

## 合成液体燃料開発の現状と今後の展開

国際エネルギー機関等の予測では、中国およびインドの需要増大により、2015年前後には、石油の需要が供給を上回ると予測されている。この時点から石油の価格は大きく上昇すると予測され、供給不安が懸念される。

こうした状況に備えるため、燃料多様化に向けた取り組みが必要である。多様化は、燃料間の互換性・代替性を高め、エネルギー供給を巡る情勢変化への対応力を向上させるからだ。特に、天然ガスや石炭、バイオマスから環境負荷が低い液体燃料を合成する技術の構築が重要になる。

本稿では、石油代替の合成液体燃料として有望な5つの燃料、①ジメチルエーテル②合成灯油（GTL、ガスツーリキッド燃料）③メタノール④バイオエタノール⑤バイオディーゼルを取り上げ、その特徴と開発の現状を、供給安定性、環境性、経済性の観点から紹介する。次に、合成液体燃料の利用技術について、発電、輸送、工業、民生分野に分けて述べ、欧州、北米、アジア、その他地域での利用状況の現状にも触れる。さらに、燃料開発・導入における課題をまとめ、最後に導入支援と技術開発の2点から、わが国の燃料多様化への取り組みに関して以下の政策提言を行う。

### (1)導入支援

- ①ジメチルエーテルは利用用途が広く環境性も良いため、国としてその導入を促進すべきである。ただしジメチルエーテルを自動車用燃料として実用化するには、新たな専用の受入・貯蔵・供給インフラ整備が必要になる。バイオエタノール混合ガソリンの普及にも、水分混入防止のため、製油所や油槽所、給油所の新たなインフラを整備する必要がある。国として、これらの整備を支援していく。
- ②ジメチルエーテル、バイオディーゼル、バイオエタノールなどはバイオマス資源からの製造が可能である。税制支援により、バイオマス起源燃料の競争力を強化する。また安全面や環境面の問題を起こさないよう、燃料規格化をすすめる。
- ③ジメチルエーテル、合成灯油の初期生産プラント建設は、技術、市場の不確実性から民間企業のみで実施するにはリスクが大きい。初期生産プラント建設には、期限を定めて公的支援を行う。

### (2)技術開発

- ①合成灯油では、既に日本独自の技術を用いたパイロットプラント試験で7バレル／日の製造に成功している。国際競争力を強化するため、産官で数百バレル／日規模の実証プラントを建設し、実証データを2010年までに得られるよう推進する。同時に、国内での生産から輸送、利用まで含めた大規模な実証プロジェクトを実施する。
- ②ジメチルエーテル利用の初期段階では、火力発電などの事業用発電用途やLPG代替などの工業用途を促進する。中長期的には、自動車用燃料の研究開発を進める。
- ③バイオエタノールやバイオディーゼルの供給を増やしていくには、原料の多様化が必要である。国として中長期的に、木材など食品以外のセルロース系国内資源からバイオエタノールを製造する技術開発、ならびにオイルパーム樹の葉や残渣物からバイオディーゼルを製造する技術開発を進める。

# 合成液体燃料開発の 現状と今後の展開

## —天然ガスやバイオマスからの液体燃料—

大平 竜也  
環境・エネルギーユニット

### 1 まえがき

世界の燃料別需要予測では、石油が従来同様主要エネルギー源として、2020年まで年平均1.9%の伸びで着実に増加する見通しである<sup>1)</sup>。随伴ガス（LPG：Liquefied Petroleum Gas）を含む石油製品の需要は、中国、インドの需要増大により、2010～2020年頃、その供給を上回り、石油価格高騰、石油供給不安が予測されている<sup>2)</sup>。今後、上記需給逆転に備えると同時に地球温暖化や大気環境汚染対策の観点から、石油より埋蔵量の多い天然ガス、バイオマス、石炭で低環境負荷の液体燃料を合成し利用していく技術構築が重要になる。

欧州では、地球温暖化ガス排出削減、自動車の排ガス対策や燃費向上の観点から、天然ガスやバイオマス、石炭からの低環境負荷合成液体燃料の開発、導入を政府主導で推進している。米国やブラジルは、エネルギーセキュリティ

と農業振興を狙いに、その豊富なバイオマス資源からの液体燃料製造・利用をすすめている。南アフリカ共和国では、天然ガスや石炭から液体燃料を生産、自国で利用あるいは欧米に輸出している。

一方、日本では、2003年10月「エネルギー基本計画」における石油、ガス体及び石炭に関する技術重点施策に対応して、天然ガス、石炭からの合成液体燃料技術開発を、また、2002年12月「バイオマス・ニッポン総合戦略」のエネルギー高効率転換技術重点施策に対応して、バイオマスからの合成液体燃料技術開発を推し進めつつある。しかしながら、燃料製造コストの高さ、インフラ面での実証不足、燃料規格の未整備などの課題が残っている。燃料多様化に向けた取り組みは、燃料間の互換性・代替性を高め、エネルギー供給の地政学的リスクへの対応力を向上させる。一次エネルギー供給源を

多様化し、環境負荷を低減する視点から非常に大切である。

本稿では、石油代替の合成液体燃料として有望な5つの燃料、①ジメチルエーテル（DME：DiMethyl Ether）、②合成灯軽油（GTL [Gas To Liquid] 燃料）、③メタノール、④バイオエタノール、⑤バイオディーゼル（BDF：Bio-Diesel Fuel）を取り上げ、開発現状、利用状況、課題、今後の展開について述べる。第2章では、合成燃料の特徴と開発現状を供給安定性、経済性、環境性の観点から紹介する。合成液体燃料の利用技術については、第3章で、発電、輸送、工業、民生分野から述べ、欧州、北米、アジア、その他地域の現状にも第4章で触れる。燃料開発・導入における課題を第5章にまとめ、最後に、第6章でわが国の燃料多様化への取り組みに関する政策提言を行う。

### 2 合成液体燃料の現状

ここでは、燃料需要の中長期な動向と、これから導き出される石油代替燃料の必要性、さらに新しい合成液体燃料の特徴と開発現状について述べる。

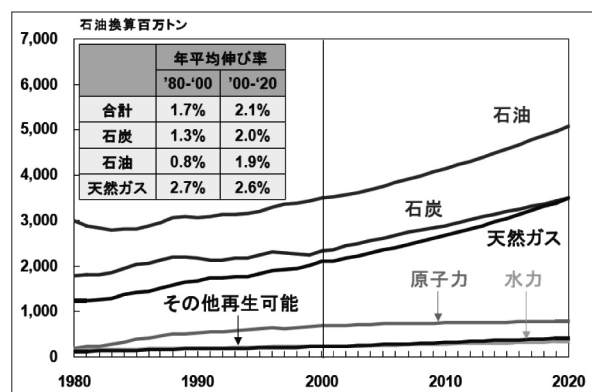
2 - 1

#### 燃料需要の動向

図表1に示すように、世界の燃料（1次エネルギー）消費は2020

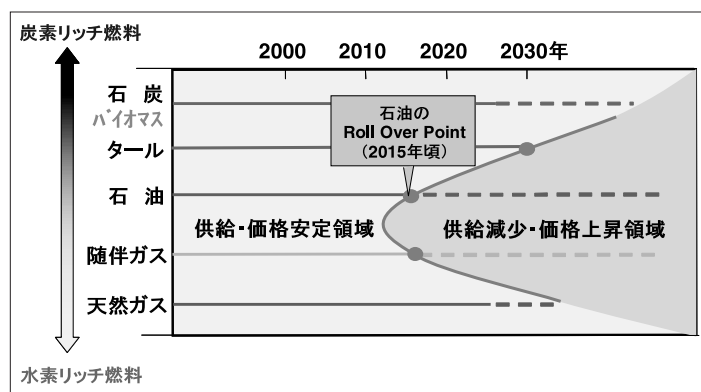
年まで年率2.1%で増加すると予測され、1980年から2000年までの過去20年間の伸び（同1.7%）を大きく上回る。石油は、これまでと同様に主要エネルギー源として、2020年まで年平均1.9%の

図表1 世界の燃料需要の動向



文献<sup>1)</sup>より

図表2 燃料の需給逆転曲線



文献<sup>2)</sup>より

伸びで着実に増加する見通しである<sup>1)</sup>。

2 - 2

## 石油代替燃料の必要性

石油の可採年数は約41年（BP統計2003）と予測されている。ところが、国際エネルギー機関、経済協力開発機構、オイルメジャー等の予測では、中国、インドの需要増大により、2015年前後に石油の需要が供給を上回り始める。この時点から石油の価格は大きく上昇する。図表2に示すように、需要が供給を上回り始める時点を経済燃料のRoll Over Point（供給減少・価格上昇点）と称す<sup>2)</sup>。石油価格高騰、石油供給不安が懸念される。

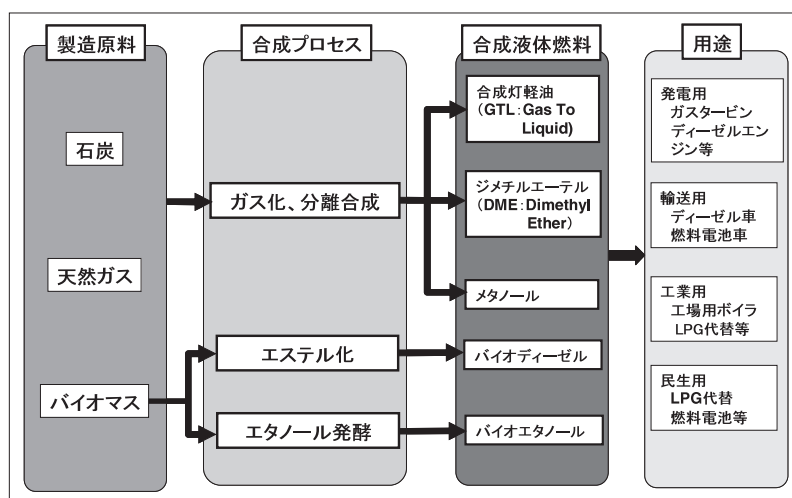
石油や随伴ガスのRoll Over Pointに備え、今後、石油より埋蔵量の多い天然ガス、バイオマス、石炭から液体燃料を合成し利用していく技術の構築が重要になる。

2 - 3

## 特徴と開発現状

現在、石油代替の合成液体燃料として、①ジメチルエーテル、②合成灯油燃料、③メタノール、④バイオエタノール、⑤バイオディーゼルなどが有望である。これらの液体燃料が、天然ガスやバイオマス、石炭からどのようにして合成されるかを図表3に概念的に

図表3 合成液体燃料の合成プロセスと利用分野



文献<sup>3, 4, 5)</sup>をもとに科学技術動向研究センターにて作成

示す。図表4には、上記燃料の長所、短所、操作性をまとめた。以下に、これらの特徴（製造技術、供給安定性、経済性、環境性）と開発現状を記す。

### (1)ジメチルエーテル

ジメチルエーテルは、天然ガス、バイオマス、石炭など多様な資源を原料として製造されるクリーンな燃料で、常温時気体であるが、容易に液化する。硫黄を含まず、着火・燃焼特性も良く、人体への影響もないが、熱量、潤滑性が軽油に比べて低い。製造技術には、間接合成法と直接合成法のふたつがある<sup>(注1)</sup>。現在、日本では噴射剤等として1万トン／年使用しており、世界では、15万トン程度使用されている。今後の供給量見通しは、日本企業を主体にした

天然ガスからのジメチルエーテル生産プロジェクト（図表5参照）合計で約470～640万トン／年である。ただし、日本のLPG消費量が約1,900万トン／年（熱量換算でジメチルエーテル約3,000万トン分、2002年）であることを考えると、当面のジメチルエーテル予想供給量はLPG消費量の約2割で、LPGをすぐ代替できるわけではない<sup>6)</sup>。中長期的には、世界、特にアジア地域全体で発電用燃料に対する需要が急増した場合、ジメチルエーテルのニーズが高まる可能性がある。

ジメチルエーテルの経済性については、事業用発電用途輸入価格の目標値が、約1.5～2.0円／千kcalで、軽油、LPGよりも安価、液化天然ガス（LNG：Liquefied Natural Gas）（約2.0円／千kcal、



図表 4 合成液体燃料の概要と特徴

合成液体燃料	長所	短所	操作性
ジメチルエーテル (DME)	着火・燃焼特性が良い 環境特性が良い	利用機器の改造が必要 低潤滑性	加圧液化し輸送・貯蔵
合成灯軽油 (GTL 燃料)	着火・燃焼特性が良い 既存インフラが使用可能	石油価格に連動の可能性有り 低潤滑性	灯油・軽油と同等の扱い
メタノール	常温・常圧で液体	毒性、低カロリー	灯油・軽油と同等の扱い
バイオエタノール	カーボンニュートラル 再生可能エネルギー 環境特性が良い	食料との競合 吸水性、腐食、劣化 低カロリー	防水対策が必要
バイオディーゼル (BDF)	カーボンニュートラル 再生可能エネルギー 既存インフラが使用可能	食料との競合 成分の不安定化 低カロリー	従来ディーゼル燃料と同等の扱い

文献<sup>2,6)</sup>をもとに科学技術動向研究センターにて作成

図表 5 ジメチルエーテル製造企業化計画（一部抜粋）の現状

開発企業	技術	企業化計画
ディー・エム・イー・インターナショナル (JFE 他各社連合)	直接法 (スラリー床) 250℃、4～8atm	3.7 万トン／年計画 91 万トン／年市場調査中
日本 DME (株) (三菱ガス化学他各社連合)	間接法 (メタノール脱水法)	183 万トン／年計画 オーストラリア
三井物産グループ	間接法	250 万トン／年計画 イラン他
トプソ (デンマークの会社)	直接法 (固定床反応)	ベンチ試験
瀧天化集团公司 (中国の会社)	間接法 (メタノール脱水法)	現在 5 万トン／年生産中 100 万トン／年計画中

文献<sup>5)</sup>と <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0002068/0001.html> をもとに科学技術動向研究センターにて作成

過去 3 年間の実績値平均) と同等レベルである。一方、工業用 LPG 代替用途価格は、LPG と比較して受入基地及びユーザー設備改造のコスト、さらにジメチルエーテル低熱量に起因して増える物流・貯蔵コストなどを加味すると、ジメチルエーテルのコストは LPG を上回ることも考えられる。ジメチルエーテル製造コストの低減化が課題となっている。

環境性については、製造時の熱量あたり二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量が、LPG、LNG に比べて大きく、利用時の排出量は同程度と見込まれる<sup>(注2)</sup>。ただし、利用時の効率性を考慮すると、発電用では、石油火力より優位で、ディーゼル自動車などでは、軽油、LPG より優位となる。軽油に比べて粒子状物質 (PM: Particulate Matter) を排出せず、自動車排ガス対策とし

ても意味をもつ。

## (2) 合成灯軽油燃料

合成灯軽油燃料は、天然ガス、石炭等を原料として軽油・灯油・ナフサ等を連産品として製造される合成炭化水素で、硫黄分や芳香族分を含まない着火性のよい液体燃料である。中でも合成軽油は既存の軽油供給インフラが使用可能なためディーゼル自動車用燃料 (軽油代替) として期待されている。合成灯軽油製造技術は、大きく合成ガス製造、フィッシャー・トロプシュ (FT) 反応<sup>(注3)</sup>、水素化分解の 3 つで構成される。合成灯軽油製造に取り組む企業は、主として海外の石油開発メジャーズ<sup>(注4)</sup>で、技術レベルは、研究開発レベルのものから商業化目前のものまで様々である。日本では、JOGMEC (独立行政法人石油

天然ガス・金属鉱物資源機構) が千代田化工建設(株)や新日本製鉄(株)の技術を用いて、2003 年 9 月に合成灯軽油の製造 (7 バレル／日のパイロットプラント) に成功したが、その後の計画が具体化していない。

現在、世界の生産量合計は約 147 千バレル／日 (Shell, Sasol 等) で、早ければ数年後には、中東を中心とした他の計画プロジェクトが実現し本格的な供給が開始される見込みである。原料費が安い中東地域での計画であることから、短期的には、必ずしも中東依存度の低減につながらないとの見方があるが、長期的には、東南アジアの中小規模ガス田からも供給される可能性もある。

経済性については、安価な中東産天然ガスを原料とする合成灯軽油燃料を輸入する場合、石油系軽油に比べて 10 円／リットル程度、供給価格が高くなるなどの試算があるが、製造プラントの大規模化によってコスト低減の見通しもある。

環境性については、利用時の CO<sub>2</sub> 排出量は石油系軽油に比べてやや減少するが、製造時の排出量が増加するため、全体でもやや増加すると見込まれる。二酸化窒素 (NO<sub>x</sub>) や PM 排出量は減少するため、自動車排ガス低減の可能性はある。

## (3) メタノール

メタノールは、原料をガス化後、メタノール合成によって製造される。化学用品の原料としての需要は確立している。燃焼によって硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) や煤塵は発生しないが、発熱量が低いことや毒性があることから液体燃料としての利用は日本ではあまり進んでいない。世界では、年間 70 万トンのメタノールがガソリンに添加され利用されている。主な地域は、ブラジル、米国、EU である。日

本では、メタノール専用車が関東地区を中心に200台余り走っている。政府が推進した低公害車燃料普及、エコ2000計画（2000年までにメタノール燃料供給スタンド2,000ヶ所設置構想）は達成されていない。

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あいまって、自動車用燃料として今後著しく導入が進展すると見るのは難しい。ただ、改質が容易であるというメリットを生かして、小型情報機器や二輪車の燃料電池用燃料としての利用が検討されている<sup>7)</sup>。また、携帯機器向けにメタノールを燃料とするダイレクト・メタノール型燃料電池の研究開発もすすんでいる。

#### (4) バイオエタノール

バイオエタノールは、サトウキビ、トウモロコシ等のバイオマス燃料を生物化学的に変換して製造される。大気中のCO<sub>2</sub>を増加させないカーボンニュートラルという特徴を有す再生可能エネルギーの一つであるが、金属、ゴムなどの腐食、劣化、また水吸収による燃料性状劣化という課題もある。

日本では、2003年8月にガソリンへのエタノール混合上限3%が規格化された。まだ、普及が進まないが、3%をエタノールで置き換える（以下E3）場合、約180万キロリットル/年が必要になる。全量を輸入する場合、図表6の燃料用エタノール生産国からわかるように、輸出供給余力があるのは、ブラジル1国になる可能性が高い。国内では、原料となる糖やでんぷん供給が、食用との競合もあり非常に難しい。燃料価格については、現状、ガソリン（蔵出しで約27円/1）にくらべ、エタノール（日本到着時価格40～50円/1）は割高で、原料不作や原料市況の影響も受ける。以上より、全ガソリンのE3化に必要なエタ

ノールの価格・供給安定化を図るには、輸入国との長期契約等の対応が必要である。

ライフサイクルアセスメント（LCA：Life Cycle Assessment）で評価したエタノールのCO<sub>2</sub>排出量は、バイオマス燃焼時のCO<sub>2</sub>排出量を計上しないことから、図表7に示すように、ガソリンのCO<sub>2</sub>排出量の13～45%程度の排出となり、ガソリンより優位である<sup>6)</sup>。しかし、エタノール等の酸素含有化合物がガソリンに混合されると、排ガス中の一酸化炭素、ハイドロカーボンが減少するが、

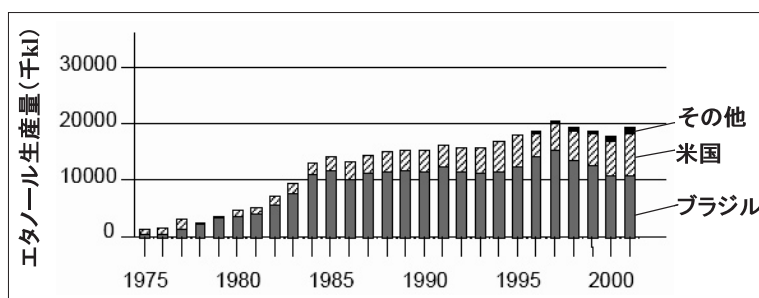
NO<sub>x</sub>、アルデヒド、燃料蒸発ガスは悪化する傾向にある。このため、現在日本では、3%の上限が課されている。

#### (5) バイオディーゼル

バイオディーゼルは、パーム油、ナタネ油等バイオマス由来の油脂を熱化学的変換（メチルエステル化反応）した脂肪酸メチルエステルであり、原液のままあるいは軽油と混合してディーゼル車に利用される。国内では一部の自治体等で公用車に利用されている。

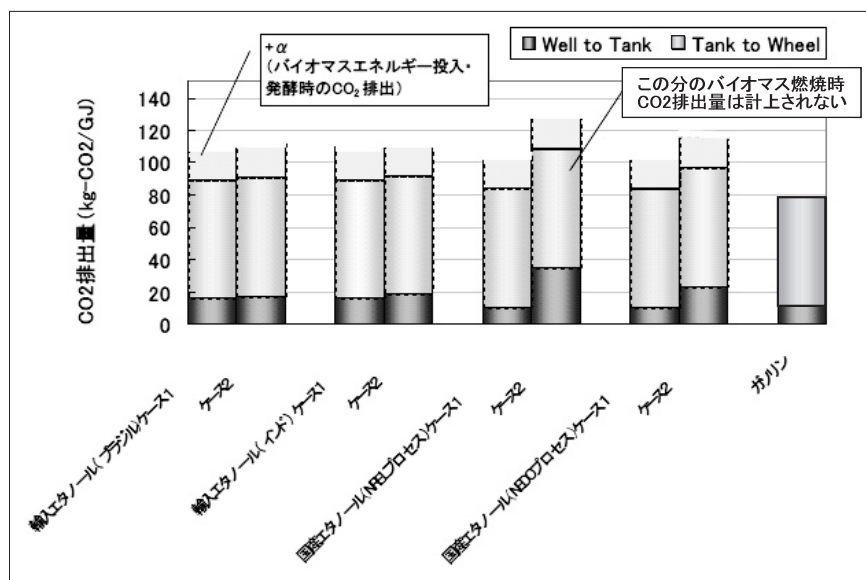
日本が、バイオディーゼルの輸

図表6 主要国のエタノール生産量



文献<sup>6)</sup>をもとに科学技術動向研究センターにて作成

図表7 エタノールのCO<sub>2</sub>排出に関するライフサイクルアセスメント



Well to Tank は生産（採掘）、輸送、製造（精製）時のCO<sub>2</sub>排出量、Tank to Wheel は燃焼時のCO<sub>2</sub>排出量を示す。ケース1は原料収量、廃材発生密度などが平均値の場合で、ケース2は収量が平均より15%低下、廃材発生密度が平均の50%と悪条件の場合。国産エタノールのNREL、NEDOプロセスは、それぞれ米国 National Renewable Energy Laboratory、日本のNEDOで研究開発中の木質系バイオマスを活用したエタノール発酵プロセス。試算の前提は、目標ベースのもの。ガソリンのLCAは実稼働プラントデータに基づく精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな計算であることに留意。日本の温室効果ガス排出量インベントリへの計上を検討する場合、本検討で評価したもののうち、国外での化石燃料使用（海上輸送含む）は対象外となる点にも留意。図中の“+α”は存在する量が不明であることを示す。

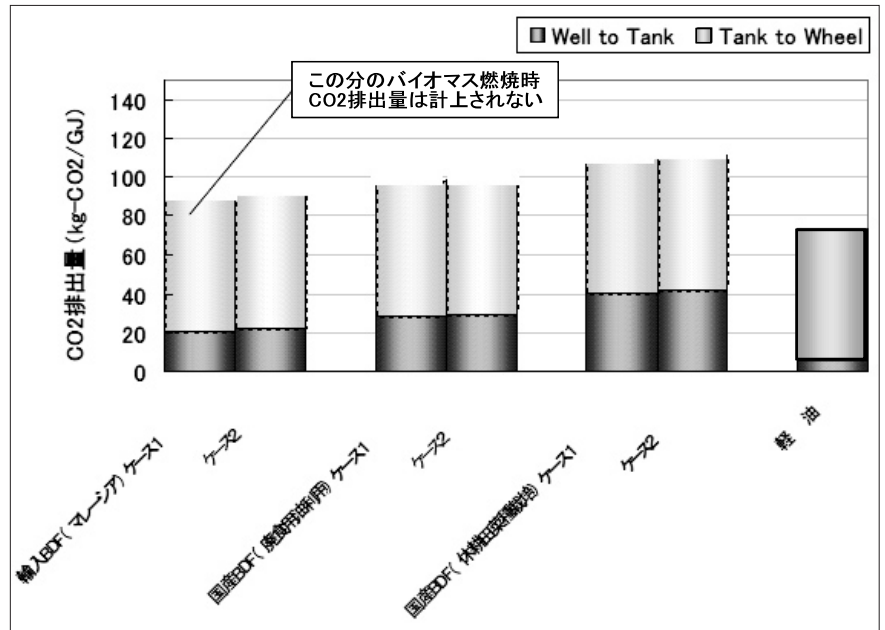
文献<sup>8)</sup>をもとに科学技術動向研究センターにて作成

入する場合、原料生産国の輸出余力を考えると、東南アジアのパーム油が最も有力である。ただ日本着の試算コストは 38～91 円／1 で、軽油（蔵出しで約 30 円／1）と比べるとコスト高である<sup>6)</sup>。廃食油を原料とする国内産の場合でも、72～87 円／1 とコスト高になる。

ライフサイクルアセスメント (LCA) で評価したバイオディーゼルの CO<sub>2</sub> 排出量は、バイオエタノールと同様にバイオマス燃焼時の CO<sub>2</sub> 排出量を計上しないことから、図表 8 に示すように、軽油排出量の 28～57% 程度の排出となり、軽油より優位である<sup>6)</sup>。海外において生産された燃料を輸入する場合も、燃料製造時 CO<sub>2</sub> 排出量は日本の排出とカウントされないメリットがある。バイオディーゼル混合軽油の自動車排ガスへの影響については、平成 14 年度環境省が試験した結果、軽油に比べ一酸化炭素 (CO)、NO<sub>x</sub> の増加が示されている。PM に関しては、さすがに減少する一方、軽油潤滑油未

燃成分が多く生成される。今後、燃料のもつ様々な性状が燃料タンク、エンジン等の車両機器や排ガスに与える影響を詳細に分析する必要がある。

図表 8 バイオディーゼルの CO<sub>2</sub> 排出に関するライフサイクルアセスメント



Well to Tank は生産（採掘）、輸送、製造（精製）時の CO<sub>2</sub> 排出量、Tank to Wheel は燃焼時の CO<sub>2</sub> 排出量を示す。ケース 1 は原料収量などが平均値の場合で、ケース 2 は収量が平均より 15% 低下、廃材発生密度が平均の 50% と悪条件の場合。軽油の LCA は実稼動プラントデータに基く精密な試算であるのに対し、バイオ燃料については多くの仮定を置いたラフな計算であることに留意。日本の温室効果ガス排出量インベントリへの計上を検討する場合、本検討で評価したものうち、国外での化石燃料使用（海上輸送含む）は対象外となる点にも留意。バイオディーゼル燃焼時には、CO<sub>2</sub> が排出されるが、バイオディーゼル組成が一定していないため、その量は正確には不明である。

文献<sup>8)</sup>をもとに科学技術動向研究センターにて作成

### 3 合成液体燃料利用技術

ここでは、合成液体燃料の利用技術を発電、輸送、工業、民生の 4 分野で述べる。各種燃料の利用用途を図表 9 にまとめた。

3 - 1

#### 発電用

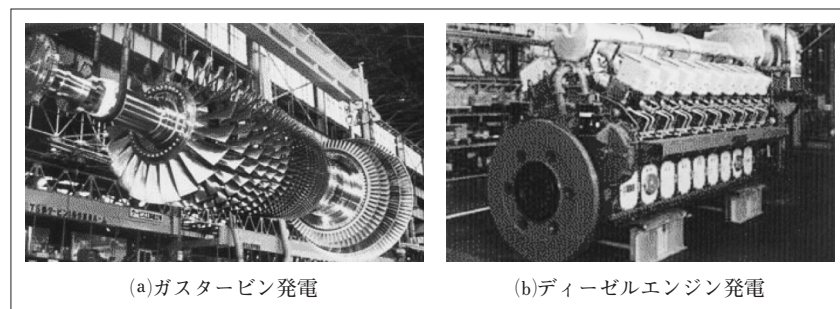
ジメチルエーテルは、NO<sub>x</sub>、一酸化炭素、煤塵などの少ないクリーン燃料であり、既存の発電用燃料代替として、図表 10 に示すようなガスタービン、ディーゼルエンジン及びボイラー、燃料電池などでの利用が考えられる。ただ、新規の合成燃料であり、実用化のためには、燃料性状の変更に対応した技術開発や検証が必要である。

図表 9 合成液体燃料の利用用途

利用用途	DME	GTL 燃料	メタノール	バイオエタノール	バイオディーゼル
発電用	火力発電	○			
輸送用	ガソリン代替			○	
	軽油代替	○	○		○
	LPG 代替				
	燃料電池自動車用	○	○		
工業用	灯重油代替	○			
民生用	家庭用 LPG 代替	○			
	都市ガス用原料	○			
	灯重油代替	○		○	
	燃料電池用	○	○		



図表 10 ジメチルエーテル利用発電機器



(a)ガスタービン発電

(b)ディーゼルエンジン発電

文献<sup>9)</sup>より

## 3 - 2

## 輸送用

ジメチルエーテルは、着火性が良好でPMを全く排出しないことから、軽油代替燃料としてディーゼル自動車への適用が見込まれている。PM規制への対応が不要で、NO<sub>x</sub>規制へも還元触媒などの適用が可能になる。新長期NO<sub>x</sub>排出規制をクリアできる可能性もある。ただ、自動車用燃料として利用するには、ポンプ大容量化など車両の改造、燃焼最適化等の課題もある。さらに、ジメチルエーテルやメタノールは、他の燃料に比較して、低温で水素に改質できることから燃料電池自動車用燃料としても有望である。

一方、合成灯軽油燃料は、輸送用燃料として、既存インフラの大

幅改造なしに利用できる見込みがある。合成灯軽油は、当面の間、10～30%の範囲で石油系軽油と混合して用いれば自動車用に問題ないと予想されている。合成灯油は、航空用ジェット燃料として期待されている。

メタノールは、2章でも述べたように、自動車用燃料として利用されているが、発熱量が低いことや毒性があることから、その普及はあまり進んでいない。

バイオエタノールは、ガソリンに混合して、自動車用燃料として使われている。バイオディーゼルは、軽油に混合してディーゼル車で用いられる。ただし、車両側に一定の改造を行ったり、通常のディーゼル車よりも頻繁に定期的なメンテナンスを行ったりしながら利用しているのが現状である。

## 3 - 3

## 工業用

工業用機器のうち、ボイラー等の単純な燃焼機器については、ジメチルエーテルをLPGと同類の燃料として互換性をもって取り扱える可能性が高い<sup>10)</sup>。ガラス加工用バーナや繊維乾燥炉など、微妙な火炎制御を要求される機器については、バーナ構造などの技術開発が必要である。

## 3 - 4

## 民生用

ジメチルエーテルは、一般民生用ガス器具で利用するLPG代替として有望である。ただし、LPGとジメチルエーテルのいずれにも対応し、更には任意の混合ガスにも対応できる燃焼機器があれば、ユーザーの燃料選択の自由及び燃料安定供給から非常に望ましいことになる。その技術開発と見極めは、ジメチルエーテル利用の重要な課題である。

灯油や重油等の石油系燃料は、民生業務部門における冷暖房、給湯等熱需要の約6割を占める。CO<sub>2</sub>排出量削減の観点から、バイオエタノールは、既設民生用ボイラーにおいて石油系燃料への混合利用が検討されている<sup>10)</sup>。

## 4 世界の動向

ここでは、合成液体燃料の開発、利用に関する世界の動向を記す。

## 4 - 1

## 欧州

EUは、地球温暖化対策の観点から、2001年10月に発効した「再生可能エネルギー推進指令」において、2010年までに1次エネ

ルギーで再生可能エネルギー割合を1998年の6%から倍増の12%に引き上げるという目標を設定している<sup>12)</sup>。再生可能エネルギーの中でも特にバイオマスの潜在力は大きいとみなされており、EUは2010年までにバイオ燃料で5.75%達成を目指す。欧州では、米国、日本と異なり、ディーゼル車が多く、欧州自動車メーカーもバイオ

マス燃料の開発に出資している。

上記方針を受けて、ドイツは、バイオディーゼルの導入を政策的に支援しており、ミネラルオイル税0.47ユーロ/1(63.9円/1、1ユーロ=136円で換算)が免除されている。この結果、バイオディーゼルは、石油系ディーゼル燃料よりも約0.12ユーロ/1安くなり、コスト競争力のある燃料とな

っている。

スウェーデンでは、エネルギー製品に対して、3つの異なる燃料税、①エネルギー税、②炭素税、③硫黄税が課される。エネルギー税は化石燃料と電力に課税、炭素税および硫黄税は、各々、排出される二酸化炭素量、燃料中硫黄量に応じて徴収される<sup>13)</sup>。図表11に示すように、バイオ燃料は、エネルギー税が免除、炭素税、硫黄税が課されないため、燃料コストが抑えられ、導入が促進されている。また、スウェーデンには、石油代替自動車燃料分野でEUの開発補助金、エネルギー庁の開発補助金を得た大規模施設（エタノール製造プラント、ジメチルエーテル製造プラント）が3ヶ所、そのほか小規模施設も各地にあり、石油代替燃料の開発が進められている<sup>12)</sup>。

4 - 2

## 北 米

米国は、大気汚染防止、エネルギーセキュリティ確保、農業振興を狙いにバイオ燃料の開発、導入を積極的に推進している。ガソリンの10%をバイオエタノールで代替するE10燃料は、主要都市で広く販売されており、全販売ガソ

リンの13%がE10になっている。連邦政府は、バイオエタノールに対し0.14ドル/1（14.7円/1、1ドル=105円で換算、段階的に削減）、バイオディーゼルに対し0.27ドル/1（28.3円/1）の補助を行うと同時に、研究開発、普及に約200億円/年（2003～2007）の予算措置を行っている。

バイオエタノールは、トウモロコシを原料に中西部19州の84工場（含む建設中）で約1,400万kl/年（2004年）生産されている<sup>15)</sup>。燃料生産者の約半分は、農業従事者などの原料生産者である。生産プラントは、生産コスト低減のため、大規模化が進んでいる。バイオディーゼルは、大豆油や廃食油を原料に全国の20工場（15工場建設中）で約10万kl/年（2003年）生産され、バイオエタノールより量は少ないが、生産プラントは大きくなりつつある。

一方、合成灯軽油については、米国系企業のエクソンモービルやコノコフィリップスが、天然ガスコストの比較的安い中東のカタールで、天然ガスからの合成灯軽油生産商業プロジェクト（8万～15万バレル/日）を計画中で、2009～2011年には生産開始予定である。

カナダでは、連邦政府が1980年代半ばよりエタノールに関す

る研究開発を支援してきており、1992年以降、連邦政府のガソリン税からはエタノールが除外されている。2003年10月にはカナダ気候変動対策プログラムの下で、1億ドルのエタノール利用拡大プログラムが発足。これは、2010年までに全ガソリンの35%に10%のエタノールを添加するという目標を支援する内容となっている<sup>12)</sup>。

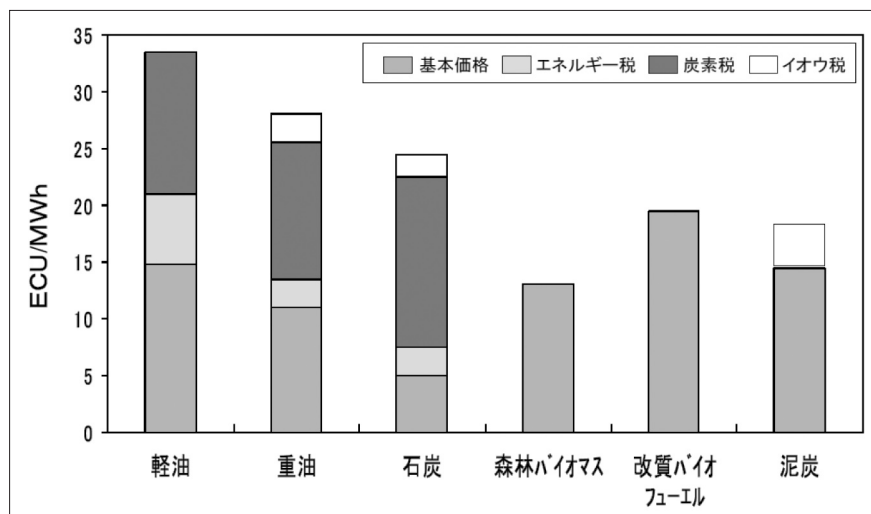
4 - 3

## アジア

現在、パーム油の世界生産量第1位と第2位が、マレーシアとインドネシアで、それぞれ12百万トン/年、8百万トン/年である。パーム油は、他の植物油に比べて生産量が多く、安価で増産しやすく、バイオディーゼル原料として優位となっている。マレーシアは、2005年には現状比2百万トン/年の増産見込みで、インドネシアも2006～2007年には現状比1～2百万トン/年、増産する見通しである。バイオディーゼルの両国での利用は今後の課題であるが、両政府とも、パーム油を原料に国内でバイオディーゼルを製造し、輸出することに力を入れようとしている<sup>16)</sup>。日本は、バイオディーゼル製造技術の供与や事業ファンド支援で協力し、両国からのバイオディーゼルの輸入ができるような環境整備をすすめるべきである。

中国では、第10次5ヵ年計画（2001～2005年）にて、E10（ガソリン10%をエタノールに置換）の使用を指定した。国際原油価格の高騰を受けて、バイオエタノール混合ガソリンの使用試験が2004年から5省で始まり、2005年末までに全国に拡大される予定である<sup>17)</sup>。また、ジメチルエーテルについても、家庭用LPG代替向けにメタノール合成間接法により約5万トン/年生産している。数

図表11 スウェーデンにおける各種燃料のコスト



1996年のデータ。ECUは、EUROの旧称

文献<sup>14)</sup>より



年のうちに、天然ガスや石炭から100万トン／年レベルの生産になるとの予測もある<sup>3)</sup>。

## 4 - 4

## その他

ブラジルでは、豊富なサトウキビを原料にバイオエタノールを年間1,500万キロリットル(2004年)生産し、ガソリンに混合利用している。サトウキビの価格安定化を目的に1930年代より導入し、現在、E25(エタノール25%含有ガソリン)車とエタノール100%車、

混合率に関係ないフレックス燃料車の3タイプの自動車が行走している。昨年、同国は240万キロリットルのエタノールを輸出、うち50万～80万キロリットルが工業用と飲料用であったが、近年、燃料用で米国、欧州向けが増えている。日本市場にも輸出を考えており、2005年1月には、調査団が日本を訪問した。

南アフリカ共和国では、サゾール(Sasol)社が石炭から、モスガス(Moss gas)社が天然ガスから合成灯油燃料を生産している。生産能力は、サゾールが約10万

バレル／日、モスガスが約3万バレル／日である。これらの会社が生産する合成灯油燃料は、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、油槽所あるいは末端市場において石油製品と混合利用されている。同国政府は、合成灯油燃料合成産業保護のため、「Floor Price」と呼ぶ参照原油価格下限値を決め、原油価格がその下限値を下回った場合、その差額をベースにサゾール、モスガス社に補助金を拠出する仕組みをとっている<sup>4)</sup>。

## 5 燃料開発・導入における課題

エネルギー・燃料政策の観点から、石油代替の合成液体燃料として有望な5つの燃料について、今後の開発・導入における課題を以下にまとめる。

## 5 - 1

## ジメチルエーテル

ジメチルエーテルは、着火・燃焼特性がよく、すすを発生しないクリーン燃料である。利用用途も広く、天然ガスだけでなく、石炭やバイオマス等からも生成することができ、1次エネルギー供給源多様化の視点から非常に重要である。現段階では、ジメチルエーテル価格が石油系燃料に比べてやや高く、自動車以外の用途において一定規模の需要を確保し、ジメチルエーテルの価格を下げるのが望ましい。ジメチルエーテル火力発電所の新設やLPG代替で、事業用発電用途や工業用途としての需要を拡大していく必要がある。同時に直接法及び間接法によるジメチルエーテル製造技術の低コスト化も必要である。

一方、ジメチルエーテルを自

動車用燃料として利用するためには、供給インフラとして、自動車燃料用ジメチルエーテル専用の流通インフラ整備、実証試験が必要である。自動車についても、ジメチルエーテルの低熱量をカバーするためのポンプ大容量化やもれやすさ対策、燃焼最適化等の研究開発課題があり、車両価格の低減も含め、中長期的な取り組みが求められる。これとあわせて、ジメチルエーテルの安全基準や燃料規格などについて、利用を容易にするための法整備なども必要である。

## 5 - 2

## 合成灯油燃料

合成灯油燃料の生産計画プロジェクトは、主に、中東を中心に進んでいるため、合成灯油燃料の日本への導入は、短期的には必ずしも中東依存度の低減につながる可能性が高い。しかし、長期的には、世界全体、特にアジア地域で軽油に対する需要が高まり、これに対応して、中東のみならず東南アジアの中小規模ガス田からの供給が広がっていく見通し

もある。また、合成灯油燃料は、天然ガスだけでなくバイオマスや石炭からも製造されることから、長期的、国際的には、燃料消費地において生産できる。一次エネルギー供給源の多様化の観点から、合成灯油の製造・利用の取り組みは、今後も重要である。既存インフラの大幅な改善なしに自動車用燃料として利用できる大きなメリットもある。

日本では、第2章に記したように、日本の独自技術を用いたパイロットプラント試験で合成灯油燃料の製造に成功しているが、既に商業化規模のプラントを建設しつつある海外技術との競合に際し、数百バレル／日規模の実証プラントでの実績とデータを得て、関係者の信頼を得る必要がある。さらに国内での合成灯油生産から輸送、利用まで含めた大規模な実証プロジェクトを実施することも期待される。民間での本格的な事業化展開に向けては、初期リスク軽減のため、合成灯油プラント建設資金に対する融資制度の整備も必要である。

## 5 - 3

## メタノール

メタノールは、ダイレクト・メタノール型燃料電池の研究開発の進展や国連によるメタノール燃料カートリッジ国際基準化承認<sup>11)</sup>を受けて、小型情報機器向けの燃料電池用燃料として需要が出てくる可能性がある。天然ガス、バイオマス、石炭からメタノールを合成する基本技術は、ほぼ確立しつつあり、今後、合成プラントの大型化、低コスト化技術が必要になる。

## 5 - 4

## バイオエタノール

ガソリン全量を E3（3%をエタノールに置換する）化する規模でバイオエタノールを導入することについては、CO<sub>2</sub>排出の算定上ガソリンよりも優位であることが

ら地球温暖化対策として一定の意義を有する。一方、供給面では、大部分を輸入に依存せざるを得ないこと、また、供給余力があるのはブラジルのみと見込まれることから、バイオエタノールの十分な安定供給性は確保できない可能性がある。また、エタノール混合ガソリン精製・流通過程のインフラにかかる設備投資は、輸入インフラや吸水性対処設備等を含め、最低でも 3,500 億円程度と試算<sup>6)</sup>されている。燃料コストもガソリンより大きいことを考えると、エネルギー政策の選択肢としては、現時点でいくつか課題がある。

しかしながら、1 次エネルギー供給源の多様化の観点から、バイオエタノールの利用についての取り組みは、引き続き重要であり、政府として、インフラ整備、燃料税軽減、木材資源等国内資源からのバイオエタノール製造技術開発など、適切な導入支援を講じていくことが必要である。

## 5 - 5

## バイオディーゼル

バイオディーゼルを輸送用燃料として利用することは、バイオエタノールと同様に、CO<sub>2</sub>排出の算定上軽油よりも優位なことから、地球温暖化対策として一定の意義がある。一方、経済性、供給安定性を考えると、東南アジアのパーム油を原料とした輸入バイオディーゼルや国内廃食油からのバイオディーゼルには、いくつかの課題がある。しかし、燃料多様化の観点から、バイオディーゼル利用の取り組みは今後も大切である。

日本は、一般のディーゼル車で安全や環境の面から問題がないバイオディーゼル混合軽油性状を検証し、燃料規格化を進める必要がある。また、バイオディーゼル導入を推進しているドイツ、スウェーデンのように燃料税を軽減し普及を促す施策も考えられる。中長期的には、パーム油以外の葉っぱや残渣物からバイオディーゼルを製造する技術開発が必要である。

## 6 提 言

石油需要は、今後も年平均 1.9%の割合で着実に増加する見通しである。アジアの石油需要増大を受けて、石油価格のさらなる高騰と石油供給不安が予測される。石油代替燃料開発とその利用は、燃料間の互換性・代替性を高め、エネルギー供給を巡る情勢変化への対応力を向上させる。一方、燃料多様化に関する技術開発や石油代替燃料の普及は、本来、市場機能の力を最大限に引き出して進めたいが、市場機能の活用のみでは十分に進まない面もある。エネルギーセキュリティ確保や地球温暖化問題、大気環境汚染改善の視点から、期限を設けて国としてこ

の施策に関与する必要がある。

前章で述べた合成液体燃料の課題の中でも特に優先的に推進すべき事項を踏まえ、石油代替燃料の普及を戦略的、多角的に進める政策について、導入支援と技術開発の 2 点から以下に提言する。ここでは、グローバルな WTO（世界貿易機関）の原則<sup>注 5)</sup>も考慮した。

### (1) 導入支援

#### ① インフラ整備と実証試験

ジメチルエーテルは、燃料としての利用用途が広く、環境性、エネルギーセキュリティ確保の視座からも、国はその導入を促進すべきである。新規の合成燃料であ

るジメチルエーテルを自動車用燃料として実用化するには、ジメチルエーテル専用の新たな受入・貯蔵・供給インフラ整備が必要になる。また、バイオエタノール混合ガソリンの普及には、水分混入防止のため、民間企業が製油所や油槽所、給油所の新たなインフラを整備する必要がある。国民に理解してもらいながら、国として、これらの整備を支援していく。バイオエタノールの流通実証初期試験は、今年、産官で行われる予定であるが、引き続き、期限を明示して支援を継続する。ジメチルエーテル利用の実証試験は、経済特区のような特別地域で先行実施し、



課題抽出、本格普及につなげる。

## ②燃料税軽減と燃料規格化

環境性向上を踏まえ、バイオマス起源の新燃料が、欧米ブラジルなどで政策的に導入されている。バイオマス資源からのジメチルエーテル、合成灯軽油燃料、バイオディーゼル、バイオエタノールなどバイオマス起源燃料の燃料税を軽減し、その導入を早急に開始する。税制支援により、バイオマス起源燃料の競争力を強化する。

バイオディーゼル混合燃料については、自動車排ガスなどへの影響分析がまだ十分でないため、バイオディーゼル利用の環境整備として、一般のディーゼル車で安全や環境の面から問題がないバイオディーゼル混合軽油性状を検証し、燃料規格化をすすめる。ジメチルエーテルについても、仕様、品質保証などの燃料規格の検討に着手することが必要である。

## ③事業投資優遇

合成灯軽油、ジメチルエーテル燃料の初期生産プラント建設は、技術、市場の不確実性から民間企業のみで実施するにはリスクが大きい。初期生産プラント建設には、期限を定めて公的支援を行う。また、海外における合成灯軽油、ジメチルエーテル生産プラント建設資金への融資は、国際協力銀行の資源開発金融枠の対象とし、金利及び融資限度を優遇する制度を構築する。CO<sub>2</sub>削減効果のあるプロジェクトについては、国際協力を得ながら、京都議定書のクリーン開発メカニズム（CDM）<sup>（注6）</sup>条項を活用していく。

## (2)技術開発

### ①合成灯軽油燃料製造実証プラント

合成灯軽油燃料は、中長期的な輸送用燃料の多様化や環境問題対応の意義から独自技術を開発して

いくことが望ましい。日本の民間企業コンソーシアムは、国の支援を受けながら、2003年に独自技術を用いてパイロットプラント試験で7バレル／日の合成灯軽油燃料製造に成功した。合成灯軽油燃料分野の国際競争力を強化するため、本技術に基づいて産官で数百バレル／日規模の実証プラントを建設し、実証データを2010年までに得られるよう推進する。同時に国内での合成灯軽油生産から輸送、利用まで含めた大規模な実証プロジェクトも実施し、合成灯軽油燃料の普及を目指す。

### ②ジメチルエーテル利用技術

ジメチルエーテル利用の初期段階では、ジメチルエーテル火力発電などの事業用発電用途やLPG代替などの工業用途を促進し、中長期的には、自動車用燃料としての取り組みが必要である。ジメチルエーテルの低熱量をカバーするための燃料ポンプ大容量化やもれやすさ対策、燃焼最適化等の研究開発を促進する。

### ③バイオマス燃料製造技術

バイオエタノールやバイオディーゼルの多くは、現状、サトウキビなどの食物やパーム油などの油から製造しているが、燃料供給を増やしていくには、原料の多様化を考える必要がある。食物以外の木材や草木、古紙などのセルロース系の国内資源からバイオエタノールをつくる技術開発、ならびにオイルパーム樹の葉っぱや残渣物からバイオディーゼルの製造する技術開発を国として中長期的に進める。

## 謝 辞

本稿をまとめるに当たり、東京大学大学院農学生命科学研究科の横山伸也教授、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構の鈴木信市調査役、JFEホールディン

グス株式会社ジメチルエーテルプロジェクトリーダーの北野良幸理事、新日本石油株式会社研究開発本部佐藤幹基グループマネージャー、三菱商事株式会社機械新規事業開発ユニット澤一誠マネージャーのご意見もご参考にさせていただきました。ここに深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 財団法人日本エネルギー経済研究所、「アジア／世界エネルギーアウトLOOK—急成長するアジア経済と変化するエネルギー需給構造—」、2004年3月
- 2) 大木良典、「エネルギー及び地球温暖化問題の動向と当社の取り組み」、三菱重工技報 vol.40 No.1 (2003-1)；電気新聞「21世紀のエネルギー技術論④」、2005年2月4日、4面
- 3) 経済産業省総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会第14回燃料政策小委員会資料：  
<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0002068/0001.html>
- 4) 財団法人日本エネルギー経済研究所「天然ガスからの液体燃料（GTL）の市場性について」、2001年11月：<http://eneken.ieej.or.jp/>
- 5) 図解新エネルギーのすべて、（社）化学工学会 SCE.Net 編、工業調査会、2004年
- 6) 経済産業省総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会燃料政策小委員会第二次中間報告骨子（案）：<http://www.meti.go.jp/committee/downloadfiles/g40415a51j.pdf>
- 7) 環境&エネルギーのEEchanceホームページ：[http://www.eechance.com/mt\\_ecolife/archives/entry/000067.html](http://www.eechance.com/mt_ecolife/archives/entry/000067.html)
- 8) 経済産業省総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会第9回燃料政策小委員会資料4-2：<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0001744/>



- 0001.html
- 9) 経済産業省審議会研究会ホームページ：<http://www.meti.go.jp/committee/downloadfiles/g40324a06j.pdf>
- 10) 環境省地球環境局ホームページ：<http://www.env.go.jp/earth/report/h15-02/h-08.pdf>
- 11) IT media モバイルホームページ：<http://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/0412/02/news037.html>
- 12) NEDO 海外レポート、No.879、2002.4.15、No.948、2005.1.26、No.951、2005.3.9
- 13) 原子力図書館ホームページ：[http://mext-atm.jst.go.jp/atomica/01070611\\_1.html](http://mext-atm.jst.go.jp/atomica/01070611_1.html)
- 14) N. El Bassam, Energy Plant Species published by James & James Ltd. (1998) page 54.
- 15) エネルギー経済 第 31 巻、第 1 号、p.72 (2005 年冬季)
- 16) 経済産業省総合資源エネルギー調査会石油分科会石油部会第 11 回燃料政策小委員会資料：<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g30922b41j.pdf>
- 17) 中国情報局ホームページ：[http://news.searchina.ne.jp/2004/1014/stockname\\_1014\\_024.shtml](http://news.searchina.ne.jp/2004/1014/stockname_1014_024.shtml)

## ■ 用語説明 ■

(注 1) 間接合成法では、合成ガスからメタノールを製造し、メタノールを脱水してジメチルエーテルをつくる。本技術は、成熟技術の組み合わせで、実用化段階である。一方、直接合成法では、合成ガスからメタノールを経由せずに直接ジメチルエーテルを製造する。日本独自の直接合成技術は、研究開発段階であり、JFE ホールディングス㈱が中心となり、釧路で 100 トン/日のパイロットプラント実験を 2003 年 12 月より実施中である。

(注 2) ジメチルエーテルは改質反応等に相当量の熱を必要とするため、Well-to-Tank (生産、輸送、製造) での熱量あたり理論的二酸化炭素排出量は、LNG、LPG、石油に比べて増加すると見込まれる。一方、ジメチルエーテルは酸素を含み、LPG、軽油に比べて炭素含率が小さいが、重量あたり発熱量も LPG の約 6 割と低い<sup>6)</sup>ため、利用時における理論的排出量は、LPG と同程度と見込まれる<sup>6)</sup>。

(注 3) 触媒を用い、CO と H<sub>2</sub> の反応から液状の炭化水素を合成する。1923 年、ドイツの F. フィッシャーと H. トロプシュ

が発見した。

(注 4) Shell (英国・オランダ)、Sasol (南アフリカ共和国)、ChevronTexaco (U.S.A.)、ExxonMobil (U.S.A.)、ConocoPhillips (U.S.A.)、BP (英国) 等。

(注 5) OECD (経済協力開発機構) ガイドラインがベース。次の 3 点からなる。①市場に歪み与えるような政府の介入、法整備は禁止。②研究開発は、市場化から遠い基礎的・共通的な分野については可。③実証化など市場に近い施策は、期限を定めて目標を明確に公表し、世界の誰もが結果を使用できるようにすること。

(注 6) 京都議定書参加国と非参加国との間で、温室効果ガス削減プロジェクトなどの共同の事業を実施し、削減分を参加国が譲り受けることを認める制度。非参加国にとっては、参加国の投資を通じて、自国の環境対策推進や技術移転といったメリットがあると考えられている。

## 執筆者



環境・エネルギーユニット

大平 竜也

科学技術動向研究センター



工学博士。企業にてエネルギー機器の研究開発に従事。専門は、機械工学、エネルギー工学、原子力工学。現在、エネルギー・環境分野の科学技術政策並びにエネルギー・環境・経済の 3E 問題解決に資する政策と企業経営に興味をもつ。