

# 特集にあたって

## Purport of the Special Section

田中耕太郎\*

### 1. 低密度熱エネルギー利用技術の必要性

本特集の「低密度熱エネルギー利用」ということばが一般的ではなく、対象が何かわかりにくかった点をお詫びいたします。太陽熱利用において集光して高密度で利用する方法に対し、環境温度に近い温度域で利用する技術に注目しているのが本特集です。その点では、環境温度に近い“低温度差熱利用技術”とした方が、一般的用語でわかりやすかったかもしれません。ここで、“低温度差”ではなく“低密度熱エネルギー”の用語を使用した理由は、後述のエクセルギーの観点に関係します。低密度熱エネルギー利用技術は、面積あるいは体積あたりの低エクセルギー利用技術に対応しています。

エネルギーの質を考慮してシステムを構築するエクセルギー高度利用技術の重要性が社会的にますます高まってきています。本特集には、エクセルギー効率の高い熱利用技術の最近の進展が紹介されています。この分野には2つの特徴があります。1つは、熱エネルギー利用の用途が非常に多岐である点です。発電で目的とする出力は電気1種類ですが、熱として利用する技術は、目的に合わせて身の回りから社会的インフラまで種々多様です。使用目的と価値観の異なる新たな技術が、社会の転換に合わせて生まれてくる領域といえます。もう1つの特徴は、対象のエネルギー量が社会的に大きい点です。エネルギー白書等でも明らかのように、現在は使われていない低温排熱や熱電供給の熱利用活用の活性化が今後見込まれます。また比較的成本的で実現性の高い点も特徴です。今後、再生可能エネルギー利用割合を大幅に向上させることができる大きな柱の1つの技術領域であります。

### 2. 地域熱供給の低温化の事例

デンマークでは、第四世代地域熱供給と呼ばれるシステムへと進展していることが報告されています<sup>(1,2)</sup>。

地域に熱導管を用いて熱エネルギー供給を行うシステムで、寒冷で熱需要の大きいデンマークの注目の技術となっています。熱導管の総延長は29,000 km (2013)、日本は672 km、人口あたりに換算すると約100倍に相当するそうです<sup>(3)</sup>。

図1にその地域熱供給技術の開発の変遷が示されています<sup>(1,4)</sup>。ここで注目すべき点は、図1の上部に示されている供給温度です。第1世代は100～200℃の蒸気供給、第2世代は100℃以上の加圧高温水、第3世代は100℃程度以下の中温水、そして第4世代は50～60℃の低温水の供給と、熱供給温度が徐々に下がっている点です。報告では、媒体輸送動力の増加はあるが、低温化による熱損失と施設材料費等の低減効果でコスト的にも低温化が有利と述べられています。デンマークにおける地域熱供給

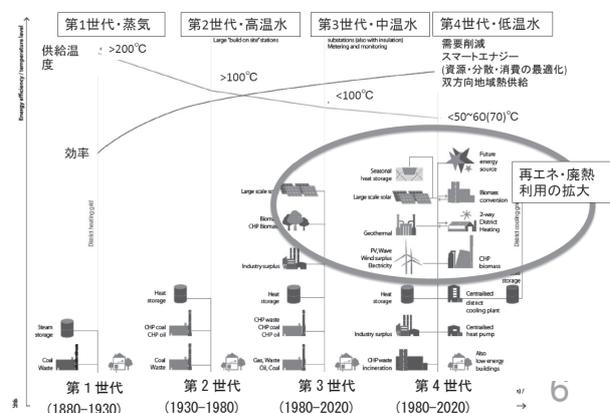


図1 デンマークの地域熱供給技術の変遷(1, 4) (文献4)を引用した文献1)より)

\* 芝浦工業大学 エネルギー・環境技術研究室 教授

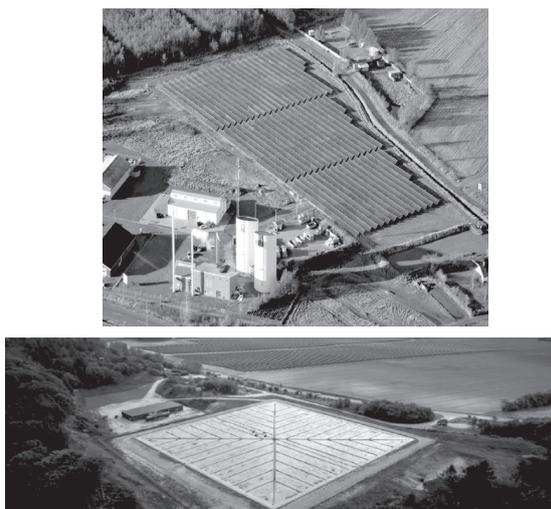


図2 デンマーク Dronninglund 地区のメガ太陽熱（集熱面積 37,573m<sup>2</sup>）と季節間蓄熱貯水施設（文献1より許可を得て掲載）

の熱源には、現在は天然ガス、石炭が40%、木質バイオマスが35%程度で、それに再生可能エネルギー由来の廃棄物燃焼を加えて約50%程度が再生可能エネルギーです。最近では燃焼炉に熱電供給システムを備えた施設が多く、この技術は日本でも今後開発を進める必要性のある技術といえます。

第4世代による熱供給温度の低下に伴い、最近では平板式太陽熱集熱器を利用する太陽熱由来の熱源の優位性が注目されています。図2はDronninglund地区 Nordre Ringgade に設置されたメガ太陽熱集熱器と蓄熱施設の写真です。集熱面積は37,573m<sup>2</sup>、季節間蓄熱となる池蓄熱水量は60,000m<sup>3</sup>、年間熱生産量は18,000MWh、2014年より運用が開始され、地区の約1300世帯の年間熱消費量の40%を生産していると報告されています<sup>(1,3)</sup>。また太陽熱以外の熱供給の廃棄物とバイオマス・ガス燃焼による熱電供給、工場排熱との複合活用が重要なポイントとなっています。

50～60℃は給湯、暖房用の熱需要には十分な温度であり、利用温度との温度差によるエントロピー損失を生じさせないことが重要なポイントといえます。

### 3. 低密度熱エネルギーの価値 40℃と70℃のお湯について

太陽熱で昇温したお湯を使用する際のエクセルギーを考えます。エネルギーの質を示すエクセルギーと温度差による熱量を示すエネルギーの価値には差があります。ここで温度差によるエクセルギーは、環境温度と平衡となるまでに取り出すことが可

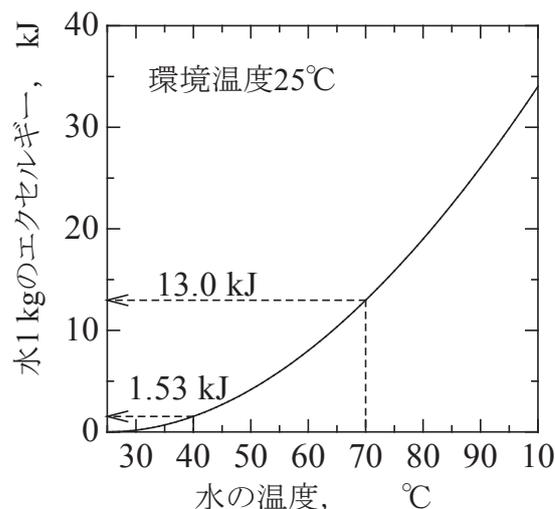


図3 水1kgのエクセルギーの計算値

能な最大仕事と定義されます。40℃と70℃のお湯1kgは、環境温度25℃として、エクセルギーは40℃で1.53 kJ、70℃で13.0 kJです。その比は13.0/1.53 = 8.5となります。一方、熱量は温度差と比例するので、その比は45/15 = 3です。図3は水1kgのエクセルギーの計算値です。エクセルギー値は環境温度との温度差が大きくなるに伴い、増加割合はエネルギー量が示す比例関係より大きくなるのが理解できます。

エネルギーとエクセルギーの損失を考えます。需要側で40℃の熱利用の場合を想定します。70℃と45℃のお湯を供給し、需要側の熱交換器で40℃熱出力を得て利用するシステムを考えると、それぞれ70 - 40 = 30K、45 - 40 = 5K分の顕熱が利用できます。同じ熱量を得るために後者は6倍のお湯を流す必要があります。需要側で40℃となったお湯は供給側に戻すとします。

ここで断熱が理想的で熱損失のない場合を仮定すると、供給側と需要側の熱量は等しく、エネルギー損失は0となります。一方、エクセルギー損失を考えると、70℃の場合は、お湯1kgを40℃として利用する分が損失となり、エクセルギー損失は11.44kJとなります。後者は45℃と40℃の差で、流量の6倍を掛けて7.0kJが損失となります。ここでは熱損失を考慮に入れていませんが、考慮に入れるとさらに低温化が有利となります。

暖房、給湯などの環境温度に近い熱需要の用途には、極力利用温度に近い供給温度の設定がエクセルギー的に有利となるのが理解できます。この事例は太陽熱利用以外の一般的な熱利用にもあてはまると言えます。ヒートポンプを利用する昇温も、その

性能 COP は理想サイクルより低いため、使用温度より高い温度まで一度昇温してから冷水と混合して利用する場合は大きなエクセルギー損失を伴います。温度差を極力生じさせない利用方法が将来方式といえます。

#### 4. 低密度熱エネルギー利用技術の将来像

以上述べたような環境温度に近い熱利用を目的とする低密度熱エネルギー利用技術は、将来のエネルギー高度利用化社会において広く活用される将来像が見えてきます。例として述べた大規模なものではなく、個々の住宅における低温集熱の太陽エネルギー利用の導入が始まります。

また、エネルギーの質に合わせたカスケード利用が面積あたりの効率的利用に有効であり、太陽電池と太陽熱集熱を組み合わせた PV/T ソーラーパネルの利用の拡大が見込まれます。集合住宅のような施設の屋上に加え、現在のメガソーラー (PV) の代わりに PV/T を設置することが考えられます。地域メガ熱 PV/T は、発電電力に加えて近隣地域に低温熱供給を行うことで、熱供給を受ける地方産業の活性化につなげる効果も期待できます。低温熱需要は、地域施設への暖房、給湯に加え、温室などの農業用、養殖、木材乾燥、寒冷地では融雪など、多岐の熱需要が存在します。現在までも、ケミカルヒートパイプ等でそれらの熱需要を結ぶ熱供給手法は多く提案されてきましたが、実現化にはたどり着かなかった過去があります。シンプルな熱導管によ

る低温熱供給と蓄熱システムが、エクセルギー的に利用の難しかった低密度熱エネルギー利用導入への導火線となることが期待できます。

再生可能エネルギー依存を高める社会を構築するための技術導入に対する価値観の変化が見られます。太陽エネルギーによる低密度熱エネルギー利用技術は、身の回りのものから大規模なものまで、技術の高度化と複合化による技術革新の将来像が見えています。社会的な課題であるエネルギー平滑化にも貢献できるシステムでもあります。将来の有効性を見極め、経済的な補助制度などを含めた推進により、普及拡大が期待される技術といえます。

#### 参考文献

- 1) 飯田哲也, 自然エネルギー熱政策と 4HD フォーラム紹介, 第 4 世代地域熱供給 (4DH) シンポジウム 2019.3.14, 基調セッション資料, (2019).
- 2) 村上公哉, デンマーク等欧州地域熱供給事業視察報告, 熱供給, **108**, 14-17 (2019).
- 3) 松原弘直, 欧州の第 4 世代地域熱供給とバイオマスエネルギー熱利用, 第 4 回国際バイオマス展中小型バイオマス発電セミナー 2019.2.27 資料, (2019).
- 4) H. Lund, *et al.* "4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems", *Energy*, **68**, 1-11 (2014).