



連載



第3回



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(最終回)

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)



脱炭素社会を目指して

■ 低温化と第4世代熱供給

連載第1回目でも紹介した通り、デンマークは第4世代熱供給への移行を始めており、その取組みの特徴は熱源の多様化、供給温度の低下である(図1)。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。低温化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、地中熱など、高温の熱供給では活用が叶わない熱源の活用を可能にし、再生可能・未利用エネルギーのさらなる活用を促す。低い還り温度は、CHP(熱電併給)設備を高い効率で運転することを可能とし、断熱性が高い配管システムで低温温水を使用することにより、熱供給網における熱損失を低減させる。

Albertslund(アルバーツルン)市では既に第4世代地域熱供給への移行を始めているが、しばらくは既存の(比較的)高温での供給網と低温供給網が混在する。新しい低温システムの供給温度は55℃で、還り温度は約30℃である。低温熱供給網は既存の地域熱供給システムからの還り水を混ぜることにより55℃にして供給している。住宅の暖房は床暖房とラジエーターを通じて行な

い、給湯用温水は消費者側には45℃で供給されている。レジオネラ菌は温水の熱交換器と温水システムへの滞留量を少量に抑える、ドイツの規制DVGW W55(ドイツガス水道技術科学協会が定めた水関連規格)に基づいた設計によって制御されている。

■ 様々な再生可能エネルギー熱、未利用エネルギーの活用

地域熱供給の1つの利点はそのシステムの柔軟性にある。複数の熱源を持つ、より大規模な地域熱供給システムでは、熱の需要、売電価格、自治体等の温暖化ガス削減目標などの方針によって燃料源を替えることが可能となる。地域熱供給システムでは、需要家側の設備を変えることなく、新しい燃源を導入することができる。デンマークは2030年には地域熱供給の熱源の90%を再生可

表1 再生可能エネルギー・未利用エネルギー

再生可能エネルギー	木質バイオマス、ワラ、バイオガス(有機廃棄物)、太陽熱、余剰の風力発電
未利用エネルギー	工場やスーパーなどからの排熱、海水
一般・産業廃棄物の 燃焼処理からの熱	—

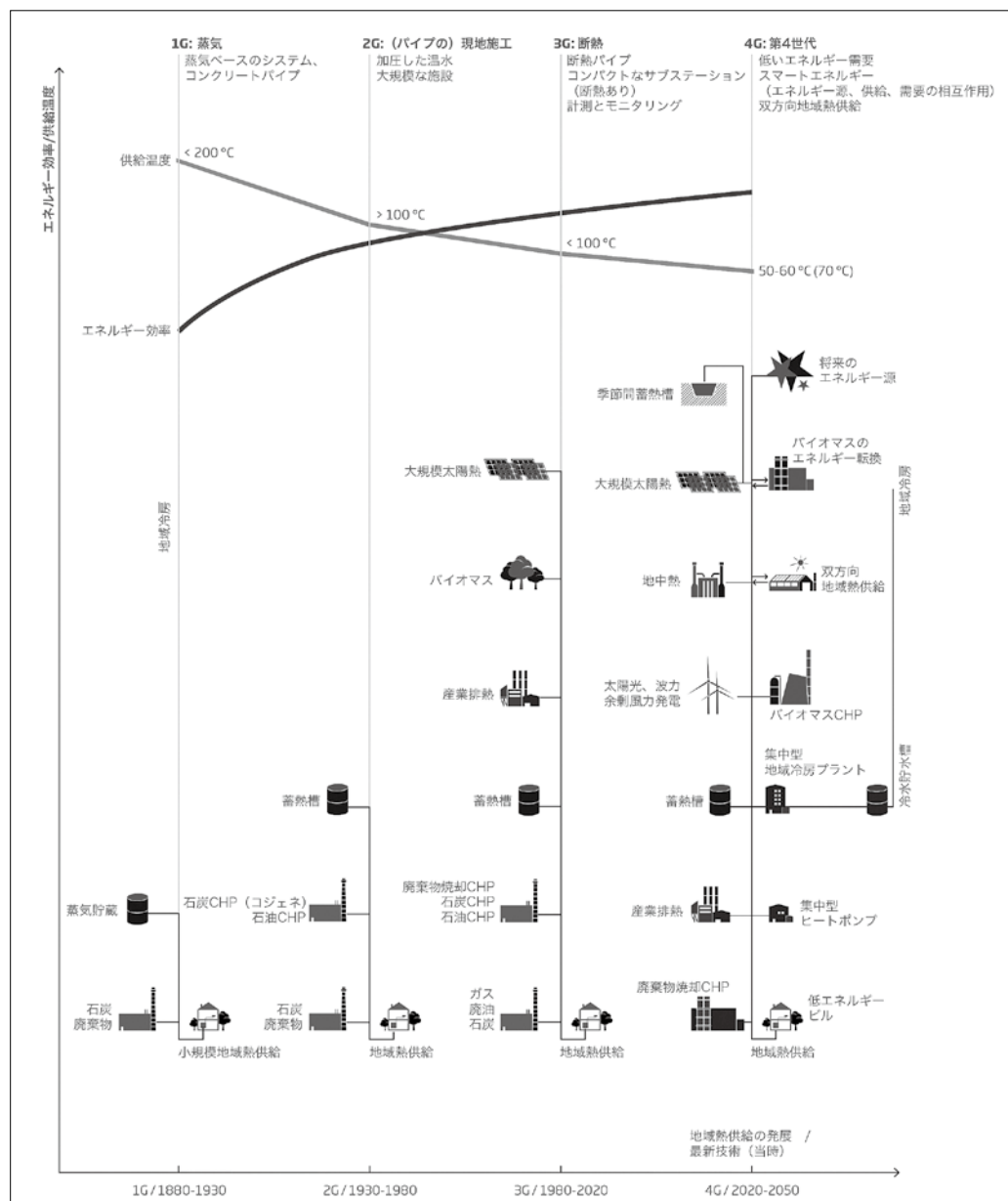


図1 地域熱供給ネットワークの歴史的発展
(出典: State of Green「地域熱供給 都市部のエネルギー効率化」p.28、
<https://stateofgreen.com/files/download/2600>)

能エネルギーにすることを目指しており、表 1 のような再生可能エネルギー熱、未利用エネルギーの活用は今後さらに加速する。

連載第1回目で示した通り、再生可能エネルギー熱、未利用エネルギーが熱源の半分以上を占めていて、その多くはバイオマス（2015年、木質バイオマス52%、ワラ18%）が占めた。多くのバイオマスの燃焼設備は熱供給のみを行なう1～10MW規模のプラントで、100～10,000世帯の熱供給を担っている事業が多い。一方、大規模都市では低（脱）炭素化を掲げていることが多く、大規模CHP（第1回で紹介した通り、火力発電には熱電併給が義務付けられている）の燃料は石炭などからバイオマスへと転換が進んでいる。

日本でも同様の傾向が見られるが、デンマークも廃棄物の広域処理を推奨し、いくつかの自治体が共同で所有・運営する廃棄物焼却設備が多い。それらも熱源となっている。国内最大の廃棄物焼却設備 VESTFORBRÆNDING（ヴェストブレニン）は 19 の自治体で所有し、人口 934,000 人、企業数 60,000 社の年間 100 万トンの家庭・事業一般廃棄物と産業廃棄物を処理している。現在 63,000 世帯分相当となる約 1.2MWh の熱を地域熱供給網に供給し、140,000 万人分相当となる 250,000MWh の電力を売電している。現在は 5 つの自治体に熱供給を行なっているが、今後供給エリアを拡張していくことを目指している。

なお、世界の多くの都市部と同様に、デンマークでも冷房の需要が高まってい

る。2025 年に CO₂ ニュートラル達成を宣言しているコペンハーゲンなどの主要都市では、オフィスやデータセンターなどの商業施設に向けた地域冷房の導入が始まっている（図 2）。地域冷房は冬の間、6℃以下の海水を活用して、冷水を供給する。その他の時期は海水を設備の冷却に使用することにより、コンプレッサーを利用するのと比較して電力消費を最大 70% 減らしている。夏の数ヶ月間は、熱供給プラントの排熱を吸収式冷凍機で活用して冷水をつくっている。

■ ■ 脱炭素のための柔軟なエネルギーシステムの構築に向けて

第1回目で紹介した通り、地域熱供給の柔軟なシステ

太陽熱を活用した大規模な季節間蓄熱

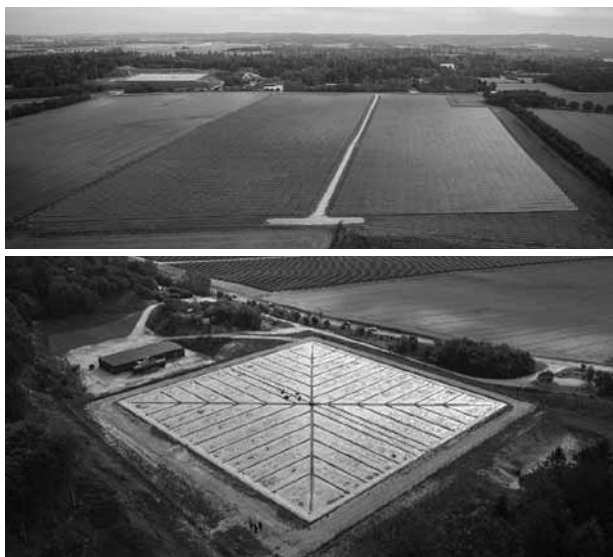


写真 ドロニングルン (Dronninglund) の37,573㎡の太陽熱収集パネルと62,000㎡の季節間蓄熱槽 (出典: <http://arcon-sunmark.com/newsandmedia/dronninglund-district-heating-denmark>)

デンマークは日本の一番日照条件が悪い秋田よりも更に恵まれていないが、太陽熱を使った熱供給が盛んに行なわれている。太陽光から得た熱は大きな池のような季節間蓄熱施設に貯められ、大規模な事例では年間熱供給量の4割を占める。デンマーク国内での地域熱供給への適用のみならず、デンマーク国外で鉱山などで必要なプロセス熱の供給も担っている。

※事例リストや事例の詳細は下記参照。
<http://arcon-sunmark.com/brochures>

ムは蓄熱、すなわちエネルギー貯蔵を可能としており、熱生産と消費のタイミングを分離するという意味で、巨大な「電池」として機能している。蓄熱はCHPプラント、太陽熱収集パネル、風力発電の余剰電力や工場の余熱など、エネルギーを得られるときに熱として貯蔵し、必要なときに使うことを可能とする。

蓄熱には短期間蓄熱設備 (daily storage、アキュムレーターとも呼ばれる) と季節間蓄熱設備 (seasonal storage) がある。ここでは前者を紹介する。

集中型および分散型 CHP には短期間蓄熱設備が備え

られており、CHP プラントは電力需給状況によって変動する売電価格に基づいて運転制御を行なっている。蓄熱は、電気を電池などで電気として蓄めておくより、価格、効率の両面で優位性がある (図3)。変動が多い再生可能エネルギーの導入を進めることを可能にするために、経済的にもエネルギー効率的にも有利な手段を検討してきた結果、地域熱供給網が発達しているデンマークではエネルギーをお湯として貯めておくという手段に行きついた。

電力自由化を20年ほど前に成し遂げ、多国間で電力網を接続し、再生可能エネルギーの大量導入に移行しつつある北欧では、電力価格が大きく変動する。近年、風力発電が全電力に占める割合が増え、風力による電力供給量によって電力価格が変動している。供給が過剰の際は電力価格が下がる反面、時には電力を消費することによってインセンティブを与えられる時もある。CHPプラントを所有する熱供給事業者は電力価格が高い時に設備稼働して売電を行ない、その時点では必要とされていない熱は蓄熱槽に貯めておく。そして売電価格が下がった際にはCHPプラントを停止もしくは出力を下げ、必要な熱供給を蓄熱槽から行なう。蓄熱槽は工場の排熱など熱供給事業者がコントロールできない外部の熱源の無駄のない活用にも一役買っている (写真1)。CHPプラントを所有する熱供給事業者は電力価格によってプラントの制御を行なっているが、熱供給のみを行なう事業者も電力価格が安い時にヒートポンプを介して熱をつくり、蓄熱槽に熱を貯めて必要な時に利用することで、バイオマスなどの燃料費の削減に生かしている。電力市場と熱供給は切っても切れない関係にある。

電気における分散型の再生可能エネルギー供給で見られるように、熱供給においても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消費者のプロシューマ化 (生産消費者化) が想定されている。現時点で

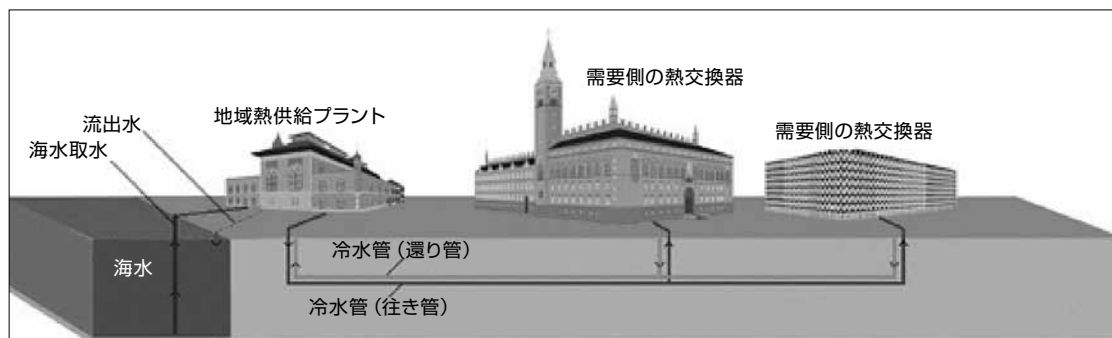


図2 コペンハーゲン市の地域冷房システム図

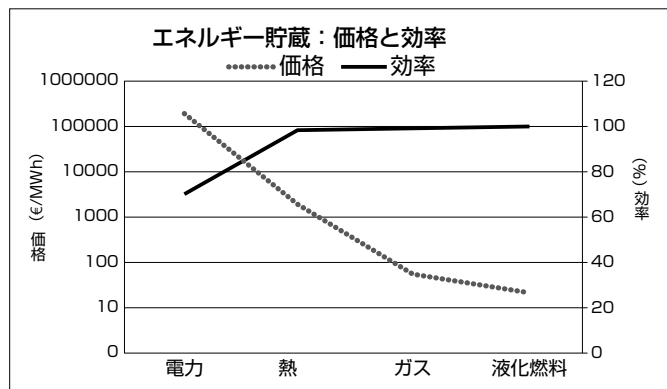


図3 エネルギー貯蔵の価格と効率（出典：Lund et al 2016）

は冷房・冷却設備を多く使うスーパーなどからの排熱が熱供給網で活用されている事例がある。これは低温熱供給だから可能な事例である。

■ 日本の地域熱供給の将来展望

デンマークは長期にわたり熱利用を促進する政策を展開し、今後もさらに再生可能・未利用エネルギーを活用していく方針である。堅固（ロバスト）で、多様な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・システムを目指し、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。日本が責任ある国際社会の一員として温室効果ガス削減に取り組むのであれば、デンマークと同じように熱が今後のエネルギー・システムの重要な位置を占めるべきだと考える。日本でのエネルギー需要の約4割は熱需要と言われており、プロセス熱、暖房、給湯などの熱源の非化石化は急務である。熱をエネルギー媒体の1つとして捉え、電気やガスなどと同じように考えられるような国レベルでの政策的な枠組みなどが必要だと感じる。それは一定の規模以上の熱供給事業者を管轄する施策ではなく、国として熱の供給をどうするかという切り口の考え方が好ましいと思う。

日本における地域熱供給は二方向に展開していると考えている。1つは熱供給事業法が適用される熱供給事業と、もう1つは主にバイオマスなどを使った小規模の熱供給。前者に関しては既に未利用熱の活用などが行なわれているが、さらなる導入に向けて、低温化を含めたシステム全体の効率化に将来があるのではないかと考える。そのため国や自治体レベルが熱の供給にあたっての低炭素化を促進するのは必要だと思うし、既に世界で広がりを見せている100%再生可能エネルギー利用を目指す企



写真1 アヴェドアプラント (Avedøre Plant) にある大規模短期間蓄熱タンク・アキュムレーター（出典：State of Green）

業側からのプッシュも既存の熱供給事業を低炭素化に導くのではないかと期待している。小規模の熱供給はまだ比較的に新しい取り組みであるが、地域によってバイオマス以外の再生可能エネルギー（地熱など）を導入するなどして、広がることを期待している。

バイオマス活用に関しては、FIT（固定価格買取制度）に熱利用が考慮されていないことを残念に思う。しかし、その点を指摘する専門家は少なくなく、今後熱利用を促進できるような改善があることを願う。そして20年間のFITによる電力買取りが終了する前に、熱利用も含めた事業モデルが大きく展開されるようになることも期待している。

なお、熱利用を促進する方法としては、デンマークのように発電所設置の際はCHP化を義務づける方法のほか、ドイツにおける後付けのCHPプレミアム、すなわち、高効率CHPとの系統連系の義務付け及びCHPからの電力への割増料金付与などの方法も参考になると思われる。

田中いずみ氏 略歴

Tanaka Izumi

1998年カリフォルニア大学バークレー校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。

