

# 特集 資源革命を起こせ！化石燃料の新たな挑戦と展望

特集

北米での「シェール革命」が北米の経済や資源ビジネスに大きな変革をもたらしているだけでなく、世界的なエネルギー需給に大きなインパクトを与えている。一方、日本でも、2012年10月に秋田県にある鮎川油ガス田で地中の岩盤層に含まれる原油（シェールオイル）の採掘に成功したことや、2013年3月に愛知県沖の海洋でのメタンハイドレート由来のガス採取に世界で初めて成功したことは報道等で大きな話題となった。このように、近年、シェールガス、シェールオイル、メタンハイドレート、超重質油、低品位炭など、従来あまり利用されていなかったエネルギー資源（本特集では“非在来型資源”とする）が注目されている。

本誌の新春大特集ではこのような“非在来型資源”に注目し、その埋蔵量や資源開発の状況、世界のエネルギー需給に与えるインパクトなど、最近の化石資源動向の全体像を解説し、近い将来の趨勢を俯瞰する。また、“非在来型資源”を活用するために注目される技術を化学工学的な視点も絡めて紹介する。

なお、“非在来型資源”について明確な定義はないが、石油・天然ガス資源開発の分野では、「在来型の石油・ガス田以外から開発される石油・天然ガス」と定義されることが多い。本特集では、これに低品位炭などの石炭資源も含めて、従来あまり利用されていなかったエネルギー資源全般を“非在来型資源”と定義する。

“非在来型資源”へ挑戦することにより、日本の資源獲得に繋げるだけでなく、日本発の技術で世界的なエネルギー革命を起こすことも夢ではないだろう。本特集がそのような夢への第一歩となることを期待したい。

（編集担当：渡邊嘉之）†

## 非在来型資源が世界のエネルギー需給に与えるインパクト

柳澤 明・松尾 雄司

### 1. はじめに

シェール革命は米国を世界最大の天然ガス生産国に押し上げた。さらに、非在来型資源の開発促進は石油にも及び、早ければ2013年に米国は世界最大の石油・天然ガス生産国になると見込まれている。世界最大の石油輸入国が米国から中国に入れ替わるのも遠い将来の話ではなくなってきている。非在来型資源にかかる技術革新が、世界のエネルギーシステムに大きな変革をもたらしている。

Impacts on the Global Energy Supply and Demand by Unconventional Resource Development

Akira YANAGISAWA

現在 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット 研究主幹

Yuhji MATSUO

現在 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット 兼 戦略研究ユニット 研究主幹

2013年11月11日受理



（出典）BP「BP Statistical Review of World Energy June 2013」

図1 石油・天然ガス三大生産国の生産量

† Watanabe, Y. 平成25, 26年度化工誌編集委員(1号特集主査) 日揮(株)テクノロジーイノベーションセンター 技術ビジネス開発部

## 2. 非在来型資源の開発促進により見込まれる効果

米国に端を発するシェール革命は、北米を越えて各国での非在来資源の開発につながることも期待されている。その実現には、非在来型資源の生産から消費に至るまでの技術・インフラ・制度の充実と社会による受容が必要である。これらの好条件がそろえば、各国そして国際エネルギー市場のみならず、各国の経済や産業競争力に対しても影響が及ぶこととなる。その見込まれる変化は具体的には以下のとおりである。

### (1) エネルギー価格

原油・天然ガスは、生産拡大に伴い価格が低下する。石炭や電力も、競合や燃料費低減を通じて低下する。価格が廉価になることで、エネルギー需要には増加圧力が働く。

### (2) 化石燃料利用

天然ガスが価格競争力を増すことにより、石炭発電から天然ガス発電への転換、天然ガス自動車の導入拡大など、化石燃料間での燃料転換が誘発される。

### (3) 再生可能エネルギー・原子力

世界的に導入が進められている再生可能エネルギーや原子力は、相対的にコスト高となることで、今後の導入が鈍化する国が出てくる。その一方で、エネルギー安全保障や気候変動対策の視点から、これらの非化石エネルギーの導入量を維持する国もある。

### (4) エネルギー貿易

比較的広く賦存する非在来型資源の開発が世界各地で進むことで、中東・旧ソ連などの伝統的な石油・天然ガス輸出地域に対するニーズが減殺される。一方で、これまでとは異なる地域間で石油・天然ガスの貿易がおこなわれるようになる。

### (5) 経済

石油・天然ガス業と関連産業の隆盛、エネルギー価格の低下、エネルギー純輸入の抑制あるいは純輸出の増加などにより、非在来型資源の開発が進む国では、経済に追い風となる。同時に、これらの国の経済拡大と国際エネルギー価格の低下などにより、非在来型資源の開発があまり見込めない国の経済にも影響が及ぶ。

以下では、日本エネルギー経済研究所の「アジア/世界エネルギーアウトック 2013」における「開発促進ケース」<sup>注1)</sup>を「レファレンスケース」<sup>注2)</sup>と対比させることにより、非在来型資源の開発促進が世界のエネルギー需給・経済に与えるインパクトを概説する。

## 2.1 天然ガス・石油生産

世界の天然ガス生産は、2011年の3,384十億立方メートル

ル [Bcm] から2040年にはレファレンスケースでは5,411 Bcmまで拡大する。開発促進ケースでは各地域で非在来型の開発が進むことで6,180 Bcmまで拡大し、生産量の36%が非在来型によって賄われるに至る。

一方、石油は2011年の日量85百万バレル [Mb/d] から、2040年にはレファレンスケースでは115 Mb/dまで拡大する。開発促進ケースでの生産総量はこれとほぼ同じ114 Mb/dであるが、北米・中南米・中国などを中心に非在来型の開発が26 Mb/dまで進む。

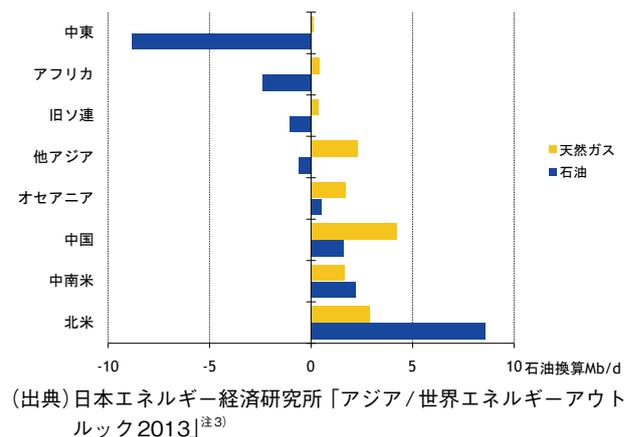


図2 開発促進による石油・天然ガス生産量の変化 (開発促進ケース2040年, レファレンスケース比)

## 2.2 国際エネルギー価格

非在来型資源の開発に伴う供給量の増加により、一次エネルギー価格は低下すると想定した。

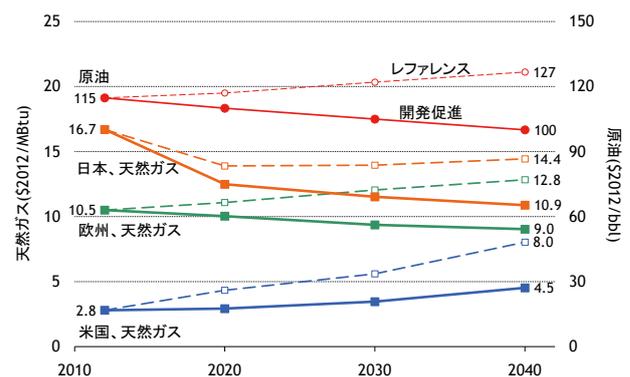


図3 原油・天然ガス価格の想定

注1) 非在来型資源の供給にかかる技術・インフラ制度が充実する結果、シェールガス・シェールオイルをはじめとする非在来型資源の活用が北米のみならず世界各地で進展するケース。

注2) 過去の趨勢と現在までのエネルギー・環境政策等を背景とするケース。人口・経済・(在来型資源を除く)エネルギー技術などの前提は、レファレンスケースと開発促進ケースとで共通である。

注3) 以下同じ。

2040年の原油価格(2012年実質価格)は、レファレンスケースの1バレルあたり127ドルから、開発促進ケースでは現在(2012年)より安い\$100/bblにまで下落する。日本の液化天然ガス(LNG)輸入価格は百万英国熱量単位[MBtu]あたり14.4ドル(\$747/t)から\$10.9/MBtu(\$563/t)へと下落する。天然ガス価格の主要地域間格差は現在より縮小に向かうものの、国内でシェールガスを大量に産出する米国の価格と、液化・輸送費用がかかる日本の輸入価格との間には値差が残る。

### 2.3 エネルギー消費

開発促進ケースでは、天然ガスは価格が低下することで、2040年におけるその消費量は2011年の倍の石油換算5,547百万トン [Mtoe] まで大幅に上ぶれする。2030年代後半には石炭を抜き、石油に次ぐ第2のエネルギーに躍進する。消費量増の中心は発電部門であり、天然ガスの追加的な消費増分の3分の2が発生する。

石油も非在来型の増産が進むものの、天然ガスと異なり

ストレートには消費の拡大につながらない。これは、中東など従来の生産地域が価格防衛のために生産量の調整をおこなうこと、石油消費が運輸部門に今後ますます集中してゆくことでいっそう価格に対して非弾力的となることなどに起因する。一方で、部分的には天然ガスによる代替が進むことにより、消費量はレファレンスケース比でむしろ抑制される。

発電用において天然ガスの競合燃料である石炭は、価格競争力の低下により、大幅に侵食される。同様に発電用エネルギーである原子力や太陽光・風力などの再生可能エネルギーも天然ガスの挑戦を受けることになる。しかし、これらの非化石エネルギーの導入は、エネルギー安全保障や気候変動への対策といった側面もあることから、石炭に比べれば影響は限定的となる。

### 2.4 石油純輸入・貿易

開発促進ケースでは、北米は石油生産増に伴い2040年の石油純輸出量が9 Mb/dにまで拡大し、資源大陸であるアフ

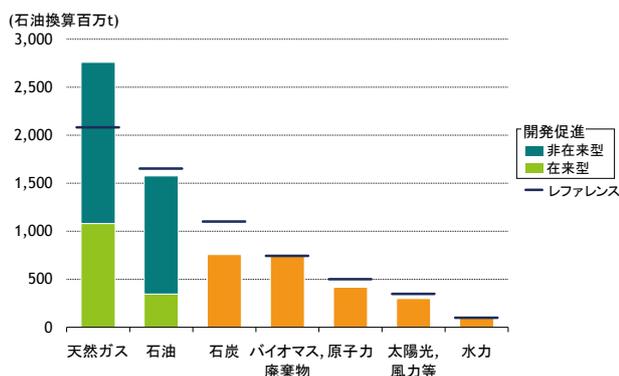


図4 一次エネルギー消費の増分 (開発促進ケース2040年, 2011年比)

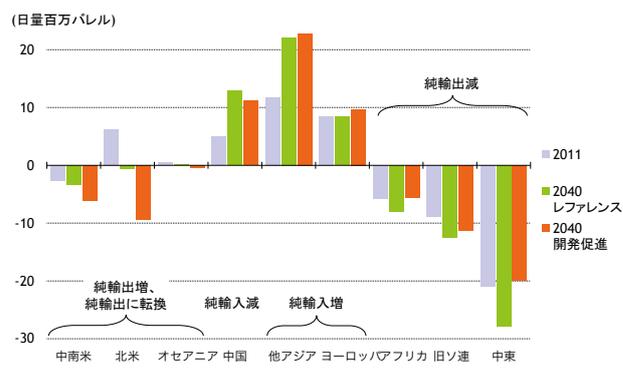


図5 石油純輸入(2011年, 2040年)



図6 原油貿易主要フロー(開発促進ケース2040年)

リカを上回る一大石油輸出拠点となる。中国は純輸入量がレファレンスケース比で2 Mb/d減少する。伝統的な石油輸出地域である中東、アフリカの純輸出量は、レファレンスケースでは今後も拡大が見込まれるが、非在来型資源の開発がいつそう促進すれば、2011年を下回る水準となる。

開発促進ケースで北米から輸出される大量の原油は、東アジアへ向かう。また、中南米からもこれまで以上の原油がアジアを目指すことになる。それでもアジアにとって中東は重要な原油供給源であり続ける。一方で、中東原油は北米やヨーロッパには輸出されなくなり、中東の貿易相手としてのアジアのプレゼンスが高まることになる。このため、アジアと中東の関係強化が今後ますます重要となる。

### 2.5 天然ガス純輸入・貿易

天然ガスでは、2011年にはほぼ需給均衡状態であったオセアニア・北米から大量のLNGが輸出されるようになる。中国ではレファレンスケース比で純輸入量が抑制される。一方、中東や旧ソ連の純輸出は2011年よりは拡大す

るものの、レファレンスケース比では縮小する。非在来型資源開発の促進は、アジアとヨーロッパの天然ガス純輸入地域としての位置づけをいつそう鮮明にする。

開発促進ケースで北米・オセアニアから輸出される大量のLNGはアジアを目指す。のみならず、今後天然ガス需要が大きく伸びるアジアは、世界各地にその供給源を求めることになる。ヨーロッパは非在来型資源の開発促進により天然ガス消費を増加させるが、北米・アフリカからの輸出増により、ヨーロッパ市場への主要な供給源であった旧ソ連・中東からの輸出の一部は押し出される形となる。

### 2.6 エネルギー起源二酸化炭素排出

非在来型資源の開発促進により、石炭や石油に比べ熱量あたりの二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量が少ない天然ガスの利用が増えることで、CO<sub>2</sub>排出の削減が期待されている。しかしながら、開発促進ケースにおける2040年のCO<sub>2</sub>排出量はレファレンスケース比で0.1%減とほとんど変わらない。これは、天然ガスへの燃料転換が排出減に寄与する一方で、原

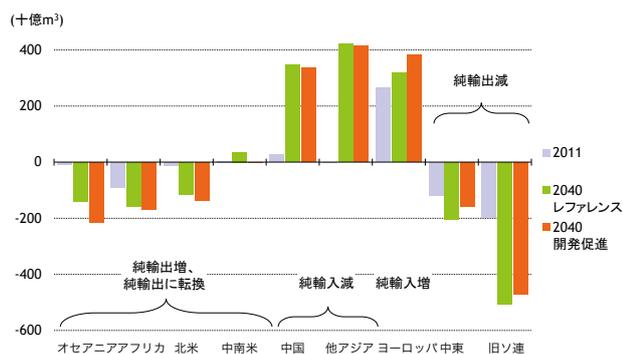


図7 天然ガス純輸入(2011年, 2040年)

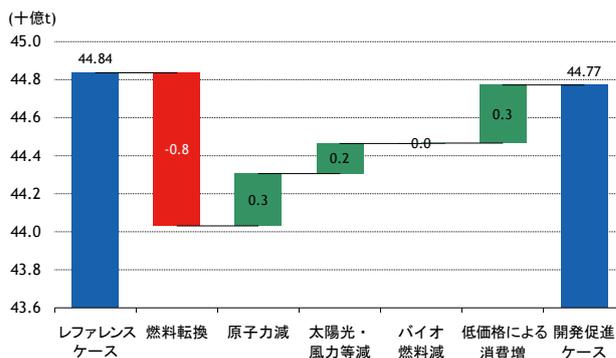
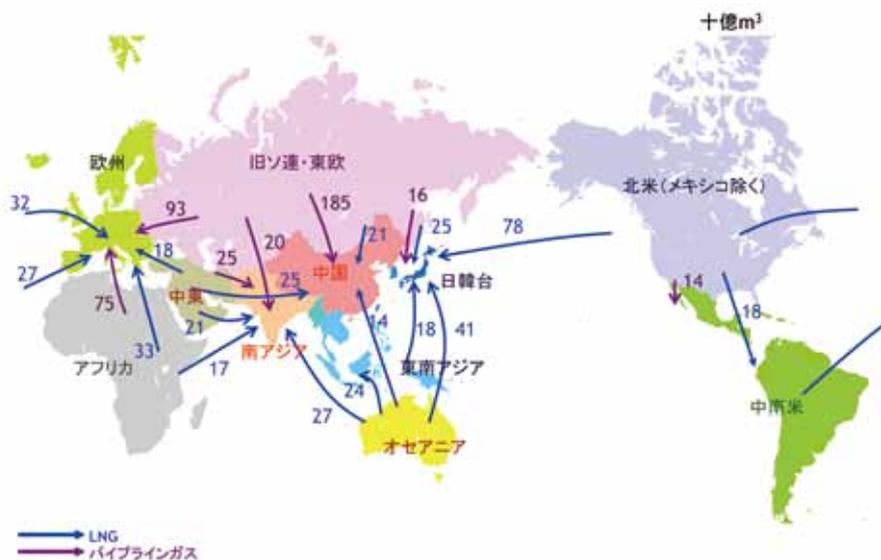


図9 CO<sub>2</sub>排出量への影響(2040年)



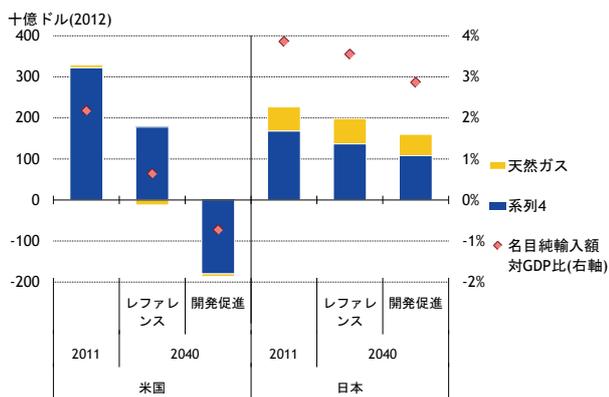


図10 石油・天然ガス純輸入額(2011年, 2040年)

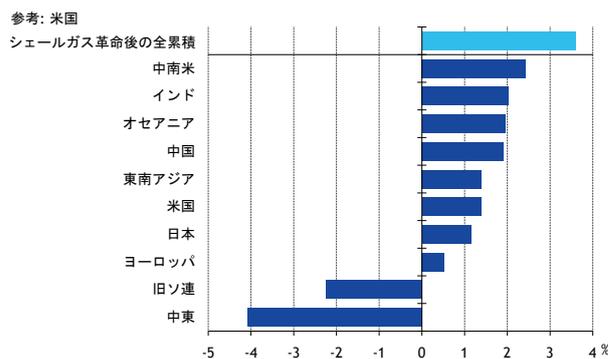


図11 実質GDPへの影響  
(開発促進ケース2040年, レファレンスケース比)

子力・再生可能エネルギー導入の鈍化, さらにはエネルギー価格の低下による消費増が排出量を増大させるためである。

なお, 原子力・再生可能エネルギー導入の鈍化が限定的で, 石炭代替効果がとりわけ効くアジアでの削減率は1.1%と世界全体よりは大きめである。しかしながら, 今後30年間でこの地域の排出量が65%増加するのと比較すると, 削減効果は極めて限定的である。

### 2.7 石油・天然ガス純輸入額

天然ガスから始まった米国でのシェール革命であるが, 経済的には天然ガスより石油の方が大きな影響力を持つ。

米国は2040年において, レファレンスケースでは石油の純輸入に1,780億ドルを支払うものが, 開発促進ケースでは1,800億ドル以上の石油純輸出収入を手にする。日本では非在来型資源の開発はほとんど見込めないものの, 開発促進ケースにおける天然ガス消費量の増加を考慮しても, 国際エネルギー価格の下落により石油・天然ガス輸入額で400億ドル(名目GDP比0.7%)の節減を享受できる。

### 2.8 マクロ経済

非在来型資源の開発促進で, 石油・天然ガス業と関連産業の拡大, エネルギー純輸入額の減少, エネルギー価格の下落に始まる好循環により, 各国経済には追い風が吹くことになる。その程度は, 単に石油・天然ガスの増産量のみならず, 産業構造, 経済全体に占める石油・天然ガス業のポーション, エネルギー需給構造, 貿易相手国の外需の変化などにも左右される。

非在来型資源の開発促進による経済加速効果が最も大きいのは, 経済規模に比べ増産量が多い中南米やオセアニアである。また, インドや中国でもGDP押し上げの程度が大きい。これらの国はエネルギー効率が悪く, 浪費をしているため, 価格下落によるコスト低減効果が大きく, 経済への影響程度も大きい<sup>注4)</sup>。米国は追加的な効果はそれほど大きくないが, これはレファレンスケースでも相当の非在来型資源の開発が見込まれるためである。一方で, 石油・天然ガス輸出先の一部喪失と価格下落により, 中東・旧ソ連といった伝統的なエネルギー生産国の経済には下押し効果が働く。

## 3. おわりに

非在来型資源の開発は本格化してまだそれほど年月が経っておらず, 今後のエネルギーシステムに対してどのような影響をもたらすのか見極めるには不透明な部分も多い。ただし, 例えばCO<sub>2</sub>排出で見たように, 好影響を減殺するような副作用もあることから, 過度に楽観的な見立てにおぼれず, 持続して堅実な行動と判断をなすことが求められる。

注4) 逆に言えば, エネルギー価格の上昇に際しては, 経済への打撃が大きい。