

熱分野の脱炭素化を目指す欧州の熱ロードマップと第 4 世代地域熱供給

Heat Roadmap Europe and 4th generation district heating towards decarbonization of heat sector

松原弘直 *

1. はじめに

パリ協定を受けた欧州の気候変動・再生可能エネルギー政策と共に、欧州の熱ロードマップ（Heat Roadmap Europe 2050）などの研究プロジェクトによる再生可能エネルギー熱分野での脱炭素化に向けた再生可能エネルギー 100%への展望や、デンマークを中心とするスマートエネルギーシステムとしての第 4 世代地域熱供給への取組みについて調査し、地域熱供給の現状や再生可能エネルギーやエネルギー効率化による熱供給の脱炭素化の可能性について考察した。

2. 欧州のエネルギー熱分野の脱炭素化

2.1 欧州の再生可能エネルギー政策

欧州では 2009 年に、欧州連合（EU）指令として、気候変動対策のための温室効果ガスの削減目標値 20%（1990 年比）と共に、再生可能エネルギーが最終エネルギー消費に占める割合も 20%と 2020 年の目標値が定められている。この最終エネルギー消費には電力分野だけではなく、熱分野や輸送分野も含まれており、欧州 28 カ国が NREAP（National Renewable Energy Action Plan）と呼ばれる国別の再生可能エネルギー導入計画を策定し、電力、熱、輸送燃料それぞれの分野で 2020 年までの再生可能エネルギー導入のロードマップを定めている。その実績としては、図 1 に示すように 2004 年の時点では EU28 カ国全体で再生可能エネルギーの割合（最終エネルギー消費）は約 9%だったが、2018 年には 18%まで増加している。

さらに、2020 年にスタートしたパリ協定に対して EU 全体では 2030 年までに温室効果ガスを 40%削減（1990 年比）する気候変動&エネルギー枠組

みを 2014 年に策定し、2030 年までの再生可能エネルギー割合（最終エネルギー消費）の目標を 32%以上に、エネルギー効率化の改善目標を 32.5%とする政策決定を 2018 年に行った⁽¹⁾。EU 各国は 2021 年以降 2030 年までのエネルギー・気候変動対策計画（NECPs）を策定することになっている。さらに EU 委員会は欧州グリーンディール構想（European Green Deal）を 2019 年 12 月に発表している⁽²⁾。

EU では、上記の気候変動とエネルギーの枠組みに沿って再生可能エネルギー政策に関しては EU 指令（RED II）が 2018 年 6 月に策定されている⁽³⁾。この中で電力分野に比べて再生可能エネルギーの導入が遅れている熱分野については 2021 年から再生可能エネルギーの毎年 1.3%増加を目指すとしている。交通分野については再生可能エネルギーの割合

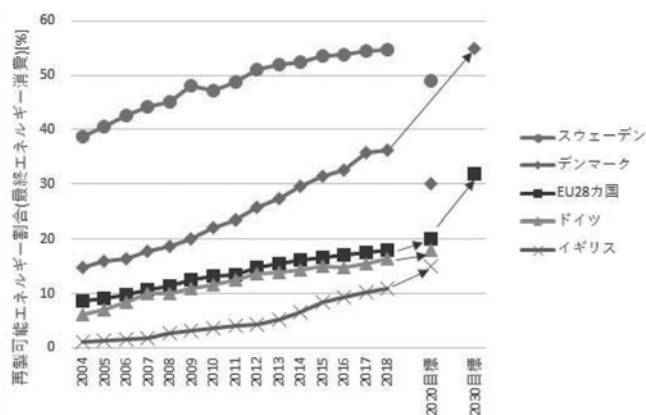


図 1 欧州各国の再生可能エネルギー割合（最終エネルギー消費）の推移と目標
（出所：eurostat データ等より作成）

* 認定 NPO 法人環境エネルギー政策研究所

14%以上を目指すとして、その際に使用するバイオ燃料に関する持続可能性が重視されている。電力分野については系統への売電や電力市場での取引に代わって「自家消費」を進めるとしている。

2.2 再生可能エネルギー熱の割合

2018 年の実績データ⁽⁴⁾では、EU 全体の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合は 18.0%に達しており、2020 年に 20%という目標の達成に向けて着実に進んでいる（2020 年 2 月に離脱した英国を除く EU27 カ国ではすでに 18.9%に達している）。表 1 に示すようにその中でスウェーデンでは 2020 年の目標値である 49%を 2013 年の時点ですでに超え、2018 年には 55%近くに達している。そのほか、フィンランド、デンマーク、エストニア、ラトビア、リトアニア、ルーマニア、ブルガリア、

イタリア、チェコ、ギリシャ、キプロスと合わせて 12 カ国で 2020 年の目標をそれぞれすでに達成している。これらの国々では電力分野だけではなく、熱分野でも再生可能エネルギーの割合が高いという特徴がある。EU27 カ国の平均では、再生可能エネルギー熱の割合は約 21%だが、熱需要に対して再生可能エネルギーの割合が 40%を超える国は、スウェーデン、フィンランド、ラトビア、エストニア、リトアニア、デンマークの 6 カ国となっており、スウェーデンでは約 65%に達している（図 2）。一方で交通分野の再生可能エネルギーの割合はスウェーデン（約 30%）、フィンランド（約 15%）など一部の国を除いて 10%未満に留まっている。

再生可能エネルギー熱利用では森林からの木質エネルギーとして固体バイオマスが大きな割合を占めており、再生可能エネルギー熱利用の約 80%が固体バイオマス（木質チップ、木質ペレットなど）となっている⁽⁵⁾。また、欧州ではバイオマスエネルギーの利用においては熱利用の割合が 7 割以上を占めている。国によっては北欧のデンマークのようにバイオマス発電での CHP（熱電併給）を義務化している国もあり、デンマーク、スウェーデン、ポーランドでは 100%に達して、欧州全体でも CHP の比率が 58%と高い割合になっている⁽⁶⁾。一方で、イギリスについては CHP の導入がほぼゼロの状況で、再生可能エネルギー熱の割合も 7.5%と低くなって

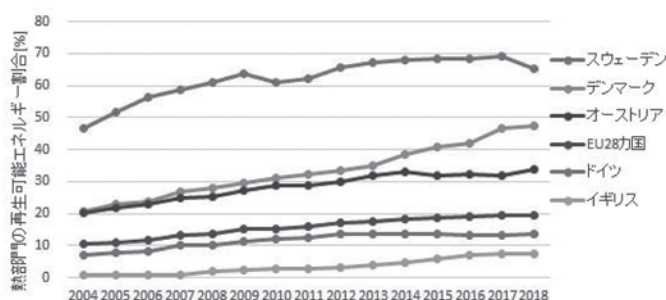


図 2 EU 各国の再生可能エネルギー熱利用の割合の推移
（出所：eurostat 等より作成）

表 1 欧州（EU）各国の再生可能エネルギー割合の 2020 年目標と 2018 年実績（目標達成国のみ）

目標達成国	2020 年目標	2018 年実績	電力	熱	交通
スウェーデン	49%	54.6%	66.2%	65.4%	29.7%
ラトビア	40%	40.2%	53.5%	55.9%	4.7%
フィンランド	38%	41.1%	36.8%	54.6%	14.9%
デンマーク	30%	36.1%	62.4%	47.4%	6.6%
エストニア	25%	30.0%	19.7%	53.7%	3.3%
クロアチア	20%	28.0%	48.1%	36.5%	3.9%
リトアニア	23%	24.4%	18.4%	45.6%	4.3%
ギリシャ	18%	18.0%	26.0%	30.2%	3.8%
ブルガリア	16%	20.5%	22.1%	33.3%	8.1%
イタリア	17%	17.8%	33.9%	19.2%	7.7%
チェコ	13%	15.2%	13.7%	20.6%	6.5%
キプロス	13%	13.9%	9.4%	36.8%	2.7%
EU28 カ国	20%	18.0%	32.1%	19.7%	8.0%
EU27 カ国	---	18.9%	32.2%	21.1%	8.3%

出所：eurostat より作成

いる。バイオマスの国別の需給については、ドイツ、フランス、スウェーデン、フランスなど、ほぼ100%を自給している国がある一方、イギリスやデンマークなどバイオマスの国内供給量に対して需要が大きい国では海外から木質ペレットなどを輸入して石炭からのエネルギー転換を行っている。EUでは、国内や地域のバイオマス資源だけでなく、海外からのバイオマス資源の利用では、その持続可能性を特に考慮する必要がある、すでにイギリスやオランダで持続可能性基準が策定されている。2014年にはSFM（持続可能な森林管理）基準が策定され、EU各国で採用されている。EUでは、発電および熱利用に関するバイオマス資源の利用における持続可能性基準を定めることを推奨するレポートを2010年に公表した。およそ出力1MW以上の設備に対してライフサイクルでの温室効果ガスの評価基準やより高いエネルギー変換効率、さらに生産時の持続可能性（土地利用、土地管理など）の基準を推奨している。

3. 欧州熱ロードマップ 2050

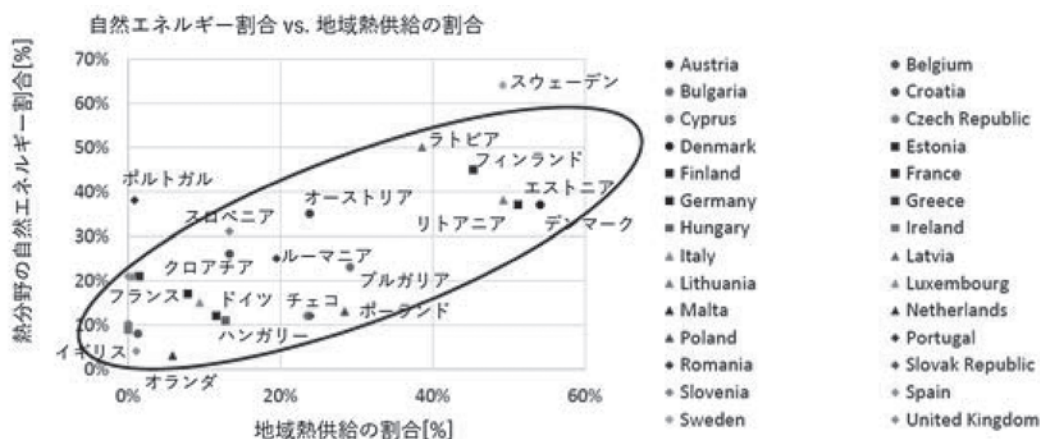
EU委員会が2016年2月に策定した欧州温冷熱エネルギー戦略（EU Strategy on Heating and Cooling）では最終エネルギー需要の約半分を占める熱分野の脱炭素化に向けて地域熱供給を重要な要素としている⁽⁷⁾。それに対応して、2019年2月に最終レポートが公表された研究プロジェクト「欧州熱ロードマップ 2050」“Heat Roadmap Europe 2050”（HRE2050）では、最終エネルギー消費の約50%を占める熱分野におけるエネルギー効率化や電化の推進、再生可能エネルギーや排熱利用、そして地域熱供給などのインフラやエネルギーシステムの統合の重要性を指摘しており、2050年に向けて欧州各国

における熱分野の脱炭素化を進めるためのシナリオやロードマップが示されている⁽⁸⁾。HRE2050 プロジェクトは2016年から3年間のプロジェクトで、科学的なデータに基づき、EU全体の需要の約9割を占める14カ国を対象に熱分野（温熱および冷熱）での脱炭素化のためのシナリオ分析を行い、そのために各国の高精度な熱需要・供給マップ（Peta）を作成している⁽⁹⁾。このHRE2050の重点プロジェクトとして公開されているPeta4.2（欧州全域の熱マップ）は欧州14カ国をカバーし、熱需要密度を始めて10種類のマップをおおむね1kmの精度（一部は100m）で見ることができる。さらにHRE2050のシナリオでは、既存技術を用いて2050年までに1990年比で86%のCO₂排出削減が熱分野でも可能であることを示している。

欧州の中でもデンマークやスウェーデンなど北欧各国では熱分野での再生可能エネルギーの割合がすでに高くなっている。HRE2050の調査で、地域熱供給の整備が進んでいる国ほど熱分野の再生可能エネルギーの割合が高いことが分かっている（図3）。

HRE2050のロードマップでは、経済的に成り立つ前提でも欧州14カ国平均で現在12%の地域熱供給の割合を2050年には熱需要の約半分を地域熱供給で賄うことは可能であるとしている。さらに地域熱供給がすでに50%近く普及しているスウェーデンやフィンランドなどの北欧諸国に対して、現在は普及率が低い国（イタリア、スペイン、オランダ、イギリスなど）でも50%以上にすることは経済的に十分可能であるとしている（図4）。

国により気候的な違いはあるが、むしろ人口密度や都市化に応じて決まる熱需要の密度が地域熱供給導入の経済性に影響しており、地域熱供給をエネルギーシステム中で重要なインフラとして位置付け



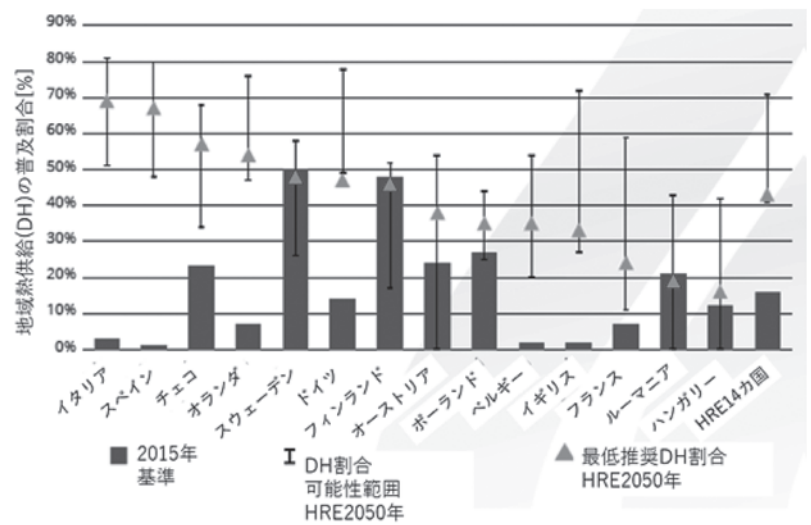


図4 欧州14カ国の地域熱供給（DH）の割合（2015年）と導入可能性の評価（出所：HRE2050⁽⁸⁾に加筆）

て、EUそして各国のエネルギー政策として都市計画や開発プロセスに組み込むことが必要だと指摘している。さらに、地域熱供給に加えて、再生可能エネルギーや排熱利用など様々な熱源を扱うことと蓄熱技術が重要である。HRE2050のシナリオでは熱源としてCHP（熱電併給）が4割近くと最も大きな割合を占め、電化が進んでヒートポンプが25%と重要な役割を果たす。蓄熱技術は蓄電技術よりも経済性に優れ、熱分野の柔軟性だけではなく電力分野との統合を進める役割も果たす。

4. 第4世代地域熱供給への取り組み

4.1 第4世代地域熱供給

欧州の北欧（デンマークなど）を中心とした第1世代の地域熱供給は、100年以上前の1900年代の初期から行われていたものである。石炭や廃棄物の焼却熱を熱源とする熱供給により、供給温度は200℃近くに達する蒸気を用いたもので、エネルギー効率もとても低かった。その後、1930年代以降に、高温（100℃以上）の加圧温水による第2世代の地域熱供給が始まり、従来の石炭や廃棄物の焼却熱利用だけではなく、石炭や石油などを燃料とする大型で集中型の熱電併給（CHP）プラントが主要都市に建設された。1970年代のオイルショックを経て、1980年代以降は、分散型の熱電併給（CHP）や熱供給の設備が主流となり、熱源として天然ガスやバイオマスが用いられるようになった。この第3世代の地域熱供給では、100℃以下の温水を用いて断熱パイプや断熱されたコンパクトなサブステーションにより、小規模でもエネルギー効率の高いシステム

を目指し、計測やモニタリングを行っている（表2）。このような欧州での地域熱供給の経験の上に第4世代地域熱供給が研究や実証がデンマークを中心に進められている。より低温の温水を用いることでエネルギー効率が向上すると共に、より多くの再生可能エネルギーや様々な排熱の利用を可能としている⁽¹⁰⁾。将来、より低エネルギー化が進みエネルギー需要が低下する場合でも、配管システムなどでの熱損失を最小限に抑えることができる。より柔軟なエ

表2 地域熱供給ネットワークの歴史的発展

	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
年代	1880-1930年	1930-1980年	1980-2020年	2020-2050年
主な特徴	蒸気ベース、コンクリートパイプ	加圧温水、大規模な施設	断熱パイプ、サブステーション、計測・モニタリング	低いエネルギー需要、スマートエネルギー、双方向地域熱供給
供給温度	< 200℃	> 100℃	< 100℃	50 ~ 60℃ (70℃)
エネルギー効率	とても低い	低い	中程度	高い
熱源	石炭、廃棄物	石炭・廃棄物、石炭・石油、CHP	天然ガス・廃油・石炭、廃棄物・石炭・石油、CHP、産業排熱、バイオマス、大規模太陽熱	廃棄物・バイオマス、CHP、集中型HP、産業排熱、バイオマス、余剰風力発電、地中熱、大規模太陽熱
蓄熱槽	蒸気蓄熱	蓄熱槽	蓄熱槽	蓄熱槽、冷水槽、季節間蓄熱
太陽熱利用	無	無	有	有
冷房需要	無	無	無	有

（出典：デンマーク地域熱供給白書⁽¹⁰⁾より作成）

エネルギー貯蔵や供給側と需要側の双方向でのやり取りが可能となり、よりスマートで効率的なエネルギーシステムとなることを目指している。これにより、地域熱供給システムがより多くの地域に適したものとなる可能性があるほか、既存の熱供給システムを拡大し、新たな機能をもたらすことができる。

4.2 第4世代地域熱供給の国際会議

この第4世代地域熱供給やスマートエネルギーシステムに関する研究開発や実証の成果に関する国際会議がオールボー大学を中心にデンマーク各地で開催されている。この国際会議は、デンマークのオールボー大学を中心とした4DH研究センター⁽¹¹⁾が主催して2015年から毎年開催され、近年はスマートエネルギーシステムがメインのテーマになっている。

デンマーク第4の都市オールボーで2018年11月12日から15日にかけて第4世代地域熱供給とスマートエネルギーをテーマにした第4回目の国際会議が開催された⁽¹²⁾。この年は4大陸の世界25カ国から310名の参加者が集い140の研究発表が行われた。4DH研究センターは、発足から7年が経ち欧州における再生可能エネルギー熱分野の研究に大きな成果を残して来たが、今年でその役割を一旦終えて新たな枠組みでスタートすることが研究を主導するHenrik Lund教授から発表された。全体セッションでは、第4世代地域熱供給からスマートエネルギーへの展開に関する様々な取り組みが紹介され、電力分野と熱分野さらには交通分野の融合（セクターカップリング）が進むための研究開発が進んでいることが報告された。このデンマークやドイツでの取り組みはいまや世界中に広がっており、UNEPが推進する途上国の都市での地域エネルギーシステムの構築支援プロジェクトや旧ソ連時代のインフラが老朽化している東ヨーロッパの地域熱供給の課題などが紹介された。これらの取り組みの道標となる欧州熱ロードマップ2050では地域熱供給の重要性があらためて指摘されている。様々な支援ツールがEUのプロジェクトとして開発され、さらに進化した熱需要マップPeta4.3や分析ツールEnergyPLANなどが紹介された。また、地域熱供給が普及して多くの課題がある中国での取り組みや世界レベルでの再生可能エネルギー100%の研究についても紹介されている。パラレル・セッションでは、6つの会場に分かれて「スマートエネルギーシステム」「将来の地域熱供給システム」「エネルギー計画とツール」「低温地域熱供給」「組織や所有形態」

などのテーマで27セッション130以上の研究発表や事例報告が行われた。特に関心の高いスマートエネルギーシステムは10のセッションで50近い発表が行われていた。筆者もその中で、エネルギー永続地帯研究をベースに日本の地域別の熱需要や再生可能エネルギーの熱利用の状況について報告をした⁽¹³⁾。

5回目の2019年のスマートエネルギー国際会議はコペンハーゲンで9月に開催され、重点テーマとして、4DHや電動化（Electrification）、水素などの電気燃料（Electrofuels）やエネルギー効率化も取り上げられ、32カ国から350名が参加し、約180の発表が行われた（図5）⁽¹⁴⁾。当初の4DHによる地域熱供給の効率化だけではなく、スマートエネルギーシステムによる電力分野と熱分野・交通分野の統合へとテーマが大きく広がっている。冒頭の全体セッションでは、この国際会議を主導してきたオールボー大学からこれまでの4DH研究センターでの成果と今後のこの研究分野の方向性が示された。続いて再生可能エネルギーやエネルギー効率化への取り組みが急速に進みだした中国の地域熱供給システムについて発表があった。中国の地域熱供給は熱導管距離が20万kmにも及びロシアに次いで世界最大規模だが、熱源の8割以上が石炭であり、約15%の天然ガスと合わせて化石燃料が9割以上を占めている。そのため2025年に向けたロードマップでは長距離送熱による広域の熱ネットワークや低温化等によるエネルギー効率化と共に再生可能エネルギーや発電所や工場などからの排熱利用が進められている。アイルランド地域熱供給協会（IRDEA）とアイルランド風力エネルギー協会の両会長を務めるDavid Connolly氏からの報告では、スマートエネルギーへの転換での三つの“P”の重要性が指摘された。“Position”（目標），“People”（市民），“Policy”（政策）である。島国であるアイルランドの年間発



図5 スマートエネルギー国際会議（2019年9月）の全体セッション

電量に占める陸上風力の割合が2018年に29%に達し、デンマークを超えて世界一となったことが発表された。2030年には発電量に占める再生可能エネルギー割合を70%以上にする政府目標がある。一方、地域熱供給についても大きな導入可能性があることが分かっており、熱需要密度の高い首都ダブリンでの導入が始まっている。パラレル・セッションでは、同時に6つの会場に分かれて全30セッションで各テーマの活発な議論が行われた。主なテーマとしては、「スマートエネルギーシステム分析・ツール・方法論」(全11セッション)を初め「第4世代地域熱供給システム」(全4セッション)の他、「統合エネルギーシステムとスマートグリッド」「GISシステムと地域熱供給の計画」「将来の電気燃料の生産と技術」「再生可能エネルギー・排熱利用」「スマートエネルギーと蓄熱」「交通・熱・産業分野の電動化」など多彩なテーマがある。日本からは、日本国内での地域熱供給の現状や第4世代地域熱供給への取り組みが紹介された⁽¹⁵⁾。特筆するテーマとしては、「第5世代地域熱供給」に関するコンセプトや実証プロジェクトの発表があり、地中熱や地下水などの未利用エネルギーや、建築物や産業からの排熱を地域で双方向に融通する30℃以下の低温ネットワークや大規模な蓄熱を組み合わせ、ヒートポンプによる冷熱および温熱の供給や排熱回収が行われている。

4.3 デンマークの地域熱供給

2018年の国際会議に合わせて実施されたオールボー市内の視察ツアーでは、オールボー(人口12万人)の地域熱供給システムの拠点を巡った(図6)。

この視察ツアーのアレンジを行ったハウス・オブ・エナジー(House of Energy)はデンマーク北部でのグリーンエネルギー産業の情報を共有するための産官学のネットワーク組織で風力、地域熱供給、グリーン燃料、エネルギー効率化、スマートエネルギーシステムなどの分野を対象にしている。オールボーの地域熱供給は、デンマーク国内にある6つの大規模地域熱供給網の一つで、34,000ユーザに温水での熱供給をしている。熱源として最も大きい設備は大手電力会社(バッテンフォール社)から買収した石炭火力によるCHP(熱電併給)設備で発電出力400MW、熱出力500MWあり、熱需要の約半分をカバーしている。ただし、CO₂の排出量も大きいことから運転の優先順位は最も低くなっており、夏季は5カ月間停止をしている。デンマークでは2050年までの脱化石燃料(再生可能エネルギー100%)を目指しており、将来的にはこの石炭火力の割合を下げるためにヒートポンプを活用した風力や地熱などの再生可能エネルギー利用などが検討されている。ベースとなる熱源としては近隣6自治体で共同運用している廃棄物焼却施設で60MWの熱出力があり、熱需要の約25%を賄っている。他には港湾地区にあるセメント工場の排熱により熱需要の約20%を賄っている。近年では冷熱の需要もあり、人工湖を熱源として大規模病院(冷熱需要15MW)などへの冷熱供給の計画も進められていた。

2019年の国際会議に合わせて日本からの視察ツアーが企画され、そのテーマは、第4世代地域熱供給の中でも注目されている季節間蓄熱槽を持つ太陽熱地域熱供給(SDH)とスマートエネルギーシステ



図6 オールボー市内の地域熱供給

ムだった。まず国際会議の前日には、コペンハーゲン中央駅の近くの産官協働組織 State of Green の施設 House of Green を訪問し、State of Green および DBDH（デンマーク地域熱供給協会）の説明でデンマークのエネルギー転換および地域熱供給の現状について説明を受けた。その後、コペンハーゲン市内の地域熱供給網の工事現場を見学し、コペンハーゲン近郊のアルバーツルンドの地域熱供給会社を訪問した。この地域は人口 28,000 人で全世帯の約 7000 戸に熱供給が行われているが、熱はコペンハーゲンの送熱会社 VEKS からほぼ全量を調達している。コペンハーゲン市と同じく 2025 年までには地域熱供給を脱炭素化することを目指しており、同時にエネルギー効率化のための第 4 世代地域熱供給の技術として低温化を進めることにより、熱損失を現状の約 20% から 10% 程度に改善することを目指している。低温化では家の断熱改修などのインフラの改修も同時に行っているが、総延長 380km の熱導管パイプの一部も低温化に伴う温度差の減少による流量増加のため交換をする必要がある。熱のスマートメーターへの交換も進めており、料金設定を時期により変動させる予定である。その後、オールボー市内へ移動した後に、オールボー市内の地域熱供給とデンマーク国内ですでに 100 箇所以上で導入されている太陽熱地域熱供給（SDH）と季節間蓄熱の視察調査が行われた⁽¹⁶⁾。

5. 日本国内の地域熱供給の現状と課題

永続地帯研究会（千葉大学倉阪研究室と環境エネルギー政策研究所（ISEP）の共同研究）では、「エネルギー永続地帯」として日本国内の地域別の再生可能エネルギー供給の現状と推移を明らかにしてきた⁽¹⁷⁾。地域における再生可能エネルギーの割合が、その地域の持続可能性の指標として有効であり、その地域の特性に応じて太陽光や太陽熱、風力、小水力、地熱、バイオマスなどの様々な再生可能エネルギーを導入した実績を指標として評価することにより、これまで経済的な指標などでは捉えられなかったその地域の持続可能性を評価することが可能となる。2020 年 3 月に「永続地帯 2019 年度版報告書」⁽¹⁸⁾で公表されたエネルギー永続地帯のデータ（2018 年度推計）より、地域別の再生可能エネルギーの電力（1 万 kW を超える大規模水力、石炭混焼・海外バイオマス等を除く）や熱（太陽熱、地熱、バイオマス熱）の供給に対するエネルギー需要（家庭、業務、農林水産部門）の割合から各地域の特徴をみる

ことができる。熱需要に占める再生可能エネルギーの割合は現状では 5% 程度であり、地域熱供給も約 2% に留まっている（図 7）。化石燃料が約 93% を占め、その内訳は都市ガス 34%、灯油 32%、LP ガス 15%、重油 12% となっている。

日本国内の熱供給事業の市場規模は、供給区域の面積で示すとわずか 0.01% しかなく、一般ガス事業 5.7% と比べても数百分の一である（一般電気事業はほぼ 100%）。需要家数や事業規模（年間売上高）においても、一般ガス事業の 2900 万件（3 兆 7 千億円）に対して、3.6 万件（約 1500 億円）となっており、全国の一般家庭までカバーしているガス事業に対して、熱供給事業は少数の大口需要家に限定されている（需要家当たりの売上高が年間 400 万円）。2016 年度より一般電気事業は一般家庭を含めて全面的に自由化されたが、一般ガス事業（都市ガス事業）についても 2017 年度から自由化された。一方、熱供給事業についても 2016 年度から自由化されたが、元々、大口需要家を中心となっているため、その効果は限定的である⁽¹⁹⁾。

国に登録されている国内の熱供給事業者は 74 社あり、132 地区で熱供給事業を行っている（2018 年時点）。これらは 2016 年度からの自由化までは熱供給事業として許可制で、一定規模以上（加熱能力 21GJ/h 以上、熱源出力 5800kW 以上）が対象となっていた。これらの熱源のほとんどは都市ガスなどの化石燃料であり、バイオマスを燃料としている熱供給事業はほとんど無く、札幌市の熱供給事業が唯一の事例となっている。しかし、熱供給事業法に基づく事業ではなく比較的小規模な地域熱供給の燃料と

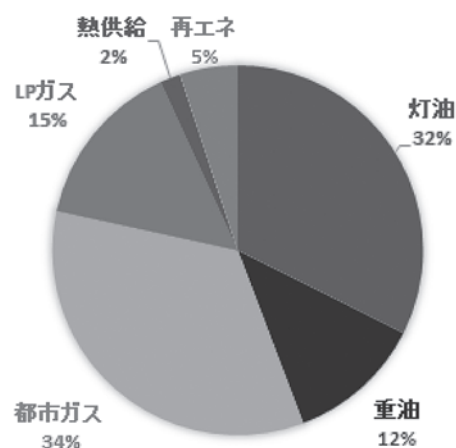


図7 日本国内の熱需要（家庭・業務部門）に対する供給源の割合
（出所：永続地帯 2019 年度版報告書データより作成）

して木質バイオマスが注目され、幾つかの地域熱供給の事例が現れている⁽²⁰⁾。

日本国内の地域熱供給の線熱密度（熱導管長さ1mあたりの年間熱販売量）は約9.6MWh/m/年（2015年）であり、図8に示すとおりデンマークの線熱密度0.9MWh/m/年の約10倍となっている。デンマークには熱需要の密度の小さい農村地域も含めて全国に約400の地域熱供給事業があり、熱導管長さは3万km以上（日本の約40倍）に達し、年間熱販売量も日本の5倍近くある。熱販売量で住宅ユーザが6割以上を占めており、地域熱供給の普及率も人口の6割以上に達する。

日本国内の地域熱供給は民間事業者による事業で熱需要の大きい都市部に集中し、供給先は業務施設

が中心となっており、住宅ユーザの割合は小さく減少傾向にある（図9）。業務施設への供給では冷熱の利用が半分以上（販売量ベースで56%）を占めており、熱源は天然ガス（LNG）が大半（約7割）である⁽²²⁾。温熱の供給では蒸気での供給が大きな割合（約7割）を占めているが、ヒートポンプやコジェネレーション（CHP）排熱からの温水供給も増えている。再生可能エネルギー等の利用としては、焼却排熱や下水・海水・河川熱の割合が大きい。木質バイオマスの利用も増え始めている。森林資源の豊富な地域では木質バイオマスを熱源とする小規模な地域熱供給が自治体を中心に進められているが、事業性に乏しく補助金等による支援が必要な状況である。

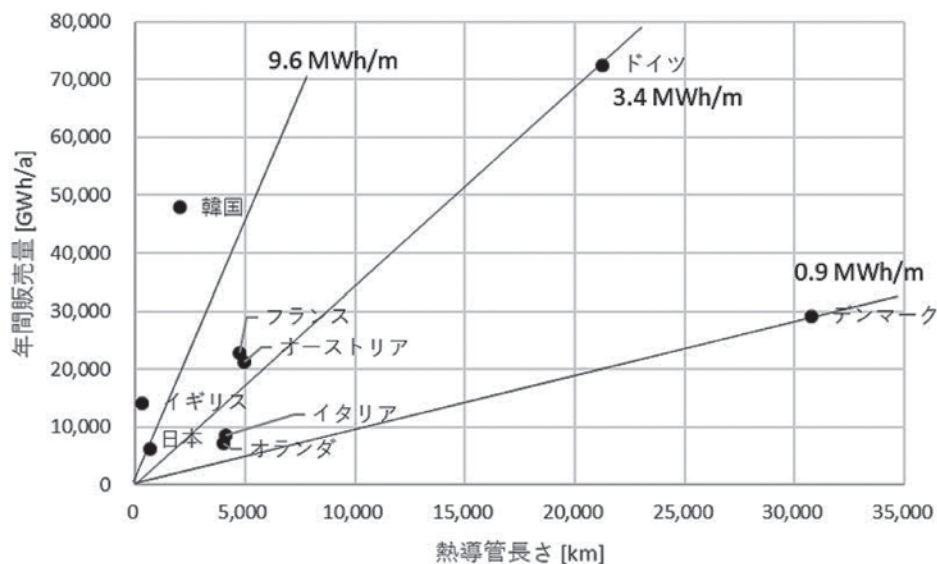


図8 各国の地域熱供給の熱導管長さと年間熱販売量（出所：文献⁽²¹⁾ データより作成）

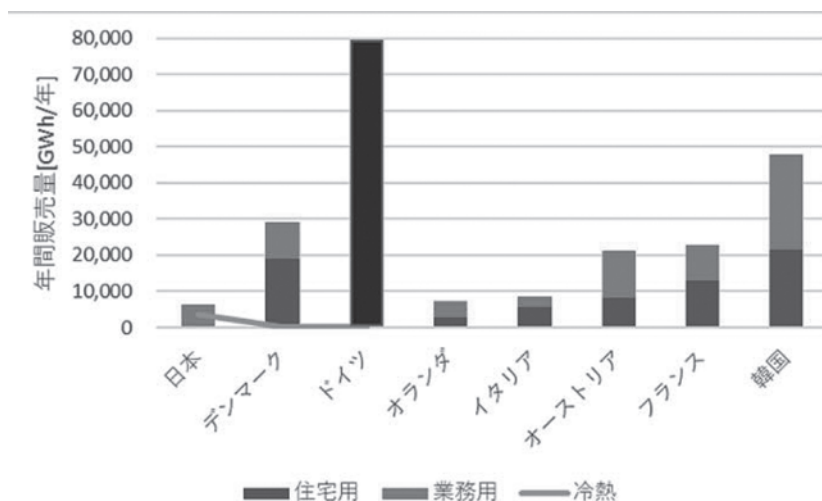


図9 地域熱供給での住宅用・冷熱利用の割合比較（出所：文献⁽²¹⁾ データより作成）

6. おわりに

欧州の脱炭素化の長期的な熱ロードマップやデンマークでの第4世代地域熱供給の様な取組みを参考に、日本国内でも熱供給の脱炭素化の可能性を検討する必要がある。日本国内においては豊富な森林のバイオマス資源を活用する際の熱利用がエネルギー効率の面でも重要であるが、地域の特性に応じて排熱などの未利用熱や地中熱（河川熱等も含む）、電力システム等とのセクターカップリングなどを総合的に活用してエネルギー効率を最適化する地域熱供給のインフラを構築する必要がある。そのため、環境エネルギー政策研究所（ISEP）では非営利エネルギー設計会社 PlanEnergi と提携して第4世代地域熱供給の考え方を取り入れた実施可能性調査などを進めてきている。

さらに再生可能エネルギーの熱政策の実現や熱利用の普及のための調査・研究・意見交換・交流の場として、関連する研究者・行政・NGOなどで構成される「第4世代地域熱供給フォーラム」（略称：4DH フォーラム）を2018年10月に立ち上げた⁽²³⁾。HRE2050の調査研究を担ったデンマーク・オーボー大学とその関連機関が提唱する「第4世代地域熱供給」について、直接的な交流、国内外での会議への参加や研究会・ワークショップなどを開催することで知見・経験の共有を図るとともに、国内での再生可能エネルギー熱利用普及のためのネットワーク形成や知見の共有を目指している。2020年3月には、その成果のひとつとして「第4世代地域熱供給4DHガイドブック」を公開した⁽²⁴⁾。

謝辞

本論文の内容は、環境エネルギー政策研究所とデンマーク大使館がState of Greenなどの関係機関と協力して進めてきたデンマーク技術移転プログラムの成果の一部であり、関係者に感謝する。デンマークでの国際会議・視察調査等および第4世代地域熱供給フォーラムの運営においては独立行政法人環境再生保全機構地球環境基金の助成を受けている。なお、本論文の一部は筆者の論文より転載をしている^(19, 20, 25, 26)。

参考文献

- 1) EU 委員会, 2030 Climate & Energy Framework, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en (アクセス 2020 年 2 月 19 日)。
- 2) EU 委員会, A European Green Deal, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (アクセス 2020 年 2 月 19 日)。
- 3) EU 委員会, Renewable Energy – Recast to 2030 (RED II), <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/renewable-energy-recast-2030-red-ii> (アクセス 2020 年 2 月 19 日)。
- 4) eurostat Statistics Explained, Renewable energy statistics, <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/> (アクセス 2020 年 2 月 19 日)。
- 5) The state of renewable energies in Europe, edition 2017, 17th EurObserv'ER Report, 2018, <http://www.eurobserv-er.org/> (2019 年 9 月 19 日)。
- 6) Solid Biomass Barometer 2018, EurOvserv'ER, <https://www.eurobserv-er.org/> (アクセス 2020 年 9 月 19 日)。
- 7) European Commission, An EU Strategy on Heating and Cooling, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling> 2016。
- 8) Heat Roadmap Europe (HRE) 2050, <https://heatroadmap.eu/> Aalborg University, 2019。
- 9) Peta (the Pan-European Thermal Atlas), <http://www.heatroadmap.eu/peta.php>
- 10) State of Green, デンマーク地域熱供給白書, 2016, <https://stateofgreen.com/jp/publications/333/> (アクセス 2019 年 11 月 29 日)。
- 11) 4DH Research Centre, <http://www.4dh.eu/>
- 12) 4th International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating, <https://www.4dh.eu/conferences/conference-2018-Aalborg>, 2018。
- 13) Hironao Matsubara and Tetsunari Iida: Analysis of regional heat demand and renewable supply to introduce 4DH into Japan,

- 4th International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating, Aalborg, 2018.
- 14) 5th International Conference on Smart Energy Systems,
<https://smartenergysystems.eu/conference-2019/> Copenhagen, 2019.
- 15) Hironao Matsubara and Tetsunari Iida, Current Status and Issues of Renewable Heating System towards 4DH in Japan, 5th International Conference on Smart Energy Systems and 4th Generation District Heating, Copenhagen, 2019, <https://smartenergysystems.eu/conference-2019/>
- 16) デンマークの太陽熱地域熱供給と季節間蓄熱, 太陽エネルギー (日本太陽エネルギー学会誌), **46** (2), 55-64 (2020).
- 17) 松原弘直, 倉阪秀史: 持続可能な再生可能エネルギー 100% 地域を評価する, 地球環境, Vol. 24, No. 2, 2019.
- 18) 永続地帯研究会, 永続地帯 2019 年度版報告書, <https://sustainable-zone.com/> (アクセス 2020 年 4 月 30 日).
- 19) 松原弘直: 再生可能エネルギー 100% に向けた第 4 世代地域熱供給の動向と国内への展望, 廃棄物資源循環学会誌, 30 (4), 253-263 (2019).
- 20) 松原弘直: 日本国内でのバイオマス地域熱供給の課題と今後の展望, 木材情報, 2017 年 9 月号.
- 21) EuroHeat & Power "Country by Country 2017" 2017.
- 22) 日本熱供給事業協会, 熱供給事業便覧 平成 30 年版.
- 23) 環境エネルギー政策研究所 (ISEP) ホームページ, 第 4 世代地域熱供給フォーラム (4DH フォーラム), <https://www.isep.or.jp/4dh-forum>
- 24) 環境エネルギー政策研究所 (ISEP), 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> 2020 年 3 月.
- 25) 松原弘直: 再生可能エネルギーによる地域毎の熱供給の脱炭素化の可能性, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会, 青森市, 2019 年 10 月.
- 26) 松原弘直: 欧州のスマートエネルギーシステムとしての第 4 世代地域熱供給への取組みと再生可能エネルギーによる日本国内の熱供給の脱炭素化の可能性, エネルギー・資源学会 第 36 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京大学, 2020 年 1 月.

著者紹介



氏名: 松原 弘直 (まつばら ひろなお)
E-mail: matsubara_hironao@isep.or.jp
認定 NPO 法人 環境エネルギー政策研究所 理事, 主席研究員. 日本太陽エネルギー学会理事. 工学博士. 東京工業大学においてエネルギー変換工学の研究で学位取得後, 製鉄会社主任研究員, IT・環境技術コンサルタントなどを経て, 現職. 自然エネルギー政策の研究 (エネルギー永続地帯, 自然エネルギー 100% シナリオ, 第 4 世代地域熱供給) などに取り組み, 日本初の自然エネルギー白書の編纂のほか, 地域主導型の地域エネルギーの事業化支援にも取り組む.