

A photograph of two children running away from the camera on a green grassy field under a bright blue sky with scattered white clouds. The child on the left is a girl in a white shirt and a tan skirt, and the child on the right is a boy in a pink shirt and black pants, wearing a black cap. The title text is overlaid on a light blue oval in the upper half of the image.

北海道における **脱炭素社会** に向けた取り組み

発行にあたって

わが国は、2050年までに脱炭素社会の実現を目指すことを、改正地球温暖化対策推進法（2021年6月施行）の基本理念に位置づけるとともに、中期目標として、2030年度において温室効果ガスを46%削減（2013年度比）することを閣議決定（2021年10月）しました。

北海道は国の方針を踏まえ、同じく2050年までに「ゼロカーボン北海道」の実現を目標に、再生可能エネルギーの利用拡大など、地球温暖化対策を推進することとしています。さらに、道内21の市町村が、2050年二酸化炭素実質排出量ゼロに取り組むことを表明（2021年10月末）しています。

私たちが暮らす北海道は、再生可能エネルギーの賦存量が多く、道内各地で風力発電や畜産・木質バイオマス発電などの取組みが進められており、既存の大規模水力発電を含め北海道の電力の4分の1以上が国産エネルギー利用となっています。

また、脱炭素の取組みは、温暖化の防止だけでなく、地域のエネルギー自給率向上や雇用創出、高断熱住宅の普及による健康増進、公共インフラの運営管理体制強化、住民主体のまちづくりなど、地域の持続可能な発展を支える柱として期待されています。

一方、再生可能エネルギーの一層の拡大には、電力を送るための送電容量の増強など系統制約の克服や、寒冷地であることから冬季の家庭暖房に係る灯油利用を切り替えていく上での課題なども少なくはありません。

こうした地域特有の課題を認識しつつ、北海道の多様な資源を活用し、脱炭素社会の実現に貢献していくためには、省エネ対策など地道な取組みとともに、既存の技術でも可能な再生可能エネルギーの利用拡大を道内各地で進めていくことが重要と考えられます。

本書は、その様な取組みの推進に寄与すべく、道内の大学等における脱炭素に関する研究や、地域の資源循環を旨にバイオマス活用を実践している企業の取組み、再生可能エネルギーを基本とした地域熱供給が広く普及するデンマークの事例などを取りまとめました。

本書が、道内各地における脱炭素社会の実現に向けた実効的取組みにつながっていくことを、切に願っています。

令和3年12月

一般財団法人 北海道開発協会
開発調査総合研究所長 黒崎 宏

目 次

発行にあたって	1
北海道における脱炭素社会の実現に向けて	4
北海道大学大学院工学研究院 石井 一英	
北方型住宅の展開	12
地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 建築研究本部北方建築総合研究所 廣田 誠一	
地域に根ざした持続的な林業・木材産業	18
丸玉木材株式会社 大越 敏弘	
バイオガス発電の現状と展望 ーバイオガス熱電併給システムの負荷応答試験からわかったことー	24
北海道大学大学院工学研究院 石川 志保	
北海道における木質バイオマス利用	30
北海道大学大学院工学研究院 山形 定	
バイオガスからメタノール・ギ酸を生成する高度技術の開発	38
エア・ウォーター北海道株式会社 事業企画部 再生エネルギーグループ 保井 聖一	
脱炭素社会に向けたセクター・カップリング ーデンマークの地域熱供給・熱利用及びバイオガスの事例からー	46
デンマーク王国大使館 田中いずみ	
脱炭素社会の実現に向けた市民参加の取り組み ー北海道グリーンファンドの取り組みについてー	52
特定非営利活動法人 北海道グリーンファンド 小林 ユミ	
再生可能エネルギー施設の立地の法的問題について ー石狩市風力発電ゾーニング計画策定過程を参照してー	58
すがさわ法律事務所 菅澤 紀生	
持続可能な開発目標SDGsから見た脱炭素社会の実現	64
北海道大学大学院地球環境科学研究院 山中 康裕	

北海道における脱炭素社会の実現に向けて

石 井 一 英

(いしい かずえい)

所属：北海道大学大学院工学研究院 循環共生システム研究室

profile

北海道大学工学部衛生工学科で衛生・環境工学、特に廃棄物管理工学を学び、1997（平成7年）年に北海道大学大学院工学研究科助手、2004（平成16年）博士（工学）、2008（平成20）年同工学研究院助教、2010（平成22）年同准教授、2018（平成30）年より同教授（現職）。



はじめに

2020（令和2）年3月の鈴木北海道知事による実質ゼロ表明に続いて、同年10月の菅首相初の所信表明演説にてカーボンニュートラル宣言があり、国内の脱炭素社会に向けた動きは加速化した。2050年実質ゼロ表明した自治体は、2021（令和3）年8月31日時点で、444自治体（40都道府県、268市、10特別区、106町、20村）であり総人口約1億1,140万人（都道府県と市区町村の重複を除外）となっている¹⁾。しかしながら多くの都道府県と市区町村にとっては、どのような道筋で、何をどこまでやれば良いのか、あまりにも多くの検討すべき事項が山積しているのが現状ではなかろうか。どこから手をつけたら良いかも分からないといった声も聞こえる。

そこで本稿では、世界と国の脱炭素に向けた動きを踏まえた上で、北海道の取組現状を紹介し、私見ではあるが、脱炭素社会に向けた課題について述べたいと思う。脱炭素社会を目指す都道府県と市区町村にお役に立てればと思う。

1. 世界と日本の動向

1.1 世界の動向

1.1.1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

2021（令和3）年8月のIPCC第6次評価報告書²⁾が、2013（平成25）年の第5次報告書³⁾以来8年ぶりに公表された。9月1日版の暫定訳⁴⁾によると、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。」「人為起源の気候変動は、世

界中のすべての地域で、多くの気象及び気候の極端現象に既に影響を及ぼしている」「向こう数十年の間に二酸化炭素及びその他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21世紀中に、地球温暖化は1.5℃及び2℃を超える」などとある。

1.1.2 国連気候変動枠組条約締約国会議（COP）

2015（平成27）年12月に採択されたパリ協定⁵⁾では、世界共通の長期目標として2℃目標の設定、世界の平均気温の上昇を工業化以前よりも1.5℃高い水準までのものに抑える努力を継続すること、そして主要排出国を含むすべての国が気候変動に対する世界全体での対応に向けたNDC（Nationally Determined Contribution）を5年ごとに提出・更新することなど、が唱われている。

1.1.3 国際エネルギー機関（IEA）

2021（令和3）年5月にIEAよりNet Zero by 2050⁶⁾が公表され、2050年温室効果ガス正味ゼロに向けたエネルギー部門のロードマップが示された。NET ZEROシナリオ（NZE）における全エネルギー供給（図1）では、再生可能エネルギーと原子力エネルギーがほとんどの化石燃料を代替し、化石燃料のシェアは80%から20%にまで低下するとしている。さらに図2に示すように、2020年から2030年の活動量増加24%、2030年から2050年の51%を考慮した目指すCO₂排出量削減寄与は、「電化」「CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）」「行動

変容と回避（新技術開発含む）」「風力及び太陽光」「水素関連」「エネルギー効率化」「他の燃料のシフト」「バイオマスエネルギー」であることが示されている。2030年までに必要とされる削減量内訳と較べると、

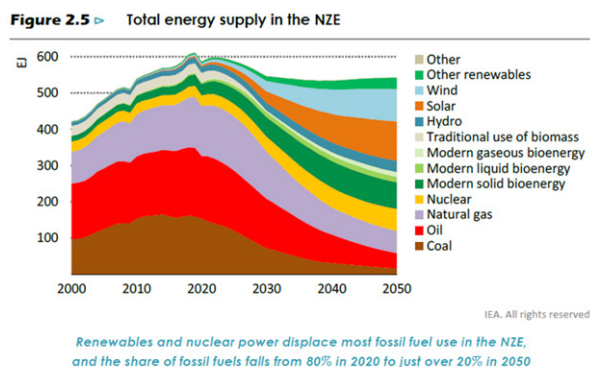


図1 NET ZERO by 2050 (NZE) シナリオにおける全エネルギー供給の内訳⁶⁾

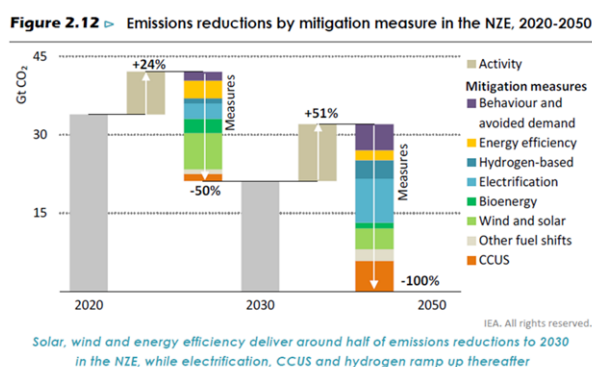


図2 NET ZERO by 2050 (NZE) シナリオにおけるCO₂排出量削減⁶⁾

2030年以降は特に、「電化」「CCUS」「行動変容と回避」「水素関連」に関する取組が必要とされることがわかる。

1.1.4 再生可能エネルギー導入量

世界の再生可能エネルギー導入量に関する情報は、国際的な自然エネルギー政策ネットワーク組織REN21により公表されている⁷⁾。図3は電気・熱・輸送燃料のすべての最終エネルギー消費量に対する再生可能エネルギーのシェアと2020年末までの目標値を、特にG20に限って示したものであるが、再生可能エネルギーのシェアが低いだけではなく、目標値がない先進国が多いことが問題視されている（日本は電気のみ再エネ目標値が設定されている）。

図4によれば、Modern renewables（薪や草を燃やして調理に使うなどのいわゆる従来の利用法と区別して用いられる）のシェアが増加しているが、化石燃料のシェアはこの10年間でほとんど変わっておらず、むしろ消費量は増加していることが分かる。

図5は、熱・輸送・電気の各部門の最終エネルギー消費量の割合とそれらに対する再生可能エネルギーのシェアを示したものである。国内ではエネルギーと言えば、電気を想像するが、世界的には熱利用が51%、輸送燃料が32%、電気は17%である。各部門での再生可能エネルギーのシェアは、それぞれ10.2%、3.4%、27.1%となっている。

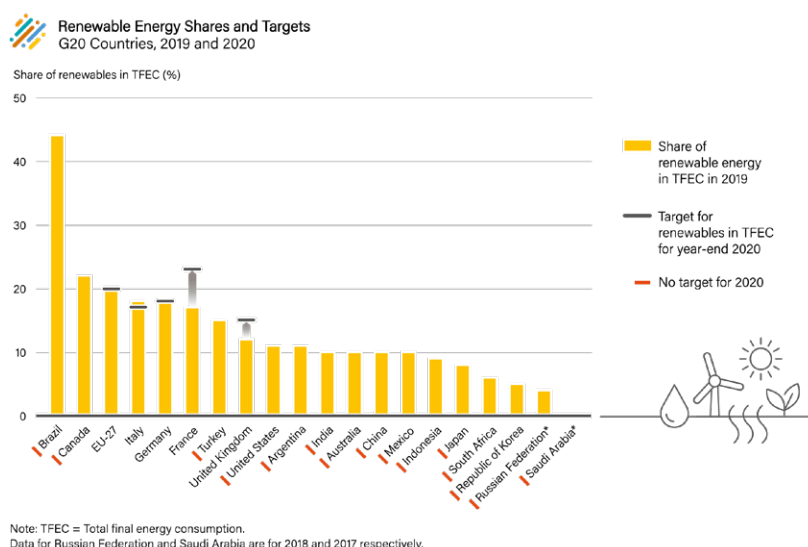


図3 G20の再生可能エネルギーのシェアと目標値（2019–2020）⁷⁾

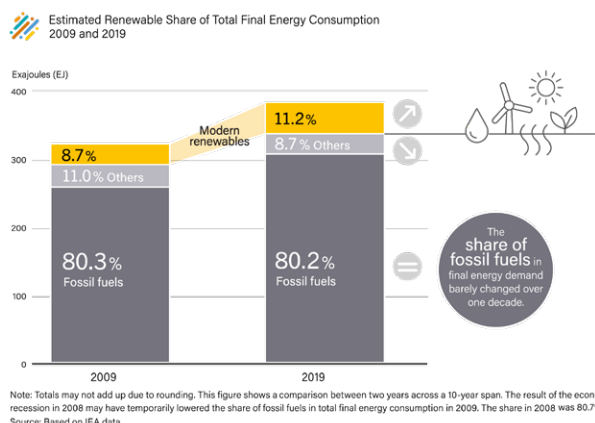


図4 2009年と2019年の再生可能エネルギーシェアの見積もり⁷⁾

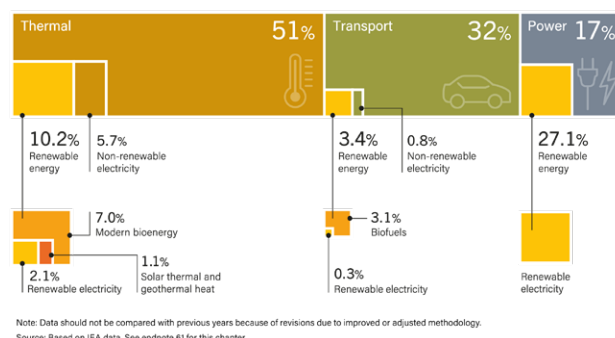


図5 最終エネルギー消費量に対する再生可能エネルギーシェア (2018)⁷⁾

1.2 国の動き

1.2.1 実質ゼロ表明（ゼロカーボンシティ宣言）

地球温暖化対策の推進に関する法律を踏まえて、2050年二酸化炭素実質排出量ゼロに取り組むことを表明した地方公共団体が増えつつある。冒頭にも記載したが、2019（令和元）年9月に4自治体（1,956万人）であったのが、2021年（令和3）年現在、444自治体（1億1,140万人）となっている¹⁾。ここで、実質排出量ゼロとは、「CO₂などの温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と、森林等の吸収源による除去量との間の均衡を達成すること」とされている。

表明については、定例記者会見やイベント等、議会、報道機関へのプレスリリースで首長が表明する、あるいは各地方自治体ホームページにおいて表明することになっている。

1.2.2 菅首相カーボンニュートラル表明

2020（令和2）年10月26日の菅首相所信表明演説において、「わが国は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする。脱炭素社会の実現を目指すことをここに宣言いたします」との表明があった。ここで言うゼロとは、実質排出量ゼロのことを示している。

1.2.3 地球温暖化対策計画

2021（令和3）年10月22日に「2050年カーボンニュートラル」宣言等の実現に向けた改定地球温暖化対策計画⁸⁾が閣議決定された。表1に示すように、わが国の中期目標として、2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていくこととしている。

表1 地球温暖化対策計画における削減目標⁸⁾

温室効果ガス排出量・吸収量 (単位: 億t-CO ₂)		2013排出実績	2030排出量	削減率	従来目標
		14.08	7.60	▲46%	▲26%
エネルギー起源CO ₂	産業	12.35	6.77	▲45%	▲25%
	業務その他	4.63	2.89	▲38%	▲7%
	家庭	2.38	1.16	▲51%	▲40%
	運輸	2.08	0.70	▲66%	▲39%
	エネルギー転換	2.24	1.46	▲35%	▲27%
	エネルギー転換	1.06	0.56	▲47%	▲27%
非エネルギー起源CO ₂ 、メタン、N ₂ O		1.34	1.15	▲14%	▲8%
HFC等4ガス（フロン類）		0.39	0.22	▲44%	▲25%
吸収源		-	▲0.48	-	(▲0.37億t-CO ₂)
二国間クレジット制度（JCM）		官民連携で2030年度までの累積で1億t-CO ₂ 程度の国際的な排出削減・吸収量を目指す。我が国として獲得したクレジットを我が国のNDC達成のために適切にカウントする。			-

また、主な対策・施策として、次節に示す改正温対法に基づき自治体が再エネ促進区域を設定し、地域に裨益（ひえき）する再エネ拡大、住宅や建築物の省エネ基準への適合義務づけ拡大、2050年に向けたイノベーション支援、データセンターの30%以上省エネに向けた研究開発・実証支援、2030年度までに100以上の脱炭素先行地域を創出、優れた脱炭素技術等を活用した途上国等での排出削減が唱われている。

また同地球温暖化対策推進本部（第47回）では、パリ協定に基づく成長戦略として長期戦略も議論されており、ご関心のある方は是非ご覧いただきたい。

1.2.4 改正地球温暖化対策推進法（改正温対法）

2021（令和3）年6月、改正温対法が成立した⁹⁾。以下の3つが主な改正のポイントである。

① 2050年までの脱炭素社会の実現を基本理念に

長期的な方向性を法律に位置づけ脱炭素に向けた取組・投資を促進

② 地方創生につながる再エネ導入を促進

地域に求める方針（環境配慮・地域貢献など）に適合する再エネ活用事業を市町村が認定する制度の導入により、円滑な合意形成を促進

③ 企業の温室効果ガス排出量情報のオープンデータ化

ESG投資にもつながる企業の排出量情報のオープンデータ化

1.2.5 地域脱炭素ロードマップ

2021（令和3）年6月に公表された地域脱炭素ロ

ードマップ¹⁰⁾では、地域課題を解決し、地域の魅力と質を向上させる地方創生に資する脱炭素に国全体で取り組み、さらに世界へと広げるために、特に2030年までに集中して行う取組・施策を中心に、地域の成長戦略ともなる地域脱炭素の行程と具体策が示されている。詳細は、本文をご覧いただければと思う。

2. 北海道の脱炭素に向けた動き

2.1 北海道地球温暖化対策推進計画（第3次）

2020（令和2）年、鈴木北海道知事による実質ゼロ表明に続き、2021（令和3）年に新たな北海道地球温暖化対策推進計画（第3次）¹¹⁾が策定された。本計画では、めざす姿（長期目標）として、「2050年までに道内の温室効果ガス排出量を実質ゼロとする（“ゼロカーボン北海道”の実現）」と明記された。その上で、2030年度の温室効果ガス排出量の削減目標（中期目標）を「2013年度比で35%（2,551万t-CO₂）削減」としている（図6）。

北海道は、積雪寒冷な気候であり、また広域に都市や集落が分散している地域構造から、冬季の暖房用灯油や移動に使用する自動車のガソリンなど化石燃料の使用量が多く、全国に比べ家庭部門と運輸部門における温室効果ガス排出量の割合が高くなっているのが特徴であり、道民一人当たりの排出量も全国の約1.3倍（2016年（平成28）年度）である。

表2に示すような補助指標を用いて、個別施策の進捗や温室効果ガス排出量の評価を補足し、今後の施策の方向性などの分析に活用することとしている。

表2 北海道温暖化対策推進計画の補助指標¹¹⁾

ゼロカーボンシティ表明市町村数	2020年度（現状） 10	2030年度（目標年） 179（全市町村）
燃料電池自動車（FCV）の普及台数	2020年度（現状） 20台	2030年度（目標年） 9,000台（ストックベース）
家庭用燃料電池（エネファーム）の普及台数	2020年度（現状） 962台	2030年度（目標年） 約23万台（全世帯の1割程度）
省エネ基準を満たす住宅ストックの割合	2015年（基準年） 16%	2025年度（目標年） 30%
省エネに係る成果指標	2017年度（実績）	2030年度（目標年）
産業部門（GJ/百万円）	43.3	37.3
業務部門（GJ/m ² ）	3.2	2.8
家庭部門（GJ/世帯数）	55.6	47.2
運輸部門（GJ/台）	57.3	45.9

※GJ（ギガ・ジュール）：エネルギー量の単位で、10億ジュール（1ジュール≒0.239カロリー）

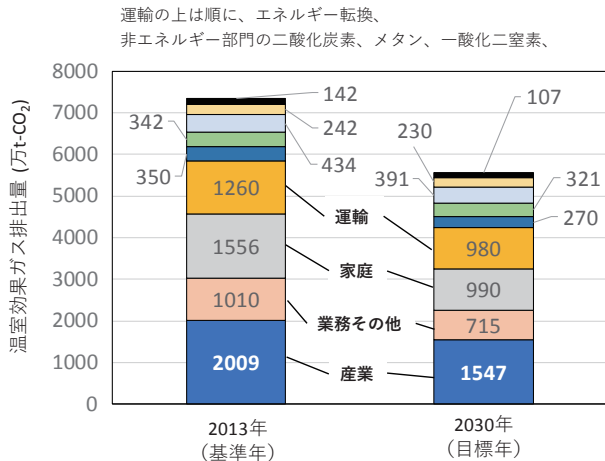


図6 温室効果ガス排出量（2013年度と2030年度）
（2030年度は、吸収量：-757万t-CO₂を見込む）
（参考文献^{11）}より筆者が作成）

2.2 「ゼロカーボン北海道」タスクフォース

北海道は、ゼロカーボン推進局を立ち上げゼロカーボン北海道の実現を目指すロゴ（図7）を発表する中、2021（令和3）年8月3日の北海道新聞朝刊に「道の脱炭素化へ 政府が支援組織」なる記事が掲載された。政府が脱炭素を目指す道の取組「ゼロカーボン北海道」を全面支援するため、省庁横断の対策チームを設置する方針という内容である。



図7 ゼロカーボン北海道のロゴ

これを受けて、2021（令和3）年8月には「ゼロカーボン北海道」タスクフォース地方支分部局レベル会合が開催され、本府省－地方支分部局－北海道庁内の連携が強化されることになった。北海道では、「北海道気候変動対策推進本部」「ゼロカーボン北海道推進協議会」が立ち上がっており、北海道のゼロカーボンに向けた取組体制が整ったことになる。

2.3 ゼロカーボン北海道の実現に向けた提案・要望

本会合の資料で北海道から国への提案・要望項目が整理されている。再エネポテンシャルが全国随一であり広大な森林面積を有する北海道として、以下の項目が提案・要望されている。

①「ゼロカーボン北海道」推進に向けた基盤づくり

- ・再エネ導入にむけた送電網の強化、道外への送電設備の増強
- ・既存系統の有効活用
- ・分散型エネルギーシステムの導入
- ・環境負荷の少ない交通・物流基盤の構築
- ・CO₂の吸収に資する豊かな森づくり
- ・気候変動の適応に関する徳見の推進

②地域の脱炭素化の推進

- ・「地域脱炭素ロードマップ」に関する考え方や内容の明示
- ・本道の特性を活かした実証事業の実施
- ・住宅・建築物の脱炭素化の推進
- ・水素ステーション・急速充電設備の整備
- ・農林水産業における脱炭素化の推進
- ・ゼロカーボンツーリズムの推進

③「グリーン×デジタル」の一体的な推進

- ・本道の特性を活かした次世代データセンターの誘致
- ・デジタル化による環境負荷の少ない観光の推進

3. 脱炭素社会に向けた課題

3.1 脱炭素社会という言葉と定義

本稿を読んでお気づきのことと思うが、脱炭素に関連する言葉が複数あるのは、専門家のみならず多くの皆様にとって分かりづらいと感じるのではないだろうか。2008年の21世紀環境立国戦略では「低炭素社会」であった、次に「脱炭素社会」に変化し、最近では「ゼロカーボン（実質ゼロのこと）」や「カーボンニュートラル」という言葉が利用されている。法律や計画、宣言などそれなりの経緯や背景があつてのことと理解はするが、一般市民目線からの言葉選びへの配慮があってもよいと思う。

言葉の使い方は、イメージされる定義にも影響を及ぼす。2011年の原発事故を経験した日本では、エネルギー＝電気とイメージされやすく、再エネと言えば

太陽光発電、風力発電と思われがちである。エネルギーには、電気・熱・輸送燃料の3つがあることを忘れてはならない。図5で示したように80%以上は電気以外の熱と輸送燃料としてエネルギーを使っている。従って、脱炭素社会も、電気のみを再エネ由来にすれば良いという訳ではない。熱や輸送燃料に対しても、省エネの徹底と再エネへの転換が求められているのである。

さらに脱炭素社会は、エネルギーだけを再エネ由来にすれば良いというわけではない。化石燃料を利用して製造されるプラスチック製品など様々な工業製品、そして化学肥料などの使用量を抑えるとともに、マテリアル・ケミカルリサイクルを通じた取組が重要となる。

CO₂のリサイクルとしてCCUSの取組が進みつつある。化石燃料由来のCO₂をリサイクルして、結局すぐに燃焼してしまえば、CO₂排出となってしまう、滞留時間が長くなるだけでCCUSに要したコストやエネルギーに見合った効果が得られないことも考えられる。これまでのリサイクルの取組と同様に、LCA（ライフサイクルアセスメント）評価に基づく合理的な取組を期待したい。

3.2 削減割合目標から総排出量目標の設定へ

低炭素社会を目指していた時代は、マイナス〇%達成するということが目標でありそのための施策が実施されてきた。基準年に比べて、省エネ機器の導入数、太陽光パネルの導入量、風力発電の導入量、木質ボイラの導入量などの変化に基づき、代替した燃料量にCO₂排出係数を乗ずれば簡単に削減量が求まり、削減割合が計算できる。つまり、相対的ではあるが、活動が削減につながっており、その活動を促進するための施策を立案するという流れが考えやすかった。

しかし、脱炭素社会を目指す実質ゼロという世界は、前述したように「CO₂などの温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と、森林等の吸収源による除去量との間の均衡を達成すること」である。よって、相対的な削減量よりも、わがまちの排出量と吸収量の絶対値を把握しなければ、その均衡を達成したかどうかは評価できないということになる。

現在の、都道府県及び市町村レベルで利用されている温室効果ガス排出量の値は、国の推計値を世帯数や自動車保有数、生産高や従業員数、延べ床面積などの活動量から按分した値を用いて算出されている場合が多いため、実際に施策を講じる都道府県及び市町村自身が排出量の絶対値を把握している訳ではない。吸収量の絶対値も必ずしも把握されていないと思われる。

3.3 脱炭素社会に向けた施策と進行評価

3.3.1 ボトムアップ型の温室効果ガス排出量の算出の必要性

前節で指摘したように、都道府県及び市町村が主体となり、事業者や住民の協力を得ながら脱炭素社会を目指す施策を講じるならば、わがまち、わが地域の温室効果ガス排出量の実態を知る必要がある。国や都道府県などの上位の数値から活動量等を用いて按分して求める方法をトップダウン型と呼ぶならば、ボトムアップ型の温室効果ガス排出量の算出が必要である。

環境省が提供している「地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル 算定手法編 Ver. 1.1」¹²⁾では、数種の算出方法が掲載されている。本マニュアルでも、最終的な実態把握のためには、現地から得られたデータ、あるいはデータ群から求められた原単位を利用することを推奨しているが、現状ではこのようなボトムアップ型で算出できる自治体はほとんど皆無であると思われる。

なぜ、ボトムアップ型で温室効果ガス排出量の算定が必要なのか、それは施策の立案と評価のために必要なのである。例えば、製造部門の生産高を按分してその地域の製造部門の排出量を算定している限り、その地域の製造工場の排出量が削減されても、その地域の製造部門の排出量評価は、按分する前の数値（全国や都道府県の値）からの削減量しか評価できない。どこかのタイミングで、その製造工場からの排出量を評価できる仕組みに変更しなければならない。

活動量で按分して算出している場合は、施策と評価がちがうになってしまう場合も考えられる。例えば、事務所などの温室効果ガス排出量は延べ床面積で按分される場合があるが、事業所の温室効果ガス削減のための施策は、延べ床面積を小さくすることではな

い。もちろん、事業所数が減る、あるいはコンパクトな空間で同様の事業ができれば排出量は削減される。しかしながら、本質的には、ある事業所が蛍光灯からLEDに転換して、あるいは灯油や重油ボイラからガスボイラに転換した場合のその前後の排出量とその差に関する情報が必要なのである。それが評価できて初めて、LED交換、ボイラの転換という施策を実施することができ、全うな評価が可能となるのである。

3.3.2 住民や事業者への情報提供と行動変容

脱炭素社会に向けた主役は、住民と事業者である。自治体は、住民と事業者の行動変容を促すための情報提供とインセンティブ付与（補助金など）が重要となる。自身の行動変容が、どの程度、地域の脱炭素のために貢献したのか、どこまでやれば良いのか、やっぱり難しいのか、そのフィードバックが重要である。

「省エネ」は、電気代や燃料代が節約できるので住民や事業者にとってはわかりやすい。低炭素、脱炭素、実質ゼロやカーボンニュートラルはどうであろうか。理念や概念を正しく伝える教育も施策の一環として促進していく必要がある。

3.3.3 2030年までの考え方～準備期間

2050年は、遠い未来だろうか。人によって感じ方は様々であろう。では2030年はどうだろうか。最近10年はあっという間（自身の歳のせいだろうか）である。2050年に脱炭素社会を達成するためには、着実な歩みが必要である。様々な考え方があるので、議論喚起のために、私の主張をしたい。2030年は2050年までの準備期間と考えたい。控えめに準備と言っているのではなく、積極的な攻めの準備と考えたい。

まずは、2030年までに、各自自治体が自身の施策や取組の評価ができるようにボトムアップ型で排出量を算定できるような仕組み作りが必要である。大変な作業であるが、2030年以降必ず活かされると考える。地域の住民や事業者にとっても、自身の排出量が見える化できる意義は大きい。

次に、徹底的な省エネルギーを優先することも重要だ。自身で利用しているエネルギー量を再認識し、どこまで省エネできるか考える。ボイラなどを利用して

いる事業所などは、エネルギー診断を推奨する。まず、水素などの再エネに切り替える前に、切り替えるべきエネルギー量を知り、2030年までに最小にする努力こそが必要であり、これならすぐにでも取り組むことができる。

次に、施設や設備の更新時期を考慮した切り替えが重要である。すなわち、2050年までにあと数回更新できる場合は、無理して高価な再エネ設備を導入する必要はないのではないか。逆に言えば、この更新のあと2050年まで利用するものは、できれば現在できる最大限の省エネと再エネの導入を考慮したものにして欲しいと言うことである。例えば、自宅の新築であれば、断熱構造だけはZEHレベルのものにしておき、子育てが一段落した後に、太陽光パネルなどの再エネの導入やEV・FCVの導入を検討することにして、そのためのスペースや設備を新築時に考慮しておくことなどである。このようなバージョンアップ、エクステンションの考え方も重要であろう。

そして、北海道の再エネポテンシャルを最大限に活かすべく将来のイノベーションのための技術開発や実証事業を、これまで以上に積極的に実施していくのは当然である。

3.4 北海道内の地域特性を考慮

北海道の179市町村は、それぞれ個性があり、地域特性に応じた産業構造が形成され、生活形態や移動形態も多様である。人口密集の札幌市を含む石狩圏、工業が多い苫小牧から室蘭地域、畑作・酪農が盛んな道東・道北地域、海岸線沿いのまちは漁業が盛んである。再エネ導入を考えたときには、その地域賦存量の偏在や再エネそのものの変動性を考慮すると、再エネ創出する地域と消費地を結ぶサプライチェーン（貯蔵・輸送）を考える必要がある。一方で、酪農地域では、家畜の腸内発酵（いわゆるゲップ）によるメタン排出量や、家畜ふん尿の処理に伴うメタンや一酸化二窒素の排出量が無視できないくらい多い場合も考えられる。地域内でのバイオガス発電などの再エネ創出で相殺できるかどうか検討が必要である。

すなわち、北海道全体で脱炭素社会を目指すと言うことは、179市町村がそれぞれ独立して取り組むので

はなく、179市町村が地域特性を活かしながら可能な活動を最大限行い、そしてその成果を市町村間で融通しあうことが重要であると考えます。

おわりに

北海道全体で脱炭素社会を達成でき、さらにネガティブエミッション*を達成できれば、次は道外自治体との融通となり、北海道の価値はさらに高くなる。そして、well-beingな北海道につながっている。このような将来の北海道を期待して今後活動に取り組みたいと考えている。

参考文献

- 1) 環境省：地方公共団体における2050年二酸化炭素排出実質ゼロ表明の状況, 2021,
<https://www.env.go.jp/policy/zerocarbon.html>
- 2) 原本はIPCC<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>、日本語訳 環境省, 2021,
<http://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>
- 3) 日本語訳環境省報道発表資料, 2013,
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17176>
- 4) 気象庁：IPCC第6次評価報告書（AR6）, 2021,
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>
- 5) 外務省：気候変動 2020年以降の枠組み：パリ協定, 2015,
https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000119.html
- 6) IEA：NET ZERO by 2050, 2021,
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- 7) REN21：Renewables 2021, Global Status Report, 2021,
<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- 8) 首相官邸：地球温暖化対策推進本部関連閣議決定, 2021,
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/index.html>
- 9) 環境省脱炭素ポータル：改正地球温暖化対策推進法成立, 2021,

*ネガティブエミッション：様々な取組の結果として北海道の温室効果ガス排出量のバランスがマイナスになること

https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/topics/20210604-topic-03.html

- 10) 国・地方脱炭素実現会議：地域脱炭素ロードマップ～地方からはじまる、次の時代への移行戦略～, 2021
- 11) 北海道：北海道地球温暖化対策推進計画（第3次）, 2021,
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/tot/ontaikeikakukaitei.html>
- 12) 環境省大臣官房環境計画課：地方公共団体実行計画（区域施策編）策定・実施マニュアル算定手法編 Ver.1.1, 2021
https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/manual3.html

北方型住宅の展開

廣 田 誠 一

(ひろた ともひと)

所属：地方独立行政法人北海道立総合研究機構
建築研究本部北方建築総合研究所



profile

平成2年に北海道立寒地住宅都市研究所入庁。主に木造建築物の断熱・気密工法や床衝撃音遮断性能に関する研究に取り組む。博士（工学）。現在、北方建築総合研究所建築研究部部長

1. 北方型住宅の変遷¹⁾と省エネルギー基準

高断熱・高気密・高耐久化の技術が確立しはじめ、住要求が「数の充足」から「質の向上」へと大きく転換した1988（昭和63）年、「北方型住宅」検討がスタートした（図1）。産学官が一体となり、豊かな住まいづくりの実現を目指した取り組みである。

1990（平成2）年には「北方型住宅」の基準が制定され、認定制度がスタートした。この基準は、後に国の新省エネルギー基準（1992（平成4）年）に採用された。

北方型住宅は、断熱性能を強化したことにより、温水セントラル方式の全室暖房を採用できるようになった。FFストーブなどの各部屋設置型の暖房機を使用して夜間は暖房を停止する部分間欠暖房方式が一般的だったこれまでの住宅から、同じエネルギー消費量で住宅全体を温めることが可能な住宅への転換である。どの部屋も暖かく、温度差はほとんどなく快適で、このような住宅は健康にも良い影響を与えるとの報告も

ある²⁾。

2005（平成17）年からは、「新しい北方型住宅」をスタートさせ、断熱性能等を高めるとともに、住宅の図面や改修履歴を保管する「北方型住宅サポートシステム」の運用を始めた。

2010（平成22）年には、道が更に断熱気密性能などを高めた「北方型住宅ECOモデル事業」を国土交通省長期優良住宅先導事業へ応募し採択された。

2012（平成24）年には北方型住宅ECO推進協議会が国土交通省住宅・建築物先導事業に「低炭素社会の実現に向けた北方型住宅省CO₂マネジメントシステム構築プロジェクト」を応募し採択された。道と当研究所は共同提案者である。この事業では、CO₂排出量を当時の「北方型住宅」と比較して60%以上削減すること、加えて居住者が自らがエネルギーマネジメントを行い無駄に消費するエネルギーを抑えることで70%減を目指す内容であった。エネルギー消費量をHEMS^{注3)}により把握し当研究所が開発した分析プロ

	昭和50年代 (1975年)	昭和63年～ (1988年)	平成17年～ (2005年)	平成22年～ (2010年)	令和2年～ (2020年)
	一般的な住宅	北方型住宅	新しい 北方型住宅	北方型ECO	北方型2020
					
壁の断熱材厚さ	GW(グラスウール) 50mm	高性能GW 100mm	高性能GW 100mm	高性能GW 150mm相当	高性能GW 200mm
外皮平均熱貫流率U _A 値 ^{注1)}	1.20W/(㎡・K) 程度	0.46W/(㎡・K) 以下	0.46W/(㎡・K) 以下	0.38W/(㎡・K) 以下	0.34W/(㎡・K) 以下
相当隙間面積C値 ^{注2)}	15.0cm ² /㎡ 程度	5.0cm ² /㎡ 以下	2.0cm ² /㎡ 以下	1.0cm ² /㎡ 以下	1.0cm ² /㎡ 以下

図1 北方型住宅の変遷

グラムを使用して改善方法を提案し居住者へ実践を促した。

2013（平成25）年に国は、省エネルギー基準を改正し、断熱性能基準を外皮平均熱貫流率 U_A 値^{注1)}と1次エネルギー消費量による評価の2本立てとした。

2020（令和2）年に道は、北方型住宅2020を発表した。外皮平均熱貫流率は、現行の省エネルギー基準値を上回る $U_A=0.34W/(m^2 \cdot K)$ で、1次エネルギーの基準値は省エネルギー基準よりも20%高い性能である BEI ^{注4)} $=0.8$ 以下とした。現在、北海道の住宅の更なるボトムアップを図るべく普及を進めている。

2. 北海道の地域性

2.1 地域区分

北海道の面積は83,450km²で東京都の約38倍もあり、南北の直線距離は400km、東西は500kmという広大さを誇る。日平均外気温が18℃を下回った日の暖房設定温度18℃との差（暖房度日）を積算した値である暖房度日HDD₁₈₋₁₈を図2に示す。道内の最少は松前町の2,990度日、最大は大雪山間宮岳山頂の8,227度日である。寒冷な猿払村では4,630度日で、松前町とは2,500度日以上差がある。図3に暖房期間の日射量を示す。道東地域では日射量が多く、日本海側では少ないことが判る。

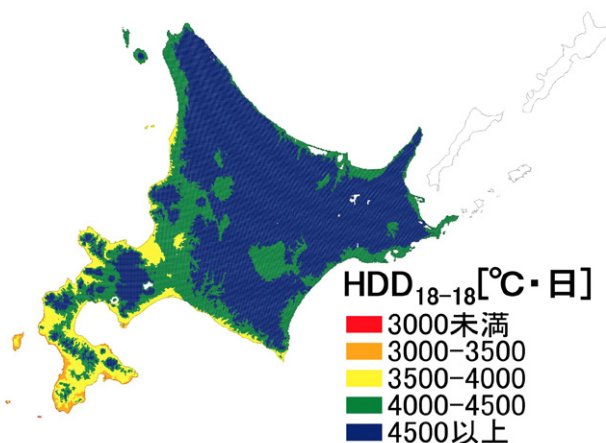


図2 北海道の暖房度日（1kmメッシュ）³⁾

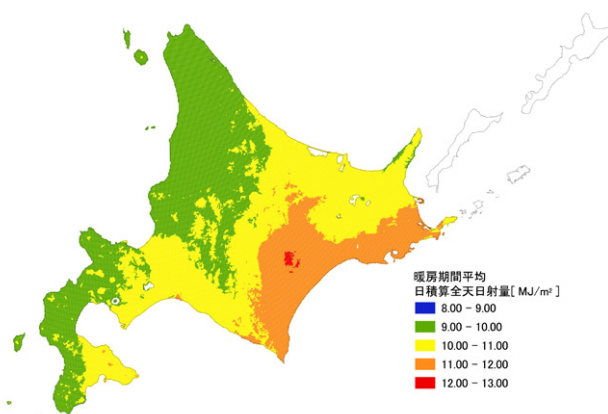


図3 北海道の暖房期間日射量（1kmメッシュ）³⁾

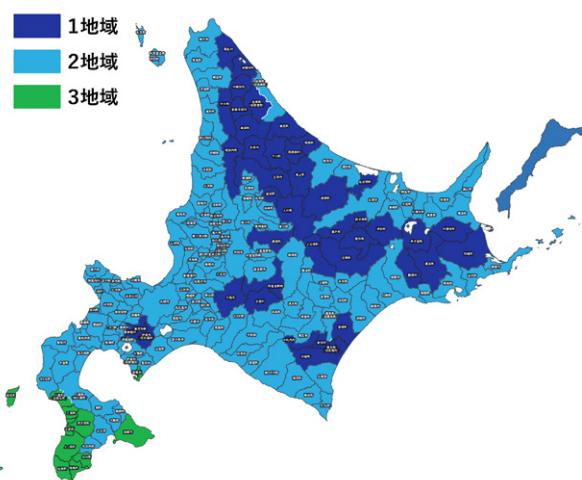


図4 北海道の地域区分

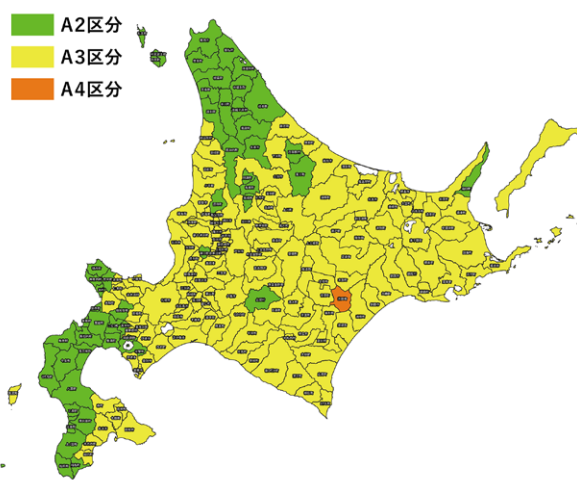


図5 北海道の年間日射地域区分

図4：建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令第1条第1項第2号イ（1）の地域の区分を基に作成

図5：平成28年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（住宅）現行版 2.1算定方法→第11章第2節 日射に関する地域の区分と日射量等を基に作成

国の建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令第1条第1項第2号イ(1)の地域の区分(図4)では、3つの地域に、年間日射地域区分も3つの地域に分けられている(図5)。

2.2 ゼロエネルギーハウス

経済産業省では、ZEH(ゼッチ)(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)とは、「外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システムの導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支がゼロとすることを目指した住宅」と定義付けている。また、2019(平成31)年にZEHロードマップフォローアップ委員会からZEHの定義(戸建住宅)(右図)が示されている。これによると、『ZEH』及びNearly ZEHは1・2地域では $U_A \leq 0.4$ 、 $BEI \leq 0.8$ をベースとし、再生可能エネルギー等を加えて、基準一次エネルギー消費量から『ZEH』は100%以上の一次エネルギー消費量削減、Nearly ZEHは75%以上100%未満の一次エネルギー消費量削減を行うなどとなっている。

省エネ基準判定のWebプログラム^{注5)}を使用して極寒冷地である猿払村、大都市である札幌市、温暖地である函館市でそれぞれ、主に用いられている暖房給湯設備を選択し、外皮平均熱貫流率を $U_A = 0.34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ とした場合の『ZEH』に適合するために必要な

ZEHの定義(経済産業省)

■『ZEH』(ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)

外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備え、再生可能エネルギー等により年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの住宅

提供要件(次の①～④のすべてに適合した住宅)

①ZEH強化外皮基準(地域区分1～8地域の平成28年省エネルギー基準(η_{AC} 値、気密・防露性能の確保等の留意事項)を満たした上で、 U_A 値 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 1・2地域:0.40相当以下、3地域:0.50相当以下、4～7地域:0.60相当以下)

②再生可能エネルギー等を除き、基準一次エネルギー消費量から20%以上の一次エネルギー消費量削減($BEI \leq 0.8$)

③再生可能エネルギーを導入(容量不問)

④再生可能エネルギー等を加えて、基準一次エネルギー消費量から100%以上の一次エネルギー消費量削減

■Nearly ZEH(ニアリー・ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス)

『ZEH』を見据えた先進住宅として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備え、再生可能エネルギー等により年間の一次エネルギー消費量をゼロに近づけた住宅

適用要件(次の①～④のすべてに適合した住宅)

①ZEH強化外皮基準(地域区分1～8地域の平成28年省エネルギー基準(η_{AC} 値、気密・防露性能の確保等の留意事項)を満たした上で、 U_A 値 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 1・2地域:0.40相当以下、3地域:0.50相当以下、4～7地域:0.60相当以下)

②再生可能エネルギー等を除き、基準一次エネルギー消費量から20%以上の一次エネルギー消費量削減($BEI \leq 0.8$)

③再生可能エネルギーを導入(容量不問)

④再生可能エネルギー等を加えて、基準一次エネルギー消費量から75%以上100%未満の一次エネルギー消費量削減

■ZEH Oriented(ゼロ・エネルギー・ハウス指向型住宅)

『ZEH』を指向した先進的な住宅として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備えた住宅(都市部狭小地に建築された住宅に限る)

太陽光発電の容量計算例を図6に示す。猿払村では8.9kWから10.4kW、札幌市では7.7kWから9.1kW、函館市では5.7kWから6.1kWと猿払村と函館市では約4kWもの差が生じる。図7に戸建住宅の屋根に設置可能な太陽光発電容量の例を示す。道内で少なくなってきた切妻屋根では、片側の屋根にしかパネルを取

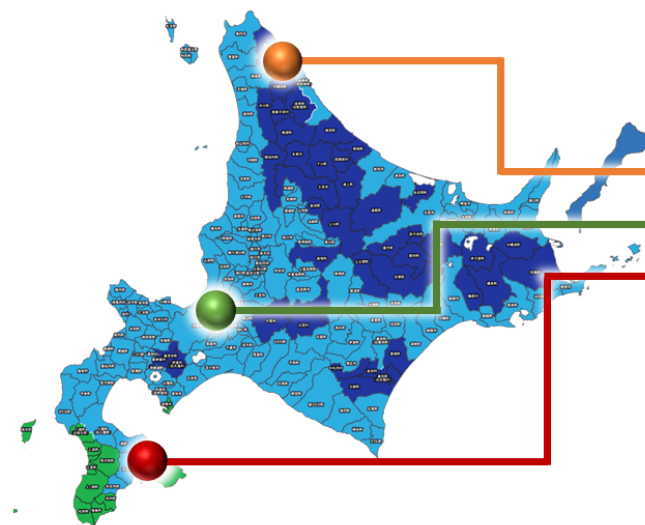


図6 道内各地における『ZEH』に必要な太陽光発電容量

『ZEH』に必要な太陽光発電容量

市町村	地域区分	年間日射量	太陽光発電容量
猿払村	1	少	8.9～10.4kW
札幌市	2	多	7.7～9.1kW
函館市	3	多	5.7～6.1kW

2階建て、床面積136m²の住宅

エネルギー消費性能計算プログラムで試算した結果

外皮性能: 北方型住宅2020相当(U_A 値0.34)

設備仕様: 猿払村は石油、札幌市は都市ガス、函館市は電気ヒートポンプを熱源とした。
給湯、照明、換気は高効率機器を使用。

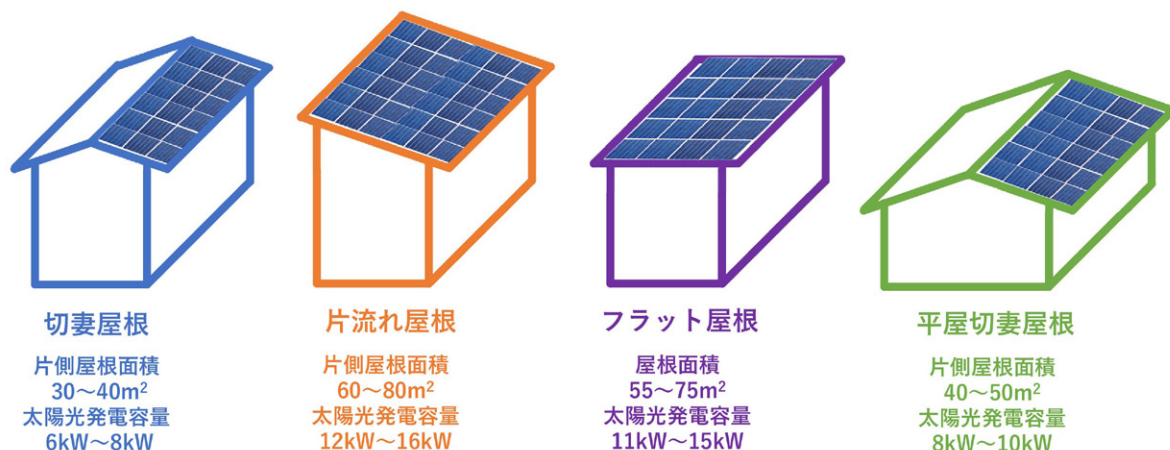


図7 戸建住宅の屋根に設置可能な太陽光発電容量（太陽光パネルの性能を200W/m²と仮定）

りつけられないため、8kW程度までとなる。住宅の大きさによっては太陽光発電のために屋根の大きさを決めるなどの設計が必要な場合がある。

また、札幌市と東京都に同じ性能の住宅が建設された場合、『ZEH』に必要な太陽光発電の容量を試算すると札幌市の9.1kWに対し東京都は5.0kWとなる。もちろん実際には外皮性能の基準が違い普及している住宅性能も違うので、一概に比較はできないが、北海道の方が『ZEH』に対するハードルが高いと言える。

3. ゼロカーボンへ向けて

3.1 現状把握

3.1.1 設備機器の現状

1998（平成10）年頃から北海道では、夜間電力を活用した割安な電気料金プランであるドリーム8などを契約したオール電化住宅が2010（平成22）年頃まで流行した。火を使わない暖房やコンロが安全なこともあり、一時は新築の50%台の普及率となっていた⁴⁾。暖房設備である蓄熱暖房器や電気ヒーター、給湯設備である貯湯槽を有する電気ボイラは電気を直接熱に変えることから、発電所の効率や送電ロスなどを考慮した1次エネルギー消費量が非常に多い。このオール電化住宅普及の流れは、2011（平成23）年3月に発生した東日本大震災をきっかけに変わった。

住宅の設備機器のうち、広大な北海道の地域区分の影響を強く受けるのは、家庭用ではエアコンやヒートポンプ式給湯器などが該当する空気熱源のヒートポンプである。熱源となる外気の寒暖によって効率に差が

生じるため、暖房に使用する場合は外気温が高いほど効率が良くなり、寒いと逆に悪くなる。道南でエアコンによる暖房を選択するとCOP^{注6)}が平均で2.5程度となり暖房費を大きく節約できるが、極寒冷地では寒冷地用の機器を使用しても室外機に霜が付きデフロスト機能^{注7)}が働くこともありCOPが平均で2.0を下回る程度まで落ちてしまう。一方、ガスや灯油の暖房、給湯器は外気の寒暖差の影響をほとんど受けない。

暖房用の熱源のCO₂排出量を比較すると、都市ガスの最終エネルギー消費あたりのCO₂排出量は他より小さいことがわかる（図8）。電気は、ヒートポンプのCOPを3.0と仮定した場合、最終消費エネルギーが1/3程度になるため条件によってはガス類と同程度のCO₂排出量となる。

地域によって供給される熱源に違いがあり、都市ガスが供給されている都市圏ではCO₂排出量ではやや有利で、供給されていない地域ではLPガスか灯油に頼らざるを得ないためやや不利となる。

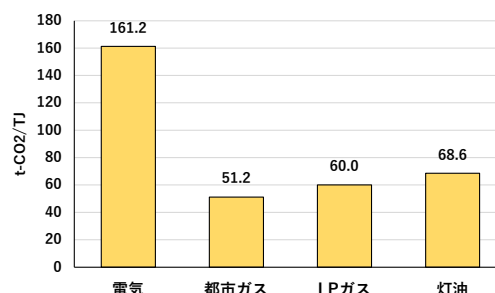


図8 熱源別最終消費エネルギーあたりのCO₂排出量（環境省 平成31年度（令和元年度）家庭部門のCO₂排出実態統計調査 調査の概要（確報値）から算出。但し電気については同調査の統計値から算出）

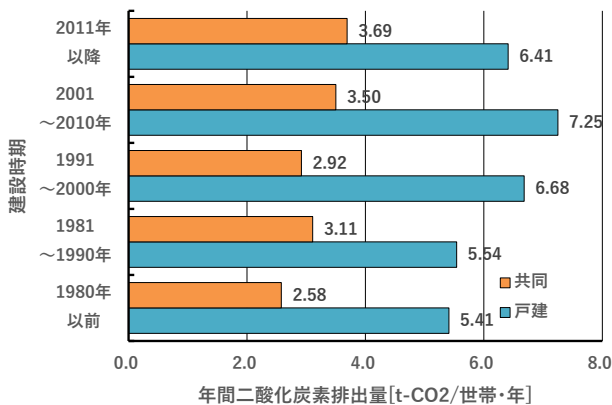


図9 北海道の住宅の建て方別・建設時期別年間CO₂排出量

(出典：環境省平成31年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査)

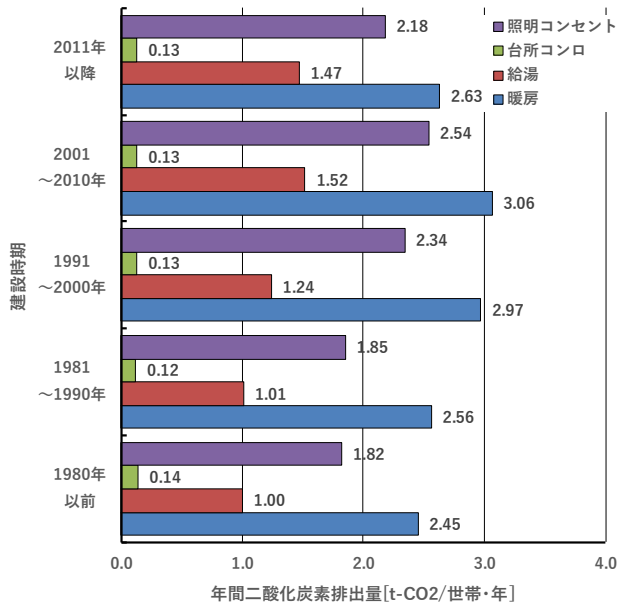


図10 北海道の戸建住宅における年間用途別CO₂排出量

(出典：環境省平成31年度家庭部門のCO₂排出実態統計調査)

道内の新築住宅の性能や設備の採用状況の調査について、当研究所ではこれまで幾度かアンケート調査を行ってきたが、近年普及し始めている高効率設備については、全体の出荷量は分かっても戸建住宅に限定した値が不明である。これらを詳細に把握するため、着工した住宅を地域や施工者規模などの偏りなくサンプリングして回答を得る方法により今年度から実施予定である。また、特に断熱性能の高い住宅における地域毎の運用時のCO₂排出量の調査も行う予定である。

3.1.2 CO₂排出量の現状

環境省では、2017（平成29）年度から毎年、「家庭部門のCO₂排出実態統計調査」を実施している。図9に北海道の建て方別年間CO₂排出量を示す。戸建住宅の建設時期別CO₂排出量を見ると、2010年までは徐々に排出量が増えていき2011年以降に初めて減少していることがわかる。これは、前述のとおり1992（平成4）年頃から温水セントラル暖房が普及し始めたこと、1994（平成6）年頃から2010（平成22）年頃にかけてオール電化住宅が普及したことが影響していると考えられる。戸建住宅と集合住宅を比較すると集合住宅は床面積が小さいこともあり戸建の6割程度となっている。

図10に戸建住宅における年間用途別CO₂排出量を示す。最も排出量が多いのは「暖房」で次いで「照明・家電製品等」である。「暖房」を建設時期でみると1991年～2000年の排出量が最も多くなっている。「給湯」と「照明・家電製品等」では2001年～2010年が多い。建設時期によって設備機器の種類や断熱仕様に特徴があるため、排出量に違いが見られている。

3.2 CO₂排出量の削減と技術開発

CO₂排出量の算定は不確定要素が多い。電気の原単位は毎年更新されており、発電事業者によっても異なる。また、道内で行われているローカルな木質バイオマスや家畜ふん尿などによる発電の普及状況、薪やペレットなどを燃料としたストーブの取り扱いなども排出量の算定結果を左右する要素である。

新エネ・再エネの比率を高めることで熱源のCO₂排出原単位を改善することが可能である。しかし、これに頼るのではなく、住宅分野でできることは進める必要がある。有効な手法は、新築及び既存住宅の外皮性能の向上、高効率設備の採用と更新、創エネルギーの導入、入居者の意識向上と運用改善、床面積の小さな戸建住宅の普及、小人数世帯の小さな住宅や集合住宅への住み替え、ストックトリアージ^{注8)}などが考えられる。

このなかで、特に重要な要素は、前述した北海道の地域性を考え、北海道の特色を出すことである。

まず、外皮性能を高めたうえで、日射量の多い地域

では窓を大きくとり、寒冷な地域では外皮性能を更に高めるといった基本的な設計要素の再構築を行うことがベースとなる。加えて、これまで積雪などの関係でほとんど普及していない日射熱を活用した給湯負荷低減、北海道で普及している温水暖房システムの流量制御や、非住宅で使われ始めている熱のカスケード利用技術など、これまで費用対効果で難しかった技術を近年のセンシングや制御技術によって実現していくことも重要である。

3.3 北方型住宅の方向性

北方型住宅の誕生から現在の北方型住宅2020まで約30年が経過した。この間、道や当研究所、事業者団体が連携して住宅の設計・施工技術の向上を図ってきており、多くの事業者が北方型住宅2020レベルの住宅を建設可能な水準に達しているといえる。

ゼロカーボンに向かっては、このような良質な住宅を広く普及することが重要である。また、今後は、更なるCO₂排出量削減のため、一層の外皮性能の高性能化や創エネルギーの導入などを進めて良質なストックを積み重ねていく必要がある。

[参考文献]

- 1) 北方型住宅1988-2013, 発行：北海道建設部住宅局建築指導課, 2015.3
- 2) 伊香賀俊治ほか, 健康維持がもたらす間接的便益(NEB)を考慮した住宅断熱の投資評価, 日本建築学会環境系論文集, 666巻, pp.735, 2011.8
- 3) 建築分野における技術開発等に利用する基礎的な気象データの構築, 北方建築総合研究所総合研究所経常研究, 2019-2021
- 4) オール電化住宅戸数(累計)とオール電化採用率の推移, 北海道電力HPプレスリリース, 2010.4

[注釈]

- 注1) 外皮平均熱貫流率 U_A 値：平成25年省エネルギー基準から導入された指標で、天井や屋根、壁、開口部、床や基礎の熱貫流率(断熱性能)を外皮面積で平均した指標
- 注2) 相当隙間面積 C 値：JIS A 2201送風機による住

宅等の気密性能試験方法により測定を行うもので、送風機を用いて建物内外に圧力差を生じさせ、主に住宅に供する建物及び建物の部位における気密性能を測定する。総相当隙間面積(αA)を外皮内の実質延べ床面積(S)で除したものの。

- 注3) HEMS：Home Energy Management Serviceの略で、住宅内の設備機器の使用状況を把握できる。省エネ行動を促すものや設備機器の制御を行うものもある。
- 注4) BEI：Building Energy-efficiency Indexの略で、省エネルギー基準の一次エネルギーに関する評価指標。設計一次エネルギー消費量を基準一次エネルギー消費量で除した値。
- 注5) Webプログラム：省エネルギー基準の一次エネルギー評価を行うためのプログラム。<https://house.lowenergy.jp>
- 注6) COP：Coefficient Of Performanceの略で成績係数ともいう。暖房や冷房で消費された動力(圧縮の熱量で示された仕事量)と暖冷房能力の比。高い成績係数ほど高い効率であることを表す。COPが2ということは、1の投入エネルギーで2のエネルギーが得られる。
- 注7) デフロスト機能：寒冷地で冬期にエアコンなどで暖房を行う際に室外機の熱交換機に霜が付き性能が落ちる現象を解消するために熱交換機の加熱等を行い霜をとる機能
- 注8) ストックトリアージ：トリアージは医療現場などで用いられる言葉であるが、住宅の分野では築年が古い住宅で改修して今後も使用するべきか解体すべきかを判断することを意味する。

地域に根ざした持続的な林業・木材産業

大 越 敏 弘

(おおこし としひろ)

所属：丸玉木材株式会社

profile

1947（昭和22）年10月29日生まれ。慶応義塾大学商学部卒業。1970（昭和45）年に丸玉木材株式会社に入社。1988（昭和63）年に取締役舞鶴工場長に就任。2008（平成20）年に代表取締役社長に就任し津別工場に戻り、現在に至る。



はじめに

政府が掲げた2030年の温室効果ガス削減目標「46%削減」は、これまでの目標を大きく超えるものであり、中途半端な取り組みでは達成するのは難しいと思われる。

達成するにはどのような取り組みが必要なのか「具体的に」考え決めることが重要である。当社社員にも取り組みの提案や報告は「具体的に」行うようにいつも指導している。会社方針と政策では規模は違うが、取り組みを進める上で重要な事は同じではないかと考える。



写真1 丸玉木材津別工場 航空写真

1. 丸玉木材株式会社

1.1 概要

最初に丸玉木材の紹介をさせて頂きたい。丸玉木材の創業は1902（明治35）年、北海道でのマッチ軸木の製造が元である。1910年代から合板製造を開始し、国内初のプリント合板開発、フローリング、内装建材と加工の範囲を広げている。

当社基本方針の1つ目に「強い製造力を育成し、全部門が一体となって会社の発展と社員の幸せを目指す」という文がある。これの通り、丸玉木材は、これからの地域・環境・人すべて「共に栄える」考えを持ち続け、「強い製造力」で生き残る企業を目指していく。



図1 丸玉木材株式会社ロゴマーク

1.2 製品

先程少し触れたが、1910（明治43）年日本の合板の歴史が始まった同じ時期に、ベニヤ部門において木製ロータリーレース（丸太を薄くむいて単板を作る装置）を大越密次郎が考えだし、合板製造を始めた。

最近では立地環境を活かし、いち早く北海道産の植林木「カラマツ・トドマツ」に着目し、これらを原材料とした針葉樹構造用合板を最新の製造ラインで生産している。

北海道の森林資源を取り巻く環境は、寒さの厳しい非常に過酷なものである。しかしその環境により、北海道の針葉樹は、身の引き締まった質の良い原木として成長する。その原木を使って最新のラインで生産された単板は、徹底した含水率管理のもと、反りや狂いの少ない、寸法が安定している針葉樹合板となる。中でも表面が白くキメ細かなトドマツ合板は、建物の内装で使うことも十分出来る。



写真2 道産のトドマツ合板(左)とカラマツ合板(右)

合板以外にも建物の内装用造作材や建具の芯材として使用されるLVL (造作用単板積層材) も作っている。

津別工場ではこのような製品を取り扱っているが、本州にある舞鶴工場と茨城工場で、さらにこれらの製品を三次加工し、お客様のもとに届けている。

1.3 バイオマス

丸玉木材株式会社と併設している津別単板協同組合は、丸玉木材、北海道森林組合等の地元木材関連会社から構成されている。

この組合にBEC (バイオマスエネルギーセンター) がある。工場で合板を生産すると、どうしても製品にならない端材が出てくる。BECではこの端材を燃やし、蒸気や電気を生み出し、生産を支えている。

BECでは、木材資源の造林・育林・利用で地産地消の資源をムダにしないバイオマスグリーンサイクルを実行している。詳細は後を書く。以上が当社についての説明となる。

次に、地域に根ざした持続的な林業、木材産業について、当社の環境面に関する取組みを紹介する。



写真3 BEC (バイオマスエネルギーセンター)

2. 弊社の取組み

2.1 バイオマスグリーンサイクル

当社では、木を育て、木を活かし、森林を保護することは、森とともに生きる企業としての務めと考えており、地元の林業と協力しながら木材を造林・育林・利用し、地産地消の資源をムダにしないバイオマスグリーンサイクルを行っている。

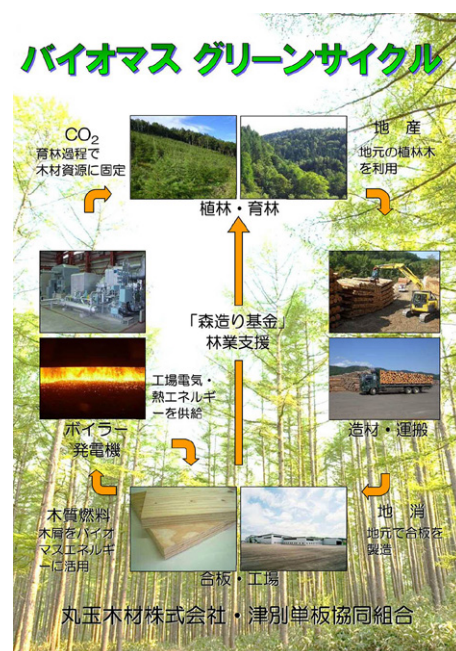


図2 バイオマスグリーンサイクル

端材を燃料とするバイオマスコージェネレーション設備導入により化石燃料を使うことなく、津別単板協同組合と丸玉木材株式会社の両方に蒸気や電気といった熱エネルギー、電気エネルギーのほぼ100%を供給している。

2007（平成19）年度の実績では化石燃料と原油換算で24,000kl、CO₂を69,000t減らすことに成功している。

このバイオマスエコ事業により、「新エネ大賞」で北海道知事賞、および国の経済産業大臣賞を受賞し、国の「新エネ百選」に選ばれている。

また、減らした光熱費を元に「丸玉木材森づくり基金」を設け、町内の山林経営者が植林や伐採、草刈などを行う際の補助を行っている。さらに森林組合連合会を通じて育林の為の協力を実施している。

BECは環境面だけでなく、自力で発電を行っているため停電となっても工場の生産を止めずに済むメリットも持ち合わせている。

2.2 輸送効率化によるCO₂削減

北海道～東京間の輸送効率化を、荷主である丸玉木材と札幌自動車運輸株式会社、物流事業者である北見通運株式会社と日本貨物鉄道株式会社北海道支社で取り組みを進めた。

元々、丸玉木材は合板を津別から東京に輸送し、東京から津別は何も積まない状態だった。また、札幌自動車運輸（株）は積み合わせ貨物を東京から札幌まで輸送し、札幌から東京までは何も積まなかった。共に陸運、海運を使用し、丸玉木材と札幌自動車運輸合わせて年間1,312.8tのCO₂を排出していたが、移動の大部分を鉄道に変更することで、年間993.1tのCO₂削減に成功した。

この取り組みは、経費の削減にもつながっており、継続してPDCA^{*1}を回し、改善を進めていく。



写真4 製品運送

*1 PDCA: Plan (計画)・Do (実行)・Check (評価)・Action (改善) の仮説・検証型プロセスを循環させマネジメントの品質を高めようとする概念

2.3 社有林

森は会社にとってかけがえのない財産である。

丸玉木材は、北海道の広い自然に育てられた1,300ヘクタール（東京ドーム278個分）の社有林を所有している。

今後、さらに社有林の育成や拡大を進めるため、北海道美林育成プロジェクト（HBI）を立ち上げた。少し話が逸れるが、現在当社において特に力を入れている取り組みは、様々な目的を持ったプロジェクトを立ち上げ若手社員を中心にメンバーを選定し、取り組みを進めている。今後の取り組みの成果に期待したい。



写真5 社有林（2017年に丸玉木材(株)に社名変更）

2.4 植林

新入社員研修の一つとして、植林研修を実施。新入社員に植林を通じて木の大切さを学び、木を身近に感じてもらうことを目的としている。

また、津別町が主催している植樹祭に社員も積極的に参加し、森林保護を行っている。現在こういった時勢ということもあり中止となっているが、再開された時にはまた参加し、町と一緒に活動を進めて行きたい。



写真6 植林研修

2.5 環境ロゴマーク取得

環境に関するロゴマークには色々な種類があるが、丸玉木材では、以下のロゴマークを取得している。

2.5.1 SGEC認証

SGEC認証制度は、適正に管理された認証森林から生産される木材等を、生産・流通・加工工程でロゴマークを付けるなどして管理し、消費者に届ける制度となっている。

森林の保全・利用を促し、森林・林業を再生し資源循環社会の実現を目指す目的もある。

津別工場はSGEC CoC認証を取得している。



写真7 SGEC認証

2.5.2 エコマーク

SGEC等の森林認証制度は、持続可能な木材の管理に重点を置いている。

エコマークはそれに加えてトドマツ低位未利用材を有効利用している証として製品につけられるマークである。

2.5.3 木づかいニッポン

国産材の積極的な利用を通じて、山村を活性化させCO₂を吸収する元気な森林づくりを進めるため、林野庁による国民運動「木づかい運動」に参加。

2.6 地域インフラ

丸玉木材は、地域のインフラも担っている。以下に丸玉木材が運営している地域インフラを紹介する。

2.6.1 津別病院

丸玉木材株式会社津別病院は、1951（昭和26）年設立。当時の津別町には病院が無かった為、従業員の健康管理を目的として設立。内科・外科・歯科等を備え、津別町の病院としても開放している。

津別で生まれた企業として、津別町民の暮らしやすさに貢献。現在も津別で唯一の病院として町民の健康を支えている。

津別病院は一般病床が60床あり、1日に90人近くの外来患者が訪れる、地域に欠かせないインフラとなっている。なお、医療法施行により、株式会社による病院の設立は出来なくなっており、北海道に残っている株式会社立病院は、津別病院の他2つのみ。

現在は津別町民への新型コロナウイルスワクチンの接種も行っており、10月9日現在での接種回数は8,161回にもなる。ワクチン2回目の接種は10月で終了となるが、3回目以降も接種を進め、社員だけでなく津別町民の感染防止にも努めていきたい。



写真8 津別病院

2.6.2 給油所

丸玉木材は、2つの給油所の経営も行っている。津別給油所と端野（北見）給油所である。普通の給油所と同じサービスを行っているが、丸玉社員に対しては、給油料金の割引等も実施している。津別町には鉄道が無い為、車はなくてはならない移動手段である。その為、給油所は重要な生活インフラとなっている。



写真9 津別給油所

2.6.3. 自動車整備工場

当社は、自動車整備工場も津別町内で経営している。一般車両はもちろんのこと、合板工場で使用する車両の整備、点検、修理も行っている。

町内には自動車整備を行う施設が少ないため、町にとっても重要なインフラとなっている。以上がインフラに関する記述である。

これからもこれらのインフラを維持し、社員と津別町民に貢献していきたい。



写真10 自動車整備工場

2.7 採用

津別町を中心とした地元出身の学生や中途社員の採用を推進している。そして、社員が是非自分の子供、孫を入社させたいと思ってもらえるような会社づくりにも力を入れている。そうすることで丸玉木材の地域への貢献度はますます向上していく。

以上が、「地域に根ざした持続的な林業・木材産業」についての丸玉木材の取組内容である。

今後も、現状に満足することなく、環境、地域に貢献できるよう活動を進めていく。

おわりに

木には色々な表情があるが、丸玉木材はそういった木の表情を暮らしの表情に活かし続けたいと考えている。

北の大地、北海道の広い森林で育った質の良い原木を使った当社の木質製品は、暮らしの中の様々な分野で親しまれている。

森とともに生き、歩む企業として、丸玉木材はいた

ずらに企業としての利益だけを追求するのではなく、木を通じて人と自然に優しい、人と自然のふれあいを温かく深める、そんな心豊かな暮らしを育む企業を目指している。これにより、脱炭素を始めとした環境面への貢献にも繋がるのではないだろうか。

2050年までに「ゼロカーボン北海道」を実現することが目標に掲げられているが、これには若い力が必要になると考えている。先ほど書いた通り、当社では若手社員を中心とした様々なプロジェクトを立ち上げている。

プロジェクトには、活動を通じて社長が直接指導を行い、若手社員にさらに力をつけてもらいたいという思いも含まれている。今後、成長した若手社員の取組みが脱炭素社会に向けた活動に貢献できればと思う。

関係者の脱炭素へ向けた取組みがますます進んで行くことを願い、執筆を終える。



写真11 社有林

バイオガス発電の現状と展望

ーバイオガス熱電併給システムの負荷応答試験からわかったことー

石 川 志 保

(いしかわ しほ)

所属：北海道大学大学院工学研究院



profile

酪農学園大学大学院酪農学研究科酪農学専攻修士課程修了。帯広市、札幌市の民間コンサルタントで勤務しながら、2015（平成27）年北海道大学大学院農学研究院で博士（農学）を取得。2016年（平成28）より北海道大学大学院情報科学研究院で特任助教となり、2021（令和3）年より現所属の助教となる。主として、バイオマスの有効活用のための環境影響評価および経済性に関する研究に従事。

はじめに

メタン発酵は、嫌気性消化ともいわれ、バイオマス（有機物）が酸素のない（嫌気性）条件で雑多な微生物の活動により分解し、最終的にメタンと二酸化炭素を含む可燃性ガス（バイオガス）を生成する反応である（社団法人 日本エネルギー学会，2002）。発生したバイオガスのエネルギー化技術には、バイオガスを（1）熱エネルギーとして利用するガスボイラ、（2）エンジン、ガスタービンの燃料として利用する発電方式、（3）ガス改質により水素を生成して燃料電池として利用する発電方式がある。2012（平成24）年7月に施行された「再生可能エネルギー（Renewable Energy、以下RE）の固定価格買取（Feed-in Tariff：FIT）制度」（経済産業省資源エネルギー庁，2020）において、メタン発酵ガス（バイオマス由来）で発電した電気が1kWhあたり39円＋税での買取単価に設定されてからは、（2）のエンジン利用による熱電併給システム（Combined Heat and Power、以下CHP）の活用が主流となり、発電設備を備えたメタン発酵施設の導入が急増している。

1. REエネルギー導入拡大に向けた課題

1.1 需給バランス・余剰電力問題

電力システムは他のインフラ産業と異なり、「需要と供給を常にバランスさせなければならない」という物理的制約のもとで運用される必要がある。そのため、出力が天候等に大きく左右するRE電源の導入が拡大すると余剰（過剰）電力が発生し、需給バランス

をリアルタイムで維持する仕組みが必要となる。近年のバイオガスCHPを含むRE電源の急増により、電力系統において電力需要と供給のミスマッチが、発生頻度と大きさの両面で従来よりも厳しい状況になっており、需給調整能力を補強する必要性が生じている。これまで需給調整は、火力発電所などの在来電源の出力を増減させることでミスマッチを解消してきたが、在来火力電源等の発電比率が下がることによって電力系統としての需給調整能力が低下しつつある（経済産業省資源エネルギー庁，2019）。

1.2 調整力確保に向けた方策

このような観点から近年では在来電源による需給調整に加えて、複数の電力系統の間を結ぶ連系線の拡充や、電気エネルギーを一時的に貯めておくことができる蓄電池の充放電制御の導入が検討されており、その実現可能性を政府研究開発プロジェクトなどで検証されている段階である。しかし、蓄電池の設置コストは未だ高いことから、新たな需給調整リソースの模索が喫緊の課題となっている（一般社団法人日本経済団体連合会，2019）。

このような事情から、電力系統サイドでの対策に加えて、RE電源の調整電源化、すなわち自然変動電源の出力を、「使いやすいRE発電」で補完するアイデアがある。本稿では、RE電源であり、可制御電源でもあるバイオガスCHPに着目し、需給調整リソースとして活用した場合にRE発電の導入拡大にどのように貢献できるかを解説する。

2. バイオガスCHPの負荷応答把握の必要性

RE電源由来の発電電力は、現行では電気事業者へ「出たなり」で売電されるため、供給電力としての安定性はほとんど評価されてこなかった。

バイオガスを含むCHPの特性評価については特定の需要家における利益最大化を目的とした運転を想定した研究 (Manijeh et al.,2014) がある。また、マイクログリッド内で生じる様々な負荷変動に対してCHPの追従可能な領域を明らかにした研究もある (KANNO et al.,2010)。さらに、CHPの最適動作による運用コストの削減効果を評価した研究 (Jamshid & Mohammad-Iman 2013, Bingnan & Yunsi 2011) なども行われている。しかしながら、これらは全てシミュレーションによる評価であり、実際のCHPユニットを用いた計測に基づく特性評価を検討した研究は少ない。実機による特性評価については、S.J. Tappenらが、バイオガスエンジンの部分負荷での連続運転によって、電気効率が大幅に低下することを明らかにした。加えて、このような電気効率の相対的な低下は、公称出力または測定された最大電気効率のいずれとも相関していないことを示し、これを検証するには、さまざまな熱電併給システムからより多くのデータを収集する必要がある (Tappen et al.,2017) と報告している。

このように、将来の電力システムにおいて多種多様なリソースを適材適所で活用するためには電源の負荷応答を把握する必要がある。

3. ドイツの需給調整市場におけるバイオガスCHP調整力の位置づけ

FIT先進国であり、RE電源が増加するドイツ（およびヨーロッパの一部）では、送電線においてバイオガス発電機のようなCHPが調整能力として既に活用されている。ドイツの需給調整では、追加の調整能力は送電グリッドオペレータが1日または1週間先のオークションによって調達する。調達する電力は1次、2次、3次の3つのレベルで構成されており、1次電力（ドイツ語の略語はPRL）は30秒以内、2次電力（ドイツ語の略語はSRL）は5分以内、3次電力（ドイツ語の略語はMRL）は15分以内に電力を供給することが求められている（図1）。

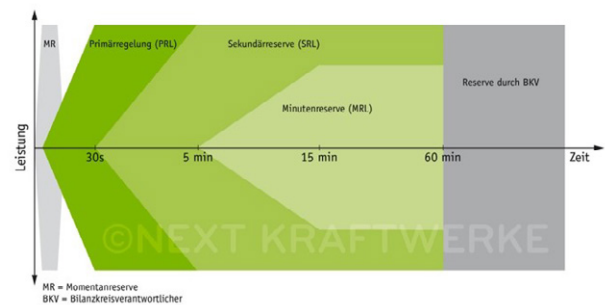


図1 ドイツにおける調整力の分類と要件

(出典) Ostbayerische Technische Hochschule Technical University of Applied Sciences Amberg, ・ Dr. Raphael Lechner提供

ドイツのバイオガスCHPは、この電力市場に参加して追加の収益を得ることが可能であり、制御電力プールのオペレータが個々のプラントを管理し、送電網オペレータとの取引処理を行っている。バイオガスプラントは、プールオペレータによってリモート制御されることになるので、短時間で電力需要の増加に対応することや、電力系統において電力が過剰になった場合には発電機をシャットダウンすることが求められる (UCTE Operation Handbook-Glossary)。このようにCHPが調整能力として需給調整に対応するとき、応答速度と調整能力（制御範囲）が重要な価値として評価されることになる。



写真1 買取事業者（Next Kraftwerke）との調整力提供の契約を示すプレート

(出典) 著者撮影



写真2 調整力提供契約をするバイオガスプラント
(出典) 著者撮影



写真3 調整力提供用のバイオガスCHP (900kW: Jenbacher)
(出典) 著者撮影

4. バイオガスCHPの負荷応答試験

そこで筆者らは、時間的に変化するバイオガスCHPの発電出力の応答速度（動特性）を明らかにし、バイオガスCHPの調整電源化、つまり自然変動電源の不安定な出力を補う新たな需給調整リソースとしての可能性を負荷応答試験によって検証した (Ishikawa et al., 2021)。

4.1 対象設備

ドイツおよび日本で稼働するバイオガスCHP（7社9台）を対象とした。各バイオガスCHPの燃料となるバイオガスは、ドイツが飼料用とうもろこしと豚あるいは乳用牛ふん尿の混合物から生成されたバイオ

ガスであり、日本は乳用牛ふん尿であった。これらのバイオガスCHPはドイツおよび日本の畜産農家で稼働する実用機であるため、各CHPで使用するバイオガス性状は一律ではない。CHPの設備容量は50kW（最小）から900kW（最大）までの多様な設備容量のCHPを対象とした。

4.2 負荷応答試験の方法

バイオガスCHPは、起動停止の制御に加えて、定格の50～100%の範囲で部分負荷運転が可能な機器仕様となっている。そこで、起動停止特性および出力指令値の変化に対する出力応答特性を計測した。

4.2.1 起動停止の負荷特性

バイオガスCHPの起動および停止時の出力応答特性を把握するため、起動または停止指令を発令したときの発令時以降の刻々と変わる出力応答速度を計測した。

4.2.2 出力指令値に対するステップ応答特性

バイオガスCHPへの指令発令値をステップ状に変化させたときの出力応答を計測した。具体的には、最低出力あるいは定格出力から10%刻みで上下に指令値を変化させた。

4.3 バイオガスCHPの負荷応答特性

バイオガスCHPを自然変動電源における出力変動緩和のための新たな需給調整リソースとして活用する場合、ドイツにおける3次電力（MRL）に相当するような応答時間の長い調整力に貢献することが可能であった。現在の日本の電力市場では、バイオガスCHPの応答性や柔軟性は求められていないが、今後、調達する調整能力に求める要件が細分化されるようになれば、例えば「応答速度は遅い」が「連続して提供できる時間が長い」といった特定の能力を有するバイオガスCHPでも電力市場への参加が可能になり、需給調整への貢献が期待できる。一方で、このような運用を行うためには、バイオガス発電機は少なくともMRLの電力供給に必要な時間（最大数時間）のバイオガスバックを整備する必要がある。現在の多くのバイオガスCHPは、FIT指向の電力生産戦略により、十

分なガスバグ容量を有していないため、必要なガスバグ容量の整備が調整能力の提供において重要な役割を担う。

ところで、現在の日本の法律では、バイオガスCHPは大気汚染防止法で定める燃料種類に該当しないため排気ガスを規制対象としていないが、ヨーロッパでは既に排気ガス規制が制定されている(DIRECTIVE (EU) 2015/2193 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 November 2015)。特にドイツでは、定格出力が1 MWを超えるCHPシステムに対しては現在の基準が適用されており(BlmSchV)、今後、大型ガスエンジンによる環境への影響は無視できない状況になっている。そこで、負荷応答試験の際に環境影響評価としてエンジンからの排気ガス性状についても測定し、バイオガスCHPの起動、停止時にはCH₄、ホルムアルデヒドおよびSO₂の排出量が増加することを確認した。また、部分負荷運転では定格運転時に比べて排気ガス性状が変化することも確認しており、今後、バイオガスCHPの部分負荷運転による環境への影響を継続的に検証することが重要であると考えられた。

5. バイオガスCHPの今後の展望

今後、バイオガスCHPを含めたRE電源を主力電源とするためには、火力など他の電源と同じように、需要と供給のバランスなど電力市場の状況を踏まえた発電をおこなう、自立した電源にしていく必要がある。このような観点から2020(令和2)年6月には、RE電源を電力市場へ統合するための段階的な措置として、電力市場の価格と連動した発電をうながす「フィードインプレミアム(Feed-in Premium:FIP)制度」の導入が決まり、2022年4月からスタートすることになっている(経済産業省資源エネルギー庁、2020)。

5.1 FIP制度について

FIP制度は、REの導入が進むヨーロッパなどでは、既に取り入れられている制度である。この制度では、FIT制度のようにRE設備から発電された電気を固定価格で買い取るのではなく、RE発電事業者が卸市場などで売電したとき、その売電価格に対して一定のプ

レミアム(補助額)を上乗せすることでRE導入を促進するものである。なお、FIP制度の開始当初は、この基準価格をFIT制度の調達価格と同じ水準にすることとなっている(経済産業省資源エネルギー庁)。

同時に、「参照価格」も定められる。「参照価格」とは、市場取引などによって発電事業者が期待できる収入分のことであり、参照価格は市場価格に連動し、1カ月単位で見直される。この「基準価格」と「参照価格」の差を、「プレミアム」としてRE発電事業者が受け取ることができる。つまり、RE発電事業者は、電気を売った価格にプレミアムが上乗せされた合計分を、収入として受け取ることになる。なお、プレミアムは、参照価格の変動などによって変わってくるため、同じように1カ月ごとに更新される(図2)。

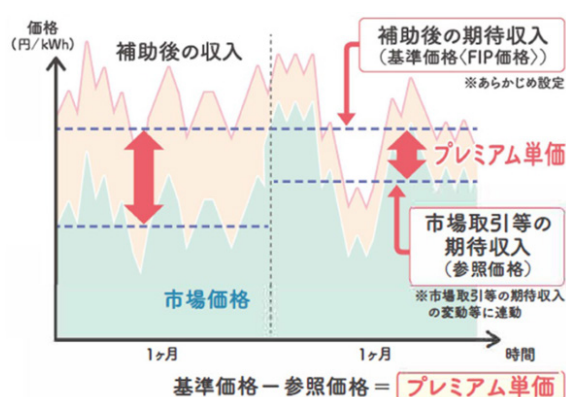


図2 FIP制度のしくみ

(出典) 経済産業省資源エネルギー庁、再エネを日本の主力エネルギーに！「FIP制度」が2022年4月スタート(2021-08-03)

「バイオマス発電」の新規認定におけるFIP/FIT制度の対象領域については、FIP制度が開始する2022年度は、新規認定で認められるバイオマス発電の対象規模を原則として10,000kW以上としている。一方、2022年度にFIT制度の新規認定を認める対象は、10,000kW未満かつ地域活用要件を満たすものに限定されている。ただし、2023年度以降のFIT制度の取扱いについては(図3)、同年度以降早期にFIP制度への新規認定/移行認定を認める範囲拡大を検討するとしており、FIP制度施行に向けた各動向等をふまつつ、2021年度の調達価格等算定委員会にて決定することとなっている(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、2021)。

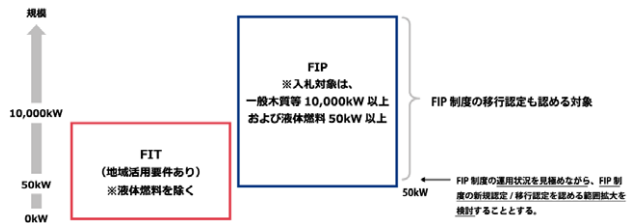


図3 2022（令和4）年度におけるバイオマス発電のFIP/FIT制度の対象

（出典）国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、2021

このように、バイオマス発電については、将来的なFIP制度への移行と、FIT認定を受けるための地域一体型の地域活用要件が求められる（2022年度から）ことを見据え、自家消費型および地域内消費に対応した発電機の技術開発が必要になると考えられる。

5.2 需要家サイドの対策

このようにバイオガスCHPは多様な利用が想定され、地域システム全体を活性化する重要なハブ（中枢）となり得ることから、今後も普及が期待される。その際に、バイオガスCHPで生産される熱や電力を目的に応じて人間が効率的に管理することは非常に難しいので、運転状態は現地でも遠隔地からでもモニタリングできるようにし、得られた情報やデータに基づいてオンラインで各機器を制御できるような「スマート化」を図ることが有効である。多様なエネルギー機器の最適な運転を可能にするスマート化は、従来のバイオガスプラントの運転管理にも活用できる技術であり、農村地域の労働力不足の解消や作業の省力化、効率化にもつながることが期待される。

さらに、バイオガスCHPの燃料であるバイオガスは貯蔵することが可能であるので、効果的に運用することで電力系統への新たなサービス提供や蓄エネルギー設備と同様の効果を提供することにも貢献することが期待できる。

おわりに

バイオガスCHPは、家畜ふん尿のような廃棄物系バイオマスをエネルギー化する技術であり、資源の有効活用、廃棄物削減、地球温暖化防止への貢献、そして持続可能なエネルギー社会の構築に貢献する地域共

生型のRE電源として高く評価されてきた。今後もRE電源の導入拡大が見込まれるなかで、RE電源でありながら可制御な電源であり、かつ応答時間の長い調整力提供に貢献する電源として更なる利用展開が期待される。

このように、地域の活性化やレジリエンス強化に資することからも、地域で活用される小規模分散型電源の位置付けとしての事業環境整備が引き続き重要であると考えられる。

謝辞

本稿で報告した成果の一部は北王コンサルタント（株）（北海道帯広市）と共同研究の結果得られたものであることを付記し、関係各位に謝意を表す。また、ドイツおよび日本での現地実測試験においては、バイオガス発電事業者の皆様より多大なご協力を賜った。ここに関係各位のご協力に感謝の意を表す。

参考文献

- ・社団法人 日本エネルギー学会，2002，バイオマスハンドブック
- ・経済産業省資源エネルギー庁，2020，再生可能エネルギーの固定価格買取制度ガイドブック2020年度版
https://www.enecho.met.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2020_fit.pdf
- ・経済産業省資源エネルギー庁，2019，再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会中間整理（第2次）での系統問題対策に関する事項の検討【資料3】
https://www.enecho.met.go.jp/category/saving_and_new/saiene/community/dl/02_03.pdf
- ・一般社団法人日本経済団体連合会，2019，日本を支える電力システムを再構築する-Society 5.0実現に向けた電力政策-
https://www.keidanren.or.jp/policy/2019/031_gaiyo.pdf
- ・Manijeh Alipour, Behnam Mohammadi-Ivatloo, Kazem Zare, 2014, Stochastic risk-constrained short-term scheduling of industrial cogeneration systems in the presence of demand response programs, Applied Energy 136, 393-404

- <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.039>
- Manijeh Alipour, Kazem Zare, Behnam Mohammadi-Ivatloo, 2014, Short-term scheduling of combined heat and power generation units in the presence of demand response programs, Applied Energy 71, 289-301
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.059>
 - Masanobu KANNO, Takayuki AKAISHI, Yudai YAMASAKI, Shigehiko KANEKO, 2010, Dynamic Characteristic of Gas Engine in Micro Grid, The Japan Society of Mechanical Engineers, 76 (763), 41-43
 - Jamshid Aghaei, Mohammad-Iman Alizadeh, 2013, Multi-objective self-scheduling of CHP (combined heat and power)-based microgrids considering demand response programs and ESSs (energy storage systems), Energy 55, 1044-1054
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.048>
 - Bingnan Jiang, Yunsi Fei, 2011, Dynamic Residential Demand Response and Distributed Generation Management in Smart Microgrid with Hierarchical Agents, Energy Procedia 12, 76-90
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.10.012>
 - S.J. Tappen, V. Aschmann, M. Effenberger, 2017, Lifetime development and load response of the electrical efficiency of biogas-driven cogeneration units, Renewable Energy 114, 857-865
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.043>
 - UCTE Operation Handbook – Glossary (final v2.2E, 06.24.04)
 - Ishikawa, S., Nicholas O Connell, Raphael Lechner, Hara, R., Kita, H., Markus Brautsch, 2021, Load Response of Biogas CHP Systems in a Power Grid, Renewable Energy, 170, pp.12-26
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.120>
 - DIRECTIVE (EU) 2015/2193 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 November 2015 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from medium combustion plants, ELI
<http://data.europa.eu/eli/dir/2015/2193/oj>
 - BImSchV - Vierundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (2020)
 - 経済産業省資源エネルギー庁, 2020, FIP制度の詳細設計とアグリゲーションビジネスの更なる活性化【資料1】
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/019_01_00.pdf
 - 経済産業省資源エネルギー庁, 再エネを日本の主力エネルギーに！「FIP制度」が2022年4月スタート (2021-08-03)
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/fip.html>
 - 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO), NEDOバイオマスエネルギーの地域自立システム化実証事業「バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針 第5版」実践編 (メタン発酵系バイオマス), 2021年4月 発行
https://www.nedo.go.jp/library/biomass_shishin.html

北海道における木質バイオマス利用

山 形 定

(やまがた さだむ)

所属：北海道大学大学院工学研究院

profile

1989年東京大学大学院工学系研究科化学エネルギー工学専攻博士課程修了後、理化学研究所を経て、同年9月北海道大学工学部助手。大気中微量成分の観測、反応過程の研究に携わりながら、温暖化対策として木質バイオマスの研究にも関わる。2013（平成25）年からはNPO法人北海道新エネルギー普及促進協会の理事長、各市町村のエネルギー関係委員などにも従事。



1. はじめに

日本では、ここ数年河川の氾濫や土砂災害をもたらす集中豪雨が繰り返されており、温暖化が原因ではないかと考えられている。ドイツの非営利組織ジャーマンウォッチが出す気候変動リスク指標によれば、日本は大雨や台風の影響が顕著になったことから2018（平成30）年には世界で最も気象関連の被害を受けた国とされ、2019（令和元）年にも4番目の国としてランクインしている¹⁾。

以前から地球温暖化は極端な気象現象を増加させると指摘されてきたが、近年計算科学の発達でその理解は深まっている²⁾。極端な気象現象の代表である集中豪雨では、降雨の総量や強度だけでなく、山間部の土地の利用形態などがその被害を一層大きくする可能性がある。山林斜面を削って設置される太陽光パネルが倒壊する事例はわかりやすい例である。山間部に設置される風力発電装置のための開発や木質バイオマス生産のための皆伐も、山の保水能力の低下を通じて降雨時の土砂流出を助長し、気象災害を増幅させ得る。気候変動防止策として導入された自然エネルギーが、気候変動によってもたらされると懸念された自然災害を増幅させることになっては、本末転倒である。自然エネルギーの導入、とりわけ大規模開発では慎重に計画を進めることが求められる。

2. 木質バイオマスの基本

2.1 燃料としての木質バイオマス

気候変動防止策とは温室効果ガス排出削減であり、

その鍵はエネルギー部門における二酸化炭素排出量の削減、すなわち脱化石エネルギーである。自然エネルギーの一つであるバイオマスは、木材や家畜排せつ物などの「資源を利用する」という点においては石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料と同じであり、一旦装置を設置すれば後は施設管理だけで済む太陽光発電や風力発電とは異なる。つまり、施設設置後も、原料の調達、燃料の製造・保管・運搬が継続的に必要となる。これらに要するエネルギーがバイオマス燃料自身の持つエネルギーを上回れば、バイオマスをエネルギー利用する価値は無くなる。例えば、石油燃料を使ってバイオマスを輸送する際、一定の距離を越えればバイオマスの持つエネルギーよりも輸送に使う石油の持つエネルギーの方が大きくなり、石油をそのままエネルギー利用した方が合理的になる。したがってバイオマスの輸送に石油を使うのであれば輸送距離には一定の限界が生じる。

ここで注意が必要なのは、バイオマスがエネルギー的に利用価値を持つことと経済的に成り立つこととは別問題である点である。様々な社会的条件の中で、経済性が成り立つように補助がなされる場合、エネルギー的に無意味でも経済的に成り立つ事例があるからである。現在、自然エネルギー普及の牽引役となっているのは2012（平成24）年に始まった再エネ電力買取制度（FIT）であるが、ここでも自然エネルギー電力の買取価格が高すぎたり、種々の条件設定が不適切な場合にはそのようなことが起こり得る。

2.2 継続的利用で不可欠な森林の持続性

木質バイオマスは燃焼時に二酸化炭素を出すものの、その二酸化炭素は樹木が成長時に吸収したものであるため、実質的に大気中の二酸化炭素濃度を上昇させないと理解されている。これは「カーボンニュートラル」という考え方であるが、2017（平成29）年 Chatham Houseが出したレポートではカーボンニュートラルという考え方に関するいくつかの疑問が出された³⁾。土壌等に固定されていた二酸化炭素などを含めて考えれば、森林から林地残材を持ち出しエネルギー利用の方が化石燃料を使用するよりも多くの温室効果ガスが大気に放出されるのではないかと、樹木が成長するまでにかかる時間を考えれば短期的に二酸化炭素濃度を上昇させるのではないかとといったものである。これに対し、Cowieらは、二酸化炭素排出量で大事なことは短期間での二酸化炭素収支よりも累積排出量であるなどと反論している⁴⁾。問題となっているのは、木の成長に要した時間あるいはこれから再生に要する時間と燃料利用量とのバランスである。すなわち、木質バイオマス利用に伴い森林が減少し、燃焼させたバイオマスの再生が保障されないような場合には持続的な利用とはならない。

人為的な気候変動を防ぎ、社会の持続可能性を実現しようとした結果、森林の持続性がその犠牲になってしまっただけは全く無意味である。FIT売電している木質バイオマス発電事業者は、森林資源が適切に管理され、持続可能な形で伐採が進められていることを自ら公表すべきである。それが「再エネ賦課金」という形で経済的な負担をしている電力消費者に対する責任である。しかし、実際には日本各地で森林の持続性が懸念されるような伐採が進んでおり、これを防ぐための方策が必要となっている。人里離れた山林の状態を監視するためには、定期的に上空を周回する人工衛星を利用することが有効で、最近では衛星搭載の合成開口レーダ（SAR）により森林の状態をモニタリングすることが可能になっている⁵⁾。このような情報を使い森林の状態を監視しながら、事業者が自ら積極的に情報公開するように促すことが必要である。

2.3 健全な森林・林業政策の必要性

森林管理や伐採に関わる分野では、森林資源の持続可能性と同時に、林業の持続可能性も大きな課題である。外材輸入によって国内林業従事者が減少し、補助金なしでは山の手入れができなくなる中、「伐期を迎えた、伐って売れば収益が上がる」という政策がとられれば、森林の持続性が担保されない。国民的理解・合意の中で森林の利用を考えていくべきとの指摘がなされている⁶⁾。

この際、重要なことは、エネルギー利用はあくまでも従属的なものであり、優先されるべきことは高品質な材木が構造材などに利用されること⁷⁾、そしてそのための伐採から製材・加工に到る流通システムができていることである。本来高い価値を持つものとして利用されるべき材木が、FIT売電価格が高いためにチップ化されて発電用燃料として燃焼されてしまうことは避けなければならない。地域に成立し得るさまざまな林産加工品事業の中に木質バイオマスが位置づけられることは、今の木質バイオマス利用に重要な視点である。

3. 北海道の木質バイオマス利用

3.1 大型発電で急増した木質バイオマス利用量

さまざまな条件が重なり合う中、北海道で木質バイオマスがどう進んでいるか見てみたい。図1に北海道水産林務部が毎年まとめている木質バイオマス使用量の推移⁸⁾を、林地未利用材を用いるFIT発電所の道内発電出力の推移と合わせて示す。道が掲げた2022年度と2026年度の目標も表示している。木質バイオマスの利用量は2006（平成18）年から2011（平成23）年にかけて、製材工場端材・建設発生木材・林地未利用材のいずれも、多少のばらつきはあるが順調に増加し合計60万m³に達した。その後2015（平成27）年まで横ばいの期間を経て、2016（平成28）年から利用量が急激に伸び、2020（令和2）年度の木質バイオマス利用量は150万m³になっている。北海道の森林面積554万haでの年間成長量は2019（令和元）年度で1,240万m³と見積もられており¹⁰⁾、工場端材や建設廃材も道産材由来のものと仮定すると、木質バイオマス利用量は成長量の1/10程度に達していることになる。使用可能な道産木質バイオマスはまだ十分あ

るようにも見えるが、人工林に限って考えれば利用量は既に上限に達しつつあるとの見解もある¹¹⁾。

2016（平成28）年以降に利用量が急激に伸びたのは、林地未利用材のうち大規模発電に利用されるものが急伸した結果であることが、北海道水産林務部発表データだけでなく、FIT制度で公表されているデータ（図中折れ線グラフ）からもわかる。その結果、2019（令和元）年度には道が掲げていた2022年度目標だけでなく、2026年度目標も達成した。しかし、各種目別に2022年度の目標に対する達成率を見ると、2020（令和2）年度の利用量は建設発生木材で80%程度、製材工場端材では60%に留まっている。この両材については、その利用量が2011（平成23）年度実績を下回っている。道内木質バイオマス利用は、大規模発電所用の林地未利用材の「一人勝ち」状態といえるだろう。

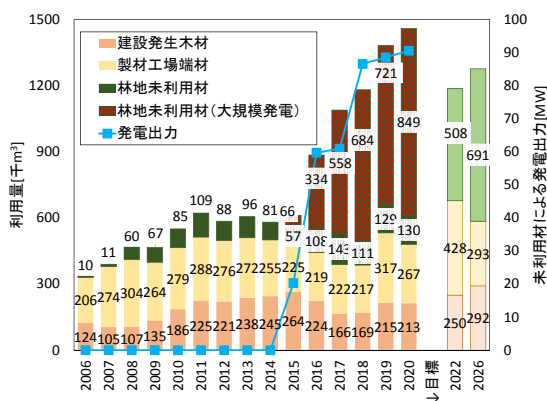


図1 北海道の木質バイオマス利用量の推移
（北海道庁水産林務部資料および「固定価格買取制度情報公表用ウェブサイト」データ⁹⁾より作図）

発電所では、電力に変換されるのは木質バイオマスが持っているエネルギーの10～30%程度にすぎない。そして発電に伴い大量の熱が利用されることなく捨てられている。このように考えると、林地未利用材を燃料とする大型発電所稼働により木質バイオマス利用量の目標が前倒しで達成されたことは、バイオマスの有効利用という視点からは大いに問題である。北海道が2021（令和3）年3月に作成した北海道省エネルギー・新エネルギー促進行動計画【第Ⅲ期】¹²⁾では、バイオマス熱利用分野の目標達成率が他の分野に比べて格段に低い39.3%であり、これが全体の目標達成率

を下げる要因と評価されている。仮に発電用に使われた森林未利用材が全て熱利用されていれば、省エネ・新エネ行動計画熱利用目標は超過達成されていたであろう。つまり、木質バイオマス利用に関しては、FIT売電を利用した発電用に大量の木質バイオマスが提供されたため利用量の目標は達成したものの、熱利用分野では目標を大きく下回ったのである。

電力においては、発電し送電線に送った時点で収益が確保される。これに対し、熱利用においては、送電線に相当する地域熱供給システムがほとんど整備されていないのが現状で、熱を必要とする場所にボイラなどの施設を個別に建設しなければならない。バイオマス熱利用の目標を達成しようとするならば、このような事情を考慮した促進策を考えることが必要である。

発電が一人勝ちの状況下、従来から地域でチップやペレットを製造し、熱利用してきた事業者の中には、発電用木材に引きずられる形で、燃料の原料木価格が上昇し、厳しい状況にある事業者もある¹³⁾。FITを利用して売電する木質バイオマス発電の燃料調達に関しては、「既存利用に影響を及ぼさないよう適切に配慮していく必要がある」¹⁴⁾とされたが、実際にはその実行性が発揮されていないのである。これでは、木質バイオマス発電によって他の熱利用事業者などの経営の持続性が奪われていると言っても過言ではない。

木質バイオマス発電所建設は今後も計画されている。持続可能な木質バイオマス利用のためには森林再生の検証も含め、科学的知見に基づいた伐採計画が作られなければならない。森林の持続可能性を担保しながら、既存の事業者、そして将来世代も利用可能な形で木質バイオマスが使われているかの検証が必要である。

3.2 FIT売電用木質バイオマス燃料と今後

木質バイオマスの利用量が2016（平成28）年以降急激に増加したのは、売電価格が高く高い収益が見込めるFIT制度に木質バイオマス発電が認められているためである。木質バイオマス発電では、燃料としての未利用材、一般木材、建築廃材の3種があり、それぞれ1kWh当たりの買取価格は未利用材が40円（税抜き、2,000kW未満）・32円（2,000kW以上）、一般木

材が24円(10,000kW未満、それ以上は入札)、建設資材廃棄物が13円、一般廃棄物・その他のバイオマスが17円となっている。10,000kW以上の一般木材が入札となったのは、外国から輸入されるヤシ殻(Perm Kernel Shell, PKS)が大量輸入され問題化したためである。PKSが一般木材という扱いになってFIT売電が可能のために、燃料の全てをヤシ殻に依存する発電所が道内にも建設されている。石油や石炭の代わりにヤシ殻を輸入している発電所を自然エネルギーとして推進することは問題であろう。バイオマス利用の基本は、地域にある資源を利用すること、地域の産業の中で材として利用できないものを化石燃料の代わりに利用することに意味がある。自然エネルギー導入の制度設計によっては、想定していなかった事態が発生することには注意が必要である。

道内では、既存の製紙用チップ工場、建設廃材チップ化施設に加えて、近年30を超える燃料用チップ生産拠点が作られ、発電所用・熱需要施設用のチップが生産されている¹⁵⁾。これらは先に述べたように収益性の高いFIT売電を行なっている発電所用のものが主力であるが、FIT終了後にも持続的に木質バイオマスを地域で利用し続ける仕組みを作ることが必要である。

3.3 木質バイオマス発電の2つの方式

北海道内には現在FIT売電している木質バイオマス発電所が10ヶ所程度ある。そこでは木質バイオマス燃料のほとんどが、発電用タービンに供給する蒸気を発生させるために使われている。発電所の中には木質バイオマスと石炭を混焼しているものもあるが、これは蒸気タービン発電では規模が大きいほど発電効率が上がるためである。しかし大規模になれば一層大量の排熱が発生し、FIT売電により経済的に成り立ったとしても、木質バイオマスが持っているエネルギーを有効利用するという点からは問題である。地域の木質バイオマスをできる限り有効利用するためには、発電所近郊に熱需要を確保して捨てられる熱を減らすこと、比較的低温の熱も利用できる仕組みを作ることが必要となる。

大型の蒸気タービン発電所に代わるものとして近年導入され始めたのが、木質バイオマスをガス化炉で水

素・一酸化炭素を含む可燃性ガスに転換した後に内燃機関に導き、そこで発生する動力で発電する方法である。2020(令和2)年に下川町に木質ペレットを製造し、その場でガス化発電するシステムが導入された。木質ペレットは木を一旦細かく碎き乾燥した後に圧縮成型された燃料である。直径5mm程度、長さ20mm程度の円柱形をしており、形と大きさが揃っていること、そして木質バイオマス燃料の熱量を決める含水率が安定していることが特徴である。使用する燃料特性の安定性が連続運転の鍵となるガス化炉には、ペレットのみを燃料として使用するものがある。下川町に導入されたのもこのタイプの発電装置であり、発電出力165kW、熱出力260kWの熱電併給ユニットが11台並列で設置されている。合計発電出力1,815kWは、蒸気タービン発電に比べ数分の一の規模であり、発電に伴って出る熱を無駄なく利用できる熱電併給となり得る。この発電所は民間事業者がペレット製造工場と合わせて建設したものであるが、従来チップ燃料を町内施設に利用して来た町の中では、その導入に関して意見が分かれ、発電に伴う熱を地域で利用する計画は進んでいない。

同様の小型ガス化発電所として稼働を始めたのが、平取町のチップを燃料とする発電所である。電気を公民館と病院に供給するとともに、熱を病院に供給するシステムで、熱が不足する場合を想定し木質チップボイラも設置している。熱電併給機の出力は電気が40kW、熱が100kWで、熱の一部は燃料チップを乾燥するためにも使用されている。製紙用チップを燃料として2021(令和3)年4月に連続運転を開始し、将来的には地元の事業者が供給する地産燃料で地域の熱・電気を供給する仕組みを目指している。

平取町に近い厚真町でもチップを燃料とするガス化発電システムの導入が計画されている。これらチップを燃料とする小型ガス化発電所においては、燃料の大きさ・形状や水分量を調整することが必要となり、燃料の調整に注意が必要であるものの、ペレットのみが利用可能な発電装置に比べ、燃料コスト的にも木質バイオマスの有効利用の点からも望ましいものである。

木質バイオマスによる発電では、発生する熱を極力使い切る、熱電併給する小型システムが今後の主流と

なっていくと考えられる。蒸気タービン方式、ガス化-内燃機関方式以外の木質バイオマス発電には、ボイラで発生させた熱利用のための蒸気の一部を発電に利用する方法、ボイラ高温水で有機溶媒を気化させ発電する方法、高温燃焼ガスで直接発電するスターリングエンジンなどが開発途上であるが、道内において現在これらの発電装置が連続稼働している事例はない。

4. 地域密着型木質バイオマス熱利用

急激に伸びている発電事業について述べてきたが、道内では発電に先行して熱利用が地道に進められてきた。現在は急伸する発電事業の陰に隠れた印象があるものの、熱利用は木質バイオマス利用の本流で、今後もその普及が継続して取り組まれていくべきである。木質バイオマスは、その燃料形態によって薪・チップ・ペレットがある。それぞれの燃料について熱利用の現状に触れたい。

4.1 薪の利用

昔から利用されている薪は、近年燃焼効率の高い薪燃焼装置が開発されたことで、その利用先は広がっている。薪の利点は、燃料製造が容易で、森林を所有している場合には燃料の自家調達が可能である点である。道内では、薪ストーブの愛好者が増加しているのに加え、薪ボイラが導入されている。占冠村では、2013（平成25）年村有の温泉施設に薪ボイラを導入するとともに、木質バイオマス生産組合を立ち上げて村有林から出た木材で薪生産を開始した。薪生産を効率化して生産量を増やすとともに薪価格を化石燃料と同レベルにすることが利用拡大に必要と考えられ¹⁶⁾、2020（令和2）年に村立保育園に薪ボイラが導入されたことは今後の利用拡大につながる前進である。少ない投資で薪生産拠点を作り、公的施設で利用を増やしながら民間施設にも導入を拡大していく取り組みは、地道だが確実な方法であり、地域における木質バイオマス導入の一方策として検討に値する。北海道の統計¹⁷⁾によれば、道内の薪生産量は年間12,000m³程度であり、十勝・胆振など2,000m³を超えている地域がある一方で、その10分の1程度の地域も多く、地域ごとのばらつきが大きい。これまで木質バイオマ

ス利用の進んでいない地域では、小規模な負担で燃料生産が可能な薪の利用は一つの選択肢となるだろう。

4.2 チップ燃料

薪は燃料供給の自動化ができないため家庭用ストーブや小型ボイラなど小規模熱利用施設に限られているのに対し、より大きな施設では自動搬送可能なチップの利用が主流になる。道内では、2004年に下川町の五味温泉に導入されたチップボイラが先駆的なものである。下川町は町内でチップ生産を始めるとともに町有施設のボイラを化石燃料からチップ燃料に転換している。町中心部などでの地域熱供給を含め木質バイオマスの先進地としてさまざまな取り組みが進められている。

道内では、下川町以外でも各地で木質チップの熱利用が進んでいる。北海道水産林務部の調べでは、現在126基のチップボイラ（集計上は「木くず焚き」）が設置されている⁷⁾。これらの中には国産ボイラもあるものの、その多くは木質バイオマス利用の先進地であるヨーロッパ各国の製品である。

近年、木質バイオマスに積極的に取り組んでいる自治体の一つが当別町である。町にエネルギー推進室を設置し、2016（平成28）年に木質ペレットボイラを導入したのを皮切りに、その後町内に林業従事者を中心に木質バイオマスを地域で供給するための共同組織を作り、地域材を使ったチップ生産と学校など公共施設へのチップボイラの導入を進めている。森林由来のバイオマスに加え河川支障木や剪定枝もチップ燃料化しており、地域の木質バイオマス資源を可能な限りエネルギー化しようとしている。チップの取引に関して、燃料評価の難しいチップ価格をチップ体積や重量ではなく、そこから作り出された熱で契約する合理的な方法を導入している。当別町は、北海道の研究機関である北海道立総合研究機構（道総研）の再生可能エネルギー供給と省エネルギー技術に関する戦略研究のフィールドにもなっており、ドローンなどを用いた木質バイオマスの賦存量調査から、熱利用現場での効率的運用までの全体に渡って研究を進めながら利用方法を検討している。ここで得られた知見が広く共有され、他地域での導入につながることを期待される。

各地で進められているチップ燃料の熱利用は、近隣先進地の事例に学びながら今後も普及し、FIT終了後も生産され続けるチップの利用先になるであろう。

4.3 木質ペレット燃料

木質ペレットは、大きさが揃い小型装置でも自動搬送が容易であることため、家庭用ストーブから比較的小規模のボイラの燃料として使われている。道内各地で家庭用にペレットストーブ導入に対する補助がなされ、2015（平成27）年まではペレット生産量は徐々に伸びていた。しかし、石油価格が下落しペレット燃料が相対的に高くなると、その生産量は頭打ちになっていた。このことから家庭用ペレットストーブの普及の課題は燃料価格であることがわかる。価格とともに課題になっているのはペレットの供給体制である。石油やガスのような流体燃料はユーザーに燃料補給の手間がほとんどかからないのに対し、ペレットストーブでは袋詰めされたペレットを数日に一回タンクに入れる手間がかかる。また、家庭への配送体制が灯油やガスのように整備されていないため、ペレット購入時の受け渡し負担となる場合もあり、対処が必要である。

道内各地に作られた20程度のペレット工場がそれぞれにペレットを生産してきたことは、地域の材を利用するという点では評価し得るが、地域での需要が伸びない中、道内の生産量は頭打ち状態になっていることを考えれば、生産拠点の集約化なども検討の対象となるであろう。

このような中2019（令和元）年にペレット生産量が一気に倍加した。これは下川町にできた発電所用のペレット生産が始まったためである。この発電所の2号機が始動した当別町では、発電用ペレットを熱利用施設で使用したり、ストーブ用燃料としての供給が試験的に開始された。発電用に大量に作られるペレットの一部がストーブ燃料として利用されれば、ユーザーにとっては価格低下となるが、既存ペレット製造工場は厳しい状況に置かれることは想像に難くない。今後、木質ペレット製造・流通を全道的にどう考えるかは大きな課題である。

5. 木質バイオマスの課題と方向性

木質バイオマスについて、燃料面から見てきたが、利用サイドの課題もある。その一つは、ボイラやガス化炉などの多くが外国産であることである。この結果、木質バイオマスに関わる道内事業者は、燃料製造・供給が主たるもので、機器に関してはメンテナンス程度の業務にとどまっている。ここから脱却するためには、道内企業が研究機関と共同しながら北海道に適した燃焼機器、熱利用施設、利用方法などを開発していくことが必要である。北海道は環境産業振興戦略を作り道内企業の環境関連産業への参入を進めており、いくつかの先進事例も出てきている。帯広の武田鉄工所は2010（平成22）年から北海道総合研究機構・工業試験場と共同でバイオマス燃焼機の開発に携わってきた。灰分の多い燃料の燃焼技術を開発し、農業残渣などを燃料化するのに成功し、北海道「新技術・新製品開発賞 ものづくり部門大賞」などを受賞している。事業者が挑戦し続けられるような支援体制が求められる。

木質バイオマス利用に関してもう一つ重要なのは、作られた熱を効率よく利用するインフラ整備で、その代表が地域熱供給システムである。札幌駅周辺に熱供給している熱供給公社は、札幌オリンピック開催に先立つ1971（昭和46）年に都市大気汚染の解決策として運用が開始された。2009（平成21）年にボイラ燃料の一部を石炭から木質バイオマスへ転換し、現在も年間2万トン程度の建設廃材・林地残材・剪定枝を燃料にし、供給熱の40%以上を木質バイオマスで賄っている。かつて構築された地域熱供給インフラに供給する熱の燃料を木質バイオマスに転換することで、化石燃料使用量は一気に削減されたのである。このような地域熱供給のインフラ整備には自治体などの長期計画が必要となる。

行政、事業者、研究機関それぞれが木質バイオマスを利用するのに必要な技術開発や施設整備に取り組み、かつての産炭地北海道を、自然エネルギーによる持続可能な北海道へ転換していきたいものである。

参考文献

- 1) D., Eckstein, V., Künzel, L., Schäfer, M., Wings: GLOBAL CLIMATE RISK INDEX 2020: Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-Related Loss Events in 2018 and 1999 to 2018, 2019.
<https://www.germanwatch.org/en/crisis/> (2021.9.25閲覧)
- 2) 日本経済新聞：異常気象の原因「明言」、2020年10月11日 26面。
- 3) Bruck, D.: Woody Biomass for Power and Heat Impacts on the Global Climate. The Royal Institute of International Affairs (ChathamHouse) Report, 2017.
- 4) Cowie, A., Berndes, G., Junginger, M. and Ximenes, F.: Response to Chatham House report“Woody Biomass for Power and Heat: Impacts Chatham House on the Global Climate”, IEA Bioenergy: Lismore, Australia, 2017.
- 5) 山形 定, 蒲生将大: 衛星搭載された合成開口レーダを用いた森林消失エリアのリアルタイムモニタリング、北海道自然エネルギー研究、15,7-14,2021.
- 6) 国民森林会議提言委員会：持続可能な森林の管理（経営）について、2020.11.30。
<https://peoples-forest.jp/2020-3.pdf> (2021.9.25閲覧)
- 7) 酒井明香: わが町にあった木質バイオマスの有効利用を考える、光珠内季報No164, p1、2012年1月。
- 8) 北海道庁水産林務部：木質バイオマスエネルギーの利用状況。
https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/03_biomass/energy.html (2021.9.25閲覧)
- 9) 固定化価格買取制度 再生可能エネルギー電子申請：事業計画認定情報 公表用ウェブサイト。
<https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary> (2021.9.25閲覧)
- 10) 北海道庁水産林務部：令和元年度（2019年度）北海道林業統計、2021年3月。
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/rin-toukei/01rtk.html> (2021.9.25閲覧)。
- 11) 柿澤宏昭：持続的森林管理と木質バイオマス利用、シンポジウム「北海道における持続可能な木質バイオマス利用を考える」報告集、北海道木質ペレット推進協議会・北海道・NPO 法人北海道新エネルギー普及促進協会、2018年6月。
- 12) 北海道庁：北海道省エネルギー・新エネルギー促進行動計画【第Ⅲ期】、2021年3月。
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kke/l.html> (2021.9.25閲覧)。
- 13) 山形 定：自然エネルギー利用の現状と課題—木質バイオマス利用と競合するおが粉製造業から考える—、酪農ジャーナル「高騰するおがくずから『敷料』を考える」、2016年3月。
- 14) 林野庁：発電利用に供する木質バイオマスの証明のためのガイドライン、2012年6月。
https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/hatudenriyou_guideline.html (2021.9.25閲覧)
- 15) 後藤秋雄：「化石燃料から木質バイオマス燃料へ転換によるカーボンニュートラルと地域資源を生かしたエネルギー地産地消による地域経済活性化」、「ゼロカーボン北海道」エネルギー地産地消セミナー資料2021年8月26日。
<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/kz/kke/r3energychisanchishoseminar.html> (2021.9.25閲覧)
- 16) 長尾美里、山形 定：村有林由来の薪を燃料とするボイラー導入が占冠村にもたらした経済効果、北海道自然エネルギー研究、12、5-16、2018。
- 17) 北海道庁水産林務部：北海道の木炭・薪生産
https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/04_mokusan/mokutan_maki.html (2021.9.25閲覧)

バイオガスからメタノール・ギ酸を生成する 高度技術の開発

保 井 聖 一

(やすい せいいち)

所属：エア・ウォーター北海道株式会社 事業企画部 再生エネルギーグループ

profile

帯広畜産大学畜産学研究科にて畜産学を学び、山梨県庁にて2年間奉職ののち山梨県総合農業試験場の研究員として3年間勤務。その後株式会社ズコーシャ在籍時の2005年に、岩手大学大学院連合農学研究科博士課程にて博士号を取得。2014年に同社を退職し、同年よりエア・ウォーター北海道株式会社にてバイオガス事業に従事。



はじめに

近年、北海道など酪農が盛んな地域を中心とした家畜飼養頭数の増加に伴い、日々発生するふん尿の処理方法適正化が酪農家、および地域にとって大きな課題となっている。そこで注目されているのがメタン発酵によるバイオガス化処理であるが、2000年代の急速な導入により、主たる収入源である再生可能エネルギーの固定価格買取(FIT)制度が利用しにくくなっている。こうした課題の解決策として、バイオガスを有用性の高い物質へ変換する技術の開発が急がれている。

1. 北海道における酪農の現状

北海道で営農している酪農家はその約8割が、乳牛飼養頭数が100頭以下程度の小規模酪農家であり(図1)、牛を牛舎に繋いで飼養する「つなぎ飼い牛舎」で家畜を管理している酪農家がほとんどである。つなぎ飼い飼養の牛舎では牛の動きがある程度制限されており、敷料(牛の寝床)にはワラなどを使用することが多い。そういった飼養形態から発生する家畜ふん尿は、ワラと混ざった半固形状(写真1)を成しており、その処理方法としては堆肥盤にふん尿を堆積し、敷地内もしくは近くの畑の片隅に野積みする酪農家が多い。

一方、飼養頭数が150頭以上程度の大規模酪農家では、牛が自由に動き回ることができる「フリーストール牛舎」を採用しているところが多く、発生したふん尿は堆肥舎に簡易的に堆積するか、スラリー状のふん尿を貯留槽に一時的に貯めて、散布できる時期になったら近隣の圃場に集中的に散布する形で処理している。

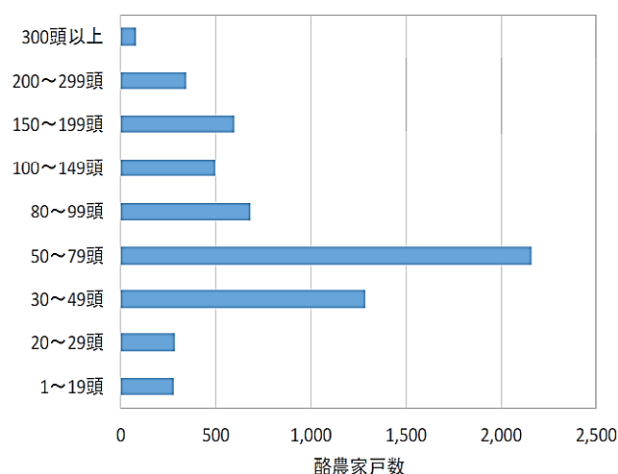


図1 北海道における乳牛の頭数規模別の酪農家数

(出典) 各種統計資料よりエア・ウォーター北海道(株)作成



写真1 小規模酪農家から排出されるふん尿(左)
大規模酪農家から排出されるふん尿(右)

1.1 北海道の酪農における課題

前述のように、酪農の形態により発生する家畜ふん尿の形状は異なるが、処理方法としては堆肥化して圃場へ散布する形がほとんどである。こういった地域からは、ふん尿の散布による悪臭問題や、水源への流れ込みなどによる水質汚染問題などが懸念されており、家畜ふん尿の処理は酪農家個人だけでなく、地域全体の課題となっている。

北海道のような酪農地域では、牛乳などの畜産物が大きな収入源となるため、近年の牛乳出荷量は増加している。一方、酪農家戸数自体は減少傾向にあることから、1戸の酪農家における乳牛飼養頭数が増加していることがわかる（図2）。飼養頭数の増加に比例して増加するふん尿の処理は、高齢化が進む酪農地域において重労働化している現状がある。

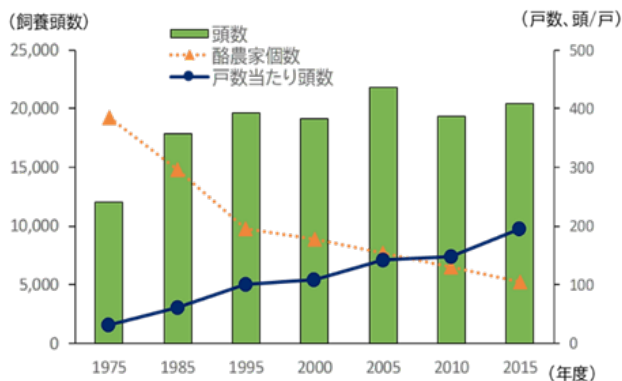


図2 北海道の酪農地域における飼養頭数と酪農家戸数の増減（大樹町の事例）
（出典）各種統計資料よりエア・ウォーター北海道㈱作成

また、酪農の大規模化が進むにつれて、使用する機械類も大型化・自動化が進んでいる。自動搾乳ロボットの導入、中には50頭を一度に搾乳できるミルクングパーラーを導入して搾乳の労力や時間を削減している農家もいる。また、自動にエサを供給する機械や、敷料を自動に散布する機械を入れている牛舎も多くなってきており、こうした機器類の稼働に係る電気や化石燃料使用量の増大などによる二酸化炭素排出量の増加なども地域の課題として解決が急がれている状況である。

1.2 理想的な家畜ふん尿処理

乳牛飼養頭数が100頭以下程度の小規模酪農家で採用しているつなぎ飼いは昔ながらの飼育方法であり、ふん尿も比較的低温であることからオガクズなどの副資材を混合することにより、良質な堆肥が生産可能である。製造された完熟堆肥は牧草地あるいは畑地に還元する形が理想的な処理方法である。

一方、25%酪農家はおおむね150頭以上の中規模・大規模酪農家であり、フリーストール飼養を主に採用

している。そこから発生するふん尿は高水分であり、堆肥化が困難であることから、後述するバイオガスプラントの導入により、スラリー状、液状のままメタン発酵処理することで、メタン発酵槽から排出される消化液を圃場に肥料として散布する形が、酪農家や土地への負荷を削減できる最適な方法である。

1.2.1 バイオガスプラントの導入

近年の酪農は大規模化が進んでいることから、牛舎はフリーストール化し、ふん尿の処理形態もメタン発酵処理プラント（以下、バイオガスプラント）導入によるメタン発酵化（図3）が増加しつつある。

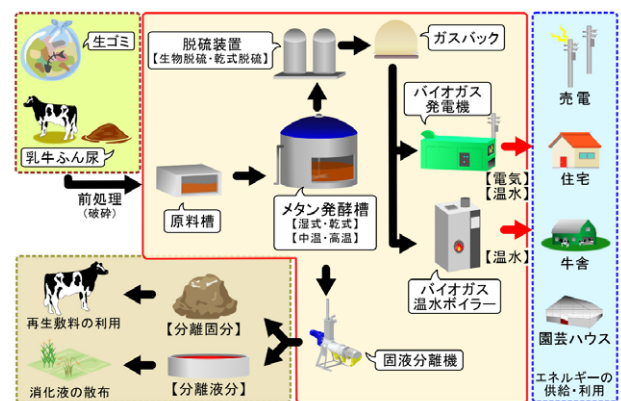


図3 バイオガスプラントシステム例

バイオガスプラントは、発酵の過程でメタンを約60%含むバイオガスを生成するが、一般的にはバイオガス発電機やボイラで電気や温水熱を作ることによってプラント自身の稼働維持エネルギーに使用するほか、余剰電気はFIT制度利用による売電を行うケースがほとんどである。FIT売電が利用できない場合は、自家消費エネルギーとして、余剰熱は牛舎や園芸ハウス用の加温エネルギーとして使うなどエネルギー自給自足型の利用方法も検討が可能である。

バイオガスを生成した後のメタン発酵残さは固液分離することで、分離固分は再生敷料として牛舎でのリサイクル利用、分離液分は液体有機質肥料としての利用が可能となる（写真2）。

こうした、生成物であるバイオガスだけでなく、近年高騰が続いている敷料の代替品として利用可能な再生敷料などの有用な副産物も利用できることから、バイオガスプラントは多くの酪農地域で導入が進んでいる。



写真2 再生敷料（左）と消化液（右）

1.2.2 FIT制度の制限

家畜ふん尿の適正処理や、化石燃料使用量の削減に対応するため、ふん尿処理とエネルギーの自給を可能にするバイオガスプラントの導入を望む酪農家が多いものの、現状では電力会社における配電システムの制限が続いている。

北海道の系統を見ると、札幌を中心とした道央地域が太く、北海道と本州間の連携設備を持つ道南や、大型の水力発電所を持っている十勝地域にはある程度の線があるものの、その他の地域は脆弱となっている（図4）。

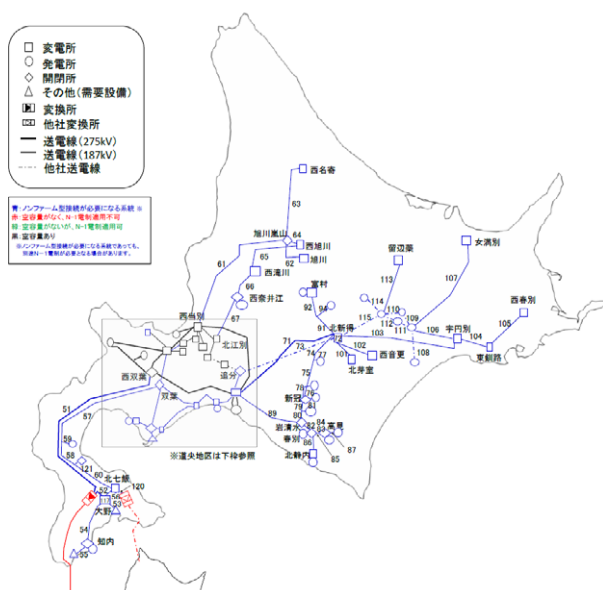


図4 北海道における配電系統

（出典）ほくでんネットワークHP、系統空容量マップ（187kV以上）

特に、オホーツクなど道東地域の系統は極めて細く、FIT売電をしたくてもできないといった状況にある。バイオガスプラントの導入には多額のイニシャルコストとランニングコストがかかるため、FIT売電による収入はプラント稼働に必須となることから、こうした地域ごとの制限は酪農家への負担が増加するだけでな

く、バイオガスプラントの導入そのものが停滞する大きな要因となっている。

1.3 酪農地域の課題に向けた解決策

北海道の酪農地域が抱える課題を以下にまとめる。

- ①生乳生産の拡大に伴う家畜ふん尿の増加と化石燃料使用量の増加
- ②電力系統の接続制限によるバイオガスプラント導入・稼働のビジネスモデルの崩壊
- ③売電以外のバイオガス活用方法の困難さ
- ④バイオガス活用に伴う高額なインフラ整備

現状、上記課題の内一番の課題となっている①の課題を解決するために、バイオガスプラントの需要が増加傾向にあるものの、②電力系統の接続制限が妨げとなり、新規のプラント建設が困難となっている状況が続いている。バイオガスを利用したFIT売電による販売収入は、施設導入・稼働にとって大きな要となることから、売電の制限が続くことでバイオガスプラントのビジネスモデル化が困難となってしまう。そのため、③売電以外のバイオガス活用方法の構築が重要となってくるが、バイオガスそのものやバイオガスで生成した電気を貯蔵して運搬しようにも、エネルギーの需要地が遠隔にあるなど別の課題が浮上することとなる。そうした課題の解決には④高額なインフラ整備が必要となることから、家畜ふん尿処理の適正化が困難化している現状が浮き彫りとなっている。

そこで、上記課題の解決策として、「バイオガス中のメタンを常温常圧でメタノール、ギ酸に変換する技術」の開発を進めている。本技術は大阪大学が発明し、特許を取得しているメタンの酸化技術であり、その大容量化システムの開発を2021年2月から大阪大学、エア・ウォーター北海道㈱、興部町、岩田地崎建設㈱の4者連携体制で進めている。次章にて、本技術の内容と取組について記載する。

2. メタン酸化技術に関する研究動向

メタンからメタノールを製造する変換技術については、その有用性の高さから研究開発が進められていた。従来は金属触媒や過酸化水素を使用する反応が知られているが、いずれも高温・高圧条件を必要とするほか、

過酸化水素といった環境負荷の高い原料を使用することから実稼働には至っていなかった。高温・高圧条件の製造は、施設の高コスト化に繋がるほか、バイオガスに含まれる二酸化炭素（約40%）が金属触媒を被毒するなどの点から、本技術は化学反応の中でも最も高難度とされ、夢の反応「ドリーム反応」と呼ばれてきた。

こうした背景により、メタンから容易かつ高効率にメタノールを製造する技術については、世界中の科学者が挑戦を続けてきた。

2.1 バイオガスからメタノールおよびギ酸を生成するバイオメタン酸化反応

2018年に、大阪大学高等共創研究院の大久保教授の研究グループが、常温・常圧下におけるメタン酸化技術の開発に成功した（図5）。本技術ではメタン、空気中の酸素、二酸化塩素を原料として、メタノールとギ酸を作り出す反応であり、その結果はインパクトファクターが高い学会誌 *Angewandte Chemie International Edition* に発表している。

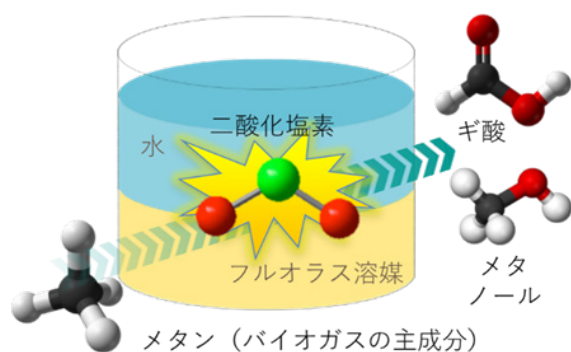


図5 大阪大学が開発したメタン酸化技術

メタンのメタノール変換技術は、空気中でメタンを酸化させることで二酸化炭素や一酸化炭素となる燃焼反応が優先して起こることからもその技術開発の困難性が高まっていたが、大久保教授の研究グループは、二酸化塩素に光を照射することによってメタンと空気中の酸素を作用させ、高効率でメタノールを製造することに成功している。

2.1.1 バイオガスの有用物質への変換

大久保教授のグループが開発した「二酸化塩素を用

いて、メタンを常温・常圧でメタノールに変換する反応」によると、メタンからのメタノール生成率は14%、ギ酸の生成率は85%となっており、収率はほぼ100%となる（図6）。従来の高温高圧を必要とした変換技術における収率は、メタノールで1%程度であったことを考えると、大幅な収率増大効果が見込める。

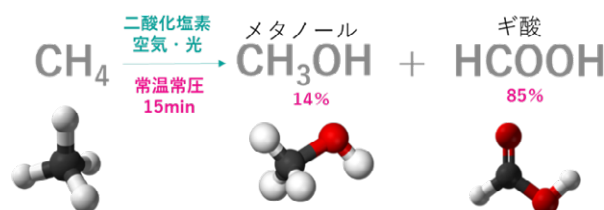


図6 本技術における生成物の変換効率

本反応は、反応時間が常温・常圧で規模に関わらず15分程度であること、空気中の酸素を活用できることなどから、従来の技術よりも製造コストが大幅に削減できることが最大の特徴となっている。

また、全反応工程を通じて二酸化炭素の排出がゼロであることも大きな特徴となっており、近年急速に拡大しているカーボンニュートラル社会実現に向けた動きに大きく寄与することが想定できる。

生成したメタノールは燃料のほか、溶媒、化成品原料と多用途に活用でき、ギ酸は乳牛飼料の添加剤（飼料の腐食を防ぐための防腐剤）だけでなく、水素製造原料「水素キャリア」としても利用することができる（図7）。

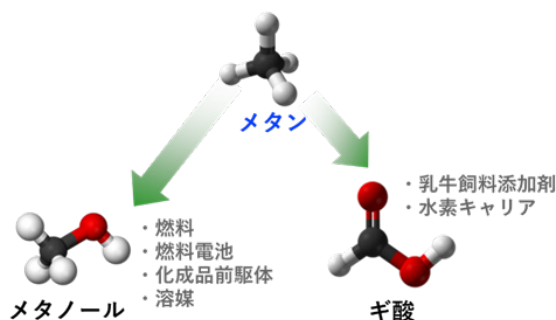


図7 メタン変換により得られる生成物の有用性

本技術は、バイオメタンからカーボンニュートラルなエネルギーを高効率で生産できるという点から、これまでの常識を覆す飛躍的な技術革新になり得る特徴を備えている。

2.1.2 技術の特徴と利点

現在国内のメタノールはその全量を海外からの輸入に頼っているが、そのほとんどが200～300気圧の高圧、250～400℃の高温条件で金属触媒を通すことで合成し製造されている。その反応工程としては、水蒸気改質、圧縮、合成、蒸留、精製といった複雑な処理フローが必要となるほか、原料として使用する炭素源の1/4が二酸化炭素として排出されている。さらに既存技術のプラントは日100 t以上の製造規模であり、コスト高、低収率などの状況が作用することで単価の高止まりが続いている状況である。

一方、本事業で提案している技術の最大のメリットは、常温・常圧でメタンと空気からメタノールとギ酸を製造できることである。反応工程は既存技術に比べ極めて簡易的であり、低コストかつ高収率、高い安全性、かつカーボンニュートラルが特徴となっていることから、既存技術と比較して、優位性は著しく高いことがわかる。

2.2 興部町、大阪大学による連携協定

本技術の開発により、実験室レベルのメタン酸化反応についてはその効果が証明された。その次のステップとして、実際にバイオガスプラントから発生するバイオガスを用いた調査を進めることとし、大久保教授の研究グループではその連携先を探していた。そこで注目したのがオホーツク管内の北部に位置する興部町であった（図8）。本町は「大規模な酪農業、水産資源の豊富な漁業、豊かな森林を活かした林業」の町であり、特に乳牛は人口の約3倍の10,500頭が飼育されている。近年の生乳生産量は約50,000 t、農業生産額約70億円を超える酪農を基幹産業とした地域である。

興部町は2014年にバイオマス産業都市に認定され、バイオガスプラントを整備することによりバイオマス資源とエネルギーを地産地消するネットワークを構築するという目標を立て、バイオマスを活用した持続的なまちづくりに取り組んできた。2016年には、町営のバイオガスプラント（興部北興バイオガスプラント：写真3）を建設し、町内のバイオマス・エネルギー地産地消ネットワークモデルとしての稼働を開始し

ている。本プラントは現状FIT売電を利用した運営モデルであるが、FIT売電期間（20年間）終了後の運営方法についても検討する必要がある、売電以外での有効活用モデルの検討を探っていた。



図8 北海道における興部町の位置



写真3 興部北興バイオガスプラント

興部町と大阪大学は、本メタン酸化技術がバイオガスにも適用できることに着目し、2019年に5年後（2024年）の実用化を目標として、メタン酸化技術の共同研究に関する連携協定を締結した。

2020年には興部北興バイオガスプラントを中心に協議と試験を重ねた結果、世界で初めて家畜ふん尿由来のバイオガスに含まれるメタンから直接メタノールとギ酸を製造することに成功したことを2者で発表している。

この成果により、これまで100%輸入に頼っていたメタノールの国内生産の道が開けたほか、ギ酸は乳牛の飼料であるサイレージを製造する際の添加剤として利用できることから、酪農業の基盤整備への寄与に期待がかけられた。

その後、興部町は町営の農業研究機関であるオホーツク農業科学研究センターにおいて、メタンガス増産に関する調査や、メタン酸化の基礎研究、メタン酸化の予備実験に関するサポートを行ってきた。一方、大阪大学はメタン酸化反応条件の最適化やオープンイノベーション機構の設置など、両者はお互いの環境や強みを生かした実験体制の構築に努めてきた。

2.3 NEDOにおける実証事業内容

本技術はこれまで、興部町と大阪大学が連携して最適化を進めてきたが、次のステップとしてはラボレベルよりも大容量の実証機の作成、およびバイオガスプラントへの併設による検証が求められていた。

そこで本技術開発を進めるために、2021年4月から国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）の先導研究プログラムとして「畜産系バイオガスのメタノール・ギ酸変換技術の開発」事業を開始した（図9）。本事業では、大阪大学が開発したメタンの酸化技術を核として活用し、乳牛ふん尿バイオガスプラントで生成されるバイオガスからカーボンニュートラルなメタノールを大量に生産するためのパイロット試験を行う。

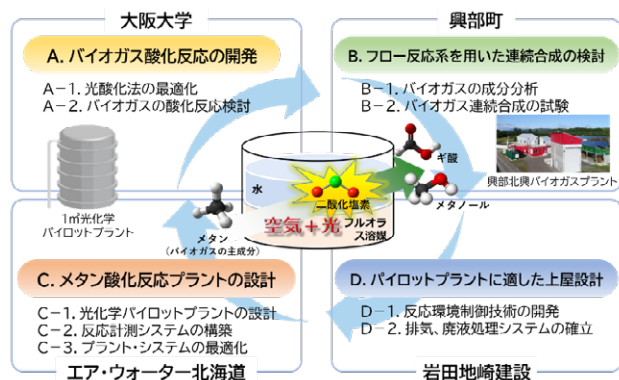


図9 NEDO事業における4者連携体制図

この事業は、「脱炭素社会の実現に向けた国家プロジェクト化への道筋を構築する」ことが大元の目的と

なっており、実際に本事業では、①家畜ふん尿由来バイオガスからメタノール・ギ酸を製造する技術のシステム化、②1m³規模パイロットプラントをバイオガスプラント敷地内に設置した実証試験の実施、そして③2030年以降の実用化を見据えたシステムの先導研究を実施する。

本事業の最終目標は、事業期間2年間で売電以外のエネルギー利活用モデルを構築することであり、システムを道内外へ展開することで、国内の乳牛全てのふん尿由来のバイオガスを原料とした場合、メタノールを年間1万トン単位で生産することができると想定している。本システム展開により、これまで輸入に頼っていたメタノールの一部を国内で生産することができることとなる。

2.3.1 4者連携による協力体制

2021年4月から開始しているNEDO事業では、興部町・大阪大学の2者連携協定に、エア・ウォーター北海道株式会社、岩田地崎建設株式会社の民間会社2社が参画した、産官学4者の強力な連携体制の基研究開発を進めている。

本NEDO事業では、4者がそれぞれの技術を集結し、世界初の実用化・事業化に向けて連携協定を締結することで、バイオガスからメタノール・ギ酸を製造する光化学プラントの開発～実働へ向けたシステム開発を実施している。

それぞれ、大阪大学はバイオガス酸化反応開発の実施による反応速度の加速化や、製造コストの低減に結びつけられる最適条件の検討、ならびにバイオガスからの直接酸化反応が可能となる条件の検討を行う。興部町は、大阪大学が示した最適条件を用いてメタンの光酸化反応の連続合成の実現化を検討する。また、主な研究フィールドとして興部北興バイオガスプラントを提供するとともに、季節変動や原料変動に伴うバイオガスの成分分析を実施し、連続反応が可能な反応器を用いてメタノール・ギ酸の連続合成が可能なシステム構築を検討する。

エア・ウォーター北海道は、メタン酸化反応・光化学パイロットプラントの設計を担当し、最適規模および最適材料の選定に加え、反応計測システムを構築す

ることで、光化学反応の諸条件と自動計測システムの構築を目指す。さらに、プラントの改造を施し、最終的なシステムの最適化を実施する。岩田地崎建設は、パイロットプラントに適した上屋の設計を担当し、大阪大学が設定した最適反応条件とプラントの設計条件などからプラント内環境を制御できる上屋を構築する。さらに、反応時に排出されるガスおよび廃水の性状に適した処理システムを確立する。

このような4者連携により高効率なメタン酸化技術システムを確立し、最終的には興部町をモデルとしたカーボンニュートラル循環型酪農システムの基盤形成を行うことを目的としている。

3. カーボンニュートラル循環型酪農システム

2050年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにする「2050年カーボンニュートラル宣言」の実現に向けて、国内では今後二酸化炭素排出への規制や新規技術開発が急速に加速すると想定される。そうした背景を基に、本技術のシステム一連を図10のような「カーボンニュートラル循環型酪農システム」と位置づけることで、酪農地域を中心とした国内外へのシステム展開を図る。

カーボンニュートラル循環型酪農システムでは、光化学プラントで製造されたメタノールを第一にバイオガスプラントの燃料電池に供給して稼働エネルギーとして使い、残り大半の余剰メタノールは、市街地のEVステーションや公共施設、EVバス、町内の運搬車両などに供給することを想定する。さらに余剰となったメタノールは、町内の各種工場や飼料製造工場であるTMRセンターに燃料として供給する。

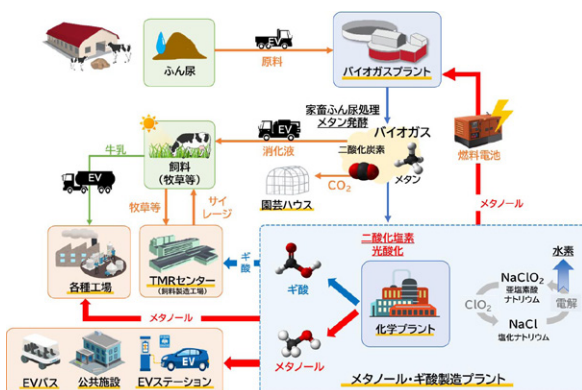


図10 カーボンニュートラル循環型酪農システム

一方ギ酸は、主に乳牛の飼料への添加剤として使用するほか、近年注目を集めている水素キャリアとしての活用も検討する。

また、本メタン酸化反応の副産物として発生する塩化ナトリウムは、電解することで亜塩素酸ナトリウムに変換し、二酸化塩素の原料として再利用する。この電解の過程でも水素が発生するため、将来的にはこの水素の回収・利用システムも併用することで、生産物を余すところなく全量使用する完全循環システムを構築する。

3.1 カーボンニュートラルなまちづくり

前項目に記載したカーボンニュートラル循環型酪農を興部町の市街地も含め、全体的に展開した場合のイメージを図11に示す。

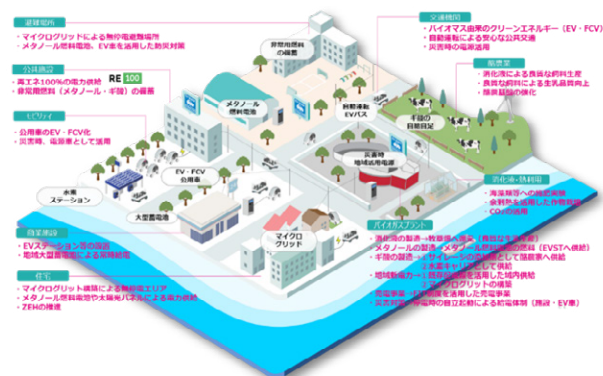


図11 興部町が想定するカーボンニュートラルなまちづくり

光化学プラントで製造したメタノールとギ酸は公共交通機関の車両や公共施設エネルギーだけでなく、一般住宅を含めて構築したマイクログリッドの中のメタノール燃料電池によりZEH（ゼロ・エネルギー・ハウス）化を推進する。また、避難所にもメタノール燃料電池やEV車を整備し、万が一の事態に備えたBCP（事業継続計画）対策を施すほか、水素で稼働するEV、FCVを整備し、災害時の電源車としての活用も想定する。

バイオガスプラントは停電時の自立起動機能を持たせることで、災害時にもマイクログリッドを活用した地域内電力供給が可能なシステムに改修していく。

従来の電気を主体とした地域内電力供給システムやマイクログリッドでは、放電する電気エネルギーによ

るロスが大きさが問題となっていたが、本システムで
利活用するメタノールとギ酸は長期安定保存や運搬が
可能であるほか、発電効率やエネルギー効率が極めて
高いことが最大の特徴となっている。

以上より、本システムの利用によりカーボンニュ
ートラルなまちづくりの早期実現が可能であると考えら
れる。

3.2 システム導入による経済効果

本システムの導入による経済効果は、メタノール・
ギ酸の直接的な産出効果だけでなく、ゆとりある酪農
へ変換することによる酪農経営改善効果、消化液の効
果的散布による化学肥料削減効果、酪農に起因する悪
臭や水質汚濁問題の解決などの環境改善、そして新規
産業創出による雇用促進効果による地域活性化効果な
どが見込める。

今後、興部町で確立したこのモデルを日本国内全体
に展開した場合には、約5,500億円の経済効果だけで
なく、約4,000万t-CO₂/年もの温室効果ガス排出削
減効果も見込めることから、国内の再生エネルギーの
主電源化に対して非常に大きな役割を果たすことが想
定できる。

3.3 SDGsへの取組

本研究開発では、国連サミットで採択された2030
年までの持続可能な開発目標（SDGs）の達成に向け
た取り組みを4者連携で進めている。

特に、メタノール合成については、従来は大量の二
酸化炭素の放出を伴ってきたが、本技術ではカーボン
ニュートラルに合成できる低炭素、脱炭素技術である
ことから、「⑬気候変動に具体的な対策を」の達成に
大きく貢献できると考えられる（図12）。また、本技
術は低コストでメタノールおよびギ酸を製造できる可
能性がある上に、製造過程で二酸化炭素を全く排出し
ないことから、全ての人々に安価で持続可能なエネル
ギーを供給できる。そのため、「⑦エネルギーをみん
なに、そしてクリーンに」の目標達成にも寄与できる。



図12 SDGs取組目標

おわりに

北海道の酪農家の大多数が、牛舎から排出された
乳牛ふん尿を簡易貯留もしくは堆肥化处理しており、
バイオガスプラントの普及件数はわずか110カ所であ
る。ふん尿を堆積した状態では、堆積物内部が嫌気性
状態で経過するため、温室効果が極めて高いメタンや
一酸化二窒素が排出される。このような簡易貯留方式
や堆肥化处理からメタン発酵処理に切替えることで、
温室効果ガスの大幅削減が見込まれる。

さらに、バイオガスプラントで生成されるバイオガ
スに対し、上述してきたメタノール・ギ酸の高度製造
プラントを組合せることで、より一層のゼロカーボン
技術の確立が期待できる。国内におけるカーボンニュ
ートラル社会実現に向けた動きはこれからさらに活発
化すると想定され、酪農分野におけるバイオガスプラ
ントの導入はますます増加することが見込まれる。

今後の課題としては、現在NEDO事業で実施して
いるパイロットプラントでのメタノール・ギ酸回収率
の向上、製造コストの抑制、メタノール燃料電池の普
及、周辺市町村を含めた広域のギ酸利用、興部町モデ
ルの全道および全国への展開、が挙げられる。これら
の課題の解決のために、NEDO事業の継続的な実施
に併せて、生成物の普及促進事業の実施を継続して実
施する。

脱炭素社会に向けたセクター・カップリング ー デンマークの地域熱供給・熱利用及びバイオガスの事例から ー

田 中 いずみ

(たなか いずみ)

所属：デンマーク王国大使館



profile

エネルギー・環境関連のデンマーク企業の日本進出などを支援。洋上風力、バイオマス、バイオガス、地域熱供給、電力市場、資源効率、水道など幅広い業種の企業の支援、中央政府や地方自治体との交流にも従事。カリフォルニア大学バークレー校天然資源学部環境科学・マネジメント・政策科修了、東北大学環境科学研究科博士前期課程修了。2014年からデンマーク王国大使館上席商務官（エネルギー・環境担当）。

はじめに

デンマークは九州程の面積に、人口約570万人が住む決して大きな国ではないが、気候変動、環境問題を常に重要な課題として捉え、長年に渡り世界で大きな存在感を示してきた国の一つである。過去数十年にわたり、気候変動に関してデンマークは様々な取り組みを展開してきた。その取り組みは2050年までに低炭素社会に移行すること、即ち持続可能なエネルギー源に基づくエネルギー供給を備え、温暖化ガスの排出量を大幅に削減しながら、持続可能な経済成長を成し遂げ、資源効率の良い社会を目指す、グリーンな成長を目指している。現行の法律では、温室効果ガス排出量を2030年に1990（平成2）年と比較して70%削減する目標を打ち出している。

脱炭素社会に向けた取り組みの一つが積極的な再生可能エネルギーの導入である。その象徴は2011（平成23）年に策定された「エネルギー戦略2050」で、その中でデンマークは2050年までに化石燃料に依存しない社会を目指すと言っている。既に1985（昭和60）年に原子力発電を導入しないと決定している為、即ちこの目標は2050年までに再生可能エネルギー100%を目指すという目標になる。デンマークの電力に関しては1990（平成2）年に22%だった風力発電と太陽光発電のシェアは2019（令和元）年までに、電力供給の49%を占めるまで拡

大した。しかし、電力のみならず、熱、ガス、ガソリンなどの液体燃料を含めるエネルギー・システム全体の再生可能エネルギー100%に向かつては、まだまだ多くの課題が残っている。

当稿では、デンマークにおいて、太陽光や風力などの変動性再生可能エネルギー（Variable Renewable Energy: VRE）の大量導入が進む中、セクター・カップリング¹による脱炭素社会に向けた取り組み、特に地域熱供給を主軸とする熱利用を、北海道でも議論が進んでいるデータセンターの誘致などに触れながら紹介をする。また、既に北海道でも導入されているバイオガスがセクター・カップリングにおいて果たす役割に関しても触れる。

1. デンマークが目指すエネルギー・システム

デンマークが目指すエネルギー・システムは、図1に示す形である。

再生可能エネルギーの大量導入を実現する「グリーン経済への移行」は、消費者が負担増とならない形で

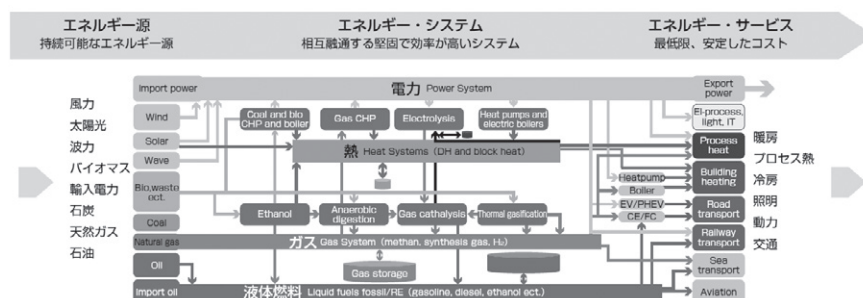


図1 デンマークが目指すエネルギー・システム

（出典）熱供給 vol.105 2018

¹ セクター・カップリング：再生可能エネルギーの割合が高まる電力部門を交通部門や産業部門、熱部門など他の消費分野と連携・融合させることで、社会全体の脱炭素化を進める社会インフラ改革の構想。

行なうことが基本方針とされている。目指すは堅固（ロバスト）で、電力、熱、ガス、ガソリンなどの液体燃料のエネルギー媒体が相互融通でき、エネルギー効率も経済性も高いエネルギー・システムである。その中のエネルギー媒体の1つとして、熱が重要な役割を果たしている。

2. 地域熱供給を軸とした熱利用

地域熱供給システムは、集中的に生産された熱（温水）を熱導管網を通じて多数の需要家に供給するものである。集中的に生産されるからこそ、バイオマス、太陽熱などの再生可能エネルギー由来の熱を生産、またある場所では価値の無い、あるいは非常に価値の低い熱、例えば産業活動による排熱などを、住宅、商業施設など熱の需要が高い場所で活用することを可能にしている。

デンマーク国全体の熱需要の約半分、エネルギー需要全体の17%が地域熱供給によって供給されている。家庭部門に限ると2017（平成29）年には約171万世帯、全世帯の64.4%が地域熱供給に接続して暖房用と給湯用の温熱が供給され、熱利用にあたって地域熱供給は重要な役割を果たしている。地域熱供給に接続している家庭には給湯器も、多くの場合暖房機器もない。コペンハーゲンなどの6か所の大規模集中型地域熱供給が、国内の供給量の56%を占める67PJ（ペタジュール）を供給しており、400か所の中小規模分散型地域熱供給が約53PJの熱を供給している。

地域熱供給の導入の主なメリットは下記3つである。

- 熱を作るエネルギー源の柔軟性
- 社会の余剰熱の利用
- 変動性再生可能エネルギーの変動の吸収

地域熱供給は風力、太陽光、工業プロセスからの余剰熱などの変動する熱源も含めて、多様な熱源に対応ができる。地域熱供給システムでは、地域の状況や価格シグナル（電力価格など）、環境への配慮に応じて、熱源を切り替えることが可能であり、需要側での切り替えの手間をかけずに供給側で熱源を切り替えることが可能である。

また、地域熱供給は太陽光や風力などの変動性再生可能エネルギーの供給の変動の吸収にも役立っている。

これに関して次の章で説明する。

社会の中の余剰熱の活用にも一躍買っている。産業分野などで発生する余剰の温熱や冷熱は大気に放出されることが多いが、地域冷暖房システムで簡単に利用できる貴重な熱源である。また、廃棄物の焼却時の廃熱も発電のみならず、熱としてのエネルギー活用も可能とする。余熱に関しては産業プロセスからの高温の熱のみならず、スーパーの冷蔵施設からの余熱、またデータセンターの余熱など、比較的低温の熱の活用も進んでいる。データセンターからの熱の活用に関しては次の章で説明する。

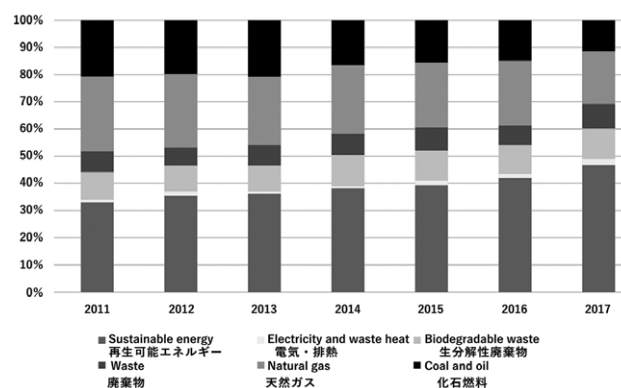


図2 地域熱供給の熱源

（出典）District Energy in Denmark, Euroheat & Powerに著者加筆

他方デメリットもある。断熱パイプを水道管やガスパイプなどのように埋設する必要がある、それには多大なコストがかかり、また熱ロスもある。しかし2050年に再生可能エネルギー100%を目指すに当たって、電気だけで成し遂げることは難しく、熱分野を活用することによって、2050年の目標に向かって着実に進んでいる。

2.1 地域熱供給の計画

デンマークの地域熱供給に関する法律は、1979（昭和54）年に制定された熱分野を規制する熱供給法（Heat Supply Act）に定められている。この法律では、地方自治体に、地域の熱計画、エネルギー・インフラに関する意思決定、熱源の優先順位付けを行う権限が与えられている。デンマーク・エネルギー庁は、法律とそれに付随するガイドラインを提供する。個々の熱

供給プロジェクトの評価と導入の決定は、地域の都市開発、熱需要、その他の関連する地域的な考慮事項について詳細な知識を持つ地方自治体によって行われている。

熱供給法の主な原則は、

- 地方自治体が、新しい熱供給プロジェクトの承認を行う
- 地方自治体は、社会経済的利益が最も高い熱供給手段を選択する義務がある
- 可能な限り、熱は熱電併給を行う
- 適正な価格で熱を供給し、事業は非営利である

また、デンマークの熱供給法では、熱供給の手段のゾーン分けを行っている。

- 個別熱源による暖房・給湯熱供給
- 天然ガス
- 分散型地域熱供給
- 集中型地域熱供給

熱供給の方法の選択は、社会経済的な費用便益分析に基づいて行われなければならない。地方自治体が適切な経済分析を行えるように、デンマーク・エネルギー庁は様々な社会経済的な前提条件に基づくガイドラインと方法論を提供している。これらの前提条件には、燃料価格、電力価格、二酸化炭素排出などの外部性コスト、金利などが含まれている。

2.2 コペンハーゲンの大規模地域熱供給

デンマークの首都であり、最大都市をカバーする「コペンハーゲン」広域では、地域熱供給が22の自治体の約100万人の住民へ温熱を提供している。ここで供給されている熱の25%は廃棄物焼却施設、70%発電設備の排熱を利用し効率的に生産されており、燃料を投じてボイラなどで作られている熱はわずか5%になっている。

2018（平成30）年に稼働開始したコペンハーゲン市内にあるアマー資源センターは、市内及び周辺自治体から年間40万トンの廃棄物を収集し、55万人分の電力、14万世帯の熱を供給する施設となっている。その施設の屋上は芝スキーやトレール・ランニングなど、市民が集う場所にすることによって、迷惑施設とされることが多いごみ焼却施設を熱発生源として熱需

要近くに立地させ、効率的に地域熱供給システムに熱を供給している。このような発電のみならず、熱を活用するwaste-to-energy（廃棄物エネルギー転換）はデンマークで多く存在する。



写真1 コペンハーゲン市のアマー資源センター
（出典）アマー資源センター

2.3 地域熱供給の電化

再生可能エネルギーは天候などの自然現象により出力が変動するため、電池や水素でエネルギーを貯める取り組みが進められているが、大規模な設備はまだ高価で、再生可能エネルギー導入にあたって電池の導入が義務付けられるなど、それが再生可能エネルギー導入のコストを上げている場合がある。デンマークでは（主に風力発電からの）余剰電力が発生し、電力価格の低下時に電力で温水を作り、それを蓄熱して、地域熱供給網に熱として供給している。即ち、電気を電気として電池に貯めると言うエネルギー貯蔵の代替として、電気を熱（温水）として蓄熱槽に貯めている。熱としてエネルギーを貯めるメリットは電池で貯めるよりエネルギー効率が高く、コストも抑えられることである。地域熱供給は再生可能エネルギーの大量導入にあたって重要な役割を果たしている。

熱電併給（コジェネレーション）設備を所有する地域熱事業者は売電価格を見ながら、天然ガスやバイオマスボイラの稼働の調整を行う。売電価格が高い時にはボイラを稼働させ、熱は蓄熱設備に貯めておき、売電価格が低い時は停止させ、蓄熱設備から熱供給を行

う。電気ボイラと大型のヒートポンプを活用し、余剰電力の有効活用が進んでいる。

2.4 データセンター

デンマークはGoogle、Apple、Facebookのデータセンターの誘致に成功している。その理由はデンマークを取り巻くエネルギー状況に起因するものが多く列挙されている。

- 平均停電継続時間指標（SAIDI）99.997%と80%の電線が地中化されている信頼性の高い送電網
- 一年中低エネルギーの冷却を可能にする温暖な気候
- N-1^{*2} 132 / 150kV電源で利用可能な低リスクサイト
- 再生可能エネルギーの比率の高さ
- 地域熱供給での廃熱の利用
- 低レイテンシ^{*3} & 優れたファイバーコネクティビティ
- 建築許可スピード、ヨーロッパ第一位
- ドイツ市場に非常に近い

デンマークが提供できる上記条件は、再生可能エネルギーの利用や省エネルギーへの意識が高い企業に向けて、廃熱利用による天然資源の保護、二酸化炭素排出量削減、全体的なエネルギー効率の向上など好条件を持って誘致活動を行ってきた。

また、データセンターからの廃熱を地域熱供給の熱源として販売することが可能となり、地球環境保護の観点のみならず、二次ビジネスとしての魅力をアピールすることができた。

データセンターを誘致することによって、雇用の創出はもちろん、データセンターを運営する事業者によ

る利用分のエネルギーに合わせた再生可能エネルギー導入に向けた投資、近隣の大学との共同研究など、立地地域には大きな恩恵をもたらしている。

2.5 ドロニンググルンの太陽熱収集と季節間蓄熱

日本に比べるとデンマークの日照条件は悪いが、太陽熱と季節間蓄熱を活用した地域熱供給が増えている。その1つの例がドロニンググルン地域熱供給で、37,573平方メートル太陽熱収集プラントに相当する2,982個の太陽熱収集パネルで構成されている。また、溶接されたライナーと断熱された蓋で形成された62,000立方メートルの池のようなピット型の大規模な季節間蓄熱槽も併設されている。季節間蓄熱槽は夏から冬にかけてエネルギーを熱（温水）として蓄える。夏場は、1日の熱需要の10倍の熱を作り出し、余った熱は季節間蓄熱槽に蓄えられる。これにより、5月から10月までは太陽熱のみで、年間を通じて太陽熱で熱需要の40～50%をカバーしている。なお、冬季には、天然ガスやバイオオイルで熱供給を補う。太陽熱を活用することによって燃料費の節約に繋がり、1世帯あたり年間約2トンの二酸化炭素排出量が削減されたと同時に、熱料金の20%削減にも繋がった。



写真2 ドロニンググルン太陽熱収集（奥）、季節間蓄熱槽（手前）

（出典）日本語版デンマーク地域熱供給白書

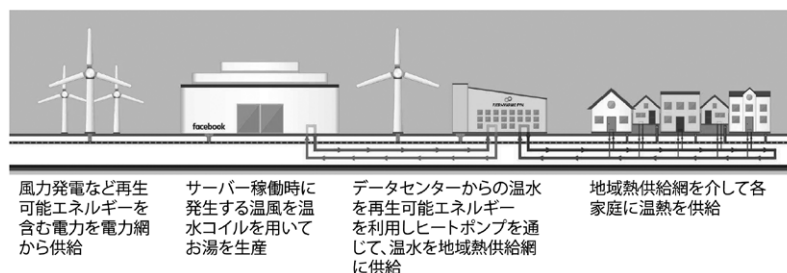


図3 データセンターと地域熱供給

（出典）Invest in Denmark

*2 N-1基準：1本の送電網が故障した場合でも電気とほかの送電線に流してカバーできるようにする仕組み

*3 低レイテンシ：遅延時間がほとんどない接続

3. バイオガス

3.1 天然ガス供給網のグリーン化

デンマークでは家畜ふん尿や農業や家庭などから排出される有機廃棄物をバイオガスとして処理し、リン、窒素などの栄養分の循環を促し、オーガニック農業を含めた良質な肥料を活用した農業と、再生可能なエネルギーの供給を推進している。

デンマークは北海油田からの国産の天然ガスの生産があり、国内の天然ガス供給網が充実している。バイオガスは天然ガスに取って代わることができる再生可能エネルギーであり、バイオガス・プラントで処理されるのは下水汚泥、産業・農業・家庭などからの有機廃棄物である。バイオマス由来の再生可能エネルギーという観点の温暖化への対策のみならず、管理されず放置された有機廃棄物の発酵による温暖化ガスの排出を阻止する手段としても有効である。

他国ではバイオガス生産におけるエネルギー作物が大きな役割を果たしている場合があるが、デンマーク・エネルギー庁はバイオガスの生産におけるエネルギー作物の量を規制していて、投入原料のエネルギー作物が占める割合が25%を超えることはできない（実際のエネルギー作物の活用は10%になっていない）。これはデンマークではバイオガスはあくまでも栄養分の循環、廃棄物の処理の一環であるという観点を重視しているからである。デンマークでのバイオガスの生産は急速に増加していて、総生産量は2012（平成24）年から2020（令和2）年にかけて3倍以上になり、年間総生産量は15PJに達すると予測されている。当初はバイオガスの大部分は熱電併給に使用されてきたが、最近ではアップグレード（改質）され天然ガス網に供給されている。2030年にはバイオガス由来が天然ガス網に占める率25%を目指していて、2019（令和元）年には年間平均10%、夏のピーク時には25%を実現している。

天然ガス網を管理・運営をしているEnerginetは、天然ガス網に注入されるバイオガスに対してグリーン証書を発行しており、これは市場で売買されている。バイオガスに対する公的支援は、発電、天然ガス網に供給されたバイオガス、産業プロセスで使用するバイオガス、輸送用燃料としてのバイオガスなどに対して

提供されており、当初は2020（令和2）年中に終了すると言われていたが、バイオガスの重要性が改めて認識されたこともあり、今後現スキームの延長もしくは新たな施策が展開される予定。同時に2019（令和元）年11月から2022年夏までデンマークとスウェーデンに天然ガスを供給している北海油田2か所のうちの1か所のTyraがオーバーホールに入っていることから、天然ガス網のグリーン化のみならず、安定供給という観点からもバイオガスが注目を浴びている。

3.2 麦わらが表すエネルギー・システムの柔軟性

第一章で紹介したデンマークが目指すエネルギー・システムの柔軟性を示す事例として、麦わらのエネルギー利用方法の変貌を紹介する。もともと麦わらは燃焼して、熱もしくは熱と電力の供給に活用されてきた。しかし、風力発電が増えることで余剰電力が増え、電力価格が下がる又は、ネガティブ・プライスになる時間帯ができることによって、電力を使った蓄熱、熱供給が増えた。麦わらはメタン発酵係数が高い点が注目され、バイオガスからは電力・熱を作るだけではなく精製（アップグレード）して天然ガス網に注入されることが多くなり、追々はバイオガス車やバイオガス・フェリーなどにも活用される、またガスの貯蔵は電気や熱よりも更に安価で効率よくできる。このようにデンマークでは、余剰電力の増加に対応し、麦わらから電気・熱を生産することからメタンガス生成に切り替え、エネルギー部門と（バイオガス車やバイオガス・フェリーを念頭に置き）運輸部門のセクターカップリングの実現に向けて進んでいる。



写真3 地域熱供給プラントの麦わらのストック
（著者撮影）

3.3 消化液の活用

バイオガスの副産物である消化液の利用は重要な課題であり、デンマークでも様々な規制が設けられている。消化液は基本的に、家畜排せつ物を提供した畜産農家へ返却され、農地に施肥されている。

酪農、養豚を中心とする畜産国として知られているデンマークであるが、飲料水を地下水に全面的に依存していると同時に、塩素殺菌はせずに簡単なフィルターによる処理しかしていないことから、窒素などの栄養分の地下水への流出には最大の注意が払われている。

家畜排せつ物の活用が適切に行われるよう、飼育頭数が耕地面積によって規制があり、消化液を散布できる期間も制限されている。一方消化液の活用をより促すためにも、有機（オーガニック）栽培として認定されるには、ふん尿の直接散布ではなく、消化液としての散布が求められている。

消化液は家畜排せつ物を提供した畜産農家に返還されるが、その取引には栄養分が考慮されている。畜産農家が提供する家畜ふん尿の質を向上させるために受け入れるプラント側では、乾物含有量が高く、窒素含有率が高い家畜ふん尿に対してボーナスを提供している。一方、持ち込んだ家畜ふん尿の窒素含有量が、返還される消化液中の窒素含有量を上まわっていた場合、プラント側が窒素が減った分を支払いによって補填するなど有価物としての取引が徹底されている。

おわりに

2050年に再生可能エネルギー100%を目指すデンマークが、再生可能エネルギーの導入を促進する取り組みに関して、特に熱分野とバイオガスに関わる取り組みのほんの一部を紹介した。北海道においても、今後洋上風力などの変動性再生可能エネルギーが増える中、余剰電力の活用方法として、都市部では他の日本の地方よりも比較的馴染みがある地域熱供給の活用、また既に導入が進んでいるバイオガスの活用に関して、何か参考になる情報があることを願う。地域熱供給に関しては参照資料以外にも下記の資料も勧めたい。

参考文献

- ・ 日本語版デンマーク地域熱供給白書
<https://stateofgreen.com/jp/publications/%e5%9c%b0%e5%9f%9f%e7%86%b1%e4%be%9b%e7%b5%a6/>
- ・ 第4世代地域熱供給4DHガイドブック
<https://www.isep.or.jp/4dh-forum/4dh-guidebook>
- ・ 熱供給 No.105-107 2018
https://www.jdhc.or.jp/wp-content/uploads/2018/06/DHC105_web.pdf など
- ・ 家畜排せつ物のメタン発酵によるバイオガスエネルギー利用
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/2020_sympo_asai.pdf

脱炭素社会の実現に向けた市民参加の取り組み

ー北海道グリーンファンドの取り組みについてー

小 林 ユ ミ

(こばやし ゆみ)

所属：特定非営利活動法人北海道グリーンファンド

profile

1993（平成5）年4月より生活クラブ生活協同組合に入職、環境・エネルギーに関する組合員活動に担当職員として関わる。退職後、2001（平成13）年6月から北海道グリーンファンドに勤務。2021（令和3）年9月より事務局長。



はじめに

北海道グリーンファンドは、1999（平成11）年7月に設立し、今年で活動開始から22年目を迎えた。設立趣意書には、冒頭、現代社会のエネルギー多消費が地球環境に危機的影響を及ぼすと警鐘を鳴らし、このような危機から回避するための社会とは、「社会全体でエネルギーの消費を抑制、削減し、自然エネルギーの利用を大胆に進める社会であり、そういう社会をつくるために市民によるエネルギーづくりを実践しよう」と呼び掛けている。また、後述する2つの事業（省エネ・自然エネ）を活動の中心に据え、地球温暖化もない、原発にも頼らない持続可能な社会を、市民自らの手で創り出していくために北海道グリーンファンドの設立を宣言している。

北海道グリーンファンドはこの趣意書にあるとおり、原発に頼らず、省エネと自然エネルギーで地球温暖化の防止をめざす活動を開始し、今も続けている。事業は大きく2つある。一つは「グリーン電気料金制度」というもので、北海道グリーンファンドが電力会社に代わって会員の電気料金を徴収し、その際、電気料金に上乗せした電気料金5%分の寄付を再生可能エネルギーのための基金にすること。もう一つは、この基金で、市民の手による自然エネルギーの発電所（市民共同の発電所“市民風車”）をつくることである。

本稿では、北海道グリーンファンド設立の経緯と脱炭素社会に向けた省エネルギー・自然エネルギーの普及啓発活動を、どのように市民参加で取り組んでいるのかをまとめた。

1. 北海道グリーンファンド設立の経緯

1.1 生活クラブ生協と脱原発運動

北海道グリーンファンドの設立のきっかけ、原点は生活クラブ生活協同組合（以下、「生活クラブ」という）の脱原発運動にある。生活クラブの脱原発運動取り組みは、1984（昭和59）年頃に浮上した北海道幌延町での高レベル放射性廃棄物の貯蔵施設の計画と、1986（昭和61）年4月26日に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故がきっかけとなっている。とくにチェルノブイリ原発事故では、日本国内の食品の放射能汚染も問題になり、1987（昭和62）年には生活クラブで取り扱っていた無農薬のお茶から、自主基準値以上の放射能が検出され、全量廃棄するという事態となり、組合員に衝撃を与えた。このことをきっかけに生活クラブでは、生協を上げての脱原発運動が始まった。

北海道では稼働を控えた北海道電力の泊原子力発電所1号機、2号機があり、これに対して「泊原発の可否を問う道民投票条例を求める」直接請求運動が行われた。生活クラブは労働組合等とともに代表団となり、様々な市民団体等も先頭に立ち、100万筆の署名を集めた。これは当時の北海道の有権者のおおよそ1/4の筆数であり、それは大きな市民の意思であり勢いがあった。しかし残念ながら、道議会ではわずか2票差で否決となり、住民投票は叶うことはなかった。

1.2 自分たちでエネルギーをつくる

直接請求が否決され、泊原発が稼働した後も、生活

クラブ、労働組合、市民団体などでは、集会、学習会、抗議活動などを中心に運動は継承されていた。しかし、1990年代に入ると運動への参加者は徐々に減り、それは生活クラブでも例外ではなかった。こうした状況の中、1996（平成8）年7月に泊原発3号機増設計画が公表された。それまでも電力会社に抗議や申し入れを続けていたが、それだけで原発を止められるのか、社会を変えていけるのか、運動の質的転換の必要性を感じる中で、もっとエネルギーのことを学ぼうと生活クラブで議論が進められた。

例えば1997（平成9）年11月、COP3（気候変動枠組条約第3回締約国会議：京都会議）を目前にしたEUでは、「再生可能エネルギー白書」を発表し、2010（平成22）年までに10兆円投資し、経済と雇用をリンクしながら自然エネルギーの割合を倍増させるという目標を打ち出していた。また、1998（平成10）年には、ドイツで連合政権が脱原発政策を打ち出し、スイスも実質上原子力から離脱することを閣議決定した。やがて原発がゼロになることを見据え、脱原発と表裏一体でパッケージされた政策には自然エネルギーの普及があった。更に欧米の電力事業者は多様なグリーン料金制度、電源選択型グリーン電力メニューを普及させ始めていた。電力業界も世界的な電力市場の再編の流れを受けて、各国は発電事業と送配電事業を分離し、隠れていた発電コストを明確化することで高コストの原発が市場から退場を余儀なくされていた。

一般消費者である組合員が、膨大な専門資料と向き合い、学習会と会議を重ねて得た知識を背景にして、消費者として電気のオルタナティブをつくることはできないか、さらに議論を重ねた。生活クラブでこれまで多くの食材を産地と協働で開発してきたように、ほしい電気をつくり、その電気を共同購入する。市民自らが電力事業に参加し、オルタナティブを実践する運動スタイルへ、この考えがグリーン電気料金制度につながった。

1.3 グリーン電気料金制度とは

グリーン電気料金制度とは、月々の電気料金に、5%の「グリーン料金」を加えた額を支払い、グリーン料金分を自然エネルギーの普及のための「基金」にす

るという仕組みである。例えば、電気料金が10,000円とする。生活クラブは電力会社（北海道電力）からの請求通知に基づいて、5%のグリーン料金を上乗せした10,500円を、共同購入している食品などと併せて一括して組合員に請求する。組合員はその請求額を口座引き落としで支払う。生活クラブは集金した電気料金のうち10,000円を電力会社を支払い、グリーン料金を北海道グリーンファンドに拠出する。スタート時はこのように生活クラブの共同購入システムに組み入れ、組合員の共同購入代金と一緒にグリーン電気料金を徴収する仕組みとした。

共同購入代金の請求明細には、牛乳、卵、豚肉等、購入した品目と並び「〇月分電気料金」と「グリーン料金（5%）」と記載された。そうすることで組合員に節電や再生可能エネルギーへ関心を高めてもらうこと、地域独占のため選んで買うことができない電気も、実は「商品」だということを意図的に示している。

グリーン料金を5%の定率払いにした理由は、環境保全のために必要なコストを、応分に負担し合おうという考え方からである。つまり、エネルギーを使っている量に応じて負担し合おうということだ。もちろん、グリーン料金分を省エネすることで相殺すれば、これまでの電気料金とかわらず、その分だけ環境負荷を下げ、環境保全に貢献したことになる。そして、ひとりひとりのグリーン料金分を基金として、自然エネルギー発電所づくりに運用し、売電事業に参入する。

このグリーン電気料金制度の仕組みは、電力需要の削減と自然エネルギーの普及という2つの課題を、意思ある市民が個人レベルで同時に達成できる一石二鳥のシステムである。こうした個人の意思に支えられた取り組みが継続して行われ、より多くの市民の参加を作り出していくためには、具体的で、わかりやすく、誰もが参加できる仕組みであると同時に、より簡便で、合理的なシステムに埋め込む必要があった。そこで生活クラブでは、灯油の共同購入をヒントに、「灯油」を「電気」に置き換えて検討した。その結果、組合員はこれまでの口座振替による電気料金の支払いと変わらずに、手を煩わせることなく、北海道グリーンファンドに参加することができるようになった。

このような仕組みができたのも、生協ならではのとい

える。こうしてグリーン電気料金システムは、まず生活クラブで1999（平成11）年4月に先行実施をはじめ、同時進行で基金の運用管理を担う北海道グリーンファンドの設立と北海道すべての市民が参加できるように、生活クラブとは別のシステムの立ち上げを行った。全道市民を対象としてスタートしたのは、北海道グリーンファンド設立から半年後の2000（平成12）年1月からである。

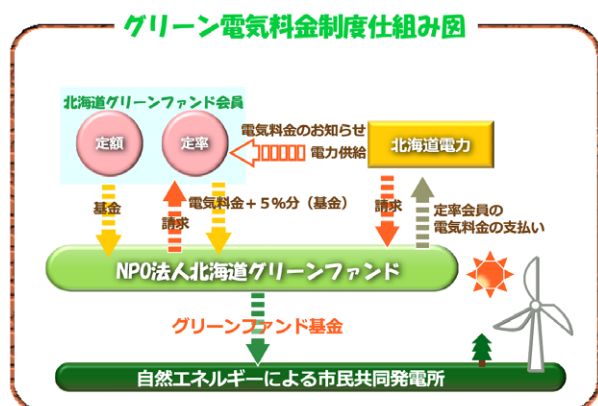


図1 グリーン電気料金制度仕組み図

2. 北海道グリーンファンドの取り組み

2.1 省エネルギー普及啓発活動

北海道グリーンファンドは、グリーン電気料金制度と市民共同の発電所づくりを主な事業としてスタートした。前述した通り、グリーン電気料金制度では電気料金の5%のグリーン料金を上乗せして支払うことになる。グリーン料金分を省エネすれば、これまでの電気料金とかわらない。省エネに取り組む理由は5%分の節約、それだけではない。自然エネルギーを増やすことで、化石燃料から排出されるCO₂は削減されるが、まずエネルギーを効率的に使うことで、必要とするエネルギー自体を減らしていくことが大事だと考えている。省エネが進めば、電気代も減り、拠出される基金も減るが、参加者を増やせばよいことだ。省エネルギーと自然エネルギーはどちらか一つを進めればよいのではなく、両方取り組む必要がある。北海道グリーンファンドでは、主な会員である家庭向けの省エネルギーの普及啓発活動を開始した。

最初の取り組みは「環境家計簿」だった。電気やガスなどの使用量を家計簿のように記録し、前年同月等との比較をしながら、家電製品の使い方などの工夫な

ど情報提供した上で、どの程度、エネルギー消費を減らすことをできるか、3ヶ月間チャレンジする「誰でもできるよ 消費電力削減 G-File」という取り組みだ。この取り組みで、待機電力カットや省エネ家電を利用することで、我慢や強制ではなく、楽しく、ゲーム感覚、無意識でも効果の高い省エネができることが実証された。また、地域の電機商業組合の協力を得て実施した「省エネ電球モニター220キャンペーン」も行った。これは電球を省エネタイプに無料で交換するというもので、電球の引換を「まちの電気屋さん」で行うこととした。その際、購入時の価格だけではなく、使用時の電気代（消費電力量、CO₂排出量）も、商品選択時の重要なポイントになることを店主・店員から直に伝えることにより、電球交換による省エネ・節約をそれぞれが実感し地球温暖化について考える機会とした。他にも住宅の断熱、機密などの省エネ性能についての展示やミニセミナーの開催。近年では異常気象の多発などを踏まえた防災と省エネをテーマにした講演会を各地で開催している。地球温暖化や省エネルギーなどの情報をまとめたテキストも発行しており、小学校など教育現場からの要請に応じて、理事が講師として特別授業に対応している。



写真1 エコと防災イベントの様子

2.2 自然エネルギー普及啓発活動

自然エネルギーを広げるための啓発活動も行っている。主に自然エネルギーの普及が進む海外のエネルギー政策、国内外の導入事例などを学ぶため、国の機関や研究者、事業者を招いた講演会や現地見学ツアーを企画し、会員、市民向けに開催している。北海道は風力発電に適した風が吹く、風力の適地であるといわれている。北海道の広い大地には太陽光発電に適した地

域も多くあり、冷涼な夏は本州よりも発電量が増すといわれている。水力、地熱、木質バイオマス、畜産バイオガスなどの資源も豊富で、まさに北海道は自然エネルギー王国だ。こうした自然エネルギーを地域で活用し、地域の経済、地域の暮らしを豊かにする地域主導の発電所づくりについても、一般社団法人全国ご当地エネルギー協会などの仲間たちとともに全国各地に情報を発信している。

また、グリーン電気料金制度の基金を基に設置した市民共同の発電所「市民風車」では、地元の小中学校からの見学を積極的に受け入れ、地球温暖化の状況、その対策としての自然エネルギーの役割と、地域の可能性、市民風車が示す私たち市民ひとりひとりができることを伝えている。こどもたちから地球温暖化の現状を心配、不安視する質問もある。我々はいますぐ温暖化の影響をゼロにすることはできないが、影響をできるだけ少なくするため、今できることが何なのか、それをどのように実行しているのか、こどもたちと共に考え、学ぶ場として、市民風車を活用した環境教育を実践している。



写真2 親子対象風車見学の様子

3. 市民風車の取り組み

3.1 市民風車1号機「はまかぜ」ちゃん誕生

グリーン電気料金制度から拠出される「基金」の具体的な運用については、いろいろなことが考えられたが、まずは、この取り組みのシンボルとして、市民共同の風力発電所の建設をめざした。風力発電を選んだ理由は、自然エネルギーの中ではトップランナーの経済性（市民事業としての現実性）があること。北海道は風力発電の適地であり、エネルギー・システム変革の手段としての発電電力量の大きさも理由として挙げ

られる。当時、自然エネルギーの必要性を訴えても、「役に立たないおもちゃ」と言われ相手にされることはなかったため、自ら実践することで、その存在価値を示そうという狙いがあった。

北海道グリーンファンドの当初の計画では、市民風車1号機を2000（平成12）年10月に運転開始する予定で、具体的な準備を続けてきた。しかし、当初の風車を建てる予定地では、北海道電力との系統連系協議により電圧を保護する装置に莫大な費用が掛かることが判明し、代替地を探して奔走することになった。また、事業の前提としていた国の補助金は、規模要件が1,500kW以上になり対象にならないなど、事業スキームには適さないと判断し、これも見送った。

こうした状況下、北海道電力は、2000（平成12）年11月に風力発電からの電力購入を15万kWに制限する措置を発表した。この枠に入らなければ、次にいつ、北海道内で風力発電事業を実施できるか分からない。急ぎ北海道浜頓別町での実施を決断した。付近で風力発電事業を計画している事業者の協力を得られることが大きな要因にもなった。北海道電力との技術的協議において、接続可能との回答を受け取り、当初計画より1年遅れて事業計画はスタートした。

建設資金については、補助金の活用を見送ったことで、一から見直すことになった。その当時、手元にはグリーン電力制度による基金が約1,000万円あり、これを元手に融資を受ける予定でいた。しかし、どこの金融機関をまわっても、「NPO法人」自体ができたばかりの制度に加え、実績のない北海道グリーンファンドに与信はなく、借入先が決まらずにいた。いま思えば当たり前の状況であったが、当時はそれすらもわからず、金融機関を回り続けた。その後、建設費の3割くらいの自己資金があれば、話を聞いてあげてもいいという銀行が一つだけ出てきた。風車建設には2億数千万円がかかるため、その3割だと6,000～7,000万円の資金が必要となる。理事一人一人が出資に参加し、友人・知人にも声を掛けていき、出資の話しが徐々に広まっていった。多くの人から出資を募るためには、その契約関係も整理が必要だった。専門書を読み漁っても、素人には理解できない。伝手や紹介を頼りにその著者の弁護士や専門家を訪ね歩いた。金融機関でも

証券会社でもないNPOが、不特定多数の市民から資金を調達するという新しい仕組みをつくるために、多くの専門家たちの仕事の域を超えた協力があり市民出資の仕組みができた。出資の受け皿となる株式会社を設立し、一口50万円の市民出資を引き続き募った。5人、10人と自主的にグループを組み出資に参加する方々もいた。集まり始めると新聞にも報道され、最終的に1億4150万円の出資を集めることができた。

こうして市民風車1号機「はまかぜ」ちゃんは、2001（平成13）年3月に無事着工し、同年9月に運転開始することができた。2019（令和元）年には市民出資も計画通り償還することができ、今年9月に無事二十歳を迎え、いまでもオホーツクの風を受け、元気に発電している。



写真3 「はまかぜ」ちゃん誕生日ツアーの集合写真

3.2 各地に広がる市民風車

「はまかぜ」ちゃんの運転開始が報じられると、「市民風車」を設置したいという地域の声が、北海道内外から寄せられるようになった。そこで「はまかぜ」ちゃん建設時に設立した(株)市民風力発電が各地の風力開発、風車の運転保守管理、地域活性化支援を行うようになった。この20年間で手掛けた風車は38基に広がり、このうち22基が市民出資によるもの（出資者約4,400人、出資総額約28億円）、残りは生協など企業とのコラボ風車となっている。

2012（平成24）年7月にスタートした「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FIT法という）」によって、日本の自然エネルギーの導入量は大きく躍進した。大手企業だけではなく、これまで発電事業に縁のなかった中小企業、市民・地域主体による事業も確実に増えた。こうした

裾野の広がり、同制度の成果の一つでもあり、地域全体で再生可能エネルギーを押し上げていく原動力にもなった。なお、FIT制度改正のプロセスにおいては、規模別やタイプ別の買取価格の設定をきめ細かく設定する必要があるといった意見が採用されることはなかった。例えばドイツで一部行われるような、入札にあたり社会的合意形成などの観点から地域での所有（オーナーシップ）や利益配当などを重視した「ご当地性」を参加条件にするなど、一定の「ご当地」枠を設けて、設備の認定や系統接続などを優先的に行うことができたなら更に多くの地域主体の事業が生まれたはずである。

自然エネルギーには、気候変動対策やエネルギーといった環境だけではなく、地域の活性化、地場産業の育成、地域課題への事業収益の活用など地域が抱える様々な課題を包括的に受け止め、検討していくための力にもなる。国は脱炭素をすすめ、「再生可能エネルギーの主力電源化」「再生可能エネルギーを最大限導入」をめざすとしており、今後も市民風車のような事業を各地で展開できるよう、各地域と協力していきたい。

3.3 地域と共に 厚福丸・あい風未来

石狩市に最初に設置した市民風車は、石狩湾新港地域に2005（平成17）年2月に稼働した「かぜるちゃん」と「かりんぷう」だ。愛称は当時、市内の小学校に通う児童によって命名された。同地域には2008（平成20）年2月「かなみちゃん」、2018（平成30）年12月には、石狩コミュニティウインドファーム・レラくる（7基）が運転を開始している。「厚福丸」と「あい風未来」は、そこから北に離れた石狩市厚田区に2014（平成26）年12月から運転を開始している。

厚田区での風力発電事業は、FIT法に基づいて一般電気事業者等に売電するものとして計画した。風車立地点及びその周辺はリゾート開発が破綻した後、旧厚田村が取得した土地で、石狩市と合併後は、森づくりに関する構想がまとめられ、魚付きの森として植樹活動も行われている。地域の風の資源を活用した事業として、収益の一部を地域に還元することで、地域の活性化に役立てることができないか。30年、50年先を

見据えた森づくり構想に対して、何か寄与することはできないか。事業計画を策定するなかで、地域還元のスキームについての協議・検討を行った。

地域還元の方法は複数考えられたが、売電収入の一部を石狩市がこのために制定した「石狩市環境まちづくり基金条例」の基金に拠出することとした。拠出金は売電量に応じて変動はあるが、毎年6百万円程度になっており、FIT法で定める売電期間20年間実施する予定である。石狩市はこの基金を市全体の環境保全及び自然保護に関する施策を推進するために活用している。

風車を設置した厚田区においては、人口減少、少子高齢化といった課題もある一方、地域を活性化する取り組みが地域の方々によって行われていることが分かった。森林づくりを通じた環境保全、スポーツ・食を通じた地域振興、移送・除雪サービス、厚田の歴史・文化のPR活動、水彩画展の開催、厚田らしさにこだわった商品開発販売、伝統芸能の継承活動、こどもたちの学習支援、漁港の賑わいづくりなど。限られた人数、予算のなか、話し合い、支えあいながら、厚田の魅力を発信し、続けている活動を同じ厚田で事業を営む者として共に支えていきたい。厚田の風車への出資募集を行う際、地域活性化への取り組み支援を行うことを決め、配当利益の1%程度の寄付を運転開始の1年後からスタートした。これまで支援をさせて頂いた団体は延べ48団体となった。

「あい風」とは、豊漁、豊作をもたらす風だという。「厚田に幸福をもたらす風が吹き、皆が丸く仲良く暮らせるように。」こどもたちが名付けた2基の風車「あい風未来」と「厚福丸」には、そんな願いが込められている。ふるさと厚田の風車として、10年、20年と、地域と共に歩む風車でありたい。



写真4 市民風車「あい風未来」「厚福丸」

おわりに

今年8月に公表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書第1作業部会報告書(自然科学的根拠)において「人間の影響が大气、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。」と断定された。また地球温暖化の影響も、最近「気候危機」と言われるほど、深刻さを増している。いま世界を見渡すと、各地で山火事、豪雨、熱波などの災害が発生している。オーストラリアでは2019(令和元)年～2020(令和2)年に北海道の10倍の面積に相当する大規模な森林火災が発生した。約3,000戸もの家屋と数千のビルが焼失し、動物生態系への影響も甚大で、コアラはその生息数の3分の1に相当する個体が死亡した。世界野生保護基金(WWF)は、この火災で30億匹以上の動物が死亡または生息域を失ったと発表した。同年10月にはアメリカ・カリフォルニア州の森林火災が発生し、6万人以上が避難指示を受け、数千戸の住宅が焼失している。2021(令和3)年も、アメリカ、カナダ、ロシア、ギリシャ、トルコ、アルジェなどで大規模森林火災が発生しており、森に住む生きものたちの命だけでなく、森で暮らしてきた先住民や近隣の住民たちも生活の場が奪われた。

アジアでは豪雨災害が頻発している。インドネシア、中国、バングラデシュ、そして日本でも豪雨など極端な異常気象の増加傾向にあり、毎年各地で気象災害が起きている。暑さによる熱中症の死者、救急搬送数の増加も深刻で、記録的猛暑だった2018(平成30)年7月には、1ヵ月の熱中症による死者数が過去最悪の1,000名に上ったと報告された。気候危機は狭い意味での環境問題ではなく、命と暮らし、人権、平和の問題であり、脱炭素社会に向けて国、自治体のみならず、私たちの生活と地域社会の形と仕組みを大きく転換していくプロセスがはじまっている。

北海道グリーンファンドでは、今後も市民風車の取り組みを一層広げ、脱炭素社会の実現に貢献していく。それと共に、酪農家の家畜ふん尿処理の一助になる畜産バイオガス、北海道開拓期に多く活用された小水力発電、地域の未利用材を活用した木質バイオマスの熱利用など地域にある資源を活かし、地域経済の循環、活性化に資する取り組みをひろげていきたい。

再生可能エネルギー施設の立地の法的問題について ー石狩市風力発電ゾーニング計画策定過程を参照してー

菅 澤 紀 生

(すがさわ のりお)

所属：弁護士・すがさわ法律事務所

profile

中央大学法学部卒業、Lewis & Clark Law School環境法LLM修了、北海道大学法学研究科博士後期課程在籍中。2000年弁護士登録（札幌弁護士会）。日弁連公害対策環境保全委員会委員として、主として土地利用問題を研究してきた。札幌市開発審査会会長、石狩市環境審議会前会長、北海道公害審査会元委員。



はじめに

再生可能エネルギーの生産設備（以下「再エネ施設」という。）は、風力発電の風車であったりメガソーラーであったり大型のことが多い。山林の開発やバードストライクなど動植物への影響のほか、超低周波や土砂崩れの懸念、さらには景観問題など近隣住民への影響もある。そのため、全国各地で反対運動があり、一部には公害審査会への申立や訴訟提起もある。現在、日本には再エネ施設の立地の適正化を図る法律はなく、風力発電施設について環境影響評価法に基づくアセスメント手続があるのみである。後述する石狩市のように複数の自治体が環境省の呼びかけに応じ風力発電施設のゾーニングマップを策定しているが¹、これらも本来の意味でのゾーニング規制とはなっていない。

筆者は2021（令和3）年春まで、石狩市環境審議会委員及び会長として10年間、風量発電施設の環境影響評価手続に関わった。また2019（平成31）年3月同市が策定した風力発電ゾーニング計画には、2017（平成29）年8月から検討委員会委員長としてその策定過程に参加した。そこで以下、石狩市の風力発電ゾーニング計画策定状況を紹介し、その上で、再エネ施設立地の法的課題を整理する。



図1 市内等の風力発電事業の状況（既設及び建設・計画中 平成30年12月1日時点）
（石狩市風力発電ゾーニング計画書より）

¹ 環境省・環境影響評価情報ネットワークでは、各地の風力発電等に係るゾーニング導入可能性検討モデルを列記している。
http://assess.env.go.jp/3_shiryuu/3-1_government/reportdetail.html?category_1=01&category_2=01,02,03,07&sort=desc&sortfield=yearmonth&limit=100&offset=0&getcountunlimited=false&keyword=&max=177&page=govreport&year=&year_before=&year_after=&tag=&overseas=false&kid=11

1. 石狩市風力発電ゾーニング計画

1.1 同計画の目的及び内容

石狩市は、電力の大消費地である札幌市の北に隣接し、送電網も整備され、工業団地として整備された空き地も多いことから、多数の風力発電施設が設置され、さらに計画されている（図1参照²⁾）。

多数の環境アセスメント手続に対応しなければならない状況にあった石狩市は、環境省の呼びかけに応じ、2017（平成29）年度から風力発電ゾーニング計画策定に着手し、2019（平成31）年3月、同計画を策定した³⁾。

そもそもゾーニングとは、アメリカの都市計画の法的な用語であり、この地域はこうした建物が建てられるが、これ以外は建てられないという地図形式による立地規制を意味する。日本では、都市計画法上の用途地域（第一種低層住居専用地域～工業専用地域の13種）がこれにあたる。

石狩市の同計画は、ゾーニングという名称ではあるものの、ここには設置できる、ここにはできないといった立地の規制ではない。そもそも風力発電施設設置について、石狩市に許認可権限があるわけでないので、直接のゾーニング規制はできない。できるとすれば、景観法に結び付けるなどして間接的に強制力を持たせる手段があり得るくらいのところであるが、こうした規制手法は取られなかった。

石狩市自身が明言するのとおり、同計画は、「環境アセスメントの実施に先立ち、事業者が事業企画立案段階前に適正な立地及び規模等を検討するための情報や環境アセスメントの円滑化に資する情報提供を目的としている」⁴⁾。

石狩市風力発電ゾーニングの内容は、海域も含めた石狩市全体を、表1のとおり、生活環境、自然環境の保全上重要な地域や、各種関係法令等による保護地区

や規制区域など調整が必要な「環境保全を優先すべきエリア」を赤、先行利用者との調整（合意形成）や十分な環境保全措置を講じる必要性が高い「調整が必要なエリア（A・B・C）」を橙～黄（図3）、「導入が可能なエリア」を緑と塗り分けている。

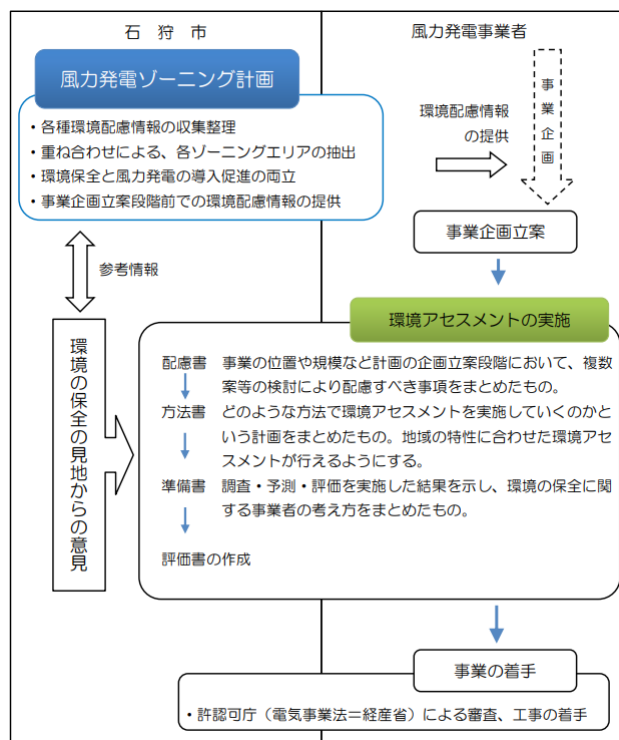


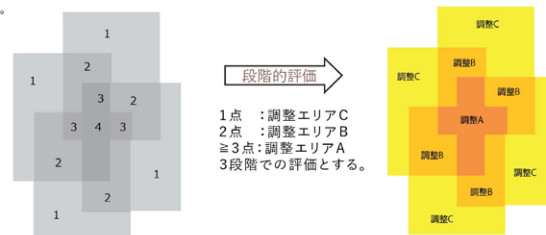
図2 風力発電ゾーニング計画の位置づけ
（石狩市風力発電ゾーニング計画書より）

表1 ゾーニングエリアの種類

エリアの種類	考え方など
環境保全	生活環境、自然環境の保全上重要な地域や、各種関係法令等による保護地区や規制区域などの「環境保全を優先すべきエリア」
調整 (A・B・C)	先行利用者との調整（合意形成）や十分な環境保全措置を講じる必要性が高いなど「調整が必要なエリア」 課題の数（レイヤー数）に応じて更に段階的な評価を行う。
導入可能※	他のエリアより調整を要する課題が比較的に少ない「風力発電の導入が可能と考えるエリア」

（石狩市風力発電ゾーニング計画書より）

調整レイヤーは1つの課題ごとに1レイヤーとし、課題ごとの重み付けは行わず、すべてのレイヤーを平等の評価（1点）とする。



例：景観資源と重要種の生息場、漁業権区域と水深など

調整レイヤーの重なり数（点数）

調整エリアの多段階評価（案）（ABCの3段階）

図3 調整エリアの考え方

（石狩市風力発電ゾーニング計画書より）

²⁾ 同計画策定時点では予定されていなかった再エネ海域利用法に係る洋上風力発電については後述する。

³⁾ 石狩市のホームページには、ゾーニング計画の内容だけでなく、策定過程についても詳細に掲載されている。<https://www.city.ishikari.hokkaido.jp/soshiki/kankyō/35738.html>

石狩市のゾーニングマップ自体は、WebGISの形式で、閲覧することができる。<https://gis.city.ishikari.hokkaido.jp/gis/ishikariweb/guide/sub1-5.html>

⁴⁾ 平成31年3月石狩市「風力発電ゾーニング計画書」3頁

各レイヤー（層）を重ねていった結果導き出されたゾーニングマップは、結果として緑「導入可能エリア」がほぼ無く、陸地はほぼ赤「環境保全エリア」、一部が橙～黄「調整エリア」となった（図4）。

再エネ施設の導入を促進する立場であろう環境省としては、この結果をどう評価したのかは直接耳にしていないが、思惑通りではなかったのではないかと。石狩市としては、押し寄せる設置計画検討事業者に対し、少なくとも地図上では、推奨する適地はないという情報提供、すなわち歓迎していないという意思表示をする結果となった。

1.2 同計画の策定過程

計画策定にあたり、石狩市はあらかじめ定めていた2年間という策定期間の中で、多数の関係機関及び関心を寄せる市民の参加を試みた。

市の環境審議会の委員である学識経験者が委員となる検討委員会が組織され、2017（平成29）年8月から2019（平成31）年2月まで6回、同委員会が開催された。

それと平行して、漁協、森林組合、商工会、町内会、市民団体、学生、数名の市民公募による市民からなる作業部会が、「事業性」、「動植物」、「景観・まちづくり・騒音」という分野に分かれて3つ設けられた。各作業部会は、2017（平成29）年12月から2018（平成30）年11月まで4回開催された。

筆者も「景観・まちづくり・騒音」部会の一員として、ワークショップに参加した。印象としては、各参加者の意見が十分に引き出され、何らかの共通認識が得られて計画に反映されるといった効果を得るには構成人数が多すぎた感があった。市民参加の努力は認められるものの、残念ながらそのツールとしてのワークショップが十分機能したといえるかは疑問であった。本来なら筆者自身が検討委員会委員長として、作業部会の構成や運営についても自ら改善していくべき立場であったのであるが、計画策定期間やマンパワーも限られていて、改善するに至るまでには力不足であった。

その他、専門家へのヒアリング、住民アンケートが行われた。そして、2年間という予め定められた短い期間内に計画が取りまとめられ、2019（平成31）年

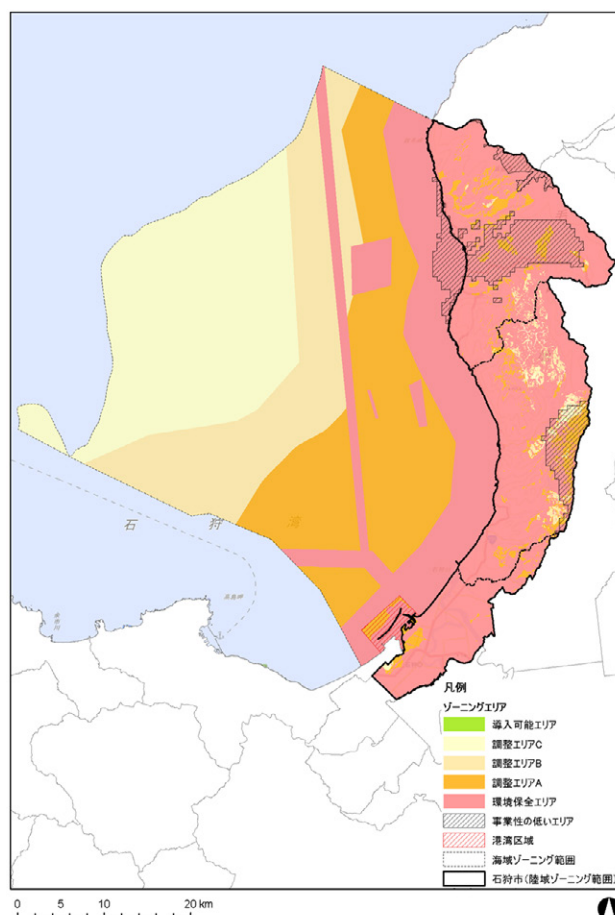


図4 石狩市風力発電施設ゾーニングマップ
(石狩市風力発電ゾーニング計画書より)



図5 ゾーニング検討の実施体制
(石狩市風力発電施設ゾーニング計画書より)

3月策定に至った。

検討委員会で議論された論点の一つが、住居との離隔距離である。当初の案は、国内の他の地域を参考に500mとされていた。しかし、作業部会では騒音、超低周波への危惧の声が多く、近年は風車が大型化している傾向など具体的な指摘もあった。

そうした作業部会での意見を踏まえ、検討委員会で議論した結果、離隔距離は800mとなった。

1.3 計画策定後の環境アセスメント

石狩市では、計画策定後も、新たに風力発電施設設置計画が続々と続いた。それらのうちの多くは、石狩市沖の海域が、再エネ海域利用法^{*1}による国の指定がされることを見込んでの大規模洋上風力発電であった。これらの計画はすべて、ゾーニングマップでは調整エリアとされている海域に計画されたものであるところ、調整されるべき対象は漁協である。後述するとおり、漁協は大規模洋上風力発電に賛同する意見を表明したので、結果的にこれらの計画はゾーニングマップに沿った内容の計画ということになる。

陸上の風力発電施設設置事業のうち、環境アセスメントにおいて、ゾーニングマップの存在を全く意識していないと思われる方法書もあったが、ある令和2年度中に行われたアセスメント方法書では、最初からゾーニングマップが定める住宅との離隔距離800mを考慮して事業が検討されていた。情報提供目的というゾーニングマップが実際に機能したといえる事案であった。

2. 再エネ海域利用法に関する石狩市の動き

このような経過を経て策定された石狩市風力発電施設ゾーニングマップであるが、ほどなく海域については、このマップが示すイメージとは大きくかけ離れた100万kw級の大規模な洋上風力発電施設の計画が目白押しとなった。そこで、再エネ海域利用法について付言する。

国は、2018（平成30）年、再エネ海域利用法を制定した。資源エネルギー庁による説明によれば、同法は、再生可能エネルギーの最大限の導入と国民負担抑制を両立する観点から重要な洋上風力発電について、①海域の占用に関する統一的なルールがない、②先行利用者との調整の枠組みが存在しない、という課題の解決に向けた法律であるとされる。再エネ海域利用法に基づく、具体的な手続きの流れは、図7のとおりである。促進区域とは、自然的条件が適当であること、漁業や海運業等の先行利用に支障を及ぼさないこと、系統接続が適切に確保されること、等の要件に適合した一般海域内の区域のことで、洋上風力発電事業の実施のために指定され、その区域内では最大30年間の

^{*1} 海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関係する法律（平成30年法律第89号）

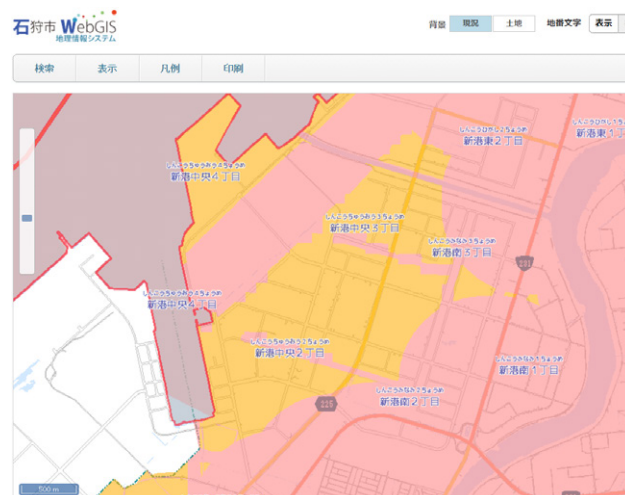


図6 石狩市WebGIS地理情報システムによる表示例
赤い円状の形が、住居から800mの同心円で環境保全エリアが設定されていることを示している。

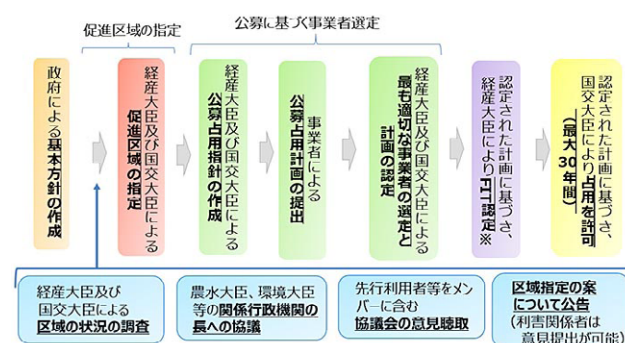


図7 再エネ海域利用法の概要
（資源エネルギー庁資料より）

占用許可を事業者は得ることができる。促進区域の指定は都道府県が地域を推薦することにより、国が指定する手順となっているところ、現在、秋田県や長崎県の海域の指定の協議が進んでいる⁵。

石狩市では、ゾーニング計画作業部会において漁協関係者は洋上風力発電施設に対し、否定的な意見を述べていた。しかし、その後内部での議論を経て、石狩漁協は、令和3年春には、大規模洋上風力発電施設を受け入れることを表明した。これを受け、石狩市も推進の立場を示すに至った。その結果、2021（令和3）年9月13日、経済産業省が発表した促進区域指定の受け入れ準備が進んでいる10区域に「石狩市沖」が加わった。

⁵ https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/yojo_furyoku/index.html

風力発電ゾーニングマップでは当該海域は調整区域とされているところ、石狩漁協と調整済みであると整理すれば、マップと大規模洋上風力発電施設計画とは矛盾するものではない。しかし、マップが示した方向性と石狩市のその後の態度とは整合性を欠くようにも捉えられかねず、マップ自体の存在意義自体にも消極的な影響をもたらしかねないと懸念される。

3. 課題① 強い土地所有権

風力発電施設に限らず、再エネ施設の立地の法的な課題として、そもそも日本では土地の利用規制自体が弱く、基本的に何を建てるか、設置するかは土地所有者の自由という点が、多くの法的紛争を生み出している。財産権は、これを保障する憲法29条では公共の福祉の制限に服するとされているものの、他国と比べて各種の土地規制は弱く、土地の所有権が強過ぎるという評価が一般的である。この問題は、長年問題提起されてきたが未だに法改正などに至らず、克服できていない⁶。

ドイツでは土地の利用について「計画なければ建設なし」という原則が貫かれていることがよく知られている。市町村単位のFプラン、地区単位のBプランにより、どの土地にどのような施設が建築されるか、かなり細かく定まっている。したがって、再エネ施設についても、近隣住民が予想しないところに突然建設が始まるということは基本的にない。日本での風力発電施設の住宅との離隔距離を検討するにあたり、どうしても海外の規制例を探ることになる。ドイツにも離隔距離制限はあるようではあるが、それ以前の問題で立地の制限が計画的になされていることで、紛争が防止されていることを念頭に置かなければならない⁷。

アメリカでの土地利用規制は、州法で行われている。

州によっては土地規制の緩いところもあるが、オレゴン州やフロリダ州は計画的な土地利用規制がよく知られている⁸。特にオレゴン州では、1970年代から都市拡大による農地や林地の浸食を防ぐべく、徹底した住民参加手続の下、策定されていく各種の土地利用計画及び規制がきめ細かく行われてきた。

この区域は農地、この区域は住宅地といったゾーンを決めて土地利用の規制をするのがゾーニングである。こうしたゾーニング規制が適正に行われている限り、再エネ施設だけ特別に規制しなくても、自然破壊や近隣住民とのトラブルは相当程度避けることができる。

日本におけるゾーニング規制にあたるものは、都市計画法の用途地区規制である。用途地域の策定された都市計画区域内であれば住宅地の隣に突然大きな工場が建つということはない。しかし、都市計画区域外にはこの規制は及ばない。それ以外の地域は農地法や森林法など他の法律による規制に委ねられる。農地法の規制は厳しいが、森林法は土地利用規制としては弱い。上記のように、何をどのように建設、設置するかは、土地所有者の自由である。

こうした法制度の下では、再エネ施設を対象とした規制を実施していくしかないのが現状である。

国レベルでの規制は未だ無い。自治体レベルでは、石狩市等のゾーニングマップは、何等かの許認可に結び付けられているものでなく、土地利用規制ではない。この点、長野県の本曾町の「本曾町地域の環境等と再生可能エネルギー発電施設設置事業との調和に関する条例」(令和元年)は、再エネ設備設置事業に町の同意を要するとし、さらに景観環境や土砂災害への影響といった観点から「抑制区域」を設定している⁹。地域の実情に応じた再エネ施設と地域環境の調和を目指した踏み込んだ取り組みとして評価できる。

4. 課題② 住民参加

近隣住民とのトラブルを未然に防ぐには、情報公開と住民参加により土地利用の計画が策定されていることが重要である。オレゴン州では、土地利用に関する

6 五十嵐敬喜・小川明雄『都市計画 利権の構図を超えて』(岩波新書、1993年) p17、吉田克己「土地所有権の日本的特質」原田純孝編『日本の都市法Ⅰ 構造と展開』(東京大学出版会、2001年) p369、藤田宙靖「『必要最小限度規制原則』とそのもたらしたもの」藤田宙靖・磯部力・小林重敬編『土地利用規制立法に見られる公共性』(土地総合研究所、2002年) p7、寺尾美子「都市計画における公共性・法・参加―「強い」土地所有の克服に向けて」『都市問題』等多数

7 ドイツにおける風力発電設備の立地規制については、高橋寿一『再生可能エネルギーと国土利用』(勁草書房、2016年) p163が詳しく解説している。

8 大野輝之『現代アメリカ都市計画-土地利用規制の静かな革命』(学芸出版、1997年) 等

9 <https://www.town-kiso.com/chousei/reiki/100322/101092/>

原則規定において、住民参加が真っ先に掲げられていて、都市の成長戦略のような大きな計画から近隣の小さな開発計画まで、徹底した情報公開と住民参加が実施されている。

日本の都市計画法上の住民参加手続は計画の告知程度のあるに過ぎず、住民参加を義務付ける規定はない。それでも、各地の自治体は、住民生活に大きな影響がありそうな計画策定や開発にあたり、自主的に住民を対象としたワークショップを開くなど、住民参加の取組を行っている。ただし、こうした取組も、担当者の熱意や努力に負っている部分が多く、担当者の人事移動によって単発で終わってしまっているという印象が拭えない。

現在の日本で再エネ施設の建設にあたって大きなウェイトを占めている規制が、環境影響評価法である。一定規模以上の風力発電施設は、2012（平成24）年からアセスメントの対象とされた。環境影響評価法の手続が、住民への情報提供の機能を果たしていることは間違いない。ただし、環境の影響を評価するにあたり、参考とされるだけで、寄せられた住民の意見を取り入れながら事業が実施されていくものではない。

5. 課題③ 条例による規制の可能性

現在、再エネ施設の立地について、国の法律による規制はない。では自治体は条例により立地規制を行うことができるのだろうか。

憲法94条では、条例は法律の範囲内で制定できるとされている。法律が規制している事項については、条例でそれに上乗せ（規制の強化）したり、横出し（対象の拡大）したりすると、法律の目的、趣旨を没却しないといえない限り、条例が違憲無効とされる（徳島条例事件）。

建築物については、都市計画法や建築基準法が存在するために、自治体独自の規制をするのは難しい。そのため、地域の環境を守るべく独自に規制をしようとした自治体の首長が刑事罰や損害賠償責任を負うことがあった（武蔵野市¹⁰、国立市¹¹）。

他方、再エネ施設については、国の法律による立地規制は存在しない。したがって、自治体が地域の環境を守るために条例で立地規制をすることは、憲法94条の「法律の範囲内」という問題は生じない。しかし、現実には、上記のような強い土地所有権という観念、慣行が国の各省庁にあり、自治体の職員についても同様の傾向がある。国の各省庁にお伺いをたてても消極的な回答がされていることもあるだろう。自治体としては、都市計画法や建築基準法での事例に臆することなく、前述の木曽町のように、積極的に地域の環境保全の取り組みを条例で行っていくことが期待される。

おわりに

再エネ施設立地の法的な紛争の背景には、設置される地域の負担感というものがあると思われるので、最後に私見を述べる。固定価格買取制度により、北海道内にも多くの再エネ施設が導入された。もっとも、相当規模の再エネ施設の多くは東京の大資本による事業であり、北海道の企業や住民による事業は限られる。地域住民は、施設立地の負担だけを負い、わずかに落ちる利益としては、敷地の所有者への売買代金や賃料、固定資産税といったわずかなものだけといえる。

そもそも再エネは、地域の資源を利用して、地域にお金が落ちるところが推奨される重要な要素である。北海道は域外からの輸入品目の47%が鉱物性燃料であり、再エネ利用によりこれを自前にできればという声は大きくなってきている。再エネ事業を北海道の会社や住民が行うのであれば、石油やウランを仕入れることなく、北海道の風で自家消費をしたり、売電で利益を北海道にもたらすことになる。そうであれば地域が受ける生態系、漁業への影響の懸念や景観などのデメリットも受け入れるという方向になりやすい。

北海道及び道内の自治体は、条例による規制も視野に入れ、北海道が単純なエネルギーの収奪地とだけにされないよう、地域と再エネ施設の調和を図っていくべきと考える。

¹⁰ 武蔵野市長給水拒否事件（最判H1.11.8集刑第253号399頁）

¹¹ 国立マンション事件求償問題（東京高判H27.12.22判自405号18頁）

持続可能な開発目標SDGsから見た脱炭素社会の実現

山中 康裕

(やまなか やすひろ)

所属：北海道大学大学院地球環境科学研究院

profile

1991（平成3）年東京大学気候システム研究センター助手。1995（平成7）年博士（理学）取得。1997（平成9）年プリンストン大学客員研究員、1998（平成10）年北海道大学助教授、地球フロンティア研究システムグループリーダー（兼）、2007（平成19）年英国イーストアングリア大学客員フェローを経て、2010（平成22）年現職（教授）。国連大学認定RCE北海道道央圏副代表。北海道ゼロカーボン協議会座長、札幌市環境審議会会長。



はじめに

2015（平成27）年9月25日、国連総会は、持続可能な開発目標SDGs（sustainable development Goals）を含む「Transforming Our World: 2030 Agenda（邦題：我々の世界を変革する：2030アジェンダ）」を議決した。その二ヶ月半後、同年12月12日に、第21回気候変動枠組条約締結国会議（COP21）でパリ協定が採択された。持続可能な世界の実現と気候変動対策は切っても切れない関係であり、本文章は、SDGsの視点から脱炭素社会を説明する。

英語のdevelopmentの日本語訳は、発展、発育、進歩、開発であり、economic development、developing countries、human resource developmentは、それぞれ、経済発展、発展途上国、人材開発と訳されている。従って、持続可能な開発と訳されているが、「開発」のイメージでは捉えきれない、幅広い意味を含んでいることが分かる。

1. 持続可能な開発

第二次世界大戦後、アフリカの多くの植民地は独立し、先進国は、それら途上国に対して経済支援を行ってきた。その中で、途上国が持つ自然に対する経済価値を生み出すことが経済開発であり、人々が望むことだった。しかし、経済開発を行っても、先進国との経済格差は解消せず、貧困や飢餓も根絶することはなく、環境破壊が進む結果を生んだ。それに対し、国際社会は2つの流れの対応を生み出していく（表1）。

ひとつは、地球規模の環境問題に対する流れである。

1972（昭和47）年、ストックホルム会議が開催され、環境が強く意識され、国連環境計画（UNEP）が設立された。同年、ローマクラブによる報告書「成長の限界」により、いわゆる「宇宙船地球号」の概念、限りある地球の資源への認識が広まった。この報告書は、いくつかのシナリオのもとでの数値シミュレーションによる将来予測にもとづいて作成された。これは、1988（昭和63）年に設立された、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）で行われている手法につながる。興味深いのは、1970年初頭に発表された氷期-間氷期サイクルの研究に影響され、シナリオの中には、自然変動として寒冷化する場合、人間活動による温室効果が寒冷化よりも上回る場合などの表現が見られる点である。

1987（昭和62）年のブルントラント委員会報告書「Our Common Future（邦題：地球の未来を守るた

表1 持続可能な開発・脱炭素に関わる重要な出来事

西暦	出来事
1965	国連開発計画（UNDP）設立
1972	ストックホルム会議、国連環境計画（UNEP）設立、ローマクラブ報告書「成長の限界」
1987	ブルントラント委員会報告書
1988	気候変動に関する政府間パネルIPCC設立
1992	地球サミット、リオ宣言、アジェンダ21、気候変動枠組条約
1993	ウィーン宣言および行動計画
1997	京都議定書
2000	国連ミレニアムサミット、MDGs
2007	ハイリゲンダムG8サミット
2012	リオ+20、京都議定書第一約束期間終了
2015	2030アジェンダ、SDGs、パリ協定
2018	1.5°C特別報告書
2019	気候行動サミット

めに)」が、「将来世代のニーズを損なうことなく現在の世代のニーズを満たすこと」という持続可能な開発の概念を打ち出した。世界中に広まったのは、1992（平成4）年開催の地球サミットである。リオ宣言、気候変動枠組条約、生物多様性条約、森林原則声明が採択された。その中で、当時12歳の少女セヴァン・カリス＝スズキが行った演説が有名である。ここで採択されたリオ宣言には、持続可能な開発とともに、共通だが差異のある責任、予防原則など、今日の地球規模の環境問題を考えるときの言わば憲法であり、地球サミットから持続可能な世界が始まったと言っても過言ではない。その20年後、2012（平成24）年、リオ＋20が開かれ、地球サミットに比べると低調だったが、結果としてSDGsに向けた議論の出発点となった。「世界一貧しい大統領」と呼ばれるウルグアイ大統領ホセ・ムヒカの演説が記憶に残る。

また、1997（平成9）年第3回気候変動枠組条約締結国会議（COP3）で決められたのが京都議定書であり、2008（平成20）年から2012（平成24）年までの第一約束期間の温室効果ガス削減量が先進国に割り当てられた。日本には1990（平成2）年に比べて6%削減が割り当てられ、環境省によるチーム・マイナス6%の掛け声のもと、CO₂削減などが行われた。元々京都議定書締結国で議論することになっていた、2012年以降の対応（ポスト京都議定書）が難航し、地球規模の環境問題に対する流れが見通せない状況になっていた。

もう一つは、1965（昭和40）年、国連開発計画（UNDP）が設立され、1993（平成5）年のウィーン宣言および行動計画による、人権、貧困や飢餓に対する流れである。2000（平成12）年開催の国連ミレニアムサミットでは、ミレニアム開発目標（MDGs）が採択された。MDGsの8つの目標は、貧困・飢餓の撲滅などの途上国支援に関わるものであり、2015年を目標年としていた。これらは、持続可能な開発の概念からみると、まずは「現在の世代のニーズを満たすこと」、すなわち、現世代の様々な格差を無くすことと捉えられる。

これら2つの流れが合流し、生まれたのがSDGsである。

2. 2030アジェンダとSDGs

このアジェンダは英文35ページからなり、そのうちの14ページがSDGsの17目標169ターゲット（達成基準）に割り当てられている。前文2ページには、重要な概念が書かれている。MDGsよりも範囲を拡げ、経済、社会、環境のバランスを取ることを、5つのPなどである。5つのPは、人間（People）、地球（Planet）、繁栄（Prosperity）、平和（Peace）、パートナーシップ（Partnership）である。「誰一人取り残さない/残されない（no one will be left behind）」は、このアジェンダを象徴する言葉である。MDGsから引き継ぎ、人権侵害や貧困、飢餓に直面している人から支援していく必要があることを意味する。例えば、169ターゲットで示されているような数値目標を達成するために最適な事業をすれば、相対的に効率よく達成するが、そうではなく、最も難しい人々に対する支援を優先すべきという考え方につながる。社会状況に影響されやすい社会的弱者がより良くなることは、当然、一般の人にとってもより良い社会ということになる。つまり、いわば、「鉱山のカナリア」の役割を持っている。

持続可能な社会は、決して、あることが未来永劫に続く頑丈な社会ではない。むしろ、次から次へ発生する社会課題にいち早く対応する柔軟な社会、移り変わる社会である。「課題に気がつく＝社会的弱者が生まれぬ＝誰一人取り残さない」社会である。課題が芽のうちに摘む社会とも言える。レジリエンス（resilience）は、脆弱性（vulnerability）の対義語として、「しなやか」と訳されることもあり、柔軟な対応性である。回復力と訳されることが一般的だが、ストレスを受けた後に回復するのではなく、ストレスを受けつつ柔軟に対応することである。つまり「強固」ではなく「強靱」な状態である。

このアジェンダの宣言の第7段落には、ビジョンとして「公平かつ普遍的にウェルビーイングになれる世界」が挙げられている。ウェルビーイング（well-being）は、身体的にも精神的にも社会的にも良い状態を意味する。ウェルビーイングは、時に幸福と訳されるが、カタカナ表記するのが一般的である。我々は、病気やトラブルになっている際には、緊急性や必要性から数多くの言葉を用いて表現できる一方、良い状態

は、当たり前ゆえに、的確に表現する言葉を持ち合わせていないことが多い。これは、持続可能ではない状態かどうかはすぐに判断できるが、持続可能な状態かどうかは難しい判断となることと似ている。

SDGsの17目標は、独立なものではなく、それらの多くは互いに好影響(co-benefit)を与えるが、時には相反(trade-off)することもある。ウィーン宣言の頃から、貧困や飢餓の根絶、ジェンダー平等を達成するためには、女子教育が重要な手段であることが言われている。即ち、教育の目標4への貢献が、貧困・飢餓・福祉・ジェンダー平等の目標1・2・3・5への貢献にもつながる。その一方、途上国の耕地で、バイオマスイエネルギーのエタノール向けにより高価格となるサトウキビを生産することは再生可能エネルギーの目標7に貢献するが、従来の途上国の食料供給が減少する相反が起これば、飢餓の目標2には負の影響を与える。また、東南アジアのマングローブ林を伐採して、パーム油が生産されることも、陸上や海の多様性の目標14・15に負の影響を与える。道内でも、木々を伐採し整地してから設置された太陽光パネルを見かける。ライフサイクルアセスメント(LCA)としてCO₂排出削減量についても疑問だし、目標14とも相反している。

3. パリ協定と気温上昇1.5℃

ポスト京都議定書の仕切り直しとして締結されたパリ協定には、いくつかの特徴がある。

まず、国際的に具体的な数値目標が決められた点が挙げられる。気候変動枠組条約第二条では、「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする」と挙げられているだけで、数値目標は明記されていなかった。京都議定書では、先進国で温室効果ガス排出量は、先進国全体で5%削減と、各国が出来る範囲で合意したため、究極的な目標を達成する削減量から見ればごく僅かなものだった。

大幅に流れが変わったのが、2007(平成19)年の独メルケル首相がホストするG8ハイリゲンダム・サミットである。合意された「2050年に世界全体の温室効果ガス排出量半減を検討」は、今世紀末2100年頃に、産業革命の1860(安政7)年に比べて気温上昇を

約2℃に抑えることを意味する。これ以降2050年を節目と見なすようになった。パリ協定では、削減目標を2℃、島嶼諸国の主張から努力目標を1.5℃とした。2013(平成25)年のIPCC第五次評価報告書では、全体で用いる4つの代表濃度経路(RCPs)シナリオの中で、気温上昇を約2℃にするRCP2.6が最も低いものだったように、科学者にとっても1.5℃に抑えることはいわば想定外だった。2018(平成30)年、パリ協定を採択したCOP21の要請に基づき、IPCCによる「1.5℃特別報告書」が発表された。2019(平成31)年、気候行動サミット2019が開催され、気温上昇1.5℃に抑えることに向けて、世界は一気に動き出した。

ヨーロッパでは、若者の将来の生活が脅かされる視点から、人権問題として気候変動が捉えられつつある。2017(平成29)年、当時15歳だったグレタ・トゥンベリが「未来のための金曜日(Fridays For Future)」の運動を始めたことなど、若者が気候変動対策を要求する世界的潮流がある。2019(令和元)年には、オランダ最高裁が、気候変動を人権侵害として捉えて、国の削減目標の引き上げを命じる判決を出している。これらは、まさに持続可能な開発の概念の「将来世代のニーズを損なうことなく」に沿った動きである。

今年公表されたIPCC第六次評価報告書では共通社会経済経路(SSPs)のひとつとして、気温上昇1.5℃に対応するSSP1-1.9が設けられている。このシナリオの温室効果ガス排出量は、2050年にほぼゼロ(カーボンニュートラル)、今世紀後半は人為的に大気から回収するマイナスになっている。今のところ、バイオマスによる回収が念頭に置かれているが、前に述べたように、SDGsの他の目標と相反することも多い。

京都議定書では、第一約束期間後の対応は議定書を締結したときには定められていなかったため、次の約束については足並みが揃わなかった。京都議定書では、まず国際的な約束として国別排出量削減の数値目標を定め、各国はそれに従って行動する、言わばトップダウンの考え方だった。地球サミットで決められたアジェンダ21の中には、「まず目標を出して、徐々に改善していく」といったボトムアップの考え方、国際標準ISO14001につながる環境マネジメントシステムの概念も含まれていた。パリ協定では、各国は、自ら定める

約束貢献(NDC)を5年毎に定める。内容は各国に委ねられているため独自の目標を提出できるが、NGO等が条件を揃えて国際比較し、低い目標を示せば、国際社会から批判を浴びることになる。5年毎に、より野心的な貢献が何度でも求められていく。これらは、京都議定書で問題となったところを修正したものである。

しかし、パリ協定締結のとき、各国が提出した削減量の総計は、2050年削減量半減どころか、現状維持程度であった。それでも、なりゆきシナリオ（もしくはベースライン）と呼ばれる削減努力せず右肩上がりに増加する場合に比べれば、大きな削減量となっている。例えば、中国は2005（平成17）年に比べてGDPあたり約60%削減することを表明していたが、中国のGDPが約3倍になれば、総排出量は変化しないことを意味する。気候行動サミット2019以降、削減量を上積みする宣言が多く出されているが、世界が実際に削減する方向に進むのかは、多くの人々が注視していかねばならない。

4. 北海道の脱炭素社会に向けた懇話会

「2050年に脱炭素社会に向けて、私たちは何をすれば良いか？」という問いに対して、筆者ならば2030アジェンダのタイトル「我々の世界を変革する」が最も正解に近いと答える。2050年は約30年後であり、30年間は1世代を意味し、世代交代が起こる遠いような近いような未来ということを意識する必要がある。すなわち、上の問いは「今の年齢に30歳加えた年齢の私たちを想像できますか？」と同じ性質の問いである。人々が住む場所も家も自然と変わっていく時間の流れとも言える。北海道大学教授の森傑は「まちの整体」という考え方で、まちの役割が変わっていくことを表現している。

4.1 脱炭素社会は持続可能な社会の一つの要素

著者が座長を務める「2050年北海道温室効果ガス排出量実質ゼロに向けた懇話会」では、興味深い議論が行われている（各委員の発言が載った議事録が公開されている）。以下、その議論を参考に行っている。

この懇話会では、2050年の目指す姿として「脱炭素への挑戦 新たな未来の創造 〜ゼロカーボン北海道

〜」としている。ここで、筆者は「脱炭素への挑戦＝新たな未来の創造」のように捉えている。すなわち、「新たな未来の創造」は、2030アジェンダのタイトル「我々の世界を変革する」を意味し、その中で、脱炭素化しなければならないという主張である。なお、英語のchallengeには、元々の「挑戦」から派生した「取り組まねばならない課題」という意味もあり、「脱炭素社会への課題は、大胆な変革をせねばならないこと」といった意味も込められている。

少子高齢化や過疎化、自然災害などの北海道の将来に向けて起こりうる諸課題から切り離して、脱炭素化だけを考えていくことは現実的ではない。あらゆる北海道の将来を考える対策を立案し実施する際に、カーボンニュートラルを阻害せず、促進するような対策になっているかを検討していくことが必要である。ニュージーランドが、2019（平成31）年に行ったウェルビーイング国家予算の策定プロセスが参考になる。ニュージーランドは、国家予算の策定の際、全ての施策に対して、施策毎にウェルビーイング向上に貢献するかどうか検討し修正するプロセスを組み込んだ。このように、全ての政策に対する予算査定とともに、CO₂排出量査定を組み込むことは、脱炭素社会への確実な仕組みとなる。同様に、企業でも、脱炭素に対する対応は、ESG（環境・社会・ガバナンス）に不可欠な要素である。

4.2 2030年までの施策と2050年に向けた施策

懇話会では、2030年までの施策と2050年に向けた施策の違いについても議論されている。

数値的には、今年4月に引き上げられた2030年の排出量を46%削減することは、2050年カーボンニュートラルを目指した通過点のように見える。しかし、その目標を得るプロセスや考え方は大きく異なる。2030年は約10年後であり、現在の社会状況、制度や技術を踏まえた確実な延長上としての削減が求められる一方、2050年は約30年後として、カーボンニュートラルを達成するためには、どのような社会状況、制度や技術が必要になるかを明らかにし、場合によっては生み出すことが求められる。前者は現在からの延長予測（フォアキャスティング）であり、後者は将来からの逆算予測（バックキャスティング）である。

社会の様々な構成員（ステークホルダー）、特に行政は、確実性を求められることが多いため、実現可能な施策の積み上げの形で、目標値を決めることが多い。前者は国の約束貢献の決め方として相応しいやり方であり、北海道地球温暖化対策推進計画（第3次）の削減目標である2030年35%削減は、そのように決められた値である。その一方、2050年に向けた施策として求められているのは、まだ存在していない技術や社会制度をどのように生み出すかである。自動車メーカーがMaaS（Mobility as a Service）と意識変革をしつつあるように、行政もSaaS（Sustainability as a Service）という意識改革が必要になるだろう。2040年が2050年の10年前となり、2050年に向けて確実性を求められる。そのため、2040年（できれば2030年）までに、それ以降に実現可能な施策を積み上げられるような仕組みが完成していることが必要となる。すなわち、2030年35%削減に必ずしも貢献しなくても、2050年のカーボンニュートラルになる効果的な仕組みを2030年までに生み出す必要がある。

懇談会でも、2050年に向けた仕組みに関して、数多く提案された。例えば、脱炭素社会づくりに貢献する、次世代の人材育成や道外からの移住促進は、2030年までの排出量削減に必ずしも貢献しないが、彼らが北海道の中核となり、2050年の脱炭素社会の住民になれば、貢献することが期待できる。また、住む場所や新築された住宅は2050年脱炭素社会に存在する姿そのものである。すなわち、脱炭素社会を含む、2050年の北海道の姿に向けた長期計画（ロードマップ）が必要であり、行政だけでなく、企業も一般市民も、今行おうとしていることが、2050年の削減にも効果的かを判断出来るようにすべきである。例えば、2030年までに排出量を半減できるものは、2030年における削減には貢献するが、30年以上使い続ける必要があるものであれば、2050年の排出量には阻害するものになってしまう。このような例は分かりやすいものだが、実際には、長期計画がなければ判断が難しくなる。

5. 脱炭素社会に向けて協働取組の視点

5.1 外的要因の把握とその対応

2050年までの長期計画は、北海道だけでは決めら

れない、国内外の情勢や技術革新が今後どうなるかに依存する。現実的とは言えないが、分かりやすい例として、カーボンニュートラルかつ自動運転の自動車が普及すれば、今行っている公共交通機関を使いましょう、あるいは、存続させましょうという努力は無駄になってしまうかもしれない。但し、そのような自動車が社会に溢れかえるかどうかは、限りある資源や資本といった、別の要因で決まる。

SWOT分析は、強み（S：Strength）や弱み（W：Weakness）の内的要因と機会（O：Opportunity）や脅威（T：Threat）の外的要因を整理する手法である。技術革新は、機会にも脅威にもなりうるが、明確にすることで、それらを前提とした施策も検討できる。

例えば、道外資本による再生可能エネルギー供給は、普及促進の機会にも、地元経済循環を妨げる脅威にもなりうる。地元企業の育成に合わせた導入ペースは2030年排出量削減量を増やすこととは調和的でないかもしれないが、地元経済への貢献を重視する評価指標を取り入れる必要があるかもしれない。北海道は多くのものを輸入しているため、我々の意識や行動が、世界の脱炭素化に対する機会や脅威にもなりうる。前に書いたバイオマス発電の原料を輸入することは、国際的なSDGsや脱炭素化にも影響を与えうる。つまり、2050年脱炭素社会に向けて、北海道だけに注目することは不十分であり、国際情勢や技術革新も外的要因として意識し、検討せねばならない。

札幌市まちづくり戦略ビジョン審議会でもSWOT分析を用いている。行政が考えられる範囲・対象は、札幌市内という発想に自然と陥りがちだが、札幌市が持続可能な都市（サステナブル・シティー）になるためには、エネルギーや食料などのほとんどが札幌市外からの調達されている事実を目を背けてはいけぬ。札幌市や市民が、日頃、どういうものを購入するか、選択するかは、周辺の市町村に影響を与える。例えば、札幌市が道内産のものを購入すれば、北海道の地元経済を強くし、結果として、札幌市の持続可能性を高めてくれる。

5.2 レジリエンスを高める議論をみんなで!!

持続可能な社会を創造するためには、多くのステー

クホルダーが社会づくりに参画できる仕組みが不可欠である。しかし、今のところ、北海道の小規模自治体で設けられている首長や行政職員と住民が懇談する会の多くでは、行政から住民へ、住民から行政への説明・要望の場となっており、地域の将来をどうするかといった長期的な将来をテーマの話し合いや、幅広い年齢の参加、長年住んできた住民と移住してきた住民といった多様な参加者がいる話し合いの場となっていない。

フラットな話し合いの場には、地域のことを良く知るファシリテーターの助けを借りて、(年長者が語る個人的経験とは異なる)客観的・科学的事実を見ながら、「自分たちが住んでいる地域の将来」を話し合う仕組み作りと人材育成が必要である。

多くの人々にとって「自分たちが住んでいる地域の将来」を話し合うことは難しい。実際、北海道地方ESD活動支援センターとさっぽろ自由学校「遊」が行った「北海道メジャーグループ・プロジェクト2020」でも、25年後の将来をバックキャスティングで求める「国連創設75周年の3つの問い」に答えられるグループは少なかった。

しかし、住民の多くが社会づくりに参画することは夢物語ではない。例えば、シナリオプランニングは、現在起こっていることを挙げ、その影響力や不確実性を考えて整理し、目指す未来像を作り上げていくとともに、それに必要な戦略・対応も決めていくやり方である。いきなり未来を考えることが出来ない人々でも、小さな階段を登っていくような問いや作業を経て、多様な未来像を得ることができる。

グローバル化・AI化が急速に進む社会において、学校で基礎知識を学び、職場でオン・ザ・ジョブ・トレーニング(JOT)といった人生設計は難しくなっている。また、上意下達のような効率を求めるのではなく、エコシステム(自律分散系)のように、自ら判断行動し、必要に応じて人的ネットワークを利用した柔軟な判断行動が求められるようになった。このような時代背景を受けて、最近改定された小中高の学習指導要領では「主体的・対話的で深い学び」「生涯にわたり学び続ける力」を育むことになっており、このような教育を受けた次世代が50歳以下を占めるよう

になれば、住民の多くが社会づくりに参画することが可能になっていくだろう。高校の統廃合により、高校がない市町村は50を超えてしまったが、そこに住み近隣の市町村の高校に通学する高校生はいる。そのような高校生はまさに2050年の地元のステークホルダーの一人である。

おわりに

著者は、2021(令和3)年9月に行われた国連食料サミットにおける、国連関係者や各国代表の演説をオンラインで聞くことが出来た。日本の状況とは異なり、今起こりつつある気候変動に危機感を持つ発言がとて多かったことが印象的だった。

日本は、「失われた30年間」と言われるような社会の停滞は今も続いているが、世界は、大きく変わろうとしている。オランダ最高裁の判決やニュージーランドのウェルビーイング国家予算は、持続可能な社会への兆しである。気候変動対策として、今行動しなければ、それは次世代への人権侵害に対する「不作為の罪」とも言える。北海道の多くの場所で、「ここに暮らしたくても仕事がない、子供が教育を受けられない」という諦めを幾度と聞いてきたが、「諦める＝不作為の罪」と考えるようになった。筆者は、「持続可能な世界・北海道高校生コンテスト」を年1回主催し、道内高校を結んだオンライン交流会も時々行っている。高速インターネット回線は、両刃の剣として、地域格差とデジタルデバイド(IT情報格差)を広げることも、逆に、テレワークや遠隔授業など地方の救世主になることもありえる。今こそ、後者に繋がる行動をしたいと思う。

ニュージーランド・スコットランド・アイスランドは、ウェルビーイング経済府という連携をしている(3カ国とも女性首相)。この3カ国の人口は約500万人と北海道とほぼ同じであり、スコットランド・アイスランドは北海道とほぼ同じ面積である(従って人口密度は北海道とほぼ同じ)。スコットランドは2020(令和2)年11月、生理用品を無償提供する法案を可決した。今年になって、日本国内でも同様な取り組みのニュースが流れるようになった。今こそ、脱炭素社会を含めて持続可能な社会を目指し、「社会は変えられる」行動を始めよう。

北海道における脱炭素社会に向けた取組み

発 行 令和 3 年12月
編集発行 一般財団法人 北海道開発協会
〒001-0011 札幌市北区北11条西 2 丁目
セントラル札幌北ビル
TEL (011)709-5213 FAX(011)709-5225
URL <https://www.hkk.or.jp>
E-mail kenkyujo@hkk.or.jp
