

# 4DHからスマートエネルギーシステムへ

特定非営利活動法人 環境エネルギー政策研究所  
第4世代地域熱供給(4DH)フォーラム事務局

松原弘直

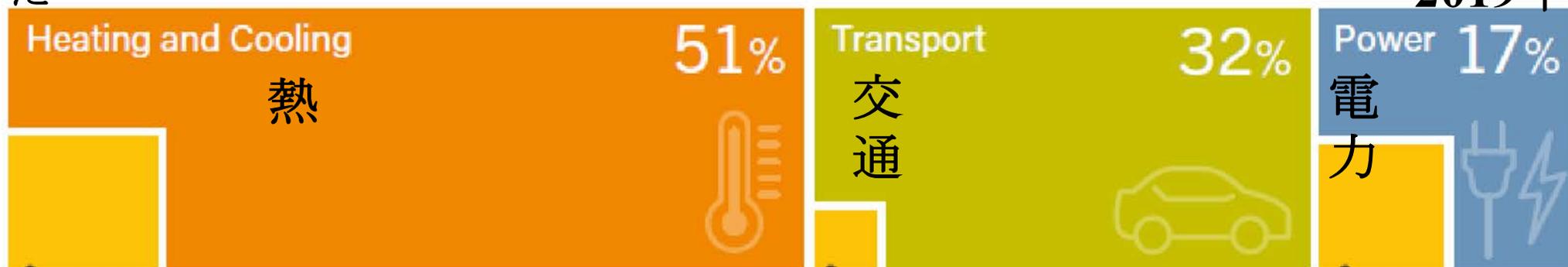
2024年2月27日

環境エネルギー政策研究所  
東京都新宿区四谷三栄町16-16  
Tel 03-3355-2200 Fax 03-3355-2205  
<http://www.isep.or.jp/>

# エネルギー需要に占める再生可能エネルギー割合

- 世界のエネルギー需要の約半分は熱(交通3割、電気2割)
- しかし、熱利用部門では再生可能エネルギーの導入はほとんど進まなかった

2019年



11.2% 再エネ  
Renewable energy

3.7% 再エネ  
Renewable energy

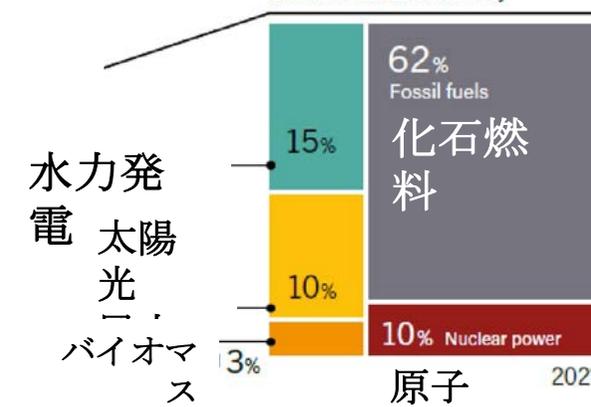
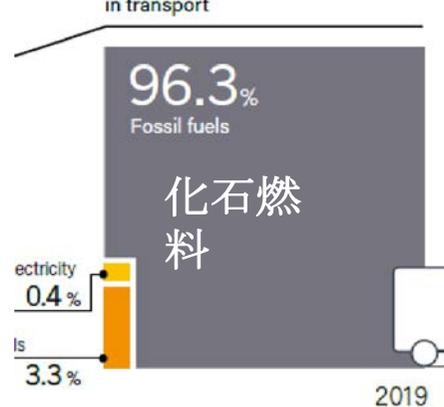
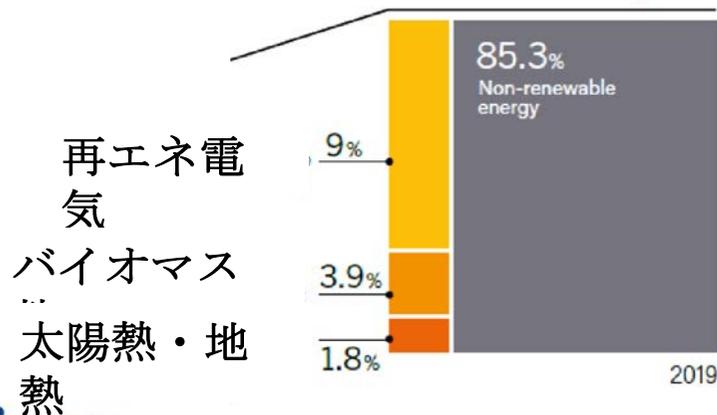
28.0% 再エネ  
Renewable energy

建築

14.7%  
Share of renewables in buildings

3.7%  
Share of renewables in transport

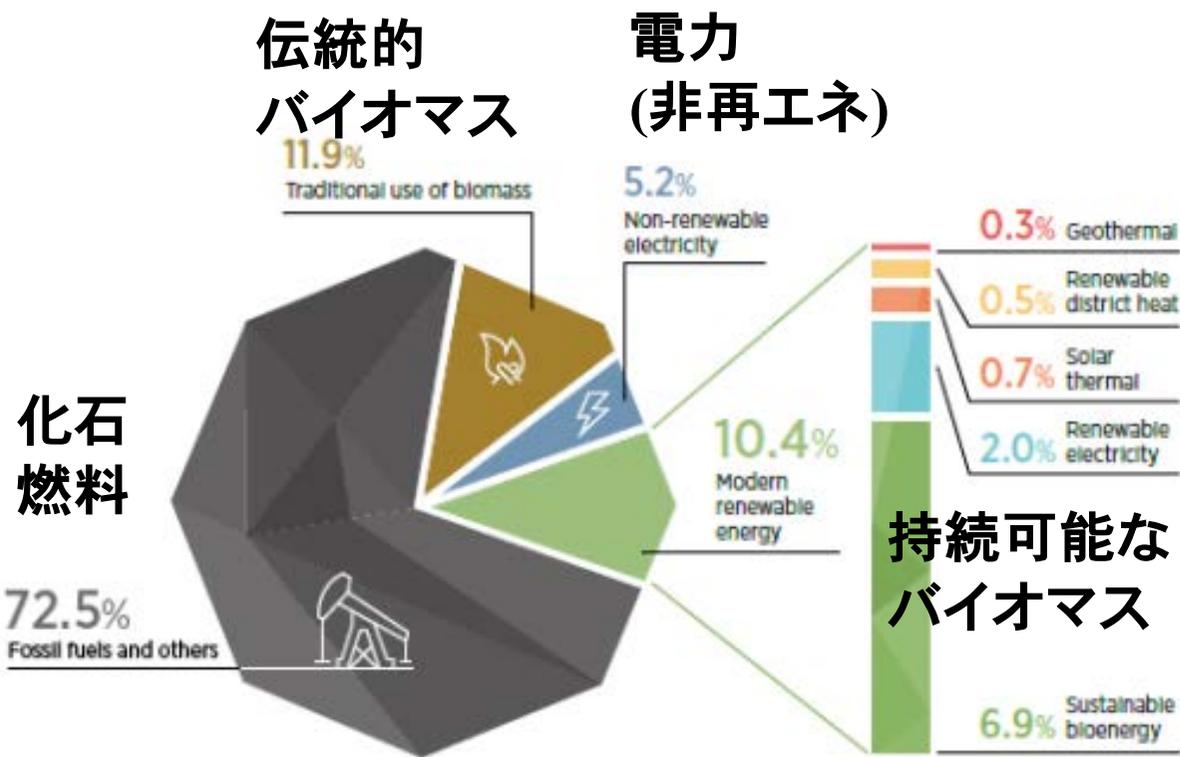
28.3%  
Share of renewable electricity



# 世界の熱利用のエネルギー源とベネフィット

熱分野の最終エネルギー消費に対するエネルギー源の割合

再生可能エネルギー熱利用によるベネフィット



## 再生可能エネルギー

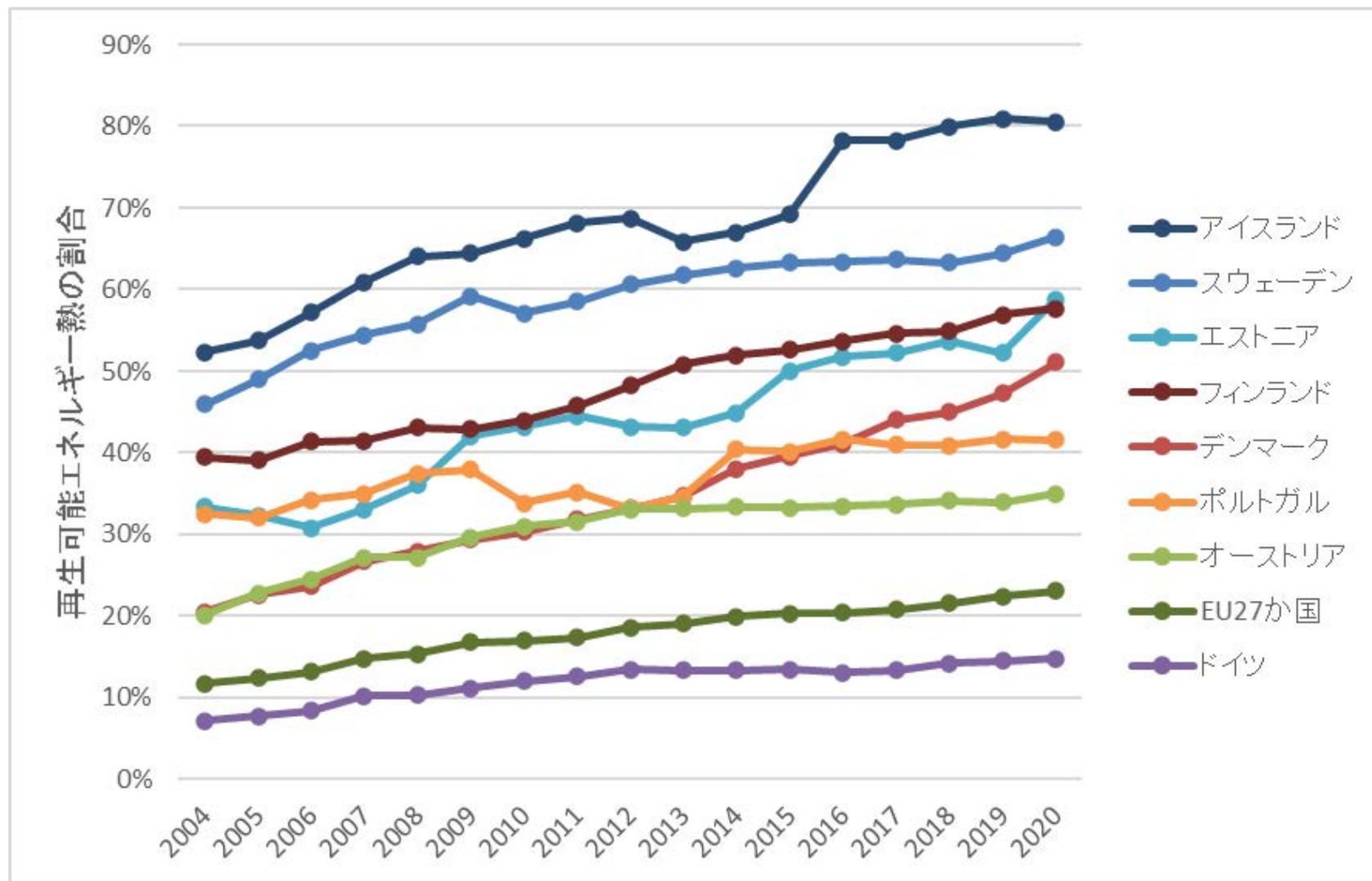
出典: IRENA, IEA, REN21 “Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling”

エネルギーアクセス

エネルギー貧困の解決

雇用と経済効果

# 欧州各国の自然エネルギー熱利用の割合の推移

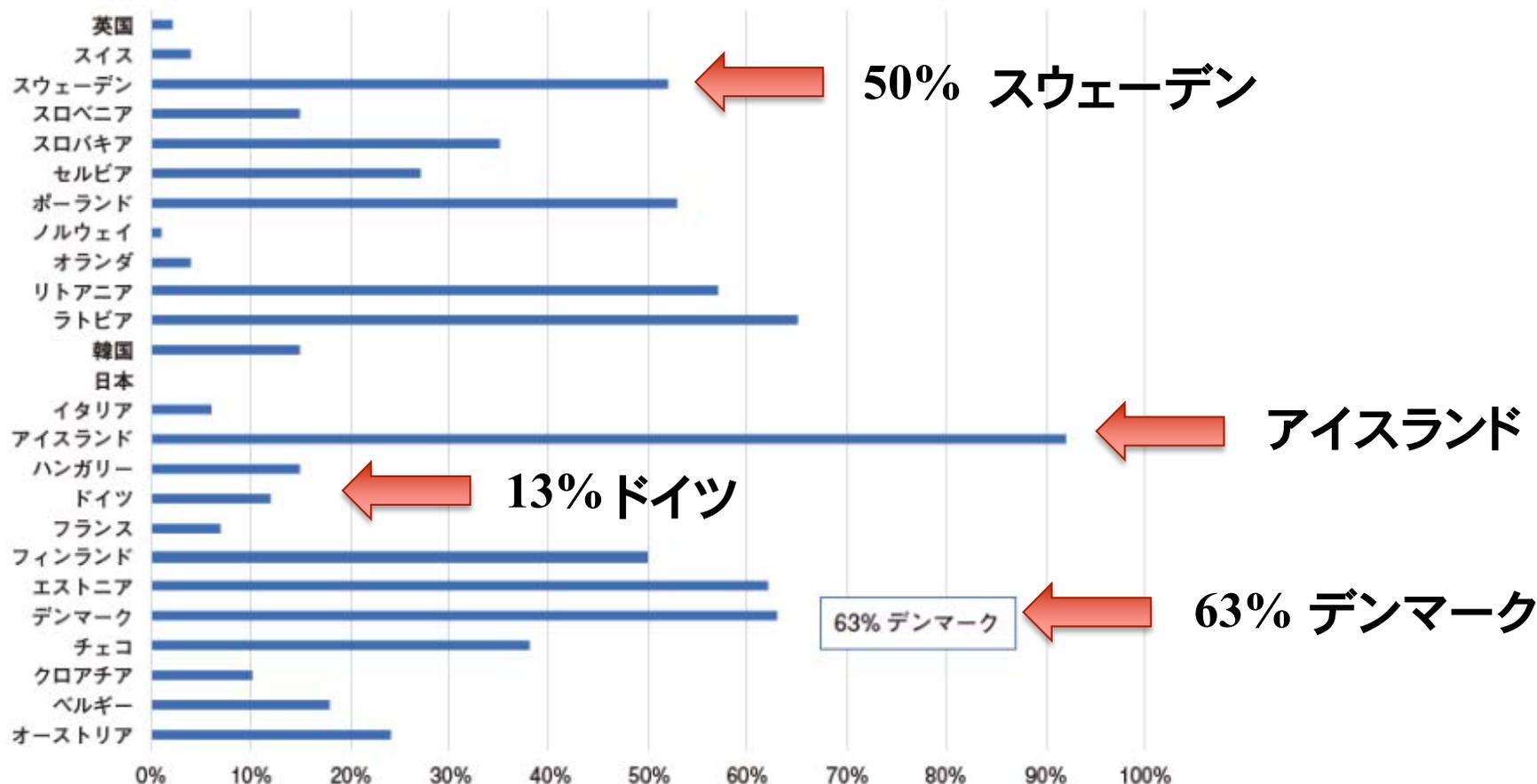


出典: Eurostatデータより作成

# 欧州(EU)の地域熱供給

- 人口あたりで最も地域熱供給の普及率が高いアイスランド(90%以上)
- デンマークは60%以上の普及率

## 地域熱供給の普及率(人口あたり)2015年

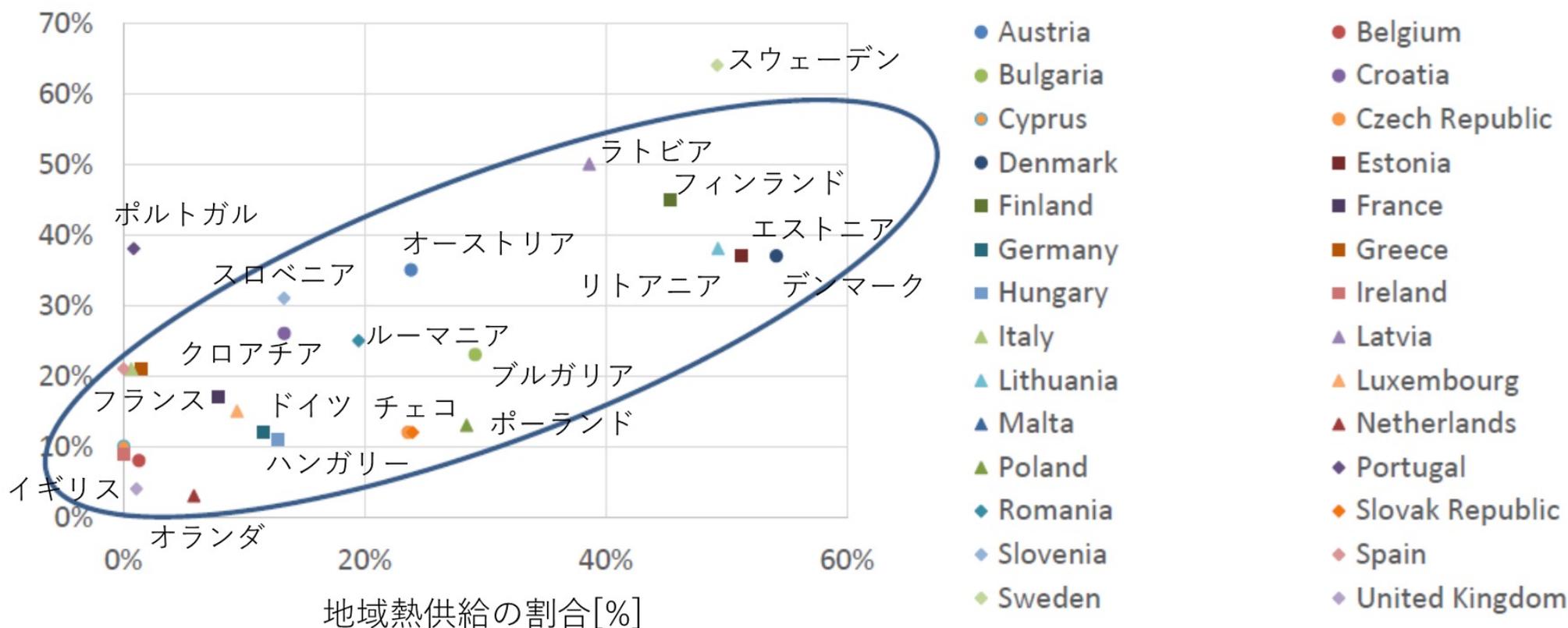


# 地域熱供給の導入率と自然エネルギー熱の割合

## 地域熱供給の導入率が高い国ほど自然エネルギー熱の割合が高い

自然エネルギー割合 vs. 地域熱供給の割合

熱分野の自然エネルギー割合[%]

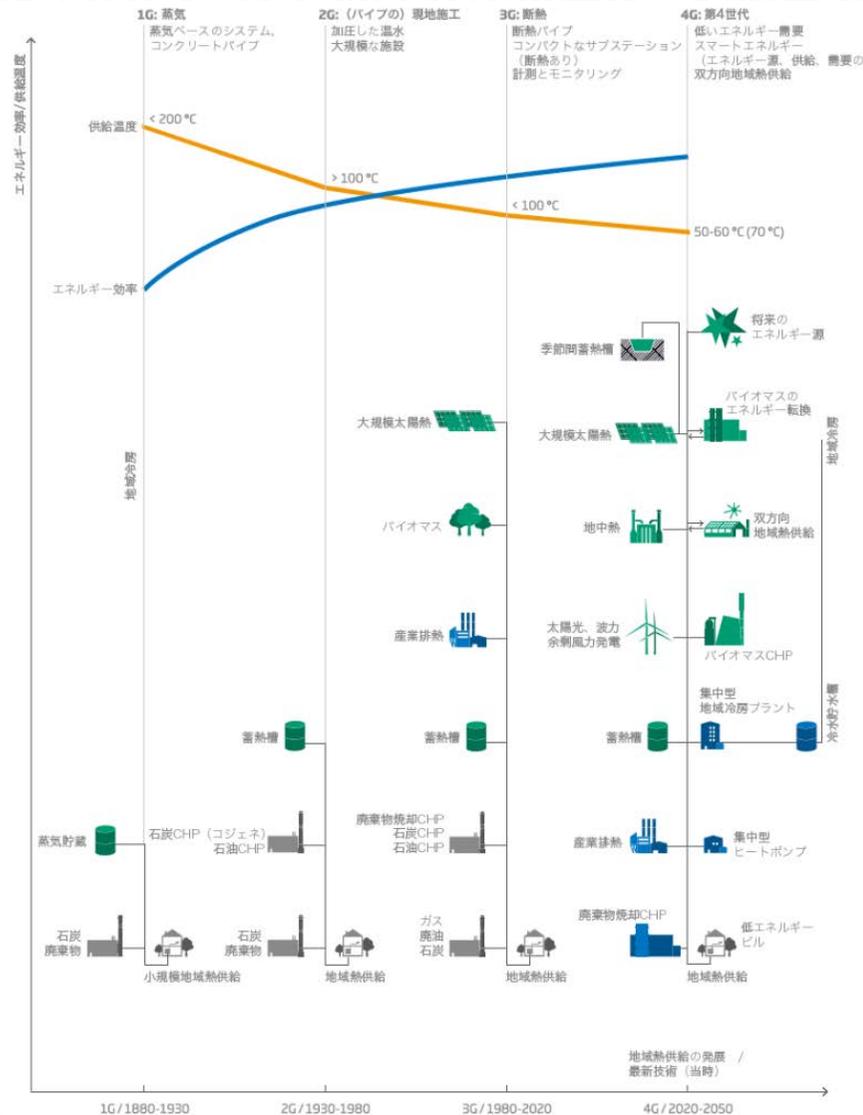


出所: Heat Roadmap Europe 2050

<https://heatroadmap.eu/>

# 第4世代地域熱供給(4DGH)とは

- 管理のしやすさコスト削減のため、熱供給システムの温度を下げている、低温熱源の利用や地中熱利用などが可能となっている(第4世代地域熱供給)。



- 供給温度の低温下による高効率化
  - システム全体の高効率化
  - 往復温水間の大きな温度差
  - 潜熱回収による更なる高効率化
- 熱源の多様化
  - 低温下による利用資源の拡大
  - 工場排熱、廃棄物焼却熱活用
  - 大規模太陽熱の活用と季節間蓄熱
- 熱・電双方向の「スマート化」へ
  - 電力市場を介した熱電市場の連動
  - 温水タンクによる「蓄電」
  - ヒートポンプによる電熱転換 (風力の温熱化など)

出所: State of Green「デンマーク地域熱供給白書」  
Henrik Lund, et. al “4<sup>th</sup> Generation District Heating(4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy system” Energy 68(2014) 1-11

# 第5世代地域熱供給 5GDH(イギリス)

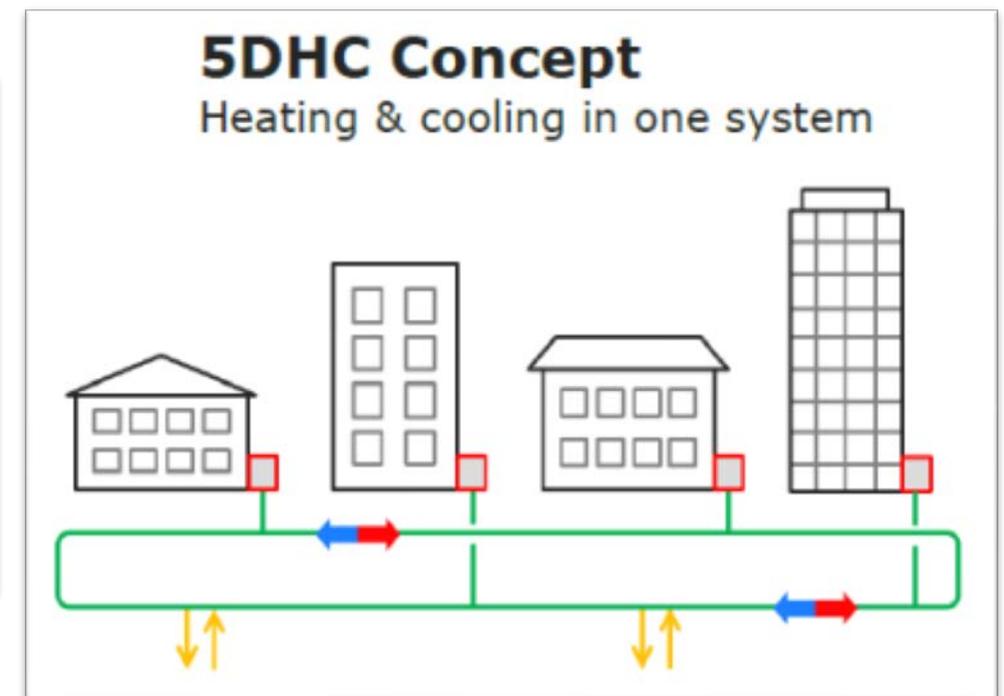
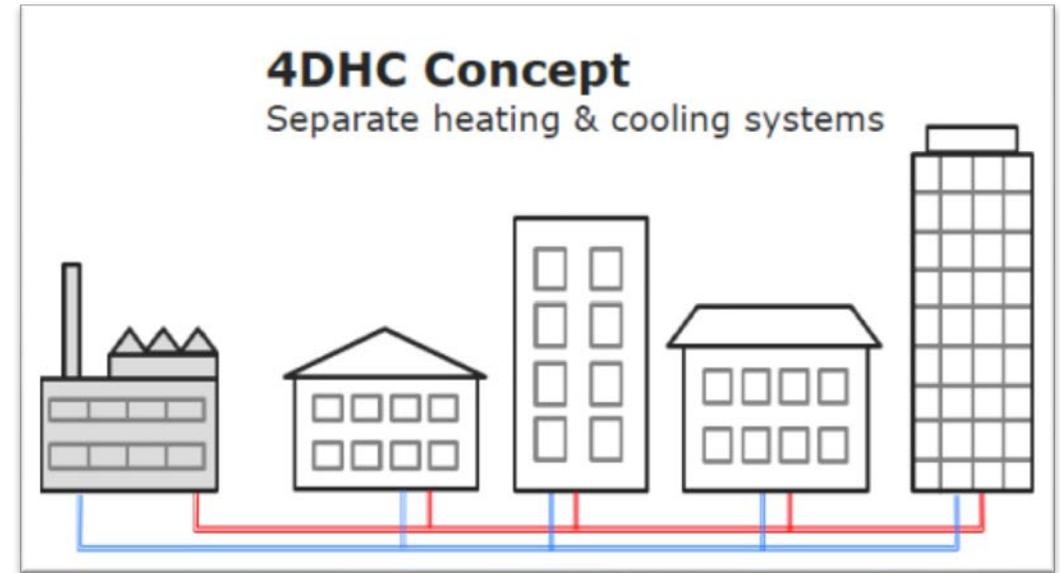
## 第4世代地域熱供給 4GDH

- 供給温度: 55~45°C
- 戻り温度: 25~15°C
- 給湯(DHW)の加温
- 冷熱と温熱供給が別システム

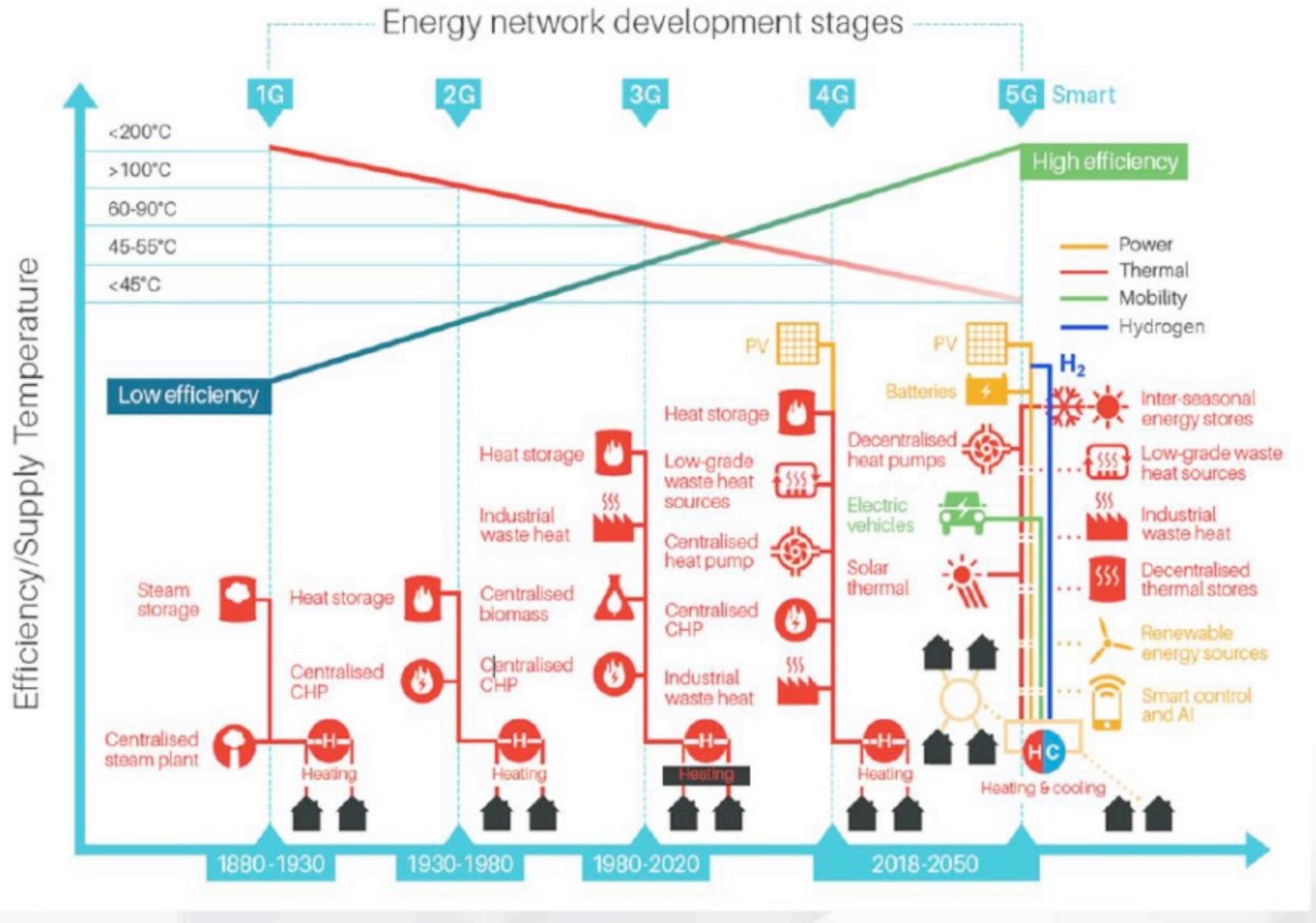


## 第5世代地域熱供給 5GDH

- 供給温度: 45°C未満(20°C程度)
- 戻り温度: 25~15°C
- 低温熱源による分散型HP
- 冷熱と温熱供給を一元化
- 給湯(DHW)の加温は必要



# 第5世代地域熱供給(5GDH):ロンドンでの排熱利用可能性



# 4DHからスマートエネルギーシステムへ

- 4DHからセクターカップリングそしてスマートエネルギーシステムへ  
電力供給と熱供給さらに輸送エネルギーも供給

## Smart Energy Systems

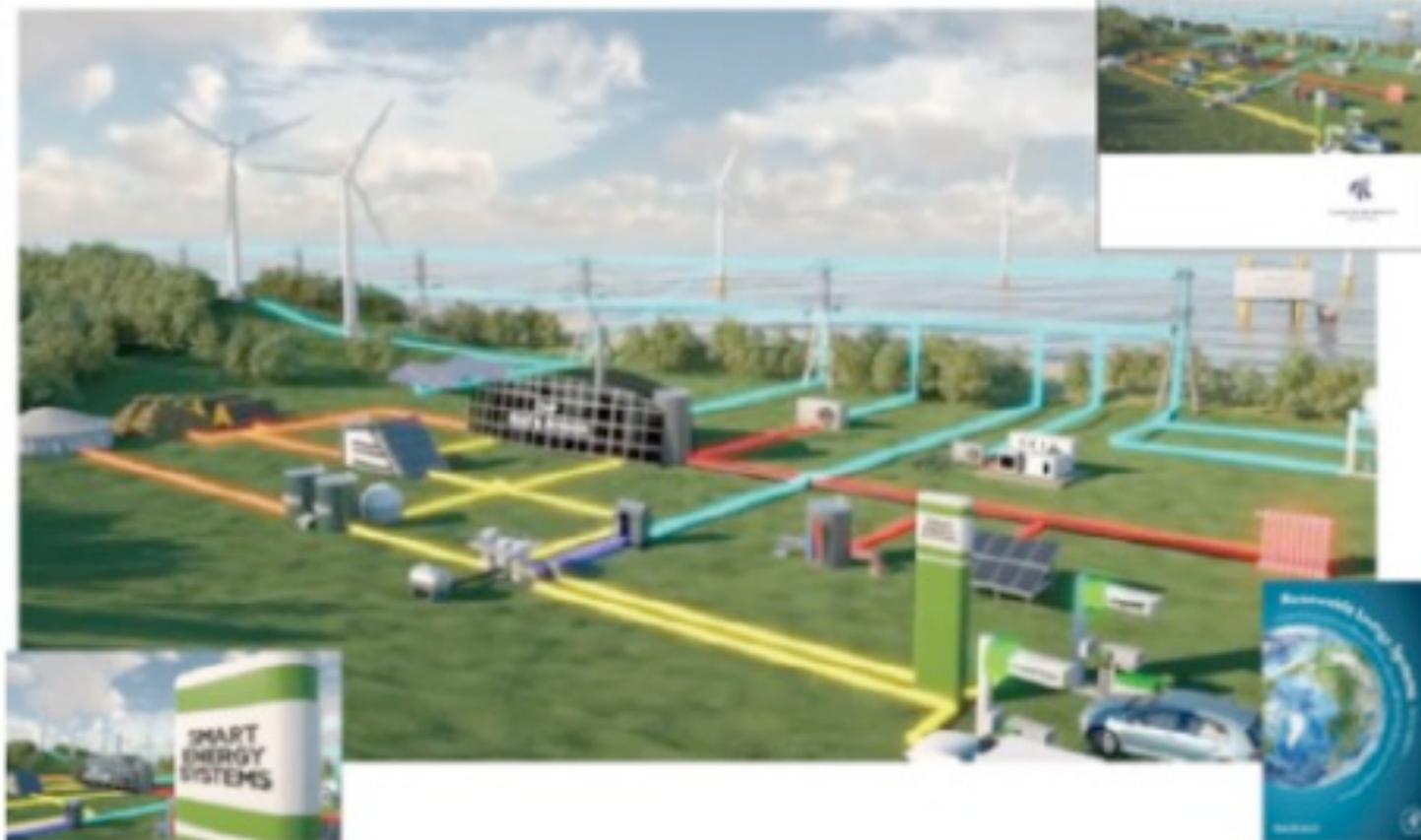


図38: スマートエネルギーシステムのイメージ(出所: IDA's Energy Vision 2050, オールボー大学(2015))

# 第9回スマートエネルギー・第4世代地域熱供給国際会議 2023年9月12日～13日(ハイブリッド開催)全体概要



9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
SMART ENERGY SYSTEMS

BOOK OF ABSTRACTS



Copenhagen, 12-13 September 2023

参加者：330名(リアル)+20名(オンライン)  
参加国：25カ国  
発表数：200

全体セッション：

- ・ 最近のエネルギー危機に対するスマートエネルギーシステムの展望
- ・ 欧州におけるREPower EUとエネルギー効率化

パラレルセッション：

- ・ スマートエネルギーシステムの分析・ツール・方法論
- ・ 統合エネルギーシステムとスマートグリッド
- ・ 第4世代地域熱供給(4DH)
- ・ 地域熱供給のための再生可能エネルギー源および排熱源(PtXを含む)
- ・ スマートなエネルギーインフラとストレージの選択
- ・ スマートエネルギーシステムおよび先進的な技術転換のための制度的および組織的变化

<https://smartenergysystems.eu/2023-2/>



# 全体セッション1(2023年9月12日)

## Smart Energy Systems in the light of the current security crisis

Opening Speech: Henrik Lund(オールボー大学)&Glenda Napier(ECD)

Keynotes1:Green Power Denmark ”Energy Security<->Secure Energy”

Keynotes2:CIP「大規模再エネ事業に対するグリーン投資」

Keynotes3:Wind Europe「欧州での風力発電の成長の加速化」



# 全体セッション2(2023年9月13日) REPower EU and the focus on energy efficiency in Europe

**Keynotes4:EU DG Energy「エネルギー効率化による持続可能で強靱な欧州のエネルギーシステムへ」**

**Keynotes5:Euroheat&Power「地域熱供給の転換のための資源効率」**

**Keynotes6:Zagreb大学「東ヨーロッパでのエネルギー効率化と脱炭素化」**



# 第9回スマートエネルギー・第4世代地域熱供給国際会議 12テーマのセッション+2特別セッション:200の発表

1. Smart energy systems analyses, tools and methodologies(50)  
スマートエネルギーシステムの分析、ツール、方法論
2. Integrated Energy Systems and Smart Grids(24)  
統合エネルギーシステムとスマートグリッド
3. 4th Generation District Heating concepts, future district heating production and systems(25)  
第4世代地域熱供給のコンセプト、将来の地域熱供給の生産とシステム
4. Renewable energy sources and waste heat sources including PtX for DH(24)  
地域熱供給のための再生可能エネルギー源および排熱源(PtXを含む)
5. Planning and organisational challenges for smart energy systems and district heating(11)  
スマートエネルギーシステムと地域熱供給のための計画と組織の課題
6. Smart energy infrastructure and storage options(18)  
スマートなエネルギーインフラとストレージの選択肢
7. Geographical Information Systems (GIS) for energy systems, heat planning and district heating(7)  
エネルギーシステム・熱計画および地域熱供給のためのGIS
8. Energy savings in the electricity sector, buildings, transport and industry(7)  
電力部門、建物、輸送、産業における省エネ
9. CCUS and PtX technologies and the production and use of electrofuels in future energy systems(10)  
将来のエネルギーシステムにおけるCCUS・PtX技術およびグリーン燃料の製造および利用
10. Components and systems for district heating, energy efficiency, electrification and electrofuels(7)  
地域熱供給、エネルギー効率化、電化およびグリーン燃料の構成要素およびシステム
11. Electrification of transport, heating and industry(5)  
交通、熱および産業の電化
12. Institutional and organisational change for smart energy systems and radical technological change(14)  
スマートエネルギーシステムおよび先進的な技術転換のための制度的および組織的变化

# 欧州の熱分野の脱炭素化プロジェクト(2020年)



<https://www.hotmaps-project.eu/>

@HEATflex

[www.heatflex.dk](http://www.heatflex.dk)



<https://www.reuseheat.eu/>



<https://www.wedistrict.eu/>



[www.tempo-dhc.eu/](http://www.tempo-dhc.eu/)



<https://www.upgrade-dh.eu/en/home/>

# 欧州の熱分野の脱炭素化プロジェクト(2021年)



<https://www.res-dhc.com/en/>



<https://www.wedistrict.eu/>



<https://www.rewardheat.eu/en/>



<https://gigates.at/index.php/en/>



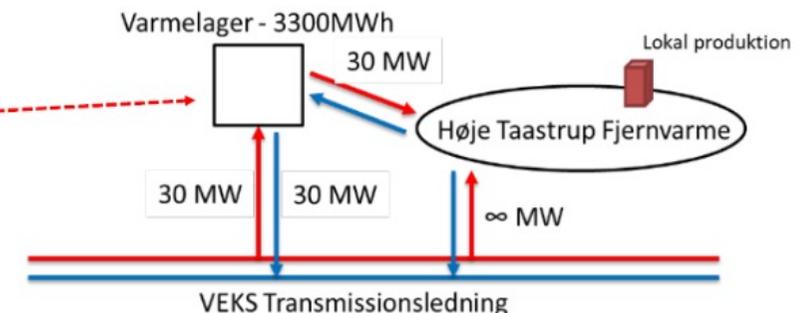
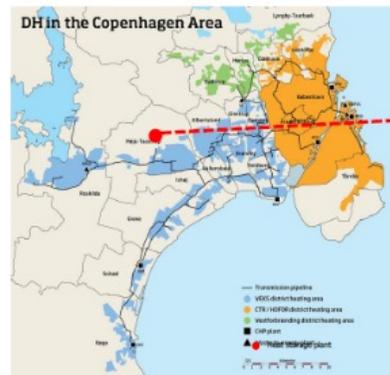
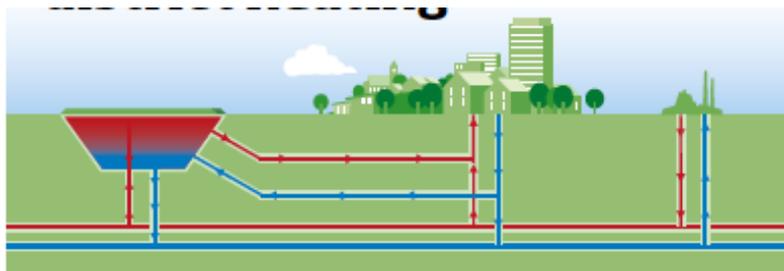
<https://thermaflex.greenenergylab.at/?lang=en>



<http://www.cooldh.eu/>

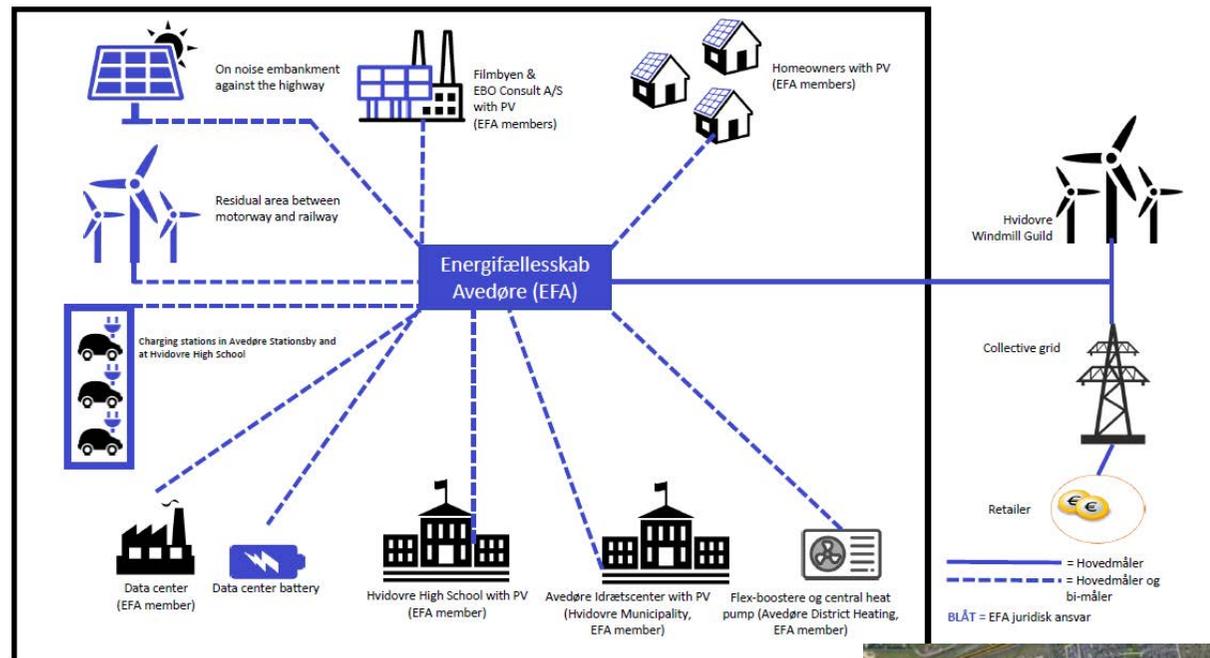
# テクニカルツアー(2023年):Høje Taastrupピット式大規模蓄熱設備 コペンハーゲン広域の熱供給ネットワークに接続された蓄熱設備

- この蓄熱設備はこの町の地域熱供給だけではなく、コペンハーゲン広域の熱供給ネットワーク(VEKS)にも接続
- 広域でバイオマスCHPや廃棄物処理施設の余剰熱を蓄熱し、蓄熱した熱を供給する機能がある。
- この蓄熱設備の上に登ると、長さ180m、幅60m程度のただの空地に見えるが、その下に約7万m<sup>3</sup>の温水(最高温度95度)が蓄えられている。
- 蓄熱の熱出力は最大30MWで、蓄熱容量は3300MWhで、数週間程度の周期で使用されることになる。
- デンマークではこれまでもこの規模のピット式蓄熱設備があったが、地域で大型の太陽熱地域熱供給の季節間蓄熱として使われてきた。
- このようになに大規模な都市で使われる蓄熱設備の形態はデンマークでも初めてとなる。

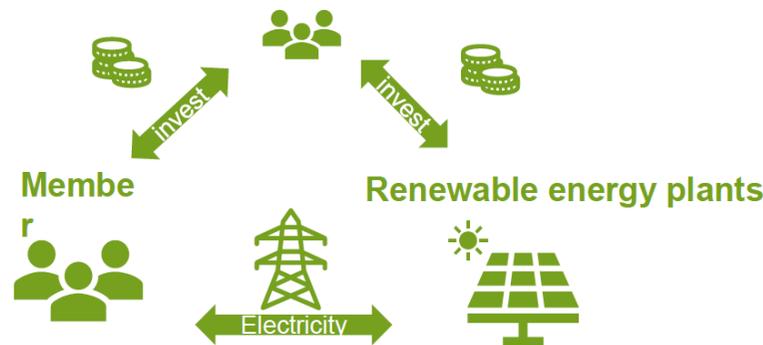


# テクニカルツアー(2023年):エネルギー・コミュニティ・アベドア コペンハーゲン市内で最大規模のエネルギー・コミュニティ

- エネルギー・コミュニティ(Energy Community)は、欧州全体で始まっている地域コミュニティでの市民主導の再生可能エネルギーやエネルギー効率化などのエネルギー転換の取り組み
- この地域エネルギー会社EBO Consultは、地域の高校の校舎に拠点を構えており、その高校の校舎の屋上太陽光や地域の発電設備(映画会社の屋上太陽光)も見学
- 地域のステークホルダー(住民、企業、自治体など)が出資して再エネ設備や省エネ設備を地域内に分散設置して地域でそのエネルギー(電気や熱)を使っている。
- 特徴としては自治体や市民だけではなく、地域の多くの企業がこのエネルギー・コミュニティに参加している。
- その企業のひとつ(印刷会社)から地域での企業として取組みについての説明もあった。
- 排熱を利用したヒートポンプにより地域熱供給とのセクターカップリングを行っているところも特徴である。



## RES Community/Citizen Energy Community



出所: Energy Community Avedøre: <https://eboconsult.dk/en/energifaelleskab/>

# テクニカルツアー(2022年):Broenderslev 地域熱供給 太陽熱+バイオマスCHPによる自然エネルギー100%地域熱供給

## Distribution of district heating:

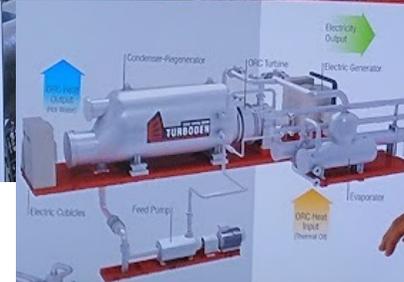
- 7 km. transmission lines
- 90 km. distribution lines
- 70 km. supply lines
- Volume: 2.000 m<sup>3</sup>



## Biomass – power plant – 2018/2021

### Biomass power plant:

- 2 x wood chip boilers: input 200 t/day => 20 MW heat into heat transfer fluid by exhaust gas of 950°C
- 2 x heat pumps for cooling exhaust gas to 12°C. => 2,2 MW heat
- Moist in woodchip 42% = 420 kg water/steam pr. 1 ton woodchips



## バイオマスプラント

- ボイラー出力: 20MW(200t/d)
- ORC: 4MWe + 16MWth
- 潜熱回収HP: 2.2MWth
- 合計出力23MWth(熱効率114%)

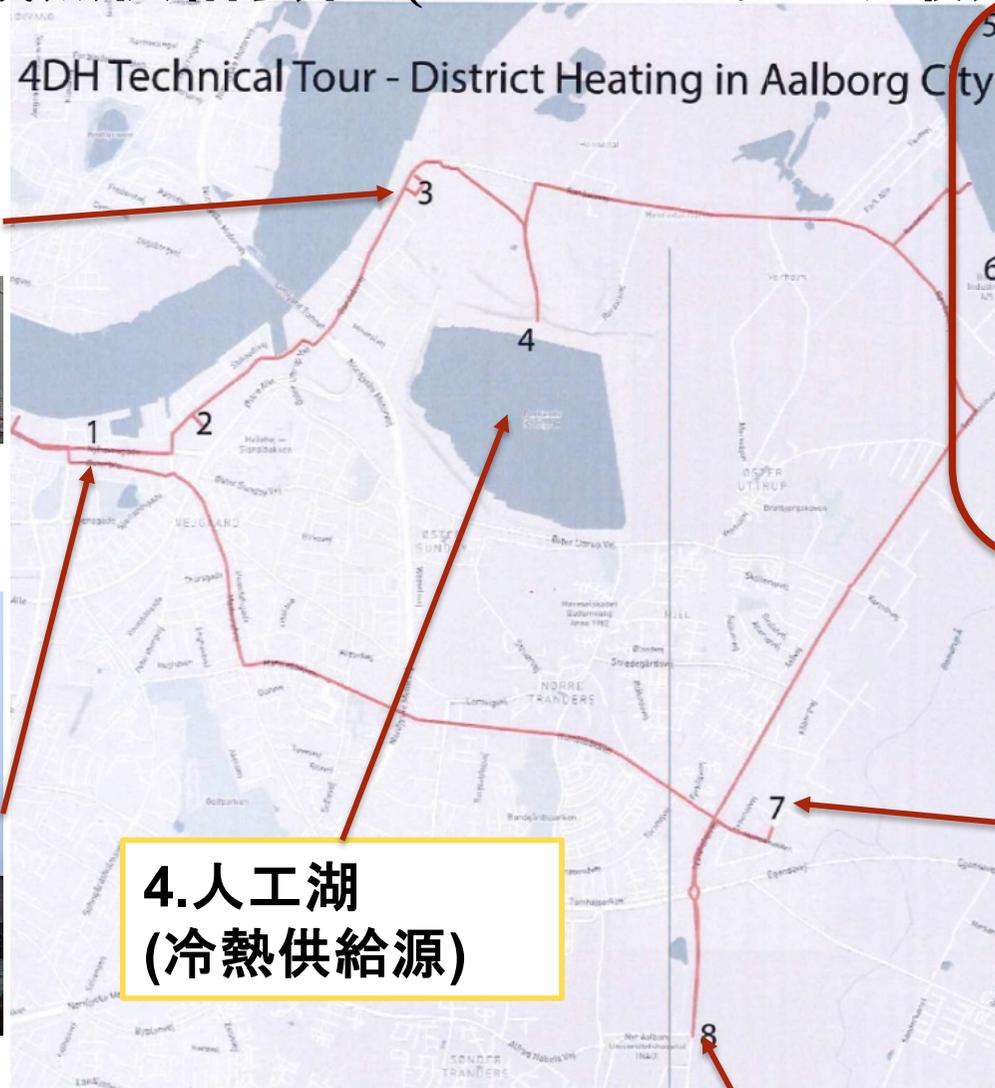
## 太陽熱(CSP)プラント

- 集熱器 延長5km
- 27,000m<sup>2</sup>
- 出力:17MW
- 熱媒: Therminol 66

# テクニカルツアー(2022年): オールボー地域の地域熱供給システム



## オールボー地域熱供給会社 (34000ユーザー、最大需要800MW)



3.セメント工場の排熱  
(DHの約20%を供給)



1. 蓄熱槽(1.2万m<sup>3</sup>)と  
ポンプ室



5.石炭火力CHP(500MW)  
DHの約50%を供給



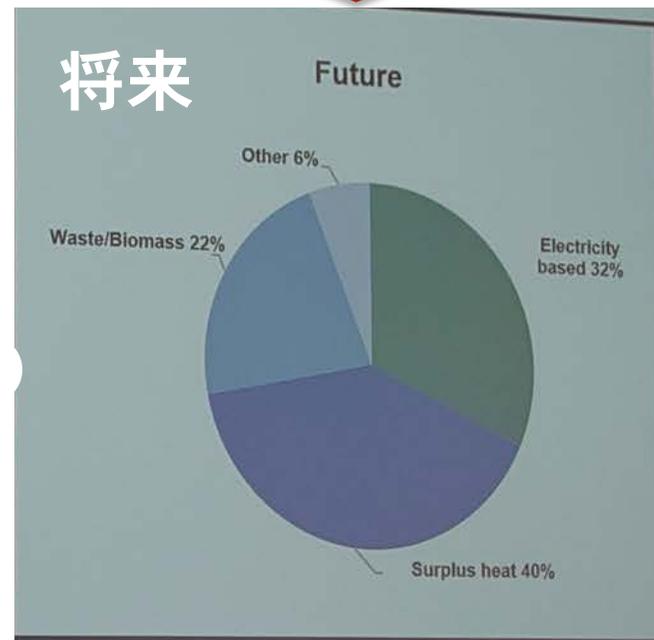
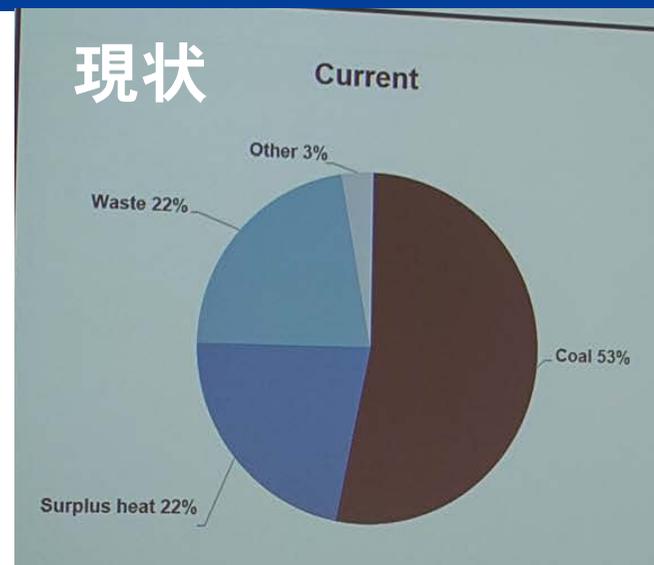
7.廃棄物CHP(60MW)  
DHの約25%を供給

4.人工湖  
(冷熱供給源)

8.大学病院  
(新規需要先)

# テクニカルツアー(2022年): オールボー地域熱供給の脱炭素化ロードマップ

- 2028年までの石炭CHPの廃止
- 2050年までの脱化石燃料(脱炭素化)



120 MW sea water heat pump (put out to tender)  
海水熱源  
ヒートポンプ(120MW)

Heat pumps

Increase in surplus heat from Aalborg Portland, PtX and others  
排熱利用(セメント工場, PtX施設など)

Surplus heat

Purchase of windmills and solar heating  
再エネ余剰電気

Solar power

Waste

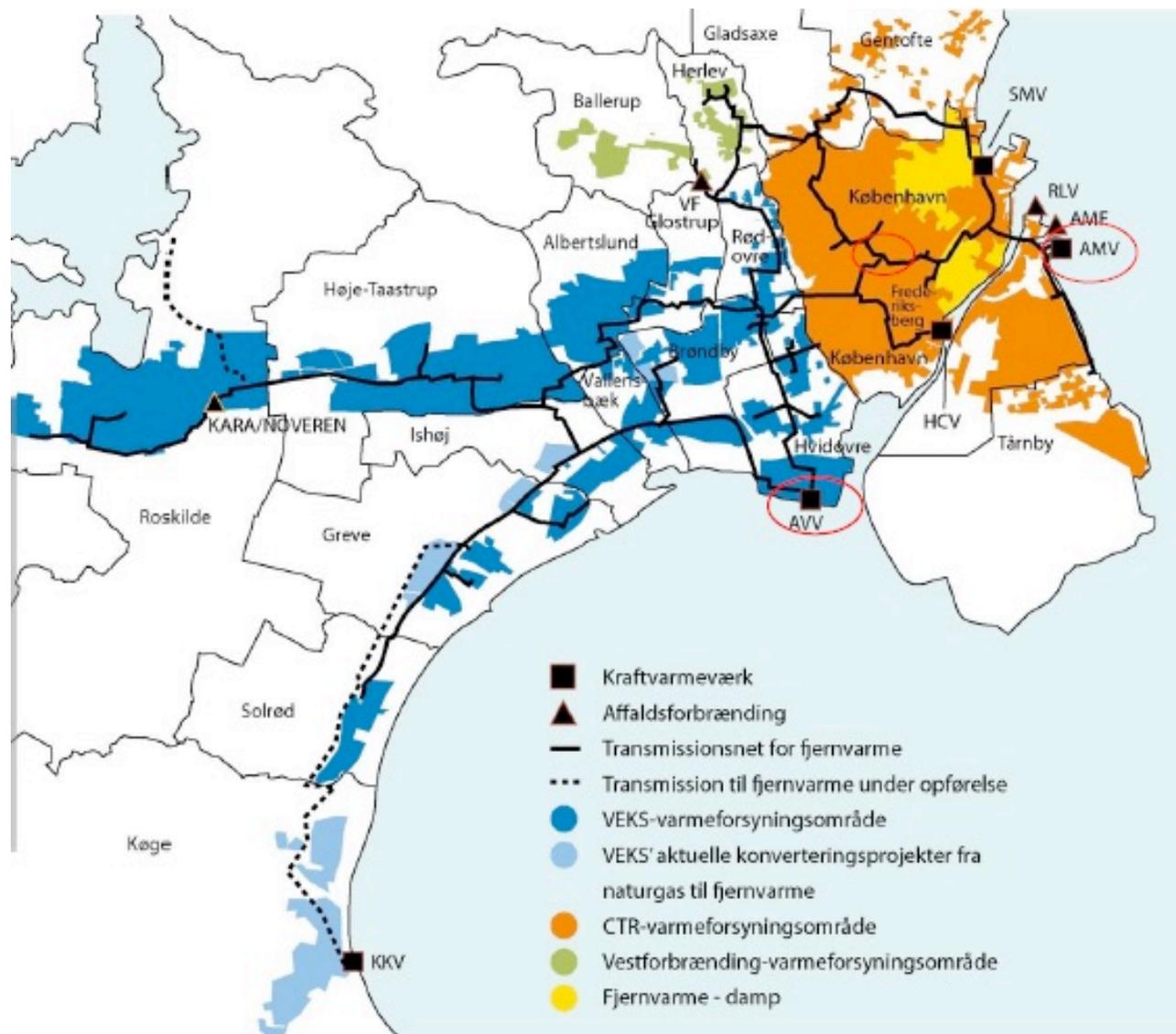
200,000 m3 storage tank (put out to tender)  
蓄熱槽(20万立米)

Biomass

Biogas

150 MW boiler (put out to tender)  
電気ボイラー(150MW)

# デンマークの事例：都市部の地域熱供給 コペンハーゲン周辺地域



- 17自治体
- 25地域熱供給会社
- 送熱会社：CTR
- ユーザー数：50万人
- 年間熱量：  
34PJ(9.6TWh)
- デンマーク全体の熱需要の約20%
- コペンハーゲンの熱需要の98%をカバー

# コペンハーゲンの地域熱供給の供給源+洋上風力発電

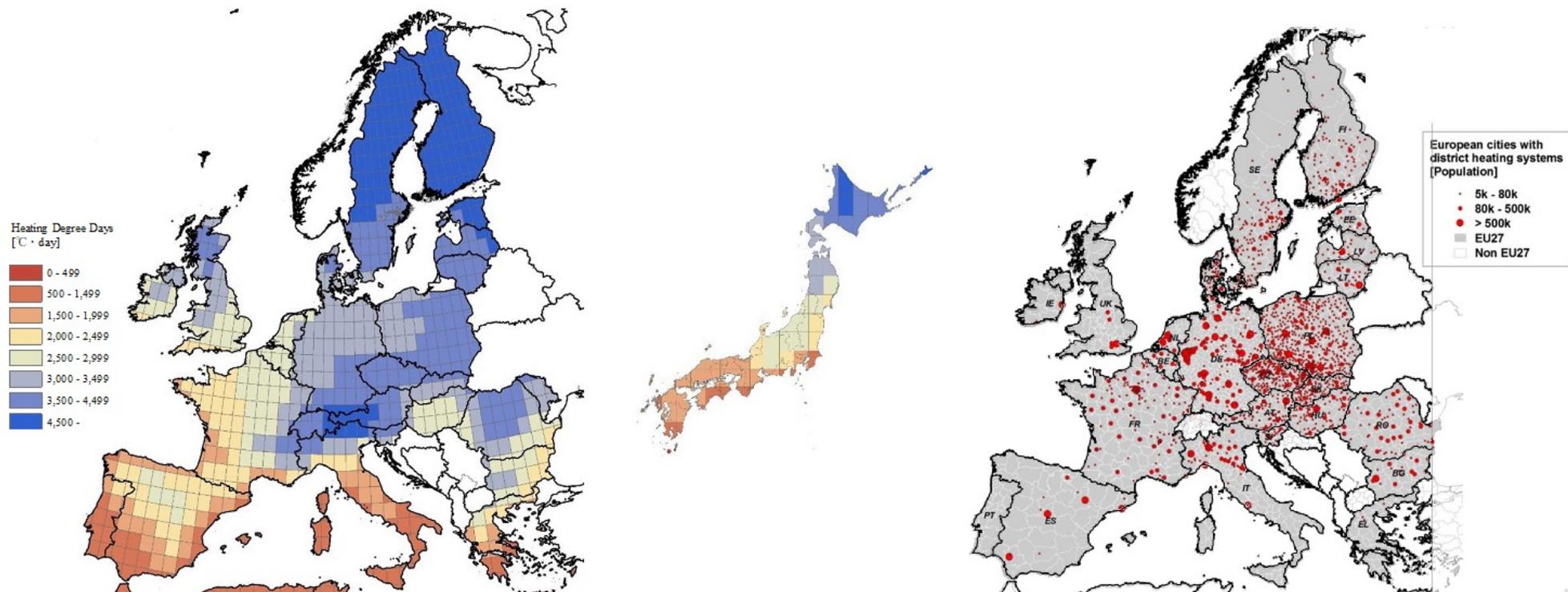


- Copenhill(Amager Bakke): 廃棄物処理  
CHP(熱電併給)+スキー場
- HOFORバイオマスCHP
- 洋上風車(Middelgrunden wind farm)



# 欧州と日本の暖房度日(HDD:Heating Degree Days)比較と 欧州の地域熱供給網

## 日本でも北日本の10道県で2500°C日を超える



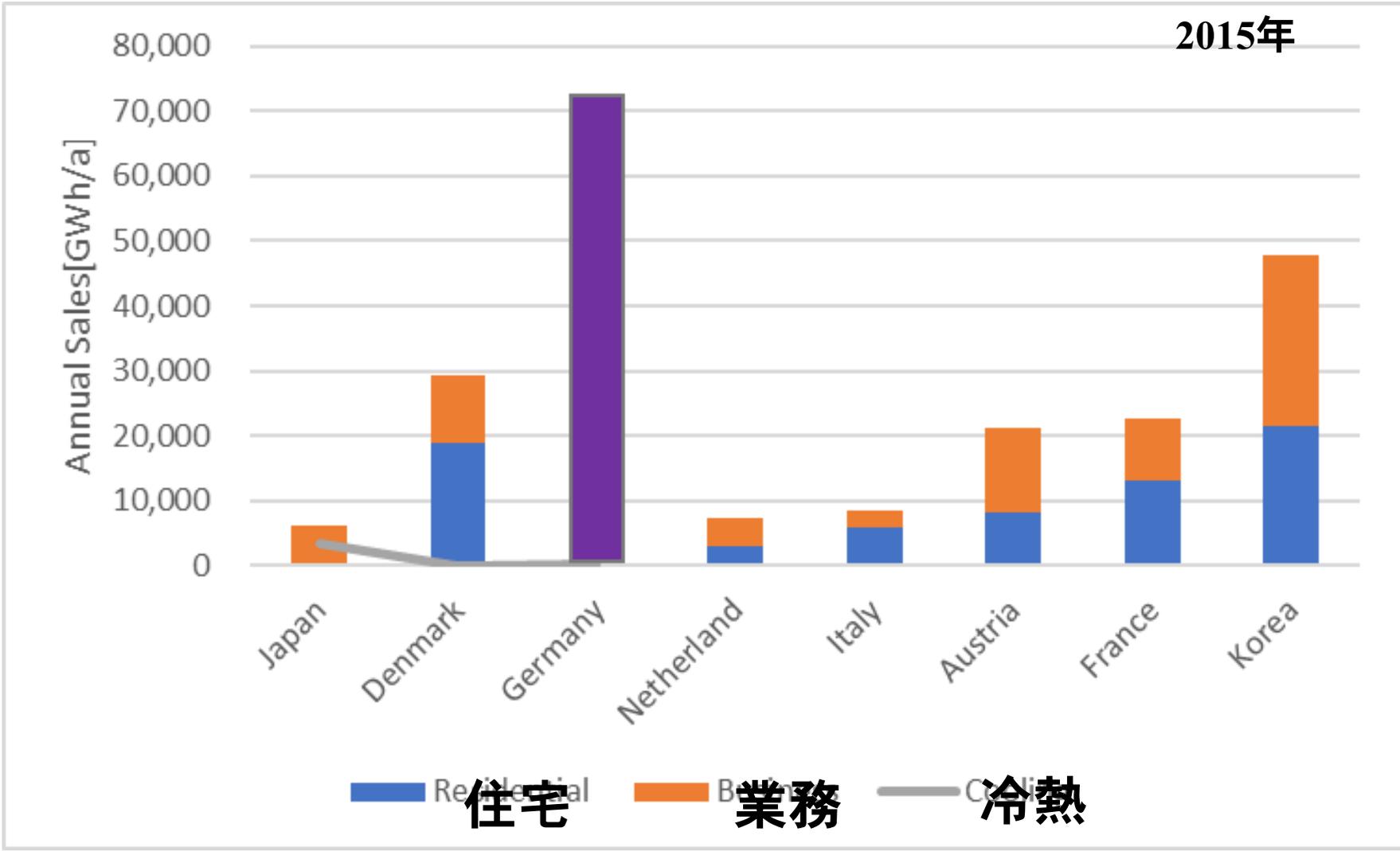
“Design and analysis of district heating system utilizing excess heat in Japan” Shin Fujii, Takaaki Furubayashi and Toshihiko Nakata

Ref. : Climate: monthly and annual average heating degree days below 18°C GIS data at one-degree resolution of the World from NASA/SSE, OpenIE  
Heat Roadmap Europe 2 Maps, Halmstad & Aalborg Universities, 2013

Above 2500 °C-day  
10 prefectures in North Japan

# 地域熱供給での住宅ユーザの割合(欧州各国と日本の比較)

- 日本国内の住宅向けの割合は非常に低い(5%未満)
- 日本国内では冷熱供給の割合が高い(56%)



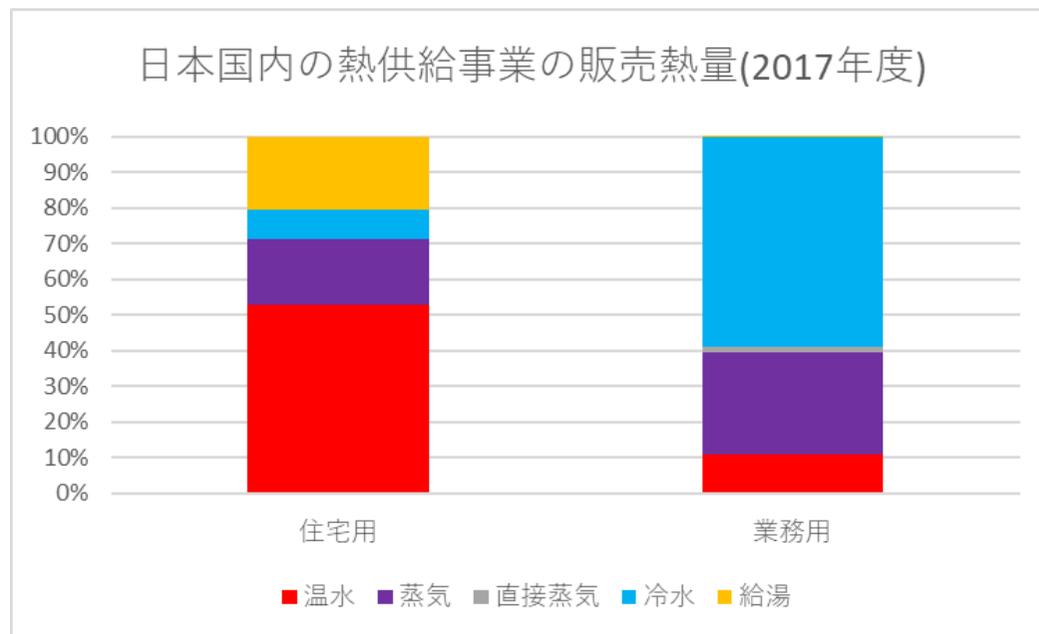
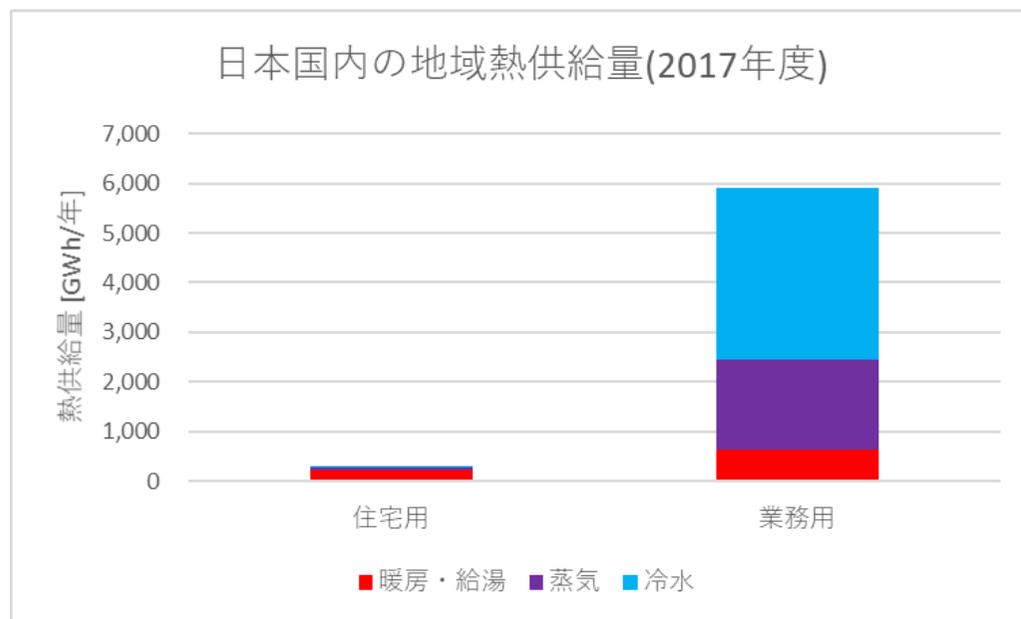
# デンマークと日本の地域熱供給の比較

- デンマークの人口あたりの地域熱供給の使用量は日本の100倍
- 日本の地域熱供給の線熱密度はデンマークの約10倍

指標	デンマーク	日本	デンマーク/日本
人口(2016年)	5,710,000	127,000,000	0.04
面積	43,094 km <sup>2</sup>	377,972 km <sup>2</sup>	0.11
販売熱量(2013年)	105,563 TJ/a	22,902 TJ/a	4.6
年間売上額(2013年)	2,945 M EUR	1,103 M EUR	2.7
熱導管総延長2013年 (2009年)	29,000 (28,000) km	672 (736) km	43 (38)
DH総数	394	139	2.8
線熱密度	3.6 GJ/年 m	34.1 GJ/a年 m	0.11
人口当たり導入量	18.5 GJ/Capita	0.18 GJ/Capita	103
熱平均価格	0.028 EUR/MJ	0.048 EUR/MJ	0.58

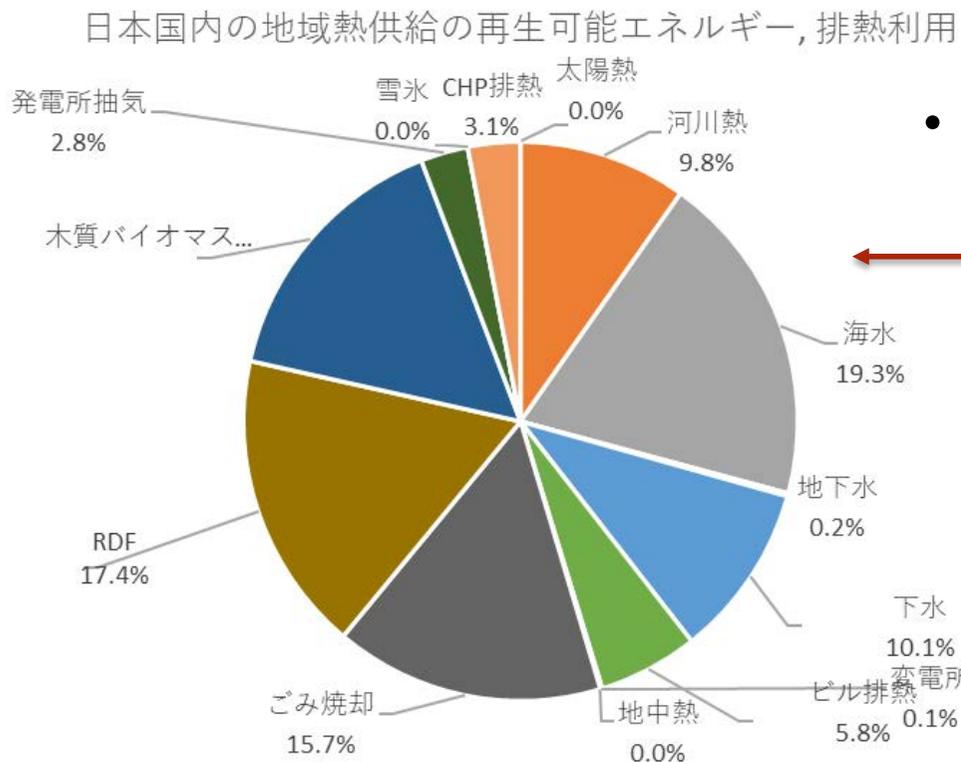
# 日本国内の地域熱供給の現状(2017年)

	単位	暖房・給湯	蒸気	冷水	合計	割合
販売量(住宅向)	GWh/a	233	58	25	316	5.1%
販売量(業務用)	GWh/a	645	1,792	3,470	5,907	94.9%
販売量(計)	GWh/a	878	1,850	3,495	6,224	100%
販売量の割合	%	14.1%	29.7%	56.2%	100%	
熱導管の距離	km	232	206	208	646	
線熱密度	MWh/m	3.8	9.0	16.8	9.6	



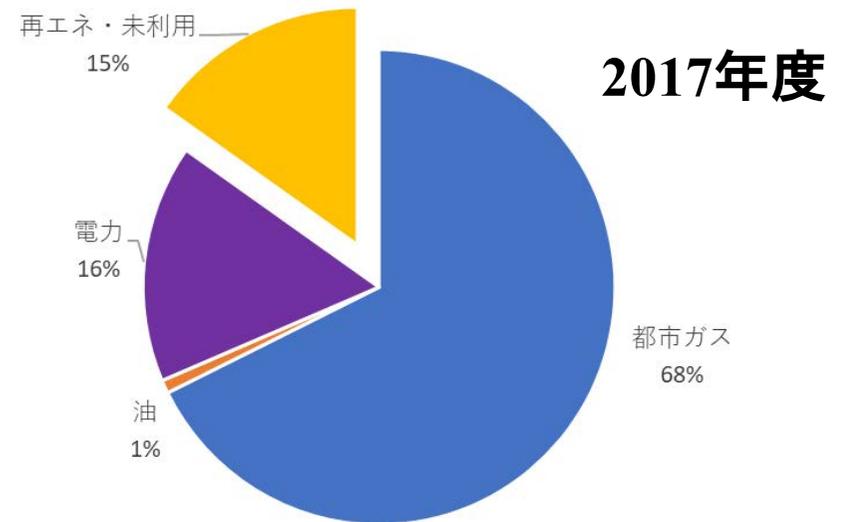
# 日本国内の地域熱供給の熱源

- 日本国内の地域熱供給の再生可能エネルギーと排熱利用の割合は15%程度
- 日本国内の地域熱供給での電気の割合は16%だが、冷熱の需要が大きいため。



都市ガス:68%  
 電力:16%  
 再エネ・未利用:15%

日本国内の地域熱供給の熱源(2017年度)



- 海水: 19.3%
- RDF(廃棄物): 17.4%
- 廃棄物焼却: 15.7%
- 木質バイオマス: 15.7%
- 下水: 10.1%
- 河川: 9.8%

# 日本国内の地域熱供給の現状と課題

- 日本国内の地域熱供給は民間事業者による事業で熱需要の大きい都市部に集中し、供給先は業務施設が中心となっており、住宅ユーザの割合は小さく減少傾向にある。
- 業務施設への供給では冷熱の利用が半分以上(販売量ベースで56%)を占めており、熱源は天然ガス(LNG)が大半(68%)である。
- 温熱の供給では蒸気での供給が大きな割合(約2/3)を占めているが、ヒートポンプやコジェネレーション(CHP)排熱からの温水供給も増えている。
- 再生可能エネルギー等の利用としては、焼却排熱や下水・海水・河川熱の割合が大きいですが、木質バイオマスの利用も増え始めている。
- 森林資源の豊富な地域では木質バイオマスを熱源とする小規模な地域熱供給が自治体を中心に進められているが、事業性に乏しく補助金等による支援が必要な状況である。

# 第4世代地域熱供給フォーラム(4DHフォーラム)

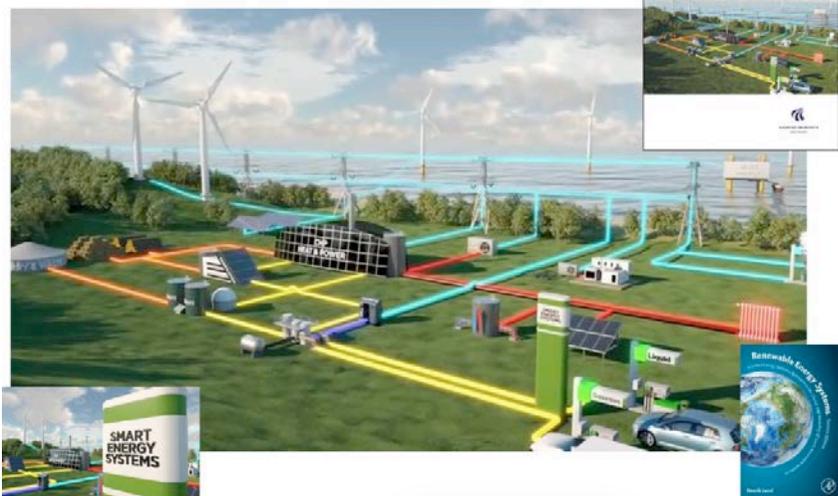
- 再生可能エネルギーの熱政策の実現や熱利用の普及のための調査・研究・意見交換・交流の場として、ISEPでは、デンマーク関係機関との協力のもとで、関連する研究者・行政・NGOなどで構成される「第4世代地域熱供給フォーラム」(略称：4DHフォーラム)を2018年10月に立ち上げた。
- パリ協定に基づく欧州の熱戦略やロードマップに基づく第4世代地域熱供給の知見・経験の共有を図るとともに、国内外での会議への参加や研究会・シンポジウムを開催し、国内での自然エネルギー熱利用普及のためのネットワーク形成を目指す。

4DHフォーラム・ホームページ <http://4dh.isep.or.jp/>



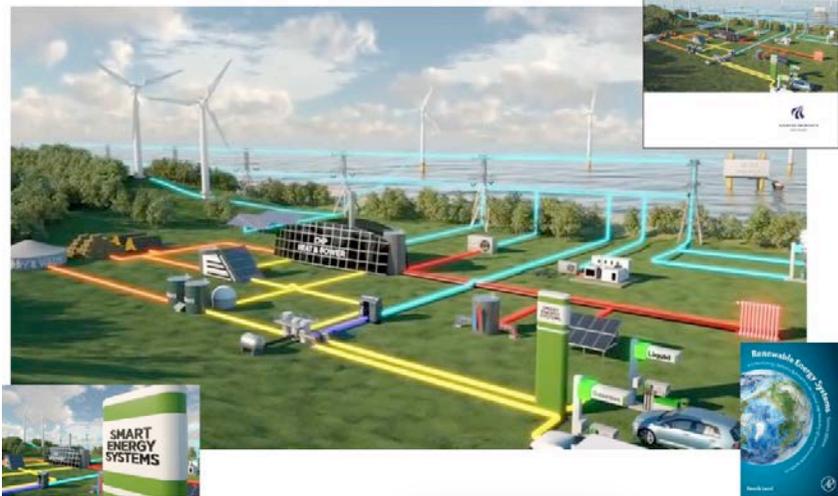
# 4DHフォーラムのイベント開催(2020年以降)

## Smart Energy Systems



- 2023年10月20日「**スマートエネルギーシステムによる熱の脱炭素化の最前線**」4DHフォーラム国際シンポジウム
- 2023年3月27日「**地域の脱炭素化のデザインとロードマップ**」第6回オンラインセミナー
- 2022年11月14日「**セクターカップリングによる地域の脱炭素化～再生可能エネルギー100%のスマートエネルギーシステム**」第5回オンラインセミナー
- 2022年3月22日「**スマートエネルギーシステムによる地域の脱炭素化～再生可能エネルギー100%に向けた地域デザイン**」第4回オンラインセミナー
- 2021年10月26日「**スマートエネルギーシステムへの取り組み～セクターカップリングによる地域の脱炭素化**」第3回オンラインセミナー
- 2021年6月24日「**デンマーク地域熱供給の最前線～地域熱供給白書2020年改訂版より～**」国際オンラインセミナー第3回
- 2021年3月25日「**脱炭素化を目指す世界の熱エネルギー供給の最前線**」国際オンラインセミナー第2回
- 2020年12月11日「**脱炭素化を目指す欧州のスマートエネルギーシステム**」国際オンラインセミナー
- 2020年9月28日「**第4世代地域熱供給とスマートエネルギー**」第2回オンラインセミナー
- 2020年3月13日「**4DH国際シンポジウム**」開催中止

## Smart Energy Systems



# 4DHフォーラム国際シンポジウム

「スマートエネルギーシステムによる熱の脱炭素化の最前線」

日時: 2023年10月20日(金)14:00~16:00

会場: TKP市ヶ谷カンファレンスセンター ホール5C  
& オンライン(Zoomウェビナー)

主催: NPO法人 環境エネルギー政策研究所(ISEP)

共催: 一般社団法人全国ご当地エネルギー協会

助成: 独立行政法人環境再生保全機構地球環境基金

参加費: 無料

詳細: <https://www.isep.or.jp/event/14490>

プログラム:

14:00 開会

基調講演:

「スマートエネルギーシステムと第4世代地域熱供給(4DH)」

Henrik Lund(オールボー大学 教授)

パネル討論「熱の脱炭素化に向けた地域の取組み」

- ・報告1:「脱炭素先行地域での4DHへの取組み」
- ・報告2:「地域エネルギー需給データベースと地域での取組み」
- ・報告3:「PED "Positive Energy District"への取組み」

16:00 閉会

# 第4世代地域熱供給4DHガイドブック

目次：

はじめに

1. 第4世代地域熱供給(4DH)とは
2. 第4世代地域熱供給の背景
3. 第4世代地域熱供給の設計コンセプト
4. エネルギー需給の脱炭素化とスマート化
5. 日本での第4世代地域熱供給の展開に向けて
6. 自然エネルギー100%への展開
7. 参考資料

ダウンロード：

<https://www.isep.or.jp/4dh-forum/4dh-guidebook>



# State of Green “District Energy” 「地域熱供給白書2020年改訂版」日本語翻訳



## 目次：

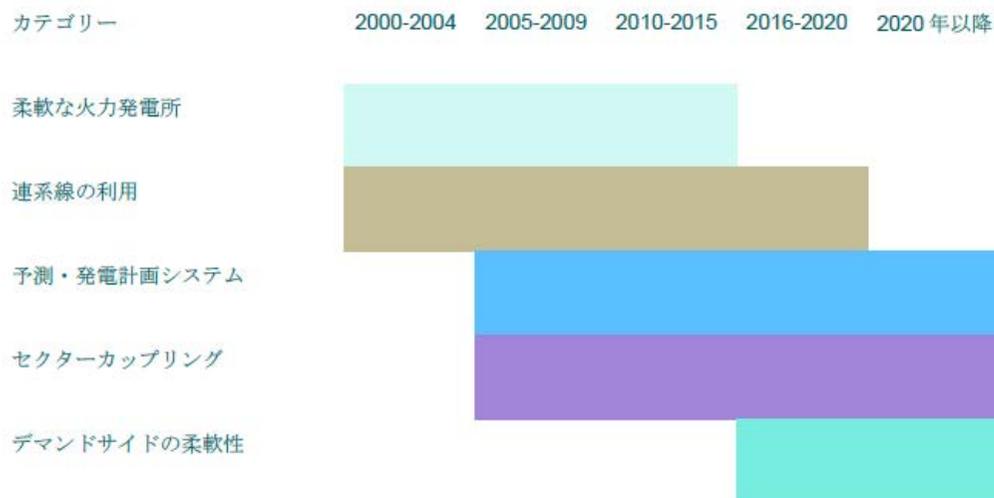
1. 地域熱供給の核心
2. 最新の地域熱供給熱導管システム
3. デジタル化が計測可能な結果をもたらす
4. デンマークの地域熱供給の歴史的概要
5. 地域熱供給の成功の鍵
6. デンマークの熱供給マップ
7. 計画と規制 - 必要となる条件
8. コペンハーゲン広域の統合された地域熱供給システム
9. 世界最大級の太陽熱と熱電併給CHPプラントの共存
10. ハーフェンシティ・ハンブルクの地域熱供給
11. バンヒル・ヒート&パワー
12. シャングリラ市でのエネルギー効率の向上
13. 燃料の柔軟性が地域熱供給の持続可能性を高める
14. 受賞歴のある太陽熱地域熱供給
15. 余剰熱を利用した住宅の暖房
16. データセンターの余剰熱を利用した地域熱供給
17. 蓄熱の必要性
18. 大規模な蓄熱の可能性
19. 地域熱供給の未来
20. グローバルな再生可能エネルギーとエネルギーセキュリティに焦点を当てた熱分野の取り組み
21. コペンハーゲン市場
22. 低温地域熱供給に移行中の地方自治体
23. コペンハーゲンの地域冷房でのCO2排出量削減
24. 新たな都市エリアのためのインテリジェントなエネルギー・ソリューション

<http://communitypower.jp/5740>



# レポート「デンマークの電力システムにおける柔軟性の発展とその役割」 デンマークエネルギー庁(2021)レポート日本語翻訳版

- 変動性再生可能エネルギー(VRE)で電力の50%をまかなう：デンマークの電力システムにおける柔軟性の役割
- 柔軟性の鍵としての電力市場
- 得られた知見：2000年から2020年までの柔軟性ソリューションを時系列で振り返る



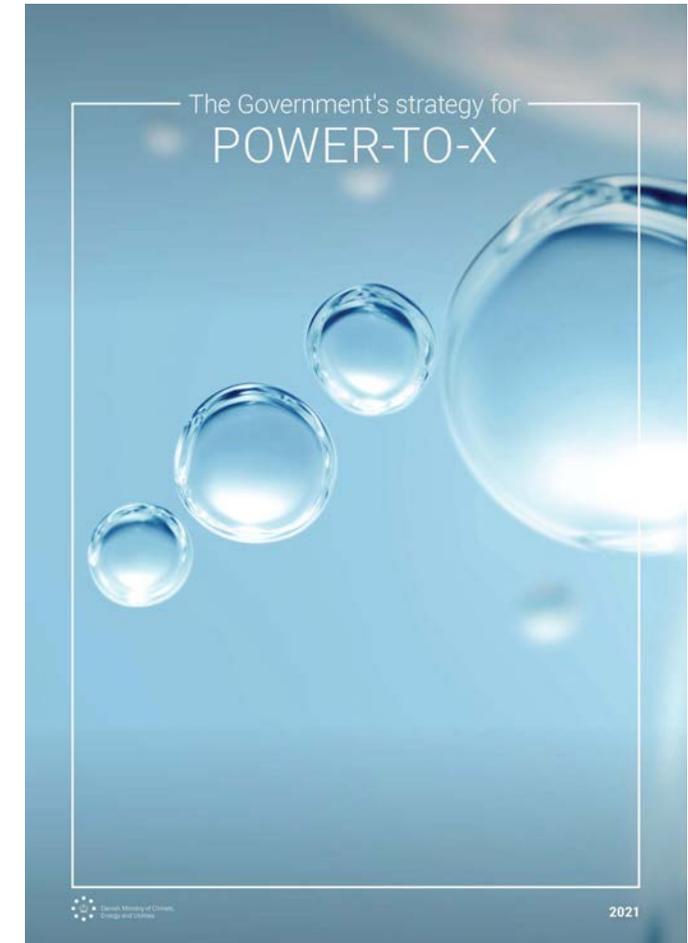
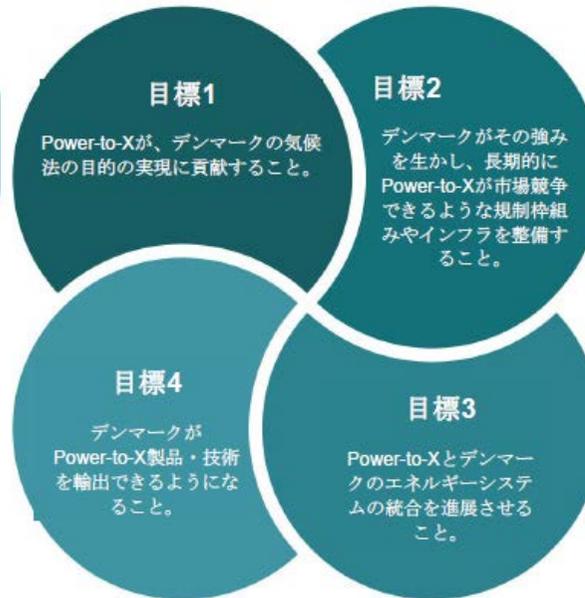
<https://www.isep.or.jp/archives/library/13612>



# レポート「デンマークのPower-to-X戦略」(日本語翻訳)



## デンマークにおけるPtXのバリューチェーン



<https://www.isep.or.jp/archives/library/14207>

# ご清聴ありがとうございました!



第4世代地域熱供給  
4DHフォーラム  
<http://4dh.isep.or.jp/>

