上のように、FIT 価格は、ここ数年のうちに、20 円台の前半から 10 円台の後半にまで低下するものと思われる。他方、現在、kWh あたりの電力料金は、需要家の規模によって、15 円～25 円程度であるので、買取価格が、自家（自事業所）の電力料金よりも低くなれば、電力の自家消費の大きな事業者は、発電電力をまずは自家消費にまわし、余剰電力を売電に回したくなると思うのが妥当であろう。しかし、現状では、10 kW 以上の発電設備については、余剰電力の買い取り制度は適用されない。したがって、自然エネルギー普及の観点からは 10 kW 以上の設備についても、少なくともミドルソーラー程度の範囲では、余剰買い取りの制度を導入することが望まれる。なお、現在の自家用電力に対する余剰

第3章 太陽光発電施設の調査研究

買取制度では、家屋内に設置した機器を介して余剰電力の売電を行っているが、ミドルソーラー規模の場合には、発電の敷地と自家消費の場所は必ずしも近接しているとは限らないので、余剰電力の算出を、機器に依らず経理処理で行われるような制度を導入することも望まれる。

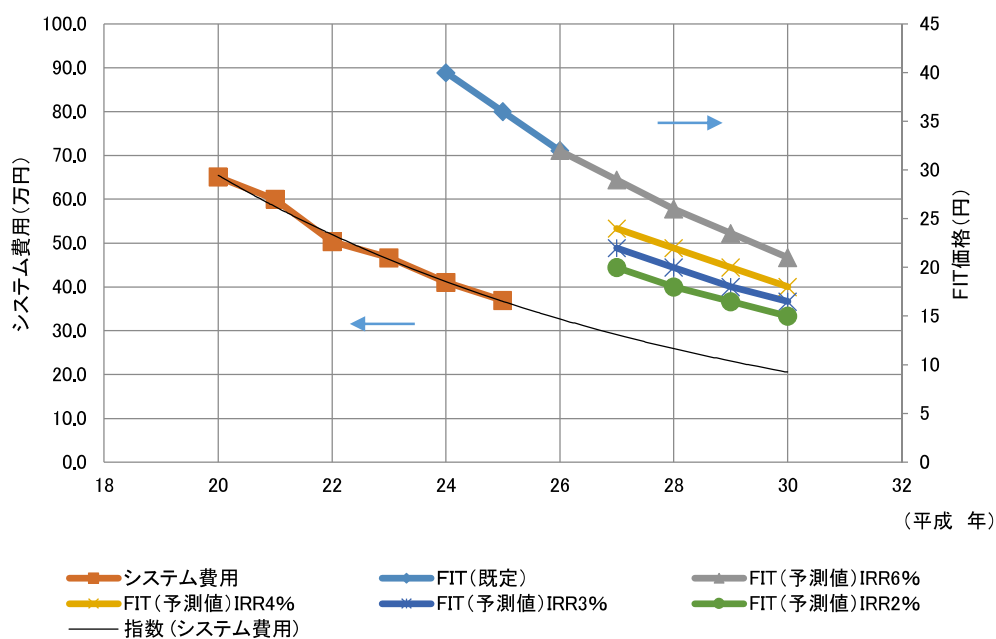


図3-2 システム費用の推移とFIT価格

3.9 集合住宅との比較

3.9.1 集合住宅の条件

すでに述べた通り、今までは、高齢化によって耕作が困難になった農地には集合住宅を建設し、将来に亘り安定収入を得る方法をとることが多かった。そこで、ここでは、賃貸用集合住宅の経営についても、同様の検討を行い、両者を比較する。一般にソーラー発電に必要な面積は、太陽光パネルの種類にもよるが、1 kW（設備）当たり約 20 m²といわれている。したがってミドルソーラーのクラスで最も多く設置されている 49 kW 規模では約 1,000 m²の敷地となる。これと同程度の敷地を必要とする集合住宅とにおいて、その収益性を IRR と収支差額を用いて比較を行った。集合住宅の経営条件はその立地地域によって大きく異なるが、ここではやはり、筆者らの勤務する長野県茅野市近辺を対象として、今回比較する集合住宅の条件を当該地域における代表的な例として表 3-3 のとおりとする。

表 3-3 比較のための集合住宅の条件

①住戸 タイプ	②住戸当 面積	③住戸当 建築費	④敷地 面積	⑤家賃 相場	⑥建築仕様	⑦平均 空室率	⑧課税 標準価格
2DK/戸	40 m ² /戸	475 万円/ 戸	1,000 m ²	50,000 円/ 戸	鉄骨造 2 階 (20 戸)	29.1%	20,000 円 /m ²

なお、新築時から経年によって入居率が次第に低下するため、家賃収入が年々低下することは避けられない。このとき、簡単化のために毎年

第3章 太陽光発電施設の調査研究

一定割合 r で入居率が低下すると仮定し、 n 年間の平均的な空室率を V とすると、

$$V = 1 - \frac{(1 - r^n)}{n(1 - r)}$$

の関係がある。そこで当該地域における平均的なデータから $V=29.1\%$ であるとする、 $n=20$ 年のとき、 $r=0.962$ を得る。つまり、前年の家賃収入に対して 0.962 の比率で家賃収入が低下して行くこととする。

これらの条件からシミュレーションを行う。条件としては、土地は自己所有地、初期投資額は新築物件費用 475 万円 $\times 20$ 戸 $= 9,500$ 万円で全額を借り入れることとして、その他の条件を、金利及び期間は、ミドルソーラー事業と同じに 1.6% と 20 年間、管理委託手数料及び修繕積立金は、それぞれ月家賃の 5% 及び 2% とする。

3.9.2 集合住宅に係る税金

(1) 固定資産税

住宅用地は生活を送る上で基本の場所であることから、その税負担を特に軽減する必要がある、住宅用地には特例措置が適用されている。 200 m^2 以下の住宅用地は小規模住宅用地といい、課税標準額の $\frac{1}{6}$ とする特例措置がある。集合住宅の場合は各戸についてこの特例措置が適用されるため、今回のケースの場合、 $20 \text{ 戸} \times 200 \text{ m}^2 = 4,000 \text{ m}^2$ までが特例措置となり、 $1,000 \text{ m}^2$ の全面積が特例の対象となる。

また、建物の固定資産税については、建築された市町村の税務担当職員が現地調査を行い税率を決定するが、内容が複雑であるため今回は、建物

第3章 太陽光発電施設の調査研究

の固定資産税を算出するにあたり、長野地方法務局管内概要調書基準価格表の「共同住宅－軽量鉄骨造」の95,000円/m²を利用した。

(2) その他の税金

集合住宅による住宅の貸付事業は、室数が10以上の場合不動産貸付業になり税率は5%、事業主控除は290万円である。また、不動産取得税については、集合住宅の場合1部屋あたり120万円の控除が有るため、今回のケースでは課税されない。

3.9.3 ミドルソーラー事業と集合住宅経営の収支の比較

以上の条件に基づき、集合住宅事業の解析を行った。その結果、まず利益率（総事業費に占める利益の割合）は、49kW規模のミドルソーラーの利益率35%に対して、集合住宅では15%にとどまる。また、IRRで比較すると、49kWのミドルソーラーが4.11%であるのに対し、集合住宅2.47%となった。これは、集合住宅を建設するときに多額の初期投資が掛かることと、管理費・修繕費等の経費が多く掛かるためである。他方、事業期間中の総収支差額で見ると、ミドルソーラーが11,343千円であるのに対し、集合住宅経営では26,076千円である。それぞれの内訳の割合を図3-3に示す。

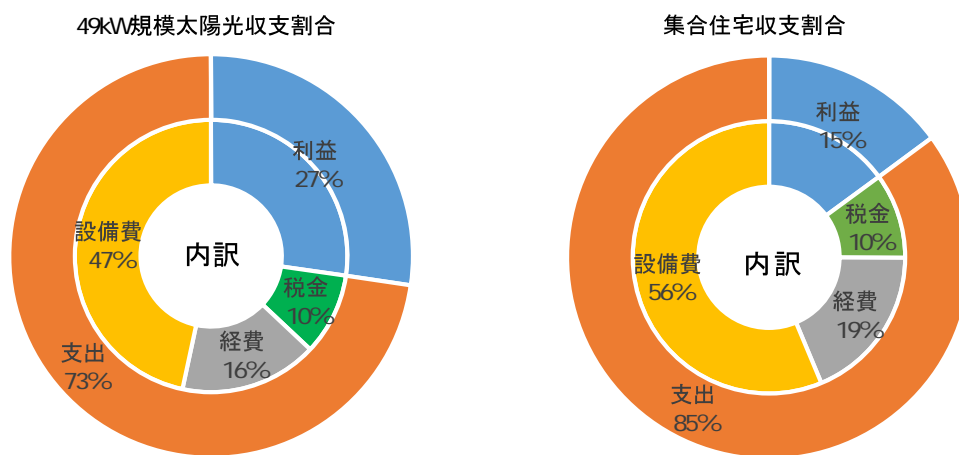


図 3-3 ミドルソーラー事業と集合住宅経営の収支の内訳

以上のように、現段階では一定の投資額に対してはミドルソーラー事業が有利であるといえるが、一定面積の土地に対しては、集合住宅経営の方が、投資額も大きい、利益の総額も大きくなる。他方、地方人口の減少、若者のライフスタイルの変化、入居者との関係等、長期に亘っての事業安定性を考慮した場合、集合住宅事業には不確定要素が大きい、ミドルソーラー事業の場合は設置後も安定した収入が見込まれることと、ほとんどメンテナンスを必要としないため、農作業が出来なくなった高齢者にとって、選択の対象となるが多くなっていると考えられる。

しかし、昨今、固定価格買取制度の中で、特に太陽光発電に対するルールの変更が度々行われている。主な原因としては、電力会社が太陽光発電の受入抑制を行わなければ、停電の発生など電気の安定供給に支障をき

第3章 太陽光発電施設の調査研究

たす恐れが有るからである。現在も受け入れ制限の規定はあるが、平成 27 年 1 月に行われた改正では、より厳しいものになった。中部電力管内での主な内容としては、50kW 以上の設備については、この厳しくなったルールが適用される。しかし、本章での研究対象とした 50kW 未満の設備については適用されないため、同規模のミドルソーラーは、規模の大きなものに比べ、益々有利になる。このルール改正については第 5 章で詳しく述べる。

3.10 結論（第3章）

平成24年度、固定価格買取制度が導入された際、3年間はプレミアム価格ということで再生可能エネルギーの普及促進に繋げたいとのことであった。平成26年度がその3年目であるため、当地域においても数多くのミドルソーラーによる発電事業が参入している。しかし、このように急速に普及するに伴い浮上してきた問題が二点挙げられる。

一つ目は、景観や環境の問題である。メガソーラーによる発電事業は、広大な用地を必要とするため比較的郊外で展開されることが多い。しかしミドルソーラーによる発電事業は、自己の所有する範囲の土地で事業が可能で、前述のとおり集合住宅と競合する程度の土地の広さで行うことができる。したがって比較的都市部の住宅地においても設置される例が近年多く見られるようになった。近隣の自治体では住宅地においてのソーラー発電事業反対運動が起り事業が中断している案件がある。その理由は、発電による電磁波の発生、反射による眩しさや周辺の気温上昇等であるが、現段階では、根拠のある議論は難しいため、解決に結びつかないケースが多い。20年間という長期に亘り行う事業であるので、たとえば、災害時には地域住民に電力を優先的に供給する等、近隣住民と事業者のしっかりとした合意形成が必要である。環境影響評価法の対象となる一定規模以上の風力発電や、河川法に基づく水利権許可手続き等が求められる小水力発電に比べ、ミドルソーラーによる発電事業は、農地転用に関する申請書には規制がほとんど無い等、行政手続きが比較的簡単で、利害関係者も少ない。そのため、景観や環境を維持する立場から、行政としては何らかのルール作りが課題となっているが、一方で自然エネルギーの普及も推進していか

第3章 太陽光発電施設の調査研究

なければならないというトレードオフの関係になる。

二つ目の問題点として農業振興地域内¹²⁾の発電事業要望がある。農業振興地域以外の土地については、農業委員会に農地転用の申請書を提出すれば受理され、ミドルソーラーによる発電事業が可能であるが、農業振興地域内は半永久的に農業以外の土地利用はできないことになっている。他方、近年農業振興地域内においても高齢化や後継者不足による耕作放棄地が点在するようになってきた。この場合自分の土地の用途を自分の意思により変えることができない不都合が生じている。農業を護るために厳しい規制が敷かれていることは理解できるが、現実には土地の有効利用を阻害する要因になっている。当事者の立場に立ったルール作りが必要である。

【第3章 参考文献】

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁：再生可能エネルギー固定価格買取制ガイドブック
- 2) 中部電力株式会社 HP：再生可能エネルギー発電のご契約について
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁：平成26年度の認定運用の変更について「分割案件の取り扱いについて」（平成26年4月1日）
- 4) NEDO：日射量データベース閲覧システム
<http://app7.infoc.nedo.go.jp/>
- 5) 経済産業省資源エネルギー庁：調達価格等算定委員会 - 「平成26年度調達価格及び調達期間に関する意見」について（平成26年3月7日）
- 6) 茅野市産業経済部：平成26年度茅野市中小企業融資制度「開業資金」について
- 7) 木村啓二、真野秀太：「太陽光発電事業の現状とコスト2013」（公益財団法人自然エネルギー財団2013年12月）
- 8) 茅野市市民環境部：「固定資産税・都市計画税」について
- 9) 民野美津子：個人事業税における太陽光発電等に関する収入の取扱い（「税」2012年11月ぎょうせい）
- 10) 経済産業省資源エネルギー庁：グリーン投資減税「太陽光発電設備の導入をご検討の個人の方へ」（平成26年4月1日）
- 11) 国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）：Trends in Photovoltaic Applications , IEA Report IEA- PVPS T1- 23; 2013, 同21; 2012, 同20; 2011等

第3章 太陽光発電施設の調査研究

12) 農業振興地域に関する法律

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S44/S44H0058.html>

第4章

地域における再生可能エネルギー

4.1 地域における再生可能エネルギーの役割

東日本大震災を契機に中央集権型のエネルギー供給から、分散自立型のエネルギー供給に移行しようとする動きが見られる。その内の一つの手段として、日本では平成24年から固定価格買取制度が開始され、事業者にとっては非常に有利な買取価格が設定されたため、特に太陽光発電事業は爆発的に普及し3年が経過しようとしている。

東日本大震災で顕在化したエネルギー供給の脆弱性は、大手電力会社に依存していたことがその一因とされており、我が国のエネルギー需給システムをより強いものへと変えていくためには、それぞれの地域に合った分散自立型のエネルギー供給施設の検討が必要である。これまでは地域で行うエネルギー事業を、松井¹⁾らはドイツの事例を参考に、「地域エネルギー事業」と呼んでいた。また、最近では、相川²⁾らにより、「エネルギー自

第4章 地域における再生可能エネルギー

治」ともいわれるようになってきた。「エネルギー自治」とは、「地域自らが、住民福祉の平時における向上および、有事におけるエネルギーの確保のために、地域自らが、エネルギー需給をマネジメントし、コントロールできること。」と定義づけられる。地域社会にとって、有事における「回復力(レジリエンス)」の発揮だけではなく、平時におけるエネルギー関連の地元雇用を創出し、「地域の持続性(サステナビリティ)」に結びつけることができる有効な概念である。

本章では、再生可能エネルギー施策の分野では、我が国が参考とするドイツの事例を調査し、日本の現状と比較するとともに、地域における再生可能エネルギーの役割を探り、茅野市における今後の指標としたい。

4.2 ドイツにおける再生可能エネルギーの普及

4.2.1 ドイツのエネルギーの現状

図 4-1 では、日本とドイツの電源別発電電力量構成比を示す。日本は東日本大震災の影響から原子力が抑えられ、その代替として火力の割合が高くなっている。また、大きな違いは再エネの割合で、ドイツは約四分の一を占め非常に高くなっている。

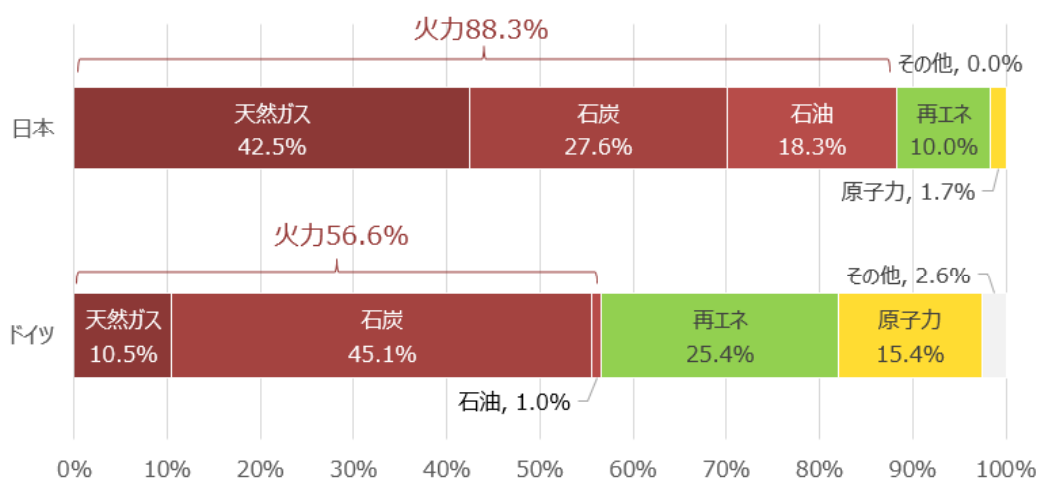


図 4-1 日本とドイツの電源別発電電力量構成比

出典：日本の電源構成比（2012年時点）：2012年度の電源別発電電力量構成比 | 電気事業連合会

出典：ドイツの電源構成比（2013年時点）：新エネルギー小委員会 欧州調査報告（p.34） | 経済産業省

我が国において、地球温暖化を防ぐ観点からは、火力発電の割合を抑えなければならないし、エネルギーの安定供給の観点からは、不安定な中東情勢の中、輸入に頼らざるを得ない化石燃料の割合を減らしていかなければならない。

第4章 地域における再生可能エネルギー

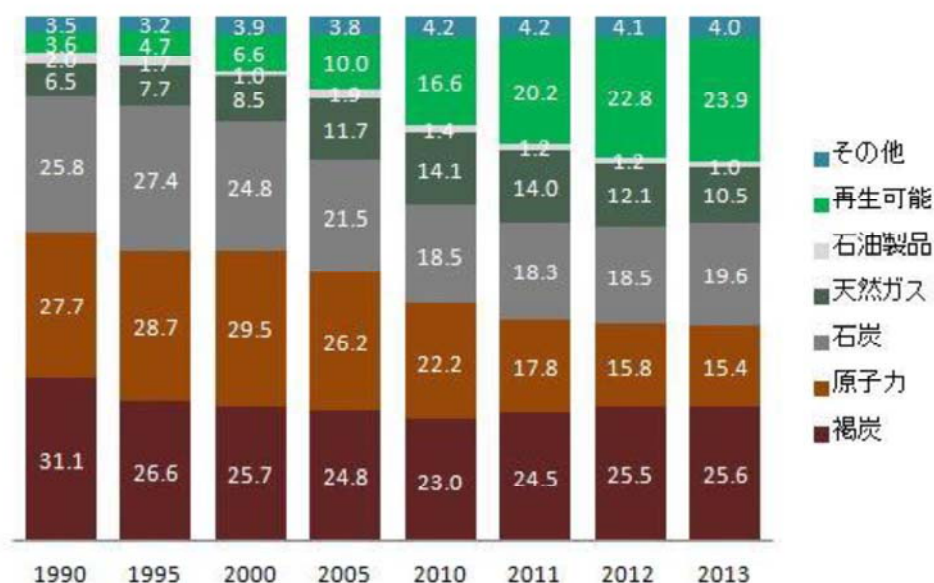


図 4-2 ドイツの総発電量のエネルギー源別割合 (単位：%)

資料：Arbeitsgruppe Energiebilanzen e.V (2014.02.24)³⁾ ※2013年は暫定値

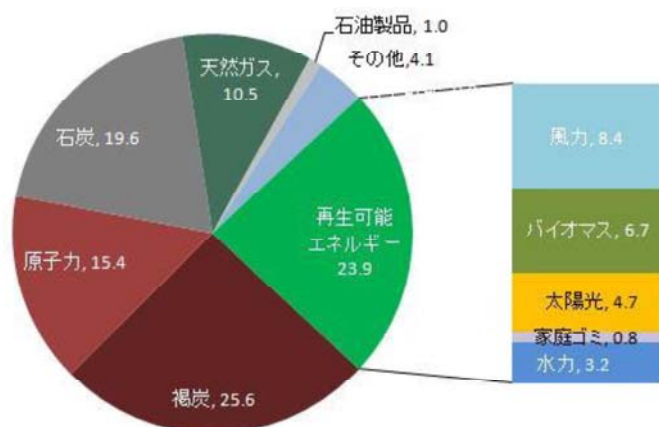


図 4-3 ドイツにおける再エネ割合 (2013年) (単位：%)
資料：Arbeitsgruppe Energiebilanzen e.V (2014.02.24)

を示す。これを見ても、風力の割合が高く、続いてバイオマス、太陽光となっている。

さらに図 4-2 では、ドイツの総発電量のエネルギー源別割合を示している。ここからも再生可能エネルギーの割合と伸びが大きいことが分かる。図 4-3 には再生可能エネルギーの内訳

第4章 地域における再生可能エネルギー

ドイツの再生可能エネルギーが急速に伸びている理由としては、福島
の事故を受け、できるだけ早く完全に原発を停止するべきだという結論に至
り、政府は 2020 年までに原発を停止する法案を作り、再生可能エネルギ
ーの普及を促進させているためである。

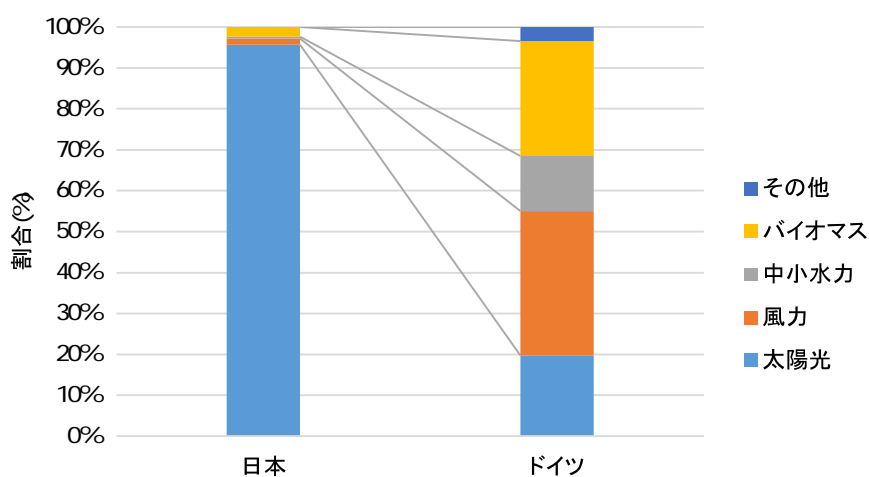


図4-4 日本とドイツの再エネ割合の比較

資料：表 1-4、図 4-3 から作成

図 4-4 からは、ドイツは比較的バランスの取れた構成であるが、日本では太陽光への偏りが見て取れる。

4.2.2 ドイツにおける電力料金

日本が現在の固定価格買取制度を導入するに当たっては、ドイツのそれを参考にした。

まず、ドイツと日本の買取価格を比較し、表 4-1 に示す。比較の単価・数字等は、金額が確定している平成 24 年度のものを使用している。出力や区分が一致していないため単純な比較はできないが、全ての再エネの種類について、日本の買取価格の方が高く設定されている。

第4章 地域における再生可能エネルギー

表 4-1 日本とドイツの買取価格比較（平成 24 年単価）

日本の買取価格（¥/kWh）			種類	ドイツの買取価格（ct-€/kWh）			
期間 （年）	単価	出力区分		出力区分	単価	円	期間 （年）
20	40	10kW 以上	太陽光	転換地	18.76	26	20
	42	10kW 未満		その他用地	17.94	25	
20	22	20kW 以上	風力	0~5 年	8.93	13	20
	55	20kW 未満		6 年目以降	4.87	7	
20	34	200kW	水力	0~500kW	12.7	18	20
	29	200~1,000kW		500~2,000kW	8.3	12	
	24	1,000~30,000kW		2,000~5,000kW	6.3	9	
15	26	15,000kW 以上	地熱	—	25	35	20
	40	15,000kW 未満					
20	39	メタン発酵ガス	バイオマス	<150kW	14.3	20	20
	32	間伐材利用		150~500kW	12.3	17	
	24	一般木質		500~5,000kW	11	15	
	13	建設資材		5,000~20,000kW	6	8	
	17	一般廃棄物		—	—	—	

※€1=140 円で換算 出典：経済産業省 HP

固定価格買取制度が後発の日本は、全体的に高い値になっている。日本は、規模別の買取価格をきめ細かく設定し、小規模発電にも導入の機会を与えている。

第4章 地域における再生可能エネルギー

次に、エネルギーについて日本とドイツを比較するためには、ドイツの電力料金の仕組みを知る必要がある。

最近ドイツの電力料金が、年々上昇していると聴くことが多い。事実、年間 3,500kWh(平均 400W)の電力を消費する一般家庭の支払う電気代は、1ユーロを 140 円で換算すると 2014 年現在、平均 84.96 ユーロ(約 11,900 円)であり、電力市場の自由化が始まった 1998 年の 49.90 ユーロ(約 7,000 円)と比較するとおよそ 70%上昇した。この電力料金上昇の大きな原因の一つは、再生可能エネルギー促進のための賦課金にあるといわれている。そこで以下では、ドイツの電力料金の構造や賦課金の動向を分析してみる。

ドイツでは、1998 年に電力市場の自由化が始まり、2000 年から再生エネルギー優先法(略称:再生可能エネルギー法、EEG)⁴⁾が導入された。ドイツ全国エネルギー・水利経済連盟(BDEW)によれば、ドイツの 2014 年の家庭用電力料金⁵⁾は 1kWh あたり平均 29.13 ユーロセント(約 40.8 円)である。これは、日本の中部電力の電力料金 27.97 円と比較すると割高である⁶⁾。表 4-2 にドイツの家庭用電力料金の内訳を示す。ここで見るとおり、電力そのものの価格(発電・送電・小売の費用)は、13.87 ユーロセント(約 19.4 円)でドイツの電力料金の半分に満たず、ドイツの家庭用電力料金の半分以上は、税金や公的な負担金(租税公課)で構成されていることが分かる。

第4章 地域における再生可能エネルギー

表 4-2 ドイツの家庭用電気料金内訳 (1kWh 当り)

項目	電気料金	電力税	再エネ賦課金	その他	消費税	合計
金額 (ct€)	13.87	2.05	6.24	2.32	4.65	29.13
割合 (%)	47.61	7.04	21.42	7.96	15.96	100.00

参考：「BDEW 2014: „BDEW-Strompreisanalyse Juni 2014“, s. 6」

主な内訳は、再生可能エネルギー促進のための賦課金が 6.24 ユーロセント、電力会社が事業を行うために地方自治体へ支払う課徴金が 1.79 ユーロセント/kWh、電力税が 2.05 ユーロセント/kWh、そしてこれらに上乘せされる付加価値税が 4.65 ユーロセント/kWh などである。なお、電力料金上昇の根源だとされることが多い再エネ賦課金であるが、電力料金全体に占める割合は、21.4%となっていて、再生可能エネルギー優先法(略称：再生可能エネルギー法、EEG)導入年の 2000 年には 0.19 ユーロセント/kWh であったのが、今年は 6.24 ユーロセント/kWh にまで増加している。しかし電力税と消費税の合計よりはまだ低い値である。

表 4-3 では、1kW あたりの日本とドイツの家庭用電気料金の内訳の比較を行った。条件は、1 ユーロセント=1.4 円で換算し、日本の料金は、中部電力の料金を利用した。ドイツの家庭用電気料金は、日本に比べ約 1.5 倍であり、中でも再エネ賦課金は日本に比べ約 10 倍になっている。しかし、純粋な電気料金そのものは、日本とドイツの差はほとんど無く、租税公課の部分に差が生じている。ドイツを参考にしている日本の電気料金制度については、租税公課の部分の割合が将来どの程度までドイツに近づくのかという問題がある。日本においては、単にドイツの水準に近づけるの

第4章 地域における再生可能エネルギー

ではなく、景気の状態や、エネルギーのバランスを考慮に入れて電気料金は設定して行くべきである。

表 4-3 日本とドイツの家庭用電気料金内訳 (1kWh 当り)

国別	項目	電気料金	電力税	再エネ賦課金	その他	消費税	合計
日本 ^{※1}	円	24.15		0.69	0.63	2.04	27.51
	%	87.8		2.5	2.3	7.4	100
ドイツ ^{※2}	円	19.42	2.87	8.74	3.25	6.51	40.78
	%	47.6	7.0	21.4	8.0	16.0	100

※1 中部電力 HP の「電気料金の計算法」による (320kWh/月の場合)。

※2 表 4-1 を円に換算。

日本でも再生可能エネルギーの固定価格買取制度が拡大しており、電力会社が買い取った金額の一部が「再生可能エネルギー発電促進賦課金」⁷⁾として電気料金に上乗せされる。平成 26 年 5 月から適用されている賦課金の単価は 1kWh あたり 0.75 円であるが、前年の平成 25 年のそれは 0.35 円であったので、倍以上に増えたことになる。平成 26 年の 0.75 円の賦課金は標準家庭 (月間使用量 320kWh) の場合で月額 240 円に相当し、電力料金に占める割合は 3%前後である。

図 4-5 では、ドイツの太陽光発電買取価格の推移を示す。ドイツでは、屋根にパネルを乗せるものと、地面に設置するもの、いわゆる「野立て」の二種類に分かれる。ここでは野立て太陽光発電買取価格を表す。固定価格買取制度が開始された時と比較して、現在の値は 5 分の 1 まで低下して

第4章 地域における再生可能エネルギー

いる。表 4-1 のとおりドイツの家庭用電気料金は、約 29 ユーロセント/kWh であり、ドイツの野立て太陽光発電買取価格は、2014 年では、約 9 ユーロセント/kWh である。電気料金と買取価格を比較した場合、買取価格は約三分の一の金額になる。他方、日本は、家庭用電気料金約 27 円に対して、太陽光発電買取価格は、現在 32 円であるので、高い水準にあることが分かる。

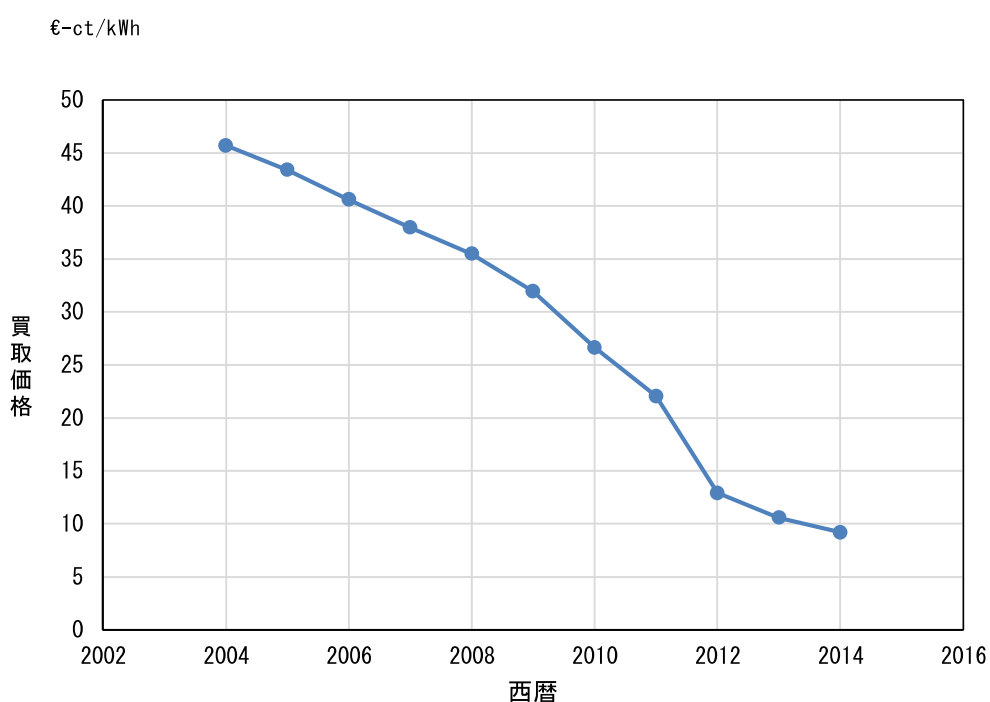


図4-5 ドイツの野立て太陽光発電買取価格の推移

出典：German feed-in tariffs from 2004 to 2014(for PV systems)⁸⁾

現在の日本の買取価格は、図 4-5 から見て取れるとおり、ドイツのそのの 2010～2011 年頃の値に相当している。ドイツではその後次々に買取価格を低下させており、我が国においても再エネの普及度合いを見ながら買取価格を適正なレベルに調整していくことが必要である。

第4章 地域における再生可能エネルギー

広大な土地を買収又は賃貸借し、メガソーラーを設置した。草刈りやメンテナンス作業等、多少の雇用は創出されたものの、多額の売電収入は本社のある都会へ流れ、地方にとっては余りメリットを感じられないという問題が地方に残された。

日本の人口がマイナスサムで推移する現在、三大都市圏に人口が集中し、地方が益々疲弊するのを防ぐため、国では地方創生・国家戦略特別区域担当大臣を創設する等して対策を始めている。平成26年6月に総務省から発表された、「地域の元気創造プランの全国展開」では、「まちの元気で日本を幸せにする！」を目標に、地方公共団体が産業・大学・地域金融機関・地域住民等と連携して活性化に取り組むとされており、民間活力の土台となる地域活性化インフラ・プロジェクトとして、「分散型エネルギーインフラプロジェクト」は地域活性化の課題とされている。一方で「地域経済イノベーションサイクル」として企業の立ち上げを後押しし、雇用の創出を狙っている。

ドイツでは発電・送電・配電・小売と電力事業が細分化され、日本とは構造が違うので比較はできないが、電力の小売を行う「シュタットベルケ」という事業体があり、地域にとって重要な役割を果たしていることである。「シュタットベルケ」とは、19世紀後半以降、水道、交通やガス供給、電力事業（発電・配電・小売）など、個人・民間では手当てできない市内のインフラ整備・運営を行うために発達してきた公的な事業体である。「シュタットベルケ」を英訳すると「City Works」となり、文字通り市内の生活サービスを提供する企業である。当該サービス拠点の自治体が100%出資するケースもあるが、他地域の市と共同出資したり民間企業が一部出資したりするケースもあり、ドイツ全体では900程度の「シュタッ

第4章 地域における再生可能エネルギー

トベルケ」が存在する。電力・ガス・交通・通信・水道・公共施設管理といった複数の事業を手掛ける大手のものから、水道事業だけを手掛ける小規模のものまで様々な事業形態が有る。

日本においてもドイツの「シュタットベルケ」と類似の組織は、自治体の大小を問わず必ず存在する。小さな自治体では上水道事業のみであり、大きな自治体になると地下鉄やバス等の交通機関や、太陽光発電や小水力発電を行い収入を得ている。決定的な違いは発電した電力の販売方法である。それについて日本とドイツを比較すると、日本では固定価格買取制度により地域を管轄する電力会社に売電をしている。しかしドイツでは電力の小売り自由化から、「シュタットベルケ」自らが電気事業者となっているところもある。

電力の小売り自由化が2016年と迫る中、ドイツの事例を参考に、地方自治体が主体となり、地域活性化の動きと、再生可能エネルギー普及を組合せ、地域の民間活力を誘導する取り組みが必要となる。

4.4 茅野市における再生可能エネルギー

4.4.1 茅野市での主な取り組み

茅野市では、玉川地籍の八ヶ岳中央農業実践大学校敷地内で、エネルギーパーク構想を整備中である。民間が運営するメガソーラー施設と、上水道管を利用した小水力発電、それらの再生可能エネルギーと、農業、観光を繋ぎ、集客スポットとして相乗効果を図るというものである。



図 4-7 茅野市エネルギーパーク構想

図 4-7 に示す（黄色）とおり、約 40,000 m²の敷地内に、約 2MW のソーラー発電施設を茅野市内の会社が整備し、また、美濃戸水源から流れる水の落差を利用し、上水道施設で小水力発電を行うものである。この上水道施設は、水源から配水池に至るまでの落差が大きく、途中 2 箇所です抜きのための接合井を設けており、この圧を利用して発電を行うというものである。茅野市都市建設部水道課では、数年以内の実用化に向けて、地元の水道用ポンプ製作企業と実験を行っている。

第4章 地域における再生可能エネルギー

茅野市エネルギーパーク構想は、現在まだ進行中であり、森林や食物残渣等のバイオマスを利用した再生可能エネルギーの調査も行っている。このような限られた地域内で循環するエネルギーシステムが構築できれば、他地域への波及も期待できるため、分散型エネルギー導入の第一歩として整備を行いたいと考える。

4.4.2 茅野市の再生可能エネルギー

先の図 4-4 のとおり長野県内の再生可能エネルギーは、小水力と太陽光がほとんどを占めている。茅野市での再生可能エネルギーも天候や地形により、同様の結果となっている。

現在、茅野市内で行われている、又は、計画中であるという太陽光発電は、農業委員会に農転の申請がされたミドルソーラーの合計 4.5MW(設備)²⁹⁾、郊外に設置されたメガソーラー¹⁰⁾が 2MW(設備)、その他茅野市が把握していない小規模設備を 1MW(設備)とすると、合計で 7.5MW(設備)になる。また、計画中の太陽光発電設備は、未確定の施設が多いが、茅野市で認識している施設は、約 7.5MW になる。

小水力発電は、三峰川電力が、滝之湯堰水系で、蓼科第 1 発電所(260kW)、蓼科第 2 発電所(141kW)の 2 箇所¹¹⁾を運用しており、合計 401kW が発電されている。また、中部電力が、米沢発電所(540kW)、福沢発電所(1,400kW)を運用している。小水力発電のポテンシャルは、筆者の修士論文¹²⁾の調査では、茅野市上水道管を利用した小水力発電で、合計 200kW が発電されると試算している。また、長野県農政部が平成 25 年度に、長野県内の農業用水を対象に小水力発電の可能性調査を行った。その結果をまとめた「農業用水路を利用した小水力発電の候補地一覧表」¹³⁾によると、茅野市

第4章 地域における再生可能エネルギー

内での候補地は 28 箇所、合計 8,285kW のポテンシャルがあると公表している。以上をまとめて、表 4-4 に茅野市内の再生可能エネルギーで稼働中（建設中含む）のものと、ポテンシャルを示す。

表 4-4 茅野市内で稼働中の再生可能エネルギーとポテンシャル

	稼働中（建設中）	ポテンシャル	合計
太陽光発電	7,500kW（設備）	7,500kW（設備）	15,000kW（設備）
小水力発電	2,341kW（設備）	10,826kW（設備）	13,167kW（設備）
合計	9,841kW（設備）	18,326kW（設備）	28,167kW（設備）

表 4-5 では、茅野市での太陽光発電の設備容量に対する割合である。これを求めるために、茅野市内の小中学校に設置されている太陽光発電設備のデータを収集した。

すなわち、宮川小学校、玉川小学校、茅野東部中学校に設置されている太陽光発電設備（20kW 設備）の、それぞれ月毎の実測値を平均し、3校の平均発電量（表 4-5 の①）を算出した。次に、設備規模は 3校共に 20kW（設備）であるため、月の日数（②）・時間（24h）を掛けると、設備月発電量（③）が求められる。その値と、実測した 3校平均発電量との比（④）が設備容量に対する実際の発電割合である。この割合の年間平均値は、14.05%である。

第4章 地域における再生可能エネルギー

表 4-5 茅野市内太陽光発電設備の実測値と割合

	上段	1月	2月	3月	4月	5月	6月	備考
	下段	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
平均 発電量	kWh	1,505	1,695	1,627	2,023	2,318	2,548	①
		2,332	2,641	2,623	2,088	1,918	1,322	
日数	日	31	31	28	31	30	31	②
		30	31	31	30	31	30	
設備月 発電量	kWh	14,880	14,880	13,440	14,880	14,400	14,880	③
		14,400	14,880	14,880	14,400	14,880	14,400	
割合	%	10.11	11.39	12.10	13.60	16.09	17.13	④
		16.19	17.75	17.63	14.50	12.89	9.18	

資料：茅野市教育委員会

4.4.2 茅野市内の再生可能エネルギーが占める割合

現在、茅野市内で稼働している再生可能エネルギー発電の合計は、表 4-4 のとおり、約 10MW（設備）であり、ポテンシャルを含めた合計は約 30MW（設備）になる。ここでは、これらの再生可能エネルギーが、茅野市の世帯電気使用量に占める割合を求める。

使用するデータは、総務省統計局から平成 23 年 7 月 29 日に出された、1 世帯当たりの電気使用量（kWh）の推移と、同時期の茅野市の世帯数¹⁴⁾を用いた。総務省のデータは、1 世帯当たりの電気使用量であるため、茅野市の世帯数を掛けることにより、茅野市の家庭での電気使用量が推定で

第4章 地域における再生可能エネルギー

きる。ただし、家庭以外の産業、つまり工場や店舗等を含めた全必要値とは異なる。また、太陽光発電の効率は、表 4-5 で求めた数値を使用する。小水力発電については、一般的な数値として 0.6 を用いた。その結果を、表 4-4 の値と合わせると、表 4-6 のとおりとなる。

表 4-6 月使用量とポテンシャル・現状

	上段	1月	2月	3月	4月	5月	6月
	下段	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均 使用量	kWh	547.8	559.8	523.2	499.4	452.6	374.3
		378.2	467.7	519.5	432.9	384.2	426.7
茅野市 世帯数	世帯	22,580	22,564	22,567	22,556	22,621	22,642
		22,653	22,678	22,682	21,687	21,720	21,726
月 使用量	GWh	12.37	12.63	11.81	11.27	10.24	8.48
		8.57	10.61	11.78	9.39	8.35	9.27
ポテン シャル	GWh	5.96	6.10	5.59	6.35	6.42	6.74
		6.43	6.81	6.80	6.24	6.4	5.67
現状	GWh	1.61	1.68	1.55	1.80	1.88	2.00
		1.89	2.04	2.03	1.79	1.76	1.51

4.4.3 茅野市における今後の展開

大手電力会社が固定価格買取制度による、再生可能エネルギーの引受けを制限又は拒否するといった状態が起こり、現在はルール改正により、回避されているものの、今後の動向は計り知れない。電力の小売り自由化を2016年に控え、また、エネルギー自治の観点から、地域自らがエネルギー

第4章 地域における再生可能エネルギー

需給をマネジメント、コントロールして行く仕組みを構築することにより、再生可能エネルギーの割合を向上させる事が出来る。

図4-8に示すとおり、茅野市内における再生可能エネルギーは伸びる余地は大きい。家庭での電気使用量が1年の中で最も少ない6月は、ポテンシャルと現状を併せると、100%を超えている。このことは、災害が起こり大手電力会社の発電所が停止した場合でも、茅野市地域では電気の供給が出来ることを意味しており、災害に強い街づくりといった観点からは重要なことである。ただし、太陽光発電は昼間しか発電出来ないので、蓄電の技術を強化し備えておかなければならない。

再生可能エネルギーの普及は、防災機能の強化や、また、普及に伴う雇用の増加等、地域活性化にも繋がる茅野市の課題である。

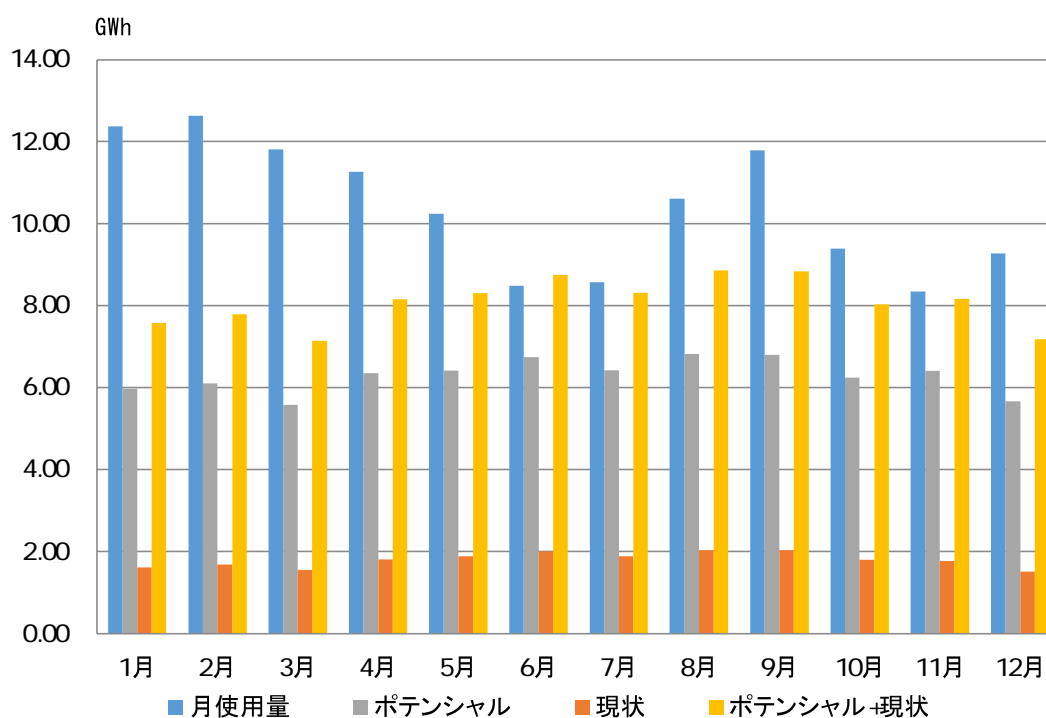


図4-8 茅野市の家庭における月別電気使用量と再生可能エネルギー発電量の関係

【第4章 参考文献】

- 1) 松井英章：電力自由化と地域エネルギー事業—ドイツの先行事例に学ぶ—
— J R I レビュー 2013 Vol.9, No.10
- 2) 相川高信：エネルギー自治の必要性と現状、そして将来への課題 季刊
政策・経営研究
- 3) Arbeitsgruppe Energiebilanzen e.V. (AG Energiebilanzen e.V. =
AGEB) エネルギーバランス作業グループ
<http://www.de-info.net/kiso/atomdata01.html>
- 4) Erneuerbare-Energien-Gesetz=EEG：再生可能エネルギー法
<http://www.de-info.net/kiso/eeg.html>
- 5) BDEW 2014: „BDEW-Strompreisanalyse Juni 2014“, s.8 ドイツ全国エ
ネルギー・水利経済連盟
- 6) 中部電力 HP：中部電力料金単価表（2014年（平成26年）5月1日から）
- 7) 経済産業省資源エネルギー庁 HP：「再エネ賦課金とは」
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/surcharge.html
- 8) Feed-in tariffs in Germany
http://en.wikipedia.org/wiki/Feed-in_tariffs_in_Germany
- 9) 総務省 HP：地域の元気創造プラットフォーム公式サイト
<http://www.chiikinogennki.soumu.go.jp/>
- 10) 株式会社地域イニシアティブ：長野日報記事（2012-12-8）
<http://www.nagano-np.co.jp/modules/news/article.php?storyid=27012>

第4章 地域における再生可能エネルギー

11) 三峰川電力株式会社 HP: <http://www.mibuden.com/>

12) 鷹野鉄也：修士論文「茅野市における再生可能エネルギー」

13) 長野県 HP：長野県内の農業用水を利用した小水力発電

<http://www.pref.nagano.lg.jp/nochi/kurashi/ondanka/shizen/hatsuden/index.html>

14) 茅野市 HP 行政区別人口と世帯数

<http://www.city.chino.lg.jp/www/contents/1000000300000/index.html>

第4章 地域における再生可能エネルギー

第5章

総括

5.1 茅野市での再生可能エネルギー

茅野市での再生可能エネルギーは、第1章で述べたとおり太陽光と小水力が有効である。しかし、今回の調査によって両者の対照的な側面が見えてきた。いずれの再生可能エネルギーも条件的には、茅野市に適するものであるが、普及の過程は全く異なるといえる。

5.1.1 小水力発電事業

小水力発電に関しては歴史が有り、茅野市内でも昭和の初期から行われていた。急峻な地形を生かしたものであり、また、送電線網の発達していない時代には、地域分散型のエネルギーとして利用されていた。しかし中部電力の送電線網の発達と、施設の老朽化により廃止された施設が数箇所有る。小水力発電は、現在、固定価格買取制度で比較的高い価格が設定さ

第5章 総括

れているにも係らず、普及が遅れている背景は、次の二つの理由が考えられる。一つ目は水利権の問題である。河川法では、河川区域内に構造物を作ることは認めておらず、河川の断面積を同等にすれば認められるケースも有るが、設備の設置以上のコストが掛かり現実的ではない。したがって、河川から取水をした農業用水で小水力発電を行うことが有利であると考えられるが、そこに普及を妨げるもう一つの理由が存在する。

農業用水については、茅野市内を流れる主なものは、江戸時代に坂本養川¹⁾によって造られた大河原堰と滝之湯堰の二本が有る。この内、滝之湯堰は、茅野市長が管理する普通河川小斉川から取水しているので、法手続きが比較的簡単であり、民間の電力会社が滝之湯堰を管理する土地改良区に、水使用料を支払い、計401kW(設備)の小水力発電を行っている。一方の大河原堰は一級河川から取水しているので、国土交通大臣の許可が必要である。年間を通した流量調査等を行う等、規制が緩和の方向に向かっているが未だにハードルは高い。また、農林水産省では土地改良区に対し、土地改良区が自ら小水力発電事業を行い、土地改良区運営の健全化を図るための方策を練ってはいるが、茅野市内の土地改良区では実現に至っていない。

茅野市は水が豊富なため、小水力発電のポテンシャルは高い。鳥獣防護電気柵への利用や、非常用電源への利用、また、山小屋等の送電線が行き届かない僻地では、生活用電源として活用するなど用途は広い。今回の実験では、比較的高い効率で、容易に設置し活用出来ることを示したので、今後は実用化に向けて、普及促進を行っていかねばならない。

5.1.2 太陽光発電事業

第3章で述べたとおり、太陽光発電事業は、法手続きが比較的簡単であること、固定価格買取制度の買取価格が高く設定されたこと、国として再生可能エネルギーの普及が喫緊の課題であったため、建築基準法の建築物から除外する等の規制緩和が行われたこと等から普及が進んだ。個人で行うものや、企業が行うもの、また、財産区が行うもの等、事業形態は様々なものがある。急速な普及に伴う問題の発生は先出のとおりである。

平成24年度の固定価格買取制度開始以来、3年間はプレミアム価格といわれ、経済産業省の価格算定委員会では、IRRは6%を標準とするとされていたが、この値は1%~2%の上乗せをしているとされている。今回の調査では、システム価格を予測し、買い取り価格が低下したときに、IRRで事業性を算出した。平成27年度にIRRを4%として計算した場合、システム価格の低下を考慮すると、24円/kWhが妥当と思われる。第4章で調査した、ドイツの太陽光発電買取価格の推移に照らし合わせると、現在の水準は円で約13円/kWhである。日本でのシステム価格が22万円程度まで下がれば、買取価格がドイツの現在の水準と同程度まで下がっても、IRRはプラスであり、事業性は見込める。事業者への聞き取り調査によると、システム価格の最安値は20万円台前半まで下がってきており、個人で行うミドルソーラー事業は、今後も普及が予想される。

他方、普及が進むにつれて、電力会社の送電線への受け入れ問題が浮上してきた。平成26年9月に九州電力²⁾から、買取の新規契約を中断すると発表された。太陽光発電の効率が高まる初夏の晴れ間など、瞬間的に消費量を上回る電力が、送電網に流れ込み、需給バランスの崩壊が周波数の乱れを招き、それが発電所の発電機に負荷を与え、連続的な大規模停電を

第5章 総括

引き起こすと考えられることが理由とされる。

その後、平成27年1月に経済産業省から発表された資料³⁾により、受付を再開することとなった。主な改正点は、500kW以上の太陽光等に年間30日を上限とした出力制限を行えるもの、いわゆる「30日ルール」について、中部電力・東京電力・関西電力を除く電力会社では、規模制限を撤廃し小規模の設備まで広げる。また、日数単位で行っていた出力制限を、時間単位（太陽光360時間/年、風力720時間/年）に改めるというものである。「30日ルール」とは、年間の8%（「8%ルール」とも呼ばれる。）は、電力会社が無償で受け入れを制限出来る割合で、それを超える場合は、事業者に補償をしなくてはならないというものである。それに対し、新制度は、360時間/年を日数に直すと15日間/年となり、緩和された感があるが、日単位でなく、時間単位に変更されたところが、今回の大きな改正点である。つまり、太陽光発電の設備利用率は12%であり、設備利用時間は1,051時間/年になる。この時間に対して360時間/年制御出来るということは、割合に直すと34%になる。「30日ルール」が「360時間ルール」となったことにより、制御される割合は8%から34%と4倍以上になり、事業を行うに当たっての資金計画等では、このリスクも考える必要が生じてきた。

茅野市を管轄する中部電力では、新規契約を中断するといった報道はなく、また、事業者への聞き取り調査においても、「30日ルール」による制限は、平成24年の固定価格買取制度開始以来行われたことは無いという。しかし、現在のスピードで今後も再生可能エネルギーの普及が進めば、茅野市内においても制限される可能性が有る。太陽光発電は、文字通り昼間の間しか発電が出来ないため、今後は、国や大手電機メーカー等が大規模

第5章 総括

で安価な蓄電池システムを整備し、発電量を制限することが無いような対策を取ることが必要である。

5.1.3 両者の比較

小水力発電の普及のスピードが遅いのは、法的なハードルや事業者の意識もあるが、理由は他の所に有ると思われる。小水力発電によって得られる固定価格買取制度の買取価格は、決して低いものではなく、また、日中や晴れの時にしか発電できない太陽光発電に比べると、24時間発電可能であるので、効率は数倍になり初期投資の回収は早くなる。小水力発電の条件が太陽光発電の条件に比べ劣っていたわけではなく、後者の方がより簡単に事業を行うことが出来るという結果である。

太陽光発電事業は、民間主導による再生可能エネルギー普及といった観点からは、成功しているといえる。しかし太陽光発電は、普及のスピードが速すぎて、様々な問題を抱えている。メガソーラーは郊外の広大な土地において事業が行われ、人家に影響の出ることは少ない。他方、ミドルソーラーは、住宅地や観光地の近く等、人との接点で行われることが多い。そのため、現状では反対運動が起こっている地域もある。

太陽光発電を規制する法律や条例は無いため、住民と事業者の、いわゆる民民の問題になる。茅野市生活環境条例では、3,000 m²以上の土地の区画形質の変更を伴う開発については許可制度となっており、行政が雨水処理や景観について行政指導できることになっている。しかし現在問題となっているミドルソーラーについては、これほどの広い土地は必要としないため、近隣住民に説明もなく設置されるケースが多かった。景観や住環境に対する保全是行政の役割であり、適度な規制と緩和という制度をコント

第5章 総括

ロールしながら、再生可能エネルギーの普及に寄与することと考える。

5.2 再生可能エネルギーの設置に関するガイドライン

茅野市では、平成26年9月に「茅野市再生可能エネルギー発電設備の設置等に係るガイドライン」⁴⁾（以下「ガイドライン」という。）を制定し、茅野市内における再生可能エネルギーのルール作りを行っている。

茅野市では平成24年に、長野県内でもいち早く「自然エネルギー推進室」を設置し、再生可能エネルギーの普及に力を入れてきた。しかし普及が進むにつれ、市民から生活環境や自然環境に与える影響を心配する声が上がるとともに、幾つかの課題も見えてきた。特に太陽光発電については、工場の屋根にソーラーパネルを載せるもの、空き地を利用するもの、農地を転用して行うもの、更には山林を切り開いて行う比較的規模の大きなもの等がある。再生可能エネルギーによる発電事業を行う場合、市民生活や身近な自然、景観への影響を慎重に測る必要がある。茅野市役所庁内で協議をした結果、茅野市内で行う再生可能エネルギーの開発は、自然環境の保護や生活環境の保全が前提であり、これらの環境を壊してまで行うものではないとの結論に達したため、ガイドラインの運用を開始した。

ガイドラインの内容は、茅野市自然エネルギー推進室への計画書の届出、近隣住民への説明会の議事録等の提出を求めるものである。特に太陽光発電事業を行うに当たっては、農地の農地転用手続きでも、隣接土地の所有者のみに説明をすれば良く、農地でなければ近隣住民が設置を知る術は全くなかった。近隣住民に知らされことなく設置工事が行われ、不安を感じる住民から市役所へ苦情が寄せられた。そういった住民トラブルを避けるために、ガイドラインを制定したが、設置を規制できるものではなく、住民、事業者の双方が納得いくような結論は得られていない。

5.3 再生可能エネルギーの方向性と課題

現代の我々の生活から電気エネルギーを失くすことは考えられないため、自然や人々の暮らしの中に適合したエネルギーを導入、又は開発し、今後とも安全安心な生活を護って行かなければならない。しかし、エネルギー問題は短時間で解決できるものではない。昨今、様々な問題が浮上してきたが、特に再生可能エネルギーに関する分野は、技術革新、心理的要素、国の施策、人口減少や少子高齢化等の社会的要因を含めた上で、今後とも幅広い見地から議論をおこない、将来を見通した法整備を行わなければならない。その結果、エネルギー問題は、様々な要因が関係しながら少しずつ前進していくものだと思われる。他方、現状における再生可能エネルギーの導入は、企業・個人の経済活動として展開されるものでもあるため、その規制を行う場合は慎重におこなわなければならない。

国では、エネルギーミックスによる電源の割合の議論が平成27年1月から開始された。原子力発電が停止し、火力発電の割合が増加する中、適正な割合の目標を設定して行くべきであること、また、再生可能エネルギーは、電源の一翼を担うものでなくてはならない。また、一方では、地域創生の一環として、再生可能エネルギーの普及と共に、市内各地に点在する再生可能エネルギー設備を、災害時に使用することができ、雇用の促進にもつながる、分散型エネルギーインフラ⁵⁾とする構想が浮上している。

第4章で述べたとおり、ドイツでは「シュタットベルケ」という市内のインフラ整備・運営を行う公的な事業体が存在する。2016年から始まる電気の小売り自由化や、2020年代に行われる予定の発送電分離により、電気事業へは民間を含め様々な事業体が参画してくると考えられる。市民

第5章 総括

の生活に直結する、インフラ整備に関することは、行政がイニシアティブをとって進めていかなければならない。

また、地球温暖化対策や、東日本大震災による福島第一原発事故以来、我が国では再生可能エネルギーの導入を策励してきた。昨今の普及状態を見ると、平成24年7月の固定価格買取制度導入以来、一定の成果は出ているといえる。このような中で、エネルギー問題は、自治体が広い観点から取り組むべき、重要な課題である。再生可能エネルギーは、推進と規制をバランスよく制御しながら、地域産業を発展させ、かつ地域と地球の環境を護る取り組みを発展させていかなければならない。私は、今後とも自治体職員の立場として、この問題に係っていきたいと考える。

【第5章 参考文献】

- 1) 茅野市 HP：坂本養川について

http://www.city.chino.lg.jp/www/contents/1000001513000/index_k.html

- 2) 九州電力 HP：九州本土の再生可能エネルギー発電設備に対する接続申込みの回答保留について

http://www.kyuden.co.jp/press_h140924-1.html

- 3) 経済産業省資源エネルギー庁 HP：電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法施行規則の一部を改正する省令案と関連告示案に関するパブリックコメントで頂いた御指摘等を踏まえた対応について

http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/150122_press.pdf#search=%E7%B5%8C%E7%94%A3%E7%9C%81+1%E6%9C%8822%E6%97%A5

- 4) 茅野市 HP：再生可能エネルギー発電設備の設置等に係るガイドラインについて（改正版）

<http://www.city.chino.lg.jp/www/contents/1419380329094/index.html>

- 5) 総務省 HP：分散型エネルギーインフラプロジェクトについて

http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy2/dail/siryou2.pdf#search=%E5%88%86%E6%95%A3%E5%9E%8B%E3%82%A8%E3%83%8D%E3%83%AB%E3%82%AE%E3%83%BC%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%83%95%E3%83%A9

謝辞

本学位論文は、筆者が平成 24 年 4 月から平成 27 年 3 月までの諏訪東京理科大学大学院工学・マネジメント研究科工学・マネジメント専攻博士後期課程に在学中に行った研究をまとめたものです。主指導教員である諏訪東京理科大学々長河村洋先生には、平成 21 年 4 月から平成 22 年 3 月までの同大学院修士課程から数え、5 年の長きに亘り一貫してご指導をいただきました。先生には、仕事の面でも貴重なご意見、アドバイスをいただき、公私共に大変お世話になりました。社会人大学院生であったため、仕事との時間調整が難しく、職務後の指導や、土日を利用しての指導等、昼夜を問わずご指導をいただきました。先生の厳しくも温かみのあるご指導が無ければ、到底この場までたどり着けることは有りませんでした。心より感謝を申し上げますと同時に、歴代河村研究室の末席に加えさせていただくことを誇りに思います。ありがとうございました。

本論文をまとめるにあたっては、諏訪東京理科大学工学部コンピュータメディア工学科奈良松範教授に副指導教員、同大学経営情報学部経営情報学科平尾毅准教授に指導教員となっただき、新しい視点からの大変貴重なご指導、ご意見をいただきました。謹んで感謝いたします。

論文審査においては、同大学工学部機械工学科須川修身教授、同大学工学部コンピュータメディア工学科松江英明教授、同大学工学部電気電子工

謝辞

学科大島政英教授に、論文審査員として貴重なご意見、ご指導をいただきました。深く感謝の意を表します。また、外部論文審査員の東京理科大学理工学部機械工学科川口靖夫教授には、遠いところ審査会のため茅野市までお出で頂き、また、私が野田校舎へ伺った際には熱心にご指導をいただきました。ありがとうございました。

有限会社スワニーの菊池長史氏には、小水力発電の実験を行う際に共同研究者として参加していただき、3Dプリンターによるランナやノズルの製作や、データの提供をいただきました。ありがとうございました。

最後に、私が諏訪東京理科大学大学院へ行くきっかけを作っていただいた、茅野市長柳平千代一氏、調査研究にあたり様々なデータを提供してくれた農業委員会、税務課、教育委員会、商工課の職員の皆様方、それから、常に快く協力をいただいた職場の仲間に関心より感謝申し上げます。

発表業務一覧

【論文】

(1) Tetsuya TAKANO, Hiroshi KAWAMURA,

「Introduction of Renewable Energy into City-Chino in Nagano.」

The Asian Conference on Sustainability, Energy and the
Environment 2013

Official Conference Proceedings Asian Conference on ascee2013,
pp. 566-573, (2013)IAFOR (The International Academic Forum),

ISSN: 2186-2311 (査読あり)

(2) 鷹野 鉄也

「茅野市におけるミドルソーラー普及の調査研究」

(特非) 環境経営学会 平成 25 年度秋季研究報告大会

アブストラクトによる審査

(3) 鷹野 鉄也, 河村 洋, 菊池 長史

「超小型衝動水車発電機の試験と 3D プリンターによる試作部品の特性」

(一社) 資源エネルギー学会

発表業務一覧

資源・エネルギー学会論文集（査読あり）

（2014年6月17日受付、2015年3月11日掲載可）

(4) 鷹野 鉄也、河村 洋

「茅野市におけるミドルソーラーの普及とその経済性に関する調査研究」

（特非）環境経営学会 平成26年度秋季研究報告大会

アブストラクトによる審査

【口頭発表】

(1) Tetsuya TAKANO, Hiroshi KAWAMURA,

「Introduction of Renewable Energy into City-Chino in Nagano.」
ascee2013 (The Asian Conference on Sustainability, Energy and the Environment 2013) (2013年6月, Osaka) Organized by IAFOR (The International Academic Forum)

アブストラクトによる審査 英語による口頭発表（鷹野）

(2) 鷹野 鉄也

「茅野市におけるミドルソーラー普及の調査研究」

（2013年11月神戸）（特非）環境経営学会平成25年度秋季研究報告大会

アブストラクトによる審査

発表業務一覧

(3) Tetsuya TAKANO, Hiroshi KAWAMURA,

「An investigation on economic feasibility of middle scale solar power generation as private business in a rural city Chino.」
ascee2014 (The Asian Conference on Sustainability, Energy and the Environment 2014) (2014年6月, Osaka)

アブストラクトによる審査 英語による口頭発表 (鷹野)

(4) 鷹野 鉄也

「茅野市におけるミドルソーラーの経済性から見る調査研究」
(2014年5月東京) (特非) 環境経営学会 2014年度研究報告大会

アブストラクトによる審査 ※発表論文の最優秀賞を受賞