

熱の脱炭素化におけるバイオマスの役割

—デンマークの先進的システムと日本の現状—

株式会社H&Sエナジー・コンサルタンツ パートナー

石丸 美奈

目次

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. はじめに | 3. 日本の熱セクターの脱炭素化とバイオマス |
| 2. デンマークにおける脱炭素化の進展とバイオマス | 4. まとめ |

1. はじめに

2020年に世界のエネルギーはそのおよそ半分（48.7%）が熱、次いで28.6%が輸送用燃料、そして22.7%が電力（熱利用および輸送用を含む）の形で供給された（図表1）。電力に占める再生可能エネルギー（再エネ電力）の割合は2012年の21.3%から2022年の29.9%へと9ポイント近く上昇しており、電力分野の脱炭素化は着実に進んでいる。

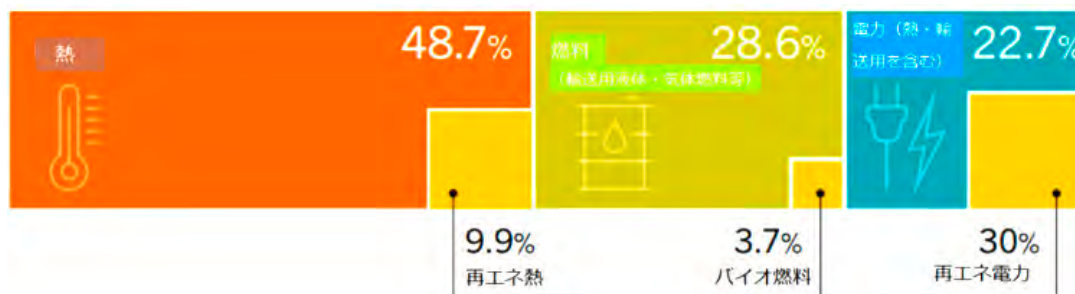
一方、熱供給における再エネ由来の熱（再エネ熱）の割合は2010年から2020年までの10年間に8.9%から11.5%（薪などによる伝統的なバイオマス利用を除く）¹と2.6ポイントの

上昇にとどまっており、脱炭素化の促進が課題となっている（図表2）。

熱は多様なソース（化石燃料、電力、バイオマス等の再エネなど）から供給され、熱供給の設備（燃烧炉、コージェネ（CHP）、電力炉、ヒートポンプなど）とその利用形態（金属・食品加工、空調、給湯など）や利用温度（冷熱～高温熱）が多岐にわたる（図表3）。

再エネの中でも高品質のエネルギーを持ち、資源量に制約のあるバイオマスは、その種類によって発電、熱利用のどちらにも利用可能であるが、日本では2012年に導入された電力を対象とした再生可能エネルギー固定

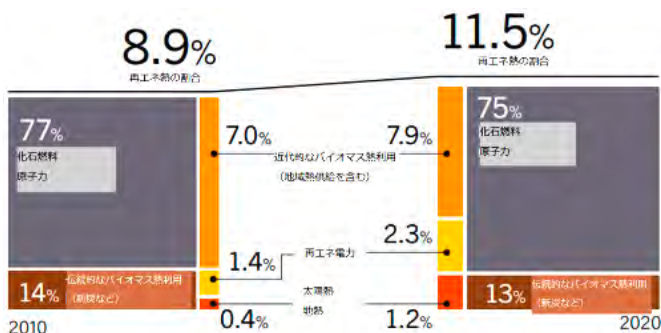
（図表1）世界のエネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合（2020年）



（出所）REN21 “Renewables 2023 Global Status Report : Energy Supply” 12ページを加工
https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR-2023_Energy-Supply-Module.pdf

1 図表2の再エネ熱の数値（11.5%）には再エネ電力からの熱転換分などが含まれているため、図表1の間接的に熱変換された再エネ熱を除く数値（9.9%）とは違いがでている。

(図表2) 再エネ由来の熱の内訳



(出所) REN21 “Renewables 2023 Global Status Report : Energy Supply” 15ページを加工

(図表3) 熱の主な供給方法と利用温度帯



(出所) NEDO Webサイト
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/netsu.html>

価格買取制度 (FIT) ² の経済的インセンティブにより、特に木質バイオマス発電での利用が急増した。しかし、木質バイオマスは熱利用でのエネルギー効率が80~90%、CHPで70~80%であるのに対して、発電では15~30%に過ぎない。

加えて、太陽熱・地中熱などの再エネは一部の例外を除いて100°C以下の低温度帯でしか利用できないのに対して、バイオマスであれば400°C程度までの中温度帯で化石燃料を

代替できるため、脱炭素が難しい中高温の産業用プロセス熱などを供給できる貴重な再エネ資源としての認識が広がっている。

2050年カーボンニュートラル実現に向けては、省エネルギー (省エネ) に加えて、再エネが最大限に導入可能なエネルギーシステムを構築していかなければならない。そのためには、どの再エネをどのように利用することがシステム全体の中で、最もエネルギーやコスト効率の優れたアプローチになるのかのバランスを考えることが重要になる。

本稿では、国内外で急がれる熱分野の脱炭素化を、先進的な地域熱供給 (DH) システムで推進し、熱・電力そして輸送分野をも柔軟に統合していくことで、高効率なスマートエネルギーシステム構築を目指すデンマークの取組みとバイオマスの位置づけを紹介する。

次いで、日本において、最も利用可能量が多い未利用バイオマスである木質バイオマス (林地残材、建設発生木材、製材工場等残材) や農作物非食用部を活用した地域脱炭素化と地域エネルギー事業促進に向けた秋田県大潟村、岩手県紫波町、島根県津和野町における取組みを概観し、日本におけるバイオマス利用の今後を考える。

2. デンマークにおける脱炭素化の進展とバイオマス

欧州では2012年から“Heat Roadmap Europe (欧州熱ロードマップ) ³” で熱セクターに関する一連の研究がおこなわれており、現在までに50を超えるレポートとデータセットが作成され、科学的根拠に基づく地方、国、欧州連合 (EU) レベルでの脱炭素のための長期的エネルギー政策をサポートしている。EU では2016年に熱に特化した戦略“An EU

2 2022年4月からは一定期間、固定価格で電力を買い取るFIT制度に、売電収入にプレミアム (補助金) を上乗せした金額が支払われるFIT制度が加わった。

3 <https://heatroadmap.eu/>

Strategy on Heating and Cooling”が初めて発表され、中長期的に実現すべき政策の方向性が整理された。こうした中で、デンマークはいち早く2011年に、2050年までに化石燃料から脱却する目標を掲げた“Energy Strategy 2050”において、熱に関する包括的な戦略を提示している。

(1) デンマークの地域熱供給（DH）

国内エネルギー供給の90%以上を輸入石油に依存していたデンマークは、1973年の石油危機で大きな打撃を受け、エネルギー政策を大転換する。石油依存からの脱却を主たる目的として1976年には「電力供給法」により新設の発電所でのCHPが義務付けられた。さらに1979年の「熱供給法」では、自治体に熱供給計画の策定が義務づけられ、様々な政府の支援策の結果、とりわけ1990年代に地下導管を通じて送られる温熱を給湯・暖房に利用するDHが全国に広がった。

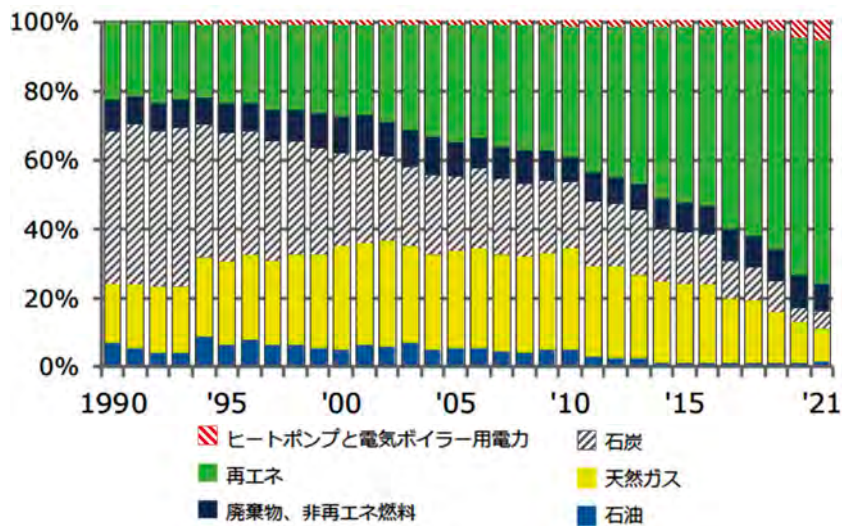
現在では約400のDHがあり、デンマーク全土の熱需要の約50%、家庭用需要の約63%をカバーしており、首都のコペンハーゲンでは98%に達している⁴。コペンハーゲンを含む大規模集中型のDHは6か所で、それ以外は中小規模の地域分散型DHとなっており、DH事業者の12.5%は自治体の所有、85%は需要家による消費者協同組合である。熱供給事業は非営利で、販売価格の設定方法は法律で規定されており、独立機関が販売

価格を監視している⁵。

DHの熱供給設備には主にCHPと熱供給ボイラーがあるが、デンマークにおける熱の脱炭素化はその熱源の転換により推進されてきた。1990年には20%にすぎなかった再エネの割合が2021年には70%に増加しており（図表4）、再エネの中ではバイオマス（バイオガスを除く）がおよそ88%を占め、その内訳は木質バイオマス（58%）、麦わら（15%）、廃棄物系（15%）などとなっている（図表5）。

同国のDHは、石炭や廃棄物燃焼からの200℃を超える蒸気で熱供給をおこなっていた第1世代（1880～1930年）、化石燃料を熱源とするCHPが登場し、100℃超の加圧した高温水による供給となった第2世代（1930～1980年）、機器の断熱性を高めるとともに、主たる熱源であった化石燃料が減少する一方、再エネや産業廃熱などが急速に増加し、100℃

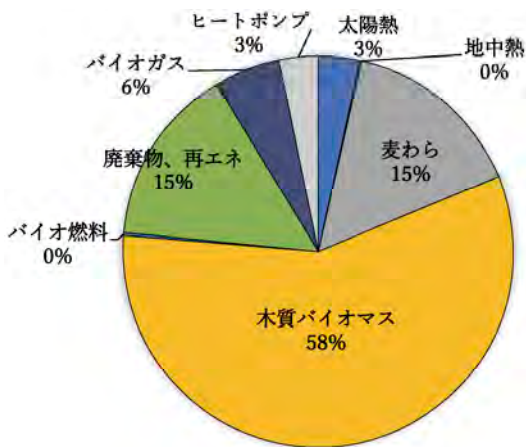
（図表4）地域熱供給の熱源の推移（1990～2021年）



（出所）Danish Energy Agency “Data, tables, statistics and maps Energy Statistics 2021”
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_statistics_2021.pdfを加工

4 「第4世代地域熱供給4DHガイドブック」第4世代地域熱供給フォーラム、認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所、2020年3月、Danish Energy Agency Webサイト
 Danish Experiences on District Heating | Energistyrelsen (ens.dk)
 5 田中いずみ「デンマークの地域熱供給と目指すエネルギー・システム」熱供給 vol.105、2018年6月7日
https://www.jdhc.or.jp/wp-content/uploads/2018/06/DHC105_web.pdf

(図表 5) 地域熱供給に利用されている再生可能エネルギーの内訳 (2021年)



(出所) Danish Energy Agency “Data, tables, statistics and maps Energy Statistics 2021”
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_statistics_2021.pdfから筆者作成

未満の温水での供給をおこなう第3世代 (1980~2020年) を経て、現在はさらに低温水 (50℃程度) での供給⁶、これまでは使われてこなかった低温廃熱や再エネの取込み、熱部門と電力部門との統合などにより、エネルギーシステム全体の効率を高める第4世代に入り進化を続けている⁷。

(2) 第4世代地域熱供給 (4HD) とスマートエネルギーシステム (SES)

2030年までに電力システムを100%再エネとし、2050年には化石燃料からの完全撤退と全エネルギー消費の100%再エネを目標とするデンマークでは、2022年の年間発電量に占める再エネの割合が84%に達し、主力となる風力発電の割合は55%で太陽光と合わせると

60%を超えた⁸。

風力と太陽光は気象条件によって発電量が安定しないため変動性再エネ (VRE) と称されており、常に需要と供給を一致 (同時同量) させなければ不安定となる電力網への大量導入が難しい。すでに2020年には世界で初めて電力セクターでのVREシェア50%を達成したデンマークでこれを可能にしているのがDHを通じた熱セクターと電力セクターの一体化 (セクターカップリング) である。

電力市場の自由化が進み、市場価格のシグナルにより電力需給が調整される欧州では、VREにより大量の電力が市場に供給されると、電力価格が下がり、マイナスになる場合もある。CHPと巨大な蓄熱槽を持つDH事業者は電力価格が上がった際には設備を稼働して売電し、余剰となる熱を蓄熱槽にためておく。反対に電力価格が下がった時にはCHPプラントの出力を下げたりプラントを停止し、熱供給は蓄熱槽から行う。また、ヒートポンプや電気ボイラーなどでも電力価格が安い時に安価な熱をつくり蓄熱槽にためておき、必要な時に利用する。このように第4世代のDHは需要家側の設備を変えずに、様々な新しい熱源の導入を可能にする。また、電力市場と連動し、その変動を熱の形で「蓄電」する調整機能 (Power to Heat) によって、熱の脱炭素化のみならず、エネルギーシステムへの最大限の再エネ電力導入を可能にしている。

そして、次の段階としてデンマークが取り組んでいるのは、4HDのさらなる普及拡大と温熱供給の一層の高効率化 (低温化) に加えて、余剰再エネ電力による水電解で水素 (グリーン水

6 低温化により熱ロスが防げる。また低温水の行きと還りの温度差を大きくすると (25℃以上)、供給する温水量が最小ですむため、熱導管が細くでき、ポンプの動力も少なくなり初期費用や運転費用が削減できる。脚注4を参照。

7 第4世代の地域熱供給 (4DH) はEUのDHやエネルギー・システム関連の研究を主導するデンマーク第4の都市Aalborgのオールボー大学のグループが提唱するコンセプト。

8 松原弘直「セクターカップリングで自然エネルギー100%を目指す~デンマークのPower-to-X戦略」自然エネルギー100%プラットフォーム、2022年12月21日
<https://go100re.jp/3368>

素)などを製造するPower to X (PtX)⁹により、直接電化が技術的・コスト的に難しい重量車両や航空・海運等を含む運輸セクター、鉄鋼、セメント、化学などの産業セクターもカップリングし、脱炭素化する統合的なスマートエネルギーシステム (SES) の構築である。

SESの下では、世界全体におけるデンマークの役割を、脱炭素化 (気候変動対策) の観点からだけでなく、生物多様性などの観点からも考慮しつつ、様々な再エネ資源が、エネルギーシステム全体の効率を最大化するよう活用される。CO₂削減量には国際航空や国際海運におけるデンマークのシェアが含まれており、限りあるバイオマス資源については、生態系への影響、食料との競合、土地利用の変化に伴う人権問題などをも考慮に入れ、持続可能な範疇でデンマークが使うことのできる割合を超えないように考えられている。従って、バイオマス利用の優先度は、VREによる安価な電力の大量供給が実現している欧州の状況下、中・高熱を使う重工業や軽工業のプロセス熱や運輸部門の燃料代替であり、発電ではないという認識が急速に広まっている。

3. 日本の熱セクターの脱炭素化とバイオマス

(1) 日本の熱セクターの現状

熱を需要側から考えるという視点に乏しい日本には、デンマークのような統合された熱政策がない。そのため、今後は産業、民生 (家庭・業務) 部門に関する様々な政策や規定¹⁰、そして再エネ熱利用や省エネ促進のた

めの数々の支援制度などを整理し、熱に関するデータ分析による科学的根拠に基づいた長期的な戦略を立てることが必要となる。

日本の産業や民生 (家庭・業務) 部門での消費エネルギーの約6割は熱で、電力の2倍に上る。こうした熱需要の半分以上は産業部門における蒸気による加熱や直接加熱で、民生部門の暖房需要が半分以上を占める欧州とは異なっている。

また、年間電力需要量に対する再エネ電力の割合は2022年の平均値で20.5%、VREは10.7% (太陽光9.6%、風力1.0%)¹¹とまだ低い。電力システムにデンマークのような柔軟性が乏しく、余剰再エネ電力「貯蔵」のバッファーとして機能するDH/CHPインフラも存在しないに等しい日本では、九州エリアで2018年から、北海道、東北、中国、四国エリアでは2022年にVREの出力抑制がおこなわれており、貴重な再エネ電力を有効に生かすことができない状況である。

一方で、様々な現状の条件的制約の中で、未利用バイオマス (1,115万Ct/年) のそれぞれ38%と31%を占める木質バイオマス (427万Ct/年) や農作物非食用部 (340万Ct/年) (図表6)¹²の高効率な利用を点から面に拡大するための試みが、日本の各地で進んでいる。

(2) 日本各地での取り組み

①秋田県大潟村：デンマーク型DHの導入

2030年度までに民生部門の電力消費に伴うCO₂排出ゼロを目指す環境省の「脱炭素先行地域」に2022年4月に選定された秋田県大

9 PtXは再エネ電気を気体燃料や液体燃料や化学物質に変換することを指し、Xにはアンモニア、メタノール、メタン、水素、合成ガスなどが含まれる。2019年に成立した国家気候法で、2050年目標を達成するため2030年までに温室効果ガス (GHG) 排出の70%削減 (1990年比) 目標を確定しているデンマークでは、目標達成のために「Power to X戦略」を策定した。

10 産業界でのGHG排出削減に関する自主行動計画、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律 (省エネ法)」、「地球温暖化対策の推進に関する法律 (温対法)」、「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律 (建築物省エネ法)」エネルギー消費機器の効率に関わるトップランナー制度など。

11 脚注8を参照。

12 木質バイオマス、農作物非食用部、そして紙 (207万Ct/年、19%) 以外のバイオマスは未利用分が少ない。

(図表 6) 日本のバイオマスの賦存量と未利用量



(出所) バイオマス活用推進会議「バイオマスをめぐる現状と課題」第4回 バイオマス活用推進会議資料1、2012年2月2日、https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_suisin/04/attach/pdf/index-2.pdf

潟村(人口は23年6月1日現在で3,007人)は、かつて日本第2の広さを誇る湖であった八郎潟を干拓し1964年に誕生した村で、国内有数の稲作地である。その成り立ちから住宅、公共施設、商業・業務ビルなどが1か所にまとまっているためDHを導入しやすい(図表7)。そこで、様々な施設・エリアへの太陽光発電設備や蓄電池の新設¹³により電力セクターを脱炭素化するのに加えて、未利用バイオマス資源を活用したDHでの脱炭素化で、2050年「自然エネルギー100%の村づくり」を目指している。

収穫後に年間1万2,000トンほど出る稲のもみ殻は大潟村ントリーエレベーター公社に集まるので、2023年度はこの敷地内にデンマークから輸入するもみ殻炊きのバイオマスボイ

ラー2基¹⁴を設置し、埋設した熱導管により85℃の温水を村内のホテル、温泉施設、小中学校など5施設に供給して、給湯と暖房に使用する。2023年9月に熱導管の埋設工事が始まり、運転開始は2024年7月を予定している。

燃料として使用した後に残る炭化したもみ殻は、稲の育苗培土や田畑の土壌改良材としての活用が検討されている。従来、もみ殻は疎水材¹⁵や畜産敷材などに使われてきたが、7割ほどは未利用で、これまで費用を払って処理してきた。そのため、地域での熱利用の脱炭素化と持続可能な資源循環が可能になると同時に、化石燃料代替と処理費用の削減や、事業に伴う雇用の始めとする多くの経済的メリ

(図表 7) 大潟村と地域熱供給システムの導入エリア



(出所) 田島誠「脱炭素先行地域での4DHの取組み～秋田県大潟村～」
2023年10月23日 <https://www.isep.or.jp/event/14490>

13 公共施設や商業施設、秋田県立大学のキャンパス、村営住宅や一般住宅の屋根への太陽光発電設備(合計で約4MW)や蓄電池、さらに先行地域内の民生電力需要量の7割を占めるホテルへの1.6MWの大規模太陽光発電設備(メガソーラ)と蓄電池などに加えて、隣接する村有地への8MWの大規模太陽光発電所(メガソーラ)と蓄電池等が含まれる。
14 2026年度までにさらに2基を設置し、熱供給先も順次拡大してゆく。
15 田畑の暗渠への水の浸透を促し、土砂の流入を防ぐために、排水管の上に置かれる材料

ットが生まれる。

2022年7月に設立された地域エネルギー会社オーリス (Ogata Renewable Energy Service, ORES) は現在、大潟村をはじめ計19社・団体が出資しており、資本金4,350万円 (村内68%、村外32%) のうち、村の出資額は500万円 (11.49%) となっている。社長は高橋浩人村長が兼務し、自治体からは職員2名、会計年度職員1名、地域活性化企業人2名が業務をサポートしている。

村とオーリス社は、2023年7月に再エネ100%の島として名高いデンマークのサムソ島の非営利団体であるサムソ・エネルギー・アカデミー、デンマーク大使館の4者間で脱炭素化に関するパートナー協定を締結した。再エネ電力事業も再エネ熱事業も手掛ける地域に根差したエネルギー会社として、デンマークの先進的なノウハウを学びつつ、大潟村のエネルギー事業を推進していく。

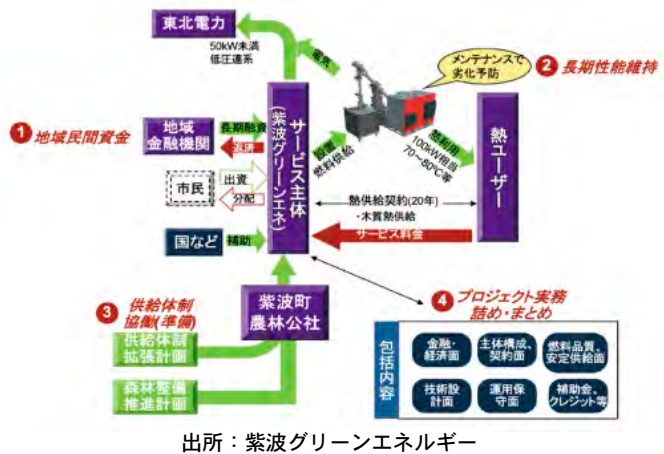
②岩手県紫波町：ESCO事業の面的拡大による地元主体の木質バイオマスエネルギー普及

岩手県紫波町 (人口およそ3万3,000人) は、JR紫波中央駅前の再開発事業「オガールプロジェクト」における地域木質バイオマスによるDHが日本の先行モデル事業¹⁶として名高いが、同地区の再エネ熱供給事業を担っている紫波グリーンエネルギー株式会社が新たに手掛けているのが、街区に集積していない個々の施設における小規模CHP事業 (発電規模40~50kW、熱出力100kW) のシリーズ展

開「地域ぐるみ小中規模木質バイオマス熱電併給事業」(図表8)である。

同社は市民出資を活用した民間主体の地域密着型ESCO事業を推進している。ESCO事業では事業者が需要家の施設への機器設置から燃料調達、運転管理までのすべてをおこなう。利用者には初期投資の負担がなく、専門技術も不要で、提供されるエネルギーの対価を含むサービス料金を支払うだけでよい。こうした地域エネルギーサービス会社があれば、木質バイオマスボイラーやCHPになじみのない小規模なユーザーでも化石燃料から再エネ熱への転換のハードルが大きく下がる。また、複数案件をシリーズ化¹⁷し面的に展開

(図表8)「地域ぐるみ小中規模木質バイオマス熱電併給事業」の事業スキーム



(出所) 秋澤淳「第9回『熱の脱炭素』に向けた木質バイオマスの活用事例」
月刊事業構想、2021年12月号
<https://www.projectdesign.jp/articles/a65e6f56-5072-4bdf-a6b9-22458083b200>

16 オガール地区の紫波町新庁舎、民間複合施設 (ビジネスホテル/バレーボール専用体育館/コンビニ/薬局等)、戸建て住宅向けに地域木質バイオマス由来の熱・冷熱を31年間長期供給し、地区の熱需要を脱炭素化する事業で、2014年から供給が始まっている。

【参考】石丸美奈「地域振興に資する小規模な木質バイオマスのエネルギー利用の現状と今後」共済総合研究 第75号、2017年9月
https://www.jkri.or.jp/PDF/2017/sogo_75furukane.pdf

17 2021年度に開始した「紫波郡・石鳥谷」シリーズでは、まず2つの小規模案件 (特別養護老人ホーム「百寿の郷」と介護保険老人施設「ゆうゆうの里」) にCHPと木質チップボイラーを組み合わせたシステムを導入、2022~2024年度の間に小規模3件と中規模1件の合計6件を計画している。

することで、地域に工事や事業のノウハウが蓄積され、木質燃料の持続可能な地域サプライチェーンが構築でき、コストダウンが図れる。

こうした地域ぐるみの取組みにより、域外に流出していた化石燃料費が地域で循環するようになり、地元には新たな雇用機会が生まれる。同社としては当面、小規模で10案件程度までであれば、現状のままでも地元木材産業関係者たちが無理なく供給できる木質チップ量であり、熱販売と売電（FITにより東北電力に売電）による収入で事業性を確保できると見積もっており、人材育成やインフラ整備を含め、時間をかけながらじっくりと、地域内での民間主体の公益的事業実行体制を確立していく方針である。

③島根県津和野町：自治体と民間会社の連携で木質CHP事業の基盤インフラを整備し、地域脱炭素化を拡大しつつ副産物の地域利用を図る

島根県津和野町（人口およそ6,900人）の面積は東京23区の半分であるが、その約9割が森林で、針葉樹（人工林）33%に対して広葉樹が60%を占める¹⁸。2022年8月に豊富な地元木質バイオマス燃料とする、小型ガス化CHPプラント12基（発電容量合計480kW、熱容量合計1,200kW、総合効率78%以上）と木質チップ乾燥機1基からなる津和野町フォレストエナジー発電所が稼働した。町がチップ工場を建設、地元企業が運営受託、フォレストエナジー社が発電所とチップ乾燥設備の建設・運営をおこなっている（図表9）。

小型ガス化木質バイオマスプラントは燃料の品質管理が極めて重要で、形状、サイズ、樹種そしてなによりも乾燥度（津和野町の場合は含水率15%以下）が効率を大きく左右す

る。同発電所では発電プラントに適した乾燥機を導入し、CHPの熱をチップの乾燥にあてており、発電所が必要とする以上の乾燥チップが製造でき、また、木くずからのペレット生産もおこなっている。今後の域内での木質バイオマス利用拡大にあたっては、同発電施設が燃料供給センターとなり、乾燥設備が導入できない小規模なサイトでのガス化CHPや、ペレットストーブ、バイオマスボイラー（チップまたはペレット）への木質燃料供給を担うことが想定されている（図表10）。

但し、現在、同発電所は燃料材の確保に頭を痛めている。2022年11月に2号機が運転を開始した中国電力の三隅発電所は50kmほど離れたところにあり、FITが適用されている木質バイオマス混焼（10%）の石炭火力発電所で、発電容量が100万kWと原子力発電所1基に匹敵する規模である。混焼用には大量の輸入木質ペレットと島根県産の木質チップを使うため、地元燃料が不足気味となり、ロシアのウクライナ侵攻に起因するエネルギー価格の

（図表9）フォレストエナジー（FE）社と津和野町の事業分担

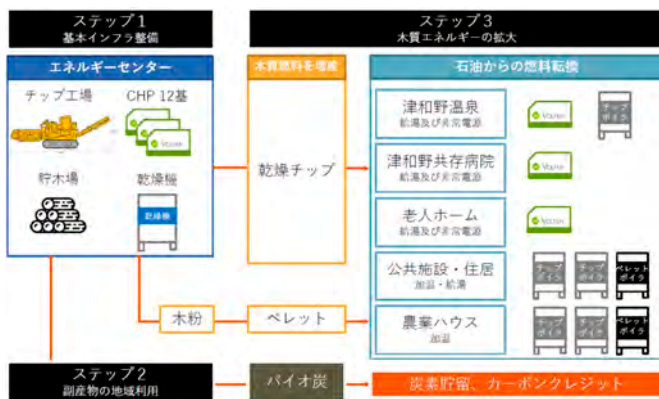


（出所）生田雄一「自治体との連携による地産地消&レジリエンス対応型の木質バイオマス熱電併給プロジェクト」バイオマス産業社会ネットワーク研究会 2023年8月29日資料

<https://www.npobin.net/research/data/216thIkuta.pdf>

18 残りは針葉樹（天然林）4%、竹林・無立木地3%

(図表10) 津和野町における木質エネルギー利用拡大のステップ



(出所) 図表9に同じ

(図表11) 稼働中のガス化発電プラント（左）と燃料材の搬入が滞りがちな貯木場（右）



(出所) 2023年10月17日 筆者撮影

高騰の影響もあり、価格が5割近く上がっているという（図表11）。

木質バイオマスのように供給に限りがあり、質の高いエネルギー資源を大規模石炭火力発電所の混焼用に使い、それに補助金をつけるのはエネルギー政策上の大きな矛盾であり、このために小規模分散型で、地域に根差した持続可能な脱炭素化の取組みが阻害されることは防いでいかなければならないだろう。

また、大瀧村や紫波町とは異なり、再エネ事業を推進することで生じる様々なベネフィットを最大限、地元還元できる地域エネルギー会社の組成も津和野町での大きな課題のひとつとなっている。

津和野町における木質エネルギー利用拡大構想には、ガス化発電の副産物として生成するバイオ炭を利用した炭素貯留やカーボンクレジットの取得が、地域の脱炭素化に加えて、新たな収入やビジネスの機会をもたらす可能性も考慮されている（図表10）。

バイオ炭は、植物が光合成で吸収したCO₂が炭化によって固定されたもので、これを適切な形で地中に埋めるなどして隔離すれば、数百年という単位の長期にわたりCO₂が自然分解されて大気中に排出されるのを防ぐことができる。

炭は古くから農地の土壌改良材として使われてきたが、近年は温暖化対策の観点からこうした炭素隔離機能が注目されており、日本でも2021年9月からバイオ炭の農地への施用が、J-クレジット制度¹⁹の対象として認められるようになった。2022年1月には、フォレストエナジー社が和歌山県新宮市で手掛ける発電事業の副産物であるバイオ炭を活用した取組みが、その第一号としてJ-クレジット認証を受けている²⁰。日本ではまだ農地への施用のみしか認められていないが、欧州ではアスファルトやコンクリートなどの建設用材に配合することによるCO₂削減効果をクレジット化し、ボランタリー市場で売買することが可能となっている。

4. まとめ

デンマークの脱炭素化に向けた先進的な

19 省エネ・再エネ設備の導入や森林管理などによる温室効果ガスの排出削減・吸収量をクレジットとして国が認証する制度

20 <https://forestenergy.jp/2022/06/30/biochar/>

取組みの背後には、綿密なデータ収集と科学的分析に基づいた明確なエネルギー政策と目標設定があるが、これは小国である同国国民が1970年代のエネルギー危機以降、エネルギー自給自足と安全保障の重要性を痛感し、数々の制約の中で試行錯誤を重ねてきた結果であろう。

再エネ電力の導入量や熱の脱炭素化における日本の現状は同国に遠く及ばないが、ここ数年頻発する気象の極端な現象や科学的研究の積み重ねから、日本人の危機意識も大きく変化しており、日本各地で地域に根差したエネルギー会社による再エネ導入事業が広がりを見せている。

日本に豊富な木質バイオマスの持つ高品質のエネルギーを脱炭素のために余すことなく利用していく、熱を中心とした持続可能な小規模事業も増え、デンマークのDHのような既存インフラがない中で、点を面に拡大してゆくにあって多くの工夫がこらされている。

今後はバイオ炭によるCO₂の長期固定を媒介に、熱事業による農業分野や土木建築分野の脱炭素化への貢献や新事業創出の可能性も視界に入ってくる²¹。デンマークを始めとする再エネ電力や再エネ熱導入の先進国の試みから学びつつ、再エネの専門知識や実践的なノウハウを持つ人材を育成し、こうした人々からの支援を受けながら、地域住民が主体となってエネルギー事業に関わり、今できる事業を主体性を持って継続していくことが重要なのではないかと。

<参考文献（本文中に記載したものは除く）>

- ・ 環境省「令和3年度 地域再エネ事業の持続性向上のための地域中核人材育成事業事例集」
<https://epohok.jp/wp-content/uploads/2022/03/r3-human-resource-development.pdf>
- ・ 高橋溪、林田慧太郎「脱炭素化に向けた熱エネルギー政策の在り方の検討」
三菱UFJリサーチ&コンサルティング、2019年3月14日
https://www.murc.jp/library/report/seiken_190314/
- ・ 田中いずみ「デンマークの脱炭素化戦略～地域熱供給とセクターカップリング」2023年3月27日
<https://www.isep.or.jp/wp/wp-content/uploads/2023/03/Tanaka20230327.pdf>
- ・ 泊みゆき「バイオマス熱の排熱利用」2023年3月27日
<https://www.isep.or.jp/wp/wp-content/uploads/2023/03/fd93a6709118b7caf7e095322250d5db.pdf>
- ・ NPO法人バイオマス産業社会ネットワーク（BIN）
「バイオマス白書2023」2023年4月
<https://www.npobin.net/hakusho/2023/index.html>
- ・ Danish Energy Agency “Development and Role of Flexibility in the Danish Power System” 23 June 2021
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/development_and_role_of_flexibility_in_the_danish_power_system.pdf
- ・ Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities
“The Government’s Strategy for POWER – TO – X” December 2021
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/strategy_ptx.pdf
- ・ Lund, Henrik “Smart Energy System and 4GDH for decarbonization”
4DH Forum International Conference in Tokyo, 20 October 2023
https://www.isep.or.jp/wp/wp-content/uploads/2023/10/HenrikLund_4DHConference_Tokyo_October2023_New.pdf

21 農業分野ではJ-クレジット化に加えて、バイオ炭による炭素貯留をおこなった田畑からの収穫物に「クールベジ タブル（クールベジ）」というブランド名をつけて販売することにより、環境価値を見える化する取組みが行われている。付加価値による収益で、カーボンネガティブなプロジェクトを持続し、自然環境を維持しながら、農家を支援することが目的。

<https://kameokacoolvege.earth/about-kameokacoolvege/#link4>
<https://coolvege.com/coolvege/what/>