ISSN 1346-9029

研究レポート

No.409 October 2013

木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題

―FIT を中心とした日独比較分析―

上席主任研究員 梶山 恵司

富士通総研(FRI) 経済研究所

木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題

ーFIT を中心とした日独比較分析ー

上席主任研究員
梶山恵司
kajiyama.his-01@jp.fujitsu.com

〈要旨〉

- 戦後植林した木が成熟し、日本は世界でも有数の森林蓄積を有するまでになった。化石燃料の高騰や気候変動問題などから、木質バイオマス利用の優位性が高く、バイオマスは地域にとってまたとないビジネスチャンスを提供している。
- バイオマス利用で先行するドイツをみると、2000 年の FIT 導入を契機に、電力・熱利用ともに大幅に拡大するとともに、化石燃料を木質バイオマスに代替したことによって、地域資金の循環が生まれ、農山村に新しい富をもたらしている。
- 日本でも 2012 年に FIT が導入されて以降、多くのバイオマス発電計画がでてきている。しかしながら、そのほとんどは、①林業の現状からかけ離れた大型であること、②熱電併給ではなく発電のみで、エネルギーの無駄遣いとなること、③副産物利用が不十分でバイオマス燃料に適正価格をつけにくいことなど、多くの問題をかかえている。
- これは、現在の FIT 制度、バイオマス発電の技術および規制に起因するところが大きい。このままでは、せっかくのバイオマス利用も、林業資本（森林所有者、森林組合、林業会社など）や木材産業にとってほとんどメリットを感じられないばかりか、発電事業者にとっても、将来の燃料価格上昇のリスクに無防備となり、経営的に不安定になりかねない。
- 次回の FIT 改正においては、バイオマス発電の規模の適正化、熱電併給の推進、残材利用の徹底をはかる制度とすること、および中小規模の発電をやり易くするような規制改革が不可欠である。これはまた、バイオマス発電のイノベーションを促し、健全な市場を構築するための前提でもある。
- バイオマスという新しいチャンスを活かすためには、林業資本が自らチップ生産・多様な販売先の確保を行うことが重要である。これによってはじめて、森林資源の最適利用と林業資本の価格交渉力発揮が可能となる。

キーワード：再生可能エネルギー、固定価格買取制度（FIT）、木質バイオマス、森林、林業

目次

1. はじめに　巨大なビジネスチャンスをどう活かすか 1

2. 日本のバイオマス発電の課題 2
2-1　林業の現状とかけはなれた大型発電 2
2-2　発電だけでは膨大なエネルギーロス 4
2-3　発電と熱とで燃料価格が一物二価となる問題 5
2-4　不十分な残材利用 6

3. バイオマス利用の最適化 8
3-1　残材のカスケード利用の徹底 8
3-2　資源の最適利用を促す制度 9
3-3　林業資本がチップ生産を行う必要性 10

4.ドイツの木質バイオマス発電市場の発展と評価 12
4-1　農山村に新しい富をもたらしたバイオマス利用 12
4-2　FIT による政策誘導の実際 13
4-3　バイオマス発電を支える技術とエンジニアリング 15

5. バイオマス発電の経営分析 18
5-1　経営の安定に不可欠のカスケード利用 18
5-2　熱電併給の事業性と熱利用の実際 20
5-3　バイオマス発電の経営主体 22

6. おわりに　バイオマスの健全な発展に向けて 24

木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題
－FIT を中心とした日独比較分析－

1. はじめに　巨大なビジネスチャンスをどう活かすか

戦後の大規模な植林が始まって 50 年を超えるようになり、日本の森林蓄積は 60 億㎥と、世界でも有数の森林資源国に成長した。戦中戦後に日本は木を伐りつくし、その後、長きにわたって木を育てる一方の時代が続いたが、これからはようやく本格的な資源利用段階を迎える。現状では、手入れ不足の森林が多いことから、木材生産においては、細い木やまがった木など低質材のでる比率が相対的に高く、その有効利用のためには木質バイオマス（以下、バイオマス）利用拡大が不可欠である。

森林は日本中どこにでも存在する資源で賦存量も膨大なことから、そのビジネスチャンスは無限ともいえる。バイオマスは、熱としても電気としても利用できること、熱は地域で供給・利用する典型的な地産地消型のエネルギー利用であることから、林業再生と地域経済活性化への貢献度が特に高い。

こうしたバイオマス利用を後押しするのが、2012 年 7 月にスタートした、再生可能エネルギー電力をあらかじめ決められた価格で電力会社に買い取ることを義務付ける固定価格買取制度（FIT）である。すでに数十件もの FIT 認定申請がだされるなど、バイオマス発電拡大の動きが活発化している。

もっとも、日本においてバイオマス発電は経験が浅く、①大量の燃料を必要とする 5,000kW 以上の大規模発電計画がほとんどであり、森林資源に過剰な負担を与えかねないこと、②発電の際に出る熱も利用する熱電併給（コージェネ）が考えられておらず、膨大なエネルギー損失が発生すること、③林地残材や工場残材などバイオマスの副産物利用（写真 1）が不十分で、

写真１　木材生産、木材加工の過程で大量に発生する残材
バイオマス利用によってゴミが宝になる

木材生産現場で必ず発生する林地残材

木材産業が消費する丸太の半分は残材になる

森林資源の付加価値の最大化には程遠いことなど、多くの課題に直面している。このままではバイオマスエネルギー利用は持続可能とはならず、バイオマス利用が本来もたらすはずのメリットを、林業・木材産業や地域は十分に引き出すことができない。

バイオマス利用を考えるうえで参考になるのが、ドイツである。ドイツでは、2000 年の FIT 導入時に 9 億 kWh にすぎなかったバイオマス発電量が 2012 年には 125 億 kWh へと大幅に増加するとともに、熱利用についても 2000 年の 500 億 kWh から 2012 年には 1,075 億 kWh へと拡大し、農山村に新たな富をもたらしている。

ドイツのバイオマス発電は当初から順調に発展したわけではなく、FIT がスタートしてしばらくは大型発電プラント中心で発電のみとなるなど、今の日本と似た状況にあった。こうしたことから、市場動向をみながら段階的かつ戦略的に制度改正を行い、規模の適正化や熱電併給、燃料の最適利用へと誘導していった。このようなドイツのバイオマスの展開は、日本のバイオマス利用の目指すべき方向にも近く、その経験は日本にとっても参考になる点が多い。

そこで本稿では、日本のバイオマス発電をめぐる現状と課題を、FIT 導入以降のドイツと比較分析したうえで、日本のバイオマス発電市場発展のための提言を行う。

2. 日本のバイオマス発電の課題

2-1　林業の現状とかけはなれた大型発電

日本で稼働中のもの、ないしは計画されているバイオマス発電の多くは 5,000kW 以上の大型であり、なかには 25,000kW と木質バイオマス発電としては巨大ともいえる発電もある。このように大型に偏るのは、発電効率を追求してのことだ。

木質バイオマス発電は基本的に、バイオマス燃料を燃やして蒸気を発生させタービンを回して発電する火力発電であることは他の化石火力と何ら変わらず、大型になるほど発電効率は上がる。したがって、発電事業者にとっては、おのずと大型化したいとの誘因が働く。ドイツのように規模が大きくなるほど FIT の買取価格が下がるうえ、買取の対象となる設備容量が 20,000kW までと上限が設けられていれば、大型化にも一定の歯止めをかけることができるだろう。ところが日本の場合、FIT の買取価格が規模にかかわりなく一律とされたことから、むしろ規模拡大を後押しする結果となっている。

しかしながら、バイオマス発電は大型化すればするほど、森林資源に負担がかかるとともに、事業リスクが高まる。というのは、それだけ大量の燃料が必要となるからだ。たとえば、FIT 認定第一号となった発電所は設備容量 5,700kW だが、そこで必要とされる燃料は 6 万トンとされている（その前提となる水分が明らかにされていないものの、発電設備容量と消費燃料量から計算すると、水分は 35～40％と推定される）。

その燃料として想定されているのは、間伐されても搬出されずに林地に放置されている「未利用材」であり、丸太換算で 8～10 万㎥に相当する量である。もっとも、間伐においては、製

材用材や合板用材など付加価値の高い丸太生産が本来の目的であり、製材や合板にならない部分を燃料用に使うことになる。このため、仮にバイオマス燃料を林地から収集しようとすれば、少なくともその 3 倍近い木材生産が前提となる。6 万トンのバイオマス燃料を収集するために必要となる木材生産量は、最低でも 20 万㎥になる計算である。

地形にもよるが、バイオマス燃料は一般に半径 30～50 キロ圏内から集荷しないと、大幅なコスト増となってしまう。日本の森林は戦後にかけてほとんど伐りつくされてしまい、その後植林したものの、ながらく木を育てる一方の状態が続いてきた。ここにきて森林資源が成熟し、公式統計で 44 億㎥、実質的には 60 億㎥もの蓄積を有する世界有数の森林へと成長しており、マクロ的にみれば資源は十分に存在している。それでも林業を担う人材育成や路網整備、その前提としての森林情報の整備・小規模所有者のとりまとめなど、現代林業の基盤づくりはようやく本格化した段階である。このような林業の現状からして、大量の燃料を集めようとしても、それに対応できる地域がどれだけ存在するだろうか。

発電所が提示する価格も問題である。発電計画の多くは、チップ燃料の調達価格を 7,800 円/トン（水分 35%換算、50%で 6,000 円）と設定している。これを丸太換算すると、おおむね 6,000 円/㎥になるが、これはチップでの価格なので、チップ化にかかる経費を差し引くと、丸太の段階での価格は実質 5,000 円/㎥程度となろう。現状、製材や合板用材の丸太価格が 1 万円/㎥でも容易に丸太が出てこない中、バイオマスだからといってその半値で燃料用に大量に丸太が出てくると考えるのは、相当に楽観的といわざるをえない。

仮に所期に想定した燃料が調達できなければ、発電事業は行き詰まる。発電の事業計画の多くは 8,000 時間前後の稼働時間を想定しているようだが、燃料調達が滞れば、稼働時間はこれを下回ることになり、採算性はとたんに悪化する。10 年前に施行された RPS[1]法により廃棄物系のバイオマス発電所が建設されたものの、燃料を十分に集めることができず、操業停止に追い込まれたケースがでたが、その二の舞になりかねない。

【解説】バイオマスの水分と価格の関係

- 水分 50%とは、重量を 100%として、そこにふくまれる水分が 50%のこと（＝実質的に燃料となる部分は 50%）。
- 水分 50%でチップ 1 トンが、おおむね生木状態の丸太 1 ㎥に相当。
- ドイツでのチップ価格の指標は、水分 35%を用いる。
- 本稿では、指標とする水分を、必要に応じて 35%と 50%と使い分けている。

水分と価格の関係

水分	0%（絶乾）	35%	50%
チップ価格 円/ﾄﾝ	10,000	6,500	5,000
	12,000	7,800	6,000
	14,000	9,100	7,000
	15,400	10,000	7,700
	16,000	10,400	8,000
	18,000	11,700	9,000
	18,500	12,000	9,200
	20,000	13,000	10,000

（注）丸太からチップを作る場合、丸太価格は、チップ化する経費を差し引く必要がある。たとえば、6000円の場合、チップ経費が1000円かかるとすると、丸太価格は5000円になる（チップ工場着価格）。

[1]新エネルギー等から発電される電気を、電力会社に一定量以上利用することを義務付ける法律。

2-2　発電だけでは膨大なエネルギーロス

バイオマス発電の場合、大型といっても、化石火力に比べれば規模は絶対的に小さい。このため、大型化しても、発電効率は 20%台にしかならない。つまり、バイオマス発電においては、投入するエネルギーの 8 割近くは排熱として捨てられることになる。

世界的にみれば、エネルギーの効率利用、CO2 削減、エネルギーコスト削減の観点から、発電の際の排熱による損失（発電ロス）をいかに減らすか、ないしは有効利用するかで、産業界はしのぎを削っている。日本においても、発電ロスだけで（エネルギー全体の投入量である）一次エネルギーの 3 割前後にも達するほどである（図表 1）。このため、発電効率をいかに上げるかは、日本でもエネルギー政策上の最優先課題とすべきものであるはずだ。バイオマスだからといって、膨大な発電ロスを発生させていいということにはならない。

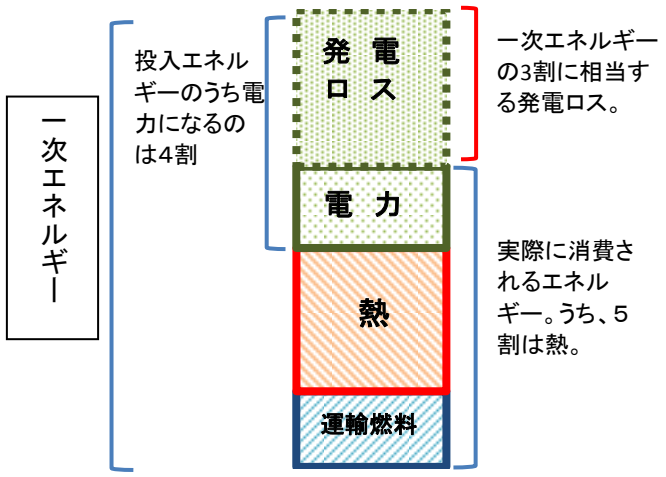
そして、発電ロス削減の有効手段が、排熱を利用する熱電併給（コージェネ）である。熱電併給にすれば、エネルギー効率を最大 80%以上にまで高めることができる。他方でグリッドにつなげばどこでも使える電力と異なり、熱電併給プラントは、熱需要の近くに立地する必要がある。また、発電における排熱は膨大なことから、大型の設備になればなるほど、それに見合った熱需要を見つけることは困難となる。このため、熱電併給は必然的に小規模分散型になる。つまり、再生可能エネルギーと熱電併給はともに小規模分散型で、相性も良い。バイオマス発電こそ、率先して熱電併給に取り組むべき再生可能エネルギーだといえる。

もっとも、熱電併給というと、必ずいわれるのが熱需要を見つけるのが困難ということだ。発電規模が数千 kW ともなると、排熱は相当な規模になる。しかも、バイオマス発電の立地は都市部から離れる場合が多く、余計に熱需要を見つけるのが難しくなる。日本は熱電併給を進めるドイツなど欧州と異なり、温暖なので熱電併給の条件が異なるというものである。

確かに、熱電併給においては排熱もかなりの量になるが、熱電併給は、熱需要の大きさから逆算してプラントの規模を決めるのが筋であり、発電規模ありきから熱需要を探そうとするのは本末転倒である。熱電併給のプラントを建設するのであれば、木材産業など熱を大量に使う工場や、病院などの公共施設が近隣にあるなどの立地を探すか、新たな熱需要を開拓するなどの工夫がいる。

それではバイオマス発電などできないとの反論もでてくるかもしれないが、言葉を換えれば、そこまでしてバイオマス発電をやる意義が果たしてどこまであるかという、そもそも論を考える必要がある。というのは、バイオマス利用は発電に限らず、直接、熱としての利用もあるからだ。

図表1　電力、熱、運輸燃料別エネルギー利用構成

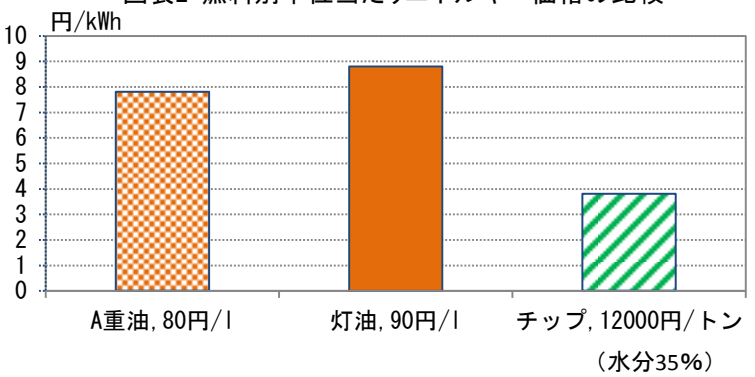


（出所）資源エネルギー庁エネルギーバランス表より富士通総研作成

バイオマスは燃やして使うものであり、熱利用はバイオマスの基本中の基本である。熱としてそのまま利用すれば、エネルギー効率は 9 割以上にまで高めることができる。

2-3　発電と熱とで燃料価格が一物二価となる問題

熱利用はまた、バイオマスの利用者・供給者双方にとって大きなメリットをもたらす。熱の利用者は地元であること、この場合のチップ価格は発電用よりも大幅に高いこと、他方でそれでも化石燃料に比べれば相当に割安であるためである。



図表2 燃料別単位当たりエネルギー価格の比較

（注）燃料当たりの熱量は、A重油10.86kWh/l、灯油10.19 kWh/l、チップ3.24kWh/kgとして計算。
（出所）富士通総研作成。

実際、温泉や公共施設などでバイオマス熱利用をする場合のチップ価格の相場は、12,000 円（水分 35%）と、同じ質のチップでありながら、発電用のチップ価格 7,800 円（水分 50%で 6,000 円）より 5 割以上も高い（ともに需要者着価格）。熱は相対的に小口利用であり発電は大口利用なので、輸送コスト等を考慮に入れて調整すると、熱需要者に対する 12,000 円のチップ価格は、発電用でおよそ 11,000 円になるため価格差は縮まるが、それでも極端な一物二価の世界となっている。

発電用の 7,800 円というチップ価格は、国際的にみてもかなり低い価格を余儀なくされている製紙用チップ価格とほとんど同じであり、林業資本にとってバイオマス発電のメリットはほとんどない。

他方で、熱利用のチップが 12,000 円なのは、チップ供給者にとって、少なくともその水準でないと採算が合わないためである。これ以下でチップ供給してくれるところはないということだ。それにもかかわらず同じ燃料でありながら発電用が 7,800 円となるのは、発電だけではエネルギー効率が悪く、発電事業者は、その分チップを安く調達しようとするためである。

この価格では、燃料を集めるのは容易でないことはすでに指摘のとおりだが、燃料用チップ市場ができあがり、広く情報が行きとどくようになれば、発電用にわざわざ安く売る必要もなくなるので、このような一物二価は解消されていくだろう。

熱利用の場合、たとえチップ価格が 12,000 円としても、化石燃料を使うよりもコスト的にはずっと安く済む。たとえば、重油価格 80 円/㍑として単位熱量換算して比較すると、木質チップは重油の半分以下である（図表 2）。熱のユーザーは地元であり、化石燃料の高騰に悩まされていることから、木質バイオマスの熱利用は、燃料の供給者・需要者ともにメリットの大きい利用方法である。つまり、チップ価格 12,000 円は十分に妥当性があるということだ。ドイツでもこれに相当するチップ価格は 90 ユーロ（≒12,000 円）である。

2-4　不十分な残材利用

これまで分析してきたチップは、製紙用チップと同等の高品質であるホワイトチップのことである（写真 2-1）。これは、製材や合板、集成材にならない丸太から作られる（写真 2-2）。ホワイトチップは形状も均一なうえ、燃やしても灰は重量比 1%以下に過ぎないので、取り扱いが容易なのが特徴である。このため、ホワイトチップは、比較的規模が小さく、品質の均一なチップしか対応できない熱利用のボイラーに使うのが、その付加価値を最大限引き出せる。この場合、上記のとおりチップ価格は 12,000 円であり、発電よりも大幅に高い。

ホワイトチップは、製材の際に残材となる丸太の外側の部分である背板（せいた）（写真 2-3）からもできる。これは、従来から製紙用チップとして利用されてきた。背板チップを発電で使う場合、工場残材となるので FIT での電力買取価格は 24 円と、林地残材などの未利用材の 32 円に比べ低くなってしまう。このため、背板チップを燃料として想定する発電所はあまりなく、背板チップは製紙用以外には行き場がないのが現状である。こうした状況を打開するには、熱需要を開拓していくしかない。

他方で、バイオマス発電で使うような大型のボイラーであれば、基本的にどのような種類の燃料にも対応しうるので、わざわざホワイトチップを使う必要はない。現状、林地残材、工場残材は、ゴミとなっているか、使われていても本来の付加価値を十分に引き出すことができず、低い価格で販売されている。これら残材の単位当たり熱量はホワイトチップと大差ないが、形状が不均質であり、かつ灰分も多い場合もあるので、小型のボイラーでは扱いにくい。これら残材は、発電のような大型のボイラーで燃焼して、はじめてバイオマスとして利用することができる。バイオマス発電の意義はここにある。

実際、木材生産においては、丸太を採材したあとの、枝条や短材、細くてまがった部分など、林地残材が大量に発生している（写真 2-4）。この部分は従来、用途がなく林地に捨てるだけだった。また、工場に持ち込まれた丸太は、まずバーク（樹皮）（写真 2-5）をはがすが、一部は園芸などに使われるものの、その多くは廃棄処分しているのが実態である。

製材加工の段階でも、おが粉や端材（写真 1 参照）などの工場残材が大量に発生する。製材の歩留まりは丸太の半分程度であり、残りが残材になっていることを考えると、工場残材がいかに大量に発生しているかがわかる。また、工場残材のみならず、街路樹の剪定などでも大量の剪定枝が発生するが（写真 2-6）、これらも立派なバイオマス燃料となる。

発電で使う燃料は膨大であり、これを丸太から作るチップで調達しようとすれば、林業に相当な無理を強いることになる。ところが、これら残材を使えば利用可能な燃料は大幅に増えるうえ、それまでゴミだったバイオマスを宝にすることができる。これはまた、発電所の燃料調達コストも抑制することにもつながる。

ところが、現状のバイオマス発電計画で使う燃料はホワイトチップであり、残材を燃料として想定しているところは少ない。このままでは、せっかくのバイオマス発電も、林業・木材産業にとってほとんどメリットがないばかりか、発電の安定経営にも支障が出かねず、関係者すべてが疲弊しかねない。そこで、次章では、この問題について詳しく分析する。

写真 2　チップの種類

写真 2-1 丸太（ホワイト）チップ
高品質チップ　灰分が 1%以下

写真 2-2　燃料用丸太
製紙用にもなる高品質なチップ原料

写真 2-3　背板
これもホワイトチップの原料

写真 2-4 林地残材
バイオマス利用することでゴミが宝になる

写真 2-5 バーク（樹皮）
灰分が多いが熱量は丸太と大差ない

写真 2-6 剪定枝
これも典型的な副産物利用

3. バイオマス利用の最適化

3-1　残材のカスケード利用の徹底

以上のとおり、バイオマス燃料は多様であり、その特性に合わせて最適利用してはじめて、それぞれの価値を十分に引き出すことができる。

ホワイトチップは形状が均一で安定していること、灰分も重量比 1%以下にすぎないことから、燃料供給や灰の処理も容易である。このため、比較的小規模な利用に向いている。この場合、チップ価格が 12,000 円であっても、燃料代は化石燃料の半分以下であることはすでにみたとおりである。

他方で、林地残材やバーク、剪定枝の場合、石や泥などの不純物が混入しやすく、灰分が多い。形状も様々で、安定しているわけではない。このため、燃料供給や灰の処理などのマテリアルハンドリングに特別の工夫がいる（ドイツでどう実践されているかの事例を 19 ページ写真 5 にて解説）。その分、相対的に価格は安くなる。これら燃料は小規模なボイラーでは取り扱いが困難だが、ボイラーが大型になれば問題なく燃焼できる。したがって、発電のように大型のボイラーであれば、わざわざ高いお金を払ってホワイトチップを燃料とする必要はなく、残材を中心とした利用として、燃料コストを下げることができる。

このようにバイオマス燃料はその特性に合わせて、残材のカスケード利用を徹底することによってはじめて、それにふさわしい価格をつけることが可能となる。これを、5700kW の発電の事例で表したのが、図表 3 である。ここでは、燃料消費量 6 万トン（水分 35%）を、ホワイトチップのみを使った場合と、林地残材、工場残材バークを使った場合とで比較している。

燃料をホワイトチップとするバイオマス発電計画の多くは、その価格を 7,800 円（水分 35%換算、50%で 6,000 円）としている。この場合、年間の燃料代は 4 億 6,800 万円となる。

他方で、ホワイトチップではなく、林地残材、工場残材、バークをそれぞれ 2 万トン使った場合、仮に林地残材、工場残材に 7,000 円、バークに 3,000 円という価格をつけたとしても、年間の燃料代は 3 億 4,000 万円ですむ。残材はその分、安く調達できるからである。このようにカスケード利用してはじめて、副産物である残材を燃料とし、それにふさわしい価格をつけることができる。つまり、ゴミを宝にし、森林資源の付加価値の大幅な底上げに貢献することができる。

このような副産物のカスケード利用は、発電の経営の安定のためにも不可欠である。仮に発電所がホワイトチップのみしか使わな

図表 3 燃料のカスケード利用によるチップ価格の適正化

【パターンA】 残材利用を徹底する場合

燃料の種類	単 価（円）	数 量（トン）	計（円）
工場残材	7,000	20,000	140,000,000
林地残材	7,000	20,000	140,000,000
バーク	3,000	20,000	60,000,000
計		60,000	340,000,000

【パターンB】 ホワイトチップのみを利用する場合

燃料の種類	単 価（円）	数 量（トン）	計（円）
ホワイト（丸太）チップ	7,800	60,000	468,000,000
工場残材			
林地残材			
バーク			
計		60,000	468,000,000

（出所）富士通総研作成

い・使えない場合、チップ価格が 1 万円に上昇すると、燃料価格は 6 億円に跳ね上がってしまう。他方で、副産物利用の場合、仮にホワイトチップが高騰しても、他の燃料にシフトしていけば、全体の燃料費を抑制することが可能となる。FIT 制度では、買取価格は 20 年間固定されることから、燃料価格の上昇は、即座に事業収支の悪化につながる（詳細は「5. バイオマス発電の経営分析」参照）。こうしたリスクに備えるためにも、残材の徹底したカスケード利用が不可欠である。

3-2　資源の最適利用を促す制度

現状の発電計画をみると、その多くは丸太からつくるホワイトチップを燃料とすることを想定しており、このままでは副産物のカスケード利用による、資源の最適利用とそれによる森林資源の付加価値の向上および、燃料コスト削減につながらなくなるおそれがある。その理由として挙げられるのが、FIT の価格設定の問題である。

FIT における木質バイオマスの種類は、未利用木材（間伐されても運び出されずに林地に放置されている木材）、一般木材（製材工場等の残材）、リサイクル木材（建設発生木材）とされた。ここでは、林業との関係でチップ価格を論じるので、未利用木材と一般木材について、その問題を整理する。

まず「未利用木材」であるが、日本では間伐しても運び出されないで林地に放置されている木材が、推定で 2000 万㎥あるといわれている。この有効利用を促すためとして設定されたのが「未利用木材」であり、FIT の買取価格も 32 円ともっとも高く設定された。

「未利用木材」は大きく分けて 2 種類ある。

木材伐採現場では、枝条（細い木や枝葉の部分）などの林地残材が大量に発生するが、従来は用途がなく、林地に放置されていた（写真 3-1）。FIT を契機に林地残材のバイオマス利用が進めば、森林資源の付加価値を大きく底上げすることができる。

しかしながら、2000 万㎥あるとされている「未利用木材」に含まれるのは、こうした林地残材のみでない。「未利用木材」には、たとえ製材や合板、製紙用に使える木であっても、路網が未整備であったり、人材育成が間に合わなかったり、機械の整備

写真 3　2 種類ある「未利用木材」

写真 3-1 林地残材

写真 3-2　伐り捨て間伐材

が遅れているなどのため、間伐しても運び出されないで伐り捨てて林内に放置されている丸太も含まれている（写真 3-2）。この放置丸太は本来、製材や合板・集成材にも使えるものもあり、運び出すにしてもバイオマスというよりは、その用途に応じた利用がなされるべきである。ところが、放置丸太も林地残材も含め「未利用木材」とされたため、未利用木材のバイオマス利用とは、一般には放置丸太を運び出して燃料として利用するものと理解されている。

林地残材であれば、そこからチップ化して運び出すだけなので副産物利用となり、ゴミを宝にすることができる。ところが、伐り捨てて放置されていた丸太からチップにするのでは、丸太を運び出さなければならず、主産物利用になって、コストが大幅にかかってしまう。しかも、本来、より付加価値の高い利用ができるにもかかわらず、発電用燃料として使うとなると、コストはかかるが安くしか売れないということになり、林業は疲弊の一途をたどってしまう。

他方で、工場残材は「一般木材」として FIT の買取価格は 24 円と低く設定されたため、工場残材を燃料として想定するバイオマス発電は少ない。この価格設定の根拠とされたのが、「工場残材はすでに他の用途に使われており、燃料用としての余地は小さいため、用途が他と競合しないようにするため」というものである。しかしながら、製材工場などの木材産業において大量に発生する残材は、必ずしも円滑に処理されているわけではない。また処理するにしても、かなり低い価格で取引されているのが実態である。

加えて、政府は森林資源の成熟を背景に、2020 年までの木材自給率 50%を目標に改革を進めており、木材生産量は大幅に増加する見込みである。その場合、当然、製材や合板などで取り扱う木材も増加するのであり、それにともなって工場残材も大幅に増える。したがって、工場残材のバイオマス利用促進は資源の最適利用と、製材工場の収益性向上・国際競争力強化のためにも不可欠のはずである。

なかでもバークの単位当たり熱量は丸太と同等であるが、現状では使い道も限られることから、バークはお金をかけて廃棄処分されている。したがって、これを発電の燃料として使うことこそ、ゴミを宝にするものである。しかしながら、バークは水分が多いなどで取り扱に工夫がいるなか、FIT の買取価格が低く設定されたことから、バークを燃料として考えているところは少ない。しかも、日本の発電用ボイラーは、欧州製とは異なりバークを燃やすのが困難なものが多く、これもバーク利用を妨げる要因となっている。したがって、バーク利用を促進するような買取価格とすれば、バークに対するニーズが高まり、ボイラーメーカーもバーク対応のイノベーション努力をするようになるだろう。

3-3　林業資本がチップ生産を行う必要性

発電所が丸太から作るホワイトチップを主燃料とする場合、林地残材利用も進まず、資源の最適利用が阻害されるばかりでなく、バイオマス利用のチャンスを、林業資本[2]が活かせなくなる懸念がある。

---

[2] 森林所有者、森林組合、木材生産を請け負う林業会社など。ただし、製紙会社や発電などの木材需要者と結びついた森林所有者や林業会社は、木材需要者の利益を代表するので、林業資本とはみなされない。

写真 4 ゴミを宝にする林地残材のチップ化

ホワイトチップと林地残材チップでは、その生産方法は異なる。林地残材チップの生産方法は、製材や合板、集成材用材になる丸太を収穫した残りの枝条や株などを林内の道端に集積しておき、適度に乾燥した頃合を見計らって移動式チッパーによりチップ化し、コンテナやトラックなどに積み込むものである（写真 4）。この方式では、丸太からつくるホワイトチップも、林地残材同様に生産ができる。それだけ汎用性のある生産方法であり、もっとも安くチップを生産する方法でもある。

しかも、林業資本がこのようにしてチップ化・商品化するノウハウを身につければその分、チップ化することによる付加価値は自分たちのものになるし、チップの需要先を自ら開拓することも可能になる。複数のチップ需要先をもつことはまた、発電所に対して価格交渉力を発揮するためにも必要なことである。その場合、特に重要なのが、熱需要の開拓である。熱用チップの相場は 12,000 円（水分 35%）が定着しつつあるが、熱需要が拡大していけば、この相場の定着に弾みをつけることもできる。

そうなれば発電所の燃料調達コストが大幅に上昇してしまうとの意見も出てこようが、相対的に大型のボイラーを使う発電の場合、ホワイトチップから林地残材や工場残材利用などへとシフトしていけば、燃料代の総額を抑制することが可能になる。これはまた、バイオマス資源の最適利用を進め、チップの種類ごとに適正な価格をつけるためにも必要なことだ。

これに対し、現状の発電計画の多くで想定されているチップ調達方法は、伐採した丸太を運び出してわざわざ発電所に隣接したチップ工場に持ち込み、そこでチップ化するというものである。この場合、林地残材利用ができないばかりでなく、コストがかかるうえ丸太を安くしか売れないので、林業資本にとってメリットはない。ちなみに、これは製紙用チップの生産方法と同じである。異なるのは、用途が製紙用ではなく発電用になること、それにともなってチップ工場が製紙工場傘下ではなく、発電の資本になることだけだ。この方法では、林業資本は丸太を供給するだけで、価格交渉力を発揮することは困難となろう。

これは、製紙用チップで林業資本が長年直面してきた問題そのままである。日本では製紙用チップ価格は丸太換算で 5,000 円/㎥前後（チップ工場着）と、国際的に低い価格での取引を余儀なくされてきた。製紙会社が年間消費する原料は丸太換算で 3,200 万㎥と、国内の木材消費量の 4 割前後に達するほどだが、うち国産材使用量は 500 万㎥にすぎない。製紙会社は戦後、海外に植林したり、パルプ工場を建設するなどで、海外と一体となったサプライチェーンを築いてきたためである。この結果、国産材は製紙会社にとっては原料調達におけるバッファーとしての機能しかなく、林業資本が製紙会社に対して価格交渉力を発揮することは困難だった。

発電所に燃料用の丸太を供給するのでは、これの繰り返しになりかねない。これはまた、資源の最適利用を妨げることによって、長期的にみれば、林業のみならずバイオマス発電にとっても大きなマイナスとなろう。

4.ドイツの木質バイオマス発電市場の発展と評価

4-1　農山村に新しい富をもたらしたバイオマス利用

以上のように、日本の木質バイオマス発電の現状では、資源の効率利用がはかられずコスト高となる一方で、木質バイオマス燃料に対しては適正な価格をつけることができず、林業へのメリットが少ないということになりかねない。日本では、木質バイオマス発電は新しい分野であることから、初期の段階でこうした問題がでてくるのはやむを得ない。

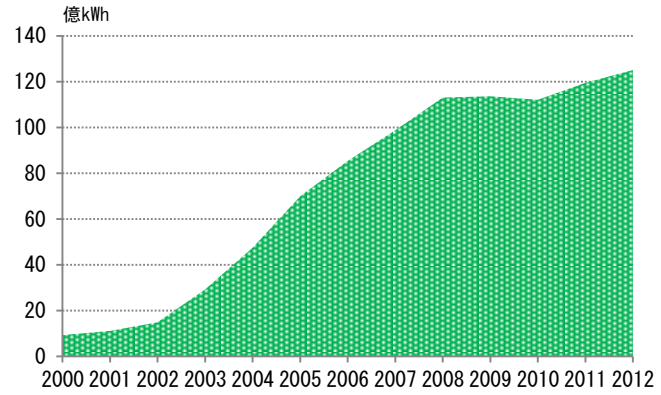
この点、再生可能エネルギー特別措置（FIT）法でも「政府は、この法律の施行後平成 33 年 3 月 31 日までの間に、この法律の施行の状況等を勘案し、この法律の抜本的な見直しを行うものとする」としている。重要なのは、こうした状況を適切に分析し、次回の改正に着実に活かすことである。

こうした観点から参考になるのが、ドイツである。ドイツでは 2000 年に FIT を導入して、すでに 10 年以上の経験を有している。この間、バイオマス発電量は 2000 年の 9 億 kWh から、2012 年には 125 億 kWh（おおよそ原発 2 基分に相当）へと大幅に拡大した（図表 4）。

FIT 導入はまた、バイオマスの熱利用拡大にも弾みをつけた。ドイツでは、2000 年以前からもそれなりにバイオマス熱利用は実績があったものの、発電の増加に伴うチップ市場の発展もあり、FIT 導入を契機に、熱利用も拡大していった（図表 5）。バイオマス熱利用量はいまでは 1,075 億 kWh と、発電量の 9 倍近い。

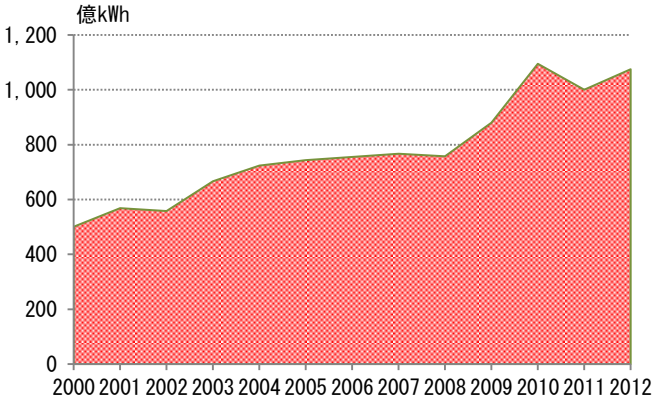
ちなみにこの熱利用量は、石油に換算すると約 925 万トンである。灯油の小売価格を 90 円/㍑とすると、それだけで 1 兆円を超える売り上げになる計算である（灯油 1 キロ㍑＝0.85 トン換算）。もちろん、バイオマス燃料は化石燃料に比べれば価格は半分程度なので、燃料供給者の収入もその分低くなるが、半面、熱利用者にとっては化石燃料を使うよりもそれだけ安く使えることになる。しかも、化石燃料を使っていた時はこの金額のほとんどがそのまま外部に流出してしまうが、これを木質バイオマスで代替した場合、そのほとんどは地域資金となって地域で循環し、新たな富の創出に貢献することになる。

図表4 ドイツの木質バイマスエネルギー発電量の推移



（出所）ドイツ再生可能エネルギー統計、連邦環境省2012年

図表5 ドイツの木質バイマスエネルギー熱利用の推移



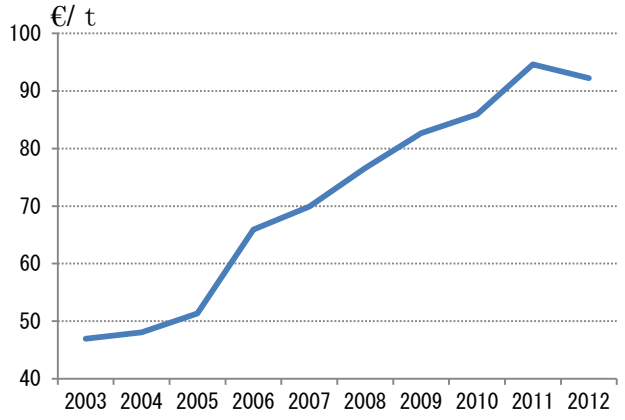
（出所）ドイツ再生可能エネルギー統計、連邦環境省2012年

さらに、バイオマス需要の増加はチップ価格の上昇を後押しすることになった。実際、チップ価格は、過去 10 年間で 47 ユーロから 92 ユーロへと倍増しており（図表 6）、バイオマス利用は、森林所有者の所得増加に大きな貢献を果たしている。

熱・電力を合計すると、再生可能エネルギー全体に占める木質バイオマスの比率は 6 割近くに達し、バイオマスは圧倒的なシェアをもつことになる（図表 7）。今後は、風力や太陽光発電、太陽熱などの未利用熱利用の増大が見込まれるため、バイオマスの比率は相対的に低下していくと思われるが、再生可能エネルギー利用の初期段階において、バイオマスはそれだけのポテンシャルを秘めているということだ。

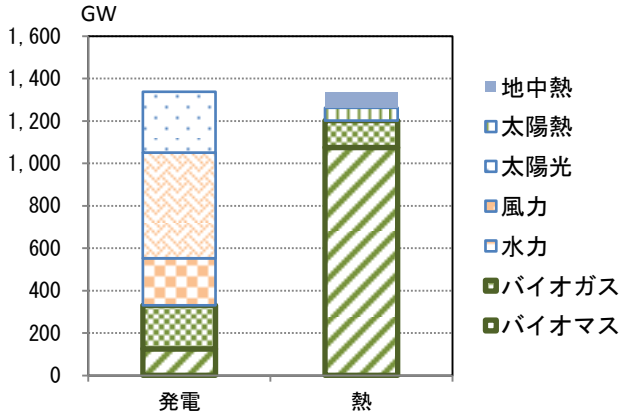
このようなバイオマスの潜在性は世界共通である。バイオマスは人類長きにわたり唯一ともいえるエネルギー源であったことを考えれば、それも当然であろう。

図表6 木質チップ価格の推移
（水分35%）



（出所）C.A.R.M.E.N

図表7 ドイツの再生可能エネルギー構成(2012年)



（出所） ドイツ再生可能エネルギー統計2012

4-2 FIT による政策誘導の実際

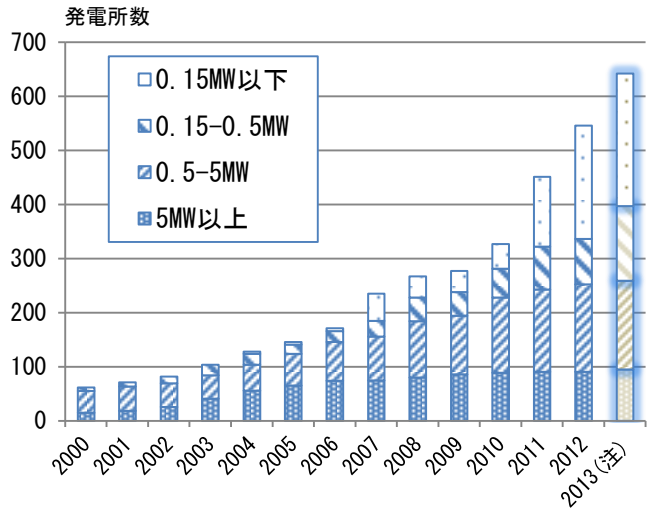
ドイツの木質バイオマス発電はいまでこそ、設備容量 5,000kW 以下の熱電併給であり、副産物のカスケード利用が徹底されるなどで、森林資源利用の最適化とエネルギーの効率的利用がはかられているが、当初は大型で熱利用もなく、燃料も建設廃材を利用するものが多かった。

それが大きく変わるのは、2004 年の FIT 制度改正からである。図表 8 は、ドイツの木質バイオマス発電の規模別推移を表わしたものである。これをみると、①2000 年から 2000 年代の半ばまではまず、5,000kW 以上の大型の発電所が増加し、②2000 年代半ば以降では、500～5,000kW の中規模発電が増加するようになり、③2010 年ころからは 500kW 以下の小規模発電が急増してきていることがわかる。たとえば、ドイツで 2011 年に新規稼働した木質バイオマス発電所は 13（小規模ガス化発電は除く）、出力合計 30,000kW であり、新設発電所当たりの平均出力 2,300kW と、日本の半分にすぎない。木質バイオマス発電の大型から中小へのシフトに伴い、熱電併給が定着し、燃料のカスケード利用も徹底されるようになっていった。

このようなバイオマス発電の発展は、FIT の制度改正による政策誘導の賜物である（図表 9）。

当初、バイオマス発電にかかわる FIT の制度は、500kW 以下、500 ～ 5,000kW 、 5,000 ～ 20,000kW の規模別 3 段階という単純な設定だった。しかも、その価格差も大きくなく、この結果、まずは燃料価格の安い建設廃材を使い、できるだけ高い発電効率を求めて 5,000kW 以上という大型の発電所の建設が進んだ。他方で、林地残材由来の木質バイオマス利用も、熱電併給も、あまり進まなかった。

図表8 ドイツ木質バイオマス発電　規模別発電所数推移



（出所）German Biomass Research Center (DBFZ)
（注）2013年はDBFZ見通し

このため、2004 年夏の制度改正では、5,000kW 以下の発電に対しては買取価格を引き上げる一方、5,000kW 以上の大規模に対しては価格を引き下げるとともに、熱電併給および林地残材や工場残材の燃料利用に対しては買取価格を上乗せするボーナス制度を導入した。また、従来の蒸気タービンによる発電では一定の規模以上でないと使えないことから、中小規模の発電技術である ORC や木質ガス化発電などの新しい技術に対するボーナス制度も導入した（これら技術に関しては 4-3 にて解説）。この結果、2000 年代半ば以降、大型発電建設は下火になる反面、5,000kW 以下の発電および熱電併給が増えることになった。

2009 年の第 3 次改定では、全体に FIT の基本価格を引き下げる一方で、熱電併給に対してはボーナス価格を 2 セントから 3 セントへと引き上げ、一段と熱電併給を促進する政策を進めた。さらに 2012 年には熱電併給を FIT 買取の条件とし、熱電併給に対するボーナス制度を廃止する一方で、基本価格を引き上げた。ただし、5,000kW 以上の大規模に対するボーナス制度はすべて廃止され、買取価格は 6 セントに一本化された。大規模発電に対する買取価格は、それまでは熱電併給のボーナスを含めると 10.8 セントだったことから、相当思い切った措置といえる。これにより、ドイツでは 5,000kW 以上の大規模発電の新設は、事実上不可能になったといってよい。

現在のドイツのバイオマスに対する FIT の買取価格は、18 円（5,000kW の場合）～26 円（150kW 以下）と、日本の 32 円と比べるとかなり低い。日本より発電規模が小さく、電力の買取単価が低いにもかかわらず、ドイツのバイオマス発電の経営が成立し、発電量が拡大しているのは、燃料のカスケード利用の徹底と熱電併給によるものである。この点については、「5. バイオマス発電の経営分析」において詳しく分析する。

図表 9 ドイツの FIT 改定の内容（木質バイオマス）

€セント/kWh

2000年　FIT開始時						
設備容量 kW	基本価格 a	ボーナス b		a+b	ボーナス c	a+b+c
		林地残材・バーク等	コージェネ		革新的技術（注）	
≦150	10.23	−	−	10.23	−	10.23
≦500		−	−		−	
≦5000	9.21	−	−	9.21	−	9.21
≦20000	8.7	−	−	8.7	−	8.7

○規模別の価格設定のみ。価格差も小さく、効率を求めて大規模・建設廃材を中心に拡大。

2004年　FIT改定						
設備容量 kW	基本価格 a	ボーナス b		a+b	ボーナス c	a+b+c
		林地残材・バーク等	コージェネ		革新的技術（注）	
≦150	11.5	6	2	19.5	4	23.5
≦500	9.9	6	2	17.9	4	21.9
≦5000	8.9	4	2	14.9	4	18.9
≦20000	8.4	−	2	10.4	−	10.4

○林地残材やコージェネ、革新的技術に対するボーナス制度を導入。
設備容量5000kW以下へとシフト。中小規模の技術開発・燃料の副産物利用の徹底が進む。

2009年　FIT改定						
設備容量 kW	基本価格 a	ボーナス b		a+b	ボーナス c	a+b+c
		林地残材・バーク等	コージェネ		革新的技術（注）	
≦150	11.67	6	3	20.7	2	22.7
≦500	9.18	6	3	18.2	2	20.2
≦5000	8.25	2.5	3	13.8	2	15.8
≦20000	7.79	−	3	10.8	−	10.8

○規模別価格差を拡大。コージェネをより優遇。革新的技術に対するボーナスを縮小（技術の普及が背景）。

2012年　FIT改訂						
設備容量 kW	基本価格 a	ボーナス b		a+b	ボーナス c	a+b+c
		林地残材・バーク等	コージェネ		革新的技術（注）	
≦150	14.3	6	FIT適用の条件	20.3	−	20.3
≦500	12.3	6		18.3	−	18.3
≦5000	11.0	2.5		13.5	−	13.5
≦20000	6.0	−		6.0	−	6.0

○規模別価格差をより拡大。5000kW以上の建設が困難に。コージェネを義務化。

（出所）ドイツ再生可能エネルギー法
（注）オーガニック・ランキン・サイクル（ORC）、木質ガス化、スターリングエンジン等。

4-3　バイオマス発電を支える技術とエンジニアリング

このようにドイツのバイオマス発電は、現在では 5,000kW 以下が主流となっているが、その背景にはイノベーションの進展と、中小規模のプラントを現場のニーズに合わせ設計・施工できるシステム、それを支えるエンジニアリング会社の存在がある。

ドイツのバイオマス発電の技術はおおむね、①2,000kW 以上が蒸気タービン、②200kW～1,500kW がオーガニックランキンサイクル（ORC）、③300kW 以下が木質ガス化に分かれる。このうち、蒸気タービンは従来からある技術で、一般に熱電併給を前提として採算が取れるのが 2,000kW からといわれている。

ORC は 2000 年代半ばから普及しだした技術である。水のかわりにシリコンオイルなどの有機媒体を用いてタービンを回して発電する技術である。沸点が 300 度程度と、通常の蒸気タービンと比べ低くてすむこと、発電出力を 30%程度にまで下げても運転できるなどの特徴があり、熱利用を主目的として発電を行うものである。その分発電効率は 10%台と、相対的に低い。沸点が低い分、設備を簡略化でき設備投資を抑制することができる。蒸気タービンより小型でも採算がとれるのは、このためである。

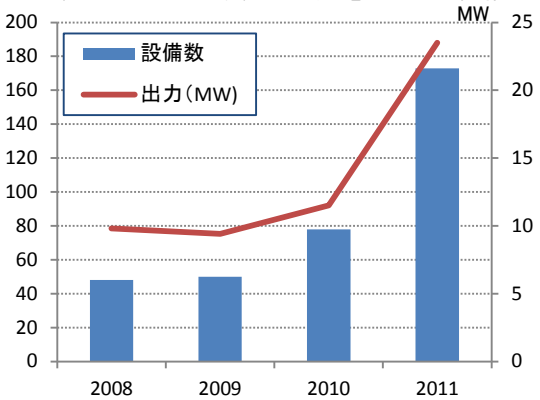
ドイツでは、新技術や熱電併給などに対する買取価格の割増し措置を導入した 2004 年の FIT 改定をきっかけに ORC の導入に弾みがつき、2011 年末現在 85 の設備が稼働している。ORC による出力規模は 200～3,100kW（ただし、3,100kW は、1,550kW の設備 2 台並列）である[3]。

他方、ガス化発電はガス化された木質燃料をガスエンジンで発電することから、小型でありながら 20%以上の発電効率を得られる。2004 年の FIT 改定により、2006 年から 2007 年にかけて 150～270kW の規模のガス化発電プラントが各地で導入されたが、技術的な課題が多く、十分な稼働を確保できずに停止に追い込まれたものもでている。こうした状況を経て、2010 年には 28、2011 年には 95 のガス化プラントが稼働するなど、ガス化発電導入の動きが再度活発化してきている（図表 10）。その多くは、出力 200kW 以下である。

日本においても、2000 年代の後半にガス化発電が導入されたが、ほとんど稼働することなく停止された。商業ベースで動いているものは、日本には存在していない。ORC は日本にはない技術であり、バイオマス発電の導入事例もない。日本のバイオマス発電は現状ではほとんど大型だが、これは日本では、中小規模に適したバイオマス発電の技術がないことにも起因している。また、ORC のような規模の技術を日本で導入しようとすると、電気事業法の規制の問題もあり、きわめてハードルが高い。

ドイツではまた、中小規模のバイオマス発電プラントを効率よく設計、施工できるシステム

図表10 ドイツの木質ガス化発電プラントと設備



（出所）バイオマス発電とFITに関するモニタリング2012, German Biomas Research Center

[3]『バイオマス発電と FIT に関するモニタリング、最終報告 2009－2012』、German Biomass Research Center

が構築されている。バイオマス発電において核となるのはボイラーであるが、バイオマスの経験の長いドイツ、スイス、オーストリアには、多数のボイラーメーカーがあり、小規模から大規模にいたるまで、さまざまな規模のボイラーを、それぞれ得意とする技術に特化して提供している。発電機や燃料供給装置、電子制御装置なども同様であり、エンジニアリング会社は、現場のニーズに合わせて設計し、それにあったコンポーネントを組み合わせて建設することで、最適化を図っている。

バイオマス発電は、そこで入手可能な燃料の質や量、熱需要の大きさなどを総合的に勘案し、現場のニーズに合った設計とすることが鉄則である。このようにしてはじめて、バイオマス燃料の最適利用と熱の有効利用により、エネルギー利用の最適化をはかることができる。ところが日本では、そもそもバイオマスボイラーのメーカーが少なく、提供できる技術・製品の種類も限られるため、現地の事情にかかわりなくメーカーの技術・製品を押し付ける結果になってしまう。日本において、大型で、かつ発電のみ、使える燃料は主にホワイトチップとなってしまうのがほとんどであるのは、こうした技術的な問題もある。

しかも、FIT の今の制度および規制が、こうした大型化、発電のみ、ホワイトチップのみの発電をむしろ推進する結果になり、プラントメーカーにもイノベーション圧力がかからない状況が生まれている。こうした観点からも、FIT の制度見直し、規制緩和は不可欠であり、急がれる。

【解説】ドイツの FIT の規模別買取価格の算定方法について

ドイツで 2012 年に新規稼働する発電出力 5,000kW 以上 20,000kW 以下のバイオマス発電の FIT の買取価格は、林地残材でもそれ以外の由来のチップでも一律 6 セント/kWh（2012 年）となっているが、これは、たとえば、20,000kW の発電出力のプラントで発電した電力がすべて 6 セントで買い取られるという意味ではない。20,000kW の発電出力のものでも、6 セントの買取価格が適用されるのは、5,000kW を超える部分であり、5,000kW 以下については、それぞれの発電出力に応じた FIT の買取価格が適用される。

これは具体的には以下のように計算される。

最初の 150kW の年間総発電量は 365 日フル稼働したとして（8,760 時間）、150kW×8,760h＝1,314,000kWh となる。この部分の基本買取価格 14.3 セントなので、買取総額は、1,314,000kWh×0.143 ユーロ＝184,091 ユーロとなる。同様に 150kW～500kW までは 369,453 ユーロと計算していき、20,000kW を 1 年間フル稼働した場合の総発電量は 1 億 7,520 万 kWh、買取総額は 1,300 万ユーロとなるので、kWh 当たりの平均買取価格は 7.3 セントとなる。

ドイツの FIT の買取価格の算定方法（発電出力 2 万 kW の場合）

NAWARO（持続可能性燃料ボーナスなし）、2012年価格

設備容量 kW	買取対象量 kW	年間時間 h	総発電量 kWh	買取価格 €	買取総額 €
≦150	150	8,760	1,314,000	0.140	184,091
≦500	350		3,066,000	0.121	369,453
≦5000	4,500		39,420,000	0.108	4,249,476
≦20000	15,000		131,400,000	0.059	7,726,320
計	20,000	8,760	175,200,000	**0.072**	12,529,340

（出所）再エネ法改正に伴う買取価格算定方法解説（2011年）。ドイツ連邦環境省。

5. バイオマス発電の経営分析

5-1　経営の安定に不可欠のカスケード利用

日本では発電効率を求めて 5,000kW 以上の規模を目指す例がほとんどなのに、ドイツのバイオマス発電の主流はいまでは 5,000kW 以下である。また、現在のドイツのバイオマスに対する FIT の買取価格は、規模や燃料種などに応じて 18 円（5,000kW の場合）～26 円（150kW 以下）となっており、日本の 32 円と比べるとかなり低い。しかも、ホワイトチップの標準的な価格は現在、12,000 円であり、日本のバイオマス発電が想定する 7,800 円よりもはるかに高い。それにもかかわらずドイツのバイオマス発電の経営が成立し、発電量が拡大してきたのは、なぜなのだろうか。

バイオマス発電の長期的な事業性を考える場合、特に重要なのが燃料である。FIT の買取価格は 20 年間固定である。燃料代がかからない風力発電や太陽光発電では、風況や日照などの条件がわかれば年間発電量も見通しがたつことに加え、その電力は 20 年間固定価格で買い取ってもらえることから、安定した長期的な事業計画を立てることができる。

ところがバイオマス発電の場合、風力や太陽光と異なり、燃料費がかかるうえ、コストに占める燃料費の比率が特に高い。ところが、FIT で電力の買取価格は 20 年間固定されるので、たとえ燃料費が上昇したとしても、それを価格に転嫁することはできない。実は、FIT はこの点で、バイオマス発電にとってリスクが高い制度といえる。実際、ドイツではバイオマス利用の拡大や化石燃料の高騰などを背景に、過去 10 年間でチップ価格が倍にまで上昇してきた。このため、特に大型の発電プラントの中には、破産するところもでてきている。

しかしながら、ドイツのバイオマス発電の経営は、燃料費が高騰する中でも一般には比較的堅調といえる。それは、バイオマス燃料のカスケード利用の徹底と、熱電併給によるところが大きい。

まず、燃料のカスケード利用をみてみよう。ドイツでも 2000 年代前半にはホワイトチップを使っていた発電所もあったが、チップ価格の上昇にともない、それまで必ずしも十分に使われてこなかった林地残材や工場残材、バーク、剪定枝などへとシフトするようになっていった。2004 年に導入された林地残材やバークなどの利用に対して FIT の買取価格を上乗せするボーナス制度が、こうした、バイオマス燃料のカスケード利用を徹底させるのに大きな役割を果たした。

現在、ドイツでは、ホワイトチップは燃料としてはあまりにも高すぎるので、バイオマス発電に用いられることはまずない。発電で用いられるのはもっぱら、林地残材、工場残材、バーク、剪定枝である。しかも、これらバイオマスの副産物利用に対しては、FIT において電力の買取価格が割り増しされるボーナス制度が適用される。

これら燃料はホワイトチップに比べ価格はかなり安いが、石や泥、鉄など不純物の混入割合が高く、形状も様々で、灰の出る量も多い。このため、その取扱いには慎重を要するが、2000 年代半ば以降、こうした燃料利用の経験の蓄積も進んだため、そのハンドリングも自動化されるようになった。また、これら異なった種類の燃料をうまく混ぜ合わせて、可能な限り均一に

して燃焼するなどのノウハウの蓄積もできた。いまでは、発電所のような規模のボイラーであれば、面倒なく対応できる（写真 5）。

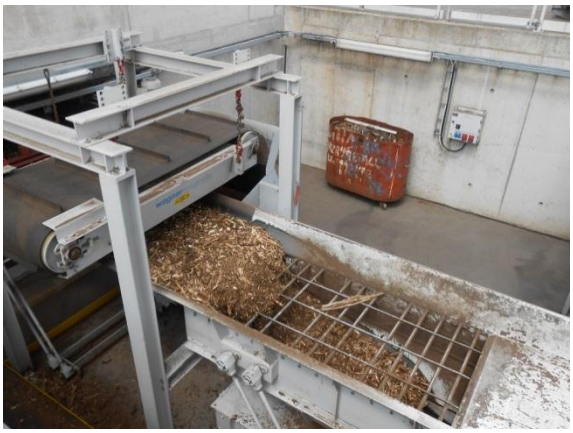
仮に、燃料をすべてホワイトチップで賄ったとしたら、燃料代は 90 ユーロとなり、事業は完全に行き詰まっているだろう。ドイツのバイオマス発電所のほとんどは、このように徹底した燃料のカスケード利用により、実際の燃料代を 50～60 ユーロ程度に抑え、経営を安定させているのである。

写真 5　ドイツのバイオマス発電におけるマテリアルハンドリングの実際

5-1 バークと剪定枝チップをブレンドしているところ

5-2 ブレンドされた燃料

5-3 チップ供給における不純物の除去の実際



5-4　除去された不純物

左からチップが送られてくるところ。左上は鉄を除去するための磁石。規格に合わない枝などの長いものなどは格子において除去される。

5-2　熱電併給の事業性と熱利用の実際

バイオマス発電の長期的な経営安定のためには、熱電併給による総合的なエネルギー効率向上も不可欠である。これを、ドイツの発電のみと熱電併給ありを比較した発電出力 5,000kW のモデル試算で、みてみよう（図表 11）。

まず、発電にかかわる経費は、発電のみでも熱電併給でも変わらず、400 万ユーロである。売り上げに関しては、発電のみの場合、468 万ユーロとなり、黒字は 68 万ユーロにとどまる。他方、熱電併給にした場合、発電用の蒸気を一部熱利用に回さなければならないので、発電出力は 3,400kW に低下することから、電力の売り上げは 318 万ユーロに減少する。他方で、熱の売り上げが 230 万ユーロとなるので、熱電双方の売り上げを合計すると 548 万ユーロとなり、

図表 11　ドイツの 5,000kW バイオマス発電の事業性（モデル計算）

発電出力5000kW、蒸気タービン

		単位	発電のみ	熱電併給	備考
基礎データ					
設備等	ボイラー出力	kW	20,000	20,000	
	発電出力（名目）	kW	5,000		発電効率25%
				3,400	発電効率17%
	熱出力	kW		13,200	熱効率66%
	資本費	€	17,000,000		
	燃料消費	t/	46,667		
	燃料単価	€/t	50		
	年間稼働時間、発電	h	7,700		フル出力換算
	年間稼働時間、熱	h	3,500		同
電力・熱	売電量	kWh	33,880,000		5000kW*7700h−自家消費
				23,038,000	3400kW*7700h−自家消費
	FIT買取単価	€/kWh	0.138	0.138	
	売熱量	kWh		46,200,000	13200kW*3500h
	売熱単価	€/kWh		0.050	

EBITDA（利払い前・課税前・償却前利益）					
売上	電力売上	€	4,682,216	3,179,244	
	熱売上	€	0	2,310,000	
計		€	4,682,216	5,489,244	
変動費	燃料費	€	2,333,350		
	保守点検等	€	340,000		資本費の2%
計			2,673,350		
固定費	人件費	€	650,000		13人
	設備維持管理・保険等	€	680,000		資本費の4%
計		€	1,330,000		
EBITAD		€	678,866	1,485,894	
		%	14%	27%	売上高比

（出所）　Institute for energy and environment "Auswirkungen der Änderungen des　Erneuerbare-Energien-Gesetzes für die einzelnen Energieträgers"

（注）　EBITDA : earnings before interest, taxes, depreciation and amortization.

発電のみに比べ 80 万ユーロ売り上げが多くなる。この結果、収支も 150 万ユーロの黒字となる。これはいずれも償却前、課税前利益（EBITAD）である。

熱電併給においては、売熱単価次第で採算性は大きく変わりうるが、近年の化石燃料の高騰により、バイオマスの熱電併給の優位性が増してきている。発電の買取価格は 20 年間固定だが、熱はそれに縛られるわけではなく、仮に化石燃料の価格が上昇すれば、熱の価格を上げることも可能だろう。エネルギーの効率的利用と CO2 削減に加え、これからの国際的なエネルギー価格の動向から考えても、バイオマス発電において熱電併給は不可欠の前提となってきている。

図表 12　バイオマス熱電併給における熱利用の実際

熱電併給プラント発電出力	プラント運営者/熱需要者		熱利用方法
≦500kW	チップ販売業者		自家利用（農業等）
	木材産業		チップ乾燥
	温水プール		木材乾燥
	地域ユーティリティ会社		汚泥乾燥
	農家		小規模地域熱供給
			クリーニング等
500～5,000kW	工業団地		大規模地域熱供給
	木材産業		産業プロセス熱
	地域ユーティリティ会社		

（出所）FITのバイオマス発電への影響に関するモニタリング最終報告 2012, German Biomas Research Center

ところで、日本では熱電併給はあまり例がないことから、熱がどのように使われているか、イメージがわきにくい。そこで、ドイツのバイオマス熱電併給における熱利用の実際をあらわした、図表 12 でみてみよう。これによると、プラントが小さい場合の熱利用は、小規模の地域熱供給網や木材乾燥、農業利用（園芸ハウスや畜産等）である。発電規模が大きくなると、熱需要者は、大規模の地域熱供給網や産業プロセス熱となっていく。

木質バイオマスの熱電併給は、実は応用度が高い。というのは、バイオマス発電は発電効率が低い分、排熱の比率が高くなることから、それだけ通年で発電所の熱を使えるだけの一定以上の熱需要が存在する必要があるからだ。そうでないと、年を通しての総熱利用量が少なくなり、採算性が悪化してしまう。

たとえば、地域熱供給網の場合、夏と冬で熱の需要は大きく変動する。夏の最低需要に合わせてバイオマス発電の規模を設定すれば、発電規模はかなり小さくなってしまう。そのため、それでカバーできない需要に対しては、別途、化石燃料などのボイラーで対応することになるが、化石燃料の比率が高くなりすぎるのでは、本末転倒になってしまう。反対に、冬のピーク需要に合わせ発電の規模を大きくすれば、ピーク需要以外で捨てる熱の量が多くなりすぎてしまう。このようなことから、大規模な地域熱供給網以外では発電は行わず、バイオマス熱ボイラーで対応するというのが一般的である。この場合、夏などのオフピーク需要時には、バイオマスボイラーを停止し、化石燃料ボイラーで対応するなどしている。

ただし、たとえばルール工業地帯のように、人口が密集する地域によっては大きな地域熱供給網が存在している場合、熱電併給はやり易い。というのは、地域熱供給網の熱需要は夏であっても常に一定以上の大きな需要が存在するので、電力をグリッドにつなぐのと同じ要領で、夏であってもフルに熱供給網につなぐことができるからである。

このように、地域熱供給網は、熱電併給における一つの典型的な利用例であり、ドイツでは以前より地域熱供給網が整備されていたので、もともとやり易いと日本では思われている。しかしながら、熱電併給はドイツでも比較的新しいエネルギーの利用形態である。地域熱供給網の普及が加速化するのは、熱電併給の必要性が認識されるようになった 2000 年以降のことである。最近では、比較的規模の小さい熱電併給網を民間主導で行う事例も活発化してきている。

写真 6 ドイツにおける民間による地域熱供給網の整備

バイオマスボイラーによるエネルギーセンターと熱供給網の敷設工事

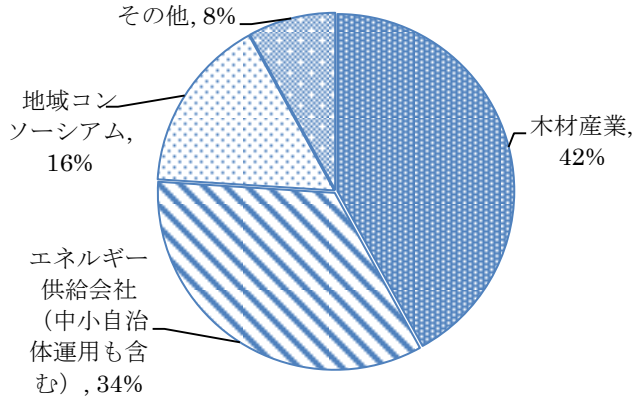
5-3 バイオマス発電の経営主体

再生可能エネルギーの建設や運営は、太陽光や風力などでは市民参加やそれまで発電事業とはあまり関係ない事業者の新規参入が容易だが、バイオマス発電の場合、事情は異なる。

バイオマスは燃料が必要だが、化石燃料とは異なり、マテリアルハンドリングや燃料の調達に関する専門的な知識・経験が必要となる。また、熱電併給でなければ経営的にも厳しいが、発電規模に合った熱需要を見つける、ないしはつくるには、それとあまり関係のない第三者では困難である。このため、ドイツにおけるバイオマス発電事業者は、基本的にはこれら関係者によるものである。実際、これを表した図表 13 をみると、発電事業者でもっとも多いのは木材産業（42%）、次いでエネルギー会社（34%）、地域コンソーシアム（16%）、その他（8%）の順である。

木材産業は、バイオマス発電をもっともやり易い。というのは、工場でバークなどの残材が大量に発生するため、燃料調達が容易であること、同時に工場内で木材乾

図表13 ドイツの木質バイオマス発電運営会社構成比 2011年



（出所）バイオマス発電の発展に対する再生可能エネルギー法の成果にかかわる調査調査報告 2012年3月、German Biomass Research Center

燥などに大量の熱を使うためである。このため、木材産業が運営するバイオマス発電は経営的にも安定しており、バイオマス発電事業会社の中でもシェアがもっとも高い。

エネルギー会社も、地域熱供給網をすでに持っているか、構築しやすいので、バイオマス発電事業主として向いている。エネルギー会社とは、全国展開する大手から地域密着型の企業（民営・公営）まで、さまざまである。地域コンソーシアムとは、再生可能エネルギー関連の投資運営する企業や、地域の林業協同組合や個人投資家が出資して運営するものである。その他は、木材産業以外の廃棄物系事業会社が行うもので、これは全体の 8%にとどまる。

このように、ドイツにおけるバイオマス発電の事業会社は、燃料調達や熱需要に関係しているところがほとんどである。バイオマス発電において、事業性を左右するのは燃料調達と熱需要であることを考えれば、これも当然であろう。

これに対し日本では、FIT 導入以降、もともと林業や木材産業に関係ない企業の参入表明が相次いでいるが、ドイツに比べ大きなハンディを負っていることを忘れてはならない。ドイツの場合、林業の基盤整備が終わっており、木材やバイオマス燃料が安定的に供給されるインフラができている。このため、林業・木材産業に直接関係のない企業でも、燃料調達の不安は大きくない。ところが日本では、林業の基盤整備がようやく本格化したところであり、木材やバイオマス燃料が安定的に供給される状態には程遠い。

このため、日本で新規にバイオマス発電事業を行う場合、製材工場などの木材産業が直接事業を行うか、製材工場と緊密に連携して行う以外での発電事業は、リスクが大きすぎる。木材産業であれば、すでにある工場残材が使えることもあり、追加的に必要となるバイオマス燃料もその分少なくて済むし、足元にも恒常的な木材乾燥などの熱需要も存在する。また、条件がよければ、将来的には製材工場から発生するおが粉をベースに、発電の排熱を使ったペレット製造を行うなど、将来的なバイオマス関連の事業拡大の可能性も見込める。これに対し、それまで林業や木材産業とは関連のなかった事業者がバイオマス発電に参入する場合、新たにサプライチェーンを構築しなければならず、森林資源に無理な負担がかかり過剰伐採を引き起こしたり、燃料の調達が困難になったりの状況に陥りかねない。

もっとも、たとえ木材産業が事業主体となる場合でさえ、工場残材は使わず「未利用木材」のみを利用する、熱は使わないといった計画が存在している。このようなことが起こるのは、FIT の制度設計に起因するところが大きい。つまり、FIT によって、工場残材による発電の買取価格が 24 円と低く設定されたこと、買取単価が高いので、発電効率が落ちる熱電併給よりも発電を優先したくなる傾向があることなどによるためである。

再生可能エネルギー拡大を目指して導入された FIT だが、現状では、資源の最適利用や、エネルギーの効率利用とそれによる CO2 削減効果をむしろ抑制する方向に誘導する結果となってしまっている。バイオマス発電と日本の再生可能エネルギーが目指すべき理念を明らかにしたうえで、FIT の制度改正を行うことが急がれる。

6. おわりに　バイオマスの健全な発展に向けて

以上、ドイツの過去10数年のFIT導入以降のバイオマス発電の経験と比較することにより、日本のバイオマス発電の課題を明らかにしてきた。大規模で熱電併給となっておらず、燃料のカスケード利用もない現状では、燃料に適正な値段をつけることが困難で、林業資本はほとんどメリットを感じられない。発電事業者にとっても、20 年間発電の売り上げが固定される中、燃料価格が上昇するという、大きな経営リスクを抱えることになる。

また、日本ではバイオマス発電は経験が浅く、技術的に大きな課題も抱えている。大型でホワイトチップを中心とした燃料、発電のみ（熱電併給なし）となるのも、この点に起因する部分も大きい。バイオマスは地域の事情に応じて、きめ細かに対応することが鉄則であり、技術的制約を地域に押し付けるのは、地域への負担となると同時に、事業の持続性からも問題である。

バイオマス発電の健全な発展のためには技術的なブレークスルーが不可欠だが、現在の FIT の下では既存技術で対応できるため、現状に安住し、イノベーション努力が働きにくくなっている。

つまり、バイオマス発電は、このままでは、これを進めれば進めるほど関係者は疲弊する一方で、バイオマス発電のメリットを享受するのは、こうした状況にうまく対応した一部事業者とプラントメーカーだけということになりかねない。

バイオマス市場の健全な発展のためには、FIT の制度を以下のように改定していくことが急がれる。

第一は、発電の規模価格差を設けるとともに、5,000kW 以上の大型に対しては買取価格を低く設定することである。規模別の価格差が設定されていない状況では、見かけ上の効率を求めて大型化しようとするのは、事業主体からすれば当然と言えるだろう。ところが現実には、バイオマス発電は大型化すればするほど、燃料調達が不安定になり、燃料価格が上昇した時の経営リスクが高まる。したがって、規模の適正化をはかることは、発電事業者にとっても重要である。

第二は、発電の際に出る排熱利用を促すよう、熱電併給に対して FIT の買取価格を上乗せすることである。現状ではいくら大型化しても 8 割近い熱は捨てられるだけだ。これを熱電併給にすればエネルギー効率を大幅に高めることができるとともに、将来の燃料価格上昇に備えることが可能となる。

第三は、FIT における、未利用木材、一般木材で買取価格差を設けることはやめ、残材利用に対する上乗せ制度とすることである。そうなってはじめて、バークや工場残材、林地残材などの副産物によるバイオマスのカスケード利用が徹底され、森林資源の最適利用とそれによる付加価値の底上げを図ることが可能となる。

森林資源の最適利用のためにはまた、林地残材を収集するシステムを構築することも、不可欠の前提となる。そのためには、丸太をチップ工場に運んでチップ化するという製紙チップ生産方法の延長では対応できない。林業資本が木材生産システムの中にチップ生産も組み込んで

はじめて、林地残材利用が可能になって、ゴミを宝にすることが可能となる。

林業界では、長年、製紙チップの価格形成に影響力を行使できず、国際的にみても低いチップ価格を余儀なくされてきたが、バイオマスという新しい市場ができたことは、こうした状況を抜本的に改善する大きなチャンスとなる。林業資本は、積極的にみずからチップ加工し、販売先を広げていく努力をしてはじめて、こうしたチャンスを現実のものとすることができる。

また、国内のバイオマス発電の技術的制約が多い中では、欧州の先進技術を取り入れていくことが必要だが、そのためには、規制が厳しい電気事業法などの改正を行い、ベストプラクティスを構築していくことも求められる。

このように課題が多いバイオマス発電だが、そのビジネスチャンスは膨大である。そのチャンスを掘り起こし、持続可能な形で利用していくためにも、そのための基盤をいまきちんと構築しておかなければならない。

（参考文献）

- 梶山恵司（2011 年 1 月）『日本林業はよみがえる』日本経済新聞出版社
- 植田和弘・梶山恵司編著（2011 年 12 月）『国民のためのエネルギー原論』日本経済新聞出版社
- 梶山恵司（2011 年）『再生可能エネルギー拡大の課題』（富士通総研研究レポート No.396
- German Biomass Research Center (2012) „Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse, Endbericht zur EEG-Periode 2009 bis 2011 “

研究レポート一覧

No.409	木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題 －FITを中心とした日独比較分析－	梶山　恵司	(2013年10月)
No.408	3.11後のデマンド・レスポンスの研究 ～日本は電力の需給ひっ迫をいかにして克服したか？～	高橋　　洋	(2013年7月)
No.407	ビジョンの変遷に見るICTの将来像	Innovation and Technology Insight Team	(2013年6月)
No.406	インドの消費者・小売業の特徴と日本企業の可能性	長島　直樹	(2013年4月)
No.405	日本における再生可能エネルギーの可能性と課題 －エネルギー技術モデル(JMRT)を用いた定量的評価－	濱崎　　博	(2013年4月)
No.404	System Analysis of Japanese Renewable Energy	Hiroshi Hamasaki Amit Kanudia	(2013年4月)
No.403	自治体の空き家対策と海外における対応事例	米山　秀隆	(2013年4月)
No.402	医療サービス利用頻度と医療費の負担感について 高年齢者の所得と医療需要、負担感に関するシミュレーション	河野　敏鑑	(2013年4月)
No.401	グリーン経済と水問題対応への企業戦略	生田　孝史	(2013年3月)
No.400	電子行政における外字問題の解決に向けて －人間とコンピュータの関係から外字問題を考える－	榎並　利博	(2013年2月)
No.399	中国の国有企業改革と競争力	金　　堅敏	(2013年1月)
No.398	チャイナリスクの再認識 －日本企業の対中投資戦略への提言－	柯　　隆	(2012年12月)
No.397	インド進出企業の事例研究から得られる示唆	長島　直樹	(2012年10月)
No.396	再生可能エネルギー拡大の課題 －FITを中心とした日独比較分析－	梶山　恵司	(2012年9月)
No.395	Living Lab(リビングラボ) －ユーザー・市民との共創に向けて－	西尾　好司	(2012年9月)
No.394	ドイツから学ぶ、3.11後の日本の電力政策 ～脱原発、再生可能エネルギー、電力自由化～	高橋　　洋	(2012年6月)
No.393	韓国企業の競争力と残された課題	金　　堅敏	(2012年5月)
No.392	空き家率の将来展望と空き家対策	米山　秀隆	(2012年5月)
No.391	円高と競争力、空洞化の関係の再考	米山　秀隆	(2012年5月)
No.390	ソーシャルメディアに表明される声の偏り	長島　直樹	(2012年5月)
No.389	超高齢未来に向けたジェロントロジー(老年学) ～「働く」に焦点をあてて～	河野　敏鑑 倉重佳代子	(2012年4月)
No.388	日本企業のグローバルITガバナンス	倉重佳代子	(2012年4月)
No.387	高まる中国のイノベーション能力と残された課題	金　　堅敏	(2012年3月)
No.386	BOP市場開拓のための戦略的CSR	生田　孝史	(2012年3月)
No.385	地域経済を活性化させるための新たな地域情報化モデル －地域経済活性化5段階モデルと有効なIT活用に関する研究－	榎並　利博	(2012年2月)

http://jp.fujitsu.com/group/fri/report/research/

研究レポートは上記URLからも検索できます

富士通総研　経済研究所
〒105-0022　東京都港区海岸1丁目16番1号（ニューピア竹芝サウスタワー）
TEL.03-5401-8392　FAX.03-5401-8438
URL http://jp.fujitsu.com/group/fri/