

調 査

第 102 号
(2011 年 6 月)

・ 内 容 ・

米国における再生可能エネルギー発電
－政策・技術・ファイナンス動向と日本への示唆－

米国における再生可能エネルギー発電

－政策・技術・ファイナンス動向と日本への示唆－

要 旨

1. 米国における再生可能エネルギー発電（水力除く）は、風力を中心に導入が進み、世界最大の発電容量を有する。導入拡大の背景には、エネルギー安全保障、気候変動対策や金融危機後の景気刺激・雇用創出等の課題を受けた政策支援がある。足元では、中間選挙における民主党の敗北や、競合する天然ガスの価格低下等の制約要因があるものの、長期的には政策支援の継続と発電コスト低下により導入が拡大するとみられている。
2. 連邦政府は、税控除や債務保証、加速償却等の政策により、再生可能エネルギー発電を支援している。投資家が税控除のメリットを受けられるTax Equity投資のスキームが投資促進に寄与しており、多くの投資銀行が十分な課税利益を確保できなくなった金融危機後は税控除が助成金として受け取り可能となるなど、投資家のニーズに応じた施策がとられている。州レベルでは、電力会社に対して発電量の一定割合以上を再生可能エネルギーとすることを義務づける RPS 制度が普及している。
3. 世界的な再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、大規模発電プロジェクト向けのファイナンスが増加し、世界のクリーンエネルギー向け投資全体の約7割を占める。再生可能エネルギー関連のベンチャーファイナンスについては、量産化を視野に入れたレイター投資の件数が増え、必要となる投資額も大きくなっている。米国におけるクリーンエネルギー向け投資は、金融危機の影響により2009年に減少している。Tax Equity投資の主体は投資銀行が中心であるが、最近では電力会社や事業会社の参入もみられる。
4. 米国の風力発電は、発電容量ベースで再生可能エネルギー発電の6割を占め、新規導入量で見るとガス火力発電と同程度まで増加している。タービン製造、発電所開発いずれの市場も寡占化が進んでいる。ガス価格下落の影響や送電網の制約があるが、政策支援が継続すれば陸上だけでなく洋上での開発も拡大が見込まれる。太陽光発電は、これまで住宅・事業所向けを中心に拡大してきたが、今後は電力会社向けも成長する見込みである。主要メーカーはデベロッパの買収など、バリューチェーンの垂直統合を進めているほか、生産の海外移転や部材メーカー取り込みによる技術・製品差別化といった動きもみられる。太陽熱発電は、足元で大規模プロジェクトの認可が続いている。土地・水等の資源制約や実績不足等の課題があるものの、南西部を中心に導入拡大が見込まれる。

5. 現状、わが国において再生可能エネルギー発電が全発電量に占める比率は低い。しかし、電力供給システムの低炭素化や産業競争力強化の観点から、太陽光発電などの導入を促進する動きは強まっている。また 2011 年 3 月に発生した東日本大震災は、改めて再生可能エネルギー発電に対する関心を高めた。これまで RPS 制度が政策の中心であったが、2009 年 11 月に太陽光発電向けに導入された固定価格買取制度の対象を、風力や地熱など他の再生可能エネルギーによる発電に拡大することが検討されている。未だ発電コストの高い再生可能エネルギー発電の普及を促進するためには、米国の例でもみられるように、投資家のインセンティブに配慮した安定的な制度を構築するとともに、系統制約の克服も必要となろう。日本企業にとっては、米国における再生可能エネルギー発電の導入拡大は、部材供給から完成品製造、発電所建設・運営に至るバリューチェーンの各段階で事業機会となり得る。今後は、部材等における技術の優位性を維持しつつ、バリューチェーンの垂直統合やファイナンス上の工夫等による、発電システム全体でのコスト競争力向上や販売力強化が求められよう。

[担当：木村^{きむら} 健^{けん}]

目 次

要旨

第1章 米国のエネルギー動向と再生可能エネルギー発電

- 1. 米国のエネルギー動向 6
- 2. 米国の再生可能エネルギー発電 6

第2章 政策の動向

- 1. 連邦政府の政策 9
- 2. 州政府の政策 12
- 3. 今後の政策の見通し 14

第3章 ファイナンスの動向

- 1. 世界のエネルギー別・地域別の動向 16
- 2. 資金の種類別の動向 17

第4章 エネルギー技術別の動向

- 1. 風力発電 20
- 2. 太陽光発電 26
- 3. 太陽熱発電 32

第5章 おわりに～日本への示唆～ 36

第1章 米国のエネルギー動向と再生可能エネルギー発電

1. 米国のエネルギー動向

米国は世界のエネルギー需要の2割弱を占める世界最大のエネルギー消費国である（図表1-1）。特にオイルショック以降、エネルギー安全保障強化を目的にエネルギー源の多様化が進められ、再生可能エネルギー¹の利用が拡大した。また、発電量の約半分が石炭火力によるものであり、CO₂排出抑制の観点からも再生可能エネルギーの導入促進が重要となっている。金融危機以降は、景気・雇用対策の一環として、再生可能エネルギー導入促進策が強化されている。

図表 1-1 米国のエネルギー関連指標

	実 績	備 考
エネルギー需要 (2008年)	2,281石油換算百万トン	世界シェア19%(1位)。構成比:石炭24%、石油37%、天然ガス24%、原子力10%、水力1%、再生可能エネルギー(水力除く)5%
エネルギー純輸入 (2008年)	634石油換算百万トン	輸入依存度28%、石油輸入依存度69%、ガス輸入依存度13%
CO ₂ 排出(2008年)	5,571百万トン	世界シェア19%(2位)
発電量(2010年)	4,120TWh	構成比:石炭45%、石油1%、天然ガス24%、原子力20%、水力6%、再生可能エネルギー(水力除く)4%
発電容量 (2009年)	1,121GW	構成比:石炭30%、石油6%、天然ガス41%、原子力10%、水力7%、再生可能エネルギー(水力除く)4%、その他2%

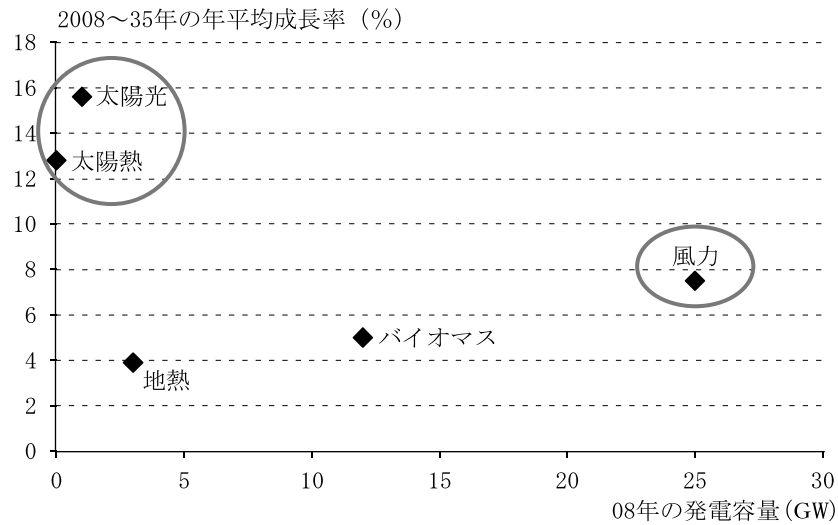
(出所) 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2010」、米国エネルギー情報局「Annual Energy Outlook 2010」等より作成

2. 米国の再生可能エネルギー発電

国際エネルギー機関によれば、米国は2008年時点で41GWと世界で最大の再生可能エネルギー（水力除く）発電容量を有している。そのうち風力が25GWと約6割を占める。2035年には再生可能エネルギー発電の容量は300GWまで拡大する見通しであり、なかでも現状では小規模にとどまっている太陽光、太陽熱発電が大きく成長する見込みである（図表1-2）。

¹ 米国連邦エネルギー省によると、再生可能エネルギーとは、絶えず資源が補充されて枯渇することのないエネルギーであり、風力、太陽光、太陽熱、バイオマス、地熱、海洋エネルギーなどを含む。

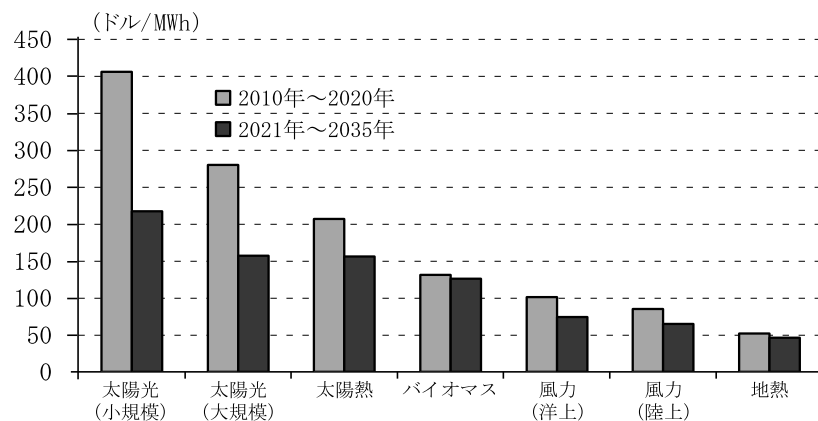
図表 1-2 米国における各再生可能エネルギー発電の容量と今後の成長率



(出所) 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2010」より作成

石炭火力やガス火力発電の発電コストが 100 ドル/MWh を下回っているのに比べて、太陽光発電や太陽熱発電は 200 ドル～400 ドル/MWh 程度とコストが高いことから、政策支援なしには導入が進まない。現時点の太陽光発電のコストは 300 ドル/MWh～400 ドル/MWh 程度と高いが、長期的には技術革新や量産化に伴って、半分程度まで低下するとみられる。太陽熱発電のコストは現状の 200 ドル/MWh 程度から将来は 150 ドル/MWh 程度まで下落すると考えられている。これに対して、風力発電は発電コストが 100 ドル/MWh 程度と再生可能エネルギーの中で比較的成本が低い、今後の技術進歩の余地は小さく、将来のコスト低下も小幅にとどまるとみられている (図表 1-3)。

図表 1-3 世界における再生可能エネルギー発電コストの見通し



(出所) 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2010」より作成

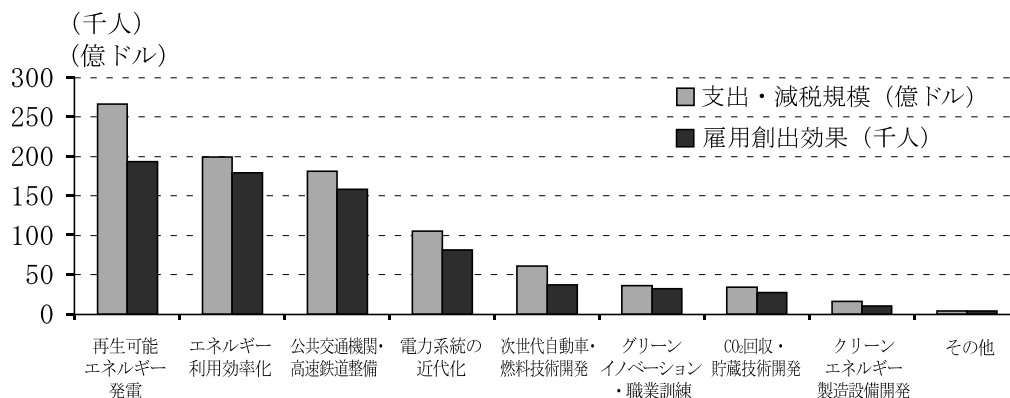
今後の導入阻害要因としては、財政負担の増大、化石燃料との競合、系統容量の不足、環境制約、資源制約等があげられる。特に 2010 年の米国中間選挙で、再生可能エネルギーの導入に積極的であった民主党が敗北し、財政支出拡大に反対する動きが強まったことで、再生可能エネルギーへの政策支援も影響を受ける可能性がある。また近年のシェールガスの生産拡大に伴うガス価格の低下も、再生可能エネルギーのコスト競争力を脅かしている。

第2章 政策の動向

1. 連邦政府の政策

米経済諮問委員会（CEA）の試算によると、米国再生・再投資法（ARRA、2009年2月成立）の予算総額7,872億ドルのうち902億ドルがクリーンエネルギー分野に充てられ、72万人の雇用創出が見込まれている。再生可能エネルギー発電に関しては、全プログラム中、最も多い266億ドルが拠出されており、雇用創出人数は約20万人と影響力の大きさが伺える（図表2-1）。

図表2-1 米国再生・再投資法におけるクリーンエネルギー分野の予算と雇用創出効果



（備考）支出・減税規模は09年～19年の総額。雇用創出効果は12年までの推定値

（出所）Council of Economic Advisors 「SUPPLEMENT TO THE THIRD QUARTERLY REPORT ON THE ECONOMIC IMPACT OF THE AMERICAN RECOVERY AND REINVESTMENT ACT OF 2009. The ARRA and The Clean Energy Transformation」より作成²

ARRAでは、原則として地方自治体を含む政府調達に関して、使用する鉄鋼関連の部材・製品（風力発電タービン含む）は米国内で製造されたものでなければならないと規定されている（バイ・アメリカン条項）。一定の条件³を満たせば海外製の部材・製品を使用することも認められており、マサチューセッツ州の廃水処理施設における風力発電プロジェクトでは、限られた立地面積に適合するサイズの米国製タービンが存在しないことから、中国製タービンの使用が認められた⁴。

連邦政府は税控除、債務保証、加速償却等の政策によって、再生可能エネルギーの導入を促進している（図表2-2）。なかでも税控除制度とそれを活用したTax Equity投資のスキームが投資促進に寄与している。

² http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/image/arra_%20and_clean_energy_transformation_3_Q_supplement.pdf

³ 条件については下記web siteに掲載されている。

https://www.acquisition.gov/far/current/html/Subpart%2025_6.html#wp1077024

⁴ <http://www.federalregister.gov/articles/2010/02/24/2010-3703/notice-of-a-regional-project-waiver-of-section-1605-buy-american-of-the-american-recovery-and#p-3>

図表 2-2 風力、太陽光、太陽熱発電に対する連邦政府の主な支援策

	制度の対象と支援内容		
	風力	太陽光	太陽熱
生産税控除 (Production Tax Credit: PTC)	・控除額は2.2¢/kWh (2010年時点。インフレによる調整あり) ・2012年末までに供用開始するプロジェクト ・制度適用期間は運転開始後10年間	・対象外	
投資税控除 (Investment Tax Credit: ITC)	・ARRAによりPTCの代わりに利用可能に ・控除額は総投資額の30% ・2012年末までに供用開始するプロジェクト		
助成金 (Cash Grant)	・固定資産金額の30%を助成 ・ARRAによりITCの代わりに利用可能に ・2011年末までに建設開始するプロジェクト		
債務保証 (Loan Guarantee)	・保証対象は2,500万ドル以上のプロジェクト ・保証割合はプロジェクト総費用の8割が上限 ・予算が無くなり次第終了 (ARRAでの予算は60億ドル)		
加速償却 (MACRS)	・5年間の加速償却が適用可能 ・初年度の償却額については割増も可能		

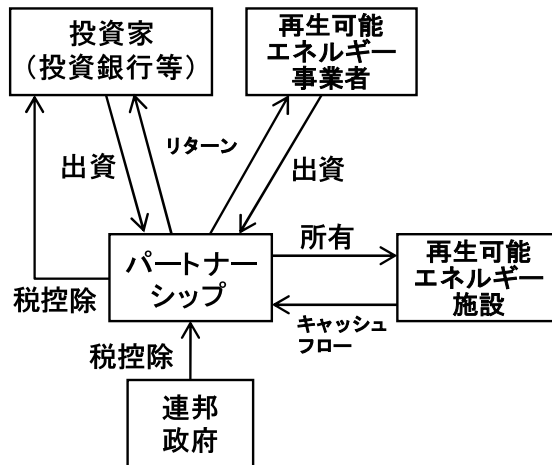
(出所) 連邦エネルギー省、国立再生可能エネルギー研究所等資料より作成

税控除制度のうち、生産税控除 (Production Tax Credit: PTC) は再生可能エネルギーによる発電量に応じて、発電事業者の支払税額を控除する制度である。対象エネルギーは風力、バイオマス、地熱、水力であり、特に風力発電の拡大に貢献してきた。税控除の受取主体が発電施設の運営を行い、第三者に電力を販売することが条件となる。

投資税控除 (Investment Tax Credit: ITC) は再生可能エネルギー関連の発電所や製造施設に対する投資総額の一定割合を、支払税額から控除する制度である。制度の設立時における対象エネルギーは太陽光・太陽熱、バイオマス、地熱、燃料電池、小型風力であったが、2009年のARRAにより大型風力等についてもPTCの代わりに利用可能となった。ITCはPTCとは異なり、税控除の金額が発電量に左右されず、第三者への電力販売や、税控除受取主体による発電施設運営といった条件はない。

税控除制度を活用し、米国ではTax Equity投資という投資スキームが普及している。Tax Equity投資は、投資家が、再生可能エネルギー事業者とともにパートナーシップを組成すること等により、当該プロジェクトに適用される税控除を受け取ることができるスキームである (図表 2-3)。本スキームの利用により、プロジェクトが赤字でも、投資家は当該税控除を他事業からの課税利益と相殺でき、経済的恩恵を受けることができる。

図表 2-3 Tax Equity 投資のスキーム例

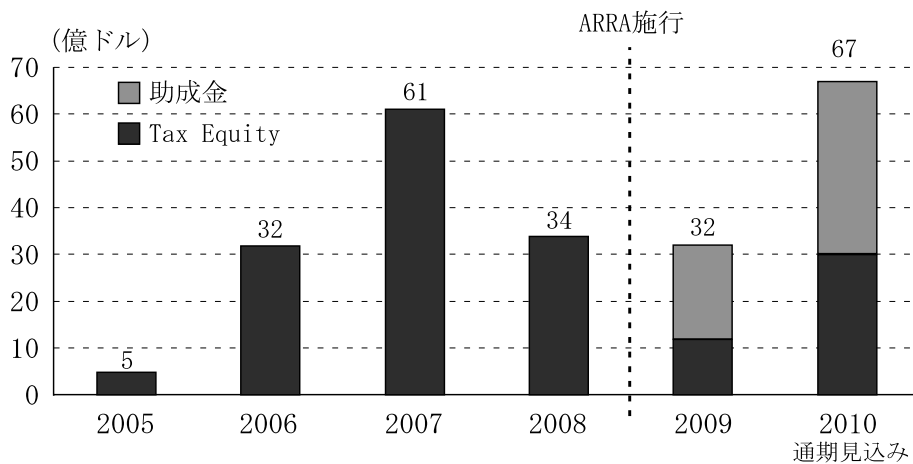


(出所) 各種資料より作成

Tax Equity投資の規模は2005年の5億ドルから2007年には60億ドルまで増加した。しかし、金融危機により主なTax Equity投資家である投資銀行の業績が悪化し、十分な課税利益を確保できなくなったことから、2008年の投資額は2006年の水準まで減少した(図表2-4)。

そこでARRAにより制度が変更され、税控除の金額を助成金(Cash grant)の形で受領できるようになった。2010年はTax Equity投資よりも助成金を選択する投資家が多く、制度変更の効果が伺える。助成金による受取制度は当初、2010年末までの建設開始を条件としていたが、2010年12月に産業界からの要請を受けて、2011年末までの制度の延長が決定された。

図表 2-4 米国におけるTax Equityと助成金受取額の推移



(出所) 米国再生可能エネルギーファイナンスパートナーシップ「Prospective 2010 - 2012 Tax Equity Market Observations」より作成

債務保証制度は 2005 年エネルギー政策法により導入され、原子力や再生可能エネルギーといったエネルギーの低炭素化に資するプロジェクトを対象としている。2009 年には ARRA により、2011 年 9 月までに着工予定のプロジェクトを対象として、予算が追加された。雇用の創出や産業の育成といった観点から、発電設備だけでなく製造設備に関するプロジェクトも対象となっている（図表 2-5）。

図表 2-5 ARRA により債務保証の認可を受けたプロジェクト

企業名/ プロジェクト名	保証金額 (百万ドル)	エネルギー種類	プロジェクト 内容	創出雇用数 (永続的/建設時)	認可日
Nordic Windpower USA, Inc.	16	風力	製造	75/-	2009年7月
Solyndra Inc.	535	ソーラー (CIGS)	製造	1,000/3,000	2009年9月
US Geothermal, Inc.	102	地熱	発電	10/150	2010年6月
Abengoa Solar, Inc.	1,446	ソーラー(太陽熱)	発電	60/1,600	2010年7月
Kahuku Wind Power, LLC.	117	風力	発電	10/200	2010年7月
AES Corporation	17	蓄電池	蓄電設備	5/30	2010年8月
Beacon Power Corporation	43	蓄電池	製造	40/20	2010年8月
Nevada Geothermal Power Company, Inc.	79	地熱	発電	14/200	2010年9月
Caithness Shepherds Flat	1,300	風力	発電	35/400	2010年10月
LS Power Associates	350	送電線	送電線	15/400	2010年10月
Abound Solar	400	ソーラー (CdTe)	製造	1,200/400	2010年12月
Agua Caliente	967	ソーラー (太陽光)	発電	10/400	2011年1月
Diamond Green Diesel	241	バイオ燃料	バイオ燃料	63/700	2011年1月
SoloPower	197	ソーラー (薄膜)	製造	500/270	2011年2月
Record Hill Wind	102	風力	発電	8/200	2011年3月
Solar Trust of America (Solar Millenium)	2,105	ソーラー (太陽熱)	発電	80/1,500	2011年3月
BrightSource Energy, Inc.	1,600	ソーラー (太陽熱)	発電	86/1,000	2011年4月
SunPower Corporation	1,187	ソーラー (シリコン)	発電	15/350	2011年4月
合 計	10,804				

(出所) 米国連邦エネルギー省資料 (2011 年 5 月時点) より作成

加速償却(MACRS) 制度は再生可能エネルギー発電に関する設備に関して、5年間での早期償却を認める制度である。初年度に償却額の上乗せも可能である。また、当制度の早期償却額による節税分に対するTax Equity投資が認められているだけでなく、税額控除制度や助成金制度と併用できる。

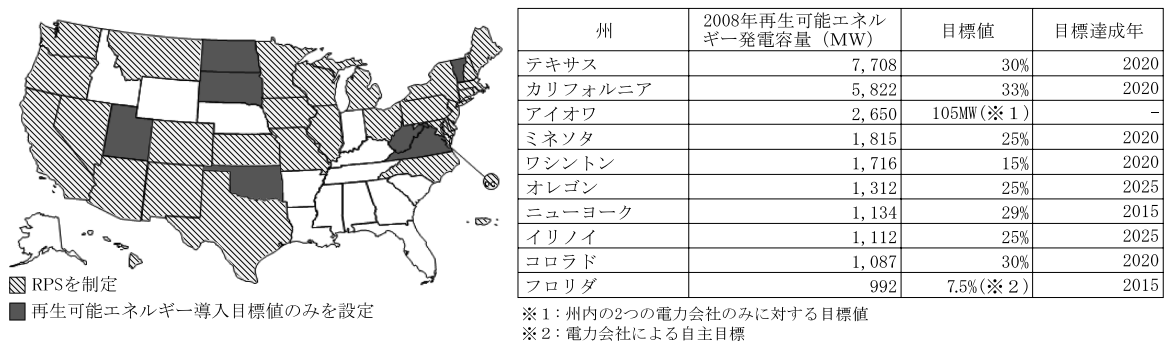
2. 州政府の政策

米国各州の政府も再生可能エネルギー発電の導入拡大を支援する政策を打ち出している。特に再生可能エネルギー資源の賦存量が大きい州では、積極的な支援策を用意しているところが多い。電気事業者については RPS (Renewable Portfolio Standard) 制度、家庭についてはネットメータリング制度により再生可能エネルギー発電の導入が進められている。欧州で普及している固定価格買取 (Feed in Tariff: FIT) 制度は、一部の州・地域のみで導入され

ている。

RPS 制度は、電気事業者の供給電力量のうち、再生可能エネルギーによる発電量の割合を規定するものである。再生可能エネルギーによる発電量に応じて再生可能エネルギークレジットが発行され、電力そのものの価値と切り離して取引することが可能な場合もある。29 の州とワシントンDCが RPS 法を制定し、電気事業者に一定割合の電力を再生可能エネルギーにより供給することを義務づけている（図表 2-6）。7 つの州は目標値のみを設定している。長年、連邦大での RPS 制度の設立を目指す動きがあるが、2010 年の中間選挙における民主党の敗北の影響もあり、当面は成立の見通しが立っていない。

図表 2-6 RPS 制定州、再生可能エネルギー導入目標設定州と主要な州の目標値



（備考）2008 年時点の水力を除いた再生可能エネルギーの発電容量の上位州の数値を表にまとめた

（出所）連邦エネルギー省、国立再生可能エネルギー研究所等資料より作成

ネットメタリング制度とは、発電施設を所有する消費者が自身の使用する電力量を超えて発電したとき、余剰電力を電力会社に供給した分だけ電気メータを戻すことを認める制度である。実質的には余剰電力の電力会社への販売を認める制度となる。43 の州がネットメタリング制度を制定しており、テキサス州、アイダホ州、サウスキャロライナ州の 3 州の電力会社は独自の取組によりネットメタリングを導入している。

FIT 制度は、再生可能エネルギーにより作られた電力を、電力会社が一定期間、固定された価格で買い取る制度で、欧州で導入が進んでいる。現在 6 つの州（フロリダ、カリフォルニア、オレゴン、ワシントン、バーモント、ウィスコンシン）において、州政府あるいは地方自治体により FIT 制度が導入されている。しかし、個々のプロジェクト容量と総導入量の両方に制限があることから、現状の影響力は限定的である。米国では、固定買取制度は電力の卸取引と見なされ、連邦エネルギー規制委員会 (FERC) によって管轄されている。FERC は 2010 年に、FIT 制度は公益事業規制政策法 (PURPA⁵) の範囲内においてのみ認められるという声明を発表し、欧州のような広範囲での FIT 制度の導入を牽制した。

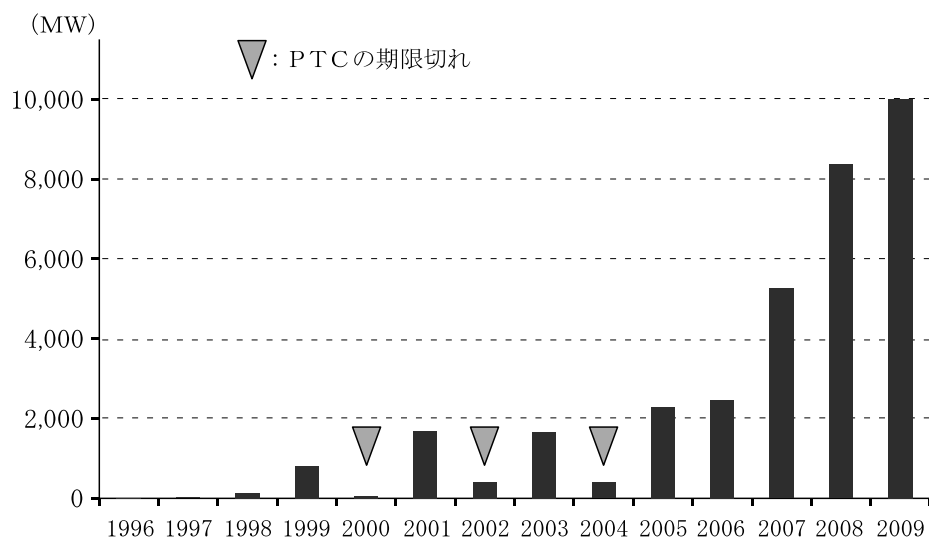
⁵ PURPA (1978 年制定)：電力会社に対し、コジェネ・再生可能エネルギー事業者が発電した電力を回避可能コスト (avoided cost) で買い取ることを義務づける制度

他にも、再生可能エネルギー発電の導入に積極的なカリフォルニア州では、州政府により自家発電インセンティブプログラム (Self-Generation Incentive Program) が実施されている。同プログラムは、家庭または小規模商業事業者における、再生可能エネルギー発電と蓄電池や燃料電池を組み合わせた発電・蓄電複合システムを補助金の対象としている。発電量の安定しない再生可能エネルギー発電を補助するため、天然ガスを使って発電を行う燃料電池や電力を貯蔵する蓄電池を併用し、電力供給を安定化させ、さらなる発電設備の導入拡大を図っている。

3. 今後の政策の見通し

再生可能エネルギーの普及は支援策に依存するところが大きく、例えば風力発電の導入量は PTC 制度が打ち切られる度に落ちこんできた (図表 2-7)。現行の政策では、PTC 制度が 2012 年末に期限切れとなり、ITC 制度は 2016 年末に縮小されるため、制度の延長・拡充がない場合、再生可能エネルギーの導入が停滞する懸念がある。

図表 2-7 風力発電の新規導入量と PTC 制度の関係



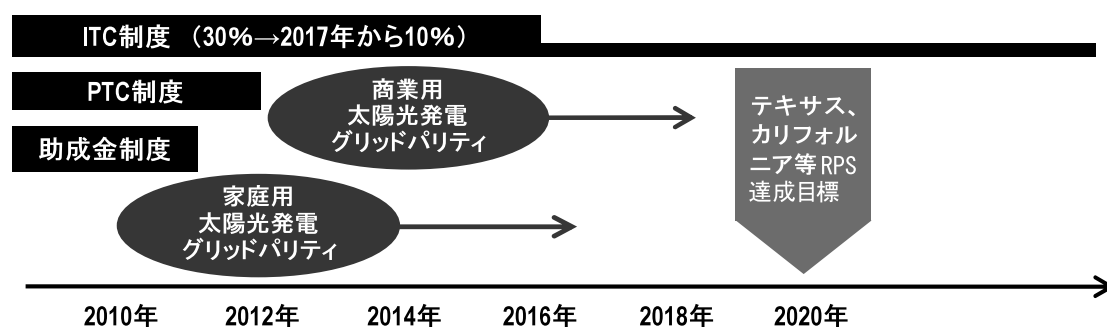
(出所) 米国風力発電協会「U.S. Wind Industry Annual Market Report」より作成

一方、再生可能エネルギーによる発電コストは低減していくことが予想されている。米国連邦エネルギー省によると、日照時間が長い南西部の州における資金調達条件の良好な太陽光発電のプロジェクトについて、家庭用に関しては 2012 年頃、商業用に関しては 2014 年頃からグリッドパリティ⁶が達成されると考えられている。2011 年 2 月には、米国連邦エネルギー省が太陽光発電の大幅なコスト削減を目指す Sun Shot Initiative プロジェクトを発表した。当プロジェクトでは、産学官連携により 10 年以内に太陽光発電のコストを 6 セント/kWh

⁶ 再生可能エネルギーによる発電コストが電力価格と等価になる状態

まで引き下げること为目标としており、2011 年 4 月時点で研究開発・商品化・製造の支援に 3 億ドルを超える財政支援が予定されている。コスト削減の方法としては、太陽電池の変換効率⁷向上や製造プロセス改善だけでなく、発電システム設置や手続きにかかるコスト削減も含まれる。コスト低減により再生可能エネルギーが競争力を持つ時点まで、十分な政策支援が継続されるかどうか、今後の再生可能エネルギーの導入拡大にとって重要である（図表 2-8）。

図表 2-8 各種政策のスケジュールと、太陽光グリッドパリティの達成見通し



（備考）商業用太陽光発電のグリッドパリティは 10%の ITC 制度利用を考慮した場合

（出所）米国連邦エネルギー省「Solar Market & Technology Update」（2010 年 4 月）より作成

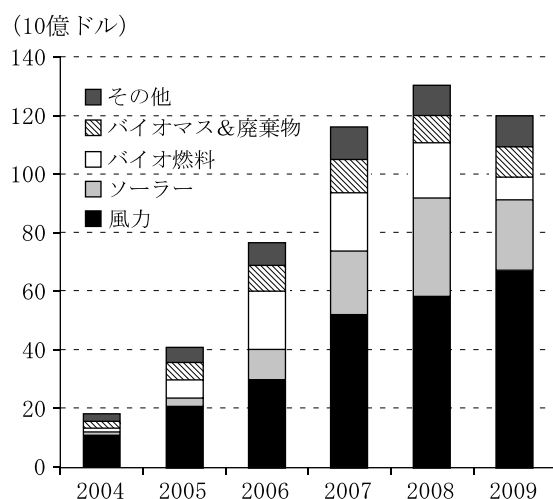
⁷ 電池が受ける光エネルギーに対して変換された電気エネルギーの割合

第3章 ファイナンスの動向

1. 世界のエネルギー別・地域別の動向

再生可能エネルギーを含むクリーンエネルギーに対する世界の投資額は2008年まで拡大したが、2009年には金融危機の影響を受けて縮小した。エネルギー別に見ると、風力発電分野の投資が発電所建設を中心に拡大を続ける一方、太陽光発電と太陽熱発電を含むソーラー分野の投資は2009年に縮小している（図表3-1）。

図表3-1 世界のクリーンエネルギーに対する投資額の推移（エネルギー別）

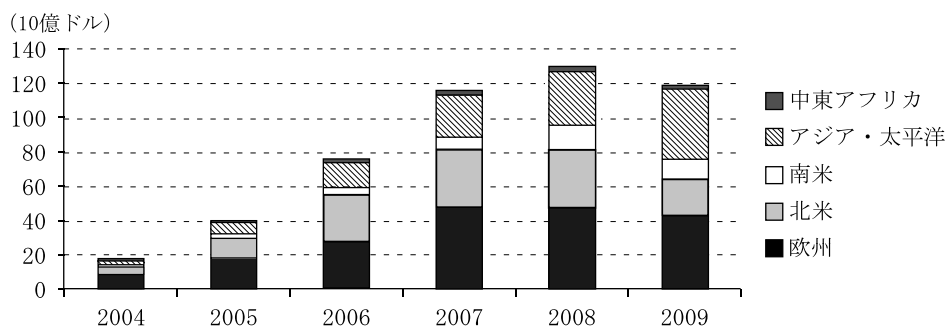


（備考）プロジェクト（小規模）、技術開発（企業）、技術開発（政府）は含まれていない

（出所）United Nations Environmental Programme and New Energy Finance「GLOBAL TRENDS IN SUSTAINABLE ENERGY INVESTMENT 2010」より作成

地域別のクリーンエネルギーに対する投資額の推移を見ると、金融危機前の2008年までは欧州・米国が主な市場であり、両地域における投資額は合計800億ドルまで成長した。しかし、2009年は金融危機の影響を受けて北米市場が大きく縮小した。代わって成長したのがアジア・太平洋地域であり、投資規模は欧州に迫る大きさになっている（図表3-2）。

図表3-2 世界のクリーンエネルギーに対する投資額の推移（地域別）

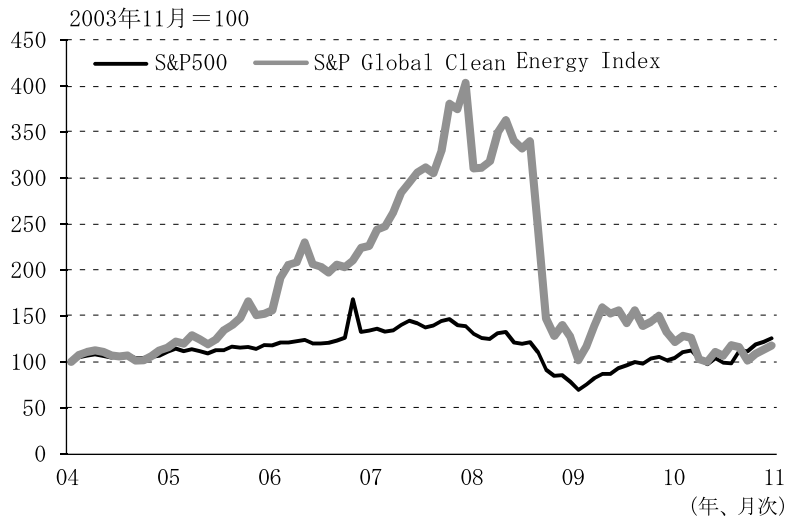


（備考）プロジェクト（小規模）、技術開発（企業）、技術開発（政府）は含まれていない

（出所）United Nations Environmental Programme and New Energy Finance「GLOBAL TRENDS IN SUSTAINABLE ENERGY INVESTMENT 2010」より作成

クリーンエネルギー向け投資の縮小は株価にも反映されている。再生可能エネルギー関連銘柄で構成された株価インデックスは、2008 年まで大幅に上昇していたが、リーマンショックを境に急落している（図表 3-3）。

図表 3-3 クリーンエネルギーインデックスの推移



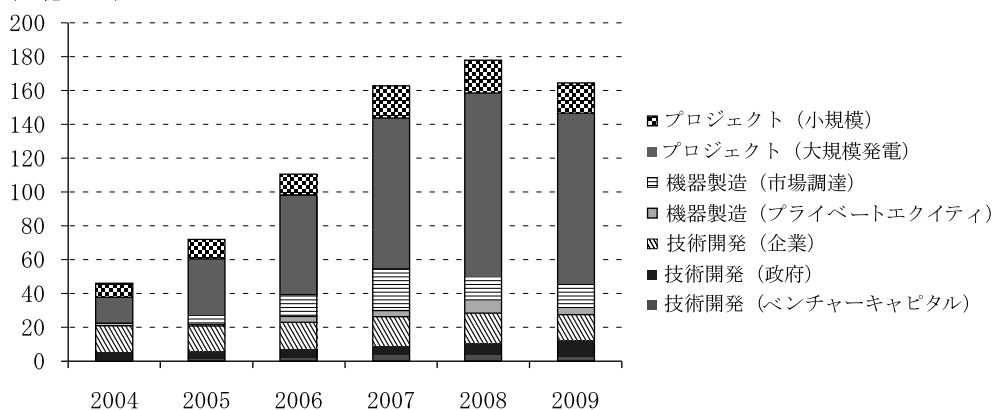
(出所) Bloomberg より作成

2. 資金の種類別の動向

資金種類別に世界のクリーンエネルギーに対する投資額の推移を見ると、2004 年時点では企業の技術開発資金と同程度であった大規模発電プロジェクト向けのファイナンスが、その後の世界的な再生可能エネルギー導入拡大に伴って大幅に増加し、2009 年では全投資額の 7 割を占めている（図表 3-4）。再生可能エネルギー産業が、政府の導入支援策もあり、技術開発フェーズから、量産・普及フェーズに移りつつあることが伺える。

図表 3-4 世界のクリーンエネルギーに対する投資額の推移（資金種類別）

(10億ドル)



(出所) United Nations Environmental Programme and New Energy Finance 「GLOBAL TRENDS IN SUSTAINABLE ENERGY INVESTMENT 2010」より作成

環境技術の調査会社である CLEAN EDGE によると、2010 年の米国のベンチャーファイナンスのうち、クリーンテック向けが 23% を占めている。ベンチャー向け資金の調達額上位 10 社にも薄膜太陽電池メーカーのソリンドラや太陽熱発電所のデベロッパであるブライトソース・エナジー等、再生可能エネルギー発電に関する企業が 5 社入っている。クリーンエネルギーに関するベンチャーファイナンスはシード、スタートアップ、アーリー、レイターの各成長ステージによって構成されている。ステージ毎にエンジェル投資や政府助成金からベンチャーキャピタル、借入、IPO まで資金調達方法は異なる。また、商用化に近いステージほど必要となる投資額は大きくなっている（図表 3-5）。前述のように技術開発から量産化へとクリーンエネルギー全体の投資が比重を移す中で、再生可能エネルギー関連のベンチャーファイナンスについても量産化を視野に入れたレイター投資の件数が多くなっている。

図表 3-5 世界の再生可能エネルギーに対するベンチャーファイナンスの種類



（出所）米国再生可能エネルギーファイナンスパートナーシップ「The Clean Energy Deployment Administration (CEDA): A Comparison of the Senate, House and Green Bank Proposals」より作成

ITC 制度等の政策支援は、再生可能エネルギー発電プロジェクトに対する投資家の参加を促すインセンティブとなっている。米国のローレンスバークレー国立研究所は、風力発電所の建設プロジェクトを想定し、投資採算性を検討している（図表 3-6）。同調査で想定しているのは 1.5MW 級の商業用風力発電プラントの建設・運営プロジェクトである。20 年間におけるプロジェクトの内部収益率（IRR）は、政策支援がない場合は 8.7% であるのに対して、30% の ITC を利用した場合には 13.2% まで上昇すると試算されている。

図表 3-6 風力発電所プロジェクトの投資採算性の試算例

前提条件		
設備概要	発電容量	1,500 kW
	設備利用率	25 %
	耐用年数	20 年
費用	設備投資費用	3,300,000 ドル
	運営費用（固定）	20 ドル/kW/年
	運営費用（変動）	0.0075 ドル/kWh
収入	初年度売電単価	0.12 ドル/kWh
	売電単価上昇率	2 %（年）

投資採算性	
政策支援条件	20年間のIRR
政策支援なし	8.7%
30% ITC	13.2%

（出所）ローレンスバークレー国立研究所「Revealing the Hidden Value that the Federal Investment Tax Credit and Treasury Cash Grant Provide To Community Wind Projects」より作成

前述のように、2009年の金融危機を受けてTax Equity投資の金額は減少し、同時に多くの投資家がTax Equity投資から撤退している（図表 3-7）。しかし、2010 年に入り、投資銀行だけでなく、カリフォルニア州北部の電力会社 PG&E(Pacific Gas & Electric)や検索エンジン大手の Google といった事業会社が参入したことで投資家の数が増加し、多様化が進んでいる。

図表 3-7 米国の Tax Equity 投資家

分類	2007	2008	2009	2010
Tax Equity 投資家	Bank of America	Bank of America	Bank of America	Bank of America
	GE EFS	GE EFS	GE EFS	GE EFS
	JP Morgan	JP Morgan	JP Morgan	JP Morgan
	Morgan Stanley	Morgan Stanley	Morgan Stanley	Morgan Stanley
	Union Bank	Union Bank	Union Bank	Union Bank
	Citi	Northern Trust	Citi	Citi
	Northern Trust	Wells Fargo	Northern Trust	Credit Suisse
	Wells Fargo	U.S. Bank	Wells Fargo	Northern Trust
	Key	Key	U.S. Bank	Wells Fargo
	HSB Nordbank	Sun Trust	Key	U.S. Bank
	New York Life	HSB Nordbank		Key
	ABN Amro	New York Life		Sun Trust
	AIG	Sempra Energy		Google
	Fortis			PG&E
	John Hancock			PNC
	Lehman Brothers			Metlife
	Merrill Lynch			
	Northwestern Mutual			
	Prudential			
	Wachovia			
合計	20	13	10	16

（出所）米国再生可能エネルギーファイナンスパートナーシップ「Prospective 2010-2012 Tax Equity Market Observations」より作成

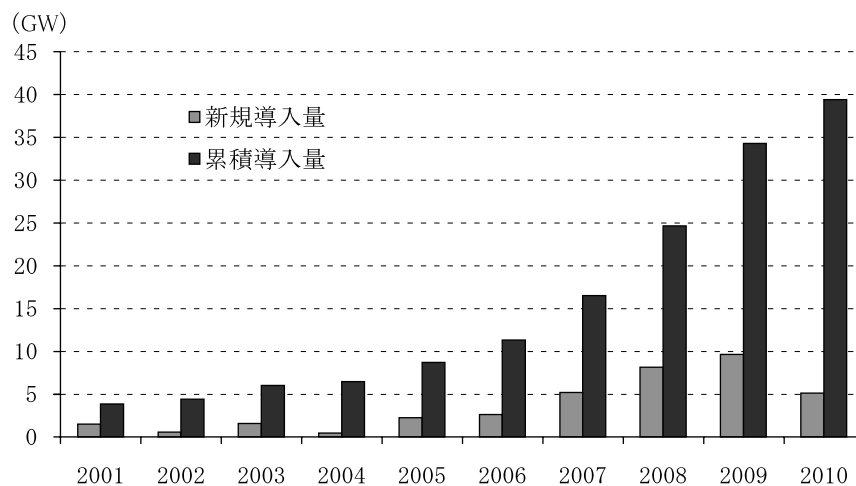
第4章 エネルギー技術別の動向

本章では、米国において導入実績の多い風力発電と、今後の成長が見込まれる太陽光、太陽熱発電について、導入実績、バリューチェーン構造、技術動向、主要企業動向、今後の見通しを議論する。

1. 風力発電

風力発電は米国の再生可能エネルギー発電（水力除く）で最大の発電容量を有する。2007年から新規導入量が大幅に拡大し、2010年時点では累積発電容量が40GWに迫っている（図表4-1）。

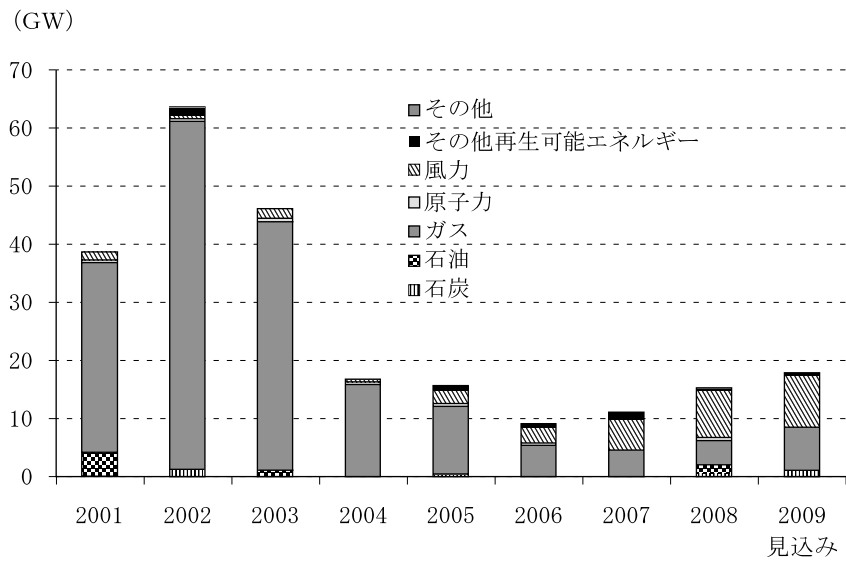
図表 4-1 米国の風力発電導入量の推移



（備考）2009年までは米国エネルギー情報局、2010年は米国風力発電協会の集計値
（出所）米国エネルギー情報局、米国風力発電協会資料より作成

米国の新規発電導入量をみると、2007年頃から風力が天然ガスと同程度まで拡大している（図表4-2）。これはガス価格が上昇した一方、風力発電は PTC 制度が継続され、タービンの大型化により発電コスト削減も進んだことによる。しかし、2010年はシェールガス増産を受けたガス価格下落により、ガス火力発電のコストが下落したため、風力発電の競争力が低下している。

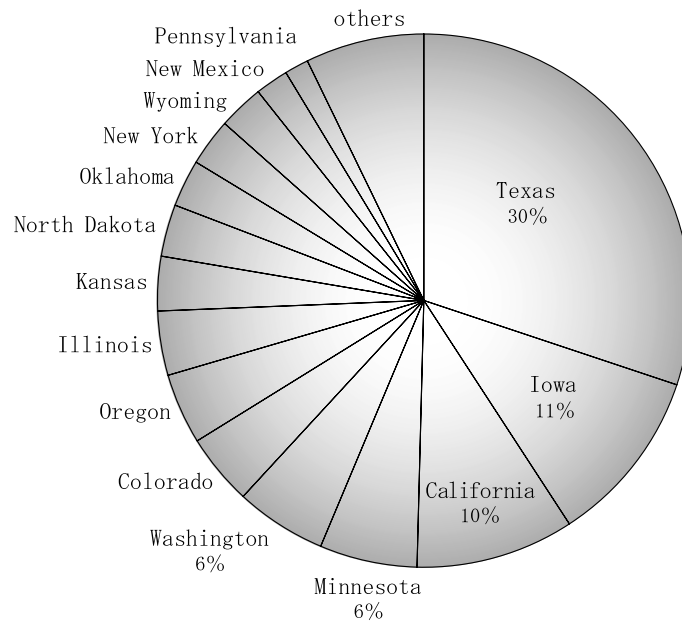
図表 4-2 米国の新規発電導入量（エネルギー別）



(出所) 米国エネルギー情報局資料より作成

州別に導入量をみると、テキサス州が全体の3割を占める(図表4-3)。風況に恵まれ、高いRPS目標が制定されている州に導入が集中しており、アイオワとカリフォルニアを含めた上位3州で全体の5割を占めている。

図表 4-3 州別の風力発電容量シェア（2008年）

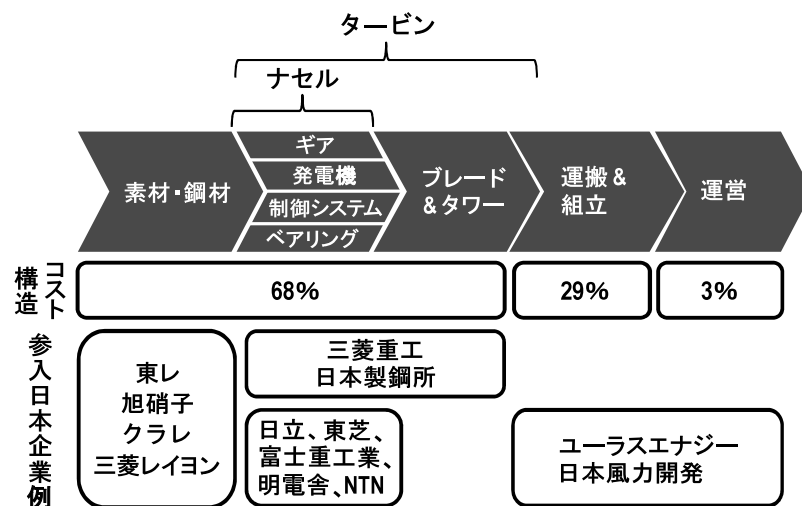


(出所) 米国エネルギー情報局資料より作成

テキサス州では、送電線の建設費用を州政府が負担することから、風力発電所の建設が進んだ一方、系統の安定性が問題となっている。寒波により暖房用の電力需要が急上昇した2008年2月には大規模な停電が発生した。テキサス以外の州でも、系統安定化に対する投資がなければ風力発電の導入拡大が阻害される懸念が出ている。

風力発電のバリューチェーンは、各部材の素材・鋼材の製造から発電機やギア、ベアリング等で構成されるナセルの製造、ブレードや支柱(タワー)の製造、風力発電タービンの運搬・組立、運営といった要素から構成される(図表4-4)。コスト構造を見ると、素材・鋼材とタービンの製造にかかるコストが3分の2を占めている。特にナセルは主要な部材の中で最も複雑な構造をしておりコストが高い。これに対し、風力発電所の運営・保守は多くの人数や特殊な技能を必要としないため、コストの割合は小さい。

図表 4-4 風力発電のバリューチェーン



(出所) Duwind「Offshore Wind Energy Ready to Power a Sustainable Europe Final Report」等資料より作成

世界の風力発電タービン市場のシェアはデンマークの Vestas が首位、米国の GE Energy が2位となっているが、中国メーカーが存在感を増している(図表4-5)。中国系のタービンメーカーは安価な人件費を活用し、低価格のタービンを市場に提供している。また、後述する太陽光発電と同様に、中国系タービンメーカーも中国開発銀行の支援を受けており、2010年9月にはシノヴェルが対外投資や海外案件発掘のために65億米ドルを調達した。また、ゴールドウィンドも2010年5月に60億元(約9億米ドル)のクレジットライン設定を受けている。

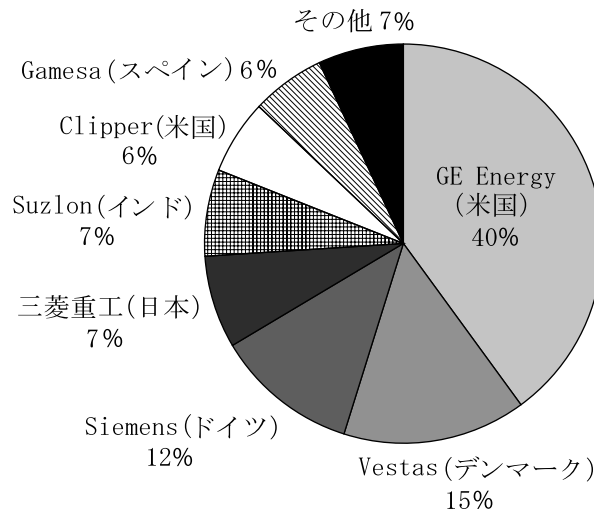
図表 4-5 世界の風力発電タービンメーカーの市場シェア

2008年				2009年			
	メーカー	国 名	シェア		メーカー	国 名	シェア
1	Vestas	Denmark	20%	1	Vestas	Denmark	13%
2	GE Energy	US	19%	2	GE Energy	US	12%
3	Gamesa	Spain	12%	3	Sinovel	China	9%
4	Enercon	Germany	10%	4	Enercon	Germany	9%
5	Suzlon	India	9%	5	Goldwind	China	7%
6	Siemens	Germany	7%	6	Gamesa	Spain	7%
7	Sinovel	China	5%	7	Dongfang	China	7%
8	Acciona	Spain	5%	8	Suzlon	India	6%
9	Goldwind	China	4%	9	Siemens	Germany	6%
10	Nordex	Germany	4%	10	Repower	Germany	3%

(出所) 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2010」より作成

米国のタービンメーカーの市場は、上位 5 社で市場の約 8 割をおさえる寡占状態にある。米国の GE Energy が首位で市場の 4 割を占めるが、残りは外資メーカーのシェアが高い(図表 4-6)。GE Energy は、タービン等の納入と同時に、プロジェクトの開発資金も提供している。後述のように、風力発電所の平均発電容量は大型化しており、大規模化する発電所の建設にあたり必要となる資金も多額になっている。メーカーにとっては、技術力だけでなくファイナンス面の能力も重要と考えられる。

図表 4-6 米国の風力発電タービン導入量のメーカー別シェア (2009 年)

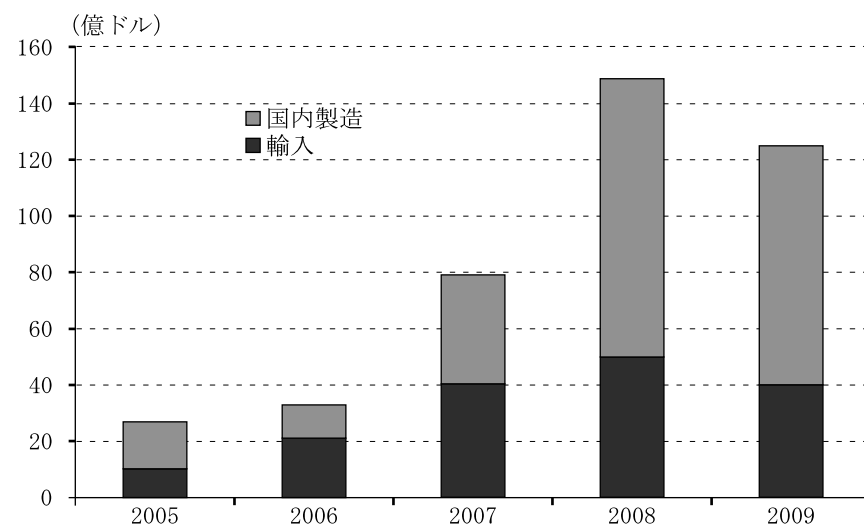


(出所) 米国風力発電協会「U.S. Wind Industry Annual Market Report」より作成

風力発電の導入拡大に合わせて、限られた土地の中でより効率的に大量の発電を行うためタービンの平均サイズも拡大傾向にある。米国風力発電協会によれば、2002 年まで 1MW を下回っていたタービンの平均発電容量は、2009 年には 1.5MW を超えるまで大型化している。タワーやブレードも大型化しており、輸送が困難になりつつある。そこで、近年では運送コス

トの削減のため風力発電所に隣接した場所でタービンの製造を行うプロジェクトも登場し始め、米国内での生産が拡大している。2007年時点では5割程度のタービンが海外から米国への輸入により調達されていたが、為替変動の影響を抑制する目的からも米国内に製造設備を拡充する海外メーカーが増え、2009年時点では国内製造の比率が7割まで上昇している（図表4-7）。直接的な米国内における製造だけでなく、外資タービンメーカーが一連の製造プロセスを米国内にOEMする動きも出てきている（図表4-8）。

図表4-7 米国の風力発電タービンの調達先



（出所）米国国際貿易委員会「Impact of Wind Energy Installations on Domestic Manufacturing and Trade」より作成

図表4-8 OEMを活用した米国内の風力発電機器製造拠点（メーカー別）

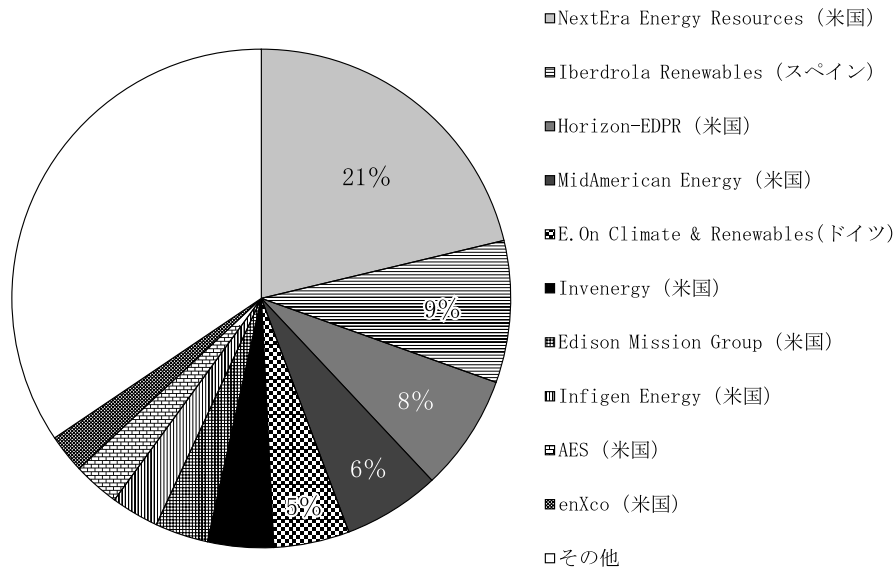
メーカー名	2009年 導入量 (MW)	米国にある製造プロセス			
		ナセル	ブレード	タワー	部品
GE	3,995	○	-	-	○
Vestas	1,488	○	○	○	-
Siemens	1,162	計画中	○	-	○
三菱重工	751	計画中	-	-	-
Suzlon	702	-	○	-	-
Clipper	605	○	-	-	-
Gamesa	600	○	○	-	-

（出所）米国国際貿易委員会「Impact of Wind Energy Installations on Domestic Manufacturing and Trade」より作成

発電所の開発・運営を担うデベロッパ業界では、少数の企業による寡占が進んでいる。米国風力発電協会によれば、米国の風力発電所のデベロッパは上位5社で5割のシェアを占め（図表4-9）、発電所の平均発電容量は2005年の50MW程度から2009年には80MW程度まで大型化している。大規模化する発電所の建設にあたり資金調達の重要性が増しており、タービ

ンメーカーも資金調達力のあるデベロッパへの納入を希望することから、デベロッパの統合や大規模化が進むと見込まれる。

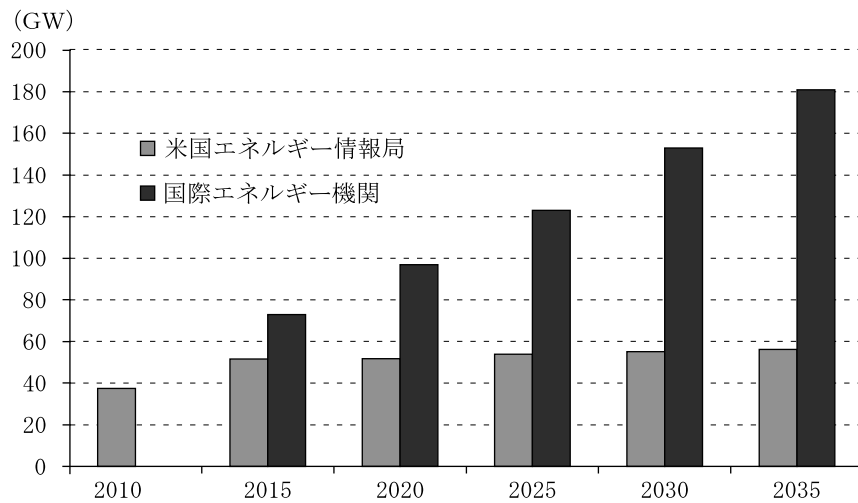
図表 4-9 米国の風力発電デベロッパ保有発電容量シェア（2009 年）



（出所）米国風力発電協会「U.S. Wind Industry Annual Market Report」より作成

今後の風力発電の導入拡大は政策支援の継続性にかかっている。米国エネルギー情報局の見通しによると、2012 年に風力発電向けの PTC が予定通り終了すると、風力発電の導入は頭打ちとなる（図表 4-10）。しかし、風力発電は製造プロセス全体を通して雇用されている労働者が多く、発電所も短期間で完成するため支援政策の効果が見えやすいという特徴がある。そのため政策効果を訴えやすく、これまで同様、PTC 等の政策支援は継続されていくという見方もある。将来の政策支援を織り込んだ国際エネルギー機関の予測によると、米国の風力発電の導入は 2012 年以降も順調に拡大し、2035 年には累積発電容量が 180GW に達するとみられている。

図表 4-10 米国の風力発電容量の見通し



(出所) 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2010」、米国エネルギー情報局「Annual Energy Outlook 2010」より作成

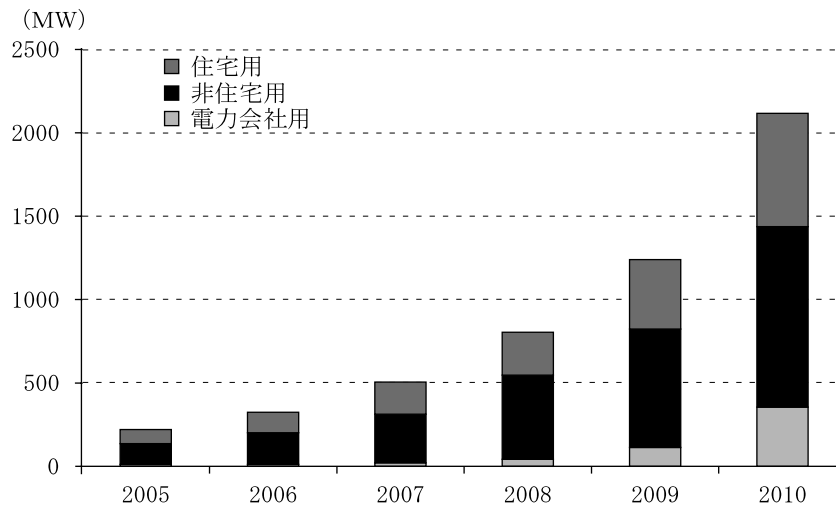
さらに野心的な目標として、連邦エネルギー省と米国風力発電協会は共同で、2030 年までに米国の総発電量の20% (必要な累積発電容量としては300GWを想定) を風力発電で賄うという構想を打ち出している。同構想では、政策支援の継続や大規模な送電インフラの追加・更新とともに、2015 年頃から洋上風力発電の拡大が必須と考えられている。

洋上風力発電はタービンの大型化により単位当たり発電コストを削減できる。連邦エネルギー省と内務省は 2011 年 2 月に「国家洋上風力戦略」を取り纏めた。同戦略では洋上風力の拡大に向けた 3 つの課題が指摘されている。まず一つ目の課題が洋上風力の高い建設コストである。沿岸から離れた場所に建設される洋上風力発電所は、ブレードやタワーなどの巨大な部材を船にて建設現場まで運搬し、建設作業を行う必要がある。そのため陸上風力に比べ、同じ発電容量の発電所でも運搬・建設コストが多額になると考えられ、今後は低コストの運搬法・建設工法の確立が求められている。次に課題として挙げられるのが系統接続である。海上にある風力発電所から電力需要地まで長距離の電力インフラを施工する必要があり、費用負担や電送技術の発展に未だ課題を残しているとみられている。そして最後に、建設実績の少なさによる許認可プロセスの煩雑性がある。洋上風力発電所が自然環境・人的環境に与える影響の評価は困難なことから、現在でも認可プロセスが長期にわたっている。今後は、洋上風力発電に関する様々な実証データが蓄積されると見込まれており、許認可プロセスも簡素化される方向にあると考えられている。

2. 太陽光発電

米国における太陽光発電の導入量は 2005 年から 2010 年の 5 年間で 10 倍に増加した(図表 4-11)。セグメント別に見ると、これまでは電力会社向けよりも、住宅用や非住宅用(事業所等)への導入が中心であった。

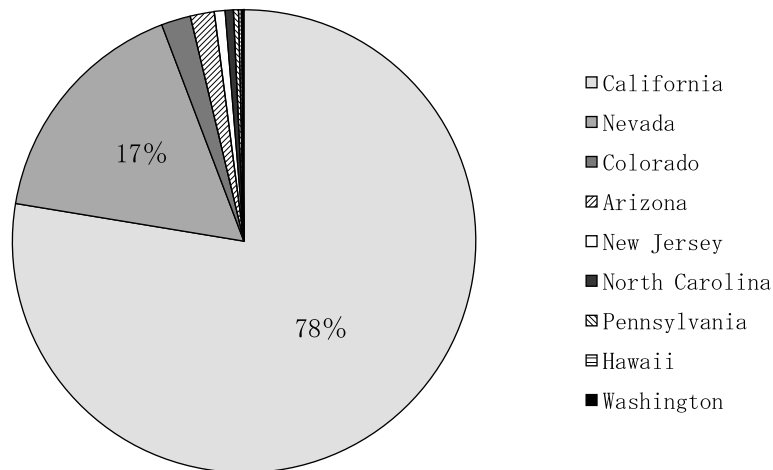
図表 4-11 米国の太陽光発電容量



(出所) 太陽エネルギー産業協会「US Solar Industry Year in Review 2010」より作成

太陽光発電と太陽熱発電を含むソーラー発電の導入を州別にみると、カリフォルニアとネバダで全導入量の 95%を占めている（図表 4-12）。この背景には、高い日射量という自然条件の他に、野心的な RPS 目標を掲げているという事情がある。ただし、米国太陽エネルギー産業協会によれば、近年ではニュージャージー州やペンシルバニア州が非住宅用の太陽光発電を積極的に導入するなど東部でも導入が進み始めている。

図表 4-12 州別のソーラー発電容量シェア（2008 年）



(備考) 太陽光と太陽熱を含むが太陽熱の発電容量は少量と推測される

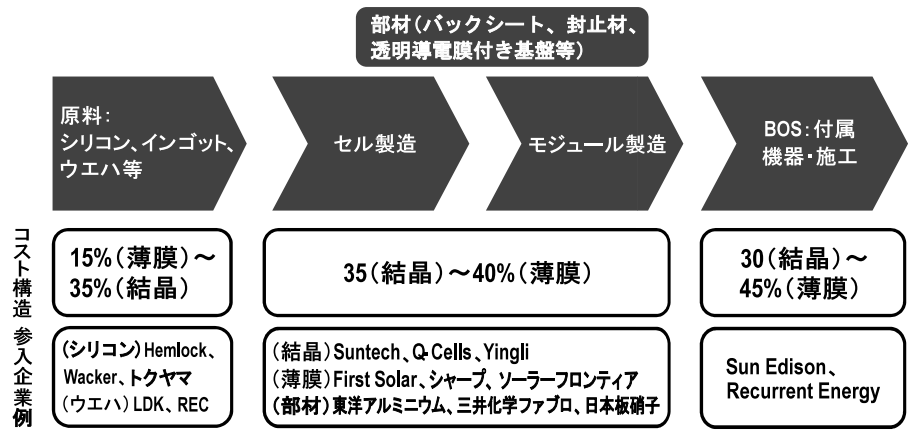
(出所) 米国エネルギー情報局資料より作成

太陽光発電のバリューチェーンは、原料であるシリコンをインゴットやウエハに加工する川上の工程、太陽電池のセル・モジュール製造、モジュールと付属機器を家庭用の屋根や発電所に設置する川下のバランス・オブ・システム（BOS）によって構成されている。コスト構

造をみると、セルおよびモジュール製造が 35～40%を占めるが、川上、川下の割合も高い。製造工程には世界各国から企業が参入している一方、施工については地場にネットワークを持つデベロッパが主なプレイヤーとなっている（図表 4-13）。原料からモジュール製造にかけては、中国企業の躍進がめざましい。

日本企業はバックシート、封止材、透明導電膜付き基板等の分野において技術的な優位性を持っている。バックシートはモジュールの裏面に取り付けることで太陽電池のセルと封止材を保護する役割を担い、東洋アルミニウムやエムエーパッケージングの世界市場シェアが高い。封止材とは、太陽電池のセルを固定し、衝撃から保護する部材であり、三井化学ファブロやブリヂストン、サンビックが世界の有力メーカーである。透明導電膜付き基板は可視光線を透過する電極付きの板状の部材であり、日本板硝子/ピルキントンや旭硝子といった日系ガラスメーカーが世界シェアの大部分を占める。

図表 4-13 太陽光発電のバリューチェーン



（出所）経済産業省「ソーラー・システム産業戦略研究会報告書」等資料より作成

太陽光発電に使用される電池の主要実用技術は大きく結晶系と薄膜系に分類され、前者には単結晶型と多結晶型、後者にはアモルファスシリコン型、CdTe（カドミウムテルル）型、CIS（銅・インジウム・セレン）型がある（図表4-14）。結晶系太陽電池は現在、世界で使用されている太陽電池の 85%～90%を占めており、中国、日本、ドイツ、米国など各国のメーカーが多数参入している。多結晶型太陽電池の原料となるポリシリコンの価格が 2008 年夏まで急騰したものの、その後大幅に下落しており、同型太陽電池は当面、コスト競争力を維持すると考えられている。また他の技術に比べて導入実績が多いことから資金調達が容易になるといった利点もある。

薄膜系太陽電池はシリコンをほとんどあるいはまったく使用しないタイプの太陽電池である。アモルファスシリコン型は日系メーカーを中心に量産化と変換効率向上に向けた取り組みが進められている。CdTe 型太陽電池は米国のファーストソーラーがワット当たり製造コス

トで75セント(2010年第4四半期)と競争力を有している。同技術の変換効率は物理的ポテンシャルの上限に近づきつつあるとみられており、研究開発による変換効率の向上だけではなく、量産によるコストダウンも図られている。CIGS型太陽電池は変換効率のポテンシャル等から国内外メーカーの関心が高く、昭和シェル石油の子会社であるソーラーフロンティアが量産投資に踏み切り、2011年中に宮崎で1GWの生産体制を構築する見込みである。米国でもソリンドラが同型太陽電池の生産能力拡張のため、米国連邦エネルギー省の債務保証制度(2005年エネルギー政策法に基づくもの)の第一号案件として2009年に認定され、5億3,500万ドルの債務保証を受けている。

図表 4-14 太陽電池の主要実用技術の比較

技 術		世界シェア	モジュール変換効率 現在→2020年以降	主要メーカー
結晶系	単結晶	85～90%	14～20%→25%	サンテック(中)、シャープ、Qセルズ(独)、インリー(中)、JAソーラー(中)、京セラ、サンパワー(米)、三洋電機[HIT]
	多結晶		13～15%→21%	
薄膜系	アモルファスシリコン	10～15%	6～9%→15%	シャープ、三菱重工、カネカ
	CdTe		9～11%→15%	ファーストソーラー(米)
	CI(G)S		10～12%→18%	ソーラーフロンティア(旧昭和シェルソーラー)、ホンダソルテック、ソリンドラ(米)

(出所) 国際エネルギー機関「Technology Roadmap (Solar photovoltaic energy)」等より作成

世界の太陽電池メーカーのシェアをみると、米国のファーストソーラーが上述のコスト競争力を背景にシェアを拡大しており、また2009年は中国の結晶系メーカーがトップ10社のうち、4社を占めている(図表4-15)。

図表 4-15 世界の太陽電池メーカー上位10位のシェアの推移

2008	シェア(%)	2009	シェア(%)
Qセルズ(独)	7.4	ファーストソーラー(米)	8.9
ファーストソーラー(米)	6.4	サンテックパワー(中)	5.7
サンテックパワー(中)	6.3	シャープ(日)	4.8
シャープ(日)	6	Qセルズ(独)	4.8
JAソーラー(中)	3.8	インリーソーラー(中)	4.3
京セラ(日)	3.7	JAソーラー(中)	4.2
インリーソーラー(中)	3.6	京セラ(日)	3.2
モータテック(台)	3.4	トリナソーラー(中)	3.2
サンパワー(米)	3	サンパワー(米)	3.2
三洋電機(日)	2.7	ジンテック(台)	3

(出所) 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2010」より作成

中国の主要太陽電池メーカーは中国の国営銀行である中国開発銀行によるファイナンスを受けている(図表4-16)。ファイナンスを受けた太陽電池メーカーは製造ライン建設のほか、海外のデベロッパやベンチャー買収等により、販路拡大や技術獲得に活用しているとみられる。

図表4-16 近年の中国開発銀行による中国太陽電池メーカーへのファイナンス

メーカー	発表時期	金 額	概 要
サンテックパワー	2010/4/14	73億米ドル	5年間の貸付金
トリナソーラー	2010/4/14	44億米ドル	5年間の貸付金
インリーソーラー	2008/12/8	7000万米ドル	8年間の貸付金(100MW級製造ラインの建設資金)
	2010/7/9	360億元(約53億米ドル)	戦略的業務協定(長期的成長のための包括資金)
JAソーラー	2010/9/10	300億元(約44億米ドル)	資金調達協定(長期的成長のための包括資金)

(備考) 金額が中国元のものは発表日の為替レート(終値)による米ドル換算額を付記している

(出所) 各社プレスリリース資料、各種報道より作成

太陽光発電業界の今後の事業展開の方向性としては、まず、先進国の太陽電池メーカーによる生産拠点の海外移転が進むと考えられる。コスト競争力の面では、先進国のメーカーは安い人件費を活用している中国・台湾勢との格差が大きい。そのため、ファーストソーラーやQセルズ等の欧米メーカーは、人件費が安く政情が安定しているマレーシア等にセルの生産拠点を移転している。今後は、製造ノウハウの海外流出防止にも配慮しつつ、製造プロセスのどの部分を新興国に立地させるのかが、太陽電池メーカーの経営判断において重要になるであろう。

次に考えられるのが建材などの部材と一体化することによる、太陽電池モジュールの差別化である。例えば、カネカやドイツのショットソーラーは窓ガラス一体型の薄膜シリコン系モジュールを開発している。これらの建材一体型の太陽電池は、新築住宅販売時に窓ガラスへあらかじめ太陽電池モジュールを埋め込むことで、新しい販路の開拓を可能にしている。窓ガラスだけでなく、壁材や屋根材等にも太陽電池一体型の流れは普及しており、さらなる付加機能の追加も期待される分野である。

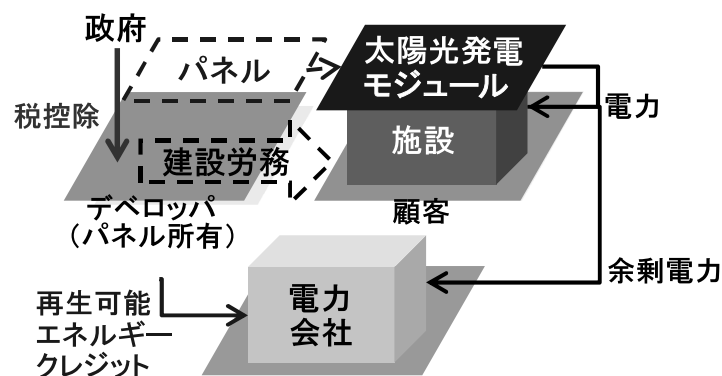
また、バランス・オブ・システム(BOS)分野でのコスト削減に注目が集まっている。従来はモジュールの発電効率・製造効率を高めることで、発電量当たりのコストを削減する努力が行われてきた。しかし、太陽光発電のコストの約30%~45%は発電時のモジュールの制御やモジュールの設置を含むBOSのプロセスで発生している。当プロセスにおけるコストを削減するため、長寿命のインバーターの開発や、モジュールの設置方法の標準化等といった取組が期待されている。

太陽電池メーカーが発電所の開発・運営を行うデベロッパ事業に参入するなど、バリューチェーンの垂直統合も進むと考えられる。米国では、太陽電池メーカーによるデベロッパの買収が積極的に進められてきた。特にファーストソーラーとサンパワーは自社にデベロッパ

事業を完全統合し、川下事業を強化することで自社製モジュールの納入先の拡大を図っている。セル・モジュール製造工程の競争激化を背景に、納入先と収益生を確保するため、米国各地域に販売網を持つデベロッパの買収がメーカーによって進められる可能性が高い。

カリフォルニア州などでは、デベロッパによる3rd Party PPAというビジネスモデルが普及している。通常のネットメータリングでは、電力消費者が太陽電池モジュールを設置・所有し、余剰電力を電力会社に販売している。通常のPPAでは、IPP事業者がモジュールを所有し、PPA契約により電力会社に電力を供給する。一方、3rd Party PPAでは、デベロッパが顧客となる電力消費者の土地・施設内にモジュールを設置・所有し、PPA契約により電力を顧客に販売する(図4-17)。政府からは税控除を受け、余剰電力と再生可能エネルギークレジットについては電力会社に販売する。3rd Party PPAを通じて、電力消費者は初期投資コストを負担せずにクリーンな電力を調達できる。

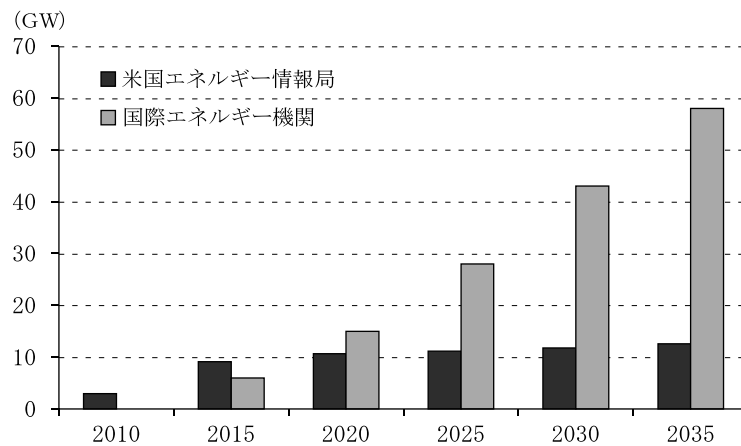
図表 4-17 3rd Party PPAのビジネスモデル



(出所) 各種資料より作成

今後の太陽光発電の導入量は、風力同様、政策支援の継続により大きく左右される見通しである。米国エネルギー情報局の見通しは制度の延長等を織り込んでいないが、その場合は2035年の累積発電容量は10GWにとどまると見込まれている(図表4-18)。しかし、将来の政策支援を織り込んだ国際エネルギー機関の見通しでは、2035年には60GW近くまで導入は拡大する。州レベルのRPS制度が電力会社の導入を後押ししていることに加え、モジュールメーカーがデベロッパの買収を進めていることから、今後は電力事業用のメガソーラー発電所での導入拡大が期待されている。

図表 4-18 米国の太陽光発電容量の見通し

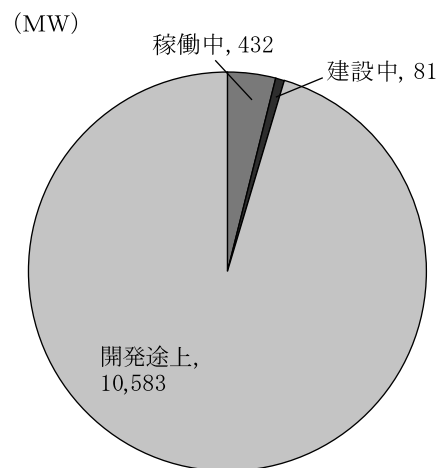


(出所) 米国エネルギー情報局 (EIA) 「Annual Energy Outlook 2010」、国際エネルギー機関 (IEA) 「World Energy Outlook 2010」より作成

3. 太陽熱発電

これまでの太陽熱発電の導入実績をみると、1980年代に米国で100MW超級を含む3つの発電所が建設された後、州政府・連邦政府からの補助金・税控除策等が打ち切られたことにより15年にわたり発電所の建設は行われてこなかった。しかし、2006年から再度建設が開始され、2007年には60MW級の発電所が建設された。2009年時点で稼働している太陽熱発電所の総発電容量は432MWにとどまっているが、建設中や認可取得のプロセスも含めた開発中の案件も含めると、11GWを超える発電容量の導入が計画されている(図表4-19)。

図表 4-19 米国における太陽熱発電所の発電容量(段階別、2009年)

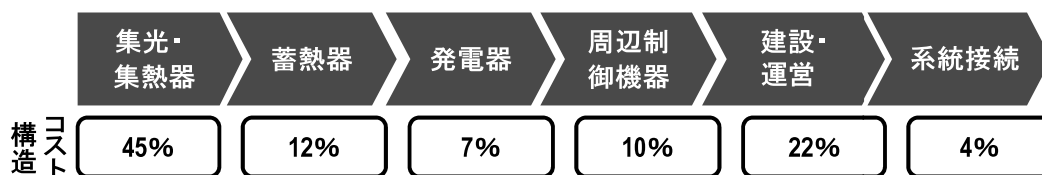


(出所) 太陽エネルギー産業協会「US Solar Industry Year in Review 2009」より作成

太陽熱発電は、大量の集光・集熱器によって集めた熱により、水を水蒸気に換え、発電タービンを回すという構造を基本としている。そのため、住宅向けではなく電力会社向けの大規模発電所として導入が進む見通しである。

太陽熱発電のバリューチェーンは、集光・集熱器から周辺制御機器にかけての各部材と、発電所の建設、系統接続によって構成されている（図表 4-20）。トラフ型の太陽熱発電所のコスト構造を見ると、集光・集熱器がコストの半分近くを占める。これは、一つの発電所にはミラー型の集光・集熱器が数百～数千ユニット必要になることによる。集光・集熱器のコスト割合は、大量のヘリオスタットが必要となるタワー型発電所ではさらに大きくなるとみられており、低コスト素材の開発等が望まれている。

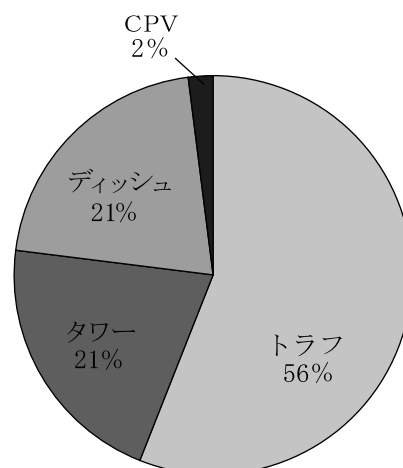
図表 4-20 トラフ型太陽熱発電所のコスト構造



（出所）国際エネルギー機関「Technology Road Map Concentrating Solar Power」等資料より作成

太陽熱発電にはトラフ型、タワー型、ディッシュ型の3つの技術がある。トラフ型は施工事例も多く、最も普及が進んでおり、開発中のプロジェクトも含めると米国内の発電所建設プロジェクトの6割弱を占める。タワー型はトラフ型より高効率なため、注目が集まっており、2割程度のシェアを占める。ディッシュ型は蒸気タービンを使用せず、ディッシュで集めた熱でスターリングエンジン（電力変換ユニット）を動かし発電するものである。当技術は実証段階から実用段階に入っており、2割程度のシェアを占める（図表 4-21）。

図表 4-21 米国における太陽熱発電所の技術毎のシェア（2009 年）



（備考）CPV（集光型太陽光発電）は通常太陽光発電に分類されるが、原点の分類に従い記述している。集計には開発途上、建設中、稼働中のプロジェクトが含まれている
（出所）太陽エネルギー産業協会「US Solar Industry Year in Review 2009」より作成

他の再生可能エネルギーと比べて、これまでの導入実績が少ない太陽熱発電であるが、今後の成長性を鑑みて多くのデベロッパが米国市場に参入を開始している（図表 4-22）。最も実績のあるトラフ型技術を採用するデベロッパが多い一方、効率性の高いタワー型やディッシュ型を採用するデベロッパも出てきている。2010年から2014年にかけて、100MW超級の発電所建設が多く計画されている。

図表 4-22 米国で太陽熱発電事業を行う主要デベロッパ

企業名	国	技 術	最も早いプラント稼働時期	開発中の主要プロジェクト
BrightSource Energy	米国	タワー	2012年	BrightSource SCE (1,300MW)
Solar Millennium	ドイツ	トラフ	2013年	Blythe Solar Power Project (1,000MW)
Abengoa	スペイン	トラフ、タワー、ディッシュ	2012年	Solana Generating Station (280MW)
NextEra Energy Resource	米国	トラフ	2010年	Beacon Solar Energy Project (250MW)
Siemens (Solel)	ドイツ	トラフ、タワー	2014年	Mojave Solar Park (553MW)
SolarReserve	米国	タワー	2013年	Rice Solar
Acciona	スペイン	トラフ	2014年	Fort Irwin Energy (150MW)

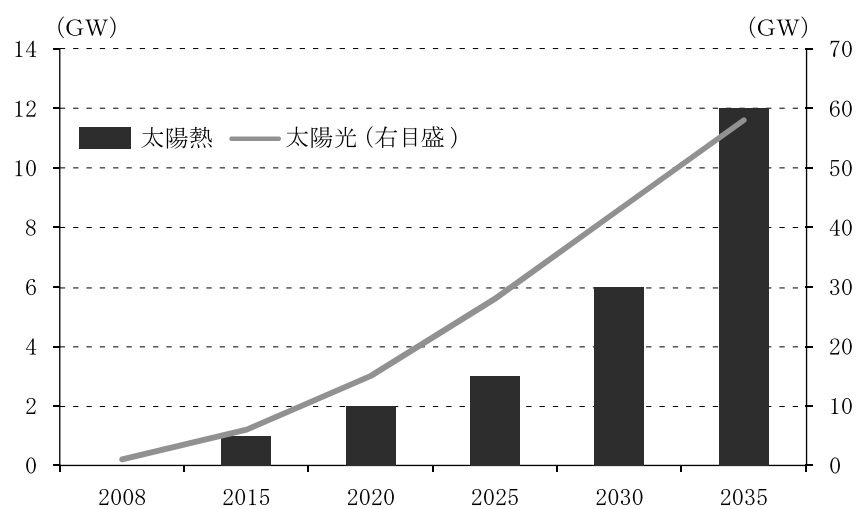
（出所）各種報道、各社プレスリリース等より作成

太陽熱発電では、タワー型やディッシュ型の高い発電効率が評価されている。また、太陽熱発電には熱によりエネルギーを貯蔵できるという利点がある。太陽光発電や風力発電は、エネルギーを電力の形でしか蓄えられず、エネルギー貯蔵には大規模な蓄電池が必要となってしまう。一方、太陽熱発電は発電する前の熱の形でエネルギーの貯蔵が可能であり、溶融塩を用いた蓄熱技術が実用化されている。近年では、コンクリートや潜熱蓄熱材等を用いた蓄熱技術が実証研究段階にあり、今後の技術革新が期待されている。

一方、太陽光発電と比べて太陽熱発電の実績は少ない。この傾向はタワー型やディッシュ型ではさらに高くなり、また許認可プロセスを含めた施工期間がタワー型で3～5年と長期となることから、資金調達には連邦政府による債務保証の役割が大きい。さらに、太陽熱発電所の建設には、大量の集光・集熱器を設置するための広大な土地が必要である。米国では日射量を確保する目的で、太陽熱発電所の建設計画は南西部の砂漠に多い。このような土地は国立公園に指定されている例が多く、広大な土地使用の許認可に長期間を要するケースもある。タービンを回した蒸気の冷却に水を使用する場合、砂漠地域における水の確保が課題となる。また、空冷式の場合には水冷式よりコストがかかるため、コスト削減が課題となる。

米国の太陽熱発電は今後、南西部を中心に導入が拡大する見通しである。しかし、太陽光発電のコスト低減と前述の課題により、太陽熱発電の導入量は太陽光発電と比べて小規模にとどまり、太陽光発電の5～10分の1程度の規模で推移すると見込まれている（図表 4-23）。

図表 4-23 米国の太陽熱発電容量の見通し



(出所) 国際エネルギー機関「World Energy Outlook 2010」より作成

第5章 おわりに ～日本への示唆～

国際エネルギー機関によると、2008年における日本国内の発電量 1,075TWhのうち、再生可能エネルギー（水力除く）による発電量は30TWhと全体の3%にとどまる。今後、国内温室効果ガスを削減していくためには、再生可能エネルギーの利用増加を通じた発電部門の低炭素化は欠かせない。また、太陽光バリューチェーン等に関連する国内製造業の競争力強化の観点からも、再生可能エネルギー発電市場の拡大が期待されている。さらに、2011年3月に発生した東日本大震災を受け、地域の自然エネルギーを活用する電力供給源として、再生可能エネルギーへの関心が高まっている。

国内の再生可能エネルギー発電の導入拡大策としては、米国の州政府も採用している RPS 制度の適用が 2003 年に始まっている。2009 年からは、欧州で普及している FIT 制度が国内でも太陽光発電を対象に導入され、現在はその対象を、風力、地熱等他の再生可能エネルギー発電にも拡大することが検討されているところである。

米国の連邦レベルでは、第2章でみた通り、税控除制度が再生可能エネルギー発電の導入拡大を支えている。税控除制度の恩恵を投資家が受けられる Tax Equity スキームが確立されているほか、金融危機後には税控除の金額を助成金として受け取れるように制度変更されたことが効果を上げている。RPS、FIT、税控除等各政策手段はそれぞれにメリット、デメリットがあるが、いずれの制度であれ、未だコストが高い再生可能エネルギー発電の導入を促進するためには、投資家のインセンティブに配慮した設計が重要であろう。また、米国において PTC 制度の打ち切りが風力発電の導入量に大きく影響していることから分かるように、政策の継続性・安定性の観点も欠かせない。

今後、日照量や風況により発電量が変動する再生可能エネルギー発電の導入が拡大すると、テキサス州のように系統制約が問題となってくる可能性がある。経済産業省は、2020 年にかけて太陽光発電を 2,800 万 kW まで導入する場合の系統安定化対策コストとして、系統側への蓄電池設置のみで安定化を図ると 16 兆円、出力抑制と組み合わせると 1～9 兆円と試算している。今後、蓄電池の技術開発によるコスト削減努力に加え、最適な系統安定化対策やコスト負担等に関する議論を深める必要がある。

日本企業にとっては、米国における再生可能エネルギー発電の導入拡大は、部材供給から完成品製造、発電所建設・運営に至るバリューチェーンの各段階で事業機会となり得る。日本企業は、風力発電におけるベアリングや太陽光発電におけるバックシート、封止材、透明導電膜付き基板等分野等の部材製造を中心に技術的な優位性を持つ。今後は、技術の優位性を維持しつつ、バリューチェーンの垂直統合やファイナンス上の工夫等による、発電システム全体でのコスト競争力向上や販売力強化が求められよう。

【参考文献】

- 国際エネルギー機関 (2010) 「World Energy Outlook 2010」
- 国際エネルギー機関 (2010) 「Technology Roadmap (Solar photovoltaic energy)」
- 国際エネルギー機関 (2010) 「Technology Road Map Concentrating Solar Power」
- 米国連邦エネルギー省 (2010 年 4 月) 「Solar Market & Technology Update」
- 米国エネルギー情報局 (2010) 「Annual Energy Outlook 2010」
- Council of Economic Advisors(2010) 「SUPPLEMENT TO THE THIRD QUARTERLY REPORT ON THE ECONOMIC IMPACT OF THE AMERICAN RECOVERY AND REINVESTMENT ACT OF 2009. The ARRA and The Clean Energy Transformation」
- United Nations Environmental Programme and New Energy Finance(2010) 「GLOBAL TRENDS IN SUSTAINABLE ENERGY INVESTMENT 2010」
- 米国再生可能エネルギーファイナンスパートナーシップ(2010)「Prospective 2010 – 2012 Tax Equity Market Observations」
- 米国再生可能エネルギーファイナンスパートナーシップ(2010) 「The Clean Energy Deployment Administration (CEDA): A Comparison of the Senate, House and Green Bank Proposals」
- 米国再生可能エネルギーファイナンスパートナーシップ (2010) 「Renewable Energy Market Conditions and the 1705 Loan Guarantee Program」
- 米国再生可能エネルギーファイナンスパートナーシップ(2010)「Prospective 2010 – 2012 Tax Equity Market Observations」
- ローレンスバークレー国立研究所 (2010) 「Revealing the Hidden Value that the Federal Investment Tax Credit and Treasury Cash Grant Provide To Community Wind Projects」
- 米国風力発電協会(2000-2009) 「U.S. Wind Industry Annual Market Report」
- Duwind (2001) 「Offshore Wind Energy Ready to Power a Sustainable Europe Final Report」
- 米国国際貿易委員会 (2010) 「Impact of Wind Energy Installations on Domestic Manufacturing and Trade」
- 太陽エネルギー産業協会 (2010) 「US Solar Industry Year in Review 2009」
- 太陽エネルギー産業協会 (2011) 「US Solar Industry Year in Review 2010」
- 経済産業省 (2009) 「ソーラー・システム産業戦略研究会報告書」
- 経済産業省 (2010) 「次世代送配電ネットワーク研究会報告書」

『調査』既刊目録

— 最近刊の索引 —

- 102 (2011. 6) 米国における再生可能エネルギー発電
—政策・技術・ファイナンス動向と日本への示唆—
- 101 (2010. 9) 設備投資計画調査報告 (2010 年 6 月)
- 100 (2009. 9) 設備投資計画調査報告 (2009 年 6 月)
- 99 (2008.12) 最近の産業動向
- 98 (2008. 9) 設備投資計画調査報告 (2008 年 6 月)
- 97 (2008. 7) 最近の産業動向
- 96 (2008. 5) 総合電機・半導体メーカーの事業戦略の再構築に向けて
- 95 (2008. 4) 自動車と電機・電子産業の新たな企業間関係の構築に向けて
—電機・電子産業からみた自動車の
エレクトロニクス化の商機と課題—
- 94 (2007. 9) 設備投資計画調査報告 (2007 年 6 月)
- 93 (2006.12) 日本のM & A 動向と企業財務の改善
効果 (2006 年 12 月)
- 92 (2006. 9) 設備投資計画調査報告 (2006 年 6 月)
- 91 (2006. 6) ドイツにおけるブラウンフィールド再開発
—用地リサイクルにみる環境リスク管理—
- 90 (2006. 5) 半導体産業の国際競争力回復に向けた方策
- 89 (2006. 5) 都市集積の評価と建物コンバージョン
事業による地域再生の可能性
- 88 (2006. 4) 今後の物流ビジネスにおけるモーダルシフトへの動き
— 鉄道貨物輸送を中心に—
- 87 (2006. 2) 設備投資計画調査報告 (2005 年 11 月)
- 86 (2005. 9) 企業の資金余剰と使途の変化
- 85 (2005. 9) 設備投資計画調査報告 (2005 年 6 月)
- 84 (2005. 7) わが国企業の知的財産有効活用に向けて
- 83 (2005. 5) 燃料電池の現状と普及に向けた課題
- 82 (2005. 3) RFID(IC タグ)の本格的な普及に向けて
- 81 (2005. 3) 研究開発の循環性、収益性の検討
- 80 (2005. 3) 防災マネジメントによる企業価値向上に向けて
- 79 (2005. 3) 進展するITS (高度道路交通システム) の現状と将来展望
- 78 (2005. 3) 技術寿命の短期化と財務構造へ与える影響
- 77 (2005. 2) 最近の経済動向
- 76 (2005. 2) 企業の設備投資行動とイノベーション創出に向けた取り組み
- 75 (2005. 1) 水循環の高度化に関する技術動向と展望

— 分野別の索引 —

〔設備投資アンケート〕

◇設備投資計画調査

- | | |
|------------------------------|---------------|
| • 2009・10・11 年度 (2010 年 6 月) | 101 (2010. 9) |
| • 2008・09・10 年度 (2009 年 6 月) | 100 (2009. 9) |
| • 2007・08・09 年度 (2008 年 6 月) | 98 (2008. 9) |
| • 2006・07・08 年度 (2007 年 6 月) | 94 (2007. 9) |
| • 2005・06・07 年度 (2006 年 6 月) | 92 (2006. 9) |
| • 2005・2006 年度 (2005 年 11 月) | 87 (2006. 1) |
| • 2004・05・06 年度 (2005 年 6 月) | 85 (2005. 9) |
| • 2004・2005 年度 (2004 年 11 月) | 73 (2005. 1) |
| • 2003・04・05 年度 (2004 年 6 月) | 68 (2004. 9) |
| • 2002・03・04 年度 (2003 年 8 月) | 58 (2003.10) |
| • 2002・2003 年度 (2003 年 2 月) | 51 (2003. 3) |
| • 設備投資計画調査統計集 (1990 年度以降) | 50 (2003. 1) |
| • 2001・02・03 年度 (2002 年 8 月) | 45 (2002.10) |
| • 2001・2002 年度 (2002 年 2 月) | 37 (2002. 3) |

〔経済・産業〕

◇最近の経済動向

- | | |
|-----------------------------------|--------------|
| • 景気の踊り場にある日本経済 | 77 (2005. 2) |
| • 我が国産業構造の中期見通し | 72 (2004.12) |
| • 国際商品市況の上昇が企業の投入・
産出行動に与える影響 | 66 (2004. 7) |
| • 資金循環と金融を中心とする日本経
済の中期シナリオの検討 | 59 (2003.12) |
| • 日本経済の持続可能性に向けた中期
シナリオの検討 | 49 (2002.12) |
| • グローバル化と日本経済 | 38 (2002. 7) |
| • デフレ下の日本経済と変化への兆し | 31 (2001.12) |
| • デフレ下の日本経済 | 26 (2001. 7) |
| • 今次景気回復の弱さとその背景 | 19 (2001. 3) |
| • IT から見た日本経済 | 12 (2000. 8) |

* 『調査』入手のご希望については、産業調査部 (Tel: 03-3244-1840 e-mail: report@dbj.jp) までお問い合わせ下さい。

◇最近の産業動向

- ・世界的景気低迷の影響 99 (2008.12)
- ・業績押し下げ圧力が高まるなか、価格転嫁等でのぐ 97 (2008. 7)
- ・主要産業の生産は、素材、資本財産業を 27 (2001. 7)
中心に減少へ
- ・内需の回復続き、多くの業種で生産増加 13 (2000. 8)

◇日本経済一般

- ・人的資本の蓄積と生産性の変化 71 (2004.12)
- ・コスト面からみた資本、労働の動き 60 (2004. 3)
- ・日本企業の生産性と技術進歩 44 (2002. 8)

◇金融・財政

- ・企業の資金余剰と使途の変化 86 (2005. 9)
- ・企業の資金調達動向 65 (2004. 6)
—銀行借入と代替的な資金調達手段について—
- ・邦銀の投融资動向と経済への影響 41 (2002. 8)
- ・社会的責任投資 (SRI) の動向 40 (2002. 7)
—新たな局面を迎える企業の社会的責任—
- ・近年の企業金融の動向について 35 (2002. 3)
—資金過不足と返済負担—

◇設備投資・企業経営

- ・日本のM&A動向と企業財務の改善効果 93 (2006.12)
- ・企業の設備投資行動とイノベーション創出に向けた取り組み 76 (2005. 2)
—設備投資行動等に関する意識調査結果
(2004年11月実施)—
- ・日本企業の設備効率向上に向けた取り組みと課題 74 (2005. 1)
—意識調査と財務データからみた特徴—
- ・デフレ下の資本財価格低下と設備投資への影響 62 (2004. 4)
—財別・産業別価格データによる計測—
- ・設備投資・雇用変動のミクロ的構造 43 (2002. 8)
- ・ROAの長期低下傾向とそのミクロ的構造 30 (2001.12)
—企業間格差と経営戦略—

◇消費・貯蓄・雇用

- ・将来不安と世代別消費行動 46 (2002.10)
- ・労働分配率と賃金・雇用調整 34 (2002. 3)
- ・家計の資産運用の安全志向について 16 (2000.10)
- ・企業の雇用創出と雇用喪失 6 (2000. 3)
—企業データに基づく実証分析—
- ・消費の不安定化とバブル崩壊後の消費環境 1 (1999.10)

- ・人口・世帯構造変化が消費・貯蓄に与える 248 (1998. 8)
影響
- ・資産価格の変動が家計・企業行動に与える 244 (1998. 7)
影響の日米比較
- ・近年における失業構造の特徴とその背景 240 (1998. 4)
—労働力フローの分析を中心に—

◇貿易・直接投資

- ・変貌するわが国貿易構造とその影響について 29 (2001.11)
—情報技術関連(IT)財貿易を中心に—

◇海外経済

- ・中国による対日直接投資と中国人 57 (2003. 9)
留学生による日本での起業
—中国経済の活力を日本に取りこむために—
- ・中国の経済発展と外資系企業の役割 47 (2002.11)
- ・米国の景気拡大と貯蓄投資バランス 8 (2000. 4)
- ・米国経済の変貌 255 (1999. 5)
—設備投資を中心に—
- ・アジアの経済危機と日本経済 253 (1999. 3)
—貿易への影響を中心に—

〔技術・環境〕

◇技術開発・新規事業

- ・わが国企業の知的財産有効活用に向けて 84 (2005. 7)
—企業内の非中核技術と環境技術の活用を中心に—
- ・燃料電池の現状と普及に向けた課題 83 (2005. 5)
- ・研究開発の循環性、収益性の検討 81 (2005. 3)
—設備投資との比較を中心に—
- ・技術寿命の短期化と財務構造へ与える影響 78 (2005. 3)
- ・日本のイノベーション能力と新技術事業化の方策 67 (2004. 8)
—カーブアウト等による新産業創造—
- ・90年代以降の企業の研究開発動向 63 (2004. 4)
- ・製造業における技能伝承問題に関する 261 (1999. 9)
現状と課題
- ・最近のわが国企業の研究開発動向 247 (1998. 8)
—技術融合—
- ・わが国企業の新事業展開の課題 243 (1998. 7)
—技術資産の活用による経済活性化
への提言—

◇環境・防災・地域

- ・ドイツにおけるブラウンフィールド再開発 91 (2006. 6)
—用地リサイクルにみる環境リスク管理—
- ・都市集積の評価と建物コンバージョン事業による地域再生の可能性 89 (2006. 5)
- ・防災マネジメントによる企業価値向上に向けて 80 (2005. 3)
—防災 SRI(社会的責任投資)の可能性—
- ・水循環の高度化に関する技術動向と展望 75 (2005. 1)
—水処理ビジネスの新たな展開—
- ・LCA (ライフ・サイクル・アセスメント) 64 (2004. 4)
による温暖化対策の改善
- ・都市環境改善の視点から見た建築物緑化の展望 61 (2004. 4)
—屋上緑化等の技術とコストを中心に—
- ・素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開 55 (2003. 7)
—リサイクルビジネスの高度化に向けて—
- ・企業の温暖化対策促進に向けて 53 (2003. 5)
- ・食品リサイクルとバイオマス 48 (2002.12)
- ・使用済み自動車リサイクルを巡る展望と課題 36 (2002. 3)
- ・都市再生と資源リサイクル 33 (2002. 2)
—資源循環型社会の形成に向けて—
- ・環境情報行政と IT の活用 32 (2002. 1)
—環境行政のパラダイムシフトに向けて—
- ・家電リサイクルシステム導入の影響と今後 20 (2001. 3)
—リサイクルインフラの活用に向けて—

◇化学・バイオ

- ・循環型社会における塩化ビニル樹脂の可能性 69 (2004. 9)
—建材用途拡大と使用後処理の多様化—
- ・資源循環型社会で注目される生分解性プラスチック 56 (2003. 9)
—“バイオマス由来”の特性で広がる用途展開—
- ・わが国化学産業の現状と将来への課題 14 (2000. 9)
—企業戦略と研究開発の連繋—

◇自動車・電機・電子・機械

- ・総合電機・半導体メーカーの事業戦略の再構築に向けて 96 (2008. 5)
- ・自動車と電機・電子産業の 95 (2008. 4)
新たな企業間関係の構築に向けて
—電機・電子産業からみた自動車の
エレクトロニクス化の商機と課題—
- ・半導体産業の国際競争力回復に向けた方策 90 (2006. 5)
- ・進展するITS(高度道路交通システム)の現状と将来展望 79 (2005. 3)
- ・わが国電気機械産業の課題と展望 42 (2002. 8)
—総合電気機械メーカーの事業再編
と将来展望—

- ・わが国半導体製造装置産業のさらなる発展 23 (2001. 3)
に向けた課題
—内外装置メーカーの競争力比較から—
- ・労働安全対策を巡る環境変化と機械産業 10 (2000. 6)

◇エネルギー・新エネルギー

- ・米国における再生可能エネルギー発電 102 (2011. 6)
—政策・技術・ファイナンス動向と日本への示唆—
- ・分散型電源におけるマイクロガスタービン 24 (2001. 3)
—その現状と課題—

◇運輸・流通

- ・今後の物流ビジネスにおけるモダルシフトへの動き 88 (2006. 4)
— 鉄道貨物輸送を中心に—
- ・中国国内物流の現状 70 (2004.10)
—進出日系企業の視点から—
- ・地方民鉄の現状 52 (2003. 4)
—輸送密度の相関分析—
- ・物流の新しい動きと今後の課題 25 (2001. 3)
—3PL(サードパーティ・ロジスティクス)からの示唆—
- ・消費の需要動向と供給構造 18 (2000.12)
—小売業の供給行動を中心に—

◇情報・通信・ソフトウェア

- ・RFID(IC タグ)の本格的な普及に向けて 82 (2005. 3)
- ・ブロードバンド時代のデジタルコンテンツ・ビジネス 54 (2003. 6)
—映像コンテンツ流通を中心に—
- ・ケーブルテレビの現状と課題 22 (2001. 3)
—ブロードバンド時代の位置づけについて—
- ・エレクトロニック・コマース (EC) の 246 (1998. 8)
産業へのインパクトと課題

◇医療・福祉・教育・労働

- ・少子高齢化時代の若年層の人材育成 39 (2002. 7)
—企業外における職業教育機能の充
実に向けて—
- ・労働市場における中高年活性化に向けて 11 (2000. 6)
—求められる再教育機能の充実—
- ・高齢社会の介護サービス 249 (1998. 8)

無断転載・複製を禁止します。本号の内容についてのお問い合わせは、執筆担当者までお願い致します。

なお、弊行の Web ページ (<http://www.dbj.jp/report/>) では『調査』に関する読者アンケートのフォームを掲載しております。今後の『調査』刊行に際して参考とさせていただきたく、皆様のご感想やご意見などをお聞かせ願えれば幸いです。

ISSN 1345-1308

2011 年 6 月 17 日

調 査 第 102 号

編 集 株式会社 日本政策投資銀行
産業調査部長 鍋 山 徹

発 行 株式会社 日本政策投資銀行
〒100-0004
東京都千代田区大手町1丁目9番1号
電 話 (03) 3244-1840
(産業調査部問い合わせ先)
e-mail : report@dbj.jp
ホームページ <http://www.dbj.jp>

(印刷 O T P)