



# 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

田中いずみ

デンマーク大使館 上席商務官 (エネルギー・環境担当)

## 新連載

第  
1  
回



# デンマークの地域熱供給と 目指すエネルギー・システム

## ■ はじめに

デンマークは、世界でいち早く1985年に原子力発電に依存しないエネルギー・システムの構築を目指すことを打ち出した国である。また、2011年には『デンマーク・エネルギー戦略2050』を策定し、「2050年までに化石燃料を使わない社会を目指す」ことを決めた国であり、省エネと再生可能エネルギーの導入を軸として、これらの目標を達成するべく様々な取り組みが行なわれている。これらの目標達成には、熱利用が鍵を握っており、地域熱供給（地域冷暖房）に期待される役割は大きなものがある。その導入も大きく進展している。

本連載では、「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」をテーマに、今回から3回にわたって、デンマークにおける地域熱供給の普及状況やそれを支えてきたもの、今後の方向性などについてレポートしていきたい。

## ■ 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。

## ■ 重要なエネルギー媒体「熱」

日本では必ずしも熱が重要なエネルギー媒体とされていない中、デンマークではいつ頃、どのように熱が重要なエネルギー媒体であると認識されたのであろうか。文献および熱利用に関わっている政策立案者や研究者が必ず指摘するきっかけは、1970年代のオイルショックである。当時は北海油田の開発前で、中東からの石油に90%以上依存しており、1人当たりのエネルギー消費量は高く、エネルギー・システムの転換が急務であった。1976年には国レベルで初となる『デンマーク・エネルギー政策（Danish Energy Policy）1976』が提示され、同じ年に『電力供給法（Energy Supply Act）』も発表される。ここで「新規の火力発電設備は全て熱電併給（コージェネレーション、Combined Heat and Power、

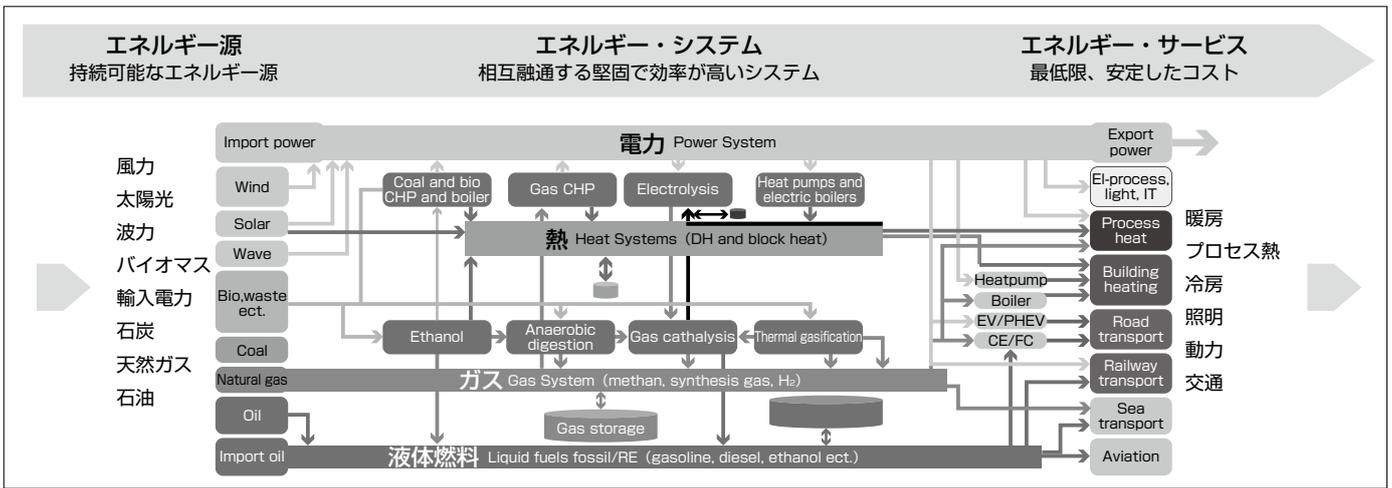


図1 デンマークが目指すエネルギー・システム<sup>1)</sup>

CHP) であるべき」と明記される。当時は今以上に熱需要がエネルギー需要の大きな割合を占めていたため、熱需要に対する供給の効率が重んじられたのであろう。また、『デンマーク・エネルギー政策1976』を受け、1979年には初めてとなる『熱供給法 (Heat Supply Act)』が制定され、熱利用、および地域熱供給の重要性が注目を浴びることとなった。

### ■ 全世界の64.4%が接続する地域熱供給

現在では、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(図2)。家庭部門に限ると2017年には約171万世帯、全世界の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ており、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。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56%を占める67PJ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。地域熱供給事業者の12.5%は自治体が所有しており、85%は利用者組合など利用者が直接経営を行なっている。全供給量の67.4%は熱電併給による。国民約560万人の1人当たりの平均熱利用量は8.3MWh/年で、熱料金は世帯当たりの所得の2~3%を占める。

地域熱供給は通常熱需要密度が高い地域に適しているが、比較的小規模な地域、例えば供給軒数が500世帯ほどでも実際に導入されている例がある。著者が視察したことがある地域の1つに43世帯を250kWのバイオマスボイラ2台で供給する事例がある。デンマークの熱供給のほとんどは温水ベースで行なわれており、需要側で

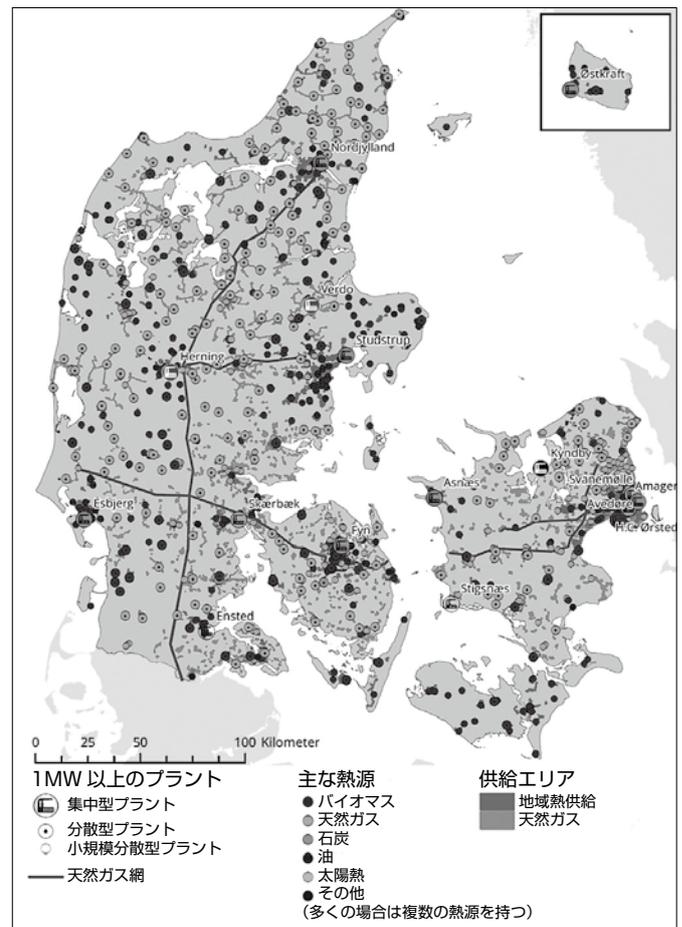


図2 熱供給マップ<sup>2)</sup>

はラジエーター(ヒートパネル)や床暖房が使われている。給湯需要に関しては通常熱交換器を介して対応されており、給湯のピーク対応のために給湯タンクが備え付けられている場合がある。

熱供給設備は主にCHPと熱供給ボイラ(heat only boilers)の2通りがある。熱供給ボイラは通常90~95%のエネルギー効率で運転することが可能で、CHPは85~93%のエネルギー効率と言われている。図3は熱供給設備の内訳の推移を示しているが、1990年代から

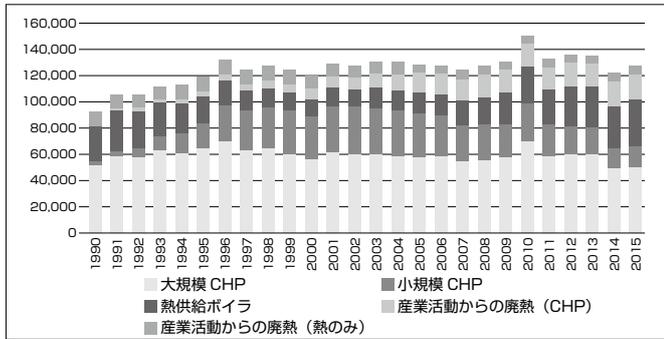


図3 熱生産設備の推移<sup>2)</sup>

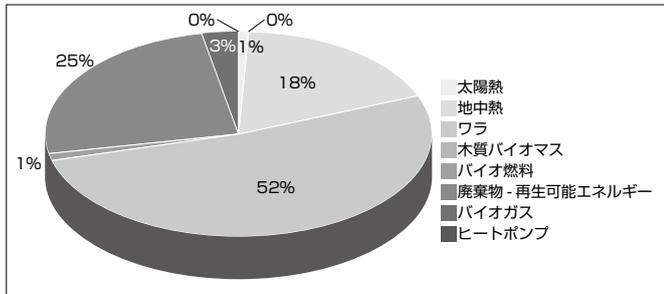


図5 地域熱供給の熱源に活用されている再生可能エネルギー (2015) <sup>4)</sup>

比べると小規模 CHP 及び産業活動からの廃熱 (auto-producer) が増えている。しかし、2010 年以降は売電価格が下がったことを理由に小規模 CHP が減少し、熱供給ボイラが増加傾向にある。

また、地域熱供給の熱源は、2016 年の時点で 54% が再生可能エネルギーとなっていて (図 4)、特にバイオマスが多くなっている (図 5)。

熱販売価格は地域によって異なるが、価格を設定するための方法は法律で決められており、その価格には熱供給事業に関わる全ての必要経費および資産や資金調達コストの減価償却費が含まれている。熱供給事業は非営利となっていて、地域熱供給事業者を管轄する独立機関が熱の販売価格を監視している。販売価格の変動に影響がある要因は表 1 の通り。ほとんどの場合は、既存の暖房手段より地域熱供給に接続の方が安価になり、それ

表1 熱供給におけるコスト

初期投資	熱生産設備 (ボイラ、太陽熱収集、CHP) への投資
	地域熱供給網 (パイプなどの供給インフラ) への投資
運営費	生産設備の運転、保守
	地域熱供給インフラの運営、保守
	事務費 (請求書発行など)
	燃料価格
	電力価格 (電力の利用と CHP プラントの場合)
税金・財政支援	税金と付加価値税 (VAT)
	税金と付加価値税 (VAT)
	財政支援 / 助成金

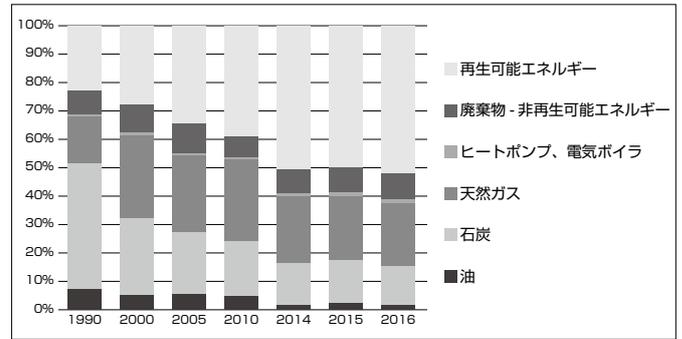


図4 地域熱供給熱源の推移<sup>3)</sup>

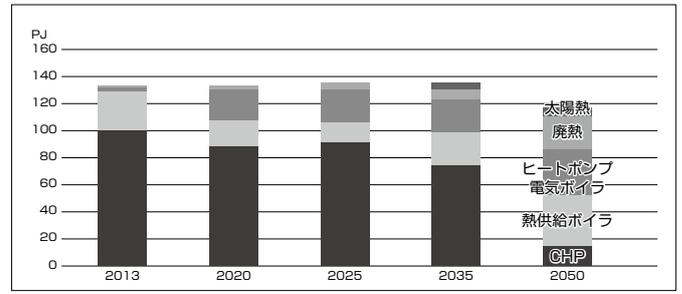


図6 将来の熱供給設備 (予測) <sup>2)</sup>

が新規にネットワークを構築、もしくは拡張する際に重要な判断要素となる。

## ■ エネルギー政策ごとに柔軟性を発揮してきた地域熱供給の将来

地域熱供給を行なう熱供給設備の将来予測は、『熱計画 (Heat Plan) 2010』に明記されており (図 6)、『熱計画 2008』に明記された「熱需要への対応は 100% 再生可能エネルギー由来とする」という目標に追加して、経済性、かつ国民の福祉を妨げない行動計画の具体例を提示している。熱利用、地域熱供給の促進を支える政策に関しては次回以降に示すが、石油ショックを経験した 70 年代以降、新たに国のエネルギー政策が提示される度に地域熱供給は柔軟性を発揮し、政策目標の達成に継続的に貢献している。デンマークでは 2030 年にエネルギー需要の 50% が再生可能エネルギーで賄われるとされており、その中に変動が大きい風力発電も多く含まれる。そうした変動が大きい再生可能エネルギーの大量導入と安定したエネルギー供給を同時に実現するにあたっては、地域熱供給は次の 3 つの具体的な方法で貢献するとされている。

### ① エネルギー貯蔵

：既に地域熱供給の柔軟なシステムがエネルギー貯蔵を可能としており、巨大な「電池」として機能している。短期間貯蔵と季節間貯蔵施設が活用されている (これ

に関しては次回以降に紹介する)。

## ②電気ボイラ、ヒートポンプの活用

：風力発電などの余剰電力を直接地域熱供給で活用することを可能とする。

## ③熱電併給のタービンによる電力供給量の調整

：電力供給が足りている際に CHP のタービンを停止し、電力生産をストップすることができる。その際 CHP はボイラと同様の効率で熱生産が可能。

将来デンマークが目指す地域熱供給の重要な要素には「供給温度の低下」もある。現在の多くの地域熱供給は 80℃前後で供給され、還り水の温度は 40～45℃くらいになっているが、将来は行き 50℃、還り 25℃くらいを目指している。詳しくは次回以降になるが、低温供給は次世代地域熱供給の重要な要素であり、廃熱、ヒートポンプ、太陽熱、地熱などの活用を可能にするためにも不可欠である。また、次世代地域熱供給には暖房、給湯のみならず、冷房用の冷熱の供給も可能とし、消費者のプロシューマ化、すなわち時間帯によっては消費者側の設備から熱供給網に熱を提供するという可能性もある。

## ■日本はデンマークほど寒くないから熱供給には向いていない?

日本で熱利用の話になると、デンマークが位置する北欧は寒いから熱が重要であって、日本では熱は重要ではない、と指摘されることがある。ケッペンの気候図を見ても、デンマークと日本の西半分は同じ気候帯に属し、東北・北海道はデンマークより寒い気候帯になっている。暖房デグリーデー (HDD) を比較してみると、コペンハーゲンと仙台と札幌の間に収まり、東北の沿岸部以外と北海道はデンマークより寒い傾向にあることが分かる。歴史的に集中暖房で一定の室内温度に保つようにしており、個別暖房が普及している日本とは暖房の使い方が異なる。例えば家庭のエネルギー消費の暖房と給湯が占める割合は日本より高く、80%を超えている (日本は暖房と給湯で約 60%)。給湯に関しては日本のように浴槽にお湯を貯める文化はなく、朝のシャワーの時間帯にピークがあるとしても、日本で入浴時に通常の何倍にもなるような需要のピークの形とは異なる。また、建物のエネルギー効率に寄与する断熱性や気密性も異なる。一概にデンマークは日本より寒いとは言えないが、上記の通り暖房や給湯の考え方、あり方は異なる。しかし、

## 再生可能エネルギーが60%以上を占める電力システム

2016年のデンマーク国内での電力生産の 62.9%は再生可能エネルギーが占めた。そのうちの 42.5%は風力発電である。本文図 1 の通り、熱供給網が電力供給の安定化に一役買っているが、国土は九州程度、人口は北海道程度の小国において変動が大きい風力発電を大量導入するためには、早い段階から北欧やドイツとの国境を越えた電力網の連携に務め、送電網の増強にも投資し、強固な電力システムを構築する必要があった。今では、消費量の約 80%に相当する電力を国外と取り引きできる送電能力と電力取引市場を持ち、国内電力消費量に占める割合の変動幅が 1～138%ともなる風力発電への対応を可能にしている。

◎詳しくは「日本語版デンマーク風力発電白書」  
<http://stateofgreen.com/files/download/13139>



現在日本でも暖房、給湯、プロセス熱などの熱需要がエネルギー需要の 40%を示すと言われており、その大半は化石燃料が熱源となっている。熱源の低炭素化に向け、1つの有効な手段として地域熱供給を検討する余地はあるのではないかと。地域熱供給を導入するにあたって、熱需要密度など経済性を左右する要素は様々あり、地域熱供給の有用性の検討は地域ごとに行なうことが重要である。次回以降にてデンマーク・エネルギー庁が提供している地域熱供給導入検討ツールを紹介する。

### 《出典》

- 1) Energinet.dk 「Energy Concept 2030」2015年、p.9より筆者が加筆
- 2) [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/regulation\\_and\\_planning\\_of\\_district\\_heating\\_in\\_denmark.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/regulation_and_planning_of_district_heating_in_denmark.pdf) に著者が加筆
- 3) <http://www.danskfjernvarme.dk/english/statistics> に著者が加筆
- 4) デンマーク・エネルギー庁のデータから著者作成

## 田中いずみ氏 略歴

Tanaka Izumi

1998年カリフォルニア大学天然資源学部環境科学・マネジメント・政策科修了後、株式会社東芝で環境技術の研究、スウェーデン大使館で科学技術、環境、エネルギー政策の分析に従事。2008年東北大学環境科学研究科博士前期課程修了。修士。2014年1月から現職。

