

サマリー

合成燃料の現状と今後の動向について

平井 晴己、松尾 雄司、宇野 宏、永富 悠

石炭・天然ガス・バイオマスなど、炭化水素を起源とするものの、そのまま利用するには制約があるため、ガス化（分解）・合成を行い、新たな炭化水素（常温常圧で液体）を合成する、いわゆる「合成燃料」について、その現状と今後の動向について調査を行った。

1. 導入状況と今後の見通し

- (1) 中東を中心とした GTL の大型プロジェクトは、天然ガス価格や建設コストの高騰により採算性が悪化、一部を除いて、その多くが計画中止となっている。
- (2) 安価な国内炭を利用した中国での CTL や DME プロジェクトは着実に進められており、今後の導入は進むと見られる。

2. 経済性

- (1) 建設コストや原料価格の上昇により、生産コストは上昇している。
- (2) 安価な石炭を原料とする場合には、軽油と同程度の経済性を有する場合がある。

3. 環境性

燃焼時のクリーン性は高いが、製造過程では多くのエネルギー投入が必要なため、LCA 評価での CO₂ 排出量は、軽油より多くなるのが一般的である（原料がバイオの場合を除く）。

合成燃料は、既存のインフラをそのまま利用でき、環境特性に優れたクリーンな燃料である。また原料の多様性は、エネルギーの安定供給という点からもその価値は高いと考えられる。経済性やエネルギー効率の面では課題は多いものの、中長期的な観点から、積極的に取り組む必要があると考えられる。

お問合せ: report@tky.ieej.or.jp

合成燃料の現状と今後の動向について

計量分析ユニット*	研究主幹	平井 晴己
	研究員	松尾 雄司
	研究員	宇野 宏
	研究員	永富 悠

はじめに

炭化水素が燃焼（酸化）される際に、発生する熱エネルギーを取り出して利用する場合¹、そのままボイラー燃料として燃焼するのが最も効率的である。炭化水素を加工変換（分解、再結合）することは、エネルギーの新たな投入が必要となり、プロセスの全工程を考慮するならば効率は低下するからである。しかしながら、輸送用燃料としての利用を考えた場合には、特に、石炭やバイオマスは何らかの方法で、内燃機関用としての利用が可能な形態に変換することが必要となる。ガソリンや軽油といった石油系燃料と同様に、常温常圧で液体に変換することは、既存の石油系燃料のインフラを殆どそのまま利用できることから、最も利便性の高い利用方法となる。このように、利便性と、経済性やエネルギー効率については、トレードオフの面があるものの、全体としての費用対効果をどう判断するかという点から議論して行く必要がある。

本稿で扱う合成燃料とは、同じ炭化水素を起源とするものの、そのまま利用するには制約のあるもの、すなわち、固体である石炭やバイオマス、あるいは気体である天然ガスを、一旦は分解して、必要に応じて、目的物である炭化水素を再合成して得られた液体（常温常圧）を合成燃料と定義し、具体的には FT 法（フィッシャー・トロプッシュ法）によって生産される FT 合成油と DME に関する現状と今後の動向について、合成燃料の導入状況と今後の計画、原料の需給、合成燃料の経済性と LCA 評価、各地域における合成燃料の導入ポテンシャルに関してまとめる。

第1章 序論

1-1 合成ガス燃料の位置づけ

合成ガスから炭化水素を合成する手法は、1920 年代ドイツにおいて、石炭を原料として確立したプロセスで、その創始者の名をとり、FT 法（フィッシャー・トロプッシュ法）と呼ばれる。ほぼ同時期にドイツでベルギウスにより石炭の直接液化のプロセスが開発されるが、石炭の液体燃料化に関しては、ベルギウス法を「直接液化」、FT 法を「間接液化」

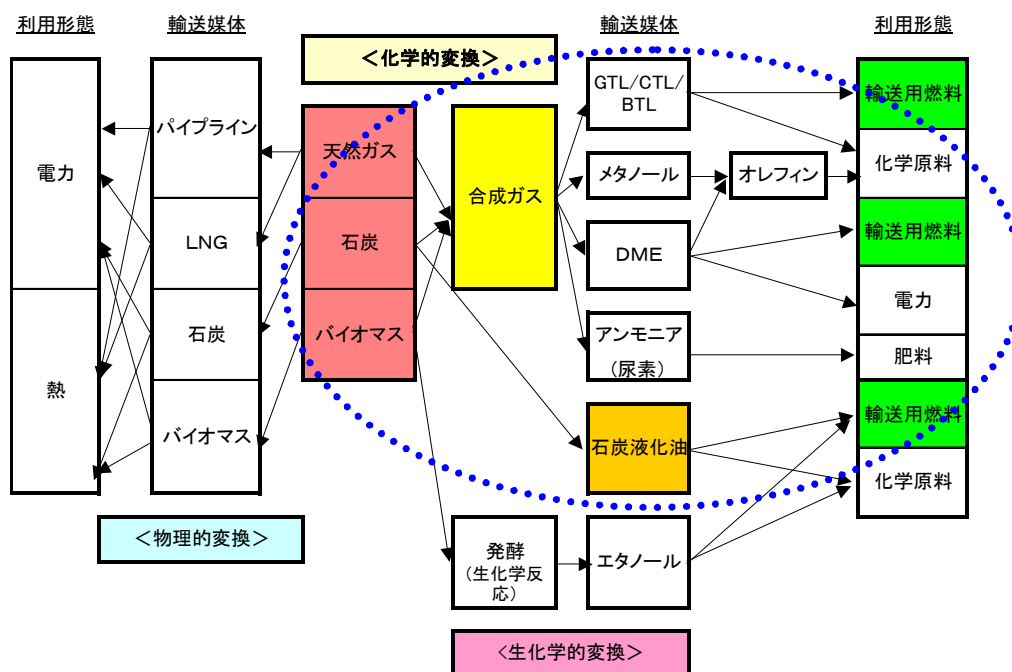
* この他、森田研究理事、奥村研究主幹、中西研究主幹（現、新日本石油）、洪主任研究員（現、SK エナジー）、姜主任研究員（現、韓国石油品質管理院）にも多大な協力と支援を頂いた。

¹ 正確に記述すれば、 Σ 乖離エネルギー（C-C、C-H、O-O など）と Σ 結合エネルギー（C-O、H-O など）の差額を取り出すということである。

として区分する慣わしがある。いずれにしろ、合成燃料の製造は、各種の炭化水素を分解して、合成ガスを製造して、さらにそれを原料として再合成するという、一般的な化学熱力学反応である、有機合成反応と定義できる。

バイオマスから酵素による発酵反応を介して製造されるエタノールなど、いわゆる生化学反応とは、触媒、反応温度・圧力、収率、熱効率などが大きく異なる。炭化水素化合物である天然ガス、石炭、バイオマスから、どういう形態でエネルギーを取り出すのか、その代表的な経路について図 1-1-1に示した。

図 1-1-1 合成燃料の位置づけ²



1-2 プロセスの概要

1-2-1 プロセスの概要

合成燃料の製造プロセスは3つの段階に分かれる。

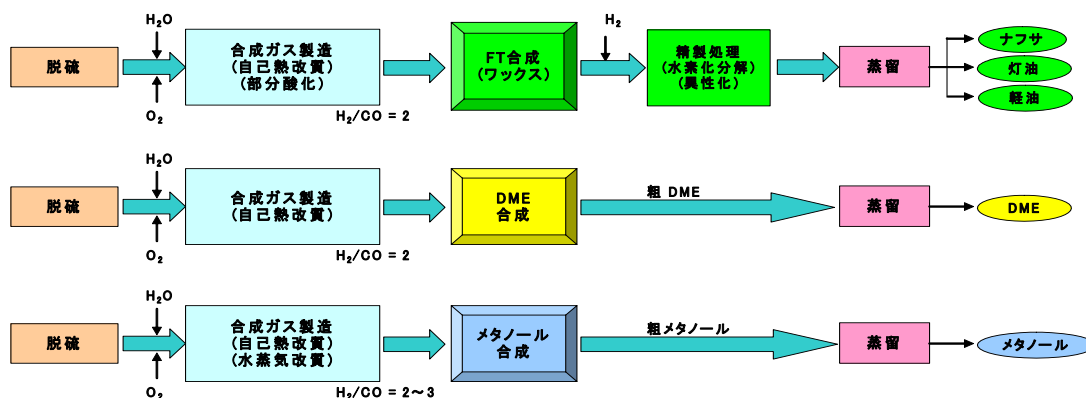
- ① 第1段階：合成ガスの製造
- ② 第2段階：合成ガスを原料として粗燃料を合成
- ③ 第3段階：粗燃料のアップグレーディング（水素化、改質・異性化）

² 物理的変換の部分、LNG あるいは石炭から電力に変換されて利用される場合、厳密には、①熱に変換（蒸気ボイラー、ガスタービンなど）された後、②動力を経由して、③電気に変換されることになるが、図中では間を省略している。

第 1 段階で原料となる炭化水素源を分解して合成ガス(CO+H₂)をつくり、第 2 段階で合成ガスから目的生産物を合成する。様々な分子量を持つ炭化水素の合成（以下、「FT 合成」という）を行うか、メタノールや LPG と性質が似た DME（ジメチルエーテル）など単一製品の合成を行うかによって反応温度・条件などプロセスの詳細は若干異なることになる。第 3 段階はメタノールや DME の場合は、不純物（高級アルコールなど）を除去することになるが、FT 合成油の場合は、直鎖の炭化水素化合物が、炭素数の小さいものから大きいものへと連続的に合成されるため、高分子化合物の分解、低分子化(水素化分解)、直鎖構造の異性化(分枝化)や芳香族化（環状化、脱水素）によって、付加価値の高い多様な製品を製造する過程となる。

FT合成油、メタノール、DMEの合成経路を図 1-2-1に概念化して示した。

図 1-2-1 GTL、DME、メタノールの合成プロセス概略



1-2-2 合成ガスの製造

合成ガスの製造は、FT 合成燃料、DME などの分野だけではなく、石油精製における水素の製造（原料は LPG、ナフサ、オフガスなど）、都市ガスの製造（原料は主にナフサ）あるいは IGCC（ガス化複合発電・原料は石炭、残渣油）など幅広い分野で行われているが、合成ガス製造の基本反応式は以下の 3 つに要約できる。

- ①部分酸化 $\text{CH}_4 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$ (発熱反応)
- ②水蒸気改質 $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2$ (吸熱反応)
- ③水・ガスシフト反応 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ (吸熱反応)

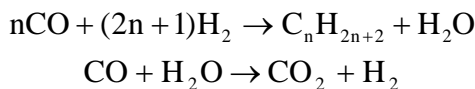
部分酸化法とは、完全燃焼に必要な理論酸素量よりも低い酸素濃度で不完全燃焼させるものである。石炭やバイオマスの場合は、部分酸化法によって合成ガスが製造されるが、合成ガスの H₂/CO 比は、FT 合成で必要とされる 3:1 よりも低いため、水・ガスシフト反応

により水素比を上げる必要がある。

水蒸気改質反応はメタンなどの低炭化水素化合物の場合に利用されることが多いが、部分酸化法、あるいは、両方を組み合わせる自己熱改質法(ATR)を用いる場合もある。天然ガスから水蒸気改質法により製造された合成ガスは水素比が高いため、水・ガスシフト反応を利用する必要がない。

1-2-3 FT合成

FT 合成のプロセスは、各種の触媒が充填された反応器に組成 (H₂/CO 比) を調整した合成ガスを導入し、合成反応を行うプロセスである。反応により直鎖の炭化水素のほかにオレフィンやアルコール類、その他さまざまな副反応生成物が生成する。



FT 合成における反応は鎖が成長する一種の重合反応であり、縦軸を対数軸とし横軸に炭素数をとると生成するパラフィンの分子量は直線で示される。この反応は下記の Anderson-Flory-Schults 重合速度式に従うものと仮定される。

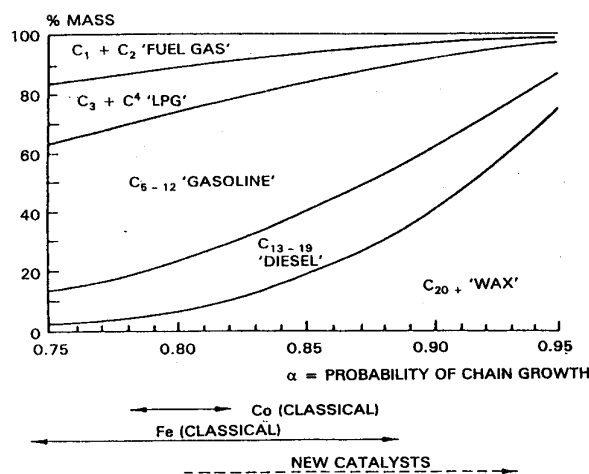
$$\text{Log}(W_i / C_i) = (\text{log } \alpha)C_i + K$$

C_i : 炭素数、K : 定数、W_i : 炭素数 C_i の生成物の留分重量

$$\alpha = R_p / (R_p + R_t)$$

α : 鎖が成長する確率、R_p : 重合速度、R_t : 終速度

図 1-2-2 触媒選択に対する生成物の分子鎖分布



(出所) P.J.A. Tijm et. al., Proceedings of Gastech 93, Feb. 16-19, 1993

重合反応は鎖の成長速度に対する鎖の集結速度の確率 α で示され、この値が高ければ分子鎖が長くなり、生成物はよりパラフィンに富む。反応温度で見ると、一般に 330~350°C の場合、ガソリン留分とオレフィン類が主に生成し、180~250°C では軽油留分とワックスが主に生成する。FT 合成においては、得られる製品は炭素数の多い直鎖の炭化水素が中心となるため（主にワックス）、表 1-2-1 に示すように流動点が高い。この合成油を、水素化分解により低分子化を行うと、ナフサや灯油といった留分に相当する炭素数をもった留分が多い、液体の合成燃料油に転換される。分解の反応条件を変えることによりナフサ、灯油、軽油相当留分（C₁₀~C₂₀）の収率を高めることが出来る。合成油は、さらに蒸留により各々の留分に分別される。Shell の SMDS プロセスでは運転条件により軽油収率最大型（ナフサ 15%、灯油 25%、軽油 60%）と灯油収率最大型（ナフサ 25%、灯油 50%、軽油 25%）に変更が可能とされる。

表 1-2-1 Sasol・SSPD プロセスによる一次生成物の性状

	FT 合成油	アラビアン ライト	ブレント	スマトラ ライト
API 比重	46.5	32.3	38.3	35.0
硫黄分 ppm	<10	19,000	4,000	<1,000
窒素分 ppm	<10	1,100	1,300	1,200
流動点 °C	60	-18	-45	38
軽油留分 Vol%	52	46	49	40
重質油分 Vol%	40	42	37	52

（出所）Thi Chang, Oil & Gas Journal, Dec. 18, 2000

原料別の FT 合成油製造プロセスフローを以下に示す。

図 1-2-3 天然ガス由来 FT 合成油製造プロセスフロー

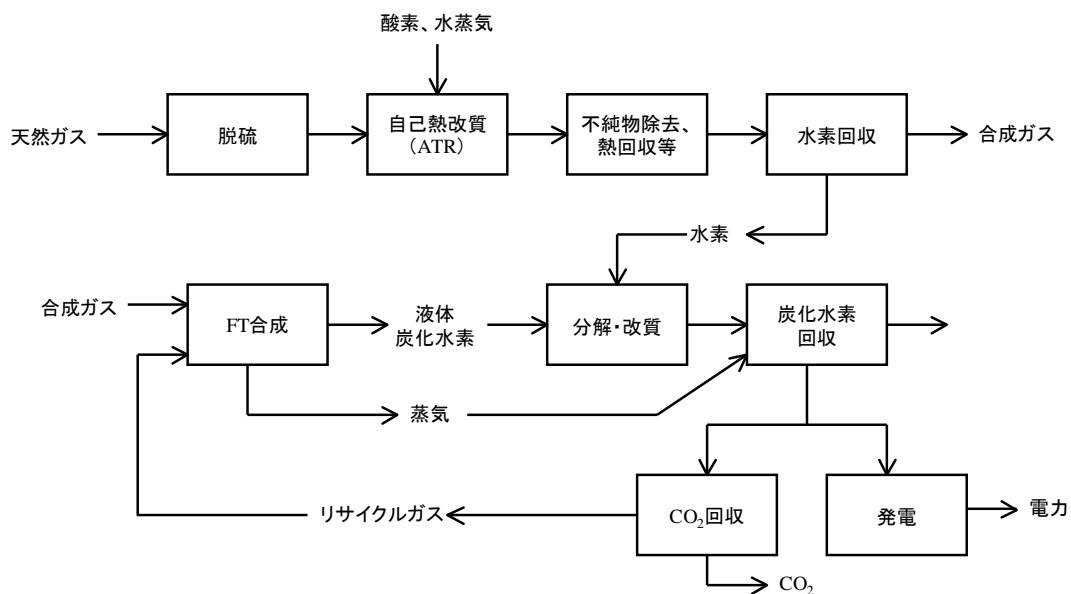


図 1-2-4 石炭由来 FT 合成油製造プロセスフロー

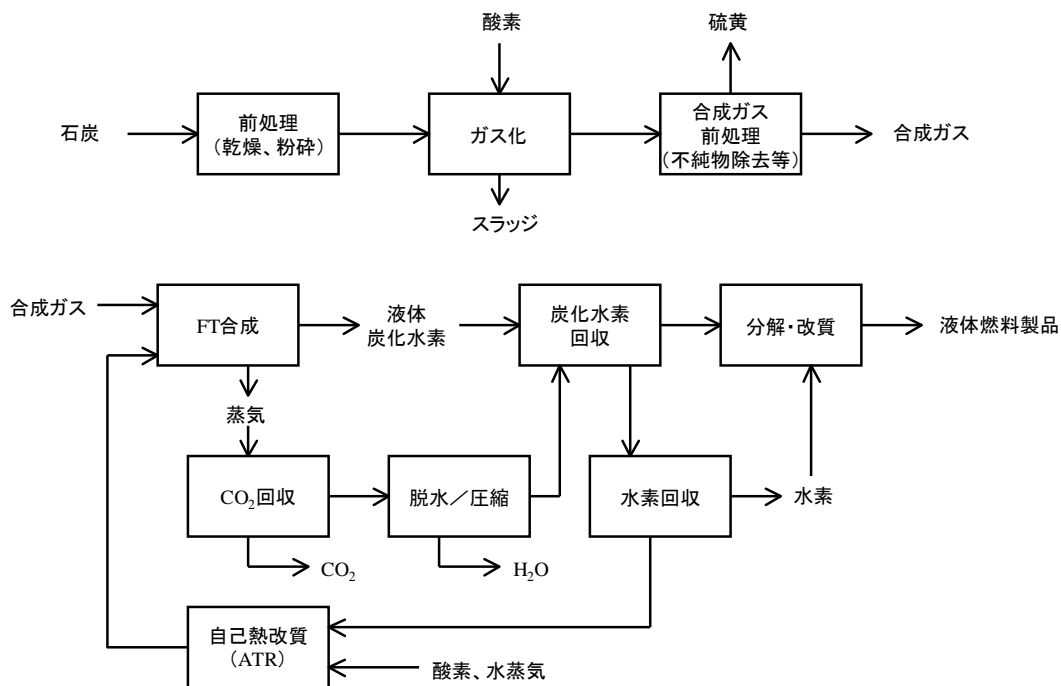
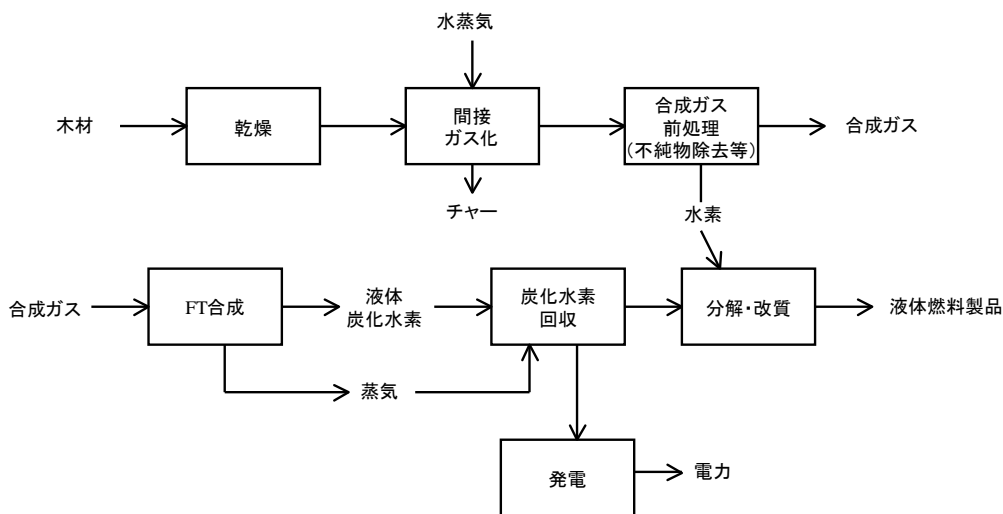


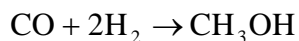
図 1-2-5 バイオマス(木材)由来 FT 合成油製造プロセスフロー



1-2-4 メタノール、DMEの合成プロセス

① メタノールの合成反応

メタノール合成では銅系の触媒が用いられる。合成ガスを用いたメタノール合成反応式は以下のように表せる。



合成ガスからのメタノール合成の歴史は古く、1923年にドイツのBASFによって最初に工業的生産が行なわれた。初期には反応圧力が100気圧以上である高圧法と呼ばれるプロセスで生産が行われていたが、1959年にイギリスのICIが新触媒を開発し、反応圧力50気圧という低圧メタノール合成の工業化に成功した。低圧法の開発によりメタノール製造のためのエネルギー原単位は著しく低減された。メタノール合成反応においては、1パスの転化率が40%程度であることと反応熱を除去する目的から多量の未反応ガスをリサイクルする必要がある。このため、生産規模の上限が2,500トン/日程度と小さいという問題点があるが、メタノール生産大手のMethanex社がチリで進めているMegaプロジェクトの生産能力は5,000t/日規模に拡大している。

② DMEの合成反応

DMEの合成には、合成ガスからメタノールを製造し、脱水する事でDMEを得る間接法と、合成ガスから直接DMEを合成する直接法がある。

- ・間接法

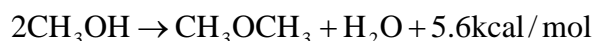
現在、化学製品としてのDMEは、需要が少ないためにメタノールを原料とした脱水反応

で製造されている。DME 合成に関与する反応式は以下のように表される。この製造プロセスはメタノールを経由する 2 段階法(間接法)といえる。

第一段階：(メタノール合成)



第二段階：(脱水反応)



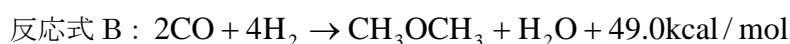
間接法は合成ガスを従来のメタノール合成技術により、メタノールに転換し、脱水して DME に転換する方法である。既存のメタノール合成技術と脱水技術の組み合わせであり、成熟技術といえる。代表的な技術提供者に、三菱ガス化学、東洋エンジニアリング、Lurgi(ドイツ)があげられる。

・直接法

合成ガスから直接製造する技術については Haldor Topsoe、Air Products and Chemicals が開発を行なっている。日本では JFE を中心に技術開発プロジェクトが進められている。しかし、いずれも現状はパイロットプラントの運転段階で止まっており、工業生産には至っていない。DME の直接合成プロセスでは、メタノール合成と同様の銅系触媒に脱水機能を付与した二元機能触媒を用いている。合成ガスから DME が製造される場合の総括的反応式は以下の 2 つの式で表される。発熱反応であるため、効率的に反応熱を除去し温度を制御することが必要である。



(H_2/CO 比が 1 である合成ガスを原料とする場合の反応：石炭など水素が少ない原料)

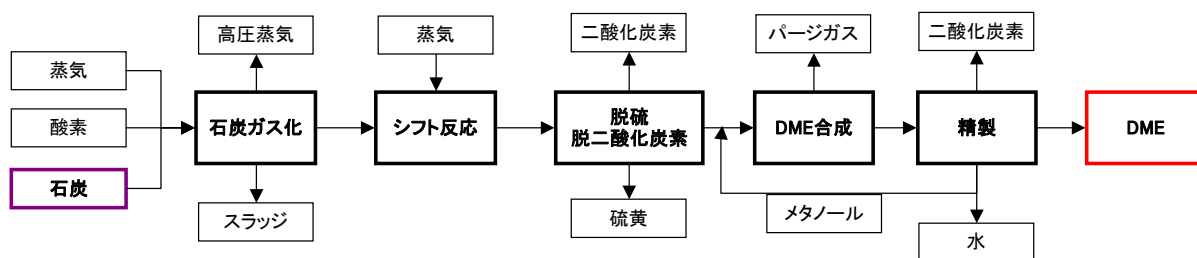


(H_2/CO 比が 2 である合成ガスを原料とする場合の反応：天然ガスなどが原料の場合)

・間接法と直接法の比較

直接法は間接法よりもプロセスが簡素化され、比較的低い圧力下で総合転化率を高める事ができるため、より効率的な DME 生産法として研究が行われている。

図 1-2-6 石炭を原料とした DME 合成プロセスフロー図(直接法)



出所：「石炭を原料とした新クリーン燃料 DME の製造」 日本エネルギー学会(2003)等より作成

第2章 合成燃料の導入状況

2-1 FT合成燃料の導入状況

FT 合成燃料には、原料の種類により GTL(Gas to liquids)、CTL(Coal to liquids)、BTL(Biomass to liquids)に区分される。CTLは、一般的には FT 法(間接法)を指すものであるが、これと異なる直接液化法を含む場合があるので注意を要する。

2-1-1 GTLプロジェクト

GTL はクリーンな燃料として世界的に注目されており、各国で多くのプロジェクトが計画されたが、ここ数年にいたる原油価格の高騰は、原材料価格や人件費の高騰へと波及し、その建設費用は数倍までに跳ね上がることとなった。このため多くの計画は中止、延期をやむなくされているのが現状である。

(1) カタール(表 2-1-1)

カタールのラスラファンに、サソールシェブロン社（南アフリカのサソール社とシェブロン社の合弁会社）と国営カタール石油（QPC）との合弁会社 Oryx GTL 社による GTL プラントが 2006 年 6 月に完成し、2007 年 1 月より稼動が開始された。これはノースフィールドガス田の天然ガスを原料として、3.4 万 B/D の生産能力を有する世界初の商業規模の GTL プラントであるが、触媒系の不具合と思われる運転トラブル（注：サソール社自身は原因を発表していない）のため、数千 B/D の低稼働となっている。

これと並行してシェル社と国営カタール石油合弁による世界最大級の GTL プロジェクト（Pearl GTL）が進められているが、ノースフィールドガス田の天然ガスを原料として生産能力 7 万 B/D のプラントを 2 基建設するもので、投資額は当初想定された 50 億ドルから一挙に 120～180 億ドルに跳ね上がったものの、シェル社はこの計画を進めるとしている。

一方、エクソンモービル社と国営カタール石油によるプロジェクト（Palm プロジェクト、生産能力:15.4 万 B/D）、コノコフィリップス社によるプロジェクト（生産能力:16 万 B/D）、および Marathon 社によるプロジェクト（生産能力:6 万 B/D）は計画中止となった。

表 2-1-1 カタールにおける主な GTL プロジェクト

開発者	プロジェクト名	生産能力	投資額	備考
サソールシェブロン社、 カタール石油	Oryx1	3.4万B/D	30億ドル	世界初の商業規模プラント
サソールシェブロン社	Oryx2	6.6万B/D	-	Oryx1の拡張計画 開始時期不明
シェル社、 カタール石油	Pearl GTL	14万B/D	120～180億ドル	-
エクソンモービル社、 カタール石油	Palm	15.4万B/D	-	計画中止
コノコフィリップス社	-	16万B/D	-	計画中止
Marathon社	-	6万B/D	-	計画中止

(出所) PEC 海外石油情報ミニレポート、JOGMEC 「石油・天然ガスレビュー」等各種資料より作成

(2) アフリカ(表 2-1-2)

ナイジェリアにおいては、シェブロンナイジェリア社とナイジェリア国営石油との共同プロジェクト（Escravos GTL）が進行中である。同プロジェクトのプラント規模は3.4万B/Dであり、建設費高騰を理由に当初計画よりも遅れての進行である。

アルジェリアにおいて計画されていた Tinrhert プロジェクト（生産能力：3.6万B/D）は、建設費高騰のため建設計画が中止となった。

なお、南アフリカの国営石油会社 PetroSA 社は、サソールの技術により、沖合いガス田から生産される天然ガスを原料に GTL の生産を行っている（モッセルベイ工場）。

表 2-1-2 アフリカにおける主な GTL プロジェクト

開発者	場所(プロジェクト名)	生産能力	投資額	備考
シェブロンナイジェリア社、 ナイジェリア国営石油	ナイジェリア (Escravos GTL)	3.4万B/D	-	遅延見込み
シントロリウム社	ナイジェリア アルズー (Ajeプロジェクト)	-	-	-
-	アルジェリア (Tinrhert統合PJの一部)	3.6万B/D	-	建設費高騰のため計画中止
Ivanhoe社	エジプト	4.5～ 9万B/D	-	構想段階

(出所)PEC 海外石油情報ミニレポート等各種資料より作成

(3) その他(表 2-1-3)

マレーシアのビンツルでは、1993年、Shell MDS 社により GTL プラントの建設、運転が開始された。このプラントは南シナ海の海洋油田のガスを原料として、1.47万B/Dの GTL 燃料を生産しているが、1997年に爆発事故により休止したものの、2000年に再稼動した。Rentech 社は、ボリビアにて GTL Bolivia 社（Rentech プロセスのライセンス）と共同で GTL プラントを建設する計画であったが、ボリビアの政情が不安定であることが原因で実現には至っていない。パプアニューギニアでは、クウェート海外石油探査会社 KUFPEC 社（クウェート国営石油会社 KPC の子会社）とシントロリウム社による生産能力5万B/Dの GTL プラントの建設計画がある。シェル社はロシアのガスピロム社と共同で、シベリア西部にロシア初の GTL プラント建設の検討を行ったが、計画はとりやめとなった。

表 2-1-3 その他地域における主な GTL プロジェクト

開発者	場所(プロジェクト名)	生産能力	投資額	備考
Shell MDS社	マレーシア ビンツル	1.47万B/D	-	1993年実用化
Rentech社、 GTL Bolivia社	ボリビア	1万B/D	-	2001年建設の覚書を締結も、 政情不安により建設延期
Rentech社、 ブルタミナ社	インドネシア スラウエシ島	1.65万B/D	-	構想段階 (開始時期不明)
シェル社、 ガスピロム社	シベリア西部 ナディム	-	-	計画中止
シントロリウム社、 KUFPEC社	パプアニューギニア	5万B/D	-	-
BP社	コロンビア (Casanare PJ)	8.4万B/D	-	構想放棄

(出所) (財) 石油産業活性化センター「PEC 海外石油情報ミニレポート」等各種資料より作成

2-1-2 CTLプロジェクト

南アフリカのサソール社が1955年にサソールブルグにて石炭から合成石油のサンプルを製造したのが、CTLの始まりであり、同社はセクンダにある世界で唯一の商業規模のCTLプラントにて、15万B/DのCTL燃料を製造している。国内外の市場の成長に対応すべく、現在、その生産能力を18万B/Dまで増強した。そのほか、石炭資源を豊富に有する中国やアメリカを中心にして、CTLプラント建設プロジェクトがいくつか進められている。

(1) 中国(表 2-1-4)

内モンゴル自治区のErDOSにおいては、中国最大の石炭会社である国営の神華集団会社が、直接液化による生産能力2万B/D、投資額16億ドルのCTLプラントを建設しており、2008年生産開始を予定している。また、同プラントを10万B/D規模に増強することも計画されている。一方、伊泰集団会社も内モンゴル自治区において、直接液化による生産能力3,500B/Dのプラントにて、CTL燃料を2008年に生産開始の予定である。

山西省の榆林(Yulin)においては、2件のCTLプラント建設計画がある。1つは、神華集団会社と南アフリカのサソール社が、間接液化による生産能力12万B/D、投資額50億ドルのCTLプラントについて、2013年操業開始に向けて事業化調査を進めている。もう1つは、山東Yankuang 集団会社による生産能力2万B/D(直接液化)、投資額1,000億元のCTLプラント建設計画であり、2012年の生産開始を予定している。このプラントは実証化プラントであり、現在、認可待ちの段階である。なお、第一段階で10万B/Dに、第二段階で20万B/Dに増強される予定である。

寧夏回族自治区においては、神華寧夏煤業集団会社が2件のプロジェクトを進めている。前者は、南アフリカのサソール社と共同で、間接液化による生産能力8万B/DのCTLプラント建設計画であり、2013年操業開始を目指して、事業化調査を行っている。後者は、ロイヤルダッチシェル社と共同で、間接液化による7万B/DのCTLプラント建設計画であり、2012年の生産開始を予定している。

CTLによる生産量を、2020年には、100万B/D¹(石炭消費量2億トン/年)まで増加させるという目標もあるが、上述してきた中国の主要プロジェクトのうち、実現性のあるものを積算すれば、2020年頃には、およそ30万B/D程度と見るのが妥当なところと言えよう。いずれにしろ、今後、中国でCTL事業が本格化して拡大するかどうかは、中国最大の石炭グループである神華集団会社がサソール社及びシェル社と進めているCTLプロジェクトの成功が鍵といわれており、中国政府もこれら両プロジェクトの成行きを注視している。

¹ 2006年のIEAワークショップ

表 2-1-4 中国における主な CTL プロジェクト

開発者	場所 (プロジェクト名)	生産能力	投資額	備考
神華集团公司	内モンゴル自治区 (Erdos PJ)	2万B/D (直接液化)	16億ドル	2008年生産開始予定 10万B/D規模に増強予定
伊泰集团公司	内モンゴル自治区	3,500B/D (直接液化)	-	2008年生産開始予定
神華集团公司、 サゾール社	山西省 榆林(Yulin)	12万B/D (間接液化)	50億ドル	2013年操業開始予定
山東Yankuang集团公司	山西省 榆林(Yulin)	2万B/D (直接液化)	1,000億元	2012年生産開始予定
神華寧夏煤業集团公司、 サゾール社	寧夏回族自治区	8万B/D (間接液化)	50億ドル	2013年操業開始予定
神華寧夏煤業集团公司、 ロイヤルダッチシェル社	寧夏回族自治区	7万B/D (間接液化)	50~60億ドル	2012年生産開始予定
Lu'an集团公司等	山西省 屯留(Tunliu)	3,500B/D (直接液化)	-	2008年生産開始予定

(出所) PEC 海外石油情報ミニレポート、JOGMEC「石油・天然ガスレビュー」等各種資料より作成

(2) アメリカ(表 2-1-5)

モンタナ州中央部の Bull Mountain 炭鉱にて、エネルギー会社 DKRW Advanced Fuels 社、石炭会社 Arch Minerals 社、Bull Mountain Coal 社による CTL プラント建設が計画されている。生産能力は 2.2 万 B/D であり、2013 年頃稼働予定である。この他にモンタナ州では 2 件のプロジェクトが計画されている。1 つは、Rentech Development 社と Peabody Electricity 社共同による生産能力 1 万 B/D の CTL プラント計画であり、もう 1 つは、BNSF Railway 社と Tenaska 社の共同による計画で実施可能性調査が進められている。

ワイオミング州においては、Rentech Development 社と Peabody Electricity 社共同による生産能力 3 万 B/D の CTL プラント、および Medicine Bow Fuel & Power 社による生産能力 1.3 万 B/D (ナフサとの合計量) の CTL プラントの建設が計画されている。

また、ノースダコタ州に生産能力 3.2 万 B/D の CTL プラントを建設するために、Great River Energy 社、Headwaters 社、North American Coal 社の 3 社は合弁会社 American Lignite Energy 社を設立した。

ミシシッピ州ナチェス地区では、生産能力 2.5 万 B/D (その後 5 万 B/D に増強する予定) の CTL プラントの建設が計画されており、実用化されれば、アメリカ南部で最初の CTL 商業プラントになる。

アメリカでの CTL プロジェクトは、海外資源への依存度の低減、国内資源の開発という観点から積極的に進められており、多額の国内石炭への補助金も拠出されている。また米軍も CTL に興味を示しており、幅広く安全保障上の視点から位置づけられているのが現状である。

表 2-1-5 アメリカにおける主な CTL プロジェクト

開発者	場所	生産能力	投資額	備考
DKRW Advanced Fuels社、 Arch Minerals社、 Bull Mountain Coal社	モンタナ州中央部	2.2万B/D	-	2013年頃稼働予定
Rentech Development社、 Peabody Electricity社	モンタナ州	1万B/D	-	-
BNSF Railway社、 Tenaska社	モンタナ州	-	-	実施可能調査を進めている
Rentech Development社、 Peabody Electricity社	ワイオミング州	3万B/D	-	-
Medicine Bow Fuels&Power社	ワイオミング州	1.3万B/D (ナフサと合計)	-	-
Great River Energy社、 Headwaters社、 North American Coal社	ノースダコタ州	3.2万B/D	20億ドル	合弁会社American Lignite Energy社 設立
Rentech社	ミシシッピ州 ナチュレス	2.5万B/D	-	当初2.5万B/D、その後5万B/Dに 増強予定
Baard Energy社、 コロンビア郡港湾局	オハイオ州 (Ohio River Clean Fuels PJ)	3.5万B/D	40億ドル	-
台湾中油CPC、 アラスカ産業開発輸出公社(AIDEA)、 Alaska Natural Resources-to-Liquids社	アラスカ クック湾西側	8万B/D	50億ドル以上	-

(出所) PEC 海外石油情報ミニレポート等各種資料より作成

(3) その他(表 2-1-6)

フィリピンのパターン石油化学工業地帯にて、Headwaters CTL 社と H & WB 社が生産能力 6 万 B/D の CTL プラントの建設を計画している。プラントの建設は 2009 年までに開始される予定である。オーストラリアでは、エネルギー会社 Altona Resources 社による CTL プラントの建設プロジェクトがある。第一、第二段階では 3 万 B/D の CTL 燃料を、第三段階では 4.5 万 B/D の CTL 燃料を生産することが計画されている。

表 2-1-6 その他地域における主な CTL プロジェクト

開発者	場所	生産能力	投資額	備考
Sasol社	南アフリカ セクンダ	3万B/D	-	既存能力15万B/Dから18万B/D への増強計画
Headwaters CTL社、 H&WB社	フィリピン パターン石油化学工業地帯	6万B/D	-	2009年までに建設開始予定
Altona Resources社	オーストラリア	7.5万B/D	-	第1・2段階計3万B/D、 第3段階4.5万B/D
PT Nuansa Cipta Coal Investment社、 Kenertec社、 POSCO Engineering and Construction社	インドネシア ボルネオ島 東カリマンタン	10万B/D	55億ドル	当初3万B/D、その後10万B/Dに拡大

(出所) PEC 海外石油情報ミニレポート等各種資料より作成

インドネシアのボルネオ島の東カリマンタンでは、生産能力 10 万 B/D の CTL プラント

建設プロジェクトが計画されている。これはインドネシアの PT Nuansa Cipta Coal Investment 社、韓国の Kenertec 社、POSCO Engineering and Construction 社による共同プロジェクトであり、投資額は 55 億ドルである。

2-1-3 BTLプロジェクト

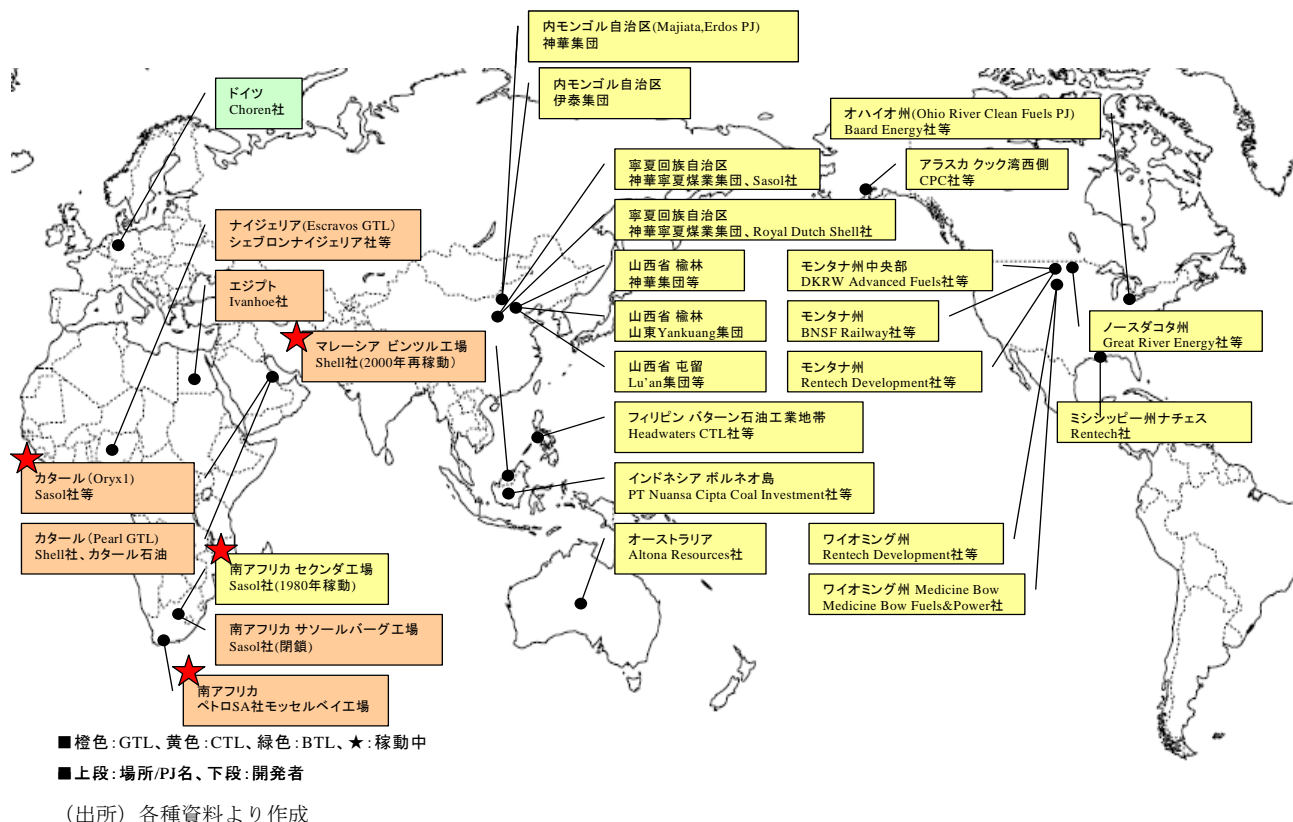
ドイツの Choren 社が、世界で最初の生産能力 300B/D の BTL 商業化プラントを建設し、2008 年中頃には生産開始の予定である。同社は、さらに、2020 年にかけて 4,000B/D の能力を持つプラントを 10~15 基建設する計画である。また、Choren 社は、シェル社、ダイムラー社、VW 社と共同で、国内に 2 万 B/D 以上の BTL プラントの建設を予定している。

表 2-1-7 ドイツにおける主な BTL プロジェクト

開発者	場所	生産能力	投資額	備考
Choren社	ドイツ フライベルグ	300B/D	-	2008年中頃に生産開始予定
Choren社、シェル社、 DaimlerChrysler社、VW社	ドイツ	2万B/D以上	-	2010年生産開始予定

(出所) PEC 海外石油情報ミニレポート等各種資料より作成

図 2-1-1 FT 合成燃料プロジェクト開発状況 (2007 年末)



2-2 DMEの導入状況

2-2-1 世界のDME取組状況

欧米では自動車メーカーを主体に研究が進められており、主な研究テーマとしては、アメリカでの DME エンジンの試験、オランダでは燃料噴射システム開発、デンマークでの「スカンジナビアンバスプロジェクト」といったものがある。

日本では、2006 年の商業化を目指していたものの、予定通りに実現するには至っていない。現在国内で進められている計画は、三菱ガス化学を中心として 9 社で設立された「燃料 DME 株式会社」によるもので、三菱ガス化学新潟工場内での 8 万トン/年（10 万トン/年まで増産可能）のプラント建設（2008 年 6 月に完成予定）のみである。その他、JFE 等 10 社で共同設立された「ディーエムイーインターナショナル株式会社」は、2003 年から 2006 年にかけて北海道の合成実証プラントで実験を行った。

一方、中国では、国内に豊富に存在する安価な石炭をクリーンなエネルギーとして利用するという観点から、多数の DME プロジェクトが計画されている。

表 2-2-1 燃料DME株式会社の出資比率

出資企業	出資比率
三菱ガス化学	29.15%
伊藤忠商事	13.25%
石油資源開発	12.00%
太陽石油	10.00%
トタルDMEジャパン	10.00%
豊田通商	10.00%
日揮	5.30%
三菱重工業	5.30%
三菱化学	5.00%

(出所) 燃料 DME 製造㈱ホームページ

2-2-2 中国におけるDME導入の背景

中国では急激な経済成長、急速なモータリゼーションの進展によるエネルギー需要の増大に対応するため、石油代替、LPG 代替エネルギーとして石炭を原料とする DME の活用を積極的に進めている。

中国政府の DME 開発方針は、以下のとおりである。

- ① DME は中国のエネルギー構造に適した発展性のある代替エネルギーとして位置づける
- ② DME 製造プラントの大規模化が必要である

③ DME を製造する原料は石炭に立脚すべきである

(発展改革委員会主催「DME 産業発展討論会」2006 年 7 月)

2-2-3 中国における導入実例

民生用燃料としては、山東省や陝西省などの一部地域では既に、LPG に DME を混ぜた混合ガスが LPG 代替燃料として供給されている。

また、自動車用燃料としては、上海交通大学、上海自動車集団、華誼集団の共同研究・開発による、中国初の DME 燃料の都市バスが、2005 年 4 月、科学技術省の成果検査を受けて合格した。2006 年 12 月には 10 台の DME 燃料都市バスが完成し、2007 年 7 月から上海市内の走行路線で、実際の乗客輸送に従事するフリートテストが始まった。上海市では、2008 年には DME 燃料バスを 100 台以上に増やす計画であるが、2010 年の上海万博までには、さらに、DME 燃料バスを 1,000 台まで拡大することである。

内モンゴル自治区、寧夏回族自治区、山西省などの主要な炭産地の近辺に、現在、100 万トン/年規模の DME 生産プラントの建設計画が複数立案されている。現在の DME 生産能力は、年間 60 万トン程度の規模にすぎないが（1.5 万 B/D、石炭消費量 89 万トン/年）、公表された計画をもとに試算すると、2015 年頃には 1,700 万トン/年程度（43.7 万 B/D、石炭消費量 2,500 万トン/年）の生産規模に達するものと考えられる。このように、多数のプロジェクトの乱立で過剰能力となることを懸念した発展改革委員会は、2007 年 7 月に、100 万トン以下の DME プロジェクトは、「原則として承認しない」旨の通達を出した。

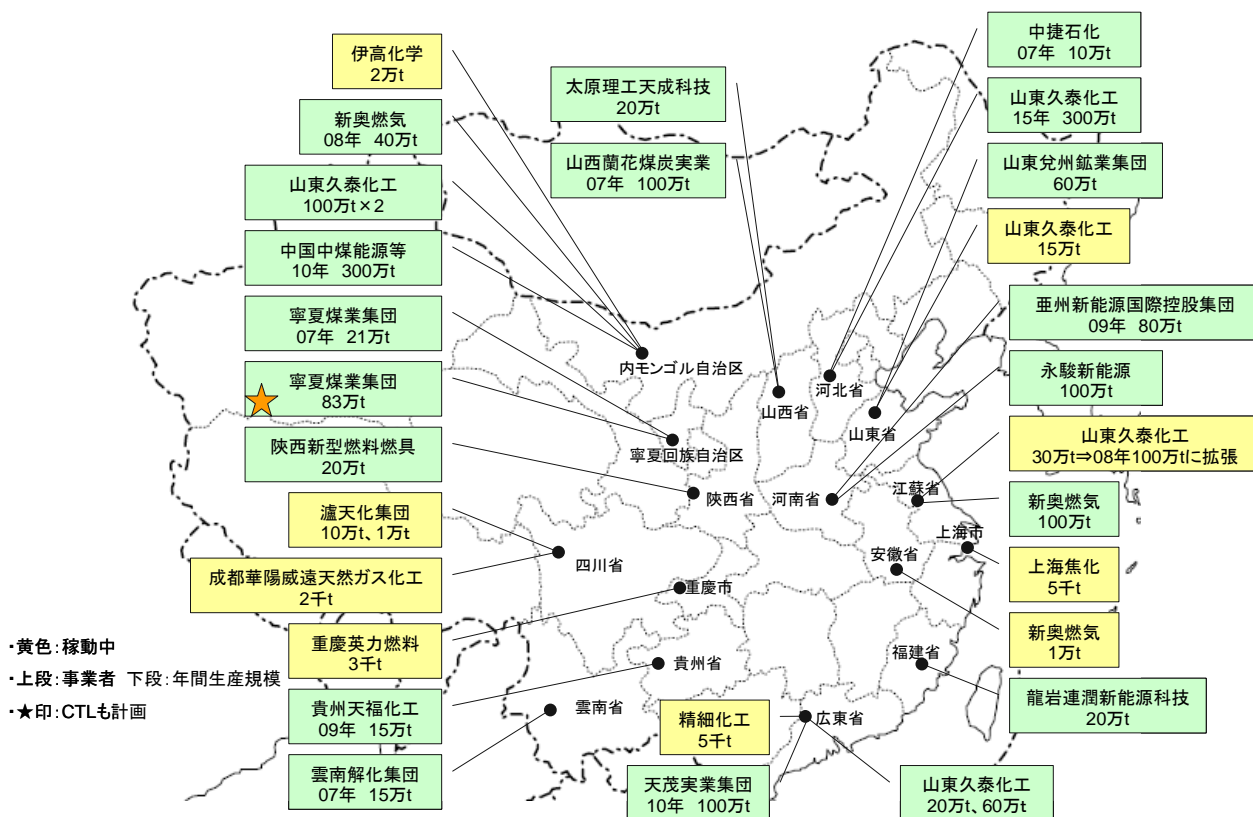
内モンゴル自治区においては、山東久泰化工技科が 2005 年 4 月から 100 万トン/年規模のプラント建設を行っており、さらに 2009 年から 2011 年にも 100 万トン/年規模のプラント建設を計画している。これらプラントから製造された DME 燃料は、北京へ向けての供給が考えられている。また、中国中煤能源集团公司、中国石油化工などによる 300 万トン/年というかなり大規模なプラント建設も計画されている。

寧夏回族自治区の銀川においては寧夏煤業集団による 83 万トン/年のプラント建設プロジェクト、山西省においては山西蘭花煤炭実業集団による 100 万トン/年のプラント建設プロジェクトがある。

河北省唐山市の曹妃甸産業パークでは、山東久泰化工技科が 300 万トン/年のプラント建設を計画しており、2008 年 8 月に建設を開始し、2015 年の完成を目指している。

江蘇省の張家港では、山東久泰化工技科と河北新奥集団がそれぞれ 100 万トン/年のプロジェクトを計画している。山東久泰化工技科は、すでに第一期プロジェクトにて 30 万トン/年の生産を開始し、第二期プロジェクトは 2008 年末に完成する予定である。また、河北新奥集団は第一期プロジェクト（20 万トン/年）の建設を進めている。

図 2-2-1 中国におけるDME製造プラント



(出所) 各種資料より作成

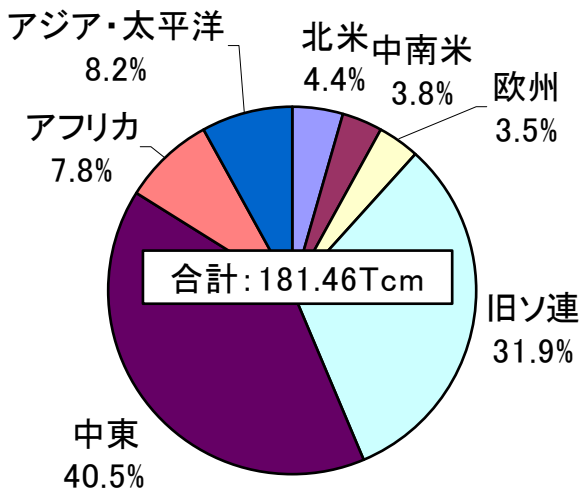
第3章 合成燃料の原料の需給動向

3-1 天然ガス

3-1-1 確認埋蔵量及び可採年数

天然ガスは地層内に気体として存在する可燃性ガスで、主成分はメタンCH₄である。燃焼時に発生する窒素酸化物や二酸化炭素が石油・石炭に比べると少ないことが特徴である。世界の天然ガス確認埋蔵量は、図 3-1-1に示すように、旧ソ連や中東、その他の地域に分布しており、約 62%が中東に存在する石油に比べると偏在性が低く、可採年数（R/P比）も石油の 40.5 年に比べて 63.3 年と長い（表 3-1-1）。

図 3-1-1 地域別天然ガス埋蔵量（2006 年末）



(出所) BP 統計

(注)1Tcm=1 兆立方メートル

表 3-1-1 天然ガスの可採年数（2006 年末）

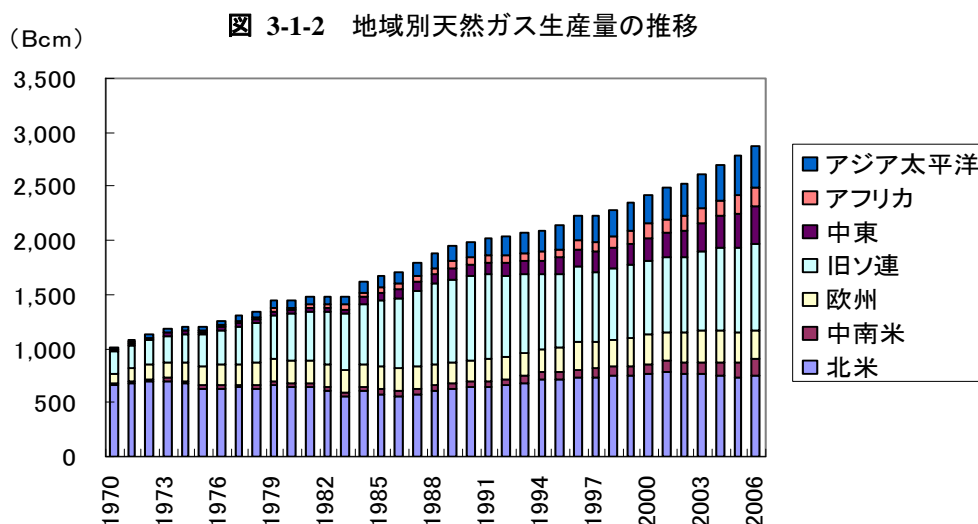
(単位：年)

	天然ガス	石油	石炭
北米	10.6	12.0	226
中南米	47.6	41.2	246
欧州・ユーラシア	59.8	22.5	237
中東	100以上	79.5	194
アフリカ	78.6	32.1	
アジア・太平洋	39.3	14.0	85
合計	63.3	40.5	147

(出所) BP 統計

3-1-2 世界の天然ガス需給動向

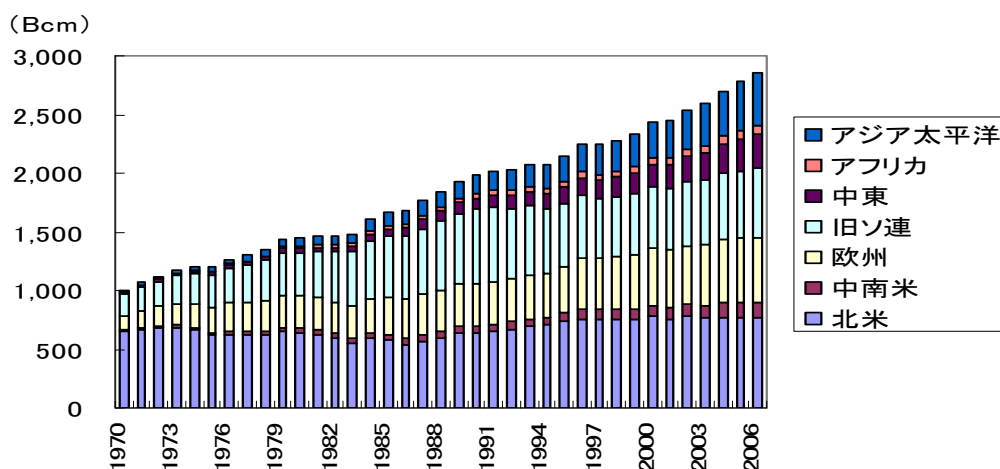
世界の地域別天然ガス生産量の推移を図 3-1-2に示す。2006年の天然ガスの生産量は2.87兆立方メートルであり、1970年に比べて約2.8倍となっている。2000年から2006年までの年平均伸び率は石油の1.4%に対し天然ガスは2.8%と、大きな伸びを示している。地域別には北米及び旧ソ連がそれぞれ27%を占めている。



(出所) BP 統計

天然ガスの消費も堅調に拡大を続けている (図 3-1-3)。需要増の要因としては相対的な環境負荷の低さや利用技術の進歩、石油と比較した場合の価格優位性等が挙げられる。2006年には1970年比2.9倍の2兆8,510億立方メートルとなったが、うち北米が27%、旧ソ連が21%、欧州が19%、アジア太平洋地域が15%となっている。旧ソ連地域では1990年代に入ってソ連崩壊に伴う経済の混乱により生産活動が低下し、消費が減退したが、その傾向も1997年には底を打ち、以後回復基調にある。

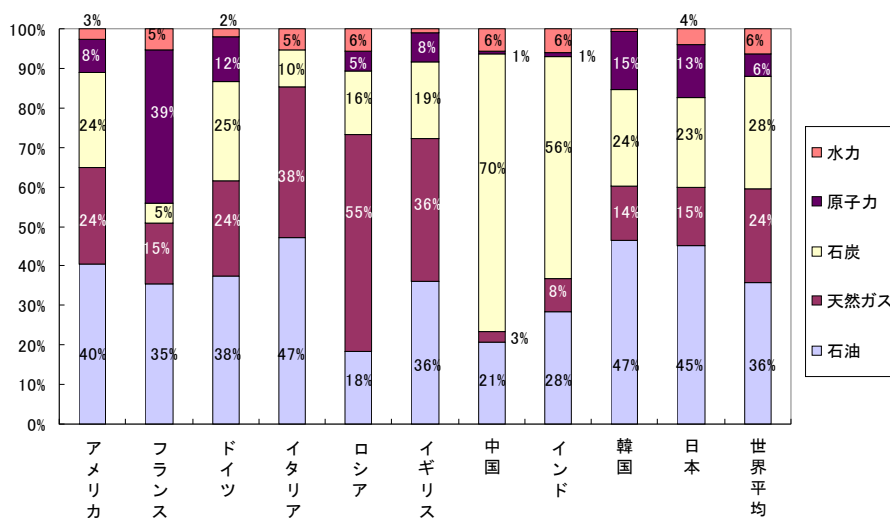
図 3-1-3 地域別天然ガス消費量の推移



(出所) BP 統計

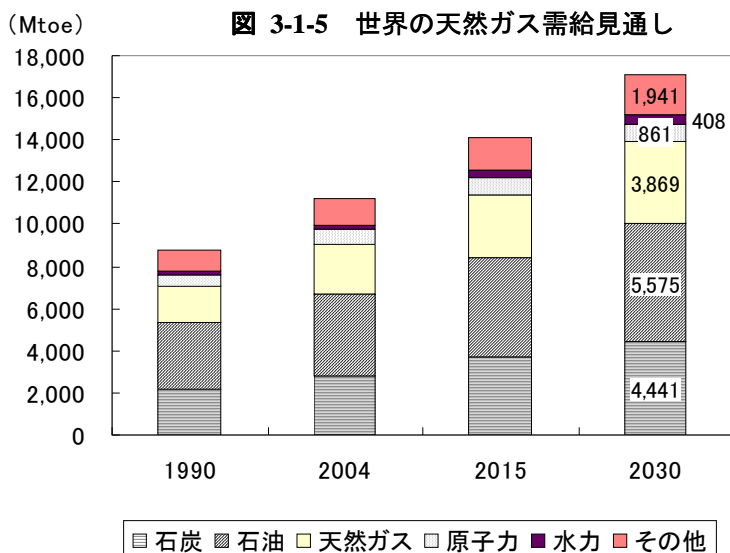
一次エネルギーに占める天然ガスのシェアは、図 3-1-4に示すように、世界全体で 24% (2006 年) である。主要国別に見ると、原子力比率の高いフランスを除き多くの欧米諸国で天然ガスのシェアは 20%を超えているのに対しアジア諸国でのシェアは低く、わが国では 15%にとどまっている。

図 3-1-4 主要国における一次エネルギー構成比較 (2006 年)



(出所) BP 統計

今後も天然ガスの需要は大幅に伸びると見られる。IEAの見通し (図 3-1-5) では 2030 年まで年率 2%で需要が増大し、一次エネルギー供給の 23%を占める見込みである。

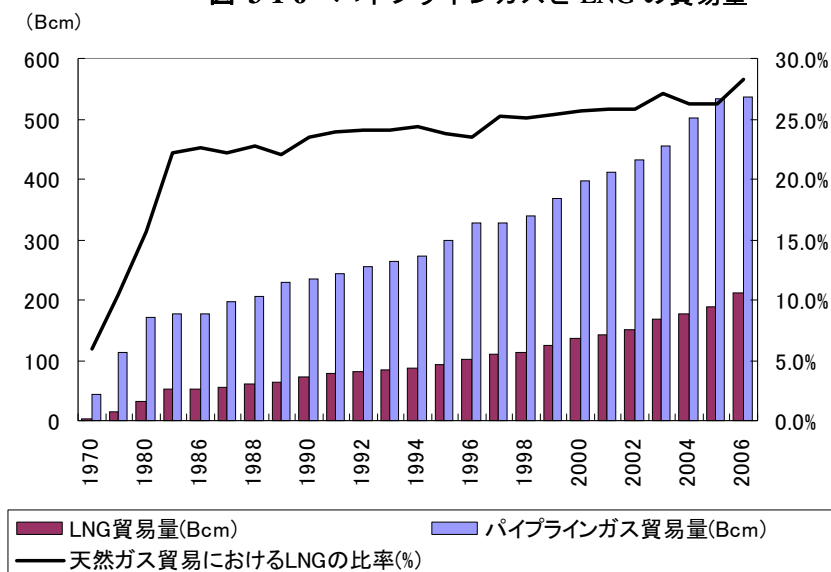


(出所) IEA "World Energy Outlook 2006"

3-1-3 天然ガス貿易

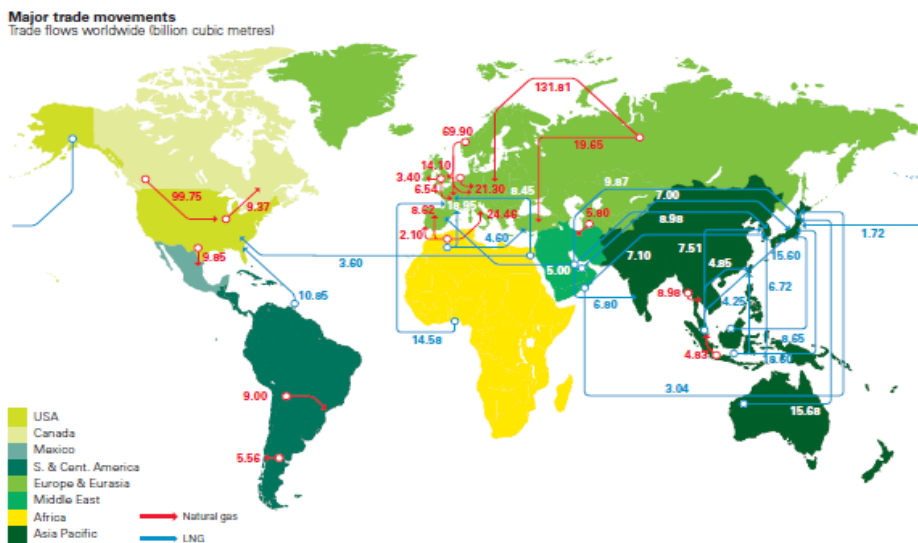
天然ガス消費の増大に伴い貿易量・生産量に占める貿易量の割合ともに増加を続けており、2006年の天然ガス生産量2兆8,650億立方メートルのうち、26%に相当する7,480億立方メートルが他国へ輸出された。うちパイプラインにより取引された量は年間5,370億立方メートル、LNGによる取引された量は2,110億立方メートル/年となっており、LNGによる取引が全取引量の28%を占める(図3-1-6)。パイプラインガス貿易量・LNG貿易量ともに急速に増大しつつあるが、その中でLNGの貿易比率も増加を続けている。

図 3-1-6 パイプラインガスとLNGの貿易量



(出所) BP 統計

図 3-1-7 主要な天然ガスフロー (2006年)

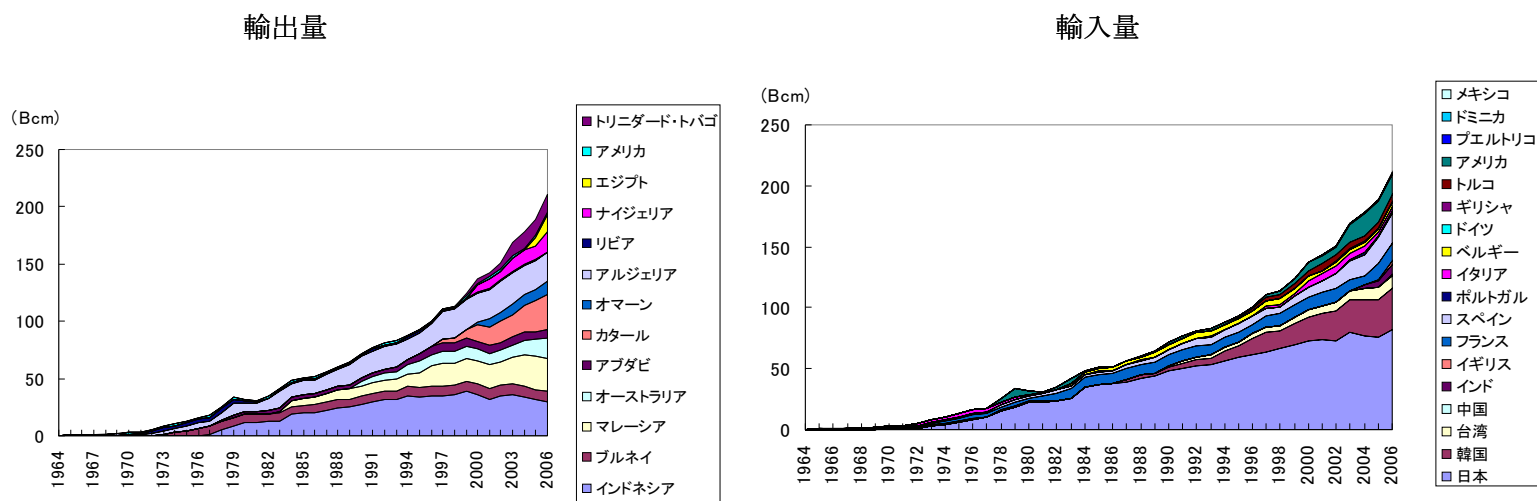


(出所) BP 統計

図 3-1-7に主要な貿易フローを示す。パイプラインガスの主な流れは①カナダから米国へ、及び②ロシアから欧州諸国へ、のフローである。一方、LNG取引はアジア向け輸出を中心として発達し、2006年の取引量の39%は日本向けである。LNGの輸出国は従来はアジア太平洋地域が中心であったが、近年中東やアフリカ諸国が輸出を拡大している。

世界のLNG市場は1964年にイギリスがアルジェリアからLNGを輸入して以来増大を続け、2006年には2,110億立方メートルとなっている。輸出国では近年カタール、オマーン、エジプトのなどの中東諸国がLNG市場に参加し、今後ロシア、イエメン、ノルウェー、赤道ギニアといった国々がLNG輸出を予定している。また輸入国としては、これまで世界のLNG取引量の半数以上を占めていた日本・韓国・台湾に加え、2004年にインド、2006年に中国が輸入を開始し、2005年に英国が輸入を再開した(図 3-1-8)。今後メキシコ・オランダ・タイ等が新たにLNG輸入を予定している。

図 3-1-8 国別 LNG 輸出生及び輸入量

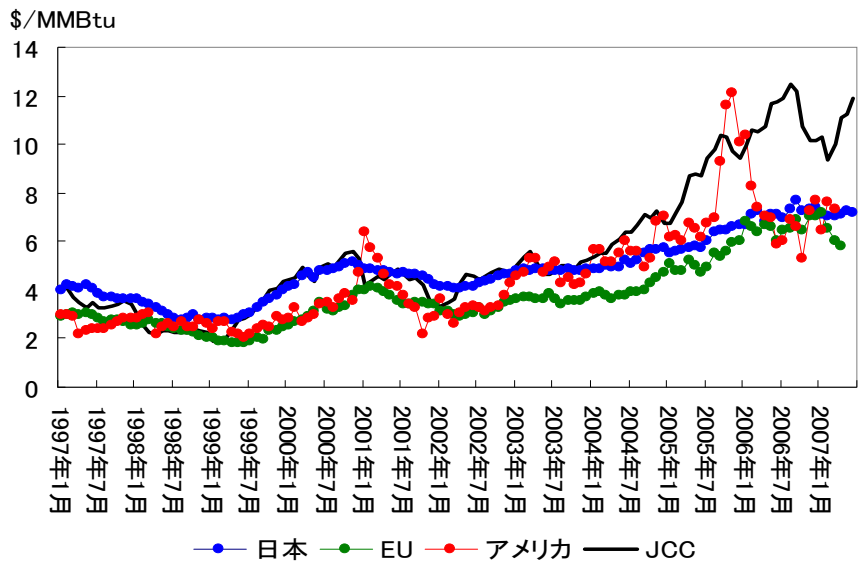


(出所) Cedigaz

3-1-4 天然ガス価格の推移

LNG価格の決定方式は地域ごとに異なっている。アジアでは一般的にJCC (Japan Crude Cocktail) と呼ばれる日本向け原油CIF価格にリンクする方式であり、欧州大陸向け価格は、石油製品やブレント価格にリンクした方式がとられている。一方、米国や英国での天然ガス価格は、Henry HubやNBP (National Balancing Point) といった国内の天然パイプラインによるガス取引の需給によって価格が決定されている。図 3-1-9に日本、米国、EU向けのLNG価格の推移を示す。2000年頃まで日本向けLNG価格は米国やEUと比較して高いレベルで推移した。米国価格はボラティリティが大きく、特に2005年にはメキシコ湾岸に襲来したハリケーンの影響により価格が急騰している。

図 3-1-9 天然ガス価格の推移



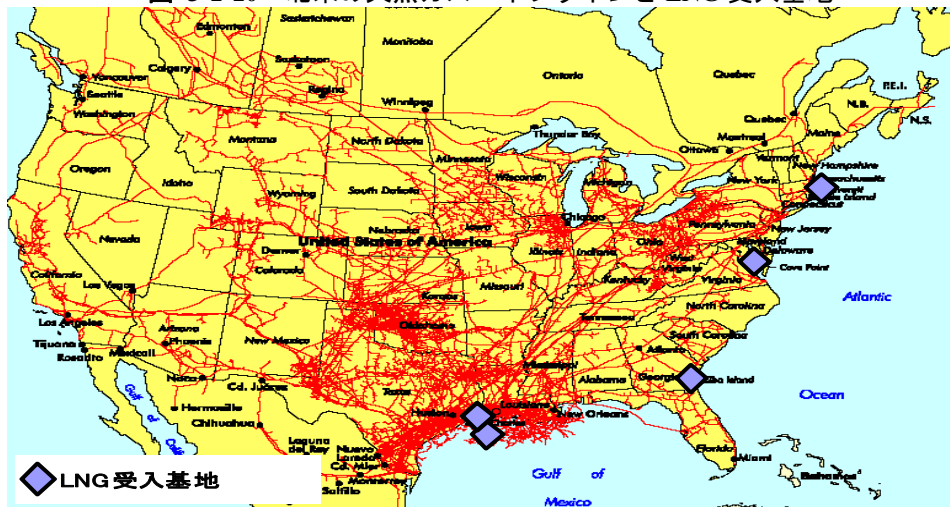
(出所) IEA Energy Prices and Taxes

3-1-5 欧米および中国におけるLNG市場

(1) 米国

米国では天然ガスの利用自体は 20 世紀初頭より行われていたが、1930 年代にテキサス州など南部の天然ガス生産地から中西部に長距離パイプラインが建設され、また 1950 年代にはカナダからの天然ガスの輸入も開始されるようになり、米国のパイプライン網は高度に発達したものとなっている (図 3-1-10)。さらに、最近では、稼動中のプエルトリコ・ドミニカといった近隣でのLNG受入基地に加えて、国内での受入基地の建設も計画されるようになっていいる。

図 3-1-10 北米の天然ガスパイプラインと LNG 受入基地



(出所) IEA Natural Gas Information に加筆

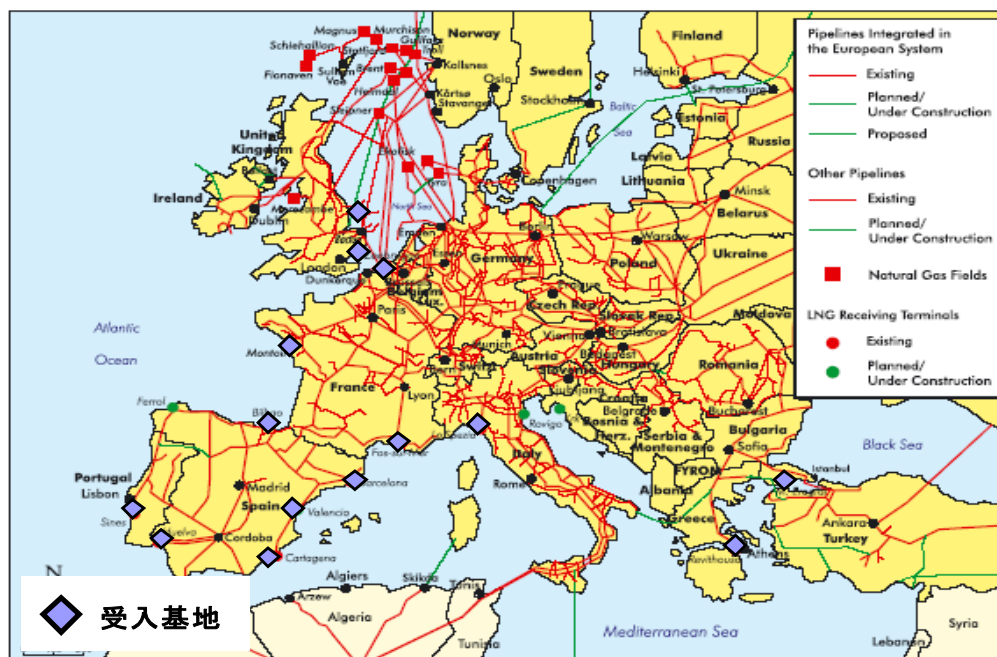
(2) 欧州

欧州では 1950 年代までは、小規模のガス田からの天然ガス供給が局所的に行われるに過ぎなかった。しかし 1959 年に巨大な埋蔵量を有するオランダ・グローニンゲンのガス田が発見されたことから、オランダ国内のみならず近隣諸国へのパイプラインが建設された。

1960～1970 年代にはロシア、ノルウェーからの天然ガスを輸入するためのパイプラインが建設され、1980 年代以降はアルジェリアからイタリア、スペインへのパイプラインも運開している。天然ガス需要が伸びるにつれ各国内でのパイプライン網も整備され、現在では西欧全域に緊密な天然ガス輸送ネットワークが形成されている（図 3-1-11）。

LNG については、フランス、スペイン、イタリア、ベルギー、トルコ、ギリシア、ポルトガルの既存 LNG 輸入国に加えて、北海ガス田の埋蔵量減少を受けたイギリスが、中断していた LNG 輸入を 2005 年より開始した。また域内生産の減少見込みと供給源多角化の観点から、オランダ、ドイツ、ポーランド等の諸国でも LNG 導入が計画されている。

図 3-1-11 欧州の天然ガスパイプラインと LNG 受入基地



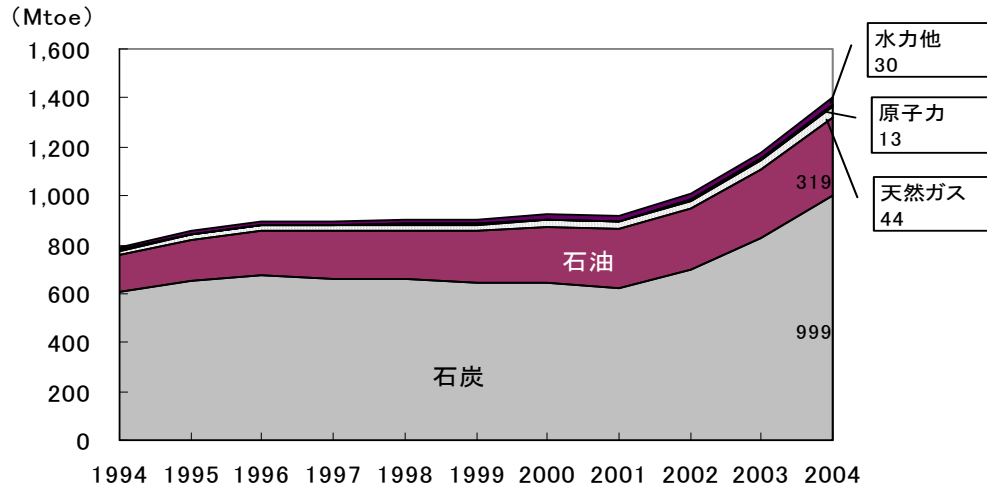
(出所) IEA Natural Gas Information に加筆

(3) 中国

中国の一次エネルギー消費を図 3-1-12に、天然ガスの埋蔵量及び生産量を図 3-1-13に示す。中国における一次エネルギー消費は 2004 年時点で石炭が 7 割以上を占め、天然ガスの占める割合は全体の 3.1%に過ぎない。しかし国内ガス田の探鉱・開発は急速に進展してお

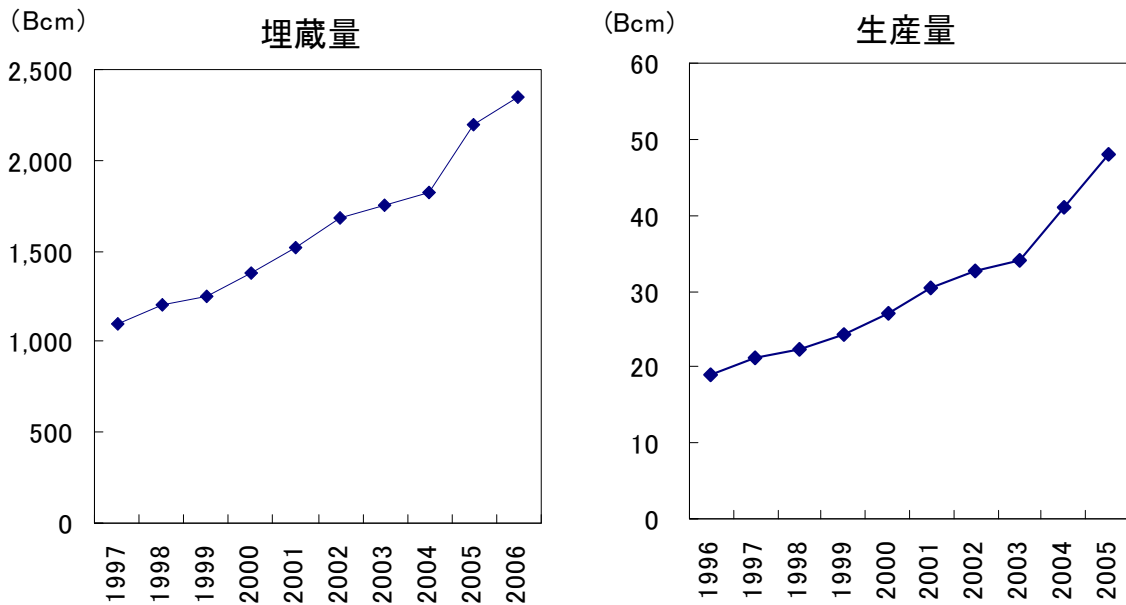
り、埋蔵量・生産量ともに増加の一途を辿っている。

図 3-1-12 中国の一次エネルギー消費の推移



(出所) IEA “Energy Balances of Non-OECD Countries 2006”

図 3-1-13 中国の天然ガス埋蔵量・生産量



(出所) IEA “World Energy Outlook 2006”

中国の主要なパイプラインを図 3-1-14に示す。2006 年時点でのパイプライン総延長は 3.38 万kmで、そのうち直径 16.8 インチ (426mm) 以上の主要なパイプライン延長は 2.3 万kmである。またPetroChinaのパイプライン延長が 2.8 万kmと、全国の 80%を占めている。

最も大規模なものは 2004 年に商業運転を開始した西気東輸で、タリム盆地で生産された天然ガスを海岸部の需要地域まで輸送するものであり、総延長 3,900km、輸送設計能力は 120 億立方メートル/年に達する。

また急増する天然ガス需要に対応すべく、現在第二西気東輸を初めとして各地でパイプラインの整備計画が進んでいる。

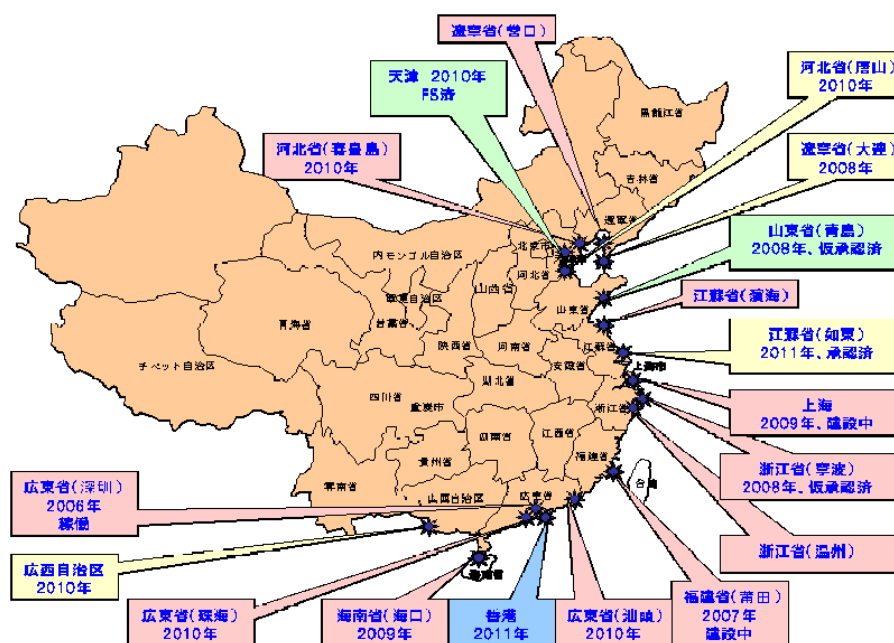
図 3-1-14 中国の主要なガスパイプライン



(出所) 各種資料より作成

LNGについても、多数の受入基地建設が計画されている。2006 年 5 月に稼動した広東省の受入基地の他、福建省、上海市、遼寧省でも建設が進められており、山東省、浙江省、江蘇省でも基地建設の仮認可がされている。中国のLNG輸入プロジェクトを図 3-1-15に示す。

図 3-1-15 LNG 輸入プロジェクト



(出所) 各種資料より作成

3-2 石炭

3-2-1 可採埋蔵量、可採年数及び生産量

世界の石炭の2002年の炭種別埋蔵量を表3-2-1に示す。確認埋蔵量と予想追加埋蔵量とを合わせた埋蔵量は3.4兆トン、そのうち可採埋蔵量が9,091億トンとなっており、うち瀝青炭・無煙炭が4,788億トンと半分以上を占めている。

世界の地域別可採埋蔵量及び生産量を表3-2-2及び図3-2-1に、可採埋蔵量と可採年数(R/P比)を図3-2-2に示す。石炭はアジアに28.4%、北米に28.0%、欧州に27.1%とこの3地域で80%を占めるが、石油・天然ガスに比べると地域的偏在性が少ない。石炭は石油、天然ガスに比べて可採年数が長く、世界計では2002年に188.5年となっている。特に生産量の多い中国では可採年数が短くなっている。現在中国を中心とするアジア地域での生産量は21億トンと非常に大きいものの、今後の中国における需要増大を見込めば、アジア地域での確認埋蔵量は大きく減少していく可能性も考えられる。

表 3-2-1 世界の炭種別埋蔵量

(単位:億トン)

	瀝青炭・無煙炭	亜瀝青炭	褐炭	計
確認埋蔵量	8,050	3,554	2,139	13,744
予想追加埋蔵量	8,074	3,986	8,477	20,537
計	16,124	7,541	10,616	34,281
内、可採埋蔵量	4,788	2,723	1,580	9,091

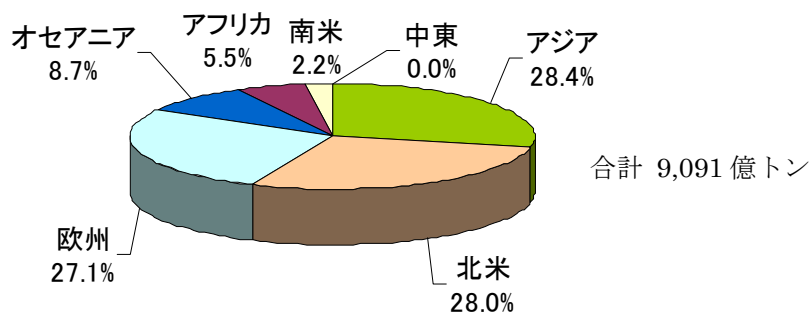
(出所) WEC"Survey of Energy Resources 2004"より作成

表 3-2-2 地域別可採埋蔵量及び生産量（2002 年末）

2002年	可採埋蔵量		生産量	
	百万トン	%	百万トン	%
アジア	258,093	28.4%	2103.4	43.6%
北米	254,615	28.0%	1071.1	22.2%
欧州	246,635	27.1%	1028.6	21.3%
オセアニア	79,073	8.7%	344.5	7.1%
アフリカ	50,336	5.5%	220.8	4.6%
南米	19,893	2.2%	53.2	1.1%
中東	419	0.0%	1.8	0.0%
世界計	909,064	100%	4,823	100%

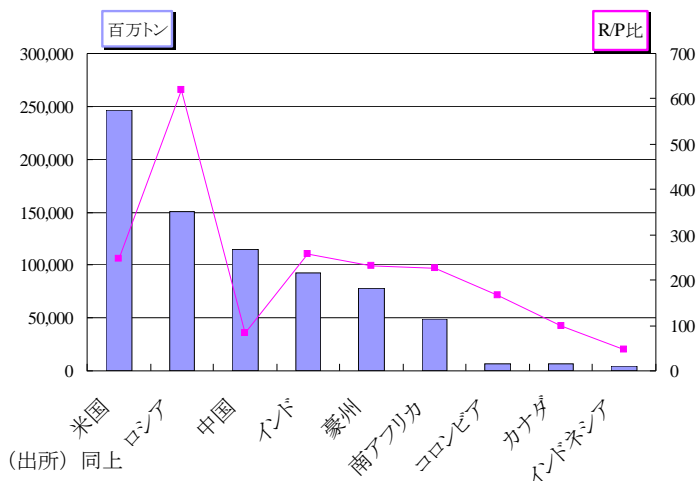
(出所) WEC"Survey of Energy Resources 2004"より作成

図 3-2-1 可採埋蔵量分布（2002 年末）



(出所) 同上

図 3-2-2 可採埋蔵量と R/P 比（2002 年末）



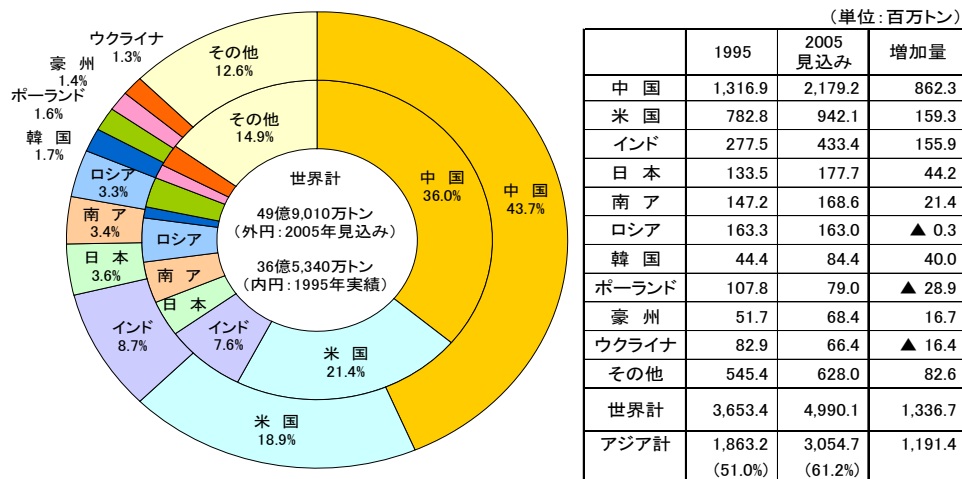
(出所) 同上

3-2-2 世界の石炭需給の動向

1995 年及び 2005 年（見込み）の石炭の需要量（褐炭を除く）を図 3-2-3に示す。2005

年には中国が21億8,000万トン、米国が9億4,000万トンで、これらの2カ国で全消費量の6割以上を占める。また、アジアの消費量は30億5,000万トンで世界の全消費量の61.2%を占める。

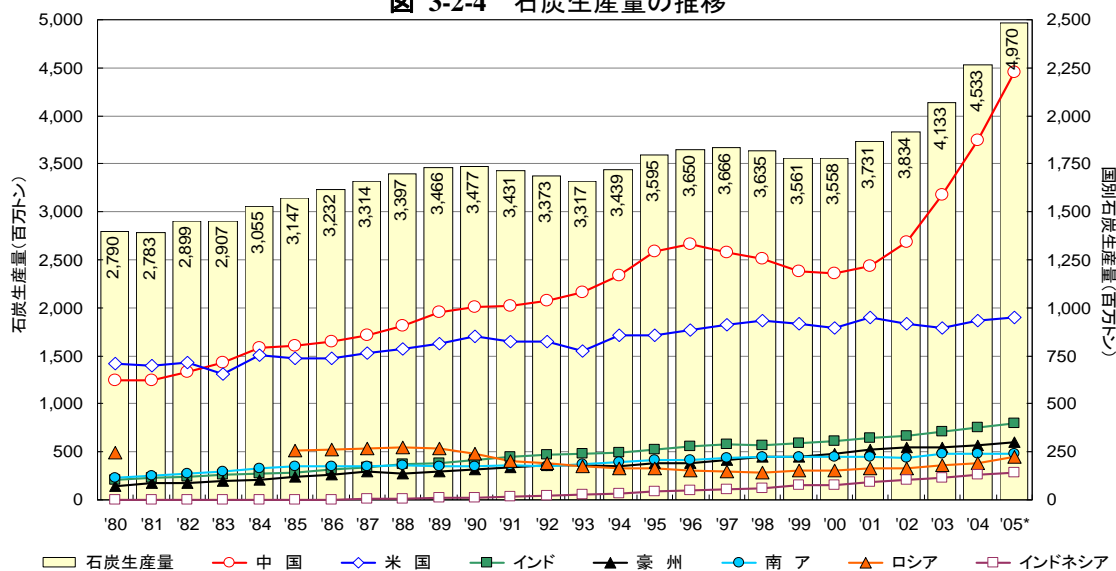
図 3-2-3 地域別石炭消費量



(出所) IEA “Coal Information 2006”より作成

石炭生産量（褐炭を除く）の推移を図 3-2-4に示す。2001年以降石炭生産量は急速に増大しているが、これは主に中国での生産量増加によっている。2005年には中国及び米国で全石炭生産量の6割以上を占め、次いでインド、豪州、南アフリカ、ロシアなどで生産されている。

図 3-2-4 石炭生産量の推移



(註) 輸出力を貿易量としている。2005年は見込

(出所) IEA “Coal Information 2006”より作成

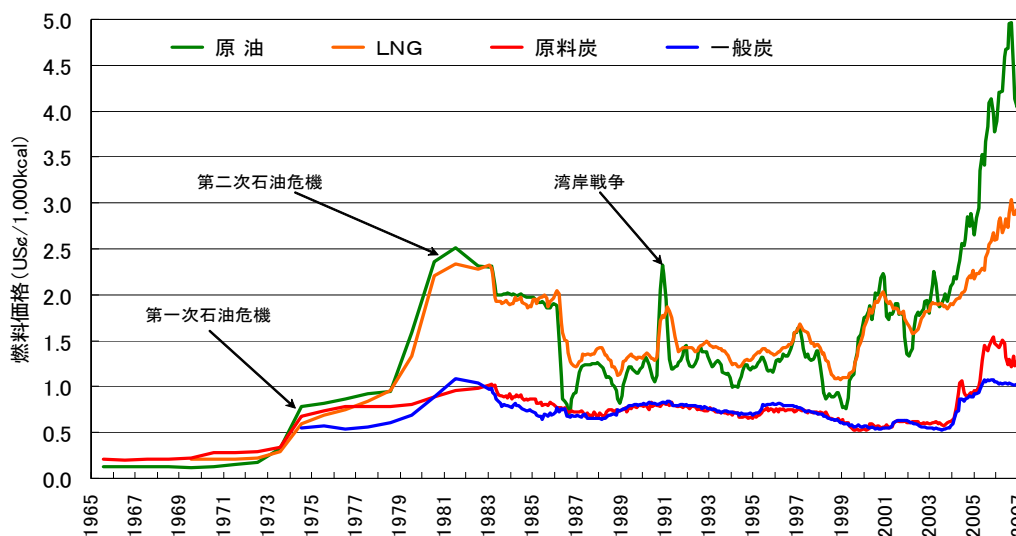
(註) 2005年見込み値による。統計誤差により向け先別の輸出量合計と輸出国の輸出量は一致しない。青字は対前年度比増加を、赤字は減少を示す。

(出所) IEA “Coal Information 2006”より作成

3-2-4 石炭価格の推移

図 3-2-7に、単位熱量当りの原料炭・一般炭及び他エネルギーの価格（日本のCIF価格）の推移を示す。同一の熱量当りでは、原油・LNGの価格よりも石炭は廉価で、価格変動も比較的小さく安定的に推移していると言えよう。1980年代前半までは、石炭の価格優位性は圧倒的に高いものであったが、1986年の原油価格暴落後（湾岸戦争時を除き）、その相対的格差はかなり縮小したものとなった。しかしながら、2000年以降は、原油の高騰により石炭価格も大幅な上昇に転じてはいるが、原油・LNGとの相対的格差は再び開きつつある状況になってきた。

図 3-2-7 日本のエネルギー別カロリー当り CIF 価格の推移

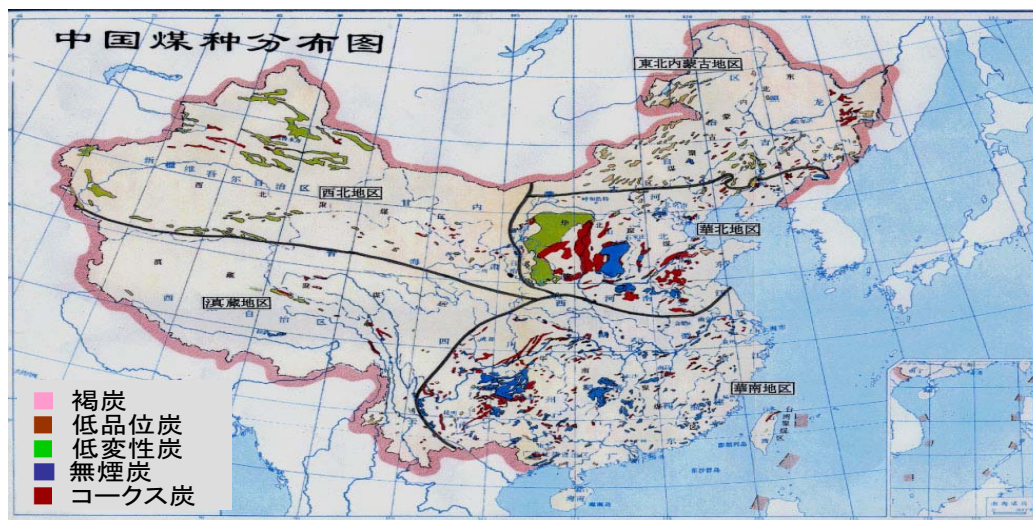


(出所) エネ研作成

3-2-5 中国の石炭需給

中国は世界最大の石炭生産国であるが、確認埋蔵量は米国・ロシアに次いで第三位である。WEC”Survey of Energy Resources 2004”によれば、2002年末現在瀝青炭・無煙炭が622億トン、亜瀝青炭が337億トン、褐炭が186億トンの確認埋蔵量を有する。中国の石炭は図 3-2-8に示す通り多くは華北地域に分布しており、中でも山西省、内蒙古自治区及び陝西省の3つの省及び自治区で総確認埋蔵量の62%を有する。これら3省及び自治区の石炭生産量は総生産量の45%を占め、中国の石炭供給地となっている。

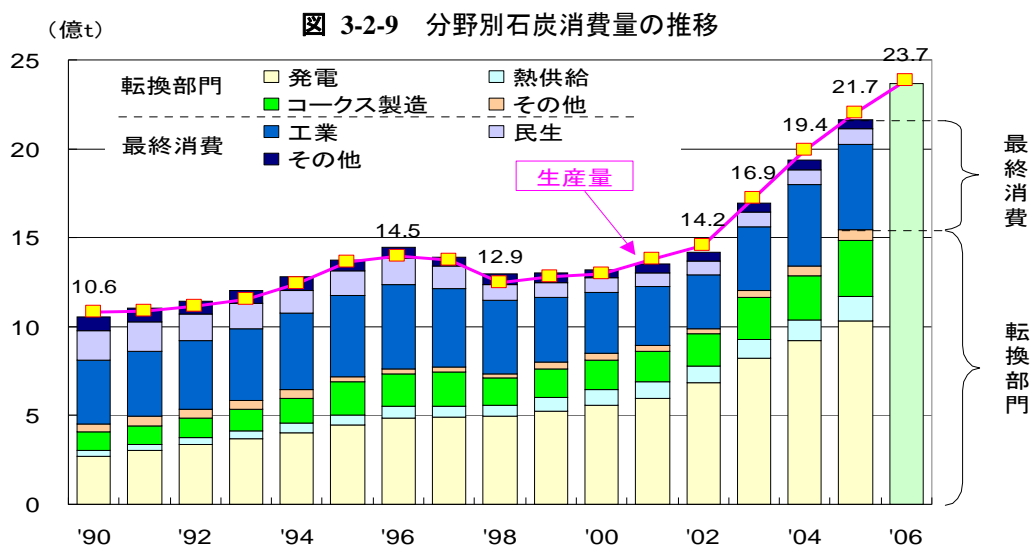
図 3-2-8 中国の石炭資源の分布



(出所) 煤炭工業出版社「中国煤炭志 (総合巻)」

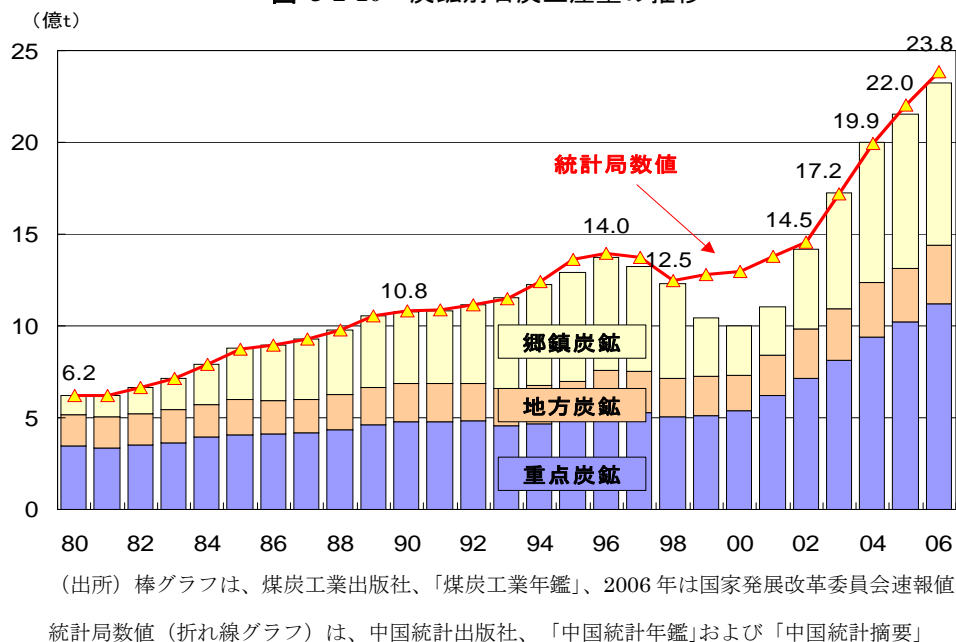
中国の石炭消費量を図 3-2-9に、生産量を図 3-2-10に示す。中国の石炭消費は、10%を超える経済成長を背景に 2003 年以降急速に増大している。このうち、一般炭は電力需要の拡大に伴う石炭火力発電の増大に、原料炭はコークス需要の拡大に伴うコークス製造用消費の増大に起因して石炭消費が増加している。このため中国国内では生産が需要に追いつかず、また鉄道による輸送能力の不足も原因で石炭需給は逼迫しており、世界の石炭価格の高騰要因の一つとなっている。

需要の増大に伴い炭鉱建設も盛んであり、国有重点炭鉱及び郷鎮炭鉱で生産量が増大している。



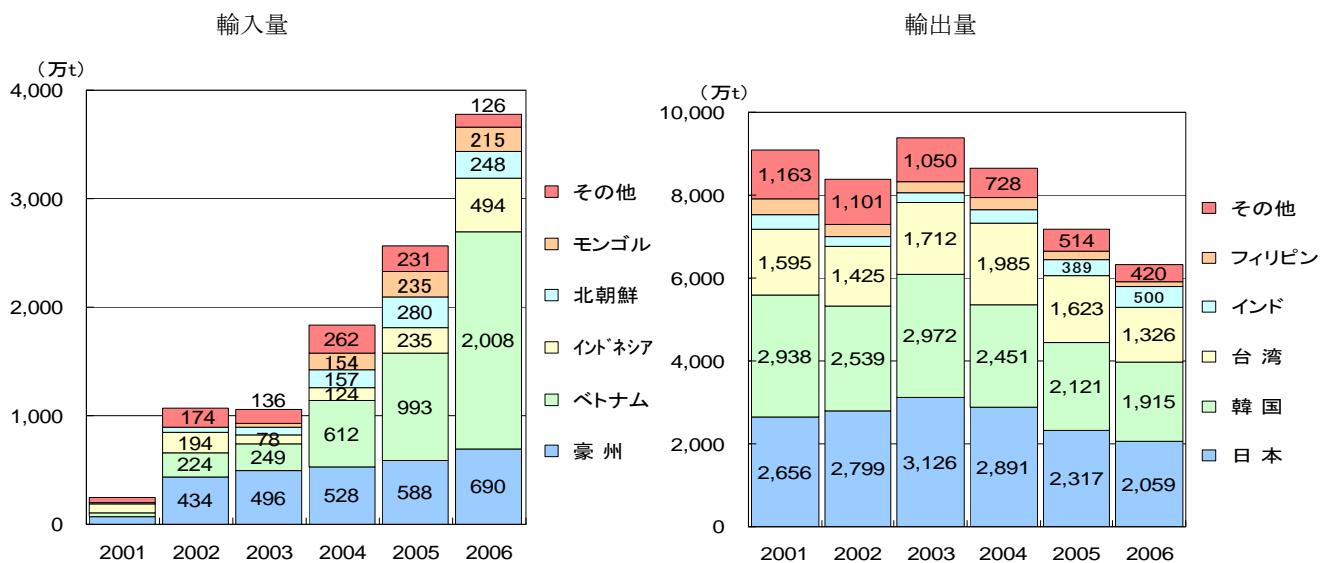
(出所) 中国統計出版社、「中国能源統計年鑑」各年版等より作成

図 3-2-10 炭鉱別石炭生産量の推移



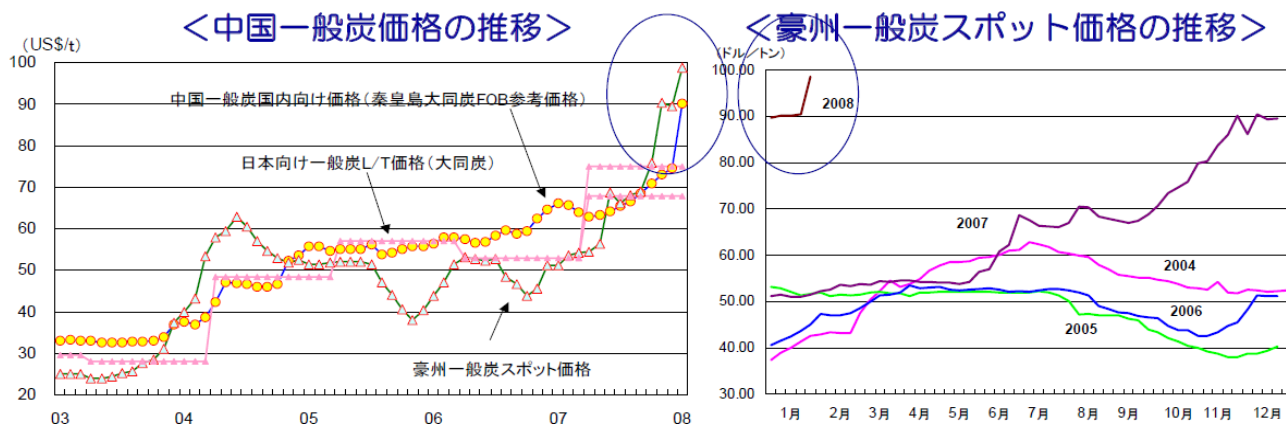
中国の石炭輸出量は、図 3-2-11に示すように、2004年以降減少傾向にある。これは政府による輸出抑制政策(輸出炭への優遇措置の順次廃止、総量規制、輸出税など)とともに、国内価格の上昇に伴い輸出意欲が薄れたことによる。一方で輸入は需給逼迫から大幅に増大しており、特に東南部沿海地域での増加が著しい。2004年以降輸出は年平均1,000万トンの減少、輸入は年平均900万トンの増加を示しており、もしこの傾向が続くならば、近く純輸入国に転じる勢いとなっている。

図 3-2-11 石炭の輸入・輸出量の推移



2008 年に入り、中国では、冬季の電力需要が拡大したことから石炭が供給不足となり、結果的に電力不足となった。またこの状況に中南部での豪雪が更に追い討ちをかけたため、旧正月において两会(全国自民代表大会、政治協商会議)期間の石炭輸出を停止する措置を取るなど、石炭需給がひっ迫した。また豪州においてもクイーンズランド州での豪雨(2008 年 1 月中旬)など石炭の価格高騰に繋がる事象が相次いで発生している。

図 3-2-12 中国及び豪州の一般炭価格推移



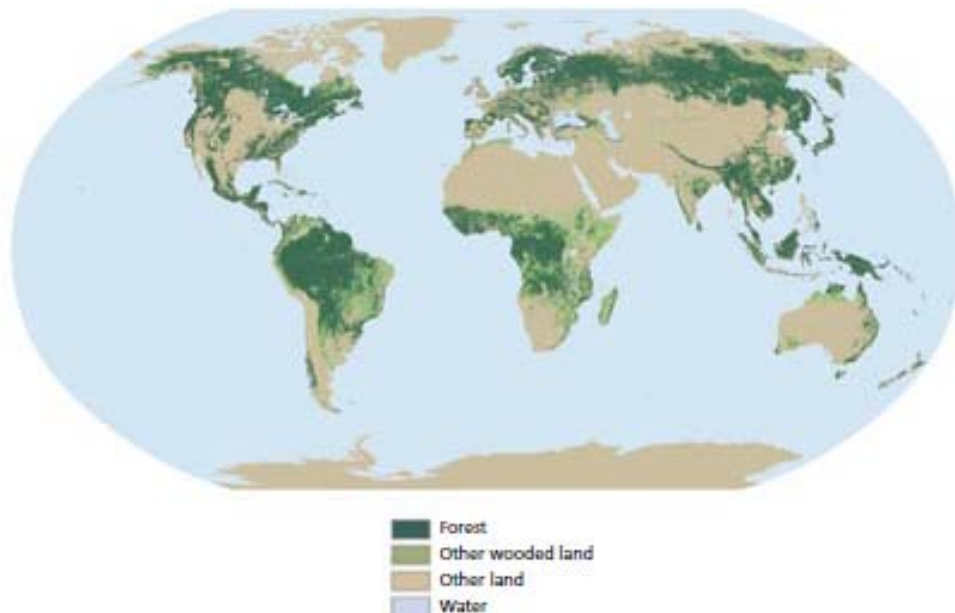
(出所) エネ研「シリーズ石炭を考える会」、日中交流会、Barlow Jonker, China Coal Report”、”Coal Fax”

3-3 バイオマス

3-3-1 世界の森林面積

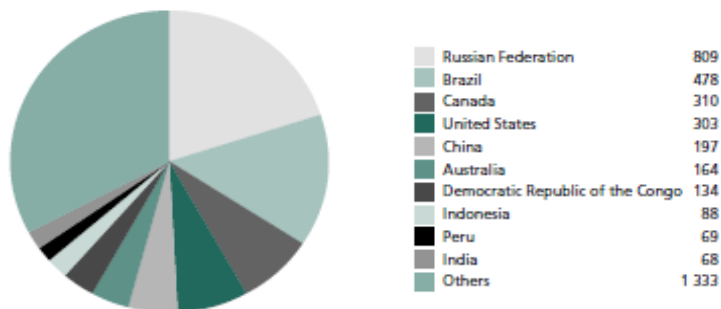
世界の森林面積は 2005 年時点で 40 兆ヘクタールであり、全陸地面積の 30%に及ぶ。しかしその分布は、図 3-3-1に示すように偏在している。この結果として、図 3-3-2に示す通り、上位 10 カ国の森林面積が世界の 3 分の 2 を占めている。世界の森林の 36%が原生林であるが、その比率は年々減少している。

図 3-3-1 世界の森林の分布



(出所) FAO 資料

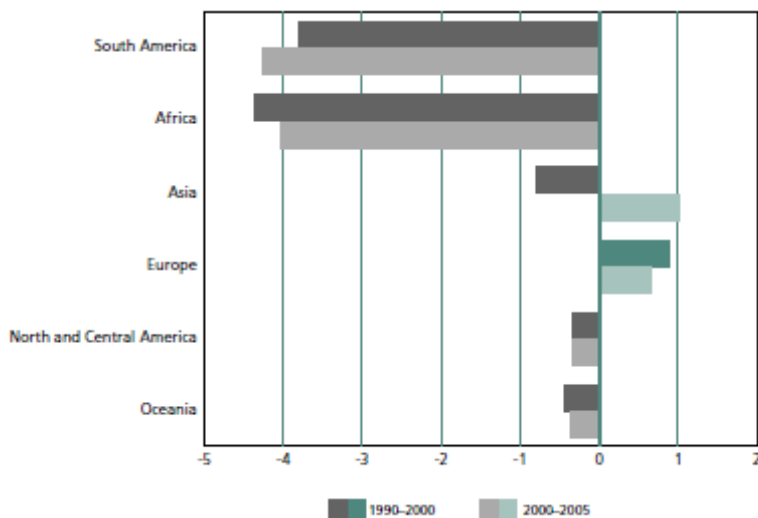
図 3-3-2 世界の森林の分布（百万ヘクタール）



(出所) FAO 資料

世界の森林は毎年およそ 1,300 万ヘクタールの減少を示しているが、一方で植林等による増大もあり、差し引きで 2000 年～2005 年には年平均 730 万ヘクタールの減少となっている。うち、南アメリカで 430 万ヘクタール、アフリカで 400 万ヘクタールと大きな減少を示している反面、アジア及び欧州では増加を示している。

図 3-3-3 森林面積の変化（年平均、百万ヘクタール）



(出所) FAO 資料

3-3-2 バイオマスの資源量

世界の木材製品（2004 年）は、表 3-3-1 に示すように、産業用丸太 16 億 4,000 万 m³、燃料用丸太 17 億 6,000 万 m³ の他、チップ等が 2 億 1,000 m³、森林残材が 1 億 m³ となっている。地域的にはアジア及び北中アメリカが特に多く、中でも燃料用丸太を多く生産する中国、産業用丸太を多く生産する米国が大きなシェアを占めている。

表 3-3-1 世界の土地利用及び木材製品生産量

地域	土地利用			木材製品				
	1,000ha			1,000m ³				
	森林	雑木林	その他	産業用丸太	燃料用丸太	チップ&パー ティクル	森林残材	計
アフリカ	635,412	406,101	1,926,945	70,095	539,252	3,937	589	613,873
アジア	527,988	119,845	1,348,874	227,407	772,271	33,961	26,909	1,060,548
欧州(OECD)	151,113	23,131	246,892	317,450	45,729	42,680	39,786	445,644
欧州(その他)	850,280	77,793	910,897	193,456	73,377	27,903	17,317	312,053
中東	43,587	71,446	976,294	47	453	0	0	500
北中アメリカ	705,849	118,196	1,319,866	622,238	124,251	78,863	8,774	834,125
南アメリカ	831,540	129,410	782,282	164,850	197,979	9,669	3,611	376,110
オセアニア	206,255	429,908	212,950	48,111	8,961	17,648	2,849	77,569
世界	3,952,024	1,375,830	7,725,000	1,643,653	1,762,272	214,660	99,836	3,720,421
中国	197,290	87,615	647,837	95,061	191,044	24,008	15,300	325,413
アメリカ	303,089	-	612,807	414,702	43,608	3,500	0	461,810

(出所) FAO 資料より作成

米DOEによるバイオマスからのFT合成の試算結果¹では、製品FT燃料 1 バレル当り必要な木材は 0.563 トンである。ここで木材の比重を 0.5 とし、FT燃料のポテンシャル量を計算すると表 3-3-2のようになる。仮に産業用・燃料用丸太を使用可能とした場合のポテンシャル量は全世界で 900 万b/dとなるが、そのうちチップ等及び森林残材から生産可能な量は 77 万b/dに過ぎない。例えば欧州OECD諸国ではチップ等、森林残材それぞれについて 10 万b/d、合せて 20 万b/d程度のポテンシャル量となっている。

表 3-3-2 FT 燃料のポテンシャル量

(単位: 千 b/d)

地域	産業用丸太	燃料用丸太	チップ&パー ティクル	森林残材	合計
アフリカ	170	1,311	10	1	1,493
アジア	553	1,878	83	65	2,579
欧州(OECD)	772	111	104	97	1,084
欧州(その他)	470	178	68	42	759
中東	0	1	0	0	1
北中アメリカ	1,513	302	192	21	2,028
南アメリカ	401	481	24	9	915
オセアニア	117	22	43	7	189
世界	3,997	4,285	522	243	9,047

¹ John J.Marano and Jared P.Ciferno “Life-Cycle Greenhouse-Gas Emissions Inventory For Fischer-Tropsch Fuels”(2001)

第4章 合成燃料の経済性及びLCA評価

4-1 合成燃料のプロセスの特徴(FT合成油、DME)

4-1-1 合成燃料製造プロセスの特徴

FT 合成油、DME などの合成燃料は原料から合成ガスを製造し、燃料を合成するという基本プロセスは共通であるものの、FT 合成油に関してはニーズに応じてアップグレーディングの必要があるなど各燃料毎に特徴がある。以下では FT 合成油と DME の製造プロセスの特徴に関して示す。

4-1-2 合成ガスの特徴

合成ガスは水素(H₂)と一酸化炭素(CO)の混合ガスで、原料、製造するプロセスの反応条件、使用する触媒の有無（触媒反応、非触媒反応）等により組成が異なる。主な製造プロセスとして水蒸気改質法、部分酸化法、自己熱改質法の 3 種類がある。

合成ガスの製造プロセスにおいては、原料の水素含有量が生成ガスの組成、特に H₂/CO 比（モル比）に大きく影響を及ぼす。

表 4-1-1 主な合成ガス原料の組成

化学組成 (Wt%)	無煙炭	中揮発分 瀝青炭	高揮発分瀝青炭		褐炭	石油 (原油)	メタン
C	93.7	83.4	84.5	80.3	72.7	83~87	75.0
H	2.4	5.0	5.6	5.5	4.2	11~14	25.0
O	2.4	4.1	7.0	11.1	21.3	—	—
N	0.9	1.7	1.6	1.1	1.2	0.2	—
S	0.6	0.8	1.3	1.2	0.6	1.0	—
H/C(原子数比)	0.31	0.67	0.79	0.82	0.69	1.5~2.0	4.0

一般に、水素を多く含む原料からの合成ガスは H₂/CO 比が大きくなる。FT 合成、DME、メタノールの合成では H₂/CO 比としては 2.0 程度が要求されるが、石炭を原料とする部分酸化では 0.7~1.5 程度となるため水素の添加が必要となる。また、天然ガスの水蒸気改質では 3.0 程度となるため、余剰の水素を燃料として使用することになる。

表 4-1-2 合成ガスの H₂/CO 比

原料	プロセス	H ₂ /COモル比
天然ガス	水蒸気改質	3~6
天然ガス	自己熱改質	1.8~3.0
天然ガス	部分酸化	1.8~2.2
石炭	部分酸化	0.7~1.5
重質油	部分酸化	1.0~1.5
バイオマス	部分酸化	1.2~2.0

4-1-3 合成ガス製造法の特徴

① 水蒸気改質法（スチーム リフォーミング、Steam Reforming）

吸熱反応を利用して高温・高圧下でメタンなどの炭化水素と水蒸気を反応させ、一酸化炭素、水素、炭酸ガスおよびメタンからなる混合ガスを生成する。一般的には原料の炭化水素とスチームを 600℃～850℃、圧力 20～30 気圧においてニッケル系触媒上で反応（吸熱反応）させるが、ニッケル触媒は硫黄により被毒されるために原料を 1ppm 以下に脱硫する必要がある。合成ガスの組成（ H_2/CO 比）は 2.1～3 と水素の割合が高く、酸素が不要で運転温度が低いといった特長を有するが、吸熱反応であるために多大の熱量を投入する必要がある。そのためにエネルギー消費が大きく、また前述のとおり FT 合成では H_2/CO 比≒2 が最適な場合が多いことから液体燃料の合成反応に対しては H_2/CO 比が高すぎるといった短所もある。

② 部分酸化法（Partial Oxidation、POX）

部分酸化は、まず化学量論的な量より少ない酸素（完全酸化に必要な量の約 1/3）で炭化水素を燃焼させて二酸化炭素と水蒸気、熱を発生させ、次に、この二酸化炭素と水蒸気および未反応の炭化水素との反応により一酸化炭素と水素にする反応である。従って、一般的には付帯設備として空気から酸素を分離、精製する深冷分離装置が必要となる。また、この後の合成段階を考慮すると、生成する合成ガスに含まれる少量の未燃炭素の除去、ガス化された硫黄酸化物などの除去が必要となる。部分酸化法は設備構成が単純で原料の脱硫が不要、炭素の析出が少なくスチームが不要といった特長があるが、反面、反応温度が高くエネルギー消費が大きい、 H_2/CO 比が 2 以下と低い、酸素が必要といった短所もある。

③ 自己熱改質法（Autothermal Reforming、ATR）

天然ガスを原料とした場合、合成ガスの組成は H_2/CO 比で 1.8～3 の範囲にあり、原料である天然ガス、酸素および水蒸気の割合を変更することによってコントロールすることができる。自己熱改質法はエネルギー消費が小さく、反応温度が部分酸化より低いという特長があるが、運用実績が少ない、プロセス上酸素が必要で装置構成が複雑になるといった短所がある。

4-1-4 FT合成プロセス

FT 合成反応は、いずれのプロセスも強い発熱反応であり、この熱の除去（回収）と温度の制御が非常に重要となる。熱の除去が十分に行なわれない場合には触媒の活性が失われ、重大な不具合が発生する。除去された熱は多くのプロセスではスチームとして回収し、各所で活用することにより運転コストの低減が図られている。

FT 合成反応には、通常鉄系もしくはコバルト系の触媒が使用され、200～300℃程度の温

度と 20～30 気圧程度の圧力下で反応が行われる。反応により直鎖のパラフィンのほかにオレフィンやアルコール類、その他さまざまな副反応生成物が生成する。

FT 合成反応器には代表的なものとして固定床、循環流動床、スラリー床がある。

固定床：固定床（固定層反応装置）は、触媒粒子あるいは不活性固体を充填した層に気体、液体あるいは気液の混合物を流して反応させる装置で、反応熱が大きい場合は多管式熱交換器型の反応器が用いられる。伝熱面積を大きくするために、直径が 2～5cm 程度の管の中に触媒を充填し、管外側に熱媒体を循環させる。構造が単純であるが、触媒層に温度分布が生じやすく、圧力損失が大きい。

循環流動床：流動床（流動層反応装置）は、触媒粒子を反応槽底部より送入した流体によって浮遊懸濁させながら流動化させる装置である。流動層内の粒子が激しく運動しているために槽内の温度をほぼ均一に保持できるが、構造が複雑で適当な流動状態を保つための操作条件の範囲が狭く、安定な操作に熟練を要する。

スラリー床：スラリー床（粒子流動型反応装置）は油中に触媒を懸濁してスラリー状にし、反応ガスを気泡にして吹き込み反応させる装置である。反応の制御性に優れ、運転中に触媒の交換が可能で、反応器もコンパクトに出来るが、触媒と製品の分離が難しく工業規模での実績が少ない。

表 4-1-3 反応器の比較

	固定床反応器	流動床反応器	スラリー床反応器
長所	1. 構造が単純である。 2. 軸方向の流体混合が少なく、押し流れに近似できるので反応収率が高い。 3. 反応流体と触媒の接触時間を変化させることが容易であって、速い反応から遅い反応にまで適用可能である。	1. 流動層内の粒子が激しく運動しているために槽内の温度をほぼ均一に保持できる。 2. 除熱対象である触媒が流動しているために固定床と比較すると伝熱効率が高くなり、除去すべき熱負荷に対して著しく小さな伝熱面積で済む。 3. 触媒の一部を反応槽外に拔出し、連続的に再生を行なう事が可能である。 4. 圧力損失が小さい。	1. 温度の制御性が高い。 2. 混合性が良い。 3. 構造が比較的簡単であり、大型化が行ない易い。 4. 触媒の運動が比較的穏やかなため物理的損傷が流動床より小さい。
短所	1. 固定層の伝熱能力は小さく、反応熱の除去（補給）が十分行われず、触媒層に温度分布が生じやすい。 2. 圧力損失が大きい。 3. 触媒の拔出しおよび充填が困難であるため、かなり頻りに触媒を再生あるいは交換する必要がある場合には、不適である。	1. 構造が複雑である。 2. 気泡が発生して装置内を吹き抜けるために、反応収率はガス層を完全混合とした値よりも、さらに低下する場合が少なくない。 3. 流動層内の流動状態が複雑であって、装置の設計法が確立していない。 4. 適当な流動状態を保つための操作条件の範囲が狭く、安定な操作に熟練を要する。	1. 気泡が発生して装置内を吹き抜けるために、反応収率はガス層を完全混合とした値よりも、さらに低下する場合が少なくない。 2. 流動層内の流動状態が複雑であって、装置の設計法が確立していない。 3. 適当な流動状態を保つための操作条件の範囲が狭く、安定な操作に熟練を要する。 4. 触媒と製品の分離が困難である。 5. 工業規模での実績が少ない。

現在商業化あるいは開発中のプラントでは、表 4-1-4に示すように熱除去が容易で反応のコントロールがしやすいスラリー床を採用している場合が多い。

表 4-1-4 GTL プロセス比較表

会社名	プロセス名	合成ガス				FT合成		実績
		プロセス	反応器形式	触媒	酸素プラント要否	反応器形式	触媒	
RD/Shell	SMDS	部分酸化	無触媒		○	多管式固定床	Co系	14,700B/D規模・商業段階
Sasol	SSPD	ATR	固定床	Ni系	○	スラリー床	Co系	34,000B/D規模・商業段階
ExxonMobil	AGC-21	ATR	流動床	Ni系	○	スラリー床	Co系	200B/D規模・パイロット段階
Rentech	-	所有していない				スラリー床	Fe系	250B/D規模・パイロット段階
Syntroleum	-	ATR	固定床	Ni系	×(空気使用)	スラリー床	Co系	70B/D規模・パイロット段階

(出所) 鈴木信市、ICEP ニュース、No.35、2001 年 9 月に加筆

4-1-5 メタノール、DMEの合成プロセス

① DME の合成反応

・間接法

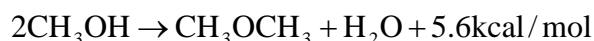
間接法の反応式と反応条件は以下の通り。既存技術であるものの第一段階のメタノール合成における反応条件に関しては比較的に高い圧力が条件として求められる。

第一段階：(メタノール合成)



触媒：Cu-Zn-Cr、温度：200-300℃、圧力：50-70 気圧

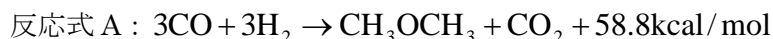
第二段階：(脱水反応)



触媒：酸触媒(γ アルミナ等)、温度：290-400℃、圧力：10-20 気圧

・直接法

直接法の反応式と反応条件は以下の通り。



触媒：Cu-Zn-Cr+Cu/ γ アルミナ、温度：250-320℃、圧力：30-70 気圧

DME 合成の平行転化率の最大値は反応式 A の方が反応式 B よりも高い。原料の特性から考えると、石炭由来の合成ガスの H_2/CO 比は 0.7~1.5 であるため反応式 A を用いる方がガス調整幅が少なく設備・運転コストが有利になり、天然ガス改質の場合は H_2/CO 比は

1.8~6 であるため、反応式 B が有利になる。どの反応が支配的になるかは、触媒の特性に依存する。

・ 間接法と直接法の比較

直接法は間接法よりも、比較的低い圧力下で高い平行転化率を示すことから、未反応ガスのリサイクルも含めた総合転化率を高めることが可能となる。一方で、高い転化率と反応量あたりの反応熱がメタノール合成より大きい事が重層して働くため、反応器からの熱の除去がエンジニアリング上の大きな課題となる。

4-1-6 FT合成とDME合成の比較

FT 合成と DME 合成の反応条件を以下の表に示す。反応温度はおよそ 300℃程度であるものの、反応圧力がプロセスによって大きく異なり、DME(間接法)、DME(直接法)、FT 合成の順に反応圧力が低くなる。合成反応後の粗生産物の精製に関しては、FT 合成で生産されるものは反応塔内で一旦高分子のワックスとなり、これを液体燃料にするために水素化分解や異性化を行う必要がある。一方、DME は目的生産物が一つであるため、精製プロセスとしては粗 DME を蒸留精製するだけでよい。

FT 合成、DME 合成の全体を比較すると反応圧力条件は FT の方が低圧であるものの、精製プロセス(水素化精製・異性化)においてエネルギーを投じる必要があるため、結果的に FT 合成油の方が DME よりもコスト、エネルギー投入量共に大きくなる傾向がある。

FT 合成に関しては生産燃料の重量あたり CTL の場合は 9.4 m³/t、GTL の場合 15.1 m³/t の水が必要となる。一方、DME に関しては特に間接法のメタノール製造において、低圧蒸気として 0.08 m³/t、冷却水として 7.7 m³/t の水が必要となるため、プラントの大規模化にあたっては水源の確保が問題である。

表 4-1-5 FT 合成油と DME の反応条件比較

プロセス名		反応温度 (°C)	反応圧力 (気圧)	精製
FT		200~300	20~30	水素化分解 異性化 蒸留精製
DME (間接法)	メタノール製造	200~300	50~70	蒸留精製
	脱水	290~400	10~20	
DME (直接法)		250~320	30~70	

(出所)各種資料より作成

4-2 経済性評価

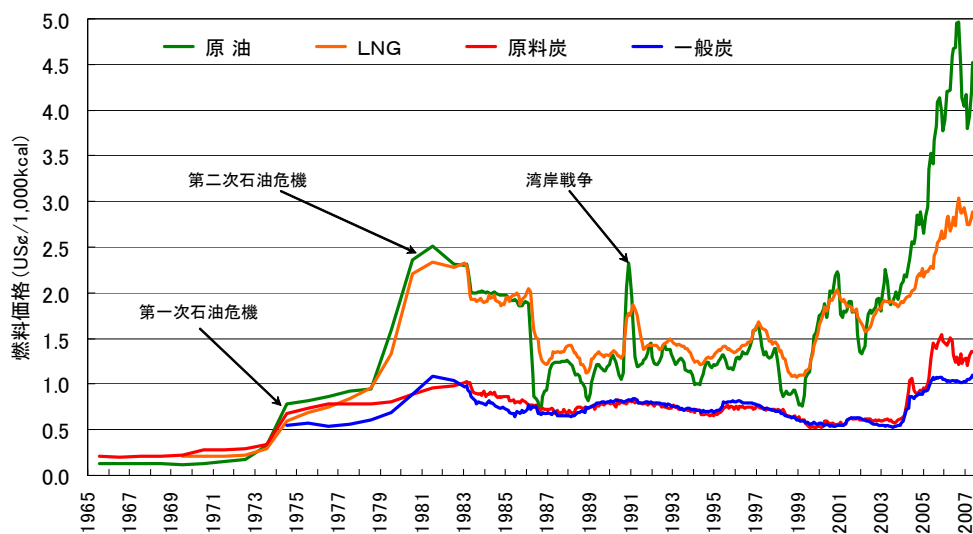
本項では FT 合成油と DME に係るコストに関する既存の文献を整理・比較する。またそれを基にコストを試算し、それぞれの燃料油の経済性を示す。

4-2-1 原料価格

2008 年に入り WTI 原油価格が 100\$/bbl を突破するなど原油価格が高騰している。原油価格の続伸と共に、今年始めには豪州の大雨、中国の豪雪などで相対的に安価であった石炭価格も大きく上昇している。また、天然ガスについても上昇傾向にある。特に日本に関しては、2010 年に多くの LNG 長期契約の更新を迎えるため、この際に産ガス国から大幅な値上げを提示される可能性もある。このように合成燃料の原料価格は軒並み上昇しており数年前とは状況が大きく変わっている。

2008 年 2 月現在の日本のエネルギー源別カロリー当たり CIF 価格は、原油が 92.9\$/bbl、原料炭が 88.0\$/t、一般炭が 85.3\$/t、LNG が 543.9\$/t となっている。

図 4-2-1 日本のエネルギー源別カロリー当たり CIF 価格の推移(図 3-2-7 再掲)



(出所) エネ研作成

4-2-2 FT合成油

① プロセス比較

4-1 で示した通り、FT合成油は原料によってプロセス、特にガス化プロセスにおいて大きな違いが生じる。表 4-2-1に原料別の工程一覧を示す。

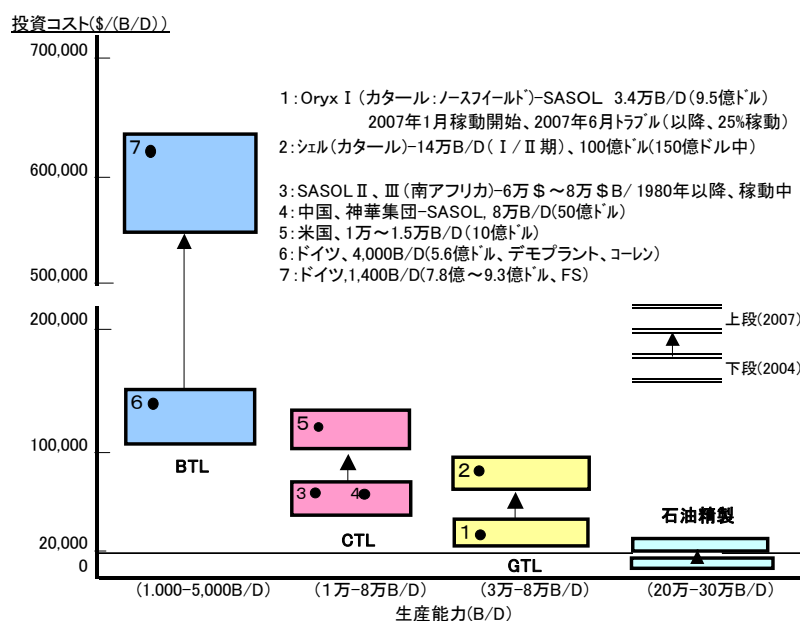
表 4-2-1 FT 合成の工程比較

原料	前処理	ガス化		FT合成	アップグレード (水素化分解、改質)	ステータス		
		水蒸気改質	H ₂ リッチ					
天然ガス		水蒸気改質	H ₂ リッチ	ガス精製 (ガス調整)	Co系触媒 (シフト反応無)	高温FT合成 燃料主体	商業機3基箇所(南ア1、マレーシア1、カタール1)	
		自己熱改質(ATR) (酸素製造)	H ₂ 比調整可		低温FT合成 (潤滑基材収率拡大)	化学品(NP、アルコール、オレフィン)、潤滑油		
石炭	脱灰など前処理	部分酸化法	COリッチ		Co系触媒 (シフト反応無)	高温FT合成 燃料主体		商業機1箇所(南ア)
		自己熱改質(ATR) (酸素製造)	H ₂ 比調整可		低温FT合成 (潤滑基材収率拡大)	化学品(NP、アルコール、オレフィン)、潤滑油		
バイオマス	機械処理 (細分化)	部分酸化法	COリッチ	Fe系触媒 (シフト反応)	高温FT合成 燃料主体	デモプラント(ドイツ)		
	熱処理	自己熱改質(ATR) (酸素製造)	H ₂ 比調整可	低温FT合成 (潤滑基材収率拡大)	化学品(NP、アルコール、オレフィン)、潤滑油			
	不純物処理	自己熱改質(ATR) (酸素製造)	H ₂ 比調整可	Co系触媒 (シフト反応無)	高温FT合成 燃料主体		化学品(NP、アルコール、オレフィン)、潤滑油	
		不純物処理	自己熱改質(ATR) (酸素製造)	H ₂ 比調整可	低温FT合成 (潤滑基材収率拡大)			

② プラントコストの上昇

原油価格の高騰などによる原料価格の上昇と共にプラントの資機材も高騰している。また、建設を請け負う人材も不足しており、これに伴って中東の建設計画が遅延するといった事態となっている。図 4-2-2に示す通り、2004年から2007年の間にかけてプラントコストが大幅に上昇している。各プラントの規模にばらつきがあるものの、製造方法毎に、生産能力、プラントコストに関して以下のように整理される。カッコ内は2004年から2007年までどの程度増大したかを示す。

図 4-2-2 プラント投資コストの変化



(出所) IEA, WORKSHOP(CTL:2006.11)、World Coal Institute(2005)、

ドイツ自動車工業会他資料より作成

- ① 石油精製：生産能力 20 万 B/D ⇨ プラントコスト 2 万\$(B/D) (2 倍に上昇)
- ② GTL : 3~8 万 B/D ⇨ 6~8 万\$(B/D)(2~3 倍に上昇)
- ③ CTL : 1~8 万 B/D ⇨ 10~15 万\$(B/D)(2~3 倍に上昇)
- ④ BTL : 0.1~0.5 万 B/D ⇨ 55~65 万\$(B/D) (4~6 倍に上昇)

その他にも様々な要因が考えられるが、ここで示したように、2004 年と 2007 年の比較でも分かるように、FT 合成プラントの経済性を左右する環境が大きく異なってきたと言えよう。

③BTL に関する試算例

ドイツエネルギー局はBTLの経済性について調査結果をまとめているが、投資コスト、BTLのプロセス及び想定原料価格を整理してまとめたものが表 4-2-2、図 4-2-3、図 4-2-4 である。

表 4-2-2 BTL 原料の価格と特性

	木質作物	廃藁	エネルギー作物		
			短期輪作	ライ麦	すすき
含水率(%)	30	15	30	15	15
[€/tFM]	15-75	46-54	29-74	99-109	62
[€/tDM]	21-107	54-63	41-105	117-128	73
[€/GJ]	1.2-5.8	3.1-3.7	2.2-5.7	6.9-7.5	4.1
[€/MMBTU]	1.3-6.1	3.3-3.9	2.3-6.0	7.3-7.9	4.3

FM:Fresh Matter DM=Dry Matter 輸送費は除く

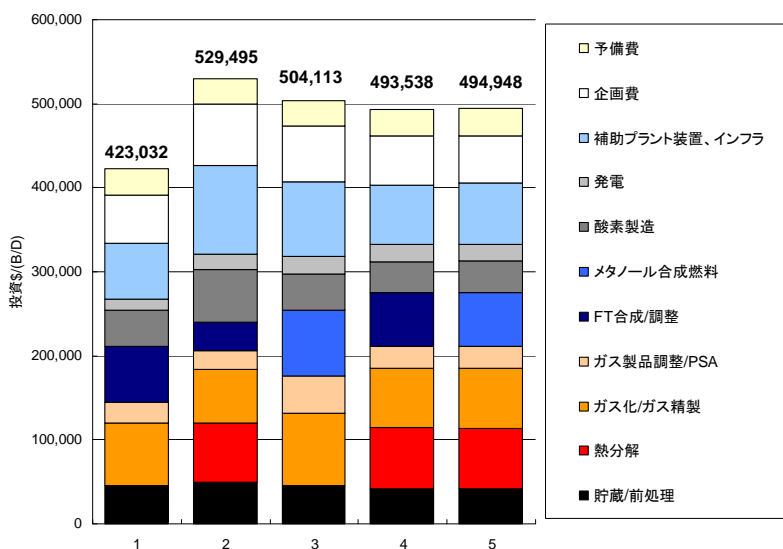
(出所) The German Energy Agency, “Biomass to Liquid –BtL, Implementation Report”より作成

図 4-2-3 BTL プロセス

	機械的処理	熱前処理	ガス化	ガス精製	合成	製品調整
分散化	集約化					
1	挽く		噴流床ガス化	ガス精製	FT合成	製品調整
分散化	集約化		集約化			
2	刻む	高速熱分解	噴流床ガス化	ガス精製	FT合成	製品調整
分散化						集約化
3	刻む		流動床ガス化	ガス精製	メタノール合成	製品調整
分散化	集約化					
4	刻む	熱分解	噴流床ガス化	ガス精製	FT合成	製品調整
分散化		集約化				
5	刻む	熱分解	噴流床ガス化	ガス精製	メタノール合成	製品調整

いずれのプロセスにおいても、FT 軽油の生産能力 1 バレル/日あたり 50 万ドル程度の投資が必要となり、石油精製の 2 万ドルと比較して、その投資コストは極めて高いことが分かる。同レポートでは、今後、①技術習熟効果による投資費用の削減、②FT 合成プロセスの合理化に伴う収率の向上、③稼働率の向上による収率の向上の三つの効果による費用削減が重要であるとしている。

図 4-2-4 BTL の生産合成軽油あたりの投資コスト



(出所) The German Energy Agency, “Biomass to Liquid –BtL, Implementation Report”より作成

④ コスト試算

2007年3月に発表されたEUCARのコスト試算(欧州ベース)を、表 4-2-3に前提条件、図 4-2-5に試算を整理して示した。

表 4-2-3 FT 合成油製造コスト前提条件

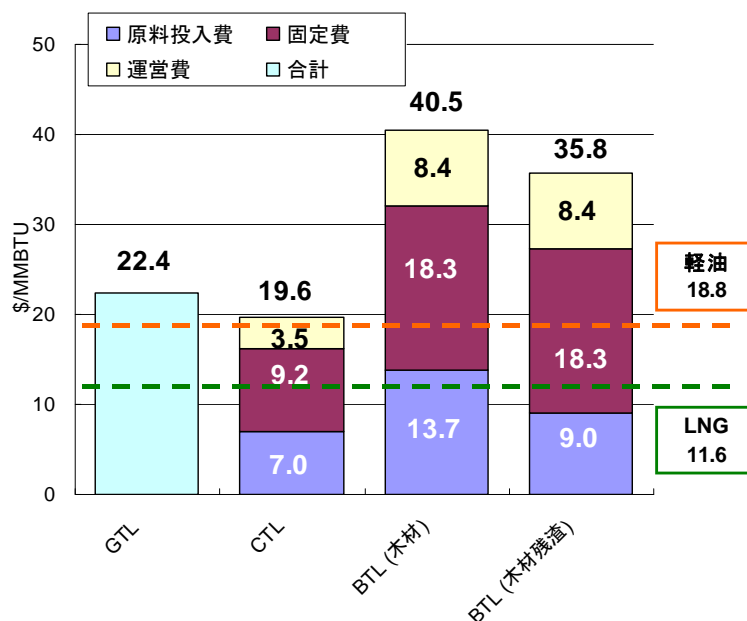
	製造プロセス			資源費	
	CTL	BTL (木材)	BTL (木材残渣)	原油	LNG
生産規模(トン/日)	4,005	173	173	-	-
原料価格(\$/MMBTU)	4.0	7.1	4.6	14.4	11.6

(出所) EUCAR, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context WELL-TO-WHEELS Report Version 2c, March 2007 より作成

(注) 1TJ=947.8MMBTU

CTL と BTL に関しては、生産規模が異なっており、規模の経済性の議論抜きに、単純な比較はできないものの CTL、GTL、BTL(残渣)、BTL(木材)の順にコストが上昇する。BTLが高いのは、製造工程(主として3工程)に入る前の、前処理段階にコストがかかることが原因と考えられる。一方、GTL(天然ガス)よりも CTL(石炭)の方が安く仕上がるのは、国内産業保護の観点から価格が抑制されている石炭と、ほぼ国際的な市場原理に基づいている天然ガスとの相違を考慮する必要がある。しかしながら、いずれのプロセスにおいても、既存の石油精製での軽油の生産コスト 18.8\$/MMBTU(101.4\$/bbl)よりも高くなる。

図 4-2-5 GTL、CTL、BTL コスト比較 (工場出荷、税抜き)



(出所) EUCAR, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context WELL-TO-WHEELS Report Version 2c, March 2007 より作成

表 4-2-4 GTL、CTL、BTL コスト比較 (工場出荷、税抜き)

生産コスト	GTL	CTL	BTL (木材)	BTL (木材残渣)	軽油
\$/MMBTU	22.4	19.6	40.5	35.8	18.8
\$/bbl	116.1	101.5	209.4	184.9	101.4

4-2-3 DME

中国での導入を前提として、海外から LNG を輸入して国内で DME を製造する場合と、国内炭を原料として国内で DME を製造する 2つのケースについてコスト試算を行った。

① 天然ガス原料

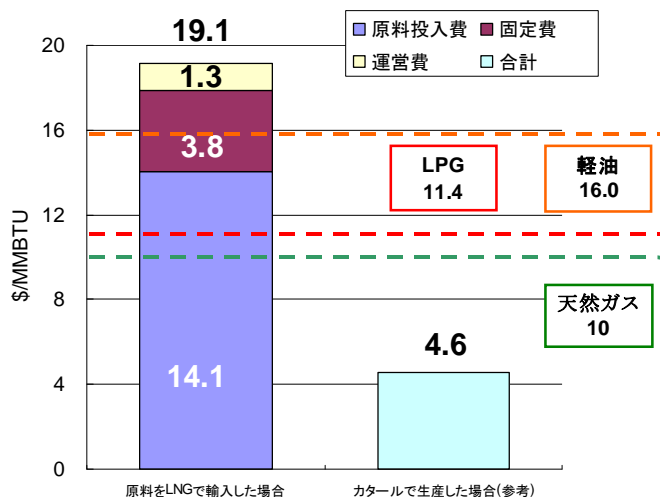
天然ガスは中国へLNGで輸入するものとし、製造プロセスは直接法としてコスト試算を行い (EUCAR²)、その結果を図 4-2-6に示した。

² Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, WELL-TO-WHEELS Report Version 2c,(2007)

表 4-2-5 石炭由来の DME の製造コスト前提条件

	原料をLNGで 輸入した場合	カタールで生産 した場合(参考)
生産規模(トン/日)	1,509	5,480
原料価格(\$/MMBTU)	10	0.95~1.25

図 4-2-6 天然ガスを原料としたDMEの製造コストとエネルギー価格³



(注)軽油：2007年北京の卸売価格、LPG：2007年中国輸入CIF価格、天然ガス：LNG日本向けCIF価格為替レートは1\$=8元、1€=1.5\$とした

表 4-2-6 天然ガスを原料としたDMEの製造コストと軽油価格⁴

生産コスト	DME (天然ガス)	DME (参考)	軽油
\$/MMBTU	19.1	4.6	16.0
\$/bbl (体積換算)	54.8	13.2	86.6
\$/bbl (軽油熱量換算)	99.0	23.8	86.6

原料価格が高騰しているため、生産コスト 19.1\$/MMBTU(軽油熱量換算 99\$/bbl)のうち 14.1\$/MMBTU を原料費が占め、軽油の 16\$/MMBTU(同 87\$/bbl)よりも高くなる。

② 石炭原料

これまで安価であった中国国内の一般炭価格も、世界的な価格高騰などの影響や、2008年の記録的な豪雪などの影響もあって急上昇しており、DMEの製造コストは、石炭価格の

³ 参考の出所：DME普及促進センター「日本におけるDME普及に向けた道筋の検討」(2005年度)

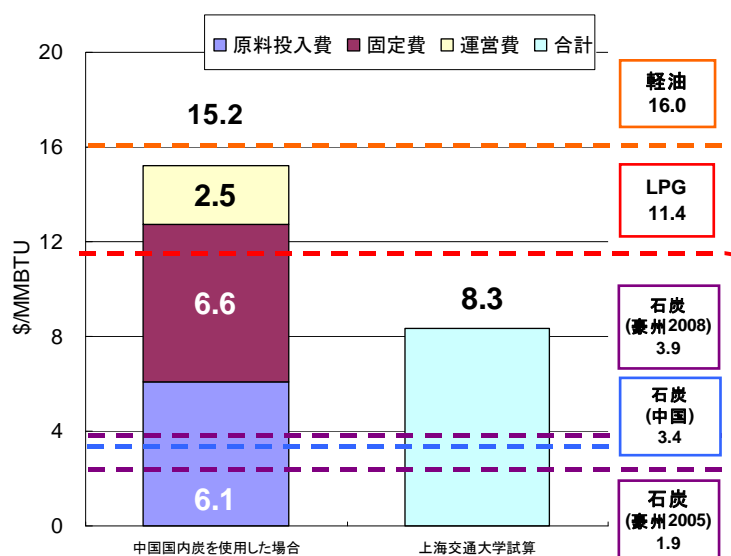
⁴ DMEは軽油に比べて発熱量が小さいので、比較のため軽油熱量等価換算の生産コストも併記する。

想定に左右されるといっても過言ではない。今回の試算では、図 3-2-12に示すように、最近の価格高騰を考慮した場合と、参考までに、従来試算⁵（上海交通大学試算）の前提条件を表 4-2-7に示し、試算結果は図 4-2-7に示した。

表 4-2-7 石炭由来の DME の製造コスト前提条件

	中国国内炭を使用した場合	上海交通大学試算
生産規模(トン/日)	5,209	3,000
原料価格(\$/MMBTU)	3.50	1.57

図 4-2-7 石炭を原料とした DME の製造コストとエネルギー価格



(注)石炭(中国)：2007年中国の山元価格、

石炭(豪州2005)：2005年豪州スポット価格、石炭(豪州2008)：2008年豪州スポット価格

表 4-2-8 石炭を原料とした DME の製造コストと軽油価格

生産コスト	DME (石炭)	DME (上海交通大学)	軽油
\$/MMBTU	15.2	8.3	16.0
\$/bbl (体積換算)	43.6	23.8	86.6
\$/bbl (軽油熱量換算)	78.8	43.0	86.6

固定費は天然ガスと比較して高いものの、原料費が安いため総コストでは、15.2\$/MMBTU(軽油熱量換算 79\$/bbl)となり、軽油のコストを下回るかほぼ同程度のコストになる。上海交通大学の試算では、従来の低い石炭価格を前提しているため、軽油の半

⁵上海交通大学(「DME を取り巻く状況変化とわが国におけるその普及の試み」、石油天然ガスレビュー(2007年5月)内で引用)

分程度の生産コストとなる。以上、極めて大雑把な試算ではあるが、石炭起源のDMEの経済性は中国においては十分に成り立つ可能性があり、環境対策と並んで導入のインセンティブがあることが理解できる。但し、現在、中国においても石炭価格は上昇しており、将来的には軽油の生産コストを上回る可能性も高い。さらに、DMEの場合はFT軽油と異なり、流通設備の改造や自動車の改造などが必要となることから、全ての追加投資を考慮した場合には、DMEの供給コストは軽油に比較して安いと言えず、割高になる可能性は高い。

4-3 LCA評価

4-3-1 FT合成油のLCA評価

(1) FT合成における温暖化効果ガス排出量

FT合成における温暖化効果ガス¹の排出量については、DOEの評価²を参考に、以下に示した、GTL、CTL、BTLについて試算を行った。

(各製造プロセス)

- ① CTL・・・原料としてイリノイ炭 NO.6 を用い、中間留分の生産を最大にしたケース
- ② BTL・・・原料として木材を用いたケース
- ③ GTL (随伴ガス)・・・原料として随伴ガスを用いたケース
- ④ GTL (パイプラインガス)・・・原料としてパイプラインガスを用いたケース

BTL及びGTLのプロセスでは燃料製造に際して発電を行うことが想定されている。それぞれの原料の組成を表 4-3-1に、燃料製造のマテリアルバランスを表 4-3-2 に、各プロセスの製品性状を表 4-3-3に示す。

表 4-3-1 GTL、CTL 及び BTL の原料組成

		石炭 (イリノイ炭 No.6)	木材チップ (カナダ産 かえで)			随伴ガス	パイプラインガス
構成比 (wt%)	水分	9.41	61.0	メタン (wt%)		76.2	94.7
	灰分	11.49	0.50	エタン (wt%)		6.4	3.2
	C	71.01	49.54	プロパン (wt%)		3.2	0.5
	H	4.80	6.11	イソブタン (wt%)		0.3	0.1
	N	1.40	0.10	n-ブタン (wt%)		0.8	0.1
	S	3.19	0.02	C ₅ ⁺ (wt%)		0.1	0.1
	Cl	0.10	0.00	CO ₂ (wt%)		12.6	0.7
	O	8.01	43.73	H ₂ S (wt%)		-	-
高位発熱量 (MJ/kg)	28.5	18.8	N ₂ (wt%)		0.4	0.6	
低位発熱量 (MJ/kg)	27.8	18.0	高位発熱量 (MJ/kg)		34.5	37.4	
			低位発熱量 (MJ/kg)		31.1	33.7	

(出所) DOE

¹ ここでいう温室効果ガスには二酸化炭素の他にメタン等を含んでおり、それらのガスによる温室効果を二酸化炭素相当に換算することにより温室効果ガス排出量を評価している。

² John J.Marano and Jared P.Ciferno “Life-Cycle Greenhouse-Gas Emissions Inventory For Fischer-Tropsch Fuels”(2001)

表 4-3-2 FT 合成のマテリアルバランス

		CTL	BTL	GTL (パイプライン ガス)	GTL (随伴ガス)
原料 (ton/day)		16,851	2,000	8,119	12,502
製品	LPG (ton/day)	155	0	137	0
	ブタン (ton/day)	-287	0	-32	0
	ガソリン (ton/day)	2,741	44	1,953	1,320
	軽油 (ton/day)	3,033	95	3,213	3,253
副生産物	スラッジ (ton/day)	2,036	209	0	0
	硫黄 (ton/day)	508	0	0	0
	プラントガス (ton/day)	985	0	0	0
消費電力 (MW)		54.3	-86	-25	-372
水 (m ³ /day)		52,996	7,571	79,494	15,142

(出所) DOE

表 4-3-3 各プロセスの製品性状

		FTガソリン (CTL)	FTガソリン (BTL)	FTガソリン (GTL パイプライン)	FTガソリン (GTL 随伴ガス)	FTナフサ	FT軽油
組成(wt%)	C	85.1	78.1	85.1	87.0	84.6	84.6
	H	14.9	15.2	14.9	13.0	15.4	15.4
	O	0	6.7	0	0	0	0
高位発熱量 (MJ/kg)		44.2	42.6	44.2	42.6	48.1	47.7
低位発熱量 (MJ/kg)		41.3	39.5	41.3	40.2	44.4	44.0
二酸化炭素排出量(gCO ₂ /L)		2,259	2,067	2,259	2,328	2,129	2,380

(出所) 同上

それぞれのケースについて、FT合成に伴う温室効果ガスは表 4-3-4の通りとなる。但し、BTLについては、原料がバイオマスのため、分解または燃焼することによって排出される二酸化炭素は、カーボンニュートラルという前提からカウントしていない。

表 4-3-4 FT 合成に伴う温室効果ガス排出量

		CTL	BTL	GTL(パイプ ラインガス)	GTL (随伴ガス)
製品FT燃料1bbl当りの 温室効果ガス排出量	(gCO ₂ -eq/bbl)	536,209	5,387	120,361	94,060
製品FT燃料の発熱量	(MJ/bbl)	5,017	5,076	5,078	5,054
製品発熱量当りの 温室効果ガス排出量	(gCO ₂ -eq/MJ)	106.9	1.1	23.7	18.6

(2) FT合成油のLCA評価

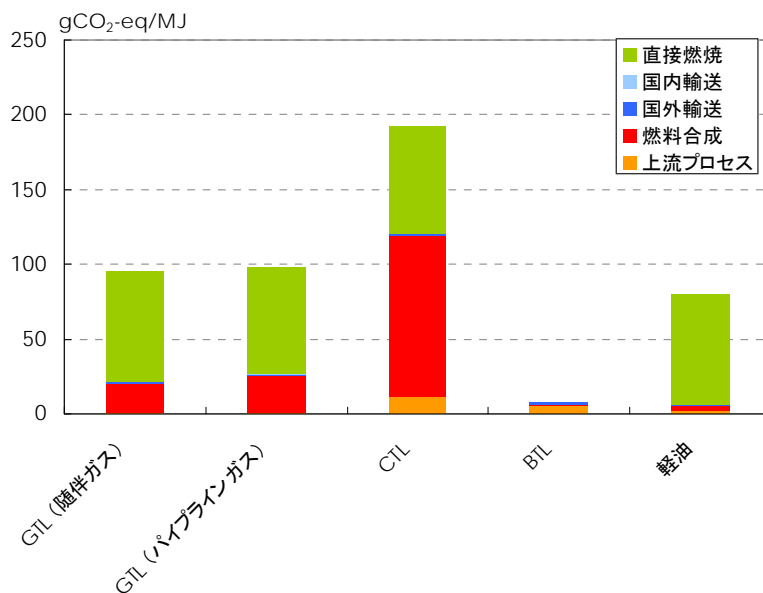
前項で試算された、燃料の合成過程で排出される温室効果ガス（発熱量当り）に、原料の生産や輸送、合成燃料の輸送など全工程を加算したものがLCA評価となる。この結果を表 4-3-5及び図 4-3-1に示した。なお燃料合成以外の工程については、トヨタ・みずほ³の試算値を使用した。

表 4-3-5 CTL、BTL 及び GTL の LCA 評価

(gCO₂-eq/MJ)

	GTL		CTL	BTL	軽油
	随伴ガス	パイプラインガス			
上流プロセス	1.28	1.28	11.87	5.68	1.51
燃料合成	18.6	23.7	106.9	1.06	3.64
国外輸送	1.34	1.34	0.93	0.99	0.92
国内輸送	0.36	0.36	0.36	0.36	0.37
計	21.6	26.7	120.0	8.1	6.4
直接燃焼	74.4	72.1	72.6	0.0	74.3
合計	96.0	98.8	192.7	8.1	80.7

図 4-3-1 CTL、BTL 及び GTL の LCA 評価



GTL は軽油と比較して、CO₂ の排出量は約 20%程度多くなる結果となった。CTL では燃料合成に伴う CO₂ 排出はさらに増大して、LCA 評価全体では、軽油の約 2.4 倍の排出量

³ トヨタ自動車株式会社、みずほ情報総研株式会社 「輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価 日本における輸送用燃料製造 (Well-to-Tank) を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書」(2004)

となった。一方で、BTL はバイオ起源の原料を使用することから CO₂ 排出量は大幅に削減される。

4-3-2 DMEのLCA評価

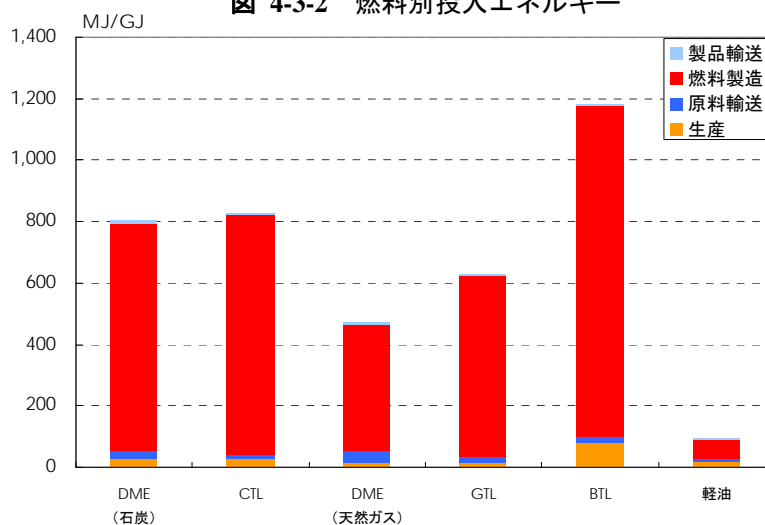
EUCAR⁴では、欧州地域を前提に、石炭及び天然ガスを原料としたDME燃料のLCA評価（投入エネルギー及び温室効果ガス）を行っている。投入エネルギーについて、DME燃料の製造プロセスについてはEUCARで評価された値を用い、その他の生産、原料輸送及び製品輸送についてはトヨタ・みずほの値を用いると、Well-to-Tankの燃料別投入エネルギーは表 4-3-6及び図 4-3-2のようになる。

DME 燃料では、投入エネルギーの殆どは燃料製造に用いられるが、FT 合成と比べればその投入エネルギーは小さい。しかしながら、既存の軽油の 94MJ/GJ と比較すると、石炭を原料とする DME では 8.6 倍の 804MJ/GJ、天然ガスを原料とする DME では 5.0 倍の 473GJ/MJ の投入エネルギーを必要とする。

表 4-3-6 燃料別投入エネルギー

	(MJ/GJ)					
	DME (石炭)	CTL	DME (天然ガス)	GTL	BTL	軽油
生産	28	30	16	17	84	18
原料輸送	25	12	36	17	13	12
燃料製造	740	780	410	590	1,080	59
製品輸送	11	5	11	5	5	5
計	804	827	473	629	1,182	94

図 4-3-2 燃料別投入エネルギー

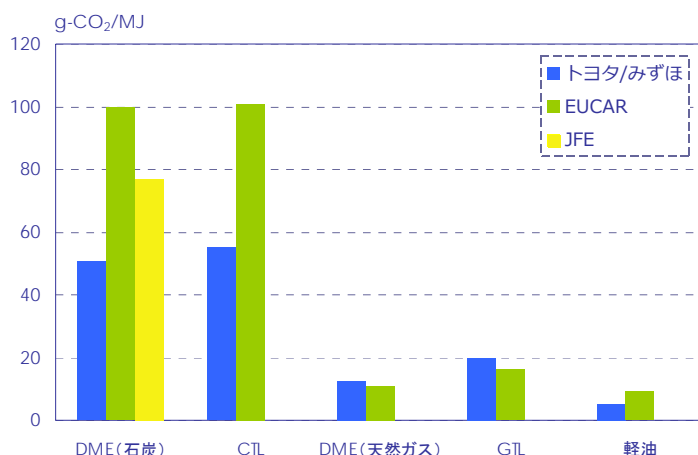


⁴ EUCAR, Concawe, JRC/IES “Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context” (2007)

燃料製造過程で排出されるCO₂ 排出量について、EUCAR、トヨタ/みずほ及びJFE¹の試算値を図 4-3-3に示した。

DME の燃料製造に係る CO₂ 排出量は、既存の軽油生産に比べて大きい。天然ガスからの DME 製造では軽油の 1.2~2.4 倍程度であるが、石炭からの DME 製造の場合には、10~11 倍にもなる。一方、FT 合成と比較した場合、DME の方が、CO₂ 排出量はやや小さくなる。

図 4-3-3 燃料製造に係る温室効果ガス排出量



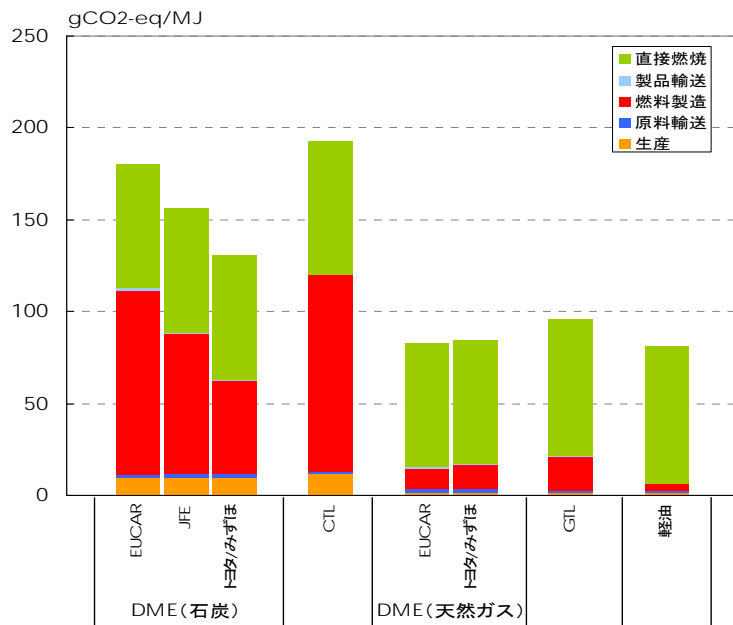
これらの燃料製造に係る排出量に、トヨタ・みずほで記載のある原料生産、原料輸送及び製品輸送からの排出量を加え、更に直接燃焼分を加えたLCA評価を表 4-3-7及び図 4-3-4に示した。

石炭を原料とする DME は、FT 合成 (CTL) よりも排出量は小さいものの、軽油の 80.7g-CO₂-eq/MJ の 1.6~2.2 倍程度に相当する 130~180 g-CO₂-eq/MJ となる。一方、天然ガスを原料とする場合には、燃料製造に係る排出量は大幅に低下し、軽油よりも DME の方が単位熱量当りの燃焼にともなう CO₂ 排出量は小さくなるため、既存軽油の 80.7 g-CO₂-eq/MJ に対して 83.2~84.5 g-CO₂-eq/MJ とわずかな差にとどまる。

表 4-3-7 原料別、燃料別 LCA 評価

	(g-CO ₂ -eq/MJ)							
	DME(石炭) EUCAR	DME(石炭) JFE	DME(石炭) トヨタ/みずほ	FT燃料平均 (CTL)	DME(天然ガス) EUCAR	DME(天然ガス) トヨタ/みずほ	FT燃料平均 (GTL)	軽油
生産	9.9	9.9	9.9	11.9	1.2	1.2	1.3	1.5
原料輸送	1.9	1.9	1.9	0.9	2.8	2.8	1.3	0.9
燃料製造	100.0	76.3	50.7	106.9	11.0	12.3	18.6	3.6
製品輸送	0.8	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8	0.4	0.4
計	112.6	88.9	63.3	120.0	15.8	17.1	21.6	6.4
直接燃焼	67.4	67.4	67.4	72.6	67.4	67.4	74.4	74.3
合計	180.0	156.2	130.7	192.7	83.2	84.5	96.0	80.7

图 4-3-4 原料別、燃料別 LCA 評価



第5章 合成燃料の導入ポテンシャル

5-1 原料別導入ポテンシャル

5-1-1 FT合成油

中国、アメリカ、欧州において FT 合成油の導入ポテンシャルに関する試算を行った。FT 合成油の原料は中国・アメリカは石炭、欧州はバイオマス(木材)とした。また、油田から発生する随伴ガス(フレアガス)を用いた場合のポテンシャルについても試算を行った。

① 中国

イ. 化石燃料資源量

中国は国内に豊富な資源を有している。昨今は国内油田の生産量の減少、原油価格の高騰もあり自国産の石炭の活用が進められている。そのため、FT 合成油の原料として石炭を想定し、CTL 燃料の導入量を試算する。

表 5-1-1に示す通り、2006 年現在の中国の石炭の資源埋蔵量は 1,145 億トン、生産量は 23.8 億トンに及ぶ。

表 5-1-1 中国の化石燃料資源(2006 年)

	資源埋蔵量		R/P比	生産量
	資源埋蔵量	熱量換算 (石油換算百万トン)		
石炭(10億トン)	114.5	74,398	48	2.38
石油(10億バレル)	16.3	2,365	12	1.34
天然ガス(1兆m ³)	2.5	2,401	42	0.06

出所：BP 統計 2007 より作成

ロ. エネルギー消費見通し

中国のエネルギー消費量は経済発展と共に堅調に増加する見通しである。特に 2030 年においても依然として石炭が主要なエネルギー源であり続ける。輸送用燃料に関しては石油需要全体を上回る速度で増加する見通しである。

表 5-1-2 中国のエネルギー消費見通し

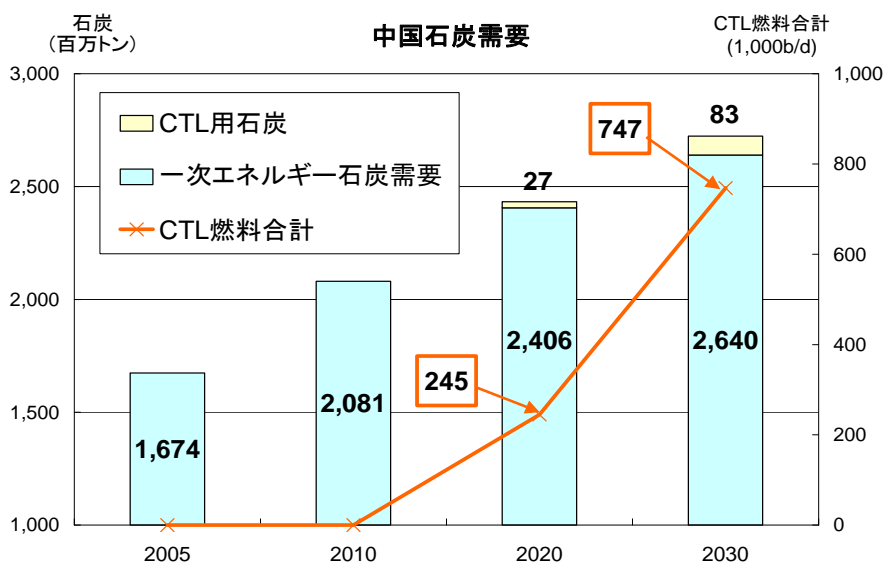
		石油換算百万トン				
		2005	2010	2020	2030	05-30 年平均伸び率
一次エネルギー	石炭	1,088	1,352	1,563	1,715	1.8%
	石油	318	411	587	758	3.5%
	天然ガス	40	60	144	355	9.1%
輸送用燃料	ガソリン	48	67	106	149	4.7%
	軽油	48	68	115	175	5.3%

(出所) エネ研「アジア/世界エネルギーアウトック 2007」より作成

ハ. 導入量試算

2020 年に軽油需要の 5%分のCTL軽油が導入され、2030 年に軽油需要の 10%分のCTL軽油が導入されるとして試算を行った。CTL合成燃料全体の生産量と石炭消費量は以下の図 5-1-1の通りである。2030 年にはCTL燃料は合計で 74.7 万b/dとなり、消費される石炭は 8,300 万トンになるが、2006 年の石炭生産量の約 3.5%にすぎない。

図 5-1-1 中国の CTL 導入ポテンシャルと石炭消費量



② アメリカ

イ. 化石燃料資源量

アメリカは特に石炭に関して国内に豊富な資源を有している。エネルギー安全保障、安定供給の観点から自国産の石炭の活用を検討しており、特に石炭由来の合成燃料を軍事用で使用するなどの検討が行われている。このことから FT 合成油の原料としては石炭を想定し、CTL 燃料の導入量を試算する。

表 5-1-3に示す通り、2006 年現在のアメリカの石炭の資源埋蔵量は 2,466 億トン、生産量は 10.5 億トンに及ぶ。

表 5-1-3 アメリカの化石燃料資源

	資源埋蔵量		R/P比	生産量
	資源埋蔵量	熱量換算 (石油換算百万トン)		
石炭(10億トン)	246.6	160,260	234	1.05
石油(10億バレル)	29.9	4,338	12	2.51
天然ガス(1兆m ³)	5.9	5,811	11	0.62

(出所) BP 統計 2007 より作成

イ. エネルギー消費見通し

米国のエネルギー消費量は伸びは依然として増加傾向にある。今後は特に、相対的に安価で資源量が豊富な石炭の活用が推進される見通しである。輸送用燃料に関しては、燃費の良いディーゼル車の普及などからガソリンに比べて軽油が増加するものの、ガソリン消費量の増加は続き、2030年においても依然として世界最大のガソリン消費国であり続けると見込まれる。

表 5-1-4 アメリカのエネルギー消費見通し

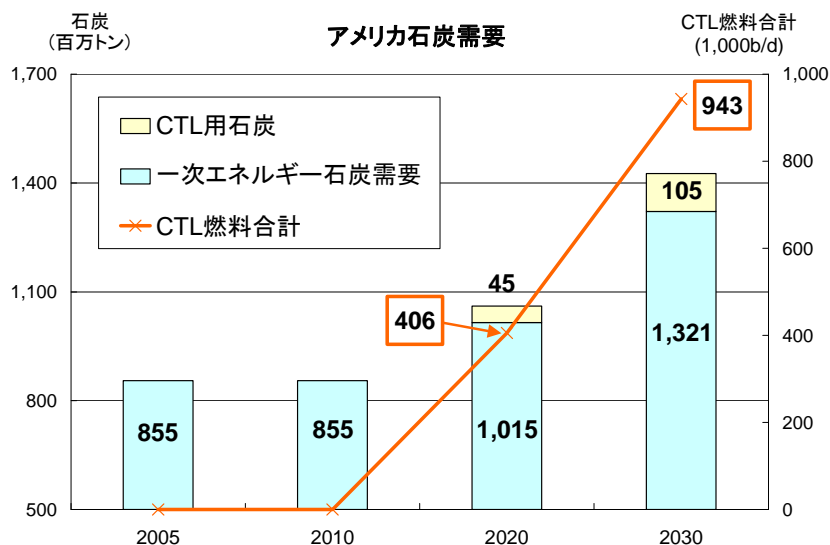
		石油換算百万トン				
	Mtoe	2005	2010	2020	2030	05-30 年平均伸び率
一次エネルギー	石炭	556	555	660	858	1.8%
	石油	953	982	1,097	1,197	0.9%
	天然ガス	509	530	583	564	0.4%
輸送用燃料	ガソリン	401	411	453	486	0.8%
	軽油	140	154	190	220	1.8%

(出所) エネ研「アジア/世界エネルギーアウトック 2007」より作成

ハ. 導入量試算

2020年に軽油需要の5%分のCTL軽油が導入され、2030年に軽油需要の10%分のCTL軽油が導入されるとして試算を行った。CTL合成燃料全体の生産量と石炭消費量は図 5-1-2 の通りである。2030年にはCTL燃料油は合計で94.3万b/dとなり、消費される石炭は1億500万トンになる。これは2006年の生産量の10%に相当し、将来の米国における石炭需給に一定の影響を及ぼす量であると考えられる。

図 5-1-2 アメリカのCTL導入ポテンシャルと石炭消費量



③ 欧州 OECD

イ. 化石燃料資源量

欧州では1990年代は北海油田の発見などにより化石燃料の生産が活発であったが、現在は北海油田生産量が減退し、その他の資源に関しても開発が難しくなっている。石炭資源量は中国の三分の一であり、生産コストも割高である。また、石炭はCO₂排出量が多い事もあり、欧州は石炭の活用に関しては中国、アメリカよりも慎重である。一方で、バイオディーゼルなど、バイオマス由来の液体燃料の研究が進んでいる。バイオマス資源、森林資源が豊富な欧州ではFT合成油の原料としてカーボンニュートラルであるバイオマス(木材)が活用されるものと想定し、BTL燃料の導入量を試算する。

表 5-1-5 欧州の化石燃料資源

	資源埋蔵量		R/P比	生産量
	資源埋蔵量	熱量換算 (石油換算百万トン)		
石炭(10億トン)	41.2	26,757	-	0.66
石油(10億バレル)	14.7	2,133	-	1.78
天然ガス(1兆m ³)	5.9	5,733	-	0.50

(出所) BP 統計 2007 より作成

ロ. エネルギー消費見通し

省エネ、環境意識の高まりなどからエネルギー消費量は微増で推移する。CO₂排出量の多い石炭は減少傾向にあり、環境負荷の低い天然ガスが伸びるものと見込まれる。輸送用燃料に関しては、欧州では燃費の良いディーゼル車の保有台数が堅調に伸び、軽油消費が伸びる。一方、ガソリン消費量は減少する見通しである。

表 5-1-6 欧州のエネルギー消費見通し

		石油換算百万トン					05-30 年平均伸び率
	Mtoe	2005	2010	2020	2030		
一次エネルギー	石炭	320	325	312	313	-0.1%	
	石油	702	694	713	736	0.2%	
	天然ガス	453	505	611	720	1.9%	
輸送用燃料	ガソリン	121	111	104	103	-0.6%	
	軽油	191	208	246	274	1.4%	

(出所) エネ研「アジア/世界エネルギーアウトック 2007」より作成

ハ. 導入量試算

2020年に軽油需要の5%分のBTL軽油が導入され、2030年に軽油需要の10%分のBTL軽油が導入されるとして試算を行った。BTL合成燃料全体の生産量とバイオマス消費量は図5-1-3に示す通りである。2030年にはBTL燃料は合計で85.4万b/dとなり、必要なバイオマス量は16,100万トンになる。

図5-1-4に示す通り、木材製品における欧州の世界全体に占めるシェアは相対的に大きい。木材の比重を0.5とした時、産業用丸太、燃料用丸太、チップ&パーティクル、森林残材の合計で約22,300万トンとなる。2030年の欧州における軽油需要の10%をBTL燃料で代替するためには、現在の木材製品の8割に及ぶバイオマス資源が必要となる。木材製品には産業用丸太等も含まれているため、既存の木材産業を侵害せずに、十分な量のBTL燃料を製造するためには木材残渣以外のバイオマス資源の活用が必要になると考えられる。参考としてドイツのバイオマスポテンシャルの試算例を表5-1-7に示す。

表 5-1-7 ドイツのバイオマスポテンシャル

	[mt DM/a]	[PJ/a]
木材(森林作物、工業林、森林残渣)	23.4-24.7	432-458
廃藁	11.5-19.2	199-331
動物性バイオマス	1	14
エネルギー作物(短期輪作、ライ小麦、すずき)	3.9-23.6	71-416
合計	39.8-68.5	729-1219

(出所) The German Energy Agency, “Biomass to Liquid -BtL, Implementantation Report” より作成

図 5-1-3 欧州の BTL 導入ポテンシャルとバイオマス消費量

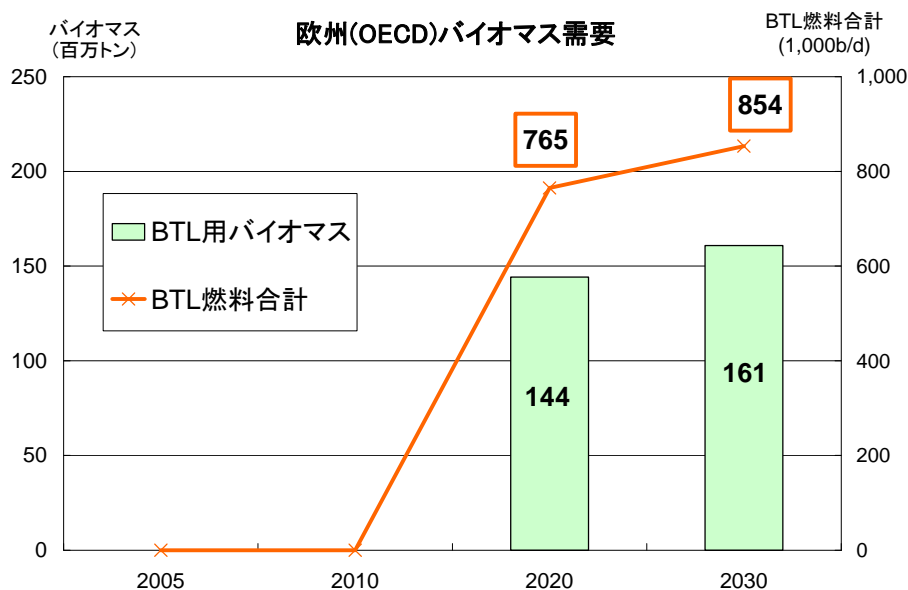
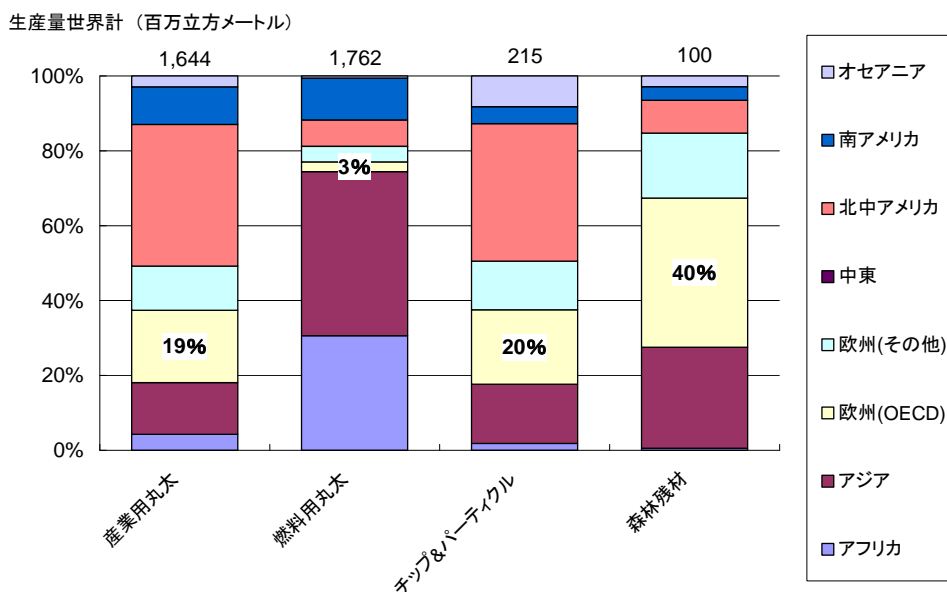


図 5-1-4 木材製品生産量と欧州のシェア(2004)



(出所) FAO より作成

④ 中東随伴ガスの供給ポテンシャル

イ. ガス生産量

表 5-1-8に示す通り、OPEC加盟国全体でガスの総生産量は 8,530 億立方メートルに上り、うち 656 億立方メートルが大気へ燃焼放出されている。GTL用の原料としては、産油国の油田から放出されるフレアを回収するものとした。

表 5-1-8 OPEC 諸国のガス生産量(2006 年)

単位: Mcm

国	総生産量	市場生産量	フレア	再注入	減少
アルジェリア	194,782	88,209	3,340	90,216	13,017
アンゴラ	10,335	1,020	8,200	1,050	65
インドネシア	83,662	74,000	3,167	1,101	5,394
イラン	164,200	105,000	15,830	26,663	16,707
イラク	5,480	3,500	1,650	-	330
クウェート	13,670	12,900	-	-	770
リビア	27,064	13,195	2,980	3,634	7,255
ナイジェリア	66,100	28,200	22,000	13,450	2,450
カタール	60,960	49,500	360	4,400	6,700
サウジアラビア	85,001	73,461	70	217	11,253
UAE	69,660	47,400	940	16,180	5,140
ベネズエラ	72,990	28,700	7,080	30,200	7,010
OPEC計	853,904	525,085	65,617	187,111	76,091

(出所) OPEC, “Annual Statistical Bulletin 2006”より作成

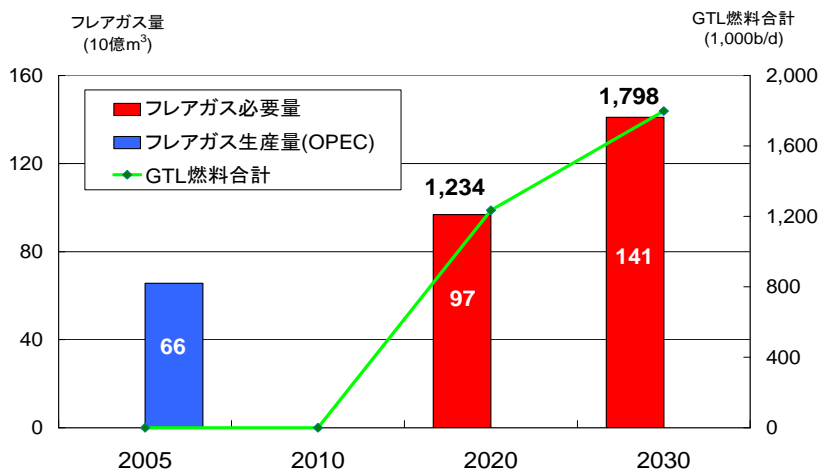
(注)Mcm: 百万立方メートル

ロ. 生産量試算

OPEC 諸国における油田から放出されるフレアを回収して GTL の原料とし、合成燃料は日本および欧米に輸出されることを前提とした。

2020 年に日本、米国で軽油需要の 5%、欧州で 10%相当がGTL軽油に代替され、2030 年には、日、米、欧ともに、軽油需要の 10%相当分がGTL軽油に代替されると仮定した。この時のGTL合成燃料油の生産量とフレアガスの必要量は図 5-1-5に示す通りである。2030 年にはGTL燃料は合計で約 180 万b/dとなり、必要ガス量は 1,410 億立方メートルとなる。

図 5-1-5 OPEC のフレアガス量と GTL 燃料生産量



ハ. IEA 見通し

IEA の World Energy Outlook 2005 によると、GTL の生産量は 2010 年で 30 万 b/d、2020 年で 130 万 b/d、2030 年で 230 万 b/d となる見通しである。

表 5-1-9 世界の原油生産量見通し

	百万バレル/日				
	2004	2010	2020	2030	2004-2030 年平均伸び率
非OPEC	46.7	51.4	49.4	46.1	0.0%
OECD	20.2	19.2	16.1	13.5	-1.5%
アメリカ&カナダ	13.6	10.5	8.8	7.4	-1.1%
OECD 欧州	6.0	4.4	3.1	2.3	-3.7%
経済移行地域	11.4	14.5	15.6	16.4	1.4%
発展途上国	15.2	17.7	17.6	16.3	0.3%
中国	3.5	3.5	3.0	2.4	-1.5%
インド	0.8	0.9	0.8	0.6	-1.2%
OPEC	32.3	36.9	47.4	57.2	2.2%
非在来型石油	2.2	3.1	6.5	10.2	6.1%
うちGTL	0.1	0.3	1.3	2.3	13.9%
世界計	82.1	92.5	104.9	115.4	1.3%

(出所) IEA, “World Energy Outlook2005”より作成

5-1-2 DME

DME は現在フロンガスに代わるスプレー用噴射剤（プロペラント）として利用（世界15万トン、日本1万トン(全量国産)）されている。代替燃料としては家庭用のLPG代替の燃料、発電用燃料としても活用が期待される。また、セタン価が高く（55～60）、PMの発生が少ないので低公害ディーゼル車用の燃料（軽油代替）として期待される。

本稿では、中国での自動車用燃料、特に軽油代替とした場合のDMEのポテンシャル量の試算を行う。

① 前提条件

DMEは、排ガスに含まれるPMなどの大気汚染物質が少ないため低公害ディーゼル車用の燃料として期待されている。クリーンなエネルギー自動車としては、他にLPG車やCNG車が挙げられるが、2004年末時点で、北京、上海などの大都市を中心にそれぞれ約10万台が導入されている。LPG車は上海で3.9万台、北京で3.2万台が、CNG車は四川省で5.2万台、重慶で1.9万台が導入されている。その他、LNG車（バス）が、北京で11台、ウルムチで20台、長沙で2台、デモ走行を行っている。

表 5-1-10 中国におけるクリーンエネルギー自動車導入状況

年	1999	2000	2001	2002	2003	2004
LPG車(万台)	3.9	6.1	8.5	9.6	11.4	11.4
CNG車(万台)	0.4	1.5	2.5	5.7	7.9	10.1
合計(万台)	4.3	7.6	11	15.3	19.3	21.5

(出所) 沈中元、「2030年までの中国モータリゼーションの予測、省エネルギーと石油代替の可能性について」エネ研(2006)

DME自動車は、山東久泰化学工業有限公司、上海交通大学、西安交通大学が共同でディーゼル乗用車をベースに開発を行っているところであるが、2010年の上海万博までに、DMEを燃料とする1,000台のバス（上海市交通）を導入する予定である。

今後のDME車の普及を想定するに際して、同じクリーンなエネルギー自動車であるLPG車やCNG車と同程度は導入されるものと考え、10万台程度のDME車が導入されると仮定した。

10万台のDMEバスに用いられるDMEを生産するために必要な石炭量は、2006年の中国の石炭生産量の0.1%程度であり、資源量からみると問題はないと思われる。DMEは100万トンを超える規模でのプラントの建設が計画されており、計画中や時期不明分を含めれば、1,700万トンに及ぶとも言われる。これらの計画が順調に進んでも、必要石炭量は2,516

万トン、2006年の国内生産量の1.0%程度であり資源面での問題は少ない。

中国ではDMEをLPGに混ぜて家庭用燃料として用いているが、政府は2008年3月、DMEのLPGへの混合は爆発を引き起こす可能性があり危険である、として禁止する方針を示している。DMEの主要な用途であるLPGへの混合が規制される事で、DME製造業者に影響が広がる事が懸念される。

表 5-1-11 DME 試算(バス台数ベース)

項目	数値	備考	
前提条件			
導入DMEバス台数	10万台	CNG、LPG自動車と同程度導入を想定	①
走行距離	40,000 km/台・年	IEAの中国のバスの走行距離値	②
想定燃費	3 km/L	大型バスと小型バス両方を勘案した	③
DME特性			
液体発熱量	19.2 MJ/L		④
気体発熱量	59.4 MJ/L		⑤
液密度	667 kg/m ³		⑥
DME製造プロセス			
石炭投入量	1.48 t-coal/t-DME		⑦
計算			
項目	計算	数値	
DME容量	①×②÷③	133万KL	⑧
DME質量	⑧×⑥	89万トン	⑨
必要石炭量	⑨×⑦	132万トン	
(参考)2006年 中国の石炭生産量		23.8億トン	

(出所) IEA、JAMA モデル、

「鈴木信市, DME はどこまで有望なのか?」石油/天然ガスレビュー, 2003年9月、
YOTARO OHNO et al, 「COAL CONVERSION INTO DIMETHYL ETHER AS AN I
NNOVATIVE CLEAN FUEL, ICCST-Okinawa」(October 2005)

第6章 まとめと課題

6-1 まとめ

6-1-1 合成燃料の製造プロセス

(1)本稿で扱う合成燃料とは、同じ炭化水素を起源とするものの、そのまま利用するには制約のあるもの、すなわち、固体である石炭やバイオマス、あるいは気体である天然ガスを、一旦は分解して、必要に応じて、目的物である炭化水素を再合成して得られた液体（常温常圧）のことをいう。

(2)合成燃料の製造プロセスは3つの段階に分かれる。

① 第1段階：合成ガスの製造

原料となる炭化水素源を分解して合成ガス(CO+H₂)をつくる。

② 第2段階：合成ガスを原料として粗燃料を合成

合成ガスから目的生産物を合成する。様々な分子量を持つ炭化水素の混合物の合成（以下、「FT合成」という）の場合と、メタノールやLPGと性質が似たDME（ジメチルエーテル）など単一製品の合成を行う場合に分かれる、それぞれ反応温度・条件などが異なる。

③ 第3段階：粗燃料のアップグレーディング（水素化、改質・異性化）

FT合成油は様々な直鎖炭化水素の混合物であるため、水素化分解による低分子化、必要に応じて、異性化（分枝化）や芳香族化（環状化、脱水素）などを行う。一方、メタノールやDMEは単一化合物であるので、合成時の不純物の除去を行う。

6-1-2 FT合成プロジェクトの導入状況

2000年以降、環境にクリーンな燃料として、また天然ガスの高付加価値化を目指して、次々に大型プロジェクトの計画が発表されたが、折からの原油価格高騰は、他のエネルギー価格や食糧、原料など1次産品価格全般に波及し、建設コストも大幅に上昇するようになり採算性は悪化して、多くのプロジェクトが計画中止に追い込まれた。

(1) GTL

① Oryx 1 プロジェクト

カタールのラスラファンに、サソールシェブロン社（南アフリカのサソール社とシェブロン社の合弁会社）と国営カタール石油（QPC）との合弁会社 Oryx GTL 社による GTL プラントが 2006 年 6 月に完成し、2007 年 1 月より稼働が開始された。これはノースフィールドガス田の天然ガスを原料として、3.4 万 B/D の生産能力を有する世界初の商業規模の GTL プラントであるが、触媒系の不具合と思われる運転トラブルのため、数千 B/D の低稼働となっている。

② Pearl GTL プロジェクト

シェルと QPC 合弁による世界最大級の GTL プロジェクト（Pearl GTL）が進められている。ノースフィールドガス田の天然ガスを原料として、生産能力 7 万 B/D のプラントを 2

基建設するもので、投資額は当初想定された50億ドルから、一挙に120~180億ドルに跳ね上がったものの、シェルはこの計画を進めるとしている。

(2) CTL

① 中国

CTLの生産量を、2020年には、100万B/D（石炭消費量2億トン/年）まで増加させるという目標もあるが、主要プロジェクトのうち、実現性のあるものを積算すれば、2020年頃には、およそ30万B/D程度の生産量が見込まれる。今後、中国でCTL事業が本格化して拡大するかどうかは、中国最大の石炭グループである神華集団会社が、サソール社及びシェル社と進めているCTLプロジェクトの成功が鍵といわれており、中国政府もこれら両プロジェクトの成行きを注視している。

A. サソール

間接液化による生産能力8万B/DのCTLプラント建設計画であり、2013年操業開始を目指して、事業化調査を行っている。

B. ロイヤルダッチシェル

間接液化による7万B/DのCTLプラント建設計画であり、2012年の生産開始を予定している。

② 米国

CTLプロジェクトは、海外資源への依存度の低減、国内資源の開発という観点から積極的に進められており、多額の国内石炭への補助金も拠出されている。また米軍もCTLに興味を示しており、幅広く安全保障上の視点から導入が検討されている。

(3) BTL

ドイツのChoren社が、世界で最初の生産能力300B/DのBTL商業化プラントを建設し、2008年中頃には生産開始の予定である。同社は、さらに、2020年にかけて4,000B/Dの能力を持つプラントを10~15基建設する計画である。しかしながら、BTLはコストが高く既に商業化段階にあるGTL、CTLと比較して、今のところ実証プラントの段階というのが実情である。

(4) DME

① 間接法によるDME製造技術は確立しており商業段階にある。天然ガスから製造する場合は、昨今の原料コストの高騰により、経済性に大きな問題を残している。日本においても、一時脚光を浴びたものの、現在では、三菱ガス化学の工場内で、実証プラントが本年稼働予定となっているのみで、DME導入のインセンティブは弱い。

② 中国においては、CTL同様、安価な国内の石炭を利用したDMEプロジェクトが進められており、北京や上海といった都市部での大気汚染対策として、DME燃料が脚光を浴びている。このように原料コストが安く、石油製品の脱硫能力が十分でない中国では、

海外の石油依存度の低減や環境対策としてのニーズは高く、今後導入が拡大していくものと思われる。

6-1-3 合成燃料の経済性

(1) FT合成燃料の経済性

イ. 投資額

FT合成のプラント投資額は、過去数年の間に、2～3倍まで高騰した。原料別に投資額を整理すると以下の通りとなり、石油精製と比較して数倍～数10倍程度となる。

- ① 石油精製 (生産規模 20 万 B/D) : プラントコスト 2 万\$(B/D)
- ② GTL (3～8 万 B/D) : 6～8 万\$(B/D)
- ③ CTL (1～8 万 B/D) : 10～15 万\$(B/D)
- ④ BTL (0.1～0.5 万 B/D) : 55～65 万\$(B/D)

ロ. 生産コスト

欧州域内で FT 合成プラントを建設した場合の生産コストを試算すると以下の通り。

- ①建設コストでは CTL は GTL よりも割高になるが、原料価格が安いこともあって、生産コストは CTL が 102\$/bbl、GTL が 116\$/bbl となり CTL のほうが安い。また軽油の 101\$/bbl と遜色ない価格となった。但し、CTL に CCS 設備は考慮していない。
- ②BTL は、原料が廃棄物など安価であるものの建設費は極めて高く、CTL、GTL のおよそ 2 倍程度の 185～209\$/bbl となる。

(2) DMEの経済性

中国で DME プラントを建設した場合の、2007 年時点の生産コストを試算すると以下の通りとなる。国内炭が安価なこともあり、政府の価格統制下にある軽油価格よりも安くなることから、石炭からの DME 製造は、中国国内では一定の「経済性」があると言える。

- ① LNG を輸入した場合は軽油熱量換算で 99\$/bbl (DME 体積換算で 55\$/bbl)
- ② 国内炭を原料とした場合は軽油熱量換算で 79\$/bbl (DME 体積換算で 44\$/bbl)
- ③ 中国北京市内における軽油卸売価格 87\$/bbl

6-1-4 LCA評価

(1) FT合成燃料のLCA評価

イ. エネルギー投入量

合成油のエネルギー (発熱量) 100 のうち何%をその製造過程(LCA)で消費されるかを整理すると以下の通りとなる。軽油は 9%であるから、100%から控除すると残り 91%のエネルギーが燃焼エネルギーとして有効に利用できることになる。一方、GTL、CTL ではその半分以上が製造過程で消費され、BTL の場合には、投入エネルギーが取り出すエネルギーを上回ることからマイナスとなる。

- ① 軽油：燃料製造 6%、全工程 9%
- ② GTL：燃料製造 59%、全工程 63%
- ③ CTL：燃料製造 78%、全工程 83%
- ④ BTL：燃料製造 108%、全工程 118%

ロ. CO₂排出量

- ① 1MJあたり軽油のCO₂排出量は80.7gなのに対して、GTLで96~98g、CTLで192.7gとなり、いずれの場合も軽油よりもCO₂排出量が高くなる。
- ② BTLは投入エネルギーは大きいものの、原料の残渣物を加熱燃焼（あるいは発電）してプロセスでのユーティリティとして利用する場合、化石燃料起源であるGTLやCTLと異なり、バイオマス=カーボンニュートラルの前提から、CO₂排出量としては0カウントになる。従って、1MJあたりのCO₂排出量は8.1gと極めて低い値となる。

(2) DMEのLCA評価

- ① 天然ガス起源のDMEのエネルギー投入量は、DME・1MJあたり47%となる（53%が有効利用）。一方、石炭起源の場合は、DME・1MJあたり81%となる（19%が有効利用）。いずれにしても、FT合成油と同様、エネルギーの利用効率は軽油と比較して極めて低い。
- ② 天然ガス起源のDMEのCO₂排出量は1MJあたり83.2g、石炭起源のDMEのCO₂排出量は180gと、FT合成油の場合よりもやや低下するものの、軽油の80.7gよりも高い値となる。

6-1-5 合成燃料のポテンシャル量

(1) FT合成燃料

イ. CTL(中国)

- ① CO₂排出量の制約を考えないこと、国内石炭の有効利用（海外依存度の低減、液体化による輸送上の利便性の向上）、さらに大都市部での大気汚染対策としてクリーン燃料を積極的に導入するという観点からCTLが導入される。
- ② 2020年に軽油需要の5%、2030年で10%がFT軽油(CTL)に代替されるとする。2030年で約75万B/D（石炭8,300万トン、2006年の石炭生産量の3.5%）となる。

ロ. CTL（米国）

海外からの石油輸入の低減、国内資源の開発による安全保障上の観点から、またCO₂のCCSも開発が進むと仮定する。2020年に軽油需要の5%、2030年の10%とした場合、2030年にはFT軽油は約94万B/D、石炭消費量は1億500万トンに達する。石炭消費量は2006年時点の生産量の約10%に相当し、将来の米国における石炭需給に一定の影響を与えると考えられる。

ハ. BTL (欧州)

- ① 経済性の観点からは CTL が最も現実的であるが、CO₂排出量の観点からは選択されず、将来的な技術ではあるが、バイオマス資源からの BTL 燃料が期待されている。
- ② 2020 年に軽油需要の 5%、2030 年に 10%が BTL に代替されたとした場合、BTL の生産量は約 85 万 B/D となり、必要となるバイオマス量は約 1 億 6,100 万トンとなる。
- ③ 現在の欧州地域での木材製品の生産量は約 2 億 2,300 万トンであり、BTL に必要な量はこの 80%相当にあたり、現行の木材生産に影響を与えないためには、廃材や間伐材にとどまらず、広くバイオマス資源の収集を図ることが必要となる。

(2) DME

- ① 中国国内の大都市部で、現在 LPG 車や CNG 車が、各々約 10 万台導入されていることから、当面は万博を控えた上海市や北京市で、DME 燃料用の市バスが 10 万台程度導入されると考えるのが妥当であろう。この場合の DME の消費量はわずか 1.5 万 B/D (石炭消費量 89 万トン/年) 程度にすぎない。
- ② 現在の中国の DME 生産能力は 1.5 万 B/D 程度にすぎないが、2015 年には 44 万 B/D まで生産能力が拡張される見通しである。輸送用以外にも DME の用途は多岐に渡るため、すべて輸送用とは言えないものの、44 万 B/D の DME をすべて輸送用で賄う場合は、300 万台程度の市バスが、軽油から DME に転換される必要があることになる。

6-2 今後の課題

(1) エネルギーの利用効率をどう考えるか

イ. エネルギー利用効率や経済性と利便性について

- ① 炭化水素が燃焼(酸化)される際に、発生する熱エネルギーを取り出して利用する場合、そのままボイラー燃料として、燃焼するのが最も効率的と言える。炭化水素を加工変換(分解、再結合)することは、エネルギーの新たな投入が必要となり、プロセスの全工程を考慮するならば効率は低下するからである。
- ② しかしながら、輸送用燃料としての利用を考えた場合には、特に、石炭やバイオマスは何らかの方法で、内燃機関用としての利用が可能な形態に変換することが必要となる。ガソリンや軽油といった石油系燃料と同様に、常温常圧で液体に変換することは、既存の石油系燃料のインフラを殆どそのまま利用できることから、最も利便性の高い利用方法となる。
- ③ このように、利便性と、経済性やエネルギー効率については、トレードオフの面もあり、全体としての費用対効果についてどう判断するかという点から議論して行く必要がある。

ロ. 製造過程での改善余地が大きい合成燃料

- ① 投入エネルギーが増加するということは、化石燃料起源の場合は、それだけ CO₂ 排出

量を増加させることであり、同じく設備コストが増加し運転費用が余計にかかることを意味しているといつてよい。触媒やプロセスの改良で反応温度や圧力を低下させることはエネルギー消費がそれだけ低下することであり、当然プラントコストも下がる。

- ② FT 合成や DME 合成は、現状のエネルギー変換プロセスは改善の余地が大きく、エネルギーの利用効率の向上や CO₂ 排出量のより一層の低減が実現すれば、石油系燃料の代替やバイオエタノールの競合品として期待できると考えられる。
- ③ BTL はカーボンニュートラルという点では CO₂ 排出量は少なく最も好ましいと言えるが、製造過程におけるエネルギーの利用効率の点では、改善の余地が大きく、これにより経済性も高まると考えられ、今後の技術開発の動向が鍵となるであろう。

(2) 経済性の評価

イ. 天然ガスを原料とする合成燃料

- ① FT 合成は高温高压で処理されるプラントであり、LNG プラントや石油精製よりも遥かに固定費の比率が高い大規模投資のビジネスとなる。21 世紀に入り、一躍 GTL プラントが脚光を浴びたのは、天然ガス価格が比較的低い時期に、LNG 以上に付加価値化商品としての販売が可能であり、これに大きく寄与するという点にあった。
- ② 折からの環境規制の強化、石油製品の低硫黄化(脱硫能力の増強)といった流れの中で、生産される FT 軽油が極めてクリーンな燃料であることも注目点となった。
- ③ しかしながら、原油価格の高騰は(暴騰といつてもよいが)、結局天然ガス価格も押し上げてしまい、高騰したプラントコストの中で、わざわざ液体燃料にする必要がなくなった。また脱硫能力が不足すると思われていた精製能力は、予想以上に設備投資が進み、FT 燃料のクリーン性や高セタン価を、市場が評価するに至らなかったことも大きい。
- ④ こうしたことから、GTL の導入は一気に冷え込んでしまい、当面は"Wait & See"の状態が続くものと予想される。
- ⑤ しかしながら、原油価格 100 ドル台といった高価格水準が今後とも持続した場合には、我が国のエネルギーの安定供給、輸入ソースの多様化という観点から、天然ガス起源の合成燃料の製造や輸入についても、一つの選択肢であることには変わりはない。

ロ. 石炭を原料とする合成燃料

- ① 安価な石炭を利用した CTL が、特に中国を中心にして一定の「経済性」のもとに進められている。CO₂ 排出量の観点からは問題が大きく、将来、CTL を進める場合は、CO₂ の処理技術が重要な課題となろう。
- ② しかし、石炭をそのまま燃焼する代わりに、CTL として利用する場合には、都市部での深刻な大気汚染を抑制するクリーン燃料として、その価値は高いと思われる。
- ③ 中国では、原料価格は政府により統制されており、CTL の経済性を純粋に議論することは難しい。一方、米国でも石炭への補助金や、軍用として CTL の利用を検討とし

いる。いずれにしろ、海外に依存しない自国資源の有効利用という点から、安全保障としての「石油代替エネルギー」として CTL を評価することも重要と考えられる。

ハ. バイオマス資源を原料とする合成燃料

- ① 欧州では、CTL は CCS が付帯されない限り、CO₂ 排出量の観点からは否定的であり、バイオエタノールや BDF、あるいは BTL が選択肢となっている。BTL は、現段階では実証段階であり、他の原料起源の合成燃料と比較して、経済性では勝負にならない。
- ② また BDF 推進派からは、「わらや屑など、本来は自然肥料になるものである。これを原料として利用した場合、代替として化学肥料の投入量が増加する。結局 CO₂ 排出量は増加するので、BTL には問題がある。」という批判もある。今のところ議論の先行きは不透明である。

(3) 結論

イ. 優れた利便性

FT 合成燃料や DME 燃料は、常温常圧で液体であり（あるいは容易に液化）、石油製品の既存インフラを殆どそのまま利用できることから、他の新燃料と比較して利便性が高く、クリーンな燃料と考えられる。

ロ. 期待される技術開発の進展

現状の製造プロセスは、石油系燃料と比較して、経済性、CO₂ 排出量、及びエネルギー利用効率の面で必ずしも優位にはないが（劣る場合が多い）、プロセス上の改善余地は大きく、今後の技術開発の進展により、合成燃料の評価は高まっていくものと期待される。

ハ. エネルギーの安定供給

国内資源（特にバイオマス）の有効利用による海外依存度の低減や、あるいは、海外からの合成燃料（特に、石炭や天然ガスを原料とする）を輸入する場合でも、輸入先のより一層の多様化が可能になることから、我が国のエネルギーの安定供給に資する可能性は高い。

ニ. 中長期的な観点での取り組み

以上のことから、中長期的な観点から、国内外において様々な原料を起源とする合成燃料の技術開発に積極的に取り組み、その効率性や経済性を高める努力が肝要と思われる。

以上