

当財団では、2016年7月に「再生可能エネルギー利用研究会（座長：板谷義紀 岐阜大学大学院工学研究科教授）」を立ち上げ、海外の先進的な事例を踏まえながら、中部圏をはじめとする我が国における再生可能エネルギーの利用拡大に関する調査研究を進めています。今回は、2016年10月に実施したドイツ、デンマークにおける再生可能エネルギーを活用した地域エネルギー供給システムに関する調査結果の概要を報告します。

ドイツ・デンマークの再生可能エネルギー地域供給システムについて

岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻教授 板谷 義紀
公益財団法人中部圏社会経済研究所企画調査部部长 梅田 良人

1. 調査の背景と目的

欧州ではEUを中心に地球温暖化ガスであるエネルギー起源二酸化炭素排出削減のために、2030年に1990年比で少なくとも40%減という高い目標を掲げており、その実現に向けた対策が推進されている¹⁾。欧州のエネルギー動向を鑑みると、いくつかの国ではそれらの強気な戦略が理解できなくもない。しかし、ドイツに関してはEU最大のGDPを有しており、また国内エネルギー資源は石炭に限られ、しかも埋蔵量の多くは低品位炭という状況のなかで、二酸化炭素排出削減の高い目標設定は経済的に国際競争力低下につながるリスクが懸念される。それにもかかわらず、環境先進国としてクローズアップされている社会実装の背景にある戦略の本音がよく理解できなかった。日本でも固定価格買取制度（FIT；Feed-in-Tariff）が導入され、太陽光、風力、バイオマスなどによる発電事業への参入が一時的に相次いだ。が、電力料金値上げや電力系統への不安定電力潮流による課題などの問題により、最近では固定価格の低下や電力系統への接続のハードルが高くなりつつある。ドイツでも当然同様の問題が日本より早くから起きているにもかかわらず、地球温暖化抑制という大義名分だけで国民が受け入れているとは信じ難い思いがあった。

今年度、公益財団法人中部圏社会経済研究所において再生可能エネルギー利用研究会を組織し、

「中部圏における再生可能エネルギーの利用拡大に関する調査研究」を実施している。その一環として欧州での成功事例の本質を視察調査するために、ドイツとデンマークを訪問した。ドイツは上記のような理由から動向を把握する絶好の機会であるため、集中的にいくつかの研究機関や再生可能エネルギーによりエネルギーを自給自足する村、都市エネルギー公社や事業運営企業を選定して訪問した。一方、デンマークは数年前よりState of Greenと称して積極的に自国の再生可能エネルギーを利用する技術やシステムをアピールしており、2014年に参加した日本-デンマークバイオエネルギーワークショップのその後の動向も気になったため、スケジュールは少々タイトではあったが、再生可能エネルギーの熱を利用するシステムを研究しているデンマーク北部の大学を訪問した。表1と図1に今回の視察調査のスケジュールと視察先の所在位置を示す。本稿では、現地でのやりとりを通じて得たいくつかの興味深い情報の概要を紹介する。

2. 調査結果

(1) ZAE Bayern e. V.

ZAE Bayernは、エネルギーに関わる研究、教育、コンサルティング、情報提供をミッションとする非営利団体で、1991年12月に設立された。現在バイエルン州内にErlangen、Nürnberg、Hof、

表1 視察調査スケジュール (2016年10月14日 (金) ~10月20日 (木))

月日	訪問先	目的
10/14 (金)	<ul style="list-style-type: none"> ZAE-Bayern (Bayerisches Zentrum für Angerwandte Energieforschung) e.V., Garching, Freistaat Bayern, Germany 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギーの貯蔵技術に関するヒアリング
10/17 (月)	<ul style="list-style-type: none"> Solarcomplex AG, Singen, Baden-Württemberg, Germany Remishof (Gehäuse), Singen, Baden-Württemberg, Germany Schlatt a. R. (Bioenergydorf), Schlatt, Baden-Württemberg, Germany Büsingen (Bioenergydorf), Büsingen, Baden-Württemberg, Germany Stadtwerke Radolfzell GmbH, Radolfzell, Baden-Württemberg, Germany 	<ul style="list-style-type: none"> 集合住宅における再生可能エネルギーによる熱供給システムの視察 バイオエネルギー村におけるエネルギー供給・利用システムの視察 都市エネルギー公社における再生可能エネルギー導入に関するヒアリング
10/18 (火)	<ul style="list-style-type: none"> Wildpoldsried (Bioenergydorf), Wildpoldsried, Freistaat Bayern, Germany 	<ul style="list-style-type: none"> バイオエネルギー村におけるエネルギー供給・利用システムの視察
10/19 (水)	<ul style="list-style-type: none"> BDFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum) GmbH, Leipzig, Freistaat Sachsen, Germany Schlöben (Bioenergydorf), Schlöben, Freistaat Thüringen, Germany 	<ul style="list-style-type: none"> ドイツにおけるバイオマス利用に関するヒアリング バイオエネルギー村におけるエネルギー供給・利用システムの視察
10/20 (木)	<ul style="list-style-type: none"> Aalborg University, Aalborg, Denmark 	<ul style="list-style-type: none"> デンマークにおける熱供給・利用に関するヒアリング



図1 視察先所在位置

Garching、Würzburgの5地域に研究センターが設置されており、再生可能エネルギー、エネルギー貯蔵、エネルギー効率向上に関する研究が行われている。また、各研究センターは州内のUniversity of Würzburg、Technical University of Munich（以下、「TUM」）、University of Erlangenの3大学とも連携しており、学術的基礎研究と産業界での応用研究や事業化開発の中間を担う橋渡し研究に注力しており、日本では国立研究開発法人産業技術総合研究所や自治体等の工業研究所に相当する研究機関と位置づけられる。今回訪問したGarchingのZAE Bayernは、TUMのGarchingキャンパスやMax-Planck研究所が併設された広大なリサーチパークの一角に位置しており、エネルギー貯蔵を主要な研究分野としている。

ここではまずエネルギー貯蔵の副部門長であるMr. Eberhard LävemannからZAE Bayernについての概要紹介があり、その後Mr. Christoph Rathgeber、Mr. Andreas Krönauer、Mr. Benedikt Gerlicher、Ms. Gloria Streibの各研究員から①潜熱蓄熱材評価、②移動式ゼオライト吸着剤蓄熱システム、③排熱回収式固液2相蓄熱システム、④真空断熱式温水顕熱蓄熱貯蔵タンク技術に関する研究の紹介を受けた。①では潜熱蓄熱材（PCM）の相変化熱を示差走査熱量計（DSC）とT-Thermal熱量計の2方式の熱量計による計測結果を比較しつつ過冷却現象の解明を行っている、またPCM熱伝導率増大のためにグラファイトの活用、PCMのマイクロカプセル化、エマルジョン化などの研究が行われている。なお、DSCは簡便であるものの微量の試料分析に限定されるのに対し、T-Thermal熱量計はある程度の量の試料をチューブに充填して周囲雰囲気温度制御により試料の温度変化から相変化現象を解明する方式で、実際の蓄熱装置内での現象把握が可能との理由から、近年注目を集めている熱量計である。②は中空円筒状に充填したゼオライト層にガスを通気させて水蒸気の吸脱着を利用して蓄放熱する方式で、車載できるようユニット化したモバイル

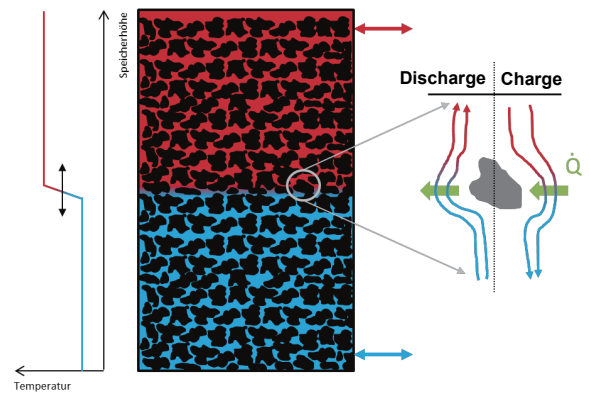


図2 排熱回収式固液2相蓄熱システム

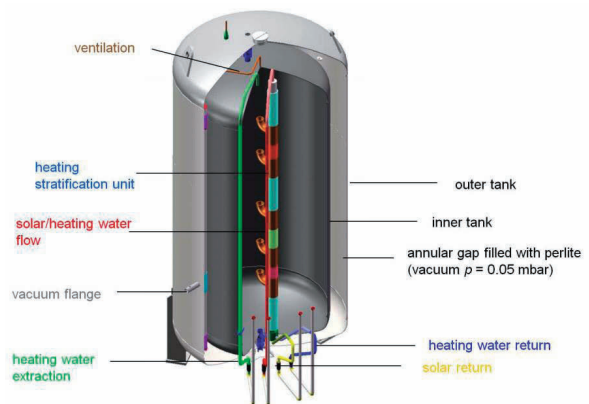


図3 真空断熱式温水蓄熱貯蔵



写真1 ZAE Bayernの研究スタッフと

式の蓄熱システムである。③は碎石を顕熱蓄熱材に用い、熱媒体であるオイルとの2相系の蓄熱層内を図2に示すように上層を300℃レベルの高温を維持できるようにした工場内の加熱炉からの高温排熱を蓄熱するシステムである。毎日起動停止するDSS運転で、加熱炉停止後も24時間熱安定した温度で熱供給を可能とするシステムである。④

は真空断熱方式の温水顕熱蓄熱貯蔵タンクであるが、図3に示のようにタンク中心軸に設置された熱水供給管の高さ方向にいくつかの吐出口を設けた構造をしており、温度に応じた高さ位置へ浮力により自然に熱水供給されるように工夫し、温度成層を形成させる興味深いタンクである。いずれも蓄熱材そのものは特に目新しい材料が開発されているわけではないが、ドイツでは後述するように再生可能エネルギーによる熱供給システムが普及しており、システムの効率化のためには蓄熱技術は重要な課題であり、早期実用化を念頭に置いた低コストかつ効率化な蓄熱槽やシステムの地道な研究開発といえる。

(2) Solarcomplex AG

Solarcomplex社は、スイスとの国境近くのSingenに本社を置く、地域住民、自治体および金融機関の共同出資企業であり、地域エネルギービジネスモデルの策定・建設・運営を行っている。ドイツではEnergy Wendeと呼ばれるエネルギー転換に成功し、従来の電力やガス会社に代わりコミュニティ単位または協同組合での再生可能エ

ネルギーの導入が行われている。詳細は滝川薫編著「欧州のエネルギー自立地域」(学芸出版社)に記述されている。その中で同社の活動や果たした役割などが述べられており、定期的にセミナーなどを開催しているとの情報も入手したため、Energy Wendeについての現状調査にあたってドイツのエネルギーモデルのヒントが得られると考え、同社を訪問することとした。

同社ではMs. Jutta Gauklerが丸1日我々の対応にあたっていただいた。まずドイツのエネルギー動向やEnergy Wendeの内容説明、また同社の事業内容紹介を受けた。その後それらの情報や我々の疑問点などに基づいて自由討論を行った。

エネルギー動向は説明を受けた概要を補足するために、別途web上で公開されている政府の公式データ調査を行った。表2に電源別発電量の3年間(2013-2015年)の推移を示す。褐炭と石炭が主要な発電用エネルギー源であるが、天然ガスは日本の44%(2015年)に比べて、10%程度の低い割合である。一方、再生可能エネルギーは2013年以降も大幅な増大傾向にあり、2013年に23.9%であった割合が2015年には29%に達している。日本

表2 ドイツのエネルギー源別発電量⁴⁾

	2013年		2014年		2015年	
	10 ⁹ kWh	%	10 ⁹ kWh	%	10 ⁹ kWh	%
総発電量	638.7 (939.7)	100	627.8 (910.1)	100	646.9 (885.0)	100
褐炭	160.9	25.2	155.8	24.8	154.5	23.9
原子力	97.3	15.2	97.1	15.5	91.8	14.2
石炭	127.3 ^{*1}	19.9	118.6	18.9	117.7	18.2
天然ガス	67.5	10.6	61.1	9.7	62.0	9.6
石油	7.2	1.1	5.7	0.9	6.2	1.0
再生可能エネルギー	152.4	23.9	162.5	25.9	187.4	29.0
風力	51.7	8.1	57.3	9.1	79.2	12.3
水力 ^{*2}	23.0	3.6	19.6	3.1	19.0	2.9
バイオマス	41.2	6.5	43.3	6.9	44.6	6.9
太陽光	31.0	4.9	36.1	5.7	38.7	6.0
一般廃棄物 ^{*3}	5.4	0.8	6.1	1.0	5.8	0.9
その他	26.2	4.1	27.0	4.3	27.3	4.1

() 内数は日本の発電総量⁵⁾

*1 2013年データは2015年に 5.6×10^9 kWh高い数値に修正されたが、未修正値

*2 河川の流水力や揚水を含む

*3 一般廃棄物のバイオマス由来成分に限定(約50%)

出典: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB). Effective: 25. November 2016

では、地熱、新エネルギー、水力合わせて、2013年に10.7%であった割合が2015年の14.3%に増加しているが、発電総量が減少傾向にあることから再生可能エネルギーによる正味の発電量の伸びはそれ程でもないといえる。

ドイツでの再生可能エネルギー開発促進政策として、1991年に電力買取法、2000年に再生可能エネルギー開発促進法が制定され、FITの導入が開始された。それ以降、買い取り期間が20年であることから長期の事業計画が立てやすく、系統へ優先接続できることから再生可能エネルギーが急速に普及した。内訳では、水力は地形的に賦存量が限定されており、拡大の余地は小さいとのことである。風力は北および東ドイツに多いが、同社の主たる事業展開地域であるBaden-Württemberg (BW) 州などの南ドイツでは風況が良くないだけでなく、自然保護（特に鳥類保護）や景観保護の観点から市民の反対運動により建設が困難なために、導入量は少ないようである。バイオマスは熱利用が中心で、発電は少ないとのことであった。なお、太陽光は一時的に普及したものの、FIT価格見直しとともに最近では横ばい傾向にある。以上のような再生可能エネルギーの動向は、後述するようにドイツにおいてもさまざまな課題を抱えているようである。

ドイツでは地域エネルギービジネスに参入している事業者は、日本のように既存の大手電力会社や大企業ではなく、地域住民の出資により組織されている協同組合や公社またはSolarcomplex社のような企業であるところが特徴的である。かつては日本と同様、大手電力会社が発送電を独占していたが、発送電分離、福島原発事故を契機とする原子力発電反対の盛り上がり、再生可能エネルギーへの国民意識の上昇などが複合的なモチベーションとなった。市民運動などもあり、大手電力会社による地域電力供給の独占はなくなった。また地域エネルギー生産・供給は、地産地消の概念から地域住民の出資で地域内特有の再生可能エネルギーを活用・供給する事業を起業することで、エネルギーコストを地域還元するシステムを構築

し、Energy Wendeの確立に至っている。

Solarcomplex社は、地域住民や自治体、金融機関から出資を受けており、現在のところ従業員は40名で、Singenを中心とする半径80km程度以内の約15の地域（バイオエネルギー村）や約10か所の建物に対してエネルギーの契約供給とメンテナンス業務、さらには新規エネルギー施設のエンジニアリング事業を行っている。通常は、コミュニティに対する電力小売りなどのエネルギー供給は、ドイツに200以上あるStadtwerke（都市エネルギー公社）が行うことが多いが、同社ではエンジニアリング事業のみならず、建物やコミュニティのエネルギー供給施設を所有し、運営している。再生可能エネルギーで発電した電力は、その電気を直接小売りするのではなく、大手電力会社に対して系統を通じて売電する価格の高いFITにて販売し、小売りは系統からより安価な電力を調達している。しかし、FIT制度の廃止決定により、再生可能エネルギー電力運用の転換などの方針見直しが必要になりつつある。熱は自社で設置した設備により直接販売している。具体的には、バイオマス燃焼やバイオガス、太陽熱温水、工場排熱、電力余剰時の熱交換による熱利用を行っている。熱供給配管は、放熱ロスがあまり大きくなりたくない2 km程度以内のネットワークを各サイトで埋設・維持し、熱配管インフラを自社所有している。

Solarcomplex本社での情報収集および自由討論の後、引き続き同社が運用している施設をMs. Gauklerのガイドで見学を行った。以下にその概要を述べる。

（3）Remishof Gehäuse

Solarcomplex本社から1.5km程度離れた郊外にある分譲集合住宅（3棟、8世帯/棟、2007年築、写真2）で、同社が木質ペレットボイラー（99 kW）と太陽熱温水器による床暖房と給湯の熱供給を行っている。図4に熱供給システムの概要を図示したもので、写真3に地下室に設置されているペレットボイラーとカロリーメーターの写真を



写真2 Remishof集合住宅の外観

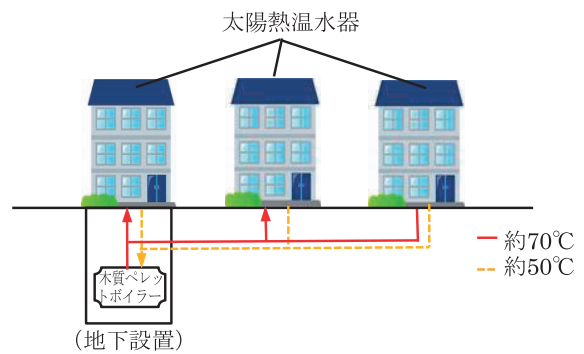


図4 Remishof集合住宅の熱供給システム



写真3 ペレットボイラー（左）とカロリーメーター（右）



示す。本事業では、同社が設計した熱設備を設置・運転し、各世帯に設置したカロリーメーターにより供給した熱を計量・販売している。したがって、ペレットボイラーや太陽熱温水器は分譲価格に含まれておらず、住宅分譲価格が割安となるメリットがある。住民は熱供給の基本料金と従量料金を管理費として支払っており、設備の維持管理も不要となる。ペレットはおがくずを圧縮して作られたもので、木質チップと異なり、ドイツ工業規格(DIN)で規格化されていることから、どこで購入しても品質(発熱量、ばいじんが出る量)は同じであり安定している。熱の安定供給を保証するため、ペレットボイラー不調時は、ホットモバイル(移動式熱源サービス車)によりバックアップを行う体制を整備している。

(4) Bioenergydorf Schlatt

Schlatt村は人口約500人、110戸程度の村で、地域熱供給システムを導入しており、約90戸が加入している。同村では、ドイツやスイスで牛乳や乳製品が生産過剰で価格暴落したため、農家が酪農から転向してメタン発酵槽と300kWのガスエ

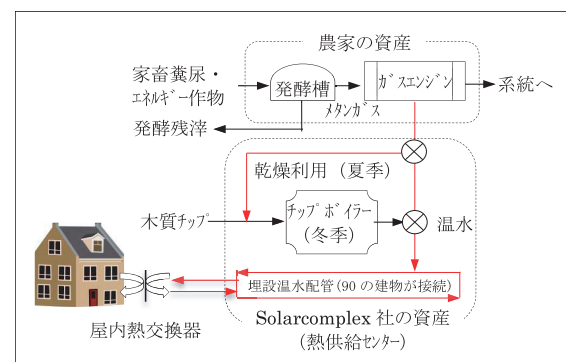


図5 Schlatt村の地域エネルギーシステムの概略



写真4 バイオガス発酵槽（左）とチップボイラー熱供給センター（右）

ンジンを設置してコージェネレーション事業を始めた。本事業が成立する大きな要因は、Solarcomplex社が共同事業として、埋設温水配管と冬期用補助チップボイラー熱供給センターを付設して運用している点にあるといえる。メタン発酵では近隣の酪農家から入手した家畜糞尿にトウモロコシや牧草などのエネルギー作物を加えている。バイオガス発電電力は村で消費する量の5～7倍を発電しており、全量をFITで売却している。排熱は埋設温水配管を通して熱供給を行っており、夏期の余剰熱はチップの乾燥に利用されている。発酵残しは、ふん尿を提供した農家へ返却し、肥料として畑に散布している。図5に、エネルギーシステムの概要、写真4にバイオガス発酵槽とチップボイラー熱供給センターの写真を示す。

（5）Bioenergydorf Büsingen

Büsingen村は、スイス内にあるドイツ領の村で、住民の多くはネスレなど近隣のスイスの企業に勤めている。同村では、前村長がほかのバイオ

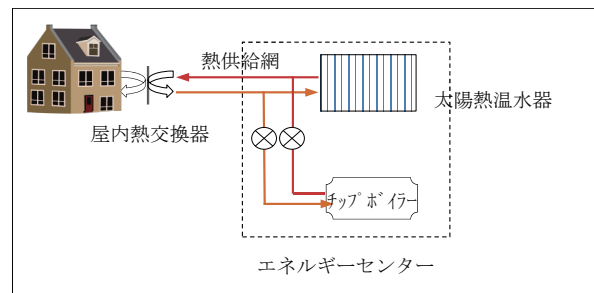


図6 Büsingen村の地域熱供給システムの概要

エネルギー村を視察したことをきっかけに再生可能エネルギーの導入を決め、Solarcomplex社にバイオエネルギー施設の設置・運営を委託している。この村ではスイスの電力システムを利用しているため、ドイツのFITが適用されない。そこで、バイオガス発電の代わりに大型太陽熱温水器と木質バイオマスボイラーでの地域熱供給を行っている。燃料の木質バイオマスは森林資源をチップ化して利用しており、太陽熱温水器の変動分を900kWと550kWの2基のチップボイラーで供給することにより、平準化している。図6に同村の地域熱



写真5 真空管式太陽熱温水器

供給システムの概要、写真5にここで使われている真空管式太陽熱温水器の写真を示す。

(6) Stadtwerke Radolfzell GmbH

Solarcomplex社運用施設の見学後、Singen近郊のRadolfzell市にあるRadolfzell都市エネルギー公社へMs. Gauklerの紹介・同伴で訪問する機会を得た。公社では電力、水道、ガス、熱、バス交通、通信（インターネット）の公共事業サービスを行っている。電力と天然ガスは、自由化により取り引きの競争が激化しているが、現在のところLeipzigの卸売り取引所で仕入れ、10万世帯へ供給している。ドイツでは電力システムを通しての送電と売電は別会社であることが原則であるが、10万世帯以下の小規模では送電と小売りは認可され

ているとのことであった。

同公社では、Mr. Daniel Meyerから、ドイツのエネルギーの現状と課題について興味深い話を聞くことができた。概要は以下の通りである。

原子力発電停止、再生可能エネルギー推進、20年間のFIT保障と電力系統への優先的接続権利により、再生可能エネルギー由来の電力の系統接続量が急増した。これに伴いFIT価格の上乗せ分は賦課金（サーチャージ）としてユーザーへの負担となり、利用者の電力料金は物価とは逆に増大傾向にある。このように再生可能エネルギーによる発電が増大する一方、褐炭や石炭産業などによる大型火力発電は発電コストが低いことによりベース電源と位置づけられるとともに、国内石炭産業保護の観点も加わり、ドイツ全体として消費量以



写真6 Radolfzell都市エネルギー公社にて（右写真、右からMs. Gaukler, Mr. Meyer, 通訳の滝川氏, 板谷）

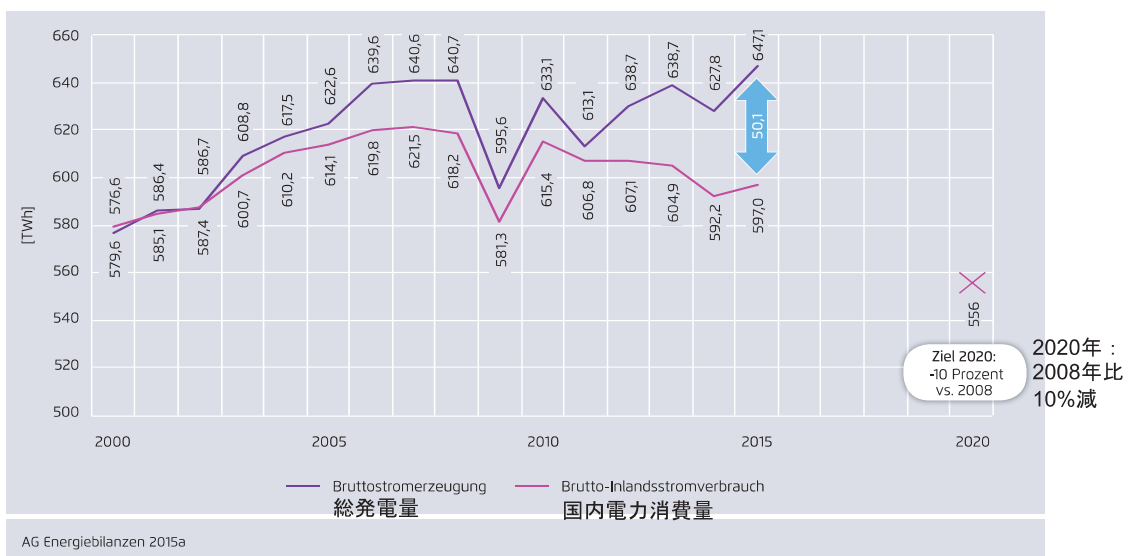


図7 ドイツ国内電力消費と総発電量の推移（2000-2015年）および2020年見込み

上の発電が継続されており、図7に示すように2003年以降、総発電量が消費電力量を上回り、特に直近の2012年から2015年にかけて余剰電力が急増している⁶⁾。その結果、電力取引価格の暴落が起きており、国内電力システムの安定性を維持するためにトータルとしては近隣諸国からの年間電力輸入量よりも輸出量が多くなっている。数年前にはチェコやポーランドのぜい弱な系統へドイツから過大な電力が流入するというトラブルが生じ、ドイツに対する非難が高まったとのことである。

EU諸国の急速な再生可能エネルギーの普及は、周辺国間で電力を融通できることから可能であると言われているが、国境を越えた電力融通の容易さが逆に余剰電力の安易な輸出により、他国への迷惑の要因となっている。また、中小事業者を含む多くの事業者が発電事業へ参入した結果、インフラ整備の遅れが顕在化するとともに、電力需給バランスを度外視した経済性優先による石炭火力発電が供給過剰をもたらすなど、エネルギーの合理的利用の観点から疑問と思われるいくつかの矛盾もクローズアップされつつあり、大きな課題を抱えているようである。

なお、一般家庭の現在の電力料金は24~28ユーロセント/kWhで、その内訳は原価（3~7.5ユー

ロセント/kWh）、系統利用料（5~7ユーロセント/kWh）、系統利用契約料金、コジェネレーション賦課金、再生可能エネルギー賦課金、税金となっている。このような多くの付帯料金のため、発電原価の下落は価格にほとんど寄与していない。

(7) Bioenergydorf Wildpoldsried

Wildpoldsried村は、Bayern自由州において先導的に再生可能エネルギーの利用を開始したバイオエネルギー村である。木質系バイオマス、風力、小水力、太陽光を利用し、同村内に熱供給網を敷設し、村内の契約住宅へ熱供給を行っている。同村への訪問に際して、村役場のエネルギー担当



写真7 400kW木質チップボイラーが設置されている村営ホテル

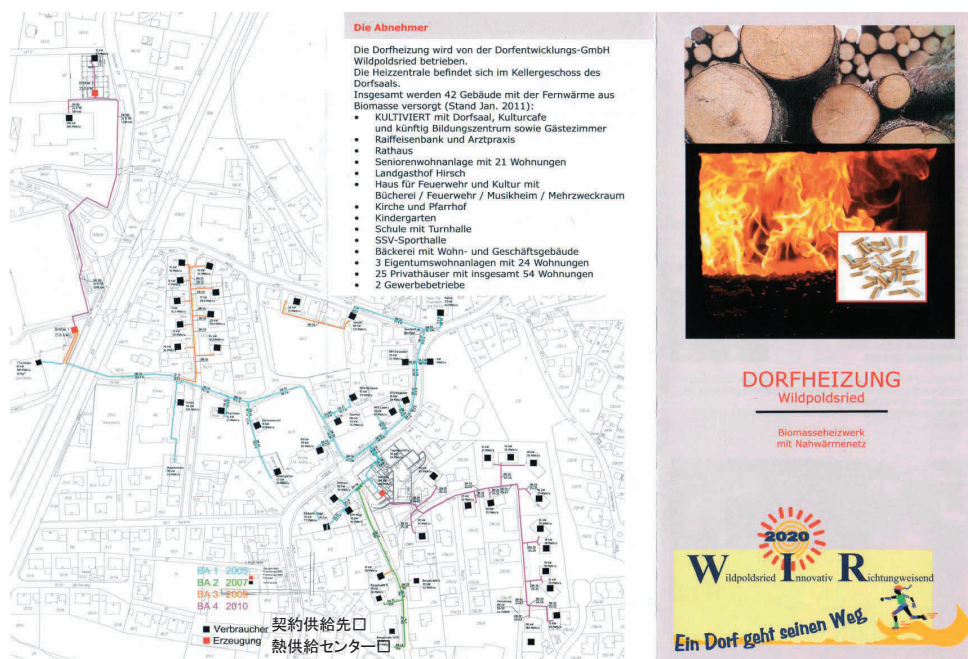


図8 Wildpoldsried村の熱供給網



写真8 熱供給配管の埋設状況と配管の断面

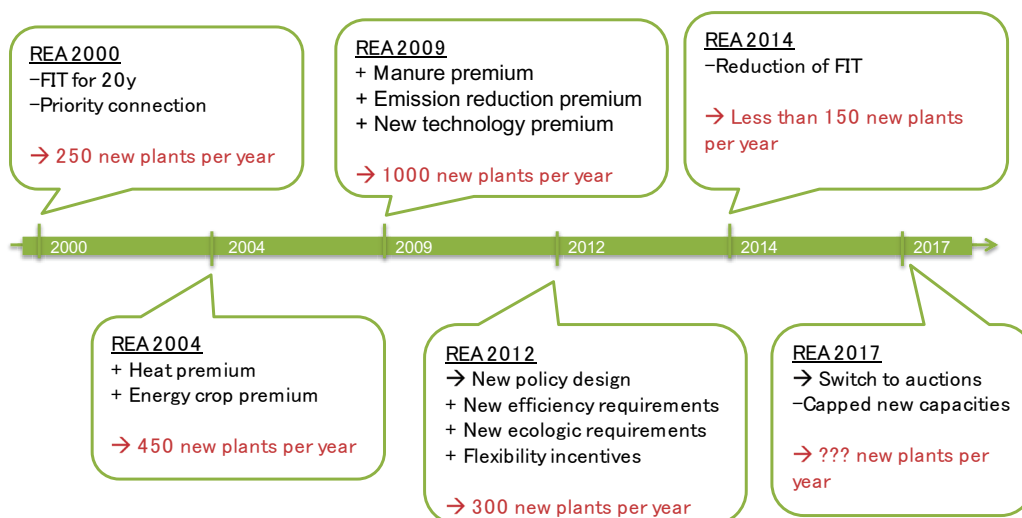
者Ms. Susi Vogelに案内を依頼したが、当日は残念ながら都合がつかなかったため、宿泊先の村営ホテル(写真7)で案内パンフレットを入手し、地図を片手にあいにくの雨の中、我々2人だけで村内を見学した。図8は同村のエネルギーシステムを紹介したパンフレットに記載の地域熱供給網マップで、写真8に示すような熱供給配管を地中埋設して村内建物に熱供給が行われている。計画は1999年に始まり、2003年に村役場隣接の我々が宿泊したホテル地下室に400kWの木質ペレットボイラーが設置され、セントラルヒーティングが開始された。2011年に最初の熱供給配管が敷設されて以来、地域熱供給が開始され、これまでに熱供給網の整備が段階的に進められてきた。現在の設備構成は、400kW木質チップボイラー1基、250kWバイオガスコジェネレーション2基、ピー

ク対応用385kW灯油ボイラー1基であり、村役場、住宅、各種施設など42の建物に熱供給が行われている。

熱供給網では年間1,800MWhのエネルギーを供給しており、化石燃料から再生可能エネルギーへの転換により、年間486tの二酸化炭素削減に成功している。

(8) DBFZ GmbH

DBFZ (Deutsches Biomasseforschungszentrum) は、2008年にドイツ連邦食糧・農業省 (BMEL) が管轄する非営利法人としてBerlinに設立された後、旧エネルギー・環境研究所を併合した。バイオマスエネルギー利用および生産に関する研究開発をミッションとしている。研究施設はLeipzigにあり、バイオエネルギーシステム、生化学変換、



Source: DBFZ, based on Biogas Association Germany, Dr. Stefan Rauh

図9 再生可能エネルギー開発活動経緯 (2000~2017年)

熱化学変換、バイオ改質の4部門がある。業務内容は研究開発に加えて、政策提言、市場分析とデータ提供、技術・経済・環境アセスメント、研究開発に対する科学的支援、技術移転などを担っている。

今回は、熱化学変換の部門長であるDr. Volker Lenzを訪問して、情報交換を行った。本研究所では、まずDr. LenzからDBFZについての概要紹介を受けた後、Mr. Kay Schaubachからドイツの再生可能エネルギー動向について説明があった。

図9は再生可能エネルギー導入に向けた活動の経緯を示したもので、2000年のFIT制度導入以来、各技術開発を契機とするたびに多くの新規プラントの導入が進められている。図10は電力消費総量に対する再生可能エネルギー発電割合の実績と今後の見通しを示しており、2025年には40%以上の高い目標が設定されている。このような目標の中でもバイオマス発電については、図11に示すような設備導入容量の推移と将来見通しが根拠になっていると思われる。また、バイオマスエネル

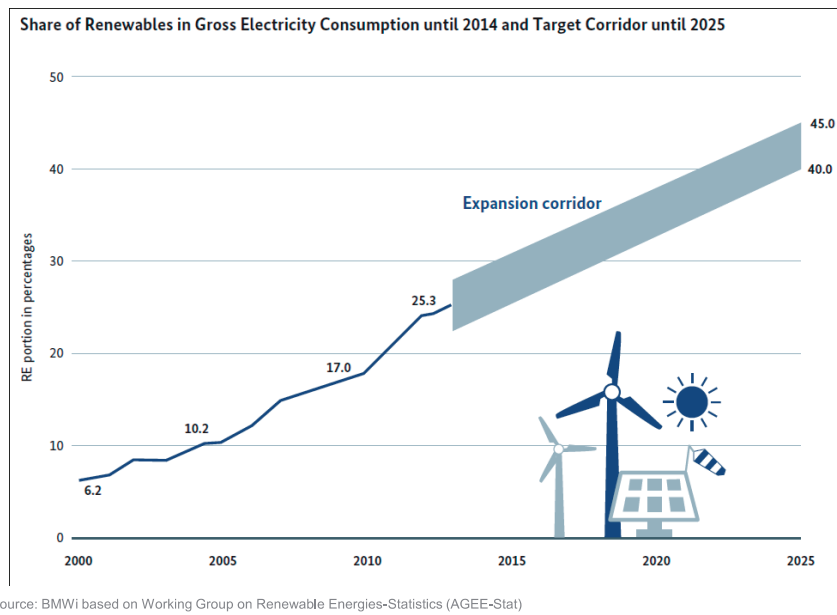


図10 電力消費総量に占める再生可能エネルギー割合実績と将来見通し

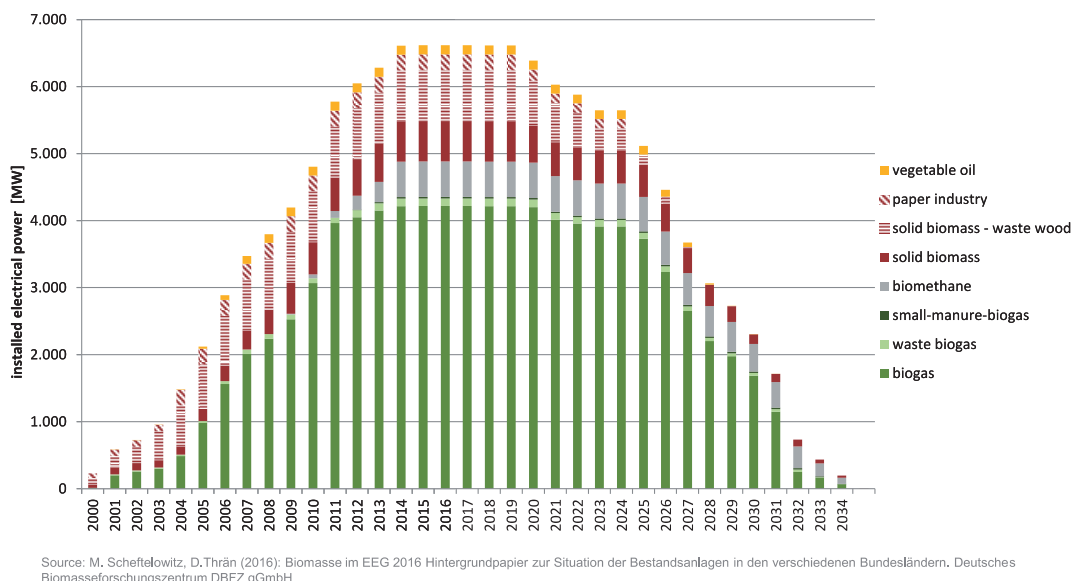


図11 バイオマス発電設備導入容量の推移と見込み

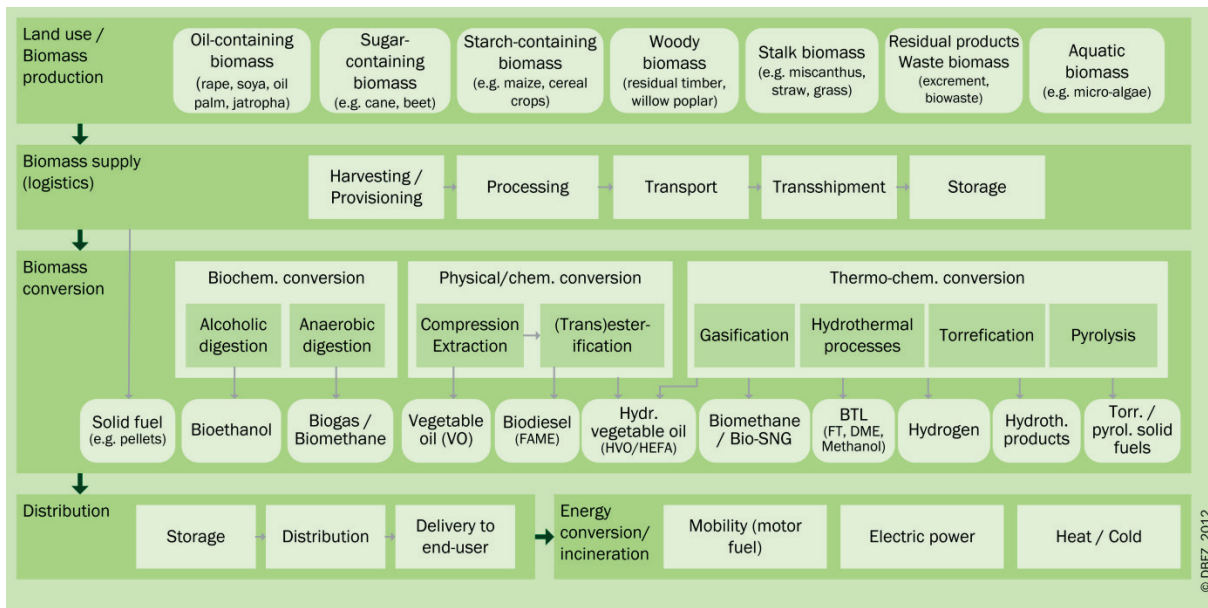


図12 バイオマス原料からエネルギー利用までのフローとエネルギー変換技術



写真9 DBFZの熱化学変換部門棟前にて (左より梅田, Dr. Khalsa, Dr. Lenz, 板谷, Mr. Schaubach)

ギーについては、図12のように日本と同様、多岐にわたる原料から種々のエネルギー利用技術が検討されている。

(9) Bioenergydorf Schlöben

DBFZ訪問後はDr. Lenzの紹介で、Leipzigから南西方向にアウトバーンを車で1時間余り走ったところに位置するSchlöben村(人口約4,500人)のバイオエネルギーシステムを視察する機会を得た。現地へはDr. Jan Hari Arti Khalsaに通訳を兼ねて案内していただいた。Schlöben村に到着すると、村長の出迎えを受け、Mr. Kristian Möllerに村内の主なシステムについての案内と

説明をいただいた。

同村では、2006年に議会でバイオエネルギー村に向けた開発を決定し、2007年に住民集会での説明会を開催した。プロジェクト計画の策定には住民参加型のワーキンググループで実施し、2009年に当時のドイツ連邦食糧・農業・消費者保護省(BMELV)が募集する「バイオエネルギー地域」事業の25地域のひとつにSchlöben村のあるSaale-Holzland郡Jena市が選定された。これに伴い2009年に、住民、自治体、農業関連企業が連携したバイオエネルギー村が誕生し、2011年までに木質チップボイラー暖房システム(550kW×1台)、バイオガスコジェネプラント(256kW×3台)、バイオガス導管網(1.6km)、熱供給導管網(5.8km)、光ファイバー通信ネット回線が設置された。図13にSchlöben村の運営体制の概略を示す。総設備

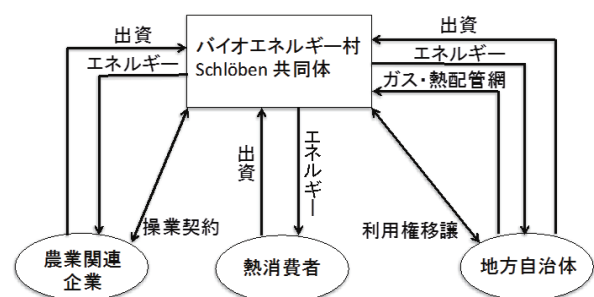


図13 Schlöben村の運営体制概略図



写真10 Schlöben村全景（左），熱供給配管網（中央），バイオガス配管網（右）

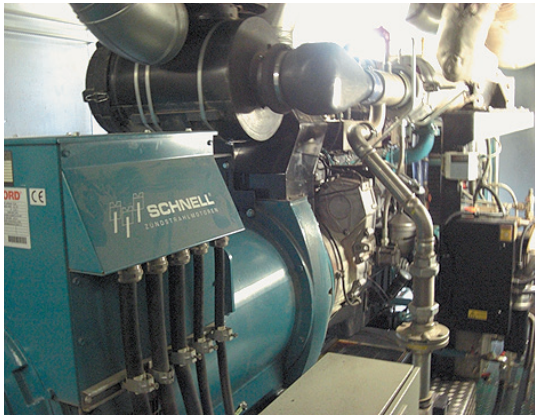


写真11 バイオガスエンジン（左）とバイオガス発酵槽（右）

投資額は540万ユーロで、主な内訳はバイオガスプラント235万ユーロ、熱供給配管網130万ユーロ、木質チップボイラー80万ユーロ、ブロードバンド通信施設36.6万ユーロ、バイオガス配管網21万ユーロである。住民から一口2,000ユーロ以上の出資と銀行からの融資も受けている。村内の全世帯のうち70%以上が本システムからガスと熱供給を受けており、二酸化炭素排出を年間2,000 t 削減している。写真10に同村の全景と熱・ガス配管網、写真11にバイオガスエンジンとバイオガス発酵槽の外観写真を示す。同村の住環境と環境保全への取り組みに魅力を感じ、村外から移住者が多く、これに伴う人口増により、3つ目の保育園を増設したとのことである。

(10) Aalborg University

Aalborg大学は、デンマーク第4の都市Aalborg

(人口約12万人)に1974年に設立された工学、社会科学、医学などを有する総合大学で、学生数は2万人、教職員は3千人である。

今回訪問したProf. Poul Alberg Østergaardは、風力発電の最適化、熱交換の最適化、熱供給分野でのエネルギーシフトの推進、二酸化炭素削減のための再生可能エネルギー利用技術などの社会実装を想定した実用的な研究を行っている。同教授からは、デンマークでも特にAalborgを中心とする地域熱供給システムについて情報提供を受けた。

デンマークでは、熱利用の65%は地域熱供給システムから供給を受けている。また、全ての廃棄物は焼却処理されており、その燃焼熱による蒸気発生およびスチームタービン発電のコジェネシステムが導入されている。Aalborg市中心部から10～15km程度離れた地域に、廃棄物焼却施設とセメ

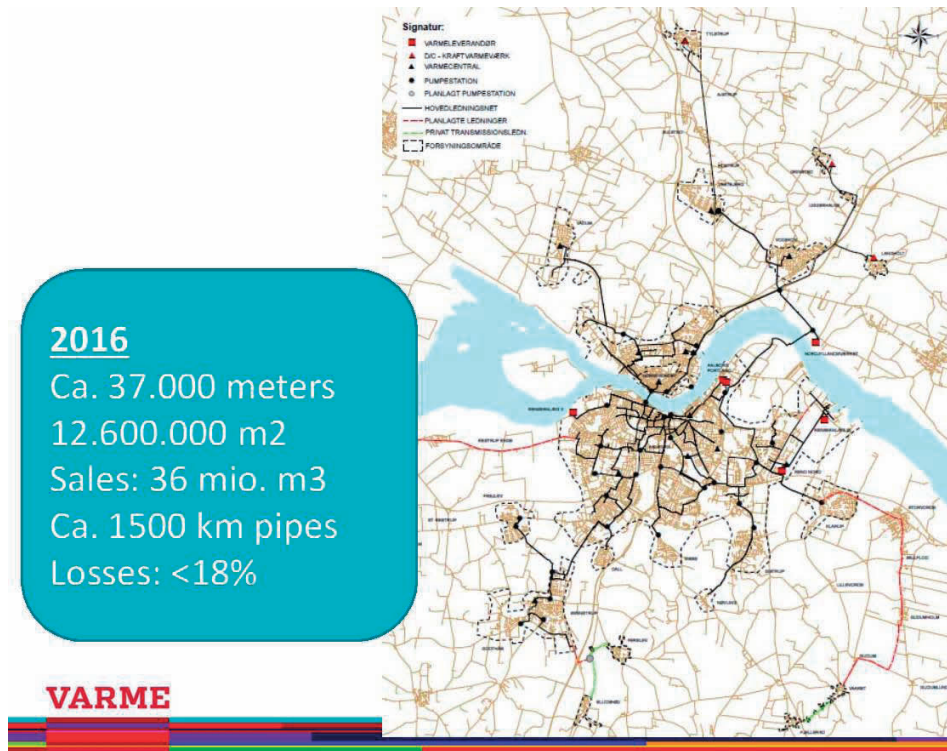


図14 Aalborg市の熱供給網

ント工場などの大型プラントが3か所あり、地域熱供給網（総延長1,500km）に24時間温水を供給している。地域熱供給網が整備されている地域の住宅では、接続義務が課されている。現在37,000世帯が接続しており、普及率は年約1%で伸びている。住宅を地域熱供給網に接続する場合、建設費の融資を低金利で受けることができる。これは、融資のリスクを自治体が保証するためである。図14にAalborg市の熱供給網を示す。

地域熱供給網の建設は、自治体が主体となって1950年頃から始まった。1970年代のオイルショックを契機として、地域熱供給のメリットを市民が

認識して、灯油によるコジェネレーション+地域熱供給および系統接続による電力供給システムへのシフトが進んだ。コジェネレーションプラントを持つ事業者は、系統への電力を販売権が認められている。熱供給網のメンテナンスは、主要導管については専門業者2社が受注しており、内管（家屋導管）については、Promoと呼ばれる個人人工務店が受注して行っている。

デンマークの熱供給・利用設備の特長として、屋外大容量貯湯槽があげられる。これは、自然のくぼ地や砂利採取場跡を貯湯槽として利用するタイプ、人工的に掘削した縦穴を貯湯槽として利用



写真12 Aalborg大学にて

するタイプなどがある。いずれも漏えい防止のシートを敷設して貯湯し、保温性を高めるための蓋をかぶせる構造としている。小型のもので25,000m³、大型のもので202,000m³の貯湯槽が数基建設されている。いずれも熱供給導管網に接続されており、一般に熱需要の少ない夏に貯湯し、熱需要の多い冬に熱供給運用を行っている。貯湯槽は上部を90℃程度の高温、下部では低温とする成層を形成するように貯湯し（成層蓄熱）、低温の湯から優先的に利用するシステムとなっている。季節を超えて長期間貯湯するため、低温の下部貯湯温度は冬季において40℃程度にまで低下するが、ヒートポンプを暖房モードで運転した場合の供給熱源としては十分利用できる。将来の計画として、造船不況により遊休施設となったドックを貯湯槽に転用する構想があがっている。これら大規模貯湯槽は、変動の大きい再生可能エネルギー（風力など）の平準化にも寄与している。ただし、デンマークで地域熱供給網がこれだけ高い普及率で成立しているのは、年間の平均気温が10℃程度であることに加え、夏でも15℃程度の低温であることがあり、年間を通じて熱需要が多いためである。地域熱供給網から供給される温水の利用先は、25%程度が給湯であるほかは、空調、台所用温水、シャワーとなっている。

3. 調査結果のまとめ

再生可能エネルギーへの転換が推進されている欧州、特にドイツおよびデンマークにおけるエネルギー動向、技術的特徴、社会システム、ビジネスモデルなどの実態調査を目的として、現地視察を行った。欧州ではもうすでに日本の中部圏の冬のような気候の中を、日程の都合で残念ながら約1週間という短期間での駆け足調査となったが、日本国内ではあまり報道されていない有意義な情報を得ることができた。事業に関する欧州モデルの最大の特徴は、地域での地産地消を原則として、出資も含めて住民参加型の再生可能エネルギー供給システムを整備して、自治体レベルでの公社ま

たは組合による事業運営を行うことにより、エネルギー料金や設備の設置、管理も含めてキャッシュフローが地域内で内部循環する仕組みを構築した点であろう。日本のこれまでの再生可能エネルギー関連プロジェクトではどちらかというと大手企業による設備の技術的実証試験の色彩が比較強いいため、財政支援なく自立した事業化ステージになると経済的に困難となるケースが多かったといえる。今後の地域エネルギーシステム開発プロジェクトを計画する上では大いに参考になる。ただし、再生可能エネルギーへの転換が始まった初期の段階では、ドイツでも規制緩和と既得権益をブレークスルーするまでに大勢の努力と時間が費やされたようである。当初はメディアの報道もそれほど多くなかったが、自然環境保護の動きに福島原子力発電所事故などが重なり、世論が盛り上がり市民運動も活発化した。この結果、政権が交代するなど連邦政府の政策にインパクトを与えたことである。また、欧州では昔から多くの地域で熱供給導管網が整備されており、コジェネレーション設備を導入し、熱を有効利用するシステムへの移行が容易であるという背景から、再生可能エネルギーによる熱を利用するための追加設備コストが低いことも、再生可能エネルギー導入の追い風になっている。日本でもコジェネレーションの導入を前提とした需要発掘とインフラ整備を検討することも、再生可能エネルギーによる新規地域エネルギーシステム事業実施の大きなポイントとなる。

一方で、再生可能エネルギーの導入が進むにつれて、多くの課題や矛盾もクローズアップされつつある。例えばドイツではFITにより参入した事業者が乱立して、最終消費者の電力料金への賦課増大している。また、不安定な再生可能エネルギーに対して電力系統安定化のため、大規模発電設備を調整電源として稼働させる必要がある。しかし、大型設備を所有している既存の大電力会社では、負荷変動への追随性に優れる天然ガス火力発電設備容量が元来少ないことも有り、コストの低い褐炭や石炭火力をほぼフル稼働させる状態を継続し

ている。このため、化石燃料消費量はあまり削減されておらず、再生可能エネルギーを大量に導入している割にはトータルとしての二酸化炭素削減が進んでいないばかりか、余剰電力が生じて取引価格の暴落にもつながっている。その結果、周辺国への過剰な電力送電などのトラブルが発生している。さらには、このような現状に対応するためにFIT価格の低下や廃止につながっており、地域エネルギーシステムの運営を圧迫する事態にもなりつつある。

以上、必ずしも全てを詳述できていないが、今後の中部圏における再生可能エネルギー導入の計画立案に少しでも参考になり、地域エネルギーシステム導入が推進されれば幸いである。

謝辞

今回の欧州視察では、訪問先などのご紹介をいただいた知人の西山明雄氏、在日本デンマーク大使館の田中いづみ氏、通訳でお世話になったスイス在住の滝川薫氏、さらには快く我々の訪問を受け入れ、再生可能エネルギーの動向の紹介と子細にわたる質問に答えていただくとともに、興味深い見学先まで紹介していただいたドイツとデンマークの方々に心より謝意を表したい。

引用文献

- 1) 環境省：「COP21の成果と今後」、[“https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-c.pdf”](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-c.pdf)
- 2) C. Rathgeber, H. Schmit, P. Hennemann and S. Hiebler: Calibration of a T-History calorimeter to measure enthalpy curves of phase change materials in the temperature range from 40 to 200 °C, *Measurement Science and Technology*, 25 (2014) 035011, doi:10.1088/0957-0233/25/3/035011
- 3) 滝川薫編著、村上敦、池田憲昭、田代かほる、近江まどか：「欧州のエネルギー自立地域」、学芸出版社、(2012)
- 4) Statistisches Bundesamt： [“https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/EconomicSectors/Energy/Production/Tables/GrossElectricityProduction.html”](https://www.destatis.de/EN/FactsFigures/EconomicSectors/Energy/Production/Tables/GrossElectricityProduction.html)
- 5) 電気事業連合会：会長定例会見資料3「電源別発電電力量構成比」 [“http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/kaiken/_icsFiles/afieldfile/2016/05/23/kaiken_20160520_1.pdf”](http://www.fepc.or.jp/about_us/pr/kaiken/_icsFiles/afieldfile/2016/05/23/kaiken_20160520_1.pdf)
- 6) Agora Energiewende (2016)：Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge 2015. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2016, Januar [“https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Jahresauswertung_2016/Agora_Jahresauswertung_2015_web.pdf”](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Jahresauswertung_2016/Agora_Jahresauswertung_2015_web.pdf)