

# 脱化石に自然エネルギーはどこまで頼れるか

「エネルギー問題に発言する会」 伊藤 睦

## 1. はじめに

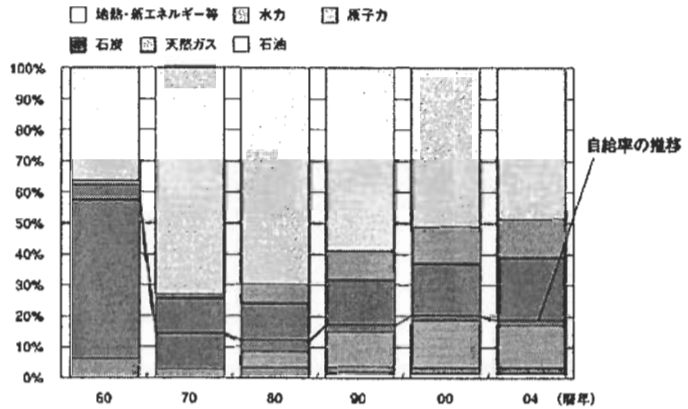
最近世界は地球温暖化防止対応として低炭素社会を目指して、二酸化炭素を排出しない自然エネルギーや原子力発電の開発が急速に進んでいる。

我が国でも昨年の洞爺湖サミットでの「クールアース50」の提案などで、自然エネルギー開発が注目された。総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会で、太陽光社会を世界に先駆けて構築しようといろいろな政策が検討され実行に移されている。

特に今年になって、補正予算（緊急経済対策予算）にて高効率自動車や自然エネルギー発電に対する補助制度を強化する政策でその実現を加速している。これを各メディアが一斉に取り上げて報道するので、国民は自然エネルギーの開発だけでエネルギー問題は解決出来るものと思ってしまう。

このような世の風潮に流されず、もう一度日本のエネルギー問題を我が国が生きていくために必要なエネルギーの安全確保（自給率改善）という原点に立ち返って考察してみることが必要だと思われる。

そして自然エネルギーだけで化石エネルギーの代替を期待することの限界と、原子力エネルギーがその代替の主役であることを理解して頂くと共に、関係者の奮起を促したい。



エネルギー自給率	57%	14%	6%	5%	4%	4%
(原子力含む)	57%	14%	12%	17%	20%	18%

資料：IEA「Energy Balances of OECD Countries 2003-2004」  
 (注) 自給率は水力、地熱、国内の石炭・天然ガスなどの比率であり、下段供給安定性に優れた原子力を含んだ値。

図1 我が国のエネルギー自給率の推移

## 2. エネルギー安全保障は国家戦略

日本のエネルギー自給率の現状は、原子力を入れても20%に満たない（図1参照）。

景気後退前に石油の価格が140\$/バレルを超えた事実を見ても、石油は世界で奪い合いが始まっており、お金を出しても容易には入手できなくなっている。石炭は今のところまだまだ枯渇するような状況ではないが、これを燃やすと二酸化炭素が大量に発生するので使い難いし、それも海外依存である。天然ガスもほとんど輸入であり、パイプラインが出来てもその根本で管理されてしまうので安心できない。

日本が第2次世界大戦に参戦したのは、石油エネルギー資源の確保のためであり、また負けたのも彼我の保有する圧倒的なエネルギーの差

も一因であったことを思い出してほしい。

政府は平成18年5月に「**新・国家エネルギー戦略**」を策定し閣議決定した。その目的は、エネルギー安定・安全供給の確保と自給率の向上で、具体的には2030年までに達成すべき、次の5つの戦略数値目標を示した。

- ①省エネルギー目標：(少なくとも更に30%以上の効率改善)
- ②石油依存度低減目標：(40%を下回る水準を目指す)
- ③運輸エネルギーの脱石油：(石油依存度を80%程度とすることを旨す)
- ④原子力発電目標：(原子力発電比率35%～40%以上にすることを旨す)
- ⑤海外資源開発目標：(40%を旨す)

この戦略は、2007年3月に改定されたエネルギー基本計画の「安定供給確保」、「環境への適合」及び「市場原理の活用」の3つの方針に沿って2030年に達成すべき目標を示したものである。地球温暖化対策のためのエネルギー戦略ではなく、我が国のエネルギー安全保障としての自給率改善に向けての脱化石エネルギーの国家戦略だった。それは自ずと地球温暖化対策にも繋がるのである。(本誌の2006年12月号で、私はこの新国家エネルギー戦略を紹介し、我が国の持続的発展の道として「**脱化石エネルギー社会**」を提案した)。

この「**新・国家エネルギー戦略**」をベースに「**長期エネルギー需給見通し**」が、昨年5月に総合資源エネルギー調査会需給部会でまとめられ公表された。これによると、2030年の最大導入ケースで、水力と新エネルギー(太陽光、風力、廃棄物とバイオ発電、バイオ熱利用、などが入る。)は1次エネルギー供給の11%である(図2参照)。

**最大導入ケースとは**、需要面ではエネルギーの消費の30%改善を旨す政策(実用段階に

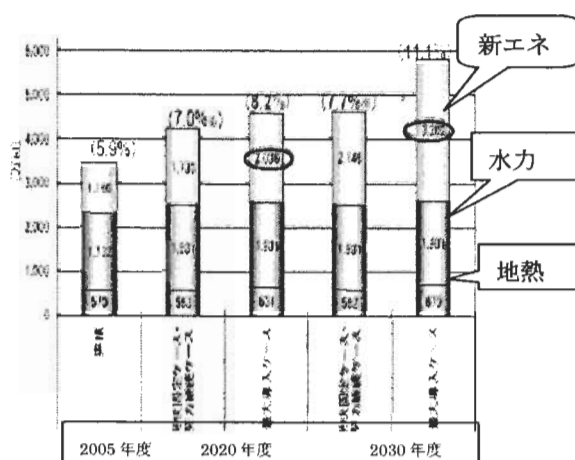


図2 長期需給見通し再生可能エネの導入

有る最先端技術で、高コストではあるが省エネルギーの格段向上が期待される機器設備について、国民や企業に対して更新を法的に強制する一歩手前のギリギリの政策を講じ最大限普及させる。)をとり、新エネルギーについても相当の規制による義務化を強いて太陽光エネルギーの導入量を現状の約40倍(1,300万kL石油相当)にするという極めて大きなものである。

これは新築持家の8割と産業用・公共用施設全体の8割に太陽光発電が設置されている**太陽光社会**の状態に相当するという。

原子力については2005年度の実績3,048億kWhに計画中の9基の新設と稼働率80%から90%へ改善を加えて4,374億kWhで1次エネルギーの19%を担うと見通している。

このケースでも自然エネルギーに原子力を加えた自給率は約30%で、まだ依然として輸入化石エネルギーの割合は70%強である。

一方、内閣府の中期目標検討委員会が取り纏め、この5月に国民のコメントを求めた「**地球温暖化対策の中期目標**」では、この中期見通しを達成すれば、2050年には90年比-60~-80%のCO<sub>2</sub>排出量の削減が出来ると見通しているが、その筋道は明確ではない。

我が国が世界の規範となって太陽光社会を実

現して見せることは大変結構な事だが、それでも自然エネルギーは我が国の一次エネルギーの10%程度で、エネルギーセキュリティとして化石エネルギーを代替して自給率を改善することとは殆ど関係無いのである。

我が国のエネルギーセキュリティのために脱化石エネルギーを進め一次エネルギーの自給率を50%以上にすることは、即低炭素社会に繋がる。その為には、長期エネルギー需給見通しで70%の化石エネルギーからさらに20%（約100百万kL石油相当）を、非化石エネルギーである原子力と自然エネルギーで担わなければならないことを認識する事が肝要である。

### 3. 自然エネルギーの実力と限界

では自然エネルギーだけで、その代替が可能だろうか。

自然エネルギーは無限であり温室効果ガス（Greenhouse Gas：GHG）の二酸化炭素を排出しない究極のクリーンエネルギーで、分散電源として地産地消に繋がるなどの特徴を生かしてその利用拡大を図ることに異論はない。ただ、どんなに頑張っても、自然エネルギーだけで化石エネルギーの代替となる実力は無いことをしっかり認識しておかねばならない。

その限界とは①量の限界②コストの限界③質の限界である。

#### ①量の限界は用地の限界である。

風力にしろ、太陽光（熱）にしろ、そのエネルギー密度が非常に小さくそれを集めて大きなエネルギーにするためには、膨大な土地面積が必要である（表1参照）。

特に日本はその地勢上の特徴として、急峻な山岳地帯が多く、平坦な場所が少ない。

また海岸も遠浅の場所が少ない。無理に開拓すれば美しい日本の景観が奪われ逆に地球に悪いエネルギーとなってしまう。

表1 風力、太陽光発電の現状

	太陽光	風力
発電コスト	46円/kWh	[大規模] ・10~14円/kWh [中小規模] ・18~24円/kWh
必要な敷地面積	100万kW級原子力発電所1基分を代替する場合	
	・約67km <sup>2</sup> 山手線の内側面積 (約70km <sup>2</sup> )とほぼ同じ	・約246km <sup>2</sup> 山手線の内側面積 (約70km <sup>2</sup> )の約3.5倍
設備利用率	・12%	・20%

出典：資源エネルギー庁「原子力立国計画」（2006年8月）  
総合資源エネルギー調査会 新エネルギー部会報告書（2001年6月）

表2 太陽光、風力発電資源量と導入目標量

	NEDO技術的資源量 (設備容量GWp)	年間発電量 (億 kWh)	石油換算 (百万kL)	中長期需給見通し目標値 (百万kL)
太陽光発電	10~20	102~204	20~40	13
風力	1~10	17.5~175	3.5~35	2.69
合計	11~30	18~380	23.5~75	15.7
一次エネルギー(526百万kL)に対する割合			4.5~14%	3%
原子力現状	50GW	3000億kWh	69	99

表2に「NEDOの新エネルギー関連データ17年度版」を基に概算した太陽光、風力エネルギーが技術的に期待される資源量と内閣府の「中長期エネルギー需給見通し」で提示された最大導入ケースの値を示す。

技術的な期待値をとっても、我が国の一次エネルギーの15%であり、中長期の需給予想の最大でも3%程度である。

#### ②コスト競争力の限界

自然エネルギーは、原理的にエネルギー密度が低いので、それを収集するためのコストがかかる。現在の太陽光発電の場合3.5kWの太陽パ

ネルとそのシステムは合計で300万円程度と言われている。これでは1kW当たり、86万円することになり、原子力発電の建設単価に比べて倍以上の開きがある（表1、表3参照）。

また、1kWのエネルギーを得るのに現状の電池システムでは0.5kWのエネルギーが必要と評価されており、所謂エネルギー収支比（Energy Profit Ratio：EPR）は2程度であり、経済的な電源とは言えない。

因みに風力は4程度、原子力は17程度である（図3参照）。

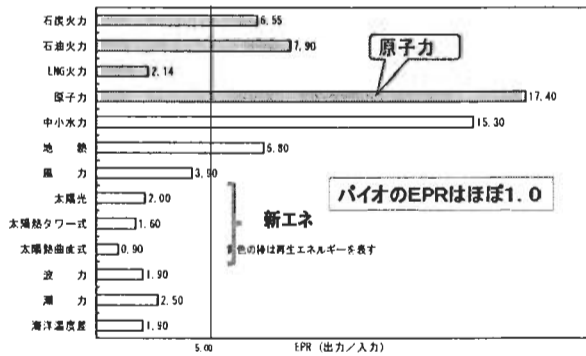
今後普及が進んで大量生産になればコストは下がると言われるが、すでに下げ止まり始めており（図4参照）これ以上の低減には、エネルギー変換効率の抜本的な改善に繋がるブレーク

表3 各種発電の建設コスト比較

■原子力発電、太陽光発電、風力発電の比較  
出所：総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料

	原子力発電	太陽光発電		風力発電
		業務用	住宅用	
1基当たり設備容量	100万kW	300kW	3.5kW	1,000kW
利用率	80%	12%	12%	20%
1基当たり年間発電量	70億kWh	32万kWh	0.37万kWh	175万kWh
1基当たり設備投資額	3,600億円	3億円	300万円	2.5億円

### 電源別のエネルギー収支比（EPR） EPRの比較では新エネルギーは不利



EPR: 生み出したエネルギーと生み出すためのエネルギーの比率  
出典: 天野 治(電中研)

図3 各種エネルギーEPR

スルー技術の開発が待たれる。

長期需給見通しでは、3～5年後にシステム価格の半減を目指し、新方式の電地で変換効率が20%程度に改善され2030年の発電コストは、7円/kWhと原発並みになると見通しているが果たしてそのように成るか疑問である。

風力では風車の大型化がコスト低減への方策であろう。既に、1基で1万kWの設備容量の風力発電設備が開発されている。

[電気学会誌Vol.129 (2009/5)

電気管理技術No.314 (2008/8)]

### ③質の限界

風力も太陽光もそのエネルギーを電力に変換して使う以外は使いようがない。

昔は風力は風車としてその回転力を直接灌漑

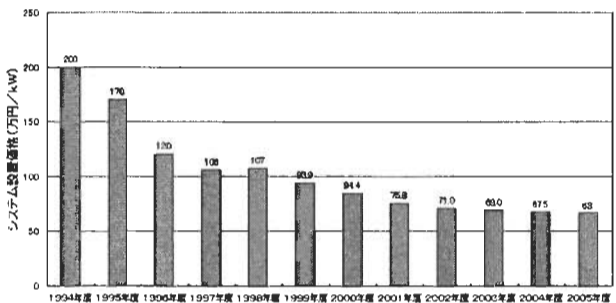


図4 住宅用太陽光発電システムの価格推移

### お天気がかせ、風まかせとは

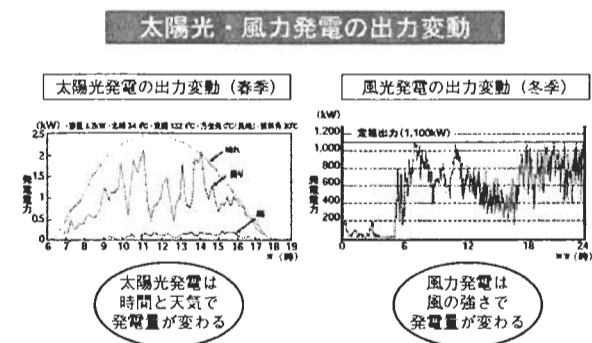


図5 太陽光、風力発電の出力変動

用水の汲み上げや穀物の精米用に使っていた。太陽エネルギーは太陽熱温水器や太陽熱発電として直接熱エネルギーとしての利用も可能である。

何れの活用法も効率は良くないが、「お天気がまかせか風まかせ」の気ままに変動するエネルギー（図5参照）を上手く使っていた。

この気ままなエネルギーは、分散電源として地産地消の電灯程度の用途であれば電力として使えようが、産業の様な大電力でかつ必要な時に必要な電力を供給する用途には使えない。

そのためには一旦電力を蓄えて置き、必要な時に送り出すかまたはその地域電力系統内で気ままな変動を吸収する電源設備が必要になる。

日本の電力系統ではその系統に繋がっている総電力量の20%が限界と言われている。これに対処する電力系統として、マイクログリッドやスマートグリッドなどが研究開発されているが実運用までには時間がかかる。

さらに自然エネルギーは、エネルギー需要の約半分を占める民生部門や産業部門の熱エネルギーとは直接代替できない。

特に風力では電力を、熱エネルギーに変換する以外に熱エネルギーを作り出す手段がない。

この様に、自然エネルギーだけで現在使用して

いる化石エネルギーを置き換えることは不可能である。

例え限界まで開発するにしても幾多の困難があり、総合資源エネルギー調査会の「長期エネルギー需給見通し」で予測した、新エネルギー（自然エネルギー）の最大導入ケースで2030年に風力は269万kLoe、太陽光は1,300万kLoeが精一杯だろう。

それでも1次エネルギー供給量（561kLoe）に占める割合は水力4%を加えても11%程度にしかならず、依然として、石油、LPG、石炭、天然ガスなどの輸入化石資源に70%以上依存するという構造である（図6参照）。

#### 4. 脱化石・低炭素社会実現に向けて

それでは、脱化石エネルギーはどのようにしたら、実現できるのか。

低炭素社会は昨年7月に閣議決定された2050年のCO<sub>2</sub>排出量が現状比-60~-80%の社会であるとすれば、一次エネルギーの化石エネルギーの依存度50%以下を目標とする脱化石エネルギー社会がほぼ同様のエネルギー供給構造の社会と考えられる。

国立環境研・京都大学などで構成された2050日本低炭素社会シナリオチームがまとめた「2050日本低炭素社会シナリオ：温室効果ガス70%削減可能性検討」によれば、シナリオAあるいは

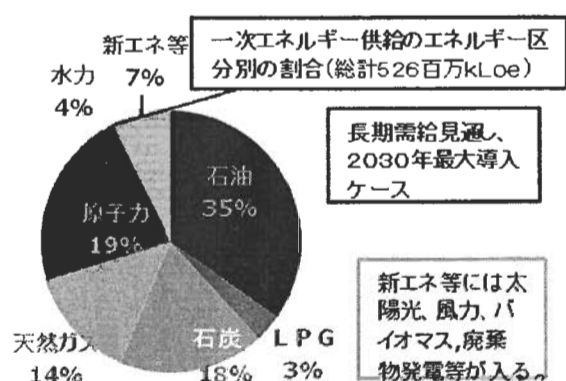


図6 長期需給見通し最大導入ケース2030年1次エネルギーの供給見通し

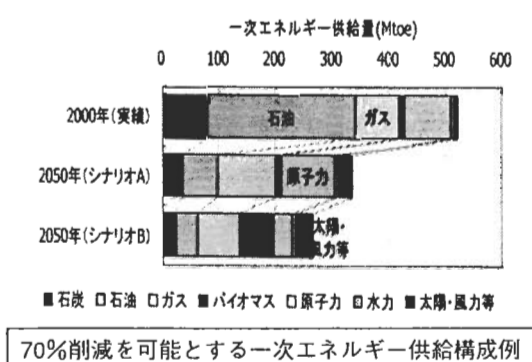


図7 2050年の一次エネルギー供給予想

Bでの何れでも70%削減可能でその場合の一次エネルギー供給構成は図7のようになると予測している。

しかし、何れのケースでも化石依存度は50%を超えており、脱化石エネルギー社会には言い難いが、シナリオBケースに原子力をシナリオA（原子力は現状維持）程度導入すれば達成出来るのである。

一方、今回の「地球温暖化対策の中期目標」は2050年の長期目標を見据えて2030年の中期目標を定めており、この目標を達成することで、2050年の低炭素社会が見えてくるとしている。

その2030年の目標として6つのケースのうち、第3のケース、長期需給見通し最大導入ケースを達成出来たととしても、1項に述べたようにさらに20%（100百万kLoe=4,400億kWh）を原子力や自然エネルギーなどの非化石エネルギーで賄う必要があり、これを2030年から20年で実現するには相当の努力が要る。

例えば、130万kWの原子力発電所5基の追加増設で480億kWh（約10百万kLoeで一次エネルギーの約2%）のエネルギーが二酸化炭素の追加放出無しで供給出来る。

その費用は130万kWの原子力発電プラント5基で約2兆円の建設費で済み、国民負担はゼロに近い。むしろ、経済効果として原子力と火力の発電コスト差分が電気料金引き下げとして国民に返ってくることになり、国民負担は軽減される。

一方、この電力量を太陽光や風力で作り出すことは我が国の風土と地形からはほぼ不可能であるが、仮に業務用300kWの設備で450億kWhの電力量を得るとすれば、稼働率12%として、14万基以上作る必要がある。その建設費用は約36兆円となり、原発の約18倍の費用が掛かる（表3参照）。

家庭用で試算すると3.5kWの設備で発電量は

0.37万kWhであり、2,430万戸（我が国の戸建て住宅の約半分）に設置するエネルギーに相当する。

この部分は電気料金あるいは税金による補助として、国民負担が増える事になる。

この様にして発電電力をすべて原子力と水力を含む新エネルギーで供給したとしても、石炭の40%、石油の35%を消費している運輸部門や天然ガスを28%消費している民生用の熱需要の化石エネルギーなどが残り、化石依存度は容易に約50%を切らない（図8参照）。

更なる化石エネルギーの削減をするには、運輸部門の脱石油とともに産業と民生部門の熱エネルギー需要の脱化石を図らなければならない。これに自然エネルギーで対応するのは不可能である。これに対応できるのは、原子力の熱エネルギーの活用である。

世界では一部の地域（スイス、ロシア）で地域暖房として実用しているが、長期的な視点でこの用途に向く高温ガス炉や小型原子炉の実用化を進めることが重要なことである。

我が国のエネルギー安全保障と低炭素化に向

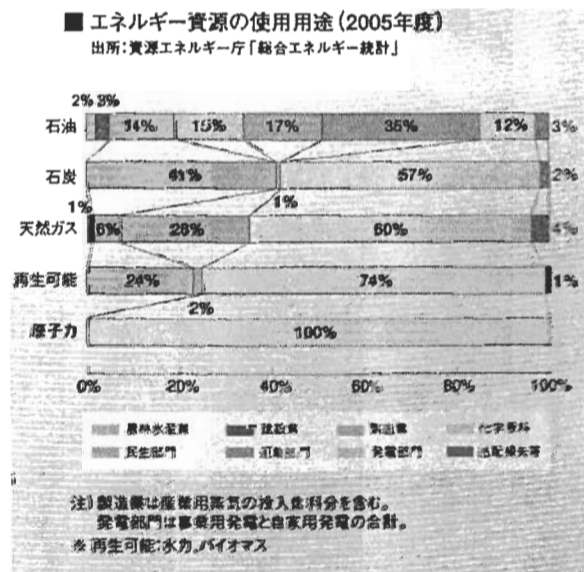


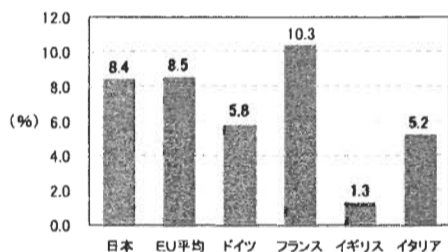
図8 エネルギーの使用用途

けて、化石代替エネルギーを自然エネルギーだけに頼るのは限界があり、原子力の活用は避けて通れない。しかし、その導入拡大には一般国民の原子力アレルギーの解消、原子力の信頼回復、高レベル放射性廃棄物処理・処分地の確保そして世界的な核不拡散態勢の確立などの壁を超える必要がある。そして現在稼働中の原子力発電所の安全・安定運転の積み上げと合わせて、これらの問題解決に向けて（官、民）が一体となって取り組み努力することが求められる。

## 5. 世界の動向

昨今世界は地球温暖化の防止という流れの中、GHGガスを放出しない再生可能エネルギーの導入が広がっている。日本は欧州に比べて遅れていると思われがちであるが、再生可能エネルギーと言う意味では水力が加わり、**図9**に示すように実際は欧州と遜色ない数字である。

その中で、自然エネルギーの風力と太陽光発電についての最近の世界の動向を見てみる。



(注)最終エネルギー消費に占める割合にて比較。  
日本の数値については、一定の仮定の下での試算。  
(資料)EUROSTATからIEAへの提出資料等を基に、(独)経済産業省・大阪大学 成能研究員が作成した資料等から編纂。

資料：IEA“Renewables Information”、“Energy Balances of OECD Countries”

(注) IEA 統計では電力について一次換算をする際に、「発電用バイオマス」は投入燃料データを利用、「地熱」は10%の効率を、「それ以外(風力・太陽光・波力海洋等)」は100%の効率を仮定  
一次換算新エネルギー＝バイオマス投入燃料＋地熱／0.1＋風力・太陽光・波力海洋等 尚、1Mtoe＝11630GWh

図9 日米欧の再生可能エネルギーの割合

## 風力：

GWEC(世界風力エネルギー協議会)によると、2008年末の世界の風力発電累積導入量は、07年末から2,705万kW増加して1億2,079万kWとなった(**図10**参照)。

08年の1年間の増加量で見ると、1位は米国の836万kW、2位は中国の630万kW、3位はインドの180万kW、4位はドイツの167万kW、5位はスペインの161万kWだった。

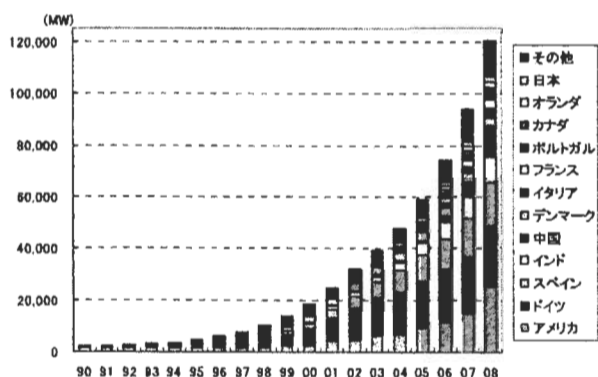
日本は08年の1年間に33万kW増加し、08年末の累積導入量は188万kWとなった。しかし累積導入量で世界13位にとどまり、世界市場シェアも1.6%に過ぎない。

欧米での市場急拡大に比べると、日本国内では風力発電所の建設が伸び悩んでいる。これは、日本の地形と風況が欧米諸国に比べて悪く、適地が少ないことと固定費用での買い取り制度などの支援政策を導入していないことなどによると考えられる。

## 太陽光：

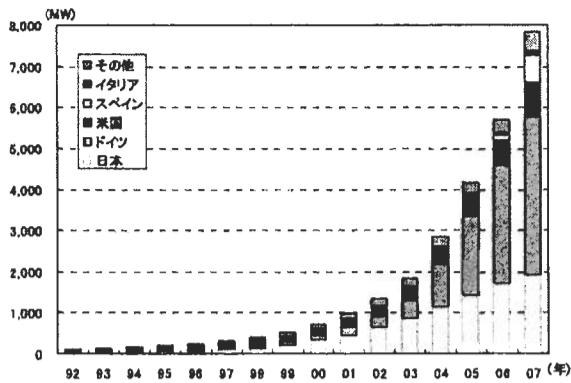
世界の全太陽光発電設備容量は2008年には6.9GW増加して16GWに達した(**図11**参照)。

2008年の市場の急速な伸びはスペインの市場の計画外の急拡大によるところが大きく、2009年はその反動と金融危機によって縮小したのち、



(出所)GWEC (Global Wind Energy Council)

図10 世界の風力発電累積設備容量



(出所)IEA「Trends in Photovoltaic Applications - Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2006」

図11 世界の太陽光発電設備容量

2011年頃から再び拡大すると予想されている。

因みに世界の原子力発電設備容量は約400GWで世界の1次エネルギーの6%を担っている。太陽光発電は設備利用率が20%程度であるので1%に満たない。

太陽光や風力発電は、真のクリーンエネルギーとして欧米ではその利用拡大に向けて特段の優遇政策（固定価格買取制度など）で急速に伸びている。将来は全発電量の20%を新エネルギー（太陽光、風力）で担うことを目標にしている。

世界的には未利用の土地として広大な砂漠地帯が残っており、今後とも大幅に開発が進むだろう。しかし海外でも自然エネルギーだけでは、真の低炭素社会は作れないとの認識から原子力の活用見直しの動き（ルネッサンス）が始まっている事も事実である。イギリス、スウェーデン、イタリアそしてスイスなどはこれまで脱原子力政策から一転して原子力の維持、新規発電所の建設に踏み切った。

## 6. まとめ

低炭素社会の実現は、我が国の場合には温暖化対策と言うよりも、エネルギーの安全・安定

供給の確保というセキュリティのための脱化石エネルギー社会として必要な日本独自のシナリオである。

脱化石の化石エネルギーの代替は、自然エネルギーと原子力エネルギーである。自然エネルギーは、無限で地球に優しいエネルギーであり、その利用拡大を図るべきであるが、自然エネルギーは量的にもコストの上でもまた質の面でも限界があり、自然エネルギーだけでは大きな量の化石エネルギーの代替は不可能である。従って原子力エネルギーの活用無くしては、脱化石エネルギー即ち低炭素社会は実現しないといえる。

原子力エネルギーの利用手段として、原子力発電はすでに世界各国で実用されて、安全性や経済性も実績が積み上がり、スリーマイル島やチェルノブイリ事故で沈滞していた開発が欧米ではクリーンエネルギーとして見直され開発が復活している。

日本はこれまではその開発を、着実に進めてきた。そのため、技術的には世界でフランスと共に世界を二分するほどの技術力を保持しており、世界の原子力復活に寄与している。

一方で関係者の不祥事や地震の影響も重なり我が国の原子力発電の利用率は60%台で、世界でも最低のレベルである。さらには再処理施設のトラブルで、営業開始が遅れている。高速増殖実験炉「もんじゅ」の再起動も、遅々として進まない。そして高レベル放射性廃棄物の地層処分場の用地が決らないなどで、原子力に対する信頼が著しく損なわれている。

そのため一般には、原子力は低炭素社会に向けて頼りにされなくなり、自然エネルギーに偏った期待をさせる結果となっている。

今こそ、原子力の関係者は、襟元を正してその信頼回復に努めることを強く要望する。



## 執筆者略歴



**伊藤 睦 (イトウ ムツミ)**

昭和13年1月1日生まれ 秋田県出身

昭和35年 東京工業大学電気工学科卒業

平成4年～6年 株式会社東芝原子力事業部長

平成6年～12年 東芝プラント建設株式会社代表取締役社長

「エネルギー問題に発言する会」[EEE会議]「日本原子力学会」「電気学会」会員