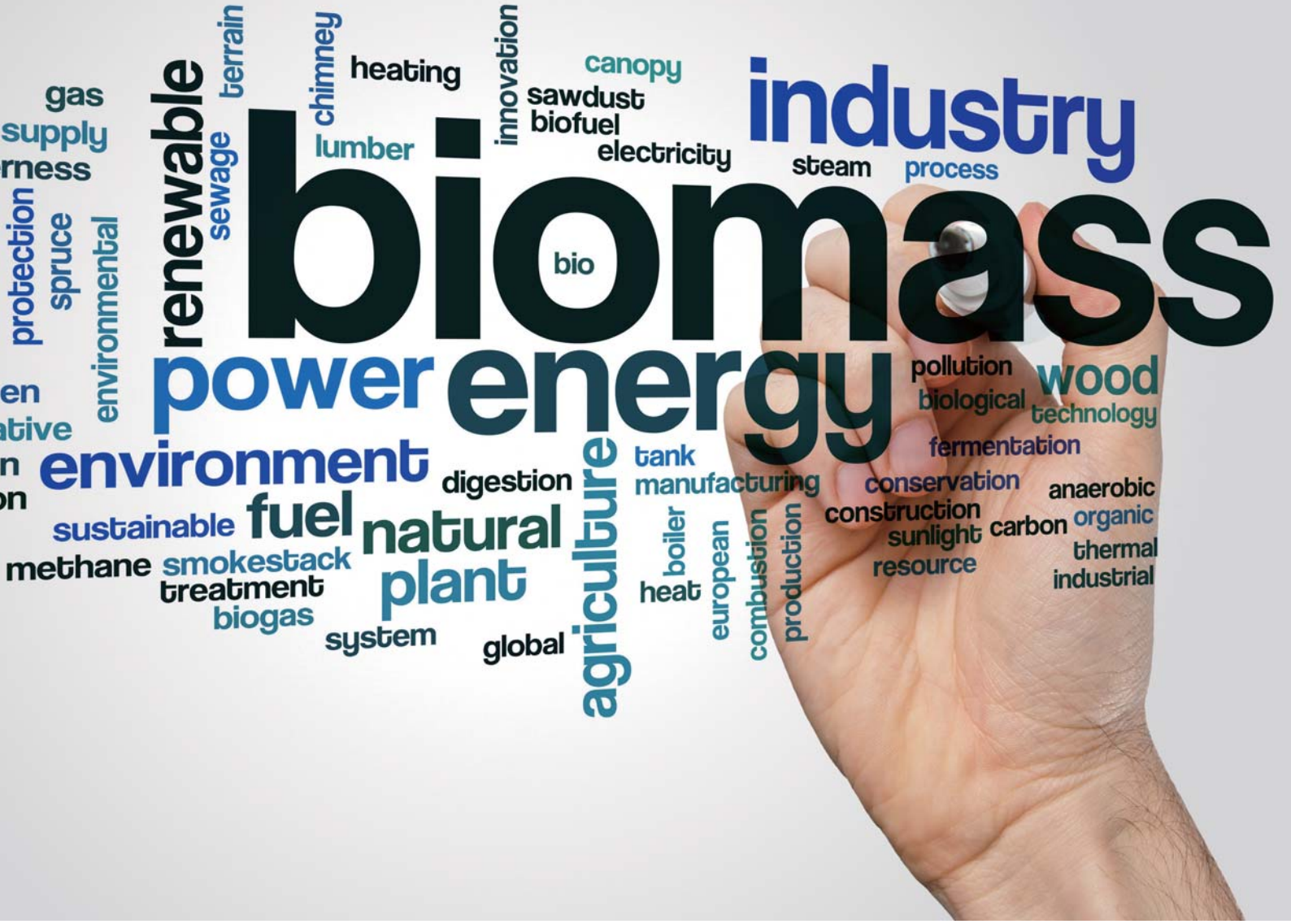
自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

日本のバイオエネルギー戦略の再構築

バイオエネルギー固有の役割発揮に向けて

2018年４月



執筆担当

相川 高信 上級研究員

公益財団法人 自然エネルギー財団とは

自然エネルギー財団は、東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故を受けて、孫 正義（ソフトバンクグループ代表）を設立者・会長として 2011 年 8 月に設立されました。安心・安全で豊かな社会の実現には自然エネルギーの普及が不可欠であるという信念から、自然エネルギーを基盤とした社会を構築することを目的として活動しています。

目次

I. はじめに：本レポートの位置づけ 1
II. 日本のバイオエネルギー市場の現状と課題 2
1． 発電セクター：バランスを欠いた市場の発展 2
1.1 国内材：FiT 後の不透明な見通し 2
1.2 輸入材：持続可能性と石炭混焼に関わる問題 3
2． 進まない熱利用 7
III. 戦略の再構築にあたり考慮すべき事項 8
1． バイオエネルギーの基本特性 8
1.1 多様な利用方法の存在 8
1.2 資源の分散と有限性 9
2． 欧州におけるバイオエネルギー発展の経験 10
2.1 特性を活かした利用 10
（1） 熱利用を中心とした発展 10
（2） 化石燃料の代替とエネルギーインフラの分散化 11
2.2 低コストで持続可能な燃料調達の追求 13
（1） ローカルな資源からの発展 13
（2） 燃料調達の広域化と持続可能性の確保 14
2.3 適切な政策誘導 15
（1） 市場拡大のためのインセンティブの設定 15
（2） 地域の主体性を活かした発展 18
3． 今後想定される世界的なトレンド 20
3.1 太陽光・風力との役割分担による独自性の発揮 20
3.2 世界で広がるバイオエネルギー利用 22
IV. 日本のバイオエネルギー戦略の再構築 23
1． 長期的なビジョンの明確化 23
1.1 VRE との関係に基づくバイオエネルギーの役割の整理 23
1.2 持続可能な利用ポテンシャルの精緻化 23
2． 利用分野ごとの当面の戦略 25
2.1 電力部門における FiT 制度の見直し 25
（1） 熱電併給への誘導 25
（2） 持続可能性基準の厳格化 26
（3） 混焼問題の整理：石炭火力からの撤退のツールに 26
2.2 熱利用推進 27
（1） 当面の自然エネルギー熱導入の目標設定と十分な助成措置 27
（2） 好事例普及のためのソフト支援の拡充 28
（3） 産業部門での熱利用の加速化 29
2.3 低コストで持続的な燃料供給の実現 30
（1） コスト低減のプログラム化 30
（2） 国内森林資源の持続可能性確保 30
（3） 農業残渣や竹等の利用検討の着手 30
2.4 地域主導のエネルギー転換への貢献 31
V. 終わりに 32

I. はじめに：本レポートの位置づけ

バイオエネルギーは、2016 年時点で、世界で最も消費量の多い自然エネルギーである[1]。将来についても、IEA の 2℃シナリオにおいては、2060 年に最終エネルギー消費量の 17%を占めると予測されていることからも、その重要性は明らかである[2]。

バイオエネルギーは、太陽光や風力とは異なる特徴を持ち、燃料のかたちで貯蔵や輸送が可能であり、発電よりも熱利用分野や交通分野でよく利用されてきた。加えて、林業や農業と親和性が高く、地域社会における大きな経済効果があることでも知られている。

日本でも、大きなポテンシャルがあるが、量的または質的に、十分に活用できているとはいい難い。その背景には、そもそもバイオエネルギーの特性や、我が国のエネルギーシステムの中で果たしてくべき役割が明らかにされないまま、政策が展開されているという根本的な問題がある。

確かにバイオエネルギーは、燃料の由来や、利用技術・方法が多様である。国際的な専門家も「バイオエネルギーは複雑であり、複雑さは政策決定者に対する毒だ」と発言している[3]。だからと言って、過度な単純化は危険であり、バイオエネルギーの多様性を踏まえた、丁寧な制度設計が求められている。

そこで、本レポートでは、日本のバイオエネルギー政策や市場の課題を解決し、将来の方向性を示すために、第一にバイオエネルギーの基本特性を概観し、第二にバイオエネルギーの利用で先行する欧州の経験を整理する。その上で、日本のバイオエネルギー戦略の再構築のために、長期的なビジョンの明確化を行うとともに、利用分野ごとの当面の戦略を示す。

なお、本レポートにおいては、政策面と市場の動きが活発な熱と電気の利用にフォーカスし、交通部門については簡単に触れる程度に留め、今後の課題としたい。

---

1 REN21(2017) Renewables 2017 Global Status Report。2015 年で、伝統的バイオマスを除いても、最終エネルギー消費量の 4.9%に相当。

2 IEA(2017)「Technology Roadmap Delivering Sustainable Bioenergy」

3 EUBCE2016 (the 24th European Biomass Conference and Exhibition)における、IRENA イノベーション・テクノロジーセンター長のドルフ・ギーレン氏の発言（https://bioenergyinternational.com/opinion-commentary/eubce-2016-killing-biomass-complexity）。

II. 日本のバイオエネルギー市場の現状と課題

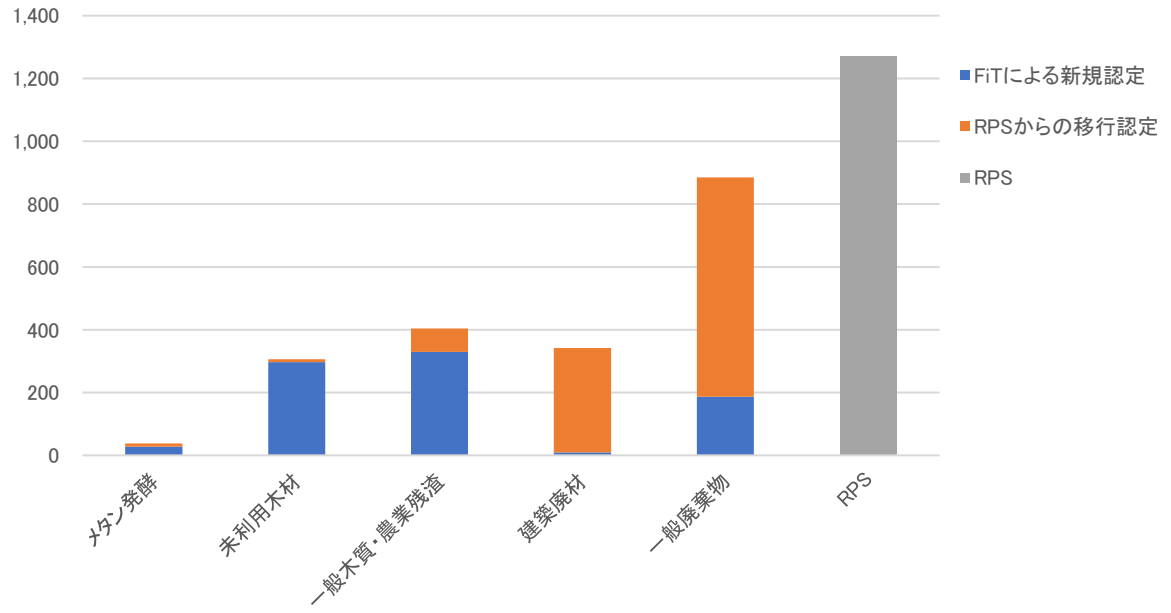
１．発電セクター：バランスを欠いた市場の発展

１.１　国内材：FiT 後の不透明な見通し

日本では、2012 年から始まった FiT 制度により、国内の木質バイオマスを用いた発電が増加している。FiT 以前の RPS 制度[4]の時代（2003 年～）に、主な燃料として用いられたのは、価格の安い一般廃棄物または建築廃材であり、森林からの林地残材については、収集・運搬コストの高さから利用が進まなかった。そこで、FiT 制度においては、林地残材の利用促進を企図して、未利用材区分が設けられ、買取価格が優遇されることになった。その結果、FiT 開始５年を経て、未利用木質区分の認定量は大きく伸び、2017 年 3 月現在、導入量で約 300MW、認定量で約 500MW まで増加した（図表 1）。

その結果、林地残材の利用量は、統計が整備され始めた 2014 年の約 73 万 t から 2016 年の約 192 万 t まで、わずか 2 年で 3 倍近く増加した。また、自然エネルギー財団の推計によれば、木質バイオマス発電は、太陽光発電に次いで 2 番目に大きい雇用創出（4.5 万人）に貢献している[5]。

図表 1　FiT による導入量（2017 年 3 月現在、MW）



（注）RPS から FiT に移行していない発電所の使用燃料は明らかではなく、また FiT の区分と必ずしも対応していない。

出典）資源エネルギー庁「固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト」より作成

4 2002 年 6 月交付。2022 年度を最後に経過措置利用量がゼロになる予定。（https://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/pdf/h29_34_keika_sochi.pdf）。

5 自然エネルギー財団（2017）「固定価格買取制度　5 年の成果と今後の課題」より、2016 年の値。

しかし、問題なのは、これらの国内材を用いたバイオエネルギー発電が、FiT 期間終了後に自立した電源として市場に統合されていくか不透明な点である。

第一に、発電コストは高水準のままであり、低減の見込みが立っていない。実際に、調達価格算定委員会で報告されているコストデータも、「当初の想定どおり」の状況が続き、高止まったままである。さらに、ほとんどの発電所が熱利用を伴わないため、熱販売による収支改善は期待できない。また、太陽光や風力に対する調整力の発揮のための技術や制度のあり方についての議論も、ほとんど行われていない。

第二に、発電コストの大きな比率を占める燃料費の見通しが立っていない。これまでのところ、未利用材の燃料費は、想定値よりも低い水準で推移している（図表 2)。しかし、供給コストが下がっているのであればよいが、燃料供給の安定化・低コスト化に必要な構造変化は十分ではなく、森林資源の再生産やインフラへの投資に還元されていない恐れがある。

図表 2　FiT 認定バイオエネルギー発電の燃料費の推移（円/GJ）

		2015 年度	2016 年度	2017 年度	想定値
未利用木質	2MW 以上	781	958	977	1,200
	2MW 未満	－	777	777	900
一般木質		733	644	721	750
建設資材廃棄物		263	347	324	200

注）2015 年度まで、燃料費は重量（トン）ベースで報告されていた。2016 年度より熱量（GJ）ベースあたりの表記になったため、それに倣い換算を行った。

出典）各年の調達価格算定委員会報告書「調達価格等に関する意見」より作成

１.２ 輸入材：持続可能性と石炭混焼に関わる問題

一方、輸入材（一般木質・農業残渣区分）については、認定量の急増が大きな課題となっている。これまでも、世界的な供給量に対しての不足や、それに伴う持続可能ではない燃料の利用拡大などの懸念が指摘されてきた[6]。しかし、2017 年度に入り、事態はより深刻化している。

具体的には、2017 年 3 月末までに 12.4GW という大量の認定量があり、さらに 2017 年 9 月末までには 16GW を超えていることが明らかになった（バイオマス比率考慮)。仮にもし、この全てが稼働すれば、現在導入量で１位のブラジル（14.2GW)、第２位のアメリカ（12.5GW)、第３位の中国（12.0GW）[7]を上回り、世界第１位に躍り出る可能性すらある。

6 自然エネルギー財団（2016）「バイオマス FiT 発電に関する提言」

7 IRENA(2017) Renewables Energy Statistics 2017

また、重要な課題は、持続可能な燃料調達の確保である。その点で、これらの認定の中に、パーム油を使うプロジェクトが、一般木質・農業残渣全体の 36%、約 4.1GW と、多数含まれていることが明らかになったことが、大きな問題となっている。パーム油は、その生産自体について、これまでも先住民の権利侵害や強制労働、森林と生物多様性の喪失の問題など、持続可能性の問題が繰り返し指摘されてきた。加えて、パーム油生産は、低湿地林でのプランテーション開発によるメタンや CO2 の排出、既存農地の転用による間接的な森林面積の減少などの影響を考慮すると、化石燃料を使用した場合よりも GHG（温室効果ガス）排出量が多い恐れがあるという、エネルギー政策上、致命的な問題を抱えている[8]。

こうしたバイオエネルギー燃料の持続可能性の問題は、欧州や米国などでも重要視され、基準の策定など対策が講じられている。日本においても、2017 年度の一般木質及び、パーム油の認定量の急増が、持続可能性に関わる問題を顕在化させ、2017 年度の調達価格算定委員会において、既に運転を開始している案件も含めて、第三者による持続可能性基準を求めることになった。

図表 3　FiT 制度によるバイオエネルギー発電の認定量
（バイオマス比率考慮、2017 年 3 月末）

燃料区分	導入量(MW)				認定量(MW)
	RPS 非移行分	FIT 認定分		合計	
		RPS からの移行	FIT による新規認定		
未利用木質	−	9	297	306	499
一般木質・農業残渣	−	74	330	403	11,466
建設廃材	−	332	9	341	87
一般廃棄物・木質以外	−	698	187	885	261
メタン発酵	−	10	28	38	103
合計	1,270	1,113	823	3,206	12,417

注）パーム油は、一般木質・農業残渣の区分に含まれている。2018 年度からは、新たに「バイオマス液体燃料」が設けられ、その中で取り扱われることになる。

出典）資源エネルギー庁「固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト」より作成

8 パーム油発電の問題については、相川高信（2017a）「リスクの高いパーム油発電：持続可能性基準づくりを急げ」を参照のこと。

また、現状の FiT 制度には、石炭火力発電所等がバイオエネルギー燃料を一部用いる、混焼発電を支援対象としているという問題がある[9]。バイオエネルギー燃料の混焼は広く行われてきたが、近年世界的には、石炭の消費量の抜本的な削減のために混焼率は高くなる傾向があり、さらにはバイオエネルギーの 100%転換を目的に行われるようになりつつある。しかし、日本においては、石炭火力発電所のバイオエネルギー混焼は、新設であれば、混焼比率を問われることなく、FIT 対象となる。

加えて、2017 年秋より公表されている FiT の事業計画認定のデータから、既設の石炭火力発電所の多くが、FiT 認定を受けていることも明らかになった（図表 4）。この中には、RPS からの移行認定も含まれているが、FiT 制度開始後、認定を取得したと思われる発電所も多い。バイオマスの混焼比率については、図表 4 に示した定格出力 200MW 以上の案件では、10%以下に留まっていることが明らかになっている[10]。

図表 4　バイオエネルギー混焼により FiT 認定を受けている石炭火力発電所

	事業者名	出力（MW）
1	中部電力株式会社	4,100
2	電源開発株式会社	2,000
3	東京電力フュエル＆パワー株式会社	2,000
4	常磐共同火力株式会社	1,200
5	中国電力株式会社	1,000
6	中国電力株式会社	1,000
7	関西電力株式会社	900
8	関西電力株式会社	900
9	北陸電力株式会社	700
10	北陸電力株式会社	700
11	電源開発株式会社	600
12	四国電力株式会社	500
13	中国電力株式会社	500
14	中国電力株式会社	500
15	電源開発株式会社	500
16	電源開発株式会社	350
17	新日鐵住金株式会社	330
18	常磐共同火力株式会社	250
19	電源開発株式会社	250
20	宇部興産株式会社	216

注）2017 年 11 月末現在。定格出力の大きなものから上位 20 箇所を抽出して記載。バイオマス比率が公表されていないため、出力はバイオマス比率を考慮しない石炭火力発電所のみの定格出力。

出典）資源エネルギー庁「固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト」より作成

9 石炭混焼の問題については、相川高信（2017b）「バイオマス混焼：石炭火力の削減に繋がる制度に」を参照のこと。

10 第 35 回調達価格等算定委員会資料より。なお、個別の案件のバイオマス混焼率は公表されていない。

混焼発電のコストは、国際的にも 0.10USD/kWh 程度であるとされており[11]、日本においても、12.6～13.2 円/kWh という数字が示されている[12]。それにも関わらず、FiT で 24 円/kWh といった高い買取価格が適応されていることから[13]、発電事業者に過剰な利益をもたらしていると考えられる。

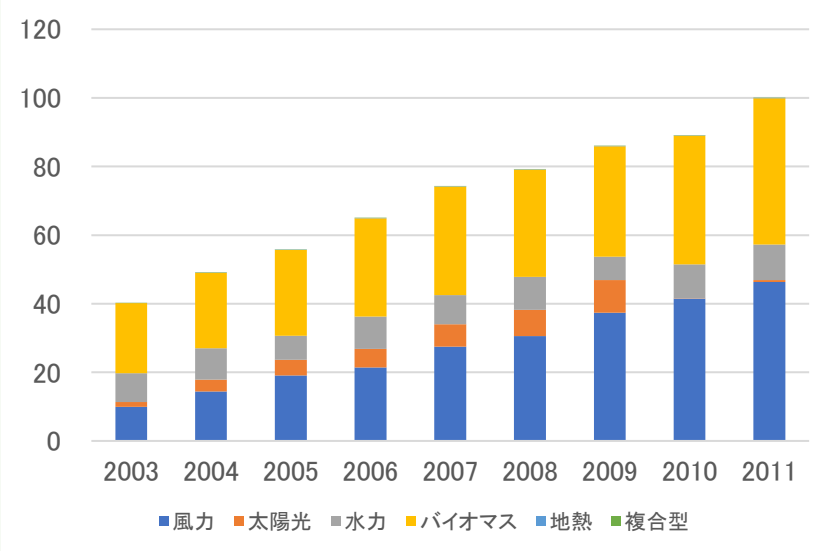
石炭火力発電からのフェードアウトは、日本の気候変動対策として、優先的に取り組むべき課題である[14]。このことを明確にした上で、発電所の一部をバイオエネルギー燃料の混焼や転換により活用していくという筋道を明らかにすべきである。

■コラム：FiT 以前のバイオエネルギー発電の発展

日本における近代的なバイオエネルギー利用は、製紙会社での黒液・廃材利用として、1950 年代から行われてきた。これらは工場内部の製造プロセスの中で、電気や蒸気を利用するものだった。

2003 年に RPS 法が成立し、商業用の発電事業が始まると、バイオエネルギー（バイオマス）の発電所が多く建設された。しかし、当時のバイオエネルギー発電の買取価格は、7.6 円/kWh～9.4 円/kWh[15]と、現在の FiT 価格よりも安かったため、使用される燃料のほとんどは建築廃棄物や一般廃棄物であった。そのため、この時代は、低質な燃料からの利用が促進されていたと言うこともできる。また、その他の自然エネルギー発電に対しても競争力があり、RPS 時代は買取電力の 4 割がバイオエネルギー由来のものだった。（図表 5）。

図表 5　RPS 制度下における自然エネルギー電気の供給量（億 kWh）



出典）RPS ホームページより自然エネルギー財団作成

11 IRENA(2012) Renewable energy technologies: cost analysis series volume 1: Biomass for power generation

12 発電コスト検証ワーキンググループ（2015）「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告」

13 使用燃料の種類も公表されていないが、これらの混焼発電所のほとんどは輸入ペレットを主な燃料としており、一部のみに国産の木質チップを使っている。

14 自然エネルギー財団（2018）「提言　脱炭素社会を実現するエネルギー政策への転換を」

15 資源エネルギー庁（2011）「RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格の調査結果について」

２．進まない熱利用

次に、バイオエネルギーの本命とされる熱利用については、一部の産業用の熱利用以外、その利用自体が進んでいないという大きな問題がある。

図表 6 に、日本とドイツのバイオエネルギーの利用状況の比較を示す。産業用の熱利用については、日本でも、製紙会社や木材産業を中心にかなりの利用量があることが分かる。しかし、それ以外の業界では、NEDO 事業[16]により実証試験的に支援されたものの、その後の普及の目処は立っていない。また、ドイツで大きな量を占めている家庭部門や商業・公共サービスでの熱利用が、日本ではほとんどないことが分かる。

参考までに、バイオマスボイラの導入台数を見ると、日本では累計の導入台数が 2,000 台未満であるのに対して、ドイツでは補助を受けて導入されたものだけで 40 万台を超えており、この分野に投資を呼び込むための制度・政策が強く求められている[17]。

図表 6　日独のバイオエネルギーの利用状況の違い（TJ、2015 年）

	種類	日本	ドイツ
エネルギー転換	発電	276,103	57,630
	熱電併給	0	69,654
	熱供給	0	13,538
最終消費	産業	96,748	90,388
	家庭	472	222,600
	商業・公共サービス	0	50,066

（注）Primary solid biofuels の項目を抜き出しての比較。熱利用は、エネルギー転換部門における熱電併給の一部と熱供給、最終消費部門の産業部門の一部、家庭や商業・公共サービスの利用量に相当する。

出典）IEA Country Statistics

16 NEDO による「バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業（2002 年～2010 年）」では 56 件、「地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業（2006 年～2010 年）」では 26 件の実証試験が行われている。

17 日本は林野庁資料より。ドイツは AEE（2017）Renews Spetial Nr.82/August 2017 Holzenergie in Deutshland より。

III. 戦略の再構築にあたり考慮すべき事項

次に、戦略の再構築にあたり考慮すべきバイオエネルギーの基本特性を概観する。

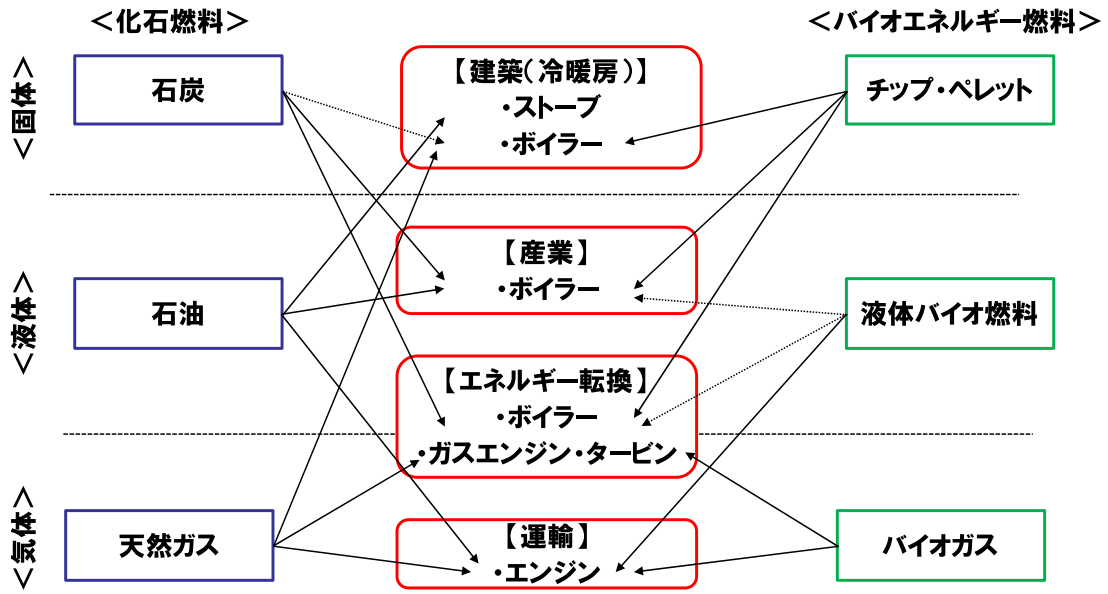
１．バイオエネルギーの基本特性

１.１ 多様な利用方法の存在

バイオエネルギーの第一の特性は、バイオマス資源から、固体・気体・液体、全ての燃料の製造が可能だということである。これらの燃料を用いて、電気、熱、交通などあらゆる分野での利用が可能である。したがって、現状で化石燃料が使われている領域の全てにおいて、技術的にはバイオエネルギーへの代替が可能である。このように、多様な利用方法が存在することが、電気の生産が中心の太陽光や風力とは異なる、バイオエネルギーの最大の特徴である。

ただし、利用方法の全てにおいて、十分に高いエネルギー効率が実現するとは言えないことに注意が必要である。例えば、熱利用においては 90%以上の高いエネルギー変換効率が実現しているが、発電のみであれば 20～40%程度であり、熱電併給となって初めて、80～90%といった高い総合効率を実現できるようになる。また、交通用の液体燃料は、内燃機関（エンジン）で用いられるため、ガソリンやディーゼルの場合と同じく、その効率は 20%に満たない。したがって、多様な利用が可能なことは確かであるが、他の自然エネルギーとの役割分担に基づき、バイオエネルギーの特性を活かした用途での利用を優先させていくことが重要である。

図表 7　バイオエネルギーの利用体系



出典）自然エネルギー財団作成

１.２ 資源の分散と有限性

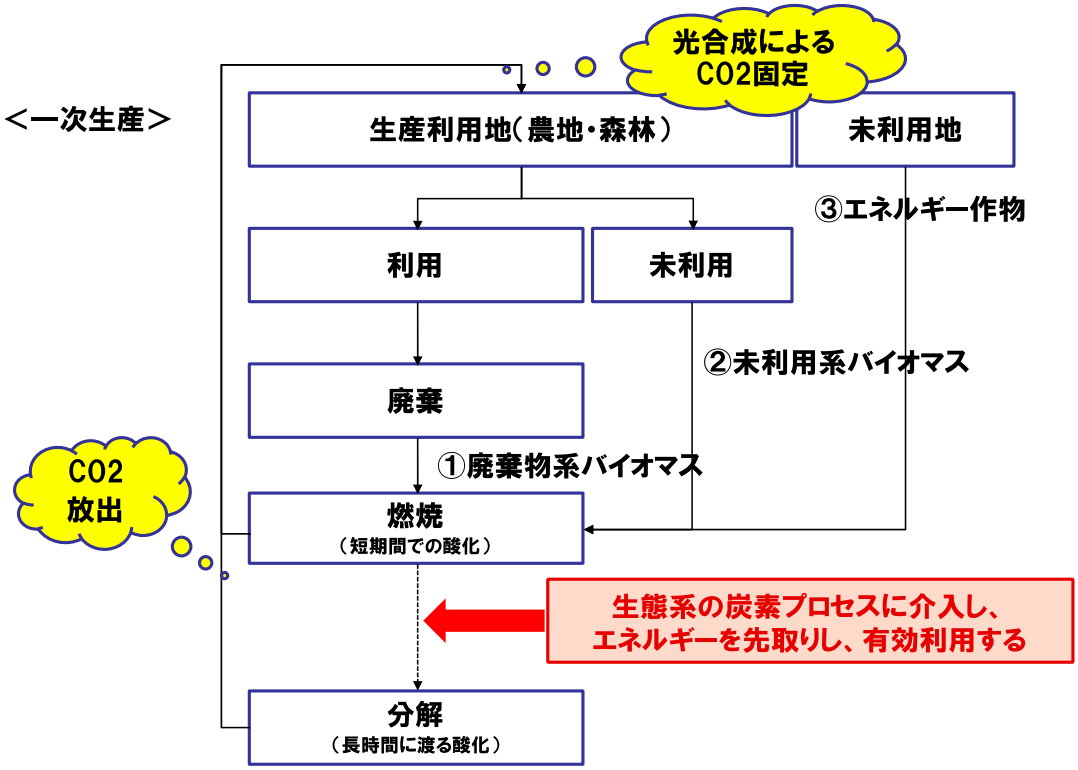
第二の特性は、バイオエネルギー燃料は、化石燃料に比べて単位重量あたりのエネルギー密度が低く、資源が空間的に薄く広く賦存しており、化石燃料のように特定のエリアから集中的に採掘できないということである。したがって、大規模化が比較的容易な化石燃料とは異なり、エネルギーシステム自体が小規模分散型のものに置き換わっていくことになる。

同時に、バイオエネルギーの利用は、資源の有限性の影響を強く受ける。確かに、世界にあるバイオ系の残渣を全て使えば、全世界の一次エネルギー供給全てを賄えるという試算も存在する[18]。しかし、収集・運搬のコストなど経済性を考えると、全てを使うことは現実的ではない。

また、食糧生産や生態系保全など、燃料生産以外の生態系サービスとの間で、土地を巡る競争が発生しうる。太陽光や風力発電も土地を必要とするが、バイオエネルギーの方がより多くの土地を必要とし、利用できる面積の上限に早く到達する。

したがって、バイオエネルギーの利用に当っては、第一に廃棄物や残渣等の未利用系バイオマスを中心に考え、最後に未利用の土地を活用してのエネルギー作物の生産を考えるという順番を原則とすることが大切である（図表 8)。

図表 8　バイオエネルギー利用の優先順位付けの概念図



出典）自然エネルギー財団作成

18 Dornburg V, et al. (2010) Bioenergy revisited: key factors in global potentials of bioenergy. Energy & Environmental Science 3:258–67.

２．欧州におけるバイオエネルギー発展の経験

次に、バイオエネルギーの現代的な利用で世界を牽引してきた、欧州におけるバイオエネルギー発展を概観する。無論、欧州においても試行錯誤が多く存在したはずであるが、本節では、欧州では、バイオエネルギーの特性を踏まえて、どのように市場を拡大してきたのかを整理し、そこから日本に向けた教訓を導き出すことにする。

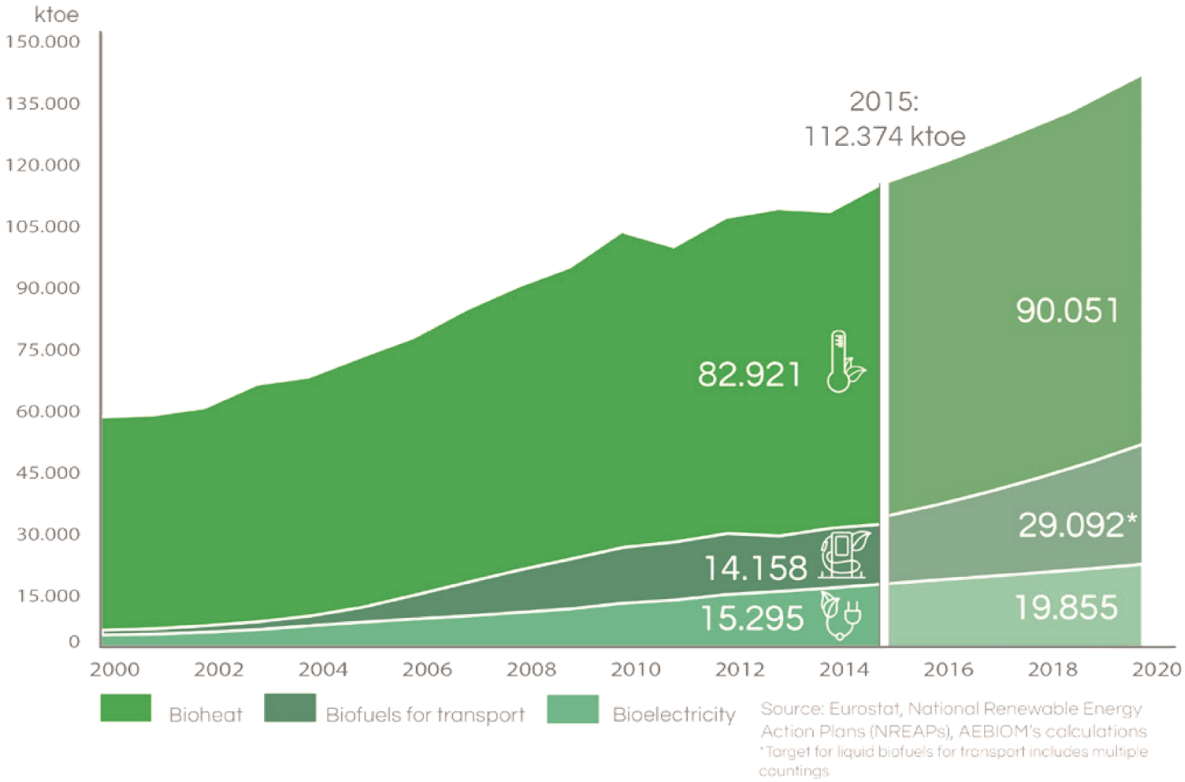
２.１ 特性を活かした利用

（１） 熱利用を中心とした発展

第一に指摘できることは、欧州では、熱利用メインの発展を遂げてきたことである（図表 9）。さらに、その内訳を見ると、家庭部門での暖房などに振り向けられてきたことが分かる（図表 10）。これは、熱利用であればエネルギー変換効率が 90%を超えることから、資源効率的な利用を優先させてきた合理的な結果と言える。

発電については、緩やかであるが、2020 年までの成長が予測されている。ただし、熱利用に比べると、その総量は少ない。また、液体燃料は、主に交通部門で用いられているが、食糧等の競合や持続可能性の問題があり、2020 年目標達成の見通しは不透明である。

図表 9　EU28 カ国におけるバイオエネルギー利用の発展



出典）AEBIOM（2017）AEBIOM Statistical Report 2017

図表 10　バイオエネルギーの最終消費量の内訳（EU28 カ国、2015 年）

分類		ktoe	割合
熱	家庭	42,288	38%
	製造業	21,363	19%
	排熱利用*	12,759	11%
	サービス業	4,422	4%
	その他	2,089	2%
電気	熱電併給	8,829	8%
	発電のみ	6,466	6%
交通		14,158	13%
合計		112,374	100%

注）Derived heat を訳出している。Eurostat の定義では、熱供給プラントや熱電併給プラント、発電プラントにおいて生産される熱であり、熱生産を目的として生産された熱を除いたものである。

出典）AEBIOM（2017）AEBIOM Statistical Report 2017

（２） 化石燃料の代替とエネルギーインフラの分散化

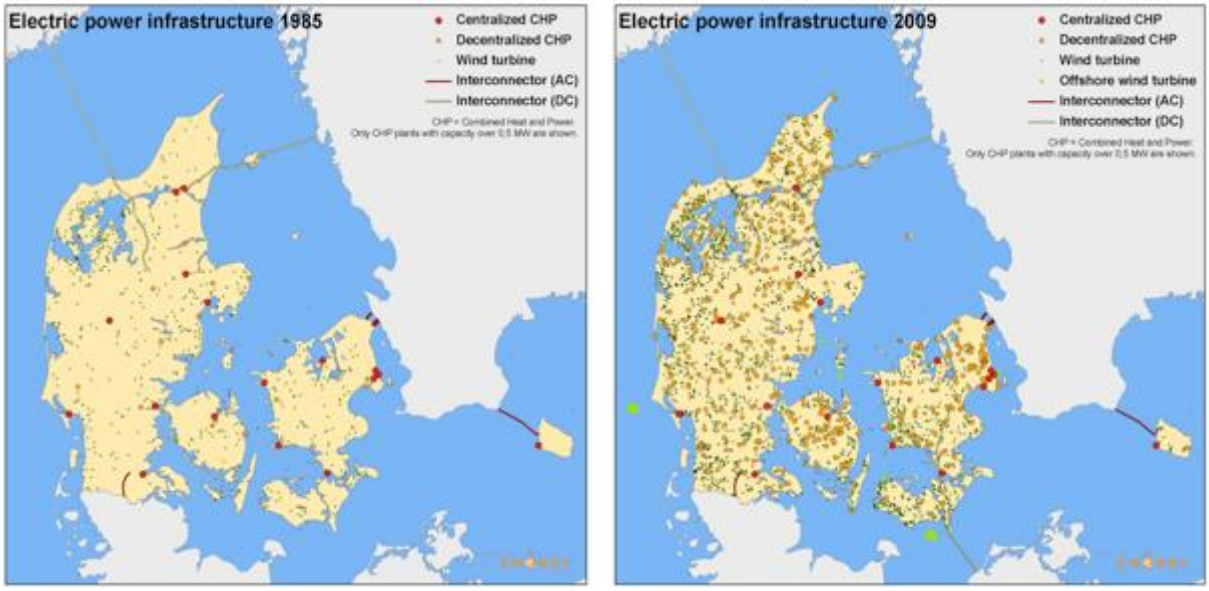
これらのバイオエネルギーの利用は、化石燃料（ガス・重油・灯油）を代替していくことで、主に行われてきた。ただし、バイオエネルギー燃料は、化石燃料よりも薄く広範囲に存在するという特性を持っているため、大規模集中型の利用よりも、中小規模分散型のエネルギーシステムへの変換を伴う。

このことがよく分かるのが、デンマークの事例である。デンマークでは、1980 年代から風力発電とともに、バイオエネルギーを利用した熱供給や熱電併給プラントを発展させてきた（図表 12）。これと同時に、地域熱供給プラントにおいて、石炭等の化石燃料の割合を減らし、バイオエネルギー等の再生可能エネルギーの割合を増やしてきたことが分かる（図表 12）[19]。

さらに、熱供給に用いられる蓄熱タンクや熱導管インフラが発達すると、多様な熱源を利用できるようになる。特に近年は、太陽光や風力発電の余剰電力を使って、大型のヒートポンプを稼働させ、電力システムにおける調整力の一つとしての役割を果たすようになっている。

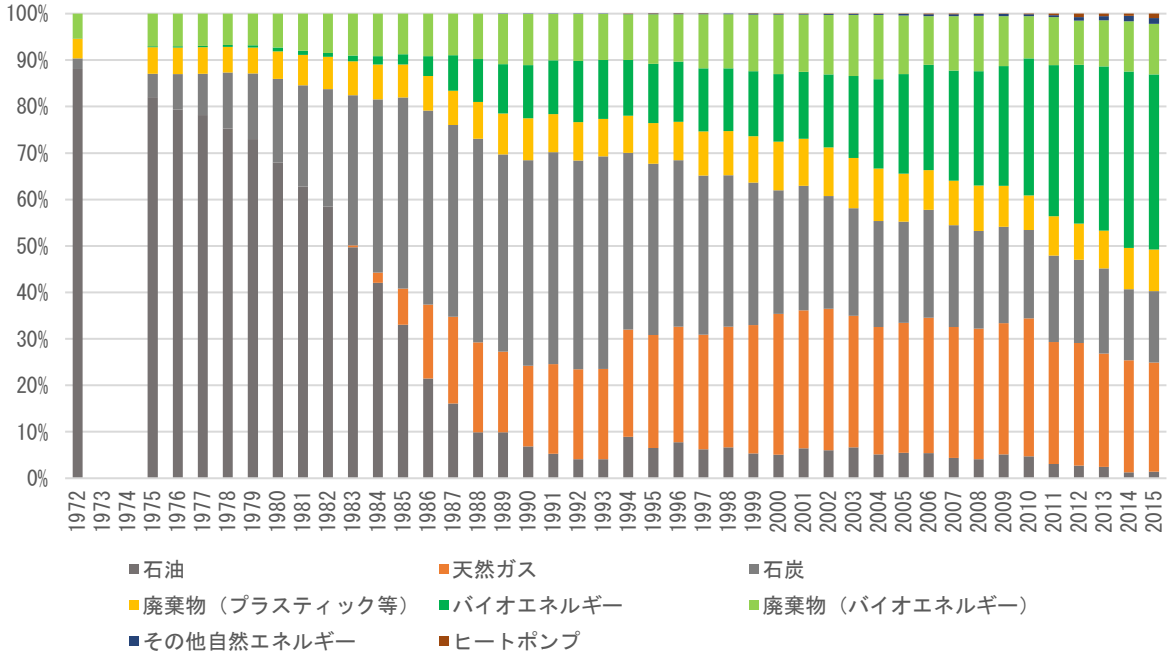
19 森林の少ないデンマークでは、藁や家畜糞尿由来のバイオガスが燃料として用いられてきた。

図表 11　デンマークにおける分散型エネルギーシステムの発展



出典）Danish Energy Agency

図表 12　デンマークにおける地域熱供給プラントの使用燃料の変化



出典）Danish Energy Agency (2017) Annual Energy Statistics

２.２ 低コストで持続可能な燃料調達の追求

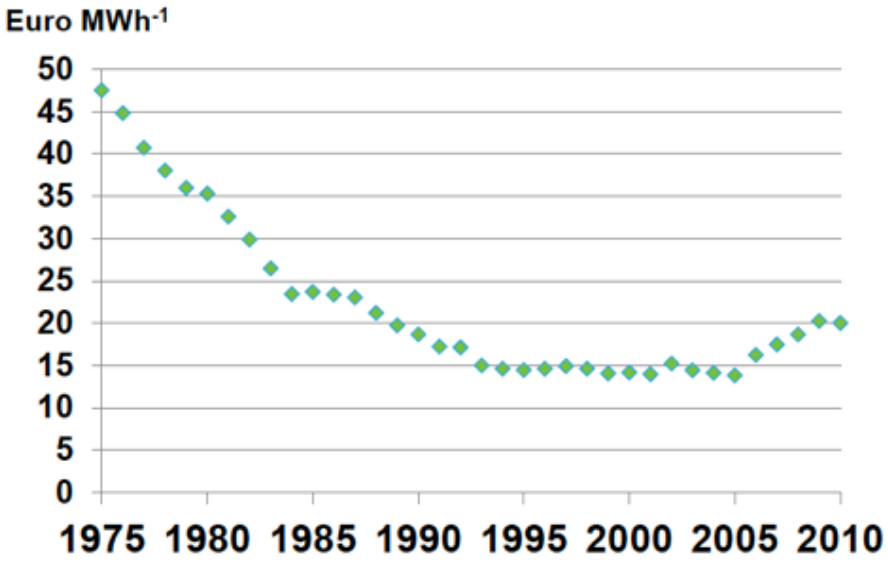
（１） ローカルな資源からの発展

バイオエネルギーは、廃棄物・副産物などの地域に薄く広く存在する資源を活用することで発展してきた。20 世紀の初頭から、デンマークやオランダなどで、廃棄物焼却場が整備され、エネルギー回収が行われてきた。例えば、デンマークの首都コペンハーゲンの最初の地域熱供給プラントは、廃棄物焼却場の排熱を利用したものだった。廃棄物に含まれるバイオマスは再生可能エネルギーとして見なされ、その後、欧州における焼却施設の整備とともに、電力と熱の供給において重要な役割を果たしている。

現在の欧州で最も多く用いられているのは、木質系のバイオエネルギー燃料である[20]。日本では、木質系も含めて、バイオエネルギー燃料の収集・運搬コストが高いことが課題として指摘されてきたが、欧州でも、最初から低コストな供給が可能だったわけではない。例えば、スウェーデンの森林からの木質燃料の価格の歴史的な推移を見ると、木質燃料の利用の経験を蓄積させながら、供給コストを低下させてきたことが分かる（図表 13）。コストを下げることで、化石燃料への競争力を高め、需要家を増やし、市場を拡大してきたと言える。

スウェーデンは日本に比べれば、地形が平坦であることが低コストな供給に有利であることは確かである。しかし、地形が急峻なオーストリアなどの中欧諸国でも、森林からのバイオエネルギー供給は十分に成立している。それを可能にしているのは、よく整備された路網インフラであり、林業と一体となったバイオエネルギー利用の発展がポイントである。

図表 13　スウェーデンにおける森林由来の木質燃料の実質価格の推移



出典）Björheden (2012) Challenges of forest energy supply in Sweden

[20] AEBIOM の統計によれば、バイオエネルギー燃料の内、69%が固体バイオマス（農業残渣も含まれるが、現状では主に木質）、12%がバイオガス、12%が液体バイオ燃料、7%が廃棄物中のバイオマス成分となっている。

また、使える資源を貪欲に探求してきた点も見逃せない。森林からの木質燃料だけではなく、製材の残渣から建築廃材まで、木材利用の様々な段階で発生する残材を活用してきた。また、これらの量を把握し、フローのかたちで整理し、政策立案に役立てる調査プロジェクトが行われてきた[21]。

近年はさらに、農業残渣など燃料の多様化が模索され、木質に限らず、農業系、また輸入も含めた供給ポテンシャルの包括的な調査結果が出版されている[22]。

（２） 燃料調達の広域化と持続可能性の確保

このように、ローカルな資源を活用するかたちで始まったバイオエネルギー利用であるが、次第に大規模な取組の事例が出てくるようになった。例えば、2016 年より稼働を開始したスウェーデンのストックホルム市の最新の地域熱供給プラントは、発電出力 130 MWe、熱出力 280MWth の世界最大級の出力を実現し、20 万世帯への熱供給を行っている[23]。

さらに、近年は、よりドラスティックに化石燃料、特に石炭火力発電所のような大量の燃料を必要とする設備において、バイオ燃料の混焼率を高め、また最終的には 100%の燃料転換を行う事例が出始めた。ただし、こうした動きは、突然現れたものではなく、ローカルなレベルで始まった燃料生産・供給のチェーンの規模を拡大し、束ねていくことで、発展が可能になったものとして捉えるべきである。

先駆的な事例は、イギリスの Drax 発電所である。Drax は 3.6GW の発電容量を持つ、イギリス最大の石炭火力発電所だったが、その内 1.8GW(600MW×３基)のユニットをほぼ 100%バイオマス燃料に転換した。燃料は主にアメリカからの輸入ペレットであり、その量は年間 700 万ｔに達している。

また、デンマークのオルステッド（Ørsted）社では、先に見たように、中小規模の熱供給プラントにおいて、藁などのローカルなバイオエネルギー燃料への切り替えを行ってきた。こうした経験を踏まえ、集中型の大型プラントについても、持続可能な調達の可能性について慎重に検討した上で、バイオエネルギーへの転換を開始している（図表 14）。これらの取組に基づき、2006 年に 620 万 t あった石炭使用量を、2023 年までにゼロにすることを目指している。

---

21 MantaU, U. (2012): Wood flows in Europe (EU27). Project report. celle 2012, 24 pp

22 European Commission (2017) Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond 2020. Annexes of the Final Report

23 日本の地域熱供給プラントの中で、規模の大きいものの熱出力は、東京臨海副都心のプラントで約 182MWth、新宿新都心のプラントで約 170MWth 程度である。

図表 14　オルステッド社が保有する石炭火力発電所のバイオエネルギーへの転換の状況

発電所名	発電出力（MWe）	状況
Asnæs	1,057	木質チップボイラへの転換を検討中
Avedøre	810	バイオエネルギー等を熱源として建設中
Kindly	734	石油・ガスによりピークカット用ボイラとして活用
Studstrup	700	2016 年に木質ペレットに転換
Skærbæk	392	2017 年に天然ガスを木質チップに転換
Esbjerg	378	バイオエネルギー転換について検討中
H.C. Ørsted	185	1994 年に石炭から天然ガスに転換
Herning	88	2009 年にバイオマス CHP として建設
Svanemølle	81	1985 年に石炭から天然ガスに転換

出典）Ørsted 社ホームページより、自然エネルギー財団作成（2018 年 3 月現在）

２.３ 適切な政策誘導

（１） 市場拡大のためのインセンティブの設定

欧州におけるこうしたバイオエネルギーの利用拡大は、政策的に誘導されて来た成果である。ただし、欧州諸国のインセンティブスキームは、国ごとに独自に組み立てられている。バイオエネルギーに対するインセンティブの設定の仕方は、大きく分けて、①化石燃料への課税強化、②設備補助、③バイオエネルギー熱の生産量に応じた補助の 3 種類が存在する。

第一に、北欧諸国では、化石燃料への課税強化により、化石燃料からバイオエネルギー燃料への転換を誘導してきた（図表 15）。例えば、スウェーデンでは、1991 年に世界で最初に炭素税を導入し、熱利用部門における化石燃料から再生可能エネルギーへの転換を図った。この中でも特に、バイオエネルギーの利用を劇的に増加させることに成功している[24]。

図表 15　欧州主要国と日本の化石燃料に対する税率（単位量あたり円）

国	産業用 A 重油（円/L）	灯油（非商用）（円/L）	天然ガス（家庭用）（円/kg）
デンマーク	43.9	42.6	55.3
スウェーデン	42.0	55.6	58.5
フィンランド	31.7	102.3	34.5
ドイツ	3.0	0.0	10.5
イギリス	18.2	0.0	0.0
日本	0.0	0.0	1.9

出典）環境省（2017）「諸外国における炭素税等の導入状況」「燃料別の二酸化炭素排出量の例」より作成

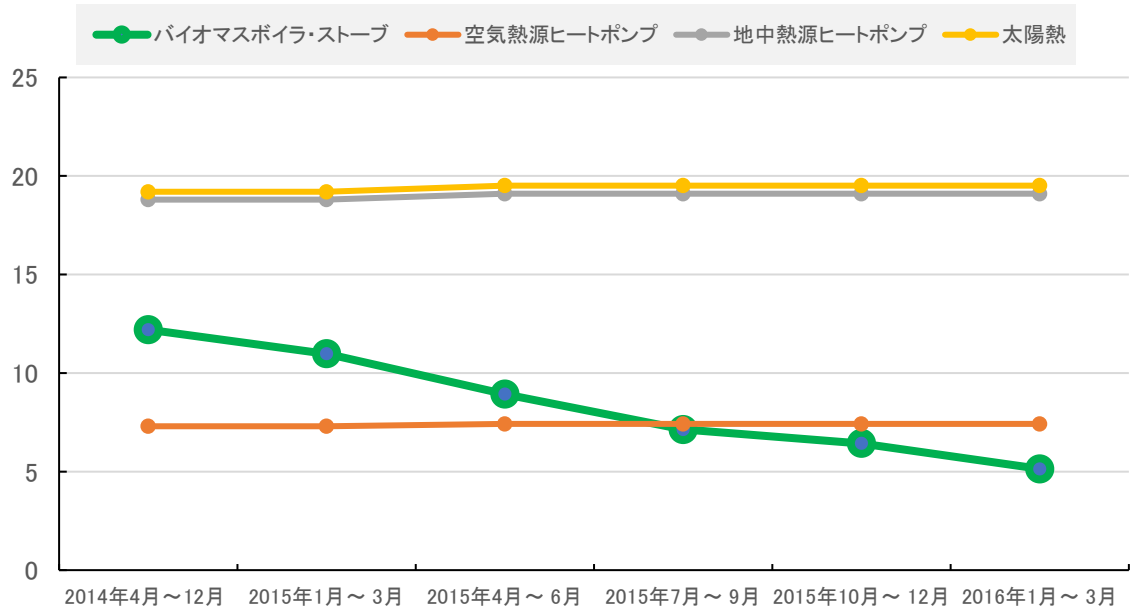
[24] Mats Engström 氏の講演「Bioenergy policy in Sweden」より（https://www.renewable-ei.org/activities/events/img/20170522/tokyo_MatsEngstrom.pdf）

第二の類型の代表としてはドイツがある。ドイツでは、化石燃料に対する税率は必ずしも高くないが、設備補助を行っている。具体的には、バイオエネルギー燃料を用いた暖房装置への補助として、市場活性化プログラム MAP 助成制度がある。なおドイツでは、2009 年の再生可能エネルギー熱法により、新築建設について、一定以上の再エネ熱の利用を義務付けが行われていることも、バイオエネルギーの熱利用を進める上で重要である[25]。また、オーストリアでも初期費用の 30%の補助がある。

第三の代表例として、Renewable Heat Incentive（RHI）と呼ばれる制度で強力に導入を進めたイギリスがある。これは、発電の FiT と同様に、技術ごとに買取価格（Tariff）を定め、生産した自然エネルギー熱の量に応じて、補助金を支払う仕組みである。バイオエネルギーについては、家庭用で kWh あたり 12 ペンス、非家庭部門で kWh あたり 9 ペンス程度と、かなりの高い買取価格を定めていたが、急速に普及が進んだ[26]。同時に、市場が創出されたことで、買取価格、つまり熱生産コストの急速な削減に成功した（図表 16）。

このように、日本ではあまり進んでいないバイオエネルギーの熱利用について、欧州では、国ごとに特徴のあるインセンティブスキームを設計し、運用してきた。日本でも、これらの経験に学びつつ、市場拡大のための適切なインセンティブを設計する必要がある。

図表 16　イギリスにおける RHI タリフの推移（家庭用、ペンス/kWh）



出典）Ofgem ホームページより作成

25 ドイツ・再生可能エネルギー・エージェンシー（2014）「ドイツにおける木質バイオマスエネルギー～現状と展望～」

26 2017 年 12 月段階の認定量は、家庭用は 58,885 件（容量データなし）、非家庭用は 3,864MW となっている。

一方、発電利用については、先に述べたバイオエネルギーの特性を反映して、慎重な制度設計が行われている。

例えば、ドイツでは一貫して 20MW 未満に支援の対象を限るとともに、熱電併給については 2004 年からボーナスを付与し、導入を支援した。2012 年にはボーナスは廃止したものの、総合エネルギー効率の閾値を設け、事実上、熱電併給を義務化している[27]。加えて、熱電併給を可能にする木質ガス化や ORC[28]などの革新的な発電技術に対してもボーナスを設定し、技術的イノベーションを促してきた。また、NawaRo と呼ばれるボーナスにより、林地残材の利用を促してきた点は日本と同じであるが、2004 年から 2013 年の 10 年間で廃止している。

同様に、オーストリアの FiT 制度も小規模・熱電併給を優遇している。具体的には、FiT の対象規模は 10MW 未満とし、総合エネルギー効率 60%以上のプラントのみにを支援対象とすることで、実質的に熱電併給を義務付けている。

図表 17 ドイツのバイオエネルギーEEG の報償額の変遷（€セント/kWh）

報償区分	規模・ボーナス		2000 年	2004 年	2009 年	2012 年	2014 年
基本レート	0.15MW 以下		10.2	11.5	11.7	14.3	13.66
	0.15～0.5MW		10.2	9.9	9.2	12.3	11.78
	0.5～5MW		9.2	8.9	8.3	11.0	10.55
	5～20MW		8.7	8.4	7.8	6.0	5.85
ボーナス	0.5MW 以下	NawaRo	－	6.0	6.0	6.0	－
		コジェネ	－	2.0	3.0	－	－
		革新技術	－	2.0	2.0	－	－
	0.5～5MW	NawaRo	－	2.5	2.5	2.5	－
		コジェネ	－	2.0	3.0	－	－
		革新技術	－	2.0	2.0	－	－
	5～20MW	コジェネ	－	2.0	3.0	－	－

一方、大規模発電を支援する場合は、量と時限を区切って、石炭の代替・転換のための限定的な支援としていることに注意が必要である（図表 18）。大規模な石炭火力発電の代替には、大量のバイオエネルギー燃料が必要になることに加え、これらの政策を実施している国は森林資源に乏しいこともあり、燃料の多くを輸入している。そのため、国独自の持続可能性基準を定め、リスク管理を行っている。また、EU でも、2010 年の検討では EU レベルでの持続可能性基準の策定を見送っていたが、バイオエネルギー利用量の増大に伴い、2017 年に策定を行い、2021 年から適用される予定である。

27 熊崎実（2015）FIT のもとでの木質バイオマス発電：ドイツと日本の比較．日エネ誌 94：1215-1224

28 有機ランキンサイクル。沸点の低い有機系の液体を水と蒸気の代わりに用いる発電技術。低い温度体の熱で発電が可能になるため、排熱利用・熱電併給に適している。

図表 18　石炭からのバイオマス転換を実施している主な国の政策

	イギリス	デンマーク	オランダ
石炭の方針	2025 年までに全ての石炭火力の閉鎖を決定（2016 年決定）	（政府）2050 年までの化石燃料ゼロ （Ørsted）2023 年までに石炭の使用停止を決定	議会による石炭火力撤退を求める決議
支援スキーム名	FiT-CfD	炭素税・エネルギー税、初期費用の補助	SDE+
持続可能性基準	必要	Ørsted が自主的に採用	必要
支援対象	バイオマス転換（90%以上）	－	バイオマス混焼（比率要求なし*1）
支援量*2	2,500MW	－	486MW
助成水準	10.5pence/kWh（政府が示す基準価格）	－	7.0～11.5€ct/kWh（4 回の入札の基準価格）
支援期間	15 年間	－	8 年間

注 1）オランダでは、実際の混焼率は 10～80%。設備容量を考慮した、加重平均では、混焼率は 31%に相当する。
注 2）支援量はバイオマス燃料による発電容量。日本のバイオマス比率考慮後の容量に相当。

出典）John Bingham (2015) The outlook for industrial wood pellets in Europe and Asia, Michael Carbo et al. (2017) Biomass and co-firing: Experience and future perspectives from the Netherlands より作成

（２） 地域の主体性を活かした発展

バイオエネルギーを含めて自然エネルギーは分散型になるため、地域レベルでの主体性を活かした推進が効果的である。石炭火力発電の 100%転換など、バイオエネルギーの利用は、他の自然エネルギー同様、大規模化する傾向にあるが、このような地域の主体性を活かした発展が社会的な支持基盤となっていることを忘れてはならない。

例えば、ドイツで 2000 年代初めに実現した、ニーダーザクセン州のユーンデ村のような、地域の熱と電気をバイオエネルギーでほぼ自給するバイオエネルギー村は、自然エネルギー導入の初期段階のパイオニア的な役割を果たした[29]。技術的には、まずバイオガス熱電併給プラントで電気を供給している。その排熱と、木質チップボイラを補助的な熱源として、これまで大都市にしかなかった、地域熱供給インフラを村レベルで整備することで、個々の家庭のボイラや燃料の転換ではなく、一挙に自然エネルギー熱への転換が可能となった。このプロジェクトの推進は、ゲッティンゲン大学などの研究者を中心に担われたが、実施の過程では村人の主体性が重視され、完成した施設の運営も村人による事業協同組合によって担われている。

29 千葉恒久（2013）「再生可能エネルギーが社会を変える　市民が起こしたドイツのエネルギー革命」現代人文社

同様の取組は、オーストリアでも見られ、その取組は 1980 年代の半ばから始まっていたと言われる[30]。しかも、これらの地域熱供給システムの普及は、農家の所得向上を目的として、州政府の支援と草の根的取組が主体となったと言われている。また、デンマークのローカルな地域熱供給プラントも協同組合方式が多い。

こうしたバイオエネルギーの利用推進により、化石燃料への支出というかたちで、地域外に流出していた地域のお金が、地域の農家や林家に支払われるようになり、地域経済の活性化に貢献している。こうした意義から、これらの地域の主体を活かした分散型のバイオエネルギーの利用は、様々な政策支援を受けている。例えばドイツでは、気候変動マネージャーの人件費補助や、各種の計画策定ツールの作成と配布、関係ステークホルダーを集めるアライアンスの形成支援など、ソフト面での支援が充実している点も重要である。

30 三浦秀一（2013）「木質燃料によるバイオマス地域熱供給システム」熊崎・沢辺編著『木質資源とことん活用読本』（農文協 2013）

３．今後想定される世界的なトレンド

最後に、日本のバイオエネルギーの将来戦略を考える上で無視できない世界的なトレンドについて概観しておきたい。

３.１ 太陽光・風力との役割分担による独自性の発揮

第一に、近年の太陽光と風力発電の目覚ましいコストの低減と、それに伴う導入量の急増である。これに対して、バイオエネルギーの発電コストは、2010 年時点でも十分に低かったと言えるが、2017 年までに低減が見られず、すでに下げ止まっている（図表 19）。

図表 19　自然エネルギーの発電コストの変化（2016USD/kWh）

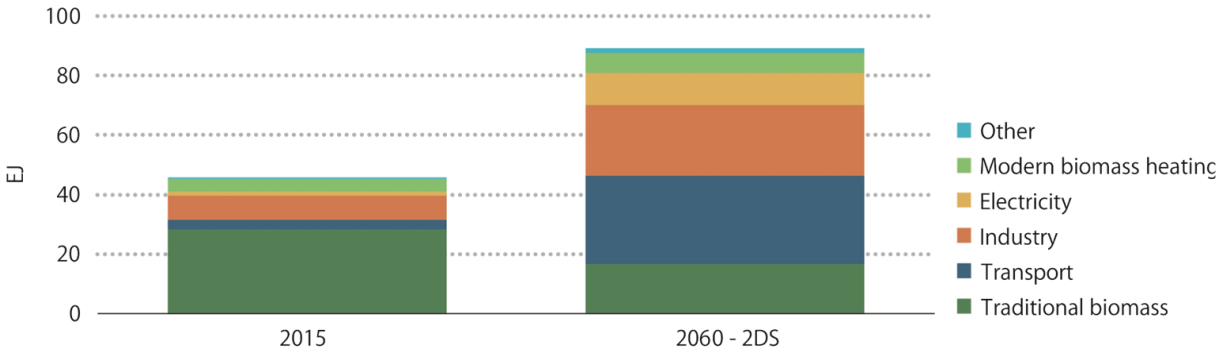
	2010 年	2017 年	コスト減少率(%)
太陽光	0.26	0.10	62.5
風力（陸上）	0.08	0.07	13.5
風力（洋上）	0.17	0.14	18.6
バイオエネルギー	0.07	0.07	0.0

注）導入容量を考慮した加重平均値。

出典）IRENA（2017）「Renewable Power Generation Costs in 2017」より

さらに、太陽光と風力発電のコストは今後も低下を続け、大量に導入が進んでいくと予測されている。そのため、太陽光や風力由来の余剰電力を、熱利用部門や交通部門で積極的に使っていくセクター・カップリングと呼ばれる考え方が出てきた。具体的には、ヒートポンプや電気自動車などの技術発展と普及が期待されているところである。そこで、バイオエネルギーは、バイオエネルギーにしか対応できない温度帯の高い産業用熱利用や、交通部門、特にバイオマス由来のジェット燃料の開発・商用化に期待が集まっている。このようなことから、IEA が 2017 年に発表した技術ロードマップにおいても、大きな増加が見込まれているのは産業用熱利用や交通部門となっている（図表 20）。

図表 20　2015 年と 2060 年（2℃シナリオ）の最終エネルギー消費に占めるバイオエネルギーの量とその内訳



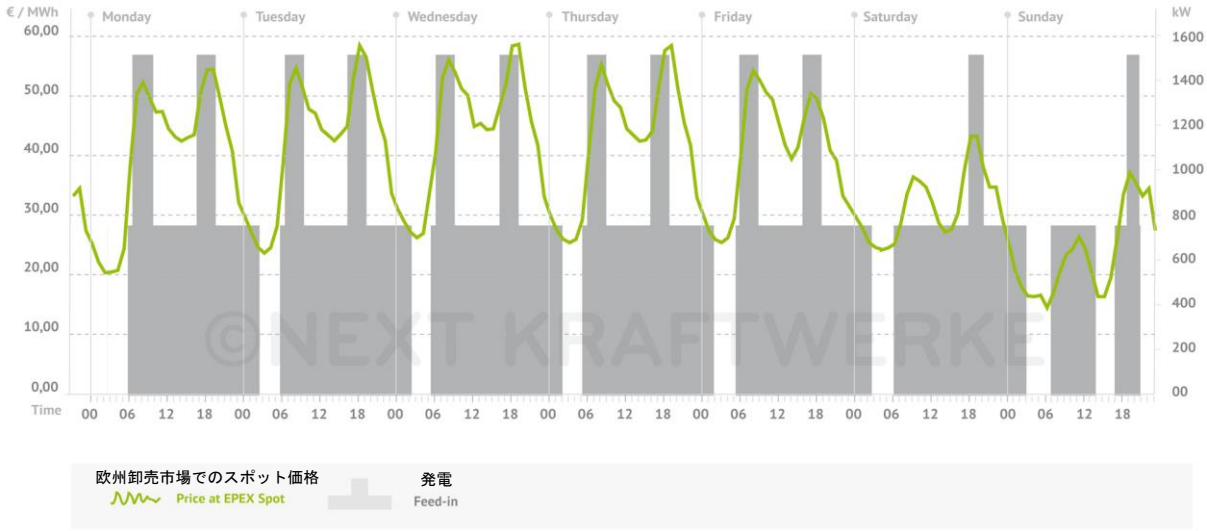
出典）IEA(2017)「Technology Roadmap Delivering Sustainable Bioenergy」

また、太陽光や風力の発電は、天候の影響を受けて出力が変動し、変動性再生可能エネルギー電源（Variable Renewable Energy: VRE）と呼ばれる。一方、バイオエネルギーの発電は自立的な運転調整が可能である。そのため、需給バランスに応じて変動する電力価格に合わせて、柔軟に出力を調整することが求められるようになっている。

例えば、ドイツのバーチャル・パワー・プラントである Next Karftwerke では、ドイツ全土で約 4,000 あるバイオガスプラントの内、約 1,000 と契約を結び、市場価格に合わせたプラントの運転コントロールのサービスを提供している（図表 21）[31]。これにより、プラントの設備利用率は低下するが、高い市場価格での電力販売が可能になるとともに、使用する燃料の量が削減できるため、収支の改善が実現している[32]。

政策的にも、ドイツでは、2012 年より Feed-in-premium 制度へ移行し、自ら電気を販売することが義務付けられている。また出力調整機能を備えたバイオガスプラントについては、2014 年より、Flexibility Premium として 130€/kW のボーナスが支払われている[33]。

図表 21　市場価格に合わせたバイオガスプラントの運転例



出典）Next Kraftwerke

31 https://www.next-kraftwerke.com/

32 Next Karftwerke が契約しているプラントは、バイオガスがメインであるが、木質バイオマスを用いた 25 程度のプラントとも契約している。プラントの出力は 2.8～20MW と様々で、蒸気タービンもしくは ORC が用いられた熱電併給プラントである。

33 http://www.res-legal.eu/search-by-country/germany/single/s/res-e/t/promotion/aid/subsidy-flexibility-premium/lastp/135/

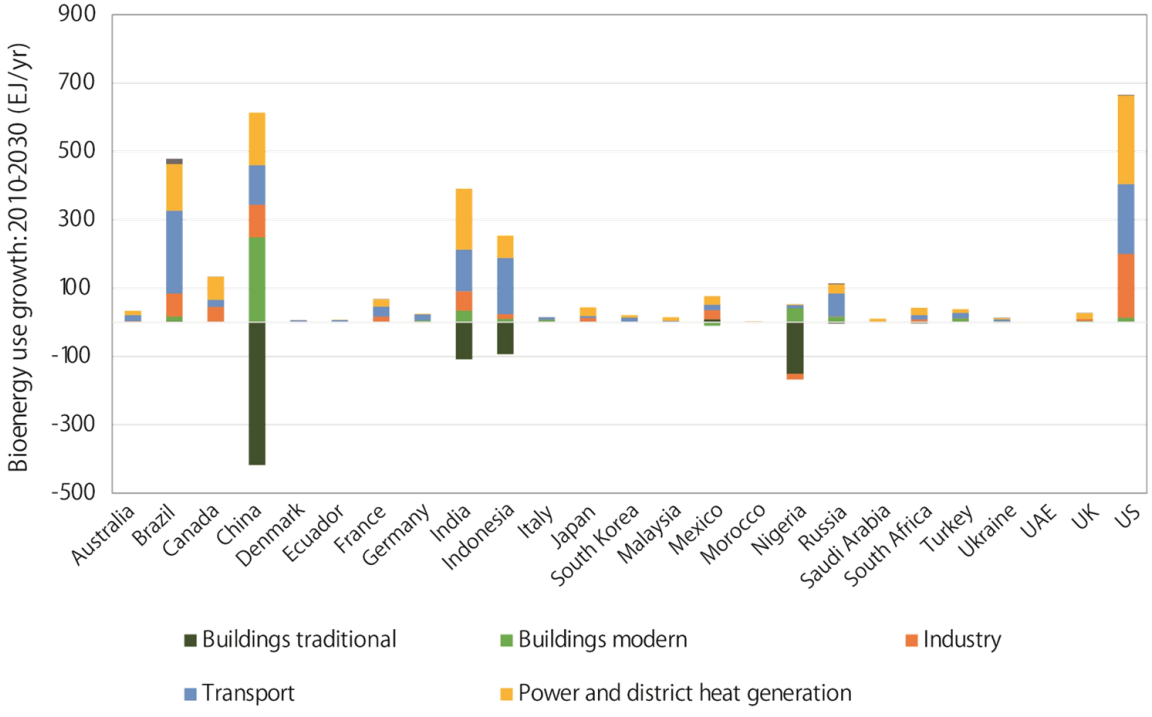
３.２ 世界で広がるバイオエネルギー利用

第二のトレンドは、バイオエネルギーの利用が世界的に増加することである。IEA の 2℃シナリオにおいては、バイオエネルギーの最終エネルギー消費量は、2015 年から 2060 年にかけて、倍増することが見込まれている（図表 20)。

また、利用地域にも大きな変化が起こると予想されている。これまでバイオエネルギーの発展は、欧州が中心だった。しかし、今後、欧州では量的な増加はあまり期待されておらず、むしろアメリカやアジア、アフリカなどでも利用が増加する見込みである。例えば、IRENA の予測では、顕著な増加が見込まれる地域としては、中国やインド、インドネシアなどアジアの国が多い（図表 22)。

また、バイオエネルギーの需要と供給は、地理的には一致しない場合も多く、貿易量も増加すると予想される。したがって、世界的に持続可能性基準の適切な運用が必須になるとともに、資源を巡っての競争環境は厳しくなることが予測され、日本の政策決定においてもこのことを考慮する必要が出てくると考えられる。

図表 22　2010 年と 2030 年の間のバイオエネルギー消費量の年間増加量の予測



注）2030 年は IRENA の REmap シナリオに基づく。減少分は、熱利用効率の低い、伝統的バイオマス利用（Traditional biomass）である。

出典）IRENA（2014）

IV. 日本のバイオエネルギー戦略の再構築

１．長期的なビジョンの明確化

１.１ VRE との関係に基づくバイオエネルギーの役割の整理

世界のトレンドを見れば、太陽光や風力発電等 VRE の発展は目覚ましく、エネルギーシステムは大きな変革を迎えている。また、脱炭素社会の実現に向けて、世界では 100%自然エネルギーによる社会構築に向けた議論も始まっている。したがって、今後のバイオエネルギー利用は、VRE の発展を十分に考慮しながら、脱炭素社会の実現に向けて、その固有の役割を発展させていく必要がある。ただし、常に燃料を必要とすること、また燃料の生産・収集・運搬などの過程で、農林業や廃棄物処理との調和が重要である点も、前提条件として重要である。

この点は、日本でも全く同様である。したがって、速やかな脱炭素化・100%自然エネルギー社会の実現に向けて、バイオエネルギーの果たせる役割を常に確認しながら、政策を構築していく必要がある。

ただし、こうしたトレンドは、比較的新しいものであり、バイオマス利用推進基本計画（2016 年 9 月）やエネルギー基本計画（2014 年 4 月）など、日本におけるバイオエネルギーに関する政策文書は、この点に踏み込んでの検討が不十分である。したがって、自然エネルギー100%社会の実現に向け、VRE の発展を見込みつつ、バイオエネルギーの役割を再度整理する必要がある。例えば、将来的にバイオエネルギー発電の調整力を発揮させるために、柔軟な出力調整が可能な精度設計や技術開発が今から必要である。

また、熱利用部門でも、今後はヒートポンプの活用が有力な対策オプションとして浮上してくる。ただし、太陽光や風力等の自然エネルギー電気が十分に普及するまでは、バイオエネルギー等の自然エネルギー熱を利用した方が、GHG 削減効果が優れている可能性が高い。特に、産業用の高い温度帯の熱利用や、ヒートポンプの効率が低下する寒冷地での暖房・給湯需要など、バイオエネルギー利用の妥当性が高い領域では、積極的に利用を推進していくことが必要である。

１.２ 持続可能な利用ポテンシャルの精緻化

バイオエネルギーの将来を描くための基礎的な情報として、持続可能なバイオエネルギーのポテンシャル量について、よく検討を行っておく必要がある。現在も、様々なバイオマス資源について、その未利用・利用量が公表されている[34]。ただし、以下のような点で、改善が望まれる。

---

34 例えば、代表的なものとして、バイオマス活用推進基本計画に、賦存量と現在の利用率、2025 年の利用率の目標が示されている。

まず国内資源について、公園等の剪定枝や竹、ダム流木など、一定程度のポテンシャルが見込まれる資源の調査が必要である。今後、燃料は不足傾向に移行することが想定されることから、あらゆる可能性を考慮しておく必要がある。加えて、大きなポテンシャルが見込まれる未利用材についての科学的な調査に基づく見直しが必要である。少なくとも、切り捨て間伐が多かった 2000 年代との森林資源や林業施業の違いを反映する必要がある。

加えて、海外の資源についても、科学的な検討が必要である。今後、他のアジア諸国でも、バイオエネルギーの利用が増加し、燃料を巡っての競争も厳しくなることが予測される中で、どの程度の燃料が調達可能かをよく検討しておく必要があるだろう。

■コラム：交通部門における液体バイオ燃料の利用

交通部門における液体バイオ燃料の利用は、ガソリンやディーゼル燃料などに混合することで利用可能であるという点で、導入のハードルが低い技術である。

欧米諸国では 2000 年代の後半に目標設定がされ、2020 年までに、EU で 10%、アメリカで 20%という導入目標が設定された。しかし、食糧との競合や、GHG 削減効果の不確実性などに対する批判も多く、持続可能性基準を導入しながら、慎重な導入が行われている。

一方、日本では、2020 年にガソリン比 3%程度という、欧米諸国に比べると低い目標設定に留まっている。今後は、自然エネルギーを利用した EV の主流化を見据えつつ、液体バイオ燃料でしか代替できないと言われるジェット燃料などを中心に、時間軸に沿った適切な利用を考えて行く必要があると言えるだろう。特に、食糧と競合しない、セルロース等から製造される第二世代バイオ燃料や、藻類等から製造される第三世代バイオ燃料の研究・商用化が急がれる。

図表 23　日本のバイオエタノールの使用量（原油換算万 kL）

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
導入目標量	21	21	26	32	38	44	50
導入実績	21.4	21.5	25.5	30.9	40.8	44.1	-

出典）資源エネルギー庁（2017）バイオエタノールの導入に関するこれまでの取組と最近の動向

２．利用分野ごとの当面の戦略

２.１ 電力部門における FiT 制度の見直し

（１） 熱電併給への誘導

電力部門でのバイオエネルギーの利用を適切に誘導していくためには、FiT 制度の見直しが重要である。

その点で、第一に重要なのは、熱電併給への誘導である。熱電併給は、総合的なエネルギー効率の高さと、効率的な燃料利用の点で、その重要性が指摘されてきたが、今後は調整力の発揮という観点でも重要性が高まってくる。そのため、今後は、熱電併給を伴うような良質な案件に絞って認定を行うように、早急な制度変更が必要である。ドイツでは EEG が開始して 4 年後に熱電併給への誘導を行ったことを踏まえ、日本の FiT にも同様の柔軟性を求めたい。

具体的には、持続可能性基準の導入と合わせ、GHG 削減効果もしくは総合エネルギー効率の基準を設定していき、結果として熱電併給を事実上義務化していくというアプローチが考えられる。もしくは、FiT 制度においては、熱電併給を行うプラントに対してボーナスを付与するという方法や、反対に熱販売を前提とした買取価格に引き下げるとともに、合わせて熱利用を実現するために、必要な追加的な初期費用について補助金を用意するなどの方法も考えられる[35]。

■コラム：日本の中小規模の熱電併給の取組

中小規模の熱電併給を可能にする技術として、ガス化や ORC がある。日本でも、製紙工場等の大規模なものを除けば、中小規模で実現している熱電併給では、これらの技術が採用されている（図表 24）。

ガス化については、メーカーにより用いる技術や成熟度が異なるため、欧州における第三者情報を収集し参考とする必要がある。ただし、欧州のメーカーの中にも、出力調整が難しく、調整力の提供難しい機種もあることから注意が必要である。

ORC については、常時監視の実現など、コスト高に繋がっている規制を緩和し、普及への道筋を開くことが必要である。

図表 24　日本における木質バイオマスを利用した熱電併給の事例

発電所名称	所在地	発電出力（kWe）	排熱利用先	使用燃料
リアスの森バイオマスパワープラント	宮城県気仙沼市	800	ホテルへの給湯	木質チップ
ボルタージャパン	秋田県仙北市	100	足湯への給湯	木質チップ
上野村きのこセンター	群馬県上野村	180	きのこ工場	木質ペレット
飛騨高山グリーンヒート合同会社	岐阜県高山市	165	温浴施設の給湯	木質ペレット

出所）林野庁木材利用課（2017）「木質バイオマス熱利用・熱電併給事例集」

35 ドイツでの CHP 法（KEKG）が似たような仕組みとなっており、熱電併給プラント由来の電気を固定価格で買い取るとともに、地域熱供給の導管など熱利用施設部分に補助金が用意されている。

また、これまでのバイオエネルギー発電所の多くは系統接続を優先させるために、中山間地域で高圧電線の近くに建設されることが多かったが、熱需要のある立地へ誘導するため、系統接続の確保などの支援策が有効だろう。加えて、既設の熱電併給を伴わない発電所についても、周辺施設への接続等の可能性を検討する調査に補助を与え、可能な限り誘導を図ることを行うことが必要である。

（２） 持続可能性基準の厳格化

2017 年度の調達価格算定委員会において、一般木質やパーム油等の認定が急増し、既運転案件も含めて、第三者による持続可能性基準を求めることになった。燃料の持続可能性確保のために、当面は FSC や RSPO など、既存の認証スキームを活用することになる。しかし、これらのスキームはマテリアル利用を前提として発展してきたため、GHG 削減効果などは対象外のままである。

基本的に、バイオエネルギー燃料が適切に生産されれば、高い GHG 削減効果が実現する。しかし、パーム油のように、燃料の種類と生産方法によっては、大量の GHG 排出に繋がる場合もある。そのため、GHG 削減効果の検証と基準値の設定などを踏まえて、国としての持続可能性基準を段階的に厳格化していくべきである。これにより、GHG 削減効果の高い熱電併給が推進されるような制度となることが期待される。

また、基準の適応に当っては、大規模な発電所から対象とするなど柔軟なアプローチもありえる。なお、国際的には、エネルギー利用に特化した認証スキーム（SBP、GGL など）[36]も開発されており、これらを採用していくことも有効である 。

（３） 混焼問題の整理：石炭火力からの撤退のツールに

日本の FiT では、石炭火力発電所の将来像を曖昧にしたまま、混焼への支援を容認している。それどころか、新設石炭火力への混焼は引き続き FiT の対象となっており、石炭火力発電の増加を助長している。バイオエネルギーは化石燃料を直接代替・削減するために用いることができるという特徴を持っているが、新設石炭火力の混焼は明らかに化石燃料の使用を増加させることから、早急に FiT 対象外とすべきである。

また、省エネ法の火力発電に関する判断基準との関係も整理する必要がある。なぜならば、石炭火力は全体として USC 相当の発電効率（42.0%）を目指すとしながら、小規模火力については一律に禁止とせず、バイオマス混焼やコジェネなどの手法によって効率を高め、新設基準をクリアできるようにしていることが、抜け道となっていた[37]。しかし、2018 年 3 月に環境・経済産業両大臣の合意に基づき発表された「電気事業分野の地球温暖化対策の進捗状

36 それぞれ、Sustainable Biomass Partnership、Green Gold Label の略。

37 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 火力発電に係る判断基準ワーキンググループ（第 4 回）H28.2.9 参考資料

況の評価（電力レビュー)」では、「石炭にバイオマスを混焼することで計算上の発電効率が改善する一方、実際の CO2 削減には十分ではない」と、制度の不備が明らかになった[38]。

また、既設の石炭火力発電での混焼が FiT の支援対象になっている点についても早急に見直し、石炭火力発電の段階的なフェードアウトの手段として適切に位置づけるべきである。

２.２ 熱利用推進

（１） 当面の自然エネルギー熱導入の目標設定と十分な助成措置

第一に、熱利用部門における、当面の自然エネルギー導入目標と、その中のバイオエネルギーの目標を設定する必要がある。もちろん、この議論はエネルギー効率化と同時に論じられる必要がある。現状の自然エネルギー熱利用の推進は、いくつかの補助プログラムによって行われているが、2030 年や 2050 年の GHG 削減目標からのバックキャストに基づく、論理的な目標設定になっているとは言い難い。

また、目標達成の手段として、適切なインセンティブが設計される必要がある。先に見たように、北欧では炭素税が重要なツールとなっていた。一方、北欧に比べて化石燃料に対する税率が低いドイツとイギリスにおいても、およそ年間 400 億円～1,000 億円程度の予算で、自然エネルギー熱の利用設備の導入促進を行っていることが分かる（図表 25)。加えて、ドイツは KfW と呼ばれる建築の断熱など省エネ改修への無利子もしくは低利子の貸付の予算を有しており、その予算額は年間 1,000 億円規模に相当する[39]。

日本では、省エネルギー投資促進に向けた支援補助金として 600 億円超が用意されている。しかし、そのほとんどが工場等における省エネ対策の補助金であり、重油ボイラからガスボイラへの転換なども含まれ、バイオエネルギー等の自然エネルギー由来の熱源への転換は多くない。また、建築関係の省エネ対策（ZEB・ZEH 関係）には、87.5 億円に留まっている。したがって、日本においても、カーボン・プライシングの実現を視野におきつつ、当面は、十分な助成措置を講じる必要がある。

図表 25 ドイツ、イギリス、日本の自然エネルギー熱設備普及のための助成プログラム額の比較

	助成プログラム名	年間予算額	助成概要
ドイツ	MAP（Market Incentive Program）	300 million €	バイオマスボイラー等の熱供給設備への補助
イギリス	RHI（Renewable Heat Incentive）	900 million £	同上
日本	省エネルギー投資促進に向けた支援補助金	約 600 億円	工場等における省エネ設備への入替支援 住宅・ビル対策（ZEB、ZEH の導入・実証支援）

出典）ドイツ：再生可能エネルギーエージェンシーへの聞き取り、イギリス：DECC（2016）The renewable heat incentive: A reformed and refocused scheme に基づく 2018 年度の予算額、日本：平成 29 年度（2018 年度）資源・エネルギー関係予算の概要

38 中川大臣記者会見録（平成 30 年 3 月 23 日（金））http://www.env.go.jp/annai/kaiken/h30/03023.html

39 イギリスは、Green Deal という、光熱費削減費用を電力会社経由で長期的に回収することで、消費者が食負担なく省エネ設備を導入できるスキームを有している。

（２） 好事例普及のためのソフト支援の拡充

日本のバイオエネルギーの熱利用については、その意義が認識される一方、技術的な課題も多く、また高コスト構造があることが指摘されていた[40]。そのような中で、これまでの反省に基づき、①蓄熱タンクを中心としたシステム設計、②小型の普及型ボイラの積極的な活用、③配管や建屋・サイロなどの工事費の見直しなどにより、低コスト化に成功する事例も出始めている[41]。こうした事例を詳細に分析し、課題も明らかにした上で、今後の普及に務めていくことが必要である。このような好事例を普及させるための取組として、（一社）木質バイオマスエネルギー協会では、林野庁の補助を受け、現地視察を含めた実践的な研修会を開催している。

また、導入を加速化させるためには、地方自治体の役割が重要である。例えば、自治体が地域の主要な熱需要施設をリスト化した上で、簡易な導入診断結果に基づき、5～10 年間といった期間で、順番にバイオマスボイラへの転換を計画する。地域の事業者にとっては、市場の見通しが開け、学習や投資が進むことは間違いない。こうした地域主導の戦略づくりを、費用や人材の面で、省庁が支援する枠組みが有効であろう。

■コラム：山梨県北杜市のゴルフ場へのチップボイラ導入

山梨県北杜市にあるゴルフ場、サンパーク明野では、老朽化した給湯・暖房用のボイラを、2017 年に木質チップボイラへの転換を行った。

チップボイラは、オーストリアの ETA 社の 50kW という小型で量産型のものを採用し、施工性を高めて、コスト低減に努めている。また、木質チップ供給は、ゴルフ場周囲の森林管理を請け負っている、㈲藤原造林が行っている。山梨県のこの地域は、松枯れ被害が深刻化しており、被害拡大を防ぐために伐採した松を優先的に燃料利用する計画である。

ボイラ導入のコスト面・技術面、枯れた松の活用を通じた生態系保全という便益もあり、様々な点でモデルとなりうる事例と言えるだろう。

撮影）左：自然エネルギー財団、右：徳島地域エネルギー

40 相川高信（2014）「日本がバイオマスを利用するには新しいやり方が必要だ」https://synodos.jp/society/7836

41 現代林業（2017）「地域アライアンスで低コスト化実現　小規模分散型　温水供給の木質バイオマス利用地域戦略」

（３） 産業部門での熱利用の加速化

世界的に、企業が自然エネルギーの利用を率先して進める動きが目立っている。日本でも、近年、企業によるバイオエネルギーの取組が注目されている。

先鞭を付けたのは、コマツ（小松製作所）であり、2015 年に粟津工場（石川県）において、間伐材チップを使用する蒸気ボイラシステムを設置した[42]。2017 年には、リコーが御殿場工場（静岡県）において、同じく間伐材チップを用いた空調用の熱供給を開始した[43]。さらに同社は、2018 年には三重県多気町に建設予定のリゾート施設の熱供給事業への参画を表明している[44]。

これらの事例は、技術的に比較的取り組みやすい給湯（空調）分野の取組であるが、こうしたいわゆる大企業がバイオエネルギーの利用に乗り出してきたのは、歓迎すべきことである。特に、世界的に企業が自然エネルギーの利用を争うように増やし、サプライヤーにも同様の取組を求めていく中で、関連する工場の熱利用部門でバイオエネルギーへ転換する動きも増加が予測される。産業用の熱利用は、バイオエネルギーの利用先として最も期待されている分野の一つであり、企業が採用するにあたっての課題を整理し、解決策を講じていく必要がある。

■コラム：NEDO による産業用熱利用の支援事例

NEDO は、これまでも産業用の熱利用を実証事業を通じて支援を行ってきた。2014 年度から実施している「バイオマスエネルギー地域自立システム化実証事業」では、国内 138 ヶ所の導入事例の調査を踏まえて、自立的な事業モデルを模索し、複数の FS 調査を経て、5 つの実証事業を採択し、今後プラントを導入・運転しての実証を行っていく予定である。

その内、3 件は産業用の熱利用で、低質の木質燃料を利用したものとなっている。これらの実証事業の成果に基づき、日本においても、バイオエネルギーの産業用熱利用が進むことが期待される。

図表 26　NEDO の実証事業に採択された産業用熱利用の案件

企業	実施場所	用途	使用燃料
昭和化学工業	岡山県真庭市	珪藻土原料乾燥	バーク等
JFE 環境サービス	岡山県倉敷市	コンビナートへの蒸気供給	建築廃材等低品位木質燃料
バンブーエナジー	熊本県南関町	竹のフローリング工場への熱電併給	竹

出典）NEDO 資料

42 http://www.komatsu.co.jp/CompanyInfo/press/2015030911475225059.html

43 https://jp.ricoh.com/info/2016/1206_1.html

44 http://jp.ricoh.com/release/2018/0226_1.html?_ga=2.235141190.639586896.1519692003-689344040.1491376432

２.３ 低コストで持続的な燃料供給の実現

（１） コスト低減のプログラム化

バイオエネルギー燃料の利用可能量は、経済的な条件に規定される。費用をいくらでもかけてよいのであれば、バイオマスの利用可能量は無限に大きくなるが、明らかに現実的ではない。逆に言えば、燃料供給コストの低減により、利用できるバイオマス量は増加するので、コスト低減策は非常に重要である。加えて、燃料供給コストの削減は、発電コストや熱供給コストの低減に繋がり、市場拡大を加速させることができる。

そのためにはまず、欧州等の事例をベンチマークとしながら、化石燃料との比較や発電・熱利用事業の収支分析、今後期待される技術的進歩等により、コスト目標を設定することが有効である。具体的には、中間土場でのチップ化など、新たな燃料供給システムへの転換が想定されている[45]。このように、あるべき姿を明確化した上で、それに沿った計画的な投資を行っていく必要がある。

（２） 国内森林資源の持続可能性確保

今後の需要量の増加を念頭に、国内の未利用材についても、その持続性の確保が重要になっている。現行の FiT 制度も、燃料の安定調達について、認定時に都道府県の林務部局の確認を求めているため、輸入材のような青天井の認定量にはならず、ある程度の量的な管理が実現している。しかし日本の森林法の規制だけで、伐採量を管理することは困難であり、今後、稼働する発電所が増加するに従い、燃料の不足や森林資源の劣化が起こるリスクは否定できない。したがって、国内森林資源の持続性を確保するために、林業生産の現場も含めて適切なモニタリングを行っていくことが重要である。

また、総務省が行った行政評価のための調査によれば、「（買取価格の高い未利用木材など）木質バイオマスの由来を客観的に立証することが困難な例が見られる」とされた[46]。燃料の分別管理についても、第三者による監査など適切な対応が求められている。

（３） 農業残渣や竹等の利用検討の着手

これまで欧州では、固体バイオマスについては、木質系のバイオマスを中心に利用が進んできたが、近年、ミスカンサス（大きく成長するススキの一種）や農業残渣などの利用に注目が集まっている。

実は日本でも、農業系のバイオマスも大きなポテンシャルを有しており、農林水産省によれば、未利用木材（林地残材）と同程度の資源量が見込まれている。特に、もみ殻や稲わらなどの農業残渣は利用がほとんど進んでおらず、家畜糞尿等のメタン発酵とともに、農村部でのバイオエネルギーの発展に寄与することが期待される。

---

45 （一社）日本木質バイオマスエネルギー協会（2018）「国産材燃料の供給拡大について」

46 総務省（2017）森林の管理・活用に関する行政評価・監視＜結果に基づく勧告＞
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/107317_00005.html

また、西日本を中心にその拡大が問題になっている竹については、近年、バイオエネルギー燃料として利用する技術開発や実証が進んでいる。さらに、木質系バイオマスの中にも、公園や街路樹の剪定枝など、廃棄物として単純に焼却処分されているようなものも多い。

こうした、これまでその利用可能性が体系的に検討されてこなかったような燃料については、そのポテンシャルを明らかにした上で、収集・運搬や燃焼技術についての検討に着手する必要がある。

２.４ 地域主導のエネルギー転換への貢献

中山間地域の方が、都市部に比べて、相対的にバイオマス資源が豊富であり、バイオエネルギーの重要性が高い。日本においては、人口減少等で地域経済の活性化が求められる地方で、熱利用などを中心に分散型のエネルギーインフラ・システムを整備していくことが、エネルギー政策だけではなく地域政策の観点からも有効である。

特に、中山間地域の中でも、寒冷地でしかもガスインフラがないような場合は、欧州で発達している小規模な地域熱供給が有効な手段になりうる。太陽光や風力など、地域に豊富に賦存する自然エネルギーとともに、地域主導のエネルギー転換に貢献しうる大きなポテンシャルがある。

経済産業省と農林水産省においても、「地域エコシステム」というキーワードで、比較的小規模で、地域の維持・活性化につながる低コストなエネルギー利用を進めていくという方針を示している[47]。こうしたエネルギー転換による地域経済の活性化効果は大きく、人口減少と経済の縮小に苦しむ日本においては、地方創生の有効な手段となるだろう。

■コラム：寒冷地における集住化＆地域熱供給の事例

近年、欧州の農村部等で発達しているバイオエネルギーを用いた小規模な地域熱供給の事例は、日本の地方にとっても魅力的である。ただし、日本ではこの分野の経験が少なく、技術的な課題も多かった。

そのような中で、山形県最上町が 2017 年に整備した、若者定住促進住宅エリアにおける地域熱供給システムは、オーストリアのボイラを採用しただけではなく、エンジニアリング会社や制御システムもオーストリアのものを導入して最適化し、効率的な運転を実現している。

撮影）日本木質バイオマスエネルギー協会

47 木質バイオマスの利用推進に向けた共同研究会報告書

V. 終わりに

これまで見てきたように、バイオエネルギーは、その固有の役割で、100%自然エネルギー社会の実現に貢献することが期待されている。加えて、大幅な GHG 削減が求められる中で、マテリアル部門でも、石油由来の様々なマテリアルをバイオマス由来の再生可能な原料に代替していくことが求められるだろう。また、鉄やコンクリートなど、製造に多量のエネルギーを要する材料も、木材等のバイオマス由来のものに置き換わっていくことが期待される。この過程で、バイオリファイナリーと呼ばれる新たな技術が、現状の石油系の原料を中心とした化学産業の姿を全く新しいものに変えていくと考えられる。

こうしたマテリアル利用を含めた、あらゆる領域で化石燃料が使われなくなる新しい経済システムを、バイオエコノミー（Bioeconomy）と呼ぶ[48]。バイオエコノミーの中では、エネルギー利用に加え、大量のバイオマスがマテリアル原料として必要になる。このことを考慮すると、バイオエネルギーを資源効率的に利用していくこの重要性が、より鮮明に理解できる。この点において、日本の現状のバイオエネルギー政策には課題が多く、現時点で基本に立ち返り、あるべき姿への軌道修正・誘導に、速やかに着手することが必要である。

関連して、森林・農地生態系の適切な管理や、廃棄物処理の考え方の見直しなどが必要である。このことは、日本の環境省が部門ごとに掲げていた、低炭素社会、循環型社会、自然共生社会という 3 つの社会像を、一つに統合することに相当している[49]。更には、バイオエネルギーに関連する政策は、環境省だけではなく、経済産業省や農林水産省など複数の省庁が関係しており、より緊密な連携が必要である。

加えて、人口減少による課題に直面する日本の中山間地域において、他の自然エネルギーと組み合わせながら、バイオエネルギー利用を進めていくことは、地域経済の活性化に貢献する。地域主導の取組を支援する丁寧な政策展開も、日本におけるエネルギー転換を下支えする大きな力になるだろう。

48 https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/index.cfm?pg=policy&lib=strategy

49 環境省の資料にも、そのような方向性が示されている。例えば、「低炭素社会・循環型社会・自然共生社会の統合について」平成 26 年 4 月環境省（https://www.env.go.jp/council/01chuo/y010-20/mat03-12.pdf）

日本のバイオエネルギー戦略の再構築

バイオエネルギー固有の役割発揮に向けて

2018年4月

公益財団法人 自然エネルギー財団

〒105-0003 東京都港区西新橋1-13-1 DLXビルディング8F TEL：03-6866-1020（代表）

info@renewable-ei.org
www.renewable-ei.org