

「風のがっこう*便り」

2015年12月
ケンジ ステファン スズキ

*「風のがっこう」はCOP3（1997年）の年に創業した研修センターで主にデンマークの社会事情全体とデンマークにおける再生可能エネルギー導入策について学ぶための活動をしています。創業以来今日までに約2000名の研修生を受けいれました。「風のがっこう便り」は、研修生や講演等で名刺を交換した方々に年末年始のご挨拶として送付している報告書です。

2015年は残り僅となりました。みなさまお元気にご活躍のこととお喜び申し上げます。
今年も多くの方々にお世話になりました。改めて心からお礼申し上げます。新年も引き続きどうぞ宜しく願い申し上げます。

今年の「風のがっこう便り」は、主に洋上ウインドファームの動きについて記述します。

デンマークと世界の洋上ウインドファーム

① デンマークの電力供給の約47%が再生可能エネルギー資源
オイルショック後、デンマークのエネルギー政策では、国内資源を利用してのエネルギー供給に努めてきました。その成果について報告します。デンマークの電力供給に占める再生可能エネルギー供給の割合は下記表1で見ると通り、1994年の5.3%から2014年には53.4%に増えました。

2015年9月現在デンマークの風力発電設備量は499万kW、基数で約5490基(内1MW以下4,358基)あり、設置から20年以上稼働している風車千基以上あります。取り換えの時期に来ている物もたくさんありますが、デンマークの風車の大半は個人又は個人が集まって作った組合が所有しているためか、新規投資額大き過ぎるためか、25年以上稼働している風車が数百基あります。

表1. デンマークの電力供給に占める再生可能エネルギー資源別の割合と伸び率の推移

	1994	2000	2005	2010	2012	2013	2014	94-14
再生可能エネルギー計	5.3%	15.9%	27.4%	34.8%	43.1%	46.7%	53.4%	913%
内:太陽光発電	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.5	1.8	-
風力発電	3.4	12.1	18.5	21.9	29.8	32.5	38.8	1,029
水力発電	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	-54.5
バイオマス発電計	1.5	3.1	8.1	11.9	11.8	11.5	11.4	679
内:麦わら(注1)	0.2	0.5	2.4	3.1	1.8	2.1	1.9	669
木材(注2)	0.4	0.7	2.9	6.2	7.5	6.8	6.9	1,810
廃棄物(注3)	0.9	1.9	2.8	2.6	2.6	2.6	2.6	206
バイオガス発電	0.3	0.6	0.8	1.0	1.1	1.1	1.3	396

出典: Energistatistik 2014 s.12, 注1. 麦わら1トンのエネルギー量は灯油約330リットル、
注2. 密度の高い(硬い木)ほどエネルギー量が多い例: 樫の木1m³ = 灯油約160リットル
注3: デンマークの可燃廃棄物1トンのエネルギー量は灯油で約250リットル

表1で見ると通り、2014年におけるデンマークの電力供給の53.4%が再生可能エネルギーです。その中で風力発電の占める割合について、デンマークの風力発電協会が発行している機関紙(2015年11月号)には、2014年10月～2015年9月までの1年間の風車の発電量は消費電力量約335億kWhの41.4%に充たる13億8540万kWh発電した、と書いています。

デンマークの国土面積は九州より少し多い 43,000km²です。山谷の無いデンマークの国土の約 62 パーセント、約 267 万ヘクタールが農地で、陸内の風車の殆どはその農地内に建ち、デンマークの農地は食糧とエネルギー供給地ともいえます。オイルショック後デンマーク議会は、集中型発電所の電力のみ供給する発電所を減らし、分散型の発電所の増設を進めその中で農地を風力発電地として利用する政策を採り入れてきました。その政策導入の結果が表 2 です。

表 2. デンマークの発電設備の推移(1994-2013 年)単位:MW

	1994	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	94-14
合計	10,767	12,598	13,088	13,450	13,603	14,122	13,810	13,657	26.8%
内訳:集中型	9,126	8,160	7,710	7,175	7,175	7,084	5,968	5,693	-37.6%
-電力のみ	2,186	1,429	834	840	840	840	841	841	-61.5%
-熱電	6,940	6,731	6,877	6,335	6,335	6,244	5,127	4,852	-30.1%
分散型	773	1,462	1,579	1,819	1,816	1,829	1,868	1,887	144%
二次*	339	574	657	638	635	634	574	574	69.43%
太陽光	0	1	3	7	17	402	571	607	607 倍
風力	521	2,390	3,128	3,802	3,952	4,164	4,820	4,888	838%
水力	8	10	11	9	9	9	9	9	3.8%

出典: Energistatistik 2014, s.14 *木材、麦藁、廃棄物などバイオマス発電とバイオガス発電

② 世界に先駆けたデンマークの洋上ウインドファーム

デンマークの電力会社は世界のさきがけ、洋上ウインドファームの建設に取り組んで来ました。表 3 で見る通り、デンマーク最初の洋上ウインドファームは 1991 年に建設された 450kW、11 基です。その後、デンマークは洋上ウインドファームの増設を続け 2015 年 11 月現在 519 基、設備量で約 127 万kW に増えました。デンマークの洋上のウインドファームの所有者は、一部を除き電力会社です。現在デンマークの電力供給の多くは国や年金基金の資本によって運営されている DONG です。(DONG とは 1972 年 3 月国営のデンマーク天然ガス株式会社が 1973 年に Dansk Olie og Naturgas A/S に改称して出来た会社です。その後国内外の電力会社を買収統合した他に石油や天然ガスの採掘権を取得し、デンマークのエネルギー供給の発展に繋げている事業団体です)。今日における DONG の資本金構成は国が 60%、ゴールドマンサックス(アメリカの投資銀行)約 19%、デンマーク労働市場基金 5%、年金基金 2%、その他となっています。

表 3. デンマークの洋上ウインドファームの建設年及び設備量など

名称	設置年	メーカー	基数	出力	計 MW	2014 年 発電量(MWh)	設備 利用率**
Vindeby	1991	Bonus*	11	450kW	4.5	9,427	0.21
Tunø	1995	Vestas	10	500kW	5.0	14,351	0.33
Middelgrund	2000	Bonus	20	2.0MW	40	93,309	0.25
Horns rev	2002	Vestas	80	2.0MW	160	657,965	0.46
Rønland	2003	Vestas	8	2.15MW	17.2	65,450	0.43
Nysted	2003	Bonus	72	2.3MW	165.6	575,767	0.39
Frederikshavn	2003	Vestas	3	2.533MW	7.6	23,956	0.34
Samsø	2003	Bonus	10	2.3MW	23.0	79,608	0.40
Sprogø	2009	Vestas	7	3.0MW	21.0	67,114	0.36
Horns rev II	2009	Siemens	91	2.3MW	209.3	939,516	0.51
Hvidovre	2010	Siemens	3	3.6MW	10.8	36,914	0.39
Rødsand II	2010	Siemens	93	2.226MW	207.033	820,616	0.45

Anholt	2013	Siemens	111	3.6MW	399.6	1,781,363	0.46
合計			519	平均 2.449	1,271.083	5,165,356	0.44

出典:Naturlig energi ,maj.2015. s.29 *現 Siemens ** kapacitets faktor

③ DONGEnergy の洋上ウインドファーム建設と運営

2015年10月現在、世界で建設された洋上ウインドファームの累積設備量は8.9GW(89億kW)と云われ、国別のシェアでは、イギリス57.1%、ドイツ19.3%、デンマーク14.4%でこの3国だけで全体の9割を占めています。これら洋上ウインドファームの建設と運営管理の大半はDongエナジーです。2020年までのDongエナジーの洋上ウインドファームの建設目標値は6500MW(650万kW)で、2018年Walney洋上ウインドファーム増設649MWを決めたことで「6,500MWの目標値に一步近づいた」と同社は発表しています。Walneyウインドファーム総設備量649MWの内訳はSiemens社の7MW、47基、MHI Vestas社の8MW*、40基です。Dongエナジーの2020年までにおける主な洋上ウインドファームの建設計画をみると表4の通りで、設置する風車のメーカーも決めた様子です。*MHI Vestas Offshore Wind A/S

表4. Dong Energy 洋上ウインドファーム建設計画

建設年	名称	MW	機種メーカー	国
2016	Gode Wind 1+2	582	Siemens	ドイツ
2017	Burbo Bank 増設	258	Vestas	UK
2018	Race Bank	580	Siemens	UK
2018	Walney 増設	330	Siemens	UK
2018	Walney 増設	330	Vestas	UK
2019	Borkum Riffgrund 2	450	Vestas	ドイツ
2020	Hornsea	1,200	Siemens	UK
合計		3,730		

(出典:Finans.dk 28-10-2015)

④ 世界における主な洋上ウインドファーム

前記の通り、1991年最初の洋上ウインドファームがデンマークに建設され、25年が経ちますが、この間デンマークの電力会社は洋上ウインドファームの建設と運営に関するノウハウを蓄積し、洋上ウインドファームの電力供給への信頼性を実証して来ました。このデンマークの事例が欧州諸国に波及し、表5で見ると世界最大の洋上ウインドファームの殆どが欧州諸国内に建設されています。

表5. 世界最大洋上ウインドファーム25か所

名称	設備量 MW	国名	機種と基数	起動年
London Array	630	UK	Siemens 3.6MW, 175 基	2012
Gwynt y Mor	576	UK	Siemens 3.6MW, 160 基	2015
Greater Gabbard	504	UK	Siemens 3.6MW, 140 基	2012
Anholt	400	デンマーク	Siemens 3.6MW, 111 基	2013
Bard offshore 1	400	ドイツ	Bard 5.0MW, 80 基	2013
Global Tech 1	400	ドイツ	Areva Multibrid 5MW, 80 基	2015
West of Duddon Sands	389	UK	Siemens 3.6MW, 108 基	2014
Walney (1&2)	367.2	UK	Siemens 3.6MW, 102 基	2011(1) 2012(2)
Thorntonbank(1-3)	325	ベルギー	Senvion 5MW, 6 基 Senvion 6.15MW, 48 基	2009(1) 2012(2)

				2013(3)
Sheringham Shoal	315	UK	Siemens 3.6MW, 88 基	2012
Borkum Riffgrund 1	312		Siemens 4.0MW, 78 基	2015
Thanet	300	UK	Vestas 3.0MW, 100 基	2010
Nordsee Ost	295	ドイツ	Senvion 6.15MW, 48 基	2015
Amrumbank West	288	ドイツ	Siemens 3.6MW, 80 基	2015
Butendiek	288	ドイツ	Siemens 3.6MW, 80 基	2015
Dan Tysk	288	ドイツ	Siemens 3.6MW, 80 基	2015
EnBW Baltic 2	288	ドイツ	Siemens 3.6MW, 80 基	2015
Meerwind Sud/Ost	288	ドイツ	Siemens 3.6MW, 80 基	2015
Lincs	270	UK	Siemens 3.6MW, 75 基	2013
Humber Gateway	219	UK	Vestas 3.0MW, 73 基	2015
North Wind	216	ベルギー	Vestas 3.0MW, 72 基	2014
Westermost Rough	210	UK	Siemens 6.0MW, 35 基	2015
Horns Rev 2	209.3	デンマーク	Siemens 2.3MW, 91 基	2009
Rødsand II	207	デンマーク	Siemens 2.3 MW, 90 基	2010
Chenjiagng Xiangshui	201	中国	1.5MW, 134 基	2010

(出典: Wikipedia, List of offshore wind farms)

現在欧州において建設中の洋上ウインドファームトップ3は①オランダ 600MW (Gemini 機種 Siemens 4.0 MW、150 基)②ドイツ 582MW (Gode Wind 1&2, 機種 Siemens 6.0MW, 97 基)③ドイツ (Sandbank 1, 機種 Siemens 4.0MW, 72 基)です。

⑤ 洋上ウインドファーム建設工事費

洋上ウインドファームの建設費は風車を設置する海域のよって大きな差が出てきます。例えばデンマークが2002年の北海に建てた Hons Rev 洋上ウインドファーム(2MW、80 基)の建設費はキロワット当たり12,500 クローネ(約25万円)と云われ、デンマーク最大のアンホルト洋上ウインドファームの建設費はキロワット当たり2万5千クローネ(約50万円)です。洋上ウインドファームへの投資は採算が取れるか、アンホルト洋上ウインドファームの例で見ますと、約400MWの建設費100億クローネ(約2千億円)に対し、売電収入は200億kWh(年間発電量約18億kWhの12年分)まで固定売電価格は1.051クローネ(約2.1円)になっています。よって、投資額100億クローネに対し200億キロワット時までの売電収入は約210億クローネになるので(200億kWh×1.051クローネ)建設費が回収できるはずですが、

デンマーク最大のアンホルト(Anholt)洋上ウインドファーム(3.6MW、111 基)の建設費について加筆します。デンマーク議会は2008年エネルギー政策の一環としてアンホルト洋上ウインドファーム建設を決めました。入札に応募したのは Dong エナジー1社のみで、DONG エナジーは海水の深さ14メートルの海域に Siemens Wind Power 社の風車3.6MW、111基風車の建設を決め、売電価格について、Dong エナジーは政府との間に起動年から12～13年分に当たる200億キロワット時の発電量に対し、キロワット時当たり1.051クローネ(約2.1円)で契約しました。この洋上ウインドファーム建設工事は2012年1月13日に始め、売電が始まったのは2013年9月からです。

因みに欧州諸国における洋上ウインドファームの建設費はメガワット当たり230万～300万ユーロと云われ、その内風車本体の占める割合は50～30%、モノパイル基礎工事代約20%、と云われています。その他にはケーブル敷設代、工事用船舶の借料(一日当たり約15万ユーロ)などがあります。なお、洋上ウインドファームの基礎工事のノウハウを持つ会社としては MT

Højgaard 社(デンマーク)があります。同社のホームページに「630 個の洋上ウインドファーム基礎工事の実績と持つ」と書いていました。

⑥ 洋上ウインドファームの基礎工事代

デンマークの調査会社「Rambøll」が 2012 年 11 月洋上ウインドファームの基礎工事費に関する調査報告書を発表しました。”Vurdering af fundaments omkostninger for kystnære møller”という題名です(仮訳:沿岸風車の基礎費用に関する評価)。その調査の中で同社は海底との状況に合わせ基礎の種類を 3 つに分け、どれだけの費用がかかるのか試算しています。この中で 3.6MW の風車 55 基、計 200MW の洋上ウインドファームの基礎をモノパイル又は GBS フラット式にした場合の費用は 4.5~5.6 億クローネ(約 90 億~110 億円)と試算していました。

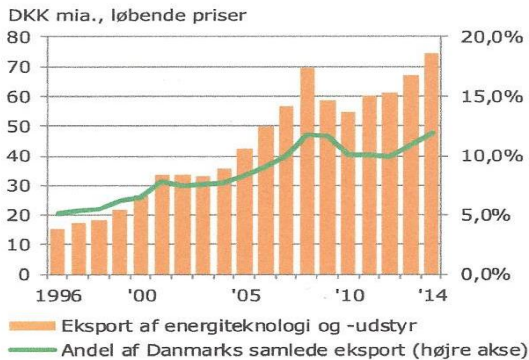


デンマークの洋上ウインドファームで採用されている基礎形態、写真
左からモノパイル、GBS フラット、
GBS コーン
出典：Vurdering af fundaments omkostninger
for kystnære møller s.6)

⑦ デンマークのエネルギー政策の成果

デンマークがオイルショックの教訓から再生可能エネルギーの導入に力を入れて来た成果はエネルギー技術と機器の輸出額の増大として見る事が出来ます。

Eksport af energiteknologi og -udstyr



出典：Eneristatistik 2015, s.46

デンマークのエネルギー技術と機器輸出推移：
2014 年における同輸出額は約 750 億クローネ
(約 1.5 兆円) で、全輸出総額に占めるこの割合は
約 12%になっています。
図表：棒グラフは輸出額を表しています。
単位 10 億クローネ (約 200 億円)
緑線：輸出総額に占める割合で単位パーセントです。

⑧ 増大する欧州諸国の風力発電事業と風力発電機メーカーの業績について

コンサルティング会社 Roland Berger によると 2020 年ヨーロッパ諸国における電力の 35%は再生可能エネルギー源によって供給され、この内の 12%は風力発電によって供給されるであろうと書いています。そして 2020 年におけるヨーロッパの洋上風力発電の設備量は 4000 万kW に達すると報告しています。洋上風車の建設で圧倒的優位を占めているのが 2004 年にデンマークの風車メーカーボーナス社を買収した現シーメンス社(2013 年時点で約 700 基納品)と世界最大の風力発電機メーカーベスタス社(Vestas Wind Power、2013 年時点で約 540 基納品)の二社です。

世界の風力発電の増設は風力発電機メーカーベスタス社の業績で見ることが出来ます。下記表6で見ると通り、ベスタス社の業績はその年によって売上高&受給量に多少の変動があるものの 2014 年の受給量は約

650 万kW で同年の納品した発電設備量は約 610 万kW になっています。ベスタス社の雇用者数では 2014 年末で 19,669 人で 2013 年末の 15,479 人に比べ約 4,200 人増えました。

2015 年におけるベスタス社の業績は対前年同期に比べ受給量、売上高とも増えました(注)。ベスタスの株価は 2015 年 1 月 2 日の一株 241 クローネ(約 32.3 ユーロ)から 12 月 2 日の 460 クローネ(約 61.7 ユーロ)と約 11 ヶ月の間に倍増しました。:注 2015 年 1 月～9 月までの受給量計 6,276MW で前年同期比 46%増、売上高 53 億 8,800 万ユーロで前年同期比 21%増。

表 6. ベスタス社の業績推移、2009 年～2014 年

	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
売上高(百万ユーロ)	5,079	6,920	5,836	7,216	6,084	6,910
受給量(MW)	1,990	8,673	7,397	3,738	5,964	6,544
12 月末の株価(ユーロ)	42.6	23.6	8.3	4.3	21.5	30.40

(出典:Vestas annual report 2014)

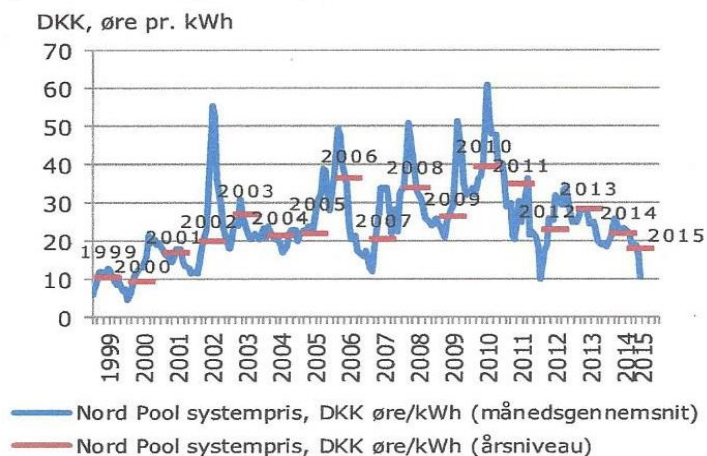
あとがき:

デンマークのエネルギー政策ではオイルショックを教訓に国内エネルギー資源の活用に努め、その中で特に風力発電機の導入に関しては陸内だけではなく洋上での建設にも力をいれてきました。洋上風車の大きな利点は、風車の設備利用率は陸内にくらべ、高いこと(表3)、騒音や景観への環境負担が少ないことなどから住民からの建設反対は殆どないことです。一方工事費は陸内に比べ高いのですが、売電価格は政府と入札時点で決めているので、建設費の回収が出来るようになっています(例アンホルト洋上ウインドファームの売電価格はキロワット時当たり 1.051 クローネ約、2.1 円)。デンマークの風力発電業界は洋上ウインドファームの建設へのノウハウを蓄積し、今日デンマーク含め欧州の洋上ウインドファームの大半はデンマークの会社 DONG が建設しています。デンマークの電力供給に占める風力発電設備増え結果、デンマークを含めた 4 ヶ国(ドイツ、ノルウェー、スウェーデン)の電力の市場価格がこの数年間に半減しました。

北欧の電力買取価格推移(Nord pool systempris)

単位:kWh 当たりのデンマーク・オーレ(100 分の1クローネ*)

Spotmarkedspriser på el



* 1 DKK=約 20 円

青線:月別平均買取価格

2015 年上半期の買取価格平均

18 オーレ/kWh (約 3.6 円/kWh)

赤線:年別平均買取 2014 年平均

22 オーレ/kWh (4.4 円/kWh)、同

2010 年 61 オーレ/kWh(12.2 円/kWh)

出典: Energistatistik 2014 s.47

デンマーク電力料金は隣接する 3 か国との発電設備とその発電量によって左右されますが、今後風力発電の売電価格は上がるかどうか、地球の気候現象によって変わってくると思っています。いずれにしても、デンマークの風力発電事業団体は風力発電設備を国内外に供給することで雇用を確保し、外貨の獲得につなげていることがいえると思います。(了)

ケンジ ステファン スズキ*

Kenji Stefan Suzuki

Hovedgaden 28

DK-6973 Ørnhøj

Tel. (Denmark +45) 97386869

e-mail.sra-dk@post.tele.dk

*ケンジ・ステファン・スズキ (Kenji Stefan Suzuki、日本名: **鈴木健司**、[1944年](#) -)は、[社会起業家](#)、環境活動家。S.R.A.Denmark 代表、風のがっこう代表、風車運営会社 2 社の代表。現在[デンマーク](#)在住だが、年に数回来日し、講演活動などを精力的に行なっている。講演のテーマは環境・福祉・教育など、デンマーク国内の事情に関して多岐に渡る。

単著

- 『デンマークという国 自然エネルギー先進国「風のがっこう」からのレポート』 ([合同出版](#)、2003 年) [ISBN 4772603123](#)
- 『デンマークという国 自然エネルギー先進国 増補版「風のがっこう」からのレポート』 (合同出版、2006 年) [ISBN 4772603611](#)
- 『なぜ、デンマーク人は幸福な国をつくることに成功したのか どうして、日本では人が大切にされるシステムをつくれぬのか』 (合同出版、2008 年) [ISBN 9784772604109](#)
- 『デンマークが超福祉大国になったこれだけの理由 ——どこが違うのか!? 安心して暮らせる希望社会と無縁死 3 万人の国』 (合同出版、2010 年) [ISBN 9784772604734](#)
- 『消費税 25%で世界一幸せな国 デンマークの暮らし』(角川 SSC 新書、2010 年) [ISBN 978-4-04-731534-1](#)
- 『デンマークという国を創った人びと ”信頼”の国はどのようにして生まれたのか』(合同出版、2014 年) [ISBN 978-4-7726-1206-7](#)

(以上、Wikipedia の抜粋)