

# デンマークの地域熱供給(DH)

再生可能エネルギー供給の転換のための地域熱供給

## DISTRICT HEATING IN DENMARK

DISTRICT HEATING AS A PART OF THE TRANSITION TO RENEWABLE ENERGY SUPPLY

POUL ALBERG ØSTERGAARD

PROFESSOR IN ENERGY PLANNING

ポール・オストゴー教授  
エネルギー計画部門  
オールボー大学



AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

# Agenda

- Introduction to the Danish transition
- District heating basics and current systems
- District heating in future highly renewable energy systems
- Moving towards 4<sup>th</sup> Generation District Heating
- Conditions district heating in Denmark

## アジェンダ

- デンマークのエネルギー転換について
- 地域熱供給の基本および現行システム
- 将来の高率再エネのシステムにおける地域熱供給
- 第4世代地域熱供給への移行
- デンマークの地域熱供給の状況



# INTRODUCTION TO THE DANISH TRANSITION

デンマークのエネルギー転換について



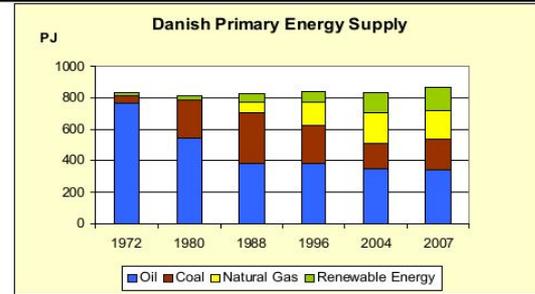
# デンマークのエネルギーシステムの概要

## Danish Energy system at a glance

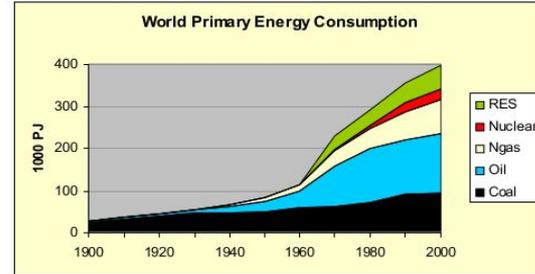
- Stable PES over 40 years
- ~50% of electricity from CHP
- >55% District Heating
- ~40% wind power
- High share of the world's offshore wind power
- An amendment to the Danish building code bans boilers for "fossil gas or fossil oil" in new houses
- Small-scale DH is challenged by individual solutions (biomass boilers and heat pumps)
- A move towards integrated smart energy systems and 4<sup>th</sup> generation DH



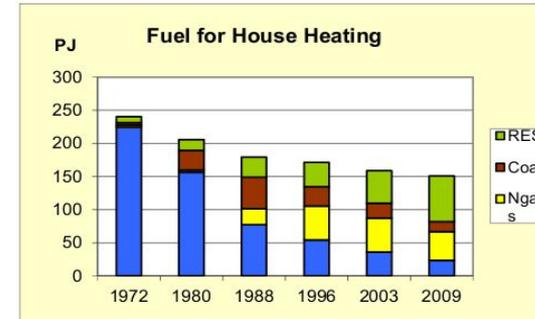
- 40年にわたる安定した一次エネルギー供給
- 約50%の電力はCHP(熱電併給プラント)から
- 55%以上に普及した地域熱供給DH
- 約40%は風力発電による発電
- 世界の洋上風力発電の大きな割合を占める
- デンマークの建築基準法の改正により、新築住宅での化石ガス・油ボイラーは禁止されている
- 小規模のDHは個別導入の設備と競合している(バイオマスボイラー、ヒートポンプ等)
- 統合したスマートエネルギーシステムや第4世代DHへの動き



デンマークの一次エネルギー供給



世界一次エネルギー消費



家庭暖房用燃料

# 集中型から分散型エネルギーシステムへ

## From a central to a distributed energy system

A key element was district heating

地域熱供給は重要な要素であった



2013



● Central CHP	中央CHP
● Local CHP	地域CHP
● Wind	風力
● Off-shore wind	洋上風力
— AC Interconnection	AC相互接続
— DC interconnection	DC相互接続



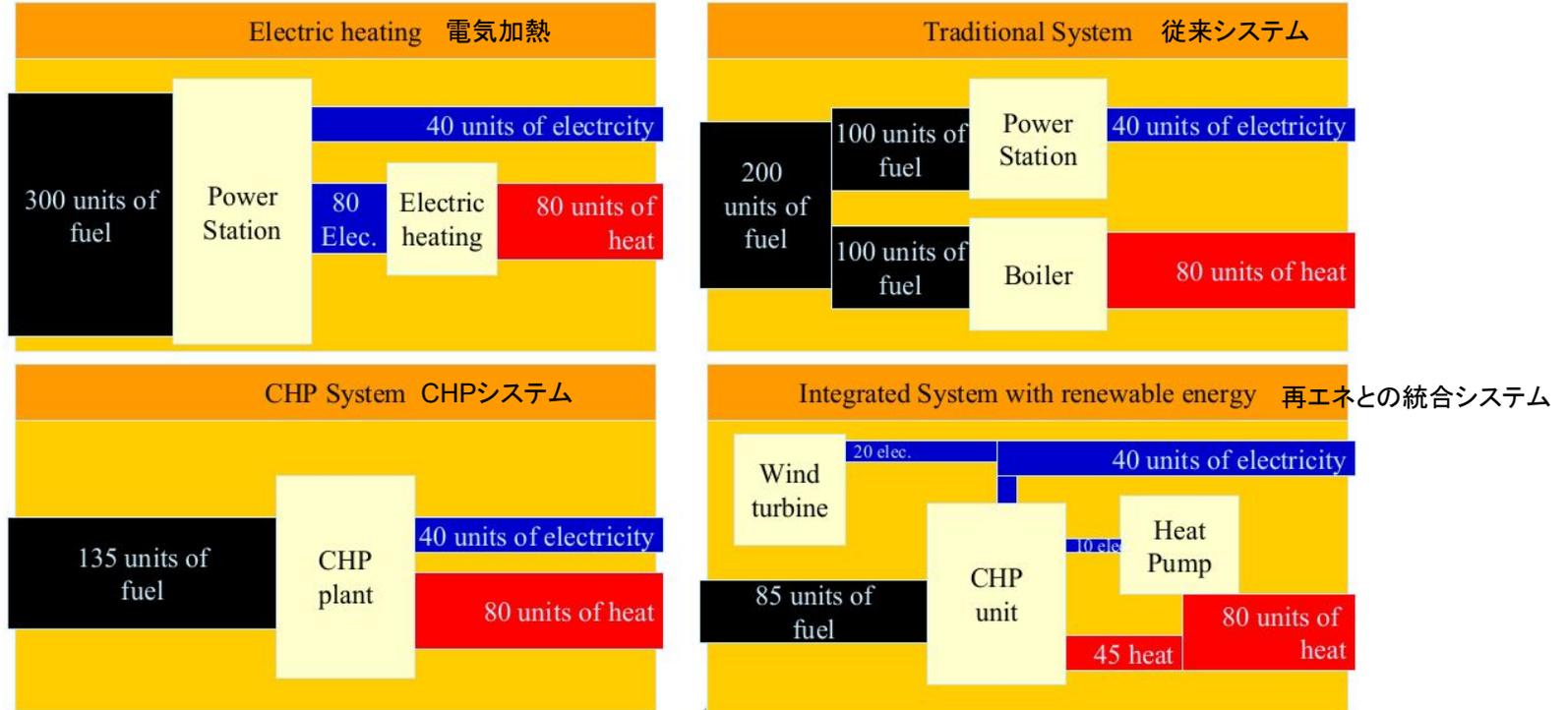
# DISTRICT HEATING BASICS AND CURRENT SYSTEMS

## 地域熱供給の基本および現行システム



# 地域熱供給の基本: 熱供給の比較

## District heating basics – Heat supply comparison



地域熱供給の基本: 供給、送熱、配熱

## District heating basics – Supply, transmission and distribution



Using water an energy carrier 水をエネルギーキャリアとして使う

Power = Flowrate [kg/s] · Heat capacity [kJ/kg] · Temperature difference [K]

熱量 = 流量 (kg/s) \* 熱容量 (kJ/kg) \* 温度差 (K)

地域熱供給の基本: 家庭用設備

## District heating basics – House installations



地域熱供給は暖房や家庭用給湯などに使用されま

District heating is both for space heating and domestic hot water preparation

Floor heating can reduce temperature requirements compared to radiator

パネルヒーターと比べて床暖房は温度レベルを下げる事が出来ます

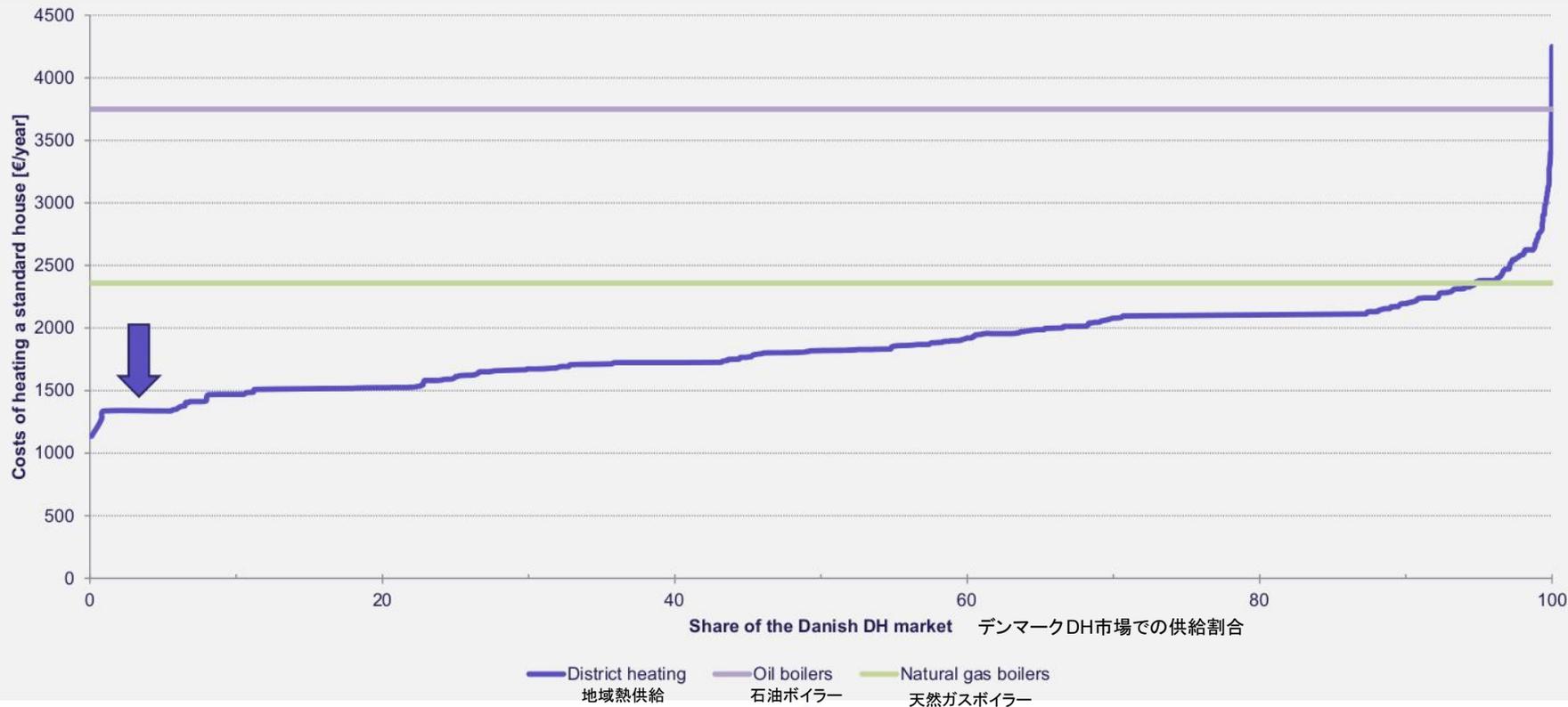


*Akva Lux II*



# 標準的な家庭\*の暖房コスト

## Cost of heating a standard\* house



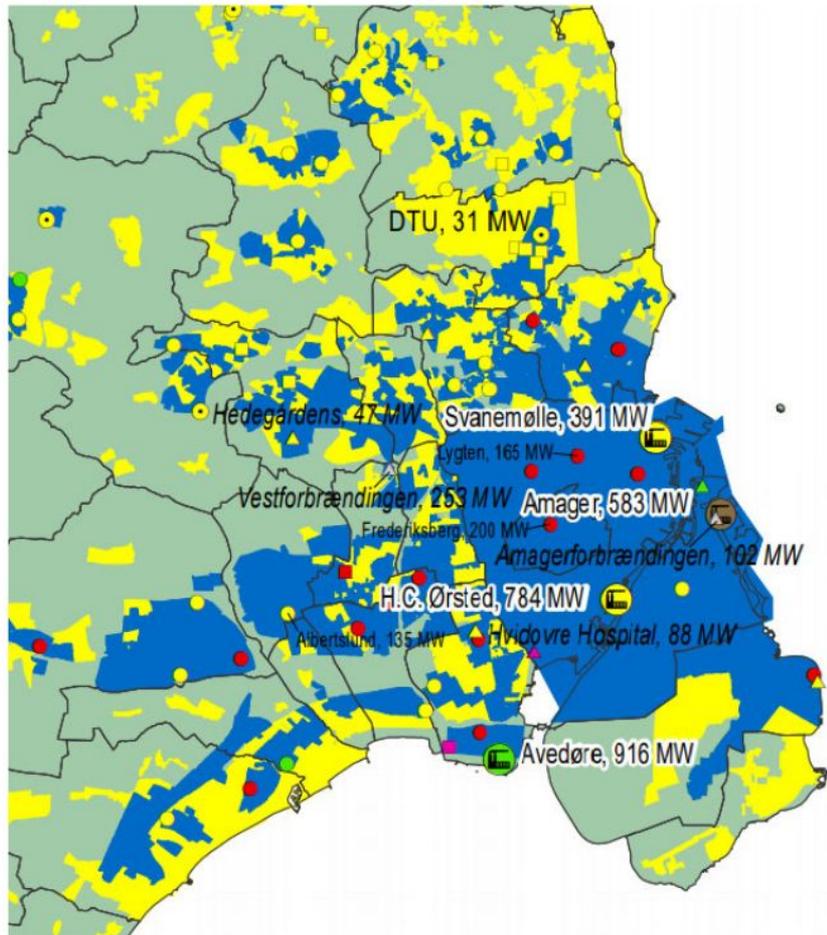
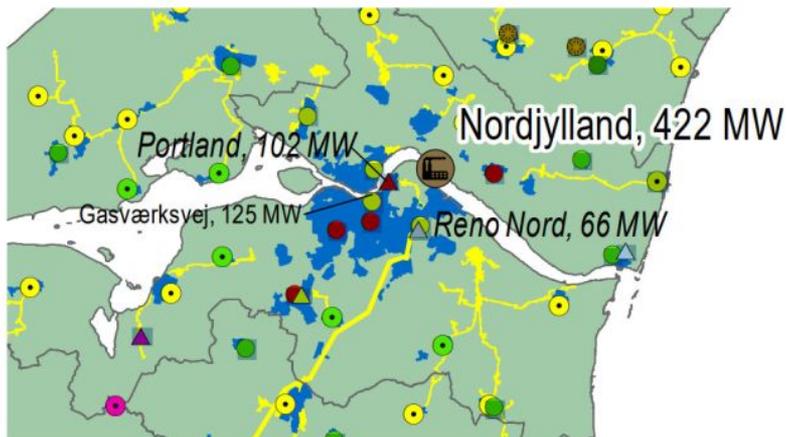
Source: Chittum & Østergaard



\*Standard house defined in district heating statistics:  
140 m<sup>2</sup> and 18.1 MWh/year \*地域熱供給統計による標準家庭：  
140m<sup>2</sup>で 18.1 MWh/年

# 既存のDHシステムの2つの事例

## Two examples of existing DH systems



Central	Local CHP	DH Plant	Industrial	Supply areas
<b>Centralt værk</b>	<b>Decentral værk</b>	<b>Fjernvarmeværk</b>	<b>Erhvervsværk</b>	<b>Forsyningsområder</b>
Fast biomasse	Affald	Bio-olie	Affald	DH
Naturgas	Biogas	Biogas	Biogas	Nat gas
Kul	Elektricitet	Elektricitet	Overskudsvarme	Gastransmission
<b>Lokalværk</b>	Fast biomasse	Fast biomasse	Fast biomasse	
Biogas	Kul	Kul	Naturgas	
Naturgas	Naturgas	Naturgas	Olie	
Olie	Olie	Olie	Solenergi	
	Solenergi	Solenergi		

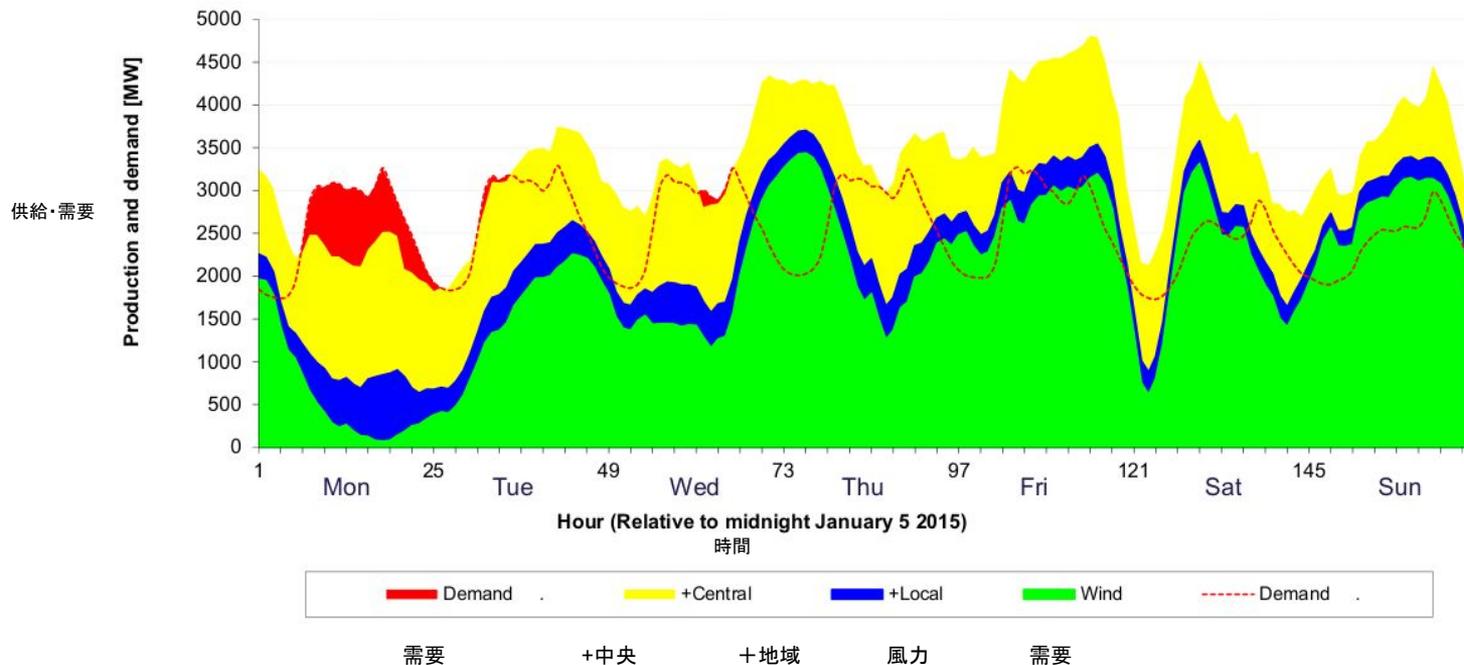
# DISTRICT HEATING IN FUTURE HIGHLY RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

将来の高率再エネのシステムにおける地域熱供給



# A week in Western Denmark in 2015

デンマーク西部の2015年のある一週間



# 再エネシステムの蓄エネルギー

## Storage in renewable energy systems



Pump Hydro Storage: 175 €/kWh

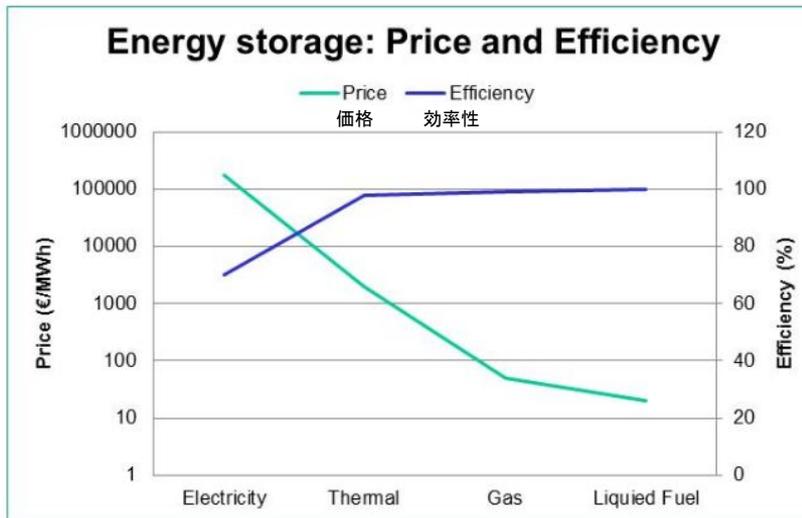
揚水発電



NG Underground Storage: 0.05 €/kWh

天然ガス地下貯蔵

### 蓄エネルギー：価格と効率性



Thermal Storage: 1-4 €/kWh

温水蓄熱



Oil Tank : 0.02 €/kWh

油タンク

## Analyses have shown that

- Regulation of CHP and heat storage (implemented in DK in 2004): Enables the integration of 20% wind power (and 50% CHP)
- Adding large heat pumps and heat storage capacity to existing CHP plants: Enables the integration of 40% wind power (and 50% CHP)
- Electric vehicles enable the integration of approx. 60% wind power
- Important to involve the new flexible technologies in the grid stabilisation task

For even higher renewable energy penetrations – up to 100% as is the political goal for Denmark – we need further options

(See Sankey diagram of 100% RE system in extra material)

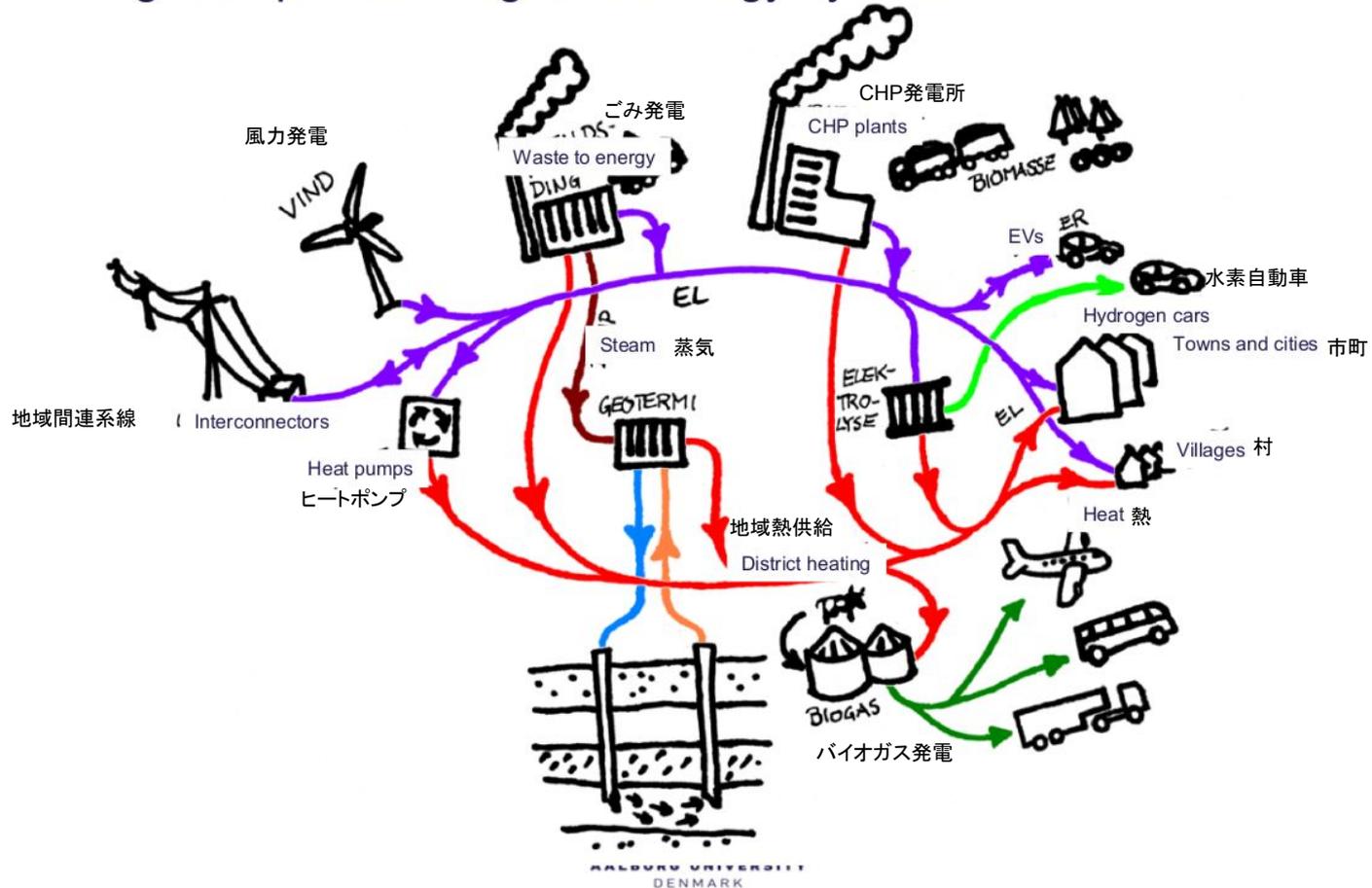
## 分析による知見

- CHPや蓄熱に関する規制(デンマークでは2004年に実施):20%の風力発電(および50%のCHP)の統合を可能とする
- 大型ヒートポンプ・蓄熱容量を既存CHP発電所に追加:40%の風力発電(および50%CHP)の統合を可能とする
- EVはおよそ60%の風力発電の統合を可能とする
- グリッド安定化のためには新しい適応可能な技術を使用する必要がある

再エネ発電量の割合をさらに高めるには手段がさらに必要(例えばデンマークの100%目的を達成するためには(追加資料の100%REシステムの図を参照))

# 統合エネルギーシステムのための地域熱供給

## District heating as a part of integrated energy systems



# 再エネ統合のため、DH・CHPシステムの柔軟な運用

## Flexible operation of DH CHP systems for RE integration





# RE VISION FOR AALBORG

オールボアの再エネビジョン

# オールボアの概要

## Aalborg in a glimpse

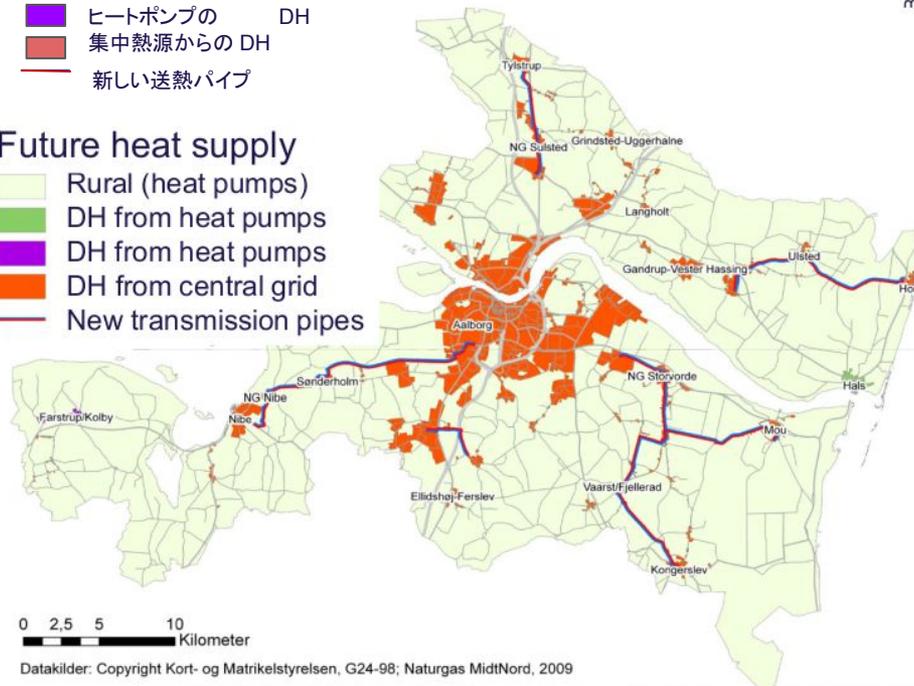
- City: 129,000 (4<sup>th</sup>)
- Municipality: 203,000 (6<sup>th</sup>)
- 1144 km<sup>2</sup> (3<sup>rd</sup>)
- 175 inhabitants/km<sup>2</sup> (>128)
- Largest Danish energy consumer Aalborg Portland  
2.4% of TPES
- Extensive DH (CHP, Waste, industry, sewage, crematorium)
- 市街地: 129,000人(第4位)
- 市全域: 203,000人(第6位)
- 1144 km<sup>2</sup> (3位)
- 175人/km<sup>2</sup> (128以上)
- デンマーク最大のエネルギー消費者: オールボア・港湾地域、総一次エネルギー量の2.4%
- 大規模DH(CHP、廃棄物産業、下水、火葬場)

### 将来の熱供給

- 郊外エリア(ヒートポンプ)
- ヒートポンプの DH
- ヒートポンプの DH
- 集中熱源からの DH
- 新しい送熱パイプ

### Future heat supply

- Rural (heat pumps)
- DH from heat pumps
- DH from heat pumps
- DH from central grid
- New transmission pipes



Bernd Möller

# オールボーの再エネビジョンのエネルギー源

## Energy sources in the Aalborg Vision



AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

# オールボアの再エネビジョンの要素

## Elements in the Aalborg Vision

- Use of locally available energy sources
- Electricity savings
- Heat savings
- Electrification
- District heating where possible- otherwise individual heat pumps
- Geothermal energy
- Exploitation of synergies (waste heat from industry and power production for house heating)
- Biogas - and waste
- Wind power
- Solar energy (to some extent)
  
- Ban against oil and natural gas boilers in dwellings
- Ban against use of biomass for house heating (individual houses, boiler DH)

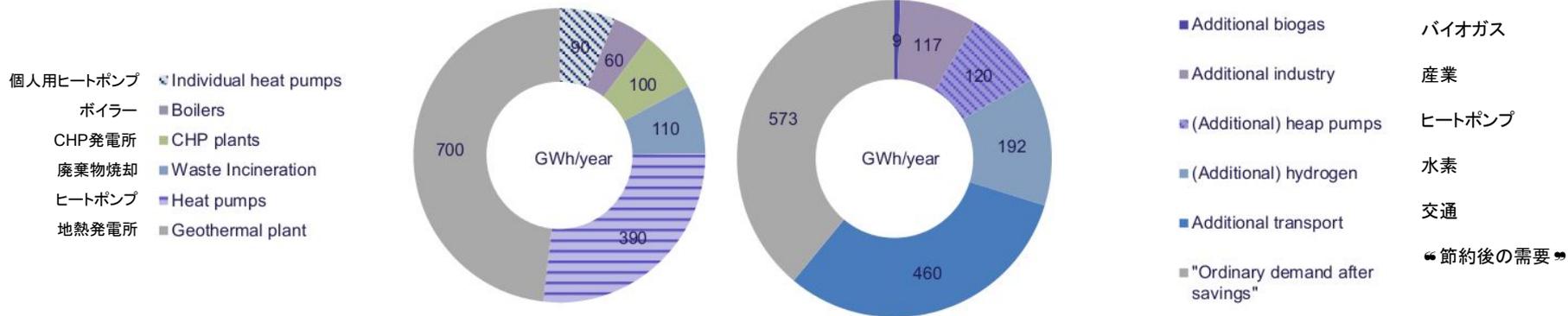


- ローカルで使用可能なエネルギー源を利用
- 節電対策
- 省熱対策
- 電気化
- 可能な限り地域熱供給の利用 - その他は個別ヒートポンプ
- 地熱エネルギー
- サーキュラーエコノミー(産業廃熱・発電を家庭用暖房に)
- バイオガス・廃棄物
- 風力発電
- 太陽光発電(ある程度)

- 家庭用の石油・天然ガスボイラーを禁止
- 家庭用暖房でのバイオマスの使用を禁止(家ごと、ボイラーDH)

# 再エネビジョンの熱および電力

## Heating and electricity in the energy vision



Heat supply in 2050

2050年の熱供給

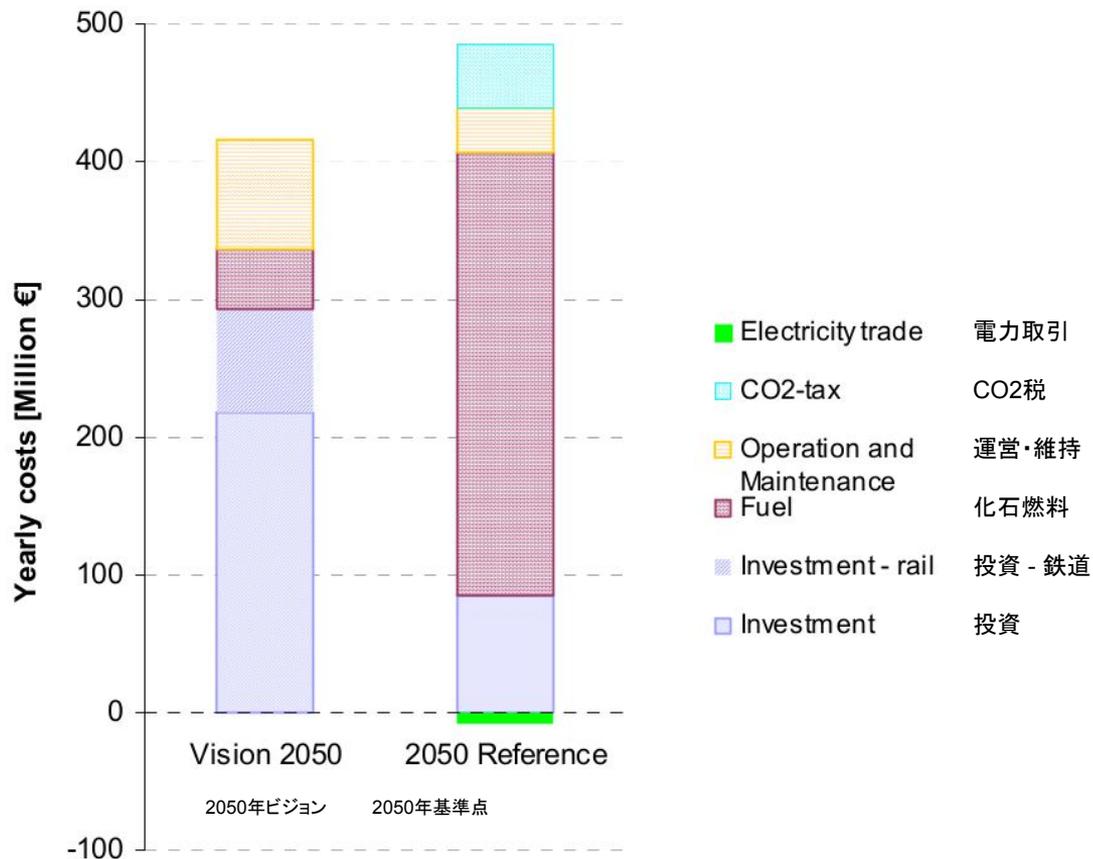
Electricity demand in 2050

2050年の電力需要



# オールボーの再エネビジョンのコスト Cost of the Aalborg Vision

年間費用(百万ユーロ)



# MOVING TOWARDS 4<sup>TH</sup> GENERATION DISTRICT HEATING

第4世代地域熱供給への移行

# 第4世代地域熱供給への移行

## A move towards 4<sup>th</sup> Generation district heating



First Generation (1880-1930):

Steam as heat carrier. Is today in use in e.g. Manhattan, Paris and partly in Copenhagen.



Second Generation (1930-1970):

Pressurised hot water as heat carrier with temperature above 100°C. Found today in older parts of current water-based systems.



Third Generation (1970-present):

Pressurised water with temperatures below 100°C. Used in replacements in Central and Eastern Europe and all extensions in China, Korea, Europe, USA and Canada.

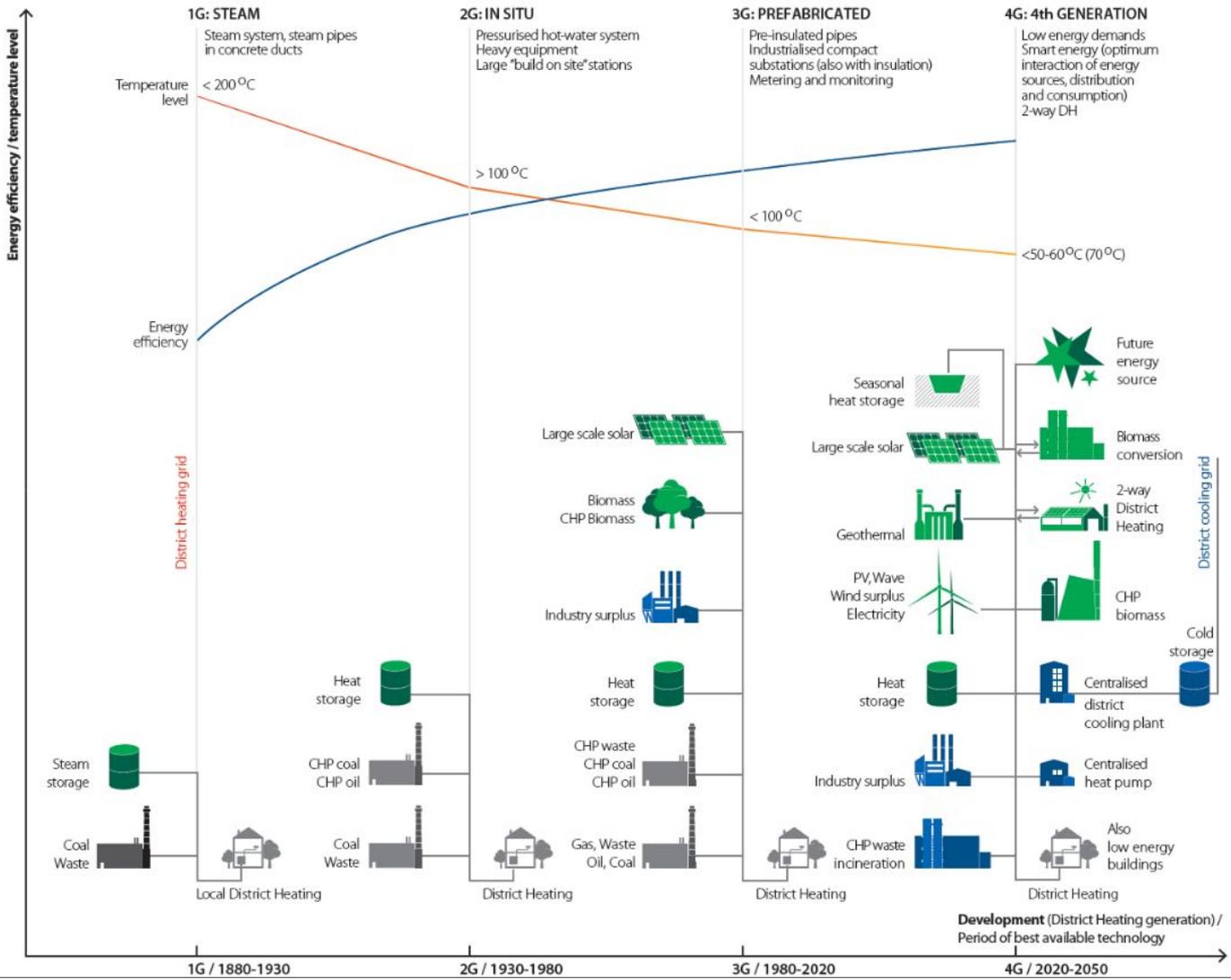


第1世代(1880 - 1930年): 蒸気を熱媒体として。マンハッタン、パリ、コペンハーゲン等では現代でもまだ使用されている。

第2世代(1930 - 1970年): 100度以上の温度で加圧熱水を熱媒体として。現代の温水システムの古い部分で使用される場合もある。

第3世代(1970年 - 現在): 100度以下の温度で加圧熱水を熱媒体として。中央・西ヨーロッパでは入替え、中国・韓国・ヨーロッパ・アメリカ・カナダでは増設に使用。

エネルギー効率性・温度



発達

## 4DH概略

### 4DH in brief

- Coherent concept
  - Low energy demands
  - Low distribution temperatures
  - Recycle and use new, renewable sources of heat
  - Interactions with integrated smart energy systems (through thermal storage)
  - Ensure strategic planning to transform to future sustainable energy systems
- 
- 一貫したコンセプト
  - 低エネルギー需要
  - 低い配熱温度
  - リサイクル;新しい、再生可能エネルギー熱源を使用
  - 統合スマートエネルギーシステムとの対応(蓄熱を通して)
  - 次世代の持続可能エネルギーシステムへの転換を実行するための戦略的計画

# CONDITIONS DISTRICT HEATING IN DENMARK

デンマークの地域熱供給の状況

# デンマークの地域熱供給の状況

## Conditions for implementing district heating in Denmark

- Electricity supply act from 1976 stipulating that power generation must be CHP-based
  - Municipal heat planning required in 1979; establishing zones throughout the country. Power to require district heating in individual buildings
  - Intentional pursuance of district heating
  - Presence of stable heat plans foster long-term confidence in district heating
  - Policy gives a high degree of autonomy and flexibility to local energy actors and municipalities
  - Guideline about the role full socio-economic costs should play in 1990
  - Establishment of building codes
  - Technology catalogue combined with a standard basis of calculation
  - History of cooperatives
  - Economically efficient with a) consumer profit b) rating between companies and c) national oversight
  - Expertise in consultancies
  - Expertise in tool development
- 
- 1976年電力供給法により CHP発電は必須になる
  - 都市の熱計画は 1979年に必須となる; 国中がゾーンに分けられる。各ビルには地域熱供給が必須になる
  - 積極的に地域熱供給を追求
  - 安定的な熱計画は地域熱供給に対する長期的信頼を育む
  - 政策により地域エネルギー関係者・自治体は適応性・自立する力を得る
  - 完全社会経済的コストが果たすべき役割は 1990年に概説
  - 建築基準の制定
  - 技術の一覧と標準的な計算の仕組み
  - 協同組合の長続き
  - 消費者利益・企業間の評価・国家的見落としに関して経済的な効率性が高い
  - コンサルの専門知識
  - 技術開発の専門知識

## デンマークでの地域熱供給のメリット

# Benefits of District Heating in Denmark

- Increased efficiency
  - CO<sub>2</sub> emissions have decreased by 60% from 1980 to 2010
  - Nationwide emissions have decreased by 20% since 1990
  - Economically attractive for most consumers (see next slidew)
- Variety of supply streams – also due to economy of scale
  - Utilise heat from waste incineration
  - Utilise heat from power generation
  - Utilise heat from solar collectors
  - Utilise of geothermal energy
  - Utilise industrial excess heat
  - Utilise heat from the production of transportation fuels
- Flexibility
  - Benefit from flexible CHP in combination with heat pumps or electric boilers
  - Low-cost storage options
  - Integration with biogas
- 効率性の向上
  - 1980 - 2010年の間、CO2排出量は60%減少
  - 1990年以降、全国排出量は20%減少
  - 一般の消費者にとって経済的の魅力あり(次のスライド)
- 多様なサプライチェーン - 経済規模による
  - 廃棄物焼却からの熱を利用
  - 火力発電所からの熱を利用
  - 太陽熱集熱器からの熱を利用
  - 地熱エネルギーを利用
  - 工場廃熱を利用
  - 運輸燃料の生産からの熱を利用
- 柔軟性
  - ヒートポンプあるいは電気ボイラーとの組合せによる柔軟なCHP運用のメリット
  - 低コストの蓄熱の選択肢
  - バイオガスとの統合



# PROSPECTS FOR DH IN EUROPE

欧州の地域熱供給の展望



AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

# Heat Roadmap Europe

欧州熱ロードマップ

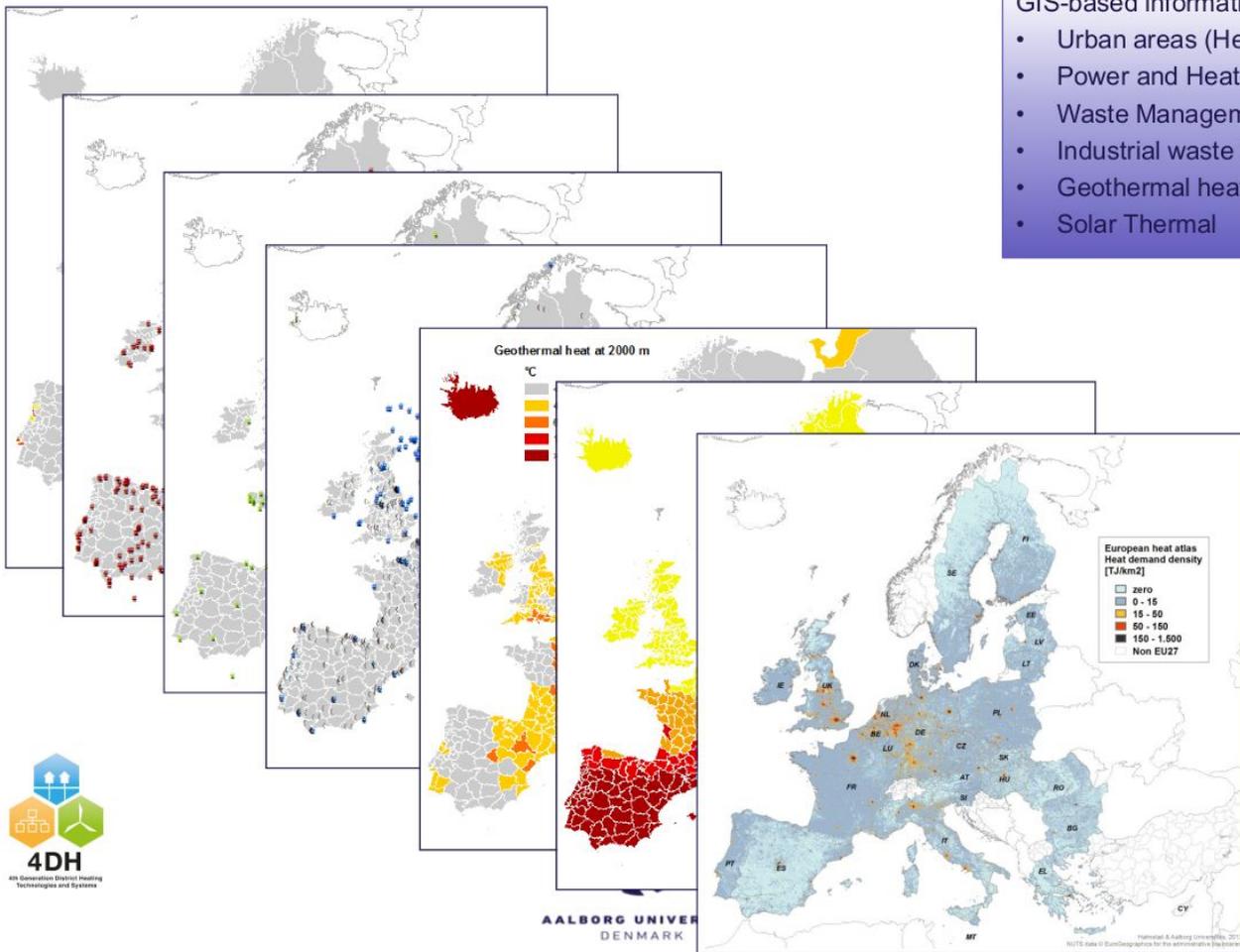


## GIS-based information on:

- Urban areas (Heating Demands)
- Power and Heat Generation
- Waste Management
- Industrial waste heat potential
- Geothermal heat
- Solar Thermal

## GIS情報:

- 都市部(熱需要)
- 発電・発熱
- 廃棄物処理
- 工場廃熱の可能性
- 地熱
- 太陽熱



# 欧州熱ロードマップ: 熱需要の50%をDHとCHPで賄うことができるという結論

## Heat Road Map Europe - Conclusions with 50% DH and CHP



- Decrease primary energy supply and especially fossil fuels and CO<sub>2</sub> emissions
- Decrease annual costs of energy in Europe by approximately €14 Billion in 2050
- Create additional 220,000 jobs over the period 2013-2050
- Further integration of RES

低燃料

**LESS FUEL**

低コスト

**LESS MONEY**

EU雇用増進

**MORE EU JOBS**

再エネ促進

**MORE RE**

- 一次エネルギー供給の減少、特に化石燃料
- CO<sub>2</sub>排出量
- 2050年の欧州のエネルギー年間コストをおよそ140億ユーロ削減
- 2013 - 2050年の間には雇用を220,000人創出
- 再エネの統合をさらに促進

# デンマークの地域熱供給(DH)

再生可能エネルギー供給の転換のための地域熱供給

## DISTRICT HEATING IN DENMARK

DISTRICT HEATING AS A PART OF THE TRANSITION TO RENEWABLE ENERGY SUPPLY

POUL ALBERG ØSTERGAARD  
PROFESSOR IN ENERGY PLANNING

ポール・オストゴー教授  
エネルギー計画部門  
オールボー大学



AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK