

新刊「データをもとに考える日本の電源構成の再構築」 第6章

6. ガス火力は期待に応えられるか

CO₂排出削減のためには、石炭火力はガス火力に転換されることになります。脱原発で失われる電力を供給するのも、当面はガス火力の増強になるでしょう。将来、再生可能エネルギーに全面的に転換する場合にも、変動する風力や太陽光発電の電力量のもとで、電力需要に合致するように発電量を調整するのは、主にガス火力と思われます。

ガス火力は、温暖化防止の主役、準主役を担うことが期待されています。シェールガス革命により、期待は更に高まっています。本項では、ガス火力が、温暖化防止にどこまで応えられるかを考えてみたいと思います。

6.1 天然ガス利用の現状

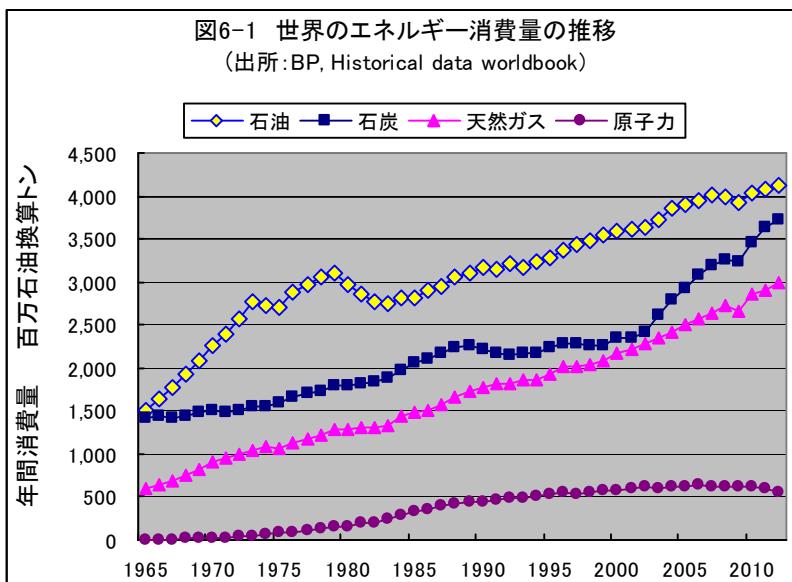
多くの国にとって、必要なエネルギーの総量を確保することが課題です。例えば、石炭を止めて天然ガスや再生可能エネルギーに転換することは、発展途上国にとって贅沢な願望と思われます。天然ガスがどの様に利用されてきたかを見ることから始めたいと思います。

<世界の一次エネルギー消費>

図6-1に、主要エネルギーの世界の消費量の推移を示しました。何れのエネルギーも、全般的に見れば増加しています。1960年代には、石炭から石油へのエネルギー転換が起きました。1965年に、石炭と石油の消費量が逆転しています。使用上便利な石油は、以後、急速に消費量を伸ばします。しかし、1970年代の2度のオイルショックにより、石油消費は抑制されます。発電などの用途には、他のエネルギーが使用されるようになりますが、自動車など移動体燃料には、石油以外では原則対応できません。モータリゼーションの進展などにより、石油消費は、以前ほど増加率は高くありませんが、増加を続けています。

石炭は、消費量で石油に抜かれた後も、緩やかに増加を続けています。これは主に、多くの国が経済成長で必要となるエネルギー需要の増大を、自国で産出する石炭により充足した結果です。2000年初め頃から石炭消費が急増

しているのは、中国が急速な経済成長で必要となるエネルギーを自国の石炭で賄ったためです。中国は、エネルギー消費でも、温室効果ガスの排出でも、世界に大きなインパクトを与える大国になっています。



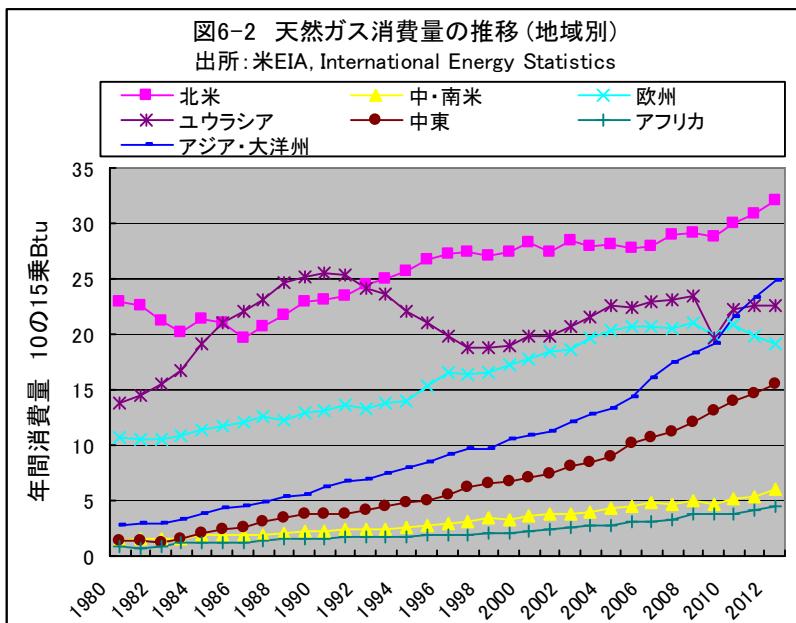
原子力は、1970年頃から実質的に増加を始めました。3章に記載したように、オイルショックによる石油消費の抑制に対し、エネルギー供給の一翼を担ったと言えると思います。エネルギー問題で、安定供給は最重要事項であり、エネルギーの多様化が優先的な対策です。

主題の天然ガスは1965年時点では、石油の約1/3の消費量ですが、以後、ほぼ直線的に増加しています。石油消費の抑制を補うものですが、クリーンで使い易いことが、消費量の増加を促進したものだと思います。しかし、地域別、国別に見れば、状況は一様ではありません。

<天然ガス>

以下、米EIAのInternational Energy Statisticsのエネルギー統計を用いて、天然ガスの消費量の推移を見ることにします。同統計には、世界218の

国と地域のデータが収録されています。図6-2には地域別の天然ガス消費量、図6-3には、一人あたり消費量を示しました。なお、熱量単位は、原典のBtu(=0.252kCal)をそのまま用いています。



北米とユーラシアは、地域総量でも1人あたりでも高い消費量です。北米地域では、米国、カナダ、メキシコが、天然ガスの高い生産量です。一人当たりの消費量が高いのは、主に、エネルギー消費大国の米国の状況を反映したものでしょう。一人当たりの消費量の増加はみられません。

ユーラシアは旧ソ連邦に属した15カ国です。ソ連時代からの天然ガスのパイプライン・システムに組み込まれています。5カ国が生産・輸出をしており、その中でロシアは一桁高い生産量です。両地域とも、一人当たりの消費量では、ほとんど増加はみられません。

欧州は、2005年前後まで、天然ガス消費量のほぼ一貫した増加が見られます。石炭から天然ガスへの転換の結果と思われます。欧州で天然ガスの生産

量が高いのは、ノルウェー、英国、オランダで、前2者は北海油田からの生産です。また、ロシアからもパイplineで天然ガスの供給を受けています。欧州には天然ガスのパイpline網があり、それにより各国が天然ガスを利用しています。

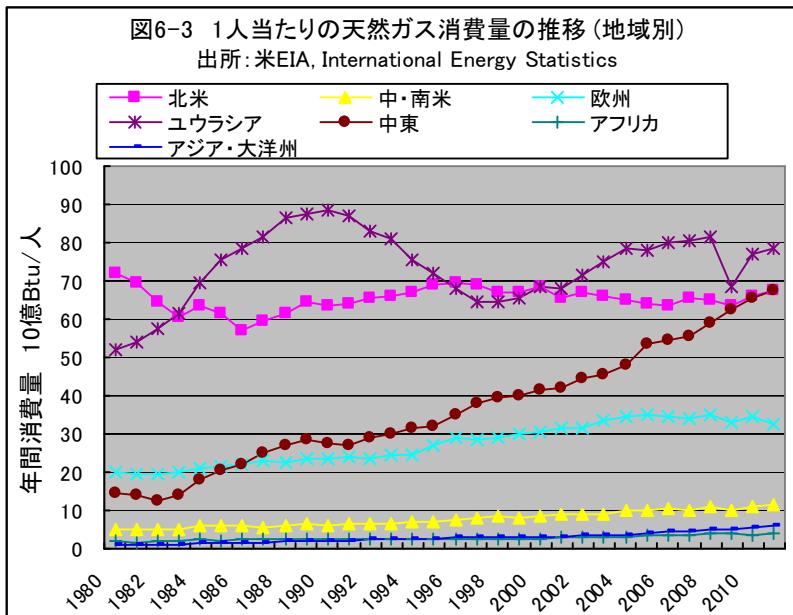


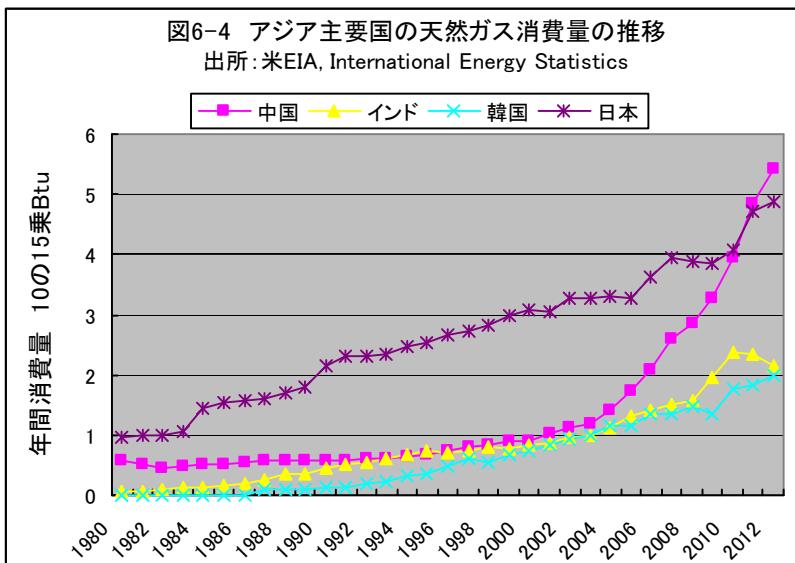
図6-2で、アジア・大洋州、中東、中・南米、アフリカは、1980年時点での天然ガス消費は、他の地域に比べてかなり低い水準だったことが分かります。その後、中東の産油国は、それまであまり利用されていなかった天然ガスを利用するようになったことで、消費が増大したものと思います。

その他の3地域は、1人あたりの天然ガス消費量では、他の地域に比べて随分低い水準です。

<アジアの主要国>

アジアで天然ガス消費量の多い国として、中国、日本、インド、韓国のデータを示しました。なお、それ以外には、インドネシア、マレーシア、パキ

スタン、タイなども天然ガスの生産国で消費量の多い国です。図6-4は総消費量、図6-5は1人あたりの消費量の推移です。



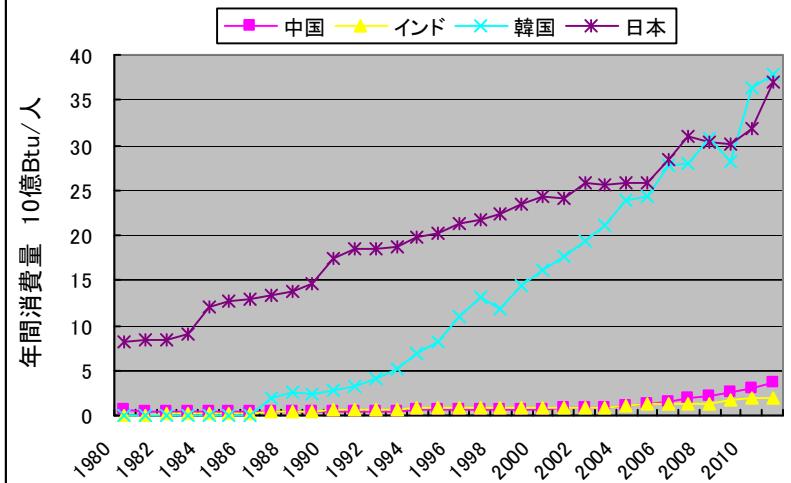
総消費量のグラフで、中国の天然ガス消費量が、2000年初め頃から急増していることが目付きます。中国は、急速な経済成長で必要になるエネルギーの確保が課題になっています。主に、国内で算出する石炭に依存してきたのですが、天然ガスもその一部を担っています。中国は天然ガスの生産国ですが、輸入量もかなり増加しています。

他の3カ国も、天然ガスの消費量が増加しています。韓国は1980年代後半から、天然ガスの本格的な消費が始まりました。日本と同様に天然ガスをLNGで輸入しています。

1人あたりの消費量のグラフでは、様相はかなり異なります。日本や韓国に比べて、中国とインドの1人あたりの天然ガス消費量は、極めて小さいことがわかります。これらの国が経済成長すれば、天然ガス消費も大幅に増大することを意味しており驚異です。

図6-5 アジア主要国の人一人当たりの天然ガス消費量

出所：米EIA, International Energy Statistics



＜石炭から天然ガスへの転換＞

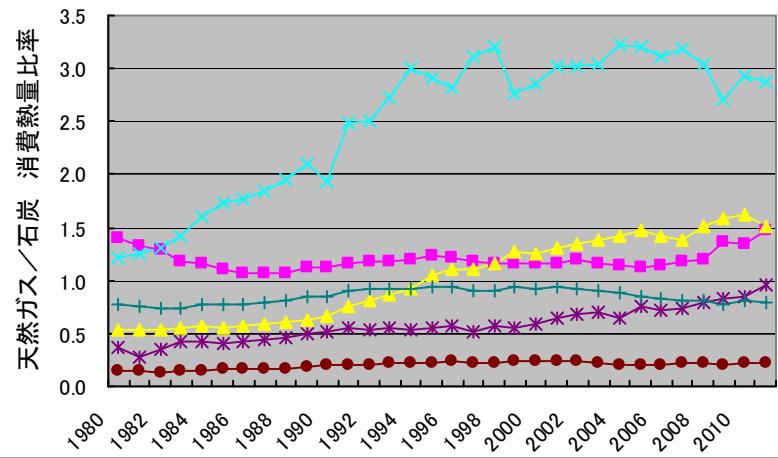
温暖化防止の観点で、石炭から天然ガスへのエネルギー転換が進んでいるかを見てみましょう。天然ガスと石炭の消費量の熱量比率の推移を調べました。図6-6は地域別のグラフ、図6-7はアジア主要国のグラフです。なお、1980年時点では、中東地域での石炭消費量に対する天然ガスの比率は49倍です。また、中・南米は、中東ほどではありませんが、その比率は3.3倍です。両地域は、以前から石炭消費量が少なかつたので、グラフから除きました。

図6-6に示されるように、世界全体での石炭に対する天然ガス消費の比率は0.74～0.93の範囲で、石炭から天然ガスへの燃料転換が進んでいる訳ではありません。

ユーラシアでは、1980年に天然ガス/石炭の比率が1.2倍だったものが、1990年代半ばには3倍前後に増加しています。これは、旧ソ連圏での天然ガス供給システムの整備の結果で、温暖化防止を目的としたものではありません。

図6-6 地域別の天然ガスと石炭の消費比率の推移

出所:米EIA, International Energy Statistics



欧州では、1990年頃から天然ガス/石炭の比率が増加しています。この間、英国では石炭から北海油田から生産される天然ガスへの転換が進みました。また、東欧諸国で温暖化防止を考慮した石炭から天然ガスへの転換も大きく影響しています。

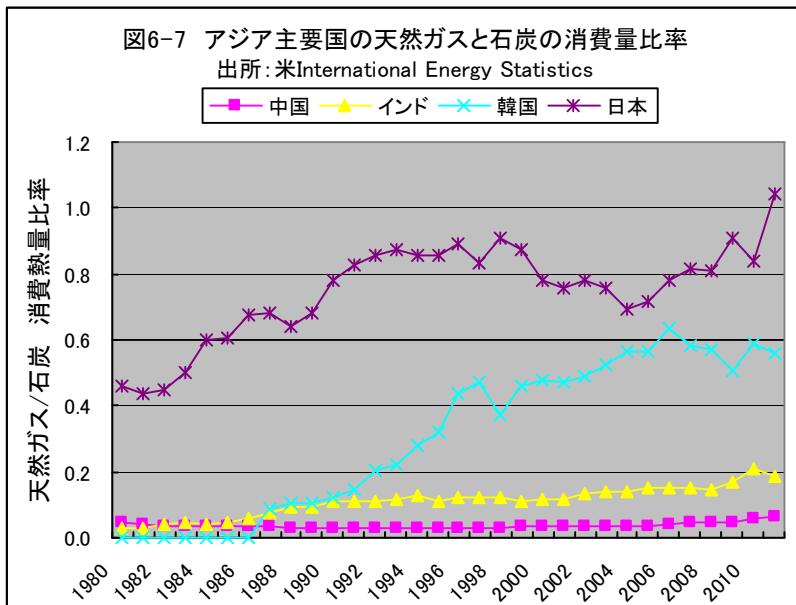
北米地域では、石炭から天然ガスへの顕著な変化はみられません。但し、近年の天然ガス消費の増加は、シェールガス開発の影響かもしれません。

アフリカでは天然ガスの比率が増加しています。天然ガス生産国での消費量が増加しているためと思われます。

アジア・太陽州では、グラフ上は天然ガス比率の増加はほとんど認められませんが、図6-7に4カ国のデータを示しました。日本は、1990年頃から、天然ガス/石炭の比率は0.8前後で推移していました。2011年には原発停止の影響を受け、天然ガスが増加しています。

韓国は、1986年からエネルギー・ミックスに天然ガスを加えました。その

後、天然ガスの輸入が増加したこと、比率が高くなっています。なお、韓国は、京都議定書の温室効果ガス削減国ではなかったため、温暖化防止のエネルギー政策には注力していなかったように思います。



中国とインドは、石炭に対する天然ガスの比率が、かなり低いことが分かります。経済成長に伴うエネルギー需要の増大を、主に自国で算出する石炭に依存してきたためです。近年、特に中国は、増大するエネルギー需要を如何にして賄うかが課題になっており、石油や天然ガスの輸入拡大に努めています。一方、PM2.5などの環境問題から、石炭使用は抑制されていくものと思われますが、温暖化防止の観点でのエネルギー政策が実効性を持つのは先のことでしょう。

6.2 天然ガスの輸入

天然ガスはクリーンで、都市ガスとして利用すれば便利なものです。生産

国はいいのですが、輸入するのは簡単ではありません。天然ガスの輸入は、パイプラインによるか、LNGで輸入することになります。また、都市ガスとして利用するのにはインフラ整備が必要であり、国内に普及できるのは先進国に限られるでしょう。

<国際パイプライン>

隣国からパイプラインで輸入する場合はまだよいのですが、第三国を経由する場合はかなり面倒です。国際紛争に際して、供給を停止されたり、時には攻撃目標になる可能性もあります。国際パイプラインで輸入する場合には、戦略的な配慮が必要になります。

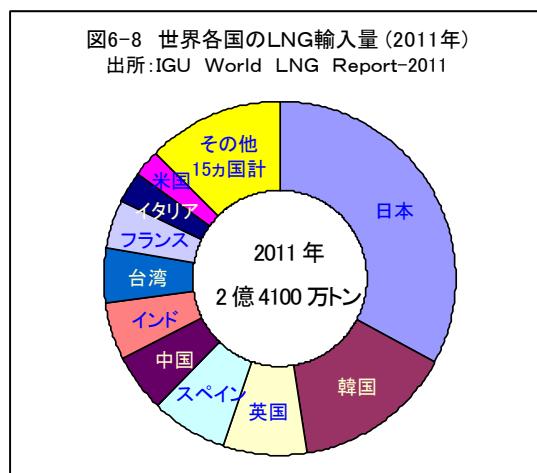
<LNG輸入>

一方、日本のような島国や、国際パイプラインの建設が困難な場合には、LNGで輸入することになります。日本は先進国そのため、気軽にLNG輸入と言いますが、多くの国にとって簡単ではありません。LNGは、天然ガスをマイナス162℃に冷やして液化するものですから、ちょっと考えれば、簡単ではないことが想像できると思います。

生産国は、1千億円単位の大規模な投資により、液化プラントを建設することが必要になります。

輸入国は、低温のLNGを輸送する専用のLNG船を用意することが必要です。また、輸入したLNGを貯蔵するための低温タンクも、原油タンクやLPG球形タンクに比べて高価なものです。

LNGを輸入するためには、天然ガスの生



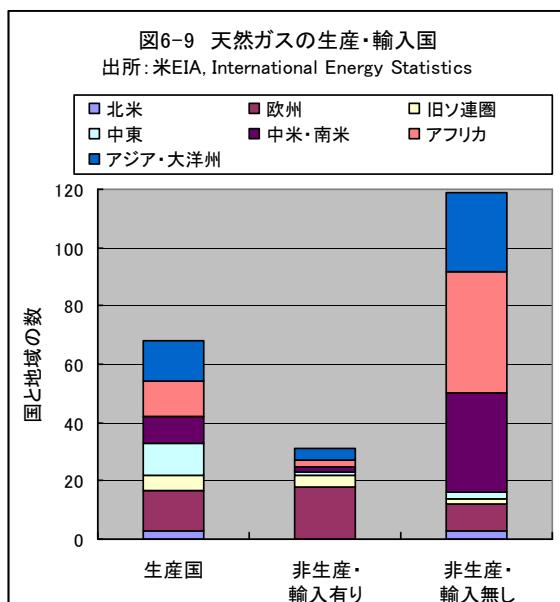
産国と輸入国の双方に多額の投資が必要になります。そのため、通常、長期の輸入契約を結んで、LNG が生産、輸入されます。スポット市場もありますが、東日本大震災での原発停止による LNG の突発的調達のようなケースは、それほど簡単ではないと思います。

図 6-8 に、天然ガスを LNG で輸入している国を示しました。2011 年の実績で、LNG 輸入国は 25 カ国で先進国が多くを占めています。日本は、世界の LNG の実に 1/3 を輸入しています。LNG 輸入大国が、原発の停止により、更に追加輸入をしている訳です。LNG 取引についての知見はありませんが、素人目には、エネルギー・セキュリティーの面で甚だ脆弱であるように思われます。

<天然ガス輸入国>

経済力が乏しい発展途上国にとって、天然ガスの輸入は簡単ではないと思われ調べてみました。前述の米 EIA の International Energy Statistics を用い、収録されている 218 カ国を、天然ガスの生産国、生産の無い輸入国、生産と輸入が無い国と地域に分類しました。日本のように、少量の天然ガスを生産している国もいたため、天然ガスの生産量が消費量の 5% 以上で、年間生産量が 100 億立方フィート以上を生産国に分類しました。

図 6-9 に分類結果を示します。天

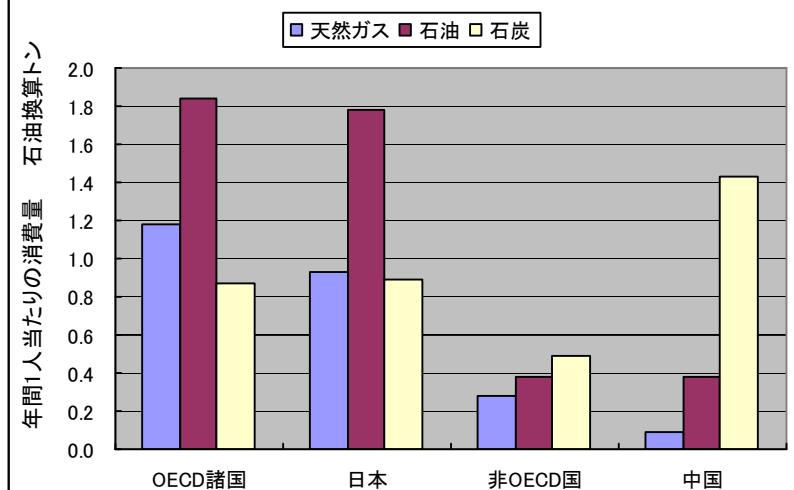


然ガスを生産も輸入もしていない国が多いことが分かります。アジア、アフリカ、中南米地域には、天然ガスを利用していない国が多く、発展途上国にとって、天然ガスの輸入・利用はハードルが高いことが想像されます。

＜先進国と発展途上国＞

先進国と発展途上国では、エネルギー事情にかなり違いがあると考えられ、天然ガス、石油、石炭の消費量を調べてみました。先進国としてはOECD加盟国の34カ国とし、非OECDの発展途上国と、1人当たりのエネルギー消費量を比較しました。なお、OECD加盟国の総人口は12.5億人、非OECDは56.9億人です。図6-10には、OECD国の一例として日本、非OECD国の一例として中国のデータを併記して示しました。

図6-10 先進国と発展途上国の1人当たりエネルギー消費
(2011年) 出所:米EIA, International Energy Statistics



OECD諸国のエネルギー消費では、石油消費が最も多く、天然ガスが続き、石炭が一番少なくなっています。日本のエネルギー消費も類似のものです。

それに対し、非OECD諸国の1人当たりのエネルギー消費は、OECD諸国の30%に過ぎません。また、石炭消費が最も多く、天然ガスが最も少ない

エネルギー構成になっています。石炭消費が多いのは、多くの発展途上国が、必要なエネルギーを自国で産出する石炭に依存しているためと思われます。中国のケースはその典型で、石炭消費が極めて多くなっています。

今後、発展途上国が今より豊かになれば、1人当たりのエネルギー消費量は増大します。人口で OECD 諸国の 4.5 倍の非 OECD 諸国の CO₂ 排出量の増加を抑制するには、石炭から天然ガスへの転換が必要になりますが、簡単なことではないと思われます。

6.3 原発をガス火力に転換すると

石炭を天然ガスに転換することで、CO₂ を削減することを述べてきましたが、本項では、原発を天然ガスに転換したら、どれだけ CO₂ が増加するかを紹介します。原発を再生可能エネルギーに転換するにしても、直ぐに大容量の再生可能エネルギーを導入できる訳ではありません。脱原発で不足する電力の多くは、当面、ガス火力で供給することになるでしょう。

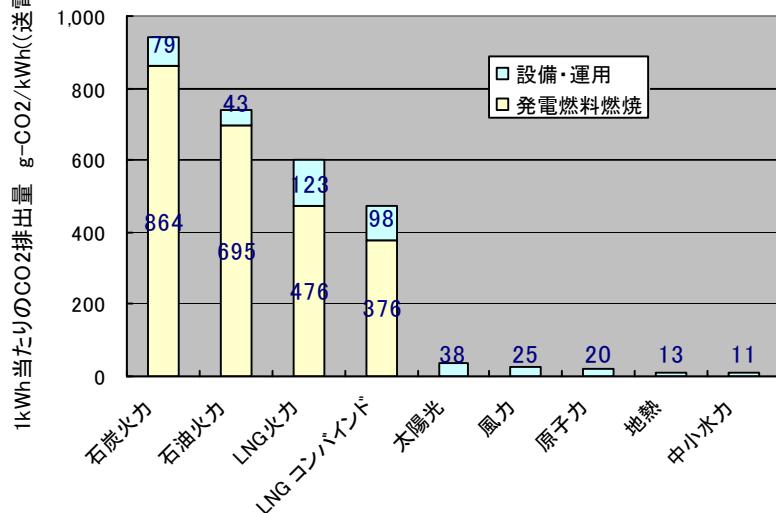
例題として、東日本大震災が発生する前年の 2010 年度の原発による発電をガス火力に転換した場合、90 年比で温室効果ガス排出量がどれだけ増えるかを試算します。

<各種発電の CO₂ 排出量>

図 6-11 に、各種発電によるライフサイクル CO₂ 排出量を示します。電気事業連合会の「原子力・エネルギー」図面集 2013 に掲載されているデータですが、元データは電力中央研究所の 2010 年 7 月発行の報告書のようです。

発電燃料の燃焼により直接的に排出される CO₂ に加え、発電設備の建設や運用で排出される CO₂ 量を、ライフサイクルアセスメント(LCA)で求めた値が示されています。LCA で求めた値のほうが、排出される温室効果ガスの実態を表していると思います。しかし、京都議定書の温室効果ガス排出量は、LCA 的に求めた発電設備の建設などの CO₂ 排出量は対象としていません。ここでは、燃料燃焼による CO₂ 排出量のみで評価することにします。

図6-11 各種発電のライフサイクルCO2排出量
出所:電気事業連合会、「原子力・エネルギー」図面集2013



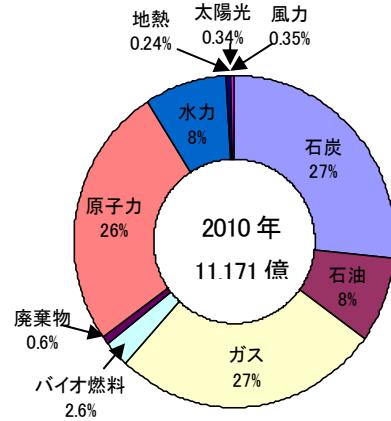
原発を代替するガス発電ですから、CO2排出量の少ないLNGコンバインド・サイクルで試算することにします。

<原発の電力量>

原発により2010年度に発電された電力量は2,882億kWhです。なお、図6-12は各電源による発電量の内訳で

す。自家発などの電力量も含めたものとして、IEAの統計ページにある

図6-12 日本の発電電力量 2010年
出所:IEA, Electricity/Heat in Japan in2010



Electricity/Heat の 2010 年のデータを用いたものです。

2010 年の原発の発電電力量を、LNG コンバインド・サイクルで発電した場合には、上記の 1kWhあたりの CO₂ 排出量を用いると、燃料の燃焼による CO₂ 排出量は、1 億 800 万トンと算定されます。

＜CO₂ 排出量＞

図 6-13 には、日本の温室ガス排出量の推移を、CO₂ とそれ以外に分けて示しました。

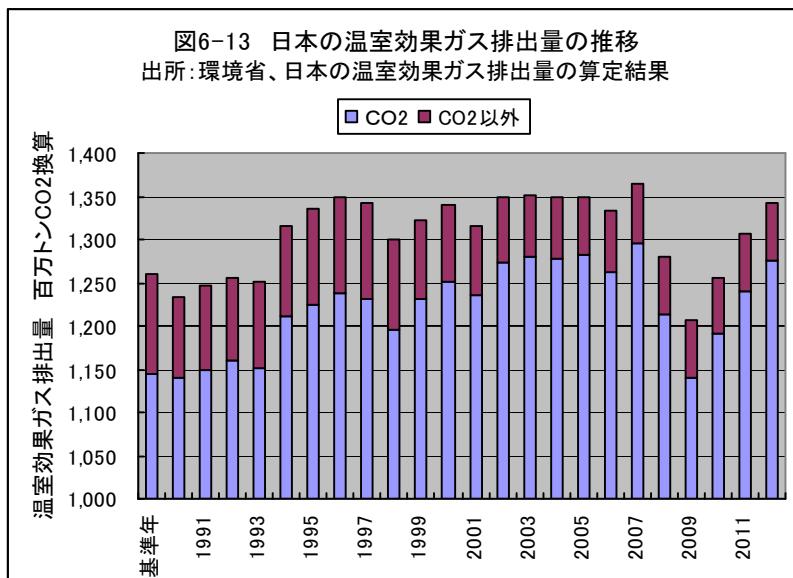


表 6-1 には関連の数値データを示しましたが、京都議定書の基準年と比較して、2010 年度実績の CO₂ 排出量は 4%増加しています。非 CO₂ を含めた温室効果ガス全体では、基準年とほぼ同水準です。

90 年比で 6%削減が達成できたのは、森林吸収分と、外国にお金を払って取得した京都メカニズムクレジットを併せた結果です。これについては、8 章でもう少し詳しく紹介します。

2010 年度実績の原発発電量を LNG コンバインド・サイクルで代替した場

合には、表 6-1 に示すように、温室効果ガス排出量は基準年に比べて 8%増加することになります。

表 6-1 日本の温室効果ガス排出量と試算値

	排出量 百万トンCO2換算			基準年比増減 %	
	CO2	CO2以外	GHG合計	CO2	GHG合計
基準年	1,144	117	1,261	-	-
2010年度実績	1,191	65	1,256	4.1	-0.4
2010年度原発転換	1,299	65	1,364	13.5	8.2
90年比20%削減	944	65	1,009	-17.5	-20

<2020 年以降の削減目標>

日本は、京都議定書の第 1 約束期間については何とかクリアし、第 2 約束期間については不参加を表明しました。この先問題になるのは、2020 年以降の温室効果ガス削減目標です。2015 年には、削減の自主目標を公表する必要があります。

2014 年 1 月に、EU は 2030 年の温室効果ガスの削減目標を 90 年比 40% とすることを提案しました。日本は脱原発を選択したとしても、世界第 3 位の経済大国として、一桁台の削減率を主張したのでは世界から受け入れられないと思います。少なくとも、90 年比 20%程度の削減を求められるべきでしよう。

表 6-1 には、90 年比 20% 削減の温室効果ガスの排出量も併記しています。脱原発で、ガス発電に転換して CO2 が増加した状態を基準に考えると、そこから、CO2 を 27% 削減することが必要になります。1990 年から 2010 年までの 20 年間に、CO2 削減どころか、4% 増加してしまった事実を考えれば、27% の削減は並大抵のことではありません。不可能ではありませんが、それなりの経済的負担を覚悟する必要があります。CO2 削減の道筋を示し、どれだけの負担が伴うかを示すことが重要であると思います。

6.4 天然ガスの漏洩による温暖化

天然ガスの 90% 前後はメタンです。メタンの温室効果を表す地球温暖化係

数は、CO₂の21倍とされます。そのため、天然ガスの生産や流通、利用過程での漏洩は、温暖化防止にとって重要な問題になります。本項では、天然ガスやシェールガスの開発・生産に伴うメタンの漏洩の話題を紹介します。

<シェールガス生産での漏洩>

シェールガスの開発・生産に関する環境問題は、以前から指摘されていました。2011年にコーネル大学のハワース教授のグループが、シェールガスの掘削時に大量のメタン漏洩があり、生産から消費までのLCA評価を行うと、石炭よりも温室効果ガス排出量が大きい可能性があると指摘し、関心が集まりました。シェールガス開発では、水圧破碎工程で、フローバック水の回収を適正に行わないと、水に随伴するメタンが大気に放散されます。

しかし、ハワード教授の報告にはデータの誤用があることや、メタンの温室効果が過大となる地球温暖化係数を用いている等の指摘を受けたと報告されています。その後、メタンの漏洩を考慮しても、天然ガスが石炭よりも温暖化影響が大きいという極端な指摘はないようです。

<EPA の漏洩基準>

米国環境省（略EPA）の温室効果ガス排出の一覧表（インベントリー）の書類には、温室効果ガスの一つであるメタン排出量の算定方法も記されています。天然ガスやシェールガスの開発・生産でのメタン漏洩に関するレポートの多くは、測定値とEPA基準との大小を比較しています。ガス井地帯の測定値が、EPAの算定値に納まっているというレポートもあれば、非常に高い測定値が観測されたというレポートもみられます。

<技術文献レビュー>

一例として、米国Science誌に最近掲載された下記レポートを紹介します。著者はスタンフォード大、MIT、ハーバード大、米エネルギー省研究所などの16名です。

Methane Leaks from North American Natural Gas Systems,

Science Vol.343, 2014年2月

過去20年間の天然ガス漏洩に関する技術文献のレビューを行い、次のこ

とを見出したと記しています。

①メタン漏洩で重要な天然ガスと石油の部門に関し、公的なリスト（EPA のインベントリー）が、実際のメタン漏洩を一貫して過小評価していることを、全てのスケールにおける測定が示している。

②少數のスーパー漏洩が、漏洩量の大きな部分の原因になり得ることを、多くの独立した実験が示している。

③非常に高い漏洩率を示している、最近の地域的な航空機による大気調査は、典型的な天然ガスシステムの漏洩率を代表するものである可能性は低い。

④100 年のインパクト指標を用いた評価で、システム全体の漏洩が、石炭から天然ガスへの転換による温暖化防止の効果を否定するのに十分な大きさになることは、殆どあり得ないことを示している。

<CNG 車は環境に優しくない?>

天然ガスの LCA 評価は、EPA のメタン漏洩基準に大きく依存しており、一方、EPA はメタンの排出を過小評価していると、このレポートは指摘しています。この点を見直して LCA 評価をすると、自動車のガソリンやディーゼル燃料を天然ガスに転換しても、温暖化防止の効果があるかは不確かであると述べています。

このレポートの情報をもとに米国のマスコミは、ディーゼル・バスを CNG 車に変更することは、環境に優しくないかも知れないと報じました。

天然ガスの生産・利用過程で現状漏洩するメタンの量は、天然ガスから石炭への転換による温暖化防止効果を否定するほど大きくはないが、無視できるような漏洩量でもないということでしょう。

但し、メタン漏洩を検知して減らすことは可能であり、また、漏洩メタンを回収して利用することが経済的にも成り立つ場合も多いようです。

一方で、高濃度のPM2.5 の排出管理すらできない国で、天然ガスやシェールガスの生産が行われれば、メタン漏洩のために、石油から天然ガスへの転換は、温暖化防止にマイナスになるかもしれません。

このレポートは、少し文学的な表現で締め括られています。それは、本章

のタイトルの問い合わせにも答えるもののように思います。以下にそれを引用し、本章のまとめとします。

If natural gas is to be a “bridge” to a more sustainable energy future, it is a bridge that must be traversed carefully: Diligence will be required to ensure that leakage rates are low enough to achieve sustainability goals.