

デンマークの第4世代地域熱供給とエネルギー・システム

4th Generation District Heating and Energy System in Denmark

田中いずみ*

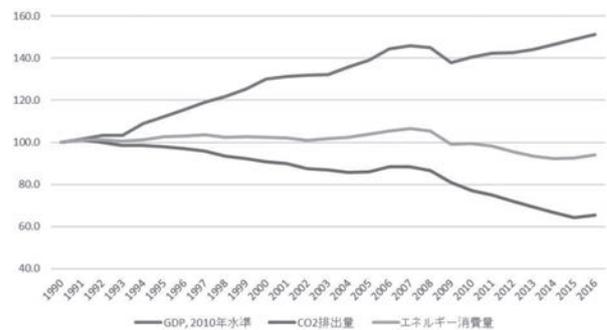
1. はじめに

デンマーク、九州程の面積に、人口約580万人が住む決して大きな国ではないが、気候変動、環境問題は常に重要な課題として捉え、長年にわたり世界で大きな存在感を示してきた国の一つで、過去数十年、気候変動に関して様々な取り組みを展開してきた。その取り組みの一つが積極的な再生可能エネルギーの導入で、その象徴が2011年に策定された「エネルギー戦略2050」で、その中でデンマークは2050年までに化石燃料に依存しない社会を目指すと言われた。既に1985年に原子力発電を導入しないと決定している為、即ちこの目標は2050年までに再生可能エネルギー100%を目指すという目標になる。その後再生可能エネルギーの導入は進み、2019年には発電量の72%が風力、太陽光、バイオマス由来などの再生可能エネルギーが占めた⁽¹⁾。

2011年に掲げられた2050年に向けた目標に追加して、今年新たに野心的な温暖化ガスの排出量削減目標が発表された。2019年の新しい政権が立ち上がったのを機に、2030年に温暖化ガス削減70%（1990年比）を目指すと言われ、これがデンマークのエネルギー・システムに大きな影響を与えようとしている。

2. グリーンな成長 (Green Growth)

2050年に化石燃料に依存しない社会を目指しているデンマークは過去30年間、経済成長を成し遂げながら、エネルギー消費の増加を抑え、温暖化ガスの排出量を削減している。これは、より多くのエネルギーや水などの資源を使用せずに成長を生み出すことが可能であること、即ちグリーンな成長を証明していて、経済発展とエネルギー消費、温暖化ガスの排出の環境への負荷のデカップリングを実現して



ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/figures2016.xlsx のデータを基に著者作成

図1 経済成長とのデカップリング

いる。

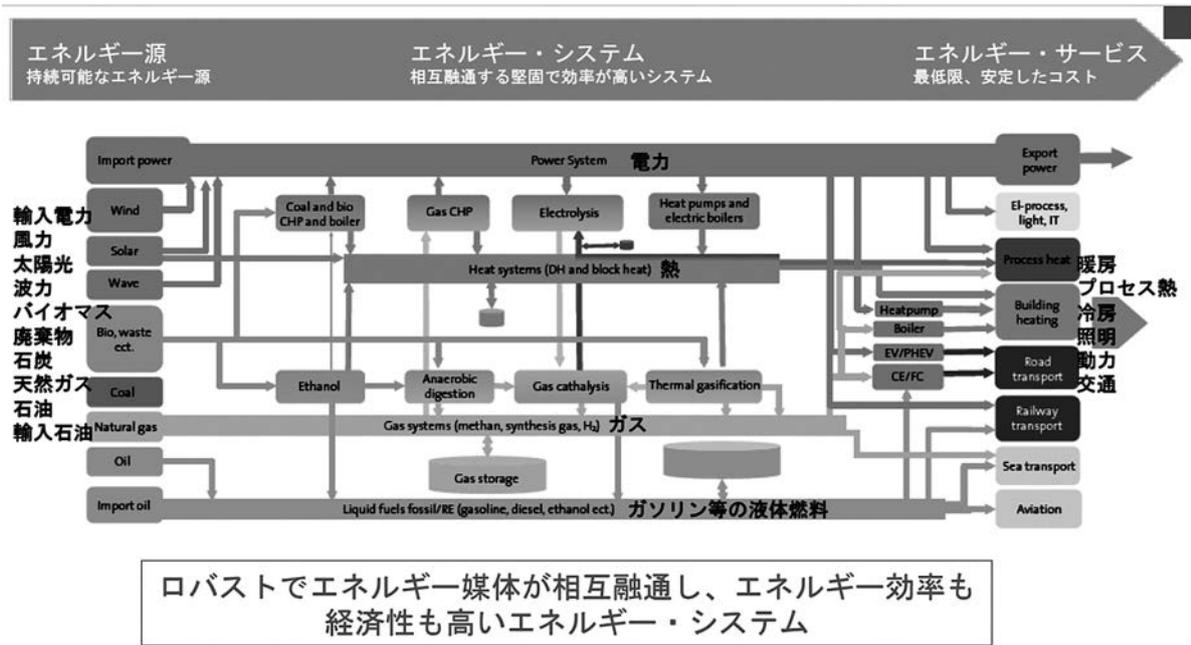
1970年代以来、デンマークは議会のすべての政党からエネルギーと環境政策に関して幅広い政治的合意を得て協定を制定するという伝統を持ってきた。政府がグリーンな成長に向けて長期的な視野を持ち、継続的に一貫性を持った政策を打ち出すことで、産業界、学術界、自治体なども長期的な視野を持って戦略を立て企業は事業や研究開発に投資することができる環境を培ってきた。

3. デンマークのエネルギー・システムと地域熱供給の役割

デンマークが目指しているのは、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・システムである。セクター・カップリングを実現し、なるべく社会に経済負担が少ない形での再生可能エネルギーの導入を模索している。

再生可能エネルギーの導入と言うと電気としての導入と思いがちである。デンマークで2019年には

*デンマーク王国大使館 上席商務官 (エネルギー・環境)



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

図2 デンマークが目指すエネルギー・システム⁽²⁾

発電量の約72%が再生可能エネルギー源でその多くは風力発電が占めた。しかしエネルギー供給全体を見ると、デンマークで一番導入されている再生可能エネルギーはバイオマスで、電気としてだけではなく、熱として利用されている。熱利用は限定された箇所では熱（70℃～90℃のお湯）を作り、断熱パイプを通じて家庭、商業用ビル、公共施設、工場等に暖房や給湯用に熱が供給される地域熱供給が多く導入されている。エネルギー需要全体の17%、熱

需要の約半分が地域熱供給によって供給されており家庭は約65%が接続している。デンマークは北欧に位置して寒い国だから、と思われがちであるが、例えば日本でも家庭のエネルギー消費の内訳を見ると半分以上が暖房や給湯など、エネルギーを熱として利用している。

地域熱供給の導入のメリットは限定された箇所では熱（お湯）を作ることによって熱を生産する効率上がる、再生可能エネルギー（バイオマス（木質、

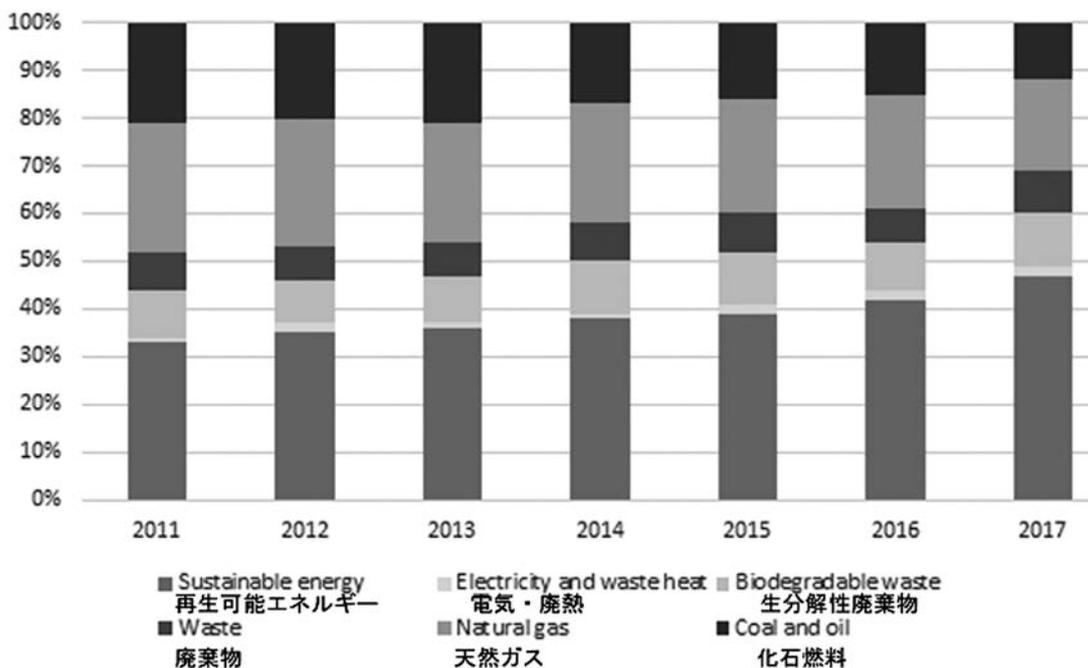


図3 地域熱供給の熱源⁽³⁾

ワラ)、太陽熱など)・廃熱(工場からの排熱、スーパーパーなどの冷房機器からの排熱など)を導入し易いなどのメリットがある。

他方、デメリットもある。断熱パイプを水道管のように埋設する必要があり、それには多大なコストがかかり、また熱ロスもある。しかし2050年に再生可能エネルギー100%を目指すに当たって、電気だけで成し遂げることは到底難しく、デンマークは再生可能エネルギーを熱として使うことによって2050年の目標に向かって着実に導入量を増やしている。

もう1つ地域熱供給の導入のメリットとして再生可能エネルギーの出力変動を吸収することができるという点も注目されている。再生可能エネルギーは天候などの自然現象により出力が変動する為、電池や水素でエネルギーを貯める取り組みが進められているが、大規模な設備はまだまだ高価で、再生可能エネルギー導入にあたって電池の導入が義務付けられる場合など、それが再生可能エネルギー導入のコストを上げている場合がある。デンマークでは(主に風力発電からの)余剰電力を使ってお湯を作り、それを蓄熱地域熱供給網に熱として供給している。即ち、電気を電気として電池に貯めると言うエネルギー貯蔵の代替として、電気を熱として蓄熱槽に貯めている。熱としてエネルギーを貯めるメリットは電池で貯めるよりエネルギー効率がよく、コストも抑えられることである。地域熱供給は再生可能エネルギーの大量導入にあたって重要な役割を果たしている。

4. 新しい気候変動法 (Climate Law) – 2030年に温暖化ガス削減70% (1990年比)を目指す

デンマークの議会は2014年に気候変動法(Climate Law)を施行した。この法律の目的は、デンマークの気候変動関連政策の方向性を明確にし、その対応の枠組みを確保することであった。この法律の目標は2050年までに低炭素社会に移行すること、即ち持続可能なエネルギー源に基づくエネルギー供給を備え、温暖化ガスの排出量を大幅に削減しながら、持続可能な経済成長を成し遂げ、資源効率の良い社会を目指す、「グリーンな成長」を目指すとされている。気候変動法の一環として、エネルギー、運輸、建物、農業、環境、自然、経済の分野の専門家で構成された Danish Council on Climate Change's (DCCC, 仮訳:デンマーク気候変動評議会)が

2015年に設立された。評議会は4年ごとに任命され、年に1回、政府に対して気候変動対策に関する勧告の提示が求められている。

2019年6月のデンマーク議会選挙は「グリーン選挙」と名付けられ、選挙戦を制した新政府は、温室効果ガスのデンマークの排出量を2030年に1990年のレベルと比較して70%削減する目標を打ち出した。その数値は評議会のレポートの勧告がベースとなっている。2019年12月、デンマーク議会で2030年までに温室効果ガス排出量を1990年比70%削減する法的拘束力のある目標が政党間で合意された。2014年の気候変動法との大きな違いは、具体的な温室効果ガスの排出削減目標数値が明記されたこと、また法的拘束力がある点である。法的拘束力とは法律の中に、政府の取組をデンマーク議会がチェックする機能を設け、目標に向けての進捗の評価が行われるようになっている。

4.1 「13の気候パートナー・シップ」—官民を挙げた取り組み

2030年に70%削減という目標を達成するには、産業界の協力が不可欠であり、政府は2019年11月に下記業種を対象に「13の気候パートナー・シップ」を立ち上げた。

業種 (代表企業)

陸上運輸, ロジスティクス (DSV Panalpina)

サービス, IT, コンサルティング (KMD)

航空 (SAS Danmark)

廃棄物, 水, 循環経済 (Plus Pack)

建物, 建築・建設業 (Aarsleff)

生物科学, バイオテック (Novo Nordisk)

リテール・小売り (Netto International)

製造業 (Grundfos)

金融 (PensionDanmark)

エネルギー・エネルギー事業 (Ørsted)

海洋運輸 (Mærsk)

エネルギー集約型産業 (Aalborg Portland)

食糧生産, 農業 (Danish Crown)

これらのパートナーシップは、革新的な気候変動の解決策を生み出す為、分野横断的なコラボレーションを促進することを目的としている。パートナーシップの目標は、企業が温室効果排出量を削減する役割を果たし、その取り組みを世界で展開することによって、デンマークのみならず、世界のグリーンな経済成長に貢献を目指している。世界的課題で

ある気候変動に立ち向かうには、小国であるデンマークは自国での温室効果排出量を削減するのみならず、どのように世界に貢献できるかは気候変動関連の政策を打ち出すに当たって、常に考慮している点でもある。

4.2 「13の気候パートナー・シップ」と地域熱供給

地域熱供給に関しては「エネルギー・エネルギー事業」のパートナーシップの中で議論され、政府に対して下記の提言が行われた。

1. 熱電併給（コージェネ）においてのなるべく早い段階での**石炭の廃止**
2. 2030年までに**個別暖房・給湯における天然ガスの廃止**に向けた道筋を示す。消費者が地域熱供給、バイオガスなどに移行できる行動計画を提示
3. 地域熱供給の熱源 **100%再生可能エネルギー**を目指すべく様々な技術的解決策を検討し、バイオマスの持続可能性の担保を徹底するなどを実現する新しい規制の立案

政府への提言と同時に、地域熱供給分野における技術革新・イノベーションに関しても言及した。分散型且つ低温のシステムを目指し、現行のシステムから更に低温化及び効率化を求め、デジタル化の必要性が明記された。また、遠隔検針が可能なスマート熱メーターが地域熱供給システムのスマート化に貢献し、需要側の柔軟性が熱供給網と熱生産設備両方においてのコスト削減に繋がること、電気、ガス、地域熱供給の相互融通がPower-to-の低コスト化に繋がると明記し、地域熱供給のエネルギー・システムの中での重要性を改めて提言した。

5. コロナ禍での気候変動対策の決意と政策合意

デンマークでも新型コロナウイルスの影響は大きく、経済への影響も大きかった。最近の政府の動向としては、グリーンな経済への移行に向けた努力を軽減する意思はないと表明している。本来、デンマーク気候変動評議会の見解では温暖化ガスの排出に対しての税（炭素税、環境税）が重要な役割を果たすと明記されていたが、例えば、SAS スカンジナビア航空に対しての追加課税など、大打撃を受けた業界への追加課税は慎重に判断する、との方針が打ち出された。2020年6月には主要政党間で新たな政策合意に至り、具体策として下記が提示された。

- ・世界初のエネルギー島（energy islands）
- ・陸上風力と太陽光発電は市場原理を生かした拡張

を目指す

- ・将来のグリーンな技術 -Power-to-X と CCS（二酸化炭素回収・貯留）
- ・グリーンな産業転換
- ・バイオガスなどのグリーンなガスを支援
- ・バイオマスの持続可能性指標
- ・グリーンな交通手段
- ・農業における農家会計の導入
- ・省エネ対策

地域熱供給に関しては下記が具体策として挙げられた。

- ・熱料金のグリーン化
- ・余剰熱活用の推進
- ・ガス・軽油等の個別ボイラーの廃止
- ・グリーンな地域熱供給

「グリーンな地域熱供給」に関しては、新しい地域熱供給の規制の検討を2020年秋から議論を開始、地中熱利用を促進する枠組みを検討、また、2030年までに重油及び天然ガスを地域熱供給での利用を禁止した際の影響の分析を実行すると発表されている。

6. 温暖化ガス削減70%を実現するエネルギー・システムに向けて

デンマーク気候変動評議会が2020年3月に発表したレポートでは、今後温暖化ガス排出量70%削減及びその先の2050年にクライメート・ニュートラルを目指す為に取り組むべき施策をImplementation Track（仮訳：実行トラック）とDevelopment Track（仮訳：発展トラック）に纏めていて、それぞれのtransition elements（仮訳：移行要素）として定義している。両トラック共にtransition elementsに対して二酸化炭素排出量の削減のポテンシャルを算出しており、Development Trackに関してはtransition elementsそれぞれに対して実行可能性を示している。これはあくまでも専門家の見解であり、これらの数値をベースに前章の政策合意に達しており、今後導入すべき技術・システム等が政治的に判断されることとなる⁽⁴⁾。

熱利用・地域熱供給の今後に関してはここまでの章で紹介したが、デンマークのエネルギーの最近の動向として下記に関して特記する。

- ・天然ガス網のグリーン化
- ・水素
- ・二酸化炭素回収・貯留（CCS）

表1 Development Track の2030年の削減ポテンシャルと可能性(抜粋)⁽⁴⁾

	ポテンシャル (100万トン)	可能性
CCS-バイオガス	1.1	高
CCS-廃棄物焼却炉	1.1	高
CCS-工場等	1.2	高
CCS-バイオマス CHP	1.0	高
電気自動車(2030年に150万台)	0.8	低
運転キロ毎の炭素税	0.7	高
新しい食生活と農業分野での技術革新	2.0	中
ガス網での水素の活用	0.1	中
国内移動用フェリー及び航空機の電化と水素化	0.2	中
バイオガスの更なる導入	0.9	高
建設業でのディーゼル利用削減	0.1	高

6.1 天然ガス網のグリーン化

バイオガスは、天然ガスに取って代わることができる再生可能エネルギーであり、バイオガス・プラントで処理されるのは下水汚泥、および産業、農業、家庭からの有機廃棄物である。バイオマス由来の再生可能エネルギーという観点の温暖化への対策のみならず、管理されず放置された有機廃棄物の発酵による温暖化ガスの排出を阻止する手段としても有効である。他国ではバイオガス生産におけるエネルギー作物が大きな役割を果たしている場合があるが、デンマーク・エネルギー庁は、バイオガスの生産におけるエネルギー作物の量を規制している。公的資金の対象となるには、投入原料のエネルギー作物が占める割合が25%を超えることはできない。これはデンマークではバイオガスはあくまでも栄養分の循環、廃棄物の処理の一環であるという観点を重視しているからである。

デンマークでのバイオガスの生産は急速に増加していて、総生産量は2012年から2020年にかけて3倍以上になり、年間総生産量は15 PJに達すると予測されている。当初はバイオガスの大部分は熱電併給に使用されてきたが、最近ではアップグレード(改

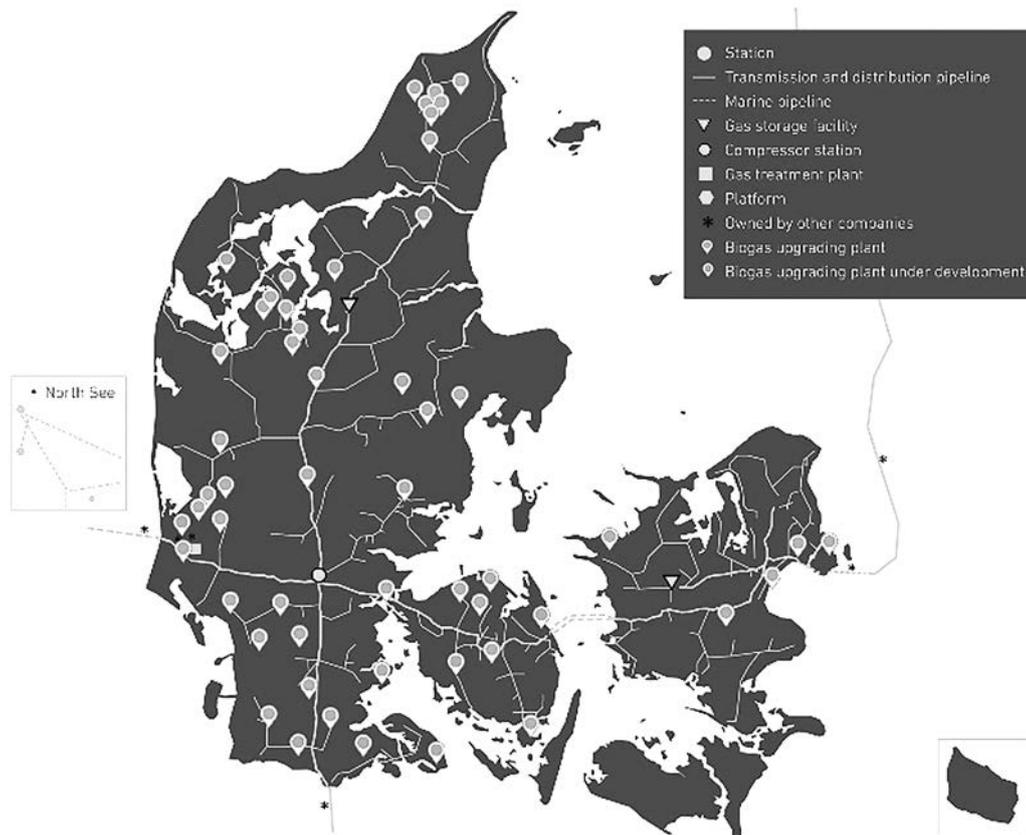


図4 バイオガス・プラントと天然ガス網⁽⁵⁾

質)され、天然ガス網に供給されている。

2030年にはバイオガス由来が天然ガス網に占める率、25%を目指している、2019年には年間平均10%、夏のピーク時には25%を実現している⁽⁶⁾。天然ガス網のTSOであるEnerginetは天然ガス網に注入されるバイオガスに対してグリーン証書を発行しており、これは市場で売買されている。バイオガスに対する公的支援は、発電、天然ガス・都市ガス網に供給されたバイオガス、産業プロセスで使用するバイオガス、輸送用燃料としてのバイオガスなどに対して提供されており、当初は2020年中に終了すると言われていた。しかし、前章で紹介した政策合意の中に改めてバイオガスの重要性が明記されたこともあり、今後現スキームの延長もしくは、新たな施策が展開されると予想されている。同時に2019年11月から2022年夏までデンマークとスウェーデンに天然ガスを供給している北海油田2か所のうちの1か所のTyraがオーバーホールに入っていることから、天然ガス網のグリーン化のみならず、安定供給という観点からもバイオガスが注目を浴びている。

6.2 水素－ Power-to-X

デンマーク政府の水素に関する動向は見守っていたが、まだコストが高い選択肢であること、などを理由にデンマークの将来のエネルギー・システムにおける役割・位置づけは明確にされていなかったが、2019年12月に2030年に温暖化ガス排出量1990年比30%削減に向け、その役割が明確になりつつある。Danish Council on Climate Change's (DCCC) のレポートの勧告、及び前章に示した新しい政策合意の中でも特にPower-to-Xが注目されている。

最近の動向として、2つの大規模なPower-to-XプロジェクトGreenLab Skive Power-to-XとHySynergyに総額1,700万ユーロの公的資金が投入される。Power-to-Xは、一般的な電気分解による発電が水素、合成ガス、燃料、または化学物質に変換される技術の総称であるが、資金提供を受けたデンマークの2つのプロジェクトはどちらも、電気の水素への変換を想定している。プロジェクトの目的は、Power-to-Xの技術開発を加速し、デンマークのエネルギー・システムにおけるPower-to-Xの使用を拡大して、システムの柔軟性とPower-to-Xの大規模導入に適応する能力向上に向けた条件を特定することである。さらに、2つのプロジェクトは市場の状況に近い条件で展開され規

制による弊害の洗い出しを行い、公的資金の援助が終了後にも市場条件下で運転できることを目指している⁽⁷⁾。

6.3 二酸化炭素回収・貯留 (CCS)

元々デンマーク政府は温暖化ガスの排出削減が重要であり、「一旦排出された温暖化ガス」の回収に関してあまり積極的ではなかった。しかし、政府は70%の削減目標を発表した際に、既存の60%削減目標からの追加の10%分はどのように削減するか目途が立っていないと、発表しCCSの可能性も評価されており、15-20%担うことが可能という見解が述べられている。CCSが急に浮上したのは炭素税の価格の向上により、CCSの経済的なメリットが見出せる見通しが付いたことも理由となっている。

Danish Council on Climate Change's (DCCC) のレポートではCCSは2段階で実施されるとされており、2030年を見据え第一段階はバイオガス・プラント、廃棄物焼却炉、大規模な工場(例：セメント工場)などの煙突からCO₂を回収し、第二段階でCO₂を圧縮し、船、トラック又はパイプラインによって陸上もしくは洋上の地下貯蔵施設に輸送されると想定している。これを実現するには国としての戦略が必要であり、例えば国として二酸化炭素の貯蔵施設の制定と制度作りが必要だと言及している。制度に関してはCO₂輸送インフラの整備と貯蔵を誰にどのような条件で許可するか、何年間貯蔵することを誰が法的責任を負うか、CO₂貯蔵が税制度にどのように計上されるか、国連の温暖化ガスのインベントリーにどのように計上すべきか、など技術的な課題のみならず、制度的な課題が残っているとされている⁽⁴⁾。

技術の検証に関しては大規模な実証がコペンハーゲンの廃棄物焼却炉 Amager Bakke で開始する。Amager Bakke は年間480,000トンのCO₂を排出しており、そのうち160,000トンはプラスチック由来とされている。実証は480,000トンの95%のCO₂を回収することを目指している⁽⁸⁾。

参考文献

- 1) State of Green, (accessed July 29, 2020) <https://stateofgreen.com/en/partners/state-of-green/news/2019-the-greenest-year-ever-in-denmark/>
- 2) Energinet, (accessed July 29, 2020) <https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/>

- Danske%20dokumenter/Klimaogmiljo/Energy%20concept%202030%20-%20Summary.pdf
- 3) Danish District Heating Association (accessed July 29, 2020) <https://www.danskfjernvarme.dk/sitetools/english/about-us>
- 4) Known paths and new tracks to 70 per cent reduction- Direction and measures for the next 10 years climate action in Denmark (accessed July 29, 2020) https://klimaraadet.dk/sites/default/files/downloads/english_version_-_known_paths_and_new_tracks_to_70_per_cent_1.pdf
- 5) Energinet, (accessed July 29, 2020) <https://en.energinet.dk/Gas/Biomethane#Info>
- 6) IEA Bioenergy Task 37, (accessed July 29, 2020) https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/03/IEA_Greening-the-Gas-Grid_end.pdf
- 7) State of Green, (accessed July 29, 2020) <https://stateofgreen.com/en/partners/state-of-green/news/denmark-funds-new-power-to-x-flagship-projects/>
- 8) Amager Bakke, (accessed July 29, 2020) <https://www.a-r-c.dk/om-arc/presse/carbon-capture>

略歴



デンマーク外務省のThe Trade Council（商務部門）所属。1998年カリフォルニア大学天然資源学部環境科学・マネジメント・政策科終了後、株式会社東芝で環境技術の研究、スウェーデン大使館で科学技術、環境、エネルギー政策の分析に従事。2008年東北大学環境科学研究科博士前期課程修了，修士。2014年1月から現職。