

デンマークのエネルギー政策について —風力発電の導入政策を中心に—

近 藤 かおり

- ① デンマーク政府は、EUのエネルギー・環境政策の動向や、国際的な気候変動対策の動向を踏まえながら、エネルギーに関する長期戦略を見直している。最新の計画では、「2050年までに化石燃料依存からの脱却を目指す」目標が掲げられている。
- ② デンマークはかつてエネルギー供給の90%を輸入原油に依存していたため、1970年代の石油危機で大きな打撃を受けた。これを契機として、輸入原油依存から脱却してエネルギーの安定供給を図ることが第一の目標として掲げられ、国産資源の開発や、エネルギーの利用効率向上に向けた取り組みが進められていった。
- ③ 石油危機後、石油代替エネルギーのオプションとして、原子力発電の導入計画も打ち出された。しかし、国民による反対運動が盛んになったことや、放射性廃棄物の処分問題等を考慮し、デンマーク議会は1985年に導入計画を中止すべきと決議した。
- ④ 2011年のエネルギー消費状況を見ると、化石燃料が約75%を占めるものの、再生可能エネルギーで20%以上をまかなっておりシェアを拡大させている。再生可能エネルギー消費量のうち、70%程度をバイオマス、20%程度を風力発電が占めている。農業・酪農国の強みや、風況条件に恵まれた土地柄を生かし、デンマーク政府は、再生可能エネルギーの中でも、バイオマスや風力発電の利用を積極的に進めていく方針を打ち出している。
- ⑤ 風力発電に関しては、1970年代後半以降、様々な補助制度が打ち出された。1990年代後半に開始された電力自由化の流れを受けて、補助制度は断続的に見直しが行われた。現在は、全ての需要家の電気料金に上乗せされる公共サービス義務（Public Service Obligation）を原資とした補助制度を中心に導入支援が行われている。
- ⑥ 風力発電への投資については地元住民を優先させるよう配慮されており、地元住民が経済的メリットを得られる仕組みが整えられている。また、発電事業と送電事業の分離が行われているため、送電網を皆が公平に利用できることから、風力発電事業へ参入しやすい環境が整えられている。
- ⑦ 今後、出力の変動の大きい風力発電を大量に導入していく上で、電力需給の調整が大きな課題となっている。また、設備利用率の向上に向けて、風力発電設備のメンテナンスを強化していく必要もある。洋上風力発電の導入に際しては、海洋生物や鳥類への影響を継続的に調査していくことが欠かせない。

デンマークのエネルギー政策について —風力発電の導入政策を中心に—

国立国会図書館 調査及び立法考査局
経済産業課 近藤 かおり

目 次

はじめに

I エネルギー政策

- 1 エネルギーの利用動向
- 2 原子力利用計画の中止
- 3 エネルギー政策の経緯

II 風力発電

- 1 導入量の推移
- 2 建設のプロセス
- 3 普及の要因
- 4 課題

おわりに

はじめに

デンマークは、バルト海と北海に挟まれたユトランド半島と、首都コペンハーゲンのあるシェラン島、ファルスタ島、ロラン島など400近くもの島々から構成される⁽¹⁾。人口は約558万人(2012)⁽²⁾と日本の北海道(約547万人⁽³⁾:2012年12月)を若干上回る。国土面積は約4万3098平方キロメートル⁽⁴⁾であり、北海道(8万3457平方キロメートル⁽⁵⁾)の約半分に相当する。また、デンマークのGDPは3136億ドルで、日本(5兆9639億ドル)の約5.2%である(2012年)⁽⁶⁾。主要産業として、運輸(海運が有名)、製造、不動産、ビジネスサービス等が挙げられる⁽⁷⁾。

デンマークは、かつてエネルギー供給の90%以上を輸入原油に依存していたため、1970年代の石油危機で大きな打撃を受けた。これを契機として、国産エネルギーの開発や、省エネルギー、エネルギー源の多様化等が進展した。更に現在では、エネルギー政策の柱に省エネ

ギーと再生可能エネルギー利用推進が据えられ、2050年までに化石燃料利用から脱却する目標が掲げられている。筆者は、2013年3月にエネルギー政策に関する現地調査を目的としてデンマークを訪問した。本稿では、調査結果を踏まえ、デンマークのエネルギー政策や、導入が進んでいる風力発電の状況、今後の課題についてまとめる。

I エネルギー政策

1 エネルギーの利用動向

第一次石油危機(1973年)後の1976年、デンマーク政府は、初めての総合的なエネルギー政策となる「デンマークのエネルギー政策1976」⁽⁸⁾を策定した。輸入原油依存から脱却してエネルギーの安定供給を図ることが第一の目標として掲げられ、国内資源開発や、エネルギーの利用効率の向上に向けた取り組み(地域熱供給施設⁽⁹⁾や熱電併給施設⁽¹⁰⁾の大規模な導入等)が盛り込まれた⁽¹¹⁾。原油・天然ガスの国内生産が進められた結果⁽¹²⁾、1997年以降、一次エネ

※インターネット情報の最終アクセス日は2013年8月28日。

(1) STATISTICS DENMARK, "STATISTICAL YEARBOOK 2013." <<http://www.dst.dk/da/statistik/publikationer/vispub.aspx?cid=17957>>

(2) The official website of Denmark, "Facts and Statistics." <<http://denmark.dk/en/quick-facts/facts/>>

(3) 北海道「住民基本台帳人口・世帯数」<<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/tuk/900brr/index2.htm>>

(4) グリーンランド及びフェロー諸島を除く。

外務省「デンマーク王国」外務省HP <<http://www.mofa.go.jp/mofaj/area/denmark/data.html#01>>

(5) 北海道「第120回(平成25年)北海道統計書」北海道HP <<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/tuk/920hsy/13.htm#3>>

(6) International Monetary Fund, "World Economic Outlook Database," April 2013. <<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/01/weodata/index.aspx>>

(7) 外務省 前掲注(4)

(8) Handelsministeriet, *Dansk energipolitik 1976*, maj 1976. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/publikationer/downloads/dansk_energiolitik_1976.pdf>

(9) 配管を通して温水を供給し、暖房や給湯として利用するシステム。

(10) 電力と熱を生産し供給するシステムのことであり、コージェネレーションシステムともいう。

(11) IEA, *Energy Policies of IEA Countries : Denmark 2002*, 2002, pp.21-22.

(12) 北海で、原油は1972年、天然ガスは1984年に生産が開始された(IEA, *Energy Policies of IEA Countries : Denmark 2011, 2012*, pp.110, 115.)。北海は、英国、ノルウェー、デンマーク、ドイツ、オランダ、フランス等に囲まれており、その大部分は水深200メートル以浅とされる。1958年に開催された第一次国連海洋法会議で大陸棚に関する条約が採択された後、北海に面する各国は、隣接各国間で境界線を定める二国間協定の締結を進めた。境界線画定の基本は等距離方式がとられている(岩佐三郎『北海油田—英国経済は甦えるか』日本経済新聞社, 1977, pp.21-34.)。

ルギー⁽¹³⁾の自給率は100%を超えている⁽¹⁴⁾(表1)。

2011年のエネルギー消費状況についてみると、総エネルギー消費量(791,875TJ)の約75%を化石燃料(原油302,733TJ、天然ガス156,613TJ、石炭・コークス136,027TJ)が占めている。また、再生可能エネルギーの消費量(174,256TJ)のう

ち、約70%をバイオマス(120,316TJ)、約20%を風力発電(35,187TJ)が占めている(表2)。

1980年から2011年にかけて、実質GDP(2005年価格)は9149億デンマーク・クローネから1兆5600億デンマーク・クローネへと70%程度増加したが⁽¹⁵⁾、エネルギー消費量は約5%減少している。経済規模の拡大とエネルギー消費量

表1 一次エネルギー国内生産と自給率の推移

年	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2011	
一次エネルギー国内生産 (TJ)	原油	12,724	255,959	391,563	764,526	796,224	522,733	470,447
	天然ガス	17	115,967	196,852	310,307	392,868	307,490	264,632
	廃棄物 (再生不可)	4,787	6,975	10,308	13,676	17,006	17,160	17,347
	再生可能エネルギー	22,724	45,705	56,854	76,365	108,717	136,322	134,774
自給率	一次エネルギー	5%	52%	78%	139%	155%	121%	110%
	原油	2%	72%	105%	203%	226%	168%	155%

(注) TJ (テラ・ジュール = 10^{12} J) は熱量単位。計量単位の異なる各種のエネルギー源を1つの表で扱うため、熱量単位に換算している。

(出典) Danish Energy Agency, "Annual Energy Statistics." <<http://www.ens.dk/en/info/facts-figures/energy-statistics-indicators-energy-efficiency/annual-energy-statistics>> を基に筆者作成。

表2 総エネルギー消費量の動向

年	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2011
総エネルギー消費量 (TJ)	829,613	752,576	840,919	816,810	835,288	846,320	791,875
原油	554,553	343,472	371,807	369,574	348,296	314,814	302,733
天然ガス	17	76,098	132,738	186,269	187,542	185,037	156,613
石炭・コークス	251,986	254,835	271,694	165,921	154,988	163,253	136,027
廃棄物 (再生不可)	4,787	6,975	10,308	13,676	17,006	17,160	17,347
再生可能エネルギー	22,724	45,702	57,091	78,831	122,371	169,968	174,256
風力発電	38	2,197	4,238	15,268	23,810	28,114	35,187
バイオマス	22,023	39,996	47,744	56,505	89,828	127,064	120,316
その他	663	3,511	5,105	7,057	8,732	14,751	19,583
電力 (輸出入)	-4,453	25,373	-2,858	2,394	4,932	-4,086	4,746
地域暖房 (輸出入)	0	122	141	144	153	174	152

(注) 再生可能エネルギーのうち、その他には、バイオガス、太陽光、ヒートポンプ等が含まれる。電力(輸出入)について、マイナスの数字は輸出超過、プラスの数字は輸入超過となっている。

(出典) Danish Energy Agency, "Annual Energy Statistics." <<http://www.ens.dk/en/info/facts-figures/energy-statistics-indicators-energy-efficiency/annual-energy-statistics>> を基に筆者作成。

(13) 一次エネルギーとは、原油、石炭、天然ガス、ウラン、再生可能エネルギーのように自然界から取り出せるエネルギーを指す。一次エネルギーを変換・加工することにより生み出される電力やガソリン等を二次エネルギーと呼ぶ。

(14) デンマークはEU加盟国中、唯一のエネルギー自給国となっている。ただし、近年は石油・天然ガスの産出量が減少傾向にある。

(15) International Monetary Fund, *op.cit.*(6)

の削減が両立している点も特徴といえる。

電源構成についてみると、石炭と再生可能エネルギーがそれぞれ40%程度を占め、残りは天然ガス、廃棄物、石油となっている(表3)。このうち、再生可能エネルギーについては、風力が27.8%、バイオマスとバイオガスが12.4%を担っている(表3)。

デンマークは気温が低く熱需要が多いため、エネルギー効率向上の観点から廃熱利用が進められており、熱電併給施設の割合が高い点も特徴といえる。発電施設別の発電量の内訳をみると、大規模火力発電施設0.2%、大規模熱電併給施設53.2%、小規模熱電併給施設12.8%、風

表3 燃料別の発電量 (2011年)

燃 料	発電量 (TJ)	構成比
石 油	1,626	1.3%
天然ガス	20,917	16.5%
石 炭	50,278	39.7%
廃棄物 (再生不可)	2,802	2.2%
再生可能エネルギー	50,993	40.3%
太陽光	54	0.0%
風力	35,187	27.8%
水力	61	0.0%
バイオマス	14,455	11.4%
バイオガス	1,236	1.0%
合 計	126,616	100.0%

(出典) Danish Energy Agency, "Annual Energy Statistics." <<http://www.ens.dk/en/info/facts-figures/energy-statistics-indicators-energy-efficiency/annual-energy-statistics>> を基に筆者作成。

表4 発電施設別の発電量 (2011年)

発電施設	発電量 (TJ)	構成比
大規模火力発電施設	246	0.2%
大規模熱電併給施設	67,362	53.2%
小規模熱電併給施設	16,168	12.8%
自家発電施設	7,593	6.0%
風力発電施設	35,187	27.8%
水力発電施設	61	0.0%
合 計	126,616	100.0%

(出典) 表3と同様。

力発電施設27.8%、自家発電施設(熱電併給含む)6.0%となっている(表4)。

2 原子力利用計画の中止

1973年の第一次石油危機後、石油代替エネルギーのオプションとして、石炭や天然ガスと並び、原子力発電の開発が有望視されていた。しかし、1980年1月、デンマーク政府は、放射性廃棄物の処分問題を理由に、原子力発電の導入に関する決定を無期限で延期することを決めた⁽¹⁶⁾。同年、政府の依頼により原子力発電と他の発電方式との経済性評価が行われ、原子力発電と石炭火力発電の間に有意な差はないとの結果が出されている⁽¹⁷⁾。1985年には、議会が原子力発電所建設の候補地点を全て取り消すべきとの議決⁽¹⁸⁾を行った⁽¹⁹⁾。

3 エネルギー政策の経緯

本節では、デンマーク議会が原発の導入計画

(16) イギリス、フランスから放射性廃棄物の処理処分についての引き受けが難しいとの回答を得たことや、国内に処分適地がないと判断されたこと等による(日本原子力産業会議『原子力年鑑63年版』1988, p.258.)。

(17) 同上

(18) Folketingsbeslutning nr. B 103 af 29. marts 1985 om offentlig energiplanlægning uden atomkraft. <http://188.64.159.37/graphics/Energipolitik/dansk_energipolitik/politiske_aftaler/Akraftbeslutning_1985.pdf>

(19) 原発の導入計画が取り消された背景としては、市民による原子力導入に対する反対運動やデモが多く見られるようになったことも一因として挙げられる。1974年には市民による「原子力発電情報組織(OOA)」という組織が発足した。OOAは、政府の原子力利用計画に反対し、エネルギー政策を民衆が決める権利を前面に打ち出した。OOAは、政策決定の前にもっと多くの情報が民衆に与えられ、議会で議論されるべきであると主張した。1976年には、国内の科学者による検討を踏まえ、原発に依存しないエネルギーシナリオを提示した。1978年に入り、コペンハーゲン対岸にあるスウェーデンのバーセベック原発2号機の運転開始に反対し、大規模なデモ行進を繰り広げた(日本原子力産業会議 前掲注(16); 飯田哲也『北欧のエネルギーデモクラシー』新評社, 2000, pp.130-142.)。

を中止すべきと決議した後に政府が打ち出した主なエネルギー政策を見ていく。デンマーク政府は、国際的な気候変動対策及びEUの政策動向を踏まえ、中長期的視点からエネルギー政策を決定している。

エネルギー政策の決定にあたっては、与野党合意がしばしば結ばれる⁽²⁰⁾。例えば、2004年3月29日に政府（与党は自由党と保守党）と野党（社会民主党等）間で締結された合意⁽²¹⁾に基づき、当時の配電会社が所有していた高压送電網の所有権を国営の系統運営会社へ移管したケースもこの例にあたる（後述）。

(1) 「エネルギー2000」（1990年）

1990年に打ち出された「エネルギー2000」⁽²²⁾は、エネルギー政策に留まらず、環境政策も統合したことに特徴がある⁽²³⁾。再生可能エネルギー（特に風力発電）の導入計画とともに、2005年までに、エネルギー消費量を15%削減（1988年比）し、CO₂排出量を20%削減（1988年比）する数値目標が盛り込まれた⁽²⁴⁾。経済成

長とともにエネルギー消費量は増大するという既成概念を覆すエネルギー政策であり、産業界に衝撃を与え、特に電力業界、ガス業界等から大きな反対が起きた⁽²⁵⁾。

(2) 「エネルギー21」（1996年）

1996年に政府が打ち出した「エネルギー21」⁽²⁶⁾は、1992年に採択された「気候変動に関する国際連合枠組条約（以下「国連気候変動枠組条約」とする。）」⁽²⁷⁾等の国際環境の変化を踏まえ、「エネルギー2000」の方針を強化する内容となっている。地球温暖化対策や将来の化石燃料不足といった観点から、化石燃料利用を減少させ、省エネルギーと再生可能エネルギーの利用を進めるとしている。「エネルギー21」では、「エネルギー2000」で掲げたCO₂排出量の削減目標（2005年までに1988年比20%削減）を維持するとともに、一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合を2030年に35%（1996年は8%）へ引き上げる野心的な目標が掲げられた⁽²⁸⁾。

(20) デンマークでは、政権交代が生じてても、与野党合意によってエネルギーにかかる基本政策は踏襲される（2013年4月時点における在デンマーク日本大使館からの聞き取り）。

(21) “Aftale mellem regeringen (Venstre og Det Konservative Folkeparti) og Socialdemokraterne, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Det Radikale Venstre og Kristendemokraterne om fremtidssikring af energiinfrastrukturen,” 29 Marts 2004. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/politik/dansk-klima-energi-politik/politiske-aftaler-paa-energiomraadet/aftaler-29-marts-2004/aftale_29_marts_fremtidssikring_energiinfrastruktur.pdf>

(22) Energiministeriet, *ENERGI 2000*, april 1990. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/publikationer/downloads/energi_2000.pdf>

(23) デンマークには、エネルギー集約型産業である素材鉄鋼や重工業がほとんどないため、環境規制に反対する政治的な圧力が弱かったとの指摘もある（朝野堅司ほか『デンマークのユーザー・デモクラシー—福祉・環境・まちづくりからみる地方分権社会』新評論, 2005, p.289）。

(24) ケンジ・ステファン・スズキ『デンマークという国自然エネルギー先進国—「風のがっこう」からのレポート』合同出版株式会社, 2006, pp.59-60.

(25) 飯田 前掲注(19)

(26) Miljø-og Energiministeriet, *Energi 21*, 1996. <<http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/fremskrivninger/fremskrivninger-tidligere-aar/energi21.pdf>>

(27) 大気中の温室効果ガスの濃度を気候変動に重大な影響を及ぼさない程度に安定させることを目的とした条約で、1992年にブラジルのリオデジャネイロで開催された地球サミットにおいて、155か国が署名し、採択された。毎年、締結国会議において交渉が重ねられており、1997年にはこの条約をもとに京都議定書が採択された。京都議定書により、2008～2012年までの5年間で、EU（15か国）は温室効果ガスを8%削減（1990年比）することが定められた。デンマークは21%削減する義務を負う。

(28) デンマーク環境エネルギー省編（日本熱供給事業協会訳）『エネルギー21—デンマークのエネルギー政策』1997.

再生可能エネルギーの中でも、特にバイオマスと風力発電の利用に注力していくことが明記された。なお、風力発電については、陸上における建設場所が不足していることから、将来、洋上風力へシフトしていくことが示された。⁽²⁹⁾

(3) 「エネルギー戦略 2025」(2005 年)

2005 年 6 月、政府は「エネルギー 21」以来、約 10 年ぶりに、包括的なエネルギー政策である「エネルギー戦略 2025」⁽³⁰⁾を公表した。エネルギー政策にかかる長期的な課題として、①エネルギーの安定供給（世界のエネルギー消費量が増大する懸念への対応）、②気候変動対策（京都議定書で定められた温室効果ガスの削減目標の達成等）、③経済成長（デンマーク企業の競争力強化や輸出拡大等）を挙げている。これらの課題を達成するため、省エネルギーの促進と再生可能エネルギーの拡大、気候変動対策、エネルギー市場の機能強化、エネルギー効率の向上と再生可

能エネルギーに関する新技術開発等に関する政府の取り組みが示された。⁽³¹⁾

(4) 2008～2011 年のエネルギー政策に関する政府と野党間の合意（2008 年）

京都議定書⁽³²⁾の第 1 約束期間（2008～2012 年）終了後の 2013 年以降における国際的な温暖化対策を主導すべく、欧州委員会は、2007 年以降、気候変動及びエネルギー分野に係る提案を打ち出していく。2008 年 1 月には、2020 年に向けた気候変動とエネルギーに関する包括的な政策パッケージ案⁽³³⁾を公表した。議案では、EU 全体で、2020 年までに、①温室効果ガスを少なくとも 20%削減（1990 年比）し、②最終エネルギー消費量⁽³⁴⁾に占める再生可能エネルギー割合を 20%まで引き上げる目標が打ち出された⁽³⁵⁾。

上記のような国際動向を踏まえ、2008 年 2 月に、デンマーク政府（与党は自由党と保守党）と野党（社会民主党など）との間で、2008～

⁽²⁹⁾ 同上

⁽³⁰⁾ Transport- og Energiministeriet, *Energistrategi 2025*. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/publikationer/downloads/ens_strategi_2025.pdf> ; The Danish Ministry of Transport and Energy, *Energy Strategy 2025*. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/publikationer/downloads/energy_strategy_2025.pdf>

⁽³¹⁾ IEA, *Energy Policies of IEA Countries : Denmark 2006*, 2006, pp.25-26.

⁽³²⁾ 1997 年に採択された京都議定書は、先進国に対し、第 1 約束期間（2008～2012 年）において、法的拘束力のある温室効果ガスの削減目標を定めていた。2011 年末に開催された締結国会議（COP17）では、2013 年以降に京都議定書の第 2 約束期間を設定することや、2020 年以降に全ての国が参加する新たな枠組みを構築すること等が合意された。なお、京都議定書のもとで、第 2 約束期間において削減目標を持つのは、EU、オーストラリア等の一部の国であり、日本や米国は参加を見送っている。

⁽³³⁾ European Commission, “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions : 20 20 by 2020 : Europe’s climate change opportunity,” January 23 2008. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0030:FIN:EN:PDF>>

⁽³⁴⁾ 産業、民生、運輸等のいわゆる最終消費部門におけるエネルギー消費量を最終エネルギー消費量と呼ぶ。一次エネルギーは二次エネルギーへ変換され、最終エネルギー消費という形で需要家に消費される。

⁽³⁵⁾ 気候・エネルギー包括議案は、2008 年 12 月 17 日に欧州議会で採択された後、2009 年 4 月 6 日に欧州理事会で了承され、法令化された。これにより、京都議定書が設定した目標期限（2012 年）より先の 2020 年までを見通した EU の目標が定められた。包括議案は構成国に対する拘束力を持つ 6 つの議案からなるが、実施方法は構成国に任されている。

Council of the European Union, “Council adopts climate-energy legislative package,” April 6 2009. <http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_Data/docs/pressdata/en/misc/107136.pdf> ; 植月献二「立法情報 【EU】気候—エネルギーに関する包括議案を採択」『外国の立法』no.239-2, 2009.5. <http://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_1000098_po_02390202.pdf?contentNo=1>

2011年のエネルギー政策に関する合意書⁽³⁶⁾が交わされた。合意書には、化石燃料依存の低減を目指すことや、省エネルギー目標（総エネルギー消費量を2020年までに2006年比で4%減）、再生可能エネルギーの導入目標（総エネルギー消費量に占める割合を2011年に20%とする）等が盛り込まれた。

(5) 「エネルギー戦略2050」（2011年2月）

前述した政府と野党間の合意（2008年2月）やEUの気候変動とエネルギーに関する包括的な政策パッケージを補強するとともに、EUの「低炭素経済ロードマップ2050」⁽³⁷⁾の検討動向を踏まえ、2011年2月、デンマーク政府は「エネルギー戦略2050」⁽³⁸⁾を発表した。「エネルギー戦略2050」では、2050年までに化石燃料から脱却し、再生可能エネルギーへの転換を目指す大胆な方針が打ち出されている。同戦略には、再生可能エネルギー導入や、省エネルギーの推進、温室効果ガス排出量の削減に関する数値目標と、それを実現するための対策が示されている。再生可能エネルギー分野では、洋上・陸上風力発電の新設計画やバイオマス・バイオガスの利用推進などが盛り込まれた。

2011年末に開催される国連気候変動枠組み

条約第17回締結国会議（COP17）に向けて、欧州委員会が2011年3月に公表した「低炭素経済ロードマップ2050」には、EUの温室効果ガス排出量を2050年までに1990年の水準から80～95%削減させるための道筋が示されている⁽³⁹⁾。

(6) 「我々のエネルギー」（2011年11月）

2011年9月の政権交代後⁽⁴⁰⁾の11月、「エネルギー戦略2050」で示した方針を実現するため、政府は「我々のエネルギー」⁽⁴¹⁾を発表している。2050年に再生可能エネルギー100%を実現させるための方策として、省エネの推進、電力化率⁽⁴²⁾の向上、再生可能エネルギーの導入拡大を挙げている。中長期のマイルストーンとして、2020年に電力消費量の半分を風力でまかなうこと、2030年に石炭の利用と石油ボイラーの利用を廃止すること、2035年に電力と熱を再生可能エネルギーでまかなうこと等が示されている。風力資源に恵まれた同国では、電力利用を積極的に進めるとしている。将来、電力・熱分野で、風力発電やバイオマス・バイオガスが重要な役割を果たすとしている。運輸分野では電気自動車やバイオ燃料の利用推進が期待されている。

⁽³⁶⁾ “Agreement between the government (Liberals and Conservatives), Social Democrats, Danish People’s Party, Socialist People’s Party, Social Liberals and New Alliance on Danish energy policy for the years 2008-2011,” February 21 2008. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/policy/danish-climate-energy-policy/agreements-danish-energy-policy/february-2008-agreement-danish/Energy%20Policy%20Agreement%2021%20Feb%2008_final.pdf>

⁽³⁷⁾ European Commission, “A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050,” March 8, 2011. <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:EN:PDF>>

⁽³⁸⁾ The Danish Government, *ENERGY STRATEGY 2050*, February 2011. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/publikationer/downloads/energy_strategy_2050.pdf>

⁽³⁹⁾ European Commission, “Climate change : Commission sets out Roadmap for building a competitive low-carbon Europe by 2050,” March 8 2011. <http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-272_en.htm?locale=en> ; 「低炭素経済ロードマップ2050の概要」『ユーロトレンド』2011.4. <http://www.jetro.go.jp/jfile/report/07000603/low_carbo_road_map_2050.pdf> ; 奥真美「EUにおける気候変動政策の動向」『環境法研究』37号, 2012.10, pp.94-124.

⁽⁴⁰⁾ 2011年9月15日に行われた総選挙の結果、自由党及び保守党による連立政権が敗北し、社会民主党・急進自由党・社会主義人民党による連立政権が発足した。

⁽⁴¹⁾ The Danish Government, *Our Future Energy*, November 2011. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/policy/danish-climate-energy-policy/governments-climate-energy-policy/our_future_energy_%20web.pdf>

⁽⁴²⁾ 一次エネルギー総供給のうち発電に用いられる割合を指す。

(7) 2020年に向けたグリーンエネルギーの加速 (2012年3月)

2011年末に開催された国連気候変動枠組条約第17回締結国会議(COP17)では、2013年以降に京都議定書の第2約束期間を設定することや、2020年以降に全ての国が参加する新たな枠組みを構築すること等が合意された。EUは、京都議定書のもとで、第2約束期間において温室効果ガスの削減目標(2020年に1990年比で20%削減)を有することとなった⁽⁴³⁾。

2012年3月、デンマーク政府(与党は社会民主党・急進自由党・社会主義人民党)と野党(保守党等)間で、2020年までに達成すべき気候・エネルギー政策の方向性について合意書が結ばれた⁽⁴⁴⁾。合意内容を踏まえ、デンマーク政府は「2020年に向けたグリーンエネルギーの加速」⁽⁴⁵⁾を発表した。2050年までに化石燃料依存から脱却することを目標とし、2020年までの数値目標として以下の内容が盛り込まれている。

- ①最終エネルギー消費量の35%以上を再生可能エネルギーでまかない、電力消費量の50%程度を風力発電でまかなう。
- ②総エネルギー消費量を、2010年比で7.6%削減する。
- ③温室効果ガスの排出量を、1990年比で34%削減する。

風力発電施設については、2020年までに、洋上風力発電施設を1,500MW、陸上風力を500MW増設する計画が盛り込まれている。

EUのエネルギー・環境政策の動向や、京都議定書第2約束期間への参加をにらみながら、デンマーク政府はエネルギーに関する長期戦略を見直してきた。政府が野党との間に合意を取り付けた上で施策を進めることで、戦略に盛り込まれた長期目標を着実に実現している点に特徴がある。再生可能エネルギーの導入目標について、「エネルギー21」(1996年)では「2030年に一次エネルギー供給の35%を目指す」と掲げられていたが、最新の計画では「2020年に最終エネルギー消費量の35%をまかない、2050年に100%を目指す」として強化されている⁽⁴⁶⁾。

II 風力発電

前述したように、デンマーク政府は、地球温暖化対策やエネルギーの安定供給等の観点から、2050年までに化石燃料からの脱却を目指す長期的なエネルギー戦略を打ち出している。再生可能エネルギーは化石燃料を代替する基幹エネルギー源として位置付けられ、農業・酪農国の強みをいかしたバイオマス⁽⁴⁷⁾と、地形を

(43) 京都議定書の第2約束期間にEUが参加した背景として、EU域内で既に開始している排出枠取引制度のスキームを維持する狙いがあると指摘されている(亀山康子「地球温暖化問題と対策：COP17/CMP7：果たしてCOPでは温暖化を防げるのか?」『資源環境対策』657号, 2012.2, pp.45-50.)。

(44) “Aftale mellem regeringen (Socialdemokraterne, Det Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti) og Venstre, Dansk Folkeparti, Enhedslisten og Det Konservative Folkeparti om den danske energipolitik 2012-2020,” 22 marts 2012. <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/politik/dansk-klima-energi politik/politiske-aftaler-paa-energiomraadet/energiaftalen-22-marts-2012/Aftale_22-03-2012_FINAL_ren.doc.pdf>

(45) Ministry of Climate, Energy and Building, *Accelerating green energy towards 2020*. <<http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/politik/dansk-klima-energi politik/politiske-aftaler-paa-energiomraadet/energiaftalen-22-marts-2012/Accelerating%20green%20energy%20towards%202020.pdf>>; Danish Energy Agency, *Energy Policy in Denmark*, December 2012, p.8.

(46) 最終エネルギー消費は、一次エネルギーが直接消費される場合(ガスや石炭等を直接暖房に使用する等)と、一次エネルギーを転換して二次エネルギーが消費される場合(ガソリン、電気等)がある。一次エネルギーから二次エネルギーへの転換時にエネルギーロスが発生するため、最終エネルギー消費量は一次エネルギー供給量より小さくなる。

(47) バイオマス(動植物由来有機物資源)には、木質系、家畜排せつ物、下水汚泥、食品廃棄物など、様々な種類がある。デンマークでは、麦藁、木質チップ、廃材、家畜糞尿などが多く利用されている。

表5 風力発電の設備容量の推移

年	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2011
陸上風力 (MW)	3	47	326	590	2,340	2,705	2,934	3,080
洋上風力 (MW)	0	0	0	10	50	423	868	871
合計 (MW)	3	47	326	600	2,390	3,128	3,802	3,952
国内電力供給量に占める風力発電のシェア	0.0%	0.2%	1.9%	3.5%	12.1%	18.5%	21.9%	28.1%

(出典) Danish Energy Agency, “Annual Energy Statistics.” <<http://www.ens.dk/en/info/facts-figures/energy-statistics-indicators-energy-efficiency/annual-energy-statistics>> を基に筆者作成。

生かした風力発電が重要視されている。

デンマークは、平坦な地形が特徴で、最も高い地点でも海拔173メートルしかなく⁽⁴⁸⁾、国土の66.3%を農地が占める⁽⁴⁹⁾。周囲を海に囲まれている上に、風を遮る障害物がないため、風力エネルギーに恵まれた土地柄となっている点が、風力発電を推進する要因の1つとなっている。ヨーロッパでは、主に農村部で灌漑や製粉の動力源として風力エネルギーを利用してきた歴史があるが⁽⁵⁰⁾、風車による発電が開始されたのは電化が進められていた19世紀後半になってからである⁽⁵¹⁾。デンマークでは、第二次大戦後に安価な石油・石炭が供給されたことから、風力発電導入への関心は薄れていたが、1973年に発生した第一次石油危機の影響により、見直しの機運が高まり、導入が進められていった⁽⁵²⁾。以下では、日本への示唆の視点から、風力発電の導入支援策と今後の課題についてみていく。

1 導入量の推移

風力発電の設備容量は近年まで順調に伸びている(表5)。陸上の適地が少なくなっていることもあり、近年は、洋上風力発電の伸びが著しい。洋上風力発電所は、1991年にロラン島北部で Vindeby 洋上風力発電所(11基5MW)が稼働したのを皮切りに導入が進められ、シェラ

表6 デンマークの洋上風力発電設備(2013年8月現在)

	発電所名(運転開始年)	基数	設備容量(MW)
既存設備	Vindeby (1991)	11	5
	Tunø Knob (1995)	10	5
	Middelgrunden (2000)	20	40
	Horns Rev I (2002)	80	160
	Rønland (2003)	8	17
	Nysted (2003)	72	165
	Samsø (2003)	10	23
	Frederikshavn (2003)	3	7
	Horns Rev II (2009)	91	209
	Avedøre Holme (2009/10)	3	11
	Sprogø (2009)	7	21
	Rødsand II (2010)	90	207
小計	405	870	
計画申設備	Anholt (2013)	—	400
	Frederikshavn(不明)	6	—

(出典) Danish Energy Agency, “Offshore Wind Power.” <<http://www.ens.dk/en/supply/renewable-energy/wind-power/offshore-wind-power>> に基づき筆者作成。

ン島やロラン島の周辺海域や、ユトランド半島の中西部等で立地が進められている(表6)。

表7は、1基あたりの発電機の出力を「1～499kW」「500～999kW」「1,000～1,999kW」「2,000kW～」に分け、発電規模別の設置基数の推移を示している。表8は発電規模別の設備容量の推移を示している。陸上風力発電機は、1990年時点では「1～499kW」規模のものが大

(48) “Map of Denmark.” The official website of Denmark <<http://denmark.dk/en/quick-facts/map-of-denmark/>>

(49) STATISTICS DENMARK, *op.cit.*(1)

(50) 牛山泉『風力発電の歴史』オーム社, 2013, p.4.

(51) 同上, pp.15-44.

(52) 内藤武司「デンマーク 欧米諸国の風力開発に向けた取り組み」『海外電力』506号, 2007.9, pp.47-55.

表7 発電規模別（定格出力別）の設置基数の推移

(単位：基)

		1980年	1990年	2000年			2010年			2011年		
		陸上	陸上	陸上	洋上	合計	陸上	洋上	合計	陸上	洋上	合計
定格出力	—499kW	68	2,656	3,677	11	3,688	1,495	11	1,506	1,374	11	1,385
	500—999kW	—	8	2,283	10	2,293	2,585	10	2,595	2,572	10	2,582
	1,000—1,999kW	—	2	251	0	251	366	0	366	365	0	365
	2,000kW—	—	0	8	20	28	185	383	568	252	384	636
	合計	68	2,666	6,219	41	6,260	4,631	404	5,035	4,563	405	4,968

(出典) Danish Energy Agency, “Annual Energy Statistics.” <<http://www.ens.dk/en/info/facts-figures/energy-statistics-indicators-energy-efficiency/annual-energy-statistics>> を基に筆者作成。

表8 発電規模別（定格出力別）の設備容量の推移

(単位：MW)

		1980年	1990年	2000年			2010年			2011年		
		陸上	陸上	陸上	洋上	合計	陸上	洋上	合計	陸上	洋上	合計
定格出力	—499kW	3	317	533	5	538	268	5	273	243	5	248
	500—999kW	—	6	1,512	5	1,517	1,758	5	1,763	1,749	5	1,754
	1,000—1,999kW	—	3	279	0	279	451	0	451	449	0	449
	2,000kW—	—	0	16	40	56	458	858	1,316	640	862	1,501
	合計	3	326	2,340	50	2,390	2,934	868	3,802	3,080	871	3,952

(注) 1MW = 1,000kW

(出典) 表7と同様。

半であったが、2000年以降は大型化し、2011年時点では2,000kW以上の大規模発電機が設備容量ベースで約20%を占めている。一方、洋上風力発電は2,000kW以上の規模のものが主流となっている。

風車の大型化に向け、デンマーク工科大学リソ国立研究所が中心となりDeepWindと呼ばれる研究プロジェクトが進められている。本プロジェクトは、EUから約300万ユーロの予算がつけられており、2010年10月から4年間にわたって実施されている。5MW規模の風車の実証実験及び20MW規模の導入見通し等につ

いて研究が進められている。⁽⁵³⁾

2 建設のプロセス

(1) 陸上風力発電

デンマークでは、陸上風力発電施設の建設にあたり、地方自治体が建設可能地域を定め、建設を許可する⁽⁵⁴⁾。建設にかかる主な規制として施設の設置条件と騒音基準が挙げられる。⁽⁵⁵⁾

設置条件については、風車から最も近い住居までの距離（セットバック）を風力発電設備全高の4倍の距離を取ることが定められている⁽⁵⁶⁾。

⁽⁵³⁾ “DeepWind.” The official website of Risø DTU <http://www.risoecampus.dtu.dk/Research/sustainable_energy/wind_energy/projects/VEA_DeepWind.aspx>; Risø DTU, *Offshore Floating Vertical Axis Wind Turbines with Rotating Platform*, August 2011. <http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:90485/datastreams/file_6540980/content>

⁽⁵⁴⁾ スズキ 前掲注(24), pp.79-80.

⁽⁵⁵⁾ Danish Wind Industry Association, “Planning and Regulation.” <http://www.windpower.org/en/policy/planning_and_regulation.html>

⁽⁵⁶⁾ 公益社団法人日本騒音制御工学会「平成23年度風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書」（平成24年3月）p.53. <<http://www.env.go.jp/air/report/h24-01/full.pdf>>

風車からの騒音については、騒音に対して配慮が必要な地域とそれ以外の地域に分けて、国レベルで風速毎に限度値が定められている⁽⁵⁷⁾(表9)。2012年1月に、低周波音(10~160Hz)⁽⁵⁸⁾に対する限度値が追加された⁽⁵⁹⁾。

日本では、騒音の限度値の定めはなく、環境省の検討会が、風力発電施設から発生する騒音等の評価手法について検討を開始したところである⁽⁶⁰⁾。デンマークは、国が環境基準を定めた上で、地方自治体が建設許可を行う点の特徴となっている。

表9 風力発電所設置にかかる騒音基準

	田園地域で居住建物から15m以内で最も騒音が大きい場所	騒音に配慮すべき地域の屋外で最も騒音が大きい場所
風速 8m/s	44dB	39dB
風速 6m/s	42dB	37dB

(出典) 第3回風力発電施設に係る環境影響評価の基本的考え方に関する検討会配布資料3-4「諸外国における風力発電にかかる環境影響評価について(騒音・低周波音関連)」
<http://www.env.go.jp/policy/assess/5-2/windpower/wind_h22_3/mat_3_3-4.pdf>

(2) 洋上風力発電所

洋上風力発電所の建設に際し、開発事業者は、予備調査実施のためのライセンス、発電設備設置のためのライセンス、指定された年数におけ

る洋上風力開発のためのライセンス(発電の認可)という、3つのライセンスを、エネルギー庁から取得する必要がある。認可を得るための申請窓口がエネルギー庁に一本化されており、ワンストップサービスが提供されている。

建設申請のプロセスには、エネルギー庁が実施する入札方式と、門戸開放方式⁽⁶¹⁾の2通りがある。入札方式では、まず事業者の選定に際して価格の入札が行われ、その後に発電設備の仕様の詳細を決定する方式が取られる⁽⁶²⁾。入札方式で建設される場合は、国営送電・送ガス系統運用者(Transmission System Operator: TSO)である Energinet.dk が洋上変電所と海底ケーブルの設置費用を負担するが、門戸開放方式の場合には発電事業者がそれらの費用を負担する。⁽⁶³⁾

3 普及の要因

(1) 補助制度

風力発電の導入を推進するため、1976年に、発電設備の建設補助金(当初は投資費用の40%を補助)が導入された(段階的に補助率が削減され1989年に廃止)⁽⁶⁴⁾。

1984年に風力発電による電力に対して電力小売価格(税抜価格)の85%が支払われる制度

57) 中電技術コンサルタント株式会社「平成24年度風力発電施設の騒音・低周波音に関する検討調査業務報告書」(平成25年3月) p.40. <http://www.env.go.jp/air/noise/wpg/conf_method/01/mat02.pdf>

58) 国際的に明確な定義はないが、低周波音(low frequency noise)は20~100Hzの範囲の周波数の音を指すことが多い(公益社団法人日本騒音制御工学会 前掲注56, p.12.)。風力発電施設から発生する低周波音が原因で睡眠妨害などの健康被害を引き起こしている事例もある(汐見文隆編著『低周波音被害の恐怖』アットワークス, 2009, pp.82-112.)。

59) 中電技術コンサルタント株式会社 前掲注57, p.25; “Noise.” デンマーク環境省 HP <http://www.mst.dk/English/Noise/wind_turbine_noise/low_frequency_noise_from_wind_turbines/low_frequency_noise_from_wind_turbines_FAQ.htm>

60) 「環境省が風力発電騒音の検討会 35 デシベル以下の目標提案」『電気新聞』2013.5.27.

61) OPEN DOOR 方式と呼ばれ、洋上風力発電設備の建設を希望する事業者は、建設前に必要となる予備調査の実施をエネルギー庁にいつでも申請できる。ただし、エネルギー庁の資料によると、これまで OPEN DOOR 方式を実施したケースはないとされる(Danish Energy Authority, “Offshore Wind Power.” <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/publikationer/downloads/havvindmoellerapp_gb-udg.pdf>.)。

62) 内藤 前掲注52

63) Danish Energy Agency, “Procedures and permits for offshore wind parks.” <<http://www.ens.dk/en/supply/renewable-energy/wind-power/offshore-wind-power/procedures-permits-offshore-wind-parks>>

64) Danish Energy Agency, “The history of Danish support for wind power.” <<http://www.ens.dk/en/supply/electricity/conditions-production-plants/subsidies-generation-electricity>>

が開始され、1991年には発電補助金（税金により賄われる）が導入された⁽⁶⁵⁾。

その後、1996年2月に制定された「EU電力自由化指令」⁽⁶⁶⁾に則り、デンマーク政府は電気事業の自由化を開始する⁽⁶⁷⁾。自由化の流れに伴い、再生可能エネルギーの導入をより効率的な方法とするため、補助制度の見直しが行われていく。背景として、発電補助金に伴う財政負担が増大していたことも挙げられる。制度見直し後、卸電力市場での販売収入とは別に補助金を与える方式⁽⁶⁸⁾へ変更された。補助金の水準は、発電設備の規模や稼働年数、稼働開始年等により異なっていたが、2003～2008年に稼働を開始した発電設備に対する補助水準が低く抑えられた結果、新設するインセンティブが薄れ、導入量の伸びは低下した。⁽⁶⁹⁾

そのため、2008年2月に政府と野党間で交わした2008～2011年のエネルギー政策に関する合意に基づき、風力発電設備容量の増加を目指し、政府は導入支援制度を強化した。

新制度では、2008年2月以降に風力発電所（陸上・洋上）を新設した事業者は、卸電力市場での売電収入とは別に、定格出力運転時間22,000時

間までは0.25デンマーク・クローネ/kWh（約3.52円/kWh⁽⁷⁰⁾）の基本補助金を得るとともに、全運転期間にわたり、送電系統へ接続する際に必要となるバランシング費用の補助金⁽⁷¹⁾として0.023デンマーク・クローネ/kWhが支払われることになった。なお、25kW未満の設備については、固定価格による買取制度が適用され、Energinet.dkが0.6デンマーク・クローネ/kWhで買い取ることになっている。⁽⁷²⁾

また、入札で事業者が選定される大型洋上風力については、補助方法、補助額について別途定められている。例えば、Horns Rev I発電所では卸電力市場での販売収入とは別に補助金が支払われており、Horns Rev II発電所やRodsand II発電所では固定価格による買取制度が適用されている。Horns Rev Iについては、発電事業者は卸電力市場での販売収入とは別に定格出力運転時間50,000時間までは0.43デンマーク・クローネ/kWhの補助金が支払われる。Horns Rev IIやRodsand IIの買取価格は、定格出力運転時間50,000時間までを対象に、それぞれ0.518デンマーク・クローネ/kWh、0.629デンマーク・クローネ/kWhとなっている。⁽⁷³⁾

(65) *ibid.* ; 朝野賢司「再生可能エネルギー政策に関する制度と費用負担の変遷—デンマークの事例から」『環境情報科学論文集』19号, 2005, pp.509-514.

(66) Directive 96/92/EC of the European Parliament and of the Council of 19 December 1996 concerning common rules for the internal market in electricity.

(67) EUでは、域内の市場統合の一環として、電力市場を統合するために、電力自由化が進められた。1996年のEU電力自由化指令により、加盟国は、段階的に小売市場を自由化することや、発電・送電・配電に関する会計上の分離、第三者に対して非差別的に送配電系統の利用機会を与えること等が求められた。2003年の第二次電力自由化指令、2007年の第三次電力自由化指令により改正が加えられている。

(68) 公共サービス義務（PSO）として電気料金へ上乘せされ、全ての電力需要家が負担する方式へ変更された。

(69) 自由化された卸電力市場における販売収入とは別に補助金を受け取る方式では、補助水準が低く抑えられている。『海外諸国の電気事業 第2編』海外電力調査会, 2010, p.112 ; Danish Energy Agency, *op.cit.*⁽⁶⁴⁾

(70) 換算レートは1デンマーク・クローネ=約14.09円（2012年の年間平均為替レート）。

「外国為替相場 前年の年末・年間平均」三菱UFJリサーチ & コンサルティングHP <http://www.murc-kawasesouba.jp/fx/year_average.php>

(71) バランスシグ費用は発電量と消費量の差（インバランス）を調整するための費用。

高橋洋「北欧から考えるスマートグリッド」『富士通総研究レポート』no.366, 2011.1. <<http://jp.fujitsu.com/group/fri/downloads/report/research/2011/no366.pdf>>

(72) Danish Energy Agency, “Subsidies for Wind Power.” <<http://www.ens.dk/en/supply/renewable-energy/wind-power/facts-about-wind-power/subsidies-wind-power>> ; 曾野明久「デンマークにおける電気自動車の活用に向けた取り組みとその背景」『海外電力』529号, 2009.8, pp.20-29.

(73) 海外電力調査会 前掲注⁽⁶⁹⁾, p.113.

これらの補助金や固定価格買取制度の原資は、全ての需要家の電気料金に公共サービス義務 (Public Service Obligation : PSO) という形で上乗せされ、Energinet.dk が回収している。PSO には、再生可能エネルギー電力の固定価格買取費用等の気候変動・環境対策コストのほか、エネルギー・セキュリティーに係るコスト、研究開発に係るコストが織り込まれている。固定価格で買い取られた電力については、買取価格と卸電力市場での販売価格の差額が PSO から補てんされる。なお、上記のコストには、風力発電のほか、バイオマス発電や熱電併給施設等によるものも含まれている。⁽⁷⁴⁾

Energinet.dk の資料によると、2012 年における PSO の歳入額は 54 億 8500 万デンマーク・クローネであり、PSO の電力料金への上乗せ単価は 0.154 デンマーク・クローネ/kWh となっている (表 10)⁽⁷⁵⁾。

表 10 PSO の電力料金への上乗せ単価 (デンマーク・クローネ/kWh) の推移

年	2008	2009	2010	2011	2012
デンマーク・クローネ/kWh	0.052	0.106	0.086	0.077	0.154

(出典) Energinet.dk, *Consolidated Annual Report 2012*, p.3. <<http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/Om%20os/Consolidated-annual-report-2012.pdf>> に基づき筆者作成。

(74) 同上

(75) Energinet.dk, *Consolidated Annual Report 2012*, p.43. <<http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/Om%20os/Consolidated-annual-report-2012.pdf>>

(76) スズキ 前掲注(24), p.84.

「所有する土地に吹く風のエネルギーを利用する権利は土地所有者のものである」「居住する市町村内あるいは隣接市町村内の風力発電所に限定して投資することができる」といった内容の条項がある。

藤井稔久「デンマークの環境・エネルギー対策」『海外電力』452号, 2003.3, pp.28-37; 北嶋守「デンマークにおける風力発電機の普及と産業化のプロセス」『機械経済研究』No.39, 2008.3, pp.1-16.

(77) 坂内久「デンマークの再生可能エネルギーに対する取組み」『農林金融』65(10), 2012.10, pp.669-683.

(78) Promotion of Renewable Energy Act (L 1392 of December 2008). <http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/supply/renewable-energy/Renewable%20Energy%20Act%20_VE%20loven.pdf>

(79) Danish Energy Agency, *Wind turbines in Denmark*, 2009, pp.22-23. <<http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/supply/renewable-energy/wind-power/Vindturbines%20in%20DK%20eng.pdf>>; 竹内久和「デンマークの風力発電協同組合」『JC 総研レポート』25号, 2013春, pp.50-53. <http://www.jc-so-ken.or.jp/pdf/ja_report_writer/K-Takeuti/25-13SP-K-Takeuti.pdf>

(2) 地元住民への配慮

デンマークでは、風力エネルギーを地元住民の固有の財産とみなし、風力発電への投資について、投資家の居住地とその周辺地域に設置される風車に限定し、風力発電が居住者以外の外部の投資家の単なる投資対象にならないよう規制してきた (ただし、この規制は、段階的に緩和され、2000年4月に廃止されている。⁽⁷⁶⁾)

陸上風力発電が中心であった1990~2000年代の時期は、風力発電の所有者は、当該設置場所の周辺住民、協同組合、地方公共団体が多くを占めた。規制が緩和され、設備投資額が陸上風力発電のそれをはるかに超える洋上風力発電では、企業からの出資が多くなっている。⁽⁷⁷⁾

現在は、再生可能エネルギー促進法⁽⁷⁸⁾により、エネルギー庁による入札方式で設置される洋上風力発電所を除く全ての新設風力発電所に対して、設置区域の自治体の住民に20%以上の所有権を付与することが義務付けられている。⁽⁷⁹⁾

(3) 電力の国際融通

北欧では、水力発電に依存するノルウェー・スウェーデンと、火力に依存するデンマーク・フィンランドという電源構成の違いから、電源構成のベストミックスを目指し、電力の国際間融通がなされている。デンマークは、ノルウェー、スウェーデン、ドイツとの間に国際連

表 11 デンマークの電力輸出入

(単位: GWh)

年		1990	2000	2010	2011
対ノルウェー	輸入量	3,958	4,631	1,452	3,598
	輸出量	7	143	4,049	2,411
対スウェーデン	輸入量	7,922	3,390	2,747	5,228
	輸出量	219	1,616	4,985	2,781
対ドイツ	輸入量	93	396	6,400	2,868
	輸出量	4,699	5,993	2,700	5,182
合計	輸入量	11,973	8,417	10,599	11,694
	輸出量	4,925	7,752	11,734	10,374
	純輸入量	7,048	665	-1,135	1,320

(注) 1TWh = 1,000GWh, 1GWh = 1,000MWh = 1,000,000 kWh

(出典) IEA, *ELECTRICITY INFORMATION 2013*, 2013, pp.262-263 に基づき筆者作成。

系線を有し、電力の輸出入を行っている。ノルウェーとスウェーデンとの電力取引は、Nord Pool という卸電力市場⁽⁸⁰⁾を通して行われている(表11)。

デンマーク国内における年間の総発電量は約35.2TWhであり、発電量の約3割に相当する電力量を輸出している(2011年)。電力輸入量は輸出量より多い。風力発電量の少ない時間帯は電力輸入量を増やし、多い日は輸出量を増やしている。デンマークは、電力需要量の多い隣接国との電力融通を通して、風力発電の出力変動を吸収しやすい環境を構築している⁽⁸¹⁾。

(4) 送電網利用の公平性確保

デンマークでは、発電事業と送電事業の分離が段階的に進められた。1999年2月に、風力発電事業者を含む全ての発電事業者が、電力売買を行うために送電系統へアクセスできるようになった⁽⁸²⁾。⁽⁸³⁾

現在は、Energinet.dkが高压送電網を独占的に所有し、その運用・維持を担っている。Energinet.dkのコントロールセンターでは、24時間体制で、電力の需給状況を監視し、発電会社に指示を出すなど、電力システム全体の安定的な運用を確保している。電力の輸出入についても、Energinet.dkが電力の需給状況を見ながら行っている。⁽⁸⁴⁾

なお、風力発電による発電量が過多となり、電力システムの安定が確保できないリスクがある場合には、Energinet.dkが風力発電の運営会社に停止命令を出し、運営会社に対して金銭的な補償を行う。⁽⁸⁵⁾

2005年にEnerginet.dkが新設される以前は、送電系統(高压送電網)は、東部をElkraft、西部をEltraという2つの系統運用会社により運営されていた。高压送電網は各地域の配電会社により所有されていたが、配電会社はその所有権を政府に無償で移管する形で、新たにEnerginet.dkが設立された⁽⁸⁶⁾。この際、国が配電会社の債務を肩代わりするという経済的メリットを与えたことが成功の秘訣とされる。⁽⁸⁷⁾

⁽⁸⁰⁾ Nord Poolの株式は、ノルウェー、スウェーデン、デンマーク、フィンランドのTSOが所有している。1996年に発足した卸電力市場(Nord Pool)に、デンマークは2000年に加入した(小笠原潤一・森田雅紀「海外における電力自由化動向—PJMとNord Poolを中心として—」IEEJ, 2001.5, p.11. <<http://eneken.ieej.or.jp/data/old/pdf/pjm.pdf>>。

⁽⁸¹⁾ IEA, *ELECTRICITY INFORMATION 2013*, 2013, pp.262-263.

⁽⁸²⁾ 海外電力調査会 前掲注(69), p.107.

⁽⁸³⁾ 日本では、風力発電事業者が送電系統へアクセスを希望する際に、送電網を所有している電力会社から許可を得る必要がある(松宮輝『風力発電挑戦から未来へ—原発事故後のエネルギー』東洋書店, 2012, pp.72-75.)。

⁽⁸⁴⁾ 高橋洋『電力自由化—発送電分離から始まる日本の再生』日本経済新聞出版社, 2011, pp.98-100.

⁽⁸⁵⁾ Energinet.dk, *Wind power to combat climate change*, p.51. <<http://energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/Klimaogmiljo/Wind%20power%20magazine.pdf>>

⁽⁸⁶⁾ 海外電力調査会 前掲注(69), p.108; IEA, *op.cit.*(31), p.25.

⁽⁸⁷⁾ 筆者が2013年3月にエネルギー規制局(Danish Energy Regulatory Authority)を訪問した際に、卸部門の責任者(Pia H. Rønager氏)から聴取した内容である。

なお、電力小売市場は、1998年以降、段階的に自由化され、2003年以降は全ての需要家が供給事業者を選択できるようになっている。⁽⁸⁸⁾

4 課題

(1) 需給バランスの調整

電力需給の調整役である Energinet.dk は、風力発電の発電状況や電力需要量等を見ながら、石炭火力や熱電併給施設の稼働率を上下させるとともに、近隣諸国と電力の輸出入を行っている。効率的なマネジメントのためには、風力発電の発電量を予測することが重要となっている。

近年、風力発電の導入の進展に伴い、低需要時間帯に風力発電による発電量が多くなり、供給量が過剰となるケースが発生している。デンマークで余剰電力が発生する時間帯には、風況がさほど変わらない周辺国においても風力発電による余剰電力が発生しているため、同時間帯における卸市場価格は安値となり、卸電力価格がマイナス（ネガティブプライス）となるケースもある。⁽⁸⁹⁾

今後、風力発電の設備容量を増やしていくために、国際連系線の増強（EU諸国間との国際連系の強化等）によって、更に広域の電力市場を統合していくことが求められている。また、需要サイドの柔軟性を向上させるため、熱分野や運輸分野において積極的に電力を使用すること

も必要となる。具体的には、余剰電力を電気自動車、ヒートポンプ、水素製造⁽⁹⁰⁾等へ充てる方法が考えられている。このほか、スマートグリッドの構築による効率的な電力需給マネジメントの実現も求められている。⁽⁹¹⁾

(2) メンテナンス

一般的に、洋上は安定して風が吹くため、設備利用率が高いとされる⁽⁹²⁾。しかし、風車の大型化に伴い、故障する風車の数が世界的に増加しているとの指摘が出ている⁽⁹³⁾。風力発電の経年劣化と設備利用率⁽⁹⁴⁾の関係について、実際の稼働率のデータを基にして分析した調査では、デンマークの洋上風力発電の設備利用率について、導入時点では40%以上であったものが、10年後には、ブレード等の摩耗、故障、その他の理由により、15%程度まで低下しているとの結果が出ている⁽⁹⁵⁾。この調査に基づけば、20～25年程度とされる風力発電設備の寿命が、想定よりも短くなる可能性がある。洋上風力発電の導入を拡大させるためには、設備利用率の向上が欠かせない。発電設備の建築にかかる技術革新と、メンテナンスの必要性が増していくと考えられる。

周辺海域で洋上風力発電の導入が進められているロラン島には、メンテナンス要員の養成所 IWAL (International Wind Academy Lolland) がある。IWALでは、メンテナンスに必要な機械工学、建築学のほか、救命救急処置、海

(88) 海外電力調査会 前掲注(69), p.108.

(89) 曾野 前掲注(72); Energinet.dk, *op.cit.*(85), p.25.

(90) 余剰電力で水を電気分解して水素を製造する。

(91) 筆者が2013年3月に Energinet.dk を訪問した際に、Peter Jørgensen 氏から聴取した内容である。

(92) 岩本晃一『洋上風力発電一次世代エネルギーの切り札』日刊工業新聞社, 2012, pp.31-32.

(93) 一般社団法人日本エネルギー経済研究所新エネルギー・国際協力支援ユニット 新エネルギーグループ「経産省、風車の事故を受け対策に乗り出す—世界で事故は増加傾向—」IEEJ, 2013.3. <<http://eneken.ieej.or.jp/data/4892.pdf>>

(94) 年間設備利用率【%】= 年間の総発電量【Wh】÷ (風力発電施設の定格出力【W】× 365 × 24 時間【h】) × 100

(95) 有馬純「風車は回り続けるか」2013.1.22. 国際環境経済研究所 HP <<http://ieej.or.jp/wp-content/uploads/2013/01/226b864a5ceac440447b4651bdc13545.pdf>>; Gordon Hughes, *The Performance of Wind Farms in the United Kingdom and Denmark*, RENEWABLE ENERGY FOUNDATION, 2012. <<http://www.ref.org.uk/attachments/article/280/ref.hughes.19.12.12.pdf>>

上サバイバル技術、コミュニケーション能力等といった広範囲の知識を学べるような講習が実施されている。風車は長時間にわたり安定的に稼働させなければ投資資金を回収することができない。また、今後、世界中でリプレースが増えると予想されており、IWALのノウハウが生かせると思われる。⁽⁹⁶⁾

デンマーク国内の風力発電産業の雇用数は28,459人(2012年末)⁽⁹⁷⁾となっている。2012年の売上高は811億デンマーク・クローネ、輸出額は519億デンマーク・クローネとなっている⁽⁹⁸⁾。売上高、雇用数、輸出額ともに2008年までは順調に増加していたが、金融危機の影響を受けて2009年に前年割れとなり、その後は横ばい傾向が続いている⁽⁹⁹⁾。風力発電設備の輸出先は、EU諸国や米国のシェアが高いが、今後は中国や日本等も大きな市場としてとらえている。しかし、国内生産は人件費が高く、コスト競争力に欠けるため、ベトナム、東ヨーロッパ等の人件費の安い国へ製造工場の移転を進めている現実もある⁽¹⁰⁰⁾。新興国との差別化を図る観点からも、メンテナンスノウハウの蓄積や技術革新が今後の課題となるだろう。

(3) 環境への影響

今後、洋上風力発電の導入を進める上で、発電施設の建設前に行われる事前探査や基礎工事時の掘削作業が底生生物の群集構造や生物量に

影響を及ぼす可能性や、建設時の掘削や運転に伴い発生する騒音が魚類の繁殖行動や生残率に与える影響等が指摘される。また、鳥類への影響として、餌場・休息場所の喪失、風車との衝突等も指摘される。海棲哺乳類への影響としては、探査・掘削時に発生する騒音による音声コミュニケーションの阻害といった影響も指摘される。⁽¹⁰¹⁾

デンマーク政府は、2002年に試運転を開始したHorns RevI発電所及び2003年に開始したNysted発電所に係る環境影響について、1999年から2006年まで行った調査結果をまとめている。この調査では、海底に設置された基礎やその周辺に設置された消波ブロックが、底生生物や魚類に新たな生息環境を創出したケースが報告されている。鳥類は風力発電施設を回避して飛行しており、風力発電施設に衝突する確率は低いと報告されている。⁽¹⁰²⁾

しかし、現在のところ、こうした影響について定量評価できるほどの調査はなされておらず、洋上風力発電設備が海洋生態系に与える全ての影響を予測できるわけではないため、今後も長期的な生態モニタリング調査の継続が求められる⁽¹⁰³⁾。

おわりに

デンマーク政府は、1970年代の石油危機を

⁽⁹⁶⁾ 筆者が2013年3月にIWALを訪問した際に、プロジェクトマネージャー(Jesper Hjelme氏)から聴取した内容である。

⁽⁹⁷⁾ Danish Wind Industry Association, "Industry Statistics." <http://www.windpower.org/en/knowledge/statistics/industry_statistics.html>

⁽⁹⁸⁾ 風力発電の輸出額は、総輸出額の4.2%を占める(2012年)(Vindmølleindustrien, *Branchestatistik Vindmølleindustrien*, Maj 2013. <<http://ipaper.ipapercms.dk/Windpower/Branchestatistik/Branchestatistik2013/>>).

⁽⁹⁹⁾ *ibid.*

⁽¹⁰⁰⁾ 筆者が2013年3月にState of Greenを訪問した際に、統括責任者(Finn Mortensen氏)から聴取した。State of Greenは、エネルギー・環境産業の強化を目的として、デンマーク政府により設立された半官半民のパートナーシップである。デンマーク国内の関連企業を海外へ売り込む広告塔のような役割を担っている。

⁽¹⁰¹⁾ 風間健太郎「洋上風力発電が海洋生態系におよぼす影響」『保全生態学研究』17(1), 2012.5, pp.107-122.

⁽¹⁰²⁾ 「風力発電の環境アセスメント」*JEAS NEWS*, 131, 2011 Summer, p.9. <<http://www.jeas.org/PDF/JEAS-news/No.131.pdf>>; Danish Energy Authority et al., *DANISH OFFSHORE WIND: Key Environmental Issues*, 2006, pp.9-14.

⁽¹⁰³⁾ 風間 前掲注⁽¹⁰¹⁾

契機に、輸入原油依存からの脱却をエネルギー政策の目標に掲げ、国産資源の開発、省エネルギー、エネルギー源の多様化等を進めてきた。その結果、1997年以降はエネルギー自給率100%以上を達成しており、再生可能エネルギーの利用も年々増加している。また、地球温暖化対策や将来の化石燃料不足といった観点から、2050年までに化石燃料からの脱却を図っており、再生可能エネルギー、特に風力発電を、バイオエネルギーとともに将来の基幹エネルギーとして位置付けている。

風力エネルギーに恵まれたデンマークでは、風力エネルギーを地元住民固有の資源として位置付けている。地元住民の出資を促す形で風力発電の建設が進められ、地域住民が経済的メリットを得ることができる仕組みが確立されており、出資を希望する住民も多い。このため、

風車を迷惑施設として考えるのではなく、許容するようになっている。また、導入支援制度や送電系統へのアクセスを担保することにより、風力発電設備の建設を進めやすくしている。風力発電の出力変動に対しては、周辺諸国との電力融通等を通して対応しているが、今後、余剰電力が増えていく中で、その利用を熱分野や運輸分野に広げるなど、導入拡大に向けた環境を整えていく計画である。

経済規模やエネルギー消費量、地理的な違い等を考慮すると、デンマークの成功例をそのまま日本に当てはめることは難しいが、自らが有するエネルギーをできる限り有効に利用できるよう、合理的な政策を打ち出す姿勢には学ぶ点が多いと思われる。

(こんどう かおり)