

デンマーク 4DH 国際会議・現地視察報告

認定 NPO 法人環境エネルギー政策研究所

期間：2019 年 9 月 9 日(月)～9 月 13 日(金)

訪問先：デンマーク王国コペンハーゲン市およびオールボー市、デンマーク西部

訪問者：東北大学 中田俊彦、ISEP（飯田哲也、田島誠、松原弘直）、視察ツアー応募者数名

1. 概要

日本国内では 2012 年から開始された自然エネルギー電気の固定価格買取制度(FIT)によって太陽光発電を中心に急拡大してきたが、自然エネルギーの熱利用についてはあまり進展が見られない。一方、2050 年までの脱化石燃料や自然エネルギー100%を目標としているデンマークでは、自然エネルギー(主に風力)による電力供給だけでなく、バイオマスや太陽熱などの自然エネルギー熱を利用した地域熱供給が普及している。地域熱供給のための各種バイオマスボイラー、太陽熱集熱器、蓄熱槽、熱導管、熱量計などの技術・ノウハウが集積され、第 4 世代に向けた技術開発が進んでいる。2018 年 11 月に続き、今回の国際会議出席および現地視察を通じて第 4 世代地域熱供給やスマートエネルギーに関する最先端の技術・ノウハウに関する情報交換をすることにより、日本国内で 2018 年 10 月よりスタートした第 4 世代地域熱供給(4DH)フォーラムの取り組みを進め、国内外での 100%自然エネルギーに向けた足がかりとすることを目的としてデンマークを訪問した。

2. 訪問旅程表

月日	スケジュール
9/9(月)	【コペンハーゲンの視察】 コペンハーゲン市内 House of Green での講義とコペンハーゲン郊外の地域熱供給施設の視察 視察の概要はこちら https://www.isep.or.jp/archives/library/11956
9/10(火)	【第 4 世代地域熱供給(4DH)国際会議(コペンハーゲン)】 今年で 5 回目となる第 4 世代地域熱供給・スマートエネルギーに関する国際会議に出席。欧州各国で取り組まれている第 4 世代地域熱供給(4DH)や熱供給と電力供給を統合するスマートエネルギーに関する発表やディスカッション等が行われた。 当研究所からは日本国内での第 4 世代地域熱供給フォーラムでの取り組みの紹介(飯田)と地域熱供給の現状と課題について報告(松原)した。 プログラムおよびプレゼン資料はこちら https://smartenergysystems.eu/
9/11(水)	【第 4 世代地域熱供給(4DH)国際会議(コペンハーゲン)】 引き続き第 4 世代地域熱供給・スマートエネルギーに関する国際会議に出席。欧州各国での取り組まれている第 4 世代地域熱供給に関する発表のほか、欧州全域での熱供給の研究開発プロジェクトの取り組みに関する発表やディスカッションが行われた。

9/12(木)	<p>【太陽熱地域熱供給の視察】</p> <p>デンマーク国内には太陽熱地域熱供給の施設が約 100 カ所以上、欧州各国に合わせて 200 カ所以上があり、視察した案件は太陽熱地域熱供給の設備としては世界 5 位の規模を誇る。巨大な蓄熱槽により季節間蓄熱を実現しており、さらにヒートポンプで変換効率を上げている。</p>
9/13(金)	<p>【太陽熱地域熱供給施設ほかの視察】</p> <p>世界最大規模の太陽熱地域熱供給施設およびデンマーク国有の送電会社(Energi.net)の視察</p>

(1) 第 4 世代地域熱供給(4DH)国際会議

2019 年 9 月 10 日と 11 日の 2 日間に渡りデンマークのコペンハーゲンにおいて第 5 回目となるスマートエネルギーシステムの国際会議が開催された。重点テーマとして、第 4 世代地域熱供給(4DH) や電動化(Electrification)、水素などの電気燃料(Electrofuels)やエネルギー効率化も取り上げられ、32 カ国から 350 名が参加し、約 180 の発表が行われた。当初の 4DH のよる地域熱供給の脱炭素化だけではなく、スマートエネルギーシステムによる電力分野と熱分野・交通分野の統合へとテーマが大きく広がっている。2019 年 2 月にはこの国際会議を主催したオールボー大学が主導した研究プロジェクト「欧州温熱ロードマップ 2050」が終了し、2030 年に向けた EU の熱エネルギー政策に大きな影響を与えている。

冒頭の全体セッションでは、この国際会議を主導してきたオールボー大学のヘンリック・ルンド教授からこれまでの 4DH 研究センターでの成果と今後のこの研究分野の方向性が示された。続いて自然エネルギーやエネルギー効率化への取り組みが急速に進みだした中国の地域熱供給システムについて発表があった。中国の地域熱供給は熱導管距離が 20 万 km にも及び世界最大規模ですが、熱源の 8 割以上が石炭であり、約 15%の天然ガスと合わせて化石燃料が 9 割以上を占めている。そのため 2025 年に向けたロードマップでは長距離送熱による広域の熱ネットワークや低温化等によるエネルギー効率化と共に自然エネルギーや発電所や工場などからの排熱利用が進められている。アイルランド地域熱供給協会(IRDEA)とアイルランド風力エネルギー協会の両会長を務めるコノリー氏からの報告では、スマートエネルギーへの転換での三つの”P”の重要性が指摘された。“Position”(目標)、“People”(市民)、“Policy”(政策)である。島国であるアイルランドの年間発電量に占める陸上風力の割合が 2018 年に 29%に達し、デンマークを超えて世界一となったことが発表された。2030 年には発電量に占める自然エネルギー割合を 70%以上にする政府目標がある。一方、地域熱供給についても大きな導入可能性があることが分かっており、熱需要密度の高い首都ダブリンでの導入が始まっている。

約 180 もの発表が行われたパラレル・セッションでは、同時に 6 つの会場に分かれて全 30 セッションで各テーマの活発な議論が行われた。主なテーマとしては、「スマートエネルギーシステム分析・ツール・方法論」(全 11 セッション)を初め「第 4 世代地域熱供給システム」(全 4 セッション)の他、「統合エネルギーシステムとスマートグリッド」「GIS システムと地域熱供給の計画」「将来の電気燃料の生産と技術」「自然エネルギー・排熱利用」「スマートエネルギーと蓄熱」「交通・熱・産業分野の電動化」など多彩なテーマがあった。ISEP からは日本の地域熱供給の現状と課題および事例と今後の可能性について発表をした。合わせて昨年 10 月からスタートした 4DH フォーラム の取組みも報告をしている。

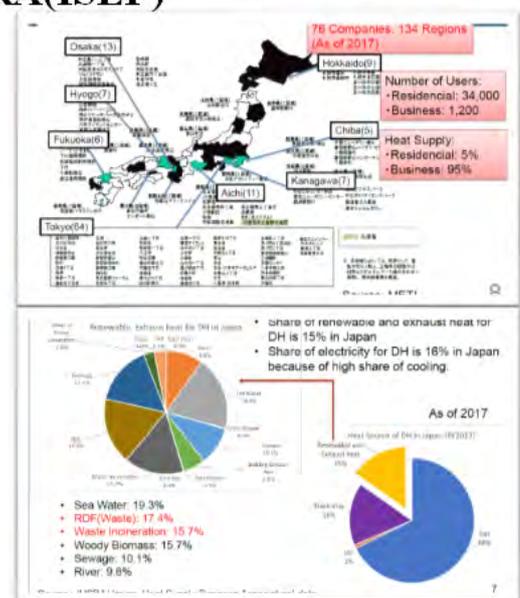
最後のまとめの全体セッションでは、洋上風力と電気燃料(水素、メタン)の話題や、P2P のデジタル

化をもたらす未来への洞察そして 100%自然エネルギーの島として有名なサムソ島のゾーレン・ハーマンセン氏から、地域が中心となる地域事業の重要性が指摘された。



写真：スマートエネルギー国際会議の全体セッション

- **“Establishment of 4DH forum in Japan, Background and issues of DH and RE heat policy”, Tetsunari IIDA(ISEP)**
- **“Current Status and Issues of Renewable Heating System towards 4DH in Japan”, Hironao MATSUBARA(ISEP)**



ISEP(4DH フォーラム事務局)よりの報告

(2) 視察：House of Green 訪問とコペンハーゲン郊外の地域熱供給施設

視察ツアーのテーマは、第4世代地域熱供給の中でも注目されている季節間蓄熱槽を持つ太陽熱地域熱供給(SDH)とスマートエネルギーシステムである。まず国際会議前日の9/9(月)は、コペンハーゲン中央駅の近くの産官協働組織 State of Green の施設 House of Green を訪問し、“State of Green “および DBDH(デンマーク地域熱供給協会)の説明でデンマークのエネルギー転換および地域熱供給の現状について聞いた。その後、コペンハーゲン市内の地域熱供給網の工事現場を見学し、コペンハーゲン近郊のアルバーツルンドの地域熱供給会社を訪問した。この地域は人口 28,000 人で全世帯の約 7000 戸に熱供給が行われているが、熱はコペンハーゲンの送熱会社 VEKS からほぼ全量を調達している。コペンハーゲン市と同じく 2025 年までには地域熱供給を脱炭素化することを目指しており、同時にエネルギー効率化のための第4世代地域熱供給の技術として低温度化を進めており、熱損失を 20%から 10%に減らすことを目指している。低温化では家の断熱改修などのインフラの改修も同時に行っているが、総延長 380km の熱導管パイプの一部も低温化に伴う温度差の減少による流量増加のため交換をする必要がある。熱のスマートメーターへの交換も進めており、料金設定を時期により変動させる予定である。



写真：アルバーツルンド地域熱供給の施設

State of Green “House of Green”(コペンハーゲン)

(3) オールボー近郊の地域熱供給施設

デンマーク第4の都市オールボーでは、市内および近郊の地域熱供給施設の視察をした。現在は石炭火力 CHP、セメント工場排熱および廃棄物焼却施設の排熱が主な熱源で再エネ比率は 35%程度だが、これを 2029 年までに 90%以上にするために風力からの電気を使ったヒートポンプ等による P2H や地熱利用を進める計画です。さらに新設の大規模病院への地域冷房の導入も人口湖を熱源として進めている。昨年もオールボーの地域熱供給の見学をしたが、より理解を深めることができた。

オールボー地域熱供給会社 (34000ユーザー、最大需要800MW)



41

(4) 太陽熱地域熱供給(SDH)

2016年時点で、太陽熱地域熱供給(SDH:Solar District Heating)の施設数はデンマーク国内だけでも100か所を超えていたが、2019年には120か所になると予測されており、その太陽熱パネルの総面積は160万平方メートルを超えている(図1)。

太陽熱地域熱供給(SDH)はデンマークを中心に発展してきたが、近年ではドイツ、オーストリアでも導入されており、2016年より8カ国9の地域で市場拡大のためのプロジェクトSDHp2m(Solar District Heating from policy to market)が実施されている。このSDHは欧州のエネルギー転換で重要な技術のひとつとなっており、過去5年間の市場の年間成長率は35%、年間供給熱量は1TWhに達した(2018年)。今回の視察ツアーでも訪問した欧州で最大のSDH(デンマーク Silkeborg)の規模は110MWth(太陽熱パネル15.7万平米)に達する。

今回の視察ツアーで訪問したデンマーク北部の4カ所の太陽熱地域熱供給(SDH)には、それぞれ特徴がある(表1)。世界最大規模のシルケボー(Silkeborg)のSDHは、2016年から稼働し約2万世帯のユーザーが利用する地域熱供給会社(自治体所有)が運営している。使われている太陽熱パネルは平板式で、総面積は約16万平米あり、熱出力は110MWである。地域熱供給が地域の熱需要のうち90%を賄い、そのうち太陽熱が20%をカバーしており、数日分の蓄熱槽のみで季節間蓄熱は使われていない。

デンマークの太陽熱地域熱供給(SDH)

2017年までは運転実績、2018年以降は運転開始予定のプラント

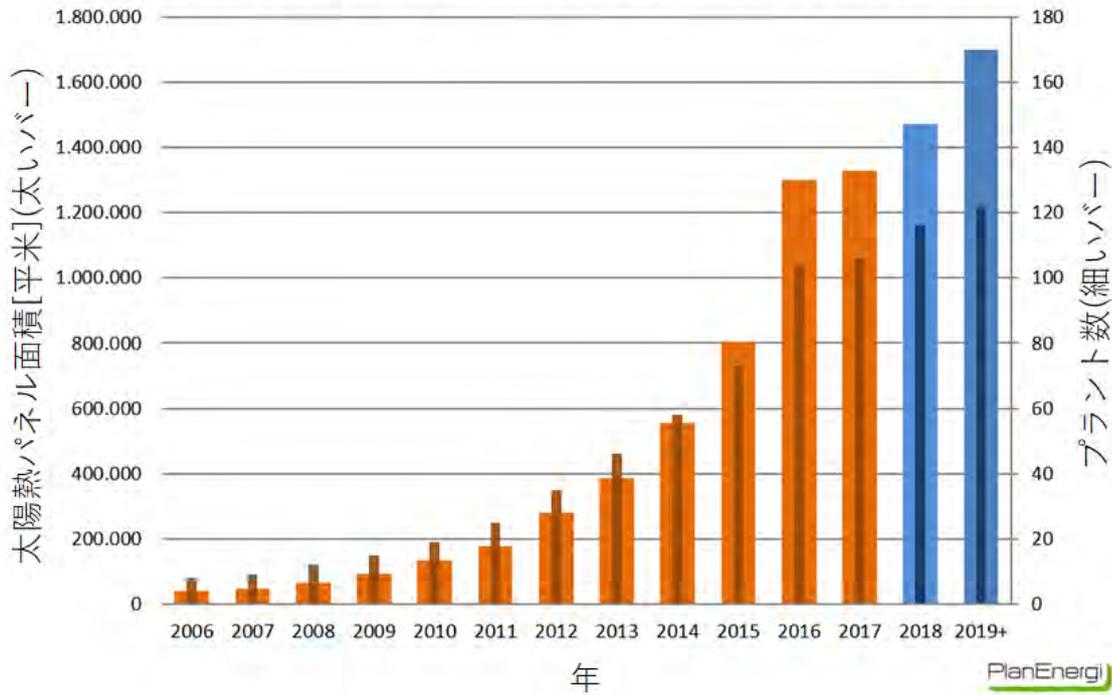


図 1: デンマークでの太陽熱地域熱供給の導入実績および予定(出所: PlanEnergi 社資料)

天然ガスCHP

地下式蓄熱槽 64,000立米

太陽熱パネル 37,573平米

Dronninglund

2016 PlanEnergi

Planned new & expansions			New plants & expansions in operation		
#	Plant	Collector area (m ²)	#	Plant	Collector area (m ²)
13	Sorandby	16029+4000	17	Tarng	17281+4563
13	Gribskov	159024+11189	28	Svebølle-Vising	7091+10800+1900
42	Vigers	117500+52492+5000	35	Halsinge	14731+14853+1276
68	Lagtæt	115200+6000	54	Talsund	111000+15000
78	Halsing	113440+2500	73	Bredsten-Balle	7800
80	Mundsted	114400+1300	74	Etnød	12000
88	Lagumkøster	10699+5270+36000	75	Fuglebjerg	12000
107	Hørlev	16020+10000	84	Kølle	2879
114	Lakken	12090+3000	86	Lagumkøster	16291+5576
115	Nyvaløng Mors	118708+8000	88	Prætor	13861
124	Øved	7000	92	Søng	14515
135	Hobro	50000	93	Tårnstrup	15000
139	Sorsum	15000	97	Ørum	6375
140	Høster	2100	99	Østerr Søby	20000
141	Ringe	35000	101	Åk (Marager)	5947
142	Ø. Brønderslev	5000	103	Lyng	1800
145	Lum	11000	104	Farsø	15100
			106	Kammeshøj	6000
			107	Hørlev	6000
			108	Høstensted	11000
			109	Holsted	12000
			110	Jelling	45190
			111	Ljersing	9219
			112	Lagtæt	7033
			114	Lakken	12096
			115	Reaeborg Mors	16708
			116	Silkeborg	146694
			117	Silkeborg (Nyby)	1418
			120	Trindholm	7245
			124	Vedum (VSV)	1500
			125	Sønderød	4701
			126	Øved	2879
			133	Skælskøp	24129
			133	Gæster	4000
			137	Brønderslev	26076
			138	Havdrup	2569

■ In operation
■ Planned / planned expansion

Total collector area (in operation): 1 302 331 m²
 Total collector area (planned): 249 189 m²

Silkeborg

ブロンダースレブ(Brønderslev)の地域熱供給会社(自治体所有)では、従来は天然ガス CHP(熱電併給)で4700世帯に熱供給を行い、需給調整用にガスボイラーや電気ボイラーも導入されている。2018年には再生可能エネルギーの利用割合を増やすため太陽熱とバイオマスを組み合わせた ORC(有機ランキンサイクル)による CHP(熱電併給)システムを導入した(図 2)。太陽熱パネルは太陽熱発電(CSP)で用いられる集光式を採用し、総面積は2.7万平米あり、熱出力は17MWある。一方、バイオマス CHPでは地域(50km 圏)の森林からの木材資源を使い、熱出力20MWのボイラーと ORCの組み合わせにより4MWの発電出力、15MWの熱出力がある。さらにボイラー排熱からの6MWの潜熱回収が行われており、エネルギー効率の高いシステムになっている。夏季を中心に太陽熱を主に使用しているが、季節間蓄熱は使用されておらず、太陽熱が使えない冬季を中心にバイオマスが使用されており、最大25MWの熱出力が得られる。

季節間蓄熱を用いている2つの太陽熱地域熱供給(SDH)のうち、2年前の視察ツアーでも訪問したドロンニングルント(Dronninglund)では、大量の温水を地下ピットに貯めるピット型(PTES)が用いられている。夏季に太陽熱の供給量が熱需要量を大きく上回る場合、その余剰熱を蓄熱して、秋季以降に利用できるようにしている。2014年に運転を開始した施設では、熱出力26MW、総面積3.8万平米の太陽熱パネルが導入され、町の地域熱供給による熱需要の50%を太陽熱で賄う計画です。ピット式蓄熱槽の容積は約6万立米で世界最大級の規模である。太陽熱が不足する時期には、バイオ燃料の熱で駆動する吸収式ヒートポンプで夏季以外に必要な熱を供給している。2016年の実績では太陽熱により地域熱供給の年間熱量の41%を供給し、蓄熱槽の損失は年間約9%程度で、90%以上の熱が利用された。将来の計画では、風力発電からの余剰電力を活用した地中熱ヒートポンプを導入して、化石燃料をほぼゼロ(自然エネルギー100%)にすることを目指している。ボアホール型(BTES)の季節間蓄熱槽(1.9万立米)を採用しているブレドストラップ(Brædstrup)では、1.9万平米の太陽熱パネル(平板式)で最大13MW熱出力があり、天然ガス CHP(発電出力4MW、熱出力4MW)やヒートポンプ(1MW)と合わせて地域熱供給を行っている。ボアホール型はピット型と比べて管理は容易ですが、熱損失が比較的大きく、デンマーク国内でも採用事例は多くはない。

表1：デンマーク視察ツアーで訪問した太陽熱地域熱供給(SDH)施設の特徴

No.	名称	面積 [平米]	出力 [MW]	蓄熱槽 [m3]	ユーザ 数	特徴
1	Silkeborg	156,694	110	32,000	21,000	世界最大規模
2	Dronninglund	37,573	26	60,000	1,350	ピット型季節間蓄熱
3	Brønderslev	26,929	17	8,000	4,700	集光式パネル、ORC
4	Brædstrup	18,612	13	26,500	1,500	ボアホール型季節間蓄熱



写真: Silkeborg の太陽熱地域熱供給(SDH)施設(ARCON-SUNMARK 社資料、筆者撮影)



図 2: Brønderslev の太陽熱およびバイオマス CHP による地域熱供給設備

以上