講 演

環境保全への国際的取り組み*

中 西 聡**

(Received January 13, 2007 : accepted March 9, 2007)

International Cooperation in Environmental Protection

Satoshi Nakanishi

Abstract : To reduce damage to the environment, both locally and globally, while meeting the rising demand for oil is a big challenge for oil companies. This presentation explores what has been done to protect the environment in Sakhalin II and Canadian oil sands projects, touching on the complexity of environmental issues and important roles which oil companies should play.

Of the many environmental issues faced today, the risk of global climate change is now growing and generates enormous public interest. In the meantime, oil is projected to maintain a major position in supplying primary energy for a long time to come. To tackle this problem, increases in energy efficiency and a shift to non-fossil fuels are of utmost importance.

Along with these measures, gas flaring reduction and carbon capture and storage (CCS) are also very effective ways to reduce global warming gas emissions.

In spite of the efforts taken by individual oil companies, the amount of global gas flaring still remains at a high level because of several constraints encountered in flaring countries. While CCS is a very promising option for drastically reducing emissions if applied at large power plants which burn fossil fuels, there is still a long way to go for this option to be accepted as a reliable and affordable means.

This presentation reviews international efforts to promote these two measures and provides information on how they are progressing in Russia, Nigeria, Canada and the EU.

Lastly, the presentation highlights some specific topics in related international carbon reduction efforts including CDM, CCS EOR, emissions trading and increasing public awareness in environmental issues.

The concluding message is that the challenge for sustainable energy development in the new century has already started, and the roles of oil companies are essential as a main player in the high energy society.

Key words : sustainable energy development, gas flaring reduction, carbon capture and storage, CDM, CCSEOR

1. はじめに

開発と環境保全の両立は社会の重大テーマであり、なかでも石油・ガスなど化石燃料の開発・消費が拡大し、その結果引き起こされる環境破壊への懸念が大きくなっ

*平成 18 年 10 月 31 日、平成 18 年度石油技術協会秋季講演会「地球環境にやさしいエネルギー開発技術」(～石油開発における環境保全への取り組み～)にて講演 This paper was delivered at the 2006 JAPT Autumn Meeting entitled "Environment & Energy Development – Challenges for Environmental Management in the Oil Industry" held in Tokyo, Japan, October 31, 2006.

** (財)日本エネルギー経済研究所アジア太平洋エネルギー研究センター The Institute of Energy Economics, Japan, Asia Pacific Energy Research Centre

てきている。この問題への取り組みは新技術への挑戦であると同時に、多くのステークホルダーが絡む複雑で困難な課題でもある。そのなかで、開発の当事者である石油開発会社が果たす役割と社会的責任は大きく、問題解決に向けて積極的な活動が求められるようになってきている。その範囲は石油・ガスの開発現場の生態系や水の保全という地域的環境問題のみならず、化石燃料の大量使用の結果引き起こされる地球温暖化という地球規模の環境問題も含まれるであろう。

本講演では地域的環境問題の事例としてサハリン II とカナダオイルサンド開発プロジェクトをとりあげ、環境問題の複雑さと石油開発会社に求められている社会的責任の大きさについて述べる。カナダオイルサンドに代

表される非在来型石油資源は、在来型と比較し生産により多くのエネルギーの投入が必要であることから炭酸ガスの排出が多く、その開発には地球温暖化問題も内在している。次に世界の一次エネルギー供給・炭酸ガス排出量の予測を紹介し、化石燃料は今後中期的に一次エネルギー供給源として支配的な地位を占め続ける見通しであり、長期的にもその可能性があること、この結果、地球温暖化がますます進展し将来とり返しのつかない深刻な環境破壊がもたらされる脅威が高まっていることについて触れる。そして、省エネルギー、非化石燃料の開発促進が重要であると同時に、現在も増大しつつある二酸化炭素 (CO₂) の排出削減が緊急課題になってきていることについて述べる。次に具体的な温暖化ガス排出削減策であるフレアガスの削減、CO₂ の地下固定について、最近の世界の動向とその具体的な取り組みの現状について述べる。前者についてはロシアとナイジェリアの事例を、後者についてはカナダ、欧州での事例を取り上げる。最後に地球規模の環境問題に対する、国際的な取り組みの重要性、石油開発会社が今後果たすべき役割について述べる。

2. サハリン II 開発プロジェクト

サハリン II プロジェクトは 1999 年にフェーズ 1 の暫定生産（夏季限定の原油生産）が開始され、現在、2008 年開始を目標としてフェーズ 2 本格生産（原油日量 18 万バレル、LNG 年産 960 万トン）に向けて工事が進行している。本プロジェクトはロシアにとって初の LNG プロジェクト、欧州以外へのガス販売マーケットの開発、日本にとっては、エネルギー供給先の多角化という視点から重要であり、大きな期待と関心が寄せられている。同時に本プロジェクトは豊かな自然が残されている

地域での本格的開発となることから、環境保全への取り組みは国際環境 NGO の厳しい監視の対象となってきた（図 1 参照）。海上パイプライン敷設とコククジラの保護、陸上パイプライン敷設と河川・サケ産卵場の保護、氷海への流出油対策等が主だった環境問題として挙げられる。問題の解決のためには、1) 環境影響調査を早期に実施し、影響を回避・最小化する代替案や緩和策をとる、2) 住民、環境 NGO、プロジェクト資金を融資する銀行などすべてのステークホルダーに十分な情報開示を行う、3) 環境配慮が十分でないと指摘があった場合には、ステークホルダーが協議・検討する場を設けることが重要である。

開発と環境保全を巡っては多様な意識、対立する意見があり、その立場によって Shell をオペレーターとする本プロジェクト事業者（Sakhalin Energy Investment Co. : SEIC）の環境配慮についての評価は大きく異なる。

2003 年に予備的環境影響評価に基づきフェーズ 2 プロジェクトの開始宣言がなされた。しかし、コククジラの保護対策が不十分との指摘を受けたことから、環境影響評価が再度実施され、初期のパイプライン敷設ルートを見直してコククジラへの影響がより少ない敷設ルートが選定された（図 2 参照）。また、1,000 箇所を超える陸上パイプラインの河川横断工事については、影響を最小限にする工法が選択され、すべての箇所の工事計画情報がウェブサイト公開されている（図 3 参照）。十分な環境配慮への要請はプロジェクト資金を融資する欧州復興開発銀行（EBRD）、国際協力銀行（JBIC）などからも出されている。プロジェクトコストは当初の 100 億ドルから 200 億ドルへと大幅増加が発表されているが、環境配慮による影響もかなりあることが想像される。

1999 年 7 月	フェーズ 1 生産、出荷開始。
1999 年 10 月	貯油タンカー係留装置の索綱切断事故。生産一時停止。
2001 年 12 月	予備的「環境影響評価」(EIA) 説明会実施
2003 年 1 月	国際環境 NGO、SEIC へ環境要望書提出 (コククジラ保護、PL の安全性、流出油の危険性、掘削屑の投棄等) 「公開諮問 / 情報公開プラン」を発表
2003 年 3 月	サハリン縦断 PL の技術説明書公開（アラスカ PL との比較） NGO 指摘の油流出対策に関する問題点に回答
2003 年 5 月	フェーズ 2 開始宣言
2003 年 10 ~ 11 月	「環境、社会、健康に対する影響評価」説明会開催
2003 年 12 月	「公開諮問 / 情報公開プラン」説明会開催
2004 年 4 月	EBRD 総裁、SEIC の取り組みに不満と発言
2004 年 5 月	国際環境 NGO、世界の大手民間銀行に問題点を警告
2005 年 12 月	EBRD、フェーズ 2 の「環境、社会」配慮は妥当と評価
2006 年 9 月	ロシア天然資源省、事業の一部認可を取り消し

図 1 サハリン II の環境問題を巡る動き
(出典：Sakhalin Energy Investment Company Home Page)

2004年4月: パイプライン敷設工事延期

2004年7月 ~ 2005年1月
 コククジラ環境影響レビューパネル
 実施 (International Union for
 Conservation of Nature & Natural
 Resources)

2005年3月: 代替ルート1採用決定

2006年8月: パイプライン敷設完了

図2 海上原油パイプライン敷設工事とクジラ保護

海上パイプライン敷設工事はすでに完了し、陸上パイプラインの河川横断工事の大半が終了した2006年9月、ロシア天然資源省は環境対策が不十分だとして突然、事業の一部認可を取り消した。同省は陸上パイプライン敷設に当たり森林を認められた以上に切ったなどの違反をその理由に挙げており、開発事業者もそのような不手際が一部あったことを認めている。ロシア政府の行動はGazpromのサハリンIIプロジェクト参加比率交渉を巡る政治的動機に基づくもので、環境問題は口実として使われたとの見方がもっぱらである。SEICは改善を約束しており、「環境配慮が不十分との指摘を受けた場合、ステークホルダーが協議・検討する場を設ける」という基本事項を実行している。環境配慮に重大な過失があったとはいえないのではないだろうか。

SEICが運営するウェブサイトには、ほかのプロジェクトには見られないほど多くの情報が公開されている。

サハリン島中央部 Onor River (川幅30m,水深0.8m) 横断
 敷設完了日: 2006年2月24日

出典: Sakhalin Energy Investment Company

図3 Sakhalin II 陸上パイプラインと河川保護

開発と環境が社会全体に受け入れられる形で両立するためには、情報公開が鍵であることを考えると、開発事業者の社会的責任は十分に果たしていると思われる。情報公開の多さがかえってプロジェクトの遅延を招いたとの悪口が聞こえるような気もするが、石油開発会社に対して、開発に伴う環境保全への社会的責任を求める声は今後ますます強くなっていくのではないだろうか。

3. カナダオイルサンド

EIA Annual Energy Outlook 2006によるとカナダオイルサンドは現在、日量1百万バレルの生産レベルに達し、減退を始めた同国の在来型石油をカバーする重要なエネルギー資源の位置を占めている。2030年には日量3.6百万バレルへ伸びると予測されている(図4参照)。2004年には回収可能な埋蔵量として1,700億バレルが計上され、究極可採埋蔵量は将来的に3,000億バレルまで増加すると見込まれている。カナダのオイルサンドのポテンシャルはサウジアラビアの原油埋蔵量に匹敵するほどであり、その将来には大きな期待が寄せられているが、一

図4 世界の非在来型石油の生産予測

方で解決しなければならない環境問題も抱えている。

現在、オイルサンドは主に露天掘りによって生産されている。その方法が適用できるサイトはあと2,3箇所まで飽和し、今後、in-situ プロジェクトが増加するが、2015年まではオイルサンド生産の主流の座を占めると予測されている。露天掘りサイトは開発の爪痕であり、採掘終了後は跡地を埋め戻し元の状態に戻すことが義務付けられている（図5参照）。Suncor社の露天掘りサイトの総面積は9,654 ha、埋め戻し面積は858 ha（8.9%）であり、今後、長期計画に基づく表土の現状復帰を重要課題としている（同社 Annual Report 2005）。オイルサンドの生産・処理には大量の水が必要で、川から取水している。露天掘りでは、1バレルのオイルサンドの生産に10バレルの水、in-situ では3バレルの水が必要とされる。使用された水はサンドや油分などの残渣を取り除いたのち川に戻されるが、現在では85%の水が生産に再使用されている。今後、取水量の増加を抑えるため、水の再使用率の向上が目標となっている。生産基地の近くにできた水処理のための巨大な池（tailing pond）も開発の傷跡であ

り、ふかふかになった土壌の改良も含めていずれ元の状態に戻す計画になっている（図6参照）。

オイルサンド1バレルの生産にはそのエネルギー量の1/3のガスが水蒸気の生成、オイルサンドのアップグレーディングなどに必要である。これは産出・投入エネルギー比（Energy Return of Investment : EROI）が在来型石油と比較してかなり低いことを意味する。カナダにおける近年の地球温暖化ガス排出増の多くはオイルサンド産業からのものであり、オイルサンド産業の負の側面となっている。

カナダ政府のエネルギー予測（The Reference Case 2006, Natural Resources Canada）によると、カナダの地球温暖化ガス総排出量758百万トン（炭酸ガス換算、2004年）は、今後828百万トン（2010年）、897百万トン（2020年）へと大きく増加すると見込まれている（図7参照）。このままでは京都議定書数値目標（563百万トン）の達成が不可能なことは明白であり、カナダ政府は京都議定書離脱も選択肢の1つとして考えているなど、対策に苦慮しているといわれている。連邦政府は京都議定書の目標を達成する義務を負っているが、エネルギー・環境政策は州政府に任されていることから、目標達成計画の策定は連邦政府、州政府および産業などのステークホルダーの協議を通して行われている。炭酸ガス地中隔離（Carbon Capture & Storage : CCS）は対策の有力オプションの1つであり、CCSに対する連邦政府、州政府の優遇策もすでに示されている。Suncor社はCCSに積極的な姿勢を示している。今後、CO₂ EOR プロジェクトとしての適用（CCSEOR）に向けて、石油開発会社の積極的対応が求められるようになることが予想される。

オイルサンドの開発は地域的環境問題のみならず、地球規模の環境問題も内在している。これは、将来、開発が期待されているがEROIの低い超重質油、オイルシェー

オイルサンド採掘現場

採掘終了後の表土埋め戻し現場

Suncor 社の実績(1967 - 2005)
総採掘面積: 9,654 ha、埋め戻し面積: 858 ha (8.9%)

図5 オイルサンド採掘現場

Suncor Annual Report 2004

図6 オイルサンド、処理水再利用

図7 カナダオイルサンド CO₂ 排出量

ルにとっても共通の課題である。

4. エネルギー需要の増大と地球環境破壊

国際エネルギー機関 (IEA) の見通しによると、世界の一次エネルギー需要 (2004 年) 11,204 Mtoe は基準シナリオで 2030 年までに 50% 増加すると予測されている (年率平均 1.6% 増)。需要増の 70% 以上は開発途上国によるものであり、中国だけで 30% を占める。化石燃料はこの間のエネルギー需要増の大部分を占めるため、世界需要に占めるシェアは現状の 80% を維持すると予測されている。石油需要も 2005 年の日量 84 百万バレルから日量 99 百万バレル (2015 年)、日量 116 百万バレル (2030 年) へと拡大する。

これに伴い、世界のエネルギー起源の CO₂ 排出量は 2004 年の 260 億トン (炭素換算 70 億トン) から 55%

増加し (年率平均 1.7% 増)、400 億トンに達する (IEA World Energy Outlook 2006)。

図 8, 9 は Battelle 研究所が実施した今世紀末までの超長期予測結果で、世界の一次エネルギーの需要増と化石燃料の優位性が今世紀末まで続き、その結果、CO₂ の排出量が飛躍的に増加するシナリオが示されている。2030 年までの予測は IEA のものとおおむね一致している。(エネルギーは exajoule 表示で、1 EJ = 24 Mtoe。CO₂ 排出量は炭素換算 tera gram 表示で、1,000 tera gram = 10 億トン)

現在すでに地球温暖化がもたらす環境破壊のリスクが顕在化しており、省エネによってエネルギーの需要増を抑えることが急務になっている。また、エネルギー供給の安全保障、供給源多角化の観点から、原子力、太陽光風力などの自然エネルギー、バイオ燃料の開発促進も重要な代替オプションとなっている。この結果、強力な

図8 世界の一次エネルギー供給予測

図9 世界のCO₂排出量予測

エネルギー政策、新技術の発展によっては将来、クリーンエネルギーが大きく進展していることも十分考えられる。反対に化石燃料のうち石油は石炭と比較して相対的に資源量が少ないため、今後の探鉱開発の進展いかんによっては将来一次エネルギー供給源としての主要な地位を失う可能性も否定できない。シナリオプランニングは将来の姿を考えるための有効な道具であり、エネルギーの将来を考えるに当たっては長期的視点が重要である。化石燃料が超長期間にわたって使われ続けるシナリオも思考実験の1つとして考慮する価値は十分にあるであろう。

図10はCO₂排出量抑制目標を図9の化石燃料の優位性が今世紀末まで続く場合の排出量と対比して示している。世界の気候変動研究者のほぼ一致した意見によると、地球温暖化による気候変動リスクを回避するためには、すでに産業革命前の280 ppmから380 ppmまで増加している大気中のCO₂濃度を、ベースラインの2倍程度、すなわち550 ppmに抑える必要があるとしている。この図は現時点からCO₂排出量の増加を抑え、2035年頃に炭素換算100億トン(CO₂換算370億トン)をピークとして、その後、排出量を減少トレンドに転換させる必要性を示している。2030年時点の排出削減必要量は約10億トン

図10 CO₂ 排出量抑制目標

(CO₂換算37億トン)と読み取れる。対策が遅れれば遅れるほど排出量抑制目標の達成は困難になり、CO₂濃度がベースラインの3倍、すなわち、840 ppmに達すると、グリーンランドや南極の氷が解けて海面が大幅に上昇する結果、深刻な地球環境破壊のリスクが高まると警告されている。

エネルギー起源のCO₂排出量削減のためには、フレアガスの削減が必要であり、CO₂の回収・固定が不可欠である。CO₂の回収・地下固定は石油開発技術と関連が深く、技術開発とプロジェクトの実施に当たって石油開発会社の果たす役割は大きい。

5. フレアガスの削減への取り組み

原油の生産現場においてフレアされているガス量は全世界で年間150 BCM (435百万トンCO₂換算)と推定されている (Global Gas Flaring Reduction Partnership Report)。イラク、イラン、ナイジェリア、ロシアで特に多く、これら4カ国で60 BCMのガスがフレアされている。石油開発会社はガス資源の浪費を減らす努力を続けてきているがその成果は限定的であり、過去20年間、世界のフレア量はほぼ同じ高いレベルに留まっている。この原因としては石油生産の増加に伴う随伴ガス量の増加、ガスの有効利用を促進する市場・インフラ整備の遅れ、フレア削減プロジェクトに必要な資金の不足などが挙げられる。一方、アブダビのように世界的な環境意識の高まりからガスフレアリングが厳しく規制され、具体的な基準を示す細則の整備が進んでいる国もある。

図11はフレアガス削減を巡る最近の動向を示す。

Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR) は産油国政府、国営石油会社、International Oil Company (IOC)などをパートナーとする官民協力機構で、グローバルな知識・情報の共有化によってフレアガス削減に向けての障害を克服し、各国の削減プロジェクトの推進を支援することを目的として2002年に設立された。カナ

- ・ Global Gas Flaring Reduction (GGFR) Partnership 設立 (2002 年 8 月)
- ・ 2nd International Gas Flaring Reduction Conference, Algeria (2004 年 5 月)
- ・ Rang Dong No Gas Flaring CDM 認証取得 (2006 年 2 月)
- ・ Russia – EU Technology Center Round Table Meeting (2006 年 6 月) “Associated gas utilization: removal of barriers and attraction of investments”
- ・ St. Petersburg G8 Summit (2006 年 7 月)
フレアガス削減の重要性を確認

図 11 フレアガス削減を巡る最近の動向

ダ, EU, ノルウェー, イギリス, 米国は資金提供者として参加し, 石油会社では BP, Chevron, ENI, ExxonMobil, Marathon Oil, Hydro, Shell, Statoil, TOTAL が, 産油国では Algeria (Sonatrach), Angola (Sonangol), Cameroon, Chad, Ecuador, Equatorial Guinea, Indonesia, Kazakhstan, Khanty-Mansiysk (Russian Federation) がパートナーとして名を連ね, OPEC, 世界銀行も参加している。

GGFR の第 2 回年次会議が開かれたアルジェリアは長年にわたり, 世界のフレアガスランキング上位国であるが, 近年, 資源保護, 環境保全の観点からフレアガスの削減に力を入れており, 2010 年までにゼロフレアリングを達成することを目標としている。

Russia -EU - Technology Centre はロシアと EU 間の対話組織で, エネルギー技術の相互協力とエネルギー部門への投資推進を目的としている。本年 7 月, サンクトペテルブルグで開催された G8 サミット開催に先立ち, ロシアの随伴ガスの利用をテーマとした会議が開催された。ロシアでは随伴ガスの利用を阻害する要因が多く大量の随伴ガスがフレアされているが, ガス市場の改革を進め, 京都メカニズムの活用によってガスの有効利用を図ろうとする機運が高まっている。

ガスフレアリングの削減は地球温暖化ガスの排出を抑制し地球環境を保護する取り組みでもあり, 石油開発会社が果たすべき社会的責任は今後, 大きくなっていくであろう。将来的には, ガスフレアリング対策が解決できなければ油田の操業が難しくなることも考えられる。

6. ロシアの現状

ロシアの CO₂ 排出量は世界の 15% を占める。

図 12 はロシアのガス産業分野における温暖化ガスの排出量を示す (IEA レポート「Optimising Russian Natural Gas – Reform and Climate Policy」2006)。

石油随伴ガスのフレア量は 15 BCM (CO₂ 換算 44 百万トン) と推定されており, フレアの比率は 27% である。実際のフレア量をもっと多いと考えられており, サテラ

図 12 ロシアの温暖化ガス排出

イト画像の処理によって 60 BCM (暫定値) という数値も得られている。いずれにしても大量のガスがフレアされており削減の余地は大きい。ロシアではこれ以外に, 幹線パイプライン・支線パイプラインから合わせて 11.5 BCM (CO₂ 換算 173 百万トン) のガスが漏洩し, また, パイプライン昇圧コンプレッサーの燃料に 41BCM ものガス (CO₂ 換算 82 百万トン) を消費している。

石油会社が生産する随伴ガスの利用が遅れているのは, Gazprom が所有するガスパイプラインの利用権が得られない, ガスパイプラインを自前で建設するにはガス販売価格が安すぎる, マーケットまでの距離が遠すぎて採算性が合わない, ガス圧入に適した油田が見つからないなどの理由が挙げられる。一方で, Khanty-Mansiysk 自治区で操業が一番多く随伴ガスを生産している Surgutneftegas 社のフレア率は 7% であり, ガスの有効利用が進んでいる。今後さらに GGFR の支援を受けて世界銀行の炭素基金を利用したフレア削減プロジェクトを計画しており, ほかの石油会社の手本となっている。

パイプラインについてはメンテナンス不足や老朽化が, コンプレッサーについては効率の悪い旧式のものを使用していることが原因であり, いずれも改善の余地は大きい。削減可能量はそれぞれ 6 BCM, 8 BCM と推定されている。Gazprom はロシアのガス生産の 90% を占め, すべての幹線パイプラインを所有し, 支線パイプラインネットワークの 3/4 をコントロールしている。しかしながら今まで, 輸出能力の拡大に向けて大型の新規プロジェクトを優先し, 既存インフラの整備, ガス利用の効率化をおろそかにしてきた。また国内需要の伸びが予測される中, 既存の巨大ガス田は減退を始めており, 供給不足問題にも直面している。

ガスの節約可能量はフレアガス削減を含めて年間 30 BCM, 温暖化ガスの削減量に換算すると 150 百万トンと膨大な量になり, ロシアの石油会社にとっても外国の投資家にとっても大きなビジネスチャンスへの期待が高

図 13 ナイジェリアのフレア削減プロジェクト

まっている。

7. ナイジェリアの現状

図 13 はナイジェリアにおけるフレアガス削減への取り組みを示す (NNPC の発表「Opportunities for Regional and Domestic Use of Associated Gas in Nigeria」於 OPEC/World Bank GGFR Workshop 2005)。

随伴ガス量は 1996～2004 年の間、1,350～2,050 BCF へ増加したが、フレアガスの比率は 70～40% へ減少し、2004 年のフレア量は約 750 BCF (21 BCM) となっている。フレアされていたガスはガス圧入・ガスリフト、自家消費、NGL 生産、外販、LNG 供給などの用途に使用される。ナイジェリアはロシアと異なりすでに LNG の輸出国 (2006 年末現在、液化プラント能力 1,760 万トン/年、2007 年には 2,190 万トン/年へ増加) であり、今後は LNG 供給ガスとしての用途が大きく伸びる見込みである。ナイジェリアには GTL プロジェクトも進行しており、将来的には GTL の供給ガスとしての利用も期待できる。フレアガスの比率は 2009 年に 10% 以下へ減少させることが目標となっている。

本年 11 月、ベトナム RangDong プロジェクトに次ぎ、ナイジェリアにおいて世界で 2 番目のフレア削減 CDM プロジェクトが認定された。Kwale 油ガス処理プラントで発生する随伴ガスを 48 万 Kw の発電能力を持つ卸電力業者へ燃料ガスとして供給するもので、ナイジェリアの不安定な電力事情の改善に寄与すると同時に、年間 1.5 百万トンの CO₂ 排出削減になる。本プロジェクトは GGFR が支援しているデモプロジェクトのなかで、最初に CDM の認定を受けたプロジェクトになった。

8. 炭酸ガス地中固定への取り組み

エネルギー起源の CO₂ 排出量削減のためには、CO₂ を大量に排出する施設、特に火力発電所に CCS を採用することが必要である。CCS への関心が高い欧州には、

Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP) と呼ばれる産官学の取り組みがあり、石油会社、電力会社が実証プロジェクト計画を発表している。しかしながらコスト負担が大きいことから、国の強力な支援なしでは大幅な CCS の進展は困難と考えられている。現在、世界で計画中的の実証プラントがすべて完成しても CO₂ の地下隔離量は 2015 年に 15 百万トンに留まる。一方、政策の後押しがうまくいけば、CCS は石炭資源を豊富に持つ国の石炭火力発電所から進展し、2030 年時点で世界の新設の石炭火力発電所の 70%、ガス火力発電所の 35% に設置され、合わせて 20 億トンの CO₂ の排出が削減されるというシナリオも想定されている。(IEA World Energy Outlook 2006)。

図 14 は CCS を巡る最近の動向を示す。

Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) は、炭素隔離の研究・開発を促進するための国際的な協力枠組みで、2002 年に設立された。米国、カナダ、英国、ドイツ、フランス、イタリア、オランダ、ロシア、日本、韓国、豪州等 21 ヶ国と EC がメンバーである。中東産油国からは唯一サウジアラビアが参加している。2005 年に刊行された IPCC 特別報告書では、CCS は温暖化ガス削減に大きく寄与する技術オプションの 1 つと位置づけられ、近年、CCS を巡る議論が活発化してきている。

Gleneagles G8 Summit では CCS の開発および商業化の加速が要請され、行動計画のなかに石炭火力への CCS 適用可能性検討が盛り込まれた。

アジア太平洋パートナーシップ (APP) は、排出削減義務を負わずに企業活力の活用、エネルギー技術協力によって CO₂ の排出削減を目指す取り組みで、米国、豪州、中国、インド、日本、韓国がパートナーとなって設立された。セメント、石炭、鉄鋼、発電等の分野をカバーする 8 つのタスクフォースが組織され、CCS はクリーン化石燃料タスクフォースのなかで取り扱われている。OPEC も CCS に関心を寄せており、CCS のシンポジウム

- ・ Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF)
第一回会議開催 (2003 年 6 月)
- ・ Gleneagles G8 Summit (2005 年 8 月)
「CCS の開発および商業化の加速を要請」
- ・ Asia Pacific Partnership (APP) (2006 年 1 月)
Task Force 1: Clean Fossil Energy
- ・ Symposium on Carbon Management (2006 年 5 月)
Saudi Aramco が主催
- ・ IEA - CSLF Workshop (2006 年 8 月)
「CCS は始動、より多くの商業実証プラントが必要」
- ・ ロンドン条約締約国会議 (2006 年 10 月)
海洋投棄可能な廃棄物に CO₂ を追加

図 14 炭素隔離を巡る最近の動向

が Saudi Aramco 主催によりサウジアラビアで開催されたことは注目に値する。

CSLF と IEA の共催ワークショップでは、①技術、②商業化・資金援助、③政策・規制、④社会認知、⑤国際メカニズムについて検討すべき論点や課題の整理が行われた。現段階では CCS に対する社会的認知度は低く、また、世界野生生物財団やグリーンピースなどの環境 NGO は、CCS は化石燃料の使用を増加させるとの理由から反対を表明している。廃棄物の海洋投入処分は海洋汚染防止を図るロンドン条約で規制されているが、2006 年 11 月に開かれたロンドン条約締約国会議において、投棄可能な廃棄物に CO₂ を追加する案を欧州諸国などが提案し採択された。これにより CO₂ の地下廃棄に向けての法的整備が進んだ。

一方、ケニアで開催された地球温暖化防止条約締約国会議 COP12 / MOP2 では、CO₂ の地下廃棄に伴う排出権獲得を認めるかについて議論されたが結論をだすことができず、2 年後に先送りされた。CO₂ の漏洩、排出権価格の下落の恐れなどを理由にブラジルなど南米諸国、島しょ国などが反対したためであり、国際的に足並みを揃えることの難しさを見せつけられる結果となった。

CCS の発展のためには実証事例を増やし、これらの問題点の解決策を示していくことが大事である。CO₂EOR プロジェクトは油層条件が適していれば採算性の向上が期待できるため、石油開発会社は CCS の事例を増やし、技術、経済、安全面に関する知見を増加させることに貢献できるであろう。

9. 炭酸ガス地中固定既存プロジェクト

現在、世界で CCS が行われているのは石油ガスの開発現場であり、ノルウェーの Sleipner ガス田 (1996 年開始)、カナダの Weyburn 油田 (2000 年開始)、アルジェリアの In-Salah ガス田 (2005 年) の 3 箇所を数えるのみである。(In-Salah の CCS プロジェクト総投資額は 500 million US\$) 年間圧入量はそれぞれ 100 万トン、180 万トン、115 万トンで、合計圧入量は 50 万 Kw の石炭火力発電所からの排出量に相当する。いずれのプロジェクトも、国際共同研究開発プロジェクトに指定されている。

図 15 は Weyburn の実績を示す。CO₂ 圧入量 (2005 年末) は 150 mmscfd で、圧入量の 33% はリサイクル分。米国ダコタ州の石炭ガス化プラントから回収された CO₂ (純度 95%) が圧入されており、購入コストは 70 c / 1000 cf (12\$ / ton) と見られている (非公式情報)。2005 年、Apache 社も同社から CO₂ を購入し、近隣の Midale 油田へ圧入を開始した。圧入量は 26 mmscfd (2006 年) が見込まれている。

図 15 EnCana's Weyburn Unit Production Data

Weyburn 油田では原油生産回復効果が顕著に見られる。1995 年、当油田のオペレーターであった PanCanadian (現 EnCana) は、当油田での CO₂EOR プロジェクト実施の意思を固めていた。当時の油価は 19\$ / bbl (WTI 原油先物価格) であったが、油価が大幅に上昇した現在、本プロジェクトの採算性も大きく向上していると想像される。CO₂EOR は第一次オイルショック後ブームを迎えたが、その後油価の沈静化とともにしぼんでしまった。現在の油価が今後とも維持されとの見通しが立てば、カナダ、アメリカで枯渇油田における CCSEOR プロジェクトが進展することが期待できる。圧入モニタリング報告書によれば、地表への漏洩の可能性はほぼゼロと報告されている (IEA GHG Weyburn CO₂ Monitoring & Storage Project Summary Report 2000-2004, PTRC)。

カナダは石炭資源にも恵まれており、カナダの石炭生産企業、石炭火力発電事業者および米国の Electric Power Research Institute が Canadian Clean Power Coalition (CCPC) を組織し、CCS を含むクリーンコール技術の研究を行っている。CCPC のメンバーであるサスカチュワン州の Saskpower は CCS 実証プロジェクト計画を推進している (2012 年操業開始予定)。

10. 炭酸ガス地中固定予定プロジェクト

図 16 は現在計画中の石油ガス関連の CO₂ 地中固定プロジェクトを示す。

Miller プロジェクトは、北海ガス田のガスから水素を製造して、スコットランドに建設する 35 万 Kw の水素火力発電所の燃料とし、派生する CO₂ は北海の枯渇油田である Miller 油田に地下固定 (CCSEOR) するもの。事業者は BP、総事業費は 6 億ドル。2009 年の操業開始を目指す。Carson プロジェクトはカリフォルニアの製油所のコーク

図 16 炭素隔離プロジェクト（進行中）

から水素を製造して、新たに建設される 50 万 Kw の水素火力発電所の燃料とし、派生する CO_2 は近隣の枯渇油田に地下固定（ CCS EOR ）するもの。事業者は BP、 CO_2 固定量は 4 百万トン/年、総事業費は 10 億ドル、2011 年の操業開始を目指す。これらのプロジェクトは水素化社会の到来も睨んだ、石油ガスの開発と環境保全の両立を目指す新しい時代への挑戦といえるであろう。

Draugen プロジェクトは、バレンツ海ガス田のガスを使用するノルウェーのガス火力発電所とメタノール生産工場から排出される CO_2 を回収し、Draugen 油田に地下固定（ CO_2EOR ）するもの。事業者は Shell/Statoil、 CO_2 固定量は 2～2.5 百万トン/年、2011 年の操業開始を目指す。

Snohvit プロジェクトは Snohvit ガス田の LNG 液化プラントで分離回収される CO_2 を、同ガス田の水層に地下固定するもので、事業者は Statoil。

Gorgon プロジェクトは豪州の Gorgon ガス田の LNG 液化プラントで分離回収される CO_2 を、同ガス田の水層に地下固定するもので、事業者は Shell。

Miller プロジェクトと Draugen プロジェクトは前述の ZEP プログラムに含まれており、ZEP には発電事業者によるドイツやポーランドでの石炭ガス化複合発電（IGCC）発電所建設計画も含まれている。

石油ガス関連の CCS プロジェクトの多くが欧州で計画されており、また、これを実施する事業者も欧州の IOC が多い。EU は CO_2 の大規模排出施設に強制的な排出枠（約 22 億トン）を設け、2005 年 1 月からキャップ & トレード方式の排出権取引制度を実施していることが

その背景にある。

11. 地球温暖化対策への国際的取り組み

京都メカニズムの 1 つである Clean Development Mechanism（CDM）は、先進国と途上国の事業者が共同で温室効果ガスの削減プロジェクトを途上国で実施し、そこで生成した削減分を炭素クレジットとして事業者が獲得できる制度である。地球温暖化対策への国際的取り組みの 1 つとして重要な役割を担っており、2006 年末現在、承認されている CDM プロジェクトは 467 件、総削減量は 107 百万トン/年に達している。プロジェクトのタイプからみると、再生可能エネルギー利用発電事業、バイオマス発電事業、ごみ処理場からのメタン回収事業、省エネのプロジェクトがほとんどである。フレア削減プロジェクトはベトナムとナイジェリアでのプロジェクト 2 件が承認されているのみで、CCS は 2 件申請されているが未承認である。その 1 つはベトナムの天然ガス火力発電所から排出される CO_2 を回収し、White Tiger 油田に地下固定するもの（ CCSEOR ）で、 CO_2 固定量は 7.7 百万トン/年。もうひとつはマレーシアの LNG 液化プラントで分離回収される CO_2 を沖合いの地下の水層に固定するもので、 CO_2 固定量は 3 百万トン/年。いずれも日本の企業が提案している。

フレア削減と CCS プロジェクトは温室効果ガスの削減に大きく寄与することから、CDM プロジェクトの増加が望まれる。フレア削減プロジェクトについては、認定プロセスの迅速化、CCS プロジェクトについては方法

論の早期採用が期待される。

世界最大の Ghawar 油田の今後の生産能力の推移は、世界の石油生産能力のピーク時期を占う鍵の1つとして関心を集めている。IEA World Energy Outlook 2006 の基準シナリオでは2010年頃、日量約6百万バレルのレベルに達してピークを迎える想定されている。

本油田の原始埋蔵量は約3,000億バレルと推定され、2005年1月現在、既生産量610億バレル（回収率20%）、残存確認埋蔵量650億バレル、推定可採埋蔵量250億バレルである（究極回収率50%）。主要生産エリアである Ain Dar/Shedgum 地区に限ると回収率はすでに40%に達し、残存確認埋蔵量生産時点で60%に達する。究極回収率は75%を想定している。このような高い回収率の達成のためには第三次回収が不可欠であり、近い将来、CCS EOR の適用が発表されるようなことがあるかもしれない。石油開発の進展と環境保全の両立を目指すプロジェクトが産消協力事業として立ち上がり、エネルギー問題への画期的な国際的取り組みになることを期待したい。

Nicholas Stern（元世界銀行首席エコノミスト、現英国政府経済顧問）の温暖化対策報告書（The Economics of Climate Change）が10月末に発表され反響を呼んでいる。経済モデル計算の結果によると、深刻な地球環境破壊をもたらす経済損失は毎年少なくとも世界のGDPの5%に達し、地球温暖化の影響を広く捉えると20%にもなる。一方、大気中のCO₂濃度を500～550ppmで安定させ、地球温暖化がもたらすリスクを軽減するのに必要なコストはGDPの約1%である。この温暖化対策コストは世界経済にマイナスの影響を与える恐れもあるが、一方、温暖化対策の新技術、サービスを提供する市場を創出し、世界経済の発展に寄与する可能性もある。そして温暖化対策には国際的な取り組みが不可欠であり、そのためには国際的な排出権取引と技術開発協力が重要としている。

米国では温暖化対策としてはAPPなどの自主的取り組みや技術開発が中心で、京都議定書への復帰は考えられていない。しかしながら、大気汚染の増大、熱波襲来の深刻化、山火事の増加、降雪量・水資源減少のリスクなどを抱えているカリフォルニア州は、2006年9月、GHG排出削減法案に署名し、2007年1月、法案は発効する。2020年までに排出量を現在のレベルから25%削減して1990年のレベルへ戻すことを目標としている。このため英国との間で排出権取引協力協定が締結された。カリフォルニア州以外にも28州がなんらかの気候変動行動計画を策定しており、排出量取引を前提とした州レベルでの削減義務化への取り組みも進展している。

このように地球環境保全への意識は国の立場を超えて共通の意識として広がり、国際協力の土台が築きあげられつつある。

CCSの進展には排出規制が導入されること、排出量取引によりCO₂排出コストが明示されることが重要な条件となる。このような条件が整うまでには相当な時間を要するであろうが、石油ガスの開発と環境保全の両立を目指す石油開発会社の新しい時代への挑戦はすでに始まっている。

参 考 文 献

- 1) Sakhalin Energy Investment Company Home Page, <http://www.sakhalinenergy.com/en/>.
- 2) EIA Annual Energy Outlook 2006.
- 3) Canada's Energy Outlook : The Reference Case 2006, http://www.nrcan-rncan.gc.ca/inter/publications/peo_e.html.
- 4) Suncor Annual Report 2005.
- 5) IEA World Energy Outlook 2006.
- 6) Global Gas Flaring Reduction Partnership (GGFR) Home Page.
- 7) "Optimising Russian Natural Gas – Reform and Climate Policy 2006" IEA.
- 8) First Regional Symposium on Carbon Management, Carbon Management Challenges and Opportunities for the Petroleum Industry, May 22-24, 2006 Dhahran, Saudi Arabia, http://www.co2management.org/images/top_image_symposium_prog.jpg.
- 9) Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) Home Page.
- 10) Angel Sainz "The European Perspective" IEA- CSLF Workshop, San Francisco, USA Aug. 2006.
- 11) IEA GHG Weyburn CO₂ Monitoring & Storage Project Summary Report 2000-2004, PTRC.
- 12) IPCC Third Assessment Report – Climate Change 2001.
- 13) Clean Development Mechanism; <http://cdm.unfccc.int/>.
- 14) Stern Review on the economics of climate change, http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm.
- 15) Fifty-Year Crude Oil Supply Scenarios : Saudi Aramco's Perspective, Feb 24, 2004. CSIS, Washington D.C.
- 16) Our Changing Climate, Assessing the Risks to California, <http://www.climatechoices.org/site/our-changing-climate.html>.