

世界での熱供給における脱炭素化への最新動向

特定非営利活動法人 環境エネルギー政策研究所

松原弘直

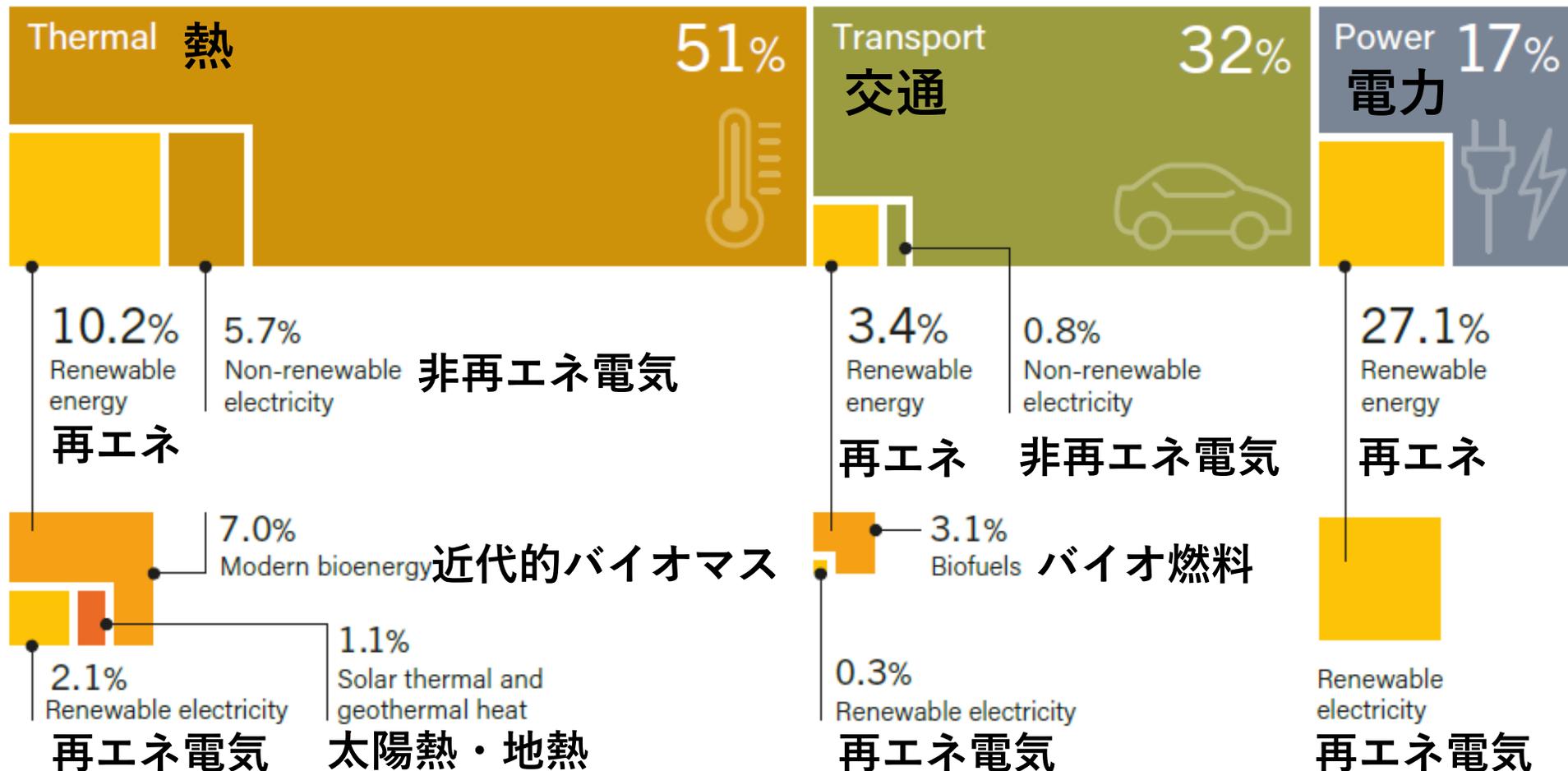
2022年3月16日



特定非営利活動法人 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
<https://www.isep.or.jp/>

世界のエネルギー需要に占める再生可能エネルギー割合

- 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

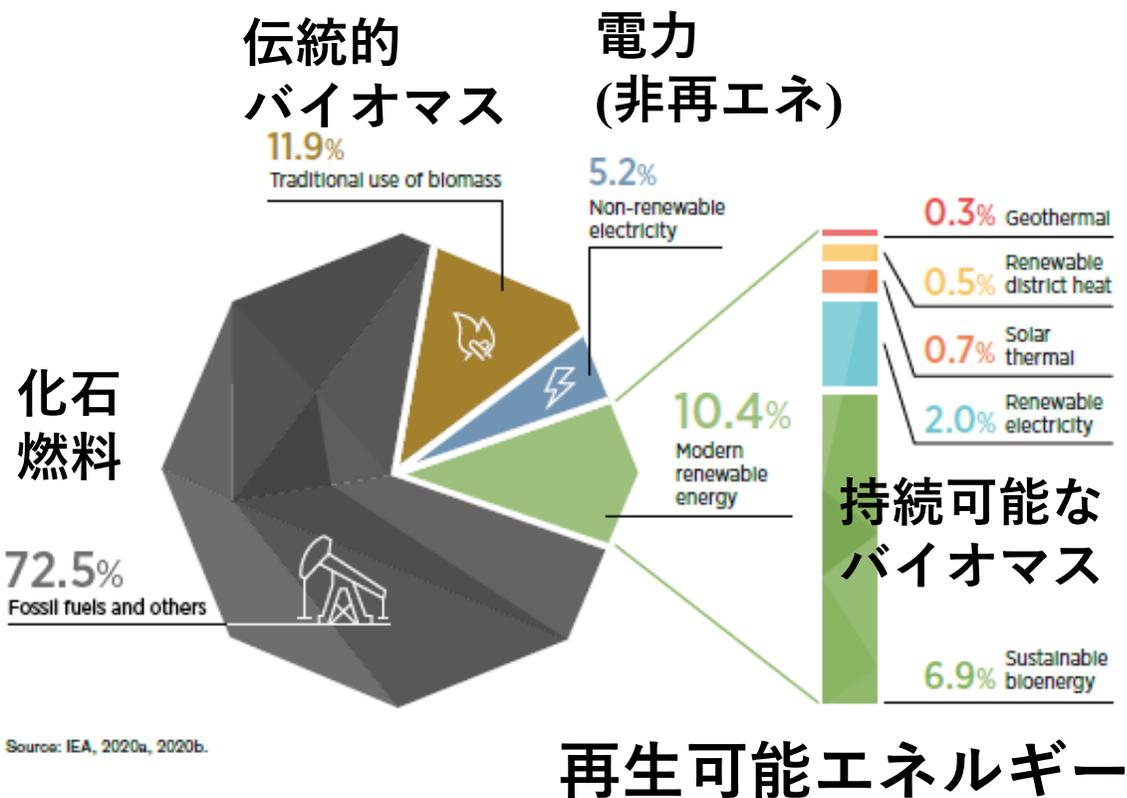


出典: REN21 「自然エネルギー世界白書2021」 <http://www.ren21.net/gsr>

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

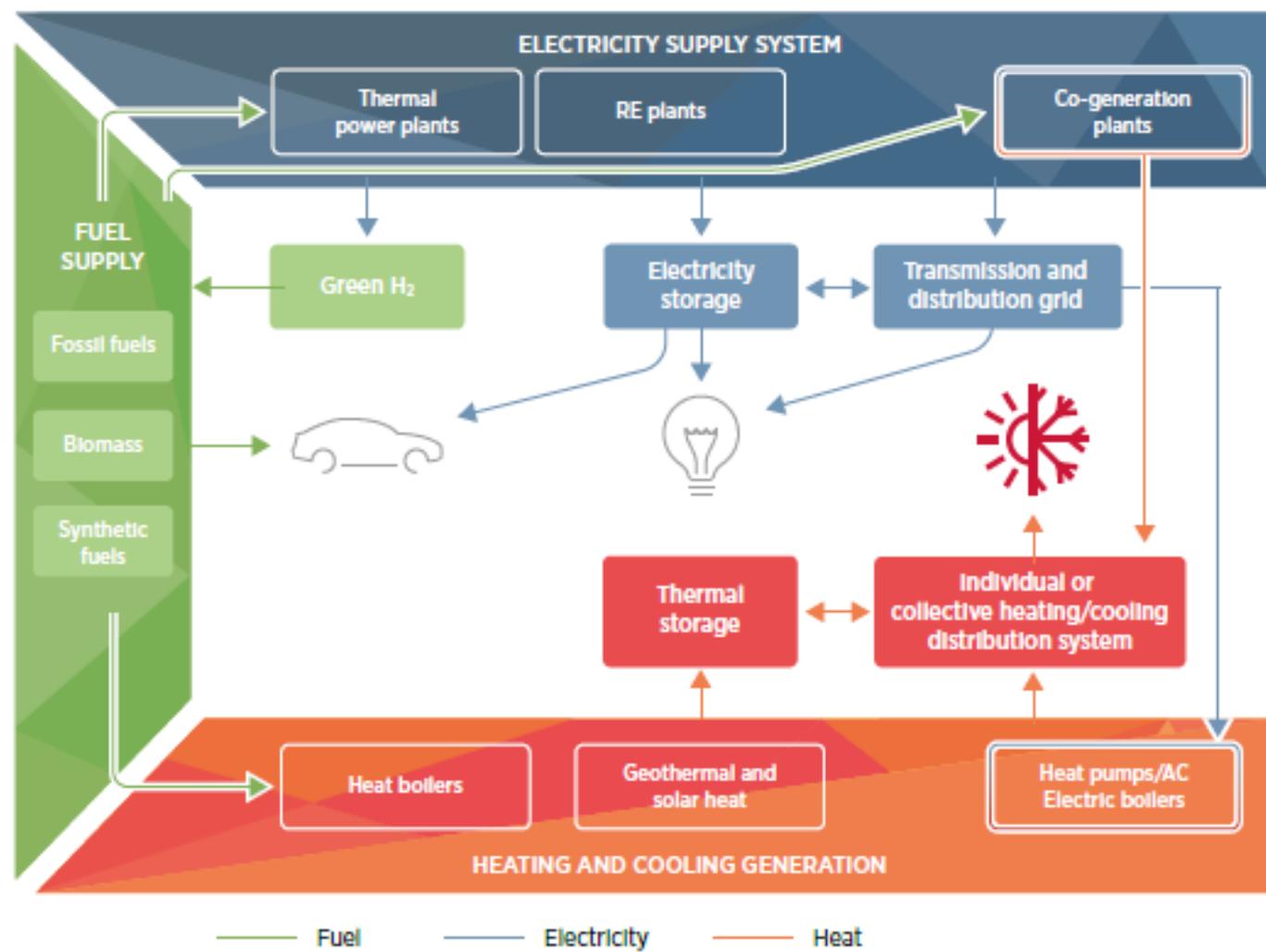
再生可能エネルギー熱利用によるベネフィット



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

エネルギー転換への道筋 TRANSFORMATION PATHWAYS

1. 再生可能エネルギーを使った電化
2. 再生可能エネルギー・ガス
3. 持続可能なバイオマス利用
4. 太陽熱の直接利用
5. 地熱の直接利用

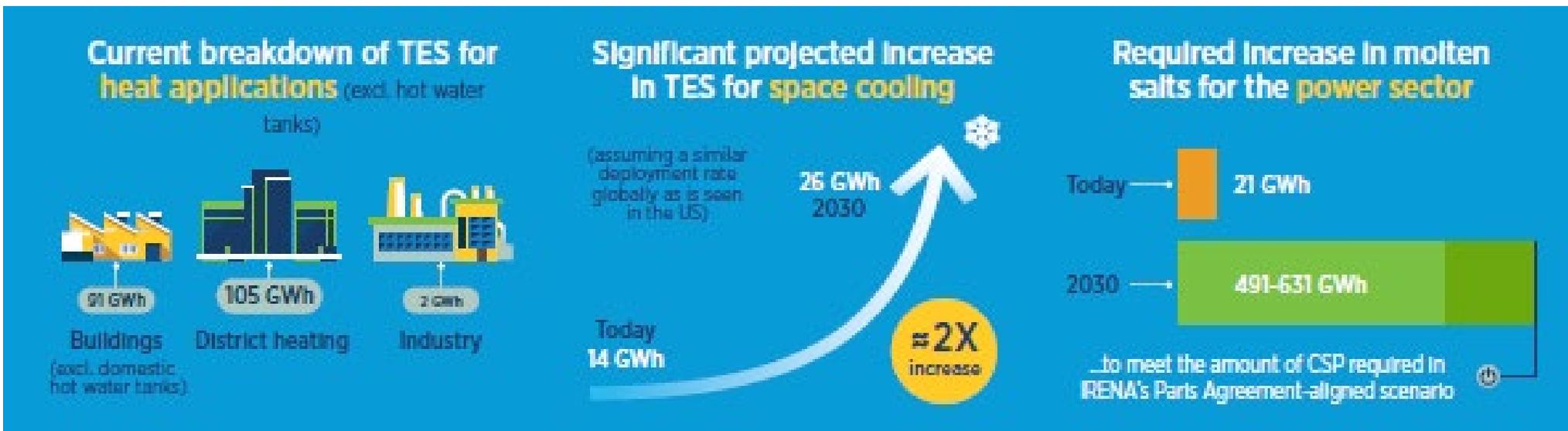


Source: IRENA, IEA and REN21, 2018.

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

IRENA(2020): Innovation Outlook: Thermal Energy Storage

熱エネルギー貯蔵(TES)は、エネルギーシステムにおける再生可能エネルギーの普及を促進する重要な手段となる可能性がある。



熱利用におけるTESの現状

- 建築物: 91 GWh
- 地域熱供給: 105 GWh
- 産業: 2 GWh

冷房における
TESの導入量は
2030年までに倍
増

電力分野での
熔融塩の利用

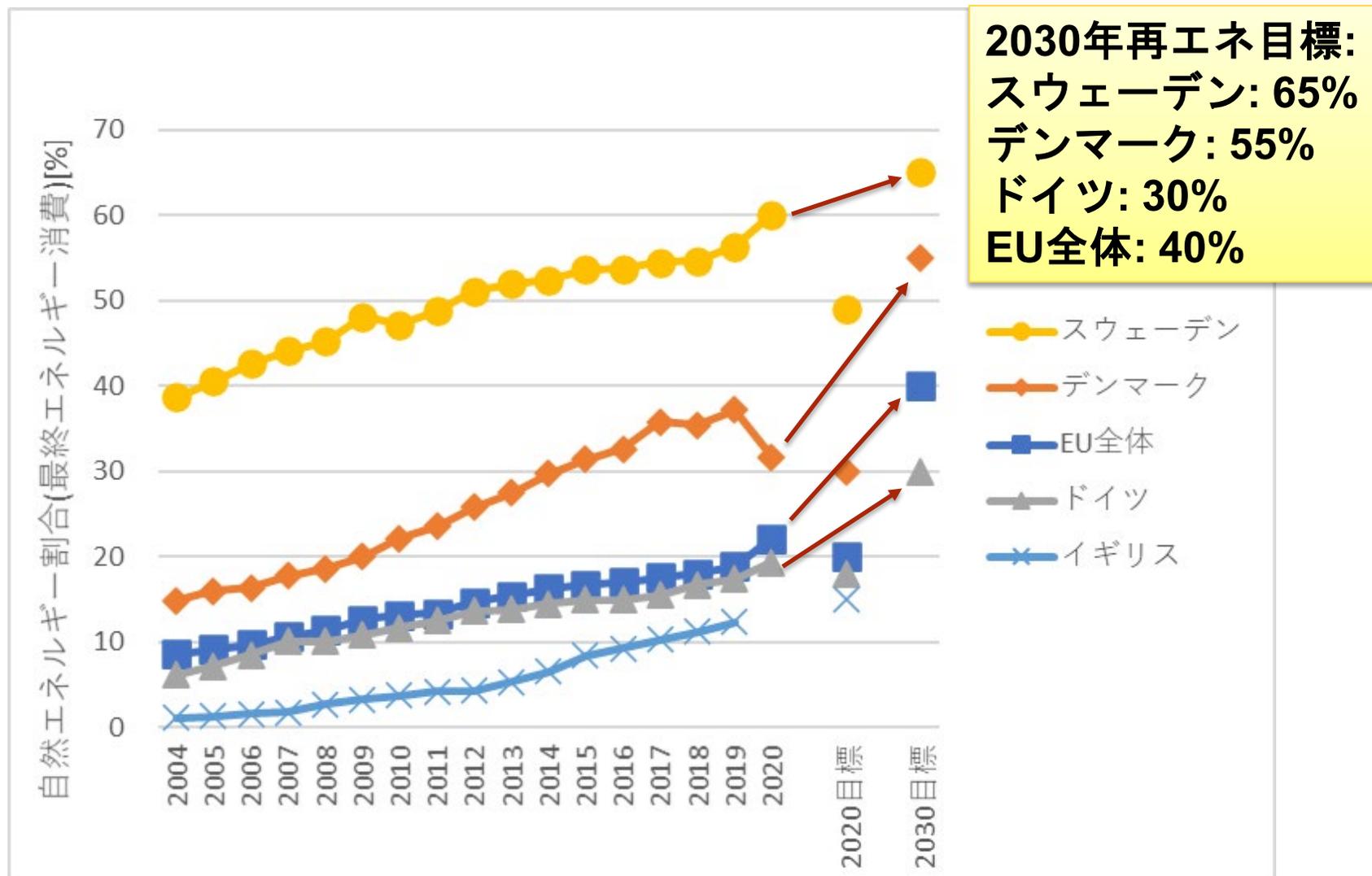
- ・ 21 GWh(現在)
- ・ 491-631GWh(2030)

出典: IRENA (2020), Innovation Outlook: Thermal Energy Storage

<https://www.irena.org/publications/2020/Nov/Innovation-outlook-Thermal-energy-storage>

環境エネルギー政策研究所

欧州各国の再生可能エネルギー割合(最終エネルギー消費)と目標



出所: eurostatデータより作成

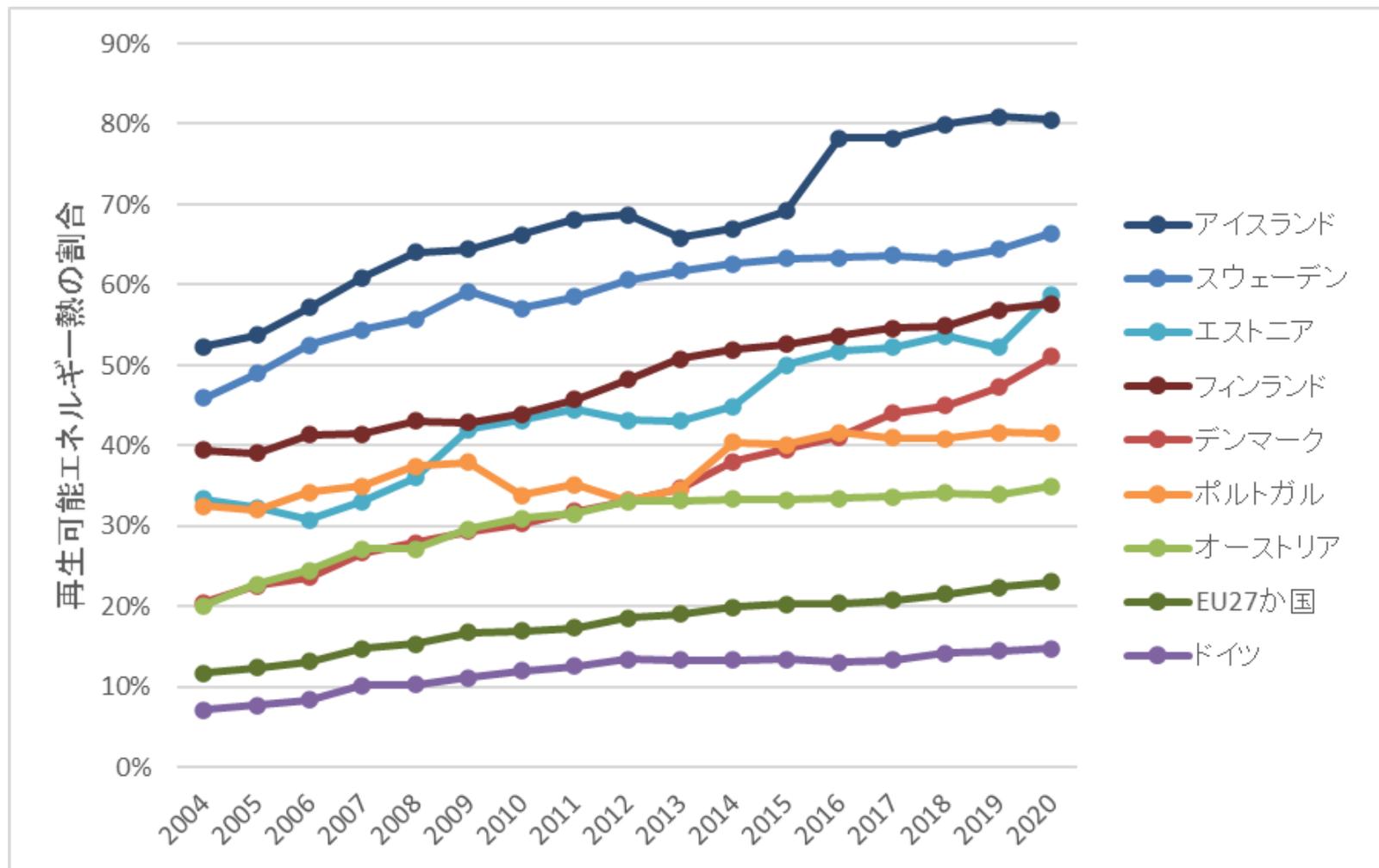
欧州各の再生可能エネルギー導入目標の達成国

電力部門だけではなく、熱部門でも自然エネルギーの割合が高い

目標達成国	2030年目標	2020年目標	2020年実績	電力	熱	交通
スウェーデン	65%	49%	60.1%	74.5%	66.4%	31.9%
フィンランド	51%	38%	43.8%	39.6%	57.6%	13.4%
ラトビア	50%	40%	42.1%	53.4%	57.1%	6.7%
オーストリア	50%	34%	36.5%	78.2%	35.0%	10.3%
ポルトガル	47%	31%	34.0%	58.0%	41.5%	9.7%
デンマーク	55%	30%	31.6%	65.3%	51.1%	9.6%
クロアチア	36%	20%	31.0%	53.8%	36.9%	6.6%
エストニア	42%	25%	30.2%	29.2%	57.9%	12.2%
リトアニア	45%	23%	26.8%	20.2%	50.4%	5.5%
EU27カ国	40%	20%	22.1%	37.5%	23.1%	10.2%

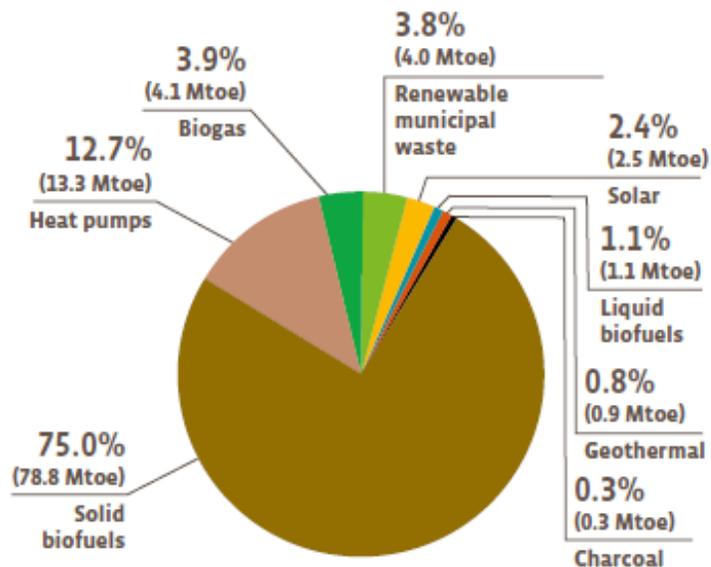
出典：Eurostatデータより作成

欧州各国の自然エネルギー熱利用の割合の推移



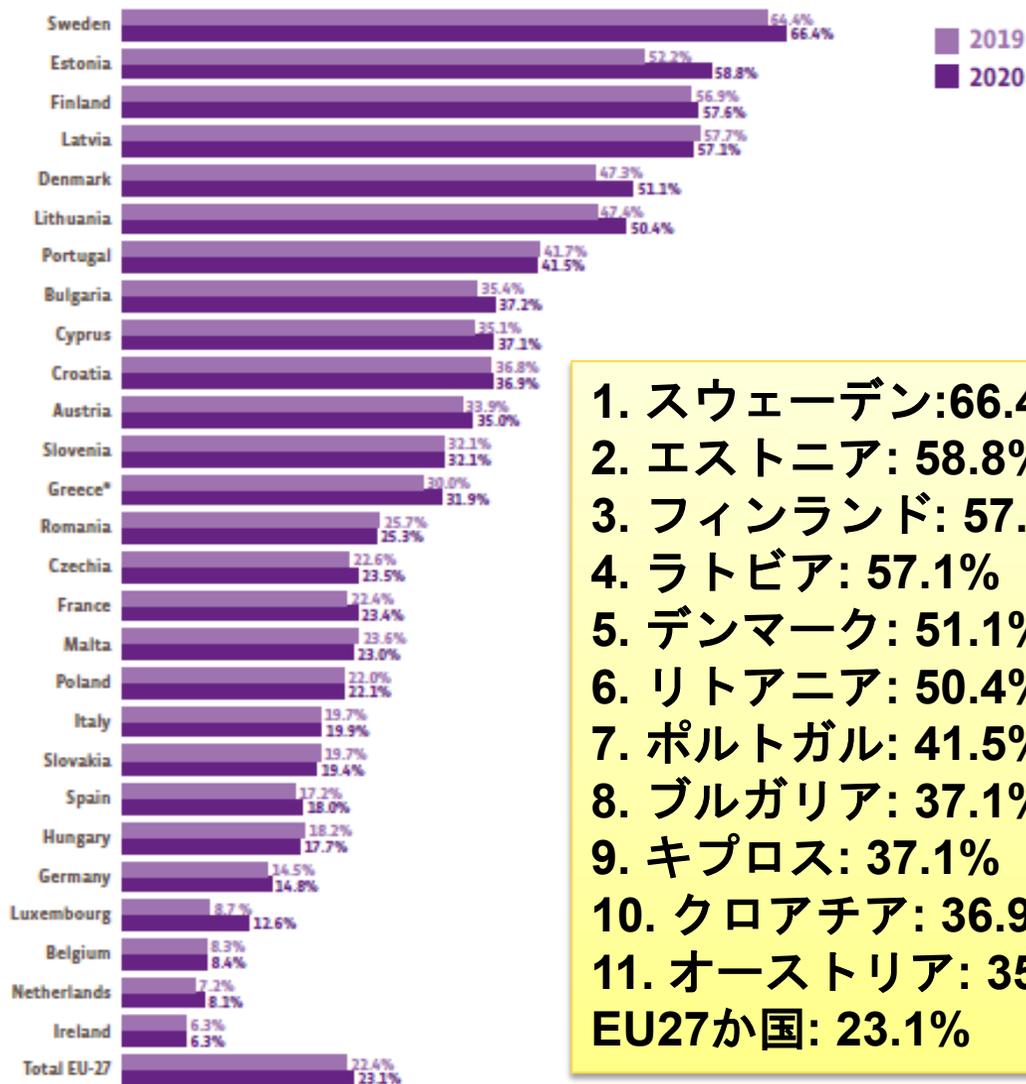
出典：Eurostatデータより作成

欧州(EU27カ国)の自然エネルギー熱の普及率(2020年)



2020: total 105.0 Mtoe

- 固体バイオマス: 75.0%
- ヒートポンプ: 12.7%
- 廃棄物: 3.8%
- バイオガス: 3.9%
- 太陽熱: 2.4%
- 液体バイオマス燃料: 1.1%
- 地熱: 0.8%



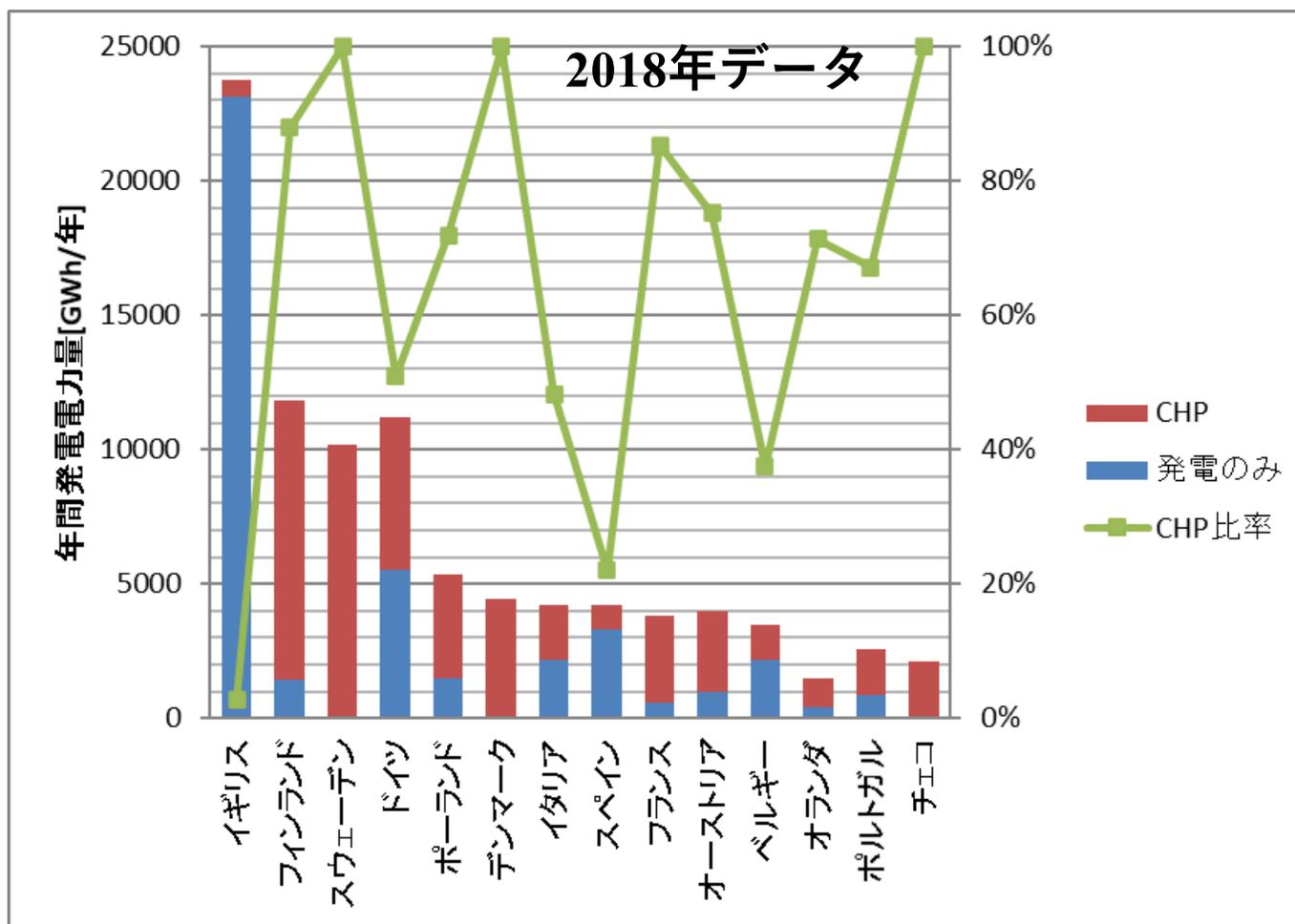
1. スウェーデン: 66.4%
 2. エストニア: 58.8%
 3. フィンランド: 57.6%
 4. ラトビア: 57.1%
 5. デンマーク: 51.1%
 6. リトアニア: 50.4%
 7. ポルトガル: 41.5%
 8. ブルガリア: 37.1%
 9. キプロス: 37.1%
 10. クロアチア: 36.9%
 11. オーストリア: 35.0%
- EU27か国: 23.1%

出典: EurObserv'ER

EU各国の木質バイオマス発電の年間発電量(2018年)

英国以外の国では、木質バイオマス発電の主力はCHP(熱電併給)

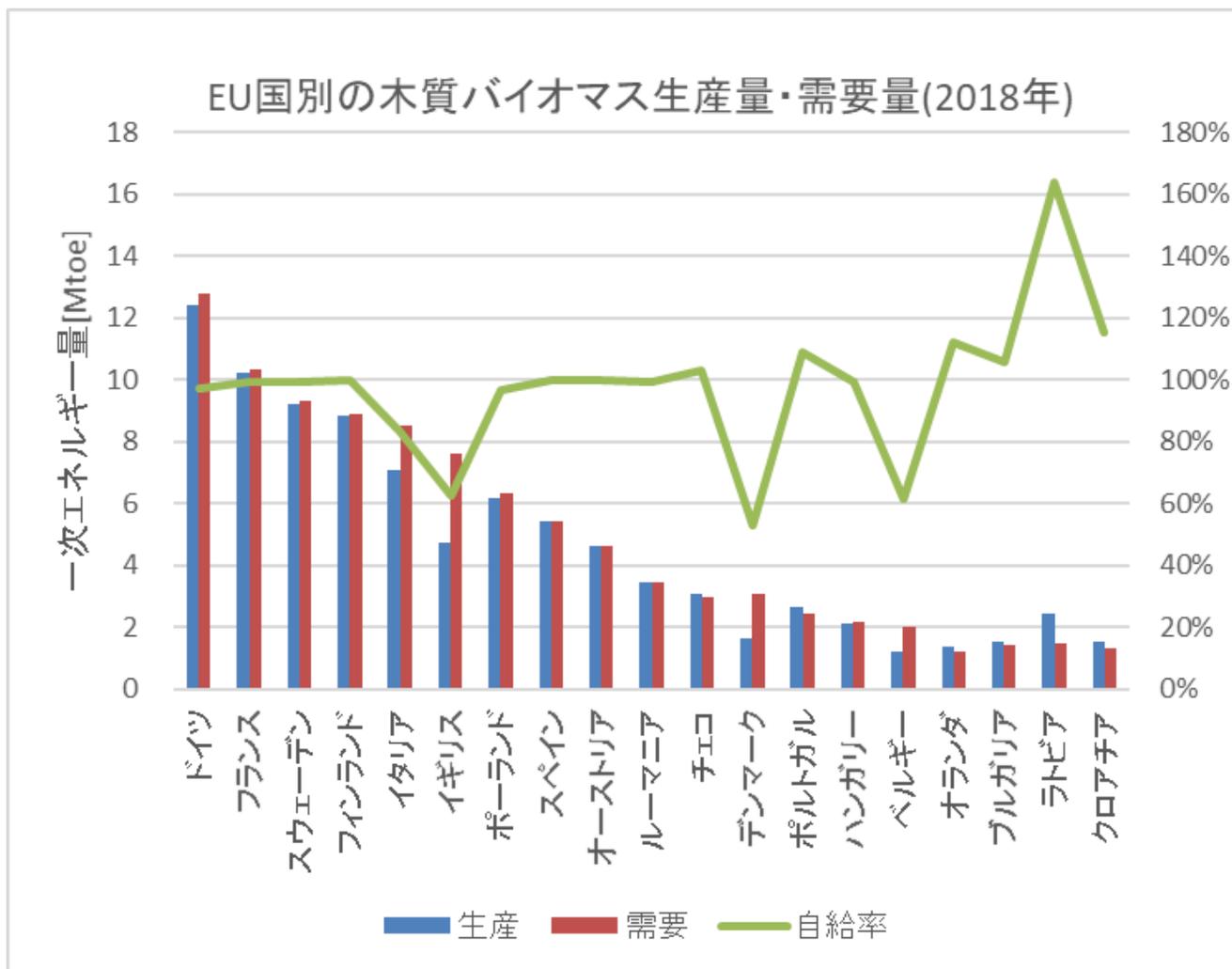
EU28カ国全体では56%がCHPによる発電



出典：EurObserv'ERデータ等より作成

EUの国別の木質バイオマス燃料の生産量・需要量(2018年)

需要が生産量を上回るのは、イギリス、イタリア、デンマーク、ベルギー等



出典：EurObserv'ERデータ等より作成

EU:固体バイオマスおよびバイオガスのエネルギー利用(2010年) (発電、熱利用)に関する持続可能性のレポート(課題および基準の推奨)

■固体バイオマスの持続可能性に関する課題

- 生産時の持続可能性(土地の管理, 伐採と植林)
- 土地利用、土地利用の変更、森林会計
- ライフサイクル温室効果ガス評価
- エネルギー変換効率

EC(2010): Report “on sustainability requirements for the use of solid and gaseous biomass sources in electricity, heating and cooling ”

■固体バイオマスの利用に関する持続可能性スキーム・基準をEU各国に推奨

○推奨する基準:

- 温室効果ガス評価基準
- 温室効果ガス排出量の計算方法
- より高いエネルギー変換効率
- LULUCF 会計およびREDDに関連する条件

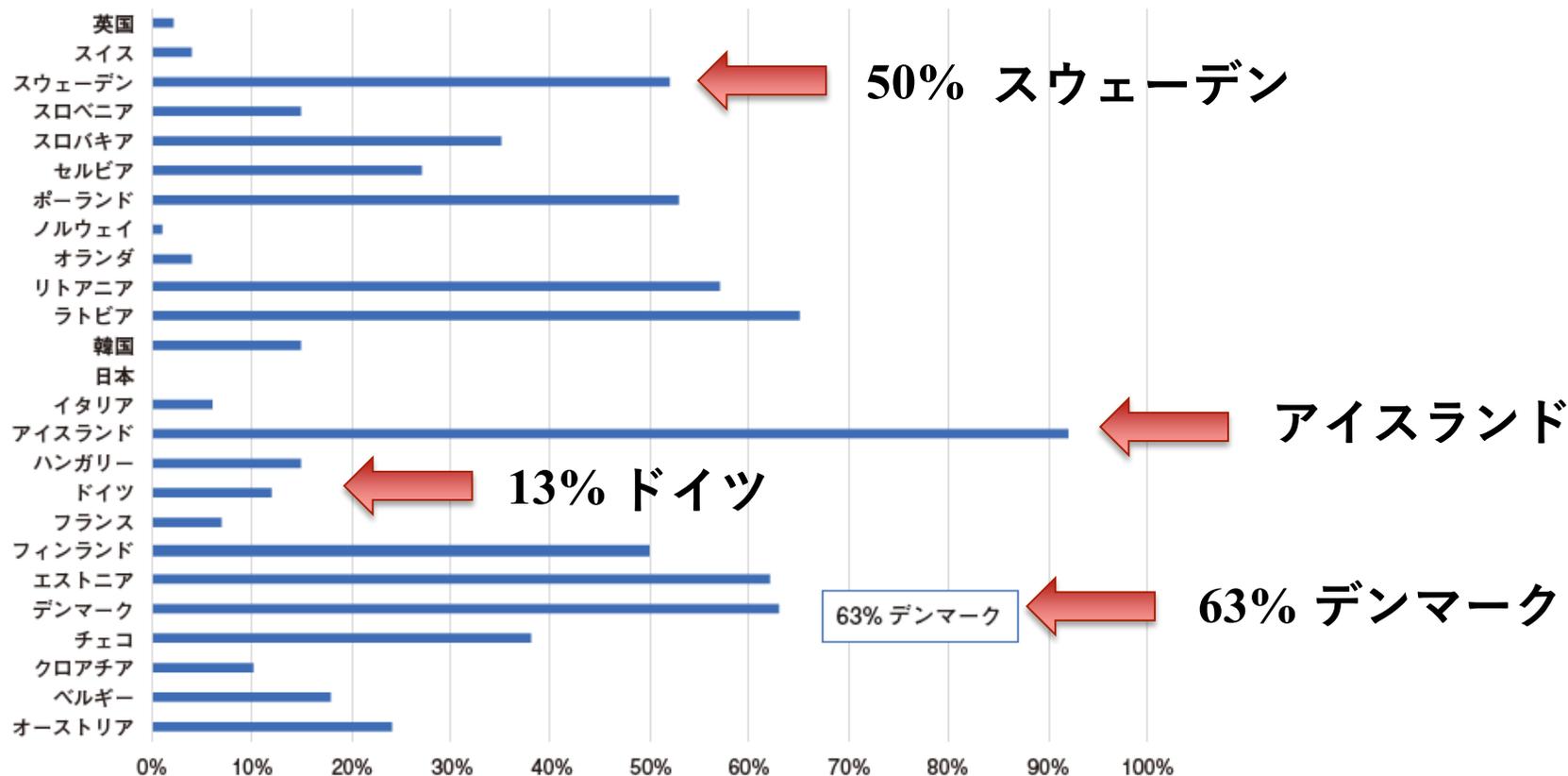


- EUのSFM(持続可能な森林管理)基準を策定(2014年)
- イギリスとオランダなどバイオマスを推進する数カ国が持続可能性基準を策定
- EUが2030年のRE導入目標(最終エネルギー需要の40%以上)を決定「欧州気候法」(2021年6月) 温室効果ガスの削減目標の55%への大幅引き上げ「グリーン・ディール構想」
- EU指令(REDII)の改訂による吸収源としての土地利用・森林保全の政策強化など

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

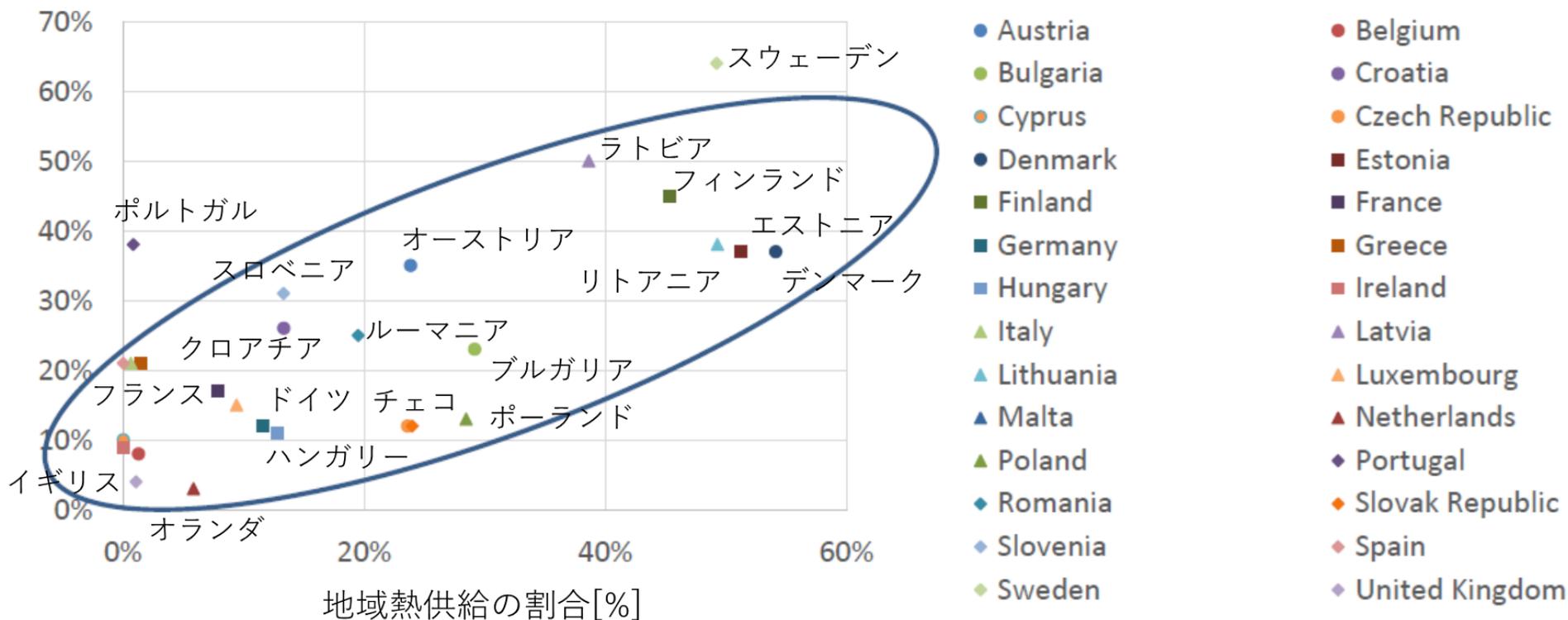
地域熱供給の普及率(人口あたり)2015年



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

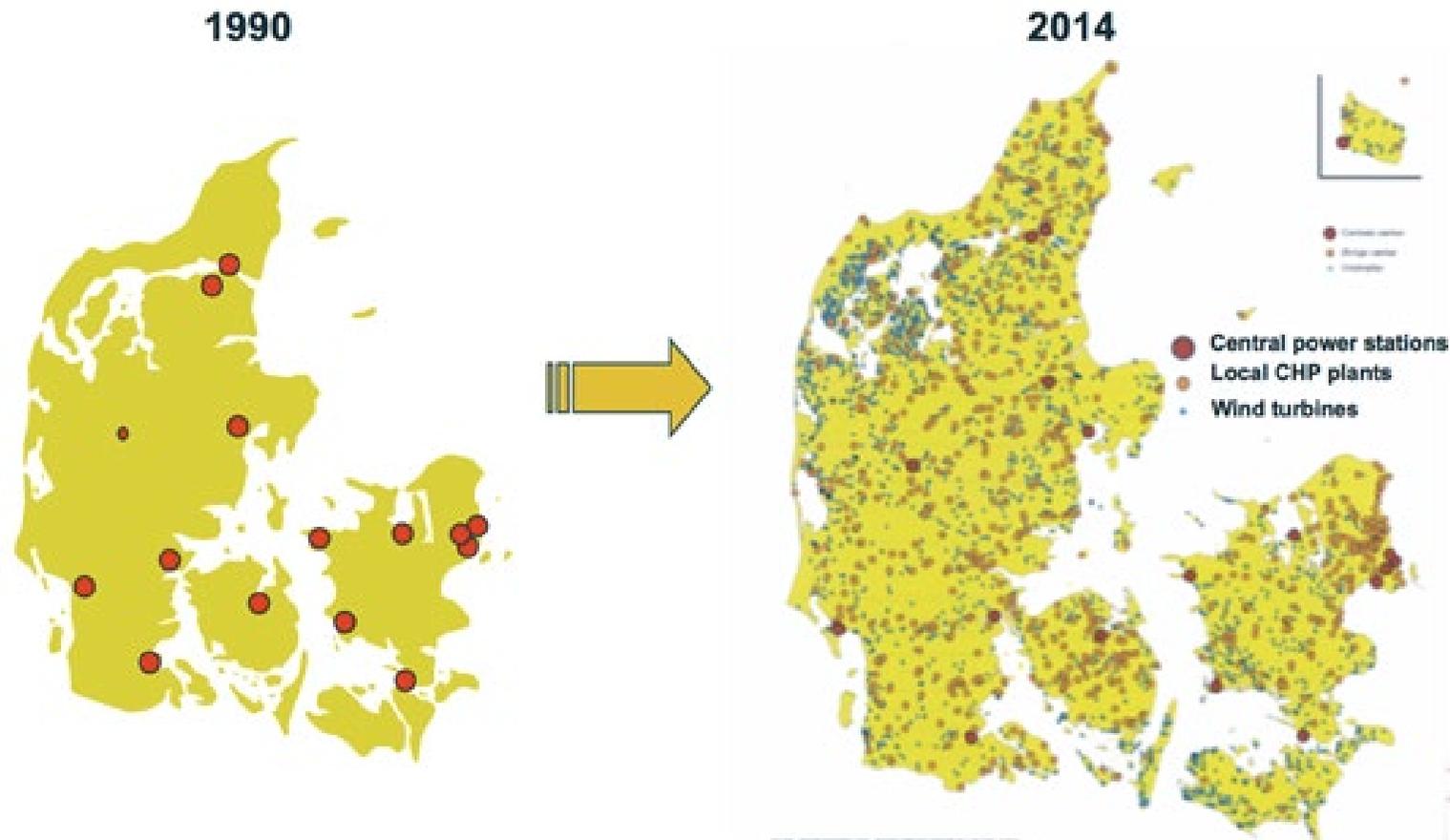


出所:Heat Roadmap Europe2050

<https://heatroadmap.eu/>

自然エネルギー100%を目指すデンマーク

- 1990年代以降、環境を重視したエネルギー政策へ転換し、デカップリングに成功
- 2035年までには発電と熱利用は自然エネルギー100%に移行し、2050年までに化石燃料を使わない社会を目指す(Energy Strategy 2050, 2011年)。



出所： Energinet.dk

デンマーク: 100%自然エネルギーシナリオ(CEESA)

電力・熱・運輸の各セクターの統合(セクターカップリング)が必要

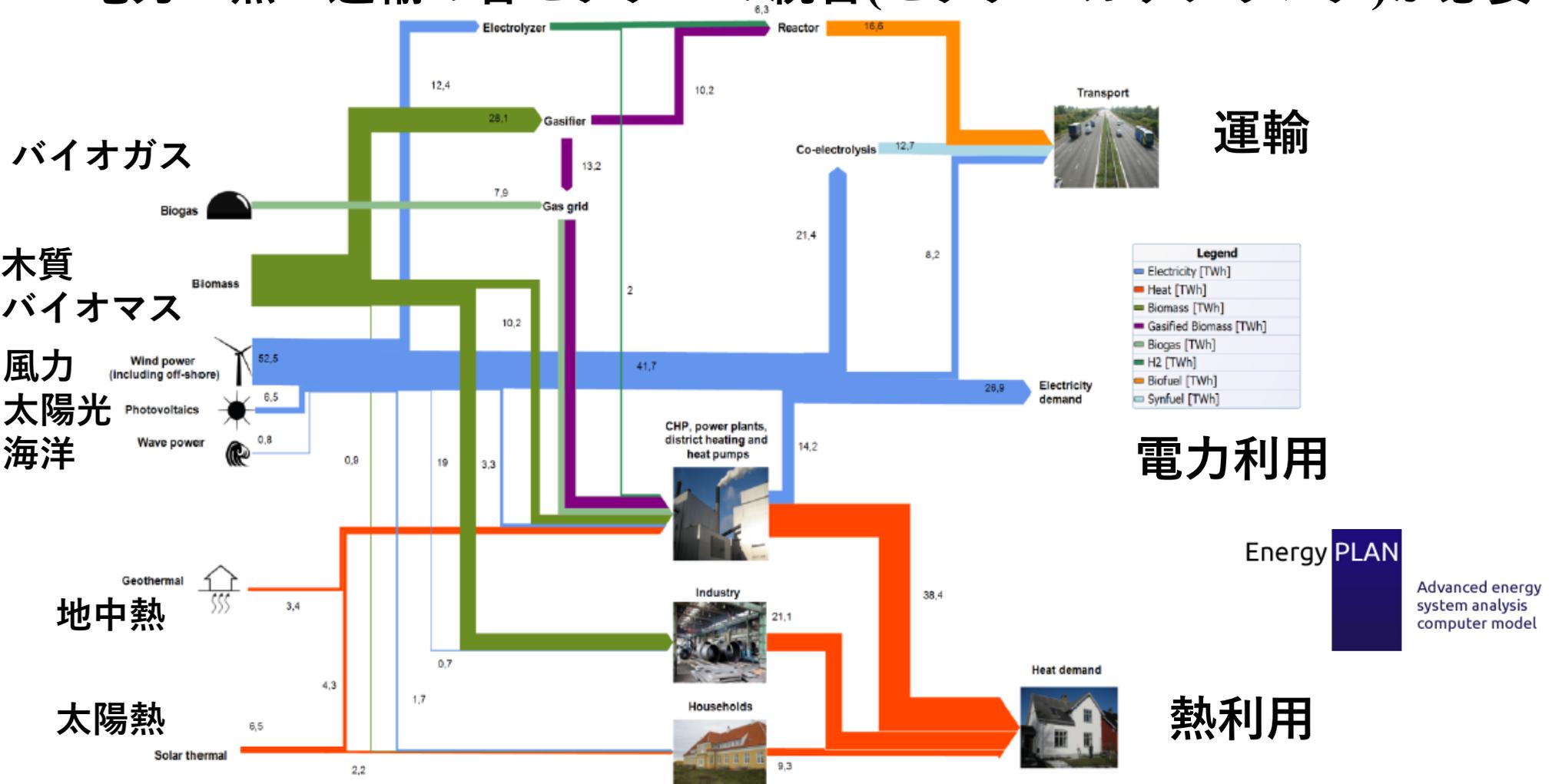
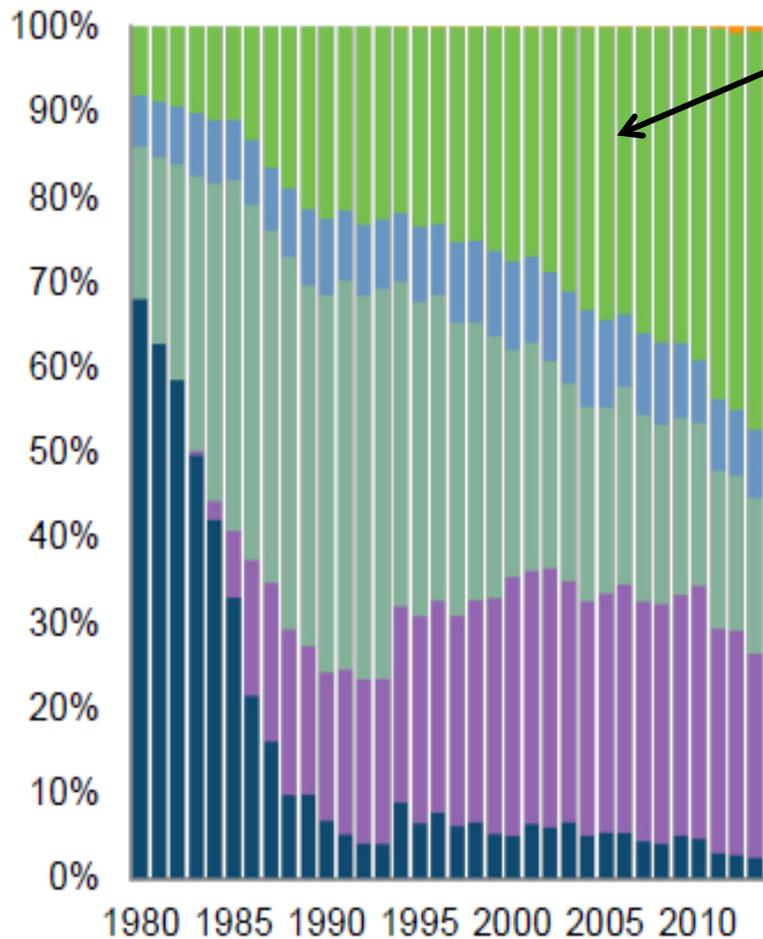


Figure 3.13, Sankey diagram of the CEESA 2050 100% renewable energy scenario.

デンマークの地域熱供給の歴史

バイオマス等の自然エネルギー

- 地中熱
ヒートポンプ
- 自然エネルギー
- 廃棄物
(バイオマス以外)
- 石炭
- 天然ガス
- 油



- オイルショック後の1979年に熱供給法が制定され、費用対効果に基づいたゾーニング(土地利用計画)を促進している。
- これまでにデンマーク全土の熱需要の約50%、家庭用需要の約63%を地域熱供給でカバーするまでになっている(熱導管の総延長3万km)。
- デンマークの火力発電はCHP(熱電併給)のみであり、燃料としては、石炭が減少し、バイオマスの利用は増加しており、天然ガスは横ばい。
- 地域熱供給のうち、CHPが73%。残りは、電気だけのプラントか、太陽熱プラントであり、太陽熱プラントは増えている。

デンマークの地域熱供給の事例

Dronninglund村

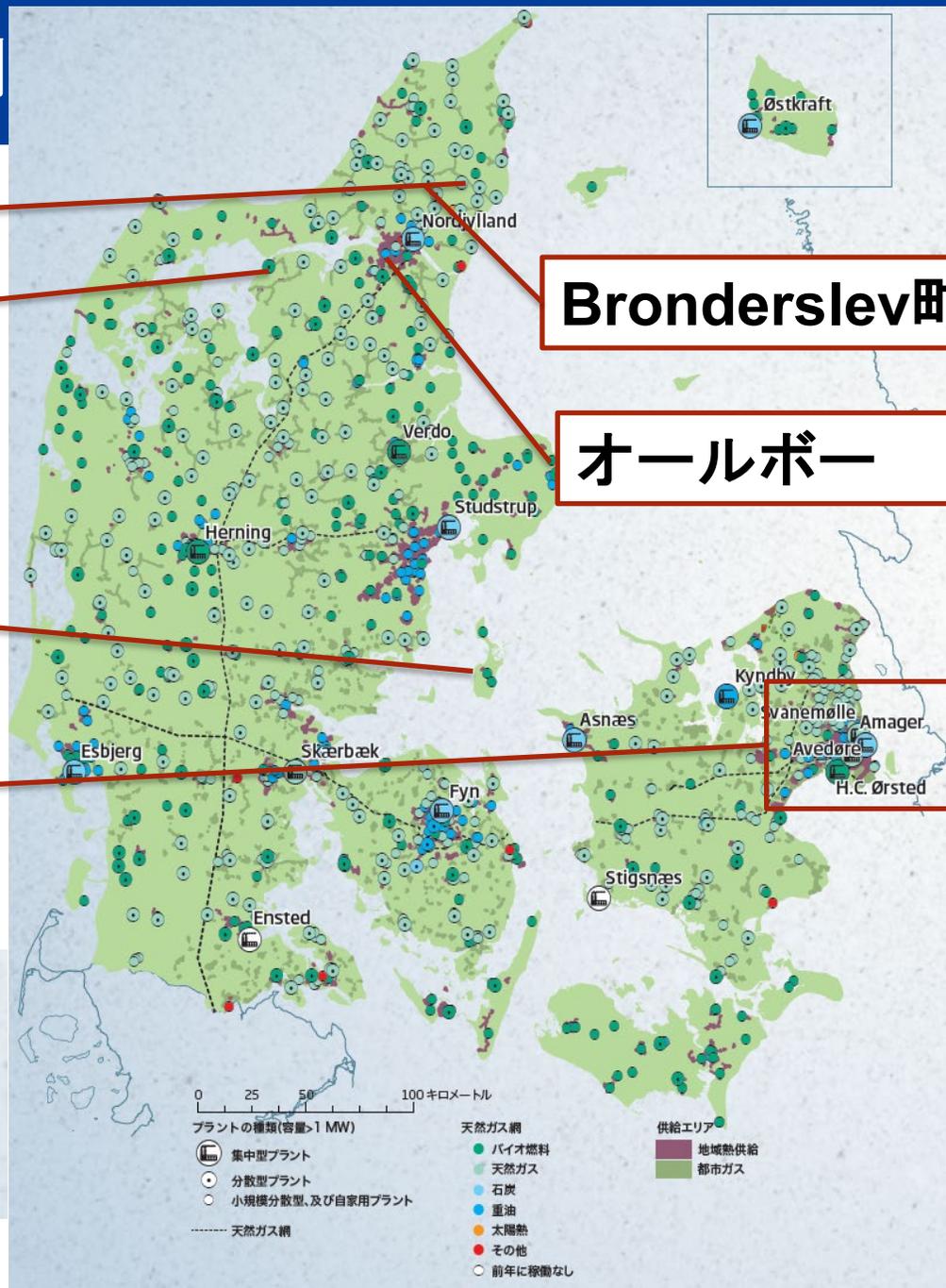
Løgstør町

Nordby/Mårup
(サムソ島)

コペンハーゲン
周辺地域

Brønderslev町

オールボー



プラントの種類(容量>1 MW)

- 集中型プラント
- 分散型プラント
- 小規模分散型、及び自家用プラント

----- 天然ガス網

天然ガス網

- バイオ燃料
- 天然ガス
- 石炭
- 重油
- 太陽熱
- その他
- 前年に稼働なし

供給エリア

- 地域熱供給
- 都市ガス

0 25 50 100 キロメートル

プラントの種類(容量>1 MW)

- 集中型プラント
- 分散型プラント
- 小規模分散型、及び自家用プラント

----- 天然ガス網

天然ガス網

- バイオ燃料
- 天然ガス
- 石炭
- 重油
- 太陽熱
- その他
- 前年に稼働なし

供給エリア

- 地域熱供給
- 都市ガス

デンマークの事例(1): オールボー地域の地域熱供給システム

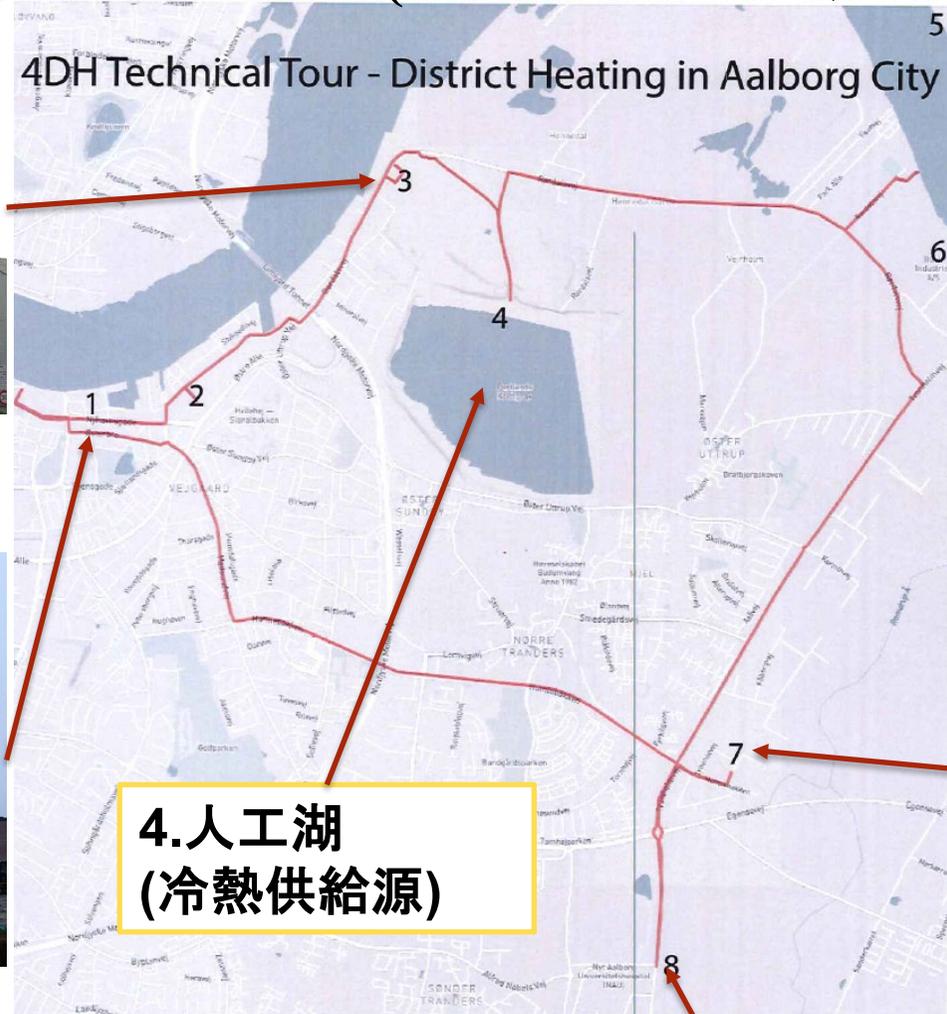
オールボー地域熱供給会社 (34000ユーザー、最大需要800MW)



3.セメント工場の排熱
(DHの約20%を供給)



1. 蓄熱槽(1.2万m3)と
ポンプ室



4.人工湖
(冷熱供給源)

8.大学病院
(新規需要先)

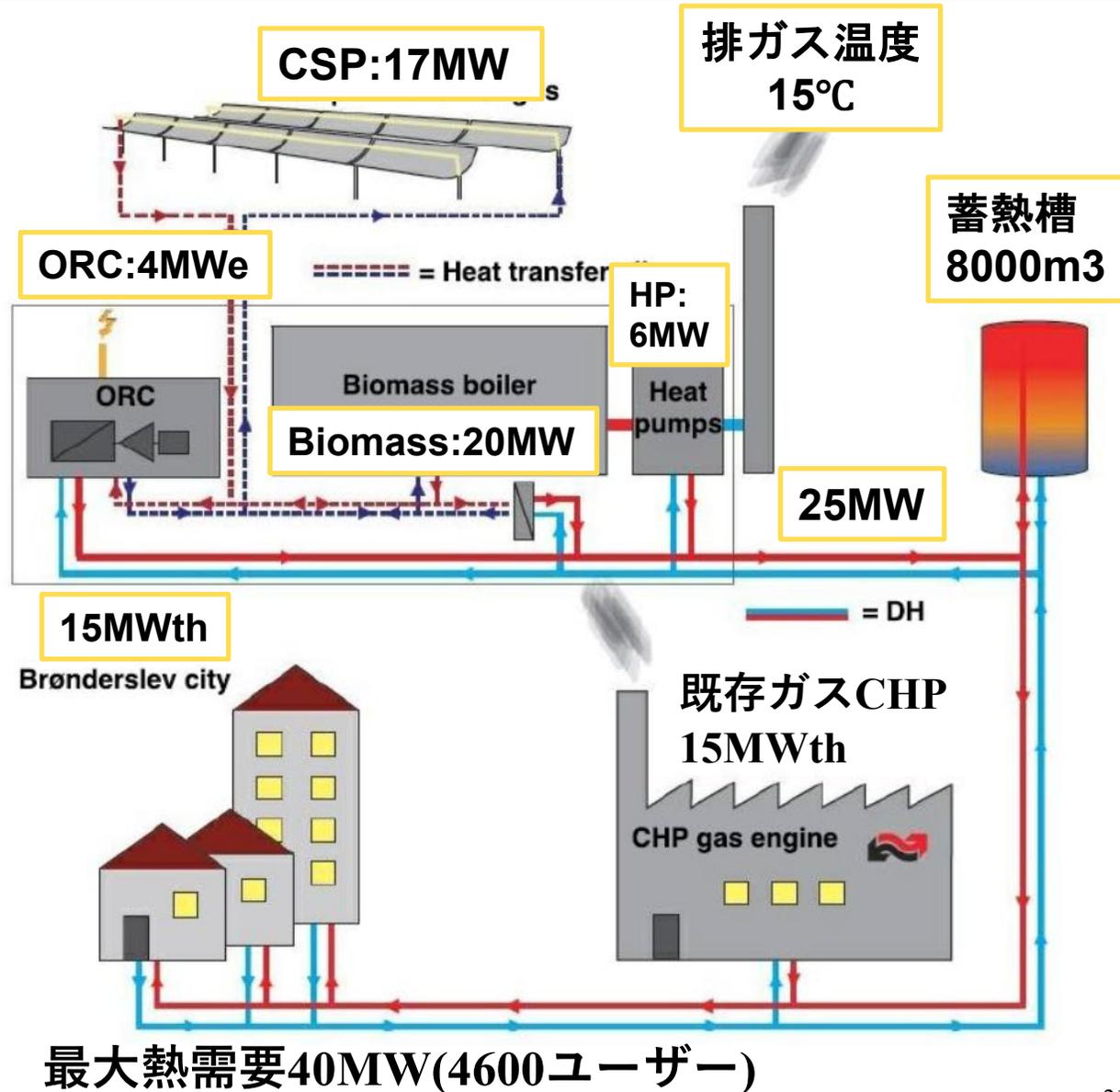
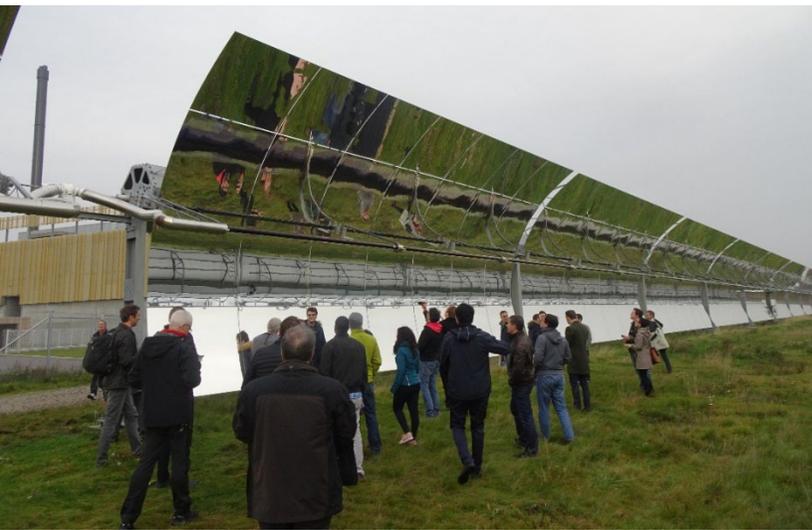


5.石炭火力CHP(500MW)
DHの約50%を供給



7.廃棄物CHP(60MW)
DHの約25%を供給

デンマークの事例(2): ORCによるCHPの最新事例 デンマーク北部Brønderslev町でのスマート地域熱供給

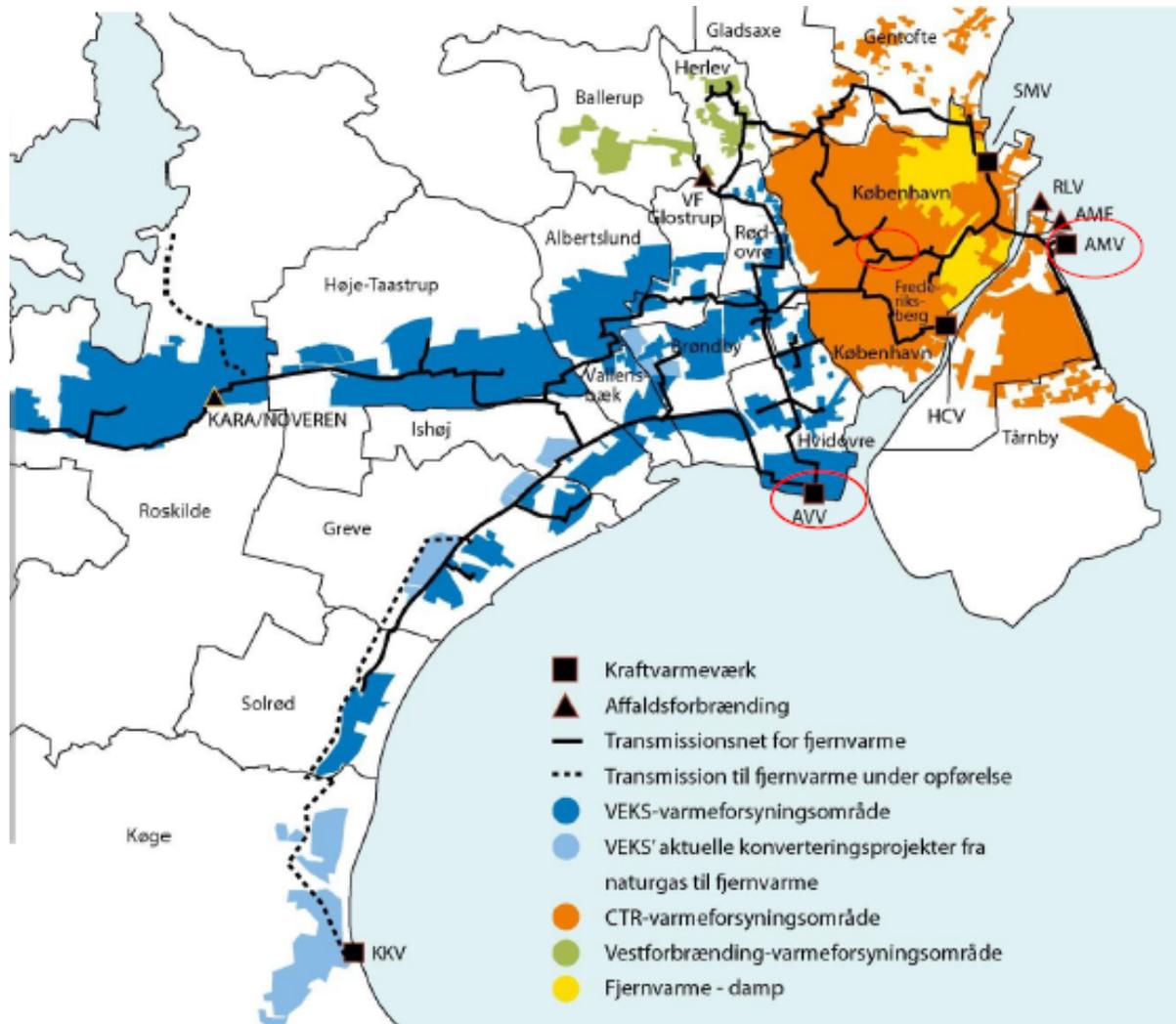


デンマークの事例(4): 地方都市の地域熱供給(ログスター町)

項目	情報	備考
わらボイラー	定格出力8MW	供給熱量比率62%
木質ペレットボイラー	定格出力8MW	供給熱量比率28%
地域冷房プラント	定格出力500kW	
年間熱供給量	75,000 MWh	最大出力34MW
蓄熱槽	1600m ³ × 2基 = 3200 m ³	
供給戸数	約2500戸	メーター一数
断熱導管の総延長	約60km	平均熱損失24%
供給温度	75°C(冬季)、72°C(夏季)	
戻り温度	40°C(冬季)、45°C(夏季)	
運営会社	Logstor 地域熱供給会社	
Løgstør町の人口	約4000人	



デンマークの事例(5): 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

デンマーク: 太陽熱地域熱供給(SDH)システム Dronninglund村(デンマーク北部)



Dronninglund地域熱供給(1989年～)

ユーザ数: 1350世帯(30万平米)

熱導管距離: 46km

年間供給熱量: 38,700MWh

年間販売熱量: 29,700MWh

熱販売価格: 71EUR/MWh

ガスCHP: 6MW

ガスボイラー: 8MW

バイオ燃料吸収式HP: 2.1MW

SDH運転開始: 2014年

太陽熱パネル: 37,573平米(26MW)

化石燃料削減率: 40%(目標50%)

ピット式蓄熱槽(PTES): 60,000立米

蓄熱容量: 5400MWh(12°C - 89°C)

最大熱供給容量: 27MW

年間蓄熱量: 11855MWh(2016年)

年間熱供給量: 10716MWh(2016年)

熱損失: 1020MWh(2016年)

投資額: 0.43EUR/kWh(232万EUR)

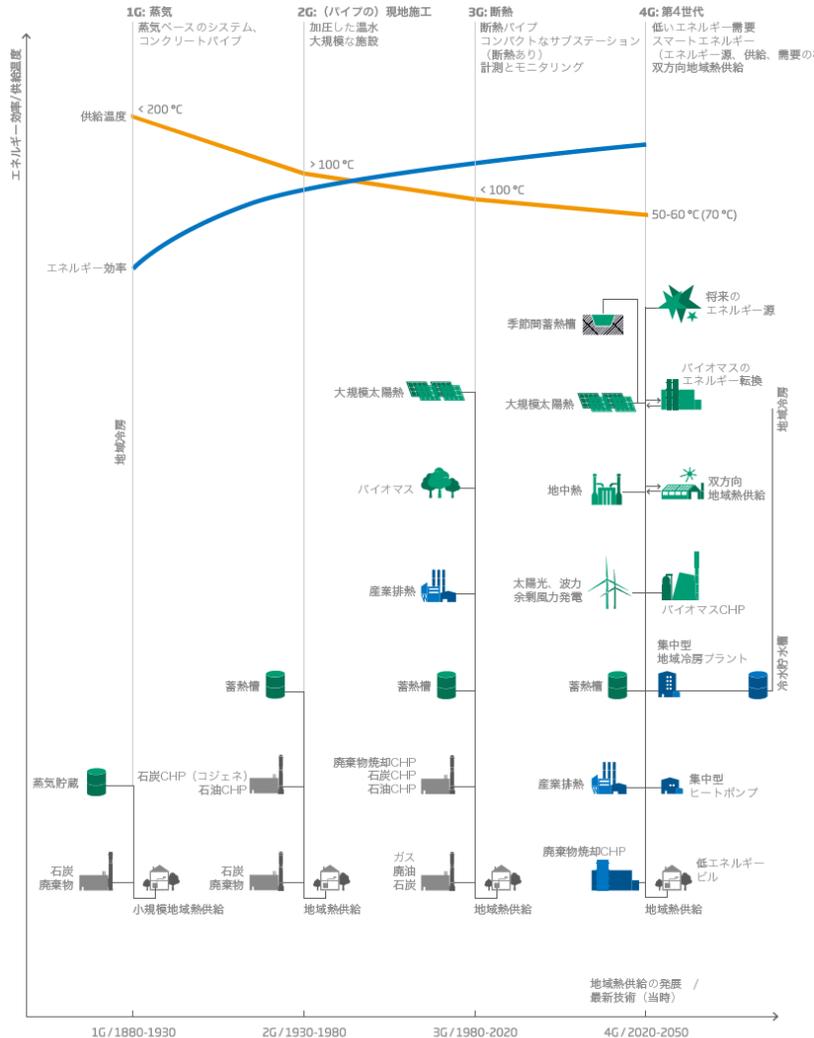
The project is subsidised from EUDP
(Energy Technological Development and Demonstration Program)
administered by the Danish Energy Agency.



助成: EUDP(Energy Technology Development and Demonstration Programme) SUNSTORE3 project(2008年～2014年)

第4世代地域熱供給(4DH)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)。

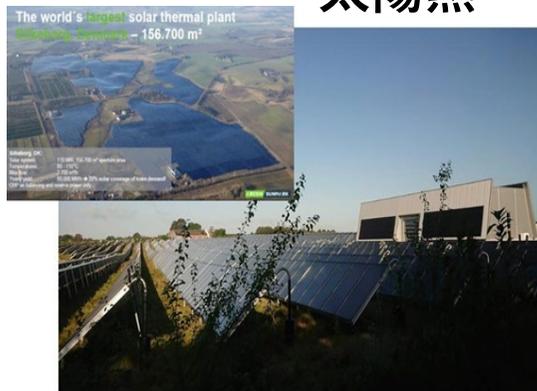


- 供給温度の低温下による高効率化
 - システム全体の高効率化
 - 往復温水間の大きな温度差
 - 潜熱回収による更なる高効率化
- 熱源の多様化
 - 低温下による利用資源の拡大
 - 工場排熱、廃棄物焼却熱活用
 - 大規模太陽熱の活用と季節間蓄熱
- 熱・電双方向の「スマート化」へ
 - 電力市場を介した熱電市場の連動
 - 温水タンクによる「蓄電」
 - ヒートポンプによる電熱転換 (風力の温熱化など)

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

第4世代地域熱供給の構成要素

太陽熱



地域熱供給+CHP+HP+貯湯タンク

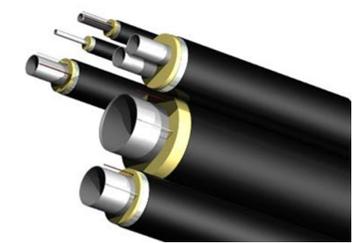


風力発電

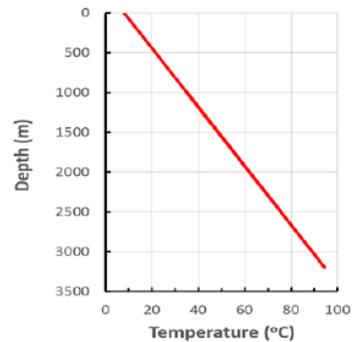


スマートエネルギーシステム

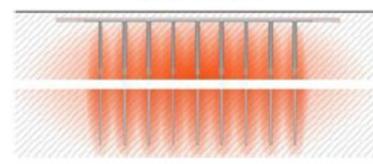
熱導管



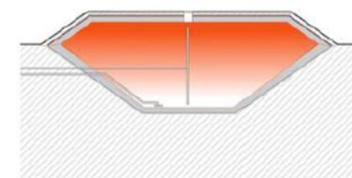
地熱



Borehole thermal energy storage (BTES) (15 to 30 kWh/m²)

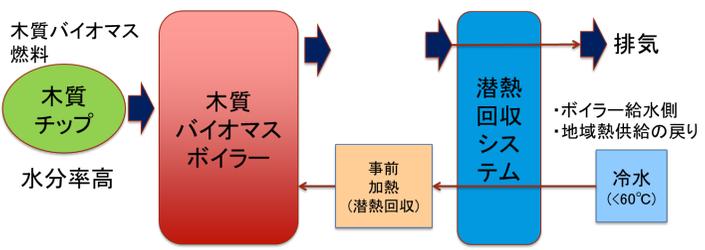


Pit thermal energy storage (PTES) (30 to 80 kWh/m²)



季節間蓄熱

熱量計 (スマートメーター)



バイオマス(潜熱回収)



エネルギー分析ツール

熱交換器



第7回スマートエネルギー・第4世代地域熱供給国際会議 2021年9月21日～22日(ハイブリッド開催)全体概要



- スマートエネルギーシステム
- 第4世代地域熱供給
- 蓄エネルギー
- 再生可能エネルギー
- エネルギー効率化
- 電化

参加者 : 160名(リアル)+70名(オンライン)
参加国 : 22カ国
発表数 : 124

<https://smartenergysystems.eu/>



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

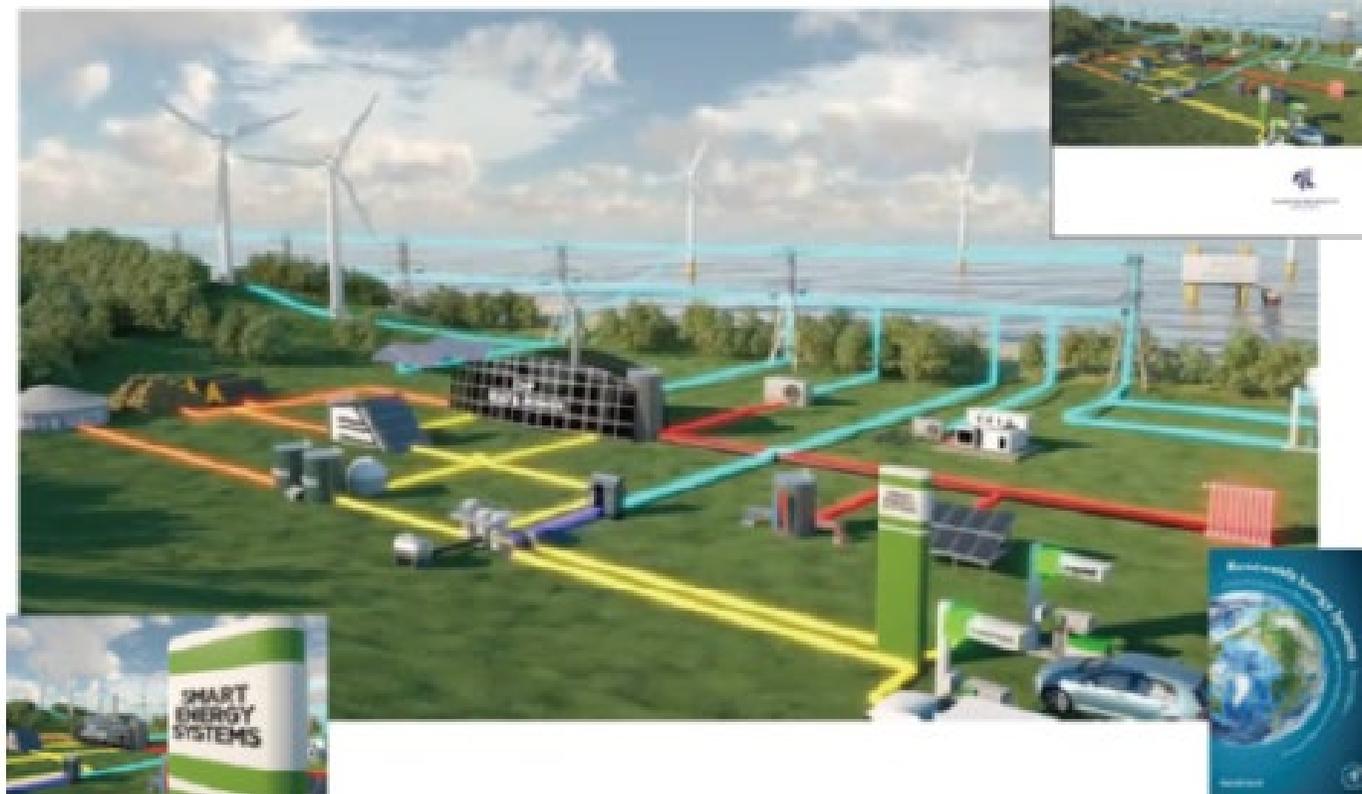


図38: スマートエネルギーシステムのイメージ(出所: IDA's Energy Vision 2050, オールボー大学(2015))

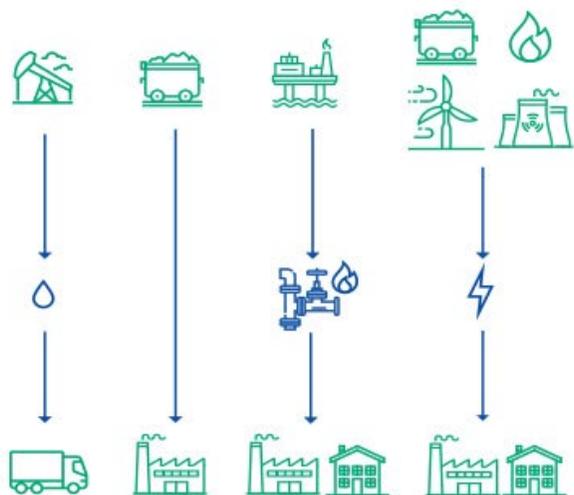
欧州のエネルギーシステム統合戦略

EU strategy on energy system integration

2020年7月に欧州委員会より発表された“EU strategy on energy system integration“(EUエネルギーシステム統合戦略)はグリーン・エネルギー転換のフレームワークで、全エネルギー分野を統合する「循環型」エネルギーシステムや消費側での「電化」や「クリーン燃料」(水素等)を含む(EU水素戦略も同時に公表)。

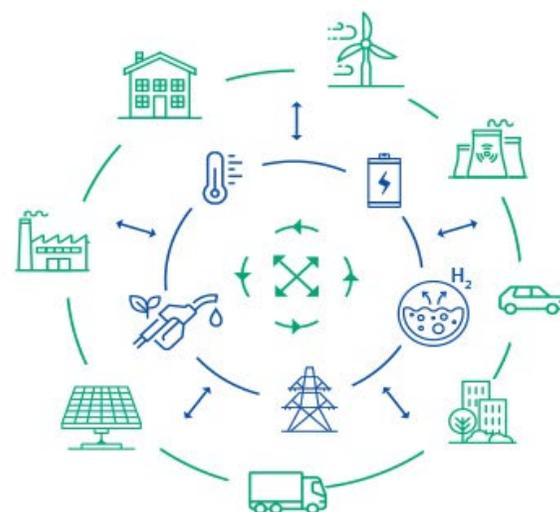
The energy system today :

linear and wasteful flows of energy,
in one direction only



Future EU integrated energy system :

energy flows between users and producers,
reducing wasted resources and money



https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-system-integration/eu-strategy-energy-system-integration_en

第5世代地域熱供給 5GDH(イギリス)

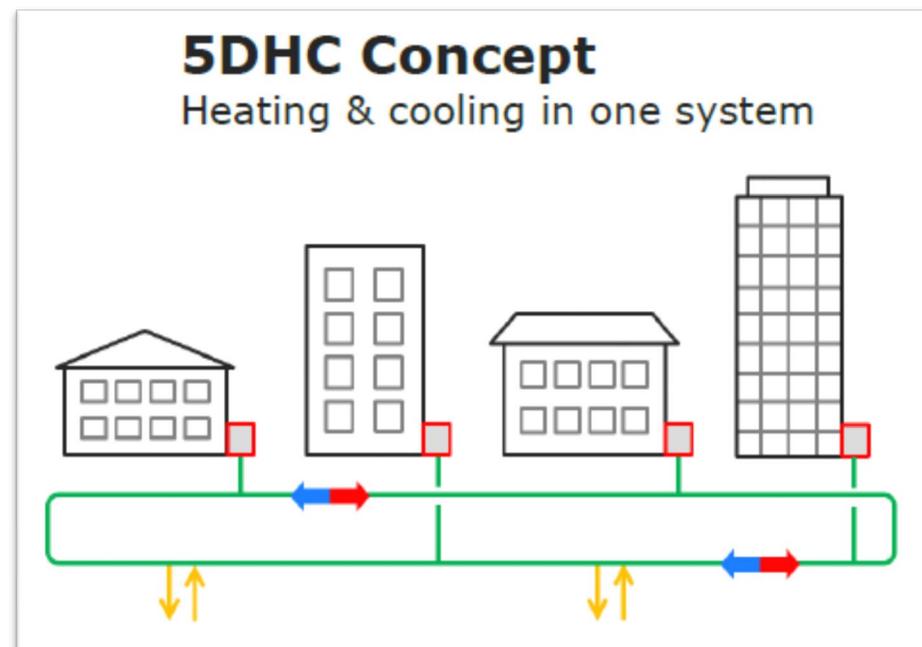
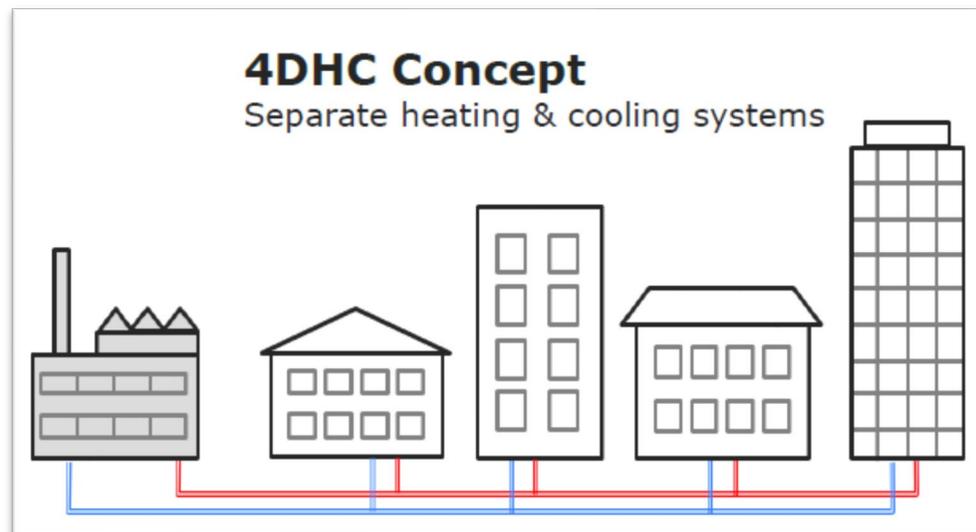
第4世代地域熱供給 4GDH

- 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



出所: Plymouth Concepts Team資料

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



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



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



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/>

WEDISTRICプロジェクト: 地域冷暖房(DHC)と再エネ・排熱利用



WEDISTRIC: rene**W**able **E**nergy **D**ISTRICT Heating & cooling solutions

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

4地域での実証プロジェクト

WEDISTRIC technologies will be implemented in **4 real-scale projects** in Spain, Romania, Poland and Sweden.

スペイン:
アルカラ・デ・ヘナレス
新規にDHC導入

Alcalá de Henares
New District Heating and Cooling Network

ポーランド:
クズニア・ラチボルスカ
非再エネDHを改修

Kuźnia Raciborska
Non-renewable District Heating retrofitting

ルーマニア:ブカレスト
非効率なDHを改修

Bucharest
Retrofitting of an inefficient District Heating Section

スウェーデン:
ルレア
排熱利用で
既存DH統合

Luleå
Excess heat integration in existing District Heating

再生可能エネルギー
排熱利用

最先端の
蓄熱技術

スマート技術
(効率化)



PlanEnergi社とISEPとの協働

PlanEnergi

PlanEnergi社は、自然エネルギーの地域エネルギー計画で30年余の歴史を持つ非営利組織で、代表例としてはデンマーク・サムソ島の自然エネルギー100%化の計画から実現まで全てのプロセスを担ってきた

PlanEnergi社とISEPは、双方共に地域エネルギーを支援する志と目的・役割を持つ非営利組織として、2015年7月に包括的な協力協定を締結することで、ISEPのもつ地域エネルギー事業の経験・知見・ネットワークと、PlanEnergi社の経験と技術を組み立てることで、日本への「第4世代地域熱供給」の導入を筆頭に、木質バイオマス・バイオガス・風力発電などデンマークで経験豊富な地域エネルギー事業計画手法を日本に応用してゆく計画・導入・実現化サービスを提供



ISEPと共同でPlan Community Energy社を設立(2019年)

第4世代地域熱供給フォーラム(4DHフォーラム)の取組み

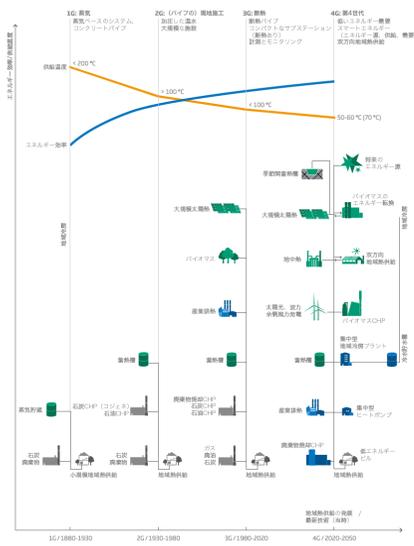
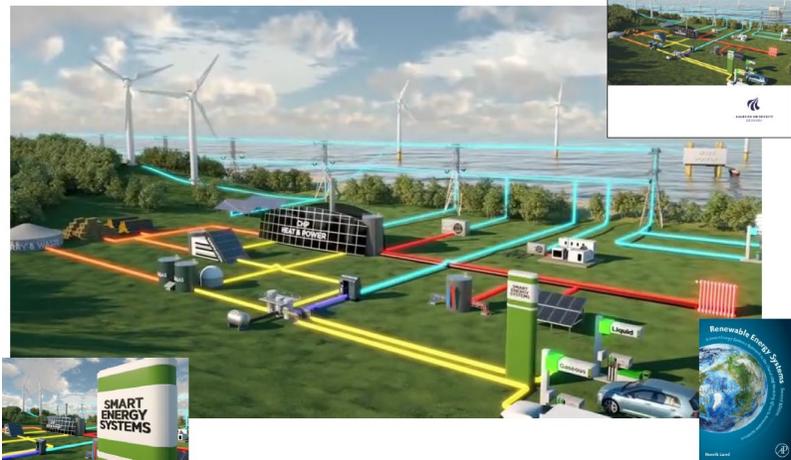
- 再生可能エネルギーの熱政策の実現や熱利用の普及のための調査・研究・意見交換・交流の場として、ISEPでは、デンマーク関係機関との協力のもとで、関連する研究者・行政・NGOなどで構成される「第4世代地域熱供給フォーラム」(略称：4DHフォーラム)を2018年10月に立ち上げた。
- パリ協定に基づく欧州の熱戦略やロードマップに基づく第4世代地域熱供給の知見・経験の共有を図るとともに、国内外での会議への参加や研究会・シンポジウムを開催し、国内での自然エネルギー熱利用普及のためのネットワーク形成を目指す。

4DHフォーラム <https://www.isep.or.jp/4dh-forum/>



開催案内：4DHフォーラム第4回オンラインセミナー(3/22)

Smart Energy Systems



4DHフォーラム第4回オンラインセミナー 「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

日時：2022年3月22日(火)13:00～15:00

会場：オンライン(Zoomウェビナー)

主催：特定非営利活動法人 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/13696>

プログラム：

13:00 開会

講演1: 相川高信(自然エネルギー財団 上級研究員)

バイオマス熱利用の方向性：欧州の市場・政策の分析からの示唆

講演2: 加用現空(東京都市大学 准教授)

Positive Energy District(PED)の紹介

講演3: 中田俊彦(東北大学 教授)

地域脱炭素化のための計画手法

パネル討論

田中いずみ(デンマーク大使館 上席商務官)および講演者

15:00 閉会



参考: 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>



参考: 地域熱供給白書(日本語翻訳版)

デンマークをはじめ、世界中で100年以上にわたって地域エネルギーを利用してきた経験をもとに、「地域熱供給白書」では、制度・規制の枠組み、計画、エネルギー源の効率と柔軟性、貯蔵、将来の展望など、地域エネルギーの利用を拡大する際に考慮すべき主要な学習項目が、世界中の関連する事例を交えて紹介しています。



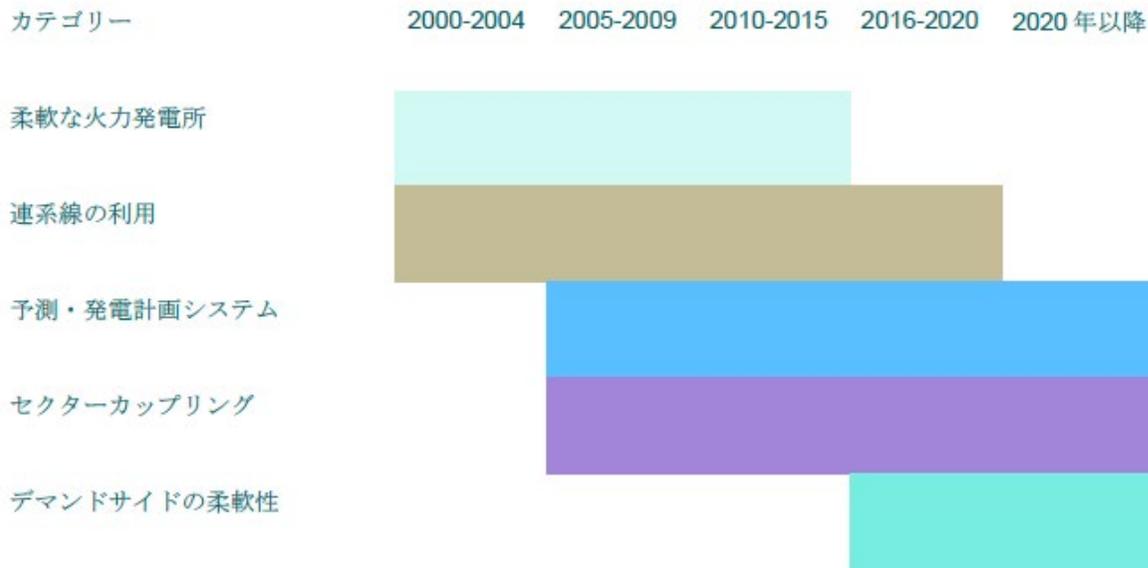
Danish Energy Industries Federation



<http://communitypower.jp/5740>

参考:「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：デンマークの電力セクター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>



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

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

