２０１３．１．２８
24基礎研 №６

総 研 レ ポ ー ト

再生可能エネルギーの地域自立型活用を巡る最近の動向

2013年1月

農林中金総合研究所

はじめに

2011年3月に起きた東日本大震災とその後の福島原発事故により原子力発電のあり方が問われており、再生可能エネルギーの普及拡大が重要な課題になっている。

日本では、1997年4月に、太陽光や風力、地熱、水力、バイオマスなど化石エネルギー以外の新エネルギー（再生可能エネルギー）の利用を円滑に進めることを目的に「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）」が制定され、再生可能エネルギーの普及が進められてきた。また日本は、同年12月に開催されたＣＯＰ３（気候変動枠組条約締約国京都会議）において、2008年から2012年までの期間中に二酸化炭素等の温室効果ガス排出量を1990年比で６％削減することを国際的な約束としており（京都議定書）、地球温暖化対策のためにも再生可能エネルギーの拡大が求められている。

本調査は、こうした情勢を受け、国内外における再生可能エネルギーに対する取組みを調査し、環境保全と雇用創出の観点から再生可能エネルギーの地域自立型活用の動向と課題を明らかにすることを目的として実施したものである。本年度の調査では、再生可能エネルギーのなかでも特に風力発電に焦点を当て、国内外の地域において取組み主体や関係機関等に対するヒアリングを実施した。

調査対象としたのは、国内の風力発電では、大潟村（秋田）、庄内町（山形）、御前崎市・掛川市・磐田市（静岡）、入善町（富山）、海外では、デンマークにおける取組みである。また、太陽光発電および小水力発電についても現地調査を行った。これらの調査にあたっては行政担当者や取組み企業、在日デンマーク大使館に全面的なご協力を頂いた。ここに改めてお礼を申し上げる次第である。

本調査は、農林中金総合研究所が農村金融研究会に委託して実施したものであり、調査研究を効率的かつ的確に実施するため、農村金融研究会内に下記メンバーによる検討委員会を設け、調査方針、調査結果に関して検討を行った。

合田　素行（茨城大学）
田上　貴彦（日本エネルギー経済研究所）
大村　道明（東北大学大学院）
室　孝明（農村金融研究会）
坂内　久（農村金融研究会）
増川　武昭（昭和シェル石油）
岩佐　和幸（高知大学）
木原　久（農村金融研究会）
尾中　謙治（農村金融研究会）

2013年1月

農林中金総合研究所　基礎研究部

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（ 目 次 ）

はじめに

第Ⅰ部　デンマークにおける再生可能エネルギーの利用 …… 1

第１章　デンマークのエネルギー需給とエネルギー政策 …… 1

第２章　デンマークにおける取組み事例 …… 43

Ⅰ．ロラン島のコミュニティ・テスト・ファシリティ …… 43

Ⅱ．サムソー島における再生可能エネルギー利用と地域への波及効果 …… 63

第Ⅱ部　日本における再生可能エネルギーの利用 …… 71

第３章　日本における太陽光発電の導入状況と課題 …… 71

第４章　日本における風力発電の現状と取組み事例 …… 86

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（執筆分担）

第１章　　坂内久

第２章
　Ⅰ　　大村道明
　Ⅱ　　坂内久

第３章　　増川武昭、清水徹朗（農中総研）

第４章　　坂内久

第Ⅰ部　デンマークにおける再生可能エネルギーの利用

第１章　デンマークのエネルギー需給とエネルギー政策

１．デンマークの概況

（１）デンマークの位置

デンマークは、東側がバルト海、西側が北海に面する海洋国家であり、主に、西側に位置しドイツ北部から伸びたユトランド半島と、東部に位置する２つの大きな島（シェラン島とフュン島）から成る。デンマークは地形が平坦で、国土の大半が緩やかな起伏の平原地帯となっており、国内の最高峰にしても標高 173mに過ぎない。また、気候条件は全般に温暖で、湿度がやや高く、冬は温暖で風が強く、夏は比較的涼しい。

図１　デンマークの地図

上の地図（図 1）は、今回の調査で訪問したサムソー島とロラン島の位置を示したものである。デンマークの首都コペンハーゲンは同国の東端に位置しており、そこからほぼ真西にサムソー島があり、ロラン島はコペンハーゲンの南西に位置する。

（２）歴史と政治体制

デンマークは、14 世紀からノルウェーやスウェーデンの一部を支配し、そしてまた取り返されるという歴史をたどったが、なかでもスウェーデンとは数多く戦ってきた。南の国境線を接するドイツとは、1864 年のシュレスヴィッヒ・ホルシュタイン戦争が最後の大戦となり、その結果、２つの公国を奪われ、領土がそれまでの三分の一に減少した。しかし、

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

その後、1920年の住民投票を踏まえドイツと交渉した結果、北シュレスヴィッヒ地方がデンマークに返還され、現在に至っている。

デンマークの政治体制は立憲君主制であり、かつては二院制であったが、1953年に貴族院が廃止されて、現在は一院制となっている。選挙権は18歳から付与され、４年ごとに総選挙が行われる。

デンマークの所得税は累進課税で比較的高く、それに加えて全商品・サービスに25%の付加価値税が賦課され、デーマークの租税負担は世界でも最も重いと言われている[1]。

（３）面積と人口

デンマークの国土面積は 42,959ｋ㎡（自治領のグリーンランド、フェロー諸島を除く）であり、日本の九州７県の総面積42,187ｋ㎡にほぼ匹敵する（表１）。デンマーク全体の土地利用は、耕作地52%、森林12%、その他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。

サムソー島の面積は 112ｋ㎡であり、長崎県壱岐島全域をカバーする壱岐市とほぼ同じ面積であるが、人口は3,885人と壱岐市の約十分の一であり、高知県椿原町の人口にほぼ等しい。また、ロラン島の面積は 1,245ｋ㎡で、平成の大合併後の富山市の面積にほぼ等しく、同島の人口（64,730人）は青森県のむつ市とほぼ同じである。

デンマークの人口は、1990年には510万人台であったが、2011年では556万人であり、わずかな増加傾向にある（11年間で8.3%増加）。首都コペンハーゲンの人口は、1990年の466,723人から2011年の539,542人へと15.6%の増加であり、デンマーク全体の人口増加率より高い。それとは対照的に、サムソー島とロラン島の人口は右肩下がりで減少しており、サムソー島は1990年の4,394人から2011年の3,885人へと11.6%減少し、ロラン島も90年の73,191人から2011年の64,730人へと11.6%減少している[2]。

（４）主要産業

デンマークの主要産業は、金融、不動産、運輸、通信、鉱業・エネルギー産業である。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、主な輸入品は石油、自動車・関連部品、医薬品である（2010年国連統計）。

デンマークのＧＤＰは3,107億ドルで、日本（５兆4,592億ドル）の5.7%である（2010年ＩＭＦ統計）。また、失業率は4.2%で、日本（5.06%）よりも低い。

サムソー島の主な産業は、「農業」と「観光業」の２つである。農業の中心は島からの移出物ないし輸出品として生産される野菜や果物であり、島の農産物からデンマーク国内でも知名度の高い「サムソーポテト」のような瓶詰め等の加工品や各種野菜の酢漬けが二

[1] デンマークの歴史や政治体制については在日本デンマーク大使館ＨＰ等の情報による。

[2] Statistics Denmark "Statistical Yearbook"

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

次加工品として製造・出荷されている。また、島には、夏期を中心に毎年、約 50 万泊の観光客が訪れ、島内には夏期用のコテージが数百軒建っている[3]。

表-1 デンマークの面積と人口

	面積(Km²)	人口(万人)
Denmark	42,959	556
九州7県計	**42,187**	1,326
福岡県	4,977	504
長崎県	4,105	145
佐賀県	2,439	86
大分県	6,339	121
熊本県	7,405	183
宮崎県	7,734	115
鹿児島県	9,188	172
兵庫県	8,396	**558**

(資料)Statistics Denmark "Staristical Yearbook". 国勢調査
注:デンマーク=2011年、日本=2010年、現在

2．デンマークのエネルギー需給

（1）デンマークのエネルギー需給の特色

デンマークのエネルギー政策をみるうえで最も留意しなければならないのは、デンマークではエネルギーの産出において「熱電併給システム」が採用されている点である。この熱電供給システムは、極北に近いために暖房が不可欠である北欧諸国に共通するものであり、日本におけるエネルギーの生産・利用方法とは大きく異なるシステムである。

また、デンマークの電力需給を考えるうえで留意しておきたいことは、デンマークの電力消費量（2010 年、368 億ｋＷｈ）が北海道電力の年間電力量（2010 年度、323 億ｋＷｈ）にほぼ等しいということである。デンマークは日本と比べて国土面積、人口とも小さく、電力問題もそのまま日本に当てはめることはできないことを理解する必要がある。ちなみに、デンマークの国土面積とほぼ等しい九州を管轄する九州電力の年間電力量は 875 億ｋＷｈ（2010 年度）であり、デンマークの 2.4 倍である[4]。

[3] “Samsø - a Renewable Energy Island, 10 years of Development and Evaluation” Published in 2007 with funding from the Danish Energy Agency.
[4] 北海道電力と九州電力の 2012 年度供給計画中の「電力需要見通し」参照。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（２）エネルギー収支

表２は 2010 年におけるデンマークのエネルギー収支であり、自国での産出したエネルギー量と輸入したエネルギー量、自国で消費したエネルギー量、備蓄や輸出に回されたエネルギー量を示したものである。

この表によると、デンマークのエネルギー総消費量は 846,427ＴＪであるが、そのエネルギーの供給源は、原油・精製原料油 304,900ＴＪ（36.0%）、天然ガス 186,820ＴＪ（22.1%）、再生可能エネルギー169,892ＴＪ（20.1%）、石炭・コークス 163,253ＴＪ（19.3%）であり[5]、３種の化石燃料で８割近くを占めるが、再生可能エネルギーも２割を占めている。

デンマークは、自国の北海油田で原油や天然ガスを多く産出し、輸出もしているが、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。

表-2　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）	合計	（%）	原油・精製原料油	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
	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**	**－**
	（%）	**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	－
消費用途（含二次産出源）	**エネルギー部門　a**	**-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　b	**-98,318**	**(11.6)**	**－**	**-12,049**	**-86,120**	**-157,375**	**-14,810**	**-109,726**	**132,390**	**148,827**	**546**
	大規模熱電併給所	-74,007	(8.7)	－	-6,758	-32,801	-156,638	0	-31,646	84,168	69,668	－
	風力発電・水力発電	0	0.0	－	－	－	－	0	-28,188	28,188	0	－
	小規模熱電併給所	-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	－
	施設付属熱電併給所	-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　c	**-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

出典：'Energy Statistics 2010' Danish Energy Agency

注：TJ＝Tera Joule（1 TJ＝1,000 GJ ＝1,000,000 MJ＝1,000,000,000 kJ ）

[5] ＴＪ＝Tera Joule（１ＴＪ＝1,000ＧＪ ＝1,000,000ＭＪ＝1,000,000,000ｋＪ ）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

エネルギーの用途は、二次精製加工（エネルギー部門 a）とエネルギー変換（b）、および最終消費に向けられるエネルギー（c）の３つに大別することができる。a では、投入される原油の精製と産出される石油はほぼ差引きゼロの関係にあるまた、エネルギー変換(b)では、石炭・コークス、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、ここでは投入量が産出量を１割ほど上回っている。

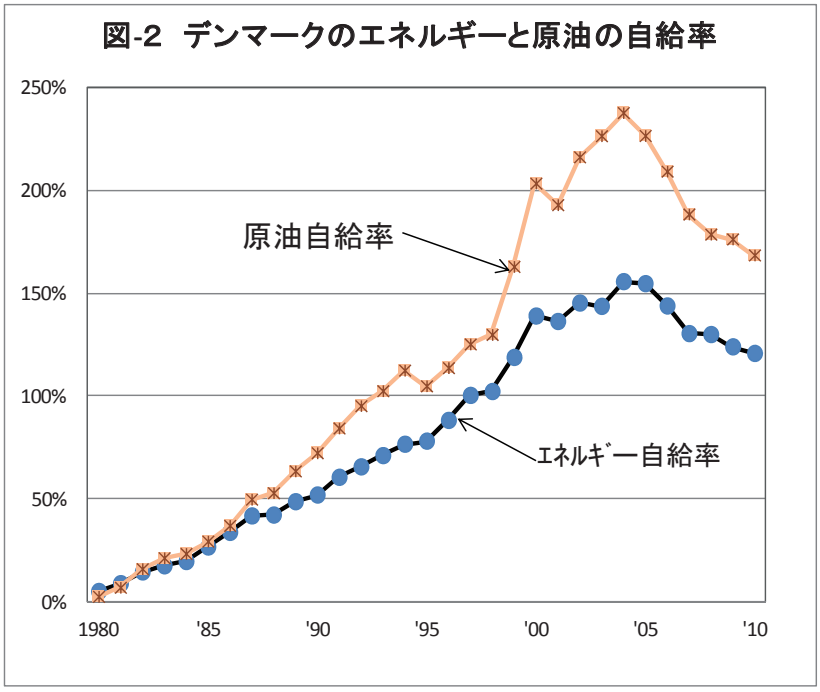
最終消費エネルギー(c)は、総消費量の８割弱であり、その内訳は、家庭用が 24.9%、交通運輸用が 24.7%、産業用(農業を含む)が 16.6%、商業・サービス業用が 10.7%である。最終消費に向けられるエネルギーの産出源をみると、石油が最も多く、次いで地域暖房、電気、天然ガス、再生可能エネルギーの順となる。最終消費の用途別のエネルギー源は、交通運輸用は石油、産業用は石油、天然ガス、電気、商業・サービス業用は電気、地域暖房、家庭用は地域暖房、再生可能エネルギー、電気、天然ガス、石油が主なものである。

（３）エネルギー自給率

2010 年におけるエネルギー総消費量は 846,427ＴＪであるが、一次エネルギー産出量は 982,903ＴＪであり、デンマークではエネルギーの供給量は消費量を 16.1%上回っている。

デンマークのエネルギー自給率は、1980 年時点では僅か５％に過ぎず、1990 年でも 52%であったが、その後右肩上がりに伸長して、97 年には 100%を達成した。2005 年前後には 150%を超えたが、その後やや低下し、2010 年のエネルギー自給率は 121%になっている。

図-2　デンマークのエネルギーと原油の自給率



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

急速なエネルギー自給率上昇の最大の要因は、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、1975 年まで輸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 1971 年に発見され、81 年から掘削が開始された[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。

（4）エネルギーの産出源

2010 年におけるデンマークの一次エネルギー産出量は 98 万 2903ＴＪであり、その内訳は、原油 52 万 2733ＴＪ（53.2%）、天然ガス 30 万 7488ＴＪ（31.3%）、廃棄物（再生不可）1 万 5679ＴＪ（1.6%）、再生可能エネルギー13 万 7003ＴＪ（13.9%）である[7]。過去 30 年間の変化を見ると、1980 年には再生可能エネルギーの割合が約６割を占めたが、1990 年以降は原油と天然ガスの占める割合が圧倒的に高くなり、再生可能エネルギーの占める割合は、2000 年には 6.7%に低下し、2010 年には 13.9%になっている（表３）。

表-3 最近30年間の一次エネルギーの産出量

（単位:PJ、%）

	1980		1990		2000		2010	
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

出典:‘ Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency
注:1 Peta Joule ＝ 1000TJ、TJ＝Tera Joule(1 TJ＝1,000 GJ ＝1,000,000 MJ＝1,000,000,000 kJ)

[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「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』（最終更新日 2004 年 06 月 04 日）
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, the free encyclopedia.

[7] 本報告書のエネルギー熱量単位は下記により表記する。
１Peta Joule ＝ 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への換算：１ＴＪ ＝ 0.2778ＧＷｈ、１ＰＪ ＝ 0.2778ＴＷｈ。Danish Energy Agency, ″Energy Statistics 2009″, November 2010.

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

３．再生可能エネルギーの動向

（１）再生可能エネルギーの内訳

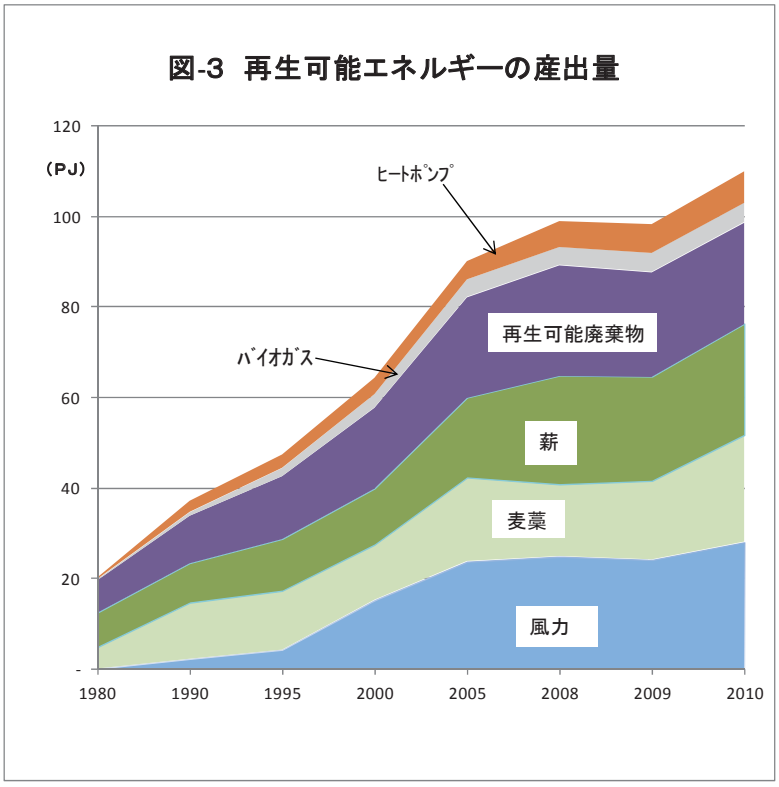
一次産出エネルギーの 13.9％を占める再生可能エネルギーの内訳は、バイオマス（68.3％）、風力（20.5％）、ヒートポンプ（5.1％）、バイオガス（3.1％）、バイオディーゼル（2.1％）、太陽光（0.5％）、地熱（0.3％）、水力（0.1％）である（カッコ内は 2010 年の 13 万 7,003ＴＪを 100 とした割合）。このうち最大のバイオマスの内訳は、薪（17.9％）、麦藁（17.2％）、再生可能廃棄物（16.3％）、木質チップ（8.2％）、廃材・木屑（5.6％）、木質ペレット（1.8％）、生物油（1.4％）である。

このように、デンマークの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割を占めている。

次に、最近 30 年間の再生可能エネルギー産出量の推移を見ると（図３）、麦藁や薪を主体としたバイオマスが着実に増加する中にあって、90 年代後半以降から風力が顕著に増加し、さらに再生可能廃棄物の利用も多くなっている。太陽光や地熱の利用は、ほぼ横ばいで推移している。

なお、再生可能エネルギー消費量全体（16.98 万ＴＪ）を 100 とすると、輸入が 21.0％、輸出が 1.7％あり、輸入の主体は木質ペレット（輸入全体の約８割を占める）、輸出はバイオディーゼル（輸出全体の 10 割）である。

図-3 再生可能エネルギーの産出量

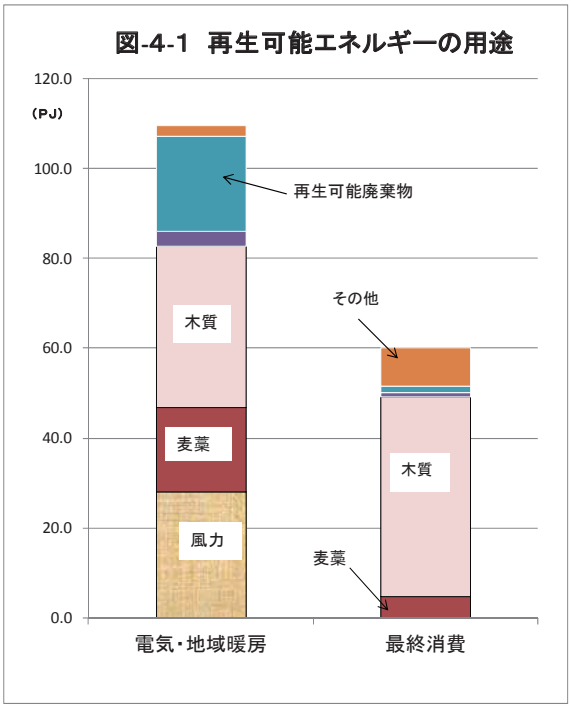


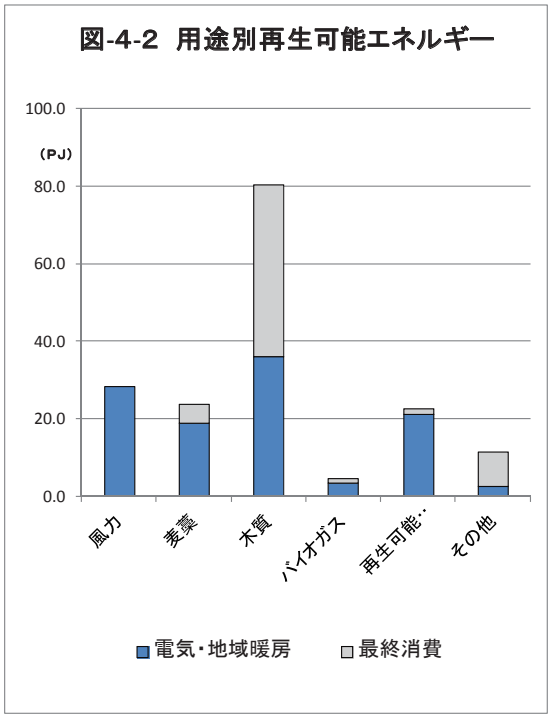
出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（２）再生可能エネルギーの用途

再生可能エネルギーの用途は、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（図４－１、図４－２）。「電気・地域暖房」に向けられるのは、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。これに対し、「最終消費」に向けられるのは、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。最終消費で木質が突出しているが、これは木質をそのまま燃料として消費しているものであり、これに対し、風力は一度電気に転換して使用されるため、最終消費ではゼロになっている。





出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

表-4 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

	1980	1990	1995	2000	2005	2008	2009	2010	2010/90
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	**133**
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**	**232**

出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

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割合は、1980 年にはわずか３％であったが、2005 年には 14.7%にまで伸ばすことに成功し、さらに 2010 年には

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

20.2%に増加している(表4)。また、エネルギー自給率は、前述したように1997年に100%自給を達成して以降、120～150%の間で推移している。

４． 電力需給と電力源

（１）電力需給の構造

次に、エネルギー変換で生み出される「電気」についてみてみたい。

表-５ 発電主体別にみた発電量

（単位:PJ、%）

	1980	1990	1995	2000	2005	2008	2009	2010	
総発電量	**97.5**	**93.5**	**132.**	**129.8**	**130.5**	**131.8**	**131.0**	**139.6**	100.0
大規模発電所	44.2	7.5	15.1	8.9	0.0	0.2	0.2	0.3	0.2
大規模CHP	52.1	80.6	96.2	73.8	74.9	80.6	82.5	83.8	60.0
うち、受給電力	36.0	50.2	61.4	41.6	38.4	47.1	48.0	43.1	30.9
小規模CHP	0.0	1.	11.9	21.5	21.3	17.7	16.4	19.2	13.8
施設付属熱電併給所	1.1	2.1	4.4	10.2	10.3	8.3	7.6	8.0	5.8
うち、発電	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
うち、CHP発電	1.1	2.1	4.4	10.2	10.3	8.3	7.6	8.0	5.7
風力発電機	0.0	2.2	4.2	15.3	23.8	24.9	24.2	28.1	20.1
水力発電施設	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
自己使用	**-5.7**	**-6.1**	**-7.4**	**-5.8**	**-6.6**	**-6.4**	**-6.9**	**-7.1**	-5.1
大規模発電所	-2.8	-0.6	-0.8	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
大規模ＣＨＰ	-2.9	-5.5	-6.6	-5.0	-6.0	-5.8	-6.4	-6.6	-4.7
小規模ＣＨＰ	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4
純発電量	**91.8**	**87.4**	**124.6**	**124.0**	**123.9**	**125.5**	**124.1**	**132.5**	94.9
純輸入電力	-4.5	25.4	-2.9	2.4	4.9	5.2	1.2	-4.1	-2.9
国内電力供給	**87.3**	**112.8**	**121.8**	**126.4**	**128.8**	**130.7**	**125.3**	**128.4**	92.0
配電消費	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
送電減耗、ほか	-7.5	-8.9	-8.5	-7.6	-5.6	-7.9	-8.6	-9.2	-6.6
国内電力消費	**79.8**	**103.9**	**113.3**	**118.7**	**123.2**	**122.8**	**116.7**	**119.1**	85.3
ｴﾈﾙｷﾞｰ部門での消費	-1.3	-1.8	-2.1	-1.9	-2.8	-3.6	-3.6	-3.6	-2.6
最終電力消費	**78.6**	**102.1**	**111.2**	**116.8**	**120.5**	**119.2**	**113.0**	**115.4**	82.7

出典:'Energy Statistics 2010' Danish Energy Agency

注:「大規模CHP」のうち「受給電力」は、「大規模発電所」からの給電で、集計の仕方によっては大規模発電所の発電にカウントする場合もある。

2010年における総発電量は139.6ＰＪであり、その内訳は、大規模（火力）発電所0.2%（総発電量を100とした割合、以下同）、大規模ＣＨＰ[8]（熱電併給発電所）60.0%（うち

[8] 「ＣＨＰ（combined heat and power plant)とは「 熱電併給発電所」のこと。「Large-scale Units」≧ 大規模ＣＨＰ、「Small-scale Units」 ≧ 小規模ＣＨＰ、である。なお、大規模ＣＨＰの発電量には、

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

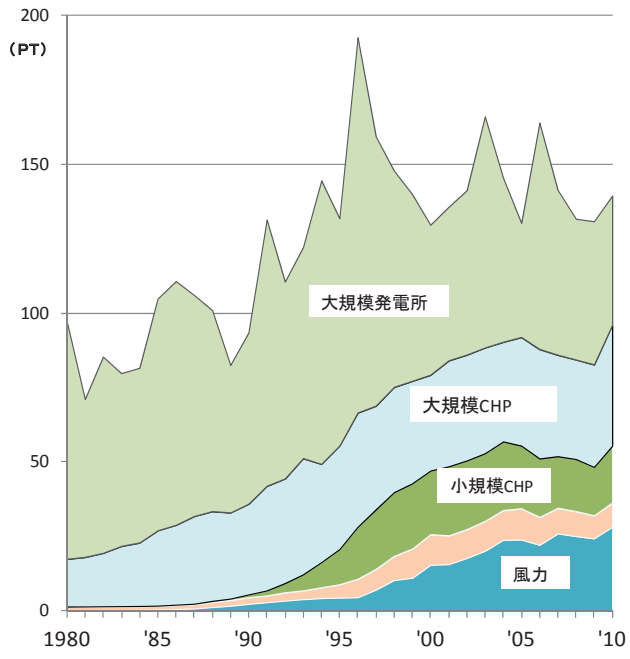
大規模発電所からの受給電力 30.9%を含む）、小規模ＣＨＰ13.8%、施設付属熱電併給所 5.8%（うち発電のみ 0.0%、ＣＨＰ発電 5.7%）、風力発電機 20.1%、水力発電施設 0.1%となっている（表 5）。

各発電施設で自己使用した電気エネルギーは△7.1ＰＪ（△5.1%）であり、その多くは大規模ＣＨＰで使用される。自己使用を差引いた純発電量は 132.5ＰＪ（94.9%）で、そこから純輸入電力△4.1ＰＪ（△2.9%）を差引いた国内電力供給は 128.4ＰＪ（92.0%）であり、国内電力供給から送電減耗を差引いた国内電力消費量は 119.1ＰＪ（85.3%）で、うちエネルギー部門での消費量△2.6%を除いた最終電力消費量は 115.4ＰＪ（82.7%）である。

（２）発電主体

過去 30 年間の電力供給を発電主体別にみると、1990 年頃から小規模ＣＨＰと風力発電が登場し、それぞれ供給量を増やしている（図５）。電力を従来から供給してきた大規模発電所、大規模ＣＨＰに加え、風力発電のような再生可能エネルギーを利用する発電主体の供給が増加しつつあることがわかる。

図-5 発電主体別の発電量



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

大規模火力発電所からの給電を含むことがある。また、「施設付属熱電併給所（Autoproducers）」とは、「非専業のエネルギー供給者」である。（資料）Danish Energy Agency, “Energy in Denmark 2010”. “Energy Statistics 2010”.

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（３）電力源

発電に利用する「燃料（資源）」に着目すると、再生可能エネルギーによる発電の実態がより明確になる（表６）。

表-６　燃料（資源）別にみた発電量

（単位：TJ、%）

	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
総発電量	**129,776**	**166,246**	**130,469**	**141,536**	**131,818**	**130,972**	**139,613**	**100.0**
石油	15,964	8,445	4,933	4,625	4,036	4,124	2,680	1.9
うち、オリマルジョン	13,467	776	-	-	-	-	-	0.0
天然ガス	31,589	35,149	31,606	25,334	25,492	24,220	28,471	20.4
石炭	60,022	91,102	55,666	71,608	62,865	63,676	61,114	43.8
余剰熱	139	68	-	-	-	-	-	0.0
廃棄物（再生不可）	1,833	2,202	2,690	2,622	2,817	2,611	2,462	1.8
再生可能エネルギー	**20,229**	**29,280**	**35,574**	**37,346**	**36,608**	**36,342**	**44,885**	**32.1**
太陽光	4	5	8	9	9	14	22	0.0
風力	15,268	20,019	23,810	25,816	24,940	24,194	28,114	20.1
水力	109	76	81	102	93	68	74	0.1
バイオマス（生物資源）	4,097	8,185	10,657	10,323	10,512	10,913	15,478	11.1
うち、麦藁	654	2,706	3,088	3,185	2,145	2,419	3,967	2.8
うち、木質	828	2,336	3,730	3,395	4,346	4,768	7,997	5.7
うち、再生可能廃棄物	2,616	3,143	3,840	3,742	4,021	3,726	3,514	2.5
バイオガス	751	994	1,017	1,097	1,053	1,153	1,198	0.9

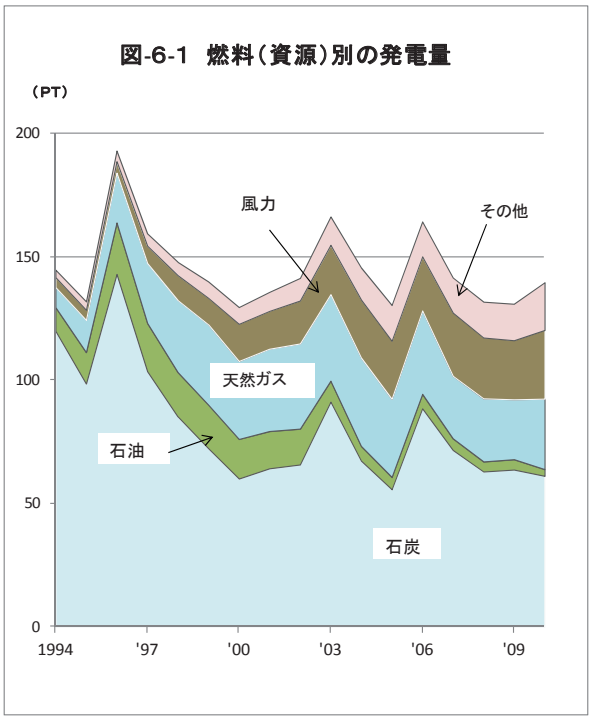
出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

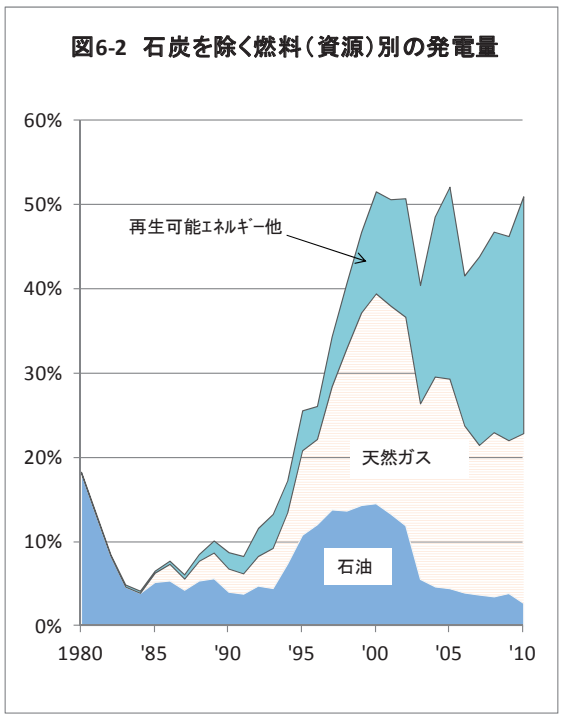
2010 年の総発電量 13 万 9613ＴＪを 100 とすると、燃料（資源）別の発電量で最大なのは石炭（43.8%）であり、次いで天然ガスが 20.4%を占める。再生可能エネルギー（32.1%）は石炭に次いで多いが、再生可能エネルギーを個別にみると、風力 20.1%、木質 5.7%、麦藁 2.8%、再生可能廃棄物 2.5%、バイオガス 0.9%であり、風力の発電量は天然ガスとほぼ等しい。このように、デンマークの発電を担っている燃料（資源）は石炭が圧倒的に多く、次いで天然ガスと風力であり、化石燃料で６割強を占め、残る３割強を風力等の再生可能エネルギーが担っている。なお、再生可能エネルギー資源のうち、木質、麦藁、再生可能廃棄物は、石炭や天然ガス、石油などと同様に、規模の大小を問わず発電所やＣＨ

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

Ｐ、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ている。

石炭を除いた燃料（資源）別の発電割合をみると、1990 年代以降、総発電量が頭打ちで推移する中にあって、石油の割合が大きく低下する一方で天然ガスと風力の割合が増加しており、天然ガスと風力と合わせると、石炭にほぼ等しい発電量になっている（図６－１、図６－２）。これは、天然ガスのＣＯ２の排出量が石炭に比べて少なく、ＣＯ２排出削減が意識されているためである。





出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

５．熱電併給システム

（１）大きい熱電供給の役割

施設別に発電容量を見ると、火力発電所を含む大規模発電施設（7446MW）が最大であり、全体の 54.2%を占めているが、このうち発電のみの施設は 6.1%に過ぎず、大部分（48.1%）がＣＨＰ（熱電併給）である（表７）。これに次ぐのが風力発電機であり、3,802 MWの容量で 27.7%を占め、以下、小規模発電施設 1784MW（13.0%）、施設付属熱電併給所 680MW（5.0%）と続き、水力発電施設と太陽光の発電容量は小さい。

施設別の発電容量の変化をグラフにして見ると、その変化が明確に把握できる（図７）。1980 年代までは発電容量の大半を大規模発電施設が占めていたが、大規模発電施設は 1990 年代前半で頭打ちとなり、最近 10 年間ではやや縮小傾向にある。これに対し、小規模発電施設（ＣＨＰを含む）は、1990 年代以降増加し、2000 年代には大規模発電施設の４分の１まで拡大している。

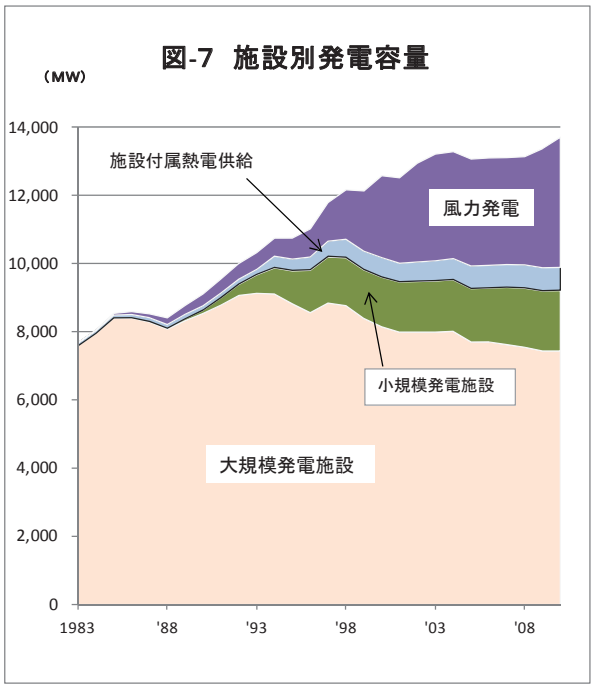
農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

表−7　施設別の発電容量

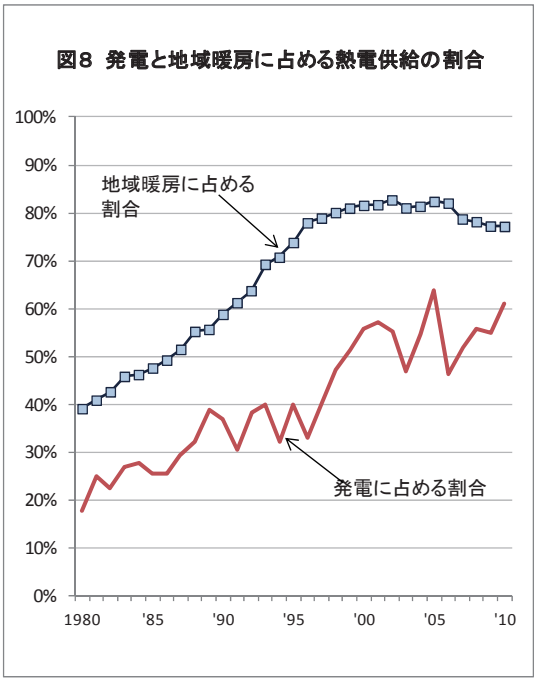
（単位：MW、%）

	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
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	1,429	444	575	850	838	838	838	6.1
うち、CHP	**6,731**	**7,267**	**7,137**	**6,784**	**6,569**	**6,608**	**6,608**	**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	**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

出典：'Energy Statistics 2010' Danish Energy Agency



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

発電と地域暖房を同時に行う熱電併給施設（ＣＨＰ）は、デンマークの発電において大きな役割を果たしていており、2010 年において大規模ＣＨＰ、小規模ＣＨＰ、施設付属熱

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

電併給所を合わせた熱電併給施設で、デンマークの発電量の 61.0%を産出している[9]。この割合は 1980 年に 17.6%であったが、1990 年には 36.8%となり、その後大きく増大している（図８）。熱についても同様であり、地域暖房に占める熱電供給施設の割合は、1980 年に 39.1%であったが、90 年には 58.8%となり、2010 年には 77.2%まで増大している。

（２）地域暖房の構成

表-８ 施設別にみた地域暖房熱の産出・消費

（単位: PJ、%）

	1980	1990	1995	2000	2005	2008	2009	2010	
総産出量	**79**	**92**	**119**	**120**	**128**	**127**	**131**	**150**	100.0
大規模ＣＨＰ	31	52	64	56	58	55	58	70	46.4
小規模ＣＨＰ	0	2	20	33	33	27	25	29	19.4
地域暖房(異種生産者計)	44	28	20	13	17	21	24	29	19.4
施設付属熱電併給所	-	-	-	-	-	-	-	-	-
うち、CHP	0	1	4	8	15	17	17	17	11.3
うち、暖房	4	10	11	10	6	7	5	5	3.5
産出過程減耗	**-**	**-**	**-1**	**-2**	**-1**	**-1**	**-1**	**-1**	-0.8
大規模ＣＨＰ	-	-	-1	-1	-0	-0	-0	-0	-0.2
小規模ＣＨＰ	-	-	-0	-1	-1	-1	-1	-1	-0.4
地域暖房	-	-	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0.2
純産出合計	**79**	**92**	**118**	**118**	**127**	**126**	**129**	**149**	99.2
純輸入量	-	0	0	0	0	0	0	0	0.1
国内供給量	**79**	**93**	**118**	**118**	**127**	**126**	**130**	**149**	99.3
精製後の消費量	-	-0	-0	-0	-0	-1	-1	-1	-0.4
配送減耗	-20	-19	-24	-24	-25	-25	-26	-30	-19.9
最終エネルギー消費	**59**	**74**	**94**	**94**	**101**	**100**	**103**	**119**	79.1

出典: 'Energy Statistics 2010' Danish Energy Agency

地域暖房用として産出される熱エネルギーの合計は 150ＰＪであるが、これを施設別に見ると、大規模ＣＨＰが 70ＰＪ（46.4%）で最大であり、小規模ＣＨＰ29ＰＪ（19.4%）、地域暖房（異業生産者計）29ＰＪ（19.4%）、施設付属熱電併給所ＣＨＰ17ＰＪ（11.3%）、施設付属熱電併給所の暖房供給５ＰＪ（3.5%）である（表８）。

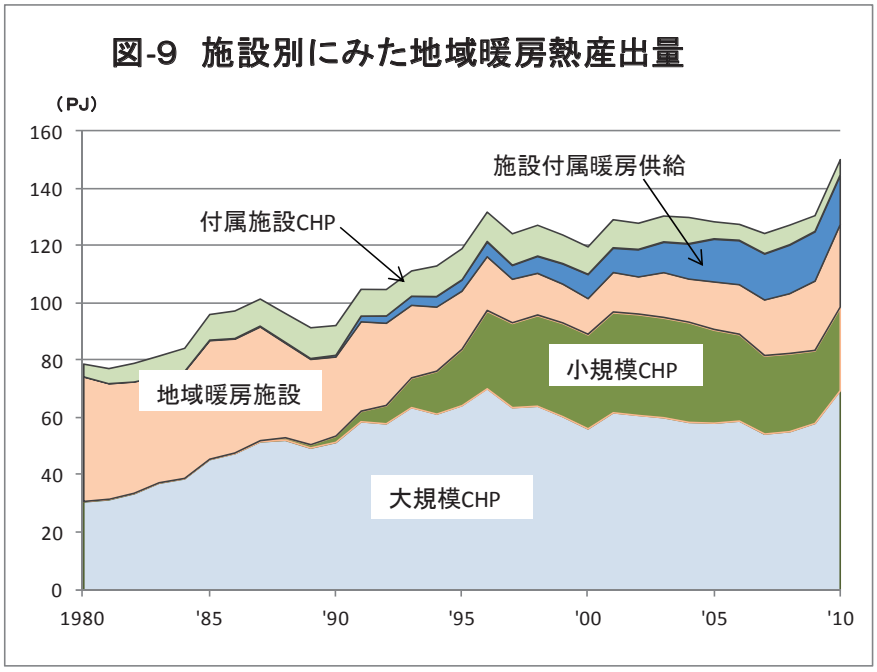
地域暖房の総産出量（150ＰＪ）から産出過程での減耗を除いた純産出は 149ＰＪ（99.2%）であり、これに純輸入 0.17ＰＪ（0.1%）を加えた国内供給量は 149ＰＪ（99.3%）で、そ

[9] 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。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

こから精製・給送中の減耗を差引くと、熱エネルギーの最終消費量は 119ＰＪ（79.1%）である。

地域熱暖房の構成は、熱電併給施設による発電と似かよった傾向を示している（図 9）。ただし、風力は、発電は行うものの熱エネルギーの産出はほとんど行っていないため、この図には入っていない。電力供給と同様に、1980 年代から現在まで最大の供給主体が大規模ＣＨＰであることは変わりないものの、1990 年代後半からは大規模ＣＨＰによる供給量は頭打ちになっている。また、90 年代に入ると小規模ＣＨＰが登場し、それが 90 年代後半から第２位の供給量を維持している点も電気と共通している。



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

ただし、以下の３点は、電気の場合と異なっている。①地域暖房施設は 1980 年当初から 90 年代前半までは大規模ＣＨＰと同程度の供給量であり、その後、やや少なくなったものの、依然として第 3 位の供給量を維持している。②施設付属の暖房供給は 1980 年当初から現在まで一定量を供給し続けている。③1990 年代後半から施設付属熱電併給所にＣＨＰが導入され、2000 年代にそこから供給される熱エネルギーが比較的大きなウェイトを占めるようになっている。

（３）熱電併給プラントの構成

デンマークの熱電併給施設は、大規模発電ＣＨＰ、小規模発電ＣＨＰ、ＤＨ（地域暖房）に分類できるが、各プラントの構成は次のようになっている[10]（表９）。

[10] 大規模発電ＣＨＰは「centralised ＣＨＰ」、小規模発電ＣＨＰは「decentralised ＣＨＰ」、ＤＨ

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

公営・準公営の大規模発電ＣＨＰ、小規模発電ＣＨＰ、ＤＨ（地域暖房）は、地方自治体や協同組合が所有し、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に購入）。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。また、ほとんどのプラントは熱電併給となっているものの、地方に分散しているプラントの中には、単なる熱生産プラントもある（およそ３分の１）。ＤＨ（地域暖房）の３分の１、地方分散の小規模発電ＣＨＰの７分の１は、燃料として麦藁や木材チップ、木質ペレット等を使用しているが、残りの大多数は天然ガスを使用している。

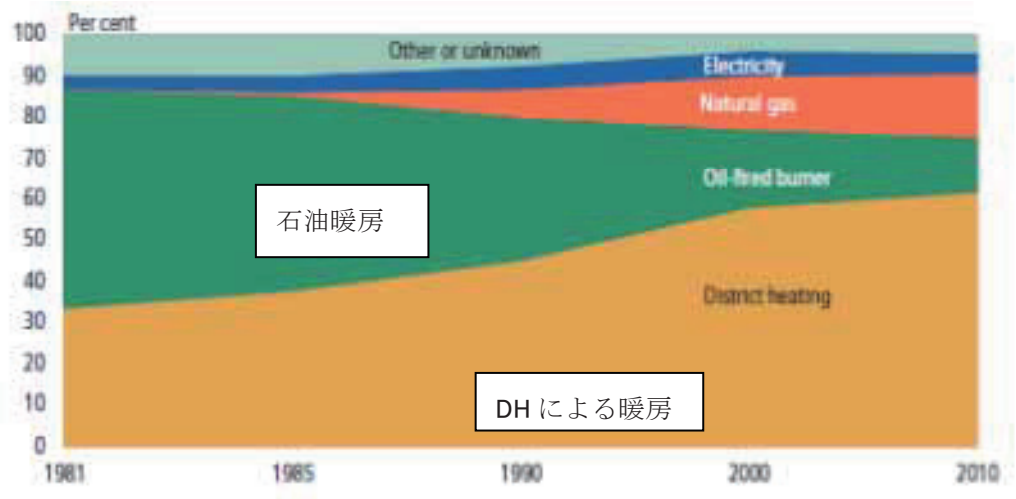
表−９　デンマーク国内のＣＨＰ設置状況

（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

（出所）Danish Energy Regulatory Authority, "Large and small scale district heating plants"2010

図 10　暖房タイプ別の住居割合（%）



（注）下層から、地域暖房（ＤＨ）・石油ストーブ・天然ガス暖房・電気暖房・その他
（出所）'Construction and housing', Statistics Denmark "Statistical Yearbook 2011"

（地域暖房）は「decentralised ＤＨ」と呼ばれており、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）は公営であり、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と私営のものがある。Danish Energy Regulatory Authority, "Large and small scale district heating plants"

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

「図 10」は暖房の熱供給源別の住居の割合を示したものであるが、暖房として地域熱供給（ＤＨ）を受ける住居の割合は、1981 年から 2010 年の間に 34%から 62%に増加している。その一方で、石油暖房は 53%から 14%に減少しており、1980 年代はじめに導入された天然ガスによる暖房は約 15 パーセントの住居で使用されている[11]。地域暖房はそれだけ身近なものとなり、１家族用の戸建住宅の 43%、複数家族用の集合住宅の 88%で使用されるまでになっており、これは地域暖房（ＤＨ）への政策誘導が進められたためである。

（４）大規模発電ＣＨＰの燃料

デンマークの基幹発電である大規模発電ＣＨＰ(または中央熱電併給施設 Central power stations)で使用される燃料は、石炭が 76.0%を占めており、そのほか、天然ガスが 13.4%、石油が 4.3%であり、燃料の大部分が化石燃料である（2008 年）（表 10、図 11）。

このうち原油（石油）と天然ガスは北海領海で生産されたものであり自給しているが、石炭は輸入に依存している。石炭の主要輸入先は、ロシア、コロンビア、南アフリカ、ポーランド、アメリカ、ノルウェーなどであり、分散輸入による安定確保が図られている（表 11、図 12-1、12-2）。

デンマークでＣＨＰやＤＨの利用に重点が置かれるようになったのは、これらの熱電併給システム、熱供給システムの利用技術が発達したためエネルギーの高効率利用が可能となり、また多様な燃料（化石燃料、廃棄物、バイオマス）の使用を可能とする柔軟性のあるシステム化が実現したためである。これによって、旧来のＣＨＰプラントをバイオマス併用方式に転換し、しかも優れた断熱技術と低温運転により熱損失の削減に成功した[12]。

表-10　各種発電所の定格容量と発電実績（2008～09年）

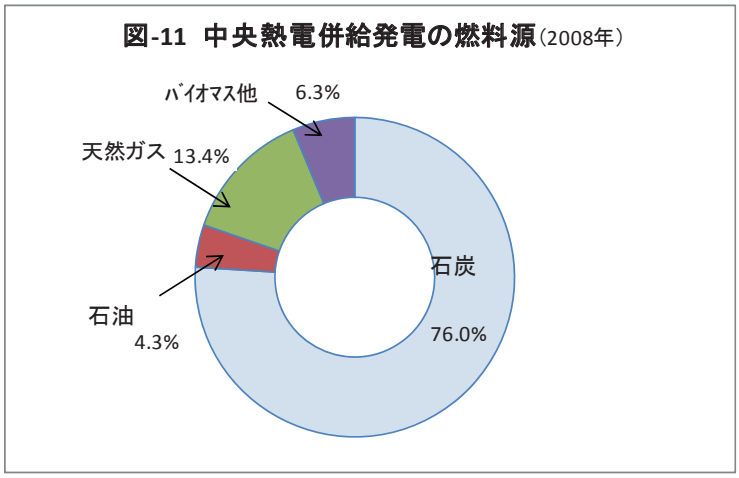
	Capacity		Production			
	2008	2009	2008		2009	
		(MW)	(GWh)	(%)	(GWh)	(%)
中央熱電併給発電	7,217	6,419	**20,549**	59.2	20,963	60.8
小規模熱電併給発電	1,829	1,897	4,943	14.2	4,616	13.4
風力発電	3,166	3,482	6,928	19.9	6,721	19.5
水力発電	9	9	26	0.1	19	0.1
施設付属発電	587	587	2,291	6.6	2,133	6.2
合計	12,808	12,394	34,737	100.0	34,452	100.0

出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

[11] ’Construction and housing’, Statistics Denmark "Statistical Yearbook 2011"

[12] 和田武「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、1997 年

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

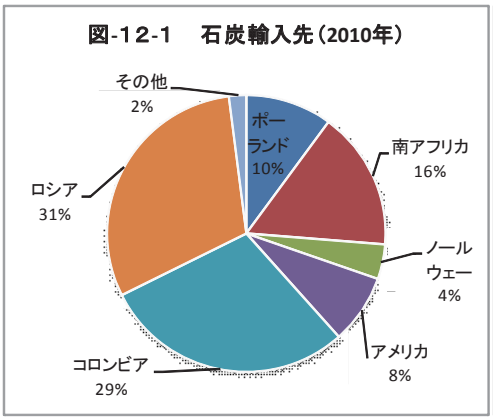


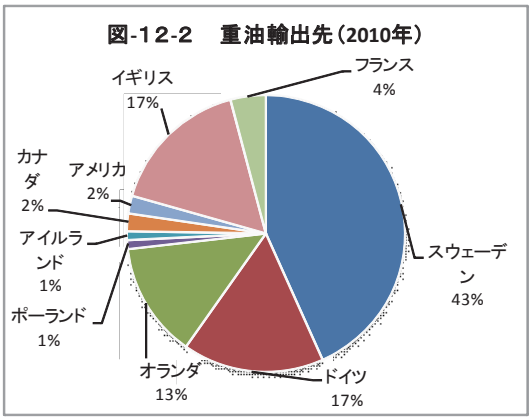
出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

表-11 デンマークのエネルギー製品輸出入 (2010年)

		輸入	輸出
原油	[1000 Tonnes]	2,712	**7,702**
石油製品	[1000 Tonnes]	6,626	5,292
天然ガス	[Million Nm3]	144	3,350
石炭	[1000 Tonnes]	**4,570**	71
電力	[GWh]	10,599	11,734

(資料)Danish Energy Agency, "Energy in Denmark 2010"
注:Crude Oil＝原油、Oil Products＝石油製品、Natural Gas＝天然ガス、Electricity＝電力





(資料)Danish Energy Agency, "Energy in Denmark 2010"

6．風力発電

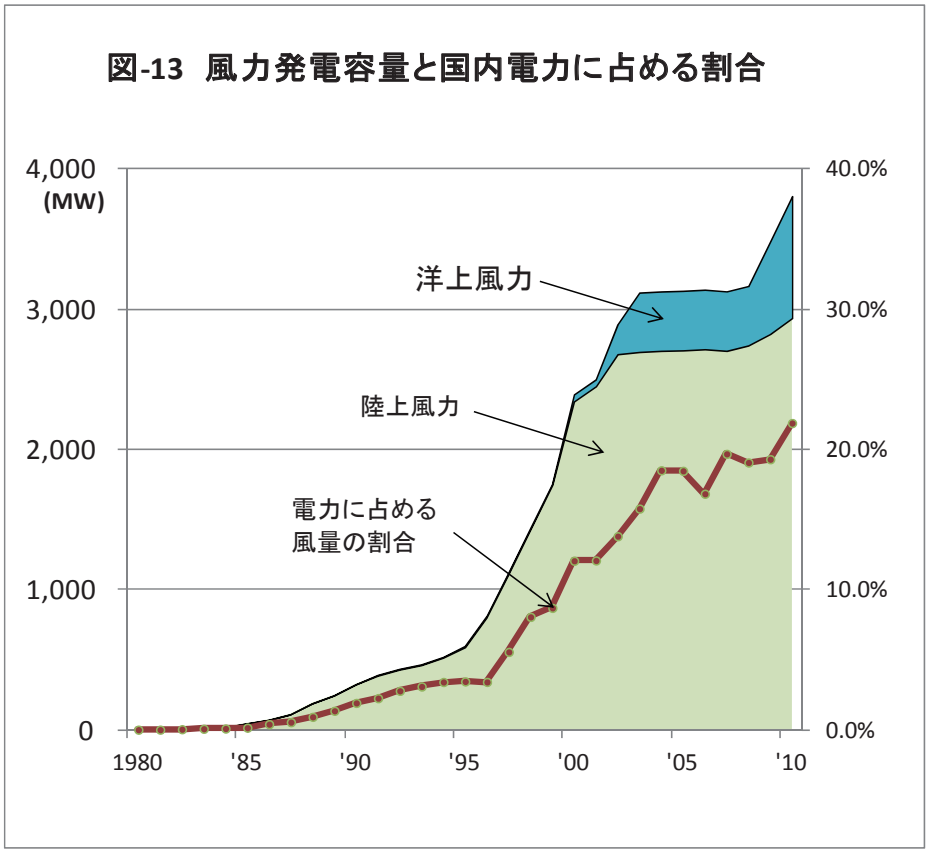
デンマークでは、80 年代後半より風力発電が普及しはじめ、90 年代以降急拡大した。2010 年において、デンマークには風力発電機が全部で 5,036 基設置されており、風力発電が電力供給に占める割合は、1995 年以降急速に上昇し、2010 年には 21.9%を占めるまでになっている（図 13）。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

風力発電機のうち、陸上発電機が 4,632 基（92.0%）、洋上発電機が 404 基（8.0%）であるが、発電容量（全体で 3,802MW）では、陸上が 2,934MW（77.2%）、洋上が 868MW（22.8%）である。設置数では陸上のほうが圧倒的に多く、洋上は 8.0%を占めるに過ぎないが、発電容量では洋上が風力発電全体の 22.8%を占めている。

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」[13]の大きさによって規定されるが、表 12 は出力別に風力発電の設置状況を整理したものである。デンマークの風力発電機は、1990 年代後半から発電容量が増加し、最近 10 年間は容量の増大傾向が続いている[14]。図 14 は風力発電機のサイズ別の発電容量の推移をみたものであるが、この 20 年間で「2000ｋW以上」の割合が大きくなっていることがわかる。

図-13 風力発電容量と国内電力に占める割合



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

[13] 製造者が定められた条件で連続して発揮しうる機器の使用限度（最大能力）を出力で表示したもの（筆者の専門辞典等からの要約）。

[14] 出所：Danish Energy Agency, “Energy Statistics 2010”

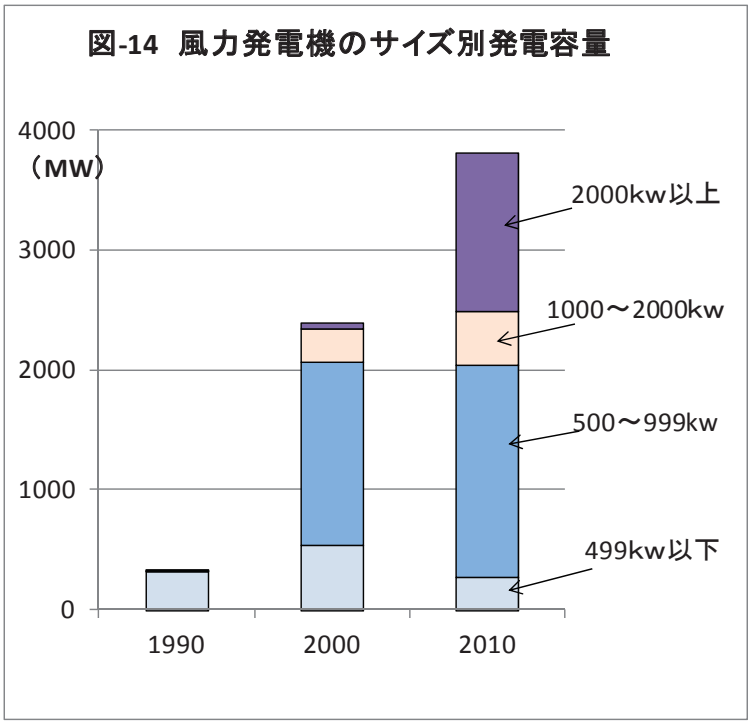
農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

表-12　サイズ別の風力発電機の数と発電容量

（単位：基、MW、%）

	1980	1990	2000			2009			2010						
	陸上発電機	陸上発電機	陸上発電機	洋上発電機	合計	陸上発電機	洋上発電機	合計	陸上発電機		洋上発電機		合計		
風力発電機の数（基、%）	68	2,663	6,215	41	**6,256**	4,799	314	**5,113**	4,632	100.0	404	100.0	**5,036**	100.0	1基当たり平均容量（kW）
			99.3	0.7	100.0	93.9	6.1	100.0	92.0		8.0		100.0		
499 kW以下	68	2,653	3,672	11	**3,683**	1,716	11	**1,727**	1,496	32.3	11	2.7	**1,507**	29.9	
500 ～ 999 kW		8	2,284	10	**2,294**	2,586	10	**2,596**	2,585	55.8	10	2.5	**2,595**	51.5	
1000 ～ 1999 kW		2	251		**251**	366		**366**	366	7.9		0.0	**366**	7.3	
2000 kW以上			8	20	**28**	131	293	**424**	185	4.0	383	94.8	**568**	11.3	
風力発電機の発電容量（MW、%）	3	326	2,340	50	**2,390**	2,821	661	**3,482**	2,934	100.0	868	100.0	**3,802**	100.0	755
			97.9	2.1	100.0	81.0	19.0	100.0	77.2		22.8		100.0		
499 kW以下	3	317	533	5	**537**	310	5	**315**	268	9.1	5	0.6	**273**	7.2	181
500 ～ 999 kW		6	1,513	5	**1,518**	1,758	5	**1,763**	1,758	59.9	5	0.6	**1,763**	46.4	679
1000 ～ 1999 kW		3	279	0	**279**	451	0	**451**	451	15.4	0	0.0	**451**	11.9	1,231
2000 kW以上			16	40	**56**	303	651	**954**	458	15.6	858	98.9	**1,315**	34.6	2,316

出典：'Energy Statistics 2010' Danish Energy Agency



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

発電機のサイズを陸上と洋上に分けてみると、陸上では「500～999ｋＷ」が設置数、容量とも６割強と最も多いのに対し、洋上では「2000ｋＷ以上」の発電機が９割以上を占めている。

風力発電機の所有者は、陸上設置がほとんどであった 1990～2000 年代では、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、地方公共団体が多くを占めていた。これは、陸上風力発電機の場合、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ためである。しかし、洋上風力の場合は、その規制範囲を超えたり、また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となっている[15]。例えば、洋上風力発電の代表的機種である「Middelgrunden Wind Farm（40MW）」は、発電機本体だけで約 26 億円（１EUR＝100 円換算）、建設までに要する様々な経費を総合すると、１機で約 45 億円を要する。

現在でも、風力発電の主力は地上風力であることに変わりはないが、2000 年前後を境に、地上風力の発電容量の伸びは頭打ちとなり、それ以降の風力発電の容量の伸長の主役は洋上風力が担っている。現時点の洋上風力発電の建設計画を考慮すれば、今後もこの傾向が続くと考えられる。

７．デンマークのエネルギー政策の変遷

以上、デンマークにおけるエネルギーの生産と消費、エネルギー資源別の動向を概観したが、次に、幾度かにわたって大きく変化してきたデンマークのエネルギー政策の変遷を整理しておきたい。

（１）化石燃料からの転換

1973 年にイスラエルとアラブ諸国と間で勃発した第四次中東戦争によって原油生産量が大きく削減され、1973 - 74 年に第一次オイルショック（石油危機）が起きたが、この石油危機は、それまでエネルギーの多くを石油・石炭等の輸入化石燃料に依存していたデンマークにとっても、エネルギー政策の大転機となった。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 ケ所に原子力発電所を建設する計画を発表した[16]。

---

[15] 2011 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。

[16] ヨアン・ノルゴー、ベンテ・クリステンセン『エネルギーと私たちの社会』新評論、2002.4、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月現在）」ｐ.42 によると、「1973 年」に「1 基の建設計画を発表」と書かれている。どちらが正確か判断を留保する。また、建設箇所数については、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/

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

さらに、1978 年秋からのイラン革命に伴い、イランの石油輸出が全面禁止となったことから、原油価格が急騰して第二次オイルショックを迎えたが、この 1972～79 年間の２度にわたるオイルショックを経て、デンマークではエネルギーの確保が中心的政策課題となった。そして、1976 年に「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。

また、1970 年代初期、ほとんどの国民は個別の灯油暖房に依存していたが、政府は天然ガスと地域熱暖房を奨励し、1979 年には「熱供給法」が施行されて地域暖房の使用が義務づけられた。その熱供給システムに要する巨額投資の多くは、政府と地方自治体の財政支出によるものであった。さらに、1981 年には「エネルギー81」が発表され、国内の発電所の多くで燃料を石油から石炭へと転換し、さらに小規模な発電施設や地域暖房システムにおいて熱電併給が可能なＣＨＰプラントへの改造が奨励された。

なお、前述したように、1981 年からの北海油田の掘削によってエネルギー供給源が確保され、現在では、デンマークにおける石油とガスの生産量は国内需要量を超えるまでになっている[17]。

（２）原発オプションの放棄

1970 年代に政府が打ち出した原子力発電計画に対し、デンマークでは国民的な反対運動が起こり、国内を二分する議論が巻き起こった。当時、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＝Organisaion for Oplysning om Atomkraft）」であり、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、1985 年に議会は「原発オプションの放棄」を正式に決定することとなった。この決定を後押ししたのが、当時原子力発電所を建設しようとする根拠となった 1975 年の電力会社による電力需要予測の大幅な誤算であり、現実の電力需要は予測値の３分の１に過ぎなかったことが指摘されている。なお、ＯＯＡは 2000 年５月に役割を終え解散している[18]。

原発オプションの廃棄以前に、デンマークには原子力発電の実験施設があることはあった。それは、「20 世紀の中ごろには、原子力は好意的に受け止められていて・・・原子力への第一歩をリスゥに原子炉が建設された 1958 年に踏み出しました」との記述に加え、「1957～2001 年：Risoe National Lab. に於いて原子力実験施設が運転」されていたという記述に基づく[19]。

なお、コペンハーゲン市の対岸約 20 ㎞に、隣国スウェーデンのバルセベック原子力発電

---

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述がある。いずれも発表時期と個所数が異なる。本報告では前掲書（2002 年）に基く。

17 JETRO ユーロトレンド「世界市場で注目される風力発電産業（デンマーク）」2003.9、p.75、p. 186～187

18 ヨアン・ノルゴー、ベンテ・クリステンセン『エネルギーと私たちの社会』新評論、2002.4、p.196～197

19 「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」「2011.04 デンマークニュース」Denmark Family House、2011 年４月（http://www.dfhg.org/what/denmarknews201104.html）、高井久光「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」2012 年、参照。

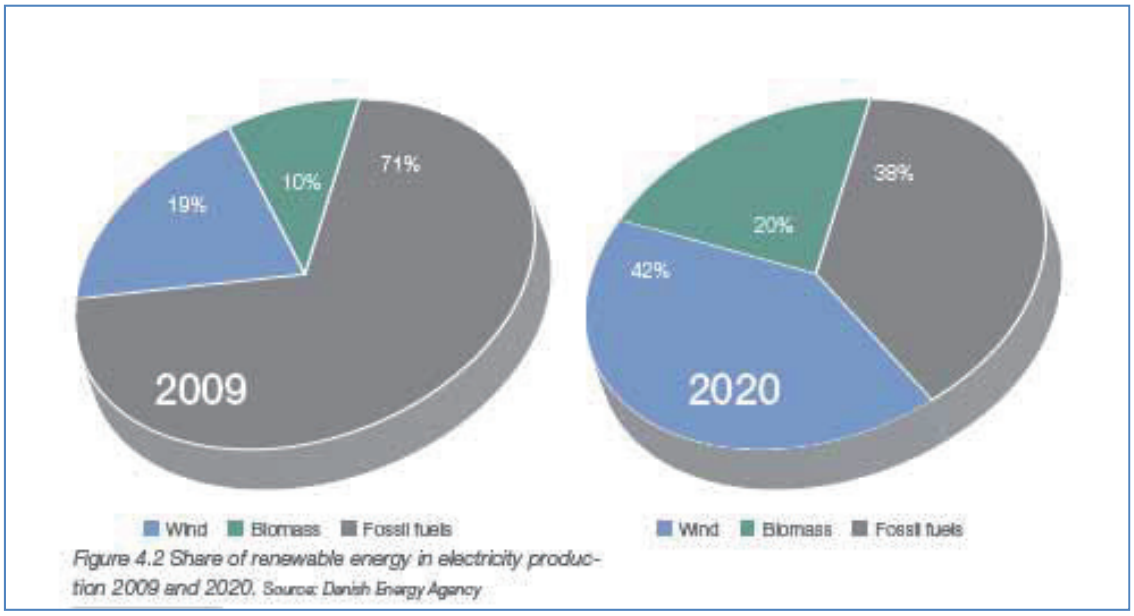
農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

所（２機）が設置されていたが、デンマークの反対運動によって、スウェーデン政府は 1999 年に同発電所１号機を閉鎖（２号機は 2003 年まで閉鎖を延期）した[20]。

（３）再生可能エネルギーへの政策転換

デンマーク政府は、1990 年に持続可能な社会構築を目指した「エネルギー2000」を発表し、そのなかで「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」（1988 年基準）を目標として掲げ、さらに「2005 年までに風力発電 1500MWの達成」、「バイオマスの推進（電気事業用で 140 万トンの使用義務）」、「二酸化炭素税の導入（1992 年）」などの政策を打ち出した。

図 15　デンマーク政府が打ち出した 2020 年のエネルギー目標



（出典）"Energy Strategy 2050", The Danish government, February 2011

続いて、1996 年に発表された「Energy 21」で、政府は「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」、「2030 年までにＣO2 排出量を 1990 年比で 50%以下に削減」することを政策目標とする計画を打ち出した。また、この時期に、政府は一般家庭用と業務用の省電力を目的とした「省電力トラスト」を設定した。デンマークでは、一般家庭用と業務用の２つで国内電力消費の約半分を占めているが、このトラストに基づき販売電力に１kWh あたり 0.006ＤＫＫ（電気料金の 0.4%）を課税し、これを財源をもとに電気暖房から適切なエネルギー源への転換に補助金を付けるようにした。

[20] 福島県「第 17 回エネルギー政策検討会・会議資料４」2002 年６月 11 日、ｐ.28、ｐ.38。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

ところが、2001 年 11 月の総選挙で政権が交代した結果、エネルギー庁は環境省から切り離され産業省下の組織となるなど、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[21]。

その後、2011 年 9 月に実施された総選挙において、10 年にわたり政権を担当してきた自由党・保守党による右派連立政権が敗北し、社会民主党を中心とする左派が勝利を収め、トーニング=シュミット社会民主党党首を首班（デンマーク初、女性首相）とする中道左派三党（社会民主党・急進自由党・社会主義人民党）連立内閣が発足した[22]。これにより、停滞気味の政策が大きく転換する可能性が出てきた。

（４）エネルギー戦略 2050

停滞期から 10 年を経た前政権時代の 2011 年２月に、デンマーク政府は「エネルギー戦略 2050」（"Energy Strategy 2050"）を発表し、2020 年を一つの目標とした新たな方向性を提起した[23]。それによると、輸送部門を除いて、向う 10 年の間に化石燃料使用の著しい削減とエネルギー効率の大幅な改善を行うとともに、バイオマス、バイオガスおよびバイオ燃料の使用と風力発電を増やし、再生可能エネルギーを大幅に拡張するというものである。そこで政府が示した具体的数値は、図 15 のように 2020 年までにエネルギー部門の化石燃料使用を 2009 年比で 33%削減させ、電力消費の再生可能エネルギーのシェアを、2009 年の 29%から 2020 年に 60%以上とし、そのうち風力発電を 2009 年の 19%から 2020 年には 40%以上にするというものであった。

「エネルギー戦略 2050」は、デンマークが目指すべき方向として、2050 年までに石炭、石油、天然ガス等の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。結果的に 2011 年秋には政権が交代することになったが、「エネルギー戦略 2050」は受け継がれ、政権交代直後の 2011 年 11 月に、「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」が策定された。

戦略の第１段階は、エネルギー効率と再生可能エネルギーについて既存の政策を強化・拡大することによって化石燃料依存を大幅に削減し、第２段階は、交通部門を環境に配慮したものに転換し、長期的にエネルギーを確保するというものである。そして、デンマークのエネルギーの長期目標として、2050 年までに完全に化石燃料から脱却し、温室効果ガスを飛躍的に削減することを目指す、としている。

具体的には、次のような目標が示された。

◇　2009 年を基準に化石燃料の産業利用を 2020 年までに２割削減する。

---

[21] ヨアン・ノルゴー、ベンテ・クリステンセン『エネルギーと私たちの社会』新評論、2002.4、p.191-2。福島県「第 17 回エネルギー政策検討会・会議資料４」2002 年６月 11 日、 p.28～36。

[22] 「各国地域情勢・デンマーク」外務省・ＨＰ

[23] "Energy Strategy 2050", The Danish government, February 2011

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

◇　2020 年までに風力発電だけで全電力消費量の 40%以上（2011 年現在、20%強）をカバーし、再生可能エネルギーで全電力消費量の 60%以上を賄う。

◇　2020 年までに石油燃料によるボイラーの数を半減（2010 年比）し、2030 年までに廃止する。

◇　2020 年までに火力発電所の石炭燃料を 65%（2011 年比）まで削減し、2030 年までに使用を中止する。

◇　2010～20 年の間に化石燃料による電気と暖房の供給を 50%まで削減し、2035 年までに、電気と暖房の供給を再生可能エネルギー100%で賄う。同時に、エネルギー効率を高める努力を強化することで、2020 年までに 2006 年比で総エネルギー消費量を４%減らす。

◇　2010～20 年の間に化石燃料の全消費量を 26%まで削減し、2050 年には全エネルギー（電気､暖房､農商工産業､交通･輸送）を再生可能エネルギー100%で供給する[24]。

「エネルギー戦略 2050」と「Our Future Energy」では、化石燃料からの転換を図るための要点が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）への転換を図ることにより最大の効果を期待するということである。もう１つは、効率的なエネルギーシステムを構築し、エネルギー消費の総量を抑制するということである[25]。

このように、デンマークにおいて化石燃料からの転換で大きな役割を担ってきたのがＣＨＰと風力発電であり､この二つが今日のデンマークのエネルギー政策の柱となっている。

８．ＥＵのエネルギー政策とデンマーク

これまでみてきたように、デンマークは、この間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。そこで、以下では、ＥＵのエネルギー政策の変遷を概観しておくことにする。

（1）ＥＵとデンマークの関係

デンマークは 1973 年に他の北欧諸国に先駆けて欧州共同体(ＥＣ)の加盟国となったが、

[24] The Danish Government, "Energy Strategy 2050", February 2011." The Danish Government, Our Future Energy", November 2011.

[25] 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）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

ＥＣが欧州連合（ＥＵ）となって以降、デンマークの国民の多数が欧州統合の進展への対応に慎重な姿勢を示すようになり、デンマークは、1992年６月に実施されたマーストリヒト条約批准を国民投票で否決した。しかし、デンマーク政府はＥＵ加盟国との間で同国に関する特別措置の交渉を行い、1992年12月にエジンバラ合意（共通通貨、防衛協力、司法・内務協力、ＥＵ市民権の４分野で留保）を取り付け、これを受け1993年５月に実施された再国民投票で同条約の批准が承認された。ただし、共通通貨ユーロへの参加については2000年９月に実施した国民投票で否決している[26]。

（２）デンマークのエネルギー政策を後押しするＥＵ指令[27]

ＥＵ域内は、イギリス等の島国を除くと地理的に国境を接する国が太宗を占める。ＥＵ指令は、域内の統一的エネルギー市場の構築が、効率性の向上、安定供給、持続可能性、地球温暖化対策に資する、という考えのもとで、基本的に自由化の実現を目指している。そこには、ＥＵ加盟国には、電力やガス等のエネルギー資源を互いに融通する潜在的需要が存在する、という考え方が垣間見られる。これに合わせ、ＥＵ委員会は「ＥＵ energy goals」や「Meeting our “20-20-20 by 2020” goals」を発表しており、その中で2020年までに加盟各国がＣＯ2排出量を20％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、という目標を掲げている[28]。

また、ＥＵは、1996年以降、「電力市場の自由化」に関して段階的に次の３つの指令を発出している[29]。

◇　1996年・ＥＵ「第一次電力指令」①
◇　2003年・ＥＵ「第二次電力指令」②(更なる自由化のため指令①を改正)
◇　2009年・ＥＵ「第三次電力指令」③(自由化の仕上げに向け、指令②を改正)

「1996年ＥＵ電力指令①（DIRECTIVE 1996/92/EC）」の主な内容は、2003年までに加盟国は発電部門を自由化（許可制又は入札制を導入）し、かつ段階的に小売市場を32％まで自由化するというものである。そして、第三者に対し非差別的に送配電系統の利用機会を

---

26 「各国地域情勢・デンマーク」外務省・ＨＰ

27 ＥＵ法において、「指令」は各加盟国がそれぞれ国内法を制定して実施しなければならないもので、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ものであるとされる。植月献二「ＥＵにおけるエネルギーの市場自由化と安定供給―事業者分離をめぐって―」『外国の立法』国立国会図書館、2011年12月

28 ″ＥＵ energy goals″,″ Meeting our “20-20-20 by 2020” goals″, Background Information for the European Council, 4 February 2011

29 ①Directive 1996/92/EC of the European Parliament and of the Council of 19 December 1996 concerning common rules for the internal market in electricity.
②Directive 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.
③Directive 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

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

付与するとしている。その結果、発電・送電・配電が垂直統合された電力会社から、運営面で独立した送電系統運用者を設置（機能分離）することと、電力会社に発電・送電・配電別の会計分離を義務付け、内部補助の防止を課した。

次に、「2003年ＥＵ電力指令②（DIRECTIVE 2003/54/EC）」では、加盟国は送電系統運用者を法的に別会社化し、分離することが課された（資本関係の残存は許容）。この指令に基づき、2007年７月までに小売市場の全面自由化を完了することが明記された。さらに2007年７月までに、送配電業者（送電系統運用者ＴＳＯ：Transmission System Operatorと配電系統運用者ＤＳＯ：Distribution System Operator）に対し、発電事業者や小売事業者と別法人化する「法的アンバンドリング（分離）」を実施することが求められた。ただし、所有権まで分離する完全な別法人化は求められていないため、親子会社や兄弟会社の関係の維持は認められた。また、送配電事業者の送電線や配電線を引き続き所有することも認められた[30]。

「2009年ＥＵ電力指令③（DIRECTIVE 2009/72/EC）」では、送電網にかかるアンバンドリングが提起された。具体的には、発電、送電、配電および販売の各事業の所有権を2012年３月までに完全分離させること。ただし、2009年９月時点で送電系統が垂直統合型事業者に属している場合は、これを適用しないことができ、その場合、独立系統運用者または独立送電運用者のいずれかを選択する。そして、エネルギー規制機関は、電気事業者に対し社会的弱者の顧客を保護する手段をとらせ、また電力源の種別割合情報を提供させ、二酸化炭素排出や放射性廃棄物等の環境影響情報を公表させなければならない、とした[31]。

このように、三次におよぶ段階的指令では、1996年指令に基づいて送電部門の機能分離と会計分離が義務付けられ、2003年改正指令に基づいて送電部門の法的分離と機能分離が義務付けられた。さらに、2009年電力指令で電力供給市場への消費者の積極的参加を支援するためスマート・メーターを普及させ、2020 年までに加盟国内の 80%以上の世帯にスマート・メーターを装備するとされた。そして、加盟国がこの指令を国内法に適合させる期限を2011年３月３日とした。

（３）ＥＵエネルギー政策の先駆者イギリス

ところで、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[32]。1989 年の電力法改正によって抜本的な電力制度改

---

30 後藤美香・丸山真弘「欧州における電力自由化動向―制度改革の現状と英国ＢＥＴＴＡ―」『電力中央研究所報告』2008年４月

31 植月献二「ＥＵにおけるエネルギーの市場自由化と安定供給―事業者分離をめぐって―」『外国の立法』国立国会図書館、2011年12月

32 イギリスでの電力改革については以下の資料がある。
丸山真弘「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』2008年。山口聡「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、2007年９月。奈良長寿・森平祐次郎「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、2005年７月。杉平二郎「英

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

革がはじまり、1990 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。小売市場についても、12 の国有配電局が民営化され、独占的な電力供給事業に新規参入が認められるようになり、その結果、1999 年までに需要家が供給事業者を選択できるようになった。当初、発電会社は発電電力の全量を電力プールと呼ばれる卸電力市場で売却し、小売事業者は電力プールからの電力調達が義務付けられた（強制プール制）。しかし、一部の発電事業者が市場支配力を行使できるなど制度的な欠陥が存在していたため、2001 年に強制プール制が廃止され、相対取引を主体とした新しい電力取引制度が導入された。そして、2005 年に、発電設備の効率的利用を促し、英国全域での料金引き下げを図るため、供給余力のあるスコットランド市場と需給が逼迫するイングランド・ウェールズ市場が統合された。

その後、イギリスにおける発送電分離がＥＵ全体に波及していった。2003 年に発出されたＥＵの第二次電力自由化指令によって、2007 年７月からイタリア、ギリシャ、フランス、ルクセンブルグなど 12 カ国と北アイルランドにおいて電力の小売自由化が実施され、その時点で既にオーストリア、ドイツ等では全面自由化が実施されていたため、全ＥＵ加盟国が完全自由化に移行することとなった。

（４）送電部門のアンバンドリング

指令に基づいてＥＵ加盟国は送電部門のアンバンドリング（分離）の実施義務を負っているが、送電部門のアンバドリングは、①会計分離、②機能分離、③法的分離、④分離または所有分離、の４つに類型化される。

その内容を簡単に解説すると、次の通りである[33]。

① 会計分離　垂直統合型の電気事業者の発電・送電・配電、その他事業（電気以外）の会計を分離し、部門毎の貸借対照表と損益計算書を作成すること

② 機能分離　送電部門が発電部門および配電部門から独立していない場合、系統運用者は送電以外の事業から少なくとも運営面において独立すること。

③ 法的分離　送電系統の運用と投資を行う主体が、発電その他部門から法的に独立した事業主体となること（資本関係が両者にあるのは許容される）。

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、2003 年春。木船久雄「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、2003 年 10 月。小林俊和『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、2008 年。南部鶴彦・西村陽『エネジー・エコノミックス』日本評論社、2002 年。

[33] アンバンドリングの各用語は、会計分離 Accounting unbundling、機能分離 Functional unbundling、法的分離 Legal unbundling、分離または所有分離 Divestiture or ownership separation があてられる。内容を含め詳細はつぎを参照のこと。経済産業省資源エネルギー庁電力･ガス事業部「海外における電気事業制度改革の現状」2007 年４月

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

④ 分離または所有分離　発電と送電を法的に区分された異なった経営または運用を行う事業者に分離すること。

ＥＵ加盟国内においては、発送電の分離について、所有権の分離までの分離を主張する国と、フランスやドイツのように所有権を残したままで実際の運用で独立させる国とで意見の対立があるが、分離するという点においては共通しており、違いはその手法や形態である[34]。

デンマークにおいても、欧州連合（ＥＵ）の指令に基づいて発電、送電、小売、の各部門においてアンバンドリングが実施され、1998 年から電力小売市場および最終需要者市場の段階的な自由化が進められ、2003 年から小売市場が全面自由化となった[35]。また、電力の卸売市場であり発電業者と仲介業者の取引市場である北欧諸国電力取引所（Nord Pool）を介して自由化が促進された。送電部門については、2005 年に、法的分離にとどまらず送電部門を国有化し所有権を分離している[36]。

このように、デンマークは、ＥＵ指令を根底に据えながら、規制を緩和する方向で自国のエネルギー政策を変更してきたことがわかる。

９．デンマークの電力取引と電気料金

最後に、デンマークの電力取引と電気料金について紹介する。

（１）発送電分離と送電会社（ＴＳＯ）の役割

電力システムでは系統運用が重要であり、発電設備と送電網、配電網、需要者を物理的に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全てを担当しているが、デンマークや他の北欧諸国では、この役割をＴＳＯ（Transmission System Operator：送電系統運用機関）が担っている[37]。このＴＳＯは、発電部門や小売部門から独立しており、送電網について中立的な立場を維持し、電力システム全体の安定的な運用が求められている。デンマークのＴＳＯすなわち送電会社は、「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となっており、政府の厳格な規制の下にあ

---

34 前掲注に同じ。

35 Energinet.dk ＨＰ

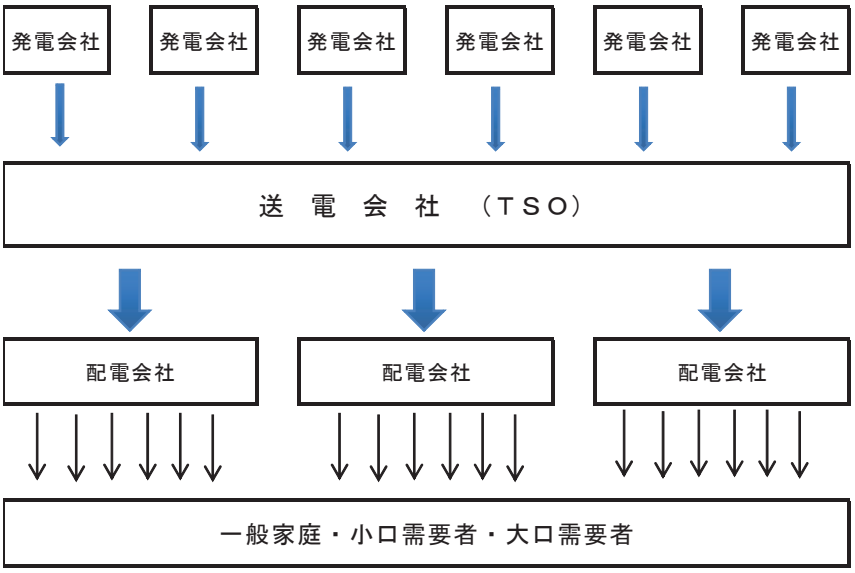
36 「ＥＵ25 か国とノルウェーの 26 か国の中で、送電部門に対する所有権のアンバンドリングを既に実施している国は 14 か国になる。ただし、その多くは国営事業者の形態で実施している。」後藤美香・丸山真弘「欧州の電力事業制度改革の動向と英国の電力市場および経営戦略」『電力中央研究所報告』2009 年５月

37 高橋洋『電力自由化』日本経済新聞出版社（2011）PP.99-100

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

り、送電会社として高圧送電網を独占的に所有している。そして、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われている。送電会社はＴＳＯとして需要を予測し、周波数の乱れや送電網の混雑状況を監視し、発電会社に適切に指示するなど、安定的な系統運用を行う義務がある。

図−１７　発送電分離の北欧における電力の物理的な流れ



（注）原典を参考に作成
（原典）高橋洋『電力自由化』日本経済新聞出版社（2011）PP. 94

（２）で説明するように、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ているが、ノルドプールは北欧４カ国のＴＳＯが共同で所有し、市場競争を促進する観点から需給に関する適切な情報の収集･提供と市場機能の監視を行っている。

（２）電力取引の仕組み

デンマークの電力取引は、他の北欧諸国と同様にノルドプール（Nord Pool）という市場を通して行われている（図 18）。

一般家庭や小口需要者などは、ノルドポールのスポット市場に参加することはほとんどなく、スポット市場の価格変動リスクを受けることはない。一般家庭は小売会社から電力を購入しており、小売会社が提示する料金メニューの中から電気を選択・利用する。その料金メニューは、固定価格もあればスポット市場に連動するものもある。ただし、一般家庭や小口需要者などの相対契約においても、ノルドプールで形成されるスポット価格が参照される場合が多く、それゆえにスポット価格は地域の指標価格としての役割を果たしている。

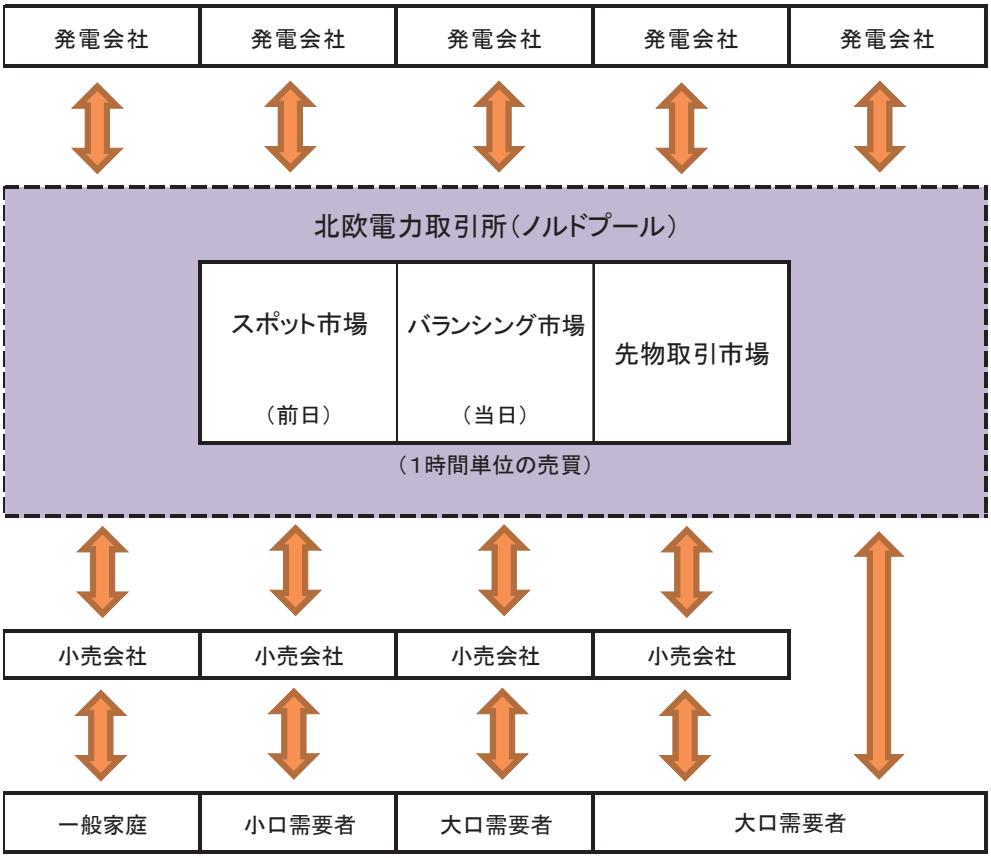
農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

そこで、電力取引の中心であるノルドプールについて簡単に見ておこう。

北欧で電力自由化が先行したのはノルウェーである[38]。ノルウェーでは、それまで垂直統合型の国営電力会社による地域独占で運営されてきたが、1991 年にエネルギー法が成立し、翌年に同国営電力会社が送電会社 Statnett と発電会社 Statkrft に分離された。さらに、1993 年に競争促進のため Statnett の子会社として Statnett Marked が設立され、複数の発電会社と小売会社、大口需要者の間で電力取引が開始された。

スウェーデンも、かつては垂直統合型の国営電力会社があったが、1992 年に発送電分離され、1996 年にノルウェーの取引市場に加わった。その結果、国境を越えた自由な取引市場が整備され、ノルドプールが設立された。その後、フィンランド（1998 年加入）とデンマーク（2000 年加入）がこれに参加し、2000 年に 4 カ国の市場が統合された。現在では、ドイツの一部地域も、このノルドプールでの取引に参加している。

図-18　北欧の電力取引市場の運用方式



（注）原典を参考に作成
（原典）高橋洋『電力自由化』日本経済新聞出版社（2011）PP. 94

38 高橋洋同上 PP. 92-97

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

＜ノルドプール概略＞[39]

・北欧電力市場（ノルドプール Nord Pool）：相対取引と市場取引
・1993 年からノルウェーで運用開始
・北欧４カ国国有送電会社が出資する株式会社
　国営会社ないしその子会社が最大株主で、その出資比率は下記の通り。
　　ノルウェー：Statnett SF（30%）
　　スウェーデン：Svenska Kraftnät（30%）
　　フィンランド：Fingrid Oyj（20%）
　　デンマーク：Energinet.dk（20%）
・会員企業：約 300 社
・取引参加者：発電事業者、電力小売事業者、大口需要者、マーケッター
・市場：「前日のスポット市場（Elspot）」
　　「当日のバランシング市場（Elbas）」
　　「先物取引市場」

ノルドプールでの電力取引は、前日の「スポット市場」と「先物取引市場」、さらに当日の「バランシング市場」で行われる。前日のスポット市場で取引が完了していても、当日になると需給に若干の過不足が生じることがままあり、その場合、「ＴＳＯが自ら管理するバランシング市場を通して、実需の直前に供給量を調整する[40]」のである。

スポット市場では、前日に翌日分の電力を取引する。電気を売りたい発電会社、電気を買いたい小売会社や大口需要者が市場に参加し、販売したい電力量と時間帯、購入したい電力量と時間帯の別に、それぞれ価格を提示し、そこでの需給バランスによって１時間単位の売買価格が成立する。これに対し、先物取引市場は何カ月後あるいは何年後の何日に特定量の電力を特定の価格で購入するという権利の売買が行われる。これによって、当事者は相対取引での長期契約を結ぶことができる。

主体となる前日市場の参加者は、発電事業者、系統運用機関（Transmission System Operator：TSO）、小売供給事業者、大口需要者、ブローカー等である。参加者は、相対契約や先渡契約において調達した電力と実際の需要量が異なると予想される場合、前日までに前日市場において過不足分を売買する。

「表 14」は、北欧４カ国およびドイツの一部地域との国際間の電力融通の実績である。この年はデンマークは輸出超過であったが、毎年そうであるとは限らない。貯水式の水力

[39] 野村宗訓・伊勢公人・河村幹夫・円城寺加奈子『欧州の電力取引と自由化』日本電気協会新聞（2003）PP.57-70
[40] 高橋洋『電力自由化』日本経済新聞出版社（2011）PP.100

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

発電が多いノルウェーやスウェーデンにあっては、冬季間の結氷による停電、風力の盛んなデンマークにあっては風の影響といった天候要因、あるいは時間帯別の電力消費のピークオーバーといった需給要因など、年間を通じて電力需給には様々な変動要因が存在する。ノルドプールのシステムは、これらの影響を避けるため、市場メカニズムを最大限に利用して柔軟に変更できるというメリットがある。

表-14　北欧4カ国および近隣諸国の電力輸出入（2008年）

（単位：GWh）

	デンマーク	フィンランド	ノルウェー	スウェーデン	その他諸国	輸入合計
デンマーク		-	427	1,841	9,145	11,413
フィンランド	-		59	4,204	10	4,273
ノルウェー	4,817	159		8,946	3,369	17,291
スウェーデン	6,684	3,891	2,426		4,611	17,612
その他諸国	1,365	13,133	503	663		15,664
輸出合計	12,866	17,183	3,415	15,654	17,135	66,253

（資料）Danish Energy Association, "Statistical Survey 2009"

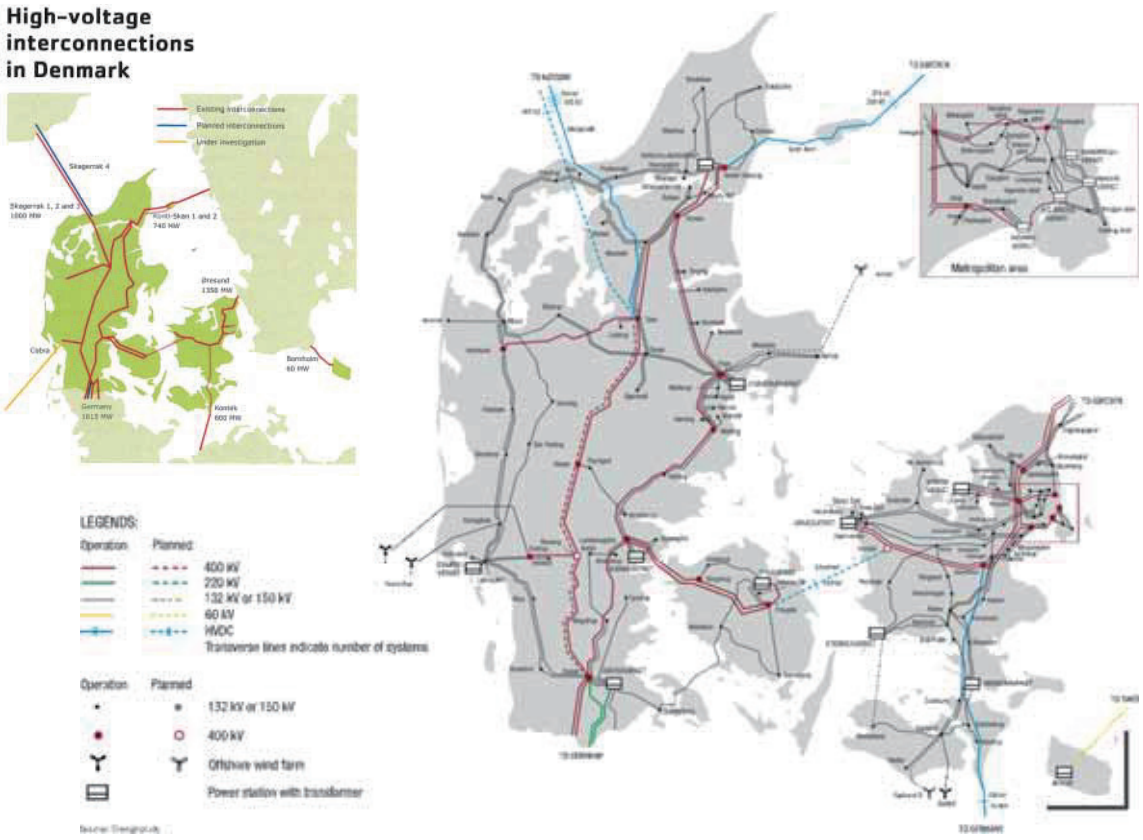
なお、電力取引所としては、この北欧諸国から構成されるノルドプール（Nord Pool）のほかに、イギリスのＵＫＰＸ、ドイツのＥＥＸ（European Energy Exchange）、フランスの Powernext、アメリカの PJM Interconnection が知られている。イギリス取引所ＵＫＰＸは、プールが当初「強制プール」であったものの、その後「任意プール」に変更され、現在では電力取引は任意プールが中心である[41]。

ノルドプールの電力取引の区分は、各国送電会社のエリアが基準になる。これらエリア内の混雑管理は送電会社に委ねられ、国際間の融通に高圧送電網が利用されている（図 19）。デンマークの高圧送電網は東デンマーク系統と西デンマーク系統の２系統から成る。東も西もノルウェー、スウェーデン、ドイツの一部地域と接続されており、これによって国際間の電力融通が可能となっている。

41 「海外における電気事業制度改革の現状」経産省資源エネルギー庁、2007 年 4 月

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

図-19　デンマークの高圧送電網



（資料）Danish Energy Association, "Statistical Survey 2009"

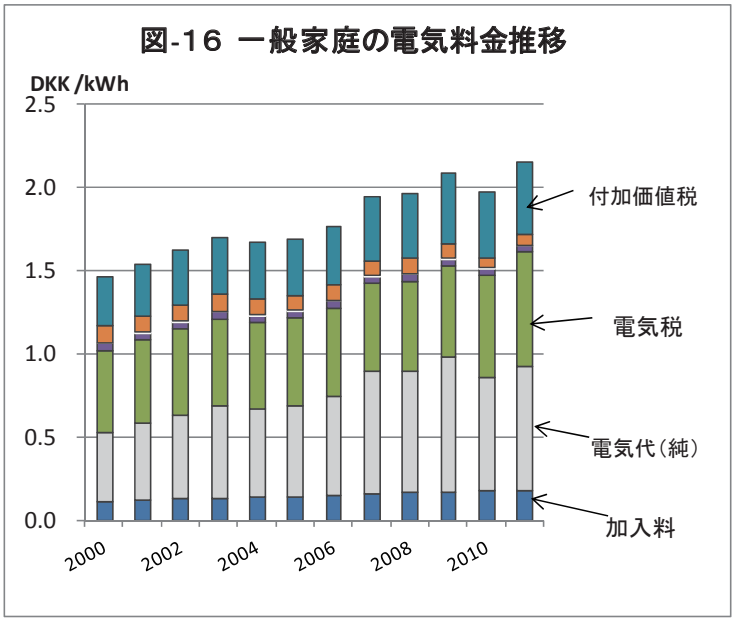
（３）電気料金の構成

デンマークの電気料金は、加入料、電気代（純）、電気税、付加価値税等から構成されている。具体的に 2011 年でみると、年間消費量 4,000ｋＷｈの平均的な家庭の電気料金は１ｋＷｈ当たり 2.15ＤＫＫであった。これは前年比で 8.9%高く、2001 年からすると 39.5%の値上がりである。2011 年の１ｋＷｈ当たり電気料金 2.15ＤＫＫ（ＰＳＯ〈Public service obligations〉および送電費を含む）の内訳は、電気代が 0.74ＤＫＫ、加入料が 0.18ＤＫＫ、税額が 1.22ＤＫＫである[42]。税額部分が大きく、実質的な電気料金は 0.74ＤＫＫ（10.36 円）/kWh にすぎない[43]。税額の合計は、2001 年の１ｋＷｈ当たり 0.96ＤＫＫであるが、2011 年では 1.22ＤＫＫ（27.0%増）になっている。

なお、現在、電気料金にかかる税は、電気税、配電税、節電貢献税、節電税（以前の CO2 税）と付加価値税からなっている（図 16、表 13）。

[42] Energy Statistics 2010
[43] １ＤＫＫ＝14 円の為替換算。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/



出典：‘Energy Statistics 2010’ Danish Energy Agency

表-13 デンマークの一般家庭の平均的電気料金 (2000-2011 (1st January))

[DKK 0.01 / kWh]

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	(割合)
加入料	11.63	12.50	12.95	13.78	14.21	14.57	15.34	16.62	17.04	17.57	18.12	18.43	8.6
電気代(純)	**41.84**	**45.77**	**50.21**	**55.68**	**52.75**	**54.29**	**59.67**	**72.88**	**73.05**	**80.65**	**67.86**	**74.39**	**34.6**
電気税	49.00	50.50	52.00	52.00	52.00	53.00	53.00	53.00	54.10	55.00	61.30	68.40	31.8
配電税	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	1.9
節電貢献税	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.3
節電税(前CO2税)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.00	9.00	9.00	8.80	8.90	6.20	6.30	2.9
付加価値税(VAT)	**29.27**	**30.84**	**32.44**	**34.01**	**33.39**	**33.87**	**35.40**	**39.03**	**39.40**	**41.93**	**39.51**	**43.03**	**20.0**
電気料金	146.33	154.21	162.20	170.06	166.95	169.33	177.01	195.13	196.99	208.65	197.59	215.15	100.0

出典：'Energy Statistics 2010' Danish Energy Agency

（注）DKK1＝15円、DKK 0.01＝0.15円とすると、2011年の電気料は32.27円 / kWh。

（4）卸売段階での電力料金と税金

電力の運用や卸売の段階で賦課される税額や料金は下記のようになっており[44]、一般家庭の電気料金とは異なっている。

送電会社（＝Energinet.dk）が徴収する電力税は、「電力使用税」と「発電税」に大別される。これらの税はEnerginet.dk規則Bに基づいて計算され、適用方法はデンマーク・エネルギー監督機関により承認されている。

1）電力使用税

電力使用税は、送電会社（＝Energinet.dk）とグリッド会社（配電会社）間の清算に適

[44] 以下、税額や料金は、Energinet.dk　ＨＰ「The wholesale market」に基づく。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

用され、「グリッド税」「システム税」「ＰＳＯ税」の３つに分かれる（いずれも使用従量課税）。

２）発電税

電力市場で取引する発電業者は、発電に対し賦課される「特別グリッド税」を支払う。ただし、送電会社が購入義務（ＦＩＴ：固定価格買取制度）のある風力発電と地域ＣＨＰ発電（５MW以下）は、この発電税が免除される。この税はＢＲＰ[45]（balance responsible parties：具体的には「東デンマーク電力システム」と「西デンマーク電力システム」）ごとに固定されている。

表-14　電力に関する税と税率

（øre/kWh）

グリッド税	4.2	電力使用税
システム税	3.4	
PSO税	16.0	
特別ｸﾞﾘｯﾄﾞ税	0.3	発電税

（資料）Energinet.dk、2012年

（注）１øre＝0.01ＤＫＫ

①　グリッド税

グリッド税は、デンマークの主要な配電（132～400kV）の運用・保守の費用に充当され、送電網（400/150/132kV）を保有するEnerginet.dkの費用を賄うとともに、国際間接続の運用・保守の費用に充当される。グリッド税の清算基準は、通常、使用従量である。

②　システム税

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、予備容量、システム運用、等に関わる費用を賄う。清算基準は、グリッド税と同様に使用従量である。

③　ＰＳＯ税（公共サービス税）

ＰＳＯ税（Public service obligations≒公共サービス税）は、「デンマーク電力供給法」に規定された公共サービス義務に携わるEnerginet.dkの費用を賄うものであり、法定価格でEnerginet.dkが購入する義務のある地域ＣＰＨ（５MW以下）や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助成と、地域ＣＨＰ施設や研究開発の資金調達・管理に対する補助金に充当される。この税は、供給地域内で消費された電気量に応じてグリッド会社から支払われる。

[45] ＢＲＰは、Energinet.dkにより承認され、電力バランスに責任を持つ事業体。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

④ 特別グリッド税

発電業者に課税される税であり、購入義務のある風力発電と地域ＣＨＰ（５MW以下）については免除され（＝ＦＩＴ）、その他の発電方式の事業者に課税される。清算基準は純発電量であり、税は適切な発電に対してバランシングの責任を持つ事業体に帰属する。

３）バランシング料金

不安定な電力を均質化するためバランスが図られているが、デンマーク・エネルギー監督機関に届け出られたバランシング料金は下表の通りである。

月額のバランシング料金は 2009 年の料金と比較して変わらないが、実消費に対する料金については 20%、実発電に対する料金については 10%、それぞれ値上げされている。

表-15　バランシング料金の種類(2010年)

Monthly fee	1,500 DKK/month
Balancing fee in respect of consumption and trade	1 DKK/MWh
Fee on actual consumption	0.72 DKK/MWh
Fee on actual generation	0.33 DKK/MWh

(資料)Energinet.dk

４）地域ＣＨＰ発電に対する時間帯別税額

この税金が対象としている地域ＣＨＰは、５MW以上（厳密には 5.001MW以上）のＣＨＰ発電事業者であり、税の支払先は Energinet.dk である（税額は 2004 年 12 月 15 日法令 1367-16 に基づき算出）。

表-16　時間帯別税率(2010年)

(øre/kWh)

	Low load	High load	Peak load	Average*
A1/A2-tarif (60/10 kV og 50/10 kV)	18.8	43.5	58.7	34.2
B1/B2-tarif (10/0.4 kV)	19.1	45.6	62.2	35.7
C-tarif (0.4 kV-net)	19.7	48.9	68.0	38.1

＊　平均税額は時間帯の配分割合「50/30/20」%を基準に算出。税額は「東デンマーク電力システム」と「西デンマーク電力システム」の両地域をカバーする。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

表-17　時間区分

Working days	Low load	High load	Peak load
Winter (October - March)	21.00-06.00	06.00-08.00 12.00-17.00 19.00-21.00	08.00-12.00 17.00-19.00
Summer (April - September)	21.00-06.00	06.00-08.00	08.00-12.00

＊　低負荷期（Low load）：全週末、１月１日、洗足木曜日、聖金曜日およびイースター月曜日、キリスト昇天祭日、聖霊降臨祭月曜日、銀行休業日、５月１日、６月５日、12 月 24 - 25 - 26 日、12 月 31 日。

以上がデンマークの発電関連の税額と料金である。これらには詳細な限定条件が付随するが、ここでは省略する。

（５）固定価格買取制度（ＦＩＴ）

最後に、デンマークの固定価格買取制度（ＦＩＴ）について簡単に触れておきたい。

デンマークでは、電力の自由化によって発電会社が送電網を平等に利用できる。政府は送電会社に対して、風力発電と５MW以下の小規模地域ＣＨＰ発電との優先接続、およびそれに必要な送電網の建設を義務付けている。風力発電や小規模ＣＨＰ発電は送電会社にとって不安定な電源であるが、その一方で、接続対価として適正な電気料金が安定的に回収できるというメリットがある。

その優遇されている風力発電と小規模ＣＨＰの推進の要となっているのが、固定価格買取制度（ＦＩＴ： Feed In Tariff）である。デンマークは、1979 年にＦＩＴを導入したが、これはヨーロッパの中でも早い導入であった。

デンマークのＦＩＴは、これまで３度の制度変更を行っている[46]。最近時の変更は、1999 年の「新電力供給法」の成立を受けて、固定価格買取制度を廃止するとともに、2003 年からＲＰＳ（Renewable Portfolio Standard 再生可能エネルギー割当基準〈グリーン証書制度〉）を段階的に導入するというものであった。ＲＰＳは、再生可能エネルギー事業者にグリーン証書を発行し、2003 年末までに全ての電力消費者に電力消費量の 20%を再生可能エネルギーから調達する義務を課すというものである。ＲＰＳを導入することになったのは、固定価格買取制度は、家庭部門に対する電力税を財源にして補助していたことが、家庭部門だけが負担する費用負担は不公平性であり、発電補助金の補助水準設定に関する透明性が欠如しているとの批判があったためである。また、公的負担が莫大になりつつあっ

[46] 朝野賢司「デンマークにおける持続可能なエネルギー政策―電力市場自由化と再生可能エネルギー普及政策比較を中心に―」『高木基金助成報告集』Vol.1（2004）PP.27-28

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

たことも、ＲＰＳ導入の理由であった[47]。しかし、デンマーク政府は1999年からの３年間をＲＰＳへの移行期としたが、開始予定の2003年以降もＲＰＳ導入を実施していない。その理由は、「政権の交代や風力発電機製造業協会等の反発により事実上凍結[48]」されたためであるとされている。

まとめ

本章では、デンマーク全体のエネルギー需給やエネルギーを生み出す資源別の需要と供給、さらに同国のエネルギー自給率を概観し、そのうえで電力に着目し、電力の需給、発電源、発電資源とそのなかの風力発電をはじめとする再生可能エネルギーの利用と拡大過程について具体的に整理してきた。さらに、これまでのデンマークのエネルギー政策の変遷とこれを後押しするように発出されたエネルギー政策にかかわるいくつかのＥＵ指令についても可能な限りフォローし、電力需要と電力取引における価格形成の場、電気料金についても触れた。これらをもとに、最後にデンマークのエネルギー政策の特徴を整理してまとめとしたい。

再生可能エネルギーへの積極的な取り組みにより日本でも注目されるデンマークであるが、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％であったが、2005年には14.7％になり、2010年には20.2％まで増大した。デンマーク政府は、2011年の「Our Future Energy」において、2030年までに石炭火力発電所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。

再生可能エネルギーに着目してデンマークのエネルギー政策の特徴をまとめると、デンマークは脱原子力から再生可能エネルギーを選択したということである。デンマークの取組みは再生可能エネルギーの地域自立型活用のモデルとなりうる要素を持つが、一方でデンマークも例外なく経済全般においてＥＵ内の競争や国際競争に晒されている現実を無視しえない。電力の輸出入ができるからこそ不安定な分散型電源からの供給を吸収し、再生可能エネルギーの導入が進んでいることは確かである。しかし、輸出入は単なる需給調整機能ではない。これまでみてきたように、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電力取引の自由な価格設定が行われ、その一方で需給調整機能とＦＩＴのような価格補助機能が同時に働いている。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く、ＥＵの一員としてのハーモナイゼーションの一環でもある。ＥＵの規制緩和政策には新自由主

[47] 朝野、同上
[48] 田頭直人「内外のＲＰＳ制度について」『電力経済研究』電力中央研究所（2004年）PP.90

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

義の影が色濃く反映していると考えられるが、デンマークにおいてもそれは例外でない。2000 年代に入って規制緩和策が漸進的に進展してきたと受けとめられている[49]。

しかし、そうしたＥＵの一員としての政策環境下で、デンマーク独自の歩みも垣間見られる。例えば、化石燃料のうち石炭は輸入依存度が高いが、ＣＯ２削減策と併せ、石炭の大規模発電所での使用を急速に低下させている。さらに、再生可能エネルギー資源の一部の木質を輸入してはいるものの、ほとんどの化石燃料は自国内で産出したものであり、それらをＣＨＰ等の熱電併給施設に投入することで輸入への依存を極力抑えている。熱電併給施設での再生可能エネルギー資源を利用し、中小都市や町村地域における小規模ＣＨＰ施設の拡大や風力発電の規模拡大によって、ＣＯ２の削減課題をクリアする取組みが着実に進められている。そこでは、熱電併給システムやその利用技術の向上がエネルギーの高効率利用を可能とし、多様な燃料（化石燃料、廃棄物、バイオマス）の使用を可能とする柔軟性のあるシステムが実現したことが貢献している。これにより、旧来のＣＨＰプラントをバイオマス併用方式へと転換し、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ている。また、国際間での電力取引では、小規模ＣＨＰや風力発電の不安定な電力を義務的に購入する際には、そのバランシングや需給調整が一つの課題となるが、そこではノルドプールといった北欧４カ国間の電力取引市場を活用することで対応している。

ただし、これまで辿ってきたデンマークの経験や政策変更を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であろう。なぜなら、冒頭で触れたように、デンマークは地理的にみると九州７県を合わせた国土面積の国であり、その電力需要は北海道電力の電力量にほぼ匹敵する程度である。このように、国土面積や電力需要を単純に比較してもデンマークと日本では大きな隔たりがある。そのほか、様々な側面で違いが多々あることは容易にわかる。ただ、こうした両国間の違いはあったとしても、国民の環境や国民経済に対する考え方、あるいは国内電力の電源の選択といった点で、日本がデンマークから学ぶべき点が多いのも確かである。

[49] 鈴木優美（2011）参照。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

［参考文献］

朝野賢司（2004）「デンマークにおける持続可能なエネルギー政策―電力市場自由化と再生可能エネルギー普及政策比較を中心に―」『高木基金助成報告集』

植田和弘、梶山恵司 編著（2011）『国民のためのエネルギー原論』日経新聞出版

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―事業者分離をめぐって―」『外国の立法』国立国会図書館

大島堅一（2011）『原発のコスト』岩波新書

岡田知弘（1993）「地域経済国際化の構図と位相」杉本昭七編『グローバル経済下の地域産業政策の基本方向』同文舘出版

岡田知弘（2000）「グローバル経済下の地域産業政策の基本方向 」『中小商工業研究』

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

後藤美香・丸山真弘（2008）「欧州における電力自由化動向―制度改革の現状と英国ＢＥＴＴＡ―」『電力中央研究所報告』

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

鈴木優美（2011）『デンマークの光と影』リベルタ出版

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

福島県（2002）「第 17 回エネルギー政策検討会・会議資料４」

松岡憲司（2004）『風力発電機とデンマーク・モデル』新評論

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』

宮台真司、飯田哲也（2011）『原発社会からの離脱』講談社現在新書

甕秀樹・宇津木聡史（2011）『スマート・グリッド産業のすべて』シーエムシー出版

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

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

球温暖化を防止するエネルギー戦略』実教出版
経産省資源エネルギー庁（2007）「海外における電気事業制度改革の現状」
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）」
Statistics Denmark ″Statistical Yearbook″
Danish Energy Agency, “Energy Statistics 2010”
The Danish government, ″Energy Strategy 2050″, February 2011
The Danish Government, ″Energy Strategy 2050″, February 2011.″ The Danish Government, Our Future Energy″, November 2011.
″ＥＵ energy goals″,″ Meeting our “20-20-20 by 2020” goals″, Background Information for the European Council, 4 February 2011
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.
Danish Energy Regulatory Authority, ″Large and small scale district heating plants″

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

第２章　デンマークにおける取組み事例

Ⅰ．ロラン島のコミュニティ・テスト・ファシリティ

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の被災地では、再生可能エネルギーシステム導入が盛んに議論されているが、地域住民からは「エネルギー問題よりも住居・生活の再建が先だ」という声も聞かれる。しかし、被災地の復興特需は土木工事等の終了により収束することが自明であり、中長期的な将来には、まさに「アリとキリギリス」の状況が出現すると思われる。いまエネルギー問題に「誰のために・どう取り組むか」を考えることは、こうした背景からも重要な意味を持つ。

デンマークは北欧の高福祉国家・環境先進国として知られており、再生可能エネルギーの利用状況や、制度・政策目標については、日本語で既に多くの既存文献がある。よって、

図１　ロラン島・フォルスタ島の位置　（出典・ﾚｵ･ｸﾘｽﾃﾝｾﾝ氏ﾌﾟﾚｾﾞﾝ資料）

本調査では、先の問題意識のもと、①デンマークにおける再生可能エネルギー産業と地域住民の関係、②大資本のみならず、地域の中小経済主体が利益享受する仕組み、③既存利権との利害調停・地域住民等との合意形成について、特に重点的に調査を実施した。以下、本稿では、造船不況から地場産業に壊滅的なダメージを負いながらも、環境・エネルギー

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

をキーワードに地域経済の振興に成功したデンマークの地方島嶼、ロラン島を事例にしつつ、デンマーク調査全般を通じて得られた諸点を報告する。

２．ロラン島のコミュニティ・テスト・ファシリティ（ＣＴＦ）

再生可能エネルギー先進国であるデンマークにおいて、ロランＣＴＦ（Community Test Facilities）とＢａｓｓ（Baltc sea solution）は先端的な取り組みを実施している。ロラン島は造船等の大規模工場を立地した地域であったが、1978 年ー86 年にかけて島内の60%の工場が閉鎖され、失業率は一時 40%を超えた。現在はＣＴＦにより、失業率は一桁台まで回復した。この経緯は、震災後の被災地復興や製造業等の海外進出が相次ぐ日本の将来像にも示唆を与えると考えられる。

1998

1999

図２　地場産業の変化　（BLF 提供資料）

以下は、ロランＣＴＦを展開するＢＬＦ（Business Lolland-Falster）のビジネス開発マネージャーであるレオ・クリステンセン氏からのヒアリング結果と、同氏のプレゼン資料ならびに関連資料をもとにしたものである。

ロラン島は、デンマーク南部、ドイツ国境に近い島嶼であり（図１）、かつては大規模農業の島だった。製糖工場も２つあり、他にも造船等を中心に大規模な工場も多くあった。しかし、1978 年ー86 年にかけ、オイルショックと造船不況で島内の 60%もの大規模工場を失い、当時７万人の住民のうち、１万人が島を離れ、失業率は 42%に達した。それ以降は、人口密度が低く社会保障費が高い地域となっていった。ＢＬＦによるＣＴＦプロジェクトが開始された時点では 22%の失業率となっていた。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

ロランＣＴＦを展開するＢＬＦの施設

プロジェクト開始当時、約 20 年前には、周囲はＩＴ産業に注目していたが、ロラン島は環境問題やグリーンエナジーに着目した。まず、地方公共団体の出資により、水・排水処理・配電・電力需給コントロール等に関する会社を傘下に収める会社（ＢＬＦ）を設立した。この時、ＣＴＦ（Community Test Facility）の島としてのロラン島の再スタートが切られた。図２に見られるように、かつての港湾設備に替わり、風車の羽根が港湾近郊に並べられており、短期間に大きな変化があったことが見てとれる。

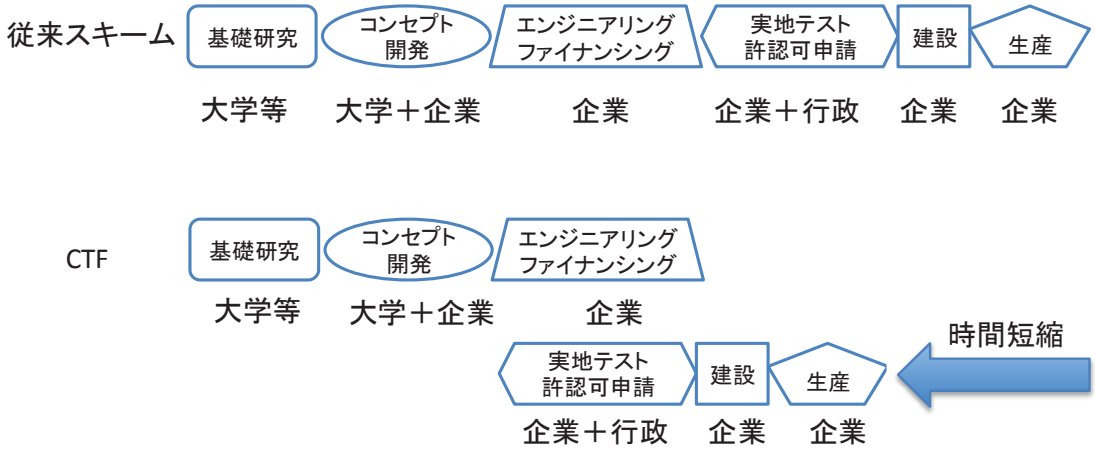


図３　CTF と従来の製品開発スキームの比較　（BLF 提供資料より作成）

当初は、大学や国の協力を得て、10MW 級の風車２基によるフルスケールテストができる環境を４年計画で整えた。以降、再生可能エネルギーやリサイクルに関する研究開発を行う企業のフィールドテストの場として、金融措置やテストサイトの提供など、新規参入を計る企業に極めて有利な環境を提供し始めた。例えば、大学等で生まれたアイデアが産業化するには長い時間が必要であり、特にエンジニアリングと融資、実際の工場誘致の許認可には長い時間がかかる。ロラン島ではこのプロセスを大幅に短縮し、特に融資と許認可

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

をワンストップサービス化することで多くの企業を誘致した（図３）。その結果、およそ7,000 人もの雇用を生み出している。

ロラン島で育った企業は、当然島を巣立っていく場合もある。しかし、ロラン島にはＣＴＦの設備と枠組みが残存する上、エンジニア等の人材にＣＴＦを実践するための「知識」が残される。それは特許権のようなものではなく、現場にしか蓄積されない「知恵」というようなものである。例えば、アイデアを思いつくのは、博士号を持っているようなスマートな人である。しかし、アイデアを産業化するためには、土木作業や機械作業が必要であるし、企業等が製品を開発するための試行錯誤の際にもそれが必要となる。ロラン島では、そうした「実際の現場作業」の「知恵」を蓄積しており、ＣＴＦの枠組みに参入した企業が効率よくテストを行うための人材と場所を提供することができる。ロラン島は、コペンハーゲン等の大都市に比べ地価も安く住環境が良い。したがって、エンジニア級の人であっても居住地としてロラン島を選定し住み着く場合もある。

また、ロラン島の条件では、廃棄物のリサイクルを行う企業がビジネスチャンスを見つけやすい。廃棄物処理関係の設備が既にあるため、低いコストでテストが実施できる。現在は島の廃棄物の 80%がリサイクルされている。４万人の町に 8,000 ㎡のリサイクルプラントがあり、細かい分別は市民がプライドを持って自ら実施し、プラントへの搬入も各自が実施している。したがって、日本でいうところの産業廃棄物処理のみならず、一般廃棄物系の処理に係る研究開発をも受け入れる下地が整っているといえる。

３～４年前から、ロラン島では「バイオマスをこれ以上燃やさない」がスローガンとなっている。バイオマスを単純に燃やしてしまうよりも、多段階利用でよりエネルギー効率と付加価値を高めよう、というコンセプトである。

基本的なコンセプトは、昼夜の区別なく発電される風力による電力の有効利用である。その中心コンセプトは、製鉄電炉等の夜間操業を行う大規模企業の誘致である。ロラン島では、島の需要の５倍もの電力を主にコペンハーゲン等の他地域に向けて「輸出」しているが、これを島内で利用する方が得策であるためである（図４）。その一つの方策が「水素の村」である。風力発電による電力を使って水素を発生させ、その時の廃熱で暖房を行う。水素は各家庭に配分し、家庭内で最も電力が必要となる時に燃料電池によって電力を供給する。この仕組みによって、電力需要のピークカットとボトムアップを実施し、需要と供給の平準化を行おうとうするコンセプトである。地上型から洋上型設置の傾向を強めている風車の利用については、洋上設置による藻栽培との組み合わせによるエネルギーの形質転換が模索されている。これも水素のコンセプト同様、貯蔵しにくいエネルギーである電力を別の形（バイオマス）に置き換えて貯蔵し、ピークオフ利用を目指す取り組みと考えられる（図６）。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

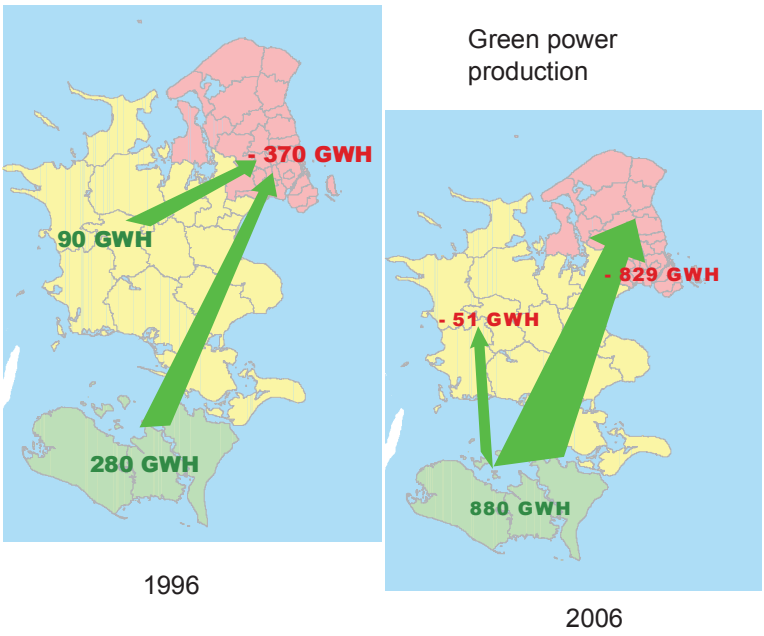


図４　ロラン島からのエネルギー輸出　（BLF 資料）

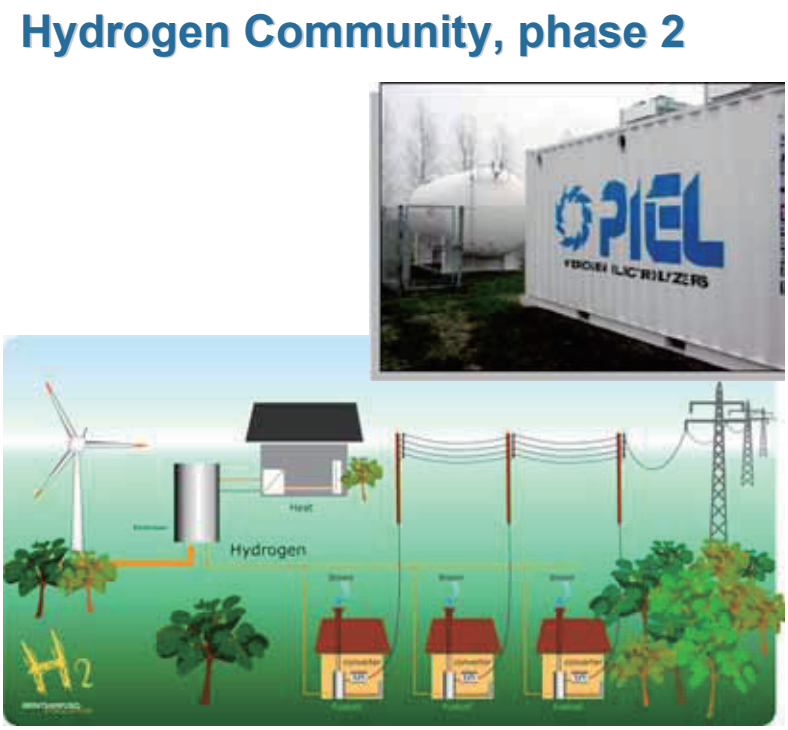


図５　「水素の村」コンセプト　（BLF 提供資料）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

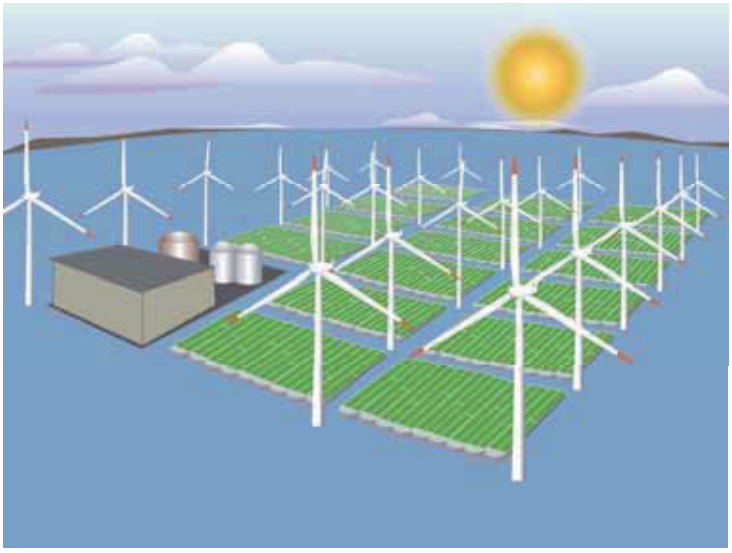


図６　風力発電と藻栽培の組み合わせ（omega）（BLF 提供資料）

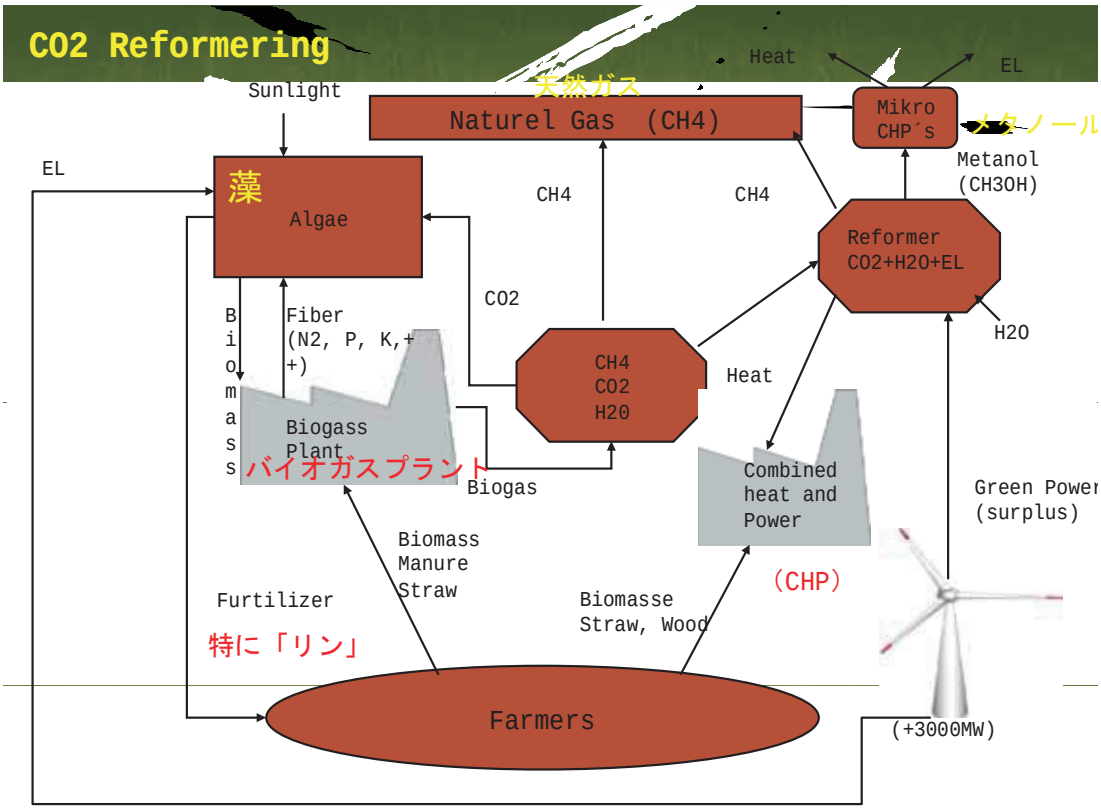


図７　バイオマスの多段階利用イメージ（BLF 提供資料に加筆）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

また、ＢＬＦの当面の戦略物質は「リン」である。既に国際市場で中国がリンを買い進めており、中期的に高騰が予想される。都市からの汚水にはリンも含まれており、これを回収することには大きなビジネスチャンスがある。例えば、バイオマスとしての藻（algae）から繊維やリン・肥料等のより高次（高価格）な製品を製造し、その残さをバイオガスプラントに投入する。また、それらの副産物をエタノール化プラントに再投入し、地域内の物質のコネクションをバランスさせながらバイオマスを燃焼させて処理することなく利用しようというアイデアがある。このアイデアで肥料を製造すれば、化学肥料製造に係るエネルギー等の削減効果に加え、藻の二酸化炭素吸収効果もあり、二重に「良いこと」があることになる（図 7）。

ＢＬＦから日本の被災地に対してのアイデア提供としては、例えば単に防潮堤防を整備するのではなく、流下してきた表流水に含まれる肥料分を分離回収する藻類の飼養などのアイデア等が挙げられる。巨大でありながら防波堤という単純な機能しか持たないモノを巨額の資金によって整備するよりも、いくつかでも副次的な機能を持つコンセプトを組み込むことで、より多くの産業の創出に近づけることができるだろうとＢＬＦは考えている。

ＢＬＦには、教育プログラムも準備されている。例えば、子供に教育した内容は、その親や祖父母にまで間接的に伝わる情報となる。こうした手法を駆使しながら、社会全体の環境教育レベルをあげていくことが重要である。

以上のように、ＣＴＦは企業のテストベッドとなる設備を整備し、企業にそれを開放するだけではなく、大学等の研究シーズから産業を生み出すまでのプロセスを様々な形で行政も関与しつつ支援する枠組みであることがわかる。

３．ＣＴＦを支える行政と住民

ＣＴＦに参加する企業からの各種許認可を代行してワンストップで実施する担当者であるオルセン氏からも話を聞いた。彼は企業のＣＴＦへの参入可否の審査担当も兼ねている。オルセン氏の給与は、ＢＬＦではなく行政が支払っている。この事実からも、ＢＬＦと地元行政との緊密な連携ぶりが明らかだろう。以下ではオルセン氏のヒアリング結果をもとに、ロラン島内の都市における都市計画の内容について、デンマーク全般の都市計画や、住民等の意思決定、ロラン島におけるＣＴＦの実施を意識して解説する。

都市計画の最上位計画は国家レベルで決定されている。これは、デンマーク国内の各地域の開発状況を国がコントロールするためである。そのもう一段階下にデンマークを４つに分割した地方政府があり、さらにその下に最も小さいレベルの都市計画がある。

ロラン島の都市は細かくゾーニングされており、それぞれ居住地域・商業地域・工業地域に分離されている。工場が居住地域に入り込むことは許可されないことはもちろん、例えば居住地区内にあった商店が引っ越す場合には、商業地域に移動しなければならない。このような計画の背景には、都市インフラの整備がある。例えば、一定のキャパシティし

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

か持たない工業地域にそのキャパシティを上回る工場を立地しても、追加の産業インフラの整備は地元自治体の負担となる。これは居住地域でも商業地域でも同じことであり、このような事態を回避する狙いがある。

街にはさらに、上述の「小さいレベル」よりもさらに小さいレベルの都市計画がある。それは、例えば隣接地域に大きな工場を誘致する場合など地域住民との合意形成を必要とする場面で実施される。この計画は、現在トータルで最短８ヶ月の計画縦覧・検討期間を経て実施に移すことができる。オルセン氏は、これでも期間が長いと感じている。企業にとっては時間が重要なファクターであるためである。こうしたミクロな都市計画であっても、デンマーク式の民主的合意形成手法がとられる。具体的には「話し合い」である。工業地域に進出しようとする企業であっても、居住地域に入居しようという市民であっても、その場所にどのような規制があり、どのような特別なルールがあるかを予め知ることができるパンフレットが準備されている。例えば、市民は市民センターに近い居住区を選べば、こうした情報の他にも学習サークル等に参加しやすくなる。このようなきめ細かな工夫が、他地域からの住民の入居の障壁を下げる役割を果たしていると言えるだろう。

ロラン島全体の地域計画は 10 年計画となっている。しかし、計画実施者たる行政やＢＬＦは、必要と考えればその時にすぐに計画を差し替えるつもりでいる（もちろん「民主的な手続き」を経た上で）。ＢＬＦは、企業からの問い合わせには 24 時間以内に返事をし、必要であれば 72 時間以内に当事者を現地に派遣する、という体制を組んでいる。ビジネスチャンスを掴み企業を誘致する上で、スピードと柔軟性は生命線ということなのだろう。

以上のように、「民主的な手続き」を計画の要所要所に織り込みつつ、まさに官民一体となってＣＴＦが推進されていることがわかる。

４．ロラン島のＣＴＦならびにデンマーク調査全般からの示唆

本調査に先立ち、デンマーク大使館で再生可能エネルギーに関する説明をしてくれた。その際、大使館員から「再生可能エネルギー利用技術の水準は、日本もデンマークも大差ない」とのコメントが聞かれた。前述の通り、日本ではデンマークは環境・福祉の先進国と位置づけられている。将来的な化石燃料の全廃を国家目標に掲げるなど、技術水準の高さのみならず、国主導・強力なリーダーシップの存在が示唆される場合もあるが、果たしてそうなのだろうか。先に掲げた重点調査項目、①デンマークにおける再生可能エネルギー産業と地域住民の関係、②大資本のみならず、地域の中小経済主体が利益享受する仕組み、③既存利権との利害調停・地域住民等との合意形成、には、それぞれロラン島ＣＴＦの事例から示唆が得られた。以下では、これらの重点調査結果について、ロラン島ＣＴＦ以外のデンマーク国内の調査結果を織り交ぜつつ整理する。

１）　再生可能エネルギー産業と地域住民

ロラン島の事例では、再生可能エネルギー産業のインキュベーション（起業支援）を行

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

うことで地域経済を立て直していた。したがって、再生可能エネルギー産業そのものが直接的に地域振興に効果を発揮し、地域住民の雇用の場を創出したことになる。同時に、ＣＴＦの枠組みは、新技術の開発そのものを担うのではなく、新技術の開発を支える、いわば「職人技」を持つ職人を創出するものである。よって、陳腐化のスピードが速い新技術開発にリスクの高い投資を行うことなく、技術開発の基礎となる職人的な人材を育成し、地域内に滞留させることで持続可能な雇用環境を創出しているといえよう。

一方で、地域住民には再生可能エネルギー産業に間接的に関与するという状況も想定しうる。デンマークの事例でいえば、風車の「シェア」がそれに相当すると考えられる。デンマークエネルギー省（Danish Energy Agency）によれば、デンマークを代表する再生可能エネルギー生産装置である風車に関しては、エネルギー効率向上のための大型化に伴い、景観等で問題がある地上型よりも、洋上設置型（オフショア型）へとシフトが進んでいる。現在、インドや中国の企業も風車の製造に乗り出している（ただしデンマークエネルギー省としては、中国の風車は、現在は品質面でやや劣るという認識である）。デンマーク国内に建設されるこうした大型風車は、ローカルオーナーシップ（所有権を金融商品化し一定期間の配当を実施する）の対象ともなっている。

シェアについては、後述する合意形成とも密接に関係すると思われる。ここでは、調査項目の重複に拘らず、再生可能エネルギー産業と地域住民という視点から、コペンハーゲン市内にあるパブリック・アクセプタンスに関するコンサル会社を経営しているソーレンセン博士へのヒアリング結果を紹介する。

大学教授も務めたことのあるソーレンセン博士は、現在は波力発電や潮汐力発電にも携わっている。同博士は、近年のデンマークの再生可能エネルギー政策の推進に関わっており、今回は特にデンマークの再生可能エネルギー、特にウンドファーム（風力発電施設）におけるパブリック・アクセプタンス（パブリック・インボルブメント：あらゆる関係者を事業に巻き込んで、事業にとって良い方向に進めること）についてコメントしてくれた。以下は博士のコメントの要約である。

デンマークにおける現在の強力な環境・エネルギー政策の背景には、オイルショック直後の 1976 年に変更されたエネルギー・環境政策がある。1974 年当時の首相は、中東諸国の機嫌を損ね、石油の輸出をボイコットされてしまった。デンマーク国内で石油が不足し、一般市民も日曜日にはクルマが使えなくなるなど、国全体に深刻な影響があった。

このような事態のなか、デンマーク社会のなかで意識の高い人々（例えばそれは地域によって教師だったり牧師だったりした）が、一般市民と解決策に関する話し合いを始めた。こうしたレベルの取り組みは、デンマークではごく一般的に見られる文化のようである。「話し合い」は徐々に「会議」のような体裁になり、規模を拡大していった。この段階に至って、ソリューションとしてのウインドファームの可能性について議題となった。

デンマーク国内の風車設置基数とオーナーの種類の変遷を見ると、当初は電力会社が主体であり、1995 年までは企業が主体、1996 年以降は個人（または協同組合）が主体となっ

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

ている。1996 年頃は農作物が豊作であり農家（農協）が投資先を探していたこと、風車の発電能力が飛躍的に向上したこともその要因である。2001 年に政権交代があり、以後 08 年までは風車建設に対するインセンティブ措置がなかったため、建設基数は少なかった。08 年以降は風力発電に新しいインセンティブ政策がとられ、再び建設基数が増加傾向にある。

デンマークでは、中央資本（コペンハーゲンの会社）が地方に風車を建設し、販売した電力の料金を再び中央が吸い上げる、という構造を嫌う。この気質により、風車のオーナー連合会等が政府に働きかけた結果、政府は地方に風車を建設する場合には、風車から 4.5km 以内の住民に 20％のシェア（１シェアは 1,000kWh に相当）を供給することを義務づけた。地元民が金銭的に儲かる仕組みを作ることが、地方に風車を建設する上でもっとも重要なことの一つである。

電力市場は不安定であるが、シェア購入者（出資者）には、なるべく短期間で返済するスキームを確立しなければならない。投資リスクが大きいと判断されたり、返済に時間がかかったりする場合には、シェアそのものが売れない場合もある。実際、デンマーク西部のシェアは、コペンハーゲン付近の東部のそれよりも２倍程度条件が良い。西部のシェアは即日完売もあるが、東部のシェアはなかなか売れない場合もある。なお、大口シェアホルダーは教師の組合だったり、金属関連労働者の組合だったりする。

以上のようなソーレンセン博士のコメントからは、再生可能エネルギー産業側から地域住民にシェア販売を行ったという傾向は弱いように見える。むしろ深刻なエネルギー問題に直面し、それが社会問題化したことを背景に、地域住民自身が学習し風車のシェアの市場を拡大していったようにも見える。しかし、この点は、後述する地域住民の合意形成の項で詳述するように、必ずしも地域住民自身が主体となっていた訳ではないようである。

いずれにせよ、ＣＴＦのような大規模な設備投資や、都市計画をも必要とするプロジェクトの推進は、国家レベル、あるいはそれに準ずるレベルの行政が財政出動を伴う事業推進を行うことが不可欠である。デンマークでは、そのような取り組み（ＣＴＦ）の結果創出された再生可能エネルギー産業が、都市住民や地域住民にもこの産業に対して積極的に関与する仕組み（シェア）を生み出したとも捉えることができる。

２）　地域の中小経済主体が利益享受する仕組み

ロラン島のＣＴＦについては、大資本＝「再生可能エネルギー利用デバイス（風車）の開発者」であり、地域の中小経済主体＝「職人」という構図になると思われる。この構図を支えるインフラとして、ＣＴＦの基幹をなす水・環境・廃棄物関係の施設・設備があることは自明である。しかし、そうしたインフラ整備を前提とした場合、この構図は、中央資本から地理的に離れた場所における高度技術開発に威力を発揮する。図８に示すように、従来型の開発の場合、開発現場が地方にあると、地方の現場と開発拠点の間をエンジニアが往復しつつ、開発を進めることになる。例えば、開発現場で障害が発生しても、それに対応するためには開発拠点をエンジニアが出発し、現地で開発担当者と会合し、その結果

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

を開発拠点に持ち帰って善後策を講じる必要がある。しかし、ＣＴＦ型の場合、開発現場で発生した問題には開発拠点で素早く対処できるため、エンジニアが物理的に移動するコストと時間を圧縮することができる。また、問題発生から問題解決までの時間が短縮されることから、スパイラル開発のスピードが向上する。ロラン島のＣＴＦが成功したカギは、こうした開発拠点を誘致するインフラ整備を全世界に先駆けたことに加え、レオ・クリステンセン氏が述べたように、ロラン島がコペンハーゲンなどの都市部に比べて暮らし易い環境でありエンジニアが開発拠点とともに移り住んでも良いと感じる環境にあったことも重要であると思われる。

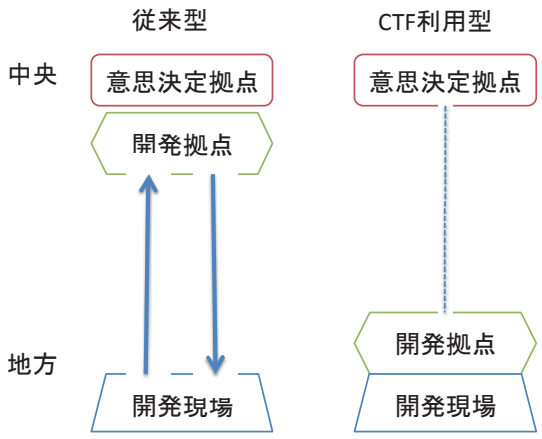


図８　従来型の開発と CTF 型の差異

また、「再生可能エネルギーの島」として日本でも有名なサムソー島の調査では、サムソーエネルギーアカデミーのペーター・クリステンセン氏は「再生エネルギーの物語は“美しい物語”ではあるが、内実は“島のサバイバル物語”であるとコメントした。つまり、職の創出、地域経済の活性化、エネルギーの自立性の向上、二酸化炭素ニュートラル、エネルギー革命、ローカルアクティビティの全てが島の生き残り策に繋がっている、ということである。

同氏によれば、サムソー島の経緯と現状は次のようである。サムソー島が有名になった原因は、ある時期にアメリカの有名ジャーナリストに注目され、以降世界中からメディアが押し寄せたことによる。注目の対象となったのは、再生可能エネルギーに対し、全ての住民・利害関係者が一丸となって取り組む姿であった。再生可能エネルギーの導入を進めるためには、前向きな計画をたて、政治を巻き込み、新技術を開発してマーケティングを行う必要がある。その上で、利害関係者の多くが実際に「儲かる」仕組みを作ることが重要だった。サムソー島の事例は、今や世界中のジャーナリストによって数多くの書籍として出版されており、そのことが年に２ー３回にも及ぶ国際会議の誘致につながり、観光オフシーズンの町の経済活性化に一役買っていることは間違いない。

このように、ＣＴＦを実現するレベルでのインフラ整備が望ましいことは間違いないが、先端的な取り組みを上手く広報することで、見学者の流入による経済効果を見込むことも可能と思われる。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

３） 既得権益の利害調停と地域住民等との合意形成

再生可能エネルギーにおいて、既存利権とは、化石燃料等の枯渇性資源を原材料にエネルギー生産を行う既存の発電業者のことである。デンマークエネルギー省は、デンマークのエネルギー政策の方針として、石油系資源はその枯渇や環境対策に伴って採掘コストが上昇することや、技術的に高いレベルを要求される原子力発電所よりは、比較的安価で単純なエネルギー源として自然エネルギーの導入を目指すと述べている。

ところで、デンマークには高い山がなく、従って流れのある河川がないので水力発電はほとんどない。また、潮位の変化も少ないため、波力発電も規模は大きくない。結局、風力発電が最も効果的な発電方法となる。一方、スウェーデン等のフィヨルドを抱える国々は、水力発電が安価である。ノルドプールで電力の融通を国際化することで、一国内では調整し難い電力の需給調整を実施しやすくしている。そのノルドプールは、短期から中長期的に、ノルドプール加盟各国の需給予測をたて、バランスをとることに努めている。デンマークでは、2002 年に電力市場が自由化された。これはヨーロッパ各国にならった措置で、この時に送電会社と発電会社が分離された。

デンマークの国内エネルギー政策の転機は 1973ー74 年のオイルショックにある。この時、デンマークは 99%のエネルギーを中東に依存していた。また、この時期には化石燃料消費に伴う環境汚染も問題となっていた。この時の経験から、デンマークでは環境政策とエネルギー政策が一体化することとなった。

エネルギー政策の全般的な内容としては、国や地方ごとのエネルギー計画、新エネルギーの調査と開発（Ｒ＆Ｄ）、省エネルギー対策の推進である。

省エネルギー対策としては、例えば建物のガラス（サッシ）を断熱型に変更することを義務づける法律等がある。しかし、国の緊縮財政から予算確保が困難であり、その実現は延び延びになっている（2020 年目標）。

また、民生部門の省エネルギー対策としては、ＣＨＰ（Combined Heating Plant）がある。ＣＨＰは、ボイラーと発電装置を組み合わせたものであり、バイオマスエネルギーの利用も容易でかつ地域熱供給用の熱もつくり出せる。原子力よりも極めてシンプルなエネルギーソースである。これにあわせ、地域熱供給システムのためのゾーニング計画もある。例えば、当該ゾーン内に家を建設すると、その家はＣＨＰに接続しなければならない。また、ゾーン内に従来からあった家も７年以内にはＣＨＰに接続する必要がある、というルールを設定している。石油価格が将来的に上昇することを想定すれば、化石燃料頼りの民生部門のエネルギー効率改善が活路となる。温水パイプラインの断熱性改善により、50㎞あたり５％しか熱量損失のないＣＨＰ対象面積の拡大に加え、ヒートポンプの導入など、建物のエネルギー効率改善に注力する方向である。

以上の状況と日本の現状と比較すれば、デンマークでは自然エネルギー指向、発電と送電の分離、地域熱供給システムへの接続の奨励、断熱効果の高い住宅の奨励など、国レベルでの方針が明確なことが既存利権との利害調停を乗り越える要因となったと考えられる。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

また、風車をめぐっては、デンマークエネルギー省によれば、大型プロジェクトの場合、国家的にコントロールできる状態に置きたいという面もある。デンマークでは、風車群（ウインドファーム）の建設には、およそ２年を要する。環境アセスメントを実施し、運営主体を選定し、次に詳細設計に入り、最終的に建設する、というステップである。

コストの高い再生可能エネルギーと、コストの安い化石燃料との競争を可能にしているのは、現在では課税と補助金である。2009 年現在、デンマークの電力消費は、19％が風力、10％がバイオマス、71％が化石燃料である。しかし、2020 年には風車を 42％に、バイオマスを 20％に伸ばし、化石燃料を 20％に抑えることを政治的に合意した。さらに 2050 年には化石燃料ゼロを目指しており、そのために重点的に投資すべき先（例えば西側の洋上風車のための電源グリッドの強化など）も決定されつつある。

デンマークでは、今後さらに風車の大規模化が進むと目されるが、こうした風車の立地に関する地域住民の合意形成はどのように実施されているのだろうか。ロランＣＴＦの事例では、都市計画と地域住民の関係について触れた。以下では、最もローカルな事例としてのサムソー島の再生可能エネルギーの地域施策、コペンハーゲン市の洋上風車、デンマーク全体の風車について、の順に概観する。以下、サムソー島については主にペーター・クリステンセン氏のコメントによる。

①サムソー島の場合

サムソー島が選ばれた理由は、監視やコントロールが容易な「島」という環境だったからである。現在、サムソー島の都市部は 65％がＣＨＰによってカバーされている。

アカデミーは、島内の人々に対し家の省エネルギー対策やエネルギー効率向上に関するアドバイスを無料で行っている（アカデミー職員の給与はエネルギー省が負担している）。実際の省エネルギー対策等は住民個人の負担となるが、様々な補助金メニューが準備されている。

島を特徴づけているのは風力発電用風車である。およそ 10％の人々がサムソー島の風車のシェアを持っており、特に大きな産業を持たない「島」ではシェアも貴重な収入源である。2003 年に洋上に建設された 2.3MW級の大型風車は、建設直後から６ヶ月間は世界最大であった。この風車のシェアの半分はサムソー島役場の持ち分（より正確には、第三セクターのエネルギー会社を町が所有している）である。このシェアから得られる収入は、役場にとっては自由に使える有効な予算となっており、主に再生可能エネルギー施設への再投資に使われている。このような成功事例を積み上げて示して行くことが大切である。なお、現在はシェアの法的上限措置は無く、地元オーナーシップ 100％が目指すべきゴールとなっている。

再生可能エネルギー施策を積極的に推進するためには、エネルギーの生産と消費をデザインするプロフェッショナルなエネルギー計画を立て、それに向かって関係者全員を巻き込んで、ゴールを共有しなければならない。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

このような体制を作るためには、ミーティングが重要である。より正確には、ミーティング以前のネゴシエーションが重要で、それを実施しうるのは地域内の資源（人的資源を含む）に精通している「中心人物」である。単にミーティングを開くだけでは、参加者は「積極的に参加」してこない。事前にそれぞれの参加者と面談し、ミーティング以前に充分に意見交換しておくことで、はじめてミーティングが場として生きることになる。

先ずは「パイロットプロジェクト」から開始することが重要である。学習サークル等を通じて子供から大人までを教育し、営利事業として取り組みの輪を広げて行く。それが「サムソー流」である。現在、３MW級の３基の風車のうち、１基は 384 人がシェアを持ち、１基は役場が半分、もう１基は投資会社が所有している。

サムソー島の成功は、発電業者と送電業者の分離、およびグリッド接続費用の負担を送電業者に求めた国策に負うところが大きい。サムソー島役場は地方の弱小な自治体に過ぎないが、国策に沿って大きな事業を展開する能力はあった。

また、再生可能エネルギーは役場の本来業務ではないが、これをＮＧＯに運営委託したことが大きな転機となった。役場には経営に詳しい人間はおらず、風車（のシェア）を購入し、再投資できるスキームを整備したのは外部の人間だった。

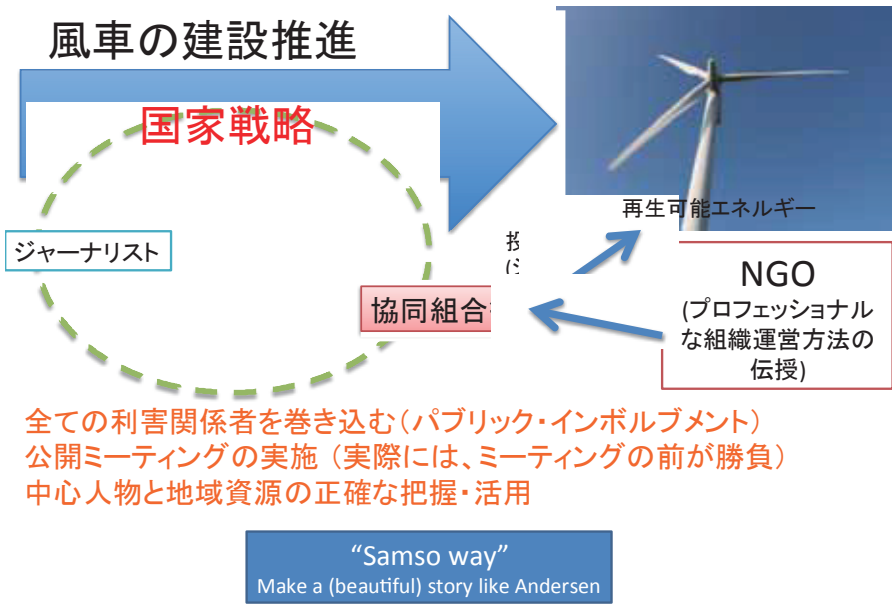


図９　サムソー方式

以上のような方法を、ペーター・クリステンセン氏は「サムソー方式（Samso way）」と呼ぶ。これを図式化すると図９のようになる。つまり、国家戦略という大前提があるにせよ、地方自治体やジャーナリスト、ＮＰＯ等の力を結集し、学習サークルで再生可能エネルギーに関して深い知見を醸成した地域住民を、「中心人物」と地域資源の利用により様々な形で巻き込んで行くという方法である。

本調査では、サムソー島内最大の食品工場にもヒアリングを実施する機会を得た。この会社（工場）は、かつては農民出資のローカル経営による食品加工会社であった。中心的な生産物はピクルスであり、「サムソー」ブランドはデンマーク国内向けのピクルスの中

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

では高級品となっている。

2000 年頃までは農民の出資率が半分程度の会社であったが、現在は大手農業協同組合の傘下に入った。現在は高級品路線を踏襲しながらも、売上げ拡大のために低価格の商品も製造している。雇用は時期によって異なり、最小で 10 人、最大で 70 人程度である。島内からの雇用は少ない。理由は雇用賃金の高さである。ただし、雇用者の多くは東欧圏からの季節労働者となっている。

原材料についても、サムソー島内の農産物も使っているが、親会社からの価格面での要求等から輸入・移入品を使用する場合もある。当面の工夫としては、デンマークの有名シェフとのコラボレーション企画を打ち、彼の名前を冠した製品を製造して高値で販売することに成功している。彼らローカルな生産者としては、市場における値崩れを防ぐことが最も大切となっており、ダンピングによってブランドイメージが損なわれれば一気に優位性を失うと危惧している。

この工場のピクルスはデンマーク国内のみを市場としており、同じ北欧といえども他国には売れない。しかし、原材料は輸入に頼る場合もあり、島の名前を使ったブランドを使い続ける上では島に立地するしかない。

なお、この工場は再生可能エネルギー反対派である。大量の汚水や生ゴミを排出し、電力も熱も使う工場であるが、経営方針から島のエネルギー政策には反対らしい。10 年間も再生可能エネルギー推進に取り組んできたサムソー島でさえ、未だに地域内最大の事業所を巻き込めていない。再生可能エネルギー政策とその実践にあたっての合意形成がいかに難しいかという好例であろう。

②コペンハーゲン近郊のウインドファームの場合

ソーレンセン博士には、コペンハーゲンの風車建設に関する合意形成の経過とともに、サムソー島の事例についても次のようなコメントを頂いた。

地方に風車を建設する場合、その地方の関係者全員に声をかけることが必要となる。特に土地所有者には必ず声をかけ、建設の是非の段階からの議論に巻き込まなければならない。例えば、土地所有者の誰かが、自分の土地に風車を誘致してその賃料で儲けよう、というような行動をとった場合、その地域の他の全員はこのプロジェクトへの参加を断るだろう。とにかく、計画の初期段階から全員巻き込むことが重要である。

また、個人の負担をなるべく減らさなければならない。例えば、シェアによる収入に対し、税務署への申告が面倒な手続きとなる場合、そのまま放っておけば個人は手続きを踏まず、従って風車のオーナー（シェアホルダー全体）として適切な税務書類が揃えられず、プロジェクトが破綻することにもなる。例えば、風車を協同組合で運営するには、運営社側がこうしたサービスを提供する必要がある。再生可能エネルギー推進には、税務の知識も必要である。したがって、プロジェクトを推進する側に立つ限り、「民衆は何も知らない・何もできない」というスタンスが正しい。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

ところで、デンマークにおいては、電力の消費者価格と生産者価格の格差は５倍程ある。この差分は税収となり、あるいはＰＳＯ（Public Service Operation）にまわされる。要するに、電気料金が病院や学校運営にまわされているというような感じである。最近は、協同組合による風車の設置プロジェクト開始に際し50万ＤＫＫの保証金を積まなければならない、という制度が発足した。これは、もしプロジェクトが途中で頓挫するようなことがあっても、そのために働いた人に対しての対価を補償するためのものである。また、風車を誘致した自治体にボーナスを出す制度もあり、これもＰＳＯで賄われている。

サムソー島の場合、風車のシェアの半分を自治体が所有したことは画期的であった。しかしこれは、おそらく島民だけではシェアの全量買い取りが不可能だったという背景もあるのではないだろうか。

ところで、風車に対してポジティブな意見を持っている人は、風車がない場所に住んでいる人よりも、風車がある場所に住んでいる人の方が多い。人間は知らないものを怖がる性質を持っている。したがって、事業を推進する人たちの中に、地域住民がよく見知っている人が居るかどうかが重要なことである。ソーレンセン博士も、コペンハーゲン南部の大規模風車建設に携わった時には、当該地域の近傍に住んだ経験もあったことから「地元住民枠」として遇され、夕方に実施される住民ミーティングにもよく参加した。博士はこのプロジェクトは成功するという自信があったので、スーパーマーケットの前で広告活動もした。地元メディアも関心を示した。地元の新聞に関連記事が載ると、博士のもとには地域住民をはじめあらゆる利害関係社からの質問が多く寄せられた。時には愚にもつかない質問にも、ひとつひとつ丁寧に答えた。こうした態度の積み重ねが信頼を生み、やがて博士のもとには計画の経済性等に関する試算の依頼が来るようになった。このような依頼や、あるいは住民自身がプロジェクトのために実施したり依頼したりするものごとは、住民の間にある種の合意が形成されているというシグナルでもある。

③デンマーク全体の合意形成の状況

デンマーク風車連合会のスーネ・ストーム氏によれば、風車をめぐる住民との合意形成に関するデンマーク全体の傾向は次のようなものである。

デンマーク風車連合会はおよそ 250 のメンバーで構成されている。シーメンス、ベスタスをはじめ、中国やインドのメーカーもメンバーに名を連ねている。

デンマーク人は風車建設におおむね前向きである。家から風車が見える人のうち、82％は風力発電推進の意見であり、反対しているのは６％である。現在は古い風車をスクラップし、高効率な大型風車への建替えが進んでおり、今後も風力発電は順調に推移すると思われる。

風力発電に対する政府の補助は、７年間の電力販売価格への 0.25ＤＫＫ/KWh の追加である。この財源は消費者の負担によるものであるが、デンマークの消費者は年間 1 万 6,000 ＤＫＫまでは本件に関する支出増加を許容すると言われている。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

風車の建設にあたっては、政治家、一般市民、コミュニティが意見交換を行う。主な議題となるのは、風車による環境影響、景観の問題である。特に「デンマーク支援保護協会」が風車にとって大きなステークホールダーとなっている。こうした一般市民への影響が大きい団体は、計画当初から巻き込んでおく方が良い。後になって巻き込んでも、計画を中断させられる原因になる場合もある。また、広く知られた公共団体等が計画にお墨付きを与えることで、自治体等も計画を進めやすくなることもある。

近年の風車のオーナーは、統計上「不明」の場合が多い。風車の高性能化・大型化に伴い、個人での建設が難しくなっているためである。また、例えば洋上風車などの場合、建設主体が建設用地を確保し、フィードインタリフを入札し、一番安い落札価格を入れた会社に決定する、という手法が採られている。風車の建設の方法には大きく分けて２種類のやり方がある。一つは、地方政府（市町村）が都市計画の中で風車の設置場所を選定し、特定の地域内で開発計画を作り、次にディベロッパーが環境アセスメントなどを行って、最終的に計画を決定というやり方であり、この間、１年半ー３年の歳月を要し、計画策定期間中は常に異議・苦情の申し立てに応じている。もう一つは、最初から全ての手続きをディベロッパーが実施するものである。

風車に関するクレームは、風景・騒音・反射光と影に集約される。特に３点目は、天気のいい日の日の出・日の入り時に問題となる場合が多い。そこで最近は、そのような時間帯には風車を止めるというルールもできた。このように、正当なクレームであれば風車側も積極的に応じる姿勢が必要である。

クレーム対策は、いかなる計画においても「覚悟しておく」ことが必要だ。クレーマーの多くは、風車に対する知識がない、自宅の近くが候補地になっている、とにかく風車は嫌いだ、など解決の難しい様々な反対理由を持っている。しかし、特に悪質なのは、オープンミーティングなどで間違った意見を大衆の間に広めようとする者である。このような者の存在は、大衆に不安をかき立てて計画に悪影響を及ぼす。

とはいえ、現在のデンマークのエネルギー政策は、大規模集中型から、小規模分散型へとシフトしており、地方の協力は欠かせない。現在でもエネルギー源は化石燃料に頼ってはいるが、25％は風車由来のエネルギーにシフトし、問題は需給調整になりつつある。現在の需給調整システムは、ＤＨＰにおける「電気ボイラー」であり、電力の供給過剰時にＤＨＰ用の熱水を作ることで加温用エネルギーを抑制する手法を採っている。

風車に関する政府の地方支援策は、次の３つである。①風車のシェアは、20％が地元の住民に購入されなければならない。これは、地域開発に際し、地元に必ずカネが落ちることが重要であるためである。しかし現在、地域によってはシェアの販売がふるわない場合がある。地元の人が誰でも数株購入できるようにすることが課題の一つである。②役場は風車の発電量１MW あたり 1,200,000 円の補助金を受けられる。これは、自然保護区の設定や環境教育のために使うことができる。③風車から 4.5km 以内に居住者の居る地方自治体は、政府の保証付きのローンを受けられる。これは、万一プロジェクトが失敗したとして

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

も、その時点までにかかった経費を政府が肩代わりできるようにした仕組みである。

以上のように、合意形成の手段は様々であるが、予算ありき事業ありきの日本とは異なり、合意形成にかなりの労力が割かれていることが伺い知れる。

５．再生可能エネルギー利用への提言

本調査の結果と、日本の現状を比較すると、表−１のようになる。デンマークにおいては、利用可能な再生可能エネルギーは限定される。

表１　再生可能エネルギー利用の２国間比較

	デンマーク	日本
再生可能エネルギーの種類	風力が圧倒的に有利。地勢から、波力・水力はない。	様々な種類のエネルギー源を利用可能。
再生可能エネルギー利用の内容	利用可能な再生可能エネルギーを地域の事情に応じて組み合わせて利用。	風力のみ、バイオマスのみなど、単発の事業が多い。
事業推進にあたっての重点事項	国民・地域住民との合意形成。	事業年度内の遂行。

しかし、日本では、様々な種類の利用可能な再生可能エネルギーを有するにもかかわらず、再生可能エネルギー利用事業は利用技術ごとに単発である場合が多い。例えばデンマークでは、バイオガスプラントと風車、藻栽培を組み合わせるアイデアがあるのに対し、日本ではあくまでバイオガス・風車・藻は切り離されてそれぞれ事業化のスキームに乗っている場合が多い。また、デンマークの場合、例えば2050年に枯渇性エネルギー利用をゼロにする、という目標達成に向けては、夜間電力の利用や、余剰電力の貯蔵といった需要側の構造変化をも視野に入れている。これに対し、日本の場合はたとえ再生可能エネルギーの利用の場面であっても、供給側の施設整備等に重きが置かれる風潮がある。こうした需要側、すなわち消費者側の構造変化には、市民レベルの意識改革も必要と考えられるが、この点においても、日本が事業年度内の当該事業遂行に拘泥するのに対し、デンマークでは合意形成そのものに重点を置き、事業を中止してもダメージをなるべく残さない措置を講じている点が大きな相違といえる。日本では、利害調停を省略したせいか、結果的に失敗となる大規模事業も多いことを考慮すると、デンマークの合意形成プロセスには学ぶところが多いと思われる。

こうした再生可能エネルギー利用について、ロスキレ大学のティグ・カイアー教授は次のようにコメントしていた。再生可能エネルギーの導入は、政府等のサポートがなければ非常に難しい。再生可能エネルギーの利用拡大にはコスト削減が不可欠である。よって、農業や漁業、商業など、地域活性化のためにもっと容易に使える手段があるならば、そち

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

らを選択すべき場合もある。また、同じ再生可能エネルギーであっても、バイオガスシステムは（もしそこに土地利用型の大規模農業があれば）、風車よりも導入は簡単である。さらに、バイオガスシステムは有機農業を行う農家との相性が良い。有機農家は人工的な肥料や農薬を好まないため、家畜糞尿等来歴の判っている有機資材を使用したがるためである。このように、地域に適した技術と、それに適したパートナーシップを構築することが重要である。

そして最も重要なことは、再生可能エネルギーを「ビジネス」として成立させることである。１つ以上の収益構造を確保しなければ、地域には受け入れられない。例えば、単純なＣＨＰの場合、バイオマスエネルギーを利用しても電力にしか補助金が得られない。しかし、バイオガスシステムの場合には、発生したガスをＣＨＰに供給した場合にも、発電した場合にも、あるいは自動車等に使用した場合にも補助金が得られる。このように、マルチな収入源を設定することで、それぞれの地方の特性を生かした「収入源」を得ることが可能になる。

長い目で見れば、デンマークのエネルギー政策に従えば、需給構造は大きく変化せざるを得ない。再生可能エネルギーにシフトするだけでは、需要のすべてを賄う事は不可能であることが判っている。したがって、再生可能エネルギーの新規開発、省エネルギーとともに、エネルギーのスマートシステム化が重要な役割を担うことになるのである。

こうした変化について、デンマークでは地方ごとに市民教育用パンフレットを準備している。また、ローカルの人々を時々先進事例の見学に連れ出し、啓蒙を行う。重要なことは、市民のレベルや地域の資源の実情にあわせた再生可能エネルギーの開発（例えば、海に漂っている藻をバイオガスプラントに投入するなど）であり、総花的なものではない。地域活性化のためには、とにかくビジネス化が重要であり、再生可能エネルギーは選択肢の一つに過ぎないことを考慮しておくべきである。

以上のように、国が財政出動して再生可能エネルギー利用を進めるだけでなく、合意形成を周到に行いながらビジネスとして成立する工夫を絶やさないことが重要であるとのことであった。

６．おわりに

ロラン島、ひいてはデンマーク全体の事例を概観すると、合意形成や再生可能エネルギーの地域資源としての捉え方など、様々な相違点がみられる。とりわけ国家レベルでの調整が必要と思われる発電・送電の分離などは、直ちに日本で実現可能とは思われない。また、それが実現しなければ、再生可能エネルギーの広域市場は生じないように思われる。しかし、たとえば図 10 のようなアイデアを用いて、物理的にエネルギーそのものを融通しあわなくとも、消費市場の規模が充分に大きい場合には、電力料金の支払いを代行する機関さえあれば、名目上の再生可能エネルギー買い取りシステムの構築は可能となる。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

仕組みとしては次の通りである。再生可能エネルギー生産者は、一般電力の需要者（需要量Ｘ＋Ｙ）に対し、生産した電力の全量（Ｘ）を供給する。また、当該地域の一般電力会社Ａは、一般電力需要者に対して需要の差分（Ｙ）を供給する。一般電力需要者は、Ｘ＋Ｙ分の電力料金を仲介機関に支払う。仲介機関は、Ｙ分の電力料金を電力会社Ａに支払う。次に、電力会社Ａと電力融通を行っていない電力会社Ｂの管内で、再生可能エネルギーの需要者（需要量Ｘ＋Ｚ）がいたとする。この場合、需要者には電力会社Ｂが（Ｘ＋Ｚ）相当を供給し、需要者が電力料金を仲介機関に支払う。仲介機関は電力会社Ｂに（Ｘ＋Ｚ）分の電力料金を支払いする。仲介機関は最終的にＸ分を再生可能エネルギー生産者に支払う。このような仕組みにより、国家レベルのインフラ整備・意見調整を待たずとも再生可能エネルギー生産を促進することはできると思われる。ロラン島・デンマークの事例に見るように、まず自らの利用可能な資源を、目標達成のためにどう使えるかを考えることが、現在の日本・被災地にとって重要なことと思われる。

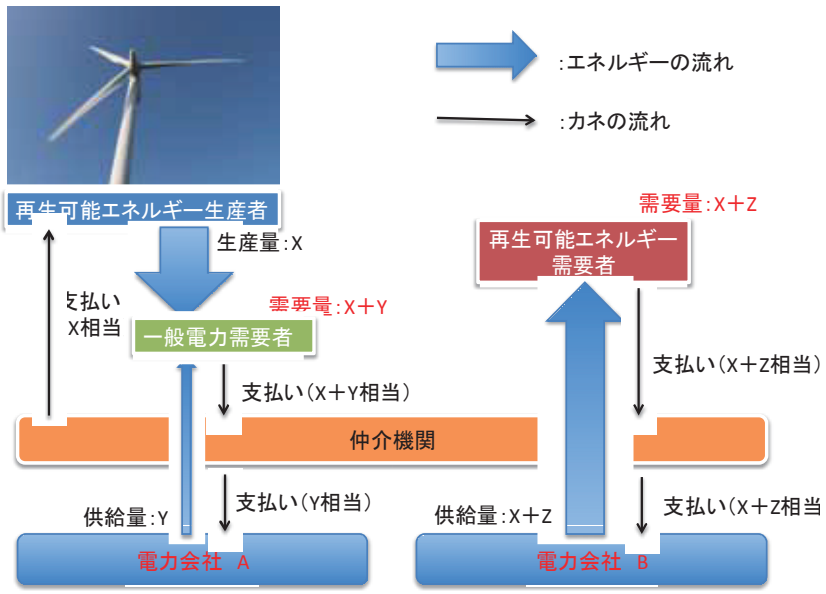


図 10　再生可能エネルギー取引システムの概念

（BLF 提供資料）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

Ⅱ．サムソー島における再生可能エネルギー利用と地域への波及効果

１．サムソー島の概観

サムソー島は、最大幅で長さ約 26km、幅約７km の島であり、その面積は 112Ｋ㎡で、長崎県壱岐島全域をカバーする壱岐市とほぼ同じ面積である。人口は 3,885 人と壱岐市の約十分の一であり高知県梼原町の人口にほぼ等しい。なお、ロラン島の面積は 1,245Ｋ㎡で、平成の大合併後の富山市の広さにほぼ等しく、同島の人口は青森県のむつ市とほぼ同じである。

	面積（Km²）	人口（人）
Samso	**112**	**3,885**
壱岐島（＝壱岐市）	**138**	30,589
梼原町（高知）	236	**3,853**

（資料）Statistics Denmark "Staristical Yearbook". 国勢調査
注：デンマーク＝2011年、日本＝2010年、現在

	面積（Km²）	人口（人）
Lolland	**1,245**	**64,730**
富山市	**1,242**	417,046
むつ市（青森）	864	**63,838**

（資料）Statistics Denmark "Staristical Yearbook". 国勢調査
注：デンマーク＝2011年、日本＝2010年、現在

デンマークの人口をより詳細に見ると、全体の人口は 1990 年以降 510 万人台から 2011 年の 556 万人へとなだらかな右肩上がりで増加（8.3%）しており、それとは対照的に、サムソー島とロラン島は両島とも右肩下がりの減少傾向を示している。サムソー島は 1990 年の 4,394 人から 2011 年には 3,885 人へと約 12%、ロラン島も同じく 73,191 人から 64,730 人へと約 12%減少している[1]。

人口統計によると、島民の数は毎年減少しており、若い人々が島を去り永住するため少数の人が帰ってくるだけである。ここ数年、島のベビーブーム世代の子供が去って、人口の下落傾向が加速している。雇用者数も人口減少によって影響を受けている。2000～03 年では島外に通勤する人より島へ通勤する人の方が多かったが、04～05 年では島へ通勤する人より島外に通勤する人の方が多くなった。サムソー島には３つの小・中等学校、若者の２つの寄宿学校、１つのコミュニティカレッジがあり、雇用の増加要因として、この寄宿学校とコミュニティーカレッジがあった。ただ 08 年 10 月からユトランド半島とフェリー航路が接続となった結果、それまでのオウフスとの直航路と合わせ２つの航路ができたため多くの人々が通勤可能になった。

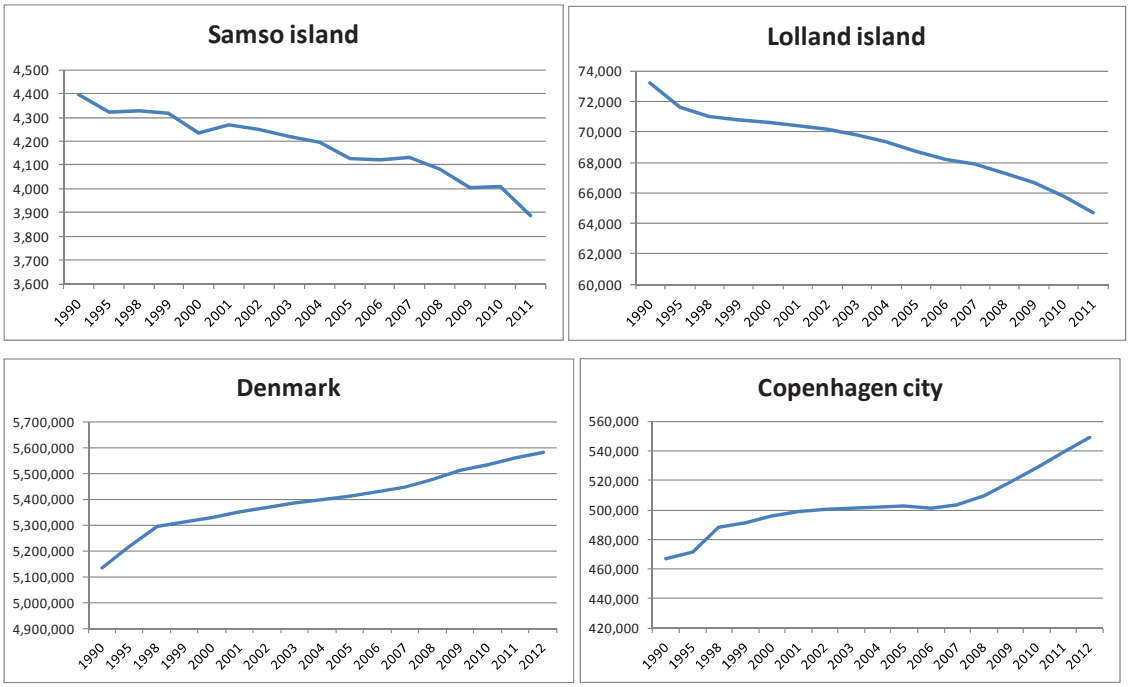
サムソー島の主な産業は、「農業」と「観光業」の２つである。農業といっても島からの移出物ないし輸出品として生産される多くの野菜や果物がその代表である。また、島の農産物から、デンマーク国内でも知名度の高い「サムソーポテト」のような瓶詰や各種野菜の酢漬けが二次加工品として出荷されている。ただし、製造業として 70 人の雇用のあった

[1] Statistics Denmark "Statistical Yearbook"

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

サムソー島豚肉屠畜加工場が 2000 年前後に閉鎖されてしまった。観光業では、夏期を中心に毎年、約 50 万泊の観光客が来島時に宿泊する。このため島内には夏期用のコテージが数百軒建っている 。しかし、永住している農民を除くと、観光業で働く人々は必ずしもサムソー島では暮らしてはいないという問題がある。

サムソー島の農産加工品



以上のような概観を踏まえ、以下、具体的にサムソー島における再生可能エネルギーに対する取組みを見ていくことにしよう[2]。

[2] 以下、サムソー島の具体的な取り組みについては、つぎの資料に基づく。“Samsø – a Renewable Energy Island, 10 years of Development and Evaluation” Published in 2007 with funding from the Danish Energy Agency.

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

２．島内の再生可能エネルギー関係機関

「サムソー・エネルギー・環境オフィス」は、再生可能エネルギーを振興し、自分たちの再生可能エネルギープロジェクトを確立することを望むサムソー島に助言するという明確な目的をもって 1997 年に設立された。サムソー・エネルギー会社 Samsø Energy Company は、特に洋上風力発電機と地域暖房プロジェクトを実現するため 1998 年に設立された。これらの２つの組織が、「再生可能エネルギー島 the Renewable Energy-island」プロジェクトのスタート時から個別的かつ集約的にキャンペーンや会議を設定し、島民のグループが合同して地域暖房プロジェクトに参加するなど島民が積極的に参加しうるよう支援した。

2005 年末の段階では、３つの新しい地域暖房システムと 11 基の陸上風力発電タービン、10 基の沖合風力発電タービン、そして多くの個人所有の再生可能エネルギー設備が存在していた。その時点で、再生可能エネルギーによる 100％自給の目標は事実上達成され、加えて「再生可能エネルギー島」の組織が以下のように再編された。

「サムソー島エネルギー・アカデミー」の建物

2006 年秋に「サムソー・エネルギー・アカデミーSamsø Energy Academy」の入居準備ができ、そこに、再生可能エネルギー組織である「サムソー・エネルギー本部 Samsø Energy Agency」と「エネルギー・サービス・デンマーク Energy Service Denmark」、「サムソー・エネルギー環境事務所 Samsø Energy and Environment Office」（後者はいまだに地元の「再生可能エネルギー」配置の積極的関与者である）を収容している。

エネルギー・アカデミーは、ワークショップや会議、展示を仲介することにより「再生可能エネルギー」の教育およびコミュニケーションの分野で活動し、さらに教材を準備して、多くの地域教室や学校を訪問し「体験型」学習を展開している。

サムソー･エネルギー環境事務所は「サムソー沖合風力発電会社 Samsø Offshore Wind Co.」の共同所有者である。この会社は、沖合風力発電プロジェクトを調整し、プロジェクト免許を保持するために創設された。

これらのエネルギー機関は、「サムソー島埋立地バイオガス社 Samsø Landfill Biogas Co.」や他に組織された多くのプロジェクトや組織の創設を支援した。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

３．島民の再生可能エネルギーへの具体的取り組み

（１）地域暖房システム District Heating

サムソー島の再生可能エネルギーによって産出された暖房用の総熱量割合は、1997～99年の平均約25%から、2005年には約65%まで増加した。しかし、人口減少等の要因により、同期間に熱消費量は約10%減少した。

サムソー島の地域暖房プロジェクト開始時に、自治体議会は既存の全住宅に対し、地域暖房システムを受容れるか、接続を断わることができるという選択肢を盛り込んだ自主協定を作成した。ただし、地域暖房が備わっている地域あるいは地域暖房が計画された地域の新規建造物については、地域暖房システムへの接続が強制された。自治体議会に参加した地域の中で、Tranebjerg地域では１つの地域が、Ballen地域では３つの新区画が地域暖房システムの接続を強いられるケースに該当した。それらは合計で約80戸であったが、そのうち10戸は実際に接続し、約60戸が2008年末までに接続した。

一方、島内の Besser、Langemark、Torup、Østerby の各村に計画された４つの地域暖房システムの試みは成功しなかった。というのは、住民のうち数人が当該プロジェクトに興味を示さなかったことと、それ以外の住民がバイオマス装置や他の再生可能エネルギーシステムに個人的に投資をしてしまった後だったからである。もっと詳しく言えば、Østerby村の配管は比較的長かったが、同村には利用者がたった数人いるだけだった。Torup村では、利用者の数人は既にバイオマス処理装置に投資していた。４つの村の中で最大の Besser 村ではほとんど興味を持たれず、Langemark 村も同様であった。加えて、Besser 村の家の多くが別荘であることにも原因があった。

それら小さな村の再生可能エネルギーへの取組みの可否は次のような経緯であった。

2003 年 11 月から 2005 年 7 月までに、エネルギー組織は、Østerby 村と Besser 村、Pillemark/Hårdmark 村、およびそのほか地域暖房システムに接続されない地区においてキャンペーンを行った。当該キャンペーンに興味を持った42戸に対し、主として省エネルギーにより暖房費の節約が促進されることを説明した。対象となった 42 戸のうち 30 戸は石油暖房が主であったが、その42戸のうち５戸はもっぱらヒートポンプ、太陽熱暖房システム、木質燃料およびバイオマス・ボイラーといった再生可能エネルギーによって加熱しており、16戸は太陽熱暖房システムや木質燃料、バイオマス・ボイラーを補助的に利用し、17 戸の主な熱源は木質燃料で補われた電気暖房であった。ただ、これらの３つの村に対するキャンペーンでは、ほかの地域暖房システムや洋上風車を引き合いに出して再生可能エネルギーを促進するといったことは行われなかった。

また、当該キャンペーンで、エネルギー・アドバイザーは14戸に対し、ヒートポンプと木質ペレットボイラーをほぼ均等に分割し、ほぼ等しい利益をともなった再生可能エネルギーの100%適用を計画した。一方、木質ペレットボイラーの過剰な使用が地域環境に影響（いくつかの村では多くのボイラーが局所的に放出）を与えることから、所有者の何人か

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

はバイオマスボイラーを補うものとして太陽熱暖房システムに興味を持っていた。既に設置されていた数少ない再生可能エネルギー装置を除いて、今後、果たして何戸が推薦に応じて再生可能エネルギー装置に切り替えるかは不明であるが、数戸が新たな再生可能エネルギーによる暖房手段を導入する予定である。ただ、そのタイミングは、石油暖房炉の経過年数や電気と原油の価格比に左右されるであろう。

こうした問題に加え、財務的な影響も考えられた。木質燃料の導入は空気や水を蓄えるヒートポンプよりは安価である。しかしながら、消費者は木質燃料が木材の集積スペースを要し、またある場合にはボイラーと大きさが一致する新しい煙突が必要であるといったことを忘れがちである。さらに、木質ペレットの取扱いやボイラー清掃に一定の労力を必要とする。サムソー島の１/３は年配者であり、これらの作業が困難になり得る。さらに、コンプレッサー配置が家の内部か外部かで変わり得るが、振動するヒートポンプの騒音問題も考慮の対象になるだろう。

（２）風力発電 Wind Turbines

①陸上風力発電機の能力と設置・投資

サムソー島の配電はＮＲＧｉ（前ＡＲＫＥ）によって管理されており、電気はここから島の全世帯に配電される。ユトランド半島から島中央部の Vadstrup 付近の変電所に海底ケーブルが敷設・接続されている。1997 年のエネルギー島基本計画では、島の電力消費が 29,000MWｈ（105TJ）と推計された。定格 750ＫWの風力発電機 15 基がこの年間電力総量を発電し得た。1998 年に風力発電機の設置場所の選択と建設資金の造成のための手続きが開始され、これに対し潜在的投資家には事欠かないことがすぐに明白となった。特に、風力発電機の設置場所の土地を保有する農民が、自分の風力発電機に投資することを切望した。また、サムソー島エネルギー機構は、公的情報を提供することと、それによって風力発電機への投資に対する関心を促すこと、の２つの目的のもとに多くの公聴会を設定した。

②「サムソー洋上風力発電会社」の設立

サムソー島の輸送部門のエネルギー需要を再生可能エネルギーで賄うことのできる利用可能な技術は、現在のところ島のエネルギー市場にはない。したがって、当該エネルギー供給に沖合風力発電で相殺することができる、ということを「再生可能エネルギーの島基本計画」は示した。輸送部門で使用されるエネルギーを補うため、同計画は CO2 削減と同等量のエネルギーを発生させるというものである。1.5MW（1998 年時点で利用できる発電機の規模）の 15 台の風力発電機でこれを賄うことができると、同計画では計算された。

重要な地元のパートナーを沖合風力タービンの所有に巻き込むため、島の商工会、農業者協会、自治体、エネルギー環境事務所が連携して「サムソー洋上風力発電会社」を設立した。また、デンマーク・エネルギー当局は、海底の予備調査と必要な環境研究に資金を

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

供給した。技術革新の劇的な進展により、2002 年までに 2.3MWの風力発電機が利用できるとようになり風力発電機は一時、世界最大であった。

サムソー島の風力発電（陸上）

４．再生可能エネルギー投資の資金調達と公的補助

サムソー島の風力発電については、2000～03 年の間、6600 万 DKK（約 880 万 EUR）の投資で総生産能力 11MWの 11 基の陸上風力発電タービンと、約２億 5000 万 DKK（約 3330 万 EUR)の投資で総生産能力が 23MWの 10 基の沖合風力発電タービンがそれぞれ設置された。デンマーク・エネルギー当局は、これらに要した予備的調査とプロジェクト資材に対し 750 万 DKK（100 万 EUR）を援助した。

地域暖房については、2001～04 年の間、総投資額 4500 万 DKK（600 万 EUR）で３つの新しい地域暖房プラントが契約された。内訳は、2001～02 年に Nordby Maarup 海岸で 2050 万 DKK（270 万 EUR）のプラント、2002～03 年に Onsbjerg 海岸で 850 万 DKK（110 万 EUR）のプラント、そして 2004 年に Ballen Brundby 海岸で 1620 万 DKK（210 万 EUR）のプラントである。これらの地域暖房プロジェクトは、デンマーク・エネルギー当局により造成された地域暖房配分基金の１つ「新規巻き直し資金（‘From the ground up’）」から、次の公的助成を受け取った。Nordby Maarup プラントが約 900 万 DKK（120 万 EUR)、Onsbjerg プラントが約 300 万 DKK (40 万 EUR)、さらに Ballen Brundby プラントが約 250 万 DKK (33 万 EUR) である。

ところで、サムソー島の地域暖房システムは、それぞれ所有形態が異なっており、Nordby-Mårup 地域暖房は、地方公共事業会社 NRGi（既に、Tranebjerg で再生可能エネルギーのプラントを所有）によって所有・運用され、Onsbjerg 地域暖房は、個人投資家、起業家（Kremmer Jensen）によって所有・運用されている。また、Ballen-Brundby 地域暖房は、協同組合により所有されている。それらの資金調達の一部分は行政による保証によるものがある。なお、３つのすべて地域暖房システムがデンマーク・エネルギー当局の「新規巻き直し資金」から補助金を受けている。

その他の再生可能エネルギーについては、1998～2005 年の期間に個人および商用の住宅

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

所有者が太陽熱利用装置、バイオマスボイラー、ヒートポンプに合計約 1500 万 DKK（200 万 EUR）を投資した。これら 300 余の投資者は、デンマーク・エネルギー当局の別のプログラムからおよそ 300 万 DKK（40 万 EUR）の助成金（投資額の約２割）を受け取った。追加的な家の絶縁や窓の改良といった異なる省エネルギー投資は、個人住宅で 1998～2005 年の間に約 1500 万 DKK（200 万 EUR）の投資を要し、それには約 450 万 DKK（60 万 EUR）の公的補助金（同約３割）であった。このなかでも、とりわけ老齢年金受給者がエネルギーを節約するために家の改修をする場合には、投資にほぼ匹敵する公的補助金が付与された。

５．再生可能エネルギーによる雇用の創出

2000～05 年の間に、いくつかの地上風力発電施設と３つの新しい地域暖房システムが設置された。これらは建設業の需要を増やし、作業の多くが地元の職人によって行われた。このうち、Onsbjerg と Ballen-Brundby の地域暖房プラントを含むプロジェクトは 2002～04 年に終了した。ただし、島の新しい多くの建物はサムソー島エネルギー・アカデミーの重要部分を除き、本土の労働者によって建設された。

ここ数年の約４億 2500 万 DKK（＝5700 万 EUR）の総投資は、明らかに多くの仕事を生みだした。1998～2007 年の 21 基の風力発電機と３つの地域暖房システム、個人住宅投資およびエネルギー・アカデミーの建設に、年間でおよそ 20 人相当の雇用を生み出した。

元請業者が本土をベースにした会社であっても、地域暖房プロジェクトと風力発電機プロジェクトは基礎工事に地元の土建業者を使用し、据付工事に地元の機械修理工と電気技師を使用した。本島のエネルギー・プロジェクト構想に基づき、1998 年に太陽光発電ユニットを設置するに当たり、これらの据付けで地元雇用を確保するため、地元の配管工と鍛冶屋が認定された。また、新しい多くのエネルギー設備は、地元の熟練工によって設置され、また地元農民は、地域暖房プラントへの原料供給を契約すれば、不用の麦藁に対しより良い価格が保証される。

さらに、「サムソー再生可能エネルギー島」プロジェクトを組織化し、企画立案・広報する仕事につく人間の数が増えている。1998 年時点で当該プロジェクトで２人が常勤で仕事をしており、2007 年には６人が雇用された。このスタッフの増員は、「サムソー再生可能エネルギー島」プロジェクトを提供・仲立ちすることへの需要や興味の高まりの指標でもある。当該プロジェクトは、ＥＵ資金が部分的に融資された一地域の「エネルギー機関」の設立という点で成功した。当該機関の残りの資金調達先は、デンマークの企業や建設当局、「サムソー沖合風力発電会社」といった国内資金である。全国エネルギー指導プログラムは、エネルギー島プロジェクトのため同島に１人のコンサルタントを配置し、また、デンマークの企業と建設当局は「サムソー・エネルギー・アカデミー」のために３年任期の管理職を派遣した。これらのすべての組織は、「サムソー・エネルギー・アカデミー」で行われる日常業務の一部として機能している。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

なお、2005 年に「サムソー・エネルギー会社」はそれより大規模な暖房および風力発電計画が実行に移されたため閉鎖された。その２人の従業員は、「再生可能エネルギー島」プロジェクトのために仕事を継続した。１人は、「サムソー・エネルギー・アカデミー」プロジェクトの実現に向けた「再生可能エネルギー島」プロジェクトの上級顧問として、もう１人のエンジニアは、新「サムソー・エネルギー局（ＳＥＡ)」の後援の下、地方や地域の「再生可能エネルギー」プロジェクトのために働き続けた。ＳＥＡは、2005 年に設立された地域エネルギー事務所である。新「デンマーク・エネルギー・サービス」は、「サムソー・エネルギー・アカデミー」と共同で、エネルギー島プロジェクトで働く要員を雇い入れた。

サムソー島沖合の洋上風力発電機・３MW×10 基

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

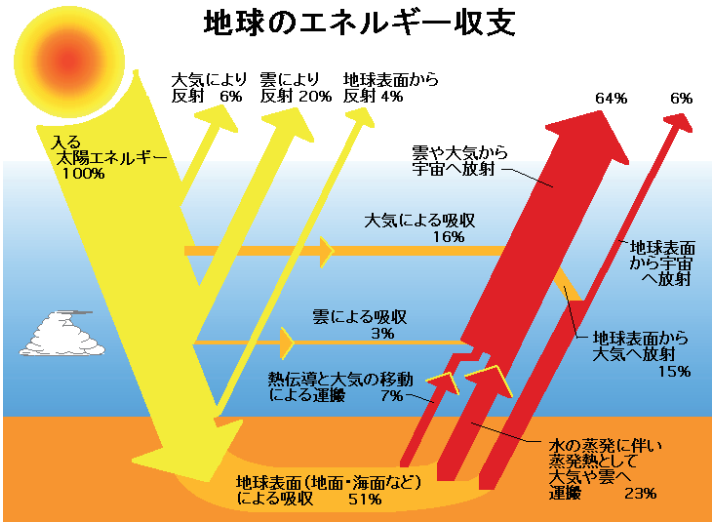
第Ⅱ部　日本における再生可能エネルギーの利用

第3章　日本における太陽光発電の導入状況と課題

1. 太陽エネルギーとその利用

太陽は太陽系の中心にある恒星であり、その直径は 139 万 km で地球の 109 倍、質量は地球の 33 万倍ある。太陽では、水素の原子核（＝陽子）がヘリウム原子核に変換する核融合反応が起きており、太陽から宇宙空間に光（＝電磁波）として巨大なエネルギーが放出されている。

太陽と地球の距離は約 1 億 5 千万 km であり、地球から月までの距離の 400 倍あり、太陽からの光は約 8 分かけて地球に届いている。地球に届いている太陽からの光エネルギーは、太陽が発しているエネルギー全体の 22 億分の1に過ぎないが、その太陽のエネルギーが地球上の生命を維持し、気象の変化をもたらしており、人類は古代より、生命の源泉であり多くの恵みをもたらす太陽を信仰の対象としてきた。



資料：NASA による

地球（地球大気外）に届いている太陽光のエネルギーは1m^{2}当たり 1.37kw（太陽定数）であるが、一部大気で反射されるため、地表に届いているのは1m^{2}当たり約1kw（＝860kcal/h，3,600 ジュール/h）であり、地表全体では 1.3×10^{14} kw のエネルギーが注いでいる。これは人類が消費している一次エネルギーの1万倍に当たる。光合成で用いられているのは、このうち 0.03%の 4×10^{10} kw にすぎず、人類はこの太陽のエネルギーを資源としてなんとか利用できないかと考えてきた。

2. 太陽光発電の仕組み

18 世紀以降の物理学（特に電磁気学）の発達により、光とは何か、電気とは何か、について科学

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

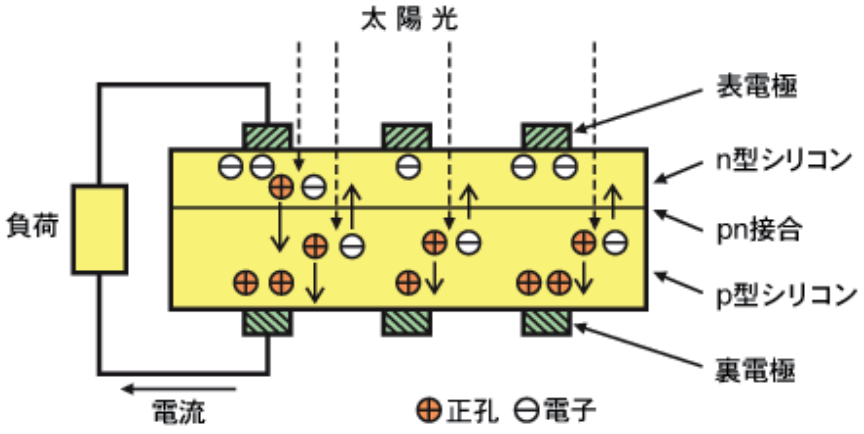
的に理解されるようになり、最終的には量子力学、相対性理論によってその全体像が解明された。こうした物理学の成果を実際の生活に利用する技術、製品の開発が進み、今日では、生活のあらゆる面で電気、電磁波が利用されるようになっている。

電気によって光を生み出す方法は 19 世紀に確立し(白熱灯)、その後、電灯は広く普及していったが、その一方で、逆に光のエネルギーによって電気が生じることがベクレル(1839)やヘルツ(1887)らによって発見され(光電効果)、光電効果は 1905 年にアインシュタインによって理論的に解明された(光量子説)。太陽光発電は、こうした物理学の理論を活用して 20 世紀半ばに実現したものであり、1953 年にベル研究所のピアソン、フラー、シャピンの３人によって半導体を利用した太陽電池(solar cell)が開発された。

物質には、ガラス、ゴムのような電気をほとんど通さない「絶縁体」(不導体)と、アルミニウム、銅などのように電気をよく通す「導体」があるが、「半導体」はその中間的な性質を持った物質である。ケイ素(Si、シリコン)は代表的な半導体であり、金属と非金属の中間に位置している。

シリコンのような半導体は不純物(添加物)や温度によって性質が変わることがあり、シリコンにホウ素、ガリウム等を加えると電子のない穴(正孔)ができ、これを p 型(positive)半導体と呼んでいる。一方、シリコンにヒ素、リン等を加えると自由電子が生じ、これをn型(negative)半導体と呼んでいる。このp型とn型の半導体を接合させると、接触面ではn型の電子がp型に引き寄せられて電子と正孔が消滅し、その結果、n型のほうがプラスの電荷、p型のほうがマイナスの電荷を帯び、その間に電場(電界)が生まれる。

太陽電池の原理



資料:太陽光発電協会ホームページ

そのp型とn型の接触面に光を当てると、光電効果(物質に光が当たると中の電子が飛び出る現象)によって自由電子が生まれ、pn 接合面の電場によって発生した自由電子はn型のほうに引き寄せられる。この時、p型とn型を導体でつなぐと、n型にたまった電子がp型に移動し電流が流れる(電流の流れとしてはp→n)。以上が、pn接合の半導体が光を受けた時に電気が生じる理由であり、これを発電に利用したのが太陽光発電である。なお、LED(Light Emitting Diode、発光ダイオード)

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

は、この太陽光発電の原理を逆にしたものであり、pn接合の半導体に電流を流すと光が発生する性質を利用している。

pn接合の半導体素子は「太陽電池セル」と呼ばれており、それを敷き詰めたものが太陽光発電の「ソーラーパネル」である。太陽光には様々な波長の電磁波（その一部が光）が混じっているため、すべてを発電に利用できるわけではなく、また一部はパネル面で反射されるため、理論的には変換効率（電気に利用できる太陽光エネルギーの割合）の最大限度は 30%とされているが、現在のところ研究レベルでは20%程度まで成功しており、市販されている太陽光発電の変換効率は13～17%である。

太陽電池には、シリコン系、化合物系、有機系の3つの種類があるが、最も多く使用されているのはシリコン系であり、シリコン系には、結晶シリコン（単結晶、多結晶）とアモルファス（非結晶）シリコンがある。化合物系は、銅、カリウム、カドミニウムなどシリコン以外の化合物を使ったものであり、有機系とは、光吸収層に有機化合物を使ったものである。それぞれ長所、短所があり、用途、コスト等に応じて使い分けが行われている。

3. 日本における太陽光発電の普及過程と政策的支援

太陽電池は、ベル研究所が 1953 年に開発して以来、徐々に実用化されていったが、当初は太陽電池の価格が非常に高かったため、実際に用いられたのは宇宙開発分野などごく限られた分野であった。

こうした状況が変化するのは、1973 年に発生した石油ショック以降である。石油ショックによって資源の有限性が認識されるようになり、石油に代わる代替エネルギーの開発が急務となり、その一つとして太陽光の活用に対する期待が高まった。

日本では、石油ショック後の 1974 年にサンシャイン計画（新エネルギー技術開発計画）が策定され、これにより太陽、地熱、石炭、水素エネルギーの4つの重点技術の研究開発が進められた。そして、そのサンシャイン計画によって、81 年に、愛媛県西条市に太陽光発電試験プラント、香川県仁尾町に太陽熱発電試験プラントが設置された。なお、既に 59 年より太陽電池の研究に着手していたシャープは、76 年に太陽電池付き電卓を発売し、その後、太陽電池は電卓、時計に広く使用されるようになっていった。

78 年には、省エネルギー技術開発計画（ムーンライト計画）が開始され、80 年に石油代替エネルギー法の制定に伴って NEDO（新エネルギー総合開発機構、現在は新エネルギー・産業技術総合開発機構）が設立された。

さらに、92 年に開催された地球サミットを受け、93 年にサンシャイン計画とムーライト計画を統合して「ニューサンシャイン計画」が始まり、これにより太陽光発電システムの開発、太陽電池の製造コスト削減、変換効率の向上が進められた。その結果、太陽電池の生産コストは大きく低下し、太陽光パネルのkw当たりの価格は、1993 年では 370 万円であったが、95 年に 170 万円、2000 年には 84 万円まで低下し、2011 年では 57 万円になっている。また、変換効率も、当初は数%程度に過ぎ

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

なかったが、徐々に向上し、現在では 15%以上の変換効率を実現している。

こうした研究開発の一方で、太陽光発電の普及を支援する制度が設けられ、80 年にソーラーシステム普及促進融資制度(低利融資)が始まり、92 年からは NEDO のテスト事業として、公共施設への太陽光発電設置に対して3分の1を補助する事業が導入された。また、94 年には住宅用太陽光発電システムモニター事業(2分の1補助)、97 年からは住宅用太陽光発電導入基盤整備事業として新エネルギー財団の補助金制度が始まった。さらに、2002 年には RPS 法(Renewable Portfolio Standard: 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法)が制定され、電力会社が再生可能エネルギーを一定割合購入することが義務づけられた。

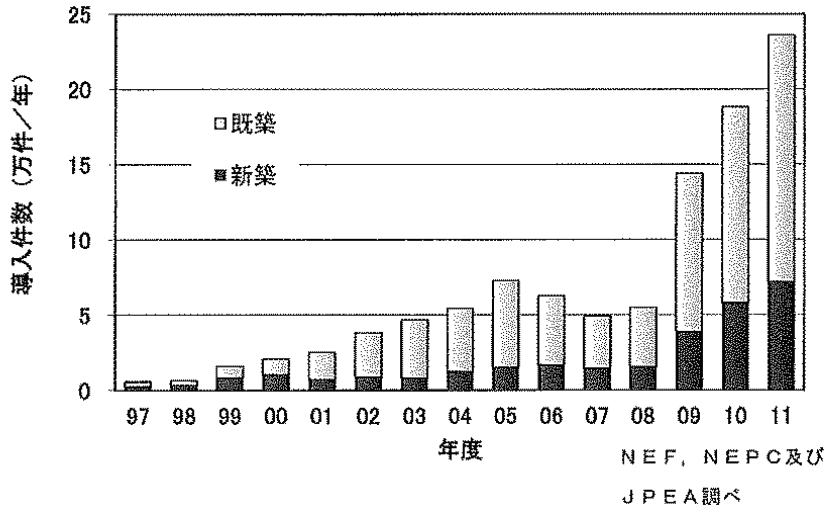
こうした制度の結果、日本国内で住宅用太陽光発電は徐々に普及し、日本の太陽電池生産量は世界一となった。05 年に新エネルギー財団の補助金が打ち切られると太陽光発電の普及は一時失速したが、09 年に太陽光発電の固定価格買取制度が導入された結果、普及件数は再び増加に転じている。

4. 日本国内の普及状況

太陽電池の研究開発が進んだ結果、変換効率が向上するとともに、ソーラーパネルの価格が低下し、さらに補助金等の制度的支援によって、太陽光発電は次第に普及するようになっていった。

太陽電池が電卓、時計に使われ始めたのは 70 年代からであるが、住宅用の太陽光発電が普及し始めたのは補助金制度ができた 90 年代半ばからである。当初は設置件数は少なかったが、99 年度に 1 万件を超え、その後順調に伸び、05 年度には年間7万件を超えた。その後3年間は停滞したが、 09 年に固定価格買取制度が導入されると 09 年度以降急増し、11 年度の年間設置件数は 23 万件になり、累計の設置件数は、12 年 4 月末で 100 万件に達した。

住宅用太陽光発電の導入量推移

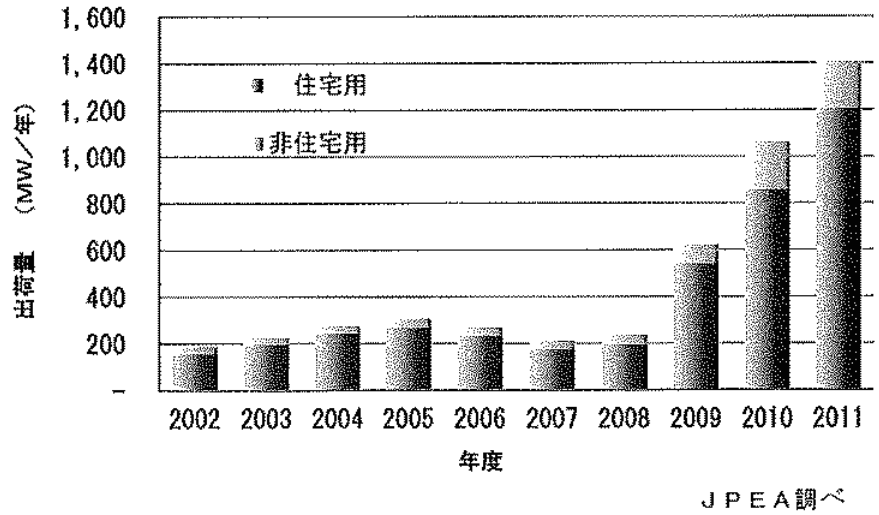


(資料)太陽光発電協会「JPEA PV OUTLOOK 2030」

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

普及状況を発電容量でみると、05 年度まで順調に増大して 05 年度には1年間で太陽光発電の新設が 20 万kwを超え、06 年度以降やや失速したものの、10 年度は 60 万kw、11 年度は 140 万kw(前年度比 2.3 倍)に達し、累計の発電容量は 11 年度末で 628 万 kw に達している。

太陽電池出荷量推移（国内向け）



（資料）太陽光発電協会「JPEA PV OUTLOOK 2030」

日本における太陽光発電の普及は8割以上が住宅用であり、新築住宅より既築住宅のほうが多い。日本には戸建住宅が 2,700 万戸あり、現在は、そのうち既に 100 万戸に太陽光発電が設置されているが、太陽光発電協会では、今後年間 40～50 万件の設置件数を予想している。

固定価格買取制度が開始して投資に対する収益が見込めるようになったため、2010 年以降、事業用のメガソーラー(出力 1,000kw 以上の太陽光発電)を設置する動きが盛んになっている。2011 年 9 月現在でメガソーラーは 80 か所あり(計画中を含む)、うち電力会社によるものが 25 か所、電力会社以外によるものが 55 か所であり、ソフトバンクのみで 10 か所を計画している。また、全農は三菱商事と組んで、農業用施設にソーラーパネルを設置する計画を進めている。

5. 世界の普及動向

世界全体をみても、太陽光発電の普及は急拡大している。 欧州太陽光発電産業協会(EPIA)の報告書（Market Report 2011）によれば、世界全体の導入量は、2010 年は 1,663 万kw(前年比 129%増)、11 年は 2,770 万kw(前年比 67%増)であり、毎年、過去最高を更新している。

2006 年から 2011 年までの年間導入量は以下の通りであり、この 5 年で年間導入量は 18 倍に増加し、2011 年までの累計の導入量は 6,770 万kwに達している。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

世界の年間導入量の推移

2006 年： 158 万 kw
2007 年： 251 万 kw（ 59%）
2008 年： 617 万 kw（146%）
2009 年： 726 万 kw（ 18%）
2010 年：1,663 万 kw（129%）
2011 年：2,770 万 kw（ 67%）
（カッコ内は前年からの増加率）

11 年の導入量を国別に見ると、ドイツが 900 万kw、イタリアが 750 万kwであり、この上位 2 カ国で世界全体の 6 割を占めている。英国（70 万 kw）、ベルギー（55 万 kw）、スペイン（40 万 kw）等を加えた欧州全体の導入量は世界の約 75%に達しており、欧州が世界のマーケットを牽引している。

なお、累積ではドイツが最大で 44%を占めており、次いで、スペイン 10%、日本 9%、イタリア 9%である。

2011 年の国別導入量

① イタリア 900 万 kw
② ドイツ 750 万 kw
③ 中国 200 万 kw
④ 米国 150 万 kw
⑤ フランス 150 万 kw
⑥ 日本 110 万 kw

6. 主要メーカーの動向

（1）日本企業の動向

太陽電池を開発したのは米国のベル研究所であったが、それを実用化する過程で日本企業が大きな役割を果たし、2006 年まで日本は世界最大の太陽電池生産国であった。

2010 年における日本企業の国内生産シェアは、シャープ 34%、京セラ 33%、三洋電機 19%、三菱電機 10%、ソーラーフロンティア 3%、カネカ 3%であり、各企業の動向は以下の通りである。

日本で太陽電池の開発・普及をリードしたのはシャープであり、シャープはベル研究所が太陽電池を開発した5年後の 1959 年に研究に着手し、63 年に量産化に成功し、76 年には世界で初めて

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

太陽電池付きの電卓を発売した。さらに、94 年に住宅用太陽光発電システムを商品化し、2000 年から 06 年までシャープは太陽電池の生産量において世界最大のメーカーであった。

京セラが太陽電池の研究を開始したのは、1975 年にシャープ、松下電器（現パナソニック）、モービルと合弁会社を設立してからである。京セラはセラミック（陶器）をメインとする企業であるため半導体分野に強く、高い性能と品質を持った太陽電池の製品化に成功している。京セラは、シャープより1年早い 93 年に住宅用太陽光発電システムの販売を開始し、現在では、太陽電池においてシャープに次ぐシェアを有し、シャープと京セラのみで国内シェアの3分の2を有している。

三洋電機が太陽電池の研究を開始したのは京セラと同じ 1975 年であり、79 年には世界で初めてアモルファス（非結晶型）太陽電池の実用化に成功した。さらに、90 年より HIT 太陽電池の開発を開始し、97 年に発売した。なお、三洋電機は 09 年にパナソニックの傘下に入っている。

三菱電機は、重電から家電まで手掛ける総合電機メーカーであり、サンシャイン計画を契機に 1974 年に太陽電池の研究を始めた。三菱電機の太陽電池は 90 年代半ばまで産業向けが中心であったが、96 年に住宅用システムに参入した。

昭和シェル石油は、輸入した原油を精製して国内のガソリンスタンドで販売することを主な事業としているが、石油事業の伸び悩みのなかで太陽光発電の研究を 1978 年より開始した。2006 年に太陽光発電事業を行う子会社昭和シェルソーラーを設立し、2010 年よりソーラーフロンティアに社名を変更した。GIS薄膜太陽電池という化合物系に特色がある。（詳細は 参照）

カネカは、鐘紡紡績（後のカネボウ）の化学部門を分離した鐘紡化学工業が前身であり、2004 年に現在の社名カネカに変更した。同社は、1980 年より太陽光発電の研究を開始し、エレクトロニクス部門で事業展開している。薄膜ハイブリッドの太陽電池に特色がある。

（2）世界の太陽電池メーカーの動向

このように日本の太陽電池メーカーが世界をリードし、05 年では世界の太陽電池生産において、上位 5 社のうち日本のメーカー4 社が名を連ね、日本の 4 社で世界シェアの 83% を占めていた。

しかし、04 年よりドイツが固定価格買取制度（FIT）を導入しドイツにおける太陽光発電市場が急拡大すると、ドイツのメーカーが急成長し、07 年にはドイツの Q セルズがシャープを追い抜いて世界最大の太陽電池メーカーになった。その後、中国、台湾のメーカーが急成長し、2010 年において世界第 1 位は中国の Suntech Power（6.5%）であり、2 位は中国の JA Solar（6.0%）、3 位は米国の First Solar（5.8%）で、中国・台湾で世界シェアの 60%近くを占めている。一方で、日本のメーカーのシェアは 10%程度にとどまっている。

全世界の太陽光発電の導入量は毎年増加しているが、一時は世界をリードしたドイツの Q セルズの経営が破たんするなど、太陽電池メーカーをめぐる状況は厳しさを増している。太陽電池の需要が大きく伸びている一方で、太陽電池モジュールの価格がここ 1～2 年で大きく下落していることが太陽電池メーカーを苦しめている最大の要因である。例えば、米国では、2011 年初頭では太陽電池パネル（結晶シリコン系）の価格は 1 W 当たり 2 ドル近

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

かったが、2012 年には 1 ドルを切るレベルに下がっている。現時点では、低価格を武器にシェアを伸ばしている中国・台湾のメーカーですら利益を出していないのが実情である。

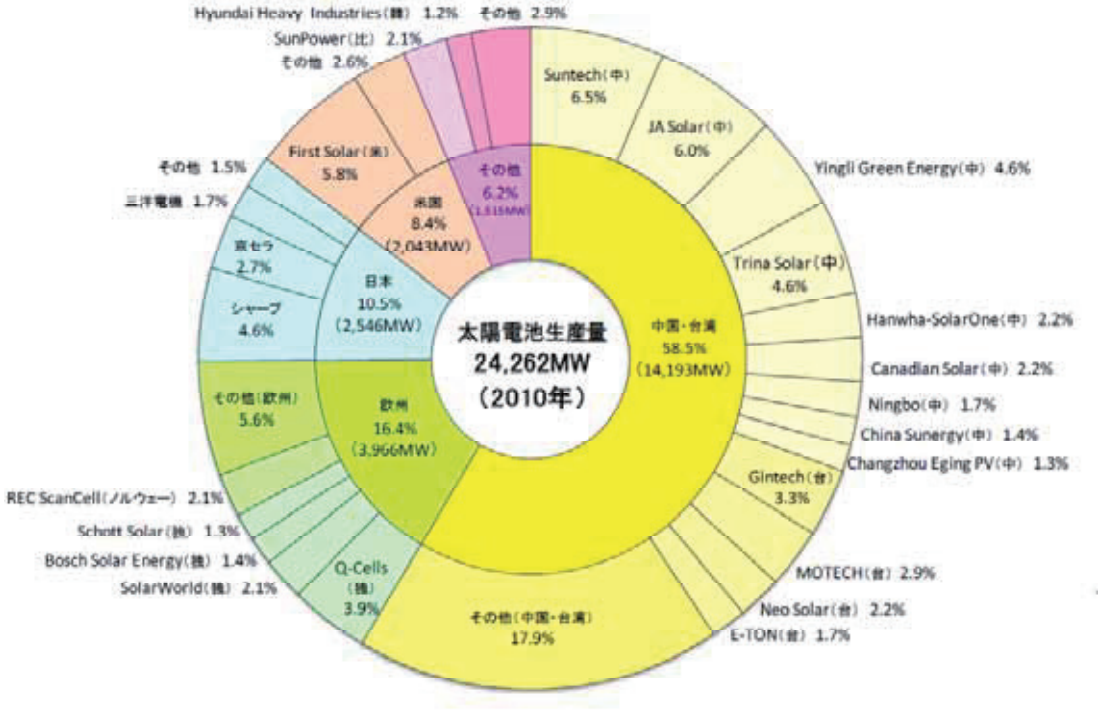
厳しい状況下、国内外のメーカーは生き残りのため、次のような戦略を打ち出している。

① コスト競争力の徹底追及（生産コストの安価な新興国への生産移転を含む）

② 技術力を生かした高付加価値化（発電効率を高める等）

③ バリューチェーンの拡大による収益確保（発電事業等への進出）

図　2010 年の太陽電池生産量（出所：経済産業省）



なお、上図の企業別生産量のグラフについては、米国のFirst Solarは米国内での生産量とドイツ工場とマレーシア工場の生産量の合計値を米国の生産量としてカウントしている。
同様に、ドイツのQ-Cellsは、マレーシア工場での生産量をドイツの生産量としてカウントし、また同じくドイツのSolarWorldにおいても、米国工場での生産量をドイツの生産量としてカウントしている。
また、ノルウェーのREC ScanCellについては、シンガポールのREC Solarの生産量をノルウェーの生産量としてカウントしている。

出典：PV News.2011.5及びPV News.2011.7をもとにMETIで作成

7．　太陽光発電の展望と今後の課題

（1）日本における普及の見通し

太陽光発電の出荷量は順調に増加し、2011 年の太陽電池パネルの国内総出荷は 129 万 kw となり初めて 100 万 kw（1 GW）を超えたが、2012 年 7 月から日本でも全量固定価格買

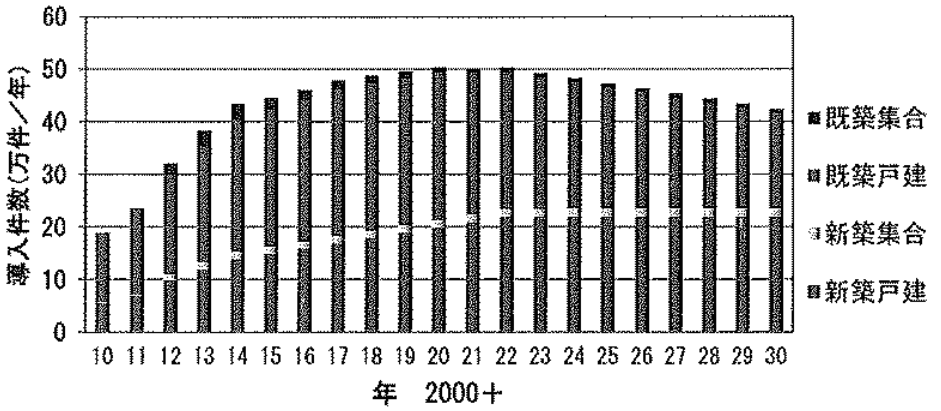
農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

取制度が導入され、日本においても太陽光発電の新しい時代が始まったと言えよう。これまで太陽光発電は住宅用が主であったが、今後は、これまであまり導入が進まなかった発電事業用のメガソーラーにも投資ファンド等からの資金が流入し、太陽光発電の一大ブームが起こる可能性があろう。

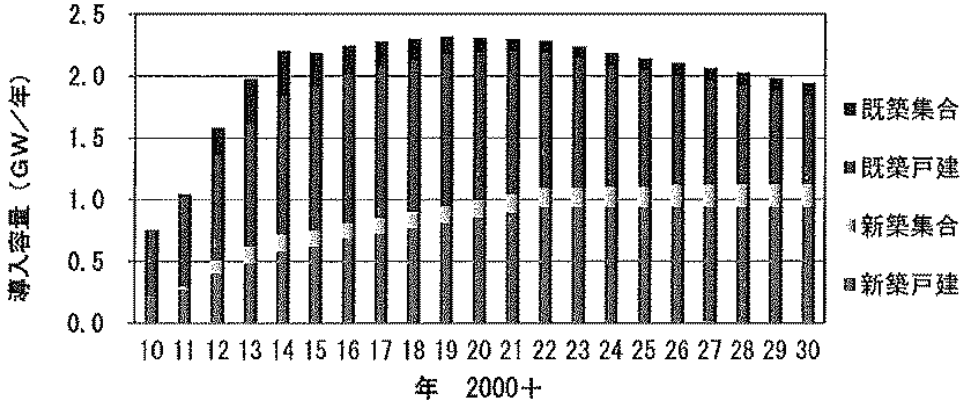
今回、政府が設定した買取価格の水準（1kwh 当たり 42 円）は、現在の設置コストからすると十分採算が取れるレベルになっている。例えば、4kw の太陽光発電で試算すると、パネルの価格は 228 万円で周辺機器を合わせて 300 万円程度で設置でき、1kw 当たりの年間発電量は 1,000kwh（1 日 2.7kwh）が見込めるため、4kw の太陽光発電で年間売電金額は 17 万円の売電収入（1,000kwh×4kw×42 円）となり、単純に計算すると設備費は 18 年で回収できることになる。

日本では、太陽光発電の設置件数のうち住宅用が 8 割以上を占めており、今後も住宅用が最大の普及分野であると考えられ、太陽光発電協会では、これから 20 年間で年間 40～50 万件の設置件数を見込んでいる。当初は既設住宅が主であるが、10 年後頃からは既設と新築が同程度となると考えられている。

住宅用太陽光発電の市場規模（導入件数）



住宅用太陽光発電の市場規模（導入容量）



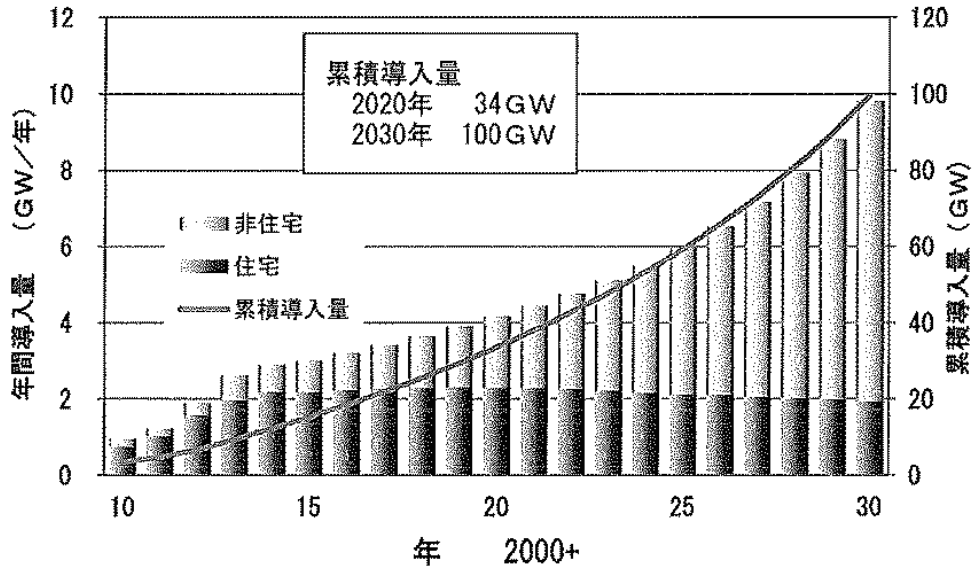
（資料）太陽光発電協会「JPEA PV OUTLOOK 2030」

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

国内の一戸建て住宅の総数は約 2,700 万戸あるが、経済産業省は、太陽光発電設備が設置可能な住宅は 1,200 万戸程度と一戸建て住宅全体の半分以下であると推計している。これは、1980 年以前の耐震基準しか満たしていない住宅が約 1,200 万戸あり、また屋根の形状から太陽光パルの設置が困難な住宅があるためである。しかし、南向きの屋根が小さいケースや、住宅密集地等で日陰となるケースもあるため、実際に太陽光発電を設置できる住宅数は、経産省が設置可能としている 1,200 万戸よりもさらに少ないと考えられる。この問題をすぐに解決するのは困難であり、今後建てられる全ての建築物（注）は太陽電池パネルの設置を前提として設計する等の根本的な対策が必要であろう。

（注）なお、新設住宅着工戸数は、かつて年間 150 万戸を超える時代もあったが、近年は 100 万戸を割り込んでおり（11 年は 83 万戸）、うち戸建住宅は年間 30 万戸程度になっている。

太陽光発電の導入量見通し



（資料）太陽光発電協会「JPEA PV OUTLOOK 2030」

（2）世界の普及見通しと FIT

2012 年において太陽光発電の成長が見込まれるのは、昨年（2011 年）から FIT（Feed-in Tariff: 固定価格買取制度）を導入した中国、2012 年 7 月から全量買取制度を導入した日本であり、米国でも太陽光発電の拡大が見込まれている。中長期的には、中国やインドをはじめとして、東南アジア、中南米、中東、北アフリカ等の日照時間の長い国を中心とした新興国での需要が伸びて行くと考えられる。

ただし、急激に伸びてきた太陽光発電の需要であるが、この増加傾向が今後も続くかというと、見通しは必ずしも楽観的ではない。理由の一つは、需要を牽引してきた欧州にお

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

いて FIT 制度の見直しが行われると需要が減退する可能性があり、他の地域でも、FIT によるブームは一過性であり、買取価格が下がってしまえばそこで普及が止まってしまう可能性がある。

このように、太陽光発電普及の将来は、短期的には FIT に代表される各国の政策支援に大きく左右されるが、最終的には「グリッドパリティ」（太陽光発電の発電コストが系統電力のコストと同等となること）にいかに早く近付くかにかかっているといえよう。例えば、ドイツにおいては、1kw の太陽光システムの価格が 2006 年には 5,000 ユーロ程度であったが 2012 年には 2,000 ユーロ程度まで下がっており、家庭用としてはグリッドパリティに近いレベルになりつつあり、政策誘導なしでも普及する可能性が出てきたと考えられる。

（3）コスト削減の課題

太陽光発電の普及促進のためにはコスト削減が必要であり、そのためには太陽電池パネルのコストを引き下げとともに、パワーコンディショナー・架台・工事の費用を含む太陽光発電のシステムとしてのコスト全体を下げていく必要があり、特に日本ではこのコスト削減が重要な課題である。

発電事業用の 100ｋｗの太陽光発電システムについて、日本とドイツのコストを比較した資料（経済産業省）によれば、日本では架台・ケーブル・工事費やパワーコンディショナー（パワコン）・接続箱が特に割高であり、この部分においてコスト削減の余地が大きいことが指摘できる。

現状システムコストの約 36%を占めている架台・ケーブル・工事費のコスト削減に関しては、FIT 導入によるブームを期待した海外メーカーの国内進出、また、国内企業による独自技術での新しい架台や工法の開発が進むなど、コスト低減に向けた動きが活発化している。

システムコストの約 15%を占めているパワーコンディショナーは、直流から交流への変換と電圧・周波数の調整を行う太陽光発電の重要コンポーネントであるが、風力発電やスマートハウス等で使われる蓄電池にとっても必需品であり、世界的な需要増が見込まれている。これまでは国内メーカーが国内市場を独占してきたが、今後は日本の FIT に目を付けた海外のメーカーが日本の市場に参入してくると考えられ、競争による国内価格の低下が見込まれる。このことは日本のメーカーにとっては試練となるが、中長期的には国産技術の競争力強化に繋がることになろう。

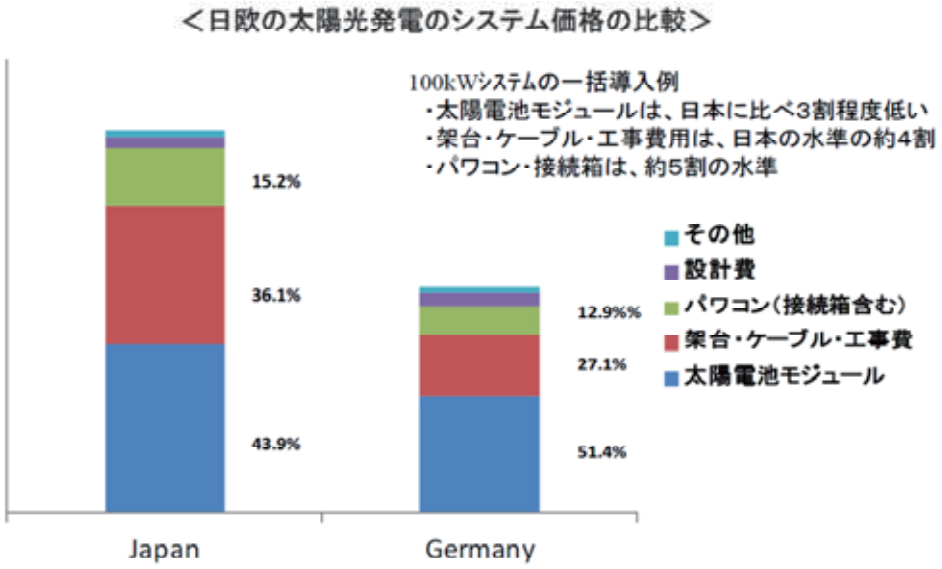
システムコストの 4 割程度を占めている太陽電池パネルに関しては、既にこれまでコスト低下が進んでおりこれ以上の削減余地は少ないと考えられるものの、海外メーカーの国内進出が始まって 2011 年の輸入比率は 20%を超えており、迎え撃つ国内メーカーは一層のコスト削減や発電効率の向上を図るなど対応に迫られている。パネルのコスト・性能のみならず架台・工事費の削減にも効果があるため、発電効率の向上は技術力で勝負する日本のメーカーにとっては最優先の課題である。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

太陽光発電システムのコストが下がり、FIT と相まって投資対象としての魅力が出てくれれば、発電事業用としての大規模な太陽光発電所の建設も進む可能性が高く、今後、耕作放棄地や工場跡地等の遊休地の利用も進むであろう。

しかし、太陽光発電の特徴を生かした利用法も忘れてはならない。それは、太陽光発電設備は住宅・ビルや工場・倉庫等の屋根・屋上に設置可能で専用の土地が不要であり、日本ならどこでも需要場所に設置できる分散電源だということであり、これは原子力や水力ではまねのできない特徴である。特に、平坦な土地が比較的少ない日本ではこの特徴を最大限活用するべきであろう。

その他の課題として、太陽光発電の大量導入による系統への影響や HEMS(ホーム・エネルギー・マネージメント・システム)との連携などが、本格的な普及に向けて克服すべき事項は多く存在するが、日本の太陽光発電がグリッドパリティに向けた新しい時代に突入したことは確かであろう。



出所：経済産業省資源エネルギー庁

［ソーラーフロンティアの事例］

1．会社概要

昭和シェル石油株式会社は、1985 年に昭和石油株式会社とシェル石油株式会社の合併により誕生した。現在は石油事業と太陽電池事業（エネルギーソリューション事業）を 2 本柱とし、生活に欠かせないエネルギーを安全かつ安定的に供給する「エネルギー・ソリューションプロバイダー」としての企業を目指している。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（１）石油事業

大株主であるシェルグループやサウジアラムコとの連携により世界中から輸入した原油を国内のグループ製油所（四日市製油所、京浜製油所、山口製油所 / 原油処理能力 日量 39 万 5 千バーレル）で精製し、全国約 3,800 ヶ所（2011 年 12 月末時点）のサービスステーション（SS）を通じて、ガソリンなどの石油製品を販売している。また、産業用燃料や液化石油ガス（LPG）、化成品、潤滑油、アスファルトなどの石油製品を販売する他、シェルグループのグローバルネットワークを活用して、石油製品の輸出も行っている。

（２）エネルギーソリューション事業

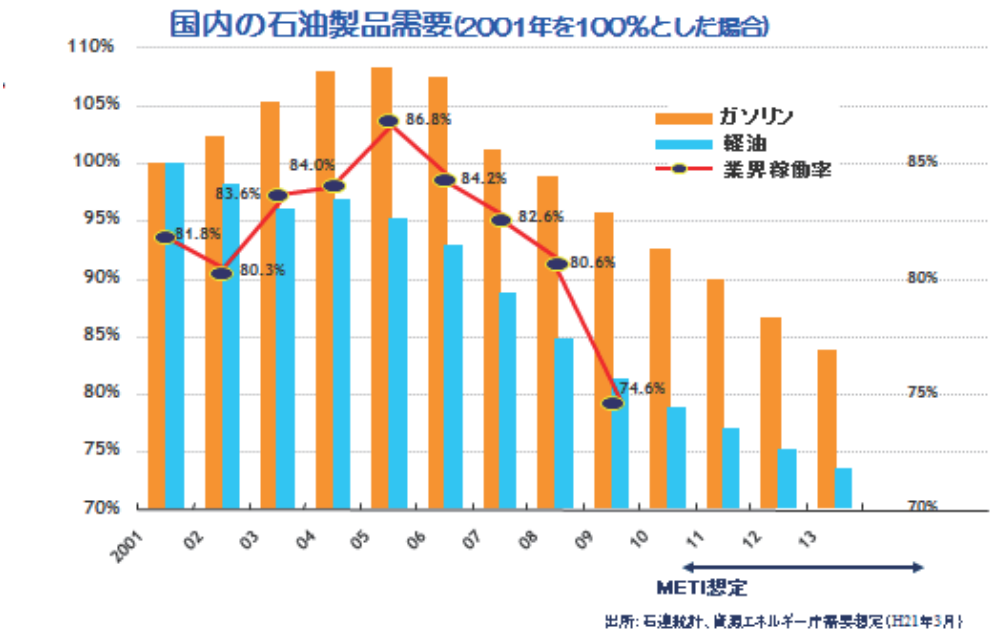
①太陽電池事業

同社は新世代型と言われている CIS 薄膜太陽電池の製造技術を独自に開発し、同社の 100%子会社であるソーラーフロンティア株式会社は、年間約 1,000 メガワットの生産体制を構築している。生産した製品は、日本をはじめ欧州、米国、中東、アジア等、世界各地で販売している。

②その他事業（電力事業）

東京ガス株式会社との合弁事業として天然ガス火力発電所「扇島パワーステーション」を立ち上げ、クリーンエネルギーを燃料とした環境に優しい電力を首都圏を中心に販売している。

２．昭和シェル石油の CIS 太陽電池の開発経緯



農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

同社では、現在、太陽電池事業を石油に次ぐ第 2 のコア事業として位置付けているが、その背景には、国内の石油製品需要が減少しており、その傾向は将来も続くと見られていることがある。

（1）1970 年代のオイルショックを契機に始めた太陽電池の研究開発

同社は、オイルショックを契機に次世代のエネルギーとして太陽光に着目し、1978 年に（当時は昭和石油として）太陽電池の研究開発を開始した。1993 年には、太陽電池パネルの中でも次世代型と言われていた CIS 薄膜太陽電池の研究を独立行政法人エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から受託し、以来、同社独自の製造技術として研究開発を進めてきた。CIS 薄膜太陽電池は、銅・インジウム・セレンの 3 元素で構成され、シリコンは一切使わず、黒い外観を特徴の一つとする太陽電池パネルである。

昭和シェル石油・ソーラーフロンティアの太陽光発電事業

資料：昭和シェル石油提供資料

（2）CIS 薄膜太陽電池の事業化決定から 6 年で年産 1,000MW の太陽電池メーカーに

2005 年には長年の研究開発成果を開花させるべく CIS 薄膜太陽電池の事業化を決定し、翌 2006 年に昭和シェルソーラー株式会社を設立した。その後、2007 年に宮崎プラント（年産能力 20MW）、2009 年に宮崎第 2 プラント（年産能力 60MW）、2011 年には単一の太陽光パネル工場としては世界最大級の宮崎第 3 プラント（年産能力 900MW）を完成させ、これら 3 つの工場合計で年間生産能力としては約 1,000MW(＝1GW)を有するに至っており、

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

同社独自の CIS 薄膜太陽電池の技術開発は継続されている。

なお、2010 年 4 月には社名を昭和シェルソーラー株式会社からソーラーフロンティア株式会社に変更し、また、海外での販売拠点としてアメリカとドイツに子会社を設立している。

（3） CIS 薄膜太陽電池の特徴

CIS 薄膜太陽電池は、薄膜系の中でもシリコンを使わない「化合物系」に分類される。同じ「化合物系」には米国のファーストソーラー社で有名なカドミウムテルル（テルル化カドミウム）があるが、同社の CIS にはカドミウムは含まれていない。

CIS 薄膜太陽電池の優れた特徴としては、①薄膜系の太陽電池の中では比較的発電効率が高いこと、②製造コストに関してシリコンを使う一般的な結晶系の太陽電池に比べ優位性があること等があげられる。

CIS 薄膜太陽電池の発電効率の潜在能力としては、ソーラーフロンティアが 30cm 角 CIS 薄膜太陽電池サブモジュールで世界最高のエネルギー変換効率 17.8%（同社測定値）を 2012 年 2 月に達成しており、これが商業ベースでの生産品の当面のターゲットとなる。ソーラーフロンティアが宮崎第 3 プラントで製造している市販用 CIS パネルではモジュールの発電効率 13%超を達成しているが、先に記録として出た 17.8%を目指し、継続的に製造技術を向上させていくことを目指している。

なお、CIS 太陽電池のもう一つの重要な特徴として、結晶シリコン系太陽電池と比較して同じ発電容量でも実発電量が多いことが知られている。これは NEDO の委託事業として実施された北杜メガソーラープロジェクトにおいて証明されており、実発電量は発電による収入に比例するため経済性上は重要なファクターである。なお、ソーラーフロンティアの調べでは、同社製 CIS 太陽電池の年間実発電量（システム発電容量 1kw 当たり）が結晶シリコン系太陽電池を８％上回ったとしている。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

第４章　日本における風力発電の現状と取組み事例

はじめに

化石燃料の大量消費に伴う二酸化炭素の排出が地球温暖化を引き起こしており、1997 年 12 月に開催された地球温暖化防止京都会議（ＣＯＰ３）において、先進国の温室効果ガスの排出削減目標が決められた（京都議定書)。

日本においても、石油代替エネルギーへの転換と新エネルギーの開発を加速させ、エネルギー源の多様化による供給安定化と二酸化炭素の抑制策が進められてきた。ここでいう新エネルギーとは、自然の力を利用したり、今まで使われずに捨てていたエネルギーを有効に使うものであり、石油への代替や二酸化炭素の排出量を減らすことができるなど、地球環境にやさしい再生可能エネルギーである。風力発電は新エネルギーの一つであり、風力エネルギーの最大 40%程度を電気エネルギーに変換できる比較的効率の高い発電方法である。

新エネルギーについては、1997 年施行の新エネ法（新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法）により、政府による導入促進策が強化されるとともに、地方公共団体や民間企業・団体等による活発な取り組みが進められ、風力発電の導入が進んだ。2001 年６月には、経済産業相の諮問機関である総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会が新エネルギーの導入見通しを示し、2010 年の風力発電導入目標を 300 万ｋＷ（設備容量）としたが、2010 年の風力発電導入量の実績（累計）は 244 万ｋＷになっている。さらに、2005 年３月に出された「2030 年のエネルギー需給展望」（総合資源エネルギー調査会需給部会）では、いくつかのシナリオを想定して 2030 年度までの新エネルギー導入量の見通しを示している。

１．世界の風力発電の概況

世界風力会議（Global Wind Energy Council：GWEC）の「Global Wind Report 2011」によると、2011 年における世界の風力発電総設備容量は 237,669MW（＝238 百万ｋＷ）であり、風力発電は毎年 20～30%超の伸び率で増加している（図１)。

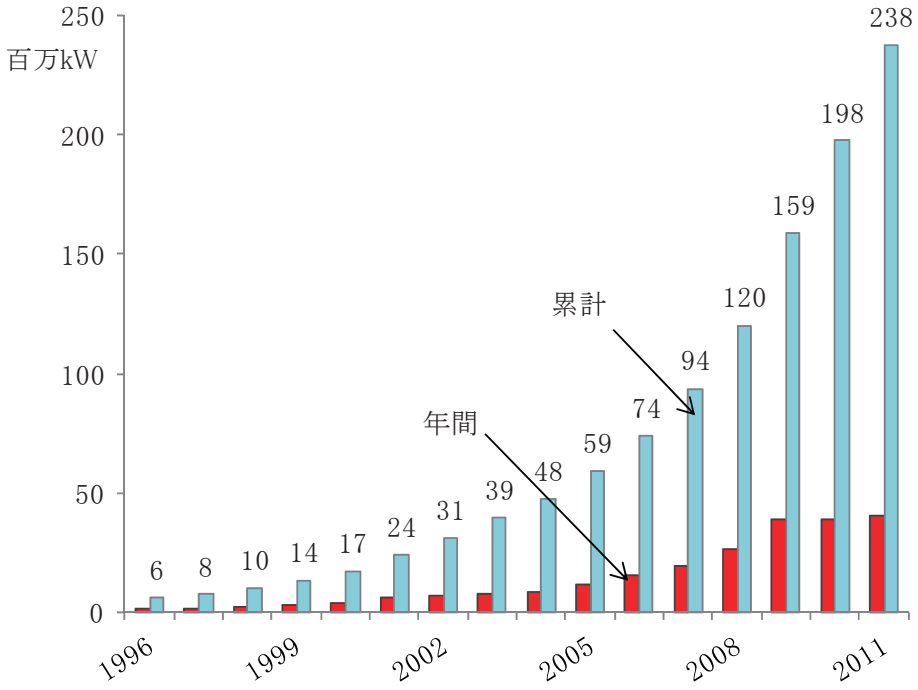
2011 年に新規に導入された設備容量は 40,564MWであり、最近３年間の新設容量は、09 年 38,610MW、10 年 38,828MWと、ほぼ横ばいで推移している。

累積の容量を国別にみると、中国が最大（62,364MW）で世界全体の 26.2%を占め、次いで、米国（46,919MW、19.7%)、ドイツ（29,060MW、12.2%)、スペイン（21,674MW、9.1%）が続き、この上位４カ国で世界の風力発電の３分の２を占めている(図２)。日本は 2,501MW(1.1%)であり、世界第 13 位である。

11 年の年間導入量でも中国が最大（17,631MW）であり、世界全体の 43.5%を占めており、次いで米国（6,810MW、16.8%)、インド（3,019MW、7.4%)、ドイツ（2,086MW、5.1%）が続く（表１)。日本の導入量は 168MW（0.4%）と小さく、世界第 20 位である。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

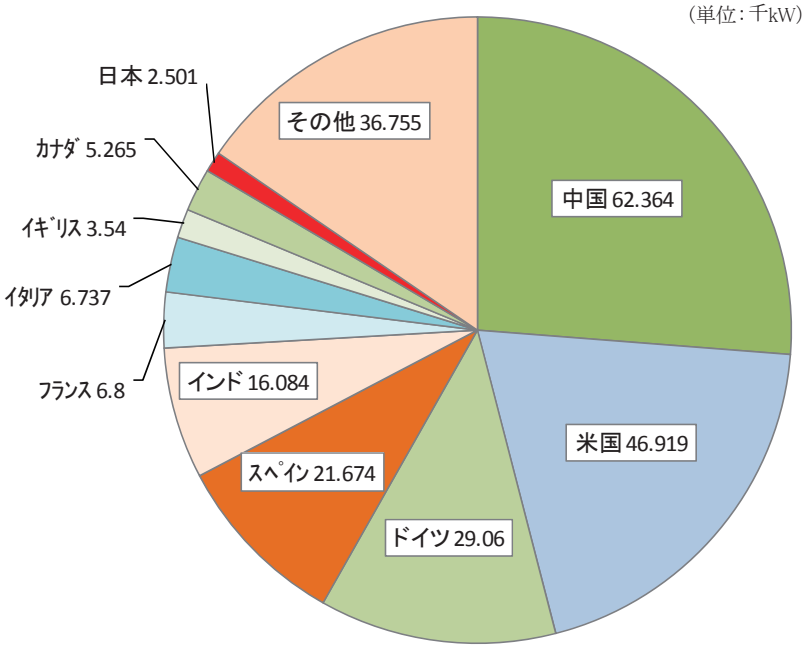
図1　世界の風力発電導入量推移



資料：GWEC「Global Wind Report　2012」

図2　世界の風力発電導入量（国別、累計、2012年3月末）

（単位：千kW）



資料：GWEC「Global Wind Report　2012」

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

表1　2011年の風力発電導入量（国別）

（千kW［=MW］）

国名	導入量	割合
中国	**17,631**	**43.5**
米国	**6,810**	**16.8**
インド	3,019	7.4
ドイツ	2,086	5.1
イギリス	1,293	3.2
カナダ	1,267	3.1
スペイン	1,050	2.6
イタリア	950	2.3
フランス	830	2.0
日本	**168**	**0.4**
その他	5,460	13.5
計	40,564	100.0

資料：GWEC「Global Wind Report　2012」

表2 主要国の風力発電の導入状況（2010年）

（単位：基、MW、%、kW/基）

国　名	設置基数	設備容量	うち洋上	1基当たり平均容量	風力発電比率
中　国	34,485	44,773	102	1,298	1.2
米　国	35,892	40,180	0	1,119	2.3
ドイツ	21,585	27,204	180	1,260	6.0
スペイン	18,933	20,678	0	1,092	16.4
イタリア	4,852	5,797	0	1,195	2.6
イギリス	3,324	5,270	1,341	1,585	2.8
カナダ	2,510	4,124	0	1,643	1.8
ポルトガル	2,067	3,987	0	1,929	17.0
デンマーク	5,033	3,802	868	755	21.9
日　本	1,742	2,304	25	1,323	0.4
オランダ	2,000	2,245	228	1,123	4.0
その他	6,672	9,252	186	1,387	－
計	139,095	169,616	2,930	1,219	2.3

資料：IEA Wind Energy, 2010 Annual Report

（注）「風力発電比率」は電力消費量全体に占める風力発電の割合

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

IEA のレポートによると、2010 年における世界の風力発電の設置基数は 139,095 基、設備容量は 169,616MWである（GWEC のデータ［10 年 197,637MW］よりやや小さい）。世界全体の１基当たり平均容量は 1,219ｋＷであり、中国、米国、ドイツ、日本などはほぼ同じ規模になっているが、風力発電の導入が早かったデンマークの平均容量は 755ｋＷとやや小さい。

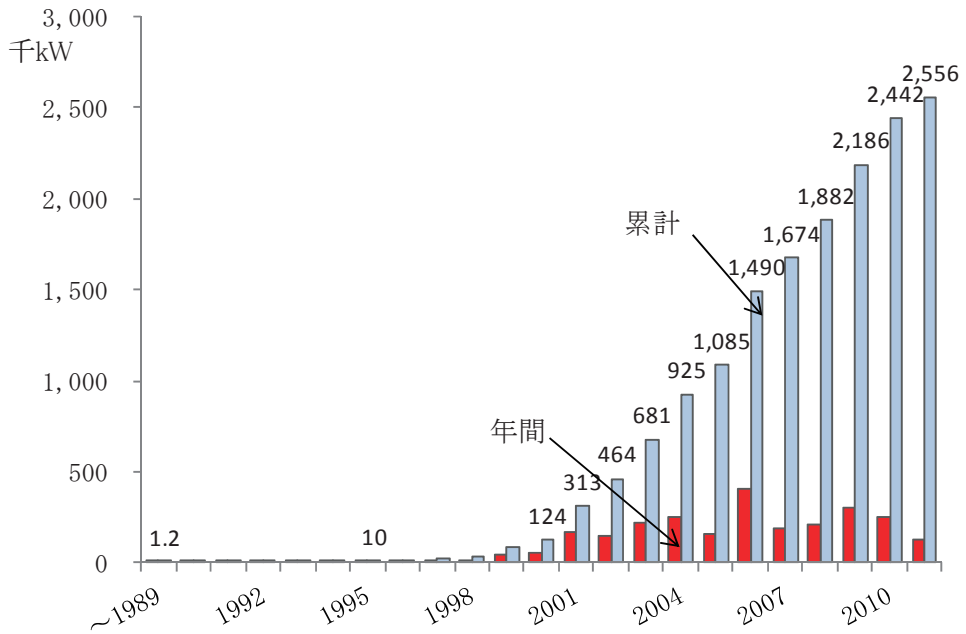
風力発電所のほとんどは陸上に設置されており、洋上風力（容量 2,930MW）が風力発電全体占める割合は 1.7%のみである。なお、世界の洋上風力の 75%はイギリスとデンマークの２国で占めており、風力発電全体に占める洋上風力の割合は、イギリスでは 25.4%、デンマークでは 22.8%になっている。

風力発電が電力供給全体に占める割合は、世界全体では 2.3%であるが、デンマーク（21.9%）、ポルトガル（17.0%）、スペイン（16.4%）の割合は比較的高い。中国は世界最大の風力発電を有しているが、電力需要が巨大であるため、中国における風力発電の占める割合は 1.2%のみである。

２．日本における風力発電の導入状況

11 年度末において日本には風力発電が 1,870 基あり、その総設備容量 2,556 千ｋＷで、この 10 間で、基数は 4.3 倍、容量は 8.2 倍に増大している（図 3）。

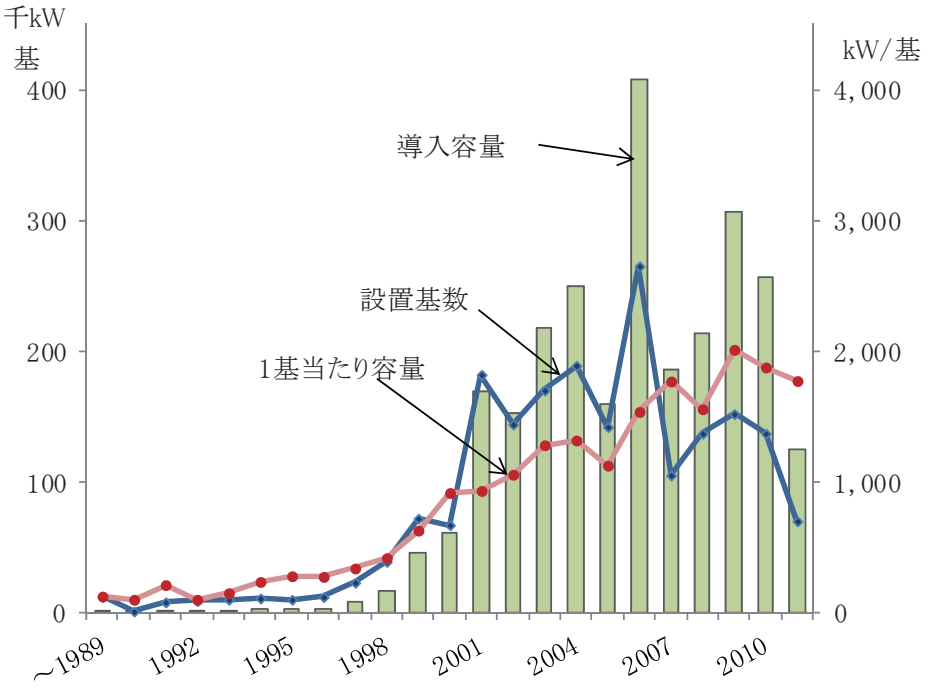
図３　日本の風力発電導入量推移



資料：NEDO資料より作成

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

図４　風力発電の設置基数と導入容量



資料：NEDO資料より作成

新エネ法施行（97 年）以降、風力発電の導入は着実に進展し、06 年には 265 基、407 千ｋＷの導入量があったが、その後停滞しており、10 年、11 年では導入量が減少している（図 4）。

導入された風力発電を出力階層別に見ると、97 年までは全て 500ｋＷ以下であったが、その後次第に出力が増大し、03 年以降は 1,000ｋＷ以上が多くなっており、導入された１基当たりの平均出力は、90 年は 100ｋＷ、95 年は 280ｋＷであったが、2000 年には 916ｋＷとなり、2011 年は 1,773ｋＷになっている（表 3）。その結果、１基当たりの平均設備容量（累計の平均）は、91 年では 182ｋＷであったが、01 年には 721ｋＷ、11 年には 1,367ｋＷになっており、他の国と同様に日本でも風車の大型化が進んでいる。近年では 1,500ｋＷ以上が一般的になっており、11 年に導入された 70 基のうち 2000ｋＷ以上が 31 基（44.3％）、1,750～2,000ｋＷが 19 基（27.1％）と大型機が主流になっているが、その一方で 250ｋＷ以下の風車も 14 基導入されている。

１事業者当たりの風車設置基数をみると、当初は１事業者１基がほとんどであったが、次第に複数基設置する事業者が多くなり、１事業者当たりの平均設置基数は、95 年では 1.5 基であったが、11 年では 4.1 基に増大している（表４）。近年では 10 基以上の風車を設置する事業者もみられるようになっており、風車の大型化とともに風力発電事業の大規模化が進んでいることがわかる。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

表3　出力階層別導入基数の推移

（単位:基、千kW、kW/基）

年度	250kW以下	250-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000kW超	基数計	容量計	1基平均
～1989	11	1					12	2	125
1990	1	0					1	0.1	100
1991	3	5					8	2	213
1992	9	0					9	1	100
1993	6	4					10	2	150
1994	4	7					11	3	236
1995	5	5					10	3	280
1996	5	7					12	3	275
1997	8	15					23	8	339
1998	11	18	10				39	16	418
1999	10	19	43				72	45	629
2000	5	1	41	6	14		67	61	916
2001	2	6	119	31	24		182	170	932
2002	7	9	61	67	0		144	152	1,056
2003	12	1	36	60	61		170	218	1,282
2004	0	0	86	63	40		189	249	1,319
2005	7	6	89	19	20	1	142	160	1,125
2006	10	2	60	82	89	22	265	407	1,537
2007	4	0	2	35	56	8	105	186	1,770
2008	0	0	18	79	10	30	137	213	1,557
2009	5	0	4	28	78	37	152	306	2,012
2010	10	0	0	0	115	12	137	257	1,877
2011	14	0	3	0	22	31	70	124	1,773

資料:NEDO「日本における風力発電設備・導入実績」

導入された風車は、当初は国産機がほとんどであったが、大型化が進むにつれて海外産が多くなり、11 年において設置されている風車のうち、海外産が 1,350 基（72.2%）、国産が 520 基（27.8%）になっている。ただし、近年では、大型機においても国産が増えつつある。

日本でこれまで導入されている風力発電は、ほとんどが陸上風力であり、洋上風力は北海道、山形県、茨城県に３カ所（計 14 基）あるのみである。ただし、大規模な洋上風力発電に対する期待が高まっており、長崎県沖合、福島県沖合などに洋上風力発電を設置する動きがあり、今後は洋上風力が次第に増大していくと考えられる。

風力発電を地域別にみると、導入基数が最大なのは北海道（280 基、15.0%）であり、次いで、青森県（202 基、10.8%）、鹿児島県（129 基、6.9%）、秋田県（108 基、5.8%）、静岡県（85 基、4.5%）で、この上位 5 道県で 43.0%を占める。また、設備容量で最大なのは青森県（307 千ｋW）である。

風力発電を電力会社別に見ると、東北電力（558MW）、九州電力（408MW）、東京電力（359MW）、中国電力（301MW）、北海道電力（288MW）、中部電力（227MW）、北陸電力（146MW）、関西電力（125MW）、四国電力（124MW）、沖縄電力（21MW）の順である。日本の電力供給に占める風力発電の割合は 0.47%に過ぎないが、北海道電力（1.39%）、東北電力（1.28%）などの割合は比較的高い。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

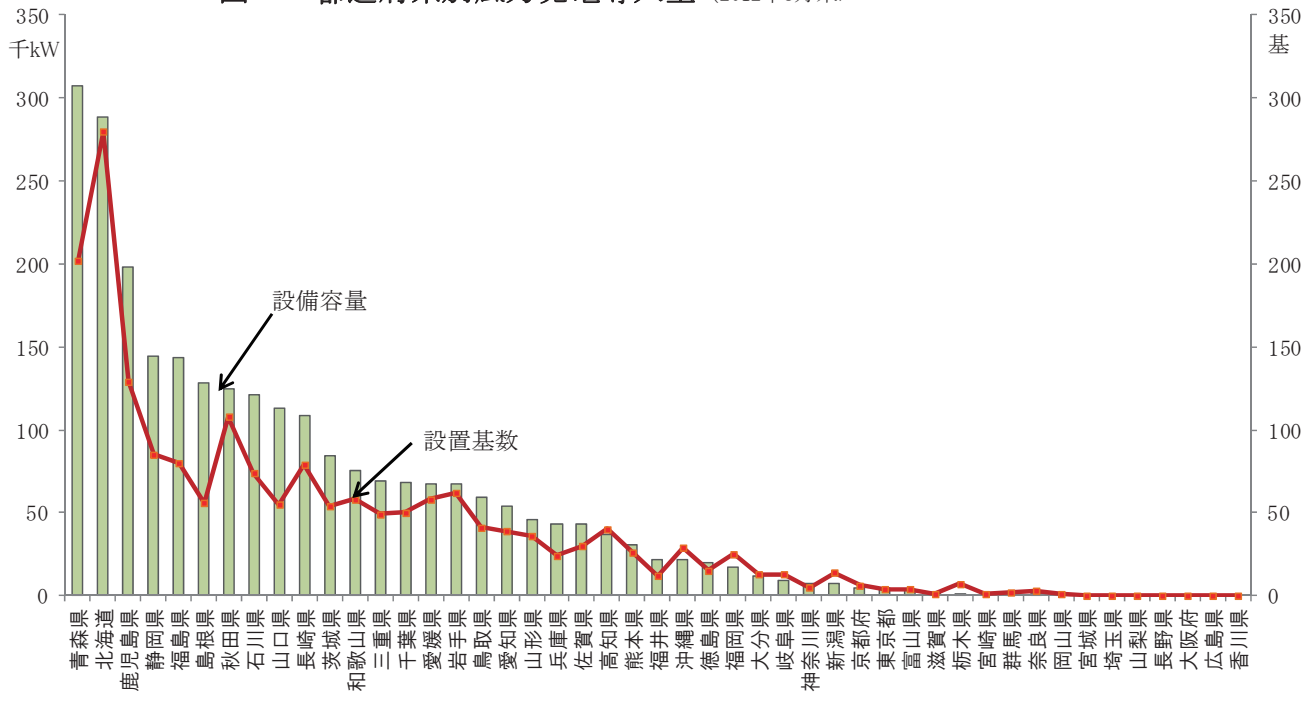
表4　1事業者当たり風車設置基数の推移

（単位：社、基、基/社）

年度	1基	2-4基	5-9基	10基以上	事業者数	基数　計	1社平均
～1989	10	1			11	12	1.1
1990	1				1	1	1.0
1991	1	1	1		3	8	2.7
1992	4		1		5	9	1.8
1993	5	2			7	10	1.4
1994	6		1		7	11	1.6
1995	3	3			6	10	1.7
1996	8	2			10	12	1.2
1997	8	7			15	23	1.5
1998	23	7			30	39	1.3
1999	24	9	1	1	35	72	2.1
2000	20	7	2	1	30	67	2.2
2001	25	8	2	5	40	182	4.6
2002	24	8	4	5	41	144	3.5
2003	19	15	2	8	44	170	3.9
2004	16	7	6	7	36	189	5.3
2005	20	6	4	2	32	142	4.4
2006	21	6	7	12	46	265	5.8
2007	13	2	5	4	24	105	4.4
2008	1	2	2	6	11	137	12.5
2009	13	5	7	6	31	152	4.9
2010	8	2	5	6	21	137	6.5
2011	6	4	4	3	17	70	4.1

資料：NEDO「日本における風力発電設備・導入実績」

図５　都道府県別風力発電導入量（2012年3月末）



資料：NEDO資料より作成

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

3　日本における風力発電の事例

（1）富山県入善町

＜町の立地＞

入善町は、富山湾に面して扇状地形に広がる富山平野の西端近くの海岸部に位置し、風力発電に適した強風の得やすい環境にある。

＜設置目的＞

入善町が風力発電を設置した目的は、町公共下水道事業「入善浄化センター」の運営管理に必要な電力の確保であり、したがって風力発電設備は同センターの施設の一部という位置づけになる。

＜建設までの経緯＞

2000～01（平成 12～13）年にＮＥＤＯの支援を得て風況調査を実施し、平均風速は 5.2ｍを観測したが、この風速では風力発電を事業化したとしても採算が合わない、ということで一時は建設計画が中止となった。

しかし、その後、風力発電機の技術が急速に改善されたこともあって 04（平成 16）年に再度、風況調査を実施した結果、技術的にも適合し採算ラインに乗る見通しが立ったことで建設計画が進められた。

機種は入善浄化センターへの電力供給という目的に適合させるため、定格出力が 1,500ｋＷのドイツのＧＥ Energy 社製の風力発電機が選定されることとなった。この選定過程で風力発電用風車を１基としたのは、必要とする電力量が十分に賄えるうえに建設費やランニングコストが複数設置するより安くつくという計算結果からである。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

表　入善町風力発電施設概要		
発電の目的	浄化センターへの電力供給	
発電施設建設費	3億9,000万円	
施設の年間平均風速	5．2m/s（地上30m）	
機種	GE Energy（ドイツ）	
定格出力	1,500	（kw）
定格風速	14.5	（m/s）
カットイン風速	3	（m/s）
カットアウト風速	25	（m/s）
耐風速	55	（m/s）
ローター回転数	10～20	（回/分）
年間推定発電量	2,520	（Mwh）
（資料）入善町「入善浄化センター風力発電所」より		

＜アセスメント＞

風車の設置にあたって、アセスメント調査はしなかった。というのも、建設時に同調査が義務付けられていなかったからである。

＜採算性＞

入善町の風力発電の目標となる採算ベースラインは、耐用年数が 20 年、2,520MWｈ/年と設定されている。

建設費には補助率 40%のＮＥＤＯの補助金を充当し、返済金も売電コストに参入済みである。さらに、売電収入は風力発電施設のメンテナンス費用に充当する。

＜増設の可能性＞

風力発電量は、入善浄化センター施設の必要電力量に満たない。施設の増強も考えられるが単純にはいかない。なぜなら、減価償却費を算入しても単年度収支はプラスであるが、しかし黒字だから発電容量を増大させればいいというわけにはいかない。国交省の下水道施設補助金の名目は「施設維持管理費用の軽減」となっているので、風力発電容量の増設となると、当該補助目的が足かせになって困難であるという。

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

＜補助残の返済手当て＞

ＮＥＤＯの補助金を導入してのちの補助残額の返済については、町債を起債してこれにあてている。なお、当町の実質公債比率 15.8％である。

＜問題点＞

入善町の風力発電にかかわる現時点での問題点を挙げると、次のようなものがある。

一般に風力発電には、①低周波、②バードストライク、③落雷の問題がつきまとう。当町の施設では、低周波について、民家との最接近距離は 500ｍなので問題になっていない。また、バードストライクは、事前調査で渡鳥の通り道ではないことが確認され、これまで一度も事故がない。

しかし、問題は落雷である。北陸は 12～２月の冬季間に落雷が頻発する。とりわけ雪が降ってくる直前に雷が発生する。日本海側はどこもみな同じような条件におかれている。この落雷に対しては、ブレードに避雷針が装着されており何とか回避できているが、入善浄化センターの装置にその誘導雷が影響を与えるという問題がある。また避雷針部分ではなくブレードのほかの箇所に落雷した場合、被雷痕の修復に大型クレーン等を使用するため、それに要する費用負担など別の面での問題が生じる。

したがって、好条件の冬場の強風があっても、そうした落雷回避のために運転を一時停止することで対処している。30 ㎞上空で雷が発生すると、雷レーダーがこれを感知し、自動停止装置が働くように設定されている。

＜稼働率＞

通常、稼働率は「稼働率＝発電量/年÷（1500ｋＷ×24 時間×365 日）」という算式で求められる。これに従えば、最近の稼働率は平均 20％で推移している。直近のデータをもとに入善町の風力発電で稼働率を具体的に求めると、「2,668,178ｋＷｈ（2010 年度）÷（1500ｋＷ×24 時間×365 日）＝20.305％」ということで 20％を維持している。

＜売電単価＞

・当初

＝（夏場：11.41 円＋燃料調整単価）×売電量

＝（その他の季節：10.41 円＋燃料調整単価）×売電量

・2009（平成 21）年 11 月以降

＝12 円に固定

＜電力会社との契約＞

北陸電力との契約は自動更新方式

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

北陸電力の買入量には上限も下限も無い（本機の物理的な上限1500ｋＷはあるが）。

なお、太陽光発電の新たな買取制度（余剰電力買取制度）が開始となった2009年11月1日から住宅用の買入単価が48円に設定された。その後、風力も相当上がるかと思ったが、１円のアップでしかなかったという。

（参考）2010（平成22）年度の売電価格は48円/ｋＷｈだったが、2011年度４月に売電価格が全国一律42円に変更された。このような見直しが毎年に行われる。

現在の単価を考えると、北陸電力から15円の電気を購入することを考えると、12円の自家製電力を利用したほうが安上がりということになる。

＜風力発電設備の建設にあたって、入札、立地、建設コスト＞

売電先の入札は考えなかった。下記の建設コストを考慮し、さらに建設立地に近いところに北陸電力の変電所があったからである。言い換えれば、変電所の立地を考慮して建設したといったほうが正確である。変電所が近くにあればそれだけ送電ロスが少ない。

建設コストで大きいのは、一般に、大型のブレードや発電機を運び込むための仮設道路の設置に要する費用が大きい。当町の風力発電の設置場所である入善浄化センターはほぼ海岸に面しており、したがって海から直接陸揚げすることができたため、この費用がほとんどかかっていない。この仮設道路の設置を想定すると、風況調査の次に選択肢として大事な点は立地であるといえる。

理想的な好条件の立地となると、風が強く、民家がないところで、機材を運び込む道路のあるところとなる。山中は前２者に適しているが、道路を要することから建設コストが高くつく。

風力発電のコスト全体を考えると、補助金は必須条件で、これに次いで売電単価も大事である。

＜メーカー選定＞

製品コストやメーカー選定に際しては、比較検討を十分行った。最終的にドイツ製で決定したが、ドイツ製といっても、ブレードはインドで製作されるなど部品によって生産国は様々であり、これをドイツ企業が最終的に組み立てて納品したことでドイツ製としている。

ただし、海外メーカーは製品の不備について、なかなか自社の責任を認めないので交渉がたいへんであることを経験した。メンテナンス契約は国内の施工業者と結んでおり、当該施工業者を介してメーカーと交渉し、責任の所在を確認し、そのうえで機械の不備を２ヶ月の間で修理した。製品については各メーカーにブラックボックスの部分があるので、不備の所在確認が一苦労であったという。

＜再生可能エネルギー利用＞

入善町では、09（平成21）年２月に「新エネルギービジョン」を策定し、ここで再生可能エネルギーの利用をいろいろと模索している。その中の一つに当該風力発電がある。小水力についても町や土地改良区で検討している。太陽光については、自家用目的で学校等の公共施設に設置

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

している。そのほか海洋深層水の温度差を利用したエネルギー利用も一部実施している。公共施設では使用する電力量も多いので、導入の動機づけとしては自ずと積極的になるという。

＜その他＞

下水処理施設は町内に２箇所あり、一つが当該センターの公共下水道、もう一つが農業集落下水処理施設である。入善町では 1996（平成８）年から下水道事業を開始し、13（平成 25）年までに全戸に対応した下水道が完備する。他の自治体から比べると、下水道装備率はかなり上位にある。

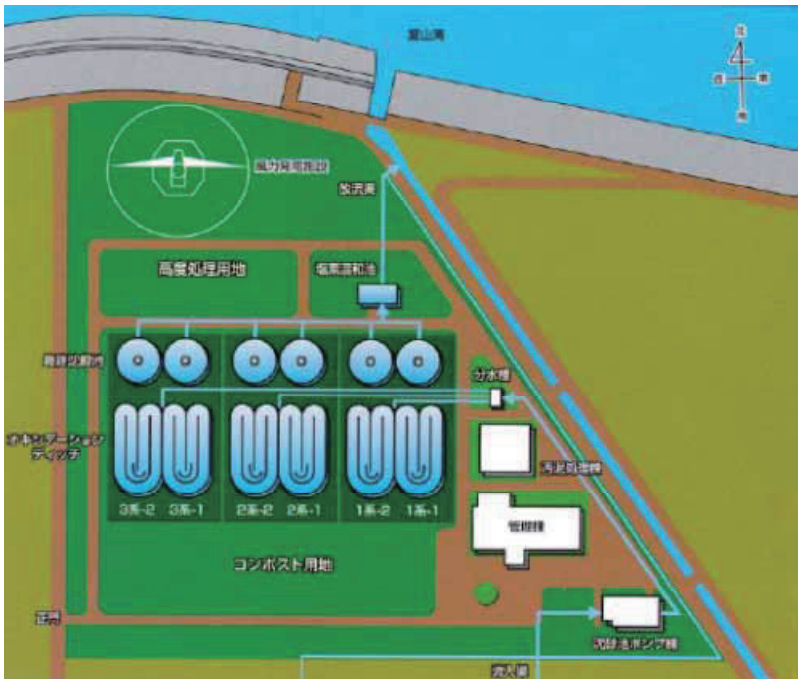
当町の地形は扇状地ゆえに地下水が豊富であり、末端の海岸線に近いところでは自噴している。したがって、上水道がなく、飲用水はほとんどが地下水で賄われている（町に上水道事業がない）。

下水料金の算出方式：下水道料金＝基本料金×人数/戸

地下水が豊富なため、このメリットを売物に企業誘致活動も積極的に進めた結果、東洋紡とＮＥＣ関連会社を誘致した。

このほか、海洋深層水の取水施設の隣に、この冷水を利用した無菌米飯工場を誘致し、そこで除熱した海洋深層水を誘引したアワビの養殖事業も行われている。

＜入善町風力発電所の立地図と写真＞



農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

（2011.9 撮影）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

＜追記＞

2011 年４月「環境影響評価法の一部を改正する法律」公布、2012 年４月同法一部施行、2013 年４月同法完全施行。

◇主な改正事項

・本法の対象事業に「循環型社会形成推進交付金」の対象事業を追加（含、風力発電所）
・方法書段階での説明会の開催義務化
・電子縦覧の義務化
・政令指定都市からの直接の意見提出手続の新設
・方法書段階における環境大臣意見提出手続の新設
・都道府県知事等が許認可権者の場合、環境大臣助言手続の新設
・計画段階配慮書の手続の新設
・環境保全措置等の公表

＊　循環型社会形成推進交付金とは、市町村（一部事務組合、広域連合及び特別区を含む。以下同じ。）が循環型社会形成の推進に必要な廃棄物処理施設の整備事業等を実施するために、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和 45 年法律第 137 号。以下「廃棄物処理法」という。）第５条の２に規定する基本方針に沿って作成した循環型社会形成推進地域計画（以下「地域計画」という。）に基づく事業等の実施に要する経費に充てるため、この要綱に定めるところに従い国が交付する交付金をいう。

◇風力発電所が追加されるに至る経緯

改正前においては、一部の地方公共団体において条例による環境影響評価が義務付けられているほか、新エネルギー・産業技術総合開発機構（ＮＥＤＯ）が作成したマニュアルによる自主的な環境影響評価が実施されていた。しかし、環境影響評価を実施した案件のうち約４ 分の１ が住民の意見聴取手続を行っていなかったり、方法書・評価書案の縦覧を行わずに補助金の申請がれた事例があった。また、電気事業法（昭和 39 年法律第 170 号）の許認可をもって、環境影響評価を実施とすることが可能であった。

一方、民間事業者による大規模な風力発電事業の大幅な増加が予想されることや、風力発電施設の騒音、バードストライク等の被害も報告されていた。このため、風力発電施設の設置を法の対象事業として追加すべきとの環境省中央環境審議会専門委員会からの意見を踏まえ、対象事業に追加交付金事業（併せて風力発電所）が追加されることになった。

◇環境影響評価の具体例

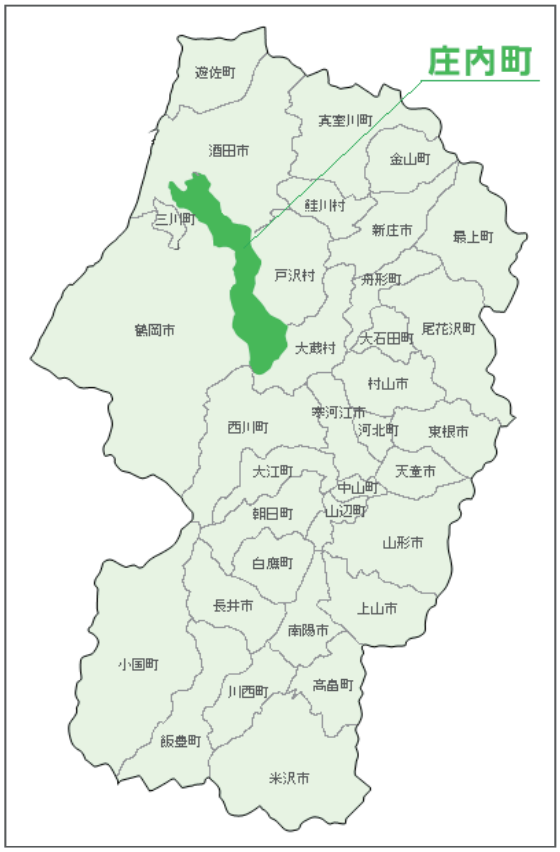
・騒音調査および影響評価（現状騒音を測定（24 時間測定）し、風車騒音レベルを合成・評価する。それに基づき風車騒音レベルの騒音影響範囲地図を作成。）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

・景観調査および影響評価（地形起伏による風車の可視範囲の解析、可視範囲からのモンタージュ写真を作成する。）
・生態系調査および影響評価（風力発電の場合、鳥類が中心となるが、文献により計画地点の飛来種や希少種を整理し、必要・要望に応じて、鳥類観測を実施。）
・電波調査および影響評価（計画地周辺の電波施設を机上および現地で調査し、風車の影響確認をする。ＴＶ電波影響に関しては現状受信状況を観測・測定し、ＮＨＫ等の関連業者による電波障害シミュレーションを実施し、評価。）
・その他（日陰影響解析）

（２）山形県庄内町

＜町の立地＞



（出所）庄内町ＨＰより

山形県北西部の庄内町は、県内最大の米どころとなる庄内平野の南東部に位置し、最上川に沿って南北に細長くのびた地形の町である。2005 年７月に旧余目町と旧立川町が合併して庄内町が誕生した。庄内町は海岸線から 30 ㎞ほど内陸に位置し、庄内平野に押し出た扇状地になっている。気候は比較的温暖であるが、冬期間に日本海側から強い季節風が吹き、春から夏、秋にか

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

けて「清川だし」と地元で呼ばれる東側からの局地風が吹き、冬になるとそれが強風に変わる。この風は農作物にも影響を及ぼすが、この風を何かに生かせないだろうかと考えたのが風力発電の発端である。

＜風力発電機の設置目的＞

町の広報によれば、庄内町は環境問題やエネルギー問題にいち早く着目し、風力発電やバイオマス発電などの地域資源を活用した新エネルギーの導入などを積極的かつ継続的に実施してきた。町の総合計画の「自然はみんなのエネルギー・いきいき元気な田園タウン」の実現のため、豊かな自然との共生、省エネ・省資源対策と自然エネルギーの活用及び資源循環型まちづくりをより一層推進するため、「エネルギーの地産地消『庄内町モデル』」を策定し実現を目指している。

最初の取り組みは、1980 年から 84 年までの５年間、山田式風車と呼ばれる直径４ｍの風車を設置し、１ｋＷの発電による山菜の促成栽培温室の加温を目的に、風エネルギー実用化のための実証実験事業を実施した。その後、町ではほぼ同型の風車を地域エネルギー実証試験用に２基（住友精密製＝各５ｋＷ）を追加導入したが、現在は故障のため休止しており、町おこしのシンボルとして同町風車村に展示している。

また、06 年 12 月に「新エネルギー総合利用計画」を策定し、①地域特性を活用した新エネルギーの導入促進、②新エネルギー導入による地域産業の活性化、③省エネルギー対策と環境エネルギー教育の推進を基本方針に、「エネルギー自給率 26.7%　⇒　28.3%」、「新エネルギー導入比率 12.9%　⇒　19.4%」、「ＣＯ2 排出量削減 5.1%」を目指し取り組んでいる。

＜建設までの経緯と具体的な取組み＞

旧立川町では 1980 年に、「風エネルギー実用化実験事業」として小型風車（１ｋＷ）による温室ハウスの加温など農業部門への活用実験を開始した。当時、国においても第二次オイルショックの影響を受け、石油代替エネルギーの開発を目的として全国 10 地域に太陽光、風力などの再生可能エネルギーの研究開発が進められた。

その後、全国で「一村一品運動」や「ふるさと創生事業」を契機とした「村おこし運動」が活発化し、旧立川町でも「風」をキーワードに地域づくりを行うことになり、「風車村推進委員会」が組織された。その核となる「シンボル風車」の建設・導入が検討され、欧米での本格的な発電型風車の導入事例などから、世界的に実績があるアメリカ製の発電型風車の導入を決定し、当時の自治体としては国内最大級の風力発電となった。現在、庄内町の風車は民間・三セクと連携して 11 基（うちシンボル風車３基は休止中）が設置され、出力合計は 6,500ｋＷ、年間発電量は 1,250 万ｋＷｈで、町全体の電力消費量の約 13%に相当する電気を発電している。

また、庄内町では新エネと省エネを車の両輪とし、後者については町独自の省エネ活動である「町民節電所事業（家庭の省エネ）」と「小中学校省エネチャレンジ還元事業」を全町あげて取り組んでいる。さらに、08 年度から委託事業による「バイオディーゼル（ＢＤＦ）」を製造し、その原料として約 4,000 リットルの食用廃油が回収され、精製されたＢＤＦはスクールバス等の

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

燃料に使用されている。

表　庄内町の環境・エネルギーへの取組みの経緯

1980年	**風エネルギー実用化実験事業開始（山田式：１ｋＷ、温室加温利用５年間）**
1981年	**地域エネルギー実証試験開始（住友精密製＝５ｋＷ×２基、豚舎暖房利用５年間）**
1988年	堆肥生産センター操業開始（生ゴミ堆肥化による資源循環、有機農業推進）
1990年	地域開発計画策定（ＮＥＷ　ＷＩＮＤＹ　ＴＯＷＮ整備構想）
1991年	風車村推進委員会発足
	風エネルギー活用可能性調査（風況調査）開始
1992年	立川町風車村整備計画策定
1993年	**シンボル風車　運転開始（アメリカ製：100ｋＷ×３基、電力会社による余剰電力購入制度初適用）**
1995年	国内初となる民間企業６社による売電会社（株）山形風力発電研究所設立
1996年	**（株）山形風力発電研究所　400ｋＷ×２基（デンマーク製）運転開始**
	新エネルギー導入計画策定（町全体の消費電力量に対する新エネルギー比率の向上）
	集合型風力発電所可能性調査（風況調査：狩川地区６ヶ所）
1998年	立川町出資による（株）山形風力発電研究所から、第三セクター「（株）たちかわ風力発電研究所」に社名変更
1999年	**（株）たちかわ風力発電研究所　600ｋＷ×２基（デンマーク製）運転開始〈ＮＥＤＯ補助事業〉**
	雪冷房システム導入（花き種苗センターの温度調整、雪貯蔵量220ｔ）
2000年	**（株）たちかわ風力発電研究所　600ｋＷ×２基（デンマーク製）増設〈ＮＥＤＯ補助事業〉**
2001年	第２次新エネルギー導入計画策定
2002年	**町営風力発電所　1500ｋＷ×１基（ドイツ製）運転開始〈ＮＥＤＯ補助事業〉**
2003年	地域省エネルギービジョン策定
	（株）立川ＣＳセンター　風力発電所1500ｋＷ×１基（ドイツ製）運転開始〈ＮＥＤＯ補助事業〉
	（株）立川ＣＳセンター　木質バイオマス発電（50kWh）実証試験開始（ＮＥＤＯ共同研究：施設内利用）
	町民節電所事業開始
2006年	庄内町環境基本条例制定
	新エネルギー推進委員会発足
	庄内町新エネルギー総合利用計画策定（エネルギーの地産地消を目指して）
2007年	庄内町町営住宅（松陽特定公共賃貸住宅）に家庭用天然ガスコージェネレーション設備導入
2008年	庄内町環境基本計画策定
	庄内町バイオマスタウン構想策定
	家庭から出る廃食用油の全町回収開始（ＢＤＦ利用）

（注）2005年７月に旧立川町と旧余目町が合併して庄内町となる。
資料：庄内町風車センター「風の町の挑戦」より

＜採算性＞

現在（2011 年 10 月）、町には８基の風車が稼働しているが、そのうち１基が町直営、６基が第三セクター、１基が民間企業により運営されている。町直営の風車は系統接続により売電しているが、売電単価は 17 年間固定で 11.5 円/ｋＷとなっている。

町直営の風車は特別会計により運営されるが、年間の売電収入を 3,400 万円と見込んでいる。これに対し、これまで９年間の平均収入実績は 3,500 万円、最高年 4,900 万円、最低年 1,600 万円である。ただし、売電収入が年間で約 3,500 万円、保険や保守等の費用が約 3,000 万円で、

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

差引き 300～700 万円の剰余金が発生するが、これを内部留保のため特別会計の基金に積み立てており、現在基金残高が約１億円となっている。なお、町から第三セクターへの支出は、最初の出資金 505 万円だけである。

町全体の使用電力対比でみた発電量を電力自給率とすれば、旧立川町時代が自給率 50%余、庄内町になってからが同約 12%である。

表　庄内町直営風力発電施設

機種	TACKE社製（ドイツ）
定格出力	1500ｋW
形式	アップウインド
ブレード材質	グラスファイバー
ロータ直径	70.5m
ロータ芯高	64.7m
ロータ回転速度	11～22回転/分
出力制御	可変ピッチ
風向制御	強制ヨウ
カットイン風速	３m/s
定格風速	12m/s
カットアウト風速	25m/s
耐風速	56.6m/s
ロータ重量	12m/s
ナセル重量	25m/s
発電機形式	4極
発電機	690Ｖ
電力会社系統	特高送電線
同　連係電圧	33ｋＶ
売電単価	11.5円（固定）
売電契約年数	17年

資料：立川町「風の力を未来の力に変えて」より

＜雇用の関係＞

純然たる雇用の増加はない。設置義務のある「主任技術者」は、他県のメンテナンス会社に委託しているため新たな雇用は生まれていない。

＜増設の可能性＞

2010 年に庄内町に民間会社が風車１基の新設を計画していたが、2011 年に新法（「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」）が成立して全量買取制度が始まる

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

にともなって風車建設に対する国の補助が廃止となることから、建設を見合わせている。

＜問題点＞

発電機が外国製のため、国内に部品がないということで３ヵ月間運転が停止した時期もある。また、落雷で運転が停止した時もある。

表．庄内町の町営風力発電所（1500kW×1基）実績

	（MWh）
2002年	3,272
2003年	4,115
2004年	3,697
2005年	1,490
2006年	2,475
2007年	2,457
2008年	3,356
2009年	2,960
2010年	2,760

（注）1．運転開始2002年2月
2．開始後９年間の平均設備利用率22.5%
資料：庄内町環境課

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

＜庄内町の風力発電施設＞

① 系統接続のための架設設備

② 配電盤等の系統接続に要する設備

（いずれも 2011. 10 撮影）

農林中金総合研究所
https://www.nochuri.co.jp/

総研レポート　24基礎研№6

発　行　㈱農林中金総合研究所　基礎研究部

〒101－0047　東京都千代田区内神田1－1－12　コープビル

電　話　03-3233-7700（代表）