

## 日本の発電状況と将来についての一考察

府川伊三郎\*

### A study on the situation of power generation in Japan

Isaburo Fukawa

We studied the present and future situation of the power generation in Japan, from the view point of the issue of the fossil fuel depletion and the global warming, the accident of Fukushima nuclear power plant, the substantial introduction of alternative energy such as photovoltaic power, and the influence of the energy situation changes on Japanese industries and society.

We also analyzed and characterized the power generation systems such as thermal power plant, nuclear power plant and photovoltaic power plant by using the index of the utilization rate of the plants. The utilization rate is determined by counting the time of periodical inspection and trouble shutdown, the decrease of operation rate corresponding of daily and seasonal demand variation, and weather dependence in case of photovoltaic and wind power generation.

Key Words: Power generation, Alternative energy, Rate of utilization, Operation rate, Solar cell, Photovoltaic power, Renewable energy

#### はじめに

下記の“Ⅰ．我が国のエネルギーと発電の状況”では、筆者なりに状況の把握と理解を試み、その結果が日本の産業に与える影響を概観した。そして“Ⅱ．統計データによる日本の発電状況”では、前記Ⅰ．の記述の根拠となる統計データを整理し、また設備利用率をキーワードに解析した。発電容量と実際の発電量についての理解が不十分のため、誤解を招く新聞記事等が散見されるがこれらが是正されるべきと考えた。

### Ⅰ．我が国のエネルギーと発電の状況——その把握と考察

#### 1．化石燃料の枯渇と環境問題

世界はエネルギーについて化石燃料の枯渇・価格高騰とその燃焼による温室効果ガス（二酸化炭素等）排出による地球温暖化の2つの問題を抱えている。石油は可採年数42年と近い将来において枯渇することが予想され、またその思惑から価格が高騰することが避けられない。天然ガスは可採年数60年といわれるが、最近、米国をはじめとするシェールガスの発見から確認埋蔵量は増加している。可採年数は160年に伸びるという説も

---

\* 産業ビジネス学科

あり、エネルギーに関する数少ない明るいニュースとなっている。また石炭は可採年数が133年と一番埋蔵量が多いが、温室効果ガス（二酸化炭素）を単位発電量あたり最も多く排出することから地球温暖化にとっては好ましくない。もちろん、石油や天然ガスについても少ないながら、二酸化炭素ガスを排出する（石炭1に対し石油は0.72、LNGは0.60—0.50といわれる）。

## 2. 再生可能エネルギーへの期待

ゆくゆく枯渇する化石燃料に対して、太陽エネルギーを直接、あるいは間接利用する太陽光発電、太陽熱利用、風力発電、波力発電、バイオマス、水力発電は無限にエネルギーを再生でき、基本的に温室効果ガスを発生しないあるいは増加させないという特徴を持っていることから、将来のエネルギーとして大きな期待がもたれている。また地熱を利用した地熱発電も再生可能エネルギーの一つである。

化石燃料エネルギーから、再生可能エネルギーに急速に置き換えることは望ましいことであるが、代替には大きな課題がいくつもあり、実現に相当な努力が必要と考えられていた。2010年の全発電量に占める新エネルギー（水力発電を除く再生可能エネルギーを新エネルギーと定義されている。）使用の発電の比率はわずか1.2%にとどまっている。これを将来、10%—30%位に増やそうというわけであるから大変なことである。新たな大きな投資が必要であり、また従来法に比べコストが高いことから、電気料金の値上げが避けられない。

新エネルギーのうち期待されるのは、太陽光発電、風力発電、地熱発電である。最も期待される太陽光発電については、現状は家庭用電気料金の2倍とずば抜けてコストが高く、普及には多くの補助金や高価格での固定買取制度等補助策（インセンティブ）が必要である。結局、普及には多額の税金の投入や電気料金の値上げが必要となる。一方、風力発電はコスト的に既存電力と競争できるとされるが、日本には年間を通して風の強い適地が少ないうえに景観破壊と騒音の問題があり、建設は思うように進んでいない（ただし、世界的には風力発電の導入は目覚しく、エネルギーのかかなりの部分を占めつつある）。地熱発電については、その潜在的な地熱資源量は世界第3位と大きい。ただし、発電の適地は温泉に近接することや、国立公園等風光明媚な地域にあることが多いため建設には地元をはじめ環境面からの反対が多く、建設が進まない。そして、風力、地熱についても大規模な導入には、補助・支援策が必要となる。

## 3. 再生可能エネルギーへの中継ぎとしての原子力発電への期待

原子力発電は温室効果ガスを発生せず、コストが安く、燃料のウランは輸入に頼っているものの日本では準国産エネルギー（注）に位置づけられている。安全性や廃棄物処理の心配はあるものの再生可能エネルギーに置き換えるまでの中継ぎとして原子力に頼らざるを得ないというのが世界の認識であった。政府、電力会社は積極的に推進していきたいという強い意向であった。世界的にも原子力が見直され、新たな原子炉の建設がすすめられ、原子力の復権とまで言われた。このチャンスに我が国の原子炉メーカーは世界にプラントを輸出すべく、政府とタイアップして世界に売り込みをかけた。2011年には政府の強いバックアップにより、東南アジアにプラント輸出が決まったことも記憶に新しい。

（注） 原子力は少量のウラン燃料を使って膨大なエネルギーを取り出すことができ、燃料の再利用ができる。またウラン燃料の貯蔵により緊急時に、石油や天然ガス等化石燃料の輸入が途絶えてもエネルギーの保全を図ることができるため準国産エネルギーといわれる。

## 4. 福島第一原子力発電所の事故による影響

2011年3月11日の福島第一原子力発電所事故により上記の状況は大きく変わった。原子力発電所事故の深刻な被害は、点検で停止中の原発の再稼働や原子力発電の存続について激しい議論を巻き起こしている。これまでのように、地球温暖化対策に原子力発電を頼ることは難しくなった。

しかし、昨年の夏の電力ピークに計画停電にあった地区や電力使用制限で事業活動に支障のあった企業では、電力の供給は切実な問題である。今年の夏のピークを切り抜けられるかどうか重要な関心事である。原子力発電の代替に火力発電を増やしたところ、天然ガスの輸入が急増し、貿易収支や電力会社の経営が赤字になる事態も起こっている。また一方で、コストアップから電力会社からは10%を越える値上の申請が出ている。これらさまざまな報道により世論は大きく揺れているが、長期的視点に立ったエネルギー政策の立案がもとめられる。そのためにも議論のベースとなるエネルギー・電力に関する客観的データの迅速な開示が必要である。

#### 5. 原子力発電の存続についての学生アンケート

将来、原子力発電の影響をずっと受ける若い人はどう考えているのだろうか。福井工業大学経営情報学科2年生（全員男子）に対して、2012年1月末の試験の際に点数には関係しないことを前提に意見を聞いた。「原子力発電を今後どうしていくべきか？ 継続すべきか、条件付きで継続すべきか、廃止すべきかについて、個人の意見を自由に書きなさい」というものである。結果は、①原子力発電を継続すべき24人（45%）、②条件付きで継続すべき15人（28%）③ 廃止すべき14人（26%）であった。そして、いろいろ意見が書かれていた。その一部を以下に示す。

- ① の意見としては、原子力発電は日本に必要、なければ日本が成り立たない、電力不足や停電は困る、安全を見直して継続、新エネルギーは日本に向いていない、福井県民として今は怖いが日本のことを考えると継続しかし複雑な気持ちだ、等々が記載されていた。
- ② の意見としては、安全性を確認することを条件に継続、従業員の教育や原発の管理をしっかりとすることを条件に継続、自然災害に対する対策をとることを条件に継続、国が管理することを条件に継続、徐々に減らすことを条件に継続、10年で廃止することを条件に継続、すぐ廃止して停電になったら困る、急に廃止すると混乱する、再生可能エネルギーが多くなればよいと思う、新エネはコストが高いので徐々に増やすことを期待している、等々が記載されていた。
- ③ の意見としては、地震国でありいつ大震災になるかわからない、福島のような事故が起こる、福井には原発がたくさんあり困る、なにかあってからでは遅い、廃止するために省エネと節電と被災者への募金をすべき、地方に原子力があり使うのは東京など都会である、安全が確認されるまでは禁止すべき、等々が記載されていた。

なお、福井県には13の原子力発電所が若狭地方にあり、県の大きな産業になっている。毎日のように福井の新聞やメディアは原子力発電の安全性や再稼働のニュースを伝えており、学生の関心は他県よりも高いと思われる。

#### 6. 新エネルギー導入の加速

現在いろいろな意見が出されているが、2010年に全発電量の1.2%位<sup>1)</sup>の新エネルギーによる発電を2030年には20%位に引き上げるという意見が多い。これは相当に壮大な社会実験になるのであろう。元東大総長

の小宮山氏は単行本「課題先進国 日本」<sup>2)</sup>において、世界に先駆けて課題に取り組み解決していくことを唱えられていたが、まさにそういう状況になってきた。

## 7. 新エネルギーの比較

2030年に新エネルギー比率を20%にするためには、太陽光発電、風力発電、地熱等の新エネルギーの発電容量を約20年間で20倍にする導入スピードが必要となる。3つの発電方式を比較すると、太陽光は騒音や景観の問題が少なく、安全性も高く全国のどこでも設置できる普及させやすい発電方式である。支援制度もあり急速に伸びている。2010年現在累積発電容量は368万KWである。家庭向け電気代の2倍という高いコスト(46円/KW)が最大の課題であり、普及のネックになっている。大幅な普及には国、自治体の補助支援策に依存するところが大きい。ただ、技術革新、生産規模の大幅拡大、設置工事の標準化等により大幅なコストダウンが見込まれ、補助支援策がなくても経済的にペイする日も近いという意見もある。風力発電も急速に伸びており、現在の累積発電容量は220万KWである。風力発電はコストが低く(10-14円/KW)、大いに導入すべきところだが、海外に比べ日本では平地で風の強い(風況のよい)適地は限られる。風況の良い適地が多いのは、北海道、東北等である。また、風力発電を設置するためには道路工事や送電設備の新設等インフラを必要とする僻地や山地では、その分のコストを考える必要がある。したがって風力発電もメガソーラーと同様に固定買取制度の2012年7月の決定を待って本格的投資に踏み切るところが多いと予想される。地熱発電については、53万KWの発電容量があるが、近年まったく設備が新設されていない。地熱発電の適地が、温泉地と隣接していることや国立公園内だったりして景観を損なうことでなかなか建設が認められない。法規制の緩和などが導入促進には必要であろう。なお、2010年の実際の発電量は、太陽光発電が38億KWh、風力発電が42億KWh、地熱発電が30億KWhと推定した(表1, 2)。

## 8. 太陽光発電への期待

太陽光発電はパッシブなデバイスであり、極めて安全で、環境負荷が少なく、場所を選ばないことから、日本においてはもっとも現実的に発電能力を増強できる再生エネルギーである。このため、次世代電力の大きな柱としてあらためて脚光を浴びている。最大の課題は発電コストが家庭用電気料金の約2倍といわれるコストである。このようなコストが高い太陽光発電を急激に増やすことは負担が大きすぎ現実的でなく、技術開発によるコストダウンの進捗に合わせて徐々に導入を進めるべきとの意見を御園生誠東大名誉教授が著書で述べている<sup>3)</sup>。また、某シリコンメーカーは太陽電池の研究は継続して力を入れているが、なかなか事業化に踏み切らず、その理由を聞いたところ、「補助金をもらってはじめて採算の合うような事業はやらない」という社長の確固たる考えがあるとのことであった。市場経済で成り立たないものを補助・支援制度で普及させようとするには、政府や国民の負担の大きさを考慮することはもとより、補助金によりコストダウンの意欲が低下することがないように、市場競争原理を織り込んだ制度を考える必要があろう。

また、太陽光発電の大規模導入のためには、規模拡大と技術開発によるコストダウンにより発電コストが商用電気料金並みのコストまで下げること(グリッド・パリティ)の実現が切実な課題である。その壁を越えれば、急激に普及が進むと思われる。技術開発について言えば、既存太陽電池材料のインクレメンタルな変換効率や設備利用率の改善、長寿命化により、市販電力コスト並みになることが可能になるであろう。また今のところ夢の技術であるが変換効率40%といわれる量子ドットのようなブレイクスルーが強く期待され

る。実用化された時には、既存の電力コストを下回るコストが実現されるとみられ、まさに人類と地球を救う技術となろう。

## 9. 新エネルギー導入計画のシミュレーション

これから、2030 年にかけて、毎年新エネルギーをどれくらい導入していくかのロードマップが必要で、どのタイプの新エネルギーをどれくらいの比率で導入するか、新エネルギーのコストとコストダウンの予測、生産能力の増強、普及のための国等補助支援策等を考慮に入れて、シミュレーションする必要がある。普及のための各種補助・支援対策はどうあるべきか、そのための国民の負担はどれくらいかも考慮に入れなければならない。現在、多くの政府機関、調査期間あるいは企業で取り組んでいるテーマであろう。今後、具体的シミュレーション結果が発表されるであろう。ただ、これらのシミュレーションにはその研究機関の意向や政策、企業の宣伝、環境保護に関する様々な思惑等々が入りやすく、その客観性を十分に検証する必要がある。

## 10. エネルギーと日本の製造業の競争力の視点

エネルギー産業は、製造業の心臓部を占めており、各種産業に血液を供給するものである。エネルギー産業が衰退し、エネルギーの供給不安や国際的に高いコストが続くことは避けなければならない。石油ショックの時のような省エネだけでは、限界がある。製造業は円高の状況から海外シフトが進んでいるが、エネルギー供給不安があればさらに加速されるであろう。特にエネルギー多消費型製造業においては事業の撤退につながるものが考えられる。今後の我が国のエネルギー政策は日本の産業の将来の方向を大きく左右するものと思われる。エネルギー多消費型産業の海外移転・事業撤退および少子高齢化の方向から、電気の需要は頭打ちになる可能性が高い。ただし、電気自動車ガソリンエンジン車に代わって普及するとすれば状況は変わる。ガソリン需要が電気需要に代わるからである。

また、新エネルギーの本格導入は、新しい巨大な産業を生み出すものと思われる。太陽光発電について言えば、太陽電池のセル生産、パネル生産、付帯機器生産、施工工事、電力供給と各段階のビジネスがある。我が国の太陽電池産業はかつて世界のトップを行くものであったが、政府の太陽光発電支援策が途切れたときにビジネスは下火になり、現在はアメリカ、中国のメーカーの追い抜かれる状況にある。今後太陽光発電をいかに導入・普及するかとともに、それを支える我が国の太陽光発電関連ビジネスを大きく育成、飛躍させ、グローバル・トップにしていくことを考えなければいけない。その大きなチャンスということができる。

## II 統計データによる日本の発電状況——設備利用率をキーワードに解析

### 1. 目的

発電設備は発電容量で能力が表せられるが、実際の年間発電量は設備の年間稼働率（以後年間利用率と呼ぶ。）によって決まる。各発電方式の実力を年間利用率により、統一的に整理・解析して考察した。また、新エネルギーは天候に左右されるので、設備容量の割に年間の発電量は出ない。そういうことで、ここでも設備利用率がキーワードになる。

### 2. 日本のエネルギー状況

一次エネルギー導入状況（図1）、発電の内訳（図2）、石油の使用内訳（図3）、最終のエネルギー使用割合（図4）の図を作成した。各図にエネルギー（Joule）値を入れることにより相互の関係をつけた。元デ

ータはエネルギー白書の 2009 年版と石油連盟のホームページである。これらの図から多くのことを知ることができる。一次エネルギーでは依然として石油が 44%を占めているが、発電に占める石油火力の比率は 13%と低い。石油の用途を図 3 で見るとわかるように、電力用途は 10%で、自動車用燃料（ガソリン、軽油等）36%、石油化学原料 21%となっている。また家庭用、業務用には灯油が含まれていると考えられる。これらは、第一次、第二次のオイルショックを経て、国をあげて石油依存体質をいかに減らすかに努力した結果である。石油は石油でなければならない用途中心に使用されている。

一方、電力用には石炭、天然ガス、原子力がそれぞれ約 30%使用されている。以上のように我が国においては、一次エネルギーの内訳と発電の内訳は大きく違うことである。また、発電は一次エネルギーに比して、原子力と水力のお蔭でこれまで二酸化炭素（温室効果ガス）の発生比率が低いことが注目される。

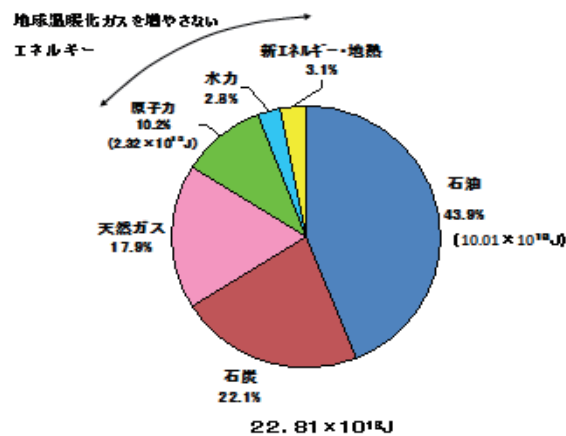


図1 日本の一次エネルギー（2007年度）  
（出典 エネルギー白書2009）

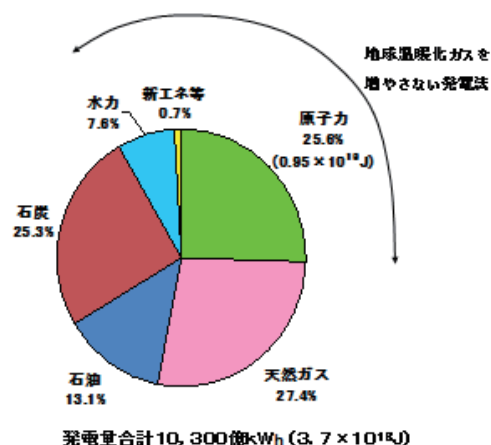


図2 日本発電量の内訳（2007年度）  
（出典 エネルギー白書2009）  
1kWh=3.6×10⁶Jで換算



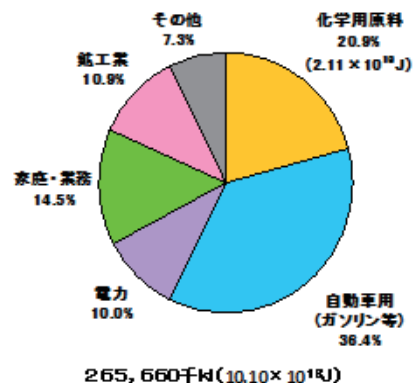


図3 石油製品の用途別需要(2007年度)

(出典 石油連盟「今日の石油産業データ集」2009)

1kl = 3.8 × 10<sup>4</sup> J で換算

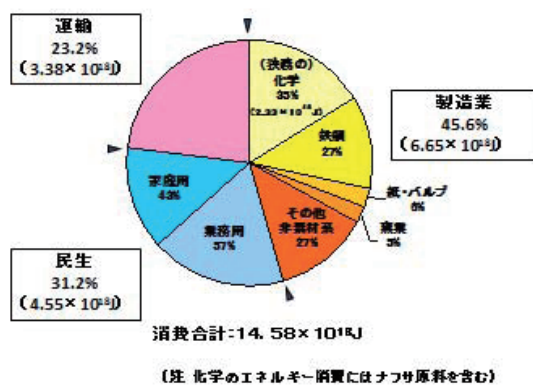


図4 エネルギー消費(2007年度)

(出典 エネルギー白書2009)

### 3. 我が国の発電状況

図5に我が国の発電容量の推移を、図6には発電電力量の推移を示す。2つの図を比較すると、発電容量の比率に比べ発電量の比率の小さいのは石油火力であることがわかる。石油火力が主に需要に応じた供給量変動の調節に使われているためである。石油はLNGより高いので、なるべく使わないようにしている。

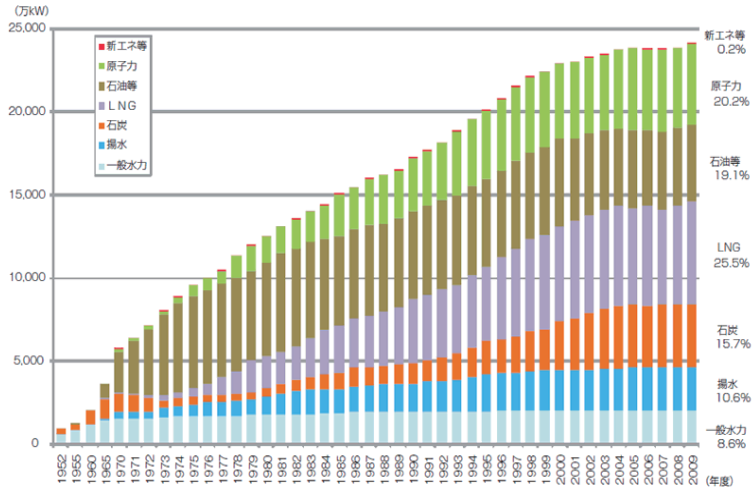


図 5 発電容量の推移（一般電事業者用）<sup>4)</sup>

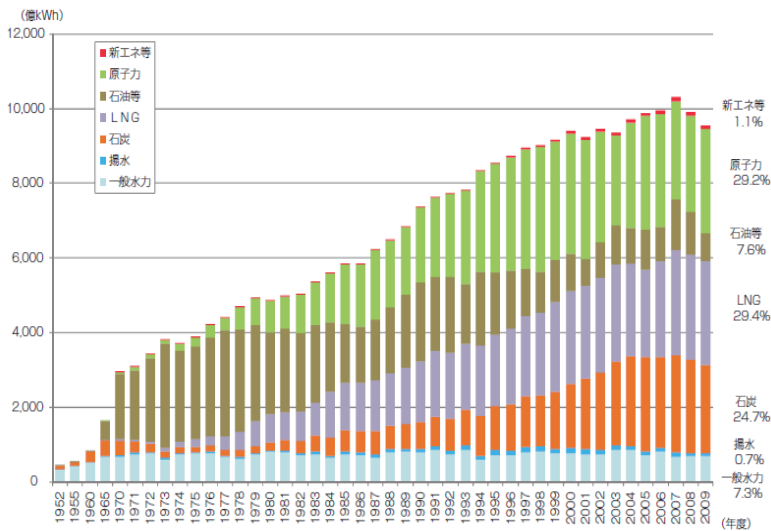


図 6 発電電力量推移（一般電気事業用）<sup>4)</sup>

#### 4. 年間の設備利用率

年間の発電量 (KWh) を、定格発電容量 (KW) × 3 6 5 (日) × 2 4 (時間/日) で割ることにより設備の利用率（設備利用率と定義される）を求めることが出来る。表 1 に 2007 年度の設備利用率を、表 2 に 2010 年の設備利用率を計算した。太陽光発電や風力発電は（累積）発電容量のデータはあるが、発電量のデータが見当たらない。絶対量が小さいことや分散型であるため発電量の把握が難しいためと思われる。設備利用率を仮定して、求めた推定発電量（赤字）を表 1，2 に示す。

設備利用率は、①定期点検・定期修理のような定期的な停止、②トラブルによる停止、③1日の需要変動や季節変動に合わせた停止或いは低稼働率、④天候等自然現象による停止或いは低稼働率（水力の雨水量、太陽光の日照時間、風力の風の強さや向き等）によって決まる。③については、季節変動（図 7）と1日の需要変動（図 8）があるが、その需要変動幅は極めて大きい。電力会社は夏場の最大ピークに対応できるように設備を構えているので、表 1 や表 2 に示すように全体の設備利用率は 4 9 %、4 6 % と極めて低いものとなっている。夏の最大ピーク時でも、日本全体でみれば瞬間の設備利用率は約 75% である。



表1 発電容量と発電量から計算される設備利用率（2007年度）

参照 エネルギー白書（2009年）等より作成

発電容量（能力） 単位 万 KW（%）	発 電 量 億 KWh	設備利用率 %
日本全体 23,751（100%）	10,270（100%）	49.4
原子力 4,947（21%）	2,638（25.6%）	60.9
LNG火力 5,761（24%）	2,821（27.4%）	55.9
石炭火力 3,747（16%）	2,605（25.3%）	79.4
石油火力 4,692（20%）	1,350（13.1%）	32.8
水力（揚水含む） 4,604（19%）	784（7.6%）	19.4
新エネ	72（0.7%）	
太陽光 192	20	12（仮定）
風力 168	29	20（仮定）
地熱（2009年） 53	30	64

表2 発電容量と発電量から計算される設備利用率（2010年度）

参照 エネルギー白書（2011年）等より作成

発電容量（能力） 単位 万 KW（%）	発 電 量 億 KWh	設備利用率 %
日本全体 24,307（100%）	9,760（100%）	45.8
原子力 4,896（20%）	3,004（30.8%）	70.0
LNG火力 6,253（26%）	2,657（27.2%）	26.9
石炭火力 3,887（16%）	2,323（23.8%）	68.2
石油火力 4,601（19%）	811（8.3%）	20.0
水力（揚水含む） 4,670（19%）	848（8.8%）	20.7
新エネ	117（1.2%）	
太陽光 368	38	12（仮定）
風力（2009年） 219	42	20（仮定）
地熱（2009年） 53	30	64

## 5. 需要変動と電力のベストミックス

年間の季節変動を図7に、1日の需要変動を図8に示す。変動に対してどんな発電方式の組み合わせで対応するのがベストであるかを考えて作られたのが、図9に示される発電のベストミックスといわれる。制御の難しい原子力や流込式水力は一定運転し、火力発電や揚水式水力発電が1日の需要の変化に対応した運転をしている。このため、深夜には火力発電がほとんど停止するという状況である。

なお、太陽光発電は日中の明るい時に発電するので好都合である。原子力発電は一定運転されており需要変動による停止は少ないはずであるが、日本の稼働率は諸外国の原子力発電に比べ低い（図10）。

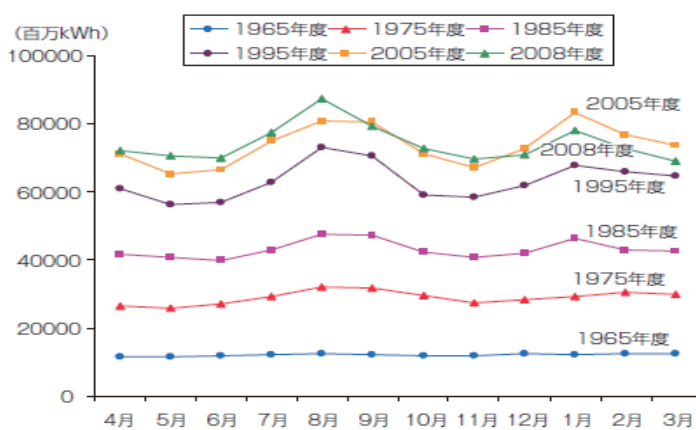


図7 1年間の電気の使われ方（10 電力計）<sup>4)</sup>

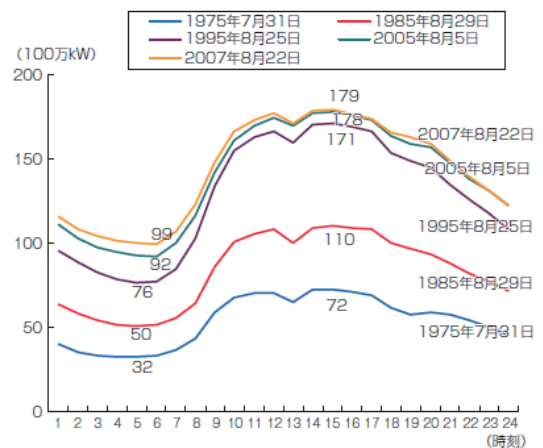
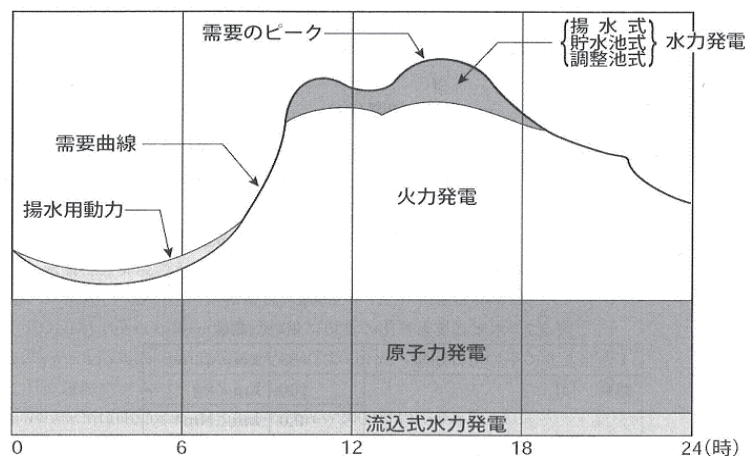
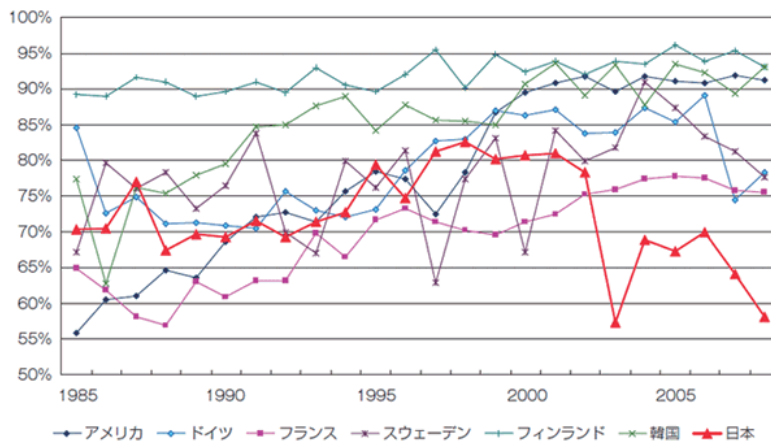


図8 夏季1日の電気の使われ方（年間最大電力を記録した日）（10 電力計）<sup>4)</sup>



出典：資源エネルギー庁「原子力2002」

図9 電力のベストミックス

図 10 世界主要原子力発電国における設備利用率の推移<sup>4)</sup>

## 6. 発電のコストと設備利用率

火力発電（特に石油火力、LNG火力）の場合は需要に合わせた停止が含まれるので、実際の設備利用率はその分低くなる。一方、太陽光発電では日照時間、風力発電では風速の変化等自然現象に影響され、発電量は一定でなく不安定で、設備利用率は低くなる。発電単価と設備利用率については表3に示すデータが公表されている。ここでわかることは、太陽光発電では他の発電設備に比べ格段に低い設備利用率12%になっていることである。夜間稼働しないこと、雨や曇りの日があることから容易に予想されることである（図11）。風力は太陽光発電より高く20%であるが、これも他の発電方式に比べて低い。

発電方式	発電単価(円/kWh)	設備利用率(%)
水力	8.2～13.3	45
石油	10.0～17.3	30～80
LNG	5.8～7.1	60～80
石炭	5.0～6.5	70～80
原子力	4.8～6.2	70～85
太陽光	46	12
風力	10～14	20

表3 発電方式別の発電原価試算と設備利用率（出典 エネルギー白書2008）

注）設備利用率(%) = 1年間の発電電力量 / (定格出力 × 1年間の時間数) × 100%

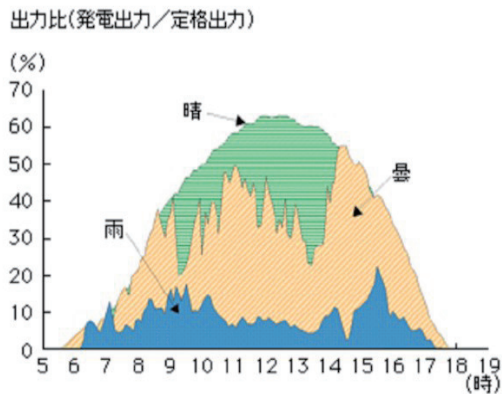


図 11 太陽光発電の天候別発電電力量推移<sup>4)</sup>

## おわりに

“Ⅰ．我が国のエネルギーと発電の状況——その把握と考察”では日本のエネルギー・発電に関する経緯を概観し、その課題と問題点を明らかにした。また、将来、それが産業にどう影響するかを考察した。また“Ⅱ．統計データによる日本の発電状況”では、設備利用率をキーワードに用いて、公表統計データを解析した。そして、従来の火力発電と新エネルギー発電の相対的な位置づけを明らかにした。また、これをベースに日本の将来の電力事情を推定してみた。

これまで、我が国は夏場の電力ピークの増加に合わせ、電力設備を増強してきたが、結果として低い年間設備利用率にとどまっていた。現状の厳しい電力需給状態ではもうその余裕はないと考えられる。節電やピーク時の特別電気料金の設定等によりピーク需要値を下げ、一方で設備利用率を上げることにより電力供給の危機を乗り切る必要がある。将来的には化石燃料と原子力に代わるものとして、新エネルギーの導入を加速する必要がある<sup>5)</sup>。この場合、過渡期かなりの財政負担と電気料金の値上げを覚悟しなければならないが、いつかは通らなければならない道かもしれない。一方で、規模拡大と国際的価格競争により、予想より早く太陽電池がコストダウンしてグリッド・パリティが実現するという意見があり、思ったよりも負担は小さいかもしれない。

## 参考文献

1. 経済産業省エネルギー庁 エネルギー白書 2011
2. 小宮山宏 「課題先進国」日本 中央公論社
3. 御園生 誠 新エネ幻想 新エネルギーフォーラム
4. 経済産業省エネルギー庁 エネルギー白書 2011
5. 府川、浮田 太陽光発電に関する一考察 福井工業大学研究紀要 2012 第42巻

(平成 24 年 3 月 31 日受理)