

# 新たな天然ガス高度利用技術の動向

古川 貴雄

## 概要

天然ガス、特にシェールガスは、石炭に比べて大気汚染物質や二酸化炭素の排出量が低いことから、非在来型のエネルギーとして注目されている。米国において、技術革新により 2000 年代後半からシェールガス生産量が急増し、世界的なエネルギー需給の見通しや、今後のエネルギー資源開発の方向性に大きな影響を与えている。我が国に存在する非在来型天然ガスのコールベッドメタンやメタンハイドレートの増進回収法は、地球温暖化対策に寄与する二酸化炭素貯留・固定技術としても期待されている。天然ガスの生産量拡大を背景に、天然ガスから液体燃料を製造する技術は、石油代替技術として重要な役割を担っている。国内でも、生物学や環境科学の領域で関連研究が行われているが、今後は、エネルギー生産の観点からこれらの研究を推進していく必要がある。

**キーワード：**シェールガス，コールベッドメタン，メタンハイドレート，天然ガス変換技術

## 1 はじめに

科学技術イノベーション総合戦略（平成 25 年 6 月 7 日 閣議決定）では、クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現が挙げられている。日本再興戦略（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定）では、2030 年のあるべき姿として、変わりゆくエネルギー情勢の中で、低廉な価格で必要なときに必要な量のクリーンなエネルギーを安心して利用できる社会の実現が掲げられている。

石炭に比べて大気汚染物質や二酸化炭素の排出量が低いことから、天然ガス、特にシェールガスが非在来型のエネルギーとして注目されている。シェールガスの豊富な賦存量は以前から知られていたが、これまでに経済性の問題から開発・生産は進展していなかった。米国において、技術革新により 2000 年代後半からシェールガス生産量が急増し、2012 年には米国の天然ガス生産量の 30% をシェールガスが占めるようになった。シェールガス増産を始めとする天然ガス生産量の増加により、

2009 年から米国の天然ガス生産量はロシアを越えて世界最大となっている。今後は、石油から天然ガスにシフトすることが見込まれ、従来の世界的なエネルギー需給の見通しやのエネルギー資源開発の方向性が大きく変化しつつある。

本稿では、天然ガスシフトを促進する要因となったシェールガス等の非在来型天然ガス開発技術を概観し、天然ガスシフト後に影響が大きい技術として期待される米国エネルギー省が取り組む ARPA-E（Advanced Research Projects Agency-Energy）の研究動向を紹介する。

## 2 在来型・非在来型天然ガスとは

図表 1 に在来型・非在来型天然ガスの特徴を示す。非在来型天然ガスの賦存量は在来型天然ガスよりも多いことが知られているが、地中での流動性が低いいため回収が技術的に難しい。そのため天然ガス

図表1 在来型・非在来型天然ガスの種類と特徴

種類		特徴
在来型ガス		浸透率の高いガスの流れやすい岩石層に蓄積されている天然ガス。
非在来型ガス	タイトガス	浸透率の低い周密な砂岩層に蓄積されている天然ガス。 浸透率(ガスの流れやすさ)は在来型天然ガスよりも低い。
	コールベッドメタン	石炭層に蓄積されているメタンガス 浸透率は在来型天然ガスよりも低くタイトガスと同等。
	シェールガス	<small>けつがん</small> 頁岩(シェール)層に蓄積されている天然ガス。頁岩は堆積岩の一つで、泥が固結した岩石のうち、薄くはげる性質のあるものを指す。 浸透率はタイトガス・コールベッドメタンよりも低い。
	メタンハイドレート	低温高圧条件化でメタンが水分子に囲まれた構造の固体結晶。永久凍土の地下数100mの地層や海底500m以上の深海に存在。 浸透率はシェールガスよりもさらに低い。

の中では低品質資源とされている。

## 2-1 在来型・非在来型天然ガスの分布

図表2に在来型・非在来型ガスの地域別技術的回収可能量を示す。在来型天然ガスは東欧州・ユーラシア地域と中東地域に多く存在するが、非在来型天然ガスはアジア・太平洋地域と北米地域に多く存在している。図表3には、非在来型ガスの種類別・地域別の技術的回収可能量を示す。非在来型天然ガスではシェールガスが最も多く、アジア・太平洋地域と北米地域に多く分布していることがわかる。国別では、シェールガス技術的回収可能量は米国が最も多く、中国、アルゼンチン、アルジェリア、カナダ、メキシコ、オーストラリア、南アフリカ、ロシア、ブラジルがこれに次いで多い<sup>1)</sup>。ただし、技術

図表2 在来型・非在来型天然ガスの地域別技術的回収可能量[兆m<sup>3</sup>](2011年末)

地域	在来型	非在来型
東欧州/ユーラシア	131	43
中東	125	12
アジア・大洋州	35	93
北米	45	77
アフリカ	37	37
中南米	23	48
欧州	24	21
世界	421	331

出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

的回収可能量は、経済性が考慮された可採埋蔵量よりも大きく評価される点に注意を払う必要がある。

## 2-2 生産量の拡大が見込まれる非在来型天然ガス

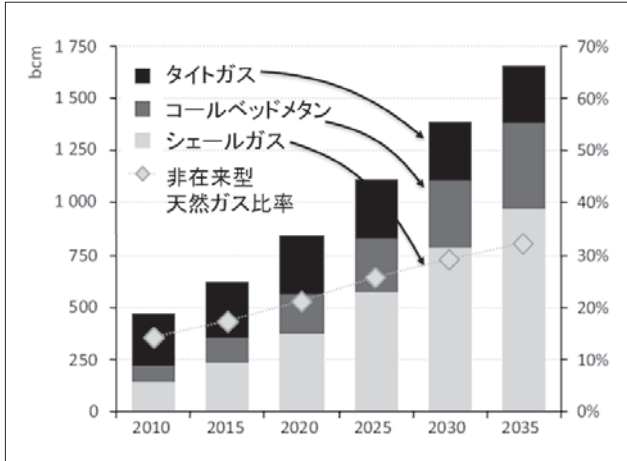
今後は、石炭よりも大気汚染物質や二酸化炭素排出量の少ない天然ガス需要の増加が見込まれている。在来型・非在来型を合わせた天然ガスの一次エネルギー消費量は、2010年の2,700 Mtoe(100万石油換算トン)から2035年には4,228 Mtoeに増加すると推計されている。図表4に示すように2035年には、非在来型天然ガスの在来型天然ガスに対する比率が30%を越え、種類別では、シェールガスの比率が高くなると予測されている。

図表3 非在来型天然ガスの種類別・地域別の技術的回収可能量[兆m<sup>3</sup>](2011年末)

地域	シェールガス	タイトガス	コールベッドメタン
東欧州/ユーラシア	12	10	20
中東	4	8	-
アジア・大洋州	57	20	16
北米	56	12	9
アフリカ	30	7	0
中南米	33	15	-
欧州	16	3	2
世界	208	76	47

出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表4 非在来型天然ガスの生産量と将来推計 [10 億 m<sup>3</sup>]



出典：参考文献2を基に科学技術動向研究センターにて作成

### 3 非在来型天然ガスの生産技術

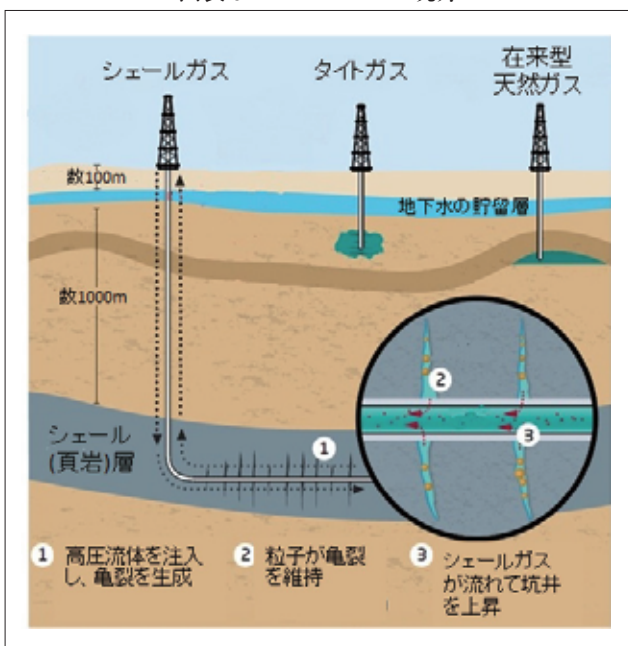
#### 3-1 シェールガスの生産技術

シェールガスの開発・生産が拡大した技術的な要因として、図表5に示す採掘のための「水平坑井掘削」と「水圧破碎」、効率的な採掘に不可欠な「地中のイメージング技術」の実用化が挙げられる<sup>3,4)</sup>。

##### (1) 水平坑井掘削

坑井制御、坑壁との摩擦低減、掘屑の排出など垂直坑井よりも高度な技術が必要である。

図表5 シェールガス坑井



出典：参考文献5を基に科学技術動向研究センターにて作成

##### (2) 水圧破碎

坑井内に注入した流体に高圧をかけ、坑井付近の頁岩を人工的に破壊する技術が、ガスの採取には不可欠である。水圧破碎により生成された亀裂の部分がガスの流路となり、坑井の生産能力は向上する。生成された亀裂は徐々に閉じることから、粒状の物体を亀裂に注入してガスの流路を確保する必要がある。

##### (3) 地中のイメージング技術

亀裂生成時に発生する微小な地震波を観測し、地下の亀裂の状態を把握するマイクロサイスミック技術の進歩により、水圧破碎の高度化に寄与した。

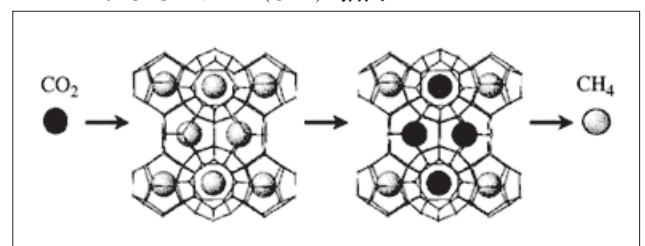
### 3-2 コールベッドメタンの増進回収法

コールベッドメタンでは、石炭化の過程で生成されたメタンが、石炭層にある数 nm オーダーの孔隙表面にファンデルワールス力によって吸着されている。石炭への吸着性がメタンよりも二酸化炭素が高いことを利用して、炭鉱の石炭層に二酸化炭素を圧入することによりメタンを増産する手法がある。このメタン増進回収法は既存炭鉱を利用した二酸化炭素の回収・貯留技術 (Carbon Dioxide Capture and Storage : CCS) として注目されている<sup>6,7)</sup>。

### 3-3 メタンハイドレートの増進回収法

永久凍土の地下数 100 m の地層や海底 500 m 以上の深海といった低温高圧条件下に存在するメタンハイドレートは、図表6のように籠状の水分子にメタンが囲まれて固定された構造となっている。メタンハイドレート層に二酸化炭素を圧入して、ゲスト分子をメタンから二酸化炭素に置換すれば、メタン回収時に二酸化炭素を安定な状態で地中に固

図表6 メタンハイドレートへの二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 圧入によるメタン (CH<sub>4</sub>) 抽出



出典：参考文献9

定できる<sup>8)</sup>。メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアムは、メタンハイドレート層への二酸化炭素を圧入するフィールド実験を進めている<sup>10)</sup>。メタンハイドレートの表層部分だけでなく内部のメタンを二酸化炭素に置換する技術や、温室効果係数の高いメタンの大気中への漏洩防止といった技術課題はあるが、地球温暖化対策に寄与する商業的な非在来型天然ガスの生産技術として商業化が期待される。

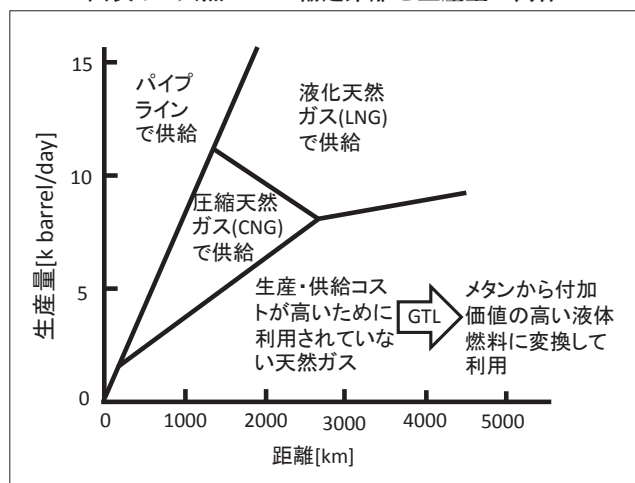
## 4 天然ガス変換技術の研究

### 4-1 Gas To Liquid : GTL 技術とその動向

天然ガス(メタン)からナフサ、灯油、軽油といった液体炭化水素を製造する技術は Gas To Liquid : GTL と呼ばれる。GTL では、メタンと水蒸気を反応させて一酸化炭素と水素が混合された合成ガス(Syngas)を生成し、Fischer-Tropsch 合成により液体炭化水素(炭素数 C5~100)を得る。最終的には、水素化分解により炭素数の少ないナフサ(C5~10)、灯油(C10~14)、軽油等(C14~20)を製造する。

すでに、Shell や南アフリカの Sasol といった企業によりカタール、マレーシア、南アフリカで商用 GTL プラントが稼動しており、米国でもシェー

図表7 天然ガスの輸送距離と生産量の関係



出典：参考文献 12 を基に科学技術動向研究センターにて作成

ルガスを用いた GTL プラントが計画されている。我が国でも、2006年に設立された日本 GTL 技術研究組合<sup>注)</sup>によって実証プラントが建設・運用され、インドネシアの Pertamina 社、ベトナム石油公社と共同プロジェクトが進められている<sup>11)</sup>。

図表7に示すように天然ガスの供給方法は、消費地までの距離と生産コストに対応する生産量の関係から、パイプライン、圧縮天然ガス(CNG)、液化天然ガス(LNG)から選択される。GTL 技術により天然ガス(メタン)から付加価値の高い液体燃料を製造すれば、これまでは生産・供給コストといった経済性の問題から利用されていなかった未利用天然ガスを有効利用できる。

### 4-2 ARPA-E における天然ガス変換技術の研究

米国エネルギー省の ARPA-E では、経済性の高い革新的な天然ガス変換技術に関する研究プログラムを進めている<sup>12)</sup>。図表8に示すように、既存の GTL 技術では、メタンから Syngas を生成し、Fischer-Tropsch 合成により LP ガスやディーゼル・ジェット燃料を生産する。しかし、液体燃料の生産工程において膨大なエネルギーが消費されるという問題があり、大型 GTL プラント構築にも莫大な投資が必要になる。それに対して、ARPA-E の研究プロジェクトでは、メタン酸化菌等のバイオテクノロジーを応用して、メタンからメタノールや液体燃料に直接変換する技術の実現を目指している。これらの技術が実現されると、従来の GTL プラントのように膨大なエネルギーを消費することなく、在来型天然ガスや非在来型天然ガスのシェールガスやメタンハイドレートから、エネルギー密度が高く、貯蔵・可搬性の面で付加価値の高い液体燃料を生産することができる。

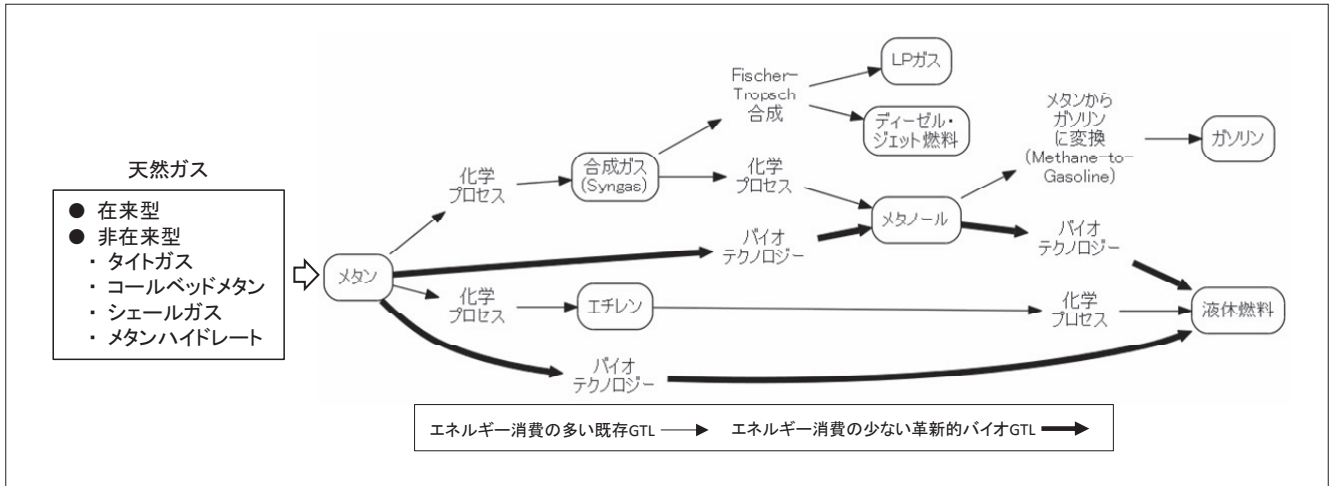
## 5 まとめと提言

世界的な人口増加や新興国・途上国における経済成長によるエネルギー消費の増加により、石炭から大気汚染物質や二酸化炭素の排出量の少ない

注 日本 GTL 技術組合は 2012 年 8 月 31 日に解散し、2012 年 10 月 1 日に後継組織として JAPAN-GTL コンソーシアムが設立された。



図表8 既存GTL技術とARPA-Eにおける革新的バイオGTLの研究



出典：参考文献12を基に科学技術動向研究センターにて作成

天然ガスへのシフトが進むと見込まれている。国内に存在するコールベッドメタンやメタンハイドレートを開発すれば、非在来型天然ガスの供給だけでなく、二酸化炭素回収・貯留技術として地球温暖化対策に寄与することも期待される。ただし、かつてのシェールガス開発のように、経済性の問題から商業生産に至らなかった事例もあるため、今後は、在来型エネルギーとの競合を含めて経済性を評価しながら、生産コストを低減するブレイクスルー技術につながる研究開発を推進していく必要がある。

天然ガス生産量の拡大を背景に、天然ガスから液体燃料を製造するGTL技術は石油代替技術として重要な役割を担っている。しかし、既存の化学プロセスによるGTL技術では、エネルギー消費が大きくプラントの建設費用も高額になるという問

題がある。海外から天然ガスを輸入し、将来はメタンハイドレートの商業生産が期待される我が国にとって、本稿で紹介したエネルギー消費の少ない革新的バイオGTL技術は、天然ガス（メタン）を付加価値の高い液体燃料に変換する重要な技術であるため、研究開発の動向を注視すべきである。（独）科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業では、藻類・水圏微生物の光合成を利用した液体燃料生産について先進的なバイオテクノロジー研究が進められている。国内でも、革新的バイオGTL技術に関係するメタン酸化菌の研究は多くの大学や公的研究機関等で行われているが、これまでは生物学の微生物研究や環境科学の土壌研究の領域に留まっており、今後はエネルギー生産の観点からこれらの研究を推進していく必要がある。

## 参考文献

- 1) Energy Information Administration (EIA) (2013). Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources : An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, U.S. Department of Energy.
- 2) International Energy Agency (IEA) (2012). Golden Rules for a Golden Age of Gas : World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas, OECD/IEA.
- 3) 伊原 賢 (2010). シェールガスの広がり, 石油・天然ガス資源情報, 2010年2月12日.
- 4) 伊原 賢 (2011). 水圧破碎技術の歴史とインパクト, 石油・天然ガスレビュー, 45 (3), 17-30.
- 5) Aldhous, P. (2012). Drilling into the Unknown, New Scientist, 213 (2849), 8-10.
- 6) 有村 俊秀, 前田 征児, 和田 潤, 浦島 邦子 (2011) 排出量取引を利用した二酸化炭素回収・貯留技術の促進について, 科学技術動向, No. 120, 20-32. <http://hdl.handle.net/11035/2224>
- 7) 松原 修, 小西 祐作 (2008) コールベッドメタンの埋蔵量評価手法および開発・生産技術, 石油・天然ガスレビュー, 42 (6), 19-30.
- 8) Ohgaki, K., Takano, K., Sangawa, H., Matsubara, T., Nakano, S. (1996). Methane Exploitation by Carbon Dioxide from Gas Hydrates—Phase Equilibria for CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> Mixed Hydrate System—. Journal of Chemical Engineering of Japan, 29

- (3), 478-483.
- 9) Aldhous, P. (2012). Drilling into the Unknown, New Scientist, 213 (2849), 8-10.
- 10) 増田 昌敬, 安江 正宏, 長尾 二郎, 赤坂 千寿 (2013). CO<sub>2</sub> 圧入によるメタンハイドレート層からの増進改修法, 平成 25 年度石油技術協会春季講演会シンポジウム・個人講演要旨集, 82-82.
- 11) 末廣 能史, 片倉 和人 (2013) 国産 GTL 技術開発の現状と今後について—JAPAN-GTL で資源獲得を目指す—, 石油天然ガスレビュー, 47 (1), 1-22.
- 12) ARPA-E, Natural Gas Conversion Technologies Workshop,  
<http://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-events/natural-gas-conversion-technologies-workshop>

..... 執筆者プロフィール .....



**古川 貴雄**

科学技術動向研究センター 上席研究官

博士(工学)。ITベンチャー企業でコンピュータグラフィックスを用いた設計支援システム、実時間動画画像処理を応用したアプリケーションの研究開発に従事し、2009年より現職。