

デンマーク等欧州地域熱供給事情視察報告

～田中いずみ氏連載

「デンマーク王国にみる柔軟なエネルギー・システムの構築と地域熱供給」をふまえて～

村上公哉 芝浦工業大学 教授

はじめに

本協会が本年度実施した海外視察はデンマーク、スウェーデン及びドイツのヨーロッパ3カ国であった。特にデンマーク視察のプログラムは、本誌で連載（「デンマーク王国にみる柔軟なエネルギー・システムの構築と地域熱供給」／105～107号*1）をご執筆いただいた田中いずみ氏の助言を受けたものであり、今後のわが国の地域熱供給（地域冷暖房）の発展に資する多くの知見を得ることができた。そこで本稿では、御礼の意味を含め、視察団を代表し団長を務めた私が総括として視察内容を報告する次第である。

視察は2018年10月14日～22日の9日間の日程であり、メンバーは総勢24名であった（表1、表2）。表に示すように視察先は多岐にわたるとともにそれぞれの視

察先で多くの知見を得たため、視察順に報告すると誌面が足りなくなることから、大きく5つの視点にまとめる形で記す。

(1) エネルギー政策からの視点

デンマークの視察でまず感じたことは、田中氏の連載でもデンマークのエネルギー政策や各種制度が紹介されていたが、脱炭素社会に向けて政府が数値目標や制度などを策定するとともに、それが基になりエネルギーインフラが計画・整備されていることである。これは表2の①States of Greenや②デンマーク地域熱供給協会(DBDH: Danish Board of District Heating)の視察で感じたことである。数値目標に関することで印象的な事項は大きく二つあった。

表1 視察団メンバー

団長	村上 公哉
副団長	手塚 繁己
メンバー	五十嵐 秀司/岩井 俊晴/小田原 富教 佐々木 邦治/佐野 正明/杉原 充 関 亘/坪井 瑛/堂田 文良 徳本 勉/中川 洋輔/原田 好博 淵上 善弘/松下 修一/宮崎 久史 棟田 佳宏/森崎 正吾/山口 隆生 吉田 建志/和田 仁志/和田本 章
事務局	副島 圭治

表2 視察行程

月日	視察先
10/14	羽田→ミュンヘン→コペンハーゲン
10/15	コペンハーゲン:デンマーク ①States of Green ②デンマーク地域熱供給協会(DBDH) アルバーツルン:デンマーク ③Albertslund Utility
10/16	マルメ:スウェーデン ④ウエスタンハーバー地区 (Western Harbour)
10/17	オールボー:デンマーク ⑤House of Energy ⑥Aalborg District Heating ドロンニングルン:デンマーク ⑦Dronninglund District Heating
10/18	アッシュンフェンブルク:ドイツ ⑧Stadtwerke Aschaffenburg
10/19	ハイデルベルク:ドイツ ⑨Heidelberg sewage treatment plant ⑩Heidelberg Bahnhof
10/20～22	ハイデルベルク→フランクフルト→羽田



写真1 視察団メンバー (House of Energy視察にて)

【参考文献】

*1: 田中いずみ「連載/デンマーク王国にみる柔軟なエネルギー・システムの構築と地域熱供給」、『熱供給』105～107号、2018年、日本熱供給事業協会（HP「協会誌 海外の熱供給」(<http://www.jdhc.or.jp/oversea/>)にて閲覧可）

一つは、「2035年には熱と電気を100%再生可能エネルギーで賄い、2050年には交通も含め100%再生可能エネルギーで賄う。」に代表される数値目標である。この熱に関する目標は地域熱供給の長期戦略に大きな影響を及ぼしている。特に熱供給の熱源の数値的内訳について、2050年までの将来計画（田中氏の連載第1回図6）を示していることに繋がっていると感じた。このように、将来計画においてエネルギー供給源や熱源の内訳を示している点は、デンマークの大きな特徴の一つである。

もう一つは、数値目標を達成するためのエネルギーシステムのコンセプト（図1、図2）を持ち、それを実現するように地域熱供給が変容していることである。図1に示すように将来的なエネルギー供給源は主に風力発電等、バイオエネルギー燃料等、太陽熱等の3つである。そして、図2に示す地域熱供給でも従来の工場廃熱、廃棄物 CHP（熱電併給）、化石燃料 CHP に加え、バイオ燃料 CHP、風力発電電気によるヒートポンプや電気ボイラ、太陽熱、地熱などの再生可能エネルギーが加わるとともに、将来計画では再生可能エネルギーの比率が大きくなっている。後述するように、特に地方都市ではその傾向が強い。

さらにエネルギー政策に係わる点で、⑤「House of Energy」は興味深かった。これは熱供給に関わる産学官連携ネットワークであり、熱供給事業者のみならず、技術に関わる関連企業や研究機関も加わり、様々な観点から地域熱供給の普及・進展を牽引している。わが国にはまだ存在しない組織体であり、今後このような役割を担う組織体の醸成が期待される。

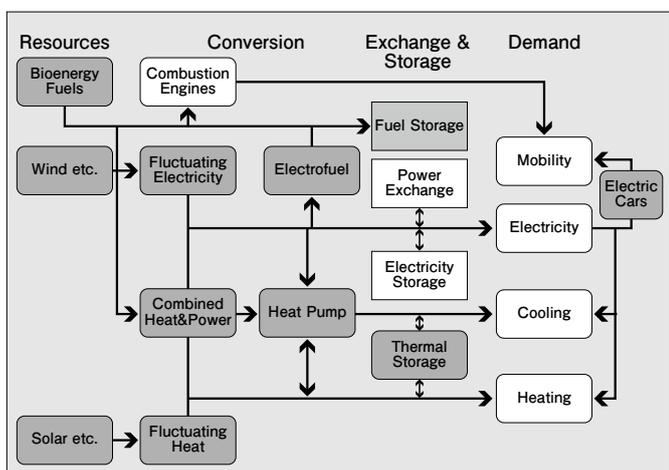


図1 将来のエネルギーシステムのコンセプト (The Smart energy system concept) (引用) House of Energy視察時のSteffen Nielsen准教授(オールボー大学)講演資料

(2) 大都市の熱供給からの視点

大都市の熱供給では、コペンハーゲン首都圏の広域熱供給ネットワーク（図3）とオールボーの熱供給ネットワーク（図4）を視察した。わが国の地域熱供給のほとんどは大都市に整備されているが、わが国と異なる2つの点に大変興味を持った。

一つは、図3に示す巨大な熱供給ネットワークが図2に示すように、「生産 (Production)」部門、「輸送 (Transmission)」部門（全長160km程度）、「配給 (Distribution)」部門に分離され運営されていることである。エンドユーザーに熱供給する「配給」は20の事業者が担い、自治体もしくは消費者（協同組合等）がシステムを所有している。視察した③アルバーツルン市(Albertslund：人口約3万人)のアルバーツルンユーティリティはこの一つであり、自治体所有である。

もう一つは、「生産」部門がわが国の熱供給事業者と異なり、熱をほとんど製造していない点である。「生産」部門の元は廃棄物焼却廃熱（25%）とCHP廃熱（70%）であり、「熱供給」というよりは「廃熱配給」というイメージである。

デンマーク第4の都市である⑥オールボー市(Aalborg：人口約12万人)の地域暖房も同様である。首都圏のネットワークほど巨大ではないが、導管延長は約1,550kmに及ぶ。「生産」部門は廃棄物焼却廃熱（23%）、セメント工場余剰熱（18%）、発電所（CHP）廃熱（57%）、天然ガスボイラ（2%）であり、首都圏と同様に廃熱を配給していると言える。そして、地域暖房は市が所有する多くの公益企業から構成されるAalborg Forsyning社の一公益企業である。

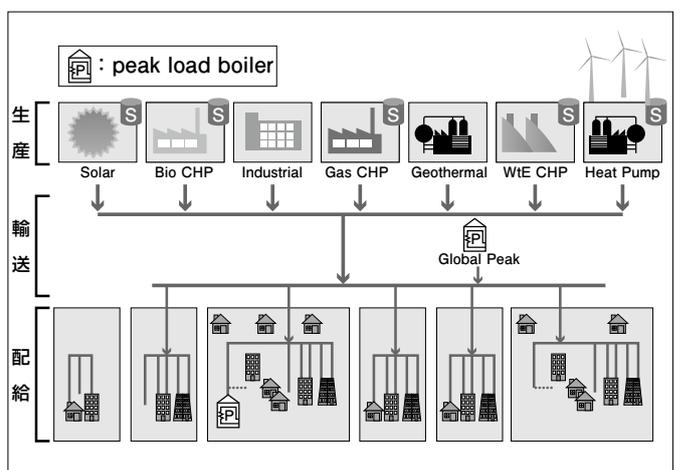


図2 将来の地域熱供給システムのコンセプト (Fossil Free Smart System) (引用) デンマーク地域熱供給協会 (DBDH) 視察時の講演資料に加筆

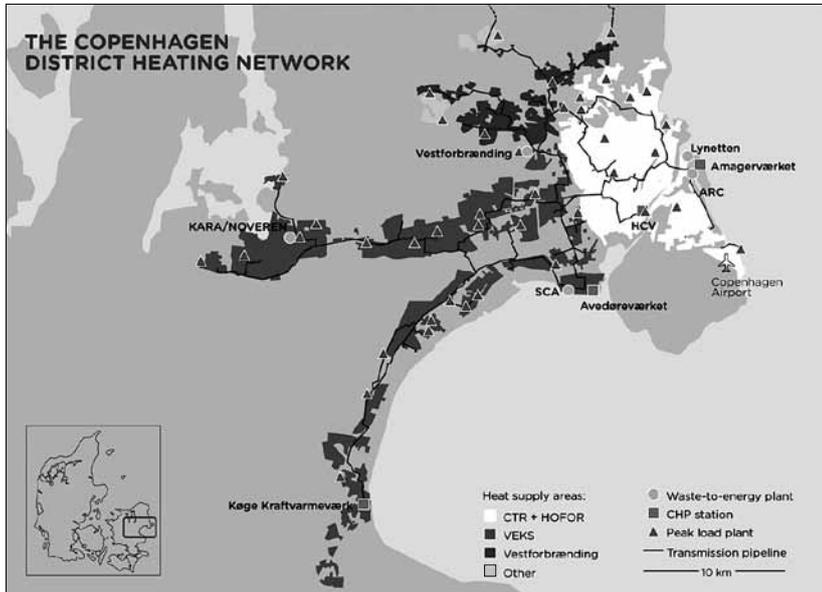


図3 コペンハーゲン広域圏の地域熱供給ネットワーク
(引用) デンマーク地域熱供給協会 (DBDH) 視察時の講演資料

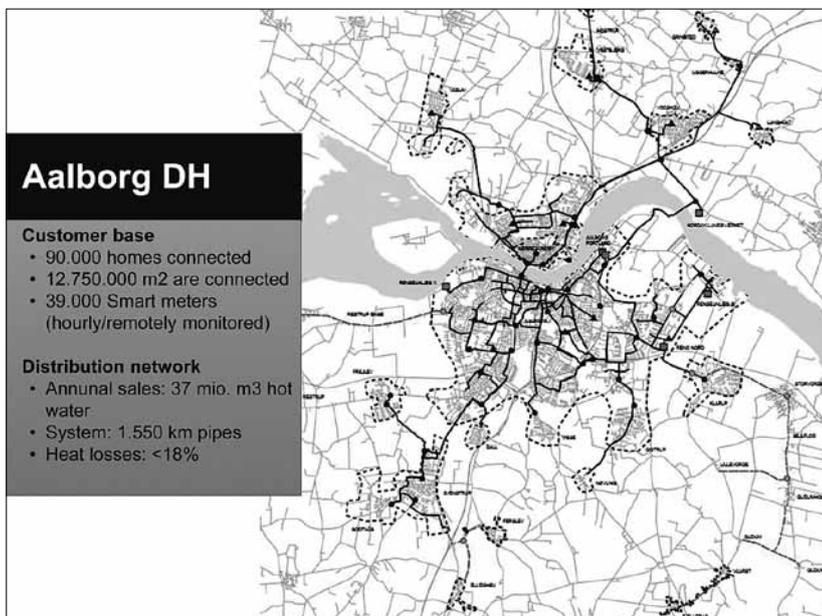


図4 オールボーの地域熱供給ネットワーク
(引用) オールボー地域暖房社 (Aalborg Forsyning) 視察時の講演資料

(3) 地方都市の熱供給からの視点

田中氏の連載第1回によれば、デンマークには約400カ所の中小地域熱供給がある。わが国の地方都市では熱供給はほとんどない現況とは大きく異なる。地方都市の熱供給では、連載第3回で紹介された⑦ドロニングルン (Dronninglund) の熱供給を視察した。需要家は1,350戸 (約3,300人) であり、需要家が協同組合で地域暖房を運営している。

システムは、現在デンマークで推進されている、大規模なソーラーパネルと蓄熱槽を有する典型的な太陽熱活用型地域暖房 (SDH: Solar District Heating) である (図5)。熱源設備は、ガスエンジンコージェネレーショ

ン4台 (発電3,600kW、廃熱6,400kW)、ガス焼きボイラ (2台、1台には吸収式ヒートポンプが接続)、バイオオイル焼きボイラ (1台)、約38,000㎡のソーラーパネル (平板式集熱器)、ピット式蓄熱槽 (約60,000㎡) である。

熱源は、太陽熱40%、天然ガス15%、バイオオイル45%であり、再生可能エネルギーによりほとんどを賄っている。さらに将来は、図6に示すように、再生可能エネルギーとして風力発電電気をを用いるヒートポンプと電気ボイラが加わり、太陽熱40%、天然ガス5%、バイオオイル10%、ヒートポンプ45%への転換を計画している。

(4) 電力供給と熱供給の一体化からの視点

デンマークの熱供給の大きな特徴に、電力供給との一体化がある。これを理解するには、まずわが国とデンマークの電力供給システムの違いを知る必要がある。田中氏の連載第1回によれば、デンマークの電力生産の約63%は再生可能エネルギーであり、そのうち約43%は風力発電が担っている。変動が大きい風力発電が大量導入できる背景には、北欧6カ国などと国境を越えた電力供給網と国際電力取引市場「ノードプール」を形成していることがある。ノードプールの取引量は、北欧の電力取引量の7割以上に相当するとのことであり、電力価格は常に変動している。特

に風力発電量が多くなるとスポット市場の電力価格は低くなり、それが少なくなると高くなる。ここに熱供給との密接な関係が生まれる。

密接な関係の一つは、地域熱供給の大きな「生産」部門を形成しているCHPである。電力価格が高い時は、発電し売電するとともに余剰廃熱を大規模蓄熱槽に貯める。そして、風力発電量が増えて電力価格が下がる時は発電を停止し蓄熱槽の熱を供給する。つまり、不安定な風力発電の調整を担っているのである。例えば、首都圏の広域熱供給ネットワークの「生産」部門を担うAvedøre CHP (約80万kW) では、22,000㎡×2基の巨大な蓄熱槽を活用している。また地方都市のBraedstrupの地

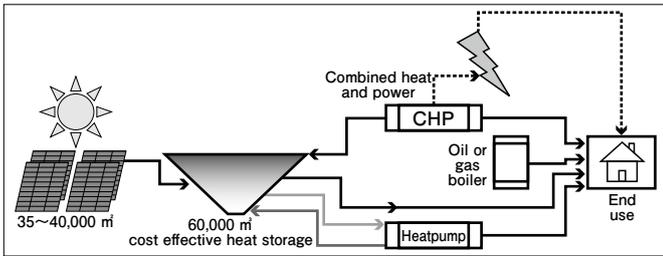


図5 ドロニングルン地域熱供給システム(現状)
(引用)ドロニングルン地域熱供給視察時の講演資料

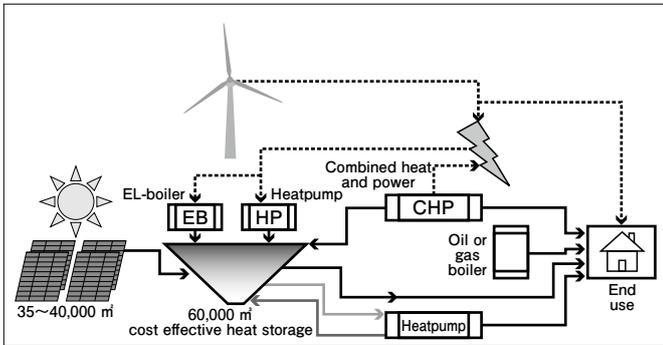


図6 ドロニングルン地域熱供給システム(将来)
(引用)ドロニングルン地域熱供給視察時の講演資料

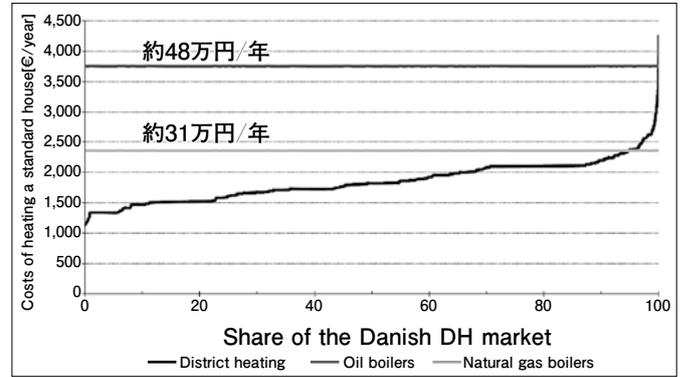


図7 デンマークの地域熱供給の熱料金の概要
(Cost of heating an 18.1 MWh/year standard house)
(引用) House of Energy視察時のSteffen Nielsen准教授(オールボー大学)講演資料に加筆 ※1€=128円換算

このように自治体がエネルギーインフラに関わることは、自治体の低炭素化(脱炭素化)の目標を達成するためのインフラ整備を、都市計画として実行できることを意味する。また、公共インフラを統括して事業運営することにより、廃棄物処理、下水道などをエネルギー生産施設として捉え、得られる電気や熱をエネルギー利用しやすくなる仕組みに繋がる。これらの点はわが国と大きく異なる特徴である。

二つ目は熱料金の決定方法である。田中氏の連載第2回に言及されているように、地方自治体は最も社会経済的メリットを有する熱供給方法を選択し、そのゾーンを行なっている。事業的には非営利が前提である。地域によって熱料金にも幅があるが、ほとんどの熱供給事業が個別式の天然ガスボイラや石油ボイラよりも安価になっている(図7)。これには、天然ガス等の化石燃料への50%以上の課税を行なう政策が関連していると思われるが、わが国においてさらに地域熱供給を普及させる上で、デンマークにおける熱料金の設定方法や地域熱供給の事業性評価方法について調査することも有用と考える。

■ おわりに

以上、視察報告を述べてきたが、スウェーデンのマルメ(④)やドイツのハイデルベルク(⑨⑩)などまだまだ言及できていない視察先や多くの知見がある。誌面の都合でこの辺りで筆を置くが、原稿を書きながら改めて本視察の有意義さを再認識した。これは丁寧な事前調査と帰国後に膨大な視察内容を報告書に的確にまとめられた視察団のメンバーの方々のご尽力の賜であり、最後に深く感謝を申し上げます。

域熱供給(需要家約1,450戸)でも、ガスエンジンCHP(3,750kW)と蓄熱槽7,500m³(2,000m³+5,500m³)を活用している。

密接な関係のもう一つは、前述したヒートポンプや電気ボイラである。風力発電量が増えて電力価格が安価な時に、それらを活用して熱をつくり、数万m³に及ぶ巨大な蓄熱槽に貯めて必要な時に利用する(図6)。

以上のように、電力供給において再生可能エネルギーが占める割合を増やす上で、地域熱供給と電力供給システムが一体で運用されていることも大きな特徴である。

(5) 事業運営からの視点

デンマークの地域熱供給の仕組みに興味深かったのは、熱供給の事業運営に係わる事項である。まず一つ目は、事業主体が自治体や需要家による消費者協同組合であることである。視察先では、前者にはオールボーやアルバーツルンが、後者にはドロニングルンが当たる。前述したように、オールボーでは地域熱供給の他に、電気・ガス・水道の供給や下水・廃棄物処理などを担う公益企業体が担っている。これは、ドイツのシュタットベルケ(Stadtwerk:公共インフラを整備・運営する都市事業団)に通じるものである。自治体出資の公社であり、ドイツの⑧アシャフェンブルク市(Aschaffenburg)のシュタットベルケでは、前述以外に公共交通、駐車場なども整備・管理運営している。