

## アジア/世界エネルギーアウトック 2013

—シェール革命がもたらす変革をどう読むか?—

### 要旨

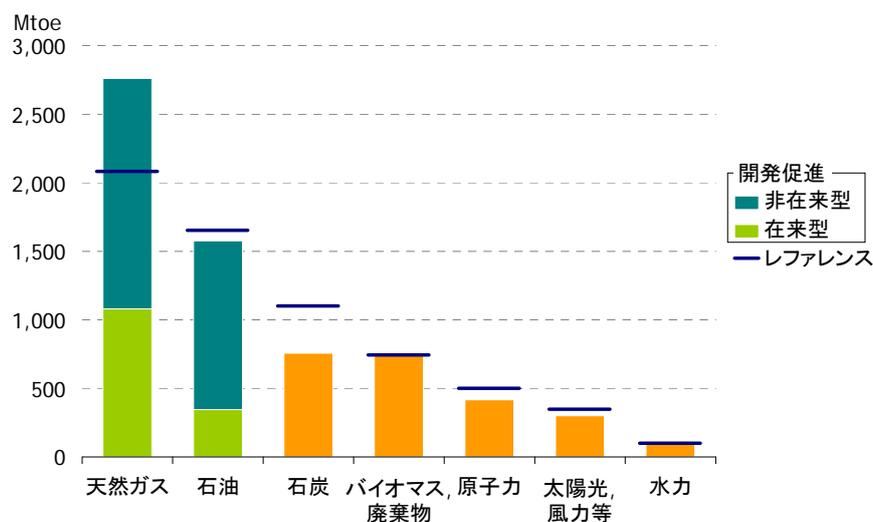
一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

#### 1. シェール革命がもたらす変革

##### 好条件が整えば、天然ガス・石油増産の7割以上が非在来型に

- 本研究では、現在の国際エネルギー情勢の趨勢がそのまま続くとした「レファレンスケース」に加え、米国シェール革命に象徴される非在来型天然ガス・石油資源の開発が、北米も含み世界各地で一層進展する「開発促進ケース」を分析した。後者の場合、世界の天然ガス生産は2040年には現在より83%多い6.18兆立方メートル(Tcm)に達する(レファレンスケース: 5.41 Tcm)。今後30年の増産分のうち、3分の2に相当する1.84 Tcmが非在来型資源による。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、制度の充実が必要である。
- とりわけ、中国・中南米・オーストラリアなどでシェールガスやコールベッドメタンなどの開発が進展し、中国は米国、ロシアに次ぐ世界第3の天然ガス生産国となる。北米はレファレンスケースでも非在来型の生産量が0.78 Tcm (在来型の3倍)となるほど開発が進み、開発促進ケースでは0.94 Tcmとなる。
- 石油も非在来型資源の生産は2011年の日量0.8百万バレル(Mb/d)から、2040年に26 Mb/dまで増大する(レファレンスケース: 7.4 Mb/d)。非在来型石油増産の中心は、米国、中南米、カナダなどとなる。

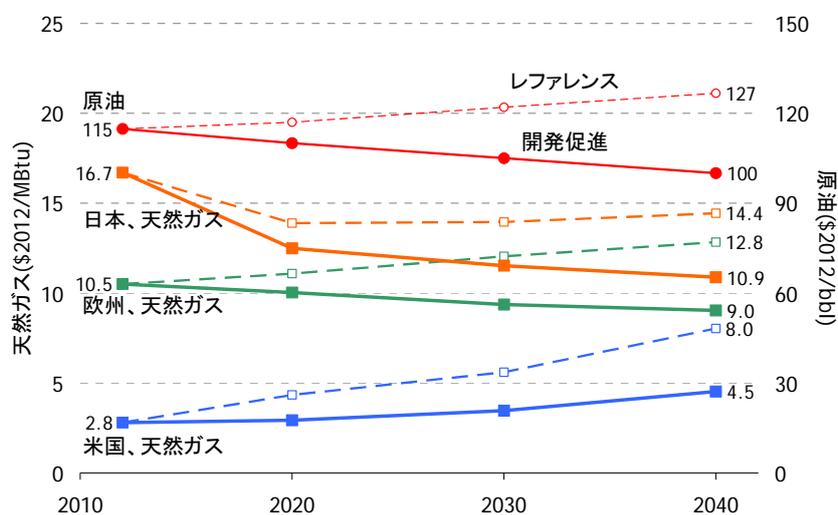
図1 エネルギー供給増分(2011-非在来型資源開発促進ケース2040年)



本見通しは一定の仮定のもとで論理的・数量的整合性に基づく1つの試算として提供するものである。

- 開発促進ケースでは、供給拡大で天然ガス価格・石油価格共にレファレンスケースより低下する。

図2 2040年までの原油・天然ガス価格  
(レファレンスケース及び開発促進ケース)



### 非在来型資源開発促進で、世界のエネルギー需要構造・供給構造は大きく変化する

- 開発促進ケースでは、供給拡大の下での天然ガスの低廉化により、発電部門での主要な競合エネルギーである石炭の利用拡大が大幅に鈍化する。2040年における石炭の一次消費はレファレンスケース比7%減となり、とりわけ中国においてその傾向が著しい。同様に、原子力、太陽光、風力なども増分が若干圧縮される。一方、石油については、需要が価格非弾力的であることなどのため、価格低下でも消費量の変化は相対的に小幅なものに止まる。エネルギー起源の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出については、原子力等の低炭素電源の導入が遅延するため、レファレンスと開発促進両ケースで、世界全体ではほとんど変わらない。ただし、石炭代替が進む中国では開発促進ケースで3%の減少となる。
- 非在来型資源開発の程度は国際石油・天然ガス貿易構造を変化させる。特に中東・旧ソ連など、在来型資源輸出国への影響は大きい。例えば中東からの石油純輸出は2011年の21 Mb/dから、レファレンスケースでは2040年に28 Mb/dまで大きく増加する。しかし開発促進ケースでは北米・中南米での輸出増の下、中東の石油純輸出は20 Mb/dに止まる。また、旧ソ連からの天然ガス純輸出は2011年の0.16 Tcmから、レファレンスケースでは0.47 Tcmまで拡大する。しかし開発促進ケースでは、北米・豪州での輸出増の下、旧ソ連の天然ガス純輸出は0.42 Tcmに止まる。

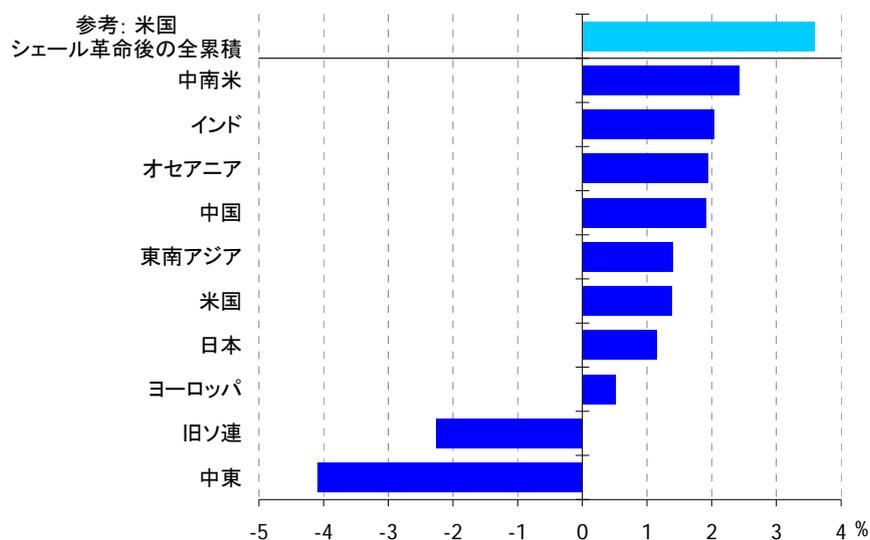
### 非在来型資源開発による経済的恩恵・負担は地域によって大きく異なる

- 開発促進ケースでは、レファレンスケース対比で、天然ガス・石油価格低廉化により、輸入国の経済的負担は軽減される。特に米国は2011年において石油・天然ガス純輸入に3,300億ドル(2012年価格)を費やしていたが、純輸出ポジションを確立する2040年には

1,800億ドル以上の受取に転じる。日本の2040年の石油・天然ガス純輸入額はレファレンスケースの2,000億ドルから開発促進ケースで1,600億ドルへ低減する。中国でも同様に7,800億ドルから5,400億ドルに低下する。

- エネルギー純輸入額の減少に加えて、石油・天然ガス産業及び関連産業の拡大、国内エネルギー価格低廉化という3重のメリットを起点とする好循環により、他の条件が不変だとすれば、米国の2040年のGDPは開発促進ケースでレファレンス対比1.4%、中国は1.9%押し上げられる。なお、米国はレファレンスケースで既にシェール革命により、石油・ガス純輸入国から純輸出国に転じており、シェール革命なかりし場合と比較すれば、4%弱の押し上げとなると試算される。輸入価格低廉化と米国などの経済拡大という間接的な効果を主たる出発点とする日本のGDPの拡大は、米国や中国よりも小さい1.1%である。一方、石油・天然ガスの純輸出が低下する中東、旧ソ連のGDPは各々4.1%、2.3%下押しされる。

図3 非在来型資源開発促進の実質GDPへの影響  
(2040年、レファレンスケース比)



## 2. 2040年までの世界/アジアのエネルギー消費

### <レファレンスケース>

#### エネルギー消費は今後30年間で1.5倍増。その中心にはアジア

- 世界の一次エネルギー消費は、2011年の石油換算13,113百万トン(Mtoe)から、レファレンスケースでは2040年に19,642 Mtoeへと5割増加する。
- 世界のエネルギー消費増分の59%がアジアの非OECD諸国で発生する。アジアは輸入にますます依存するようになり、2040年には世界の主要地域間で取引される原油の77%、天

然ガスの71%がアジアに向かう。アジアは石油では中東との結びつきを一層強める一方で、天然ガスでは世界各地域からの調達を押し進める。

- 世界最大の消費国である中国のエネルギー消費量は拡大を続け、2040年には第2位の米国の1.9倍となる。また、2030年代後半にはインドが世界第3位の消費国となり、その消費量はEU全体を上回る。アジアはエネルギー市場での需要面でのプレゼンスを一層増してゆく。

表1 世界のエネルギー消費(レファレンスケース)

	(石油換算100万トン = Mtoe)						シェア(%)			年平均伸び率(%)				
	1990	2000	2011	2020	2030	2040	1990	2011	2040	1990/ 2011	2011/ 2020	2020/ 2030	2030/ 2040	2011/ 2040
<b>世界</b>	8,782	10,082	13,113	15,216	17,517	19,642	100	100	100	1.9	1.7	1.4	1.2	1.4
[地域別]														
アジア	2,120	2,934	5,058	6,339	7,663	8,931	24	39	45	4.2	2.5	1.9	1.5	2.0
中国	871	1,161	2,728	3,433	4,009	4,423	9.9	21	23	5.6	2.6	1.6	1.0	1.7
インド	317	457	749	1,011	1,403	1,896	3.6	5.7	9.7	4.2	3.4	3.3	3.1	3.3
日本	439	519	461	466	449	425	5.0	3.5	2.2	0.2	0.1	-0.4	-0.6	-0.3
韓国	93	188	260	290	309	310	1.1	2.0	1.6	5.0	1.2	0.6	0.0	0.6
台湾	48	85	109	121	128	130	0.5	0.8	0.7	3.9	1.2	0.6	0.1	0.6
ASEAN	233	377	557	767	1,038	1,349	2.6	4.2	6.9	4.2	3.6	3.1	2.7	3.1
北米	2,124	2,525	2,443	2,494	2,580	2,625	24	19	13	0.7	0.2	0.3	0.2	0.2
米国	1,915	2,273	2,191	2,234	2,299	2,327	22	17	12	0.6	0.2	0.3	0.1	0.2
中南米	467	599	809	1,024	1,284	1,508	5.3	6.2	7.7	2.7	2.7	2.3	1.6	2.2
OECDヨーロッパ	1,619	1,747	1,756	1,806	1,847	1,860	18	13	9.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2
—欧州連合	1,636	1,685	1,654	1,699	1,737	1,753	19	13	8.9	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2
非OECDヨーロッパ	1,537	1,003	1,176	1,273	1,380	1,464	18	9.0	7.5	-1.3	0.9	0.8	0.6	0.8
アフリカ	392	502	700	850	1,037	1,252	4.5	5.3	6.4	2.8	2.2	2.0	1.9	2.0
中東	223	376	670	828	1,027	1,223	2.5	5.1	6.2	5.4	2.4	2.2	1.8	2.1
オセアニア	99	125	141	152	160	165	1.1	1.1	0.8	1.7	0.9	0.5	0.3	0.5
OECD	4,511	5,274	5,282	5,484	5,685	5,795	51	40	30	0.8	0.4	0.4	0.2	0.3
非OECD	4,070	4,537	7,471	9,283	11,294	13,234	46	57	67	2.9	2.4	2.0	1.6	2.0
[エネルギー源別]														
石炭	2,230	2,358	3,776	4,074	4,480	4,877	25	29	25	2.5	0.8	1.0	0.9	0.9
石油	3,230	3,657	4,136	4,694	5,288	5,788	37	32	29	1.2	1.4	1.2	0.9	1.2
天然ガス	1,668	2,072	2,787	3,428	4,173	4,870	19	21	25	2.5	2.3	2.0	1.6	1.9
原子力	526	676	674	891	1,050	1,175	6.0	5.1	6.0	1.2	3.1	1.7	1.1	1.9
水力	184	225	300	344	374	400	2.1	2.3	2.0	2.3	1.5	0.8	0.7	1.0
地熱	34	52	66	113	174	235	0.4	0.5	1.2	3.2	6.1	4.5	3.1	4.5
太陽光・風力等	2.4	7.9	61	118	174	239	0.0	0.5	1.2	16.8	7.5	4.0	3.3	4.8
バイオマス・廃棄物	907	1,033	1,312	1,554	1,802	2,055	10	10	10	1.8	1.9	1.5	1.3	1.6

注: 世界計は国際バンカーを含む

### 着実に増加する原子力と再生可能エネルギー

- 原子力は、OECDヨーロッパと日本を除く各地域で増加する。電力需要が大きく増加する中国・インドなどの新興国のほか、ロシア・中東・米国などでも積極的な導入が図られ、世界の原子力発電設備容量は2012年の3.88億kWから、2040年に6.31億kWに拡大する。
- 世界的に利用拡大が進む太陽光・風力などは、合計で2040年までに2011年から3.9倍増となる。水力を除いても世界の電力の10%が2040年には再生可能エネルギー発電によって供給されるようになる。一方、全ての再生可能エネルギーの増分のうち62%が、発展途上国の薪などに代表される低コストのバイオマスによるものである。

### それでも世界は化石燃料に頼り続ける

- 水力からバイオマスまで再生可能エネルギーを全て足し合わせると、2040年までの増分としては、天然ガス、石油に次ぐ規模となるものの、シェアとしては現在の13%が15%となるに過ぎない。現在、一次エネルギー消費の82%を化石燃料(石油・石炭・天然ガス)が占めているが、今後の増分の4分の3が化石燃料によって賄われる。このため、2040年においても化石燃料に大きく依存する世界の構図は変わらない。
- 石油消費量は、2011年の85 Mb/dから、2020年代半ばには100 Mb/dを突破し、2040年には118 Mb/dまで増加する。その増分34 Mb/dのうち21 Mb/dまでが、自動車を中心とする運輸部門によるものである。2040年においては、石油の57%が運輸部門で消費され、運輸部門エネルギー消費の88%が石油となる。
- 天然ガスは、発電用消費と民生・産業など最終消費のいずれでも大きく増加し、この先30年間で最も伸長するエネルギー源となる。2040年の消費量は5.41 Tcmと石炭に拮抗し、その後ほどなくして石油に次ぐ第2のエネルギーに史上初めて躍り出る。
- 石炭は利用の効率化、エネルギー代替、中国での工業生産動向の変化などにより、今日見られる急速な増加は鈍化する。この先約30年の増分は石炭換算1,573百万トン(Mtce)と、過去10年の2,000 Mtceを下回る。今後の増分のほとんどは、用途としては発電用で、地域としてはインド・中国・ASEANで発生する。

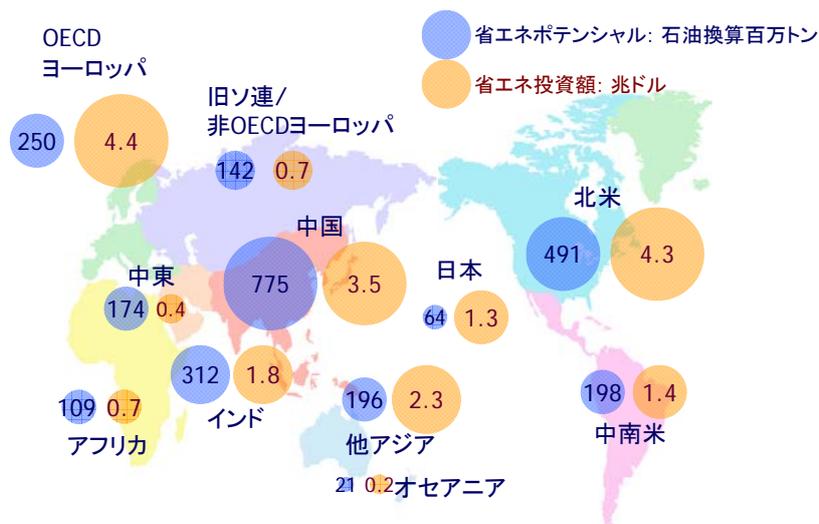
### 3. 省エネルギーとCO<sub>2</sub>削減ポテンシャル

#### <技術進展ケース>

#### 最大限の対策がもたらす省エネルギー量は、中国の現在のエネルギー消費量に匹敵

- 本研究では、「レファレンスケース」に加えて、エネルギー安全保障・気候変動対策強化のため、需要・供給両サイドにおけるエネルギー技術の大幅な進展を織り込んだ「技術進展ケース」の分析を行った。技術進展ケースにおける世界の2040年の一次エネルギー消費は、レファレンスケース比2,731 Mtoe減(14%減)の16,910 Mtoeまで抑制される。
- 技術進展ケースでは、石炭消費は早々にピークを打つ。2040年には現在より12%少なくなり、最も消費が削減されるエネルギー源となる。石油と天然ガスの消費は増加を続けるものの、そのペースはレファレンスケースと比較するとかなり鈍い。石油の節減量は現在のサウジアラビアとロシアの生産量を上回り、天然ガスの節減量はロシアとアメリカの生産量に比肩する。
- 今後経済が拡大し、一方で豊富な省エネルギー対策ポテンシャルを有する非OECD諸国やアジアでは、技術進展によってエネルギー消費量に大きな差が出る。技術進展による2040年における世界の省エネルギー量のうち、非OECD諸国による寄与は3分の2、アジアによる寄与は半分に上る。これらの地域が世界のエネルギーシステム変革の鍵を握っている。

図4 地域別省エネルギーポテンシャルと累積省エネ投資額(2040年)

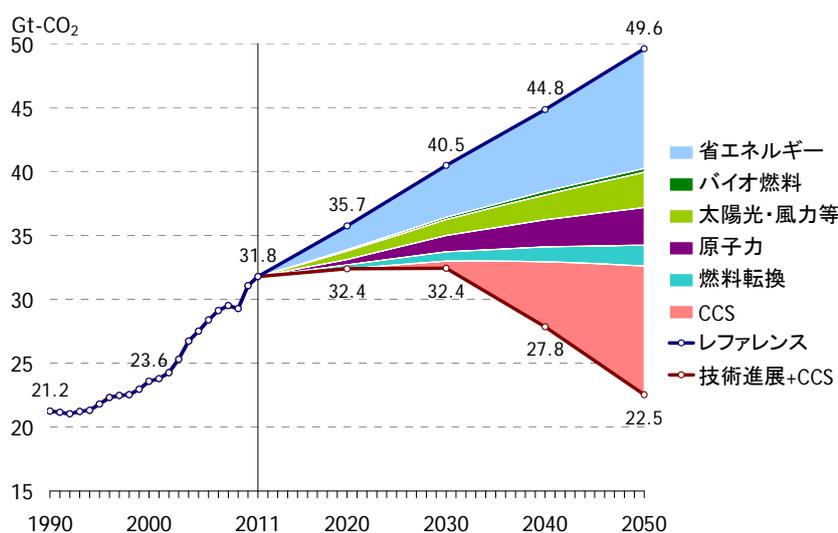


省エネルギーポテンシャルは、2040年における技術進展ケースとレファレンスケースの一次エネルギー消費量の差。投資額は、2040年までの両ケースにおける省エネルギー投資の差額。

### 気候変動対策は現実的な目標と取り組みを

- 2050年におけるエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出は、レファレンスケースでは現在より56%多い496億トンに達する。一方、技術進展ケースでは2030年代半ばをピークとして、その後減少傾向に転じる。特に、火力発電や産業部門における二酸化炭素回収・貯留(CCS)による削減を加味すると、排出量は2030年ごろには減少に転じ、2050年には225億トン(2005年比18%減)となる。しかしながら、排出量を2050年に現状比半減させることはできない。

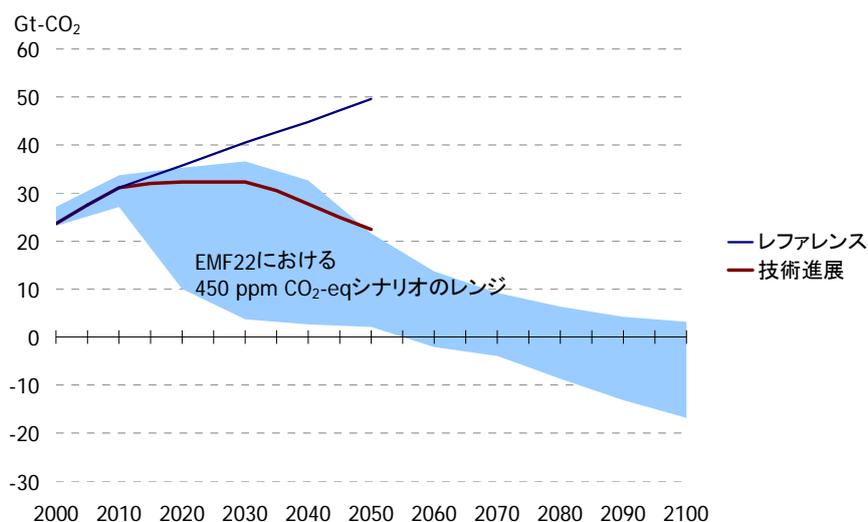
図5 世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出と対策別削減寄与(レファレンスケース、技術進展ケース+CCS)



- 大気中の温室効果ガス(GHG)濃度を21世紀末にCO<sub>2</sub>換算450 ppmまで引き下げることは、技術進展ケースでも2050年のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出が各種試算の幅の上限を若干上回ることから容易ではないが、可能性は残されている。今回の技術進展ケースは2050年で

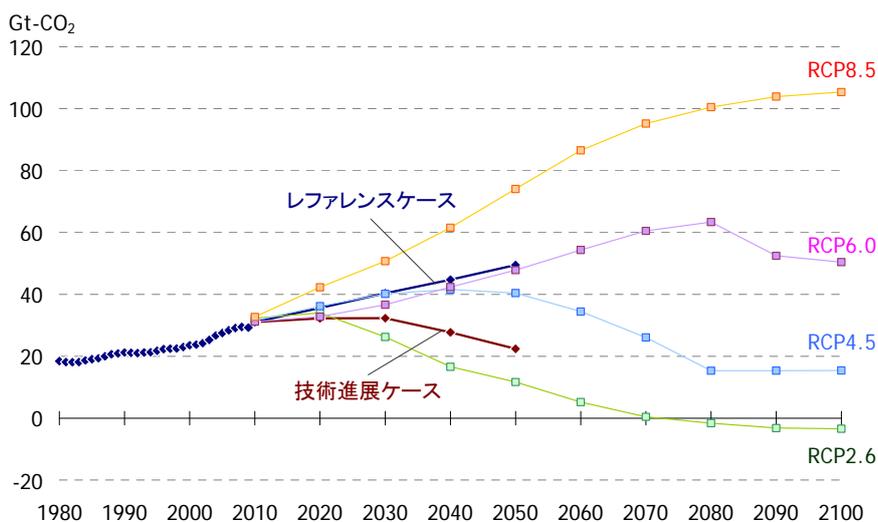
2°Cシナリオのほぼ上限あたりであり、2050年以降はさらに大幅な削減を行わない限り2°C目標の達成の可能性は低くなる。その実現のためには、2050年以降の大幅削減に向け、大気中のCO<sub>2</sub>を純削減できるCCS付きバイオエネルギーや、人工光合成などのCCU(二酸化炭素回収・活用)技術を含む、ドラスティックな革新的技術の開発と普及の促進が必要である。なお、極めて長期にわたる対応を要することから、温暖化予測の確度をあげるための今後の科学的知見の拡張・深化や累積排出量を左右する世界規模での削減対策の浸透を早める方策、エネルギー起源CO<sub>2</sub>以外のGHGの削減努力なども重要な課題である。

図6 450ppmシナリオとレファレンスケース・技術進展ケースの比較



EMF22: エネルギー・モデリング・フォーラム第22作業部会。世界の主要な10の統合評価モデルが参加し、長期的なGHG濃度やオーバーシュートの有無等が検討された。

図7 IPCC第五次報告書における代表的濃度経路(RCP)との比較



代表的濃度経路(RCP: Representative Concentration Pathways)とは放射強制力の大きさ別に作成された4つのシナリオであり、産業化以前から21世紀末までの平均気温上昇はRCP2.6、4.5、6.0及び8.5でそれぞれ1.6±0.4°C、2.4±0.5°C、2.8±0.5°C及び4.3±0.7°Cとされる。

#### 4. よりよいエネルギーシステムの実現に向けて

##### 「ふたつの道のうち、どっちにしても極端に走るような人は、嫌悪すべきだ」(W. Shakespeare)

- 化石燃料に依存したエネルギー消費の大幅な増加は、エネルギー市場の不安定化、環境負荷の増大、エネルギーコストの増大などを引き起こす要因となりうる。それは、世界の持続可能な発展を阻む重大なリスクである。一方で、原子力等のエネルギーの安全確保は、当然の前提である。
- 問題解決にあたっては、いわゆる3E (Energy Security: エネルギー安全保障、Environmental Protection: 環境保全、Economic Efficiency: 経済性)とS (Safety: 安全性)を評価軸にしっかり据え、中長期的かつ総合的な視野をもって取り組むことが必須である。残念ながら解決のための万能な方策は存在しない。需要面では「より一層の省エネルギー」、供給面では「よりクリーンな化石燃料利用」、「より安価な再生可能エネルギー」、「より安全な原子力」などあらゆる対策を世界規模で動員することが欠かせない。

##### 「『やる気になった』というだけでは、道半ば」(J. W. Goethe)

- 化石燃料資源に恵まれず、その供給のほぼ全てを輸入に依存する日本にとって、エネルギー安全保障はとりわけ重要な課題である。化石燃料調達においては、中長期的な国際連携、とりわけエネルギー消費国としてのアジア諸国との連携・協力強化が重要である。また、中東などのエネルギー生産国の経済発展のコモディティ依存の低減に向けた技術・教育協力支援などを通じて関係強化を図りつつ、北米・ロシアなどからのLNG調達など、供給源の多様化も進める必要がある。
- 気候変動問題に関しては、「地球益」追及を重視しつつも合理的・現実的な目標を掲げた上で、有効かつ効率的な削減を国内外で展開してゆくことが重要である。CO<sub>2</sub>や他のGHGの効率的・効果的な排出削減ポテンシャルが豊富に存在するアジアでの措置について、有効な方策を探るべきである。
- 今後もアジアを中心に原子力発電の増強が進む。福島事故の教訓をふまえ、安全規制の国際標準の策定、安全技術の共有、人材育成などを通じて原子力の安全確保に国際貢献することも重要である。
- 世界とアジアの持続可能な発展のため、今後も日本の果たすべき役割は大きい。ニーズに適合した省エネルギー技術や環境対策技術をさらに磨きあげ、展開する場を広げることが重要である。それは、日本の成長戦略及び国際エネルギー戦略にとって主要な柱となるべきものでもある。

お問い合わせ: [report@tky.ieej.or.jp](mailto:report@tky.ieej.or.jp)