

The International CHP/DHC Collaborative



Advancing Near-Term Low Carbon Technologies

■ 熱電併給／地域冷暖房に関する国別評価：デンマーク編

デンマークは世界で最もエネルギーを効率的に利用している国の1つである。省エネ、再生可能エネルギー利用促進、および技術開発を奨励する積極的なエネルギー政策が、これを可能にした。経済成長を続けているにもかかわらず、同国のエネルギー使用量は過去 25 年間常に安定している。デンマークは、多国間でのエネルギー&気候変動問題への協力にも、積極的に関わってきており、国連気候変動枠組み条約第 15 回締結国会議（COP15）はコペンハーゲンで開催された。



デンマークでは、地域暖房（District Heating、以下 DH と略）および熱電併給（Combined Heat and Power、以下 CHP と略）が広く行き渡り、省エネおよびエネルギーの自給自足に貢献している。実際、発電に占める CHP の割合では、世界をリードしている。

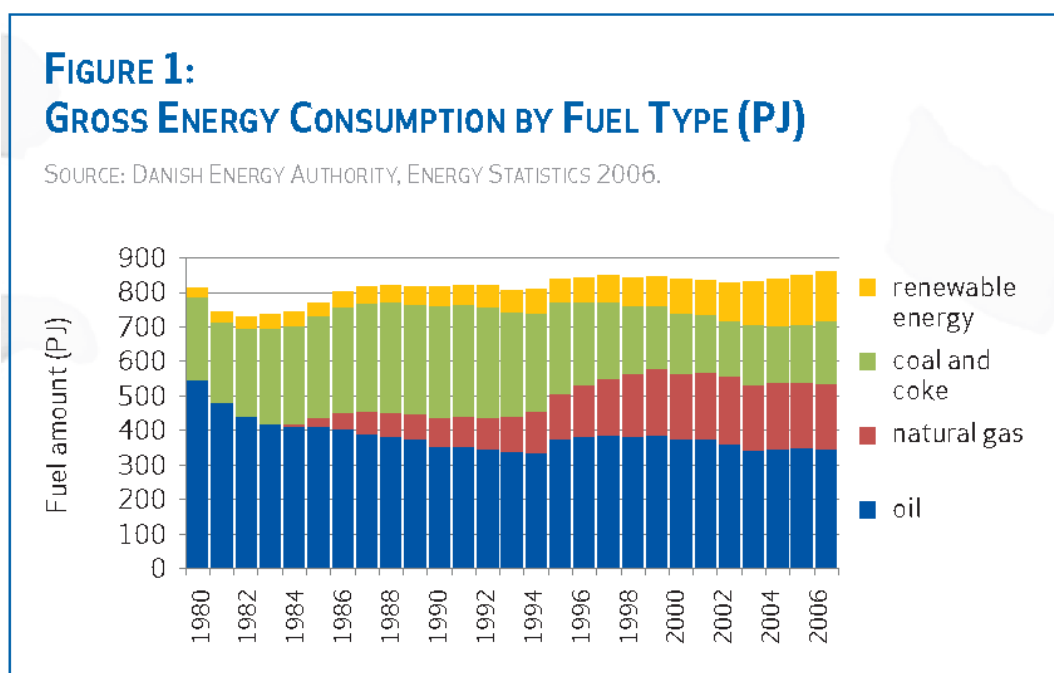
1979 年以来、デンマークは DH/CHP を推進するために、強力な奨励策を実施してきた。1973-74 年の石油危機を経て 1970 年代後半まで、デンマークはエネルギー需要の 90%以上を輸入原油に頼っていたが、この DH/CHP 奨励策のおかげで、1997 年までには、エネルギーの自給自足を達成したのである。北海油田の発見に負うところが大きかったものの、そこにはエネルギー効率向上と CHP の急速な展開が重要な役割を果たしている。

1979年に施行された「初代熱供給法」により、新たな公共事業での熱供給が促進され、CHP/DH 市場の成長の重要な要素となった。政府が最近策定した「エネルギー戦略2025」は、高騰する燃料価格、国内エネルギー生産の低下、および環境問題を解決しようとしたもので、新たなクリーンテクノロジーを採用し、エネルギー市場および国際協力をうまく利用して、再生可能エネルギーと CHP のシェア拡大を目標としている。

ここでは、デンマークがいかにして CHP/DH の普及成功を勝ち得たのか、それを可能にした政策、および同国が今後どのような方向性をたどるのかを概観する。

■ デンマークのエネルギー事情

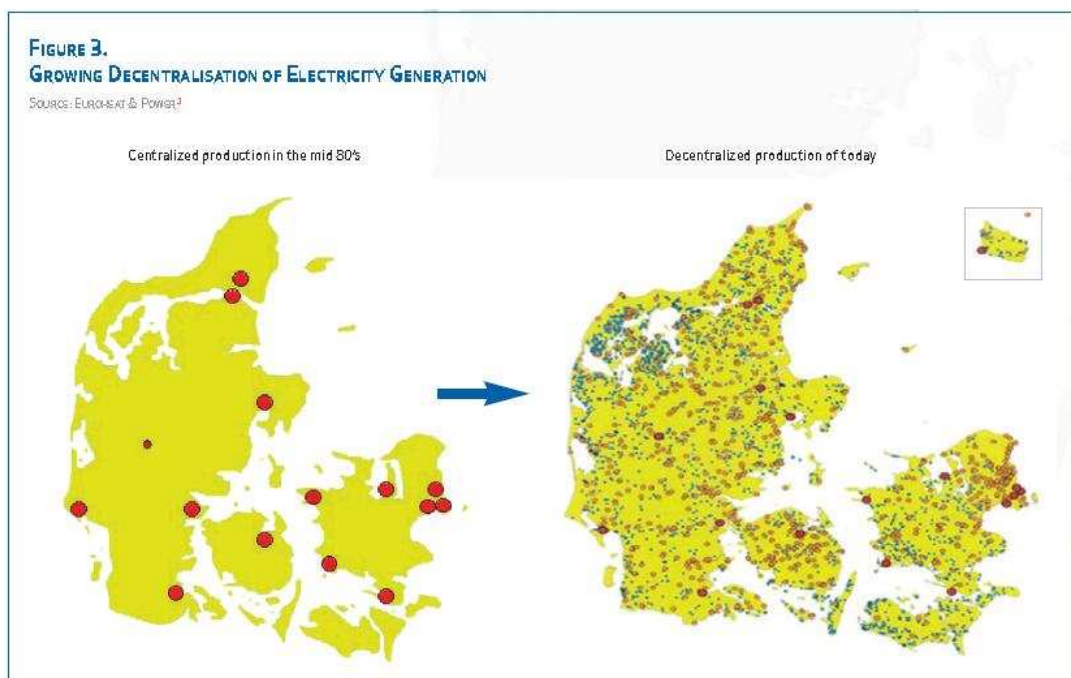
最近の主なエネルギートレンドは、エネルギー自給自足と効率化であった。1980年代および1990年代、CHP および DH が普及したおかげで、デンマークはエネルギー源として石炭および石油にそれほど依存しなくなった。(Figure 1) 最初に、石炭炊き CHP、そして天然ガス炊きの CHP、その後再生可能資源の利用を増加させて行き、ゆっくり石油を減らすとともに、石炭も1990年半ば以降は減らしている。



積極的な CHP 導入展開とエネルギー効率化への努力は、北海油田から石油およびガス供給とあいまって、1997年にはデンマークはエネルギーの自給自足を達成した (Figure 2)。



発電の分散化は、エネルギーの自給自足ならびにエネルギーの効率化と等しく重要なトレンドである。Figure 3は、国内の発電設備の変化を示したものである。1980年代中頃まで、国内には一握りの大型発電所があるのみだった。今日では、CHP および風力発電促進政策のおかげで、より小規模な装置が多数集まって電気を供給するようになった。それらの装置の主流は、熱需要があるところに設置された CHP と、田園地帯に分散配備されたウインド・ファームである。



■ 気候変動に関する動き

デンマークは、国連主導の気候変動交渉に積極的に参加しており、2009年には15回目の会議（COP15）の開催国となった。また、京都議定書の批准国として、2008年から2012年までに1990年のレベルと比較して、温室効果ガスの排出を21%削減することを約束している。同国は、京都議定書発効以前、既にCO₂排出量の削減に関心を持ち、ある程度の削減を達成していた。したがって、京都議定書での目標の達成は容易なことではない。

別の問題として、デンマークではCO₂排出量が年によって20%以上変動することがあげられる。スカンジナビア半島で雨や降雪の多い年は、デンマークは、ノルウェーやスウェーデンからの水力発電の余剰電力を輸入する。京都議定書の基準年である1990年は、ちょうどそのような年で、国内で発電しなくてもよく、CO₂排出量が例年より少なかった。

■ デンマークのエネルギー政策声明 2008

エネルギー政策声明 2008 で、デンマークは経済的費用を最小限にとどめ、かつ供給面でのセキュリティを確保しながら、気候変動の課題に取り組むことを宣言している。具体的には、以下の点で改善を行うとしている：

- エネルギー効率
- 再生可能エネルギー
- 技術開発

特にデンマークが目指すのは、2006年の数値をベースとして国の総エネルギー消費量を2011年に2%、2020年には4%削減することである。

そして2011年までに再生可能エネルギーの使用を総エネルギー消費の20%まで向上させようと目論んでいる。

これらの野心的な目標の達成を支援するため、政府は、エネルギー技術の調査、開発および実証のための予算を、年1億3500万ユーロに増額した。

■ CHP の利用状況:技術、適用事例および市場活動

デンマークは、いろいろな場面（特に、地域暖房）に CHP プラントを使用することで、熱および電力の需要を満たしている。Figure 4 を見ると、2006 年までに、火力発電における CHP のシェアは 47%、DH における CHP のシェアは 82%に達したことが分かる。CHP のシェアは 1990 年代顕著に増加したが、CHP が適用できそうなところへの CHP 導入がほぼ終わったため、近年は横ばい状態である。

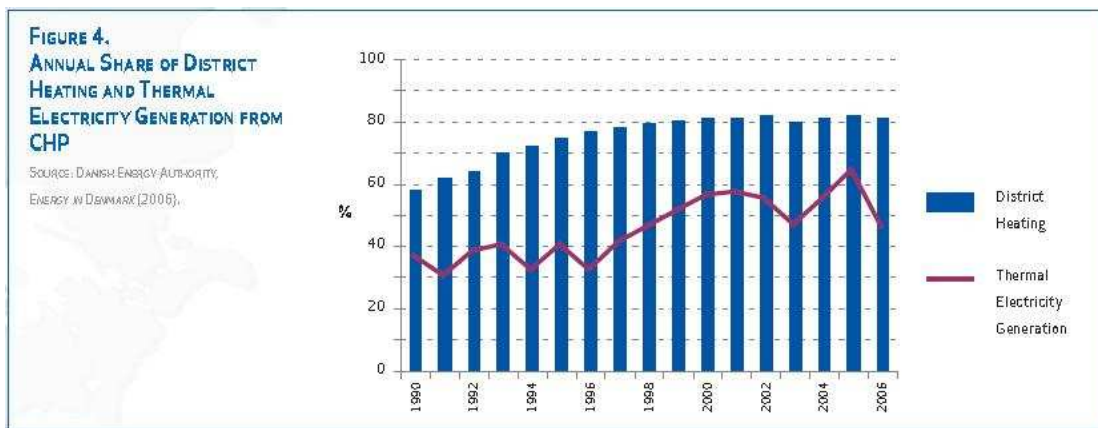
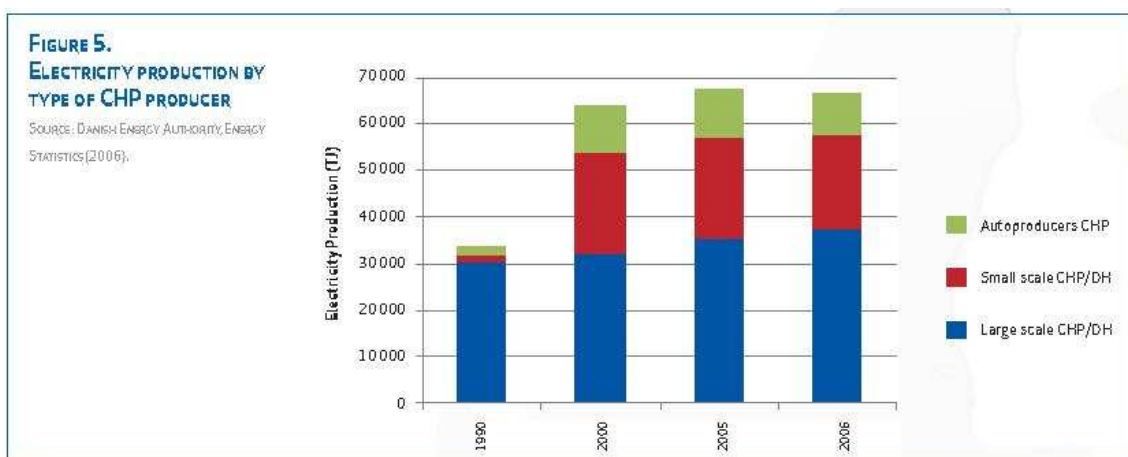


Figure 5 は、CHP 進化のパターンが 1990 年代にどれほど劇的に変わったか示している。1990 年までは大型のシステムが大勢を占めていたが、その後オンサイトのより小型の DH システムが台頭し、主に商用ビルや公共ビルは、分散して個々に CHP 装置を設置するようになった。1990 年代の早い時期に、230 の DH システムが CHP に切り替わっている。



■ 地域暖房アプリケーション

地域暖房は、デンマークのエネルギー・システムのバックボーンで、現在同国の熱ネットワークは、ほぼ完全に CHP プラントで成り立っている。公共の熱供給システムは、以下のプラントから構成されている：

- 285 の分散配備された CHP プラントと
- 16 の集中型 CHP プラント、および
- 130 の分散配備された DH プラント。

一般的に、集中型 CHP は大型プラントで、以前の発電所である。分散配備された CHP は、小型で、それらの内のいくつかは、もとは熱供給をしていたものである。DH ネットワークに使われる大多数の CHP は、地方自治体や協同組合が所有し、天然ガスを燃料としている。非常に多くの家庭が地域熱供給に依存しているので、消費者利益を保護するべく、熱価格には激しい規制がしかれている。例えば、熱供給法では、「熱供給は非営利的な基準で運営され、熱供給／電力価格は、コストを反映したものにすべきである」と規定している。これは、地方自治体や協同組合というほとんどの DH システム保有者にとって全く問題ない。

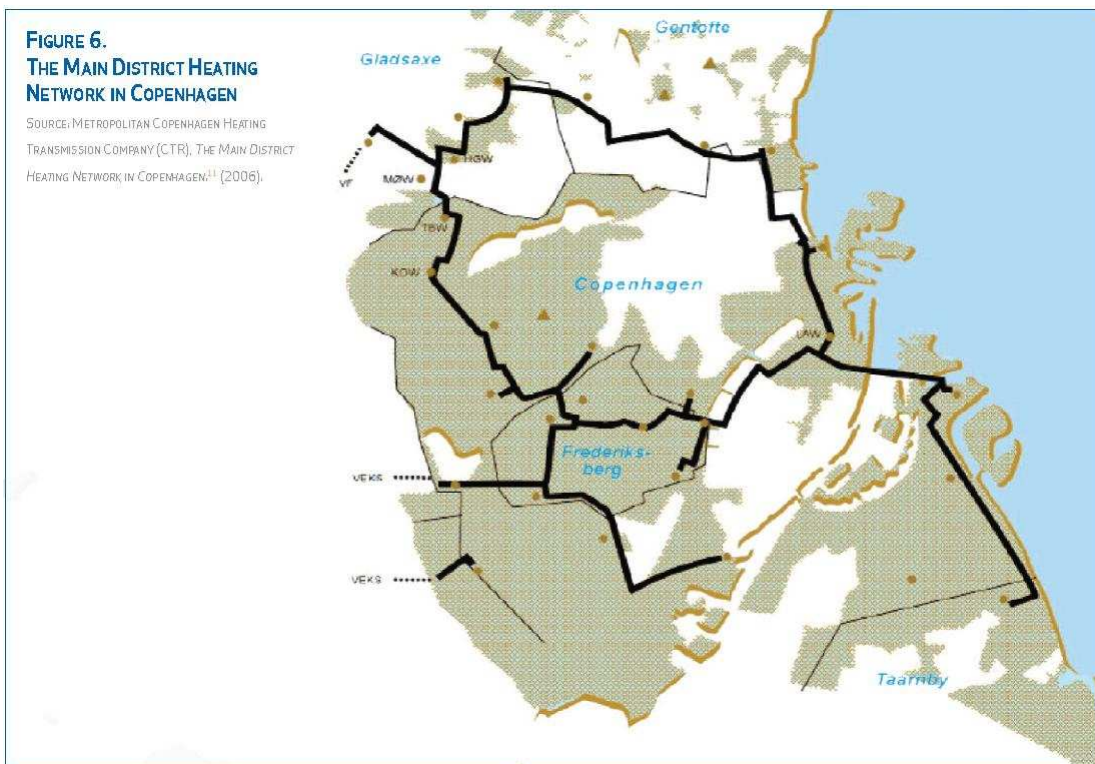
CHP/DH/風力発電をベースとした、非常に効率的なエネルギー・システムを作り上げることができたので、デンマークは、CHP プラントの燃料を、化石燃料からバイオマスに転換し、更なる温室効果ガスの排出の削減と、長期のエネルギーセキュリティ確保を目指している。

事例研究 1: Metropolitan Copenhagen Heating Transmission Company (CTR)

CTR は、フレゼレクスベア (Frederiksberg)、гентトフト (gentofte)、グラーズサクセ (gladsaxe)、コペンハーゲン (copenhagen)、ターンビー (tearby) の 5 つの地方自治体と提携し、27 万世帯に熱供給している。これは、全デンマークの熱需要のおよそ 10% に相当する。

CTR は、地方自治体に対して、信頼でき、コスト効率の良い熱供給を行う目的で 1984 年設立以来、ずっと操業を続けている会社で、燃料には、石炭、石油、天然ガス、わら、木質ペレット、ごみなど、様々なものを使用している。

その熱供給エリアを Figure 6 に示す。



CTR は 5 つの自治体を通じて、それらのエリアの住宅暖房ニーズの 90%以上をカバーしている。この地域暖房ネットワークへの熱供給には様々な設備が関わっている：

- CHP プラント
- 地熱発電プラント
- 清掃工場のごみ発電プラント
- スチームプール（同一構内にある CHP やボイラーのスチーム出力の貯蔵装置）
- ピーク時に作動させるためのヒーティングステーション（予備暖房装置）

CTR の特徴のいくつかを Table 1 に示す。

TABLE 1:
DETAILS OF THE CTR COPENHAGEN DH CHP SCHEME

CTR Copenhagen - facts and figures	
Base load heat capacity	1 314 MJ/s
Base load electricity capacity	1 115 MW
Transmission network length (double pipes)	54 km
Maximum flow temperature	120°
Operating pressure	25 Bar
Annual turnover	€200 million
Fuel savings of CTR scheme	290 000 toe/year

SOURCE: CTR, THE MAIN DISTRICT HEATING NETWORK IN COPENHAGEN¹¹ (2006).

事例研究 2: アベドール混焼発電プラント

Figure 7に示した570MWのAvedore-2 CHPプラントは、West Copenhagen Heating Transmission Company (VekS) と先述のCTR社のDHネットワークに熱電供給を行う会社である。この会社のプロジェクト計画は1994年に承認され、4億ユーロをかけて2002年に建造を完了した。

FIGURE 7.
THE AVEDØRE CHP PLANT
SOURCE: DBDH, 2005

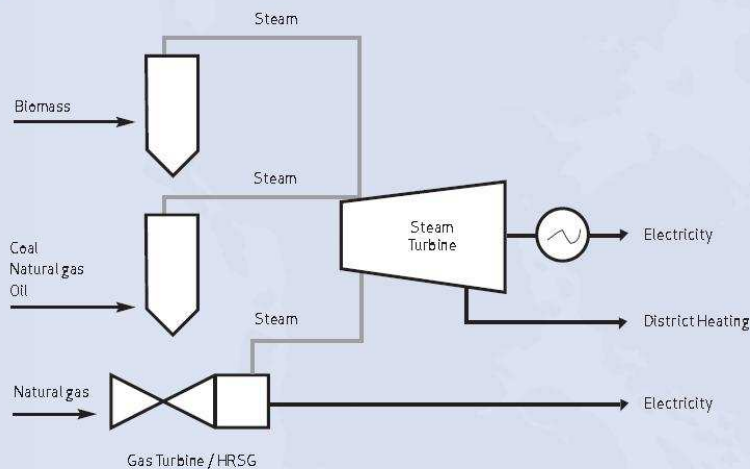


本プラントは、485MWの電気と570MWの熱を供給でき、18万世帯の熱需要と、80万世帯の電力需要に応えることができる。本プラントを新しく建設したことで3つの古くて効率的でない石炭専焼火力発電所を廃止でき、CO₂排出量を10%、1年当たり約15万トン削減することができた。

Figure 8に示すように、Avedore-2プラントは化石燃料ボイラー、バイオマス・ボイラーと共に、ガスおよび蒸気タービンの組合せを使用している。この組合せは、本プラントに、大きな柔軟性をもたらし、95%という高い効率の達成が期待されている。当初、メインボイラーでは天然ガス燃料が全燃料消費量の85%を占めると予想していたが、天然ガス価格が上昇し、バイオマスが主燃料となった。その結果、当初予想より更に年間20万トンのCO₂排出量削減が達成された。

FIGURE 8.
TECHNICAL CONFIGURATION OF
THE AVEDØRE CHP PLANT

SOURCE: POWER-TECHNOLOGY.COM (2008).



- **商業利用**

デンマークの CHP 装置の大部分は、DH ネットワークにエネルギーを提供しており、DH 分野以外の用途は限られている。しかしながら、小型の CHP は、熱需要の高い病院、ホテルおよび商業地区に設置されている。デンマークに設置された最初の CHP システムは、1903 年にコペンハーゲンのフレズレグズベル病院の近くに作られたものである。

これらの分散配備された CHP の多くは、余剰熱を最寄りの配熱会社に売っており、2006 年には、地域暖房スキームに 20PJ（ペタジュール）以上貢献している。

- **産業利用**

デンマークは、他国ほどエネルギーを大量消費する産業を持っていない。2005 年の産業分野のエネルギー消費は、全最終エネルギー消費の 16%しかない。そのうちの 2.5GWh 以上が DH によるもので、全 DH 需要のほぼ 9%に相当している。

全体で 200 の小規模な産業用 CHP プラントがあり温室や、製造、製薬ならびに食料加工業で利用されている。

■ 政府の CHP/DH 促進政策

1970 年代の石油危機を経験し、デンマーク政府は、1997 年までにエネルギーの自給自足を達成するための効果的な政策を作成した。こうして最初に出来上がったのが、1979 年施行された熱供給規制法である。

初代熱供給法

1979 年、デンマークは、熱供給に関する最初の法律を導入した。この法律は、各地方自治体に、管轄区域で公共熱供給が必要な候補エリアを特定させ、その内の最も適切なエリアに、集合的に熱供給する構想を立てた。これが地域熱供給を形成する基礎となった。地方自治体が、独自に地域の熱供給プランを立てることもできた。この法律では、熱供給計画策定プロセスを 3 つのフェーズに分けて定義している。

フェーズ 1：地方自治体は、暖房に関する要件、使用する暖房方法、および消費するエネルギー量に関するレポートを作成する。暖房方法に関するオプションも検討する。各地の暖房計画を州レベルの暖房計画に集約し、地方レベルの熱供給戦略を策定する。

フェーズ 2：各地方自治体は、将来の熱供給計画の原案を準備する。各州議会は、所属する地方自治体の作成した将来の熱供給ニーズをもとに、州レベルの将来の熱供給計画の原案を策定する。

フェーズ 3：各州議会は、この情報に基づいて、その地域の熱供給計画を立てる。

これらの地域熱供給計画には、トッププライオリティが与えられ、将来どこにパイプラインを敷き、どこに熱供給設置を設置するかを同定する。この政府による強いリーダーシップが、デンマークの CHP/DH 産業の成功の礎となっている。

初代熱供給法をきっかけに、政府は次々と政策を打ち出した。中でも発展の初期段階でどのような規制をかけるかは、有効に市場を形成させる上で最も重要な要素だった。初代熱供給法に続いて、CHP/DH 市場が経済的に自立できるような奨励策が導入された。

■ 経済面での CHP/DH 化支援政策

● 暖房燃料への税金施策

暖房設備の CHP 化を促進するため、発電用の燃料には税金をかけず、暖房に使う燃料にかかる税金を高くすることとした。2002年1月に、天然ガスを使用する CHP 設備利用者は、燃料税の納付に当たって、発電に使用した燃料消費量を、全燃料消費量から差し引くことができるようにしたのである。

また、燃料の種別によっても、エネルギー消費税額を変更した：

- ◇ 石油燃料：223 ユーロ/トン
- ◇ 石炭：139 ユーロ/トン
- ◇ 天然ガス：0.13 ユーロ/m³

なお、CHP 化の促進だけでなく、再生可能燃料であるバイオ燃料も、化石燃料と太刀打ちできるようにしている。

● CHP 発電補助金（フィード・イン・タリフ）

この補助金は、もともと、再生可能な技術および燃料によって生産された電気に関するものだったが、1992年に天然ガス炊きの CHP にも適用を拡張した。この結果、2006年には、CHP と風力発電それぞれの設備容量は、デンマークの全電源容量の 47%および 24%になった。

時間帯によっては、CHP と風力発電からの電力生産量がデンマーク全土の電力需要を超過するため、余剰電力として低価格で国外に輸出しなければならない状況が発生している。その際出た損失は、消費者によって支払われなければならなかった。そこで、現在では、いくつかの CHP プラントは、元通り、熱需要のみを満たすようなシステムとなっている。これは、CHP/DH の一層の進展がもたらす恩恵に問題を投げかけている。Table 2 は現在の料金構成のサマリーである。フィード・イン・タリフの導入により、多くの CHP プラントで、石油あるいは石炭から天然ガスあるいは再生可能原料への燃料転換に成功した。

● 購入義務付け

2005年まで、需要家は、最寄りの CHP ユニットで発電された電力の購入が義務付けられた（現在は廃止）ので、大型で集中型の CHP プラントを含め、すべての CHP 事業者は、その恩恵を受けた。この施策が長期的な収益を保証したので CHP への投資を促進した。今日、電気は市場で売られているが、前述の燃料税の形で、補助を受けている。

- **バイオマスおよびバイオガス CHP のプレミアム**

バイオマスおよびバイオガスを燃料とする（元来発電所だった）集中型 CHP プラントは、すべての需要家が支払う電気代の中からプレミアムを受ける。

このプレミアムの額も、どのような燃料を使うかに依存する。（Table 2 参照）

TABLE 2:

PREMIUMS FOR CENTRALISED CHP IN DENMARK

Fuel	Connection to network	Premium plus market price total	Duration
Wood chips or straw	Before 21st April 2004	€c8 per kWh	20 years (15 years for connections after 1st January 2004)
Biogas	Before 21st April 2004	€c8 per kWh	20 years
	21st April	€c8 per kWh	10 years
	- end 2008	€c5 per kWh	10 years

SOURCE: DANISH ENERGY AUTHORITY, HEAT SUPPLY: WHO, WHAT, WHERE, WHEN AND WHY (2005).

注：バイオガスと天然ガスの組み合わせを使用する CHP は、分散配備された天然ガス CHP と同じ料金を受け取る。2004 年 4 月 21 日より以前にバイオガスを使っていた場合、プレミアム額は、20 年間にわたり 0.03 ユーロ/kWh。それ以降バイオガスを使い出した CHP プラントでは、最初の 10 年が 0.03 ユーロ/kWh、次の 10 年は 0.008 ユーロ/kWh である。

- **計画に関する政策**

- **接続／接続され続ける義務（1982 年施行、2000 年改正）**

地方自治体に、すべての住民が、天然ガス供給あるいは地域暖房ネットワークのいずれかに接続することを要求する権限を持たせた。この接続義務は新規および既存の家屋ともに発生するが、既存の家屋に関しては、（接続までの時間的猶予を与えるために）、住人への通知後 9 年以内に接続するものとした。この接続義務が、DH システムの拡張を促し、DH ビジネスが商業ベースで成り立つことを保証し、そのための資金調達も容易にした。

- **電気による暖房の禁止（1988 年施行、1994 年改正）**

すべての新築家屋と、温水を利用したセントラル・ヒーティング・システムあるいは、天然ガスか DH を利用している既存家屋では、電気を利用した暖房を禁止した。これにより、DH システム用に一定量以上の熱負荷を確保することが容易となった。

■ ステークホルダー

● 政府

エネルギー政策担当の政府組織はエネルギー&気候変動省 (Ministry of Energy and Climate Change) である。この省内には、2つの主な組織があり、エネルギー庁 (Danish Energy Agency:DEA) および、エネルギー規制監督機関 (Danish Energy Regulatory Authority : DERA) である。

DEA は、政府としての政策策定と熱供給ネットワークを主管している。DERA は、熱供給に関する規制価格を決定する独立機関であり、デンマークのエネルギー業界で市場の独占が行われていないかの監視機関でもある。そのメンバーは、エネルギー&気候変動省から任命され、任期は4年となっている。

● 非政府機関

デンマークの地域暖房協会 (Danish District Heating Association : DDHA あるいは Dansk Fjernvarme) は、400 の地域暖房会社を代表するメンバー組織である。メンバーは、数百世帯に熱供給を行う小規模な協同組合から、数十万顧客を擁する大きな公益企業まで多岐にわたっている。

DDHA の重要な目標は、デンマークのエネルギー政策に影響を及ぼし、国内の地域暖房で主導権を維持することである。

デンマーク地域冷暖房協会 (Danish Board of District Heating : DBDH) は、DH/CHP 分野の製造業およびサービス提供会社の団体で、エネルギー計画、メータリング、バイオマス、バイオガスおよび高性能 CHP に関する広範な知識を持ち、メンバー間および 50 か国以上のパートナーと、効率的で環境に優しい持続可能なエネルギー利用を促進している。

● 産業

ドングエナジー (DONG Energy) は、デンマーク国内で石油、天然ガス、電気および送配電分野の多くの企業が合併した後、2006年に創立され、地域暖房および天然ガス供給の両方のビジネスに関係している。メトロポリタン・コペンハーゲン・ヒーティング・トランスミッション会社 (CTR) はコペンハーゲンで最大の地域暖房システムを運営している。

詳細は事例紹介を参照。

■ 更なる飛躍に向けての課題

ここまで、政策立案に当たって、一貫した優先順位が CHP/DH に与えられてきたおかげで、デンマークにおいて地域暖房は順調に発展してきた。しかしながら、同じく重要度が高い風力発電も同時に進められたことで顕著となってきた電気の生産過剰が、今後の CHP/DH 発展の主な阻害要因となっている。また、エネルギー効率向上は、熱需要の低下を招き、今後新規での CHP/DH 導入を難しくしている。

● ビジネス拡大余地の欠如

既に CHP が広く行き渡り、成功しているので、今後、ビジネスを拡大する余地があまり残されていない。既存の CHP 容量の壁を打ち破るには、革新的な手段が必要になるだろう。

● 地域冷房や、地域暖房における再生可能な燃料使用に関する情報の不足

デンマークでは、既に地域暖房用に再生可能資源の熱利用に取り組んでいる。しかしながら、潜在的には、更に多くの可能性がある。それを追求するには体系的なスタディが必須で、政策決定者には、CHP/DH の研究を続けるためのコストと利益を理解してもらう必要がある。例えば、近隣の北欧諸国では、既に地域冷房が実施されている。

デンマークでも同様の地域冷房事業が発展する可能性があるが、そのためには潜在需要など調査研究が必要である。

■ CHP のポテンシャルと利益

デンマークでは、CHP のポテンシャルを既に有効利用できているので、将来に向けて、あまり CHP の延びる余地がない。CHP の主要用途は DH だが、地域熱供給のネットワークの多くは、既に完全に機能している。しかしながら、天然ガス供給ネットワークに接続されているいくつかのプラントが残っている。そこで、DH ネットワークの容量を拡大し、熱供給能力を向上させて、それらのガス・ユーザーの一部を DH ネットワーク接続に切り替えれば、国全体の燃料利用効率向上が可能となる。また、デンマークでは、これまで地域冷房について体系的な調査研究をしていないが、地域冷房について CHP のポテンシャルがあるかも知れない。

これまでの CHP 普及の恩恵については、以下のとおり評価報告が行われている：

- 2004 年までに、CHP と DH は、年間 800～1100 万トンの CO₂ を節約した
- 一平方メートル当たりのエネルギー使用量は、1970 年代初期の 50%まで下がって

いる（これには、最終需要家側の省エネ効果も入っている）

- デンマークが培ったエネルギー専門知識の輸出／国際協力ができる

■ 国際協力

デンマークの CHP/DH 開発ノウハウを、デンマーク同様の恩恵に浴したい他の国々に対して提供することができる。

デンマークのエネルギー当局、デンマーク地域冷暖房協会（DBDH）その他の組織は、デンマークが培ってきたエネルギー技術および専門知識の輸出に勤めており、今や、デンマークの輸出高の 5.5%に上っている。

特に DBDH は、ハルビンの世界最大の DH 構築を含め、中国の多くの DH 構築に貢献している。