

デンマークに於ける再生可能エネルギー利用の取り組み

高井 久光
酪農学園大学特任教授
コンサルタント、オーフス大学・工学研究所
INTAC 理事



- 人間がなしうる平均的仕事率：約100W (大田時男、ソフト・エネルギー)
- 人間は自ら汗してする労働のエネルギーの67.5倍の外部エネルギーを使っている (大田時男、ソフト・エネルギー)
- 地球に吸収される太陽光エネルギーの量は約 1.2×10^{14} kWであり、全人類のエネルギー需要の1～2万倍と推定されている。 (大田時男、ソフト・エネルギー) http://www.d7.dion.ne.jp/~shinri/solar_energy.html
- 地球上に到達する太陽光のエネルギー量：約1kW/m²
- 太陽光発電のエネルギー効率：10から15%程度
http://www.d7.dion.ne.jp/~shinri/solar_energy.html
- 現実の風車のエネルギー効率：40%以下
<http://www.rm-koubou.mce.uec.ac.jp/contents/Report/windcar/column-2.html>
- 理想風車のエネルギー効率：約59%

1985年デンマーク議会は原子力発電所建設を否定した。

- 1957～2001年：Risoe National Lab. に於いて原子力実験施設が運転された。
- 1960年代～：デンマークでは、原子力発電に対して**国民的な反対運動**が展開された。
- 1962年：Dansk 地下資源共同事業体（DUC）を設立
- 1972年：天然ガス会社 Dansk Naturgas A/S（現 DONG：Dansk Olie og Naturgas、国営）を設立。
- 1973/74年：**エネルギー危機**
- 1970年代：DUC北海に**油田ガス田**を見つける。
- 1979年5月30日：天然ガスと熱供給に関する法律が成立す
- 1980年代：デンマーク全土に**天然ガスネット**を建設（事業者：DONG）
- 1980年～：**電熱併給施設**が各地に建設される（多くは地方行政が主導）
中央集中型から**分散型電熱供給体制**へ移行
- 1985年：原子力発電所建設プランを継続しないことが国会で決議された。
- 1986年：1986年4月：**Tjernobył 原子力発電所事故**





一日約1kmの速度で天然ガス輸
送パイプラインがデンマーク全土
に設置された。
施工主：DONGエネルギー

電力・熱供給のインフラストラクチャー

1985年以後、多数の風力発電施設と電熱給施設が各地に建設された。

(中央CHP：16施設、地方CHP：約415施設、風車：約5000機)



— Interconnector (AC)

— Interconnector (DC)

CHP = Combined Heat and Power.

Only CHP plants with capacity over 0,5 MW are shown.

● Centralized CHP

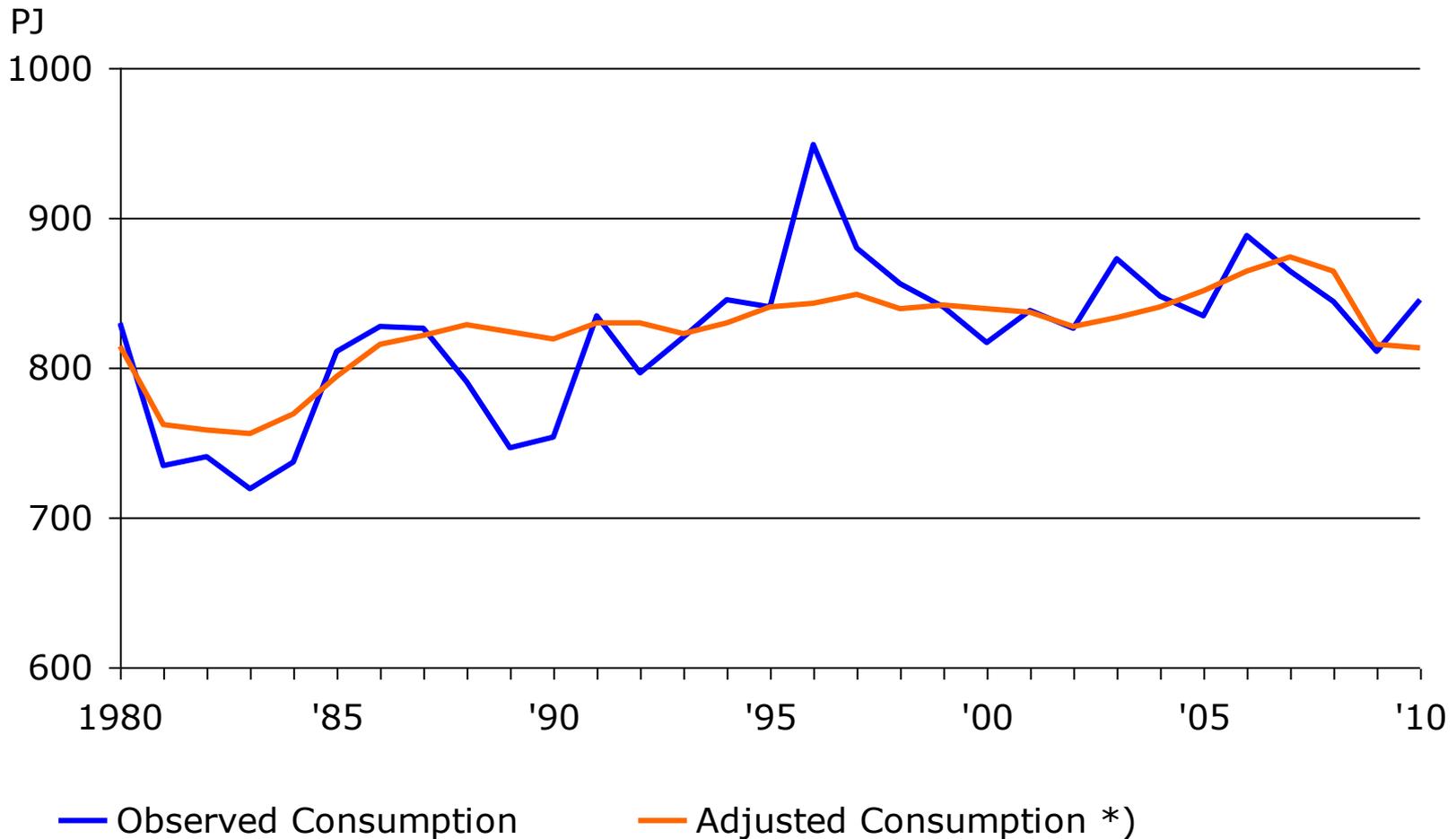
● Decentralized CHP

● Wind turbine

● Offshore wind turbine

総エネルギー消費量1980～2010年

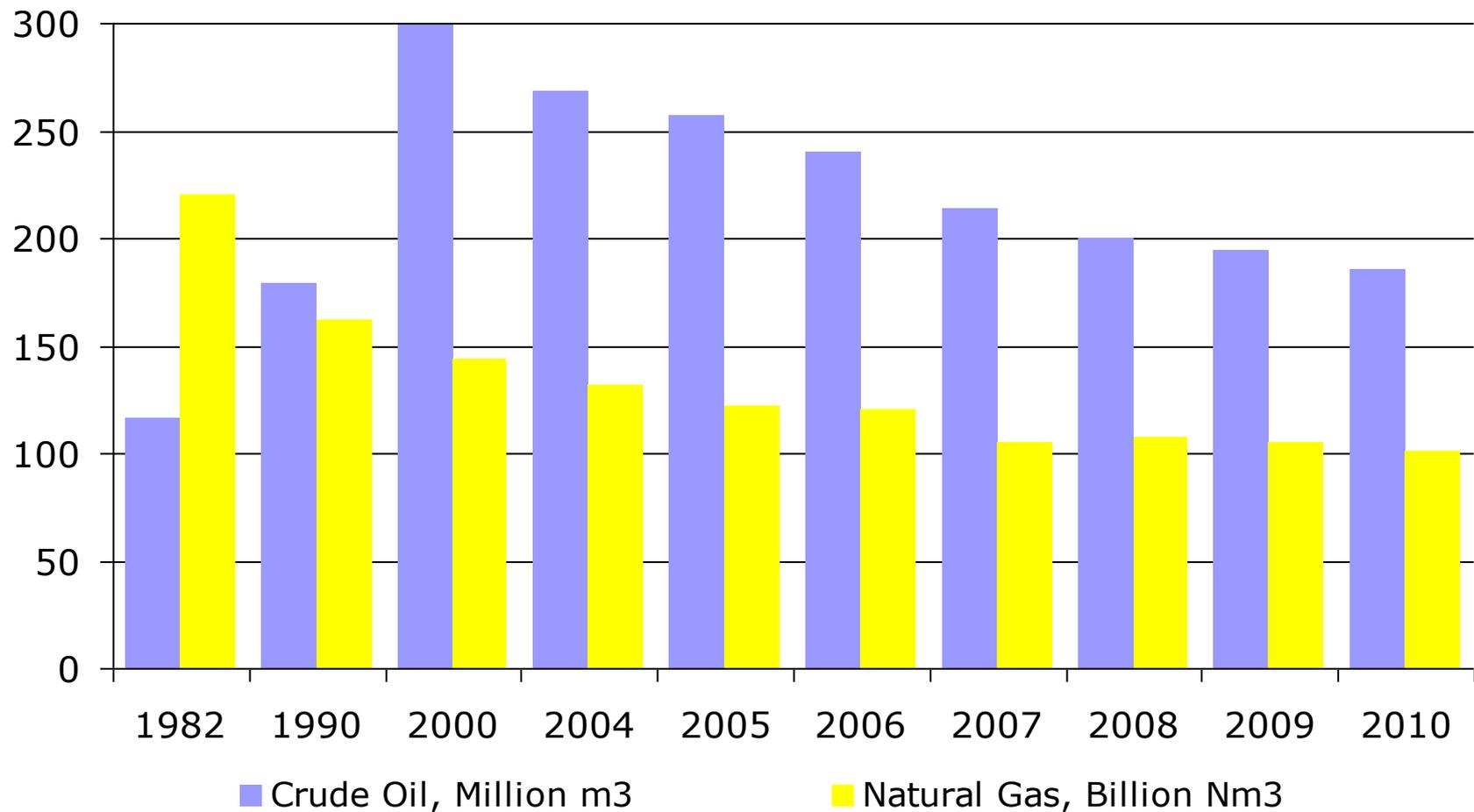
— 観測値 — 調整値



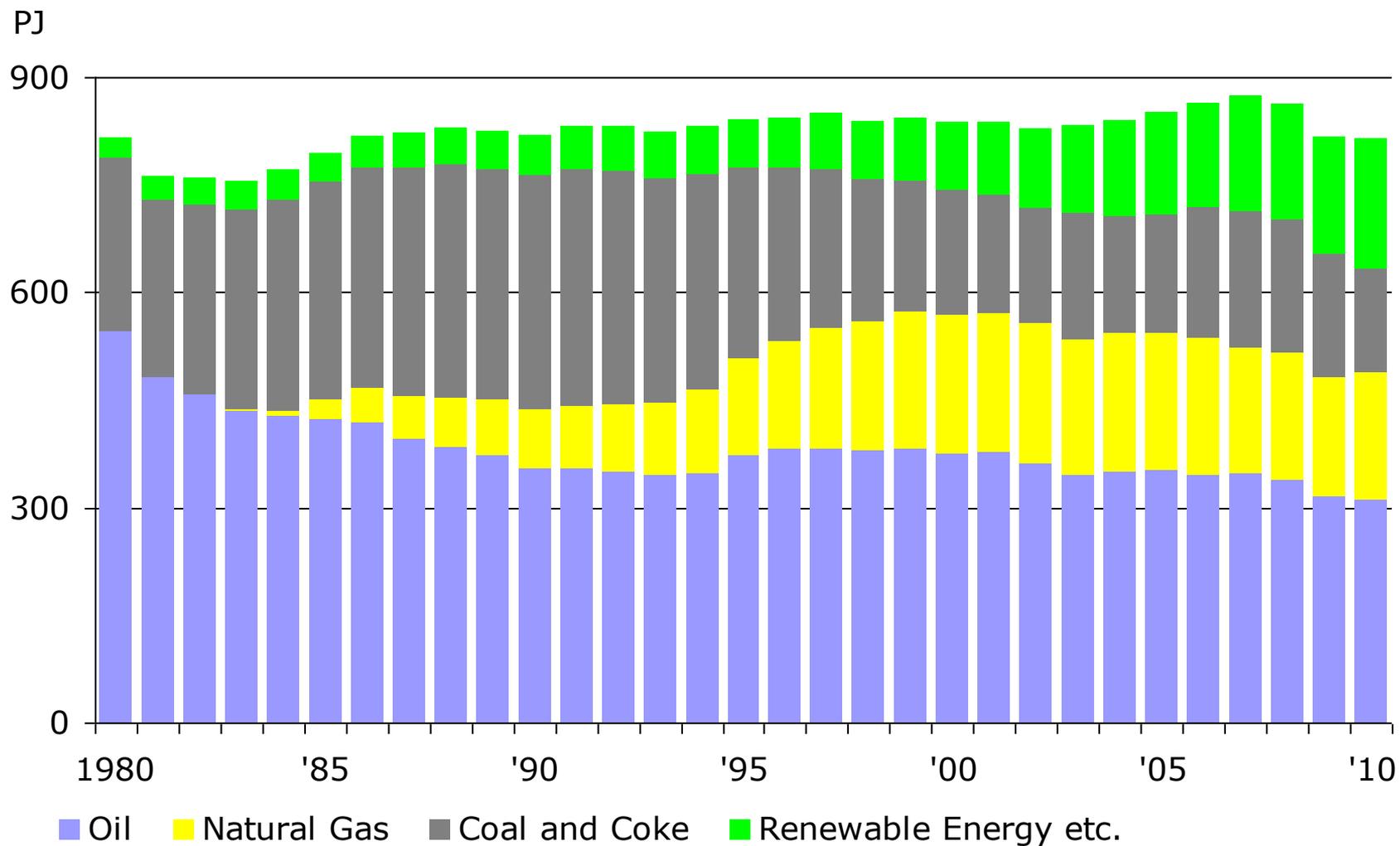
***) Adjusted for climate variations and fuels for net exports of electricity.**

資料: デンマーク、エネルギー庁

デンマーク領内エネルギー資源量の変移1982～2010年



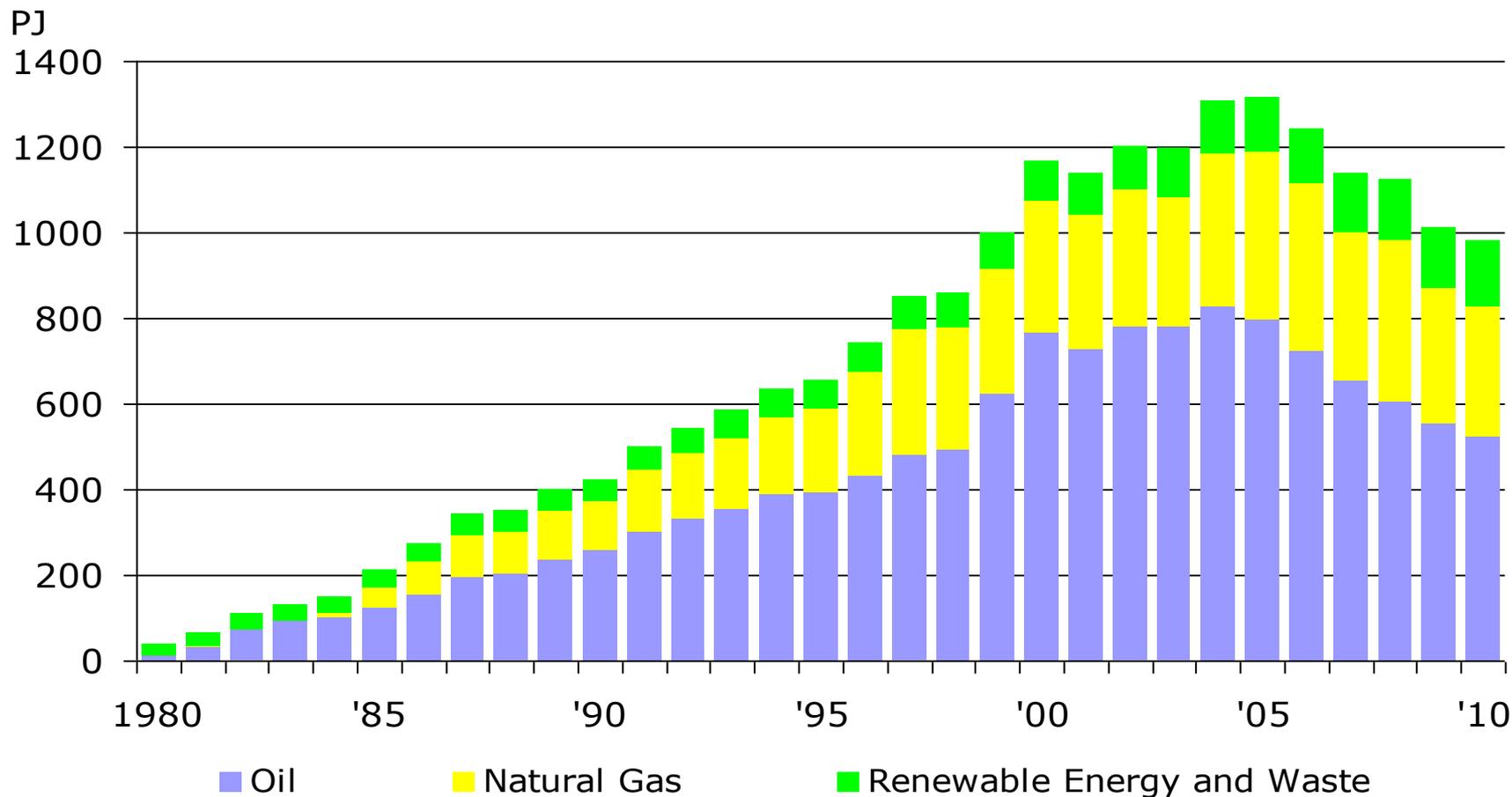
燃料別総エネルギー消費



Gross energy consumption is the quantity of energy necessary to satisfy inland consumption of the geographical entity under consideration.

資料: デンマーク、エネルギー庁

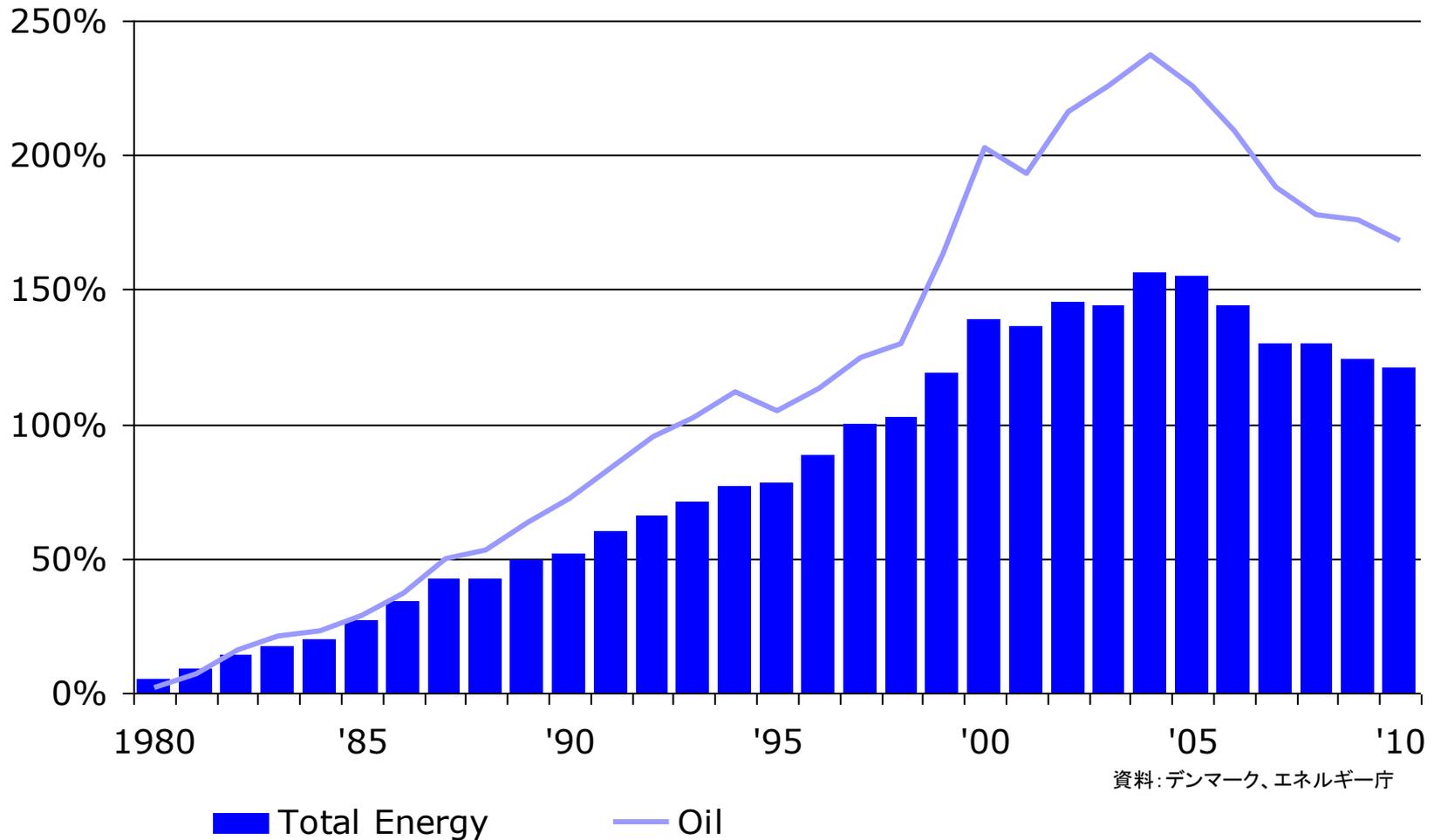
エネルギー生産量の変移1980～2010年



資料: デンマーク、エネルギー庁

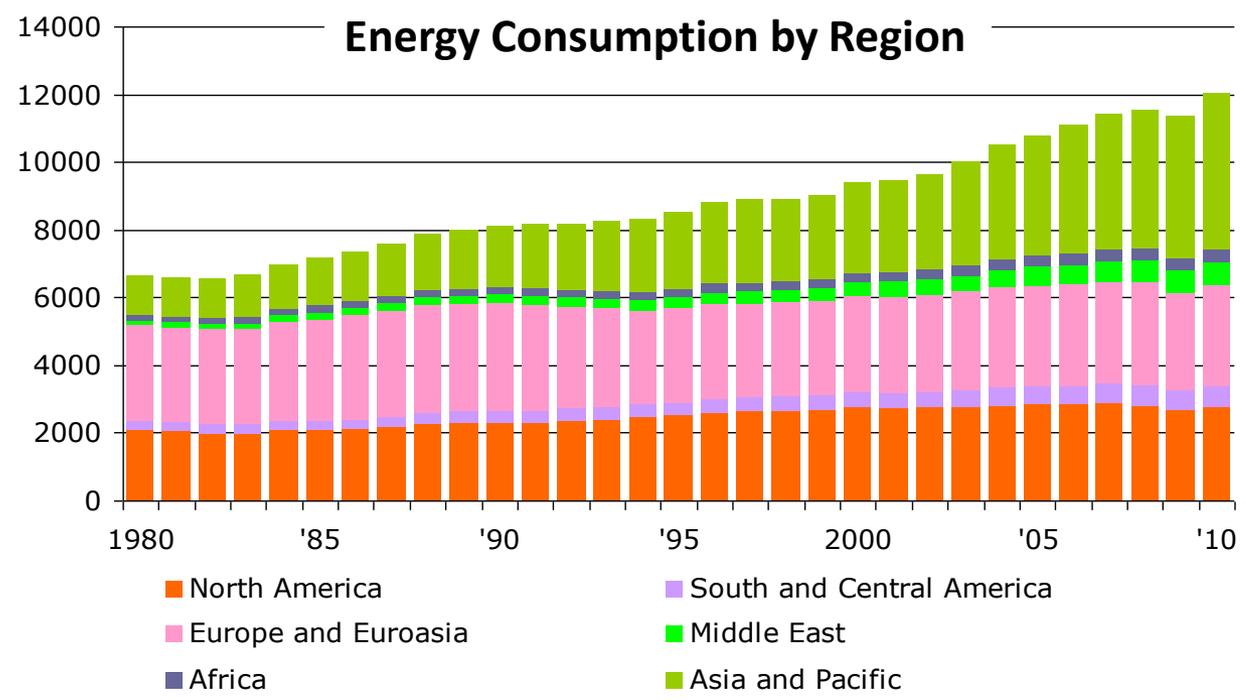
エネルギー自給率の変移1980～2010年

北海油田の埋蔵量はハッキリ解明されていない。新しい油田が開発されない場合、デンマークは2015年以後エネルギー輸入国になる。



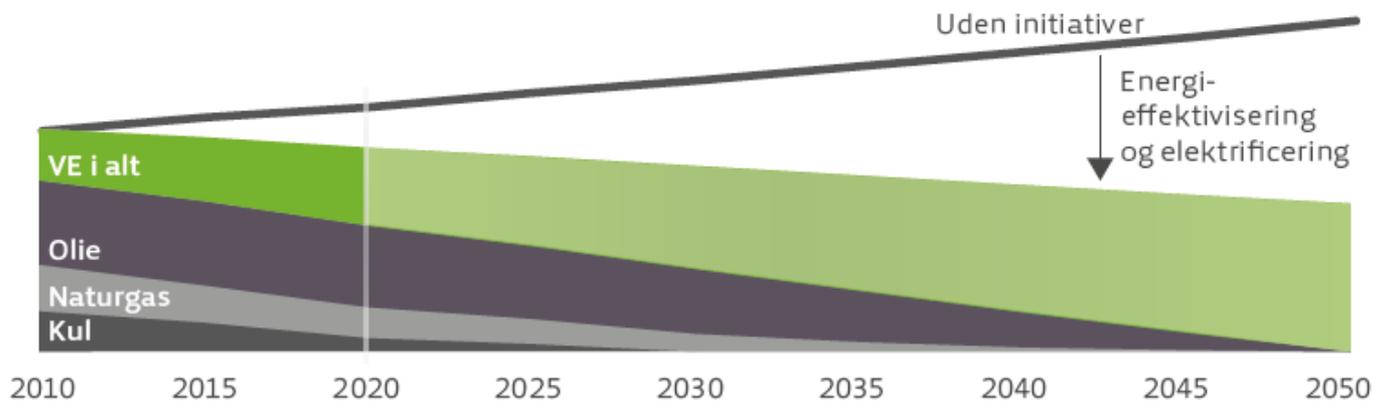


Proven Oil Reserves End of 2010
Billion Barrels: Total 1.383 billion Barrels



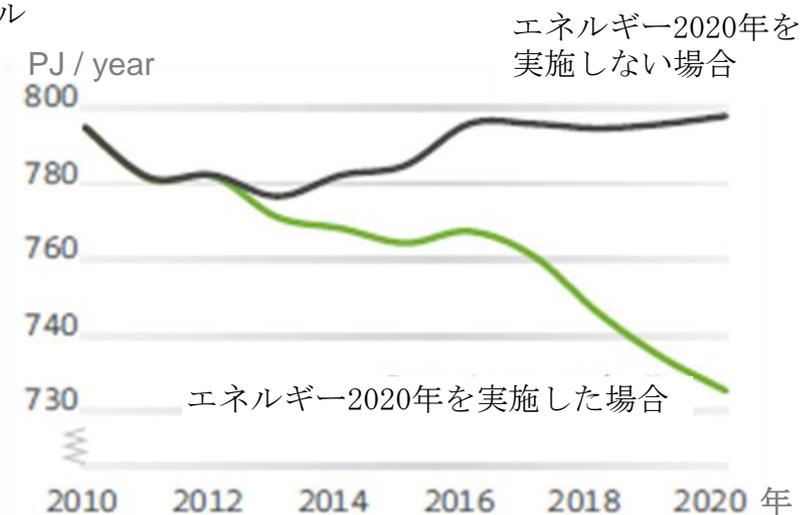
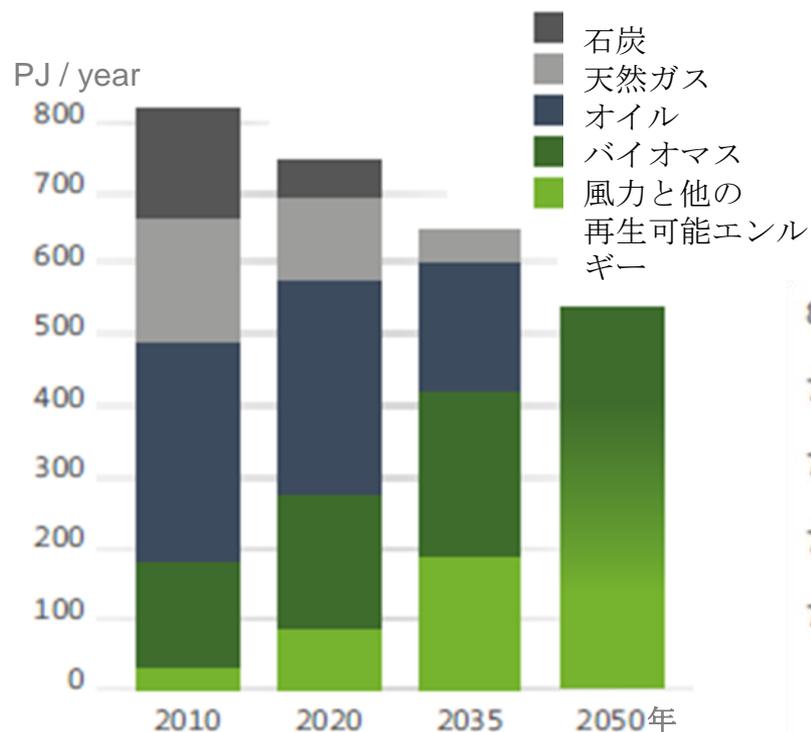
エネルギー2050年ビジョン

- 1) 2020年までに電力消費の半分を風力でまかなう。
- 2) 2030年までにデンマークの火力発電施設での石炭使用を撤廃する。
- 3) 2035年までに電力と暖房は再生可能なエネルギーでカバーする。
- 4) 2050年からはエネルギー補給全て（電力、暖房、商工業、輸送）を再生可能エネルギーでまかなう。



エネルギー2050年ビジョン実現のカギは省エネと電化。

- 電力は柔軟なエネルギー源。省エネにより電力利用の間口を広める場を確保する。
- 輸送システム（自動車）の電化がどこまで実現するかが、2050年ビジョン実現の最終段階のカギになるだろう。
- 風車発電のシェアが大きなシステムで安定した電力供給を確保するには、電力輸出入と他の再生可能エネルギー生産とのコーディネーションが重要。



2050年ビジョン実現への方策

- 1) **エネルギー利用の効率化**: 補助金制度の再整備、公共施設での努力の強化、電力・熱供給会社/組合にその義務を負わせる、、、
- 2) **電化の推進**: ヒートポンプの利用、長期的には電気自動車、ハイブリッド車利用を推進する、、、
- 3) **再生可能エネルギー利用の推進**: 風力発電(陸上 & 洋上)、法制度の整備、再生可能エネルギー生産への補助金を増やす、新技術を積極的に取り入れる(電気自動車、太陽光発電、第一世代バイオ燃料、第二世代バイオエネルギー、波力発電、、、)
- 4) **上記3テーマ推進に必要な研究と開発およびデモンストレーション事業**: エネルギーの貯蔵技術、電力ネットのインテリジェント・コントロール技術、グリーンテック輸送システムなどの研究開発。将来、グリーン・テックを輸出産業に育てたい。フルスケール実証実験の場を提供する

再生可能エネルギー

自然の力で定常的（もしくは反復的）に資源が補充されて枯渇することのないエネルギー

太陽光、風、波、潮力、流水、地熱、バイオマス等から得られるエネルギー

例：水力発電、風力発電、太陽光発電、地熱発電、バイオマスやバイオガスを燃焼する電熱併給施設

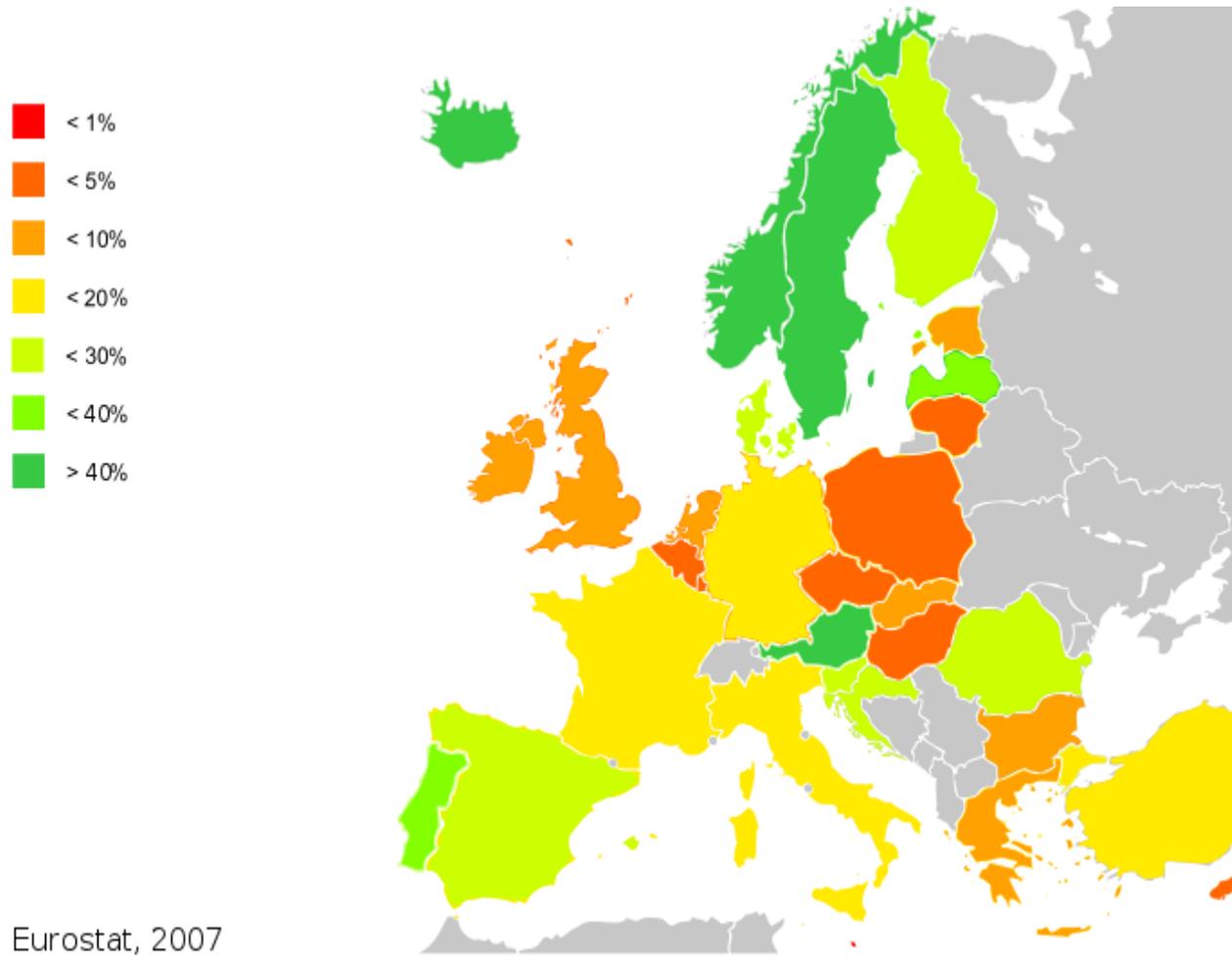
間欠的で変動が大きい、温度が低い、、、

（対義語）

枯渇性エネルギー

化石燃料（石油、天然ガスなど）やウラン等の埋蔵資源から導かれるエネルギー

ヨーロッパ諸国の再生可能エネルギー利用割合



デンマークで得られる再生可能エネルギー資源

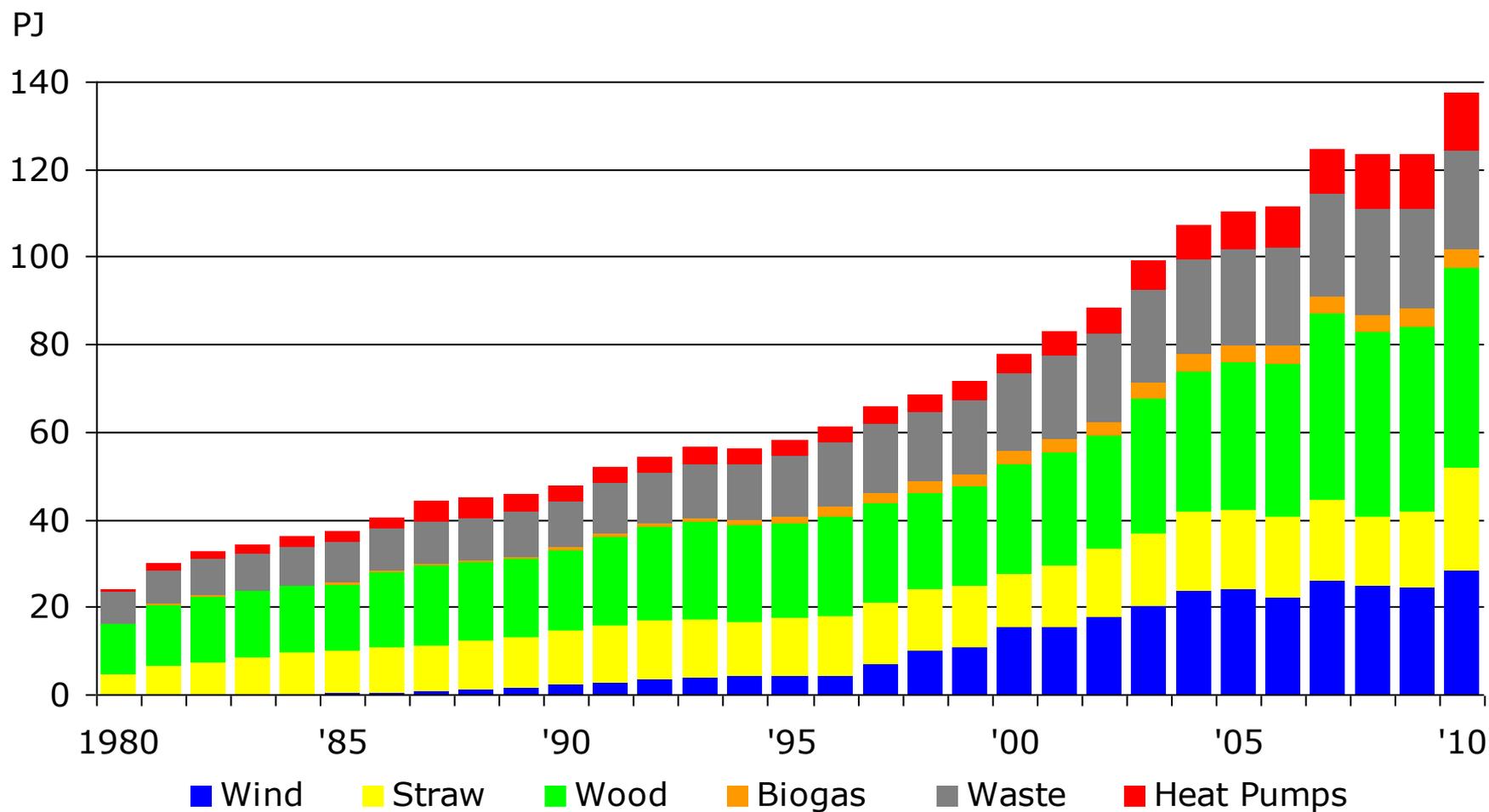
利用技術が確立している資源：

- 風力（風車）
- バイオマス（ワラ、エネルギー作物、木屑、有機廃棄物、バイオガスなどを燃焼する電熱併給施設：バイオマスの確保が問題になるかも知れない）
- 地熱・空気熱（ヒートポンプによる暖房給湯施設）
- 太陽光（集熱パネル（温水）、ソーラー発電：経済収支が問題）

技術開発、政治的・国民的合意を必要とする資源：

- 燃料電池
- バイオディーゼル、エタノール

再生可能エネルギーの年間生産量の変移



資料：デンマーク、エネルギー庁

エネルギー2050年ビジョン実現への第一歩 エネルギー2020年政策実施枠に関し与野党が合意

1) 2020年までに達成する目標値：

- 2006年比でエネルギー消費を12%削減する。
(総エネルギー消費を864PJから約760PJまで削減する。)
- 再生可能エネルギー利用率35%
(再生可能エネルギー生産を倍増する。)
- 風力電力の利用率50%
(2010年現在 20.7% 28PJ)
(2020年風力発電を約60PJまで増加する。30PJは
海洋風車約1000機の年間生産量に相当)

2) 2018年に2020年以後の取り組みを討議する。

エネルギー2020年政策実施枠

3) 「緑の発展」を促進する

- 熱供給法を改定し再生可能エネルギー利用を促進する。
- 150万戸の電力需要に相当する風力発電施設（3,300MW）を新設する。
- 省エネ投資に対する補助金制度の強化
- 2013年から重油・天然ガスボイラーの新築家屋への設置を禁止する。
- 2016年から地域暖房あるいは天然ガスへの選択肢のある地域では重油ボイラーの新設を禁止する。
- 省エネ指導とサービスの強化。
- バイオガスの経済的生産環境を向上する（設備投資補助金を20%から30%、バイオガス譲渡価格を47%(1.15Kr./kWに)増額する)
- 研究開発を支援する。
- 家屋の省エネ対策に関する総合的戦略を立案する。



平坦で
海に囲まれた国
デンマークでは
風車発電は
エネルギー生産の柱

- 1970年代に風車開発を始め、ノウハウの蓄積がある。
- 国際市場でのシェアは27% (2008年現在)
- 2012年2月現在の風車総数：4972
- 大型化が進展している。
- 現在、最も大きな風車(シーメンス社)の出力は3.6MW

- 川崎市浮島太陽光発電所：
 - 出力7MW
 - 敷地面積11ha
 - 2100軒分の電力需要を満たす



プラス面：

- 再生可能エネルギー
- 温室ガス・粉塵を出さない
- 高LCA値：35倍

マイナス面：

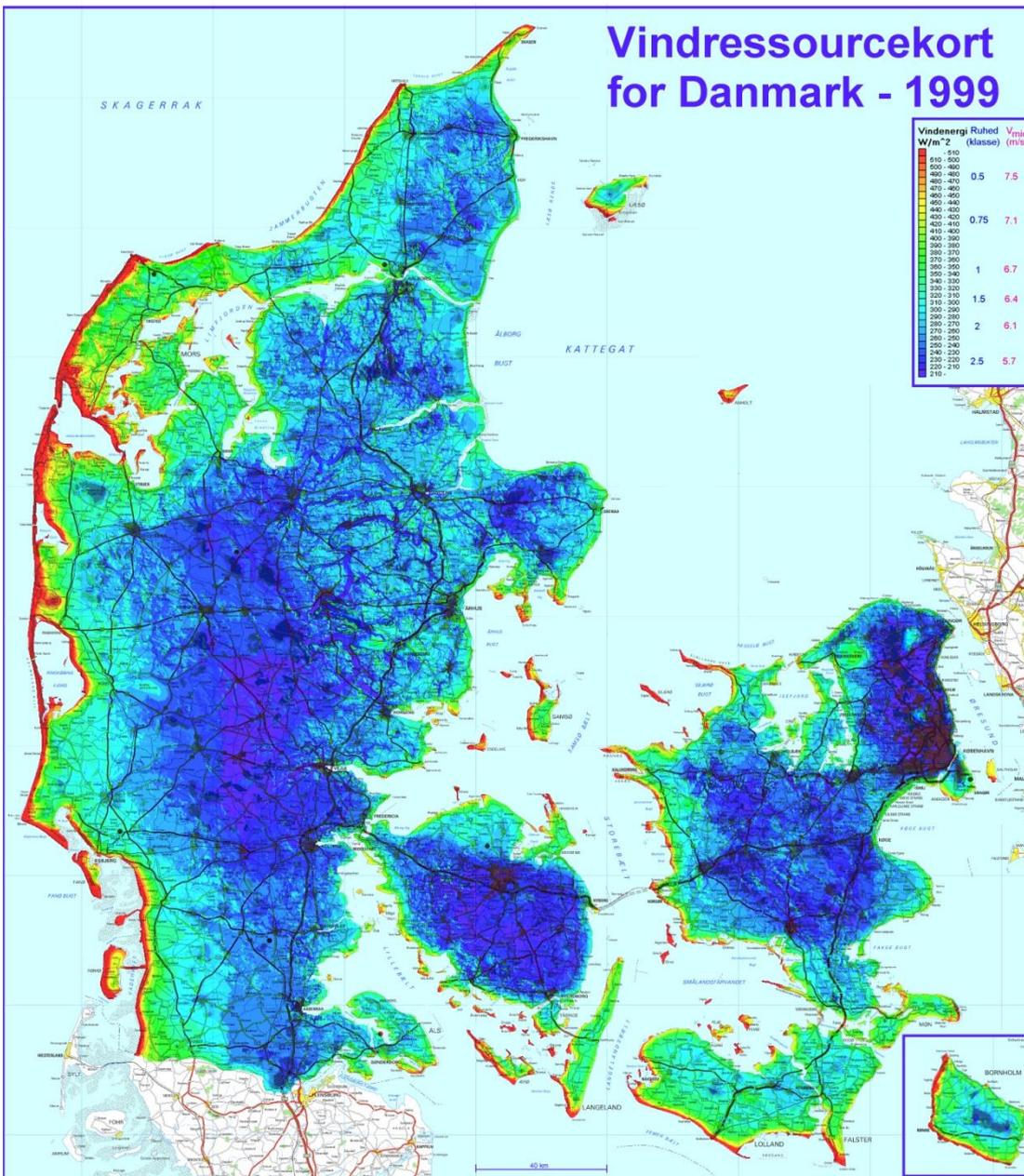
- 電力生産が不安定
- 騒音、影が近所迷惑
- 自然環境に影響する
- 景観を損なうことがある



ドイツでは風車を高速道路沿いに建設し、マイナス影響の軽減を図った。デンマークでもこの方策を支持する団体がある。



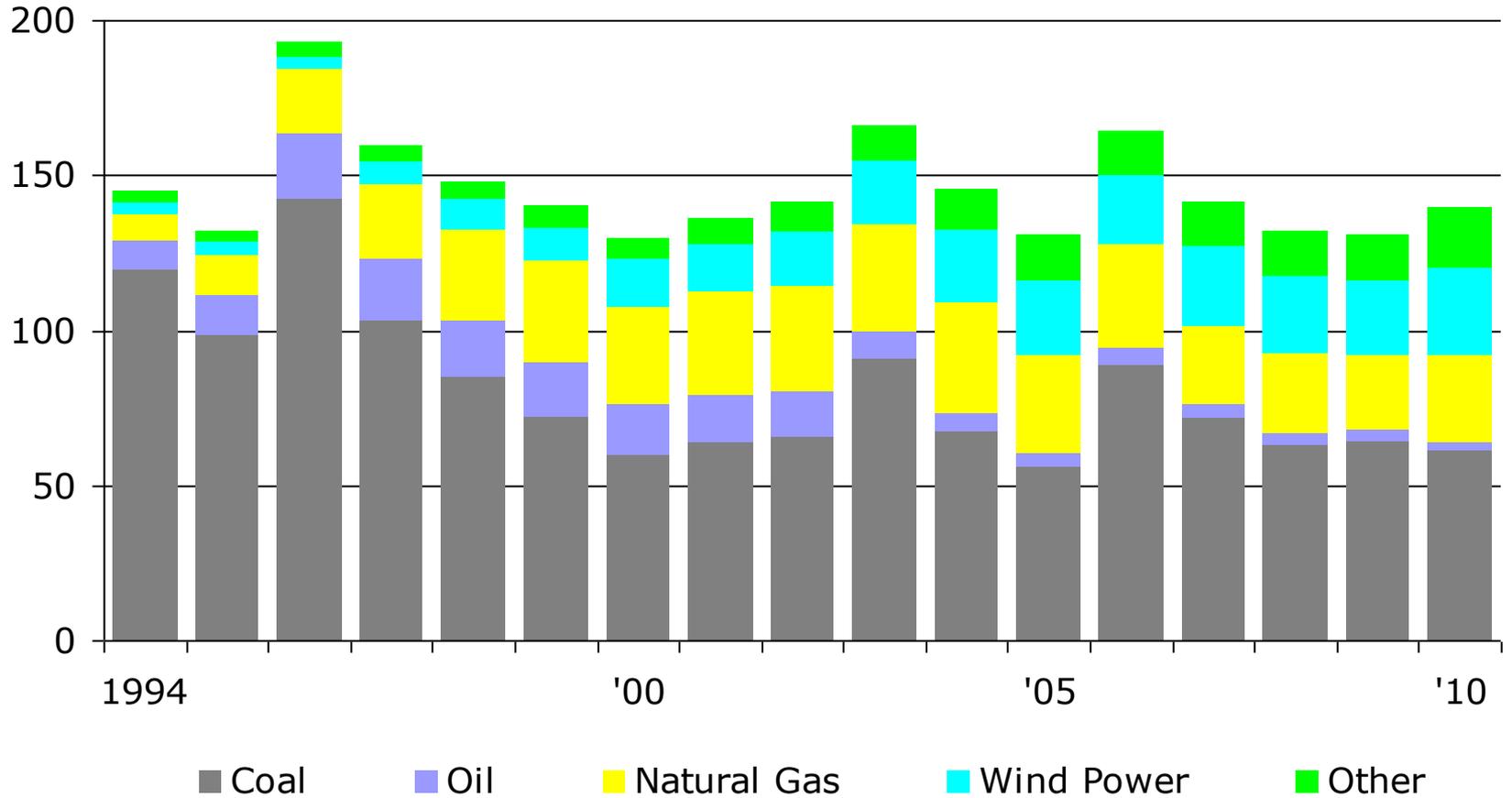
Vindressourcekort for Danmark - 1999



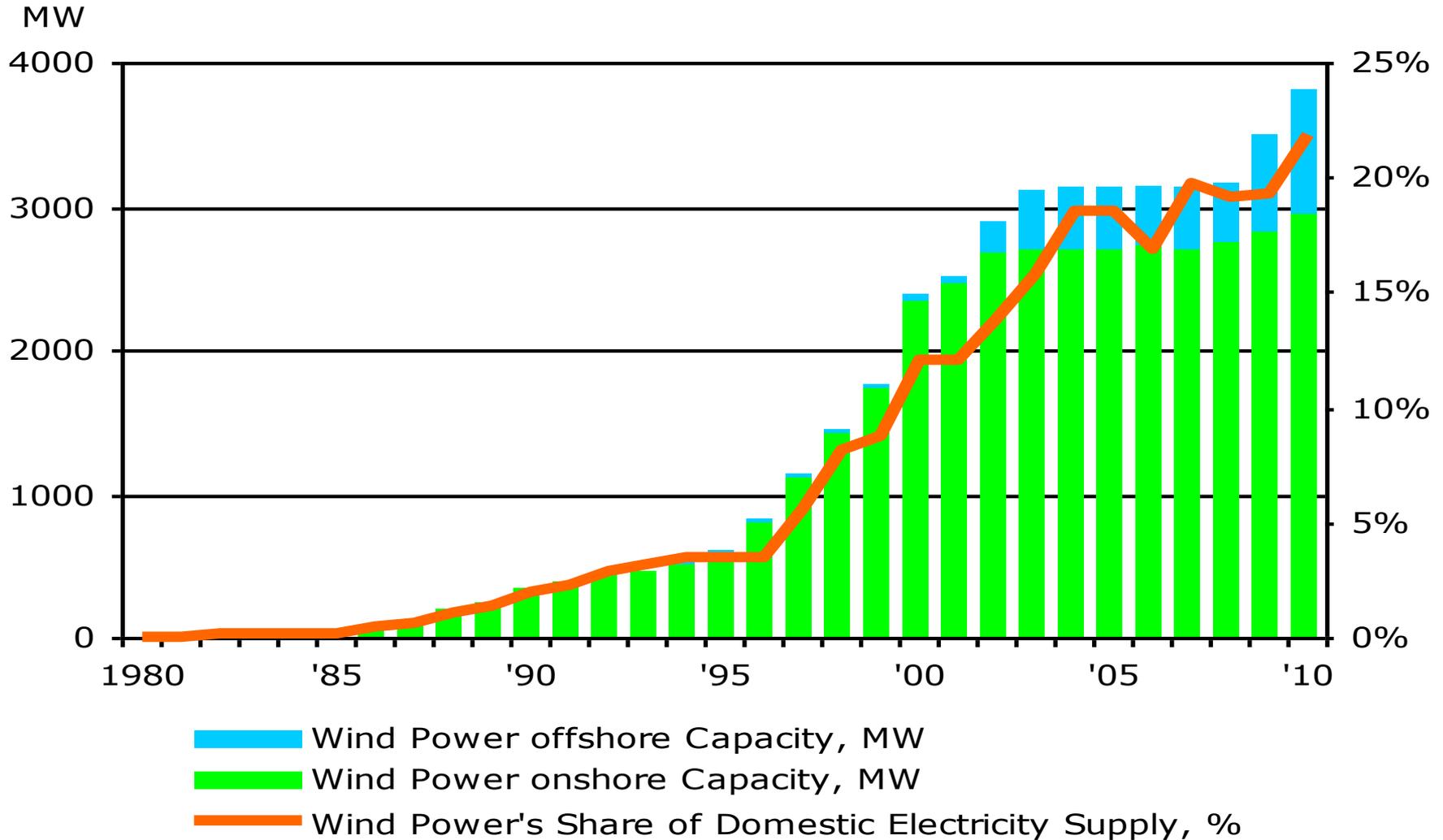
- 発電に適した風速：4～25m/s
- 12～15 m/sで最大出力に達する
- 年間の発電時間：6000～7000時間
(一年の70～80%)
- 大型陸上風車 (onshore) を最適地に設置した場合、最大出力運転を期待出来るのは年間2500時間。年間の電力生産は約5000MW時。これは1250戸の家庭の年間電力消費に相当。
- 海洋風車 (offshore) の場合、最大出力運転を期待出来るのは年間3000～4000時間。
- 稼動年数を20－25年とした場合、風車製造・設置・維持・運転に消費されるエネルギーの約35倍のエネルギーを生産する。LCA

年間電力生産量

PJ/Year



風車発電出力(MW)と 風車発電量の総電力需要への割合





- デンマークは、水力発電を主力の一つとするスウェーデン、ノルウェーと火力・原子力発電を主力とするドイツには含まれた国。
- ドイツ、オランダ、ベルギー、ノルウェー、スウェーデンは風車発電増設を計画している。
- この両地域には含まれたデンマークの発・送電システムは重要な役割を担うことになる。

<http://www.ens.dk/Documents/Netboghandel%20-%20publikationer/Vedvarende%20energi/2009/HTML/Vindm%F8ller%20i%20Danmark/html/kap08.htm>

- 風車の電力生産は短時間で変化する。
- この変化に即時対応し、隣国と電力のやり取りができるインテリジェントな制御技術が求められている。
- 発電に適した風速のときは余剰電力を隣国に輸出する。
- 発電に不適な風速のときは不足電力を隣国から輸入する。
- 隣国の水力・火力発電の生産調整能力がデンマークの風力発電の利用効率に影響する。



Rødsand 2:

- 2010年10月12日営業開始
- 風車数90
- 総工費40億kr(約600億円)
- 最大総出力207MW
- 年間生産量800GWh
- 年間CO2放出削減量70万トン
- 水面・ローター一軸間68.5m
- ローター一直径93m

施工:

E.ON Vind Sverige AB

Besöksadress: Carl Gustafs väg 1

Postadress: 205 09 Malmö



畜産国デンマークでは
バイオガスは重要なエネルギー資源



バイオガスの長所と短所

長所：

- 再生可能エネルギー
- 有効な温室ガス放出削減技術
- ふん尿・廃棄物の悪臭を低減する
- 栄養分のリサイクルと再利用のための有効な手段
- 安定したエネルギー生産手段（風力発電のバックアップになる。）
- 病原菌の拡散を防止する

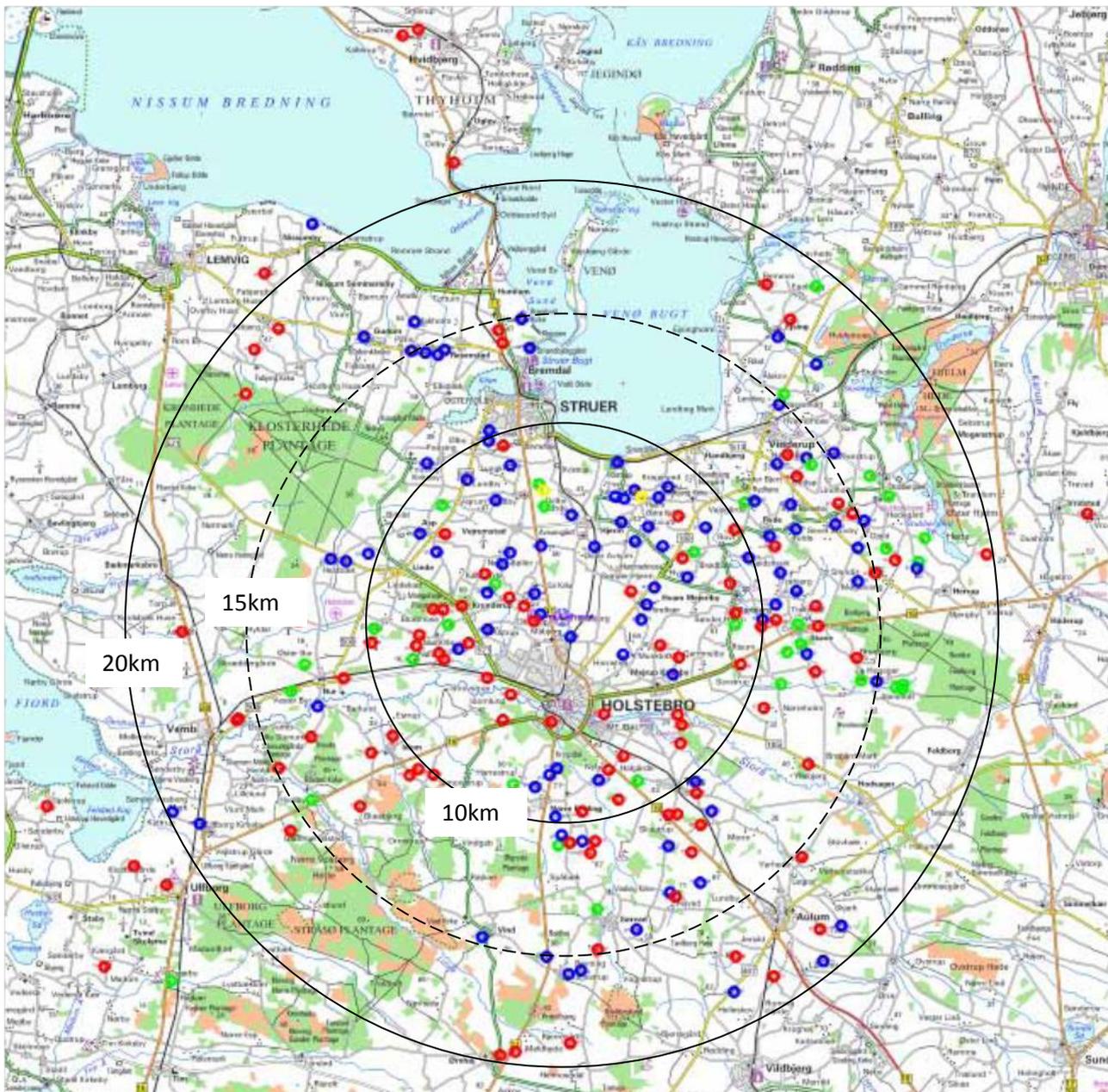
短所：

- 施設からの悪臭は環境問題になる。
- スラリーなど高水分の原料運搬に大きなエネルギーを必要とする。

- バイオガス2012年現在

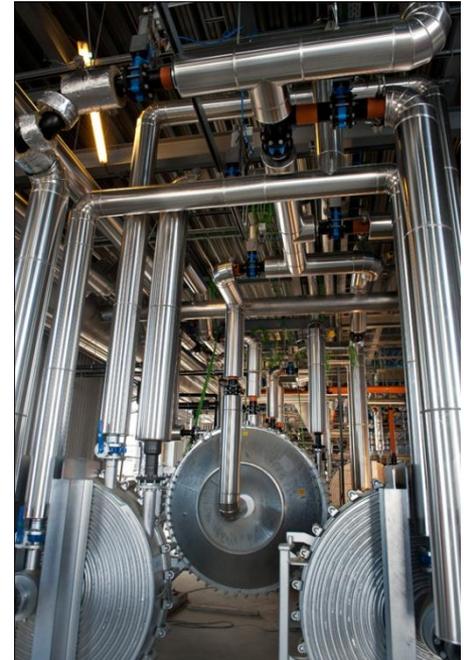
- 22の共同バイオガス施設が在る。
- 約60の農家規模バイオガス施設が在る。
- 総エネルギー生産：約4PJ（約22PJ生産する可能性を持っている。（オーフス大学、2011年9月2日））
- エネルギー2020年合意にともない、バイオガスの周辺環境が改善され、多数のバイオガス施設が建設される見込み。
- 大規模施設が2012年5月に本格操業を始める予定。
- 大プロジェクトがスタートすると報道された。

Maabjerg Bioenergy バイオガス施設 ふん尿出荷農家の所在地



- 2012年5月本格操業開始予定。
- 年間50万トンのバイオマスを処理。
- 年間1,800万m³のバイオガスを生産。
- これは、住宅5,000戸で消費する暖房給湯エネルギーと12,500戸で消費する電気エネルギーに相当する。
- 年間CO₂5万トン軽減。
- 年間窒素109トン燐311トンの環境負荷軽減。

● ミンク ● 豚 ● 牛



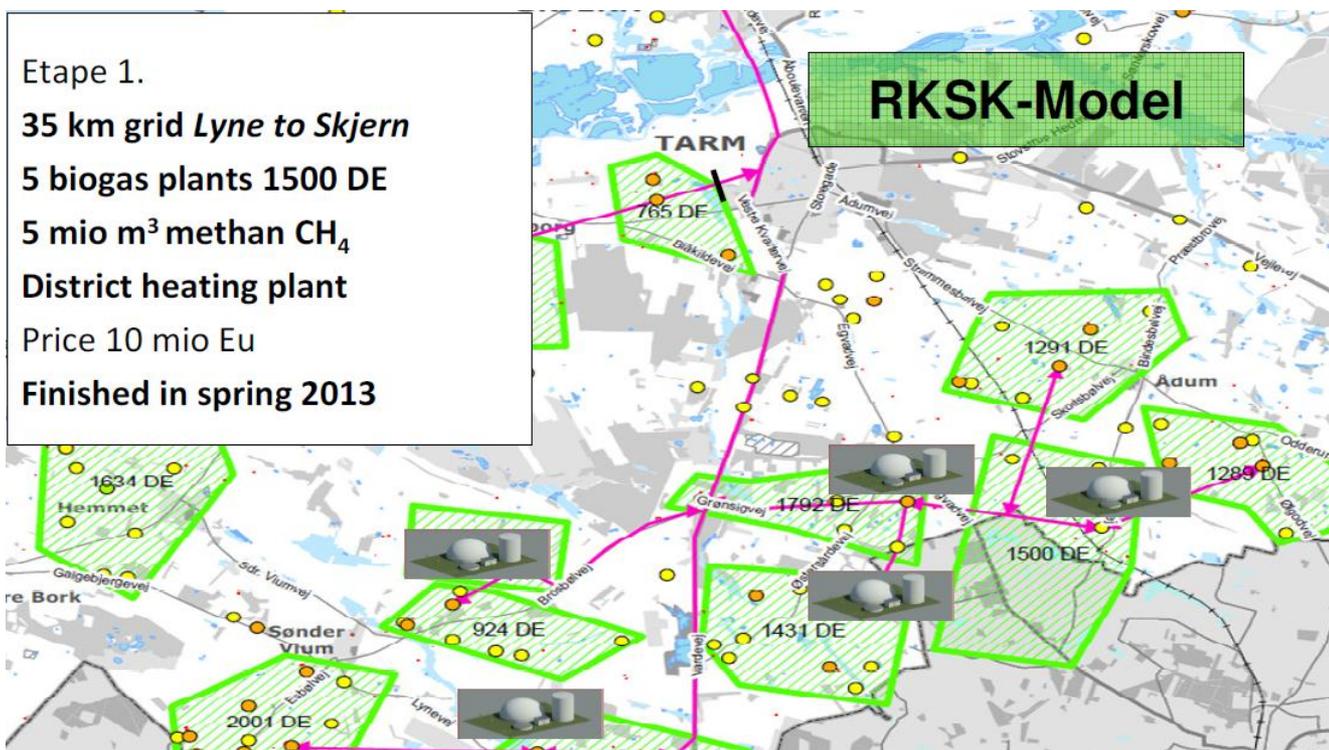
Ringkøbing Skjern 2020年プロジェクト



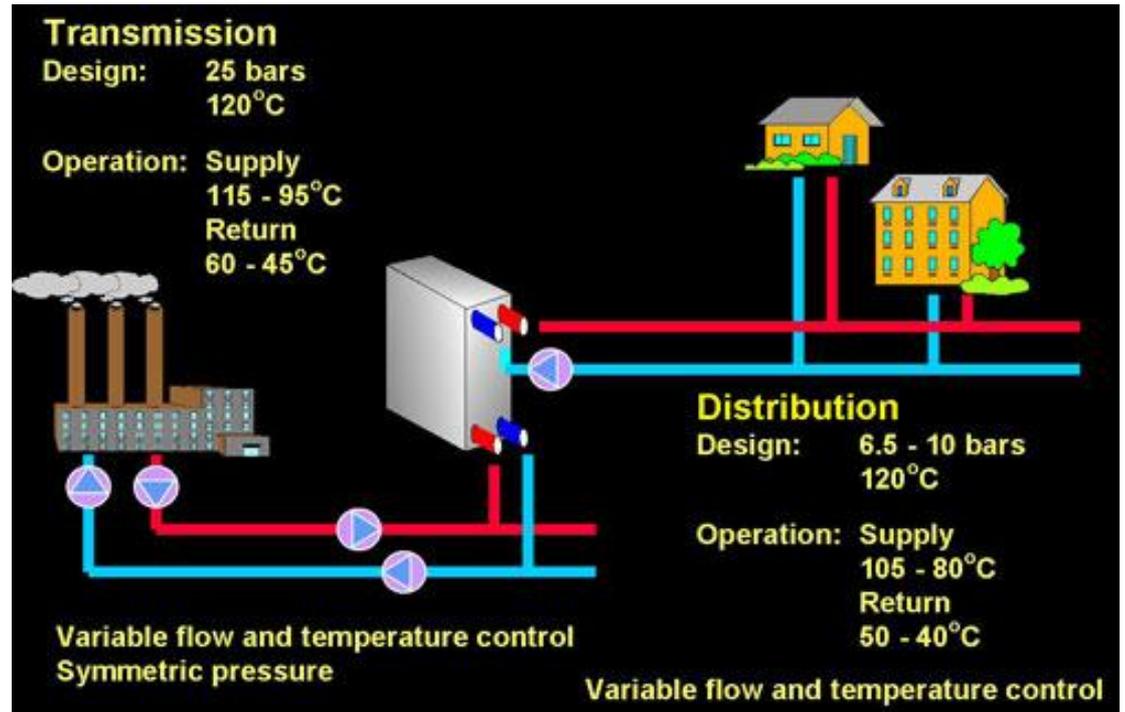
電熱併給施設	10施設
中央バイオガスプラント	2プラント
地域バイオガスプラント 500家畜単位	25プラント
地域バイオガスプラント 1,500家畜単位	44プラント
地域バイオガスプラント 2,500家畜単位	6プラント
バイオガス輸送グリッド	200km

Ringkøbing Skjern 2020年プロジェクト

ステージ1 : 35km バイオガスグリッド、 2013年完成予定



地域暖房給湯は
エネルギー有効
利用のカギ



地域暖房システム:

- 上: 地域暖房システムの概念図
(熱効率を90以上に向上できる)
- 下: 温水輸送パイプ

電熱併産施設＋地域暖房給湯施設＝ 電熱併給施設

電熱併給施設（CHP）：

電力は電力市場で売る。

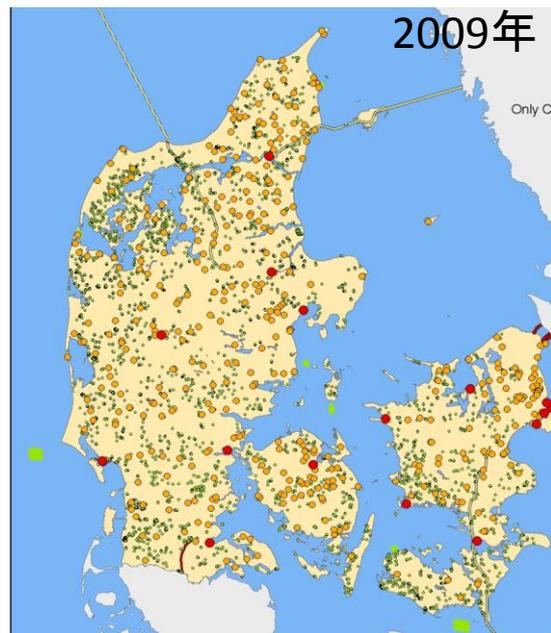
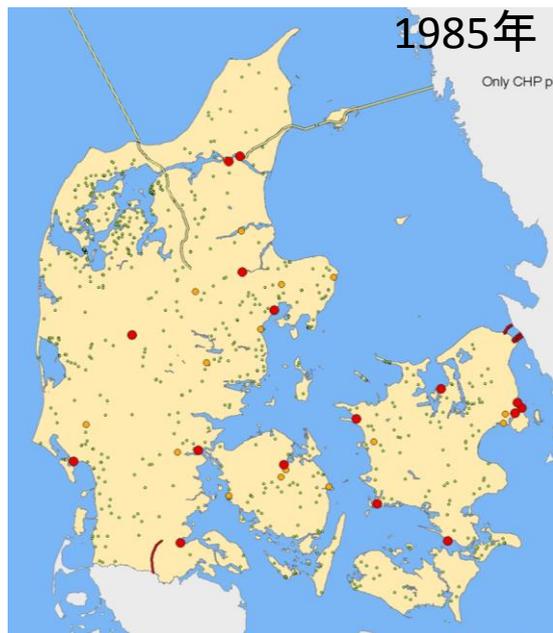
熱は温水輸送ネットを介して地域の住宅などの暖房給湯熱に使う。

中央CHPのものは大規模発電所。冷却水から得る温水を地域暖房給湯に使う。大きな都市の近郊にある。

地方CHPは、町・村の近くに建設され、もとは地域暖房給湯を目的とした施設。

地方電熱併給施設（CHP）を多数建設し 分散型電熱供給体制に移行した理由

- 北海から産出する天然ガスの国内での有効利用。
- 発電機能を加えられる既存の共同暖房施設があった。
- 燃料（ワラや生ごみ）の環境にやさしい利用。
- 電力供給能力を向上。



電熱併給施設（CHP）の長所と短所

長所：

- **熱効率**を85-90%まで向上できる。（最新のコンバインドサイクル火力発電でも熱効率約60%）
- 冷却水に**海水を必要としない**。（内陸に設置できる。）
- **エネルギー政策**に組み入れやすい。（為政者にとって）
- 燃料市場の**変化に対応**しやすい。（戸別暖房と比べて）
- 広域に地方CHPが点在する**分散型体制**は少数の中央CHPだけに頼る中央集中型体制より災害に対して**強靱**である。

短所：

- 温水輸送施設に**大きな建設費**を要する。
- 地域の**独占企業**になる。
- 個人の特別なニーズには対応しにくい。
- 連帯で債務負担を負わされる。

地域暖房の歴史

- 1930年代に大規模地域暖房施設が初めてコペンハーゲンで使われた。
- 1950～60年代に大きな都市に普及した。
- 1979年、**熱供給法**が施行され、住民に地域暖房の使用を義務付ける権限が与えられる。
- 1980年代～90年代：
 - 電熱による家庭暖房が段階的に禁止された。
 - 燃料の種類により差別課税することで、環境にやさしい燃料の使用を促進。
 - 狭域電熱併給施設（CHP）が全国に多数建設された。
- 学校、企業、団体などが所有・運営する地域暖房施設も加えると**665**の電熱併給施設（CHP）と**230**の熱供給施設がある。
- デンマークの総熱需要（暖房＋温水）は**約220PJ**。
- **約3/4の住宅**が地域暖房施設を使っている。

- 地方CHPのほとんどは地方行政が所有している。
- 利用者が支払う熱料金は損益ニュートラル値（熱供給法）
- 地域暖房費は多くの場合、戸別暖房費（重油ボイラーによるセントラルヒーティング）より安い。
- 平均的住宅（130m²）の年間熱需要は約65GJ(=18.1MW)
- 熱出力1MWの熱供給施設は住宅約250戸の熱供給を担える。
C:\Users\hta\Documents\Documents and Settings\hta\Takai Backup 1\hta DEF\Energy\Denmark\Fjernevarme\MW og varmebehov - en introduktion.mht
- CHPは、住宅の熱需要の変化に対応できる容量の温水貯蔵タンクを備える必要がある。
- 多くのCHPは、国の電力管理機構 Energinet.dkと電力供給義務を担う特別契約を結んでいる。（安定した電力供給を確保するための契約）

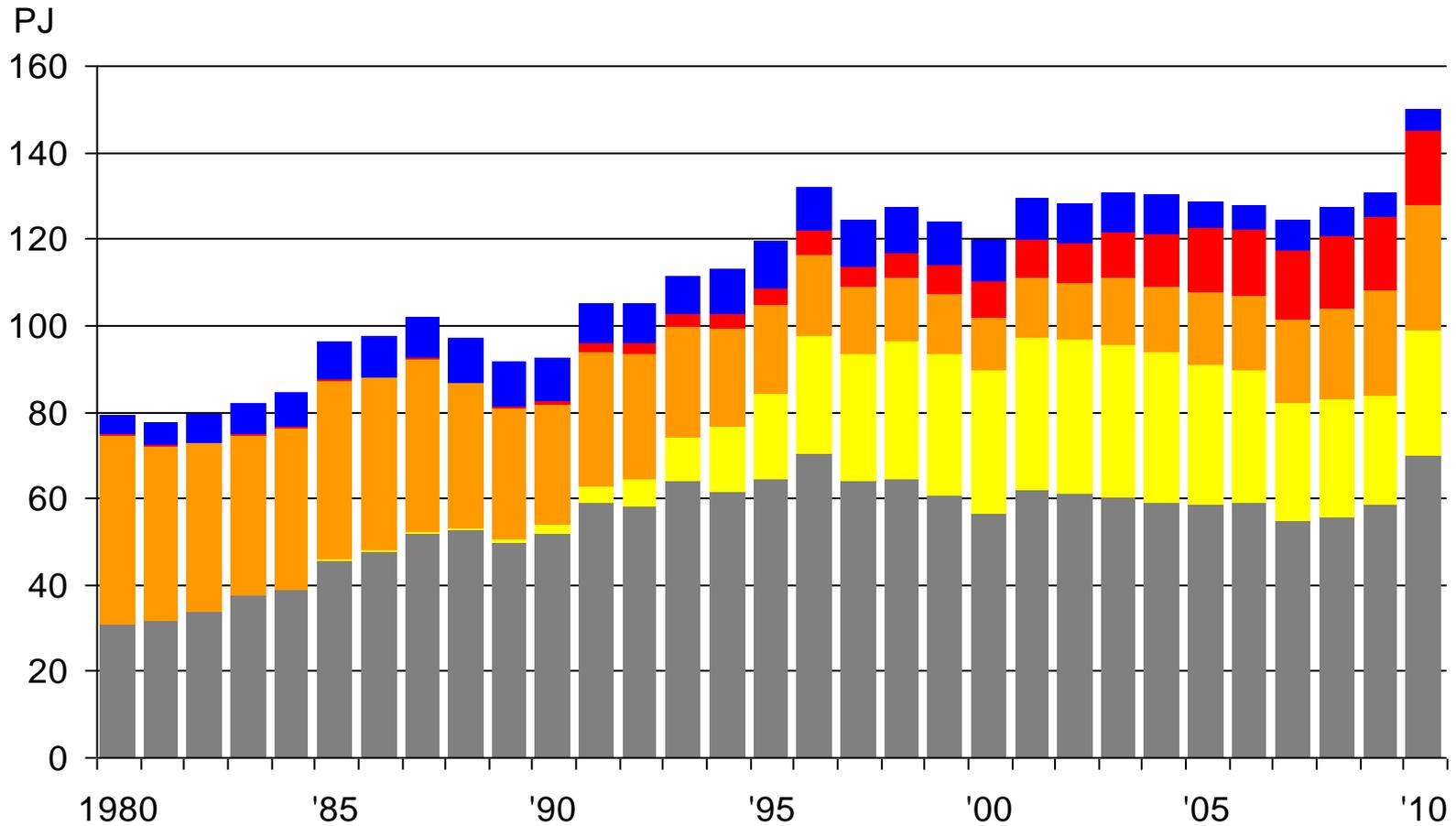
熱供給法（1979年施行）

- 地域暖房給湯施設の利用料金は熱生産に要した費用に等しい額でなくてはならない。
- 熱生産には例えば次のような費用が掛かる：
 - 燃料代
 - 施設建設の償却費
 - 施設維持費
 - 従業員給料
 - 保険
 - CO2税
 - 熱税
 - 燃料に掛かる燐税など
- バイオマスには燃料税が掛からない。

地域暖房給湯の熱生産に使った燃料 (2007年データ)

燃料	%
バイオマス及び他の再生可能エネルギー	26.3
腐敗性廃棄物(≈生ごみ)	11.4
天然ガス	28.5
石炭	20.6
オイル	5.1
非生物腐敗廃棄物	8.1

生産施設タイプ別年間熱生産量の変移



■ Large-scale CHP Units

■ Small-scale CHP Units

■ District Heating Units

■ Autoproducers, CHP

■ Autoproducers, Heat only



Ærøkbøbing地域暖房システム(利用者数:550名):
7090m²集熱パネル:3000MWh/年 ≈ 需要の約25%。
(大規模集熱パネルの総面積は約5万m²)
ワラ燃焼ボイラー:3.15 MW ≈ 需要の75%。

まとめ

- デンマークのエネルギー供給体制は分散型。
 - 広域に地方CHPが点在する分散型体制は少数の中央CHPだけに頼る中央集中型体制より災害に対して強靱である。
- デンマーク政府は「エネルギー2050年ビジョン」を発表。
 - 長期的な展望と勇気ある決断の出来る政治家・指導者を、今の日本は最も必要としているのではないのでしょうか。
- ビジョン実現の第一歩であるエネルギー2020年政策の具体的活動が始まろうとしている。その機軸となる施設は：
 - 風車
 - バイオガスプラント
 - 電熱併供給施設

価値観

日本人：和

感情の共有

仲間意識

連帯意識

意見の一致

規約

(「仲間」と他人)

デンマーク人：隣人愛

“あなたの隣人をあなた自身のように愛せよ。”

自分を正しく理解することが隣人愛の前提

絶対矛盾的自己同一

西田幾多郎



有難うございました。
Mange tak