

# デンマークにおける風力発電機の普及と産業化のプロセス —農機具鉄工所を世界企業に変貌させた技術・組織・制度—

The Diffusion and Industrization Process of Danish Wind Power System  
: Technologies, Organizations and Institutions that made to change the Local Firms of  
Agricultural Machine into the Global Companies

北 嶋 守\*

\*\*\*\*\* 目 次 \*\*\*\*\*

1. 問題の所在…………… 1  
 2. デンマーク風力発電機の普及・成長の産業史的アプローチ…………… 1  
 3. 世界の風力エネルギー市場とデンマークの代表企業ベスタス社…………… 6  
 4. デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした技術・組織・制度…………… 9  
 5. 考察：デンマーク風力発電機の産業化における情報の粘着性仮説…………… 13

\*\*\*\*\*

## 1. 問題の所在

現在、デンマークの風力発電は、国内電力供給量において約20%を占めており、デンマーク政府は2025年までに国内の風力発電比率を50%まで引き上げる目標を掲げている<sup>1</sup>。一方、デンマークの風力発電関連企業は淘汰を経て90年代以降からは急速にグローバル企業に成長し、デンマーク企業の世界に占める発電システムのシェアは急速に拡大した。2008年は京都議定書の批准内容の実行開始年にあたり、世界各国においてCO<sub>2</sub>削減目標を巡る様々な取り組みが本格化する中、風力発電を含む再生可能エネルギー（renewable energies）は地球環境問題への対応技術であると同時に持続可能社会（sustainable society）を実現する中での新産業創造分野としても注目されている。よって、国内普及及びグローバル産業への躍進を果たしたデンマークの風力発電機のこれまでの発展プロセスを探ることは、日本を含め他国が、上述の2つの課題、すなわち、再生可能エネルギーの普及とその産業化政策の2つの課題を解決するための先行事例として重要な示唆を含んでいるものと考えられる。

そこで本稿では、第一に、何故、デンマーク国内

において風力発電機が普及したのか、第二に、デンマークの風力発電産業が急成長を遂げた要因は何か、といった2つの問題に焦点を当て検討する。方法論としては、産業史的アプローチに基づいて、デンマークの風力発電機の普及及び産業化のプロセスを概観した上で、普及と成長を可能にした要因を風力発電機に関わる技術（technologies）、組織（organizations）及び制度（institutions）の3つの視点から説明する。さらに、考察にあたっては、デンマーク風力発電機産業の先行研究で知られる松岡氏による技術の経路依存性（path dependency）<sup>2</sup>を踏まえて、産業化（製品開発過程）における情報の粘着性（sticky information）の視点からの仮説的検討を試みる。

## 2. デンマーク風力発電機の普及・成長の産業史的アプローチ

### 2.1 デンマーク風力発電機の3つの発展段階

デンマークにおける風力発電機の歴史は、1891年にホール・ラ・クール（Poul La Cour）が最初の風力発電機を建設したことに始まる<sup>3</sup>。本稿では、こ

<sup>2</sup> 本稿のデンマーク風力発電機産業史に関する情報の多くは松岡氏の先行研究に基づいている。詳細については、松岡（2004）を参照。

<sup>3</sup> ラ・クールは、デンマークの“エジソン”と呼ばれ、デンマークの風力発電機の発展の端緒を開いた人物である。この点については、Andersen（1999, p. 4）を参照。

\*（財）機械振興協会経済研究所調査研究部部長代理

<sup>1</sup> Danish Wind Industry Association（1999, p. 7）

の19世紀末から現在までのデンマーク風力発電機の発展経緯を3つの時期に区分し追跡する。第1期は、デンマーク風力発電機の草創期にあたる時期でラ・クールが風力発電機を発明した1891年から第二次世界大戦終了の1945年までの時期である。この時期の風力発電機の製作の中心は企業ではなく、科学者、技術者、鍛冶職人といった多様な人々であり、小型の風力発電機の原型モデルが試作・作製された時期であることから、デンマーク風力発電機の「発明の時代」と呼ぶことにする。

第2期は、デンマーク風力発電機の転換期で1946年から1980年までの時期である。この時期は、デンマーク風力発電機を巡る組織化が展開された時期であると同時に1960年代は原子力発電への期待の高まりと共にデンマークの風力発電機の普及・発展が停滞した時期でもあるが、その後、1970年代からはオイルショックの影響から再び風力発電機への期待が高まった時期であり、まさにデンマーク風力発電機の歴史の中での大きな転換期にあたる。そこで、この時期をデンマークの風力発電機の「企業化・第一次制度化の時代」と呼ぶことにする。

第3期は、デンマーク風力発電機の淘汰・成長期で1981年から2000年までである。この時期は、デンマークの風力発電機が米国・カリフォルニア州の風力発電計画によって急成長した時期であるが、同時にカリフォルニア州の計画の終了及び税制の改変に伴い、デンマーク風力発電機メーカーの多くが淘汰されることとなる。しかし、その後1990年代以降は、生き残った企業によりデンマーク風力発電機の技術的なイノベーション（風力発電機の大型化）が活発化し、国内の主要メーカーがグローバル企業に成長していく。よって、この時期をデンマーク風力発電機の「大型化・第二次制度化の時代」と呼ぶことにする（なお、2001年以降のデンマーク風力発電産業の状況及び代表的企業については次節以降で概説する）。

## 2.2 デンマーク風力発電機の草創期（発明の時代：1891-1945）

既述のように、デンマークの風力発電機は1891年に気象学者、物理学者であったポール・ラ・クールによって建設された。このラ・クールによる実質的な風力発電機は、デンマークのみならず世界で初め

ての建設であった<sup>4</sup>。1879年、ラ・クールはユトランド半島アスコウ（Askov）のフォルケ・ホイスコレ（国民高等学校、Askov Folk High School）に赴任したが、彼は農村に電気を普及させるためにはデンマークに豊富に存在する風を利用することが近道と考え、1891年に世界で初めてとなる風力発電機を建設した。この風力発電機は鎧戸式の羽根板翼を4枚もつもので古典的な直流発電機に接続したものであった<sup>5</sup>。その後、彼はアスコウ・ファルケホイスコレに「地域のための電気技術者養成講座」を開設し、風力発電技術者の育成を開始し、多く人材を輩出することになったが、その中の弟子の一人、ヨハネス・ユール（Johannes Juul）は、後に今日の風力発電機の原型となる「ゲッサー風車」を開発することになる（これについては後述する）。1903年、ラ・クールは、地元の鍛冶屋などの職人や農村出身者で組織された「デンマーク風力発電会社（Dask Vind Elektrisitets Selskab）」設立し、約60ヶ所に風力発電所を設置し、農村への電力普及を促進に尽力する<sup>6</sup>。さらに、1905年、ラ・クールは、風力発電技術者協会を設立し、1年後に同協会の会員数は356人に達している<sup>7</sup>。

ラ・クールの最初の風力発電機の建設から26年目にあたる1917年、デンマークの風力発電機にとって重要な発明が3人の技術者によって成される。これは世界で最初のプロペラ式揚力タイプの6枚羽根風車の発明で、ラ・クールの伝統的な羽根板風車とは異なり、現代の風車に近いものであった。エリーク・ファンク（Erik Falck）、ヨハネス・イェンセン（Johannes Jemsen）及びポール・ヴィンディング（Poul Vinding）によるもので、彼らは農業機械株式会社（Agricco）の技術者であり、このタイプは「アグリコ（Agricco）風車」と呼ばれる<sup>8</sup>。1918年にはデンマーク国内120ヶ所に風力発電機が建造され、各20～30kWの発電機の総発電能力は3MWに至り、当時のデンマーク全体の消費電力総量の3%強の供給に相当した<sup>9</sup>。

<sup>4</sup> 世界で最初に風力発電を考案したのは誰であるについては諸説があるが、一般的にはラ・クールであると言われる。この点については、松岡（2004, pp. 73-74）を参照。

<sup>5</sup> 松岡（2004, pp. 74-75）を参照。

<sup>6</sup> 松岡（2004, pp. 79-80）を参照。

<sup>7</sup> JETRO（2003, p. 77）を参照。

<sup>8</sup> 松岡（2004, pp. 80-81）を参照。

<sup>9</sup> JETRO（2003, p. 77）を参照。

図表 1 デンマーク風力発電機の草創期における技術・組織・制度 (1891-1945)

1890	1900	1910	1920	1930	1940
1891	<p><b>ポール・ラ・クール (Poul La Cour)</b> 最初の風力発電機を建設 鐘型式の羽根板翼 4 枚の古典的な風車 直流発電機に接続するもの</p> <p>コーン型 (6 枚羽根, 1887 に風車大工, Christian Sorensen が開発) より大きなオランダ型風車を建設, 1900 重すぎたため 6 枚羽根から 4 枚羽根に取り替えられる</p> <p>1903 ラ・クール デンマーク風力発電会社 Danish Vind Elektrisitets Selskab) を設立 (1916 解散)</p> <p>1904 ラ・クール <b>アスコフ・フォルクハイスクーレ (Askov Folk High School)</b> [地域のための電気は技術者養成講座] を開設 風力発電技術者 (Wind electrician) コースを開始, <b>ヨハネス・イェンセン (Johannes Jensen)</b>, P.S.Langley (米国人) 等の科学者, 技術者が風力発電の研究開発に参加</p> <p>1905 ラ・クール 風力発電技術者協会を設立, 1 年後の会員数は 356 人</p>	<p>1917 最初のプロペラ式揚力タイプ 6 枚羽根風車の発明</p> <p><b>エリック・ファルク (Erik Falck)</b>, <b>ヨハネス・イェンセン (Johannes Jensen)</b>, <b>ポール・ヴィンディング (Poul Vinding)</b> らの農業機械株式会社 (LandbrugsmaskinKompaniet AS) によるもので <b>アグリコ (Agrico)</b> 風車と呼ばれる</p> <p>1918 デンマーク国内 120 ヶ所に風力発電機が建設され, 各 20~35kW, 総発電能力は 3MW で当時のデンマーク全体の消費電力総量の 3% 強を供給</p> <p>その後, 1920 にはラ・クールが普及させた風力発電機は旧式となり 75 基が廃棄となる</p>	<p>1940 <b>F. L. スミット社 (F. L. Smidth)</b> の技術者, <b>クラウディ・ヴェスト (Claudi Westh)</b> 空気力学方式によるブレードの研究開発に努め, 初期の 2 枚羽根から 3 枚羽根の風力発電機を開発</p> <p>1942 同社がポーウ島に建設した風力発電機は一部に風力とディーゼルエンジンを組み合わせたシステムで島の電力供給に利用される</p> <p>1943 までに Lykkegaard 社と F. L. Smidth 社により 30kW 型が 90 基設置される</p> <p>さらに F. L. Smidth 社は 2 枚羽根 60kW 型と 3 枚羽根 70kW 型の 2 つのタイプを開発, これらは第二次世界大戦中に 21 基設置される</p>		

出所: JETRO (2003, p. 77), 松岡 (2004, pp. 73-81), S. スズキ (2007, pp. 71-72), Andersen (1999, p. 4) を参考に筆者作成。

その後、第二次世界大戦に伴うエネルギー不足は、デンマーク風力発電機の発展に影響を与えることになる。1940年代に入るとエンジニアリング会社であるF. L. スミット社 (F. L. Smidth) の技術者クラウデ・ヴェスト (Claudi Westh) が空気力学方式によるブレードの研究開発に努め、初期の2枚羽根から3枚羽根の風力発電機を開発、このタイプはリッケガルド社 (Lykkegaard) とスミット社により1943年までに90基が建設された。さらに、スミット社は2枚羽根 (60kW) と3枚羽根 (70kW) の2つのタイプを開発し、これらは第二次世界大戦中、デンマーク国内に21基が建設された<sup>10</sup> (第1期については図表1を参照)。

### 2.3 デンマーク風力発電機の転換期 (企業化・第一次制度化の時代: 1946-1980)

1947年、前述のラ・クールの高弟ヨハネス・ユールは東南シェラン電力会社 (SEAS) のエンジニアとして風力発電機の開発を開始し、スミット社の35kW風力発電機を45kWに改良することに成功する。さらにユールは、1950年にヴェスター・イースボー (Vester-Egesgorh) 風車、1952年にはボウエ (Bogo) 風車を開発する。特にこのボウエ風車は、3枚羽根、ストール制御、エア・ブレーキ、アルミ線によるブレードのビームなどゲッサー風車の原型となる特徴を備えていた。また、ユールはこの間、1950年4月には、パリで開催された欧州経済協力機構 (OEEC) の風力エネルギー会議に出席し、風力発電を担当する組織をつくることに尽力する。その結果、デンマーク国内では、同年9月にデンマーク公共電力協会 (DFE: Dansk Elvaekers Forening) に風力委員会が設置され、風車製造業者や発電所の代表及び大学研究者等が委員となった<sup>11</sup>。1956年、ユールは国家の補助を受けてファルスター島南部のゲッサー (Gedser) にこれまでよりも大型の200kW級の風力発電機 (試験機) の建設に着手し1957年に完成する。これは「ゲッサー風車」と呼ばれ、交流発電機から一般の送電網に接続された最初の風力発電機となった<sup>12</sup>。しかし、その後、1960年代に入ると原子力発電への期待が高まり、コスト面

で経済合理性に欠けていた風力発電の開発は1973年のオイルショックまで停滞することになる。

1973年のオイルショックを受け、デンマークでは1974年以降、多くの風力発電機メーカーやブレードメーカーが誕生する。同時にデンマークの風力発電機の普及・発展を促す制度化の動きが活発化する。まず、1975年にはデンマーク技術科学アカデミー (Akademiet for Tekniske Videnskaber) が風力発電機生産の基礎研究資金に係るレポートを発表、1976年には「エネルギー調査プログラム」が導入された。さらに、デンマークの風力発電機の産業化を促進する出来事として、米国エネルギー省・エネルギー研究所 (ERDA: Energy Research and Development Administration) からの申し出により、デンマーク公共電気協会がゲッサー風車の再稼働の可能性を調査し、その結果、簡単な修理で再稼働可能であることが判明、1977年から1979年までゲッサー風車は再び発電を開始し風力発電機の可能性に関する様々なデータが収集された。この間、1978年にはリソ国立研究所に「小型風力発電機試験場」が開設され、「システム管理制度」が導入された。さらにこの制度は、その後は「型式認可制度」となり、デンマーク風力発電機産業の技術水準の向上と国内普及の促進に寄与することになる<sup>13</sup>。

一方、1970年代は技術力を持った個人が風力発電機を独自に開発した時期でもある。例えば、大工・家具職人であったクリスチャン・リーセーア (Christian Riisager) は自宅の裏庭でゲッサー風車の設計を基本にして、グラスファイバーを羽根に用いた高さ12m、出力22kWの風力発電機を開発した。リーセーアは1号機の作製に成功すると発電した電力を地元の電力供給会社の供給網へ送電する承認を得た。これは一般送電網との系統接続を個人が申請し承認された初めてのケースとなった。さらにリーセーアは夫人と共に発電機の販売会社を興し、1978年には同氏の発電機はデンマーク国内で30基が家庭用発電機として建設された (第2期については図表2を参照)<sup>14</sup>。

<sup>10</sup> Andersen (1999, p. 4) を参照。

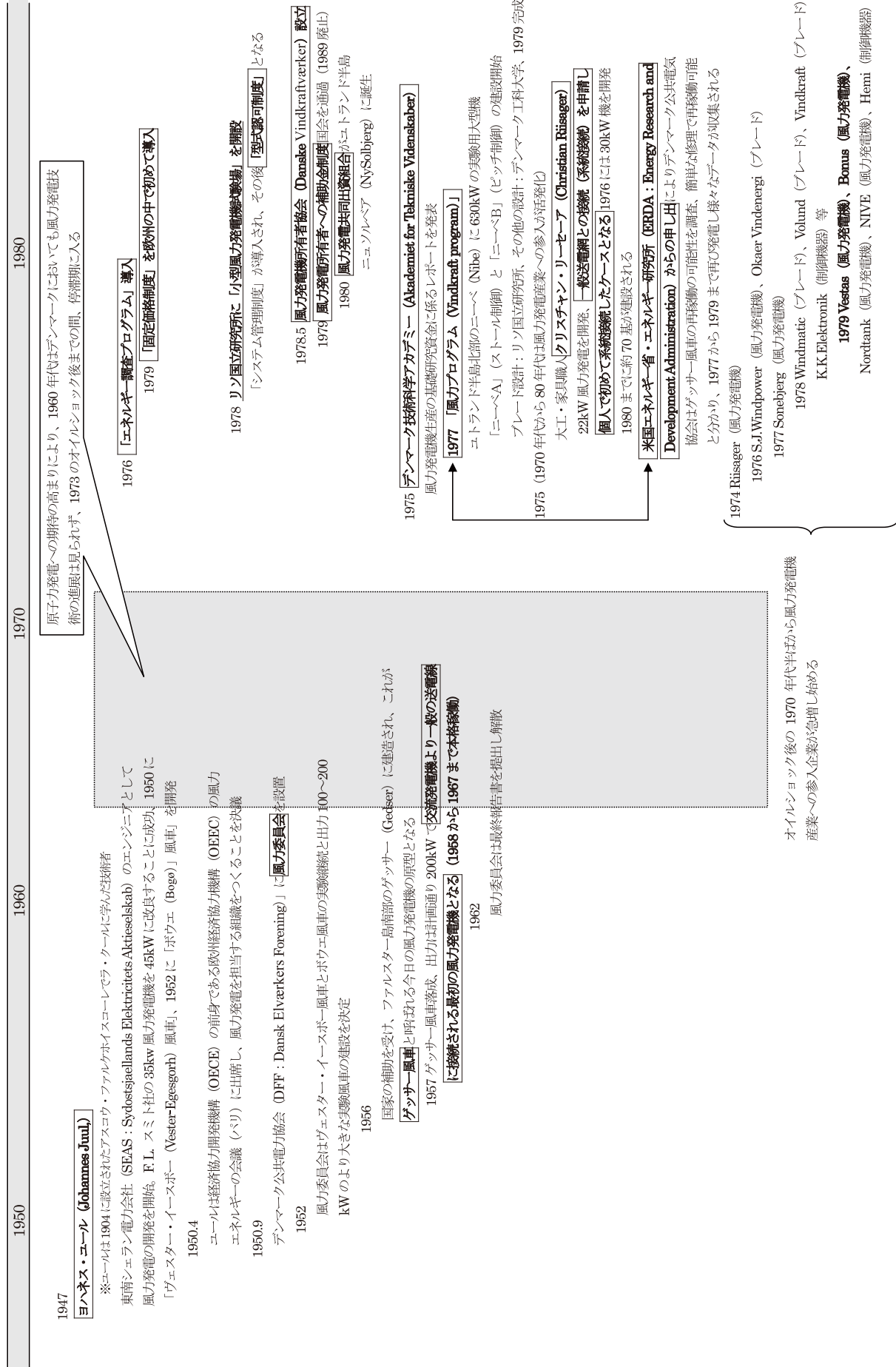
<sup>11</sup> 松岡 (2004, pp. 82-83) を参照。

<sup>12</sup> 松岡 (2004, pp. 84-85) を参照。

<sup>13</sup> S. スズキ (2007, pp. 73-74) を参照。

<sup>14</sup> JETRO (2003, p. 78) を参照。

図表2 デンマーク風力発電機の転換期における技術・組織・制度 (1946-1980)



出所: JETRO (2003, pp. 77-79), 松岡 (2004, pp. 82-96), S. スズキ (2007, pp. 71-72), Andersen (1999, p. 4), 朝野 (2005, pp. 293-306) を参考に筆者作成。

## 2.4 デンマーク風力発電機の淘汰・成長期（大型化・第二次制度化の時代：1981-2000）

前述のリーセーアによる事業の成功は、1980年代に入るとデンマーク国内で多くの革新的な小型風力発電機の登場を促すことになる。さらに、デンマーク国民の原子力発電所建設への強い反発もあり、デンマーク政府も風力発電機の新型機の開発に関心を持つようになる。そして1985年、デンマーク政府は、議会において原子力発電を導入しないことを決定し、代替エネルギーとして風力発電の導入を決定した<sup>15</sup>。1985年からデンマーク政府は電力会社と協力し100kWの風力発電機の導入計画を打ち立て、機能と安全性、仕様などの保証制度を導入するが、この保証のための検査はリソ国立研究所（Risø National Laboratory）に委託された。この間、1980年代前半は実用機製造業者においてもこれまでよりも大型の風力発電機の開発が展開されるが、その企業の多くは、元々は農業機械関連に従事する製造業（鉄工所等）であった（例えば、ベスタス社、ノータンク社、ボーナズ社、ノーデックス社、NEG ミーコン社などである）。

このように1980年代初頭はデンマーク風力発電機産業に多くの企業が参入することになるが、その大きな要因としては、米国カリフォルニア州の風力発電計画においてデンマーク企業が受注生産を開始したことを指摘することができる。例えば、1980年にはボーナズ社の Bonus30kW、1980年から80年には NEG ミーコン社の Nordtank55kW などが製造され、ミーコン社製だけでも1,000基以上がカリフォルニアの巨大なウインドファームに建設された<sup>16</sup>。しかし、1985年から86年のカリフォルニア州の風力発電計画が終了するとデンマークに20数社あった風力発電製造業企業の殆どが倒産に追い込まれ、米国にあった風力発電機の製造工場は全て閉鎖された。米国市場のみに依存したデンマークの風力発電機メーカーが淘汰された時期である<sup>17</sup>。

1990年代に入ると淘汰の後、生き残った企業によ

る風力発電機の技術的なイノベーションが活発化し、風力発電機（タービン）は大型化（超大型化）の時代を迎えることになる。例えば、1991年、ロラン島の沖、バルト海上にボーナズ社の450kW 発電機が11基建設され（これはビネビュ・ウインドファームと呼ばれる）、1995年にはカッテガットのチュヌクノブ沖の送電会社によってベスタス社の500kW 発電機が10基建設される。また、この時期、NEG ミーコン社では1,500kW 級の発電機を開発している。さらに、ベスタス社でも1996年に1,650kW と300kW の2つの発電機を搭載した Vestas1.5MW を開発、1997年には、コペンハーゲン郊外のアベウホルムの海岸に300kW 発電機が12基、1,000kW 試験機1基が送電会社によって建設される。そして、1998年頃からはさらに巨大なメガワット機が洋上用発電用として登場する。1998年、コペンハーゲン沖のミデルゴロンヌンにボーナズ社の2MW 基が20基建設され、これはデンマークの洋上ウインドファームの象徴的な存在となる<sup>18</sup>。

一方、1990年代は、デンマーク風力発電機産業に係る重要な政策及び制度が制定された時期でもある。1990年、デンマーク政府より「エネルギー2000 (Energi2000)」が発表され、風力発電の普及と産業化が促進されることになる。その後、1992年には、「風力発電法」により電力生産に関する補助金制度が制定され、「固定価格制度」が変更される。さらに、1996年には、「エネルギー21 (Energi21)」が発表され、デンマークにおける再生可能エネルギー政策の将来ビジョンが明確化されることとなる。そして、1999年、国会において「グリーン証書」の検討が開始され、「新電力供給法」が成立、これに伴って「固定価格制度」の廃止と2003年からの「RPS（再生可能エネルギー割当基準：Renewable Portfolio Standards）」の段階的導入が決定されることとなる（第3期については図表3を参照。なお、固定価格制度等については後述する）。

## 3. 世界の風力エネルギー市場とデンマークを代表するベスタス社の概要

上記のように、デンマークの風力発電機はラ・ク

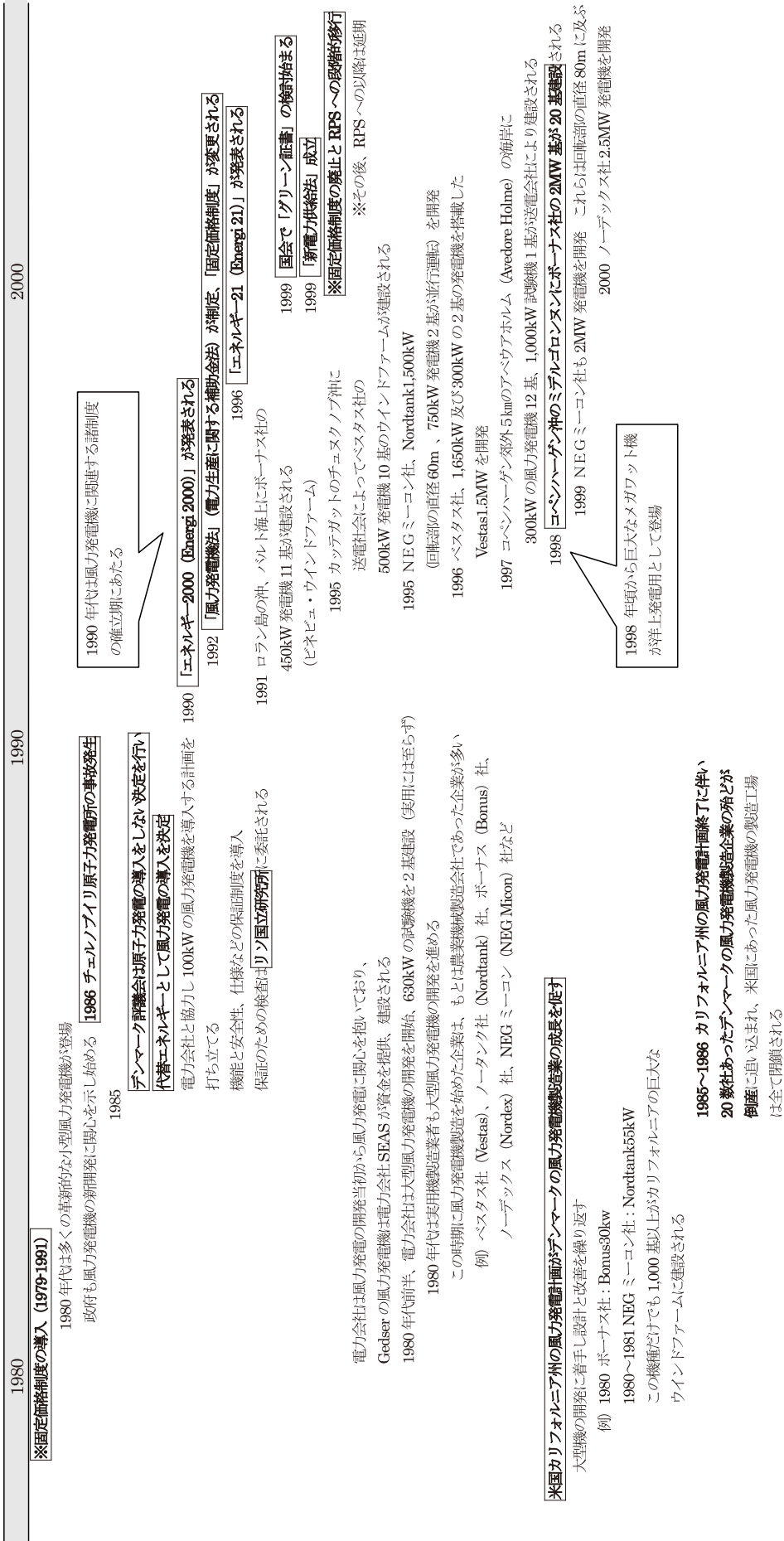
<sup>15</sup> この時期、1986年に発生したチェルノブイリ原子力発電所の事故もデンマーク国内の風力発電機の普及に拍車をかけたものと推察される。

<sup>16</sup> ウインドファーム (wind farm) という用語は「風農場」といった意味で、風車を植物のように並べて設置する（植える）こと、風は季節に依存している点が農業と類似していることから、1970年代の米国で作られた用語である。以上の説明については、松宮（2005, p. 26）を参照。

<sup>17</sup> 松岡（2004, p. 102）、JETRO（2003, p. 79）を参照。

<sup>18</sup> ミデルゴロンヌンの洋上ウインドファーム (offshore wind farm) の建設経緯及び概要については、Energie-Cites（2002）を参照。なお、この洋上ウインドファームの稼働状況はホームページ <http://www.middelgrund.com/> からリアルタイムで見ることができる。

図表3 デンマーク風力発電機の淘汰・成長期における技術・組織・制度 (1981-2000)



出所: JETRO (2003, p. 78-81), 松岡 (2004, pp. 94-111), S. スズキ (2007, pp. 71-72), Andersen (1999, pp. 4-5), 朝野 (2005, pp. 293-306) を参考に筆者作成。

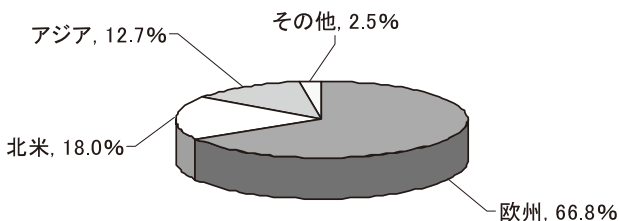


ールによる世界で初めての風力発電機の建設から1世紀を経て、現在はデンマーク国内における再生可能エネルギー政策の中心的役割を担うと同時に、淘汰を経て生き残った風力発電機メーカーは世界企業へと飛躍的な成長を遂げている。その背景（要因）となった技術、組織及び制度に関する検討は後述することとして、本節では、近年の世界の風力エネルギー市場の動向及びデンマーク風力発電機の代表的企業であるベスタス社について概説する<sup>19</sup>。

### 3.1 世界の風力エネルギー市場の動向

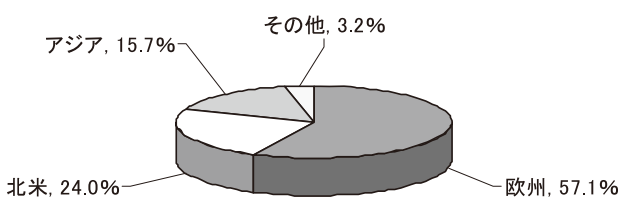
世界の風力エネルギー市場は、2006年に72,628 MW（操業が廃止されたウインドファームを除外した値）に達し、2005年比で13,394MW増加、2006年は欧州市場と世界市場の両方において新設能力が過去最高を記録し風力発電市場のグローバル化がさらに進展している<sup>20</sup>。特に欧州は引き続き風力発電機が最も普及している地域であり、風力エネルギー市

図表4 世界の地域別風力発電能力（2006年末）



出所：EurObserv'ER2007, NEDO（2007, p. 15）

図表5 世界の地域別風力発電実績（2006年）



出所：図表4と同じ。

<sup>19</sup> ベスタス社以外にデンマークを代表する発電機メーカーとしては、NEG ミーコン社（NEG Micon A/S）、ノーデックス社（Nordex AG）、ブレード（回転翼）メーカーとしては、LM グラスファイバー社（LM Glasfiber A/S）、洋上風力発電機の基礎を供給するデシット社（Desit A/S）、塗料メーカーのヘンベルペイント社（Hempel Paints）、制御システムを開発しているKK エレクトロニクス社（KK Electronic A/S）、振動吸収装置のスカンビブ社（Scanvib ApS）などが有名である。なお、現在、Danish Wind Industry Associationには、オペレーション&メンテナンス、コンサルティング&アナリシス、トレーニング等を含む178社が加盟している。詳細については、Danish Wind Industry Association（2007）を参照。

<sup>20</sup> この数値はEurObserv'2007（European Union figures）/AWEA2007 for United-States, Wind Power Monthly2007（others）に基づく。なお、GWEC（Global Wind Energy Council）の最新資料によれば、2006年の数値は74,223MWとなっている。GWECについては、<http://www.gwec.net/index.php?id=28> を参照。

場における当該地域の風力発電実績は全体の57.1%、風力発電能力では66.8%を占めている（図表4及び図表5を参照）。風力発電設備能力を国別に見ると2006年末の時点では、第1位はドイツ：20,621.9 MW、第2位はスペイン：11,615.1MW、そして第3位にデンマーク：3,136.6MWといった順になっている（図表6参照）。このように、風力発電設備能力（発電総量）では、デンマークは第3位にランクされ、ドイツ及びスペインに大きく水を空けられている状況にあるが、図表7に示すように、欧州における1,000人当たりの風力発電能力（kW）を見ると他国を大きく引き離し第1位の地位を占めており、この結果からデンマークにおける風力発電利用が如何に活発であるかが窺える<sup>21</sup>。

### 3.2 デンマーク風力発電機メーカーを代表するベスタス社

2005年の風力発電機の主要メーカー上位10社のランキングについては図表8のとおりである。この図表から分かるように、デンマークのベスタス社（Vestas Wind Systems A/S）の市場占有率は28.4%で販売量、売上高の両方でトップになっている。さらに同社では2006年においても風力タービンメーカーのトップメーカーとなり、売上は推計37億ユーロに達し、利払い前の税引前当期利益（EBIT）<sup>22</sup>は5%、2007年については7～9%に改善し売上を約45億ユーロに引き上げる計画と言われる。また、同社の市場戦略については、米国市場の持続的な成長に対応するため、米国のブレード生産拠点に投資することを決定している<sup>23</sup>。

ところで、世界有数の風力発電機メーカーであるベスタス社は、元々は1898年に鍛冶職人H. S.ハンセン（H. S. Hansen）がユトランド半島西部の小さな町レムに鍛冶屋（鉄工所）を開業したことに始まる<sup>24</sup>。その後、農業機械などの様々な機械類の製造を行っていたが、60年代には風力発電機の製造を開始し、カリフォルニア州のウインドファームに供給を行っていた。1986年、カリフォルニア州の税制の

<sup>21</sup> NEDO（2007. 10, pp. 11-17）を参照。

<sup>22</sup> Earnings Before Interests and Taxesの略号で、「イー・ビット」と読む。税引前当期利益に支払利息を加算したもので、他人資本を含む資本に対してどの程度の（税引前）付加価値を産み出したかを示す利益概念。以上の説明については、NEDO（2007. 10, p. 21）を参照。

<sup>23</sup> NEDO（2007. 10, p. 21）を参照。

<sup>24</sup> 松岡（2004, pp. 105-107）を参照。



図表6 EU各国の風力発電設備能力(2006年末)、MW

国名	2005	2006	2006年の新設能力	操業廃止
ドイツ	18,414.9	20,621.9	2,233.1	26.2
スペイン	10,027.9	11,615.1	1,587.2	0.0
デンマーク	3,128.8	3,136.6	11.5	3.7
イタリア	1,718.3	2,123.4	417.0	11.9
英国	1,332.1	1,962.9	630.8	-
ポルトガル	1,047.0	1,716.4	673.4	4.0
フランス	755.6	1,635.0	879.4	-
オランダ	1,224.0	1,560.0	350.4	14.4
オーストリア	818.9	964.5	145.6	-
ギリシャ	573.3	746.5	173.2	-
アイルランド	495.3	745.2	249.9	-
スウェーデン	493.0	519.0	26.0	-
ベルギー	158.4	193.1	35.3	0.6
ポーランド	72.0	152.6	80.6	-
フィンランド	82.0	86.0	4.0	-
ハンガリー	20.5	60.9	40.4	-
リトアニア	6.4	54.0	47.6	-
チェコ共和国	22.0	50.0	28.0	-
ルクセンブルク	35.3	35.3	0.0	-
エストニア	32.0	32.0	0.0	-
ラトビア	27.0	27.0	0.0	-
スロバキア	5.1	5.1	0.0	-
キプロス	0.0	0.0	0.0	-
マルタ	0.0	0.0	0.0	-
スロベニア	0.0	0.0	0.0	-
EU25カ国	40,489.8	48,042.3	7,613.3	60.8

出所：EurObserv'ER2007, NEDO (2007, p.14)

変化に伴い風力エネルギー市場が崩壊し、同社は大きな損失を受け倒産に追い込まれるが、1987年、新会社 Vestas Wind System A/S を設立し、風力タービンの生産を継続、この間、同社はインドに子会社を設立し、デンマーク政府の第三諸国援助計画の一環として、同社を通じてインドに6つの風力発電機が設置された。1989年には風力エネルギー会社 Dansk Vind Teknologi A/S と合併し、1998年にコペンハーゲン市場に上場している。現在、同社の市場戦略は上述したように販売と生産の両面でグローバル化<sup>25</sup>を強め、製造拠点はデンマーク以外にもドイツ、インド、イタリア、スコットランド、さらにスペインでもブレードの生産施設を拡張する予定である。雇用面では、2006年には1,300人を雇用し、

現在の総従業員数は約12,000人で今後も増員する計画をもっている<sup>26</sup>。

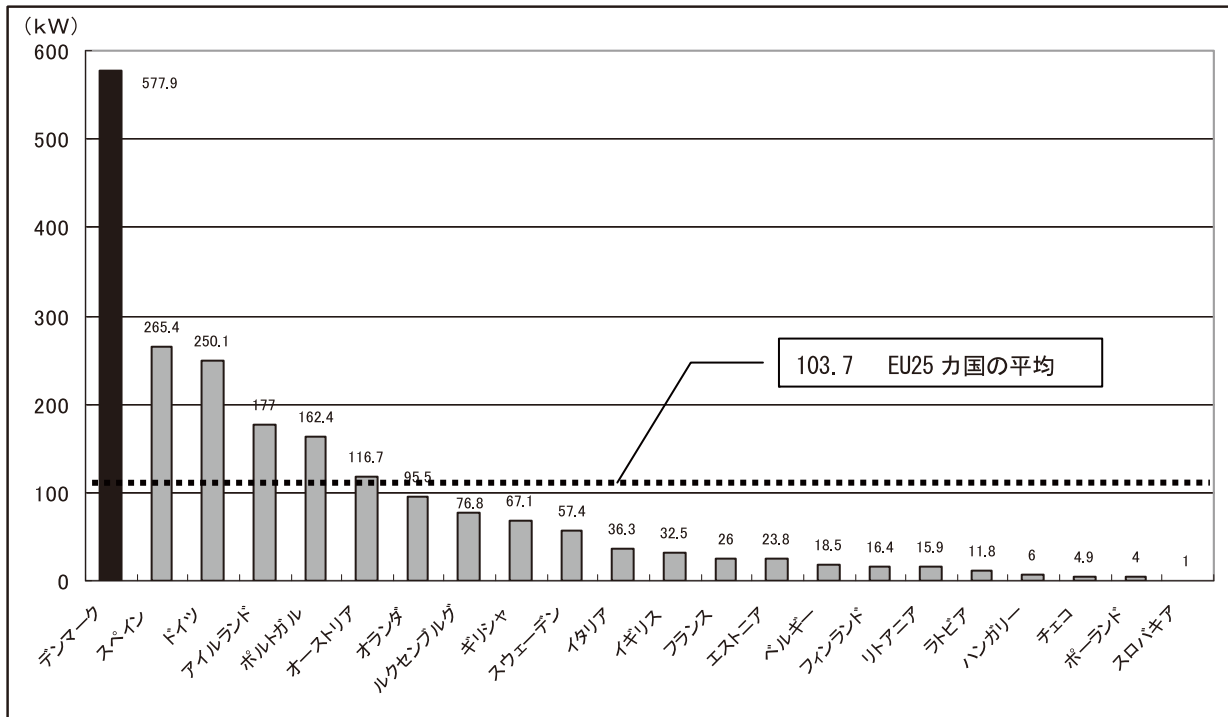
#### 4. デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした技術・組織・制度

これまで俯瞰してきたように、デンマークでは、およそ100年の歴史の中で、国内に多くの風力発電機が普及し、その過程の中で私企業を含む風力発電機産業に関連する企業家が誕生し、停滞と淘汰の後、その中の企業の幾つかは、上述したベスタス社に象徴されるように国際競争力を持ったグローバル企業に成長した。そこで、本節では第2節で俯瞰的に説明したデンマーク風力発電機の産業史的アプローチ(図表1～3)に基づいて、デンマーク風力発電機

<sup>25</sup> ベスタス社を始めデンマークの風力タービンメーカーは2000年以降急速にグローバル市場に移行している。この状況については、Danish Wind Industry Association (2004, p.4) を参照。

<sup>26</sup> NEDO (2007. 10, p21) を参照。

図表7 欧州における1,000人当たりの風力発電能力 (kW)



注：スロバキア、マルタ及びキプロスは風力発電能力を持たない。

出所：EurObserv'ER 2007, NEDO (2007, p.17)

図表8 2005年の主要メーカー（上位10社）

企業名	国名	2005年販売量 MW	市場占有率 %	2005年売上高 百万ユーロ	従業員数
Vestas	デンマーク	3,186	28.4	3,580	10,300
GE Wind	米国	2,025	18.1	n.a.	n.a.
Enercon	ドイツ	1,505	13.4	1,300	9,000
Gamesa	スペイン	1,474	13.2	1,745	8,196
Suzlon	インド	700	6.2	n.a.	n.a.
Siemens	ドイツ	629	5.6	n.a.	n.a.
Repower	ドイツ	353	3.1	335	583
Nordex	ドイツ	298	2.7	308	710
Ecotècnia	スペイン	239	2.1	183	625
Mitsubishi	日本	233	2.1	n.a.	n.a.
その他		567	5.1		

出所：EurObserv'ER2007, NEDO (2007, p.19)

の普及と成長の要因について、技術、組織及び制度

<sup>27</sup> 技術、組織及び制度は、相互に密接な関係性を有し、影響を与えていることは言うまでもないことであるが、本稿では産業化のプロセスを技術、組織及び制度に分解することでそのプロセスの特徴を炙り出すことにする。なお、組織及び制度を社会的要素と置き換えるならば、技術と社会の関係を巡る主体性の議論に発展する。例えば、Winner (1986) に代表される技術決定論と Feenberg (1991) に代表される社会構成論の対立である。しかし、本稿ではこの議論に重点を置いてはいない。敢えて述べるとするならば、筆者の立場は技術と社会の相互作用論者である。なお、技術と社会の関係を巡る議論に関する分かり易い論文については、青柳 (2007, pp. 46-55) を参照。

の3つの側面から概説する<sup>27</sup>。

#### 4.1 デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした技術

デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした初期の革新的技術としては、第一に、1891年のラ・クールによる初めての風力発電機の開発を指摘することができる。この発明の意義は、鎧戸式の羽根板翼4枚の古典的な風車（コーン型）ではあったが、

彼の風力発電機の特徴は、①出力を安定化するためのメカニカル・デバイス、②電気分解によって電気エネルギーを水素に保存する、の二点にあった。さらに彼は、風力が一定してないために安定したエネルギーが得にくいといった風力エネルギーの問題点を克服するために「クラトースタット (Klato-stat)」と呼ばれる調速装置を発明したことで知られる<sup>28</sup>。このように、ラ・クルの風力発電機は、その後の風力発電機の技術的な革新プロセスに必要とされる、且つ、課題として残る技術的問題点を初期の段階で指摘し、その解決策の道筋をも独自に提示しており、まさに画期的な発明であったと言える。第二は、1917年にエリーク・ファルクらによって最初のプロペラ式揚力タイプ6枚羽根風車が発明されたことである。いわゆるアグリコ風車の発明であり、開発の中心となった3人の技術者が農業機械企業の技術者である点は興味深い（後述の考察部分で検討する）。第三は、1940年のクラウディ・ヴェストによる空気力学方式によるブレードの研究開発であり、より工学的知識に基づく技術へと発展する。第四は、1947年にユールによるイノベーションである。ユールはラ・クルの高弟であり、アスコウ・ファルケホイスコーレで学んだ技術者たちが、デンマーク風力発電機技術の発達にとって重要な役割を果たした典型と言える。ユールはヴェスター・イースボー風車やボウエ風車を開発し、これらは今日の風力発電機の原型となったゲッサー風車の誕生（1957）に繋がる。ラ・クルがデンマーク風力発電機の草創期のイノベーターであるとするならば、ユールは転換期を代表するイノベーターであったと言えよう。その後は、既に述べたように風力発電機の技術的なイノベーションは風力発電機事業を展開する企業によって実践されることになり、風力発電機産業に係る技術的なイノベーションの場は競争原理の中で各企業の研究開発部門に委ねられることになる<sup>29</sup>。

#### 4.2 デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした組織

デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした

組織については、第一に、前述のラ・クルが1904年にアスコウ・ファルケホイスコーレに開設した「地域のための電気技術者養成講座」を指摘することができるが、彼が前年（1903年）に地元の鍛冶屋や農村出身者を集めて組織した「デンマーク風力発電会社」や1905年に設立した「風力発電技術者協会」も風力発電機の普及と技術的な問題解決の場として重要な役割を果たしたものと推察される。第二に、1950年9月にユールの尽力によってデンマーク公共電力協会に「風力委員会」（1962年に解散）が設置されたことが、近代的な風力発電機の研究開発・実験に大いに貢献した点を挙げるができる。第三に、リソ国立研究所（設立は1955年で元々は原子力エネルギーの研究機関であった）を挙げるができる。同研究所は1977年に実験用大型機「ニーベA」及び「ニーベB」のブレード設計を担当し、風力発電機技術のCOE (Centre Of Excellent) 的存在となる。さらに、1985年には風力発電機の機能、安全性、仕様などの保証に必要な検査の実施機関となっている。現在でも同研究所は風力発電産業に係る多くの研究を展開しており、1985年以降、デンマークが原子力発電から撤退し、代替可能エネルギーとして風力発電の導入を決定してからは、デンマーク風力発電技術開発の中核機関としての役割を果たしている。第四に、1977年に設立された風力発電機所有者協会を挙げるができる。同協会の活動は、風力発電所有者と送電会社、所管官庁、発電機製造業者等との関係づくりと風力発電の可能性に関する情報の管理などであるが、設立当初は、デンマークの送電業者や政府は風力発電による電力供給に関心が薄く、風力発電所有者にとって電力を売ることは困難な状況にあったことから、その改善が同協会に期待され、一般市民への風力発電の啓蒙も重要な役割となっていた。同協会では雑誌「自然エネルギー (Naturlig Energi)」を発行、また、各種メディアを通じて風力発電の紹介を行ったが、こうした同協会の活動はデンマークの風力発電に係る行政と企業等を繋ぐコーディネータとして、また、各方面への情報の発信といった2つの面で貢献したと言えよう<sup>30</sup>。第五は、1980年にユトランド半島のニュソルベアに設立された風力発電協同出資組合である。デ

<sup>28</sup> 松岡（2004, pp. 76-77）を参照。

<sup>29</sup> 企業の研究開発（R&D）の視点から風力発電機の発展を捉えることはデンマークの風力発電産業を分析する上で重要なテーマであるが、本稿では初期のイノベーションの基本となった技術の経緯のみに焦点を当てるに留めたい。

<sup>30</sup> JETRO（2003, p. 80）を参照。

ンマークでは、風力発電機の共同所有は農業協同組合の考え方を基本にしており、同組合は、新エネルギーの発展、より良い環境づくりの促進、協力の精神によって問題を解決するという目標に同意した人々が集まって設立されたもので、その後、全国各地に出現し、1985年には、協同組合による風力発電機の設置数が個人による設置数を上回るようになった<sup>31</sup>。第六は、デンマーク風力発電協会である。この組織は現在（2007年時点）風力発電産業に係る178の企業等が加盟している団体で、主要出資企業はシーメンス・ウインド・パワー社（Siemens Wind Power A/S）及びベスタス社で、中核メンバー企業には、ガメサ・ウインド・エンジニアリング社（Gamesa Wind Engineering ASP）、LM グラスファイバー社（LM Glasfiber A/S）及びスズロン・エネルギー社（Suzlon Energy A/S）が名を連ねている。2007年はちょうど同団体が設立されて25周年目にあたる。同団体はデンマーク政府のみならずEU全体の風力発電産業に係る政策・制度情報や普及促進に必要な調査、企業戦略に係るコンサルテーションなどを手掛けており、デンマーク風力発電産業の国内普及及びグローバル市場戦略のための情報センター的役割を担っているものと推察される<sup>32</sup>。

#### 4.3 デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした制度

デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にしたこれまでの諸制度については、デンマークの風力発電に詳しいS. スズキ氏が明快に整理している。スズキ氏によれば、デンマークが風力発電先進国になった制度的理由は以下の5つとされる。①居住地と風力発電所の設置場所の規定：デンマークでは2000年4月まで、風力エネルギーは地元のエネルギー資源とみなし、地元住民の固有の財産とみなしていた。このような考え方から、風力発電所の設置場所と所有者（協同所有者＝投資者）の居住地は法的に関連づけられ、風力発電所に投資する場合、その投資できる範囲は、投資者の居住する市町村または隣接する市町村内に設置する風力発電所のみと限定してきた。これにより風力発電が外部の投資者によって単

なる投資対象にならないように規制してきた（但し、この規制は2000年4月で廃止された）。以上のように、風が吹く場所は地元の資源として地元民に保障したことが、デンマークの風力発電導入を促進した大きな理由である。②資格制度：風力発電所を共同所有できる資格制度には、同市町村内に過去10年間で最低二カ年居住した者、また投資者は成年であること、その他投資者は給与所得者として、または自営業者として過去二カ年同市町村に居住した者などの制限を設けていた。③投資設備量の制限：投資者が投資できる共同所有の風力発電所の最大設備量は、年間発電量3万kW/時、最低限度5,000kW/時と制限が設けられており、制度導入当初の設備投資量の上限所有発電量は「世帯の消費電力に50%を加えた量」、つまり9,000kW/時であった。④定款（組合規約）：風力発電所を共同所有する場合、風力発電所の組合規約（約款）を作成し、規約には風力発電所の名前、所有権の法規及び取得に関する規定、組合員の責務規定、資金調達と運営費の規定、総会招集の規定のほか、役員任命、会計監査報告、不履行、解散、調停などに関する規定が記されることが義務づけられ、このように資本金が問われないことを除き、会社設立と同様な要件を満たすことが必要とされたこと、すなわち、会社形態を採用することで税法上の取り扱いを容易にしたこと。⑤風力発電所の分割方法：共同所有（風車を多くの人と一緒に所有すること）の風力発電の所有権の分割計算の方法が確立されていること。以上である<sup>33</sup>。そして、スズキ氏によるこれらの指摘項目は、主にデンマーク風力発電機の国内での普及を促進した制度として捉えることができる。では、デンマーク風力発電機産業の成長と競争力強化を促す上で貢献した制度は何だったのだろうか。この点についてスズキ氏は、既述の「型式認可制度」が導入されたことの重要性を指摘している。この制度は、風力発電の設計から製造、搬出、設置、サービス・メンテナンスに至るまでの一連の管理をカバーする認可制度である。例えば、風力発電機の構造と強度に関する認可では、エアブレーキの性能検査、基礎とタワーの強度計算の検査、単線結線図を含めた風力発電機の設計図の検査などが行われる。スズキ氏は「型式認可制度」はデンマーク風力発電機産業を高い技術を有する業界

<sup>31</sup> このような協同組合及び農民と風力発電機の普及の密接な関係性については、中久保（2003, p.162）、松岡（2004, pp.97-98）を参照。

<sup>32</sup> この機関の概要については、<http://www.windpower.org/en/core.htm> を参照。

<sup>33</sup> この諸制度の内容については、S. スズキ（2007, pp.84-87）を参照。

に育てる役目を果たしたと同時に、民間の投資者に対して採算の取れる投資対象であることを認識させ、その結果、業界を発展させる制度になったと分析している<sup>34</sup>。

次に、デンマークの風力発電の制度史に詳しい朝野氏の分析に基づいて、1970年代以降のデンマークの風力発電に係る政策に注目してみると、第一に、1970年に導入されたエネルギー調査プログラム、第二に、1979年に導入された設備投資補助金、第三に、同じく1979年に導入された固定価格制度、以上の3つが重要な役割を果たしたことが分かる。但し、これらの風力発電に係る政策手段のうち現在までであるのはエネルギー調査プログラムだけで、設備投資補助金は1989年に廃止され、固定価格制度は1999年の電力市場自由化にあわせてRPS（再生可能エネルギー割当基準：Renewable Portfolio Standards）への移行が決定されている<sup>35</sup>。また、この中で注目すべき点は、固定価格制度の変更とRPSへの移行の問題であろう。朝野氏によれば、デンマークの固定価格制度は、欧州で最も早く導入されたもので、同制度は政府からの発電補助金に加えて、電力会社による自主的な買電制度（1992年以降法制化）は2つから構成されており、この固定価格制度は、1992年の「電力生産に関する補助金法」の施行に伴って変更された（つまり、デンマークの固定価格制度には、1979-1991年型と変更後の1992-1998年型の2種類が時系列的に存在した）<sup>36</sup>。結局のところ、1992年以降のデンマークの再生可能エネルギー事業者に対する固定価格制度では、1キロワット時発電すると、発電補助金0.27DKK（デンマーク・クローネ）と義務づけられた買い取り価格約0.3DKKの総計約0.6DKKで買い取られることとなった<sup>37</sup>。

<sup>34</sup> S.スズキ（207, p. 73）を参照。

<sup>35</sup> 2000年初めからRPSへの段階的移行が考えられていたが、固定価格制度は廃止されたものの二度の延期を強いられ、2005年に至ってもRPSは導入されなかった。この経緯については、朝野（2005, pp. 301-304）を参照。

<sup>36</sup> 変更点は、①発電補助金総額自体の変更はないが発電補助金の内容が電力税収と炭素税還付とに分離されたこと、②再生可能エネルギー発電補助金の負担が家庭部門だけでなく産業部門にも広がったこと、③それまでの発電補助金は風力発電のみが対象であったが太陽光発電、バイオマスなどのほかの再生可能エネルギー電源も対象とされるようになったこと、④再生可能エネルギーからの発電買い取りは電力会社に義務づけられたこと、以上の4点を指摘している。朝野（2005, pp. 295-300）を参照。

<sup>37</sup> この間を含む2005年までの制度を巡る状況変化については、朝野（2005, pp. 295-300）を参照。なお、デンマークを含む欧州の風力エネルギーの政策及びビジネス等に関しては、Szarka（2007）を参照。

## 5. 考察：デンマーク風力発電機の産業化における情報の粘着性仮説

以上、デンマーク風力発電機の普及・成長を可能にした技術、組織及び制度について概説した。そこで、これまでの検討結果を踏まえながら、デンマーク風力発電機の産業化に関する松岡氏による技術の経路依存性に基づく考察をヒントに、情報の粘着性仮説を使って若干の考察を試み本稿の結論に代えたい。

### 5.1 松岡氏によるデンマーク風力発電機産業の技術の経路依存性

松岡氏は、デンマーク風力発電機の技術革新能力の特徴と技術開発の問題を考察するにあたり、技術の経路依存性の重要性を指摘している。松岡氏は、「技術には経路依存性があり、これまでの技術的な経緯を熟知しておくことも必要である。このような場合、技術開発のシステムが階層的で、意思決定が上位の階層から、トップダウンで下ろされるようなシステムは必ずしも効率的ではない。むしろ、技術開発の現場に近い下位の階層から上位の階層に情報が伝達するボトムアップ型の伝達経路の方が技術開発に伴う不確実性に対応する上で有益な場合が多い。あるいは、技術開発の組織そのものが、階層的ではなく、フラットな構造の方が情報共有という点では有利となる場合もある。このような技術革新能力を形成する諸要因を検討すると、さまざまな点でデンマーク型技術革新システム、すなわちデンマーク・モデルが成功を収めたことが納得できる」と考察している<sup>38</sup>。

ところで、技術が経路依存性をもつという考え方は、技術は内的論理に基づいてそれ自体の進化を遂げる、という考え方に支援を提供していると言われる<sup>39</sup>。企業の技術活動によって過去に産み出され、蓄積された知識（あるいは能力・経営資源）としての技術が、その企業の探索する次の技術的機会の範囲に影響を及ぼし、その探索活動の成果にも影響を及ぼすという学習メカニズムによって、この経路依存性は説明可能になるとされる<sup>40</sup>。このような技術の経路依存性の概念を使用すると、本稿の図表1か

<sup>38</sup> 松岡（2004, p. 220）を参照。

<sup>39</sup> 沼上（1999, pp. 541-542）及びDosi（1982, pp. 1120-71）を参照。

<sup>40</sup> 沼上（1999, pp. 541-542）及びNelson and Winter（1982）を参照。

ら3に示したように、ラ・クルの風力発電機の発明といった技術内容が、アスコウ・フォルケホイスコレを出発点に、その後はユールに代表される弟子たちによって進化し、さらに、産業化の進展の中で技術内容は企業によって継承され現在に至っていることが窺える。すなわち、デンマーク風力発電機の発展過程には技術の経路依存性が存在していたことが推察される。しかしながら、産業化のプロセスを検討する場合には、技術の経路依存性の概念を適用することには留意点が残る。なぜならば、筆者は技術の経路依存性は「技術の内的論理に基づいてそれ自体の進化を遂げるといった考え方を指示する」といったドジ(Dosi)らの見解を無視することができないからである。本稿で示したように、ラ・クルから始まるデンマーク風力発電機の産業化のプロセスは、リソ国立研究所を始めとする様々な組織及び普及と産業化を促す制度によっても大きな影響を受けたことが明らかである。換言すると、技術の経路依存性の「技術の内的論理に基づいてそれ自体の進化を遂げる」といった技術決定論だけでは説明できない要素をデンマーク風力発電機の産業化のプロセスは含んでいる。よって、デンマーク風力発電機の産業化のプロセスを分析するためには、前提として、技術の経路依存性とは異なる視点に基づく分析枠組みが必要になるものと考えられる。

## 5.2 デンマーク風力発電機の産業化における情報の粘着性

そこで筆者は、松岡氏によるデンマーク風力発電機産業史研究における技術の経路依存性による考察を一つの手掛かりに、デンマーク風力発電機の産業化のプロセスにおける情報の粘着性に注目したい。松岡氏を始めとするデンマーク風力発電機産業史に関する先行研究によれば、農業(農民)がキーワードになっていることがわかる。その理由を整理すると次のようになる。①ラ・クルによる風力発電機の研究開発の目的は農民のための電力供給事業であったこと、②風力発電機の共同所有形態は農民によって形成されている地域社会と密接に関係していたこと、③現在、世界企業に成長したベスタス社に象徴されるように、風力発電機関連企業の多くは元々、農機具関連の鉄工所や町の鍛冶屋からスタートした企業であったこと、以上である。このように、農業

地域の中で、農機具メーカーと農機具のユーザーの関係が、風力発電機が開発される以前から構築されており、中久保氏が分析したように農民たちの協同組合による風力発電機の共同所有が増加したことが、デンマーク国内に風力発電機が普及した重要な要素であったと考えられる。

さて、情報の粘着性の提唱者であるファン・ヒッペル(von Hippel)は、情報の粘着性がイノベーション関連の問題解決場所に与えるインパクトを指摘している。例えば、彼(行為者、筆者による)は、問題解決者にとって必要とされていて粘着性の高い情報が一ヶ所にある場合、他の条件を一定とすれば、問題解決はその場所で行われ、もしも、情報の粘着性が高い場所が2つ以上の場所にあつてそれらが問題解決者にとって必要とされる時、粘着性の高い情報のある複数の場所を彼(行為者、筆者による)はいつたりきたりしながら問題解決が進行するとしている<sup>41</sup>。こうした情報の粘着性は、製品開発においては、技術情報の粘着性、ユーザー・ニーズ情報の粘着性、イノベーションの場所といった3つの変数を設定することによって、上記のデンマーク風力発電機の発展経緯の中で農業、農機具鉄工所、農業地域(協同組合)、共同所有といったキーワードの関係を分析するツールとなる。図表9は、情報の粘着性仮説の基本パターンである。この図表が示すように、製品開発では、技術情報の粘着性の高低、ユーザー・ニーズ情報の粘着性の高低の組み合わせによって、製品開発(イノベーション)の場所が導かれることになる。

そこでこの情報の粘着性仮説をベースに、デンマーク風力発電機の初期の段階(本稿の第1期の時代)における情報の粘着性仮説を示すと図表10のようになる。すなわち、ユトランド半島で農業活動を通じて技術情報(メーカー、サプライヤー)とユーザー・ニーズ情報(ユーザー)の関係にあつた農機具鉄工所と農家の情報の粘着性のパターンは、そのまま、風力発電機メーカーと農業協同組合(風力発電機の共同所有者)の情報の粘着性のパターンに継承されたことが、デンマーク風力発電機の国内普及と速やかな産業化(製品開発及びその競争力の向

<sup>41</sup> この点については小川(2001, pp. 34-36)及びvon Hippel(1994, pp. 429-439)を参照。



図表9 情報の粘着性仮説

技術情報の粘着性	ユーザー・ニーズ情報の粘着性	イノベーションの場所
低	低	メーカーあるいはユーザー
高	低	メーカー
低	高	ユーザー
高	高	イノベーションの過程で、メーカーが技術関連の問題を解決し、ユーザーがニーズ関連の問題を解決する。

出所：小川（2001, p. 35）を参照。

図表10 デンマーク風力発電機の初期の段階における情報の粘着性仮説

技術情報の粘着性	ユーザー・ニーズ情報の粘着性	イノベーションの場所
農機具鉄工所 (町の鍛冶屋)	農民	限定された地域 (ユトランド半島)
高 ↓	高 ↓	イノベーションの過程で、農機具鉄工所は農機具の技術問題を解決（収集）、農民はニーズ情報を解決（提案）
情報粘着性のパターンの持続		
風力発電機メーカー	農業協同組合 (共同所有者)	イノベーションの過程で、風力発電機メーカーは発電機の技術問題を解決（収集）、農業協同組合はニーズ情報を解決（提案）

出所：筆者作成。

上)の要因になったのではないかと筆者は考える<sup>42</sup>。

さて、1990年代以降、デンマーク風力発電機メーカーは、世界企業として販売と生産のグローバル化を積極的に展開しているが、技術情報及びユーザー・ニーズ情報の粘着性が共に高く、その場所が国内の少数地域である場合は、イノベーションの場は限定的な範囲内に留まり、情報の粘着性の高さは維持され、それは特定産業の集積地を形成し、技術情報とニーズ情報の交換コスト、さらに企業間の取引コストを低減する機能を持つことになる。しかし、企業のグローバル展開は、技術情報及びニーズ情報の多様化を意味し、各々の情報の粘着性は低下する危険性を孕んでいる。よって、デンマーク風力発電機メーカーがEU、北米、さらに中国等を含むアジア地域を視野に入れたグローバル展開を推進する上では、如何にして風力発電機に係る情報の粘着性の高

さを維持し、展開地域の実状（制度、技術、資源、人材等々）に合った情報の粘着性の仕組みを構築できるかが重要な課題となっていくものと考えられる<sup>43</sup>。

翻って、日本の風力発電機の普及及び産業化は、再生可能エネルギーの重要な分野である点を認識しつつも、そのエネルギー政策の複雑性によって、普及と産業化の両面において欧米諸国に大きく遅れをとっているのが実状である。よって、今後の日本の風力発電機産業の促進にあたっては、関連する制度面の整備を含め、日本のモノづくり力を活用しながら中長期的な視点で「再生可能エネルギーの産業化政策」を構築することが望まれる<sup>44</sup>。

<sup>42</sup> 松岡氏が提唱している「地縁技術」は、この情報の粘着性と非常に関連する概念であると考えられる。地縁技術の重要性については、特に松岡（2004, p. 196-197, p. 217）を参照。

<sup>43</sup> 風力発電機の普及は、設備の技術的イノベーションだけでなく、各国・地域の自然環境条件、各種の制度・規制の影響を受けることを考えるとグローバル展開における情報の粘着性の維持は情報通信技術（ICT）を如何に駆使してもそのみのコミュニケーションでは不可能であると言えよう。

<sup>44</sup> 日本の風力発電に関連する課題は多くの方々指摘しているが、例えば、山口（2006, pp. 207-221）を参照。

### 一付記

本稿執筆のきっかけは、(財)機械振興協会経済研究所平成19年度調査研究事業「高齢福祉型・環境配慮型社会の産業集積と『北欧モデル』の適用可能性に関する調査」の一環として、2007年11月28日に筆者がデンマーク・コペンハーゲンにおいて、再生可能エネルギー政策の専門家である自らその普及にも尽力されている「風のがっこう (SRA.Kaze no gakko)」主宰のケンジ・ステファン・スズキ (Kenji Stefan Suzuki) 氏へのインタビュー及びその著書『増補版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』にある。また、本稿で度々引用させて頂いた松岡憲司氏の『風力発電機とデンマーク・モデル』については、日本貿易振興機構コペンハーゲン事務所長の片桐聡氏からご紹介頂いた。スズキ氏並びに片桐氏、さらにデンマーク風力発電機産業の日本における先駆的研究者である松岡氏には、記して感謝申し上げる所である。勿論、本稿の文責は筆者にある。

### 参考文献

- 青柳輝和 (2007), 「技術と社会の関係—原子力発電と技術の民主化—」『経済社会学会年報 xxix』
- 朝野賢司 (2005), 「地方環境エネルギー政策」『デンマークのユーザー・デモクラシー』新評論所収
- 小川 進 (2001), 『イノベーションの発生論理』千倉書房
- ケンジ・ステファン・スズキ (2007), 『増補版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
- 中久保邦夫 (2003), 「風力発電と協同組合的所有—デンマークの協同組合運動の伝統と風力発電機の協同組合的所有—」『経済情報学論集』VOL. 17
- 沼上幹 (1999), 『液晶ディスプレイの技術革新史』白桃書房 pp. 541-542.
- 松岡憲司 (2004), 『風力発電機とデンマーク・モデル—地縁技術から革新への途—』新評論
- 松宮輝編 (2005), 『図解風力発電のすべて』工業調査会
- 山口 歩 (2006), 「日本における風力発電事業の課題と展望」『立命館産業社会論集』VOL. 42, No. 1
- Andersen, Per Dannemand (1999), Review of Historical and Modern Utilization of Wind Power, RISØ
- Danish Wind Industry Association (2007), Members Catalogue 2007
- (2007), Annual Report 2007
- (2004), Annual Report 2004
- Dosi, Giovanni (1988), “Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation,” *Journal of Economic Literature*, Vol.26, pp.1120-71.
- Energie-Cites (2002), Wind Energy Wind Farm
- JETRO (2003), 「JETRO ユーロトレンド2003.9 Report 4 世界市場で注目される風力発電産業 (デンマーク)」
- Feenberg, A. (1991), *Critical Theory of Technology*, New York : Oxford University Press.
- NEDO (2007), 「NEDO 海外レポート No. 1010, 2007. 10. 31風力エネルギー・バロメータ2007年 (EU)」
- Nelson, Richard R., and Sidney G. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, MA : Belknap.
- Szarka, Joseph (2007), Wind Power in Europe : Policies, Business and Society, Energy, Climate and the Environment Series, Elliott, D. (Ed.), Palgrave Macmillan.
- von Hippel, E. (1994), “Sticky information” and the locus of problem solving : Implications for Innovation,” *Management Science*, 40 (April), pp.429-439.
- Winner, L. (1986), *The Whale and Reactor : A Search for Limit in an Age of High Technology*, Chicago : The University of Chicago.