

第4世代地域熱供給 4DHガイドブック

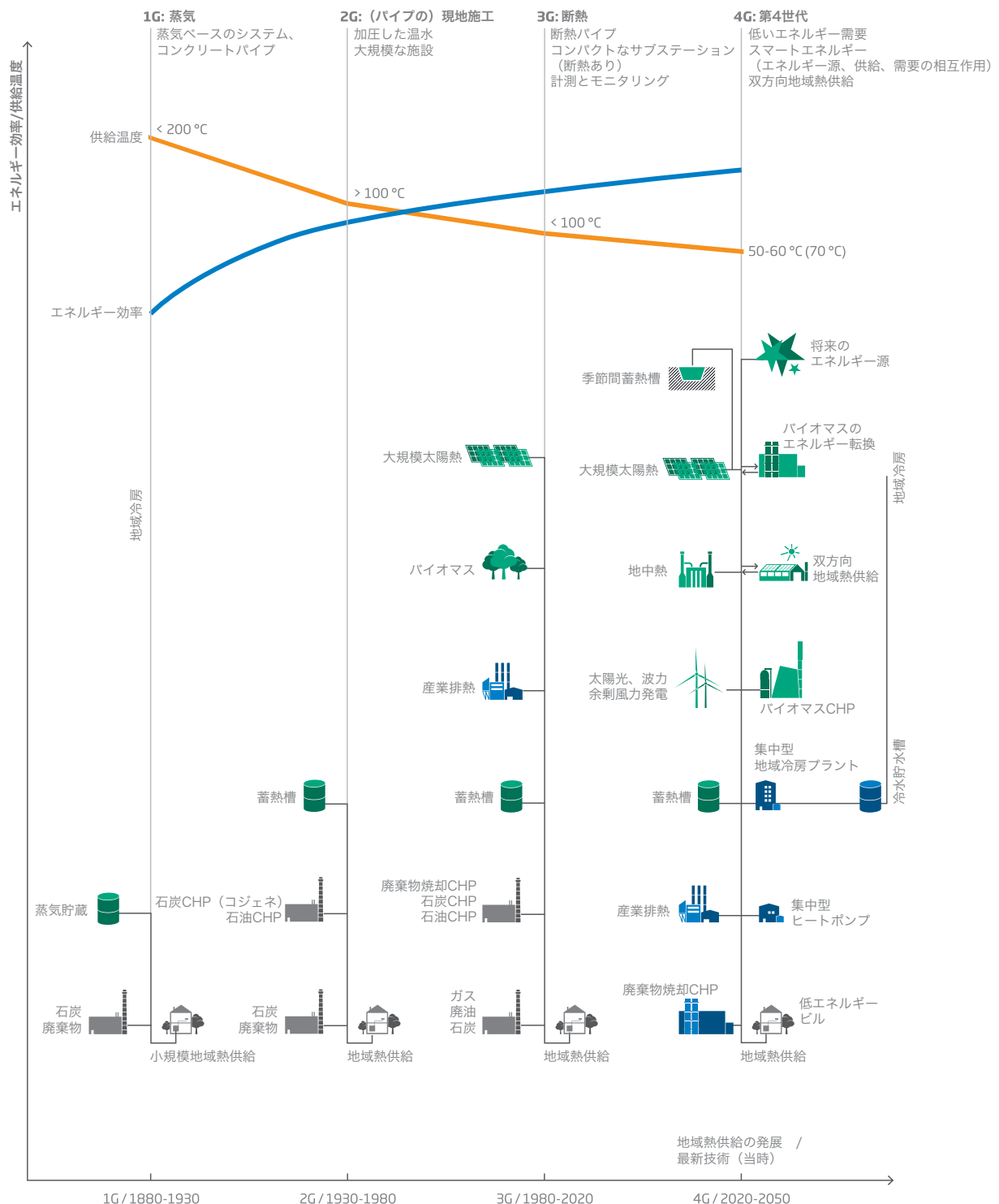


2020年3月

第4世代地域熱供給フォーラム <https://www.isep.or.jp/4dh-form/>

認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所

第4世代地域熱供給(4DH)



地域熱供給ネットワークの歴史的発展。第四世代地域熱供給はエネルギー効率、柔軟性とすべての利用可能な再生可能エネルギーおよび余剰エネルギー資源の統合を重視。出典:オルボー大学、ダンフォス地域熱供給

出所: State of Green「デンマーク地域熱供給白書」より

Henrik Lund et. al., "4th Generation District Heating (4GDH) - Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems", Energy 68 (2014)1-11

目次

はじめに：脱炭素社会のエネルギーシステムデザイン 中田俊彦（4DHフォーラム座長）	1
1. 第4世代地域熱供給（4DH）とは	3
2. 第4世代地域熱供給の背景	6
3. 第4世代地域熱供給の設計コンセプト	10
4. エネルギー需給の脱炭素化とスマート化	13
5. 日本での第4世代地域熱供給の展開に向けて	15
6. 自然エネルギー 100%への展開	19
7. 参考資料	21

「第4世代地域熱供給4DHフォーラム」 <https://www.isep.or.jp/4dh-forum/>

自然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、デンマーク関係機関との協力のもとで、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月に創設した（事務局：認定NPO法人環境エネルギー政策研究所）。パリ協定に基づく欧州の熱戦略や熱ロードマップに基づく第4世代地域熱供給の知見・経験の共有を図るとともに、国内外での会議での情報交換や研究会・シンポジウムでの議論、国内での自然エネルギー熱利用普及のためのネットワーク形成を目指している。

認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所（ISEP） <https://www.isep.or.jp/>

環境エネルギー政策研究所（ISEP：Institute for Sustainable Energy Policies）は、持続可能なエネルギー政策の実現を目的とする、政府や産業界から独立した第三者機関です。2000年9月、地球温暖化対策やエネルギー問題に取り組む環境活動家や専門家によって設立されました。私たちは、次のような持続可能なエネルギー社会を目指します。（1）自然エネルギーを軸とした効率的なエネルギーシステム、（2）エネルギー利用にともなう便益とリスクの分配が公平な社会、（3）エネルギー政策や社会政策の意思決定が透明で参加的な社会、（4）個人と地域が自立した地域分権型のエネルギー社会を柱とした持続可能なエネルギー社会を目指し、エネルギー政策の研究と提言、自然エネルギーの普及啓発に取り組んでいます。

免責事項：

本白書における見解は、認定NPO法人 環境エネルギー政策研究所（ISEP）のポジションを必ずしも反映したものではない。本白書内の情報は、作成時に各執筆者が有する最前のものであるが、情報の精度と正確性の責任を負うものではなく、今後修正される可能性がある。

はじめに：脱炭素社会のエネルギーシステムデザイン

第4世代地域熱供給フォーラム 座長 中田俊彦（東北大学大学院工学研究科 教授）

エネルギーとは、「仕事をする能力」のことである。エネルギーの実用の形態（エネルギーキャリア）は、電力、熱、輸送用燃料の三種であり、電力と熱は目に見えない。国の総合エネルギー統計（経済産業省資源エネルギー庁）を需要家側からみると、エネルギー消費量はキャリア別に電力（3.33EJ）（エクサジュール、10の18乗）、熱（7.76EJ）、輸送用燃料（3.25EJ）であり、エネルギー消費量に占める割合は、大きい方から熱54.1%、輸送用燃料23.2%、電力22.7%の順になる。つまり、エネルギー利用者の視点に立てば、熱が過半を占めるので、この熱エネルギー利用に、脱炭素社会への切り札が隠されている。

地域熱供給は、1875年にドイツで始まり、1896年にはハンブルグ市庁舎に火力発電所の温水が供給された。米国では、1876年にニューヨーク州ロックポートでの実証を経て1882年に大規模な商用化が始まり全国に拡大した。同時期に、米国トーマス・エジソンによる電球の発明（1879）も進み、1888年（明治21）には、仙台市三居沢にて宮城紡績（株）が小水力発電によってアーク灯を点灯し、これが日本の最初の商用水力発電となった。当時の日本は、熱ではなく電気にエネルギー利用の先進性を集約させたようで、地域熱供給システムの導入は千里中央（1970）、札幌市（1971）と約1世紀後である。

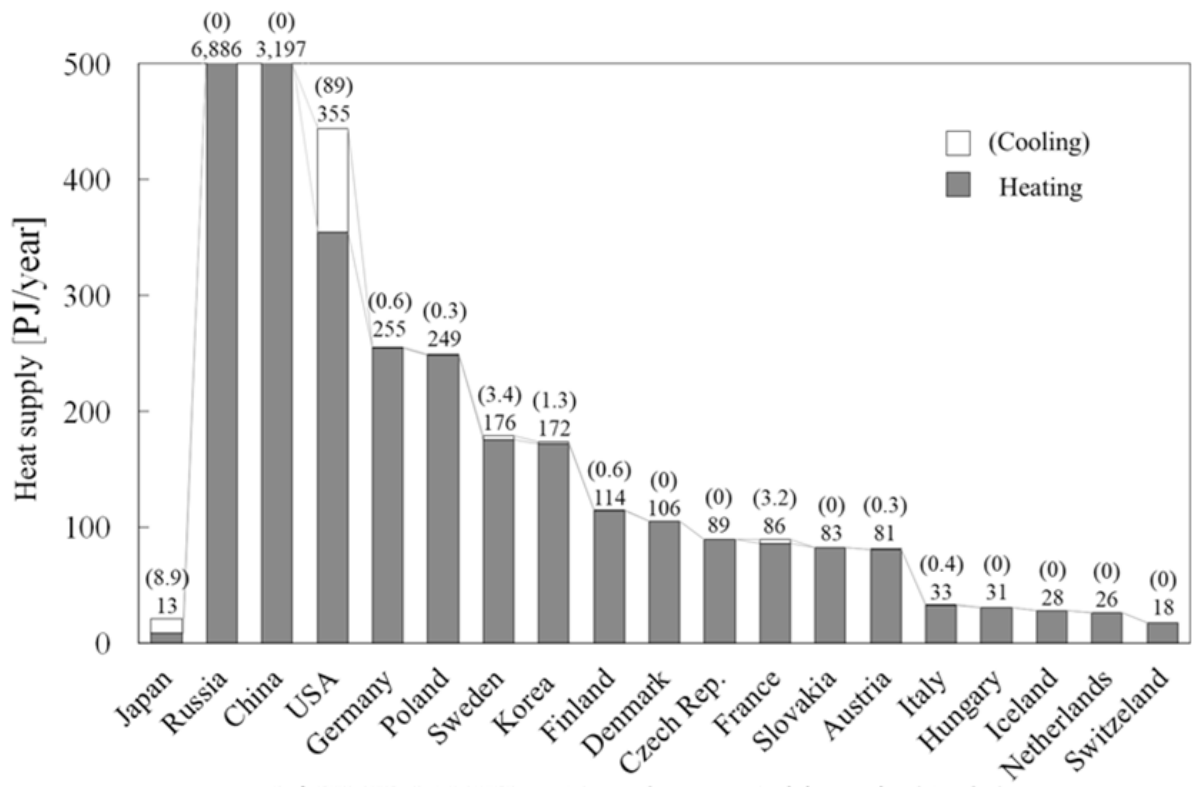
導入量を国別でみると（図1）、ロシア、中国、米国は別格にして、日本の実績はアイスランド、オランダ、スイスよりも少ない。しかも、冷熱供給量が温熱供給量よりも大きい。これは、国内の地域熱供給は、おもに業務用オフィスビルの空調機器を集約した事例が主体で、結果として冷房需要が大きいからだ。海外では、地域熱供給システムの60パーセント以上が家庭向けを対象にしているが、日本は98パーセントが業務部門向けである（図2左）。

さらに、海外では地域熱供給のバージョンアップが進み、当初の高温蒸気を熱キャリアとする第1世代から、中温度の温水を利用する第4世代、低温水を供給して需要家が電気温水器やヒートポンプで昇温する第5世代と、変化や進化は甚だしい。日本の多くの事例がいまだに第1世代地域熱供給に留まっていて、内外の変化を直視しない現状を鑑みると、これらの遅れている原因の分析こそが、今後の進化にキャッチアップするための原点になるだろう。

その原因を下記に列挙する。

1. 熱供給事業法（1972）と熱供給事業法施行規則（1972）によれば、熱供給事業の定義としてボイラー等加熱能力を21GJ/h以上と定めている。これは熱出力75,600 kWhに相当するので、山形県最上町や岩手県紫波町で始まったコミュニティー単位の中小規模の家庭向け地域熱供給システムは、日本では対象に含めていない。
2. 総合エネルギー統計における熱のデータは、上記の熱供給事業法による認定事業に基づいて集計しているため、データ捕捉が一部に留まる。さらに、火力発電所の排熱、ゴミ焼却場の排熱など、欧州で主流の排熱としての熱エネルギーの存在を無視している。
3. 全国に1741ある地方公共団体には、エネルギー統計が存在しない。エネルギーの生産、流通、消費に係る信頼性のあるデータがないし、公式統計があっても、その信頼性と精度は低い。都道府県別エネルギー消費統計の精度も低い。
4. 地方公共団体の多くは、エネルギー関連政策に関する優先順位が低いために、専門職員はおろか、問題意識と能力のある担当者すら存在しない。経済産業省では、自治体に対する意識啓発から取り組んでいる状況だが、まだまだ理解度は低い。
5. 熱エネルギーシステムの高等教育が欠けている。私自身は、東北大学工学部機械工学科熱及び熱力学講座の卒業生だが、地域熱供給について知る機会はまったくなかった。教科書に記載もなく、自力で英文の資料読解や、海外フィールド調査で見聞を得るのが唯一の学びである。

日本は、年間の一次エネルギー総供給量18EJのうち、約54パーセントの9.93EJを排熱として大気や海洋に放出している。そもそも棄てているので、この一部を熱エネルギーとして利用できればお得である。総合エネルギー効率向上し、CO₂排出量が低下し、化石燃料輸入に要する年間24兆円の費用を削減し、結果として地域経済の新たなマーケットと活動を創出できる。地域熱供給システムは、単に排熱利用に留まらず、エネルギーシステムの複層化を意味する。再生可能エネルギーの間欠性電源の受け皿として、水素に加えて熱が加われば、自然界の変動成分を調整して需要家が活用できる。脱炭素社会デザインに向けた持続可能なエネルギーシステムのデザインにて、重要な役割を担うのだ。



Ref. EUROHEAT & POWER, 2015 Country by country – Statistics overview (2013 data)
 熱供給事業便覧 平成28年度版, (社)日本熱供給事業協会, 2017

図1: 地域熱供給システムの国別導入状況

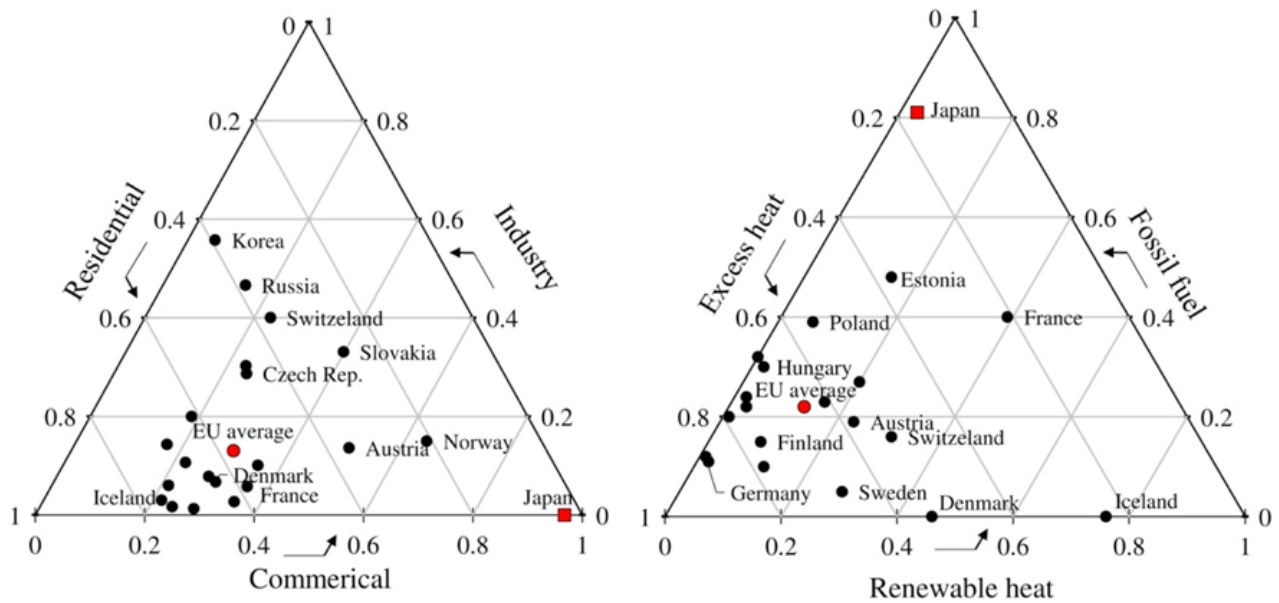
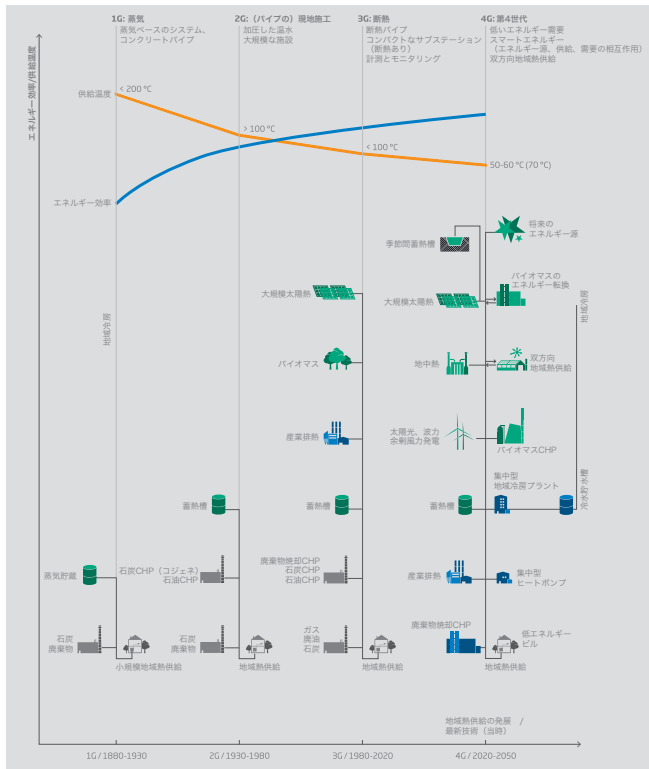


図2: 地域熱供給システム、(左)需要部門別(右)熱源別のシェア比較

1. 第4世代地域熱供給(4DH)とは

■ 地域熱供給の「世代」と第4世代地域熱供給(4DH)



- 第1世代: 蒸気 (<200℃)
- 第2世代: 高温水 (>100℃)
- 第3世代: 温水 (<100℃)
- 第4世代: 低温水 (<50℃)

地域熱供給は、システム全体の効率を高めるため、供給温度を下げる方向で進化してきた。第4世代地域熱供給(4DH)では供給温度は50℃までに下げている。これにより、システム全体の効率が高く、工場排熱や自然エネルギー熱利用がしやすく、戻り温度の一層の低下によるバイオマスボイラーからの潜熱回収も可能としている。

図3: 地域熱供給の進化と第4世代地域熱供給(4DH) State of Green「デンマーク地域熱供給白書」より Henrik Lund et. al., “4th Generation District Heating (4GDH) - Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems”, Energy 68 (2014)1-11)

■ 第4世代地域熱供給(4DH)の特徴と定義

第4世代地域熱供給(4DH)の特徴と定義は3つに整理できる(図4)。

第1に、供給温度の低温下による高効率化である。周囲温度との温度差が小さくなり、システム全体の高効率化が図れる。また、往復温水間の温度差が最低25℃と大きく、パイプの最小化やポンプ動力の最適化による効率化も図れる。

さらに戻り温度が25℃と低くなると、バイオマスがボイラーにおける潜熱回収による更なる高効率化が期待される。

第2に、低温下による熱源の多様化である。工場排熱や廃棄物焼却熱活用、そして近年急速に拡大している大規模太陽熱の利用と季節間蓄熱である。

第3に、熱・電双方向の「スマート化」である。電力市場を介した熱電市場の連動によって、熱源であるコジェネの電力市場連動、温水タンクの「蓄電」による需給調整、ヒートポンプによる電熱転換による風力電力の温水化などが進む。

これらによって、効率化・自然エネルギー活用、さらには電力市場と統合したスマート化も期待できる。

こうした第4世代地域熱供給(4DH)は、オールボー大学のHenrik Lundらによって、2014年に初めて概念化され公表されている。それ以後、第4世代地域熱供給に関する研究や開発の成果に関する国際会議がオールボー大学主催で毎年開催されている(P.9コラム参照)。

オールボー大学4DH 研究センター: <https://www.4dh.eu>

1. 供給温度の低温下による高効率化
 - ・システム全体の高効率化
 - ・往復温水間の大きな温度差
 - ・潜熱回収による更なる高効率化
2. 熱源の多様化
 - ・低温下による利用資源の拡大
 - ・工場排熱、廃棄物焼却熱活用
 - ・大規模太陽熱の活用と季節間蓄熱
3. 熱・電双方向の「スマート化」へ
 - ・電力市場を介した熱電市場の連動
 - ・温水タンクによる「蓄電」
 - ・ヒートポンプによる電熱転換(風力の温熱化など)

図4: 第4世代地域熱供給(4DH)の特徴



■ 第4世代地域熱供給(4DH)の歴史的発展

表1: デンマークの地域熱供給ネットワークの歴史的発展(出典: State of Green「デンマーク地域熱供給白書」より作成)

	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°C	> 100°C	< 100°C	50~60°C(70°C)
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

デンマークではオイルショック後の1979年に熱供給法が制定され、費用対効果に基づいた熱供給のためのゾーニング(土地利用計画)を促進している。人口密度が高い都市では、初期設備費が高いが熱需要が高いためにCHP(熱電併給設備)を導入し、人口密度が低い熱需要が小さい地域では天然ガスを直接利用することになった。CHPの導入は、1980年当初は集中型から始まり、1986年頃からは石炭を熱供給計画から除外し、エネルギー税を増税した。その結果、小規模なCHPプラントを重視することで、国産のバイオマスを利用しやすいように分散型になっていった。さらに1990年にはバイオマスを燃料とする地域熱供給を推進する政治的合意が行われ、熱供給に関する法改正で燃料の選択に関するガイドラインをすべての地方自治体に提供した。

2010年には熱利用計画が策定され、2020年までの需要側での省エネルギーを進めており、各エネルギー供給者は毎年2%のエネルギー削減が義務づけられている。これまでにデンマーク全土の熱需要の約50%、家庭用需要の約63%を地域熱供給でカバーするまでになっている(首都のコペンハーゲンでは98%に達する)。人口あたりの地域熱供給の普及率もEU諸国の中で高いレベルにあり64%に達している。地域熱供給の熱源に占める自然エネルギー(主にバイオマス)の

比率も1980年代以降、石炭からの転換により、順調に上昇してきており、2015年には約48%に達している。さらに第4世代地域熱供給では、管理のしやすさによるコスト削減のため、熱供給システムの温度を下げることで、エネルギー効率を向上させ、太陽熱などの低温熱源の利用や地中熱利用などが可能となっている。

最初の第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°C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°C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°C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。

参考: “District Heating history” Danish Board of District Heating(DBDH) <https://dbdh.dk/>

■ 温熱対策の重要性と地域熱供給の「再発見」

自然エネルギー世界白書2019(REN21)による分野別の最終エネルギー消費の割合を見てみると、熱分野全体の約半分(51%)を占めている(図5)。これに対して交通分野が約32%であり、電力分野は約17%である。つまり電力分野のエネルギー消費は全体の5分の1未満ということになる。分野別の自然エネルギーの割合をみると、電力分野では26%に達する。熱分野では10%程度に留まる。この中で、8%はバイオマスや太陽熱からの直接的な熱利用だが、2%程度は自然エネルギーの電気から変換されて熱利用されている。

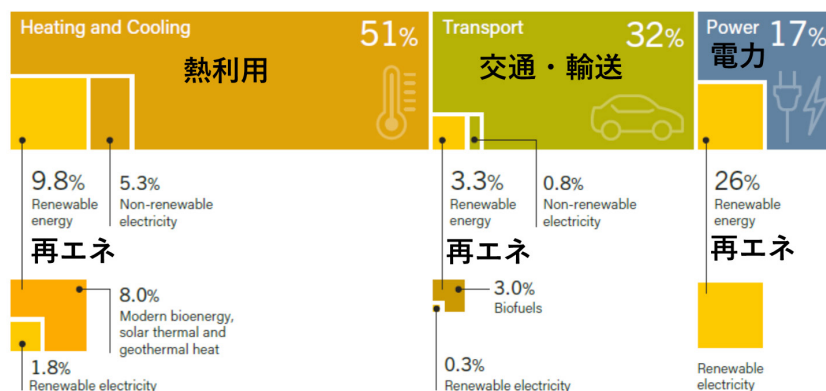
EU各国では1980年代の石油ショック以降、エネルギー資源の利用効率化のため地域熱供給システムを普及してきた。EUでは気候変動対策として、2020年までに温室効果ガスの排出量を1990年比で20%削減すると共に、自然エネルギーの最終エネルギー消費に占める割合を20%とする目標をEU指令(RED)として設定している。さらに2020年からスタートしたパリ協定を受けて2030年までに自然エネルギーの割合を最終エネルギー需要の32%以上とする目標を定め、EU指令(RED II)が策定されている。Heat Roadmap Europe2050では、その実現のためには地域熱供給が重要な役割を果たすことを指摘している。

EU全体の最終エネルギー需要に占める自然エネルギーの割合は2018年には18%に達しており、デンマークをはじめ12カ国ですでに2020年の目標を達成している。これらの国々では電力部門だけでなく、熱部門でも自然エネルギーの目標を持ち、積極的に取り組んでいる。そのため熱需要のうち自然エネルギーの割合が40%を超える国は、スウェーデンをはじめ、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カ国となっている(図6)。

欧州の中でも北欧は環境問題に積極的に取り組んでいることで有名だが、その中のデンマークでも1970年代のオイルショックまでは化石燃料に大幅に依存し、99%を中東の石油等の輸入に依存していた時代があった。その中で、日本と同様に化石燃

料による大気汚染が大きな社会問題となり、国民の環境意識が非常に強くなった。その結果、1990年代以降は、エネルギー消費量やCO₂排出量と、GDPのデカップリングに成功している。

第4世代地域熱供給は、これまでの100年以上におよぶ地域熱供給の経験の上に築かれ、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。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。



Note: Data should not be compared with previous years because of revisions due to improved or adjusted methodology.

Source: Based on OECD/IEA. See endnote 61 for this chapter.

図5:世界の各部門のエネルギー消費に占める自然エネルギーの割合
(出典:自然エネルギー世界白書2019, REN21)

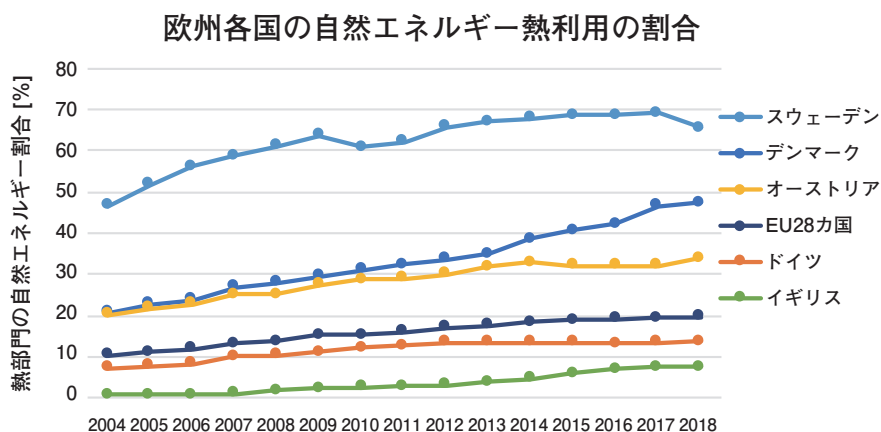
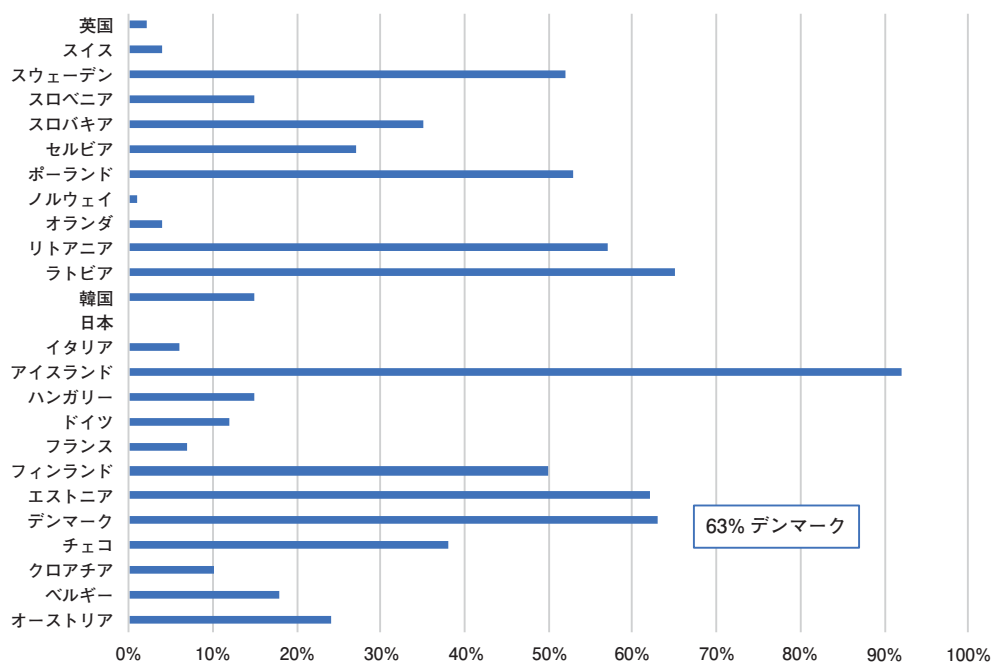


図6:欧州各国の熱部門での自然エネルギーの割合
(出典:Eurostat データより作成)

2. 第4世代地域熱供給の背景

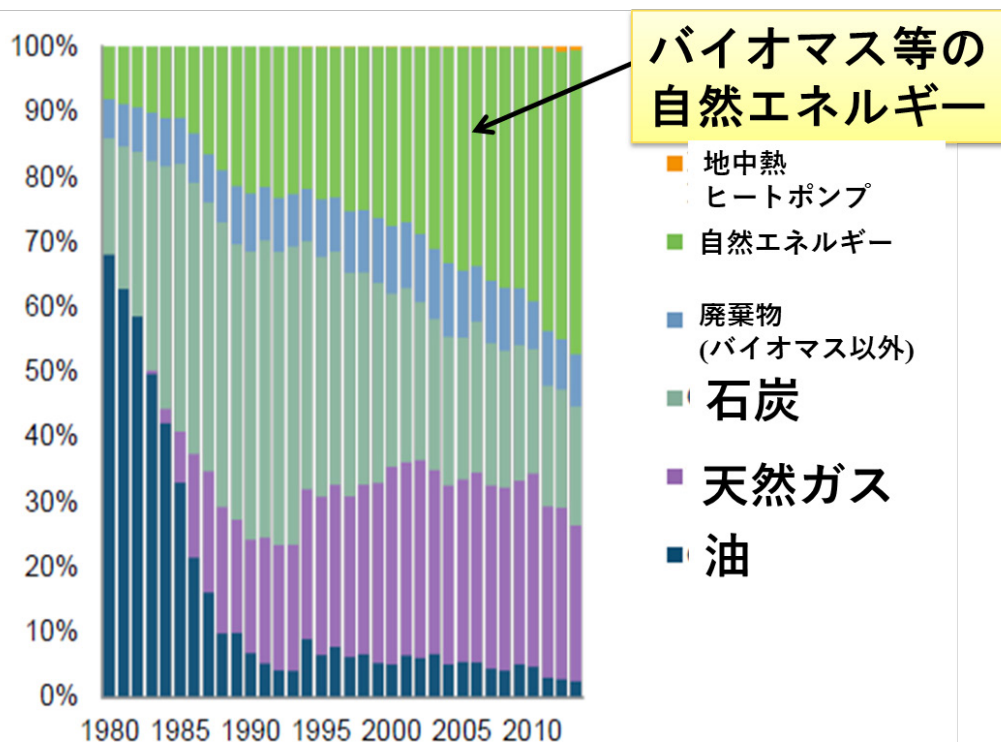
■ 欧州(EU)の地域熱供給の普及率



- 人口あたりで最も地域熱供給の普及率が高いアイスランド (90%以上)
- デンマークは60%以上で、普及率が高い。
- スウェーデンやラトビアなど北欧やバルト3国の普及率が高い。

図7: 欧州各国の地域熱供給の普及率
(出所: Euroheat&Power Country by Country 2017より作成)

■ デンマークの地域熱供給の歴史



- オイルショック後の1979年に熱供給法が制定され、費用対効果に基づいたゾーニング (土地利用計画) を促進している。
- これまでにデンマーク全土の熱需要の約50%、家庭用需要の約63%を地域熱供給でカバーするまでになっている (熱導管の総延長3万km)。
- デンマークの火力発電はCHP (熱電併給) のみであり、燃料としては、石炭が減少し、バイオマスの利用は増加しており、天然ガスは横ばい。
- 地域熱供給のうち、CHPが73%。残りは、電気のためのプラントか、太陽熱プラントであり、太陽熱プラントは増えている。

図8: デンマークの地域熱供給の熱源割合の推移
(出典: デンマークエネルギー庁)

■ デンマークの地域熱供給の事例

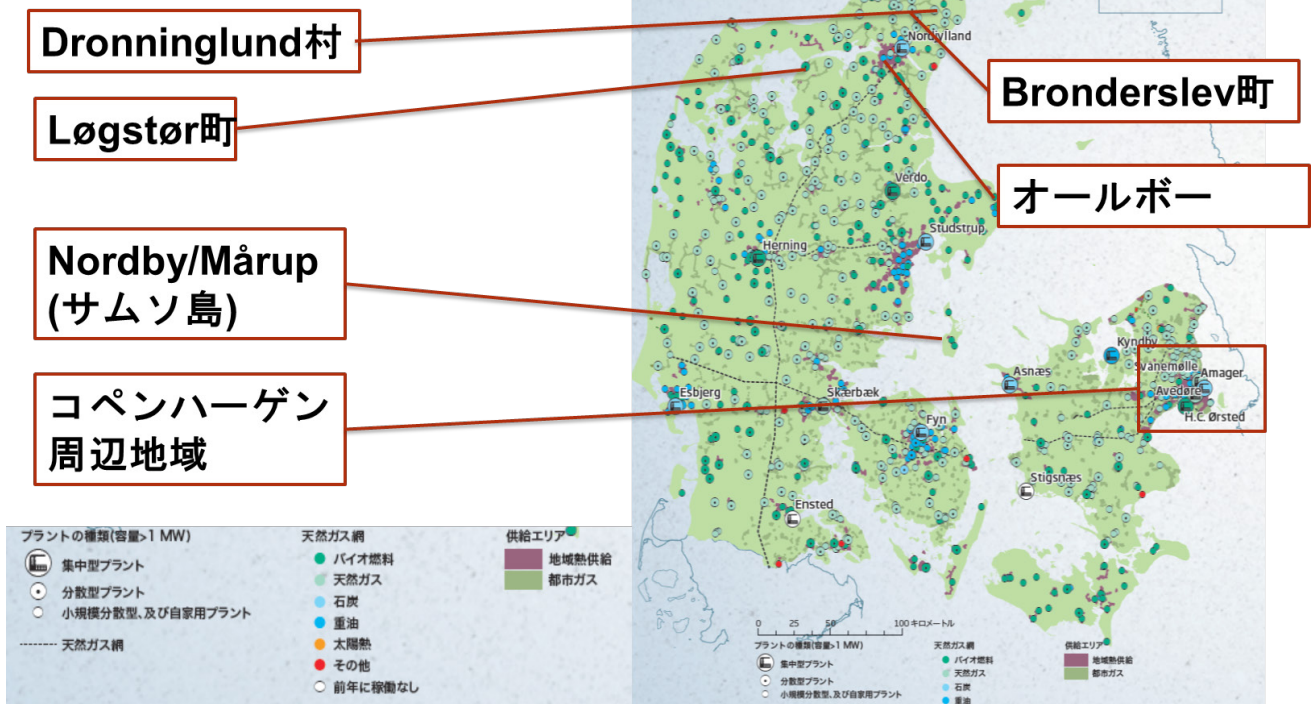


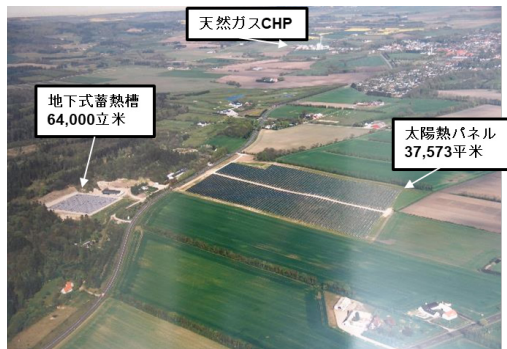
図9:デンマークの地域熱供給マップ

(出所:State of Green「デンマーク地域熱供給白書」)

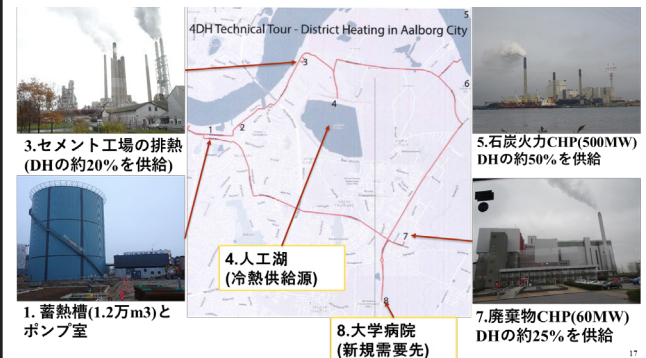
※その他の事例は4DH フォーラム <https://www.isep.or.jp/4dh-forum> 参照

16

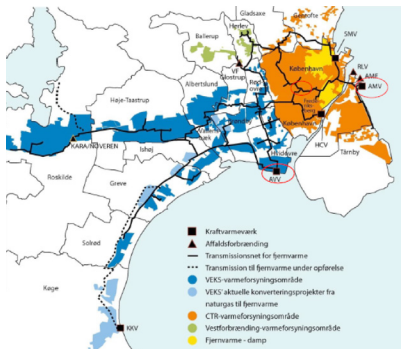
◇ 太陽熱地域熱供給(SDH)Dronninglund村 (デンマーク北部)※自然エネルギーの活用



◇ オールボー地域熱供給会社 (34000ユーザー)※排熱の活用



17



◇ コペンハーゲン周辺地域(デンマーク最大)

- ・ 17自治体
- ・ 25地域熱供給会社
- ・ 送熱会社: CTR (広域の熱源から送熱)
- ・ ユーザー数: 50万人
- ・ 年間熱量: 34PJ (9.6TWh)
- ・ デンマーク全体の熱需要の約20%
- ・ コペンハーゲンの熱需要の98%をカバー

(出典:CTR 資料)

HRE2050の8つの重要な知見

- 欧州の市場ですでに導入されている既存の技術とアプローチにより温冷熱部門の脱炭素化は可能
- 経済的に脱炭素化のゴールを達成するには需要側と供給側のエネルギー効率化が必要である。
- 既存の建築物の改修と産業部門での投資にはより大きな支援と高い省エネルギー目標が必要
- 大部分の都市部では、地域熱供給は他のネットワークおよび個別のソリューションよりも技術的および経済的に実行可能であり、再生可能エネルギー、大型ヒートポンプ、余剰熱、およびコジェネレーションの使用により100%脱炭素化が可能
- 地域熱供給による冷暖房に限られる地域では、個別の熱供給は、変動する再生可能エネルギーの統合が可能なヒートポンプが有効
- 今のところ冷熱需要は温熱需要に比べると小さいが、将来は増加する傾向にある。将来は冷熱需要に対するソリューションが重要
- 温冷熱部門は変動する自然エネルギーの増大やシステムの柔軟性に重要な役割を果たすことができる。
- エネルギーシステム内の温熱および冷熱のシステムを一貫してモデル化、分析、および設計するには、その分野に固有のツールと方法論が必要。将来のエネルギーシステムの脱炭素化に貢献する開発ロードマップと戦略のために重要。

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10)。

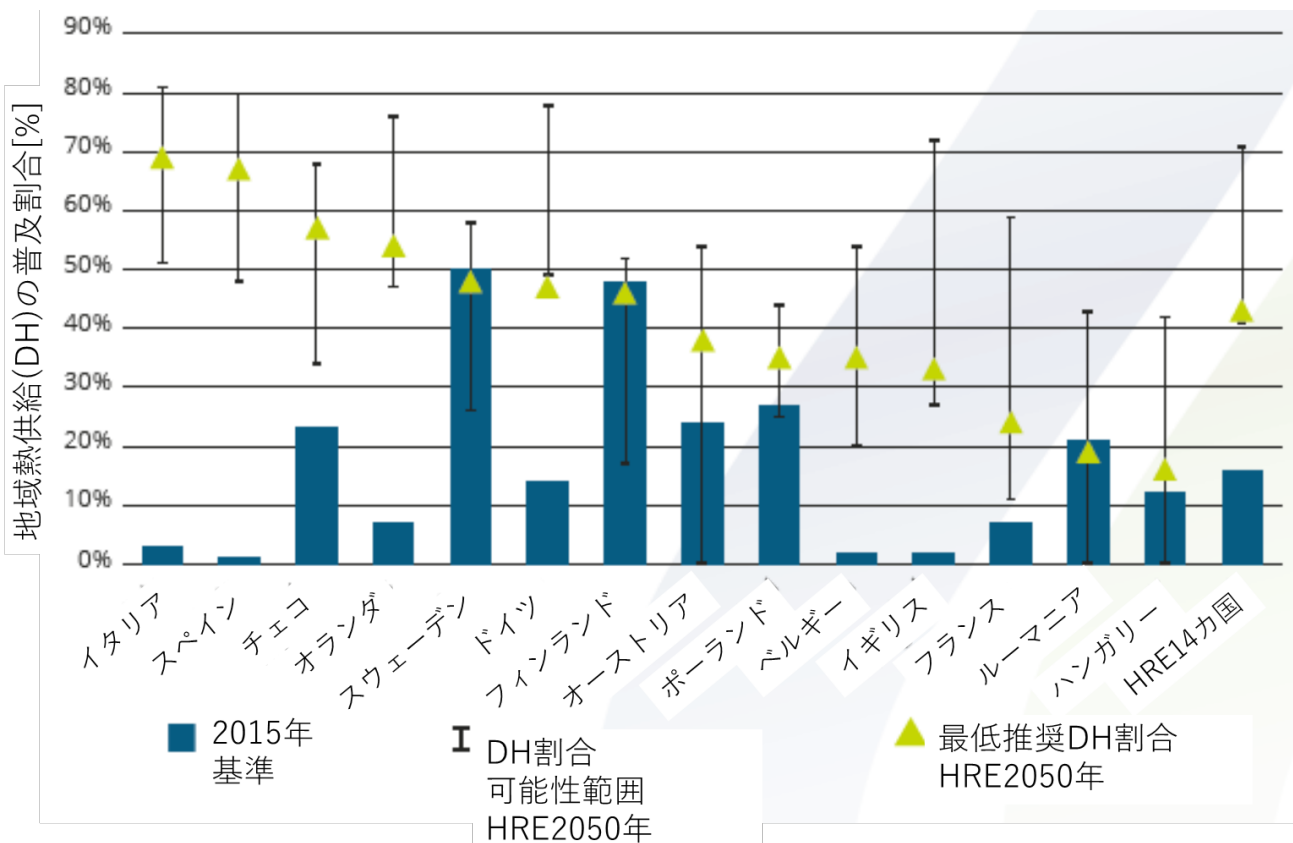


図10: EU各国の地域熱供給普及率: 現状(2015年)の地域熱供給DH普及率と推奨されるDH普及率
(出典: Heat Roadmap Europe 2050)

■ 地域熱供給の普及率が低い国には大きな導入ポテンシャルがある。

- ・ 熱需要は確実にある
- ・ より大きな導入ポテンシャルがある
- ・ 給湯と暖房の両方の高い熱需要
- ・ 大幅な省エネルギーが可能

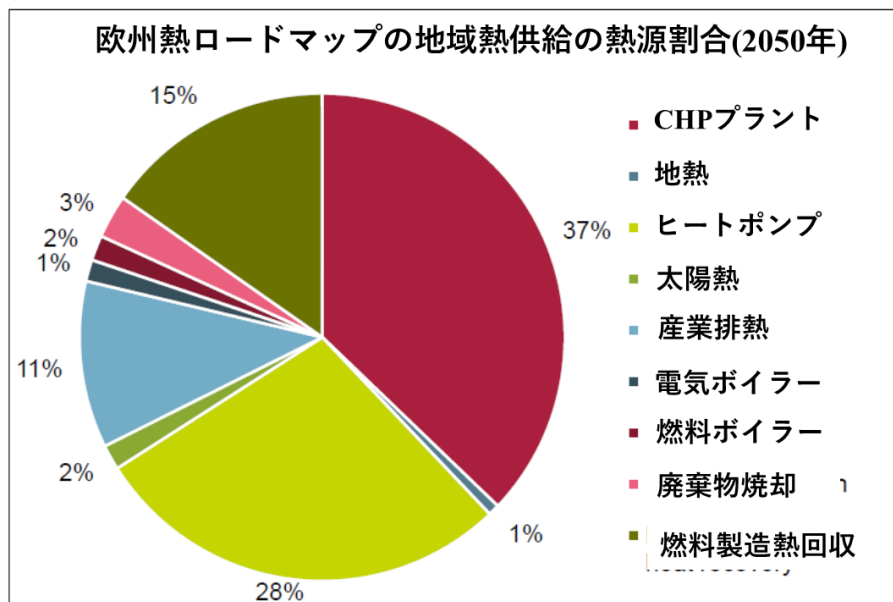


図11:2050年の地域熱供給の熱源割合(出典:Heat Roadmap Europe 2050)

コラム:スマートエネルギー・第4世代地域熱供給4DH 国際会議
International Conference on Smart Energy Systems
<https://smartenergysystems.eu/>



第5回スマートエネルギー・第4世代地域熱供給国際会議
2019年9月10日～11日(コペンハーゲン)
<https://smartenergysystems.eu/conference-2019/>
参加者:350名
参加国:32カ国(4大陸)
発表数:180

第1回 2015年
第2回 2016年
第3回 2017年
第4回 2018年
第5回 2019年
第6回 2020年



主要テーマ

- ・ Smart Energy System
- ・ 4DH: 第4世代地域熱供給
- ・ 電気化
- ・ 電気燃料
- ・ エネルギー効率化

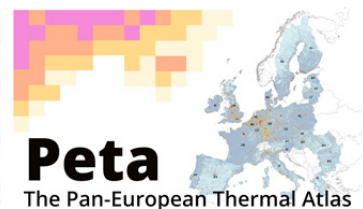
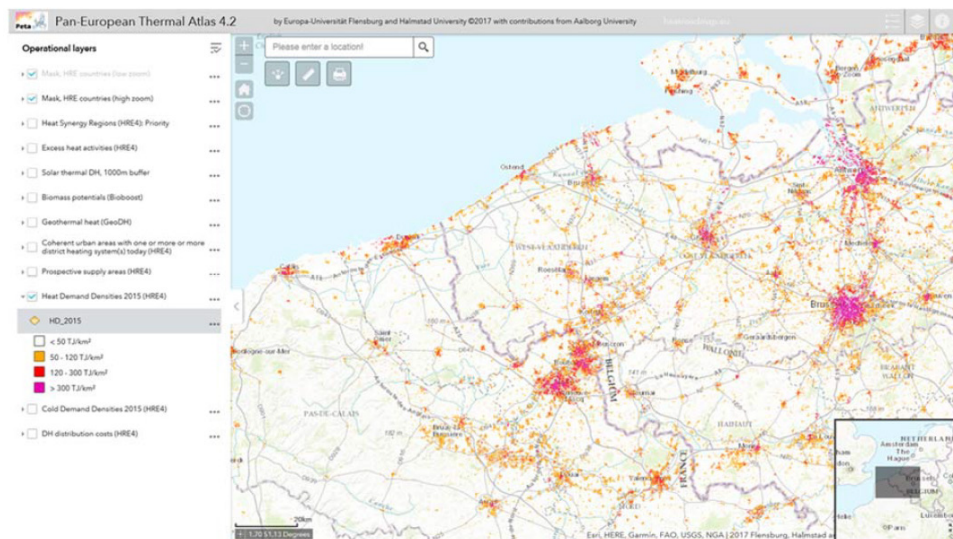
パラレル・セッション

- ・ スマート・エネルギー・システム
- ・ 第4世代地域熱供給
- ・ 統合エネルギーシステム
- ・ GISによる地域熱供給の計画
- ・ 交通・熱・産業分野の電気化など



3. 第4世代地域熱供給の設計コンセプト

■ 熱需要(デマンドサイド)分析と熱需要マップの整備と活用



Peta (The Pan-European Thermal Atlas) : 欧州全域の熱需要および自然エネルギー熱マップ(10種類)が利用可能

図12:全ヨーロッパ熱アトラス(Peta)の画面
<https://heatroadmap.eu/peta4/>

■ 対象地域での熱供給ポテンシャルの調査とエネルギーデータ分析

- ・対象地域の熱需要および熱供給ポテンシャルの分析
- ・排熱利用:発電設備(CHP)、廃棄物焼却熱、潜熱回収、工場排熱など
- ・自然エネルギー熱利用:バイオマス(木質、メタン発酵)、地熱、太陽熱など

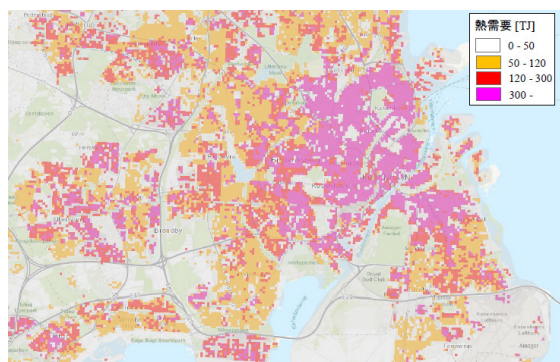


図13:デンマークの熱需要マップの例

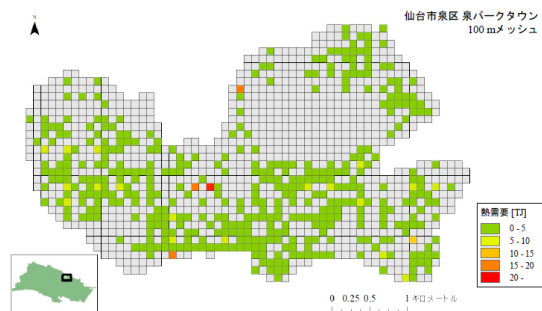


図14:日本国内(宮城県仙台市内)の熱需要マップの例

◇ 日本国内の排熱ポテンシャル

- ・ごみ焼却、火力発電、産業部門など

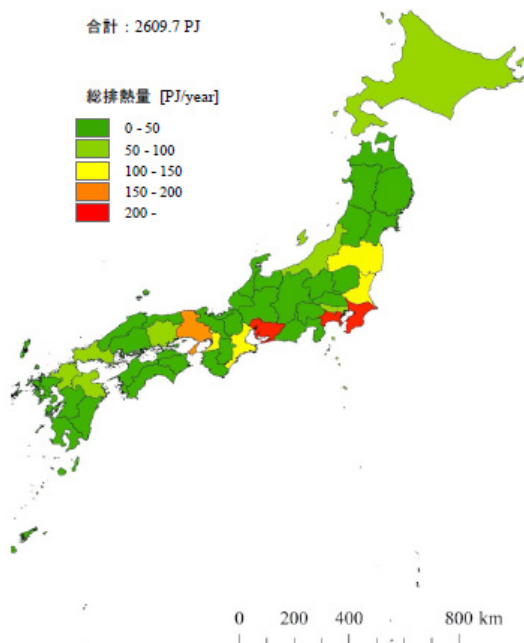


図15:日本国内の排熱ポテンシャル(出所:東北大学 中田俊彦)

■ 第4世代地域熱供給への転換事例:アルバーツルンド(Albertslund)コペンハーゲン郊外

- ・ 1970年代以前のアパート(約7000世帯)は概して断熱性能が低く、快適な暖房を得るには高い温度の熱供給が必要になる。地域熱供給会社ではこれを踏まえ、既存アパートの高エネルギー性能化改修および低温地域熱供給への転換を2025年の脱炭素化を目標に「地域熱供給アクションプラン2018-2025」として進めている。低温化により熱損失を20%から10%に減らすことで収益が向上する計画。
- ・ アパートは、改修とともに低温地域熱供給へと接続される。送り温水は既存システムからの返り温水をシャント弁で55℃まで調整したものを供給する。コペンハーゲンエリアにある2つの大規模なプラントが熱源である。
- ・ 消費者側は給湯に45℃の温水を利用できる。暖房には、改修時に整備された床下暖房とラジエーターを利用。レジオネラ菌は、熱交換器および温水システムに滞留する温水をこくわずかにすることで発生を抑えている。

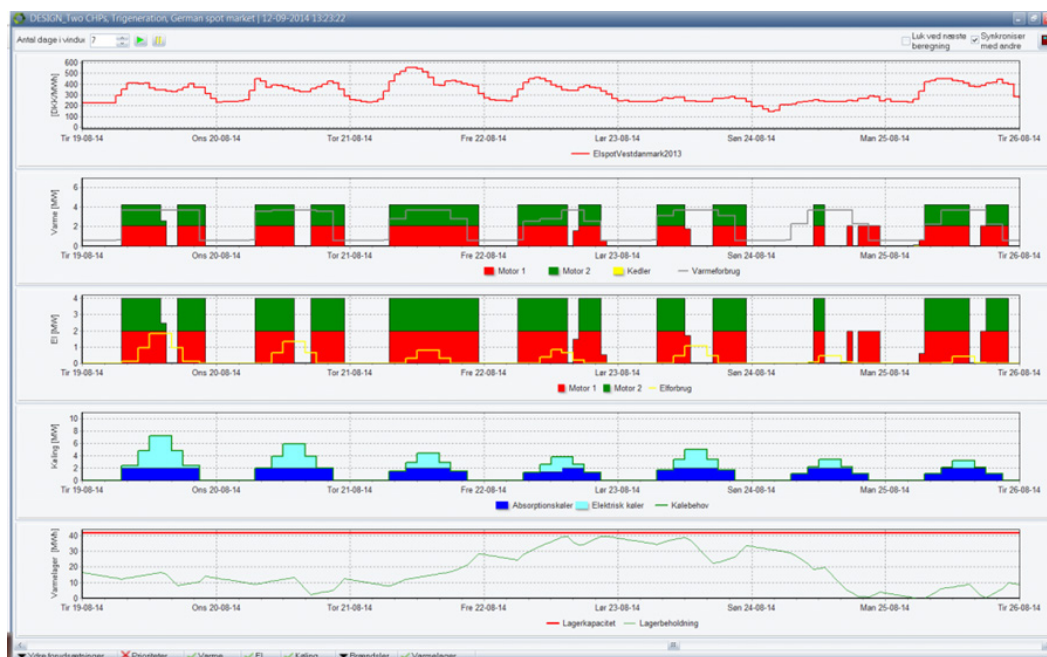


図16:送熱網による熱供給(排熱利用)



図17:アルバーツルンドの地域熱供給エリア計画(出典:DBDH 資料)

■ エネルギーバランス分析とシステム設計



発電や熱供給のエネルギープラント設計のためのエネルギーバランス分析ツール
(例: Energy PRO)



図18:エネルギーバランス分析ツールの分析例(出典:EMD社資料)

<https://www.emd.dk/energypro/>

■ 熱供給ネットワークの構成要素

◇ 断熱導管 ※熱損失の低減

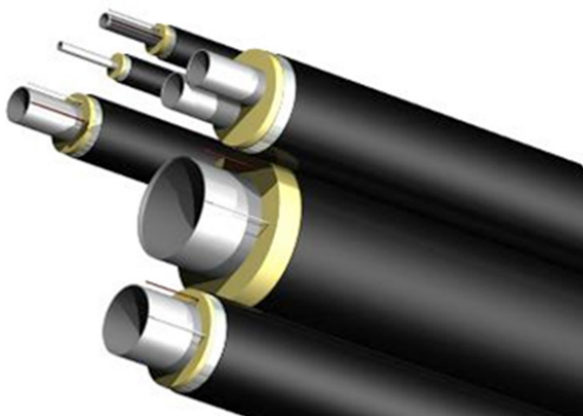
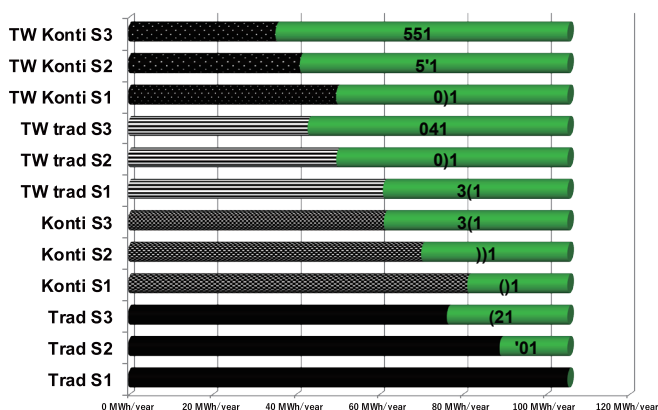


図19: 様々なタイプの断熱導管
(出所: LOGSTOR 社資料)



断熱導管の寿命は30年以上と考えられる。特に耐腐食性などに関する加速度試験は行われていないが、過去50年間の実績から製品寿命を評価している。

地域熱供給の断熱導管の総コストは30%が初期投資コスト、70%が運用コスト。運用コストには熱損失分、ポンプ動力、メンテナンス費用などが含まれるが、熱損失が最も大きな割合を占める。

断熱導管には様々な種類がある。形状に関してはストレート管(Straight Pipe), 曲り管(Curved Pipe), フレキシブル管(Flexible Pipe)などがあり、そのほか、1つの断熱導管内の導管数に応じてシングル管(Single Pipe), ツイン管(Twin pipe)などの種類がある。同じ口径であれば複数管(Twin Pipe)の方が一般的に熱損失が少ない。

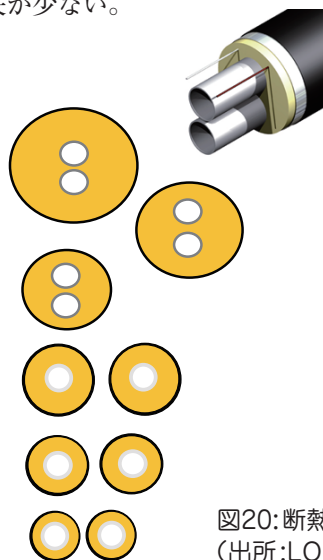


図20: 断熱導管の熱損失削減分
(出所: LOGSTOR 社資料)

◇ 熱量計 ※熱供給データをスマートに活用 ◇ 熱交換器 ※低温でも高効率の熱交換



図21: スマート化された熱量計
(出所: kamstrup 社資料)



図22: 各住戸の熱交換器の構造
(出所: Danfoss 社資料)

4. エネルギー需給の脱炭素化とスマート化

■ 熱負荷持続曲線による需給分析

- ・ 熱需要の分析: 熱需要マップ(図14)より熱需要の分布と最大熱需要の場所を特定して、年間の熱負荷持続曲線により最大熱負荷を賄う熱供給プラントを設置する。
- ・ 熱供給の導管ネットワークの設計: 熱需要マップをもとに導管径や導管長さなどを決めて導管ネットワークを設計する。
- ・ 資源ポテンシャルの推計: 熱導管の損失を推計し、再生可能エネルギーや排熱などの熱源のポテンシャルを利用する。
- ・ システムの性能評価(エネルギーフロー、エネルギー効率、CO₂排出量など)により最適な地域熱供給を設計する。

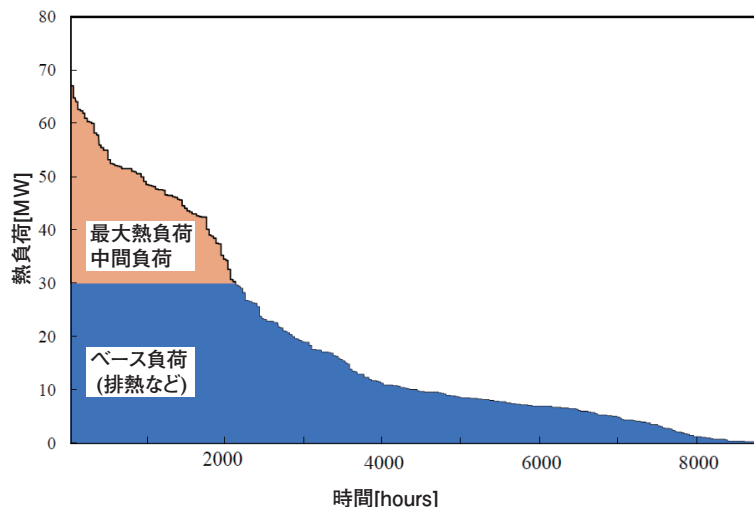


図23: 地域熱供給の負荷持続曲線の分析例(出所: 東北大学 中田俊彦)

■ 自然エネルギー熱の活用

◇ 太陽熱

地域熱供給における再生可能エネルギー導入の一環として2010年以降、太陽熱を利用した地域熱供給(SDH: Solar District Heating)の導入がデンマークを中心に進んでいる。

欧州全体では、300以上のプラント(熱出力350kWth以上)があるとされており、その総出力は1100MWthに達し、年率35%のペースで増加をしている。



図24: デンマークの太陽熱地域熱供給施設(ARCON-SUNMARK 社資料ほか)

◇ 地熱

- ・ 温泉熱利用
- ・ 地熱直接利用
- ・ 地中熱HP

(地下水、河川熱などを含む)

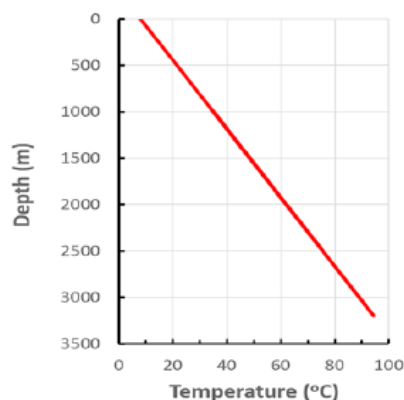


図25: 地下深度と地熱温度の関係(出所: GEOOP 社資料)

◇ バイオマス熱

- ・ 木質バイオマス(チップ、ペレット等)ボイラー・CHP
- ・ 農業残さ(麦わら等)ボイラー
- ・ 畜産・食品廃棄物(メタン発酵)バイオガス CHP

木質バイオマスボイラー排ガス中の水分からの蒸気中の潜熱を回収し効率を上げる。

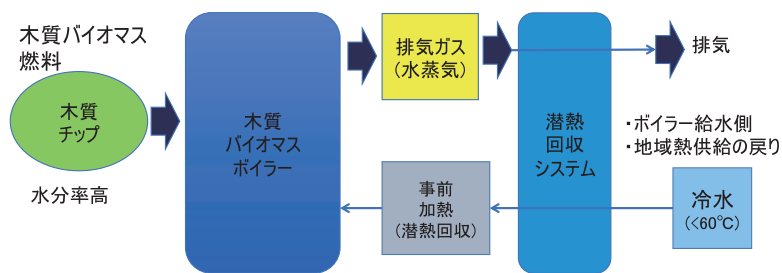


図26: 潜熱回収バイオマスボイラーの仕組み

■ 蓄熱技術の活用

地域熱供給において蓄熱槽を導入する目的は以下のとおり。

- ・ 熱生産と需要の運用コントロールの分離
- ・ 需要より供給能力が大きい時間における余剰熱の蓄熱
- ・ プラントの停止や故障に備えた予備供給能力

デンマークの地域熱供給で用いられている地域熱供給のための大規模な蓄熱技術としては、容積が数千 m^3 の温水によるバッファ蓄熱槽により、一般的には短期間のピーク需要対応や燃料や電力市場の需給関係に対応して数日分の熱供給が可能である(図27)。太陽熱や排熱を地域熱供給で利用するために必要な長期間の季節間蓄熱としては容積が数万 m^3 でいくつかの種類がある(図28)。

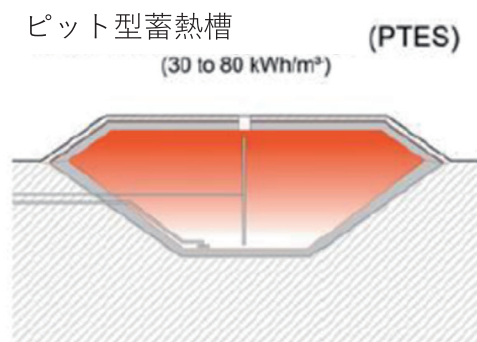
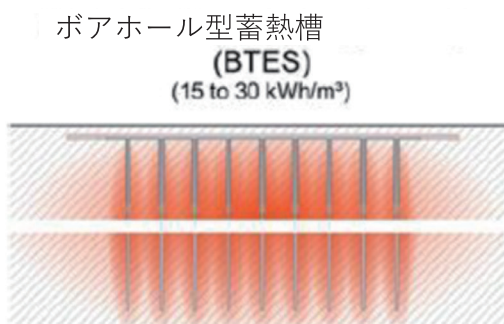


図27: ログスター町のDHの蓄熱槽

図28: 季節間蓄熱槽の種類(出所: PlanEnergi 資料)

■ セクターカップリング(電気と熱・交通の融合)

1. 風力による電力市場の変動と連動するガスCHP (コジェネ) 運用
2. 風力の余剰電力を蓄熱
3. 熱供給の変動は蓄熱で供給
4. 風力の余剰電力でガス製造(メタン化) しガス供給

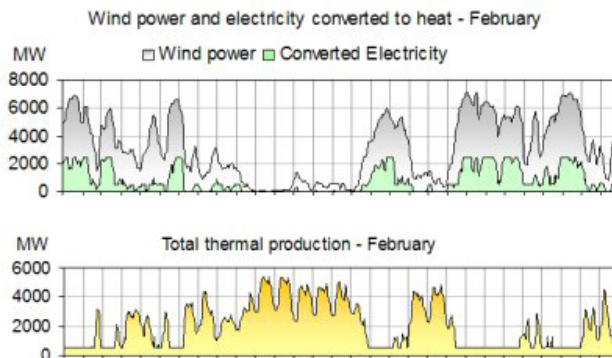


図29: 風力の余剰電力と熱供給

地域熱供給 + CHP + HP + 蓄熱タンク

風力発電

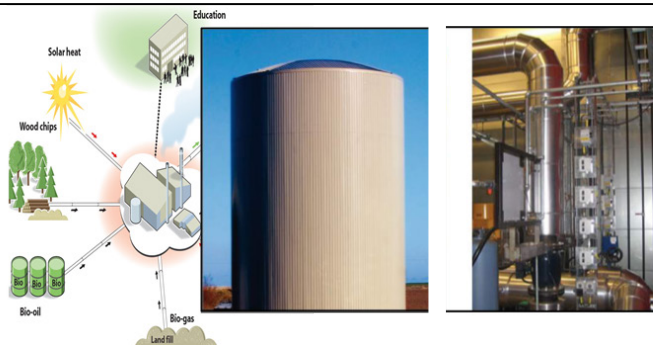


図30: 風力発電と地域熱供給のセクターカップリング

5. 日本での第4世代地域熱供給の展開に向けて

■ 日本の地域熱供給の現状と課題

表2: エネルギー市場の比較: 電力、都市ガス、LPガス、地域熱供給 (出所: 経産省資料などから作成)

	電力市場	都市ガス市場	LPガス市場	地域熱供給
供給エリアのシェア	100%	6%	94%	0.01%
消費者数	8400万人	2900万人	2400万人	3.6万人
市場規模	18 兆円	5 兆円		1400億円
従業員数	130,000人	32,400人		2500人
導管距離		259,000 km	---	646 km
自由化時期	2016年度	2017年度	自由化済み	2016年度
備考	600以上の小売電気事業者 (10旧一般電気事業者)	約200社	約2.1万社	76社, 134地域 (2017年)

日本国内の地域熱供給の市場は電力やガスの市場に比べてとても小さい

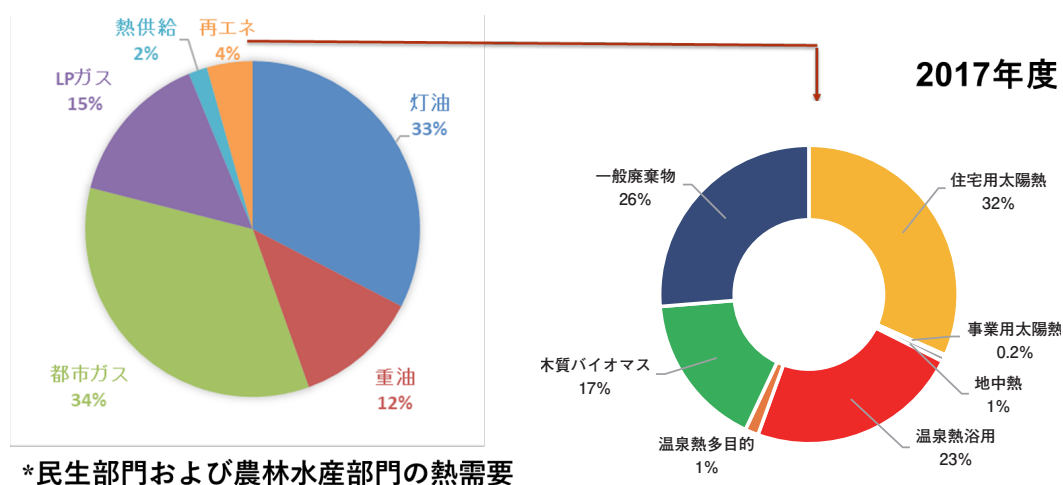


図31: 日本国内の熱需要（産業部門を除く）に対する再生可能エネルギーの割合
(出所: 永続地帯研究会データより作成)

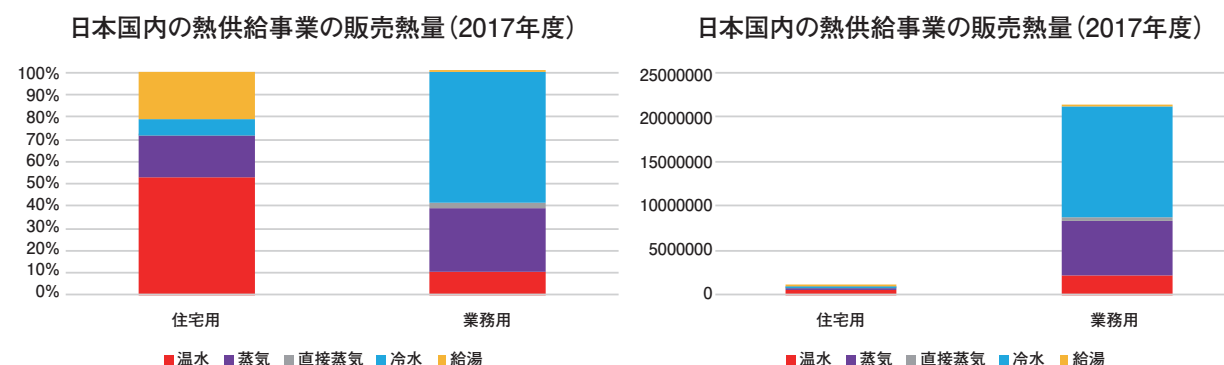
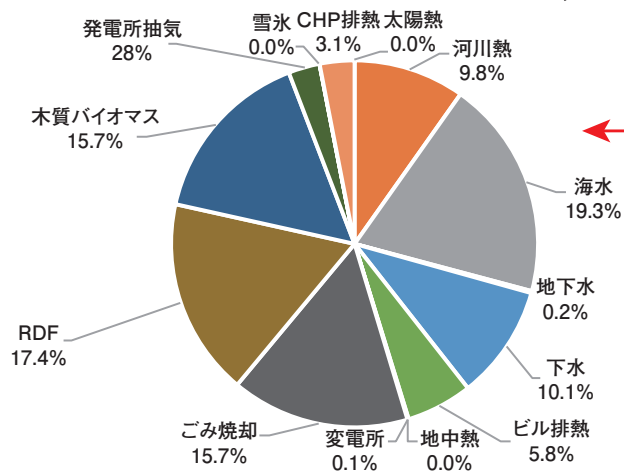


図32: 日本国内の地域熱供給の現状（2017年）（出所: 日本熱供給事業協会「熱供給事業便覧平成30年版」データより作成）

日本国内の地域熱供給の再生可能エネルギー，排熱利用



- ・ 海水:19.3%
- ・ RDF (廃棄物):17.4%
- ・ 廃棄物焼却:15.7%
- ・ 木質バイオマス:15.7%
- ・ 下水:10.1%
- ・ 河川:9.8%

- ・ 日本国内の地域熱供給の再生可能エネルギーと排熱利用の割合は15%程度
- ・ 日本国内の地域熱供給での電気の割合は16%だが、冷熱の需要が大きいため。

都市ガス:68%
電力:16%
再エネ・未利用:15%

日本国内の熱供給事業の熱源 (2017年度)

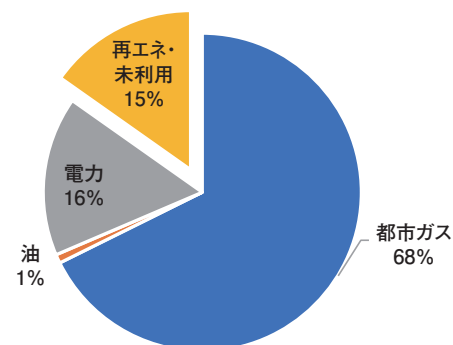


図33: 日本国内の地域熱供給の再生可能エネルギー排熱利用
(出所: 日本熱供給事業協会「熱供給事業便覧平成30年版」データより作成)

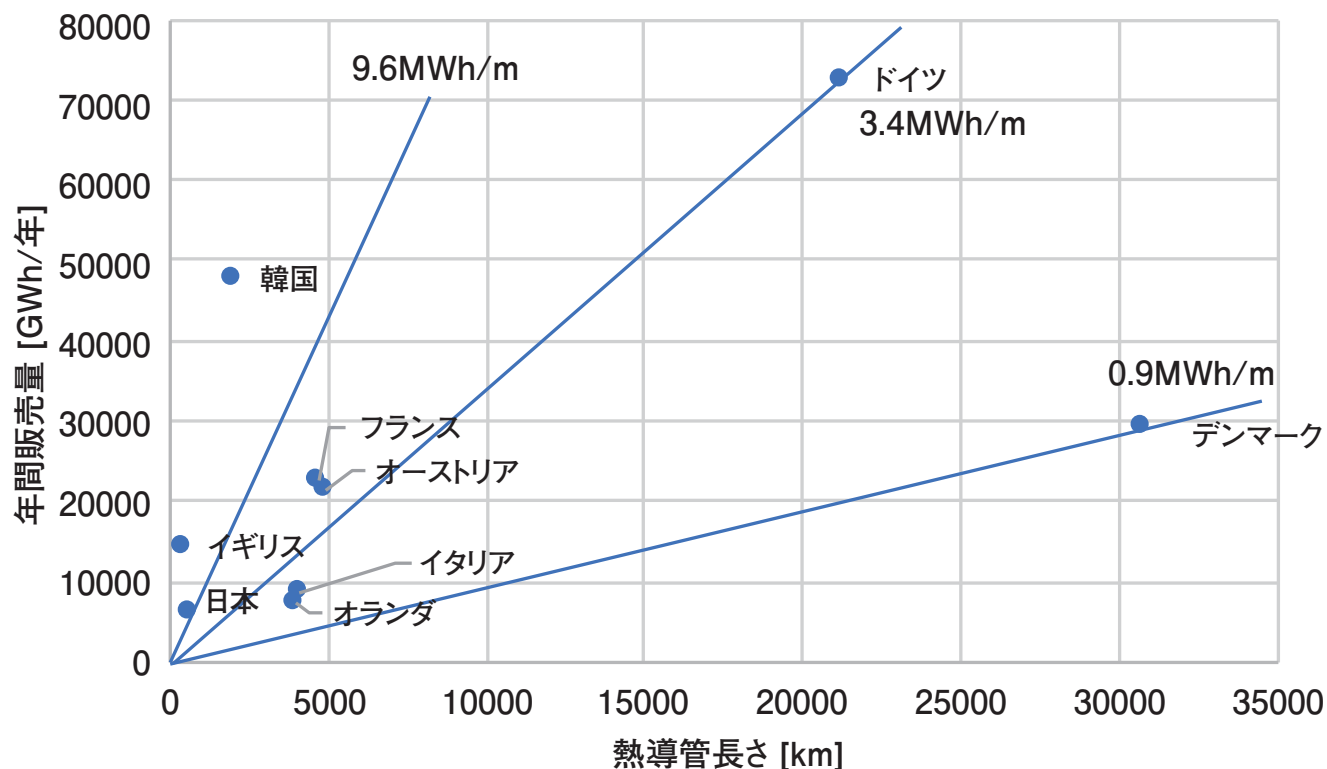


図34: 各国の地域熱供給の熱導管長さ年間熱販売量 (出所: EuroHeat&Power Country by Country 2017データより作成)

■ 日本の地域熱供給の現状と課題

日本の地域熱供給は、1970年の千里ニュータウン、翌年の新宿新都心及び札幌での導入が皮切りで、いずれも大阪万博や札幌オリンピックに向けて、大気汚染防止が主な狙いだった。その後、全国に広がってゆき、74社・132地区の熱供給事業がある(2018年度末)。

ただし熱供給事業の市場規模は、面積比で0.01%(電力市場100%、ガス事業5.7%)、需要家数や事業規模(年間売上高)でも、ガス事業の2900万件(3兆7千億円)に比べて、3.6万件(約1500億円)である。需要家の6割以上をカバーするデンマークなどと桁違いに小さい。

日本のエネルギー政策において、冷暖房や給湯に関する温熱が歴史的に「不在」であったことが第1の要因と考えられる。日本のエネルギー政策は、石炭・石油・ガス・電力及び原子力という、それぞれのエネルギー「産業」政策であり、産業界へのエネルギー供給政策に主眼がある一方、家庭や業務ビル・商業ビルへの温熱は、各エネルギー産業や暖房・給湯設備業の自由競争に委ねられていた。

また、全体として断熱気密性の劣る日本の住宅・建築物において、給湯も暖房とそれぞれの施主の選択に委ねられ、エネルギー費用の嵩む全館全室暖房よりも、一室だけを冷暖房する「点暖房」が主体となってきたことも

第2の要因と考えられる。

第3に、初期の熱導管の敷設費用が欧州などに比べて数倍から数十倍に及ぶ高コスト構造も要因として指摘できる。都市部に集中しているため、日本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、デンマークの約10倍である(図35)。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(図7)。

第4に、日本の地域熱供給の熱源の多くが都市ガスなどの化石燃料であり、バイオマス燃料は札幌市の熱供給事業が唯一の事例であり、気候変動対策の面で燃料転換が必要である。ただし、比較的小規模な地域熱供給では木質バイオマスを利用する例はある。

なお、熱供給事業も2016年4月から自由化されたが、既存事業への他社の参入障壁が高く、その効果は限定的である(表2)。

■ 日本国内の地域熱供給の事例：東京都光が丘団地

一般廃棄物処理の焼却施設の排熱利用、住宅ユーザー(日本国内最大規模)

事業開始：1983年、総床面積：1km²



- ・ 国内最大規模の住宅ユーザー(12000戸)
- ・ 線熱密度：1.2 MWh/m/年(61GWh/年, 51km)
- ・ 一般廃棄物焼却施設の排熱利用：55℃
- ・ 温水供給温度：60℃(住宅用), 45℃(業務用)
- ・ 冷水供給温度：7℃(業務用)

① DHプラント ② 商業エリア ③ 焼却施設
④ - ⑨ 学校

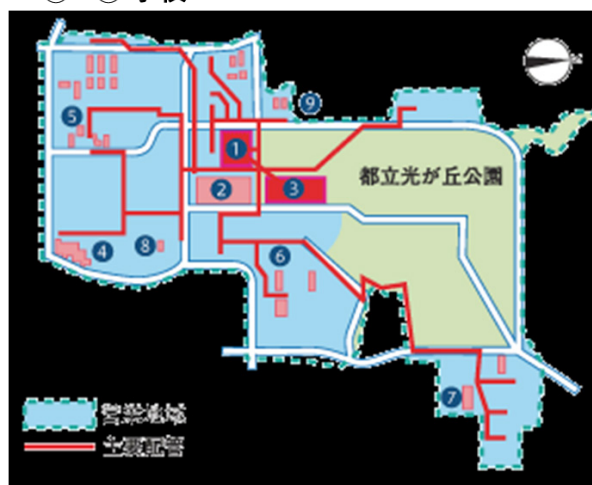


図35: 東京都光が丘団地の地域熱供給(出所: 日本熱供給事業協会ホームページ <http://www.jdhc.or.jp>)

■ 日本国内の地域熱供給の事例：札幌市都心部

- ・ ガスによる蒸気、高温水、温水、冷水供給、木質バイオマス利用
- ・ 都心エネルギーマスタープラン、アクションプランの策定

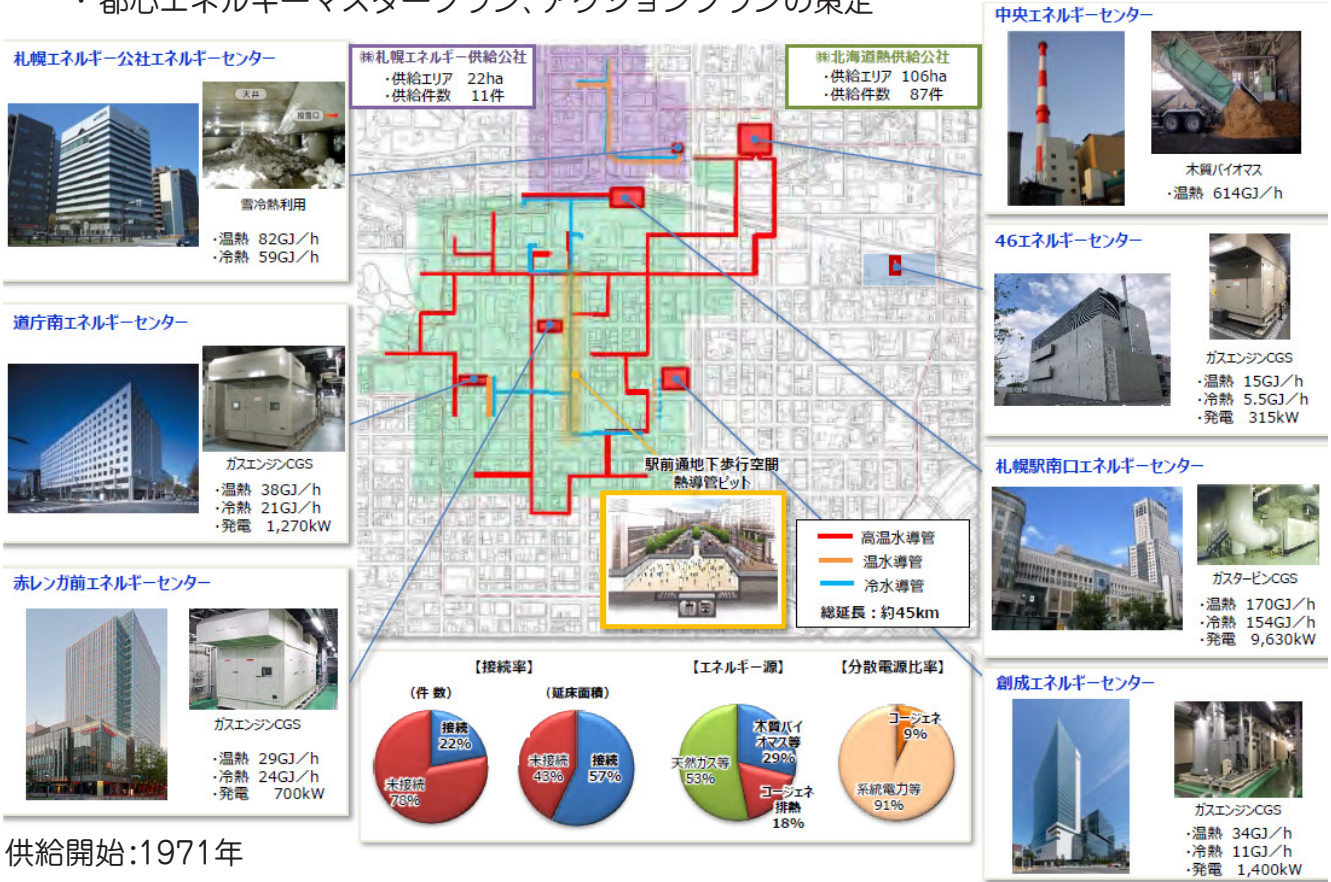


図36: 札幌都心の地域熱供給事業の現況
(出所: 札幌市資料)

■ 日本国内の地域熱供給の事例：山形県最上町

東北地方の小規模な木質バイオマス地域熱供給

- ・ 23戸の住宅ユーザー、年間熱需要:183 MWh
- ・ 線熱密度: 0.9 MWh/m/年
- ・ 熱源: 木質バイオマス(森林由来)



図37: 最上町若者定住環境モデルタウン
(出典: 三浦秀一(東北芸術工科大学)資料)

6. 自然エネルギー 100% への展開

- 4DHからセクターカップリングそしてスマートエネルギーシステムへ
電力供給と熱供給さらに輸送エネルギーも供給

Smart Energy Systems

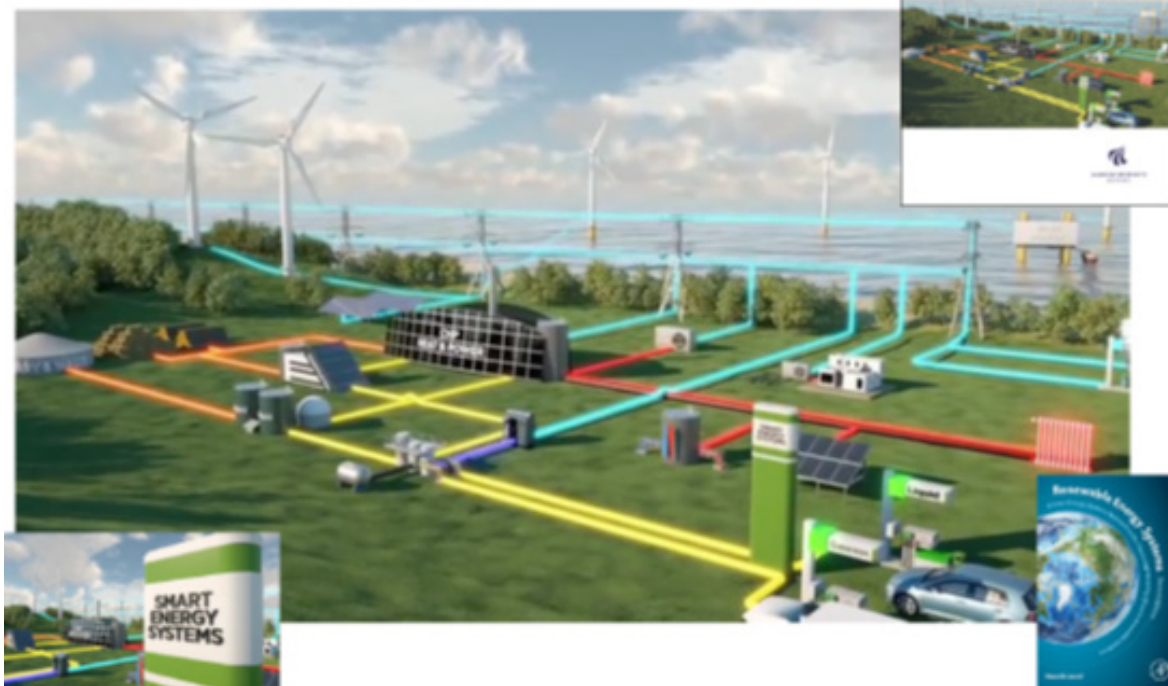


図38: スマートエネルギーシステムのイメージ(出所: IDA's Energy Vision 2050, オールボー大学(2015))

- デンマークの2050年自然エネルギー100%シナリオ(CEESA)

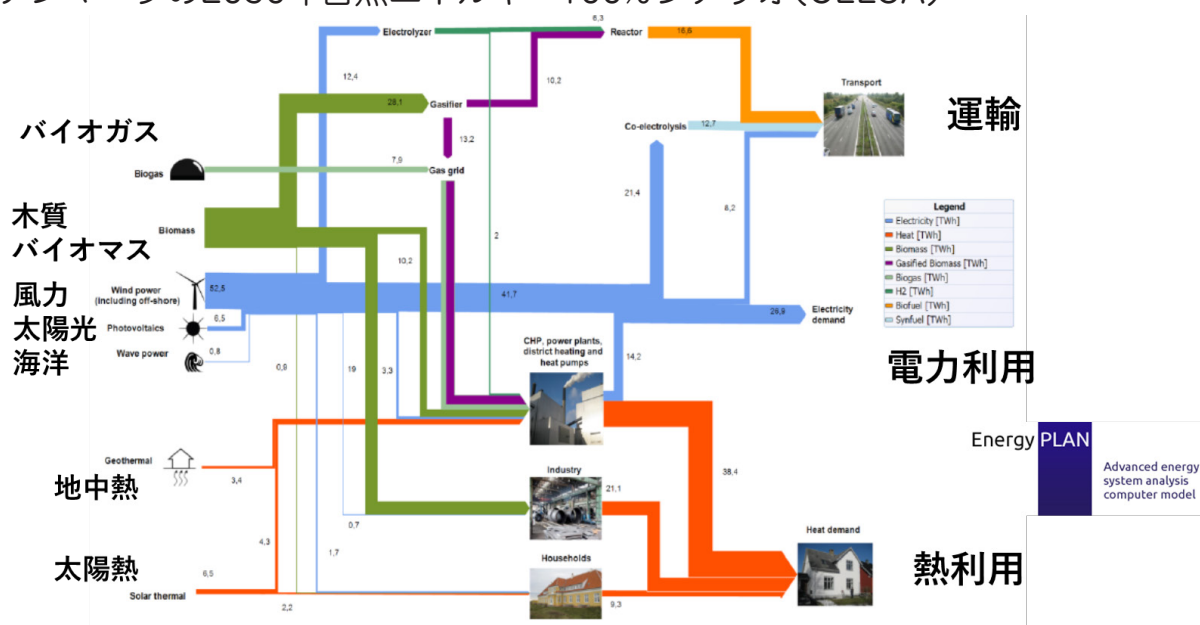


図39: 自然エネルギー100%エネルギーフロー(デンマーク、2050年)
(出所: CEESA(2017) <http://www.ceesa.plan.aau.dk/>)

■ 電力・熱・運輸の各エネルギーシステムの統合(セクターカップリング)の必要性

ここ数年の太陽光発電と風力発電、そして蓄電池の急激な拡大とコスト低下によって、電力部門の脱炭素化と再エネ化の道のが見えてきた。この電力分野における再エネの低コスト化の「恩恵」を温熱分野と運輸交通分野にも波及させるために、これらを統合する考え方を「セクターカップリング」と呼ぶ。

- ・ 脱炭素型広域圏エネルギーシステムを定義する。
- ・ 都市部と地方部が相互に特性を補完し、エネルギーを融通する広域圏
- ・ 需要部門とエネルギーキャリアを統合するセクターカップリング
- ・ 広域圏におけるセクターカップリングを考慮したエネルギーシステムの統合
- ・ エネルギーシステムの観点からの地域循環共生圏の価値

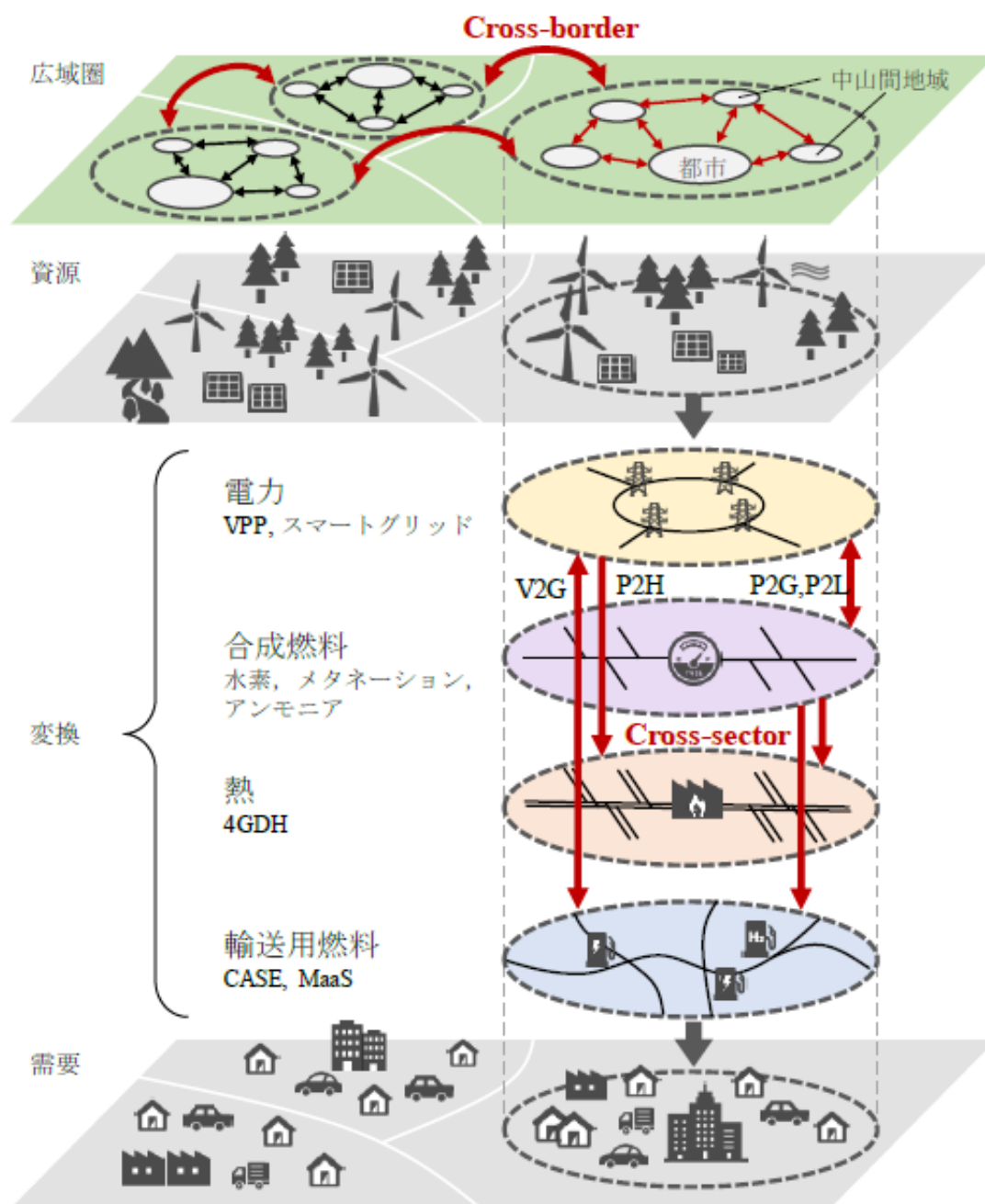


図40: 電力・熱・運輸の各エネルギーシステムの統合イメージ
(出所: 東北大学大学院工学研究科 技術社会システム専攻 中田俊彦)

■ 参考情報 リンク集

[英語]

- オールボー大学4DH研究センター 4DH Research Centre <https://www.4dh.eu/>
- 第5回スマートエネルギー・第4世代地域熱供給国際会議(2019年9月)
<https://smartenergysystems.eu/conference-2019/>
- CEESA project <https://www.ceesa.plan.aau.dk/>
- Centre for IT-Intelligent Energy Systems in Cities(地域熱供給のデジタル化)
<http://smart-cities-centre.org/>
- COOL DH(Cool District Heating) <https://www.cooldh.eu/>
- デンマーク地域熱供給協会 Danish Board of District Heating(DBDH) <https://dbdh.dk/>
- デンマーク地域熱供給事業者協会 Danish District Heating Association
<https://www.danskfjernvarme.dk/sitetools/english>
- DHC + Technology Platform <https://www.euroheat.org/dhc/>
- デンマーク地域熱供給白書 District Energy(SOG) <https://stateofgreen.com/en/publications/district-energy/>
- EMD社 EnergyPRO(エネルギーシステム設計ツール) <http://www.emd.dk/energypro/>
- EnergyPLAN(エネルギーシステム分析ツール) <https://www.energyplan.eu/>
- EU熱ロードマップ: Heat Roadmap Europe 2050(HRE2050) <https://heatroadmap.eu/>
- EU委員会統計局: eurostat <https://ec.europa.eu/eurostat/>
- EurObserv'ER(欧州エネルギー統計データ) <https://www.eurobserv-er.org/>
- EUROHEAT&POWER <https://www.euroheat.org/>
- スマートエネルギーシステム国際会議 International Conference on Smart Energy Systems <https://smartenergysystems.eu/>
- Renewables Global Status Report(自然エネルギー世界白書) <https://www.ren21.net/gsr>
- House of Energy(Energy Cluster Denmark) <https://house-of-energy.dk/en/>
- 国際エネルギー機関 地域熱供給部会 IEA DHC <https://www.iea-dhc.org/home/>
- KeepWarm(中欧の地域熱供給システム改善プロジェクト) <https://keepwarmeurope.eu/>
- ログストール社 LOGSTOR(デンマークの断熱導管メーカー) <https://www.logstor.com/>
- プランエネルギー社 PlanEnergi社(デンマークの非営利エネルギーコンサルティング会社)
<http://planenergi.eu/>
- REN21(21世紀のための自然エネルギー政策ネットワーク) <https://www.ren21.net/>
- sEnergies <https://www.seenergies.eu/>
- Solar District Heating(SDH) <https://www.solar-district-heating.eu/>
- State of Green(SOG) <https://stateofgreen.com/>
- UNEP District Energy in Cities Initiative <http://www.districtenergyinitiative.org/>
- Upgrade DH(欧州のDH改善プロジェクト) <https://www.upgrade-dh.eu/en/home/>

[日本語]

- 持続地帯研究会(Sustainable Zone) <https://sustainable-zone.com/>
- 環境省 地域循環共生圏 <https://www.env.go.jp/seisaku/list/kyoseiken/index.html>
- 経産省 資源エネルギー庁 熱供給事業関連
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/other/effective_use/
- 札幌市 都心エネルギープラン
<https://www.city.sapporo.jp/kikaku/downtown/energy-index.html>
- 自然エネルギー白書(ISEP) <https://www.isep.or.jp/jsr>
- 紫波グリーンエネルギー株式会社(岩手県紫波町)地域熱供給事業
<http://shiwa-green.co.jp/project/districtheating>
- State of Green(SOG)日本語版 <https://stateofgreen.com/jp/>
- 一般社団法人 ソーラーシステム振興協会 <http://www.ssda.or.jp/>
- 第4世代地域熱供給フォーラム <https://www.isep.or.jp/4dh-forum/>
- NPO法人 地中熱利用促進協会(GeoHPAJ) <http://www.geohpaj.org/>
- デンマーク王国大使館 <https://japan.um.dk/ja/>
- デンマーク地域熱供給白書(日本語版) <https://stateofgreen.com/jp/publications/333/>
- 東京都環境局「地域におけるエネルギー有効利用計画制度」
<https://www7.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/yukoriyou/>
- 一般社団法人 都市環境エネルギー協会(JDHCA) <http://www.dhcjp.or.jp/>
- 一般社団法人 日本地熱協会(JGA) <https://www.chinetsukyokai.com/>
- 一般社団法人 日本熱供給事業協会(JSHBA) <http://www.jdhc.or.jp/>
- 一般社団法人 日本木質バイオマスエネルギー協会(JWBA) <https://www.jwba.or.jp/>
- 一般社団法人 日本太陽エネルギー学会(JSES) <https://www.jses-solar.jp/>
- NEDO 熱利用 https://www.nedo.go.jp/activities/introduction8_01_101.html
- NPO法人 農都会議 バイオマス WG <https://blog.canpan.info/bioenergy/>
- 分散型エネルギープラットフォーム(資源エネルギー庁&環境省)
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/bunsan_plat/
- 丸の内熱供給株式会社 <https://www.marunetu.co.jp/>
- 最上町 木質バイオマスエネルギー施設 <http://mogami.tv/info/03shisetsu/04biomas.php>

■「デンマーク地域熱供給白書」

State of Green

<https://stateofgreen.com/en/publications/district-energy/>

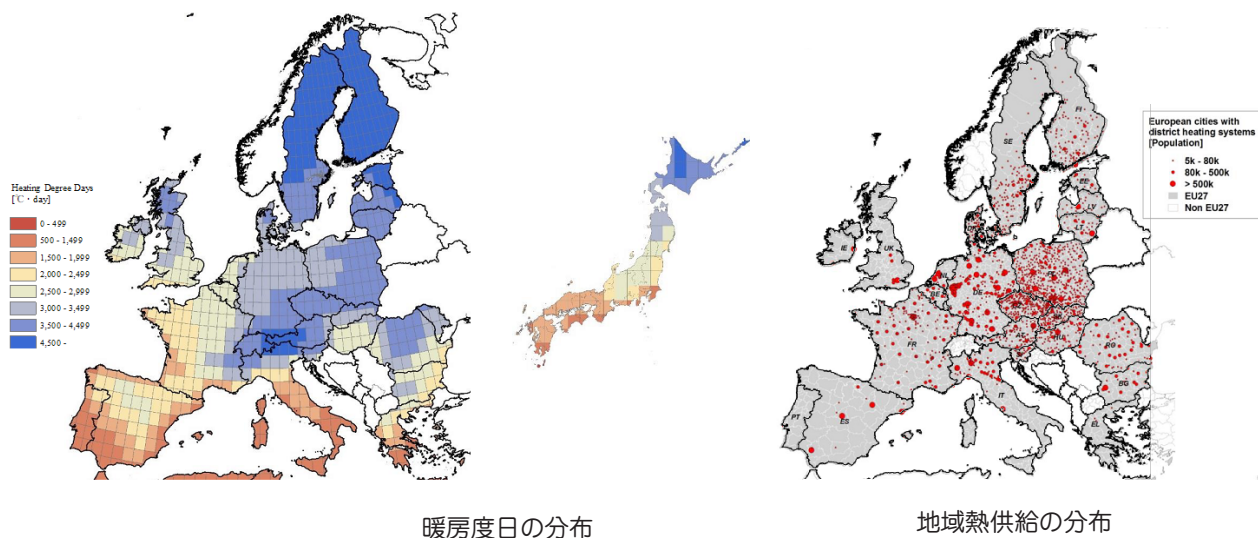
- 地域熱供給の軸:使用燃料の柔軟性と安定供給
- 計画と規制～前提条件:規制プロセス、役割と必須条件
- 熱源の多様化により持続可能性が確保される:エネルギーをスマートに利用するカギ
- 蓄熱の必要性:経済的な節約と安定供給
- 地域熱供給の未来:世界中の可能性の実現



コラム：欧州と日本の暖房度日の比較と地域熱供給の分布状況

日本でも北日本の10道県で2500℃日を超え北欧各国と同レベルの熱供給が必要。

日本国内の地域により冷暖房の必要性が異なる。



欧州と日本の暖房度日の比較と欧州の地域熱供給の分布

(出典: “Design and analysis of district heating system utilizing excess heat in Japan” Shin Fujii, Takaaki Furubayashi and Toshihiko Nakata, *Energies* 2019, 12(7), 1202)

■ 第4世代地域熱供給フォーラム(4DHフォーラム)の取組み

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、環境エネルギー政策研究所(ISEP)では、デンマーク関係機関との協力のもとで、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。

パリ協定に基づく欧州の熱戦略やロードマップに基づく第4世代地域熱供給の知見・経験の共有を図るとともに、国内外での会議への参加や研究会・シンポジウムを開催し、国内での自然エネルギー熱利用普及のためのネットワーク形成を目指している。

■ 4DHフォーラム <https://www.isep.or.jp/4dh-forum/>



謝辞

この「第4世代地域熱供給4DHガイドブック」は、日本国内における熱分野の脱炭素化を目指すための自然エネルギー熱政策の実現や第4世代地域熱供給の普及を目的に、認定NPO法人環境エネルギー政策研究所により発行されています。発行にあたっては、第4世代地域熱供給4DHフォーラム関係者のご協力のもと、座長の中田俊彦教授およびISEPのスタッフが調査・執筆を担当しました。関係者には、心から感謝致します。

協力

- ・デンマーク王国大使館
- ・State of Green (SOG)
- ・一般社団法人日本熱供給事業協会
- ・オールボー大学4DH研究センター

本書は独立行政法人環境再生保全機構地球環境基金の活動助成により作成されています。

表紙写真：

- 左上：太陽熱地域熱供給（SDH）ブレドストラップ
- 中央上：地域熱供給の主配管（アルバーツルンド）
- 右上：オールボー大学4DH研究センターのロゴ
- 左下：PETA（全ヨーロッパ熱アトラス）
- 中央下：第5回スマートエネルギー・4DH国際会議の会場
- 右下：コペンハーゲン市内の新清掃工場（アマガー）

第4世代地域熱供給4DHガイドブック
“4DH Guidebook”
<https://www.isep.or.jp/4dh-forum/>



監修：飯田哲也（環境エネルギー政策研究所 所長）
編集責任：松原弘直（環境エネルギー政策研究所 理事）

デザイン・印刷：株式会社アールムーン

Institute for
Sustainable
Energy
Policies

isep

認定NPO法人
環境エネルギー政策研究所

本書は独立行政法人環境再生保全機構地球環境基金の活動助成により作成されています。



(発行 2020 年 3 月)

作成・発行：認定 NPO 法人 環境エネルギー政策研究所 (ISEP)

〒160-0008 東京都新宿区四谷三栄町16番16号

TEL 03-3355-2200

FAX 03-3355-2205

<https://www.isep.or.jp/>

Institute for
Sustainable
energy
policies

isep

認定NPO法人

環境エネルギー政策研究所