

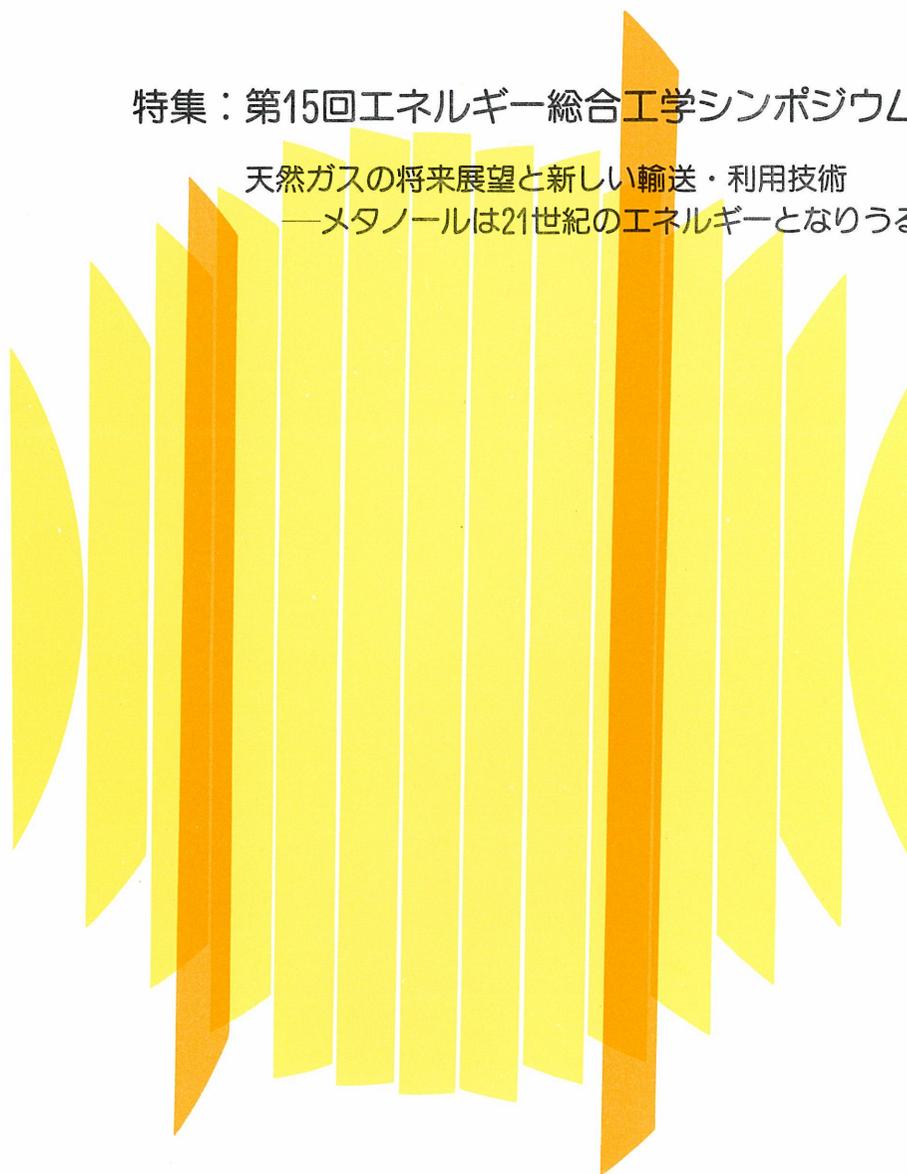
季報 エネルギー総合工学

Vol. 20 No. 3 1997. 10.

特集：第15回エネルギー総合工学シンポジウム

天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術

—メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか—



財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

第15回エネルギー総合工学シンポジウム

天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術

—メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか—



挨拶を述べる 資源エネルギー庁 谷口 富裕 審議官

日 時：平成9年7月14日（月）10：00～17：00

場 所：東商ホール（東京商工会議所ビル4F）

総合司会：プロジェクト試験研究部 部長 高倉 毅

目 次

| | |
|----------------|---|
| 【開会挨拶】 | 理事長 秋 山 守… 1 |
| 【来賓挨拶】 | 通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 谷 口 富 裕… 3 |
| 【基調講演 1】 | 天然ガス需給の将来展望 —特にアジアに関して— 東京ガス(株) 最高顧問 片 岡 宏 文… 7 |
| 【基調講演 2】 | 今なぜメタノールか —メタノールのエネルギー利用の意義— 東京大学 大学院工学系研究科 教授 吉 田 邦 夫…18 |
| 【特別講演】 | エコノミストの目から見たエネルギー問題 (株)長銀総合研究所 主席研究員 竹 内 佐和子…30 |
| 【講演 1】 | 中小ガス田・油田の利用を拓くメタノール洋上生産システム 三菱商事(株) LNG第一部 部長代行 桑 原 徹 郎…37 |
| 【講演 2】 | メタノールの製造と研究開発の現状 三菱ガス化学(株) 研究技術本部 技術部長 上 松 正 次…44 |
| 【講演 3】 | メタノールの発電利用技術とその経済性 プロジェクト試験研究部 部長 高 倉 毅…58 |
| 【講演 4】 | 期待されるメタノール燃料電池自動車 トヨタ自動車(株) 第1FP部 担当員 河 津 成 之…69 |
| 【講演 5】 | 我が国の長期エネルギー需給見通しとメタノール燃料の位置づけ (株)テクノリサーチ研究所 代表取締役 内 田 二 郎…78 |
| 【総括とりまとめ・閉会挨拶】 | ……………専務理事 稲 葉 俊 裕…87 |
| 【研究所のうごき】 | ……………89 |
| 【編集後記】 | ……………90 |

開 会 挨拶

秋 山 守 (財)エネルギー総合工学研究所
理事長



(財)エネルギー総合工学研究所理事長の秋山でございます。

当研究所の第15回エネルギー総合工学シンポジウムの開催に当たりまして、ひと
ご挨拶を申し上げます。

皆様には改めて申し上げるまでもなく、わが国の社会経済の維持と継続的發展にと
りまして、エネルギー安定供給の確保はまさに必須の要請であります。このため、多
岐にわたるエネルギー技術の研究開発を、精力的にかつ効率的に進めること、さら
にはその基盤となる幅広い科学技術の知見を縦横に駆使した総合的な取り組みが必要
であります。

私どもの研究所は、このような認識に基づき、昭和53年4月、通商産業省殿のご指
導のもと、関係産業界、並びに学界の方々の大変なご尽力により設立されました。

その後、所内に昭和61年4月にはエネルギー技術情報センター、平成5年11月には
新水素エネルギー実証研究センター、そして平成6年9月にはWE-NETセンターを
発足させ、次第に活動領域を拡大いたしますとともに、成果もまた着々と積み重ねて
まいったところであります。

この間、皆様方には大変に温かいご指導、ご支援を賜り、この席をお借りして改め
て厚くお礼を申し上げます。

最近のエネルギー情勢を振り返りますと、ご案内のように、環境保全とエネルギー・
セキュリティという二つの大きな命題を抱えており、今後21世紀を展望したとき、こ
れらは維持・強化すべきなお一層大きな目標であります。私どもの研究所は、そのよ
うな認識に立ち、皆様方のご指導のもと、今後とも調査研究の活動に一層の努力を注
いでまいる心積りでございます。

さて、本日のテーマは、「天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術」であります
が、ご承知のとおり、わが国の天然ガスは、その殆どを液化天然ガス、すなわちLNG
の形で海外から輸入し、発電用燃料ならびに都市ガスとして利用しております。

ところで、天然ガスの需要は、地球環境問題などを背景として、今後世界的に大幅に増加するものと見込まれており、その需給バランスの動向が注目されております。

そこで、本日はまず初めに、東京ガス最高顧問の片岡宏文様から「天然ガス需給の将来展望」についてお話をいただきます。

その後、当シンポジウムの副題であります、メタノールの燃料利用を中心にご講演を進めてまいります。

メタノールは、化学原料として広く使われておりますが、燃料としてはこれまで殆ど利用されておられません。しかし、私どもでは、メタノールが将来重要な燃料の一つになるであろうと考えまして、今回のテーマを選択いたしました。

東京大学の吉田邦夫教授には、「今なぜメタノールか」と題し、メタノールの必要性と、その導入の意義についてご紹介いただく予定です。

午後の部は、長銀総合研究所主席研究員の竹内佐和子様から、「エコノミストの目から見たエネルギー問題」という演題で、幅広い立場からのお話を頂戴いたす予定であります。

続きまして、メタノールに関する「資源と洋上生産などの問題」、「製造技術と研究開発の現状」、「発電への利用の見通し」、「燃料電池自動車」の4件のご講演を、それぞれご専門の講師の方々をお願いいたしております。

そして最後に、テクニサーチ研究所代表取締役の内田二郎様からCO₂排出抑制と天然ガス、メタノールの役割などについてご講演いただく、というのが本日のシンポジウムの構成であります。

私どもの研究所は、冒頭申し上げましたように、昭和53年の設立当時から、「メタノール燃料」——当時はもう少し幅広い意味で、エタノールを含め「アルコール燃料」と言っておりましたが——、その調査に取り組んでまいりました。

その後、メタノールを発電用や自動車用に利用するための国の技術開発プロジェクトが発足し、今日では技術的な問題は殆ど解決されたとも言われております。残るは主として経済性の問題であります。これにつきましても本日のシンポジウムの中で、その見通しが示されるものと期待いたしております。

最後に、本日ここにご参集賜りました皆様方に重ねて心からお礼申し上げますとともに、このシンポジウムが広くお役に立ちますことを願ひまして、私の開会のご挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。

来賓挨拶

谷口 富裕 (通商産業省 資源エネルギー庁
長官官房審議官)



谷口でございます。

私は、(財)エネルギー総合工学研究所が、昨今、再び重要な問題となっておりますエネルギーの分野におきまして、本日の第15回シンポジウム開催をはじめとし、非常に精力的に取り組まれております状況を拝見しまして、設立に関わりました一員として、まことに心強く思っている次第です。

本日は、「天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術——メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか——」という、非常に先を見据えた適切なテーマを選ばれましたことにも、改めて敬意を表したいと存じます。

さて、昨今のエネルギーを巡る諸情勢をみますと、国際的には石油価格が安定基調で推移している状況ではありますが、一方では、特にアジアに見られるエネルギー需要の増大等もあり、中長期的にはエネルギー需給の逼迫が予想されております。

特に、わが国はご承知のとおり、一次エネルギーの総供給量の8割以上を輸入に依存し、また石油依存率も約6割弱に達し、さらにその輸入石油の8割を政治的に不安定な中東に依存しているという、先進国のなかでも極めて脆弱な供給構造となっております。

最近のわが国のエネルギー需要動向としましては、民生・運輸部門の消費増大傾向を反映して、ここ2年間、エネルギーの伸びは3%台に達しており、1994年に策定しました「長期エネルギー需給見通し」のベースになっております年率1%、これは2000年までに一人当たりの炭酸ガス排出量を1990年レベルで安定化するというための前提でしたが、その1%を大幅に上回っており、すでに2000年までの目標値を先食いしている状況です。

民生・運輸部門のシェアが増大するのは、省エネルギー等の対策が実施しにくくなることでもあり、このようにわが国の需給構造は、供給面、需要面ともに難しい問題を抱

えております。

地球温暖化問題につきましては、ご承知のとおり、本年12月、京都でCOP3といわれている国連気候変動枠組み条約第3回締約国会議が開催され、2000年以降の排出レベルの具体的な数値目標が議論され、その結果、法的な拘束力を持った議定書をまとめるという重要な会議を控えております。

しかし、これまでの関連会議等における話し合いでは、同会議はかなり難航しそうな気配が伺われます。去る6月のデンバーサミットおよびその後の国連環境特別総会でも、同数値目標の設定に関して、EUは2010年までに1990年の15%を削減するという案を主張しているのに対して、米国は数値目標設定の重要性を認めながらも、現時点では具体的な数値を明確化することは困難であると主張するなど、主要国間に大きな差が見られます。

なお、デンバーサミットの共同宣言では、「COP3において、数量化されたかつ法的拘束力のある排出目標を含む、強力な合意形成をしなければならない」とうたわれておりまして、ますます京都会議への期待が高まっております。その点、議長国であります日本は、難しい局面ではありますが、国際合意に向けて最大の努力を尽くすことが求められております。

そのために、わが国が世界を視野に入れたエネルギー・セキュリティ問題と地球環境問題とに積極的に取り組む姿勢を率先して示すことが必要でありまして、それも2000年、2010年といった中長期的な面だけでなく、2050年、あるいは2100年といった超長期的な視点も必要であります。

このため、エネルギー政策としては当面、「省エネルギー」「新エネルギー」および「原子力」の3分野で重点施策を実施し、また超長期的には、「新地球再生計画」構想への理解を広く呼びかけると同時に、革新的な新しい技術開発を行うことにより、よくいわれております「環境保全」「エネルギー・セキュリティ」さらに「経済成長」の、いわゆる3つのEのバランスある達成を図るべく、国を挙げて努力しているところであります。

しかし、現実には省エネルギー、新エネルギーは実績を見る限り思わしいものではな

く、また原子力発電所の開発も一層困難となりつつあります。こういうことで、3つのEをバランスをとって達成するためには、さらなる努力が必要な状況となっております。

以上のような状況を勘案しますと、天然ガスは、地球温暖化への影響をはじめとする環境面のクリーンな特性から、化石エネルギーのなかでも非常に優れた燃料であると考えます。現在、わが国では天然ガスの輸送・利用手段としてはLNGが定着し、長期契約のもとで供給量も価格も比較的安定しております。

しかし、今後、経済成長が著しい東南アジアで天然ガスの需要が増大し、とりわけ韓国、台湾などのようにLNGを輸入するところが増えてまいりますと、LNGの入手難、あるいは価格上昇が懸念されます。その場合、既存ガス田の増産努力は当然のことながら、さらに必要量確保のためには新規ガス田の開発が必要と思われまます。

しかし、今後の新規ガス田は、規模が小さいとか、CO₂等不純物のガスを相当量含むとか、あるいは場所が遠すぎる等、必ずしもLNG化に馴染みやすいものばかりではないと見られています。

その場合のオプションの一つとして考えられますのが、メタノールではなかろうかと考えます。メタノールは、ガス田の条件にあまり左右されず、また常温・常圧で液体であるため長距離輸送が容易とのことですが、一方では、LNGに比べ発熱量、CO₂特性面で劣るという課題も有しているようですので、実用に際しましては、製造面、利用面における高効率化、経済性向上を含む総合的な検討が必要となります。

なお、メタノールは、太陽エネルギーからの水素、あるいはバイオマスからも比較的容易に製造できるといわれており、1995年にまとめられましたIPCCの第2次報告書でもエネルギー・キャリアとして位置づけられておりますが、超長期的シナリオを考える場合、この点は重要なことと思っております。

通産省としましても、メタノールの特徴に以前から目を止めており、NEDO等を通じてその製造から発電プラントまでの主要な要素技術に関して、試験装置を使っての試験、あるいは実用プラントを想定しましたFSを実施し、次段階におけるスケールアップ・データの取得など多くの成果を得ておりまして、ただいま秋山理事長が申されたと

おり、技術的課題はほぼ解決されたかと思えます。

いずれにしても、メタノールは、野球でいえば、原子力、LNG、石炭のクリーンアップ・トリオには入らないけれども、6番バッターとして期待されるのではないかと思います。

エネルギー・セキュリティ、地球環境問題、およびわが国の世界における役割を考えますと、天然ガス、LNG、さらにはメタノールについて、その意義やポテンシャルを論じ、評価・検討を深めることは極めて価値あることと考えます。

最後になりますが、(財)エネルギー総合工学研究所が、天然ガスやメタノールに限らず、現在まさに大きな転換期にあり、不確実性が増しておりますエネルギー技術の将来につまみして、さらには21世紀の世界の生き残りや持続的発展を賭けて、新しいパラダイムやビジョンの模索に幅広く積極的に関与され、優れた技術的、工学的な総合性を生かし、エネルギーの開発、供給、利用等の全分野にわたる諸問題について、政府の政策立案や産業界の経営戦略づくりにますます役立つ業績を挙げられますよう、本シンポジウムの成功とあわせ、ご活躍を切に期待する次第であります。

同時に、本日ご出席の皆様におかれましては、当研究所に対し今後とも変わらぬご支援、ご協力を賜りたく、この場をお借りしてお願いいたします。

〔基調講演 1〕

天然ガス需給の将来展望

—特にアジアに関して—



片岡 宏文 (東京ガス(株) 最高顧問)

本日は、「天然ガス需給の将来展望」というテーマですので、まず、世界における天然ガスの生産・消費の動向、国際間にまたがる流れ、またわが国に近いアジア諸国におけるエネルギー消費の特徴、さらに予想される需要増への対応として、今後に求められる新しい天然ガス資源開発の動向、などを紹介したいと思います。

〔略歴〕

昭和28年東京大学工学部卒業、同年東京ガス(株)に入社。

昭和55年同社取締役、昭和58年常務取締役、昭和61年専務取締役、平成元年副社長と重職を歴任。平成8年最高顧問に就任、現在に至る。この間、平成4年4月に藍綬褒章を受賞。

まず、消費量では、アメリカは、1980年には世界の天然ガスのおよそ50%を使用する、突出した消費国でした。その後、各国が経済成長して天然ガス使用量が増加したのに伴い、シェアは相対的に低下し、2000年には34%になりますが、消費量は、依然世界第一位で8,590億 m^3 、石油換算しておよそ8億トンと見込まれています。それに比べて、ヨーロッパの消費量はアメリカの半分強まで伸びますし、また旧ソ連諸国はアメリカには及ばぬながら第2の消費国の位置を続けるものと思われれます。

これに対し、アジア・オセアニアは、2000年では3,360億 m^3 、オイル換算約3億トンの使用量で、構成比は13%に伸びています。

2030年になりますと、アメリカの構成比はさらに下って31%、ヨーロッパも若干減り約16%ですが、アジアは17%まで増えており、使用量も7,110億 m^3 、約6億5,000万トンと2000年比で倍増以上になっております。

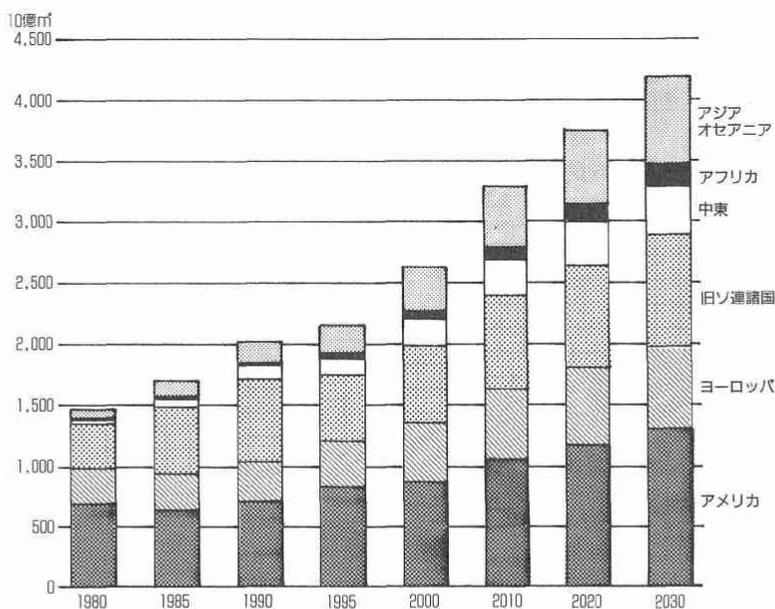
世界の天然ガス生産・消費の動向

輸出力の大きい旧ソ連、余力を残す中東 輸入地域に転じるアジア・オセアニア

まず、世界の天然ガスの消費量、生産量からお話します。

天然ガス消費量を、アジア・オセアニアからアメリカまで6ブロックに分けて図示しますと図1のとおりでして、世界各ブロックの消費が伸びるなか、特にアジアに顕著な伸びが見られます。

また、世界ガス連盟(IGU, International Gas Union)の資料により、生産量、消費量を表示したのが表1でして、2つの表を見比べますと、いくつか重要なことに気づきます。



〔出典〕BP Statistical Review of World Energy 1996

図 1 世界の天然ガス消費量の推移・見通し

表 1 世界の天然ガス消費量・生産量の推移

〔消費量〕

(単位：10億m³)

| | 1980 | | 1995 | | 2000 | | 2010 | | 2030 | | 30/95 平均伸率 |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|---------------|
| | | 構成比 | |
| アメリカ | 689 | 48% | 805 | 38% | 859 | 34% | 1,033 | 32% | 1,279 | 31% | 1.3% |
| ヨーロッパ | 279 | 19% | 377 | 18% | 467 | 18% | 560 | 18% | 650 | 16% | 1.6% |
| 旧ソ連諸国 | 353 | 24% | 522 | 25% | 614 | 24% | 740 | 23% | 883 | 22% | 1.5% |
| 中東 | 40 | 3% | 132 | 6% | 203 | 8% | 278 | 9% | 388 | 9% | 3.1% |
| アフリカ | 19 | 1% | 42 | 2% | 68 | 3% | 105 | 3% | 177 | 4% | 4.2% |
| アジア・オセアニア | 67 | 5% | 215 | 10% | 336 | 13% | 474 | 15% | 711 | 17% | 3.5% |
| 合計 | 1,445 | 100% | 2,093 | 100% | 2,547 | 100% | 3,190 | 100% | 4,088 | 100% | 1.9% |

〔生産量〕

(単位：10億m³)

| | 1980 | | 1995 | | 2000 | | 2010 | | 2030 | | 30/95 平均伸率 |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|---------------|
| | | 構成比 | |
| アメリカ | 698 | 48% | 791 | 37% | 863 | 30% | 1,043 | 29% | 1,225 | 30% | 1.3% |
| ヨーロッパ | 219 | 15% | 243 | 11% | 344 | 12% | 330 | 9% | 166 | 4% | -1.1% |
| 旧ソ連諸国 | 407 | 28% | 660 | 31% | 984 | 34% | 1,289 | 35% | 1,400 | 34% | 2.2% |
| 中東 | 42 | 3% | 138 | 7% | 242 | 8% | 373 | 10% | 552 | 13% | 4.0% |
| アフリカ | 30 | 2% | 84 | 4% | 136 | 5% | 199 | 5% | 230 | 6% | 2.9% |
| アジア・オセアニア | 69 | 5% | 203 | 10% | 322 | 11% | 406 | 11% | 560 | 14% | 2.9% |
| 合計 | 1,464 | 100% | 2,120 | 100% | 2,891 | 100% | 3,640 | 100% | 4,133 | 100% | 1.9% |

〔出典〕1980～1995年のデータ：BP Statistical Review of World Energy 1996

2000～2030年のデータ：IGU(消費量：Base Case Scenario, 生産量：High Supply Scenario)

生産量では、合衆国にカナダ、南米を加えてアメリカを見ますと、生産、消費がほぼバランスした状態で2030年まで推移する見込みです。

旧ソ連諸国は、構成比が消費量で22%、生産量で34%でして、非常に大きな輸出国になっています。中東は、絶対量で見ますとソ連よりはるかに少ないのですが、かなりの輸出力を持つ地域に、またアフリカもわずかながらの輸出地域になっています。

一方、ヨーロッパとアジア・オセアニアは、大量の輸入に依存する地域になっていると見込まれます。

なお、これらの推定値の算出が、消費量はIGUのベース・ケース・シナリオに、生産量はハイ・サプライ・シナリオと異った基準によっていることもあり、表1では一見生産量に余裕が出ていますが、実際には消費量の伸びがかなり大きく、生産量に迫るものと見られます。

**確認埋蔵量豊かな旧ソ連・中東
綱渡りが続くアメリカ**

世界の天然ガス確認埋蔵量は、表2のとおりです。旧ソ連と中東が圧倒的に多く、旧ソ連が55兆9,820億 m^3 、油換算で約500億トン、中東は同約400億トンになっております。使用量の多いアメリカが8兆5,000億 m^3 、油換算で約80億トンです。

このなかで、資源量を生産量で割ったR/Pと呼ばれる可採年数についてみますと、アメリカ一国ではわずか8年、北米全体でも11年という数字が出ています。一方、IGUの予測では、2030年まで生産・消費のバランスが続くという数字になっており、整合性が取

れていませんが、これには採掘技術の進歩により確認埋蔵量が増加するとの含みが裏にあり、ある意味では、天然ガスの消費は、開発との間に綱渡りの状況にあるといえます。アメリカが2030年までこのままいけるのかどうかは、天然ガスに依存する私どもガス事業者は、関心深く見守る必要があると思っています。

表1の数字は、後で述べます非在来型天然ガスへの期待が先取りされてるものと思います。

いずれにせよ、世界の天然ガス需要は、アメリカを始めとして大巾な伸びが予想され、一方、供給は相当厳しい局面を迎えるもののご理解願います。

表2 天然ガス確認埋蔵量

| 地 域 | 確認埋蔵量 | | 生産量 10億 m^3 | 可採年数 年 |
|----------------|-----------|------|------------------|-----------|
| | 10億 m^3 | 構成比 | | |
| 北 米 | 8,521 | 6% | 794 | 11 |
| 中 南 米 | 5,904 | 4% | 76 | 78 |
| 欧 州 | 5,420 | 4% | 304 | 18 |
| 旧 ソ 連 | 55,982 | 40% | 729 | 77 |
| 中 東 | 45,792 | 33% | 133 | 344 |
| アフリカ | 9,305 | 7% | 84 | 111 |
| ア ジ ア 太 平 洋 | 9,113 | 7% | 219 | 42 |
| 世界計 | 140,037 | 100% | 2,339 | 60 |

出典：Oil & Gas Journal

**ロシアからの輸出が増える
世界の天然ガス・フロー**

天然ガス・LNGが、国際間でいかに動いているかを示すのが、図2です。

この図は1995年の流れですが、ヨーロッパへはロシアからパイプライン (PL) により大量のガスが、またアメリカへはカナダからかなりの量が送られています。

アジアでは、日本や韓国などの先進的工業国が大量消費国であり、LNGの形で輸入しています。

今後の新たな天然ガス・LNGのフローが図3です。膨大な埋蔵量を持つロシアから天

然ガスが大量に日本に入っており、そのなかには中国を横断するパイプラインによるものも出ると見込まれます。一方、トルクメニスタンから中東経由でインド、トルコにも行くものもあり、わずかですが、ナイジェリアからヨーロッパへ、あるいはベネズエラから北米やヨーロッパへ流れるものも出るという予想図です。

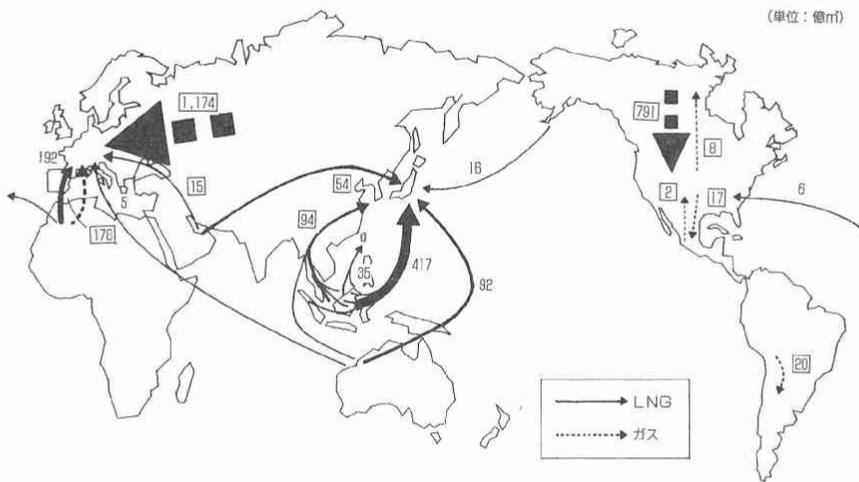


図2 世界の天然ガス・LNGフロー (1995年)

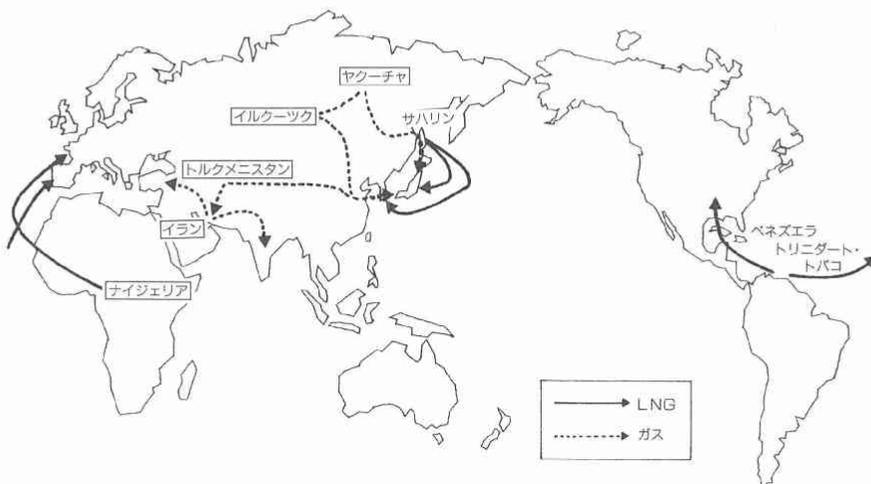


図3 今後の新たな天然ガス・LNGフロー

アジアのエネルギー消費の動向

需要増を支えるインフラ整備を

アジア各国の一次エネルギーの消費構成は図4のとおりでして、国ごとに大きな差が見られます。

日本では、石油が50%強、天然ガスは低く約10%、その他石炭が20%弱、原子力が10数%、水力が数%ですが、天然ガスの構成比は徐々に増える傾向にあります。

中国は、石炭への依存が圧倒的に多く約70%に達しており、インドも似たような状況でして、人口の多い両国がエネルギーの過半を石炭に依存している構造にあります。インドネシア、マレーシアは、石油と天然ガスによりエネルギーの大半を賄っております。

このように各国各様のエネルギー消費構成ですが、アジア太平洋地域全体で3.5%/年にも及ぶ今後の需要増に対して、必要な供給を確保するのは、天然ガスを含め、すべてのエネルギー源に大きな問題を抱えているのが実情です。

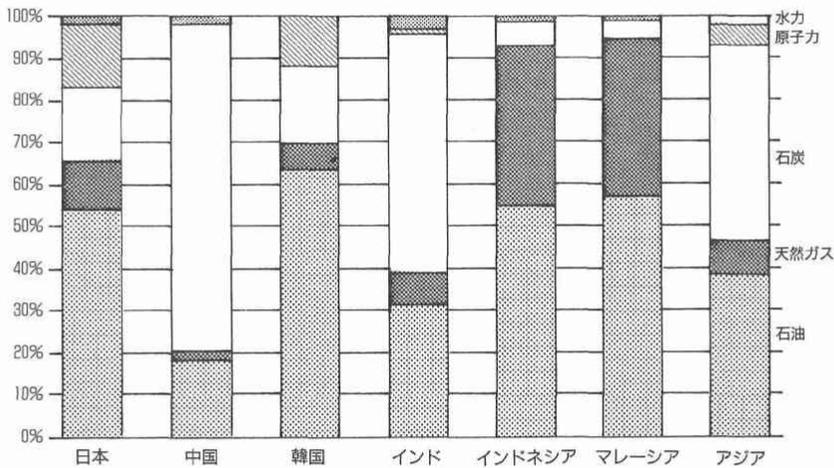


図4 アジア各国の一次エネルギー消費構成 (1995年)

表3 アジア太平洋地域のエネルギー源別消費割合

(単位：石油換算百万ト)

| | 1993 | | 2000 | | 2010 | |
|--------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | 消費量 | 構成比 | 消費量 | 構成比 | 消費量 | 構成比 |
| 石炭 | 909 | 46% | 1,179 | 45% | 1,691 | 44% |
| 石油 | 770 | 39% | 998 | 38% | 1,415 | 37% |
| ガス | 160 | 8% | 249 | 9% | 446 | 12% |
| 原子力 | 91 | 5% | 121 | 5% | 175 | 5% |
| 水力 | 40 | 2% | 56 | 2% | 88 | 2% |
| 地熱・その他 | 10 | 1% | 21 | 1% | 37 | 1% |
| 合計 | 1,980 | 100% | 2,624 | 100% | 3,852 | 100% |

〔出典〕 IEA World Energy Outlook 1996 Edition

表3は、アジア太平洋地域のエネルギー源別消費量と構成比の将来予想です。消費量の全エネルギー合計は、1993年に石油換算で約20億トン、全世界消費量の約20%に相当します。2010年には2倍の39億トンに増え、エネルギー源別に見ますと、天然ガスは非常に高い伸び率になっています。石炭、石油も、絶対量では非常に大きな数字です。

特に中国の場合、伸び率、使用絶対量ともに大きい石炭を予測どおり供給し得るかは、輸送も含めたインフラ整備にかかっていると思います。石炭を生産地から需要地へ固体のまま鉄道輸送する現状方式のみに依存していて、果して膨大な需要増に対応可能なのかは疑問でして、石炭を液化あるいはガス化して使いやすいエネルギーの形態に変換することにより、インフラ全体の効率的な使用を図ることが、中国にも、またアジアとしても必要ではないかと思っています。

何とか賄える当面のLNG需要

アジア太平洋地域におけるLNGの需給見通しは、図5にありますように、2010年に向け大きな需要の伸びが予測されます。

そのなかでLNGの供給は、可能性を持つ新サプライヤーが立候補のものを含めてたくさんあり、2010年頃までは、消費がハイペースで伸びても、何とか賄える見通しになっております。

その供給源は図6にあるプロジェクトでして、あまり耳慣れないところもありますが、アジア系には、南はオーストラリアの北西海域から、北はサハリン、ロシアのヤクーチャ、イルクーツク、さらに先ほどのトルクメニスタンなどがあります。これらに加えて、中東のオマーン、イエメンに、将来はイランが含まれ、まとめますと、東南アジア、中東、ロシア、さらにノーススロープを含めた一部アメリカが、LNGの主たる供給源と見込まれます。

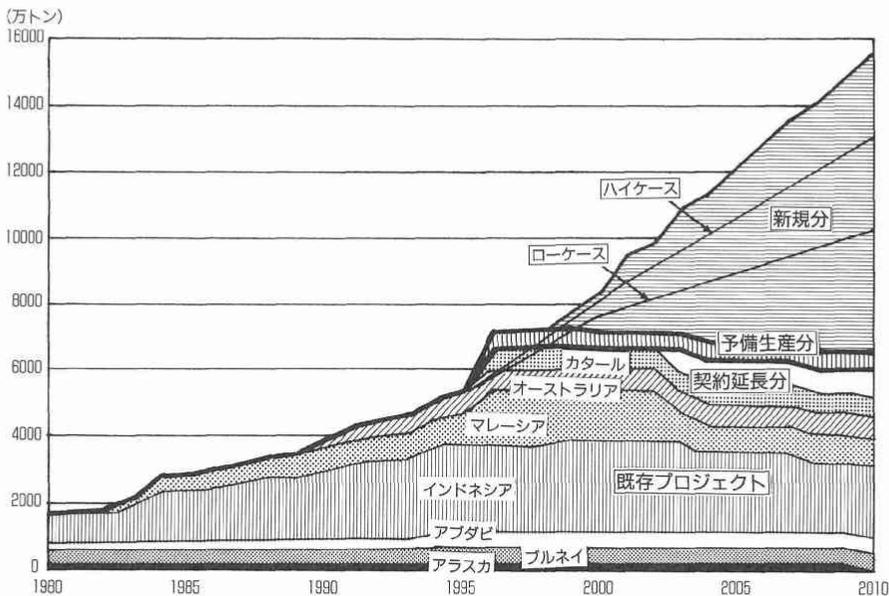


図5 アジア太平洋地域のLNG需給見通し

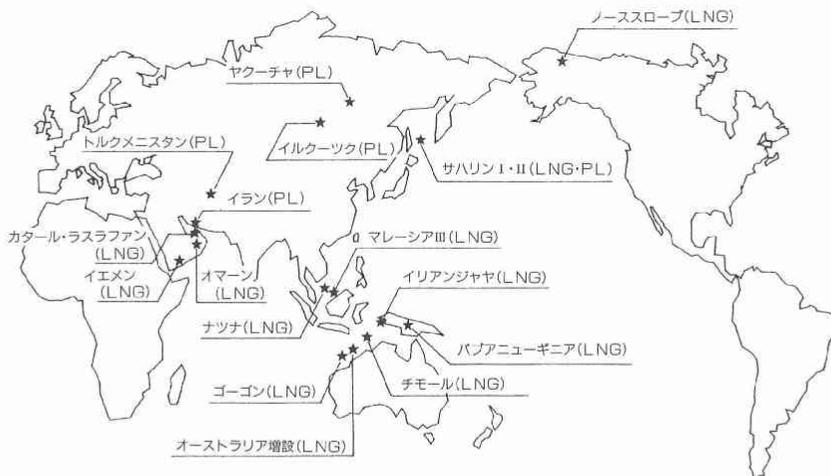


図 6 世界の天然ガス・LNGプロジェクト

天然ガス源の新しい動き

長期の需要増対策に

非在来型天然ガスの取り込みを

しかし、2030年になりますと、先ほど申しましたように、天然ガスの需要は現在の倍近くに増大する可能性があります。これには、在来型の天然ガスだけに頼るのではなく、現

状技術では採取困難な天然ガスも、潜在的資源として取り込まざるをえないと思われまます。コールベッド・メタン、タイト・サンド・ガス、シェール・ガス、ジオプレッシャード・ガス、メタン・ハイドレート、深層天然ガスなどがそれです。これらは、実用化までには相当の技術開発を要すると思われ、将来には備え、いまから真剣に取り組む必要があると見えています。

現に、アメリカでは、先ほども申しましたように、天然ガスの可採年数が10年を下回っていることもあり、非在来型天然ガスの開発に本腰を据えた動きが見られます。現在のところ在来型天然ガスが主流ですが、すでに、タイト・サンド・ガスは14%、コールベッド・メタンも4.7%まで使用が進んでおります。

世界のコールベッド・メタンの資源量は表4のとおりです。石炭におよそリンクしているとも考えられるものです。調査精度が低く、またどこまでを資源量として算入するかも国により相違があつて、現在の統計数字には大きなバラツキがありますが、全世界の資

表 4 コールベッド・メタン資源量

| 国 | 資源量 (兆m ³) |
|---------|------------------------|
| ロシア | 17~110 |
| 中国 | 30~35 |
| 米国 | 11 |
| カナダ | 6~76 |
| オーストラリア | 8~14 |
| ドイツ | 3 |
| イギリス | 2 |
| ポーランド | 3 |
| ウクライナ | 2 |
| 他 | 3 |
| 合計 | 85~262 |

出典：Oil & Gas Journal

源量は 100 兆 m^3 のオーダーに達し、天然ガス資源として無視しえない、むしろ計算に含めるべき存在量と思います。

このほかでは、タイト・サンド・ガスは採取はできても生産速度が遅く、またメタン・ハイドレートは在来型天然ガスに比べてコスト高になります。

これらの事情を勘案しますと、天然ガス供給の先行きは、数量的には成立しても、価格面では将来それぞれに解決すべき課題を抱えていると思われま

中小ガス田開発につながる

洋上 LNG 化・メタノール化の方式

これまで、特にアジア地域では、LNG 化の採算に乗る大規模ガス田が主として開発されてきました。しかし、中長期的には、アジア地域全体でガス不足になる見通しにして、未開発のまま残されている中小ガス田であっても、少なくとも地元での有効利用を図るため、積極的に開発を進めることが必要です。現に、表 5 にある 3 方式の開発計画が始動しています。

中小規模のガス田は、地元へのガス供給源にするのは当然ですけれども、遠隔地向けにも、従来の大規模な LNG システムによることなく、技術開発が進展すれば、海洋ガス田からの海上プラットフォームによる小型の LNG 供給システムも可能です。

具体的に申しますと、現在の LNG システムは、採算面の制約から年間 500 万トンという大規模なスケールが必要です。これですと、日本のガス事業の規模からは、懐の非常に大きい電力事業者と組んではじめて消化できる供給量なのです。ガス事業者が単独で LNG を輸入する現実性が高くなるのは、年間 100 万トン程度ですが、その場合、従来の方式では採算的に無理という捉え方でした。

表 5 にあります海上プラットフォーム方式の簡易型液化システムが開発されますと、100 万トン／年程度でも採算の見込みが出てきており、いままで放棄されてきた中小ガス田の開発が今後は進展すると見られます。また、この後の講師の方からお話があるはずですが、天然ガスのメタノール転換、さらに進めて石油製品化により、小規模ながら輸送容

表 5 中小ガス田開発の動向

| |
|---|
| ●パイプラインによる地域供給 |
| ミャンマー・イエタグンガス田、ヤダナガス田 → タイ |
| フィリピン・マランパヤ／カマゴガス田 → 国内供給 |
| 中国・海南島沖合ガス田 → 香港 |
| 等 |
| ●海洋ガス田の海上プラットフォームによる LNG 供給 |
| 海洋ガス田上に天然ガス液化装置を装備した固定式または浮遊式プラットフォームを設置した LNG 供給 |
| ●天然ガスからメタノールまたは石油製品を生産して液体燃料として供給 |

易な液体燃料にすることも当然ありうる話であります。

これらの技術を総動員して、アジアにおける天然ガス需要の大きな伸びに備えることが重要です。

中国などに適した

石炭水添ガス化コンビナートの構想

ここで、石炭水添ガス化コンビナートを紹介いたします。

そのイメージは図7に示すものでして、特に中国、インドのように、今後の経済成長が著しく、エネルギー使用量が急増するなかで、ガスの形態に変えた石炭エネルギーの利用策ともいえます。

図のように鉄鋼業と結合して、トータルでエネルギーを生産し供給する、従来のガス事業とは異なる新しい概念のエネルギー事業が出現してもよいと思います。この組み合わせにより、メタン、BTX（ベンゼン、トルエン、キシレン）とともに、銑鉄がアウトプットされる、石炭を中心としたコンビナートが考えられます。

中国では、このようなエネルギー・インフラの形成が、環境問題の解決にも役立ち、一つの望ましい形かと思われます。

発電向け需要が多いアジアの天然ガス

2030年における世界の天然ガスの用途別需要は、合計がおおよそ4兆 m^3 で現在の約2倍、分野別では家庭用・商業用、工業用と発電用はほぼ拮抗した需要量が予想されます。伸び率は発電用がやや高く、エネルギーが電力の形にグレードアップされるのは、世界的趨勢と思われます。

アジアにおける用途別ガス需要を表6に示します。世界全体と類似した傾向ですが、工業水準がいまなお低いアジアの特徴は、工業化の進展に伴う工業用需要の伸びが世界の1.8%よりはるかに高く、4.9%になっていることです。

使用絶対量では発電用が特に多く、工業化を進めて先進国入りを目指すアジアでは、発電利用と合わせ全分野で天然ガス需要が強いことが窺えます。

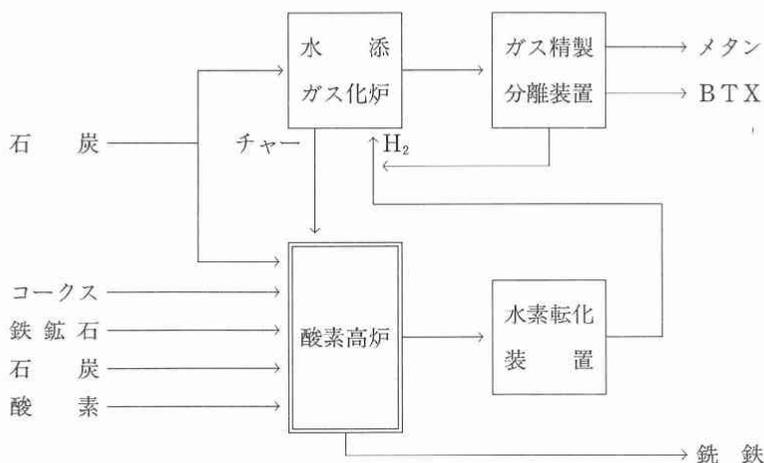


図7 石炭水添ガス化コンビナート

表 6 アジア（中央・東アジア）の用途別ガス需要見通し

（単位：10億m³）

| | 1994 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 30/94 平均伸率 |
|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------------|
| 家庭用・商業用 | 23.8 | 36.0 | 57.3 | 74.6 | 90.8 | 3.8% |
| 工業用 | 26.2 | 43.9 | 85.4 | 119.5 | 148.2 | 4.9% |
| 化学原料 | 15.1 | 19.3 | 27.9 | 35.0 | 40.6 | 2.8% |
| 発電用 | 72.9 | 129.9 | 164.3 | 200.5 | 231.0 | 3.3% |
| （公益企業） | (72.8) | (125.1) | (155.1) | (187.8) | (212.8) | 3.0% |
| （I P P） | (0.0) | (4.8) | (9.0) | (12.7) | (18.2) | |
| 地域暖房 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | 0.9 | 1.5 | 5.8% |
| 天然ガス自動車 | 0.0 | 0.1 | 0.5 | 2.3 | 4.1 | |
| その他 | 1.0 | 3.7 | 6.4 | 8.6 | 10.0 | 6.6% |
| 合計 | 139.2 | 233.1 | 342.4 | 441.4 | 526.2 | 3.8% |

出典：IGU J委員会レポート

ま と め

21世紀のエネルギー技術者は

狩猟的生産から農耕的生産への挑戦を

最後に、われわれが目下検討中の「省エネルギー型社会システム」を表7に紹介します。

これは、まだデジタル化できるところまで進んでいませんが、天然ガスの厳しい需給のなか

で、エネルギーの消費絶対量が大きく伸びることは、環境問題も含めて、極めて重大な事態であります。あくまで見通しとして検討中のものですが、やはり、緩やかな伸びに収まりますよう、ライフ・スタイルや産業構造の変革を仕向けていくのも、われわれガス事業者の一つの重要な課題と思っています。

この表7にあるアイテムは、国民、さらに広く世界のなかに本気で取り組むコンセンサスが得られないかぎり、一国や一企業のレベ

表 7 省エネルギー型社会システム

| |
|--|
| 1. エネルギーシステム |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 環境調和型エネルギー・コミュニティ 大規模コジェネレーション地域熱供給、熱のカスケード利用型工業団地 高効率廃棄物発電、発電所・工場余剰エネルギー利用 等 ● 広域的エネルギー利用ネットワークシステム（エコエネルギー都市システム） 未利用エネルギーの徹底的な回収、再利用した都市システム |
| 2. 社会システム |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 省エネ型ライフスタイル サマータイム制、エネルギー教育、エネルギー非依存型の余暇活動 ● 省エネ型交通システム 交通渋滞の解消、物流の効率化 ● その他の省エネ型社会システム 資源リサイクル、週休2日制、連続休暇の取得促進 |

ルで成しえぬ課題であります。2030年の世界のエネルギー使用量は、石油換算で年間およそ120億トンと予想され、化石資源の賦存量からしますと、40～50年は供給可能な量ですが、ますます伸びる消費量を考えますと、樂觀できる状況ではありません。

地球に貯えられた石炭、石油、天然ガスなどの化石資源は、地殻の変動、大陸の移動、ドラスチックな気候変化など、2億年、3億年という長歳月にわたる地球大変動のなかで、太陽エネルギーが姿を変えて蓄積されたといえるものです。人類は、これをいま数十年という短年月のうちに採り尽くそうとしているのであり、深刻に考えるべき事態であります。

人類は誕生しておよそ300万年、そのうち圧倒的長い期間を森林からの自然の恵みや狩猟の獲物により生活してきましたが、1万年

前になり、はじめて農耕の形で農産物を再生産できる文明をつくり出しました。わずか1万年の歴史とはいえ、太陽エネルギーを間接ながら利用して、農耕による再生産を可能にしてきたことは、非常に重要なことと思います。

ひるがえってエネルギー分野を見ますと、残念ながら、現在なお狩猟生産の領域から脱皮できず、農耕生産の文明には到達しておりません。長期的視点に立ちますと、まことに憂慮すべき事態かと思っています。

このような観点から、エネルギーの生産方式の改革は、市場方式も含めて、エネルギー技術者がチャレンジすべき21世紀の重要テーマと思います。

以上をもってわたしの話を終らせていただきます。

(拍手)



〔基調講演 2〕

今なぜメタノールか

—メタノールのエネルギー利用の意義—

吉田 邦夫 (東京大学
大学院工学系研究科 教授)



私に与えられた演題は、「今なぜメタノールか」という、大変ジャーナリスティックなタイトルになっています。

私は、エネルギー総合工学研究所とメタノールの研究開発に絡んで大変長いお付き合いがあります。最初は昭和55年頃、バイオマスを利用したアルコール燃料の使用に関する技術開発委員会で、これはメタノールというよりエタノールでしたが、この委員会に関係したとき以来となります。その後、石炭の炭層に含まれているメタンガス、いわゆるコールベッド・メタン (CBM) の利用技術、メタノール燃料電池、さらに、NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) のプロジェクトであります、新しいメタノールの製造技術の開発などに関係してまいりました。

そのような関係で、本日お話をすることになったわけです。

メタノールの燃料利用についての検討経緯

電事審認知の経緯もある

メタノール発電の導入

メタノールは、昔から化学原料として広く

〔略歴〕

専攻分野は化学エネルギー開発工学。昭和36年東京大学応用化学科を卒業。東京大学工学部の助手、講師、助教授を経て、昭和58年同大学工学部化学システム工学科及び同大学院工学系研究科の教授に就任。

また、多数の委員会委員としても活躍中で、特にメタノール関係では、資源エネルギー庁の液体燃料技術開発プロジェクトの委員会委員長に就任されている。

使われてきましたが、ここでは、燃料利用についての歩みを振り返ってみます。

歴史的には、大きな波が3つあります。

最初は、1970年代前半のLNG導入と相前後し、天然ガスの新たな導入形態として、メタノール・サイクルの検討が始められました。しかし、LNGと経済性比較をした結果、LNGのほうが有利との結論になり、最初の波は終わりました。

第2の波は、いわゆる石油危機を契機にしたもので、石油代替エネルギーとして、メタノールの燃料利用の検討が始まりました。また、その頃、大都市圏における大気汚染が深刻化し、自動車燃料に対する公害対策の一つとして、メタノール燃料の技術開発や導入の検討が進められました。さらに、メタノールを燃料とするリン酸型燃料電池の技術開発も、この第2の波の中で始まっております。

最後が1990年代に入っの第3の波で、こ

ここで特記すべきことは、平成2年6月の電事審中間報告に初めてメタノール発電導入の可能性についての言及があり、2010年における50万kWのメタノール火力の導入見通しが出され、改めてメタノール燃料が大きく世間の注目を集めることになりました。

また、それと並行して、低廉なメタノールの新製造法に関する技術開発が、「液体燃料転換技術開発プロジェクト」の名のもとにスタートしております。

これまで、3つの大きな波をトピック的に説明しましたが、1960年からのメタノール燃料を巡る主な動きをまとめたのが表1です。

まず、1969年に、LNG導入がスタートしております。資源エネルギー庁の報告の中で、メタノールよりLNGが有利という結論が出されたのが、1974年でした。

その後、2つの大きな技術開発があり、一つが81年から始まり95年に終わった「石油火力発電所メタノール転換等実証実験」、もう一つが1993年からの「液体燃料転換技術開発プロジェクト」であります。

重ねて申し上げますが、1990年、メタノール発電が電事審中間報告のなかで認知されたことは、メタノール開発の歩みにおける一つの大きな出来事であったと思います。

安全性と技術面を確認した

発電用メタノール転換の実証試験

資源エネルギー庁が、昭和56年度から15年の長期にわたり、発電用メタノール燃料に関して実施したプロジェクトの概要が表2です。

研究テーマは、それぞれの時代の要請に応じて多岐にわたっておりますが、なかでも、「環境安全性実証試験」の「メタノール大量消費時の環境安全性の動物実験等による検証」は、メタノールの安全性確認にサルまで使うという、かなり本格的な安全性の検証がなされ、日本よりむしろアメリカなど、海外で非常に注目されたプロジェクトとなりました。

本来の発電技術につきましては、改質型ガスタービンやメタノール・エンジンなど、各種の発電技術がここで検討されており、どの

表1 メタノール燃料を巡る主な動き

| 年 | 日 本 | 米 国 | 備 考 |
|---------|---------------------|-----------------------|----------|
| 1969 | | | LNG導入開始 |
| 1971~72 | | 燃焼試験 (燃焼試験炉) | |
| 1972 | | 燃焼試験 (50MW事業用ボイラ) | |
| 1973~74 | 燃焼試験 (小型試験炉) | | 第1次石油危機 |
| 1974 | 燃焼試験 (自家用ボイラ) | 燃焼試験 (34MW事業用GT) | |
| 1974 | 「LNGとメタノール」 (エネ庁報告) | | |
| 1975 | 燃焼試験 (事業用ボイラ) | | |
| 1978~79 | | 燃焼試験 (26MW事業用GT) | 第2次石油危機 |
| 1981~95 | メタノール転換等実証試験 | | |
| 1985~ | メタノール車走行試験 | | |
| 1988~ | | DOE自動車用メタノールのアセスメント開始 | |
| 1989~92 | メタノール燃料電池の研究開発 | | |
| 1990 | 電事審中間報告でメタノール認知 | | |
| 1992 | | | MTBE混入許可 |
| 1993 | 燃焼試験 (30MW事業用GT) | | |
| 1993~ | 液体燃料転換技術開発 | | |

技術も技術的には全く問題がないことが確認されております。

最終的に、これらの実績に基づく総合評価調査がなされて、プロジェクトが終了しております。

触媒開発が狙いの液体燃料転換技術

現在は一時中止の状態に

資源エネルギー庁のプロジェクトとして、平成5年度、PEC（石油産業活性化センター）、NEDOとの共同研究の形で開始された「液体燃料転換技術開発」の概要は、表3のとおりです。

中身は、一つが「気相流動層法メタノール製造プロセス開発」もう一つが「低温液相法メタノール製造プロセス開発」になっています。

従来のメタノール製造法は、すでに技術として確立しており、天然ガスを主な原料にしています。製造プラントの最大規模は、現在、約2,500t/dが限度です。これは、固定層を使いますと、熱除去などの点でプラントの大きさに制約が出るためです。そこで、流動層という伝熱特性が非常に優れた反応装置を使うことによりこの制約を解消し、5,000t/dあるいは10,000t/dのプラントを可能にするのが、第一のプロセス開発の眼目です。

表2 「石油火力発電所メタノール転換等実証試験」プロジェクトの概要

| 項目 | 年度 | 研究内容 |
|-------------------------|-----------|-----------------------------|
| 供給可能性調査 | S.56～S.60 | メタノールの供給可能性、製造プロセス、製造コスト等調査 |
| 環境安全性実証試験 | S.56～S.60 | メタノール大量消費時の環境安全性の物動実験等による検証 |
| 燃焼試験に関する調査 | S.57 | 実証試験の計画検討 |
| 改質型発電の要素研究 | S.60～S.62 | メタノール改質型GTの要素研究 |
| 改質型ガスタービン発電トータルシステム実証試験 | S.63～H.6 | 1,000kW級GTのトータルシステムの実証試験 |
| 発電用メタノールエンジンシステム開発研究 | H.1～H.5 | 要素研究、500kW級実機実用化試験 |
| 総合評価調査 | H.6～H.7 | メタノール利用発電技術の総合評価（製造、輸送等を含む） |

表3 「液体燃料転換技術開発」プロジェクトの概要

| 研究項目 | H5 | H6 | H7 | H8 | H9 | H10 | H11 | 備考 |
|-------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|--------------------|
| 気相流動層法メタノール製造プロセス開発 | | | | | | | | |
| ①10t/d規模の実験装置運転研究 | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| ②100t/d規模のパイロットプラント運転研究 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | 100t/dパイロットプラントは中止 |
| 低温液相法メタノール製造プロセス開発 | | | | | | | | |
| ①小型研究装置(数t級)運転研究 | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| 液体燃料転換可能性調査等 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |

第2は低温液相法です。プロジェクトの名前のおり、圧力は若干高いのですが常温近くで行う反応で、コスト低減の面から非常に魅力的とみられており、この2つのプロセス開発が始められました。

ポイントは、どちらも、プロセスに適した新触媒の開発でして、流動層法の開発では、化学的特性に加えて、流動層の激しい流動とその磨耗に耐えうる、厳しい物理的条件を克服した触媒の開発が求められています。

流動層法の開発では、10t/d規模の実証試験が順調に進められました。これをもう一段スケールアップした100t/dの試験を計画しましたが、諸般の状況から、もう一度原点に戻ろうということになり、とりあえずは中止になっております。

液相法のプロジェクトも、触媒の検討は今後も継続するということですが、こちらも平成8年をもって一応中止になっております。

プラント誘致に期待が大きい中東諸国

メタノール製造プロセスの建設適地を海外に探すのを主目的として、表3の3番目にある「液体燃料転換可能性調査等」が行われ、海外各地を訪問し、調査をしました。

東南アジアではマレーシアとインドネシア、メタノール・プラントが稼動している南米のベネズエラ、トリニダード・トバゴ。天然ガス埋蔵量の面からいちばん可能性が高い中東諸国では、イラン、クウェート、サウジアラビア、アブダビをはじめとするアラブ首長国連邦、そしてオマーン、イエメン、さらにエジプトといった国々を一通り調査しました。

行けなかったのは、トルクメニスタン、ウ

ズベキスタン等中央アジア諸国、そしてシベリアをはじめとする旧ソ連領であります。

調査の結果は、どの国も新しいプラントの誘致に大変好意的であり、特にサウジアラビア、あるいはアブダビ、オマーンなどからは、技術的に開発可能性が実証された暁にはぜひ導入したいという、大変積極的な意向が示されました。

LNGは、現在すでに、アブダビのガス島からは東京電力に導入され、また、カタール沖合で進行中のプロジェクトには中部電力などが想定されています。

日本との地理的な関係を考えますと、ペルシア湾内に入るよりは、湾外のオマーンとかイエメン、あるいはイランといった国々の天然ガスが大変魅力的で、埋蔵量からも、先方の積極的な姿勢からも、適地としての可能性が認められます。

イランからは、大変積極的な表明がありました。ここは政治的な問題も付きまとうと思われま

す。これらの国々は、石油と天然ガスの両方に恵まれています。石油は輸出にまわして外貨を稼ぎ、石油に随伴する天然ガスを使用して自国の発電をするという方式をとっております。したがって、天然ガスに十分に余剰がないところでは、私たちが考えるメタノールへの天然ガス利用はありえません。

そういった点から、クウェートは、随伴する天然ガスを100パーセント発電用にまわしてもなお若干不足するので油も使っており、天然ガスを日本のメタノール用にまわす余力はないと、この国だけが断ってきました。

他の国は、天然ガスを自国の開発に使うにしてもまだまだ十分な余裕があり、天然ガス

の利用拡大の面から、日本のメタノール製造技術の開発に大きな期待を示しております。

発電利用に障害となった

激しい価格変動，LNGとの競合

これまで、メタノールのエネルギー利用についての歴史的な検討の経緯、その過程でなされた技術開発の状況を説明しました。しかし、実用化へ進展しなかったのは、それなりに問題があったためです。

最初に発電用燃料としてメタノールを考えた頃には、まだコンバインド・サイクルなどの技術がなく、ボイラ焚き燃料としてメタノールの利用を考える状況にありました。その場合、メタノールから大量の水分が発生して効率低下を生じ、魅力ある燃料ではなかったのです。

メタノールは、現在、ホルマリン等の化学工業用原料として利用されていますが、生産量が非常に少ないため、ちょっとしたプラント・トラブルによる製造量の減少だけでもたちまち価格が高騰して、値段が極めて不安定です。後でグラフをご覧にいますが、これは発電用燃料という観点から見ますと問題が多く、いま一つメタノール導入が進まなかった大きな原因でありました。

また、マレーシア、ブルネイなど、日本近隣の東南アジアにある、賦存量豊かなガス田から、LNGの形で安定供給が定着している現状では、メタノールは、燃料として、LNGとの価格競争に太刀打ちできない状況が繰り返されてきました。これがメタノール実用化を阻害する非常に大きな原因だったと思います。

自動車燃料への利用を阻む

インフラ整備、乏しい魅力、及ばぬ助成策

メタノールの利用形態として、もう一つ大きいのが自動車用燃料であります。

これは、最初に申しましたように、特に大都市圏で自動車の排気ガス、特にディーゼル・エンジンによる公害が問題化したときから、燃料をメタノールに代えれば簡単に解決できるという主張が数多く聞かれました。いまでも、わが国には、自動車用メタノール燃料を積極的に推進する研究組織が存在します。しかし、大きな推進母体を持ちながら、この分野もなかなか利用が捗りませんでした。

やはりガソリンなどの自動車燃料に比べて、解決すべき問題点がまだまだ数多くあるということです。

メタノールを自動車燃料にしようとするれば、ガソリン・ステーションと並んで、メタノールのステーションが全国各地に整備されることが必要です。この点、わが国では前向きな対応がなされておらず、今後、メタノールを自動車燃料として考えるとき、おそらく最後まで残る大きな問題点かと思えます。

例えば、メタノール自動車の研究開発が行われているスウェーデンでは、一つのアウトバーンですが、西ドイツへ向かうアウトバーン沿いにまでメタノールのステーションが建ち並び、これが試験として行われています。こうなれば、メタノール自動車の利用がそれなりに推進されますが、日本ではステーションの整備はほとんどなされていない状況です。

これから先、天然ガス自動車の導入を図るときにも、このインフラ整備をいかに進めるかが、大きな問題になろうかと思えます。

次は、コストの問題で、自動車用のメタノール価格は政策的に決められてまいりました。しかし、その値段は、消費者がメリットを感じるほどの廉価ではなかったのです。

また、メタノール車の数が少なく量産効果が出てないこともあり、メタノール車自体の値段が非常に高いことも問題です。

さらに、メタノールはガソリンなどに比べて発熱量が低く、それに伴い走行距離が短くなります。これが使用者にとって、魅力を失わせる大きなものになります。

このような魅力のなさを補う政策的な助成も、まだ必ずしも十分ではなかったと思います。

石油危機の当時、将来の石油確保に大きな危機感が漲りましたが、その後今日に至るまで、安定した石油供給態勢が続きました。また、ガソリン価格も、種々の問題を含みながらも、常に安定した経過を辿り、客観的に見て、自動車燃料としてのメタノールの利用促進に積極的な助成策をとり難い状況にあったといえます。

メタノールに関する諸指標

常温液体、燃焼時のクリーンな排ガス

メタノールは、皆さんに大変お馴染みの化学物質だろうと思います。分子式は CH_3OH 、化学会の用語集ではメチルアルコールと表記されます。表4にありますように、比重が0.80程度で水より軽く、特に大事な点は、沸点が 64.65°C であり、常温で液体ということです。

メタノールの特質を主要な燃料である原

表4 メタノールの基本的物性値

| | |
|--------------------------------------|------------------------|
| 分子式 | CH_3OH |
| 比重 (20/4 $^\circ\text{C}$) | 0.79142 |
| 分子量 | 32.0 |
| 沸点 ($^\circ\text{C}$) | 64.65 |
| 引火点 ($^\circ\text{C}$) | 11 |
| 発火点 ($^\circ\text{C}$) | 470 |
| 爆発限界 (空气中, vol%) | 下限: 6.72 上限: 36.5 |
| 燃焼熱 (kJ/mol) | 高位: 725.7 低位: 637.7 |
| 蒸発熱 (kJ/mol, 64.7 $^\circ\text{C}$) | 35.27 |

油、LNG、あるいはガソリンと比較しますと、表5になります。

メタノールの重量当りの発熱量は、油やLNGに比べて約半分です。しかし、比重はメタノールが約0.8、LNGが0.4と倍ですので、容量当たりの発熱量は、LNGと大差はありません。

メタノールを燃やしたときの排ガスは、次のような特徴を持っています。

まず、 CH_3OH という分子式が示すとおり、基本的に硫黄(S)分は全くなく、当然ながら SO_x は一切排出されません。窒素酸化物も、他の炭化水素燃料に比べて非常に低く、煤塵、炭化水素も殆ど発生してまいりません。さらに、鉛等々の重金属は一切入っておらず、排ガスは非常にクリーンになります。

炭酸ガスの発生量は、発熱量当たりで見ますと、LNGに比べ20%ほど多いのですが、それでも石油系燃料の油やガソリンに比べると良く、石炭との比較では、7割程度で済みます。したがって、メタノールは、天然ガスと並んで、石炭に代わるクリーンな燃料に位置づけられます。

表5 メタノールと他の燃料との性状比較

| 項目 | メタノール | 原油 | LNG | ガソリン |
|--------------------|-------|---------|---------------|--------|
| 状態 | 無色液体 | 黒色液体 | 無色液体 | 無色液体 |
| 高位発熱量 (kcal/kg) | 5,420 | 約10,500 | 13,080 | 7,100 |
| 低位発熱量 (kcal/kg) | 4,745 | 約 9,850 | 12,180 | 6,400 |
| 気化熱 (kcal/kg) | 263 | … | 122 | ～80 |
| 沸点 (°C) | 64.5 | … | -162 | 20～210 |
| 液比重 (15/4°C) | 0.796 | ～0.85 | 0.425 (沸点) | ～0.75 |

回収CO₂ も利用可能な

メタノールの製造

メタノールの製造については、午後の講演で詳しい説明があらうと思いますので、ここではごく簡単に説明しておきます。

メタノールの製造は、図1のとおり、通常、天然ガスを原料とし、天然ガスとスチームとの間で、いわゆる水蒸気改質と称する合成ガス製造工程のなかでCOと水素に変換します。そのあと、圧縮工程を経てメタノールを合成します。ここでできたメタノールは、不純物として水その他を10%から20%含んでおり、それを精製工程を経て純度99%以上という高純度のメタノールにするプロセスをとります。

原料は、天然ガスが世界の大勢ですが、それ以外にも、石油精製や石油生産時の副生ガスとか、石炭ガス化によるCO、水素を使ったメタノールの製造方法も、例えばアメリカのイーストマン・コダック社で、プロセス化されております。

バイオマスを原料にした新しい製造技術も先々おそらく開発されると思いますし、さらにその将来には、コールベッド・メタンあるいはメタン・ハイドレートなどの非在来型の天然ガスも原料になりうるかと思えます。

特に大事なことは、CO₂も原料にできることです。これがメタノールの大きな特徴として、将来の天然ガス資源の枯渇を考えますと、LNGプロジェクトでは魅力なかった、炭酸

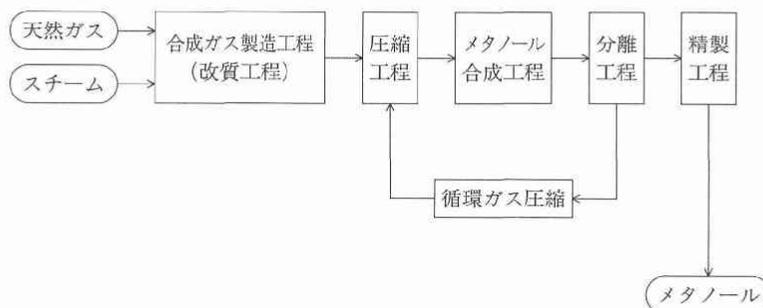


図1 メタノール製造工程（水蒸気改質法）

ガスを大量に含んだガス田も、メタノールの製造には十分利用可能になるわけで、そこに、メタノールの一つの大きな可能性が潜んでいます。

さらには、後ほど改めて申しますが、発電所の排煙から炭酸ガスを回収せぬまま大気中へ放出することが許されない時代が、いずれはくると思われます。そのとき、回収した炭酸ガスをいかに利用するかが一つの重要な課題ですが、メタノールの製造には、この回収炭酸ガスをも原料にしうることが十分見込まれるのです。

図1にあるメタノール製造プロセスは、大変簡単に書いてありますが、現実には、非常に幅広い原料の使用が可能なプロセスなのです。

高率稼働にある世界の

メタノール・プラント

世界のメタノール需給バランスを表6に、示しておきます。1996年現在、需要合計が約

2,400万トン、これに対して生産能力が2,900万トン、したがって、稼働率は82.8%。これは、化学プラントとしては、非常に高い稼働率になっております。

2001年になりますと、表6の右欄にある数字の延長で伸び率がそれなりに伸びるとしますと、生産能力は3,300万トンまで、需要合計は2,700万トンまで増えます。ということで、稼働率は依然として80%を超えた非常に高い状態が予測される状況にあります。

需要の中身は、最大がホルマリン、それから酢酸もありますが、ガソリンに添加してオクタン価を上げるのに使われるMTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) の需要増が近年大変大きいのが特徴です。2001年でも突出した伸びが見込まれます。

先日、SABIC (サウジアラビア基礎産業公社) でまた新しいメタノール・プラントの建設が決まり、日本の三菱グループが受注をしたという新聞ニュースがありました。これはメタノール需要増への期待の大きさを

表6 世界のメタノール需給バランス

(量：千トン、伸び率：%)

| | 1991 (実績) | 1996 (実績見込み) | 2001 (予測) | 91-96 伸び率 |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| 供給 | | | | |
| 生産能力 | 21,644 | 29,095 | 33,500 | 6.1 |
| 生産量 | 17,929 | 24,095 | 27,712 | 6.1 |
| 稼働率 (%) | 82.8 | 82.8 | 82.7 | |
| 需要 | | | | |
| ホルマリン | 7,071 | 8,433 | 9,451 | 3.6 |
| DMT | 672 | 574 | 585 | -3.1 |
| 酢酸 | 1,260 | 1,611 | 2,010 | 5.0 |
| MTBE(TAME含む) | 2,822 | 6,604 | 7,703 | 18.5 |
| MMA | 521 | 747 | 852 | 7.1 |
| ガソリン/燃料 | 543 | 687 | 713 | 4.8 |
| 溶剤 | 865 | 967 | 1,119 | 2.5 |
| その他 | 3,779 | 4,646 | 5,279 | 4.2 |
| 需要計 | 17,534 | 24,269 | 27,712 | 6.7 |

示すものと思います。

日本のメタノールの需給バランスを示したものが表7です。日本は利用量が195万トン。基本的に、大部分を輸入に依存していますので、供給と需要の数値は一致しております。需要の中身は、ホルマリン、酢酸が当然ながら多いのですが、わが国でもMTBEのガソリン添加が認められましたので、近年、かなりの伸びを示しているのが特徴です。

そして、もし、電事審が示した50万kWのメタノール発電の導入見通しが実現しますと、日本のメタノール需要量が約194万トンであるのに対して100万トンの増量を必要とし、一挙に30%ほどの需要増となる、かなり大きな変動因子と思います。

炉前価格でLNGに近づく

メタノール燃料

カロリーベースで比較した、メタノール、LNG、原油の価格推移は、図2のとおりです。一見してお気づきのように、メタノール

には、LNG、原油に比べ、大きな価格変動があります。

94、95年に見られる急騰の原因は、その一つにアメリカでMTBEのガソリン添加が急激に進み、この原料としてメタノールの需要が急増したこと、二つ目に、好調であった化学産業に引かれる形で、ホルマリン、酢酸などの需要がそれなりに伸びたこと、さらに、旧ソ連圏などにあるメタノールの大型製造プラントで発生したいくつかのトラブルなどによる、といわれています。

近年また上昇傾向にあり、SABIC等のメタノール製造計画の発表は、確かに時宜を得たものとも思われます。

変動はさて置き、メタノールの価格は、現在、平均してLNGの倍程度ですが、常温で液体、貯蔵・輸送が極めて容易などの特性を勘案しますと、発電用に導入したとき、発電所の炉前価格では、LNGに相当接近すると考えていいかと思います。

表7 日本のメタノール需給バランス

(量：千トン、伸び率：%)

| | 1991 (実績) | 1996 (実績見込み) | 2001 (予測) | 91-96 伸び率 |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| 供給 | | | | |
| 生産能力 | 270 | 196 | 196 | -6.2 |
| 生産量 | 75 | 30 | 30 | -16.7 |
| 操業率 (%) | 27.8 | 15.3 | 15.3 | |
| 輸入量 | 1,736 | 1,918 | 1,981 | 2.0 |
| 供給計 | 1,811 | 1,948 | 2,011 | 1.5 |
| 需要 | | | | |
| ホルマリン | 717 | 680 | 690 | -1.1 |
| DMT | 43 | 23 | 24 | -11.8 |
| 酢酸 | 140 | 202 | 204 | 7.6 |
| MTBE(TAME含む) | 40 | 126 | 135 | 25.8 |
| MMA | 160 | 150 | 160 | -1.3 |
| 溶剤 | 82 | 85 | 90 | 0.7 |
| その他 | 659 | 682 | 708 | 0.7 |
| 需要計 | 1,841 | 1,948 | 2,011 | 1.1 |

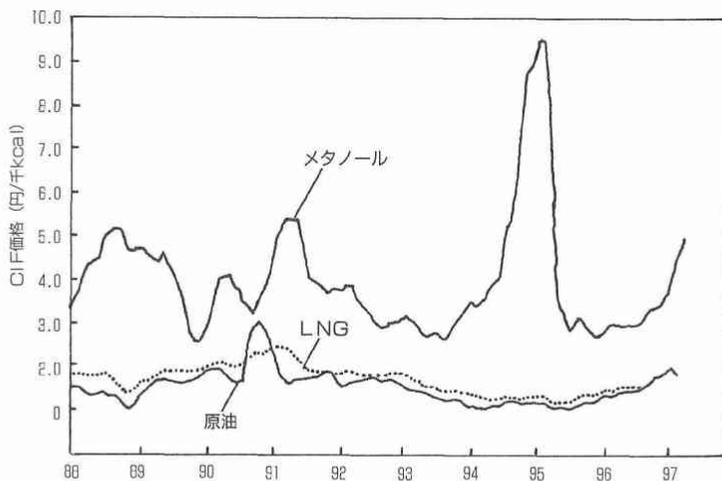


図2 メタノール、LNG、原油のCIF価格推移

メタノールのエネルギー利用の意義と必要性

中小ガス田の利用拡大をもたらす

メタノール化

これまで、一通りの状況を説明してまいりましたが、ここで、メタノールのエネルギー利用についてまとめておきたいと思います。

第1に大切なことは、メタノールは、たとえ今後 to 新技術の開発がなくても、既存技術で十分安定的につくりうる、製造技術の確立された燃料ということです。さらに、LNG とほぼ同等のクリーン性を持つこと、これをまず強調しておきます。

第2が、従来のLNGですと、生産地に大規模な液化設備が必要になります。また、日本あるいは韓国、台湾などへ海上輸送するには、温度をマイナス160℃以下に保つため、特殊なタンクを備えたタンカーが必要です。さらに、陸揚げ後にも、非常に高価な貯蔵設備が必要となります。

したがって、LNGを利用するのは、大きな埋蔵量を有するガス田との長期契約に基づくプロジェクトでなければ、価格的に引き合いません。

先ほど、片岡さんから、中小ガス田についても将来のLNGとしての開発の可能性を考えておこう、というお話がありました。メタノール化して利用すれば、中小ガス田に大規模な設備を必要とせず、従来型の化学プラントで全く支障なく、コスト的に十分引き合います。また、先ほども申しましたように、炭酸ガスがある程度含まれていても差支えないのです。

この後の講演で話がありますが、例えば、タンカーのデッキ上にメタノール製造設備を載せた洋上プラントの計画があります。小さなガス田に出向いてメタノールを生産し、ガス田が枯れた後は別のガス田に船を移動して再び生産を行うというような、移動型の化学プラントもメタノールでは十分可能になり、天然ガスの利用範囲を大きく広げるといってメリットを持っています。

これらを可能にするのも、常温で液体という性質によるもので、運用上の融通性、弾力性が非常に高いことになります。

多様な発電方式が見込めるメタノール

次に、ガスタービン、ディーゼル・エンジン、燃料電池など多様な発電方式により、高効率な発電が可能です。ボイラ燃料に使用した初期には問題を生じましたが、現在のコンバインド・サイクルや燃料電池になりますと、メタノールが常温で液体という性質が有利に転じ、メタノールを使用した新しい高効率発電が十分考えられる状況になってきています。

将来、メタノールの大量生産、大量輸送による、本格化したエネルギー利用の時代を迎えますと、先ほど述べました価格変動は発生せず、LNGと同程度の発電コストの実現が十分見込めることになります。

さらに、繰返しになりますが、発電所排ガスから回収したCO₂の処理問題。回収したはいいが、後をどうするのかは大変深刻な問題で、これをメタノールへの原料化が可能とな

りますと、メタノールのエネルギー利用の開拓に非常に大きなメリットとと思います。

21世紀におけるメタノール利用のイメージ

メタノールの新しい利用形態

WE-NETの水素輸送など

わが国の天然ガス利用は、現在、図3にありますよう、天然ガス田、LNG化、LNG海上輸送、そして港湾設備の整ったLNG発電所のラインが一つの主要な方式になっております。

21世紀になりますと、新しいメタノールのサイクルが導入されるものと期待しています。

これまで申しましたように、中小ガス田、あるいは炭酸ガスを多量に含んで未利用のまま残されたガス田からメタノールを生産するのがその一つです。また、図3には、非在来型天然ガスの代表としてCBM（コールベッド・メタン）が書いてありますが、それ以外

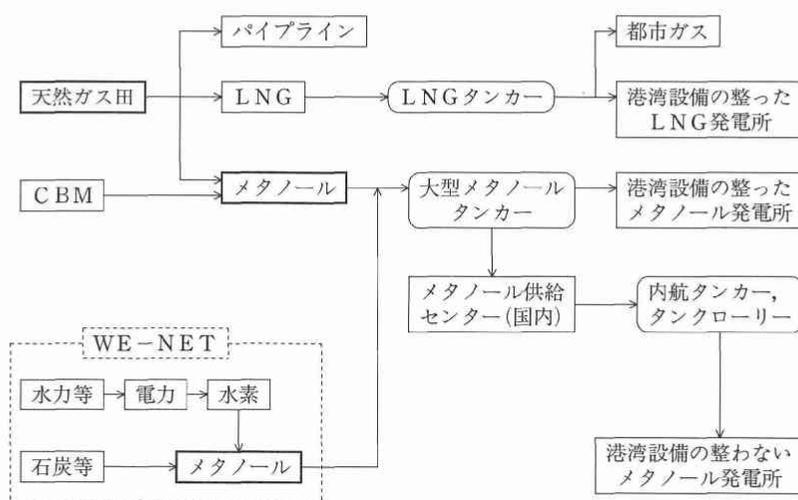


図3 長期的なメタノールサイクルの展望

にも、メタン・ハイドレート、そのほか先ほどの片岡さんのお話で挙げられたいくつかのガスも利用できます。いずれは、バイオマスを含めた新しい原料によるメタノール利用システムが、間違いなく登場するものと思います。

もう一つが、「地球再生計画」の一環として精力的に推進されているWE-NET（水素利用国際クリーン・エネルギー・システム技術）のなかでの利用です。世界各地に未利用のまま豊富に存在する水力から電力をつくり、この電力で水を分解して得られた水素を輸入してエネルギー利用する計画です。このシステムで、水素をそのまま海上輸送しますと、LNG輸送と同様に複雑な設備が必要ですが、国内発電所の排ガス等から回収した炭酸ガスを利用してこの水素とを反応させ、メタノールに変換した形で輸送しますと、これは常温で液体ですので、輸送も大変容易になります。さらに、排ガス中の炭酸ガスの一つの新しい利用形態にもなり、いずれはここに新しいメタノール製造プロセスが大きく発生する可能性があるかと思っています。

大きな期待を秘める

6番バッテリーのメタノール

賦存が豊かな石炭ですが、現在の使用法のままでは、当然ながら、炭酸ガスの大きな発生源になります。したがって、例えばガス化して、それをメタノールに変換し、高効率なシステムで発電や輸送用燃料への利用が考えられてしかるべきだと思います。

地球温暖化対策を考えますと、わが国でも、原子力発電の一層の導入が必要と言われていますが、実情はいささか行き詰まりの状況に

あります。また、石炭火力の導入が積極的に進められていますが、灰処理の問題が伴い、土地の狭隘なわが国にとってやはり深刻な問題です。

ということで、クリーンな燃料の天然ガス導入が推進されてきました。しかし、先ほどの片岡さんの講演にありましたように、アジア諸国の急成長に伴い、石炭、天然ガスとも、大巾な需要増が見込まれます。わが国は、今後、東南アジアのLNGに、従来どおり大きな期待を持つのは難しく、いずれ中東、あるいは旧ソ連邦産天然ガスの導入を積極的に図る事態が到来すると思われます。それさえも、中国が現在のような急速な経済成長を続けると、資源的には、30年、40年後には行き詰まりになるものと、当然ながら考えねばなりません。

そのとき、いちばん最初に窮迫するのは、おそらく輸送用燃料でしょう。ですから、メタノールをガソリンに代替する燃料として取り入れることが考えられるべきです。現状では、メタノールの前に天然ガス自動車はかなり積極的に使われるものと思いますが、いずれ天然ガスも量的に行き詰まり、そのとき、WE-NETで考えているメタノールという新しい燃料が、価格的に成立つ可能性を持つ時代が遠からずくるものと思います。

先ほど、谷口審議官からは、メタノールはエネルギーのラインナップで6番バッテリーとのお話がありました。しかし、清原のようなだらしのない6番バッテリーにとどめることなく、大きな期待を秘めた21世紀の燃料として、今後とも技術開発が進められることを祈念し、私の話を終わりたいと思います。

(拍手)

〔特別講演〕

エコノミストの目から見た エネルギー問題



竹内 佐和子 (株)長銀総合研究所
主席研究員

竹内でございます。お昼のあとですので、気軽に聞けるようなお話にしたいと思っています。

きょうのシンポジウムで話される先生方のなかで、私だけが技術の出ではなく、エネルギー問題との付き合いは、わずかここ2年ほどであります。

最初は、総合エネルギー調査会の原子力部会という通産省の審議会に参加し、そのあと、電気事業審議会での卸売り電力の取り扱いや、最近ではガス事業の構造改革、さらには「もんじゅ」問題など、短い期間にいくつかの委員会に関係してまいりました。

エネルギー問題は、素人が入り込むには実に難しい分野で、取り扱う情報内容も、消費者である一般人がアプローチするには非常に取り付き難く、迷路に踏み入ったような印象を受けております。

そんな次第ですので、本日は、最近の私のささやかな経験や印象をもとに、お話したいと思っています。

エネルギー問題の難しさ

〔略歴〕

早稲田大学法学部卒業、その後、パリ大学法律経済学部、フランス応用数理経済研究所に留学。昭和62年、(財)日本総合研究所副主任研究員及びパリ大学法律経済学部客員教授。現在、(株)長銀総合研究所主席研究員、さらに、フランス国立ポンセジョセ国際経営大学院客員教授、早稲田大学法学部講師、東京大学工学部大学院講師を兼任。また、政府の各種審議会委員、雑誌への寄稿、テレビ、ラジオ出演など、多方面で活躍中。

照明に見られるフランス人の省エネ感覚

そもそも私に本日のシンポジウム講師の依頼があったのは、私が10年ほどフランスに滞在していたことがきっかけかと思います。エネルギー問題から見たフランスの特徴は、電力の70%を原子力に頼っていること、しかも、かなり短期間のうちに原子力エネルギーへの傾斜を深めた点で、昔はもっと石油への依存度が高かったのです。何が原因で、いかにしてそのようなエネルギー転換がなされたのでしょうか。

元来、社会資本の構成が大きく変化するのは、そこに必ず大きな背景や問題があり、それがテコになって進展するものですが、フランスのエネルギー転換の場合、石油ショックが一つの大きな契機だったと思います。

ほかに、私が初めてパリに行ったときの印象を申しますと、フランス人の光に対する感覚に、ちょっと啞然としたというのか、日本人とはずいぶん違うなという印象でした。暗い部屋によくいるなという感じですね。部屋全体を明るくする習慣はなく、机のところだけが明るくなるような照明で、あとは間接照明にしており、夜はなるべく光度を低くするという考え方が強いように思われます。光源はなるべく人に近い位置に持ってくるというやり方です。

日本の場合、最近のオフィスや高層ビルを見ましても、なるべく天井の高いところに光源となる照明をつけており、部屋の隅々まで煌々と明るくしています。やはり日本人は明るいのが好みなのでしょう。

ですが、一人当たりの電力消費量で比較しますと日本のほうが少なく、国全体ではフランスは結構電力を使っているといえる国です。また、電力に余裕があり、余剰電力をスペインあたりに売っている状況ですので、省エネ意識がどの程度国民の心に根ざしているかは、数字で見ると簡単には国際比較しにくい問題だとも感じております。

国内外から問われるコスト問題

電力を巡る課題としては、従来から言われてきた電源構成のほかに、最近では、コスト、環境面、そして消費構造といったことがクローズアップされてきたという印象です。

電力やエネルギーの供給レベルが低い60年代、70年代には、伸びる需要に対していかにして供給を追いつかせるかが問題で、エネルギーの安定供給は本当に重要だったと思います。

しかしながら、その段階を超えますと、個人の生活水準に対する欲求が際限なく広がっていき、需要の伸びにインフラをどこまで追いつけていけばいいのかという新しい問題領域に入ってきたと思います。

つまり、エネルギーの供給設備は、公共的なインフラの側面を持っており、ミニマム・サービスとしての安定供給が役目なのですが、現在の世の中では、公共財に期待されるサービス水準が高くなり、一体、増大するコストをいかにして負担していくのか、あるいは環境にどのくらいの負荷まで許容させるのかという新しい局面に入ってきたと思います。

もう一つは、いま日本を取り巻く外圧の問題があります。これまでの電力設備や、ガス事業に対する考え方などが、国際的水準で見て果して効率的に十分かなどの議論があります。OECD（経済協力開発機構）のレポートなどを見ますと、日本の電力は規制緩和が進んでいないとの指摘も出されており、通産省が提唱しているコスト削減、あるいは高コスト構造の是正という新しいテーマが、国際協調上の一つの大きな分野としてクローズアップされてきました。これらと、日本国内の問題とをどう結びつけていくかという、非常に難しい段階に入ってきた感がいたします。

省庁分散型縦割り行政でいいのか

エネルギー政策

最近、景観問題に世間の関心が高まり、その一つとして、電線の地中化が注目されており、電力会社としても相当力を入れざるをえない新しい都市問題となっています。これら

にいかにかコミットするかという新しいテーマも出てきてしまったと思います。

このように多数の役所にまたがる問題に対して、いま政策的にどのようにアプローチされてるかといいますと、やはりはなはだ不十分な感じがしています。配電線のような電力の問題であっても、このような都市問題、国土開発の問題は、基本的に国土庁あるいは建設省などの役所が管轄しています。ほかでは、原子力に関しては資源エネルギー庁の所管ですが、「もんじゅ」は科学技術庁、それから、資源エネルギー庁の中でも審議会は原子力部会で、消費関係とは別の部会になっており、さらに環境問題は環境庁とか、一つの問題を取り扱うのにそれぞれ細かい担当領域を決めて、お隣の分野に立ち入らない体制ができてしまっています。

こういう状況では国民に「さあエネルギー問題を考えましょう」と言ったところで、どこまで理解が進むのかという疑問が湧きます。エネルギー政策は、本来、いろいろな政策の中でもいちばん主要な、真ん中に据えるべき大きな問題なので、省庁分散型を是正していただく必要があります。

原子力を巡る諸問題

石油偏重のエネルギー供給構造、 環境配慮、遠隔立地などの問題

原子力に対する考え方は、皆さんご存じのとおり、最近非常に厳しい状況になってきています。

日本のエネルギーの一次供給源を見ます

と、石油が非常に多くて56%、石炭が17%、ガスが11%、水力が3.5%、それから原子力が14%と、石油に大きく依存しています。アメリカ、英国を見てみますと、石油への依存度はともに38%前後で、そのかわりガスへの依存度が高く、アメリカが24%、英国が27%となっており、石油とガスの割合に日本ほど極端な差はありません。日本の場合には、輸入依存度が大きいなかで、石油への依存度が特に高くなっています。したがって、最近の論法としては、環境への配慮から原子力が必要という考え方が出てきております。

もう一つは、今後の日本経済の成長を考えますと、最終エネルギー消費が大幅に伸びると予想されます。この伸びを支えるエネルギーは、原子力であるという論法がよく使われていますが、この理由なり、背景が一般になかなか分かりにくいのです。

これは、火力やほかのエネルギー源に頼れないから、原子力を中心に打破していきましょうということであり、もう一つは環境への配慮が一つの大きな要素になっていると思いますが、ここの問題への取り組みはややあいまいです。

このほか原子力については、安全性の問題だけではなくて、日本の都市の地理的分布から、電源立地の遠隔化があります。つまり、発電所に必要な冷却水がたくさんあるところ、海や、大きな川のあるところに建設するとなりますと、大都市圏からどんどん遠いところに行き、それだけ送電設備が必要になってきて、送電に大きなコストもかかります。遠距離化といったところに、高コスト構造に至る隠れた原因もあると思われます。

効率的側面から見た

日本のエネルギー構造

低生産性・高付加価値の電力産業構造

経営インセンティブ不足の指摘も

アメリカのマッキンゼー社の報告を見ますと、日本の電力産業の生産性は非常に低く算定されています。

その理由として、過大な設備投資が指摘されています。つまり、売上額に対する資本設備の比率が高いため、資本生産性で見ますと、たとえ売り上げが大きくても、分母である大きい資本費で割るので、生産性が低くなるというような問題点が指摘されているのだと思います。

つまり、本来ならば資本設備を小さくすることにより付加価値を生み出すのですが、実際には日本の電力産業の場合、付加価値が高く出ているのはこの付加価値の中にレント、つまり価格引き下げの努力をしないことによる過剰な利益が発生しているのではないかとマッキンゼー社やOECDレポートは分析しています。

レポートでは、資本生産性は極めて低いにもかかわらず高い付加価値が出ている点は、借入れ資本が大きいことが関係があると指摘しているわけです。

この問題には、しっかりと答えることが必要になってきていると思います。一般消費者は、資源エネルギー庁とか通産省がエネルギー政策をつくっているとは考えていません。電力会社やガス会社が、基本的にはすべての責任を負っていると思っています。このため、



供給者がいかなる経営のあり方を示し、消費者アピールとしてどういう情報を出してくるかに大きな関心を持っていると思います。

消費者に知られぬガス事業の構造

最近、ガス問題にも若干関係いたしました。こちらは電力の世界と全く違う構造ということがわかってきました。天然ガスをもっと利用できる体制づくりが必要なこと、それから、日本は全国的なパイプラインが十分でないというような問題もやっと最近気がついた次第です。

このように電力とガスとは、庶民生活にいちばん近いものなのですが、供給面で大きな違いがあることは意外と一般には知られておりません。これから、ガス事業者がどのような情報を消費者に提供していくかによって、ガスがエネルギー政策のメインに躍り出る新しいチャンスがきているのではと思うわけです。

エネルギー選択の問題

パリに見られる

エネルギー消費へのコントロール能力

私が強調したいポイントの一つはピーク需要対策の問題であり、もう一つは都市工学といますか、都市論からのアプローチです。

エネルギー需給の問題は、常に日本全体として、どのくらい伸びるのか、どうなるのか、という日本全体の数字で出されていますが、基本的にはこの問題は都市のかかわり方に大きく結びついています。つまり、エネルギーの消費に対して都市が持つコントロール能力に、これからの日本のエネルギー供給を考えるポイントがあるかと思っています。

卑近な例を申しますと、パリの中心地で、冷房ももちろん使われていませんけれども、夕方になりますと街路でのプライベートな照明、つまり、看板、ピカピカするイルミネーションなどを禁止する条例があります。一方、パリの橋には欄干にものすごくすてきな照明がつけられております。日本ではまだ隅田川にいくつもあるだけです。

上空からパリを見ますと、エッフェル塔とか、橋の明かりがよく見えます。つまり、みんなが見る、使う公共的な照明を活かしているのです。

活かすためにはプライベートな照明はなるべく控えてくださいという考え方が徹底しており、都市が使う電力あるいはエネルギー量をうまくセーブするという、これは、都市が持っている一つのコントロール能力ではないかと思うわけです。

私がある会合で最初に言ったのですが、非現実的だと思いますけれども、夏の電力ピーク時に冷房がフルに稼働している、街の看板もすべて電力で派手に照らしている、こういうのは何とかできないでしょうか。看板も土地所有権の考え方と似て、私的な利益は制限しないという考え方でできていると思いますが、これから公の利益を優先した政策をつくり、エネルギー全体のインフラ整備を考えるのであれば、都市のエネルギー消費をどのようにしてコントロールするのか、それを都市設備の中にどの程度ビルトインできるのかが、非常に大きなテーマになってきたと思います。

私の独断と偏見で申しますと、渋滞があるから道路をつくるという考え方があります。つまり、道路をつくったけど、利用者がものすごく増えたのでまた第2の道路をつくる。それが現在の公共的なインフラ整備の考え方のようです。

しかし、考えてみますと、道路には公共性があるけれども、そこを走っている自動車すべてに公共性はなく、個人の利益で走っているのが大多数です。それゆえ、道路の公共性がどこで判断できるのかが大きな問題点だと思います。

つまり、何をもちて多くの人の利益に合致する公共性があるのか、さらに公共的政策としてどこまでやるのか、の議論が十分なされてないように思うわけです。

こう考えますと、まさに都市構造の中に、その都市をある一定のエネルギー消費量以内に抑えるシステムを入れていく考え方が非常に重要になっていると思います。

パリや京都の建物に見られる

採光性と通風性

日本では道が狭く、建物の風通しが悪くなりがちです。パリでは、建物に光が十分とれないとき、採光性とともに通気性をどう解決するか結論として、道の中に対して建物の高さを1.5倍までにするというルールをつくりました。それにより、道幅が広ければ建物が高くても光は1階までも入ってきます。また、中庭を残す様式もたくさん取り入れたと思います。

したがって、これからの建物へのエネルギー供給は、自然をうまく取り入れた方式にして、そのことをいかに利用者の目に見える形で設計するかが大きなテーマです。それを建物の居住者、エネルギーの利用者に十分に理解してもらうようにしています。

そう考えますと、やはり日本の古い建築技術のなかにもまだまだ取り入れるべきテーマがたくさんあるようで、これは都市論からの発想ですけれども、比較的いいと見直されているのが京都の長屋形式です。

長屋は、家が連なっていて、道に面する表側には格子があり、外から内はよく見えませんが、中の窓を開けると、表側からは風が入ってきます。間口は非常に狭いのですが、中に入って行きますと必ず内側になりに広い内庭があって、その庭と、表通りの間に風の通路が確保されています。

いまの日本の建物の設計を見ますと、通路側にはドアは1個しかなく、通路側と表側が両方とも通気性が十分に保たれている建物は意外と少ないのです。このような建物がどんどん造られ、居住者は通気性、あるいは湿気

の問題に大変苦勞している状況です。

このように、マクロのエネルギー問題から、個々のエネルギーの使い方の問題、ミクロの問題、それから、都市がエネルギー消費のコントロールを可能にするシステムなど、これらについてぜひ考えていただきたいと思いません。

地域に密着した

エネルギー消費の対策を

東京電力のご好意により、一度、新宿の厚生年金会館の近くにある地下変電所を見学させていただきましたことがあります。

地下の3階とか4階にある変電所に高压の電線が引き込まれており、それを家庭用電圧に変えて新宿一帯に電力を供給する施設でした。電力の供給先になる新宿という地域は、ものすごく高い電力消費構造を持っており、あの一地域を賄うのに一つの変電所が要るくらい大変なエネルギー消費地なのです。

ですが、そういう情報を、新宿の住人が本当に知っているかといいますと、何も知らないのです。地域は地域なりの消費構造があってしかるべきであり、電力の使用が多すぎるといった地域の特事情を、地域の情報としてもっと流したらどうでしょうか。やはり、これからのエネルギー問題について、どういうエネルギーを選択するのか、どういったエネルギーの使い方をするのか、どこまでエネルギーを消費してもいいのかという問題の解決には、地域の理解と協力がぜひ必要と考えます。

いま、地球温暖化対策から、CO₂排出量をいかにして1990年レベルまで減らすかが、国際間で議論され、その方策が論争になってい

ます。CO₂ 排出のもとになるエネルギー消費は、わが国では民生部門で伸び続けており、この面からも、従来のエネルギー多消費の生活から、エネルギー節約に留意した最適な使い方の生活へと、ものの考え方を変えていく必要があります。

何も生活水準を落とすことがエネルギー問題解決の術ではありません。技術先進国でありマネジメント能力も高い日本ですので、どのようなエネルギーの供給方法、あるいは消費構造をとるのかという組み立て方、議論の展開が強く望まれていると思います。

曲がり角にあるエネルギー政策 情報提供には創意と工夫を

そういう観点から、エネルギー論を、いかにして国レベルのマクロの政策から共同体的なコミュニティの議論、あるいは個人の議論につなげていくのかは、やはり単なる技術的な問題というよりは、日本人の美学、あるいは環境、自然に対する感覚をいかに呼び戻していくかのプロセスにも関係すると思います。

そして、昼夜の照明や、光の使い方にも、これから新しいルールづくりが必要だと思います。

例えば、電気が発明されたのはおよそ 150 年前ですが、人類の歴史からみますと、照明や電気を十分に使い、あるいは自動車を広く一般に使うようになったのはこの半世紀ぐらいです。したがって、エネルギー利用のノウハウは十分でないと思います。

いま、日本のエネルギー政策は非常に大きな曲がり角にあり、外面にはっきり出ていませんが、大きな転換を目指しているのは確かです。このエネルギー問題に、一般人がもっともっと関心が持てるような形で情報を流し、また新しい技術が出てきたとき、もっとも支持が得られやすいアピールのやり方に、もっと創意と工夫をお願いしたいと思います。

最後に、今後の皆さまのご活躍を祈念して、私の話を終りたいと思います。どうもありがとうございました。

(拍手)





〔講演 1〕

中小ガス田・油田の利用を拓く メタノール洋上生産システム



桑原 徹郎 (三菱商事(株) LNG第一部 部長代行)*



私がこれから申し上げますのは、午前中にありました2つの基調講演の延長上にある話として、簡単に申し上げますと、いま現在、資源価値が認められていない中小油田、ガス田から産出される天然ガスを洋上でメタノール化し、低コストで日本その他の需要国に海上輸送し、発電燃料なり都市ガス用原料としての有効利用を目指す研究開発プロジェクトであります。

〔略歴〕

昭和50年三菱商事(株)入社。昭和53年からマレーシアLNG事業などに従事。平成6年、豪州LNG部次長、西豪州LNG事業および洋上メタノール生産プロジェクトなどを担当。

面では、原油生産に伴う随伴性ガスの焼却処理により発生するCO₂が、今後、環境面で大きな問題となるのは必定です。

このような状況を合わせ考えますと、中小規模ガス田から産出されるガスをメタノール化して燃料利用するのは、大きな意義があると位置づけております。

天然ガスの確認埋蔵量は、表1にありますように、旧ソ連諸国および中東諸国にかなり集中しています。ガス需要の増大が今後ますます

天然ガスのメタノール化の意義

逼迫が予想される

天然ガスの需給見通し

天然ガスの需要は、現在、世界的な環境問題の高まりや原子力発電の低迷などから高い伸びを見せており、中長期的にもこの傾向が続くものと思われます。

一方、大規模ガス田の開発は、陸上のものは既存インフラから遠隔化し、海上のものは水深の深まりにより、コストは増大する傾向にあります。新たに開発される資源の規模も小型化しつつあるのが現状です。また、環境

表1 天然ガス確認埋蔵量(1996年末)
(単位:兆m³)

| 地 域 | 確認埋蔵量 |
|--------|-------|
| アジア太平洋 | 9.1 |
| 欧 州 | 5.4 |
| 旧ソ連諸国 | 57.3 |
| 中 東 | 45.8 |
| アフリカ | 9.3 |
| 北 米 | 8.5 |
| 中 南 米 | 5.9 |

出典:BP統計

* 8月11日付でシンポジウム時の豪州LNG部次長より上記の現職へ異動

ます見込まれるアジア、特に日本近辺でのガス資源量は世界的に見て少ないうえ、LNG化に適した大規模ガス田がことのほか少数です。また、全世界の確認埋蔵量も、技術開発により長期的にはさらに増加する可能性もありますが、1990年代に入り、頭打ちの傾向が続いています。

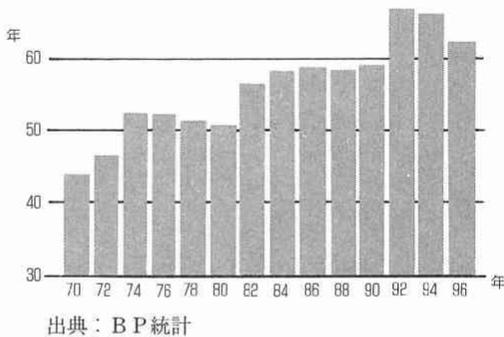


図1 天然ガスの可採年数 (世界合計)

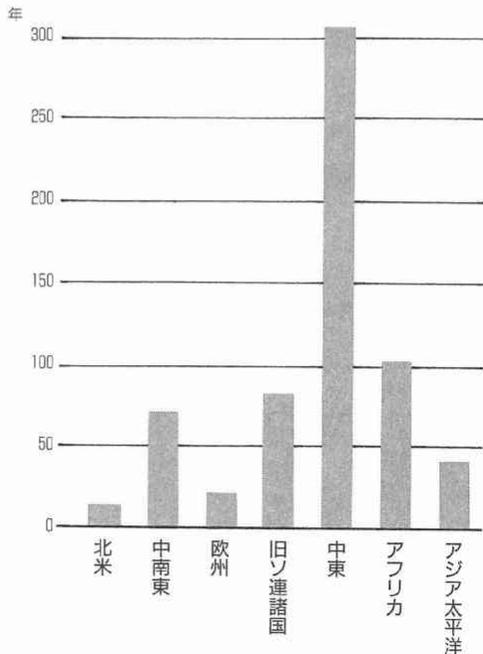


図2 天然ガス可採年数 (地域別)

また、可採年数 (R/P Ratio) も、技術開発により伸びる可能性はありますが、図1のとおり、92年以降は減退傾向を示しています。地域別に見ますと、図2のように、中東は突出していますが、アジア太平洋諸国は小さく、また北アメリカ、ヨーロッパはより少なくなっています。

LNG化に制約ある

アジア太平洋地域のガス田

ここで、アジア太平洋地域にあるガス田の規模に注目したいと思います。

ガス田を埋蔵量別に大、中、小と大まかに3つの規模に分類し、7 TCF (10¹²立方フィート) 以上を大規模とします。昨今のLNG生産は、規模が7 TCF以上のガス田もしくはガス田群でないと採算的に成立しないといわれております。7 TCFのガス量は、年間約700万トンのLNGを20年間供給できる量です。アジア太平洋地域の大規模ガス田は、表2にありますよう、総量で140 TCF、規模別の比率で40%程度になっています。

それに対して、中規模ガス田を1~7 TCFのものとしたとき、資源数は30~40カ所ぐらい、総量、比率は、表2のとおりです。1 TCF以下の小規模ガス田は、資源数、総量、また比率的にもかなり大きな数字になっています。私どもが注目しているのは、主としてこの小規模ガス田でして、ときに中規模のものも含めています。

なぜ、大規模のものに着目せず中小規模ガス田なのか、これからお話します。

それは、アジア太平洋地域にある7 TCF以上の大規模ガス田が、実は表3のように、LNG化が困難な問題点をそれぞれ抱えている

るからです。

また、中小規模ガス田は、そもそもLNG化には規模的に非常に難しい面を有しており、それに加えて、それぞれが表4のような問題があるのです。

表2 アジア太平洋地域のガス田規模

| 規模 | TCF数 | 資源数 | 総量(TCF) | 比率(%) |
|----|------|-------|---------|-------|
| 大 | 7~ | 7 | 140 | 40 |
| 中 | 1~7 | 30~40 | 90 | 25 |
| 小 | ~1 | 無数 | 120 | 35 |

表3 未開発の大規模ガス田

| ガス田 | 主な問題点など |
|----------------------|--|
| ナツナ (インドネシア) | ガス量 46TCF CO ₂ 70% 環境問題、技術問題あり |
| ブルドーベイ (アラスカ) | 環境問題、技術問題あり |
| トレンガヌ (マレーシア) | 国策として国内向優先 |
| ゴーゴン (オーストラリア) | 水深 1,000m, CO ₂ 20% ガス性状はドライ 開発利益が確保難 |
| ルーニ (ロシア) | 政治的問題あり |
| スコットリーフ (オーストラリア) | 環境問題あり |

表4 未開発の中規模ガス田

| ガス田 | 主な問題点など |
|-----------------------|-------------------------------------|
| スカーボロ (オーストラリア) | 陸地より遠隔地の海上, 水深が大。液体留分が少 いガス田。 |
| オドブツ (ロシア) | 環境問題あり 政治的にやや不安定 |
| バンドラ (バブアニューギニア) | 政治的にやや不安定 |
| バイユ・ウンダン (オーストラリア) | 洋上LNG化には技術的 課題あり |
| ターン・ペトレル (オーストラリア) | 規模小さく、開発コスト 大 |

国際争奪戦もありうる

アジアの天然ガス

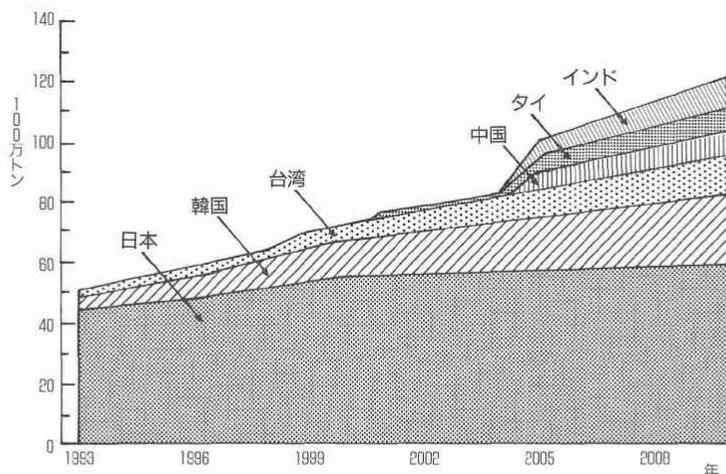
アジア太平洋地域のガス田は、資源面からもLNG化に制約は多いのですが、それに加えて、域内各国間に獲得競争が発生してまいります。

図3は、アジア諸国の天然ガス需要の予想です。国別に申しますと、すでにLNG輸入国になっている韓国、台湾に加えて、タイは一時期輸出国になるとの話もありましたが、昨今では、ミャンマーのヤダナ・ガス田からの天然ガス、もしくはLNGの形による輸入国になると見られています。中国、特に中国の南部地域やインドなどが、将来、エネルギーの大量消費地になりますと、日本ひとりがLNGを調達しうる情勢ではなくなります。

さらに世界に目を転じますと、アメリカはカナダを含めた米州内で消費するようになり、ヨーロッパは、LNGが一部アルジェリアから来るにせよ、ロシアからの天然ガス輸入に大量依存することになります。

それに対し、東南アジアや日本は現在もLNGに頼っており、長期的には、確かにシベリアから日本へのパイプラインによる天然ガス輸送とか、サハリンからのパイプラインもしくはLNGによる輸送も考えられます。

しかし、ロシアの天然ガスは、遠い将来を見通しますと、ヨーロッパ諸国との間に争奪戦が発生せぬとも限らず、豊かな中東の天然ガスととも、距離的にはむしろヨーロッパに近いのを忘れてはなりません。急増するアジアの需要に、中東やロシアの天然ガスだけで十分賄えるでしょうか。大丈夫と考えて、おおかた間違いのないでしょうが、それだけに依



出典：IEA 資料 Asia Gas Study (1996)

図 3 アジアにおける天然ガス需要の見通し

存していいののかという問題は残ります。

メタノール洋上生産システムの概要

新技術の確認を進める実証プラント

メタノールを発電燃料あるいは都市ガス用原料として利用する構想は、過去にも幾度となく取り上げられ、試験使用も行われましたが、その経済性が大きな壁でありました。しかし、未開発の中小ガス田に新しい技術を用いてメタノールを洋上生産するという発想により、その壁が乗り越えられる可能性が出ております。

メタノールは、常温で液体であり、石油とほぼ同様な輸送・貯蔵方法が可能です。また毒性など取り扱いが危険だという説は過去のものとなりつつあります。硫黄酸化物は発生せず、窒素酸化物、温暖化ガスの排出が少なく、環境面でも優れた燃料といえましょう。発電方式には色々ありますが、コンバイン

ト・サイクル方式が効率面で最も理想的といえ、過去の試験使用の結果では、最高度の熱効率達成の問題はあるにせよ、メタノールがクリーンで扱いやすい燃料であることが実証されております。

燃料用メタノールの実現のため、三菱商事と豪州BHP社は約50億円を投資し、豪州メルボルン郊外に、英国のICI社が考案した新メタノール製造プロセスを実証するパイロットプラントを建設しました。図4がその全景で、規模は日量164トン、1994年10月に稼動を開始し、機器・触媒の耐久性を含めた技術的な課題を時間をかけて検証しながら、生産するメタノールを豪州の化学品メーカーである地元需要家を中心に、商業ベースの供給、販売をしています。

パイロット・プラントにより技術の有効性が確認されれば、この新製造プロセスは、日産2,500トン程度のメタノールの商業規模プラントを船上に搭載し、洋上でメタノールを生産するシステムへの発展につながります。実証プラントでの研究目標は、プラント・ス



図 4 メタノール製造プロセス実証プラント

ペースの圧縮、プロセス廃液のリサイクル、船体動揺による影響の最少化など、洋上化に直結する課題であります。現在、2000年までに全ての試験を完了すべく、研究が続けられております。

メタノール洋上生産システムの構想

BHP社は、原油の洋上生産貯蔵出荷船(FPSO, Floating Production, Storage and Offloading)の開発・生産に豊富な経験を持っておりますが、この技術と実証中のメタノール新製造技術と合わせ、世界初の「メタノール洋上生産システム(メタノールFPSO)」の実証を三菱商事と共同して進めております。メタノール洋上生産システムによる小規模ガス田の開発が現実するのは、陸上での実証試験完了後の来世紀初頭と考えております。

原油FPSO船は、図5のように、ライザーと呼ばれる油や天然ガスの流路となるパイプで係留され、海底の坑井とライザーとの間を柔軟性のあるホースによって結び、油や天然ガスを吸い上げる構造になっています。現在、

世界中に40船以上の原油FPSO船が操業中ですが、その大多数が随伴して生産されるガス分を分離処理した後、船上で燃やし廃棄しております。

メタノールFPSO船では、通常廃棄されるこのガスを原料として利用することにより、メタノール製造コストのうち最大比率を占める原料ガスのコスト削減を目指しております。ガス田や油田により開発方法は異なりますが、将来のメタノールFPSO船では、油とガスを船上にて分離処理し、脱硫処理をした後、図6の空きスペースに設置されるメタノール製造装置へガス分を送り込みます。

船上のメタノール製造装置で合成されたメタノールは、船体内に常温で貯蔵され、輸送用のタンカーへの荷役を経て、需要地に向け出荷されることとなります。

FPSOの開発手法は、従来の海上石油生産方式に比べ設備が簡易で、投資コストを抑えられることが特徴であり、結果としてFPSO技術の確立以前には商業的に成立しなかった中小規模の海底油田開発が進みました。メタ

ノール洋上生産システムは、安価な原料ガスに加え、タンクや出荷設備等の諸設備が低コストであり、かつ併産される油の取入により油との共通設備が償却できれば、さらにメタノールの価格競争力が増すことになります。

また、メタノール洋上生産システムのもう一つの特徴は、一つの油やガス田の開発が終わった後にライザーから先のホースを切り離して、メタノール FPSO 船ごと次の資源へ移

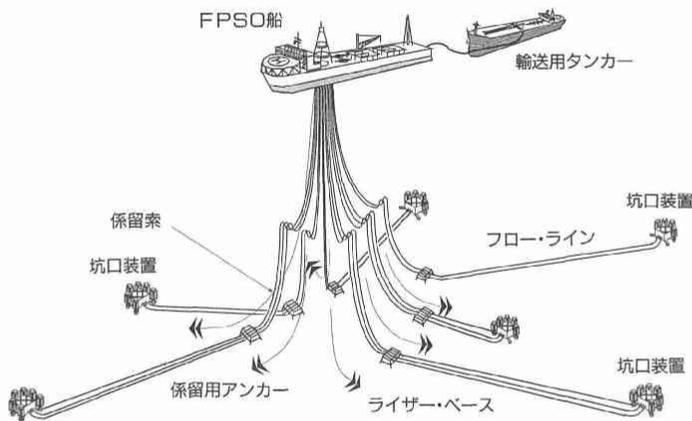
動し、船体の寿命が続く限りメタノールや油を生産できることです。

LNGとの競争が見込める

洋上生産システムの燃料メタノール

洋上生産システムにより製造される燃料メタノールは、他の発電燃料と炉前価格で競争できる可能性があります。

LNGは、規模の経済を追求しますので、



出典：石油公団資料より作成

図 5 原油 FPSO 船のイメージ図



注：左側の船が現存の油 FPSO 船、甲板上右舷側が油生産装置、左舷側がメタノール製造装置が設置できる空きスペース。右側の船が輸送用タンカー

図 6 将来のメタノール FPSO 船のイメージ

初期投資が巨額になります。年間 700 万トンのプラントの場合、アップ・ストリームの開発が20億ドル、液化プラント建設に30億ドル、LNG船建造に14億から15億ドルで、合計65億から70億ドルが必要です。さらに、国内での受け入れ専用タンクの建設費が1基100億円かかります。

それに対して、燃料メタノールは、初期投資が少なく、原油 FPSO 船が洋上開発費も含めて約6億ドル、通常のメタノール製造プラントが約3億ドル、合計9億ドルで建設可能ですが、私どもの感触ですと、およそ7、8億ドルには縮減できるかと思込んでいます。

また、輸送は平易であり、受け入れ基地でも石油タンクの転用が可能です。タンク容量は、熱量当たり LNG と同じというメリットもあり、発電では両方ともガスタービンのコンバインド・サイクルに使用できます。

現時点での日本着の価格を比較しますと、単純に BTU (英国熱量単位) 当りの換算で、メタノールは約7ドル、LNGは3.5ドルで2倍になります。

炉前価格になりますと、現在の化学用メタノールコストを基に算出しても、高コストの保冷を要しないメタノールの貯蔵コストが LNG に比べて有利なことより、熱量当りで LNG の約2割増しというところです。

この差は、洋上生産システムの燃料用メタノールが、化学用メタノールの製造と異なり、原料ガスがただ同然であり、さらに輸送・貯蔵コストを大型船の使用により低減できることから十分カバーできると見えています。

LNGの開発は、まとまった資源量の存在

とともに、資金・時間・需要が揃わなければ着手に移行できませんが、メタノール洋上生産システムによる開発は0.5 TCF以下の小規模でかつ油分が多いガス田も対象に含まれ、この規模でも大規模ガス田の LNG と価格競争できる生産が可能と見えています。

ま と め

化学用メタノールの価格は、現在の市場規模が小さく、生産プラントの定期修理やトラブルにより市場価格が乱高下するので、発電用燃料には不適との議論があります。メタノール FPSO 船を実現させ、燃料メタノールに適した洋上生産システムを作り上げますと、化学品市場とは別の、燃料用メタノールがメタノール価格を支配する市場が形成できて、この問題は解決されると考えております。

メタノール燃料を総じて申しますと、これが将来のエネルギー対策に唯一絶対であるなどとは毛頭考えてはおりません。エネルギー源の一つの選択肢として、中東依存からの脱却を進め、LNGと同程度の経済性、環境特性、安定供給性を持ち、小規模展開が利く新燃料として、高い将来性が期待されるものと見えています。

現状は、今後1、2年のR&D活動を積みまますと、需要家の方々に具体論として提示できる段階に来ていると自負しております。

どうもご静聴ありがとうございました。

(拍手)

〔講演 2〕

「メタノールの製造と研究開発の現状」

上 松 正 次 (三菱ガス化学(株) 研究技術本部
技術部長)



私に与えられました演題は「メタノールの製造と研究開発の現状」ですので、本日は「メタノールの製造法」、「メタノールの需給」および「燃料としてのメタノール」について概要をお話したいと思います。

〔略歴〕

昭和43年三菱ガス化学(株) (当時の日本ガス化学(株)) 入社。

昭和55年より化学品第一本部開発部において、メタノール及びメタノール誘導品の技術開発を担当。平成8年、化成品事業部企画開発グループ統括部長。本年6月、研究技術本部技術部長。

メタノールの製造方法

プラント新設に要する施設の範囲

コストを左右する周辺インフラ

最初に、メタノールの製造プロセスの構成からお話いたします。

天然ガスを原料とする図1のメタノールの製造プロセスは、天然ガスの脱硫、改質を行う改質工程、生成した合成ガス(CO, CO₂, H₂の混合ガス)を圧縮する圧縮工程、メタノールを合成するメタノール合成工程、最後に粗メタノールを精製する蒸留工程から構成されます。

改質工程は、通常、天然ガスの水蒸気改質法によっており、世界のプラントの90%以上がこの方法です。

プロセス流体の冷却は、水冷によるのが一般的ですが、プラントの所在地が中東や熱帯

地方に近く、水の入手が困難なところでは、エア・ファン・クーラーによる空冷を行います。ただ、空冷のみで不足するところは、一部、冷水塔を持っています。

メタノール工場の全体構成は、図2のとおりです。図の中央の部分が、プロセス・プラント、その下にある原料ガスの受け入れ部には計量設備が、また製品搬出部には貯蔵タンクと積出し用荷役設備が必要になります。

ユーティリティ関係には、図の右側にある取水設備、純水製造装置、液体窒素貯蔵設備、廃水処理設備などの設備があります。そのほかには、事務部門の建物、倉庫、分析室、受電設備などとなります。

メタノールプラントの建設地は、一般に、かなり辺鄙な場所になります。したがって、新たなプラントの建設には、初めから工場全部を造るのが通例になっております。

工場内設備に加えて、周辺のインフラが関

係し、例えば天然ガスの受入れ配管が近くに
きているか、製品積出しの港湾設備はあるの
か、プラント建設用機材の搬入路が十分整備

されているか、などがプラントの建設コスト
を大きく左右する因子であるのは、申すま
でもありません。

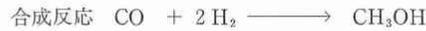
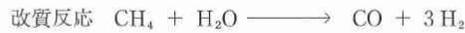
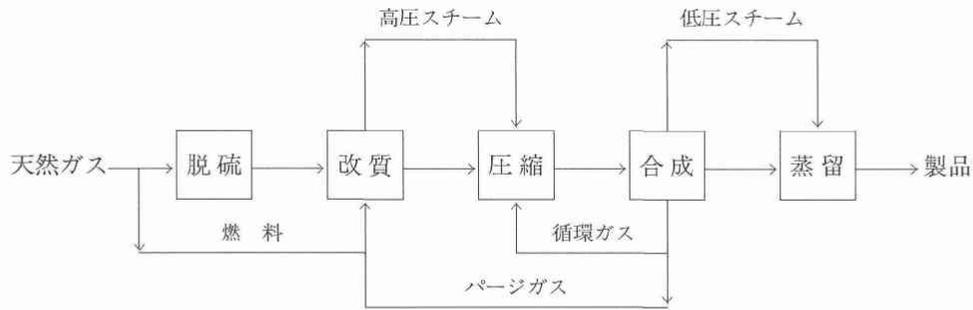


図 1 メタノール製造工程の概要

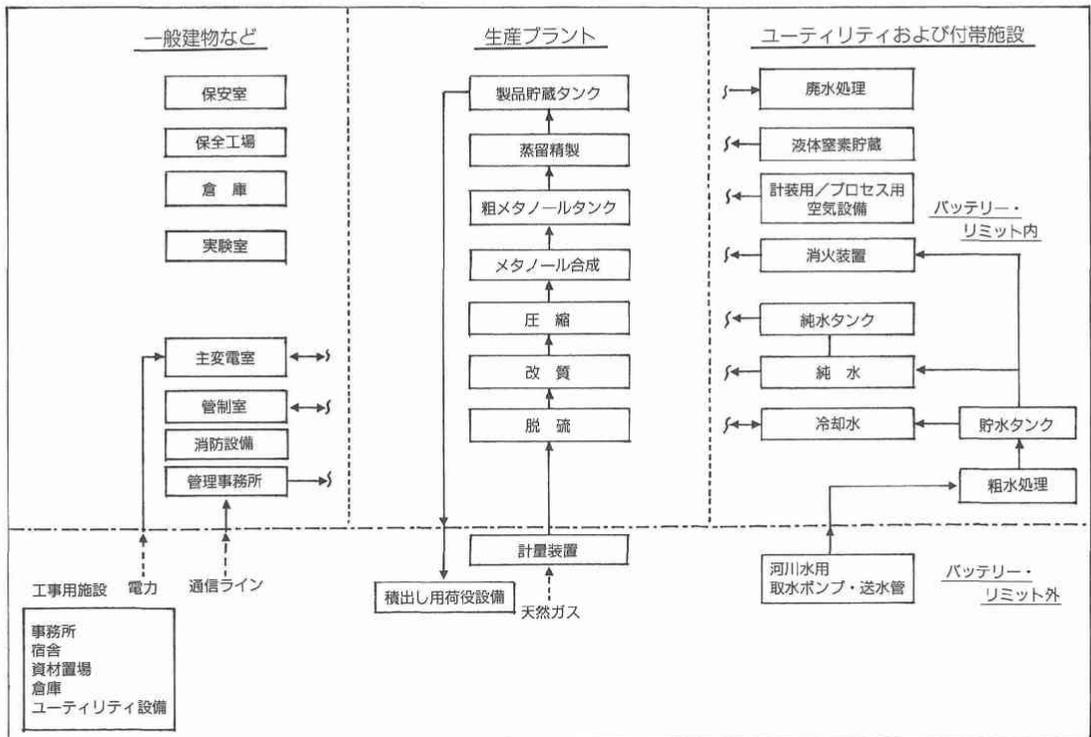


図 2 メタノール・プラント全体構成図

経済性向上は大型化と

エネルギー効率の改善から

メタノール製造プロセスの経済性向上は、これまで、図3にありますように、一つはエネルギー効率の向上、もう一つが建設費の低減によりなされてきました。

そのうち、建設費の低減は、専ら大型化により進められてきたのが現状です。1970年代初期には1,000トン/日が一般的でしたが、80年代半ばには2,000トン/日、現在では2,500トン/日、年産にして85万トンの規模が通例になっています。

また、エネルギー効率の向上は、これまでプロセス内の反応熱や廃熱の回収と有効利用によって進められてきました。一方、改質工程とメタノール合成工程の各々の反応平衡上の制約条件に介在する矛盾に目を向け、エネ

ルギー効率の向上を図ろうとしています。

各工程の現状技術と新技術

操業圧力が相反する改質・合成の2工程、 合成工程に待たれる触媒開発

メタノール合成には、COとその2倍の水素があればいいのですが、天然ガスを改質しますと、図1の化学式にありますように、水素1モルが余分に出てきます。そのため、次の圧縮工程では、余分な動力をかけてこの水素の圧縮作業を行うことになります。

また、図4のような現在の水蒸気改質ですと、反応管に触媒を充填し外側から加熱する方法ですので、高温高压にするほど、これに耐える反応管の材質がなかなか難しく、メタ

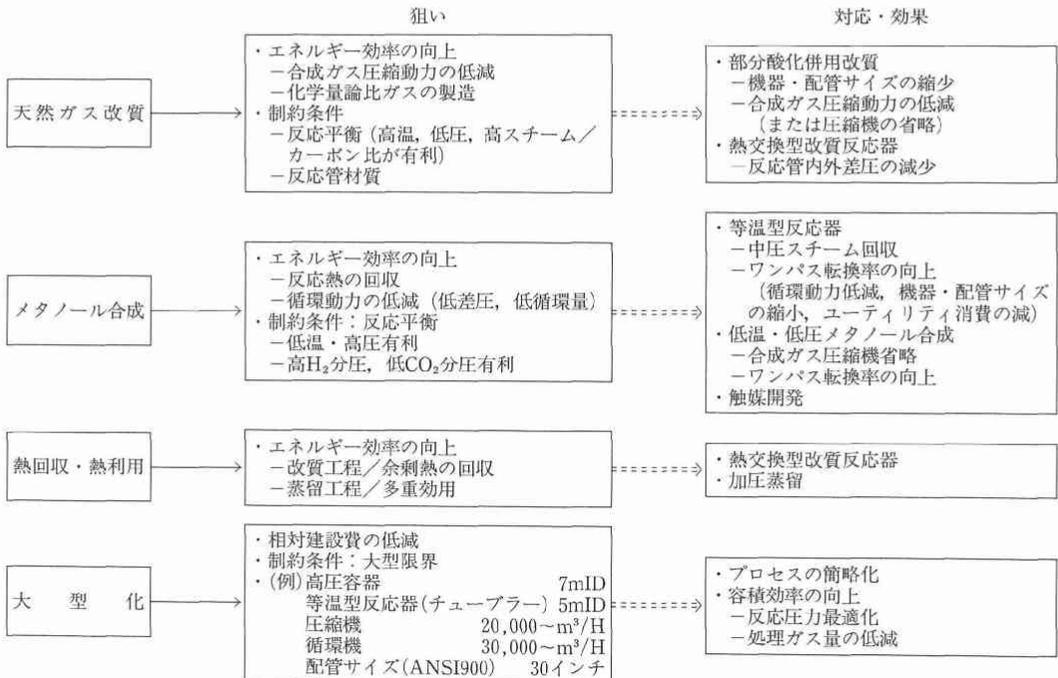


図3 メタノール効率の向上と建設費の低減

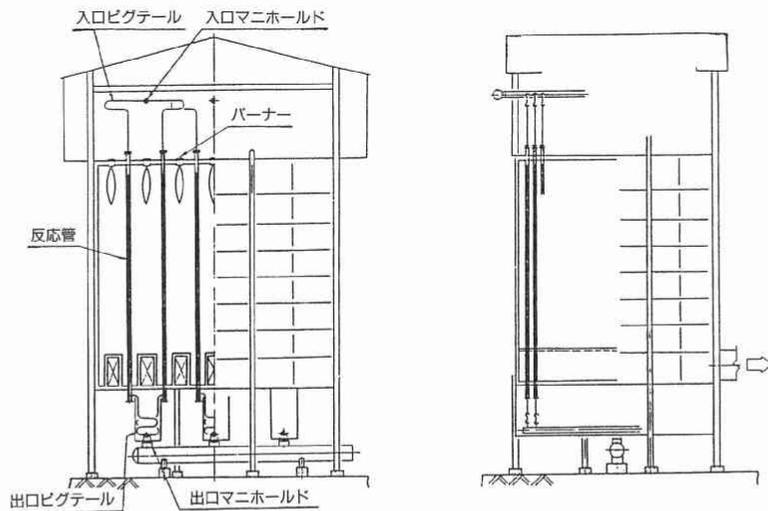


図 4 水蒸気改質器概観図

ノールプラントで間々起こるトラブルは、この改質工程がほとんどとなっております。

改質工程を化学平衡的に見たのが、図 5 です。縦軸は、改質工程から出てくる合成ガス中の未反応メタンの濃度です。これを通常 2～3%程度に抑えるわけですが、この反応は、低圧ほど高い温度をかけなくても反応が進みます。

一方、次の合成工程の反応は、図 6 のとおり、低温、高圧ほど平衡的には有利です。したがって、改質工程は低圧が有利、合成工程は高圧が有利ということで、相反するわけです。ですから、両工程の反応条件の歩み寄りを図り、併せて、化学量論的なガス組成にもっていくことで、取扱いガス量を減らし、機器のサイズや回転機の大型化に伴う機器製作上の制約のクリアを図るのが一つの考え方があります。

合成工程では、現在、 $80\text{kg}/\text{cm}^2$ から $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の操作が通常となっております。銅系の触媒が使われています。

ただし、合成反応自体は、平衡上、低圧運転になればなるほど低温が著しく有利になります。しかし、反応速度も大きく低下することから、ここに一つの研究開発要素があり、新しい触媒の開発が行われているところです。

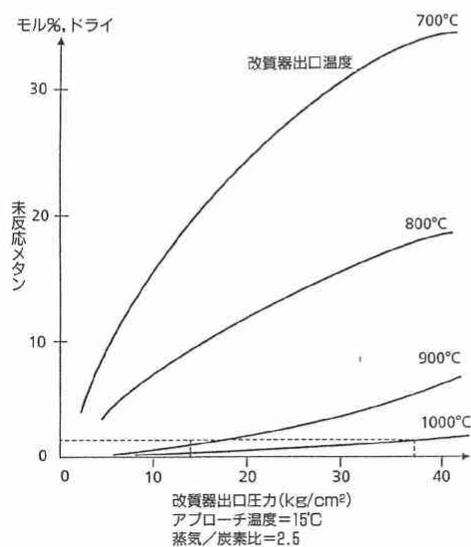


図 5 水蒸気改質平衡図

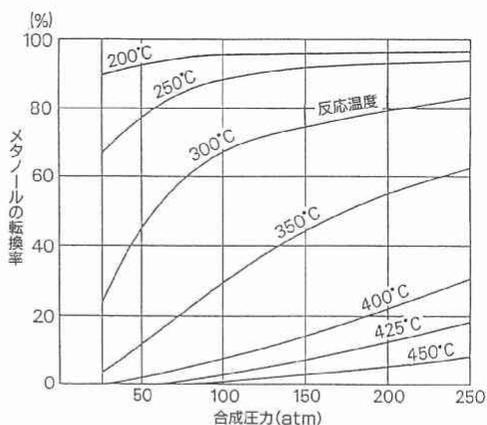


図 6 CO, H₂ からメタノールへの平衡転換率

高圧操業への打開策

実用域にきている二段改質法

メタノールの生産量は、水蒸気改質の場合、反応管 1 本当たりおよそ 3 トン/日として、2,500 トン/日の生産には、反応管は約 800 本必要になります。この方式では、これ以上の規模ですと、スケール・メリットは出てきません。また、操作圧力は 15~20 kg/cm² のため、もっと高圧化を進め、合成工程との反応条件の歩み寄りを図りたいのですが、水蒸気改質だけでは材質上の制約からなかなか難しく、そこで、酸素を使用した改質法の登場となりました。

これには、いろいろなプロセスが研究されていますが、現時点で実用化されているのは、図 7 にある二段改質法です。

このプロセスの 1 段目の改質は、天然ガスの水蒸気改質そのものです。2 段目は、アンモニアプラントでよく見られる部分酸化反応器として、それぞれの改質炉で、供給される天然ガスの半分ずつが改質されます。

水蒸気改質炉の最大規模は、現在およそ

2,500 トン/日ですが、後段の部分酸化反応器で同じく 2,500 トン/日分の天然ガスを改質するものとしますと、合計 5,000 トン/日の規模が可能となります。ただ、従来と同じ外熱式反応管を使用していますので、操作圧力は、およそ 40 kg/cm² 以下に制約されています。

これに対して、図 8~図 10 に示す部分酸化反応器では、燃焼ゾーンでおよそ 1,600°C、フレイムのところで 3,000°C ぐらいになりますが、反応器から出てきた約 1,000°C の反応ガスを、一段目の改質部に相当する熱交換型改質器の熱源とするもので、いろいろな方法が検討されています。図 8 では、天然ガスを 2 つに分けて流すやり方です。

図 9 のシステムは、前講演者から紹介されたオーストラリア BHP 社の方式です。

実績ありに持ち込みたい

熱交換型断熱改質の技術

これを一体型にしたのが図 10 に示す熱交換型改質炉として、このように燃焼室と一次、二次の改質部を積み重ねた形です。私どもは、現在、このタイプの改質炉の開発を進めているところです。

このような熱交換型改質炉は、反応管の内側、外側ともプロセス・ガスがそのまま流れます。同じプロセス・ガスを使うことにより、反応管内外の圧力差は数 kg/cm² 程度となり、材質の強度面で非常に楽になるわけです。

さらに、操作圧力を 80 kg/cm² にまで高めることができるため、大型化やコンパクト化を進めやすく、また化学量論的なガス組成が得られることでいろいろメリットが大きいのですが、反面、一次改質部反応管のシェル側はかなり厳しい腐食雰囲気に入り、適合する

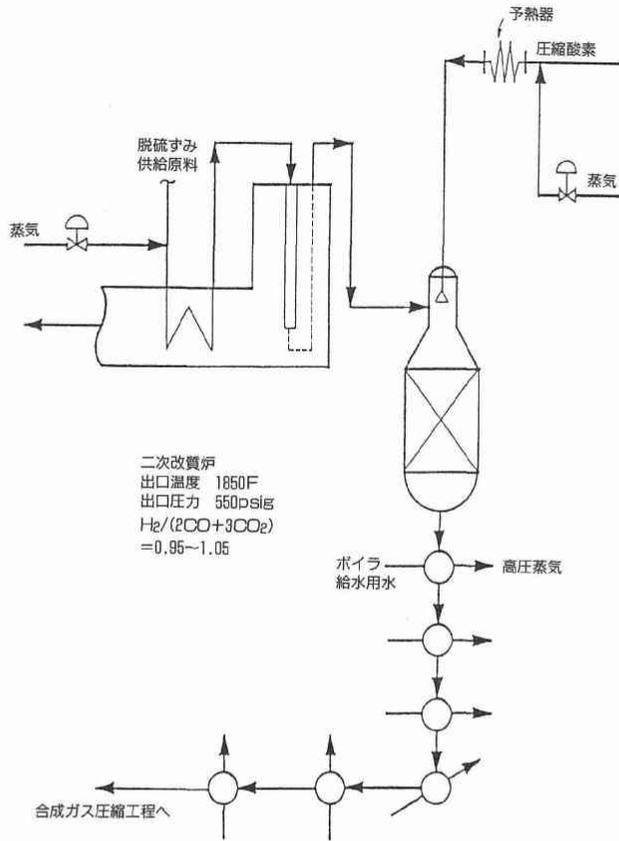


図 7 二段改質法システム概要図

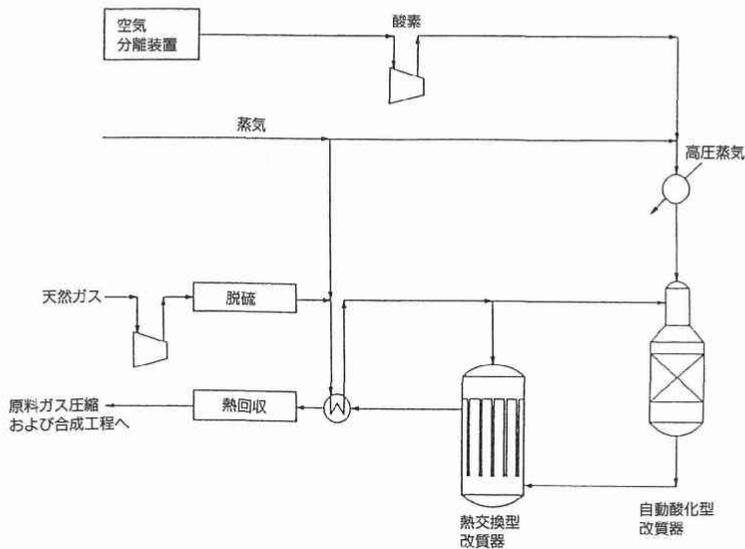


図 8 熱交換型改質器システム概要図

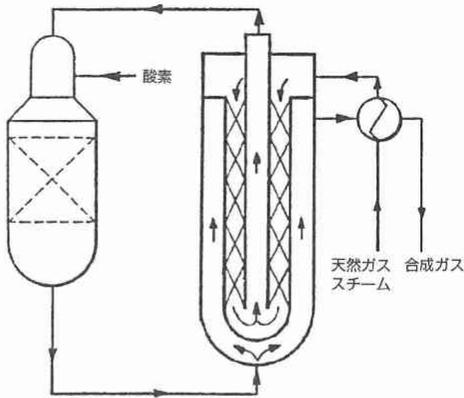


図 9 熱交換型断熱リフォーマー（分離方式）

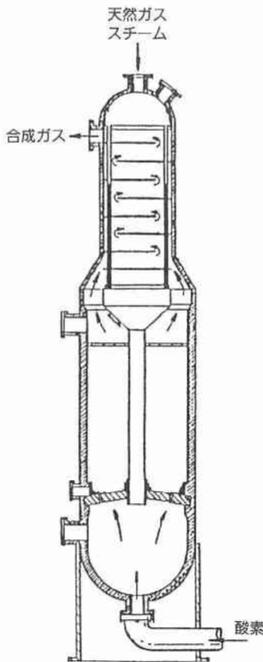


図 10 熱交換型断熱リフォーマー（一体方式）

材質を見出すことが、解決すべき一つの重要テーマになっています。

私どもは、この新しい技術の研究を20トン／日の規模でやっていますが、これを、2,000トン／日あるいは5,000トン／日の大型

装置に拡大した実プラントに進むときには、特に海外への適用では、技術的に“ブルーベン”であること、即ち相当規模での実証がなされ、また完成された技術を強く要求されますが、そこが一番の悩みどころになっています。

超大型プラントの場合、装置の停止は大問題になります。装置は絶対に止まってはならないのが宿命で、“ブルーベン・テクノロジー”をいかにつくりだすかが大きな課題になっています。

メタノール合成のキー・ポイント—

ワンパス転換率の向上と

CO高組成の原料ガス

メタノールの合成ループの代表例が、図11です。通常メイクアップ・ガスと呼ばれる原料合成ガスと、循環する未反応のガスと一緒に反応器に流して反応させます。生成したメタノールは分離器で分離し、未反応のガスはまた循環させます。ループ内の不活性ガスの蓄積を防止するため、一部のガスはパージします。

規模が5,000トン／日のプラントになりますと、メイクアップ・ガスの量だけで50万から60万 Nm³/h、反応器に入るガス量が200万から250万 Nm³/hとなり、膨大なガスが循環しますので、配管サイズや循環機の容量をできるだけ小さくするためには、反応器のワンパス当たりのメタノールへの転換率（ワンパス・コンバージョン）を上げることが要求されます。転換率を上げますと、循環する未反応ガス量を減量できますし、循環機の必要動力や、装置のサイズを小さくすることができ、また何よりも、反応器の反応熱回収量を多くとることができます。メタノール合成に

おけるキー・ポイントの一つは、このワンパス・コンバージョンのアップにあります。

図12は、メークアップ・ガスの組成がCO 14.5%、CO₂ 7.5%のときの平衡ワンパス・コンバージョンを示したものです。

例えば、200℃でCO、CO₂のメタノールへの転換率を100kg/cm²で見ますと、COは97~98%ぐらい、CO₂は85%ぐらいでして、両

方合わせると、およそ94%というところです。

この数字は、ガスの組成、循環ガスの割合によって変わり、一概には言えませんが、実際の反応ではこれに対して、最大80%ぐらいで進行しているのが現状です。

ワンパス・コンバージョンは、図に見られますように、COの場合は比較的高いのですが、CO₂の場合は、平衡上から、なかなか上

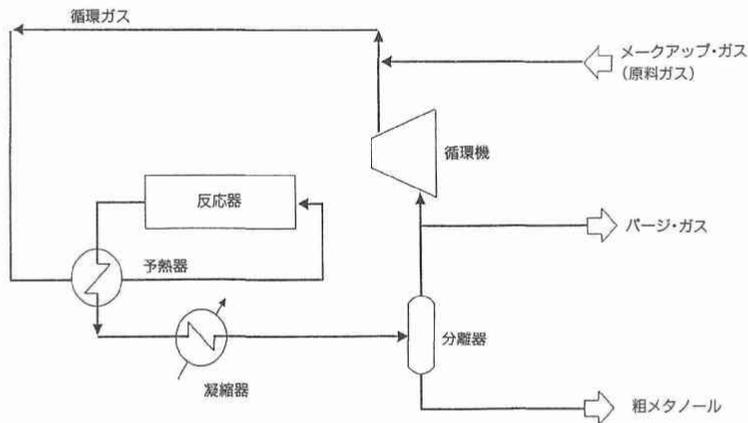


図 11 メタノール合成ループ (代表例)

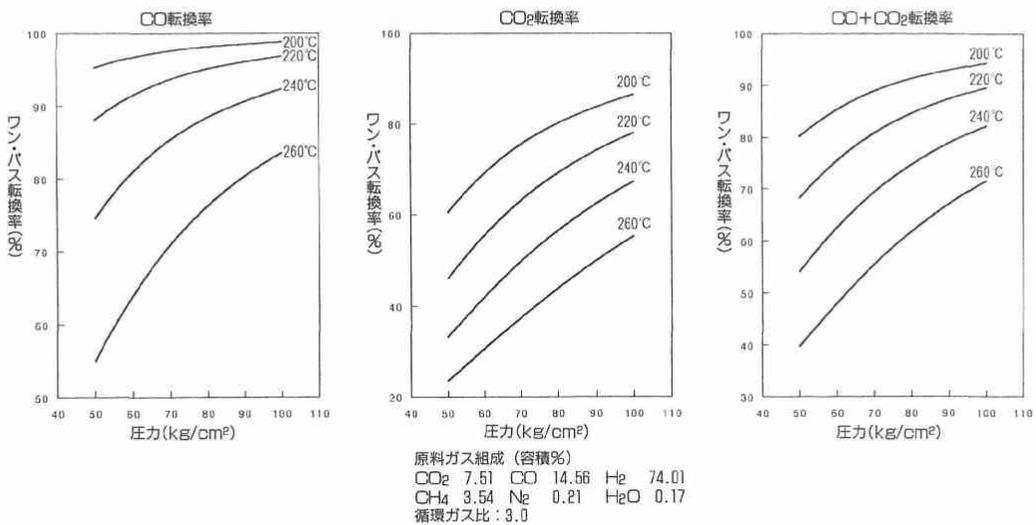


図 12 等温型反応器の平衡転換率

げられません。

この点から、CO₂とCOの組成比(CO₂/CO比)は、低いほうが転換率を上げる点では有利になります。

反応温度は、この図からも、低いほど平衡転換率が高くなることはわかりますが、反面、反応速度の低下があり、このため活性の高い触媒の開発が一つのポイントになっております。

開発、改良が進む各種合成塔

代表的な合成塔を表1に示します。

ワンパス・コンバージョンを上げるには、等温型反応器が有利です。しかし、一般的には低コストということもあり、現在の世界の7割近い反応器は断熱型です。これは、構造が簡単であり、円筒型の反応器へ触媒を単に充填するだけです。反応が進みますと断熱型ですから温度が上がります。冷ガスの注入に

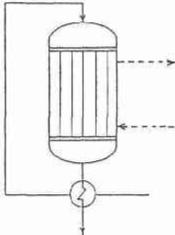
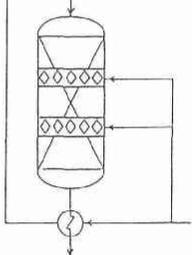
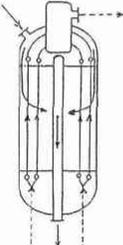
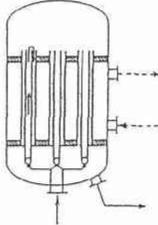
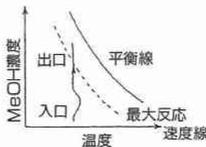
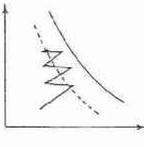
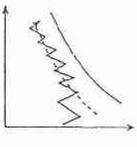
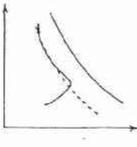
より温度を下げてやり、合成されたメタノールの濃度を、表中の挙動の欄にありますように、平衡線に対してギザギザ状に進行させて上げていくやり方です。

それに対して、現在動いている等温型反応器はチューブラー型で、一定の温度で合成メタノールの濃度を一挙に上げるやり方です。一方、このチューブラー型では、中圧スチームの回収が可能です。

それに対して、東洋エンジニアリング社の方式、あるいは私どもが三菱重工と共同開発した二重管型ですと、反応を平衡線にできるだけ沿うように最適条件で進めることにより、ワンパス・コンバージョンを図のように大巾に高めることができます。

ワンパス・コンバージョンは、断熱型の場合、反応圧力が100kg/cm²のとき50%から60%、チューブラー型で60%から70%、二重

表1 代表的合成塔

| | 等温反応型(アルゲ型) | 断熱クエンチ型 | ラジアルフロー型 | 二重管型 |
|----------|---|---|---|--|
| 合成塔(反応器) |  |  |  |  |
| 特徴 | <ul style="list-style-type: none"> ○等温型反応器 ○高圧スチームの回収可能 | <ul style="list-style-type: none"> ○断熱型反応器 ○構造が単純 ○触媒の取扱いが容易 | <ul style="list-style-type: none"> ○等温型反応器 ○低圧力損失 | <ul style="list-style-type: none"> ○等温型反応器 ○最適条件で反応が進行 ○高圧スチームの回収可能 |
| 挙動 |  |  |  |  |

管型は70%から80%で進められています。

ただ、等温型反応器の弱点は、反応管を支持する管板の製作限界が大型化への制約条件となっており、通常、最大径は5 m程度しかとれず、2,000トン/日以上規模へ大型化するの、なかなか難しい状況です。

それに対して、図13にあります流動層反応

器は、等温型反応器の一つですが、管板がなく、かつ流動層ということから、反応塔の大型化が図りやすく、触媒層の圧損は低く、また、運転中に触媒が不良になったとき、入替え可能というメリットがあります。しかし、現段階では、触媒そのものの改良がなお必要という課題があります。

エネルギー効率向上を目指す

新製造法の技術開発

熱交換型改質炉と流動層反応器を組み合わせたプロセスの概要を示すのが、図14です。

熱交換型改質炉は、図10にありますように酸素を使用します。この酸素をつくる空気圧縮機はかなりの動力を必要としますが、この動力を賄うには、メタノール合成反応熱を中圧スチームとして回収できる等温型反応器との組合せでないとうまくないのです。

世界の70%が使用している断熱型反応器では、少量の低圧スチームしか回収できず、酸素を使用する改質方法との組み合わせは非効率的です。部分酸化改質方法をとるとき、いかなる場合も、反応器はスチーム回収型にせ

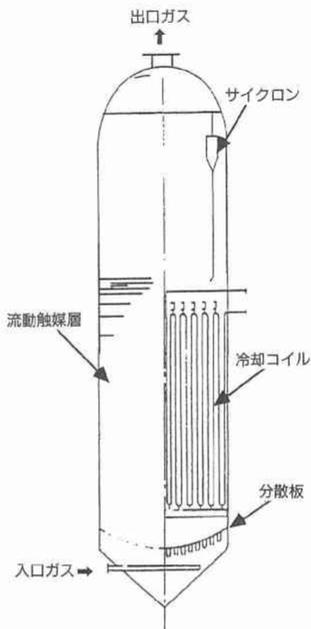


図 13 流動層メタノール反応器

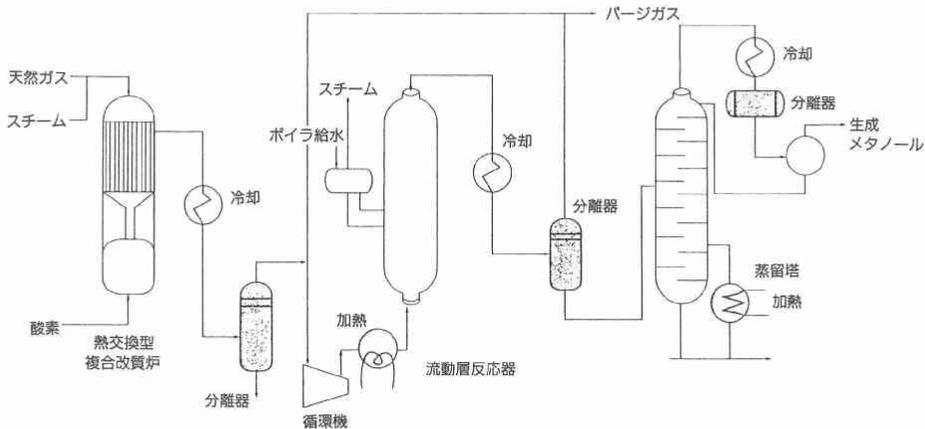


図 14 気相流動層法によるメタノール製造法の構成概念図

ざるをえないのです。

私どもが今回参加しましたNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の「メタノール新製造法に関する技術開発」プロジェクトで行ったプロセス評価によりますと、このフローでのエネルギー原単位は 7.0×10^6 kcal/T・メタノールでして、英国熱量単位のMMBTU（1 MMBTU=0.25 $\times 10^6$ kcal）に換算しますと、28 MMBTU/T・メタノールとなりました。

断熱型反応器の場合は、 8.3×10^6 kcal/T・メタノール（33 MMBTU//T・メタノール）です。なので、エネルギー効率はかなり向上することになります。

ただ、建設費の面では、5,000トン/日のプラントをこのシステムにより検討しましたところ、当初の目標にしました従来システム対

比で相対建設費20%の削減は、現時点ではやや難しく、15%ぐらいかと見えています。

これは、反応器、改質器ともに大型化し、重量が1,000トンを超えますので、製作、運搬が現状設備の限界を越えてしまい、このため幾つかに分割して運び、建設現地で組立てるため、思ったより費用がかかってしまうためです。ただし、これは将来、大型化がより汎用化すれば、自然に解消する問題と考えられます。

燃料メタノールの導入についての考え方

市場流通量は、約1,000万トン

ここで、現在の世界のメタノール生産状況

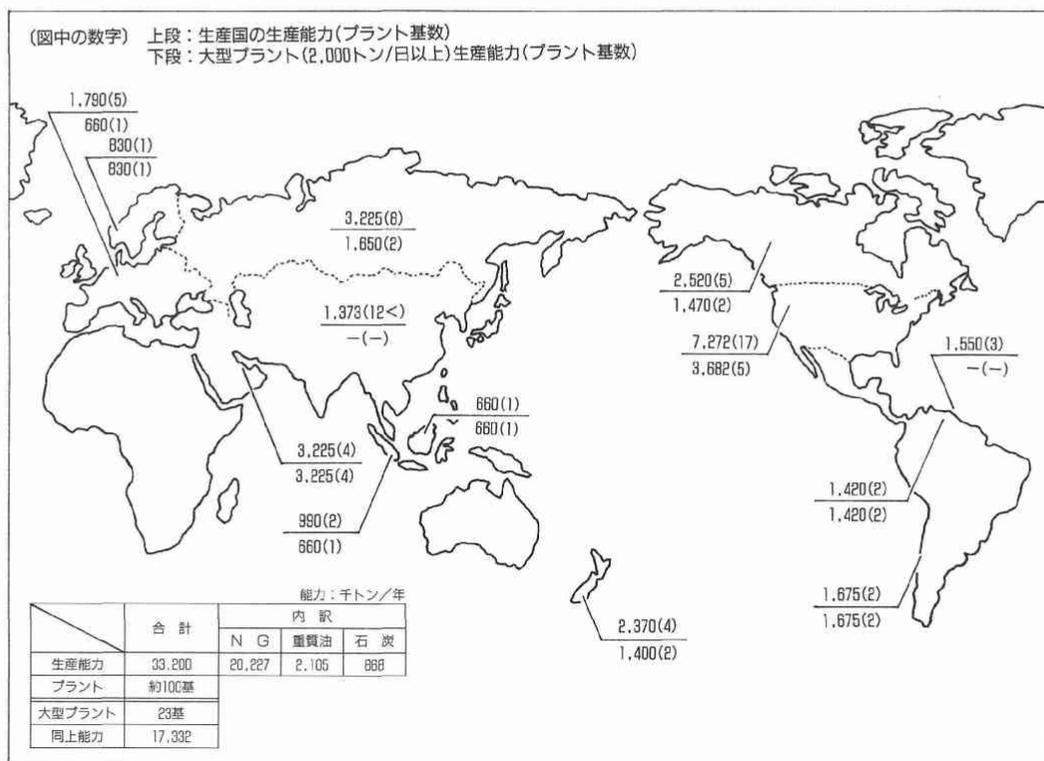


図 15 メタノールの世界主要生産国 (1997年)

をお話します。

年間100万トン以上をつくる主要生産国、および日産2,000トン、年間にして66万トン以上の生産能力を持つプラントが存在する国を示したのが図15です。1997年末時点で予測した世界の総生産能力は、およそ3,300万トン/年になります。

そのうち、大型プラントは23基、その能力は1,700万トン/年というところでは、中国のプラント数は不正確ですが、世界の合計プラント数を100基としますと、20%強のプラントで約50%の生産能力を持っていることになります。

全消費量はおよそ2,500万トン/年ですが、多くのメタノール・メーカーは自社内での使用分があり、メタノールの市場流通量は、およそ1,000万トン/年程度と考えられ、その殆どが大型プラントによる生産と思われる。

110~120ドル/トンが 対LNGの競争限界価格

ここ10数年のメタノール価格の変動からお話します。

大きな乱高下がありました。前講演者も述べられましたが、1980年の第二次石油危機の後、メタノールに世界の注目が集まり、数多くのプラントが建設されました。それらが一斉に稼動を開始した1989年には、80ドル/トン近くまでの低落がありました。また、1995年頃に、プラント・トラブルが世界的に重なり、一時500ドル/トンを超す高騰がありましたが、その後は収まり、現在はC I F (到着地価格) 200ドル/トン前後になっています。

競合するLNGと、炉前でカロリー当り等価になるメタノール価格を見るチャートが図

16です。

LNG、メタノールを炉前まで持込む輸送・貯蔵コストは、エネルギー総合工学研究所の調査報告によりますと、LNGが1円/1,000kcalぐらい、メタノールが0.3円/1,000kcalぐらいかかりますので、図から例えば、LNGのC I F 価格が25円/kgのときのカロリー当りの価格は3.15円/1,000kcalであり、等価となるメタノールはC I F 13.5円/kgぐらいになります。さらに、メタノールの輸送コストや諸経費を考慮しますと、メタノール工場からの出荷価格は11円から12円/kg、1ドルが100円として、110から120ドル/トンぐらいまで下げられないと、LNGとは対抗できないと思われます。

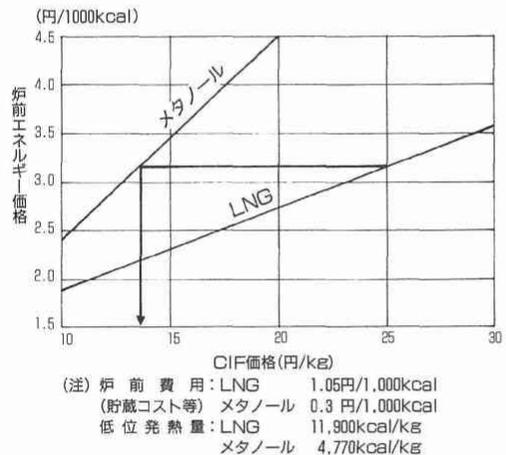


図 16 LNG・メタノールのCIF/炉前エネルギー価格の換算表

採算ラインに迫る

燃料メタノールの生産

メタノールの価格は、先ほど、乱高下はあるにせよ、現状はC I Fでおよそ200ドル/トンと申しました。日本までのケミカルタンカーによる輸送コストは距離により相違しま

すが、およそ20~40ドル。これから逆算しますと、化学用メタノールの工場出荷価格は、160から180ドルと想定されます。CIF25円/kgのLNGと対抗するためには、110ドルくらいで出荷しなければならないことは、先程述べたとおりです。

しかし、燃料メタノールだから「この値段で出してください」とプロジェクトの提案をしても、産ガス国側が応じるかどうかは保証の限りではありません。しかも、100万kWの発電所ですと、現在の日本のメタノール全消費量をすべて消化することになりますので、結果的には、その発電所向けの専用プラントの新設が必要にならうかと思えます。

天然ガスの値段が安ければ、現行法による2,500トン/日ケースでも工場出荷価格が115ドル/トンくらいで、投資回収率(ROI)15%は見込めそうです。まとめて複数基を同時に建設すれば、更に価格を下げることはできません。燃料メタノールということで、現状のケミカルタンカーではなく、大型のオイルタンカーを用いれば、輸送コストも大巾に削減でき、10ドル/トン前後は可能と考えられます。

しかし、将来の原料天然ガスの価格上昇などを考えますと、やはり技術改善を進めることが必要です。先ほど言いましたように、プラント建設コストを20%削減できれば、出荷価格は100ドル/トン以下となることが期待されます。現段階では15%程度ですが、それでも105ドル/トン以下に低下しますので、かなり大きな効果を生むものと思えます。

技術改善には、先ほど申しましたように、触媒の問題とか材質の点とか、まだまだ解決する余地は残っていると思えます。

ここで、燃料メタノール導入の今後を展望

しますと、私個人の考えですが、メタノールは、あくまで代替燃料の一部でして、エネルギー供給の主役にはなりえないと思えます。メタノール燃料を使うか否かの決定は、ユーザ側の意思決定の問題といえましょう。

メタノールが燃料に使用されることになるからといって、新しい技術で直ちに製造されるものではありません。まずは、既存技術のあるところで一部に試行的な導入を行い、そのなかで、技術開発に対するドライビング・フォースを高め、新しい技術の発展へと進めていく、このような計画的な燃料メタノールの導入と技術の開発は、いわゆる車の両輪かと思っている次第です。

ま と め

メタノール・プロジェクトのKFS

最後に、まとめとして、メタノール・プロジェクトのKFS(Key For Success)を申して私の話を終りたいと思えます。

第1は、やはりパートナー。海外で展開する事業になりますので、いいパートナーを見出し、組むことです。

第2が原料ガスの安定供給。価格が50セント程度ですと見通しが立つのですが、1ドルになりますと、燃料メタノールの事業化は、現行法では無理です。将来、技術改善が進んで初めて、1ドルでも可能になるかと思えます。原料ガスの安定供給とは、低廉な価格とガス井戸の寿命、すなわち保証された長期に亘るガス供給といえます。

第3には、インフラがある程度整備されて

いること、有利な資金調達が見込めること、産ガス国政府からのインセンティブがあること。

第4には、大型プラントですから、操業停止がないこと。あつては何もありません。つまり多少原単位が悪くとも、常にフルで安定操業であることが非常に重要です。

最後に、マーケットに近接していること。

これらをすべて満たすのは至難の業ですけれども、これらの条件がメタノール・プロジェクトのKFSとと思っている次第です。

以上、簡単ですが、私の講演をこれで終わらせていただきます。

(拍手)

〔質問〕

東洋エンジニアリング(株) 廣谷氏

私どもの会社の合成反応器の紹介がありましたので、若干コメントさせていただきます。

お話にあった転換率は、70%から80%はいけると思います。

それから、1反応器当たりのキャパシティは、いま、100kg/cm²合成の限界になっている径5mの範囲で、1系列5,000トン/日まで設計が進んでおります。

合成反応器の特徴としましては、先ほど図にあった普通のスチーム発生型の場合と異なり、私どもの反応器は触媒がシェル側にあり、

チューブ側のほうでスチームを発生するタイプになっております。

また、大型化する場合、先ほど、水蒸気改質器に800本ぐらいチューブが入っており、設計のネックになっているとお話でしたが、まさにそのとおりで、従来型の水蒸気改質器の設計限界は2,500~3,000トン/日だと思います。

また、代替策として、酸素による二次改質器をつなげる設計を採用する場合には、酸素装置の建設費が高み、2,500トン/日程度のキャンパシティで考えると水蒸気改質のみのときの投資コストとなかなかコンペティティブになりません。酸素をつくる費用が非常に高くなってしまいます。私どもの5,000トン/日の設計では、従来型の2,500トン/日程度の大きさの水蒸気改質器と酸素による二次改質器を組み合わせています。

それからもう一点。合成ループの循環量、つまり転換率をぎりぎりまで上げるポイントと、ページ・ガスを切る割合が非常に微妙な関係にあり、ページ・ガスをたくさん切れれば転換率が上がりますが、エネルギー効率が悪くなります。酸素装置の値段、合成のページガスの切り方、循環率を、そのときの現状に合わせて最適化することが必要と考えております。

以上、コメントとして申しました。

〔講演3〕

メタノールの発電利用技術と

その経済性



高倉 毅 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長

私どもの研究所は、長年、アルコール燃料の問題、特にメタノールの発電利用について調査研究を続けてまいりました。

1年ほど前、その調査研究も一段落いたしておりますので、本日はこれまでに得られました成果に基づき、メタノール発電の技術、経済性、またその位置づけなどについて報告いたしたいと思います。

〔略歴〕

昭和54年当研究所入所。平成元年プロジェクト試験研究部部長、新エネルギー関係を担当。

メタノール関係の調査研究プロジェクトにも長年にわたり従事。

メタノール発電の特徴

発電利用に優れた特徴をもつメタノール

まず、メタノールが、発電燃料としていかに優れているかからお話します。

その第1は、クリーンな燃料ということです。メタノールは、硫黄分、窒素分、重金属等を含まない高純度の単体化合物ですので、SO_xやばいじんは発生せず、NO_xの発生も他の炭化水素系燃料に比べて少ない燃料です。

第2は、取り扱いが容易なことです。常温で液体であり、輸送・貯蔵での取扱いは石油系燃料と同様に容易にできます。

第3が燃焼速度が速いことです。ガソリン等に比べて1.4倍ぐらいの速さを持っており、

燃焼が安定しやすいのもメリットです。

第4が、蒸発潜熱や改質・分解反応を利用した排熱回収により、高い発電効率が達成できることです。

各種発電システムにおけるCO₂発生量を比較したのが図1です。この図は発電時だけでなく、燃料の製造時や輸送時のCO₂発生量も加えたものになっています。

この図から、単位発電電力量当たりのCO₂発生量では、メタノールはLNGより約2割多いのですが、石炭より約2割少なく、石油とほぼ同等か若干少ないことが分かります。

また、メタノールの場合、製造工程で発生するCO₂の割合が多く、国内でのCO₂の発生量はかなり少なくなります。

このように、メタノールは地球環境問題への対応面からも大きなメリットがあると考えられます。

1,300℃級ガスタービンへの利用が可能

次にメタノールの発電技術の話に移りま

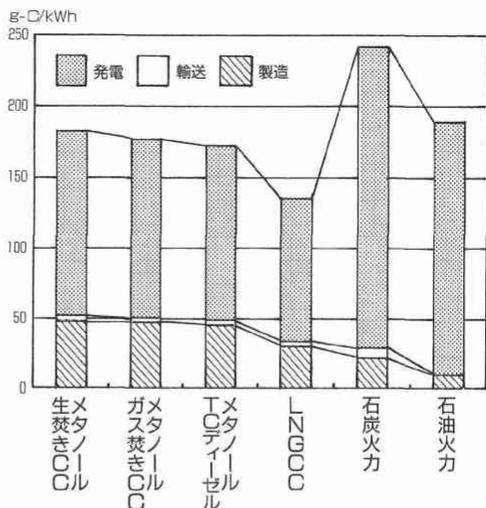


図1 発電システム別CO₂発生量

す。

まず、ボイラです。1970年代に石油代替燃料の一つとしてメタノールが注目され、日米を中心に、電気事業用の大型ボイラも含め、各種の燃焼試験等が行われました。燃焼面では問題ありませんでしたが、表1にありますよう、メタノールをボイラで燃やしたとき水分の発生量がかなり多く、その水分により排ガス中に熱を失う、いわゆる水分損失によりボイラ効率がかかなり低下します。このため発電効率も下がり、これがボイラでメタノールを使う場合の最大の問題点になっております。表1の場合、発電効率は絶対値で重原油のケースに比べ3%程度低下することを意味

表1 燃料別ボイラ熱損失比較

| ボイラ種別 | 排ガス中水分 (%) | 排ガス中水分損失 (%) | 排ガス温度 (°C) | 露点温度 (°C) | ボイラ熱損失 (%) | ボイラ効率 (%) |
|------------|------------|--------------|------------|-----------|------------|-----------|
| メタノール専焼ボイラ | 23 | 13.6 | 115 | 63 | 17.7 | 82.3 |
| 天然ガス専焼ボイラ | 18 | 10.2 | 105 | 57 | 14.0 | 86.0 |
| 重原油専焼ボイラ | 12 | 7.4 | 145 | 50 | 13.0 | 87.0 |

します。

次にガスタービンへのメタノール使用について要点を申します。まず、メタノール改質型ガスタービンの技術開発が、わが国で1985年から94年にかけて、1,000kW級ガスタービンを使用して実施され、その結果、基本的には、システムとして十分成立することが実証されました。

また、1992年から93年にかけて3万kW級の電気事業用ガスタービンによるメタノール燃焼試験も行われ、運転特性、排ガス特性などに問題はないこと、また、燃焼器による試験から、1,300°C級の最新鋭高温ガスタービンにおいてもメタノールは利用可能であることが確認されました。

1993年、94年には、「石油火力発電所メタノール転換等実証試験」プロジェクトの最終取りまとめである「メタノール利用発電技術総合評価調査(以下、総合評価調査)」の一環として、種々のメタノール・ガスタービン・サイクルの概念設計が実施され、1,300°C級のガスタービンをベースとした場合、メタノール改質型あるいは分解型ガスタービンで45%程度、ガス焼きコンバインド・サイクルではほぼLNGと同じ48%程度の発電効率(発電端、HHV)が得られております。

メタノール利用のガスタービン・サイクル

メタノールの発電利用で中心となるのはガスタービンです。そこで、いくつかのガスタービン・サイクルを紹介しておきます。

図2は、いちばん簡単な生焼き単純サイクルでして、メタノールを圧縮した空気の中で燃焼させてタービンを回転し発電するもので

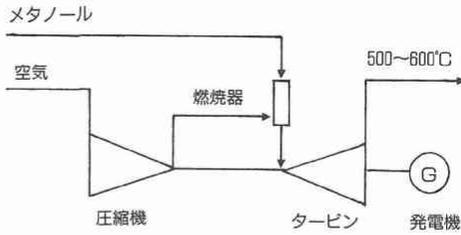


図2 メタノール生焚きガスタービン・サイクル

す。ほかの燃料に替えれば普通ガスタービンです。このシステムの短所は、500°Cから600°Cの排熱をそのまま捨てるため、発電効率が30%程度にとどまることです。

単純サイクルの欠点を補ったのが、図3のコンバインド・サイクルです。図中のメタノールのところを天然ガスとすれば、現在火力発電の主流となっているLNGコンバインド・サイクルと全く同じになります。

コンバインド・サイクルとは、基本的には、ガスタービンの高温排ガスから排熱回収ボイラで熱を回収してスチームを発生させ、スチームタービンに送って発電する方式でして、全体として発電効率を向上させるシステムです。

図3にありますが生焚きとは、メタノールを液体のまま直接燃焼器に入れるシステムです。一方、ガス焚きというのは、メタノール

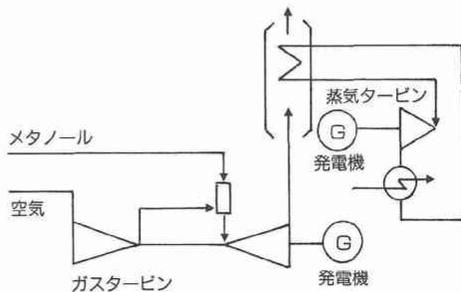


図3 メタノール生焚きコンバインド・サイクル

をまず排熱回収熱交換器を通してガス化した後に燃焼器に送る方式です。メタノールの蒸発潜熱が大きいというメリットを生かし、気化するところで熱回収するのを加えたもので、生焚きより少し効率が改善されます。

概念設計の結果では、発電端効率は、生焚きコンバインド・サイクルが46.6%、ガス焚きにしますと47.9%となっております。

メタノール改質型、あるいは分解型ガスタービン・サイクルを便宜的に一つにまとめたのが図4です。メタノール分解型の場合は、図中の反応器にいく水ラインはありません。

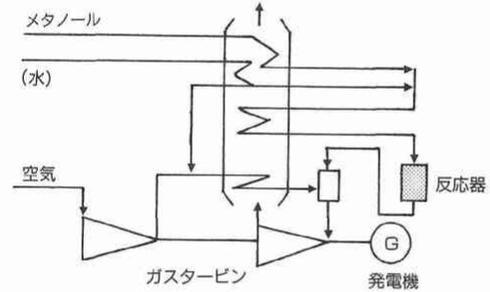


図4 メタノール改質・分解型ガスタービン・サイクル

これらのサイクルは、基本的には、メタノールでは300°Cから350°Cで、水蒸気改質あるいは分解という反応が吸熱的に起こるのを利用して、熱回収を行うのが特徴です。

これはガスタービンの排ガスの温度が500°C~600°Cですので可能ですが、LNGの場合は、水蒸気改質を行うにしても700°Cとか800°Cという温度が必要でして、原理的に不可能であり、これはメタノール特有の方式になります。

このサイクルの最大のメリットは、コンバインド・サイクルと異なり、排熱回収に高価なスチーム・タービンが要らないことでして、

発電設備建設費の低減が期待されます。

ただし、今回の概念設計の結果では、発電効率が改質型、分解型とも45%程度でコンバインド・サイクルより若干低く、建設費も多くは下がらず、期待外の結果にはなっておりますが、メタノールの場合には、こういう方式も考えられるということです。

メタノール利用のディーゼル・エンジン発電

次にディーゼル・エンジンに移ります。

発電用にディーゼル・エンジンを使うのはあまり馴染みがないかもしれませんが、中・小型の4サイクルのディーゼルですとコージェネレーションに、また大型の2サイクル・ディーゼルも、発展途上国などではかなり発電用に使われております。

わが国では、1986年～1993年に、発電用メタノール・エンジン（500kW級4サイクル・ディーゼル）の研究開発が行われました。その結果、高効率、低NOxという開発目標を達成し、発電用として実用化可能との結論が得られています。

また、「総合評価調査」の一環として、先ほど述べました大型の2サイクル・ディーゼルエンジン、これは船用を想像していただければいいのですが、単機の発電容量が数万kWというかなり大きなディーゼル・エンジンで、メタノールを燃やして発電をした場合の概念設計が実施されました。その結果、70万kW級2系列の発電所を想定した場合、49%から53%という非常に高い発電効率を達成可能という見通しが得られました。

ディーゼルは本来高効率ですが、NOxが多いという問題があります。メタノールは理論燃焼温度が低いことから、このNOxを下げる

工夫ができるということで、発電用設備としての使用可能性が検討されております。

メタノール利用の燃料電池

メタノール発電の最後は燃料電池です。

ご承知のように、都市ガス等を燃料とするリン酸型の燃料電池は、実用化寸前まできています。メタノールを利用する燃料電池は当然可能でして、むしろいくつかのメリットも出てまいります。

「ムーンライト計画」では、1989年から92年にかけて、メタノールを燃料とする、離島用200kW級リン酸型燃料電池の研究開発が行われ、表2にありますように、発電効率39.7%を出しております。これはメタノールの改質温度が、300℃程度と低いため、そこでの損失が少なく、都市ガス利用の燃料電池と比べて発電効率はかなり向上しているのです。

表2 メタノール燃料電池の運転実績

(離島用200kWリン酸型)

| 項目 | 目標 | 実績 |
|-----------|-----------------------|----------------------------------|
| 発電出力(送電端) | 200kW | 202kW |
| 発電効率(送電端) | 37%以上(HHV) | 39.7%(HHV) |
| 白金使用量 | 4.5mg/W以下 | 4.5mg/W |
| 環境 | 規制値以下 (NOxは150ppm) | NOxは2ppm (O ₂ =7%) |
| 最低可能負荷 | 20%以下 | 20% |
| 運転制御 | 無人運転 | 無人運転可能 |

また、NOxも当然非常に低く、2ppm程度という優れた特性を示しております。

その後、電力会社などによる研究が続けられており、北海道電力滝上テクニカル・センターで、200kW級メタノール燃料電池の運転が継続中です。この燃料電池は、1997年2月、累積運転時間1万時間を達成しました。

それぞれが特徴をもつメタノール発電

メタノール発電技術をまとめますと、表3のとおりです。

出力的には、ガスタービン・サイクル、ディーゼル・エンジン、燃料電池が、それぞれ大規模、中規模、小規模とすみ分けられます。

熱効率では、特にディーゼル・エンジンの高効率が目立ちます。

技術的特徴ですが、ガスタービンは技術的にほぼ確立しています。また、メタノールの場合、先ほどご紹介しましたように、多様なサイクルが可能です。コンバインド・サイクルはLNGでは多くの実績があります。

ディーゼル・エンジンは高効率ですが、特に2サイクルについては、噴射系、着火系などの実証試験が必要という課題があります。

燃料電池は技術開発途上にありますが、その優れた環境特性が特徴です。今後、耐久性、信頼性の向上と、コスト低減を目指すこととなります。

メタノール発電の経済性

ここで、メタノール発電の経済性を左右する要因を、メタノールの製造、輸送、貯蔵および発電の4段階に分けて考えます。

低コストの中東産メタノール

まず、メタノール製造段階では、プラント規模、原料天然ガスの価格、立地点のインフラ整備状況、新製造技術の採用の4つの要因が考えられます。

メタノール製造プラントの規模では、大規模なほどコストが下がります。現状の技術では、1系列2,500 t/d、年産にして、80万t程度が限界となっています。

原料天然ガスの価格もメタノールのコストに大きく影響します。一般に東南アジアでは1.5\$/MMBTU程度、中近東では0.5\$/MMBTU程度といわれております。

立地点のインフラ整備状況も、プラントの

表3 メタノール発電技術の主な特徴

| | ガスタービン・サイクル | ディーゼル・エンジン | リン酸型燃料電池 |
|------------------|---|--|--|
| 発電出力 (単機容量) | 単純サイクル：160MW～ 複合サイクル：700MW～ | 2サイクル：50MW～ 4サイクル：0.1～10MW | 0.05～10MW |
| 熱効率 (発電端，HHV) | 単純サイクル：30%程度 複合サイクル：48%程度 | 2サイクル：50%程度 4サイクル：40%程度 | 36～43%程度 |
| 環境特性 | NOx：50ppm程度 | NOx：20ppm程度 | NOx：～10ppm以下 |
| 技術的特徴 | ・技術的にほぼ確立 ・多様なサイクル構成が可能 ・LNGでは多くの実績あり | ・4サイクルは技術的にほぼ確立 ・2サイクルには若干の技術課題あり ・中小規模でも高効率 | ・技術開発途上 ・優れた環境特性 ・耐久性、信頼性の向上が課題 ・コスト低減が必要 |

建設費に関係してきます。

最後に新製造技術ですが、開発中の新技術では、1系列で5,000 t/dから10,000 t/dをめざしており、スケールメリットによるコストダウンが見込めます。

表4は、メタノールの製造コストを東南アジアの場合で試算したものです。

原料の天然ガス価格は、MMBTU当たり1.5\$を想定、製造技術は従来法と新製造技術を比較しています。また、それぞれ、製造規模も2ケース設定し、スケールメリットが分かるようになっていきます。

プラントの建設費は、従来法で2億7,000万\$程度ということで、先ほどの上松さんの2億5,000万\$というお話より少し高めにはなっていますが、この程度ということです。

この条件で計算しますと、製造コストは、1,000kcal当たり約2.35円という数字になります。

東南アジアの場合には、原料の天然ガスが高価なため、変動費の比率が高くなっています。また、5,000 t/dの規模で従来法と新製造法を比較すると、2.24円から1.95円へと、約13%のコストダウンとなっています。

表5は中東立地の場合です。ここでは天然

ガスの原料価格がMMBTU当たり0.5\$に想定されていますので、建設費は東南アジアより1割程度高めですが、メタノールの製造コストは15~20%安くなっております。

実は、つい最近、サウジアラビアで2,500 t/dのプラントの新設という新聞報道がありました。その中で建設費はフル・ターン・キー方式で220億円という数字が出ておりましたが、これと比べるとやや高目の見積りですが、安全サイドではあります。

また、新製造法を使いますと、従来法に対して10数%のコスト・ダウンはありうると思っています。

立地点で、東南アジアと中東を比べますと、中東のほうがかなり安くなります。中東の場合、天然ガスの原料価格が東南アジアの3分の1ということが非常に効いており、従来技術を使用しても、2円/1000kcal程度での生産は十分可能と思われます。

輸送コスト低減効果の大きい

大型タンカーの使用

輸送段階の経済性は、タンカーの容量、隻数、構造あるいは輸送距離等により左右されます。

タンカーの容量、隻数は、発電所の規模と

表4 メタノールの製造コスト (東南アジア立地)

単位：円/1,000kcal

| | 従 来 型 | | 新 製 造 法 | | |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------|
| | 2,500t/d×1 | 2,500t/d×2 | 5,000t/d×1 | 5,000t/d×2 | |
| 建設費(百万\$) | 276 | 517 | 454 | 854 | |
| 変動費(ガス, 触媒等) | 0.95 | 0.95 | 0.82 | 0.82 | |
| 運用費(保守, 管理) | 0.26 | 0.21 | 0.19 | 0.16 | |
| 資本費 | 減価償却費 | 0.33 | 0.31 | 0.27 | 0.25 |
| | 金 利 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.09 |
| | 利 益 | 0.70 | 0.66 | 0.85 | 0.55 |
| 製造コスト | 2.35 | 2.24 | 1.95 | 1.87 | |

注1 原料天然ガス価格：1.5\$/MMBTU

2 IRR(内部利益率)：15%

表5 メタノールの製造コスト (中東立地)

単位：円/1,000kcal

| | 従 来 型 | | 新 製 造 法 | |
|--------------|------------|------------|------------|------------|
| | 2,500t/d×1 | 2,500t/d×2 | 5,000t/d×1 | 5,000t/d×2 |
| 建設費(百万\$) | 296 | 551 | 484 | 906 |
| 変動費(ガス, 触媒等) | 0.34 | 0.34 | 0.30 | 0.30 |
| 運用費(保守, 管理) | 0.44 | 0.32 | 0.27 | 0.21 |
| 資本費 | 減価償却費 | 0.35 | 0.33 | 0.29 |
| | 金 利 | 0.12 | 0.11 | 0.10 |
| | 利 益 | 0.74 | 0.70 | 0.61 |
| 製造コスト | 1.99 | 1.80 | 1.57 | 1.45 |

注1 原料天然ガス価格：0.5\$/MMBTU

2 IRR(内部利益率)：15%

か利用率によりほぼ決まってきますが、基本的には、LNGのような制約がありませんので、なるべく大型タンカーを使用して輸送コストを下げることになります。

タンカーの構造は、メタノールは常温で液体ですので、普通の石油タンカーと同様でよいのですが、メタノールの場合、海水が混入しますと分離が難しいことから、海水の混入防止に若干工夫が必要になります。

大型タンカーによる輸送コストの低減効果を示したのが、図5です。まず、大型船になるほどコストは低下します。現在の化学用メ

タノールを運搬する標準サイズの船が、それぞれの図の一番左にある3万トン(DWT, 載荷重量トン)クラスです。このクラスですと、LNG船より輸送コストは高くなりますが、17万トンとか20万トンクラスの船を使いますと、現状の半分程度に低下し、LNG船の半分以下になります。

特に中近東の場合は、輸送距離が倍ほど増えますので、輸送コストの絶対額の差が広がって、1000kcal当たり0.3円~0.4円のオーダーになり、メタノールにはかなり有利になってきます。

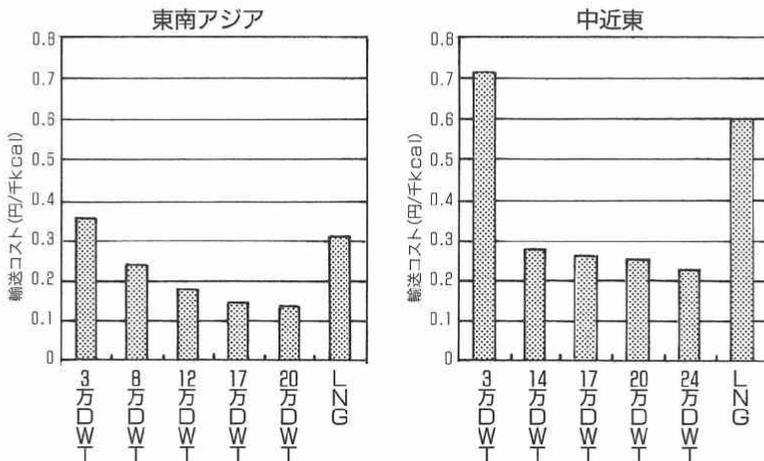


図5 大型タンカーによる輸送コスト低減効果

国内貯蔵タンクの容量は

大型タンカーの受入れを前提に

国内でのメタノールの貯蔵段階のコストは、基本的にはタンクの容量、基数、構造により決まります。

タンクの容量、基数は、発電所の規模と利用率によりほぼ決まります。LNGの場合は、貯蔵タンクが非常に高価になりますので、発電所は、建設するタンクの容量が最小ですむように運用されているのに対して、メタノールの場合は、タンク自体は安価ですので、大型のタンカーを受け入れられるタンク容量で建設することになると思います。

タンクの構造は、メタノールが沸点65℃とやや揮発性が高いため、原油タンクと同様の、浮き屋根式といいます。液面上に蓋をしたような構造のタンクが採用されると思います。

LNGと競争可能な炉前コスト

メタノールの炉前コスト、いい換えますと、製造、輸送、貯蔵を総合したコストの比較を

したのが、図6です。

比較の前提として、発電所は、70万kW×2系列の140万kW級を想定しています。メタノール製造プラントの規模は、従来法では2,500 t/dを4系列、新製造法では、4,500 t/dを2系列としています。タンカーは17万DWTを東南アジアでは1隻、中東では2隻の使用とし、また、貯蔵タンクの容量は11万klを4基としています。

なお、それぞれの図の一番左に入っている現状の価格は、平成6年度CIF平均価格として、貯蔵コストは含んでおりません。

これで見ますと、東南アジア立地の場合、従来法では、LNGに比べて不利ですが、新製造法を採用すれば、ほぼ同列です。また、中東立地の場合、従来法でもLNGとほぼ等価で、新製造法の場合はLNGより有利となっています。

発電所規模により

メタノール採用のオプションも

次にメタノール発電の経済性見通しに移り

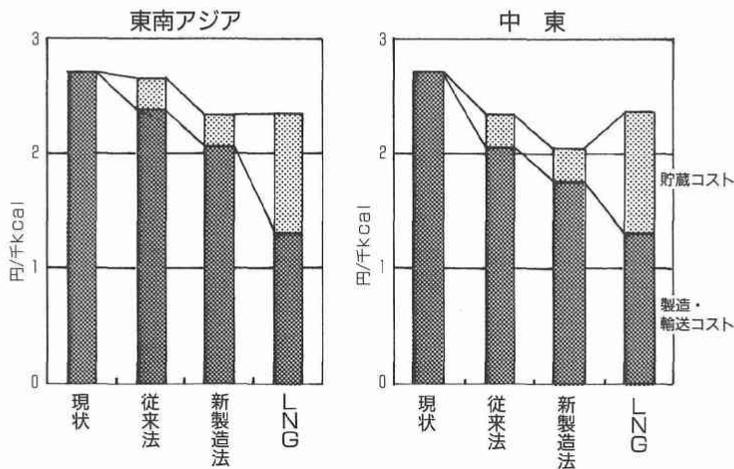


図6 メタノールの炉前コスト比較

ます。

表6は、平成6、7年度の「総合評価調査」で実施された概念設計をベースにした、メタノール発電所の建設単価です。

メタノールの場合、燃料電池を除き各発電方式の建設単価は20万円/kW弱と大差ありません。これに対し、LNGは燃料受入・貯蔵設備に費用を要し、メタノールの場合より3割程度建設単価が高くなります。

燃料電池は、開発途上の現時点での推定ですので、実用化されればコストダウンが期待されます。

なお、表中の数字は、2年ほど前の検討時のものですので、最近の規制緩和等によるプラントコストの低減は含まれておらず、現状では若干割高な感じもいたします。

メタノールの経済性を他の燃料と比較検討する場合、最終的には発電コストによる比較が必要になります。

このため「総合評価調査」では、発電所規模として70万kW級2系列と4系列、プラント立地点は東南アジアと中東、メタノール製造法が従来法と新製造法と、3条件で各2ケースやっております。一例として、LNGより

メタノールの方が優位となる、70万kW級2系列、立地は中東、製造方法は従来技術としたときの結果を図7に示します。

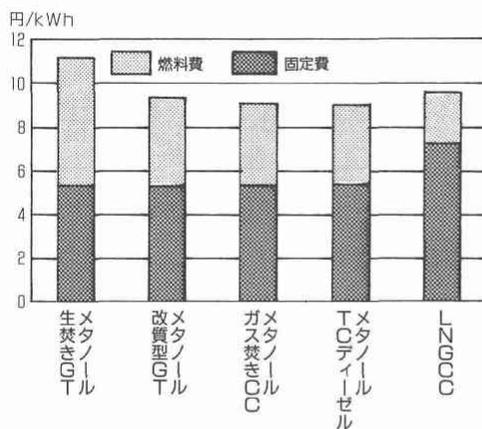


図7 発電システム別発電コスト構成(中東, 従来法)

メタノールの改質型ガスタービンやコンバインド・サイクル、あるいはディーゼルを使いますと、LNGコンバインドで9円/kWh強ぐらいの発電コストに対して、従来技術であっても、9円/kWhから9円/kWh弱の発電コストが得られるということです。

次いで、中東立地で、メタノール新製造法を採用したときの発電コストを図8に示します。メタノール発電は、さらにコストが下がり8円/kWh台になります。

表6 メタノール発電の建設費

| | メ タ ノ ー ル | | | | | LNG |
|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------|-------|
| | 生 焚 き GT | 改 質 型 GT | ガス 焚 き CC | TC ディーゼル | 燃料電池 | CC |
| 出力(MW) | 486×2 | 571×2 | 697×2 | 690×2 | 5×2 | 670×2 |
| 発電効率(%、HHV) | 30.7 | 44.9 | 47.9 | 49.3 | 42.8 | 48.7 |
| 所内率(%) | 2 | 2 | 2 | 2 | 4.9 | 2 |
| 建設単価(万円/kW) | 19.8 | 19.7 | 19.4 | 19.8 | 74.6 | 26.4 |

(注) 1. 燃料電池を除き、70万kW級×2系列ベース、ガスタービンは1,300℃級

2. 建設単価には燃料受入・貯蔵設備を含む

3. 出力は外気温15℃の場合

4. GT:ガスタービン, CC:コンバインド・サイクル, TC:ターボ・コンパウンド

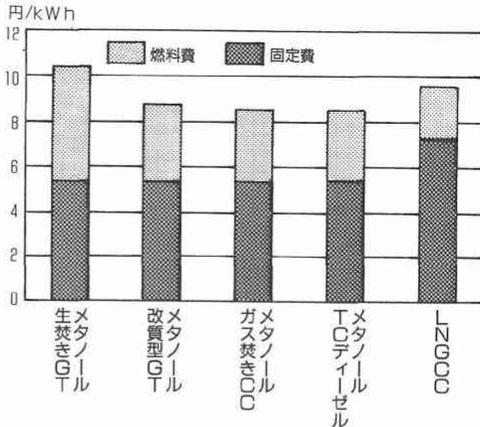


図8 発電システム別発電コスト構成(中東, 新製造法)

この場合の前提は、70万kW 2系列の発電所ですが、この規模はLNGには中途半端な不利な規模ともいえます。70万kW 4系列の280万kWクラスの発電所では、依然としてLNGのほうが有利という結果になっております。

言い換えますと、発電所の規模によっては、LNGよりメタノールを採用するオプションがあるということです。

中小ガス田には

コスト・ベースのガス価格の設定を

ここで、メタノール発電の経済性を向上させるポイントをまとめてみます。

メタノールの製造段階では、メタノールはLNGと比べ製造コストに占める原料費、つまり天然ガス価格の比率が大きいので、できるだけ天然ガスの安価な地点に立地する必要があります。

LNGに不向きな中小ガス田やCO₂を多く含むガス田からメタノールを製造する場合には、コスト・ベースでガス価格を設定することです。これは、従来、LNG向けを基準として東南アジアで1.5\$/MMBTUのようにガス価格が設定されていますが、中小ガス田

あるいはCO₂を多く含むガス田は、基本的には使わなければ無価値なわけですから、これらのガスでは燃料として競争力のある価格に設定することも考えられます。

さらに、開発中の新製造法が実用化されますと、製造コストを2割程度低減できる可能性があります。

輸送段階、貯蔵段階については、前に申しましたとおりです。

発電段階については、ガスタービン・コンバインド・サイクル等の大容量発電所では、メタノールはLNGとほぼ同等の発電効率を得られ、また建設費も発電設備の部分はメタノールもLNGも大体同じですから、発熱量当たりの燃料価格が炉前で等しくなれば、メタノールはLNGと競合可能ということです。

まとめ—メタノール発電の位置づけ

原子力、石炭、LNGに続く

第4の石油代替エネルギー

ここで、メタノール発電の位置づけについてお話いたします。

まず、背景としての電気事業を取り巻く環境です。

わが国の「長期エネルギー需給見通し」によりますと、電源開発の目標は、2010年末までに、原子力3,500万kW、石炭2,900万kW、LNG2,350万kWの建設が必要とされています。

準国産エネルギーの原子力は、CO₂対策からも不可欠の電源であり、安全性の確保、電源三法を中心とする立地対策などにより推進

の努力がされているにもかかわらず、近年の逆風のなか、新規立地に捗りが見えません。

石炭火力は、海外炭を燃料とする大型石炭火力の立地は順調ですが、灰捨場の確保、CO₂排出量が多いという地球環境問題上の課題があります。

LNG火力は、高効率のコンバインド・サイクル発電の進展があつて、火力の中心となりつつありますが、発電所の運用面ではLNGの長期引き取り契約による制約が大きく、特殊な輸送・貯蔵技術を必要とし、あるいは産地の異なるLNGの混合が困難など、取り扱い上の硬直性が大きいという問題があります。

規制緩和が進むなか、独立系発電事業者（IPP）はより柔軟に燃料を選択できる可能性があり、メタノールはその一つの候補になります。

次にもう一つの背景として、天然ガス需要の急拡大の問題があります。

アジア諸国のエネルギー需要の伸びは著しく、台湾、韓国等がLNG貿易に参入して、わが国の独占体制は崩れつつあります。LNG発電向け天然ガスの供給は、今後、中東地域が中心となりますが、この場合メタノールとのコスト比較を真剣に考える必要があります。

CO₂排出抑制のため、欧米のみならず発展途上国も天然ガスへのシフトが進むものと予想され、天然ガス資源の奪い合いも懸念され

ます。

最後に、これまでお話しましたメタノール発電の位置づけをまとめてみます。

まず第1に、原子力、石炭、LNGに続く第4の石油代替エネルギーということです。既存電源の問題点を考慮しますと、今後、計画どおりの供給力確保はかなり困難とも考えられ、これらを補完する第4の電源としてメタノール発電を位置づけ、その積極的導入を図る時期にきていると考えます。

第2に中小ガス田、CO₂を多く含むガス田の有効利用策ということです。中小ガス田やCO₂を多く含むガス田は、残された貴重な天然ガス資源であり、その有効利用策としてメタノール化は最適といえます。

第3が、地球環境問題対応策の一つになることです。メタノールのCO₂排出量は、LNGには劣りますが、石炭よりは優れています。また、石油とは同程度であるため、石油火力をリプレイスしてもCO₂排出原単位は増加しないことも重要です。

第4は、メタノールは石炭、CBM（コールベッド・メタン）、バイオマスなどからも製造可能ですので、長期的にも、資源面の制約が少ないことに大きな意義があります。

以上、メタノールの特質を申し上げ、私の講演を終わらせていただきます。

（拍手）



〔講演 4〕

期待されるメタノール燃料電池自動車



河津 成之 (トヨタ自動車(株) 東富士研究所
第1F P部 担当員)



私がこれからお話いたします「期待されるメタノール燃料電池自動車」のタイトルをご覧になって、皆さんがまずお感じになるのは、「なぜ燃料電池なのか?」「なぜ自動車なのか?」それらが今日のメインテーマである「メタノールとどのように結びつくのか?」ということかと思えます。

私のお話も、まさにこの3点であります。本日は、この「3つのなぜ」にそって、順に、やさしくお話させていただきます。

〔略歴〕

昭和59年 三重大学工学部研究科修士課程修了。
同年トヨタ自動車(株)入社。平成8年1月より燃料電池の要素技術開発のスタッフ・リーダー。

流し、電気を取り出しています。

もちろん、水素と酸素をそのまま燃やしてしまうと、熱が発生して残るのは水だけです。燃料電池は、水素と酸素を単純に燃やすのではなく、電気化学的な反応により、電気エネルギーを取り出すところがポイントです。

なぜ“燃料電池”なのか?

効率よく発電できる燃料電池

まず、燃料電池の原理からお話します。

燃料電池は、水素と酸素の持っている化学エネルギーを電気エネルギーに直接変えるエネルギー変換装置です。分子記号が出ますと、なにやら難しい印象を持たれるかもしれませんが、この燃料電池の反応は、図1にありますように、ちょうど水の電気分解の逆の反応になります。つまり、水に電気を流して、水素と酸素をつくるのが水の電気分解ですが、燃料電池では、逆に水素と酸素を燃料として

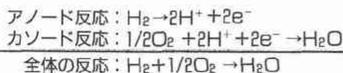
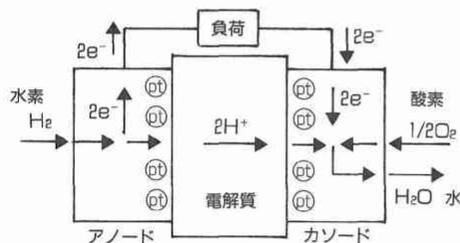


図1 燃料電池の原理

では、燃料電池の特徴を、エネルギーの変換経路の点からもう少し詳しく見ていきましょう。

図2の石油火力発電所の場合を考えてみま

す。燃料の石油が持っている化学エネルギーを、まずボイラで燃して熱エネルギーに変え、次にタービンにより機械エネルギーに変換し、最終的に発電機を使って電気エネルギーにしています。

これに対して、燃料電池は、燃料が持っている化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換できます。エネルギーの変換過程では、あるエネルギー形態を別のエネルギー形態に変換するたびにエネルギー・ロスが発生しますから、化学エネルギーから電気エネルギーに直接変換する燃料電池の効率が高いことがおわかりいただけると思います。

理想状態ですと、92%という高い変換効率が期待できます。もちろん、この理想状態の値を実現するのは容易ではありませんが、少なくとも、燃料電池は内燃機関に比べてエネルギー効率を大幅に高めうることをおわかりいただけると思います。

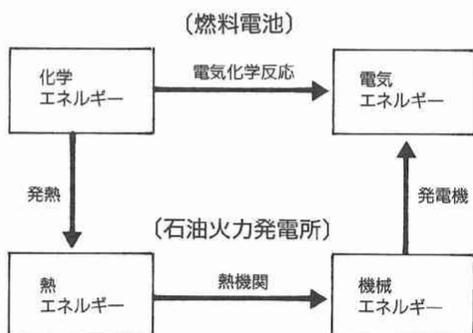


図2 エネルギー変換経路

水素と酸素を使う燃料電池の反応では、反応に伴って生じる生成物は水だけで、ほかに何の副生物も発生しません。

このような燃料電池のクリーンな特性をうまく生かしているのが、図3にあります宇宙開発における使い方です。スペース・シャトルには、出力15kWの燃料電池が3台搭載されています。この燃料電池は、ロケットの燃料に使用する水素と酸素を使って、船内用の電気を発電していますが、さらに発電に伴って生じた水を宇宙飛行士の飲料水に使っているのです。水以外にはなにも発生せず、宇宙船内を汚すこともない燃料電池の特性が、ここで利用されているのです。

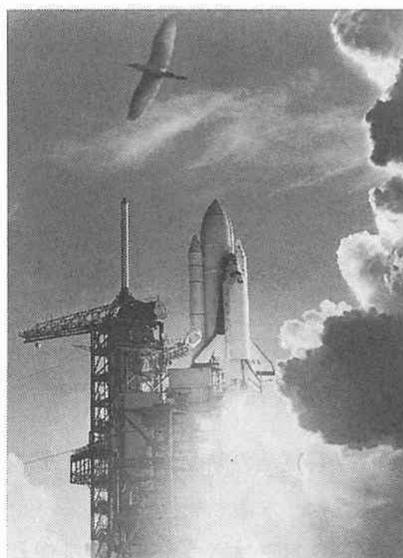


図3 燃料電池が使用されるスペース・シャトル

スペース・シャトルにも クリーンな燃料電池の搭載が

燃料電池のもう一つの特徴は、クリーンなことです。

燃料供給あれば発電し続ける燃料電池

燃料電池といいますと、「電池」という言葉がついていますので、マンガン乾電池のような1次電池ですとか、鉛蓄電池のような2次

電池と同類に考えられがちですが、機能は大きく相違します。

1次電池や2次電池では、図4に示しますように、反応物も生成物も電池内に収まっています。一方、燃料電池では、反応物が燃料電池の外から供給され、燃料電池の中で反応して発電したあと、生成物となって燃料電池の外に排出されます。このことは、燃料電池の場合、燃料電池自体は反応の場を提供しているにすぎず、小型の発電所ともいえるのです。

つまり、燃料の供給が続く限り発電できることが、1次電池や2次電池などの既存の電池と異なる、もう一つの大きな特徴であります。

ここまで、「なぜ燃料電池なのか？」についてお話ししました。燃料電池は、これまでの内燃機関に比べて、エネルギー効率が高く、かつクリーンであり、また、既存の電池と異なり、燃料の供給が続く限り発電できるという特徴を持っていることがおわかりいただけたと思います。

なぜ“自動車”なのか？

クリーンと高効率を目指す

自動車の環境対策

環境問題といえますと、以前は、大気汚染に代表される都市環境の問題が中心でしたが、最近は新聞やテレビでも、酸性雨、オゾン層破壊、さらには地球温暖化のような、特定の都市や地域に限定されない、地球規模の環境問題が広く取り上げられるようになってきました。地球温暖化防止に向けCO₂排出削

減問題を論議する国際会議が本年12月京都で開催されることも、環境問題への報道に拍車をかけているようです。

このような社会的な背景をことさら申し上げるまでもありませんが、自動車メーカーも、自動車本体はもちろんのこと、自動車製造工場の環境対策、リサイクル、さらには交通環境の改善など、環境問題に幅広い観点から積極的な取り組みを進めています。

そのなかで、クリーンで高効率な自動車の開発を目指し各社が進めている自動車自身の環境対策を、少し詳しくご説明いたします。

その1つ目は、従来型エンジンの改良です。ガソリン・エンジンやディーゼル・エンジンの改良により、よりクリーン化、より高効率化を図ろうとするものです。

2番目は、代替燃料自動車の開発です。これは、ガソリンや軽油に代わる燃料を使った自動車で、このなかには天然ガス自動車、メタノール自動車、エタノール自動車、さらには水素自動車などが含まれます。

3番目は電気自動車の開発です。電気自動車は、車両に搭載された2次電池に電気を充

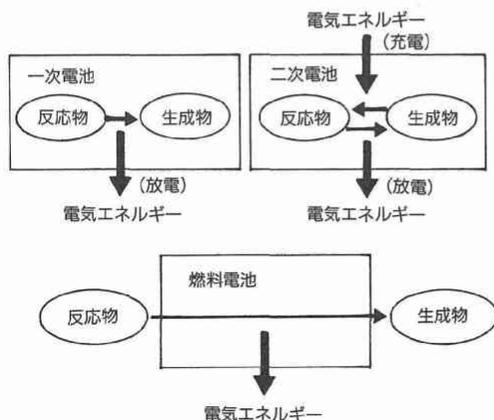


図4 電池と燃料電池

電し、蓄えられた電気エネルギーを使ってモーターを回転し走行する自動車です。

4番目がハイブリッド自動車の開発です。ハイブリッド自動車は、ガソリン・エンジン、2次電池、電気モーターを組み合わせたシステムを搭載し、走行状態に応じて、エンジンと2次電池の出力を最適に組み合わせて運転することができます。さらに、ブレーキを踏みますと、走行エネルギーを2次電池に回収して再利用できる、回生ブレーキ・システムも搭載しています。

最後が、燃料電池自動車です。申すまでもなく、燃料電池を動力源とした自動車ですが、さらに高効率を狙って、燃料電池と2次電池をハイブリッドにした燃料電池ハイブリッド自動車も考えられています。

こうした一連の、クリーンで、高効率の自動車の開発を、トヨタでは「エコ・プロジェクト」と呼んでいます。そのなかでも最も効率が高く、クリーンな車として期待されているのが、実は燃料電池自動車なのです。

エネルギー消費、CO₂排出が最少の

燃料電池自動車

ガソリン自動車に対して、各種自動車のエネルギー消費量、CO₂排出量を比較したものが図5です。

自動車から排出されるCO₂と一言でいっても、例えば、電気自動車のように、車自体からはCO₂を排出しませんが、電気自動車の2次電池に蓄える電気を発電する際に、火力発電所からはCO₂を排出しています。

つまり、地球規模での環境問題を議論するのであれば、自動車の運転時だけでなく、自動車に燃料が届くまでの過程すべてを含めて

考えなければなりません。

図5では、燃料の最上流にまでさかのぼって、エネルギー消費量、CO₂排出量を比較してあります。この図から、燃料電池自動車の優れた環境特性がおわかりいただけると思います。

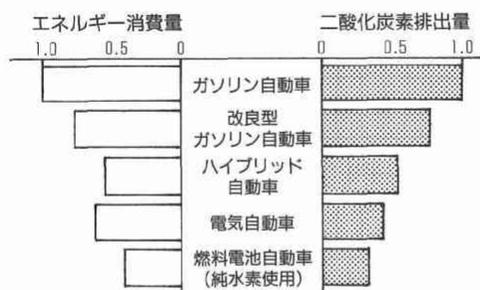


図5 各種自動車のエネルギー消費量と二酸化炭素排出量

石油依存からの脱却にも寄与

燃料電池と自動車を組み合わせたとき、忘れてならないもう一つのポイントが、石油資源からの脱却です。

石油資源といいますと、すぐに枯渇まであと何年かという話になりますが、今日は、少し見方を変えてお話しします。図6は、現在、地球上のどの地域に石油が埋蔵され、生産され、消費されているかをまとめたものです。

ご覧のように、北米やヨーロッパは、埋蔵量に比べて消費量が多く、対照的に、中東地域は埋蔵量に比べて消費量が少なくなっています。このことは、中東地域への石油依存度が今後ますます増加する傾向にあることを示していますが、中東地域の石油資源への依存は、国際政治の影響を受けやすく、エネルギー供給が不安定化する要因となるものです。

従来の自動車用エンジンは、ガソリン・エ

ンジン、ディーゼル・エンジンともに石油を使います。一方、燃料電池の場合、燃料は水素と酸素ですから、石油に依存せずとも済みます。つまり、燃料電池自動車は、効率がよくてクリーンだけでなく、石油依存体質から脱脚できるという可能性も秘めているわけです。

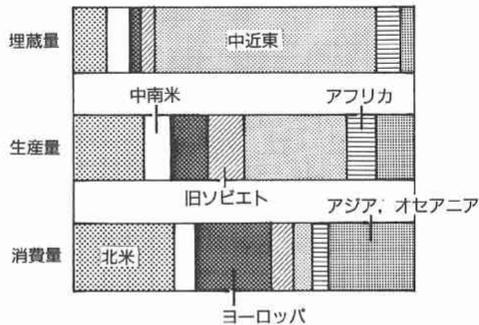


図6 石油埋蔵量、生産量、消費量の地域分布

デモンストレーション走行まできている 世界の燃料電池自動車

このようなことから、燃料電池自動車の研究開発が、1990年代に入り、世界的に活発に進められてまいりました。技術面では、ここ

2～3年で、乗用車、商用車、バスなどいろいろなタイプの燃料電池自動車を、実際にデモンストレーション走行させるところまで進んできております。

トヨタ自動車も、昨年10月、図7の燃料電池自動車「トヨタFCEV」を発表しました。FCEVはFuel Cell Electric Vehicleの略ですが、このFCEVは、トヨタ自動車が独自に開発した燃料電池、水素貯蔵装置、そして2次電池からなるハイブリッド・システムを搭載しています。車体は、既にトヨタが販売している、レクリエーション・ビークルの「RAV4 L5ドア」をベースとしています。燃料電池の小型化や2次電池とのハイブリット化などの技術を組み合わせることにより、燃料電池システム一式を床下に納めることができましたので、車両の外観は、ガソリン・エンジンを搭載した市販の「RAV4 L5ドア」と変わらないものになっています。

ここまで、「なぜ自動車なのか？」についてお話してきました。燃料電池と自動車を組み合わせますと、ガソリン自動車に比べて、効



図7 燃料電池搭載電気自動車

率が高く、かつクリーンな自動車を実現することが可能になること、また石油資源依存からの脱却を進めうることがおわかりいただけだと思います。

なぜ“メタノール”なのか？

燃料電池への水素供給に有利な

メタノールの改質

次に、燃料電池自動車がなぜメタノールに結びつくかをお話します。

ここまでのお話で、燃料電池は効率が高く、クリーンであることを繰り返しお話ししてきましたが、それもこれも、燃料電池は水素を燃料にしているからなのです。

しかしながら、燃料電池の実用化を阻んでいる大きな要因の一つが、実はこの水素そのものなのです。つまり、燃料電池自動車にどのような形で水素を積み込むかという問題があるのです。水素は気体ですから、ガソリン

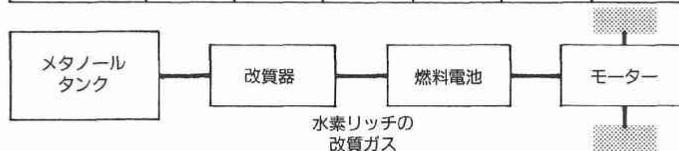
のようにガソリン・スタンドで簡単に給油するわけにはいきません。

燃料電池の水素源として考えられる候補を、項目ごとに比較した、いわば星取り表が表1です。見方を変えますと表中の星の数も変わってきますから、皆さんのなかにはそれぞれの星の数に異論をお持ちの方もおられるかもしれません。しかしながら、ずば抜けて優れた選択肢、つまり決定版が存在しないことには、ご同意いただけると思います。

もう少し詳しく見ていきますと、水素源の候補は、大きく分けて、水素そのものを用いる方法と、炭化水素系の燃料を改質して用いる方法の2つに分けられます。純水素の場合には、インフラが整備されていない点がいちばんのネックになります。現在、WE-NET（水素利用国際クリーン・エネルギー・システム）のように、21世紀に向けて、地球規模での水素ネットワークを構築しようとする研究も進んでいます。ということで、遠い将来には、身近な所にまで水素のインフラが整うかもしれません。そのときには、純水素と

表1 燃料電池への水素供給

| | 重量 | 容積 | 安全性 | 起動/停止 | インフラ | コスト |
|---------|------|------|------|-------|------|------|
| 水素吸蔵合金 | ★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★ | ★ |
| 高圧ガスボンベ | ★★ | ★ | ★★ | ★★★★ | ★★ | ★★★★ |
| 液体水素 | ★★ | ★★ | ★ | ★★★★ | ★ | ★★ |
| メタノール改質 | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| メタン改質 | ★★ | ★★ | ★★ | ★ | ★★ | ★★ |
| ガソリン改質 | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★ | ★★★★ | ★★ |



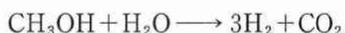
いう選択肢は大変有望になってきます。

しかしながら、現時点でみますと、炭化水素系の燃料を使う方法が、インフラの点から有利です。そのうち、特に技術的にも有利なのが、メタノールです。メタノールを使った燃料電池自動車ですと、ガソリン・スタンドでガソリンを給油するのと同じ感覚で、車両のタンクにメタノールを給油することができます。このメタノールを車面上で水素を主成分とする改質ガスに変えて、燃料電池を運転するわけです。

メタノール使用が

燃料電池自動車実用化への近道に

メタノールから水素を得る改質反応式は、



で表わされ、実際にはメタノールと水を原料として触媒上で反応させることにより、水素とCO₂が得られます。

このメタノールの改質方法は、他の炭化水素系燃料の場合に比べますと、いくつかの特徴を持っており、技術的にも早い時期に実用化されるものと考えられています。

なお、現在商業的に生産されているメタノールは、ほとんど天然ガスから作られていますので、石油資源からの脱却という狙いともうまく合致します。また、将来的にはバイオ・エネルギーや太陽エネルギーを使ったメタノール合成も期待されています。

一方で、解決を要する課題も残されています。改質ガスには水素以外の成分が含まれますから、結果として、燃料電池の電池性能に

影響を与えます。このような悪影響を回避する技術の開発も合わせて必要になります。このあたりの技術的問題は、予稿集をご覧いただければと思います。

航続距離につきましては、メタノールの発熱量はガソリンの約半分ですから、従来のガソリン・エンジンを単純にメタノール・エンジンにしますと、航続距離は半減します。しかし、燃料電池は効率が良いので、同じタンク容量であれば、メタノール燃料電池自動車は、ガソリン・エンジン自動車と同等の走行距離を走れます。つまり、燃料電池とメタノールを組み合わせますと、従来、メタノール・エンジンの弱点でした航続距離の短さもカバーすることができるわけです。

ここまで、「なぜメタノールなのか？」についてお話してきました。

燃料電池自動車の燃料としてメタノールを使うことにより、より実用的な燃料電池自動車を作ることが可能になります。ただし、メタノールを燃料とした燃料電池自動車は、技術開発の過程にあり、実際にデモンストレーション走行をする段階にまではきておりません。私どもトヨタ自動車でも、水素を燃料とする「トヨタFCEV」の次のステップとして、現在、メタノールを燃料とする燃料電池自動車の開発を鋭意進めているところです。*

ハード面の「なぜ」に続くソフト面の課題

今日はここまで「なぜ燃料電池なのか？」

*事務局注記：トヨタ自動車は、今年9月に開催されたフランクフルト・モーターショーにおいて、世界初のメタノール燃料電池自動車「トヨタFCEV」を発表するとともに、10月の東京モーターショーにも展示した。

「なぜ自動車なのか？」そして「なぜメタノールなのか？」についてお話してきました。

結論から申しますと、燃料電池はクリーンで高効率の新しい動力源であり、メタノールを燃料源とすることにより、現状のガソリンと同じような使いやすさを確保しつつ、石油資源への依存からも脱却できるという、大変有望な技術になります。

ただし、技術屋の悪い癖で、どうしても技術的な側面、つまりハードの面から「技術的にできるのか？できないのか？」あるいは「メリットがあるのか？メリットがないのか？」という見方に陥りがちです。その面から見ますと、燃料電池自動車は、もちろん、大いに期待できる技術です。しかし、技術面だけの解決で、本当に将来の実用化が約束されるのでしょうか？

最後に、技術だけでは解決しない側面、つまりソフト面の問題について、若干の例を挙げ、皆さんにお考え願いたいと思います。

ユーザーの評価が低い先進技術

まず、ユーザーが燃料電池自動車をどのように受け入れるかという点であります。

最近、顧客満足度の調査で有名なアメリカのJ.D.パワー社が、電気自動車や燃料電池自動車などのような、既存の自動車に代わる新しい燃料源の自動車を購入する際に、一般ユーザーはどんな項目を重視するかについて調査しました。

その結果が表2でして、一般ユーザーは、故障しにくく、品質に優れ、安全な車を重要視していることがわかります。その一方で、先進的な技術に対する評価は第10位にランクされているにすぎません。

この結果は、いくら先進技術を盛り込んだとしても、それだけでは、ユーザーが車を購入する動機になり得ないことを示しています。つまり、高効率で、クリーンという燃料電池自動車の特徴は、市場に受け入れられる必要条件ではあっても、十分条件ではないという厳しい現実を示しています。

表2 購入者の購買基準

| | |
|----|---------------|
| 1 | 故障しにくいこと |
| 2 | 製造品質が優れること |
| 3 | 事故時の安全性 |
| 4 | 低価格 |
| 5 | 修理や部品補給の受けやすさ |
| 6 | メーカーの評判 |
| 7 | 燃費が優れていること |
| 8 | 乗り心地 |
| 9 | 外観やスタイル |
| 10 | 先進的な技術 |

需要を冷やすメタノール価格の高騰

原油、LNG、メタノールの日本着のCIF価格の推移を、同一発熱量当たりで示したものが図8です。

メタノール価格は、ご覧のように、1994年末に急騰し、ピーク時にはそれまでの平均価格の3倍以上にも跳ね上がりました。この時のメタノール価格の高騰は特にアメリカで著

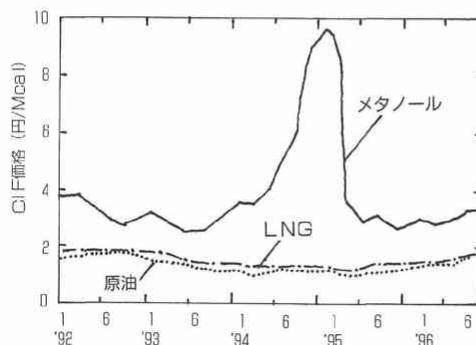


図8 メタノール価格の推移

しく、ピーク時にはそれまでの5倍にまで上昇しました。この価格上昇を自動車選択の面から見てみますと、アメリカではカリフォルニア州を中心に、その時既に数千台のメタノール・エンジンの自動車が走っていたのですが、この価格高騰がきっかけになり、メタノール自動車の需要が一気に冷えてしまったことは、容易にご想像いただけたと思います。

重要になる税制上の支援策

さらに、自動車燃料としてのメタノールにかかる税金の問題もあります。

アメリカでは、自動車用燃料にかかる燃料税が州によって違うのですが、メタノールは特にその傾向が強く出ています。つまり、サウスダコタ州のように、ガソリンと同じ発熱量換算で、1ガロンあたり6セントしか燃料税を課さない州もあれば、一方で、コネチカット州のように、31セントも徴収する州があります。

代替燃料自動車の導入促進策の意味からも、全米平均ではガソリンよりもメタノールの方が20%ほど燃料税が安いのですが、カンザス州のように、ガソリンよりむしろメタノールの方が、燃料税の高い州もあります。

メタノール燃料電池自動車の実用化を進める上で、メタノールの燃料価格の継続した安定とともに、税制上の妥当な支援策が重要なことを、これらの例よりおわかりいただけたと思います。

ま と め

今日私がお話しましたことで、燃料電池自

動車開発の現状を、大括りにご理解いただけたかと思います。

つまり、燃料電池自動車は、既存のガソリン自動車に比べて、エネルギー効率が高く、クリーンであり、また、メタノールを燃料とすることにより石油資源への依存から逃れることも可能になります。

以前から、こうした燃料電池自動車のメリットはよく知られていましたが、これまでは「夢の動力源」とか「将来の動力源」というような枕詞が常についていました。

それが、1990年代に入ってから、世界中での活発な研究開発により、燃料電池自動車が実際にデモンストレーション走行をすることで、ここまで開発が進んでまいりました。

もちろん、実用化のためには、なお一層の技術開発が必要なことは申すまでもありません。低コスト化や信頼性の向上など、解決すべき課題も数多く残っています。

一方、こうしたハード面の課題とは別に、ユーザーの期待であるとか、メタノールの価格、税制上の問題など、技術開発とは直接関わらないソフトの面で、多くの課題を残していることもおわかりいただけたと思います。

今後、燃料電池自動車の実用化を促進するためには、こうしたソフト面での検討がますます重要になるものと考えております。

最後に、私どもが進めておりますハード面での技術開発に加えて、本日この会場にお越しいただいた皆様に、ソフトの面での幅広い議論をお願いすることで、私の話を終わらせていただきます。

ご静聴ありがとうございました。(拍手)

我が国の長期エネルギー需給見通しと メタノール燃料の位置づけ

内田 二郎 (株)テクノリサーチ研究所
代表取締役



内田でございます。

いままでの各先生方から、メタノールの技術的特性、用途、利用可能性など様々なお話がありましたが、私からは、今後のエネルギー需給の見通しと、CO₂ 排出抑制の必要性から、エネルギー政策におけるメタノールの位置づけを考えてみたいと思います。

〔略歴〕

昭和48年通産省入省。大臣官房、資源エネルギー庁、立地公害局、工業技術院において電力行政、環境対策、技術開発などを幅広く担当。

この間、米国ペンシルバニア大学留学、OECD (経済協力開発機構) のIEA (国際エネルギー機関) への出向、成蹊大学および上智大学講師などの経歴あり。平成2年、通産省退官。平成4年、(株)テクノリサーチ研究所を設立、調査研究や政策提言などに精力的に活躍中。

「長期エネルギー需給見通し」 の策定とその後の推移

達成が厳しくなった需給見通し

通産省は、1994年、エネルギーに関する国の計画として「長期エネルギー需給見通し」を策定しました。その骨子は表1に示すもので、2010年をターゲットにしたエネルギー需給見通しであります。

この見通しの基本目標には、経済成長、環境保全、エネルギー・セキュリティを挙げており、英語の Economic Growth, Environmental Protection, Energy Security の頭文字をとった 3E の同時達成を謳っています。

経済成長については、策定時、3%の維持を前提としたものです。

環境保全では、みなさんご存知のように、「一人当たりのCO₂ 排出量を、2000年以降、1990年レベルで安定化する」という大目標を掲げており、具体的には一人当たり2.6トンという数字になっております。

第3のエネルギー・セキュリティでは、需給の安定化を図るため、需要を年平均1%の伸びに抑制するとしています。また、供給面では、省エネルギーを強力に推進する一方、新エネ、原子力を中心とした石油代替電源導入の促進を強く打ち出しております。表1にありますように、1995年の時点で、一次エネルギー総供給量のなかで新エネ、原子力の割合が、それぞれ1.1%と12%であるのが、2000年には2.0%と12.3%に、また2010年には3.0%と16.9%という、高い目標を掲げたということです。

一次エネルギー供給における燃料別構成比

の見通しは、図1のとおりです。ここでは、新エネ、原子力の導入により、現在56%弱である石油のウェートを、2010年には5割以下に下げると一つの大きな目標に掲げているのが分かります。

予測を上回った需要の伸び

停滞した新エネ・原子力の供給

ところで、3年前に策定された需給見通し

が、果たして今日の実態に合っているか、という議論があるのです。

その一つに需要の拡大があります。図2の左上には1992年から1995年の3年間について、左に実績値、右には1994年策定時の「長期エネルギー需給見通し」の予測値があります。策定は94年ですが、ベースは1992年ということで、95年まで3年間の予測を比べたものになっています。

表1 長期エネルギー需給見通しの考え方 (1994年6月)

| 基本目標 | 具体策 | | | | | | | | |
|----------------------------|--|-------|-------|------|------|-----|-------|-------|-------|
| 3Eの同時達成 | | | | | | | | | |
| • Economic Growth | → 安定成長(3%)を維持 | | | | | | | | |
| • Environmental Protection | → CO ₂ 排出量(1人当り)を2000年以降1990年レベルで安定化 | | | | | | | | |
| • Energy Security | → 需給の安定化 (需要)伸び率を1%/年に抑制 (省エネの推進) (供給)新エネ・原子力の導入促進 | | | | | | | | |
| | (1995) (2000) (2010) | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <tr> <td>新エネ</td> <td>1.1%</td> <td>2.0%</td> <td>3.0%</td> </tr> <tr> <td>原子力</td> <td>12.0%</td> <td>12.3%</td> <td>16.9%</td> </tr> </table> | 新エネ | 1.1% | 2.0% | 3.0% | 原子力 | 12.0% | 12.3% | 16.9% |
| 新エネ | 1.1% | 2.0% | 3.0% | | | | | | |
| 原子力 | 12.0% | 12.3% | 16.9% | | | | | | |

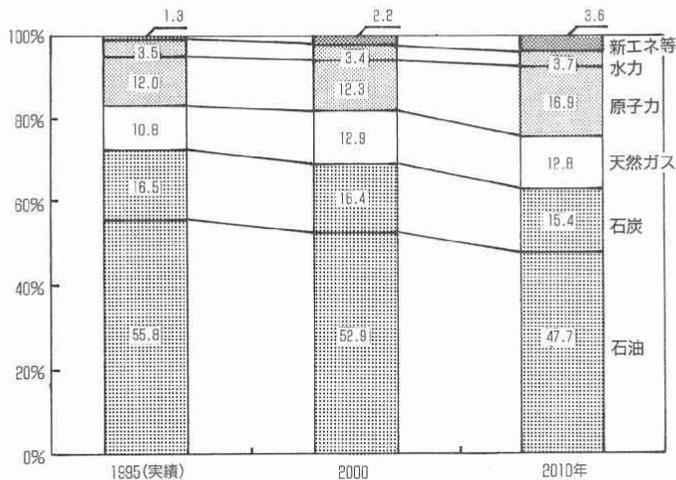


図1 一次エネルギー総供給の燃料別構成比実績と見通し

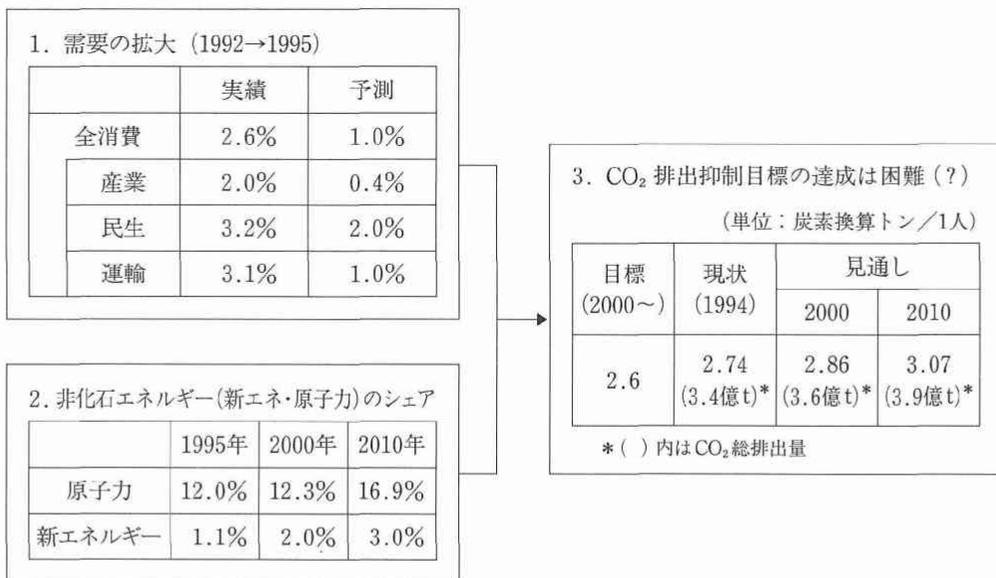


図 2 需給見通しの問題の顕在化

まず、エネルギーの全需要量は、省エネを推進させ、年平均1%の伸びという目標を掲げていたのに対して、この3年間の実績は2.6%と、かなり予測を上回っております。

産業用の需要は、エネルギー危機以降、各産業が推進した省エネにより伸びが抑えられた時期が続きましたが、この3年間の実績では2%の伸びとなっています。民生、運輸部門の需要は、さらにそれを上回っているのが実態です。

もう一つ顕在化した問題に、非化石エネルギーである新エネルギー、原子力のシェアの停滞があります。原子力のシェアは、1995年で12%、2000年目標の12.3%は達成される見通しですが、2010年の16.9%は非常に厳しい数字と思われます。

新エネルギーは、ウェートはさほど高くないのですが、2000年に2%、2010年に3%という目標の達成にはこちらも相当の努力が必要と見られます。

このような需要面の増大と供給面における新エネ・原子力のシェアの伸び悩みを考えると、「長期エネルギー需給見通し」の数字自体に疑問を生じるわけです。このような状態は、いま国際間で激しい議論が展開されているCO₂の排出抑制に直接的な影響を及ぼし、わが国の目標達成は、正直ベースで、非常に厳しい状況にあると言はざるをえません。一人当たり2.6トンの目標値は、1994年の時点でさえ、すでに2.7トンと上回っているのです。

これらの状況をわかりやすく示したのが、図3です。

CO₂ 排出量抑制の動向

主要国間に差のあるCO₂の排出見通し

1990年以降1994年までのCO₂の排出量を

掲げたのが図4でして、この図から、エネルギー需要の伸びとCO₂排出量の相関がよくわかります。

参考までに、主要先進国の一人当たりのCO₂排出量を示すのが、図5です。日本は、

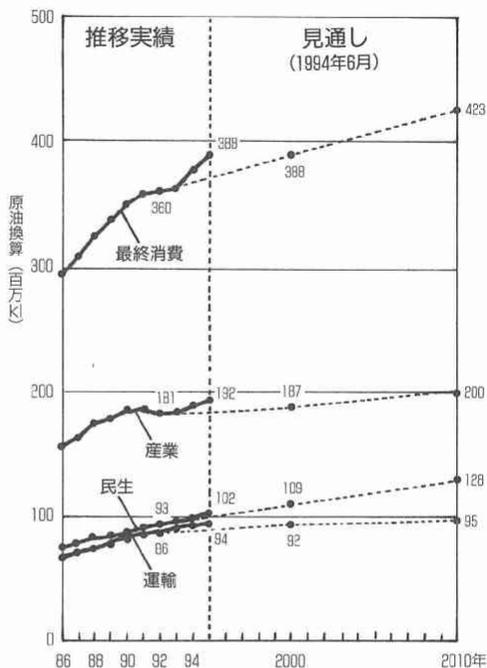


図3 最終エネルギー消費の実績と見通し

主要先進国のなかで排出量が決して多いわけではありません。

主要4ヶ国のCO₂排出見通しをまとめたのが表2です。

アメリカでは、電力自由化が進むなか、廉価な天然ガスの利用が拡大しています。原子力は、ご承知のとおり、発電所の新規建設はなく、低迷状態にあります。

また、電力の自由化に伴い電力価格が安くなりますと、当然ながら、新エネ導入のインセンティブも低下します。一方、エネルギー種間の競争が厳しくなり、このままでは新エネ導入はますます困難化するため、いま、新エネ導入を義務づける法案の検討が、州あるいは連邦レベルで議論されております。

このようななかで、アメリカもエネルギー消費が伸びており、CO₂排出量は、1990年に対し2000年で数パーセントの増大が見込まれています。

ヨーロッパの状況は、わが国や米国とかなり異なっております。フランスは原子力のシェアが高く8割近くに達しており、かつ石炭

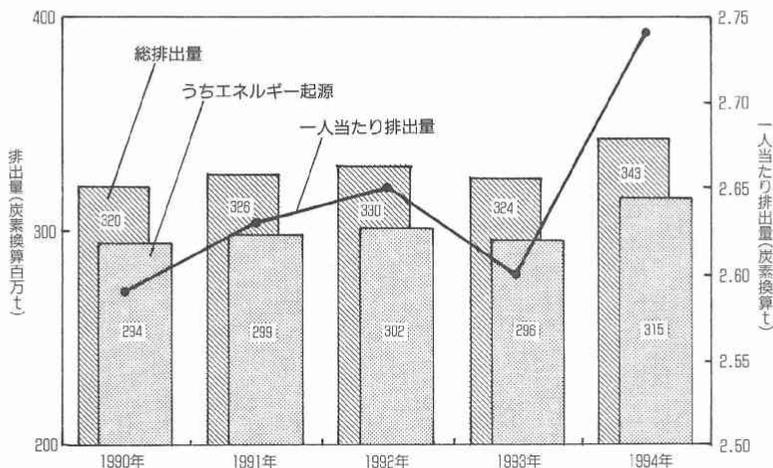


図4 我が国のCO₂排出動向

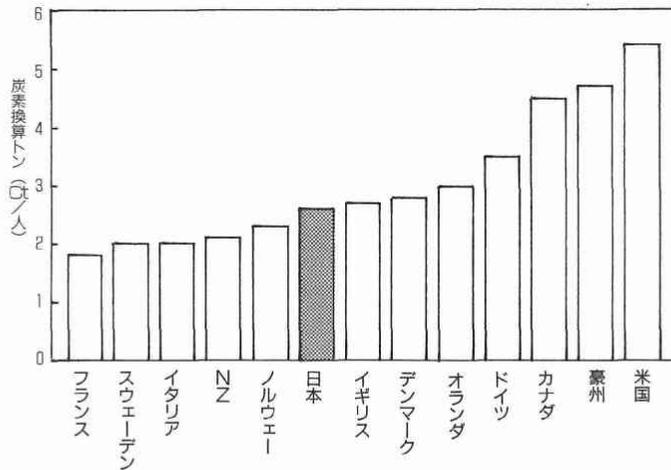


図 5 主要先進国の一人当たり CO₂ 排出量

表 2 主要国の CO₂ 排出見通し

| 国 | エネルギー事情 | CO ₂ 排出見通し (2000/1990比) | ポジション |
|----|--|------------------------------------|---|
| 米国 | <ul style="list-style-type: none"> エネルギー消費量は増大傾向 電力自由化による天然ガスの進展 原子力の低迷 (新規なし) 新エネ導入の義務付けの動き | 数%の増大の見込み | <ul style="list-style-type: none"> 一律削減を支持 共同実施, 排出権売買に関心 |
| 独 | <ul style="list-style-type: none"> 国内石炭産業の合理化を推進 (石炭→天然ガスへのシフト) 電力自由化による電力コストの低減を推進 エネルギー需要は横這い | 13~15%の減少見込み | <ul style="list-style-type: none"> 大幅な一律削減を主張 (2005年: 10% 2010年: 15~20%) |
| 英 | <ul style="list-style-type: none"> 国内石炭産業の合理化を推進 電力自由化 (小売り) の実施 (天然ガスによるIPPの参入) エネルギー需要は安定化 | 4~8%の減少見込み | <ul style="list-style-type: none"> 一律削減を主張 |
| 仏 | <ul style="list-style-type: none"> 原子力のシェアが高く削減の余地は小 エネルギー需要は横這い | 4%程度増大 | <ul style="list-style-type: none"> 数量目的については差別化を支持 |

火力が殆どないので、今後 CO₂ 削減の余地は非常に少なくなっています。また、エネルギー需要が横這いのこともあり、その結果、CO₂ 排出量は微増と見られています。

ドイツ、イギリスでは、両国に共通した石

炭産業合理化のなかで、石炭に対する補助制度が打ち切りの方向にあり、廉価な天然ガスへの転換がすでに始まっています。特にイギリスでは、卸電力の自由化により、天然ガス利用のIPP (独立電気事業者) 参入が増加

する傾向が見られています。一方、エネルギー需要は、ヨーロッパ全体の傾向でもありますが、横這いと見られています。

この外いろいろな石油代替政策がとられていることもあり、自然体で進んだとしても、電力自由化、国内石炭産業合理化、天然ガスへの転換の進展により、CO₂ 排出量は、今後、かなり減少するものと予想されます。

課題が残されるわが国の追加施策

COP3（気候変動枠組み条約第3回締約国会議）が、この12月、京都で開催されます。議長国となるわが国は、何としてもそれまでに2000年におけるCO₂ 排出目標の達成策を打ち出して国の姿勢を示す必要があり、昨年12月、総合エネルギー調査会基本政策小委員

表3 2000年目標達成に向けた追加施策
(1996年12月総合エネルギー調査会基本政策小委員会)

| |
|--|
| <p>1. 基本的考え方</p> <ul style="list-style-type: none">・エネルギー・ベスト・ミックス政策の展開・市場メカニズムの活用によるエネルギー・セキュリティの確保 <p>2. 需要面</p> <p>1995年度以降の伸び率を <u>0%</u> に抑制 →省エネの更なる推進</p> <p>①産業部門 エネルギー消費原単位を1%/年以上低減</p> <p>②民生部門</p> <ul style="list-style-type: none">・住宅の断熱化・建築物の省エネの推進 (ESCO 推進)・蓄熱システムの導入 <p>③運輸部門</p> <ul style="list-style-type: none">・物流効率化 (鉄道等へのモーダルシフト) <p>④その他 (ライフスタイルの変換等)</p> <ul style="list-style-type: none">・省エネルギー型 DSM の推進・サマータイムの導入 <p>3. 供給面</p> <p>①太陽光発電市場自立化支援</p> <p>②その他環境整備</p> <ul style="list-style-type: none">・電力系統との連系の円滑化・道路占用、熱源水利用の円滑化 |
|--|

会より、表3にある追加施策が打ち出されました。

その基本的考え方の一つが、エネルギー・ベスト・ミックス政策の展開でして、わが国のエネルギー・セキュリティ上、従来から行われてきた政策ですが、石油およびガスの分野に、最近はじまった電力の分野を加えて、自由化という市場メカニズムを活用したエネルギー・セキュリティの確保を大きな柱に加えております。

具体的には、需要面では、図3から見られますように、消費が当初の2000年予想値に既に達しているのを踏まえて、追加施策では、省エネを一層推進して、1995年度以降2000年までの伸び率を0%に抑えることにしています。しかし、ここで問題なのは、表3の1から4までに書いてある諸施策によって、果してどの程度の抑制が可能かという、定量的評価が残されていることです。

これに対して、供給面では、先ほど申しましたように、新エネの低迷、原子力の停滞がありますが、この打開策の一つとして、太陽光発電市場の自立化支援を中心に、新エネ導入の推進が打ち出されており、今春、「新エネ法」が制定されております。

その他の新エネ導入促進のための環境整備には、自家発電の系統連系の円滑化、太陽電池パネル設置に向けた道路の占用、熱源水としての河川水利用などと、新エネを中心に供給面の支援策を打ち出しております。

繰り返しますが、新エネが果たしてどこまで導入できるのか、また、原子力も厳しい逆風のなかであり、これらが目標に対して未達となったとき、果たして何によりカバーするかが大きな問題であります。

今後に求められるエネルギー対策

クオリティ、コストに加えて 新たなセキュリティを

需要は、たとえ抑制を強めても、ある程度の伸びはあると思われます。いま、原子力、新エネの導入が目標に達しなかったとき、CO₂ 排出量削減という大命題がある今日、具体的に、何により供給未達分をカバーするかが問題になります。

そのとき、今後求められるエネルギーの要件は、図6にありますよう、第1にクオリティです。これはクリーン性について、安全性、利便性、さらには信頼性となります。

第2はコストです。電力の自由化が進みますと、エネルギー源の選択は、コストが一つの有力な決定条件になります。需要者は、クオリティの満足があれば、より低価格のエネルギーを選択するので、結果的には、そのエネルギーのシェア増大へとつながります。

そういう意味で、逆にエネルギー供給産業側では、エネルギー供給コストをめぐる今後の競争と協調のなかで、適切なエネルギー供



図6 今後求められるエネルギー

給ネットワークを創設していくことが必要と思われま

す。冒頭でお話しました1994年の「長期需給見通し」では、エネルギー・セキュリティが3Eのなかの一つの目標でありました。供給の安全保障が大前提ではありますが、今後求められるセキュリティは、国際情勢などの外的要因によるエネルギー供給の混乱が、クオリティ、コストに大きな影響を与えないよう保障するのが、新しいセキュリティと考えます。

そういう意味で、今後はクオリティ、コストに加えて、新たなセキュリティ、この3つの要件を備えたエネルギーが求められ、そこに、技術に立脚したエネルギー・ネットワーク・システムの確立が望まれる次第です。

新エネ・原子力未達分を埋める

一番手ピンチヒッターは天然ガス

今後のエネルギー需要増に対し、新エネ、原子力の未達分をカバーする一番手のピンチヒッターは、量的には意味はありませんがイメージで示しますと、図7にありますよう、天然ガスと見込まれます。

欧州では、天然ガスのコストが現在大きく低落しているうえ、日本と異なり、域内パイプラインの整備が進んでいること、およびエネルギー供給の安全保障も十分維持されるとの見込みから、石炭、原子力から天然ガスへのエネルギー転換が進行しています。

日本の場合、天然ガスはLNGという取り扱い不便な形態で輸入されるのに加えて、国内パイプラインの整備が現在必ずしも十分ではありません。しかし、将来的には、インフラの整備が進み、2010年以降、新エネ、原子力の未達分をカバーする一番手のピンチヒッ

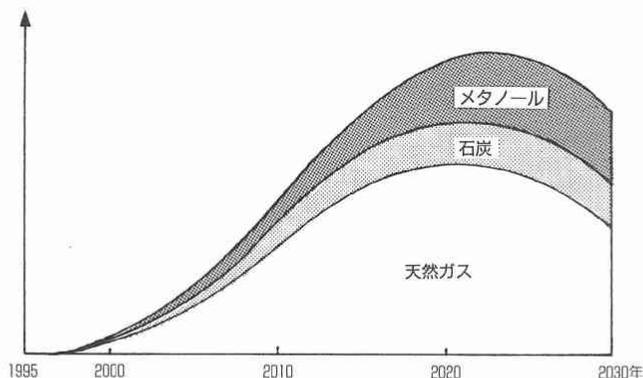


図 7 供給目標未達分（新エネ・原子力）をカバーするエネルギーのイメージ

ターになると思われます。

ただ、天然ガスには、取り引きの硬直性、資源の有限性があり、超長期に及ぶ供給維持は難しく、2020年から30年にかけて供給量は下降線を辿ると見られます。

次には石炭がきます。これはCO₂の大量排出という難点がありますが、今日の実態で申しますと、当面は、ベース火力として入ってきます。過渡的には、いまのまま、ある程度ピンチヒッターの役を果たすでしょう。将来的には、クリーン・コール・テクノロジーが実用化されれば、2020年あるいは2030年以降、天然ガスの生産低下分も、石炭がカバーする形になろうかと思えます。

メタノール燃料の登場は

天然ガスを補う形から

本日の本題のメタノールは、個人的見解ですが、新エネ、原子力のカバーというよりは、むしろ、天然ガスを補う形で入りうると見ています。

先ほど、メタノール自動車や発電燃料利用の話がありましたが、将来の利用可能性ですと、まず、石油老朽火力のリプレースがあり

ます。現在、電力需要が低いときには、殆ど石油老朽火力を止めています、夏季ピーク時の対応に、最近、かなり運転されています。しかし、将来ある程度需要が落ちつけば、石油老朽火力のリプレースとして、メタノール発電の登場はありうると見ています。

また、電力自由化のなかで、わが国もIPPの参入が増大すると予想されますが、アメリカ、ヨーロッパでは、殆どが天然ガスの火力による参入です。

日本の場合、パイプラインの整備がなく、取扱い量の制約から、小規模なIPPが天然ガスを利用するのは、現在のところ、困難な状況にあります。それゆえ、輸送システムやパイプラインが整備されるまでの間、過渡的かもしれませんが、天然ガスに代わりIPP発電の燃料として、メタノールの登場も十分ありうると考えます。

次が燃料電池です。燃料電池自動車の話がありましたが、燃料電池は、元来、分散型電源を目的としています。また、われわれの生活パターンが変化して熱需要の増加が予想され、将来的には民生用の小型燃料電池によるコージェネレーションの普及が考えられま

す。

燃料電池の燃料は、一般的には天然ガス、LPG、水素ですが、過渡的なものとしてメタノールの利用もありうると思います。

また、先ほど、メタノール自動車の話もありました。運輸部門での燃料代替ということで、2020年から30年には、この分野での使用も増加に向かうと見えています。

メタノール燃料は、いま申しました利用可能性を考えますと、天然ガスを補う位置づけで登場してくるものと見えています。

冒頭に申しました94年に策定された「長期需給エネルギー見通し」は、いま、数字上の見通しという点では破綻寸前ともいえる状態にありますが、このような状況の打開には、需要の抑制を進めるとともに、新エネ、原子力による供給の増加、天然ガスによる代替、これを補う形で登場するメタノールも、そのOne of Themと位置づけ、今後の利用開拓を議論していく必要があると見えています。

以上で、私の話を終わらせていただきます。
(拍手)



総括とりまとめ・閉会挨拶

稲葉裕俊 (財)エネルギー総合工学研究所
専務理事

エネルギー総合工学研究所専務理事の稲葉でございます。

皆様、本日は朝から長時間にわたり私どもの第15回エネルギー総合シンポジウムを熱心にご聴取頂き、誠にありがとうございました。

今回は、「天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術——メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか——」をテーマに開催させて頂きましたところ、350名を超える多数の方々の御参加を頂きました。

ただいままで数々のご講演を頂きましたが、いずれのご講演も大変興味深く、示唆に富んだもので、誠に有意義なものであったと存じます。講師の方々に厚く御礼を申し上げます。

午前中の基調講演の一番目として、東京ガスの片岡宏文最高顧問から、天然ガスを巡る状況につき大変広範なお話を伺いました。

続く基調講演の二番目には、東京大学の吉田邦夫教授から、本日のシンポジウムの副題であります「メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか」に対応しまして、メタノールのエネルギー利用の意義など総論的なお話を頂きました。

午後になりまして、三菱商事の桑原徹郎豪州LNG部次長からは、天然ガス資源、特に中小ガス田のメタノールなどへの有効利用の必要性や、洋上におけるメタノール製造プラントなど、現在進行しつつあるプロジェクトの紹介がありました。

続いて、三菱ガス化学の上松正次研究技術本部技術部長からは、「メタノールの製造と研究開発の現状」と題し、現状はもとより、大型化、効率化などを目指した製造技術に加えてメタノール・プラントの採算性につきましてお話を頂きました。

それから、メタノールのエネルギー利用として最も期待されているメタノールの発電への利用技術と経済性の見通しなどの試算を、私どもの研究所の高倉毅部長からお示しいたしました。上松部長のご講演とともに一定の前提のもとでは、LNGとの競合の可能性もあることが提示されたところであります。

また、「期待されるメタノール燃料電池自動車」として、メタノールなどを燃料とする燃料電池自動車の開発動向について、トヨタ自動車の河津成之第1F P部主担当員から紹介がありました。

最後に、テクノリサーチ研究所の内田二郎代表取締役から、「我が国の長期エネルギー需給見通しとメタノール燃料の位置づけ」と題しまして、エネルギー需給の現実を踏まえつつ、メタノールに関する本日のシンポジウムの取りまとめ的なお話を頂きました。

何人かの講師の方から、今後の石油代替エネルギーの開発にあたって、原子力、石炭、LNGに続くエネルギーのオプションの必要性と、その有力な候補の一つとしてメタノールが挙げられたところであります。

以上、天然ガスとメタノールの本日の講演を振り返ってまいりましたが、本日は午後一番で、長銀総合研究所の竹内佐和子主席研究員から、「エコノミストの目から見たエネルギー問題」と題し、バリ滞在から得られた貴重な経験や観察を含めて、特別講演をいただきました。とかく、エネルギー問題はエネルギーの専門家、それも供給側の立場の方々による議論がなされることが多いなかで、幅広い視点からの示唆に富んだお話を頂き、大変有益であったと存じます。

時間もまいりました。本日のシンポジウムが予定どおり日程を終えることができましたことも、ひとえに会場の皆様方のご協力のおかげと、厚く御礼申し上げます。

また、本日のシンポジウムの内容が、皆様方の事業活動や研究活動のご参考の一助になれば大変幸いと思う次第であります。

私どもの研究所は、来年は、研究所創立20周年に当たります。創立20周年記念特別シンポジウムを、エネルギー全般にわたる広いテーマのもとに催す予定です。ぜひご臨席賜りますようご案内申し上げます。

最後に、私ども研究所の運営に対しまして皆様方の一層のご支援、ご協力のほどを切にお願い申し上げます。本日の第15回エネルギー総合工学シンポジウムを閉会とさせていただきます。

本日は誠にありがとうございました。

研究所のうごき

(平成9年7月2日～9月30日)

◇ 第4回評議員会

日時：7月10日(木) 12:00～13:20

場所：経団連会館(9階)906号室

議題：

第一号議案 理事および監事の一部改選について

第二号議案 評議員の委嘱について

第三号議案 平成8年度事業報告書および決算報告書について

第四号議案 その他

◇ 第15回エネルギー総合工学シンポジウム

日時：7月14日(月)

場所：東商ホール(東京商工会議所ビル4F)

議題：「天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術—メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか—」

◇ 第4回原子炉サブチャンネル解析国際セミナー(ISSCA-4)

日時：9月25日(木)～26日(金)

場所：東京工業大学 百周年記念館

◇ 月例研究会

第149回月例研究会

日時：8月29日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館6階 中ホール

議題：

1. 地球温暖化とバイオテクノロジー ((財)電力中央研究所 我孫子研究所 生物科学部長 齋木 博氏)
2. 雑草から21世紀のエネルギーをつくる (長崎総合科学大学 工学部 機械工学科 教授 坂井正康氏)

第150回月例研究会

日時：9月26日(金) 14:00～16:00

場所：航空会館6階 中ホール

議題：

1. 平成10年度資源エネルギー関係概算要求の概要について

(通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房総務課 計画需給班長 高倉秀和氏)

2. 工業技術院におけるエネルギー関係新技術開発の取組みの状況について

—ニューサンシャイン計画の取組み及び平成10年度予算の概要を中心として—

(通商産業省 工業技術院 エネルギー技術研究開発課 (ニューサンシャイン計画推進本部) 技術班長 瀧口博明氏)

◇ 主なできごと

7月2日(水)・第1回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会

・第2回高温ガス炉プラント研究会

7日(月)・第1回低品位炭改質技術に関する調査委員会

14日(水)・第11回原子炉安全数値解析高度化委員会

15日(火)・第1回石油活用型スーパーごみ発電システムの導入に向けた課題に対するアクションプログラムに関する調査委員会

22日(火)・第1回WE-NET総合評価と開発計画のための調査・研究委員会

28日(月)・第1回地下水流動に関するデータの収集・整備に関する検討委員会
・第1回含酸素軽油の開発可能性に関する調査WG

8月1日(金)・第1回WE-NET全体システム概念設計—安全対策・評価技術WG

4日(月)・第1回DSM技術検討委員会

5日(火)・第1回高速増殖炉利用システム開発調査検討委員会

7日(木)・第12回原子炉安全数値解析高度化委員会

29日(金)・第1回火力発電設備からのCO₂排出量調査委員会

9月2日(火)・第1回IPCC第三次評価報告書に関する国内委員会

8日(月)・第1回廃棄物ガス化溶融発電技術評価委員会

29日(月)・第1回非在来型天然ガス基礎調査委員会

編集後記

本号は、「天然ガスの将来展望と新しい輸送・利用技術—メタノールは21世紀のエネルギーとなりうるか—」というテーマのもとに本年7月14日東商ホールにて開催された当所恒例のシンポジウムの特集号である。

メタノールは、将来の環境とエネルギー・セキュリティ面で優れた可能性を秘めているといわれながら、昨今の状況下でもあまり注目されていないのは、現在の各種化石燃料入手が安定化していることもあるがメタノールのエネルギーとしての特質と開発状況が良く知られていない面もあると考えられ、またこのように先のテーマを取り上げるのも当所の特色を示すことになるのではとの理解に基づき本シンポジウムが立案された。

この企画に対し、通産省資源エネルギー庁の谷口富裕審議官から米賓御挨拶を、東京ガス(株)の片岡宏文最高顧問と東京大学の吉田邦夫教授より、それぞれの立場からの基調講演を快諾いただいたのを皮切りに、資源面、製造技術面、発電への利用技術面、自動車への利用技術面、国の長期エネルギー需給見通しとの関係、あるいはエコノミストの立場から自由に語っていただく女性講師による特別講演等、ご案内のとおり錚々たるご講演メンバーのご参加をいただくこととなり、本シンポジウムの内容が固まり実行に移された。当日は、多数の参加者もあり、各講師の方の熱意ある講演およびフロアからの質問も相

次ぎ熱気にあふれたものとなった。

さて本号は、その熱気を紙面でお伝えることに最大の配慮を行ったが、季報掲載上それぞれのご講演につき次のように取り扱った。

- 演題の一部は、当日のご講演内容に即したものとしかつ読者に関心を抱かれやすくするために、ご講演者のご了解を得てプログラムから題名変更を行ったものがある。
- 各ご講演内容を通して見た場合、発言内容に重複した様な発言も散見される。しかし、ご講演毎にまとまりのあるものにするために、ほとんどそのまま掲載させていただいた。
- 価格、需要量、生産量などの数字あるいは使用単位もご講演者に若干の差が見られたが、大勢に影響するほどのことでもなく、それぞれのご発表の通りにさせていただいた。

さて、谷口審議官のお言葉をお借りすれば、「メタノールは、野球でいえば、原子力、石炭、LNGのクリーンアップ・トリオには入らないが、6番バッターとしての期待はかけられそう」である。今年の巨人で、6番バッターが、その死命を制したように、或る局面に於いてその位置が重要な鍵を握るという場合もあろう。いずれにしても、シンポジウム特集号である本誌が、天然ガス及びメタノールの位置づけを理解していただく際の御参考になることを願ってやまない。

編集責任者 小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第20巻第3号

平成9年10月20日発行

編集発行

財団法人 エネルギー総合工学研究所

〒105 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社