



デンマークでの脱炭素化への最前線

1. デンマークのグリーントランスフォーメーションを牽引する政策
 - カーボンニュートラル・カーボン吸収国に向けた長期目標
2. デンマークが目指すエネルギー・システム
 - (1) 電力－電化戦略、電力市場
 - (2) 熱－ 廃熱の活用、再エネの変動を吸収し電力網の安定に寄与

数字で見るデンマークと日本

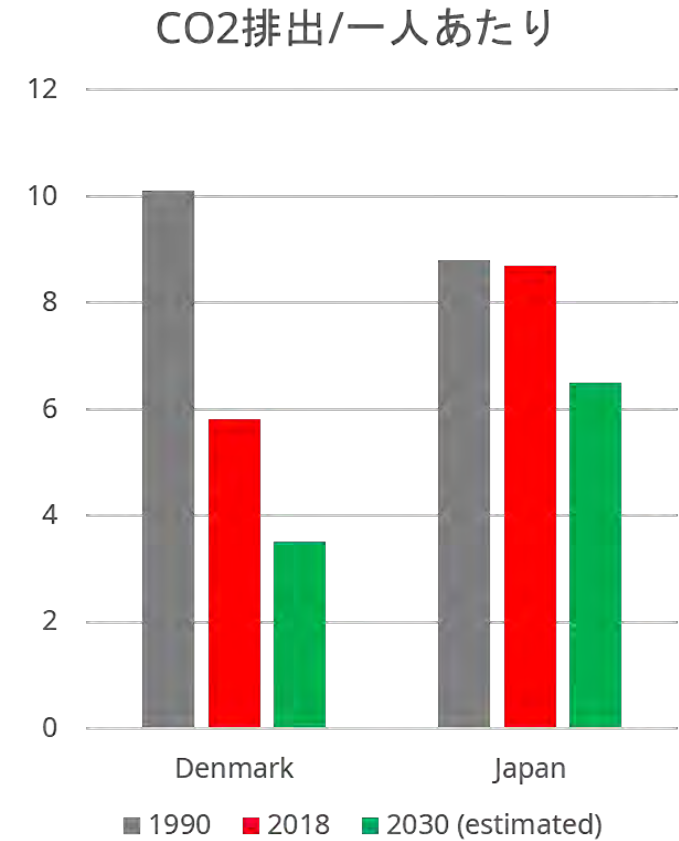
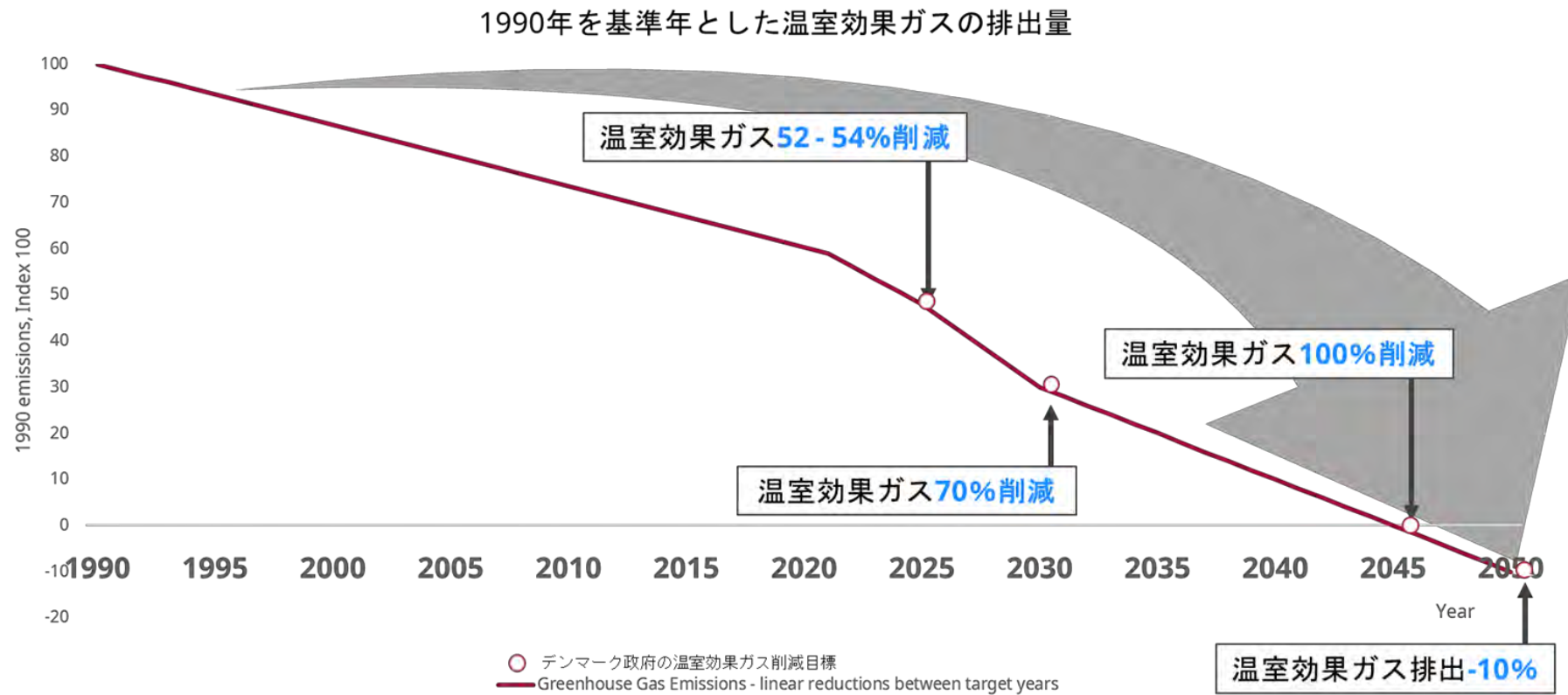
	Denmark	Japan
人口	 571 万人	1億2,680 万人
国土面積	 4万3,098 km² グリーンランド 217万 km ²	37万7,944 km²
人口密度	 131 人/km²	336 人/km²
GDP	 3,018億 US\$	4兆4,126億 US\$
1人当たり GDP	 52,114 US\$	32,486 US\$
幸福度*	 2 位	5 6 位

1973年	オイルショック
1976年	EP76(Danish Energy Planning 1976) 政府はエネルギー供給構造の脆弱さと石油依存脱却の必要性からエネルギーの構造転換に迫られていた
1981年	EP81 エネルギー燃料の効率を高めること、エネルギー源の分散化 (但し、エネルギー需要は右肩上がりであり原子力の利用を想定した内容だった)
1983年	AE83 エネルギー消費を削減していく代替エネルギーシナリオ
1985年	デンマーク議会「原子力発電に依存しない公共エネルギー計画」を議決
1990年	EP90 (エネルギー2000) デンマーク政府による持続可能な発展のための具体的実施計画を採択(脱大量生産、脱大量消費、右肩上がりの成長の見直し)
1996年	EP96 (エネルギー21) 2030年までに二酸化炭素排出量を半減させる
2007年	A visionary Danish energy policy 2025: 2025年までに再生可能エネルギーの割合を30%に高める
2011年	Energy Strategy 2050: 2050年に化石燃料を使わない社会を目指す

デンマークは2050年までに温室効果ガスの「純吸収国」に

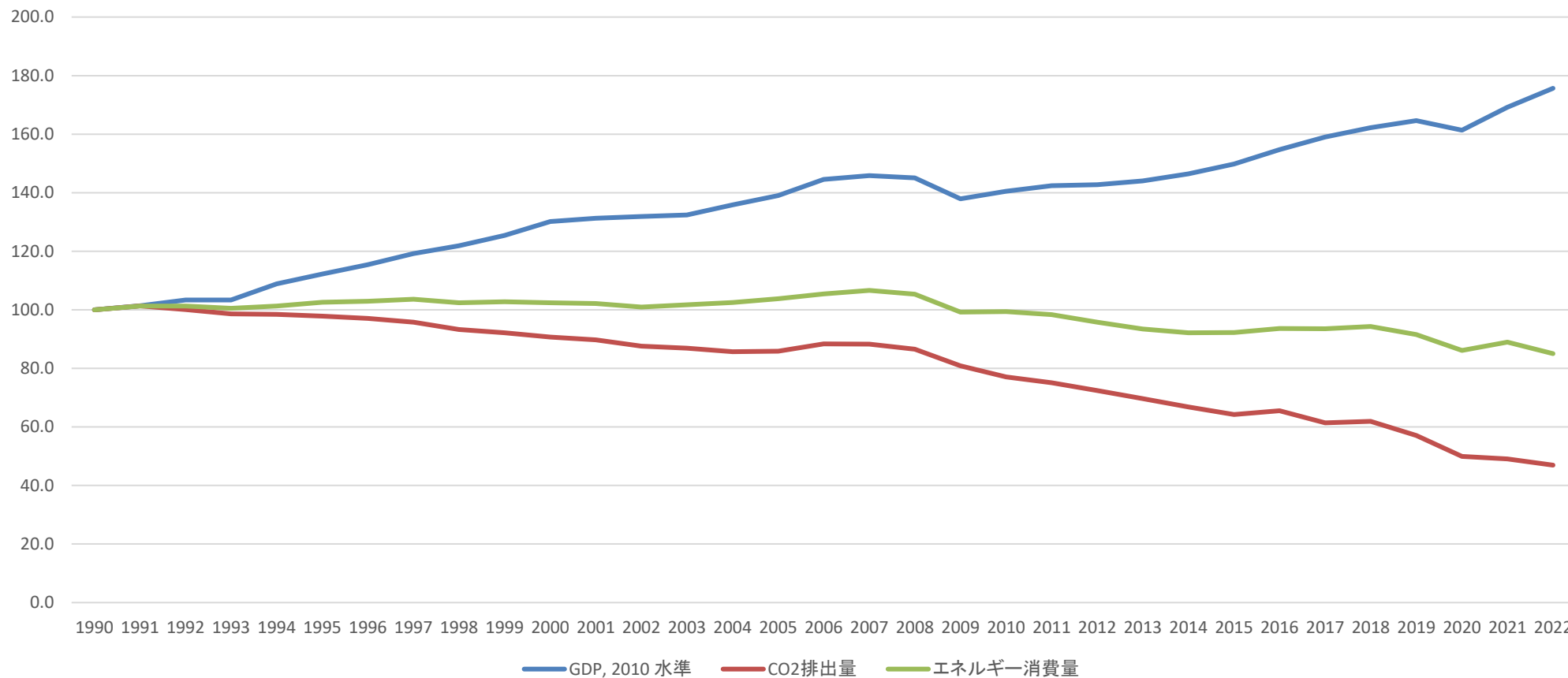


自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE



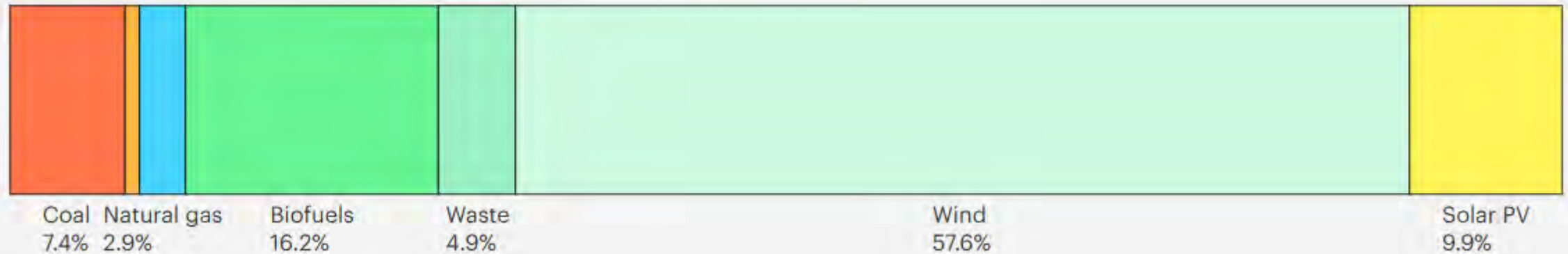


デンマークの経済成長と エネルギー消費／CO2排出量のデカップリング



国内での発電（2023）

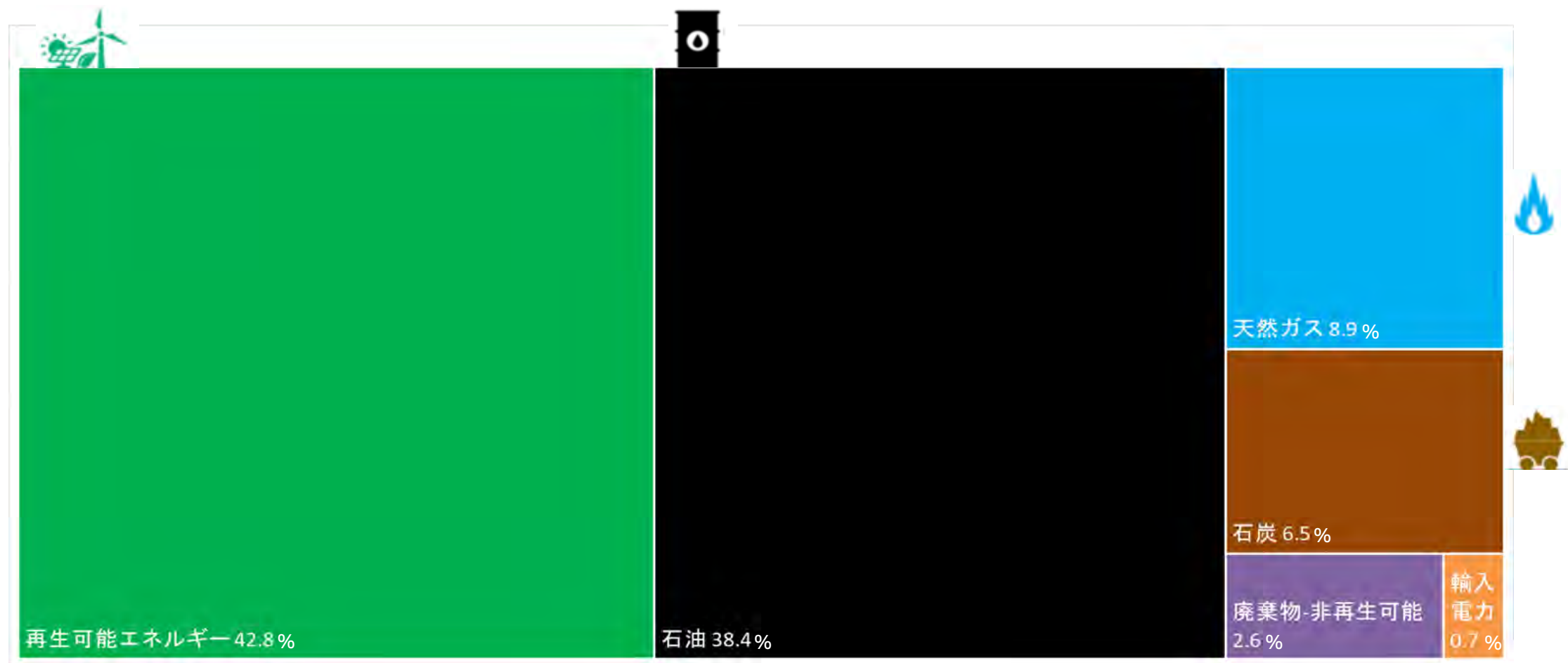
Electricity generation sources, Denmark, 2023



<https://www.iea.org/countries/denmark/electricity#where-does-denmark-get-its-electricity>



最終エネルギー利用 (2022)

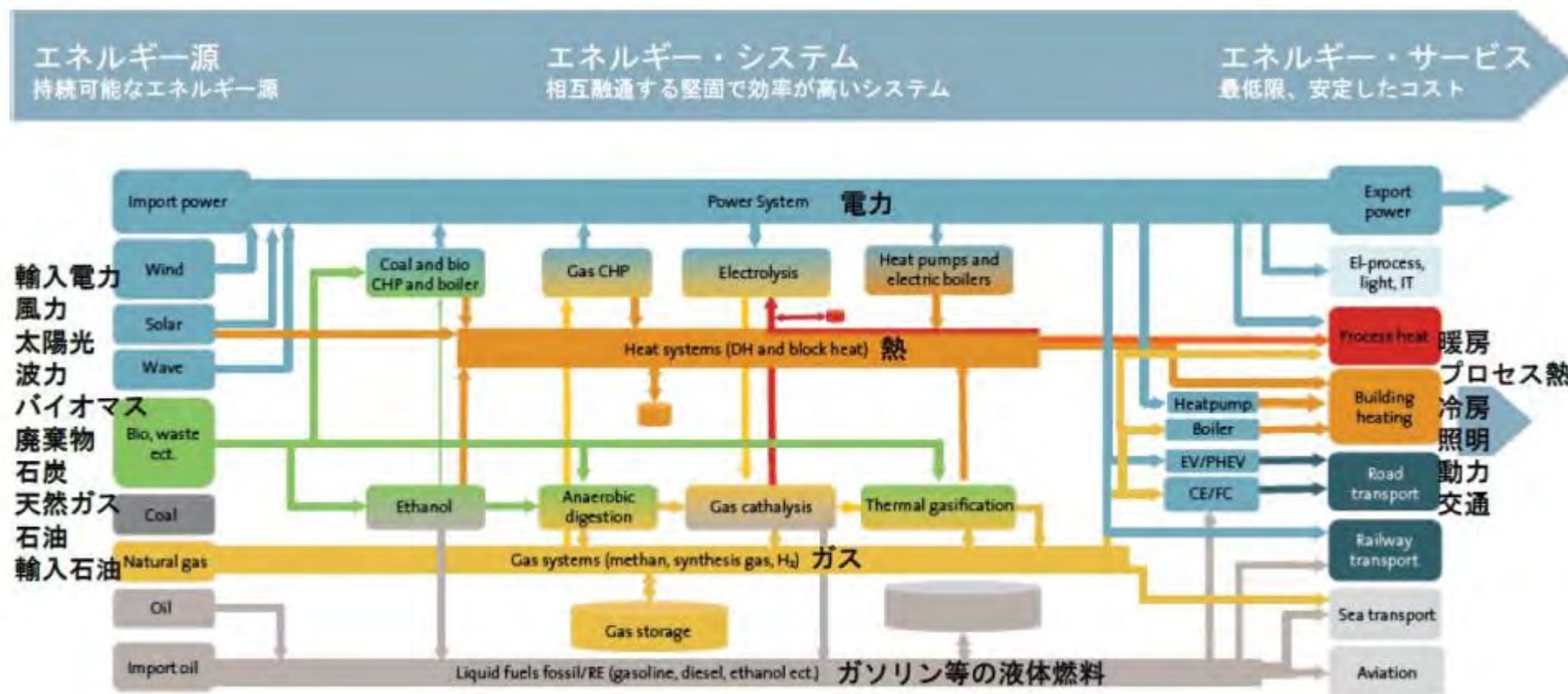




最終エネルギー利用（2022）の 再生可能エネルギーの割合

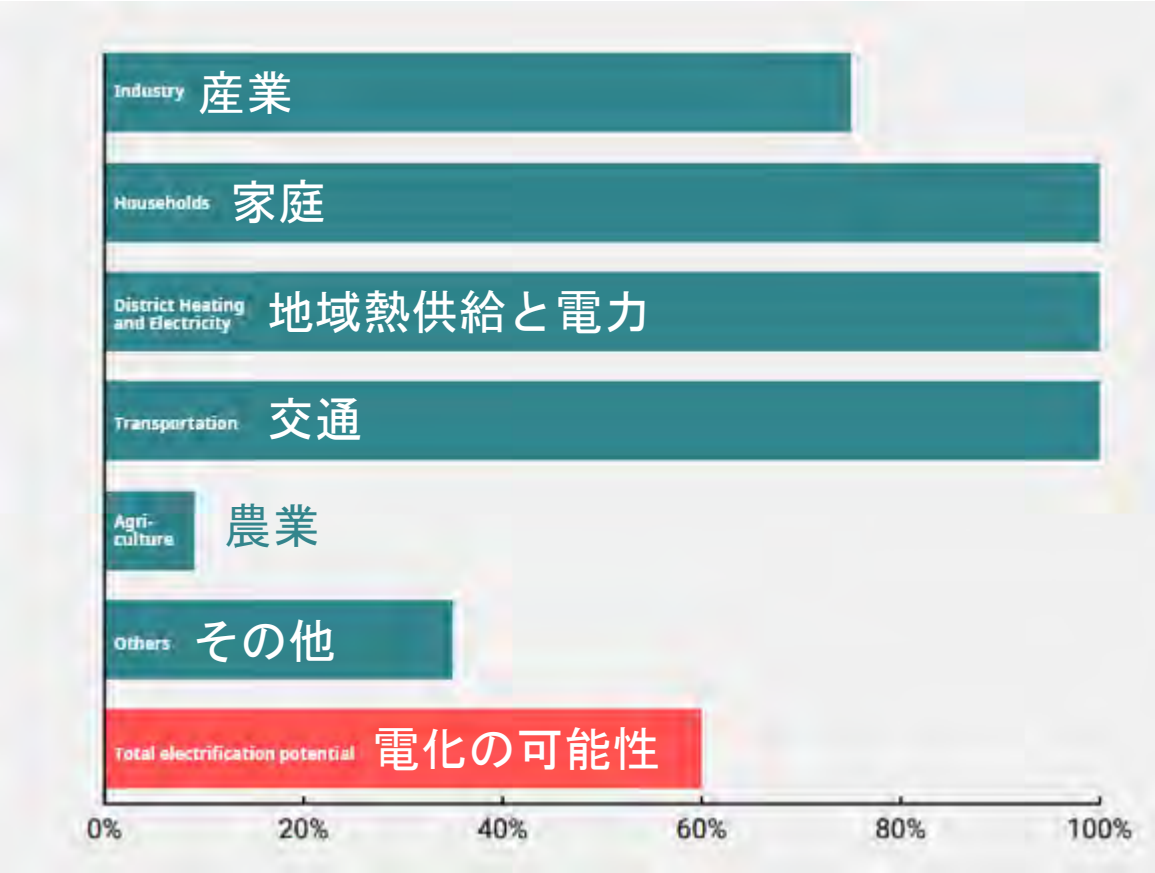


デンマークが目指すエネルギーシステム セクター・カップリング



ロバストでエネルギー媒体が相互融通し、エネルギー効率も
経済性も高いエネルギー・システム

部門別の直接・間接電化の理論的可能性



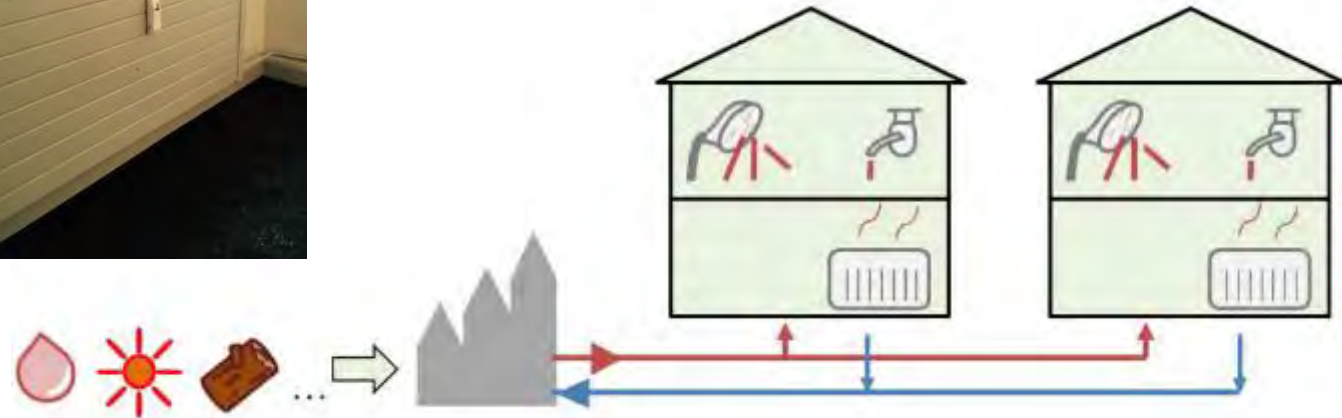
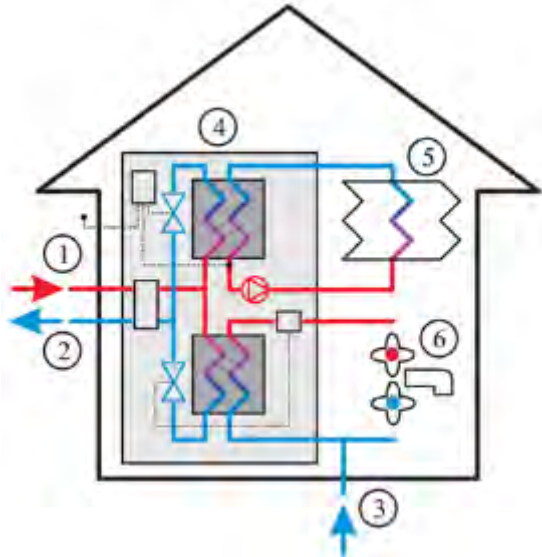
ELECTRIFYING SOCIETY The road to a more electrified Denmark (デンマーク語)

自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE



- 限定された箇所で熱（お湯）を作ることによって熱を生産する効率が上がる*
- 再生可能エネルギー・廃熱を導入し易い
- 余剰電力を使うことによって再生可能エネルギー（電気）の変動を吸収することができる

↓ 熱源設備の熱効率を考慮に入れる



<http://www.energy-democracy.jp/1971>

エネルギー・システムにおける熱の役割



自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

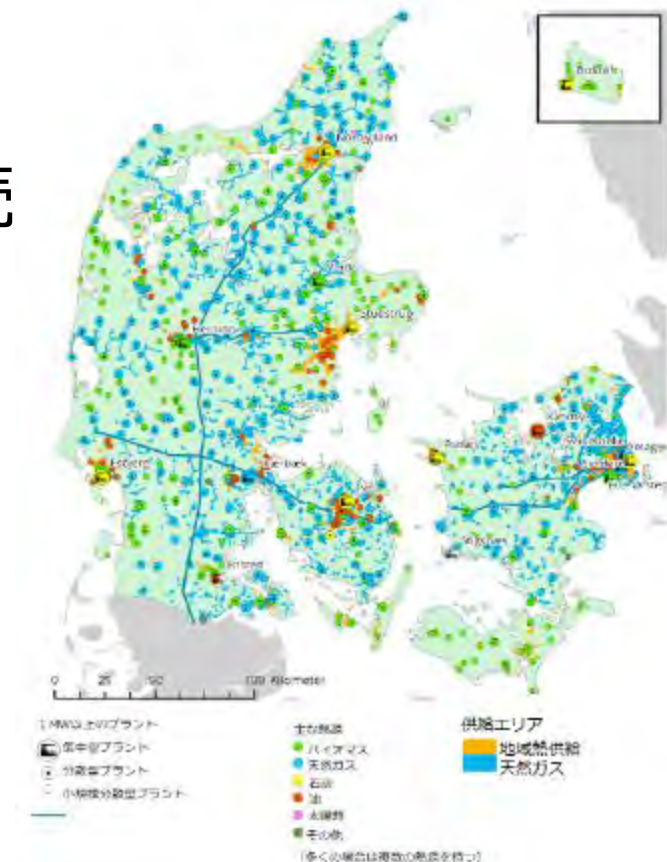
- 新たに国のエネルギー政策が提示される度に**地域熱供給は柔軟性を発揮**
- 変動が大きい**再生可能エネルギーの大量導入に貢献**
- 長年、「電気」と「熱」の
セクターカップリングを実践



デンマークにおいての熱供給の現状

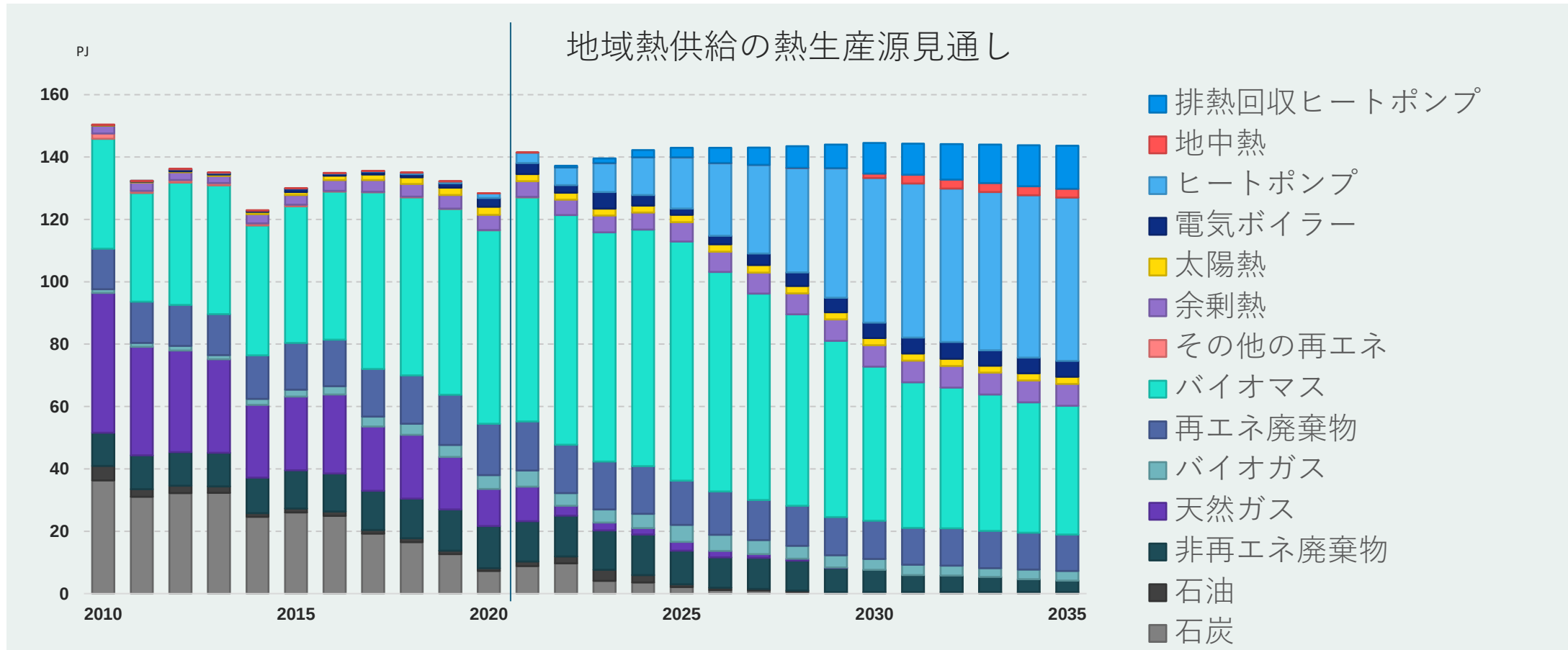


- **熱需要の約半分、エネルギー需要全体の17%が**
地域熱供給によって供給
- 家庭部門は約171万世帯全世帯の**66%**が接続
- **お湯（70℃～）で供給**（蒸気はほとんどなし）
- コペンハーゲンなどの**6か所の大模集中型地域熱供給**が国内の供給量56 %、67PJを供給
- **400か所の中小規模分散型地域熱供給**が約53 PJの熱を供給
- 地域熱供給事業者の12.5%は自治体所有、85%は利用者組合など利用者が直接経営



地域熱供給のエネルギー転換

バイオマスは、2020年には全体の48%を占め、2022年には54%でピークに
電化傾向により、2030年には34%、2035年には29%に減少を予測



- CHP（コジェネプラント）
- 清掃工場
- 排熱の更なる活用
 - スーパーマーケット
 - データセンター
 - 水素



コペンハーゲン広域の地域熱供給



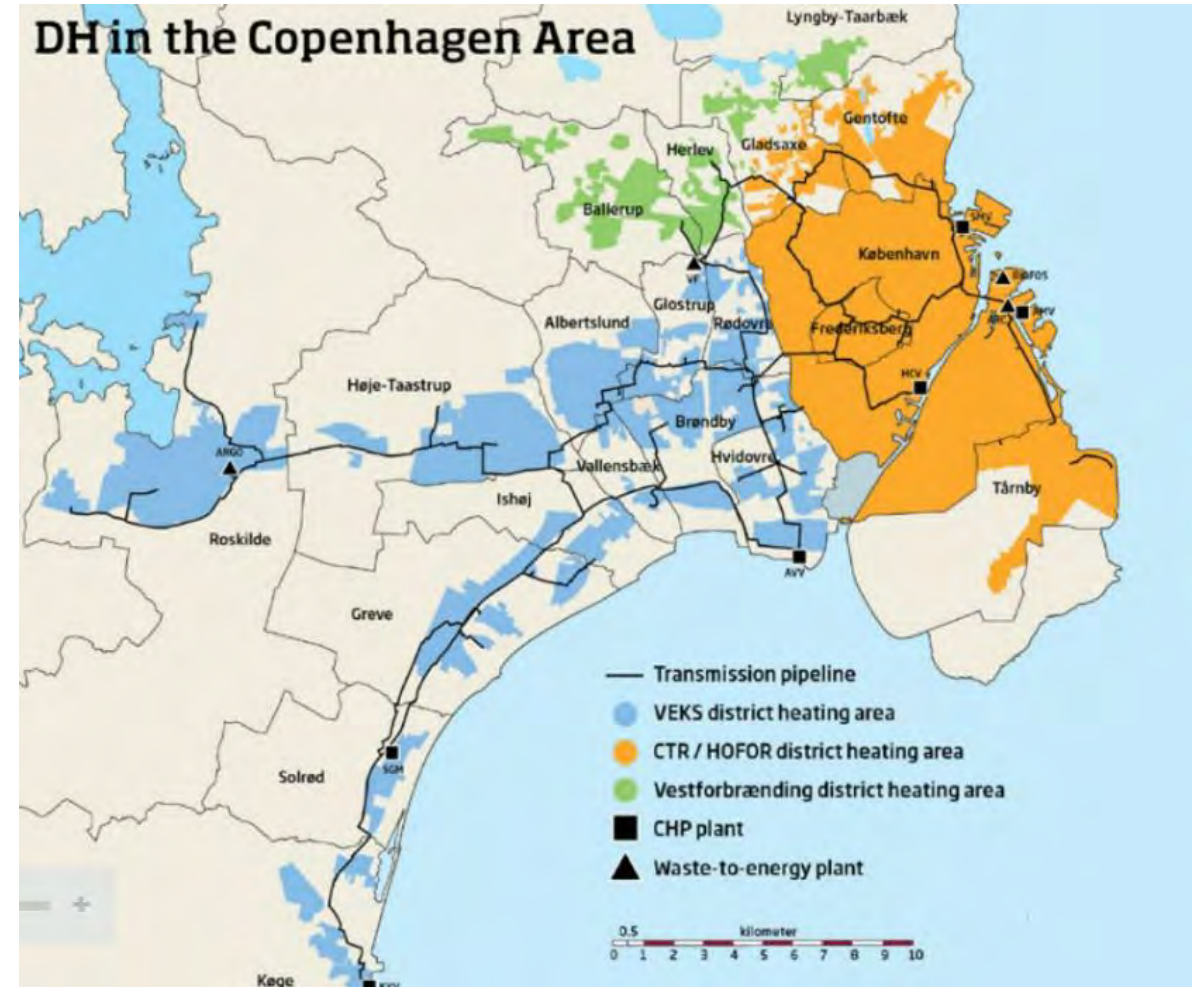
自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

- 38PJ (2020)
- デンマーク全体の熱需要の約25%
- 集中型コジェネプラント (2150MW)
ヒートポンプ (50MW)
産業排熱・下水排熱
- 2700MWh の蓄熱槽

22自治体、100万人に供給

熱源

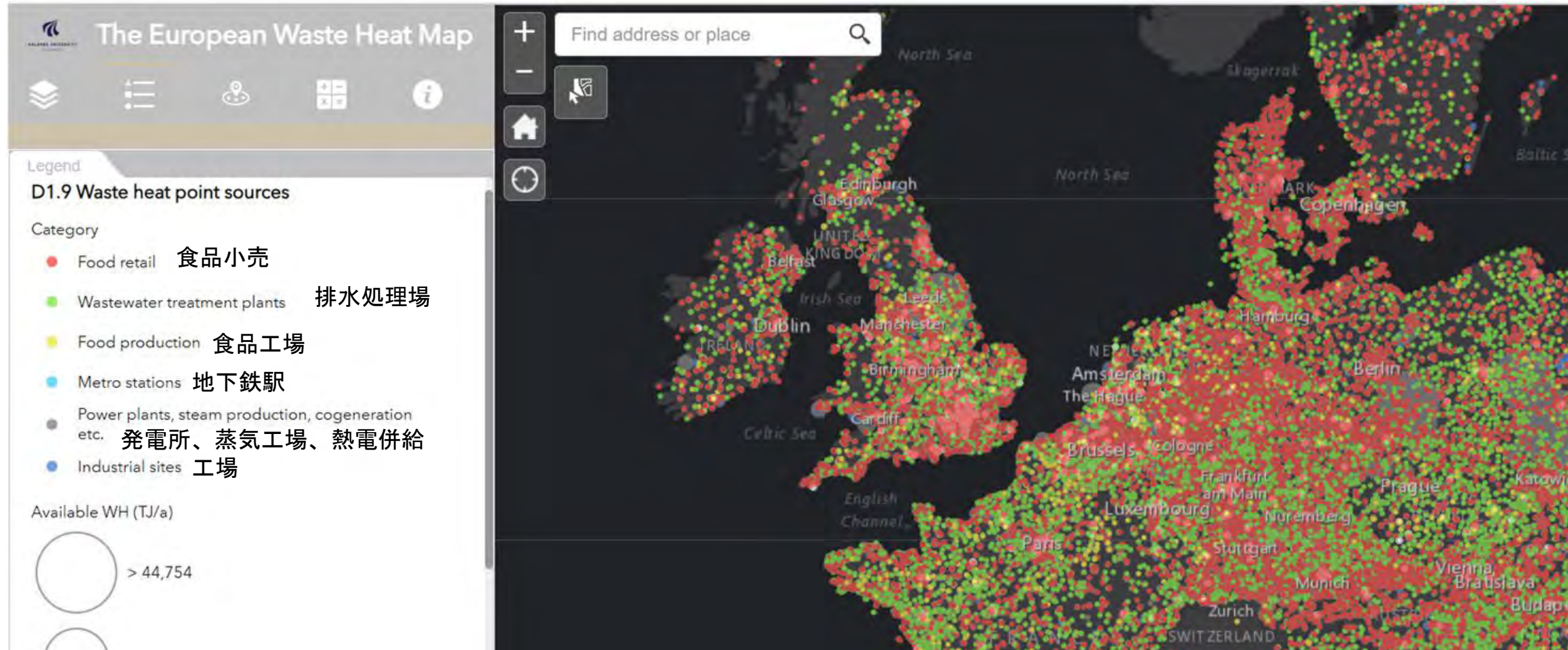
廃棄物焼却炉 (25%)
発電所=CHP (70%)
ボイラー (5%)



Waste Heat Map



自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE



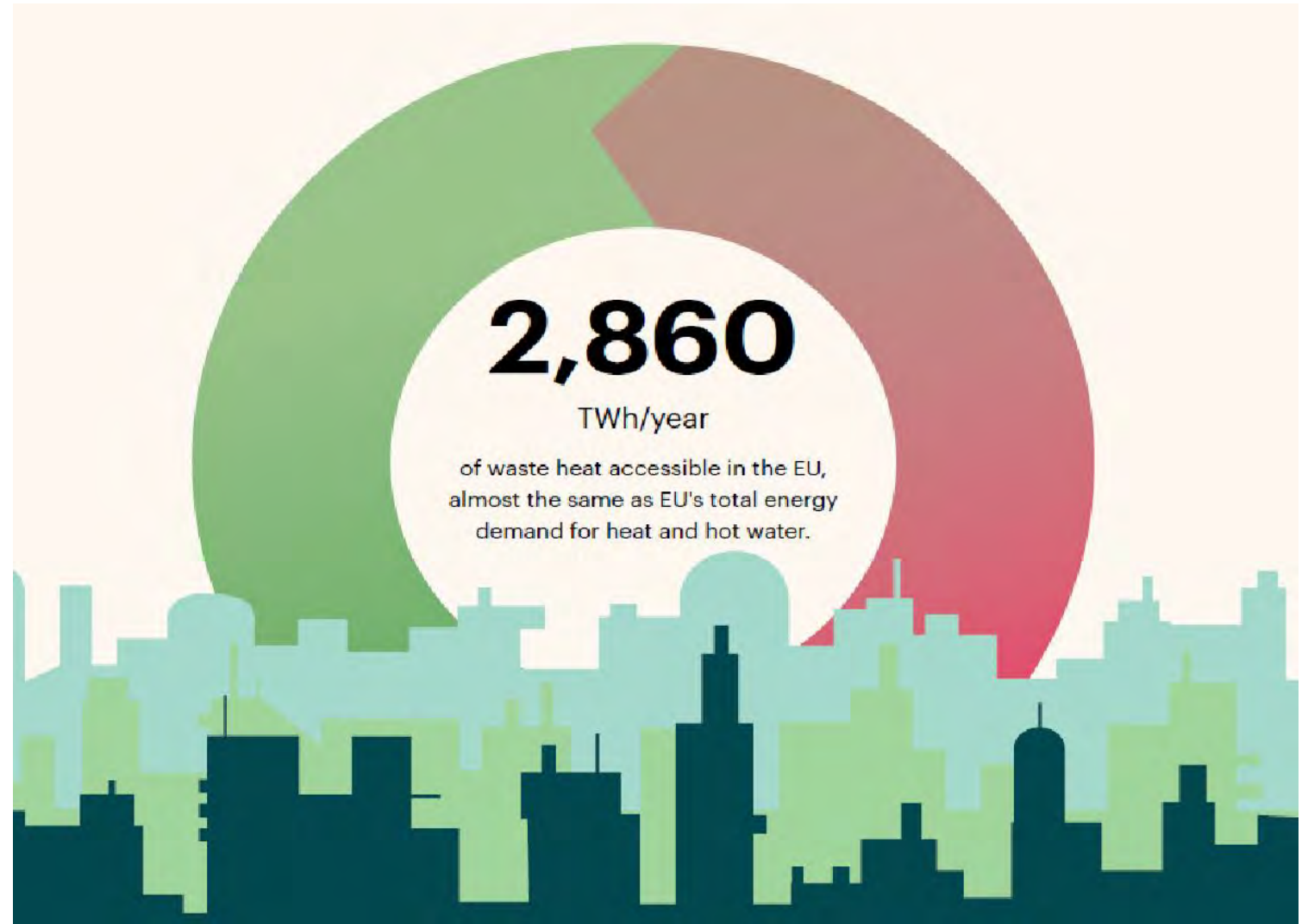
Moreno D., Nielsen S. & Persson U. (2022). The European Waste Heat Map. ReUseHeat project - Recovery of Urban Excess Heat. Last update: 2022-05-31. Available at: <https://tinyurl.com/2wvh7ud7>

EU
アクセス可能な排熱
2,860TWh/y

民生部門の暖房・給湯需要
3,180 TWh/y

オランダ
アクセス可能な排熱
156TWh/y

民生部門の暖房・給湯需要
152TWh/y



データセンターからの排熱活用事例



自然エネルギー財団
RENEWABLE ENERGY INSTITUTE

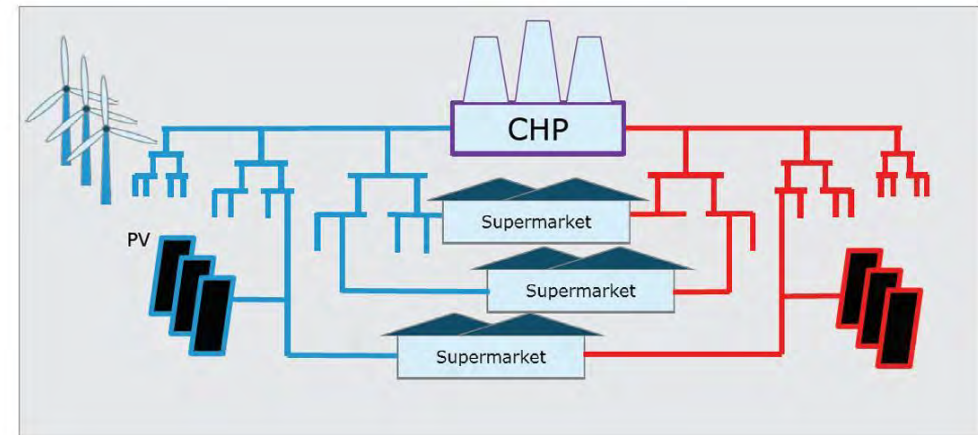
- IEAによると2021年にはデータセンターの電力消費量220-320 TWh 全世界の電力消費の0.9-1.3%に匹敵
- 排熱の売却を二次ビジネスに
- Facebookのデータセンターが約 125,000 MWh の熱をオーデンセ市 7000世帯に地域熱供給を通じて無償で供給



Surplus heat from data centre used for district heating
(stateofgreen.com)

スーパーからの排熱の活用事例

- 冷蔵設備からの排熱利用
- デンマークのスーパーMenyでCO₂ 排出量89.7%削減を達成
- 回収された排熱はそのまま自家消費でも地域熱供給事業者に売却も可能

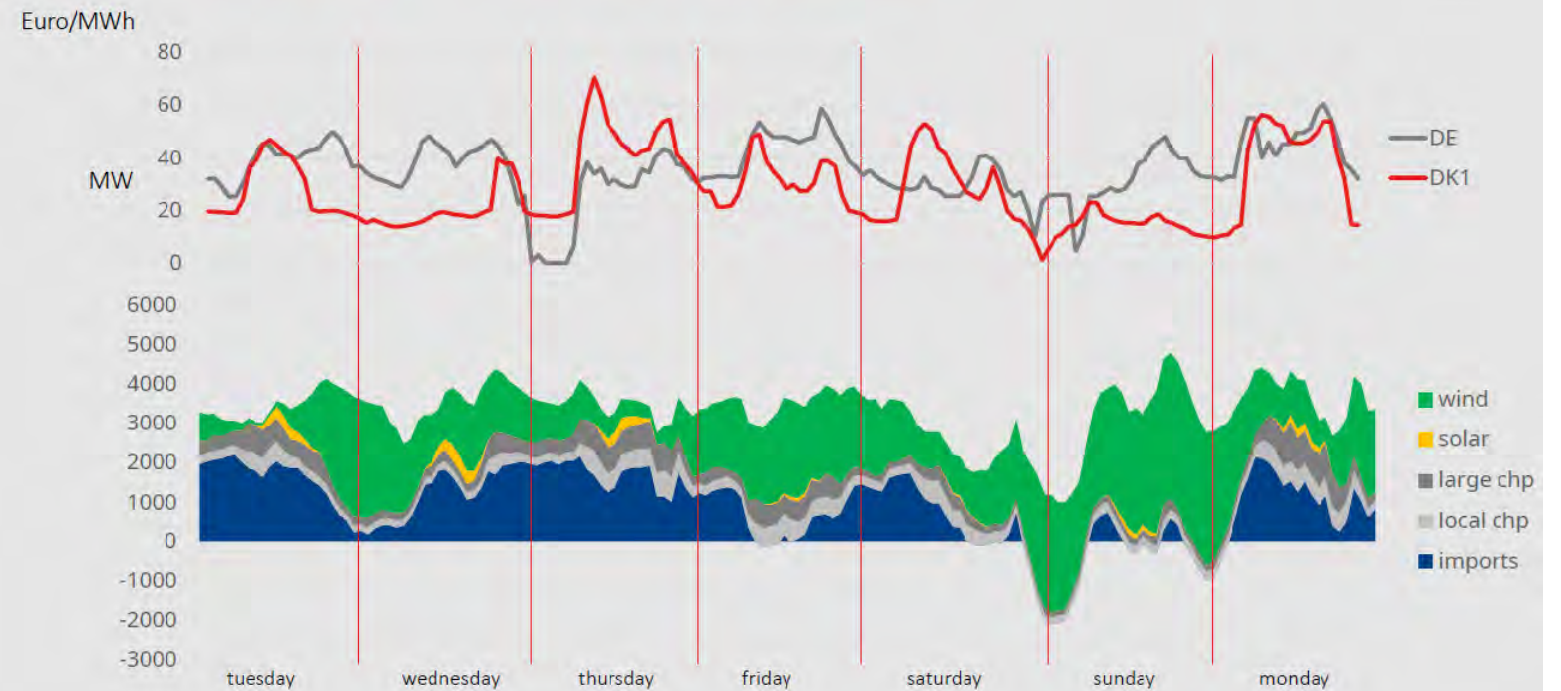


Danish supermarket cuts heating bill and CO₂ footprint with Danfoss Heat Recovery Unit (HRU) | Danfoss

Smart energy systems impact on supermarkets | Danfoss

- 蓄熱
- 電力市場との関係

デンマーク西部とドイツの前日市場価格



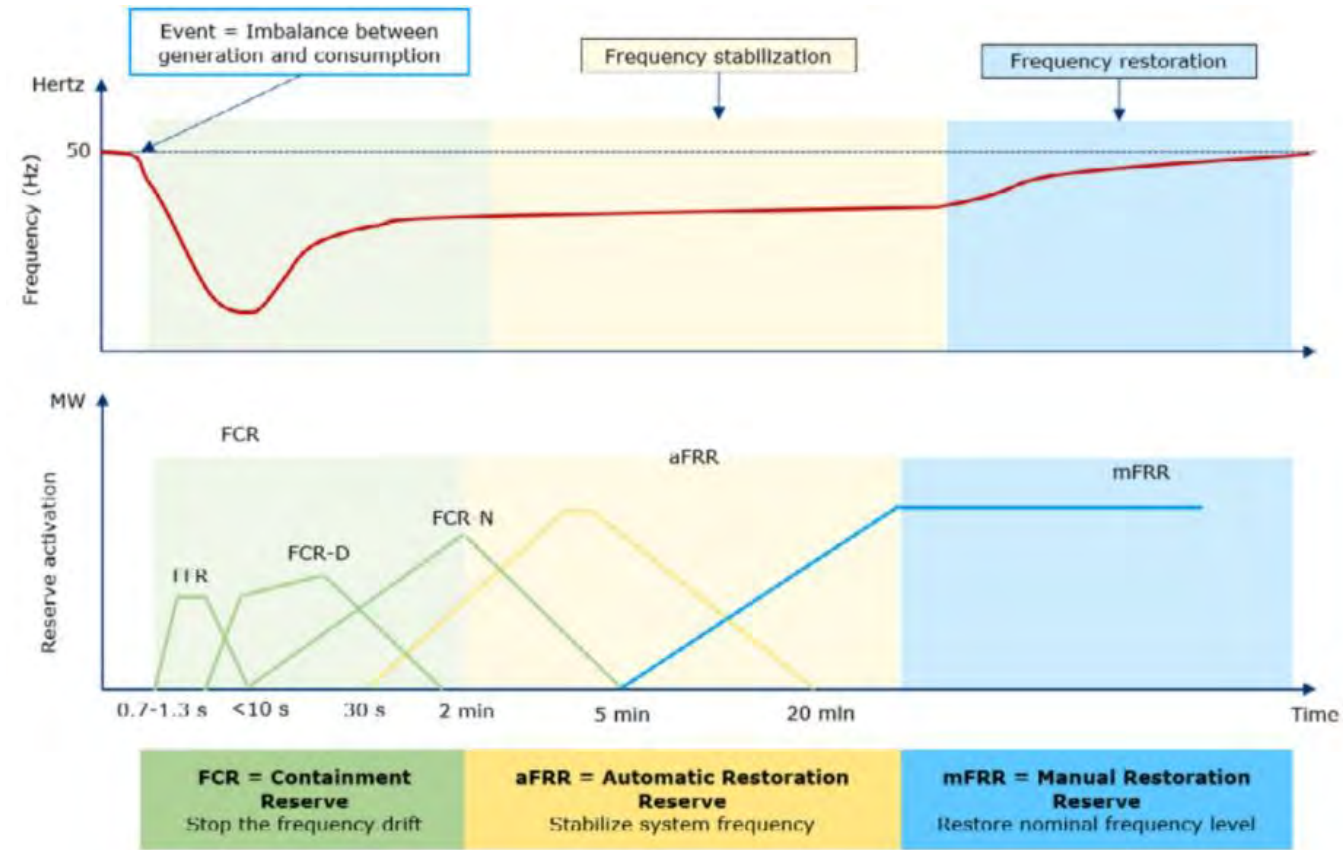
蓄熱の必要性



- 熱生産と消費のタイミングを分離
- 日々の蓄熱 (Daily Storage)
- 季節間蓄熱 (Seasonal Storage)



熱供給が電力網の安定化に大きく寄与



(MW)	FCR	aFRR	mFRR
DR	1.0		
電池			0.4
電気 ボイラー	56.0	138.0	10.0
ヒート ポンプ		0.7	
発電所	8.0		20.0
ディーゼル エンジン			3.8

日本語での参考資料

