

デンマークの再生可能エネルギー に対する取組み

坂内 久〈一般財団法人農村金融研究会 主席研究員〉

〔要 旨〕

- 1 再生可能エネルギーへの積極的な取組みで日本でも注目されているデンマークであるが、同国のエネルギー総消費量に占める再生可能エネルギーのシェアは1980年には僅か3%であった。それを30年後の2010年には20.2%まで伸長させている。
- 2 また、デンマークはエネルギー総消費量に対する自給率が、80年時点で5%であったものを97年に100%、10年には121%にしている。自給率上昇の最大の要因は北海域の油田開発であり、産出される原油と天然ガスがエネルギー自給に大きく貢献している。
- 3 一次エネルギーを変換する発電では、大規模火力発電所0.2%、大規模CHP（熱電併給発電）60.0%、小規模CHP13.8%、施設付属熱電併給所5.8%、風力発電機20.1%、水力発電施設0.1%などとなっている。
- 4 デンマークの再生可能エネルギーは、バイオマス（68.3%）、風力（20.5%）、ヒートポンプ（5.1%）、バイオガス（3.1%）、バイオディーゼル（2.1%）、太陽光（0.5%）、地熱（0.3%）、水力（0.1%）といったものがある。このうち最多のバイオマスは、薪や木質チップ、廃材・木屑等の林産物と、麦藁等の農産副産物などである。再生可能エネルギーの約7割がバイオマス、約2割が風力であり、この2つで約9割を占める。
- 5 デンマークのエネルギー政策には、規制緩和を基調としたEUエネルギー政策とのハーモナイゼーションと、自国の再生可能エネルギー資源の有効利用を両立させるという方向性が認められる。
- 6 デンマーク政府は、2030年までに石炭火力発電を段階的に廃止しつつ、国内使用電力の50%を風力エネルギーで供給することができた場合、2035年までに電熱供給が再生可能エネルギーで100%可能であるという計算を示しているが、これまで約30年の再生可能エネルギーの推進実績や諸施策を振り返ると、その実現性は高いと考えられる。

目次

はじめに

1 デンマークのエネルギーシステム

- (1) エネルギー収支
 - (2) エネルギー自給
 - (3) エネルギーの産出源
- #### 2 再生可能エネルギー資源
- (1) 資源の内訳
 - (2) 再生可能エネルギー資源の用途

3 デンマークにおける発電

4 再生可能エネルギーによる発電

- (1) 熱電供給
- (2) 地域暖房施設別熱エネルギー
- (3) 風力発電

5 化石燃料からの再生可能エネルギーへ政策転換

6 EUのエネルギー政策とデンマーク

7 電力取引とFIT

おわりに

はじめに

世界的に話題となっている再生可能エネルギーの生産という観点からすると、アメリカのトウモロコシとブラジルのサトウキビによるバイオエタノールがすぐに思いあたる。^(注1) 両国とも農業大国としてこれらの農産物の有力な輸出国であり、それだけに当該産物を国際市場での戦略作物と位置づけ、当然ながら取引価格の最大化を目論む。これらの農産物の輸入依存度が高い国からすると、食料を燃料として利用することに強い違和感があり、リーマンショック後の一時期に各地で反発行動が広まった。

しかし、とりわけ輸出国という優位な立場のアメリカにあっては、そうした反発を一顧だにしない政策が維持されている。この問題は再生可能エネルギーを生み出す原材料が貿易財となっているところから派生している。デンマークは風力発電機の輸出には積極的であるが、貿易財になりにくい

風力や太陽光のような再生可能エネルギー資源の国内利用を積極的に推進している。デンマークで再生可能エネルギーがどのように生産され利用されているのかをみてみよう。

デンマークの国土面積は42,959km²であり、^(注2) 日本の九州7県の総面積42,187km²にほぼ匹敵する。デンマーク全体の土地利用は、耕作地が52%、森林が12%、その他が36%となっている。またデンマークの総人口は556万人で兵庫県の人口にほぼ等しい。^(注3)

デンマークの主要産業は、金融、不動産、運輸・交通・通信、鉱業・エネルギー産業等があげられる。2010年の国連統計によると、貿易額は総輸出額が968億ドル、総輸入額が845億ドルで、主な輸出品は医薬品、原油、畜肉・水産品等であり、主な輸入品は石油、自動車・関連部品、医薬品等である。デンマークのGDPは3,107億ドルで、日本の5兆4,592億ドルに比べると約5.7%である(10年IMF統計)。また失業率は4.2%で、日本の5.06%よりも低い(同)。

(注1) 坂内久・大江徹男編 (2008)

(注2) 自治領グリーンランド、フェロー諸島を除く。

(注3) "Statistical Yearbook"

1 デンマークのエネルギーシステム

まず、デンマークのエネルギー産業で留意しなければならないのは、エネルギー産出に「熱電併給システム」が採用されていることである。これは極北に近いために暖房を要する北欧諸国に共通するものであるが、日本のエネルギー生産・利用とはかなり異なるシステムである。また、電力需給で日本と比べる際に留意すべきことは、デンマークの2010年の電力消費が約368億kWh（JをWhに換算）で、これは北海道電力が10年度に販売した323億kWhにほぼ等しく、国土面積で近似の九州電力は875億kWh（北海道電力の2.7倍、デンマークの2.4倍）であるという点である。^(注4)

(注4) 北海道電力と九州電力の12年度供給計画中の「電力需要見通し」参照。

(1) エネルギー収支

第1表は10年時点のデンマークのエネルギー収支である。表中に黒字で示された数値は自国での産出ないし輸入されたエネルギー量、緑字は自国での消費や備蓄ないし輸出に回されたエネルギー量である。

デンマークのエネルギー総消費量は^(注5)846,427TJであるが、そのエネルギー産出に充てられる主な供給資源の割合は、原油・精製原料油36.0%、天然ガス22.1%、再生可能エネルギー20.1%、石炭・コークス19.3%

である。3種の化石燃料で8割近くを占めるが、その一方で再生可能エネルギーが2割を占めている。化石燃料は自国の北海油田で原油や天然ガスを多く産出しているが、その一方で石油や精製原料油、石炭・コークスを輸入している。

これに対しエネルギーの変換・消費（二次産出源を含む）の主な用途は、一次エネルギー源から二次精製加工・エネルギー変換に用いられるエネルギーと最終消費に向けられるエネルギーの2つに大別できる。前者の主なものは、投入原油の精製と産出石油であり、それぞれ3割強を占めるが、両者は差引きゼロの関係にある。同じく前者のエネルギー変換では、石炭・コークスや天然ガス、再生可能エネルギーが投入されて電気や地域暖房が産出されるが、ここでは投入量が1割ほど上回っている。大別された後者の最終消費エネルギーは総消費量の8割弱で、内訳は家庭用と交通運輸用がそれぞれ約25%、農業を含む産業用が約17%、商業・サービス業用が約11%である。最終消費に充てられるエネルギーは、石油が最も多く、次いで地域暖房、電気、天然ガス、再生可能エネルギーの順である。

最終消費までにやや目減りするとはいえ、エネルギー産出に化石燃料が約8割使用されている。

(注5) 本稿のエネルギー単位は下記に基づき表記。
 1Peta Joule (PJ) = 1000TJ, TJ=Tera Joule (1TJ=1,000GJ=1,000,000MJ = 1,000,000,000kJ)。
 エネルギー熱量単位の電気換算：
 1TJ= 0.2778GWh, 1PJ=0.2778TWh。
 (出典) Danish Energy Agency (2010)

第1表 デンマークのエネルギーバランス(2010年)

(単位 TJ, %)

	(直接的エネルギー量)		原油・精製原油	石油	天然ガス	石炭・コークス	廃棄物(再生不可)	再生可能エネルギー	電気	地域暖房	製造ガス	
	合計	割合										
総エネルギー消費	846,427	100.0	304,900	9,796	186,820	163,253	15,679	169,892	-4,086	174	-	
	割合	100.0	36.0	1.2	22.1	19.3	1.9	20.1	(0.5)	0.0	-	
産出・供給源	一次エネルギー産出	982,903	116.1	522,733	-	307,488	-	15,679	137,003	-	-	
	リサイクル	39	0.0	-	39	-	-	-	-	-	-	
	輸入	589,025	69.6	116,911	279,956	5,695	112,396	-	35,735	38,158	174	
	輸出	-736,368	(87.0)	-335,375	-221,946	-132,209	-1,748	-	-2,846	-42,244	-	
	国境貿易	-7,518	(0.9)	-	-7,518	-	-	-	-	-	-	
	国際洋上燃料備蓄	-29,087	(3.4)	-	-29,087	-	-	-	-	-	-	
	変動在庫	44,740	5.3	2,795	-11,113	4,230	48,828	-	-	-	-	
	誤差脱漏	2,693	0.3	-2,165	-535	1,616	3,777	-	0	-	-0	
消費用途(含む一次産出源)	エネルギー部門	-46,787	(5.5)	-304,900	288,374	-26,026	-	-	-3,648	-586	-	
	抽出・ガス化	-26,027	(3.1)	-	-	-26,026	-	-	-0	-	-	
	精製産出	300,926	35.6	-	300,926	-	-	-	-	-	-	
	精製使用	-319,187	(37.7)	-304,900	-12,552	-	-	-	-1,149	-586	-	
	配送使用	-2,499	(0.3)	-	-	-	-	-	-2,499	-	-	
	エネルギー変換	-98,318	(11.6)	-	-12,049	-86,120	-157,375	-14,810	-109,726	132,390	148,827	546
	大規模熱電供給所	-74,007	(8.7)	-	-6,758	-32,801	-156,638	-	-31,646	84,168	69,668	-
	風力発電機・水力発電施設	-	0.0	-	-	-	-	-	-28,188	28,188	-	-
	小規模熱電供給所	-7,397	(0.9)	-	-227	-36,472	-565	-4,040	-14,432	19,218	29,122	-
	地域暖房所	-1,453	(0.2)	-	-2,909	-9,502	-134	-231	-17,605	-105	29,033	-
	施設附属熱電供給所	-7,074	(0.8)	-	-2,154	-6,732	-38	-10,539	-17,854	8,039	22,204	-
	ガス製造所	-68	(0.0)	-	-1	-614	-	-	-	-	-	546
	自己使用	-8,319	(1.0)	-	-	-	-	-	-	-7,118	-1,200	-
	輸送損耗等	-39,159	(4.6)	-	-	-118	-	-	-	-9,219	-29,800	-22
	エネルギー最終消費	-662,163	(78.2)	-	-286,120	-74,555	-5,878	-869	-60,166	-115,436	-118,615	-524
非エネルギー用途	-11,127	(1.3)	-	-11,127	-	-	-	-	-	-	-	
交通運輸用	-209,129	(24.7)	-	-206,540	-	-	-	-1,134	-1,455	-	-	
産業用(含、農業)	-140,233	(16.6)	-	-45,111	-31,724	-5,847	-695	-11,694	-38,023	-7,097	-42	
商業・サービス業用	-90,510	(10.7)	-	-2,898	-11,839	-	-174	-1,749	-38,558	-35,254	-39	
家庭用	-211,165	(24.9)	-	-20,444	-30,993	-31	-	-45,589	-37,401	-76,263	-444	

資料 Energy Statistics 2010, Danish Energy Agencyから作成
 (注) TJ=Tera Joule(1 TJ=1,000 GJ=1,000,000 MJ=1,000,000,000 kJ)。

(2) エネルギー自給

10年のエネルギー総消費量84万6,427TJに対し、一次エネルギー産出量は98万2,903TJであり、供給量が消費量を16.1%も上回る。エネルギー自給率は80年時点では僅か5%, 90年でも52%であったが、その後右肩上がりに伸長し、97年に100%を達成し、10年に121%となっている(第1図)。

急速な自給率上昇の要因は、デンマーク領北海域の油田開発にある。北海域での油田開発はイギリスが先行した。75年まで輸

第1図 デンマークの総エネルギーと石油の自給率



資料 第1表に同じ

入に頼っていたイギリスは80年代以降、エネルギー輸出国に転じた。一方、デンマーク領海に設置されているゴルム（Gorm）油田は71年に発見され、81年から掘削が開始された。^(注6)この北海油田から産出される原油と天然ガスがデンマークのエネルギー自給に大きく貢献している。

(注6) グレートブリテン島（イギリス領）、スカンジナビア半島北西部（ノルウェー領）、ユトランド半島（デンマーク領）の間の海域が北海（North Sea）で、ノルウェー周辺を除くほとんどの海域が水深200m以下の大陸棚から成る。この海域で油田の掘削が本格的に開始されたのは1960年代と言われるが、1969年にイギリス領海でモントローズ油田が発見されて以降、次第に大規模掘削域が発見され1998年までに約220の原油と天然ガスの掘削施設がイギリス領海内に設置されている。（出典）RichmondレポートNo.1(2004)。

デンマーク領海に設置されているゴルム（Gorm）油田は1971年に発見され、1981年から掘削が開始された。（出典）「Gorm Field」From Wikipedia

(3) エネルギーの産出源

10年時の一次エネルギー産出量は合計98万2,903TJで、産出源の内訳は、原油が52万2,733TJ（53.2%）、天然ガスが30万7,488TJ（31.3%）、廃棄物（再生不可）が1万5,679TJ（1.6%）、再生可能エネルギーが13万7,003TJ（13.9%）である。第2表は過去30年間の推移であるが、80年に再生可能エネルギーの

割合が約6割を占めていたが、90年以降は原油と天然ガスの占める割合が圧倒的に多くなる。全体で再生可能エネルギーの占める割合は相対的に小さくなって、最近10年間でやや回復してきている。

2 再生可能エネルギー資源

(1) 資源の内訳

デンマーク国内の一次産出エネルギーのなかで13.9%を占める再生可能エネルギーの内訳は、バイオマス（68.3%）、風力（20.5%）、ヒートポンプ（5.1%）、バイオガス（3.1%）、バイオディーゼル（2.1%）、太陽光（0.5%）、地熱（0.3%）、水力（0.1%）である（カッコ内は2010年13万7,003TJを100とした割合）。うち最多のバイオマスの内訳は、薪（17.9%）、麦藁（17.2%）、再生可能廃棄物（16.3%）、木質チップ（8.2%）、廃材・木屑（5.6%）、木質ペレット（1.8%）、生物油（1.4%）である。

デンマークの再生可能エネルギー産出源は、約7割がバイオマス、約2割が風力、2つで約9割を占める。そのバイオマスの主な原材料は、薪や木質チップ等の林産物と麦藁等の農産副産物である。

つぎに、最近30年間の再生可能エネルギー産出の推移を第2図で見ると、麦藁や薪を主体とした木質系が着実に増加する中で、90年代後半から風力が顕著に増加し、さらに再生可能廃棄物の利

第2表 最近30年間の一次エネルギーの産出

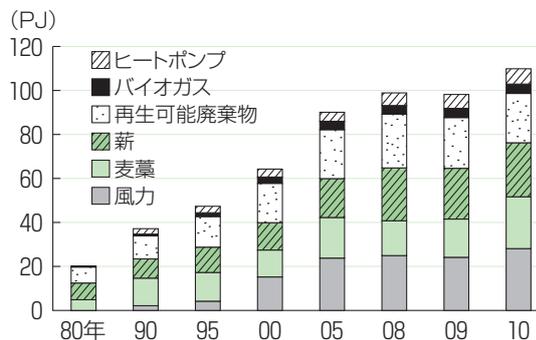
(単位 PJ, %)

	80年		90		00		10	
	産出量	割合	産出量	割合	産出量	割合	産出量	割合
一次産出合計	40	100.0	425	100.0	1,165	100.0	983	100.0
原油	13	31.6	256	60.3	765	65.6	523	53.2
天然ガス	0	0.0	116	27.3	310	26.6	307	31.3
廃棄物(再生不可)	3	8.5	5	1.2	13	1.1	16	1.6
再生可能エネルギー	24	59.8	48	11.2	78	6.7	137	13.9

資料 第1表と同じ

(注) 1 Peta Joule(PJ)=1000TJ, TJ=Tera Joule(1 TJ=1,000 GJ=1,000,000 MJ=1,000,000,000 kJ)。

第2図 再生可能エネルギーの産出量



資料 第1表に同じ

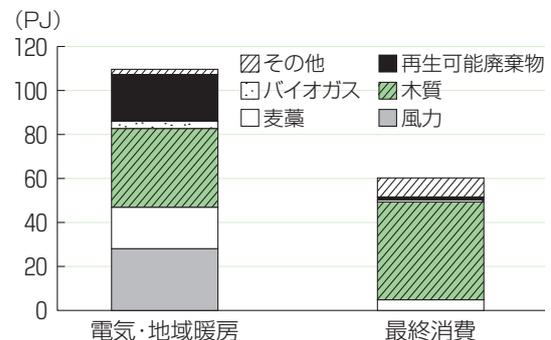
用も多くなっている。なお、グラフには表れない太陽光や地熱の利用はほぼ横ばいで推移しているという状況である。

なお量的には僅少だが、再生可能エネルギー消費の全体16.98万TJを100とすると、輸入が21.0%、輸出が1.7%である。輸入の主体は木質ペレット（輸入全体の約8割）、輸出はバイオディーゼル（輸出全体の10割）である。

(2) 再生可能エネルギー資源の用途

デンマークにおける再生可能エネルギー資源の用途は、第3図のように、エネルギー源を転換した「電気・地域暖房」とエネルギー源の形態を保持する「最終消費」の2つに大別される。前者で多いのは、木質（32.7%）、風力（25.7%）、再生可能廃棄物（19.3%）、麦藁（17.1%）、バイオガス（3.0%）、その他（2.2%）である（10年）。これに対し最終消費では、木質（73.8%）、その他（14.5%）、麦藁（8.0%）、再生可能廃棄物（2.1%）、バイオガス（1.7%）、風力（0.0%）である。木質が最終消費で突出している

第3図 再生可能エネルギーの用途



資料 第1表に同じ

が、これは木質を木質として消費すると解され、これに対し風力は一度電気に転換して使用されるため最終消費段階ではゼロとなる。

なお、第3表にみられるように、デンマークのエネルギー総消費量に占める再生可能エネルギーのシェアは80年にはわずか3%であったが、05年には14.7%にまで伸ばすことに成功し、さらに10年にはこの割合を20.2%へと増やしている。またエネルギー自給率については前述したように97年に100%自給を達成して以降、120~150%の間で推移する。

第3表 デンマークのエネルギー自給率と再生可能エネルギーの割合

(単位 %)

	80年	90	95	00	05	08	09	10
デンマークのエネルギー自給率	4.9	51.8	78.0	138.8	154.5	129.8	123.8	120.6
エネルギー総消費量に占める再生可能エネルギーの割合	2.9	6.1	7.0	9.8	14.7	16.7	17.8	20.2

資料 第1表に同じ

3 デンマークにおける発電

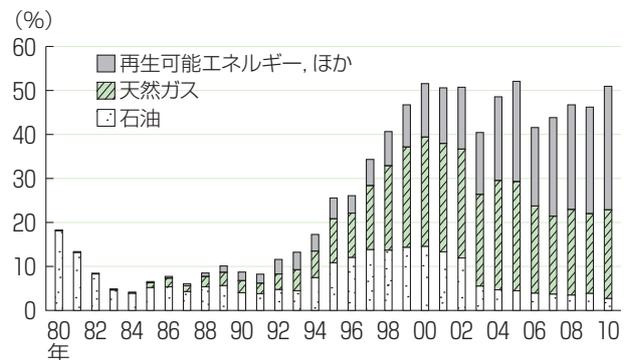
つぎに、エネルギー変換で生み出される「電気」に着目する。^(注7)10年時点の総発電量は139.6PJで、内訳は大規模（火力）発電所が0.2%（総発電量を100とした割合、以下同）、大規模CHP（熱電併給発電所）が60.0%（うち大規模発電所からの受給電力30.9%を含む）、小規模CHPが13.8%、施設付属熱電併給所が5.8%（うち発電のみ0.0%、CHP発電5.7%）、風力発電機が20.1%、水力発電施設が0.1%である。

また、最近30年間の電力の発電主体別にみると、90年頃から小規模CHPと風力発電が登場して供給量を増やし、従来の電力供給主体に加えて、風力発電のような再生可能エネルギーを利用した発電主体からの供給が増加しつつある。

つぎに、発電に利用する「資源（燃料）」に着目すると、10年の総発電量13万9,613TJを100とし、資源（燃料）別の発電量は、石炭（43.8%）、天然ガス（20.4%）、総称としての再生可能エネルギー（32.1%）である。再生可能エネルギーの内訳は、風力（20.1%）、木質（5.7%）、麦藁（2.8%）、再生可能廃棄物（2.5%）、バイオガス（0.9%）であり、資源（燃料）別でみて、風力は天然ガスとほぼ同等の発電量がある。

以上のように、デンマークの発電を担っているのは何と言っても石炭が圧倒的で、次いで天然ガスと風力ということになる。前2者の化石燃料が6割強を、風力を含む

第4図 石炭を除く燃料(資源)別の発電割合



資料 第1表と同じ

再生可能エネルギーが残る3割強を占める。CO₂排出削減の観点からすると、排出量の比較的少ない天然ガスは、風力と合わせると石炭に近い発電量がある。90年代以降、総発電量が頭打ちで推移する中、石炭を除いた発電割合は、石油のウェイトが相対的に低下する一方で天然ガスと風力のウェイトが増している。CO₂の排出削減が意識されていることがわかる（第4図）。

(注7) ここでは、つぎのいくつかの留意すべき用語がある。

「CHP (combined heat and power plant)」=熱電併給発電所。「Large-scale Units」≥大規模CHP、「Small-scale Units」≥小規模CHP。なお、大規模CHPの発電量には、大規模火力発電所からの給電を含むことがある。「施設付属熱電併給所 (Autoproducers)」=非専門のエネルギー供給者。(資料) Danish Energy Agency (2011a)

4 再生可能エネルギーによる発電

再生可能エネルギーによる発電をさらに詳しくみると、再生可能エネルギー資源のうち木質、麦藁、再生可能廃棄物は、石炭

第4表 施設別の発電容量

(単位 MW, %)

	00年	05	06	07	08	09	10	割合
発電容量計	12,598	13,091	13,117	13,129	13,000	13,392	13,728	100.0
大規模発電施設	8,160	7,710	7,712	7,634	7,406	7,446	7,446	54.2
うち発電のみ CHP	1,429 6,731	444 7,267	575 7,137	850 6,784	838 6,569	838 6,608	838 6,608	6.1 48.1
小規模発電施設	1,462	1,575	1,591	1,688	1,735	1,774	1,784	13.0
施設付属熱電併給所	574	664	667	671	683	677	680	5.0
太陽光	2	3	3	3	3	5	7	0.1
風力発電機	2,390	3,127	3,135	3,124	3,163	3,482	3,802	27.7
水力発電施設	10	11	9	9	9	9	9	0.1

資料 第1表に同じ

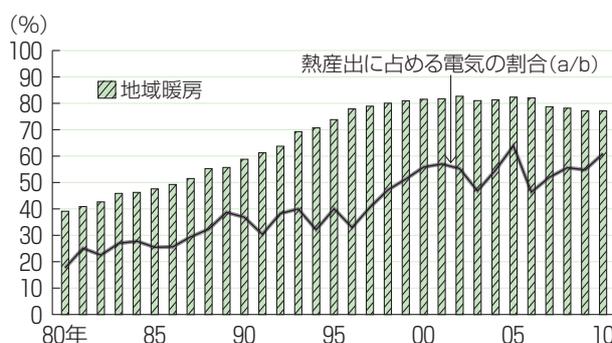
や天然ガス、石油などと同様に大規模発電所やCHP、施設付属熱電併給所などで熱および電気エネルギーに転換される。

第4表は施設別にみた発電容量である。10年時点で最大が火力発電所を含む大規模発電施設で7,446MWを擁しており全体の54.2%（内訳として、電力供給のみの施設が6.1%、熱電併給の大規模CHPが48.1%）を占める。それに次ぐのが風力発電機で3,802MWの容量があり27.7%を占める。以下、小規模発電施設が1,784MWで13.0%、施設付属熱電併給所が680MWで5.0%、と続き、水力発電施設と太陽光は9MWと7MWとかなり少ない。

(1) 熱電併給

規模の大小はあるがCHPの熱電併給施設は電気と大量の熱を産出する。前表で、10年に大規模発電施設と小規模発電施設のCHPおよび施設付属熱電併給所を合わせた^(注8)熱電併給施設で熱と同時に61.0%の電気が産出された。この電気の割合（第5図）は80年に17.6%、90年に36.8%、10年に61.0%と

第5図 熱電併給の地域暖房の割合（分母：総エネルギー産出量）と、同発電の割合



資料 第1表に同じ
 (注) a=大・小のCHPと施設付属, b=(大規模発電所+a)。

格段に伸びている。熱についても同様に、電気と一緒に産出される地域暖房の総エネルギー量に占める産出熱量の割合は80年に39.1%、90年に58.8%であったが10年には77.2%に伸長している。

(注8) 大規模発電のCHPと小規模発電のCHPおよび施設付属熱電併給所を指しているが、発電するだけの大規模発電施設を除く。また施設付属熱電併給所にも発電のみの施設が含まれるがその容量は僅少である。Danish Energy Agency資料に基づく。

(2) 地域暖房施設別熱エネルギー

さらに、地域暖房施設別の熱エネルギー産出量（10年）をみると、地域暖房用途の

熱エネルギー合計150PJを100として、大規模CHPが70PJ（46.4%）、小規模CHPが29PJ（19.4%）、生産主体が異なる総体としての地域暖房が同じく29PJ（19.4%）、施設付属熱電併給所CHPが17PJ（11.3%）、施設付属熱電併給所の暖房供給が5PJ（3.5%）である。

ちなみに、デンマークの熱電併給施設の設置数は第5表のようになっている。^(注9)

公営・準公営の大規模発電CHPと小規模発電CHP、DH（地域暖房）は、地方自治体または協同組合が所有し、その地域の一般世帯や企業に熱をDHパイプで供給する（電気は利用者が小売業者から個別購入）。なお、大規模発電CHPは、元来、中央発電所だったものが中央熱電併給施設に変更されたものである。

デンマークで小規模CHPやDHの利用に重点が置かれるようになったのは、熱電併給システムや利用技術がエネルギーの高効率利用を可能とし、しかも多様な燃料（化石燃料、廃棄物、バイオマス）の使用が可能でかつ柔軟性のあるシステム化が実現したことによる。これによって、旧来のCHPプラントをバイオマス併用方式へと転換し、

第5表 デンマーク国内のCHP設置状況

(単位 基)

	大規模 熱電併給 CHP	小規模 熱電併給 CHP	DH (地域暖房)
公営・準公営	16	285	130
私営	0	380	100
合計	16	665	230

資料 Danish Energy Regulatory Authority, "Large and small scale district heating plants"2010から作成

しかも優れた断熱技術と低温運転による熱損失の削減が図られたとの指摘もある。^(注10)

(注9) 大規模発電CHPは「centralised CHP」と、小規模発電CHPは「decentralised CHP」と、そしてDH（地域暖房）は「decentralised DH」と説明が付され、大規模発電CHP（または中央熱電併給施設）は大都市に設置され、小規模発電CHPとDH（地域暖房）は小都市ないし地方町村に設置されている。大都市に設置された大規模発電CHP（または中央熱電併給施設）はいわば公営で、それを除く小規模発電CHPとDH（地域暖房）は公営ないし準公営のもの私営のものがある。"Large and small scale district heating plants"

(注10) 和田武（1997）

(3) 風力発電

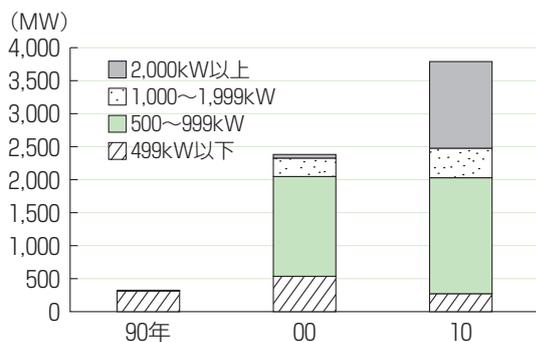
再生可能エネルギー発電で第2位の風力発電機は90年代後半から発電容量が増加しており、最近10年間でも容量の増大傾向が続く。^(注11) 風力発電機のサイズ（発電規模）は、発電能力に相当する「定格出力」の大きさに規定される。ここでは「499kW以下」「500～999kW」「1,000～1,999kW」「2,000kW以上」の4区分で整理する。10年時点の既設の風力発電機は全部で5,036基、このうち陸上発電機が計4,632基（92.0%）、洋上発電機が計404基（8.0%）である。これを発電機のサイズと設置基数の積で求められる発電容量で見ると、合計3,802MWで、うち陸上発電機が計2,934MW（77.2%）、洋上発電機が計868MW（22.8%）である。設置数では陸上設置の数が圧倒的に多いものの、発電容量となると洋上設置の風力発電機の方が大きくなっている。それは発電機のサイズが陸上では「500～999kW」のものが設置数、容量ともに6割強と最も多いのに対し、洋

上では「2,000kW以上」の発電機がいずれも9割以上を占めることから裏付けられる。さらに、1990年と2000年、2010年の各時点のサイズ別の発電容量をみると、この20年間で「2,000kW以上」のサイズが多くなっている（第6図）。

風力発電機の所有者は、地上設置により国内に普及していた1990～2000年代の時期にあっては、当該設置場所の地主やその周辺住民、あるいはその地域の人たちで組織した協同組合、さらに地方公共団体が多くを占めた。地上の場合、設置場所から半径数キロの範囲の住民の出資を優先するという出資規制があったからでもある。しかし、今日の洋上風力発電になると、その規制範囲を超えることや設備投資額が地上のそれをはるかに超えることから、地域住民を排除してはいないものの、多くが企業からの出資である。^(注12)

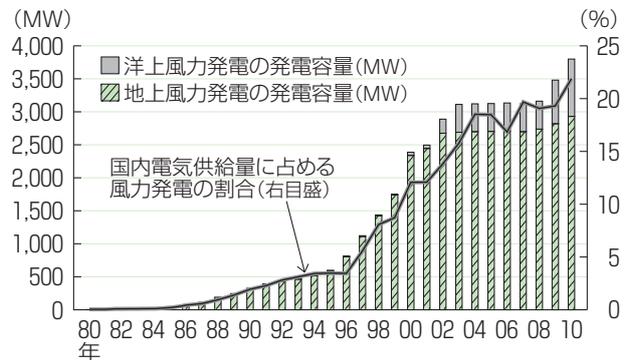
そうしたなかで、国内電力供給に占める風力発電の割合は95年以降急速に上昇し、10年には21.9%を占めるまでになった（第7図）。現在、風力発電の主力は地上の風力発電機であることに変わりはないが、2000

第6図 風力発電機のサイズ別発電容量



資料 第1表に同じ

第7図 風力発電容量と国内電力に占める割合



資料 第1表に同じ

年前後を境に、地上風力発電機の発電容量の伸びは頭打ちとなり、それ以降は洋上の風力発電機が担っており、現時点の洋上風力発電の建設計画を考慮すると、今後もこの傾向が続くと考えられる。

(注11) Danish Energy Agency (2011b)

(注12) 11年10月コペンハーゲンのMiddlegruden CooperativeにおけるHans Chr. Sørensen氏からのヒアリングに基づく。

5 化石燃料からの再生可能エネルギーへ政策転換

1972～79年間の2度にわたるオイルショックを経て、デンマーク政府は第一次オイルショック直後にエネルギー源の分散をはかることを目的として、国内15か所に「原子力発電所建設計画」を発表する。^(注13) 76年には「デンマークエネルギー計画1976」が発表され、北海油田の開発や省エネ補助金の導入といったエネルギー自給を目指した取り組みが開始された。81年には「エネルギー81」が発表され、国内発電所の多くで燃料を石油から石炭へと変換し、さらに小規模

の発電施設および地域暖房システムで、熱電併給の可能なCHPプラントへの改装が奨励された。79年には「熱供給法」が施行され、地域暖房の使用が義務づけられる。ただし、81年からの北海油田の掘削によって石油とガスの供給量は国内需要量を超えるまでになった。^(注14)

ところで、70年代に政府が打ち出した原子力発電計画に対し、国民的な反対運動が起こった。草の根の国民運動を主導したのは環境保護団体の「原子力発電情報組織(OOA)」であった。この運動とデンマーク社会における広範な議論を通じて、85年に議会は「原発オプションの放棄」を正式に決定する。^(注15) また、コペンハーゲン市の対岸約20kmに、隣国スウェーデンのバルセベック原子力発電所(2機)が設置されていたが、デンマークの反対運動により、スウェーデン政府は99年に同発電所1号機を閉鎖した。^(注16)

つぎに、政府は持続可能な社会構築を目指した「エネルギー2000」を90年に発表し、88年基準で「2005年までにエネルギー消費を15%以上削減」、「CO₂排出量を20%削減」、さらに「2005年までに風力発電1,500MWの達成」「バイオマスの推進」「二酸化炭素税の導入」といった政策を矢継ぎ早に打ち出した。続いて96年に「Energy 21」を発表する。エネルギー2000を発展させ、再生可能エネルギーのシェアを「2005年までに12~14%、2030年までに35%」に引き上げ、同じく「2030年までにCO₂排出量を1990年比で50%以下に削減」を打ち出した。ところ

が、01年11月の総選挙で政権が交代してエネルギー政策が大きく転換し、その後しばらくの間、不透明な状況が続いた。^(注17)

そして10年を経た11年2月に、政府は、「エネルギー戦略2050」を発表した。結果的に同年9月に再度、政権が交代することになったが、この戦略はデンマークが目指すべき環境について、2050年までに石炭、石油、天然ガスといった化石燃料依存から脱却し、風力発電やバイオマスなどの再生可能エネルギーへの転換を目指したものである。そして、政権交代直後の11年11月に、政府としてエネルギー戦略2050を補強する具体的な方策である「Our Future Energy」を発表している。^(注18)

この2つ方策では、化石燃料からの転換を図る要点が2つ指摘されている。1つは、交通・運輸部門における電化の推進であり、ガソリン車やディーゼル車から化石燃料に依存しない電気自動車(EV)への転換であり、もう1つは、効率的なエネルギーシステムの構築によるエネルギー消費の総量抑制である。^(注19) このように90年以降の化石燃料からの転換で大きな役割を担ってきたのがCHPと風力発電で、今日のデンマークのエネルギー政策の柱となっている。

(注13) ヨアン・ノルゴー、ベンテ・クリステンセン(2002) p.1。

発表年と基数について、日本原子力産業会議「原子力発電所一覧表(1974年6月30日現在)」p.42によると、「1973年」に「1基の建設計画を発表」と記録されている。どちらが正確か判断を留保する。

また、建設か所数については、Denmark Family House「2011.04デンマークニュース」の「太陽がほほ笑む国-原子力に脅威を感じ「ナ

イタク（ノーサンキュー）』をつき付けたデンマーク」(<http://www.dfhg.org/what/denmarknews201104.html>)によると、「1976年5月1日、商務大臣が国内5か所に建設計画を発表という記録がある。

いずれも発表時期とか所数が異なる。本稿では前掲書（2002）に基づく。

(注14) JETRO ユーロトレンド（2003）p.75, pp.186～187.

(注15) OOA (Organisaion for Oplysning om Atomkraft) は2000年5月に役割を終え解散している。ヨアン・ノルゴー、ベンテ・クリステンセン（2002）pp.196～197.

(注16) 福島県「第17回エネルギー政策検討会・会議資料4」02年6月11日, p.28, p.38.

(注17) ヨアン・ノルゴー、ベンテ・クリステンセン（2002）pp.191～192。福島県（2002）pp.28～36.

(注18) The Danish Government（2011）

(注19) デンマーク気候・エネルギー省HPと「ecool.jp 世界の環境政策を取材、駐日デンマーク大使へのインタビュー —持続可能なエネルギーへの転換により、2050年までに化石燃料からの脱却を実現する」参照。（<http://www.kemin.dk/en-us/newsandpress/news/2011/sider/energystrategy2050.asp>）（<http://www.ecool.jp/world/2010/10/danmark-1026.html>）

6 EUのエネルギー政策とデンマーク

デンマークはこの間にエネルギー政策を大きく転換してきたが、それはデンマーク1国が転機を迎えたからというより、EU全体のエネルギー政策の変更と期を一にしていると考えられる。そこに、デンマークのエネルギー政策を後押しするEU指令がある。^(注20)

EUは96年以降「電力市場の自由化」^(注21)に関し、段階的に3つの指令を発出している。

①1996年・EU「第一次電力指令」

②2003年・EU「第二次電力指令」(更な

る自由化のため指令①を改正)

③2009年・EU「第三次電力指令」(自由化の仕上げに向け、指令②を改正)

これらのEU電力指令に先駆け、イギリスではサッチャー政権下ですでに徹底した電力自由化が実施されていた。^(注22)89年の電力法改正によって抜本的な電力制度改革がはじまり、90年にイングランドとウェールズで発電会社3社と送電会社1社に分割・民営化(所有分離)され、それまで国有電力会社が発電と送電を独占してきた発電市場が完全に自由化された。

その後、EU委員会は11年に「EU energy goals」や「Meeting our “20-20-20 by 2020” goals」を発表する。そこでは2020年までに加盟各国がCO₂排出量を20%まで削減し、再生可能エネルギーの割合を20%まで引き上げ、さらにエネルギー消費量を全体で20%削減する、という目標が掲げられている。^(注23)これらはデンマークが政策的に指向してきた方向でもあり、むしろデンマークはEU指令を根底に据えながら、自国のエネルギー政策をEUに準じ規制緩和の方向で変更してきたことが理解される。

(注20) EU法において、「指令」は各加盟国が国内法を制定して実施しなければならない。また「規則」はそのまま各加盟国にその国内法と同様に適用される。植月献二（2011）参照。

(注21) ①Directive 1996/92/EC, ②Directive 2003/54/EC, ③Directive 2009/72/EC

(注22) イギリスでの電力改革については以下の資料を参照。丸山真弘（2008）、山口聡（2007）、奈良長寿・森平祐次郎（2005）、杉平二郎（2003）、木船久雄（2003）小林俊和（2008）、南部鶴彦・西村陽（2002）。

(注23) EU（2011）“EU energy goals”, “Meeting our “20-20-20 by 2020” goals”

7 電力取引とFIT

電力システムでは系統運用が重要で、物理的に発電設備と送電網、配電網、需要者を連結しただけでは電力を安定的に供給することができない。日本のように垂直統合型のシステムでは電力会社が系統運用を含むすべてを担当しているが、デンマークおよび、北欧諸国ではこの役割をTSO (Transmission System Operator: 送電系統運用機関)^(注24)が担っている。デンマークのTSOは「Energinet.dk」という国営企業である。デンマークを含め北欧では送電会社がTSOとなって政府の厳格な規制の下に高圧送電網を独占的に所有し、送電網の維持・管理や設備投資に必要な費用は法定の送電料によって賄う。さらに北欧では電力取引がノルドプール (Nord Pool) という市場を通して行われるが、このノルドプールは北欧4か国のTSOが共同で所有する。

デンマークでは、発電や電力運用、卸売の各段階で賦課される「電力使用税」と「発電税」がある。その課税基準となる価格はノルドプールの市場価格であり、Energinet.dkが徴収するが、適用方法はエネルギー監督機関の承認が必要である^(注25)。

電力使用税は、Energinet.dkとグリッド会社 (配電会社) 間の清算時に適用されて徴収され、「システム税」「グリッド税」「PSO税」の3つに分かれる (使用従量課税)。^①システム税は電力の安定供給と均質供給のための費用に充当され、^②グリッド税は主

要な配電 (132~400kV) の運用・保守の費用に充当され、^③PSO税 (≒公共サービス税) はEnerginet.dkが法定価格 (固定価格買取制度・FIT: Feed In Tariff) で購入義務のある地域CPH (5 MW以下) および再生可能エネルギー (風力発電、様々なバイオマス、バイオガス、太陽電池) で発電された電気への補助、さらに地域CPH施設、研究開発の資金調達・管理に対する補助金に充当される。このように、国内の電力取引と電気料金設定において、政府が推進する再生可能エネルギーを利用した風力発電と小規模CHPに対する優遇策が取られてきた。

(注24) 高橋洋 (2011) PP.99-100

(注25) 税額や料金は、Energinet.dk HP「The wholesale market」に基づく。

おわりに

再生可能エネルギーへの積極的な取り組みが日本でも注目されるデンマークであるが、そのデンマークは脱原子力発電から再生可能エネルギーを選択し、エネルギー総消費量に占めるシェアを80年のわずか3%から10年の20.2%まで増加させた。しかし、その一方で熱電併給のエネルギー産出に化石燃料が約8割も使用されているのも事実で、北海油田からの原油と天然ガスが大きく貢献する。

だが、全体の2割となった再生可能エネルギーの産出源は、約7割がバイオマス、約2割が風力とこの2つで約9割を占める。バイオマスの主な原材料は、薪や木質チップ等の林産物と麦藁等の農産副産物であ

る。麦藁や木質系が着実に増加するなかで、90年代後半から風力が全体の2割の地位を占めるまで顕著に増加している。

発電資源（燃料）に限定してみると、90年代以降、総発電量が頭打ちで推移するなかであって、石炭を除けば、石油のウェイトが相対的に低下し、その一方で天然ガスと風力のウェイトが増し、両者はほぼ同等の発電量となった。そこにはCO₂の排出削減が意識されている。また風力発電の主力は現在のところ地上発電であることには変わりはないが、2000年前後から頭打ちとなり、代わって洋上の大規模風力発電の容量が伸びている。

また、再生可能エネルギー発電に積極的なデンマークでは、北欧電力取引市場（ノルドプール）を介し電力の輸出入ができる。それによって風力発電のような不安定な分散型電源からの供給を吸収し得ることで導入が進んでいることは確かである。しかし電力の輸出入は単なる需給調整機能だけではないであろう。みてきたように、デンマークにおいてもEUの規制緩和政策を受け競争条件の導入に基づく自由な価格設定が行われ、需給調整機能とFITのような価格補助機能が同時に働くメカニズムを構築している。内外の環境保護派から高く評価されるデンマークの風力発電等の取組みは、内発的運動のみに起因するものではない。デンマークも例外なく経済全般においてEU域内の競争や国際競争にさらされ、その現実を無視しえない。それはEUの一員として規制を受け容れるハーモナイゼーション

の一環でもある。

とはいえ、デンマーク独自の歩みも垣間見られる。貿易では北海油田からの原油と天然ガスを輸出し、石炭と一部の木質バイオマスを輸入する。その一方で、例えば輸入依存度の高い化石燃料の石炭からの脱却とCO₂削減策を並行させ大規模石炭火力発電の利用を急速に低下させている。また、ほとんどの再生可能エネルギー資源は自国内で産出され、それらをCHP等の熱電併給施設に投入することで石炭への依存を極力抑える。

こうしたデンマークの経験や政策がそのまま日本に適用できるかと言えば、そう単純な話ではない。冒頭で触れたように、デンマークは九州7県の国土面積と北海道電力の発電規模である。単純に比較しても2国間にはかなりの隔たりがあり、ほかの面でも様々な違いがある。ただ、そうした物理的・数量的な比較を離れ、国民の環境に対する考え方や再生可能エネルギー資源の利用に対する考え方、必要電力源の選択といった面でデンマークに学ぶべき点が少なくない。

<参考文献>

- ・植月献二（2011）「EUにおけるエネルギーの市場自由化と安定供給—事業者分離をめぐる—」『外国の立法』国立国会図書館
- ・木船久雄（2003）「英国の電力改革—NETA以前—以降の成果と評価—」『名古屋学院大学論集』40巻2号
- ・小林俊和（2008）『現代のエネルギー・環境政策—分権型福祉社会の文化的開発と環境制御—』晃洋書房
- ・RichmondレポートNo.1（2004）「英国の北海油田と環境保護—“英国発”環境問題への新しい取り

- 組み方」法政大学・小寺研究室HP『「イギリスと環境」研究プロジェクト』
- ・杉平二郎 (2003) 「英国：電力自由化、規制改革と企業戦略」『研究レポート・エネルギー経済』日本エネルギー経済研究所
 - ・高橋洋 (2011) 『電力自由化』日本経済新聞出版社
 - ・奈良長寿・森平祐次郎 (2005) 「イングランド・ウェールズとスコットランドの電力市場を統合 (英国)」『海外電力』47巻7号
 - ・南部鶴彦・西村陽 (2002) 『エネジー・エコノミックス』日本評論社
 - ・野村宗訓・伊勢公人・河村幹夫・円城寺加奈子 (2003) 『欧州の電力取引と自由化』日本電気協会新聞
 - ・坂内久・大江徹男編 (2008) 『燃料か食料か バイオエタノールの真実』日本経済評論社
 - ・丸山真弘 (2008) 「欧州における電気事業制度改革の動向と課題—第三次電力自由化指令案を中心として—」電力中央研究所『社会経済研究No.56』
 - ・山口聡 (2007) 「電力自由化の成果と課題—欧米と日本の比較—」国立国会図書館『調査と情報』第595号
 - ・ヨアン・ノルゴー, ベンテ・クリステンセン (2002) 『エネルギーと私たちの社会』新評論
 - ・和田武 (1997) 「温暖化防止をめざすデンマークとドイツのエネルギー対策」林・矢野・青山・和田『地球温暖化を防止するエネルギー戦略』実教出版
 - ・福島県 (2002) 「第17回エネルギー政策検討会・会議資料4」
 - ・JETRO ユーロトレンド (2003) 「世界市場で注目される風力発電産業 (デンマーク)」
 - ・Danish Energy Agency (2010), "Energy Statistics 2009"
 - ・Danish Energy Agency (2011a), "Energy in Denmark 2010"
 - ・Danish Energy Agency (2011b), "Energy Statistics 2010"
 - ・Statistics Denmark (2010) "Statistical Yearbook 2010"
 - ・The Danish Government (2011a), "Energy Strategy 2050"
 - ・The Danish Government (2011b), "Our Future Energy"
 - ・EU (2011) "EU energy goals", "Meeting our "20-20-20 by 2020" goals", Background Information for the European Council.
 - ・Directive 1996/92/EC of the European Parliament and of the Council of 19 December 1996 concerning common rules for the internal market in electricity.
 - ・Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 1996/92/EC.
 - ・Directive 2009/72/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 2003/54/EC
 - ・「Gorm Field」From Wikipedia, the free encyclopedia. (アクセス2012年3月)
 - ・Danish Energy Regulatory Authority, "Large and small scale district heating plants"

(ばんない ひさし)

