

天然ガスからの液体燃料 (GTL) の市場性について

第 2 研究部 石油グループ マネージャー 森田 裕二

< 研究の目的 >

本研究は、石油公団の委託¹を受け、天然ガスの有効利用方法の 1 つとして注目されている GTL (Gas to Liquid) の市場性について評価を行なったものである。

天然ガスから液体燃料を製造し、天然ガスの輸送手段として、あるいは石油に代わる燃料として利用しようとする技術に対する関心が高まっている。この技術は基本的には天然ガスを水素と一酸化炭素から成る合成ガスに転換し、この合成ガスから FT 合成法 (Fischer Tropsch) 等により液体燃料を製造するという 2 つの段階から成る。

この技術から得られる液体燃料 (FT 合成油、メタノール、DME²) は総称して GTL と呼ばれ、LNG と同様に硫黄分、芳香族分等を含まないクリーンな燃料である。また、ガス田規模が 1 ~ 3Tcf³ と比較的小さくとも成立し得ることから、未利用の天然ガス資源を活用し、液体である石油からの代替を進める上で最善の手段の 1 つと考えられ、1990 年代後半から世界各地で次々と GTL プロジェクトが名乗りを上げている。

本研究の目的は、GTL がわが国においてどのような市場にどのような形態で受容されるかを把握することにあり、調査の方法として東南アジア地域の天然ガスを利用した場合のわが国への導入コストを試算するとともに、既に FT 合成油が実用化され市場に導入されている南アフリカの実情を踏まえ、GTL の市場性について生産者側、利用者側の両方の立場から検討を行った。

< 結論 >

< CIF 価格の試算による検討結果 >

1. GTL の CIF 価格を試算し、原油価格が **20 ドル/バレル程度**の環境下で、石油製品あるいは LNG と代替し得る可能性を検討した。その結果、原料ガス価格が 0.5 ~ 1 ドル/MMBTU⁴の範囲の場合、採算性から見て最も可能性が高いと見られるのは軽油及び LP ガス代替の DME であることがわかった。
2. FT 軽油は、石油系軽油と品質が同一と見なされる時には原料ガス価格が **0.5 ドル/MMBTU 程度**でなければ採算性の確保が難しい。ただ、クリーン燃料としてのプレミアムが **10 ドル/バレル程度**与えられると原料のガス価格が 1.5 ドル/MMBTU であっても十分に採算性が確保できるものと判断される。

< 提言 >

1. 今後軽油の品質規格が強化される中で **FT 軽油は最も有望**であるが、将来における需要基盤の確保、形成を図ると同時にクリーンな特性を活かすためにも**早期に導入**することが求められる。

¹ 本報告の内容は石油公団からの委託による平成 12 年度「各種 GTL 製品の製造技術の最新動向並びに市場性に関する調査」に基づくもので、石油公団の許可を得て公表するものである。なお、調査の技術的側面については日揮株式会社の協力を得た。

² ジメチルエーテル、Di-Methyl Ether

³ 1 Tcf (1 兆立方フィート) = 283.2 億 m³

2. このため、当初はシティー軽油として、特定の地域における公共機関用燃料を主体として試験的に導入を行なう方法が最善の策と考えられる。これにより、排気ガス特性の把握と、車両の低公害化に向けて改善を行なうための基礎データの収集が可能となる。
3. DME は LP ガスよりも安価で導入が可能であるが、プロジェクトを立ち上げるためには一定量の需要を確保することが先決である。このためには、LP ガス輸入基地からローリーで納入が可能で既存の LP ガス需要家、あるいは石油系燃料からの切り替えにより当面の需要を確保する方法が考えられよう。

<主な調査結果>

1. 我が国では硫黄分を 50ppm に削減した軽油が 2004 年から導入されるが、欧米各国では更に品質の厳しい軽油の導入が計画されている。自動車業界の求めもあり、今後我が国でも硫黄分、芳香族分を更に低減した軽油が求められる可能性が高い。FT 軽油を石油系軽油の混合基材として導入する動きは、このような規制強化の対応策の一つとして注目される。
2. 欧州ではエンジン効率の点からディーゼルエンジンに対する見直し気運が高まっている。品質を強化した軽油の導入により、排気ガス対策と二酸化炭素の排出量削減の両方を実現し得る可能性が高く、北欧で導入された低硫黄のシティー軽油は一定の成果を挙げている。クリーンな FT 軽油はシティー軽油としても導入が期待される。
3. DME は LP ガスの代替としての利用が可能であると考えられ、一定の導入量を確保出来れば高騰を続ける LP ガスの CP (Contract Price) 価格に対する抑制効果があるものと期待される。
4. DME は、品質の面から実際に LP ガスに代替し得るかどうか確認する必要があり、一定規模の量を用いた燃焼実験等の実証試験を並行して進める必要がある。
5. メタノールは价格的に競争力が低く、法制面における制約とも相俟って著しく導入が進展すると見るのは難しい。改質の容易さという特性を活かした分散型発電用燃料電池あるいは自動車用燃料電池の開発の動向が鍵となる。
6. 南アフリカでは石炭、天然ガスを原料とする FT 合成油が実用化されている。これらは油価が 16 ドル/バレルを下回れば政府の資金援助が行なわれるが、昨今の高油価の環境下では政府の支援は行なわれておらず、自立したプロジェクトとして機能している。FT 合成油の価格、製品規格は石油製品と同一であり、市場では石油製品と混合して利用されている。

輸入 CIF 価格の試算による GTL 導入の可能性

	原料ガス価格 ドル/MMBTU	輸入 CIF 価格 ドル/BBL ドル/トン	代替燃料候補 (原油価格 20ドル/バレル)						
			ナフサ	ガソリン	灯油	軽油	軽油 (プレミアム)	LPG	LNG
FT合成油	0.5	25.1							
	0.75	27.2							
	1.0	29.4							
	1.5	34.0							
メタノール	0.5	100.6							
	0.75	108.8							
	1.0	117.6							
	1.5	134.6							
DME	0.5	109.4							
	0.75	120.2							
	1.0	131.6							
	1.5	153.1							

(注) 表中 は原油価格 20 ドル/バレルの環境下で導入が十分に可能であると判断されるもの、 は採算ぎりぎりであり、判断の境界上にあるもの、 は原油価格が 25 ドル/バレル以上であれば採算が合うが、20 ドル/バレルに低下すると採算が合わないものを示している。軽油のプレミアムの項は FT 軽油に 10 ドル/バレルのプレミアムが与えられた場合の採算性を示している。

4 MMBTU : 百万 BTU、1BTU (英国熱量単位) = 0.252Kcal = 1.055 × 10⁻³MJ

< 説明 >

1. GTL の特徴と用途**1.1 FT 合成油の特徴と用途**

FT 合成油は硫黄分を殆ど含まず、パラフィン分に富み、芳香族分が非常に少ないという特徴があり、クリーンな燃料として利用が期待されている。世界では南アフリカ (Sasol および Mossgas)、マレーシア (Shell) で実用化されているが、石油製品との相溶性、互換性も良く、南アフリカでは FT 合成油は石油製品と全く同等に扱われている (後述)。

FT 合成油を留分別に見ると、ナフサ留分 (FT ナフサ) は RON40 以下とオクタン価が低く、直接にはガソリンとして使えない (石油系ナフサは 50 程度)。ただ、パラフィン分に富むことからエチレン分解用の原料として石化用ナフサに適していると考えられる。また、低硫黄で芳香族分が少ないことから燃料電池自動車用の燃料としても有望と見られる。

灯油留分 (FT 灯油) は硫黄分が少なく、煙点が 45mm と (石油系灯油は 20mm 程度) 優れた性質を有している。FT 灯油は将来的には家庭用燃料電池の燃料としても可能性がある。また、南アフリカのヨハネスブルグ空港では、航空機用の燃料として石油系ジェット燃料油と 50 : 50 で混合したものが供給されている。

軽油留分 (FT 軽油) はセタン価が高く、芳香族分が少ないことから軽油の混合基材として価値が高い。Mossgas、Shell の FT 軽油は、単体あるいは石油製品の芳香族分、硫黄分を下げるための基材として欧米で利用されている。

表 1-1 各社の FT 合成軽油の代表性状

	Mossgas 輸出用軽油	Shell SMDS 合成軽油	Sasol SSPD 軽油	市販軽油 JIS 2 号軽油
密度 15 g/cm ³	0.806	0.78	0.7769	0.833
動粘度 40 cSt	2.7	2.8	2.43	
30 cSt				3.50
引火点	93	88	71	73
硫黄分 ppm	4	<3	10	350
芳香族分 Vol%	8	<0.1	2.68	26.7
セタン価	52	80	>73	56
蒸留性状 IBP		201	189	174
5%		219	209	
50%		271	256	277
90%	340	353	331	333
EP	362	358	356	360

(出所) Gary Grimes, Proceedings of Gas-To-Liquids Processing 99, May17-19, 1999

I. T. van Herwijnen, Proceedings of the Gastech 94, Oct. (1994)

P.W.Schaberg et.al., Sasol Oil (Pty) Ltd

塚崎之弘、自動車技術 Vol.55, No.5, 2001 pp67-72 等より作成

また、FT 軽油は次世代ディーゼルエンジンのためのクリーン燃料としても脚光を浴びており、エンジン試験の結果では、出力を向上させ、排ガス中の有害物質を低減する効果があることが確認されている。

FT 軽油の問題点として硫黄分、芳香族分が少ないことから潤滑性に乏しく、また、パラフィン分に富み芳香族分が少ないことからシールの膨潤性が低いという点がある。ただ、いずれも添加剤の添加とシールの設計変更により対応が可能であると考えられている。

1.2 DME の特徴と用途

DME はフロンガスに代わるスプレー用噴射剤（プロペラント）として利用されており、現在はメタノールを脱水する方法により生産されている。1999 年における世界の生産量は 15 万トン、日本は 1 万トン程度と小規模であり、日本では全て国産品で賄われている。

DME は毒性が低く、生体に対する影響が少ないという特長がある。常温、常圧の下では気体であるが、6 気圧程度の加圧下では容易に液化する。プロパンと性質が類似していることから（沸点-25.1、プロパン-42.0）LP ガスの代替としての導入が検討されており⁵、シール、ホース等の配管材料に対する膨潤性に問題はあるものの、素材の変更などの小改造を行えば導入が可能であると考えられている。ただ発熱量はプロパンよりは低い⁶。

DME は、オクタン価が低いことから LP ガス自動車（オートガス）には不向きであるが、セタン価が 55～60 と高く、ディーゼルエンジンに利用した場合には PM（Particulate Matter：粒子状物質）が殆ど出ないので軽油の代替としても有望と見られる。ただ潤滑性が乏しいので添加剤による対応が必要になるなど、克服すべき技術的な課題が多く、実用化には時間がかかるものと予想される。

1.3 メタノールの特徴と用途

メタノールはホルムアルデヒド、酢酸、MTBE 等化学品用の原料としての需要が確立している。1998 年の需要量は世界で 2,584 万トン、日本は 190 万トンで、日本では全量を輸入している。

燃料としてのメタノールは、オクタン価は高い（RON、109）ものの発熱量が低い⁷ので燃費が悪くなる傾向にある。また、セタン価が 3 程度と低いのでディーゼル車には向かない。

メタノール自動車は低公害車に区分されるが、我が国ではメタノールの取扱いは毒物・劇物取

⁵ 燃料として利用するには大規模な生産が必要となることから、合成ガスからの直接製造法あるいはメタノールからの間接製造法の両者が製造法として検討されている。

⁶ 低位発熱量 DME：14,200Kcal/Nm³、プロパン：21,800Kcal/Nm³

⁷ 低位発熱量 メタノール：3,800Kcal/L、ガソリン：7,900Kcal/L

締法により規制を受ける⁸ことや、始動時にアルデヒドが排出されるといった技術的な問題などから普及が進んでいない⁹。

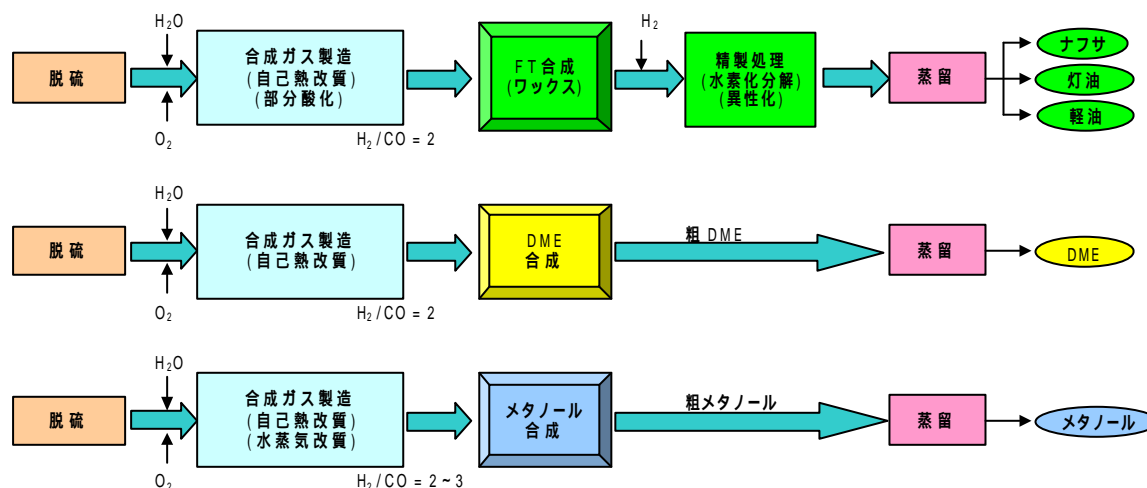
メタノールは燃料電池自動車用の燃料として注目を集めている。メタノールはガソリンよりも低い温度で改質が可能であることから、技術的には実用化により近いものと見られる。ダイムラー・クライスラーはメタノールを燃料とした実用化に近い車両を完成させ、各国で走行試験を行なっているが、トヨタ、GM のグループはガソリンの利用を考えており、我が国では経済産業省を中心にガソリンを推す声強い。

2. GTL の製造

FT 合成、DME 合成とメタノール合成をブロックフロー的に比較したものを図 2-1 に示す。いずれのプロセスも天然ガスを脱硫後、ガス化工程により改質を行ない、水素 (H_2) と一酸化炭素 (CO) などからなる合成ガス (synthesis gas, syn gas) を製造するところからスタートしている。

次いで合成ガスは液体燃料合成プロセスに送られる。液体燃料合成プロセスは、触媒が充填された反応器に組成を調整した合成ガスを導入し、合成反応を行なわせるプロセスで、合成ガスは適切な反応条件 (反応組成、温度、圧力、触媒等) の下で各種の合成燃料に変換される。

図 2-1 広義の GTL プロセスの比較



最後に粗製の合成燃料は分離精製プロセスで製品となる。FT 合成では合成ガスは合成反応器内で一旦ワックス (炭素数の多い直鎖の炭化水素) となるため、これを水素製造装置から供給される水素を用いて水素化分解 / 異性化し、目標の性状を持つ炭化水素群に分解した後に蒸留塔で

⁸ 「毒物及び劇物取締法」の「劇物」に指定されており、毒物劇物取扱い責任者の設置義務や、譲渡記録の 5 年間保管義務等が課されている。

⁹ 2000 年 3 月末現在 224 台、メタノールスタンド 10 ヶ所。これに対し、圧縮天然ガス自動車 (CNG 車) は 2000 年 3 月末現在 5,252 台、CNG スタンド 70 ヶ所

最終製品に分離する。

また、DME 合成、メタノール合成では、合成ガスは合成反応器内で直接粗 DME、粗メタノールに合成されるので、次にこれを蒸留精製し製品とする。

3. 検討の背景 (GTL が今注目される理由)

3.1 天然ガスの利用拡大

天然ガスの利用拡大は、環境問題への対応という観点からも大きく期待されているが、天然ガスはガス体であることから、輸送用燃料の分野など液体としてのエネルギー利用を主体とする分野では石油に直接に代替するのは難しい状況にある。従ってこれを液体の状態に変換することが液体である石油と競合する上で最善の手段の一つと考えられる。

また、天然ガスからの液体燃料 (GTL) が注目されるのは、技術開発が 1990 年代に入り大きく進展し、経済性が大幅に改善しつつあることも理由の一つであるが、天然ガスの輸送性に強く関連して、LNG との対比で GTL が着目されているという側面も否めない。

メタノール、DME、FT 合成油等広義の GTL の場合、海上輸送が容易である事のほか、LNG に比べ以下に述べるような利点がある。

- ガス田規模が LNG に比べ比較的小さくても良い (LNG : 6~8Tcf、GTL : 1~3 Tcf)
- LNG と同様に硫黄分/芳香族分等を含まない非常にクリーンな燃料である
- 海上輸送/受入基地が LNG に比べ容易・単純で安価である
- LNG のように長期契約を必要としない
- LNG と同様に消費市場がすでに確立している (但し、DME の場合を除く)
- チェーン全体の投資額が LNG に比べ格段に小さく、1 社でも全事業を実現できる

一方、資源の有効利用という面からも GTL が注目されている。原油の採掘の際にフレアー燃焼あるいは大気放散される天然ガスの量は、各国の規制強化により減少しつつはあるものの、1999 年で 1,002 億 m³ (3.5Tcf) と我が国の年間の天然ガス消費量 (1999 年で約 710 億 m³、2.5Tcf) の 1.4 倍という大きな量に上っている。

なかでもナイジェリアは 1999 年に天然ガスの井戸元生産量の 61.4%、189 億 m³ (0.67Tcf) を、イランは生産量の 11.1%、105 億 m³ (0.37Tcf) を焼却・大気放散しており、この 2 国だけで世界全体の約 30% を占めている。

従って、無駄に燃焼・大気放散される天然ガスを有用な形で利用することは環境保護の観点からも喫緊の課題である。ナイジェリアでは南アフリカの Sasol が Chevron と組んで 30,000B/D の GTL プロジェクトを推進し、ガスの有効利用を図ろうとしている。

3.2 輸送用燃料の品質規制の強化

我が国を始め世界各国は、自動車の排気ガス対策を今後一段と強化し、環境への対応を進めてゆく計画である。軽油中の硫黄分は PM¹⁰の量を増加させるため、我が国だけでなく欧米各国でも軽油の品質規制の強化が進められている。また、日米欧の自動車業界も排気ガス対策に対応するためには硫黄分を 10ppm 以下にすることを求めている。

表 3-1 各国の今後の軽油品質規制

	EU	ドイツ		米国	日本
規制内容	硫黄分 50ppm 以下	硫黄分 50ppm 以下	硫黄分 10ppm 以下	硫黄分 15ppm 以下	硫黄分 50ppm 以下
実施年	2005 年	2001 年 11 月	2003 年 1 月	2006 年 9 月	2004 年

日米欧の自動車業界は軽油中の芳香族分についても 15%以下とすることを求めているが、我が国の軽油規格には現在のところ芳香族分の規定は定められていない。我が国の軽油に含まれる芳香族分の量は概ね 30%程度と推定され、これを低減するためには石油精製設備に相当規模の拡充が求められるものと予想される。この対応策の一つとして FT 軽油の混合基材としての利用が検討されている。

一方、北欧を中心とする諸国では EU 規制とは別に、更に品質を厳しくした軽油（シティー軽油）を導入し、ディーゼル車による環境汚染を低減しようとする動きが見られる。スウェーデンは 1991 年に硫黄分 10ppm 以下の軽油を導入、また、フィンランド、デンマーク、ノルウェー、イギリスでは硫黄分 50ppm の軽油を導入している。硫黄分を含まず、芳香族分、多環芳香族分の含有量が非常に少ない FT 軽油はシティー軽油として単体で利用することも有用と考えられる。

3.3 DME の導入による CP 価格抑制効果への期待

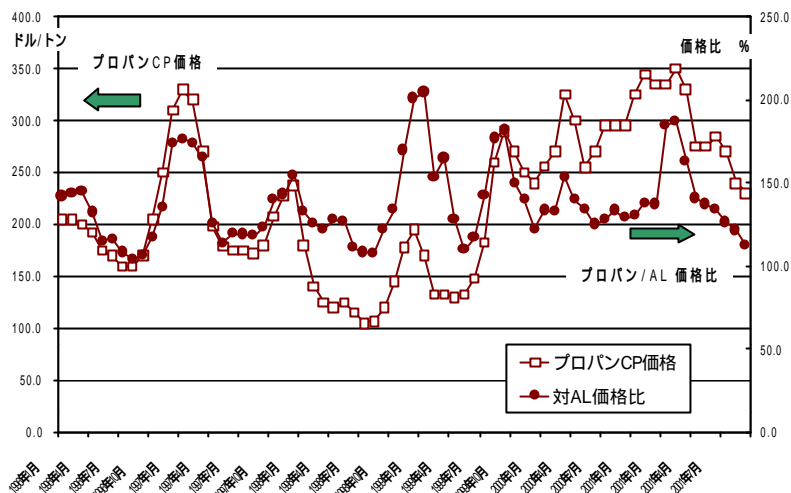
我が国は LP ガスの輸入量の 80%を中東に依存しており、中でもサウジアラビアに 40%以上を依存している¹¹。サウジアラビアの LP ガス価格（CP 価格）は 2000 年 12 月にはアラビアンライト原油価格の 140%近く（熱量等価）にまで上昇した。ただ、LP ガスのソースとしては限られていることから CP 価格の抑制力が働かないのが実情である。

今後、中国、インド等の東南アジアの各国を含めて LP ガスの需要が増加するにつれ、CP 価格の一段の上昇は避けられない趨勢にある。DME は現在のところ需要も少ないことから、燃料油として実用化された段階で新たな価格体系の構築が可能と見られる。LP ガスの代替として DME の導入が可能になれば、産油国の一方的な LP ガス価格の決定に対する抑制効果をもたらすものと期待される。

¹⁰ Particulate Matter : 粒子状物質、燃焼で生成される煤や燃料中の硫黄分が酸化されて生成されるサルフェート、未燃の燃料、潤滑油などから構成される。

¹¹ 平成 12 年度の LP ガス輸入量は 1,485 万トン、うち中東は 1,247 万トン（83.9%）、サウジアラビアは 601 万トン（42.5%）となっている。

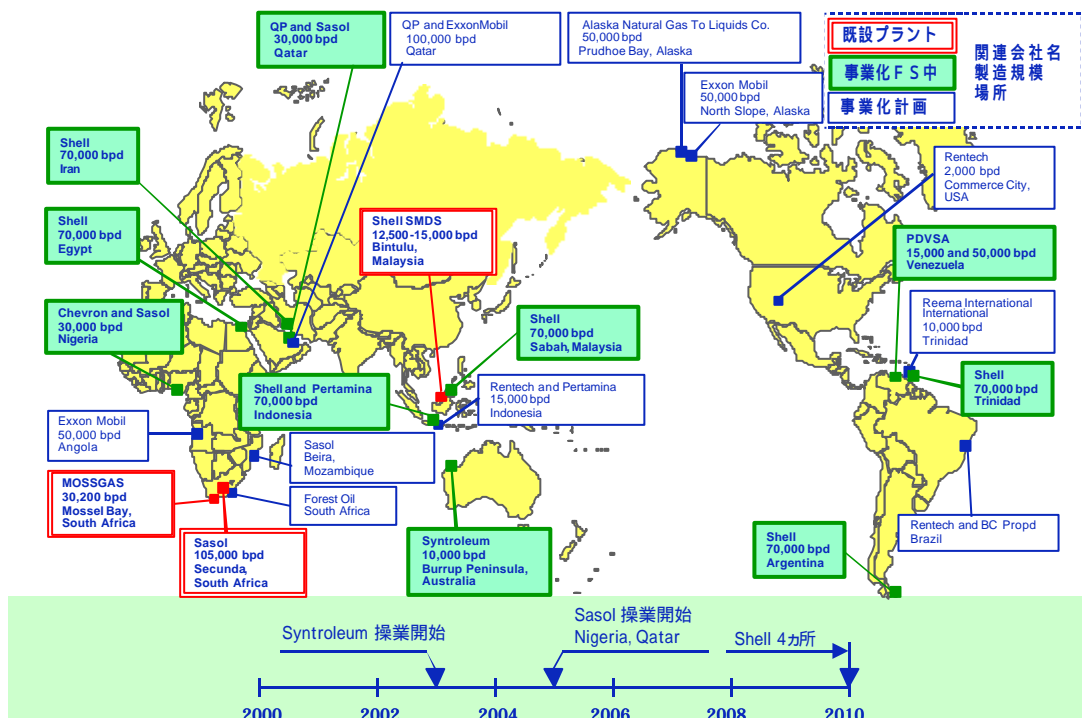
図 3 - 1 サウジアラビア CP 価格の推移



(出所) 週間石油・ガス資料 平成 13 年 9 月 10 日より作成

以上のような背景から 1990 年代後半から世界各地で次々と GTL プロジェクトが名乗りを上げている。FT 合成油についてはマレーシアで実績がある Shell、南アフリカで実績のある Sasol がナイジェリア、カタールなど各国でプロジェクトを進めており、ExxonMobil も独自技術の開発を行なっている。DME についても BP (インド)、日本 DME (オーストラリア) などが検討を進めており、世界で進められている GTL プロジェクトは多くの数に及んでいる。

図 3 - 2 世界の FT 合成油プロジェクト



ただ、GTL プロジェクトを推進するにしても、GTL がどのような市場にどのような形態で受容されるかという点について予め把握しない限りプロジェクトとして成立するか否か判断を行なうことが難しい。

このことから、本研究では既に GTL (FT 合成油) が長年にわたり利用されている南アフリカの実情を調査するとともに、GTL の輸入コストを試算し、GTL の生産者、需要者に対するヒアリングを踏まえて GTL の市場性についての検討を行なった。

4 南アフリカにおける GTL (FT 合成油) の導入状況

南アフリカでは Sasol が石炭から、Mossgas が天然ガスから FT 合成油を生産している。生産能力は Sasol が 150,000B/D (原油処理能力換算、FT 合成油 (製品) の生産能力としては約 100,000B/D)、Mossgas が 45,000B/D (同じく約 30,000B/D) である。

表 4-1 南アフリカの製油所生産能力 (1998 年)

名称	場所	出資者・出資比率%	能力 (B/D)
Enref	Durban	Engen 100	105,000
Sapref	Durban	Shell 50 / BP 50	180,000
Calref	Cape Town	Caltex 100	100,000
Natref	Sasolburg	Sasol 63 / Total 37	86,000
石油精製計			471,000
Sasol	Secunda	Sasol 100	150,000
Mossgas	Mossel Bay	政府 100	45,000
合成油計			195,000
合計			666,000

(注) 合成油の生産能力は白油 (ガソリン、灯油、軽油、LPG) の製品収率を 70%とした場合の原油処理能力に換算した値を示す

(出所) SAPIA, 'SAPIA MILLENIUM REPORT'のデータに基づいて作成。

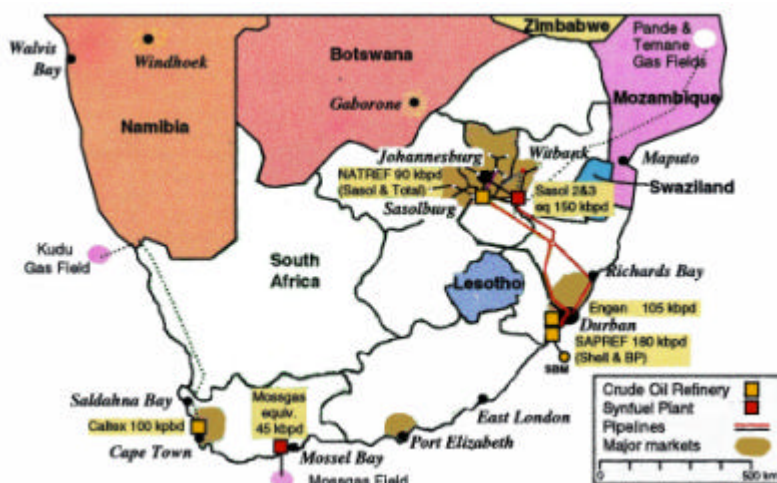
精製会社 7 社のうち Mossgas を除く 6 社は石油製品の卸売会社でもあり、卸売会社としてはこれらの他に Exel、Tepco、Afric Oil の卸売専業会社 3 社がある。これらの卸売会社は精製会社から製品を引き取り、それぞれ自社のブランドで販売を行っており、事業の性格としては我が国の「元売」に近い。

Sasol や Mossgas が生産する FT 合成油は石油卸売各社が国内市場での販売シェアに応じて購入することが義務づけられており、油槽所段階あるいは末端市場において石油製品と混合され利用されている。即ち、FT 合成油は品質上石油製品と全く同等に扱われており、石油製品との区別は一切行なわれていない。

石油製品のうち、ガソリン、灯油、軽油に関しては IBLC (In-Bond- Landed-Cost) と呼ばれ

る統一価格で精製会社から卸売会社に販売されている¹²。IBLC は、シンガポール及びバーレーンの製油所から出荷される石油製品の価格にフレート、保険料、港湾使用料等を加えたもので、海外から石油製品を輸入したと仮定した場合の到着価格である。

図 4 - 1 南アフリカの石油関連施設



(出所) Shell SA 資料より抜粋。

IBLC は政府が定めており、石油卸売会社からみればどの製油所からも基本的に輸入価格と同等の価格で製品を調達できることになる。Sasol、Mossgas の FT 合成油も IBLC 価格で取引されており、石油製品と价格的な区別は行なわれていない。

政府は FT 合成産業保護のため Floor Price と呼ばれる参照原油価格の下限值を定め、原油価格がその下限値を下回った場合、その差額を基に Sasol、Mossgas に補助金を支払うシステムをとっている。

Floor Price は 1999 年 7 月以降 16.00 \$ / BBL となっているが、1990 年代後半からは特定の期間を除いて原油価格がこれよりも高い水準で推移したため、Sasol、Mossgas に対する補助金の支給は行なわれていない。また、政府は将来的にはこの補助金制度を廃止する方針である。

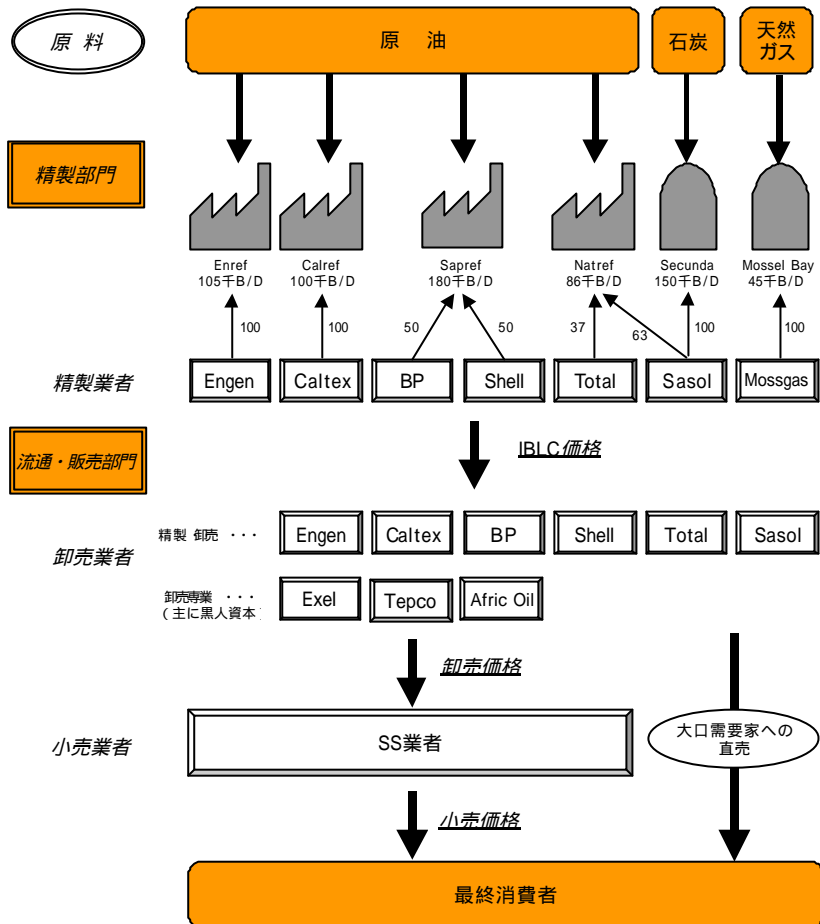
南アフリカでは自動車の排気ガスについての規制は行なわれていない。1996 年 2 月に無鉛ガソリンが導入されたものの、現在でも加鉛ガソリンが大半を占めており、無鉛ガソリンはガソリン市場の約 15% のシェアを占めているに過ぎない。

また、規格上の軽油の硫黄分は 0.55% (5,500ppm)、ガソリンも 0.15% (1,500ppm) と高い

¹² 南アフリカではガソリン、灯油、軽油については、卸売価格も政府が定めている。また小売業者保護のため、スタンドで販売されるガソリンの小売価格も政府が定めており、値引きや掛売り、クレジットカードによる販売などは認められていない。

値であり、結果として品質的に非常にクリーンであるという FT 合成油の優位性は生かされていないといえる。

図 4 - 1 南アフリカの石油産業構造に関する概念図



(出所) 各種資料及び現地ヒアリング調査の内容に基づいて作成。

このことから Mossgas は硫黄分を含まず芳香族分が少ないという FT 軽油の特性を活かして、公害規制の厳しい欧米への輸出を活発化させている。国内で販売するよりもプレミアム価格で取引されているため Mossgas の重要な収益源となっている。

5. GTL の導入コストの検討

東南アジア地域における天然ガスを原料とし、FT 合成油、メタノール、DME の製造プラントをそれぞれ新設した上でこれらを日本に輸入する場合の輸入 CIF コストを試算した。プラントの能力を FT 合成油 19,000B/D、メタノール、DME の生産能力をそれぞれ 5,000 トン/D、プロジェクトの ROI¹³を税引き後で 10%とし、GTL の輸送距離はいずれも 5,000Km と想定した。

表 5-1 GTL の総事業投資額、年間生産量等

		FT合成油	メタノール	DME
生産能力		19,000B/D	5,000トン/D	5,000トン/D
総事業投資額	百万US\$	581.9	498.2	586.0
所要ガス量(日量)	MMSCF/D	159	162	207
	(20年) TCF	1.1	1.2	1.4
年間生産量		1,027千KL	170万トン	170万トン
		うちナフサ154千KL	(軽油換算 971千KL)	(軽油換算 1,396千KL)
		灯油 257千KL	(LNG換算 68万トン)	(LNG換算 98万トン)
		軽油 616千KL	(LPG換算 107万トン)	
輸送コスト(5,000 km)	US\$/MMBTU	0.39	0.91	0.42
	US\$/トン	17.12	19.57	12.56
	US\$/BBL	2.04	2.46	-
輸入CIF価格	US\$/トン	210.5 ~ 284.7	100.6 ~ 134.6	109.4 ~ 153.1
	US\$/BBL	25.1 ~ 34.0	12.6 ~ 16.9	-
発熱量(HHV)	MMBTU/トン	43.9	21.5	29.9
密度	トン/m ³	0.75	0.79	0.74

(注)年間生産量の換算は真発熱量ベース、DME6,900Kcal/Kg、メタノール 4,800Kcal/Kg、LNG 12,000Kcal/Kg、LPG 11,000Kcal/Kg、軽油 8,400Kcal/L。輸入 CIF 価格は原料ガス価格を 0.5 ~ 1.5 ドル/MMBTU とした場合を示す。なお 1BTU = 0.252Kcal = 1.055 × 10⁻³MJ、1MMSCF(百万立方フィート) = 28,300m³

FT 合成油の年産量は約 103 万 KL、DME、メタノールはそれぞれ 170 万トンである。なお、プラントの稼働日数は 340 日、FT 合成油の構成はナフサ 15%、灯油 25%、軽油 60%である。所要ガス量は 1.1 ~ 1.4Tcf、所要資金はメタノールが約 5 億ドル、FT 合成並びに DME は 5.8 ~ 5.9 億ドルが見込まれる。

GTL のコストを評価する手法として、灯油、軽油、ナフサ、ガソリンなどの輸入石油製品あるいは LNG の CIF 価格は、我が国が輸入する原油の CIF 価格と一定の関係にあると仮定し、今後予想される 20 ドル/バレル程度の原油価格水準におけるこれらの輸入石油製品あるいは LNG の CIF 価格を想定した。これらの価格に対して 10%の ROI を見込んだ GTL の CIF 価格が价格的に競合し、GTL がこれらの代替として輸入され得るか否かを判断することとした。

表 5-2 各燃料の輸入 CIF 価格(推定値)

	ナフサ	ガソリン	灯油	軽油	LPG	LNG
	ドル/バレル				ドル/トン	
原油価格 20ドル/バレル	22.8	27.5	28.1	28.4	243.0	190.4
25ドル/バレル	27.4	32.1	34.3	34.8	295.7	220.4

¹³ 投資収益率、return on investment

検討の結果を表 5-3 にまとめる。表中 は原油価格 20 ドル/バレルの環境下で導入が十分に可能であると判断されるもの、 は採算ぎりぎりであり、判断の境界上にあるもの、 は原油価格が 25 ドル/バレル以上であれば採算が合うが、20 ドル/バレルに低下すると採算が合わないものを示している。

表 5-3 GTL の導入可能性 (まとめ)

	原料ガス価格 ドル/MMBTU	輸入CIF価格 ドル/BBL ドル/トン	代替燃料候補 (原油価格 20ドル/バレル)						
			ナフサ	ガソリン	灯油	軽油	軽油 (プレミアム)	LPG	LNG
FT合成油	0.5	25.1							
	0.75	27.2							
	1.0	29.4							
	1.5	34.0							
メタノール	0.5	100.6							
	0.75	108.8							
	1.0	117.6							
	1.5	134.6							
DME	0.5	109.4							
	0.75	120.2							
	1.0	131.6							
	1.5	153.1							

単純に表の結果から判断することは出来ないが、油価が 20 ドル/バレル程度の水準で推移するとの想定のもとで得た結論は概ね次の通りである。

- 原料のガス価格が 0.5 ~ 1 ドル/MMBTU の範囲の場合、採算性から見て最も有利と見られるのは軽油代替、LP ガス代替の DME である。ただ、LP ガス価格は原油価格と乖離した CP 価格で定められているため、更に検討が必要である。
- FT 合成油ではガソリン、灯油の採算性が高い。ただ、試算はナフサの生産を前提としており、品質的にはオクタン価が低いと見られることから、ガソリンとしての利用には精製処理コストも加味した検討が必要である。
- FT 軽油は、石油系軽油と品質が同一と見なされる時には、油価が 20 ドル/バレル程度の水準で推移すると、原料ガス価格が 0.5 ドル/MMBTU 程度でなければ採算の確保が難しい。
- ただ、東京都などの自治体が 50ppm 軽油を試験導入するにあたって 10 ~ 15 円/L の補助を行っており、クリーン燃料としてのプレミアムがこれと同程度の 10 ドル/バレル (約 7.5 円/L) 程度与えられると、原料ガス価格が 1.5 ドル/MMBTU であっても十分に採算性が確保できる。

(参考) 経済計算の前提条件等

No.		項目	単位	GTL	メタノール	DME	備考
A	経済計算関係	経済計算方法		DCF	DCF	DCF	
		ROI(税引き後)	%	10	10	10	
B	製品	製品価格	US\$/MMBtu	計算結果	計算結果	計算結果	
		製品密度	T/M3	0.75	0.79	0.74	
		製品発熱量 (HHVベース)	MMBtu/T	43.9	21.5	29.9	HHVベース
C	プラント関係	プラント規模 (ベース・ケース)	BPSD	19,000	-	-	
		プラント規模 (ベース・ケース)	TPSD	-	5,000	5,000	
		建設予定地		東南アジア	東南アジア	東南アジア	
D	天然ガス関係	天然ガス価格	US\$/MMBtu	0.5/0.75/1.0/1.5	0.5/0.75/1.0/1.5	0.5/0.75/1.0/1.5	HHVベース
		製品当たり天然ガス消費量	MMBtu/T	73.83	33.89	43.49	HHVベース
		ガス単位容積当たりの熱量	Btu/SCF	1,050	1,050	1,050	HHVベース
		必要ガス流量	MMSCFD	159	162	207	HHVベース
		必要ガス田規模	TCF	1.1	1.2	1.4	HHVベース
E	総事業投資額	ターン・キー・コスト	MMUS\$	495.6	423.0	489.5	
		同上のコンティンジェンシー	MMUS\$	24.8	21.2	24.5	
		初期触媒	MMUS\$	15.2	4.4	22.0	
		プラント・コスト小計	MMUS\$	535.6	449.3	536.0	
		スタート・アップ	MMUS\$	6.8	6.3	9.0	
		テクニカル・サービス	MMUS\$	4.7	6.3	6.3	
		保険	MMUS\$	1.0	1.0	1.0	
		運転前費用	MMUS\$	12.3	12.3	12.6	
		オーナーズ・コストのコンテ	MMUS\$	4.0	3.0	5.1	
		オーナーズ・コスト小計	MMUS\$	28.8	24.8	34.0	
		初期運転資金	MMUS\$	17.5	20.0	16.0	
		資金調達関連費用		該当せず	該当せず	該当せず	
		建中金利		該当せず	該当せず	該当せず	
		総事業投資額	MMUS\$	581.9	498.2	586.0	
F	投資関係	自己資本比率	%	100	100	100	
		投資年度比率 (1年目)	%	25	25	25	
		投資年度比率 (2年目)	%	35	35	35	
		投資年度比率 (3年目)	%	40	40	40	
G	建設関係	EPC期間	年	3	3	3	
H	運転関係	運転期間	年	20	20	20	
		年間運転日数	日/年	340	340	340	
		負荷率 (1年目)	%	90	90	90	
		負荷率 (2年目)	%	95	95	95	
		負荷率 (3年目以降)	%	100	100	100	
		ユーティリティ・コスト (電力)	US\$/製品トン	自給	3.65	2	0.028 US\$/KWh
		ユーティリティ・コスト (冷卻水)	US\$/製品トン	自給	2.12	4.24	0.019 US\$/T
		ユーティリティ・コスト (プロセス水)	US\$/製品トン	0.63	0.03	0.04	0.7 US\$/T
		ケミカル類	US\$/製品トン	6.02	1.41	1.94	
ユーティリティ・コスト合計	US\$/製品トン	6.65	7.21	8.22			
I	税金関係	Tax Holiday	年	0	0	0	
		Corporate Tax Rate	%	35	35	35	
		輸入関税	%	0	0	0	
		残存価値	%	0	0	0	
		原価償却 (プラント)	年/償却法	10年/定額法	10年/定額法	10年/定額法	
J	物価変動	原価償却 (初期触媒)	年/償却法	10年/定額法	10年/定額法	10年/定額法	
		原価償却 (オーナーズ・コスト)	年/償却法	10年/定額法	10年/定額法	10年/定額法	
		インフレーション	%/年	0	0	0	

6. 需要者側、供給者側の GTL に対する見解

GTL の市場性を判断するにあたり、電力会社、ガス会社等 GTL の潜在的な需要家、あるいは化学メーカーなどの潜在的な供給者などに対してヒアリングを行なった。

需要者サイドの GTL に対する見解

- 電力業界：
 - ✓ DME は既存 LP ガス設備の改造も含めてコストが見合うかどうか課題。
 - ✓ メタノールは発熱量が低く輸送コストがかかるので使えない。漏洩時の対応も必要。
- ガス業界：
 - ✓ 代替天然ガス (SNG) 原料用の DME は LP ガス、ナフサと价格的に競合し得ることが求められる。供給の安定性も課題。
 - ✓ 簡易ガス事業用の DME は LP ガスに対するコスト次第。シールに対する対策が必要。
- 自動車業界：
 - ✓ 今後も排気ガス浄化のため、後処理技術を駆使する必要があるが燃料中の硫黄分が課題。軽油中の硫黄分は 50ppm ではとどまらず、今後更に硫黄分を低減する必要がある。
 - ✓ 燃焼性が良く、PM の発生量が少ない GTL 軽油は、後処理装置の負荷軽減、エンジン本体の出力向上が期待出来る。
 - ✓ DME はセタン価が高く PM が殆ど出ない。NO_x規制にも対応し得る。LP ガスと同様に液体として搭載できるので気体の CNG よりも航続距離が稼げる。
- 低公害車の普及団体
 - ✓ メタノール自動車のこれ以上の普及は望めない。燃料電池自動車用燃料としての普及に期待したい。

供給者サイドの GTL に対する見解

- 化学業界：
 - ✓ メタノールは化学用としての価格形成が完成しており、燃料用メタノール独自の価格形成は困難。
 - ✓ DME は現在の需要がわずかであることから、燃料用として新規に価格形成が可能。
- 石油業界：
 - ✓ FT 合成油は競合する石油製品との価格次第。品質上のプレミアムに期待したいが予測が難しい。まず市場に入り込むことが必要。
 - ✓ FT ナフサはパラフィン分に富むためガソリンには直接には向かない。改質が必要。燃料電池用には可能性がある。
 - ✓ FT 灯油はジェット燃料用に期待。灯油市場は石油系灯油でほぼ充足している。
- 石油開発業界：
 - ✓ 東南アジア地域に多く存在する中小ガス田の開発方式として GTL 技術に期待している。
 - ✓ 安価なガス資源を確保する意味では、巨大すぎて市場が見つからないガス田、フレアとして燃焼させている随伴ガスも有望。

- LP ガス業界 :
 - ✓ DME は LP ガスと性質が似ている。LP ガスは CP で価格が決まる上に、インド、中国の需要増により供給制約が続く。DME に価格の抑止力と供給の安定性を期待したい。
 - ✓ ディーゼル用 DME は PM が出ないことから価格が高くとも導入される可能性があるが、技術開発が課題である。

7. GTL の導入市場の検討

以上により、GTL の総合的な評価を行なった結果、概ね次の結論を得た。

表 7-1 GTL の導入市場

		市場規模 (1998年)	FT合成油	メタノール	DME
化学用原料市場		DME 1万トン、 メタノール 200万トン、 LPG 242万トン、 ナフサ 4,700万KL	(既存分野)	(既存分野)	(既存分野)
自動車用燃料	ガソリン代替	ガソリン 5,578万KL		×	×
	軽油代替	軽油 4,391万KL		×	
	LPG代替	LPG (オートガス) 179万トン		-	×
	燃料電池自動車用燃料	-	~	~	
発電用燃料	火力発電	電力会社		×	~
		自家発		×	
	燃料電池用燃料	-		~	
産業・業務用燃料		A・C重油 4,903万KL、 LPG 730万トン		×	
LPガス代替市場	家庭用LPG代替				~
	都市ガス用原料	合成ガス (SNG)			~
		増熱用			×
		簡易供給			~
	LPG 45万トン				

FT 軽油は最も有望であり、今後軽油の規格が強化される中で FT 軽油は益々脚光を浴びるものと予想される。クリーンな特性を活かすためには、欧米の都市部で環境対策用に導入されているようなシティー軽油として早期に導入することが求められる。FT ナフサ、FT 灯油は価格次第では石油系ナフサ、灯油と代替して導入が行われるものと見られる。

DME は LP ガスよりも安価で導入が可能と見られることから、既存の LP ガス利用からの切り替え、あるいは燃焼がクリーンであるという特性を活かして石油系燃料からの切り替えが進展するものと思われる。ディーゼル燃料としての特性にも優れており、エンジンの技術開発が進展することが期待される。

メタノールは価格的に競争力が低く、法制面における制約とも相俟って著しく導入が進展すると見るのは難しい。改質の容易さという特性を活かした分散型発電用、あるいは自動車用燃料電池の開発動向が鍵となる。

8 GTL 導入のための方策

以上の検討結果から、FT 合成油は軽油の市場で、DME は産業用燃料の市場分野で有望であることがわかった。ただ、実際に導入を図ろうとする際には、どのようにして一定量の需要を確保するかが問題となる。このことから、以下の方策により GTL の市場を確保することを提案したい。

FT 軽油

- ✓ FT 軽油は欧米各国では使用した例があるが我が国では導入例が無い。今後、我が国においてスムーズな導入を図るためには、FT 軽油の品質面における優位性を確認し、将来における需要基盤の確保、形成を行なう必要がある。
- ✓ 東京都など自動車による大気汚染が深刻化している自治体では、バスなどの公共機関で用いる軽油として硫黄分 50ppm の軽油を独自に手当てし、試験走行を行なうと同時に大気汚染の軽減を図ろうとしている¹⁴。
- ✓ FT 軽油は硫黄分を殆ど含まず、芳香族分も少ないことから、このような特定の地域における公共機関用燃料を主体として試験的な導入を行なう。試験走行により排気ガスの特性を把握し、同時に車両の低公害化に向けて改善を行なうための基礎とする。
- ✓ 並行して、自動車産業との連携により FT 軽油の実車評価を行なう。この評価には将来的な軽油の芳香族分規制、更なる硫黄分規制を見据え、50ppm 軽油と FT 軽油との混合による排気ガス性状の把握等の検討も含まれる。
- ✓ 現時点では我が国独自の FT 軽油供給ソースは確保されていないことから、供給ソースとしては当面 Shell マレーシアあるいは Mossgas からの輸入を考慮する。両社ともに供給余力は限られていると見られ、当面はシティー軽油として特定都市のみの供給になる。
- ✓ FT 軽油は試験導入の段階ではさまざまな経費増に伴うコストアップが予想されることから、国、地方自治体には、同様に輸入 FT 軽油コストに見合うインセンティブを期待したい¹⁵。
- ✓ 上記の試験的導入が成果を見た段階で、将来のシティー軽油需要量増加に対応した海外の天然ガス資源の確保、GTL プラントの導入を検討する¹⁶。

DME

- ✓ DME は FT 軽油のような品質面での格差、優位性を活かす部分がないため、既存の LP ガス需要家からの切り替えを前提として一定量の需要を確保することが先決となる。我が国の LP ガス輸入基地からローリーで納入が可能な範囲にある産業用の需要は DME 換算約 350 万ト

¹⁴ 東京都環境審議会の「東京都環境基本計画のあり方について（中間のまとめ）」（平成 13 年年 8 月 31 日）では「硫黄分を含まない GTL の粒子状物質減少に果たす役割を早急に評価し、GTL 利用の可能性及び軽油の超低硫黄化の必要性を確認し、発信する必要がある。」と指摘されている。

¹⁵ FT 軽油の必要量は、東京都の例では都バス（1,300 台）、民間バス（2,200 台）などを含め、年間 165,000KL（約 2,800B/D）とされ、供給する石油会社には 10 円/L の補助金が交付される。

¹⁶ 因みに 2000 年度の地域別軽油販売量によると、総販売量 4,105 万 KL のうち、首都圏（東京、千葉、埼玉、神奈川）だけで 875 万 KL、中部、関西の大都市圏を加えると 1,656 万 KL、全国の約 40% を占める。これらの市場をシティー軽油の市場と見ると、その規模は極めて大きなものとなる。

ンであり、これらの需要家の中から DME の需要を確保する。

- ✓ DME は大量に導入された経験が無いことから、一定規模の量を用いて品質面から LP ガスに代替し得るかどうか確認する必要がある。まず、ボイラー等の実機による燃焼試験の実施により LP ガスと同等の燃焼性を確認し、あわせてシール、パッキングの耐久性等 DME 流通設備に付帯する技術的諸問題について検討を行なう。
- ✓ 並行して、これらの DME 需要に対応した海外の天然ガス資源の確保、DME プラントの導入を検討する。ただ、以上とは逆に DME プラントの立ち上げが先行する場合には、当面インドあるいは中国の市場を視野に入れた対応も考慮する必要がある。
- ✓ DME を用いたディーゼルエンジンは排気ガス特性が非常に良好であることから、将来の導入に向けて自動車産業との連携によりディーゼル車への導入技術の開発を推進する。あわせて大都市圏の地方自治体へのアプローチを実施し、大都市圏の LP ガスオートスタンドへの併設を検討する。
- ✓ 将来的には新設簡易ガス供給における LP ガスからの代替を考慮し DME 需要の増大を期待する。あわせて定置型燃料電池の燃料としての開発にも注力する。

メタノール

- ✓ メタノールは燃料電池自動車用燃料として、技術開発の状況を注視する必要がある。仮に燃料電池自動車の燃料として本格導入された場合も考慮し、流通上の技術的な問題も含めて導入の際の課題を把握しておかなければならない。
- ✓ 全国にメタノール供給用エコステーションは 10 ヶ所存在するが、メタノール自動車は 200 台程度しか無いため、いずれの設備も休眠状態にある。
- ✓ これら既存のメタノール供給インフラを活かして燃料電池自動車のフリートテストを実施し、性能の確認を行なうとともに流通面で発生するさまざまな問題点を把握し、対応策の検討を行なう。
- ✓ なお、このような試験の実施に当たっては、当面各エコステーションの運営に採算性が期待できないことから、国あるいは地方自治体の導入インセンティブに期待したい。

以上